

# 故障件数の不確実さを考慮した 国内一般機器故障率の推定

( 1982 年度 ~ 2007 年度 26 カ年 55 基データ )

( 改訂 1 )

2014 年 1 月

一般社団法人 原子力安全推進協会

**免責事項**

（社）原子力安全推進協会は本報告記載内容に関する説明責任を有しますが、記載内容の利用に起因する損害に対しては責任を有しません。また、本報告に関連して主張される特許権及び著作権の有効性を判断する責任も、それらの利用によって生じた特許権や著作権の侵害に係わる損害賠償請求に応ずる責任ありません。そうした責任は、すべて本報告記載内容の利用者にあります。

**著作権**

本報告の著作権は、すべて（社）原子力安全推進協会に帰属します。

## 目次

1	はじめに .....	1
2	故障件数の不確実さを考慮した国内一般機器故障率の更新結果 .....	3
2.1	推定方法の概要 .....	3
2.2	国内一般機器故障率の更新結果 .....	3
3	推定手法 .....	10
3.1	データ収集確率モデル .....	10
3.1.1	文献調査 .....	10
3.1.2	データ収集確率の事前確率分布の設定 .....	11
3.2	故障率モデル .....	14
3.2.1	時間故障率に関する確率過程モデル設定 .....	14
3.2.2	デマンド故障確率に関する確率過程モデル設定 .....	16
3.3	統合モデル .....	18
4	故障件数の不確実さを考慮した機器故障率の推定試評価 .....	19
4.1	試評価用データ .....	19
4.2	ハイパー事前分布の設定 .....	19
4.2.1	時間故障率のハイパー事前分布設定 .....	19
4.2.2	デマンド故障確率のハイパー事前分布設定 .....	20
4.2.3	個別発電所故障率最尤推定値 .....	21
4.3	WinBUGS 計算スクリプト .....	24
4.4	故障率試評価結果 .....	27
4.4.1	バーンイン回数 .....	27
4.4.2	モンテカルロ計算の繰り返し回数 .....	27
4.4.3	試評価結果 .....	27
4.4.4	考察 .....	28
5	21 ヶ年データ評価からの推定方法の変更 .....	34
5.1	ダミープラントを用いない手法への変更 .....	34
5.1.1	変更手法の概要と変更前後での推定値の比較 .....	34
5.1.2	直接法によるサンプリング条件 1 (バーンイン回数) .....	40
5.1.3	直接法によるサンプリング条件 2 (サンプリング回数) .....	41
5.2	MCMC 解析の計算条件の検討 .....	42
5.2.1	自己相関性の低減 (Thinning の設定) .....	42
5.2.2	ハイパー事前分布 $\sigma$ の範囲の拡大 .....	43
5.3	MCMC 解析条件 .....	44
5.3.1	国内一般機器故障率のサンプリング手法 .....	44
5.3.2	バーンイン回数 .....	44

5.3.3	サンプリング回数	44
5.3.4	Thinning (間引き) の設定	44
5.3.5	ハイパー事前分布 $\sigma$ の設定	45
6	特殊な故障率の取り扱い	46
6.1	工学的判断による故障率	46
6.2	非常用 DG 継続運転失敗率	47
6.2.1	概要	47
6.2.2	使用データ	47
6.2.3	時間確率分布モデルと尤度関数	52
6.2.4	ベイズ手法によるワイブル解析	53
7	古典統計手法とベイズ統計手法との比較	58
8	故障率及び故障確率の母数(超母数)の意味	64
8.1	母数が時間故障率 $\lambda$ の場合 (故障発生確率モデルがポアソン過程)	64
8.2	母数がデマンド故障確率 $pd$ の場合 (故障発生確率モデルが二項過程)	64
8.3	ハイパー事前分布 ( $\sigma$ ) の感度解析について	66
8.3.1	ハイパー事前分布設定	66
8.3.2	解析条件	66
8.3.3	解析結果	66
8.3.4	考察	79
8.3.5	まとめ	80
8.4	ハイパー事前分布 ( $\mu$ ) の感度解析について	85
8.4.1	ハイパー事前分布設定	85
8.4.2	解析条件	86
8.4.3	解析結果	86
8.4.4	超母数事後分布結果に関する考察	95
8.4.5	故障観測件数 0 件の場合の $\mu$ の事前分布設定に関する考察	99
8.4.6	まとめ	104
9	データ収集確率の検討	105
9.1	データ収集確率と実故障件数との関係について	105
9.2	データ収集確率の事後分布について	108
9.2.1	データ収集確率のベイズ更新	108
9.2.2	国内一般機器故障率のデータ収集確率	109
9.3	データ収集確率の感度解析	114
9.3.1	データ収集確率分布設定	114
9.3.2	事前分布のハイパーパラメータ設定	116
9.3.3	解析結果	116



9.3.4 考察 .....	129
10 マルコフ連鎖モンテカルロ計算の収束確認 .....	132
10.1 マルコフ連鎖モンテカルロ計算の収束確認方法の概要 .....	132
10.2 国内一般機器故障率計算の収束性の確認 .....	133
10.3 自己相関の低減 .....	139
10.3.1 Thinning による自己相関の低減 .....	139
10.3.2 $\mu, \sigma$ の統計量への Thinning の影響 .....	148
10.3.3 自己相関低減の結論 .....	148
11 国内一般機器故障率を事前分布とするベイズ更新の例 .....	149
11.1 事前分布故障モードの選定 .....	149
11.2 解析と結果 .....	150
11.3 考察とまとめ .....	153
12 不確かさ解析による炉心損傷頻度の試評価 .....	154
12.1 解析結果 .....	154
12.2 考察 .....	154
13 PRA 用国内一般機器故障率検討有識者会議の論点 .....	162
13.1 国内一般機器故障率の使い方について .....	162
13.2 計算手法や結果の技術的留意点について .....	163
14 まとめ .....	165
参考文献 .....	166
附録 A PSA 用国内機器一般故障率検討有識者会議 .....	167
A.1 設置趣意書 .....	168
A.2 委員構成 .....	170
A.3 議事録（3 回） .....	171
A.4 PSA 用国内機器一般故障率検討有識者会議における論点 .....	181
附録 B 国内データの機器グループ化 .....	188
B.1 NUCIA の機器故障データによる機器グループ定義の検討 .....	188
B.2 国内外技術基準等における機器グループ化に関する規定及び事例の整理 .....	188
B.3 現状の NUCIA データの分析による機器グループ化の検討 .....	190
附録 C 感度解析ベースケース結果の見方について .....	186
附録 D 故障件数の不確かさ分布 .....	198
附録 E 保全活動管理指標を活用した PRA 故障事象の収集と一般故障率について .....	203
E.1 保全活動管理し指標を活用した PRA 故障事象の収集について .....	204
E.2 PRA 用国内一般機器故障率の作成と今後の展開について .....	212
附録 F 故障率計算結果の PRA 使い方について .....	213

（白紙）

## 1 はじめに

現在，我が国では，原子力安全におけるリスク情報を用いた判断の基となる確率論的リスク評価（PRA）の品質確保に向け，産官学において関連基盤整備のための活動が進められている。例えば，学会規格策定の分野では，（社）日本原子力学会標準委員会リスク専門部会下の分科会において，出力時レベル 1～3，停止時，地震，内部溢水，津波 PRA の評価手法に関する実施基準が策定されており，さらに火災，地震随件事象の PRA に関する実施基準が策定されつつある。また，平成 22 年 6 月には，PRA に必要な機器故障率等の各種パラメータについて，ベイズ統計手法による算出方法と技術的要求事項を定めた実施基準「原子力発電所の確率論的安全評価用のパラメータ推定に関する実施基準：2010(AESJ-SC-RK 001:2010)」が策定されている。

一方，具体的な機器故障率などのパラメータ整備については，弊協会が管理している原子力施設情報公開ライブラリーNUCIA<sup>[1]</sup>に，我が国の原子力発電所の PRA 用機器故障率を算出するために，国内発電所の機器員数情報と故障件数を収集したデータベースを整備している。これまで，このデータベースの 1982 年度～1997 年度 16 ヶ年 49 基データ（16 ヶ年データ）を用い，（財）原子力安全協会の調査報告<sup>[2]</sup>にまとめられた方法（以下，原安協手法）に従って国内一般機器故障率を計算した報告がある<sup>[3]</sup>。平成 21 年 5 月には（有）日本原子力技術協会（当時．現・弊協会）から，1982 年度～2002 年度 21 ヶ年 49 基データ（21 ヶ年データ）を用いて「故障件数の不確かさを考慮した国内一般機器故障率の推定」（以下，21 ヶ年データ報告書）<sup>[4]</sup>を報告した。

確率論的評価に必要な機器故障率の不確かさの取り扱いについては，原安協手法では，機器間データのばらつき，故障率導出過程でのばらつきを，それぞれ確率プロット法，“工学的判断”で定量化し，これらを頻度論統計手法で計算した信頼区間に付加して，最終的な故障率の不確かさ幅としている。そして，故障率の不確かさ分布は，この不確かさ幅をエラーファクターとし，データから求めた最尤推定値を平均値とする対数正規分布で表している。故障率導出過程でのばらつきは，主に個々の事象の故障判定の不確かさに起因するものである。NUCIA の PRA 用データベースは，NUCIA に登録された不具合情報のうち，PRA モデル化の対象機器が機能喪失に至ったと判定された事象を集計したものである。この際の判定基準が明文化されているとはいえ，実際の不具合情報はポンプ潤滑油の劣化やシール喪失など多様であるため，判定結果にばらつきが生じることは避けられない。また，NUCIA の不具合情報データベースは事象単位で情報を登録するしくみになっており，PRA 用の機器単位でのデータ収集を第一の目的とはしていないため，対象とする機器母集団範囲の不確かさも無視できないと考えられる。原安協手法では，この“工学的判断”によるばらつきには固定値が割り当てられており，データを蓄積しても不確かさ幅が更新されないという欠点がある。そこで，21 ヶ年データ報告書では，新しいデータを得るごとに故障

率の不確かさが更新されるベイズ統計手法を適用した。

上述のとおり、NUCIA の入力基準は PRA 用途での故障事象の収集には必ずしも十分でないことから、現在、保全活動管理指標である予防可能機能故障（MPFF）の判定過程において FF（機能故障）とされた事象を PRA 用故障事象として収集する方策を検討している。（国内全発電所の FF 情報はまだ十分に登録されていない状況であるため、FF 情報を用いた個別プラントの機器故障率の整備には時間を要する）。将来的には、収集した FF 情報にベイズ統計手法を適用して個別プラント機器故障率を算出する方針であり、国内一般機器故障率は、ベイズ統計手法適用の際の事前分布情報として活用することが出来る。そこで、弊協会では、21 カ年データ報告書で対象とした 49 基に、BWR2 基、PWR1 基、ABWR4 基を追加した国内 56 基を対象として、1982 年度から 2010 年度までの NUCIA の PRA 用データベースを用いて国内一般機器故障率を更新する計画とした。ただし、更新作業は 1982 年度～2007 年度 26 カ年 55 基データ（26 カ年データ）と 1982 年度～2010 年度 29 カ年 56 基データ（29 カ年データ）の 2 ステップで実施する方針である。

本報告は、上記 2 ステップのうちの第一ステップとして、21 カ年データ報告書の推定手法を基本的に踏襲し、26 カ年データを用いて算出した国内一般機器故障率の結果をまとめたものである。なお、21 カ年データ報告書作成時には、日本原子力技術協会主催の「PSA 用一般機器故障率検討有識者会議」（平成 20 年 9 月～平成 21 年 3 月）を開催し、機器故障率算出の技術的検討を行なった。（同有識者会議の委員名簿と議事録、議論の論点については附録 A を参照されたい）。

#### 更新履歴

- ・ 2009 年 5 月      21 カ年データ（1982 年度～2002 年度）、49 基 対象
- ・ 2013 年 6 月      26 カ年データ（1982 年度～2007 年度）、55 基 対象
- ・ 2014 年 1 月      26 カ年データ（1982 年度～2007 年度）、55 基 対象（改訂 1）

## 2 故障件数の不確実さを考慮した国内一般機器故障率の更新結果

ここでは、国内一般機器故障率の推定方法の概要と結果を示す。

### 2.1 推定方法の概要

国内一般機器故障率の推定にあたって、機器別に母集団を決める必要があり、母集団の決定には機器の設計・運転環境・運転状況を考慮しなければならない。21 ヶ年データ報告書<sup>[4]</sup>における機器グループ分けの考え方を附録 B に示す。26 ヶ年データ算出にあたって、機器バウンダリ及び故障モードの定義は先行報告書<sup>[2],[3]</sup>に基づくものとした。また、新たに ABWR の機器を評価対象とし、機種、故障モード及び機器バウンダリの定義は、電力中央研究所の報告書<sup>[5]</sup>に基づくものとした。

国内一般機器故障率の推定に用いたデータは、NUCIA PRA 用データベースに収録されている国内 55 基、1982 年度～2007 年度の機器故障件数及び運転時間/起動デマンド回数データである。

発電所で発生した PRA の対象となる故障が、故障判定の不確実さにより、すべて NUCIA PRA 用データベースに登録されるわけではなく、その一部のみ収集されるため NUCIA 登録故障件数には不確実さが存在する、という状況である。

評価モデルは、21 ヶ年データ報告書と同様に、発電所において実際に発生した PRA 機能故障件数を  $X$ 、NUCIA PRA 用データベースに収集された故障件数を  $Y$  (以下、観測件数)、発生した故障事象が NUCIA PRA 用データベースに収集される確率をデータ収集確率  $p$ 、と定義し、既知データ  $Y$  から、未知の  $X$ 、 $p$  及び故障率/故障確率を推定する。データ収集プロセスは、データ収集確率  $p$  に支配されるベルヌーイ過程であると仮定した。故障件数  $X$  の生起確率過程は、時間故障率の場合はポアソン過程、デマンド故障確率の場合は二項過程とした。

計算手法は、発電所間の故障率/故障確率のばらつきを考慮できる階層ベイズモデルを用い、事後分布の計算にはマルコフ連鎖モンテカルロ(MCMC)用フリーソフト WinBUGS<sup>[6]</sup>を用いた。本計算で用いた階層ベイズモデルの概念図を図 2-1 に示す。

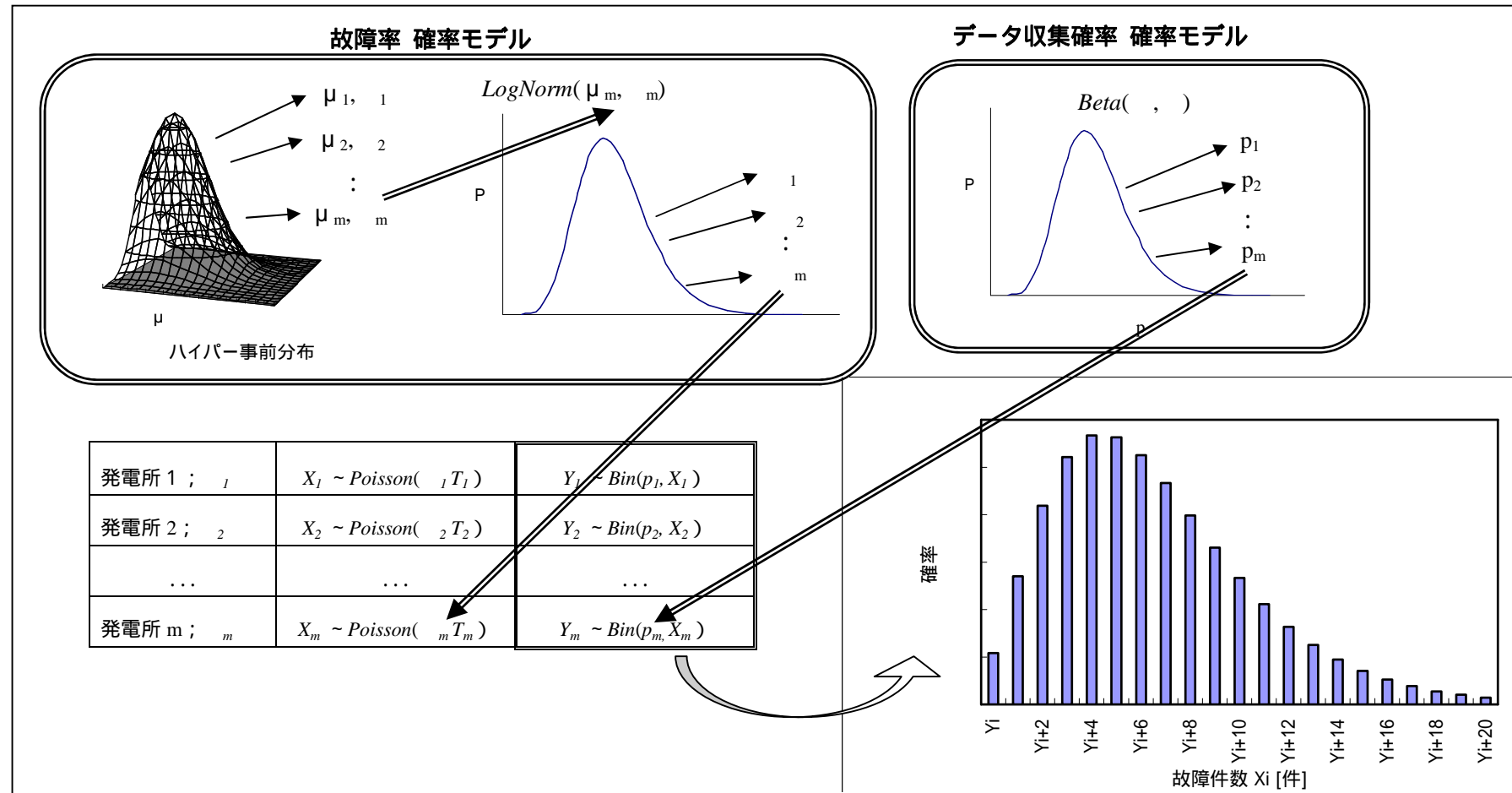
なお、一部の機器については、故障実績データが収集されていないため、工学的判断に基づき故障率を算出した。

### 2.2 国内一般機器故障率の更新結果

更新した国内一般機器の時間故障率及びデマンド故障確率をそれぞれ表 2-1、表 2-2 に示す。

なお、ABWR 用の機種（インターナルポンプ、再循環ポンプ MG セット、デジタル制御機器）については、評価対象プラントが少ないことに加えて、運転期間が短く、故障件数が 0 件か 1 件であるため、実用に耐える故障率の推定方法に検討の余地が有ることから報告対象外とした。

今後、29 ヶ年データを対象とした国内一般機器故障率の更新までに、運転実績データの少ない機種に関する推定手法の検討を実施する。



$\mu, \sigma$  : ハイパーパラメータ     $\mu_i$  : i 発電所の個別発電所故障率     $p_i$  : i 発電所のデータ収集確率     $T_i$  : i 発電所の露出時間

$X_i$  : i 発電所の故障件数     $Y_i$  : i 発電所の観測件数

対数正規分布 :  $\text{LogNorm}(\mu, \sigma)$     ポアソン分布 :  $\text{Poisson}(\lambda, T)$     ベータ分布 :  $\text{Beta}(\alpha, \beta)$     二項分布 :  $\text{Bin}(p, X)$

図 2-1 故障件数の不確実さを考慮した階層ベイズモデルの概念図 (時間故障率)

表 2-1 国内一般機器故障率（26 ヲ年データ）時間故障率（1/4）

機種	故障モード	観測件数 [件]	延べ運転時間 [h]	ベイズ統計（MCMC手法）					
				真の故障件数 推定値 <sup>*1</sup> [件]	平均値 [1/h]	5%点 [1/h]	中央値 [1/h]	95%点 [1/h]	EF <sup>*2</sup> （近似）
非常用ディーゼル発電機	起動失敗	46	1.6E+07	116.6	7.3E-06	2.3E-06	6.5E-06	1.5E-05	2.5
	継続運転失敗(24時間平均) <sup>*3</sup>	-	-	-	2.3E-04	1.3E-04	2.2E-04	3.9E-04	1.7
	継続運転失敗(36時間平均) <sup>*3</sup>	-	-	-	1.9E-04	1.0E-04	1.8E-04	3.4E-04	1.8
	継続運転失敗(72時間平均) <sup>*3</sup>	-	-	-	1.4E-04	6.8E-05	1.3E-04	2.7E-04	2.0
電動ポンプ(非常用待機，純水)	起動失敗	4	8.0E+07	10.6	2.2E-07	4.4E-09	7.8E-08	4.6E-07	10.2
電動ポンプ(常用運転，純水)	継続運転失敗	29	9.8E+07	73.6	8.4E-07	5.7E-08	4.9E-07	2.4E-06	6.5
電動ポンプ(常用待機，純水)	起動失敗	2	4.7E+07	5.7	1.9E-07	3.8E-09	6.3E-08	4.4E-07	10.7
電動ポンプ(非常用待機，海水)	起動失敗	1	2.3E+07	3.6	3.5E-07	1.0E-08	1.0E-07	7.2E-07	8.3
電動ポンプ(常用運転，海水)	継続運転失敗	2	1.4E+07	5.6	7.4E-07	1.0E-08	1.9E-07	1.4E-06	11.9
電動ポンプ(常用待機，海水)	起動失敗	1	3.6E+06	2.9	7.8E-06	1.9E-09	2.1E-07	4.9E-06	51.3
タービン駆動ポンプ	起動失敗	22	8.7E+06	55.8	9.1E-06	2.9E-07	3.8E-06	2.2E-05	8.6
	継続運転失敗	10	1.0E+07	25.4	2.9E-06	3.2E-07	2.0E-06	6.5E-06	4.5
ディーゼル駆動ポンプ	起動失敗	3	1.7E+05	8.9	5.4E-05	1.2E-05	4.2E-05	1.3E-04	3.4
	継続運転失敗 <sup>*4</sup>	-	-	-	2.1E-03	-	-	-	30.0
電動弁(純水)	作動失敗	25	1.2E+09	64.8	1.2E-07	3.5E-10	1.5E-08	2.7E-07	27.6
	誤開又は誤閉	0	1.2E+09	1.8	3.1E-09	2.5E-10	1.4E-09	8.1E-09	5.7
	閉塞	2	1.2E+09	5.7	8.3E-09	2.2E-10	2.7E-09	1.7E-08	8.9
	外部リーク	1	1.2E+09	3.6	7.4E-09	2.3E-10	1.9E-09	1.2E-08	7.3
	内部リーク	2	1.2E+09	5.7	7.7E-09	2.1E-10	2.7E-09	1.8E-08	9.2
電動弁(海水)	作動失敗	2	4.4E+07	5.5	9.9E-07	1.0E-09	4.9E-08	5.0E-07	22.4
	誤開又は誤閉	0	4.4E+07	1.1	6.4E-08	1.5E-09	1.5E-08	1.5E-07	10.1
	閉塞	0	4.4E+07	1.1	6.4E-08	1.5E-09	1.5E-08	1.5E-07	10.1
	外部リーク	0	4.4E+07	1.1	6.4E-08	1.5E-09	1.5E-08	1.5E-07	10.1
	内部リーク	0	4.4E+07	1.1	6.4E-08	1.5E-09	1.5E-08	1.5E-07	10.1
空気作動弁	作動失敗	21	6.3E+08	53.4	9.1E-08	1.3E-08	7.0E-08	2.2E-07	4.0
	誤開又は誤閉	3	6.3E+08	8.7	3.0E-08	2.7E-10	5.8E-09	6.1E-08	15.2
	閉塞	1	6.3E+08	3.9	1.0E-08	6.1E-10	4.4E-09	2.5E-08	6.4
	外部リーク	1	6.3E+08	3.9	1.0E-08	6.1E-10	4.4E-09	2.5E-08	6.4
	内部リーク	3	6.3E+08	9.1	4.0E-08	1.8E-10	5.2E-09	8.0E-08	21.4
油圧作動弁	作動失敗	15	1.3E+08	38.4	4.7E-07	6.6E-09	1.6E-07	1.1E-06	12.9
	誤開又は誤閉	3	1.3E+08	8.0	1.2E-07	1.3E-09	3.3E-08	2.3E-07	13.2
	閉塞	0	1.3E+08	1.6	2.9E-08	1.8E-09	1.1E-08	6.9E-08	6.3
	外部リーク	0	1.3E+08	1.6	2.9E-08	1.8E-09	1.1E-08	6.9E-08	6.3
	内部リーク	0	1.3E+08	1.6	2.9E-08	1.8E-09	1.1E-08	6.9E-08	6.3
逆止弁	開失敗	3	8.4E+08	7.9	2.1E-08	2.3E-10	4.9E-09	3.2E-08	11.9
	閉失敗	13	8.4E+08	34.7	2.4E-07	3.6E-11	5.4E-09	2.9E-07	90.0
	外部リーク	0	8.4E+08	1.5	5.0E-09	2.3E-10	1.6E-09	1.0E-08	6.6
	内部リーク	4	8.4E+08	11.1	9.0E-08	5.1E-11	3.4E-09	7.1E-08	37.3
手動弁	開閉失敗	4	1.9E+09	10.5	7.5E-09	2.7E-10	3.5E-09	1.8E-08	8.1
	閉塞	4	1.9E+09	10.8	8.0E-09	1.6E-10	2.8E-09	2.0E-08	11.3
	外部リーク	0	1.9E+09	2.3	2.3E-09	2.7E-10	1.3E-09	6.0E-09	4.7
	内部リーク	1	1.9E+09	4.0	3.2E-09	2.4E-10	1.5E-09	8.2E-09	5.8

表 2-1 国内一般機器故障率（26 ヲ年データ）時間故障率（2/4）

機種	故障モード	観測件数 [件]	延べ運転時間 [h]	ベイズ統計（MCMC手法）					
				真の故障件数 推定値 <sup>*1</sup> [件]	平均値 [1/h]	5%点 [1/h]	中央値 [1/h]	95%点 [1/h]	EF <sup>*2</sup> （近似）
安全弁	開失敗	0	2.2E+08	2.1	1.9E-08	1.9E-09	9.8E-09	4.9E-08	5.1
	閉失敗	1	2.2E+08	3.9	2.9E-08	1.8E-09	1.2E-08	6.8E-08	6.2
	誤開	0	2.2E+08	2.1	1.9E-08	1.9E-09	9.8E-09	4.9E-08	5.1
	外部リーク	0	2.2E+08	2.1	1.9E-08	1.9E-09	9.8E-09	4.9E-08	5.1
	内部リーク	4	2.2E+08	10.8	1.2E-07	9.8E-10	2.6E-08	2.1E-07	14.7
逃がし安全弁(BWR)	開失敗	0	4.8E+07	1.1	1.0E-07	1.3E-09	1.5E-08	1.5E-07	10.7
	閉失敗	0	4.8E+07	1.1	1.0E-07	1.3E-09	1.5E-08	1.5E-07	10.7
	誤開	0	4.8E+07	1.1	1.0E-07	1.3E-09	1.5E-08	1.5E-07	10.7
	外部リーク	0	4.8E+07	1.1	1.0E-07	1.3E-09	1.5E-08	1.5E-07	10.7
	内部リーク	0	4.8E+07	1.1	1.0E-07	1.3E-09	1.5E-08	1.5E-07	10.7
真空逃がし弁(PWR)	作動失敗	0	2.8E+07	0.9	8.1E-07	1.0E-09	1.8E-08	2.8E-07	16.7
電磁弁	作動失敗	6	1.6E+09	15.6	1.6E-08	2.0E-10	5.2E-09	3.4E-08	13.1
	誤開又は誤閉	1	1.6E+09	3.9	4.1E-09	2.1E-10	1.7E-09	9.9E-09	6.9
	閉塞	0	1.6E+09	2.1	2.7E-09	2.6E-10	1.3E-09	6.5E-09	5.0
	外部リーク	1	1.6E+09	3.8	3.6E-09	2.4E-10	1.6E-09	9.1E-09	6.1
	内部リーク	1	1.6E+09	3.8	3.6E-09	2.4E-10	1.6E-09	9.1E-09	6.1
ファン/プロア	起動失敗	1	4.5E+07	3.5	1.3E-07	4.1E-09	4.4E-08	3.1E-07	8.7
	継続運転失敗	8	1.3E+08	21.0	8.7E-07	8.5E-10	5.8E-08	7.8E-07	30.2
	継続運転失敗 <sup>*4</sup> （異常時）	-	-	-	5.2E-05	-	-	-	30.2
ダンバ	作動失敗	6	5.0E+08	17.1	1.7E-07	4.2E-10	1.5E-08	2.3E-07	23.6
	誤開又は誤閉	0	5.0E+08	1.9	7.9E-09	6.9E-10	3.7E-09	2.0E-08	5.4
	閉塞	1	5.0E+08	3.7	1.7E-08	5.5E-10	4.8E-09	3.1E-08	7.6
	外部リーク	0	5.0E+08	1.9	7.9E-09	6.9E-10	3.7E-09	2.0E-08	5.4
	内部リーク	0	5.0E+08	1.9	7.9E-09	6.9E-10	3.7E-09	2.0E-08	5.4
熱交換器 <sup>*5</sup>	伝熱管破損	1	2.1E+08	3.8	2.8E-08	1.7E-09	1.2E-08	7.2E-08	6.5
	外部リーク	0	2.1E+08	2.1	2.4E-08	1.9E-09	1.0E-08	5.1E-08	5.2
	伝熱管閉塞	2	2.1E+08	6.5	6.5E-08	6.7E-10	1.3E-08	1.5E-07	15.1
タンク	破損	0	8.5E+07	2.1	5.1E-08	5.3E-09	2.6E-08	1.3E-07	4.9
	閉塞	0	8.5E+07	2.1	5.1E-08	5.3E-09	2.6E-08	1.3E-07	4.9
オリフィス	外部リーク	1	7.0E+08	4.0	8.8E-09	6.4E-10	4.2E-09	2.3E-08	6.0
	内部破損	0	7.0E+08	2.3	6.4E-09	7.4E-10	3.4E-09	1.6E-08	4.7
	閉塞	0	7.0E+08	2.3	6.4E-09	7.4E-10	3.4E-09	1.6E-08	4.7
ストレーナ/フィルタ (純水等)	外部リーク	1	2.5E+08	3.9	2.5E-08	1.8E-09	1.1E-08	6.4E-08	6.0
	内部破損	0	2.5E+08	2.2	1.8E-08	2.0E-09	9.4E-09	4.5E-08	4.8
	閉塞	0	2.5E+08	2.2	1.8E-08	2.0E-09	9.4E-09	4.5E-08	4.8
ストレーナ/フィルタ (海水)	外部リーク	0	3.2E+07	1.4	1.2E-07	4.5E-09	3.5E-08	2.5E-07	7.5
	内部破損	1	3.2E+07	3.3	1.7E-07	4.0E-09	5.2E-08	4.1E-07	10.2
	閉塞	2	3.2E+07	5.5	3.6E-07	3.8E-09	8.3E-08	6.5E-07	13.1
制御棒駆動装置(BWR) <sup>*6</sup>	挿入失敗	6	5.8E+08	16.2	1.7E-07	3.5E-11	3.9E-09	1.7E-07	69.3
制御棒駆動装置(PWR)	挿入失敗	1	1.5E+08	3.0	1.9E-07	1.0E-10	6.1E-09	1.1E-07	32.5



表 2-1 国内一般機器故障率（26 ヵ年データ）時間故障率 （3/4）

機種	故障モード	観測件数 [件]	延べ運転時間 [h]	ベイズ統計（MCMC手法）					
				真の故障件数 推定値 <sup>*1</sup> [件]	平均値 [1/h]	5%点 [1/h]	中央値 [1/h]	95%点 [1/h]	EF <sup>*2</sup> （近似）
PLR MG セット(BWR) <sup>*7</sup>	機能喪失	14	6.0E+06	35.5	7.7E-06	7.3E-07	4.7E-06	1.6E-05	4.6
RPS,CRDM MGセット	機能喪失	0	1.7E+07	1.1	2.2E-07	4.0E-09	4.2E-08	4.1E-07	10.0
インバータ（PLR）	機能喪失	3	2.6E+06	8.1	3.1E-05	3.3E-08	1.8E-06	1.9E-05	23.6
インバータ（バイタル）	機能喪失	1	2.6E+07	3.3	3.2E-07	2.8E-09	5.5E-08	5.6E-07	14.2
遮断器	作動失敗	13	9.2E+08	33.8	8.6E-08	4.0E-10	1.6E-08	1.6E-07	20.3
	誤開	14	9.2E+08	35.5	4.5E-08	2.9E-09	2.8E-08	1.1E-07	6.1
	誤閉	2	9.2E+08	5.7	1.0E-08	1.8E-10	3.1E-09	2.3E-08	11.4
変圧器	機能喪失	6	8.2E+07	15.3	3.0E-07	5.2E-09	1.2E-07	6.0E-07	10.7
蓄電池	機能喪失	0	4.6E+07	1.1	6.4E-08	1.4E-09	1.5E-08	1.4E-07	10.0
充電器	機能喪失	2	4.6E+07	5.5	3.3E-07	9.5E-10	4.7E-08	5.1E-07	23.2
母線 <sup>*8</sup>	機能喪失	4	4.7E+08	10.5	3.8E-08	6.3E-10	1.3E-08	7.7E-08	11.1
制御ケーブル <sup>*9</sup>	短絡	0	2.0E+10	1.6	1.9E-10	1.2E-11	7.5E-11	4.4E-10	6.1
	地絡	3	2.0E+10	8.0	6.9E-10	1.0E-11	2.1E-10	1.4E-09	11.7
	断線	3	2.0E+10	8.0	7.3E-10	1.0E-11	2.1E-10	1.4E-09	11.5
配管 3 インチ未満 <sup>*10</sup>	リーク	0	4.7E+09	2.2	8.8E-10	1.0E-10	4.7E-10	2.3E-09	4.8
	閉塞	1	4.7E+09	3.9	1.6E-09	8.2E-11	5.8E-10	3.3E-09	6.4
配管 3 インチ以上 <sup>*10</sup>	リーク	4	1.1E+10	10.5	1.6E-09	3.1E-11	5.7E-10	3.3E-09	10.3
	閉塞	0	1.1E+10	2.0	3.7E-10	3.6E-11	1.8E-10	9.3E-10	5.1
リレー	不動作	8	1.1E+10	20.9	7.0E-09	3.4E-12	3.2E-10	8.7E-09	50.9
	誤動作	6	1.1E+10	15.6	5.8E-09	7.2E-12	5.6E-10	6.0E-09	28.8
遅延リレー	不動作	0	8.8E+08	1.6	4.7E-09	2.2E-10	1.5E-09	1.0E-08	6.8
	誤動作	0	8.8E+08	1.6	4.7E-09	2.2E-10	1.5E-09	1.0E-08	6.8
演算器	不動作	0	5.6E+08	2.0	7.5E-09	7.0E-10	3.6E-09	1.9E-08	5.2
	高出力/低出力	5	5.6E+08	12.9	3.5E-08	9.8E-10	1.5E-08	7.3E-08	8.6
カード (半導体ロジック回路)	不動作	0	3.2E+08	0.8	3.0E-08	4.7E-11	1.1E-09	2.2E-08	21.5
	誤動作	4	3.2E+08	10.7	5.4E-07	8.4E-11	1.3E-08	2.2E-07	50.7
警報設定器	不動作	0	1.7E+09	1.4	1.9E-09	7.9E-11	6.3E-10	4.8E-09	7.8
	誤動作	3	1.7E+09	8.1	1.5E-08	4.4E-11	2.1E-09	2.1E-08	21.8
ヒューズ	誤断線	3	3.1E+09	8.1	4.6E-09	6.9E-11	1.4E-09	9.6E-09	11.8
流量トランスミッタ	不動作	7	7.7E+08	18.3	6.1E-08	9.6E-11	6.7E-09	1.0E-07	33.0
	高出力/低出力	19	7.7E+08	49.6	2.0E-07	2.0E-10	1.4E-08	3.6E-07	42.4
圧力トランスミッタ	不動作	1	9.6E+08	3.6	1.5E-08	1.6E-10	2.0E-09	1.7E-08	10.4
	高出力/低出力	15	9.6E+08	38.0	4.9E-08	2.9E-09	2.9E-08	1.1E-07	6.3
水位トランスミッタ	不動作	0	4.0E+08	1.7	9.4E-09	6.6E-10	3.9E-09	2.3E-08	5.9
	高出力/低出力	2	4.0E+08	5.6	2.2E-08	5.7E-10	7.6E-09	5.0E-08	9.4

表 2-1 国内一般機器故障率（26 ヲ年データ）時間故障率（4/4）

機種	故障モード	観測件数 [件]	延べ運転時間 [h]	ベイズ統計（MCMC手法）					
				真の故障件数 推定値 <sup>*1</sup> [件]	平均値 [1/h]	5%点 [1/h]	中央値 [1/h]	95%点 [1/h]	EF <sup>*2</sup> （近似）
温度検出器	不動作	0	2.6E+09	1.6	1.4E-09	8.8E-11	5.5E-10	3.3E-09	6.1
	高出力/低出力	5	2.6E+09	13.1	1.2E-08	5.0E-11	2.2E-09	2.0E-08	20.2
放射線検出器	不動作	0	7.3E+07	2.0	5.6E-08	5.2E-09	2.7E-08	1.4E-07	5.2
	高出力/低出力	2	7.3E+07	5.9	2.2E-07	3.9E-09	4.6E-08	3.0E-07	8.7
流量スイッチ	不動作	0	4.7E+08	1.8	9.1E-09	6.7E-10	3.8E-09	2.1E-08	5.6
	誤動作	1	4.7E+08	3.7	1.4E-08	5.3E-10	5.0E-09	3.4E-08	7.9
圧力スイッチ	不動作	1	1.3E+09	3.6	4.8E-09	2.2E-10	1.8E-09	1.1E-08	7.2
	誤動作	7	1.3E+09	18.4	3.1E-08	6.8E-11	3.1E-09	6.0E-08	29.7
水位スイッチ	不動作	6	9.0E+08	16.1	5.0E-08	4.6E-11	3.1E-09	8.5E-08	43.0
	誤動作	2	9.0E+08	6.1	1.7E-08	9.7E-11	2.5E-09	2.8E-08	17.1
温度スイッチ	不動作	0	4.4E+08	1.8	1.4E-08	6.4E-10	3.8E-09	2.2E-08	5.9
	誤動作	2	4.4E+08	6.0	2.5E-08	3.2E-10	5.9E-09	5.7E-08	13.4
リミットスイッチ	不動作	6	2.8E+09	15.4	1.1E-08	1.8E-10	3.5E-09	1.7E-08	9.9
	誤動作	1	2.8E+09	3.6	2.2E-09	7.6E-11	7.4E-10	5.0E-09	8.1
手動スイッチ	不動作	2	4.5E+09	5.9	1.9E-09	8.8E-11	8.1E-10	4.6E-09	7.3
	誤動作	0	4.5E+09	2.1	1.0E-09	9.1E-11	4.8E-10	2.5E-09	5.3
コントローラ	不動作	0	5.5E+08	1.3	5.6E-09	2.1E-10	1.8E-09	1.4E-08	8.1
	高出力 / 低出力	2	5.5E+08	5.6	3.2E-08	1.4E-10	4.4E-09	4.2E-08	17.2
配線 / 電線	短絡 <sup>*4</sup>	-	-	-	6.3E-10	-	-	-	30.0
	地絡 <sup>*4</sup>	-	-	-	1.8E-09	-	-	-	30.0
	断線 <sup>*4</sup>	-	-	-	1.8E-09	-	-	-	30.0
ヒーター	機能喪失 <sup>*4</sup>	-	-	-	1.2E-08	-	-	-	30.0
アナライザ	機能喪失 <sup>*4</sup>	-	-	-	5.3E-09	-	-	-	30.0

注 \*1. NUCIAデータ（観測件数）に不確実さを考慮した故障件数の推定値（平均値）

\*2. EF<sup>2</sup>(近似) = 95%点 / 5%点

\*3. 特殊な故障率としてワイブル分布のベイズ評価により算出

\*4. 特殊な故障率として算出

\*5. 熱交換器の場合は，機器1台当たりの故障率

\*6. ABWRの改良型制御棒駆動装置を含む

\*7. ABWRを除いた従来型のBWR

\*8. 母線の場合は，機器間の1セクション（3相）当たりの故障率

\*9. 制御ケーブルは，機器間を1機器として算出した故障率

\*10. 配管の場合は，機器，材質変更箇所や分岐によって区分される1セクション間当たりの故障率

表 2-2 国内一般機器故障率（26 カ年データ）デマンド故障確率

機種	故障モード	観測件数 [件]	推定総デマンド回数 [D]	ベイズ統計（MCMC手法）					
				真の故障件数 推定値 <sup>*1</sup> [件]	平均値 [1/D]	5%点 [1/D]	中央値 [1/D]	95%点 [1/D]	EF <sup>*2</sup> （近似）
非常用ディーゼル発電機	起動失敗	46	54795	120.8	2.7E-03	3.8E-04	1.9E-03	7.2E-03	4.4
電動ポンプ	起動失敗	5	183839	13.0	1.1E-04	2.0E-06	4.3E-05	2.6E-04	11.2
タービン駆動ポンプ	起動失敗	21	14933	53.3	4.0E-03	1.3E-04	2.0E-03	1.2E-02	9.8
ディーゼル駆動ポンプ	起動失敗	3	349	9.1	2.6E-02	5.5E-03	2.0E-02	6.6E-02	3.4
ファン / プロア	起動失敗	1	66155	3.7	9.1E-05	5.0E-06	3.8E-05	2.2E-04	6.7
電動弁	開失敗	16	648842	40.3	7.4E-05	1.7E-06	3.4E-05	1.9E-04	10.7
	閉失敗	7	649357	18.2	6.6E-05	1.1E-07	7.9E-06	1.2E-04	33.1
空気作動弁	開失敗	1	194079	3.2	3.6E-05	5.5E-07	8.1E-06	7.0E-05	11.3
	閉失敗	7	195948	19.1	6.0E-04	7.7E-08	1.5E-05	9.0E-04	108.0
油圧作動弁	開失敗	5	171252	13.0	1.3E-04	1.5E-06	4.7E-05	2.7E-04	13.1
	閉失敗	0	171074	1.3	2.0E-05	6.1E-07	5.5E-06	4.5E-05	8.6
逆止弁	開失敗	1	332408	3.5	1.7E-05	6.0E-07	6.0E-06	4.3E-05	8.4
	閉失敗	3	323091	7.9	4.0E-05	6.8E-07	1.3E-05	8.5E-05	11.2
手動弁	開失敗	2	53958	5.5	2.2E-04	1.1E-06	4.2E-05	4.2E-04	19.2
	閉失敗	1	53492	3.6	1.1E-04	4.5E-06	4.2E-05	2.8E-04	8.0
安全弁	開失敗	0	1648	0.7	1.7E-03	8.2E-06	1.8E-04	3.5E-03	20.7
	閉失敗	1	1464	2.9	4.9E-03	5.6E-06	5.3E-04	1.2E-02	46.6
逃がし安全弁	開失敗	0	10834	1.0	3.4E-04	3.7E-06	5.0E-05	6.2E-04	13.0
	閉失敗	0	10640	1.0	3.3E-04	3.6E-06	5.0E-05	6.4E-04	13.4
電磁弁	開閉失敗	3	390017	7.9	3.0E-05	8.0E-07	1.2E-05	6.8E-05	9.2
遮断器	開失敗	3	297945	7.9	4.2E-05	6.3E-07	1.4E-05	9.3E-05	12.1
	閉失敗	6	297723	15.9	1.1E-04	1.0E-06	2.8E-05	2.2E-04	14.7
ダンパ	開失敗	4	235343	10.9	1.1E-04	1.0E-06	2.5E-05	2.0E-04	13.9
	閉失敗	2	236093	6.6	5.2E-05	8.6E-07	1.4E-05	1.3E-04	12.3

注 \* 1. NUCIAデータ（観測件数）に不確実さを考慮した故障件数の推定値（平均値）

\* 2. EF<sup>2</sup>(近似) = 95%点 / 5%点

### 3 推定手法

推定手法と評価モデルの概要については、2.1、図 2-1 に示したとおりである。ここでは、計算モデルの詳細について説明する。

#### 3.1 データ収集確率モデル

発電所  $i$  で発生した PRA 機能故障が NUCIA に登録されるかどうかは確率  $p_i$  のベルヌーイ過程に従うと仮定すると、当該発電所での PRA 故障件数を  $X_i$  とするとき、観測件数  $Y_i$  は二項分布  $Bin(p_i, X_i)$  に従う。

$$Y_i \sim Bin(p_i, X_i)$$

すなわち

(3.1)

$$f(y_i; x_i, p_i) = C_{y_i} p_i^{y_i} (1 - p_i)^{x_i - y_i}$$

ここで、 $X_i$  :  $i$  発電所の故障件数

$Y_i$  :  $i$  発電所の観測件数

$p_i$  :  $i$  発電所のデータ収集確率

データ収集確率の導入により NUCIA PRA 用データベースの故障件数是不確実さを持つが、データ収集確率  $p_i$  自身もまた不確実さを持っている。その不確実さの事前確率分布は、過去データの分析から推定することとした。以下に検討内容を示す。

##### 3.1.1 文献調査

###### a) 原安協報告書(10 カ年データ)<sup>[2]</sup>

- ・ 原安協手法では、故障率の不確実さ要因の一つとして、故障判定の不確実さを挙げており、この不確実さを最終的な推定結果に反映している。
- ・ 故障判定の不確実さを定量的に分析した箇所の抜粋を示す。「故障情報の不足や理解が十分でなかったりして故障としてカウントすべき故障を数え落としている可能性がある。故障の判定を一つの不確実さ要因ととらえることとする。故障率算定において故障として判定された機器故障総数の 144 件に対し、故障状況によりスクリーンアウトされた故障件数は 214 件である。すなわち、故障数の最大は高々 2.5 倍である。」

###### b) 電中研報告書(16 カ年データ)<sup>[3]</sup>

- ・ 原安協報告書と同様に故障判定の不確実さを定量的に分析している。当該箇所の抜粋を示す。「故障率算定において故障として判定された機器故障総数の 201 件に対し、故障状況によりスクリーンアウトされた故障件数は 312 件であるので、故障数の最大は 2.5 倍程度にしかない。」

### 3.1.2 データ収集確率の事前確率分布の設定

データ収集確率  $p_i$  は、故障判定時にカウントすべき故障事象が適切にカウントされるか否かの確率過程における支配パラメータと定義し、この確率過程を確率  $p_i$  で成功するベルヌーイ試行と仮定した。ここでは  $p_i$  の不確実さを表す分布としてベータ分布  $Beta(\alpha, \beta)$  を用いることとした。ベータ分布はベルヌーイ試行の母数  $p_i$  に対して一般に用いられる確率分布である。国内一般機器故障率を推定するためにはデータ収集確率分布のパラメータ  $\alpha$  及び  $\beta$  を特定する必要がある。 $p_i$  の事前確率分布の設定手法を以下に示す。最初に以下の変数を定義した。

Z：故障と判定しカウントされた故障件数（既知）

W：故障としてカウントされるべき故障件数（未知）

V：故障の候補となる事象数（既知）

$p_i$  の確率分布  $Beta(\alpha, \beta)$  は上述した原安協と電中研の国内一般故障率の文献<sup>[2][3]</sup>を参考に設定することとし、その結果を表 3-1 にまとめた。

表 3-1 データ収集確率の事前確率分布の設定に用いるデータ

項目	10 カ年	16 カ年
故障と判定しカウントされた故障件数 Z	144	201
故障の候補となる事象数 V	358	513
Z/V	0.40	0.39

$p_i$  の最尤推定値  $Z/W$  が  $Beta(\alpha, \beta)$  の設定に有効な情報となるが、 $W$  は未知であるため、 $p_i$  について最尤推定する際は  $W$  に対してなんらかの仮定が必要となる。

故障判定の不確実さ以外に、不具合情報の収集における潜在的な不確実さについても、故障率に反映させるため、極端に保守的ではあるが  $W=V$  と仮定すると、 $p_i$  の最尤推定値は約 0.4 と評価される。この最尤推定値を平均値として持つベータ分布として、 $Beta(\alpha, \beta)$  を  $Beta(4,6)$  と設定した。

本設定  $Beta(4,6)$  は、故障としてカウントされるべき故障件数( $W$ )は 10 件あり、故障と判定しカウントされた故障件数( $Z$ )が 4 件であった状況下における確信の度合いと同等である。確率分布の形状を図 3-1 に示す。 $Beta(4,6)$  の分散は 0.022 となり、適度に拡散した確率分布である。

データ収集確率の導入による故障件数  $X_i$  と観測件数  $Y_i$  に関する有向グラフ (directed graph) を図 3-2 に示す。この確率過程モデルにより、故障件数の不確実さを扱うことが可能となる。

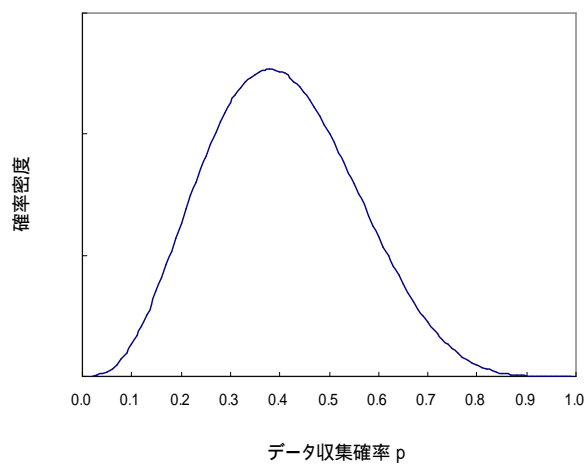
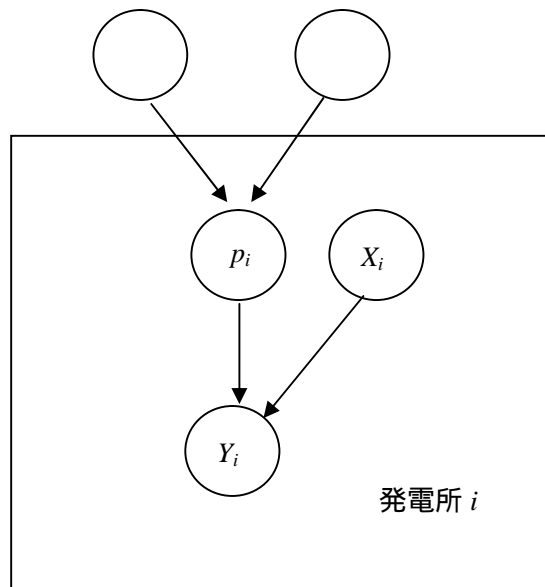


図 3-1 データ収集確率分布  $p_i$  の事前分布形状 (  $Beta(4,6)$  )



← は確率的依存性を表す。

パラメータを推定する際は，これらの依存性とは逆方向に，データから帰納的推論で求める。

$p_i$  : 発電所  $i$  におけるデータ収集確率

$X_i$  : 発電所  $i$  における故障件数

$Y_i$  : 発電所  $i$  における観測件数

$\alpha, \beta$  : データ収集確率分布のパラメータ

$$Y_i \sim \text{Bin}(p_i, X_i)$$

図 3-2 データ収集確率と故障件数，観測件数に関する確率過程モデル

### 3.2 故障率モデル

#### 3.2.1 時間故障率に関する確率過程モデル設定

##### a) 故障件数の発生確率過程

発電所  $i$  の露出時間を  $T_i$  とし, 故障件数  $X_i$  は個別発電所故障率  $\lambda_i$  に支配されるポアソン過程で発生するとした。

$$X_i \sim \text{Poisson}(\lambda_i T_i)$$

(3.2)

$$f(x_i; \lambda_i, T_i) = \exp(-\lambda_i T_i) \frac{(\lambda_i T_i)^{x_i}}{x_i!}$$

##### b) 母集団変動分布

故障率  $\lambda_i$  の母集団変動分布は対数正規分布とした。パラメータ  $\mu$  及び  $\sigma$  はそれぞれ  $\ln \lambda_i$  の平均と標準偏差を表す。

$$f(\lambda_i) = \frac{1}{\sigma \lambda_i \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2\sigma^2} (\ln \lambda_i - \mu)^2\right]$$

(3.3)

$$0 < \lambda_i < \infty, -\infty < \mu < \infty, \sigma > 0$$

##### c) ハイパー事前分布

母集団変動分布のパラメータ  $\mu$  及び  $\sigma$  に対して事前知識が無いとした立場をとり, それぞれのハイパー事前分布を一様分布とした。定義式を以下に示す。ハイパーパラメータはそれぞれ  $(a_\mu, b_\mu)$ ,  $(a_\sigma, b_\sigma)$  となる。

$$f(\mu) = \frac{1}{b_\mu - a_\mu} \quad a_\mu \leq \mu \leq b_\mu$$

(3.4)

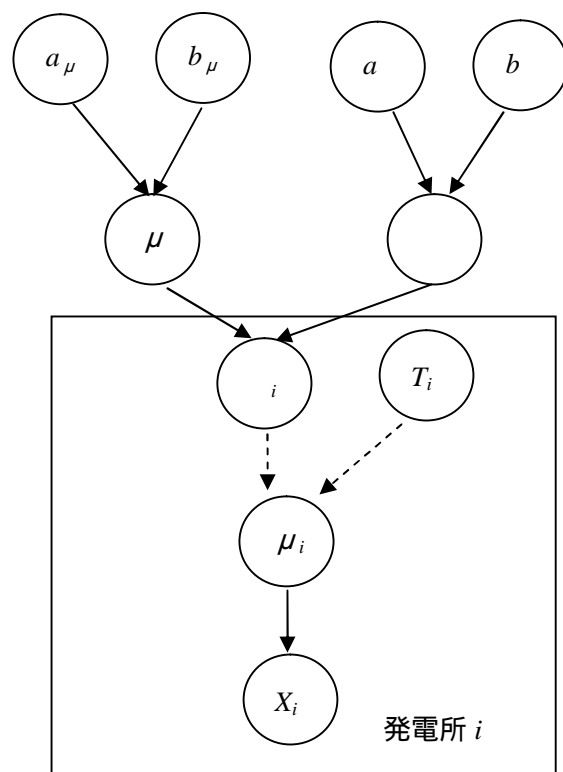
$$f(\sigma) = \frac{1}{b_\sigma - a_\sigma} \quad a_\sigma \leq \sigma \leq b_\sigma$$

(3.5)

##### d) 時間故障率推定の確率過程モデル

時間故障率の推定に用いる確率過程モデルを図 3-3 に示す。





←— は確率的依存性， ←---- は論理的依存性を表す。

$\lambda_i$  : 発電所  $i$  における個別発電所故障率

$X_i$  : 発電所  $i$  における故障件数

$T_i$  : 発電所  $i$  における露出時間

$\mu, \sigma$  : 母集団変動分布のパラメータ

$a, b$  : ハイパーパラメータ

$X_i \sim \text{Poisson}(\lambda_i T_i)$

図 3-3 時間故障率に関する確率過程モデル

### 3.2.2 デマンド故障確率に関する確率過程モデル設定

#### a) データ発生確率過程

発電所  $i$  の機器の起動要求回数を  $D_i$  とし, 発電所  $i$  の故障件数  $X_i$  は個別発電所故障確率  $pd_i$  に支配される二項過程とした。

$$X_i \sim \text{Bin}(pd_i, D_i)$$

すなわち

(3.6)

$$f(x_i; pd_i, D_i) = {}_{D_i}C_{x_i} pd_i^{x_i} (1 - pd_i)^{D_i - x_i}$$

#### b) 母集団変動分布

デマンド故障確率  $pd_i$  の母集団変動分布には, NUREG/CR-6823<sup>[7]</sup>で推奨されているロジスティック正規分布を用いた。母集団変動分布のパラメータ  $\mu$  及び  $\sigma$  は,  $\text{logit}(pd_i)$  の平均及び標準偏差を表す。

$$f(pd_i) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi} pd_i (1 - pd_i)} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{\text{logit}(pd_i) - \mu}{\sigma} \right)^2 \right]$$
(3.7)

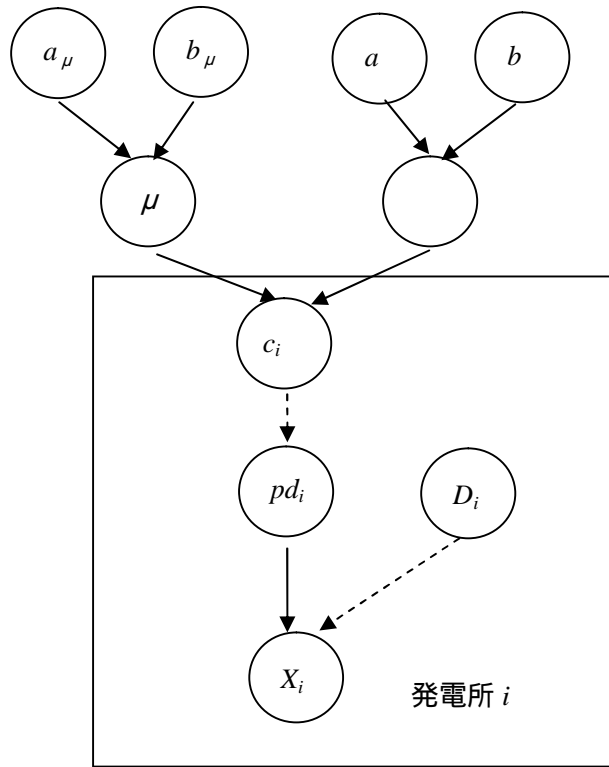
$$\text{logit}(pd_i) = \ln[pd_i / (1 - pd_i)] \quad -\infty < \mu < \infty, \sigma > 0$$

#### c) ハイパー事前分布

時間故障率と同様に, デマンド故障確率のハイパー事前分布についても一様分布を想定した。すなわち, 母集団変動分布のパラメータ  $\mu, \sigma$  に対するハイパーパラメータも式(3-4), (3-5)により定義する。

#### d) デマンド故障確率の推定に用いる確率過程モデル

デマンド故障確率の推定に用いる確率過程モデルを図 3-4 に示す。



← は確率的依存性， ←---- は論理的依存性を表す。

$pd_i$  : 発電所  $i$  における個別発電所故障確率

$X_i$  : 発電所  $i$  における故障件数

$D_i$  : 発電所  $i$  における露出データ

$\mu, \sigma$  : 母集団変動分布のパラメータ

$a, b$  : ハイパーパラメータ

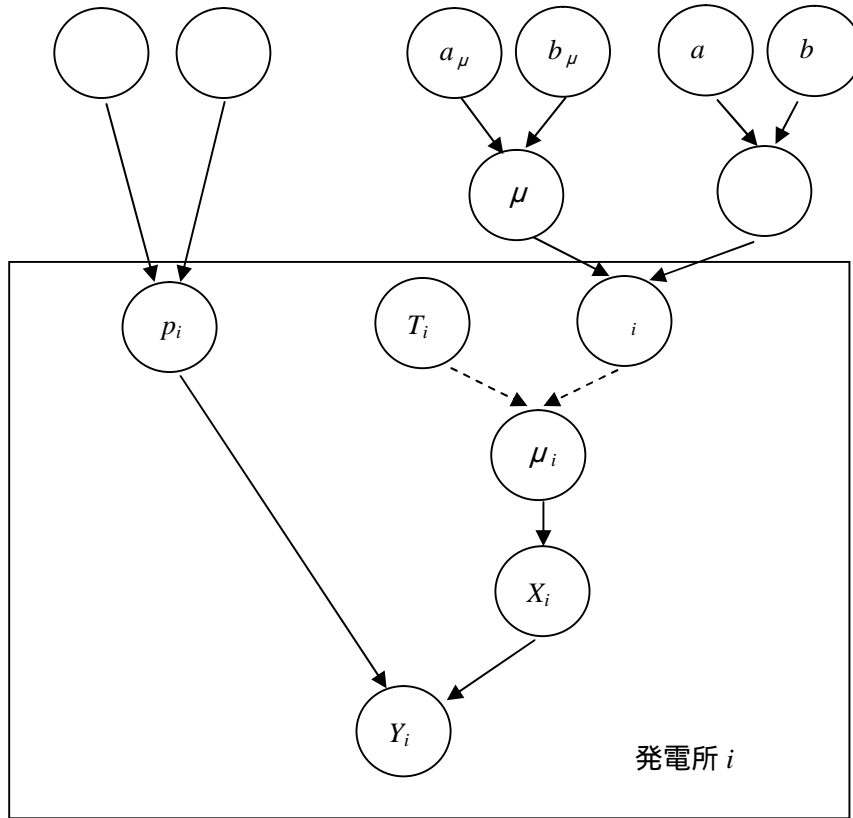
$$pd_i = \text{logit}^{-1}(c_i) = e^{c_i} / (1 + e^{c_i})$$

$$X_i \sim \text{Bin}(pd_i, D_i)$$

図 3-4 デマンド故障確率に関する確率過程モデル

### 3.3 統合モデル

3.1 及び 3.2 にて設定した確率過程モデルを統合した最終的な推定モデルを図 3-5 に示す（時間故障率モデル）。



← は確率的依存性， ←---- は論理的依存性を表す。

- $p_i$  : 発電所  $i$  におけるデータ収集確率
- $X_i$  : 発電所  $i$  における故障件数
- $Y_i$  : 発電所  $i$  における観測件数
- $\lambda_i$  : 発電所  $i$  における個別発電所故障率
- $T_i$  : 発電所  $i$  における露出時間
- $\mu, \sigma$  : 母集団変動分布のパラメータ
- $a, b$  : ハイパーパラメータ
- $\alpha, \beta$  : データ収集確率分布のパラメータ

図 3-5 時間故障率に関する統合した確率過程モデル

#### 4 故障件数の不確実さを考慮した機器故障率の推定試評価

本章では、3 で考案した評価モデルを用いて推定を実施するにあたり、推定手法の確認及び計算条件の設定のために実施した試評価結果について述べる。

なお、本評価は 21 カ年データ算出時に行なったものであり、26 カ年データ算出においては、5 に示すように、推定手法や評価条件を一部変更している。

##### 4.1 試評価用データ

発電所実績データとしては 1982 年度～2002 年度 21 カ年 49 プラント（21 カ年データ）を採用し、計算にはマルコフ連鎖モンテカルロ用フリーソフト WinBUGS<sup>[6]</sup>を用いた。時間故障率及びデマンド故障確率それぞれのデータの特徴を考慮し、以下の故障モードを評価対象とした。

表 4-1 試評価の対象とした故障モード

故障タイプ	故障件数	機種 故障モード	プールデータ 最尤推定値	備考
時間故障率	26 件	電動ポンプ 継続運転失敗	3.0E-7 [h]	プール観測件数最大
	0 件	制御ケーブル 短絡	3.4E-11 [h]	プールデータ最尤推定値最小
デマンド故障確率	19 件	非常用 DG 起動失敗	4.5E-4 [d]	プール観測件数最大
	0 件	逆止弁 開失敗	1.9E-6 [d]	プールデータ最尤推定値最小

##### 4.2 ハイパー事前分布の設定

###### 4.2.1 時間故障率のハイパー事前分布設定

時間故障率母集団変動分布のパラメータ  $\mu$  及び  $\sigma$  の事前分布（ハイパー事前分布）は、それぞれの平均値及び分散に関する事前知識から設定する。ハイパー事前分布の分布形には一様分布を設定した。一様分布の定義から、平均値  $E(x) = (b + a)/2$ 、分散  $Var(x) = (b - a)^2 / 12$  となり、次式で一様分布の上限と下限を定める。

$$\left. \begin{aligned} a_{\mu} &= E(\mu) - \sqrt{3Var(\mu)} \\ b_{\mu} &= E(\mu) + \sqrt{3Var(\mu)} \end{aligned} \right\} \quad (4.1)$$

$$\left. \begin{aligned} a_{\sigma} &= E(\sigma) - \sqrt{3Var(\sigma)} \\ b_{\sigma} &= E(\sigma) + \sqrt{3Var(\sigma)} \end{aligned} \right\} \quad (4.2)$$

ハイパー事前分布に求められるのは、個別発電所故障率のばらつきを表す母集団変動分

布のパラメータ $\mu$ 及び $\sigma$ がとりうる範囲を網羅する程度に適度に拡散した分布とすることである。そこで、各個別発電所機器の故障率を最尤法で計算し、その最大値 $\lambda_{max}$ と最小値 $\lambda_{min}$ が母集団変動分布（対数正規分布）の90%信用区間に等しいと仮定して、ハイパー事前分布の平均値 $E(\sigma)$ 、 $E(\mu)$ を計算した<sup>[8]</sup>。

$$\left. \begin{aligned} E(\sigma) &= \ln(\lambda_{max} / \lambda_{min}) / 3.29 \\ E(\mu) &= \ln \lambda_{max} - 1.645 E(\sigma) = \ln \sqrt{\lambda_{max} \cdot \lambda_{min}} \end{aligned} \right\} \quad (4.3)$$

ここで、 $\lambda_{min}$ ：個別発電所故障率最尤推定値の最小値

$\lambda_{max}$ ：個別発電所故障率最尤推定値の最大値

分散 $Var(\mu)$ に関する明快な事前知識がないため、 $Var(\mu)$ は一律10とする。本設定により、故障率に換算すると上下限の範囲が5桁程度となり、適度に拡散したハイパー事前分布を設定できると考えられる。

また、適宜拡散した $Var(\sigma)$ を仮定し、式(4.2)に従って $\sigma$ のハイパーパラメータ $a_\sigma$ 、 $b_\sigma$ を計算すると、 $a_\sigma$ が負の実数となって対数正規分布の制約である $\sigma > 0$ を満足しない場合があると予想されるため、 $\sigma$ の一樣分布の範囲は一律(0.1,3)とする( $a_\sigma=0.1$ ,  $b_\sigma=3$ )。この設定は、エラーファクター(EF)に換算すると、 $1.2 < EF < 139$ 程度となり、十分に拡散したハイパー事前分布であると考えられる。

以上から、時間故障率に対するハイパー事前分布は下式に基づき設定する。

$$\left. \begin{aligned} a_\mu &= E(\mu) - \sqrt{3Var(\mu)} \\ b_\mu &= E(\mu) + \sqrt{3Var(\mu)} \end{aligned} \right\} \quad (4.4)$$

$$\text{ここで, } E(\mu) = \ln \sqrt{\lambda_{max} \cdot \lambda_{min}}$$

$$Var(\mu) = 10$$

$$\left. \begin{aligned} a_\sigma &= 0.1 \\ b_\sigma &= 3 \end{aligned} \right\} \quad (4.5)$$

#### 4.2.2 デマンド故障確率のハイパー事前分布設定

時間故障率と同様に、母集団変動分布のパラメータ $\mu$ に対するハイパーパラメータ $a_\mu$ 、 $b_\mu$ は式(4.1)により設定できる。ただし、デマンド故障確率の母集団変動分布の定義は時間故障率と異なるため、媒介変数を用いて下式により設定する。

$$\left. \begin{aligned} E(\sigma) &= (m - n) / 3.29 = \ln \left( \frac{pd_{\max} / (1 - pd_{\max})}{pd_{\min} / (1 - pd_{\min})} \right) / 3.29 \\ E(\mu) &= m - 1.645E(\sigma) = \ln \sqrt{\left( \frac{pd_{\max}}{1 - pd_{\max}} \right) \left( \frac{pd_{\min}}{1 - pd_{\min}} \right)} \end{aligned} \right\} \quad (4.6)$$

ここで,  $m = \text{logit}(pd_{\max}) = \ln(pd_{\max} / (1 - pd_{\max}))$

$n = \text{logit}(pd_{\min}) = \ln(pd_{\min} / (1 - pd_{\min}))$

$pd_{\min}$ : 個別発電所デマンド故障確率最尤推定値の最小値

$pd_{\max}$ : 個別発電所デマンド故障確率最尤推定値の最大値

時間故障率と同様に,  $\text{Var}(\mu)$ は 10 と仮定し, のハイパーパラメータは  $a_\sigma=0.1, b_\sigma=3$  とした。以上より, デマンド故障確率に対するハイパー事前分布の設定は下式により設定する。

$$\left. \begin{aligned} a_\mu &= E(\mu) - \sqrt{3\text{Var}(\mu)} \\ b_\mu &= E(\mu) + \sqrt{3\text{Var}(\mu)} \end{aligned} \right\} \quad (4.7)$$

$$\text{ここで, } E(\mu) = \ln \sqrt{\left( \frac{pd_{\max}}{1 - pd_{\max}} \right) \left( \frac{pd_{\min}}{1 - pd_{\min}} \right)}$$

$$\text{Var}(\mu) = 10$$

$$\left. \begin{aligned} a_\sigma &= 0.1 \\ b_\sigma &= 3 \end{aligned} \right\} \quad (4.8)$$

#### 4.2.3 個別発電所故障率最尤推定値

4.2.1, 4.2.2 に示したハイパー事前分布の設定では, 個別発電所故障率の最尤推定値の最大値及び最小値を計算する必要がある。各故障モード個別に本手法を適用し, ハイパー事前分布を設定する。

##### a) 最尤推定値の最大値

最尤推定値の計算に必要な故障件数は未知であるため, 個別発電所故障率の最尤推定値の最大値は, 故障件数の不確実さを考慮し, 故障件数の期待値から求めた最尤推定値を適用する。時間故障率の場合の具体的な計算手順を以下に示す。

対象となる故障モードに対して観測件数  $Y_i$  から個別発電所最尤推定値を求め、その最大値  $Max(\lambda_{i,MLE})$  を同定する（ゼロ件故障に対しては 0.5 件の故障件数を仮定する）

データ収集確率  $p_i$  の期待値  $p_{EXP,i}$  を計算する

$Max(\lambda_{i,MLE})$  に対応した発電所  $i=m$  の観測件数  $Y_m$  を用いて、故障件数を  $X_m = Y_m / p_{EXP,m}$  と仮定する

故障件数  $X_m$  及び露出データによる最尤推定値を個別発電所故障率の最大値  $\lambda_{max}$  とする

$Beta(\alpha, \beta)$  の期待値は  $\alpha / (\alpha + \beta)$  であり、データ収集確率分布は  $Beta(4, 6)$  と定義したことから、下式が成立する。

$$p_{EXP,i} = E(Beta(4, 6)) = 4 / (4 + 6) = 0.4 \quad (4.9)$$

観測件数から求めた最尤推定値の最大値を示す発電所を  $m$  とすると、ハイパー事前分布の設定に用いる個別発電所故障率の最大値は、下式より計算できる（ $\lambda_{max}$  の例）

$$\lambda_{max} = Y_m / (0.4 \times T_m) = \lambda_{m,MLE} \times 2.5 \quad (4.10)$$

ここで、 $Y_m$  : 発電所  $m$  における観測件数

$T_m$  : 発電所  $m$  における露出時間

$\lambda_{m,MLE}$  : 発電所  $m$  の観測件数から求めた故障率最尤推定値

#### b) 最尤推定値の最小値

基本的に最大値と同様の考え方にに基づき導出する。ただし、観測件数から求めた個別発電所故障率の最小値はほとんどの場合ゼロ件故障であることが予想されるため、不確実さを適切に考慮した故障件数を見積もることが困難となる。故障件数は観測件数以下にならないと考えられるため、ハイパー事前分布の下限值設定に用いる個別発電所故障率の最小値は、観測件数から求めれば十分であると考えられる。

時間故障率の場合の具体的な評価プロセスを以下に示す。

対象となる故障モードに対して観測件数  $Y_i$  から個別発電所最尤推定値を求め、その最小値  $Min(\lambda_{i,MLE})$  を同定する（ゼロ件故障に対しては 0.5 件の故障件数を仮定する）

$Min(\lambda_{i,MLE})$  を個別発電所故障率の最小値  $\lambda_{min}$  とする

$$\lambda_{min} = Min(\lambda_{i,MLE}) \quad (4.11)$$



c) まとめ

1)  $\mu$  のハイパー事前分布

$$f(\mu) = \frac{1}{b_\mu - a_\mu} \quad a_\mu \leq \mu \leq b_\mu \quad (4.12)$$

i) 時間故障率の場合

$$a_\mu = \ln \sqrt{\lambda_{\max} \cdot \lambda_{\min}} - \sqrt{30}$$

$$b_\mu = \ln \sqrt{\lambda_{\max} \cdot \lambda_{\min}} + \sqrt{30}$$

$$\lambda_{\max} = \text{Max}(\lambda_{i,MLE}) \times 2.5 \quad (i=1,2,\dots,n)$$

$$\lambda_{\min} = \text{Min}(\lambda_{i,MLE}) \quad (i=1,2,\dots,n)$$

$\lambda_{i,MLE}$ : 発電所  $i$  における観測件数から求めた故障率最尤推定値

ii) デマンド故障確率の場合

$$a_\mu = \ln \sqrt{\left( \frac{pd_{\max}}{1 - pd_{\max}} \right) \left( \frac{pd_{\min}}{1 - pd_{\min}} \right)} - \sqrt{30}$$

$$b_\mu = \ln \sqrt{\left( \frac{pd_{\max}}{1 - pd_{\max}} \right) \left( \frac{pd_{\min}}{1 - pd_{\min}} \right)} + \sqrt{30}$$

$$pd_{\max} = \text{Max}(pd_{i,MLE}) \times 2.5 \quad (i=1,2,\dots,n)$$

$$pd_{\min} = \text{Min}(pd_{i,MLE}) \quad (i=1,2,\dots,n)$$

$pd_{i,MLE}$ : 発電所  $i$  における観測件数から求めた故障確率最尤推定値

2)  $\sigma$  のハイパー事前分布

$$f(\sigma) = \frac{1}{b_\sigma - a_\sigma} \quad a_\sigma \leq \sigma \leq b_\sigma \quad (4.13)$$

ここで,  $a_\sigma = 0.1, b_\sigma = 3$

式(4.12) , (4.13)に基づきハイパー事前分布を設定した。設定したハイパー事前分布パラメータを表 4-2 に示す。

表 4-2 ハイパー事前分布設定

機種 故障モード	ハイパー事前分布設定			
	$a_{\mu}$	$b_{\mu}$	$a_{\sigma}$	$b_{\sigma}$
電動ポンプ 継続運転失敗	- 1.9E+1	- 8.5E+0	0.1	3
制御ケーブル 短絡	- 2.5E+1	- 1.4E+1	0.1	3
非常用 DG 起動失敗	- 1.2E+1	- 9.9E-1	0.1	3
逆止弁 開失敗	- 1.4E+1	- 3.0E+0	0.1	3

### 4.3 WinBUGS 計算スクリプト

試評価に用いた WinBUGS の計算スクリプトを図 4-1 ~ 図 4-4 に示す。ここでは，国内一般機器故障率を求めるために，Meng らによる階層ベイズ手法を用いたデジタル機器の故障率の推定<sup>[8]</sup>で使用されている近似法を採用した。具体的には，情報量が少なく評価対象パラメータへの影響は無視できるようなダミーのエビデンスを入力データに設定し（図 4-1 ~ 図 4-4 のデータ設定最終部 50 番目のデータ），このダミーデータに対する事後分布を一般故障率とした。具体的なダミーのエビデンスは，故障率に対しては延べ運転時間=1hr，デマンド故障確率に対しては総デマンド回数=1 とし，観測件数=0 とした。

```

model
{
  for(i in 1:N){
    lambda[i] ~ dlnorm(mu,tau)
    nu[i] <- lambda[i]*t[i]
    x[i] ~ dpois(nu[i])
    p[i] ~ dbeta(alpha,beta)
    y[i] ~ dbin(p[i],x[i])
  }

  mu ~ dunif(amu,bmu)
  sigma ~ dunif(asigma,bsigma)
  tau <- 1/(sigma*sigma)
  total <- sum(x[1:N-1])
}

list(
# *****
# set evidences
# *****
# hours list : last data is dummy
t=c(
1710086,1831102,1758330,1959216,1930446,
1950872,2170215,2137584,1757776,1801792,
1968928,1269940,968142,868784,1375752,
1842320,1869238,1553524,1129040,1163536,
1796970,816102,2218480,1518048,1942080,
1966425,1794367,1531802,1961328,2154870,
2629386,2198368,2084288,1782534,1748188,
1893165,1762657,1232868,1082788,2296020,
2569380,1014045,651150,2340934,2182970,
2574429,2638825,1011472,2252507,1),

# events list : last data is dummy
y=c(
1,3,0,3,0,1,3,1,1,0
,0,0,0,0,0,2,0,0,0
,0,0,0,0,3,3,0,0,0,0
,2,1,1,0,0,0,0,1,0,0
,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0),

# *****
# set paramters
# *****
# data collection probability parameters
alpha=4,
beta=6,

# hyper parameters for failure rates
amu=-1.9E+1,
bmu=-8.5,
asigma=0.1,
bsigma=3,

# the number fo plants
N=50
)

#*****
# initial value for keep away compile error
#*****
list(
x=c(
2,4,1,4,1,2,4,2,2,1
,1,1,1,1,1,1,3,1,1,1
,1,1,1,1,4,4,1,1,1,1
,3,2,2,1,1,1,1,2,1,1
,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1)
)

```

図 4-1 電動ポンプ継続運転失敗 BUGS 入力

```

model
{
  for(i in 1:N){
    lambda[i] ~ dlnorm(mu,tau)
    nu[i] <- lambda[i]*t[i]
    x[i] ~ dpois(nu[i])
    p[i] ~ dbeta(alpha,beta)
    y[i] ~ dbin(p[i],x[i])
  }

  mu ~ dunif(amu,bmu)
  sigma ~ dunif(asigma,bsigma)
  tau <- 1/(sigma*sigma)
  total <- sum(x[1:N-1])
}

list(
# *****
# set evidences
# *****
# hours list : last data is dummy
t=c(
347391756,294415043,282714345,315013944,310388139,
383903740,398596155,368065245,302667055,310246060,
339024790,249906050,190516515,170964280,270728340,
259191395,300546767,305711330,194406575,200346355,
288927105,160597215,394334820,298730160,382173600,
372834180,247305993,211118358,287211969,280492245,
392654976,369325824,350160384,368573184,361471488,
380904798,409207602,265771116,233418156,316445580,
354121020,204025854,131011380,370142976,345166080,
354816891,363692175,169927296,357792954,1),

# events list : last data is dummy
y=c(
0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0),

# *****
# set paramters
# *****
# data collection probability parameters
alpha=4,
beta=6,

# hyper parameters for failure rates
amu=-2.5E+1,
bmu=-1.4E+1,
asigma=0.1,
bsigma=3,

# the number fo plants
N=50
)

#*****
# initial value for keep away compile error
#*****
list(
x=c(
1,1,1,1,1,1,1,1,1,1
,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1
,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1
,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1
,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1
,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1)
)

```

図 4-2 制御ケーブル短絡 BUGS 入力

```

model
{
  for(i in 1:N){
    m[i] ~ dnorm(mu,tau)
    p[i] <- exp(m[i])/(1+exp(m[i]))
    x[i] ~ dbin(p[i],n[i])
    pd[i] ~ dbeta(alpha,beta)
    y[i] ~ dbin(pd[i],x[i])
  }

  mu ~ dunif(amu,bmu)
  sigma ~ dunif(asigma,bsigma)
  tau <- 1/(sigma*sigma)
  total <- sum(x[1:N-1])
}

list(
# *****
# set evidences
# *****
# demands list : last data is dummy
n=c(
595,628,601,672,663,723,755,695,573,584,
638,474,359,324,508,419,477,554,346,414,
456,280,542,354,697,513,298,258,1015,1178,
1429,1358,1300,1149,1125,1612,1730,1120,984,1786,
1997,535,343,2038,1928,1944,1998,556,806,1),

# events list : last data is dummy
y=c(
0,0,0,0,0,0,2,1,0,0,
2,0,0,0,1,0,1,0,0,1,
0,0,0,0,2,0,0,0,0,
0,0,0,1,0,2,0,0,3,0,
1,0,0,0,0,1,0,0,1,0),

# *****
# set paramters
# *****
# data collection probability parameters
alpha=4,
beta=6,

# hyper parameters for failure rates
amu=-1.2E+1,
bmu=-9.9E-1,
asigma=0.1,
bsigma=3,

# the number fo plants
N=50)

#*****
# initial value for keep away compile error
#*****
list(
x=c(
1,1,1,1,1,1,1,3,2,1,1,
3,1,1,1,2,1,2,1,1,2,
1,1,1,1,1,3,1,1,1,1,
1,1,1,2,1,3,1,1,4,1,
2,1,1,1,1,2,1,1,2,1)
)

```

图 4-3 非常用 D/G 起動失敗 BUGS 入力

```

model
{
  for(i in 1:N){
    m[i] ~ dnorm(mu,tau)
    p[i] <- exp(m[i])/(1+exp(m[i]))
    x[i] ~ dbin(p[i],n[i])
    pd[i] ~ dbeta(alpha,beta)
    y[i] ~ dbin(pd[i],x[i])
  }

  mu ~ dunif(amu,bmu)
  sigma ~ dunif(asigma,bsigma)
  tau <- 1/(sigma*sigma)
  total <- sum(x[1:N-1])
}

list(
# *****
# set evidences
# *****
# demands list : last data is dummy
n=c(
5153,7310,7002,7819,7714,9043,9429,8686,7156,7300,
7976,5911,4489,4048,6354,10658,12219,6042,3785,3065,
7355,2483,9709,7953,6548,3174,1376,1202,2964,3122,
5432,5162,4941,3207,3098,5108,5462,3507,3080,3621,
4037,2133,1358,3452,3254,4355,4498,2022,4560 ,1),

# events list : last data is dummy
y=c(
0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,
0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,
0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,
0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,
0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,
0,0,0,0,0,0,0,0,0,0),

# *****
# set paramters
# *****
# data collection probability parameters
alpha=4,
beta=6,

# hyper parameters for failure rates
amu=-1.4E+1,
bmu=-3.0,
asigma=0.1,
bsigma=3,

# the number fo plants
N=50)

#*****
# initial value for keep away compile error
#*****
list(
x=c(
1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,
1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,
1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,
1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,
1,1,1,1,1,1,1,1,1,1)
)

```

图 4-4 逆止弁開失敗 BUGS 入力

## 4.4 故障率試評価結果

### 4.4.1 バーンイン回数

モンテカルロ乱数発生初期段階におけるサンプルは初期状態の影響が大きいため，初期段階のサンプルを破棄したサンプル群から統計量を求めることが好ましいとされている<sup>[9]</sup>。この初期状態に依存しない状態に達する回数をバーンイン回数という。

バーンイン回数をアプリオリに決めることは難しいので，ここでは保守的に，モンテカルロエラーが標準偏差の 5% 以下となる回数までをバーンインとして破棄することにした<sup>注)</sup>。

バーンイン回数は故障件数ならびに露出データの多寡により異なると考えられるが，作業効率を考慮して，全ての故障モードに適用可能な大きいバーンイン回数を設定することとする。

表 4-1 の試評価対象のバーンイン回数を，1 万回毎にサーベイした結果を表 4-3 に示す。

表 4-3 バーンイン回数サーベイ結果

故障タイプ	観測件数	機種 故障モード	バーンイン回数
時間故障率	26 件	電動ポンプ 継続運転失敗	2 万回
	0 件	制御ケーブル 短絡	6 万回
デマンド故障確率	19 件	非常用 DG 起動失敗	3 万回
	0 件	逆止弁 開失敗	4 万回

国内一般機器故障率データテーブル作成時には，バーンイン回数に余裕を確保し，時間故障率には一律 7 万回，デマンド故障確率には一律 5 万回のバーンイン回数を適用することとした。

### 4.4.2 モンテカルロ計算の繰り返し回数

上で述べたとおり，WinBUGS マニュアルでは MC error 5% 以下であれば繰り返し計算回数として十分とされている。NUREG/CR-6823<sup>[7]</sup>では，9 万回程度の繰り返し（サンプリング）計算の実施例がある。これを参考にバーンイン後に 10 万回の繰り返し計算を行うこととした。

### 4.4.3 試評価結果

評価結果を表 4-4～表 4-7 に示す。故障件数の不確実さを取り扱うことにより故障率/故障確率が増大している。参考として，全発電所故障件数の和の事後分布を図 4-5 に示す。

---

注) この MC error 5% という基準は，実際にはバーンイン回数を決める基準ではない。モンテカルロ乱数発生がバーンインを過ぎた（定常分布からのサンプリングとなった）後，求める統計量（平均値や各パーセンタイル）を推定するのに十分なサンプリング数を決めるための基準である。

#### 4.4.4 考察

故障件数の不確実さを考慮した場合としない場合で、階層ベイズにより求めた平均値を比較すると、不確実さを考慮したケースが約 2 倍の値となっている。データ収集確率分布の平均値が 0.4 であることから、例えば 10 件の故障が発生した場合は平均的に 4 件がデータベースに登録されることになる。これが、不確実さを考慮すると故障件数が約 2 倍となる要因であると考えられる。

以上の試評価を踏まえると、3 で示した方法は国内一般機器故障率/故障確率の計算が可能である。

表 4-4 電動ポンプ継続運転失敗 評価結果（時間故障率）

ユニット	観測件数 [件]	延べ運転時間 [h]	古典統計				Jeffreys無情報事前分布によるベイズ更新				ベイズ統計 (MCMC手法、2段階)				ベイズ統計 (MCMC手法、3段階)						
			点推定値 <sup>*1</sup> [1/h]	下限値 <sup>*5</sup> [1/h]	上限値 <sup>*5</sup> [1/h]	EF <sup>*2</sup>	平均値 [1/h]	5%値 [1/h]	95%値 [1/h]	EF <sup>*2</sup>	平均値 [1/h]	5%値 [1/h]	95%値 [1/h]	EF <sup>*2</sup>	故障件数 推定値 <sup>*1</sup> [件]	平均値 [1/h]	5%値 [1/h]	95%値 [1/h]	EF <sup>*2</sup>	平均値比 <sup>*3</sup>	EF比 <sup>*3</sup>
一般故障率	26	86.663.069	3.0E-07	2.1E-07	4.2E-07	1.4	3.1E-07	2.2E-07	4.1E-07	1.4	4.0E-07	8.7E-09	1.2E-06	11.9	66.5	8.9E-07	3.0E-08	2.8E-06	9.6	220%	81%
Plant 01	1	1,710,086	5.8E-07	3.0E-08	2.8E-06	9.6	8.8E-07	1.0E-07	2.3E-06	4.7	3.7E-07	4.6E-08	1.1E-06	4.8	2.0	9.6E-07	1.3E-07	2.7E-06	4.5	259%	94%
Plant 02	3	1,831,102	1.6E-06	4.5E-07	4.2E-06	3.1	1.9E-06	5.9E-07	3.8E-06	2.5	1.0E-06	2.5E-07	2.4E-06	3.1	5.4	2.3E-06	5.4E-07	5.9E-06	3.3	229%	106%
Plant 03	0	1,758,330	2.8E-07	-	1.3E-06	13.0	2.8E-07	1.1E-09	1.1E-06	31.3	1.6E-07	6.7E-09	5.0E-07	8.6	0.5	4.5E-07	2.4E-08	1.4E-06	7.5	290%	87%
Plant 04	3	1,959,216	1.5E-06	4.2E-07	4.0E-06	3.1	1.8E-06	5.5E-07	3.6E-06	2.5	9.7E-07	2.4E-07	2.2E-06	3.1	5.5	2.2E-06	5.3E-07	5.6E-06	3.2	230%	106%
Plant 05	0	1,930,446	2.6E-07	-	1.2E-06	13.0	2.6E-07	1.0E-09	9.9E-07	31.3	1.5E-07	6.7E-09	4.8E-07	8.5	0.5	4.4E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.6	291%	90%
Plant 06	1	1,950,872	5.1E-07	2.6E-08	2.4E-06	9.6	7.7E-07	9.0E-08	2.0E-06	4.7	3.5E-07	4.5E-08	9.7E-07	4.6	2.1	8.9E-07	1.2E-07	2.5E-06	4.5	255%	98%
Plant 07	3	2,170,215	1.4E-06	3.8E-07	3.6E-06	3.1	1.6E-06	5.0E-07	3.2E-06	2.5	9.0E-07	2.3E-07	2.1E-06	3.0	5.6	2.1E-06	5.1E-07	5.2E-06	3.2	233%	106%
Plant 08	1	2,137,584	4.7E-07	2.4E-08	2.2E-06	9.6	7.0E-07	8.2E-08	1.8E-06	4.7	3.3E-07	4.3E-08	9.2E-07	4.6	2.1	8.6E-07	1.2E-07	2.3E-06	4.4	258%	96%
Plant 09	1	1,757,776	5.7E-07	2.9E-08	2.7E-06	9.6	8.5E-07	1.0E-07	2.2E-06	4.7	3.7E-07	4.6E-08	1.0E-06	4.8	2.0	9.5E-07	1.3E-07	2.6E-06	4.5	255%	95%
Plant 10	0	1,801,792	2.8E-07	-	1.3E-06	13.0	2.8E-07	1.1E-09	1.1E-06	31.3	1.5E-07	6.4E-09	4.9E-07	8.8	0.5	4.5E-07	2.3E-08	1.3E-06	7.6	292%	87%
Plant 11	0	1,968,928	2.5E-07	-	1.2E-06	13.0	2.5E-07	1.0E-09	9.8E-07	31.3	1.5E-07	6.6E-09	4.8E-07	8.6	0.6	4.4E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.8	286%	91%
Plant 12	0	1,269,940	3.9E-07	-	1.8E-06	13.0	3.9E-07	1.5E-09	1.5E-06	31.3	1.7E-07	6.9E-09	5.7E-07	9.1	0.4	4.9E-07	2.3E-08	1.5E-06	8.0	283%	88%
Plant 13	0	968,142	5.2E-07	-	2.4E-06	13.0	5.2E-07	2.0E-09	2.0E-06	31.3	1.9E-07	7.1E-09	6.4E-07	9.5	0.3	5.3E-07	2.4E-08	1.6E-06	8.1	276%	85%
Plant 14	0	868,784	5.8E-07	-	2.7E-06	13.0	5.8E-07	2.3E-09	2.2E-06	31.3	2.0E-07	7.1E-09	6.5E-07	9.6	0.3	5.4E-07	2.5E-08	1.7E-06	8.2	277%	86%
Plant 15	0	1,375,752	3.6E-07	-	1.7E-06	13.0	3.6E-07	1.4E-09	1.4E-06	31.3	1.7E-07	6.5E-09	5.4E-07	9.1	0.4	4.8E-07	2.3E-08	1.5E-06	7.9	289%	87%
Plant 16	0	1,842,320	2.7E-07	-	1.2E-06	13.0	2.7E-07	1.1E-09	1.0E-06	31.3	1.5E-07	6.5E-09	4.9E-07	8.7	0.5	4.4E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.7	293%	89%
Plant 17	2	1,869,238	1.1E-06	1.9E-07	3.4E-06	4.2	1.3E-06	3.1E-07	3.0E-06	3.1	6.5E-07	1.3E-07	1.6E-06	3.6	3.7	1.6E-06	3.1E-07	4.1E-06	3.6	239%	101%
Plant 18	0	1,553,524	3.2E-07	-	1.5E-06	13.0	3.2E-07	1.3E-09	1.2E-06	31.3	1.6E-07	6.5E-09	5.2E-07	8.9	0.5	4.7E-07	2.4E-08	1.4E-06	7.6	288%	86%
Plant 19	0	1,129,040	4.4E-07	-	2.0E-06	13.0	4.4E-07	1.7E-09	1.7E-06	31.3	1.8E-07	7.1E-09	5.9E-07	9.2	0.4	5.0E-07	2.4E-08	1.6E-06	8.0	276%	88%
Plant 20	0	1,163,536	4.3E-07	-	2.0E-06	13.0	4.3E-07	1.7E-09	1.7E-06	31.3	1.8E-07	7.1E-09	5.9E-07	9.1	0.4	5.0E-07	2.5E-08	1.5E-06	7.9	278%	86%
Plant 21	0	1,796,970	2.8E-07	-	1.3E-06	13.0	2.8E-07	1.1E-09	1.1E-06	31.3	1.5E-07	6.3E-09	5.0E-07	8.9	0.5	4.5E-07	2.3E-08	1.3E-06	7.5	290%	85%
Plant 22	0	816,102	6.1E-07	-	2.8E-06	13.0	6.1E-07	2.4E-09	2.4E-06	31.3	2.0E-07	7.1E-09	6.5E-07	9.5	0.3	5.4E-07	2.5E-08	1.7E-06	8.1	276%	85%
Plant 23	0	2,218,480	2.3E-07	-	1.0E-06	13.0	2.3E-07	8.9E-10	8.7E-07	31.3	1.4E-07	6.3E-09	4.5E-07	8.5	0.6	4.2E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.6	297%	90%
Plant 24	0	1,518,048	3.3E-07	-	1.5E-06	13.0	3.3E-07	1.3E-09	1.3E-06	31.3	1.6E-07	6.5E-09	5.3E-07	9.0	0.5	4.7E-07	2.4E-08	1.4E-06	7.7	287%	86%
Plant 25	3	1,942,080	1.5E-06	4.2E-07	4.0E-06	3.1	1.8E-06	5.6E-07	3.6E-06	2.5	9.7E-07	2.4E-07	2.2E-06	3.1	5.6	2.3E-06	5.4E-07	5.7E-06	3.3	232%	107%
Plant 26	3	1,966,425	1.5E-06	4.2E-07	3.9E-06	3.1	1.8E-06	5.5E-07	3.6E-06	2.5	9.6E-07	2.4E-07	2.2E-06	3.1	5.5	2.2E-06	5.3E-07	5.6E-06	3.2	232%	106%
Plant 27	0	1,794,367	2.8E-07	-	1.3E-06	13.0	2.8E-07	1.1E-09	1.1E-06	31.3	1.5E-07	6.5E-09	4.9E-07	8.7	0.5	4.5E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.8	291%	89%
Plant 28	0	1,531,802	3.3E-07	-	1.5E-06	13.0	3.3E-07	1.3E-09	1.3E-06	31.3	1.6E-07	6.5E-09	5.3E-07	9.1	0.4	4.6E-07	2.3E-08	1.4E-06	7.7	283%	85%
Plant 29	0	1,961,328	2.5E-07	-	1.2E-06	13.0	2.5E-07	1.0E-09	9.8E-07	31.3	1.5E-07	6.3E-09	4.8E-07	8.7	0.6	4.4E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.7	290%	88%
Plant 30	0	2,154,870	2.3E-07	-	1.1E-06	13.0	2.3E-07	9.1E-10	8.9E-07	31.3	1.5E-07	6.4E-09	4.6E-07	8.5	0.6	4.3E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.6	291%	89%
Plant 31	2	2,629,386	7.6E-07	1.4E-07	2.4E-06	4.2	9.5E-07	2.2E-07	2.1E-06	3.1	5.1E-07	1.1E-07	1.2E-06	3.4	4.0	1.2E-06	2.7E-07	3.2E-06	3.5	243%	101%
Plant 32	1	2,198,368	4.5E-07	2.3E-08	2.2E-06	9.6	6.8E-07	8.0E-08	1.8E-06	4.7	3.3E-07	4.2E-08	9.1E-07	4.6	2.1	8.4E-07	1.2E-07	2.3E-06	4.4	258%	95%
Plant 33	1	2,084,288	4.8E-07	2.5E-08	2.3E-06	9.6	7.2E-07	8.4E-08	1.9E-06	4.7	3.4E-07	4.4E-08	9.3E-07	4.6	2.1	8.6E-07	1.2E-07	2.4E-06	4.4	257%	96%
Plant 34	0	1,782,534	2.8E-07	-	1.3E-06	13.0	2.8E-07	1.1E-09	1.1E-06	31.3	1.6E-07	6.6E-09	5.0E-07	8.7	0.5	4.5E-07	2.3E-08	1.3E-06	7.6	288%	87%
Plant 35	0	1,748,188	2.9E-07	-	1.3E-06	13.0	2.9E-07	1.1E-09	1.1E-06	31.3	1.6E-07	6.7E-09	5.1E-07	8.7	0.5	4.5E-07	2.3E-08	1.4E-06	7.7	285%	88%
Plant 36	0	1,893,165	2.6E-07	-	1.2E-06	13.0	2.6E-07	1.0E-09	1.0E-06	31.3	1.5E-07	6.5E-09	4.8E-07	8.6	0.5	4.4E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.6	291%	89%
Plant 37	0	1,762,657	2.8E-07	-	1.3E-06	13.0	2.8E-07	1.1E-09	1.1E-06	31.3	1.6E-07	6.5E-09	5.0E-07	8.7	0.5	4.5E-07	2.2E-08	1.4E-06	7.8	291%	89%
Plant 38	1	1,232,868	8.1E-07	4.2E-08	3.8E-06	9.6	1.2E-06	1.4E-07	3.2E-06	4.7	4.5E-07	5.2E-08	1.3E-06	5.0	1.8	1.1E-06	1.4E-07	3.2E-06	4.8	246%	94%
Plant 39	0	1,082,788	4.6E-07	-	2.1E-06	13.0	4.6E-07	1.8E-09	1.8E-06	31.3	1.8E-07	6.9E-09	5.9E-07	9.3	0.3	5.1E-07	2.5E-08	1.6E-06	8.0	283%	86%
Plant 40	0	2,296,020	2.2E-07	-	1.0E-06	13.0	2.2E-07	8.6E-10	8.4E-07	31.3	1.4E-07	6.1E-09	4.4E-07	8.5	0.6	4.2E-07	2.2E-08	1.2E-06	7.5	295%	88%
Plant 41	0	2,569,380	1.9E-07	-	9.0E-07	13.0	1.9E-07	7.7E-10	7.5E-07	31.3	1.4E-07	6.1E-09	4.3E-07	8.3	0.7	4.0E-07	2.1E-08	1.2E-06	7.5	295%	90%
Plant 42	0	1,014,045	4.9E-07	-	2.3E-06	13.0	4.9E-07	1.9E-09	1.9E-06	31.3	1.9E-07	7.2E-09	6.3E-07	9.3	0.3	5.2E-07	2.6E-08	1.6E-06	7.9	279%	85%
Plant 43	0	651,150	7.7E-07	-	3.5E-06	13.0	7.7E-07	3.0E-09	2.9E-06	31.3	2.1E-07	7.4E-09	7.0E-07	9.8	0.2	5.8E-07	2.6E-08	1.8E-06	8.3	280%	85%
Plant 44	0	2,340,934	2.1E-07	-	9.8E-07	13.0	2.1E-07	8.4E-10	8.2E-07	31.3	1.4E-07	6.3E-09	4.5E-07	8.4	0.6	4.1E-07	2.1E-08	1.2E-06	7.6	291%	90%
Plant 45	0	2,182,970	2.3E-07	-	1.1E-06	13.0	2.3E-07	9.0E-10	8.8E-07	31.3	1.4E-07	6.2E-09	4.6E-07								

\*1:ゼロ件故障には工学的判断により0.5件を仮定

\*2: EF<sup>2</sup>=95%値/5%値 ただし、古典統計におけるゼロ件故障事象に対してはEF=13とした。

\*3:3段階/2段階

表 4-5 制御ケーブル短絡 評価結果（時間故障率）

ユニット	観測件数 [件]	延べ運転時間 [h]	古典統計				Jeffreys無情報事前分布によるベイズ更新				ベイズ統計 (MCMC手法、2段階)				ベイズ統計 (MCMC手法、3段階)						
			点推定値 <sup>*1</sup> [1/h]	下限値 <sup>*5</sup> [1/h]	上限値 <sup>*5</sup> [1/h]	EF <sup>*2</sup>	平均値 [1/h]	5%値 [1/h]	95%値 [1/h]	EF <sup>*2</sup>	平均値 [1/h]	5%値 [1/h]	95%値 [1/h]	EF <sup>*2</sup>	故障件数 推定値 <sup>*1</sup> [件]	平均値 [1/h]	5%値 [1/h]	95%値 [1/h]	EF <sup>*2</sup>	平均値比 <sup>*3</sup>	EF比 <sup>*3</sup>
一般故障率	0	14,822,911.173	3.4E-11	-	1.6E-10	13.0	3.4E-11	1.3E-13	1.3E-10	31.3	7.7E-11	4.0E-12	2.2E-10	7.5	0.92	1.3E-10	3.8E-12	3.9E-10	10.2	172%	136%
Plant 01	0	347,391.756	1.4E-09	-	6.6E-09	13.0	1.4E-09	5.7E-12	5.5E-09	31.3	6.2E-11	3.8E-12	2.0E-10	7.3	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	9.9	167%	137%
Plant 02	0	294,415.043	1.7E-09	-	7.8E-09	13.0	1.7E-09	6.7E-12	6.5E-09	31.3	6.5E-11	3.9E-12	2.1E-10	7.3	0.02	1.0E-10	3.4E-12	3.6E-10	10.3	162%	141%
Plant 03	0	282,714.345	1.8E-09	-	8.1E-09	13.0	1.8E-09	7.0E-12	6.8E-09	31.3	6.4E-11	3.7E-12	2.0E-10	7.4	0.02	1.1E-10	3.7E-12	3.6E-10	9.9	164%	134%
Plant 04	0	315,013.944	1.6E-09	-	7.3E-09	13.0	1.6E-09	6.2E-12	6.1E-09	31.3	6.3E-11	3.8E-12	2.0E-10	7.2	0.02	1.0E-10	3.7E-12	3.6E-10	10.0	159%	139%
Plant 05	0	310,388.139	1.6E-09	-	7.4E-09	13.0	1.6E-09	6.3E-12	6.2E-09	31.3	6.2E-11	3.8E-12	2.0E-10	7.3	0.02	9.9E-11	3.5E-12	3.6E-10	10.2	160%	139%
Plant 06	0	383,903.740	1.3E-09	-	6.0E-09	13.0	1.3E-09	5.1E-12	5.0E-09	31.3	6.2E-11	3.9E-12	2.0E-10	7.2	0.02	9.5E-11	3.3E-12	3.4E-10	10.1	153%	141%
Plant 07	0	398,596.155	1.3E-09	-	5.8E-09	13.0	1.3E-09	4.9E-12	4.8E-09	31.3	6.1E-11	3.8E-12	2.0E-10	7.2	0.02	1.0E-10	3.7E-12	3.5E-10	9.8	164%	136%
Plant 08	0	368,065.245	1.4E-09	-	6.3E-09	13.0	1.4E-09	5.3E-12	5.2E-09	31.3	6.1E-11	3.8E-12	2.0E-10	7.1	0.02	9.9E-11	3.7E-12	3.6E-10	9.8	163%	138%
Plant 09	0	302,667.055	1.7E-09	-	7.6E-09	13.0	1.7E-09	6.5E-12	6.3E-09	31.3	6.2E-11	3.8E-12	2.0E-10	7.3	0.02	9.9E-11	3.6E-12	3.5E-10	9.8	160%	135%
Plant 10	0	310,246.060	1.6E-09	-	7.4E-09	13.0	1.6E-09	6.3E-12	6.2E-09	31.3	6.2E-11	3.8E-12	2.0E-10	7.3	0.02	9.8E-11	3.5E-12	3.4E-10	9.8	158%	134%
Plant 11	0	339,024.790	1.5E-09	-	6.8E-09	13.0	1.5E-09	5.8E-12	5.7E-09	31.3	6.2E-11	3.7E-12	2.0E-10	7.4	0.02	1.0E-10	3.7E-12	3.7E-10	10.0	169%	135%
Plant 12	0	249,906.050	2.0E-09	-	9.2E-09	13.0	2.0E-09	7.9E-12	7.7E-09	31.3	6.3E-11	3.8E-12	2.0E-10	7.4	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.1	165%	137%
Plant 13	0	190,516.515	2.6E-09	-	1.2E-08	13.0	2.6E-09	1.0E-11	1.0E-08	31.3	6.9E-11	3.9E-12	2.1E-10	7.4	0.01	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.0	147%	135%
Plant 14	0	170,964.280	2.9E-09	-	1.3E-08	13.0	2.9E-09	1.1E-11	1.1E-08	31.3	6.9E-11	3.8E-12	2.2E-10	7.5	0.01	1.0E-10	3.8E-12	3.6E-10	9.8	152%	131%
Plant 15	0	270,728.340	1.8E-09	-	8.5E-09	13.0	1.8E-09	7.3E-12	7.1E-09	31.3	6.3E-11	3.7E-12	2.1E-10	7.4	0.02	1.1E-10	3.7E-12	3.7E-10	10.0	167%	135%
Plant 16	0	259,191.395	1.9E-09	-	8.9E-09	13.0	1.9E-09	7.6E-12	7.4E-09	31.3	6.3E-11	3.8E-12	2.0E-10	7.3	0.02	1.1E-10	3.7E-12	3.7E-10	10.0	167%	137%
Plant 17	0	300,546.767	1.7E-09	-	7.7E-09	13.0	1.7E-09	6.5E-12	6.4E-09	31.3	6.6E-11	3.8E-12	2.1E-10	7.4	0.02	1.1E-10	3.7E-12	3.6E-10	9.9	159%	135%
Plant 18	0	305,711.330	1.6E-09	-	7.5E-09	13.0	1.6E-09	6.4E-12	6.3E-09	31.3	6.2E-11	3.9E-12	2.0E-10	7.2	0.02	1.1E-10	3.6E-12	3.7E-10	10.1	169%	140%
Plant 19	0	194,406.575	2.6E-09	-	1.2E-08	13.0	2.6E-09	1.0E-11	9.9E-09	31.3	6.5E-11	3.8E-12	2.0E-10	7.3	0.01	1.0E-10	3.5E-12	3.6E-10	10.1	159%	138%
Plant 20	0	200,346.355	2.5E-09	-	1.1E-08	13.0	2.5E-09	9.8E-12	9.6E-09	31.3	6.8E-11	3.9E-12	2.1E-10	7.4	0.01	1.1E-10	3.7E-12	3.6E-10	9.8	156%	133%
Plant 21	0	288,927.105	1.7E-09	-	8.0E-09	13.0	1.7E-09	6.8E-12	6.6E-09	31.3	6.2E-11	3.8E-12	2.0E-10	7.3	0.02	9.8E-11	3.5E-12	3.5E-10	9.9	158%	136%
Plant 22	0	160,597.215	3.1E-09	-	1.4E-08	13.0	3.1E-09	1.2E-11	1.2E-08	31.3	6.5E-11	3.8E-12	2.0E-10	7.3	0.01	1.0E-10	3.8E-12	3.6E-10	9.8	159%	134%
Plant 23	0	394,334.820	1.3E-09	-	5.8E-09	13.0	1.3E-09	5.0E-12	4.9E-09	31.3	6.1E-11	3.8E-12	2.0E-10	7.2	0.02	9.9E-11	3.6E-12	3.5E-10	10.0	163%	139%
Plant 24	0	298,730.160	1.7E-09	-	7.7E-09	13.0	1.7E-09	6.6E-12	6.4E-09	31.3	6.3E-11	3.7E-12	2.1E-10	7.5	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.0	167%	134%
Plant 25	0	382,173.600	1.3E-09	-	6.0E-09	13.0	1.3E-09	5.1E-12	5.0E-09	31.3	6.1E-11	3.8E-12	2.0E-10	7.2	0.02	9.4E-11	3.6E-12	3.4E-10	9.7	153%	134%
Plant 26	0	372,834.180	1.3E-09	-	6.2E-09	13.0	1.3E-09	5.3E-12	5.2E-09	31.3	6.1E-11	3.7E-12	2.0E-10	7.4	0.02	1.0E-10	3.7E-12	3.7E-10	10.0	170%	136%
Plant 27	0	247,305.993	2.0E-09	-	9.3E-09	13.0	2.0E-09	7.9E-12	7.8E-09	31.3	6.4E-11	3.7E-12	2.1E-10	7.5	0.01	9.6E-11	3.6E-12	3.4E-10	9.8	150%	131%
Plant 28	0	211,118.358	2.4E-09	-	1.1E-08	13.0	2.4E-09	9.3E-12	9.1E-09	31.3	6.3E-11	3.7E-12	2.0E-10	7.3	0.01	1.1E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.1	168%	137%
Plant 29	0	287,211.969	1.7E-09	-	8.0E-09	13.0	1.7E-09	6.8E-12	6.7E-09	31.3	6.3E-11	3.8E-12	2.0E-10	7.2	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.5E-10	9.9	163%	137%
Plant 30	0	280,492.245	1.8E-09	-	8.2E-09	13.0	1.8E-09	7.0E-12	6.8E-09	31.3	6.2E-11	3.8E-12	2.0E-10	7.3	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.1	168%	138%
Plant 31	0	392,654.976	1.3E-09	-	5.9E-09	13.0	1.3E-09	5.0E-12	4.9E-09	31.3	6.0E-11	3.9E-12	2.0E-10	7.1	0.02	9.8E-11	3.6E-12	3.5E-10	9.9	163%	139%
Plant 32	0	369,325.824	1.4E-09	-	6.2E-09	13.0	1.4E-09	5.3E-12	5.2E-09	31.3	6.2E-11	3.9E-12	2.0E-10	7.2	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.0	162%	139%
Plant 33	0	350,160.384	1.4E-09	-	6.6E-09	13.0	1.4E-09	5.6E-12	5.5E-09	31.3	6.3E-11	3.7E-12	2.0E-10	7.4	0.02	9.9E-11	3.6E-12	3.5E-10	9.9	157%	133%
Plant 34	0	368,573.184	1.4E-09	-	6.2E-09	13.0	1.4E-09	5.3E-12	5.2E-09	31.3	6.1E-11	3.8E-12	2.0E-10	7.2	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	9.9	165%	137%
Plant 35	0	361,471.488	1.4E-09	-	6.4E-09	13.0	1.4E-09	5.4E-12	5.3E-09	31.3	6.2E-11	3.7E-12	2.0E-10	7.3	0.02	9.8E-11	3.6E-12	3.5E-10	9.8	159%	135%
Plant 36	0	380,904.798	1.3E-09	-	6.0E-09	13.0	1.3E-09	5.2E-12	5.0E-09	31.3	6.2E-11	3.9E-12	2.0E-10	7.3	0.03	1.1E-10	3.7E-12	3.5E-10	9.9	172%	135%
Plant 37	0	409,207.602	1.2E-09	-	5.6E-09	13.0	1.2E-09	4.8E-12	4.7E-09	31.3	6.0E-11	3.7E-12	2.0E-10	7.3	0.02	9.8E-11	3.6E-12	3.5E-10	9.8	164%	135%
Plant 38	0	265,771.116	1.9E-09	-	8.7E-09	13.0	1.9E-09	7.4E-12	7.2E-09	31.3	6.4E-11	3.9E-12	2.0E-10	7.2	0.02	1.0E-10	3.5E-12	3.5E-10	10.0	157%	139%
Plant 39	0	233,418.156	2.1E-09	-	9.9E-09	13.0	2.1E-09	8.4E-12	8.2E-09	31.3	6.4E-11	3.8E-12	2.1E-10	7.3	0.02	1.1E-10	3.6E-12	3.8E-10	10.2	169%	139%
Plant 40	0	316,445.580	1.6E-09	-	7.3E-09	13.0	1.6E-09	6.2E-12	6.1E-09	31.3	6.4E-11	3.7E-12	2.0E-10	7.4	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.7E-10	10.1	161%	136%
Plant 41	0	354,121.020	1.4E-09	-	6.5E-09	13.0	1.4E-09	5.6E-12	5.4E-09	31.3	6.4E-11	3.8E-12	2.0E-10	7.3	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.5E-10	9.9	163%	135%
Plant 42	0	204,025.854	2.5E-09	-	1.1E-08	13.0	2.5E-09	9.6E-12	9.4E-09	31.3	6.3E-11	3.8E-12	2.1E-10	7.4	0.01	1.1E-10	3.8E-12	3.8E-10	10.0	181%	135%
Plant 43	0	131,011.380	3.8E-09	-	1.8E-08	13.0	3.8E-09	1.5E-11	1.5E-08	31.3	7.2E-11	3.9E-12	2.2E-10	7.5	0.01	1.2E-10	3.6E-12	3.8E-10	10.2	169%	135%
Plant 44	0	370,142.976	1.4E-09	-	6.2E-09	13.0	1.4E-09	5.3E-12	5.2E-09	31.3	6.2E-11	3.7E-12	2.0E-10								

\*1:ゼロ件故障には0.5件を仮定



表 4-6 非常用 DG 起動失敗 評価結果（デマンド故障確率）

ユニット	観測件数 [件]	総デマンド回数	古典統計				Jeffreys無情報事前分布によるベイズ更新				ベイズ統計 (MCMC手法、2段階)				ベイズ統計 (MCMC手法、3段階)							
			点推定値 <sup>1</sup> [1/d]	下限値 <sup>5</sup> [1/d]	上限値 <sup>5</sup> [1/d]	EF <sup>2</sup>	平均値 [1/d]	5%値 [1/d]	95%値 [1/d]	EF <sup>2</sup>	平均値 [1/d]	5%値 [1/d]	95%値 [1/d]	EF <sup>2</sup>	故障件数 推定値 <sup>1</sup> [件]	平均値 [1/d]	5%値 [1/d]	95%値 [1/d]	EF <sup>2</sup>	平均値 <sup>3</sup>	EF比 <sup>3</sup>	
一般故障率	19	42,332	4.5E-04	2.9E-04	6.6E-04	1.5	4.6E-04	3.0E-04	6.4E-04	1.5	6.1E-04	2.0E-05	1.8E-03	9.5	48.9	1.5E-03	6.3E-05	4.3E-03	8.3	243%	87%	
Plant 01	0	595	8.4E-04	-	3.9E-03	13.0	8.4E-04	3.3E-06	3.2E-03	31.2	3.4E-04	1.6E-05	1.0E-03	8.0	0.3	9.0E-04	5.1E-05	2.6E-03	7.1	267%	89%	
Plant 02	0	628	8.0E-04	-	3.7E-03	13.0	8.0E-04	3.1E-06	3.1E-03	31.2	3.3E-04	1.6E-05	9.9E-04	7.8	0.3	8.8E-04	4.9E-05	2.5E-03	7.2	266%	92%	
Plant 03	0	601	8.3E-04	-	3.8E-03	13.0	8.3E-04	3.3E-06	3.2E-03	31.2	3.4E-04	1.6E-05	1.0E-03	7.9	0.3	9.0E-04	5.0E-05	2.6E-03	7.2	269%	92%	
Plant 04	0	672	7.4E-04	-	3.4E-03	13.0	7.4E-04	2.9E-06	2.9E-03	31.2	3.3E-04	1.6E-05	9.8E-04	7.8	0.4	8.7E-04	4.9E-05	2.5E-03	7.1	267%	91%	
Plant 05	0	663	7.5E-04	-	3.5E-03	13.0	7.5E-04	3.0E-06	2.9E-03	31.2	3.3E-04	1.6E-05	9.9E-04	7.9	0.4	8.8E-04	5.1E-05	2.5E-03	7.0	269%	89%	
Plant 06	0	723	6.9E-04	-	3.2E-03	13.0	6.9E-04	2.7E-06	2.7E-03	31.2	3.2E-04	1.6E-05	9.6E-04	7.8	0.4	8.5E-04	4.8E-05	2.4E-03	7.1	266%	91%	
Plant 07	2	755	2.6E-03	4.7E-04	8.3E-03	4.2	3.3E-03	7.6E-04	7.3E-03	3.1	1.3E-03	2.5E-04	3.5E-03	3.8	3.3	3.0E-03	6.0E-04	8.5E-03	3.8	235%	100%	
Plant 08	1	695	1.4E-03	7.4E-05	6.8E-03	9.6	2.2E-03	2.5E-04	5.6E-03	4.7	7.3E-04	9.9E-05	2.1E-03	4.6	1.7	1.8E-03	2.7E-04	5.2E-03	4.4	249%	96%	
Plant 09	0	573	8.7E-04	-	4.0E-03	13.0	8.7E-04	3.4E-06	3.3E-03	31.2	3.4E-04	1.6E-05	1.0E-03	8.0	0.3	9.0E-04	5.1E-05	2.6E-03	7.1	264%	89%	
Plant 10	0	584	8.6E-04	-	3.9E-03	13.0	8.6E-04	3.4E-06	3.3E-03	31.2	3.4E-04	1.6E-05	1.0E-03	8.0	0.3	9.0E-04	5.0E-05	2.6E-03	7.2	269%	91%	
Plant 11	2	638	3.1E-03	5.6E-04	9.9E-03	4.2	3.9E-03	9.0E-04	8.7E-03	3.1	1.4E-03	2.6E-04	4.0E-03	3.9	3.2	3.4E-03	6.3E-04	9.7E-03	3.9	235%	101%	
Plant 12	0	474	1.1E-03	-	4.9E-03	13.0	1.1E-03	4.1E-06	4.0E-03	31.2	3.5E-04	1.7E-05	1.1E-03	8.0	0.3	9.3E-04	5.1E-05	2.7E-03	7.3	263%	91%	
Plant 13	0	359	1.4E-03	-	6.4E-03	13.0	1.4E-03	5.5E-06	5.3E-03	31.2	3.7E-04	1.7E-05	1.2E-03	8.2	0.2	9.9E-04	5.4E-05	2.9E-03	7.3	264%	90%	
Plant 14	0	324	1.5E-03	-	7.1E-03	13.0	1.5E-03	6.1E-06	5.9E-03	31.2	3.9E-04	1.8E-05	1.2E-03	8.3	0.2	1.0E-03	5.4E-05	3.0E-03	7.4	260%	89%	
Plant 15	1	508	2.0E-03	1.0E-04	9.3E-03	9.6	2.9E-03	3.5E-04	7.7E-03	4.7	8.5E-04	1.1E-04	2.6E-03	4.9	1.6	2.1E-03	2.9E-04	6.3E-03	4.7	245%	96%	
Plant 16	0	419	1.2E-03	-	5.5E-03	13.0	1.2E-03	4.7E-06	4.6E-03	31.2	3.6E-04	1.7E-05	1.1E-03	8.1	0.3	9.7E-04	5.1E-05	2.8E-03	7.5	265%	92%	
Plant 17	1	477	2.1E-03	1.1E-04	9.9E-03	9.6	3.1E-03	3.7E-04	8.2E-03	4.7	8.8E-04	1.1E-04	2.7E-03	5.0	1.6	2.1E-03	2.9E-04	6.5E-03	4.7	243%	95%	
Plant 18	0	554	9.0E-04	-	4.2E-03	13.0	9.0E-04	3.6E-06	3.5E-03	31.2	3.4E-04	1.7E-05	1.0E-03	8.0	0.3	9.1E-04	5.1E-05	2.6E-03	7.2	266%	91%	
Plant 19	0	346	1.4E-03	-	6.7E-03	13.0	1.4E-03	5.7E-06	5.5E-03	31.2	3.8E-04	1.8E-05	1.2E-03	8.2	0.2	9.9E-04	5.4E-05	2.9E-03	7.4	258%	90%	
Plant 20	1	414	2.4E-03	1.2E-04	1.1E-02	9.6	3.6E-03	4.3E-04	9.4E-03	4.7	9.3E-04	1.2E-04	2.9E-03	5.0	1.6	2.3E-03	3.1E-04	7.0E-03	4.8	243%	95%	
Plant 21	0	456	1.1E-03	-	5.0E-03	13.0	1.1E-03	4.3E-06	4.2E-03	31.2	3.6E-04	1.7E-05	1.1E-03	8.1	0.3	9.5E-04	5.3E-05	2.8E-03	7.3	266%	90%	
Plant 22	0	280	1.8E-03	-	8.2E-03	13.0	1.8E-03	7.0E-06	6.8E-03	31.2	4.0E-04	1.8E-05	1.2E-03	8.3	0.2	1.0E-03	5.5E-05	3.1E-03	7.5	265%	90%	
Plant 23	0	542	9.2E-04	-	4.3E-03	13.0	9.2E-04	3.6E-06	3.5E-03	31.2	3.4E-04	1.6E-05	1.1E-03	8.0	0.3	9.2E-04	5.1E-05	2.6E-03	7.2	267%	90%	
Plant 24	0	354	1.4E-03	-	6.5E-03	13.0	1.4E-03	5.5E-06	5.4E-03	31.2	3.8E-04	1.7E-05	1.2E-03	8.3	0.2	1.0E-03	5.5E-05	3.0E-03	7.4	265%	90%	
Plant 25	0	697	7.2E-04	-	3.3E-03	13.0	7.2E-04	2.8E-06	2.7E-03	31.2	3.2E-04	1.6E-05	9.6E-04	7.8	0.4	8.6E-04	4.9E-05	2.5E-03	7.1	269%	92%	
Plant 26	2	513	3.9E-03	6.9E-04	1.2E-02	4.2	4.9E-03	1.1E-03	1.1E-02	3.1	1.6E-03	2.8E-04	4.7E-03	4.1	3.1	3.8E-03	6.7E-04	1.1E-02	4.1	231%	99%	
Plant 27	0	298	1.7E-03	-	7.7E-03	13.0	1.7E-03	6.6E-06	6.4E-03	31.2	3.9E-04	1.8E-05	1.2E-03	8.3	0.2	1.0E-03	5.6E-05	3.1E-03	7.4	263%	90%	
Plant 28	0	258	1.9E-03	-	8.9E-03	13.0	1.9E-03	7.6E-06	7.4E-03	31.2	4.0E-04	1.8E-05	1.3E-03	8.3	0.2	1.1E-03	5.5E-05	3.2E-03	7.6	261%	92%	
Plant 29	0	1,015	4.9E-04	-	2.3E-03	13.0	4.9E-04	1.9E-06	1.9E-03	31.2	2.9E-04	1.5E-05	8.5E-04	7.5	0.5	7.9E-04	4.7E-05	2.2E-03	6.9	275%	92%	
Plant 30	0	1,178	4.2E-04	-	2.0E-03	13.0	4.2E-04	1.7E-06	1.6E-03	31.2	2.8E-04	1.5E-05	8.0E-04	7.4	0.6	7.7E-04	4.5E-05	2.1E-03	6.9	278%	94%	
Plant 31	0	1,429	3.5E-04	-	1.6E-03	13.0	3.5E-04	1.4E-06	1.3E-03	31.2	2.6E-04	1.4E-05	7.5E-04	7.3	0.7	7.2E-04	4.3E-05	2.0E-03	6.8	276%	93%	
Plant 32	0	1,358	3.7E-04	-	1.7E-03	13.0	3.7E-04	1.4E-06	1.4E-03	31.2	2.7E-04	1.4E-05	7.7E-04	7.3	0.6	7.4E-04	4.5E-05	2.0E-03	6.7	277%	92%	
Plant 33	0	1,300	3.8E-04	-	1.8E-03	13.0	3.8E-04	1.5E-06	1.5E-03	31.2	2.7E-04	1.4E-05	7.7E-04	7.3	0.6	7.5E-04	4.4E-05	2.1E-03	6.9	280%	95%	
Plant 34	1	1,149	8.7E-04	4.5E-05	4.1E-03	9.6	1.3E-03	1.5E-04	3.4E-03	4.7	5.7E-04	8.5E-05	1.5E-03	4.3	2.0	1.5E-03	2.3E-04	3.9E-03	4.1	253%	97%	
Plant 35	0	1,125	4.4E-04	-	2.0E-03	13.0	4.4E-04	1.7E-06	1.7E-03	31.2	2.8E-04	1.5E-05	8.1E-04	7.5	0.6	7.8E-04	4.6E-05	2.2E-03	6.9	278%	92%	
Plant 36	2	1,612	1.2E-03	2.2E-04	3.9E-03	4.2	1.5E-03	3.6E-04	3.4E-03	3.1	8.0E-04	1.8E-04	2.0E-03	3.3	3.9	2.0E-03	4.5E-04	5.0E-03	3.3	245%	102%	
Plant 37	0	1,730	2.9E-04	-	1.3E-03	13.0	2.9E-04	1.1E-06	1.1E-03	31.2	2.4E-04	1.3E-05	7.0E-04	7.2	0.8	6.9E-04	4.1E-05	1.9E-03	6.8	283%	95%	
Plant 38	0	1,120	4.5E-04	-	2.1E-03	13.0	4.5E-04	1.8E-06	1.7E-03	31.2	2.8E-04	1.5E-05	8.2E-04	7.4	0.6	7.8E-04	4.5E-05	2.2E-03	7.0	278%	94%	
Plant 39	3	984	3.0E-03	8.3E-04	7.9E-03	3.1	3.6E-03	1.1E-03	7.1E-03	2.5	1.7E-03	3.8E-04	4.1E-03	3.3	5.2	3.8E-03	8.6E-04	1.0E-02	3.4	231%	104%	
Plant 40	0	1,786	2.8E-04	-	1.3E-03	13.0	2.8E-04	1.1E-06	1.1E-03	31.2	2.4E-04	1.3E-05	6.8E-04	7.1	0.8	6.9E-04	4.2E-05	1.9E-03	6.7	286%	94%	
Plant 41	1	1,997	5.0E-04	2.6E-05	2.4E-03	9.6	7.5E-04	8.8E-05	2.0E-03	4.7	4.3E-04	6.8E-05	1.1E-03	4.0	2.4	1.1E-03	1.9E-04	2.9E-03	3.9	265%	98%	
Plant 42	0	535	9.3E-04	-	4.3E-03	13.0	9.3E-04	3.7E-06	3.6E-03	31.2	3.4E-04	1.6E-05	1.1E-03	8.0	0.3	9.2E-04	5.1E-05	2.7E-03	7.2	267%	90%	
Plant 43	0	343	1.5E-03	-	6.7E-03	13.0	1.5E-03	5.7E-06	5.6E-03	31.2	3.8E-04	1.8E-05	1.2E-03	8.2	0.2	1.0E-03	5.3E-05	3.0E-03	7.5	262%	92%	
Plant 44	0	2,038	2.5E-04	-	1.1E-03	13.0	2.5E-04	9.6E-07	9.4E-04	31.2	2.3E-04	1.3E-05	6.5E-04	7.0	0.9	6.6E-04	4.1E-05	1.8E-03	6.7	287%	95%	
Plant 45	0	1,928	2.6E-04	-	1.2E-03	13.0	2.6E-04	1.0E-06	1.0E-03	31.2	2.4E-04	1.4E-05	6.6E-04	7.0	0.8	6.7E-04	4.1E-05	1.8E-03	6.7	285%	96%	
Plant 46	1	1,944	5.1E-04	2.6E-05	2.4E-03	9.6	7.7E-04	9.0E-05	2.0E-03	4.7	4.4E-04	6.9E-05	1.1E-03	4.0	2.4	1.1E-03	1.9E-04	2.9E-03	4.0	263%	99%	
Plant 47	0	1,998	2.5E-04	-	1.2E-03	13.0	2.5E-04	9.8E-07	9.6E-04	31.2	2.3E-04	1.3E-05	6.6E-04	7.1	0.9	6.6E-04	4.1E-05	1.8E-03	6.7	286%	95%	
Plant 48	0	556	9.0E-04	-	4.1E-03																	

\*1:ゼロ件故障には0.5件を仮定

\*2: EF<sup>2</sup>=95%値/5%値 ただし、古典統計におけるゼロ件故障事象に対してはEF=13とした。

\*3: 3段階/2段階

\*4: 平均値

\*5: 90%信頼区間

	個別プラント故障率 平均値最大値[1/d]	一般故障率 平均値[1/d]
ベイズ統計 (MCMC手法、2段階)	1.7E-03	6.1E-04
ベイズ統計 (MCMC手法、3段階)	3.8E-03	1.5E-03

注) 2 段階: 従来の MCMC 手法を活用した評価, 3 段階: 故障件数の不確か

表 4-7 逆止弁開失敗 評価結果（デマンド故障確率）

ユニット	観測件数 [件]	総デマンド回数	古典統計				Jeffreys無情報事前分布によるベイズ更新				ベイズ統計(MCMC手法、2段階)				ベイズ統計(MCMC手法、3段階)							
			点推定値 <sup>*1</sup> [1/d]	下限値 <sup>5</sup> [1/d]	上限値 <sup>5</sup> [1/d]	EF <sup>*2</sup>	平均値 [1/d]	5%値 [1/d]	95%値 [1/d]	EF <sup>*2</sup>	平均値 [1/d]	5%値 [1/d]	95%値 [1/d]	EF <sup>*2</sup>	故障件数 推定値 <sup>*1</sup> [件]	平均値 [1/d]	5%値 [1/d]	95%値 [1/d]	EF <sup>*2</sup>	平均値比 <sup>*3</sup>	EF比 <sup>*3</sup>	
一般故障率	0	259,336	1.9E-06	-	8.9E-06	13.0	1.9E-06	7.6E-09	7.4E-06	31.3	4.5E-06	2.5E-07	1.2E-05	6.9	1.01	9.4E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.3	211%	150%	
Plant 01	0	5,153	9.7E-05	-	4.5E-04	13.0	9.7E-05	3.8E-07	3.7E-04	31.3	3.5E-06	2.5E-07	1.1E-05	6.7	0.02	6.4E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.2	181%	153%	
Plant 02	0	7,310	6.8E-05	-	3.1E-04	13.0	6.8E-05	2.7E-07	2.6E-04	31.3	3.4E-06	2.5E-07	1.1E-05	6.6	0.03	6.1E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.0	178%	151%	
Plant 03	0	7,002	7.1E-05	-	3.3E-04	13.0	7.1E-05	2.8E-07	2.7E-04	31.3	3.5E-06	2.5E-07	1.1E-05	6.7	0.03	6.3E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.0	182%	151%	
Plant 04	0	7,819	6.4E-05	-	2.9E-04	13.0	6.4E-05	2.5E-07	2.5E-04	31.3	3.4E-06	2.4E-07	1.1E-05	6.6	0.03	6.3E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.1	185%	151%	
Plant 05	0	7,714	6.5E-05	-	3.0E-04	13.0	6.5E-05	2.5E-07	2.5E-04	31.3	3.4E-06	2.4E-07	1.1E-05	6.7	0.03	6.3E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.1	186%	150%	
Plant 06	0	9,043	5.5E-05	-	2.5E-04	13.0	5.5E-05	2.2E-07	2.1E-04	31.3	3.3E-06	2.4E-07	1.1E-05	6.7	0.04	6.2E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.0	186%	149%	
Plant 07	0	9,429	5.3E-05	-	2.4E-04	13.0	5.3E-05	2.1E-07	2.0E-04	31.3	3.3E-06	2.4E-07	1.1E-05	6.7	0.04	6.1E-06	2.2E-07	2.1E-05	9.9	181%	147%	
Plant 08	0	8,686	5.8E-05	-	2.7E-04	13.0	5.8E-05	2.3E-07	2.2E-04	31.3	3.3E-06	2.4E-07	1.1E-05	6.7	0.03	6.1E-06	2.1E-07	2.1E-05	10.1	183%	151%	
Plant 09	0	7,156	7.0E-05	-	3.2E-04	13.0	7.0E-05	2.7E-07	2.7E-04	31.3	3.4E-06	2.5E-07	1.1E-05	6.6	0.03	6.1E-06	2.1E-07	2.1E-05	10.1	179%	151%	
Plant 10	0	7,300	6.8E-05	-	3.2E-04	13.0	6.8E-05	2.7E-07	2.6E-04	31.3	3.4E-06	2.4E-07	1.1E-05	6.7	0.03	6.2E-06	2.1E-07	2.1E-05	10.0	182%	150%	
Plant 11	0	7,976	6.3E-05	-	2.9E-04	13.0	6.3E-05	2.5E-07	2.4E-04	31.3	3.4E-06	2.4E-07	1.1E-05	6.7	0.03	6.1E-06	2.1E-07	2.1E-05	10.0	180%	148%	
Plant 12	0	5,911	8.5E-05	-	3.9E-04	13.0	8.5E-05	3.3E-07	3.2E-04	31.3	3.5E-06	2.4E-07	1.1E-05	6.8	0.02	6.3E-06	2.2E-07	2.1E-05	9.9	182%	147%	
Plant 13	0	4,489	1.1E-04	-	5.1E-04	13.0	1.1E-04	4.4E-07	4.3E-04	31.3	3.6E-06	2.5E-07	1.1E-05	6.7	0.02	6.6E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.2	183%	153%	
Plant 14	0	4,048	1.2E-04	-	5.7E-04	13.0	1.2E-04	4.9E-07	4.7E-04	31.3	3.6E-06	2.4E-07	1.1E-05	6.8	0.02	6.7E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.1	186%	148%	
Plant 15	0	6,354	7.9E-05	-	3.6E-04	13.0	7.9E-05	3.1E-07	3.0E-04	31.3	3.5E-06	2.5E-07	1.1E-05	6.6	0.02	6.2E-06	2.1E-07	2.1E-05	10.0	179%	151%	
Plant 16	0	10,658	4.7E-05	-	2.2E-04	13.0	4.7E-05	1.8E-07	1.8E-04	31.3	3.3E-06	2.4E-07	1.1E-05	6.7	0.04	6.0E-06	2.1E-07	2.1E-05	9.9	185%	148%	
Plant 17	0	12,219	4.1E-05	-	1.9E-04	13.0	4.1E-05	1.6E-07	1.6E-04	31.3	3.2E-06	2.4E-07	1.0E-05	6.5	0.04	5.9E-06	2.1E-07	2.1E-05	9.9	183%	153%	
Plant 18	0	6,042	8.3E-05	-	3.8E-04	13.0	8.3E-05	3.3E-07	3.2E-04	31.3	3.5E-06	2.5E-07	1.1E-05	6.7	0.02	6.3E-06	2.2E-07	2.1E-05	9.9	180%	149%	
Plant 19	0	3,785	1.3E-04	-	6.1E-04	13.0	1.3E-04	5.2E-07	5.1E-04	31.3	3.6E-06	2.5E-07	1.1E-05	6.7	0.02	6.8E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.3	186%	152%	
Plant 20	0	3,065	1.6E-04	-	7.5E-04	13.0	1.6E-04	6.4E-07	6.3E-04	31.3	3.7E-06	2.5E-07	1.1E-05	6.8	0.01	6.8E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.1	184%	149%	
Plant 21	0	7,355	6.8E-05	-	3.1E-04	13.0	6.8E-05	2.7E-07	2.6E-04	31.3	3.4E-06	2.4E-07	1.1E-05	6.7	0.03	6.2E-06	2.2E-07	2.1E-05	10.0	182%	150%	
Plant 22	0	2,483	2.0E-04	-	9.3E-04	13.0	2.0E-04	7.9E-07	7.7E-04	31.3	3.7E-06	2.5E-07	1.1E-05	6.8	0.01	7.0E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.3	188%	152%	
Plant 23	0	9,709	5.1E-05	-	2.4E-04	13.0	5.1E-05	2.0E-07	2.0E-04	31.3	3.3E-06	2.4E-07	1.1E-05	6.6	0.03	5.9E-06	2.1E-07	2.1E-05	9.9	175%	149%	
Plant 24	0	7,953	6.3E-05	-	2.9E-04	13.0	6.3E-05	2.5E-07	2.4E-04	31.3	3.4E-06	2.4E-07	1.1E-05	6.7	0.03	6.1E-06	2.1E-07	2.1E-05	10.0	181%	150%	
Plant 25	0	6,548	7.6E-05	-	3.5E-04	13.0	7.6E-05	3.0E-07	2.9E-04	31.3	3.4E-06	2.4E-07	1.1E-05	6.7	0.03	6.3E-06	2.2E-07	2.1E-05	10.0	183%	148%	
Plant 26	0	3,174	1.6E-04	-	7.3E-04	13.0	1.6E-04	6.2E-07	6.0E-04	31.3	3.7E-06	2.5E-07	1.1E-05	6.7	0.01	6.9E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.2	184%	152%	
Plant 27	0	1,376	3.6E-04	-	1.7E-03	13.0	3.6E-04	1.4E-06	1.4E-03	31.2	3.9E-06	2.5E-07	1.2E-05	6.8	0.01	7.4E-06	2.3E-07	2.3E-05	10.1	192%	148%	
Plant 28	0	1,202	4.2E-04	-	1.9E-03	13.0	4.2E-04	1.6E-06	1.6E-03	31.2	4.0E-06	2.5E-07	1.2E-05	6.8	0.01	7.5E-06	2.2E-07	2.4E-05	10.3	189%	152%	
Plant 29	0	2,964	1.7E-04	-	7.8E-04	13.0	1.7E-04	6.6E-07	6.5E-04	31.3	3.6E-06	2.5E-07	1.1E-05	6.8	0.01	7.0E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.3	194%	151%	
Plant 30	0	3,122	1.6E-04	-	7.4E-04	13.0	1.6E-04	6.3E-07	6.2E-04	31.3	3.7E-06	2.5E-07	1.2E-05	6.8	0.01	6.9E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.2	185%	150%	
Plant 31	0	5,432	9.2E-05	-	4.2E-04	13.0	9.2E-05	3.6E-07	3.5E-04	31.3	3.5E-06	2.5E-07	1.1E-05	6.7	0.02	6.3E-06	2.2E-07	2.2E-05	9.9	180%	147%	
Plant 32	0	5,162	9.7E-05	-	4.5E-04	13.0	9.7E-05	3.8E-07	3.7E-04	31.3	3.5E-06	2.5E-07	1.1E-05	6.7	0.02	6.4E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.0	183%	149%	
Plant 33	0	4,941	1.0E-04	-	4.7E-04	13.0	1.0E-04	4.0E-07	3.9E-04	31.3	3.5E-06	2.5E-07	1.1E-05	6.7	0.02	6.5E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.1	184%	151%	
Plant 34	0	3,207	1.6E-04	-	7.2E-04	13.0	1.6E-04	6.1E-07	6.0E-04	31.3	3.7E-06	2.5E-07	1.1E-05	6.8	0.01	6.7E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.2	182%	151%	
Plant 35	0	3,098	1.6E-04	-	7.4E-04	13.0	1.6E-04	6.3E-07	6.2E-04	31.3	3.7E-06	2.5E-07	1.2E-05	6.8	0.01	6.6E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.1	176%	149%	
Plant 36	0	5,108	9.8E-05	-	4.5E-04	13.0	9.8E-05	3.8E-07	3.8E-04	31.3	3.5E-06	2.5E-07	1.1E-05	6.7	0.02	6.4E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.0	182%	150%	
Plant 37	0	5,462	9.2E-05	-	4.2E-04	13.0	9.2E-05	3.6E-07	3.5E-04	31.3	3.5E-06	2.5E-07	1.1E-05	6.7	0.02	6.3E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.1	180%	151%	
Plant 38	0	3,507	1.4E-04	-	6.6E-04	13.0	1.4E-04	5.6E-07	5.5E-04	31.3	3.7E-06	2.5E-07	1.1E-05	6.7	0.01	6.7E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.2	183%	151%	
Plant 39	0	3,080	1.6E-04	-	7.5E-04	13.0	1.6E-04	6.4E-07	6.2E-04	31.3	3.7E-06	2.5E-07	1.1E-05	6.7	0.01	6.8E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.1	185%	150%	
Plant 40	0	3,621	1.4E-04	-	6.4E-04	13.0	1.4E-04	5.4E-07	5.3E-04	31.3	3.6E-06	2.5E-07	1.1E-05	6.7	0.01	6.6E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.2	182%	151%	
Plant 41	0	4,037	1.2E-04	-	5.7E-04	13.0	1.2E-04	4.9E-07	4.8E-04	31.3	3.6E-06	2.5E-07	1.1E-05	6.7	0.02	6.5E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.2	179%	152%	
Plant 42	0	2,133	2.3E-04	-	1.1E-03	13.0	2.3E-04	9.2E-07	9.0E-04	31.2	3.8E-06	2.5E-07	1.2E-05	6.9	0.01	7.0E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.2	186%	149%	
Plant 43	0	1,358	3.7E-04	-	1.7E-03	13.0	3.7E-04	1.4E-06	1.4E-03	31.2	3.8E-06	2.5E-07	1.2E-05	6.8	0.01	7.4E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.2	194%	151%	
Plant 44	0	3,452	1.4E-04	-	6.7E-04	13.0	1.4E-04	5.7E-07	5.6E-04	31.3	3.7E-06	2.5E-07	1.1E-05	6.7	0.01	6.7E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.2	183%	153%	
Plant 45	0	3,254	1.5E-04	-	7.1E-04	13.0	1.5E-04	6.0E-07	5.9E-04	31.3	3.7E-06	2.5E-07	1.1E-05	6.8	0.01	6.7E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.2	181%	150%	
Plant 46	0	4,355	1.1E-04	-	5.3E-04	13.0	1.1E-04	4.5E-07	4.4E-04	31.3	3.6E-06	2.4E-07	1.1E-05	6.7	0.02	6.6E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.0	185%	149%	
Plant 47																						

\*1:ゼロ件故障には0.5件を仮定

\*2:EF<sup>2</sup>=95%値/5%値 ただし、古典統計におけるゼロ件故障事象に対してはEF=13とした。

\*3:3段階/2段階

\*4:平均値

\*5:90%信頼区間

	個別プラント故障率 平均値最大値[1/d]	一般故障率 平均値[1/d]
ベイズ統計(MCMC手法、2段階)	4.0E-06	4.5E-06
ベイズ統計(MCMC手法、3段階)	7.5E-06	9.4E-06

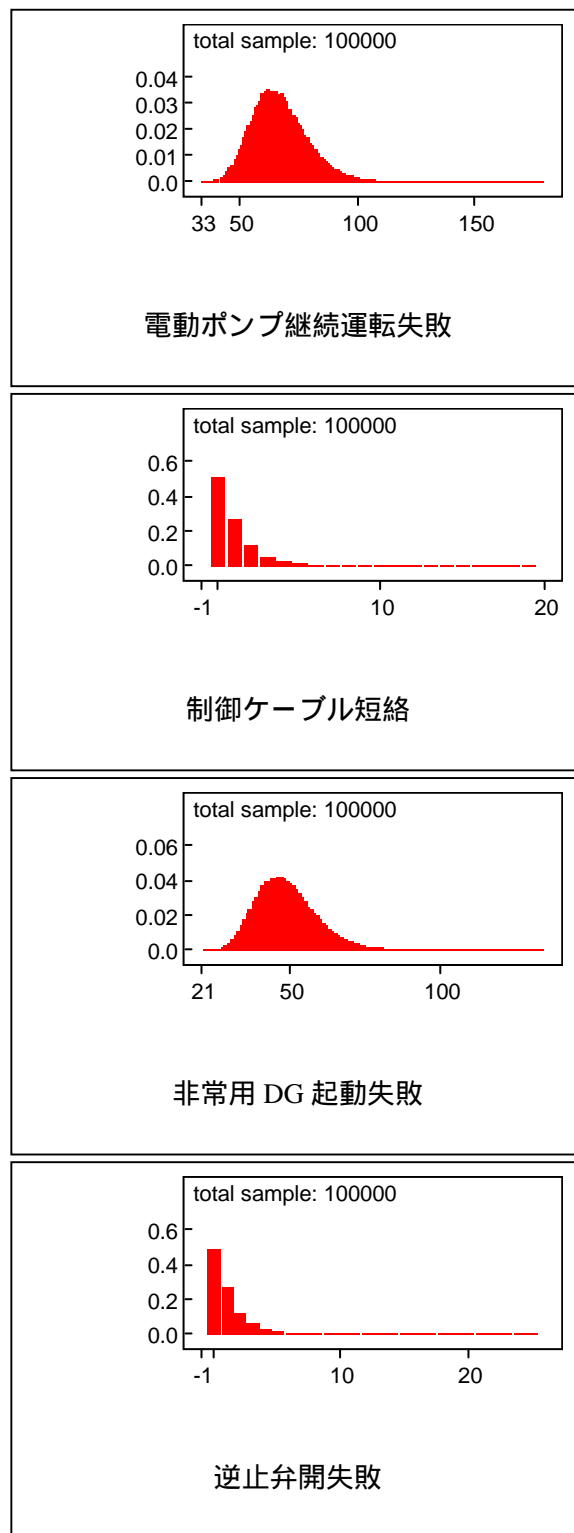


図 4-5 全発電所故障件数の和の分布

## 5 21 ヶ年データ評価からの推定方法の変更

本報告書で用いた推定方法は 21 ヶ年データ評価を踏襲し、マルコフ連鎖モンテカルロ法を用いているが、母集団変動分布（一般機器故障率）の計算式を標準的な方法に変更した等、いくつか変更点があるため、その相違について説明する。

### 5.1 ダミープラントを用いない手法への変更

4.3 において、ダミープラントを用いた評価手法について示したが、今回の更新ではダミープラントを設定せず、母集団変動分布を表す式を直接使用した。

ダミープラントによる方法（以下、ダミー法）とは、情報量が少なく評価対象パラメータへの影響が無視できるようなエビデンス（具体的には、延べ運転時間=1hr 又は総デマンド回数=1、観測件数=0）をダミープラントとして入力データに設定し、このダミープラントに対する事後分布を母集団変動分布（一般機器故障率）とする方法である。21 ヶ年データ報告書<sup>[4]</sup>作成時点ではダミー法以外に母集団変動分布を計算する手法はないと理解されていたが、その後の知見により母集団変動分布を表す式でこれを直接サンプリングする方法（以下、直接法）があることが判明した。ダミー法は直接法の近似ということになる。本項では、ダミー法と直接法の相違について検討した結果を述べる。

#### 5.1.1 変更手法の概要と変更前後での推定値の比較

計算には、21 ヶ年データ報告書と同じく、マルコフ連鎖モンテカルロ用フリーソフト WinBUGS<sup>[6]</sup>を用い、比較対象についても同じ故障モードとした。

表 5-1 に示す 4 つの故障モードに対して、ダミー法と直接法による推定値の比較を実施した。故障実績やサンプリング条件、事前分布パラメータも 21 ヶ年データ報告書のものを用いた。ハイパー事前分布パラメータを表 5-2 に示す。解析に使用したスクリプトを図 5-1～図 5-8 に示す。

表 5-1 比較対象とした故障モード

故障タイプ	観測件数	機種 故障モード	プールデータ 最尤推定値	備考
時間故障率	26 件	電動ポンプ 継続運転失敗 (PMXR)	3.0E-7 [h]	プール収集故障件数最大
	0 件	制御ケーブル 短絡 (CAQR)	3.4E-11 [h]	プールデータ最尤推定値最小
デマンド故障確率	19 件	非常用 DG 起動失敗 (DLAD)	4.5E-4 [d]	プール収集故障件数最大
	0 件	逆止弁 開失敗 (CVOD)	1.9E-6 [d]	プールデータ最尤推定値最小

表 5-2 ハイパー事前分布（21 ヶ年データ報告書と同じ）

機種 故障モード	ハイパー事前分布設定			
	$a_{\mu}$	$b_{\mu}$	$a_{\sigma}$	$b_{\sigma}$
電動ポンプ 継続運転失敗	- 1.9E+1	- 8.5E+0	0.1	3
制御ケーブル 短絡	- 2.5E+1	- 1.4E+1	0.1	3
非常用 DG 起動失敗	- 1.2E+1	- 9.9E-1	0.1	3
逆止弁 開失敗	- 1.4E+1	- 3.0E+0	0.1	3

```

model
{
  for(i in 1:N){
    lambda[i] ~ dlnorm(mu,tau)
    nu[i] <- lambda[i]*t[i]
    x[i] ~ dpois(nu[i])
    p[i] ~ dbeta(alpha,beta)
    y[i] ~ dbin(p[i],x[i])
  }

  mu ~ dunif(amu,bmu)
  sigma ~ dunif(asigma,bsigma)
  tau <- 1/(sigma*sigma)
  total <- sum(x[1:N-1])
}

list(
# *****
# set evidences
# *****
# hours list : last data is dummy
t=c(
1710086,1831102,1758330,1959216,1930446,
1950872,2170215,2137584,1757776,1801792,
1968928,1269940,968142,868784,1375752,
1842320,1869238,1553524,1129040,1163536,
1796970,816102,2218480,1518048,1942080,
1966425,1794367,1531802,1961328,2154870,
2629386,2198368,2084288,1782534,1748188,
1893165,1762657,1232868,1082788,2296020,
2569380,1014045,651150,2340934,2182970,
2574429,2638825,1011472,2252507,1),

# events list : last data is dummy
y=c(
1,3,0,3,0,1,3,1,1,0
,0,0,0,0,0,2,0,0,0
,0,0,0,0,3,3,0,0,0
,2,1,1,0,0,0,1,0,0
,0,0,0,0,0,0,0,0,0),

# *****
# set paramters
# *****
# data collection probability parameters
alpha=4,
beta=6,

# hyper parameters for failure rates
amu=-1.9E+1,
bmu=-8.5,
asigma=0.1,
bsigma=3,

# the number fo plants
N=50

)

#*****
# initial value for keep away compile error
#*****
list(
x=c(
2,4,1,4,1,2,4,2,2,1
,1,1,1,1,1,1,3,1,1,1
,1,1,1,1,4,4,1,1,1,1
,3,2,2,1,1,1,1,2,1,1
,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1)
)

```

図 5-1 PMXR (ダミー法)

```

model
{
  for(i in 1:N){
    lambda[i] ~ dlnorm(mu,tau)
    nu[i] <- lambda[i]*t[i]
    x[i] ~ dpois(nu[i])
    p[i] ~ dbeta(alpha,beta)
    y[i] ~ dbin(p[i],x[i])
  }

  mu ~ dunif(amu,bmu)
  sigma ~ dunif(asigma,bsigma)
  tau <- 1/(sigma*sigma)
  total <- sum(x[1:N-1])
}

list(
# *****
# set evidences
# *****
# hours list : last data is dummy
t=c(
347391756,294415043,282714345,315013944,310388139,
383903740,398596155,368065245,302667055,310246060,
339024790,249906050,190516515,170964280,270728340,
259191395,300546767,305711330,194406575,200346355,
288927105,160597215,394334820,298730160,382173600,
372834180,247305993,211118358,287211969,280492245,
392654976,369325824,350160384,368573184,361471488,
380904798,409207602,265771116,233418156,316445580,
354121020,204025854,131011380,370142976,345166080,
354816891,363692175,169927296,357792954,1),

# events list : last data is dummy
y=c(
0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
,0,0,0,0,0,0,0,0,0
,0,0,0,0,0,0,0,0,0
,0,0,0,0,0,0,0,0,0
,0,0,0,0,0,0,0,0,0
,0,0,0,0,0,0,0,0,0),

# *****
# set paramters
# *****
# data collection probability parameters
alpha=4,
beta=6,

# hyper parameters for failure rates
amu=-2.5E+1,
bmu=-1.4E+1,
asigma=0.1,
bsigma=3,

# the number fo plants
N=50

)

#*****
# initial value for keep away compile error
#*****
list(
x=c(
1,1,1,1,1,1,1,1,1,1
,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1
,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1
,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1
,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1
,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1)
)

```

図 5-2 CAQR (ダミー法)

```

model
{
  for(i in 1:N){
    m[i] ~ dnorm(mu,tau)
    p[i] <- exp(m[i])/(1+exp(m[i]))
    x[i] ~ dbin(p[i],n[i])
    pd[i] ~ dbeta(alpha,beta)
    y[i] ~ dbin(pd[i],x[i])
  }

  mu ~ dunif(amu,bmu)
  sigma ~ dunif(asigma,bsigma)
  tau <- 1/(sigma*sigma)
  total <- sum(x[1:N-1])
}

list(
# *****
# set evidences
# *****
# demands list : last data is dummy
n=c(
595,628,601,672,663,723,755,695,573,584,
638,474,359,324,508,419,477,554,346,414,
456,280,542,354,697,513,298,258,1015,1178,
1429,1358,1300,1149,1125,1612,1730,1120,984,1786,
1997,535,343,2038,1928,1944,1998,556,806,1),

# events list : last data is dummy
y=c(
0,0,0,0,0,0,2,1,0,0,
2,0,0,0,1,0,1,0,0,1,
0,0,0,0,2,0,0,0,0,
0,0,0,1,0,2,0,0,3,0,
1,0,0,0,0,1,0,0,1,0),

# *****
# set paramters
# *****
# data collection probability parameters
alpha=4,
beta=6,

# hyper parameters for failure rates
amu=-1.2E+1,
bmu=-9.9E-1,
asigma=0.1,
bsigma=3,

# the number fo plants
N=50)

#*****
# initial value for keep away compile error
#*****
list(
x=c(
1,1,1,1,1,1,3,2,1,1,
3,1,1,1,2,1,2,1,1,2,
1,1,1,1,1,3,1,1,1,1,
1,1,1,2,1,3,1,1,4,1,
2,1,1,1,1,2,1,1,2,1)
)

```

図 5-3 DLAD (ダミー法)

```

model
{
  for(i in 1:N){
    m[i] ~ dnorm(mu,tau)
    p[i] <- exp(m[i])/(1+exp(m[i]))
    x[i] ~ dbin(p[i],n[i])
    pd[i] ~ dbeta(alpha,beta)
    y[i] ~ dbin(pd[i],x[i])
  }

  mu ~ dunif(amu,bmu)
  sigma ~ dunif(asigma,bsigma)
  tau <- 1/(sigma*sigma)
  total <- sum(x[1:N-1])
}

list(
# *****
# set evidences
# *****
# demands list : last data is dummy
n=c(
5153,7310,7002,7819,7714,9043,9429,8686,7156,7300,
7976,5911,4489,4048,6354,10658,12219,6042,3785,3065,
7355,2483,9709,7953,6548,3174,1376,1202,2964,3122,
5432,5162,4941,3207,3098,5108,5462,3507,3080,3621,
4037,2133,1358,3452,3254,4355,4498,2022,4560,1),

# events list : last data is dummy
y=c(
0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,
0,0,0,0,0,0,0,0,0,
0,0,0,0,0,0,0,0,0,
0,0,0,0,0,0,0,0,0,
0,0,0,0,0,0,0,0,0,
0,0,0,0,0,0,0,0,0),

# *****
# set paramters
# *****
# data collection probability parameters
alpha=4,
beta=6,

# hyper parameters for failure rates
amu=-1.4E+1,
bmu=-3.0,
asigma=0.1,
bsigma=3,

# the number fo plants
N=50)

#*****
# initial value for keep away compile error
#*****
list(
x=c(
1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,
1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,
1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,
1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,
1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,
1,1,1,1,1,1,1,1,1,1)
)

```

図 5-4 CVOD (ダミー法)

### 【ダミー法のスクリプト説明】

実在するプラントは全部で 49 基であるが、50 番目にダミープラントを設定する。ループ (for) の中で同時に推定することで 1 ~ 49 の実プラントにおける推定過程をダミープラントの推定値に反映できる。ダミープラントの運転時間 (デマンド回数) を実プラントに比べ十分に小さく設定しておけば、実プラント推定結果への影響はほとんどない。ダミープラントのサンプル結果 lambda[50]及び p[50]が一般機器故障率/故障確率の推定分布となる。

```

model
{
  for(i in 1:N){
    lambda[i] ~ dlnorm(mu, tau)
    nu[i] <- lambda[i]*t[i]
    x[i] ~ dpois(nu[i])
    p[i] ~ dbeta(alpha, beta)
    y[i] ~ dbin(p[i], x[i])
  }
  mu ~ dunif(amu, bmu)
  sigma ~ dunif(asigma, bsigma)
  tau <- 1/(sigma*sigma)
  total<- sum(x[1:N])
  lambda.g ~ dlnorm(mu, tau)
}

# hours list
list(
  t=c(
    1710066, 1831102, 1756330, 1959216, 1930446,
    1950872, 2170215, 2137584, 1757776, 1801792,
    1988928, 1269940, 968142, 868784, 1375752,
    1842320, 1869238, 1553524, 1129040, 1163536,
    1796970, 816102, 2218480, 1518048, 1942080,
    1966425, 1794367, 1531802, 1961328, 2154870,
    2629386, 2198368, 2084288, 1782534, 1748188,
    1893165, 1762657, 1232868, 1082788, 2296020,
    2569360, 1014045, 651150, 2340934, 2182970,
    2574429, 2638825, 1011472, 2252507
  ),

  # events list
  y=c(
    1, 3, 0, 3, 0, 1, 3, 1, 1, 0,
    0, 0, 0, 0, 0, 0, 2, 0, 0, 0,
    0, 0, 0, 0, 3, 3, 0, 0, 0, 0,
    2, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0,
    0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0
  ),

  # set parameters
  # total plant number
  N=49,
  # data collection probability parameters
  alpha=4,
  beta=6,
  # hyper parameters for failure rates
  amu=-19.0,
  bmu=-8.5,
  asigma=0.1,
  bsigma=3.0
)

# Inits
list(
  x=c(
    2, 4, 1, 4, 1, 2, 4, 2, 2, 1,
    1, 1, 1, 1, 1, 1, 3, 1, 1, 1,
    1, 1, 1, 1, 4, 4, 1, 1, 1, 1,
    3, 2, 2, 1, 1, 1, 1, 2, 1, 1,
    1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1
  ),
)

```

图 5-5PMXR（直接法）

```

model
{
  for(i in 1:N){
    lambda[i] ~ dlnorm(mu, tau)
    nu[i] <- lambda[i]*t[i]
    x[i] ~ dpois(nu[i])
    p[i] ~ dbeta(alpha, beta)
    y[i] ~ dbin(p[i], x[i])
  }
  mu ~ dunif(amu, bmu)
  sigma ~ dunif(asigma, bsigma)
  tau <- 1/(sigma*sigma)
  total<- sum(x[1:N])
  lambda.g ~ dlnorm(mu, tau)
}

# hours list :
list(
  t=c(
    347391756, 294415043, 282714345, 315013944, 310388139,
    383903740, 398596155, 368065245, 302667055, 310246060,
    339024790, 249906050, 190516515, 170964280, 270728340,
    259191395, 300546767, 305711330, 194406575, 200346355,
    288927105, 160597215, 394334820, 298730160, 382173600,
    372834180, 247305993, 211118358, 287211969, 280492245,
    392654976, 369325824, 350160384, 368573184, 361471488,
    380904798, 409207602, 265771116, 233418156, 316445580,
    354121020, 204025854, 131011360, 370142976, 345166080,
    354816891, 363692175, 169927296, 357792954
  ),

  # events list :
  y=c(
    0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
    0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
    0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
    0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
    0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
    0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0
  ),

  # set parameters
  # total plant number
  N=49,
  # data collection probability parameters
  alpha=4,
  beta=6,
  # hyper parameters for failure rates
  amu=-25.0,
  bmu=-14.0,
  asigma=0.1,
  bsigma=3.0
)

# Inits
list(
  x=c(
    1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1,
    1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1,
    1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1,
    1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1,
    1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1
  ),
)

```

图 5-6 CAQR（直接法）



```

model
{
  for(i in 1:N){
    m[i] ~ dnorm(mu, tau)
    p[i] <- exp(m[i]) / (1+exp(m[i]))
    x[i] ~ dbin(p[i], n[i])
    pd[i] ~ dbeta(alpha, beta)
    y[i] ~ dbin(pd[i], x[i])
  }
  mu ~ dunif(amu, bmu)
  sigma ~ dunif(asigma, bsigma)
  tau <- 1 / (sigma*sigma)
  total <- sum(x[1:N])
  m.g ~ dnorm(mu, tau)
  p.g <- exp(m.g) / (1+exp(m.g))
}

#demands list
list(
  n=c(
    595, 628, 601, 672, 663,
    723, 756, 695, 573, 584,
    638, 474, 359, 324, 508,
    419, 477, 554, 346, 414,
    456, 280, 542, 354, 697,
    513, 298, 258, 1015, 1178,
    1429, 1358, 1300, 1149, 1125,
    1612, 1730, 1120, 984, 1786,
    1997, 535, 343, 2038, 1928,
    1944, 1993, 556, 806
  ),
  #events list
  y=c(
    0,0,0,0,0,0,2,1,0,0,
    2,0,0,0,1,0,1,0,0,1,
    0,0,0,0,0,2,0,0,0,0,
    0,0,0,1,0,2,0,0,3,0,
    1,0,0,0,0,1,0,0,1
  ),

  #set paramters
  #total plant number
  N=49,
  #data collection probability parameters
  alpha=4,
  beta=6,
  #hyper parameters for failure rates
  amu=-1.2E+1,
  bmu=-0.99,
  asigma=0.1,
  bsigma=3,
)

#initial value for keep away compile error
list(
  x=c(
    1,1,1,1,1,1,3,2,1,1,
    3,1,1,1,2,1,2,1,1,2,
    1,1,1,1,1,3,1,1,1,1,
    1,1,1,2,1,3,1,1,4,1,
    2,1,1,1,1,2,1,1,2
  )
)

```

図 5-7 DLAD (直接法)

```

model
{
  for(i in 1:N){
    m[i] ~ dnorm(mu, tau)
    p[i] <- exp(m[i]) / (1+exp(m[i]))
    x[i] ~ dbin(p[i], n[i])
    pd[i] ~ dbeta(alpha, beta)
    y[i] ~ dbin(pd[i], x[i])
  }
  mu ~ dunif(amu, bmu)
  sigma ~ dunif(asigma, bsigma)
  tau <- 1 / (sigma*sigma)
  total <- sum(x[1:N])
  m.g ~ dnorm(mu, tau)
  p.g <- exp(m.g) / (1+exp(m.g))
}

#demands list
list(
  n=c(
    5153, 7310, 7002, 7819, 7714,
    9044, 9429, 8666, 7156, 7300,
    7977, 5911, 4469, 4048, 6354,
    10658, 12219, 6042, 3785, 3065,
    7355, 2483, 9709, 7953, 6548,
    3174, 1376, 1202, 2964, 3122,
    5432, 5162, 4941, 3207, 3098,
    5108, 5462, 3507, 3080, 3621,
    4037, 2133, 1358, 3452, 3254,
    4355, 4498, 2022, 4560
  ),
  #events list:
  y=c(
    0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,
    0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,
    0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,
    0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,
    0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,
    0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
  ),

  #set paramters
  #total plant number
  N=49,
  #data collection probability parameters
  alpha=4,
  beta=6,
  #hyper parameters for failure rates
  amu=-14,
  bmu=-3.0,
  asigma=0.1,
  bsigma=3,
)

#initial value for keep away compile error
list(
  x=c(
    1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,
    1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,
    1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,
    1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,
    1,1,1,1,1,1,1,1,1,1
  )
)

```

図 5-8 CVOD (直接法)

#### 【直接法のスクリプト説明】

ダミープラントは設定せず，ループ (for) の中では実在するプラント (49 基) のみでサンプリングする。ループ (for) の外で，推定されたハイパーパラメータ  $\mu$  及び  $\sigma$  から母集団変動分布そのものを直接サンプリングすることで，一般機器故障率  $\lambda_{\text{m.g}}$  及び一般機器故障確率  $p_{\text{g}}$  を推定することができる。

各故障モードにおける推定結果を表 5-3 に示す。表 5-3 から、直接法では、平均値( MEAN ) がダミー法に比べ - 5 ~ 27% 程度変化した。

表 5-3 ダミー法と直接法の比較

機種 故障モード	平均値 ( MEAN )		推定値 変化量 [ % ]	EF	
	ダミー	直接		ダミー	直接
電動ポンプ 継続運転失敗 ( PMXR )	8.9E-07	9.9E-07	11	9.6	10.5
制御ケーブル 短絡 ( CAQR )	1.3E-10	1.7E-10	27	10.2	11
非常用 DG 起動失敗 ( DLAD )	1.5E-03	1.5E-03	1	8.7	8.5
逆止弁 開失敗 ( CVOD )	9.7E-06	9.1E-06	- 5	10.8	10.5

#### 5.1.2 直接法によるサンプリング条件 1 (バーンイン回数)

ここでは、サンプリング手法の変更によって、バーンイン回数 ( 初期条件に依存しない状態に達する回数 ) を変更する必要があるかどうかを検討した。

21 ヶ年データ算出時のバーンイン回数の設定は、モンテカルロエラーが標準偏差の 5% 以下という指標 ( 厳密にはサンプリング回数決定の指標 ) を用いており、試評価において、表 5-4 のような調査結果を得ていた。十分な余裕を持たせること、評価の効率化を理由に、時間故障率には一律 7 万回、デマンド故障確率には一律 5 万回のバーンイン回数を適用していた。

表 5-4 21 ヶ年データ報告書のバーンイン回数調査結果

故障タイプ	観測件数	機種 故障モード	バーンイン回数
時間故障率	26 件	電動ポンプ 継続運転失敗 ( PMXR )	2 万回
	0 件	制御ケーブル 短絡 ( CAQR )	6 万回
デマンド故障確率	19 件	非常用 DG 起動失敗 ( DLAD )	3 万回
	0 件	逆止弁 開失敗 ( CVOD )	4 万回

本検討は、表 5-4 のうち、バーンイン回数を多く設定する必要があると思われる観測件数 0 件の故障モード、制御ケーブル短絡( CAQR )、逆止弁開失敗( CVOD )を対象に実施した。

検討結果から、制御ケーブル短絡 ( CAQR ) は 6 万回、逆止弁開失敗 ( CVOD ) は 4 万回での実プラントの故障率の推定値の 及び  $p$  のモンテカルロエラーは標準偏差の 5% 以下

(1.5%程度)であることを確認し、直接法による評価のバーンイン回数は前回と同様の設定で問題がないことが分かった。

ただし、BGR 診断プロットの赤線が 1.0 付近に落ちつくことが一般的な収束判断であり、数千回で十分に収束していることが確認できたため(図 5-9, 図 5-10), バーンイン回数は 1 万回でもよいと考えられる。

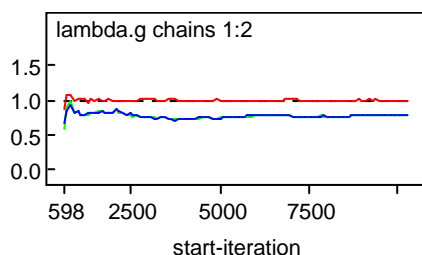


図 5-9 BGR 診断プロット (CAQR)

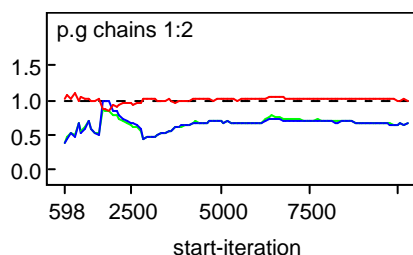


図 5-10 BGR 診断プロット (CVOD)

### 5.1.3 直接法によるサンプリング条件 2 (サンプリング回数)

ここでは、サンプリング手法の変更によってサンプリング回数の設定を変更する必要があるかどうか、21 カ年データ報告書の評価条件の妥当性も含めて検討した。

21 カ年データ報告書のサンプリング回数の設定においては、NUREG/CR-6823<sup>[7]</sup>での 9 万回程度の繰り返し計算 (サンプリング) の実施例を参考に 10 万回としていた。

本検討は、電動ポンプ継続運転失敗 (PMXR) を対象にした。サンプリングを計 30 万回実施し、推定を前 10 万回、中 10 万回、後 10 万回、全 30 万回の計 4 パターンで行なうことによって、サンプリング回数 10 万回の妥当性を検討した。また、評価手法の変更による影響を調べるために、以下 4 条件での比較を実施した。結果を表 5-5、図 5-11 に取り纏める。

条件 I. ダミー法

条件 II. 直接法

条件 III. 直接法\_初期値変更

条件 IV. 直接法\_乱数発生条件変更

表 5-5 サンプリング条件による推定値比較

サンプリング条件		パラメータ	前 10 万回	中 10 万回	後 10 万回	全 30 万回
条件	ダミー法	lambda[50]	8.9E-07	1.0E-06	9.5E-07	9.5E-07
条件	直接法	lambda.g	9.9E-07	1.1E-06	1.0E-06	1.0E-06
条件	直接法 (初期値変更)		1.0E-06	1.1E-06	9.9E-07	1.0E-06
条件	直接法 (乱数変更)		1.0E-06	9.8E-07	1.0E-06	1.0E-06

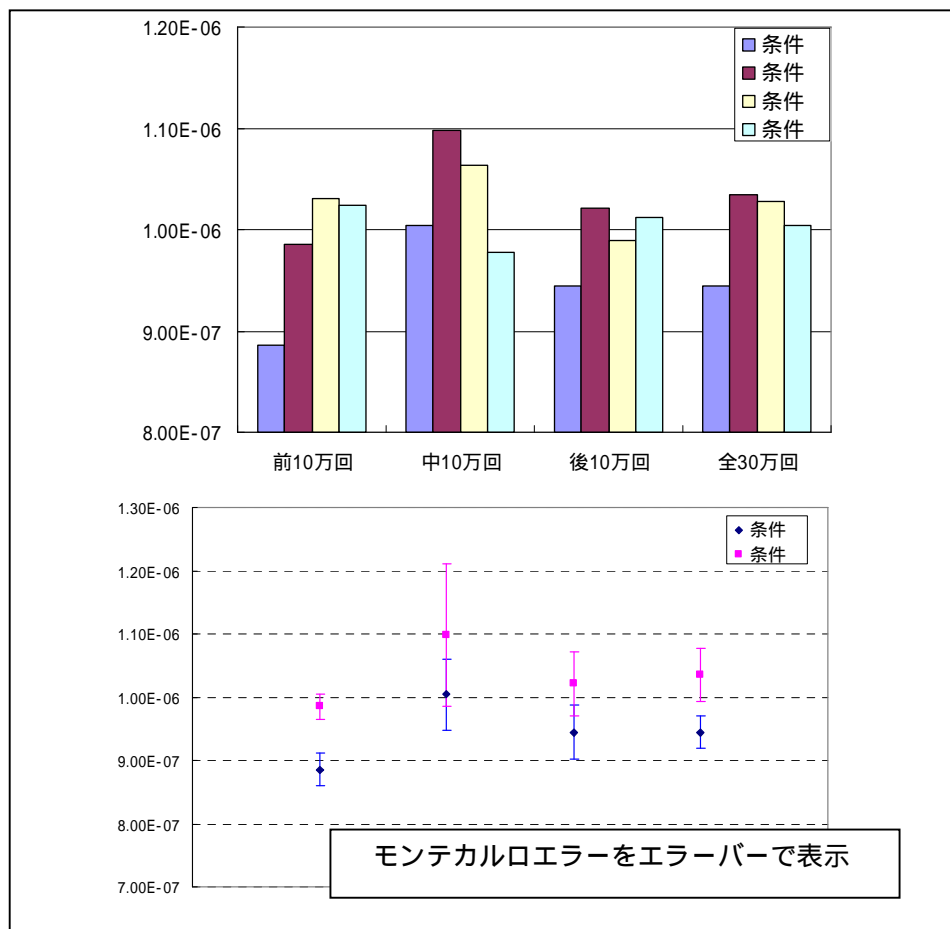


図 5-11 PMXR\_推定値の変動

表 5-5 , 図 5-11 から , バーンイン後のサンプリングである ( 初期条件の影響はないと判断した範囲のサンプリングである ) ものの , 初期値や乱数発生条件に依存する推定値の変動が確認できた。この推定値の変動は , モンテカルロ計算に起因する誤差 ( モンテカルロエラー ) によるものであると考えられる。

モンテカルロエラーを小さくするには , サンプリング回数を増やすしかなく , 21 ヶ年データ報告書と同様の 10 万回では , 有効数字 2 桁を確保するには不十分な可能性があることが分かった。計算時間の増加の懸念はあるが , 30 万回程度には増やす必要があると考えられる。

## 5.2 MCMC 解析の計算条件の検討

### 5.2.1 自己相関性の低減 ( Thinning の設定 )

ハイパーパラメータ  $\mu$  , の自己相関が強いため , Thinning(間引き)による低減を検討した。間引きを 10 ( 10 回に 1 度サンプリングすることで , 計算の反復回数は 10 倍になる )

に設定して電動ポンプ継続運転失敗(PMXR)の解析を実施した。図 5-12 に Thinning の有無によるハイパーパラメータ  $\mu$  の自己相関を示す。

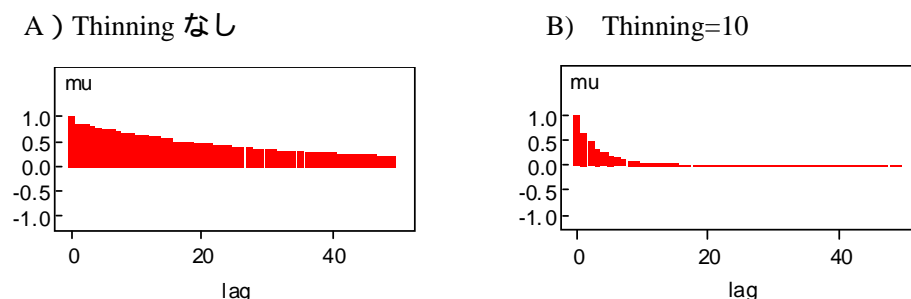


図 5-12 ハイパーパラメータ  $\mu$  の自己相関

図 5-12 から Thinning によって  $\mu$  の自己相関が大幅に低減したことが明らかである（も同様であった）。ハイパーパラメータ  $\mu$  の自己相関が減少したことでそれぞれのモンテカルロエラーも減少していることを確認した。

ただし、デマンド故障確率については、Thinning を 10 とすることで計算時間は約 10 倍となる。バーンイン 1 万回、サンプリング 30 万回に変更し、Thinning を 10 とした場合、計算時間が従来比で約 20 倍となる。1 つの故障モードの計算に長いもので 30 日程度必要となり、実施が困難となる。現実的な計算時間を考慮すると Thinning は 3 程度に設定するのがよいと考えられる。

### 5.2.2 ハイパー事前分布 $\sigma$ の範囲の拡大

21 カ年データ報告書ではハイパーパラメータ  $\sigma$  の事前分布の上限は 3.0 としていたが、分布の上限の裾が切られている可能性があるため、拡大を検討した。 $\sigma$  の上限 3.0 から 4.0 とすることで（エラーファクター（EF）換算で、約 139 から約 720 となる）、より広がった分布を考慮できる。

$\sigma$  の上限を 4.0 として電動ポンプ継続運転失敗の評価を実施した。 $\sigma$  の確率密度分布を図 5-13 に示す。図 5-13 に示すように  $\sigma$  の確率密度分布は  $\sigma=3.0$  で十分に 0 に近く、 $\sigma=4.0$  まで  $\sigma$  の範囲を拡大しても推定結果にモンテカルロエラー以上の変化は確認できなかった。また、計算時間にも変化はないため、 $\sigma=4.0$  に範囲を拡大することに問題はないと考えられる。

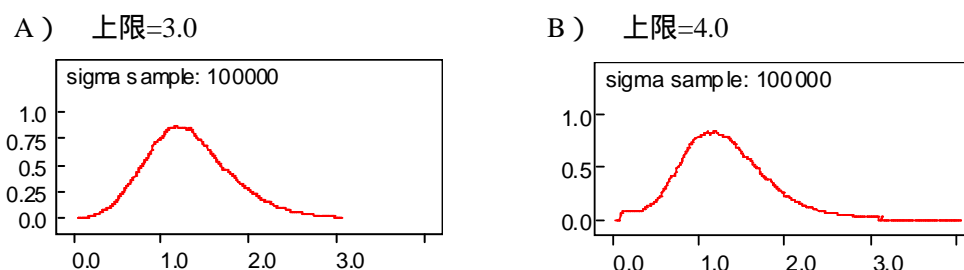


図 5-13 ハイパーパラメータ の事後分布

### 5.3 MCMC 解析条件

5.1, 5.2 の評価手法の事前検討によって, 21 カ年データ算出時から変更した MCMC 解析条件について以下に取り纏める。

#### 5.3.1 国内一般機器故障率のサンプリング手法

説明性向上の観点から, 21 カ年データ算出時に採用していたダミープラントを用いた手法は用いず, 26 カ年データ算出にあたってはダミープラントを用いない手法 (直接サンプリングする手法) を採用した。

#### 5.3.2 バーンイン回数

21 カ年データ算出時のバーンイン回数の設定においては, モンテカルロエラーが標準偏差の 5% 以下という指標 (厳密にはサンプリング回数決定の指標) を用いており, 十分な余裕を持たせること, 評価の効率化を理由に, 時間故障率には一律 7 万回, デマンド故障率には一律 5 万回のバーンイン回数を適用していた。

BGR 診断プロットの赤線が 1.0 付近に落ちつくことが一般的な収束判断であり, 数千回で十分に収束していることが確認できたため, バーンイン回数は 1 万回とした。

#### 5.3.3 サンプリング回数

21 カ年データ算出時のサンプリング回数の設定においては, NUREG/CR-6823 での 9 万回程度の実施例を参考に 10 万回としていた。

上記条件では, モンテカルロエラーが大きく, 推定値が初期条件などに大きく左右されていることから, サンプリング回数を 30 万回とした。

#### 5.3.4 Thinning (間引き) の設定

ハイパーパラメータ  $\mu$ , の自己相関が強いため, 新たに Thinning (間引き) を採用し, 自己相関性の低減を図った。計算時間も考慮し Thinning 回数は 3 とした。ハイパーパラメータ  $\mu$ , の自己相関が減少したことでそれぞれのモンテカルロエラーが減少した。

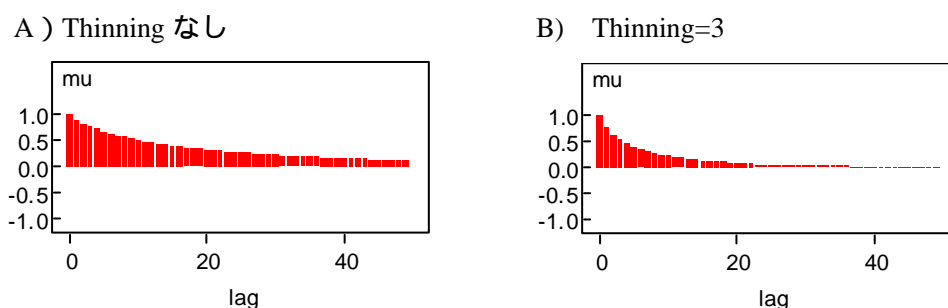


図 5-14 ハイパーパラメータ  $\mu$  の自己相関

### 5.3.5 ハイパー事前分布 $\sigma$ の設定

21 カ年データ算出時は時間故障率，デマンド故障確率ともに母集団変動分布のパラメータの事前分布は一様分布とし，十分に拡散したハイパー事前分布を設定するという観点で，範囲は一律(0.1,3)としていた。

上記条件では，分布の上限の裾が切れている可能性があり，より拡散したハイパー事前分布を設定するための一様分布の範囲は一律(0.1,4)とした。これは，エラーファクター (EF)換算で， $1.2 < EF < 721$  程度となる。

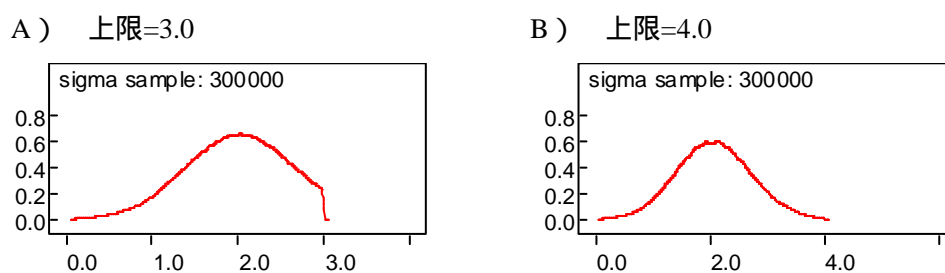


図 5-14 ハイパーパラメータ  $\sigma$  の事後分布

## 6 特殊な故障率の取り扱い

本章では、21 ヶ年データ報告書<sup>[4]</sup>と同様に、故障データの収集が難しい等の理由で、3の方法では推定できない故障モードの取り扱いについて述べる。

### 6.1 工学的判断による故障率

国内 16 ヶ年データ報告書<sup>[3]</sup>では、表 6-1 に示す機種、故障モードの故障率は、故障実績データからではなく工学的判断に基づいて推定している。これらの故障モードについては、故障実績データが収集されていないため、国内 16 ヶ年データ報告書と同様に、類似した故障モードから故障率を計算した。また、これらの故障率は統計的推定をしている他の故障モードと比較して不確かさが大きいと考えられるため、国内 16 ヶ年データ報告書と同様に、エラーファクター（ $EF$ ）は 30 と仮定することとした。また、故障率分布は対数正規分布とし、その平均値は式(6.1)に従って計算した。

表 6-1 国内 16 ヶ年データ報告書にて特殊な取り扱いをしている故障モード

機種	故障モード	工学的判断（参考文献[3]より）
ディーゼル駆動ポンプ	継続運転失敗	ポンプは駆動方式により、電動、タービン駆動及びディーゼル駆動に分類し、故障率データを作成している。こうした機器の中では、電動ポンプがディーゼル駆動ポンプに構造が近いと思われ、電動ポンプの起動失敗と継続運転失敗の故障率比を代用するという、原安協と同様の手法を用いている。
ファン/ブロワ	継続運転失敗（異常時）	本評価データの通常時と異常時の故障率の比が、米国データのそれと同等であるという、原安協と同様の手法を用いている。
配線/電線	短絡 地絡 断線	本評価データの算出機器の中での類似性から、制御ケーブルのそれと同等として当該故障率を推定するという、原安協と同様の手法を用いている。
ヒーター	機能喪失	本評価データの算出機器の中での類似性から、ヒューズの誤断線と同等として当該故障率を推定するという、原安協と同様の手法を用いている。
アナンシエータ	機能喪失	本評価データの算出機器の中での類似性から、警報設定器の不動作と同等として当該故障率を推定するという、原安協と同様の手法を用いている。

$$\begin{aligned}
 median_T &= median_B \\
 mean_T &= median_T \times \exp(\sigma^2 / 2) = median_T \times \exp \left[ \frac{1}{2} \left( \frac{\ln EF_T}{1.645} \right)^2 \right]
 \end{aligned} \tag{6.1}$$

ここで、 $median_B$ ：参照した故障率分布の中央値

$median_T$ ：評価対象の故障率分布の中央値

$mean_T$ ：評価対象の故障率分布の平均値

$EF_T$ ：評価対象の故障率分布のエラーファクター（30）



## 6.2 非常用 DG 継続運転失敗率

### 6.2.1 概要

21 カ年データ報告書では，非常用 DG 継続運転失敗の故障率は，故障までの継続運転時間がワイブル分布に従うと仮定し，ベイズ統計手法により推定したワイブルパラメータを用いて故障率を計算している。ここでも，26 カ年データを用いて，21 カ年データ算出時と同様の手法で故障率を計算する。

### 6.2.2 使用データ

本分析には，NUCIA PRA 用データベースの非常用 DG 起動試験時の故障時間データを用いる。全故障件数は 45 件（46 台）である。表 6-2 に詳細な内容を示す。非常用 DG の起動後，故障に至った時間（故障時間）が判明している事象数は 31 件，判明していない事象数は 15 件である。

故障率を推定する際，表 6-2 に示した故障時間に加えて，運転が問題なく終了した場合の試験時間（運転時間）も必要となる。そこで，各プラントにおいて実施されている定例試験（一定の間隔で実施される試験）やその他の試験（定期検査時に実施される試験）の種類及びそれら試験における非常用 DG の運転時間を別途調査し，10 分，30 分，1 時間及び 2 時間の 4 種類に分類した。調査結果を表 6-3 に示す。

さらに，各プラントの総運転時間と総定期点検回数から，定例試験回数（プラント運転時間に比例）とその他の試験回数（定期検査回数に比例）を推定し，これらの試験の総デマンド回数とした。また，非常用 DG の運転時間の異なる複数の定例試験，又はその他の試験が実施されている場合には，デマンド回数を各試験時間へ均等に割り当てた。非常用 DG のデマンド回数を表 6-4 に示す。

表 6-2 非常用 DG 継続運転失敗事象における故障までの時間

No.	故障時間	発生時期	NUCIA通番	故障員数	備考
1	15秒	1984/10/9	1136	1	16ヶ年データ 整理分
2	20秒	1994/5/18	1761	1	
3	1分	1989/12/22	1592	1	
4	2分	1983/1/27	928	1	
5	1時間17分	1983/8/9	1073	1	
6	10分	1997/2/7	1823	1	
7	11分	1997/4/18	1852	1	
8	1時間4分	1998/3/20	1863	1	
9	1時間48分	1989/10/20	1583	1	
10	不明	1982/8/23	944	1	
11	6分	1985/11/4	1298	1	
12	3分	1987/8/17	1464	1	
13	不明	1997/2/13	1848	1	
14	不明	1997/7/24	1884	1	
15	1分	1998/11/5	1910	1	21ヶ年データ 整理分
16	26分	2002/3/8	2130	1	
17	不明	1999/6/14	206	1	
18	20分	1999/9/24	1990	1	
19	不明	2002/11/28	2142	1	26ヶ年データ 追加分
20	8分	2008/3/21	9680	1	
21	5分	2007/11/5	9453	1	
22	2分	2007/9/28	9367	1	
23	36分	2007/9/18	9333	1	
24	不明	2007/9/19	9321	2	
25	41分	2007/8/10	9210	1	
26	7分	2007/8/17	9197	1	
27	19分	2007/6/25	8973	1	
28	40分	1995/7/28	8896	1	
29	不明	1998/5/11	8876	1	
30	10分	2007/4/11	8827	1	
31	6時間27分	2007/5/8	8811	1	
32	不明	2006/12/8	8590	1	
33	3分	2006/9/4	8413	1	
34	1時間34分	2006/6/20	8320	1	
35	不明	2006/2/15	8130	1	
36	1分	2005/10/13	7947	1	
37	29分	2005/8/6	3178	1	
38	1分	2005/7/20	3143	1	
39	不明	2003/9/25	3073	1	
40	不明	2005/3/1	2810	1	
41	5分	2004/5/7	2417	1	
42	不明	2004/4/6	2349	1	
43	不明	2003/10/16	2196	1	
44	約15秒	2003/10/17	2194	1	
45	不明	2003/11/20	335	1	

表 6-3 各試験における非常用 DG の運転時間の調査結果

ユニット名	定例試験				その他の試験			
	10min	30min	1h	2h	10min	30min	1h	2h
Plant01								
Plant02								
Plant03								
Plant04								
Plant05								
Plant06								
Plant07								
Plant08								
Plant09								
Plant10								
Plant11								
Plant12								
Plant13								
Plant14								
Plant15								
Plant16								
Plant17								
Plant18								
Plant19								
Plant20								
Plant21								
Plant22								
Plant23								
Plant24								
Plant25								
Plant26								
Plant27								
Plant28								
Plant29								
Plant30								
Plant31								
Plant32								
Plant33								
Plant34								
Plant35								
Plant36								
Plant37								
Plant38								
Plant39								
Plant40								
Plant41								
Plant42								
Plant43								
Plant44								
Plant45								
Plant46								
Plant47								
Plant48								
Plant49								
Plant50								
Plant51								
Plant52								
Plant53								
Plant54								
Plant55								

表 6-4 非常用 DG 推定デマンド回数

ユニット名	試験回数			
	10min	30min	1h	2h
Plant01	0	0	632	32
Plant02	0	0	709	34
Plant03	0	0	709	36
Plant04	0	0	749	36
Plant05	0	0	757	36
Plant06	0	0	826	27
Plant07	0	0	885	29
Plant08	0	0	799	26
Plant09	0	0	674	21
Plant10	0	0	665	21
Plant11	0	0	714	21
Plant12	0	0	566	18
Plant13	0	0	468	14
Plant14	0	0	432	14
Plant15	0	0	596	17
Plant16	0	0	412	46
Plant17	0	0	377	46
Plant18	0	0	413	0
Plant19	0	0	500	0
Plant20	0	0	696	0
Plant21	0	0	512	0
Plant22	0	0	91	0
Plant23	0	0	558	0
Plant24	0	0	13	0
Plant25	0	0	523	0
Plant26	0	0	347	0
Plant27	0	0	189	0
Plant28	0	0	81	0
Plant29	0	659	0	0
Plant30	0	468	0	0
Plant31	0	0	869	0
Plant32	0	0	0	660
Plant33	203	14	189	0
Plant34	180	12	168	0
Plant35	624	0	624	0
Plant36	738	0	738	0
Plant37	817	0	817	0
Plant38	858	0	858	0
Plant39	806	0	806	0
Plant40	717	0	717	0
Plant41	716	0	716	0
Plant42	1031	0	1031	0
Plant43	1092	0	1092	0
Plant44	770	0	770	0
Plant45	732	0	732	0
Plant46	1128	0	1128	0
Plant47	1240	0	1240	0
Plant48	421	0	421	0
Plant49	319	0	319	0
Plant50	1318	0	1318	0
Plant51	1252	0	1252	0
Plant52	0	0	2405	0
Plant53	0	0	2455	0
Plant54	0	0	893	0
Plant55	0	0	0	1021

データは、起動してから故障までの時間が判明している完全データ、起動試験打ち切り時にはすでに故障しており故障までの時間が不明な左打ち切りデータ、起動試験打ち切り時まで故障しなかった右打ち切りデータの3種類がある。故障は全て定例試験時に起こったと仮定し、これらを整理すると表 6-5、表 6-6 のようになる。

表 6-5 非常用 DG 起動試験データのまとめ (26 カ年データ)

試験 打ち切り 時間	デマンド 総数	成功数 (右打ち切り データ)	失敗数	故障時間が 判明しているデータ (完全データ 内訳は表 6-2)	故障時間が 不明のデータ (左打ち切りデータ)
10min	14962	14957	5	3	2
30min	1153	1152	1	0	1
1h	36451	36416	35	24	11
2h	2155	2150	5	4	1
計	54721	54675	46	31	15

表 6-6 非常用 DG 起動失敗時間データのまとめ

No.	故障までの時間	
		[h]
1	15秒	4.17E-03
2	20秒	5.56E-03
3	1分	1.67E-02
4	2分	3.33E-02
5	1時間17分	1.28E+00
6	10分	1.67E-01
7	11分	1.83E-01
8	1時間4分	1.07E+00
9	1時間48分	1.80E+00
10	6分	1.00E-01
11	3分	5.00E-02
12	1分	1.67E-02
13	26分	6.00E-01
14	20分	3.33E-01
15	8分	1.33E-01
16	5分	8.33E-02
17	2分	3.33E-02
18	36分	6.00E-01
19	41分	6.83E-01
20	7分	1.17E-01
21	19分	3.17E-01
22	40分	6.67E-01
23	10分	1.67E-01
24	6時間27分	6.45E+00
25	3分	5.00E-02
26	1時間34分	1.57E+00
27	1分	1.67E-02
28	29分	4.83E-01
29	1分	1.67E-02
30	5分	8.33E-02
31	約15秒	4.17E-03

### 6.2.3 時間確率分布モデルと尤度関数

故障時間の確率分布モデルを確率密度関数  $f(t;\theta)$  ( $\theta$  は分布の母数) で表すとする,

$$\text{時間 } T \text{ までに故障している確率 (不信頼度) } F(T;\theta) = \int_0^T f(t;\theta) dt \quad (6.2)$$

$$\text{時間 } T \text{ までは故障していない確率 (信頼度) } R(T;\theta) = 1 - F(T;\theta) \quad (6.3)$$

であるから, 打ち切り時間データを得たときの尤度関数  $L(\theta)$  は, 次式で表される。

$$L(\theta) = \prod_{i=1}^l f(t_i;\theta) \cdot \prod_{j=1}^m F(T_j;\theta) \cdot \prod_{k=1}^n R(T_k;\theta) \quad (6.4)$$

ここで,  $t_i$ : 完全データの時間

$l$ : 完全データの個数

$T_j$ : 左打ち切りデータの打ち切り時間

$m$ : 左打ち切りデータの個数

$T_k$ : 右打ち切りデータの打ち切り時間

$n$ : 右打ち切りデータの個数

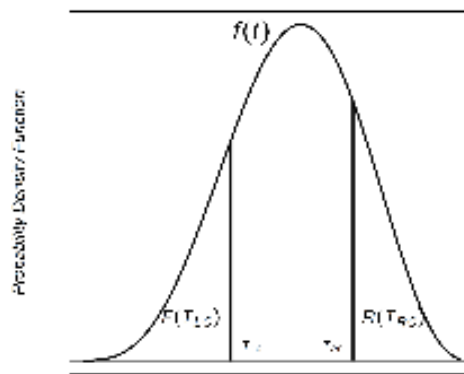


図 6-1 尤度関数の考え方  
 $T_{LC}$  左打ち切り時間,  $T_{RC}$  右打ち切り時間

本件において, 時間データがワイブル分布 (母数は全発電所で共通とする) に従うとすると,

$$f(t) = \nu \lambda t^{\nu-1} \exp(-\lambda t^\nu) \quad (\nu, \lambda > 0) \quad (6.5)$$

$$F(t) = 1 - \exp(-\lambda t^\nu) \quad (6.6)$$

$$R(t) = \exp(-\lambda t^\nu) \quad (6.7)$$

であるから，表 6-5，表 6-6 のデータを適用すると，打ち切り時間が 10 分，30 分，1 時間及び 2 時間があることを考慮して，尤度関数  $L(\nu, \lambda)$  は次式となる。

$$\begin{aligned} L(\nu, \lambda) &= \prod_{i=1}^{31} \nu \lambda t_i^{\nu-1} \exp(-\lambda t_i^\nu) \\ &\times [1 - \exp(-0.167^\nu \lambda)]^2 \cdot [1 - \exp(-0.5^\nu \lambda)]^1 \cdot [1 - \exp(-1^\nu \lambda)]^{11} \cdot [1 - \exp(-2^\nu \lambda)]^1 \\ &\times [\exp(-0.5^\nu \lambda)]^{14957} \cdot [\exp(-2^\nu \lambda)]^{1152} \cdot [\exp(-0.5^\nu \lambda)]^{36416} \cdot [\exp(-2^\nu \lambda)]^{2150} \end{aligned} \quad (6.8)$$

( $t_i, i=1 \sim 31$  は，表 6-6 の値)

最尤法では式(6.8)が極大値をとるように  $(\nu, \lambda)$  を決めるが，ここではベイズ統計手法によって計算する。

#### 6.2.4 ベイズ手法によるワイブル解析

WinBUGS<sup>[6]</sup>を用いて表 6-5，表 6-6 のデータのワイブル解析を行った。WinBUGS では，完全データについてはワイブル分布の確率密度関数が用意されているが，左打ち切り/右打ち切りデータに対する尤度関数  $(R(t), F(t))$  は用意されていない。しかし，WinBUGS では“zeros trick”という方法によって任意の尤度関数を作ることができる。

この“zeros trick”では，あるポアソン強度  $I$  をパラメータとするポアソン過程において  $X0 = 0$  というデータが得られたと想定する。

$$X0 \sim \text{Poisson}(I) \quad (6.9)$$

このとき，尤度関数  $L_{zt}(I)$  は，データが 0 であることから

$$L_{zt}(I) = \frac{I^0 \exp(-I)}{0!} = \exp(-I) \quad (6.10)$$

となる。そこで， $I = -\ln(\text{作りたい任意の尤度関数})$  とすれば，式(6.10)は「作りたい任意の尤度関数」となり，これによって，推定に必要な事後分布の式を作ることができる。

左打ち切りデータについては，作りたい尤度関数は(6.6)式で，左打ち切りデータ  $T_{LC1}(=0.167\text{h})$  が  $N_{LC1}(=2)$  件， $T_{LC2}(=0.5\text{h})$  が  $N_{LC2}(=1)$  件， $T_{LC3}(=1\text{h})$  が  $N_{LC3}(=11)$  件， $T_{LC4}(=2.0\text{h})$  が  $N_{LC4}(=1)$  件あるから，

$$\begin{aligned}
I &= -\ln\left([F(T_{LC1})]^{N_{LC1}} \cdot [F(T_{LC2})]^{N_{LC2}} [F(T_{LC3})]^{N_{LC3}} \cdot [F(T_{LC4})]^{N_{LC4}}\right) \\
&= -N_{LC1} \cdot \ln\left(1 - \exp(-\lambda T_{LC1}^{\nu})\right) - N_{LC2} \cdot \ln\left(1 - \exp(-\lambda T_{LC2}^{\nu})\right) \\
&\quad - N_{LC3} \cdot \ln\left(1 - \exp(-\lambda T_{LC3}^{\nu})\right) - N_{LC4} \cdot \ln\left(1 - \exp(-\lambda T_{LC4}^{\nu})\right)
\end{aligned} \tag{6.11}$$

右打ち切りデータについては，作りたい尤度関数は(6.7)式で，右打ち切りデータ  $T_{RC1}(=0.167\text{h})$ が  $N_{RC1}(=14957)$ 件， $T_{RC2}(=0.5\text{h})$ が  $N_{RC2}(=1152)$ 件， $T_{RC3}(=1.0\text{h})$ が  $N_{RC3}(=36146)$ 件， $T_{RC4}(=2.0\text{h})$ が  $N_{RC4}(=2150)$ 件あるから，

$$\begin{aligned}
I &= -\ln\left([R(T_{RC1})]^{N_{RC1}} \cdot [R(T_{RC2})]^{N_{RC2}} \cdot [R(T_{RC3})]^{N_{RC3}} \cdot [R(T_{RC4})]^{N_{RC4}}\right) \\
&= -N_{RC1} \cdot \ln\left(\exp(-\lambda T_{RC1}^{\nu})\right) - N_{RC2} \cdot \ln\left(\exp(-\lambda T_{RC2}^{\nu})\right) \\
&\quad - N_{RC3} \cdot \ln\left(\exp(-\lambda T_{RC3}^{\nu})\right) - N_{RC4} \cdot \ln\left(\exp(-\lambda T_{RC4}^{\nu})\right) \\
&= N_{RC1} \lambda T_{RC1}^{\nu} + N_{RC2} \lambda T_{RC2}^{\nu} + N_{RC3} \lambda T_{RC3}^{\nu} + N_{RC4} \lambda T_{RC4}^{\nu}
\end{aligned} \tag{6.12}$$

となる。故障率は，

$$\lambda(t) = \nu \lambda \cdot t^{(\nu-1)} \tag{6.13}$$

時間  $\tau$  での平均故障率は，

$$\overline{\lambda(\tau)} = \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} \lambda(t) dt = \lambda \tau^{(\nu-1)} \tag{6.14}$$

となる。計算に用いた WinBUGS スクリプトを図 6-2 に示す。



```

model:
[
# Prior distributions for Weibull parameters
v ~ dgamma(0.001, 0.001)
lambda ~ dgamma(0.001, 0.001)

# Likelihood for the complete data
for( i in 1 : NCOM ) {
TCOM[i] ~ dweib(v, lambda)
}

# Likelihood for the left censored data
# zero trick
C <- 10000
XLC <- 0
XLC ~ dpois(1LC)
1LC <- C - NLC[1] * log( 1- exp( - lambda * pow(TCEN[1], v) ))
- NLC[2] * log( 1- exp( - lambda * pow(TCEN[2], v) ))
- NLC[3] * log( 1- exp( - lambda * pow(TCEN[3], v) ))
- NLC[4] * log( 1- exp( - lambda * pow(TCEN[4], v) ))

# Likelihood for the right censored data
#zero trick
XRC <- 0
XRC ~ dpois(1RC)
1RC <- C + NRC[1] * lambda * pow(TCEN[1], v)
+ NRC[2] * lambda * pow(TCEN[2], v)
+ NRC[3] * lambda * pow(TCEN[3], v)
+ NRC[4] * lambda * pow(TCEN[4], v)

mtmp <- v-1
lambda24 <- lambda*pow(24, mtmp)
lambda36 <- lambda*pow(36, mtmp)
lambda72 <- lambda*pow(72, mtmp)
}

#DATA
list(
# Complete data
TCOM =
c(4.17E-03, 5.56E-03, 1.67E-02, 3.33E-02, 1.28E+00, 1.67E-01, 1.83E-01, 1.07E+00, 1.80E-00, 1.00E-01, 5.0
0E-02, 1.67E-02, 6.00E-01, 3.33E-01, 1.33E-01, 8.33E-02, 3.33E-02, 6.00E-01, 6.83E-01, 1.17E-01, 3.17E-01
, 6.67E-01, 1.67E-01, 6.45E+00, 5.00E-02, 1.57E+00, 1.67E-02, 4.83E-01, 1.67E-02, 8.33E-02, 4.17E-03),
NCOM =31 ,

# Censoring data
TCEN=c(0.167, 0.5, 1.0, 2.0),
NLC=c(2, 1, 11, 1),
NRC=c(14957, 1152, 36416, 2150)
)

END

#INITS
list(v=0.5, lambda=1.E-3)
list(v=1.0, lambda=1.E-4)

```

図 6-2 打ち切りデータを考慮したワイブル解析の WinBUGS スクリプト

計算結果を表 6-7，図 6-3 に示す。変数の自己相関性がないこと及び計算の収束性を確認した。

非常用 DG 発電機の国内一般機器故障率には，表 6-7 の平均故障率分布を用いる。

DG 起動後 T 時間経過時における DG の不信頼度は，(T 時間平均故障率) × (T 時間) で得られる。

表 6-7 打ち切りデータを考慮したワイブル母数推定結果

	平均値	2.5%値	5%値	中央値	95%値	97.5%値	EF
24時間平均故障率 (FR24)	2.33E-4	1.19E-4	1.30E-4	2.18E-4	3.87E-4	4.34E-4	1.7
36時間平均故障率 (FR36)	1.95E-4	9.26E-5	1.03E-4	1.80E-4	3.38E-4	3.84E-4	1.8
72時間平均故障率 (FR72)	1.44E-4	6.05E-5	6.78E-5	1.29E-4	2.69E-4	3.12E-4	2.0
$\lambda$ (lambda)	9.95E-4	7.28E-4	7.66E-4	9.88E-4	1.25E-3	1.30E-3	-
$\nu$ (v)	5.29E-1	3.70E-1	3.92E-1	5.25E-1	6.82E-1	7.14E-1	-

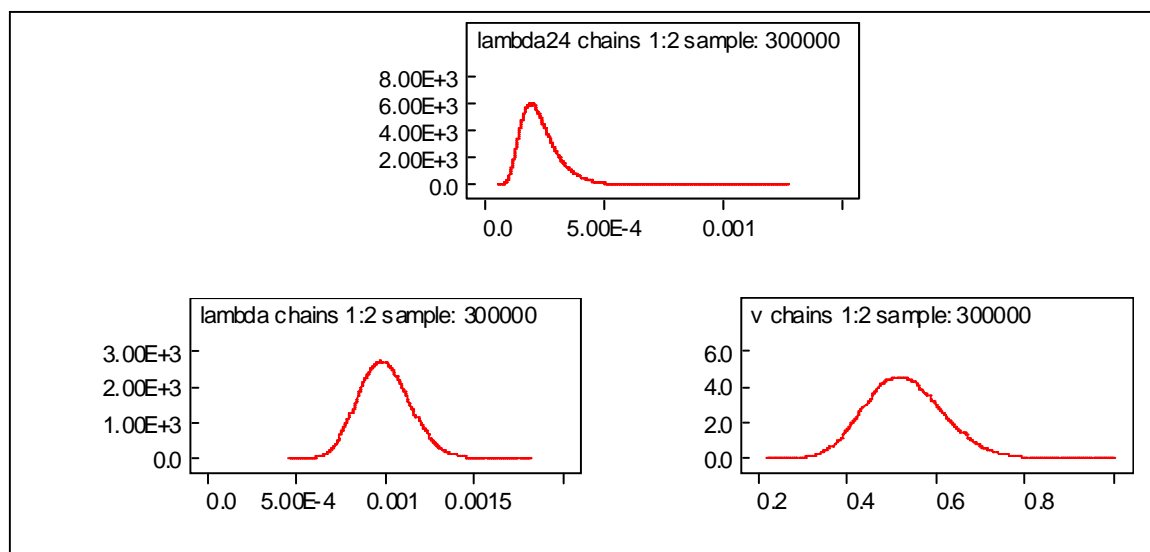


図 6-3 打ち切りデータを考慮したワイブル母数推定結果（24 時間平均故障率）

非常用 DG の国内一般機器故障率の推定に用いた故障時間データは，試験打ち切り時間の短いデータ（10 分，1 時間）が非常に多く，また，数少ない継続運転失敗データ（46 件）は最長でも 6 時間程度が一件あるのみで，残りはすべて 2 時間以内である。2 時間経過後はほとんど故障しないというこれらのデータを基にワイブル解析を行うと，長時間経過時の故障発生確率が大きく低下する傾向を示す。

表 6-7 では PRA で想定する使命時間に応じて故障率を適切に選択できるよう使命時間 24

時間, 36 時間及び 72 時間の 3 つのケースでの平均故障率分布を用意したが, 使命時間が長くなるに従い故障率の確からしさが低くなることに留意し, 炉心損傷頻度などの PRA 指標に寄与が大きい場合には感度解析を推奨する。また, ここで計算した数値は DG 単機の継続運転失敗時間なので, 単機で対応できないような長時間は適用範囲外である。

## 7 古典統計手法とベイズ統計手法との比較

21 カ年データ評価以前に行われていた古典統計手法とベイズ統計手法との比較を表 7-1 ~ 表 7-4 に示す。(ベイズ統計手法の結果は、2 で示した結果と同じものである) 表中、古典統計の欄の点推定値は最尤法により求めた値であるが、故障件数が 0 件の場合は最尤法が使えないため、原安協手法により 0.5 件として算出した。また、古典統計の下限值 / 上限値は、故障件数 / (故障件数 + 1) の 2 倍を自由度とする  $\chi^2$  分布を用いて求めた 90% 信頼区間である。

表 7-1 国内一般機器故障率（26 ヲ年データ）時間故障率（1/4）

機種	故障モード	観測件数 [件]	延べ運転 時間[h]	古典統計			EF <sup>*2</sup> (近似)	ベイズ統計 (MCMC手法)						平均比 <sup>*5</sup>	EF (近似) 比 <sup>*6</sup>
				点推定値 <sup>*1</sup> [1/h]	90%信頼区間			真の故障件数 推定値 <sup>*3</sup> [件]	平均値 [1/h]	5%点 [1/h]	中央値 [1/h]	95%点[1/h]	EF <sup>*4</sup> (近似)		
					下限値[1/h]	上限値[1/h]									
非常用ディーゼル発電機	起動失敗	46	1.6E+07	2.8E-06	2.2E-06	3.6E-06	1.3	116.6	7.3E-06	2.3E-06	6.5E-06	1.5E-05	2.5	262%	197%
	継続運転失敗(24時間平均) <sup>*7</sup>	-	-	-	-	-	-	-	2.3E-04	1.3E-04	2.2E-04	3.9E-04	1.7	-	-
	継続運転失敗(36時間平均) <sup>*7</sup>	-	-	-	-	-	-	-	1.9E-04	1.0E-04	1.8E-04	3.4E-04	1.8	-	-
	継続運転失敗(72時間平均) <sup>*7</sup>	-	-	-	-	-	-	-	1.4E-04	6.8E-05	1.3E-04	2.7E-04	2.0	-	-
電動ポンプ(非常用待機, 純水)	起動失敗	4	8.0E+07	5.0E-08	1.7E-08	1.1E-07	2.6	10.6	2.2E-07	4.4E-09	7.8E-08	4.6E-07	10.2	440%	393%
電動ポンプ(常用運転, 純水)	継続運転失敗	29	9.8E+07	2.9E-07	2.1E-07	4.0E-07	1.4	73.6	8.4E-07	5.7E-08	4.9E-07	2.4E-06	6.5	284%	472%
電動ポンプ(常用待機, 純水)	起動失敗	2	4.7E+07	4.3E-08	7.6E-09	1.3E-07	4.2	5.7	1.9E-07	3.8E-09	6.3E-08	4.4E-07	10.7	451%	255%
電動ポンプ(非常用待機, 海水)	起動失敗	1	2.3E+07	4.4E-08	2.2E-09	2.1E-07	9.6	3.6	3.5E-07	1.0E-08	1.0E-07	7.2E-07	8.3	806%	86%
電動ポンプ(常用運転, 海水)	継続運転失敗	2	1.4E+07	1.4E-07	2.5E-08	4.4E-07	4.2	5.6	7.4E-07	1.0E-08	1.9E-07	1.4E-06	11.9	526%	283%
電動ポンプ(常用待機, 海水)	起動失敗	1	3.6E+06	2.8E-07	1.4E-08	1.3E-06	9.6	2.9	7.8E-06	1.9E-09	2.1E-07	4.9E-06	51.3	2810%	534%
タービン駆動ポンプ	起動失敗	22	8.7E+06	2.5E-06	1.7E-06	3.6E-06	1.5	55.8	9.1E-06	2.9E-07	3.8E-06	2.2E-05	8.6	357%	594%
	継続運転失敗	10	1.0E+07	9.8E-07	5.3E-07	1.7E-06	1.8	25.4	2.9E-06	3.2E-07	2.0E-06	6.5E-06	4.5	296%	253%
ディーゼル駆動ポンプ	起動失敗	3	1.7E+05	1.8E-05	4.9E-06	4.7E-05	3.1	8.9	5.4E-05	1.2E-05	4.2E-05	1.3E-04	3.4	298%	111%
	継続運転失敗 <sup>*8</sup>	-	-	5.4E-04	-	-	30.0	-	2.1E-03	-	-	-	30.0	388%	100%
電動弁(純水)	作動失敗	25	1.2E+09	2.1E-08	1.5E-08	3.0E-08	1.4	64.8	1.2E-07	3.5E-10	1.5E-08	2.7E-07	27.6	541%	1948%
	誤開又は誤閉	0	1.2E+09	4.3E-10	-	2.0E-09	13.0	1.8	3.1E-09	2.5E-10	1.4E-09	8.1E-09	5.7	716%	44%
	閉塞	2	1.2E+09	1.7E-09	3.0E-10	5.4E-09	4.2	5.7	8.3E-09	2.2E-10	2.7E-09	1.7E-08	8.9	486%	211%
	外部リーク	1	1.2E+09	8.5E-10	4.4E-11	4.0E-09	9.6	3.6	7.4E-09	2.3E-10	1.9E-09	1.2E-08	7.3	867%	76%
	内部リーク	2	1.2E+09	1.7E-09	3.0E-10	5.4E-09	4.2	5.7	7.7E-09	2.1E-10	2.7E-09	1.8E-08	9.2	453%	218%
電動弁(海水)	作動失敗	2	4.4E+07	4.5E-08	8.1E-09	1.4E-07	4.2	5.5	9.9E-07	1.0E-09	4.9E-08	5.0E-07	22.4	2173%	531%
	誤開又は誤閉	0	4.4E+07	1.1E-08	-	5.2E-08	13.0	1.1	6.4E-08	1.5E-09	1.5E-08	1.5E-07	10.1	568%	78%
	閉塞	0	4.4E+07	1.1E-08	-	5.2E-08	13.0	1.1	6.4E-08	1.5E-09	1.5E-08	1.5E-07	10.1	568%	78%
	外部リーク	0	4.4E+07	1.1E-08	-	5.2E-08	13.0	1.1	6.4E-08	1.5E-09	1.5E-08	1.5E-07	10.1	568%	78%
	内部リーク	0	4.4E+07	1.1E-08	-	5.2E-08	13.0	1.1	6.4E-08	1.5E-09	1.5E-08	1.5E-07	10.1	568%	78%
空気作動弁	作動失敗	21	6.3E+08	3.3E-08	2.2E-08	4.8E-08	1.5	53.4	9.1E-08	1.3E-08	7.0E-08	2.2E-07	4.0	275%	272%
	誤開又は誤閉	3	6.3E+08	4.7E-09	1.3E-09	1.2E-08	3.1	8.7	3.0E-08	2.7E-10	5.8E-09	6.1E-08	15.2	638%	492%
	閉塞	1	6.3E+08	1.6E-09	8.1E-11	7.5E-09	9.6	3.9	1.0E-08	6.1E-10	4.4E-09	2.5E-08	6.4	657%	67%
	外部リーク	1	6.3E+08	1.6E-09	8.1E-11	7.5E-09	9.6	3.9	1.0E-08	6.1E-10	4.4E-09	2.5E-08	6.4	657%	67%
	内部リーク	3	6.3E+08	4.7E-09	1.3E-09	1.2E-08	3.1	9.1	4.0E-08	1.8E-10	5.2E-09	8.0E-08	21.4	850%	694%
油圧作動弁	作動失敗	15	1.3E+08	1.2E-07	7.3E-08	1.8E-07	1.6	38.4	4.7E-07	6.6E-09	1.6E-07	1.1E-06	12.9	399%	818%
	誤開又は誤閉	3	1.3E+08	2.4E-08	6.4E-09	6.1E-08	3.1	8.0	1.2E-07	1.3E-09	3.3E-08	2.3E-07	13.2	496%	429%
	閉塞	0	1.3E+08	3.9E-09	-	1.8E-08	13.0	1.6	2.9E-08	1.8E-09	1.1E-08	6.9E-08	6.3	729%	48%
	外部リーク	0	1.3E+08	3.9E-09	-	1.8E-08	13.0	1.6	2.9E-08	1.8E-09	1.1E-08	6.9E-08	6.3	729%	48%
	内部リーク	0	1.3E+08	3.9E-09	-	1.8E-08	13.0	1.6	2.9E-08	1.8E-09	1.1E-08	6.9E-08	6.3	729%	48%
逆止弁	開失敗	3	8.4E+08	3.6E-09	9.7E-10	9.2E-09	3.1	7.9	2.1E-08	2.3E-10	4.9E-09	3.2E-08	11.9	593%	386%
	閉失敗	13	8.4E+08	1.5E-08	9.1E-09	2.5E-08	1.6	34.7	2.4E-07	3.6E-11	5.4E-09	2.9E-07	90.0	1565%	5492%
	外部リーク	0	8.4E+08	5.9E-10	-	2.7E-09	13.0	1.5	5.0E-09	2.3E-10	1.6E-09	1.0E-08	6.6	846%	51%
	内部リーク	4	8.4E+08	4.7E-09	1.1E-09	1.1E-08	2.6	11.1	9.0E-08	5.1E-11	3.4E-09	7.1E-08	37.3	1906%	1441%
手動弁	開閉失敗	4	1.9E+09	2.1E-09	7.2E-10	4.8E-09	2.6	10.5	7.5E-09	2.7E-10	3.5E-09	1.8E-08	8.1	357%	314%
	閉塞	4	1.9E+09	2.1E-09	7.2E-10	4.8E-09	2.6	10.8	8.0E-09	1.6E-10	2.8E-09	2.0E-08	11.3	378%	437%
	外部リーク	0	1.9E+09	2.6E-10	-	1.2E-09	13.0	2.3	2.3E-09	2.7E-10	1.3E-09	6.0E-09	4.7	888%	36%
	内部リーク	1	1.9E+09	5.3E-10	2.7E-11	2.5E-09	9.6	4.0	3.2E-09	2.4E-10	1.5E-09	8.2E-09	5.8	598%	60%

表 7-1 国内一般機器故障率（26 ヲ年データ）時間故障率 （2/4）

機種	故障モード	観測件数 [件]	延べ運転 時間[h]	古典統計			ベイズ統計（MCMC手法）						平均比 <sup>*5</sup> EF（近似） <sup>*6</sup>		
				点推定値 <sup>*1</sup> [1/h]	90%信頼区間		EF <sup>*2</sup> （近似）	真の故障件数 推定値 <sup>*3</sup> [件]	平均値 [1/h]	5%点 [1/h]	中央値 [1/h]	95%点[1/h]			
					下限値[1/h]	上限値[1/h]									
安全弁	開失敗	0	2.2E+08	2.2E-09	-	1.0E-08	13.0	2.1	1.9E-08	1.9E-09	9.8E-09	4.9E-08	5.1	839%	39%
	閉失敗	1	2.2E+08	4.5E-09	2.3E-10	2.1E-08	9.6	3.9	2.9E-08	1.8E-09	1.2E-08	6.8E-08	6.2	644%	65%
	誤開	0	2.2E+08	2.2E-09	-	1.0E-08	13.0	2.1	1.9E-08	1.9E-09	9.8E-09	4.9E-08	5.1	839%	39%
	外部リーク	0	2.2E+08	2.2E-09	-	1.0E-08	13.0	2.1	1.9E-08	1.9E-09	9.8E-09	4.9E-08	5.1	839%	39%
	内部リーク	4	2.2E+08	1.8E-08	6.1E-09	4.1E-08	2.6	10.8	1.2E-07	9.8E-10	2.6E-08	2.1E-07	14.7	691%	567%
逃し安全弁(BWR)	開失敗	0	4.8E+07	1.0E-08	-	4.8E-08	13.0	1.1	1.0E-07	1.3E-09	1.5E-08	1.5E-07	10.7	983%	82%
	閉失敗	0	4.8E+07	1.0E-08	-	4.8E-08	13.0	1.1	1.0E-07	1.3E-09	1.5E-08	1.5E-07	10.7	983%	82%
	誤開	0	4.8E+07	1.0E-08	-	4.8E-08	13.0	1.1	1.0E-07	1.3E-09	1.5E-08	1.5E-07	10.7	983%	82%
	外部リーク	0	4.8E+07	1.0E-08	-	4.8E-08	13.0	1.1	1.0E-07	1.3E-09	1.5E-08	1.5E-07	10.7	983%	82%
	内部リーク	0	4.8E+07	1.0E-08	-	4.8E-08	13.0	1.1	1.0E-07	1.3E-09	1.5E-08	1.5E-07	10.7	983%	82%
真空逃し弁(PWR)	作動失敗	0	2.8E+07	1.8E-08	-	8.3E-08	13.0	0.9	8.1E-07	1.0E-09	1.8E-08	2.8E-07	16.7	4457%	128%
電磁弁	作動失敗	6	1.6E+09	3.7E-09	1.6E-09	7.3E-09	2.1	15.6	1.6E-08	2.0E-10	5.2E-09	3.4E-08	13.1	435%	616%
	誤開又は誤閉	1	1.6E+09	6.2E-10	3.2E-11	2.9E-09	9.6	3.9	4.1E-09	2.1E-10	1.7E-09	9.9E-09	6.9	663%	72%
	閉塞	0	1.6E+09	3.1E-10	-	1.4E-09	13.0	2.1	2.7E-09	2.6E-10	1.3E-09	6.5E-09	5.0	862%	38%
	外部リーク	1	1.6E+09	6.2E-10	3.2E-11	2.9E-09	9.6	3.8	3.6E-09	2.4E-10	1.6E-09	9.1E-09	6.1	575%	64%
	内部リーク	1	1.6E+09	6.2E-10	3.2E-11	2.9E-09	9.6	3.8	3.6E-09	2.4E-10	1.6E-09	9.1E-09	6.1	575%	64%
ファン/ブロー	起動失敗	1	4.5E+07	2.2E-08	1.1E-09	1.0E-07	9.6	3.5	1.3E-07	4.1E-09	4.4E-08	3.1E-07	8.7	607%	90%
	継続運転失敗	8	1.3E+08	6.3E-08	3.1E-08	1.1E-07	1.9	21.0	8.7E-07	8.5E-10	5.8E-08	7.8E-07	30.2	1385%	1588%
	継続運転失敗 <sup>*8</sup> （異常時）	-	-	2.1E-05	-	-	30.0	-	5.2E-05	-	-	-	30.2	249%	101%
ダンバ	作動失敗	6	5.0E+08	1.2E-08	5.2E-09	2.4E-08	2.1	17.1	1.7E-07	4.2E-10	1.5E-08	2.3E-07	23.6	1407%	1109%
	誤開又は誤閉	0	5.0E+08	9.9E-10	-	4.6E-09	13.0	1.9	7.9E-09	6.9E-10	3.7E-09	2.0E-08	5.4	792%	42%
	閉塞	1	5.0E+08	2.0E-09	1.0E-10	9.4E-09	9.6	3.7	1.7E-08	5.5E-10	4.8E-09	3.1E-08	7.6	848%	79%
	外部リーク	0	5.0E+08	9.9E-10	-	4.6E-09	13.0	1.9	7.9E-09	6.9E-10	3.7E-09	2.0E-08	5.4	792%	42%
	内部リーク	0	5.0E+08	9.9E-10	-	4.6E-09	13.0	1.9	7.9E-09	6.9E-10	3.7E-09	2.0E-08	5.4	792%	42%
熱交換器 <sup>*9</sup>	伝熱管破損	1	2.1E+08	4.8E-09	2.5E-10	2.3E-08	9.6	3.8	2.8E-08	1.7E-09	1.2E-08	7.2E-08	6.5	570%	68%
	外部リーク	0	2.1E+08	2.4E-09	-	1.1E-08	13.0	2.1	2.4E-08	1.9E-09	1.0E-08	5.1E-08	5.2	1003%	40%
	伝熱管閉塞	2	2.1E+08	9.7E-09	1.7E-09	3.0E-08	4.2	6.5	6.5E-08	6.7E-10	1.3E-08	1.5E-07	15.1	670%	358%
タンク	破損	0	8.5E+07	5.9E-09	-	2.7E-08	13.0	2.1	5.1E-08	5.3E-09	2.6E-08	1.3E-07	4.9	866%	38%
	閉塞	0	8.5E+07	5.9E-09	-	2.7E-08	13.0	2.1	5.1E-08	5.3E-09	2.6E-08	1.3E-07	4.9	866%	38%
オフィス	外部リーク	1	7.0E+08	1.4E-09	7.3E-11	6.7E-09	9.6	4.0	8.8E-09	6.4E-10	4.2E-09	2.3E-08	6.0	620%	62%
	内部破損	0	7.0E+08	7.1E-10	-	3.3E-09	13.0	2.3	6.4E-09	7.4E-10	3.4E-09	1.6E-08	4.7	896%	36%
	閉塞	0	7.0E+08	7.1E-10	-	3.3E-09	13.0	2.3	6.4E-09	7.4E-10	3.4E-09	1.6E-08	4.7	896%	36%
ストレーナ/フィルタ (純水等)	外部リーク	1	2.5E+08	4.1E-09	2.1E-10	1.9E-08	9.6	3.9	2.5E-08	1.8E-09	1.1E-08	6.4E-08	6.0	623%	63%
	内部破損	0	2.5E+08	2.0E-09	-	9.4E-09	13.0	2.2	1.8E-08	2.0E-09	9.4E-09	4.5E-08	4.8	867%	37%
	閉塞	0	2.5E+08	2.0E-09	-	9.4E-09	13.0	2.2	1.8E-08	2.0E-09	9.4E-09	4.5E-08	4.8	867%	37%
ストレーナ/フィルタ (海水)	外部リーク	0	3.2E+07	1.6E-08	-	7.2E-08	13.0	1.4	1.2E-07	4.5E-09	3.5E-08	2.5E-07	7.5	780%	57%
	内部破損	1	3.2E+07	3.1E-08	1.6E-09	1.5E-07	9.6	3.3	1.7E-07	4.0E-09	5.2E-08	4.1E-07	10.2	530%	106%
	閉塞	2	3.2E+07	6.3E-08	1.1E-08	2.0E-07	4.2	5.5	3.6E-07	3.8E-09	8.3E-08	6.5E-07	13.1	576%	311%
制御棒駆動装置(BWR) <sup>*10</sup>	挿入失敗	6	5.8E+08	1.0E-08	4.5E-09	2.1E-08	2.1	16.2	1.7E-07	3.5E-11	3.9E-09	1.7E-07	69.3	1657%	3254%
制御棒駆動装置(PWR)	挿入失敗	1	1.5E+08	6.6E-09	3.4E-10	3.2E-08	9.6	3.0	1.9E-07	1.0E-10	6.1E-09	1.1E-07	32.5	2809%	338%

表 7-1 国内一般機器故障率（26 ヲ年データ）時間故障率 （3/4）

機種	故障モード	観測件数 [件]	延べ運転 時間[h]	古典統計				ベイズ統計（MCMC手法）						平均比 <sup>*5</sup> EF（近似） 比 <sup>*6</sup>	
				点推定値 <sup>*1</sup> [1/h]	90%信頼区間		EF <sup>*2</sup> （近似）	真の故障件数 推定値 <sup>*3</sup> [件]	平均値 [1/h]	5%点 [1/h]	中央値 [1/h]	95%点[1/h]	EF <sup>*4</sup> （近似）		
					下限値[1/h]	上限値[1/h]									
PLR MG セット(BWR) <sup>*11</sup>	機能喪失	14	6.0E+06	2.3E-06	1.4E-06	3.6E-06	1.6	35.5	7.7E-06	7.3E-07	4.7E-06	1.6E-05	4.6	330%	288%
RPS,CRDM MGセット	機能喪失	0	1.7E+07	2.9E-08	-	1.4E-07	13.0	1.1	2.2E-07	4.0E-09	4.2E-08	4.1E-07	10.0	755%	77%
インバータ（PLR）	機能喪失	3	2.6E+06	1.1E-06	3.1E-07	2.9E-06	3.1	8.1	3.1E-05	3.3E-08	1.8E-06	1.9E-05	23.6	2699%	767%
インバータ（バイタル）	機能喪失	1	2.6E+07	3.8E-08	2.0E-09	1.8E-07	9.6	3.3	3.2E-07	2.8E-09	5.5E-08	5.6E-07	14.2	833%	148%
遮断器	作動失敗	13	9.2E+08	1.4E-08	8.3E-09	2.2E-08	1.6	33.8	8.6E-08	4.0E-10	1.6E-08	1.6E-07	20.3	612%	1238%
	誤開	14	9.2E+08	1.5E-08	9.2E-09	2.4E-08	1.6	35.5	4.5E-08	2.9E-09	2.8E-08	1.1E-07	6.1	297%	380%
	誤閉	2	9.2E+08	2.2E-09	3.8E-10	6.8E-09	4.2	5.7	1.0E-08	1.8E-10	3.1E-09	2.3E-08	11.4	463%	271%
変圧器	機能喪失	6	8.2E+07	7.3E-08	3.2E-08	1.4E-07	2.1	15.3	3.0E-07	5.2E-09	1.2E-07	6.0E-07	10.7	413%	501%
蓄電池	機能喪失	0	4.6E+07	1.1E-08	-	5.0E-08	13.0	1.1	6.4E-08	1.4E-09	1.5E-08	1.4E-07	10.0	588%	77%
充電器	機能喪失	2	4.6E+07	4.4E-08	7.8E-09	1.4E-07	4.2	5.5	3.3E-07	9.5E-10	4.7E-08	5.1E-07	23.2	758%	551%
母線 <sup>*12</sup>	機能喪失	4	4.7E+08	8.5E-09	2.9E-09	2.0E-08	2.6	10.5	3.8E-08	6.3E-10	1.3E-08	7.7E-08	11.1	444%	427%
制御ケーブル <sup>*13</sup>	短絡	0	2.0E+10	2.5E-11	-	1.2E-10	13.0	1.6	1.9E-10	1.2E-11	7.5E-11	4.4E-10	6.1	742%	47%
	地絡	3	2.0E+10	1.5E-10	4.1E-11	3.9E-10	3.1	8.0	6.9E-10	1.0E-11	2.1E-10	1.4E-09	11.7	453%	380%
	断線	3	2.0E+10	1.5E-10	4.1E-11	3.9E-10	3.1	8.0	7.3E-10	1.0E-11	2.1E-10	1.4E-09	11.5	483%	374%
配管 3 インチ未満 <sup>*14</sup>	リーク	0	4.7E+09	1.1E-10	-	4.9E-10	13.0	2.2	8.8E-10	1.0E-10	4.7E-10	2.3E-09	4.8	831%	37%
	閉塞	1	4.7E+09	2.1E-10	1.1E-11	1.0E-09	9.6	3.9	1.6E-09	8.2E-11	5.8E-10	3.3E-09	6.4	749%	66%
配管 3 インチ以上 <sup>*14</sup>	リーク	4	1.1E+10	3.7E-10	1.3E-10	8.5E-10	2.6	10.5	1.6E-09	3.1E-11	5.7E-10	3.3E-09	10.3	421%	399%
	閉塞	0	1.1E+10	4.6E-11	-	2.1E-10	13.0	2.0	3.7E-10	3.6E-11	1.8E-10	9.3E-10	5.1	803%	39%
リレー	不動作	8	1.1E+10	7.3E-10	3.6E-10	1.3E-09	1.9	20.9	7.0E-09	3.4E-12	3.2E-10	8.7E-09	50.9	961%	2675%
	誤動作	6	1.1E+10	5.4E-10	2.4E-10	1.1E-09	2.1	15.6	5.8E-09	7.2E-12	5.6E-10	6.0E-09	28.8	1058%	1354%
遅延リレー	不動作	0	8.8E+08	5.7E-10	-	2.6E-09	13.0	1.6	4.7E-09	2.2E-10	1.5E-09	1.0E-08	6.8	821%	52%
	誤動作	0	8.8E+08	5.7E-10	-	2.6E-09	13.0	1.6	4.7E-09	2.2E-10	1.5E-09	1.0E-08	6.8	821%	52%
演算器	不動作	0	5.6E+08	8.9E-10	-	4.1E-09	13.0	2.0	7.5E-09	7.0E-10	3.6E-09	1.9E-08	5.2	840%	40%
	高出力/低出力	5	5.6E+08	8.9E-09	3.5E-09	1.9E-08	2.3	12.9	3.5E-08	9.8E-10	1.5E-08	7.3E-08	8.6	386%	373%
カード （半導体ロジック回路）	不動作	0	3.2E+08	1.6E-09	-	7.2E-09	13.0	0.8	3.0E-08	4.7E-11	1.1E-09	2.2E-08	21.5	1937%	165%
	誤動作	4	3.2E+08	1.3E-08	4.3E-09	2.9E-08	2.6	10.7	5.4E-07	8.4E-11	1.3E-08	2.2E-07	50.7	4320%	1961%
警報設定器	不動作	0	1.7E+09	3.0E-10	-	1.4E-09	13.0	1.4	1.9E-09	7.9E-11	6.3E-10	4.8E-09	7.8	646%	60%
	誤動作	3	1.7E+09	1.8E-09	4.9E-10	4.6E-09	3.1	8.1	1.5E-08	4.4E-11	2.1E-09	2.1E-08	21.8	858%	707%
ヒューズ	誤断線	3	3.1E+09	9.6E-10	2.6E-10	2.5E-09	3.1	8.1	4.6E-09	6.9E-11	1.4E-09	9.6E-09	11.8	476%	384%
流量トランスミッタ	不動作	7	7.7E+08	9.1E-09	4.3E-09	1.7E-08	2.0	18.3	6.1E-08	9.6E-11	6.7E-09	1.0E-07	33.0	674%	1650%
	高出力/低出力	19	7.7E+08	2.5E-08	1.6E-08	3.6E-08	1.5	49.6	2.0E-07	2.0E-10	1.4E-08	3.6E-07	42.4	825%	2831%
圧力トランスミッタ	不動作	1	9.6E+08	1.0E-09	5.3E-11	4.9E-09	9.6	3.6	1.5E-08	1.6E-10	2.0E-09	1.7E-08	10.4	1451%	108%
	高出力/低出力	15	9.6E+08	1.6E-08	9.6E-09	2.4E-08	1.6	38.0	4.9E-08	2.9E-09	2.9E-08	1.1E-07	6.3	312%	397%
水位トランスミッタ	不動作	0	4.0E+08	1.3E-09	-	5.8E-09	13.0	1.7	9.4E-09	6.6E-10	3.9E-09	2.3E-08	5.9	753%	45%
	高出力/低出力	2	4.0E+08	5.0E-09	8.9E-10	1.6E-08	4.2	5.6	2.2E-08	5.7E-10	7.6E-09	5.0E-08	9.4	430%	223%

表 7-1 国内一般機器故障率（26 ヶ年データ）時間故障率（4/4）

機種	故障モード	観測件数 [件]	延べ運転 時間[h]	古典統計				ベイズ統計（MCMC手法）							
				点推定値 <sup>*1</sup> [1/h]	90%信頼区間		EF <sup>*2</sup> （近似）	真の故障件数 推定値 <sup>*3</sup> [件]	平均値 [1/h]	5%点 [1/h]	中央値 [1/h]	95%点[1/h]	EF <sup>*4</sup> （近似）	平均比 <sup>*5</sup>	EF（近似） 比 <sup>*6</sup>
					下限値[1/h]	上限値[1/h]									
温度検出器	不動作	0	2.6E+09	2.0E-10	-	9.0E-10	13.0	1.6	1.4E-09	8.8E-11	5.5E-10	3.3E-09	6.1	731%	47%
	高出力/低出力	5	2.6E+09	2.0E-09	7.7E-10	4.1E-09	2.3	13.1	1.2E-08	5.0E-11	2.2E-09	2.0E-08	20.2	595%	873%
放射線検出器	不動作	0	7.3E+07	6.8E-09	-	3.1E-08	13.0	2.0	5.6E-08	5.2E-09	2.7E-08	1.4E-07	5.2	819%	40%
	高出力/低出力	2	7.3E+07	2.7E-08	4.9E-09	8.6E-08	4.2	5.9	2.2E-07	3.9E-09	4.6E-08	3.0E-07	8.7	821%	208%
流量スイッチ	不動作	0	4.7E+08	1.1E-09	-	4.9E-09	13.0	1.8	9.1E-09	6.7E-10	3.8E-09	2.1E-08	5.6	846%	43%
	誤動作	1	4.7E+08	2.1E-09	1.1E-10	1.0E-08	9.6	3.7	1.4E-08	5.3E-10	5.0E-09	3.4E-08	7.9	677%	83%
圧力スイッチ	不動作	1	1.3E+09	7.9E-10	4.0E-11	3.7E-09	9.6	3.6	4.8E-09	2.2E-10	1.8E-09	1.1E-08	7.2	605%	75%
	誤動作	7	1.3E+09	5.5E-09	2.6E-09	1.0E-08	2.0	18.4	3.1E-08	6.8E-11	3.1E-09	6.0E-08	29.7	563%	1485%
水位スイッチ	不動作	6	9.0E+08	6.7E-09	2.9E-09	1.3E-08	2.1	16.1	5.0E-08	4.6E-11	3.1E-09	8.5E-08	43.0	744%	2020%
	誤動作	2	9.0E+08	2.2E-09	3.9E-10	7.0E-09	4.2	6.1	1.7E-08	9.7E-11	2.5E-09	2.8E-08	17.1	746%	405%
温度スイッチ	不動作	0	4.4E+08	1.1E-09	-	5.2E-09	13.0	1.8	1.4E-08	6.4E-10	3.8E-09	2.2E-08	5.9	1196%	45%
	誤動作	2	4.4E+08	4.6E-09	8.1E-10	1.4E-08	4.2	6.0	2.5E-08	3.2E-10	5.9E-09	5.7E-08	13.4	546%	319%
リミットスイッチ	不動作	6	2.8E+09	2.1E-09	9.2E-10	4.2E-09	2.1	15.4	1.1E-08	1.8E-10	3.5E-09	1.7E-08	9.9	524%	465%
	誤動作	1	2.8E+09	3.5E-10	1.8E-11	1.7E-09	9.6	3.6	2.2E-09	7.6E-11	7.4E-10	5.0E-09	8.1	617%	84%
手動スイッチ	不動作	2	4.5E+09	4.4E-10	7.9E-11	1.4E-09	4.2	5.9	1.9E-09	8.8E-11	8.1E-10	4.6E-09	7.3	428%	173%
	誤動作	0	4.5E+09	1.1E-10	-	5.1E-10	13.0	2.1	1.0E-09	9.1E-11	4.8E-10	2.5E-09	5.3	936%	40%
コントローラ	不動作	0	5.5E+08	9.0E-10	-	4.2E-09	13.0	1.3	5.6E-09	2.1E-10	1.8E-09	1.4E-08	8.1	616%	63%
	高出力 / 低出力	2	5.5E+08	3.6E-09	6.4E-10	1.1E-08	4.2	5.6	3.2E-08	1.4E-10	4.4E-09	4.2E-08	17.2	875%	409%
配線 / 電線	短絡 <sup>*8</sup>	-	-	2.5E-11	-	-	30.0	-	6.3E-10	-	-	-	30.0	2499%	100%
	地絡 <sup>*8</sup>	-	-	4.8E-10	-	-	30.0	-	1.8E-09	-	-	-	30.0	376%	100%
	断線 <sup>*8</sup>	-	-	4.8E-10	-	-	30.0	-	1.8E-09	-	-	-	30.0	376%	100%
ヒーター	機能喪失 <sup>*8</sup>	-	-	3.1E-09	-	-	30.0	-	1.2E-08	-	-	-	30.0	387%	100%
アナンシエータ	機能喪失 <sup>*8</sup>	-	-	3.0E-10	-	-	30.0	-	5.3E-09	-	-	-	30.0	1776%	100%

注\*1. 観測件数が0件のものは、0.5件として故障率の算出を行った。

\*2. EF<sup>2</sup>(近似) = 上限値 / 下限値。但し観測件数が0の場合はEF=13とした。

\*3. NUCIAデータ（観測件数）に不確かさを考慮した故障件数の推定値（平均値）

\*4. EF<sup>2</sup>(近似) = 95%点 / 5%点

\*5. 平均値(ベイズ統計) / 点推定値(古典統計)

\*6. EF(ベイズ統計) / EF(古典統計)

\*7. 特殊な故障率としてワイブル分布のベイズ評価により算出

\*8. 特殊な故障率として算出

\*9. 熱交換器の場合は、機器1台当たりの故障率

\*10. ABWRの改良型制御棒駆動装置を含む

\*11. ABWRを除いた従来型のBWR

\*12. 母線の場合は、機器間の1セクション（3相）当たりの故障率

\*13. 制御ケーブルは、機器間を1機器として算出した故障率

\*14. 配管の場合は、機器、材質変更箇所や分岐によって区分される1セクション間当たりの故障率



表 7-2 国内一般機器故障率（26 ヲ年データ）デマンド故障確率

機種	故障モード	観測件数 [件]	推定総デマンド回数[D]	古典統計				ベイズ統計 (MCMC手法)						平均比 <sup>*5</sup> EF (近似) 比 <sup>*6</sup>	
				点推定値 <sup>*1</sup> [1/D]	90%信頼区間		EF <sup>*2</sup> (近似)	真の故障件数 推定値 <sup>*3</sup> [件]	平均値 [1/D]	5%点 [1/D]	中央値 [1/D]	95%点 [1/D]	EF <sup>*4</sup> (近似)		
					下限値 [1/D]	上限値 [1/D]									
非常用ディーゼル発電機	起動失敗	46	54795	8.4E-04	6.5E-04	1.1E-03	1.3	120.8	2.7E-03	3.8E-04	1.9E-03	7.2E-03	4.4	323%	338%
電動ポンプ	起動失敗	5	183839	2.7E-05	1.1E-05	5.7E-05	2.3	13.0	1.1E-04	2.0E-06	4.3E-05	2.6E-04	11.2	401%	485%
タービン駆動ポンプ	起動失敗	21	14933	1.4E-03	9.4E-04	2.0E-03	1.5	53.3	4.0E-03	1.3E-04	2.0E-03	1.2E-02	9.8	285%	667%
ディーゼル駆動ポンプ	起動失敗	3	349	8.6E-03	2.3E-03	2.2E-02	3.1	9.1	2.6E-02	5.5E-03	2.0E-02	6.6E-02	3.4	304%	112%
ファン / プロア	起動失敗	1	66155	1.5E-05	7.8E-07	7.2E-05	9.6	3.7	9.1E-05	5.0E-06	3.8E-05	2.2E-04	6.7	603%	69%
電動弁	開失敗	16	648842	2.5E-05	1.5E-05	3.7E-05	1.6	40.3	7.4E-05	1.7E-06	3.4E-05	1.9E-04	10.7	302%	687%
	閉失敗	7	649357	1.1E-05	5.1E-06	2.0E-05	2.0	18.2	6.6E-05	1.1E-07	7.9E-06	1.2E-04	33.1	610%	1655%
空気作動弁	開失敗	1	194079	5.2E-06	2.6E-07	2.4E-05	9.6	3.2	3.6E-05	5.5E-07	8.1E-06	7.0E-05	11.3	693%	117%
	閉失敗	7	195948	3.6E-05	1.7E-05	6.7E-05	2.0	19.1	6.0E-04	7.7E-08	1.5E-05	9.0E-04	108.0	1676%	5398%
油圧作動弁	開失敗	5	171252	2.9E-05	1.2E-05	6.1E-05	2.3	13.0	1.3E-04	1.5E-06	4.7E-05	2.7E-04	13.1	444%	569%
	閉失敗	0	171074	2.9E-06	-	1.3E-05	13.0	1.3	2.0E-05	6.1E-07	5.5E-06	4.5E-05	8.6	689%	66%
逆止弁	開失敗	1	332408	3.0E-06	1.5E-07	1.4E-05	9.6	3.5	1.7E-05	6.0E-07	6.0E-06	4.3E-05	8.4	561%	87%
	閉失敗	3	323091	9.3E-06	2.5E-06	2.4E-05	3.1	7.9	4.0E-05	6.8E-07	1.3E-05	8.5E-05	11.2	436%	363%
手動弁	開失敗	2	53958	3.7E-05	6.6E-06	1.2E-04	4.2	5.5	2.2E-04	1.1E-06	4.2E-05	4.2E-04	19.2	583%	457%
	閉失敗	1	53492	1.9E-05	9.6E-07	8.9E-05	9.6	3.6	1.1E-04	4.5E-06	4.2E-05	2.8E-04	8.0	615%	83%
安全弁	開失敗	0	1648	3.0E-04	-	1.4E-03	13.0	0.7	1.7E-03	8.2E-06	1.8E-04	3.5E-03	20.7	545%	159%
	閉失敗	1	1464	6.8E-04	3.5E-05	3.2E-03	9.6	2.9	4.9E-03	5.6E-06	5.3E-04	1.2E-02	46.6	721%	485%
逃し安全弁	開失敗	0	10834	4.6E-05	-	2.1E-04	13.0	1.0	3.4E-04	3.7E-06	5.0E-05	6.2E-04	13.0	729%	100%
	閉失敗	0	10640	4.7E-05	-	2.2E-04	13.0	1.0	3.3E-04	3.6E-06	5.0E-05	6.4E-04	13.4	700%	103%
電磁弁	開閉失敗	3	390017	7.7E-06	2.1E-06	2.0E-05	3.1	7.9	3.0E-05	8.0E-07	1.2E-05	6.8E-05	9.2	395%	300%
遮断器	開失敗	3	297945	1.0E-05	2.7E-06	2.6E-05	3.1	7.9	4.2E-05	6.3E-07	1.4E-05	9.3E-05	12.1	413%	393%
	閉失敗	6	297723	2.0E-05	8.8E-06	4.0E-05	2.1	15.9	1.1E-04	1.0E-06	2.8E-05	2.2E-04	14.7	559%	691%
ダンバ	開失敗	4	235343	1.7E-05	5.8E-06	3.9E-05	2.6	10.9	1.1E-04	1.0E-06	2.5E-05	2.0E-04	13.9	654%	535%
	閉失敗	2	236093	8.5E-06	1.5E-06	2.7E-05	4.2	6.6	5.2E-05	8.6E-07	1.4E-05	1.3E-04	12.3	616%	293%

- 注 \*1. 観測件数が0件のものは，0.5件として故障確率の算出を行った。
- \*2. EF<sup>2</sup>(近似) = 上限値 / 下限値。但し観測件数が0の場合はEF=13とした。
- \*3. NUCIAデータ（観測件数）に不確実さを考慮した故障件数の推定値（平均値）
- \*4. EF<sup>2</sup>(近似) = 95%点 / 5%点
- \*5. 平均値(ベイズ統計) / 点推定値(古典統計)
- \*6. EF(ベイズ統計) / EF(古典統計)

## 8 故障率及び故障確率の母数(超母数)の意味

国内一般機器故障率計算の妥当性を考えるために，内容理解の一助として故障率及び故障確率の母数(超母数)の意味について以下に整理する。

### 8.1 母数が時間故障率 $\lambda$ の場合（故障発生確率モデルがポアソン過程）

故障率 $\lambda$ の不確かさを対数正規分布でモデル化している。

$$\lambda \sim \text{Lognormal}(\mu, \sigma) \quad (\lambda, \mu, \sigma > 0) \quad (8.1)$$

ここで， $\mu$ ： $\log \lambda$ の平均， $\sigma$ ： $\log \lambda$ の標準偏差

$\mu$ の意味：

$\exp(\mu)$ ＝「 $\lambda$ の中間値」なので， $\mu$ の分布を考えると，故障率 $\lambda$ の中間値がどういう範囲にあるかを考えればよい。

$\sigma$ の意味：

$\exp(1.645\sigma)$ ＝「 $\lambda$ のEF」＝( $\lambda$ の95%点)/( $\lambda$ の中間値)なので， $\sigma$ の分布を考えると，故障率 $\lambda$ の95%点と中間値との広がりがどの程度かを考えればよい。

### 8.2 母数がデマンド故障確率 $pd$ の場合（故障発生確率モデルが二項過程）

故障確率 $pd$ の不確かさをロジスティック正規分布でモデル化している。

$$\text{logit}(pd) \sim \text{Normal}(\mu, \sigma) \quad 0 < pd < 1, \quad \mu, \sigma > 0 \quad (8.2)$$

$$\text{ここで，} \text{logit}(pd) = \log\left(\frac{pd}{1-pd}\right)$$

$\mu$ ： $\text{logit}(pd)$ の平均， $\sigma$ ： $\text{logit}(pd)$ の標準偏差

別の表し方をすると， $\text{logit}(pd)$ は，オッズ比 $r = \frac{pd}{1-pd}$ の対数であり，これが正規分布するというモデルなので，

$$r \sim \text{Lognormal}(\mu, \sigma) \quad (8.3)$$

ここで， $\mu$ ： $\log r$ の平均， $\sigma$ ： $\log r$ の標準偏差

さらには，本件では $pd \ll 1$ と考えられ，このとき $r \approx pd$ なので，結局，故障確率 $pd$ の不確かさを対数正規分布でモデル化したと考えてよい。つまり，

$$pd \sim \text{Lognormal}(\mu, \sigma) \quad (8.4)$$

ここで， $\mu$ ： $\log pd$  の平均， $\sigma$ ： $\log pd$  の標準偏差

従って，デマンド故障確率の場合も，a)の時間故障率の場合と同様に，以下のように解釈できる。

$\mu$  の意味：

$\exp(\mu)$ ＝「 $pd$  の中間値」なので， $\mu$  の分布を考えるときは，故障確率  $pd$  の中間値がど  
ういう範囲にあるかを考えればよい。

$\sigma$  の意味：

$\exp(1.645\sigma)$ ＝「 $pd$  の  $EF$ 」＝( $pd$  の 95%点)/( $pd$  の中間値)なので， $\sigma$  の分布を考えると  
きは，故障確率  $pd$  の 95%点と中間値との広がりがどの程度かを考えればよい。

今回行った感度解析において， $\mu$ ， $\sigma$ の事前分布設定範囲に相当する故障率/故障確率の中間値の範囲及びエラーファクター $EF$ の範囲を表 8-1，表 8-2 に示す。

表 8-1  $\mu$ の事前分布設定範囲に相当する故障率/故障確率中間値の範囲

基事象		$\mu$		故障率中間値(/hr)	
電動ポンプ継続運転失敗	ベースケース	-19.0	-8.5	5.6E-09	2.0E-04
	ケース 1	-25.0	-14.5	1.4E-11	5.0E-07
	ケース 2	-15.5	-5.0	1.9E-07	6.7E-03
	ケース 3	-21.6	-5.9	4.2E-10	2.7E-03
制御ケーブル短絡	ベースケース	-25.0	-14.0	1.4E-11	8.3E-07
	ケース 1	-27.8	-16.8	8.4E-13	5.1E-08
	ケース 2	-23.0	-12.0	1.0E-10	6.1E-06
	ケース 3	-27.6	-11.0	1.0E-12	1.7E-05
		$\mu$		故障確率中間値	
非常用 DG 起動失敗	ベースケース	-12.0	-0.99	6.1E-06	3.7E-01
	ケース 1	-18.0	-6.99	1.5E-08	9.2E-04
	ケース 2	-8.0	-3.01	3.4E-04	4.9E-02
	ケース 3	-14.8	-1.81	3.7E-07	1.6E-01
逆止弁開失敗	ベースケース	-14.0	-3.0	8.3E-07	5.0E-02
	ケース 1	-16.0	-5.0	1.1E-07	6.7E-03
	ケース 2	-12.0	-1.0	6.1E-06	3.7E-01
	ケース 3	-16.8	-0.2	5.1E-08	8.2E-01

表 8-2  $\sigma$ の事前分布設定範囲に相当する EF の範囲

(全基事象共通)	$\sigma$		EF	
ベースケース	0.10	3.0	1.18	139
ケース 1	0.01	1.5	1.02	12
ケース 2	1.00	3.3	5.18	228
ケース 3	0.01	3.3	1.02	228

### 8.3 ハイパー事前分布 ( $\sigma$ ) の感度解析について

国内一般機器故障率を推定する際の入力の一つであるハイパー事前分布の $\sigma$ の設定について感度解析を実施した。評価対象は、解析手法を開発する際に抽出した 4 つの代表的な故障モードとした。

#### 8.3.1 ハイパー事前分布設定

国内一般機器故障率の推定では、母集団変動分布に対数正規分布又はロジスティック正規分布を用いており、これらのパラメータは $\sigma$ 及び $\mu$ であり、これらの事前分布として、一様分布を適用した。

$$(\sigma \text{ または } \mu) \sim Unif(a, b) = \frac{1}{b-a} \quad \left( \text{平均値} = \frac{b+a}{2}, \text{分散} = \frac{(b-a)^2}{12} \right) \quad (8.5)$$

ベースケースにでは $\sigma$ に対する事前分布(ハイパー事前分布)には $Unif(0.1, 3)$ を適用したが、本設定の感度を確認するため、表 8-3 に示す分布を用いて感度解析を実施した。

表 8-3 感度解析のハイパー事前分布設定 ( $\sigma$ )

	分布	平均値	分散	EF 換算	備考
ベース ケース	$Unif(0.1, 3)$	1.6	0.70	1.2~139	
ケース 1	$Unif(0.01, 1.5)$	0.76	0.19	1.02~12	範囲を減少方向に シフト
ケース 2	$Unif(1, 3.3)$	2.2	0.44	5~228	範囲を増加方向 にシフト
ケース 3	$Unif(0.01, 3.3)$	1.7	0.90	1.02~228	範囲の拡張

#### 8.3.2 解析条件

解析モデルはベースケースと同様とし WinBUGS<sup>[6]</sup>を用いて評価する。バーンイン回数及びモンテカルロ繰り返し回数についてもベースケースと同様とした。(本章の計算に用いたデータは 21 ヶ年データである)

#### 8.3.3 解析結果

ベースケースと感度解析の比較結果を表 8-4、表 8-5 及び表 8-6 に示す(感度解析結果の見方について附録 C を参照)。

表 8-4(1) 電動ポンプ継続運転失敗 ベースケース及びケース 1 比較 (時間故障率)

ユニット	観測件数 [件]	延べ運転時間 [h]	古典統計				ベイズ統計 ベースケース					ベイズ統計 ケース1						
			点推定値 <sup>*1</sup> [1/h]	下限値 <sup>*5</sup> [1/h]	上限値 <sup>*5</sup> [1/h]	EF <sup>*2</sup>	故障件数 推定値 <sup>*4</sup> [件]	平均値 [1/h]	5%値 [1/h]	95%値 [1/h]	EF <sup>*2</sup>	故障件数 推定値 <sup>*4</sup> [件]	平均値 [1/h]	5%値 [1/h]	95%値 [1/h]	EF <sup>*2</sup>	平均値比 <sup>*3</sup>	EF比 <sup>*3</sup>
一般故障率	26	86,663,069	3.0E-07	2.1E-07	4.2E-07	1.4	66.5	8.9E-07	3.0E-08	2.8E-06	9.6	65.8	8.1E-07	4.0E-08	2.5E-06	7.8	91%	82%
Plant 01	1	1,710,086	5.8E-07	3.0E-08	2.8E-06	9.6	2.0	9.6E-07	1.3E-07	2.7E-06	4.5	1.9	9.2E-07	1.1E-07	2.5E-06	4.8	95%	105%
Plant 02	3	1,831,102	1.6E-06	4.5E-07	4.2E-06	3.1	5.4	2.3E-06	5.4E-07	5.9E-06	3.3	5.1	2.1E-06	4.2E-07	5.1E-06	3.5	89%	106%
Plant 03	0	1,758,330	2.8E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.4E-08	1.4E-06	7.5	0.6	5.0E-07	3.3E-08	1.4E-06	6.5	109%	86%
Plant 04	3	1,959,216	1.5E-06	4.2E-07	4.0E-06	3.1	5.5	2.2E-06	5.3E-07	5.6E-06	3.2	5.1	2.0E-06	4.1E-07	4.7E-06	3.4	88%	104%
Plant 05	0	1,930,446	2.6E-07	-	1.2E-06	13.0	0.5	4.4E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.6	0.6	4.8E-07	3.2E-08	1.3E-06	6.4	109%	84%
Plant 06	1	1,950,872	5.1E-07	2.6E-08	2.4E-06	9.6	2.1	8.9E-07	1.2E-07	2.5E-06	4.5	2.0	8.7E-07	1.1E-07	2.3E-06	4.6	97%	103%
Plant 07	3	2,170,215	1.4E-06	3.8E-07	3.6E-06	3.1	5.6	2.1E-06	5.1E-07	5.2E-06	3.2	5.3	1.9E-06	3.9E-07	4.5E-06	3.4	89%	106%
Plant 08	1	2,137,584	4.7E-07	2.4E-08	2.2E-06	9.6	2.1	8.6E-07	1.2E-07	2.3E-06	4.4	2.1	8.3E-07	1.0E-07	2.2E-06	4.6	97%	103%
Plant 09	1	1,757,776	5.7E-07	2.9E-08	2.7E-06	9.6	2.0	9.5E-07	1.3E-07	2.6E-06	4.5	1.9	9.0E-07	1.1E-07	2.4E-06	4.7	95%	103%
Plant 10	0	1,801,792	2.8E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.3E-08	1.3E-06	7.6	0.6	5.0E-07	3.3E-08	1.4E-06	6.5	111%	86%
Plant 11	0	1,968,928	2.5E-07	-	1.2E-06	13.0	0.6	4.4E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.8	0.6	4.9E-07	3.4E-08	1.4E-06	6.3	112%	81%
Plant 12	0	1,269,940	3.9E-07	-	1.8E-06	13.0	0.4	4.9E-07	2.3E-08	1.5E-06	8.0	0.4	5.4E-07	3.5E-08	1.5E-06	6.6	109%	82%
Plant 13	0	968,142	5.2E-07	-	2.4E-06	13.0	0.3	5.3E-07	2.4E-08	1.6E-06	8.1	0.3	5.7E-07	3.6E-08	1.6E-06	6.7	107%	82%
Plant 14	0	868,784	5.8E-07	-	2.7E-06	13.0	0.3	5.4E-07	2.5E-08	1.7E-06	8.2	0.3	5.8E-07	3.6E-08	1.7E-06	6.8	107%	83%
Plant 15	0	1,375,752	3.6E-07	-	1.7E-06	13.0	0.4	4.8E-07	2.3E-08	1.5E-06	7.9	0.5	5.2E-07	3.4E-08	1.5E-06	6.6	108%	83%
Plant 16	0	1,842,320	2.7E-07	-	1.2E-06	13.0	0.5	4.4E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.7	0.6	4.9E-07	3.3E-08	1.3E-06	6.4	110%	83%
Plant 17	2	1,869,238	1.1E-06	1.9E-07	3.4E-06	4.2	3.7	1.6E-06	3.1E-07	4.1E-06	3.6	3.5	1.4E-06	2.4E-07	3.6E-06	3.8	91%	106%
Plant 18	0	1,553,524	3.2E-07	-	1.5E-06	13.0	0.5	4.7E-07	2.4E-08	1.4E-06	7.6	0.5	5.1E-07	3.4E-08	1.4E-06	6.4	110%	84%
Plant 19	0	1,129,040	4.4E-07	-	2.0E-06	13.0	0.4	5.0E-07	2.4E-08	1.6E-06	8.0	0.4	5.5E-07	3.5E-08	1.6E-06	6.7	109%	83%
Plant 20	0	1,163,536	4.3E-07	-	2.0E-06	13.0	0.4	5.0E-07	2.5E-08	1.5E-06	7.9	0.4	5.4E-07	3.5E-08	1.5E-06	6.6	107%	84%
Plant 21	0	1,796,970	2.8E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.3E-08	1.3E-06	7.5	0.6	5.0E-07	3.3E-08	1.4E-06	6.4	110%	85%
Plant 22	0	816,102	6.1E-07	-	2.8E-06	13.0	0.3	5.4E-07	2.5E-08	1.7E-06	8.1	0.3	5.8E-07	3.7E-08	1.7E-06	6.8	107%	83%
Plant 23	0	2,218,480	2.3E-07	-	1.0E-06	13.0	0.6	4.2E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.6	0.7	4.6E-07	3.2E-08	1.3E-06	6.3	109%	83%
Plant 24	0	1,518,048	3.3E-07	-	1.5E-06	13.0	0.5	4.7E-07	2.4E-08	1.4E-06	7.7	0.5	5.2E-07	3.4E-08	1.4E-06	6.6	109%	85%
Plant 25	3	1,942,080	1.5E-06	4.2E-07	4.0E-06	3.1	5.6	2.3E-06	5.4E-07	5.7E-06	3.3	5.2	2.0E-06	4.1E-07	4.8E-06	3.4	87%	104%
Plant 26	3	1,966,425	1.5E-06	4.2E-07	3.9E-06	3.1	5.5	2.2E-06	5.3E-07	5.6E-06	3.2	5.1	1.9E-06	4.1E-07	4.7E-06	3.4	87%	105%
Plant 27	0	1,794,367	2.8E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.8	0.6	4.9E-07	3.2E-08	1.4E-06	6.5	109%	83%
Plant 28	0	1,531,802	3.3E-07	-	1.5E-06	13.0	0.4	4.6E-07	2.3E-08	1.4E-06	7.7	0.5	5.1E-07	3.4E-08	1.4E-06	6.4	111%	83%
Plant 29	0	1,961,328	2.5E-07	-	1.2E-06	13.0	0.6	4.4E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.7	0.6	4.8E-07	3.2E-08	1.3E-06	6.4	110%	84%
Plant 30	0	2,154,870	2.3E-07	-	1.1E-06	13.0	0.6	4.3E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.6	0.6	4.7E-07	3.3E-08	1.3E-06	6.2	111%	82%
Plant 31	2	2,629,386	7.6E-07	1.4E-07	2.4E-06	4.2	4.0	1.2E-06	2.7E-07	3.2E-06	3.5	3.8	1.2E-06	2.1E-07	2.9E-06	3.7	94%	106%
Plant 32	1	2,198,368	4.5E-07	2.3E-08	2.2E-06	9.6	2.1	8.4E-07	1.2E-07	2.3E-06	4.4	2.1	8.3E-07	1.0E-07	2.1E-06	4.6	98%	105%
Plant 33	1	2,084,288	4.8E-07	2.5E-08	2.3E-06	9.6	2.1	8.6E-07	1.2E-07	2.4E-06	4.4	2.1	8.4E-07	1.0E-07	2.2E-06	4.6	97%	104%
Plant 34	0	1,782,534	2.8E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.3E-08	1.3E-06	7.6	0.6	5.0E-07	3.4E-08	1.4E-06	6.4	111%	84%
Plant 35	0	1,748,188	2.9E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.3E-08	1.4E-06	7.7	0.6	5.0E-07	3.3E-08	1.4E-06	6.5	111%	85%
Plant 36	0	1,893,165	2.6E-07	-	1.2E-06	13.0	0.5	4.4E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.6	0.6	4.9E-07	3.3E-08	1.3E-06	6.4	112%	84%
Plant 37	0	1,762,657	2.8E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.2E-08	1.4E-06	7.8	0.6	5.0E-07	3.4E-08	1.4E-06	6.3	110%	82%
Plant 38	1	1,232,868	8.1E-07	4.2E-08	3.8E-06	9.6	1.8	1.1E-06	1.4E-07	3.2E-06	4.8	1.8	1.0E-06	1.2E-07	2.9E-06	4.9	94%	103%
Plant 39	0	1,082,788	4.6E-07	-	2.1E-06	13.0	0.3	5.1E-07	2.5E-08	1.6E-06	8.0	0.4	5.5E-07	3.5E-08	1.6E-06	6.6	108%	83%
Plant 40	0	2,296,020	2.2E-07	-	1.0E-06	13.0	0.6	4.2E-07	2.2E-08	1.2E-06	7.5	0.7	4.7E-07	3.2E-08	1.3E-06	6.3	112%	84%
Plant 41	0	2,569,380	1.9E-07	-	9.0E-07	13.0	0.7	4.0E-07	2.1E-08	1.2E-06	7.5	0.8	4.5E-07	3.2E-08	1.2E-06	6.2	113%	83%
Plant 42	0	1,014,045	4.9E-07	-	2.3E-06	13.0	0.3	5.2E-07	2.6E-08	1.6E-06	7.9	0.4	5.6E-07	3.5E-08	1.6E-06	6.7	108%	85%
Plant 43	0	651,150	7.7E-07	-	3.5E-06	13.0	0.2	5.8E-07	2.6E-08	1.8E-06	8.3	0.2	6.1E-07	3.7E-08	1.8E-06	6.9	104%	83%
Plant 44	0	2,340,934	2.1E-07	-	9.8E-07	13.0	0.6	4.1E-07	2.1E-08	1.2E-06	7.6	0.7	4.6E-07	3.2E-08	1.3E-06	6.3	112%	84%
Plant 45	0	2,182,970	2.3E-07	-	1.1E-06	13.0	0.6	4.2E-07	2.1E-08	1.2E-06	7.7	0.6	4.6E-07	3.3E-08	1.3E-06	6.3	111%	81%
Plant 46	0	2,574,429	1.9E-07	-	8.9E-07	13.0	0.7	4.0E-07	2.1E-08	1.2E-06	7.5	0.7	4.5E-07	3.2E-08	1.2E-06	6.1	111%	82%
Plant 47	0	2,638,825	1.9E-07	-	8.7E-07	13.0	0.7	4.0E-07	2.1E-08	1.2E-06	7.5	0.8	4.5E-07	3.1E-08	1.2E-06	6.2	112%	83%
Plant 48	0	1,011,472	4.9E-07	-	2.3E-06	13.0	0.3	5.1E-07	2.5E-08	1.6E-06	8.0	0.4	5.6E-07	3.5E-08	1.6E-06	6.8	109%	85%
Plant 49	0	2,252,507	2.2E-07	-	1.0E-06	13.0	0.6	4.2E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.6	0.7	4.7E-07	3.2E-08	1.3E-06	6.3	110%	84%

\*1: ゼロ件故障には工学的判断により0.5件を仮定

\*2: EF<sup>2</sup>=95%値/5%値 ただし、古典統計におけるゼロ件故障事象に対してはEF=13とした。

\*3: 感度解析/ベースケース

\*4: 平均値

\*5: 90%信頼区間

表 8-4(2) 制御ケーブル短絡 ベースケース及びケース 1 比較（時間故障率）

ユニット	観測件数 [件]	延べ運転時間 [h]	古典統計				ベイズ統計 ベースケース					ベイズ統計 ケース1						
			点推定値 <sup>*1</sup> [1/h]	下限値 <sup>*5</sup> [1/h]	上限値 <sup>*5</sup> [1/h]	EF <sup>*2</sup>	故障件数 推定値 <sup>*4</sup> [件]	平均値 [1/h]	5%値 [1/h]	95%値 [1/h]	EF <sup>*2</sup>	故障件数 推定値 <sup>*4</sup> [件]	平均値 [1/h]	5%値 [1/h]	95%値 [1/h]	EF <sup>*2</sup>	平均値比 <sup>*3</sup>	EF比 <sup>*3</sup>
一般故障率	0	14,822,911.173	3.4E-11	-	1.6E-10	13.0	0.92	1.3E-10	3.8E-12	3.9E-10	10.2	0.79	9.3E-11	7.5E-12	3.2E-10	6.6	70%	64%
Plant 01	0	347,391,756	1.4E-09	-	6.6E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	9.9	0.02	8.8E-11	7.5E-12	3.2E-10	6.5	85%	65%
Plant 02	0	294,415,043	1.7E-09	-	7.8E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.4E-12	3.6E-10	10.3	0.02	8.8E-11	7.4E-12	3.2E-10	6.5	84%	64%
Plant 03	0	282,714,345	1.8E-09	-	8.1E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.7E-12	3.6E-10	9.9	0.01	8.8E-11	7.5E-12	3.2E-10	6.5	84%	65%
Plant 04	0	315,013,944	1.6E-09	-	7.3E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.7E-12	3.6E-10	10.0	0.02	9.0E-11	7.4E-12	3.2E-10	6.5	90%	66%
Plant 05	0	310,388,139	1.6E-09	-	7.4E-09	13.0	0.02	9.9E-11	3.5E-12	3.6E-10	10.2	0.02	8.9E-11	7.5E-12	3.2E-10	6.5	90%	64%
Plant 06	0	383,903,740	1.3E-09	-	6.0E-09	13.0	0.02	9.5E-11	3.3E-12	3.4E-10	10.1	0.02	8.7E-11	7.4E-12	3.1E-10	6.5	92%	64%
Plant 07	0	398,596,155	1.3E-09	-	5.8E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.7E-12	3.5E-10	9.8	0.02	8.8E-11	7.6E-12	3.2E-10	6.5	88%	66%
Plant 08	0	368,065,245	1.4E-09	-	6.3E-09	13.0	0.02	9.9E-11	3.7E-12	3.6E-10	9.8	0.02	8.8E-11	7.6E-12	3.1E-10	6.4	89%	65%
Plant 09	0	302,667,055	1.7E-09	-	7.6E-09	13.0	0.02	9.9E-11	3.6E-12	3.5E-10	9.8	0.02	9.1E-11	7.5E-12	3.2E-10	6.6	91%	67%
Plant 10	0	310,246,060	1.6E-09	-	7.4E-09	13.0	0.02	9.8E-11	3.5E-12	3.4E-10	9.8	0.02	8.9E-11	7.7E-12	3.2E-10	6.4	91%	65%
Plant 11	0	339,024,790	1.5E-09	-	6.8E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.7E-12	3.7E-10	10.0	0.02	8.8E-11	7.4E-12	3.2E-10	6.5	84%	66%
Plant 12	0	249,906,050	2.0E-09	-	9.2E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.1	0.01	9.1E-11	7.5E-12	3.2E-10	6.5	87%	65%
Plant 13	0	190,516,515	2.6E-09	-	1.2E-08	13.0	0.01	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.0	0.01	9.0E-11	7.6E-12	3.2E-10	6.5	88%	65%
Plant 14	0	170,964,280	2.9E-09	-	1.3E-08	13.0	0.01	1.0E-10	3.8E-12	3.6E-10	9.8	0.01	9.2E-11	7.5E-12	3.2E-10	6.5	87%	67%
Plant 15	0	270,728,340	1.8E-09	-	8.5E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.7E-12	3.7E-10	10.0	0.01	8.8E-11	7.4E-12	3.1E-10	6.5	83%	65%
Plant 16	0	259,191,395	1.9E-09	-	8.9E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.7E-12	3.7E-10	10.0	0.01	8.8E-11	7.6E-12	3.1E-10	6.4	84%	64%
Plant 17	0	300,546,767	1.7E-09	-	7.7E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.7E-12	3.6E-10	9.9	0.02	8.7E-11	7.6E-12	3.1E-10	6.4	83%	64%
Plant 18	0	305,711,330	1.6E-09	-	7.5E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.6E-12	3.7E-10	10.1	0.02	9.0E-11	7.6E-12	3.2E-10	6.5	86%	65%
Plant 19	0	194,406,575	2.6E-09	-	1.2E-08	13.0	0.01	1.0E-10	3.5E-12	3.6E-10	10.1	0.01	8.9E-11	7.5E-12	3.2E-10	6.5	87%	64%
Plant 20	0	200,346,355	2.5E-09	-	1.1E-08	13.0	0.01	1.1E-10	3.7E-12	3.6E-10	9.8	0.01	8.9E-11	7.3E-12	3.1E-10	6.5	84%	66%
Plant 21	0	288,927,105	1.7E-09	-	8.0E-09	13.0	0.02	9.8E-11	3.5E-12	3.5E-10	9.9	0.01	8.8E-11	7.5E-12	3.2E-10	6.5	90%	66%
Plant 22	0	160,597,215	3.1E-09	-	1.4E-08	13.0	0.01	1.0E-10	3.8E-12	3.6E-10	9.8	0.01	8.9E-11	7.5E-12	3.2E-10	6.5	86%	66%
Plant 23	0	394,334,820	1.3E-09	-	5.8E-09	13.0	0.02	9.9E-11	3.6E-12	3.5E-10	10.0	0.02	8.8E-11	7.7E-12	3.2E-10	6.4	90%	64%
Plant 24	0	298,730,160	1.7E-09	-	7.7E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.0	0.02	8.6E-11	7.5E-12	3.1E-10	6.4	82%	64%
Plant 25	0	382,173,600	1.3E-09	-	6.0E-09	13.0	0.02	9.4E-11	3.6E-12	3.4E-10	9.7	0.02	8.9E-11	7.5E-12	3.1E-10	6.4	95%	67%
Plant 26	0	372,834,180	1.3E-09	-	6.2E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.7E-12	3.7E-10	10.0	0.02	8.8E-11	7.5E-12	3.1E-10	6.5	85%	65%
Plant 27	0	247,305,993	2.0E-09	-	9.3E-09	13.0	0.01	9.6E-11	3.6E-12	3.4E-10	9.8	0.01	9.0E-11	7.5E-12	3.2E-10	6.5	93%	67%
Plant 28	0	211,118,358	2.4E-09	-	1.1E-08	13.0	0.01	1.1E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.1	0.01	8.9E-11	7.6E-12	3.2E-10	6.5	84%	64%
Plant 29	0	287,211,969	1.7E-09	-	8.0E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.5E-10	9.9	0.02	8.8E-11	7.6E-12	3.1E-10	6.4	85%	65%
Plant 30	0	280,492,245	1.8E-09	-	8.2E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.1	0.02	8.9E-11	7.6E-12	3.2E-10	6.4	85%	64%
Plant 31	0	392,654,976	1.3E-09	-	5.9E-09	13.0	0.02	9.8E-11	3.6E-12	3.5E-10	9.9	0.02	8.7E-11	7.4E-12	3.1E-10	6.5	88%	65%
Plant 32	0	369,325,824	1.4E-09	-	6.2E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.0	0.02	8.7E-11	7.5E-12	3.1E-10	6.5	86%	65%
Plant 33	0	350,160,384	1.4E-09	-	6.6E-09	13.0	0.02	9.9E-11	3.6E-12	3.5E-10	9.9	0.02	8.8E-11	7.5E-12	3.1E-10	6.5	89%	65%
Plant 34	0	368,573,184	1.4E-09	-	6.2E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	9.9	0.02	8.8E-11	7.4E-12	3.1E-10	6.5	88%	65%
Plant 35	0	361,471,488	1.4E-09	-	6.4E-09	13.0	0.02	9.8E-11	3.6E-12	3.5E-10	9.8	0.02	8.8E-11	7.4E-12	3.1E-10	6.5	89%	66%
Plant 36	0	380,904,798	1.3E-09	-	6.0E-09	13.0	0.03	1.1E-10	3.7E-12	3.5E-10	9.9	0.02	8.7E-11	7.4E-12	3.2E-10	6.5	81%	66%
Plant 37	0	409,207,602	1.2E-09	-	5.6E-09	13.0	0.02	9.8E-11	3.6E-12	3.5E-10	9.8	0.02	8.7E-11	7.6E-12	3.1E-10	6.4	89%	65%
Plant 38	0	265,771,116	1.9E-09	-	8.7E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.5E-12	3.5E-10	10.0	0.01	9.0E-11	7.6E-12	3.2E-10	6.5	89%	65%
Plant 39	0	233,418,156	2.1E-09	-	9.9E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.6E-12	3.8E-10	10.2	0.01	8.9E-11	7.6E-12	3.2E-10	6.5	82%	64%
Plant 40	0	316,445,580	1.6E-09	-	7.3E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.7E-10	10.1	0.02	8.9E-11	7.6E-12	3.2E-10	6.5	86%	64%
Plant 41	0	354,121,020	1.4E-09	-	6.5E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.5E-10	9.9	0.02	9.1E-11	7.7E-12	3.2E-10	6.4	87%	65%
Plant 42	0	204,025,854	2.5E-09	-	1.1E-08	13.0	0.01	1.1E-10	3.8E-12	3.8E-10	10.0	0.01	8.9E-11	7.7E-12	3.2E-10	6.4	77%	65%
Plant 43	0	131,011,380	3.8E-09	-	1.8E-08	13.0	0.01	1.2E-10	3.6E-12	3.8E-10	10.2	0.01	9.0E-11	7.4E-12	3.2E-10	6.5	74%	64%
Plant 44	0	370,142,976	1.4E-09	-	6.2E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.4E-12	3.6E-10	10.3	0.02	8.7E-11	7.4E-12	3.1E-10	6.5	82%	63%
Plant 45	0	345,166,080	1.4E-09	-	6.7E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.5E-10	9.9	0.02	8.8E-11	7.6E-12	3.1E-10	6.4	87%	65%
Plant 46	0	354,816,891	1.4E-09	-	6.5E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.7E-12	3.6E-10	9.9	0.02	8.8E-11	7.5E-12	3.1E-10	6.5	85%	66%
Plant 47	0	363,692,175	1.4E-09	-	6.3E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.6E-12	3.8E-10	10.1	0.02	8.8E-11	7.5E-12	3.1E-10	6.5	84%	64%
Plant 48	0	169,927,296	2.9E-09	-	1.4E-08	13.0	0.01	1.1E-10	3.7E-12	3.7E-10	10.0	0.01	8.7E-11	7.5E-12	3.1E-10	6.5	81%	64%
Plant 49	0	357,792,954	1.4E-09	-	6.4E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.0	0.02	8.8E-11	7.5E-12	3.1E-10	6.5	87%	64%

\*1: ゼロ件故障には0.5件を仮定

\*2: EF=95%値/5%値 ただし、古典統計におけるゼロ件故障事象に対してはEF=13とした。

\*3: 感度解析/ベースケース

\*4: 平均値

\*5: 90%信頼区間

表 8-4(3) 非常用 DG 起動失敗 ベースケース及びケース 1 比較 (デマンド故障確率)

ユニット	観測件数 [件]	総デマンド回数	古典統計				ベイズ統計 ベースケース					ベイズ統計 ケース1						
			点推定値 <sup>*1</sup> [1/d]	下限値 <sup>*5</sup> [1/d]	上限値 <sup>*5</sup> [1/d]	EF <sup>*2</sup>	故障件数 推定値 <sup>*4</sup> [件]	平均値 [1/d]	5%値 [1/d]	95%値 [1/d]	EF <sup>*2</sup>	故障件数 推定値 <sup>*4</sup> [件]	平均値 [1/d]	5%値 [1/d]	95%値 [1/d]	EF <sup>*2</sup>	平均値比 <sup>*3</sup>	EF比 <sup>*3</sup>
一般故障率	19	42,332	4.5E-04	2.9E-04	6.6E-04	1.5	48.9	1.5E-03	6.3E-05	4.3E-03	8.3	48.7	1.3E-03	1.2E-04	3.6E-03	5.4	87%	65%
Plant 01	0	595	8.4E-04	-	3.9E-03	13.0	0.3	9.0E-04	5.1E-05	2.6E-03	7.1	0.4	9.7E-04	1.1E-04	2.5E-03	4.8	108%	67%
Plant 02	0	628	8.0E-04	-	3.7E-03	13.0	0.3	8.8E-04	4.9E-05	2.5E-03	7.2	0.4	9.6E-04	1.1E-04	2.5E-03	4.8	109%	67%
Plant 03	0	601	8.3E-04	-	3.8E-03	13.0	0.3	9.0E-04	5.0E-05	2.6E-03	7.2	0.4	9.7E-04	1.1E-04	2.5E-03	4.8	107%	66%
Plant 04	0	672	7.4E-04	-	3.4E-03	13.0	0.4	8.7E-04	4.9E-05	2.5E-03	7.1	0.4	9.5E-04	1.1E-04	2.5E-03	4.8	109%	67%
Plant 05	0	663	7.5E-04	-	3.5E-03	13.0	0.4	8.8E-04	5.1E-05	2.5E-03	7.0	0.4	9.5E-04	1.1E-04	2.5E-03	4.7	108%	68%
Plant 06	0	723	6.9E-04	-	3.2E-03	13.0	0.4	8.5E-04	4.8E-05	2.4E-03	7.1	0.4	9.4E-04	1.1E-04	2.4E-03	4.8	110%	67%
Plant 07	2	755	2.6E-03	4.7E-04	8.3E-03	4.2	3.3	3.0E-03	6.0E-04	8.5E-03	3.8	3.1	2.6E-03	6.0E-04	7.0E-03	3.4	86%	91%
Plant 08	1	695	1.4E-03	7.4E-05	6.8E-03	9.6	1.7	1.8E-03	2.7E-04	5.2E-03	4.4	1.7	1.6E-03	3.1E-04	4.4E-03	3.7	91%	85%
Plant 09	0	573	8.7E-04	-	4.0E-03	13.0	0.3	9.0E-04	5.1E-05	2.6E-03	7.1	0.3	9.7E-04	1.1E-04	2.6E-03	4.8	108%	68%
Plant 10	0	584	8.6E-04	-	3.9E-03	13.0	0.3	9.0E-04	5.0E-05	2.6E-03	7.2	0.4	9.8E-04	1.1E-04	2.6E-03	4.8	108%	66%
Plant 11	2	638	3.1E-03	5.6E-04	9.9E-03	4.2	3.2	3.4E-03	6.3E-04	9.7E-03	3.9	3.0	2.8E-03	6.3E-04	7.6E-03	3.5	82%	88%
Plant 12	0	474	1.1E-03	-	4.9E-03	13.0	0.3	9.3E-04	5.1E-05	2.7E-03	7.3	0.3	1.0E-03	1.1E-04	2.7E-03	4.9	107%	67%
Plant 13	0	359	1.4E-03	-	6.4E-03	13.0	0.2	9.9E-04	5.4E-05	2.9E-03	7.3	0.2	1.0E-03	1.2E-04	2.8E-03	4.9	105%	67%
Plant 14	0	324	1.5E-03	-	7.1E-03	13.0	0.2	1.0E-03	5.4E-05	3.0E-03	7.4	0.2	1.1E-03	1.2E-04	2.9E-03	5.0	105%	67%
Plant 15	1	508	2.0E-03	1.0E-04	9.3E-03	9.6	1.6	2.1E-03	2.9E-04	6.3E-03	4.7	1.5	1.8E-03	3.4E-04	5.1E-03	3.9	87%	84%
Plant 16	0	419	1.2E-03	-	5.5E-03	13.0	0.3	9.7E-04	5.1E-05	2.8E-03	7.5	0.3	1.0E-03	1.1E-04	2.7E-03	4.9	106%	66%
Plant 17	1	477	2.1E-03	1.1E-04	9.9E-03	9.6	1.6	2.1E-03	2.9E-04	6.5E-03	4.7	1.5	1.9E-03	3.3E-04	5.3E-03	4.0	87%	84%
Plant 18	0	554	9.0E-04	-	4.2E-03	13.0	0.3	9.1E-04	5.1E-05	2.6E-03	7.2	0.3	9.8E-04	1.1E-04	2.6E-03	4.8	107%	67%
Plant 19	0	346	1.4E-03	-	6.7E-03	13.0	0.2	9.9E-04	5.4E-05	2.9E-03	7.4	0.2	1.0E-03	1.2E-04	2.8E-03	4.9	106%	67%
Plant 20	1	414	2.4E-03	1.2E-04	1.1E-02	9.6	1.6	2.3E-03	3.1E-04	7.0E-03	4.8	1.5	1.9E-03	3.4E-04	5.6E-03	4.0	86%	85%
Plant 21	0	456	1.1E-03	-	5.0E-03	13.0	0.3	9.5E-04	5.3E-05	2.8E-03	7.3	0.3	1.0E-03	1.1E-04	2.7E-03	4.9	106%	67%
Plant 22	0	280	1.8E-03	-	8.2E-03	13.0	0.2	1.0E-03	5.5E-05	3.1E-03	7.5	0.2	1.1E-03	1.2E-04	2.9E-03	5.0	104%	67%
Plant 23	0	542	9.2E-04	-	4.3E-03	13.0	0.3	9.2E-04	5.1E-05	2.6E-03	7.2	0.3	9.8E-04	1.1E-04	2.6E-03	4.8	107%	67%
Plant 24	0	354	1.4E-03	-	6.5E-03	13.0	0.2	1.0E-03	5.5E-05	3.0E-03	7.4	0.2	1.0E-03	1.1E-04	2.8E-03	5.0	104%	67%
Plant 25	0	697	7.2E-04	-	3.3E-03	13.0	0.4	8.6E-04	4.9E-05	2.5E-03	7.1	0.4	9.4E-04	1.1E-04	2.4E-03	4.7	109%	67%
Plant 26	2	513	3.9E-03	6.9E-04	1.2E-02	4.2	3.1	3.8E-03	6.7E-04	1.1E-02	4.1	2.9	3.1E-03	6.5E-04	8.8E-03	3.7	81%	90%
Plant 27	0	298	1.7E-03	-	7.7E-03	13.0	0.2	1.0E-03	5.6E-05	3.1E-03	7.4	0.2	1.1E-03	1.2E-04	2.9E-03	5.0	104%	67%
Plant 28	0	258	1.9E-03	-	8.9E-03	13.0	0.2	1.1E-03	5.5E-05	3.2E-03	7.6	0.2	1.1E-03	1.2E-04	3.0E-03	5.0	103%	66%
Plant 29	0	1,015	4.9E-04	-	2.3E-03	13.0	0.5	7.9E-04	4.7E-05	2.2E-03	6.9	0.6	8.8E-04	1.0E-04	2.2E-03	4.6	110%	67%
Plant 30	0	1,178	4.2E-04	-	2.0E-03	13.0	0.6	7.7E-04	4.5E-05	2.1E-03	6.9	0.6	8.5E-04	1.0E-04	2.1E-03	4.6	110%	66%
Plant 31	0	1,429	3.5E-04	-	1.6E-03	13.0	0.7	7.2E-04	4.3E-05	2.0E-03	6.8	0.7	8.1E-04	9.7E-05	2.0E-03	4.6	113%	67%
Plant 32	0	1,358	3.7E-04	-	1.7E-03	13.0	0.6	7.4E-04	4.5E-05	2.0E-03	6.7	0.7	8.3E-04	9.8E-05	2.1E-03	4.6	113%	68%
Plant 33	0	1,300	3.8E-04	-	1.8E-03	13.0	0.6	7.5E-04	4.4E-05	2.1E-03	6.9	0.7	8.4E-04	9.9E-05	2.1E-03	4.6	112%	67%
Plant 34	1	1,149	8.7E-04	4.5E-05	4.1E-03	9.6	2.0	1.5E-03	2.3E-04	3.9E-03	4.1	2.0	1.4E-03	2.8E-04	3.6E-03	3.6	96%	86%
Plant 35	0	1,125	4.4E-04	-	2.0E-03	13.0	0.6	7.8E-04	4.6E-05	2.2E-03	6.9	0.6	8.6E-04	1.0E-04	2.2E-03	4.6	111%	67%
Plant 36	2	1,612	1.2E-03	2.2E-04	3.9E-03	4.2	3.9	2.0E-03	4.5E-04	5.0E-03	3.3	3.7	1.8E-03	4.8E-04	4.4E-03	3.0	92%	91%
Plant 37	0	1,730	2.9E-04	-	1.3E-03	13.0	0.8	6.9E-04	4.1E-05	1.9E-03	6.8	0.9	7.9E-04	9.5E-05	1.9E-03	4.5	114%	66%
Plant 38	0	1,120	4.5E-04	-	2.1E-03	13.0	0.6	7.8E-04	4.5E-05	2.2E-03	7.0	0.6	8.6E-04	1.0E-04	2.2E-03	4.6	111%	67%
Plant 39	3	984	3.0E-03	8.3E-04	7.9E-03	3.1	5.2	3.8E-03	8.6E-04	1.0E-02	3.4	4.8	3.2E-03	8.3E-04	8.3E-03	3.2	84%	93%
Plant 40	0	1,786	2.8E-04	-	1.3E-03	13.0	0.8	6.9E-04	4.2E-05	1.9E-03	6.7	0.9	7.7E-04	9.2E-05	1.9E-03	4.5	113%	68%
Plant 41	1	1,997	5.0E-04	2.6E-05	2.4E-03	9.6	2.4	1.1E-03	1.9E-04	2.9E-03	3.9	2.4	1.1E-03	2.3E-04	2.7E-03	3.4	100%	86%
Plant 42	0	535	9.3E-04	-	4.3E-03	13.0	0.3	9.2E-04	5.1E-05	2.7E-03	7.2	0.3	9.9E-04	1.1E-04	2.6E-03	4.8	107%	67%
Plant 43	0	343	1.5E-03	-	6.7E-03	13.0	0.2	1.0E-03	5.3E-05	3.0E-03	7.5	0.2	1.0E-03	1.2E-04	2.8E-03	4.9	104%	66%
Plant 44	0	2,038	2.5E-04	-	1.1E-03	13.0	0.9	6.6E-04	4.1E-05	1.8E-03	6.7	1.0	7.6E-04	9.2E-05	1.9E-03	4.5	114%	67%
Plant 45	0	1,928	2.6E-04	-	1.2E-03	13.0	0.8	6.7E-04	4.1E-05	1.8E-03	6.7	0.9	7.6E-04	9.2E-05	1.9E-03	4.5	113%	67%
Plant 46	1	1,944	5.1E-04	2.6E-05	2.4E-03	9.6	2.4	1.1E-03	1.9E-04	2.9E-03	4.0	2.4	1.2E-03	2.4E-04	2.8E-03	3.4	101%	86%
Plant 47	0	1,998	2.5E-04	-	1.2E-03	13.0	0.9	6.6E-04	4.1E-05	1.8E-03	6.7	1.0	7.5E-04	9.3E-05	1.8E-03	4.5	113%	67%
Plant 48	0	556	9.0E-04	-	4.1E-03	13.0	0.3	9.2E-04	5.0E-05	2.7E-03	7.3	0.3	9.7E-04	1.1E-04	2.5E-03	4.8	106%	66%
Plant 49	1	806	1.2E-03	6.4E-05	5.9E-03	9.6	1.8	1.7E-03	2.6E-04	4.9E-03	4.3	1.7	1.6E-03	3.0E-04	4.1E-03	3.7	92%	85%

\*1: ゼロ件故障には0.5件を仮定

\*2: EF<sup>2</sup>=95%値/5%値 ただし、古典統計におけるゼロ件故障事象に対してはEF=13とした。

\*3: 感度解析/ベースケース

\*4: 平均値

\*5: 90%信頼区間

表 8-4(4) 逆止弁開失敗 ベースケース及びケース1 比較 (デマンド故障確率)

ユニット	観測件数 [件]	総デマンド回数	古典統計				ベイズ統計 ベースケース					EF <sup>2</sup>	ベイズ統計 ケース1					EF <sup>2</sup>	平均値比 <sup>3</sup>	EF比 <sup>3</sup>
			点推定値 <sup>1</sup> [1/d]	下限値 <sup>5</sup> [1/d]	上限値 <sup>5</sup> [1/d]	EF <sup>2</sup>	故障件数 推定値 <sup>1</sup> [件]	平均値 [1/d]	5%値 [1/d]	95%値 [1/d]	故障件数 推定値 <sup>1</sup> [件]		平均値 [1/d]	5%値 [1/d]	95%値 [1/d]					
一般故障率	0	259.336	1.9E-06	-	8.9E-06	13.0	1.01	9.4E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.3		0.79	5.2E-06	4.6E-07	1.8E-05	6.2	56%	60%	
Plant 01	0	5.153	9.7E-05	-	4.5E-04	13.0	0.02	6.4E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.2		0.02	5.1E-06	4.6E-07	1.7E-05	6.1	80%	60%	
Plant 02	0	7.310	6.8E-05	-	3.1E-04	13.0	0.03	6.1E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.0		0.02	5.1E-06	4.6E-07	1.7E-05	6.1	83%	61%	
Plant 03	0	7.002	7.1E-05	-	3.3E-04	13.0	0.03	6.3E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.0		0.02	5.1E-06	4.6E-07	1.7E-05	6.1	80%	61%	
Plant 04	0	7.819	6.4E-05	-	2.9E-04	13.0	0.03	6.3E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.1		0.02	5.1E-06	4.5E-07	1.7E-05	6.2	81%	61%	
Plant 05	0	7.714	6.5E-05	-	3.0E-04	13.0	0.03	6.3E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.1		0.02	5.0E-06	4.6E-07	1.7E-05	6.1	80%	60%	
Plant 06	0	9.043	5.5E-05	-	2.5E-04	13.0	0.04	6.2E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.0		0.03	5.1E-06	4.6E-07	1.7E-05	6.1	81%	61%	
Plant 07	0	9.429	5.3E-05	-	2.4E-04	13.0	0.04	6.1E-06	2.2E-07	2.1E-05	9.9		0.03	5.1E-06	4.5E-07	1.7E-05	6.1	84%	62%	
Plant 08	0	8.686	5.8E-05	-	2.7E-04	13.0	0.03	6.1E-06	2.1E-07	2.1E-05	10.1		0.03	5.0E-06	4.6E-07	1.7E-05	6.1	82%	61%	
Plant 09	0	7.156	7.0E-05	-	3.2E-04	13.0	0.03	6.1E-06	2.1E-07	2.1E-05	10.1		0.02	5.1E-06	4.6E-07	1.7E-05	6.1	82%	61%	
Plant 10	0	7.300	6.8E-05	-	3.2E-04	13.0	0.03	6.2E-06	2.1E-07	2.1E-05	10.0		0.02	5.1E-06	4.6E-07	1.7E-05	6.1	83%	62%	
Plant 11	0	7.976	6.3E-05	-	2.9E-04	13.0	0.03	6.1E-06	2.1E-07	2.1E-05	10.0		0.02	5.0E-06	4.5E-07	1.7E-05	6.1	83%	61%	
Plant 12	0	5.911	8.5E-05	-	3.9E-04	13.0	0.02	6.3E-06	2.2E-07	2.1E-05	9.9		0.02	5.1E-06	4.6E-07	1.7E-05	6.1	81%	61%	
Plant 13	0	4.489	1.1E-04	-	5.1E-04	13.0	0.02	6.6E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.2		0.01	5.1E-06	4.5E-07	1.8E-05	6.2	79%	61%	
Plant 14	0	4.048	1.2E-04	-	5.7E-04	13.0	0.02	6.7E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.1		0.01	5.1E-06	4.6E-07	1.7E-05	6.1	77%	60%	
Plant 15	0	6.354	7.9E-05	-	3.6E-04	13.0	0.02	6.2E-06	2.1E-07	2.1E-05	10.0		0.02	5.1E-06	4.6E-07	1.7E-05	6.1	83%	61%	
Plant 16	0	10.658	4.7E-05	-	2.2E-04	13.0	0.04	6.0E-06	2.1E-07	2.1E-05	9.9		0.03	5.0E-06	4.5E-07	1.7E-05	6.1	83%	62%	
Plant 17	0	12.219	4.1E-05	-	1.9E-04	13.0	0.04	5.9E-06	2.1E-07	2.1E-05	9.9		0.04	4.9E-06	4.5E-07	1.7E-05	6.1	84%	61%	
Plant 18	0	6.042	8.3E-05	-	3.8E-04	13.0	0.02	6.3E-06	2.2E-07	2.1E-05	9.9		0.02	5.1E-06	4.6E-07	1.7E-05	6.1	81%	62%	
Plant 19	0	3.785	1.3E-04	-	6.1E-04	13.0	0.02	6.8E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.3		0.01	5.2E-06	4.6E-07	1.7E-05	6.2	76%	60%	
Plant 20	0	3.065	1.6E-04	-	7.5E-04	13.0	0.01	6.8E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.1		0.01	5.2E-06	4.6E-07	1.7E-05	6.2	77%	61%	
Plant 21	0	7.355	6.8E-05	-	3.1E-04	13.0	0.03	6.2E-06	2.2E-07	2.1E-05	10.0		0.02	5.1E-06	4.6E-07	1.7E-05	6.1	82%	61%	
Plant 22	0	2.483	2.0E-04	-	9.3E-04	13.0	0.01	7.0E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.3		0.01	5.2E-06	4.6E-07	1.7E-05	6.2	75%	60%	
Plant 23	0	9.709	5.1E-05	-	2.4E-04	13.0	0.03	5.9E-06	2.1E-07	2.1E-05	9.9		0.03	5.0E-06	4.5E-07	1.7E-05	6.1	85%	62%	
Plant 24	0	7.953	6.3E-05	-	2.9E-04	13.0	0.03	6.1E-06	2.1E-07	2.1E-05	10.0		0.03	5.1E-06	4.6E-07	1.7E-05	6.1	83%	61%	
Plant 25	0	6.548	7.6E-05	-	3.5E-04	13.0	0.03	6.3E-06	2.2E-07	2.1E-05	10.0		0.02	5.1E-06	4.5E-07	1.7E-05	6.2	81%	62%	
Plant 26	0	3.174	1.6E-04	-	7.3E-04	13.0	0.01	6.9E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.2		0.01	5.2E-06	4.6E-07	1.8E-05	6.2	76%	61%	
Plant 27	0	1.376	3.6E-04	-	1.7E-03	13.0	0.01	7.4E-06	2.3E-07	2.3E-05	10.1		0.00	5.2E-06	4.6E-07	1.7E-05	6.2	71%	61%	
Plant 28	0	1.202	4.2E-04	-	1.9E-03	13.0	0.01	7.5E-06	2.2E-07	2.4E-05	10.3		0.00	5.3E-06	4.6E-07	1.8E-05	6.2	71%	60%	
Plant 29	0	2.964	1.7E-04	-	7.8E-04	13.0	0.01	7.0E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.3		0.01	5.2E-06	4.6E-07	1.7E-05	6.2	74%	60%	
Plant 30	0	3.122	1.6E-04	-	7.4E-04	13.0	0.01	6.9E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.2		0.01	5.2E-06	4.6E-07	1.7E-05	6.2	75%	60%	
Plant 31	0	5.432	9.2E-05	-	4.2E-04	13.0	0.02	6.3E-06	2.2E-07	2.2E-05	9.9		0.02	5.1E-06	4.6E-07	1.7E-05	6.1	82%	62%	
Plant 32	0	5.162	9.7E-05	-	4.5E-04	13.0	0.02	6.4E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.0		0.02	5.1E-06	4.6E-07	1.7E-05	6.1	79%	61%	
Plant 33	0	4.941	1.0E-04	-	4.7E-04	13.0	0.02	6.5E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.1		0.02	5.1E-06	4.6E-07	1.7E-05	6.1	79%	60%	
Plant 34	0	3.207	1.6E-04	-	7.2E-04	13.0	0.01	6.7E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.2		0.01	5.2E-06	4.6E-07	1.7E-05	6.2	77%	60%	
Plant 35	0	3.098	1.6E-04	-	7.4E-04	13.0	0.01	6.6E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.1		0.01	5.2E-06	4.6E-07	1.7E-05	6.2	79%	61%	
Plant 36	0	5.108	9.8E-05	-	4.5E-04	13.0	0.02	6.4E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.0		0.01	5.1E-06	4.5E-07	1.7E-05	6.2	80%	62%	
Plant 37	0	5.462	9.2E-05	-	4.2E-04	13.0	0.02	6.3E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.1		0.02	5.1E-06	4.6E-07	1.7E-05	6.1	81%	60%	
Plant 38	0	3.507	1.4E-04	-	6.6E-04	13.0	0.01	6.7E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.2		0.01	5.2E-06	4.6E-07	1.7E-05	6.2	77%	61%	
Plant 39	0	3.080	1.6E-04	-	7.5E-04	13.0	0.01	6.8E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.1		0.01	5.2E-06	4.6E-07	1.7E-05	6.2	77%	61%	
Plant 40	0	3.621	1.4E-04	-	6.4E-04	13.0	0.01	6.6E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.2		0.01	5.2E-06	4.6E-07	1.7E-05	6.2	78%	61%	
Plant 41	0	4.037	1.2E-04	-	5.7E-04	13.0	0.02	6.5E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.2		0.01	5.1E-06	4.6E-07	1.7E-05	6.1	79%	60%	
Plant 42	0	2.133	2.3E-04	-	1.1E-03	13.0	0.01	7.0E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.2		0.01	5.2E-06	4.6E-07	1.7E-05	6.2	74%	60%	
Plant 43	0	1.358	3.7E-04	-	1.7E-03	13.0	0.01	7.4E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.2		0.00	5.3E-06	4.6E-07	1.8E-05	6.2	71%	60%	
Plant 44	0	3.452	1.4E-04	-	6.7E-04	13.0	0.01	6.7E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.2		0.01	5.1E-06	4.6E-07	1.7E-05	6.1	77%	60%	
Plant 45	0	3.254	1.5E-04	-	7.1E-04	13.0	0.01	6.7E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.2		0.01	5.2E-06	4.6E-07	1.7E-05	6.2	78%	60%	
Plant 46	0	4.355	1.1E-04	-	5.3E-04	13.0	0.02	6.6E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.0		0.01	5.1E-06	4.6E-07	1.7E-05	6.2	78%	62%	
Plant 47	0	4.498	1.1E-04	-	5.1E-04	13.0	0.02	6.7E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.2		0.01	5.2E-06	4.6E-07	1.7E-05	6.1	78%	60%	
Plant 48	0	2.022	2.5E-04	-	1.1E-03	13.0	0.01	7.2E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.2		0.01	5.2E-06	4.5E-07	1.8E-05	6.2	73%	61%	
Plant 49	0	4.560	1.1E-04	-	5.0E-04	13.0	0.02	6.5E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.1		0.01	5.2E-06	4.5E-07	1.7E-05	6.2	79%	62%	

\*1: ゼロ件故障には0.5件を仮定

\*2: EF<sup>2</sup>=95%値/5%値 ただし、古典統計におけるゼロ件故障事象に対してはEF=13とした。

\*3: 感度解析/ベースケース

\*4: 平均値

\*5: 90%信頼区間



表 8-5(1) 電動ポンプ継続運転失敗 ベースケース及びケース 2 比較 (時間故障率)

ユニット	観測件数 [件]	延べ運転時間 [h]	古典統計				ベイズ統計 ベースケース					ベイズ統計 ケース2						
			点推定値 <sup>*1</sup> [1/h]	下限値 <sup>*5</sup> [1/h]	上限値 <sup>*5</sup> [1/h]	EF <sup>*2</sup>	故障件数 推定値 <sup>*1</sup> [件]	平均値 [1/h]	5%値 [1/h]	95%値 [1/h]	EF <sup>*2</sup>	故障件数 推定値 <sup>*1</sup> [件]	平均値 [1/h]	5%値 [1/h]	95%値 [1/h]	EF <sup>*2</sup>	平均値比 <sup>*3</sup>	EF比 <sup>*3</sup>
一般故障率	26	86,663,069	3.0E-07	2.1E-07	4.2E-07	1.4	66.5	8.9E-07	3.0E-08	2.8E-06	9.6	67.4	1.0E-06	1.9E-08	3.5E-06	13.4	118%	139%
Plant 01	1	1,710,086	5.8E-07	3.0E-08	2.8E-06	9.6	2.0	9.6E-07	1.3E-07	2.7E-06	4.5	2.1	1.0E-06	1.1E-07	3.0E-06	5.3	105%	117%
Plant 02	3	1,831,102	1.6E-06	4.5E-07	4.2E-06	3.1	5.4	2.3E-06	5.4E-07	5.9E-06	3.3	6.0	2.7E-06	6.1E-07	6.7E-06	3.3	118%	100%
Plant 03	0	1,758,330	2.8E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.4E-08	1.4E-06	7.5	0.4	3.8E-07	1.5E-08	1.3E-06	9.4	84%	125%
Plant 04	3	1,959,216	1.5E-06	4.2E-07	4.0E-06	3.1	5.5	2.2E-06	5.3E-07	5.6E-06	3.2	6.0	2.6E-06	5.8E-07	6.3E-06	3.3	116%	101%
Plant 05	0	1,930,446	2.6E-07	-	1.2E-06	13.0	0.5	4.4E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.6	0.5	3.7E-07	1.4E-08	1.3E-06	9.4	83%	123%
Plant 06	1	1,950,872	5.1E-07	2.6E-08	2.4E-06	9.6	2.1	8.9E-07	1.2E-07	2.5E-06	4.5	2.1	9.4E-07	1.0E-07	2.7E-06	5.2	105%	116%
Plant 07	3	2,170,215	1.4E-06	3.8E-07	3.6E-06	3.1	5.6	2.1E-06	5.1E-07	5.2E-06	3.2	6.1	2.4E-06	5.4E-07	5.8E-06	3.3	115%	102%
Plant 08	1	2,137,584	4.7E-07	2.4E-08	2.2E-06	9.6	2.1	8.6E-07	1.2E-07	2.3E-06	4.4	2.2	9.0E-07	9.7E-08	2.7E-06	5.2	105%	118%
Plant 09	1	1,757,776	5.7E-07	2.9E-08	2.7E-06	9.6	2.0	9.5E-07	1.3E-07	2.6E-06	4.5	2.1	9.9E-07	1.0E-07	3.0E-06	5.4	105%	118%
Plant 10	0	1,801,792	2.8E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.3E-08	1.3E-06	7.6	0.4	3.8E-07	1.5E-08	1.3E-06	9.4	85%	124%
Plant 11	0	1,968,928	2.5E-07	-	1.2E-06	13.0	0.6	4.4E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.8	0.5	3.6E-07	1.4E-08	1.3E-06	9.5	83%	122%
Plant 12	0	1,269,940	3.9E-07	-	1.8E-06	13.0	0.4	4.9E-07	2.3E-08	1.5E-06	8.0	0.3	4.3E-07	1.6E-08	1.5E-06	9.8	87%	122%
Plant 13	0	968,142	5.2E-07	-	2.4E-06	13.0	0.3	5.3E-07	2.4E-08	1.6E-06	8.1	0.3	4.7E-07	1.6E-08	1.7E-06	10.3	88%	127%
Plant 14	0	868,784	5.8E-07	-	2.7E-06	13.0	0.3	5.4E-07	2.5E-08	1.7E-06	8.2	0.3	4.9E-07	1.6E-08	1.8E-06	10.5	91%	129%
Plant 15	0	1,375,752	3.6E-07	-	1.7E-06	13.0	0.4	4.8E-07	2.3E-08	1.5E-06	7.9	0.4	4.1E-07	1.5E-08	1.4E-06	10.0	86%	126%
Plant 16	0	1,842,320	2.7E-07	-	1.2E-06	13.0	0.5	4.4E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.7	0.4	3.7E-07	1.5E-08	1.3E-06	9.2	84%	119%
Plant 17	2	1,869,238	1.1E-06	1.9E-07	3.4E-06	4.2	3.7	1.6E-06	3.1E-07	4.1E-06	3.6	4.0	1.8E-06	3.0E-07	4.7E-06	4.0	113%	110%
Plant 18	0	1,553,524	3.2E-07	-	1.5E-06	13.0	0.5	4.7E-07	2.4E-08	1.4E-06	7.6	0.4	4.0E-07	1.5E-08	1.4E-06	9.5	86%	126%
Plant 19	0	1,129,040	4.4E-07	-	2.0E-06	13.0	0.4	5.0E-07	2.4E-08	1.6E-06	8.0	0.3	4.4E-07	1.5E-08	1.6E-06	10.1	88%	125%
Plant 20	0	1,163,536	4.3E-07	-	2.0E-06	13.0	0.4	5.0E-07	2.5E-08	1.5E-06	7.9	0.3	4.4E-07	1.5E-08	1.6E-06	10.1	88%	129%
Plant 21	0	1,796,970	2.8E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.3E-08	1.3E-06	7.5	0.4	3.8E-07	1.5E-08	1.3E-06	9.3	84%	124%
Plant 22	0	816,102	6.1E-07	-	2.8E-06	13.0	0.3	5.4E-07	2.5E-08	1.7E-06	8.1	0.3	5.0E-07	1.6E-08	1.8E-06	10.6	92%	130%
Plant 23	0	2,218,480	2.3E-07	-	1.0E-06	13.0	0.6	4.2E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.6	0.5	3.5E-07	1.4E-08	1.2E-06	9.2	82%	121%
Plant 24	0	1,518,048	3.3E-07	-	1.5E-06	13.0	0.5	4.7E-07	2.4E-08	1.4E-06	7.7	0.4	4.1E-07	1.5E-08	1.5E-06	9.7	87%	126%
Plant 25	3	1,942,080	1.5E-06	4.2E-07	4.0E-06	3.1	5.6	2.3E-06	5.4E-07	5.7E-06	3.3	6.0	2.6E-06	5.8E-07	6.3E-06	3.3	115%	101%
Plant 26	3	1,966,425	1.5E-06	4.2E-07	3.9E-06	3.1	5.5	2.2E-06	5.3E-07	5.6E-06	3.2	6.1	2.6E-06	5.9E-07	6.4E-06	3.3	117%	102%
Plant 27	0	1,794,367	2.8E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.8	0.4	3.8E-07	1.5E-08	1.3E-06	9.5	85%	122%
Plant 28	0	1,531,802	3.3E-07	-	1.5E-06	13.0	0.4	4.6E-07	2.3E-08	1.4E-06	7.7	0.4	3.9E-07	1.5E-08	1.4E-06	9.6	85%	125%
Plant 29	0	1,961,328	2.5E-07	-	1.2E-06	13.0	0.6	4.4E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.7	0.4	3.6E-07	1.5E-08	1.2E-06	9.1	81%	119%
Plant 30	0	2,154,870	2.3E-07	-	1.1E-06	13.0	0.6	4.3E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.6	0.5	3.5E-07	1.4E-08	1.2E-06	9.1	82%	120%
Plant 31	2	2,629,386	7.6E-07	1.4E-07	2.4E-06	4.2	4.0	1.2E-06	2.7E-07	3.2E-06	3.5	4.2	1.4E-06	2.5E-07	3.6E-06	3.8	112%	111%
Plant 32	1	2,198,368	4.5E-07	2.3E-08	2.2E-06	9.6	2.1	8.4E-07	1.2E-07	2.3E-06	4.4	2.2	8.7E-07	9.6E-08	2.6E-06	5.2	103%	118%
Plant 33	1	2,084,288	4.8E-07	2.5E-08	2.3E-06	9.6	2.1	8.6E-07	1.2E-07	2.4E-06	4.4	2.2	8.9E-07	9.7E-08	2.6E-06	5.2	103%	118%
Plant 34	0	1,782,534	2.8E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.3E-08	1.3E-06	7.6	0.4	3.8E-07	1.5E-08	1.3E-06	9.4	84%	124%
Plant 35	0	1,748,188	2.9E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.3E-08	1.4E-06	7.7	0.4	3.8E-07	1.5E-08	1.3E-06	9.5	84%	124%
Plant 36	0	1,893,165	2.6E-07	-	1.2E-06	13.0	0.5	4.4E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.6	0.4	3.7E-07	1.4E-08	1.3E-06	9.6	84%	126%
Plant 37	0	1,762,657	2.8E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.2E-08	1.4E-06	7.8	0.4	3.8E-07	1.4E-08	1.3E-06	9.6	84%	124%
Plant 38	1	1,232,868	8.1E-07	4.2E-08	3.8E-06	9.6	1.8	1.1E-06	1.4E-07	3.2E-06	4.8	1.9	1.2E-06	1.2E-07	3.7E-06	5.6	109%	119%
Plant 39	0	1,082,788	4.6E-07	-	2.1E-06	13.0	0.3	5.1E-07	2.5E-08	1.6E-06	8.0	0.3	4.5E-07	1.5E-08	1.6E-06	10.2	89%	128%
Plant 40	0	2,296,020	2.2E-07	-	1.0E-06	13.0	0.6	4.2E-07	2.2E-08	1.2E-06	7.5	0.5	3.4E-07	1.4E-08	1.2E-06	9.2	83%	123%
Plant 41	0	2,569,380	1.9E-07	-	9.0E-07	13.0	0.7	4.0E-07	2.1E-08	1.2E-06	7.5	0.5	3.3E-07	1.3E-08	1.1E-06	9.2	82%	123%
Plant 42	0	1,014,045	4.9E-07	-	2.3E-06	13.0	0.3	5.2E-07	2.6E-08	1.6E-06	7.9	0.3	4.7E-07	1.5E-08	1.7E-06	10.4	90%	131%
Plant 43	0	651,150	7.7E-07	-	3.5E-06	13.0	0.2	5.8E-07	2.6E-08	1.8E-06	8.3	0.2	5.4E-07	1.7E-08	2.0E-06	10.8	92%	130%
Plant 44	0	2,340,934	2.1E-07	-	9.8E-07	13.0	0.6	4.1E-07	2.1E-08	1.2E-06	7.6	0.5	3.4E-07	1.4E-08	1.2E-06	9.2	83%	121%
Plant 45	0	2,182,970	2.3E-07	-	1.1E-06	13.0	0.6	4.2E-07	2.1E-08	1.2E-06	7.7	0.5	3.5E-07	1.4E-08	1.2E-06	9.3	85%	121%
Plant 46	0	2,574,429	1.9E-07	-	8.9E-07	13.0	0.7	4.0E-07	2.1E-08	1.2E-06	7.5	0.5	3.3E-07	1.4E-08	1.1E-06	8.9	82%	120%
Plant 47	0	2,638,825	1.9E-07	-	8.7E-07	13.0	0.7	4.0E-07	2.1E-08	1.2E-06	7.5	0.6	3.3E-07	1.3E-08	1.1E-06	9.0	82%	121%
Plant 48	0	1,011,472	4.9E-07	-	2.3E-06	13.0	0.3	5.1E-07	2.5E-08	1.6E-06	8.0	0.3	4.8E-07	1.6E-08	1.7E-06	10.4	93%	131%
Plant 49	0	2,252,507	2.2E-07	-	1.0E-06	13.0	0.6	4.2E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.6	0.5	3.5E-07	1.4E-08	1.2E-06	9.2	82%	121%

\*1:ゼロ件故障には工学的判断により0.5件を仮定

\*2: EF<sup>2</sup>=95%値/5%値 ただし、古典統計におけるゼロ件故障事象に対してはEF=13とした。

\*3: 感度解析/ベースケース

\*4: 平均値

\*5: 90%信頼区間

表 8-5(2) 制御ケーブル短絡 ベースケース及びケース 2 比較（時間故障率）

ユニット	観測件数 [件]	延べ運転時間 [h]	古典統計				ベイズ統計 ベースケース					ベイズ統計 ケース2						
			点推定値 <sup>*1</sup> [1/h]	下限値 <sup>*5</sup> [1/h]	上限値 <sup>*5</sup> [1/h]	EF <sup>*2</sup>	故障件数 推定値 <sup>*1</sup> [件]	平均値 [1/h]	5%値 [1/h]	95%値 [1/h]	EF <sup>*2</sup>	故障件数 推定値 <sup>*1</sup> [件]	平均値 [1/h]	5%値 [1/h]	95%値 [1/h]	EF <sup>*2</sup>	平均値比 <sup>*3</sup>	EF比 <sup>*3</sup>
一般故障率	0	14,822,911,173	3.4E-11	-	1.6E-10	13.0	0.92	1.3E-10	3.8E-12	3.9E-10	10.2	1.25	2.9E-10	1.5E-12	6.3E-10	20.1	218%	198%
Plant 01	0	347,391,756	1.4E-09	-	6.6E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	9.9	0.03	1.4E-10	1.5E-12	5.3E-10	19.0	130%	192%
Plant 02	0	294,415,043	1.7E-09	-	7.8E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.4E-12	3.6E-10	10.3	0.03	1.4E-10	1.5E-12	5.4E-10	18.8	136%	183%
Plant 03	0	282,714,345	1.8E-09	-	8.1E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.7E-12	3.6E-10	9.9	0.03	1.4E-10	1.4E-12	5.4E-10	19.4	136%	195%
Plant 04	0	315,013,944	1.6E-09	-	7.3E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.7E-12	3.6E-10	10.0	0.03	1.4E-10	1.5E-12	5.2E-10	18.5	138%	186%
Plant 05	0	310,388,139	1.6E-09	-	7.4E-09	13.0	0.02	9.9E-11	3.5E-12	3.6E-10	10.2	0.03	1.4E-10	1.6E-12	5.2E-10	18.0	139%	177%
Plant 06	0	383,903,740	1.3E-09	-	6.0E-09	13.0	0.02	9.5E-11	3.3E-12	3.4E-10	10.1	0.03	1.4E-10	1.5E-12	5.3E-10	18.7	149%	184%
Plant 07	0	398,596,155	1.3E-09	-	5.8E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.7E-12	3.5E-10	9.8	0.03	1.3E-10	1.5E-12	5.2E-10	18.3	131%	187%
Plant 08	0	368,065,245	1.4E-09	-	6.3E-09	13.0	0.02	9.9E-11	3.7E-12	3.6E-10	9.8	0.03	1.3E-10	1.6E-12	5.2E-10	18.2	135%	185%
Plant 09	0	302,667,055	1.7E-09	-	7.6E-09	13.0	0.02	9.9E-11	3.6E-12	3.5E-10	9.8	0.03	1.4E-10	1.5E-12	5.2E-10	18.7	140%	191%
Plant 10	0	310,246,060	1.6E-09	-	7.4E-09	13.0	0.02	9.8E-11	3.5E-12	3.4E-10	9.8	0.03	1.4E-10	1.6E-12	5.3E-10	18.4	139%	188%
Plant 11	0	339,024,790	1.5E-09	-	6.8E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.7E-12	3.7E-10	10.0	0.03	1.4E-10	1.5E-12	5.3E-10	18.6	133%	187%
Plant 12	0	249,906,050	2.0E-09	-	9.2E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.1	0.02	1.5E-10	1.5E-12	5.5E-10	18.9	139%	188%
Plant 13	0	190,516,515	2.6E-09	-	1.2E-08	13.0	0.01	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.0	0.02	1.5E-10	1.6E-12	5.6E-10	18.7	145%	187%
Plant 14	0	170,964,280	2.9E-09	-	1.3E-08	13.0	0.01	1.0E-10	3.8E-12	3.6E-10	9.8	0.02	1.5E-10	1.6E-12	5.7E-10	18.9	139%	193%
Plant 15	0	270,728,340	1.8E-09	-	8.5E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.7E-12	3.7E-10	10.0	0.03	1.4E-10	1.4E-12	5.3E-10	19.3	137%	193%
Plant 16	0	259,191,395	1.9E-09	-	8.9E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.7E-12	3.7E-10	10.0	0.02	1.4E-10	1.5E-12	5.3E-10	18.7	129%	187%
Plant 17	0	300,546,767	1.7E-09	-	7.7E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.7E-12	3.6E-10	9.9	0.03	1.4E-10	1.5E-12	5.3E-10	18.9	132%	190%
Plant 18	0	305,711,330	1.6E-09	-	7.5E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.6E-12	3.7E-10	10.1	0.02	1.4E-10	1.5E-12	5.3E-10	18.5	129%	184%
Plant 19	0	194,406,575	2.6E-09	-	1.2E-08	13.0	0.01	1.0E-10	3.5E-12	3.6E-10	10.1	0.02	1.5E-10	1.6E-12	5.7E-10	19.0	145%	188%
Plant 20	0	200,346,355	2.5E-09	-	1.1E-08	13.0	0.01	1.1E-10	3.7E-12	3.6E-10	9.8	0.02	1.4E-10	1.4E-12	5.4E-10	19.2	134%	195%
Plant 21	0	288,927,105	1.7E-09	-	8.0E-09	13.0	0.02	9.8E-11	3.5E-12	3.5E-10	9.9	0.03	1.5E-10	1.5E-12	5.4E-10	18.9	157%	191%
Plant 22	0	160,597,215	3.1E-09	-	1.4E-08	13.0	0.01	1.0E-10	3.8E-12	3.6E-10	9.8	0.01	1.5E-10	1.5E-12	5.7E-10	19.3	144%	196%
Plant 23	0	394,334,820	1.3E-09	-	5.8E-09	13.0	0.02	9.9E-11	3.6E-12	3.5E-10	10.0	0.03	1.3E-10	1.5E-12	5.1E-10	18.2	134%	183%
Plant 24	0	298,730,160	1.7E-09	-	7.7E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.0	0.03	1.4E-10	1.5E-12	5.3E-10	18.6	135%	195%
Plant 25	0	382,173,600	1.3E-09	-	6.0E-09	13.0	0.02	9.4E-11	3.6E-12	3.4E-10	9.7	0.03	1.2E-10	1.4E-12	4.8E-10	18.2	131%	189%
Plant 26	0	372,834,180	1.3E-09	-	6.2E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.7E-12	3.7E-10	10.0	0.03	1.4E-10	1.5E-12	5.3E-10	18.6	131%	186%
Plant 27	0	247,305,993	2.0E-09	-	9.3E-09	13.0	0.01	9.6E-11	3.6E-12	3.4E-10	9.8	0.02	1.5E-10	1.5E-12	5.7E-10	19.5	159%	199%
Plant 28	0	211,118,358	2.4E-09	-	1.1E-08	13.0	0.01	1.1E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.1	0.02	1.5E-10	1.6E-12	5.6E-10	19.0	142%	189%
Plant 29	0	287,211,969	1.7E-09	-	8.0E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.5E-10	9.9	0.03	1.4E-10	1.5E-12	5.3E-10	18.6	140%	187%
Plant 30	0	280,492,245	1.8E-09	-	8.2E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.1	0.02	1.4E-10	1.5E-12	5.4E-10	19.0	136%	188%
Plant 31	0	392,654,976	1.3E-09	-	5.9E-09	13.0	0.02	9.8E-11	3.6E-12	3.5E-10	9.9	0.03	1.3E-10	1.5E-12	5.2E-10	18.7	134%	189%
Plant 32	0	369,325,824	1.4E-09	-	6.2E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.0	0.03	1.4E-10	1.5E-12	5.2E-10	18.4	134%	184%
Plant 33	0	350,160,384	1.4E-09	-	6.6E-09	13.0	0.02	9.9E-11	3.6E-12	3.5E-10	9.9	0.03	1.4E-10	1.5E-12	5.5E-10	18.9	140%	191%
Plant 34	0	368,573,184	1.4E-09	-	6.2E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	9.9	0.03	1.4E-10	1.5E-12	5.5E-10	19.1	138%	192%
Plant 35	0	361,471,488	1.4E-09	-	6.4E-09	13.0	0.02	9.8E-11	3.6E-12	3.5E-10	9.8	0.03	1.4E-10	1.5E-12	5.3E-10	18.6	139%	189%
Plant 36	0	380,904,798	1.3E-09	-	6.0E-09	13.0	0.03	1.1E-10	3.7E-12	3.5E-10	9.9	0.03	1.3E-10	1.5E-12	5.1E-10	18.4	121%	186%
Plant 37	0	409,207,602	1.2E-09	-	5.6E-09	13.0	0.02	9.8E-11	3.6E-12	3.5E-10	9.8	0.03	1.3E-10	1.5E-12	4.9E-10	18.2	130%	186%
Plant 38	0	265,771,116	1.9E-09	-	8.7E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.5E-12	3.5E-10	10.0	0.02	1.4E-10	1.5E-12	5.4E-10	18.7	138%	187%
Plant 39	0	233,418,156	2.1E-09	-	9.9E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.6E-12	3.8E-10	10.2	0.02	1.5E-10	1.5E-12	5.6E-10	19.1	136%	187%
Plant 40	0	316,445,580	1.6E-09	-	7.3E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.7E-10	10.1	0.03	1.4E-10	1.6E-12	5.3E-10	18.2	132%	180%
Plant 41	0	354,121,020	1.4E-09	-	6.5E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.5E-10	9.9	0.03	1.3E-10	1.5E-12	5.3E-10	18.7	127%	189%
Plant 42	0	204,025,854	2.5E-09	-	1.1E-08	13.0	0.01	1.1E-10	3.8E-12	3.8E-10	10.0	0.02	1.5E-10	1.5E-12	5.8E-10	19.6	127%	196%
Plant 43	0	131,011,380	3.8E-09	-	1.8E-08	13.0	0.01	1.2E-10	3.6E-12	3.8E-10	10.2	0.01	1.5E-10	1.5E-12	5.4E-10	19.0	119%	187%
Plant 44	0	370,142,976	1.4E-09	-	6.2E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.4E-12	3.6E-10	10.3	0.03	1.3E-10	1.5E-12	5.0E-10	18.2	120%	177%
Plant 45	0	345,166,080	1.4E-09	-	6.7E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.5E-10	9.9	0.03	1.4E-10	1.6E-12	5.3E-10	18.3	137%	184%
Plant 46	0	354,816,891	1.4E-09	-	6.5E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.7E-12	3.6E-10	9.9	0.03	1.4E-10	1.6E-12	5.3E-10	18.3	130%	185%
Plant 47	0	363,692,175	1.4E-09	-	6.3E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.6E-12	3.8E-10	10.1	0.03	1.2E-10	1.5E-12	4.9E-10	18.2	116%	180%
Plant 48	0	169,927,296	2.9E-09	-	1.4E-08	13.0	0.01	1.1E-10	3.7E-12	3.7E-10	10.0	0.01	1.4E-10	1.5E-12	5.3E-10	18.7	129%	187%
Plant 49	0	357,792,954	1.4E-09	-	6.4E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.0	0.03	1.4E-10	1.5E-12	5.2E-10	18.4	138%	183%

\*1:ゼロ件故障には0.5件を仮定

\*2: EF<sup>2</sup>=95%値/5%値 ただし、古典統計におけるゼロ件故障事象に対してはEF=13とした。

\*3: 感度解析/ベースケース

\*4: 平均値

\*5: 90%信頼区間

表 8-5(3) 非常用 DG 起動失敗 ベースケース及びケース 2 比較 ( デマンド故障確率 )

ユニット	観測件数 [件]	総デマンド回数	古典統計				ベイズ統計 ベースケース					ベイズ統計 ケース2						
			点推定値 <sup>*1</sup> [1/d]	下限値 <sup>*5</sup> [1/d]	上限値 <sup>*5</sup> [1/d]	EF <sup>*2</sup>	故障件数 推定値 <sup>*1</sup> [件]	平均値 [1/d]	5%値 [1/d]	95%値 [1/d]	EF <sup>*2</sup>	故障件数 推定値 <sup>*1</sup> [件]	平均値 [1/d]	5%値 [1/d]	95%値 [1/d]	EF <sup>*2</sup>	平均値 <sup>*3</sup>	EF比 <sup>*3</sup>
			4.5E-04	2.9E-04	6.6E-04	1.5	48.9	1.5E-03	6.3E-05	4.3E-03	8.3	49.6	1.8E-03	3.2E-05	6.1E-03	13.8	121%	166%
一般故障率	19	42332																
Plant 01	0	595	8.4E-04	-	3.9E-03	13.0	0.3	9.0E-04	5.1E-05	2.6E-03	7.1	0.3	7.9E-04	2.6E-05	2.8E-03	10.4	88%	146%
Plant 02	0	628	8.0E-04	-	3.7E-03	13.0	0.3	8.8E-04	4.9E-05	2.5E-03	7.2	0.3	7.6E-04	2.5E-05	2.7E-03	10.4	87%	145%
Plant 03	0	601	8.3E-04	-	3.8E-03	13.0	0.3	9.0E-04	5.0E-05	2.6E-03	7.2	0.3	7.8E-04	2.6E-05	2.8E-03	10.3	86%	142%
Plant 04	0	672	7.4E-04	-	3.4E-03	13.0	0.4	8.7E-04	4.9E-05	2.5E-03	7.1	0.3	7.5E-04	2.6E-05	2.7E-03	10.3	87%	144%
Plant 05	0	663	7.5E-04	-	3.5E-03	13.0	0.4	8.8E-04	5.1E-05	2.5E-03	7.0	0.3	7.7E-04	2.7E-05	2.7E-03	10.1	87%	144%
Plant 06	0	723	6.9E-04	-	3.2E-03	13.0	0.4	8.5E-04	4.8E-05	2.4E-03	7.1	0.3	7.3E-04	2.5E-05	2.6E-03	10.2	86%	143%
Plant 07	2	755	2.6E-03	4.7E-04	8.3E-03	4.2	3.3	3.0E-03	6.0E-04	8.5E-03	3.8	3.8	3.9E-03	6.1E-04	1.1E-02	4.2	130%	111%
Plant 08	1	695	1.4E-03	7.4E-05	6.8E-03	9.6	1.7	1.8E-03	2.7E-04	5.2E-03	4.4	1.9	2.1E-03	2.0E-04	6.4E-03	5.7	116%	128%
Plant 09	0	573	8.7E-04	-	4.0E-03	13.0	0.3	9.0E-04	5.1E-05	2.6E-03	7.1	0.3	8.0E-04	2.6E-05	2.9E-03	10.5	89%	148%
Plant 10	0	584	8.6E-04	-	3.9E-03	13.0	0.3	9.0E-04	5.0E-05	2.6E-03	7.2	0.3	7.9E-04	2.5E-05	2.8E-03	10.5	87%	146%
Plant 11	2	638	3.1E-03	5.6E-04	9.9E-03	4.2	3.2	3.4E-03	6.3E-04	9.7E-03	3.9	3.7	4.4E-03	6.5E-04	1.2E-02	4.3	131%	109%
Plant 12	0	474	1.1E-03	-	4.9E-03	13.0	0.3	9.3E-04	5.1E-05	2.7E-03	7.3	0.3	8.5E-04	2.7E-05	3.1E-03	10.7	91%	146%
Plant 13	0	359	1.4E-03	-	6.4E-03	13.0	0.2	9.9E-04	5.4E-05	2.9E-03	7.3	0.2	9.1E-04	2.8E-05	3.3E-03	11.0	92%	149%
Plant 14	0	324	1.5E-03	-	7.1E-03	13.0	0.2	1.0E-03	5.4E-05	3.0E-03	7.4	0.2	9.4E-04	2.8E-05	3.5E-03	11.0	93%	148%
Plant 15	1	508	2.0E-03	1.0E-04	9.3E-03	9.6	1.6	2.1E-03	2.9E-04	6.3E-03	4.7	1.8	2.5E-03	2.2E-04	7.9E-03	5.9	120%	127%
Plant 16	0	419	1.2E-03	-	5.5E-03	13.0	0.3	9.7E-04	5.1E-05	2.8E-03	7.5	0.2	8.8E-04	2.7E-05	3.2E-03	10.8	91%	145%
Plant 17	1	477	2.1E-03	1.1E-04	9.9E-03	9.6	1.6	2.1E-03	2.9E-04	6.5E-03	4.7	1.7	2.6E-03	2.2E-04	8.2E-03	6.1	122%	129%
Plant 18	0	554	9.0E-04	-	4.2E-03	13.0	0.3	9.1E-04	5.1E-05	2.6E-03	7.2	0.3	8.0E-04	2.6E-05	2.9E-03	10.5	88%	146%
Plant 19	0	346	1.4E-03	-	6.7E-03	13.0	0.2	9.9E-04	5.4E-05	2.9E-03	7.4	0.2	9.3E-04	2.7E-05	3.4E-03	11.2	94%	151%
Plant 20	1	414	2.4E-03	1.2E-04	1.1E-02	9.6	1.6	2.3E-03	3.1E-04	7.0E-03	4.8	1.7	2.8E-03	2.4E-04	9.0E-03	6.1	124%	129%
Plant 21	0	456	1.1E-03	-	5.0E-03	13.0	0.3	9.5E-04	5.3E-05	2.8E-03	7.3	0.2	8.6E-04	2.7E-05	3.1E-03	10.8	90%	148%
Plant 22	0	280	1.8E-03	-	8.2E-03	13.0	0.2	1.0E-03	5.5E-05	3.1E-03	7.5	0.2	9.9E-04	2.8E-05	3.6E-03	11.3	94%	150%
Plant 23	0	542	9.2E-04	-	4.3E-03	13.0	0.3	9.2E-04	5.1E-05	2.6E-03	7.2	0.3	8.1E-04	2.6E-05	2.9E-03	10.6	88%	147%
Plant 24	0	354	1.4E-03	-	6.5E-03	13.0	0.2	1.0E-03	5.5E-05	3.0E-03	7.4	0.2	9.1E-04	2.8E-05	3.3E-03	11.0	91%	148%
Plant 25	0	697	7.2E-04	-	3.3E-03	13.0	0.4	8.6E-04	4.9E-05	2.5E-03	7.1	0.3	7.5E-04	2.6E-05	2.7E-03	10.1	87%	142%
Plant 26	2	513	3.9E-03	6.9E-04	1.2E-02	4.2	3.1	3.8E-03	6.7E-04	1.1E-02	4.1	3.5	5.0E-03	7.2E-04	1.4E-02	4.4	134%	108%
Plant 27	0	298	1.7E-03	-	7.7E-03	13.0	0.2	1.0E-03	5.6E-05	3.1E-03	7.4	0.2	9.7E-04	2.9E-05	3.6E-03	11.2	95%	151%
Plant 28	0	258	1.9E-03	-	8.9E-03	13.0	0.2	1.1E-03	5.5E-05	3.2E-03	7.6	0.2	1.0E-03	2.8E-05	3.7E-03	11.5	95%	150%
Plant 29	0	1,015	4.9E-04	-	2.3E-03	13.0	0.5	7.9E-04	4.7E-05	2.2E-03	6.9	0.4	6.5E-04	2.4E-05	2.3E-03	9.8	82%	141%
Plant 30	0	1,178	4.2E-04	-	2.0E-03	13.0	0.6	7.7E-04	4.5E-05	2.1E-03	6.9	0.5	6.1E-04	2.4E-05	2.1E-03	9.3	79%	134%
Plant 31	0	1,429	3.5E-04	-	1.6E-03	13.0	0.7	7.2E-04	4.3E-05	2.0E-03	6.8	0.5	5.6E-04	2.3E-05	1.9E-03	9.1	77%	134%
Plant 32	0	1,358	3.7E-04	-	1.7E-03	13.0	0.6	7.4E-04	4.5E-05	2.0E-03	6.7	0.5	5.8E-04	2.3E-05	2.0E-03	9.3	79%	138%
Plant 33	0	1,300	3.8E-04	-	1.8E-03	13.0	0.6	7.5E-04	4.4E-05	2.1E-03	6.9	0.5	5.9E-04	2.3E-05	2.0E-03	9.3	79%	134%
Plant 34	1	1,149	8.7E-04	4.5E-05	4.1E-03	9.6	2.0	1.5E-03	2.3E-04	3.9E-03	4.1	2.1	1.6E-03	1.7E-04	4.7E-03	5.3	109%	128%
Plant 35	0	1,125	4.4E-04	-	2.0E-03	13.0	0.6	7.8E-04	4.6E-05	2.2E-03	6.9	0.5	6.3E-04	2.4E-05	2.2E-03	9.4	81%	137%
Plant 36	2	1,612	1.2E-03	2.2E-04	3.9E-03	4.2	3.9	2.0E-03	4.5E-04	5.0E-03	3.3	4.3	2.3E-03	4.1E-04	6.0E-03	3.8	117%	115%
Plant 37	0	1,730	2.9E-04	-	1.3E-03	13.0	0.8	6.9E-04	4.1E-05	1.9E-03	6.8	0.6	5.3E-04	2.2E-05	1.8E-03	9.1	76%	133%
Plant 38	0	1,120	4.5E-04	-	2.1E-03	13.0	0.6	7.8E-04	4.5E-05	2.2E-03	7.0	0.4	6.2E-04	2.4E-05	2.1E-03	9.5	80%	136%
Plant 39	3	984	3.0E-03	8.3E-04	7.9E-03	3.1	5.2	3.8E-03	8.6E-04	1.0E-02	3.4	5.9	5.0E-03	1.1E-03	1.2E-02	3.3	130%	98%
Plant 40	0	1,786	2.8E-04	-	1.3E-03	13.0	0.8	6.9E-04	4.2E-05	1.9E-03	6.7	0.6	5.2E-04	2.2E-05	1.7E-03	9.0	76%	135%
Plant 41	1	1,997	5.0E-04	2.6E-05	2.4E-03	9.6	2.4	1.1E-03	1.9E-04	2.9E-03	3.9	2.4	1.1E-03	1.3E-04	3.2E-03	4.9	99%	125%
Plant 42	0	535	9.3E-04	-	4.3E-03	13.0	0.3	9.2E-04	5.1E-05	2.7E-03	7.2	0.3	8.1E-04	2.7E-05	2.9E-03	10.5	88%	145%
Plant 43	0	343	1.5E-03	-	6.7E-03	13.0	0.2	1.0E-03	5.3E-05	3.0E-03	7.5	0.2	9.0E-04	2.8E-05	3.3E-03	10.8	90%	144%
Plant 44	0	2,038	2.5E-04	-	1.1E-03	13.0	0.9	6.6E-04	4.1E-05	1.8E-03	6.7	0.6	4.9E-04	2.1E-05	1.6E-03	8.8	74%	131%
Plant 45	0	1,928	2.6E-04	-	1.2E-03	13.0	0.8	6.7E-04	4.1E-05	1.8E-03	6.7	0.6	5.0E-04	2.1E-05	1.7E-03	8.9	74%	132%
Plant 46	1	1,944	5.1E-04	2.6E-05	2.4E-03	9.6	2.4	1.1E-03	1.9E-04	2.9E-03	4.0	2.4	1.1E-03	1.4E-04	3.3E-03	4.9	99%	123%
Plant 47	0	1,998	2.5E-04	-	1.2E-03	13.0	0.9	6.6E-04	4.1E-05	1.8E-03	6.7	0.6	4.9E-04	2.1E-05	1.6E-03	8.9	74%	133%
Plant 48	0	556	9.0E-04	-	4.1E-03	13.0	0.3	9.2E-04	5.0E-05	2.7E-03	7.3	0.3	7.9E-04	2.7E-05	2.9E-03	10.4	87%	143%
Plant 49	1	806	1.2E-03	6.4E-05	5.9E-03	9.6	1.8	1.7E-03	2.6E-04	4.9E-03	4.3	2.0	1.9E-03	1.9E-04	5.9E-03	5.5	113%	127%

\*1: ゼロ件故障には0.5件を仮定

\*2: EF<sup>2</sup>=95%値/5%値 ただし、古典統計におけるゼロ件故障事象に対してはEF=13とした、

\*3: 感度解析 / ベースケース

\*4: 平均値

\*5: 90%信頼区間

表 8-5(4) 逆止弁開失敗 ベースケース及びケース 2 比較（デマンド故障確率）

ユニット	観測件数 [件]	総デマンド回数	古典統計				ベイズ統計 ベースケース					ベイズ統計 ケース2						
			点推定値 <sup>*1</sup> [1/d]	下限値 <sup>*5</sup> [1/d]	上限値 <sup>*5</sup> [1/d]	EF <sup>*2</sup>	故障件数 推定値 <sup>*1</sup> [件]	平均値 [1/d]	5%値 [1/d]	95%値 [1/d]	EF <sup>*2</sup>	故障件数 推定値 <sup>*1</sup> [件]	平均値 [1/d]	5%値 [1/d]	95%値 [1/d]	EF <sup>*2</sup>	平均値 <sup>*3</sup>	EF比 <sup>*3</sup>
一般故障率	0	259,336	1.9E-06	-	8.9E-06	13.0	1.01	9.4E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.3	1.30	2.5E-05	9.5E-08	3.8E-05	20.1	261%	195%
Plant 01	0	5,153	9.7E-05	-	4.5E-04	13.0	0.02	6.4E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.2	0.03	8.6E-06	9.1E-08	3.3E-05	19.0	134%	186%
Plant 02	0	7,310	6.8E-05	-	3.1E-04	13.0	0.03	6.1E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.0	0.03	7.8E-06	9.0E-08	3.0E-05	18.4	128%	184%
Plant 03	0	7,002	7.1E-05	-	3.3E-04	13.0	0.03	6.3E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.0	0.03	8.0E-06	8.9E-08	3.2E-05	18.8	127%	188%
Plant 04	0	7,819	6.4E-05	-	2.9E-04	13.0	0.03	6.3E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.1	0.04	7.8E-06	8.8E-08	3.1E-05	18.8	125%	187%
Plant 05	0	7,714	6.5E-05	-	3.0E-04	13.0	0.03	6.3E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.1	0.04	7.6E-06	9.0E-08	3.0E-05	18.3	122%	181%
Plant 06	0	9,043	5.5E-05	-	2.5E-04	13.0	0.04	6.2E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.0	0.04	7.5E-06	9.1E-08	3.0E-05	18.2	121%	183%
Plant 07	0	9,429	5.3E-05	-	2.4E-04	13.0	0.04	6.1E-06	2.2E-07	2.1E-05	9.9	0.05	7.6E-06	9.1E-08	2.9E-05	18.0	126%	183%
Plant 08	0	8,686	5.8E-05	-	2.7E-04	13.0	0.03	6.1E-06	2.1E-07	2.1E-05	10.1	0.04	7.5E-06	9.0E-08	3.0E-05	18.3	123%	181%
Plant 09	0	7,156	7.0E-05	-	3.2E-04	13.0	0.03	6.1E-06	2.1E-07	2.1E-05	10.1	0.04	8.1E-06	8.9E-08	3.1E-05	18.7	132%	186%
Plant 10	0	7,300	6.8E-05	-	3.2E-04	13.0	0.03	6.2E-06	2.1E-07	2.1E-05	10.0	0.03	7.7E-06	9.1E-08	3.1E-05	18.3	125%	184%
Plant 11	0	7,976	6.3E-05	-	2.9E-04	13.0	0.03	6.1E-06	2.1E-07	2.1E-05	10.0	0.04	7.3E-06	8.9E-08	3.0E-05	18.3	121%	184%
Plant 12	0	5,911	8.5E-05	-	3.9E-04	13.0	0.02	6.3E-06	2.2E-07	2.1E-05	9.9	0.03	8.1E-06	9.1E-08	3.1E-05	18.5	128%	186%
Plant 13	0	4,489	1.1E-04	-	5.1E-04	13.0	0.02	6.6E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.2	0.02	8.8E-06	9.4E-08	3.3E-05	18.7	134%	183%
Plant 14	0	4,048	1.2E-04	-	5.7E-04	13.0	0.02	6.7E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.1	0.02	8.6E-06	9.0E-08	3.3E-05	19.1	128%	188%
Plant 15	0	6,354	7.9E-05	-	3.6E-04	13.0	0.02	6.2E-06	2.1E-07	2.1E-05	10.0	0.03	8.1E-06	9.2E-08	3.2E-05	18.5	130%	185%
Plant 16	0	10,658	4.7E-05	-	2.2E-04	13.0	0.04	6.0E-06	2.1E-07	2.1E-05	9.9	0.05	7.2E-06	9.1E-08	2.9E-05	17.8	119%	180%
Plant 17	0	12,219	4.1E-05	-	1.9E-04	13.0	0.04	5.9E-06	2.1E-07	2.1E-05	9.9	0.05	7.0E-06	9.1E-08	2.8E-05	17.6	119%	177%
Plant 18	0	6,042	8.3E-05	-	3.8E-04	13.0	0.02	6.3E-06	2.2E-07	2.1E-05	9.9	0.03	8.0E-06	9.1E-08	3.2E-05	18.7	128%	188%
Plant 19	0	3,785	1.3E-04	-	6.1E-04	13.0	0.02	6.8E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.3	0.02	8.9E-06	9.2E-08	3.3E-05	19.1	132%	186%
Plant 20	0	3,065	1.6E-04	-	7.5E-04	13.0	0.01	6.8E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.1	0.02	9.3E-06	9.1E-08	3.5E-05	19.6	136%	193%
Plant 21	0	7,355	6.8E-05	-	3.1E-04	13.0	0.03	6.2E-06	2.2E-07	2.1E-05	10.0	0.03	7.7E-06	9.0E-08	3.0E-05	18.4	124%	184%
Plant 22	0	2,483	2.0E-04	-	9.3E-04	13.0	0.01	7.0E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.3	0.02	9.6E-06	9.3E-08	3.5E-05	19.3	138%	187%
Plant 23	0	9,709	5.1E-05	-	2.4E-04	13.0	0.03	5.9E-06	2.1E-07	2.1E-05	9.9	0.04	7.2E-06	9.0E-08	2.9E-05	18.0	123%	182%
Plant 24	0	7,953	6.3E-05	-	2.9E-04	13.0	0.03	6.1E-06	2.1E-07	2.1E-05	10.0	0.04	7.6E-06	9.0E-08	3.0E-05	18.3	124%	182%
Plant 25	0	6,548	7.6E-05	-	3.5E-04	13.0	0.03	6.3E-06	2.2E-07	2.1E-05	10.0	0.03	8.2E-06	9.0E-08	3.2E-05	18.7	130%	188%
Plant 26	0	3,174	1.6E-04	-	7.3E-04	13.0	0.01	6.9E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.2	0.02	9.0E-06	9.3E-08	3.4E-05	19.2	132%	188%
Plant 27	0	1,376	3.6E-04	-	1.7E-03	13.0	0.01	7.4E-06	2.3E-07	2.3E-05	10.1	0.01	1.1E-05	9.3E-08	3.6E-05	19.7	148%	196%
Plant 28	0	1,202	4.2E-04	-	1.9E-03	13.0	0.01	7.5E-06	2.2E-07	2.4E-05	10.3	0.01	1.1E-05	9.4E-08	3.7E-05	19.9	149%	192%
Plant 29	0	2,964	1.7E-04	-	7.8E-04	13.0	0.01	7.0E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.3	0.02	9.4E-06	9.0E-08	3.5E-05	19.5	134%	191%
Plant 30	0	3,122	1.6E-04	-	7.4E-04	13.0	0.01	6.9E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.2	0.02	9.0E-06	9.1E-08	3.4E-05	19.3	130%	189%
Plant 31	0	5,432	9.2E-05	-	4.2E-04	13.0	0.02	6.3E-06	2.2E-07	2.2E-05	9.9	0.03	8.5E-06	9.3E-08	3.2E-05	18.6	136%	189%
Plant 32	0	5,162	9.7E-05	-	4.5E-04	13.0	0.02	6.4E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.0	0.03	8.4E-06	9.3E-08	3.2E-05	18.7	130%	187%
Plant 33	0	4,941	1.0E-04	-	4.7E-04	13.0	0.02	6.5E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.1	0.03	8.7E-06	9.0E-08	3.3E-05	19.2	135%	189%
Plant 34	0	3,207	1.6E-04	-	7.2E-04	13.0	0.01	6.7E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.2	0.02	9.2E-06	9.2E-08	3.4E-05	19.3	137%	189%
Plant 35	0	3,098	1.6E-04	-	7.4E-04	13.0	0.01	6.6E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.1	0.02	9.3E-06	9.2E-08	3.4E-05	19.3	141%	191%
Plant 36	0	5,108	9.8E-05	-	4.5E-04	13.0	0.02	6.4E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.0	0.03	8.3E-06	9.2E-08	3.2E-05	18.6	130%	187%
Plant 37	0	5,462	9.2E-05	-	4.2E-04	13.0	0.02	6.3E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.1	0.03	8.3E-06	9.2E-08	3.2E-05	18.8	131%	186%
Plant 38	0	3,507	1.4E-04	-	6.6E-04	13.0	0.01	6.7E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.2	0.02	8.7E-06	9.3E-08	3.3E-05	18.9	131%	186%
Plant 39	0	3,080	1.6E-04	-	7.5E-04	13.0	0.01	6.8E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.1	0.02	9.1E-06	9.1E-08	3.4E-05	19.3	134%	192%
Plant 40	0	3,621	1.4E-04	-	6.4E-04	13.0	0.01	6.6E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.2	0.02	9.0E-06	9.1E-08	3.4E-05	19.3	136%	189%
Plant 41	0	4,037	1.2E-04	-	5.7E-04	13.0	0.02	6.5E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.2	0.02	8.7E-06	9.1E-08	3.3E-05	19.1	133%	187%
Plant 42	0	2,133	2.3E-04	-	1.1E-03	13.0	0.01	7.0E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.2	0.01	9.5E-06	9.1E-08	3.4E-05	19.4	136%	190%
Plant 43	0	1,358	3.7E-04	-	1.7E-03	13.0	0.01	7.4E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.2	0.01	1.0E-05	9.4E-08	3.6E-05	19.6	136%	192%
Plant 44	0	3,452	1.4E-04	-	6.7E-04	13.0	0.01	6.7E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.2	0.02	9.0E-06	9.1E-08	3.3E-05	19.1	134%	187%
Plant 45	0	3,254	1.5E-04	-	7.1E-04	13.0	0.01	6.7E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.2	0.02	9.0E-06	9.2E-08	3.4E-05	19.2	135%	188%
Plant 46	0	4,355	1.1E-04	-	5.3E-04	13.0	0.02	6.6E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.0	0.02	8.6E-06	9.2E-08	3.3E-05	18.9	131%	189%
Plant 47	0	4,498	1.1E-04	-	5.1E-04	13.0	0.02	6.7E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.2	0.02	8.6E-06	8.9E-08	3.3E-05	19.3	129%	188%
Plant 48	0	2,022	2.5E-04	-	1.1E-03	13.0	0.01	7.2E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.2	0.01	9.7E-06	9.3E-08	3.6E-05	19.6	135%	192%
Plant 49	0	4,560	1.1E-04	-	5.0E-04	13.0	0.02	6.5E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.1	0.02	8.8E-06	9.1E-08	3.3E-05	19.0	134%	189%

\*1:ゼロ件故障には0.5件を仮定

\*2: EF<sup>2</sup>=95%値/5%値 ただし、古典統計におけるゼロ件故障事象に対してはEF=13とした。

\*3: 感度解析/ベースケース

\*4: 平均値

\*5: 90%信頼区間

表 8-6(1) 電動ポンプ継続運転失敗 ベースケース及びケース 3 比較（時間故障率）

ユニット	観測件数 [件]	延べ運転時間 [h]	古典統計				ベイズ統計 ベースケース					ベイズ統計 ケース3						
			点推定値 <sup>*1</sup> [1/h]	下限値 <sup>*5</sup> [1/h]	上限値 <sup>*5</sup> [1/h]	EF <sup>*2</sup>	故障件数 推定値 <sup>*1</sup> [件]	平均値 [1/h]	5%値 [1/h]	95%値 [1/h]	EF <sup>*2</sup>	故障件数 推定値 <sup>*1</sup> [件]	平均値 [1/h]	5%値 [1/h]	95%値 [1/h]	EF <sup>*2</sup>	平均値比 <sup>*3</sup>	EF比 <sup>*3</sup>
一般故障率	26	86,663,069	3.0E-07	2.1E-07	4.2E-07	1.4	66.5	8.9E-07	3.0E-08	2.8E-06	9.6	66.5	9.9E-07	2.6E-08	2.9E-06	10.6	112%	110%
Plant 01	1	1,710,086	5.8E-07	3.0E-08	2.8E-06	9.6	2.0	9.6E-07	1.3E-07	2.7E-06	4.5	2.0	9.6E-07	1.3E-07	2.7E-06	4.7	100%	103%
Plant 02	3	1,831,102	1.6E-06	4.5E-07	4.2E-06	3.1	5.4	2.3E-06	5.4E-07	5.9E-06	3.3	5.5	2.4E-06	5.4E-07	6.0E-06	3.3	102%	102%
Plant 03	0	1,758,330	2.8E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.4E-08	1.4E-06	7.5	0.5	4.3E-07	1.9E-08	1.3E-06	8.3	95%	110%
Plant 04	3	1,959,216	1.5E-06	4.2E-07	4.0E-06	3.1	5.5	2.2E-06	5.3E-07	5.6E-06	3.2	5.6	2.3E-06	5.2E-07	5.6E-06	3.3	101%	101%
Plant 05	0	1,930,446	2.6E-07	-	1.2E-06	13.0	0.5	4.4E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.6	0.5	4.3E-07	2.0E-08	1.3E-06	8.1	97%	106%
Plant 06	1	1,950,872	5.1E-07	2.6E-08	2.4E-06	9.6	2.1	8.9E-07	1.2E-07	2.5E-06	4.5	2.1	9.0E-07	1.2E-07	2.5E-06	4.6	101%	102%
Plant 07	3	2,170,215	1.4E-06	3.8E-07	3.6E-06	3.1	5.6	2.1E-06	5.1E-07	5.2E-06	3.2	5.7	2.1E-06	5.1E-07	5.2E-06	3.2	101%	101%
Plant 08	1	2,137,584	4.7E-07	2.4E-08	2.2E-06	9.6	2.1	8.6E-07	1.2E-07	2.3E-06	4.4	2.1	8.6E-07	1.2E-07	2.4E-06	4.5	100%	102%
Plant 09	1	1,757,776	5.7E-07	2.9E-08	2.7E-06	9.6	2.0	9.5E-07	1.3E-07	2.6E-06	4.5	2.0	9.5E-07	1.2E-07	2.7E-06	4.7	100%	104%
Plant 10	0	1,801,792	2.8E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.3E-08	1.3E-06	7.6	0.5	4.5E-07	1.9E-08	1.4E-06	8.3	99%	110%
Plant 11	0	1,968,928	2.5E-07	-	1.2E-06	13.0	0.6	4.4E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.8	0.5	4.3E-07	2.0E-08	1.3E-06	8.1	98%	104%
Plant 12	0	1,269,940	3.9E-07	-	1.8E-06	13.0	0.4	4.9E-07	2.3E-08	1.5E-06	8.0	0.4	4.7E-07	2.1E-08	1.5E-06	8.3	97%	104%
Plant 13	0	968,142	5.2E-07	-	2.4E-06	13.0	0.3	5.3E-07	2.4E-08	1.6E-06	8.1	0.3	5.2E-07	2.2E-08	1.6E-06	8.5	97%	105%
Plant 14	0	868,784	5.8E-07	-	2.7E-06	13.0	0.3	5.4E-07	2.5E-08	1.7E-06	8.2	0.3	5.4E-07	2.1E-08	1.7E-06	8.9	100%	109%
Plant 15	0	1,375,752	3.6E-07	-	1.7E-06	13.0	0.4	4.8E-07	2.3E-08	1.5E-06	7.9	0.4	4.7E-07	2.1E-08	1.4E-06	8.3	97%	105%
Plant 16	0	1,842,320	2.7E-07	-	1.2E-06	13.0	0.5	4.4E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.7	0.5	4.3E-07	1.9E-08	1.3E-06	8.2	97%	106%
Plant 17	2	1,869,238	1.1E-06	1.9E-07	3.4E-06	4.2	3.7	1.6E-06	3.1E-07	4.1E-06	3.6	3.7	1.6E-06	3.1E-07	4.2E-06	3.7	102%	101%
Plant 18	0	1,553,524	3.2E-07	-	1.5E-06	13.0	0.5	4.7E-07	2.4E-08	1.4E-06	7.6	0.4	4.5E-07	2.0E-08	1.4E-06	8.3	97%	110%
Plant 19	0	1,129,040	4.4E-07	-	2.0E-06	13.0	0.4	5.0E-07	2.4E-08	1.6E-06	8.0	0.3	4.9E-07	2.1E-08	1.5E-06	8.7	98%	108%
Plant 20	0	1,163,536	4.3E-07	-	2.0E-06	13.0	0.4	5.0E-07	2.5E-08	1.5E-06	7.9	0.4	4.9E-07	2.1E-08	1.5E-06	8.6	98%	109%
Plant 21	0	1,796,970	2.8E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.3E-08	1.3E-06	7.5	0.5	4.4E-07	1.9E-08	1.3E-06	8.4	98%	112%
Plant 22	0	816,102	6.1E-07	-	2.8E-06	13.0	0.3	5.4E-07	2.5E-08	1.7E-06	8.1	0.3	5.3E-07	2.3E-08	1.7E-06	8.5	99%	105%
Plant 23	0	2,218,480	2.3E-07	-	1.0E-06	13.0	0.6	4.2E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.6	0.6	4.1E-07	1.9E-08	1.2E-06	8.0	97%	105%
Plant 24	0	1,518,048	3.3E-07	-	1.5E-06	13.0	0.5	4.7E-07	2.4E-08	1.4E-06	7.7	0.4	4.5E-07	2.0E-08	1.4E-06	8.4	96%	108%
Plant 25	3	1,942,080	1.5E-06	4.2E-07	4.0E-06	3.1	5.6	2.3E-06	5.4E-07	5.7E-06	3.3	5.6	2.3E-06	5.3E-07	5.9E-06	3.3	102%	102%
Plant 26	3	1,966,425	1.5E-06	4.2E-07	3.9E-06	3.1	5.5	2.2E-06	5.3E-07	5.6E-06	3.2	5.6	2.3E-06	5.2E-07	5.7E-06	3.3	101%	101%
Plant 27	0	1,794,367	2.8E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.8	0.5	4.4E-07	2.0E-08	1.3E-06	8.2	98%	106%
Plant 28	0	1,531,802	3.3E-07	-	1.5E-06	13.0	0.4	4.6E-07	2.3E-08	1.4E-06	7.7	0.4	4.5E-07	2.0E-08	1.4E-06	8.2	97%	106%
Plant 29	0	1,961,328	2.5E-07	-	1.2E-06	13.0	0.6	4.4E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.7	0.5	4.3E-07	1.9E-08	1.3E-06	8.3	98%	108%
Plant 30	0	2,154,870	2.3E-07	-	1.1E-06	13.0	0.6	4.3E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.6	0.6	4.2E-07	1.9E-08	1.3E-06	8.1	98%	106%
Plant 31	2	2,629,386	7.6E-07	1.4E-07	2.4E-06	4.2	4.0	1.2E-06	2.7E-07	3.2E-06	3.5	4.0	1.3E-06	2.7E-07	3.3E-06	3.5	102%	101%
Plant 32	1	2,198,368	4.5E-07	2.3E-08	2.2E-06	9.6	2.1	8.4E-07	1.2E-07	2.3E-06	4.4	2.1	8.5E-07	1.1E-07	2.4E-06	4.6	101%	104%
Plant 33	1	2,084,288	4.8E-07	2.5E-08	2.3E-06	9.6	2.1	8.6E-07	1.2E-07	2.4E-06	4.4	2.1	8.7E-07	1.2E-07	2.4E-06	4.5	100%	103%
Plant 34	0	1,782,534	2.8E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.3E-08	1.3E-06	7.6	0.5	4.4E-07	2.0E-08	1.3E-06	8.2	98%	108%
Plant 35	0	1,748,188	2.9E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.3E-08	1.4E-06	7.7	0.5	4.4E-07	1.9E-08	1.4E-06	8.4	98%	109%
Plant 36	0	1,893,165	2.6E-07	-	1.2E-06	13.0	0.5	4.4E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.6	0.5	4.3E-07	1.9E-08	1.3E-06	8.3	99%	109%
Plant 37	0	1,762,657	2.8E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.2E-08	1.4E-06	7.8	0.5	4.3E-07	2.0E-08	1.3E-06	8.1	95%	105%
Plant 38	1	1,232,868	8.1E-07	4.2E-08	3.8E-06	9.6	1.8	1.1E-06	1.4E-07	3.2E-06	4.8	1.8	1.1E-06	1.4E-07	3.3E-06	4.9	102%	103%
Plant 39	0	1,082,788	4.6E-07	-	2.1E-06	13.0	0.3	5.1E-07	2.5E-08	1.6E-06	8.0	0.3	5.0E-07	2.1E-08	1.6E-06	8.6	98%	108%
Plant 40	0	2,296,020	2.2E-07	-	1.0E-06	13.0	0.6	4.2E-07	2.2E-08	1.2E-06	7.5	0.6	4.1E-07	1.8E-08	1.2E-06	8.1	97%	108%
Plant 41	0	2,569,380	1.9E-07	-	9.0E-07	13.0	0.7	4.0E-07	2.1E-08	1.2E-06	7.5	0.6	3.9E-07	1.9E-08	1.2E-06	7.9	97%	106%
Plant 42	0	1,014,045	4.9E-07	-	2.3E-06	13.0	0.3	5.2E-07	2.6E-08	1.6E-06	7.9	0.3	5.2E-07	2.2E-08	1.6E-06	8.7	99%	110%
Plant 43	0	651,150	7.7E-07	-	3.5E-06	13.0	0.2	5.8E-07	2.6E-08	1.8E-06	8.3	0.2	5.6E-07	2.2E-08	1.8E-06	8.9	96%	108%
Plant 44	0	2,340,934	2.1E-07	-	9.8E-07	13.0	0.6	4.1E-07	2.1E-08	1.2E-06	7.6	0.6	4.0E-07	1.9E-08	1.2E-06	7.9	96%	104%
Plant 45	0	2,182,970	2.3E-07	-	1.1E-06	13.0	0.6	4.2E-07	2.1E-08	1.2E-06	7.7	0.6	4.1E-07	1.9E-08	1.2E-06	8.1	98%	105%
Plant 46	0	2,574,429	1.9E-07	-	8.9E-07	13.0	0.7	4.0E-07	2.1E-08	1.2E-06	7.5	0.6	3.9E-07	1.9E-08	1.1E-06	7.8	97%	105%
Plant 47	0	2,638,825	1.9E-07	-	8.7E-07	13.0	0.7	4.0E-07	2.1E-08	1.2E-06	7.5	0.7	3.9E-07	1.8E-08	1.2E-06	7.9	97%	106%
Plant 48	0	1,011,472	4.9E-07	-	2.3E-06	13.0	0.3	5.1E-07	2.5E-08	1.6E-06	8.0	0.3	5.1E-07	2.1E-08	1.6E-06	8.6	100%	109%
Plant 49	0	2,252,507	2.2E-07	-	1.0E-06	13.0	0.6	4.2E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.6	0.6	4.0E-07	1.9E-08	1.2E-06	8.0	95%	106%

\*1: ゼロ件故障には工学的判断により0.5件を仮定

\*2: EF=95%値/5%値 ただし、古典統計におけるゼロ件故障事象に対してはEF=13とした。

\*3: 感度解析/ベースケース

\*4: 平均値

\*5: 90%信頼区間

表 8-6(2) 制御ケーブル短絡 ベースケース及びケース 3 比較（時間故障率）

ユニット	観測件数 [件]	延べ運転時間 [h]	古典統計				ベイズ統計 ベースケース					ベイズ統計 ケース3						
			点推定値 <sup>*1</sup> [1/h]	下限値 <sup>*5</sup> [1/h]	上限値 <sup>*5</sup> [1/h]	EF <sup>-2</sup>	故障件数 推定値 <sup>*1</sup> [件]	平均値 [1/h]	5%値 [1/h]	95%値 [1/h]	EF <sup>-2</sup>	故障件数 推定値 <sup>*1</sup> [件]	平均値 [1/h]	5%値 [1/h]	95%値 [1/h]	EF <sup>-2</sup>	平均値比 <sup>*3</sup>	EF比 <sup>*3</sup>
一般故障率	0	14,822,911,173	3.4E-11	-	1.6E-10	13.0	0.92	1.3E-10	3.8E-12	3.9E-10	10.2	0.98	1.4E-10	4.0E-12	4.0E-10	10.1	106%	99%
Plant 01	0	347,391,756	1.4E-09	-	6.6E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	9.9	0.02	1.1E-10	3.8E-12	3.6E-10	9.8	103%	93%
Plant 02	0	294,415,043	1.7E-09	-	7.8E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.4E-12	3.6E-10	10.3	0.02	1.1E-10	3.9E-12	3.7E-10	9.7	106%	94%
Plant 03	0	282,714,345	1.8E-09	-	8.1E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.7E-12	3.6E-10	9.9	0.02	1.1E-10	3.9E-12	3.7E-10	9.7	103%	97%
Plant 04	0	315,013,944	1.6E-09	-	7.3E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.7E-12	3.6E-10	10.0	0.02	1.1E-10	4.0E-12	3.8E-10	9.7	112%	97%
Plant 05	0	310,388,139	1.6E-09	-	7.4E-09	13.0	0.02	9.9E-11	3.5E-12	3.6E-10	10.2	0.02	1.1E-10	3.9E-12	3.7E-10	9.8	110%	96%
Plant 06	0	383,903,740	1.3E-09	-	6.0E-09	13.0	0.02	9.5E-11	3.3E-12	3.4E-10	10.1	0.02	1.0E-10	3.9E-12	3.5E-10	9.6	107%	94%
Plant 07	0	398,596,155	1.3E-09	-	5.8E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.7E-12	3.5E-10	9.8	0.02	1.0E-10	3.8E-12	3.5E-10	9.7	102%	99%
Plant 08	0	368,065,245	1.4E-09	-	6.3E-09	13.0	0.02	9.9E-11	3.7E-12	3.6E-10	9.8	0.03	1.1E-10	3.9E-12	3.7E-10	9.7	113%	98%
Plant 09	0	302,667,055	1.7E-09	-	7.6E-09	13.0	0.02	9.9E-11	3.6E-12	3.5E-10	9.8	0.02	1.1E-10	3.9E-12	3.7E-10	9.8	109%	100%
Plant 10	0	310,246,060	1.6E-09	-	7.4E-09	13.0	0.02	9.8E-11	3.5E-12	3.4E-10	9.8	0.02	1.1E-10	3.8E-12	3.6E-10	9.7	108%	99%
Plant 11	0	339,024,790	1.5E-09	-	6.8E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.7E-12	3.7E-10	10.0	0.02	1.1E-10	4.0E-12	3.7E-10	9.6	102%	96%
Plant 12	0	249,906,050	2.0E-09	-	9.2E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.1	0.02	1.1E-10	4.0E-12	3.8E-10	9.7	110%	96%
Plant 13	0	190,516,515	2.6E-09	-	1.2E-08	13.0	0.01	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.0	0.01	1.1E-10	3.9E-12	3.7E-10	9.7	108%	97%
Plant 14	0	170,964,280	2.9E-09	-	1.3E-08	13.0	0.01	1.0E-10	3.8E-12	3.6E-10	9.8	0.01	1.2E-10	4.1E-12	4.0E-10	9.9	116%	101%
Plant 15	0	270,728,340	1.8E-09	-	8.5E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.7E-12	3.7E-10	10.0	0.02	1.0E-10	3.9E-12	3.7E-10	9.7	98%	97%
Plant 16	0	259,191,395	1.9E-09	-	8.9E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.7E-12	3.7E-10	10.0	0.02	1.1E-10	3.9E-12	3.6E-10	9.7	102%	97%
Plant 17	0	300,546,767	1.7E-09	-	7.7E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.7E-12	3.6E-10	9.9	0.02	1.1E-10	3.8E-12	3.5E-10	9.7	100%	97%
Plant 18	0	305,711,330	1.6E-09	-	7.5E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.6E-12	3.7E-10	10.1	0.02	1.1E-10	3.8E-12	3.7E-10	9.8	102%	97%
Plant 19	0	194,406,575	2.6E-09	-	1.2E-08	13.0	0.01	1.0E-10	3.5E-12	3.6E-10	10.1	0.01	1.2E-10	3.8E-12	3.8E-10	9.9	113%	98%
Plant 20	0	200,346,355	2.5E-09	-	1.1E-08	13.0	0.01	1.1E-10	3.7E-12	3.6E-10	9.8	0.01	1.1E-10	4.0E-12	3.8E-10	9.8	109%	99%
Plant 21	0	288,927,105	1.7E-09	-	8.0E-09	13.0	0.02	9.8E-11	3.5E-12	3.5E-10	9.9	0.02	1.1E-10	3.9E-12	3.7E-10	9.7	110%	98%
Plant 22	0	160,597,215	3.1E-09	-	1.4E-08	13.0	0.01	1.0E-10	3.8E-12	3.6E-10	9.8	0.01	1.1E-10	4.0E-12	3.9E-10	9.8	109%	100%
Plant 23	0	394,334,820	1.3E-09	-	5.8E-09	13.0	0.02	9.9E-11	3.6E-12	3.5E-10	10.0	0.03	1.1E-10	3.9E-12	3.6E-10	9.6	106%	96%
Plant 24	0	298,730,160	1.7E-09	-	7.7E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.0	0.02	1.1E-10	4.0E-12	3.6E-10	9.5	101%	95%
Plant 25	0	382,173,600	1.3E-09	-	6.0E-09	13.0	0.02	9.4E-11	3.6E-12	3.4E-10	9.7	0.02	1.1E-10	4.1E-12	3.7E-10	9.6	114%	99%
Plant 26	0	372,834,180	1.3E-09	-	6.2E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.7E-12	3.7E-10	10.0	0.03	1.1E-10	4.0E-12	3.7E-10	9.7	105%	97%
Plant 27	0	247,305,993	2.0E-09	-	9.3E-09	13.0	0.01	9.6E-11	3.6E-12	3.4E-10	9.8	0.02	1.1E-10	3.9E-12	3.8E-10	9.8	117%	100%
Plant 28	0	211,118,358	2.4E-09	-	1.1E-08	13.0	0.01	1.1E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.1	0.02	1.2E-10	4.1E-12	3.8E-10	9.6	109%	96%
Plant 29	0	287,211,969	1.7E-09	-	8.0E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.5E-10	9.9	0.02	1.1E-10	3.9E-12	3.7E-10	9.8	107%	98%
Plant 30	0	280,492,245	1.8E-09	-	8.2E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.1	0.02	1.1E-10	3.9E-12	3.8E-10	9.8	108%	98%
Plant 31	0	392,654,976	1.3E-09	-	5.9E-09	13.0	0.02	9.8E-11	3.6E-12	3.5E-10	9.9	0.02	1.0E-10	3.9E-12	3.6E-10	9.6	105%	96%
Plant 32	0	369,325,824	1.4E-09	-	6.2E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.0	0.02	1.1E-10	4.1E-12	3.7E-10	9.5	106%	96%
Plant 33	0	350,160,384	1.4E-09	-	6.6E-09	13.0	0.02	9.9E-11	3.6E-12	3.5E-10	9.9	0.02	1.1E-10	3.9E-12	3.7E-10	9.8	109%	99%
Plant 34	0	368,573,184	1.4E-09	-	6.2E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	9.9	0.02	1.0E-10	3.7E-12	3.6E-10	9.9	103%	99%
Plant 35	0	361,471,488	1.4E-09	-	6.4E-09	13.0	0.02	9.8E-11	3.6E-12	3.5E-10	9.8	0.02	1.0E-10	3.8E-12	3.6E-10	9.7	106%	98%
Plant 36	0	380,904,798	1.3E-09	-	6.0E-09	13.0	0.03	1.1E-10	3.7E-12	3.5E-10	9.9	0.02	1.0E-10	4.0E-12	3.6E-10	9.5	98%	96%
Plant 37	0	409,207,602	1.2E-09	-	5.6E-09	13.0	0.02	9.8E-11	3.6E-12	3.5E-10	9.8	0.03	1.1E-10	3.9E-12	3.6E-10	9.6	107%	97%
Plant 38	0	265,771,116	1.9E-09	-	8.7E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.5E-12	3.5E-10	10.0	0.02	1.1E-10	4.0E-12	3.8E-10	9.8	111%	98%
Plant 39	0	233,418,156	2.1E-09	-	9.9E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.6E-12	3.8E-10	10.2	0.02	1.2E-10	4.0E-12	3.8E-10	9.8	108%	96%
Plant 40	0	316,445,580	1.6E-09	-	7.3E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.7E-10	10.1	0.02	1.1E-10	4.1E-12	3.6E-10	9.4	102%	93%
Plant 41	0	354,121,020	1.4E-09	-	6.5E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.5E-10	9.9	0.02	1.1E-10	4.3E-12	3.8E-10	9.4	108%	95%
Plant 42	0	204,025,854	2.5E-09	-	1.1E-08	13.0	0.01	1.1E-10	3.8E-12	3.8E-10	10.0	0.01	1.1E-10	4.2E-12	3.9E-10	9.7	99%	97%
Plant 43	0	131,011,380	3.8E-09	-	1.8E-08	13.0	0.01	1.2E-10	3.6E-12	3.8E-10	10.2	0.01	1.2E-10	4.0E-12	3.8E-10	9.7	96%	96%
Plant 44	0	370,142,976	1.4E-09	-	6.2E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.4E-12	3.6E-10	10.3	0.02	1.1E-10	4.0E-12	3.6E-10	9.5	100%	91%
Plant 45	0	345,166,080	1.4E-09	-	6.7E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.5E-10	9.9	0.02	1.1E-10	4.1E-12	3.7E-10	9.5	111%	96%
Plant 46	0	354,816,891	1.4E-09	-	6.5E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.7E-12	3.6E-10	9.9	0.02	1.1E-10	3.8E-12	3.7E-10	9.8	106%	99%
Plant 47	0	363,692,175	1.4E-09	-	6.3E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.6E-12	3.8E-10	10.1	0.02	1.1E-10	3.8E-12	3.7E-10	9.8	105%	97%
Plant 48	0	169,927,296	2.9E-09	-	1.4E-08	13.0	0.01	1.1E-10	3.7E-12	3.7E-10	10.0	0.01	1.2E-10	4.3E-12	3.8E-10	9.4	108%	94%
Plant 49	0	357,792,954	1.4E-09	-	6.4E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.0	0.03	1.1E-10	4.1E-12	3.8E-10	9.6	112%	96%

\*1: ゼロ件故障には0.5件を仮定

\*2: EF<sup>2</sup>=95%値/5%値 ただし、古典統計におけるゼロ件故障事象に対してはEF=13とした。

\*3: 感度解析/ベースケース

\*4: 平均値

\*5: 90%信頼区間

表 8-6(3) 非常用 DG 起動失敗 ベースケース及びケース 3 比較 ( デマンド故障確率 )

ユニット	観測件数 [件]	総デマンド回数	古典統計				ベイズ統計 ベースケース					ベイズ統計 ケース3						
			点推定値 <sup>*1</sup> [1/d]	下限値 <sup>*5</sup> [1/d]	上限値 <sup>*5</sup> [1/d]	EF <sup>*2</sup>	故障件数 推定値 <sup>*4</sup> [件]	平均値 [1/d]	5% 値 [1/d]	95% 値 [1/d]	EF <sup>*2</sup>	故障件数 推定値 <sup>*4</sup> [件]	平均値 [1/d]	5% 値 [1/d]	95% 値 [1/d]	EF <sup>*2</sup>	平均値比 <sup>*3</sup>	EF比 <sup>*3</sup>
一般故障率	19	42332	4.5E-04	2.9E-04	6.6E-04	1.5	48.9	1.5E-03	6.3E-05	4.3E-03	8.3	49.0	1.5E-03	6.2E-05	4.3E-03	8.3	104%	100%
Plant 01	0	595	8.4E-04	-	3.9E-03	13.0	0.3	9.0E-04	5.1E-05	2.6E-03	7.1	0.3	9.0E-04	5.0E-05	2.6E-03	7.2	101%	101%
Plant 02	0	628	8.0E-04	-	3.7E-03	13.0	0.3	8.8E-04	4.9E-05	2.5E-03	7.2	0.4	8.9E-04	4.8E-05	2.5E-03	7.3	102%	102%
Plant 03	0	601	8.3E-04	-	3.8E-03	13.0	0.3	9.0E-04	5.0E-05	2.6E-03	7.2	0.3	9.0E-04	4.9E-05	2.6E-03	7.3	100%	100%
Plant 04	0	672	7.4E-04	-	3.4E-03	13.0	0.4	8.7E-04	4.9E-05	2.5E-03	7.1	0.4	8.8E-04	4.8E-05	2.5E-03	7.2	101%	102%
Plant 05	0	663	7.5E-04	-	3.5E-03	13.0	0.4	8.8E-04	5.1E-05	2.5E-03	7.0	0.4	8.7E-04	4.8E-05	2.5E-03	7.1	99%	102%
Plant 06	0	723	6.9E-04	-	3.2E-03	13.0	0.4	8.5E-04	4.8E-05	2.4E-03	7.1	0.4	8.7E-04	4.7E-05	2.4E-03	7.2	102%	101%
Plant 07	2	755	2.6E-03	4.7E-04	8.3E-03	4.2	3.3	3.0E-03	6.0E-04	8.5E-03	3.8	3.3	3.0E-03	6.1E-04	8.4E-03	3.7	99%	99%
Plant 08	1	695	1.4E-03	7.4E-05	6.8E-03	9.6	1.7	1.8E-03	2.7E-04	5.2E-03	4.4	1.7	1.8E-03	2.7E-04	5.2E-03	4.4	99%	99%
Plant 09	0	573	8.7E-04	-	4.0E-03	13.0	0.3	9.0E-04	5.1E-05	2.6E-03	7.1	0.3	9.1E-04	4.9E-05	2.6E-03	7.3	101%	102%
Plant 10	0	584	8.6E-04	-	3.9E-03	13.0	0.3	9.0E-04	5.0E-05	2.6E-03	7.2	0.3	9.1E-04	4.9E-05	2.6E-03	7.3	101%	100%
Plant 11	2	638	3.1E-03	5.6E-04	9.9E-03	4.2	3.2	3.4E-03	6.3E-04	9.7E-03	3.9	3.2	3.4E-03	6.4E-04	9.7E-03	3.9	100%	99%
Plant 12	0	474	1.1E-03	-	4.9E-03	13.0	0.3	9.3E-04	5.1E-05	2.7E-03	7.3	0.3	9.5E-04	4.8E-05	2.8E-03	7.6	102%	104%
Plant 13	0	359	1.4E-03	-	6.4E-03	13.0	0.2	9.9E-04	5.4E-05	2.9E-03	7.3	0.2	9.9E-04	5.1E-05	2.9E-03	7.5	100%	103%
Plant 14	0	324	1.5E-03	-	7.1E-03	13.0	0.2	1.0E-03	5.4E-05	3.0E-03	7.4	0.2	1.0E-03	5.3E-05	3.0E-03	7.5	100%	101%
Plant 15	1	508	2.0E-03	1.0E-04	9.3E-03	9.6	1.6	2.1E-03	2.9E-04	6.3E-03	4.7	1.6	2.1E-03	2.9E-04	6.2E-03	4.6	100%	100%
Plant 16	0	419	1.2E-03	-	5.5E-03	13.0	0.3	9.7E-04	5.1E-05	2.8E-03	7.5	0.3	9.8E-04	5.1E-05	2.9E-03	7.5	101%	100%
Plant 17	1	477	2.1E-03	1.1E-04	9.9E-03	9.6	1.6	2.1E-03	2.9E-04	6.5E-03	4.7	1.6	2.1E-03	3.0E-04	6.5E-03	4.7	100%	99%
Plant 18	0	554	9.0E-04	-	4.2E-03	13.0	0.3	9.1E-04	5.1E-05	2.6E-03	7.2	0.3	9.1E-04	4.9E-05	2.6E-03	7.2	99%	100%
Plant 19	0	346	1.4E-03	-	6.7E-03	13.0	0.2	9.9E-04	5.4E-05	2.9E-03	7.4	0.2	1.0E-03	5.2E-05	2.9E-03	7.5	102%	101%
Plant 20	1	414	2.4E-03	1.2E-04	1.1E-02	9.6	1.6	2.3E-03	3.1E-04	7.0E-03	4.8	1.6	2.3E-03	3.1E-04	7.1E-03	4.8	100%	101%
Plant 21	0	456	1.1E-03	-	5.0E-03	13.0	0.3	9.5E-04	5.3E-05	2.8E-03	7.3	0.3	9.5E-04	5.2E-05	2.8E-03	7.3	100%	100%
Plant 22	0	280	1.8E-03	-	8.2E-03	13.0	0.2	1.0E-03	5.5E-05	3.1E-03	7.5	0.2	1.0E-03	5.2E-05	3.1E-03	7.6	99%	102%
Plant 23	0	542	9.2E-04	-	4.3E-03	13.0	0.3	9.2E-04	5.1E-05	2.6E-03	7.2	0.3	9.2E-04	4.9E-05	2.6E-03	7.4	100%	102%
Plant 24	0	354	1.4E-03	-	6.5E-03	13.0	0.2	1.0E-03	5.5E-05	3.0E-03	7.4	0.2	1.0E-03	5.1E-05	3.0E-03	7.6	100%	102%
Plant 25	0	697	7.2E-04	-	3.3E-03	13.0	0.4	8.6E-04	4.9E-05	2.5E-03	7.1	0.4	8.7E-04	4.8E-05	2.5E-03	7.1	101%	100%
Plant 26	2	513	3.9E-03	6.9E-04	1.2E-02	4.2	3.1	3.8E-03	6.7E-04	1.1E-02	4.1	3.1	3.8E-03	6.7E-04	1.1E-02	4.1	100%	100%
Plant 27	0	298	1.7E-03	-	7.7E-03	13.0	0.2	1.0E-03	5.6E-05	3.1E-03	7.4	0.2	1.0E-03	5.2E-05	3.0E-03	7.6	100%	103%
Plant 28	0	258	1.9E-03	-	8.9E-03	13.0	0.2	1.1E-03	5.5E-05	3.2E-03	7.6	0.2	1.1E-03	5.4E-05	3.1E-03	7.6	100%	100%
Plant 29	0	1015	4.9E-04	-	2.3E-03	13.0	0.5	7.9E-04	4.7E-05	2.2E-03	6.9	0.5	8.0E-04	4.4E-05	2.2E-03	7.1	100%	103%
Plant 30	0	1,178	4.2E-04	-	2.0E-03	13.0	0.6	7.7E-04	4.5E-05	2.1E-03	6.9	0.6	7.7E-04	4.3E-05	2.1E-03	7.0	100%	101%
Plant 31	0	1,429	3.5E-04	-	1.6E-03	13.0	0.7	7.2E-04	4.3E-05	2.0E-03	6.8	0.7	7.4E-04	4.2E-05	2.0E-03	6.9	102%	102%
Plant 32	0	1,358	3.7E-04	-	1.7E-03	13.0	0.6	7.4E-04	4.5E-05	2.0E-03	6.7	0.7	7.5E-04	4.3E-05	2.0E-03	6.9	102%	103%
Plant 33	0	1,300	3.8E-04	-	1.8E-03	13.0	0.6	7.5E-04	4.4E-05	2.1E-03	6.9	0.6	7.5E-04	4.4E-05	2.1E-03	6.9	101%	99%
Plant 34	1	1,149	8.7E-04	4.5E-05	4.1E-03	9.6	2.0	1.5E-03	2.3E-04	3.9E-03	4.1	2.0	1.5E-03	2.3E-04	4.0E-03	4.2	101%	101%
Plant 35	0	1,125	4.4E-04	-	2.0E-03	13.0	0.6	7.8E-04	4.6E-05	2.2E-03	6.9	0.5	7.7E-04	4.3E-05	2.1E-03	7.0	100%	102%
Plant 36	2	1,612	1.2E-03	2.2E-04	3.9E-03	4.2	3.9	2.0E-03	4.5E-04	5.0E-03	3.3	3.9	1.9E-03	4.6E-04	4.9E-03	3.3	99%	99%
Plant 37	0	1,730	2.9E-04	-	1.3E-03	13.0	0.8	6.9E-04	4.1E-05	1.9E-03	6.8	0.8	6.9E-04	4.0E-05	1.9E-03	6.8	100%	100%
Plant 38	0	1,120	4.5E-04	-	2.1E-03	13.0	0.6	7.8E-04	4.5E-05	2.2E-03	7.0	0.6	7.7E-04	4.4E-05	2.1E-03	7.0	100%	101%
Plant 39	3	984	3.0E-03	8.3E-04	7.9E-03	3.1	5.2	3.8E-03	8.6E-04	1.0E-02	3.4	5.1	3.8E-03	8.6E-04	1.0E-02	3.4	99%	101%
Plant 40	0	1,786	2.8E-04	-	1.3E-03	13.0	0.8	6.9E-04	4.2E-05	1.9E-03	6.7	0.8	7.0E-04	4.1E-05	1.9E-03	6.8	101%	102%
Plant 41	1	1,997	5.0E-04	2.6E-05	2.4E-03	9.6	2.4	1.1E-03	1.9E-04	2.9E-03	3.9	2.4	1.1E-03	1.8E-04	2.8E-03	3.9	99%	100%
Plant 42	0	535	9.3E-04	-	4.3E-03	13.0	0.3	9.2E-04	5.1E-05	2.7E-03	7.2	0.3	9.2E-04	5.0E-05	2.6E-03	7.2	100%	100%
Plant 43	0	343	1.5E-03	-	6.7E-03	13.0	0.2	1.0E-03	5.3E-05	3.0E-03	7.5	0.2	1.0E-03	5.2E-05	3.0E-03	7.5	100%	100%
Plant 44	0	2,038	2.5E-04	-	1.1E-03	13.0	0.9	6.6E-04	4.1E-05	1.8E-03	6.7	0.9	6.6E-04	3.9E-05	1.8E-03	6.8	100%	101%
Plant 45	0	1,928	2.6E-04	-	1.2E-03	13.0	0.8	6.7E-04	4.1E-05	1.8E-03	6.7	0.9	6.8E-04	3.9E-05	1.8E-03	6.8	101%	102%
Plant 46	1	1,944	5.1E-04	2.6E-05	2.4E-03	9.6	2.4	1.1E-03	1.9E-04	2.9E-03	4.0	2.4	1.1E-03	1.8E-04	2.9E-03	4.0	100%	99%
Plant 47	0	1,998	2.5E-04	-	1.2E-03	13.0	0.9	6.6E-04	4.1E-05	1.8E-03	6.7	0.9	6.8E-04	3.9E-05	1.8E-03	6.8	102%	102%
Plant 48	0	556	9.0E-04	-	4.1E-03	13.0	0.3	9.2E-04	5.0E-05	2.7E-03	7.3	0.3	9.2E-04	4.8E-05	2.6E-03	7.4	101%	102%
Plant 49	1	806	1.2E-03	6.4E-05	5.9E-03	9.6	1.8	1.7E-03	2.6E-04	4.9E-03	4.3	1.8	1.7E-03	2.6E-04	4.8E-03	4.3	99%	100%

\*1: ゼロ件故障には0.5件を仮定

\*2: EF=95%値/5%値 ただし、古典統計におけるゼロ件故障事象に対してはEF=13とした、

\*3: 感度解析/ベースケース

\*4: 平均値

\*5: 90%信頼区間

表 8-6(4) 逆止弁開失敗 ベースケース及びケース 3 比較 (デマンド故障確率)

ユニット	観測件数 [件]	総デマンド回数	古典統計				ベイズ統計 ベースケース					ベイズ統計 ケース3						
			点推定値 <sup>*1</sup> [1/d]	下限値 <sup>*5</sup> [1/d]	上限値 <sup>*5</sup> [1/d]	EF <sup>*2</sup>	故障件数 推定値 <sup>*1</sup> [件]	平均値 [1/d]	5%値 [1/d]	95%値 [1/d]	EF <sup>*2</sup>	故障件数 推定値 <sup>*1</sup> [件]	平均値 [1/d]	5%値 [1/d]	95%値 [1/d]	EF <sup>*2</sup>	平均値比 <sup>*3</sup>	EF比 <sup>*3</sup>
一般故障率	0	259336	1.9E-06	-	8.9E-06	13.0	1.01	9.4E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.3	0.98	9.3E-06	2.3E-07	2.3E-05	9.9	99%	96%
Plant 01	0	5,153	9.7E-05	-	4.5E-04	13.0	0.02	6.4E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.2	0.02	6.3E-06	2.3E-07	2.1E-05	9.6	98%	94%
Plant 02	0	7,310	6.8E-05	-	3.1E-04	13.0	0.03	6.1E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.0	0.03	6.0E-06	2.3E-07	2.1E-05	9.6	98%	96%
Plant 03	0	7,002	7.1E-05	-	3.3E-04	13.0	0.03	6.3E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.0	0.03	6.1E-06	2.2E-07	2.1E-05	9.6	97%	96%
Plant 04	0	7,819	6.4E-05	-	2.9E-04	13.0	0.03	6.3E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.1	0.03	6.0E-06	2.3E-07	2.1E-05	9.5	96%	94%
Plant 05	0	7,714	6.5E-05	-	3.0E-04	13.0	0.03	6.3E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.1	0.03	6.2E-06	2.3E-07	2.1E-05	9.6	100%	96%
Plant 06	0	9,043	5.5E-05	-	2.5E-04	13.0	0.04	6.2E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.0	0.03	5.8E-06	2.2E-07	2.0E-05	9.5	94%	95%
Plant 07	0	9,429	5.3E-05	-	2.4E-04	13.0	0.04	6.1E-06	2.2E-07	2.1E-05	9.9	0.03	5.9E-06	2.2E-07	2.0E-05	9.5	98%	97%
Plant 08	0	8,686	5.8E-05	-	2.7E-04	13.0	0.03	6.1E-06	2.1E-07	2.1E-05	10.1	0.03	5.9E-06	2.2E-07	2.0E-05	9.5	96%	95%
Plant 09	0	7,156	7.0E-05	-	3.2E-04	13.0	0.03	6.1E-06	2.1E-07	2.1E-05	10.1	0.03	6.1E-06	2.3E-07	2.1E-05	9.6	99%	96%
Plant 10	0	7,300	6.8E-05	-	3.2E-04	13.0	0.03	6.2E-06	2.1E-07	2.1E-05	10.0	0.03	6.0E-06	2.3E-07	2.1E-05	9.4	97%	95%
Plant 11	0	7,976	6.3E-05	-	2.9E-04	13.0	0.03	6.1E-06	2.1E-07	2.1E-05	10.0	0.03	6.0E-06	2.2E-07	2.1E-05	9.6	98%	97%
Plant 12	0	5,911	8.5E-05	-	3.9E-04	13.0	0.02	6.3E-06	2.2E-07	2.1E-05	9.9	0.02	6.2E-06	2.3E-07	2.1E-05	9.6	99%	97%
Plant 13	0	4,489	1.1E-04	-	5.1E-04	13.0	0.02	6.6E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.2	0.02	6.3E-06	2.3E-07	2.1E-05	9.7	96%	95%
Plant 14	0	4,048	1.2E-04	-	5.7E-04	13.0	0.02	6.7E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.1	0.02	6.5E-06	2.3E-07	2.2E-05	9.7	97%	96%
Plant 15	0	6,354	7.9E-05	-	3.6E-04	13.0	0.02	6.2E-06	2.1E-07	2.1E-05	10.0	0.02	6.1E-06	2.3E-07	2.1E-05	9.5	99%	95%
Plant 16	0	10,658	4.7E-05	-	2.2E-04	13.0	0.04	6.0E-06	2.1E-07	2.1E-05	9.9	0.04	5.9E-06	2.2E-07	2.0E-05	9.5	97%	96%
Plant 17	0	12,219	4.1E-05	-	1.9E-04	13.0	0.04	5.9E-06	2.1E-07	2.1E-05	9.9	0.04	5.7E-06	2.3E-07	2.0E-05	9.3	97%	94%
Plant 18	0	6,042	8.3E-05	-	3.8E-04	13.0	0.02	6.3E-06	2.2E-07	2.1E-05	9.9	0.02	6.3E-06	2.3E-07	2.1E-05	9.5	100%	96%
Plant 19	0	3,785	1.3E-04	-	6.1E-04	13.0	0.02	6.8E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.3	0.02	6.9E-06	2.3E-07	2.1E-05	9.7	103%	94%
Plant 20	0	3,065	1.6E-04	-	7.5E-04	13.0	0.01	6.8E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.1	0.01	6.6E-06	2.3E-07	2.2E-05	9.7	97%	96%
Plant 21	0	7,355	6.8E-05	-	3.1E-04	13.0	0.03	6.2E-06	2.2E-07	2.1E-05	10.0	0.03	6.1E-06	2.3E-07	2.1E-05	9.4	98%	94%
Plant 22	0	2,483	2.0E-04	-	9.3E-04	13.0	0.01	7.0E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.3	0.01	6.9E-06	2.3E-07	2.2E-05	9.7	98%	94%
Plant 23	0	9,709	5.1E-05	-	2.4E-04	13.0	0.03	5.9E-06	2.1E-07	2.1E-05	9.9	0.04	5.9E-06	2.3E-07	2.0E-05	9.5	101%	96%
Plant 24	0	7,953	6.3E-05	-	2.9E-04	13.0	0.03	6.1E-06	2.1E-07	2.1E-05	10.0	0.03	6.0E-06	2.2E-07	2.1E-05	9.7	98%	96%
Plant 25	0	6,548	7.6E-05	-	3.5E-04	13.0	0.03	6.3E-06	2.2E-07	2.1E-05	10.0	0.02	6.1E-06	2.3E-07	2.1E-05	9.6	96%	96%
Plant 26	0	3,174	1.6E-04	-	7.3E-04	13.0	0.01	6.9E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.2	0.01	6.8E-06	2.3E-07	2.2E-05	9.7	99%	95%
Plant 27	0	1,376	3.6E-04	-	1.7E-03	13.0	0.01	7.4E-06	2.3E-07	2.3E-05	10.1	0.01	7.1E-06	2.3E-07	2.2E-05	9.8	96%	98%
Plant 28	0	1,202	4.2E-04	-	1.9E-03	13.0	0.01	7.5E-06	2.2E-07	2.4E-05	10.3	0.01	7.2E-06	2.3E-07	2.2E-05	9.8	96%	95%
Plant 29	0	2,964	1.7E-04	-	7.8E-04	13.0	0.01	7.0E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.3	0.01	6.7E-06	2.3E-07	2.2E-05	9.8	96%	96%
Plant 30	0	3,122	1.6E-04	-	7.4E-04	13.0	0.01	6.9E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.2	0.01	6.6E-06	2.3E-07	2.2E-05	9.8	95%	96%
Plant 31	0	5,432	9.2E-05	-	4.2E-04	13.0	0.02	6.3E-06	2.2E-07	2.2E-05	9.9	0.02	6.2E-06	2.2E-07	2.1E-05	9.7	100%	99%
Plant 32	0	5,162	9.7E-05	-	4.5E-04	13.0	0.02	6.4E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.0	0.02	6.4E-06	2.3E-07	2.1E-05	9.7	100%	97%
Plant 33	0	4,941	1.0E-04	-	4.7E-04	13.0	0.02	6.5E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.1	0.02	6.5E-06	2.3E-07	2.2E-05	9.8	101%	96%
Plant 34	0	3,207	1.6E-04	-	7.2E-04	13.0	0.01	6.7E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.2	0.01	6.8E-06	2.3E-07	2.2E-05	9.7	102%	95%
Plant 35	0	3,098	1.6E-04	-	7.4E-04	13.0	0.01	6.6E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.1	0.01	6.5E-06	2.3E-07	2.1E-05	9.7	99%	96%
Plant 36	0	5,108	9.8E-05	-	4.5E-04	13.0	0.02	6.4E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.0	0.02	6.3E-06	2.3E-07	2.1E-05	9.6	98%	96%
Plant 37	0	5,462	9.2E-05	-	4.2E-04	13.0	0.02	6.3E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.1	0.02	6.3E-06	2.3E-07	2.1E-05	9.6	99%	95%
Plant 38	0	3,507	1.4E-04	-	6.6E-04	13.0	0.01	6.7E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.2	0.01	6.6E-06	2.3E-07	2.1E-05	9.5	99%	94%
Plant 39	0	3,080	1.6E-04	-	7.5E-04	13.0	0.01	6.8E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.1	0.01	6.6E-06	2.3E-07	2.2E-05	9.7	97%	96%
Plant 40	0	3,621	1.4E-04	-	6.4E-04	13.0	0.01	6.6E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.2	0.01	6.5E-06	2.3E-07	2.2E-05	9.7	98%	95%
Plant 41	0	4,037	1.2E-04	-	5.7E-04	13.0	0.02	6.5E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.2	0.02	6.5E-06	2.3E-07	2.1E-05	9.6	99%	93%
Plant 42	0	2,133	2.3E-04	-	1.1E-03	13.0	0.01	7.0E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.2	0.01	6.8E-06	2.3E-07	2.2E-05	9.8	98%	96%
Plant 43	0	1,358	3.7E-04	-	1.7E-03	13.0	0.01	7.4E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.2	0.01	7.3E-06	2.3E-07	2.2E-05	9.7	98%	95%
Plant 44	0	3,452	1.4E-04	-	6.7E-04	13.0	0.01	6.7E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.2	0.01	6.5E-06	2.3E-07	2.2E-05	9.7	97%	95%
Plant 45	0	3,254	1.5E-04	-	7.1E-04	13.0	0.01	6.7E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.2	0.01	6.5E-06	2.2E-07	2.2E-05	9.9	98%	96%
Plant 46	0	4,355	1.1E-04	-	5.3E-04	13.0	0.02	6.6E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.0	0.02	6.5E-06	2.3E-07	2.1E-05	9.7	99%	97%
Plant 47	0	4,498	1.1E-04	-	5.1E-04	13.0	0.02	6.7E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.2	0.02	6.4E-06	2.3E-07	2.1E-05	9.7	96%	95%
Plant 48	0	2,022	2.5E-04	-	1.1E-03	13.0	0.01	7.2E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.2	0.01	6.9E-06	2.3E-07	2.2E-05	9.8	97%	96%
Plant 49	0	4,560	1.1E-04	-	5.0E-04	13.0	0.02	6.5E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.1	0.02	6.4E-06	2.3E-07	2.1E-05	9.6	97%	95%

\*1:ゼロ件故障には0.5件を仮定

\*2:EF<sup>2</sup>=95%値/5%値 ただし、古典統計におけるゼロ件故障事象に対してはEF=13とした。

\*3:感度解析/ベースケース

\*4:平均値

\*5:90%信頼区間



#### 8.3.4 考察

##### a) $\sigma$ の事後分布

各ケースにおける $\sigma$ の事後分布を図 8-2 に示す。 $\sigma$ のハイパー事前分布に一樣分布を適用したため、ハイパー事前分布の上下限値の範囲外は確率値がゼロになり、事後分布もそれに対応した範囲に制限されている。すなわち、ハイパー事前分布は事後分布の範囲を制限しているといえる。

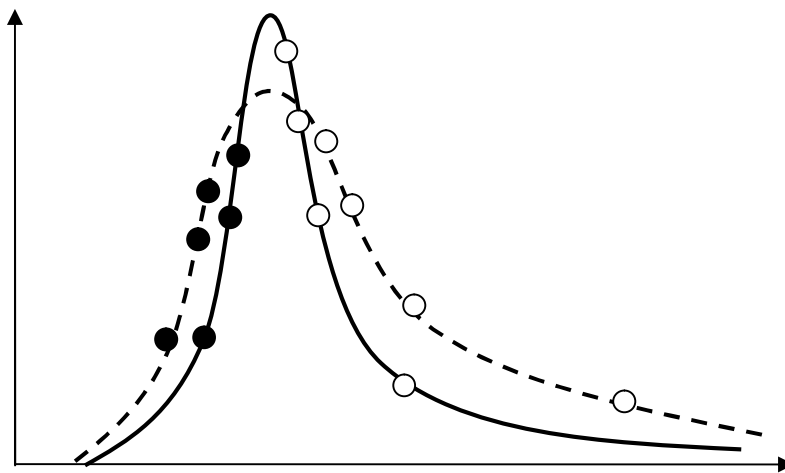
##### b) ケース 1

###### 1) プールデータで 1 件以上の観測件数を有する故障モード

ケース 1 では、ベースケースに比べ、国内一般機器故障率の平均値は減少傾向を示し、個別プラント機器故障率においては、観測件数が 1 件以上のプラントでは減少傾向、0 件のプラントでは増加傾向を示した。この個別プラント機器故障率の挙動は、機器故障率の母集団変動分布の分散を抑制するようにハイパー事前分布を設定したことによると考えられる。すなわち、ケース 1 の母集団変動事後分布は、ベースケースの事後分布に比べ中央値付近に集まる形となり、そのため、比較的高い機器故障率（観測件数が 1 件以上の個別プラント機器故障率）は中央値より小さめに評価され、比較的低い機器故障率（ゼロ件の個別プラント機器故障率）は中央値より大きめに評価されることになった（図 8-1）。また、国内一般機器故障率の挙動についても、対数正規事前分布の分散を抑制してその平均値が小さくなったために、事後分布の平均値も小さくなったと考えられる。

###### 2) プールデータで 0 件の観測件数を有する故障モード

国内一般機器故障率ならびに個別プラント機器故障率ともに減少傾向を示した。この挙動についても、母集団変動事前分布の分散が抑制されたため、事後分布が比較的機器故障率の大きい領域に広がらなかったことが原因であると考えられる。



—— ケース 1 母集団-変動分布

- - - - ベースケース母集団-変動分布

- 比較的高い機器故障率(観測件数が1件以上のプラントにおける個別プラント機器故障率)
- 比較的低い機器故障率(観測件数が0件のプラントにおける個別プラント機器故障率)

図 8-1 母集団変動分布の分散が抑制される場合の事後分布の様子

#### c) ケース 2

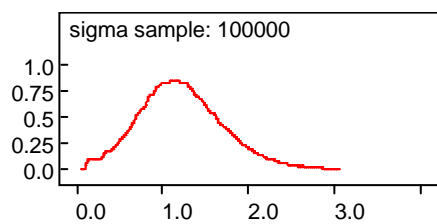
対数正規分布とした母集団変動分布の分散を拡大するハイパー事前分布設定であるため、機器故障率の挙動はケース 1 と反対の傾向を示した。

#### d) ケース 3

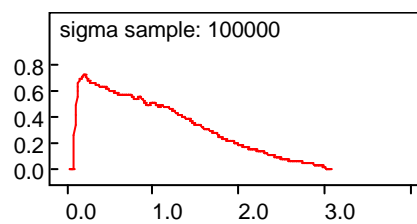
ケース 3 のハイパー事前分布設定では、機器故障率の母集団変動事前分布の範囲が拡大されたため、事後分布の存在範囲もほとんど事前分布の制限を受けずベースケースと同等の故障率が得られた。本結果から、ベースケースで設定したハイパー事前分布 $\sigma$ の範囲は尤度関数の存在範囲をほぼ包含できる程度に十分に広いといえる。

#### 8.3.5 まとめ

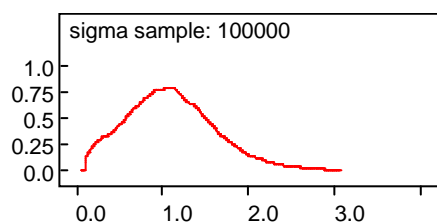
母集団変動分布のパラメータ $\sigma$ に対するハイパー事前分布の感度解析を実施した。母集団変動分布の分散の大小と、計算される国内一般機器故障率の挙動は整合性が取れていると考えられる。また、 $\sigma$ のハイパー事前分布の範囲を拡大した結果、機器故障率はベースケースと同等であることが確認できたため、 $\sigma$ のハイパー事前分布の範囲の広さは十分であると考えられる。



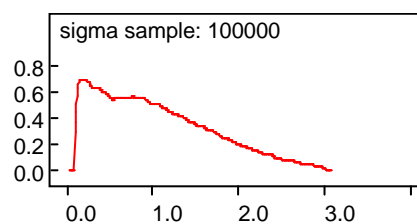
電動ポンプ継続運転失敗



制御ケーブル短絡

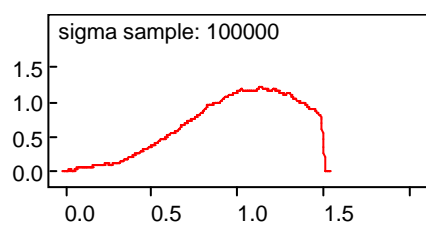


非常用 DG 起動失敗

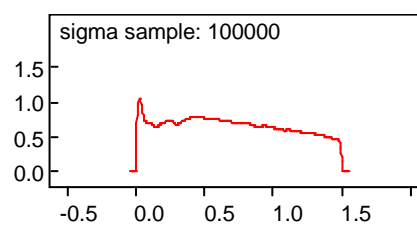


逆止弁開失敗

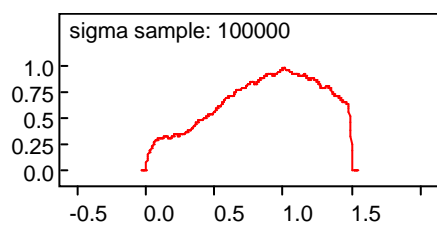
図 8-2(1) ベースケースにおける $\sigma$ の事後分布



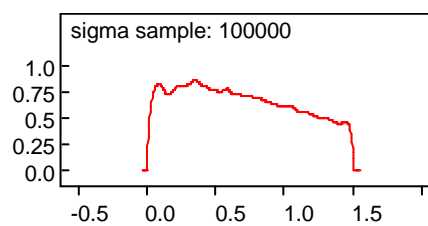
電動ポンプ継続運転失敗



制御ケーブル短絡

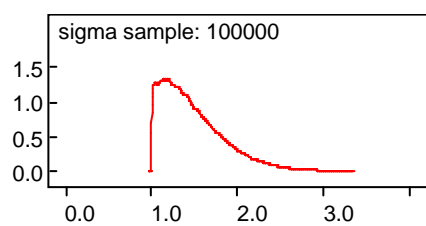


非常用 DG 起動失敗

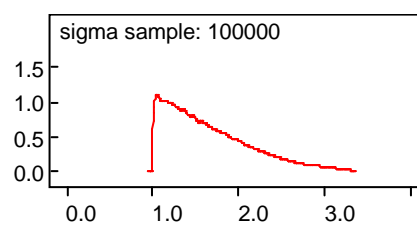


逆止弁開失敗

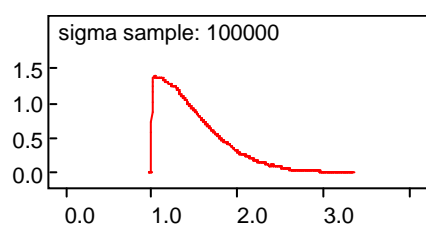
図 8-2(2) ケース 1 における  $\sigma$  の事後分布



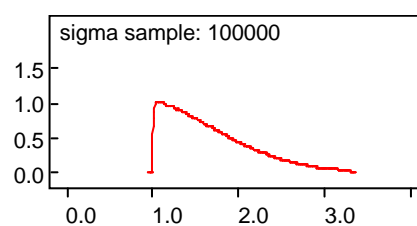
電動ポンプ継続運転失敗



制御ケーブル短絡

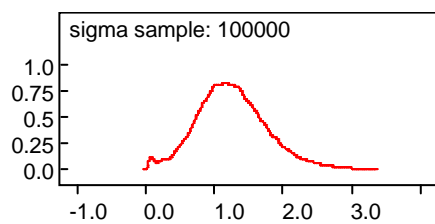


非常用 DG 起動失敗

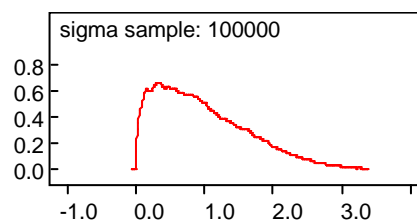


逆止弁開失敗

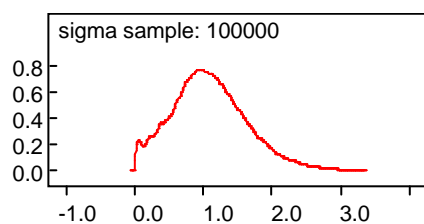
図 8-2(3) ケース 2 における  $\sigma$  の事後分布



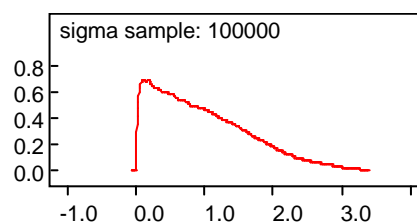
電動ポンプ継続運転失敗



制御ケーブル短絡



非常用 DG 起動失敗



逆止弁開失敗

図 8-2(4) ケース 3 における $\sigma$ の事後分布

#### 8.4 ハイパー事前分布 ( $\mu$ ) の感度解析について

国内一般機器故障率を推定する際の入力の一つであるハイパー事前分布の $\mu$ 設定について感度解析を実施した。評価対象は、4つの代表的な故障モード（時間故障率である電動ポンプ継続運転失敗と制御ケーブル短絡及びデマンド故障確率である非常用 DG 起動失敗と逆止弁開失敗）とした。

##### 8.4.1 ハイパー事前分布設定

国内一般機器故障率の推定では、母集団変動分布に対数正規分布又はロジスティック正規分布を用いており、これらのパラメータは $\mu$ 及び $\sigma$ であり、これらの事前分布として、一様分布を適用した。

$$(\mu \text{ または } \sigma) \sim Unif(a, b) = \frac{1}{b-a} \quad \left( \text{平均値} = \frac{b+a}{2}, \text{分散} = \frac{(b-a)^2}{12} \right) \quad (8.6)$$

ベースケースの $\mu$ に対する事前分布（ハイパー事前分布）には最尤法で求めた個別プラント機器故障率の最大値及び最小値を含み、分散が 10 程度（上下限值で 5 桁程度の拡がり）の適切に拡がった事前分布を設定しているが、本設定の感度を確認するため、表 8-7 に示す分布を用いて感度解析を実施した。

ケース 1、ケース 2 は事前分布を減少又は増加方向にシフトさせた。シフト幅はベースケースの $\mu$ の事後分布がピークを有する場合はピークからピークの裾までの 3/4 程度が事前分布の範囲に残ることを目処とし、ピークがない場合は範囲の 20%程度とした。ケース 3 では事前分布の幅を約 1.5 倍になるように拡大した。

表 8-7 感度解析のハイパー事前分布設定 ( $\mu$ )

	電動ポンプ 継続運転失敗	制御ケーブル 短絡	非常用 DG 起動失敗	逆止弁開失敗	分布の範囲
ベース ケース	Unif(-19,-8.5)	Unif(-25,-14)	Unif(-12,-0.99)	Unif(-14,-3.0)	-
ケース 1	Unif(-25,-14.5) <sup>注)</sup>	Unif(-27.8,-16.8)*	Unif(-18.0,-6.99)	Unif(-16,-5.0)	減少方向に シフト
ケース 2	Unif(-15.5,-5.0)	Unif(-23,-12)	Unif(-8.0,3.01)	Unif(-12,-1.0)	増加方向に シフト
ケース 3	Unif(-21.6,-5.9)	Unif(-27.6,-11)	Unif(-14.8,1.81)	Unif(-16.8,-0.2)	拡大

注) WinBUGS が実行中にエラーとなったため、乱数のシードを変更した。

#### 8.4.2 解析条件

解析モデルはベースケースと同様とし、WinBUGS を用いて評価する。バーンイン回数及びモンテカルロ繰り返し回数についてもベースケース（バーンイン回数は時間故障率には 7 万回，デマンド故障確率には 5 万回とし，モンテカルロ繰り返し回数は 10 万回）と同様とした。

#### 8.4.3 解析結果

ベースケースと感度解析の比較結果を表 8-8，表 8-9 及び表 8-10 に示す（感度解析結果の見方について附録 C を参照）。



表 8-8(1) 電動ポンプ継続運転失敗 ベースケース及びケース 1 比較 (時間故障率)

プラント	故障 件数	延べ 運転 時間[h]	古典統計				ベイズ統計 (MCMC手法) ベースケース				ベイズ統計 (MCMC手法) ケース1							
			点推 <sup>1</sup> 定値 <sup>*</sup> [1/h]	90%信頼区間		EF <sup>2</sup> (近似)	真の故障 件数 推定値 <sup>3</sup> [件]	平均値 [1/h]	5%点 [h]	95%点 [h]	EF <sup>4</sup> (近似)	真の故障 件数 推定値 <sup>3</sup> [件]	平均値 [1/h]	5%点 [h]	95%点 [h]	EF <sup>4</sup> (近似)	平均 比 <sup>5</sup>	EF (近似) 比 <sup>6</sup>
				下限値	上限値													
一般故障率	26	86663069	3.0E-07	2.1E-07	4.2E-07	1.4	66.5	8.9E-07	3.0E-08	2.8E-06	9.6	64.9	1.0E-06	2.0E-08	3.0E-06	12.3	113%	128%
plant01	1	1710086	5.8E-07	3.0E-08	2.8E-06	9.6	2.0	9.6E-07	1.3E-07	2.7E-06	4.5	2.0	9.5E-07	1.1E-07	2.9E-06	5.1	99%	114%
plant02	3	1831102	1.6E-06	4.5E-07	4.2E-06	3.1	5.4	2.3E-06	5.4E-07	5.9E-06	3.3	5.7	2.5E-06	5.4E-07	6.3E-06	3.4	109%	104%
plant03		1758330	2.8E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.4E-08	1.4E-06	7.5	0.4	3.7E-07	1.5E-08	1.2E-06	9.1	82%	121%
plant04	3	1959216	1.5E-06	4.2E-07	4.0E-06	3.1	5.5	2.2E-06	5.3E-07	5.6E-06	3.2	5.8	2.4E-06	5.2E-07	6.0E-06	3.4	109%	105%
plant05		1930446	2.6E-07	-	1.2E-06	13.0	0.5	4.4E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.6	0.4	3.5E-07	1.5E-08	1.2E-06	8.7	80%	114%
plant06	1	1950872	5.1E-07	2.6E-08	2.4E-06	9.6	2.1	8.9E-07	1.2E-07	2.5E-06	4.5	2.0	8.7E-07	1.0E-07	2.5E-06	5.0	98%	111%
plant07	3	2170215	1.4E-06	3.8E-07	3.6E-06	3.1	5.6	2.1E-06	5.1E-07	5.2E-06	3.2	5.9	2.2E-06	5.0E-07	5.6E-06	3.4	107%	105%
plant08	1	2137584	4.7E-07	2.4E-08	2.2E-06	9.6	2.1	8.6E-07	1.2E-07	2.3E-06	4.4	2.1	8.4E-07	9.9E-08	2.5E-06	5.0	98%	112%
plant09	1	1757776	5.7E-07	2.9E-08	2.7E-06	9.6	2.0	9.5E-07	1.3E-07	2.6E-06	4.5	2.0	9.4E-07	1.1E-07	2.8E-06	5.1	100%	113%
plant10		1801792	2.8E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.3E-08	1.3E-06	7.6	0.4	3.7E-07	1.5E-08	1.2E-06	9.1	82%	119%
plant11		1968928	2.5E-07	-	1.2E-06	13.0	0.6	4.4E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.8	0.5	3.6E-07	1.5E-08	1.2E-06	8.8	82%	113%
plant12		1269940	3.9E-07	-	1.8E-06	13.0	0.4	4.9E-07	2.3E-08	1.5E-06	8.0	0.3	4.1E-07	1.6E-08	1.4E-06	9.2	83%	115%
plant13		968142	5.2E-07	-	2.4E-06	13.0	0.3	5.3E-07	2.4E-08	1.6E-06	8.1	0.3	4.5E-07	1.7E-08	1.5E-06	9.5	85%	118%
plant14		868784	5.8E-07	-	2.7E-06	13.0	0.3	5.4E-07	2.5E-08	1.7E-06	8.2	0.2	4.5E-07	1.7E-08	1.6E-06	9.7	83%	118%
plant15		1375752	3.6E-07	-	1.7E-06	13.0	0.4	4.8E-07	2.3E-08	1.5E-06	7.9	0.3	4.0E-07	1.6E-08	1.3E-06	9.1	83%	114%
plant16		1842320	2.7E-07	-	1.2E-06	13.0	0.5	4.4E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.7	0.4	3.7E-07	1.5E-08	1.2E-06	9.0	83%	117%
plant17	2	1869238	1.1E-06	1.9E-07	3.4E-06	4.2	3.7	1.6E-06	3.1E-07	4.1E-06	3.6	3.8	1.6E-06	2.9E-07	4.4E-06	3.9	104%	107%
plant18		1553524	3.2E-07	-	1.5E-06	13.0	0.5	4.7E-07	2.4E-08	1.4E-06	7.6	0.4	3.9E-07	1.6E-08	1.3E-06	9.0	84%	118%
plant19		1129040	4.4E-07	-	2.0E-06	13.0	0.4	5.0E-07	2.4E-08	1.6E-06	8.0	0.3	4.2E-07	1.6E-08	1.4E-06	9.4	83%	117%
plant20		1163536	4.3E-07	-	2.0E-06	13.0	0.4	5.0E-07	2.5E-08	1.5E-06	7.9	0.3	4.2E-07	1.6E-08	1.4E-06	9.4	83%	120%
plant21		1796970	2.8E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.3E-08	1.3E-06	7.5	0.4	3.7E-07	1.5E-08	1.2E-06	8.9	83%	118%
plant22		816102	6.1E-07	-	2.8E-06	13.0	0.3	5.4E-07	2.5E-08	1.7E-06	8.1	0.2	4.7E-07	1.8E-08	1.6E-06	9.6	86%	118%
plant23		2218480	2.3E-07	-	1.0E-06	13.0	0.6	4.2E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.6	0.5	3.4E-07	1.5E-08	1.1E-06	8.5	80%	112%
plant24		1518048	3.3E-07	-	1.5E-06	13.0	0.5	4.7E-07	2.4E-08	1.4E-06	7.7	0.4	3.9E-07	1.6E-08	1.3E-06	8.9	82%	115%
plant25	3	1942080	1.5E-06	4.2E-07	4.0E-06	3.1	5.6	2.3E-06	5.4E-07	5.7E-06	3.3	5.8	2.4E-06	5.2E-07	6.1E-06	3.4	108%	105%
plant26	3	1966425	1.5E-06	4.2E-07	3.9E-06	3.1	5.5	2.2E-06	5.3E-07	5.6E-06	3.2	5.8	2.4E-06	5.2E-07	6.1E-06	3.4	109%	105%
plant27		1794367	2.8E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.8	0.4	3.8E-07	1.6E-08	1.2E-06	8.8	84%	114%
plant28		1531802	3.3E-07	-	1.5E-06	13.0	0.4	4.6E-07	2.3E-08	1.4E-06	7.7	0.4	3.8E-07	1.5E-08	1.3E-06	9.1	82%	118%
plant29		1961328	2.5E-07	-	1.2E-06	13.0	0.6	4.4E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.7	0.5	3.6E-07	1.5E-08	1.2E-06	8.9	83%	116%
plant30		2154870	2.3E-07	-	1.1E-06	13.0	0.6	4.3E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.6	0.5	3.4E-07	1.4E-08	1.1E-06	8.9	81%	117%
plant31	2	2629386	7.6E-07	1.4E-07	2.4E-06	4.2	4.0	1.2E-06	2.7E-07	3.2E-06	3.5	4.0	1.3E-06	2.4E-07	3.4E-06	3.7	104%	108%
plant32	1	2198368	4.5E-07	2.3E-08	2.2E-06	9.6	2.1	8.4E-07	1.2E-07	2.3E-06	4.4	2.1	8.2E-07	9.8E-08	2.4E-06	4.9	98%	112%
plant33	1	2084288	4.8E-07	2.5E-08	2.3E-06	9.6	2.1	8.6E-07	1.2E-07	2.4E-06	4.4	2.1	8.5E-07	9.9E-08	2.5E-06	5.0	98%	114%
plant34		1782534	2.8E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.3E-08	1.3E-06	7.6	0.4	3.7E-07	1.5E-08	1.2E-06	8.9	83%	118%
plant35		1748188	2.9E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.3E-08	1.4E-06	7.7	0.4	3.7E-07	1.6E-08	1.2E-06	8.9	82%	116%
plant36		1893165	2.6E-07	-	1.2E-06	13.0	0.5	4.4E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.6	0.4	3.6E-07	1.5E-08	1.2E-06	8.7	82%	115%
plant37		1762657	2.8E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.2E-08	1.4E-06	7.8	0.4	3.7E-07	1.6E-08	1.2E-06	8.8	82%	113%
plant38	1	1232868	8.1E-07	4.2E-08	3.8E-06	9.6	1.8	1.1E-06	1.4E-07	3.2E-06	4.8	1.8	1.1E-06	1.2E-07	3.4E-06	5.3	101%	111%
plant39		1082788	4.6E-07	-	2.1E-06	13.0	0.3	5.1E-07	2.5E-08	1.6E-06	8.0	0.3	4.3E-07	1.7E-08	1.5E-06	9.3	85%	117%
plant40		2296020	2.2E-07	-	1.0E-06	13.0	0.6	4.2E-07	2.2E-08	1.2E-06	7.5	0.5	3.4E-07	1.5E-08	1.1E-06	8.7	81%	116%
plant41		2569380	1.9E-07	-	9.0E-07	13.0	0.7	4.0E-07	2.1E-08	1.2E-06	7.5	0.5	3.2E-07	1.4E-08	1.1E-06	8.6	81%	116%
plant42		1014045	4.9E-07	-	2.3E-06	13.0	0.3	5.2E-07	2.6E-08	1.6E-06	7.9	0.3	4.4E-07	1.7E-08	1.5E-06	9.6	85%	121%
plant43		651150	7.7E-07	-	3.5E-06	13.0	0.2	5.8E-07	2.6E-08	1.8E-06	8.3	0.2	5.0E-07	1.7E-08	1.7E-06	10.0	85%	120%
plant44		2340934	2.1E-07	-	9.8E-07	13.0	0.6	4.1E-07	2.1E-08	1.2E-06	7.6	0.5	3.4E-07	1.4E-08	1.1E-06	8.8	82%	116%
plant45		2182970	2.3E-07	-	1.1E-06	13.0	0.6	4.2E-07	2.1E-08	1.2E-06	7.7	0.5	3.5E-07	1.5E-08	1.2E-06	8.9	84%	115%
plant46		2574429	1.9E-07	-	8.9E-07	13.0	0.7	4.0E-07	2.1E-08	1.2E-06	7.5	0.5	3.2E-07	1.4E-08	1.1E-06	8.7	80%	117%
plant47		2638825	1.9E-07	-	8.7E-07	13.0	0.7	4.0E-07	2.1E-08	1.2E-06	7.5	0.5	3.2E-07	1.4E-08	1.0E-06	8.5	80%	114%
plant48		1011472	4.9E-07	-	2.3E-06	13.0	0.3	5.1E-07	2.5E-08	1.6E-06	8.0	0.3	4.5E-07	1.7E-08	1.5E-06	9.4	87%	118%
plant49		2252507	2.2E-07	-	1.0E-06	13.0	0.6	4.2E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.6	0.5	3.3E-07	1.5E-08	1.1E-06	8.6	79%	114%

注\*1. 故障件数が0件のものは、0.5件として故障率の算出を行った。  
 \*2. EF (近似) = 上限値 / 下限値。但し故障件数が0の場合はEF=13とした。  
 \*3. 平均値  
 \*4. EF (近似) = 9.5 %点 / 5 %点  
 \*5. 平均値 (感度解析) / 平均値 (ベースケース)  
 \*6. EF (感度解析) / EF (ベースケース)

表 8-8(2) 制御ケーブル短絡 ベースケース及びケース 1 比較 (時間故障率)

プラント	故障 件数	延べ 運転 時間[h]	古典統計				ベイズ統計 (MCMC手法) ベースケース						ベイズ統計 (MCMC手法) ケース 1					
			点推 定値 <sup>*1</sup> [1/h]	90%信頼区間		EF <sup>*2</sup> (近似)	真の故障 件数 <sup>*3</sup> [件]	平均値 [1/h]	5%点 [h]	95%点 [h]	EF <sup>*4</sup> (近似)	真の故障 件数 <sup>*3</sup> [件]	平均値 [1/h]	5%点 [h]	95%点 [h]	EF <sup>*4</sup> (近似)	平均 比 <sup>*5</sup>	EF (近似) 比 <sup>*6</sup>
				下限値 [h]	上限値 [h]													
一般故障率	0	14817098258	3.4E-11	-	1.6E-10	13.0	0.92	1.3E-10	3.8E-12	3.9E-10	10.2	0.48	6.8E-11	2.3E-13	2.2E-10	30.6	51%	301%
plant01		347391756	1.4E-09	-	6.6E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	9.9	0.01	4.9E-11	2.3E-13	2.0E-10	29.6	47%	298%
plant02		294415043	1.7E-09	-	7.8E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.4E-12	3.6E-10	10.3	0.01	5.5E-11	2.3E-13	2.1E-10	30.3	52%	295%
plant03		282714345	1.8E-09	-	8.1E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.7E-12	3.6E-10	9.9	0.01	5.3E-11	2.5E-13	2.1E-10	29.4	51%	295%
plant04		315013944	1.6E-09	-	7.3E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.7E-12	3.6E-10	10.0	0.01	5.3E-11	2.5E-13	2.1E-10	28.9	53%	290%
plant05		310388139	1.6E-09	-	7.4E-09	13.0	0.02	9.9E-11	3.5E-12	3.6E-10	10.2	0.01	5.1E-11	2.4E-13	2.0E-10	29.2	51%	287%
plant06		383903740	1.3E-09	-	6.0E-09	13.0	0.02	9.5E-11	3.3E-12	3.4E-10	10.1	0.01	5.3E-11	2.3E-13	2.0E-10	29.4	56%	290%
plant07		398596155	1.3E-09	-	5.8E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.7E-12	3.5E-10	9.8	0.01	4.8E-11	2.4E-13	2.0E-10	28.7	48%	293%
plant08		368065245	1.4E-09	-	6.3E-09	13.0	0.02	9.9E-11	3.7E-12	3.6E-10	9.8	0.01	5.0E-11	2.4E-13	2.0E-10	29.3	50%	299%
plant09		302667055	1.7E-09	-	7.6E-09	13.0	0.02	9.9E-11	3.6E-12	3.5E-10	9.8	0.01	5.5E-11	2.4E-13	2.1E-10	29.6	56%	303%
plant10		310246060	1.6E-09	-	7.4E-09	13.0	0.02	9.8E-11	3.5E-12	3.4E-10	9.8	0.01	5.0E-11	2.5E-13	2.1E-10	28.5	51%	291%
plant11		339024790	1.5E-09	-	6.8E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.7E-12	3.7E-10	10.0	0.01	5.1E-11	2.2E-13	2.1E-10	30.7	49%	308%
plant12		249906050	2.0E-09	-	9.2E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.1	0.01	5.4E-11	2.3E-13	2.1E-10	30.5	52%	303%
plant13		190516515	2.6E-09	-	1.2E-08	13.0	0.01	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.0	0.01	5.6E-11	2.4E-13	2.1E-10	29.2	55%	293%
plant14		170964280	2.9E-09	-	1.3E-08	13.0	0.01	1.0E-10	3.8E-12	3.6E-10	9.8	0.01	5.3E-11	2.3E-13	2.0E-10	29.9	50%	306%
plant15		270728340	1.8E-09	-	8.5E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.7E-12	3.7E-10	10.0	0.01	5.3E-11	2.3E-13	2.1E-10	30.0	51%	301%
plant16		259191395	1.9E-09	-	8.9E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.7E-12	3.7E-10	10.0	0.01	5.5E-11	2.3E-13	2.1E-10	30.1	52%	300%
plant17		300546767	1.7E-09	-	7.7E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.7E-12	3.6E-10	9.9	0.01	5.1E-11	2.4E-13	2.1E-10	29.0	48%	292%
plant18		305711330	1.6E-09	-	7.5E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.6E-12	3.7E-10	10.1	0.01	5.4E-11	2.4E-13	2.1E-10	29.7	51%	294%
plant19		194406575	2.6E-09	-	1.2E-08	13.0	0.01	1.0E-10	3.5E-12	3.6E-10	10.1	0.01	5.4E-11	2.2E-13	2.0E-10	30.3	53%	300%
plant20		200346355	2.5E-09	-	1.1E-08	13.0	0.01	1.1E-10	3.7E-12	3.6E-10	9.8	0.01	5.4E-11	2.4E-13	2.1E-10	29.6	51%	301%
plant21		288927105	1.7E-09	-	8.0E-09	13.0	0.02	9.8E-11	3.5E-12	3.5E-10	9.9	0.01	5.4E-11	2.3E-13	2.1E-10	30.2	55%	304%
plant22		160597215	3.1E-09	-	1.4E-08	13.0	0.01	1.0E-10	3.8E-12	3.6E-10	9.8	0.01	5.8E-11	2.4E-13	2.2E-10	30.2	56%	308%
plant23		394334820	1.3E-09	-	5.8E-09	13.0	0.02	9.9E-11	3.6E-12	3.5E-10	10.0	0.01	5.0E-11	2.2E-13	2.0E-10	30.1	51%	301%
plant24		298730160	1.7E-09	-	7.7E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.0	0.01	5.5E-11	2.3E-13	2.1E-10	30.1	53%	301%
plant25		382173600	1.3E-09	-	6.0E-09	13.0	0.02	9.4E-11	3.6E-12	3.4E-10	9.7	0.01	5.0E-11	2.3E-13	2.1E-10	30.1	53%	311%
plant26		372834180	1.3E-09	-	6.2E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.7E-12	3.7E-10	10.0	0.01	5.2E-11	2.4E-13	2.0E-10	29.1	50%	290%
plant27		247305993	2.0E-09	-	9.3E-09	13.0	0.01	9.6E-11	3.6E-12	3.4E-10	9.8	0.01	5.4E-11	2.4E-13	2.1E-10	29.3	56%	299%
plant28		211118358	2.4E-09	-	1.1E-08	13.0	0.01	1.1E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.1	0.01	5.3E-11	2.4E-13	2.1E-10	29.1	50%	289%
plant29		287211969	1.7E-09	-	8.0E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.5E-10	9.9	0.01	5.4E-11	2.3E-13	2.1E-10	30.0	52%	302%
plant30		280492245	1.8E-09	-	8.2E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.1	0.01	5.2E-11	2.5E-13	2.0E-10	28.6	50%	284%
plant31		392654976	1.3E-09	-	5.9E-09	13.0	0.02	9.8E-11	3.6E-12	3.5E-10	9.9	0.01	5.2E-11	2.4E-13	2.0E-10	28.9	52%	291%
plant32		369325824	1.4E-09	-	6.2E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.0	0.01	5.4E-11	2.4E-13	2.1E-10	29.6	53%	297%
plant33		350160384	1.4E-09	-	6.6E-09	13.0	0.02	9.9E-11	3.6E-12	3.5E-10	9.9	0.01	5.2E-11	2.4E-13	2.0E-10	29.2	52%	296%
plant34		368573184	1.4E-09	-	6.2E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	9.9	0.01	5.2E-11	2.3E-13	2.1E-10	30.2	52%	304%
plant35		361471488	1.4E-09	-	6.4E-09	13.0	0.02	9.8E-11	3.6E-12	3.5E-10	9.8	0.01	5.0E-11	2.3E-13	2.1E-10	29.6	51%	301%
plant36		380904798	1.3E-09	-	6.0E-09	13.0	0.03	1.1E-10	3.7E-12	3.5E-10	9.9	0.01	5.5E-11	2.4E-13	2.2E-10	30.0	52%	305%
plant37		409207602	1.2E-09	-	5.6E-09	13.0	0.02	9.8E-11	3.6E-12	3.5E-10	9.8	0.01	5.2E-11	2.4E-13	2.1E-10	29.4	53%	299%
plant38		265771116	1.9E-09	-	8.7E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.5E-12	3.5E-10	10.0	0.01	5.3E-11	2.5E-13	2.0E-10	28.7	52%	287%
plant39		233418156	2.1E-09	-	9.9E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.6E-12	3.8E-10	10.2	0.01	5.7E-11	2.4E-13	2.1E-10	29.7	53%	291%
plant40		316445580	1.6E-09	-	7.3E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.7E-10	10.1	0.01	5.2E-11	2.4E-13	2.0E-10	29.0	50%	288%
plant41		354121020	1.4E-09	-	6.5E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.5E-10	9.9	0.01	4.9E-11	2.4E-13	2.0E-10	29.0	47%	293%
plant42		204025854	2.5E-09	-	1.1E-08	13.0	0.01	1.1E-10	3.8E-12	3.8E-10	10.0	0.01	5.4E-11	2.4E-13	2.1E-10	29.9	47%	300%
plant43		131011380	3.8E-09	-	1.8E-08	13.0	0.01	1.2E-10	3.6E-12	3.8E-10	10.2	0.00	5.9E-11	2.2E-13	2.1E-10	30.7	48%	302%
plant44		370142976	1.4E-09	-	6.2E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.4E-12	3.6E-10	10.3	0.01	5.2E-11	2.5E-13	2.0E-10	28.3	49%	274%
plant45		345166080	1.4E-09	-	6.7E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.5E-10	9.9	0.01	5.1E-11	2.4E-13	2.0E-10	28.9	51%	291%
plant46		354816891	1.4E-09	-	6.5E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.7E-12	3.6E-10	9.9	0.01	5.5E-11	2.4E-13	2.1E-10	29.7	53%	301%
plant47		363692175	1.4E-09	-	6.3E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.6E-12	3.8E-10	10.1	0.01	5.0E-11	2.4E-13	2.1E-10	29.7	47%	293%
plant48		169927296	2.9E-09	-	1.4E-08	13.0	0.01	1.1E-10	3.7E-12	3.7E-10	10.0	0.01	6.3E-11	2.4E-13	2.2E-10	30.3	58%	301%
plant49		357792954	1.4E-09	-	6.4E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.0	0.01	5.3E-11	2.3E-13	2.0E-10	29.8	52%	297%

注\*1. 故障件数が0件のものは、0.5件として故障率の算出を行った。

\*2. EF (近似) = 上限値 / 下限値。但し故障件数が0の場合はEF=13とした。

\*3. 平均値

\*4. EF (近似) = 9.5 %点 / 5 %点

\*5. 平均値 (感度解析) / 平均値 (ベースケース)

\*6. EF (感度解析) / EF (ベースケース)

表 8-8(3) 非常用 DG 起動失敗 ベースケース及びケース 1 比較 (デマンド故障確率)

ユニット	故障 件数	推定 総デマン ド回数	古典統計				ベイズ統計 (MCMC手法) ベースケース					ベイズ統計 (MCMC手法) ケース1					平均 比 <sup>5</sup>	EF (近似) 比 <sup>6</sup>
			点推 定値 <sup>1</sup> [1/D]	90%信頼区間 下限値 [D]	上限値 [D]	EF <sup>2</sup> (近似)	真の 故障件数 推定値 <sup>3</sup>	平均値 [1/D]	5%点 [D]	95%点 [D]	EF <sup>4</sup> (近似)	真の 故障件数 推定値 <sup>3</sup>	平均値 [1/D]	5%点 [D]	95%点 [D]	EF <sup>4</sup> (近似)		
一般故障率	19	42332	4.5E-04	2.9E-04	6.6E-04	1.5	49.0	1.5E-03	5.8E-05	4.4E-03	8.7	47.4	1.5E-03	4.1E-05	4.6E-03	10.6	102%	122%
plant01		595	8.4E-04	-	3.9E-03	13.0	0.3	9.0E-04	4.6E-05	2.6E-03	7.5	0.3	7.6E-04	3.5E-05	2.5E-03	8.4	85%	111%
plant02		628	8.0E-04	-	3.7E-03	13.0	0.4	8.9E-04	4.7E-05	2.6E-03	7.4	0.3	7.6E-04	3.4E-05	2.4E-03	8.5	86%	115%
plant03		601	8.3E-04	-	3.8E-03	13.0	0.3	9.0E-04	4.7E-05	2.6E-03	7.5	0.3	7.7E-04	3.3E-05	2.5E-03	8.6	85%	116%
plant04		672	7.4E-04	-	3.4E-03	13.0	0.4	8.7E-04	4.7E-05	2.5E-03	7.3	0.3	7.5E-04	3.5E-05	2.4E-03	8.3	86%	114%
plant05		663	7.5E-04	-	3.5E-03	13.0	0.4	8.7E-04	4.7E-05	2.5E-03	7.3	0.3	7.5E-04	3.4E-05	2.4E-03	8.4	86%	114%
plant06		723	6.9E-04	-	3.2E-03	13.0	0.4	8.5E-04	4.6E-05	2.4E-03	7.3	0.3	7.4E-04	3.3E-05	2.4E-03	8.4	87%	115%
plant07	2	755	2.6E-03	4.7E-04	8.3E-03	4.2	3.3	3.1E-03	6.1E-04	8.6E-03	3.8	3.5	3.3E-03	5.6E-04	9.4E-03	4.1	109%	109%
plant08	1	695	1.4E-03	7.4E-05	6.8E-03	9.6	1.8	1.8E-03	2.7E-04	5.3E-03	4.5	1.8	1.9E-03	2.2E-04	5.7E-03	5.1	101%	114%
plant09		573	8.7E-04	-	4.0E-03	13.0	0.3	9.0E-04	4.9E-05	2.6E-03	7.3	0.3	7.8E-04	3.5E-05	2.5E-03	8.5	86%	116%
plant10		584	8.6E-04	-	3.9E-03	13.0	0.3	8.9E-04	4.7E-05	2.6E-03	7.4	0.3	7.6E-04	3.4E-05	2.5E-03	8.6	86%	116%
plant11	2	638	3.1E-03	5.6E-04	9.9E-03	4.2	3.2	3.3E-03	6.3E-04	9.6E-03	3.9	3.4	3.8E-03	5.9E-04	1.1E-02	4.3	113%	110%
plant12		474	1.1E-03	-	4.9E-03	13.0	0.3	9.4E-04	4.8E-05	2.7E-03	7.5	0.2	8.2E-04	3.6E-05	2.7E-03	8.7	87%	115%
plant13		359	1.4E-03	-	6.4E-03	13.0	0.2	9.8E-04	5.0E-05	2.9E-03	7.7	0.2	8.8E-04	3.6E-05	3.0E-03	9.1	90%	118%
plant14		324	1.5E-03	-	7.1E-03	13.0	0.2	1.0E-03	5.2E-05	3.0E-03	7.6	0.2	9.0E-04	3.7E-05	3.0E-03	9.1	90%	120%
plant15	1	508	2.0E-03	1.0E-04	9.3E-03	9.6	1.6	2.1E-03	2.9E-04	6.3E-03	4.7	1.7	2.2E-03	2.4E-04	7.0E-03	5.4	105%	114%
plant16		419	1.2E-03	-	5.5E-03	13.0	0.3	9.6E-04	5.0E-05	2.8E-03	7.5	0.2	8.4E-04	3.6E-05	2.8E-03	8.8	88%	116%
plant17	1	477	2.1E-03	1.1E-04	9.9E-03	9.6	1.6	2.2E-03	2.9E-04	6.6E-03	4.7	1.7	2.3E-03	2.5E-04	7.3E-03	5.4	105%	115%
plant18		554	9.0E-04	-	4.2E-03	13.0	0.3	9.0E-04	4.7E-05	2.6E-03	7.5	0.3	8.0E-04	3.5E-05	2.6E-03	8.6	89%	116%
plant19		346	1.4E-03	-	6.7E-03	13.0	0.2	9.9E-04	5.0E-05	3.0E-03	7.7	0.2	8.9E-04	3.7E-05	2.9E-03	8.8	89%	115%
plant20	1	414	2.4E-03	1.2E-04	1.1E-02	9.6	1.5	2.3E-03	3.0E-04	7.0E-03	4.9	1.6	2.4E-03	2.6E-04	7.7E-03	5.5	106%	113%
plant21		456	1.1E-03	-	5.0E-03	13.0	0.3	9.5E-04	4.8E-05	2.8E-03	7.7	0.2	8.3E-04	3.5E-05	2.7E-03	8.8	87%	115%
plant22		280	1.8E-03	-	8.2E-03	13.0	0.2	1.0E-03	5.2E-05	3.2E-03	7.8	0.2	9.2E-04	3.8E-05	3.1E-03	9.1	89%	116%
plant23		542	9.2E-04	-	4.3E-03	13.0	0.3	9.0E-04	4.8E-05	2.6E-03	7.4	0.3	7.9E-04	3.5E-05	2.5E-03	8.6	88%	115%
plant24		354	1.4E-03	-	6.5E-03	13.0	0.2	9.9E-04	5.0E-05	3.0E-03	7.7	0.2	8.8E-04	3.6E-05	2.9E-03	9.0	88%	116%
plant25		697	7.2E-04	-	3.3E-03	13.0	0.4	8.7E-04	4.7E-05	2.5E-03	7.3	0.3	7.4E-04	3.3E-05	2.3E-03	8.4	85%	115%
plant26	2	513	3.9E-03	6.9E-04	1.2E-02	4.2	3.2	3.9E-03	6.7E-04	1.1E-02	4.1	3.3	4.3E-03	6.2E-04	1.3E-02	4.5	110%	110%
plant27		298	1.7E-03	-	7.7E-03	13.0	0.2	1.0E-03	5.0E-05	3.0E-03	7.8	0.2	9.1E-04	3.7E-05	3.0E-03	9.0	90%	115%
plant28		258	1.9E-03	-	8.9E-03	13.0	0.2	1.0E-03	5.1E-05	3.2E-03	7.9	0.2	9.4E-04	3.8E-05	3.1E-03	9.0	90%	114%
plant29		1015	4.9E-04	-	2.3E-03	13.0	0.5	7.9E-04	4.3E-05	2.2E-03	7.2	0.4	6.6E-04	3.2E-05	2.1E-03	8.1	84%	113%
plant30		1178	4.2E-04	-	2.0E-03	13.0	0.6	7.6E-04	4.3E-05	2.1E-03	7.0	0.5	6.3E-04	3.1E-05	2.0E-03	8.0	83%	113%
plant31		1429	3.5E-04	-	1.6E-03	13.0	0.7	7.2E-04	4.2E-05	2.0E-03	6.9	0.5	6.0E-04	2.9E-05	1.8E-03	7.9	82%	114%
plant32		1358	3.7E-04	-	1.7E-03	13.0	0.6	7.3E-04	4.0E-05	2.0E-03	7.1	0.5	6.1E-04	3.0E-05	1.9E-03	7.9	83%	111%
plant33		1300	3.8E-04	-	1.8E-03	13.0	0.6	7.4E-04	4.2E-05	2.0E-03	7.0	0.5	6.1E-04	3.0E-05	1.9E-03	8.0	84%	114%
plant34	1	1149	8.7E-04	4.5E-05	4.1E-03	9.6	2.0	1.5E-03	2.3E-04	4.0E-03	4.2	2.0	1.4E-03	1.9E-04	4.1E-03	4.7	97%	111%
plant35		1125	4.4E-04	-	2.0E-03	13.0	0.5	7.7E-04	4.2E-05	2.2E-03	7.2	0.5	6.5E-04	3.0E-05	2.0E-03	8.2	84%	114%
plant36	2	1612	1.2E-03	2.2E-04	3.9E-03	4.2	3.9	2.0E-03	4.6E-04	5.0E-03	3.3	4.0	2.0E-03	4.1E-04	5.4E-03	3.6	104%	110%
plant37		1730	2.9E-04	-	1.3E-03	13.0	0.8	6.8E-04	3.9E-05	1.9E-03	6.9	0.6	5.5E-04	2.9E-05	1.7E-03	7.6	81%	110%
plant38		1120	4.5E-04	-	2.1E-03	13.0	0.6	7.6E-04	4.2E-05	2.1E-03	7.1	0.5	6.4E-04	3.2E-05	2.0E-03	7.9	84%	111%
plant39	3	984	3.0E-03	8.3E-04	7.9E-03	3.1	5.2	3.9E-03	8.7E-04	1.0E-02	3.4	5.4	4.2E-03	8.5E-04	1.1E-02	3.6	107%	104%
plant40		1786	2.8E-04	-	1.3E-03	13.0	0.8	6.8E-04	3.8E-05	1.8E-03	6.9	0.6	5.5E-04	2.8E-05	1.7E-03	7.8	82%	112%
plant41	1	1997	5.0E-04	2.6E-05	2.4E-03	9.6	2.4	1.1E-03	1.8E-04	2.9E-03	4.0	2.3	1.1E-03	1.5E-04	3.0E-03	4.4	95%	111%
plant42		535	9.3E-04	-	4.3E-03	13.0	0.3	9.2E-04	4.7E-05	2.7E-03	7.6	0.3	8.0E-04	3.4E-05	2.6E-03	8.7	87%	116%
plant43		343	1.5E-03	-	6.7E-03	13.0	0.2	9.9E-04	5.0E-05	3.0E-03	7.7	0.2	8.8E-04	3.7E-05	2.9E-03	8.9	89%	116%
plant44		2038	2.5E-04	-	1.1E-03	13.0	0.9	6.5E-04	3.7E-05	1.8E-03	7.0	0.7	5.3E-04	2.7E-05	1.6E-03	7.6	81%	109%
plant45		1928	2.6E-04	-	1.2E-03	13.0	0.8	6.6E-04	3.8E-05	1.8E-03	6.9	0.7	5.4E-04	2.8E-05	1.6E-03	7.5	82%	109%
plant46	1	1944	5.1E-04	2.6E-05	2.4E-03	9.6	2.4	1.1E-03	1.8E-04	2.9E-03	4.0	2.3	1.1E-03	1.6E-04	3.0E-03	4.4	96%	110%
plant47		1998	2.5E-04	-	1.2E-03	13.0	0.9	6.5E-04	3.7E-05	1.8E-03	6.9	0.7	5.4E-04	2.8E-05	1.6E-03	7.6	82%	110%
plant48		556	9.0E-04	-	4.1E-03	13.0	0.3	9.1E-04	4.7E-05	2.7E-03	7.5	0.3	7.9E-04	3.5E-05	2.5E-03	8.5	87%	113%
plant49	1	806	1.2E-03	6.4E-05	5.9E-03	9.6	1.8	1.7E-03	2.5E-04	5.0E-03	4.4	1.9	1.7E-03	2.1E-04	5.2E-03	5.0	101%	112%

- 注 \*1. 故障件数が 0 件のものは、0.5 件として故障確率の算出を行った。  
 \*2. EF<sup>2</sup> (近似) = 上限値 / 下限値。但し故障件数が 0 の場合は EF=13 とした。  
 \*3. 平均値  
 \*4. EF<sup>2</sup> (近似) = 95% 点 / 5% 点  
 \*5. 平均値 (感度解析) / 平均値 (ベースケース)  
 \*6. EF (感度解析) / EF (ベースケース)

表 8-8(4) 逆止弁開失敗 ベースケース及びケース 1 比較 (デマンド故障確率)

ユニット	故障 件数	推定 総デマン ド回数	古典統計			ベイズ統計 (MCMC手法) ベースケース					ベイズ統計 (MCMC手法) ケース1					平均 比 <sup>5</sup>	EF (近似) 比 <sup>6</sup>	
			点推 定値 <sup>1</sup> [1/D]	90%信頼区 間 下限値 [D]	上限値 [D]	EF <sup>2</sup> (近似)	真の 故障件数 推定値 <sup>3</sup>	平均値 [1/D]	5%点 [D]	95%点 [D]	EF <sup>4</sup> (近似)	真の 故障件数 推定値 <sup>3</sup>	平均値 [1/D]	5%点 [D]	95%点 [D]			EF <sup>4</sup> (近似)
一般故障率	0	259336	1.9E-06		8.9E-06	13.0	1.05	9.7E-06	2.1E-07	2.5E-05	10.8	0.52	4.8E-06	3.0E-08	2.5E-05	28.9	50%	268%
plant01		5153	9.7E-05		4.5E-04	13.0	0.02	6.9E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.5	0.01	3.4E-06	3.0E-08	1.2E-05	19.9	49%	190%
plant02		7310	6.8E-05		3.1E-04	13.0	0.03	6.4E-06	2.0E-07	2.2E-05	10.5	0.01	3.2E-06	3.0E-08	1.2E-05	19.5	50%	186%
plant03		7002	7.1E-05		3.3E-04	13.0	0.03	6.6E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.3	0.01	3.1E-06	2.9E-08	1.2E-05	19.9	47%	192%
plant04		7819	6.4E-05		2.9E-04	13.0	0.03	6.4E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.3	0.01	3.1E-06	2.9E-08	1.2E-05	20.3	49%	196%
plant05		7714	6.5E-05		3.0E-04	13.0	0.03	6.5E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.4	0.02	3.3E-06	3.0E-08	1.2E-05	19.9	50%	191%
plant06		9043	5.5E-05		2.5E-04	13.0	0.03	6.3E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.5	0.02	3.1E-06	2.9E-08	1.2E-05	20.2	48%	192%
plant07		9429	5.3E-05		2.4E-04	13.0	0.04	6.3E-06	2.0E-07	2.2E-05	10.4	0.02	3.0E-06	3.0E-08	1.2E-05	19.8	48%	190%
plant08		8686	5.8E-05		2.7E-04	13.0	0.03	6.4E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.3	0.02	3.1E-06	3.0E-08	1.2E-05	19.8	49%	191%
plant09		7156	7.0E-05		3.2E-04	13.0	0.03	6.6E-06	2.0E-07	2.3E-05	10.5	0.01	3.3E-06	3.0E-08	1.2E-05	19.9	49%	189%
plant10		7300	6.8E-05		3.2E-04	13.0	0.03	6.6E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.5	0.02	3.3E-06	3.0E-08	1.2E-05	19.8	50%	189%
plant11		7976	6.3E-05		2.9E-04	13.0	0.03	6.3E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.4	0.01	3.1E-06	2.9E-08	1.2E-05	20.0	49%	192%
plant12		5911	8.5E-05		3.9E-04	13.0	0.02	6.6E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.5	0.01	3.4E-06	2.9E-08	1.2E-05	20.6	51%	197%
plant13		4489	1.1E-04		5.1E-04	13.0	0.02	6.8E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.4	0.01	3.4E-06	3.1E-08	1.2E-05	19.6	50%	188%
plant14		4048	1.2E-04		5.7E-04	13.0	0.02	7.0E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.6	0.01	3.4E-06	3.0E-08	1.2E-05	19.8	48%	187%
plant15		6354	7.9E-05		3.6E-04	13.0	0.02	6.5E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.4	0.01	3.3E-06	3.0E-08	1.2E-05	19.8	51%	191%
plant16		10658	4.7E-05		2.2E-04	13.0	0.04	6.1E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.2	0.02	3.0E-06	3.0E-08	1.2E-05	19.8	48%	193%
plant17		12219	4.1E-05		1.9E-04	13.0	0.05	6.1E-06	2.0E-07	2.2E-05	10.4	0.02	2.9E-06	3.0E-08	1.1E-05	19.5	48%	187%
plant18		6042	8.3E-05		3.8E-04	13.0	0.02	6.7E-06	2.1E-07	2.4E-05	10.6	0.01	3.2E-06	3.0E-08	1.2E-05	19.8	48%	186%
plant19		3785	1.3E-04		6.1E-04	13.0	0.02	7.0E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.5	0.01	3.5E-06	3.0E-08	1.2E-05	20.4	50%	194%
plant20		3065	1.6E-04		7.5E-04	13.0	0.01	7.0E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.7	0.01	3.5E-06	3.0E-08	1.2E-05	20.2	50%	190%
plant21		7355	6.8E-05		3.1E-04	13.0	0.03	6.5E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.5	0.01	3.2E-06	3.0E-08	1.2E-05	20.0	50%	190%
plant22		2483	2.0E-04		9.3E-04	13.0	0.01	7.4E-06	2.1E-07	2.4E-05	10.6	0.01	3.6E-06	3.0E-08	1.2E-05	20.5	49%	193%
plant23		9709	5.1E-05		2.4E-04	13.0	0.04	6.3E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.3	0.02	3.1E-06	3.0E-08	1.2E-05	19.6	49%	190%
plant24		7953	6.3E-05		2.9E-04	13.0	0.03	6.3E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.4	0.01	3.1E-06	3.0E-08	1.2E-05	19.6	49%	188%
plant25		6548	7.6E-05		3.5E-04	13.0	0.03	6.5E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.4	0.01	3.3E-06	3.1E-08	1.2E-05	19.8	51%	190%
plant26		3174	1.6E-04		7.3E-04	13.0	0.01	7.0E-06	2.1E-07	2.4E-05	10.6	0.01	3.7E-06	3.1E-08	1.2E-05	19.9	54%	187%
plant27		1376	3.6E-04		1.7E-03	13.0	0.01	7.6E-06	2.1E-07	2.4E-05	10.7	0.00	3.9E-06	3.0E-08	1.2E-05	20.2	51%	190%
plant28		1202	4.2E-04		1.9E-03	13.0	0.01	7.6E-06	2.1E-07	2.4E-05	10.7	0.00	3.7E-06	3.0E-08	1.2E-05	20.2	49%	189%
plant29		2964	1.7E-04		7.8E-04	13.0	0.01	7.2E-06	2.1E-07	2.4E-05	10.7	0.01	3.5E-06	3.0E-08	1.2E-05	20.1	49%	189%
plant30		3122	1.6E-04		7.4E-04	13.0	0.01	7.2E-06	2.1E-07	2.4E-05	10.6	0.01	3.4E-06	2.9E-08	1.2E-05	20.4	48%	194%
plant31		5432	9.2E-05		4.2E-04	13.0	0.02	6.6E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.5	0.01	3.4E-06	3.0E-08	1.2E-05	20.1	51%	191%
plant32		5162	9.7E-05		4.5E-04	13.0	0.02	7.0E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.6	0.01	3.3E-06	2.9E-08	1.2E-05	20.1	48%	191%
plant33		4941	1.0E-04		4.7E-04	13.0	0.02	6.8E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.4	0.01	3.3E-06	3.0E-08	1.2E-05	20.2	49%	193%
plant34		3207	1.6E-04		7.2E-04	13.0	0.01	7.0E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.4	0.01	3.5E-06	3.1E-08	1.2E-05	20.1	50%	193%
plant35		3098	1.6E-04		7.4E-04	13.0	0.01	7.0E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.5	0.01	3.6E-06	3.0E-08	1.2E-05	20.5	51%	195%
plant36		5108	9.8E-05		4.5E-04	13.0	0.02	6.7E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.4	0.01	3.4E-06	3.0E-08	1.2E-05	20.2	50%	194%
plant37		5462	9.2E-05		4.2E-04	13.0	0.02	6.7E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.4	0.01	3.3E-06	3.0E-08	1.2E-05	20.1	49%	193%
plant38		3507	1.4E-04		6.6E-04	13.0	0.02	7.0E-06	2.1E-07	2.4E-05	10.7	0.01	3.4E-06	3.0E-08	1.2E-05	20.0	49%	186%
plant39		3080	1.6E-04		7.5E-04	13.0	0.01	7.1E-06	2.1E-07	2.4E-05	10.6	0.01	3.5E-06	3.0E-08	1.2E-05	20.2	49%	190%
plant40		3621	1.4E-04		6.4E-04	13.0	0.02	6.8E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.6	0.01	3.4E-06	3.0E-08	1.2E-05	20.1	50%	190%
plant41		4037	1.2E-04		5.7E-04	13.0	0.02	6.8E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.5	0.01	3.4E-06	2.9E-08	1.2E-05	20.4	50%	194%
plant42		2133	2.3E-04		1.1E-03	13.0	0.01	7.5E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.5	0.00	3.7E-06	2.9E-08	1.2E-05	20.6	50%	197%
plant43		1358	3.7E-04		1.7E-03	13.0	0.01	7.6E-06	2.1E-07	2.4E-05	10.7	0.00	3.9E-06	3.0E-08	1.3E-05	20.4	51%	191%
plant44		3452	1.4E-04		6.7E-04	13.0	0.02	7.3E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.6	0.01	3.5E-06	3.0E-08	1.2E-05	20.4	48%	193%
plant45		3254	1.5E-04		7.1E-04	13.0	0.01	7.2E-06	2.1E-07	2.4E-05	10.6	0.01	3.5E-06	3.0E-08	1.2E-05	20.1	48%	190%
plant46		4355	1.1E-04		5.3E-04	13.0	0.02	7.2E-06	2.1E-07	2.4E-05	10.6	0.01	3.4E-06	2.9E-08	1.2E-05	20.4	48%	193%
plant47		4498	1.1E-04		5.1E-04	13.0	0.02	6.9E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.5	0.01	3.4E-06	3.0E-08	1.2E-05	20.3	49%	193%
plant48		2022	2.5E-04		1.1E-03	13.0	0.01	7.4E-06	2.1E-07	2.4E-05	10.7	0.00	3.7E-06	3.0E-08	1.2E-05	20.5	51%	192%
plant49		4560	1.1E-04		5.0E-04	13.0	0.02	6.8E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.5	0.01	3.3E-06	2.9E-08	1.2E-05	20.3	48%	193%

注\*1. 故障件数が0件のものは、0.5件として故障確率の算出を行った。

\*2. EF<sup>2</sup>(近似) = 上限値 / 下限値。但し故障件数が0の場合はEF=13とした。

\*3. 平均値

\*4. EF<sup>2</sup>(近似) = 9.5 % 点 / 5 % 点

\*5. 平均値 (感度解析) / 平均値 (ベースケース)

\*6. EF (感度解析) / EF (ベースケース)

表 8-9(1) 電動ポンプ継続運転失敗 ベースケース及びケース 2 比較 (時間故障率)

プラント	故障 件数	延べ 運転 時間[h]	古典統計				ベイズ統計 (MCMC手法) ベースケース					ベイズ統計 (MCMC手法) ケース2						
			点推 定値 <sup>*1</sup> [1/h]	90%信頼区間		EF <sup>*2</sup> (近似)	真の故障 件数 <sup>*3</sup> 推定値 <sup>*3</sup> [件]	平均値 [1/h]	5%点 [h]	95%点 [h]	EF <sup>*4</sup> (近似)	真の故障 件数 <sup>*3</sup> 推定値 <sup>*3</sup> [件]	平均値 [1/h]	5%点 [h]	95%点 [h]	EF <sup>*4</sup> (近似)	平均 比 <sup>*5</sup>	EF (近似) 比 <sup>*6</sup>
				下限値 [h]	上限値 [h]													
一般故障率	26	86663069	3.0E-07	2.1E-07	4.2E-07	1.4	66.5	8.9E-07	3.0E-08	2.8E-06	9.6	66.9	9.6E-07	4.4E-08	2.9E-06	8.1	109%	85%
plant01	1	1710086	5.8E-07	3.0E-08	2.8E-06	9.6	2.0	9.6E-07	1.3E-07	2.7E-06	4.5	2.0	9.6E-07	1.4E-07	2.6E-06	4.3	100%	95%
plant02	3	1831102	1.6E-06	4.5E-07	4.2E-06	3.1	5.4	2.3E-06	5.4E-07	5.9E-06	3.3	5.4	2.3E-06	5.4E-07	5.7E-06	3.3	98%	99%
plant03		1758330	2.8E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.4E-08	1.4E-06	7.5	0.5	4.7E-07	3.4E-08	1.4E-06	6.3	102%	84%
plant04	3	1959216	1.5E-06	4.2E-07	4.0E-06	3.1	5.5	2.2E-06	5.3E-07	5.6E-06	3.2	5.5	2.2E-06	5.3E-07	5.4E-06	3.2	98%	99%
plant05		1930446	2.6E-07	-	1.2E-06	13.0	0.5	4.4E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.6	0.6	4.6E-07	3.3E-08	1.3E-06	6.3	104%	83%
plant06	1	1950872	5.1E-07	2.6E-08	2.4E-06	9.6	2.1	8.9E-07	1.2E-07	2.5E-06	4.5	2.1	8.9E-07	1.3E-07	2.4E-06	4.2	100%	94%
plant07	3	2170215	1.4E-06	3.8E-07	3.6E-06	3.1	5.6	2.1E-06	5.1E-07	5.2E-06	3.2	5.5	2.0E-06	5.0E-07	5.0E-06	3.2	97%	99%
plant08	1	2137584	4.7E-07	2.4E-08	2.2E-06	9.6	2.1	8.6E-07	1.2E-07	2.3E-06	4.4	2.1	8.6E-07	1.3E-07	2.3E-06	4.2	100%	94%
plant09	1	1757776	5.7E-07	2.9E-08	2.7E-06	9.6	2.0	9.5E-07	1.3E-07	2.6E-06	4.5	2.0	9.3E-07	1.4E-07	2.6E-06	4.2	98%	94%
plant10		1801792	2.8E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.3E-08	1.3E-06	7.6	0.5	4.7E-07	3.3E-08	1.4E-06	6.4	103%	84%
plant11		1968928	2.5E-07	-	1.2E-06	13.0	0.6	4.4E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.8	0.6	4.6E-07	3.3E-08	1.3E-06	6.3	104%	81%
plant12		1269940	3.9E-07	-	1.8E-06	13.0	0.4	4.9E-07	2.3E-08	1.5E-06	8.0	0.4	5.2E-07	3.6E-08	1.5E-06	6.5	105%	81%
plant13		968142	5.2E-07	-	2.4E-06	13.0	0.3	5.3E-07	2.4E-08	1.6E-06	8.1	0.3	5.5E-07	3.6E-08	1.6E-06	6.7	103%	83%
plant14		868784	5.8E-07	-	2.7E-06	13.0	0.3	5.4E-07	2.5E-08	1.7E-06	8.2	0.3	5.6E-07	3.8E-08	1.7E-06	6.7	103%	81%
plant15		1375752	3.6E-07	-	1.7E-06	13.0	0.4	4.8E-07	2.3E-08	1.5E-06	7.9	0.4	5.0E-07	3.5E-08	1.5E-06	6.5	104%	82%
plant16		1842320	2.7E-07	-	1.2E-06	13.0	0.5	4.4E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.7	0.5	4.6E-07	3.3E-08	1.3E-06	6.4	104%	83%
plant17	2	1869238	1.1E-06	1.9E-07	3.4E-06	4.2	3.7	1.6E-06	3.1E-07	4.1E-06	3.6	3.7	1.5E-06	3.2E-07	4.0E-06	3.5	99%	97%
plant18		1553524	3.2E-07	-	1.5E-06	13.0	0.5	4.7E-07	2.4E-08	1.4E-06	7.6	0.5	4.8E-07	3.4E-08	1.4E-06	6.5	104%	85%
plant19		1129040	4.4E-07	-	2.0E-06	13.0	0.4	5.0E-07	2.4E-08	1.6E-06	8.0	0.4	5.3E-07	3.6E-08	1.6E-06	6.6	106%	82%
plant20		1163536	4.3E-07	-	2.0E-06	13.0	0.4	5.0E-07	2.5E-08	1.5E-06	7.9	0.4	5.2E-07	3.6E-08	1.6E-06	6.6	104%	85%
plant21		1796970	2.8E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.3E-08	1.3E-06	7.5	0.5	4.7E-07	3.3E-08	1.4E-06	6.4	104%	85%
plant22		816102	6.1E-07	-	2.8E-06	13.0	0.3	5.4E-07	2.5E-08	1.7E-06	8.1	0.3	5.6E-07	3.8E-08	1.7E-06	6.6	104%	82%
plant23		2218480	2.3E-07	-	1.0E-06	13.0	0.6	4.2E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.6	0.6	4.5E-07	3.3E-08	1.3E-06	6.3	106%	83%
plant24		1518048	3.3E-07	-	1.5E-06	13.0	0.5	4.7E-07	2.4E-08	1.4E-06	7.7	0.5	4.9E-07	3.5E-08	1.4E-06	6.4	104%	83%
plant25	3	1942080	1.5E-06	4.2E-07	4.0E-06	3.1	5.6	2.3E-06	5.4E-07	5.7E-06	3.3	5.4	2.2E-06	5.3E-07	5.4E-06	3.2	96%	98%
plant26	3	1966425	1.5E-06	4.2E-07	3.9E-06	3.1	5.5	2.2E-06	5.3E-07	5.6E-06	3.2	5.5	2.2E-06	5.3E-07	5.5E-06	3.2	99%	99%
plant27		1794367	2.8E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.8	0.5	4.7E-07	3.4E-08	1.4E-06	6.3	105%	81%
plant28		1531802	3.3E-07	-	1.5E-06	13.0	0.4	4.6E-07	2.3E-08	1.4E-06	7.7	0.5	4.8E-07	3.4E-08	1.4E-06	6.5	104%	84%
plant29		1961328	2.5E-07	-	1.2E-06	13.0	0.6	4.4E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.7	0.6	4.6E-07	3.3E-08	1.3E-06	6.4	105%	83%
plant30		2154870	2.3E-07	-	1.1E-06	13.0	0.6	4.3E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.6	0.6	4.4E-07	3.2E-08	1.3E-06	6.3	104%	83%
plant31	2	2629386	7.6E-07	1.4E-07	2.4E-06	4.2	4.0	1.2E-06	2.7E-07	3.2E-06	3.5	4.0	1.2E-06	2.8E-07	3.2E-06	3.4	100%	98%
plant32	1	2198368	4.5E-07	2.3E-08	2.2E-06	9.6	2.1	8.4E-07	1.2E-07	2.3E-06	4.4	2.2	8.6E-07	1.3E-07	2.3E-06	4.2	102%	95%
plant33	1	2084288	4.8E-07	2.5E-08	2.3E-06	9.6	2.1	8.6E-07	1.2E-07	2.4E-06	4.4	2.1	8.8E-07	1.4E-07	2.4E-06	4.2	101%	95%
plant34		1782534	2.8E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.3E-08	1.3E-06	7.6	0.5	4.7E-07	3.4E-08	1.4E-06	6.4	104%	84%
plant35		1748188	2.9E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.3E-08	1.4E-06	7.7	0.5	4.7E-07	3.5E-08	1.4E-06	6.3	104%	82%
plant36		1893165	2.6E-07	-	1.2E-06	13.0	0.5	4.4E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.6	0.6	4.6E-07	3.4E-08	1.3E-06	6.3	106%	83%
plant37		1762657	2.8E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.2E-08	1.4E-06	7.8	0.5	4.7E-07	3.4E-08	1.4E-06	6.3	104%	82%
plant38	1	1232868	8.1E-07	4.2E-08	3.8E-06	9.6	1.8	1.1E-06	1.4E-07	3.2E-06	4.8	1.8	1.1E-06	1.6E-07	3.2E-06	4.5	100%	94%
plant39		1082788	4.6E-07	-	2.1E-06	13.0	0.3	5.1E-07	2.5E-08	1.6E-06	8.0	0.4	5.3E-07	3.6E-08	1.6E-06	6.6	103%	83%
plant40		2296020	2.2E-07	-	1.0E-06	13.0	0.6	4.2E-07	2.2E-08	1.2E-06	7.5	0.6	4.3E-07	3.1E-08	1.3E-06	6.3	104%	85%
plant41		2569380	1.9E-07	-	9.0E-07	13.0	0.7	4.0E-07	2.1E-08	1.2E-06	7.5	0.7	4.2E-07	3.1E-08	1.2E-06	6.2	105%	83%
plant42		1014045	4.9E-07	-	2.3E-06	13.0	0.3	5.2E-07	2.6E-08	1.6E-06	7.9	0.3	5.4E-07	3.7E-08	1.6E-06	6.6	103%	83%
plant43		651150	7.7E-07	-	3.5E-06	13.0	0.2	5.8E-07	2.6E-08	1.8E-06	8.3	0.2	6.0E-07	3.8E-08	1.8E-06	7.0	103%	84%
plant44		2340934	2.1E-07	-	9.8E-07	13.0	0.6	4.1E-07	2.1E-08	1.2E-06	7.6	0.6	4.3E-07	3.1E-08	1.2E-06	6.3	104%	83%
plant45		2182970	2.3E-07	-	1.1E-06	13.0	0.6	4.2E-07	2.1E-08	1.2E-06	7.7	0.6	4.4E-07	3.2E-08	1.3E-06	6.3	105%	82%
plant46		2574429	1.9E-07	-	8.9E-07	13.0	0.7	4.0E-07	2.1E-08	1.2E-06	7.5	0.7	4.2E-07	3.2E-08	1.2E-06	6.1	104%	82%
plant47		2638825	1.9E-07	-	8.7E-07	13.0	0.7	4.0E-07	2.1E-08	1.2E-06	7.5	0.7	4.2E-07	3.1E-08	1.2E-06	6.2	104%	83%
plant48		1011472	4.9E-07	-	2.3E-06	13.0	0.3	5.1E-07	2.5E-08	1.6E-06	8.0	0.3	5.4E-07	3.8E-08	1.6E-06	6.5	105%	82%
plant49		2252507	2.2E-07	-	1.0E-06	13.0	0.6	4.2E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.6	0.6	4.4E-07	3.3E-08	1.3E-06	6.2	104%	82%

注\*1. 故障件数が0件のものは、0.5件として故障率の算出を行った。

\*2. EF(近似) = 上限値 / 下限値。但し故障件数が0の場合はEF=13とした。

\*3. 平均値

\*4. EF(近似) = 9.5 %点 / 5 %点

\*5. 平均値 (感度解析) / 平均値 (ベースケース)

\*6. EF (感度解析) / EF (ベースケース)

表 8-9(2) 制御ケーブル短絡 ベースケース及びケース 2 比較（時間故障率）

プラント	故障 件数	延べ 運転 時間[h]	古典統計				ベイズ統計（MCMC手法）ベースケース					ベイズ統計（MCMC手法）ケース2					平均 比 <sup>*5</sup>	EF （近似） 比 <sup>*6</sup>
			点推 定値 <sup>*1</sup> [1/h]	90%信頼区間		EF <sup>*2</sup> （近似）	真の故障 件数 <sup>*3</sup> [件]	平均値 [1/h]	5%点 [h]	95%点 [h]	EF <sup>*4</sup> （近似）	真の故障 件数 <sup>*3</sup> [件]	平均値 [1/h]	5%点 [h]	95%点 [h]	EF <sup>*4</sup> （近似）		
				下限 [h]	上限値 [h]													
一般故障率	0	14817099258	3.4E-11	-	1.6E-10	13.0	0.92	1.3E-10	3.8E-12	3.9E-10	10.2	2.30	2.8E-10	3.8E-11	7.4E-10	4.4	214%	43%
plant01		347391756	1.4E-09	-	6.6E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	9.9	0.05	2.6E-10	3.7E-11	6.9E-10	4.3	246%	43%
plant02		294415043	1.7E-09	-	7.8E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.4E-12	3.6E-10	10.3	0.05	2.5E-10	3.7E-11	6.8E-10	4.3	241%	42%
plant03		282714345	1.8E-09	-	8.1E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.7E-12	3.6E-10	9.9	0.04	2.6E-10	3.7E-11	7.0E-10	4.3	250%	44%
plant04		315013944	1.6E-09	-	7.3E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.7E-12	3.6E-10	10.0	0.05	2.6E-10	3.8E-11	6.9E-10	4.3	257%	43%
plant05		310388139	1.6E-09	-	7.4E-09	13.0	0.02	9.9E-11	3.5E-12	3.6E-10	10.2	0.05	2.5E-10	3.7E-11	6.7E-10	4.2	253%	42%
plant06		383903740	1.3E-09	-	6.0E-09	13.0	0.02	9.5E-11	3.3E-12	3.4E-10	10.1	0.06	2.5E-10	3.8E-11	6.8E-10	4.2	264%	42%
plant07		398596155	1.3E-09	-	5.8E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.7E-12	3.5E-10	9.8	0.06	2.5E-10	3.7E-11	6.9E-10	4.3	253%	44%
plant08		368065245	1.4E-09	-	6.3E-09	13.0	0.02	9.9E-11	3.7E-12	3.6E-10	9.8	0.06	2.6E-10	3.8E-11	7.1E-10	4.3	263%	44%
plant09		302667055	1.7E-09	-	7.6E-09	13.0	0.02	9.9E-11	3.6E-12	3.5E-10	9.8	0.05	2.6E-10	3.8E-11	6.9E-10	4.3	258%	44%
plant10		310246060	1.6E-09	-	7.4E-09	13.0	0.02	9.8E-11	3.5E-12	3.4E-10	9.8	0.05	2.6E-10	3.8E-11	7.0E-10	4.3	265%	44%
plant11		339024790	1.5E-09	-	6.8E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.7E-12	3.7E-10	10.0	0.05	2.5E-10	3.7E-11	6.9E-10	4.3	245%	43%
plant12		249906050	2.0E-09	-	9.2E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.1	0.04	2.7E-10	3.8E-11	7.0E-10	4.3	256%	42%
plant13		190516515	2.6E-09	-	1.2E-08	13.0	0.01	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.0	0.03	2.6E-10	3.7E-11	7.1E-10	4.4	257%	44%
plant14		170964280	2.9E-09	-	1.3E-08	13.0	0.01	1.0E-10	3.8E-12	3.6E-10	9.8	0.03	2.6E-10	3.7E-11	7.0E-10	4.3	249%	44%
plant15		270728340	1.8E-09	-	8.5E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.7E-12	3.7E-10	10.0	0.04	2.5E-10	3.8E-11	6.7E-10	4.2	237%	42%
plant16		259191395	1.9E-09	-	8.9E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.7E-12	3.7E-10	10.0	0.04	2.6E-10	3.8E-11	7.0E-10	4.3	245%	43%
plant17		300546767	1.7E-09	-	7.7E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.7E-12	3.6E-10	9.9	0.05	2.6E-10	3.8E-11	7.0E-10	4.3	247%	43%
plant18		305711330	1.6E-09	-	7.5E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.6E-12	3.7E-10	10.1	0.05	2.6E-10	3.8E-11	7.0E-10	4.3	247%	43%
plant19		194406575	2.6E-09	-	1.2E-08	13.0	0.01	1.0E-10	3.5E-12	3.6E-10	10.1	0.03	2.7E-10	3.8E-11	7.2E-10	4.3	259%	43%
plant20		200346355	2.5E-09	-	1.1E-08	13.0	0.01	1.1E-10	3.7E-12	3.6E-10	9.8	0.03	2.7E-10	3.9E-11	7.2E-10	4.3	252%	44%
plant21		288927105	1.7E-09	-	8.0E-09	13.0	0.02	9.8E-11	3.5E-12	3.5E-10	9.9	0.05	2.6E-10	3.7E-11	6.9E-10	4.3	263%	43%
plant22		160597215	3.1E-09	-	1.4E-08	13.0	0.01	1.0E-10	3.8E-12	3.6E-10	9.8	0.03	2.7E-10	3.8E-11	7.1E-10	4.3	267%	44%
plant23		394334820	1.3E-09	-	5.8E-09	13.0	0.02	9.9E-11	3.6E-12	3.5E-10	10.0	0.06	2.5E-10	3.7E-11	6.8E-10	4.3	256%	43%
plant24		298730160	1.7E-09	-	7.7E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.0	0.05	2.6E-10	3.7E-11	6.8E-10	4.3	245%	43%
plant25		382173600	1.3E-09	-	6.0E-09	13.0	0.02	9.4E-11	3.6E-12	3.4E-10	9.7	0.06	2.5E-10	3.7E-11	6.8E-10	4.3	268%	45%
plant26		372834180	1.3E-09	-	6.2E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.7E-12	3.7E-10	10.0	0.06	2.6E-10	3.7E-11	6.9E-10	4.3	245%	43%
plant27		247305993	2.0E-09	-	9.3E-09	13.0	0.01	9.6E-11	3.6E-12	3.4E-10	9.8	0.04	2.6E-10	3.8E-11	7.1E-10	4.3	271%	44%
plant28		211118358	2.4E-09	-	1.1E-08	13.0	0.01	1.1E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.1	0.03	2.6E-10	3.8E-11	7.0E-10	4.3	246%	43%
plant29		287211969	1.7E-09	-	8.0E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.5E-10	9.9	0.05	2.6E-10	3.8E-11	6.9E-10	4.3	252%	43%
plant30		280492245	1.8E-09	-	8.2E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.1	0.05	2.6E-10	3.8E-11	7.0E-10	4.3	251%	42%
plant31		392654976	1.3E-09	-	5.9E-09	13.0	0.02	9.8E-11	3.6E-12	3.5E-10	9.9	0.06	2.5E-10	3.7E-11	6.7E-10	4.3	254%	43%
plant32		369325824	1.4E-09	-	6.2E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.0	0.06	2.6E-10	3.8E-11	7.0E-10	4.3	255%	43%
plant33		350160384	1.4E-09	-	6.6E-09	13.0	0.02	9.9E-11	3.6E-12	3.5E-10	9.9	0.05	2.5E-10	3.8E-11	6.9E-10	4.3	257%	43%
plant34		368573184	1.4E-09	-	6.2E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	9.9	0.06	2.5E-10	3.8E-11	6.9E-10	4.3	254%	43%
plant35		361471488	1.4E-09	-	6.4E-09	13.0	0.02	9.8E-11	3.6E-12	3.5E-10	9.8	0.06	2.6E-10	3.8E-11	6.9E-10	4.2	261%	43%
plant36		380904798	1.3E-09	-	6.0E-09	13.0	0.03	1.1E-10	3.7E-12	3.5E-10	9.9	0.06	2.5E-10	3.7E-11	6.9E-10	4.3	237%	44%
plant37		409207602	1.2E-09	-	5.6E-09	13.0	0.02	9.8E-11	3.6E-12	3.5E-10	9.8	0.06	2.5E-10	3.6E-11	6.8E-10	4.3	254%	44%
plant38		265771116	1.9E-09	-	8.7E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.5E-12	3.5E-10	10.0	0.04	2.6E-10	3.7E-11	6.9E-10	4.3	256%	43%
plant39		233418156	2.1E-09	-	9.9E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.6E-12	3.8E-10	10.2	0.04	2.6E-10	3.7E-11	7.0E-10	4.3	240%	42%
plant40		316445580	1.6E-09	-	7.3E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.7E-10	10.1	0.05	2.5E-10	3.7E-11	6.9E-10	4.3	247%	43%
plant41		354121020	1.4E-09	-	6.5E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.5E-10	9.9	0.05	2.5E-10	3.7E-11	6.7E-10	4.2	240%	43%
plant42		204025854	2.5E-09	-	1.1E-08	13.0	0.01	1.1E-10	3.8E-12	3.8E-10	10.0	0.03	2.6E-10	3.8E-11	7.1E-10	4.4	230%	44%
plant43		131011380	3.8E-09	-	1.8E-08	13.0	0.01	1.2E-10	3.6E-12	3.8E-10	10.2	0.02	2.7E-10	3.9E-11	7.0E-10	4.3	220%	42%
plant44		370142976	1.4E-09	-	6.2E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.4E-12	3.6E-10	10.3	0.06	2.5E-10	3.7E-11	6.8E-10	4.3	237%	41%
plant45		345166080	1.4E-09	-	6.7E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.5E-10	9.9	0.05	2.6E-10	3.7E-11	6.9E-10	4.3	258%	43%
plant46		354816891	1.4E-09	-	6.5E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.7E-12	3.6E-10	9.9	0.05	2.5E-10	3.8E-11	6.9E-10	4.2	242%	43%
plant47		363692175	1.4E-09	-	6.3E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.6E-12	3.8E-10	10.1	0.05	2.5E-10	3.7E-11	6.7E-10	4.3	236%	42%
plant48		169927296	2.9E-09	-	1.4E-08	13.0	0.01	1.1E-10	3.7E-12	3.7E-10	10.0	0.03	2.6E-10	3.8E-11	7.0E-10	4.3	244%	43%
plant49		357792954	1.4E-09	-	6.4E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.0	0.05	2.5E-10	3.7E-11	6.8E-10	4.3	244%	42%

- 注 \* 1. 故障件数が 0 件のものは、0.5 件として故障率の算出を行った。  
 \* 2. EF<sup>2</sup>（近似）= 上限値 / 下限値。但し故障件数が 0 の場合は EF=13 とした。  
 \* 3. 平均値  
 \* 4. EF<sup>4</sup>（近似）= 9.5 % 点 / 5 % 点  
 \* 5. 平均値（感度解析） / 平均値（ベースケース）  
 \* 6. EF（感度解析） / EF（ベースケース）

表 8-9(3) 非常用 DG 起動失敗 ベースケース及びケース 2 比較（デマンド故障確率）

ユニット	故障 件数	推定 総デマン ド回数	古典統計					ベイズ統計 (MCMC手法) ベースケース					ベイズ統計 (MCMC手法) ケース2					平均 比 <sup>5</sup>	EF (近似) 比 <sup>6</sup>
			点推 定値 <sup>1</sup> [1/D]	90%信頼区 間		EF <sup>2</sup> (近似)	真の 故障件数 推定値 <sup>3</sup>	平均値 [1/D]	5%点 [D]	95%点 [D]	EF <sup>4</sup> (近似)	真の 故障件数 推定値 <sup>3</sup>	平均値 [1/D]	5%点 [D]	95%点 [D]	EF <sup>4</sup> (近似)			
				下限値 [D]	上限値 [D]														
一般故障率	19	42332	4.5E-04	2.9E-04	6.6E-04	1.5	49.0	1.5E-03	5.8E-05	4.4E-03	8.7	49.5	1.5E-03	9.3E-05	4.3E-03	6.8	100%	79%	
plant01		595	8.4E-04	-	3.9E-03	13.0	0.3	9.0E-04	4.6E-05	2.6E-03	7.5	0.4	9.5E-04	7.8E-05	2.7E-03	5.9	106%	78%	
plant02		628	8.0E-04	-	3.7E-03	13.0	0.4	8.9E-04	4.7E-05	2.6E-03	7.4	0.4	9.2E-04	7.6E-05	2.6E-03	5.8	104%	79%	
plant03		601	8.3E-04	-	3.8E-03	13.0	0.3	9.0E-04	4.7E-05	2.6E-03	7.5	0.3	9.3E-04	7.7E-05	2.6E-03	5.8	104%	78%	
plant04		672	7.4E-04	-	3.4E-03	13.0	0.4	8.7E-04	4.7E-05	2.5E-03	7.3	0.4	9.2E-04	7.4E-05	2.6E-03	5.9	106%	81%	
plant05		663	7.5E-04	-	3.5E-03	13.0	0.4	8.7E-04	4.7E-05	2.5E-03	7.3	0.4	9.2E-04	7.6E-05	2.6E-03	5.8	106%	79%	
plant06		723	6.9E-04	-	3.2E-03	13.0	0.4	8.5E-04	4.6E-05	2.4E-03	7.3	0.4	9.0E-04	7.5E-05	2.5E-03	5.8	106%	79%	
plant07	2	755	2.6E-03	4.7E-04	8.3E-03	4.2	3.3	3.1E-03	6.1E-04	8.6E-03	3.8	3.3	2.9E-03	6.0E-04	8.1E-03	3.7	96%	98%	
plant08	1	695	1.4E-03	7.4E-05	6.8E-03	9.6	1.8	1.8E-03	2.7E-04	5.3E-03	4.5	1.8	1.8E-03	2.9E-04	5.1E-03	4.2	99%	94%	
plant09		573	8.7E-04	-	4.0E-03	13.0	0.3	9.0E-04	4.9E-05	2.6E-03	7.3	0.3	9.4E-04	7.8E-05	2.6E-03	5.8	104%	79%	
plant10		584	8.6E-04	-	3.9E-03	13.0	0.3	8.9E-04	4.7E-05	2.6E-03	7.4	0.3	9.4E-04	7.7E-05	2.6E-03	5.9	105%	79%	
plant11	2	638	3.1E-03	5.6E-04	9.9E-03	4.2	3.2	3.3E-03	6.3E-04	9.6E-03	3.9	3.2	3.2E-03	6.3E-04	9.2E-03	3.8	97%	97%	
plant12		474	1.1E-03	-	4.9E-03	13.0	0.3	9.4E-04	4.8E-05	2.7E-03	7.5	0.3	9.8E-04	8.0E-05	2.8E-03	5.9	104%	78%	
plant13		359	1.4E-03	-	6.4E-03	13.0	0.2	9.8E-04	5.0E-05	2.9E-03	7.7	0.2	1.0E-03	8.0E-05	3.0E-03	6.1	105%	80%	
plant14		324	1.5E-03	-	7.1E-03	13.0	0.2	1.0E-03	5.2E-05	3.0E-03	7.6	0.2	1.1E-03	8.3E-05	3.1E-03	6.1	106%	81%	
plant15	1	508	2.0E-03	1.0E-04	9.3E-03	9.6	1.6	2.1E-03	2.9E-04	6.3E-03	4.7	1.6	2.1E-03	3.1E-04	6.1E-03	4.4	99%	94%	
plant16		419	1.2E-03	-	5.5E-03	13.0	0.3	9.6E-04	5.0E-05	2.8E-03	7.5	0.3	1.0E-03	8.0E-05	2.9E-03	6.0	105%	80%	
plant17	1	477	2.1E-03	1.1E-04	9.9E-03	9.6	1.6	2.2E-03	2.9E-04	6.6E-03	4.7	1.6	2.1E-03	3.2E-04	6.1E-03	4.4	95%	93%	
plant18		554	9.0E-04	-	4.2E-03	13.0	0.3	9.0E-04	4.7E-05	2.6E-03	7.5	0.3	9.6E-04	7.8E-05	2.7E-03	5.9	106%	79%	
plant19		346	1.4E-03	-	6.7E-03	13.0	0.2	9.9E-04	5.0E-05	3.0E-03	7.7	0.2	1.0E-03	8.1E-05	3.0E-03	6.1	104%	79%	
plant20	1	414	2.4E-03	1.2E-04	1.1E-02	9.6	1.5	2.3E-03	3.0E-04	7.0E-03	4.9	1.5	2.2E-03	3.3E-04	6.8E-03	4.6	99%	94%	
plant21		456	1.1E-03	-	5.0E-03	13.0	0.3	9.5E-04	4.8E-05	2.8E-03	7.7	0.3	9.9E-04	7.9E-05	2.8E-03	6.0	104%	78%	
plant22		280	1.8E-03	-	8.2E-03	13.0	0.2	1.0E-03	5.2E-05	3.2E-03	7.8	0.2	1.1E-03	8.2E-05	3.2E-03	6.2	104%	79%	
plant23		542	9.2E-04	-	4.3E-03	13.0	0.3	9.0E-04	4.8E-05	2.6E-03	7.4	0.3	9.5E-04	7.8E-05	2.7E-03	5.9	106%	79%	
plant24		354	1.4E-03	-	6.5E-03	13.0	0.2	9.9E-04	5.0E-05	3.0E-03	7.7	0.2	1.0E-03	8.1E-05	3.0E-03	6.1	105%	79%	
plant25		697	7.2E-04	-	3.3E-03	13.0	0.4	8.7E-04	4.7E-05	2.5E-03	7.3	0.4	9.1E-04	7.6E-05	2.5E-03	5.8	105%	79%	
plant26	2	513	3.9E-03	6.9E-04	1.2E-02	4.2	3.2	3.9E-03	6.7E-04	1.1E-02	4.1	3.1	3.6E-03	6.6E-04	1.1E-02	4.0	93%	97%	
plant27		298	1.7E-03	-	7.7E-03	13.0	0.2	1.0E-03	5.0E-05	3.0E-03	7.8	0.2	1.1E-03	8.3E-05	3.1E-03	6.1	105%	79%	
plant28		258	1.9E-03	-	8.9E-03	13.0	0.2	1.0E-03	5.1E-05	3.2E-03	7.9	0.2	1.1E-03	8.3E-05	3.2E-03	6.2	103%	78%	
plant29		1015	4.9E-04	-	2.3E-03	13.0	0.5	7.9E-04	4.3E-05	2.2E-03	7.2	0.5	8.3E-04	7.1E-05	2.3E-03	5.6	105%	79%	
plant30		1178	4.2E-04	-	2.0E-03	13.0	0.6	7.6E-04	4.3E-05	2.1E-03	7.0	0.6	7.9E-04	6.8E-05	2.1E-03	5.6	105%	80%	
plant31		1429	3.5E-04	-	1.6E-03	13.0	0.7	7.2E-04	4.2E-05	2.0E-03	6.9	0.7	7.7E-04	6.6E-05	2.1E-03	5.6	107%	81%	
plant32		1358	3.7E-04	-	1.7E-03	13.0	0.6	7.3E-04	4.0E-05	2.0E-03	7.1	0.7	7.7E-04	6.6E-05	2.1E-03	5.6	105%	79%	
plant33		1300	3.8E-04	-	1.8E-03	13.0	0.6	7.4E-04	4.2E-05	2.0E-03	7.0	0.6	7.8E-04	6.7E-05	2.1E-03	5.6	106%	80%	
plant34	1	1149	8.7E-04	4.5E-05	4.1E-03	9.6	2.0	1.5E-03	2.3E-04	4.0E-03	4.2	2.0	1.5E-03	2.6E-04	4.0E-03	3.9	100%	93%	
plant35		1125	4.4E-04	-	2.0E-03	13.0	0.5	7.7E-04	4.2E-05	2.2E-03	7.2	0.6	8.2E-04	7.0E-05	2.2E-03	5.6	107%	79%	
plant36	2	1612	1.2E-03	2.2E-04	3.9E-03	4.2	3.9	2.0E-03	4.6E-04	5.0E-03	3.3	3.9	2.0E-03	4.7E-04	4.9E-03	3.2	100%	98%	
plant37		1730	2.9E-04	-	1.3E-03	13.0	0.8	6.8E-04	3.9E-05	1.9E-03	6.9	0.8	7.3E-04	6.3E-05	1.9E-03	5.5	106%	80%	
plant38		1120	4.5E-04	-	2.1E-03	13.0	0.6	7.6E-04	4.2E-05	2.1E-03	7.1	0.6	8.1E-04	6.9E-05	2.2E-03	5.7	106%	80%	
plant39	3	984	3.0E-03	8.3E-04	7.9E-03	3.1	5.2	3.9E-03	8.7E-04	1.0E-02	3.4	5.1	3.7E-03	8.5E-04	9.8E-03	3.4	95%	99%	
plant40		1786	2.8E-04	-	1.3E-03	13.0	0.8	6.8E-04	3.8E-05	1.8E-03	6.9	0.8	7.2E-04	6.3E-05	1.9E-03	5.5	106%	79%	
plant41	1	1997	5.0E-04	2.6E-05	2.4E-03	9.6	2.4	1.1E-03	1.8E-04	2.9E-03	4.0	2.4	1.2E-03	2.1E-04	2.9E-03	3.7	101%	94%	
plant42		535	9.3E-04	-	4.3E-03	13.0	0.3	9.2E-04	4.7E-05	2.7E-03	7.6	0.3	9.6E-04	7.9E-05	2.7E-03	5.9	105%	78%	
plant43		343	1.5E-03	-	6.7E-03	13.0	0.2	9.9E-04	5.0E-05	3.0E-03	7.7	0.2	1.1E-03	8.2E-05	3.1E-03	6.1	107%	79%	
plant44		2038	2.5E-04	-	1.1E-03	13.0	0.9	6.5E-04	3.7E-05	1.8E-03	7.0	0.9	6.9E-04	6.2E-05	1.8E-03	5.4	106%	77%	
plant45		1928	2.6E-04	-	1.2E-03	13.0	0.8	6.6E-04	3.8E-05	1.8E-03	6.9	0.9	7.0E-04	6.3E-05	1.8E-03	5.4	106%	79%	
plant46	1	1944	5.1E-04	2.6E-05	2.4E-03	9.6	2.4	1.1E-03	1.8E-04	2.9E-03	4.0	2.4	1.2E-03	2.1E-04	2.9E-03	3.8	102%	94%	
plant47		1998	2.5E-04	-	1.2E-03	13.0	0.9	6.5E-04	3.7E-05	1.8E-03	6.9	0.9	7.0E-04	6.3E-05	1.8E-03	5.4	106%	78%	
plant48		556	9.0E-04	-	4.1E-03	13.0	0.3	9.1E-04	4.7E-05	2.7E-03	7.5	0.3	9.5E-04	7.8E-05	2.7E-03	5.9	105%	78%	
plant49	1	806	1.2E-03	6.4E-05	5.9E-03	9.6	1.8	1.7E-03	2.5E-04	5.0E-03	4.4	1.8	1.7E-03	2.8E-04	4.7E-03	4.1	98%	93%	

注\*1. 故障件数が0件のものは、0.5件として故障確率の算出を行った。  
 \*2. EF<sup>2</sup>(近似)=上限値/下限値。但し故障件数が0の場合はEF=13とした。  
 \*3. 平均値  
 \*4. EF<sup>2</sup>(近似)=9.5%点/5%点  
 \*5. 平均値(感度解析)/平均値(ベースケース)  
 \*6. EF(感度解析)/EF(ベースケース)

表 8-9(4) 逆止弁開失敗 ベースケース及びケース 2 比較 (デマンド故障確率)

ユニット	故障 件数	推定 総デマン ド回数	古典統計				ベイズ統計 (MCMC手法) ベースケース				ベイズ統計 (MCMC手法) ケース2				平均 比 <sup>5</sup>	EF (近似) 比 <sup>6</sup>		
			点推 定値 <sup>1</sup> [1/D]	90%信頼区 間 下限値 [D]	上限値 [D]	EF <sup>2</sup> (近似)	真の 故障件数 推定値 <sup>3</sup>	平均値 [1/D]	5%点 [D]	95%点 [D]	EF <sup>4</sup> (近似)	真の 故障件数 推定値 <sup>3</sup>	平均値 [1/D]	5%点 [D]			95%点 [D]	EF <sup>4</sup> (近似)
一般故障率	0	259336	1.9E-06	-	8.9E-06	13.0	1.05	9.7E-06	2.1E-07	2.5E-05	10.8	2.32	1.7E-05	2.3E-06	4.4E-05	4.3	178%	40%
plant01		5153	9.7E-05	-	4.5E-04	13.0	0.02	6.9E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.5	0.05	1.5E-05	2.2E-06	4.1E-05	4.3	213%	41%
plant02		7310	6.8E-05	-	3.1E-04	13.0	0.03	6.4E-06	2.0E-07	2.2E-05	10.5	0.07	1.4E-05	2.2E-06	4.0E-05	4.3	226%	41%
plant03		7002	7.1E-05	-	3.3E-04	13.0	0.03	6.6E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.3	0.06	1.5E-05	2.2E-06	4.0E-05	4.3	221%	41%
plant04		7819	6.4E-05	-	2.9E-04	13.0	0.03	6.4E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.3	0.07	1.4E-05	2.2E-06	4.0E-05	4.2	226%	41%
plant05		7714	6.5E-05	-	3.0E-04	13.0	0.03	6.5E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.4	0.07	1.4E-05	2.2E-06	4.0E-05	4.3	222%	41%
plant06		9043	5.5E-05	-	2.5E-04	13.0	0.03	6.3E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.5	0.08	1.4E-05	2.2E-06	4.0E-05	4.2	227%	41%
plant07		9429	5.3E-05	-	2.4E-04	13.0	0.04	6.3E-06	2.0E-07	2.2E-05	10.4	0.08	1.4E-05	2.2E-06	3.9E-05	4.2	224%	41%
plant08		8686	5.8E-05	-	2.7E-04	13.0	0.03	6.4E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.3	0.08	1.4E-05	2.2E-06	4.0E-05	4.3	226%	41%
plant09		7156	7.0E-05	-	3.2E-04	13.0	0.03	6.6E-06	2.0E-07	2.3E-05	10.5	0.06	1.4E-05	2.2E-06	4.0E-05	4.3	218%	40%
plant10		7300	6.8E-05	-	3.2E-04	13.0	0.03	6.6E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.5	0.06	1.5E-05	2.2E-06	4.0E-05	4.3	222%	41%
plant11		7976	6.3E-05	-	2.9E-04	13.0	0.03	6.3E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.4	0.07	1.4E-05	2.2E-06	4.0E-05	4.2	230%	41%
plant12		5911	8.5E-05	-	3.9E-04	13.0	0.02	6.6E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.5	0.05	1.5E-05	2.2E-06	4.1E-05	4.3	224%	41%
plant13		4489	1.1E-04	-	5.1E-04	13.0	0.02	6.8E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.4	0.04	1.5E-05	2.2E-06	4.1E-05	4.3	219%	41%
plant14		4048	1.2E-04	-	5.7E-04	13.0	0.02	7.0E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.6	0.04	1.5E-05	2.3E-06	4.2E-05	4.3	214%	41%
plant15		6354	7.9E-05	-	3.6E-04	13.0	0.02	6.5E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.4	0.06	1.5E-05	2.2E-06	4.0E-05	4.3	226%	41%
plant16		10658	4.7E-05	-	2.2E-04	13.0	0.04	6.1E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.2	0.09	1.4E-05	2.2E-06	3.9E-05	4.2	230%	41%
plant17		12219	4.1E-05	-	1.9E-04	13.0	0.05	6.1E-06	2.0E-07	2.2E-05	10.4	0.10	1.4E-05	2.2E-06	3.9E-05	4.2	227%	40%
plant18		6042	8.3E-05	-	3.8E-04	13.0	0.02	6.7E-06	2.1E-07	2.4E-05	10.6	0.05	1.5E-05	2.2E-06	4.1E-05	4.3	219%	40%
plant19		3785	1.3E-04	-	6.1E-04	13.0	0.02	7.0E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.5	0.03	1.5E-05	2.3E-06	4.2E-05	4.3	217%	41%
plant20		3065	1.6E-04	-	7.5E-04	13.0	0.01	7.0E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.7	0.03	1.5E-05	2.3E-06	4.2E-05	4.3	218%	40%
plant21		7355	6.8E-05	-	3.1E-04	13.0	0.03	6.5E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.5	0.06	1.5E-05	2.3E-06	4.1E-05	4.2	224%	40%
plant22		2483	2.0E-04	-	9.3E-04	13.0	0.01	7.4E-06	2.1E-07	2.4E-05	10.6	0.02	1.5E-05	2.3E-06	4.3E-05	4.3	209%	41%
plant23		9709	5.1E-05	-	2.4E-04	13.0	0.04	6.3E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.3	0.08	1.4E-05	2.2E-06	3.9E-05	4.2	226%	41%
plant24		7953	6.3E-05	-	2.9E-04	13.0	0.03	6.3E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.4	0.07	1.5E-05	2.2E-06	4.0E-05	4.3	223%	41%
plant25		6548	7.6E-05	-	3.5E-04	13.0	0.03	6.5E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.4	0.06	1.5E-05	2.2E-06	4.1E-05	4.3	230%	41%
plant26		3174	1.6E-04	-	7.3E-04	13.0	0.01	7.0E-06	2.1E-07	2.4E-05	10.6	0.03	1.5E-05	2.3E-06	4.2E-05	4.3	222%	40%
plant27		1376	3.6E-04	-	1.7E-03	13.0	0.01	7.6E-06	2.1E-07	2.4E-05	10.7	0.01	1.6E-05	2.3E-06	4.3E-05	4.3	208%	41%
plant28		1202	4.2E-04	-	1.9E-03	13.0	0.01	7.6E-06	2.1E-07	2.4E-05	10.7	0.01	1.6E-05	2.3E-06	4.3E-05	4.4	212%	41%
plant29		2964	1.7E-04	-	7.8E-04	13.0	0.01	7.2E-06	2.1E-07	2.4E-05	10.7	0.03	1.5E-05	2.3E-06	4.2E-05	4.3	212%	40%
plant30		3122	1.6E-04	-	7.4E-04	13.0	0.01	7.2E-06	2.1E-07	2.4E-05	10.6	0.03	1.5E-05	2.2E-06	4.3E-05	4.4	212%	41%
plant31		5432	9.2E-05	-	4.2E-04	13.0	0.02	6.6E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.5	0.05	1.5E-05	2.2E-06	4.1E-05	4.3	228%	41%
plant32		5162	9.7E-05	-	4.5E-04	13.0	0.02	7.0E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.6	0.05	1.5E-05	2.2E-06	4.1E-05	4.3	216%	41%
plant33		4941	1.0E-04	-	4.7E-04	13.0	0.02	6.8E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.4	0.04	1.5E-05	2.2E-06	4.2E-05	4.3	219%	41%
plant34		3207	1.6E-04	-	7.2E-04	13.0	0.01	7.0E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.4	0.03	1.5E-05	2.2E-06	4.2E-05	4.3	218%	42%
plant35		3098	1.6E-04	-	7.4E-04	13.0	0.01	7.0E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.5	0.03	1.5E-05	2.3E-06	4.2E-05	4.3	219%	41%
plant36		5108	9.8E-05	-	4.5E-04	13.0	0.02	6.7E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.4	0.05	1.5E-05	2.3E-06	4.1E-05	4.3	224%	41%
plant37		5462	9.2E-05	-	4.2E-04	13.0	0.02	6.7E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.4	0.05	1.5E-05	2.2E-06	4.1E-05	4.3	221%	41%
plant38		3507	1.4E-04	-	6.6E-04	13.0	0.02	7.0E-06	2.1E-07	2.4E-05	10.7	0.03	1.5E-05	2.3E-06	4.2E-05	4.3	218%	40%
plant39		3080	1.6E-04	-	7.5E-04	13.0	0.01	7.1E-06	2.1E-07	2.4E-05	10.6	0.03	1.5E-05	2.2E-06	4.2E-05	4.3	212%	41%
plant40		3621	1.4E-04	-	6.4E-04	13.0	0.02	6.8E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.6	0.03	1.5E-05	2.2E-06	4.1E-05	4.3	219%	41%
plant41		4037	1.2E-04	-	5.7E-04	13.0	0.02	6.8E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.5	0.04	1.5E-05	2.2E-06	4.2E-05	4.3	223%	41%
plant42		2133	2.3E-04	-	1.1E-03	13.0	0.01	7.5E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.5	0.02	1.6E-05	2.3E-06	4.3E-05	4.3	209%	41%
plant43		1358	3.7E-04	-	1.7E-03	13.0	0.01	7.6E-06	2.1E-07	2.4E-05	10.7	0.01	1.6E-05	2.3E-06	4.3E-05	4.3	209%	41%
plant44		3452	1.4E-04	-	6.7E-04	13.0	0.02	7.3E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.6	0.03	1.5E-05	2.3E-06	4.2E-05	4.3	207%	41%
plant45		3254	1.5E-04	-	7.1E-04	13.0	0.01	7.2E-06	2.1E-07	2.4E-05	10.6	0.03	1.5E-05	2.2E-06	4.2E-05	4.3	211%	41%
plant46		4355	1.1E-04	-	5.3E-04	13.0	0.02	7.2E-06	2.1E-07	2.4E-05	10.6	0.04	1.5E-05	2.3E-06	4.1E-05	4.2	207%	40%
plant47		4498	1.1E-04	-	5.1E-04	13.0	0.02	6.9E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.5	0.04	1.5E-05	2.3E-06	4.1E-05	4.3	220%	40%
plant48		2022	2.5E-04	-	1.1E-03	13.0	0.01	7.4E-06	2.1E-07	2.4E-05	10.7	0.02	1.6E-05	2.3E-06	4.3E-05	4.3	213%	41%
plant49		4560	1.1E-04	-	5.0E-04	13.0	0.02	6.8E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.5	0.04	1.5E-05	2.2E-06	4.1E-05	4.3	223%	41%

注\*1. 故障件数が0件のものは、0.5件として故障確率の算出を行った。

\*2. EF<sup>2</sup>(近似) = 上限値 / 下限値。但し故障件数が0の場合はEF=13とした。

\*3. 平均値

\*4. EF<sup>2</sup>(近似) = 9.5 % 点 / 5 % 点

\*5. 平均値 (感度解析) / 平均値 (ベースケース)

\*6. EF (感度解析) / EF (ベースケース)



表 8-10(1) 電動ポンプ継続運転失敗 ベースケース及びケース 3 比較 (時間故障率)

プラント	故障 件数	延べ 運転 時間[h]	古典統計					ベイズ統計 (MCMC手法) ベースケース					ベイズ統計 (MCMC手法) ケース3					
			点推 定値 <sup>*1</sup> [1/h]	90%信頼区間		EF <sup>*2</sup> (近似)	真の故障 件数 <sup>*3</sup> 推定値 <sup>*3</sup> (件)	平均値 [1/h]	5%点 [h]	95%点 [h]	EF <sup>*4</sup> (近似)	真の故障 件数 <sup>*3</sup> 推定値 <sup>*3</sup> (件)	平均値 [1/h]	5%点 [h]	95%点 [h]	EF <sup>*4</sup> (近似)	平均 比 <sup>*5</sup>	EF (近似) 比 <sup>*6</sup>
				下限値 [h]	上限値 [h]													
一般故障率	26	86663069	3.0E-07	2.1E-07	4.2E-07	1.4	66.5	8.9E-07	3.0E-08	2.8E-06	9.6	66.5	1.0E-06	3.0E-08	2.9E-06	9.8	113%	102%
plant01	1	1710086	5.8E-07	3.0E-08	2.8E-06	9.6	2.0	9.6E-07	1.3E-07	2.7E-06	4.5	2.0	9.5E-07	1.3E-07	2.7E-06	4.5	99%	100%
plant02	3	1831102	1.6E-06	4.5E-07	4.2E-06	3.1	5.4	2.3E-06	5.4E-07	5.9E-06	3.3	5.5	2.3E-06	5.5E-07	5.9E-06	3.3	101%	100%
plant03		1758330	2.8E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.4E-08	1.4E-06	7.5	0.5	4.5E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.8	98%	103%
plant04	3	1959216	1.5E-06	4.2E-07	4.0E-06	3.1	5.5	2.2E-06	5.3E-07	5.6E-06	3.2	5.5	2.2E-06	5.3E-07	5.5E-06	3.2	100%	100%
plant05		1930446	2.6E-07	-	1.2E-06	13.0	0.5	4.4E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.6	0.5	4.4E-07	2.1E-08	1.3E-06	7.9	99%	103%
plant06	1	1950872	5.1E-07	2.6E-08	2.4E-06	9.6	2.1	8.9E-07	1.2E-07	2.5E-06	4.5	2.0	8.8E-07	1.2E-07	2.5E-06	4.5	99%	99%
plant07	3	2170215	1.4E-06	3.8E-07	3.6E-06	3.1	5.6	2.1E-06	5.1E-07	5.2E-06	3.2	5.7	2.1E-06	5.1E-07	5.2E-06	3.2	100%	100%
plant08	1	2137584	4.7E-07	2.4E-08	2.2E-06	9.6	2.1	8.6E-07	1.2E-07	2.3E-06	4.4	2.1	8.5E-07	1.2E-07	2.3E-06	4.4	99%	100%
plant09	1	1757776	5.7E-07	2.9E-08	2.7E-06	9.6	2.0	9.5E-07	1.3E-07	2.6E-06	4.5	2.0	9.5E-07	1.3E-07	2.7E-06	4.6	101%	101%
plant10		1801792	2.8E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.3E-08	1.3E-06	7.6	0.5	4.4E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.7	99%	102%
plant11		1968928	2.5E-07	-	1.2E-06	13.0	0.6	4.4E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.8	0.5	4.3E-07	2.1E-08	1.3E-06	7.8	99%	100%
plant12		1269940	3.9E-07	-	1.8E-06	13.0	0.4	4.9E-07	2.3E-08	1.5E-06	8.0	0.4	4.9E-07	2.3E-08	1.5E-06	8.0	100%	100%
plant13		968142	5.2E-07	-	2.4E-06	13.0	0.3	5.3E-07	2.4E-08	1.6E-06	8.1	0.3	5.3E-07	2.5E-08	1.6E-06	8.1	100%	100%
plant14		868784	5.8E-07	-	2.7E-06	13.0	0.3	5.4E-07	2.5E-08	1.7E-06	8.2	0.3	5.4E-07	2.4E-08	1.7E-06	8.3	99%	102%
plant15		1375752	3.6E-07	-	1.7E-06	13.0	0.4	4.8E-07	2.3E-08	1.5E-06	7.9	0.4	4.8E-07	2.3E-08	1.5E-06	8.0	100%	101%
plant16		1842320	2.7E-07	-	1.2E-06	13.0	0.5	4.4E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.7	0.5	4.5E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.7	100%	100%
plant17	2	1869238	1.1E-06	1.9E-07	3.4E-06	4.2	3.7	1.6E-06	3.1E-07	4.1E-06	3.6	3.7	1.6E-06	3.1E-07	4.2E-06	3.6	101%	101%
plant18		1553524	3.2E-07	-	1.5E-06	13.0	0.5	4.7E-07	2.4E-08	1.4E-06	7.6	0.5	4.6E-07	2.3E-08	1.4E-06	7.9	100%	103%
plant19		1129040	4.4E-07	-	2.0E-06	13.0	0.4	5.0E-07	2.4E-08	1.6E-06	8.0	0.4	5.0E-07	2.3E-08	1.5E-06	8.2	99%	102%
plant20		1163536	4.3E-07	-	2.0E-06	13.0	0.4	5.0E-07	2.5E-08	1.5E-06	7.9	0.4	5.0E-07	2.3E-08	1.5E-06	8.2	99%	105%
plant21		1796970	2.8E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.3E-08	1.3E-06	7.5	0.5	4.5E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.8	99%	104%
plant22		816102	6.1E-07	-	2.8E-06	13.0	0.3	5.4E-07	2.5E-08	1.7E-06	8.1	0.3	5.5E-07	2.4E-08	1.7E-06	8.4	101%	103%
plant23		2218480	2.3E-07	-	1.0E-06	13.0	0.6	4.2E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.6	0.6	4.1E-07	2.1E-08	1.2E-06	7.7	98%	101%
plant24		1518048	3.3E-07	-	1.5E-06	13.0	0.5	4.7E-07	2.4E-08	1.4E-06	7.7	0.5	4.7E-07	2.3E-08	1.4E-06	7.9	99%	102%
plant25	3	1942080	1.6E-06	4.2E-07	4.0E-06	3.1	5.6	2.3E-06	5.4E-07	5.7E-06	3.3	5.6	2.3E-06	5.3E-07	5.7E-06	3.3	100%	100%
plant26	3	1966425	1.5E-06	4.2E-07	3.9E-06	3.1	5.5	2.2E-06	5.3E-07	5.6E-06	3.2	5.6	2.3E-06	5.3E-07	5.6E-06	3.3	101%	101%
plant27		1794367	2.8E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.8	0.5	4.5E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.9	101%	102%
plant28		1531802	3.3E-07	-	1.5E-06	13.0	0.4	4.6E-07	2.3E-08	1.4E-06	7.7	0.4	4.6E-07	2.2E-08	1.4E-06	7.9	99%	101%
plant29		1961328	2.5E-07	-	1.2E-06	13.0	0.6	4.4E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.7	0.5	4.3E-07	2.1E-08	1.3E-06	7.8	99%	102%
plant30		2154870	2.3E-07	-	1.1E-06	13.0	0.6	4.3E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.6	0.6	4.2E-07	2.1E-08	1.3E-06	7.8	99%	102%
plant31	2	2629386	7.6E-07	1.4E-07	2.4E-06	4.2	4.0	1.2E-06	2.7E-07	3.2E-06	3.5	4.0	1.3E-06	2.6E-07	3.3E-06	3.5	102%	102%
plant32	1	2198368	4.5E-07	2.3E-08	2.2E-06	9.6	2.1	8.4E-07	1.2E-07	2.3E-06	4.4	2.1	8.4E-07	1.2E-07	2.3E-06	4.4	99%	101%
plant33	1	2084288	4.8E-07	2.5E-08	2.3E-06	9.6	2.1	8.6E-07	1.2E-07	2.4E-06	4.4	2.1	8.6E-07	1.2E-07	2.3E-06	4.5	99%	101%
plant34		1782534	2.8E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.3E-08	1.3E-06	7.6	0.5	4.5E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.8	100%	103%
plant35		1748188	2.9E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.3E-08	1.4E-06	7.7	0.5	4.5E-07	2.1E-08	1.3E-06	7.9	99%	103%
plant36		1893165	2.6E-07	-	1.2E-06	13.0	0.5	4.4E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.6	0.5	4.3E-07	2.1E-08	1.3E-06	7.8	100%	102%
plant37		1762657	2.8E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.2E-08	1.4E-06	7.8	0.5	4.4E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.9	98%	101%
plant38	1	1232868	8.1E-07	4.2E-08	3.8E-06	9.6	1.8	1.1E-06	1.4E-07	3.2E-06	4.8	1.8	1.1E-06	1.4E-07	3.3E-06	4.8	101%	101%
plant39		1082788	4.6E-07	-	2.1E-06	13.0	0.3	5.1E-07	2.5E-08	1.6E-06	8.0	0.3	5.0E-07	2.4E-08	1.5E-06	8.1	98%	101%
plant40		2296020	2.2E-07	-	1.0E-06	13.0	0.6	4.2E-07	2.2E-08	1.2E-06	7.5	0.6	4.1E-07	2.0E-08	1.2E-06	7.7	98%	102%
plant41		2569380	1.9E-07	-	9.0E-07	13.0	0.7	4.0E-07	2.1E-08	1.2E-06	7.5	0.7	4.0E-07	2.0E-08	1.2E-06	7.7	100%	103%
plant42		1014045	4.9E-07	-	2.3E-06	13.0	0.3	5.2E-07	2.6E-08	1.6E-06	7.9	0.3	5.2E-07	2.4E-08	1.6E-06	8.1	99%	103%
plant43		651150	7.7E-07	-	3.5E-06	13.0	0.2	5.8E-07	2.6E-08	1.8E-06	8.3	0.2	5.7E-07	2.5E-08	1.8E-06	8.4	98%	101%
plant44		2340934	2.1E-07	-	9.8E-07	13.0	0.6	4.1E-07	2.1E-08	1.2E-06	7.6	0.6	4.1E-07	2.0E-08	1.2E-06	7.7	99%	102%
plant45		2182970	2.3E-07	-	1.1E-06	13.0	0.6	4.2E-07	2.1E-08	1.2E-06	7.7	0.6	4.1E-07	2.1E-08	1.2E-06	7.7	99%	101%
plant46		2574429	1.9E-07	-	8.9E-07	13.0	0.7	4.0E-07	2.1E-08	1.2E-06	7.5	0.6	3.9E-07	2.0E-08	1.2E-06	7.7	98%	103%
plant47		2638825	1.9E-07	-	8.7E-07	13.0	0.7	4.0E-07	2.1E-08	1.2E-06	7.5	0.7	3.9E-07	2.0E-08	1.2E-06	7.7	99%	104%
plant48		1011472	4.9E-07	-	2.3E-06	13.0	0.3	5.1E-07	2.5E-08	1.6E-06	8.0	0.3	5.1E-07	2.3E-08	1.6E-06	8.2	100%	104%
plant49		2252507	2.2E-07	-	1.0E-06	13.0	0.6	4.2E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.6	0.6	4.1E-07	2.1E-08	1.2E-06	7.6	98%	101%

注 \*1. 故障件数が 0 件のものは、0.5 件として故障率の算出を行った。  
 \*2. EF (近似) = 上限値 / 下限値。但し故障件数が 0 の場合は EF=13 とした。  
 \*3. 平均値  
 \*4. EF (近似) = 9 5 % 点 / 5 % 点  
 \*5. 平均値 (感度解析) / 平均値 (ベースケース)  
 \*6. EF (感度解析) / EF (ベースケース)

表 8-10(2) 制御ケーブル短絡 ベースケース及びケース 3 比較 (時間故障率)

プラント	故障 件数	延べ 運転 時間[h]	古典統計				ベイズ統計 (MCMC手法) ベースケース					ベイズ統計 (MCMC手法) ケース3						
			点推 定値 <sup>*1</sup> [1/h]	90%信頼区間		EF <sup>*2</sup> (近似)	真の故障 件数 <sup>*3</sup> 推定値 <sup>*3</sup> [件]	平均値 [1/h]	5%点 [h]	95%点 [h]	EF <sup>*4</sup> (近似)	真の故障 件数 <sup>*3</sup> 推定値 <sup>*3</sup> [件]	平均値 [1/h]	5%点 [h]	95%点 [h]	EF <sup>*4</sup> (近似)	平均 比 <sup>*5</sup>	EF (近似) 比 <sup>*6</sup>
				下限値 [h]	上限値 [h]													
一般故障率	0	14817099258	3.4E-11	-	1.6E-10	13.0	0.92	1.3E-10	3.8E-12	3.9E-10	10.2	0.43	5.6E-11	2.8E-13	1.8E-10	25.0	42%	246%
plant01		347391756	1.4E-09	-	6.6E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	9.9	0.01	4.7E-11	2.6E-13	1.7E-10	25.1	45%	253%
plant02		294415043	1.7E-09	-	7.8E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.4E-12	3.6E-10	10.3	0.01	4.9E-11	2.7E-13	1.7E-10	25.1	46%	245%
plant03		282714345	1.8E-09	-	8.1E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.7E-12	3.6E-10	9.9	0.01	4.8E-11	2.6E-13	1.7E-10	25.6	46%	258%
plant04		315013944	1.6E-09	-	7.3E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.7E-12	3.6E-10	10.0	0.01	4.9E-11	2.8E-13	1.8E-10	24.9	49%	250%
plant05		310388139	1.6E-09	-	7.4E-09	13.0	0.02	9.9E-11	3.5E-12	3.6E-10	10.2	0.01	5.0E-11	2.7E-13	1.8E-10	25.4	51%	250%
plant06		383903740	1.3E-09	-	6.0E-09	13.0	0.02	9.5E-11	3.3E-12	3.4E-10	10.1	0.01	4.5E-11	2.6E-13	1.7E-10	25.1	48%	248%
plant07		398596155	1.3E-09	-	5.8E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.7E-12	3.5E-10	9.8	0.01	4.5E-11	2.8E-13	1.7E-10	24.6	45%	251%
plant08		368065245	1.4E-09	-	6.3E-09	13.0	0.02	9.9E-11	3.7E-12	3.6E-10	9.8	0.01	4.8E-11	2.7E-13	1.8E-10	25.5	49%	260%
plant09		302667055	1.7E-09	-	7.6E-09	13.0	0.02	9.9E-11	3.6E-12	3.5E-10	9.8	0.01	4.8E-11	2.7E-13	1.7E-10	25.0	48%	256%
plant10		310246060	1.6E-09	-	7.4E-09	13.0	0.02	9.8E-11	3.5E-12	3.4E-10	9.8	0.01	4.5E-11	2.8E-13	1.7E-10	24.6	46%	251%
plant11		339024790	1.5E-09	-	6.8E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.7E-12	3.7E-10	10.0	0.01	4.7E-11	2.8E-13	1.7E-10	24.9	45%	250%
plant12		249906050	2.0E-09	-	9.2E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.1	0.01	4.5E-11	2.8E-13	1.7E-10	24.5	44%	243%
plant13		190516515	2.6E-09	-	1.2E-08	13.0	0.01	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.0	0.01	4.9E-11	2.6E-13	1.7E-10	25.7	48%	257%
plant14		170964280	2.9E-09	-	1.3E-08	13.0	0.01	1.0E-10	3.8E-12	3.6E-10	9.8	0.01	5.5E-11	2.9E-13	1.8E-10	24.8	53%	253%
plant15		270728340	1.8E-09	-	8.5E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.7E-12	3.7E-10	10.0	0.01	5.0E-11	2.8E-13	1.8E-10	25.1	48%	251%
plant16		259191395	1.9E-09	-	8.9E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.7E-12	3.7E-10	10.0	0.01	4.5E-11	2.7E-13	1.7E-10	24.8	43%	248%
plant17		300546767	1.7E-09	-	7.7E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.7E-12	3.6E-10	9.9	0.01	4.8E-11	2.6E-13	1.8E-10	26.2	45%	264%
plant18		305711330	1.6E-09	-	7.5E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.6E-12	3.7E-10	10.1	0.01	5.0E-11	2.8E-13	1.8E-10	25.2	47%	249%
plant19		194406575	2.6E-09	-	1.2E-08	13.0	0.01	1.0E-10	3.5E-12	3.6E-10	10.1	0.01	5.2E-11	2.7E-13	1.8E-10	25.7	50%	254%
plant20		200346355	2.5E-09	-	1.1E-08	13.0	0.01	1.1E-10	3.7E-12	3.6E-10	9.8	0.01	4.8E-11	2.7E-13	1.7E-10	25.6	46%	259%
plant21		288927105	1.7E-09	-	8.0E-09	13.0	0.02	9.8E-11	3.5E-12	3.5E-10	9.9	0.01	4.8E-11	2.8E-13	1.7E-10	24.9	49%	251%
plant22		160597215	3.1E-09	-	1.4E-08	13.0	0.01	1.0E-10	3.8E-12	3.6E-10	9.8	0.00	5.2E-11	2.6E-13	1.8E-10	26.2	51%	267%
plant23		394334820	1.3E-09	-	5.8E-09	13.0	0.02	9.9E-11	3.6E-12	3.5E-10	10.0	0.01	4.7E-11	2.8E-13	1.8E-10	25.2	48%	252%
plant24		298730160	1.7E-09	-	7.7E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.0	0.01	4.7E-11	2.6E-13	1.7E-10	25.4	45%	254%
plant25		382173600	1.3E-09	-	6.0E-09	13.0	0.02	9.4E-11	3.6E-12	3.4E-10	9.7	0.01	4.2E-11	2.9E-13	1.6E-10	23.7	45%	245%
plant26		372834180	1.3E-09	-	6.2E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.7E-12	3.7E-10	10.0	0.01	4.5E-11	2.8E-13	1.7E-10	24.5	43%	244%
plant27		247305993	2.0E-09	-	9.3E-09	13.0	0.01	9.6E-11	3.6E-12	3.4E-10	9.8	0.01	4.7E-11	2.8E-13	1.7E-10	24.4	49%	249%
plant28		211118358	2.4E-09	-	1.1E-08	13.0	0.01	1.1E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.1	0.01	4.3E-11	2.7E-13	1.7E-10	25.0	41%	249%
plant29		287211969	1.7E-09	-	8.0E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.5E-10	9.9	0.01	5.2E-11	2.9E-13	1.7E-10	24.0	51%	242%
plant30		280492245	1.8E-09	-	8.2E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.1	0.01	4.6E-11	2.8E-13	1.7E-10	24.7	45%	245%
plant31		392654976	1.3E-09	-	5.9E-09	13.0	0.02	9.8E-11	3.6E-12	3.5E-10	9.9	0.01	4.8E-11	2.7E-13	1.8E-10	25.8	49%	259%
plant32		369325824	1.4E-09	-	6.2E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.0	0.01	4.8E-11	2.7E-13	1.7E-10	25.5	47%	255%
plant33		350160384	1.4E-09	-	6.6E-09	13.0	0.02	9.9E-11	3.6E-12	3.5E-10	9.9	0.01	4.4E-11	2.8E-13	1.6E-10	24.3	44%	246%
plant34		368573184	1.4E-09	-	6.2E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	9.9	0.01	5.1E-11	2.7E-13	1.7E-10	25.2	51%	254%
plant35		361471488	1.4E-09	-	6.4E-09	13.0	0.02	9.8E-11	3.6E-12	3.5E-10	9.8	0.01	4.7E-11	2.8E-13	1.7E-10	24.8	48%	252%
plant36		380904798	1.3E-09	-	6.0E-09	13.0	0.03	1.1E-10	3.7E-12	3.5E-10	9.9	0.01	4.8E-11	2.8E-13	1.7E-10	25.0	45%	253%
plant37		409207602	1.2E-09	-	5.6E-09	13.0	0.02	9.8E-11	3.6E-12	3.5E-10	9.8	0.01	4.5E-11	2.7E-13	1.6E-10	24.7	46%	251%
plant38		265771116	1.9E-09	-	8.7E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.5E-12	3.5E-10	10.0	0.01	4.8E-11	2.9E-13	1.7E-10	24.2	48%	242%
plant39		233418156	2.1E-09	-	9.9E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.6E-12	3.8E-10	10.2	0.01	4.7E-11	2.7E-13	1.7E-10	25.3	43%	248%
plant40		316445580	1.6E-09	-	7.3E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.7E-10	10.1	0.01	4.6E-11	2.8E-13	1.7E-10	25.0	45%	249%
plant41		354121020	1.4E-09	-	6.5E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.5E-10	9.9	0.01	4.8E-11	2.8E-13	1.7E-10	25.1	46%	254%
plant42		204025854	2.5E-09	-	1.1E-08	13.0	0.01	1.1E-10	3.8E-12	3.8E-10	10.0	0.01	5.3E-11	2.8E-13	1.8E-10	25.5	46%	256%
plant43		131011380	3.8E-09	-	1.8E-08	13.0	0.01	1.2E-10	3.6E-12	3.8E-10	10.2	0.00	5.2E-11	2.9E-13	1.8E-10	24.7	43%	243%
plant44		370142976	1.4E-09	-	6.2E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.4E-12	3.6E-10	10.3	0.01	4.8E-11	2.7E-13	1.7E-10	25.4	46%	245%
plant45		345166080	1.4E-09	-	6.7E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.5E-10	9.9	0.01	4.4E-11	2.7E-13	1.7E-10	24.8	44%	249%
plant46		354816891	1.4E-09	-	6.5E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.7E-12	3.6E-10	9.9	0.01	5.0E-11	2.7E-13	1.8E-10	25.6	48%	259%
plant47		363692175	1.4E-09	-	6.3E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.6E-12	3.8E-10	10.1	0.01	4.4E-11	2.7E-13	1.7E-10	24.7	42%	244%
plant48		169927296	2.9E-09	-	1.4E-08	13.0	0.01	1.1E-10	3.7E-12	3.7E-10	10.0	0.01	5.1E-11	2.8E-13	1.7E-10	24.8	48%	248%
plant49		357792954	1.4E-09	-	6.4E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.0	0.01	4.7E-11	2.6E-13	1.7E-10	25.9	46%	258%

注 \* 1. 故障件数が 0 件のものは、0.5 件として故障率の算出を行った。

\* 2. EF<sup>2</sup>(近似) = 上限値 / 下限値。但し故障件数が 0 の場合は EF=13 とした。

\* 3. 平均値

\* 4. EF<sup>2</sup>(近似) = 9.5 % 点 / 5 % 点

\* 5. 平均値 (感度解析) / 平均値 (ベースケース)

\* 6. EF (感度解析) / EF (ベースケース)

表 8-10(3) 非常用 DG 起動失敗 ベースケース及びケース 3 比較 (デマンド故障確率)

ユニット	故障 件数	推定 総デマン ド回数	古典統計				ベイズ統計 (MCMC手法) ベースケース					ベイズ統計 (MCMC手法) ケース3					平均 比 <sup>5</sup>	EF (近似) 比 <sup>6</sup>
			点推 定値 <sup>1</sup> [1/D]	90%信頼区間		(EF <sup>2</sup> (近似)	真の 故障件数 推定値 <sup>3</sup>	平均値 [1/D]	5%点 [D]	95%点 [D]	EF <sup>4</sup> (近似)	真の 故障件数 推定値 <sup>3</sup>	平均値 [1/D]	5%点 [D]	95%点 [D]	EF <sup>4</sup> (近似)		
				下限値 [D]	上限値 [D]													
一般故障率	19	42332	4.5E-04	2.9E-04	6.6E-04	1.5	49.0	1.5E-03	5.8E-05	4.4E-03	8.7	49.2	1.5E-03	5.9E-05	4.3E-03	8.6	100%	98%
plant01		595	8.4E-04	-	3.9E-03	13.0	0.3	9.0E-04	4.6E-05	2.6E-03	7.5	0.3	9.1E-04	4.8E-05	2.6E-03	7.3	101%	98%
plant02		628	8.0E-04	-	3.7E-03	13.0	0.4	8.9E-04	4.7E-05	2.6E-03	7.4	0.4	8.9E-04	4.6E-05	2.6E-03	7.5	101%	102%
plant03		601	8.3E-04	-	3.8E-03	13.0	0.3	9.0E-04	4.7E-05	2.6E-03	7.5	0.3	9.0E-04	4.8E-05	2.6E-03	7.3	100%	98%
plant04		672	7.4E-04	-	3.4E-03	13.0	0.4	8.7E-04	4.7E-05	2.5E-03	7.3	0.4	8.8E-04	4.7E-05	2.5E-03	7.3	102%	100%
plant05		663	7.5E-04	-	3.5E-03	13.0	0.4	8.7E-04	4.7E-05	2.5E-03	7.3	0.4	8.9E-04	4.7E-05	2.5E-03	7.3	102%	99%
plant06		723	6.9E-04	-	3.2E-03	13.0	0.4	8.5E-04	4.6E-05	2.4E-03	7.3	0.4	8.8E-04	4.7E-05	2.5E-03	7.3	103%	100%
plant07	2	755	2.6E-03	4.7E-04	8.3E-03	4.2	3.3	3.1E-03	6.1E-04	8.6E-03	3.8	3.3	3.1E-03	6.1E-04	8.6E-03	3.8	100%	100%
plant08	1	695	1.4E-03	7.4E-05	6.8E-03	9.6	1.8	1.8E-03	2.7E-04	5.3E-03	4.5	1.8	1.8E-03	2.7E-04	5.3E-03	4.5	100%	100%
plant09		573	8.7E-04	-	4.0E-03	13.0	0.3	9.0E-04	4.9E-05	2.6E-03	7.3	0.3	9.2E-04	4.7E-05	2.6E-03	7.5	102%	102%
plant10		584	8.6E-04	-	3.9E-03	13.0	0.3	8.9E-04	4.7E-05	2.6E-03	7.4	0.3	9.0E-04	4.7E-05	2.6E-03	7.4	101%	100%
plant11	2	638	3.1E-03	5.6E-04	9.9E-03	4.2	3.2	3.3E-03	6.3E-04	9.6E-03	3.9	3.2	3.3E-03	6.4E-04	9.7E-03	3.9	100%	99%
plant12		474	1.1E-03	-	4.9E-03	13.0	0.3	9.4E-04	4.8E-05	2.7E-03	7.5	0.3	9.5E-04	4.9E-05	2.8E-03	7.5	101%	100%
plant13		359	1.4E-03	-	6.4E-03	13.0	0.2	9.8E-04	5.0E-05	2.9E-03	7.7	0.2	9.9E-04	5.1E-05	2.9E-03	7.5	101%	98%
plant14		324	1.5E-03	-	7.1E-03	13.0	0.2	1.0E-03	5.2E-05	3.0E-03	7.6	0.2	1.0E-03	5.0E-05	2.9E-03	7.7	100%	101%
plant15	1	508	2.0E-03	1.0E-04	9.3E-03	9.6	1.6	2.1E-03	2.9E-04	6.3E-03	4.7	1.6	2.1E-03	2.9E-04	6.4E-03	4.7	101%	99%
plant16		419	1.2E-03	-	5.5E-03	13.0	0.3	9.6E-04	5.0E-05	2.8E-03	7.5	0.2	9.6E-04	4.9E-05	2.8E-03	7.5	100%	100%
plant17	1	477	2.1E-03	1.1E-04	9.9E-03	9.6	1.6	2.2E-03	2.9E-04	6.6E-03	4.7	1.6	2.1E-03	2.9E-04	6.5E-03	4.8	98%	100%
plant18		554	9.0E-04	-	4.2E-03	13.0	0.3	9.0E-04	4.7E-05	2.6E-03	7.5	0.3	9.2E-04	4.8E-05	2.6E-03	7.4	102%	99%
plant19		346	1.4E-03	-	6.7E-03	13.0	0.2	9.9E-04	5.0E-05	3.0E-03	7.7	0.2	1.0E-03	5.1E-05	2.9E-03	7.6	102%	99%
plant20	1	414	2.4E-03	1.2E-04	1.1E-02	9.6	1.5	2.3E-03	3.0E-04	7.0E-03	4.9	1.6	2.3E-03	3.1E-04	7.1E-03	4.8	101%	99%
plant21		456	1.1E-03	-	5.0E-03	13.0	0.3	9.5E-04	4.8E-05	2.8E-03	7.7	0.3	9.5E-04	4.9E-05	2.8E-03	7.5	100%	98%
plant22		280	1.8E-03	-	8.2E-03	13.0	0.2	1.0E-03	5.2E-05	3.2E-03	7.8	0.2	1.0E-03	5.2E-05	3.1E-03	7.7	100%	99%
plant23		542	9.2E-04	-	4.3E-03	13.0	0.3	9.0E-04	4.8E-05	2.6E-03	7.4	0.3	9.2E-04	4.7E-05	2.7E-03	7.5	102%	101%
plant24		354	1.4E-03	-	6.5E-03	13.0	0.2	9.9E-04	5.0E-05	3.0E-03	7.7	0.2	1.0E-03	5.1E-05	3.0E-03	7.6	101%	99%
plant25		697	7.2E-04	-	3.3E-03	13.0	0.4	8.7E-04	4.7E-05	2.5E-03	7.3	0.4	8.7E-04	4.6E-05	2.5E-03	7.3	101%	100%
plant26	2	513	3.9E-03	6.9E-04	1.2E-02	4.2	3.2	3.9E-03	6.7E-04	1.1E-02	4.1	3.1	3.9E-03	6.8E-04	1.1E-02	4.1	99%	100%
plant27		298	1.7E-03	-	7.7E-03	13.0	0.2	1.0E-03	5.0E-05	3.0E-03	7.8	0.2	1.0E-03	5.0E-05	3.0E-03	7.7	101%	99%
plant28		258	1.9E-03	-	8.9E-03	13.0	0.2	1.0E-03	5.1E-05	3.2E-03	7.9	0.2	1.1E-03	5.3E-05	3.2E-03	7.7	101%	98%
plant29		1015	4.9E-04	-	2.3E-03	13.0	0.5	7.9E-04	4.3E-05	2.2E-03	7.2	0.5	8.0E-04	4.4E-05	2.2E-03	7.2	102%	100%
plant30		1178	4.2E-04	-	2.0E-03	13.0	0.6	7.6E-04	4.3E-05	2.1E-03	7.0	0.6	7.7E-04	4.2E-05	2.1E-03	7.1	102%	101%
plant31		1429	3.5E-04	-	1.6E-03	13.0	0.7	7.2E-04	4.2E-05	2.0E-03	6.9	0.7	7.3E-04	4.0E-05	2.0E-03	7.1	101%	103%
plant32		1358	3.7E-04	-	1.7E-03	13.0	0.6	7.3E-04	4.0E-05	2.0E-03	7.1	0.6	7.4E-04	4.2E-05	2.0E-03	7.0	101%	98%
plant33		1300	3.8E-04	-	1.8E-03	13.0	0.6	7.4E-04	4.2E-05	2.0E-03	7.0	0.6	7.6E-04	4.1E-05	2.1E-03	7.1	103%	102%
plant34	1	1149	8.7E-04	4.5E-05	4.1E-03	9.6	2.0	1.5E-03	2.3E-04	4.0E-03	4.2	2.0	1.5E-03	2.3E-04	3.9E-03	4.1	99%	98%
plant35		1125	4.4E-04	-	2.0E-03	13.0	0.5	7.7E-04	4.2E-05	2.2E-03	7.2	0.6	7.8E-04	4.2E-05	2.2E-03	7.2	102%	100%
plant36	2	1612	1.2E-03	2.2E-04	3.9E-03	4.2	3.9	2.0E-03	4.6E-04	5.0E-03	3.3	3.9	2.0E-03	4.6E-04	5.0E-03	3.3	100%	99%
plant37		1730	2.9E-04	-	1.3E-03	13.0	0.8	6.8E-04	3.9E-05	1.9E-03	6.9	0.8	7.0E-04	4.0E-05	1.9E-03	6.9	102%	99%
plant38		1120	4.5E-04	-	2.1E-03	13.0	0.6	7.6E-04	4.2E-05	2.1E-03	7.1	0.6	7.8E-04	4.3E-05	2.1E-03	7.0	102%	99%
plant39	3	984	3.0E-03	8.3E-04	7.9E-03	3.1	5.2	3.9E-03	8.7E-04	1.0E-02	3.4	5.2	3.9E-03	8.7E-04	1.0E-02	3.4	98%	99%
plant40		1786	2.8E-04	-	1.3E-03	13.0	0.8	6.8E-04	3.8E-05	1.8E-03	6.9	0.8	7.0E-04	4.0E-05	1.9E-03	6.9	102%	99%
plant41	1	1997	5.0E-04	2.6E-05	2.4E-03	9.6	2.4	1.1E-03	1.8E-04	2.9E-03	4.0	2.4	1.1E-03	1.9E-04	2.9E-03	3.9	101%	99%
plant42		535	9.3E-04	-	4.3E-03	13.0	0.3	9.2E-04	4.7E-05	2.7E-03	7.6	0.3	9.2E-04	4.8E-05	2.7E-03	7.5	100%	99%
plant43		343	1.5E-03	-	6.7E-03	13.0	0.2	9.9E-04	5.0E-05	3.0E-03	7.7	0.2	1.0E-03	5.1E-05	2.9E-03	7.6	102%	98%
plant44		2038	2.5E-04	-	1.1E-03	13.0	0.9	6.5E-04	3.7E-05	1.8E-03	7.0	0.9	6.7E-04	3.8E-05	1.8E-03	6.9	103%	99%
plant45		1928	2.6E-04	-	1.2E-03	13.0	0.8	6.6E-04	3.8E-05	1.8E-03	6.9	0.9	6.8E-04	3.8E-05	1.8E-03	7.0	103%	101%
plant46	1	1944	5.1E-04	2.6E-05	2.4E-03	9.6	2.4	1.1E-03	1.8E-04	2.9E-03	4.0	2.4	1.2E-03	1.9E-04	3.0E-03	4.0	102%	100%
plant47		1998	2.5E-04	-	1.2E-03	13.0	0.9	6.5E-04	3.7E-05	1.8E-03	6.9	0.9	6.8E-04	3.9E-05	1.8E-03	6.9	103%	99%
plant48		556	9.0E-04	-	4.1E-03	13.0	0.3	9.1E-04	4.7E-05	2.7E-03	7.5	0.3	9.2E-04	4.8E-05	2.6E-03	7.4	101%	98%
plant49	1	806	1.2E-03	6.4E-05	5.9E-03	9.6	1.8	1.7E-03	2.5E-04	5.0E-03	4.4	1.8	1.7E-03	2.6E-04	4.9E-03	4.4	100%	99%

注\*1. 故障件数が0件のものは、0.5件として故障確率の算出を行った。  
 \*2. EF<sup>2</sup>(近似) = 上限値 / 下限値。但し故障件数が0の場合はEF=13とした。  
 \*3. 平均値  
 \*4. EF<sup>2</sup>(近似) = 9.5 %点 / 5 %点  
 \*5. 平均値 (感度解析) / 平均値 (ベースケース)  
 \*6. EF (感度解析) / EF (ベースケース)

表 8-10(4) 逆止弁開失敗 ベースケース及びケース 3 比較 (デマンド故障確率)

ユニット	故障 件数	推定 総デマン ド回数	古典統計				ベイズ統計 (MCMC手法) ベースケース				ベイズ統計 (MCMC手法) ケース3				平均 比 <sup>5</sup>	EF (近似) 比 <sup>6</sup>		
			点推 定値 <sup>1</sup> [1/D]	90%信頼区 間 下限値 [D]	上限値 [D]	EF <sup>2</sup> (近似)	真の 故障件数 推定値 <sup>3</sup>	平均値 [1/D]	5%点 [D]	95%点 [D]	EF <sup>4</sup> (近似)	真の 故障件数 推定値 <sup>3</sup>	平均値 [1/D]	5%点 [D]			95%点 [D]	EF <sup>4</sup> (近似)
一般故障率	0	259336	1.9E-06		8.9E-06	13.0	1.05	9.7E-06	2.1E-07	2.5E-05	10.8	0.46	4.2E-06	1.4E-08	1.2E-05	29.5	43%	273%
plant01		5153	9.7E-05		4.5E-04	13.0	0.02	6.9E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.5	0.01	2.9E-06	1.4E-08	1.2E-05	28.4	42%	271%
plant02		7310	6.8E-05		3.1E-04	13.0	0.03	6.4E-06	2.0E-07	2.2E-05	10.5	0.01	2.8E-06	1.5E-08	1.2E-05	28.1	44%	269%
plant03		7002	7.1E-05		3.3E-04	13.0	0.03	6.6E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.3	0.01	2.8E-06	1.4E-08	1.1E-05	28.2	42%	272%
plant04		7819	6.4E-05		2.9E-04	13.0	0.03	6.4E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.3	0.01	2.8E-06	1.5E-08	1.2E-05	28.3	44%	273%
plant05		7714	6.5E-05		3.0E-04	13.0	0.03	6.5E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.4	0.01	2.8E-06	1.5E-08	1.2E-05	28.2	43%	270%
plant06		9043	5.5E-05		2.5E-04	13.0	0.03	6.3E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.5	0.02	2.7E-06	1.5E-08	1.1E-05	27.8	43%	266%
plant07		9429	5.3E-05		2.4E-04	13.0	0.04	6.3E-06	2.0E-07	2.2E-05	10.4	0.02	2.7E-06	1.4E-08	1.1E-05	28.1	43%	270%
plant08		8686	5.8E-05		2.7E-04	13.0	0.03	6.4E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.3	0.01	2.7E-06	1.4E-08	1.1E-05	28.2	43%	273%
plant09		7156	7.0E-05		3.2E-04	13.0	0.03	6.6E-06	2.0E-07	2.3E-05	10.5	0.01	2.9E-06	1.4E-08	1.1E-05	28.2	43%	268%
plant10		7300	6.8E-05		3.2E-04	13.0	0.03	6.6E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.5	0.01	2.9E-06	1.5E-08	1.2E-05	28.2	44%	269%
plant11		7976	6.3E-05		2.9E-04	13.0	0.03	6.3E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.4	0.01	2.8E-06	1.4E-08	1.2E-05	28.2	45%	271%
plant12		5911	8.5E-05		3.9E-04	13.0	0.02	6.6E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.5	0.01	3.2E-06	1.5E-08	1.2E-05	28.1	48%	268%
plant13		4489	1.1E-04		5.1E-04	13.0	0.02	6.8E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.4	0.01	3.0E-06	1.4E-08	1.2E-05	28.5	45%	273%
plant14		4048	1.2E-04		5.7E-04	13.0	0.02	7.0E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.6	0.01	3.1E-06	1.5E-08	1.2E-05	28.1	44%	265%
plant15		6354	7.9E-05		3.6E-04	13.0	0.02	6.5E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.4	0.01	3.0E-06	1.5E-08	1.2E-05	28.2	47%	272%
plant16		10658	4.7E-05		2.2E-04	13.0	0.04	6.1E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.2	0.02	2.7E-06	1.5E-08	1.1E-05	27.8	44%	271%
plant17		12219	4.1E-05		1.9E-04	13.0	0.05	6.1E-06	2.0E-07	2.2E-05	10.4	0.02	2.6E-06	1.4E-08	1.1E-05	28.0	43%	269%
plant18		6042	8.3E-05		3.8E-04	13.0	0.02	6.7E-06	2.1E-07	2.4E-05	10.6	0.01	2.8E-06	1.4E-08	1.1E-05	28.3	42%	266%
plant19		3785	1.3E-04		6.1E-04	13.0	0.02	7.0E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.5	0.01	3.1E-06	1.5E-08	1.2E-05	28.5	45%	271%
plant20		3065	1.6E-04		7.5E-04	13.0	0.01	7.0E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.7	0.01	3.2E-06	1.4E-08	1.2E-05	28.9	45%	271%
plant21		7355	6.8E-05		3.1E-04	13.0	0.03	6.5E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.5	0.01	2.8E-06	1.5E-08	1.2E-05	27.9	43%	266%
plant22		2483	2.0E-04		9.3E-04	13.0	0.01	7.4E-06	2.1E-07	2.4E-05	10.6	0.01	3.3E-06	1.5E-08	1.2E-05	28.6	44%	269%
plant23		9709	5.1E-05		2.4E-04	13.0	0.04	6.3E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.3	0.01	2.7E-06	1.5E-08	1.1E-05	27.8	42%	269%
plant24		7953	6.3E-05		2.9E-04	13.0	0.03	6.3E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.4	0.01	2.7E-06	1.4E-08	1.1E-05	28.1	43%	270%
plant25		6548	7.6E-05		3.5E-04	13.0	0.03	6.5E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.4	0.01	2.8E-06	1.5E-08	1.1E-05	27.9	43%	268%
plant26		3174	1.6E-04		7.3E-04	13.0	0.01	7.0E-06	2.1E-07	2.4E-05	10.6	0.01	3.2E-06	1.5E-08	1.2E-05	28.0	45%	263%
plant27		1376	3.6E-04		1.7E-03	13.0	0.01	7.6E-06	2.1E-07	2.4E-05	10.7	0.00	3.5E-06	1.4E-08	1.2E-05	29.0	46%	272%
plant28		1202	4.2E-04		1.9E-03	13.0	0.01	7.6E-06	2.1E-07	2.4E-05	10.7	0.00	3.7E-06	1.4E-08	1.2E-05	29.0	49%	271%
plant29		2964	1.7E-04		7.8E-04	13.0	0.01	7.2E-06	2.1E-07	2.4E-05	10.7	0.01	3.1E-06	1.5E-08	1.2E-05	28.1	43%	264%
plant30		3122	1.6E-04		7.4E-04	13.0	0.01	7.2E-06	2.1E-07	2.4E-05	10.6	0.01	3.1E-06	1.5E-08	1.2E-05	28.0	43%	265%
plant31		5432	9.2E-05		4.2E-04	13.0	0.02	6.6E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.5	0.01	3.1E-06	1.4E-08	1.1E-05	28.2	47%	268%
plant32		5162	9.7E-05		4.5E-04	13.0	0.02	7.0E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.6	0.01	3.0E-06	1.5E-08	1.2E-05	28.3	43%	268%
plant33		4941	1.0E-04		4.7E-04	13.0	0.02	6.8E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.4	0.01	3.0E-06	1.5E-08	1.2E-05	28.4	44%	272%
plant34		3207	1.6E-04		7.2E-04	13.0	0.01	7.0E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.4	0.01	3.1E-06	1.5E-08	1.2E-05	28.2	44%	271%
plant35		3098	1.6E-04		7.4E-04	13.0	0.01	7.0E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.5	0.01	3.0E-06	1.5E-08	1.2E-05	28.3	43%	269%
plant36		5108	9.8E-05		4.5E-04	13.0	0.02	6.7E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.4	0.01	3.1E-06	1.5E-08	1.2E-05	28.4	46%	273%
plant37		5462	9.2E-05		4.2E-04	13.0	0.02	6.7E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.4	0.01	3.0E-06	1.5E-08	1.2E-05	28.4	45%	273%
plant38		3507	1.4E-04		6.6E-04	13.0	0.02	7.0E-06	2.1E-07	2.4E-05	10.7	0.01	3.3E-06	1.5E-08	1.2E-05	28.3	47%	263%
plant39		3080	1.6E-04		7.5E-04	13.0	0.01	7.1E-06	2.1E-07	2.4E-05	10.6	0.01	3.2E-06	1.5E-08	1.2E-05	28.6	44%	270%
plant40		3621	1.4E-04		6.4E-04	13.0	0.02	6.8E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.6	0.01	3.1E-06	1.5E-08	1.2E-05	28.0	45%	265%
plant41		4037	1.2E-04		5.7E-04	13.0	0.02	6.8E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.5	0.01	3.0E-06	1.5E-08	1.2E-05	27.9	44%	267%
plant42		2133	2.3E-04		1.1E-03	13.0	0.01	7.5E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.5	0.00	3.2E-06	1.5E-08	1.2E-05	28.6	43%	273%
plant43		1358	3.7E-04		1.7E-03	13.0	0.01	7.6E-06	2.1E-07	2.4E-05	10.7	0.00	3.6E-06	1.5E-08	1.2E-05	29.1	47%	272%
plant44		3452	1.4E-04		6.7E-04	13.0	0.02	7.3E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.6	0.01	3.3E-06	1.4E-08	1.2E-05	28.8	45%	273%
plant45		3254	1.5E-04		7.1E-04	13.0	0.01	7.2E-06	2.1E-07	2.4E-05	10.6	0.01	3.2E-06	1.5E-08	1.2E-05	28.6	44%	270%
plant46		4355	1.1E-04		5.3E-04	13.0	0.02	7.2E-06	2.1E-07	2.4E-05	10.6	0.01	3.2E-06	1.5E-08	1.2E-05	28.5	45%	269%
plant47		4498	1.1E-04		5.1E-04	13.0	0.02	6.9E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.5	0.01	3.1E-06	1.5E-08	1.2E-05	28.0	45%	266%
plant48		2022	2.5E-04		1.1E-03	13.0	0.01	7.4E-06	2.1E-07	2.4E-05	10.7	0.00	3.2E-06	1.5E-08	1.2E-05	28.7	43%	269%
plant49		4560	1.1E-04		5.0E-04	13.0	0.02	6.8E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.5	0.01	3.0E-06	1.4E-08	1.2E-05	28.5	44%	272%

注\*1. 故障件数が0件のものは、0.5件として故障確率の算出を行った。

\*2. EF<sup>2</sup>(近似) = 上限値 / 下限値。但し故障件数が0の場合はEF=13とした。

\*3. 平均値

\*4. EF<sup>2</sup>(近似) = 9.5%点 / 5%点

\*5. 平均値 (感度解析) / 平均値 (ベースケース)

\*6. EF (感度解析) / EF (ベースケース)

#### 8.4.4 超母数事後分布結果に関する考察

##### a) ベースケース

###### 1) プールデータで1件以上の観測件数を有する故障モード

図 8-3 にベースケースでの $\mu$ の事後分布を示す。 $\mu$ の事後分布はピークを有し、 $\mu$ の範囲は分布のピークを含む十分な広がりをもっている。

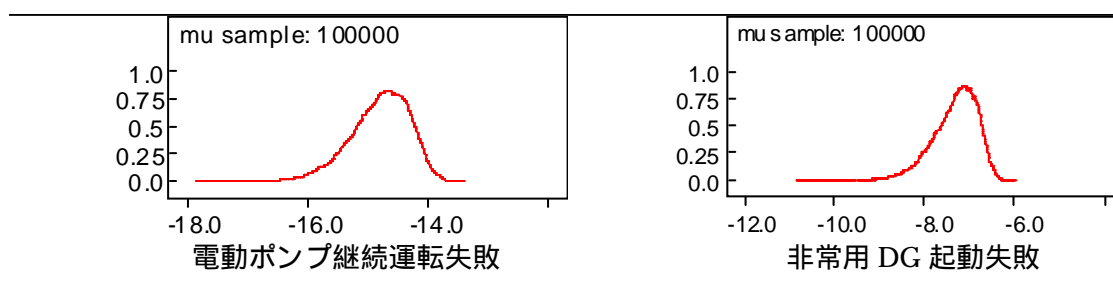


図 8-3 1 件以上の観測件数を有する故障モードの $\mu$ の事後分布（ベースケース）

###### 2) プールデータで0件の観測件数を有する故障モード

図 8-4 にベースケースでの $\mu$ の事後分布を示す。 $\mu$ の事後分布はピークを有せず、 $\mu$ の減少に対して増加していき、 $\mu$ の下限値で最大となっている。

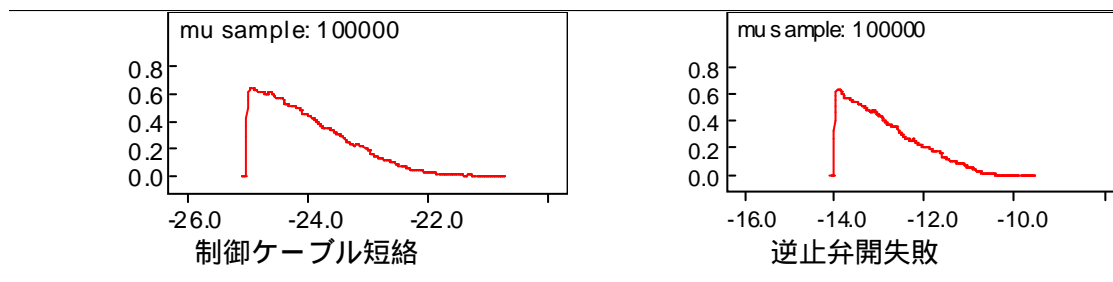


図 8-4 0 件の観測件数を有する故障モードの $\mu$ の事後分布（ベースケース）

##### b) ケース 1

###### 1) プールデータで1件以上の観測件数を有する故障モード

国内一般機器故障率の平均値は増加傾向を示し、個別プラント機器故障率は、観測件数が1件以上のプラントでは増加傾向、0件のプラントでは減少傾向を示す。95%値と5%値の比の平方根を $EF$ とすると、 $EF$ は全プラントで増加傾向を示す。図 8-5 に示すように $\mu$ の事後分布はピークの右裾が大きく切り取られており（感度が見られなかったため、シフト量を大きくした）、 $\sigma$ の事後分布への影響は図 8-6 の散布図に見られるように $\sigma$ の値の小さな領域が大きく削られている。このため、 $\sigma$ の事後分布の広がりとは相対的に $\sigma$ が大きい右に重心が移り  $EF$  は大きくなる。 $\sigma$ の感度解析のケース 1 の逆の理由で、個別プラント機器故障率は、観測件数が1件以上のプラントでは増加傾向、0件の

プラントでは減少傾向を示す。

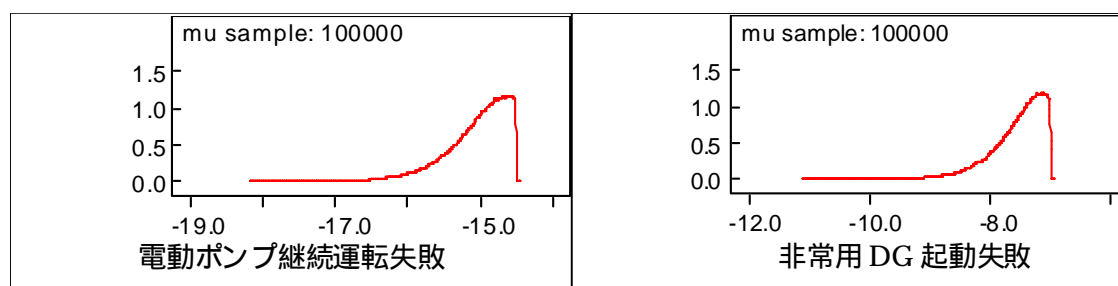


図 8-5 1 件以上の観測件数を有する故障モードの $\mu$ の事後分布（ケース 1）

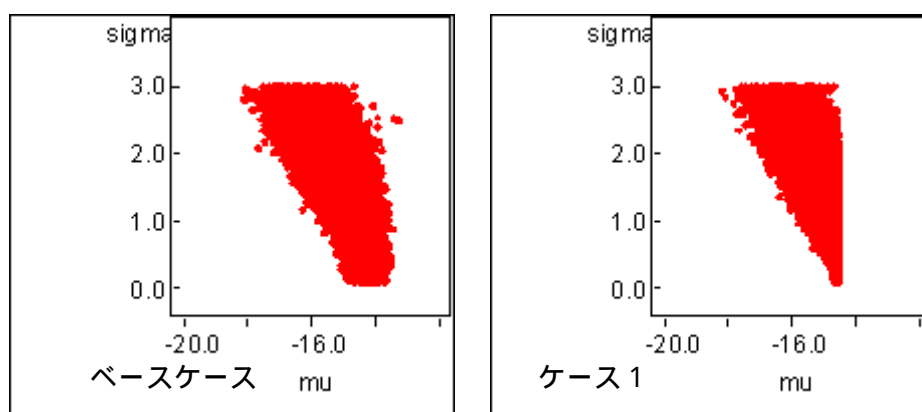


図 8-6 電動ポンプ継続運転失敗の $\mu$ と $\sigma$ の事後分布の散布図

## 2) プールデータで 0 件の観測件数を有する故障モード

国内一般機器故障率並びに個別プラント機器故障率ともに減少傾向を示し， $EF$  は逆に増加傾向を示す。図 8-7 に示す $\mu$ の事後分布と図 8-4 を比較すると， $\mu$ の下限値が引き下げられたことで $\mu$ の小さな値の寄与が増加したために，故障率は減少し， $\mu$ の上限値の減少は，元々寄与が少ない部分がなくなっただけであるため，機器故障率の上限は余り下がらず， $\mu$ の小さな値の寄与が大きくなったために機器故障率の下限は大きく下がり， $EF$  は増加したと考えられる。

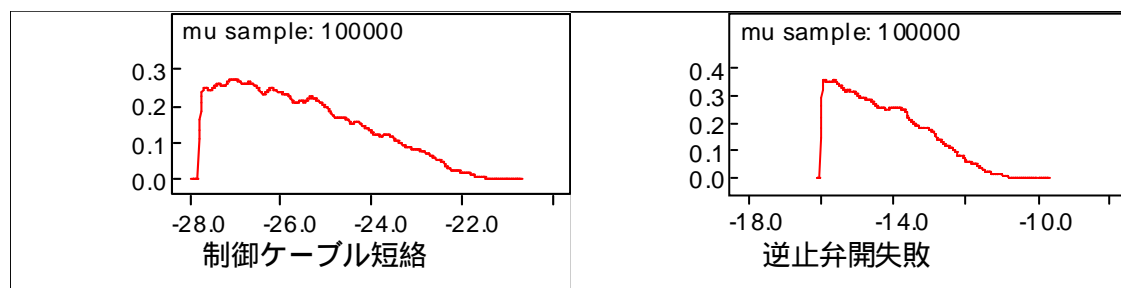


図 8-7 0 件の観測件数を有する故障モードの $\mu$ の事後分布（ケース 1）

b) ケース 2

1) プールデータで 1 件以上の観測件数を有する故障モード

国内一般機器故障率の平均値及び個別プラント機器故障率においては、若干であるが増加傾向が見られ、 $EF$  には減少傾向が見られる。図 8-8 に示す $\mu$ の事後分布と図 8-3 を比較すると、ケース 1 の(1)の逆のケースとなり、 $\mu$ の下限側の裾の部分が切断されていることで $\mu$ の小さな値の寄与が減少したために、機器故障率が増加し、かつ $\mu$ の大きな領域での寄与は殆ど変化していないため、機器故障率の上限は余り変化せず、機器故障率の下限が増加したことによって  $EF$  は減少したと考えられる。

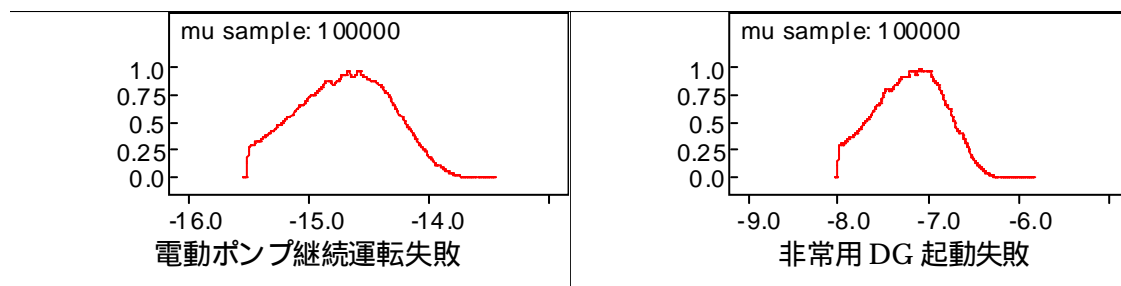


図 8-8 1 件以上の観測件数を有する故障モードの $\mu$ の事後分布（ケース 2）

2) プールデータで 0 件の観測件数を有する故障モード

国内一般機器故障率ならびに個別プラント機器故障率ともに増加傾向を示し、 $EF$  は逆に減少傾向を示す。図 8-8 に示す $\mu$ の事後分布と図 8-4 を比較すると、 $\mu$ の下限値が引き上げられたことで $\mu$ の小さな値の寄与が減少したために、機器故障率は増加し、 $\mu$ の上限値の増加は、元々寄与が殆どない部分が拡大されただけであるため、機器故障率の上限は余り上がらず、 $\mu$ の小さな値の寄与が減少したために機器故障率の下限は大きく上がり、 $EF$  は減少したと考えられる。

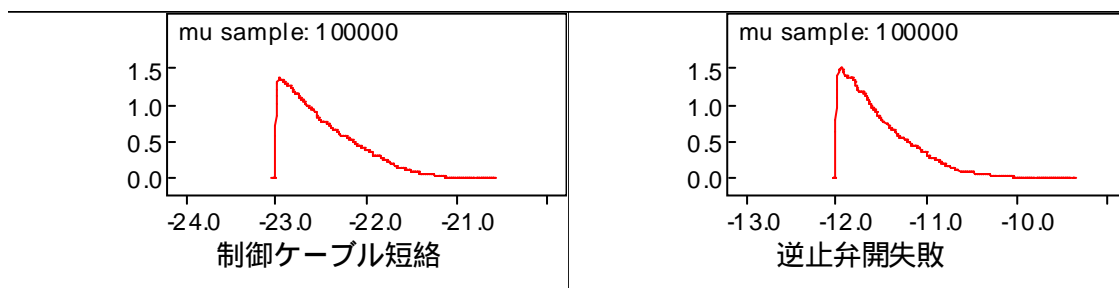


図 8-9 0 件の観測件数を有する故障モードの $\mu$ の事後分布 (ケース 2)

c) ケース 3

1) プールデータで 1 件以上の観測件数を有する故障モード

$\mu$ の事前分布の範囲を拡大しても図 8-10 に見られるように $\mu$ の事後分布に殆ど変化はなく、したがって、機器故障率、 $EF$  にも差は見られない。このケースのように観測件数が 1 件以上ある場合は $\mu$ の事後分布はピークを有するので (1 件のみの場合はピークがはっきりしない場合もある)、 $\mu$ の事後分布のピークが十分にカバーされていれば、 $\mu$ の事前分布の範囲に依存せずに機器故障率が求まることを示している。

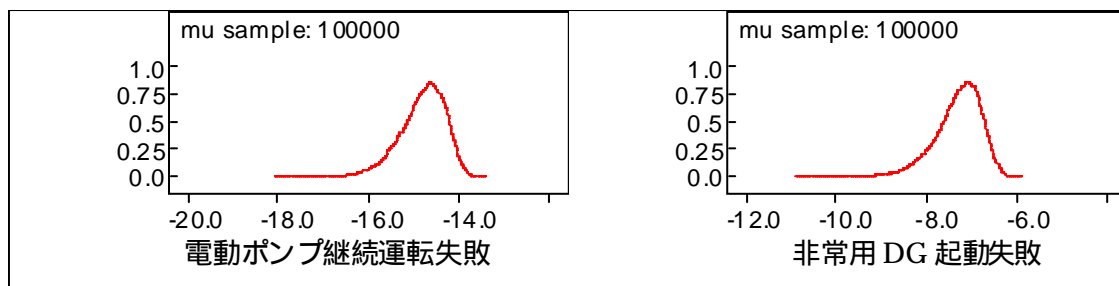


図 8-10 1 件以上の観測件数を有する故障モードの $\mu$ の事後分布 (ケース 3)

2) プールデータで 0 件の観測件数を有する故障モード

$\mu$ の事前分布の範囲を拡大すると図 8-11 に見られるように $\mu$ の事後分布は $\mu$ の下限側に左上がりの分布が拡大し、したがって、機器故障率は減少し、 $EF$  は増加する。観測件数が 0 件の場合は $\mu$ の事前分布の下限を下げれば、更に機器故障率は低下することになる。



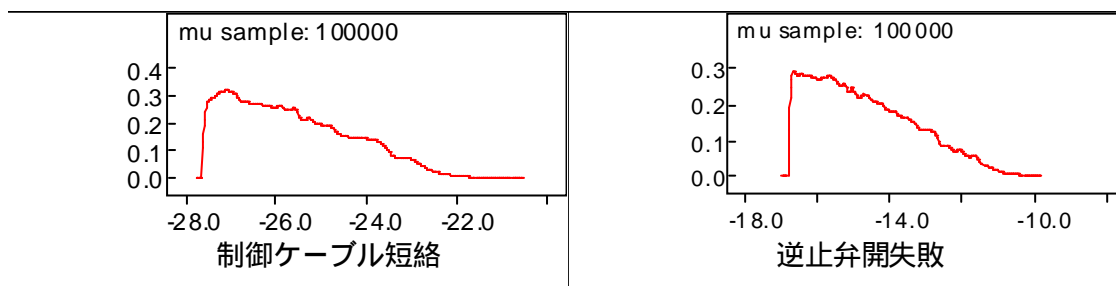


図 8-11 0 件の観測件数を有する故障モードの $\mu$ の事後分布（ケース 3）

#### 8.4.5 故障観測件数 0 件の場合の $\mu$ の事前分布設定に関する考察

故障観測件数が 0 件の故障モードについては， $\mu$ の一樣事前分布の下限を下げれば下げるほど，際限なく機器故障率計算値は低い値となっていく。そのため，国内一般機器故障率計算では，故障件数 0.5 件に対応するような $\mu$ の値を下限に設定して機器故障率を計算している。この設定に対して，以下の 2 点

- ・国内一般機器故障率と，米国産業界水準との比較
- ・データ収集確率分布と $\mu$ の事前分布の設定方法との整合性

について考察した。

##### a) 米国産業界水準との比較

米国 NRC 発行の NUREG/CR-6928<sup>[10]</sup>は，米国原子力業界の 1998~2002 における信頼性データを評価したものであり，そのデータは NRC の PRA モデルである standardized plant analysis risk (SPAR) モデルに使用されている。ここではこの NUREG/CR-6928 の内容を調査し，今回の一般故障率の推定に用いた $\mu$ の事前分布下限値が現実的に考えられる十分に小さい値を網羅しているかどうか確認する。

##### 1) NUREG/CR-6928 における故障率の最小値

NUREG/CR-6928 の信頼性データは，基本的に，EPIX の 1998 年～2002 年の実績に基づき，プールデータを用いた Jeffreys の無情報事前分布のベイズ更新により推定している。これらによると，時間故障率の最小値は電磁弁の外部リークで  $6.53\text{E-}10$  [1/h]（平均値）である（ただし，単位が [1/h/ft] パイプを除く）。この故障率分布はガンマ分布で定義され， $EF$  は 18.8 であり， $LL$ （Lower allowable limit）とされている。一方，デマンド故障確率の最小値は逆止弁開失敗の  $1.30\text{E-}5$  [1/d]（平均値）である。この故障率はベータ分布で定義され， $EF$  は 8.4 である。これらを表 8-11 にまとめた。

##### 2) 故障率の比較

表 8-12 に代表的な故障モードの $\mu$ の事前分布の設定範囲を示す。これらのうち，制御ケーブル短絡と逆止弁開失敗は，21 カ年データ報告書においてプールデータによる最尤推定値の故障率が最も小さくなる故障モードである。

この代表的なゼロ件故障モードについて，表 8-11 に示した米国の最新の機器故障率と，表 8-12 に示した本検討における $\mu$ の事前分布の範囲を比較した結果を図 8-12 に示

す。代表的なゼロ件の故障モードにおいて、 $\mu$ の事前分布の下限をさらに小さくする必要性は認められなかった。

なお、本評価で求めた国内一般機器故障率では、国内故障実績のみを情報源として $\mu$ の事前分布の範囲を設定したが、海外の情報を取り込み $\mu$ の事前分布を設定することもできると考えられる。

表 8-11 NUREG/CR-6928 の故障率の最小値調査結果

分類	平均値	中央値	EF	確率分布	備考
時間故障率 電磁弁外部リーク	6.53E-10 [h]	1.59E-10 [h]	18.8	ガンマ分布	時間故障率最小値 (平均値ベース)
デマンド故障確率 逆止弁開失敗	1.30E-5 [d]	5.90E-6 [h]	8.4	ベータ分布	デマンド故障確率最小値 (平均値ベース)

中央値は本報告で計算したもの

表 8-12 代表的な故障モードにおける  $\mu$  の事前分布設定範囲

機種 故障モード	$\mu$ 事前分布範囲	機器故障率中間値
電動ポンプ 継続運転失敗	- 19.0 $\mu$ - 8.5	5.6E-9 $\lambda$ [h] 2.0E-4
制御ケーブル 短絡	- 25.0 $\mu$ - 14.0	1.4E-11 $\lambda$ [h] 8.3E-7
非常用 DG 起動失敗	- 12.0 $\mu$ - 0.99	6.1E-6 $pd$ [d] 3.7E-1
逆止弁 開失敗	- 14.0 $\mu$ - 3.0	8.3E-7 $pd$ [d] 5.0E-2

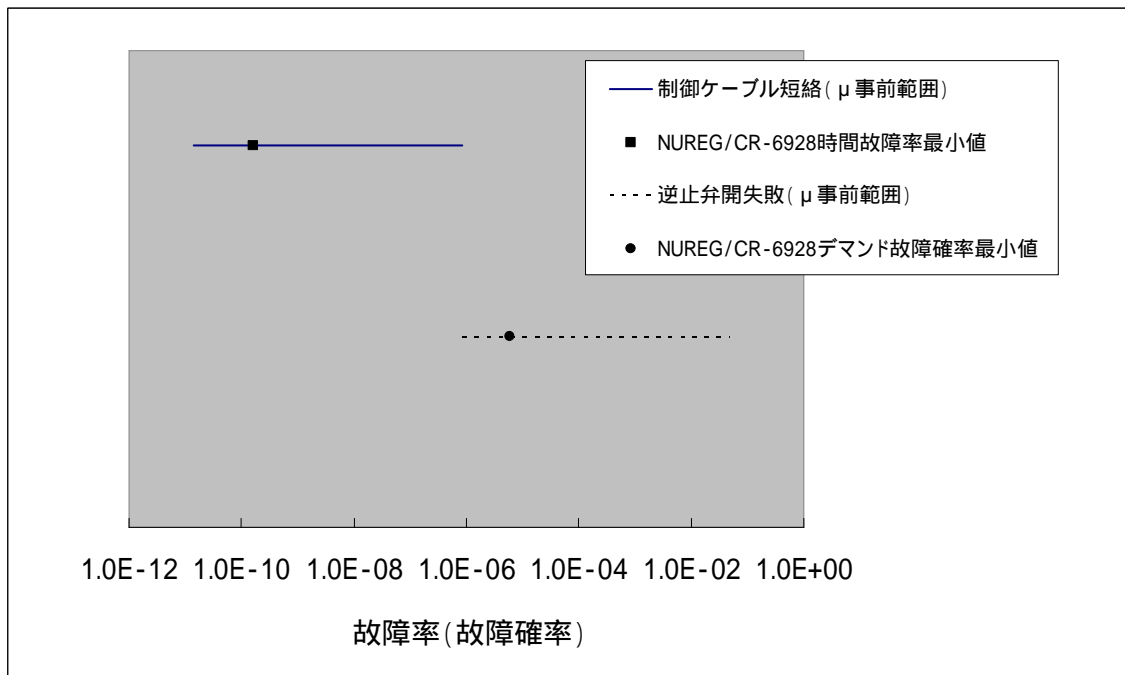


図 8-12 代表的なゼロ件故障モードにおける $\mu$ の事前範囲と  
NUREG/CR-6928 の故障率比較

#### b) データ収集確率分布と $\mu$ の事前分布の設定手法の整合性

本評価に用いた $\mu$ の事前分布の設定概念を図 8-13 に示す。 $\mu$ は母集団変動分布における  $\ln \lambda$  の平均値であり、事前分布に一様分布を適用している。ハイパーパラメータ  $a_\mu$  及び  $b_\mu$  は、個別プラントの最尤推定値 ( $\lambda_{max}$ ,  $\lambda_{min}$ ) から求めた期待値  $E(\mu)$ 、及び工学的判断による分散  $Var(\mu)$  に基づき設定している。

国内一般機器故障率の全体の枠組みではデータ収集確率の概念（故障件数の不確かさ）を取り込んでいるため、 $\mu$ の事前分布の設定根拠となる $\lambda_{max}$ を求める際は、故障件数の増加程度を予め見積もっている。一方、 $\lambda_{min}$ にはこの増加程度を反映していない。また、故障の観測件数がゼロ件の場合、0.5 件の故障を仮定している。

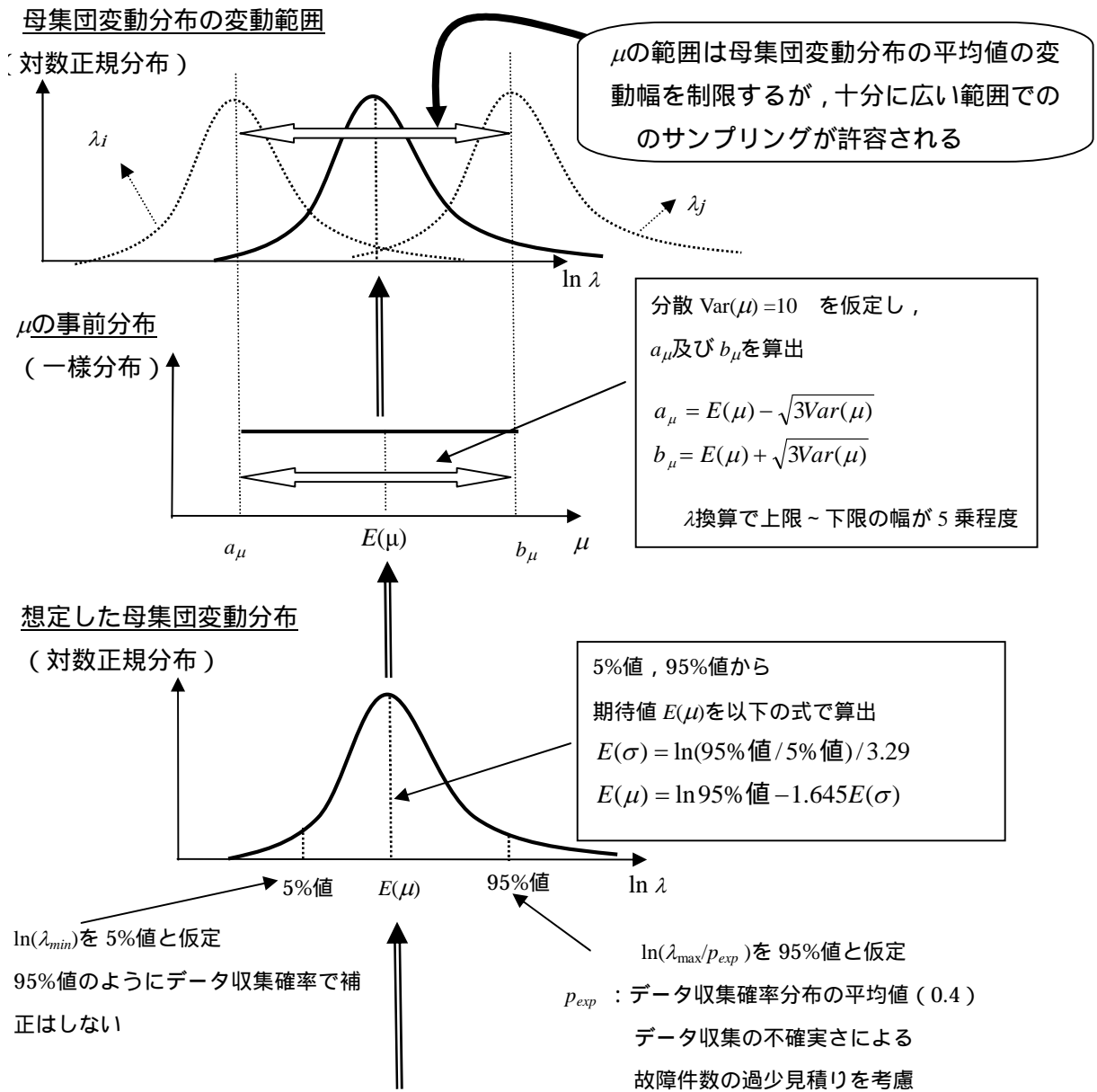
本設定方法の代替案としては、故障件数の増加程度を $\lambda_{max}$ 及び $\lambda_{min}$ の双方に見積もること、データ収集確率分布の概念との整合性を確保することも考えられる。

ここで、現行の $\lambda_{min}$ の設定手法を構築する際の経緯について述べる。全ての故障モードで $\lambda_{min}$ は観測件数ゼロ件のプラントから求めることが予めわかっており、 $\lambda_{min}$ は個別プラント最尤推定値の最小値であるため、観測件数がゼロ件で実際の故障件数もゼロ件であることを想定するのが自然であると判断した（この背景に Feasibility Study により、ゼロ件の観測件数の場合、故障件数の事後分布の最頻値はゼロとなることもわかっていた）。一方、 $\lambda_{max}$ は個別プラント機器故障率の最大値であるため、故障件数の増加程度を見積もるのが適切であると判断した。

以上から、 $\mu$ の事前分布の設定に用いる $\lambda_{\max}$  及び $\lambda_{\min}$  は双方ともデータ収集確率の概念は考慮した上で設定しており、両者の取り扱いの違いは、母集団変動分布におけるそれぞれの意味合いを考慮した結果である。したがって、データ収集確率分布と $\mu$ の事前分布の設定手法に矛盾はないと考えられる。

ゼロ件の故障モードを評価する場合、現行の $\mu$ の事前分布の設定手法を用いず、現行よりも事前分布の下限を下げる代替策が考えられる。この場合、より広い事前分布が設定され、より説明性が高い事前分布といえる。しかし、ゼロ件故障を評価する際に事前分布の下限をどこまで下げれば十分であるかを論理的に導出するのは困難である。また、下限を下げると国内一般機器故障率は現行よりも小さくなり、データ収集確率を導入した目的である「保守的な機器故障率の設定」とは相反する。

本評価で得られたゼロ件故障に対する国内一般機器故障率は、評価手法によってはさらに機器故障率が低減でき、その意味では保守的な値であることを踏まえたうえで、PRA に用いればよいと考えられる。



#### 個別プラント実績

プラント	観測件数 $Y$	露出時間 $T$ [hour]	最尤推定値 $= Y/T$ [/hour]	備考
1	0	5.0E+6	1.0E-7	最尤推定値の最小値 $\lambda_{\min}$
2	4	1.0E+5	4.0E-5	最尤推定値の最大値 $\lambda_{\max}$
:	:	:	:	
49	0	1.0E+5	5.0E-6	

$Y=0$  に対しては 0.5 件の故障を仮定

図 8-13  $\mu$ の事前分布の設定概念

#### 8.4.6 まとめ

母集団変動分布のパラメータ $\mu$ に対するハイパー事前分布の感度解析を実施した。

1 件以上の観測件数を有する故障モードについては、本モデルで設定した事前分布は事後分布の範囲を十分にカバーしており、妥当なハイパー事前分布であることが判った。

観測件数が 0 件の故障モードに対しては、 $\mu$ の事前分布の下限値を更に下げることによって機器故障率の計算値は減少するが、常識的に機器故障率は 0 ではなく有限の値をとるはずなので、過度に低くならないように設定すべきである。本モデルでは観測件数が 0 件の場合は 0.5 件を仮定して $\mu$ の下限値を決定しており、ある程度の保守性を考慮した設定となっている。感度解析結果を考慮すると $\mu$ の事前分布の下限値を下げることで機器故障率は約 1/2 程度にまで減少する可能性がある。しかしながら、 $\mu$ の事前分布の下限値を下げることは解析の不安定性にもつながること(ケース 1 での WinBUGS の計算が途中で異常停止するケースが見られた)から、解析の安定性(異常終了しないこと)、適度な故障率評価の保守性から本モデルのような $\mu$ の事前分布の設定が必要と考えられる。

## 9 データ収集確率の検討

本章では，データ収集確率の意味・性質と感度解析について述べる。

### 9.1 データ収集確率と実故障件数との関係について

データ収集確率  $p_i$  を設定した意味は，ある機器のある故障モードについて，

「発電所で PRAFF（機能故障）が発生したとき，その FF は確率  $p_i$  で NUCIA に PRAFF として登録される」

と想定したということである。この想定の下で，個別発電所  $i$  で発生した PRAFF を  $x_i$  件，そのうちの  $y_i$  件が NUCIA に登録されるとすると，

$$\begin{aligned} y_i &\sim \text{Binomial}(p_i, x_i) \\ \text{すなわち} \quad &0 \leq y_i \leq x_i \quad (x_i, y_i \text{ は非負の整数}), \quad 0 < p_i \leq 1 \\ f(y_i) &= {}_{x_i}C_{y_i} p_i^{y_i} (1-p_i)^{x_i-y_i} \end{aligned} \quad (9.1)$$

である。また，データ収集確率  $p_i$  の不確かさについては，

$$p_i \sim \text{Beta}(4, 6) \quad (9.2)$$

を事前分布として仮定している（図 9-1）。つまり，

$$f(p_i) = \frac{1}{B(4, 6)} p_i^{4-1} (1-p_i)^{6-1} \quad (9.3)$$

ここで，ベータ関数  $B(4, 6)$  は正規化定数

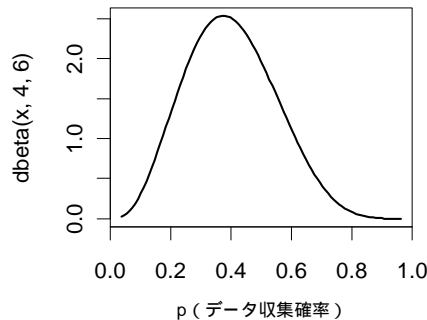


図 9-1 データ収集確率の事前分布

この分布形を使う意味は，「実際に発生した故障の件数のうち，PRA 機能故障として NUCIA PRA 用データベースに登録された件数の割合は約 1 割から 9 割の間までの不確かさ

幅がある」と評価者が認識していることを示している。また、データ収集確率に小さな値を含めてその確率分布を広く設定しているのは、十分な保守性を考慮しているという意味である。

機器故障率計算においてデータ収集確率を設定すると、観測故障件数  $y_i=0$  であっても実故障件数  $x_i$  は 0 ではない可能性がある。このとき、実故障件数  $x_i$  のとりうる値がどのように計算されるかについて簡単に考察する。

時間故障率推定の場合、全確率変数の同時分布は、次式のように表される。

$$f(\mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{p}, \boldsymbol{\lambda}, \boldsymbol{\theta} | \mathbf{t}) \propto f(\boldsymbol{\theta}) \cdot \prod_i f(p_i) \cdot \prod_i f(\lambda_i | \boldsymbol{\theta}) \cdot \prod_i f(x_i | \lambda_i, t_i) \cdot \prod_i f(y_i | p_i, x_i) \quad (9.4)$$

故障率超母数  
事前分布

データ収集確率  
事前分布

故障率  
分布

実故障件数  
発生確率モデル  
(ポアソン過程)

データ収集  
確率モデル  
(二項過程)

ここで、 $x_i$ ：個別発電所の実故障件数、 $\mathbf{x}$  は  $x_i$  を要素とするベクトル

$y_i$ ：個別発電所の観測故障件数(NUCIA 登録件数)、

$\mathbf{y}$  は  $y_i$  を要素とするベクトル

$p_i$ ：個別発電所のデータ収集確率、 $\mathbf{p}$  は  $p_i$  を要素とするベクトル

$\lambda_i$ ：個別発電所の故障率、 $\boldsymbol{\lambda}$  は  $\lambda_i$  を要素とするベクトル

$\boldsymbol{\theta}$ ：故障率  $\lambda_i$  の分布の超母数

$t_i$ ：個別発電所の供用時間(これは確率変数ではなく所与とする)

$\mathbf{t}$  は  $t_i$  を要素とするベクトル

添え字  $i$  は個別発電所を表し、データ収集確率や機器故障率は発電所間で独立としている。なお、ここでは時間故障率を考えているが、時間データをデマンド数データ等に読みかえれば、デマンド故障確率についても同様のことが成り立つ。

発電所  $i$  の実故障件数  $x_i$  とデータ収集確率  $p_i$  に関する full conditional distribution(以下 fcd と略)の形は、(9.4)式において  $x_i$  と  $p_i$  が関係する項のみからなるので、ベイズの定理により(9.5)式のように表される。

$$f(x_i, p_i | y_i, \lambda_i, \boldsymbol{\theta}, t_i) \propto f(x_i | \lambda_i, t_i) \cdot f(y_i | p_i, x_i) \cdot f(p_i) \quad (9.5)$$

ここで、式(9.5)右辺の 3 つの項はそれぞれ式(9.6)、式(9.7)、式(9.8)となる。

$$f(x_i | \lambda_i, t_i) = \text{Poisson}(x_i; \lambda_i t_i) = \frac{(\lambda_i t_i)^{x_i} \exp(-\lambda_i t_i)}{x_i!} \quad (9.6)$$



$$f(y_i | p_i, x_i) = \text{Binomial}(y_i; p_i, x_i) = \binom{x_i}{y_i} p_i^{y_i} (1 - p_i)^{x_i - y_i} \quad (9.7)$$

$$f(p_i) = \text{Beta}(p_i; 4, 6) = \frac{1}{B(4, 6)} p_i^{4-1} (1 - p_i)^{6-1} \quad (9.8)$$

特に,  $x_i$  の分布を考えると, その形は式(9.6)と式(9.7)の積からなる。そこで, それぞれの分布の形を具体例で考えてみる。

まず,  $x_i$  についてのポアソン分布の式(9.6)において, 例として  $t_i=2\text{E}6[\text{h}]$ ,  $\lambda_i=5\text{E}-7[\text{1/h}]$  (この値は電動ポンプ継続運転失敗率の水準) とすると,  $x_i$  は図 9-2 のような分布形をなす。次に, 式(9.11)において, 観測件数  $y_i=0$  のときの  $x_i$  の分布を求めると, 図 9-3 のようになる(式(9.8)  $p_i \sim \text{Beta}(4, 6)$  も計算に入れた)。

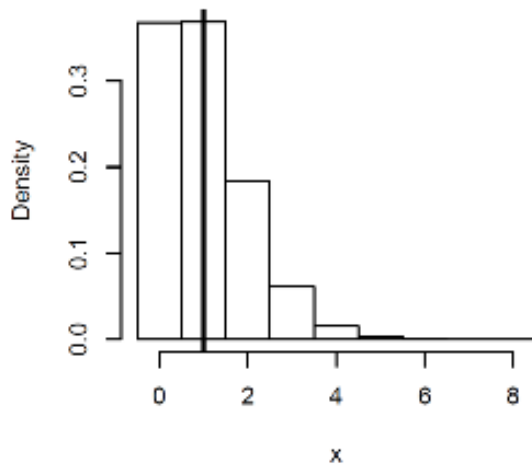


図 9-2 (9.6)式による  $x_i$  の分布  
計算条件:  $\lambda_i t_i = 5\text{E}-7[1/\text{h}] \times 2\text{E}6[\text{h}] = 1$   
縦線は分布の平均値を示す

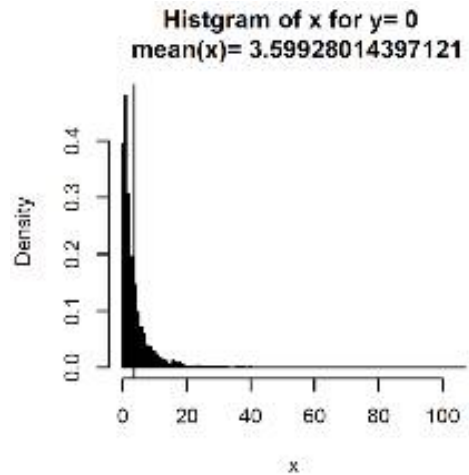


図 9-3 式(9.7)式による  $x_i$  の分布  
計算条件:  $y_i=0, p_i \sim \text{Beta}(4, 6)$   
縦線は分布の平均値を示す

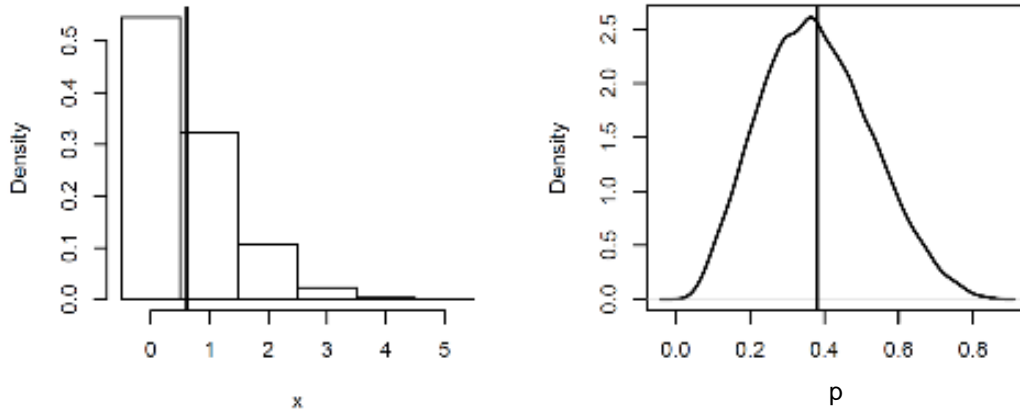


図 9.4 式(9.5)による  $x_i$  と  $p_i$  の事後分布  
(計算条件:  $\lambda_i t_i = 5E-7_{[1/h]} \times 2E6_{[h]} = 1$ ,  $y_i = 0$ ,  $p_i$  事前分布  $\sim \text{Beta}(4,6)$ )  
縦線は分布の平均値を示す

前述のように，式(8.5)による  $x_i$  の分布は図 9-2 と図 9-3 の分布の積からなり，図 9-4 の左に示すような形となる ( $p_i$  の事後分布も参考に示す)。図からわかるように，観測件数が 0 であっても，実故障件数は 0~5 件，平均 0.6 件発生していたことになる。故障率は，この実故障件数に対して計算されている。

## 9.2 データ収集確率の事後分布について

データ収集確率  $p_i$  も，観測データ  $y_i$  を得ることにより， $x_i$  を通じてベイズ更新される。以下にその様子を説明する。

### 9.2.1 データ収集確率のベイズ更新

発電所  $i$  のデータ収集確率  $p_i$  に関する full conditional distribution, (fcd)の形は，式(9.4)において  $p_i$  が関係する項のみからなるので，ベイズの定理により式(9.9)式のように表される。

$$f(p_i | x_i, y_i, \lambda_i, \theta, t_i) \propto f(p_i) \cdot f(y_i | p_i, x_i) \quad (9.9)$$

ここで，式(8.9)の右辺 2 項については，

$$f(p_i) = \text{Beta}(p_i; 4, 6) \propto p_i^{4-1} (1-p_i)^{6-1} \quad (9.10)$$

$$f(y_i | p_i, x_i) = \text{Binomial}(y_i; p_i, x_i) \propto p_i^{y_i} (1-p_i)^{x_i-y_i} \quad (9.11)$$

であるから，両者の積は式(9.12)のようになり，これはベータ分布の形であるから，結局  $p_i$  の分布式(9.9)は式(9.13)のベータ分布となる。

$$f(p_i | x_i, y_i, \lambda_i, \theta, t_i) \propto p_i^{y_i+4-1} (1-p_i)^{x_i-y_i+6-1} \quad (9.12)$$

$$\therefore f(p_i | x_i, y_i, \lambda_i, \theta, t_i) = \text{Beta}(p_i; y_i + 4, x_i - y_i + 6) \quad (9.13)$$

WinBUGS<sup>[6]</sup>から出力される  $p_i$  の周辺分布は，上記式(9.13)の fcd を  $x_i$  について積分したものである。

データ収集確率  $p_i$  が式(9.13)のベータ分布に従うことから  $p_i$  の平均値は  $(y_i+4)/(x_i+10)$  になるので，この振る舞いは故障件数の有無によって次のように考えられる。

$y_i$  (観測故障件数) が 0 の場合：観測故障件数が 0 であっても  $x_i$  は非負の整数になるので，期待される  $p_i$  の平均値は 0.4 以下となる。

$y_i$  (観測故障件数) が 0 でない場合：故障件数  $y_i$  と真の故障件数  $x_i$  との比 ( $y_i/x_i$ ) が 0.4 以上だと  $p_i$  の平均値は 0.4 以上となり，比が逆に 0.4 以下だと  $p_i$  の平均値は 0.4 以下となる。

この 2 点は，観測故障件数  $y_i$  が大きければデータ収集確率  $p_i$  も大きいだろう/観測件数が 0 であればデータ収集確率は小さいだろう，と推定されることを示しており，我々の直感的な判断と整合している。

### 9.2.2 国内一般機器故障率のデータ収集確率

21 ヶ年データ報告書<sup>[4]</sup>の試評価の対象とした電動ポンプ継続運転失敗，制御ケーブル短絡，非常用 DG 起動失敗，逆止弁開失敗の 4 つの基事象に対して， $p_i$  の事後分布と故障件数の関係をそれぞれ表 9-1～表 9-4 に示した。

観測故障件数が 0 の場合は，すべてプラント個別データ収集確率の平均値は 0.4 以下となっている。これは前項で述べたことと整合している。

観測故障件数が 0 でない場合 (表 9-1，表 9-3 中ハッチングした部分)，データ収集確率の事前分布の期待値は 0.4 なので，故障件数と真の故障件数の比は 0.4 に近いと期待されるが，表 9-1 と表 9-3 に示した比は 0.4 以上となっており，この結果を反映してプラント個別データ収集確率の平均値は 0.4 以上となっている。

表 9-1 データ収集確率と故障件数の関係（電動ポンプ継続運転失敗）

発電所	平均値	5%	中間値	95%	故障 観測件数 $y_i$	実故障件数 $x_i$ 平均値	$(y_i + 4)/(\bar{x}_i + 10)$
p[1]	0.4216	0.1952	0.4159	0.6671	1	2.001	0.4166
p[2]	0.4667	0.2399	0.4637	0.7025	3	5.445	0.4532
p[3]	0.3832	0.1576	0.375	0.64	0	0.510	0.3806
p[4]	0.4647	0.2353	0.462	0.7008	3	5.509	0.4514
p[5]	0.3826	0.1577	0.3739	0.6368	0	0.542	0.3794
p[6]	0.4205	0.194	0.4144	0.6672	1	2.057	0.4147
p[7]	0.4611	0.2323	0.4591	0.6979	3	5.647	0.4474
p[8]	0.4185	0.1912	0.4129	0.6661	1	2.123	0.4124
p[9]	0.4219	0.1953	0.4162	0.6695	1	2.008	0.4164
p[10]	0.3831	0.1568	0.3751	0.6377	0	0.518	0.3803
p[11]	0.3814	0.1555	0.3731	0.636	0	0.556	0.3789
p[12]	0.3860	0.1598	0.3777	0.6413	0	0.394	0.3848
p[13]	0.3895	0.1608	0.382	0.6445	0	0.324	0.3874
p[14]	0.3902	0.1627	0.3822	0.6439	0	0.292	0.3886
p[15]	0.3864	0.1596	0.378	0.6413	0	0.416	0.3840
p[16]	0.3828	0.1563	0.3743	0.6377	0	0.525	0.3801
p[17]	0.4461	0.2182	0.4428	0.6876	2	3.718	0.4374
p[18]	0.3844	0.1576	0.3759	0.6397	0	0.462	0.3823
p[19]	0.3879	0.161	0.3798	0.6432	0	0.359	0.3862
p[20]	0.3869	0.159	0.378	0.6442	0	0.371	0.3857
p[21]	0.3827	0.1553	0.3746	0.6386	0	0.515	0.3804
p[22]	0.3904	0.1614	0.3828	0.6466	0	0.274	0.3893
p[23]	0.3809	0.1557	0.3719	0.637	0	0.603	0.3772
p[24]	0.3851	0.1588	0.3762	0.6401	0	0.455	0.3826
p[25]	0.4630	0.2366	0.4604	0.699	3	5.550	0.4502
p[26]	0.4635	0.2373	0.4603	0.6995	3	5.539	0.4505
p[27]	0.3827	0.1564	0.3752	0.6363	0	0.515	0.3804
p[28]	0.3855	0.1587	0.3772	0.6415	0	0.450	0.3828
p[29]	0.3824	0.1569	0.3737	0.6379	0	0.552	0.3791
p[30]	0.3810	0.1544	0.3726	0.637	0	0.586	0.3779
p[31]	0.4403	0.2128	0.4356	0.683	2	3.953	0.4300
p[32]	0.4180	0.1927	0.412	0.6654	1	2.131	0.4122
p[33]	0.4184	0.1923	0.4125	0.6657	1	2.099	0.4133
p[34]	0.3836	0.157	0.375	0.6381	0	0.510	0.3806
p[35]	0.3829	0.157	0.3742	0.6381	0	0.507	0.3807
p[36]	0.3833	0.1566	0.3747	0.6385	0	0.523	0.3801
p[37]	0.3834	0.1568	0.3751	0.6394	0	0.506	0.3807
p[38]	0.4274	0.199	0.4227	0.6729	1	1.829	0.4227
p[39]	0.3874	0.1598	0.379	0.6435	0	0.349	0.3865
p[40]	0.3803	0.1552	0.3715	0.6358	0	0.607	0.3771
p[41]	0.3778	0.153	0.3683	0.6359	0	0.663	0.3751
p[42]	0.3884	0.1611	0.38	0.643	0	0.333	0.3871
p[43]	0.3923	0.1627	0.3845	0.6484	0	0.237	0.3907
p[44]	0.3798	0.1539	0.3707	0.6375	0	0.623	0.3765
p[45]	0.3800	0.1553	0.3706	0.6347	0	0.581	0.3780
p[46]	0.3779	0.1551	0.3686	0.6337	0	0.665	0.3751
p[47]	0.3785	0.1534	0.3693	0.635	0	0.675	0.3747
p[48]	0.3894	0.1615	0.3815	0.6453	0	0.322	0.3875
p[49]	0.3805	0.1545	0.3714	0.6378	0	0.609	0.3771

表 9-2 データ収集確率と故障件数の関係（制御ケーブル短絡）

発電所	平均値	5%	中間値	95%	故障 観測件数 $y_i$	実故障件数 $x_i$ 平均値	$(y_i + 4)/(\bar{x}_i + 10)$
p[1]	0.3988	0.1678	0.3918	0.6538	0	0.022	0.3991
p[2]	0.3990	0.1672	0.3927	0.6544	0	0.018	0.3993
p[3]	0.3991	0.1681	0.3921	0.6533	0	0.018	0.3993
p[4]	0.3995	0.1679	0.3927	0.655	0	0.019	0.3992
p[5]	0.3991	0.1673	0.3922	0.6544	0	0.019	0.3992
p[6]	0.3991	0.1688	0.392	0.6549	0	0.023	0.3991
p[7]	0.3989	0.1671	0.3919	0.6544	0	0.025	0.3990
p[8]	0.3992	0.1692	0.3919	0.6532	0	0.022	0.3991
p[9]	0.3994	0.1687	0.3918	0.6542	0	0.018	0.3993
p[10]	0.3997	0.1688	0.393	0.6553	0	0.018	0.3993
p[11]	0.3990	0.1685	0.3919	0.6542	0	0.022	0.3991
p[12]	0.3996	0.1684	0.3923	0.6546	0	0.015	0.3994
p[13]	0.3998	0.1688	0.3927	0.6557	0	0.012	0.3995
p[14]	0.3992	0.168	0.3925	0.6529	0	0.011	0.3996
p[15]	0.3984	0.1688	0.3915	0.6534	0	0.018	0.3993
p[16]	0.3997	0.1679	0.3933	0.6549	0	0.017	0.3993
p[17]	0.3988	0.1679	0.3919	0.6535	0	0.019	0.3992
p[18]	0.3997	0.168	0.3928	0.6545	0	0.019	0.3992
p[19]	0.4001	0.1689	0.3929	0.6548	0	0.012	0.3995
p[20]	0.3996	0.1678	0.3928	0.6543	0	0.012	0.3995
p[21]	0.3992	0.1683	0.3923	0.6559	0	0.017	0.3993
p[22]	0.3999	0.1688	0.3931	0.6541	0	0.010	0.3996
p[23]	0.3997	0.169	0.3922	0.6541	0	0.023	0.3991
p[24]	0.3997	0.1676	0.3931	0.6539	0	0.019	0.3992
p[25]	0.3996	0.1704	0.3928	0.654	0	0.022	0.3991
p[26]	0.3987	0.1682	0.3913	0.6544	0	0.025	0.3990
p[27]	0.3990	0.1692	0.3915	0.6555	0	0.014	0.3994
p[28]	0.3995	0.1667	0.3922	0.6552	0	0.014	0.3994
p[29]	0.3993	0.1674	0.3923	0.6542	0	0.018	0.3993
p[30]	0.3996	0.1671	0.3928	0.6551	0	0.018	0.3993
p[31]	0.3987	0.169	0.3913	0.6544	0	0.024	0.3990
p[32]	0.3983	0.168	0.3912	0.6537	0	0.022	0.3991
p[33]	0.3994	0.1702	0.3917	0.6536	0	0.020	0.3992
p[34]	0.3999	0.1695	0.3926	0.6555	0	0.022	0.3991
p[35]	0.3999	0.1687	0.3926	0.6549	0	0.022	0.3991
p[36]	0.3994	0.1684	0.3921	0.6551	0	0.026	0.3990
p[37]	0.3989	0.1679	0.3917	0.6545	0	0.025	0.3990
p[38]	0.3990	0.1667	0.3923	0.6539	0	0.017	0.3993
p[39]	0.3988	0.1675	0.3917	0.6539	0	0.016	0.3994
p[40]	0.3996	0.1697	0.3925	0.6539	0	0.019	0.3992
p[41]	0.3993	0.1678	0.3919	0.653	0	0.023	0.3991
p[42]	0.3997	0.1692	0.3929	0.6556	0	0.014	0.3994
p[43]	0.3997	0.1683	0.3929	0.655	0	0.009	0.3996
p[44]	0.3995	0.1682	0.3923	0.6556	0	0.024	0.3990
p[45]	0.3993	0.1697	0.3923	0.6531	0	0.021	0.3992
p[46]	0.3983	0.1668	0.3914	0.6521	0	0.023	0.3991
p[47]	0.3986	0.1675	0.3916	0.6554	0	0.024	0.3991
p[48]	0.3990	0.1691	0.3914	0.6546	0	0.011	0.3995
p[49]	0.3989	0.1686	0.392	0.6533	0	0.022	0.3991

表 9-3 データ収集確率と故障件数の関係（非常用 DG 起動失敗）

発電所	平均値	5%	中間値	95%	故障 観測件数 $y_i$	実故障件数 $x_i$ 平均値	$(y_i + 4)/(\bar{x}_i + 10)$
p[1]	0.3887	0.1619	0.3805	0.6442	0	0.334	0.3871
p[2]	0.3878	0.1608	0.3797	0.6438	0	0.352	0.3864
p[3]	0.3881	0.1613	0.379	0.6444	0	0.336	0.3870
p[4]	0.3884	0.1613	0.3803	0.6439	0	0.365	0.3859
p[5]	0.3874	0.1611	0.3798	0.6423	0	0.362	0.3860
p[6]	0.3870	0.1586	0.3785	0.6435	0	0.385	0.3852
p[7]	0.4570	0.2291	0.4543	0.6951	2	3.329	0.4501
p[8]	0.4291	0.201	0.4246	0.6749	1	1.759	0.4252
p[9]	0.3887	0.1614	0.3808	0.6431	0	0.323	0.3875
p[10]	0.3889	0.1599	0.3809	0.6451	0	0.324	0.3874
p[11]	0.4609	0.2332	0.4574	0.6995	2	3.215	0.4540
p[12]	0.3906	0.1618	0.3835	0.6452	0	0.278	0.3892
p[13]	0.3924	0.1635	0.3848	0.6483	0	0.216	0.3916
p[14]	0.3929	0.1642	0.3855	0.6474	0	0.200	0.3922
p[15]	0.4337	0.2038	0.4292	0.679	1	1.629	0.4300
p[16]	0.3922	0.1629	0.3847	0.6478	0	0.250	0.3902
p[17]	0.4338	0.2052	0.4287	0.6792	1	1.610	0.4307
p[18]	0.3893	0.1598	0.3816	0.6458	0	0.312	0.3879
p[19]	0.3926	0.1629	0.3856	0.6463	0	0.214	0.3916
p[20]	0.4365	0.2076	0.4317	0.6818	1	1.547	0.4330
p[21]	0.3904	0.1642	0.3828	0.6445	0	0.267	0.3896
p[22]	0.3932	0.1642	0.3856	0.6497	0	0.183	0.3928
p[23]	0.3906	0.1627	0.3822	0.6457	0	0.303	0.3883
p[24]	0.3932	0.1643	0.3858	0.6468	0	0.216	0.3915
p[25]	0.3868	0.1588	0.3789	0.6416	0	0.380	0.3853
p[26]	0.4638	0.234	0.4614	0.7005	2	3.153	0.4562
p[27]	0.3933	0.164	0.3862	0.6489	0	0.183	0.3928
p[28]	0.3949	0.165	0.3876	0.6491	0	0.168	0.3934
p[29]	0.3823	0.1563	0.3731	0.6379	0	0.504	0.3808
p[30]	0.3813	0.1556	0.3726	0.6369	0	0.568	0.3785
p[31]	0.3783	0.1542	0.3694	0.6339	0	0.666	0.3750
p[32]	0.3788	0.1542	0.3697	0.6346	0	0.638	0.3760
p[33]	0.3798	0.1544	0.3714	0.6372	0	0.611	0.3770
p[34]	0.4200	0.193	0.4143	0.6667	1	2.036	0.4154
p[35]	0.3821	0.156	0.374	0.6383	0	0.549	0.3792
p[36]	0.4422	0.2165	0.4384	0.6839	2	3.875	0.4324
p[37]	0.3759	0.1518	0.3664	0.6319	0	0.766	0.3716
p[38]	0.3814	0.1563	0.373	0.6353	0	0.550	0.3791
p[39]	0.4719	0.2418	0.4697	0.7078	3	5.230	0.4596
p[40]	0.3745	0.1512	0.3656	0.6297	0	0.790	0.3707
p[41]	0.4100	0.1862	0.4029	0.6586	1	2.398	0.4033
p[42]	0.3886	0.1592	0.3808	0.644	0	0.310	0.3880
p[43]	0.3926	0.1641	0.3851	0.6465	0	0.210	0.3918
p[44]	0.3730	0.1499	0.3639	0.6288	0	0.861	0.3683
p[45]	0.3733	0.1505	0.3644	0.6284	0	0.821	0.3697
p[46]	0.4110	0.1862	0.404	0.6584	1	2.375	0.4040
p[47]	0.3733	0.1502	0.3637	0.6286	0	0.853	0.3686
p[48]	0.3885	0.1603	0.3809	0.6424	0	0.315	0.3878
p[49]	0.4262	0.1977	0.421	0.6734	1	1.837	0.4224

表 9-4 データ収集確率と故障件数の関係（逆止弁開失敗）

発電所	平均値	5%	中間値	95%	故障 観測件数 $y_i$	実故障件数 $x_i$ 平均値	$(y_i + 4) / (\bar{x}_i + 10)$
p[1]	0.3989	0.1678	0.3924	0.6543	0	0.022	0.3991
p[2]	0.3987	0.1672	0.3917	0.6527	0	0.029	0.3989
p[3]	0.3990	0.1685	0.392	0.6538	0	0.029	0.3989
p[4]	0.3988	0.168	0.3924	0.6522	0	0.029	0.3988
p[5]	0.3985	0.1682	0.391	0.6527	0	0.031	0.3988
p[6]	0.3990	0.1679	0.3922	0.6551	0	0.035	0.3986
p[7]	0.3988	0.1679	0.3925	0.6525	0	0.037	0.3985
p[8]	0.3991	0.1679	0.3922	0.6539	0	0.034	0.3986
p[9]	0.3991	0.169	0.3922	0.6535	0	0.029	0.3989
p[10]	0.3995	0.169	0.393	0.6532	0	0.029	0.3988
p[11]	0.3993	0.1673	0.3923	0.6539	0	0.030	0.3988
p[12]	0.3984	0.1682	0.3912	0.6529	0	0.024	0.3990
p[13]	0.3995	0.1684	0.3928	0.6551	0	0.018	0.3993
p[14]	0.3990	0.1685	0.3915	0.6547	0	0.018	0.3993
p[15]	0.3984	0.1686	0.3916	0.6513	0	0.025	0.3990
p[16]	0.3990	0.1684	0.3924	0.6553	0	0.040	0.3984
p[17]	0.3985	0.1683	0.3916	0.6553	0	0.047	0.3981
p[18]	0.3997	0.1688	0.3928	0.6545	0	0.024	0.3990
p[19]	0.4001	0.1685	0.3936	0.6542	0	0.016	0.3994
p[20]	0.4001	0.1689	0.3931	0.655	0	0.013	0.3995
p[21]	0.3992	0.1681	0.392	0.6542	0	0.029	0.3988
p[22]	0.4000	0.1681	0.3928	0.6565	0	0.012	0.3995
p[23]	0.3986	0.1679	0.3919	0.6537	0	0.038	0.3985
p[24]	0.3992	0.1679	0.3926	0.6538	0	0.030	0.3988
p[25]	0.3992	0.1686	0.3918	0.6545	0	0.025	0.3990
p[26]	0.3999	0.1701	0.3924	0.6554	0	0.013	0.3995
p[27]	0.3996	0.1672	0.393	0.6554	0	0.007	0.3997
p[28]	0.3990	0.1684	0.3912	0.6549	0	0.006	0.3998
p[29]	0.3996	0.1681	0.3928	0.6569	0	0.013	0.3995
p[30]	0.3992	0.1684	0.3923	0.6548	0	0.014	0.3994
p[31]	0.3994	0.1692	0.3927	0.6539	0	0.022	0.3991
p[32]	0.3995	0.1677	0.3923	0.6566	0	0.022	0.3991
p[33]	0.3997	0.1689	0.3925	0.6564	0	0.020	0.3992
p[34]	0.3997	0.1681	0.3931	0.6549	0	0.013	0.3995
p[35]	0.3992	0.1679	0.3927	0.655	0	0.013	0.3995
p[36]	0.3985	0.1684	0.3912	0.6535	0	0.020	0.3992
p[37]	0.3995	0.1697	0.3925	0.6538	0	0.023	0.3991
p[38]	0.3996	0.169	0.3924	0.6549	0	0.015	0.3994
p[39]	0.3999	0.1683	0.3932	0.6553	0	0.014	0.3995
p[40]	0.3995	0.1675	0.3924	0.6538	0	0.015	0.3994
p[41]	0.3992	0.1678	0.392	0.6555	0	0.016	0.3994
p[42]	0.3997	0.1678	0.393	0.6545	0	0.010	0.3996
p[43]	0.3999	0.1688	0.3925	0.656	0	0.006	0.3998
p[44]	0.3990	0.1684	0.3918	0.6541	0	0.015	0.3994
p[45]	0.3998	0.1679	0.3932	0.6535	0	0.014	0.3995
p[46]	0.3987	0.1677	0.3915	0.6539	0	0.020	0.3992
p[47]	0.3997	0.1687	0.3926	0.654	0	0.019	0.3992
p[48]	0.3980	0.1667	0.3913	0.6524	0	0.009	0.3996
p[49]	0.3995	0.1681	0.3924	0.6554	0	0.019	0.3992

### 9.3 データ収集確率の感度解析

21 カ年データ報告書の国内一般機器故障率算出では，データ収集確率  $p_i$  を導入してその事前分布に  $Beta(4,6)$  を割り当てたが，その  $p_i$  の分布形が故障率計算結果にどのように影響するかを確認するため，ベータ分布母数に関する感度解析を実施した。

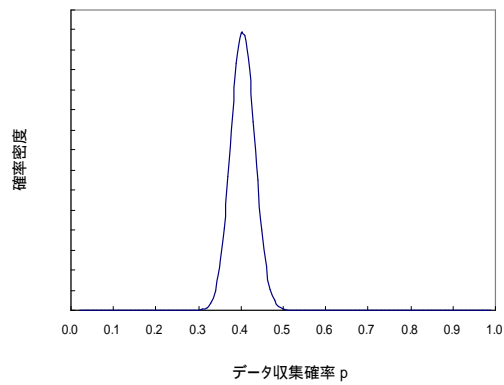
#### 9.3.1 データ収集確率分布設定

データ収集確率のベースケースであるベータ分布  $Beta(4,6)$  の平均値は 0.4，分散は 0.022 である。この分散と平均値に対する感度を確認するため，表 9-5，図 9-5 に示す分布を用いて感度解析を実施した。

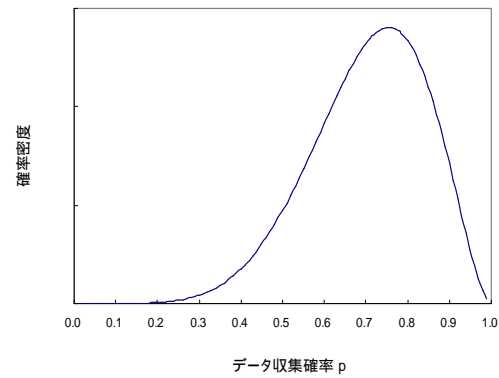
表 9-5 データ収集確率の感度解析設定

	分布	平均値	分散	備考
ベースケース	$Beta(4,6)$	0.4	0.022	
ケース 1	$Beta(120,180)$	0.4	0.0008	分散の感度解析
ケース 2	$Beta(7,3)$	0.7	0.019	平均値の感度解析
ケース 3	$Beta(37,13)$	0.74	0.004	分散と平均値の感度解析

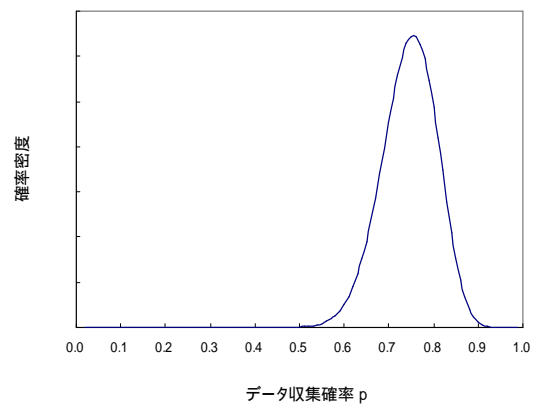




**ケース 1**  $Beta(120,180)$  平均値 0.4 , 分散 0.0008



**ケース 2**  $Beta(7,3)$  平均値 0.7 , 分散 0.019



**ケース 3**  $Beta(37,13)$  平均値 0.74 , 分散 0.004

**図 9-5 データ収集確率の感度解析で用いた分布**

### 9.3.2 事前分布のハイパーパラメータ設定

評価対象は表 4-1 に示した 4 つの代表的な故障モードとした。解析モデルはベースケースと同様とし、バーンイン回数及びモンテカルロ繰り返し回数もベースケースと同様とした。また、ハイパー事前分布は、データ収集確率分布の平均値を用いて設定するため、ケース 2 及びケース 3 のハイパーパラメータ  $a_\mu$  及び  $b_\mu$  は、表 9-6 のように変更した。

表 9-6(1) ケース 2 におけるハイパー事前分布設定

機種 故障モード	ハイパー事前分布設定	
	$a_\mu$	$b_\mu$
電動ポンプ 継続運転失敗	- 2.0E+1	- 8.7E+0
制御ケーブル 短絡	- 2.5E+1	- 1.4E+1
非常用 DG 起動失敗	- 1.2E+1	- 1.2E+0
逆止弁 開失敗	- 1.4E+1	- 3.3E+0

表 9-6(2) ケース 3 におけるハイパー事前分布設定

機種 故障モード	ハイパー事前分布設定	
	$a_\mu$	$b_\mu$
電動ポンプ 継続運転失敗	- 2.0E+1	- 8.8E+0
制御ケーブル 短絡	- 2.5E+1	- 1.4E+1
非常用 DG 起動失敗	- 1.2E+1	- 1.3E+0
逆止弁 開失敗	- 1.4E+1	- 3.3E+0

### 9.3.3 解析結果

ベースケースと感度解析の比較結果を表 9-7、表 9-8 及び表 9-9 に示す。

表 9-7(1) 電動ポンプ継続運転失敗 ベースケース及びケース 1 比較（時間故障率）

ユニット	観測件数 [件]	延べ運転時間 [h]	古典統計				ベイズ統計 ベースケース					ベイズ統計 ケース1						
			点推定値 <sup>*1</sup> [1/h]	下限値 <sup>*5</sup> [1/h]	上限値 <sup>*5</sup> [1/h]	EF <sup>*2</sup>	故障件数 推定値 <sup>*4</sup> [件]	平均値 [1/h]	5%値 [1/h]	95%値 [1/h]	EF <sup>*2</sup>	故障件数 推定値 <sup>*4</sup> [件]	平均値 [1/h]	5%値 [1/h]	95%値 [1/h]	EF <sup>*2</sup>	平均値 <sup>*3</sup>	EF比 <sup>*3</sup>
一般故障率	26	86,663,069	3.0E-07	2.1E-07	4.2E-07	1.4	66.5	8.9E-07	3.0E-08	2.8E-06	9.6	65.1	1.0E-06	2.3E-08	3.0E-06	11.4	113%	118%
Plant 01	1	1,710,086	5.8E-07	3.0E-08	2.8E-06	9.6	2.0	9.6E-07	1.3E-07	2.7E-06	4.5	2.0	9.5E-07	1.2E-07	2.7E-06	4.7	99%	105%
Plant 02	3	1,831,102	1.6E-06	4.5E-07	4.2E-06	3.1	5.4	2.3E-06	5.4E-07	5.9E-06	3.3	5.8	2.5E-06	6.1E-07	5.9E-06	3.1	108%	94%
Plant 03	0	1,758,330	2.8E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.4E-08	1.4E-06	7.5	0.4	4.0E-07	1.7E-08	1.3E-06	8.6	88%	114%
Plant 04	3	1,959,216	1.5E-06	4.2E-07	4.0E-06	3.1	5.5	2.2E-06	5.3E-07	5.6E-06	3.2	5.8	2.4E-06	5.9E-07	5.6E-06	3.1	108%	95%
Plant 05	0	1,930,446	2.6E-07	-	1.2E-06	13.0	0.5	4.4E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.6	0.4	3.8E-07	1.7E-08	1.2E-06	8.4	87%	110%
Plant 06	1	1,950,872	5.1E-07	2.6E-08	2.4E-06	9.6	2.1	8.9E-07	1.2E-07	2.5E-06	4.5	2.0	8.8E-07	1.1E-07	2.4E-06	4.6	98%	102%
Plant 07	3	2,170,215	1.4E-06	3.8E-07	3.6E-06	3.1	5.6	2.1E-06	5.1E-07	5.2E-06	3.2	5.9	2.2E-06	5.6E-07	5.2E-06	3.0	106%	95%
Plant 08	1	2,137,584	4.7E-07	2.4E-08	2.2E-06	9.6	2.1	8.6E-07	1.2E-07	2.3E-06	4.4	2.1	8.2E-07	1.1E-07	2.2E-06	4.5	96%	102%
Plant 09	1	1,757,776	5.7E-07	2.9E-08	2.7E-06	9.6	2.0	9.5E-07	1.3E-07	2.6E-06	4.5	2.0	9.3E-07	1.2E-07	2.6E-06	4.7	98%	104%
Plant 10	0	1,801,792	2.8E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.3E-08	1.3E-06	7.6	0.4	4.0E-07	1.7E-08	1.3E-06	8.5	88%	112%
Plant 11	0	1,968,928	2.5E-07	-	1.2E-06	13.0	0.6	4.4E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.8	0.5	3.9E-07	1.7E-08	1.2E-06	8.5	88%	110%
Plant 12	0	1,269,940	3.9E-07	-	1.8E-06	13.0	0.4	4.9E-07	2.3E-08	1.5E-06	8.0	0.3	4.5E-07	1.8E-08	1.5E-06	9.0	91%	112%
Plant 13	0	968,142	5.2E-07	-	2.4E-06	13.0	0.3	5.3E-07	2.4E-08	1.6E-06	8.1	0.3	4.8E-07	1.8E-08	1.6E-06	9.2	90%	113%
Plant 14	0	868,784	5.8E-07	-	2.7E-06	13.0	0.3	5.4E-07	2.5E-08	1.7E-06	8.2	0.3	5.0E-07	1.9E-08	1.6E-06	9.2	92%	112%
Plant 15	0	1,375,752	3.6E-07	-	1.7E-06	13.0	0.4	4.8E-07	2.3E-08	1.5E-06	7.9	0.4	4.3E-07	1.7E-08	1.4E-06	8.9	89%	112%
Plant 16	0	1,842,320	2.7E-07	-	1.2E-06	13.0	0.5	4.4E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.7	0.4	3.9E-07	1.7E-08	1.2E-06	8.5	88%	110%
Plant 17	2	1,869,238	1.1E-06	1.9E-07	3.4E-06	4.2	3.7	1.6E-06	3.1E-07	4.1E-06	3.6	3.8	1.6E-06	3.3E-07	4.1E-06	3.6	105%	99%
Plant 18	0	1,553,524	3.2E-07	-	1.5E-06	13.0	0.5	4.7E-07	2.4E-08	1.4E-06	7.6	0.4	4.1E-07	1.8E-08	1.3E-06	8.5	88%	112%
Plant 19	0	1,129,040	4.4E-07	-	2.0E-06	13.0	0.4	5.0E-07	2.4E-08	1.6E-06	8.0	0.3	4.6E-07	1.9E-08	1.5E-06	8.9	91%	111%
Plant 20	0	1,163,536	4.3E-07	-	2.0E-06	13.0	0.4	5.0E-07	2.5E-08	1.5E-06	7.9	0.3	4.6E-07	1.8E-08	1.5E-06	8.9	90%	114%
Plant 21	0	1,796,970	2.8E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.3E-08	1.3E-06	7.5	0.4	3.9E-07	1.7E-08	1.2E-06	8.5	88%	112%
Plant 22	0	816,102	6.1E-07	-	2.8E-06	13.0	0.3	5.4E-07	2.5E-08	1.7E-06	8.1	0.2	5.0E-07	2.0E-08	1.7E-06	9.2	92%	113%
Plant 23	0	2,218,480	2.3E-07	-	1.0E-06	13.0	0.6	4.2E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.6	0.5	3.7E-07	1.7E-08	1.2E-06	8.3	87%	109%
Plant 24	0	1,518,048	3.3E-07	-	1.5E-06	13.0	0.5	4.7E-07	2.4E-08	1.4E-06	7.7	0.4	4.2E-07	1.8E-08	1.3E-06	8.7	89%	112%
Plant 25	3	1,942,080	1.5E-06	4.2E-07	4.0E-06	3.1	5.6	2.3E-06	5.4E-07	5.7E-06	3.3	5.8	2.4E-06	5.9E-07	5.6E-06	3.1	107%	94%
Plant 26	3	1,966,425	1.5E-06	4.2E-07	3.9E-06	3.1	5.5	2.2E-06	5.3E-07	5.6E-06	3.2	5.8	2.4E-06	5.9E-07	5.5E-06	3.1	107%	95%
Plant 27	0	1,794,367	2.8E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.8	0.4	4.0E-07	1.7E-08	1.2E-06	8.6	88%	111%
Plant 28	0	1,531,802	3.3E-07	-	1.5E-06	13.0	0.4	4.6E-07	2.3E-08	1.4E-06	7.7	0.4	4.2E-07	1.8E-08	1.3E-06	8.6	90%	111%
Plant 29	0	1,961,328	2.5E-07	-	1.2E-06	13.0	0.6	4.4E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.7	0.5	3.9E-07	1.7E-08	1.2E-06	8.5	89%	111%
Plant 30	0	2,154,870	2.3E-07	-	1.1E-06	13.0	0.6	4.3E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.6	0.5	3.8E-07	1.7E-08	1.2E-06	8.4	89%	110%
Plant 31	2	2,629,386	7.6E-07	1.4E-07	2.4E-06	4.2	4.0	1.2E-06	2.7E-07	3.2E-06	3.5	4.1	1.3E-06	2.8E-07	3.2E-06	3.4	104%	97%
Plant 32	1	2,198,368	4.5E-07	2.3E-08	2.2E-06	9.6	2.1	8.4E-07	1.2E-07	2.3E-06	4.4	2.1	8.2E-07	1.1E-07	2.2E-06	4.5	97%	103%
Plant 33	1	2,084,288	4.8E-07	2.5E-08	2.3E-06	9.6	2.1	8.6E-07	1.2E-07	2.4E-06	4.4	2.1	8.4E-07	1.1E-07	2.3E-06	4.6	98%	104%
Plant 34	0	1,782,534	2.8E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.3E-08	1.3E-06	7.6	0.4	4.0E-07	1.7E-08	1.3E-06	8.6	88%	113%
Plant 35	0	1,748,188	2.9E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.3E-08	1.4E-06	7.7	0.4	4.0E-07	1.7E-08	1.3E-06	8.6	88%	112%
Plant 36	0	1,893,165	2.6E-07	-	1.2E-06	13.0	0.5	4.4E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.6	0.4	3.9E-07	1.6E-08	1.2E-06	8.6	89%	113%
Plant 37	0	1,762,657	2.8E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.2E-08	1.4E-06	7.8	0.4	4.0E-07	1.7E-08	1.3E-06	8.7	88%	112%
Plant 38	1	1,232,868	8.1E-07	4.2E-08	3.8E-06	9.6	1.8	1.1E-06	1.4E-07	3.2E-06	4.8	1.8	1.1E-06	1.3E-07	3.3E-06	5.0	101%	104%
Plant 39	0	1,082,788	4.6E-07	-	2.1E-06	13.0	0.3	5.1E-07	2.5E-08	1.6E-06	8.0	0.3	4.7E-07	1.9E-08	1.5E-06	9.0	92%	112%
Plant 40	0	2,296,020	2.2E-07	-	1.0E-06	13.0	0.6	4.2E-07	2.2E-08	1.2E-06	7.5	0.5	3.6E-07	1.7E-08	1.1E-06	8.2	87%	109%
Plant 41	0	2,569,380	1.9E-07	-	9.0E-07	13.0	0.7	4.0E-07	2.1E-08	1.2E-06	7.5	0.5	3.5E-07	1.6E-08	1.1E-06	8.2	86%	110%
Plant 42	0	1,014,045	4.9E-07	-	2.3E-06	13.0	0.3	5.2E-07	2.6E-08	1.6E-06	7.9	0.3	4.7E-07	1.8E-08	1.6E-06	9.3	91%	118%
Plant 43	0	651,150	7.7E-07	-	3.5E-06	13.0	0.2	5.8E-07	2.6E-08	1.8E-06	8.3	0.2	5.3E-07	1.9E-08	1.8E-06	9.7	91%	117%
Plant 44	0	2,340,934	2.1E-07	-	9.8E-07	13.0	0.6	4.1E-07	2.1E-08	1.2E-06	7.6	0.5	3.6E-07	1.6E-08	1.1E-06	8.3	86%	109%
Plant 45	0	2,182,970	2.3E-07	-	1.1E-06	13.0	0.6	4.2E-07	2.1E-08	1.2E-06	7.7	0.5	3.7E-07	1.7E-08	1.1E-06	8.2	88%	107%
Plant 46	0	2,574,429	1.9E-07	-	8.9E-07	13.0	0.7	4.0E-07	2.1E-08	1.2E-06	7.5	0.5	3.4E-07	1.6E-08	1.1E-06	8.1	86%	109%
Plant 47	0	2,638,825	1.9E-07	-	8.7E-07	13.0	0.7	4.0E-07	2.1E-08	1.2E-06	7.5	0.5	3.4E-07	1.6E-08	1.1E-06	8.1	86%	109%
Plant 48	0	1,011,472	4.9E-07	-	2.3E-06	13.0	0.3	5.1E-07	2.5E-08	1.6E-06	8.0	0.3	4.7E-07	1.8E-08	1.5E-06	9.2	92%	115%
Plant 49	0	2,252,507	2.2E-07	-	1.0E-06	13.0	0.6	4.2E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.6	0.5	3.7E-07	1.6E-08	1.1E-06	8.5	86%	112%

\*1:ゼロ件故障には工学的判断により0.5件を仮定

\*2:EF<sup>2</sup>=95%値/5%値 ただし、古典統計におけるゼロ件故障事象に対してはEF=13とした。

\*3:感度解析/ベースケース

\*4:平均値

\*5:90%信頼区間

表 9-7(2) 制御ケーブル短絡 ベースケース及びケース 1 比較 (時間故障率)

ユニット	観測件数 [件]	延べ運転時間 [h]	古典統計				ベイズ統計 ベースケース					ベイズ統計 ケース1						
			点推定値 <sup>*1</sup> [1/h]	下限値 <sup>*5</sup> [1/h]	上限値 <sup>*5</sup> [1/h]	EF <sup>*2</sup>	故障件数 推定値 <sup>*1</sup> [件]	平均値 [1/h]	5% 値 [1/h]	95% 値 [1/h]	EF <sup>*2</sup>	故障件数 推定値 <sup>*1</sup> [件]	平均値 [1/h]	5% 値 [1/h]	95% 値 [1/h]	EF <sup>*2</sup>	平均値比 <sup>*3</sup>	EF比 <sup>*3</sup>
一般故障率	0	14,822,911.173	3.4E-11	-	1.6E-10	13.0	0.92	1.3E-10	3.8E-12	3.9E-10	10.2	0.96	1.6E-10	3.6E-12	4.1E-10	10.7	122%	105%
Plant 01	0	347,391.756	1.4E-09	-	6.6E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	9.9	0.02	1.1E-10	3.5E-12	3.7E-10	10.3	104%	103%
Plant 02	0	294,415.043	1.7E-09	-	7.8E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.4E-12	3.6E-10	10.3	0.02	1.1E-10	3.7E-12	3.7E-10	10.1	102%	99%
Plant 03	0	282,714.345	1.8E-09	-	8.1E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.7E-12	3.6E-10	9.9	0.02	1.1E-10	3.7E-12	3.7E-10	10.0	103%	100%
Plant 04	0	315,013.944	1.6E-09	-	7.3E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.7E-12	3.6E-10	10.0	0.02	1.1E-10	3.7E-12	3.8E-10	10.1	106%	102%
Plant 05	0	310,388.139	1.6E-09	-	7.4E-09	13.0	0.02	9.9E-11	3.5E-12	3.6E-10	10.2	0.02	1.1E-10	3.5E-12	3.6E-10	10.2	107%	100%
Plant 06	0	383,903.740	1.3E-09	-	6.0E-09	13.0	0.02	9.5E-11	3.3E-12	3.4E-10	10.1	0.03	1.1E-10	3.6E-12	3.7E-10	10.2	115%	100%
Plant 07	0	398,596.155	1.3E-09	-	5.8E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.7E-12	3.5E-10	9.8	0.02	1.0E-10	3.4E-12	3.6E-10	10.3	102%	105%
Plant 08	0	368,065.245	1.4E-09	-	6.3E-09	13.0	0.02	9.9E-11	3.7E-12	3.6E-10	9.8	0.02	1.1E-10	3.9E-12	3.7E-10	9.8	107%	100%
Plant 09	0	302,667.055	1.7E-09	-	7.6E-09	13.0	0.02	9.9E-11	3.6E-12	3.5E-10	9.8	0.02	1.1E-10	3.6E-12	3.7E-10	10.2	106%	104%
Plant 10	0	310,246.060	1.6E-09	-	7.4E-09	13.0	0.02	9.8E-11	3.5E-12	3.4E-10	9.8	0.02	1.1E-10	3.6E-12	3.7E-10	10.1	108%	103%
Plant 11	0	339,024.790	1.5E-09	-	6.8E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.7E-12	3.7E-10	10.0	0.02	1.1E-10	3.8E-12	3.8E-10	9.9	106%	99%
Plant 12	0	249,906.050	2.0E-09	-	9.2E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.1	0.02	1.1E-10	3.7E-12	3.7E-10	10.1	103%	100%
Plant 13	0	190,516.515	2.6E-09	-	1.2E-08	13.0	0.01	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.0	0.01	1.2E-10	3.7E-12	4.0E-10	10.3	116%	103%
Plant 14	0	170,964.280	2.9E-09	-	1.3E-08	13.0	0.01	1.0E-10	3.8E-12	3.6E-10	9.8	0.01	1.1E-10	3.8E-12	3.8E-10	10.1	107%	103%
Plant 15	0	270,728.340	1.8E-09	-	8.5E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.7E-12	3.7E-10	10.0	0.02	1.1E-10	3.8E-12	3.9E-10	10.1	109%	101%
Plant 16	0	259,191.395	1.9E-09	-	8.9E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.7E-12	3.7E-10	10.0	0.02	1.1E-10	3.6E-12	3.8E-10	10.4	106%	103%
Plant 17	0	300,546.767	1.7E-09	-	7.7E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.7E-12	3.6E-10	9.9	0.02	1.1E-10	3.7E-12	3.7E-10	10.1	103%	101%
Plant 18	0	305,711.330	1.6E-09	-	7.5E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.6E-12	3.7E-10	10.1	0.02	1.1E-10	3.7E-12	3.8E-10	10.2	104%	101%
Plant 19	0	194,406.575	2.6E-09	-	1.2E-08	13.0	0.01	1.0E-10	3.5E-12	3.6E-10	10.1	0.01	1.2E-10	3.6E-12	4.0E-10	10.5	115%	104%
Plant 20	0	200,346.355	2.5E-09	-	1.1E-08	13.0	0.01	1.1E-10	3.7E-12	3.6E-10	9.8	0.01	1.1E-10	3.7E-12	3.9E-10	10.2	107%	104%
Plant 21	0	288,927.105	1.7E-09	-	8.0E-09	13.0	0.02	9.8E-11	3.5E-12	3.5E-10	9.9	0.02	1.1E-10	3.6E-12	3.9E-10	10.4	116%	104%
Plant 22	0	160,597.215	3.1E-09	-	1.4E-08	13.0	0.01	1.0E-10	3.8E-12	3.6E-10	9.8	0.01	1.2E-10	3.7E-12	3.8E-10	10.1	111%	103%
Plant 23	0	394,334.820	1.3E-09	-	5.8E-09	13.0	0.02	9.9E-11	3.6E-12	3.5E-10	10.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.7E-10	10.1	105%	101%
Plant 24	0	298,730.160	1.7E-09	-	7.7E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.1	99%	101%
Plant 25	0	382,173.600	1.3E-09	-	6.0E-09	13.0	0.02	9.4E-11	3.6E-12	3.4E-10	9.7	0.02	1.1E-10	3.7E-12	3.7E-10	10.1	115%	104%
Plant 26	0	372,834.180	1.3E-09	-	6.2E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.7E-12	3.7E-10	10.0	0.02	1.1E-10	3.6E-12	3.8E-10	10.2	103%	102%
Plant 27	0	247,305.993	2.0E-09	-	9.3E-09	13.0	0.01	9.6E-11	3.6E-12	3.4E-10	9.8	0.02	1.1E-10	3.7E-12	3.8E-10	10.1	118%	104%
Plant 28	0	211,118.358	2.4E-09	-	1.1E-08	13.0	0.01	1.1E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.1	0.01	1.1E-10	3.7E-12	3.8E-10	10.1	105%	100%
Plant 29	0	287,211.969	1.7E-09	-	8.0E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.5E-10	9.9	0.02	1.1E-10	3.4E-12	3.7E-10	10.4	104%	104%
Plant 30	0	280,492.245	1.8E-09	-	8.2E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.1	0.02	1.1E-10	3.8E-12	3.9E-10	10.2	109%	101%
Plant 31	0	392,654.976	1.3E-09	-	5.9E-09	13.0	0.02	9.8E-11	3.6E-12	3.5E-10	9.9	0.02	1.1E-10	3.4E-12	3.6E-10	10.3	107%	104%
Plant 32	0	369,325.824	1.4E-09	-	6.2E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.0	0.02	1.0E-10	3.7E-12	3.7E-10	10.0	102%	100%
Plant 33	0	350,160.384	1.4E-09	-	6.6E-09	13.0	0.02	9.9E-11	3.6E-12	3.5E-10	9.9	0.02	1.1E-10	3.6E-12	3.7E-10	10.1	106%	102%
Plant 34	0	368,573.184	1.4E-09	-	6.2E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	9.9	0.02	1.1E-10	3.8E-12	3.9E-10	10.2	108%	102%
Plant 35	0	361,471.488	1.4E-09	-	6.4E-09	13.0	0.02	9.8E-11	3.6E-12	3.5E-10	9.8	0.02	1.1E-10	3.6E-12	3.7E-10	10.1	109%	103%
Plant 36	0	380,904.798	1.3E-09	-	6.0E-09	13.0	0.03	1.1E-10	3.7E-12	3.5E-10	9.9	0.02	1.0E-10	3.7E-12	3.7E-10	10.0	96%	101%
Plant 37	0	409,207.602	1.2E-09	-	5.6E-09	13.0	0.02	9.8E-11	3.6E-12	3.5E-10	9.8	0.03	1.1E-10	3.7E-12	3.7E-10	10.0	107%	102%
Plant 38	0	265,771.116	1.9E-09	-	8.7E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.5E-12	3.5E-10	10.0	0.02	1.1E-10	3.6E-12	3.8E-10	10.3	107%	103%
Plant 39	0	233,418.156	2.1E-09	-	9.9E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.6E-12	3.8E-10	10.2	0.02	1.1E-10	3.5E-12	3.8E-10	10.4	99%	102%
Plant 40	0	316,445.580	1.6E-09	-	7.3E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.7E-10	10.1	0.02	1.1E-10	3.7E-12	3.8E-10	10.1	105%	100%
Plant 41	0	354,121.020	1.4E-09	-	6.5E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.5E-10	9.9	0.02	1.1E-10	3.6E-12	3.7E-10	10.1	102%	103%
Plant 42	0	204,025.854	2.5E-09	-	1.1E-08	13.0	0.01	1.1E-10	3.8E-12	3.8E-10	10.0	0.01	1.1E-10	3.9E-12	3.9E-10	10.0	99%	101%
Plant 43	0	131,011.380	3.8E-09	-	1.8E-08	13.0	0.01	1.2E-10	3.6E-12	3.8E-10	10.2	0.01	1.2E-10	3.8E-12	3.9E-10	10.1	98%	100%
Plant 44	0	370,142.976	1.4E-09	-	6.2E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.4E-12	3.6E-10	10.3	0.02	1.1E-10	3.9E-12	3.7E-10	9.8	101%	95%
Plant 45	0	345,166.080	1.4E-09	-	6.7E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.5E-10	9.9	0.02	1.1E-10	3.8E-12	3.7E-10	9.9	106%	100%
Plant 46	0	354,816.891	1.4E-09	-	6.5E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.7E-12	3.6E-10	9.9	0.02	1.1E-10	3.6E-12	3.8E-10	10.2	104%	104%
Plant 47	0	363,692.175	1.4E-09	-	6.3E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.6E-12	3.8E-10	10.1	0.02	1.1E-10	3.7E-12	3.7E-10	9.9	101%	98%
Plant 48	0	169,927.296	2.9E-09	-	1.4E-08	13.0	0.01	1.1E-10	3.7E-12	3.7E-10	10.0	0.01	1.1E-10	3.7E-12	3.8E-10	10.1	102%	101%
Plant 49	0	357,792.954	1.4E-09	-	6.4E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.0	0.02	1.1E-10	3.7E-12	3.8E-10	10.0	105%	100%

\*1:ゼロ件故障には0.5件を仮定

\*2: EF<sup>2</sup>>95%値/5%値 ただし、古典統計におけるゼロ件故障事象に対してはEF=13とした。

\*3: 感度解析/ベースケース

\*4: 平均値

\*5: 90%信頼区間

表 9-7(3) 非常用 DG 起動失敗 ベースケース及びケース 1 比較 (デマンド故障確率)

ユニット	観測件数 [件]	総デマンド回数	古典統計				ベイズ統計 ベースケース						ベイズ統計 ケース1					
			点推定値 <sup>*1</sup> [1/d]	下限値 <sup>*5</sup> [1/d]	上限値 <sup>*5</sup> [1/d]	EF <sup>*2</sup>	故障件数 推定値 <sup>*1</sup> [件]	平均値 [1/d]	5%値 [1/d]	95%値 [1/d]	EF <sup>*2</sup>	故障件数 推定値 <sup>*1</sup> [件]	平均値 [1/d]	5%値 [1/d]	95%値 [1/d]	EF <sup>*2</sup>	平均値比 <sup>*3</sup>	EF比 <sup>*3</sup>
一般故障率	19	42,332	4.5E-04	2.9E-04	6.6E-04	1.5	48.9	1.5E-03	6.3E-05	4.3E-03	8.3	47.5	1.5E-03	4.9E-05	4.9E-03	9.9	103%	120%
Plant 01	0	595	8.4E-04	-	3.9E-03	13.0	0.3	9.0E-04	5.1E-05	2.6E-03	7.1	0.3	8.3E-04	4.0E-05	2.5E-03	7.9	92%	112%
Plant 02	0	628	8.0E-04	-	3.7E-03	13.0	0.3	8.8E-04	4.9E-05	2.5E-03	7.2	0.3	8.3E-04	3.9E-05	2.5E-03	8.0	94%	112%
Plant 03	0	601	8.3E-04	-	3.8E-03	13.0	0.3	9.0E-04	5.0E-05	2.6E-03	7.2	0.3	8.4E-04	4.0E-05	2.5E-03	8.0	93%	110%
Plant 04	0	672	7.4E-04	-	3.4E-03	13.0	0.4	8.7E-04	4.9E-05	2.5E-03	7.1	0.3	8.1E-04	4.0E-05	2.4E-03	7.8	93%	110%
Plant 05	0	663	7.5E-04	-	3.5E-03	13.0	0.4	8.8E-04	5.1E-05	2.5E-03	7.0	0.3	8.1E-04	4.0E-05	2.4E-03	7.8	92%	111%
Plant 06	0	723	6.9E-04	-	3.2E-03	13.0	0.4	8.5E-04	4.8E-05	2.4E-03	7.1	0.3	7.9E-04	3.9E-05	2.4E-03	7.8	92%	110%
Plant 07	2	755	2.6E-03	4.7E-04	8.3E-03	4.2	3.3	3.0E-03	6.0E-04	8.5E-03	3.8	3.5	3.2E-03	6.2E-04	8.8E-03	3.8	107%	100%
Plant 08	1	695	1.4E-03	7.4E-05	6.8E-03	9.6	1.7	1.8E-03	2.7E-04	5.2E-03	4.4	1.8	1.8E-03	2.5E-04	5.3E-03	4.6	101%	105%
Plant 09	0	573	8.7E-04	-	4.0E-03	13.0	0.3	9.0E-04	5.1E-05	2.6E-03	7.1	0.3	8.5E-04	4.0E-05	2.6E-03	8.1	94%	114%
Plant 10	0	584	8.6E-04	-	3.9E-03	13.0	0.3	9.0E-04	5.0E-05	2.6E-03	7.2	0.3	8.4E-04	4.1E-05	2.6E-03	8.0	94%	110%
Plant 11	2	638	3.1E-03	5.6E-04	9.9E-03	4.2	3.2	3.4E-03	6.3E-04	9.7E-03	3.9	3.4	3.6E-03	6.5E-04	1.0E-02	3.9	107%	100%
Plant 12	0	474	1.1E-03	-	4.9E-03	13.0	0.3	9.3E-04	5.1E-05	2.7E-03	7.3	0.3	8.9E-04	4.3E-05	2.8E-03	8.1	96%	110%
Plant 13	0	359	1.4E-03	-	6.4E-03	13.0	0.2	9.9E-04	5.4E-05	2.9E-03	7.3	0.2	9.3E-04	4.4E-05	2.9E-03	8.2	94%	112%
Plant 14	0	324	1.5E-03	-	7.1E-03	13.0	0.2	1.0E-03	5.4E-05	3.0E-03	7.4	0.2	9.6E-04	4.4E-05	3.0E-03	8.4	95%	113%
Plant 15	1	508	2.0E-03	1.0E-04	9.3E-03	9.6	1.6	2.1E-03	2.9E-04	6.3E-03	4.7	1.7	2.1E-03	2.7E-04	6.5E-03	5.0	102%	106%
Plant 16	0	419	1.2E-03	-	5.5E-03	13.0	0.3	9.7E-04	5.1E-05	2.8E-03	7.5	0.2	9.1E-04	4.2E-05	2.8E-03	8.2	94%	110%
Plant 17	1	477	2.1E-03	1.1E-04	9.9E-03	9.6	1.6	2.1E-03	2.9E-04	6.5E-03	4.7	1.6	2.2E-03	2.7E-04	6.8E-03	5.0	104%	106%
Plant 18	0	554	9.0E-04	-	4.2E-03	13.0	0.3	9.1E-04	5.1E-05	2.6E-03	7.2	0.3	8.5E-04	4.0E-05	2.6E-03	8.0	93%	111%
Plant 19	0	346	1.4E-03	-	6.7E-03	13.0	0.2	9.9E-04	5.4E-05	2.9E-03	7.4	0.2	9.5E-04	4.3E-05	3.0E-03	8.3	96%	111%
Plant 20	1	414	2.4E-03	1.2E-04	1.1E-02	9.6	1.6	2.3E-03	3.1E-04	7.0E-03	4.8	1.6	2.4E-03	2.8E-04	7.4E-03	5.1	104%	108%
Plant 21	0	456	1.1E-03	-	5.0E-03	13.0	0.3	9.5E-04	5.3E-05	2.8E-03	7.3	0.2	9.0E-04	4.1E-05	2.8E-03	8.2	94%	113%
Plant 22	0	280	1.8E-03	-	8.2E-03	13.0	0.2	1.0E-03	5.5E-05	3.1E-03	7.5	0.2	9.8E-04	4.2E-05	3.1E-03	8.6	94%	114%
Plant 23	0	542	9.2E-04	-	4.3E-03	13.0	0.3	9.2E-04	5.1E-05	2.6E-03	7.2	0.3	8.5E-04	4.0E-05	2.6E-03	8.0	93%	111%
Plant 24	0	354	1.4E-03	-	6.5E-03	13.0	0.2	1.0E-03	5.5E-05	3.0E-03	7.4	0.2	9.4E-04	4.3E-05	3.0E-03	8.3	94%	112%
Plant 25	0	697	7.2E-04	-	3.3E-03	13.0	0.4	8.6E-04	4.9E-05	2.5E-03	7.1	0.3	8.0E-04	4.0E-05	2.4E-03	7.7	93%	109%
Plant 26	2	513	3.9E-03	6.9E-04	1.2E-02	4.2	3.1	3.8E-03	6.7E-04	1.1E-02	4.1	3.3	4.1E-03	6.9E-04	1.2E-02	4.1	109%	101%
Plant 27	0	298	1.7E-03	-	7.7E-03	13.0	0.2	1.0E-03	5.6E-05	3.1E-03	7.4	0.2	9.8E-04	4.3E-05	3.1E-03	8.5	95%	114%
Plant 28	0	258	1.9E-03	-	8.9E-03	13.0	0.2	1.1E-03	5.5E-05	3.2E-03	7.6	0.2	1.0E-03	4.4E-05	3.2E-03	8.5	95%	111%
Plant 29	0	1,015	4.9E-04	-	2.3E-03	13.0	0.5	7.9E-04	4.7E-05	2.2E-03	6.9	0.4	7.2E-04	3.7E-05	2.1E-03	7.6	91%	110%
Plant 30	0	1,178	4.2E-04	-	2.0E-03	13.0	0.6	7.7E-04	4.5E-05	2.1E-03	6.9	0.5	6.8E-04	3.6E-05	2.0E-03	7.4	89%	107%
Plant 31	0	1,429	3.5E-04	-	1.6E-03	13.0	0.7	7.2E-04	4.3E-05	2.0E-03	6.8	0.6	6.5E-04	3.4E-05	1.9E-03	7.4	90%	108%
Plant 32	0	1,358	3.7E-04	-	1.7E-03	13.0	0.6	7.4E-04	4.5E-05	2.0E-03	6.7	0.5	6.5E-04	3.4E-05	1.9E-03	7.4	89%	110%
Plant 33	0	1,300	3.8E-04	-	1.8E-03	13.0	0.6	7.5E-04	4.4E-05	2.1E-03	6.9	0.5	6.6E-04	3.6E-05	1.9E-03	7.4	88%	107%
Plant 34	1	1,149	8.7E-04	4.5E-05	4.1E-03	9.6	2.0	1.5E-03	2.3E-04	3.9E-03	4.1	2.0	1.4E-03	2.1E-04	3.9E-03	4.3	99%	105%
Plant 35	0	1,125	4.4E-04	-	2.0E-03	13.0	0.6	7.8E-04	4.6E-05	2.2E-03	6.9	0.5	7.0E-04	3.6E-05	2.1E-03	7.6	90%	110%
Plant 36	2	1,612	1.2E-03	2.2E-04	3.9E-03	4.2	3.9	2.0E-03	4.5E-04	5.0E-03	3.3	3.9	2.0E-03	4.6E-04	4.9E-03	3.3	102%	98%
Plant 37	0	1,730	2.9E-04	-	1.3E-03	13.0	0.8	6.9E-04	4.1E-05	1.9E-03	6.8	0.6	6.0E-04	3.2E-05	1.7E-03	7.3	87%	108%
Plant 38	0	1,120	4.5E-04	-	2.1E-03	13.0	0.6	7.8E-04	4.5E-05	2.2E-03	7.0	0.5	7.0E-04	3.7E-05	2.0E-03	7.5	90%	107%
Plant 39	3	984	3.0E-03	8.3E-04	7.9E-03	3.1	5.2	3.8E-03	8.6E-04	1.0E-02	3.4	5.5	4.2E-03	9.5E-04	1.0E-02	3.3	110%	96%
Plant 40	0	1,786	2.8E-04	-	1.3E-03	13.0	0.8	6.9E-04	4.2E-05	1.9E-03	6.7	0.6	6.0E-04	3.3E-05	1.7E-03	7.2	87%	109%
Plant 41	1	1,997	5.0E-04	2.6E-05	2.4E-03	9.6	2.4	1.1E-03	1.9E-04	2.9E-03	3.9	2.3	1.1E-03	1.7E-04	2.7E-03	4.0	94%	102%
Plant 42	0	535	9.3E-04	-	4.3E-03	13.0	0.3	9.2E-04	5.1E-05	2.7E-03	7.2	0.3	8.6E-04	4.1E-05	2.7E-03	8.0	94%	112%
Plant 43	0	343	1.5E-03	-	6.7E-03	13.0	0.2	1.0E-03	5.3E-05	3.0E-03	7.5	0.2	9.5E-04	4.3E-05	3.0E-03	8.3	94%	110%
Plant 44	0	2,038	2.5E-04	-	1.1E-03	13.0	0.9	6.6E-04	4.1E-05	1.8E-03	6.7	0.7	5.7E-04	3.2E-05	1.6E-03	7.1	86%	106%
Plant 45	0	1,928	2.6E-04	-	1.2E-03	13.0	0.8	6.7E-04	4.1E-05	1.8E-03	6.7	0.7	5.9E-04	3.2E-05	1.7E-03	7.2	87%	108%
Plant 46	1	1,944	5.1E-04	2.6E-05	2.4E-03	9.6	2.4	1.1E-03	1.9E-04	2.9E-03	4.0	2.3	1.1E-03	1.7E-04	2.8E-03	4.1	96%	102%
Plant 47	0	1,998	2.5E-04	-	1.2E-03	13.0	0.9	6.6E-04	4.1E-05	1.8E-03	6.7	0.7	5.7E-04	3.2E-05	1.6E-03	7.1	86%	107%
Plant 48	0	556	9.0E-04	-	4.1E-03	13.0	0.3	9.2E-04	5.0E-05	2.7E-03	7.3	0.3	8.5E-04	4.2E-05	2.6E-03	7.9	93%	109%
Plant 49	1	806	1.2E-03	6.4E-05	5.9E-03	9.6	1.8	1.7E-03	2.6E-04	4.9E-03	4.3	1.8	1.7E-03	2.4E-04	4.9E-03	4.5	100%	105%

\*1: ゼロ件故障には0.5件を仮定

\*2: EF=95%値/5%値 ただし、古典統計におけるゼロ件故障事象に対してはEF=13とした。

\*3: 感度解析/ベースケース

\*4: 平均値

\*5: 90%信頼区間

表 9-7(4) 逆止弁開失敗 ベースケース及びケース1 比較（デマンド故障確率）

ユニット	観測件数 [件]	総デマンド回数	古典統計				ベイズ統計 ベースケース						ベイズ統計 ケース1					
			点推定値 <sup>*1</sup> [1/d]	下限値 <sup>*5</sup> [1/d]	上限値 <sup>*5</sup> [1/d]	EF <sup>*2</sup>	故障件数 推定値 <sup>*1</sup> [件]	平均値 [1/d]	5%値 [1/d]	95%値 [1/d]	EF <sup>*2</sup>	故障件数 推定値 <sup>*1</sup> [件]	平均値 [1/d]	5%値 [1/d]	95%値 [1/d]	EF <sup>*2</sup>	平均値比 <sup>*3</sup>	EF比 <sup>*3</sup>
一般故障率	0	259.336	1.9E-06	-	8.9E-06	13.0	1.01	9.4E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.3	1.00	8.6E-06	2.2E-07	2.5E-05	10.6	91%	103%
Plant 01	0	5.153	9.7E-05	-	4.5E-04	13.0	0.02	6.4E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.2	0.02	6.6E-06	2.2E-07	2.4E-05	10.3	103%	101%
Plant 02	0	7.310	6.8E-05	-	3.1E-04	13.0	0.03	6.1E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.0	0.03	6.3E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.3	103%	102%
Plant 03	0	7.002	7.1E-05	-	3.3E-04	13.0	0.03	6.3E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.0	0.03	6.4E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.2	101%	102%
Plant 04	0	7.819	6.4E-05	-	2.9E-04	13.0	0.03	6.3E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.1	0.03	6.2E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.2	99%	102%
Plant 05	0	7.714	6.5E-05	-	3.0E-04	13.0	0.03	6.3E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.1	0.03	6.3E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.1	100%	100%
Plant 06	0	9.043	5.5E-05	-	2.5E-04	13.0	0.04	6.2E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.0	0.03	6.1E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.1	99%	101%
Plant 07	0	9.429	5.3E-05	-	2.4E-04	13.0	0.04	6.1E-06	2.2E-07	2.1E-05	9.9	0.04	6.1E-06	2.3E-07	2.2E-05	10.0	100%	101%
Plant 08	0	8.686	5.8E-05	-	2.7E-04	13.0	0.03	6.1E-06	2.1E-07	2.1E-05	10.1	0.03	6.2E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.2	101%	101%
Plant 09	0	7.156	7.0E-05	-	3.2E-04	13.0	0.03	6.1E-06	2.1E-07	2.1E-05	10.1	0.03	6.2E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.0	101%	100%
Plant 10	0	7.300	6.8E-05	-	3.2E-04	13.0	0.03	6.2E-06	2.1E-07	2.1E-05	10.0	0.03	6.4E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.3	103%	103%
Plant 11	0	7.976	6.3E-05	-	2.9E-04	13.0	0.03	6.1E-06	2.1E-07	2.1E-05	10.0	0.03	6.3E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.1	103%	102%
Plant 12	0	5.911	8.5E-05	-	3.9E-04	13.0	0.02	6.3E-06	2.2E-07	2.1E-05	9.9	0.02	6.5E-06	2.2E-07	2.4E-05	10.3	104%	103%
Plant 13	0	4.489	1.1E-04	-	5.1E-04	13.0	0.02	6.6E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.2	0.02	6.8E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.4	103%	101%
Plant 14	0	4.048	1.2E-04	-	5.7E-04	13.0	0.02	6.7E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.1	0.02	6.6E-06	2.2E-07	2.4E-05	10.2	99%	101%
Plant 15	0	6.354	7.9E-05	-	3.6E-04	13.0	0.02	6.2E-06	2.1E-07	2.1E-05	10.0	0.02	6.5E-06	2.2E-07	2.4E-05	10.4	105%	103%
Plant 16	0	10.658	4.7E-05	-	2.2E-04	13.0	0.04	6.0E-06	2.1E-07	2.1E-05	9.9	0.04	6.1E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.1	100%	102%
Plant 17	0	12.219	4.1E-05	-	1.9E-04	13.0	0.04	5.9E-06	2.1E-07	2.1E-05	9.9	0.04	5.9E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.0	100%	101%
Plant 18	0	6.042	8.3E-05	-	3.8E-04	13.0	0.02	6.3E-06	2.2E-07	2.1E-05	9.9	0.02	6.3E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.4	101%	105%
Plant 19	0	3.785	1.3E-04	-	6.1E-04	13.0	0.02	6.8E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.3	0.02	6.7E-06	2.3E-07	2.4E-05	10.2	99%	99%
Plant 20	0	3.065	1.6E-04	-	7.5E-04	13.0	0.01	6.8E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.1	0.01	6.8E-06	2.2E-07	2.4E-05	10.3	99%	102%
Plant 21	0	7.355	6.8E-05	-	3.1E-04	13.0	0.03	6.2E-06	2.2E-07	2.1E-05	10.0	0.03	6.2E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.3	100%	103%
Plant 22	0	2.483	2.0E-04	-	9.3E-04	13.0	0.01	7.0E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.3	0.01	7.0E-06	2.3E-07	2.4E-05	10.4	100%	100%
Plant 23	0	9.709	5.1E-05	-	2.4E-04	13.0	0.03	5.9E-06	2.1E-07	2.1E-05	9.9	0.04	6.1E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.0	105%	102%
Plant 24	0	7.953	6.3E-05	-	2.9E-04	13.0	0.03	6.1E-06	2.1E-07	2.1E-05	10.0	0.03	6.3E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.3	103%	103%
Plant 25	0	6.548	7.6E-05	-	3.5E-04	13.0	0.03	6.3E-06	2.2E-07	2.1E-05	10.0	0.02	6.4E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.3	102%	103%
Plant 26	0	3.174	1.6E-04	-	7.3E-04	13.0	0.01	6.9E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.2	0.01	6.9E-06	2.3E-07	2.4E-05	10.3	100%	101%
Plant 27	0	1.376	3.6E-04	-	1.7E-03	13.0	0.01	7.4E-06	2.3E-07	2.3E-05	10.1	0.01	7.3E-06	2.2E-07	2.4E-05	10.4	99%	104%
Plant 28	0	1.202	4.2E-04	-	1.9E-03	13.0	0.01	7.5E-06	2.2E-07	2.4E-05	10.3	0.01	7.6E-06	2.3E-07	2.5E-05	10.5	102%	101%
Plant 29	0	2.964	1.7E-04	-	7.8E-04	13.0	0.01	7.0E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.3	0.01	6.8E-06	2.2E-07	2.4E-05	10.4	97%	101%
Plant 30	0	3.122	1.6E-04	-	7.4E-04	13.0	0.01	6.9E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.2	0.01	7.1E-06	2.2E-07	2.4E-05	10.4	103%	102%
Plant 31	0	5.432	9.2E-05	-	4.2E-04	13.0	0.02	6.3E-06	2.2E-07	2.2E-05	9.9	0.02	6.6E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.3	106%	105%
Plant 32	0	5.162	9.7E-05	-	4.5E-04	13.0	0.02	6.4E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.0	0.02	6.5E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.3	101%	103%
Plant 33	0	4.941	1.0E-04	-	4.7E-04	13.0	0.02	6.5E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.1	0.02	6.7E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.2	103%	101%
Plant 34	0	3.207	1.6E-04	-	7.2E-04	13.0	0.01	6.7E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.2	0.01	6.8E-06	2.2E-07	2.4E-05	10.4	102%	102%
Plant 35	0	3.098	1.6E-04	-	7.4E-04	13.0	0.01	6.6E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.1	0.01	6.9E-06	2.2E-07	2.4E-05	10.5	105%	104%
Plant 36	0	5.108	9.8E-05	-	4.5E-04	13.0	0.02	6.4E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.0	0.02	6.5E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.2	101%	103%
Plant 37	0	5.462	9.2E-05	-	4.2E-04	13.0	0.02	6.3E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.1	0.02	6.6E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.2	105%	101%
Plant 38	0	3.507	1.4E-04	-	6.6E-04	13.0	0.01	6.7E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.2	0.01	6.7E-06	2.3E-07	2.4E-05	10.3	100%	101%
Plant 39	0	3.080	1.6E-04	-	7.5E-04	13.0	0.01	6.8E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.1	0.01	6.9E-06	2.2E-07	2.4E-05	10.4	101%	103%
Plant 40	0	3.621	1.4E-04	-	6.4E-04	13.0	0.01	6.6E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.2	0.01	6.7E-06	2.3E-07	2.4E-05	10.3	101%	101%
Plant 41	0	4.037	1.2E-04	-	5.7E-04	13.0	0.02	6.5E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.2	0.02	6.6E-06	2.2E-07	2.4E-05	10.4	102%	101%
Plant 42	0	2.133	2.3E-04	-	1.1E-03	13.0	0.01	7.0E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.2	0.01	7.1E-06	2.2E-07	2.4E-05	10.4	102%	102%
Plant 43	0	1.358	3.7E-04	-	1.7E-03	13.0	0.01	7.4E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.2	0.01	7.3E-06	2.2E-07	2.4E-05	10.4	98%	102%
Plant 44	0	3.452	1.4E-04	-	6.7E-04	13.0	0.01	6.7E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.2	0.01	6.9E-06	2.2E-07	2.4E-05	10.4	103%	101%
Plant 45	0	3.254	1.5E-04	-	7.1E-04	13.0	0.01	6.7E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.2	0.01	6.7E-06	2.3E-07	2.4E-05	10.2	101%	99%
Plant 46	0	4.355	1.1E-04	-	5.3E-04	13.0	0.02	6.6E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.0	0.02	6.6E-06	2.2E-07	2.4E-05	10.4	100%	103%
Plant 47	0	4.498	1.1E-04	-	5.1E-04	13.0	0.02	6.7E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.2	0.02	6.6E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.3	99%	100%
Plant 48	0	2.022	2.5E-04	-	1.1E-03	13.0	0.01	7.2E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.2	0.01	7.1E-06	2.2E-07	2.5E-05	10.5	99%	103%
Plant 49	0	4.560	1.1E-04	-	5.0E-04	13.0	0.02	6.5E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.1	0.02	6.5E-06	2.3E-07	2.3E-05	10.2	99%	101%

\*1:ゼロ件故障には0.5件を仮定

\*2:EF=95%値/5%値 ただし、古典統計におけるゼロ件故障事象に対してはEF=13とした。

\*3:感度解析/ベースケース

\*4:平均値

\*5:90%信頼区間

表 9-8(1) 電動ポンプ継続運転失敗 ベースケース及びケース 2 比較 (時間故障率)

ユニット	観測件数 [件]	延べ運転時間 [h]	古典統計				ベイズ統計 ベースケース					ベイズ統計 ケース2						
			点推定値 <sup>*1</sup> [1/h]	下限値 <sup>*5</sup> [1/h]	上限値 <sup>*5</sup> [1/h]	EF <sup>*2</sup>	故障件数 推定値 <sup>*1</sup> [件]	平均値 [1/h]	5%値 [1/h]	95%値 [1/h]	EF <sup>*2</sup>	故障件数 推定値 <sup>*1</sup> [件]	平均値 [1/h]	5%値 [1/h]	95%値 [1/h]	EF <sup>*2</sup>	平均値 <sup>*3</sup>	EF比 <sup>*3</sup>
一般故障率	26	86,663.069	3.0E-07	2.1E-07	4.2E-07	1.4	66.5	8.9E-07	3.0E-08	2.8E-06	9.6	37.5	5.7E-07	1.5E-08	1.8E-06	10.8	64%	112%
Plant 01	1	1,710.086	5.8E-07	3.0E-08	2.8E-06	9.6	2.0	9.6E-07	1.3E-07	2.7E-06	4.5	1.3	5.4E-07	7.1E-08	1.5E-06	4.7	56%	103%
Plant 02	3	1,831.102	1.6E-06	4.5E-07	4.2E-06	3.1	5.4	2.3E-06	5.4E-07	5.9E-06	3.3	3.8	1.4E-06	3.4E-07	3.4E-06	3.2	61%	97%
Plant 03	0	1,758.330	2.8E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.4E-08	1.4E-06	7.5	0.1	2.4E-07	1.2E-08	7.3E-07	7.9	52%	105%
Plant 04	3	1,959.216	1.5E-06	4.2E-07	4.0E-06	3.1	5.5	2.2E-06	5.3E-07	5.6E-06	3.2	3.8	1.3E-06	3.3E-07	3.2E-06	3.1	61%	96%
Plant 05	0	1,930.446	2.6E-07	-	1.2E-06	13.0	0.5	4.4E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.6	0.1	2.3E-07	1.1E-08	7.2E-07	8.0	52%	105%
Plant 06	1	1,950.872	5.1E-07	2.6E-08	2.4E-06	9.6	2.1	8.9E-07	1.2E-07	2.5E-06	4.5	1.3	5.0E-07	6.7E-08	1.4E-06	4.5	56%	101%
Plant 07	3	2,170.215	1.4E-06	3.8E-07	3.6E-06	3.1	5.6	2.1E-06	5.1E-07	5.2E-06	3.2	3.8	1.2E-06	3.1E-07	2.9E-06	3.1	59%	96%
Plant 08	1	2,137.584	4.7E-07	2.4E-08	2.2E-06	9.6	2.1	8.6E-07	1.2E-07	2.3E-06	4.4	1.3	4.8E-07	6.4E-08	1.3E-06	4.5	56%	102%
Plant 09	1	1,757.776	5.7E-07	2.9E-08	2.7E-06	9.6	2.0	9.5E-07	1.3E-07	2.6E-06	4.5	1.3	5.3E-07	7.0E-08	1.5E-06	4.6	56%	102%
Plant 10	0	1,801.792	2.8E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.3E-08	1.3E-06	7.6	0.1	2.4E-07	1.1E-08	7.3E-07	8.2	52%	107%
Plant 11	0	1,968.928	2.5E-07	-	1.2E-06	13.0	0.6	4.4E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.8	0.1	2.2E-07	1.1E-08	6.9E-07	8.0	51%	103%
Plant 12	0	1,269.940	3.9E-07	-	1.8E-06	13.0	0.4	4.9E-07	2.3E-08	1.5E-06	8.0	0.1	2.6E-07	1.2E-08	8.4E-07	8.3	54%	104%
Plant 13	0	968.142	5.2E-07	-	2.4E-06	13.0	0.3	5.3E-07	2.4E-08	1.6E-06	8.1	0.1	2.8E-07	1.2E-08	9.1E-07	8.7	53%	107%
Plant 14	0	868.784	5.8E-07	-	2.7E-06	13.0	0.3	5.4E-07	2.5E-08	1.7E-06	8.2	0.1	2.9E-07	1.2E-08	9.4E-07	8.8	54%	107%
Plant 15	0	1,375.752	3.6E-07	-	1.7E-06	13.0	0.4	4.8E-07	2.3E-08	1.5E-06	7.9	0.1	2.6E-07	1.2E-08	8.2E-07	8.3	53%	105%
Plant 16	0	1,842.320	2.7E-07	-	1.2E-06	13.0	0.5	4.4E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.7	0.1	2.3E-07	1.1E-08	7.2E-07	8.0	52%	104%
Plant 17	2	1,869.238	1.1E-06	1.9E-07	3.4E-06	4.2	3.7	1.6E-06	3.1E-07	4.1E-06	3.6	2.5	9.2E-07	1.8E-07	2.3E-06	3.6	59%	99%
Plant 18	0	1,553.524	3.2E-07	-	1.5E-06	13.0	0.5	4.7E-07	2.4E-08	1.4E-06	7.6	0.1	2.5E-07	1.2E-08	7.6E-07	8.1	53%	106%
Plant 19	0	1,129.040	4.4E-07	-	2.0E-06	13.0	0.4	5.0E-07	2.4E-08	1.6E-06	8.0	0.1	2.8E-07	1.2E-08	8.9E-07	8.4	55%	105%
Plant 20	0	1,163.536	4.3E-07	-	2.0E-06	13.0	0.4	5.0E-07	2.5E-08	1.5E-06	7.9	0.1	2.7E-07	1.2E-08	8.6E-07	8.5	54%	108%
Plant 21	0	1,796.970	2.8E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.3E-08	1.3E-06	7.5	0.1	2.3E-07	1.1E-08	7.2E-07	8.2	52%	108%
Plant 22	0	816.102	6.1E-07	-	2.8E-06	13.0	0.3	5.4E-07	2.5E-08	1.7E-06	8.1	0.1	3.0E-07	1.3E-08	9.7E-07	8.7	55%	108%
Plant 23	0	2,218.480	2.3E-07	-	1.0E-06	13.0	0.6	4.2E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.6	0.2	2.2E-07	1.1E-08	6.7E-07	8.0	52%	105%
Plant 24	0	1,518.048	3.3E-07	-	1.5E-06	13.0	0.5	4.7E-07	2.4E-08	1.4E-06	7.7	0.1	2.5E-07	1.1E-08	7.8E-07	8.4	53%	109%
Plant 25	3	1,942.080	1.5E-06	4.2E-07	4.0E-06	3.1	5.6	2.3E-06	5.4E-07	5.7E-06	3.3	3.8	1.4E-06	3.2E-07	3.2E-06	3.1	60%	96%
Plant 26	3	1,966.425	1.5E-06	4.2E-07	3.9E-06	3.1	5.5	2.2E-06	5.3E-07	5.6E-06	3.2	3.8	1.3E-06	3.3E-07	3.2E-06	3.1	60%	97%
Plant 27	0	1,794.367	2.8E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.8	0.1	2.4E-07	1.1E-08	7.3E-07	8.1	53%	105%
Plant 28	0	1,531.802	3.3E-07	-	1.5E-06	13.0	0.4	4.6E-07	2.3E-08	1.4E-06	7.7	0.1	2.5E-07	1.2E-08	7.8E-07	8.1	54%	105%
Plant 29	0	1,961.328	2.5E-07	-	1.2E-06	13.0	0.6	4.4E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.7	0.1	2.3E-07	1.1E-08	7.2E-07	8.1	53%	106%
Plant 30	0	2,154.870	2.3E-07	-	1.1E-06	13.0	0.6	4.3E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.6	0.2	2.2E-07	1.1E-08	6.8E-07	8.0	52%	105%
Plant 31	2	2,629.386	7.6E-07	1.4E-07	2.4E-06	4.2	4.0	1.2E-06	2.7E-07	3.2E-06	3.5	2.6	7.3E-07	1.6E-07	1.8E-06	3.4	58%	98%
Plant 32	1	2,198.368	4.5E-07	2.3E-08	2.2E-06	9.6	2.1	8.4E-07	1.2E-07	2.3E-06	4.4	1.3	4.7E-07	6.4E-08	1.3E-06	4.5	56%	102%
Plant 33	1	2,084.288	4.8E-07	2.5E-08	2.3E-06	9.6	2.1	8.6E-07	1.2E-07	2.4E-06	4.4	1.3	4.9E-07	6.6E-08	1.3E-06	4.5	56%	102%
Plant 34	0	1,782.534	2.8E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.3E-08	1.3E-06	7.6	0.1	2.4E-07	1.1E-08	7.4E-07	8.2	53%	108%
Plant 35	0	1,748.188	2.9E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.3E-08	1.4E-06	7.7	0.1	2.4E-07	1.1E-08	7.4E-07	8.2	53%	108%
Plant 36	0	1,893.165	2.6E-07	-	1.2E-06	13.0	0.5	4.4E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.6	0.1	2.3E-07	1.1E-08	7.0E-07	8.0	53%	105%
Plant 37	0	1,762.657	2.8E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.2E-08	1.4E-06	7.8	0.1	2.4E-07	1.1E-08	7.4E-07	8.1	52%	105%
Plant 38	1	1,232.868	8.1E-07	4.2E-08	3.8E-06	9.6	1.8	1.1E-06	1.4E-07	3.2E-06	4.8	1.2	6.4E-07	7.9E-08	1.9E-06	4.9	58%	103%
Plant 39	0	1,082.788	4.6E-07	-	2.1E-06	13.0	0.3	5.1E-07	2.5E-08	1.6E-06	8.0	0.1	2.8E-07	1.2E-08	8.8E-07	8.6	54%	107%
Plant 40	0	2,296.020	2.2E-07	-	1.0E-06	13.0	0.6	4.2E-07	2.2E-08	1.2E-06	7.5	0.2	2.1E-07	1.0E-08	6.5E-07	8.0	52%	107%
Plant 41	0	2,569.380	1.9E-07	-	9.0E-07	13.0	0.7	4.0E-07	2.1E-08	1.2E-06	7.5	0.2	2.1E-07	1.0E-08	6.3E-07	7.8	52%	104%
Plant 42	0	1,014.045	4.9E-07	-	2.3E-06	13.0	0.3	5.2E-07	2.6E-08	1.6E-06	7.9	0.1	2.8E-07	1.2E-08	8.9E-07	8.5	53%	107%
Plant 43	0	651.150	7.7E-07	-	3.5E-06	13.0	0.2	5.8E-07	2.6E-08	1.8E-06	8.3	0.1	3.1E-07	1.3E-08	1.0E-06	8.8	54%	106%
Plant 44	0	2,340.934	2.1E-07	-	9.8E-07	13.0	0.6	4.1E-07	2.1E-08	1.2E-06	7.6	0.2	2.2E-07	1.1E-08	6.6E-07	7.9	52%	104%
Plant 45	0	2,182.970	2.3E-07	-	1.1E-06	13.0	0.6	4.2E-07	2.1E-08	1.2E-06	7.7	0.2	2.2E-07	1.1E-08	6.7E-07	7.8	52%	102%
Plant 46	0	2,574.429	1.9E-07	-	8.9E-07	13.0	0.7	4.0E-07	2.1E-08	1.2E-06	7.5	0.2	2.1E-07	1.0E-08	6.4E-07	7.9	52%	106%
Plant 47	0	2,638.825	1.9E-07	-	8.7E-07	13.0	0.7	4.0E-07	2.1E-08	1.2E-06	7.5	0.2	2.1E-07	1.0E-08	6.2E-07	7.9	52%	106%
Plant 48	0	1,011.472	4.9E-07	-	2.3E-06	13.0	0.3	5.1E-07	2.5E-08	1.6E-06	8.0	0.1	2.8E-07	1.2E-08	9.0E-07	8.6	55%	108%
Plant 49	0	2,252.507	2.2E-07	-	1.0E-06	13.0	0.6	4.2E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.6	0.2	2.2E-07	1.1E-08	6.7E-07	7.9	52%	105%

\*1: セロ件故障には工学的判断により0.5件を仮定

\*2: EF<sup>2</sup>=95%値/5%値 ただし、古典統計におけるセロ件故障事象に対してはEF=13とした。

\*3: 感度解析/ベースケース

\*4: 平均値

\*5: 90%信頼区間

表 9-8(2) 制御ケーブル短絡 ベースケース及びケース 2 比較（時間故障率）

ユニット	観測件数 [件]	延べ運転時間 [h]	古典統計				ベイズ統計 ベースケース					ベイズ統計 ケース2						
			点推定値 <sup>*1</sup> [1/h]	下限値 <sup>*5</sup> [1/h]	上限値 <sup>*5</sup> [1/h]	EF <sup>*2</sup>	故障件数 推定値 <sup>*4</sup> [件]	平均値 [1/h]	5%値 [1/h]	95%値 [1/h]	EF <sup>*2</sup>	故障件数 推定値 <sup>*4</sup> [件]	平均値 [1/h]	5%値 [1/h]	95%値 [1/h]	EF <sup>*2</sup>	平均値 <sup>*3</sup>	EF比 <sup>*3</sup>
一般故障率	0	14,822,911,173	3.4E-11	-	1.6E-10	13.0	0.92	1.3E-10	3.8E-12	3.9E-10	10.2	0.34	9.3E-11	4.0E-12	2.7E-10	8.2	70%	81%
Plant 01	0	347,391,756	1.4E-09	-	6.6E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	9.9	0.01	7.4E-11	3.8E-12	2.5E-10	8.1	71%	82%
Plant 02	0	294,415,043	1.7E-09	-	7.8E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.4E-12	3.6E-10	10.3	0.01	7.9E-11	3.8E-12	2.6E-10	8.3	76%	80%
Plant 03	0	282,714,345	1.8E-09	-	8.1E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.7E-12	3.6E-10	9.9	0.01	7.5E-11	3.8E-12	2.5E-10	8.1	71%	81%
Plant 04	0	315,013,944	1.6E-09	-	7.3E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.7E-12	3.6E-10	10.0	0.01	7.4E-11	3.8E-12	2.5E-10	8.0	74%	81%
Plant 05	0	310,388,139	1.6E-09	-	7.4E-09	13.0	0.02	9.9E-11	3.5E-12	3.6E-10	10.2	0.01	7.3E-11	3.8E-12	2.5E-10	8.1	74%	80%
Plant 06	0	383,903,740	1.3E-09	-	6.0E-09	13.0	0.02	9.5E-11	3.3E-12	3.4E-10	10.1	0.01	7.5E-11	3.8E-12	2.5E-10	8.1	79%	80%
Plant 07	0	398,596,155	1.3E-09	-	5.8E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.7E-12	3.5E-10	9.8	0.01	7.2E-11	3.7E-12	2.4E-10	8.1	72%	83%
Plant 08	0	368,065,245	1.4E-09	-	6.3E-09	13.0	0.02	9.9E-11	3.7E-12	3.6E-10	9.8	0.01	7.6E-11	3.8E-12	2.5E-10	8.1	76%	82%
Plant 09	0	302,667,055	1.7E-09	-	7.6E-09	13.0	0.02	9.9E-11	3.6E-12	3.5E-10	9.8	0.01	7.4E-11	3.8E-12	2.5E-10	8.1	75%	83%
Plant 10	0	310,246,060	1.6E-09	-	7.4E-09	13.0	0.02	9.8E-11	3.5E-12	3.4E-10	9.8	0.01	7.5E-11	3.8E-12	2.5E-10	8.1	77%	83%
Plant 11	0	339,024,790	1.5E-09	-	6.8E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.7E-12	3.7E-10	10.0	0.01	7.2E-11	3.8E-12	2.4E-10	7.9	70%	79%
Plant 12	0	249,906,050	2.0E-09	-	9.2E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.1	0.01	7.4E-11	3.8E-12	2.4E-10	8.0	71%	80%
Plant 13	0	190,516,515	2.6E-09	-	1.2E-08	13.0	0.01	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.0	0.00	7.8E-11	3.8E-12	2.5E-10	8.1	76%	81%
Plant 14	0	170,964,280	2.9E-09	-	1.3E-08	13.0	0.01	1.0E-10	3.8E-12	3.6E-10	9.8	0.00	7.7E-11	3.8E-12	2.5E-10	8.2	74%	84%
Plant 15	0	270,728,340	1.8E-09	-	8.5E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.7E-12	3.7E-10	10.0	0.01	7.6E-11	4.0E-12	2.5E-10	7.9	72%	80%
Plant 16	0	259,191,395	1.9E-09	-	8.9E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.7E-12	3.7E-10	10.0	0.01	7.6E-11	3.8E-12	2.5E-10	8.0	72%	80%
Plant 17	0	300,546,767	1.7E-09	-	7.7E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.7E-12	3.6E-10	9.9	0.01	7.7E-11	4.0E-12	2.5E-10	8.0	73%	80%
Plant 18	0	305,711,330	1.6E-09	-	7.5E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.6E-12	3.7E-10	10.1	0.01	7.4E-11	3.8E-12	2.5E-10	8.1	70%	80%
Plant 19	0	194,406,575	2.6E-09	-	1.2E-08	13.0	0.01	1.0E-10	3.5E-12	3.6E-10	10.1	0.00	7.8E-11	3.8E-12	2.5E-10	8.1	76%	80%
Plant 20	0	200,346,355	2.5E-09	-	1.1E-08	13.0	0.01	1.1E-10	3.7E-12	3.6E-10	9.8	0.01	8.3E-11	3.8E-12	2.7E-10	8.3	78%	85%
Plant 21	0	288,927,105	1.7E-09	-	8.0E-09	13.0	0.02	9.8E-11	3.5E-12	3.5E-10	9.9	0.01	7.5E-11	3.8E-12	2.5E-10	8.1	76%	81%
Plant 22	0	160,597,215	3.1E-09	-	1.4E-08	13.0	0.01	1.0E-10	3.8E-12	3.6E-10	9.8	0.00	7.7E-11	3.9E-12	2.5E-10	8.1	74%	82%
Plant 23	0	394,334,820	1.3E-09	-	5.8E-09	13.0	0.02	9.9E-11	3.6E-12	3.5E-10	10.0	0.01	7.4E-11	3.8E-12	2.5E-10	8.1	75%	81%
Plant 24	0	298,730,160	1.7E-09	-	7.7E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.0	0.01	7.6E-11	3.9E-12	2.5E-10	8.1	73%	81%
Plant 25	0	382,173,600	1.3E-09	-	6.0E-09	13.0	0.02	9.4E-11	3.6E-12	3.4E-10	9.7	0.01	7.1E-11	3.8E-12	2.4E-10	8.0	76%	82%
Plant 26	0	372,834,180	1.3E-09	-	6.2E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.7E-12	3.7E-10	10.0	0.01	7.5E-11	3.8E-12	2.5E-10	8.1	72%	81%
Plant 27	0	247,305,993	2.0E-09	-	9.3E-09	13.0	0.01	9.6E-11	3.6E-12	3.4E-10	9.8	0.01	7.6E-11	3.8E-12	2.5E-10	8.2	79%	84%
Plant 28	0	211,118,358	2.4E-09	-	1.1E-08	13.0	0.01	1.1E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.1	0.00	7.3E-11	3.7E-12	2.4E-10	8.1	69%	80%
Plant 29	0	287,211,969	1.7E-09	-	8.0E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.5E-10	9.9	0.01	7.7E-11	3.9E-12	2.6E-10	8.1	75%	82%
Plant 30	0	280,492,245	1.8E-09	-	8.2E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.1	0.01	7.6E-11	4.0E-12	2.5E-10	8.0	73%	79%
Plant 31	0	392,654,976	1.3E-09	-	5.9E-09	13.0	0.02	9.8E-11	3.6E-12	3.5E-10	9.9	0.01	7.1E-11	3.7E-12	2.4E-10	8.0	73%	81%
Plant 32	0	369,325,824	1.4E-09	-	6.2E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.0	0.01	7.5E-11	3.8E-12	2.5E-10	8.1	74%	81%
Plant 33	0	350,160,384	1.4E-09	-	6.6E-09	13.0	0.02	9.9E-11	3.6E-12	3.5E-10	9.9	0.01	7.5E-11	3.8E-12	2.4E-10	8.0	76%	81%
Plant 34	0	368,573,184	1.4E-09	-	6.2E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	9.9	0.01	7.5E-11	3.8E-12	2.5E-10	8.0	75%	81%
Plant 35	0	361,471,488	1.4E-09	-	6.4E-09	13.0	0.02	9.8E-11	3.6E-12	3.5E-10	9.8	0.01	7.3E-11	3.8E-12	2.4E-10	8.0	75%	82%
Plant 36	0	380,904,798	1.3E-09	-	6.0E-09	13.0	0.03	1.1E-10	3.7E-12	3.5E-10	9.9	0.01	7.3E-11	3.9E-12	2.5E-10	8.0	68%	81%
Plant 37	0	409,207,602	1.2E-09	-	5.6E-09	13.0	0.02	9.8E-11	3.6E-12	3.5E-10	9.8	0.01	7.1E-11	3.8E-12	2.4E-10	8.0	73%	82%
Plant 38	0	265,771,116	1.9E-09	-	8.7E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.5E-12	3.5E-10	10.0	0.01	7.8E-11	3.9E-12	2.5E-10	8.0	77%	80%
Plant 39	0	233,418,156	2.1E-09	-	9.9E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.6E-12	3.8E-10	10.2	0.01	7.5E-11	3.9E-12	2.5E-10	8.1	69%	79%
Plant 40	0	316,445,580	1.6E-09	-	7.3E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.7E-10	10.1	0.01	7.4E-11	3.9E-12	2.5E-10	8.0	72%	80%
Plant 41	0	354,121,020	1.4E-09	-	6.5E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.5E-10	9.9	0.01	7.5E-11	3.8E-12	2.5E-10	8.1	72%	82%
Plant 42	0	204,025,854	2.5E-09	-	1.1E-08	13.0	0.01	1.1E-10	3.8E-12	3.8E-10	10.0	0.01	7.9E-11	3.8E-12	2.6E-10	8.2	69%	82%
Plant 43	0	131,011,380	3.8E-09	-	1.8E-08	13.0	0.01	1.2E-10	3.6E-12	3.8E-10	10.2	0.00	8.3E-11	3.9E-12	2.6E-10	8.2	68%	80%
Plant 44	0	370,142,976	1.4E-09	-	6.2E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.4E-12	3.6E-10	10.3	0.01	7.4E-11	3.9E-12	2.4E-10	7.9	69%	76%
Plant 45	0	345,166,080	1.4E-09	-	6.7E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.5E-10	9.9	0.01	7.4E-11	3.8E-12	2.4E-10	8.0	74%	80%
Plant 46	0	354,816,891	1.4E-09	-	6.5E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.7E-12	3.6E-10	9.9	0.01	7.4E-11	3.8E-12	2.5E-10	8.1	71%	82%
Plant 47	0	363,692,175	1.4E-09	-	6.3E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.6E-12	3.8E-10	10.1	0.01	7.5E-11	3.9E-12	2.5E-10	8.0	71%	79%
Plant 48	0	169,927,296	2.9E-09	-	1.4E-08	13.0	0.01	1.1E-10	3.7E-12	3.7E-10	10.0	0.00	7.9E-11	3.9E-12	2.5E-10	8.0	73%	80%
Plant 49	0	357,792,954	1.4E-09	-	6.4E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.0	0.01	7.3E-11	3.8E-12	2.4E-10	8.0	71%	80%

\*1:ゼロ件故障には0.5件を仮定

\*2:EF<sup>2</sup>=95%値/5%値 ただし、古典統計におけるゼロ件故障事象に対してはEF=13とした。

\*3:感度解析/ベースケース

\*4:平均値

\*5:90%信頼区間



表 9-8(3) 非常用 DG 起動失敗 ベースケース及びケース 2 比較 (デマンド故障確率)

ユニット	観測件数 [件]	総デマンド回数	古典統計				ベイズ統計 ベースケース						ベイズ統計 ケース2					
			点推定値 <sup>*1</sup> [1/d]	下限値 <sup>*5</sup> [1/d]	上限値 <sup>*5</sup> [1/d]	EF <sup>*2</sup>	故障件数 推定値 <sup>*1</sup> [件]	平均値 [1/d]	5%値 [1/d]	95%値 [1/d]	EF <sup>*2</sup>	故障件数 推定値 <sup>*1</sup> [件]	平均値 [1/d]	5%値 [1/d]	95%値 [1/d]	EF <sup>*2</sup>	平均値 <sup>*3</sup>	EF比 <sup>*3</sup>
一般故障率	19	42,332	4.5E-04	2.9E-04	6.6E-04	1.5	48.9	1.5E-03	6.3E-05	4.3E-03	8.3	27.4	8.8E-04	3.0E-05	2.5E-03	9.2	60%	111%
Plant 01	0	595	8.4E-04	-	3.9E-03	13.0	0.3	9.0E-04	5.1E-05	2.6E-03	7.1	0.1	4.9E-04	2.5E-05	1.5E-03	7.6	55%	108%
Plant 02	0	628	8.0E-04	-	3.7E-03	13.0	0.3	8.8E-04	4.9E-05	2.5E-03	7.2	0.1	4.8E-04	2.4E-05	1.4E-03	7.7	55%	107%
Plant 03	0	601	8.3E-04	-	3.8E-03	13.0	0.3	9.0E-04	5.0E-05	2.6E-03	7.2	0.1	4.9E-04	2.4E-05	1.5E-03	7.7	54%	107%
Plant 04	0	672	7.4E-04	-	3.4E-03	13.0	0.4	8.7E-04	4.9E-05	2.5E-03	7.1	0.1	4.8E-04	2.4E-05	1.4E-03	7.6	56%	107%
Plant 05	0	663	7.5E-04	-	3.5E-03	13.0	0.4	8.8E-04	5.1E-05	2.5E-03	7.0	0.1	4.8E-04	2.4E-05	1.4E-03	7.7	55%	109%
Plant 06	0	723	6.9E-04	-	3.2E-03	13.0	0.4	8.5E-04	4.8E-05	2.4E-03	7.1	0.1	4.7E-04	2.4E-05	1.4E-03	7.6	55%	107%
Plant 07	2	755	2.6E-03	4.7E-04	8.3E-03	4.2	3.3	3.0E-03	6.0E-04	8.5E-03	3.8	2.4	1.8E-03	3.5E-04	5.0E-03	3.8	60%	100%
Plant 08	1	695	1.4E-03	7.4E-05	6.8E-03	9.6	1.7	1.8E-03	2.7E-04	5.2E-03	4.4	1.2	1.0E-03	1.5E-04	3.0E-03	4.5	58%	103%
Plant 09	0	573	8.7E-04	-	4.0E-03	13.0	0.3	9.0E-04	5.1E-05	2.6E-03	7.1	0.1	4.9E-04	2.5E-05	1.5E-03	7.6	55%	107%
Plant 10	0	584	8.6E-04	-	3.9E-03	13.0	0.3	9.0E-04	5.0E-05	2.6E-03	7.2	0.1	4.9E-04	2.5E-05	1.5E-03	7.7	55%	106%
Plant 11	2	638	3.1E-03	5.6E-04	9.9E-03	4.2	3.2	3.4E-03	6.3E-04	9.7E-03	3.9	2.4	2.0E-03	3.7E-04	5.6E-03	3.9	59%	99%
Plant 12	0	474	1.1E-03	-	4.9E-03	13.0	0.3	9.3E-04	5.1E-05	2.7E-03	7.3	0.1	5.1E-04	2.6E-05	1.5E-03	7.8	55%	107%
Plant 13	0	359	1.4E-03	-	6.4E-03	13.0	0.2	9.9E-04	5.4E-05	2.9E-03	7.3	0.1	5.6E-04	2.6E-05	1.7E-03	8.1	56%	110%
Plant 14	0	324	1.5E-03	-	7.1E-03	13.0	0.2	1.0E-03	5.4E-05	3.0E-03	7.4	0.1	5.6E-04	2.7E-05	1.7E-03	8.1	56%	109%
Plant 15	1	508	2.0E-03	1.0E-04	9.3E-03	9.6	1.6	2.1E-03	2.9E-04	6.3E-03	4.7	1.2	1.2E-03	1.6E-04	3.7E-03	4.8	58%	103%
Plant 16	0	419	1.2E-03	-	5.5E-03	13.0	0.3	9.7E-04	5.1E-05	2.8E-03	7.5	0.1	5.3E-04	2.6E-05	1.6E-03	7.8	55%	105%
Plant 17	1	477	2.1E-03	1.1E-04	9.9E-03	9.6	1.6	2.1E-03	2.9E-04	6.5E-03	4.7	1.2	1.2E-03	1.6E-04	3.8E-03	4.8	58%	102%
Plant 18	0	554	9.0E-04	-	4.2E-03	13.0	0.3	9.1E-04	5.1E-05	2.6E-03	7.2	0.1	5.0E-04	2.5E-05	1.5E-03	7.7	55%	107%
Plant 19	0	346	1.4E-03	-	6.7E-03	13.0	0.2	9.9E-04	5.4E-05	2.9E-03	7.4	0.1	5.6E-04	2.7E-05	1.7E-03	8.0	56%	108%
Plant 20	1	414	2.4E-03	1.2E-04	1.1E-02	9.6	1.6	2.3E-03	3.1E-04	7.0E-03	4.8	1.2	1.3E-03	1.7E-04	4.1E-03	5.0	58%	104%
Plant 21	0	456	1.1E-03	-	5.0E-03	13.0	0.3	9.5E-04	5.3E-05	2.8E-03	7.3	0.1	5.2E-04	2.6E-05	1.6E-03	7.7	54%	106%
Plant 22	0	280	1.8E-03	-	8.2E-03	13.0	0.2	1.0E-03	5.5E-05	3.1E-03	7.5	0.0	5.7E-04	2.7E-05	1.8E-03	8.1	54%	108%
Plant 23	0	542	9.2E-04	-	4.3E-03	13.0	0.3	9.2E-04	5.1E-05	2.6E-03	7.2	0.1	5.0E-04	2.6E-05	1.5E-03	7.6	55%	106%
Plant 24	0	354	1.4E-03	-	6.5E-03	13.0	0.2	1.0E-03	5.5E-05	3.0E-03	7.4	0.1	5.5E-04	2.6E-05	1.7E-03	8.0	55%	108%
Plant 25	0	697	7.2E-04	-	3.3E-03	13.0	0.4	8.6E-04	4.9E-05	2.5E-03	7.1	0.1	4.7E-04	2.4E-05	1.4E-03	7.6	55%	107%
Plant 26	2	513	3.9E-03	6.9E-04	1.2E-02	4.2	3.1	3.8E-03	6.7E-04	1.1E-02	4.1	2.3	2.3E-03	3.9E-04	6.6E-03	4.1	60%	100%
Plant 27	0	298	1.7E-03	-	7.7E-03	13.0	0.2	1.0E-03	5.6E-05	3.1E-03	7.4	0.1	5.7E-04	2.6E-05	1.8E-03	8.1	56%	109%
Plant 28	0	258	1.9E-03	-	8.9E-03	13.0	0.2	1.1E-03	5.5E-05	3.2E-03	7.6	0.0	5.9E-04	2.7E-05	1.8E-03	8.2	56%	108%
Plant 29	0	1,015	4.9E-04	-	2.3E-03	13.0	0.5	7.9E-04	4.7E-05	2.2E-03	6.9	0.1	4.3E-04	2.3E-05	1.2E-03	7.3	54%	106%
Plant 30	0	1,178	4.2E-04	-	2.0E-03	13.0	0.6	7.7E-04	4.5E-05	2.1E-03	6.9	0.2	4.1E-04	2.2E-05	1.2E-03	7.2	53%	104%
Plant 31	0	1,429	3.5E-04	-	1.6E-03	13.0	0.7	7.2E-04	4.3E-05	2.0E-03	6.8	0.2	3.9E-04	2.1E-05	1.1E-03	7.2	54%	105%
Plant 32	0	1,358	3.7E-04	-	1.7E-03	13.0	0.6	7.4E-04	4.5E-05	2.0E-03	6.7	0.2	3.9E-04	2.2E-05	1.1E-03	7.1	53%	106%
Plant 33	0	1,300	3.8E-04	-	1.8E-03	13.0	0.6	7.5E-04	4.4E-05	2.1E-03	6.9	0.2	4.0E-04	2.2E-05	1.1E-03	7.2	53%	104%
Plant 34	1	1,149	8.7E-04	4.5E-05	4.1E-03	9.6	2.0	1.5E-03	2.3E-04	3.9E-03	4.1	1.3	8.2E-04	1.2E-04	2.2E-03	4.2	56%	103%
Plant 35	0	1,125	4.4E-04	-	2.0E-03	13.0	0.6	7.8E-04	4.6E-05	2.2E-03	6.9	0.1	4.2E-04	2.3E-05	1.2E-03	7.3	54%	106%
Plant 36	2	1,612	1.2E-03	2.2E-04	3.9E-03	4.2	3.9	2.0E-03	4.5E-04	5.0E-03	3.3	2.5	1.1E-03	2.6E-04	2.8E-03	3.3	58%	99%
Plant 37	0	1,730	2.9E-04	-	1.3E-03	13.0	0.8	6.9E-04	4.1E-05	1.9E-03	6.8	0.2	3.6E-04	2.1E-05	1.0E-03	7.0	53%	103%
Plant 38	0	1,120	4.5E-04	-	2.1E-03	13.0	0.6	7.8E-04	4.5E-05	2.2E-03	7.0	0.1	4.1E-04	2.2E-05	1.2E-03	7.3	53%	105%
Plant 39	3	984	3.0E-03	8.3E-04	7.9E-03	3.1	5.2	3.8E-03	8.6E-04	1.0E-02	3.4	3.6	2.3E-03	5.3E-04	5.8E-03	3.3	60%	96%
Plant 40	0	1,786	2.8E-04	-	1.3E-03	13.0	0.8	6.9E-04	4.2E-05	1.9E-03	6.7	0.2	3.6E-04	2.0E-05	1.0E-03	7.1	52%	106%
Plant 41	1	1,997	5.0E-04	2.6E-05	2.4E-03	9.6	2.4	1.1E-03	1.9E-04	2.9E-03	3.9	1.4	6.3E-04	1.0E-04	1.6E-03	4.0	55%	100%
Plant 42	0	535	9.3E-04	-	4.3E-03	13.0	0.3	9.2E-04	5.1E-05	2.7E-03	7.2	0.1	5.0E-04	2.5E-05	1.5E-03	7.8	55%	108%
Plant 43	0	343	1.5E-03	-	6.7E-03	13.0	0.2	1.0E-03	5.3E-05	3.0E-03	7.5	0.1	5.5E-04	2.7E-05	1.7E-03	8.0	55%	106%
Plant 44	0	2,038	2.5E-04	-	1.1E-03	13.0	0.9	6.6E-04	4.1E-05	1.8E-03	6.7	0.2	3.4E-04	2.0E-05	9.6E-04	6.9	52%	103%
Plant 45	0	1,928	2.6E-04	-	1.2E-03	13.0	0.8	6.7E-04	4.1E-05	1.8E-03	6.7	0.2	3.5E-04	2.0E-05	9.8E-04	7.0	52%	104%
Plant 46	1	1,944	5.1E-04	2.6E-05	2.4E-03	9.6	2.4	1.1E-03	1.9E-04	2.9E-03	4.0	1.4	6.3E-04	1.0E-04	1.6E-03	4.0	55%	101%
Plant 47	0	1,998	2.5E-04	-	1.2E-03	13.0	0.9	6.6E-04	4.1E-05	1.8E-03	6.7	0.2	3.5E-04	2.0E-05	9.8E-04	7.0	52%	105%
Plant 48	0	556	9.0E-04	-	4.1E-03	13.0	0.3	9.2E-04	5.0E-05	2.7E-03	7.3	0.1	5.0E-04	2.6E-05	1.5E-03	7.6	54%	104%
Plant 49	1	806	1.2E-03	6.4E-05	5.9E-03	9.6	1.8	1.7E-03	2.6E-04	4.9E-03	4.3	1.2	9.8E-04	1.4E-04	2.8E-03	4.4	57%	103%

\*1: ゼロ件故障には0.5件を仮定

\*2: EF=95%値/5%値 ただし、古典統計におけるゼロ件故障事象に対してはEF=13とした。

\*3: 感度解析/ベースケース

\*4: 平均値

\*5: 90%信頼区間

表 9-8(4) 逆止弁開失敗 ベースケース及びケース 2 比較（デマンド故障確率）

ユニット	観測件数 [件]	総デマンド回数	古典統計				ベイズ統計 ベースケース					ベイズ統計 ケース2						
			点推定値 <sup>*1</sup> [1/d]	下限値 <sup>*5</sup> [1/d]	上限値 <sup>*5</sup> [1/d]	EF <sup>*2</sup>	故障件数 推定値 <sup>*1</sup> [件]	平均値 [1/d]	5%値 [1/d]	95%値 [1/d]	EF <sup>*2</sup>	故障件数 推定値 <sup>*1</sup> [件]	平均値 [1/d]	5%値 [1/d]	95%値 [1/d]	EF <sup>*2</sup>	平均値比 <sup>*3</sup>	EF比 <sup>*3</sup>
一般故障率	0	259,336	1.9E-06	-	8.9E-06	13.0	1.01	9.4E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.3	0.34	6.1E-06	2.4E-07	1.5E-05	7.9	64%	77%
Plant 01	0	5,153	9.7E-05	-	4.5E-04	13.0	0.02	6.4E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.2	0.01	4.4E-06	2.4E-07	1.4E-05	7.7	69%	75%
Plant 02	0	7,310	6.8E-05	-	3.1E-04	13.0	0.03	6.1E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.0	0.01	4.2E-06	2.3E-07	1.4E-05	7.7	68%	77%
Plant 03	0	7,002	7.1E-05	-	3.3E-04	13.0	0.03	6.3E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.0	0.01	4.2E-06	2.3E-07	1.4E-05	7.7	67%	77%
Plant 04	0	7,819	6.4E-05	-	2.9E-04	13.0	0.03	6.3E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.1	0.01	4.1E-06	2.3E-07	1.4E-05	7.6	66%	76%
Plant 05	0	7,714	6.5E-05	-	3.0E-04	13.0	0.03	6.3E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.1	0.01	4.2E-06	2.4E-07	1.4E-05	7.6	67%	76%
Plant 06	0	9,043	5.5E-05	-	2.5E-04	13.0	0.04	6.2E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.0	0.01	4.1E-06	2.3E-07	1.4E-05	7.6	66%	76%
Plant 07	0	9,429	5.3E-05	-	2.4E-04	13.0	0.04	6.1E-06	2.2E-07	2.1E-05	9.9	0.01	4.1E-06	2.3E-07	1.3E-05	7.6	67%	77%
Plant 08	0	8,686	5.8E-05	-	2.7E-04	13.0	0.03	6.1E-06	2.1E-07	2.1E-05	10.1	0.01	4.1E-06	2.3E-07	1.4E-05	7.6	67%	76%
Plant 09	0	7,156	7.0E-05	-	3.2E-04	13.0	0.03	6.1E-06	2.1E-07	2.1E-05	10.1	0.01	4.2E-06	2.3E-07	1.4E-05	7.8	68%	78%
Plant 10	0	7,300	6.8E-05	-	3.2E-04	13.0	0.03	6.2E-06	2.1E-07	2.1E-05	10.0	0.01	4.2E-06	2.4E-07	1.4E-05	7.7	68%	77%
Plant 11	0	7,976	6.3E-05	-	2.9E-04	13.0	0.03	6.1E-06	2.1E-07	2.1E-05	10.0	0.01	4.2E-06	2.3E-07	1.3E-05	7.6	69%	76%
Plant 12	0	5,911	8.5E-05	-	3.9E-04	13.0	0.02	6.3E-06	2.2E-07	2.1E-05	9.9	0.01	4.3E-06	2.4E-07	1.4E-05	7.7	69%	78%
Plant 13	0	4,489	1.1E-04	-	5.1E-04	13.0	0.02	6.6E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.2	0.01	4.3E-06	2.4E-07	1.4E-05	7.7	66%	75%
Plant 14	0	4,048	1.2E-04	-	5.7E-04	13.0	0.02	6.7E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.1	0.01	4.5E-06	2.4E-07	1.4E-05	7.7	67%	76%
Plant 15	0	6,354	7.9E-05	-	3.6E-04	13.0	0.02	6.2E-06	2.1E-07	2.1E-05	10.0	0.01	4.3E-06	2.4E-07	1.4E-05	7.7	69%	77%
Plant 16	0	10,658	4.7E-05	-	2.2E-04	13.0	0.04	6.0E-06	2.1E-07	2.1E-05	9.9	0.01	4.0E-06	2.4E-07	1.3E-05	7.4	66%	75%
Plant 17	0	12,219	4.1E-05	-	1.9E-04	13.0	0.04	5.9E-06	2.1E-07	2.1E-05	9.9	0.01	4.0E-06	2.4E-07	1.3E-05	7.4	67%	75%
Plant 18	0	6,042	8.3E-05	-	3.8E-04	13.0	0.02	6.3E-06	2.2E-07	2.1E-05	9.9	0.01	4.3E-06	2.3E-07	1.4E-05	7.8	69%	78%
Plant 19	0	3,785	1.3E-04	-	6.1E-04	13.0	0.02	6.8E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.3	0.00	4.4E-06	2.4E-07	1.4E-05	7.7	66%	75%
Plant 20	0	3,065	1.6E-04	-	7.5E-04	13.0	0.01	6.8E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.1	0.00	4.6E-06	2.4E-07	1.4E-05	7.7	67%	76%
Plant 21	0	7,355	6.8E-05	-	3.1E-04	13.0	0.03	6.2E-06	2.2E-07	2.1E-05	10.0	0.01	4.2E-06	2.3E-07	1.4E-05	7.7	68%	77%
Plant 22	0	2,483	2.0E-04	-	9.3E-04	13.0	0.01	7.0E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.3	0.00	4.7E-06	2.4E-07	1.5E-05	7.9	67%	76%
Plant 23	0	9,709	5.1E-05	-	2.4E-04	13.0	0.03	5.9E-06	2.1E-07	2.1E-05	9.9	0.01	4.0E-06	2.3E-07	1.3E-05	7.6	69%	77%
Plant 24	0	7,953	6.3E-05	-	2.9E-04	13.0	0.03	6.1E-06	2.1E-07	2.1E-05	10.0	0.01	4.2E-06	2.3E-07	1.4E-05	7.8	69%	78%
Plant 25	0	6,548	7.6E-05	-	3.5E-04	13.0	0.03	6.3E-06	2.2E-07	2.1E-05	10.0	0.01	4.2E-06	2.4E-07	1.4E-05	7.6	67%	76%
Plant 26	0	3,174	1.6E-04	-	7.3E-04	13.0	0.01	6.9E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.2	0.00	4.6E-06	2.4E-07	1.4E-05	7.8	67%	76%
Plant 27	0	1,376	3.6E-04	-	1.7E-03	13.0	0.01	7.4E-06	2.3E-07	2.3E-05	10.1	0.00	4.9E-06	2.4E-07	1.5E-05	7.8	66%	78%
Plant 28	0	1,202	4.2E-04	-	1.9E-03	13.0	0.01	7.5E-06	2.2E-07	2.4E-05	10.3	0.00	4.8E-06	2.4E-07	1.5E-05	7.8	65%	75%
Plant 29	0	2,964	1.7E-04	-	7.8E-04	13.0	0.01	7.0E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.3	0.00	4.5E-06	2.4E-07	1.4E-05	7.8	64%	76%
Plant 30	0	3,122	1.6E-04	-	7.4E-04	13.0	0.01	6.9E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.2	0.00	4.6E-06	2.3E-07	1.4E-05	7.8	66%	76%
Plant 31	0	5,432	9.2E-05	-	4.2E-04	13.0	0.02	6.3E-06	2.2E-07	2.2E-05	9.9	0.01	4.4E-06	2.3E-07	1.4E-05	7.8	70%	79%
Plant 32	0	5,162	9.7E-05	-	4.5E-04	13.0	0.02	6.4E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.0	0.01	4.3E-06	2.4E-07	1.4E-05	7.6	67%	76%
Plant 33	0	4,941	1.0E-04	-	4.7E-04	13.0	0.02	6.5E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.1	0.01	4.4E-06	2.4E-07	1.4E-05	7.7	68%	76%
Plant 34	0	3,207	1.6E-04	-	7.2E-04	13.0	0.01	6.7E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.2	0.00	4.6E-06	2.4E-07	1.4E-05	7.7	68%	75%
Plant 35	0	3,098	1.6E-04	-	7.4E-04	13.0	0.01	6.6E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.1	0.00	4.5E-06	2.4E-07	1.4E-05	7.8	69%	77%
Plant 36	0	5,108	9.8E-05	-	4.5E-04	13.0	0.02	6.4E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.0	0.01	4.4E-06	2.3E-07	1.4E-05	7.8	68%	78%
Plant 37	0	5,462	9.2E-05	-	4.2E-04	13.0	0.02	6.3E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.1	0.01	4.3E-06	2.4E-07	1.4E-05	7.7	69%	76%
Plant 38	0	3,507	1.4E-04	-	6.6E-04	13.0	0.01	6.7E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.2	0.01	4.5E-06	2.4E-07	1.5E-05	7.8	67%	77%
Plant 39	0	3,080	1.6E-04	-	7.5E-04	13.0	0.01	6.8E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.1	0.00	4.6E-06	2.4E-07	1.4E-05	7.7	67%	76%
Plant 40	0	3,621	1.4E-04	-	6.4E-04	13.0	0.01	6.6E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.2	0.00	4.5E-06	2.4E-07	1.4E-05	7.8	67%	76%
Plant 41	0	4,037	1.2E-04	-	5.7E-04	13.0	0.02	6.5E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.2	0.01	4.5E-06	2.3E-07	1.4E-05	7.8	69%	76%
Plant 42	0	2,133	2.3E-04	-	1.1E-03	13.0	0.01	7.0E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.2	0.00	4.7E-06	2.4E-07	1.5E-05	7.8	68%	77%
Plant 43	0	1,358	3.7E-04	-	1.7E-03	13.0	0.01	7.4E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.2	0.00	4.8E-06	2.4E-07	1.5E-05	7.8	64%	77%
Plant 44	0	3,452	1.4E-04	-	6.7E-04	13.0	0.01	6.7E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.2	0.00	4.5E-06	2.4E-07	1.4E-05	7.7	67%	75%
Plant 45	0	3,254	1.5E-04	-	7.1E-04	13.0	0.01	6.7E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.2	0.00	4.5E-06	2.4E-07	1.4E-05	7.8	68%	76%
Plant 46	0	4,355	1.1E-04	-	5.3E-04	13.0	0.02	6.6E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.0	0.01	4.4E-06	2.4E-07	1.4E-05	7.7	67%	77%
Plant 47	0	4,498	1.1E-04	-	5.1E-04	13.0	0.02	6.7E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.2	0.01	4.4E-06	2.3E-07	1.4E-05	7.8	66%	76%
Plant 48	0	2,022	2.5E-04	-	1.1E-03	13.0	0.01	7.2E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.2	0.00	4.7E-06	2.4E-07	1.5E-05	7.8	66%	77%
Plant 49	0	4,560	1.1E-04	-	5.0E-04	13.0	0.02	6.5E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.1	0.01	4.5E-06	2.4E-07	1.4E-05	7.7	69%	76%

\*1:ゼロ件故障には0.5件を仮定

\*2: EF<sup>2</sup>=95%値/5%値 ただし、古典統計におけるゼロ件故障事象に対してはEF=13とした、

\*3: 感度解析/ベースケース

\*4: 平均値

\*5: 90%信頼区間

表 9-9(1) 電動ポンプ継続運転失敗 ベースケース及びケース 3 比較（時間故障率）

ユニット	観測件数 [件]	延べ運転時間 [h]	古典統計				ベイズ統計 ベースケース					ベイズ統計 ケース3						
			点推定値 <sup>*1</sup> [1/h]	下限値 <sup>*5</sup> [1/h]	上限値 <sup>*5</sup> [1/h]	EF <sup>*2</sup>	故障件数 推定値 <sup>*1</sup> [件]	平均値 [1/h]	5%値 [1/h]	95%値 [1/h]	EF <sup>*2</sup>	故障件数 推定値 <sup>*1</sup> [件]	平均値 [1/h]	5%値 [1/h]	95%値 [1/h]	EF <sup>*2</sup>	平均値 <sup>*3</sup>	EF比 <sup>*3</sup>
一般故障率	26	86,663.069	3.0E-07	2.1E-07	4.2E-07	1.4	66.5	8.9E-07	3.0E-08	2.8E-06	9.6	35.2	5.0E-07	1.4E-08	1.6E-06	10.5	57%	110%
Plant 01	1	1,710.086	5.8E-07	3.0E-08	2.8E-06	9.6	2.0	9.6E-07	1.3E-07	2.7E-06	4.5	1.2	5.1E-07	6.6E-08	1.4E-06	4.6	53%	103%
Plant 02	3	1,831.102	1.6E-06	4.5E-07	4.2E-06	3.1	5.4	2.3E-06	5.4E-07	5.9E-06	3.3	3.6	1.3E-06	3.3E-07	3.2E-06	3.1	58%	95%
Plant 03	0	1,758.330	2.8E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.4E-08	1.4E-06	7.5	0.1	2.2E-07	1.0E-08	6.7E-07	8.0	48%	107%
Plant 04	3	1,959.216	1.5E-06	4.2E-07	4.0E-06	3.1	5.5	2.2E-06	5.3E-07	5.6E-06	3.2	3.7	1.3E-06	3.2E-07	3.0E-06	3.0	58%	93%
Plant 05	0	1,930.446	2.6E-07	-	1.2E-06	13.0	0.5	4.4E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.6	0.1	2.1E-07	1.0E-08	6.6E-07	8.0	48%	104%
Plant 06	1	1,950.872	5.1E-07	2.6E-08	2.4E-06	9.6	2.1	8.9E-07	1.2E-07	2.5E-06	4.5	1.2	4.8E-07	6.4E-08	1.3E-06	4.5	53%	101%
Plant 07	3	2,170.215	1.4E-06	3.8E-07	3.6E-06	3.1	5.6	2.1E-06	5.1E-07	5.2E-06	3.2	3.7	1.2E-06	3.0E-07	2.7E-06	3.0	57%	94%
Plant 08	1	2,137.584	4.7E-07	2.4E-08	2.2E-06	9.6	2.1	8.6E-07	1.2E-07	2.3E-06	4.4	1.3	4.5E-07	6.1E-08	1.2E-06	4.5	52%	101%
Plant 09	1	1,757.776	5.7E-07	2.9E-08	2.7E-06	9.6	2.0	9.5E-07	1.3E-07	2.6E-06	4.5	1.2	5.0E-07	6.5E-08	1.4E-06	4.6	52%	102%
Plant 10	0	1,801.792	2.8E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.3E-08	1.3E-06	7.6	0.1	2.2E-07	1.1E-08	6.8E-07	7.9	49%	104%
Plant 11	0	1,968.928	2.5E-07	-	1.2E-06	13.0	0.6	4.4E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.8	0.1	2.1E-07	9.9E-09	6.6E-07	8.2	48%	105%
Plant 12	0	1,269.940	3.9E-07	-	1.8E-06	13.0	0.4	4.9E-07	2.3E-08	1.5E-06	8.0	0.1	2.4E-07	1.1E-08	7.8E-07	8.5	50%	106%
Plant 13	0	968.142	5.2E-07	-	2.4E-06	13.0	0.3	5.3E-07	2.4E-08	1.6E-06	8.1	0.1	2.6E-07	1.1E-08	8.6E-07	8.9	50%	110%
Plant 14	0	868.784	5.8E-07	-	2.7E-06	13.0	0.3	5.4E-07	2.5E-08	1.7E-06	8.2	0.1	2.7E-07	1.1E-08	8.8E-07	8.8	50%	108%
Plant 15	0	1,375.752	3.6E-07	-	1.7E-06	13.0	0.4	4.8E-07	2.3E-08	1.5E-06	7.9	0.1	2.4E-07	1.1E-08	7.6E-07	8.4	50%	106%
Plant 16	0	1,842.320	2.7E-07	-	1.2E-06	13.0	0.5	4.4E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.7	0.1	2.2E-07	1.0E-08	6.6E-07	8.1	48%	105%
Plant 17	2	1,869.238	1.1E-06	1.9E-07	3.4E-06	4.2	3.7	1.6E-06	3.1E-07	4.1E-06	3.6	2.4	8.7E-07	1.7E-07	2.2E-06	3.5	56%	98%
Plant 18	0	1,553.524	3.2E-07	-	1.5E-06	13.0	0.5	4.7E-07	2.4E-08	1.4E-06	7.6	0.1	2.3E-07	1.0E-08	7.1E-07	8.3	49%	109%
Plant 19	0	1,129.040	4.4E-07	-	2.0E-06	13.0	0.4	5.0E-07	2.4E-08	1.6E-06	8.0	0.1	2.5E-07	1.1E-08	8.1E-07	8.6	50%	106%
Plant 20	0	1,163.536	4.3E-07	-	2.0E-06	13.0	0.4	5.0E-07	2.5E-08	1.5E-06	7.9	0.1	2.5E-07	1.1E-08	8.1E-07	8.5	50%	108%
Plant 21	0	1,796.970	2.8E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.3E-08	1.3E-06	7.5	0.1	2.2E-07	1.0E-08	6.7E-07	8.2	49%	108%
Plant 22	0	816.102	6.1E-07	-	2.8E-06	13.0	0.3	5.4E-07	2.5E-08	1.7E-06	8.1	0.1	2.8E-07	1.1E-08	8.9E-07	8.9	51%	110%
Plant 23	0	2,218.480	2.3E-07	-	1.0E-06	13.0	0.6	4.2E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.6	0.1	2.0E-07	9.6E-09	6.1E-07	8.0	47%	105%
Plant 24	0	1,518.048	3.3E-07	-	1.5E-06	13.0	0.5	4.7E-07	2.4E-08	1.4E-06	7.7	0.1	2.3E-07	1.1E-08	7.3E-07	8.3	49%	107%
Plant 25	3	1,942.080	1.5E-06	4.2E-07	4.0E-06	3.1	5.6	2.3E-06	5.4E-07	5.7E-06	3.3	3.6	1.3E-06	3.2E-07	3.0E-06	3.1	57%	95%
Plant 26	3	1,966.425	1.5E-06	4.2E-07	3.9E-06	3.1	5.5	2.2E-06	5.3E-07	5.6E-06	3.2	3.7	1.3E-06	3.2E-07	3.0E-06	3.1	57%	94%
Plant 27	0	1,794.367	2.8E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.8	0.1	2.2E-07	1.0E-08	6.7E-07	8.1	49%	104%
Plant 28	0	1,531.802	3.3E-07	-	1.5E-06	13.0	0.4	4.6E-07	2.3E-08	1.4E-06	7.7	0.1	2.3E-07	1.1E-08	7.2E-07	8.3	50%	107%
Plant 29	0	1,961.328	2.5E-07	-	1.2E-06	13.0	0.6	4.4E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.7	0.1	2.1E-07	1.0E-08	6.5E-07	8.0	48%	104%
Plant 30	0	2,154.870	2.3E-07	-	1.1E-06	13.0	0.6	4.3E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.6	0.1	2.1E-07	9.9E-09	6.5E-07	8.1	49%	106%
Plant 31	2	2,629.386	7.6E-07	1.4E-07	2.4E-06	4.2	4.0	1.2E-06	2.7E-07	3.2E-06	3.5	2.5	6.9E-07	1.5E-07	1.7E-06	3.4	55%	97%
Plant 32	1	2,198.368	4.5E-07	2.3E-08	2.2E-06	9.6	2.1	8.4E-07	1.2E-07	2.3E-06	4.4	1.3	4.5E-07	6.1E-08	1.2E-06	4.5	53%	102%
Plant 33	1	2,084.288	4.8E-07	2.5E-08	2.3E-06	9.6	2.1	8.6E-07	1.2E-07	2.4E-06	4.4	1.2	4.6E-07	6.3E-08	1.3E-06	4.5	53%	102%
Plant 34	0	1,782.534	2.8E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.3E-08	1.3E-06	7.6	0.1	2.2E-07	1.0E-08	6.8E-07	8.1	49%	106%
Plant 35	0	1,748.188	2.9E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.3E-08	1.4E-06	7.7	0.1	2.2E-07	1.0E-08	6.9E-07	8.2	49%	107%
Plant 36	0	1,893.165	2.6E-07	-	1.2E-06	13.0	0.5	4.4E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.6	0.1	2.2E-07	1.0E-08	6.6E-07	8.1	49%	106%
Plant 37	0	1,762.657	2.8E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.2E-08	1.4E-06	7.8	0.1	2.2E-07	1.0E-08	6.8E-07	8.1	49%	105%
Plant 38	1	1,232.868	8.1E-07	4.2E-08	3.8E-06	9.6	1.8	1.1E-06	1.4E-07	3.2E-06	4.8	1.2	6.0E-07	7.4E-08	1.8E-06	4.9	54%	102%
Plant 39	0	1,082.788	4.6E-07	-	2.1E-06	13.0	0.3	5.1E-07	2.5E-08	1.6E-06	8.0	0.1	2.6E-07	1.1E-08	8.3E-07	8.5	51%	106%
Plant 40	0	2,296.020	2.2E-07	-	1.0E-06	13.0	0.6	4.2E-07	2.2E-08	1.2E-06	7.5	0.1	2.0E-07	9.8E-09	6.2E-07	7.9	48%	105%
Plant 41	0	2,569.380	1.9E-07	-	9.0E-07	13.0	0.7	4.0E-07	2.1E-08	1.2E-06	7.5	0.1	1.9E-07	9.6E-09	5.9E-07	7.8	48%	105%
Plant 42	0	1,014.045	4.9E-07	-	2.3E-06	13.0	0.3	5.2E-07	2.6E-08	1.6E-06	7.9	0.1	2.6E-07	1.1E-08	8.5E-07	8.6	51%	109%
Plant 43	0	651.150	7.7E-07	-	3.5E-06	13.0	0.2	5.8E-07	2.6E-08	1.8E-06	8.3	0.1	3.0E-07	1.2E-08	9.7E-07	8.9	51%	107%
Plant 44	0	2,340.934	2.1E-07	-	9.8E-07	13.0	0.6	4.1E-07	2.1E-08	1.2E-06	7.6	0.1	2.0E-07	1.0E-08	6.1E-07	7.8	49%	103%
Plant 45	0	2,182.970	2.3E-07	-	1.1E-06	13.0	0.6	4.2E-07	2.1E-08	1.2E-06	7.7	0.1	2.1E-07	1.0E-08	6.4E-07	8.0	50%	104%
Plant 46	0	2,574.429	1.9E-07	-	8.9E-07	13.0	0.7	4.0E-07	2.1E-08	1.2E-06	7.5	0.1	1.9E-07	9.4E-09	5.9E-07	7.9	48%	106%
Plant 47	0	2,638.825	1.9E-07	-	8.7E-07	13.0	0.7	4.0E-07	2.1E-08	1.2E-06	7.5	0.1	1.9E-07	9.6E-09	5.9E-07	7.8	48%	105%
Plant 48	0	1,011.472	4.9E-07	-	2.3E-06	13.0	0.3	5.1E-07	2.5E-08	1.6E-06	8.0	0.1	2.6E-07	1.1E-08	8.3E-07	8.6	51%	108%
Plant 49	0	2,252.507	2.2E-07	-	1.0E-06	13.0	0.6	4.2E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.6	0.1	2.0E-07	9.8E-09	6.2E-07	8.0	48%	105%

\*1: セロ件故障には工学的判断により0.5件を仮定

\*2: EF<sup>2</sup>=95%値/5%値 ただし、古典統計におけるセロ件故障事象に対してはEF=13とした。

\*3: 感度解析/ベースケース

\*4: 平均値

\*5: 90%信頼区間

表 9-9(2) 制御ケーブル短絡 ベースケース及びケース 3 比較 (時間故障率)

ユニット	観測件数 [件]	延べ運転時間 [h]	古典統計				ベイズ統計 ベースケース					ベイズ統計 ケース3						
			点推定値 <sup>*1</sup> [1/h]	下限値 <sup>*5</sup> [1/h]	上限値 <sup>*5</sup> [1/h]	EF <sup>*2</sup>	故障件数 推定値 <sup>*4</sup> [件]	平均値 [1/h]	5% 値 [1/h]	95% 値 [1/h]	EF <sup>*2</sup>	故障件数 推定値 <sup>*4</sup> [件]	平均値 [1/h]	5% 値 [1/h]	95% 値 [1/h]	EF <sup>*2</sup>	平均値比 <sup>*3</sup>	EF比 <sup>*3</sup>
一般故障率	0	14,822,911.173	3.4E-11	-	1.6E-10	13.0	0.92	1.3E-10	3.8E-12	3.9E-10	10.2	0.29	9.7E-11	4.2E-12	2.6E-10	7.9	73%	77%
Plant 01	0	347,391,756	1.4E-09	-	6.6E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	9.9	0.01	7.6E-11	4.4E-12	2.5E-10	7.6	73%	77%
Plant 02	0	294,415,043	1.7E-09	-	7.8E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.4E-12	3.6E-10	10.3	0.01	7.7E-11	4.3E-12	2.5E-10	7.7	73%	75%
Plant 03	0	282,714,345	1.8E-09	-	8.1E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.7E-12	3.6E-10	9.9	0.01	7.6E-11	4.3E-12	2.5E-10	7.7	73%	77%
Plant 04	0	315,013,944	1.6E-09	-	7.3E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.7E-12	3.6E-10	10.0	0.01	7.5E-11	4.2E-12	2.5E-10	7.7	75%	78%
Plant 05	0	310,388,139	1.6E-09	-	7.4E-09	13.0	0.02	9.9E-11	3.5E-12	3.6E-10	10.2	0.01	7.3E-11	4.2E-12	2.5E-10	7.6	74%	75%
Plant 06	0	383,903,740	1.3E-09	-	6.0E-09	13.0	0.02	9.5E-11	3.3E-12	3.4E-10	10.1	0.01	7.3E-11	4.2E-12	2.5E-10	7.7	77%	76%
Plant 07	0	398,596,155	1.3E-09	-	5.8E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.7E-12	3.5E-10	9.8	0.01	7.3E-11	4.2E-12	2.5E-10	7.7	73%	78%
Plant 08	0	368,065,245	1.4E-09	-	6.3E-09	13.0	0.02	9.9E-11	3.7E-12	3.6E-10	9.8	0.01	7.5E-11	4.2E-12	2.5E-10	7.7	75%	79%
Plant 09	0	302,667,055	1.7E-09	-	7.6E-09	13.0	0.02	9.9E-11	3.6E-12	3.5E-10	9.8	0.01	7.6E-11	4.1E-12	2.5E-10	7.8	77%	80%
Plant 10	0	310,246,060	1.6E-09	-	7.4E-09	13.0	0.02	9.8E-11	3.5E-12	3.4E-10	9.8	0.01	7.5E-11	4.2E-12	2.5E-10	7.7	76%	79%
Plant 11	0	339,024,790	1.5E-09	-	6.8E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.7E-12	3.7E-10	10.0	0.01	7.4E-11	4.3E-12	2.5E-10	7.7	71%	77%
Plant 12	0	249,906,050	2.0E-09	-	9.2E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.1	0.01	7.8E-11	4.5E-12	2.6E-10	7.6	75%	77%
Plant 13	0	190,516,515	2.6E-09	-	1.2E-08	13.0	0.01	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.0	0.00	7.9E-11	4.2E-12	2.6E-10	7.8	77%	78%
Plant 14	0	170,964,280	2.9E-09	-	1.3E-08	13.0	0.01	1.0E-10	3.8E-12	3.6E-10	9.8	0.00	8.2E-11	4.3E-12	2.6E-10	7.8	78%	79%
Plant 15	0	270,728,340	1.8E-09	-	8.5E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.7E-12	3.7E-10	10.0	0.00	7.7E-11	4.2E-12	2.6E-10	7.8	73%	78%
Plant 16	0	259,191,395	1.9E-09	-	8.9E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.7E-12	3.7E-10	10.0	0.01	7.4E-11	4.3E-12	2.5E-10	7.6	70%	76%
Plant 17	0	300,546,767	1.7E-09	-	7.7E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.7E-12	3.6E-10	9.9	0.01	7.7E-11	4.2E-12	2.5E-10	7.7	73%	77%
Plant 18	0	305,711,330	1.6E-09	-	7.5E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.6E-12	3.7E-10	10.1	0.01	7.6E-11	4.3E-12	2.6E-10	7.7	73%	77%
Plant 19	0	194,406,575	2.6E-09	-	1.2E-08	13.0	0.01	1.0E-10	3.5E-12	3.6E-10	10.1	0.00	7.8E-11	4.3E-12	2.6E-10	7.7	76%	76%
Plant 20	0	200,346,355	2.5E-09	-	1.1E-08	13.0	0.01	1.1E-10	3.7E-12	3.6E-10	9.8	0.00	8.0E-11	4.2E-12	2.6E-10	7.9	75%	80%
Plant 21	0	288,927,105	1.7E-09	-	8.0E-09	13.0	0.02	9.8E-11	3.5E-12	3.5E-10	9.9	0.01	7.8E-11	4.4E-12	2.6E-10	7.7	79%	78%
Plant 22	0	160,597,215	3.1E-09	-	1.4E-08	13.0	0.01	1.0E-10	3.8E-12	3.6E-10	9.8	0.00	8.1E-11	4.1E-12	2.6E-10	7.9	78%	81%
Plant 23	0	394,334,820	1.3E-09	-	5.8E-09	13.0	0.02	9.9E-11	3.6E-12	3.5E-10	10.0	0.01	7.5E-11	4.3E-12	2.5E-10	7.6	76%	76%
Plant 24	0	298,730,160	1.7E-09	-	7.7E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.0	0.01	7.8E-11	4.4E-12	2.6E-10	7.6	75%	76%
Plant 25	0	382,173,600	1.3E-09	-	6.0E-09	13.0	0.02	9.4E-11	3.6E-12	3.4E-10	9.7	0.01	7.4E-11	4.3E-12	2.5E-10	7.5	79%	78%
Plant 26	0	372,834,180	1.3E-09	-	6.2E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.7E-12	3.7E-10	10.0	0.01	7.4E-11	4.1E-12	2.5E-10	7.8	71%	78%
Plant 27	0	247,305,993	2.0E-09	-	9.3E-09	13.0	0.01	9.6E-11	3.6E-12	3.4E-10	9.8	0.00	7.6E-11	4.3E-12	2.6E-10	7.8	79%	79%
Plant 28	0	211,118,358	2.4E-09	-	1.1E-08	13.0	0.01	1.1E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.1	0.00	7.9E-11	4.2E-12	2.6E-10	7.9	75%	78%
Plant 29	0	287,211,969	1.7E-09	-	8.0E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.5E-10	9.9	0.01	7.6E-11	4.3E-12	2.5E-10	7.7	73%	77%
Plant 30	0	280,492,245	1.8E-09	-	8.2E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.1	0.01	7.6E-11	4.1E-12	2.5E-10	7.8	73%	78%
Plant 31	0	392,654,976	1.3E-09	-	5.9E-09	13.0	0.02	9.8E-11	3.6E-12	3.5E-10	9.9	0.01	7.3E-11	4.3E-12	2.5E-10	7.6	74%	77%
Plant 32	0	369,325,824	1.4E-09	-	6.2E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.0	0.01	7.3E-11	4.2E-12	2.5E-10	7.7	73%	77%
Plant 33	0	350,160,384	1.4E-09	-	6.6E-09	13.0	0.02	9.9E-11	3.6E-12	3.5E-10	9.9	0.01	7.3E-11	4.1E-12	2.5E-10	7.8	74%	79%
Plant 34	0	368,573,184	1.4E-09	-	6.2E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	9.9	0.01	7.6E-11	4.4E-12	2.5E-10	7.6	75%	77%
Plant 35	0	361,471,488	1.4E-09	-	6.4E-09	13.0	0.02	9.8E-11	3.6E-12	3.5E-10	9.8	0.01	7.6E-11	4.1E-12	2.5E-10	7.8	77%	79%
Plant 36	0	380,904,798	1.3E-09	-	6.0E-09	13.0	0.03	1.1E-10	3.7E-12	3.5E-10	9.9	0.01	7.4E-11	4.3E-12	2.5E-10	7.7	70%	78%
Plant 37	0	409,207,602	1.2E-09	-	5.6E-09	13.0	0.02	9.8E-11	3.6E-12	3.5E-10	9.8	0.01	7.2E-11	4.3E-12	2.5E-10	7.6	73%	77%
Plant 38	0	265,771,116	1.9E-09	-	8.7E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.5E-12	3.5E-10	10.0	0.01	7.7E-11	4.3E-12	2.6E-10	7.7	76%	77%
Plant 39	0	233,418,156	2.1E-09	-	9.9E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.6E-12	3.8E-10	10.2	0.00	7.5E-11	4.2E-12	2.5E-10	7.7	69%	76%
Plant 40	0	316,445,580	1.6E-09	-	7.3E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.7E-10	10.1	0.01	7.4E-11	4.2E-12	2.5E-10	7.8	72%	77%
Plant 41	0	354,121,020	1.4E-09	-	6.5E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.5E-10	9.9	0.01	7.7E-11	4.3E-12	2.6E-10	7.7	74%	78%
Plant 42	0	204,025,854	2.5E-09	-	1.1E-08	13.0	0.01	1.1E-10	3.8E-12	3.8E-10	10.0	0.00	7.6E-11	4.4E-12	2.5E-10	7.6	66%	76%
Plant 43	0	131,011,380	3.8E-09	-	1.8E-08	13.0	0.01	1.2E-10	3.6E-12	3.8E-10	10.2	0.00	8.0E-11	4.1E-12	2.6E-10	7.9	66%	78%
Plant 44	0	370,142,976	1.4E-09	-	6.2E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.4E-12	3.6E-10	10.3	0.01	7.4E-11	4.2E-12	2.5E-10	7.7	70%	75%
Plant 45	0	345,166,080	1.4E-09	-	6.7E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.5E-10	9.9	0.01	7.4E-11	4.2E-12	2.5E-10	7.7	74%	77%
Plant 46	0	354,816,891	1.4E-09	-	6.5E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.7E-12	3.6E-10	9.9	0.01	7.6E-11	4.1E-12	2.5E-10	7.8	73%	79%
Plant 47	0	363,692,175	1.4E-09	-	6.3E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.6E-12	3.8E-10	10.1	0.01	7.3E-11	4.1E-12	2.5E-10	7.8	69%	77%
Plant 48	0	169,927,296	2.9E-09	-	1.4E-08	13.0	0.01	1.1E-10	3.7E-12	3.7E-10	10.0	0.00	8.0E-11	4.3E-12	2.6E-10	7.8	74%	77%
Plant 49	0	357,792,954	1.4E-09	-	6.4E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.0	0.01	7.5E-11	4.3E-12	2.5E-10	7.7	74%	76%

\*1: ゼロ件故障には0.5件を仮定

\*2: EF<sup>2</sup>=95%値/5%値 ただし、古典統計におけるゼロ件故障事象に対してはEF=13とした。

\*3: 感度解析/ベースケース

\*4: 平均値

\*5: 90%信頼区間

表 9-9(3) 非常用 DG 起動失敗 ベースケース及びケース 3 比較 ( デマンド故障確率 )

ユニット	観測件数 [件]	総デマンド回数	古典統計				ベイズ統計 ベースケース						ベイズ統計 ケース3					
			点推定値 <sup>*1</sup> [1/d]	下限値 <sup>*5</sup> [1/d]	上限値 <sup>*5</sup> [1/d]	EF <sup>*2</sup>	故障件数 推定値 <sup>*1</sup> [件]	平均値 [1/d]	5% 値 [1/d]	95% 値 [1/d]	EF <sup>*2</sup>	故障件数 推定値 <sup>*1</sup> [件]	平均値 [1/d]	5% 値 [1/d]	95% 値 [1/d]	EF <sup>*2</sup>	平均値 <sup>*3</sup>	EF比 <sup>*3</sup>
一般故障率	19	42,332	4.5E-04	2.9E-04	6.6E-04	1.5	48.9	1.5E-03	6.3E-05	4.3E-03	8.3	25.7	8.2E-04	2.8E-05	2.4E-03	9.3	56%	112%
Plant 01	0	595	8.4E-04	-	3.9E-03	13.0	0.3	9.0E-04	5.1E-05	2.6E-03	7.1	0.1	4.6E-04	2.3E-05	1.4E-03	7.7	51%	108%
Plant 02	0	628	8.0E-04	-	3.7E-03	13.0	0.3	8.8E-04	4.9E-05	2.5E-03	7.2	0.1	4.5E-04	2.3E-05	1.4E-03	7.7	52%	108%
Plant 03	0	601	8.3E-04	-	3.8E-03	13.0	0.3	9.0E-04	5.0E-05	2.6E-03	7.2	0.1	4.6E-04	2.3E-05	1.3E-03	7.7	51%	106%
Plant 04	0	672	7.4E-04	-	3.4E-03	13.0	0.4	8.7E-04	4.9E-05	2.5E-03	7.1	0.1	4.4E-04	2.3E-05	1.3E-03	7.6	51%	107%
Plant 05	0	663	7.5E-04	-	3.5E-03	13.0	0.4	8.8E-04	5.1E-05	2.5E-03	7.0	0.1	4.5E-04	2.3E-05	1.3E-03	7.6	51%	108%
Plant 06	0	723	6.9E-04	-	3.2E-03	13.0	0.4	8.5E-04	4.8E-05	2.4E-03	7.1	0.1	4.4E-04	2.3E-05	1.3E-03	7.6	51%	106%
Plant 07	2	755	2.6E-03	4.7E-04	8.3E-03	4.2	3.3	3.0E-03	6.0E-04	8.5E-03	3.8	2.3	1.7E-03	3.3E-04	4.7E-03	3.8	56%	100%
Plant 08	1	695	1.4E-03	7.4E-05	6.8E-03	9.6	1.7	1.8E-03	2.7E-04	5.2E-03	4.4	1.2	9.8E-04	1.4E-04	2.8E-03	4.5	54%	102%
Plant 09	0	573	8.7E-04	-	4.0E-03	13.0	0.3	9.0E-04	5.1E-05	2.6E-03	7.1	0.1	4.7E-04	2.3E-05	1.4E-03	7.8	52%	110%
Plant 10	0	584	8.6E-04	-	3.9E-03	13.0	0.3	9.0E-04	5.0E-05	2.6E-03	7.2	0.1	4.6E-04	2.3E-05	1.4E-03	7.7	51%	107%
Plant 11	2	638	3.1E-03	5.6E-04	9.9E-03	4.2	3.2	3.4E-03	6.3E-04	9.7E-03	3.9	2.3	1.9E-03	3.5E-04	5.3E-03	3.9	56%	99%
Plant 12	0	474	1.1E-03	-	4.9E-03	13.0	0.3	9.3E-04	5.1E-05	2.7E-03	7.3	0.1	4.9E-04	2.3E-05	1.5E-03	7.9	52%	109%
Plant 13	0	359	1.4E-03	-	6.4E-03	13.0	0.2	9.9E-04	5.4E-05	2.9E-03	7.3	0.0	5.1E-04	2.4E-05	1.6E-03	8.1	52%	111%
Plant 14	0	324	1.5E-03	-	7.1E-03	13.0	0.2	1.0E-03	5.4E-05	3.0E-03	7.4	0.0	5.2E-04	2.5E-05	1.6E-03	8.0	51%	108%
Plant 15	1	508	2.0E-03	1.0E-04	9.3E-03	9.6	1.6	2.1E-03	2.9E-04	6.3E-03	4.7	1.1	1.1E-03	1.5E-04	3.4E-03	4.8	54%	102%
Plant 16	0	419	1.2E-03	-	5.5E-03	13.0	0.3	9.7E-04	5.1E-05	2.8E-03	7.5	0.1	5.0E-04	2.4E-05	1.5E-03	7.9	52%	107%
Plant 17	1	477	2.1E-03	1.1E-04	9.9E-03	9.6	1.6	2.1E-03	2.9E-04	6.5E-03	4.7	1.1	1.2E-03	1.5E-04	3.6E-03	4.9	55%	103%
Plant 18	0	554	9.0E-04	-	4.2E-03	13.0	0.3	9.1E-04	5.1E-05	2.6E-03	7.2	0.1	4.7E-04	2.3E-05	1.4E-03	7.8	51%	108%
Plant 19	0	346	1.4E-03	-	6.7E-03	13.0	0.2	9.9E-04	5.4E-05	2.9E-03	7.4	0.0	5.2E-04	2.5E-05	1.6E-03	8.0	52%	108%
Plant 20	1	414	2.4E-03	1.2E-04	1.1E-02	9.6	1.6	2.3E-03	3.1E-04	7.0E-03	4.8	1.1	1.2E-03	1.6E-04	3.8E-03	5.0	54%	104%
Plant 21	0	456	1.1E-03	-	5.0E-03	13.0	0.3	9.5E-04	5.3E-05	2.8E-03	7.3	0.1	4.8E-04	2.4E-05	1.5E-03	7.8	51%	107%
Plant 22	0	280	1.8E-03	-	8.2E-03	13.0	0.2	1.0E-03	5.5E-05	3.1E-03	7.5	0.0	5.4E-04	2.5E-05	1.7E-03	8.2	51%	109%
Plant 23	0	542	9.2E-04	-	4.3E-03	13.0	0.3	9.2E-04	5.1E-05	2.6E-03	7.2	0.1	4.7E-04	2.4E-05	1.4E-03	7.7	51%	107%
Plant 24	0	354	1.4E-03	-	6.5E-03	13.0	0.2	1.0E-03	5.5E-05	3.0E-03	7.4	0.0	5.1E-04	2.5E-05	1.6E-03	8.0	51%	107%
Plant 25	0	697	7.2E-04	-	3.3E-03	13.0	0.4	8.6E-04	4.9E-05	2.5E-03	7.1	0.1	4.4E-04	2.3E-05	1.3E-03	7.6	51%	106%
Plant 26	2	513	3.9E-03	6.9E-04	1.2E-02	4.2	3.1	3.8E-03	6.7E-04	1.1E-02	4.1	2.3	2.2E-03	3.7E-04	6.2E-03	4.1	57%	100%
Plant 27	0	298	1.7E-03	-	7.7E-03	13.0	0.2	1.0E-03	5.6E-05	3.1E-03	7.4	0.0	5.3E-04	2.5E-05	1.6E-03	8.2	52%	110%
Plant 28	0	258	1.9E-03	-	8.9E-03	13.0	0.2	1.1E-03	5.5E-05	3.2E-03	7.6	0.0	5.5E-04	2.5E-05	1.7E-03	8.2	52%	108%
Plant 29	0	1,015	4.9E-04	-	2.3E-03	13.0	0.5	7.9E-04	4.7E-05	2.2E-03	6.9	0.1	4.0E-04	2.1E-05	1.1E-03	7.3	50%	106%
Plant 30	0	1,178	4.2E-04	-	2.0E-03	13.0	0.6	7.7E-04	4.5E-05	2.1E-03	6.9	0.1	3.8E-04	2.1E-05	1.1E-03	7.2	50%	105%
Plant 31	0	1,429	3.5E-04	-	1.6E-03	13.0	0.7	7.2E-04	4.3E-05	2.0E-03	6.8	0.1	3.6E-04	2.0E-05	1.0E-03	7.2	50%	105%
Plant 32	0	1,358	3.7E-04	-	1.7E-03	13.0	0.6	7.4E-04	4.5E-05	2.0E-03	6.7	0.1	3.6E-04	2.0E-05	1.0E-03	7.2	50%	107%
Plant 33	0	1,300	3.8E-04	-	1.8E-03	13.0	0.6	7.5E-04	4.4E-05	2.1E-03	6.9	0.1	3.7E-04	2.0E-05	1.1E-03	7.2	49%	104%
Plant 34	1	1,149	8.7E-04	4.5E-05	4.1E-03	9.6	2.0	1.5E-03	2.3E-04	3.9E-03	4.1	1.2	7.7E-04	1.2E-04	2.1E-03	4.2	53%	102%
Plant 35	0	1,125	4.4E-04	-	2.0E-03	13.0	0.6	7.8E-04	4.6E-05	2.2E-03	6.9	0.1	3.9E-04	2.0E-05	1.1E-03	7.3	50%	107%
Plant 36	2	1,612	1.2E-03	2.2E-04	3.9E-03	4.2	3.9	2.0E-03	4.5E-04	5.0E-03	3.3	2.4	1.1E-03	2.5E-04	2.6E-03	3.2	54%	97%
Plant 37	0	1,730	2.9E-04	-	1.3E-03	13.0	0.8	6.9E-04	4.1E-05	1.9E-03	6.8	0.2	3.4E-04	1.9E-05	9.5E-04	7.1	49%	105%
Plant 38	0	1,120	4.5E-04	-	2.1E-03	13.0	0.6	7.8E-04	4.5E-05	2.2E-03	7.0	0.1	3.9E-04	2.0E-05	1.1E-03	7.3	50%	106%
Plant 39	3	984	3.0E-03	8.3E-04	7.9E-03	3.1	5.2	3.8E-03	8.6E-04	1.0E-02	3.4	3.6	2.2E-03	5.0E-04	5.5E-03	3.3	57%	97%
Plant 40	0	1,786	2.8E-04	-	1.3E-03	13.0	0.8	6.9E-04	4.2E-05	1.9E-03	6.7	0.2	3.3E-04	1.9E-05	9.4E-04	7.1	49%	107%
Plant 41	1	1,997	5.0E-04	2.6E-05	2.4E-03	9.6	2.4	1.1E-03	1.9E-04	2.9E-03	3.9	1.3	5.9E-04	9.4E-05	1.5E-03	4.0	51%	101%
Plant 42	0	535	9.3E-04	-	4.3E-03	13.0	0.3	9.2E-04	5.1E-05	2.7E-03	7.2	0.1	4.7E-04	2.3E-05	1.4E-03	7.8	51%	108%
Plant 43	0	343	1.5E-03	-	6.7E-03	13.0	0.2	1.0E-03	5.3E-05	3.0E-03	7.5	0.0	5.2E-04	2.4E-05	1.6E-03	8.1	52%	108%
Plant 44	0	2,038	2.5E-04	-	1.1E-03	13.0	0.9	6.6E-04	4.1E-05	1.8E-03	6.7	0.2	3.2E-04	1.8E-05	8.9E-04	7.0	49%	105%
Plant 45	0	1,928	2.6E-04	-	1.2E-03	13.0	0.8	6.7E-04	4.1E-05	1.8E-03	6.7	0.2	3.3E-04	1.9E-05	9.1E-04	6.9	49%	103%
Plant 46	1	1,944	5.1E-04	2.6E-05	2.4E-03	9.6	2.4	1.1E-03	1.9E-04	2.9E-03	4.0	1.3	5.9E-04	9.5E-05	1.5E-03	4.0	52%	99%
Plant 47	0	1,998	2.5E-04	-	1.2E-03	13.0	0.9	6.6E-04	4.1E-05	1.8E-03	6.7	0.2	3.2E-04	1.8E-05	8.9E-04	7.1	48%	106%
Plant 48	0	556	9.0E-04	-	4.1E-03	13.0	0.3	9.2E-04	5.0E-05	2.7E-03	7.3	0.1	4.7E-04	2.3E-05	1.4E-03	7.8	51%	107%
Plant 49	1	806	1.2E-03	6.4E-05	5.9E-03	9.6	1.8	1.7E-03	2.6E-04	4.9E-03	4.3	1.2	9.1E-04	1.3E-04	2.6E-03	4.5	53%	103%

\*1: ゼロ件故障には0.5件を仮定

\*2: EF=95%値/5%値 ただし、古典統計におけるゼロ件故障事象に対してはEF=13とした。

\*3: 感度解析/ベースケース

\*4: 平均値

\*5: 90%信頼区間

表 9-9(4) 逆止弁開失敗 ベースケース及びケース3 比較（デマンド故障確率）

		古典統計				ベイズ統計 ベースケース					ベイズ統計 ケース3							
ユニット	観測件数 [件]	総デマンド回数	点推定値 <sup>1</sup> [1/d]	下限値 <sup>5</sup> [1/d]	上限値 <sup>5</sup> [1/d]	EF <sup>2</sup>	故障件数 推定値 <sup>4</sup> [件]	平均値 [1/d]	5%値 [1/d]	95%値 [1/d]	EF <sup>2</sup>	故障件数 推定値 <sup>4</sup> [件]	平均値 [1/d]	5%値 [1/d]	95%値 [1/d]	EF <sup>2</sup>	平均値比 <sup>3</sup>	EF比 <sup>3</sup>
一般故障率	0	259336	1.9E-06	-	8.9E-06	13.0	1.01	9.4E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.3	0.31	6.3E-06	2.5E-07	1.6E-05	8.1	67%	78%
Plant 01	0	5,153	9.7E-05	-	4.5E-04	13.0	0.02	6.4E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.2	0.01	4.6E-06	2.4E-07	1.5E-05	7.9	71%	77%
Plant 02	0	7,310	6.8E-05	-	3.1E-04	13.0	0.03	6.1E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.0	0.01	4.5E-06	2.4E-07	1.5E-05	7.8	73%	78%
Plant 03	0	7,002	7.1E-05	-	3.3E-04	13.0	0.03	6.3E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.0	0.01	4.4E-06	2.4E-07	1.5E-05	7.8	70%	78%
Plant 04	0	7,819	6.4E-05	-	2.9E-04	13.0	0.03	6.3E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.1	0.01	4.4E-06	2.4E-07	1.5E-05	7.8	70%	77%
Plant 05	0	7,714	6.5E-05	-	3.0E-04	13.0	0.03	6.3E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.1	0.01	4.4E-06	2.4E-07	1.5E-05	7.8	70%	78%
Plant 06	0	9,043	5.5E-05	-	2.5E-04	13.0	0.04	6.2E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.0	0.01	4.3E-06	2.3E-07	1.4E-05	7.9	69%	79%
Plant 07	0	9,429	5.3E-05	-	2.4E-04	13.0	0.04	6.1E-06	2.2E-07	2.1E-05	9.9	0.01	4.3E-06	2.4E-07	1.4E-05	7.8	71%	79%
Plant 08	0	8,686	5.8E-05	-	2.7E-04	13.0	0.03	6.1E-06	2.1E-07	2.1E-05	10.1	0.01	4.4E-06	2.4E-07	1.5E-05	7.9	72%	78%
Plant 09	0	7,156	7.0E-05	-	3.2E-04	13.0	0.03	6.1E-06	2.1E-07	2.1E-05	10.1	0.01	4.5E-06	2.4E-07	1.5E-05	7.8	73%	78%
Plant 10	0	7,300	6.8E-05	-	3.2E-04	13.0	0.03	6.2E-06	2.1E-07	2.1E-05	10.0	0.01	4.4E-06	2.4E-07	1.5E-05	7.8	72%	79%
Plant 11	0	7,976	6.3E-05	-	2.9E-04	13.0	0.03	6.1E-06	2.1E-07	2.1E-05	10.0	0.01	4.4E-06	2.4E-07	1.5E-05	7.8	72%	78%
Plant 12	0	5,911	8.5E-05	-	3.9E-04	13.0	0.02	6.3E-06	2.2E-07	2.1E-05	9.9	0.01	4.5E-06	2.4E-07	1.5E-05	7.9	72%	79%
Plant 13	0	4,489	1.1E-04	-	5.1E-04	13.0	0.02	6.6E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.2	0.01	4.7E-06	2.5E-07	1.5E-05	7.9	71%	77%
Plant 14	0	4,048	1.2E-04	-	5.7E-04	13.0	0.02	6.7E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.1	0.01	4.7E-06	2.4E-07	1.5E-05	8.0	71%	78%
Plant 15	0	6,354	7.9E-05	-	3.6E-04	13.0	0.02	6.2E-06	2.1E-07	2.1E-05	10.0	0.01	4.5E-06	2.4E-07	1.5E-05	7.9	73%	79%
Plant 16	0	10,658	4.7E-05	-	2.2E-04	13.0	0.04	6.0E-06	2.1E-07	2.1E-05	9.9	0.01	4.3E-06	2.4E-07	1.4E-05	7.8	70%	79%
Plant 17	0	12,219	4.1E-05	-	1.9E-04	13.0	0.04	5.9E-06	2.1E-07	2.1E-05	9.9	0.01	4.2E-06	2.3E-07	1.4E-05	7.8	71%	78%
Plant 18	0	6,042	8.3E-05	-	3.8E-04	13.0	0.02	6.3E-06	2.2E-07	2.1E-05	9.9	0.01	4.5E-06	2.4E-07	1.5E-05	7.9	72%	80%
Plant 19	0	3,785	1.3E-04	-	6.1E-04	13.0	0.02	6.8E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.3	0.00	4.7E-06	2.4E-07	1.5E-05	7.9	69%	77%
Plant 20	0	3,065	1.6E-04	-	7.5E-04	13.0	0.01	6.8E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.1	0.00	4.8E-06	2.4E-07	1.5E-05	8.0	70%	79%
Plant 21	0	7,355	6.8E-05	-	3.1E-04	13.0	0.03	6.2E-06	2.2E-07	2.1E-05	10.0	0.01	4.4E-06	2.5E-07	1.5E-05	7.7	71%	77%
Plant 22	0	2,483	2.0E-04	-	9.3E-04	13.0	0.01	7.0E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.3	0.00	4.9E-06	2.5E-07	1.6E-05	8.0	71%	77%
Plant 23	0	9,709	5.1E-05	-	2.4E-04	13.0	0.03	5.9E-06	2.1E-07	2.1E-05	9.9	0.01	4.3E-06	2.4E-07	1.4E-05	7.7	73%	78%
Plant 24	0	7,953	6.3E-05	-	2.9E-04	13.0	0.03	6.1E-06	2.1E-07	2.1E-05	10.0	0.01	4.4E-06	2.4E-07	1.5E-05	7.8	71%	77%
Plant 25	0	6,548	7.6E-05	-	3.5E-04	13.0	0.03	6.3E-06	2.2E-07	2.1E-05	10.0	0.01	4.5E-06	2.4E-07	1.5E-05	7.9	71%	79%
Plant 26	0	3,174	1.6E-04	-	7.3E-04	13.0	0.01	6.9E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.2	0.00	4.8E-06	2.4E-07	1.5E-05	7.9	69%	78%
Plant 27	0	1,376	3.6E-04	-	1.7E-03	13.0	0.01	7.4E-06	2.3E-07	2.3E-05	10.1	0.00	5.0E-06	2.4E-07	1.6E-05	8.0	68%	80%
Plant 28	0	1,202	4.2E-04	-	1.9E-03	13.0	0.01	7.5E-06	2.2E-07	2.4E-05	10.3	0.00	5.1E-06	2.5E-07	1.6E-05	7.9	68%	76%
Plant 29	0	2,964	1.7E-04	-	7.8E-04	13.0	0.01	7.0E-06	2.1E-07	2.3E-05	10.3	0.00	4.8E-06	2.4E-07	1.6E-05	8.1	69%	79%
Plant 30	0	3,122	1.6E-04	-	7.4E-04	13.0	0.01	6.9E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.2	0.00	4.8E-06	2.5E-07	1.6E-05	7.9	69%	78%
Plant 31	0	5,432	9.2E-05	-	4.2E-04	13.0	0.02	6.3E-06	2.2E-07	2.2E-05	9.9	0.01	4.6E-06	2.4E-07	1.5E-05	7.8	73%	79%
Plant 32	0	5,162	9.7E-05	-	4.5E-04	13.0	0.02	6.4E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.0	0.01	4.6E-06	2.5E-07	1.5E-05	7.8	71%	78%
Plant 33	0	4,941	1.0E-04	-	4.7E-04	13.0	0.02	6.5E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.1	0.01	4.7E-06	2.5E-07	1.5E-05	7.8	72%	77%
Plant 34	0	3,207	1.6E-04	-	7.2E-04	13.0	0.01	6.7E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.2	0.00	4.9E-06	2.5E-07	1.6E-05	7.9	72%	77%
Plant 35	0	3,098	1.6E-04	-	7.4E-04	13.0	0.01	6.6E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.1	0.00	4.8E-06	2.4E-07	1.5E-05	8.0	72%	79%
Plant 36	0	5,108	9.8E-05	-	4.5E-04	13.0	0.02	6.4E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.0	0.01	4.6E-06	2.4E-07	1.5E-05	7.9	72%	79%
Plant 37	0	5,462	9.2E-05	-	4.2E-04	13.0	0.02	6.3E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.1	0.01	4.6E-06	2.4E-07	1.5E-05	8.0	73%	79%
Plant 38	0	3,507	1.4E-04	-	6.6E-04	13.0	0.01	6.7E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.2	0.00	4.7E-06	2.4E-07	1.5E-05	8.0	70%	78%
Plant 39	0	3,080	1.6E-04	-	7.5E-04	13.0	0.01	6.8E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.1	0.00	4.8E-06	2.5E-07	1.5E-05	7.8	71%	78%
Plant 40	0	3,621	1.4E-04	-	6.4E-04	13.0	0.01	6.6E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.2	0.00	4.7E-06	2.4E-07	1.5E-05	8.0	71%	78%
Plant 41	0	4,037	1.2E-04	-	5.7E-04	13.0	0.02	6.5E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.2	0.01	4.7E-06	2.4E-07	1.5E-05	7.9	72%	77%
Plant 42	0	2,133	2.3E-04	-	1.1E-03	13.0	0.01	7.0E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.2	0.00	4.9E-06	2.5E-07	1.6E-05	8.0	70%	78%
Plant 43	0	1,358	3.7E-04	-	1.7E-03	13.0	0.01	7.4E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.2	0.00	5.1E-06	2.5E-07	1.6E-05	8.1	69%	79%
Plant 44	0	3,452	1.4E-04	-	6.7E-04	13.0	0.01	6.7E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.2	0.00	4.8E-06	2.4E-07	1.6E-05	8.1	72%	80%
Plant 45	0	3,254	1.5E-04	-	7.1E-04	13.0	0.01	6.7E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.2	0.00	4.8E-06	2.4E-07	1.5E-05	8.0	72%	78%
Plant 46	0	4,355	1.1E-04	-	5.3E-04	13.0	0.02	6.6E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.0	0.00	4.7E-06	2.4E-07	1.5E-05	7.9	71%	79%
Plant 47	0	4,498	1.1E-04	-	5.1E-04	13.0	0.02	6.7E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.2	0.01	4.8E-06	2.4E-07	1.5E-05	7.9	69%	77%
Plant 48	0	2,022	2.5E-04	-	1.1E-03	13.0	0.01	7.2E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.2	0.00	4.9E-06	2.5E-07	1.6E-05	7.9	68%	78%
Plant 49	0	4,560	1.1E-04	-	5.0E-04	13.0	0.02	6.5E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.1	0.01	4.6E-06	2.4E-07	1.5E-05	7.9	70%	78%

\*1:ゼロ件故障には0.5件を仮定

\*2:EF<sup>2</sup>=95%値/5%値 ただし、古典統計におけるゼロ件故障事象に対してはEF=13とした。

\*3:感度解析/ベースケース

\*4:平均値

\*5:90%信頼区間

#### 9.3.4 考察

感度解析ケース 1 では、故障率/故障確率の平均値及びエラーファクター $EF$  はベースケースと同程度となった。感度解析ケース 2 では、故障率/故障確率の平均値がベースケースの約 6 割～7 割となり、 $EF$  は同程度もしくは若干低下した。ケース 3 はケース 2 と同様な傾向を示した。

国内一般機器故障率/故障確率は、個別発電所機器故障率/故障確率のばらつきを表した母集団変動分布（の近似）であるため、国内一般機器故障率/故障確率を支配する個別発電所機器故障率/故障確率の挙動に焦点をあて考察する。

##### a) ケース 1

ベースケースと感度解析の個別発電所機器故障率/故障確率を比較すると、以下に示す傾向が認められた。

故障率/故障確率の平均値が減少かつ  $EF$  が増大するケース  
故障率/故障確率の平均値が増大かつ  $EF$  が減少するケース  
故障率/故障確率の平均値及び  $EF$  が増大するケース

観測件数  $Y$ 、故障件数  $X$  とし、 $Y=0$  と  $Y=3$  とした場合の故障件数  $X$  の不確実さ分布について別途簡易評価した結果を図 9-6、図 9-7 に示す（簡易評価の内容は附録 D 参照）。データ収集確率/故障確率分布の不確実さを小さくした本感度解析では、故障件数の不確実さは小さくなる。以下、図 9-6～図 9-7 に基づき、上記 及び の個別発電所機器故障率/故障確率の挙動について考察した。は と の要素が複合した効果と考えられる。

##### 1) 故障率/故障確率の平均値の減少及び $EF$ の増大効果

図 9-6、図 9-7 にて感度解析とベースケースの故障件数の平均値を比較すると、分布テール部の減少が顕著な感度解析の方が小さい。これにより、感度解析の個別発電所機器故障率/故障確率は小さく評価される。また、故障件数が低減すると、それにより計算される尤度関数の幅が広がるため、 $EF$  は増大する。

##### 2) 故障率/故障確率の平均値の増大及び $EF$ の減少効果

図 9-6、図 9-7 にて感度解析とベースケースの故障件数の最頻値を比較すると、感度解析の方が大きい。これにより、感度解析の個別発電所機器故障率/故障確率は大きく評価される。また、故障件数が増加すると、それにより計算される尤度関数の幅が狭くなるため、 $EF$  が減少する。この傾向は  $Y=3$  の方が大きい。

##### b) ケース 2

全発電所観測件数の和がゼロではない故障モード、すなわち電動ポンプ継続運転失敗及び非常用 DG 起動失敗では、 $EF$  はほぼ同程度となり、故障率平均値はベースケースの約 6 割前後となった。これは、データ収集確率/故障確率の平均値の比に相当し、データ収集効率が增加する設定のため、故障件数が比較的小さく評価されることによる。

一方，全発電所観測件数の和がゼロである故障モード，すなわち制御ケーブル短絡及び逆止弁開失敗は，故障率/故障確率平均値はベースケースの約 7 割前後であり，前述の故障モードと同様な傾向にあり，一方， $EF$  は低下した。これは，データ収集効率が增加する設定のため，故障件数をゼロとしたケースが支配的となり，図 9-8 に示す故障件数  $X$  の不確実さ分布がゼロ付近に集中するため，結果として  $EF$  が小さくなったと考えられる。

c) ケース 3

ケース 1 とケース 2 の感度解析により，データ収集確率の分散の影響は比較的小さく，平均値の設定によって個別発電所機器故障率/故障確率が変動することが確認された。ケース 2 とケース 3 のデータ収集確率の平均値はほぼ同等であるため，ケース 3 の挙動はケース 2 と同様となった。

d) 感度解析のまとめ

本感度解析により，データ収集確率分布の設定が故障率に及ぼす影響を確認した。その結果，故障率/故障確率の大小は，データ収集確率の分散よりも平均値に大きく影響されることが確認できた。



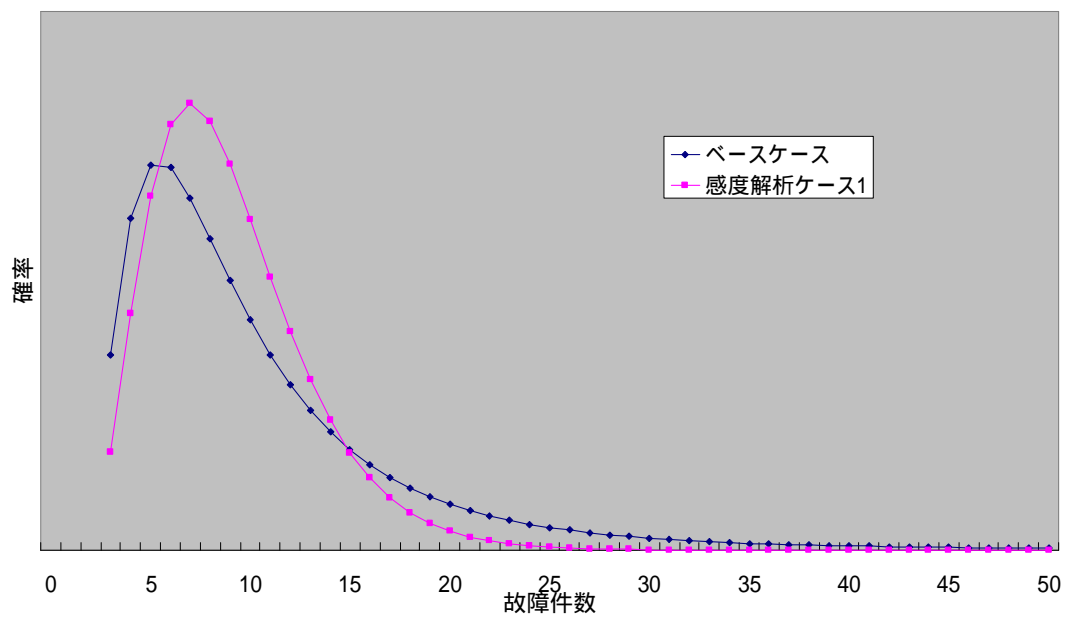


図 9-6 故障件数  $X$  の不確実さ分布（簡易評価）  
（観測件数  $Y=3$ ）

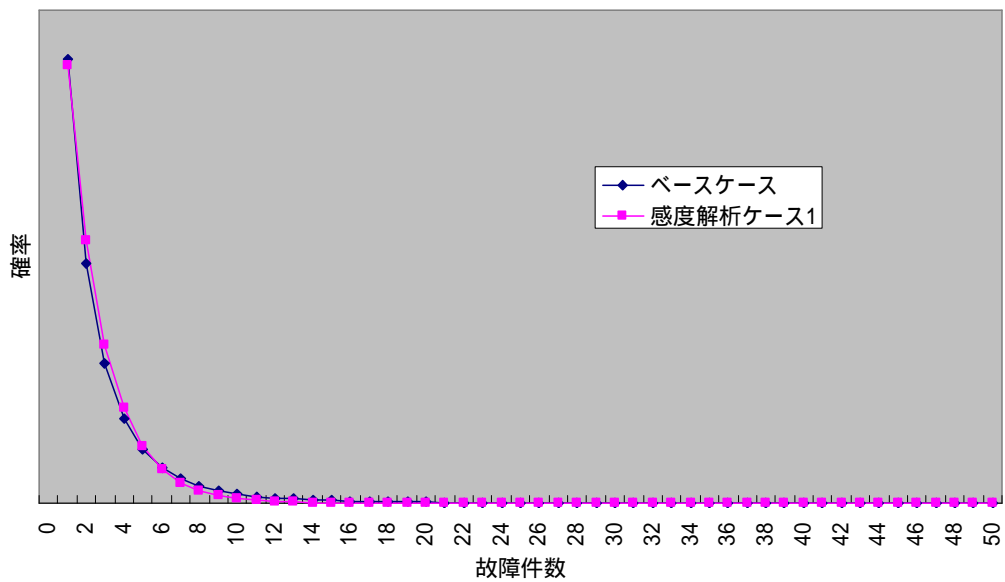


図 9-7 故障件数  $X$  の不確実さ分布（簡易評価）  
（観測件数  $Y=0$ ）

## 10 マルコフ連鎖モンテカルロ計算の収束確認

### 10.1 マルコフ連鎖モンテカルロ計算の収束確認方法の概要

マルコフ連鎖モンテカルロ (MCMC) 計算では、以下の 3 点について確認することが重要である。

#### a) 事後分布の収束確認 (分布への収束であって、値への収束ではない)

- 1) Brooks Gelman Rubin の方法 (WinBUGS<sup>[6]</sup>に実装されている機能): 異なる初期値を与えて複数連鎖で計算を行い、各連鎖内信用区間の平均と全連鎖の信用区間が安定しかつそれらの比が約 1 になることを確認する。分布が収束している例としていない例の典型的な様子を図 10-1 に示す。
- 2) Geweke の方法: マルコフ連鎖の前半と後半で違いがないことを統計的検定で確認する (e.g. 危険率 5% で有意差なし)。

他にもいくつか方法ある

#### b) 各変数の自己相関がほぼ 0 であることの確認

マルコフ連鎖では、現サンプル値は 2 回以上前のサンプル値の影響を受けない。しかし、自己相関が残る場合は局所的にしかサンプルできていないことになり、事後分布全体からのサンプルになっていない可能性がある。

そこで、自己相関のないサンプリングをするために、一定繰り返し回数おきに間引いてサンプリングする方法 (Thinning) や、複数サンプリング候補のうち前のサンプリング値と最も相関の低い値をサンプリングする方法 (over-relaxing) がある。

自己相関のある例とほばない例の典型的な様子を図 10-1 に示す。

ただし、自己相関があっても、Thinning 回数毎のサンプリングがそれぞれ同じ分布に収束していれば、全体のサンプリングも収束していることになる。例えば、下記の BUGS による  $\mu$  のサンプリング列

$\mu_0, \mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4, \mu_5, \mu_6, \mu_7, \mu_8, \mu_9, \mu_{10}, \mu_{11}, \mu_{12}, \mu_{13}, \mu_{14}, \mu_{15}, \mu_{16}, \mu_{17}, \mu_{18}, \dots$

に自己相関があり、thinning=5 で自己相関がなくなるとすると、Thinning した次の各サンプリング列

$\mu_0, \mu_5, \mu_{10}, \mu_{15}, \dots$

$\mu_1, \mu_6, \mu_{11}, \mu_{16}, \dots$

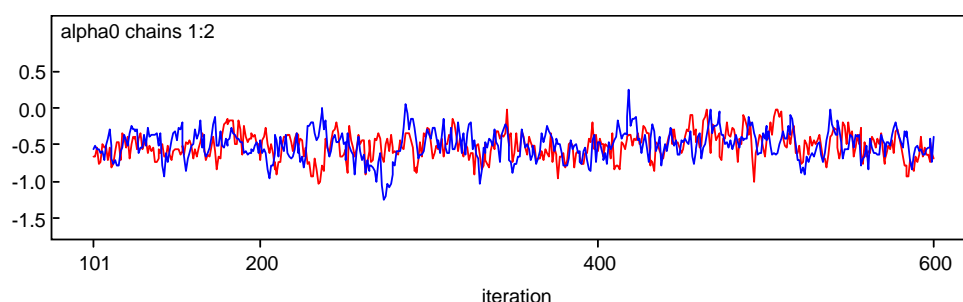
$\mu_2, \mu_7, \mu_{12}, \mu_{17}, \dots$

$\mu_3, \mu_8, \mu_{13}, \mu_{18}, \dots$

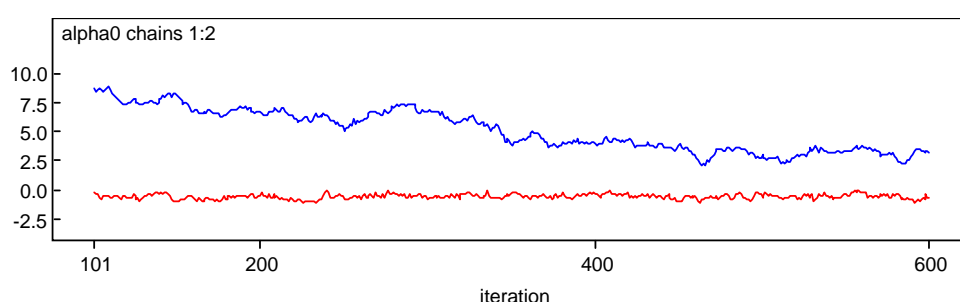
がどれも同じ分布 (平均, メジアン, 5% 点, 95% 点 etc. が同じになる) に収束していれば、もとの全体のサンプリング列もそれと同じ分布に収束していることになる。

#### c) 各統計量 (平均, メジアン, 5% 点, 95% 点 etc.) 推定値の精度確認

事後分布収束後、MC エラー 5% 以内 (この基準は理論的なものではなく慣習的な値である) を確認する。

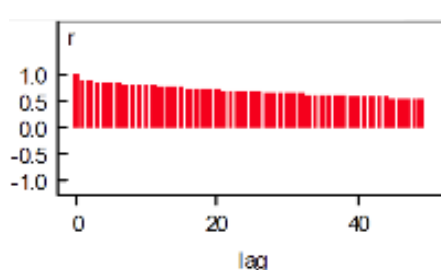


(a) 収束している例

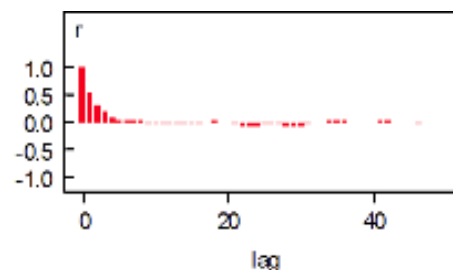


(b) 収束していない例

図 10-1 複数連鎖計算による事後分布収束の判断[WINBUGS Manualより]



(a) 自己相関がある例



(b) 自己相関がない例

図 10-2 自己相関の有無

## 10.2 国内一般機器故障率計算の収束性の確認

21 カ年データ報告書<sup>[4]</sup>では WinBUGS を使用して、MCMC による階層ベイズ手法で国内一般故障率並びにプラント固有故障率を求めている、得られた結果の妥当性を確認する一環として収束性と相関性について調べた。以下の確認例は 21 ケ年データを用いているが、26 ケ年データについても同様の確認を行なっている。

### a) 解析の収束性と相関性

収束性の確認のため、時間故障率（電動弁継続運転失敗及び制御ケーブル短絡）に対

しては7万回，デマンド故障確率（非常用 DG 起動失敗及び逆止弁開失敗）に対しては5万回の反復計算を実施し，解析の収束性と相関の有無を確認した。

Gelman and Rubin (1992) が提案し ,Brooks and Gelman (1998)が修正した収束判定の統計量を WinBUGS の bgr-diag コマンドでプロットした（chain 数は5とした）。

### 1) 電動弁継続運転失敗

図 10-3(1)に電動弁継続運転失敗の場合のハイパーパラメータの $\mu$ と $\sigma$ ，及び故障率 $\lambda$ の BGR 統計量を示す。ここで pooled（chain 間）が緑色，within（chain 内）が青色，それらの比  $R$  が赤色で示されている。 $R$  が 1 に（大体で 1.2 以下）に収束すれば，マルコフ chain は収束と見なせるが， $R$  が 1 に収束しているのが判る。

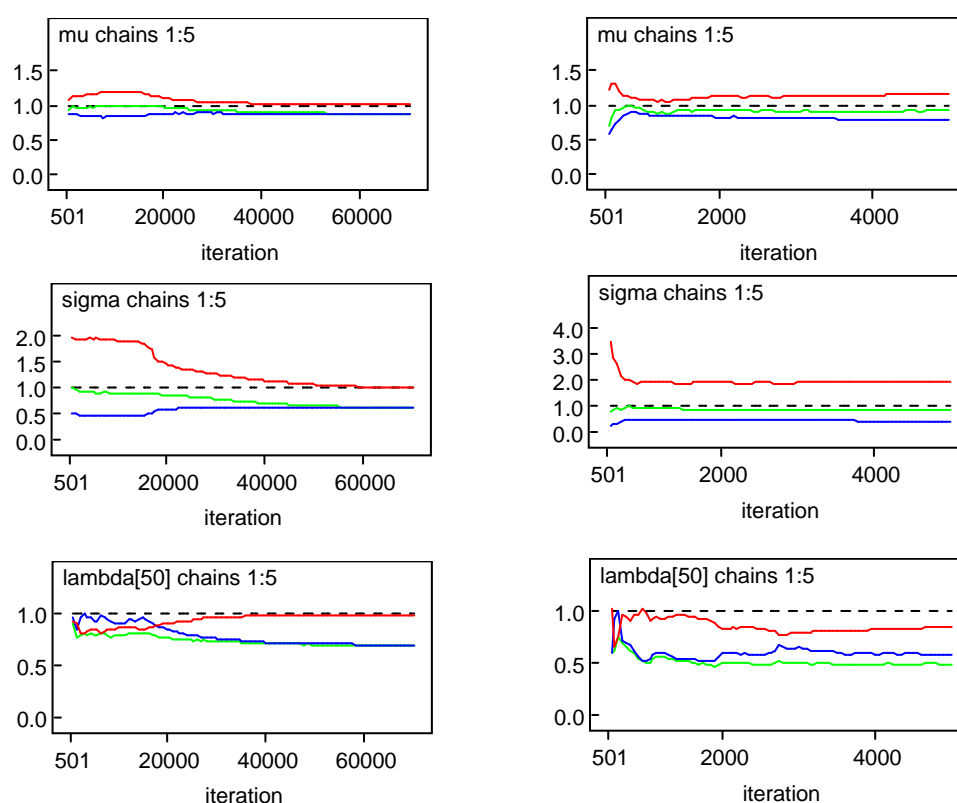


図 10-3(1) 電動弁継続運転失敗の $\mu$ と $\sigma$ ，及び故障率 $\lambda$ の BGR 統計量  
（左図は7万回までの収束過程，右図は5千回までの収束過程を拡大して示している）

図 10-3(2)に電動弁継続運転失敗の場合の自己相関を示す。

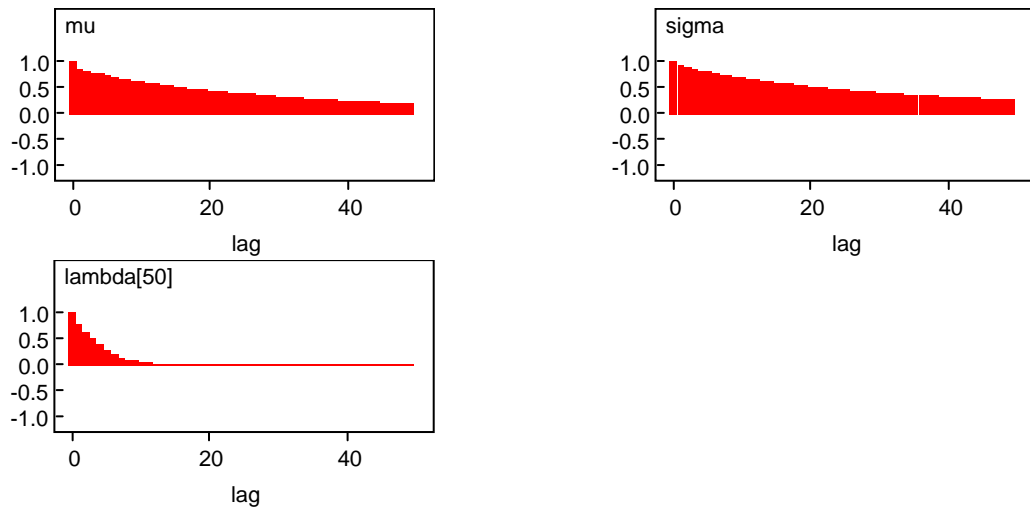


図 10-3(2) 電動弁継続運転失敗の自己相関

## 2) 制御ケーブル短絡

次に制御ケーブル短絡の場合のハイパーパラメータの $\mu$ と $\sigma$ , 及び故障率 $\lambda$ の BGR 統計量を図 10-3(3)示す。

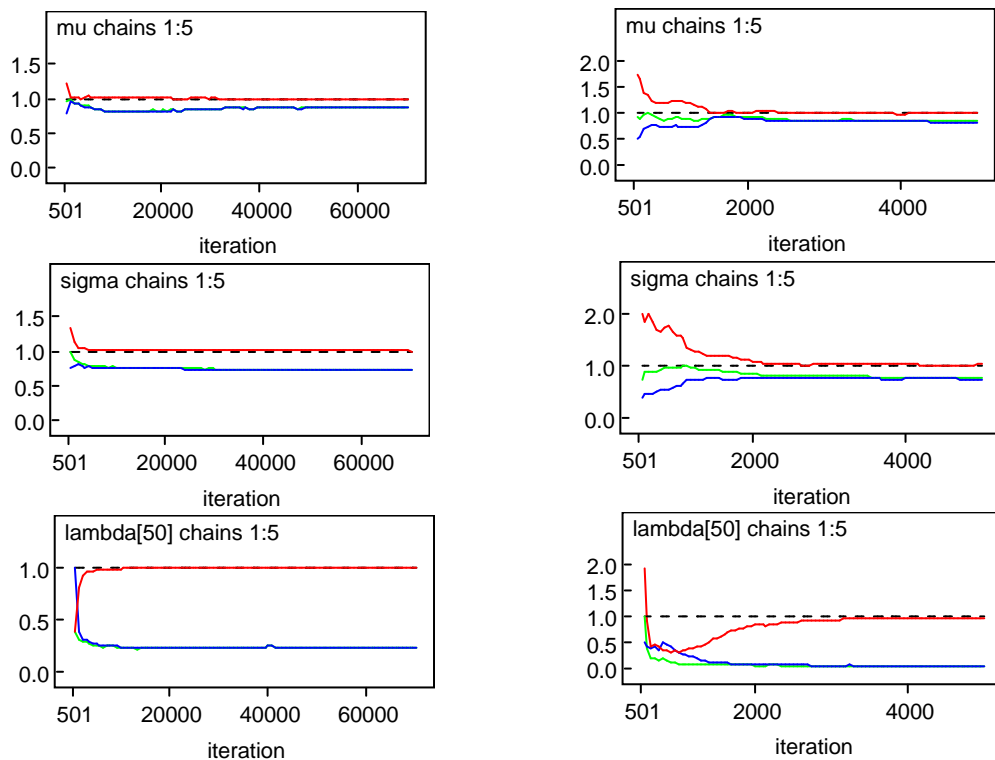


図 10-3(3) 制御ケーブル短絡の $\mu$ と $\sigma$ , 及び故障率 $\lambda$ の BGR 統計量

( 左図は 7 万回までの収束過程, 右図は 5 千回までの収束過程を拡大して示している )

図 10-3(4)に制御ケーブル短絡の場合の自己相関を示す。

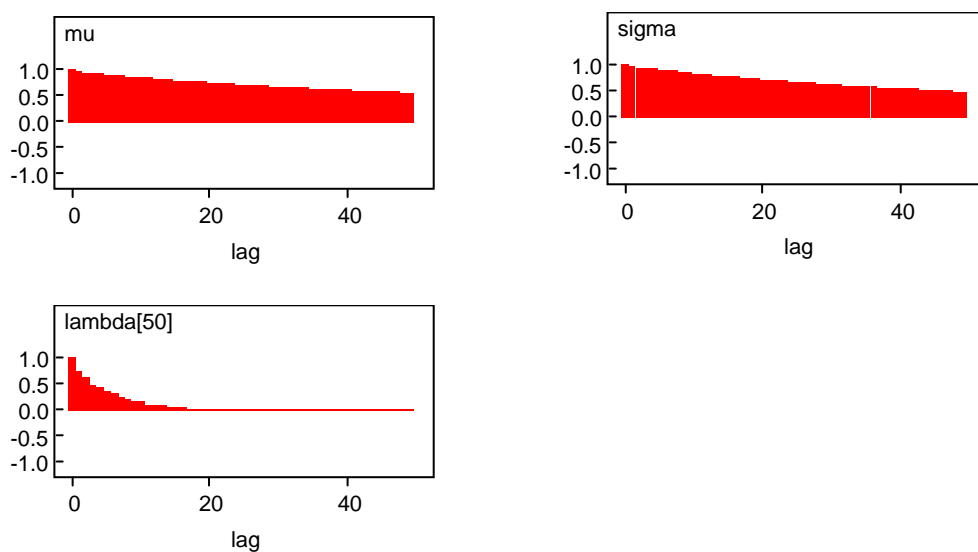


図 10-3(4) 制御ケーブル短絡の自己相関

### 3) 非常用 DG 起動失敗

次に非常用 DG 起動失敗の場合のハイパーパラメータの $\mu$ と $\sigma$ 、及び故障率 $\lambda(p)$ の BGR 統計量を図 10-3(5)示す。

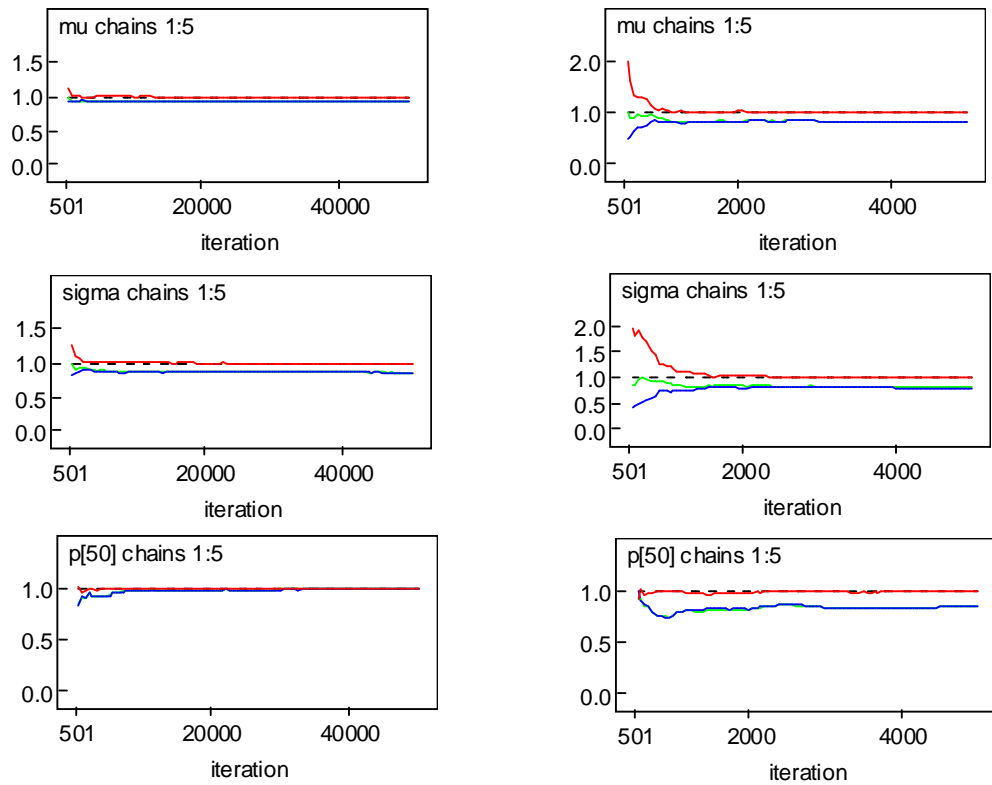


図 10-3(5) 非常用 DG 起動失敗の $\mu$ と $\sigma$ , 及び故障率 $\lambda$ の BGR 統計量  
(左図は 5 万回までの収束過程, 右図は 5 千回までの収束過程を拡大して示している)

図 10-3(6)に非常用 DG 起動失敗の場合の自己相関を示す。

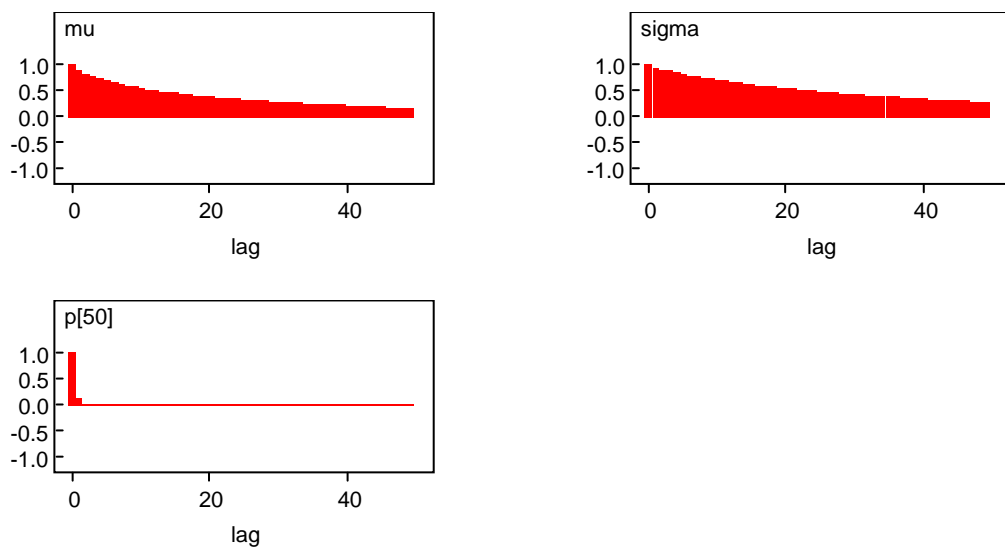


図 10-3(6) 非常用 DG 起動失敗の自己相関

#### 4) 逆止弁開失敗

次に逆止弁開失敗の場合のハイパーパラメータの $\mu$ と $\sigma$ 、及び故障率 $\lambda(p)$ の BGR 統計量を図 10-3(7)示す。

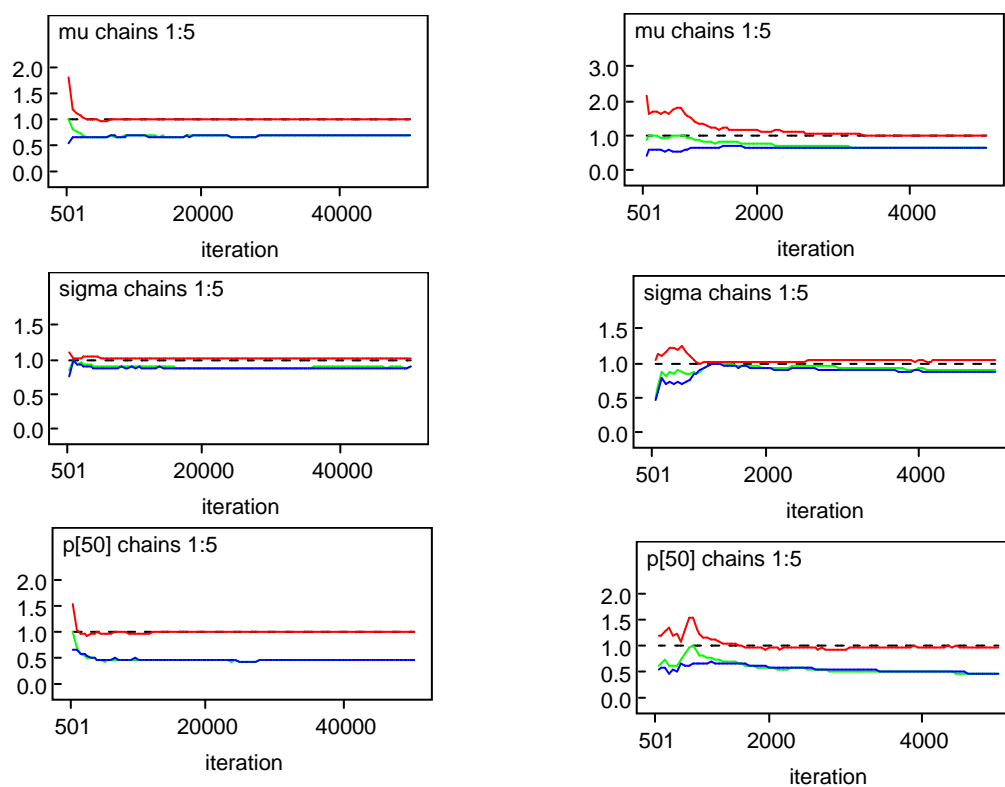


図 10-3(7) 逆止弁開失敗の $\mu$ と $\sigma$ 、及び故障率 $\lambda$ の BGR 統計量

( 左図は 5 万回までの収束過程，右図は 5 千回までの収束過程を拡大して示している )

図 10-3(8)に逆止弁開失敗の場合の自己相関を示す。



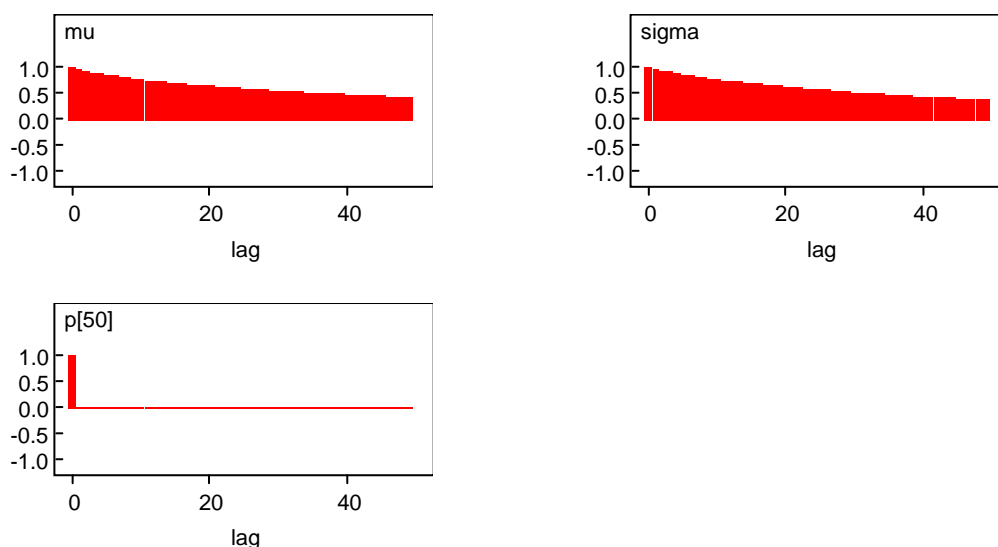


図 10-3(8) 逆止弁開失敗の自己相関

#### b) 収束性と相関性の結果

$R$  が 1 に収束するのに要する反復回数は電動ポンプ継続運転失敗では約 4 万回, 制御ケーブル短絡で約 4 千回, 非常用 DG 起動失敗で約 2 千回, 逆止弁開失敗では約 3 千回である。収束速度に差はあるが, バーンイン回数 (時間故障に対しては 7 万回, デマンド故障に対しては 5 万回) 後には十分に収束していると思なすことができる。

一方, 自己相関に対しては, 故障率については速やかに減少しており自己相関は弱い,  $\mu$ ,  $\sigma$  は少し自己相関が大きい。そこで,  $\mu$ ,  $\sigma$  の自己相関の影響を緩和した感度解析を実施し, 故障率の計算結果に影響があるかどうかを検討した。

### 10.3 自己相関の低減

#### 10.3.1 Thinning による自己相関の低減

自己相関を低減する確実な方法は Thinning (間引き) である。他にも事前分布の変更, 修正が考えられるが, ハイパー事前分布は一様分布のため, 変更する余地は余りない (変更すれば, サンプル結果も変わる) と考えられるので, 必要なサンプル数は増加するが, ここでは Thinning により自己相関を低減してサンプル結果を比較する。

Thinning による解析結果への影響を調べるために, 電動ポンプ継続運転失敗と制御ケーブル短絡, 非常用 DG 起動失敗及び逆止弁開失敗の 4 ケースについて,  $\text{thinning} = 1$  (ベースケース) と  $\text{thinning} = 10$  のサンプル結果のうち, 故障率, ハイパーパラメータ  $\mu$ ,  $\sigma$  について比較した。

##### a) 電動ポンプ継続運転失敗

電動ポンプ継続運転失敗のハイパーパラメータ  $\mu(\mu)$ ,  $\sigma(\sigma)$ , 時間故障率  $\lambda(\lambda)$  の自己相関を  $\text{thinning} = 1$  (間引きなし) と  $\text{thinning} = 10$  (10 回の反復毎に 1 回サンプリング) のケースで比較した (図 10-4(1))。自己相関が低減しているのがわかる。

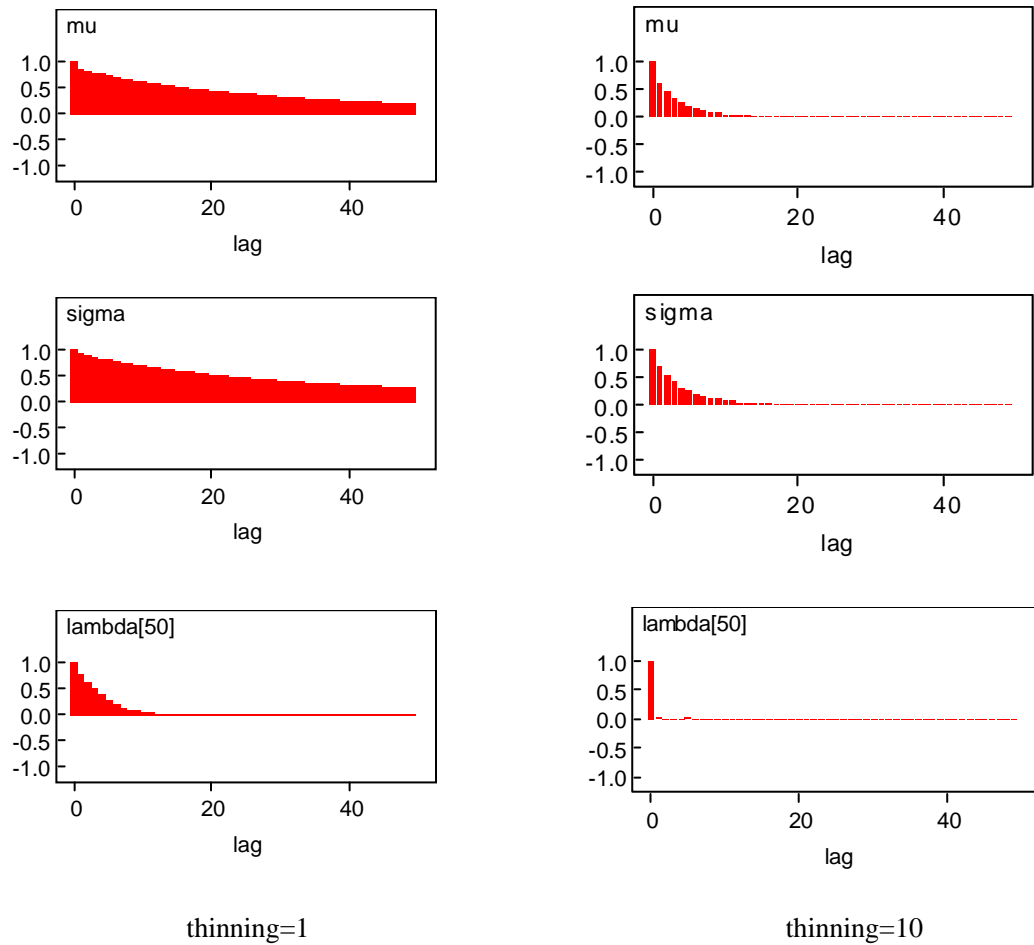


図 10-4(1) 自己相関に対する Thinning の影響（電動ポンプ継続運転失敗）

次に電動ポンプ継続運転失敗の時間故障率を  $\text{thinning}=1$  と  $\text{thinning}=10$  のケースで比較した（表 10-4(1)）。表に見られるように Thinning に因るサンプリング結果への差異はほとんど見られない。

表 10-4(1) 電動ポンプ継続運転失敗の時間故障率

プラント	故障 件数	延べ 運転 時間[h]	古典統計				ベイズ統計 (MCMC手法) ベースケース					ベイズ統計 (MCMC手法) thinning=10					平均 比 <sup>5</sup>	EF (近似) 比 <sup>6</sup>
			点推 定値 <sup>*1</sup> [1/h]	90%信頼区間		EF <sup>*2</sup> (近似)	真の故障 件数 推定値 <sup>*3</sup> [件]	平均値 [1/h]	5%点 [h]	95%点 [h]	EF <sup>*4</sup> (近似)	真の故障 件数 推定値 <sup>*3</sup> [件]	平均値 [1/h]	5%点 [h]	95%点 [h]	EF <sup>*4</sup> (近似)		
				下限値 [h]	上限値 [h]													
一般故障率	26	86663069	3.0E-07	2.1E-07	4.2E-07	1.4	66.5	8.9E-07	3.0E-08	2.8E-06	9.6	66.6	9.7E-07	2.9E-08	2.9E-06	9.9	109%	103%
plant01	1	1710086	5.8E-07	3.0E-08	2.8E-06	9.6	2.0	9.6E-07	1.3E-07	2.7E-06	4.5	2.0	9.5E-07	1.3E-07	2.7E-06	4.5	99%	100%
plant02	3	1831102	1.6E-06	4.5E-07	4.2E-06	3.1	5.4	2.3E-06	5.4E-07	5.9E-06	3.3	5.5	2.4E-06	5.5E-07	6.0E-06	3.3	101%	100%
plant03		1758330	2.8E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.4E-08	1.4E-06	7.5	0.5	4.5E-07	2.2E-08	1.4E-06	7.8	99%	104%
plant04	3	1959216	1.5E-06	4.2E-07	4.0E-06	3.1	5.5	2.2E-06	5.3E-07	5.6E-06	3.2	5.5	2.2E-06	5.3E-07	5.6E-06	3.3	101%	100%
plant05		1930446	2.6E-07	-	1.2E-06	13.0	0.5	4.4E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.6	0.5	4.4E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.8	99%	101%
plant06	1	1950872	5.1E-07	2.6E-08	2.4E-06	9.6	2.1	8.9E-07	1.2E-07	2.5E-06	4.5	2.1	9.0E-07	1.2E-07	2.5E-06	4.5	101%	100%
plant07	3	2170215	1.4E-06	3.8E-07	3.6E-06	3.1	5.6	2.1E-06	5.1E-07	5.2E-06	3.2	5.6	2.1E-06	5.1E-07	5.2E-06	3.2	100%	100%
plant08	1	2137584	4.7E-07	2.4E-08	2.2E-06	9.6	2.1	8.6E-07	1.2E-07	2.3E-06	4.4	2.1	8.5E-07	1.2E-07	2.3E-06	4.4	100%	100%
plant09	1	1757776	5.7E-07	2.9E-08	2.7E-06	9.6	2.0	9.5E-07	1.3E-07	2.6E-06	4.5	2.0	9.5E-07	1.3E-07	2.7E-06	4.6	100%	101%
plant10		1801792	2.8E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.3E-08	1.3E-06	7.6	0.5	4.4E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.9	99%	104%
plant11		1968928	2.5E-07	-	1.2E-06	13.0	0.6	4.4E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.8	0.5	4.4E-07	2.1E-08	1.3E-06	7.8	99%	101%
plant12		1269940	3.9E-07	-	1.8E-06	13.0	0.4	4.9E-07	2.3E-08	1.5E-06	8.0	0.4	4.9E-07	2.3E-08	1.5E-06	8.1	99%	101%
plant13		968142	5.2E-07	-	2.4E-06	13.0	0.3	5.3E-07	2.4E-08	1.6E-06	8.1	0.3	5.2E-07	2.4E-08	1.6E-06	8.2	98%	101%
plant14		868784	5.8E-07	-	2.7E-06	13.0	0.3	5.4E-07	2.5E-08	1.7E-06	8.2	0.3	5.4E-07	2.4E-08	1.7E-06	8.3	100%	102%
plant15		1375752	3.6E-07	-	1.7E-06	13.0	0.4	4.8E-07	2.3E-08	1.5E-06	7.9	0.4	4.8E-07	2.3E-08	1.5E-06	8.0	99%	101%
plant16		1842320	2.7E-07	-	1.2E-06	13.0	0.5	4.4E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.7	0.5	4.4E-07	2.1E-08	1.3E-06	7.8	99%	102%
plant17	2	1869238	1.1E-06	1.9E-07	3.4E-06	4.2	3.7	1.6E-06	3.1E-07	4.1E-06	3.6	3.7	1.6E-06	3.1E-07	4.1E-06	3.6	101%	101%
plant18		1553524	3.2E-07	-	1.5E-06	13.0	0.5	4.7E-07	2.4E-08	1.4E-06	7.6	0.5	4.6E-07	2.3E-08	1.4E-06	7.9	100%	104%
plant19		1129040	4.4E-07	-	2.0E-06	13.0	0.4	5.0E-07	2.4E-08	1.6E-06	8.0	0.4	5.0E-07	2.4E-08	1.5E-06	8.1	100%	100%
plant20		1163536	4.3E-07	-	2.0E-06	13.0	0.4	5.0E-07	2.5E-08	1.5E-06	7.9	0.4	5.0E-07	2.3E-08	1.5E-06	8.1	99%	103%
plant21		1796970	2.8E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.3E-08	1.3E-06	7.5	0.5	4.5E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.8	99%	104%
plant22		816102	6.1E-07	-	2.8E-06	13.0	0.3	5.4E-07	2.5E-08	1.7E-06	8.1	0.3	5.5E-07	2.5E-08	1.7E-06	8.3	101%	103%
plant23		2218480	2.3E-07	-	1.0E-06	13.0	0.6	4.2E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.6	0.6	4.2E-07	2.1E-08	1.2E-06	7.8	99%	102%
plant24		1518048	3.3E-07	-	1.5E-06	13.0	0.5	4.7E-07	2.4E-08	1.4E-06	7.7	0.4	4.7E-07	2.2E-08	1.4E-06	8.0	99%	103%
plant25	3	1942080	1.5E-06	4.2E-07	4.0E-06	3.1	5.6	2.3E-06	5.4E-07	5.7E-06	3.3	5.6	2.3E-06	5.3E-07	5.7E-06	3.3	100%	100%
plant26	3	1966425	1.5E-06	4.2E-07	3.9E-06	3.1	5.5	2.2E-06	5.3E-07	5.6E-06	3.2	5.5	2.2E-06	5.3E-07	5.6E-06	3.3	100%	101%
plant27		1794367	2.8E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.8	0.5	4.4E-07	2.1E-08	1.3E-06	7.9	100%	102%
plant28		1531802	3.3E-07	-	1.5E-06	13.0	0.4	4.6E-07	2.3E-08	1.4E-06	7.7	0.5	4.6E-07	2.2E-08	1.4E-06	8.0	100%	103%
plant29		1961328	2.5E-07	-	1.2E-06	13.0	0.6	4.4E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.7	0.5	4.3E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.7	99%	101%
plant30		2154870	2.3E-07	-	1.1E-06	13.0	0.6	4.3E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.6	0.6	4.2E-07	2.1E-08	1.2E-06	7.7	99%	102%
plant31	2	2629386	7.6E-07	1.4E-07	2.4E-06	4.2	4.0	1.2E-06	2.7E-07	3.2E-06	3.5	4.0	1.3E-06	2.7E-07	3.2E-06	3.5	102%	100%
plant32	1	2198368	4.5E-07	2.3E-08	2.2E-06	9.6	2.1	8.4E-07	1.2E-07	2.3E-06	4.4	2.1	8.5E-07	1.2E-07	2.3E-06	4.4	100%	101%
plant33	1	2084288	4.8E-07	2.5E-08	2.3E-06	9.6	2.1	8.6E-07	1.2E-07	2.4E-06	4.4	2.1	8.7E-07	1.2E-07	2.4E-06	4.5	100%	101%
plant34		1782534	2.8E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.3E-08	1.3E-06	7.6	0.5	4.5E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.9	99%	104%
plant35		1748188	2.9E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.3E-08	1.4E-06	7.7	0.5	4.5E-07	2.1E-08	1.4E-06	8.0	100%	104%
plant36		1893165	2.6E-07	-	1.2E-06	13.0	0.5	4.4E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.6	0.5	4.4E-07	2.1E-08	1.3E-06	7.9	100%	103%
plant37		1762657	2.8E-07	-	1.3E-06	13.0	0.5	4.5E-07	2.2E-08	1.4E-06	7.8	0.5	4.5E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.9	99%	102%
plant38	1	1232868	8.1E-07	4.2E-08	3.8E-06	9.6	1.8	1.1E-06	1.4E-07	3.2E-06	4.8	1.8	1.1E-06	1.4E-07	3.3E-06	4.8	101%	101%
plant39		1082788	4.6E-07	-	2.1E-06	13.0	0.3	5.1E-07	2.5E-08	1.6E-06	8.0	0.3	5.1E-07	2.3E-08	1.6E-06	8.2	99%	102%
plant40		2296020	2.2E-07	-	1.0E-06	13.0	0.6	4.2E-07	2.2E-08	1.2E-06	7.5	0.6	4.1E-07	2.1E-08	1.2E-06	7.7	99%	103%
plant41		2569380	1.9E-07	-	9.0E-07	13.0	0.7	4.0E-07	2.1E-08	1.2E-06	7.5	0.7	4.0E-07	2.0E-08	1.2E-06	7.6	100%	102%
plant42		1014045	4.9E-07	-	2.3E-06	13.0	0.3	5.2E-07	2.6E-08	1.6E-06	7.9	0.3	5.2E-07	2.4E-08	1.6E-06	8.1	99%	103%
plant43		651150	7.7E-07	-	3.5E-06	13.0	0.2	5.8E-07	2.6E-08	1.8E-06	8.3	0.2	5.8E-07	2.5E-08	1.8E-06	8.6	99%	103%
plant44		2340934	2.1E-07	-	9.8E-07	13.0	0.6	4.1E-07	2.1E-08	1.2E-06	7.6	0.6	4.1E-07	2.0E-08	1.2E-06	7.7	99%	102%
plant45		2182970	2.3E-07	-	1.1E-06	13.0	0.6	4.2E-07	2.1E-08	1.2E-06	7.7	0.6	4.2E-07	2.1E-08	1.2E-06	7.8	101%	101%
plant46		2574429	1.9E-07	-	8.9E-07	13.0	0.7	4.0E-07	2.1E-08	1.2E-06	7.5	0.7	4.0E-07	2.0E-08	1.2E-06	7.7	100%	102%
plant47		2638825	1.9E-07	-	8.7E-07	13.0	0.7	4.0E-07	2.1E-08	1.2E-06	7.5	0.7	4.0E-07	2.0E-08	1.2E-06	7.6	100%	102%
plant48		1011472	4.9E-07	-	2.3E-06	13.0	0.3	5.1E-07	2.5E-08	1.6E-06	8.0	0.3	5.2E-07	2.4E-08	1.6E-06	8.2	101%	103%
plant49		2252507	2.2E-07	-	1.0E-06	13.0	0.6	4.2E-07	2.2E-08	1.3E-06	7.6	0.6	4.2E-07	2.0E-08	1.2E-06	7.8	98%	103%

- 注 \*1. 故障件数が0件のものは、0.5件として故障率の算出を行った。  
 \*2. EF<sup>2</sup>(近似)=上限値/下限値。但し故障件数が0の場合はEF=13とした。  
 \*3. 平均値  
 \*4. EF<sup>2</sup>(近似) = 9.5 %点 / 5 %点  
 \*5. 平均値 (感度解析) / 平均値 (ベースケース)  
 \*6. EF (感度解析) / EF (ベースケース)

## b) 制御ケーブル短絡

制御ケーブル短絡のハイパーパラメータ $\mu(\mu)$ 、 $\sigma(\sigma)$ 、時間故障率 $\lambda(\lambda)$ の自己相関を thinning=1 と thinning=10 のケースで比較した (図 10-4(2))。図に見られるように自己相関が低減しているのがわかる。

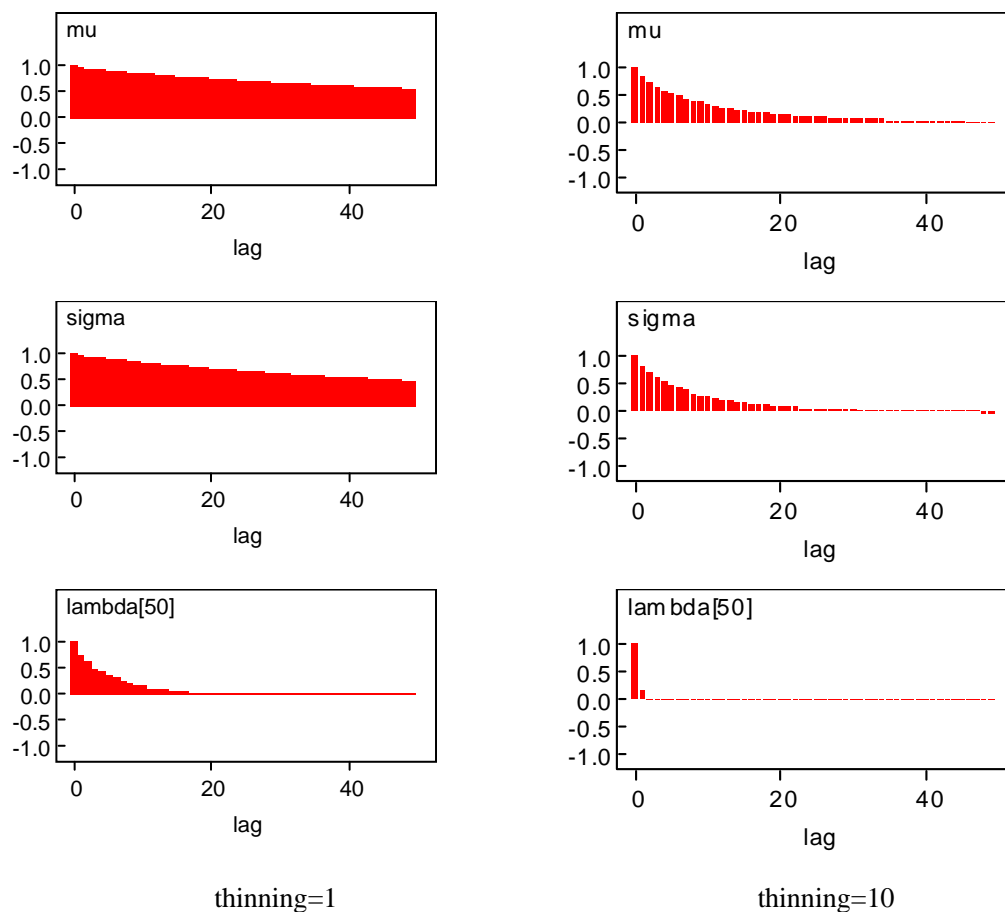


図 10-4(2) 自己相関に対する Thinning の影響 (制御ケーブル短絡)

次に制御ケーブル短絡の時間故障率を thinning=1 と thinning=10 のケースで比較した (表 10-4(2))。表に見られるように Thinning に因るサンプリング結果への差異はほとんど見られない。

表 10-4(2) 制御ケーブル短絡の時間故障率

プラント	故障 件数	延べ 運転 時間[h]	古典統計				ベイズ統計 (MCMC手法) ベースケース				ベイズ統計 (MCMC手法) thinning=10				平均 比 <sup>5</sup>	EF (近似) 比 <sup>6</sup>		
			点推 定値 <sup>*1</sup> [1/h]	90%信頼区間		EF <sup>2</sup> (近似)	真の故障 件数 推定値 <sup>*3</sup> [件]	平均値 [1/h]	5%点 [h]	95%点 [h]	EF <sup>4</sup> (近似)	真の故障 件数 推定値 <sup>*3</sup> [件]	平均値 [1/h]	5%点 [h]			95%点 [h]	EF <sup>4</sup> (近似)
				下限値 [h]	上限値 [h]													
一般故障率	0	14817099258	3.4E-11	-	1.6E-10	13.0	0.92	1.3E-10	3.8E-12	3.9E-10	10.2	0.95	1.3E-10	3.7E-12	3.9E-10	10.2	101%	101%
plant01		347391756	1.4E-09	-	6.6E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	9.9	0.02	1.0E-10	3.7E-12	3.6E-10	9.9	101%	99%
plant02		294415043	1.7E-09	-	7.8E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.4E-12	3.6E-10	10.3	0.02	1.1E-10	3.5E-12	3.6E-10	10.1	100%	98%
plant03		282714345	1.8E-09	-	8.1E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.7E-12	3.6E-10	9.9	0.02	1.1E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.1	102%	102%
plant04		315013944	1.6E-09	-	7.3E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.7E-12	3.6E-10	10.0	0.02	1.1E-10	3.7E-12	3.7E-10	9.9	106%	100%
plant05		310388139	1.6E-09	-	7.4E-09	13.0	0.02	9.9E-11	3.5E-12	3.6E-10	10.2	0.02	1.1E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.0	107%	99%
plant06		383903740	1.3E-09	-	6.0E-09	13.0	0.02	9.5E-11	3.3E-12	3.4E-10	10.1	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.0	108%	99%
plant07		398596155	1.3E-09	-	5.8E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.7E-12	3.5E-10	9.8	0.02	1.0E-10	3.7E-12	3.5E-10	9.8	103%	100%
plant08		368065245	1.4E-09	-	6.3E-09	13.0	0.02	9.9E-11	3.7E-12	3.6E-10	9.8	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.0	103%	101%
plant09		302667055	1.7E-09	-	7.6E-09	13.0	0.02	9.9E-11	3.6E-12	3.5E-10	9.8	0.02	1.1E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.0	106%	103%
plant10		310246060	1.6E-09	-	7.4E-09	13.0	0.02	9.8E-11	3.5E-12	3.4E-10	9.8	0.02	1.1E-10	3.7E-12	3.6E-10	9.9	110%	101%
plant11		339024790	1.5E-09	-	6.8E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.7E-12	3.7E-10	10.0	0.02	1.1E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.0	102%	101%
plant12		249906050	2.0E-09	-	9.2E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.1	0.02	1.1E-10	3.6E-12	3.7E-10	10.1	103%	101%
plant13		190516515	2.6E-09	-	1.2E-08	13.0	0.01	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.0	0.01	1.1E-10	3.8E-12	3.7E-10	9.9	108%	99%
plant14		170964280	2.9E-09	-	1.3E-08	13.0	0.01	1.0E-10	3.8E-12	3.6E-10	9.8	0.01	1.1E-10	3.7E-12	3.7E-10	10.1	105%	103%
plant15		270728340	1.8E-09	-	8.5E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.7E-12	3.7E-10	10.0	0.02	1.1E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.0	103%	101%
plant16		259191395	1.9E-09	-	8.9E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.7E-12	3.7E-10	10.0	0.02	1.1E-10	3.5E-12	3.7E-10	10.2	103%	102%
plant17		300546767	1.7E-09	-	7.7E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.7E-12	3.6E-10	9.9	0.02	1.1E-10	3.7E-12	3.7E-10	10.0	101%	100%
plant18		305711330	1.6E-09	-	7.5E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.6E-12	3.7E-10	10.1	0.02	1.1E-10	3.6E-12	3.7E-10	10.1	102%	100%
plant19		194406575	2.6E-09	-	1.2E-08	13.0	0.01	1.0E-10	3.5E-12	3.6E-10	10.1	0.01	1.1E-10	3.5E-12	3.7E-10	10.3	108%	101%
plant20		200346355	2.5E-09	-	1.1E-08	13.0	0.01	1.1E-10	3.7E-12	3.6E-10	9.8	0.01	1.1E-10	3.7E-12	3.7E-10	10.1	105%	102%
plant21		288927105	1.7E-09	-	8.0E-09	13.0	0.02	9.8E-11	3.5E-12	3.5E-10	9.9	0.02	1.1E-10	3.6E-12	3.7E-10	10.1	109%	102%
plant22		160597215	3.1E-09	-	1.4E-08	13.0	0.01	1.0E-10	3.8E-12	3.6E-10	9.8	0.01	1.1E-10	3.6E-12	3.7E-10	10.1	108%	103%
plant23		394334820	1.3E-09	-	5.8E-09	13.0	0.02	9.9E-11	3.6E-12	3.5E-10	10.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.0	104%	100%
plant24		298730160	1.7E-09	-	7.7E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.0	0.02	1.1E-10	3.7E-12	3.7E-10	10.0	101%	100%
plant25		382173600	1.3E-09	-	6.0E-09	13.0	0.02	9.4E-11	3.6E-12	3.4E-10	9.7	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.0	111%	103%
plant26		372834180	1.3E-09	-	6.2E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.7E-12	3.7E-10	10.0	0.02	1.0E-10	3.7E-12	3.6E-10	9.8	100%	98%
plant27		247305993	2.0E-09	-	9.3E-09	13.0	0.01	9.6E-11	3.6E-12	3.4E-10	9.8	0.02	1.1E-10	3.7E-12	3.6E-10	10.0	110%	102%
plant28		211118358	2.4E-09	-	1.1E-08	13.0	0.01	1.1E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.1	0.01	1.1E-10	3.6E-12	3.7E-10	10.0	104%	100%
plant29		287211969	1.7E-09	-	8.0E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.5E-10	9.9	0.02	1.1E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.1	103%	102%
plant30		280492245	1.8E-09	-	8.2E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.1	0.02	1.1E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.0	101%	99%
plant31		392654976	1.3E-09	-	5.9E-09	13.0	0.02	9.8E-11	3.6E-12	3.5E-10	9.9	0.03	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	9.9	105%	100%
plant32		369325824	1.4E-09	-	6.2E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.0	104%	100%
plant33		350160384	1.4E-09	-	6.6E-09	13.0	0.02	9.9E-11	3.6E-12	3.5E-10	9.9	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.0	106%	101%
plant34		368573184	1.4E-09	-	6.2E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	9.9	0.02	1.0E-10	3.5E-12	3.6E-10	10.1	101%	102%
plant35		361471488	1.4E-09	-	6.4E-09	13.0	0.02	9.8E-11	3.6E-12	3.5E-10	9.8	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.0	107%	102%
plant36		380904798	1.3E-09	-	6.0E-09	13.0	0.03	1.1E-10	3.7E-12	3.5E-10	9.9	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	9.9	96%	100%
plant37		409207602	1.2E-09	-	5.6E-09	13.0	0.02	9.8E-11	3.6E-12	3.5E-10	9.8	0.03	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.0	106%	102%
plant38		265771116	1.9E-09	-	8.7E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.5E-12	3.5E-10	10.0	0.02	1.1E-10	3.6E-12	3.7E-10	10.0	107%	100%
plant39		233418156	2.1E-09	-	9.9E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.6E-12	3.8E-10	10.2	0.02	1.1E-10	3.6E-12	3.7E-10	10.1	102%	99%
plant40		316445580	1.6E-09	-	7.3E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.7E-10	10.1	0.02	1.1E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.0	102%	99%
plant41		354121020	1.4E-09	-	6.5E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.5E-10	9.9	0.02	1.1E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.0	102%	102%
plant42		204025854	2.5E-09	-	1.1E-08	13.0	0.01	1.1E-10	3.8E-12	3.8E-10	10.0	0.01	1.1E-10	3.7E-12	3.7E-10	10.0	97%	101%
plant43		131011380	3.8E-09	-	1.8E-08	13.0	0.01	1.2E-10	3.6E-12	3.8E-10	10.2	0.01	1.2E-10	3.7E-12	3.8E-10	10.2	96%	100%
plant44		370142976	1.4E-09	-	6.2E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.4E-12	3.6E-10	10.3	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	9.9	98%	96%
plant45		345166080	1.4E-09	-	6.7E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.5E-10	9.9	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.0	103%	100%
plant46		354816891	1.4E-09	-	6.5E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.7E-12	3.6E-10	9.9	0.02	1.1E-10	3.7E-12	3.6E-10	9.9	102%	100%
plant47		363692175	1.4E-09	-	6.3E-09	13.0	0.02	1.1E-10	3.6E-12	3.8E-10	10.1	0.02	1.1E-10	3.7E-12	3.6E-10	9.9	100%	97%
plant48		169927296	2.9E-09	-	1.4E-08	13.0	0.01	1.1E-10	3.7E-12	3.7E-10	10.0	0.01	1.1E-10	3.7E-12	3.8E-10	10.1	106%	101%
plant49		357792954	1.4E-09	-	6.4E-09	13.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.0	0.02	1.0E-10	3.6E-12	3.6E-10	10.1	101%	100%

注 \* 1. 故障件数が 0 件のものは、0.5 件として故障率の算出を行った。

\* 2. EF<sup>2</sup> (近似) = 上限値 / 下限値。但し故障件数が 0 の場合は EF=13 とした。

\* 3. 平均値

\* 4. EF<sup>2</sup> (近似) = 9.5 % 点 / 5 % 点

\* 5. 平均値 (感度解析) / 平均値 (ベースケース)

\* 6. EF (感度解析) / EF (ベースケース)

c) 非常用 DG 起動失敗

非常用 DG 起動失敗のハイパーパラメータ $\mu(\mu)$  ,  $\sigma(\sigma)$  , デマンド故障確率  $p$  の自己相関を thinning=1 と thinning=10 のケースで比較した ( 図 10-4(3) )。図に見られるように自己相関が低減しているのがわかる。

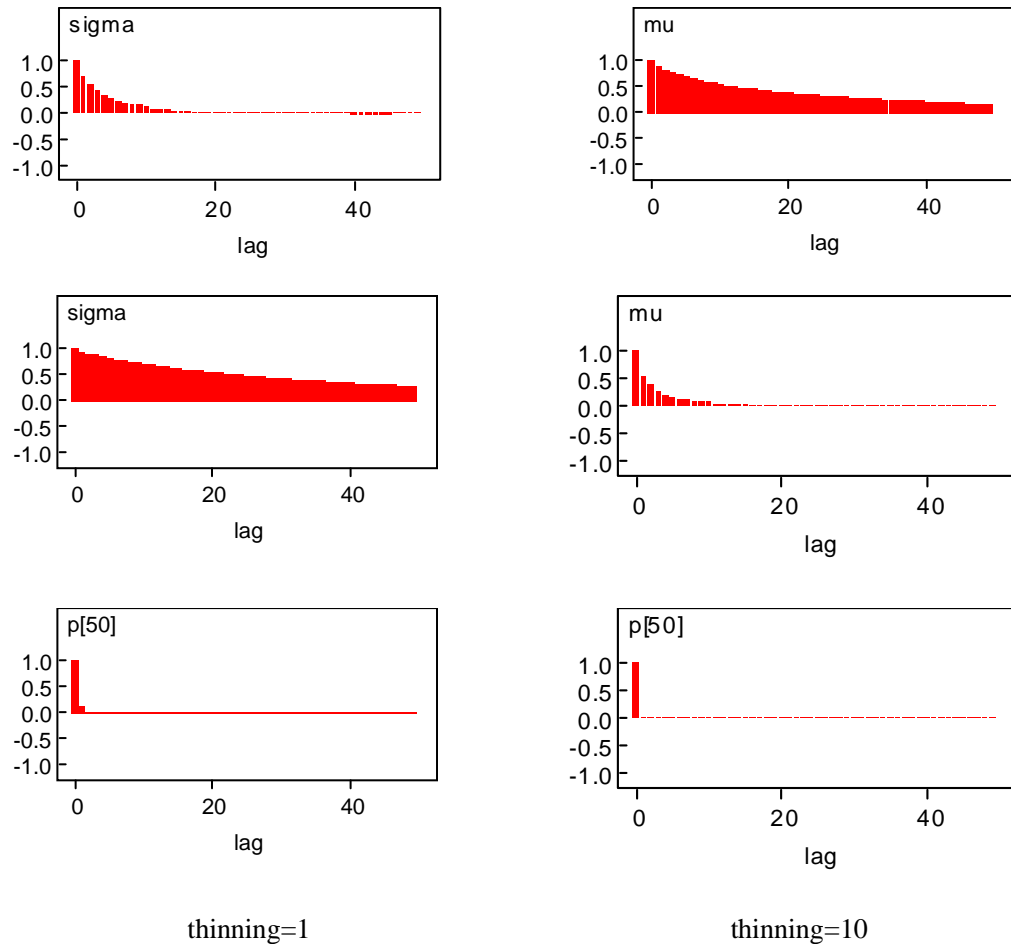


図 10-4(3) 自己相関に対する Thinning の影響 ( 非常用 DG 起動失敗 )

次に非常用 DG 起動失敗のデマンド故障確率を thinning=1 と thinning=10 のケースで比較した ( 表 10-4(3) )。表に見られるように Thinning に因るサンプリング結果への差異はほとんど見られない。

表 10-4(3) 非常用 DG 起動失敗のデマンド故障確率

ユニット	故障 件数	推定 総デマン ド回数	古典統計				ベイズ統計 (MCMC手法) 新モデル						ベイズ統計 (MCMC手法) thinning=10					
			点推 定値 <sup>1</sup> [1/D]	90%信頼区間 下限値 [D]	90%信頼区間 上限値 [D]	EF <sup>2</sup> (近似)	真の 故障件数 推定値 <sup>3</sup>	平均値 [1/D]	5%点 [D]	95%点 [D]	EF <sup>4</sup> (近似)	真の 故障件数 推定値 <sup>3</sup>	平均値 [1/D]	5%点 [D]	95%点 [D]	EF <sup>4</sup> (近似)	平均 比 <sup>5</sup>	EF (近似) 比 <sup>6</sup>
一般故障率	19	42332	4.5E-04	2.9E-04	6.6E-04	1.5	49.1	1.5E-03	6.9E-05	4.2E-03	7.8	49.0	1.5E-03	6.1E-05	4.3E-03	8.4	102%	108%
plant01		595	8.4E-04	-	3.9E-03	13.0	0.3	9.1E-04	5.5E-05	2.6E-03	6.8	0.3	9.0E-04	4.9E-05	2.6E-03	7.3	98%	107%
plant02		628	8.0E-04	-	3.7E-03	13.0	0.4	9.1E-04	5.5E-05	2.5E-03	6.8	0.4	8.9E-04	5.0E-05	2.6E-03	7.2	98%	105%
plant03		601	8.3E-04	-	3.8E-03	13.0	0.3	9.2E-04	5.4E-05	2.6E-03	6.9	0.3	8.9E-04	5.0E-05	2.6E-03	7.2	97%	104%
plant04		672	7.4E-04	-	3.4E-03	13.0	0.4	8.9E-04	5.5E-05	2.5E-03	6.7	0.4	8.7E-04	4.7E-05	2.5E-03	7.2	98%	107%
plant05		663	7.5E-04	-	3.5E-03	13.0	0.4	8.9E-04	5.4E-05	2.5E-03	6.8	0.4	8.8E-04	4.9E-05	2.5E-03	7.1	98%	105%
plant06		723	6.9E-04	-	3.2E-03	13.0	0.4	8.8E-04	5.4E-05	2.5E-03	6.7	0.4	8.6E-04	4.8E-05	2.5E-03	7.2	98%	106%
plant07	2	755	2.6E-03	4.7E-04	8.3E-03	4.2	3.3	2.9E-03	6.1E-04	8.3E-03	3.7	3.3	3.0E-03	6.0E-04	8.5E-03	3.8	104%	102%
plant08	1	695	1.4E-03	7.4E-05	6.8E-03	9.6	1.7	1.8E-03	2.8E-04	5.0E-03	4.2	1.8	1.8E-03	2.7E-04	5.3E-03	4.4	103%	105%
plant09		573	8.7E-04	-	4.0E-03	13.0	0.3	9.3E-04	5.5E-05	2.6E-03	6.9	0.3	9.1E-04	4.9E-05	2.6E-03	7.3	98%	106%
plant10		584	8.6E-04	-	3.9E-03	13.0	0.3	9.2E-04	5.5E-05	2.6E-03	6.8	0.3	9.0E-04	4.9E-05	2.6E-03	7.3	98%	107%
plant11	2	638	3.1E-03	5.6E-04	9.9E-03	4.2	3.2	3.2E-03	6.3E-04	9.7E-03	3.8	3.2	3.4E-03	6.3E-04	9.7E-03	3.9	104%	103%
plant12		474	1.1E-03	-	4.9E-03	13.0	0.3	9.5E-04	5.7E-05	2.7E-03	6.9	0.3	9.4E-04	4.9E-05	2.7E-03	7.5	98%	108%
plant13		359	1.4E-03	-	6.4E-03	13.0	0.2	1.0E-03	5.9E-05	2.9E-03	7.0	0.2	1.0E-03	5.3E-05	3.0E-03	7.5	99%	106%
plant14		324	1.5E-03	-	7.1E-03	13.0	0.2	1.0E-03	6.0E-05	2.9E-03	7.0	0.2	1.0E-03	5.4E-05	3.0E-03	7.5	100%	107%
plant15	1	508	2.0E-03	1.0E-04	9.3E-03	9.6	1.6	2.1E-03	3.0E-04	6.2E-03	4.5	1.6	2.1E-03	2.9E-04	6.4E-03	4.7	101%	103%
plant16		419	1.2E-03	-	5.5E-03	13.0	0.3	9.9E-04	5.8E-05	2.8E-03	6.9	0.3	9.6E-04	5.0E-05	2.8E-03	7.5	97%	108%
plant17	1	477	2.1E-03	1.1E-04	9.9E-03	9.6	1.6	2.1E-03	3.1E-04	6.3E-03	4.5	1.6	2.1E-03	3.0E-04	6.5E-03	4.7	102%	104%
plant18		554	9.0E-04	-	4.2E-03	13.0	0.3	9.3E-04	5.6E-05	2.6E-03	6.8	0.3	9.1E-04	4.9E-05	2.6E-03	7.3	98%	108%
plant19		346	1.4E-03	-	6.7E-03	13.0	0.2	1.0E-03	5.9E-05	2.9E-03	7.1	0.2	1.0E-03	5.3E-05	3.0E-03	7.5	99%	106%
plant20	1	414	2.4E-03	1.2E-04	1.1E-02	9.6	1.5	2.2E-03	3.2E-04	6.9E-03	4.7	1.6	2.3E-03	3.0E-04	7.0E-03	4.8	101%	103%
plant21		456	1.1E-03	-	5.0E-03	13.0	0.3	9.7E-04	5.8E-05	2.8E-03	6.9	0.3	9.5E-04	4.9E-05	2.8E-03	7.5	98%	110%
plant22		280	1.8E-03	-	8.2E-03	13.0	0.2	1.1E-03	6.0E-05	3.0E-03	7.1	0.2	1.0E-03	5.4E-05	3.1E-03	7.6	98%	106%
plant23		542	9.2E-04	-	4.3E-03	13.0	0.3	9.3E-04	5.5E-05	2.6E-03	6.9	0.3	9.2E-04	4.9E-05	2.7E-03	7.4	98%	107%
plant24		354	1.4E-03	-	6.5E-03	13.0	0.2	1.0E-03	6.0E-05	2.9E-03	7.0	0.2	9.9E-04	5.3E-05	2.9E-03	7.4	98%	107%
plant25		697	7.2E-04	-	3.3E-03	13.0	0.4	8.9E-04	5.5E-05	2.5E-03	6.7	0.4	8.7E-04	4.7E-05	2.5E-03	7.3	97%	109%
plant26	2	513	3.9E-03	6.9E-04	1.2E-02	4.2	3.1	3.7E-03	6.7E-04	1.1E-02	4.1	3.1	3.8E-03	6.7E-04	1.1E-02	4.1	103%	101%
plant27		298	1.7E-03	-	7.7E-03	13.0	0.2	1.0E-03	5.9E-05	3.0E-03	7.1	0.2	1.0E-03	5.3E-05	3.0E-03	7.6	99%	107%
plant28		258	1.9E-03	-	8.9E-03	13.0	0.2	1.1E-03	6.0E-05	3.1E-03	7.2	0.2	1.1E-03	5.3E-05	3.2E-03	7.7	99%	107%
plant29		1015	4.9E-04	-	2.3E-03	13.0	0.5	8.1E-04	5.1E-05	2.2E-03	6.6	0.5	7.9E-04	4.4E-05	2.2E-03	7.1	98%	108%
plant30		1178	4.2E-04	-	2.0E-03	13.0	0.6	8.0E-04	5.1E-05	2.1E-03	6.5	0.6	7.6E-04	4.4E-05	2.1E-03	7.0	96%	108%
plant31		1429	3.5E-04	-	1.6E-03	13.0	0.7	7.5E-04	4.8E-05	2.0E-03	6.5	0.7	7.3E-04	4.2E-05	2.0E-03	6.8	97%	106%
plant32		1358	3.7E-04	-	1.7E-03	13.0	0.7	7.6E-04	4.8E-05	2.0E-03	6.5	0.6	7.4E-04	4.4E-05	2.0E-03	6.8	98%	105%
plant33		1300	3.8E-04	-	1.8E-03	13.0	0.6	7.7E-04	4.8E-05	2.1E-03	6.5	0.6	7.5E-04	4.3E-05	2.1E-03	7.0	97%	106%
plant34	1	1149	8.7E-04	4.5E-05	4.1E-03	9.6	2.0	1.5E-03	2.4E-04	3.9E-03	4.0	2.0	1.5E-03	2.3E-04	4.0E-03	4.2	100%	104%
plant35		1125	4.4E-04	-	2.0E-03	13.0	0.6	8.0E-04	4.9E-05	2.1E-03	6.6	0.6	7.8E-04	4.6E-05	2.2E-03	6.9	97%	104%
plant36	2	1612	1.2E-03	2.2E-04	3.9E-03	4.2	3.8	1.9E-03	4.7E-04	4.9E-03	3.2	3.9	2.0E-03	4.5E-04	5.0E-03	3.3	102%	103%
plant37		1730	2.9E-04	-	1.3E-03	13.0	0.8	7.1E-04	4.6E-05	1.9E-03	6.4	0.8	6.9E-04	4.0E-05	1.9E-03	6.9	97%	107%
plant38		1120	4.5E-04	-	2.1E-03	13.0	0.6	7.9E-04	5.0E-05	2.1E-03	6.6	0.6	7.7E-04	4.5E-05	2.2E-03	6.9	98%	105%
plant39	3	984	3.0E-03	8.3E-04	7.9E-03	3.1	5.1	3.7E-03	8.5E-04	9.8E-03	3.4	5.2	3.9E-03	8.6E-04	1.0E-02	3.4	104%	101%
plant40		1786	2.8E-04	-	1.3E-03	13.0	0.8	7.1E-04	4.5E-05	1.9E-03	6.4	0.8	6.9E-04	4.1E-05	1.9E-03	6.8	96%	105%
plant41	1	1997	5.0E-04	2.6E-05	2.4E-03	9.6	2.4	1.1E-03	1.9E-04	2.8E-03	3.8	2.4	1.1E-03	1.8E-04	2.9E-03	3.9	100%	103%
plant42		535	9.3E-04	-	4.3E-03	13.0	0.3	9.3E-04	5.6E-05	2.6E-03	6.8	0.3	9.2E-04	5.1E-05	2.7E-03	7.2	99%	106%
plant43		343	1.5E-03	-	6.7E-03	13.0	0.2	1.0E-03	5.8E-05	2.9E-03	7.1	0.2	1.0E-03	5.1E-05	3.0E-03	7.6	98%	107%
plant44		2038	2.5E-04	-	1.1E-03	13.0	0.9	6.9E-04	4.4E-05	1.8E-03	6.4	0.9	6.6E-04	3.9E-05	1.8E-03	6.8	96%	107%
plant45		1928	2.6E-04	-	1.2E-03	13.0	0.9	6.9E-04	4.5E-05	1.8E-03	6.4	0.8	6.7E-04	3.9E-05	1.8E-03	6.8	97%	106%
plant46	1	1944	5.1E-04	2.6E-05	2.4E-03	9.6	2.4	1.2E-03	1.9E-04	2.9E-03	3.9	2.4	1.2E-03	1.9E-04	2.9E-03	4.0	99%	103%
plant47		1998	2.5E-04	-	1.2E-03	13.0	0.9	6.9E-04	4.4E-05	1.8E-03	6.4	0.9	6.6E-04	4.0E-05	1.8E-03	6.7	96%	104%
plant48		556	9.0E-04	-	4.1E-03	13.0	0.3	9.3E-04	5.6E-05	2.6E-03	6.8	0.3	9.2E-04	5.0E-05	2.7E-03	7.3	99%	108%
plant49	1	806	1.2E-03	6.4E-05	5.9E-03	9.6	1.8	1.7E-03	2.6E-04	4.8E-03	4.2	1.8	1.7E-03	2.5E-04	4.8E-03	4.4	101%	103%

注 \*1. 故障件数が0件のものは、0.5件として故障確率の算出を行った。

\*2. EF<sup>2</sup>(近似) = 上限値 / 下限値。但し故障件数が0の場合はEF=13とした。

\*3. 平均値

\*4. EF<sup>2</sup>(近似) = 9.5%点 / 5%点

\*5. 平均値 (感度解析) / 平均値 (ベースケース)

\*6. EF (感度解析) / EF (ベースケース)

#### d) 逆止弁開失敗

逆止弁開失敗のハイパーパラメータ  $\mu(\mu)$  ,  $\sigma(\sigma)$  , デマンド故障確率  $p$  の自己相関を thinning=1 と thinning=10 のケースで比較した ( 図 10-4(4) ) 。 図に見られるように自己相関が低減しているのがわかる。

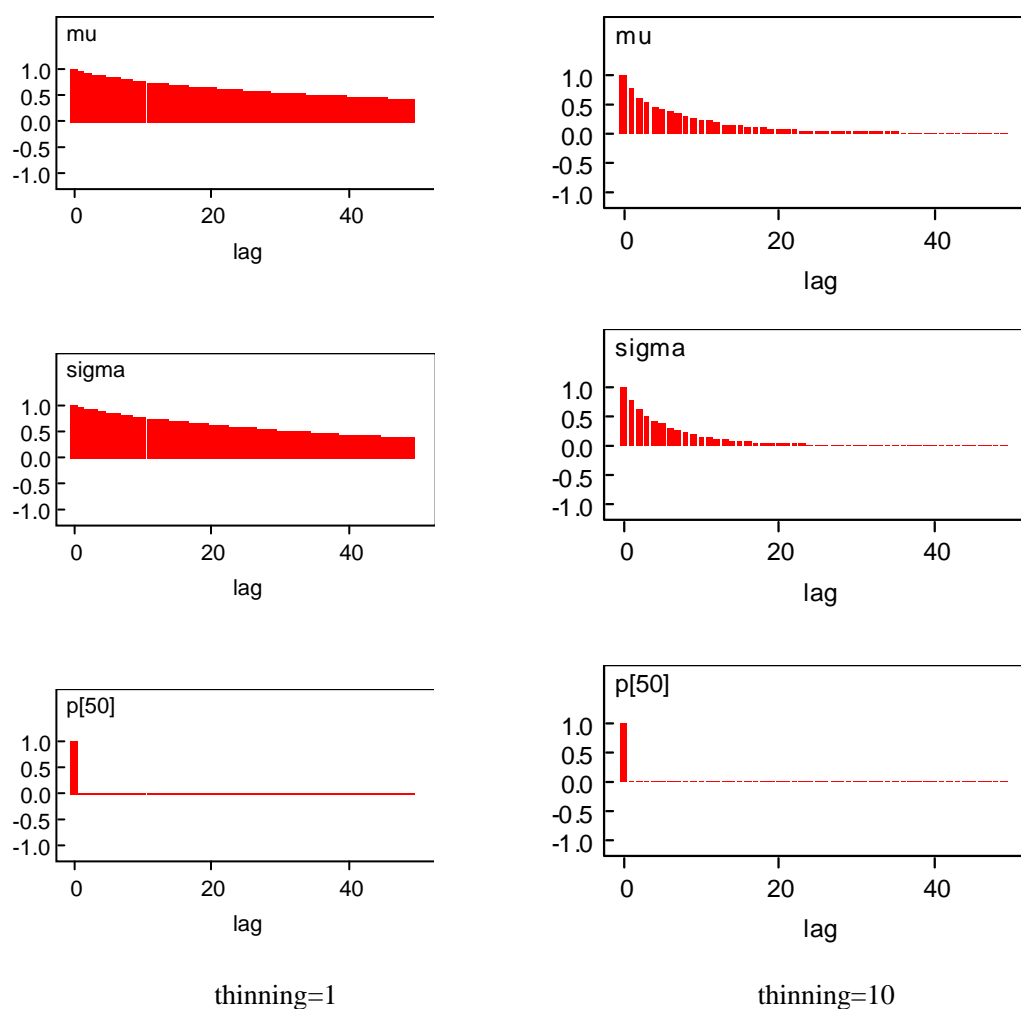


図 10-4(4) 自己相関に対する Thinning の影響 ( 逆止弁開失敗 )

次に逆止弁開失敗のデマンド故障確率を thinning=1 と thinning=10 のケースで比較した ( 表 10-4(4) ) 。 表に見られるように Thinning に因るサンプリング結果への差異はほとんど見られない。



表 10-4(4) 逆止弁開失敗のデマンド故障確率

ユニット	故障 件数	推定 総デマン ド回数	古典統計				ベイズ統計 (MCMC手法) 新モデル					ベイズ統計 (MCMC手法) thinning=10					平均 <sup>5</sup>	EF (近似) 比 <sup>6</sup>
			点推 定値 <sup>1</sup> [1/D]	90%信頼区間		EF <sup>2</sup> (近似)	真の 故障件数 推定値 <sup>3</sup>	平均値 [1/D]	5%点 [D]	95%点 [D]	EF <sup>4</sup> (近似)	真の 故障件数 推定値 <sup>3</sup>	平均値 [1/D]	5%点 [D]	95%点 [D]	EF <sup>4</sup> (近似)		
				下限値 [D]	上限値 [D]													
一般故障率	0	259336	1.9E-06		8.9E-06	13.0	0.97	8.9E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.3	0.98	9.2E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.3	103%	99%
plant01		5153	9.7E-05		4.5E-04	13.0	0.02	6.3E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.0	0.02	6.5E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.0	103%	100%
plant02		7310	6.8E-05		3.1E-04	13.0	0.03	5.9E-06	2.2E-07	2.1E-05	9.8	0.03	6.0E-06	2.1E-07	2.1E-05	9.9	101%	101%
plant03		7002	7.1E-05		3.3E-04	13.0	0.03	6.0E-06	2.2E-07	2.2E-05	9.9	0.03	6.1E-06	2.2E-07	2.1E-05	9.9	101%	100%
plant04		7819	6.4E-05		2.9E-04	13.0	0.03	6.1E-06	2.2E-07	2.1E-05	9.9	0.03	6.0E-06	2.2E-07	2.1E-05	9.8	98%	100%
plant05		7714	6.5E-05		3.0E-04	13.0	0.03	5.9E-06	2.2E-07	2.2E-05	9.9	0.03	6.1E-06	2.2E-07	2.1E-05	9.8	102%	99%
plant06		9043	5.5E-05		2.5E-04	13.0	0.03	5.9E-06	2.2E-07	2.1E-05	9.8	0.03	6.0E-06	2.1E-07	2.1E-05	9.9	103%	100%
plant07		9429	5.3E-05		2.4E-04	13.0	0.03	5.8E-06	2.2E-07	2.1E-05	9.8	0.03	6.0E-06	2.2E-07	2.1E-05	9.7	103%	99%
plant08		8686	5.8E-05		2.7E-04	13.0	0.03	6.1E-06	2.2E-07	2.1E-05	10.0	0.03	6.1E-06	2.2E-07	2.1E-05	9.7	99%	97%
plant09		7156	7.0E-05		3.2E-04	13.0	0.03	6.2E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.0	0.03	6.2E-06	2.2E-07	2.1E-05	9.8	100%	98%
plant10		7300	6.8E-05		3.2E-04	13.0	0.03	5.9E-06	2.2E-07	2.1E-05	9.7	0.03	6.2E-06	2.2E-07	2.1E-05	9.9	104%	102%
plant11		7976	6.3E-05		2.9E-04	13.0	0.03	6.0E-06	2.2E-07	2.1E-05	9.9	0.03	6.0E-06	2.2E-07	2.1E-05	9.8	100%	99%
plant12		5911	8.5E-05		3.9E-04	13.0	0.02	6.1E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.1	0.02	6.2E-06	2.2E-07	2.1E-05	9.8	101%	97%
plant13		4489	1.1E-04		5.1E-04	13.0	0.02	6.4E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.0	0.02	6.4E-06	2.2E-07	2.1E-05	9.8	100%	98%
plant14		4048	1.2E-04		5.7E-04	13.0	0.02	6.4E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.2	0.02	6.4E-06	2.2E-07	2.2E-05	9.9	100%	97%
plant15		6354	7.9E-05		3.6E-04	13.0	0.02	6.1E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.0	0.02	6.2E-06	2.2E-07	2.1E-05	9.9	103%	99%
plant16		10658	4.7E-05		2.2E-04	13.0	0.04	5.8E-06	2.1E-07	2.1E-05	9.9	0.04	5.7E-06	2.2E-07	2.0E-05	9.6	99%	97%
plant17		12219	4.1E-05		1.9E-04	13.0	0.04	5.6E-06	2.2E-07	2.1E-05	9.8	0.04	5.7E-06	2.2E-07	2.0E-05	9.7	103%	99%
plant18		6042	8.3E-05		3.8E-04	13.0	0.02	6.3E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.0	0.02	6.1E-06	2.2E-07	2.1E-05	9.9	98%	99%
plant19		3785	1.3E-04		6.1E-04	13.0	0.01	6.5E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.0	0.02	6.5E-06	2.2E-07	2.2E-05	9.9	99%	99%
plant20		3065	1.6E-04		7.5E-04	13.0	0.01	6.6E-06	2.3E-07	2.3E-05	10.0	0.01	6.7E-06	2.2E-07	2.2E-05	9.9	101%	99%
plant21		7355	6.8E-05		3.1E-04	13.0	0.03	6.0E-06	2.1E-07	2.1E-05	10.0	0.03	6.1E-06	2.1E-07	2.1E-05	10.0	101%	100%
plant22		2483	2.0E-04		9.3E-04	13.0	0.01	6.5E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.0	0.01	6.8E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.0	105%	99%
plant23		9709	5.1E-05		2.4E-04	13.0	0.03	5.8E-06	2.2E-07	2.1E-05	9.7	0.03	5.9E-06	2.2E-07	2.1E-05	9.7	101%	100%
plant24		7953	6.3E-05		2.9E-04	13.0	0.03	5.9E-06	2.2E-07	2.1E-05	9.8	0.03	6.0E-06	2.2E-07	2.1E-05	9.8	101%	99%
plant25		6548	7.6E-05		3.5E-04	13.0	0.02	6.1E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.1	0.02	6.2E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.0	101%	98%
plant26		3174	1.6E-04		7.3E-04	13.0	0.01	6.6E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.2	0.01	6.7E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.1	102%	99%
plant27		1376	3.6E-04		1.7E-03	13.0	0.01	7.2E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.2	0.01	7.1E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.0	99%	98%
plant28		1202	4.2E-04		1.9E-03	13.0	0.01	7.4E-06	2.2E-07	2.4E-05	10.3	0.01	7.3E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.2	98%	99%
plant29		2964	1.7E-04		7.8E-04	13.0	0.01	6.8E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.0	0.01	6.9E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.2	101%	101%
plant30		3122	1.6E-04		7.4E-04	13.0	0.01	6.5E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.0	0.01	6.7E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.0	103%	100%
plant31		5432	9.2E-05		4.2E-04	13.0	0.02	6.3E-06	2.2E-07	2.2E-05	9.9	0.02	6.3E-06	2.2E-07	2.1E-05	9.9	100%	101%
plant32		5162	9.7E-05		4.5E-04	13.0	0.02	6.2E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.0	0.02	6.3E-06	2.2E-07	2.2E-05	9.9	101%	99%
plant33		4941	1.0E-04		4.7E-04	13.0	0.02	6.1E-06	2.1E-07	2.2E-05	10.2	0.02	6.3E-06	2.2E-07	2.2E-05	9.9	103%	97%
plant34		3207	1.6E-04		7.2E-04	13.0	0.01	6.4E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.1	0.01	6.7E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.1	104%	100%
plant35		3098	1.6E-04		7.4E-04	13.0	0.01	6.6E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.1	0.01	6.6E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.0	101%	99%
plant36		5108	9.8E-05		4.5E-04	13.0	0.02	6.2E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.1	0.02	6.3E-06	2.2E-07	2.1E-05	9.8	102%	97%
plant37		5462	9.2E-05		4.2E-04	13.0	0.02	6.2E-06	2.2E-07	2.2E-05	9.9	0.02	6.3E-06	2.2E-07	2.1E-05	9.8	102%	99%
plant38		3507	1.4E-04		6.6E-04	13.0	0.01	6.5E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.0	0.01	6.6E-06	2.2E-07	2.2E-05	9.9	102%	99%
plant39		3080	1.6E-04		7.5E-04	13.0	0.01	6.6E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.1	0.01	6.6E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.0	101%	99%
plant40		3621	1.4E-04		6.4E-04	13.0	0.01	6.3E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.1	0.01	6.7E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.0	106%	99%
plant41		4037	1.2E-04		5.7E-04	13.0	0.02	6.5E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.0	0.02	6.5E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.1	100%	101%
plant42		2133	2.3E-04		1.1E-03	13.0	0.01	6.8E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.1	0.01	6.9E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.1	101%	100%
plant43		1358	3.7E-04		1.7E-03	13.0	0.01	7.3E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.3	0.01	7.4E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.2	101%	100%
plant44		3452	1.4E-04		6.7E-04	13.0	0.01	6.6E-06	2.3E-07	2.3E-05	9.9	0.01	6.7E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.0	102%	101%
plant45		3254	1.5E-04		7.1E-04	13.0	0.01	6.5E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.1	0.01	6.6E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.0	102%	99%
plant46		4355	1.1E-04		5.3E-04	13.0	0.02	6.3E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.0	0.02	6.5E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.1	102%	101%
plant47		4498	1.1E-04		5.1E-04	13.0	0.02	6.6E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.0	0.02	6.4E-06	2.2E-07	2.1E-05	9.8	98%	98%
plant48		2022	2.5E-04		1.1E-03	13.0	0.01	7.0E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.1	0.01	7.1E-06	2.2E-07	2.3E-05	10.1	101%	101%
plant49		4560	1.1E-04		5.0E-04	13.0	0.02	6.4E-06	2.3E-07	2.2E-05	9.9	0.02	6.4E-06	2.2E-07	2.2E-05	10.0	99%	100%

注\*1. 故障件数が0件のものは、0.5件として故障確率の算出を行った。

\*2. EF<sup>2</sup>(近似) = 上限値 / 下限値。但し故障件数が0の場合はEF=13とした。

\*3. 平均値

\*4. EF<sup>2</sup>(近似) = 9.5%点 / 5%点

\*5. 平均値 (感度解析) / 平均値 (ベースケース)

\*6. EF (感度解析) / EF (ベースケース)

### 10.3.2 $\mu$ , $\sigma$ の統計量への Thinning の影響

Thinning による $\mu$ ,  $\sigma$ の統計量への影響を Thinning なし (thinning=1) と thinning=10 で比較した。表 10-5 に見られるように MC error は Thinning により誤差に改善がみられるが、平均値、標準偏差に差は殆ど見られない。

表 10-5  $\mu$ ,  $\sigma$ の統計量に対する Thinning の影響

		$\mu$					
機種 故障モード		mean	sd	MC error	5.00%	median	95.00%
電動ポンプ 継続運転失敗	thinning=1	-14.810	0.5035	0.01188	-15.74	-14.76	-14.10
	thinning=10	-14.820	0.5159	0.00408	-15.77	-14.76	-14.10
制御ケーブル 短絡	thinning=1	-23.990	0.7588	0.02855	-24.92	-24.14	-22.53
	thinning=10	-23.960	0.7683	0.01098	-24.92	-24.11	-22.50
非常用 DG 起動失敗	thinning=1	-7.288	0.5038	0.01200	-8.218	-7.212	-6.608
	thinning=10	-7.325	0.5113	0.00365	-8.277	-7.249	-6.631
逆止弁 開失敗	thinning=1	-12.970	0.7885	0.02579	-13.93	-13.14	-11.42
	thinning=10	-12.950	0.7728	0.01004	-13.92	-13.09	-11.47

電動ポンプ 継続運転失敗	thinning=1	1.221	0.4907	0.01280	0.4618	1.186	2.093
	thinning=10	1.231	0.4998	0.00444	0.4695	1.188	2.136
制御ケーブル 短絡	thinning=1	1.024	0.6639	0.02264	0.1729	0.9107	2.303
	thinning=10	1.039	0.6569	0.00775	0.1810	0.9277	2.294
非常用 DG 起動失敗	thinning=1	1.061	0.5309	0.01515	0.2452	1.029	2.015
	thinning=10	1.110	0.5262	0.00452	0.3077	1.068	2.062
逆止弁 開失敗	thinning=1	1.011	0.6657	0.01996	0.1659	0.8931	2.285
	thinning=10	1.029	0.6598	0.00715	0.1781	0.9135	2.291

### 10.3.3 自己相関低減の結論

以上の結果より、thinning を 10 に設定することにより $\mu$ ,  $\sigma$ の自己相関は弱くなり、故障率( $\lambda, p$ )の自己相関は更に弱くなることがわかった。また、Thinning の変更をしてもすべてのケースで故障率に有意な影響はなく、統計量を比較した限りでは、Thinning の変更は収束性、サンプリングに有意な影響は及ぼしていない。

なお、デマンド故障に対する解析は thinning=10 では解析時間が 10 倍になるため、高速化した新モデル(2 回使用する二項分布のうちの 1 つを多項分布に置換したモデル)で実施した。代表ケースでは、従来モデルと新モデルの解析結果を比較して有意な差異はないことを確認している。

## 11 国内一般機器故障率を事前分布とするベイズ更新の例

国内 21 ヶ年データから計算した国内一般機器故障率を事前分布とし、これを今後の保全活動により収集された FF データを用いてベイズ更新することによって、リスク情報活用に必要な発電所個別の故障率データが求められる。ここでは、新たなデータの蓄積により更新されていく発電所個別機器故障率分布の挙動を代表的な事例で示す。

### 11.1 事前分布故障モードの選定

尤度関数が異なる時間故障とデマンド故障の 2 ケースについて考え、それぞれの事前分布として、エラーファクター ( $EF$ ) の大きな分布と小さな分布を国内一般機器故障率の故障モードの中から選定した<sup>注)</sup>。ここでエラーファクターの大小を考慮した理由は、国内一般機器故障率の中に  $EF$  が非常に大きなものがあり、その不確かさが以後のデータ蓄積とベイズ更新でどのように改善されるのかを確認するためである。具体的に選定した故障モードは以下の通りである。

注) デマンド故障の  $EF$  最小であるディーゼル駆動ポンプ起動失敗は対象プラントが敦賀 1 のみであるので除外し、次の空気作動弁開失敗は故障確率の平均値が電動弁開失敗と同程度なので、 $EF$  が 3 番目に小さくて故障確率が 1 桁以上大きい非常用 DG 起動失敗を選択した。

#### a) 時間故障率計算用

- ・電動弁作動失敗 (純水) (平均値=4.8E-08/h,  $EF=60.0$ )
- ・タービン駆動ポンプ継続運転失敗 (平均値=2.9E-06/h,  $EF=4.3$ )

#### b) デマンド故障確率計算用

- ・電動弁開失敗 (4.7E-05/d,  $EF=51.7$ )
- ・非常用 DG 起動失敗 (1.5E-03,  $EF=8.7$ )

### 11.2 ベイズ更新のための平均的個別プラントの露出データの想定

収集対象となる機器員数は大きくは変化しないと考え、NUCIA の 21 ヶ年データと 16 ヶ年データの運転時間の差若しくはデマンド数の差を収集対象プラント数で除した値を、プラント平均の 5 年間の露出データとした。また、これを更に 5 で割って、1 年間の露出データとした。表 11-1 に、選定した故障モードと露出データ、想定した露出データに対応する平均的機器員数と平均運転時間又はデマンド数を示した。

表 11-1 選定した故障と想定した露出データ

	機種 故障モード	露出データ (1 カ年)	露出データ (5 カ年)	平均員数/ ユニット	平均運転時間 (デマンド数)/ (員数・年)
時間故障	電動弁 (純水用) 作動失敗	1122047	5610235	160.6	6989
	タービン駆動ポンプ 継続運転失敗	15996	79981	2.3	7109
デマンド故障	電動弁 開失敗	558	2790	166.8	3.3
	非常用 DG 起動失敗	51	256	2.3	22.6

## 11.2 解析と結果

選定した故障モードそれぞれに対して，発電所の 1 年運転で故障が発生しない場合，5 年運転で故障が発生しない場合，及び 5 年運転で 2 件の故障が発生した場合の発電所個別故障率を評価した。事前分布には対数正規分布を仮定し，事後分布の評価には PRA ソフトウェア RISKMAN のベイズ更新モジュールを使用した。解析結果を表 11-2 に示す。

表 11-2 ベイズ更新結果

時間故障	事前分布 (国内一般機器故障率)		FF 更新データ (尤度)		事後分布		プラント 運転時間
	平均値 (1/h)	EF	故障 件数	運転時間	平均値 (1/h)	EF	
電動弁(純水用) 作動失敗	4.8E-08	60.0	0	1122047	1.9E-08	51.1	1 カ年
			0	5610235	1.0E-08	38.6	5 カ年
			2	5610235	2.3E-07	4.7	5 カ年
タービン駆動 ポンプ 継続運転失敗	2.9E-06	4.3	0	15996	2.8E-06	4.2	1 カ年
			0	79981	2.3E-06	3.9	5 カ年
			2	79981	7.7E-06	3.4	5 カ年
デマンド故障	平均値 (1/D)	EF	故障 件数	デマンド数	平均値 (1/D)	EF	
電動弁 開失敗	4.7E-05	51.7	0	558	2.5E-05	46.9	1 カ年
			0	2790	1.5E-05	39.4	5 カ年
			2	2790	4.3E-04	5.1	5 カ年
非常用 DG 起動失敗	1.5E-03	8.7	0	51	1.2E-03	8.0	1 カ年
			0	256	7.9E-04	6.6	5 カ年
			2	256	4.2E-03	3.8	5 カ年

図 11-1 に発電所 1 年運転で故障が発生しなかったケースの事前分布と事後分布の重ね書きした結果を示した。黒線が事前分布，赤線が事後分布を示している。

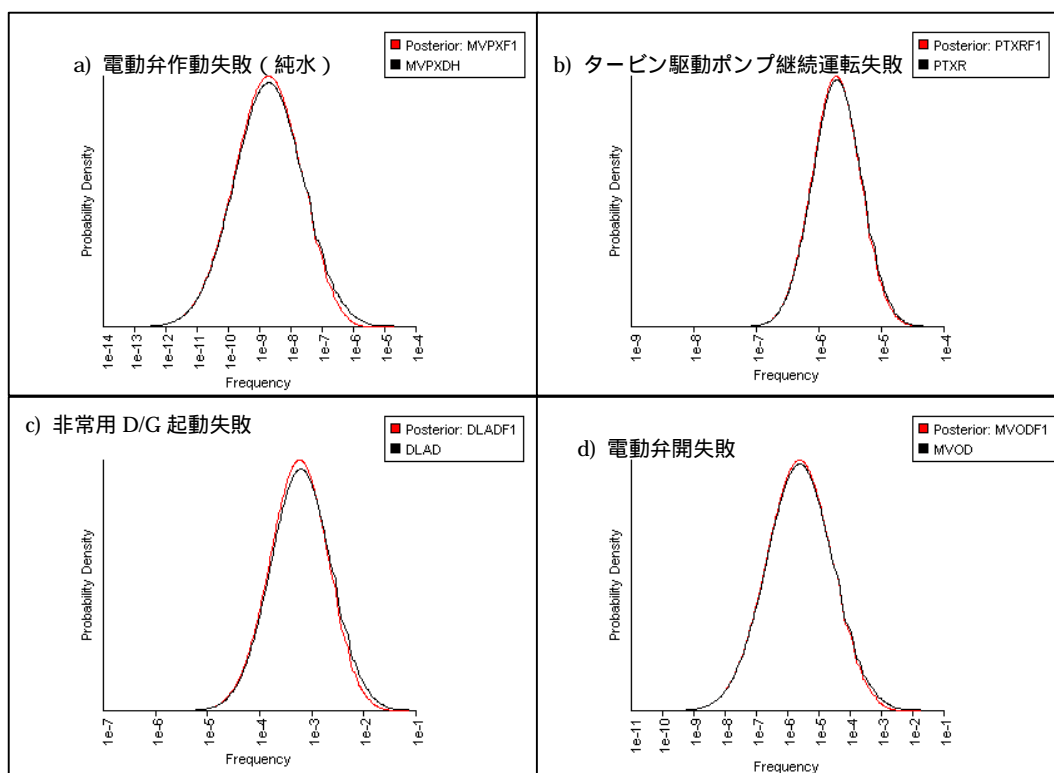


図 11-1 ベイズ更新結果（プラント 1 年運転で故障発生なしとして更新）

図 11-2 にはプラント 5 年運転で故障が発生しなかったケース，図 11-3 にはプラント 5 年運転で故障が 2 件発生したケースの事前分布と事後分布の重ね書きした結果を示した。

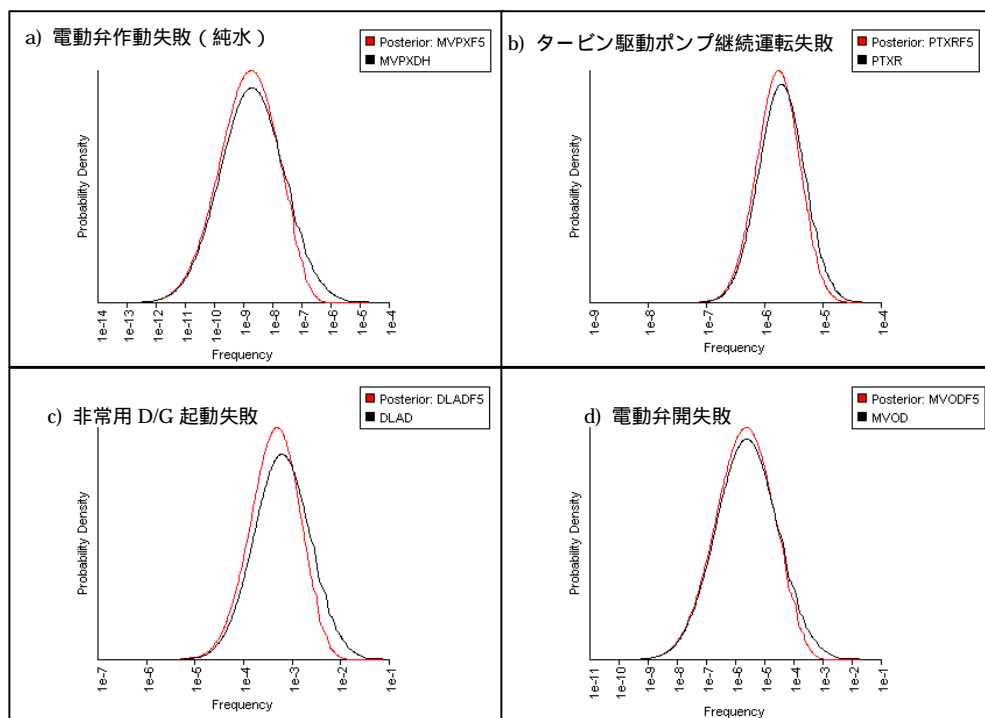


図 11-2 ベイズ更新結果（プラント 5 年運転で故障発生なしとして更新）

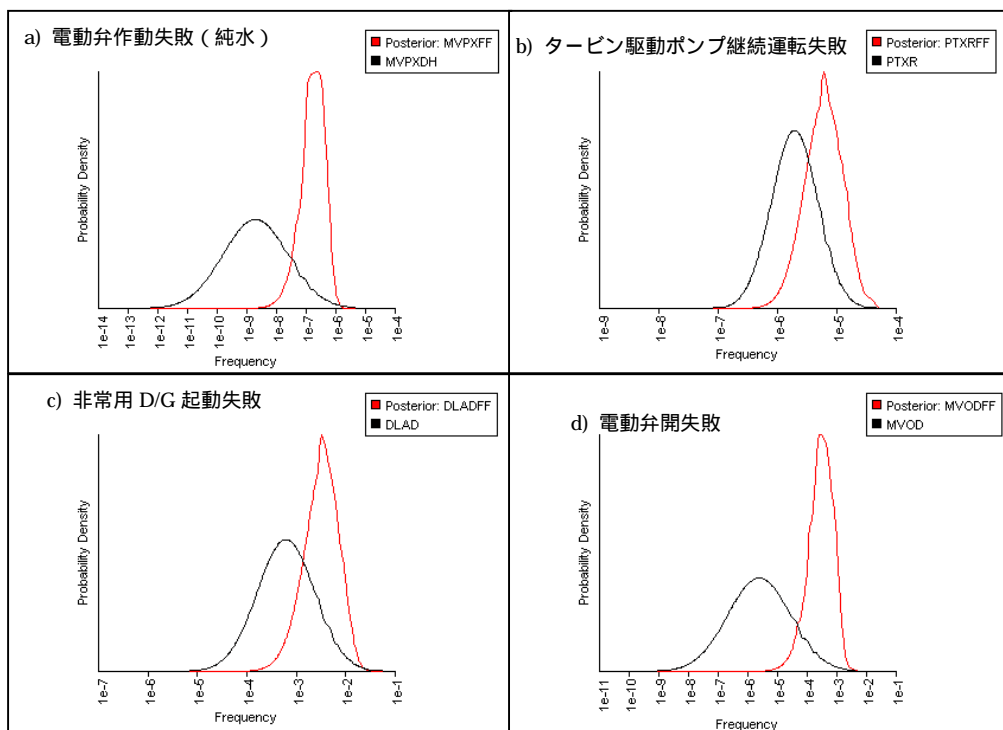


図 11-3 ベイズ更新結果（プラント 5 年運転で故障 2 件発生として更新）

### 11.3 考察とまとめ

データ蓄積による  $EF$  の更新について考える。表 11-2 より、故障発生がない場合、5 年の運転経験を経てもあまり  $EF$  が減少しないことがわかる。特に事前分布の  $EF$  が大きいケース（電動弁作動失敗  $EF=60.0$  と開失敗  $EF=51.7$ ）では減少率は大きいものの、依然として 40 近い  $EF$  となっている。一方、故障発生がある場合は、事前分布の  $EF$  が非常に大きくても、5 年の運転期間を経れば  $EF$  が一桁まで減少する。 $EF$  が数十とは、故障率/故障確率の不確かさ範囲が 3 桁にも渡るということであり、PRA の不確かさ解析を行う上であまり好ましいことではないので、10 程度の  $EF$  が得られるくらいの運転期間の蓄積が必要であろう。

分布形状を見ると、故障発生がない場合、1 年後の更新では事後分布形状はほとんど変わっていないが（図 11-1）、5 年後の更新では事後分布（赤線で表示）の変化はやや明らかになってくる（図 11-2）。これは更新データの蓄積効果の現れである。故障発生がある場合は、5 年後の更新では故障率平均値が大きくなり、 $EF$  は減少して分布幅は小さくなっている（図 11-3）。

我が国の発電所では故障発生は比較的稀であり、故障発生がない機器故障モードが多い。そのようなデータを用いて国内一般機器故障率のベイズ更新を行う場合には、少なくとも 5 年程度の運転期間のデータを蓄積する必要があると考えられる。

## 12 不確実さ解析による炉心損傷頻度の試評価

21 ヲ年データ報告書<sup>[4]</sup>において算出した国内一般機器故障率（以下，21 ヲ年故障率）を用いて，仮想 BWR・PWR プラントにおける炉心損傷頻度(CDF)の不確実さ解析を実施している。標準的な BWR の PRA では主に時間故障率を用いており，PWR では主にデマンド故障確率を用いている。時間故障率及びデマンド故障確率双方の CDF への影響を確認するため，BWR と PWR それぞれで評価した。また，参考として，1982 年度~1997 年度の国内 49 プラントの実績データに基づいた国内一般機器故障率<sup>[3]</sup>（以下，16 ヲ年故障率）による評価結果と比較した。なお，16 ヲ年故障率は原安協手法<sup>[2]</sup>で計算したものである（最尤法による点推定値を平均値とし工学的判断から EF を求め，これらに対数正規分布にフィッティングして故障率の不確実さ分布を作る方法）。

### 12.1 解析結果

BWR 及び PWR の不確実さ解析により求めた CDF の平均値をそれぞれ図 12-1，図 12-2 に示す。また，参考として点推定値解析により求めた CDF を図 12-3，図 12-4 に示す。本結果は 16 ヲ年故障率の全 CDF を 1 とした規格値である。

### 12.2 考察

#### a) BWR

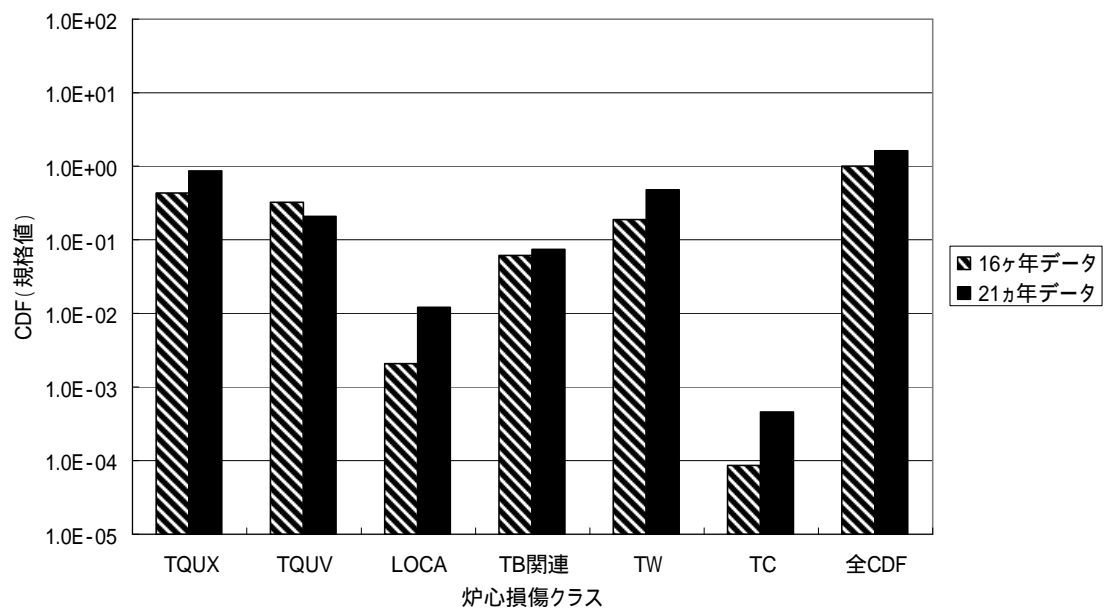
21 ヲ年故障率を用いた全 CDF は 16 ヲ年故障率を用いた値よりも増加傾向を示した。これは，故障件数の不確かさを考慮した評価により，21 ヲ年故障率が比較的大きく評価されることによる。また，炉心損傷クラス TQUV の CDF が減少しているが，これは，21 ヲ年故障率における DG 運転継続失敗のエラーファクターの低減（16 ヲ年データでは 30 であったが，21 ヲ年データでは 2 となった）が要因であると考えられる。

参考として，不確実さ解析により求めた全 CDF の度数分布を図 12-5，表 12-1 に示す。解析条件は 21 ヲ年故障率，繰り返し回数 10,000 回であり，全 CDF の平均値を 1 とした規格値である。全 CDF は対数正規的に分布していることを確認した。また，繰り返し回数を変更した場合の平均値等の挙動を図 12-6 示す。全 CDF の各統計量は早期に収束していると考えられる。

#### b) PWR

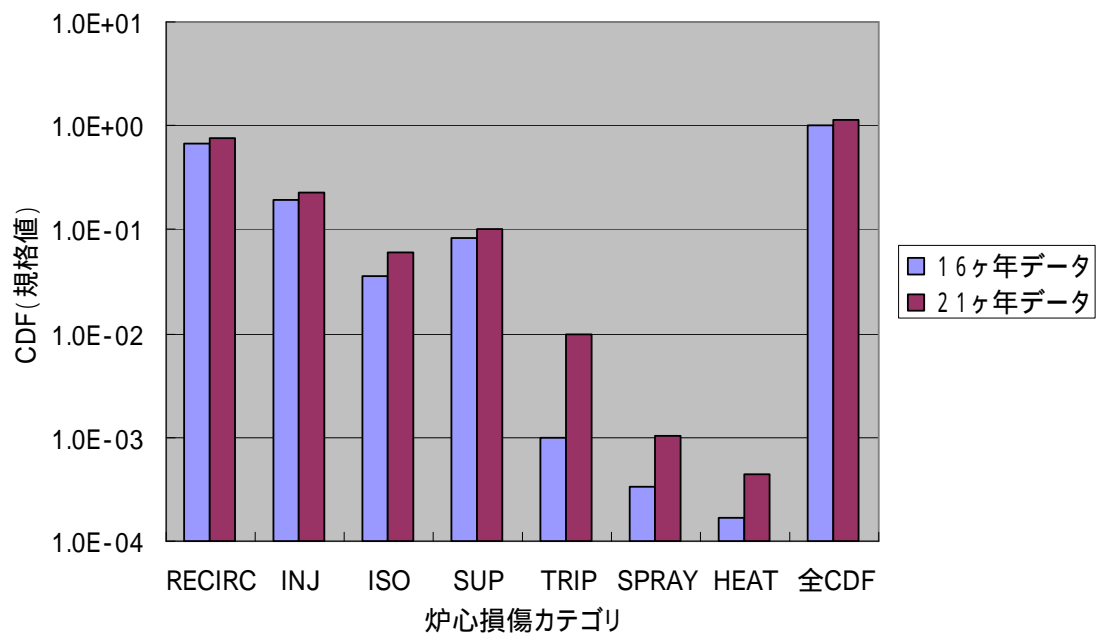
21 ヲ年故障率を用いた全 CDF は 16 ヲ年故障率を用いた値よりも増加傾向を示した。これは，故障件数の不確かさを考慮した評価により，21 ヲ年故障率が比較的大きく評価されることによる。また，炉心損傷カテゴリ TRIP の CDF 変動幅が比較的大きい。これは，TRIP の原因となる起因事象 ATWS の発生頻度（スクラム失敗部分をシステム解析で求めている）に寄与しているしゃ断器開失敗故障率が 21 ヲ年故障率の方が 16 ヲ年の値よりも大きいことが要因であると考えられる。





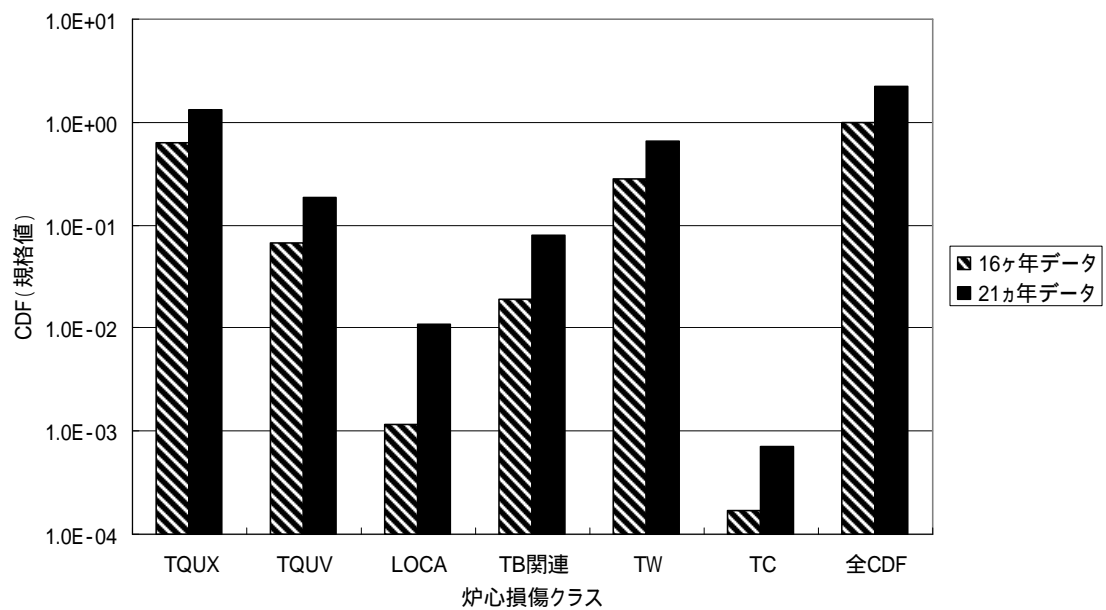
TQUX 高圧系による炉心冷却及び減圧失敗  
 TQUV 高圧系及び低圧系による炉心冷却失敗  
 LOCA LOCA 後の炉心冷却失敗  
 TB 関連 電源喪失による炉心冷却失敗  
 TW 格納容器からの除熱失敗  
 TC 原子炉停止失敗

図 12-1 BWR 仮想プラントにおける炉心損傷頻度 (平均値)



RECIRC ECCS 再循環機能喪失  
 INJ ECCS 注入機能喪失  
 ISO 漏洩箇所の隔離機能喪失  
 SUP 安全機能のサポート機能喪失  
 TRIP 原子炉停止機能喪失  
 SPRAY 格納容器の除熱機能喪失  
 HEAT 2次系からの除熱機能喪失

図 12-2 PWR 仮想プラントにおける炉心損傷頻度（平均値）



- TQUX 高圧系による炉心冷却及び減圧失敗  
TQUV 高圧系及び低圧系による炉心冷却失敗  
LOCA LOCA 後の炉心冷却失敗  
TB 関連 電源喪失による炉心冷却失敗  
TW 格納容器からの除熱失敗  
TC 原子炉停止失敗

図 12-3 BWR 仮想プラントにおける炉心損傷頻度（点推定値）

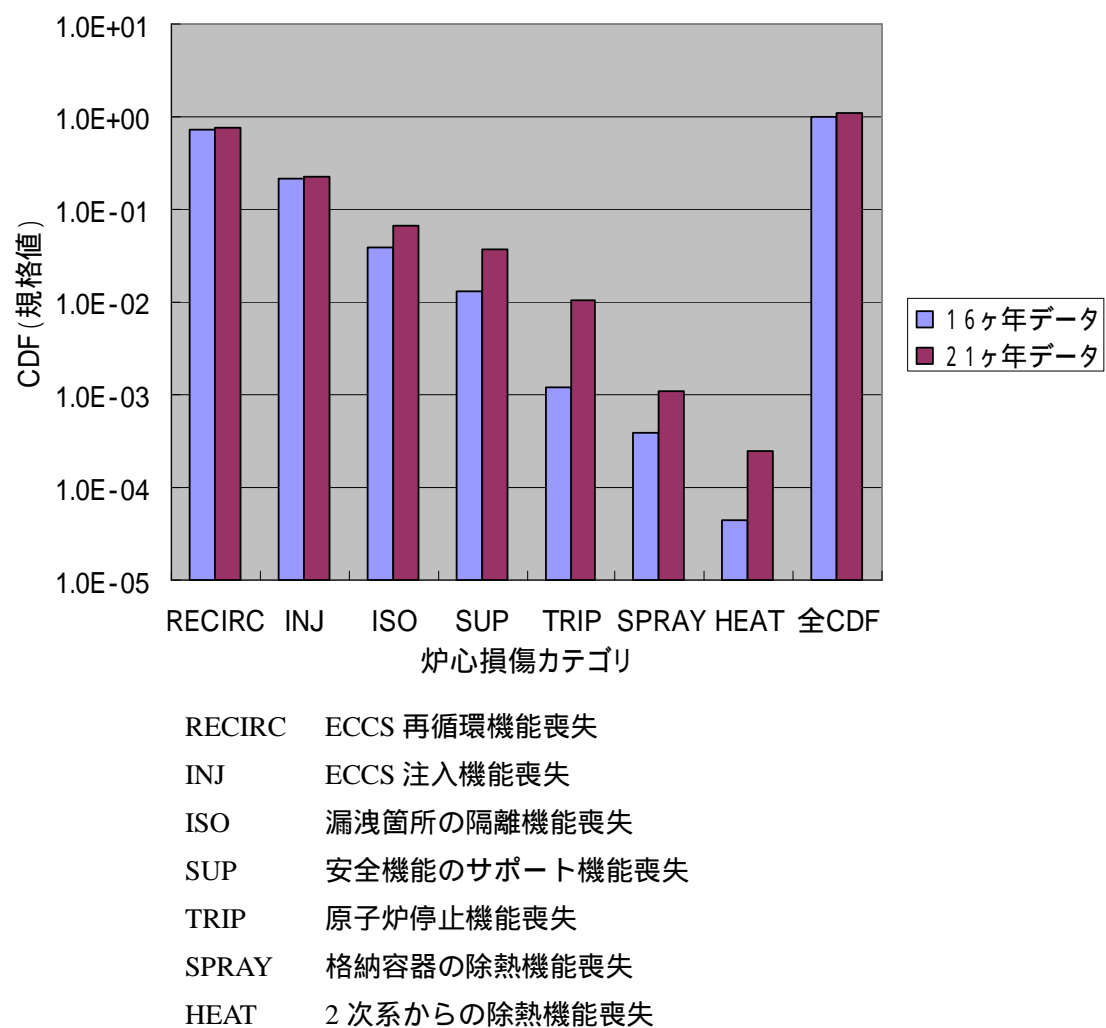
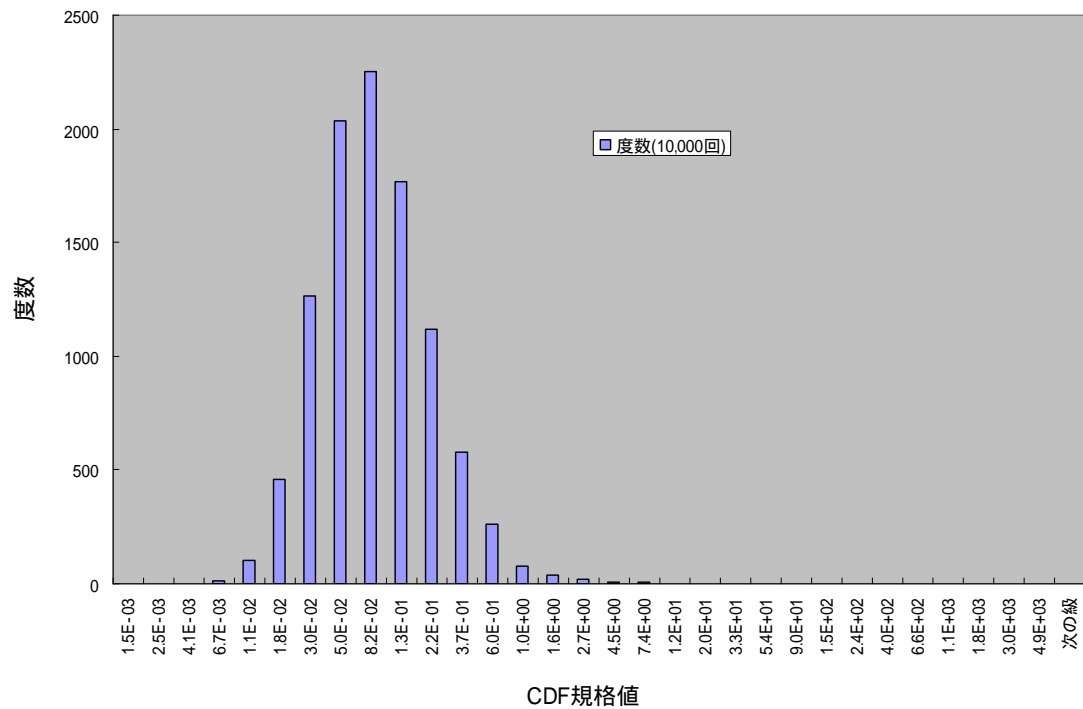


図 12-4 PWR 仮想プラントにおける炉心損傷頻度（点推定値）



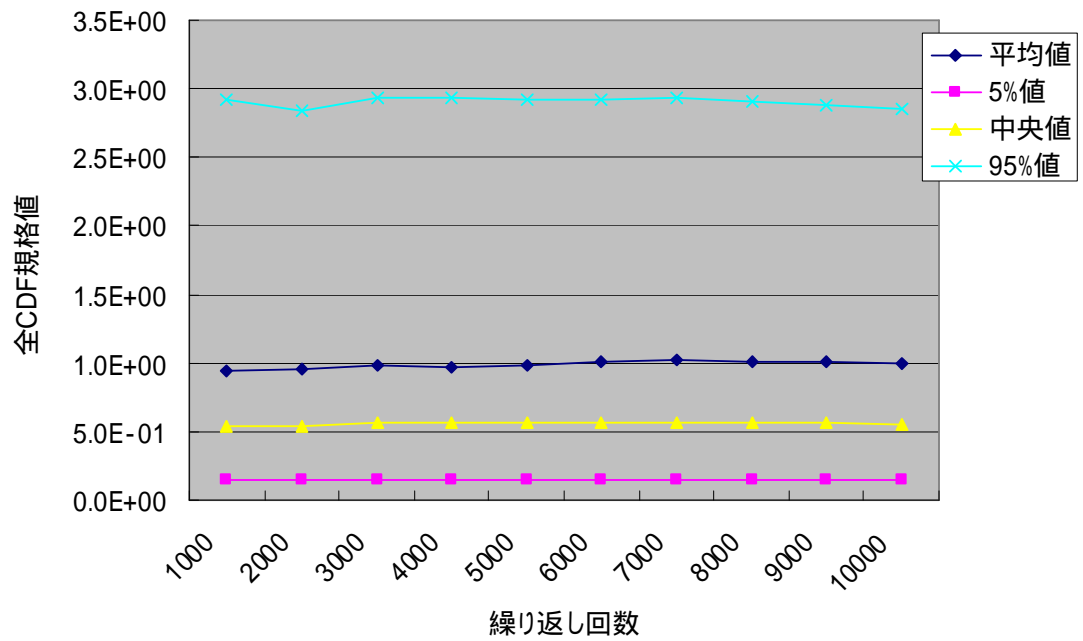
: 10,000 回の繰り返し回数で得た平均値を 1 とした規格値

図 12-5 BWR 仮想プラントにおける全炉心損傷頻度の度数分布

表 12-1 BWR 仮想プラントにおける全炉心損傷頻度の度数分布

データ区分 規格値	10,000回	
	度数	累積 相対度数
1.5E-03	0	0.0%
2.5E-03	0	0.0%
4.1E-03	2	0.0%
6.7E-03	13	0.2%
1.1E-02	104	1.1%
1.8E-02	455	5.4%
3.0E-02	1263	16.5%
5.0E-02	2034	35.2%
8.2E-02	2250	56.6%
1.3E-01	1771	74.9%
2.2E-01	1120	86.7%
3.7E-01	581	93.2%
6.0E-01	263	96.5%
1.0E+00	74	97.7%
1.6E+00	38	98.5%
2.7E+00	18	98.9%
4.5E+00	7	99.2%
7.4E+00	4	99.4%
1.2E+01	0	99.5%
2.0E+01	3	99.6%
3.3E+01	0	99.8%
5.4E+01	0	99.8%
9.0E+01	0	99.8%
1.5E+02	0	99.9%
2.4E+02	0	99.9%
4.0E+02	0	100.0%
6.6E+02	0	100.0%
1.1E+03	0	100.0%
1.8E+03	0	100.0%
3.0E+03	0	100.0%
4.9E+03	0	100.0%
次の級	0	100.0%

: 10,000 回の繰り返し回数で得た平均値を 1 とした規格値



： 10,000 回の繰り返し回数で得た平均値を 1 とした規格値

図 12-6 BWR 仮想プラントにおける全炉心損傷頻度の代表値

### 13 PRA 用国内一般機器故障率検討有識者会議の論点

PSA 用国内機器一般故障率検討有識者会議では、国内一般機器故障率計算の位置付けや技術的側面に関する議論が行われた。その主な内容については附録 A.3 に議事録を、附録 A.4 にまとめ表を掲載した。本章では、上記の議論を踏まえ、国内一般機器故障率の使い方、ならびに技術的留意点についてまとめる。

#### 13.1 国内一般機器故障率の使い方について

従来、国内の PRA 用故障データは、弊協会の NUCIA に電力会社が登録したトラブル情報の中から、適宜 PRA 用にスクリーニングしたデータが蓄積されてきたが、今後は、平成 20 年度より開始された旧原子力安全・保安院の新検査制度の下で、保守管理指標の評価に用いる系統故障（function failure, FF）のデータ（以下、FF データ）を用い、PRA 用機器故障データを収集・蓄積するよう、随時しくみを変更していく予定である。FF データは安全上の機能喪失に着目して収集されるデータであるため、NUCIA のトラブル情報の登録基準よりも PRA の分類基準に近く、国内電力会社ではより PRA 用に相応しいデータ収集が可能になると考えている（今後の電力業界におけるデータ収集の方向性については附録 E を参照）。今回算出した国内一般機器故障率は、今後この FF データを用いてベイズ統計手法により個別プラント機器故障率を更新していくための事前分布として使用することを想定している。

なお、PRA モデル化対象機器の中には、FF データの対象外で収集されない機器があり、そのような機器の故障データは整備されないことになるが、「原子力発電所の保守管理規定（JEAC4209-2007）」には安全機能重要度分類上あるいはリスク重要度分類上いずれかが重要となる系統機能に対して FF データ収集対象とすることが規定されているため、FF データ収集対象外の機器は重要でない基事象の中に含まれている。また、リスク上重要で無い基事象の故障率を 2 倍程度とした粗い感度解析（本有識者会議で実施した解析ではない）では、CDF への感度は 1 割未満になるとの説明がなされた。ただし、PRA 対象でありながら FF データ対象外である機器の影響については、本報告の対象範囲外である<sup>注)</sup>。

今回算出した国内一般機器故障率が個別発電所に適用する上で妥当かどうかについては、算出した故障率の値と個別発電所の信頼性実績を対照検討（算出した国内一般機器故障率から予測される故障件数の範囲に当該個別発電所の故障件数実績が入っているかどうか、などの検討）していないため、本報告で確定的な判断を下すことはできない<sup>注)</sup>。故障率算出の設定条件が個々の発電所の実態と乖離している場合は、個別に設定条件を変更して算出した故障率を用いることがあってもよい。今回算出した国内一般機器故障率は、次項に述べるような特徴・長所・短所を理解したうえで、個別発電所の判断で PRA に適用すべき

---

注) FF データ対象外の機器による影響や国内一般機器故障率の個別適用性については、個別発電所 PRA の中で情報を示すことが品質保証上重要であろう。



である。

### 13.2 計算手法や結果の技術的留意点について

国内一般機器故障率の計算に用いた階層ベイズ手法は、本来集団の中の個体差を分析する手法であるにもかかわらず、今回の機器故障率計算では、個別故障データ以外に発電所個別の条件を設定しておらず、結果も個別発電所の結果を統合した全発電所共通の国内一般機器故障率を求めている。このため、個別発電所の結果を使おうとすると、個別の設定条件でないことによる不公平・不都合が生じるため、結局は全発電所共通の国内一般機器故障率を用いることとした。また、逆に、国内一般機器故障率は国内全発電所の不確かさを包絡しているため、個別発電所への適用の際には他所の不確かさまで評価に含めることになる。一般と個別に関する具体的留意点（有識者会議での対立論点）を下記に述べる。

#### a) 発電所個別のデータ収集確率

発電所によってデータ収集活動の重点度の差や、不適合管理体制の差があるので、それに応じてデータ収集確率を差別化したほうが適切ではないかという意見があった。つまり、全発電所に共通のデータ収集確率（事前分布）を与えると、厳格なデータ収集管理をしている発電所のほうが故障率の数値が高くなり、見かけ上信頼性が低くなるという不公平があるのではないかという懸念である。これに対し、実際に発電所個別のデータ収集確率を与えるには個々の発電所の不適合管理活動等の実態を知る必要があるが、ただちに個別評価を行うのは極めて困難であることから、現段階では、個別発電所故障率を用いるとかえって上で述べたようなデータ収集確率の不公平が生じるため、一般故障率を用いざるを得ない、という意見があった。

今後、発電所個別で適切に PRA データを収集すれば、“データ収集確率”を導入する必要はなくなり、そのデータを用いて個別故障率を計算すれば将来的に適切な結果が得られると考えられる。

#### b) 機器個別のデータ収集確率

安全系主要機器のように故障の把握漏れがほとんどありえない機器（非常用 DG、安全系ポンプなど）と、発電所の安全性に大きな影響を与えないような重要度の低い機器（母集団把握の難しい一部の電気計装品など）とでは、データ収集の精度が異なると考えられるので、それに応じてデータ収集確率を差別化したほうが適切ではないか、という意見がある。しかしながら、現段階では機器ごとの差別化情報を整理するのは容易ではなく、現結果のままとせざるを得ない。

#### c) データ収集確率の値

データ収集確率のとり得る値の中に 0.1～0.3 という低い値があるということは、産業界自らデータを適切に収集していないという認識を表明することになるのではないかと意見がある。これに対して、データ収集確率に関する有効な情報が少なく、データ収集確率が 0.1 もしくは 0.9 といった極端な値を完全に否定できないため、データ収集確率の事前分布は極端な値である可能性を考慮しつつもその可能性は低いことを確率密度で

表現しているとの意見もある。また、データ収集確率にあまりに大きな保守性を導入すると、確率論を持ち込む意義（＝不確かさを現実に即して考えること）が薄れるのではないか（一般に、保守性を導入するのは不確かさが確率論的に考慮できない場合）、という疑問がある。この疑問に対して、データを適切に収集できていなかった可能性は、NUCIAがPRA用機器故障率算出のためのデータ収集を第一の目的とはしていなかったことに起因しており、機器故障率算出の中で保守性を考慮するのはやむをえないとの意見もある。

## 14 まとめ

NUCIA の PRA 用データベースに収録されている 1982 年度～2007 年度 26 ヶ年国内機器故障データを基にして、国内 55 基の国内一般機器故障率を算出した。これは、2009 年 5 月に日本原子力技術協会から公開された国内一般機器故障率（国内 49 基、1982 年度～2002 年度 21 ヶ年データ）に対し、対象プラントを BWR2 基、ABWR4 基追加し、かつ対象期間を 1982 年度から 2007 年度まで拡大して機器故障率を更新したものである。

今回の 26 ヶ年データの収集においては、故障件数のみを対象に行ったが、設備改造により員数が増減していることも考えられることから、今後は故障件数に加えて、機器員数についてもデータの収集を行うことが望ましいと考えられる。

現在、産業界の協力を得て弊協会が中心となって FF データを利用した機器故障率の算出準備を進めており、その際機器員数の再調査を実施する計画であるため上記課題は解決される見込みである。

## 参考文献

- [1] <http://www.nucia.jp/>
- [2] “PSA 用故障率データに関する調査”平成 9 年 3 月, (財) 原子力安全研究協会報告書
- [3] “原子力発電所に関する確率論的安全評価用の機器故障率の算出(1982 年度～1997 年度 16 カ年 49 基データ 改訂版)”平成 13 年 2 月, 電中研報告 P00001, (財) 電力中央研究所
- [4] “故障件数の不確かさを考慮した国内一般機器故障率の推定”平成 21 年 5 月, (有) 日本原子力技術協会
- [5] “改良型 BWR(ABWR)プラントの PRA(PSA)用機器故障率データの整備(その 1)”平成 16 年 3 月, 電中研報告 P03001, (財) 電力中央研究所
- [6] <http://www.mrc-bsu.cam.ac.uk/bugs/>
- [7] C.L. Atwood, et al., “Handbook of Parameter Estimation for Probabilistic Risk Assessment,” NUREG/CR-6823, USNRC, September 2003.
- [8] Meng Yue, Tsong-Lun Chu, ” Estimation of Failure Rates of Digital Components Using a Hierarchical Bayesian Method”, PSAM-8th, May 2006.
- [9] 伊庭幸人, 種村正美, 大森裕浩, 和合肇, 佐藤整尚, 高橋明彦, 「計算統計 マルコフ連鎖モンテカルロ法とその周辺」, 岩波書店
- [10] S.A. Eide, et al, “Industry-Average Performance for Components and Initiating Events at U.S. Commercial Nuclear Power Plants”, NUREG/CR-6928, USNRC, February 2007.

## **附録 A PSA 用国内機器一般故障率検討有識者会議**

### **A.1 設置趣意書**

### **A.2 委員名簿**

### **A.3 議事録（3 回）**

### **A.4 PSA 用国内機器一般故障率検討有識者会議における論点**

## A.1 設置趣意書

平成 20 年 9 月 24 日  
(有) 日本原子力技術協会

### PSA 用国内機器一般故障率検討有識者会議の設置について

#### 1. 背景

現在、リスク情報を用いた判断の基となる PSA について、その品質確保に向けた基盤整備のための活動が産官学において進められている。その一つとして、特に PSA への入力となる機器故障率等のパラメータについて、標準的推定手法を整備する必要があるとの認識から、平成 18 年度、日本原子力学会標準委員会に PSA 用パラメータ分科会が設置され、PSA に用いるパラメータの算出方法や技術的要求事項を定める「PSA 用パラメータ推定に関する実施基準」の策定が進められている。

一方、具体的なパラメータの値については、データを所有する個々のプラントにおいて学会基準に準拠して算出していく必要があり、産業界全般で用いる事の出来る、最新知見を反映した国内一般故障率が求められている。そこで当協会では、平成 17 年度より、米国パラメータを事前分布とした段階ベイズ手法、および、マルコフ連鎖モンテカルロ手法を用いた階層ベイズ手法による国内一般機器故障率の検討を進めてきた。この検討をもとに、平成 19 年度には、我が国の産業界のデータを用いて故障件数データの不確実性を考慮した国内一般機器故障率の算出を行った。

#### 2. PSA 用国内機器一般故障率検討有識者会議の設置

平成 19 年度に当協会で実施した国内一般機器故障率推定の手法と結果、ならびに、今後の電力業界におけるデータ整備の取り組み方針に対して、日本原子力学会「PSA 用パラメータ推定に関する実施基準(案)」の定める要求事項に照らしてそれらの妥当性を評価するため、当協会主催で「PSA 用国内機器一般故障率検討有識者会議」を設置する。

なお、当会議は非公開で実施するが、会議での評価結果報告は、広く一般に資する為に公開する。また、PSA 用パラメータ分科会にて、「PSA 用パラメータ推定に関する実施基準」の附属書(解説)に我が国の具体的例示として記載することを提案する。

#### 3. 評価にあたって参考とする文書類

##### a. 米国文献

- ・ NUREG/CR-6823, “Handbook of Parameter Estimation for PRA”, NRC,

2002

- ASME, “Standard for PRA for Nuclear Power Plant Applications”, ASME RA-Sb-2005

b. 国内標準関連文書

- 日本原子力学会「PSA 用パラメータ推定に関する実施基準（案）」
- 日本原子力学会「レベル 1PSA 実施基準」
- 原子力安全・保安院「PSA 品質ガイドライン」

4. 委員構成

委員構成(案)を資料 1-2 に示す。

委員は PSA を含む安全工学を専門とする学識経験者、学術研究機関関係者、PSA 実施経験者により構成し、原則 1 組織から 1 名とする。委員の他に常時参加者（オブザーバ）若干名の参加も認める。参加者は会議での発言や資料提出も可能とする。現構成（案）では 20 名、参加者 5 名としているが、途中での増員も可能とする。

5. スケジュール

報告書公開までのスケジュール案を以下に示す。計 4 回程度の開催を見込むものとする。

PSA 用国内機器一般故障率検討有識者会議スケジュール（案）

	H20.10 月	H20.11 月	H20.12 月
有識者会議	第一回 ▽	第二回 ▽	第三回 ▽
			最終 ▽
「国内機器一般故障率の整備」報告書案検討	<div></div>		
国内プラントデータによるベイズ推定の技術的検討	<div></div>		
CDF 評価への感度解析・適用性の検討	<div></div>		
報告書案のまとめと公開	<div></div>		

## A.2 委員構成

	氏 名	所 属
主査	熊本博光	京都大学大学院 情報学研究科 システム科学専攻
委員	鈴木和彦	岡山大学大学院 自然科学研究科
委員	笠井雅夫	秋田県立大学 システム科学技術学部 電子情報システム学科
委員(第一回のみ)	(故)福田 護	(独)原子力安全基盤機構 解析評価部
委員	村松 健	(独)日本原子力研究開発機構 安全研究センター
委員	栗坂健一	(独)日本原子力研究開発機構 次世代原子力システム研究開発部門 FBR システムユニット 炉心安全グループ
委員	石田倫彦	(独)日本原子力研究開発機構 東海研究開発センター 核燃料サイクル工学研究所 再処理技術開発センター
委員	松尾俊弘	東京電力(株) 原子力設備管理部 原子炉安全技術グループ
委員	成宮祥介	関西電力(株) 原子燃料サイクル室
委員	岩谷泰広	中部電力(株) 発電本部原子力部
委員	友澤孝司	四国電力(株) 原子力本部 原子力保安研修所 安全技術研究グループ
委員	玉内義一	日本原燃(株) 安全技術室 安全技術部 安全技術グループ
委員	橋本和典	(株)東芝 電力システム社 礫子エンジニアリングセンター 原子力システム設計部
委員	久持康平	日立 GE ニュークリア・エナジー(株) 原子力計画部 原子炉計画グループ
委員	坂田 薫	三菱重工業(株) 原子力事業本部 原子力技術センター 原子炉安全技術部 安全審査統括グループ
委員兼事務局	佐藤親宏	(株)テプコシステムズ 電力システム第2本部 原子力エンジニアリング部
委員	門田勇作	(株)原子力エンジニアリング 解析サービス部
委員	桐本順広	(財)電力中央研究所 原子力技術研究所 発電基盤技術領域
委員	中村 誠	(財)電力中央研究所 原子力技術研究所 発電基盤技術領域
委員兼事務局	吉田智朗	(有)日本原子力技術協会 規格基準部 プラント運用グループ
参加	戸塚真義	(独)日本原子力研究開発機構 東海研究開発センター 核燃料サイクル工学研究所 再処理技術開発センター
参加	石井 覚	(株)中電シーティーアイ 電力ソリューション第2事業部 発電技術部
参加	村山賢之	関西電力(株) 原子力事業本部 安全技術グループ
参加兼事務局	倉本孝弘	(株)原子力エンジニアリング 解析サービス部
参加兼事務局	高木唯和夫	(有)日本原子力技術協会 規格基準部 プラント運用グループ



### A.3 議事録(3回)

有限責任中間法人 日本原子力技術協会

#### 第1回 PSA用国内機器一般故障率検討有識者会議 議事録

日 時： 2008年9月24日(水) 16:25～18:15

場 所： 仏教伝道会館 4階 光の間

出席者 (敬称略)

(出席委員) 熊本(主査, 京大), 石田(JAEA), 岩谷(中電), 笠井(秋田県立大),  
門田(NEL), 桐本(電中研), 栗坂(JAEA), 佐藤(TEPSYS), 玉内(原燃),  
友澤(四電), 中村(電中研), 成宮(関電), 橋本(東芝), 久持(日立GE),  
福田(JNES), 松尾(東電), 吉田(原技協) (17名)

(欠席委員) 坂田(MHI), 鈴木(岡山大), 村松(JAEA)

(参加者) 石井(CTI), 倉本(NEL), 高木(原技協), 戸塚(JAEA)

配布資料

- 1-1 PSA用国内一般機器故障率検討有識者会議の設置について
- 1-2 PSA用国内一般機器故障率検討有識者会議委員名簿(案)
- 1-3 添付「PSA用パラメータ実施基準で今後階層ベイズを推奨する考え方」に記載すべき内容
- 1-4 「故障件数の不確かさを考慮した国内一般機器故障率の推定」  
(実施基準附属書C(案))
- 1-5 「階層ベイズモデルによるパラメータ推定のための事前分布選択指針」  
(実施基準附属書E(案)の補足説明)

議事及び主な質疑応答

#### (1) 出席者確認/資料確認

吉田委員(兼事務局)より, 出席者確認及び資料確認が行われた。  
本会議の委員の多くは, 分科会委員と兼ねてなっている。  
本会議の定足数は, 特に設けない。  
本会議の主査も, 分科会同様, 京大熊本教授になっていただく。

#### (2) 有識者会議の設置趣意/本会議の進め方の確認

吉田委員(兼事務局)より, 資料1-1及び資料1-2を用いて, 本会議設置の趣意説明, 及び, 本会議の進め方の説明が行われた。

また, 桐本委員より, 資料1-3もあわせて説明しながら, 本会議での主要論点等に関する

補足説明がなされ、さらに、本会議の具体的な最終ゴールのイメージが説明された。

(3) 実施基準附属書 C(案)の説明・議論

佐藤委員より、資料 1-4 (第 10 回 PSA 用パラメータ分科会での配付資料 P13SC10-2-4) を用いて、故障件数の不確かさを考慮した国内一般故障率の推定が説明された。

時間に制限があり十分な議論は尽くせなかったが、主には以下の様な議論が行われた。

- ・ 実際のデータで  $X_i$  の事後分布と  $\lambda_i$  の相関の直接的な整理・説明をしてはどうか。
- ・ データ収集確率  $\text{Beta}(4,6)$  の妥当性は本会議でコンセンサスを得るものであり、妥当性の説明方法等を十分に議論する必要がある。
- ・ 事後分布確率  $P_i$  はモンテカルロ計算で変わるパラメータかどうか。
- ・ 故障件数がある場合の故障率 (平均値) は、運転経験がほぼ近いのか米国 SPAR での数値に近い様であるが、EF は 0 件において SPAR より大きめに出ている、という印象である。

(4) 実施基準附属書 E(案)の補足説明

中村委員より、資料 1-5 (第 10 回 PSA 用パラメータ分科会での配付資料 P13SC10-2-5 の補足説明資料) を用いて、階層ベイズモデルによるパラメータ推定のための事前分布選択指針が説明された。

本日は時間切れとなり、質問等は次回に行う事とした。

(5) 今後の進め方

資料 1-4,1-5 に対して、質問等があれば、事務局に寄せてもらう。また、本会議での主要論点と考えられる「情報収集確率」に関して、どのようにすべきか提案があれば挙げてもらう。

次回は、10 月後半以降で行う様に日程を調整する。

以 上

有限責任中間法人 日本原子力技術協会  
第2回 PSA用国内機器一般故障率検討有識者会議 議事録

日 時： 2008年11月7日（金） 13:30～16:30  
場 所： 東京機械本社ビル6階貸会議室 第4会議室

出席者（敬称略）

（出席委員） 熊本(主査,京大),石田(JAEA),岩谷(中電),笠井(秋田県立大),  
門田(NEL),桐本(電中研),栗坂(JAEA),佐藤(TEPSYS),玉内(原燃),  
友澤(四電),中村(電中研),成宮(関電),橋本(東芝),久持(日立GE),  
松尾(東電),吉田(原技協),坂田(MHI), (17名)  
（欠席委員） 鈴木(岡山大),村松(JAEA)  
（参加者） 石井(CTI),高木(原技協),橋田(関電),戸塚(JAEA),園山(TEPSYS)

配布資料

- 2-1 PSA用国内一般機器故障率検討有識者会議委員名簿
- 2-2 第1回 PSA用国内一般機器故障率検討有識者会議 議事録(案)
- 2-3 変数や計算条件の意味についての確認
- 2-4-1 ハイパー事前分布( $\mu$ )の感度解析
- 2-4-2 ハイパー事前分布( $\sigma$ )の感度解析
- 2-5 収束性の確認について(含 参考資料)
- 2-6 保全活動管理指標を活用したPSA故障事象の収集について
- 2-7 炉心損傷頻度点推定値の試評価
- 2-8 一般故障率の妥当性評価の観点について
- 2-9 故障件数の不確かさを考慮した国内一般機器故障率の推定  
(日本原子力学会標準 附属書C(参考)案)

議事及び主な質疑応答

(1) 出席者確認/資料確認

吉田委員(兼事務局)より,出席者確認及び資料確認が行われた。福田委員がご逝去されたが,欠員補充はなし。

(2) 前回議事録確認

吉田委員より前回議事録について説明され,コメントがあれば事務局まで連絡することとなった。

(3) 変数や計算条件の意味についての確認

吉田委員より、資料 2-3（変数や計算条件の意味についての確認）を用いて、変数、計算条件についての説明がされた。

- ・ プラント個別のデータ収集確率  $p_d$  はベイズ更新されることが報告された。
- ・ プラント個別の  $p_d$  の事例を提示するよう依頼があった。
- ・ プラント毎にデータ収集確率は異なる可能性があるが、現行のモデルでは同じ事前分布を全プラントに適用している。この妥当性について議論された。

(4) 超母数 ( $\mu$ ) 事前分布感度解析結果

門田委員より、資料 2-4-1（ハイパー事前分布 ( $\mu$ ) の感度解析）を用いて  $\mu$  の事前分布の感度解析について説明がされた。

- ・ 観測件数がある場合、 $\mu$  の事前分布は妥当であることが確認された。
- ・ ゼロ件故障に対しては、事前分布を用いて有限の情報を積極的に用いる必要性が確認された。
- ・  $\mu$  の事前分布の設定にプラント毎の最尤推定値が用いられているが、ゼロ件故障のプラントに対しては 0.5 件を仮定して最尤推定している。ゼロ件故障（プールデータ）評価時にも 1 件以上の場合と同様な手法で設定している本モデルを妥当とするか、もしくはゼロ件故障に対しては別途もう少し広い事前分布に変更し、さらに一般故障率を下げるようにするのか議論された。
- ・ ゼロ件故障に対して  $\mu$  の事前分布を小さい方向に拡大すると、故障率は低減することが報告され、ベースケースは保守的であることが報告された。
- ・ データ収集確率の設定と 0.5 件の仮定の整合性について指摘があり、故障率推定の全体の整合性についての問題提起があった。
- ・ ゼロ件故障の  $\mu$  の設定（故障率の設定）について、例えば諸外国の値と比較するなどなんらかの根拠を示し、0.5 件の仮定を用いた  $\mu$  の範囲が妥当かどうかを確認することが提案され、論点は如何に保守的な考えで下限を設定するかであることが確認された。

(5) 超母数 ( $\sigma$ ) 事前分布感度解析結果

佐藤委員より、資料 2-4-2（ハイパー事前分布 ( $\sigma$ ) の感度解析）を用いて  $\sigma$  の事前分布の感度解析について説明がされた。

- ・  $\sigma$  の事前分布の設定については特に問題がないことが確認された。
- ・ 資料 2-3 では観測件数  $Y=0$  のとき故障件数  $X$  は平均で約 5 となるが、階層ベイズモデルでは  $Y=0$  のとき  $X$  は 0.02 件程度となり、この乖離について議論された。この原因は母集団-変動分布からサンプリングされる故障率と露出時間の影響であるとの意見があった。最終的な報告書には誤解がないようこのメカニズムについて追記することが提案された。また、このメカニズムを直感的にわかりやすくするため、例えば故障率が 1/1000、

1000 運転時間，ゼロ件の報告件数時に，実際の故障は何件であったかなどの仮想的な評価を資料 2-3 に追加することが提案された。

(6) マルコフ連鎖モンテカルロ計算の収束確認結果

門田委員より，資料 2-5 収束性の確認について（含 参考資料）を用いてマルコフ連鎖モンテカルロ計算の収束性と自己相関性について説明がされた。

- ・ 収束性と自己相関性は問題がないことが確認された。
- ・ デマンド故障率の解析の高速化について議論された。

(7) 保全活動管理指標による PSA 故障事象の収集

松尾委員より，資料 2-6（保全活動管理指標を活用した PSA 故障事象の収集について）を用いて今後の PSA 故障事象の収集について説明がされた。

- ・ PSA でモデル化しているが FF 対象外とる機器に関するデータの取り扱いについて対策の必要性が提起された。

(8) 本検討会における妥当性評価の観点について。

吉田委員より，資料 2-8（一般故障率の妥当性評価の観点について）を用いて妥当性評価に関する意見について説明がされた。

- ・ 特にデータ収集確率の設定の妥当性が議論されるが，この設定には様々な意見があり，本結果を実際に用いる場合はメリット/デメリットを理解したうえで使用することが望ましいとの意見があった。
- ・ 今回のスコープは，将来個別プラント故障率を評価する際の事前分布として使用する一般故障率であることが改めて確認された。
- ・ 資料の 2. の「代表プラント代用機器」の記載を修正する。
- ・ データ収集確率をプラント毎で使い分けることは現状では困難であり，一般故障率を用いればデータ収集確率の設定に起因した不公平感は少なくなるのではないのかとの意見があった。
- ・ 資料 2-8 の位置づけは，さまざまな意見を提示することであり，継続して意見を集約することが確認された。課題点を明確にしたうえで使用時の注意喚起をするなどの方策をしたうえで，この一般故障率を合意したいとの方針が提案された。

(9) 炉心損傷頻度点推定値の試評価

佐藤委員より，資料 2-7（炉心損傷頻度点推定値の試評価）を用いて炉心損傷頻度の試評価の説明がされた。

- ・ 大きい EF を設定すると炉心損傷頻度の不確実さ解析時にモンテカルロの収束性が悪化することが報告され，比較的大きい EF を専門家判断で調整することや，もしくは不確

実さ解析時にモンテカルロ回数を増やすことを推奨事項として記載することが提案された。

- ・ CDF 評価に点推定値解析結果を追加することが提案された。
- ・ BWR の評価結果で全 CDF のヒストグラムを提示するよう依頼があった。

(10) 今後の進め方

次回は 1 2 月初旬を目処に調整する。この報告書は 1 月末程度を目処に取り纏める方針であることが吉田委員（兼事務局）よりあった。

以 上

有限責任中間法人 日本原子力技術協会  
第3回 PSA用国内機器一般故障率検討有識者会議 議事録

日 時： 2008年12月19日（金） 13:30～16:30

場 所： 東京機械本社ビル6階貸会議室 第1会議室

出席者（敬称略）

- （出席委員） 熊本(主査,京大),石田(JAEA),岩谷(中電),笠井(秋田県立大),  
門田(NEL),桐本(電中研),佐藤(TEPSYS),玉内(原燃),友澤(四電),  
中村(電中研),橋田(成宮代理)(関電),橋本(東芝),久持(日立GE),  
溝上(松尾代理)(東電),吉田(原技協),坂田(MHI), (16名)
- （欠席委員） 鈴木(岡山大),村松(JAEA),栗坂(JAEA)
- （参加者） 石井(CTI),戸塚(JAEA)

配布資料

- 3-1 「第2回 PSA用国内機器一般故障率検討有識者会議議事録(案)」
- 3-2 「第2回までの論点のまとめ」
- 3-3 「データ収集確率  $p_d$  の意味について(改)」
- 3-4 「データ収集確率と故障件数との関係」
- 3-5 「ゼロ件故障に対する  $\mu$  の事前分布の範囲の妥当性について」
- 3-6 「炉心損傷頻度の不確かさ解析」
- 3-7 「非常用ディーゼル発電機継続運転失敗故障率の推定」
- 3-8 「本有識者会議のまとめ方について」

議事及び主な質疑応答

(1) 出席者確認 / 資料確認

吉田委員(兼事務局)より,出席者確認及び資料確認が行われた。

(2) 前回議事録確認

吉田委員より前回議事録について項目を読み上げて確認をとった。既に寄せられたコメントは反映済みである。

(3) 第2回までの論点のまとめ

吉田委員より,資料3-2「第2回までの論点のまとめ」を用いて,コメント等の論点に関する対応等についての説明がされた。

- ・ 項目 14 の対応等の最後の行の品質を有するとの記述は不適當であるとの意見があった。
- ・ 項目 19 の対応等に関して議論があり、「今回の一般故障率は近い将来、FF データより収集したデータで更新して、個別プラント故障率としての使用を予定している」に変更するとの提案があった。
- ・ 個別プラント故障率の使用に関する有識者会議の対応について議論があり、後のまとめ方のところで再議することになった。

#### (4) データ収集確率 $p_d$ の意味について(改)

吉田委員より、資料 3-3「データ収集確率  $p_d$  の意味について(改)」を用いて前回の説明を補うかたちで、データ収集確率  $p_d$  の意味について説明がされた。

- ・ 前回の資料では実故障件数が大きい値になり、一般故障率計算結果の値と食い違っていたが、本改訂で食い違いは一掃された。
- ・ この資料は以前の同様の資料と一緒にして説明用の資料とするの方針が提案された。
- ・ 式中の観測件数と確率変数が入れ替わっていることが議論され、その説明を附属書に書くようにと要望があった。

#### (5) データ収集確率と故障件数との関係

吉田委員より、資料 3-4「データ収集確率と故障件数との関係」を用いてデータ収集確率の事後分布と故障件数との関係について説明がされた。

- ・ 収集確率が事前と事後で変化する過程が説明された。
- ・ 更新する件数が小さいので、感度は大きくないが、変化が判るように、そして何故変化するのかを分かり易く書くようにと要望があった。

#### (6) ゼロ件故障に対する $\mu$ の事前分布の範囲の妥当性について

佐藤委員より、資料 3-5「ゼロ件故障に対する  $\mu$  の事前分布の範囲の妥当性について」を用いてゼロ件故障に対する  $\mu$  の事前分布の範囲の妥当性について説明がされた。

- ・ 0 件故障の場合は  $\mu$  の下限値を抑える必要があることが、前回の議論で判っているが、今回、EPIX のデータと比較することで下限値の設定が十分に低いことが確認された。

引き続き補足資料により  $\mu$  の事前分布設定に関する説明が佐藤委員からなされた。

- ・ 0.5 件の設定の妥当性が議論された。
- ・ ハイパー事前分布を一様分布にした理由の附属書への記載の要望があった。
- ・ ガンマ分布とか対数正規分布を仮定すれば事後分布が切断されないとの意見があった。ガンマ分布とか対数正規分布の操作性は一様分布と変わらないとの意見もあった。

#### (7) 炉心損傷頻度の不確かさ解析



佐藤委員より、資料 3-6「炉心損傷頻度の不確かさ解析」を用いて炉心損傷頻度の不確かさについて説明がされた。

- ・ 平均値が 95 % 値を超えており、大きなエラーファクターによるものと推察された。
- ・ 比較的大きなエラーファクターが設定された場合は、炉心損傷頻度の不確かさ解析にはモンテカルロの必要反復回数が増大することが示された。

引き続き門田委員から PWR の説明がなされた。

#### (8) 非常用ディーゼル発電機継続運転失敗故障率の推定

吉田委員より、資料 3-7「非常用ディーゼル発電機継続運転失敗故障率の推定」を用いて非常用ディーゼル発電機継続運転失敗故障率の推定方法とその推定結果について説明がされた。

- ・ 非常用ディーゼル発電機継続運転失敗故障率のみが頻度論で求められており、エラーファクターも大きくなっていたが、今回、Winbugs を使用して、ワイブル分布を想定した解析から故障率が求まり、エラーファクターも小さくなった。
- ・ 階層ベイズの実施には問題点があり、現時点では困難である。
- ・ ワイブル分布を仮定する妥当性、パラメータの分離の問題、及び時定数と運転時間について議論があった。
- ・ 頻度論の値はワイブル解析で求めた平均故障率を収集確率で除して推定値としているが、この取り扱いに関しても議論があった。
- ・ DG の運転はサーベイランスなので、30 分程度の運転であり、運転打ち切り時間の 30 分と 2 時間には大きな不確かさが存在する。
- ・ 米国には負荷試験があるので長時間運転のデータがある。

#### (9) 本有識者会議のまとめ方について

吉田委員より、資料 3-8「本有識者会議のまとめ方について」を用いて有識者会議のまとめ方の説明がされた。

- ・ 個別故障率は公開されないもので、個別故障率の使用の推奨の問題は発生しない。
- ・ 個別故障率に関する議論についてはふれることとし、一般故障率を導出するために、階層ベイズを実施したと明記するとの提案があった。
- ・ FF データ収集から何を指すのか、どこまで記載するかの議論があった。
- ・ 個別プラントのベイズ更新のイメージを持つために、仮想的な FF データを考えて、求まっている事前分布を更新して、どのような事後分布になるか示すように依頼があった。
- ・ 報告書は原技協の名前で発行し、公開は WEB に貼り付けるとか国会図書館に入れると

かを考えているとの説明があった。

- ・ いままでの報告書の修正、追加し、出来るだけ早く一月中には報告書を纏める。
- ・ 報告書の原案が出てくれば、意見を集約して纏めていく。

(10) 今後の進め方

次回は基本的には2月を目処に調整するがスケジュール的に集まらない場合はメールベースで実施したい。

以 上

#### A.4 PSA 用国内機器一般故障率検討有識者会議における論点

有識者会議で議論された主な論点について下記にまとめた。

「対応(等)」の欄に「資料 - 」とあるのは、検討会議提出資料の番号を指す(議事録に資料タイトルを掲載)。また、同欄( )内には、本報告書本文の該当箇所を指す。

	項目	意見等	対応等
計算技法	母数設定 母集団変動分布の	【コメント】母集団-変動分布として、時間故障率には対数正規分布、デマンド故障率にはロジスティック正規分布を使用している。これにより、仮に超母数事前分布範囲が無作為に設定されても、計算される故障率分布は大きく変動しないようになっている。	【コメント】故障件数が0でない基事象の計算では、 $\mu, \sigma$ の事前分布範囲は尤度関数のピークの範囲を包含しており、 $\mu, \sigma$ の事前分布の設定範囲は妥当である。 (中村, “階層ベイズモデルを用いたデマンド故障確率推定のための事前分布選択指針,” 電中研報告 L07005, 平成 20 年 6 月 参照)
	収束性	【コメント】モンテカルロ計算については、自己相関の傾向が比較的強いもののおおむね収束しており、計算結果への影響は小さいことが確認された。 ただし、デマンド故障確率の計算は、時間故障率の計算に比べて収束が極めて遅く、計算方法の改良の余地がある。	(特になし)
結果の評価	米国一般評価との比較	【コメント】観測故障件数が0でない故障モードの故障率(平均値)は、米国 SPAR モデルで使用している値 (NUREG/CR-6928 に記載されている値)に近い様に見え、まずまず妥当の様に感じる。ただし、観測故障件数が0の故障モードについては、EF が SPAR より大きめに 出ている感がある。	【コメント】 NUREG/CR-6928 は階層ベイズ手法ではなく、共役事前分布の一段階ベイズ手法を用いており、使用したデータも異なるので、本一般故障率と値が近く見えるのは偶然であろう。

	項目	意見等	対応等
	結果の理解	<p>【検討要望】故障観測件数 <math>Y_i</math>、実故障件数 <math>X_i</math>、データ収集確率 <math>p_i</math> 及び個別発電所故障率 <math>\lambda_i</math> の相関の直接的な整理・説明をしてはどうか。</p> <p>資料 2-3 「データ収集確率の意味」では、<math>X_i</math> の発生条件を設定せずに（一様分布と仮定し）<math>Y_i</math> が観測されたときに実件数 <math>X_i</math> はいくつであったかを考えている。この場合、<math>Y_i=0</math> のとき <math>X_i</math> の平均値は約 5 件となっているが、一方、一般故障率計算結果では、<math>Y_i=0</math> である発電所の <math>X_i</math> の平均値は概ね 1 件未満となっていて、両者整合しているように見えない。</p> <p>資料 2-3 の <math>X_i</math> の評価モデルに、故障率 <math>\lambda_i</math> と露出時間データ <math>T_i</math> の条件を加えたモデルに改良して説明したほうが、より直感的にわかりやすいのではないか。例えば、<math>\lambda_i=1/1000</math>、<math>T_i=1000</math>、<math>Y_i=0</math> で、<math>X_i</math> は何件であったかなどを考えてみてはどうか。</p>	<p>資料 3-3</p> <p>（8.1 データ収集確率と実故障件数との関係について 参照）</p>
データ収集確率	意味	<p>【要望】データ収集確率 <math>p_i \sim \text{Beta}(4,6)</math> の裏にあるメッセージを明記してほしい。</p>	<p>本故障率の評価者は、実際に発生した故障の件数のうち、NUCIA に登録される件数の割合は 1 割かもしれないし、9 割以上かもしれない、という認識を持っている。このデータ収集時の不確かさを、データ収集確率分布を広く設定することで表現している。</p> <p>（8.1 データ収集確率と実故障件数との関係について 参照）</p>

	項目	意見等	対応等
	意味	<p>【疑問】データ収集確率の中に 0.1～0.3 という低い値を含めるということは、産業界自らデータを適切に収集していないという認識を表明することになるが、それでよいのか。あまり大きな保守性を導入すると確率論を持ち込む意義（＝不確かさを現実在即して考えること）が薄れるのではないかと（一般に、保守性を導入するのは不確かさが確率論的に考慮できない場合）。</p>	<p>【回答】データ収集確率に小さな値を含めているのは、十分な保守性を考慮しているという意味である。データ収集確率の特徴を報告書に明記し、本故障率を利用する場合は PSA 評価者の判断に委ねる。</p>
	意味	<p>【質問】実故障件数 <math>X</math> は観測件数 <math>Y</math> よりも必ず大きいとしたモデルであるが、逆に <math>X</math> が <math>Y</math> よりも小さい可能性はどのように考えるのか。ありえないと考えてよいのか。</p>	<p>【回答】理論的にはありうるが、データは NUCIA で公開され沢山の目が入っているので、実際に発生していない故障を故障事象として登録している可能性はないと考えられる。</p>
	個別発電所設定	<p>【疑問】発電所によってデータ収集活動の重点度の差や、不適合管理体制の差があるので、それに応じてデータ収集確率を差別化したほうが適切ではないか。全発電所に共通のデータ収集確率を事前分布として与えるのは不公平ではないか（厳格なデータ収集管理をしている発電所のほうが故障率の数値が高くなる）。</p>	<p>【回答】データ収集確率が発電所毎で異なるべきとの意見は理解できるが、実際に発電所個別で与えることは現状では不可能と考える。個別発電所故障率を用いると却ってデータ収集確率の不公平感があるのではないかと。従って、発電所間の不公平を無くすには一般故障率を用いるほうがよいと考える。</p> <p>今後、発電所個別で PSA データを収集し、それを用いて個別故障率を計算すれば将来的に適切な結果が得られる。皆が合意した一般故障率からまずスタートしていかざるをえない。</p>

	項目	意見等	対応等
	個別機器設定	【疑問】安全系主要機器のように故障の把握漏れがほとんどありえない機器と、発電所に大きな影響を与えないような重要度の低い機器とでは、データ収集の精度が異なることも考えられ、そのような違いに応じてデータ収集確率を差別化したほうが適切ではないか。	【回答】機種間で差別化できるほどの情報がないため、対応不能である。データ収集確率の特徴を報告書に明記し、本故障率を利用する場合はPSA 評価者の判断に委ねる。
	個別結果	個別発電所データ収集確率の事後分布はどうなっているのか。	資料 3-4 (8.2 データ収集確率の事後分布について参照)
	設定方法	【疑問】 $\mu$ の事前分布の設定では発電所毎の最尤推定値が用いられているが、ゼロ件故障の場合は最尤推定値がないとして0.5件を仮定して設定している。しかし、データ収集確率 $Beta(4,6)$ [平均値 0.4] の設定により平均故障件数はゼロ件ではないはずではないか。0.5 件の設定とデータ収集確率の設定との間で整合性はあるのか。	資料 3-5 (7.4.5 故障観測件数 0 件の場合の $\mu$ の事前分布設定に関する考察 b) データ収集確率分布と $\mu$ の事前分布の設定手法の整合性 参照)
	設定範囲	【検討要望】観測件数がゼロ件の場合、データだけからは故障率の下限は分析できないため、 $\mu$ の事前分布によって故障率の下限情報を与える必要がある。本計算ではゼロ件故障に対する $\mu$ の事前情報は、各発電所で0.5件の故障を仮定して求めているが、この0.5件の仮定を変更し $\mu$ の事前分布の範囲を広げると、一般故障率はさらに小さく評価される。 故障率はもっと低い可能性があるため、例えば諸外国の値と $\mu$ の事前分布を比較するなどの根拠を示し、0.5 件の仮定を用いた $\mu$ の範囲が妥当かどうかを確認する必要があるのではないか。	資料 3-5 海外の故障率と比較し、今回の計算における $\mu$ の範囲は、著しく低い故障率とならないように設定されていることを確認した。 (7.4.5 故障観測件数 0 件の場合の $\mu$ の事前分布設定に関する考察 a) 米国産業界水準との比較 参照)

	項目	意見等	対応等
FF データ収集	データ収集	【疑問】PSA モデル化の対象でありながら FF データ収集の対象外となる機器については、なんらかの対策を考えておく必要があるのではないか。	【回答】FF データ収集対象外の機器は、重要でない基事象の中に含まれており、それらの故障率を 2 倍程度とした粗い感度解析では、CDF への感度は 1 割未満であった。
CDF 試評価	EF と不確かさ計算の収束性	【コメント】本評価手法は、発電所間のばらつき、データ収集活動の不確かさを取り込んだため、EF がこれまでの結果よりも大きくなる傾向にある。大きい EF を設定すると、PSA の不確かさ解析時にモンテカルロの収束性が悪化する可能性があるため、比較的大きい EF を専門家判断で調整することや、不確かさ解析時にモンテカルロ回数を増やすことなど、収束性の悪化に対する措置について注意喚起する必要がある。	資料 3-6 炉心損傷頻度への影響が大きい非常用 D / G 継続運転失敗のエラーファクターを工学的判断により 30 と設定していたが、ベイズ評価によりエラーファクターが大幅に低減し、CDF の収束性が改善した。 (5.2 非常用 D/G 継続運転失敗率 参照)
	平均値の影響 故障率	【検討要望】故障率の平均値の変動が CDF へ及ぼす影響のみを確認するため、故障率の点推定値による解析結果を追加して欲しい。	資料 3-6 (11 炉心損傷頻度の試評価 参照)
	不確かさ	モンテカルロ計算時の収束性を確認するため、不確かさ解析結果 (BWR) をヒストグラムで示して欲しい。	資料 3-6 (11 炉心損傷頻度の試評価 参照)

	項目	意見等	対応等
	特殊な故障率	<p>【疑問】CDF 評価の結果では、EDG 継続運転失敗率の寄与が大きいという結果が出ているが、この値は特殊な故障率として導出されており、まだ検討を行っていない。</p> <p>EDG 継続運転失敗率の計算には、ワイブル分布の最尤推定法を用いているが、日本原子力学会パラメータ推定実施基準に従えば、指数分布モデルや対数正規分布モデルなどとの比較の上、確率モデルの妥当性検証をすることが必要ではないか。指数分布モデルや対数正規分布モデルの方が適切である可能性もある。また、この故障モードのみ、なぜ頻度論手法を用いているのか。学会基準推奨のとおり、ベイズ手法を用いればよいのではないか。さらに、時間データを用いたワイブルモデルによる故障率推定と故障件数を用いたポアソンモデルによる故障率推定とを比較するのは、事象の捉え方が異なるもの同士の比較なので適切ではないのではないか。</p>	<p>資料 3-7</p> <p>非常用 D/G 継続運転失敗率については、継続運転時間データをベイズ統計によりワイブル解析して 24 時間（使命時間）平均故障率を算出した。</p> <p>（5.2 非常用 D/G 継続運転失敗率 参照）</p>



	項目	意見等	対応等
使い方	位置づけ	<p>【疑問】階層ベイズによって個別発電所の不確かさが評価できているにもかかわらず、わざわざ一般故障率分布に戻して個別発電所に適用するのは、不要な不確かさを持ち込むことになり、適切な使い方ではないのではないか。階層ベイズの個別発電所故障率を使用すればよいのではないか。</p>	<p>【回答】今回の一般故障率は、近い将来、FF データより収集したデータでベイズ更新して個別発電所故障率として使用するための事前分布として用いる値である。</p> <p>当面は個別発電所でも一般故障率だけを用いることになるが、それは他発電所の不要な不確かさまで取り込んでいるということを踏まえたうえで使用する必要がある。</p> <p>データ収集確率が全発電所で一律の設定となっているので、個別発電所故障率を用いると、発電所間のデータ収集確率の不公平感が強調されるため、あまり適切ではない。</p>
	まとめ方	<p>【コメント】本評価に用いたデータ収集確率の設定に疑義がある発電所があれば、その思想をとりこんで独自に評価することがあってもよい。特にそういった希望がなければこの一般故障率を用いてもよいと考える。つまり、この故障率が妥当かどうかとの視点ではなく、この結果のメリットまたはデメリットを理解したうえで使用すると結論が望ましい。</p>	<p>資料 3-8</p> <p>【コメント】データ収集確率の特徴を報告書に明記し、本故障率を利用する場合は PSA 評価者の判断に委ねる。データ収集確率に疑義のある PSA 評価者は別のデータ収集確率を用いて再評価すればよい。</p>

## 附録 B 国内データの機器グループ化

### B.1 NUCIA の機器故障データによる機器グループ定義の検討

NUCIA にこれまで登録されている機器故障データを使用して PRA 用国内一般機器故障率パラメータセットを作成する際には、機器をグループ化するため、現状の NUCIA でのグループ化を基本にしつつ、機器グループの追加等の検討を実施した。ここでは、PRA 用パラメータ推定の国内外技術基準類における機器グループ化に関する規定、及び、米国内一般パラメータでの機器グループ化事例に照らして現状の NUCIA に登録されている機器故障データを分析することにより、機器グループの追加等の検討を行った。

なお、これまでの NUCIA の機器故障データに対しては、トラブル情報の収集及び故障判定に関わる不確かさが指摘されているため、この不確かさ低減の観点から、今後 NUCIA へ入力する PRA 用機器故障データとしては、保全活動管理指標（MPFF：予防可能故障）判定の過程で機能故障（FF）と判定された事象を収集することが検討されている。その際の新たな NUCIA 入力基準における機器グループの定義は、現状の NUCIA データにおける定義と大きく変更する必要のないものと考えられるため、ここでの検討は、将来の NUCIA 機器グループ定義のベースともなるものである。

### B.2 国内外技術基準等における機器グループ化に関する規定及び事例の整理

#### B.2.1 国内 PSA 用パラメータ推定標準案の規定

国内 PSA 用パラメータ推定標準（原子力発電所の確率論的安全評価用のパラメータ推定に関する実施基準）案では、機器グループ化について、本体及び解説において、次のように記載している。

< 本体 >

##### 5.3.4 機器のグループ化

###### a) 機器のグループ化

機器の故障は通常頻繁には発生しないため、機器の設計及び環境、並びに機器の運転状態に基づく機器特性に応じて機器をグループ化する。6.2 事象確率モデルの妥当性検証に必要となる機器特性による分類情報を機器故障のデータに含める。

< 解説 > （NUREG/CR-6823などを参考に次のような記載がされている。）

##### 機器のグループ化

機器の故障は通常頻繁には発生しないため、複数の機器からのデータをグループ化してデータベースを大きくする方がよい。例えば、一つの系統内の類似ポンプを一つの母集団にまとめることがよくある。しかし、異なる系統のポンプを1つの母集団にまとめることは一般的ではない（ただし、異なる系統のポンプでも機器特性が類似していれば1つの母集団に入れてもよい）。

機器をグループ化する場合は、設計の類似性（規模や製造元など）、運転頻度、運転環境条件（温度、湿度、放射線など）、運転モード（待機、通常運転、断続運転など）、及び移送媒体（空気、純水、ホウ酸水など）などの機器特性について慎

重な検討が必要である。グループの定義においては、例えば、試験をしていない弁やほとんど運転していない弁と、試験している弁や頻繁に運転している弁をグループ化しないなど、原則として機器特性が異なるものを一つのグループとはしないこと。一方、十分な機器データが得られないような場合で、機器特性が異なっても故障率が同等となるよう保守の方法や頻度等が考慮されている場合などでは、妥当性検証の結果に基づき一つのグループとすることもできる。

## B.2.2 米国 ASME の PRA 標準の規定

米国 ASME の PRA 標準では次のように規定している（基本的には国内 PSA 用パラメータ推定標準案は ASME 標準と同様の規定としている）。すなわち、機器の設計及び環境，ならびに機器の運転状態に着目してグループ化することを要求している。

***HLR-DA-B** Grouping components into a homogeneous population for parameter estimation shall consider both the design, environmental, and service condition of the components in the as-built and as-operated plant.*

***DA-B2** DO NOT INCLUDE outliers in the definition of a group (e.g. do not group valves that are never tested and unlikely to be operated with those that are tested or otherwise manipulated frequently)*

***DA-B2 Category** When warranted by sufficient data, USE appropriate hypothesis tests to ensure that data from grouped components are from compatible population.*

## B.2.3 米国一般パラメータでの機器グループ化の事例

米国では、NRC の PSA モデルである SPAR 用のパラメータを、一般パラメータとして NUREG/CR-6928 において公表している。

*NUREG/CR-6928 : Industry-Average Performance for Components and Initiating Events at U.S. Commercial Nuclear Power Plants , U.S. NRC , February 2007*

NUREG/CR-6928 では、PRA 用パラメータとして機器故障パラメータ、起因事象発生頻度、系統機器のアンアベイラビリティが整理されている。機器故障については故障データベースである EPIX に基づくデータを分析したものが多く、データが不十分なものなどでは関連する文献等を参照している。また、ポンプの起動失敗や弁の開閉失敗など状態変化に関する故障については、デマンド当たりの確率のみとなっている。不確実さについては、デマンド当たりの確率に対してはベータ分布、ポンプの継続運転失敗などの故障率についてはガンマ分布で表しており、95%値と中央値の比を *EF* として提示している。

NUREG/CR-6928 でのグループ化は、概略次のようになっている。なお、各パラメータ推定の中では、サブグループに分けた場合のパラメータ推定などが考察されている。

#### a) 機器の設計に関するグループ化

弁については、空気作動弁、電動弁、手動弁、電磁弁、逃がし安全弁、爆破弁、真空破壊弁など、現状の NUCIA でのグループ化と同様の機器分類となっている。

ポンプについては、電動・タービン駆動・ディーゼル駆動など、現状の NUCIA でのグループ化と同様であるが、プランジャー型の一種である Positive Displacement Pump が独立したグループになっている。その他の回転機器では、発電機関係で Emergency Diesel Generator とは別に Combustion Turbine Generator、Hydro Turbine Generator のグループが設けられている。また、ファンでは、一般のファンとは別に Cooling Tower Fan のグループが設けられている。これらの機器は米国特有の場合もあり、国内での適用においては、必要に応じて参考とすることになる。

他方、例えば電気品関係の Circuit Breaker では、交流、直流、安全系、常用系に関わらず全てをまとめて一つのグループとしているなど、詳細にはグループ化をしていない。

#### b) 機器の環境に関するグループ化

環境に関しては、機器の設置場所として室内設置、屋外設置や、内包流体である海水、淡水、蒸気などでのグループ化が考えられるものの、NUREG/CR-6928 では、ほぼ全ての機器についてこのような観点からのグループ化はされていない。ただ、配管のリークに関して、Service Water System と Non-Service Water System に分類している。

#### c) 機器の運転状態に着目したグループ化

機器の運転状態としては、待機状態や運転状態などでのグループ化が考えられる。

NUREG/CR-6928 では、電動ポンプ、ファンなどの回転機器に関しては、待機状態(standby)と運転/切替状態(running/alternating)に分類しており、それぞれに対し起動失敗と継続運転失敗のパラメータが設定されている。また、継続運転失敗については、起動から 1 時間以内のパラメータと 1 時間を超える時間に適用するパラメータの 2 種類が設定されている。

なお、特別な状態でのパラメータとして、BWR の高圧注水系(RCIC、HPCI、HPCS)において、注水後原子炉水位高で停止した後の再起動時に適用するパラメータが別に設定されている。国内の PRA においても、高圧注水系の再起動に関係する部分を FT でモデル化している場合が多いと考えられる。

一方、弁類については、試験対象となっている弁とほとんど操作しない弁に分類することなどが考えられるが、特段のグループ化はされていない。

### B.3 現状の NUCIA データの分析による機器グループ化の検討

現状の NUCIA において、PRA 対象機器として登録されている機器グループを表 B-1 に示す。これらの機器グループは、B.2 で検討したように、機器故障率の評価において、基本的に現状のものが利用できると思われる。

ただし、機器の設計及び環境、並びに機器の運転状態毎での機器グループの詳細化は、PRA モデルの精緻化の観点でも有効であると考えられる。現状の NUCIA に登録されている機器故障データを分析することにより、機器グループの追加等を検討した。

### B.3.1 機器グループ化の分析

#### a) 機器の設計に関するグループ化

ポンプ、弁類などについては、PRA で分類されているように、駆動形式によって既にグループ化している。

NUREG/CR-6928 ではポンプについて、BWR でのほう酸水注入系で用いられているような Positive Displacement Pump を独立グループとしているが、現状、NUCIA には縦型・横型など含めたポンプ型式のデータがなく、また国内故障事例は稀であるため、現状ではそこまでの分類は難しい。

弁については、駆動形式以外にもゲート弁、グローブ弁、バタフライ弁など弁自体の型式があるが、現状 NUCIA ではこのようなデータ整理をしていないため、現状ではそこまでの分類は難しい。

また、現状 NUCIA でも、電気関係において、MG セットやインバータをそれぞれ別の機器グループとして分類している。これらは容量・設計等に比較的大きな違いがあることを反映したものである。

トランスミッタやスイッチなどの計装品に関しては、詳細に見れば多様性も比較的大きいため、より細分化した分類も考えられるが、母集団が小さくなりすぎると懸念され、現状程度の分類としておくことが現実的である。NUREG/CR-6928 における分類も、基本的に同様になっている。

#### b) 機器の環境に着目したグループ化

現状の NUCIA で、データ収集の対象としている系統の一覧を表 B-2 に示す。現状の NUCIA では、各機器がどの系統に属しているかは整理されているものの、機器の環境に直接関係するデータは特段存在しない、しかしながら、表 B-2 の系統属性から海水やほう酸など移送媒体は判断できるため、系統分類を用いて、移送流体によるグループ化を実施することは可能である。なお、海水・淡水による分類は、表 B-1 に示す通り、PSA 対象機器でストレーナ/フィルタについては既に実施している。

#### c) 機器の運転状態に着目したグループ化

現状の NUCIA では、主に回転機器に対しては、運転機器かあるいは待機機器かの観点での分類、および、非常用系か常用系かでの分類がある。全ての機器について、これら 4 属性の組み合わせを考慮に入れたグループ化を実施するのは難しいので、PSA 上重要となる機器についてのみ詳細化を検討することが考えられる。

### B.3.2 機器グループの定義

B.3.1 の分析の結果，次のように機器グループを定義することとした。

#### a) 機器の設計に着目したグループ化

現状の機種分類のままとする。

#### b) 機器の環境に着目したグループ化

- 1) NUCIA では，海水やほう酸などを扱う系統を区別できることから，関連する主要な機器について移送流体によるグループ化を行う。ただし，ほう酸については対象系統が限定され，データが十分にないこともあり，海水系のみを対象とする。
- 2) 対象機器としては，既に区分されているストレーナ/フィルタに加えて，主要機器としてポンプ，弁類が考えられる。ポンプについては海水系では主に電動ポンプが PRA で用いられることから，電動ポンプを対象とする。また，弁については，主に電動弁，手動弁，逆止弁が用いられており，この中で一般に信頼性評価への影響が大きい電動弁を対象とする。
- 3) 以上より，機器の環境に着目した機器のグループとして，電動ポンプ及び電動弁において，海水・純水別での機器グループを追加する。

#### c) 機器の運転状態に着目したグループ化

- 1) 回転機器に関しては，運転・待機と非常用系・常用系による分類が可能である。状態の組合せとしては 4 種類となるが，常用系は比較的運転の場合が多く，非常用系は常用も兼ねる補機冷却系以外は，待機の場合が多いと考えられる。
- 2) これらの組み合わせ分類が現れる代表的な機器は電動ポンプであり，故障モードとして起動失敗と継続運転失敗がある。ここで，現状では継続運転失敗に関する運転時間データは主に常用系のものであることから，継続運転失敗でのグループ化は難しいと考えられる。
- 3) 以上より，機器の運転状態に応じた機器グループとして，電動ポンプの起動失敗において，非常用系・常用系別での機器グループを追加する。

表 B-1 NUCIA での PRA 対象機器

項目値コード	表示順	項目値名
010	0001	電動ポンプ
020	0002	タービン駆動ポンプ
030	0003	ディーゼル駆動ポンプ
040	0004	電動弁
050	0005	空気作動弁
060	0006	油圧作動弁
070	0007	逆止弁
080	0008	電磁弁
090	0009	手動弁
100	0010	安全弁
110	0011	逃し安全弁 (BWRのみ)
120	0012	真空逃し弁 (PWRのみ)
130	0013	ダンパー
140	0014	ファン/ブロー
151	0015	MGセット (PLR)
152	0016	MGセット (RPS, CRDM)
170	0017	タンク
180	0018	非常用ディーゼル発電機
191	0019	熱交換器
200	0020	オリフィス
221	0021	ストレーナ/フィルタ (純水等)
222	0022	ストレーナ/フィルタ (海水)
230	0023	遮断器
240	0024	充電器
250	0025	蓄電池
260	0026	母線
270	0027	変圧器
300	0028	制御棒駆動機構 (BWR)
310	0029	制御棒駆動装置 (PWR)
330	0030	制御ケーブル
341	0031	配管 (3インチ以上)
342	0032	配管 (3インチ未満)
350	0033	リレー
360	0034	遅延リレー
380	0035	演算器
400	0036	カード (半導体ロジック回路)
410	0037	警報設定器
421	0038	インバータ (PLR)
422	0039	インバータ (バイタル)
430	0040	ヒューズ
441	0041	流量トランスミッタ
442	0042	圧力トランスミッタ
443	0043	水位トランスミッタ
451	0044	温度検出器
452	0045	放射線検出器
461	0046	温度スイッチ
462	0047	圧力スイッチ
463	0048	流量スイッチ
464	0049	水位スイッチ
470	0050	リミットスイッチ
480	0051	手動スイッチ
490	0052	コントローラ
500	0053	インターナルポンプ
996	0054	対象外

表 B-2(1) NUCIA での登録系統 (BWR)

項目値コード	表示順	項目値名
101	0001	燃料
102	0002	原子炉圧力容器及び炉内構造物
103	0003	主蒸気系
104	0004	原子炉冷却材再循環系
105	0005	原子炉停止時冷却系
106	0006	残留熱除去系
107	0007	低圧炉心スプレイ系
108	0008	高圧炉心スプレイ系
109	0009	高圧注水系
181	0010	高圧炉心注水系
110	0011	原子炉隔離時冷却系
111	0012	非常用復水器系
112	0013	原子炉非常用補機冷却水系
113	0014	原子炉非常用補機海水系
114	0015	原子炉常用補機冷却水系
115	0016	原子炉常用補機海水系
116	0017	原子炉冷却材浄化系
117	0018	原子炉試料採取系
118	0019	原子炉補助系
177	0020	サプレッションプール浄化系
119	0021	原子炉保護系
120	0022	工学的安全施設作動系
121	0023	原子炉制御系
122	0024	制御棒及び制御棒駆動系
123	0025	ほう酸水注入系
124	0026	核計装系
125	0027	中央制御室外原子炉停止系
126	0028	運転監視補助装置
127	0029	燃料取扱装置
128	0030	新燃料貯蔵設備
129	0031	使用済燃料貯蔵設備
130	0032	燃料プール冷却材浄化系
131	0033	プロセス放射線モニタ系
132	0034	エリア放射線モニタ系
133	0035	周辺放射線モニタ系
134	0036	生体しゃへい装置
135	0037	非常用ガス処理系
136	0038	原子炉建屋換気空調系
137	0039	タービン建屋換気空調系
138	0040	中央制御室換気空調系
139	0041	その他の換気空調系
140	0042	気体廃棄物処理系
141	0043	液体廃棄物処理系
142	0044	固体廃棄物処理系
143	0045	固体廃棄物貯蔵庫
144	0046	原子炉建屋(原子炉棟)
145	0047	原子炉格納容器
146	0048	可燃性ガス濃度制御系
147	0049	格納容器調気系(不活性ガス系)
148	0050	格納容器スプレイ系
149	0051	排気筒
150	0052	主タービン
151	0053	タービン制御系
152	0054	タービンランド蒸気系
153	0055	タービン油系
154	0056	抽気及びヒータドレン・ベント系
155	0057	復水器系
156	0058	循環水系
157	0059	復水系
158	0060	給水系
159	0061	タービン補機冷却水系
160	0062	タービン補機海水系
161	0063	タービン試料採取系
162	0064	タービン補助系
163	0065	発電機・励磁機系
164	0066	非常用ディーゼル発電機系
165	0067	A C 所内電源系
166	0068	D C 所内電源系
167	0069	計測制御電源系
168	0070	送受電系
169	0071	補給水系
170	0072	計装用空気系
171	0073	所内用空気系
172	0074	所内蒸気系
173	0075	消火系
174	0076	通信・照明装置
175	0077	気象観測装置
176	0078	格納施設以外の建屋



表 B-2(2) NUCIA での登録系統 (PWR)

項目値コード	表示順	項目値名
201	0079	燃料
202	0080	原子炉圧力容器及び炉内構造物
203	0081	二次冷却系
204	0082	高圧注入系
205	0083	低圧注入系(余熱除去系)
206	0084	蓄圧注入系
207	0085	炉心上部注入系
208	0086	燃料取替用水系
209	0087	化学体積制御系
210	0088	原子炉補機冷却水系
211	0089	原子炉補機海水系
212	0090	蒸気発生器ブローダウン系
213	0091	原子炉試料採取系
214	0092	原子炉保護系
215	0093	工学的安全施設作動系
216	0094	原子炉制御系
217	0095	制御棒及び制御棒駆動系
218	0096	核計装系
219	0097	中央制御室外原子炉停止系
220	0098	運転監視補助装置
280	0099	二次系制御系
221	0100	燃料取扱装置
222	0101	新燃料貯蔵設備
223	0102	使用済燃料貯蔵設備
224	0103	使用済燃料ピット浄化冷却系
225	0104	プロセス放射線モニタ系
226	0105	エリア放射線モニタ系
227	0106	周辺放射線モニタ系
228	0107	生体しゃへい装置
229	0108	格納容器換気空調系
230	0109	補助建屋換気空調系
231	0110	中央制御室換気空調系
232	0111	アニュラス換気空調系
233	0112	その他の換気空調系
234	0113	気体廃棄物処理系
235	0114	液体廃棄物処理系
236	0115	固体廃棄物処理系
237	0116	固体廃棄物貯蔵庫
238	0117	原子炉格納容器
239	0118	外部しゃへい壁
240	0119	アイスコンデンサ設備
241	0120	可燃性ガス濃度制御系
242	0121	格納容器スプレイ系
243	0122	排気筒
244	0123	主蒸気系
245	0124	主タービン
246	0125	タービン制御系
247	0126	タービングランド蒸気系
248	0127	タービン油系
249	0128	抽気及びヒータドレン・ベント系
250	0129	復水器系
251	0130	循環水系
252	0131	復水系
253	0132	給水系
254	0133	補助給水系
255	0134	タービン補機冷却水系
256	0135	タービン補機海水系
257	0136	タービン試料採取系
258	0137	タービン補助系
259	0138	発電機・励磁機系
260	0139	非常用ディーゼル発電機系
261	0140	A C 所内電源系
262	0141	D C 所内電源系
263	0142	計測制御電源系
264	0143	送受電系
265	0144	補給水系
266	0145	計装用空気系(制御用空気系)
267	0146	所内用空気系
268	0147	所内蒸気系
269	0148	消火系
270	0149	通信・照明装置
271	0150	気象観測装置
272	0151	格納施設以外の建屋

## 附録 C 感度解析ベースケース結果の見方について

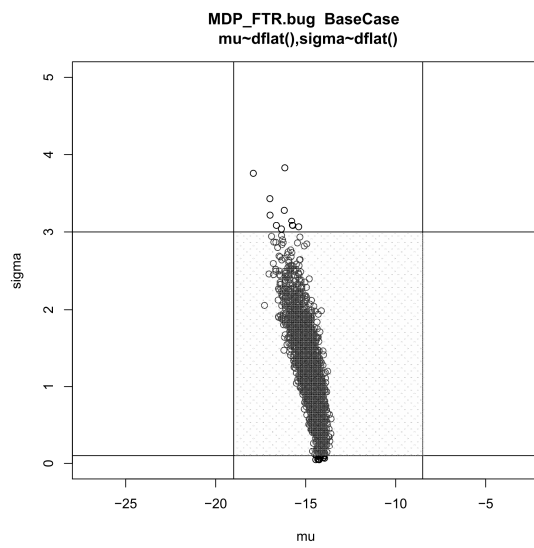
図 C-1 は、感度解析で対象とした 4 つの基事象について、超母数( $\mu, \sigma$ )の事前分布を一様として(WinBUGS の dflat()関数を使用)計算し、事後分布を $\mu$ - $\sigma$ 平面上にプロットしたものである。この結果は、超母数事前分布を $\mu$ - $\sigma$ 全平面で一様としたので、超母数に対する尤度関数の分布を計算したものになる。7.3, 7.4 で示した超母数( $\mu, \sigma$ )についての感度解析の結果は、この尤度関数を超母数の事前分布範囲で切り取ったものに相当する(図から、感度解析における事前分布範囲と尤度関数との関係が容易に把握できる)

図 C-1 の (故障件数 $\neq 0$  の場合)は、計算が収束し自己相関もほとんどないことを確認している。ベースケースで設定した事前分布範囲(図中ハッチング部分)は、概ね尤度関数の存在部分を包含している。これは、図 C-1 の (故障件数 $\neq 0$  の場合)は、事前分布範囲を決めずに計算しても尤度関数のみで故障率/故障確率の事後分布が計算できることを示している。

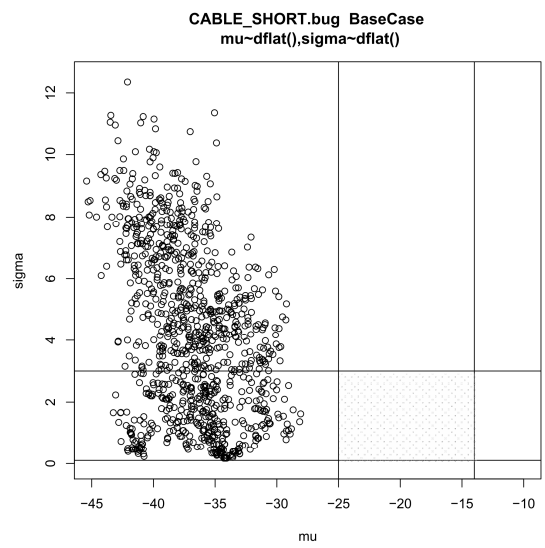
図 C-1 の (故障件数 = 0 の場合)は、計算時間が長く未収束であるが、分布のある範囲は大まかにわかる。この結果から、尤度関数は広範囲にわたっており、ベースケースの事前分布設定範囲は、この尤度関数範囲の一部にかかるのみであることがわかる。従って、事前分布範囲を変更すると、それに直接対応して事後分布範囲が変わるので、それに伴って故障率/確率の値も強く影響される。

以上のことから、故障件数 = 0 の場合、データの情報(尤度関数)だけでは( $\mu, \sigma$ )の取り得る範囲が広すぎてその事後分布は適切に決まらない。この場合、ある程度の範囲内に収まる事後分布を得るためには、根拠のある有情報事前分布で解の範囲をある程度特定することが必要になる。従って、今回の一般故障率は、その事前分布設定がユーザーから考えて「根拠のある有情報事前分布」とみなせれば、妥当な入力データとして使用できる。

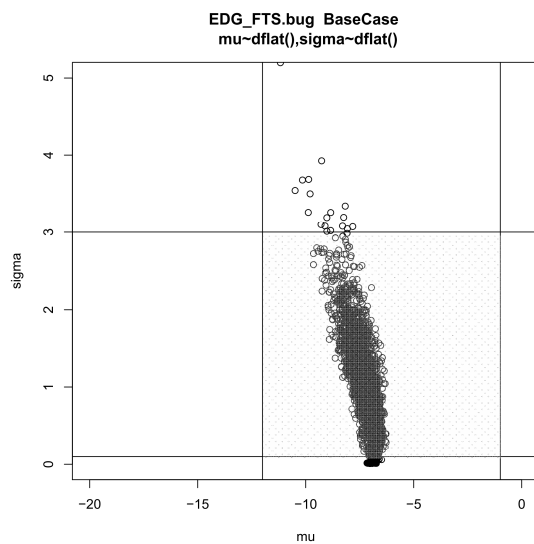
なお、今回の計算では(使用する計算機能力と MCMC 反復回数にもよるが)、時間故障率の計算が数分で終了するのに対し、デマンド故障率の計算は十数時間に及ぶ場合もある。後者については、データ収集確率を使わなければ比較的早めに計算が終わる傾向があるので、尤度関数である二項分布とデータ収集確率を表すベータ関数との組み合わせなどがモンテカルロ計算のサンプリング効率を著しく低下させている可能性がある。計算時間が長いとあまり実用的ではないので、頻繁に使用するようであれば計算方法の改善を図る必要があるかもしれない。



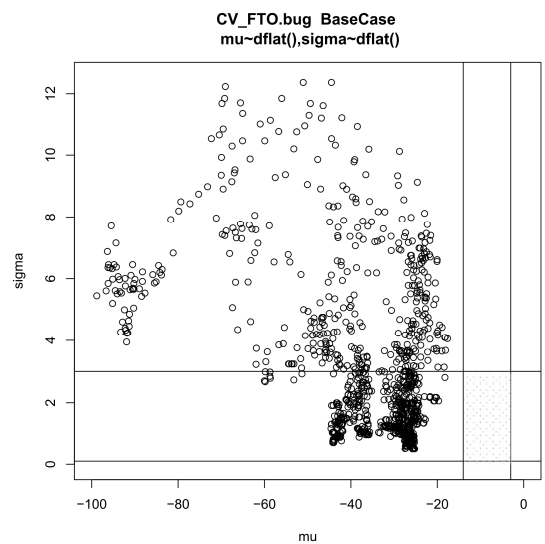
電動ポンプ継続運転失敗(件数≠0)



制御ケーブル短絡 (件数=0) - 未収束



非常用 DG 起動失敗(件数≠0)



逆止弁開失敗(件数=0) - 未収束

図 C-1 超母数事前分布を一様分布とした場合の感度解析ベースケースの結果  
(ハッチングはベースケースでの事前分布範囲)

## 附録 D 故障件数の不確実さ分布

ここでは、観測件数  $Y$  に対する故障件数  $X$  の不確実さ分布を簡易評価する。データ収集確率を  $p$  とすると、以下の関係式が成り立つ。

$$\begin{aligned} Y &\sim \text{Bin}(p, X) \\ f(Y; p, X) &= {}_X C_Y p^Y (1-p)^{X-Y} \end{aligned} \quad (\text{D.1})$$

ベースケースの場合、データ収集確率  $p$  は  $\text{Beta}(4,6)$  に従うが、ここでは、 $p=0.5$  である場合を考える。観測件数  $Y$  を 3 件と仮定すると、故障件数  $X$  の不確実さ分布は、ベイズの定理より

$$g(X | p, Y) \propto f(Y | p, X) g(X) \quad (\text{D.2})$$

で表される。 $p=0.5$ 、 $Y=3$  のとき、

$$g(X | p=0.5, Y=3) \propto {}_X C_3 0.5^3 (1-0.5)^{X-3} g(X) \quad (\text{D.3})$$

となる。 $g(X)$  を一様分布としたときの  $X$  の不確実さ分布を図 D-1 に示す。同様に、観測件数  $Y$  を 3 件とし、データ収集確率  $p$  が 0.1 ~ 0.9 である場合の  $X$  の不確実さ分布を図 D-2 に示す。なお、グラフ表示の都合上、図 D-2 の確率分布を密度関数のようにプロットしているが、実際は図 D-1 のような離散分布である。

このように、 $p$  により  $X$  の不確実さ分布は様々な形状を示す。本評価モデルでは MCMC 手法を用いているため、 $p$  は、関連するマルコフ連鎖により条件付された確率分布に従い、ランダム生成される（すなわちベイズ更新により事後分布が計算される）が、ここでは、データ収集確率の事前分布の設定の影響を把握するため、 $p$  はベータ分布のみに従い生成される（すなわちベイズ更新しない）と仮定して考察した。

MCMC 解析において、図 D-2 に示す任意の分布が選択される確率は、データ収集確率分布  $\text{Beta}(4,6)$  から  $p=0.1 \sim 0.9$  がサンプルされる確率  $P$  に対応する。ここで、 $Y=3$  として、 $p_i$  ( $i=1,2,\dots,9$ ) を  $p_1=0.1$ 、 $p_2=0.2$ 、 $p_3=0.3$ 、 $\dots$ 、 $p_9=0.9$  と定義し、 $P_i$  と  $[X \text{ の不確実さ分布}]_i$  を乗じた分布を図 D-3 に示す、図 D-3 は、データ収集確率  $\text{Beta}(4,6)$  の効果を考慮した図 D-2 相当と解釈でき、 $p=0.3 \sim 0.6$  ( $p_3 \sim p_6$ ) の場合が支配的であることが確認できる。

さらに、次式に従い処理すると、図 D-3 は図 D-4 のように集約される。

$$\sum P_i \times [X \text{の不確実さ分布}]_i \quad (\text{D.4})$$

図 D-4 は、ベースケースのデータ収集確率  $Beta(4,6)$  に基づき、観測件数  $Y=3$  とした場合の総合的な故障件数  $X$  の不確実さ分布の簡易評価結果と解釈できる。

感度解析ケース 1 のデータ収集確率分布は  $Beta(120,180)$  であり、 $p$  はほぼ 0.4 付近に集中している。よって、ケース 1 の図 D-4 に相当する総合的な故障件数  $X$  の不確実さ分布は、図 D-2 の  $p=0.4$  の分布で近似できると考えられる。ベースケースと感度解析ケース 1 における総合的な故障件数  $X$  の不確実さ分布を図 D-5 に併せて示す。

また、図 D-5 と同様に求めた  $Y=0$  の故障件数  $X$  の不確実さ分布を図 D-6 に示す。

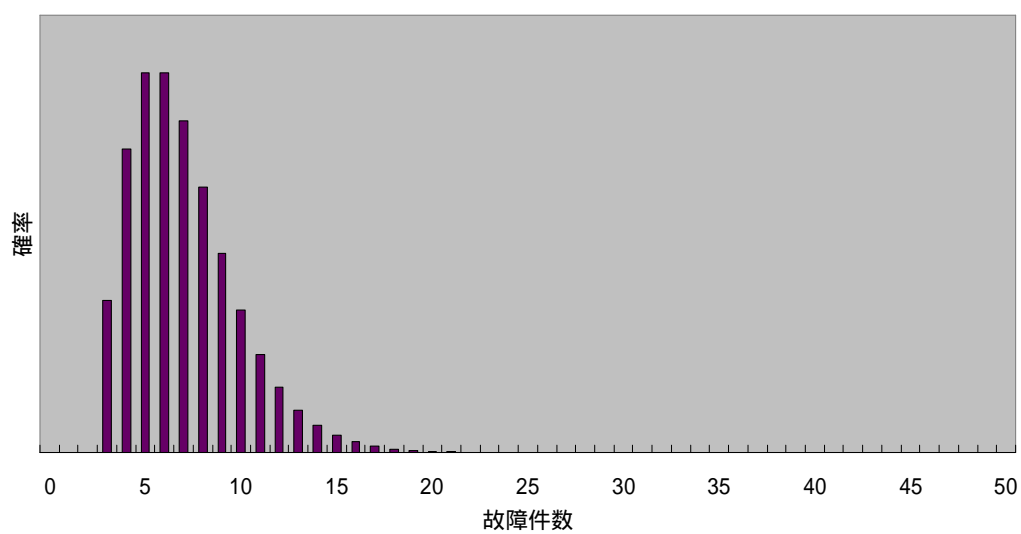


図 D-1  $p=0.5$  ,  $Y=3$  の  $X$  の不確かさ分布

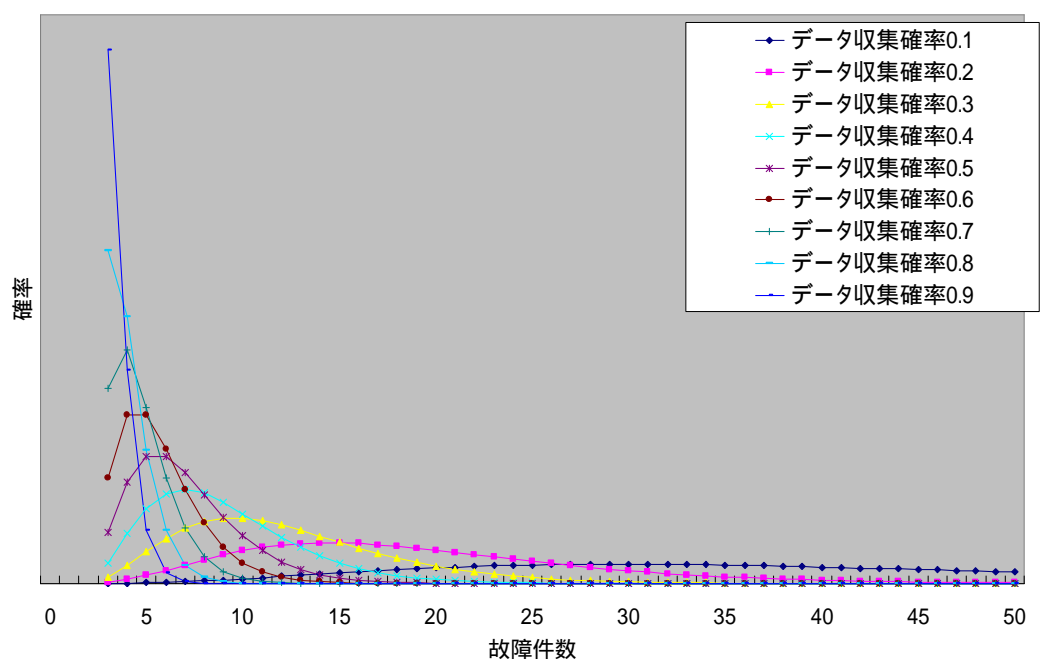


図 D-2  $p=0.1 \sim 0.9$  ,  $Y=3$  の  $X$  の不確かさ分布

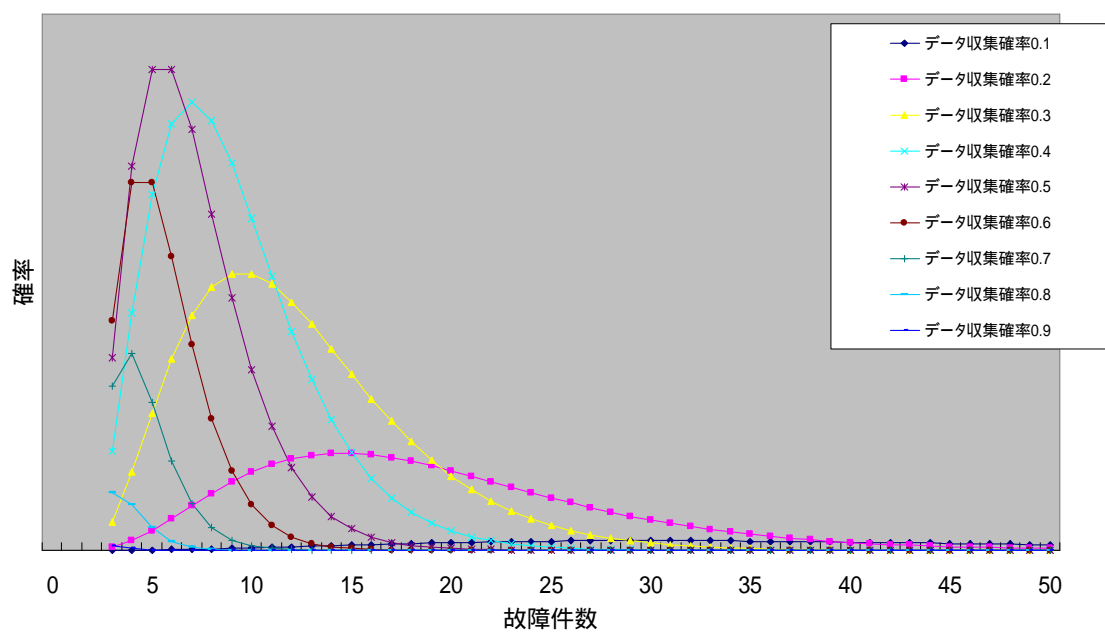


図 D-3  $p_i=0.1 \sim 0.9$  ,  $Y=3$  の  $P_i \times [X \text{ の不確実さ分布}]_i$

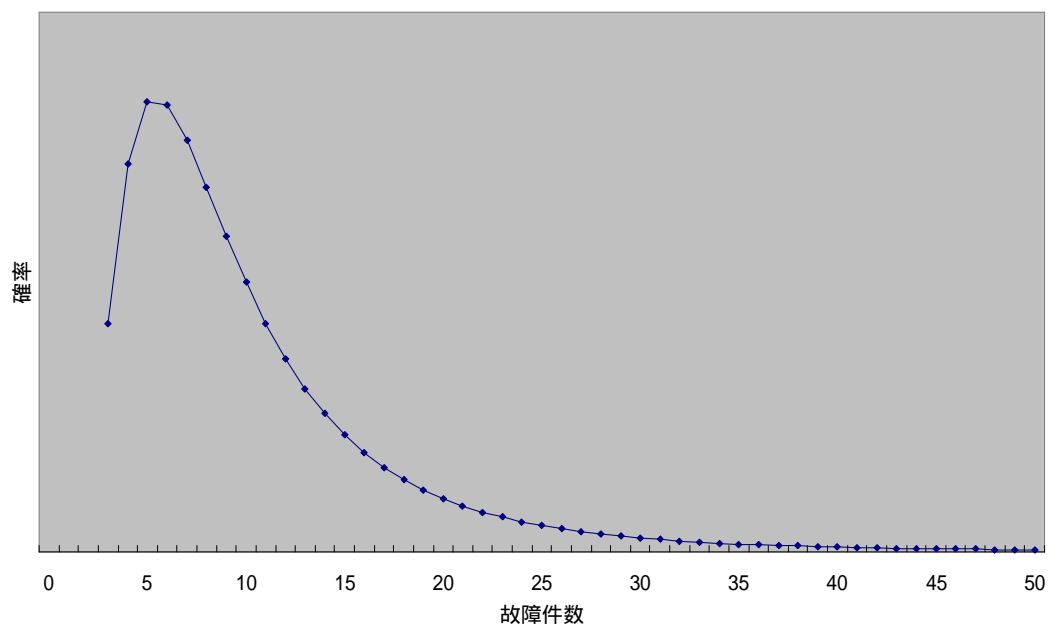


図 D-4 Beta(4,6)に基づいた故障件数  $X$  の不確実さ分布 (簡易評価)  
(観測件数  $Y=3$ )

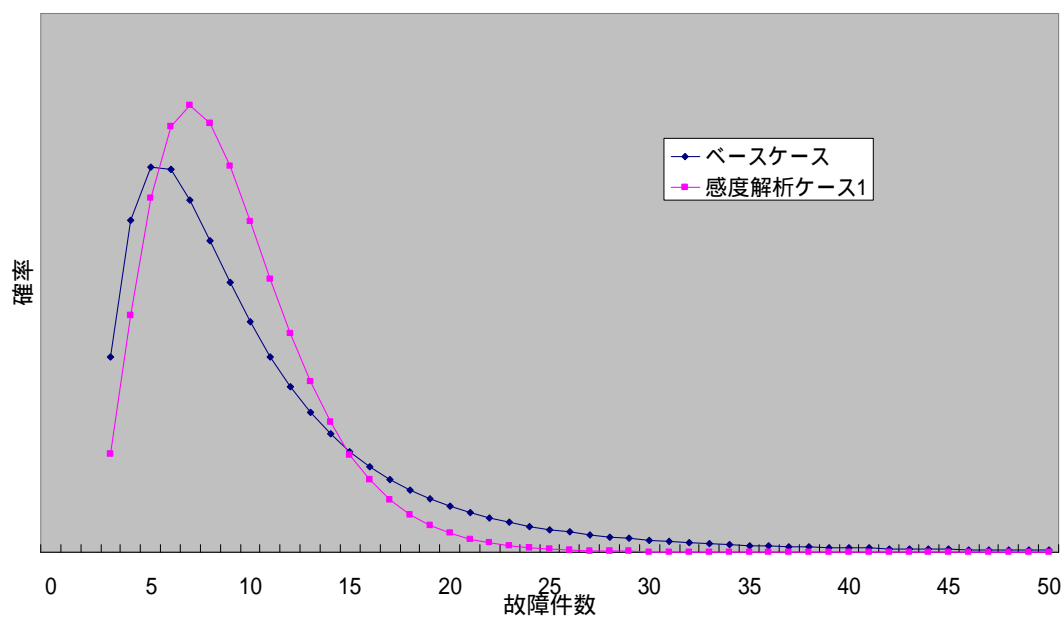


図 D-5 故障件数  $X$  の不確実さ分布（簡易評価）  
（観測件数  $Y=3$ ）

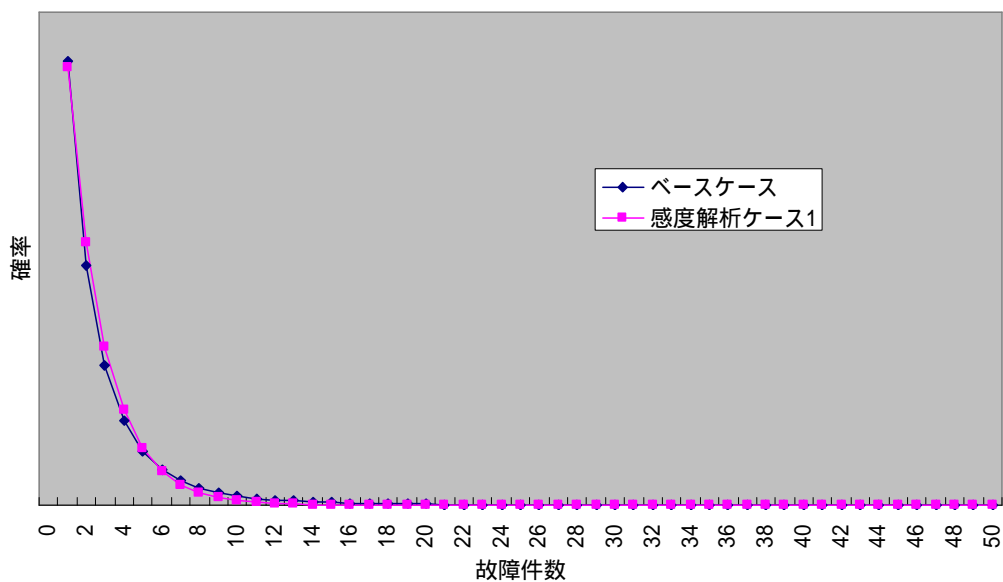


図 D-6 故障件数  $X$  の不確実さ分布（簡易評価）  
（観測件数  $Y=0$ ）



## **附録 E 保全活動管理指標を活用した PRA 故障事象の収集と一般故障率について**

E.1 は、第 2 回 PSA 用国内機器一般故障率検討有識者会議で紹介された資料で、電気事業が保全活動管理指標を活用して PRA 用データを収集する枠組みについて説明したものである。E.2 は第 1 回で紹介された資料で、日本原子力技術協会が上記枠組みで収集されたデータを用いた今後の PRA 用機器故障率整備の展望について説明したものである。

### **E.1 保全活動管理指標を活用した PRA 故障事象の収集について**

### **E.2 PRA 用国内一般機器故障率の作成と今後の展開について**

E.1 保全活動管理指標を活用した PRA 故障事象の収集について

# 保全活動管理指標を活用した PSA故障事象の収集について

平成20年11月7日

東京電力株式会社 原子力設備管理部  
松尾 俊弘



東京電力

---

# 目 次

---

1. 新保全プログラムの概要
2. 保全活動管理指標を活用したPSA  
故障情報の収集

## 1. 新保全プログラムの概要

# 1. 新保全プログラムの概要 (検査制度の改善の方向性)

## 検査制度の改善の方向性:

1. 保全プログラムに基づく保全活動に対する検査制度の導入  
→プラント毎の保守管理活動を保全計画の策定等を通じて充実強化させ、検査も、一律の検査からプラント毎の特性に応じたきめ細かい検査に移行していく。
  2. 安全確保上重要な行為に着目した検査制度の導入  
→運転中と停止中を問わず、安全確保上重要な行為を特定し、その行為が実施されるときに検査を行い、事業者による保安活動が適切に行われていることを確認するとともに、不適切な保安活動に対しては、是正等を求めることができる制度を導入する。
  3. 根本原因分析のためのガイドラインの整備等(含、プラント毎の総合評価)  
→「根本原因分析のためのガイドライン等の整備」のほか、事業者の安全確保水準を高めていくために、次のような改善に取り組んでいく。
    - ・ プラントの安全実績を的確に示す指標の活用
    - ・ 検査において指摘された事項の安全上の重要度を決定手法
    - ・ プラント毎の総合評価を行い、その結果を検査の効果的な実施のために活用
- 「原子力発電施設に対する検査制度の改善について」(平成18年9月)、原子力安全保安院、より抜粋



4

# 1. 新保全プログラムの概要 (検査制度の改善の方向性:リスク情報の活用内容)

## 方向性1. 保全プログラムに基づく保全活動に対する検査制度の導入 (保全活動の妥当性確認)

### 事業者の保全プログラムの妥当性確認への「リスク情報」の活用

設計・運用上の特徴に着目して国内プラントを分類し、分類ごとに安全機能の重要度及びリスク重要度に基づき安全確保上重要な系統・機器を抽出

- ・ 保全重要度の妥当性確認に活用
  - ・ 保全活動管理指標の妥当性確認に活用
- 保全プログラムに対する規制当局の要求事項及び審査要領に反映

## 方向性2. 安全確保上重要な行為に着目した検査制度の導入 (保安活動の妥当性確認)

### 安全確保上重要な事業者の活動抽出への活用

保安検査により適切性を確認すべき事業者の行為を抽出

- ・ 運転中・停止中のリスクへの影響の大きい行為の抽出
- ・ 安全機能を有する系統の運用・管理がリスクに与える影響の評価(点検・保守における工程管理等)

## 方向性3. 根本原因分析のためのガイドラインの整備等(含、プラント毎の総合評価)

### 安全確保水準の総合評価(プラント毎の総合評価)への活用

検査結果等に基づきプラントの安全確保水準を総合評価する際の評価手法及び判断基準を整備

- ・ 検査指摘事項の安全重要度評価
- ・ 安全実績指標の設定



5

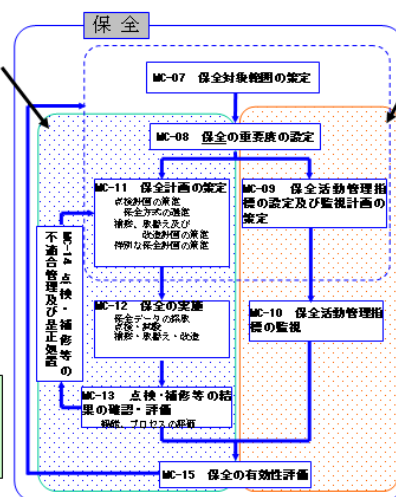
# 1. 新保全プログラムの概要 (保全の実施フロー:JEAC4209保守管理規程)

## 従来からの保全

保全計画策定、保全実施、結果の確認評価、不適合管理及び是正処置等を充実

- ・劣化メカニズム整理等に基づいた保全の体系化
- ・状態監視技術について、有効かつ利用可能な技術を重要な設備に適用等

予防保全型の視点から充実(大前提)



## 保全活動管理指標

左記の充実が前提として、その流れとは独立に管理指標を設定することで、

- ・保全の有効性を「見える化」する
- ・保全を全体として把握することを目指す

結果監視・弱点捕捉の視点から新たに導入  
(パフォーマンスの低下が無いことを確認)

## 保全の変化、新しいチャレンジ



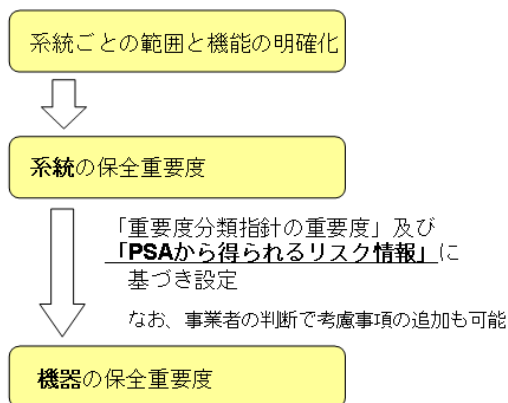
6

# 1. 新保全プログラムの概要 (保全重要度の設定)

## 保全重要度とは

保全活動を実施する際に、安全機能、リスク情報に加え供給信頼性及び運転経験等を勘案して、事業者が定める構築物、系統及び機器の重要さ度合い

## 保全重要度設定の大きな流れ



機器の保全重要度 = 系統の保全重要度  
なお、機器が故障した場合の系統機能への影響を考慮して設定することも可能

## 保全重要度の設定(例)

- ①重要系統の設定
  - ・安全重要度分類<sup>(注)</sup>でクラス1、2の系統
  - ・リスク上重要な系統
 上記の系統については、原子炉安全上の観点から保全重要度を高とする。これに加え事業者の判断で以下の中から必要項目を選択。
  - ・供給信頼性
  - ・運転経験
  - ・作業安全 他
- ②重要機器の設定
 

重要な系統を構成する機器の故障により系統機能の喪失をもたらす機器を「重要度の高い機器」とする。尚、原子炉安全上重要な系統・機器は冗長性を有する機器であっても重要度の高い系統・機器とする。

注:「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」



7

# 1. 新保全プログラムの概要 (保全活動管理指標の設定(重要度に応じた指標))

原子炉安全の観点から発揮すべき「機能」に着目して  
管理指標とその目標値を設定

## 保全重要度低の系統機能の監視

### プラントレベルの管理指標

プラント全体の安全性が確保  
されていることを監視・評価

#### 指標例

- ・計画外自動スクラム回数
- ・計画外出力変動回数
- ・工学的安全施設計画外作動回数

プラントを構成する系統

保全の重要度の高い系統:  
・クラス1, 2以上  
・リスク重要度高

それ以外の系統

MPFF(予防可能故障): 系統もしくは、トレインに要求される機能の喪失を引き起こすような機器の故障のうち、適切な保全が行われていれば、予防保全できていた可能性のある故障  
UA時間(非待機時間): 当該系統もしくはトレインに要求される機能が必要とされる期間内において理由によらずその機能を喪失した状態になっている時間

## 保全重要度高の系統機能の監視

### 系統レベルの管理指標

より直接的に原子炉安全と保全活動とを関連付けてきめ細かく監視・評価  
系統レベルで指標を設定することで系統内の機器を監視することが可能。ただし、機能によってはトレイン<sup>(注1)</sup>単位や機器単位でも管理指標を設定

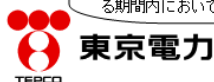
#### 対象系統

原子炉保護系  
高圧炉心スプレイ系  
残留熱除去系  
燃料プール冷却浄化系  
非常用ディーゼル発電設備  
・  
・

#### 指標例

MPFF回数  
MPFF回数, UA時間  
MPFF回数, UA時間  
MPFF回数  
MPFF回数, UA時間  
・  
・

(注1)トレイン: 冗長化された系統において、その冗長性の1単位を構成する一連の機器群



8

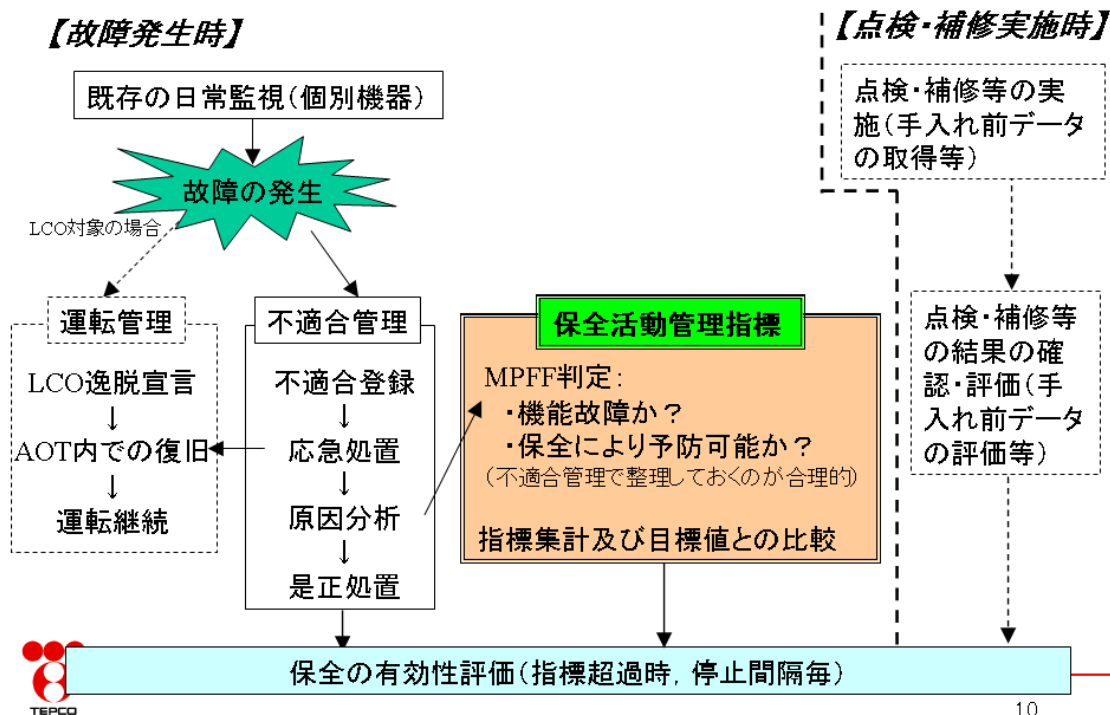
# 1. 新保全プログラムの概要 (保全活動管理指標の設定と監視計画の策定例)

系統	要求される機能	監視計画		管理指標と目標値	設定根拠
		項目	方法		
残留熱除去系(A)系	炉心冷却機能(MS-1)	・不適合(ポンプ・構成弁の動作、流量など) ・待機状態	・不適合管理システム ・運転日誌	MPFF<1回/サイクル UA時間<240時間/29サイクル	MPFF 重要度分類指針のクラス1及びリスク重要度高に該当する。  UA時間 UA時間については、計画外待機除外が少ない実績を踏まえ、MPFFの管理スパン(サイクル毎)より長く設定 この場合、条件付炉心損傷確率の増分は〇〇となる
	放射性物質の閉じ込め機能(MS-1)	・不適合(ポンプ・構成弁の動作、流量など) ・待機状態			
	停止後の除熱機能(MS-1)	・不適合(ポンプ・構成弁の動作、流量など)	・不適合管理システム	MPFF<1回/サイクル	MPFF 重要度分類指針のクラス1及びリスク重要度高に該当する。



9

## 1. 新保全プログラムの概要 (保全活動管理指標の監視(MPFF))



10

## 1. 新保全プログラムの概要 (保全活動管理指標の監視(MPFF判定))

### 機能故障(FF)の判定例

#### 【FFに含まれる事例】

- ・サーベランス時のLCO逸脱
- ・定期事業者検査の判定基準を満足しない場合
- ・自動で機能しないと判断される場合(手動で実行可能でもFFとみなされる)

#### 【FFに含まれない事例】

- ・設計仕様より劣化しても、系統に要求される機能の喪失がない場合
- ・系統内の冗長機器が機能を提供できる場合(冗長性が要求されていない系統のみ)
- ・予防保全、試験のために供用外となる場合
- ・保全後試験において特定され、同時に是正された故障

### 保全によって予防可能(MP)の判定例

#### 【MPに含まれる事例】

- ・保全によって予防可能ではなかったことを示すため十分な正当性がない限り、あらゆるFFはMPFFと見なされる
- ・初期故障、偶発故障(設計・製造上の欠陥を除く)

#### 【MPに含まれない事例】

- ・外部環境に係る起因事象(雷、洪水等)による故障

11

## 2. 保全活動管理指標を活用した PSA故障情報の収集

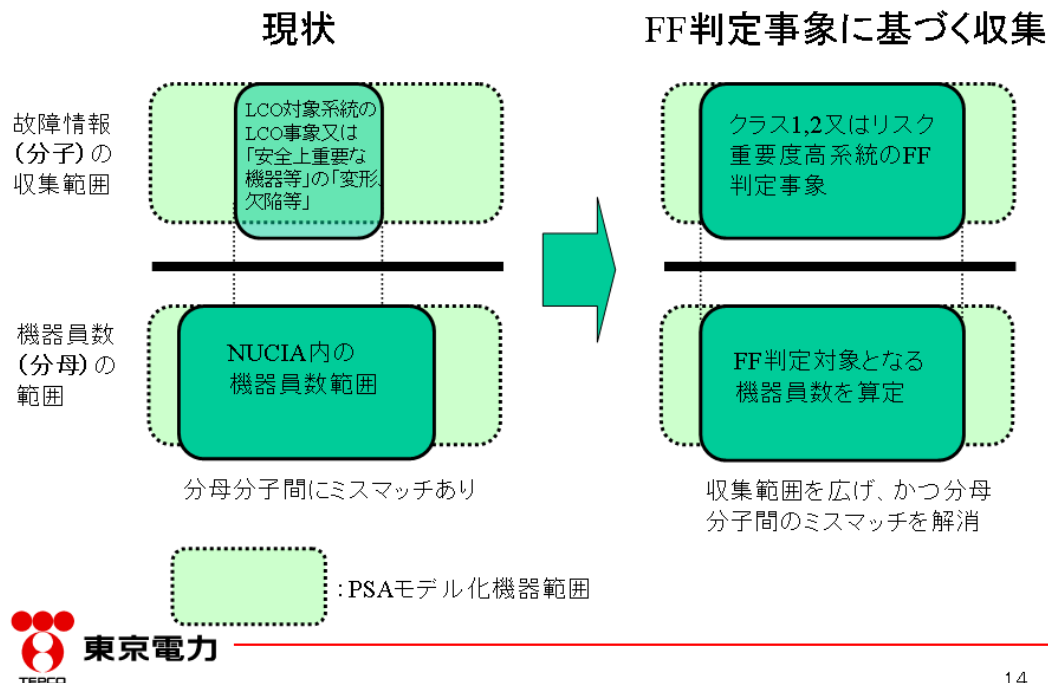
### 2. 保全活動管理指標を活用したPSA故障情報の収集

- ・ 新保全プログラム運用開始以降は、MPFF判定の過程において、FF(機能故障)と判定された事象からPSA故障情報を収集
- ・ 加えて、クラス1,2またはリスク重要度高の系統のうちFF判定されない冗長化機器(常用系含む)の一部事象についてもPSA故障情報として収集  
(一般故障率を算出する上での特徴)

	現状	FF判定事象に基づく収集	備考
範囲	保安規定の「運転上の制限(LCO)」系統や「安全上重要な機器等」(告示327号)が対象(NUCIA登録基準: 分子の収集範囲) NUCIA内の機器員数範囲(分母)はより広範囲をカバーするが、NUCIA登録基準に該当しなければ故障情報(分子)が収集されず、故障率算出の際に分母分子間にミスマッチが生じる状況	クラス1,2又はリスク重要度高系統を事象(分子)の収集範囲としており、NUCIA登録基準の範囲より広範囲をカバー (例: アクシデントマネジメント設備等も収集範囲に含まれる) この範囲でFF判定対象となる機器員数(分母)を算定することにより、故障率算出の際の分母分子間のミスマッチを解消	FF判定事象に基づくPSA故障情報の収集により、PSAモデル化された非常用系機器(機械品)基事象うち約8割収集可能(代表プラントにおける試算)
収集事象	「安全上重要な機器等」は「変形、欠陥、ひび割れ、減肉、ピンホール等による損傷又はその兆候」を収集 入力者によって入力状況にばらつきが生じうる	プラントリスクに影響する「機能」に着目し、その機能が失われる事象を収集 新保全プログラムの導入開始に向けて全電力で収集方法の統一を図っており、電力会社間で入力状況がばらつかない	



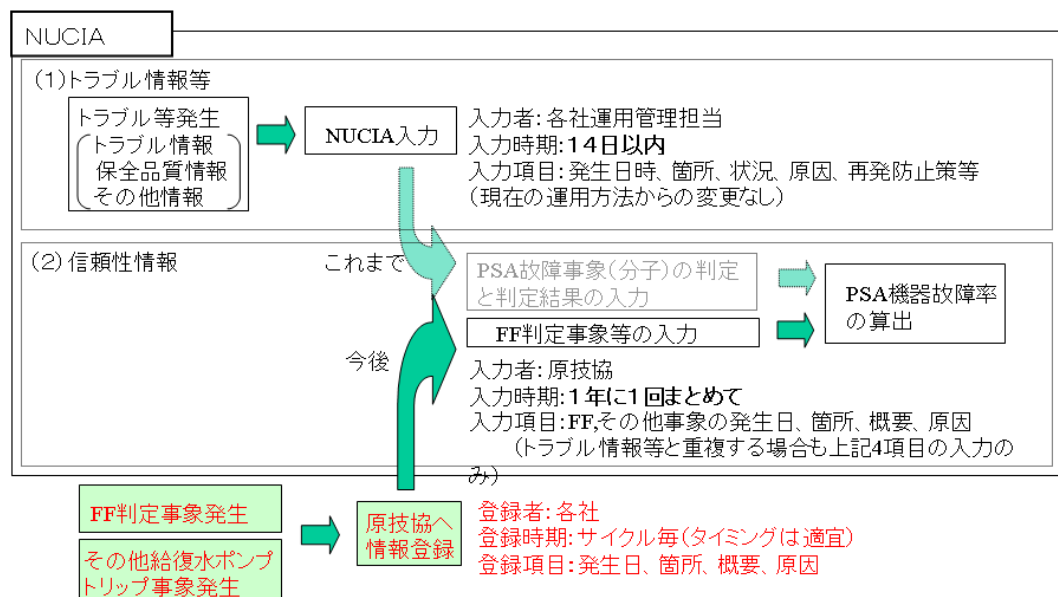
## 2. 保全活動管理指標を活用したPSA故障情報の収集



14

## 2. 保全活動管理指標を活用したPSA故障情報の収集

### 新保全プログラム運用開始以降のPSA故障情報収集の運用イメージ



15

## PSA用国内機器一般故障率の作成と今後の展開について

データベースの情報収集の不確実さを反映した PSA 国内一般故障率の検討

1. 現在、リスク情報を用いた判断の基となる PSA の品質確保に向けて基礎整備のための活動が研究官学において進められるなど、特に PSA の入力条件となる機器故障率等のパラメータについて、標準を整備する必要があるとの認識から、原子力学会にお願いして、平成 18 年度に「PSA 用パラメータ分科会」が開始され、PSA 評価に用いるパラメータの算出方法や技術的要素事項が「PSA 用パラメータ標準」として策定されつつある。

一方、具体的なパラメータの作成については、当該プラントのデータを所有する所で、標準に準拠して算出して行く事とされており、産業界全般で用いる事の出来る、最新知見を反映した国内一般故障率の算出が必要である。

故障率推定に用いる故障件数は、NUCIAに入力された個々の不具合情報を、機器の機能喪失に至る程度が判定し、整理したものである。この際の判定基準は電中報告や原安協故障率報告等でも定義は明確化されており、現在の分類結果もNUCIAで一般公衆が確認することが可能となっているため透明性は高い。

ただし、NCTA への登録基準がインバートベースであつた、その収集基準から重要な機器のトラフィックは網羅されていると考えられるものの、PSA データの収集を第一の目的とはしていないため、不具合情報の収集における潜在的な不確実さへの指摘があり、また判定結果も主要要素自体は存在するため主観性に起因して故障理由の不確実さがデータに潜存するとは否めない。従つて、これら不確実さをバスマータに反映することと相違点であつた。

プラットフォームの故障率をばらつきを考慮して階層ベイズモデルを用いる。最初にグループ化されたデータと母データの間の関係性をばらつきを考慮して一般化故障率は推定できることが可能となる。

また、階層ベイズモデルの評価手法には、マルコフ連鎖モンテカルロ法(MCMC手法)を用いることとし、各プラント毎のイベントベースモデルの計画手法には、マルコフ連鎖モンテカルロ法(MCMC手法)を考慮し、追加することとした。不確実なモデルは、故障率推定に用いるべき期待故障率であり、実際に収集された故障件数 $f$ より、収集故障件数 $F$ 、データベース $D$ に適用した確率をアール・ジャンクション手法を用いて階層ベイズモデルで評価し、MCMCこれらの結果をもとに、国内故障機器故障率を評価した。

現在、保安業界ではPSA品質規格(MDFF:予防的故障モード)の普及が著しく、効率のつく設備・構造物の精緻化の改善の方向として、保安設備メーカーはPSA品質規格判定の適用において、FT(機能故障)と判定できる事象から、PSA故障事象を収集することが検討されている。この利点は、クラス1,2又はリスク重要度高の系統を対象としていることから、PSIの故障情報とこの判定結果を範囲(分母)をカバーしており、かつ、アラートリスクに影響する「機能」に着目しているため、故障の定義が明確で、故障事象(分子)の入り抜けがばらばらにつくりに収集することが可能である。なおMDFFの判定作業自体は簡便/保全プログラムでの実施が出来る。PSAの為だけの新基準を検討することによって、電力作業自身の事故/保全プログラムでの実施が出来る。PSAの為だけの新基準を検討することによって、電力作業自身の事故/保全プログラムでの実施が出来る。PSAの為だけの新基準を検討することによって、電力作業自身の事故/保全プログラムでの実施が出来る。

今後、H<sub>2</sub>故障によるエビデンスデータ品質の向上が望めることから、わが国のPSA用パラメータを推定するために元となり得る原子力発電所のトラプル事例データは以下の3種類(フェーズ1~3)に分類できる。フェーズ1~3における報告基準等の違いにより、考慮されるべき不確実さは下記のように異なる。

・報告基準がイペントベースで入力されており、機器ベースではない。また、PSA の機能喪失基準に明確化されていないため、情報の漏れに伴う不確実さを考慮する必要がある。

- ・運転時間の推定、代表グラントの扱いに伴う不確実さを考慮する必要がある。
- ・稼働率の不完全さは、その内容について NUCIA で検証可能だが、分析者の判断不確実さを考慮する要素がある。
- ・機器グループ化に伴う不確実さを考慮する必要がある。

- ・報告基準は、21ヶ年アータより明確化され、報告対象も拡大されているか、課題点は21ヶ年アータと同様。

・報告基準に保全活動管理指標の一つである MPPEP(予防可能故障)判定の過程において FF(機能故障)と判定した事象を PSA 故障として対象とした。収集方法が電事連下で統一されており、電力会社間での収集データの取扱い、理論に基づきかは無く、また、対象が MPPEP の対象機器で明確化された事になり実質、機器品数の収集と等しい。理由は、対象の母集団に対しての情報漏れは無くなくとも、エビデンスとしての位置が極めて向上する。

・当初は、運転時間率の推定、計表品数に伴う不確実さは考慮が必要があるが、プラント個別の適用から今後詳細化していく事ができる。

このため、国内の故障率の推定に現行する情報を最大限有効に活用しながら、FF 故障によるエビデンスデータ品質の向上による PSA 用パラメータ標準でも推奨される個別ブランド故障率の活用のための段階的な品質向上方針を具体化する。

- ・ 21 ヶ年(1982-2002)データによる一般故障率の推定 (MCMC 手法と情報収束確率モデルの反映) (本有識者会議)
- ・ 一般故障率の FSI モデルへの活用, 一般故障率を事前分布に用いた個別プラント故障率の活用
- ・ 28 ヶ年(1982-2007)データによる一般故障率の見直し (MCMC, FT 故障以前(の総括))
- ・ 28 年一般故障率と FT 故障イベントズデータによる, 個別プラント評価の本格活用
- ・ FT 故障データのみと FT 故障イベントズデータの推定パラメータの活用

[illegible]

図1 PSA用国内機器一般故障率の作成と今後の展望

## 附録 F 故障率計算結果の PRA 使い方について

今回算出した故障率/故障確率は、マルコフ連鎖モンテカルロ (MCMC) 計算による事後分布であるため、一般的には数学的な関数で表されるパラメトリック分布にはならない。そのため、この事後分布を PRA 計算へ入力できるデータ形式に変換する必要がある。

PRA に入力できるデータ形式は、使用する PRA ソフトウェアの仕様に大きく依存するが、一般的には、

- ・パラメトリック分布 (ガンマ分布、ベータ分布、対数正規分布など) として入力するために、各分布の母数を与える。
- ・ノンパラメトリック分布として入力するために、ヒストグラムの形で与える。

の 2 通りの方法があろう。本報告で算出した故障率事後分布からノンパラメトリックなヒストグラムを作るのは難しいので、ここでは事後分布をパラメトリック分布に近似することを考える。事後分布情報をすべて示すことはできないため、表 2-1 には分布から計算した平均値、5%、中位点 50%、95% 分位数、エラーファクター ( $(95\% \text{点}/5\% \text{点})^{1/2}$ ) が記載されている。また、計算の際に用いた事前分布が対数正規分布であることから (正確にはデマンド故障確率の場合はロジスティック正規分布を使っているが、7 で述べたように故障確率が非常に小さい場合は対数正規分布に近似できる)、事後分布も対数正規分布により近似する。

故障率 (あるいは故障確率)  $\lambda$  が対数正規分布に従うとき、それは式 (F.1) で表される。

$$f(\lambda; \mu, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma\lambda} \exp\left[-\frac{(\ln \lambda - \mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (\lambda > 0) \quad (\text{F.1})$$

ここに、 $\mu$ :  $\ln \lambda$  の平均

$\sigma$ :  $\ln \lambda$  の標準偏差

分布の形を決めるには上記の  $\mu$  と  $\sigma$  を与える必要があるが、 $\mu$ 、 $\sigma$  と平均値、各分位数の間の以下の関係を利用する。

$$(50\% \text{点}) = \exp(\mu) \quad (\text{F.2})$$

$$(\text{平均}) = \exp\left(\mu + \frac{\sigma^2}{2}\right) \quad (\text{F.3})$$

$$EF(\text{error factor}) = \frac{(95\% \text{点})}{(50\% \text{点})} = \frac{(50\% \text{点})}{(5\% \text{点})} = \sqrt{\frac{(95\% \text{点})}{(5\% \text{点})}} = \exp(1.645\sigma) \quad (\text{F.4})$$

前述のように，MCMC で計算した事後分布は正確には対数正規分布ではないので，式(F.4)の

$$\frac{(95\% \text{点})}{(50\% \text{点})} = \frac{(50\% \text{点})}{(5\% \text{点})} = \sqrt{\frac{(95\% \text{点})}{(5\% \text{点})}}$$

の等号は成立しない。例えば，「電動弁作動失敗」\*の計算結果を表 F-1 に示すが，右 2 列の値からわかるように  $EF_U = (95\% \text{点}) / (50\% \text{点}) = 42.1$  に対して  $EF_L = (50\% \text{点}) / (5\% \text{点}) = 87.4$  となり，後者的方が非常に大きくなっている。これは，事後分布が，対数正規分布よりも故障率の低い範囲の広がりが大きい形になっていることを示している（他の機器・故障モードについても同様の傾向が見られる）。故障率の低い領域が広いことは，リスク計算においてはあまり大きな問題ではないと考えられる。なお，表 2-1 に結果として与えられているエラーファクターは， $EF_U$  と  $EF_L$  の相乗平均  $(EF_U \cdot EF_L)^{1/2}$  で，両者の中間的な値である。

表 F-1 電動弁作動失敗の MCMC 計算結果（表 2-1 より抜粋）

機種 故障 モード	故障 件数	延べ 運転 時間 [h]	真の 故障 件数 推定値 [件]	平均値 [1/h]	5%点 [1/h]	50%点 [1/h]	95%点 [1/h]	$\sqrt{\frac{95\% \text{点}}{5\% \text{点}}}$	$EF_U$ $\frac{95\% \text{点}}{50\% \text{点}}$	$EF_L$ $\frac{50\% \text{点}}{5\% \text{点}}$
電動弁 作動失敗	9	9.4E+08	23.3	5.2E-08	2.8E-11	2.4E-09	1.0E-07	60.7	42.1	87.4

以上のことから，MCMC 計算による事後分布を対数正規分布で近似する際には，計算した事後分布の 50%点を対数正規分布の 50%点とし，エラーファクターとしては  $EF_U$  を用いおけば，故障率の高い方は十分に包絡できると考えられるが， $((95\% \text{点}) / (5\% \text{点}))^{1/2}$  を用いるならば，さらに保守的な設定となろう。不確かさが大きすぎるため  $EF_L$  を用いる必要はないと考えられる。なお，事後分布平均を対数正規分布の平均とする方法もある。対数正規分布と事後分布について，中位点を同じとする場合と平均値を同じとする場合，さらにエラーファクターとして  $((95\% \text{点}) / (5\% \text{点}))^{1/2}$  とする場合と  $EF_U = (95\% \text{点}) / (50\% \text{点})$  とする場合について，事後分布と対数正規分布との対比を表 F-2 に示す。中位点を同じとする場合は， $EF = ((95\% \text{点}) / (5\% \text{点}))^{1/2}$  とした方が保守的な近似となる。一方，平均値を同じとする場合は， $EF_U = (95\% \text{点}) / (50\% \text{点})$  とした方が保守的な近似となる。どちらかの組み合わせで近似すれば危険側の評価になることはないと考えられる。

\* エラーファクターが極めて大きいため例題として選んだ。

表 F-2 事後分布の対数正規分布近似

点推定値の条件	広がり条件	平均値	5%点	50%点	95%点	EF	$\mu$	$\sigma$	備考
事後分布計算結果		<b>5.21E-08</b>	2.78E-11	<b>2.43E-09</b>	1.02E-07	-	-	-	
中位点を 同じとする場合	$EF=\sqrt{(95\%点/5\%点)}$	5.48E-08	4.01E-11	<b>2.43E-09</b>	1.48E-07	<b>60.7</b>	-19.83	2.50	保守的
	$EF=95\%点/50\%点$	3.22E-08	5.78E-11	<b>2.43E-09</b>	1.02E-07	<b>42.1</b>	-19.83	2.27	
平均値を 同じとする場合	$EF=\sqrt{(95\%点/5\%点)}$	<b>5.21E-08</b>	3.82E-11	2.31E-09	1.40E-07	<b>60.7</b>	-19.88	2.50	
	$EF=95\%点/50\%点$	<b>5.21E-08</b>	9.34E-11	3.93E-09	1.65E-07	<b>42.1</b>	-19.35	2.27	保守的

26 カ年データ報告書 改訂前

26 カ年データ報告書 改訂後

故障件数の不確実さを考慮した

国内一般機器故障率の推定

(1982 年度～2007 年度 26 カ年 55 基データ)

2013 年 6 月

一般社団法人 原子力安全推進協会

故障件数の不確実さを考慮した

国内一般機器故障率の推定

(1982 年度～2007 年度 26 カ年 55 基データ)

(改訂 1)

2014 年 1 月

一般社団法人 原子力安全推進協会



## 26 カ年データ報告書 改訂前後比較資料 (2 / 18)

26 カ年データ報告書 改訂前	26 カ年データ報告書 改訂後
<p>率の不確実さが更新されるベイズ統計手法を適用した。</p> <p>上述のとおり、NUCIA の入力基準は PRA 用途での故障事象の収集には必ずしも十分でないことから、現在、保全活動管理指標である予防可能機能故障 (MPFF) の判定過程において FF (機能故障) とされた事象を PRA 用故障事象として収集する方策を検討している。(国内全発電所の FF 情報はまだ十分に登録されていない状況であるため、FF 情報を用いた個別プラントの機器故障率の整備には時間を要する)。将来的には、収集した FF 情報にベイズ統計手法を適用して個別プラント機器故障率を算出する方針であり、国内一般機器故障率は、ベイズ統計手法適用の際の事前分布情報として活用することが出来る。そこで、弊協会では、21 カ年データ報告書で対象とした 49 基に、BWR2 基、PWR1 基、ABWR4 基を追加した国内 56 基を対象として、1982 年度から 2010 年度までの NUCIA の PRA 用データベースを用いて国内一般機器故障率を更新する計画とした。ただし、更新作業は 1982 年度～2007 年度 26 カ年 55 基データ (26 カ年データ) と 1982 年度～2010 年度 29 カ年 56 基データ (29 カ年データ) の 2 ステップで実施する方針である。</p> <p>本報告は、上記 2 ステップのうちの第一ステップとして、21 カ年データ報告書の推定手法を基本的に踏襲し、26 カ年データを用いて算出した国内一般機器故障率の結果をまとめたものである。なお、21 カ年データ報告書作成時には、日本原子力技術協会主催の「PSA 用一般機器故障率検討有識者会議」(平成 20 年 9 月～平成 21 年 3 月)を開催し、機器故障率算出の技術的検討を行なった。(同有識者会議の委員名簿と議事録、議論の論点については<b>附録 A</b>を参照されたい)。</p> <p><b>更新履歴</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・2009 年 5 月 21 カ年データ (1982 年度～2002 年度)、49 基 対象</li> <li>・2013 年 6 月 26 カ年データ (1982 年度～2007 年度)、55 基 対象</li> </ul> <p>2</p>	<p>率の不確実さが更新されるベイズ統計手法を適用した。</p> <p>上述のとおり、NUCIA の入力基準は PRA 用途での故障事象の収集には必ずしも十分でないことから、現在、保全活動管理指標である予防可能機能故障 (MPFF) の判定過程において FF (機能故障) とされた事象を PRA 用故障事象として収集する方策を検討している。(国内全発電所の FF 情報はまだ十分に登録されていない状況であるため、FF 情報を用いた個別プラントの機器故障率の整備には時間を要する)。将来的には、収集した FF 情報にベイズ統計手法を適用して個別プラント機器故障率を算出する方針であり、国内一般機器故障率は、ベイズ統計手法適用の際の事前分布情報として活用することが出来る。そこで、弊協会では、21 カ年データ報告書で対象とした 49 基に、BWR2 基、PWR1 基、ABWR4 基を追加した国内 56 基を対象として、1982 年度から 2010 年度までの NUCIA の PRA 用データベースを用いて国内一般機器故障率を更新する計画とした。ただし、更新作業は 1982 年度～2007 年度 26 カ年 55 基データ (26 カ年データ) と 1982 年度～2010 年度 29 カ年 56 基データ (29 カ年データ) の 2 ステップで実施する方針である。</p> <p>本報告は、上記 2 ステップのうちの第一ステップとして、21 カ年データ報告書の推定手法を基本的に踏襲し、26 カ年データを用いて算出した国内一般機器故障率の結果をまとめたものである。なお、21 カ年データ報告書作成時には、日本原子力技術協会主催の「PSA 用一般機器故障率検討有識者会議」(平成 20 年 9 月～平成 21 年 3 月)を開催し、機器故障率算出の技術的検討を行なった。(同有識者会議の委員名簿と議事録、議論の論点については<b>附録 A</b>を参照されたい)。</p> <p><b>更新履歴</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・2009 年 5 月 21 カ年データ (1982 年度～2002 年度)、49 基 対象</li> <li>・2013 年 6 月 26 カ年データ (1982 年度～2007 年度)、55 基 対象</li> <li>・2014 年 1 月 26 カ年データ (1982 年度～2007 年度)、55 基 対象 (改訂 1)</li> </ul> <p>2</p>



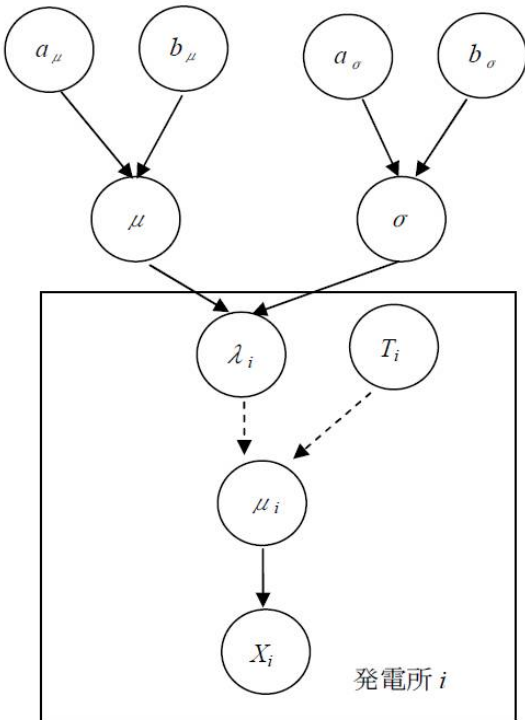
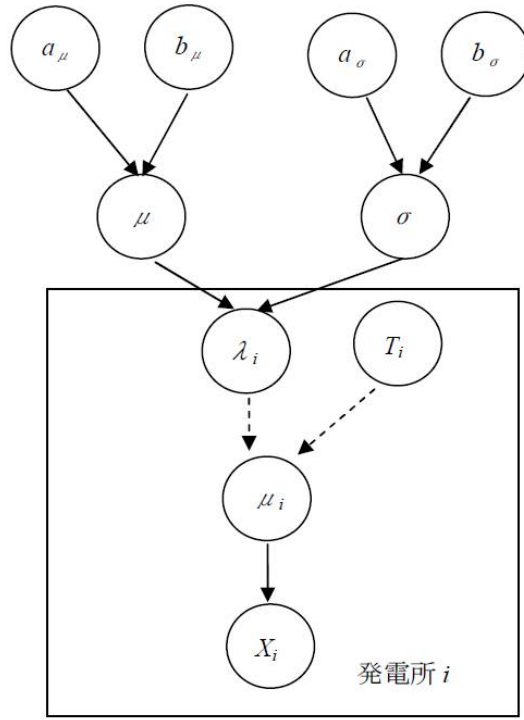
表 2-1 国内一般機器故障率 (26 カ年データ) 時間故障率 (1/4)

機種	故障モード	観測件数 [件]	延べ運転時間 [h]	ベイズ統計 (MCMC手法)			
				真の故障件数 推定値*1[件]	平均値 [1/h]	5%点 [1/h]	95%点 [1/h]
非常用ディーゼル発電機	起動失敗	46	1.6E+07	116.6	7.3E-06	2.3E-06	6.5E-06
	継続運転失敗(24時間平均)*3	-	-	-	2.3E-04	1.3E-04	2.2E-04
	継続運転失敗(36時間平均)*3	-	-	-	1.9E-04	1.0E-04	1.8E-04
	継続運転失敗(72時間平均)*3	-	-	-	1.4E-04	6.8E-05	1.3E-04
電動ポンプ(非常用待機、純水)	起動失敗	4	8.0E+07	10.6	2.2E-07	4.4E-09	7.8E-08
	継続運転失敗	29	9.8E+07	73.6	8.4E-07	5.8E-08	5.0E-07
	電動ポンプ(常用待機、純水)	2	4.7E+07	5.7	1.9E-07	3.8E-08	6.3E-08
	電動ポンプ(非常用待機、海水)	1	2.3E+07	3.6	3.5E-07	1.0E-08	1.0E-07
電動ポンプ(常用待機、純水)	起動失敗	2	1.4E+07	5.6	7.4E-07	1.0E-08	1.9E-07
	継続運転失敗	22	8.7E+06	55.8	9.1E-06	2.9E-07	3.8E-06
	電動ポンプ(常用待機、純水)	10	1.0E+07	25.4	2.9E-06	3.2E-07	2.0E-06
	電動ポンプ(非常用待機、海水)	3	1.7E+05	8.9	5.4E-05	1.2E-05	4.2E-05
ディーゼル駆動ポンプ	起動失敗	-	-	-	1.1E-03	-	-
	継続運転失敗*4	-	-	-	1.2E-07	3.5E-10	1.5E-08
	作動失敗	25	1.2E+09	64.8	1.2E-07	3.5E-10	1.5E-08
	閉塞又は閉閉	0	1.3E+09	1.8	3.1E-09	2.5E-10	8.1E-09
電動ポンプ(純水)	閉塞	2	1.2E+09	5.7	8.3E-09	2.2E-10	2.7E-09
	外部リーク	1	1.2E+09	3.6	7.4E-09	2.3E-10	2.7E-09
	内部リーク	2	1.2E+09	5.7	7.7E-09	2.1E-10	2.7E-09
	閉塞又は閉閉	0	1.3E+09	1.8	3.1E-09	2.5E-10	8.1E-09
空気作動弁	作動失敗	21	6.3E+08	53.4	9.1E-08	1.3E-08	7.0E-08
	閉塞又は閉閉	3	6.3E+08	8.7	3.0E-08	2.7E-10	5.8E-09
	外部リーク	1	6.3E+08	3.9	1.0E-08	6.1E-10	4.4E-09
	内部リーク	3	6.3E+08	9.1	4.0E-08	1.8E-10	5.2E-09
油圧作動弁	作動失敗	15	1.3E+08	38.4	4.7E-07	6.6E-09	1.6E-07
	閉塞又は閉閉	3	1.3E+08	8.0	1.2E-07	1.3E-09	3.3E-08
	外部リーク	0	1.3E+08	1.6	2.9E-08	1.8E-09	1.1E-08
	内部リーク	0	1.3E+08	1.6	2.9E-08	1.8E-09	1.1E-08
逆止弁	閉塞	0	1.3E+08	1.6	2.9E-08	1.8E-09	1.1E-08
	外部リーク	0	1.3E+08	1.6	2.9E-08	1.8E-09	1.1E-08
	内部リーク	0	1.3E+08	1.6	2.9E-08	1.8E-09	1.1E-08
	閉塞又は閉閉	0	1.3E+08	1.6	2.9E-08	1.8E-09	1.1E-08
手動弁	閉塞	4	1.9E+09	10.5	7.5E-09	2.7E-10	3.5E-09
	外部リーク	4	1.9E+09	10.8	8.0E-09	1.6E-10	2.8E-09
	内部リーク	0	1.9E+09	2.3	2.3E-09	2.7E-10	1.3E-09
	閉塞又は閉閉	1	1.9E+09	4.0	3.2E-09	2.4E-10	1.5E-09

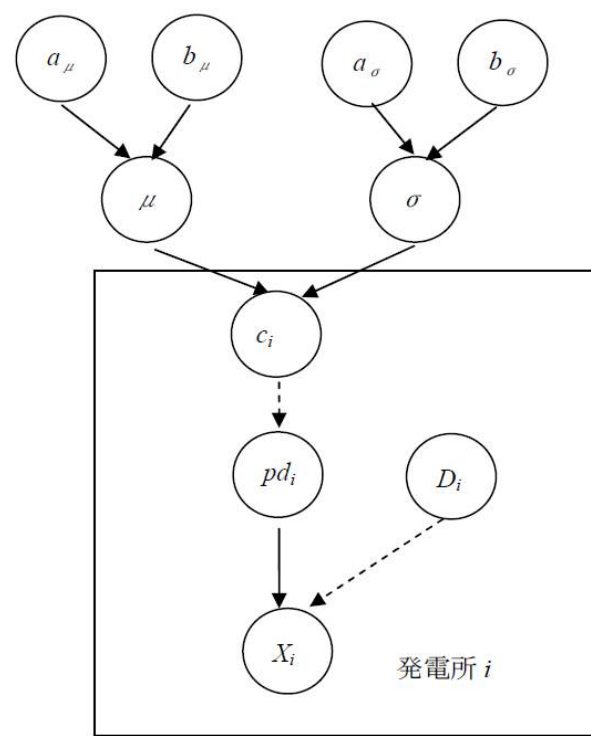
表 2-1 国内一般機器故障率 (26 カ年データ) 時間故障率 (1/4)

機種	故障モード	観測件数 [件]	延べ運転時間 [h]	ベイズ統計 (MCMC手法)			
				真の故障件数 推定値*1[件]	平均値 [1/h]	5%点 [1/h]	95%点 [1/h]
非常用ディーゼル発電機	起動失敗	46	1.6E+07	116.6	7.3E-06	2.3E-06	6.5E-06
	継続運転失敗(24時間平均)*3	-	-	-	2.3E-04	1.3E-04	2.2E-04
	継続運転失敗(36時間平均)*3	-	-	-	1.9E-04	1.0E-04	1.8E-04
	継続運転失敗(72時間平均)*3	-	-	-	1.4E-04	6.8E-05	1.3E-04
電動ポンプ(非常用待機、純水)	起動失敗	4	8.0E+07	10.6	2.2E-07	4.4E-09	7.8E-08
	継続運転失敗	29	9.8E+07	73.6	8.4E-07	5.7E-08	4.9E-07
	電動ポンプ(常用待機、純水)	2	4.7E+07	5.7	1.9E-07	3.8E-09	6.3E-08
	電動ポンプ(非常用待機、海水)	1	2.3E+07	3.6	3.5E-07	1.0E-08	1.0E-07
電動ポンプ(常用待機、純水)	起動失敗	2	1.4E+07	5.6	7.4E-07	1.0E-08	1.9E-07
	継続運転失敗	22	8.7E+06	55.8	9.1E-06	2.9E-07	3.8E-06
	電動ポンプ(常用待機、純水)	10	1.0E+07	25.4	2.9E-06	3.2E-07	2.0E-06
	電動ポンプ(非常用待機、海水)	3	1.7E+05	8.9	5.4E-05	1.2E-05	4.2E-05
ディーゼル駆動ポンプ	起動失敗	-	-	-	2.1E-03	-	-
	継続運転失敗*4	-	-	-	1.2E-07	3.5E-10	1.5E-08
	作動失敗	25	1.2E+09	64.8	1.2E-07	3.5E-10	1.5E-08
	閉塞又は閉閉	0	1.3E+09	1.8	3.1E-09	2.5E-10	8.1E-09
電動ポンプ(純水)	閉塞	2	1.2E+09	5.7	8.3E-09	2.2E-10	2.7E-09
	外部リーク	1	1.2E+09	3.6	7.4E-09	2.3E-10	2.7E-09
	内部リーク	2	1.2E+09	5.7	7.7E-09	2.1E-10	2.7E-09
	閉塞又は閉閉	0	1.3E+09	1.8	3.1E-09	2.5E-10	8.1E-09
空気作動弁	作動失敗	21	6.3E+08	53.4	9.1E-08	1.3E-08	7.0E-08
	閉塞又は閉閉	3	6.3E+08	8.7	3.0E-08	2.7E-10	5.8E-09
	外部リーク	1	6.3E+08	3.9	1.0E-08	6.1E-10	4.4E-09
	内部リーク	3	6.3E+08	9.1	4.0E-08	1.8E-10	5.2E-09
油圧作動弁	作動失敗	15	1.3E+08	38.4	4.7E-07	6.6E-09	1.6E-07
	閉塞又は閉閉	3	1.3E+08	8.0	1.2E-07	1.3E-09	3.3E-08
	外部リーク	0	1.3E+08	1.6	2.9E-08	1.8E-09	1.1E-08
	内部リーク	0	1.3E+08	1.6	2.9E-08	1.8E-09	1.1E-08
逆止弁	閉塞	0	1.3E+08	1.6	2.9E-08	1.8E-09	1.1E-08
	外部リーク	0	1.3E+08	1.6	2.9E-08	1.8E-09	1.1E-08
	内部リーク	0	1.3E+08	1.6	2.9E-08	1.8E-09	1.1E-08
	閉塞又は閉閉	0	1.3E+08	1.6	2.9E-08	1.8E-09	1.1E-08
手動弁	閉塞	4	1.9E+09	10.5	7.5E-09	2.7E-10	3.5E-09
	外部リーク	4	1.9E+09	10.8	8.0E-09	1.6E-10	2.8E-09
	内部リーク	0	1.9E+09	2.3	2.3E-09	2.7E-10	1.3E-09
	閉塞又は閉閉	1	1.9E+09	4.0	3.2E-09	2.4E-10	1.5E-09



26 カ年データ報告書 改訂前	26 カ年データ報告書 改訂後
<div><p>←— は確率的依存性, ←---- は論理的依存性を表す。 <math>\lambda_i</math> : 発電所 <math>i</math> における個別発電所故障率 <math>X_i</math> : 発電所 <math>i</math> における故障件数 <math>T_i</math> : 発電所 <math>i</math> における露出時間 <math>\mu, \sigma</math> : 母集団-変動分布のパラメータ <math>a, b</math> : ハイパーパラメータ <math>X_i \sim \text{Poisson}(\lambda_i T_i)</math></p></div>	<div><p>←— は確率的依存性, ←---- は論理的依存性を表す。 <math>\lambda_i</math> : 発電所 <math>i</math> における個別発電所故障率 <math>X_i</math> : 発電所 <math>i</math> における故障件数 <math>T_i</math> : 発電所 <math>i</math> における露出時間 <math>\mu, \sigma</math> : 母集団-変動分布のパラメータ <math>a, b</math> : ハイパーパラメータ <math>X_i \sim \text{Poisson}(\lambda_i T_i)</math></p></div>
<div>図 3-3 時間故障率に関する確率過程モデル</div>	<div>図 3-3 時間故障率に関する確率過程モデル</div>
15	15

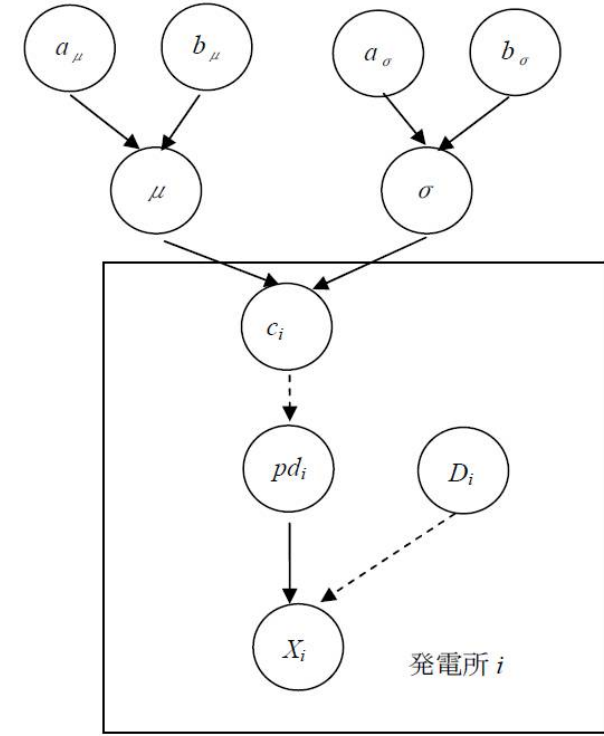
26 カ年データ報告書 改訂前



← は確率的依存性, ←---- は論理的依存性を表す。  
 $pd_i$  : 発電所  $i$  における個別発電所故障確率  
 $X_i$  : 発電所  $i$  における故障件数  
 $D_i$  : 発電所  $i$  における露出データ  
 $\mu, \sigma$  : 母集団-変動分布のパラメータ  
 $a, b$  : ハイパーパラメータ  
 $pd_i = \text{logit}^{-1}(c) = e^{c_i} / (1 + e^{c_i})$   
 $X_i \sim \text{Bin}(pd_i, D_i)$

図 3-4 デマンド故障確率に関する確率過程モデル

26 カ年データ報告書 改訂後

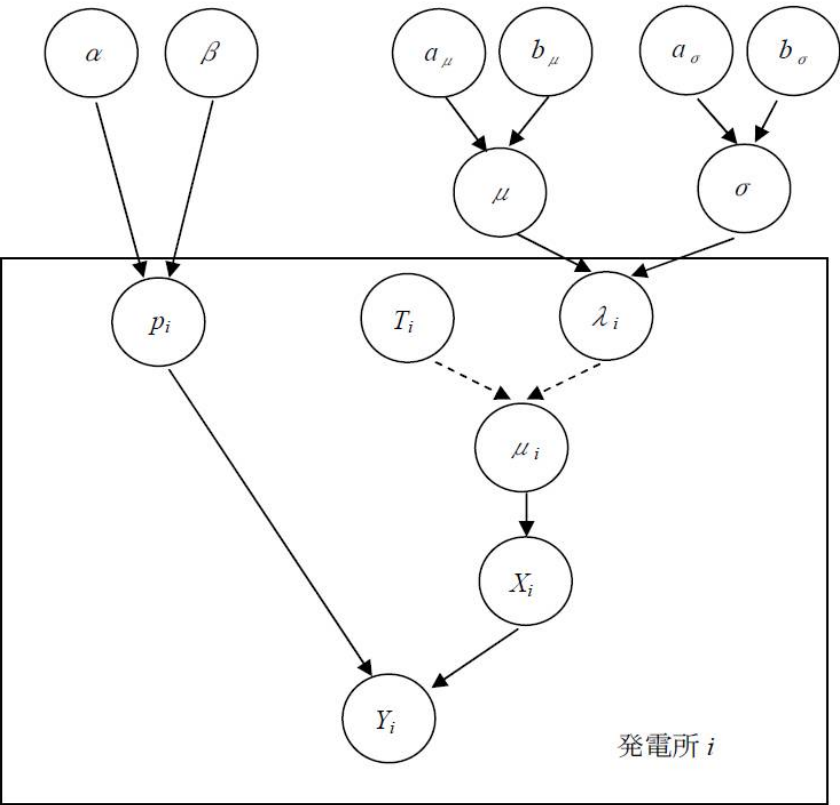


← は確率的依存性, ←---- は論理的依存性を表す。  
 $pd_i$  : 発電所  $i$  における個別発電所故障確率  
 $X_i$  : 発電所  $i$  における故障件数  
 $D_i$  : 発電所  $i$  における露出データ  
 $\mu, \sigma$  : 母集団-変動分布のパラメータ  
 $a, b$  : ハイパーパラメータ  
 $pd_i = \text{logit}^{-1}(c) = e^{c_i} / (1 + e^{c_i})$   
 $X_i \sim \text{Bin}(pd_i, D_i)$

図 3-4 デマンド故障確率に関する確率過程モデル

3.3 統合モデル

3.1 及び 3.2 にて設定した確率過程モデルを統合した最終的な推定モデルを図 3-5 に示す (時間故障率モデル)。



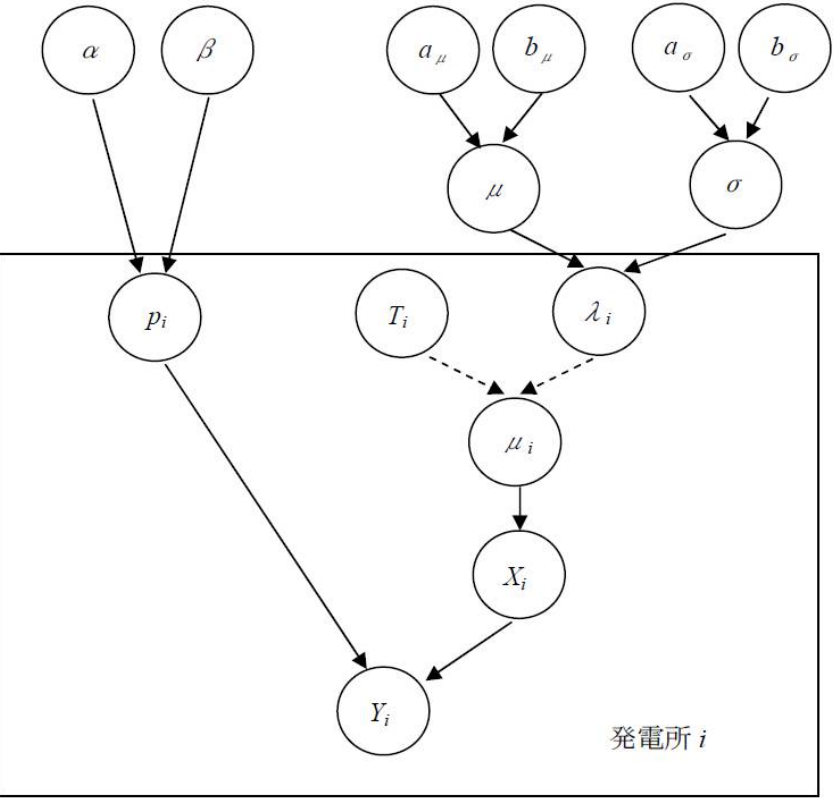
← は確率的依存性, ←--- は論理的依存性を表す。

$p_i$  : 発電所  $i$  におけるデータ収集確率  
 $X_i$  : 発電所  $i$  における故障件数  
 $Y_i$  : 発電所  $i$  における観測件数  
 $\lambda_i$  : 発電所  $i$  における個別発電所故障率  
 $T_i$  : 発電所  $i$  における露出時間  
 $\mu, \sigma$  : 母集団-変動分布のパラメータ  
 $a, b$  : ハイパーパラメータ  
 $\alpha, \beta$  : データ収集確率分布のパラメータ

図 3-5 時間故障率に関する統合した確率過程モデル

3.3 統合モデル

3.1 及び 3.2 にて設定した確率過程モデルを統合した最終的な推定モデルを図 3-5 に示す (時間故障率モデル)。



← は確率的依存性, ←--- は論理的依存性を表す。

$p_i$  : 発電所  $i$  におけるデータ収集確率  
 $X_i$  : 発電所  $i$  における故障件数  
 $Y_i$  : 発電所  $i$  における観測件数  
 $\lambda_i$  : 発電所  $i$  における個別発電所故障率  
 $T_i$  : 発電所  $i$  における露出時間  
 $\mu, \sigma$  : 母集団-変動分布のパラメータ  
 $a, b$  : ハイパーパラメータ  
 $\alpha, \beta$  : データ収集確率分布のパラメータ

図 3-5 時間故障率に関する統合した確率過程モデル



26 カ年データ報告書 改訂前

4 故障件数の不確実さを考慮した機器故障率の推定試評価

本章では、3 で考案した評価モデルを用いて推定を実施するにあたり、推定手法の確認及び計算条件の設定のために実施した試評価結果について述べる。

なお、本評価は 21 カ年データ算出時に行なったものであり、26 カ年データ算出においては、5 に示すように、推定手法や評価条件を一部変更している。

4.1 試評価用データ

発電所実績データとしては 1982 年度～2002 年度 21 カ年 49 プラント（21 カ年データ）を採用し、計算にはマルコフ連鎖モンテカルロ用フリーソフト WinBUGS Ver.1.4.1<sup>[6]</sup>を用いた。時間故障率及びデマンド故障確率それぞれのデータの特徴を考慮し、以下の故障モードを評価対象とした。

表 4-1 試評価の対象とした故障モード

故障タイプ	故障件数	機種 故障モード	プールデータ 最尤推定値	備考
時間故障率	26 件	電動ポンプ 継続運転失敗	3.0E-7 [h]	プール観測件数最大
	0 件	制御ケーブル 短絡	3.4E-11 [h]	プールデータ最尤推定値最小
デマンド故障確率	19 件	非常用 DG 起動失敗	4.5E-4 [d]	プール観測件数最大
	0 件	逆止弁 開失敗	1.9E-6 [d]	プールデータ最尤推定値最小

4.2 ハイパー事前分布の設定

4.2.1 時間故障率のハイパー事前分布設定

時間故障率母集団変動分布のパラメータ  $\mu$  及び  $\sigma$  の事前分布（ハイパー事前分布）は、それぞれの平均値及び分散に関する事前知識から設定する。ハイパー事前分布の分布形には一様分布を設定した。一様分布の定義から、平均値  $E(x) = (b + a) / 2$ ，分散  $Var(x) = (b - a)^2 / 12$  となり、次式で一様分布の上限と下限を定める。

$$\left. \begin{aligned} a_{\mu} &= E(\mu) - \sqrt{3Var(\mu)} \\ b_{\mu} &= E(\mu) + \sqrt{3Var(\mu)} \end{aligned} \right\} \tag{4.1}$$

$$\left. \begin{aligned} a_{\sigma} &= E(\sigma) - \sqrt{3Var(\sigma)} \\ b_{\sigma} &= E(\sigma) + \sqrt{3Var(\sigma)} \end{aligned} \right\} \tag{4.2}$$

ハイパー事前分布に求められるのは、個別発電所故障率のばらつきを表す母集団変動分

26 カ年データ報告書 改訂後

4 故障件数の不確実さを考慮した機器故障率の推定試評価

本章では、3 で考案した評価モデルを用いて推定を実施するにあたり、推定手法の確認及び計算条件の設定のために実施した試評価結果について述べる。

なお、本評価は 21 カ年データ算出時に行なったものであり、26 カ年データ算出においては、5 に示すように、推定手法や評価条件を一部変更している。

4.1 試評価用データ

発電所実績データとしては 1982 年度～2002 年度 21 カ年 49 プラント（21 カ年データ）を採用し、計算にはマルコフ連鎖モンテカルロ用フリーソフト WinBUGS ~~Ver.1.4.1~~<sup>[6]</sup>を用いた。時間故障率及びデマンド故障確率それぞれのデータの特徴を考慮し、以下の故障モードを評価対象とした。

表 4-1 試評価の対象とした故障モード

故障タイプ	故障件数	機種 故障モード	プールデータ 最尤推定値	備考
時間故障率	26 件	電動ポンプ 継続運転失敗	3.0E-7 [h]	プール観測件数最大
	0 件	制御ケーブル 短絡	3.4E-11 [h]	プールデータ最尤推定値最小
デマンド故障確率	19 件	非常用 DG 起動失敗	4.5E-4 [d]	プール観測件数最大
	0 件	逆止弁 開失敗	1.9E-6 [d]	プールデータ最尤推定値最小

4.2 ハイパー事前分布の設定

4.2.1 時間故障率のハイパー事前分布設定

時間故障率母集団変動分布のパラメータ  $\mu$  及び  $\sigma$  の事前分布（ハイパー事前分布）は、それぞれの平均値及び分散に関する事前知識から設定する。ハイパー事前分布の分布形には一様分布を設定した。一様分布の定義から、平均値  $E(x) = (b + a) / 2$ ，分散  $Var(x) = (b - a)^2 / 12$  となり、次式で一様分布の上限と下限を定める。

$$\left. \begin{aligned} a_{\mu} &= E(\mu) - \sqrt{3Var(\mu)} \\ b_{\mu} &= E(\mu) + \sqrt{3Var(\mu)} \end{aligned} \right\} \tag{4.1}$$

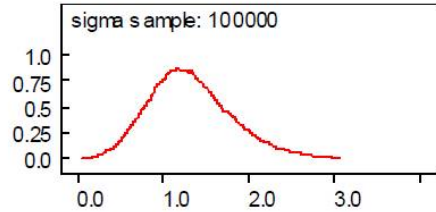
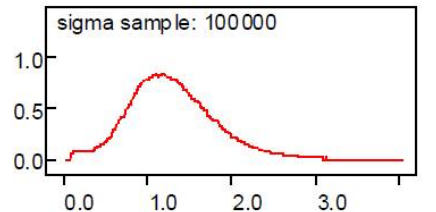
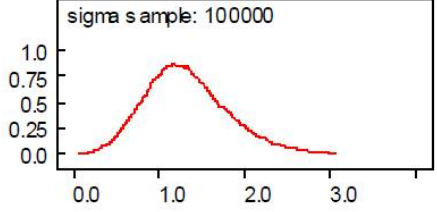
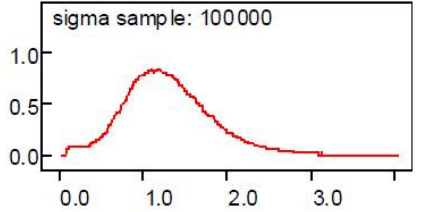
$$\left. \begin{aligned} a_{\sigma} &= E(\sigma) - \sqrt{3Var(\sigma)} \\ b_{\sigma} &= E(\sigma) + \sqrt{3Var(\sigma)} \end{aligned} \right\} \tag{4.2}$$

ハイパー事前分布に求められるのは、個別発電所故障率のばらつきを表す母集団変動分

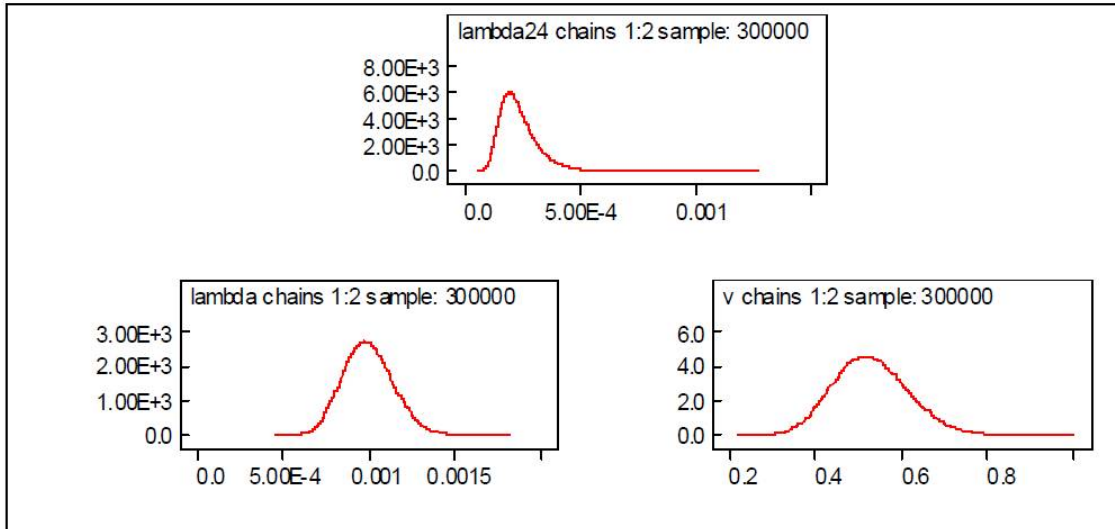
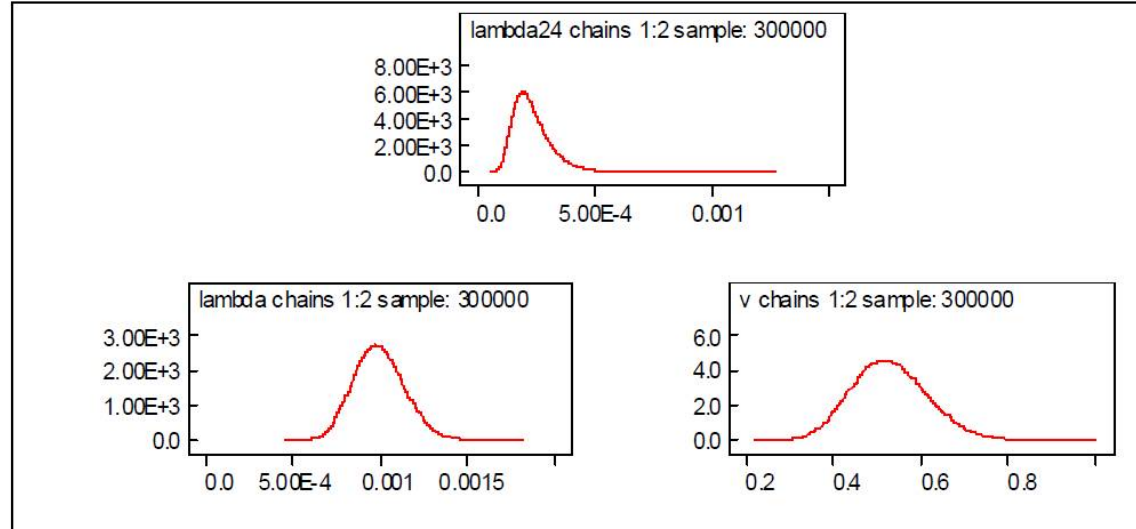
19

19



26 年データ報告書 改訂前	26 年データ報告書 改訂後
<div><div><div><div>A) <math>\sigma</math> 上限=3.0</div><div></div></div><div><div>B) <math>\sigma</math> 上限=4.0</div><div></div></div></div><div><p>図 5-13 ハイパーパラメータ <math>\sigma</math> の事後分布</p></div><div><p><b>5.3 MCMC 解析条件</b></p><p>5.1, 5.2 の評価手法の事前検討によって、21 年データ算出時から変更した MCMC 解析条件について以下に取り纏める。</p><p><b>5.3.1 国内一般機器故障率のサンプリング手法</b></p><p>説明性向上の観点から、21 年データ算出時に採用していたダミープラントを用いた手法は用いず、26 年データ算出にあたってはダミープラントを用いない手法（直接サンプリングする手法）を採用した。</p><p><b>5.3.2 パーンイン回数</b></p><p>21 年データ算出時のパーンイン回数の設定においては、モンテカルロエラーが標準偏差の 5%以下という指標（厳密にはサンプリング回数決定の指標）を用いており、十分な余裕を持たせること、評価の効率化を理由に、時間故障率には一律 7 万回、デマンド故障率には一律 5 万回のパーンイン回数を適用していた。</p><p>BGR 診断プロットの赤線が 1.0 付近に落ちつくことが一般的な収束判断であり、数千回で十分に収束していることが確認できたため、パーンイン回数は 1 万回とした。</p><p><b>5.3.3 サンプリング回数</b></p><p>21 年データ算出時のサンプリング回数の設定においては、NUREG/CR-6823 で 9 万回程度の実施例を参考に 10 万回としていた。</p><p>上記条件では、モンテカルロエラーが大きく、推定値が初期条件などに大きく左右されていることから、サンプリング回数を 30 万回とした。</p><p><b>5.3.4 Thinning（間引き）の設定</b></p><p>ハイパーパラメータ <math>\mu</math>、<math>\sigma</math> の自己相関が強いため、新たに Thinning（間引き）を採用し、自己相関性の低減を図った。計算時間も考慮し Thinning 回数は 3 とした。ハイパーパラメータ <math>\mu</math>、<math>\sigma</math> の自己相関が減少したことでそれぞれのモンテカルロエラーが減少した。</p></div></div>	<div><div><div><div>A) <math>\sigma</math> 上限=3.0</div><div></div></div><div><div>B) <math>\sigma</math> 上限=4.0</div><div></div></div></div><div><p>図 5-13 ハイパーパラメータ <math>\sigma</math> の事後分布</p></div><div><p><b>5.3 MCMC 解析条件</b></p><p>5.1, 5.2 の評価手法の事前検討によって、21 年データ算出時から変更した MCMC 解析条件について以下に取り纏める。</p><p><b>5.3.1 国内一般機器故障率のサンプリング手法</b></p><p>説明性向上の観点から、21 年データ算出時に採用していたダミープラントを用いた手法は用いず、26 年データ算出にあたってはダミープラントを用いない手法（直接サンプリングする手法）を採用した。</p><p><b>5.3.2 パーンイン回数</b></p><p>21 年データ算出時のパーンイン回数の設定においては、モンテカルロエラーが標準偏差の 5%以下という指標（厳密にはサンプリング回数決定の指標）を用いており、十分な余裕を持たせること、評価の効率化を理由に、時間故障率には一律 7 万回、デマンド故障率には一律 5 万回のパーンイン回数を適用していた。</p><p>BGR 診断プロットの赤線が 1.0 付近に落ちつくことが一般的な収束判断であり、数千回で十分に収束していることが確認できたため、パーンイン回数は 1 万回とした。</p><p><b>5.3.3 サンプリング回数</b></p><p>21 年データ算出時のサンプリング回数の設定においては、NUREG/CR-6823 での 9 万回程度の実施例を参考に 10 万回としていた。</p><p>上記条件では、モンテカルロエラーが大きく、推定値が初期条件などに大きく左右されていることから、サンプリング回数を 30 万回とした。</p><p><b>5.3.4 Thinning（間引き）の設定</b></p><p>ハイパーパラメータ <math>\mu</math>、<math>\sigma</math> の自己相関が強いため、新たに Thinning（間引き）を採用し、自己相関性の低減を図った。計算時間も考慮し Thinning 回数は 3 とした。ハイパーパラメータ <math>\mu</math>、<math>\sigma</math> の自己相関が減少したことでそれぞれのモンテカルロエラーが減少した。</p></div></div>
44	44



26 カ年データ報告書 改訂前	26 カ年データ報告書 改訂後																																																																																																
<p>計算結果を表 6-7、図 6-3 に示す。計算の収束性、変数の自己相関がないことは確認している。</p> <p>非常用 DG 発電機の国内一般機器故障率には、表 6-7 の平均故障率分布を用いる。</p> <p>DG 起動後 T 時間経過時における DG の不信頼度は、(T 時間平均故障率)×(T 時間)で得られる。</p> <table border="1"><caption>表 6-7 打ち切りデータを考慮したワイブル母数推定結果</caption><thead><tr><th></th><th>平均値</th><th>2.5%値</th><th>5%値</th><th>中央値</th><th>95%値</th><th>97.5%値</th><th>EF</th></tr></thead><tbody><tr><td>24時間平均故障率 (FR24)</td><td>2.33E-4</td><td>1.19E-4</td><td>1.30E-4</td><td>2.18E-4</td><td>3.87E-4</td><td>4.34E-4</td><td>1.7</td></tr><tr><td>36時間平均故障率 (FR36)</td><td>1.95E-4</td><td>9.26E-5</td><td>1.03E-4</td><td>1.80E-4</td><td>3.38E-4</td><td>3.84E-4</td><td>1.8</td></tr><tr><td>72時間平均故障率 (FR72)</td><td>1.44E-4</td><td>6.05E-5</td><td>6.78E-5</td><td>1.29E-4</td><td>2.69E-4</td><td>3.12E-4</td><td>2.0</td></tr><tr><td><math>\lambda</math>(lambda)</td><td>9.95E-4</td><td>7.28E-4</td><td>7.66E-4</td><td>9.88E-4</td><td>1.25E-3</td><td>1.30E-3</td><td>—</td></tr><tr><td><math>\nu</math>(v)</td><td>5.29E-1</td><td>3.70E-1</td><td>3.92E-1</td><td>5.25E-1</td><td>6.82E-1</td><td>7.14E-1</td><td>—</td></tr></tbody></table> <div></div> <p>図 6-3 打ち切りデータを考慮したワイブル母数推定結果 (24 時間平均故障率)</p> <p>非常用 DG の国内一般機器故障率の推定に用いた故障時間データは、試験打ち切り時間の短いデータ (10 分, 1 時間) が非常に多く、また、数少ない継続運転失敗データ (46 件) は最長でも 6 時間程度が一件あるのみで、残りはすべて 2 時間以内である。2 時間経過後はほとんど故障しないというこれらのデータを基にワイブル解析を行うと、長時間経過時の故障発生確率が大きく低下する傾向を示す。</p> <p>表 6-7 では PRA で想定する使命時間に応じて故障率を適切に選択できるよう使命時間 24</p>		平均値	2.5%値	5%値	中央値	95%値	97.5%値	EF	24時間平均故障率 (FR24)	2.33E-4	1.19E-4	1.30E-4	2.18E-4	3.87E-4	4.34E-4	1.7	36時間平均故障率 (FR36)	1.95E-4	9.26E-5	1.03E-4	1.80E-4	3.38E-4	3.84E-4	1.8	72時間平均故障率 (FR72)	1.44E-4	6.05E-5	6.78E-5	1.29E-4	2.69E-4	3.12E-4	2.0	$\lambda$ (lambda)	9.95E-4	7.28E-4	7.66E-4	9.88E-4	1.25E-3	1.30E-3	—	$\nu$ (v)	5.29E-1	3.70E-1	3.92E-1	5.25E-1	6.82E-1	7.14E-1	—	<p>計算結果を表 6-7、図 6-3 に示す。<del>計算の収束性、</del>変数の自己相関性がないこと <del>及び計算の収束性をは確認したている。</del></p> <p>非常用 DG 発電機の国内一般機器故障率には、表 6-7 の平均故障率分布を用いる。</p> <p>DG 起動後 T 時間経過時における DG の不信頼度は、(T 時間平均故障率)×(T 時間)で得られる。</p> <table border="1"><caption>表 6-7 打ち切りデータを考慮したワイブル母数推定結果</caption><thead><tr><th></th><th>平均値</th><th>2.5%値</th><th>5%値</th><th>中央値</th><th>95%値</th><th>97.5%値</th><th>EF</th></tr></thead><tbody><tr><td>24時間平均故障率 (FR24)</td><td>2.33E-4</td><td>1.19E-4</td><td>1.30E-4</td><td>2.18E-4</td><td>3.87E-4</td><td>4.34E-4</td><td>1.7</td></tr><tr><td>36時間平均故障率 (FR36)</td><td>1.95E-4</td><td>9.26E-5</td><td>1.03E-4</td><td>1.80E-4</td><td>3.38E-4</td><td>3.84E-4</td><td>1.8</td></tr><tr><td>72時間平均故障率 (FR72)</td><td>1.44E-4</td><td>6.05E-5</td><td>6.78E-5</td><td>1.29E-4</td><td>2.69E-4</td><td>3.12E-4</td><td>2.0</td></tr><tr><td><math>\lambda</math>(lambda)</td><td>9.95E-4</td><td>7.28E-4</td><td>7.66E-4</td><td>9.88E-4</td><td>1.25E-3</td><td>1.30E-3</td><td>—</td></tr><tr><td><math>\nu</math>(v)</td><td>5.29E-1</td><td>3.70E-1</td><td>3.92E-1</td><td>5.25E-1</td><td>6.82E-1</td><td>7.14E-1</td><td>—</td></tr></tbody></table> <div></div> <p>図 6-3 打ち切りデータを考慮したワイブル母数推定結果 (24 時間平均故障率)</p> <p>非常用 DG の国内一般機器故障率の推定に用いた故障時間データは、試験打ち切り時間の短いデータ (10 分, 1 時間) が非常に多く、また、数少ない継続運転失敗データ (46 件) は最長でも 6 時間程度が一件あるのみで、残りはすべて 2 時間以内である。2 時間経過後はほとんど故障しないというこれらのデータを基にワイブル解析を行うと、長時間経過時の故障発生確率が大きく低下する傾向を示す。</p> <p>表 6-7 では PRA で想定する使命時間に応じて故障率を適切に選択できるよう使命時間 24</p>		平均値	2.5%値	5%値	中央値	95%値	97.5%値	EF	24時間平均故障率 (FR24)	2.33E-4	1.19E-4	1.30E-4	2.18E-4	3.87E-4	4.34E-4	1.7	36時間平均故障率 (FR36)	1.95E-4	9.26E-5	1.03E-4	1.80E-4	3.38E-4	3.84E-4	1.8	72時間平均故障率 (FR72)	1.44E-4	6.05E-5	6.78E-5	1.29E-4	2.69E-4	3.12E-4	2.0	$\lambda$ (lambda)	9.95E-4	7.28E-4	7.66E-4	9.88E-4	1.25E-3	1.30E-3	—	$\nu$ (v)	5.29E-1	3.70E-1	3.92E-1	5.25E-1	6.82E-1	7.14E-1	—
	平均値	2.5%値	5%値	中央値	95%値	97.5%値	EF																																																																																										
24時間平均故障率 (FR24)	2.33E-4	1.19E-4	1.30E-4	2.18E-4	3.87E-4	4.34E-4	1.7																																																																																										
36時間平均故障率 (FR36)	1.95E-4	9.26E-5	1.03E-4	1.80E-4	3.38E-4	3.84E-4	1.8																																																																																										
72時間平均故障率 (FR72)	1.44E-4	6.05E-5	6.78E-5	1.29E-4	2.69E-4	3.12E-4	2.0																																																																																										
$\lambda$ (lambda)	9.95E-4	7.28E-4	7.66E-4	9.88E-4	1.25E-3	1.30E-3	—																																																																																										
$\nu$ (v)	5.29E-1	3.70E-1	3.92E-1	5.25E-1	6.82E-1	7.14E-1	—																																																																																										
	平均値	2.5%値	5%値	中央値	95%値	97.5%値	EF																																																																																										
24時間平均故障率 (FR24)	2.33E-4	1.19E-4	1.30E-4	2.18E-4	3.87E-4	4.34E-4	1.7																																																																																										
36時間平均故障率 (FR36)	1.95E-4	9.26E-5	1.03E-4	1.80E-4	3.38E-4	3.84E-4	1.8																																																																																										
72時間平均故障率 (FR72)	1.44E-4	6.05E-5	6.78E-5	1.29E-4	2.69E-4	3.12E-4	2.0																																																																																										
$\lambda$ (lambda)	9.95E-4	7.28E-4	7.66E-4	9.88E-4	1.25E-3	1.30E-3	—																																																																																										
$\nu$ (v)	5.29E-1	3.70E-1	3.92E-1	5.25E-1	6.82E-1	7.14E-1	—																																																																																										
56	56																																																																																																



26 カ年データ報告書 改訂前

表 7-1 国内一般機器故障率 (26 カ年データ) 時間故障率 (1/4)

機種	故障モード	故障件数 (件)	延べ運転 時間(h)	点検区間			BT <sup>2</sup> (近似)	ベイズ統計 (MCMC手法)					BT <sup>4</sup> (近似)	平均比 <sup>*5</sup>	BT (近似) 比 <sup>*6</sup>	
				点検区間 <sup>*1</sup> [h]	90%信頼区間			故障件数 推定値 <sup>*1</sup> [件]	平均値 [1/h]	9%点 [1/h]	中央値 [1/h]	95%点[1/h]				
					下限値[1/h]	上限値[1/h]										
非常用ディーゼル発電機	起動失敗	40	1.4E+07	2.8E+06	2.2E+06	3.6E+06	1.3	116.6	7.3E+06	2.3E+06	9.5E+06	1.5E+07	2.5	262%	187%	
	運転運転失敗(24時間平均) <sup>*2</sup>	-	-	-	-	-	-	-	2.3E+04	1.3E+04	2.2E+04	1.7E+04	-	-	-	
	運転運転失敗(6時間平均) <sup>*3</sup>	-	-	-	-	-	-	-	1.9E+04	1.0E+04	1.8E+04	1.3E+04	-	-	-	
	運転運転失敗(24時間平均) <sup>*4</sup>	-	-	-	-	-	-	-	1.6E+04	6.8E+03	1.3E+04	1.7E+04	-	-	-	
	起動失敗	4	8.4E+07	5.0E+06	1.7E+06	1.1E+07	2.6	10.6	2.2E+07	4.0E+07	7.0E+07	4.6E+07	10.2	440%	387%	
	運転運転失敗	29	9.8E+07	3.0E+07	2.1E+07	4.0E+07	1.8	72.6	6.4E+07	5.8E+07	9.0E+07	5.0E+07	6.8	282%	40%	
	起動失敗	2	4.7E+07	4.3E+06	2.2E+06	7.8E+06	4.2	5.7	1.9E+07	3.8E+06	5.3E+06	4.4E+07	10.7	441%	21%	
	起動失敗	1	2.4E+07	4.4E+06	2.1E+07	2.1E+07	9.6	3.6	1.5E+07	1.0E+06	1.0E+06	1.3E+07	8.3	80%	4%	
	運転運転失敗	2	1.4E+07	1.4E+07	2.5E+06	4.4E+07	4.2	3.6	7.4E+07	1.0E+06	1.0E+06	1.8E+06	11.9	528%	287%	
	起動失敗	1	3.4E+06	2.8E+07	1.4E+06	1.3E+06	9.6	2.9	7.8E+06	1.0E+06	2.1E+07	4.9E+06	51.3	2816%	534%	
タービン駆動ポンプ	起動失敗	22	8.7E+06	2.5E+06	1.7E+06	3.0E+06	1.5	55.8	9.7E+06	2.9E+07	3.8E+06	7.3E+06	8.6	377%	594%	
	運転運転失敗	10	1.4E+07	9.8E+07	5.1E+07	1.7E+06	1.8	25.4	2.9E+06	3.2E+07	2.0E+06	8.5E+06	4.5	266%	357%	
	起動失敗	3	1.7E+07	1.8E+07	4.4E+06	4.7E+07	3.1	38.4	5.4E+05	1.2E+07	4.2E+06	1.3E+06	3.4	268%	117%	
	運転運転失敗 <sup>*5</sup>	-	-	-	-	-	-	-	1.1E+03	-	-	-	300	332%	100%	
	起動失敗	25	1.2E+06	2.1E+06	1.5E+06	3.0E+06	13.0	64.8	1.2E+07	3.5E+06	1.5E+06	2.3E+07	27.6	214%	1948%	
	運転運転失敗	0	1.2E+06	4.3E+06	2.0E+06	2.0E+06	13.0	1.8	3.1E+09	2.5E+06	1.0E+06	8.1E+06	5.7	716%	44%	
	起動失敗	2	1.2E+06	1.2E+06	3.0E+06	3.0E+06	4.2	5.7	8.3E+09	2.5E+06	2.7E+06	1.2E+06	8.9	408%	217%	
	外置リーク	1	1.2E+06	8.5E+06	4.4E+06	4.4E+06	9.6	3.6	7.4E+09	2.5E+06	1.0E+06	1.2E+06	13.2	867%	76%	
	内置リーク	2	1.2E+06	1.7E+06	3.0E+06	5.0E+06	4.2	5.7	7.7E+09	2.5E+06	2.7E+06	1.0E+06	9.2	453%	218%	
	作動失敗	2	4.4E+07	4.0E+06	8.1E+06	1.4E+07	4.2	5.5	9.9E+07	1.0E+06	4.0E+06	5.0E+07	22.4	2177%	931%	
電気(非常用)	起動失敗	0	4.4E+07	1.1E+08	-	5.2E+08	11	6.4E+08	1.3E+09	1.3E+08	1.3E+08	1.5E+07	101	568%	38%	
	作動失敗	0	4.4E+07	1.1E+08	-	5.2E+08	33.0	1.1	6.4E+08	1.5E+09	1.5E+08	1.5E+07	101	568%	38%	
	外置リーク	0	4.4E+07	1.1E+08	-	5.2E+08	13.0	1.1	6.4E+08	1.5E+09	1.5E+08	1.5E+07	101	568%	38%	
	内置リーク	0	4.4E+07	1.1E+08	-	5.2E+08	13.0	1.1	6.4E+08	1.5E+09	1.5E+08	1.5E+07	101	568%	38%	
	作動失敗	21	6.3E+08	4.7E+09	1.3E+08	4.8E+08	1.5	53.4	9.1E+08	1.3E+08	7.0E+08	2.2E+07	4.0	275%	277%	
	運転運転失敗	3	6.3E+08	4.7E+09	1.3E+08	4.8E+08	3.1	38.4	3.0E+08	1.3E+09	5.8E+09	2.7E+08	12.2	638%	46%	
	起動失敗	1	6.3E+08	1.6E+09	8.3E+11	7.5E+09	9.6	3.9	1.0E+08	6.1E+10	4.4E+09	2.5E+08	6.8	627%	87%	
	外置リーク	1	6.3E+08	1.6E+09	8.3E+11	7.5E+09	9.6	3.9	1.0E+08	6.1E+10	4.4E+09	2.5E+08	6.8	627%	87%	
	内置リーク	3	6.3E+08	4.7E+09	1.3E+09	1.2E+08	3.1	9.1	4.0E+08	1.8E+10	5.2E+09	1.0E+08	21.4	627%	694%	
	外置リーク	15	1.3E+08	1.2E+07	7.3E+09	1.8E+07	1.6	38.4	4.7E+07	6.4E+09	1.6E+07	1.0E+07	32.9	366%	818%	
集電機	運転運転失敗	3	1.3E+08	2.4E+08	6.4E+09	6.1E+08	3.1	8.0	1.2E+07	1.3E+09	3.3E+08	2.3E+07	13.2	466%	47%	
	作動失敗	0	1.3E+08	3.9E+09	-	-	13.0	1.6	2.9E+08	1.8E+09	1.1E+08	6.9E+08	6.3	738%	48%	
	外置リーク	0	1.3E+08	3.9E+09	-	-	13.0	1.6	2.9E+08	1.8E+09	1.1E+08	6.9E+08	6.3	738%	48%	
	内置リーク	0	1.3E+08	3.9E+09	-	-	13.0	1.6	2.9E+08	1.8E+09	1.1E+08	6.9E+08	6.3	738%	48%	
	作動失敗	3	8.4E+08	3.6E+09	9.7E+07	9.7E+07	3.1	7.9	2.1E+08	2.3E+10	4.9E+09	3.3E+08	11.9	297%	386%	
	外置リーク	13	8.4E+08	3.6E+09	9.7E+07	9.7E+07	3.1	34.7	2.4E+07	3.6E+11	5.4E+09	2.9E+07	900	3368%	5493%	
	内置リーク	0	8.4E+08	5.9E+10	-	-	13.0	1.5	5.0E+09	2.3E+10	1.6E+09	1.6E+08	16.6	848%	51%	
	外置リーク	4	8.4E+08	4.7E+09	1.6E+09	1.6E+09	2.6	11.1	9.0E+08	5.1E+11	3.4E+09	7.1E+08	37.3	916%	1441%	
	作動失敗	4	1.9E+09	2.1E+09	7.2E+07	4.8E+07	2.6	10.5	7.5E+09	2.7E+10	3.2E+09	1.8E+08	8.1	375%	31%	
	手動弁	起動失敗	4	1.9E+09	2.1E+09	7.2E+07	4.8E+07	2.6	10.8	8.0E+09	1.6E+10	2.8E+09	2.4E+08	11.3	178%	47%
外置リーク		0	1.9E+09	2.6E+10	-	-	13.0	2.3	2.3E+09	2.7E+10	1.3E+09	6.4E+09	4.7	188%	36%	
止弁	起動失敗	1	1.9E+09	5.3E+10	2.7E+11	2.7E+11	9.6	4.0	3.2E+09	2.4E+10	1.3E+09	8.3E+09	5.8	598%	36%	
	内置リーク	0	1.9E+09	5.3E+10	2.7E+11	2.7E+11	9.6	4.0	3.2E+09	2.4E+10	1.3E+09	8.3E+09	5.8	598%	36%	

26 カ年データ報告書 改訂後

表 7-1 国内一般機器故障率 (26 カ年データ) 時間故障率 (1/4)

機種	故障モード	観測件数 [件]	延べ運転 時間[h]	古典統計			BT <sup>2</sup> (近似)	ベイズ統計 (MCMC手法)								
				点検定数 <sup>*1</sup> [1/h]	90%信頼区間			真の故障件数 推定値 <sup>*1</sup> [件]	平均値 [1/h]	9%点 [1/h]	中央値 [1/h]	95%点[1/h]	BT <sup>4</sup> (近似)	平均比 <sup>*5</sup>	BT (近似) 比 <sup>*6</sup>	
					下限値[1/h]	上限値[1/h]										
非常用ディーゼル発電機	起動失敗	46	1.6E+07	2.8E+06	2.2E+06	3.6E+06	1.3	116.6	7.3E+06	2.3E+06	6.5E+06	1.5E+05	2.5	262%	-	
	連続運転失敗(24時間平均) <sup>*2</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	2.3E+04	1.3E+04	2.2E+04	3.9E+04	1.7	-	-
	連続運転失敗(6時間平均) <sup>*3</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	1.9E+04	1.0E+04	1.8E+04	2.7E+04	1.8	-	-
	連続運転失敗(27時間平均) <sup>*4</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	1.4E+04	6.8E+03	1.3E+04	2.0E+04	2.0	-	-
	起動失敗	4	8.0E+07	5.0E+08	1.7E+08	1.1E+07	2.6	10.6	2.2E+07	4.4E+07	7.8E+07	4.9E+07	10.2	440%	393%	47.2%
	連続運転失敗	29	9.8E+07	4.3E+08	7.6E+09	1.3E+07	4.2	75.6	6.4E+07	3.8E+09	6.3E+08	4.4E+07	10.7	431%	284%	89%
	起動失敗	2	4.7E+07	4.4E+08	2.2E+09	2.1E+07	9.6	3.6	3.5E+07	1.0E+08	1.6E+07	7.2E+07	8.3	806%	25.9%	89%
	連続運転失敗	2	1.4E+07	2.5E+08	4.4E+07	4.4E+07	4.2	5.6	7.4E+07	1.0E+08	1.9E+07	1.9E+07	11.9	526%	28.3%	89%
	起動失敗	1	3.6E+06	2.8E+07	1.4E+08	1.3E+06	9.6	2.9	7.8E+06	1.9E+09	2.1E+07	4.9E+06	51.3	2810%	53.4%	89%
	タービン駆動ポンプ	起動失敗	22	8.7E+06	2.5E+06	1.7E+06	3.0E+06	1.5	55.8	9.7E+06	2.9E+07	3.8E+06	2.3E+05	8.6	357%	59.4%
ディーゼル駆動ポンプ	連続運転失敗	10	1.0E+07	9.8E+07	5.3E+07	1.7E+08	1.8	25.4	2.9E+06	3.2E+07	2.0E+06	6.5E+06	4.5	296%	25.3%	89%
	起動失敗	3	1.7E+05	1.8E+05	4.9E+06	4.7E+05	3.1	8.9	5.4E+05	1.2E+05	4.3E+05	1.3E+04	3.4	298%	111%	388%
	連続運転失敗 <sup>*8</sup>	-	-	-	-	-	30.0	-	-	-	-	-	30.0	100%	100%	100%
	作動失敗	25	1.2E+09	2.1E+08	1.5E+08	3.0E+08	1.4	64.8	1.2E+07	3.5E+10	1.5E+08	2.3E+07	27.6	541%	194.8%	4.4%
	観測又は観測 閉塞	0	1.2E+09	4.3E+10	2.0E+09	2.0E+09	13.0	1.8	3.1E+09	2.5E+10	1.0E+09	8.1E+09	5.7	716%	4.4%	21%
	外置リーク	2	1.2E+09	1.7E+09	3.0E+10	5.0E+09	4.2	5.7	8.3E+09	2.2E+10	2.7E+09	1.7E+08	8.9	486%	70%	78%
	内部リーク	1	1.2E+09	8.5E+10	4.4E+11	4.0E+09	9.6	3.6	7.4E+09	2.3E+10	1.9E+09	1.3E+08	7.3	467%	45.3%	21.8%
	作動失敗	2	4.4E+07	4.5E+08	8.1E+09	1.4E+07	4.2	5.5	9.9E+07	1.0E+09	4.9E+08	5.0E+07	22.4	2173%	53.1%	78%
	観測又は観測 閉塞	0	4.4E+07	1.1E+08	-	6.4E+08	13.0	1.1	6.4E+08	1.5E+09	1.5E+08	1.3E+07	10.1	568%	78%	78%
	外置リーク	0	4.4E+07	1.1E+08	-	5.2E+08	13.0	1.1	6.4E+08	1.5E+09	1.5E+08	1.3E+07	10.1	568%	78%	78%
空気作動弁	内部リーク	0	4.4E+07	1.1E+08	-	5.2E+08	13.0	1.1	6.4E+08	1.5E+09	1.5E+08	1.3E+07	10.1	568%	78%	78%
	作動失敗	21	6.3E+08	3.3E+08	2.2E+08	4.8E+08	1.5	53.4	9.1E+08	1.3E+08	7.0E+08	2.3E+07	4.0	273%	27.2%	67%
	観測又は観測 閉塞	3	6.3E+08	4.7E+09	1.3E+09	1.2E+08	3.1	8.7	3.0E+08	2.7E+10	5.8E+09	6.1E+08	15.2	638%	49.2%	67%
	外置リーク	1	6.3E+08	1.6E+09	8.1E+11	7.5E+09	9.6	3.9	1.0E+08	6.1E+10	4.4E+09	2.5E+08	6.4	657%	67%	67%
	内部リーク	3	6.3E+08	4.7E+09	1.3E+09	1.2E+08	3.1	9.1	4.0E+08	1.8E+10	5.2E+09	8.0E+08	21.4	850%	69.4%	81.8%
	作動失敗	15	1.3E+08	1.2E+07	6.4E+07	1.8E+07	1.6	38.4	4.7E+07	6.0E+09	1.6E+07	1.2E+06	12.9	399%	42.9%	42.9%
	観測又は観測 閉塞	3	1.3E+08	2.4E+08	6.3E+09	6.1E+08	3.1	8.0	1.2E+07	1.3E+09	3.3E+08	2.3E+07	13.2	496%	42.9%	42.9%
	外置リーク	0	1.3E+08	3.9E+09	-	1.8E+08	13.0	1.6	2.9E+08	1.8E+09	1.1E+08	6.9E+08	6.3	729%	48%	48%
	内部リーク	0	1.3E+08	3.9E+09	-	1.8E+08	13.0	1.6	2.9E+08	1.8E+09	1.1E+08	6.9E+08	6.3	729%	48%	48%
	閉塞	13	8.4E+08	3.6E+09	9.7E+10	9.2E+09	3.1	7.9	2.1E+08	3.2E+10	4.9E+09	3.2E+07	11.9	595%	386%	549.2%
手動弁	外置リーク	0	8.4E+08	5.9E+10	-	2.7E+09	13.0	1.5	5.0E+09	2.3E+10	1.6E+09	1.0E+08	6.6	846%	51%	1441%
	内部リーク	4	8.4E+08	4.7E+09	1.6E+09	1.6E+09	2.6	11.1	9.0E+08	5.1E+11	3.4E+09	7.1E+08	37.3	1906%	1441%	31.4%
	閉塞	4	1.9E+09	2.1E+09	7.2E+10	4.8E+09	2.6	10.5	7.5E+09	2.7E+10	3.5E+09	1.8E+08	8.1	357%	43.7%	378%
	外置リーク	0	1.9E+09	2.6E+10	-	1.2E+09	13.0	2.3	2.3E+09	2.7E+10	1.3E+09	6.0E+09	4.7	888%	36%	598%
	内部リーク	0	1.9E+09	5.3E+10	2.7E+11	2.7E+11	9.6	4.0	3.2E+09	2.4E+10	1.3E+09	8.3E+09	5.8	598%	60%	598%



26 カ年データ報告書 改訂前

表 8-2  $\sigma$ の事前分布設定範囲に相当する EF の範囲

(全基事象共通)	$\sigma$		EF	
ベースケース	0.10	3.0	1.18	139
ケース 1	0.01	1.5	1.02	12
ケース 2	1.00	3.3	5.18	228
ケース 3	0.01	3.3	1.02	228

8.3 ハイパー事前分布 ( $\sigma$ ) の感度解析について

国内一般機器故障率を推定する際の入力の一つであるハイパー事前分布の $\sigma$ の設定について感度解析を実施した。評価対象は、解析手法を開発する際に抽出した 4 つの代表的な故障モードとした。

8.3.1 ハイパー事前分布設定

国内一般機器故障率の推定では、母集団-変動分布に対数正規分布又はロジスティック正規分布を用いており、これらのパラメータは $\sigma$ 及び $\mu$ であり、これらの事前分布として、一様分布を適用した。

$$(\sigma \text{ または } \mu) \sim Unif(a,b) = \frac{1}{b-a} \quad \left( \text{平均値} = \frac{b+a}{2}, \text{分散} = \frac{(b-a)^2}{12} \right) \quad (8.5)$$

ベースケースにでは $\sigma$ に対する事前分布（ハイパー事前分布）には $Unif(0.1,3)$ を適用したが、本設定の感度を確認するため、表 8-3 に示す分布を用いて感度解析を実施した。

表 8-3 感度解析のハイパー事前分布設定 ( $\sigma$ )

	分布	平均値	分散	EF 換算	備考
ベース ケース	$Unif(0.1,3)$	1.6	0.70	1.2~139	
ケース 1	$Unif(0.01,1.5)$	0.76	0.19	1.02~12	範囲を減少方向にシフト
ケース 2	$Unif(1,3.3)$	2.2	0.44	5~228	範囲を増加方向にシフト
ケース 3	$Unif(0.01,3.3)$	1.7	0.90	1.02~228	範囲の拡張

8.3.2 解析条件

解析モデルはベースケースと同様とし WinBUGS<sup>[6]</sup>を用いて評価する。バーンイン回数及びモンテカルロ繰り返し回数についてもベースケースと同様とした。（本章の計算に用いたデータは 21 ヶ年データである）

8.3.3 解析結果

ベースケースと感度解析の比較結果を表 8-4、表 8-5 及び表 8-6 に示す（感度解析結果の見方について附録 C を参照）。

26 カ年データ報告書 改訂後

表 8-2  $\sigma$ の事前分布設定範囲に相当する EF の範囲

(全基事象共通)	$\sigma$		EF	
ベースケース	0.10	3.0	1.18	139
ケース 1	0.01	1.5	1.02	12
ケース 2	1.00	3.3	5.18	228
ケース 3	0.01	3.3	1.02	228

8.3 ハイパー事前分布 ( $\sigma$ ) の感度解析について

国内一般機器故障率を推定する際の入力の一つであるハイパー事前分布の $\sigma$ の設定について感度解析を実施した。評価対象は、解析手法を開発する際に抽出した 4 つの代表的な故障モードとした。

8.3.1 ハイパー事前分布設定

国内一般機器故障率の推定では、母集団-変動分布に対数正規分布又はロジスティック正規分布を用いており、これらのパラメータは $\sigma$ 及び $\mu$ であり、これらの事前分布として、一様分布を適用した。

$$(\sigma \text{ または } \mu) \sim Unif(a,b) = \frac{1}{b-a} \quad \left( \text{平均値} = \frac{b+a}{2}, \text{分散} = \frac{(b-a)^2}{12} \right) \quad (8.5)$$

ベースケースにでは $\sigma$ に対する事前分布（ハイパー事前分布）には $Unif(0.1,3)$ を適用したが、本設定の感度を確認するため、表 8-3 に示す分布を用いて感度解析を実施した。

表 8-3 感度解析のハイパー事前分布設定 ( $\sigma$ )

	分布	平均値	分散	EF 換算	備考
ベース ケース	$Unif(0.1,3)$	1.6	0.70	1.2~139	
ケース 1	$Unif(0.01,1.5)$	0.76	0.19	1.02~12	範囲を減少方向にシフト
ケース 2	$Unif(1,3.3)$	2.2	0.44	5~228	範囲を増加方向にシフト
ケース 3	$Unif(0.01,3.3)$	1.7	0.90	1.02~228	範囲の拡張

8.3.2 解析条件

解析モデルはベースケースと同様とし WinBUGS<sup>[6]</sup>を用いて評価する。バーンイン回数及びモンテカルロ繰り返し回数についてもベースケースと同様とした。（本章の計算に用いたデータは 21 ヶ年データである）

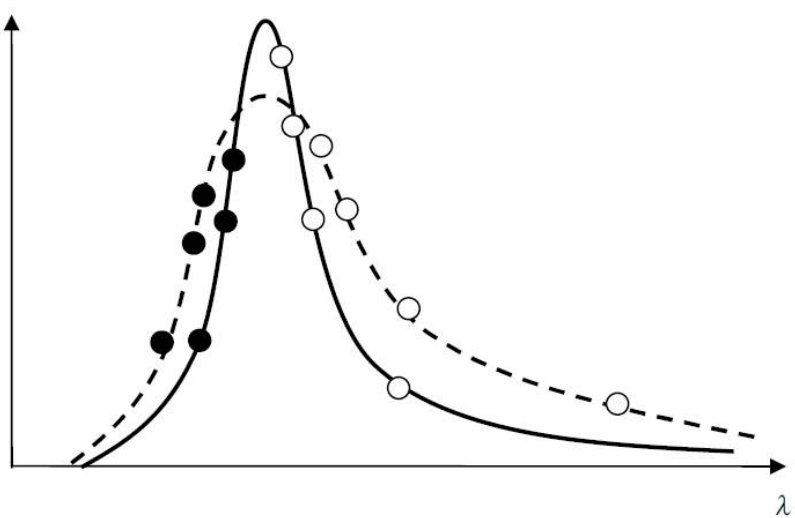
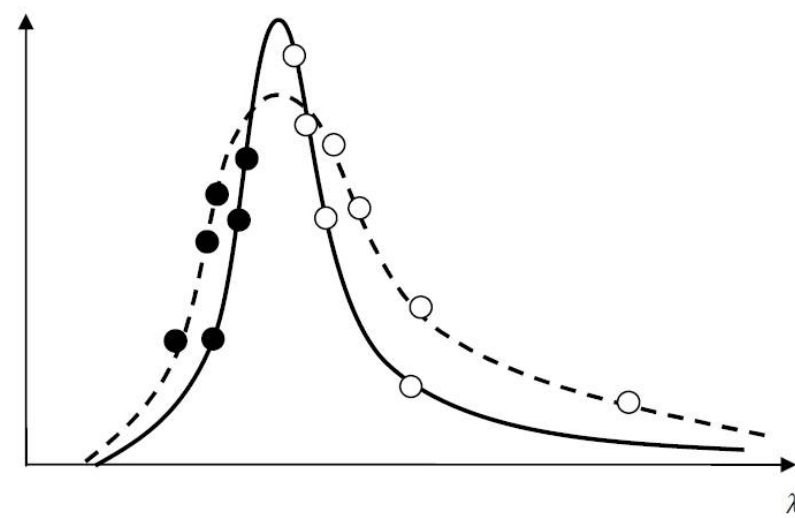
8.3.3 解析結果

ベースケースと感度解析の比較結果を表 8-4、表 8-5 及び表 8-6 に示す（感度解析結果の見方について附録 C を参照）。



26 カ年データ報告書 改訂前	26 カ年データ報告書 改訂後
<div>8.3.4 考察</div> <div>a) <math>\sigma</math>の事後分布</div> <p>各ケースにおける<math>\sigma</math>の事後分布を図 8-2 に示す。<math>\sigma</math>のハイパー事前分布に一樣分布を適用したため、ハイパー事前分布の上下限値の範囲外は確率値がゼロになり、事後分布もそれに対応した範囲に制限されている。すなわち、ハイパー事前分布は事後分布の範囲を制限しているといえる。</p> <div>b) ケース 1</div> <div>1) プールデータで 1 件以上の観測件数を有する故障モード</div> <p>ケース 1 では、ベースケースに比べ、国内一般機器故障率の平均値は減少傾向を示し、個別プラント機器故障率においては、観測件数が 1 件以上のプラントでは減少傾向、0 件のプラントでは増加傾向を示した。この個別プラント機器故障率の挙動は、機器故障率の母集団-変動分布の分散を抑制するようにハイパー事前分布を設定したことによると考えられる。すなわち、ケース 1 の母集団-変動事後分布は、ベースケースの事後分布に比べ中央値付近に集まる形となり、そのため、比較的高い機器故障率（観測件数が 1 件以上の個別プラント機器故障率）は中央値より小さめに評価され、比較的低い機器故障率（ゼロ件の個別プラント機器故障率）は中央値より大きめに評価されることになった（図 8-1）。また、国内一般機器故障率の挙動についても、対数正規事前分布の分散を抑制してその平均値が小さくなったために、事後分布の平均値も小さくなったと考えられる。</p> <div>2) プールデータで 0 件の観測件数を有する故障モード</div> <p>国内一般機器故障率ならびに個別プラント機器故障率ともに減少傾向を示した。この挙動についても、母集団-変動事前分布の分散が抑制されたため、事後分布が比較的機器故障率の大きい領域に広がらなかったことが原因であると考えられる。</p>	<div>8.3.4 考察</div> <div>a) <math>\sigma</math>の事後分布</div> <p>各ケースにおける<math>\sigma</math>の事後分布を図 8-2 に示す。<math>\sigma</math>のハイパー事前分布に一樣分布を適用したため、ハイパー事前分布の上下限値の範囲外は確率値がゼロになり、事後分布もそれに対応した範囲に制限されている。すなわち、ハイパー事前分布は事後分布の範囲を制限しているといえる。</p> <div>b) ケース 1</div> <div>1) プールデータで 1 件以上の観測件数を有する故障モード</div> <p>ケース 1 では、ベースケースに比べ、国内一般機器故障率の平均値は減少傾向を示し、個別プラント機器故障率においては、観測件数が 1 件以上のプラントでは減少傾向、0 件のプラントでは増加傾向を示した。この個別プラント機器故障率の挙動は、機器故障率の母集団-変動分布の分散を抑制するようにハイパー事前分布を設定したことによると考えられる。すなわち、ケース 1 の母集団-変動事後分布は、ベースケースの事後分布に比べ中央値付近に集まる形となり、そのため、比較的高い機器故障率（観測件数が 1 件以上の個別プラント機器故障率）は中央値より小さめに評価され、比較的低い機器故障率（ゼロ件の個別プラント機器故障率）は中央値より大きめに評価されることになった（図 8-1）。また、国内一般機器故障率の挙動についても、対数正規事前分布の分散を抑制してその平均値が小さくなったために、事後分布の平均値も小さくなったと考えられる。</p> <div>2) プールデータで 0 件の観測件数を有する故障モード</div> <p>国内一般機器故障率ならびに個別プラント機器故障率ともに減少傾向を示した。この挙動についても、母集団-変動事前分布の分散が抑制されたため、事後分布が比較的機器故障率の大きい領域に広がらなかったことが原因であると考えられる。</p>
79	79



26 カ年データ報告書 改訂前	26 カ年データ報告書 改訂後
<div><p>—— ケース 1 母集団-変動分布 - - - - ベースケース母集団-変動分布</p><p>○ 比較的高い機器故障率（観測件数が 1 件以上のプラントにおける個別プラント機器故障率） ● 比較的低い機器故障率（観測件数が 0 件のプラントにおける個別プラント機器故障率）</p></div> <p>図 8-1 母集団-変動分布の分散が抑制される場合の事後分布の様子</p> <p>c) ケース 2 対数正規分布とした母集団-変動分布の分散を拡大するハイパー事前分布設定であるため、機器故障率の挙動はケース 1 と反対の傾向を示した。</p> <p>d) ケース 3 ケース 3 のハイパー事前分布設定では、機器故障率の母集団-変動事前分布の範囲が拡大されたため、事後分布の存在範囲もほとんど事前分布の制限を受けずベースケースと同等の故障率が得られた。本結果から、ベースケースで設定したハイパー事前分布 <math>\sigma</math> の範囲は尤度関数の存在範囲をほぼ包含できる程度に十分に広いといえる。</p> <p>8.3.5 まとめ 母集団-変動分布のパラメータ <math>\sigma</math> に対するハイパー事前分布の感度解析を実施した。母集団-変動分布の分散の大小と、計算される国内一般機器故障率の挙動は整合性が取れていると考えられる。また、<math>\sigma</math> のハイパー事前分布の範囲を拡大した結果、機器故障率はベースケースと同等であることが確認できたため、<math>\sigma</math> のハイパー事前分布の範囲の広さは十分であると考えられる。</p>	<div><p>—— ケース 1 母集団-変動分布 - - - - ベースケース母集団-変動分布</p><p>○ 比較的高い機器故障率（観測件数が 1 件以上のプラントにおける個別プラント機器故障率） ● 比較的低い機器故障率（観測件数が 0 件のプラントにおける個別プラント機器故障率）</p></div> <p>図 8-1 母集団-変動分布の分散が抑制される場合の事後分布の様子</p> <p>c) ケース 2 対数正規分布とした母集団-変動分布の分散を拡大するハイパー事前分布設定であるため、機器故障率の挙動はケース 1 と反対の傾向を示した。</p> <p>d) ケース 3 ケース 3 のハイパー事前分布設定では、機器故障率の母集団-変動事前分布の範囲が拡大されたため、事後分布の存在範囲もほとんど事前分布の制限を受けずベースケースと同等の故障率が得られた。本結果から、ベースケースで設定したハイパー事前分布 <math>\sigma</math> の範囲は尤度関数の存在範囲をほぼ包含できる程度に十分に広いといえる。</p> <p>8.3.5 まとめ 母集団-変動分布のパラメータ <math>\sigma</math> に対するハイパー事前分布の感度解析を実施した。母集団-変動分布の分散の大小と、計算される国内一般機器故障率の挙動は整合性が取れていると考えられる。また、<math>\sigma</math> のハイパー事前分布の範囲を拡大した結果、機器故障率はベースケースと同等であることが確認できたため、<math>\sigma</math> のハイパー事前分布の範囲の広さは十分であると考えられる。</p>
80	80

26 カ年データ報告書 改訂前	26 カ年データ報告書 改訂後
<p><b>8.4 ハイパー事前分布（<math>\mu</math>）の感度解析について</b></p> <p>国内一般機器故障率を推定する際の入力の一つであるハイパー事前分布の<math>\mu</math>設定について感度解析を実施した。評価対象は、4つの代表的な故障モード（時間故障率である電動ポンプ継続運転失敗と制御ケーブル短絡及びデマンド故障確率である非常用 DG 起動失敗と逆止弁開失敗）とした。</p> <p><b>8.4.1 ハイパー事前分布設定</b></p> <p>国内一般機器故障率の推定では、母集団-変動分布に対数正規分布又はロジスティック正規分布を用いており、これらのパラメータは<math>\mu</math>及び<math>\sigma</math>であり、これらの事前分布として、一様分布を適用した。</p> $(\mu \text{ または } \sigma) \sim Unif(a, b) = \frac{1}{b-a} \quad \left( \text{平均値} = \frac{b+a}{2}, \text{分散} = \frac{(b-a)^2}{12} \right) \quad (8.6)$ <p>ベースケースの<math>\mu</math>に対する事前分布（ハイパー事前分布）には最尤法で求めた個別プラント機器故障率の最大値及び最小値を含み、分散が 10 程度（上下限值で 5 桁程度の拡がり）の適切に拡がった事前分布を設定しているが、本設定の感度を確認するため、<b>表 8-7</b>に示す分布を用いて感度解析を実施した。</p> <p>ケース 1、ケース 2 は事前分布を減少又は増加方向にシフトさせた。シフト幅はベースケースの<math>\mu</math>の事後分布がピークを有する場合はピークからピークの裾までの 3/4 程度が事前分布の範囲に残ることを目処とし、ピークがない場合は範囲の 20%程度とした。ケース 3 では事前分布の幅を約 1.5 倍になるように拡大した。</p>	<p><b>8.4 ハイパー事前分布（<math>\mu</math>）の感度解析について</b></p> <p>国内一般機器故障率を推定する際の入力の一つであるハイパー事前分布の<math>\mu</math>設定について感度解析を実施した。評価対象は、4つの代表的な故障モード（時間故障率である電動ポンプ継続運転失敗と制御ケーブル短絡及びデマンド故障確率である非常用 DG 起動失敗と逆止弁開失敗）とした。</p> <p><b>8.4.1 ハイパー事前分布設定</b></p> <p>国内一般機器故障率の推定では、母集団-変動分布に対数正規分布又はロジスティック正規分布を用いており、これらのパラメータは<math>\mu</math>及び<math>\sigma</math>であり、これらの事前分布として、一様分布を適用した。</p> $(\mu \text{ または } \sigma) \sim Unif(a, b) = \frac{1}{b-a} \quad \left( \text{平均値} = \frac{b+a}{2}, \text{分散} = \frac{(b-a)^2}{12} \right) \quad (8.6)$ <p>ベースケースの<math>\mu</math>に対する事前分布（ハイパー事前分布）には最尤法で求めた個別プラント機器故障率の最大値及び最小値を含み、分散が 10 程度（上下限值で 5 桁程度の拡がり）の適切に拡がった事前分布を設定しているが、本設定の感度を確認するため、<b>表 8-7</b>に示す分布を用いて感度解析を実施した。</p> <p>ケース 1、ケース 2 は事前分布を減少又は増加方向にシフトさせた。シフト幅はベースケースの<math>\mu</math>の事後分布がピークを有する場合はピークからピークの裾までの 3/4 程度が事前分布の範囲に残ることを目処とし、ピークがない場合は範囲の 20%程度とした。ケース 3 では事前分布の幅を約 1.5 倍になるように拡大した。</p>
85	85



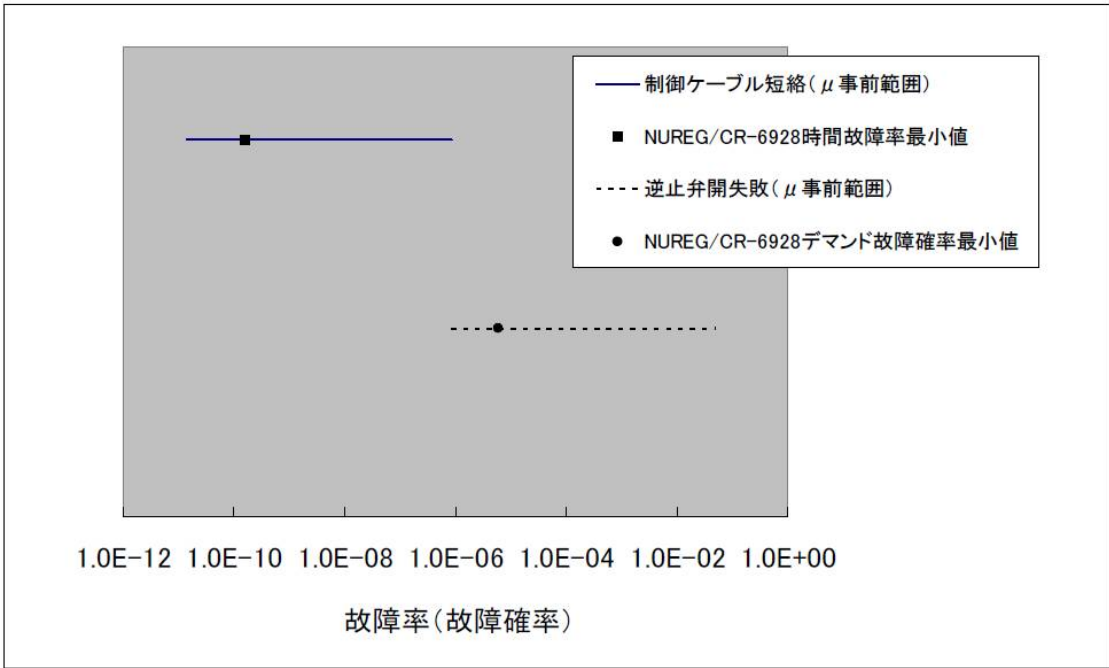


図 8-12 代表的なゼロ件故障モードにおける $\mu$ の事前範囲と NUREG/CR-6928 の故障率比較

b) データ収集確率分布と $\mu$ の事前分布の設定手法の整合性

本評価に用いた $\mu$ の事前分布の設定概念を図 8-13 に示す。 $\mu$ は母集団-変動分布における  $\ln\lambda$  の平均値であり、事前分布に一樣分布を適用している。ハイパーパラメータ  $a_\mu$  及び  $b_\mu$  は、個別プラントの最尤推定値 ( $\lambda_{max}$ ,  $\lambda_{min}$ ) から求めた期待値  $E(\mu)$ 、及び工学的判断による分散  $Var(\mu)$  に基づき設定している。

国内一般機器故障率の全体の枠組みではデータ収集確率の概念（故障件数の不確かさ）を取り込んでいるため、 $\mu$ の事前分布の設定根拠となる $\lambda_{max}$ を求める際は、故障件数の増加程度を予め見積もっている。一方、 $\lambda_{min}$ にはこの増加程度を反映していない。また、故障の観測件数がゼロ件の場合、0.5 件の故障を仮定している。

本設定方法の代替案としては、故障件数の増加程度を $\lambda_{max}$ 及び $\lambda_{min}$ の双方に見積もること、データ収集確率分布の概念との整合性を確保することも考えられる。

ここで、現行の $\lambda_{min}$ の設定手法を構築する際の経緯について述べる。全ての故障モードで $\lambda_{min}$ は観測件数ゼロ件のプラントから求めることが予めわかっており、 $\lambda_{min}$ は個別プラント最尤推定値の最小値であるため、観測件数がゼロ件で実際の故障件数もゼロ件であることを想定するのが自然であると判断した（この背景に Feasibility Study により、ゼロ件の観測件数の場合、故障件数の事後分布の最頻値はゼロとなることもわかっていた）。一方、 $\lambda_{max}$ は個別プラント機器故障率の最大値であるため、故障件数の増加程度を見積もるのが適切であると判断した。

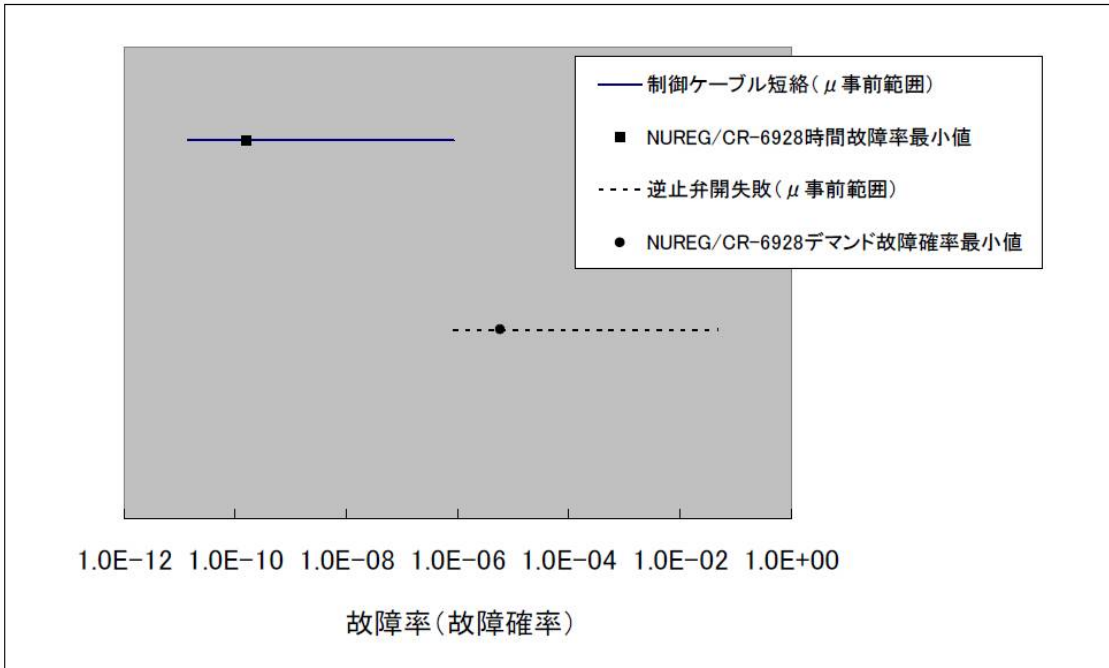


図 8-12 代表的なゼロ件故障モードにおける $\mu$ の事前範囲と NUREG/CR-6928 の故障率比較

b) データ収集確率分布と $\mu$ の事前分布の設定手法の整合性

本評価に用いた $\mu$ の事前分布の設定概念を図 8-13 に示す。 $\mu$ は母集団-変動分布における  $\ln\lambda$  の平均値であり、事前分布に一樣分布を適用している。ハイパーパラメータ  $a_\mu$  及び  $b_\mu$  は、個別プラントの最尤推定値 ( $\lambda_{max}$ ,  $\lambda_{min}$ ) から求めた期待値  $E(\mu)$ 、及び工学的判断による分散  $Var(\mu)$  に基づき設定している。

国内一般機器故障率の全体の枠組みではデータ収集確率の概念（故障件数の不確かさ）を取り込んでいるため、 $\mu$ の事前分布の設定根拠となる $\lambda_{max}$ を求める際は、故障件数の増加程度を予め見積もっている。一方、 $\lambda_{min}$ にはこの増加程度を反映していない。また、故障の観測件数がゼロ件の場合、0.5 件の故障を仮定している。

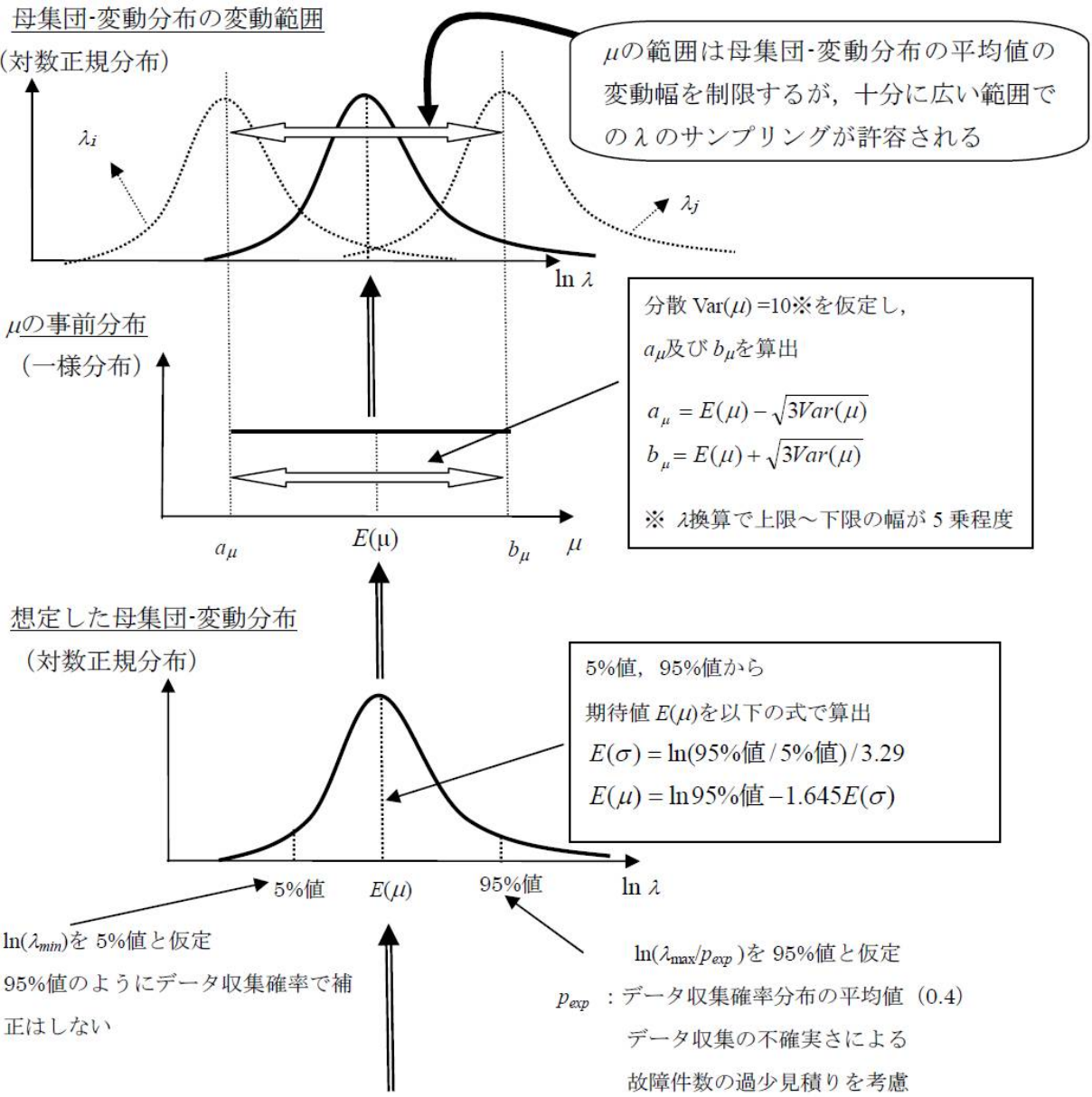
本設定方法の代替案としては、故障件数の増加程度を $\lambda_{max}$ 及び $\lambda_{min}$ の双方に見積もること、データ収集確率分布の概念との整合性を確保することも考えられる。

ここで、現行の $\lambda_{min}$ の設定手法を構築する際の経緯について述べる。全ての故障モードで $\lambda_{min}$ は観測件数ゼロ件のプラントから求めることが予めわかっており、 $\lambda_{min}$ は個別プラント最尤推定値の最小値であるため、観測件数がゼロ件で実際の故障件数もゼロ件であることを想定するのが自然であると判断した（この背景に Feasibility Study により、ゼロ件の観測件数の場合、故障件数の事後分布の最頻値はゼロとなることもわかっていた）。一方、 $\lambda_{max}$ は個別プラント機器故障率の最大値であるため、故障件数の増加程度を見積もるのが適切であると判断した。



26 カ年データ報告書 改訂前後比較資料 ( 16 / 18 )

26 カ年データ報告書 改訂前	26 カ年データ報告書 改訂後
<p>以上から、<math>\mu</math>の事前分布の設定に用いる<math>\lambda_{\max}</math> 及び<math>\lambda_{\min}</math> は双方ともデータ収集確率の概念は考慮した上で設定しており、両者の取り扱いの違いは、母集団-変動分布におけるそれぞれの意味合いを考慮した結果である。したがって、データ収集確率分布と<math>\mu</math>の事前分布の設定手法に矛盾はないと考えられる。</p> <p>ゼロ件の故障モードを評価する場合、現行の<math>\mu</math>の事前分布の設定手法を用いず、現行よりも事前分布の下限を下げる代替策が考えられる。この場合、より広い事前分布が設定され、より説明性が高い事前分布といえる。しかし、ゼロ件故障を評価する際に事前分布の下限をどこまで下げれば十分であることを論理的に導出するのは困難である。また、下限を下げると国内一般機器故障率は現行よりも小さくなり、データ収集確率を導入した目的である「保守的な機器故障率の設定」とは相反する。</p> <p>本評価で得られたゼロ件故障に対する国内一般機器故障率は、評価手法によってはさらに機器故障率が低減でき、その意味では保守的な値であることを踏まえたうえで、PRA に用いればよいと考えられる。</p>	<p>以上から、<math>\mu</math>の事前分布の設定に用いる<math>\lambda_{\max}</math> 及び<math>\lambda_{\min}</math> は双方ともデータ収集確率の概念は考慮した上で設定しており、両者の取り扱いの違いは、母集団-変動分布におけるそれぞれの意味合いを考慮した結果である。したがって、データ収集確率分布と<math>\mu</math>の事前分布の設定手法に矛盾はないと考えられる。</p> <p>ゼロ件の故障モードを評価する場合、現行の<math>\mu</math>の事前分布の設定手法を用いず、現行よりも事前分布の下限を下げる代替策が考えられる。この場合、より広い事前分布が設定され、より説明性が高い事前分布といえる。しかし、ゼロ件故障を評価する際に事前分布の下限をどこまで下げれば十分であることを論理的に導出するのは困難である。また、下限を下げると国内一般機器故障率は現行よりも小さくなり、データ収集確率を導入した目的である「保守的な機器故障率の設定」とは相反する。</p> <p>本評価で得られたゼロ件故障に対する国内一般機器故障率は、評価手法によってはさらに機器故障率が低減でき、その意味では保守的な値であることを踏まえたうえで、PRA に用いればよいと考えられる。</p>
102	102

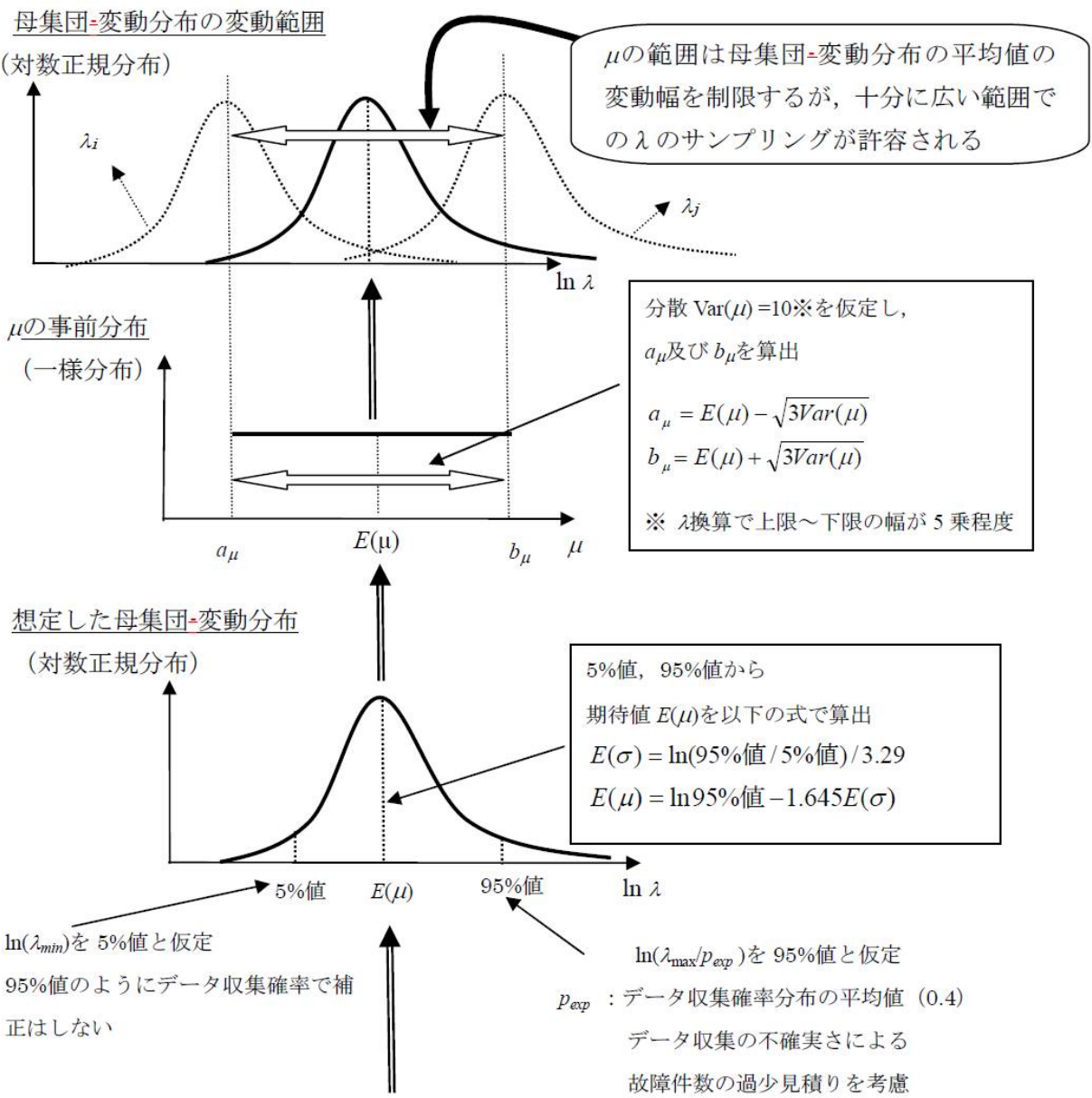


個別プラント実績

プラント	観測件数 $Y$	露出時間 $T$ [hour]	最尤推定値※ $=Y/T$ [1/hour]	備考
1	0	5.0E+6	1.0E-7	最尤推定値の最小値 $\lambda_{\min}$
2	4	1.0E+5	4.0E-5	最尤推定値の最大値 $\lambda_{\max}$
⋮	⋮	⋮	⋮	
49	0	1.0E+5	5.0E-6	

※  $Y=0$  に対しては 0.5 件の故障を仮定

図 8-13  $\mu$ の事前分布の設定概念



個別プラント実績

プラント	観測件数 $Y$	露出時間 $T$ [hour]	最尤推定値※ $=Y/T$ [1/hour]	備考
1	0	5.0E+6	1.0E-7	最尤推定値の最小値 $\lambda_{\min}$
2	4	1.0E+5	4.0E-5	最尤推定値の最大値 $\lambda_{\max}$
⋮	⋮	⋮	⋮	
49	0	1.0E+5	5.0E-6	

※  $Y=0$  に対しては 0.5 件の故障を仮定

図 8-13  $\mu$ の事前分布の設定概念



26 カ年データ報告書 改訂前	26 カ年データ報告書 改訂後
<p><b>8.4.6 まとめ</b></p> <p>母集団-変動分布のパラメータ<math>\mu</math>に対するハイパー事前分布の感度解析を実施した。</p> <p>1 件以上の観測件数を有する故障モードについては、本モデルで設定した事前分布は事後分布の範囲を十分にカバーしており、妥当なハイパー事前分布であることが判った。</p> <p>観測件数が 0 件の故障モードに対しては、<math>\mu</math>の事前分布の下限値を更に下げることによって機器故障率の計算値は減少するが、常識的に機器故障率は 0 ではなく有限の値をとるはずなので、過度に低くならないように設定すべきである。本モデルでは観測件数が 0 件の場合は 0.5 件を仮定して<math>\mu</math>の下限値を決定しており、ある程度の保守性を考慮した設定となっている。感度解析結果を考慮すると<math>\mu</math>の事前分布の下限値を下げることで機器故障率は約 1/2 程度にまで減少する可能性がある。しかしながら、<math>\mu</math>の事前分布の下限値を下げることは解析の不安定性にもつながること（ケース 1 での WinBUGS の計算が途中で異常停止する場合が見られた）から、解析の安定性（異常終了しないこと）、適度な故障率評価の保守性から本モデルのような<math>\mu</math>の事前分布の設定が必要と考えられる。</p>	<p><b>8.4.6 まとめ</b></p> <p>母集団-変動分布のパラメータ<math>\mu</math>に対するハイパー事前分布の感度解析を実施した。</p> <p>1 件以上の観測件数を有する故障モードについては、本モデルで設定した事前分布は事後分布の範囲を十分にカバーしており、妥当なハイパー事前分布であることが判った。</p> <p>観測件数が 0 件の故障モードに対しては、<math>\mu</math>の事前分布の下限値を更に下げることによって機器故障率の計算値は減少するが、常識的に機器故障率は 0 ではなく有限の値をとるはずなので、過度に低くならないように設定すべきである。本モデルでは観測件数が 0 件の場合は 0.5 件を仮定して<math>\mu</math>の下限値を決定しており、ある程度の保守性を考慮した設定となっている。感度解析結果を考慮すると<math>\mu</math>の事前分布の下限値を下げることで機器故障率は約 1/2 程度にまで減少する可能性がある。しかしながら、<math>\mu</math>の事前分布の下限値を下げることは解析の不安定性にもつながること（ケース 1 での WinBUGS の計算が途中で異常停止する場合が見られた）から、解析の安定性（異常終了しないこと）、適度な故障率評価の保守性から本モデルのような<math>\mu</math>の事前分布の設定が必要と考えられる。</p>
104	104