

BWR炉内構造物点検評価ガイドライン

[上部格子板]

(第3版)

2020年7月

一般社団法人 原子力安全推進協会

炉内構造物等点検評価ガイドライン検討会

はじめに

我が国の原子力発電所では、安全・安定運転を確保するため、炉内構造物等の健全性を確認あるいは保証することが、重要な課題となっています。本ガイドラインは、このような重要性に鑑み、損傷発生の可能性のある構造物について、点検・評価・補修等に関する要領を提案するものです。

2000年に（社）火力原子力発電技術協会に発足した「炉内構造物等点検評価ガイドライン検討会」は、2017年より日本原子力技術協会に継承され、さらに2012年11月の日本原子力技術協会の改組に伴い、炉内構造物点検評価ガイドライン検討会は、原子力安全推進協会に発展的に継承され、活動を継続しています。また、検討会での審議を経て制定する「炉内構造物等点検評価ガイドライン」は、関係者の利便性向上を図るため、関連情報と併せ協会ホームページより公開しています。

本ガイドラインの策定にあたっては、常に最新知見を取り入れ、見直しを行っていくことを基本方針としています。この方針に則り、現行版の発行後も最新知見の調査および収集に努めることと致します。本ガイドラインが原子力産業界で活用され、原子力発電所の安全・安定運転の一助になることを期待しております。

最後に、本ガイドラインの制定にあたり、絶大なご助言を賜りました学識経験者、電力会社、メーカーの方々等、関係各位に深く感謝いたします。

2020年 7月

炉内構造物等点検評価ガイドライン検討会
委員長 望月正人

BWR炉内構造物点検評価ガイドライン

改訂履歴

ガイドライン名：上部格子板

改訂年月	版	改訂内容	備考
平成13年3月	初版発行		
平成27年3月	第2版発行	適用する規格基準ほか見直し	
2020年7月	第3版発行	A B W R 上部格子板の点検内容追加 点検の考え方の明確化	

※ 改訂の詳細は参考資料2参照

ガイドラインの責任範囲

このガイドラインは、原子力安全推進協会に設置された炉内構造物等点検評価ガイドライン検討会において、専門知識と関心を持つ委員と参加者による審議を経て制定されたものである。

原子力安全推進協会はガイドライン記載内容に対する説明責任を有するが、ガイドラインを使用することによって生じる問題に対して一切の責任を持たない。またガイドラインに従って行われた点検、評価、補修等の行為を承認・保証するものではない。

従って本ガイドラインの使用者は、本ガイドラインに関連した活動の結果発生する問題や第三者の知的財産権の侵害に対し補償する責任が使用者にあることを認識して、このガイドラインを使用する責任を持つ。

炉内構造物等点検評価ガイドライン検討会 委員名簿

(2020年7月現在, 順不同, 敬称略)

委員長	望月 正人	大阪大学
委員	笠原 直人	東京大学
委員	竹田 陽一	東北大学
委員	西本 和俊	大阪大学名誉教授
委員	水谷 義弘	東京工業大学
委員	森下 和功	京都大学
委員	浅山 泰	日本原子力研究開発機構
委員	古川 敬	発電設備技術検査協会
幹事	谷口 敦	東京電力ホールディングス (株)
幹事	日下 浩作	関西電力 (株)
幹事	小林 広幸	日本原子力発電 (株)
委員	沼田 和也	北海道電力 (株)
委員	蓑 秀寿	東北電力 (株)
委員	神長 貴幸	東京電力ホールディングス (株)
委員	木村 浩樹	中部電力 (株)
委員	長谷川 和宏	北陸電力 (株)
委員	越智 文洋	関西電力 (株)
委員	荒芝 智幸	中国電力 (株)
委員	石川 達也	四国電力 (株)
委員	木元 健悟	九州電力 (株)
委員	高村 賢也	電源開発 (株)
委員	馬淵 靖宏	日立GEニュークリア・エナジー (株)
委員	森 敦史	東芝エネルギーシステムズ (株)
委員	和地 永嗣	三菱重工業 (株)
委員	太田 丈児	電力中央研究所
委員	杉江 保彰	原子力安全推進協会
事務局	関 弘明	原子力安全推進協会
事務局	堂崎 浩二	原子力安全推進協会
事務局	佐藤 寿志	原子力安全推進協会

BWR炉内構造物点検評価ガイドライン [上部格子板]

目 次

第1章	目的及び適用	
1.1	目 的	1
1.2	適 用	1
第2章	点検の考え方	1
第3章	点検対象	2
3.1	BWR	2
3.2	ABWR	2
第4章	点検手法	7
第5章	点検範囲	8
5.1	BWR	8
5.2	ABWR	8
第6章	点検時期	
6.1	初回点検	9
6.1.1	BWR	9
6.1.2	ABWR	9
6.2	再点検	9
6.2.1	BWR	9
6.2.2	ABWR	9
第7章	点検結果の評価	10
第8章	まとめ	12

解説

解説 1-1	ガイドライン制定の目的	16
解説 1-2	本ガイドラインの運用にあたって	16
解説 2-1	上部格子板に要求される安全機能	17
解説 2-2	上部格子板に想定される経年劣化事象	19
解説 2-3	点検対象の選定	20
解説 4-1	点検手法及び点検時期	21
解説 4-2	渦電流探傷試験	22
解説 5-1	溶接部の点検幅	23
解説 7-1	評価	23
解説 7-2	補修技術	23

付録

付録A 上部格子板の各構造体に対する点検の考え方について

付録B 上部格子板の荷重伝達経路

付録C IASCC の可能性について

付録D レストレイント構造の点検必要範囲の検討

付録E 上部格子板の変位に関する検討

付録F ホールドダウン構造の点検必要範囲の検討

付録G 上部格子板キーパの点検必要範囲の検討

参考資料

参考資料1 BWR 炉内構造物点検評価ガイドライン [上部格子板] の概要

参考資料2 改訂経緯

第1章 目的及び適用

1.1 目的

本ガイドラインは、沸騰水型原子力発電所（BWR）用機器のうち、原子力安全を確保する大前提のもと炉内構造物に要求される構造及び機能の健全性の維持、損傷が与える安全機能への影響を踏まえた合理的な点検のあり方を示すことを目的とする。（解説 1-1, 解説 1-2）

なお、BWRには従来型のBWRに加え、改良型BWR（ABWR）を含む。

1.2 適用

本ガイドラインは、炉内構造物のうち、上部格子板に適用する。ガイドラインの適用時期は、商業運転開始後の機器の供用期間中とする。

第2章 点検の考え方

点検の基本的な考え方を、以下に示す。

- (1) 原子炉に対して上部格子板が持つ安全機能に着目し、上部格子板を構成する各種の構造体の経年劣化事象による損傷が、安全機能の維持に影響を与えると考えられる構造体を点検対象とする。（解説 2-1, 解説 2-3）
- (2) 上部格子板に想定される経年劣化事象として、応力腐食割れ（以下、SCC と称する）を想定する。（解説 2-2）
- (3) 点検手法、点検範囲、点検時期は、点検対象の機能、形状 及び 材質、想定される経年劣化事象 及び 国内外の運転経験、損傷時の安全機能維持に対する影響等を考慮し、必要な手法、範囲、時期をそれぞれ選定する。

第3章 点検対象

上部格子板の点検対象と点検対象部位は，以下のように定めた。

3.1 BWR

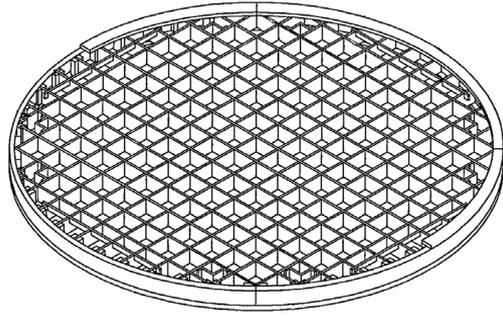
レストレイント構造及びホールドダウン構造を点検対象とした。(解説 2-3)

具体的な点検対象部位を，代表プラントを例にしてそれぞれ図 3-1，図 3-2 に示す。

3.2 ABWR

BWRにおける炉心シュラウドの一部に該当するH 1 溶接線，H 2 溶接線 及び 上部格子板キーパを点検対象とした。(解説 2-1，解説 2-3)

具体的な点検対象部位を，代表プラントを例にしてそれぞれ図 3-3，図 3-4 に示す。



BWR 上部格子板

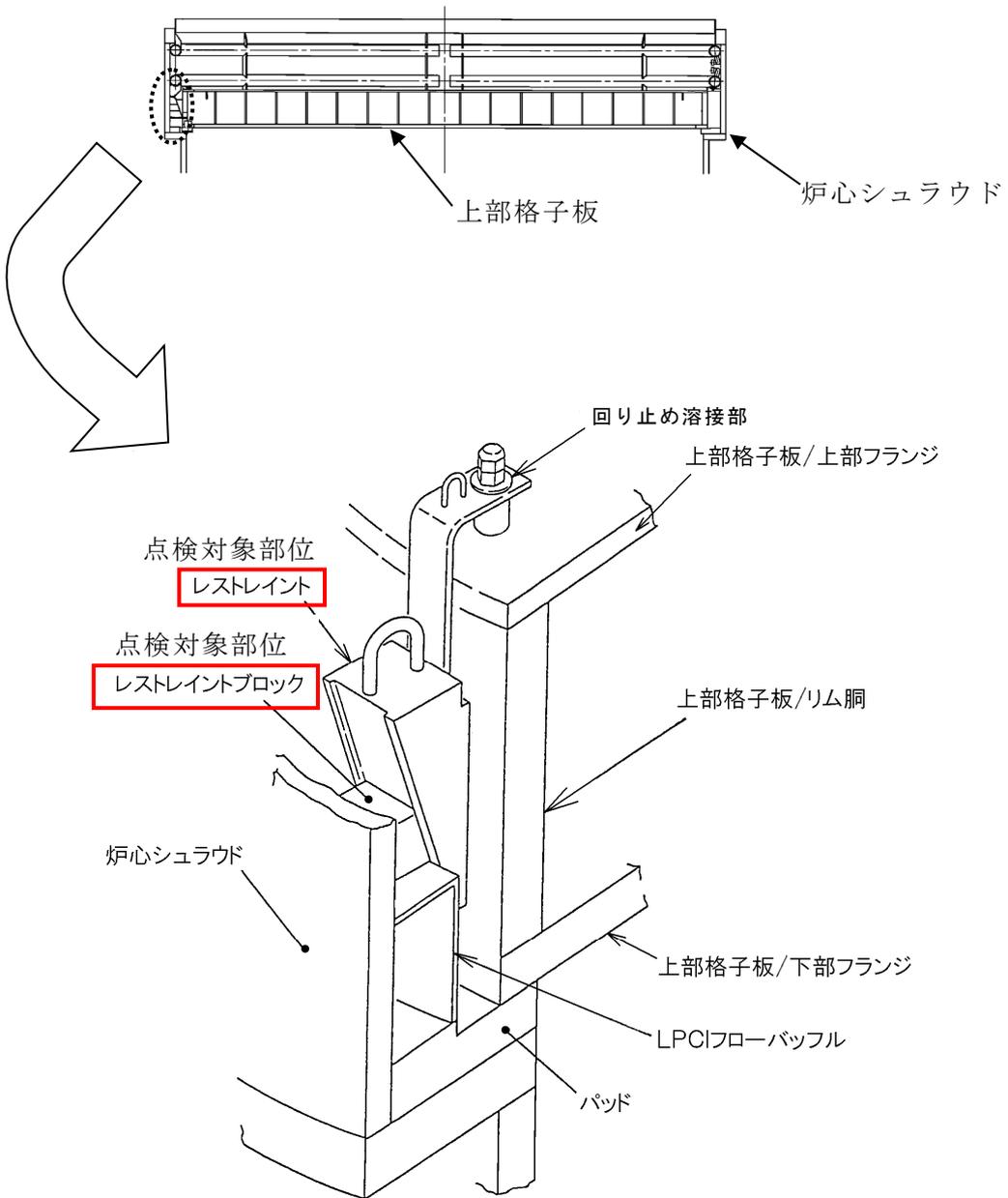
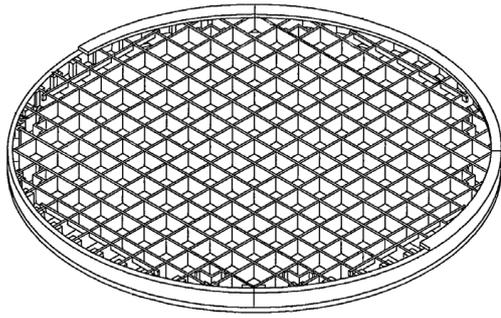


図 3-1 レストレイント構造 (BWR)



BWR 上部格子板

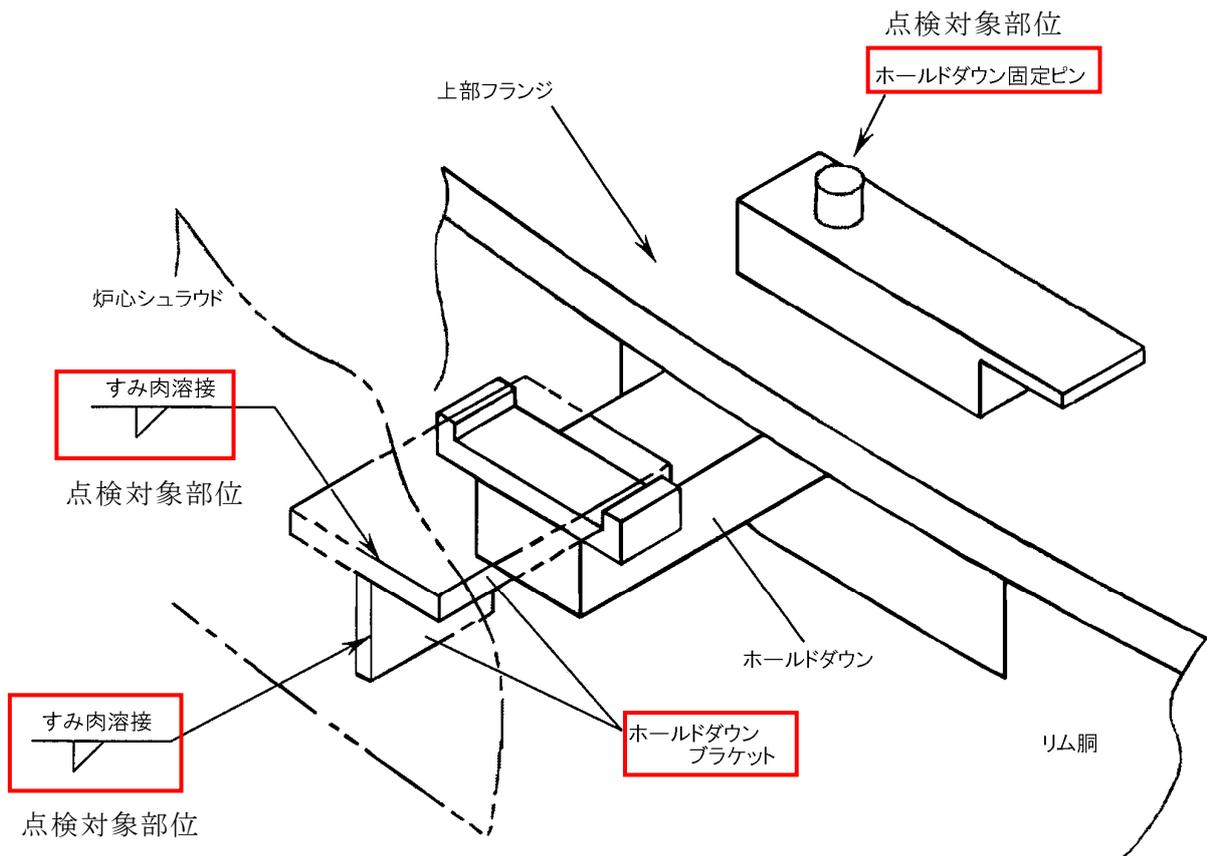
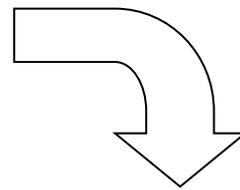
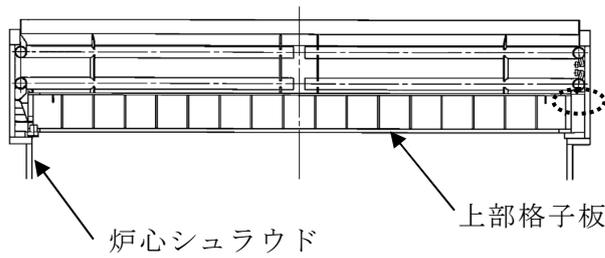


図 3-2 ホールドダウン構造 (BWR)

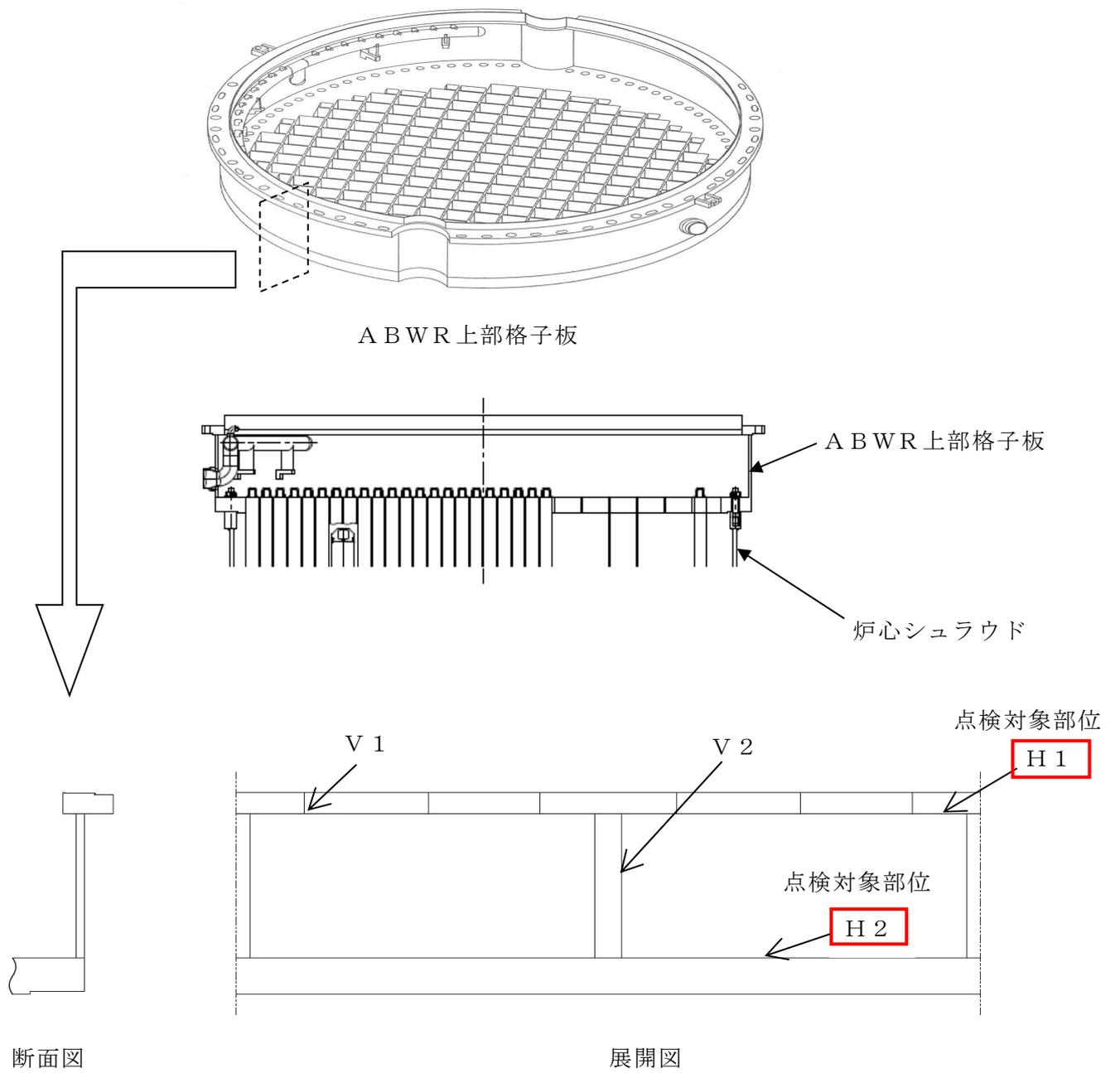


図 3-3 上部格子板の溶接線 (ABWR)

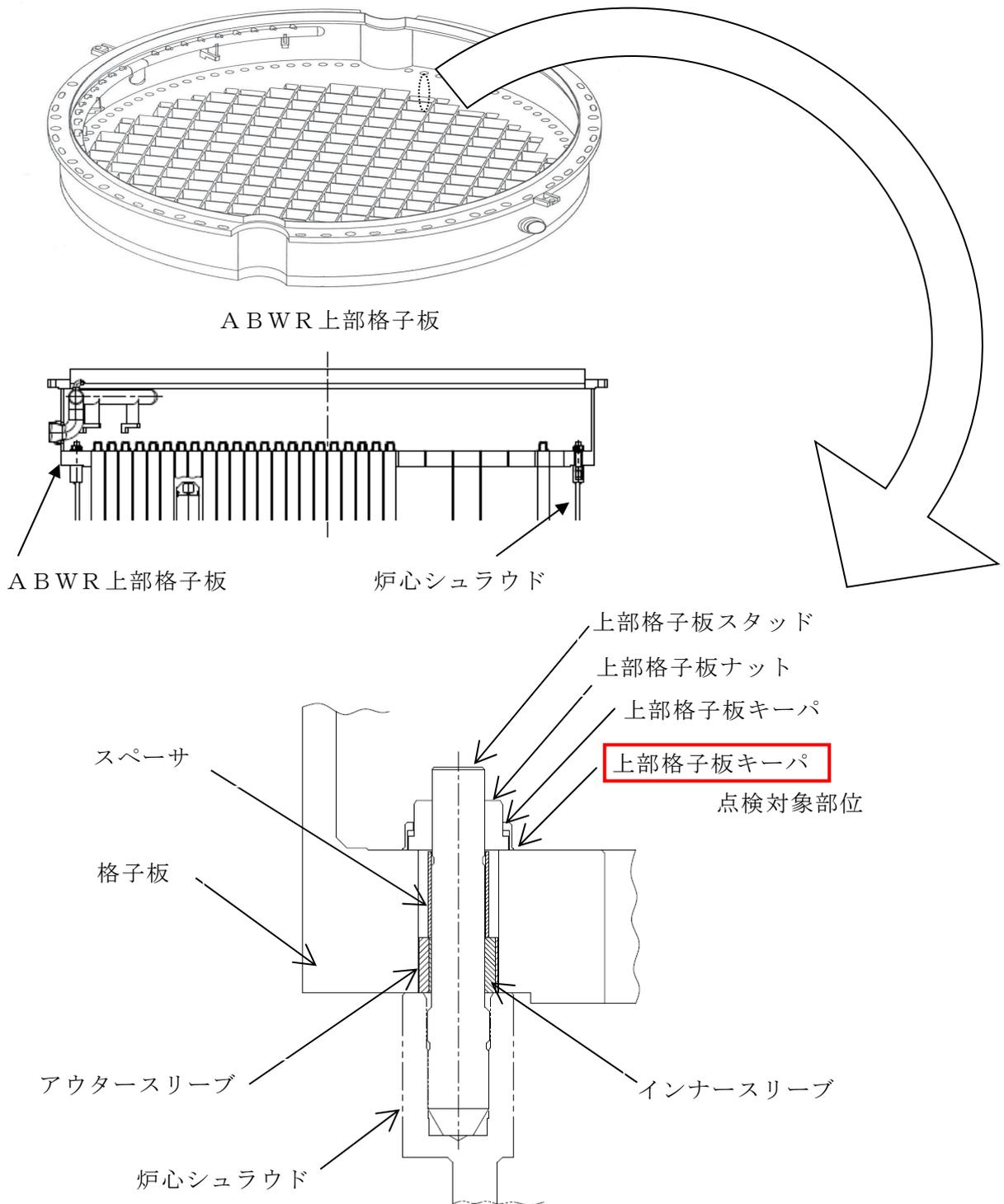


図 3-4 上部格子板とシュラウドの連結構造 (ABWR)

第4章 点検手法

上部格子板の点検手法は、点検対象部位ごとに必要な手法を選択する。

点検に適用する非破壊試験は、目視試験（VT）、超音波探傷試験（UT）又は渦電流探傷試験（ET）が考えられる。（解説 4-1）

(1) 目視試験（VT）

a. MVT-1

表面に開口している欠陥を検出するために行う試験であり、0.025mm 幅のワイヤの識別ができることを確認する。必要に応じて、クラッド除去等の表面処理を行う。

b. VT-3

機器の変形、芯合せ不良、傾き、隙間の異常、部品の損傷、ボルト締付け部の緩み、脱落及び機器表面における異常を検出するために行う試験とする。

(2) 超音波探傷試験（UT）

超音波探傷試験は、JEAC 4207「軽水型原子力発電所用機器の供用期間中検査における超音波探傷試験規程」に従って実施するか、若しくはこれに類する手法等を用いて実施してよい。

(3) 渦電流探傷試験（ET）

渦電流探傷試験は、JEAG 4217「原子力発電所用機器における渦電流探傷試験指針」に準拠して実施するか、若しくはこれに類する手法を用いて実施してよい。（解説 4-2）

第5章 点検範囲

上部格子板の点検範囲（点検対象部位の個数，長さ）は，点検対象部位ごとに定める。

溶接部の点検を行う場合は，溶接金属及びその両側の 25mm の幅（熱影響部を含む）に対して行う。（解説 5-1）

なお，技術的根拠がある場合は，別途，設定することができる。

5.1 BWR

レストレイント構造のレストレイント，ホールドダウン構造の固定ピン 及び ホールドダウンブラケットを点検対象部位とし，上部格子板の安全機能維持を確認するために十分な個数を点検範囲とした。（解説 4-1）

5.2 ABWR

BWRにおける炉心シュラウドの一部に該当するH1溶接線，H2溶接線 及び 上部格子板キーパを点検対象部位とした。

H1，H2溶接線は，初回点検においては接近可能な全範囲を点検対象とし，再点検においては，当該点検から次回点検までの期間N年を想定し，N年後の安全機能維持を確認するために，必要な範囲を点検範囲とした。

上部格子板キーパは，上部格子板の安全機能維持を確認するために十分な個数を点検範囲とした。（解説 4-1）

第6章 点検時期

上部格子板の初回点検と再点検は、以下に示す時期に実施するものとする。

6.1 初回点検

6.1.1 BWR

(1) レストレイント構造

機器の供用開始後暦年で20年から30年の期間内に点検する。(解説 4-1)

(2) ホールドダウン構造

機器の供用開始後暦年で20年から30年の期間内に点検する。(解説 4-1)

6.1.2 ABWR

(1) H1, H2 溶接線

プラント供用開始時点から、実運転年数が10年から40年の期間内に初回点検を実施する。(解説 4-1)

(2) 上部格子板キーパ

プラント供用開始時点から、実運転年数が10年から40年の期間内に初回点検を実施する。(解説 4-1)

6.2 再点検

6.2.1 BWR

(1) レストレイント構造

初回点検後、炉心シュラウド等近傍の部位の点検時期に合わせて点検する。(解説 4-1)

(2) ホールドダウン構造

初回点検後、炉心シュラウド等近傍の部位の点検時期に合わせて点検する。(解説 4-1)

6.2.2 ABWR

(1) H1, H2 溶接線

実施済みの点検範囲を確認し、それ以外の範囲には亀裂があると想定する。点検範囲内に見つかった亀裂と点検可能範囲外にあると想定した亀裂が、次回点検までの想定期間N年分進展することを考慮して算出した、次回点検時に想定される残存断面積が、許容残存断面積以上になるように、N年を設定して点検を実施する。初回点検で亀裂が検出されなかった場合は、実運転年数が初回点検から20年を超えない時期とする。(解説 4-1)

(2) 上部格子板キーパ

初回点検後、H1, H2 溶接線の点検時期に合わせて点検する。(解説 4-1)

第7章 点検結果の評価

BWR上部格子板のレストレイント構造，ホールドダウン構造と，ABWR上部格子板の上部格子板キーパの点検・評価フロー図を図7-1及び図7-2に示す。点検結果の判定は以下によるものとする。(解説7-1,7-2)

- (1) 点検範囲に異常のないことが確認された場合は，継続使用できる。
- (2) 点検で異常が発見された場合，
 - ① 点検範囲を拡大して，安全機能維持に必要な範囲の健全性が確認されれば，継続使用できる。
 - ② 点検範囲を拡大しても，安全機能維持に必要な範囲の健全性を確認できない場合は，詳細評価を実施して，安全機能が維持可能と評価されれば，継続使用できる。
- (3) 上記(1),(2)に適合しない場合は，補修等の措置を行う。

A B W R 上部格子板の H 1 , H 2 溶接線については, 下記の判定基準により評価する。

- (1) 次回点検時に想定される健全範囲（実施済みの点検範囲内に見つかった亀裂と点検可能範囲外にあると想定した亀裂が, 当該点検から次回点検までの想定期間 N 年分進展したと仮定して算出された健全範囲）が, 許容残存断面積以上である場合は, 向こう N 年間, 継続使用できる。
- (2) 次回点検時に想定される健全範囲が, 許容残存断面積未満である場合は,
 - ① 点検範囲を拡大することにより, 次回点検時に想定される健全範囲を再評価した結果が, 許容残存断面積より大きくなれば, 継続使用できる。
 - ② 点検範囲を拡大しても次回点検時に想定される健全範囲が, 許容残存断面積に到達しない場合は, 次回点検までの想定期間（N 年）を見直すことにより, 次回点検時に想定される健全範囲を再々評価し, 許容残存断面積以上になれば, 継続使用できる。
 - ③ 上記②項を満足しない場合は, 下記のような詳細評価を実施し, 次回点検までの安全機能が確認されれば, 継続使用できる。
 - a. 残存断面積の詳細評価
検出された亀裂のサイジング結果などに基づいて亀裂をモデル化し, 構造強度を詳細評価することによって, 残存断面積を求めることができる。また, 亀裂進展挙動を, プラント個別の残留応力解析, 水質評価, 亀裂進展量の実測値等に基づいて詳細評価することができる。
 - b. 許容残存断面積の詳細評価
点検結果 及び 亀裂の詳細評価結果に基づいて亀裂をモデル化し, 構造強度を詳細評価することで, 許容残存断面積を求めることができる。
- (3) 上記(1)(2)に適合しない場合は, 補修等の措置を行う。

第8章 まとめ

BWR上部格子板の点検を表8-1に、ABWR上部格子板の点検を表8-2に示す。

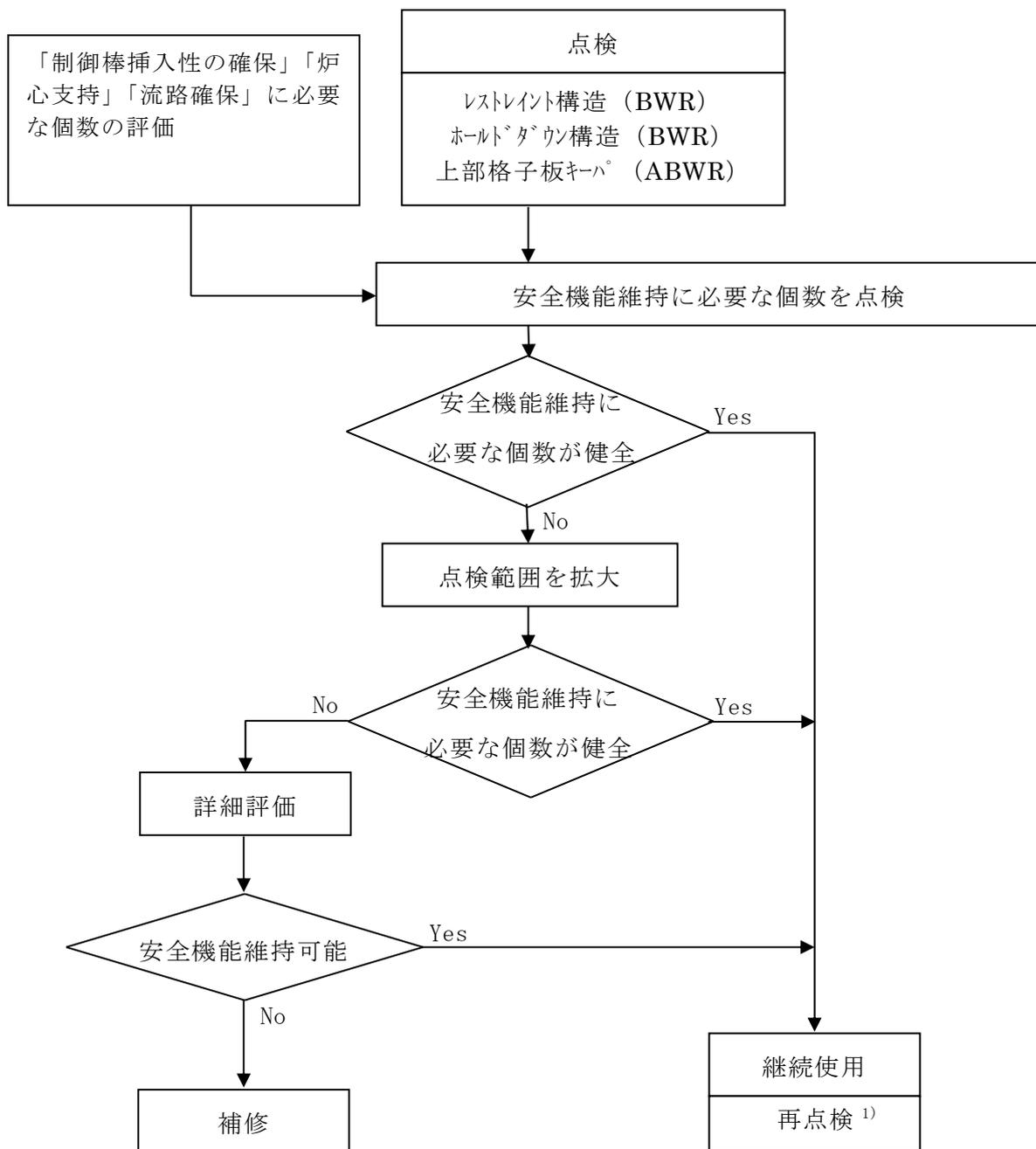
表8-1 BWR上部格子板の点検

点検対象	点検対象部位	点検手法	点検時期／点検範囲	点検結果の評価
レスト レイント 構造	レスト レイント	VT-3	初回点検 機器の供用開始後20年から30年の期間内／BWR上部格子板の安全機能維持に必要な個数	安全機能維持に必要な範囲が健全であること
			再点検 初回点検後、炉心シュラウド等近傍の部位の点検時期に合わせて／BWR上部格子板の安全機能維持に必要な個数	
ホールド ダウン 構造	固定ピン	VT-3	初回点検 機器の供用開始後20年から30年の期間内／BWR上部格子板の安全機能維持に必要な個数	安全機能維持に必要な範囲が健全であること
			再点検 初回点検後、炉心シュラウド等近傍の部位の点検時期に合わせて／BWR上部格子板の安全機能維持に必要な個数	
	ブラケット 溶接部	MVT-1 ¹⁾	初回点検 機器の供用開始後20年から30年の期間内／BWR上部格子板の安全機能維持に必要な個数	安全機能維持に必要な範囲が健全であること
			再点検 初回点検後、炉心シュラウド等近傍の部位の点検時期に合わせて／BWR上部格子板の安全機能維持に必要な個数	

1) 必要に応じて、UT又はETを実施しても良い。

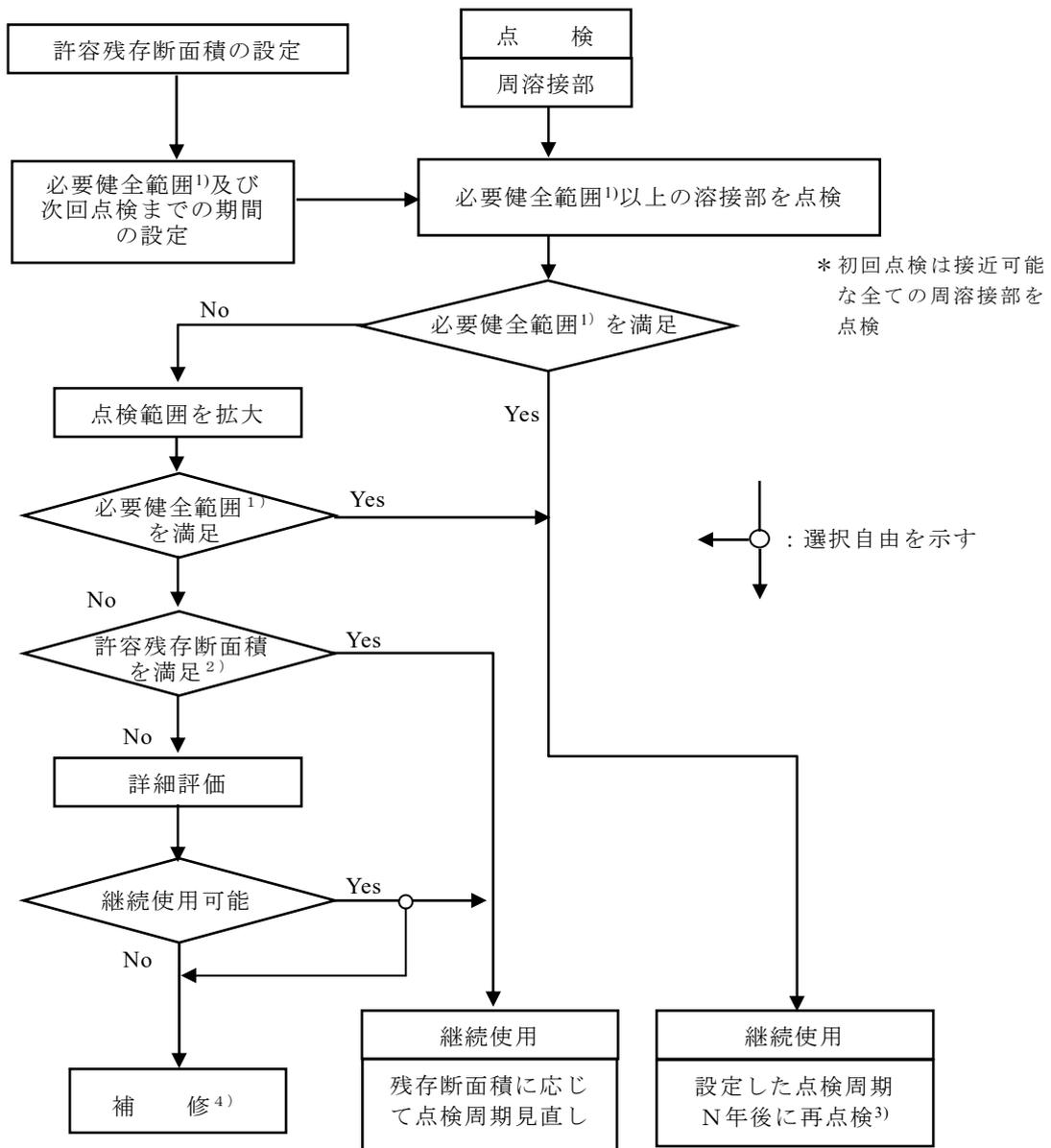
表 8-2 A B W R 上部格子板の点検

点検対象	点検対象部位	点検手法	点検時期／点検範囲	点検結果の評価
H1, H2 の周方向溶接部	接近可能な内面及び外面 ⁽²⁾	MVT-1 ⁽¹⁾	初回点検 機器の供用開始後 10 年から 40 年の期間内 ／接近可能な内面及び外面	次回点検時に想定される健全範囲が、許容残存面積以上であること
			再点検 初回点検で亀裂が検出されなかった場合は、実運転年数が初回点検から 20 年を超えない時期／次回点検までの安全機能の維持を確認するために必要な範囲 (2) (3) (4)	
上部格子板キーパ	回り止め溶接部	VT-3	初回点検 機器の供用開始後 10 年から 40 年の期間内／ A B W R 上部格子板の安全機能維持に必要な個数	安全機能維持に必要な範囲が健全であること
			再点検 上部格子板 H1、H2 溶接部の再点検時期に合わせて／A B W R 上部格子板の安全機能維持に必要な個数	
注：				
(1) 必要に応じて、UT 又は ET を実施してもよい。				
(2) MVT-1 の場合、溶接線両面(内面及び外面)の点検範囲の重なりが、要求される点検範囲を満足すること。UT の場合は探傷範囲が点検範囲を満足すること。ET の場合は、MVT-1 の場合と同様とする。				
(3) 点検範囲は、6.2 項の点検周期 N 年に対応して設定する。				
(4) 点検において欠陥指示が検出された場合は、次回点検時に想定される健全範囲が許容残存面積以上となるように、点検範囲を拡大することができる。				



1) 炉心シュラウド等近傍の部位の点検時期に合わせて実施

図 7-1 レストレイント構造，ホールドダウン構造，上部格子板キープの点検フロー



- 1) 必要健全範囲 = 許容残存断面積
+ 次回点検までの健全部残存面積減少量
+ 次回点検までの検出亀裂の進展量
- 2) 許容残存断面積を満足：
健全範囲 - 検出亀裂の進展量 - 健全部残存面積減少量
- 3) 初回点検で亀裂が検出されなかった場合は、実運転年数が初回点検から10年を超えない時期に再点検してもよい。
- 4) 補修技術の例については解説7-2参照

図 7-2 ABWR 上部格子板 H1, H2 溶接線の点検フロー

(解説 1-1) ガイドライン制定の目的

炉内構造物の点検では、構造上、点検装置の接近を制約する範囲が大きいことから、随時、最新の知見と技術を反映し、点検技術の向上と運転経験の蓄積に努めてきている。

原子力安全確保のためには、これらの運転経験の評価と研究活動を通じて、過去の教訓を活かし我々が学ぶことにつれて発展するプロセスを構築するとともに、これを継続していくことが求められる。このため、本ガイドラインは、炉内構造物に対して、運転経験、最新知見を整理・評価し、部位毎に要求される安全上重要な機能、有意な劣化モードと、最新知見の整理に基づく、合理的な点検のあり方を示すことを目的としている。

(解説 1-2) 本ガイドラインの運用にあたって

炉内構造物の保全活動は、確立された原子力発電所の品質保証マネジメントシステムのもとで行われる保守管理の一環として行われなければならない。よって、本ガイドラインで適用する点検及び評価は、品質保証活動全般の基本的事項を規定した日本電気協会の「原子力安全のためのマネジメントシステム規程 (JEAC4111)」及び品質保証活動のうち、事業者が供用期間中に実施すべき保守管理の基本要件を規定した「原子力発電所の保守管理規程 (JEAC4209)」に基づき実施されることを前提としている。

本ガイドラインでは、引用する学協会規格の改訂年度を記載していない。学協会規格は新知見反映等の理由で定期改訂されるため、利用者は最新版の適用可否を確認するとともに、原子力規制委員会による技術評価等の状況を総合的に勘案して、適切に判断する必要がある。

また、本ガイドラインでは、旧耐震設計審査指針で定める基準地震動 S_2 を用いた評価結果が記載されている場合があるが、利用者は設置許可基準規則*1 により定める基準地震動 S_s を用いた評価を行う必要がある。さらに、ガイドライン付録で引用した材料物性値等についても、評価に際し適切に選定判断する必要がある。

注*1：「設置許可基準規則」とは、原子力規制委員会の「実用発電用原子炉及びその付属設備の位置、構造及び設備の基準に関する規則」をいう。

(解説 2-1) 上部格子板に要求される安全機能

BWRとABWRの上部格子板の基本構造の比較図を図 2-1 に示す。

BWR／ABWRとも、上部格子板は燃料の上端を支持することで、「制御棒挿入性の確保」と「炉心支持」の機能を達成している。

これに加えてABWR上部格子板は、BWRの上部格子板と炉心シュラウドの一部が融合した機器であるため、原子炉の内部隔壁の一部を構成することになり、BWR上部格子板にはなかった「流路確保」の機能を有することになる。

したがって、BWR上部格子板、ABWR上部格子板に要求される安全機能は、以下のとおりである。

BWR 上部格子板

燃料上端を支持することにより達成される「制御棒挿入性の確保」「炉心支持」

ABWR 上部格子板

燃料上端を支持することにより達成される「制御棒挿入性の確保」「炉心支持」と、
炉内隔壁を構成することによる「流路確保」

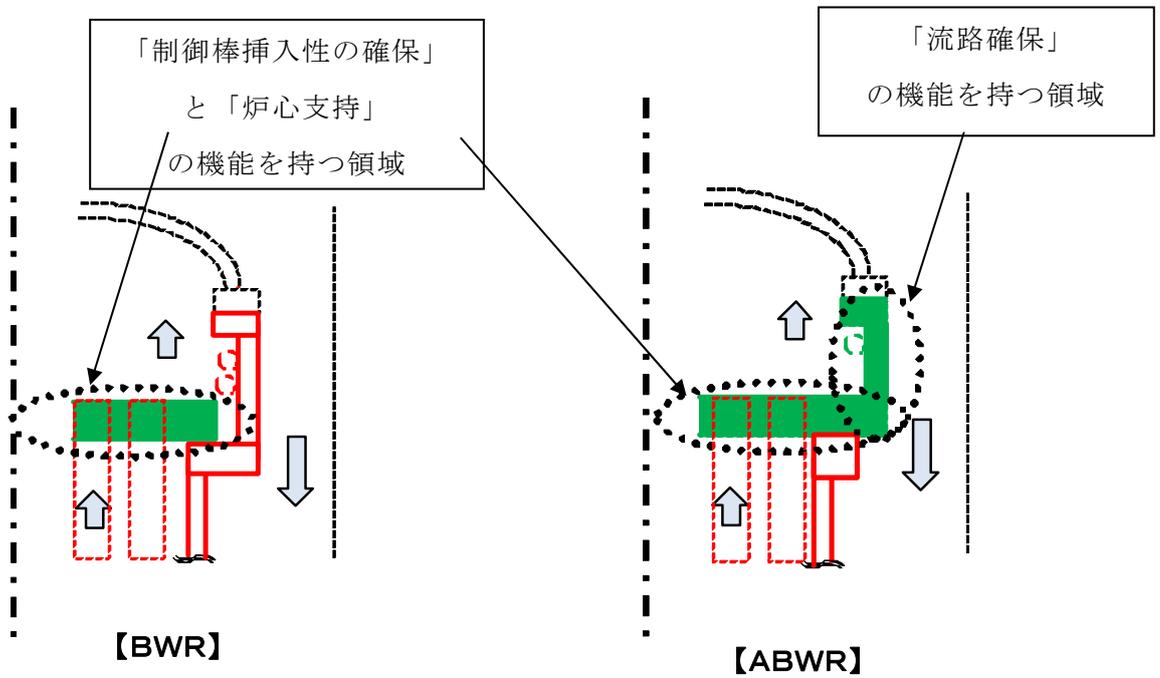
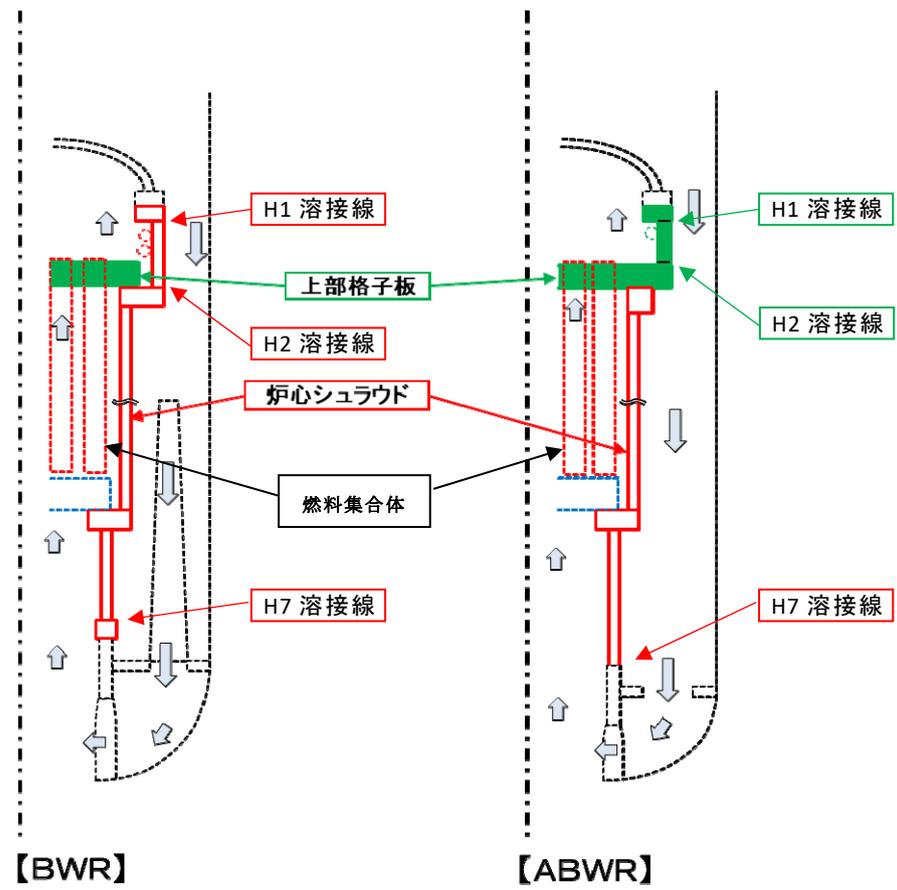


図 2-1 BWRとABWRの上部格子板の基本構造の比較

(解説 2-2) 上部格子板に想定される経年劣化事象

これまでの損傷事例を考慮し、上部格子板の経年劣化事象として応力腐食割れ (SCC)、及び照射誘起型応力腐食割れ (IASCC) を想定した。

上部格子板の材料には、オーステナイト系ステンレス鋼の、SUS304 若しくは SUS316L 及び耐熱ステンレス鋼の GXM-1 が用いられている。

炭素含有量が 0.030%を超えるオーステナイト系ステンレス鋼 (SUS304) はクロム炭化物の粒界析出による粒界近傍のクロムの欠乏に起因して耐 SCC 性が低い。これと比較して炭素含有量を 0.030%以下に抑えたオーステナイト系ステンレス鋼 (SUS316L) は優れた耐 SCC 性を示す。また、GXM-1 は SUS304 に比べて高強度であり、Nb, Mo 等の添加により耐 SCC 性に優れている。

上述のとおり、材料鋼種により SCC の感受性に相違があるが、本ガイドラインでは、材料鋼種によらず検討を行う。(付録 A)

(解説 2-3)点検対象の選定

上部格子板は、付録Aに示すように、形状の異なる多数の部品から構成されていることから、点検対象は上部格子板に要求される安全機能維持の観点から設定する。たとえば、荷重の伝達経路が当該部以外に確保されている場合には、当該部位が損傷しても上部格子板の安全機能が維持されるため、点検対象から除外する。

一方、SCC による損傷の可能性が小さい部位でも、万一損傷した場合に上部格子板の安全機能維持に影響を与える可能性がある場合は点検対象とする。

また、他のガイドラインにより点検が規定されている構造体は、本ガイドラインの対象範囲からは除外する。

上部格子板の点検対象の選定フローを図 2.4-1 に示す。

BWR 上部格子板において、レストレイント構造とホールドダウン構造は上部格子板を炉心シュラウドに固定する機能を有する重要な部位である。レストレイント構造とホールドダウン構造の機能が喪失すると、上部格子板が変位し、上部格子板の安全機能である「制御棒挿入性の確保」と「炉心支持」に影響を与える可能性がある。そのため、レストレイント構造とホールドダウン構造を点検対象とし、異常の有無を確認する。

ABWR 上部格子板において、胴は原子炉内部の隔壁をなすものであり、水及び蒸気の経路を形成する機能を有する重要な部位である。胴の機能が喪失すると、原子炉内部の隔壁が無くなり、上部格子板の安全機能である「流路確保」に影響を与える可能性がある。また、上部格子板キーパは上部格子板スタッドの緩みを防止する重要な部位である。上部格子板キーパの機能が喪失すると、上部格子板スタッドが緩んで上部格子板が変位し、上部格子板の安全機能である「制御棒挿入性の確保」と「炉心支持」に影響を与える可能性がある。以上のことから、ABWR 上部格子板においては、胴と上部格子板キーパを点検対象とし、異常の有無を確認する。

以上を踏まえ、点検対象に機能、形状及び材質、想定される経年劣化事象、国内外の運転経験及び安全機能への影響などを考慮し、点検方針を立案した。(付録A)

(解説 4-1) 点検手法 及び 点検時期

BWR 上部格子板

BWR 上部格子板の点検対象は、レストレイント構造とホールドダウン構造である。

このうち、レストレイント構造について損傷が想定される部位は、レストレイント留め板の回り止め溶接と、レストレイントブロックのすみ肉溶接であるが、いずれも溶接の損傷がすぐに安全機能の喪失にはつながらないことから、レストレイントの点検は VT-3 による脱落等の異常がないことの確認とする。点検する個数は、上部格子板の安全機能維持に必要な数とする。

(付録D 参照)

ホールドダウン構造について損傷が想定される部位は、ホールドダウン固定ピンの回り止め溶接とホールドダウンブラケットのすみ肉溶接である。このうち、ホールドダウン固定ピンの回り止め溶接は、溶接の損傷がすぐに安全機能の喪失にはつながらないことから、ホールドダウン固定ピンの点検は VT-3 による脱落等の異常がないことの確認とする。ホールドダウンブラケットのすみ肉溶接については、損傷した状態では安全機能維持ができないことから、MVT-1 による亀裂等の確認を行う必要がある。点検する個数は、上部格子板の安全機能維持を確認するために十分な数とする。当初計画した点検範囲で、上部格子板の安全機能維持に必要な個数の健全性が確認できない場合は、安全機能維持に必要な個数の健全性が確認できるまで、点検範囲を拡大して点検を行う。(付録F 参照)

BWR 上部格子板のレストレイント構造、ホールドダウン構造とも、国内の運転経験では損傷事例の報告はなく、これらの運転経験から供用期間中におけるレストレイント構造、ホールドダウン構造の損傷の可能性は極めて低いと考えられるが、将来起こりうる経年劣化事象に対する運転経験を蓄積するだけでなく、保守管理の妥当性等の確認や評価を行う高経年化技術評価にも資することを踏まえ、機器の供用開始後暦年で 20 年から 30 年の期間内に初回点検を行うものとする。その後の点検は、炉心シュラウド等近傍の点検時期に合わせて点検を実施するものとする。(付録A)

ABWR 上部格子板

ABWR 上部格子板の点検対象は、H-1、H-2 溶接線と上部格子板キーパである。

H-1、H-2 溶接線の点検手法は SCC を想定し、MVT-1 とする。H1、H2 溶接線は、構造が同等な炉心シュラウドの点検時期と同じとし、初回点検は供用後 10~40 年に実施とする。

上記のとおり、ABWR については、実運転時間 40 年であっても構造健全性が損なわれる可能性が低く、点検の必要性はないと考えられるが、運転経験の蓄積および経年劣化事象に対する知見の拡充を目的として、40 年で初回点検を実施するものとする。

再点検はあらかじめ設定した点検周期（実施済み点検範囲から算出される点検周期）N年内

に実施する。初回点検で亀裂が検出されなかった場合も、炉心シュラウドの点検時期と同じとし、実運転年数が初回点検から 20 年を超えない時期に再点検を実施してもよいとした。(付録 A)

上部格子板キーパについて損傷が想定される部位は、上部格子板キーパの回り止め溶接であるが、上部格子板キーパの回り止め溶接は、溶接の損傷がすぐに安全機能の喪失にはつながらないことから、上部格子板キーパの点検は VT-3 によるゆるみ防止機能に異常がないこと（回り止め溶接の破断やキーパ形状の異常などが無いこと）の確認とする。点検する個数は、上部格子板の安全機能維持を確認するために十分な数とする。当初計画した点検範囲で、上部格子板の安全機能維持に必要な個数の健全性が確認できない場合は、安全機能維持に必要な個数の健全性が確認できるまで、点検範囲を拡大して点検を行う。

なお、上部格子板キーパは水平方向荷重を支持することによる「制御棒挿入性の確保」「炉心支持」と、鉛直方向の荷重による浮き上がりを防止することによる「流路確保」の 3 つの安全機能を有することから、水平荷重の支持と浮上がり防止の双方を考慮し、両者を満足する個数を点検すること。(付録 F, G 参照)

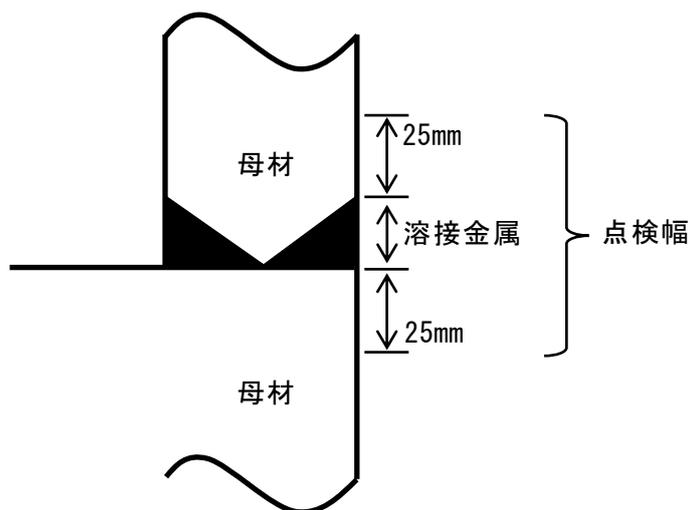
A B W R 上部格子板の上部格子板キーパ 回り止め溶接については、B W R で同等の位置にあるレストレイント留め板の回り止め溶接に損傷事例がないことから、A B W R 上部格子板の上部格子板キーパ 回り止め溶接についても損傷の可能性が低いと考えられる。したがって、初回点検、再点検とも H 1, H 2 溶接線の点検に合わせて点検を実施するものとする。(付録 A)

(解説 4-2) 渦電流探傷試験

渦電流探傷試験 (ET) を適用する場合には、点検部位と電磁気的特性が同等な材料の校正試験片により、人工欠陥に対する検出感度を確認した手法を用いるものとする。試験装置及び器具等の要求仕様、試験の実施要領、並びに、信号の解析手法については、JEAG 4217「原子力発電所用機器における渦電流探傷試験指針」に準拠して設定する。

(解説 5-1) 溶接部の点検幅

溶接部の点検は溶接金属及びその両側の 25mm の幅（熱影響部を含む）について実施するが、この 25 mm の点検幅は、米国における 1990 年代の炉内構造物の詳細目視試験の実績を参考に「1 インチ」を mm に換算して定めたものである。この値は目視試験対象表面とカメラとの距離及びカメラの角度から、現実的な視野範囲として設定されたもので、国内の炉内構造物の詳細目視試験においても 1 インチ（25mm）が適用されてきた。



(解説 7-1) 評価

異常が発見された場合には、点検範囲を拡大し、安全機能維持に必要な範囲の健全性が確認できれば、継続使用することができる。安全機能維持に必要な範囲は、付録D（レストレイント構造（BWR））、付録F（ホールドダウン構造（BWR））及び付録G（シュラウド連結構造（ABWR））に記載した方法により、評価することができる。

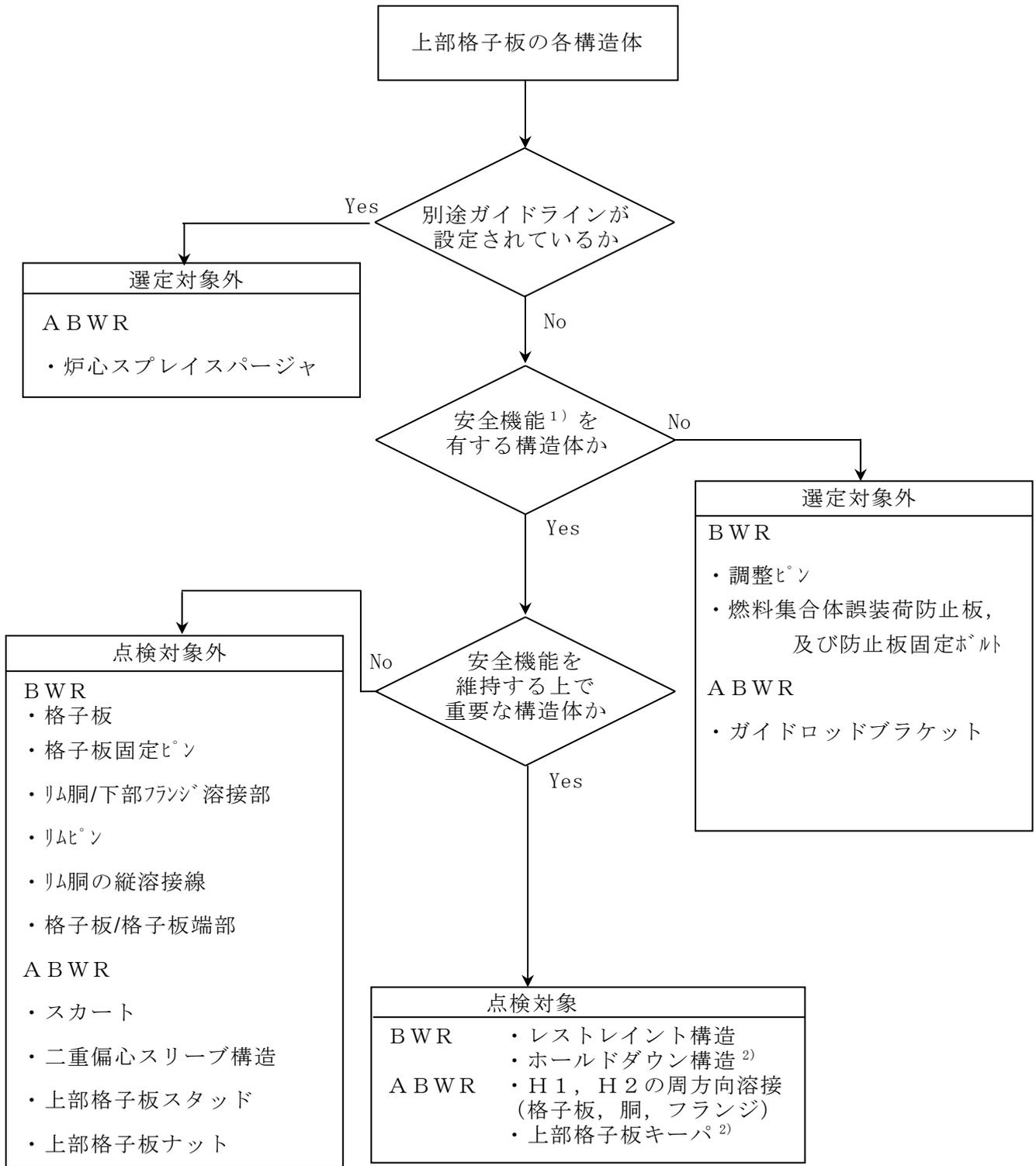
また、点検範囲を拡大しても、安全機能維持に必要な範囲の健全性が確認されない場合は、異常の程度を詳細調査し、調査結果に基づいて上部格子板の機能への影響がないと評価された場合は、継続使用することができる。

(解説 7-2) 補修技術

異常が発見され、安全機能維持の観点からの評価を行った結果、補修が必要となった場合の補修工法として、実機への適用実績があるか又は将来適用が可能と考えられるものは、別冊の「補修工法ガイドライン」に示すとおりである。以下に例を示す。

① 機械的な補修方法

- ・ 取替工法



1) 「制御棒挿入性の確保」「炉心支持」「流路確保」

2) (差圧荷重<自重)の場合は点検不要

図 2.4-1 上部格子板の点検対象選定フロー

付録A 上部格子板の各構造体に対する点検の考え方について

1. 目的

本付録は、BWR 及び ABWR 上部格子板を構成する構造体について、①安全機能、②形状 及び 材質、③想定される経年劣化事象 及び 国内外の運転経験、④損傷による安全機能への影響を考慮した点検の考え方を示したものである。

2. BWR 上部格子板の各構造体に対する点検方針

2.1 安全機能

BWR 上部格子板は安全機能として、燃料の上端を水平方向に支持する「炉心支持」と、燃料の水平方向の位置決めを行うことにより達成される、「制御棒挿入性の確保」の機能を有している。

2.2 形状 及び 材質

2.2.1 形状 (図 A-2.2.1-1)

BWR 上部格子板は、下側にスリットを入れた上側格子板と上側にスリットを入れた下側格子板を組み合わせた格子板と、それを囲むリム胴を、上部フランジ、下部フランジ等により、接続している。

また BWR 上部格子板には、据付け時に位置調整を行う調整ピンと、外周を炉心シュラウドに固定するレストレイント構造が付属している。

また、一部の上部格子板には、事故時の差圧による浮上りを防止するためのホールドダウン構造が付属している。

注：①～⑩は点検評価位置を示す。

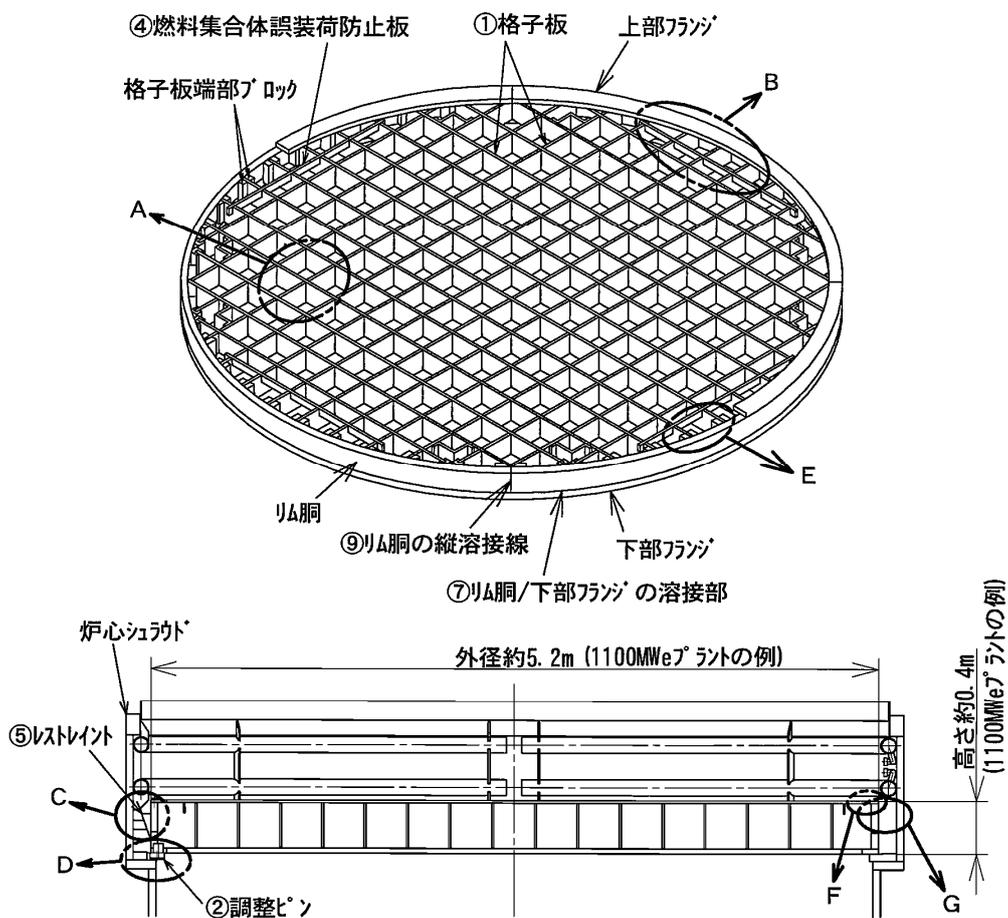
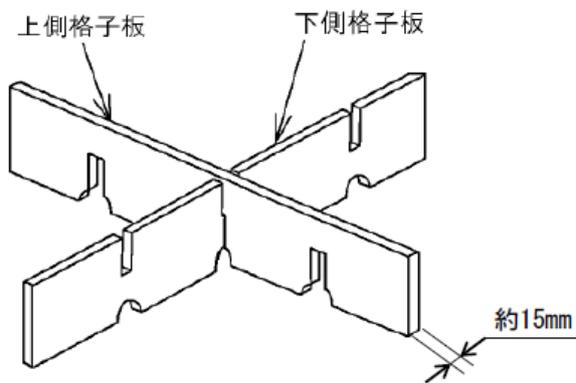
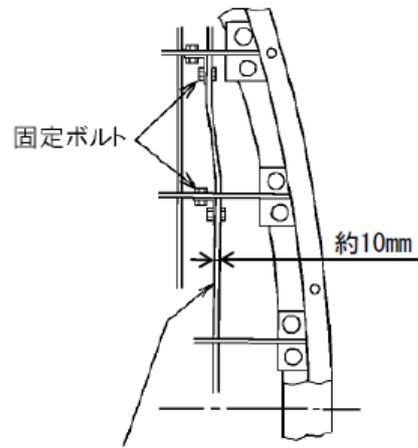


図 A-2. 2. 1-1 BWR 上部格子板 (1/3)



① 格子板

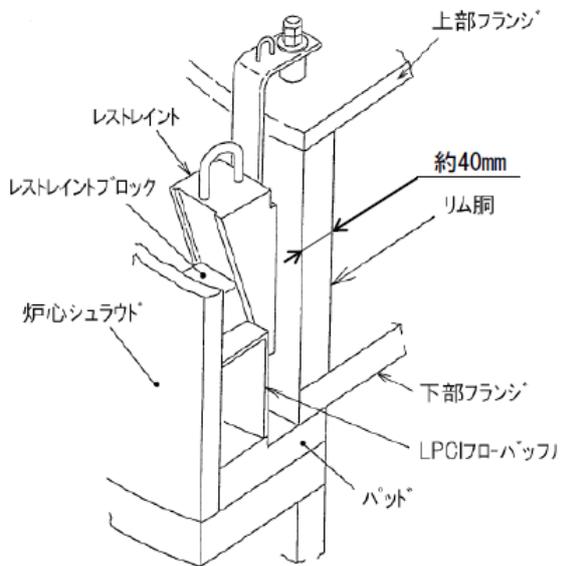
A 部詳細



燃料集合体誤装荷防止板

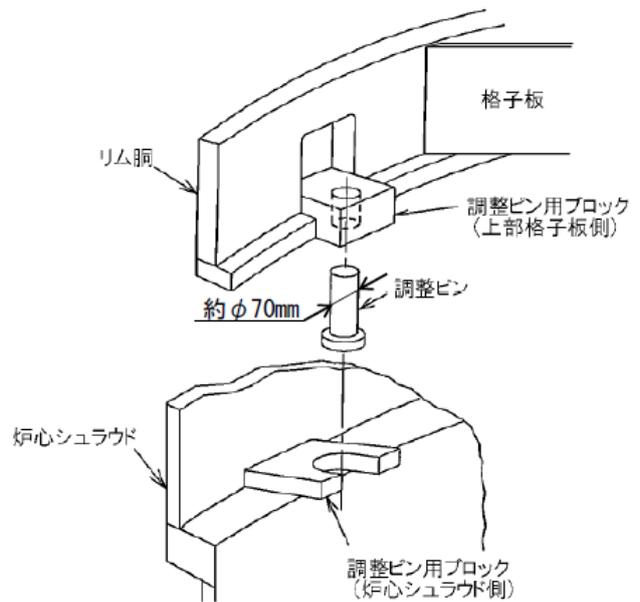
④燃料集合体誤装荷防止板及び防止板固定ボルト

B 部詳細



⑤レストレイント構造

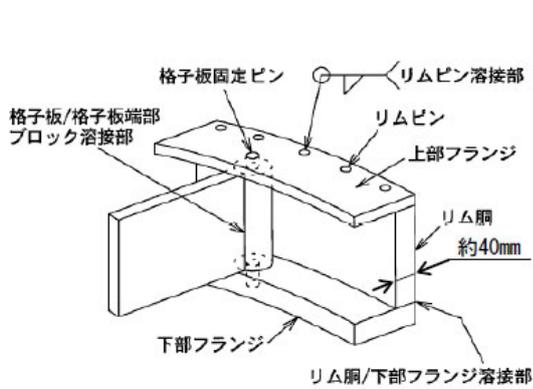
C 部詳細



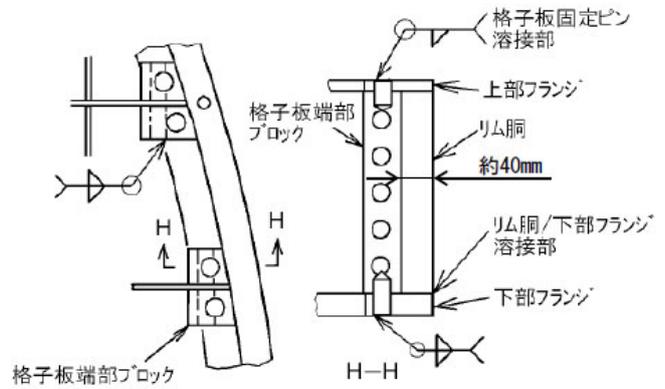
②調整ピン、調整ピン用ブロック

D 部詳細

図 A-2. 2. 1-1 BWR 上部格子板 (2/3)

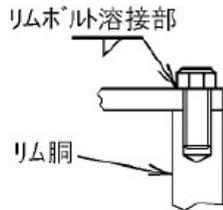


③ 格子板固定ピン

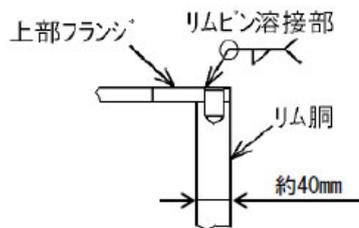


⑩ 格子板/格子板端部ブロックの溶接部

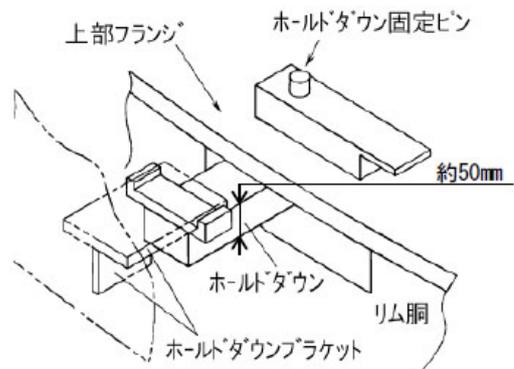
E 部詳細



⑧ リムピン



F 部詳細



⑥ ホールドダウン構造

G 部詳細

図 A-2. 2. 1-1 BWR 上部格子板 (3/3)

2.2.2 材質

BWR 上部格子板の主要な材質は、ステンレス鋼であり、溶接により構成される構造物である。

BWR 上部格子板の各部品に使用される材質の代表例を、表 A-2.2.2 に示す。

表 A-2.2.2 BWR 上部格子板材質の代表例

部 位	BWR-5 (500MWe)	BWR-5 (800MWe)	BWR-5 (1100MWe)	BWR-5 (1100MWe)
格子板	SUS316L	SUS316L	SUS304	SUS316L
調整ピン	SUS316L	SUS316	SUS304	SUS316L
調整ピン用ブロック	—	SUS316L	—	—
格子板固定ピン	SUS316L	SUS316L	SUS304	SUS316L
燃料集合体誤装荷防止板	SUS316L	SUS316L	SUS304	SUS316L
燃料集合体誤装荷防止板固定ボルト	SUS316L	SUS316L	SUS304	SUS316L
レストレイント	SUS316L	SUS316	SUS304	SUS316L
レストレイント用ブロック	SUS316L	SUS316L	SUS304	SUS316L
ホールドダウン	SUS316L	SUS316L	—	—
ホールドダウンブラケット	SUS316L	SUS316L	—	—
リム胴	SUS316L	SUS316L	SUS304	SUS316L
リムピン	SUS316L	SUS316L	SUS304	SUS316L
上部フランジ	SUS316L	SUS316L	SUS304	SUS316L
下部フランジ	SUS316L	SUS316L	SUS304	SUS316L
格子板端部ブロック	SUS316L	SUS316L	SUS304	SUS316L

2.3 想定される経年劣化事象

BWR 上部格子板はステンレス鋼製であり、溶接部に SCC が発生する可能性がある。また、BWR 上部格子板の一部はシュラウド上部胴の内側に設置されていることから、照射誘起型応力腐食割れ (IASCC) についても検討を行う。(付録 C) なお、疲労に関しては、発電用原子力設備に関する構造等の技術基準 (告示 501 号) 又は日本機械学会 発電用原子力設備規格 設計・建設規格に基づく設計がなされていること、及び国内外で疲労による損傷事例がないことから対象外とする。

2.4 国内外の運転経験

国内においては上部格子板本体の SCC 及び IASCC 損傷実績は確認されていない。シュラウドの部品である、調整ピン用ブロックの溶接部近傍に損傷事例が報告されている。

海外では、格子板に IASCC が原因とされる損傷事例が 2 件報告されている。(国内においては、格子板の IASCC に着目した点検実績は 4 例あるが、損傷は報告されていない。)

2.5 各構造体の損傷による安全機能への影響

2.5.1 格子板 (図 A-2.5.1)

上側格子板／下側格子板は複数のスリットの組合せにより、格子形状を構成している構造物である。上部格子板の他の部位と異なり、中性子照射量が高く、海外でも2件の損傷事例が報告されていることから、溶接部が無くとも照射誘起型応力腐食割れ (IASCC) による損傷を考慮する必要がある。

格子板の照射量はしきい値を超えるため照射誘起型応力腐食割れ (IASCC) が発生する可能性はあるものの、溶接部が無い場合残留引張応力はなく、運転中の差圧、熱、自重に起因する引張応力成分も小さいことから、照射誘起型応力腐食割れ (IASCC) の亀裂が進展する可能性はないと考えられる。

仮に亀裂が進展し、格子板が破断に至った場合を想定しても、同一格子板内に1ヶ所までであれば、格子板の端部は格子板端部ブロックによりリム胴に保持されていることから、格子形状は維持されるため、燃料の位置決め機能は失われず、制御棒挿入性と炉心支持には影響を与えない。

同一格子板内に2ヶ所以上の破断が生じた場合を考えると、それが上側格子板の場合は、破断した上側格子板は下側格子板に乗っている状態で保持されるため、燃料の位置決め機能は失われず、制御棒挿入性と炉心支持に影響を与えない。また、下側格子板が2ヶ所以上の破断が生じた場合は、破断部が炉心支持板上に落下する可能性があるが、制御棒挿入経路側には落下しないため、制御棒の挿入性には影響を与えない。炉心支持を考えると、下側格子板の破断部が落下しても、燃料は燃料支持金具－制御棒案内管－CRDハウジングにより支持されており、炉心支持には影響はない。

以上のことから、格子板が損傷しても、上部格子板の持つ以下の安全機能に影響を与えることはないため、個別点検は行わず、一般点検により健全性の確認を行うものとする。

・「制御棒挿入性の確保」

上側格子板／下側格子板のいずれが損傷しても、制御棒の挿入経路は確保されることから、格子板の損傷は当該安全機能に影響を与えない。

・「炉心支持」

上側格子板／下側格子板のいずれが損傷しても，燃料の支持は確保されることから，格子板の損傷は当該安全機能に影響を与えない。

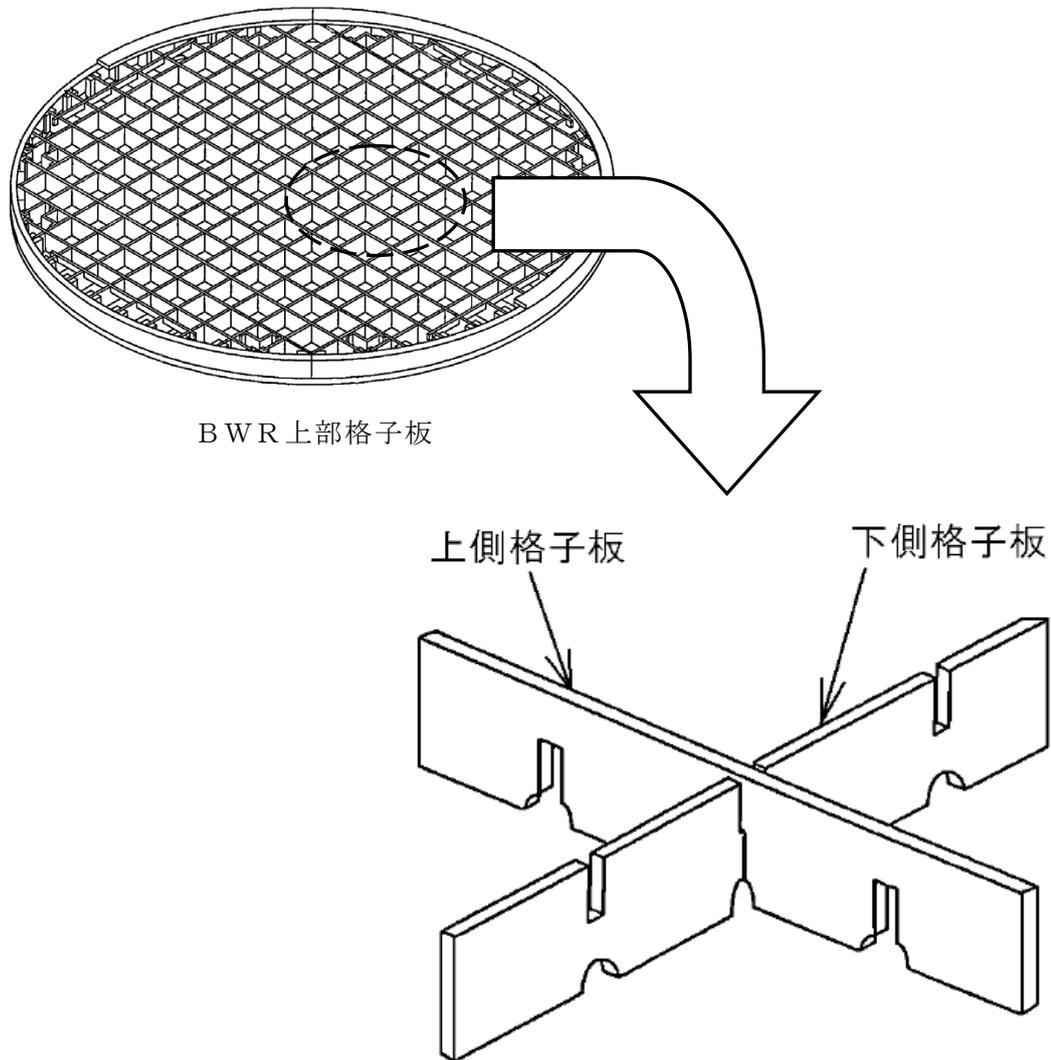


図 A-2.5.1 格子板

2.5.2 調整ピン (図 A-2.5.2)

調整ピンは偏心した2つの円筒部をもつ構造物であり、据付時に回転させることで、炉心シュラウドに対する上部格子板の位置を微小に移動させ、位置調整を行うものである。

位置調整後にはレストレイント構造が構築され、それ以降は上部格子板の水平方向の荷重はレストレイント構造により支持される。

以上のことから、調整ピンや調整ピン用ブロックの溶接部が損傷しても、上部格子板の持つ以下の安全機能に影響を与えることはないため、個別点検は行わず、一般点検により健全性の確認を行うものとする。

- ・「制御棒挿入性の確保」、「炉心支持」

調整ピンは燃料の位置決め機能を有していない構造物であることから、調整ピンの損傷は当該安全機能に影響を与えない。

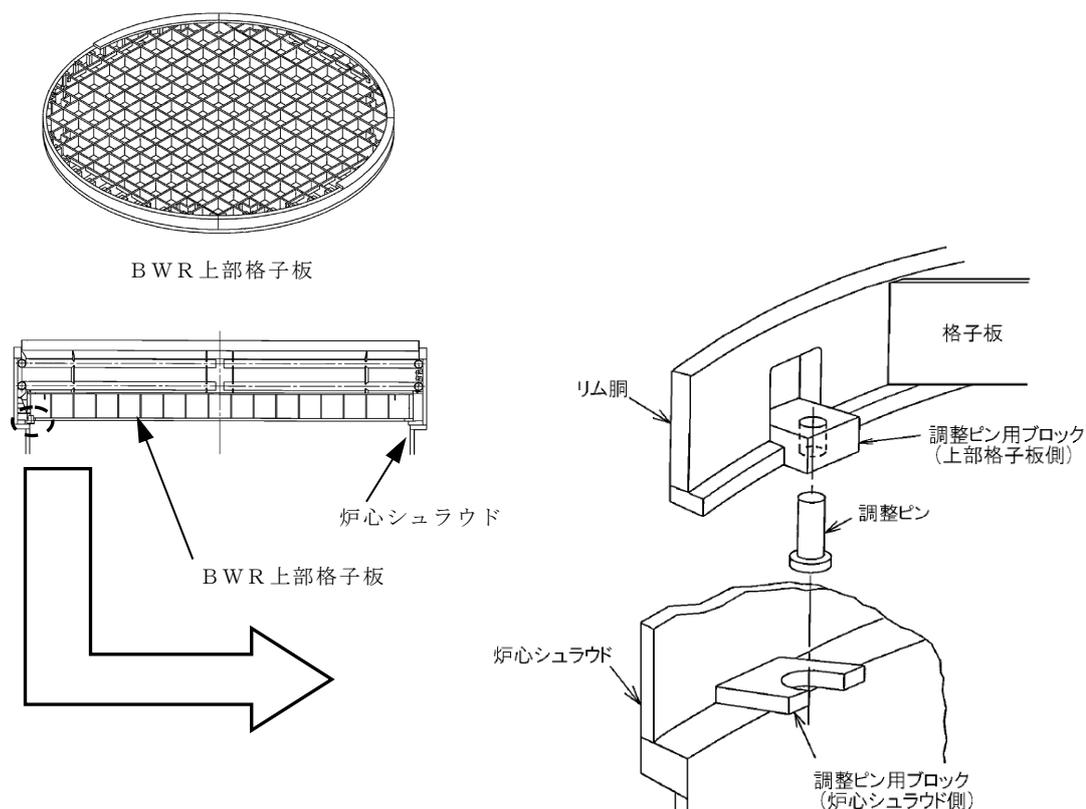


図 A-2.5.2 調整ピン

2.5.3 格子板固定ピン (図 A-2.5.3)

格子板固定ピンは格子板端部ブロックを固定する構造物であり、地震時の燃料集合体により格子板に作用する水平方向荷重を、上部フランジ/下部フランジを介して上部格子板リム胴へ伝達する機能を有する。

格子板固定ピンの取り付け溶接が損傷したとしても、穴とピンの嵌合は保持されるため、燃料の位置決め機能は失われず、制御棒挿入性にも影響を与えない。

以上のことから、格子板固定ピンの溶接部が損傷しても、上部格子板の持つ以下の安全機能に影響を与えることはないため、個別点検は行わず、一般点検により健全性の確認を行うものとする。

- ・「制御棒挿入性の確保」、「炉心支持」

格子板固定ピンの溶接部が損傷しても、燃料の位置決め機能は失われないことから、格子板固定ピンの損傷は当該安全機能に影響を与えない。

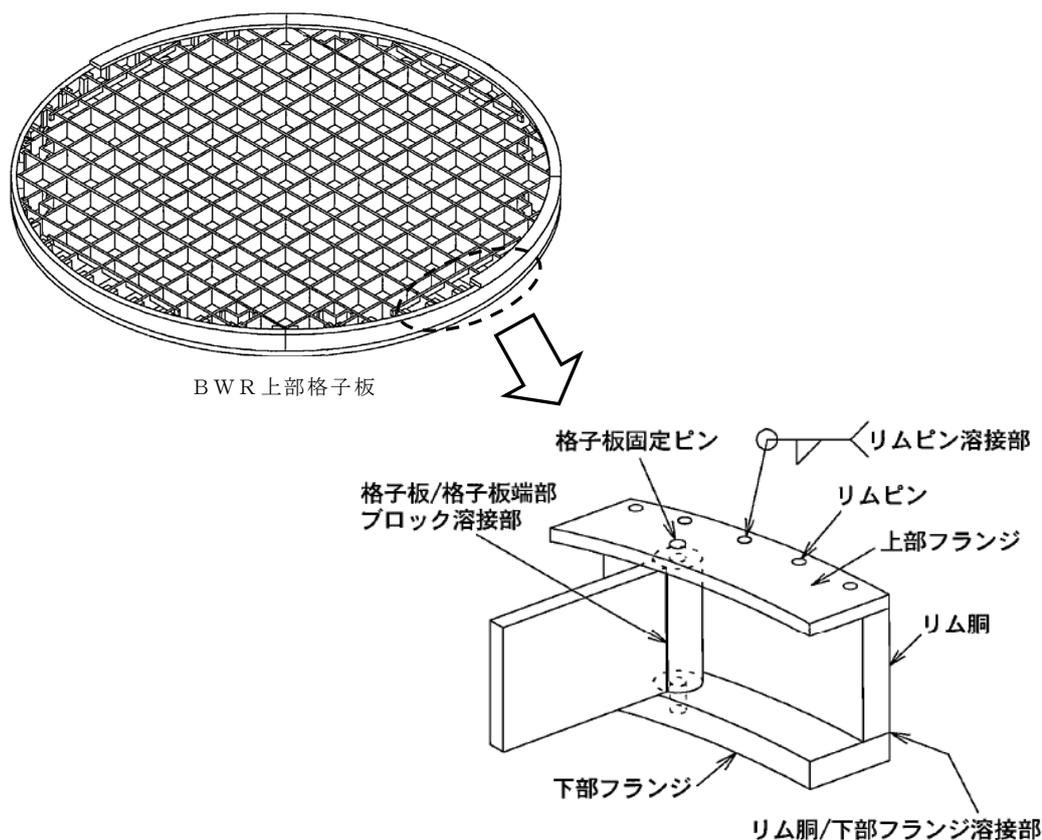


図 A-2.5.3 格子板端部詳細

2.5.4 燃料集合体 誤装荷防止板 及び 防止板固定ボルト (図 A-2.5.4)

燃料集合体 誤装荷防止板 及び 防止板固定ボルトは、格子板の燃料装荷を想定していない開口部を塞ぐことで、燃料の誤装荷を防止する構造物である。

誤装荷防止板 及び 防止板固定ボルトは、燃料の位置決め機能を有していない構造物であるため、損傷しても上部格子板の持つ以下の安全機能に影響を与えることはないため、個別点検は行わず、一般点検により健全性の確認を行うものとする。

- ・「制御棒挿入性の確保」、「炉心支持」

誤装荷防止板 及び 防止板固定ボルトは燃料の位置決め機能を有していない構造物であることから、誤装荷防止板 及び 防止板固定ボルトの損傷は当該安全機能に影響を与えない。

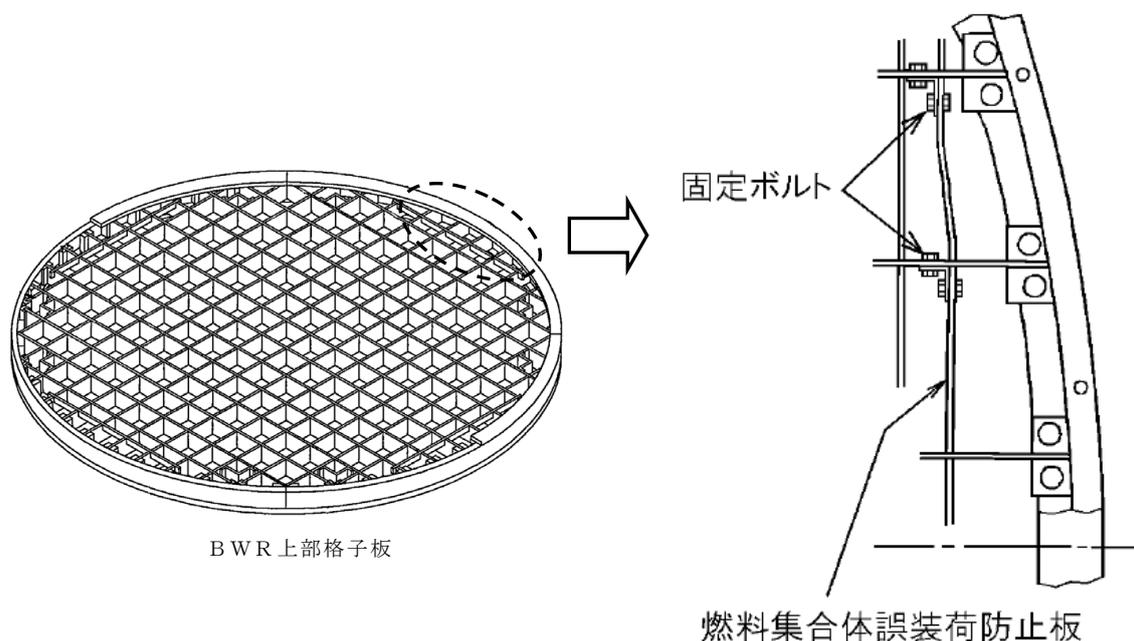


図 A-2.5.4 燃料集合体 誤装荷防止板

2.5.5 レストレイント構造 (図 A-2.5.5)

レストレイント構造は、BWR 上部格子板を水平方向に支持する構造体であり、損傷した場合、BWR 上部格子板の位置がずれ、燃料が正しい位置に保持できなくなり（燃料の位置決め機能が失われるため）、制御棒挿入性に影響を与える可能性がある。

したがって、レストレイント構造が損傷した場合、上部格子板の持つ以下の安全機能に対する影響を考慮する必要があるため、一般点検に加え、個別点検を実施するものとする。

- ・「制御棒挿入性の確保」、「炉心支持」

レストレイント構造が損傷した場合、上部格子板の燃料の位置決め機能が喪失するため、レストレイント構造の損傷は当該安全機能に影響する。

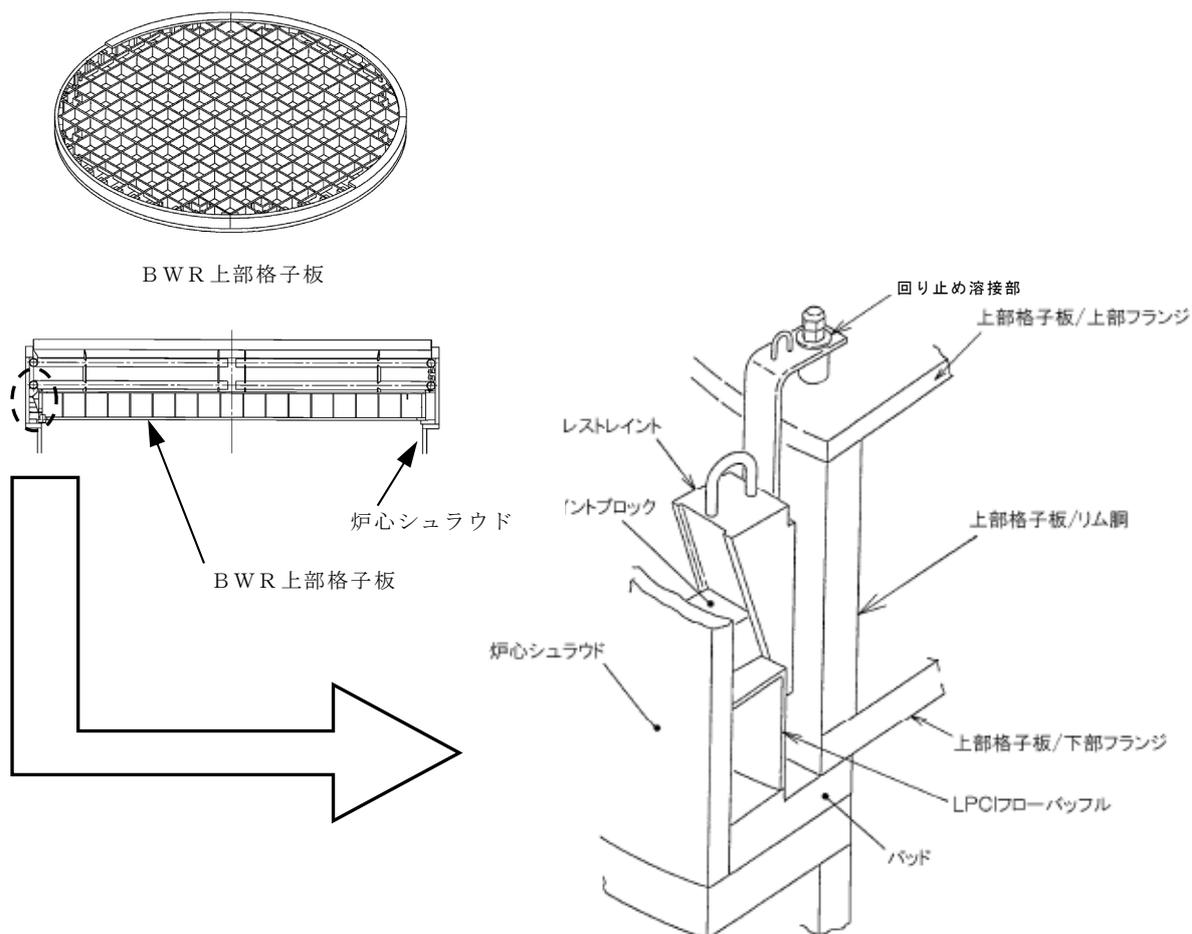


図 A-2.5.5 レストレイント構造

2.5.6 ホールドダウン構造 (図 A-2.5.6)

ホールドダウン構造は、主蒸気系配管が破断するような事故が発生した場合、上部格子板に発生する大きな差圧荷重により、上部格子板が浮き上がることを防止する構造物である。ホールドダウン構造が損傷した状態で、事故時の大きな差圧荷重を受けると、上部格子板がレストレイント構造の効かない位置まで浮き上がり、所定の位置から移動する可能性がある。上部格子板が移動すると、燃料上端が正しい位置に保持できなくなり、制御棒挿入性と炉心支持に影響を与える可能性がある。

したがって、ホールドダウン構造が損傷した場合、上部格子板の持つ以下の安全機能に対する影響を考慮する必要があるため、一般点検に加え、個別点検を行うものとする。

- ・「制御棒挿入性の確保」、「炉心支持」

ホールドダウン構造が損傷した場合、上部格子板の燃料の位置決め機能が喪失するため、ホールドダウン構造の損傷は当該安全機能に影響する。

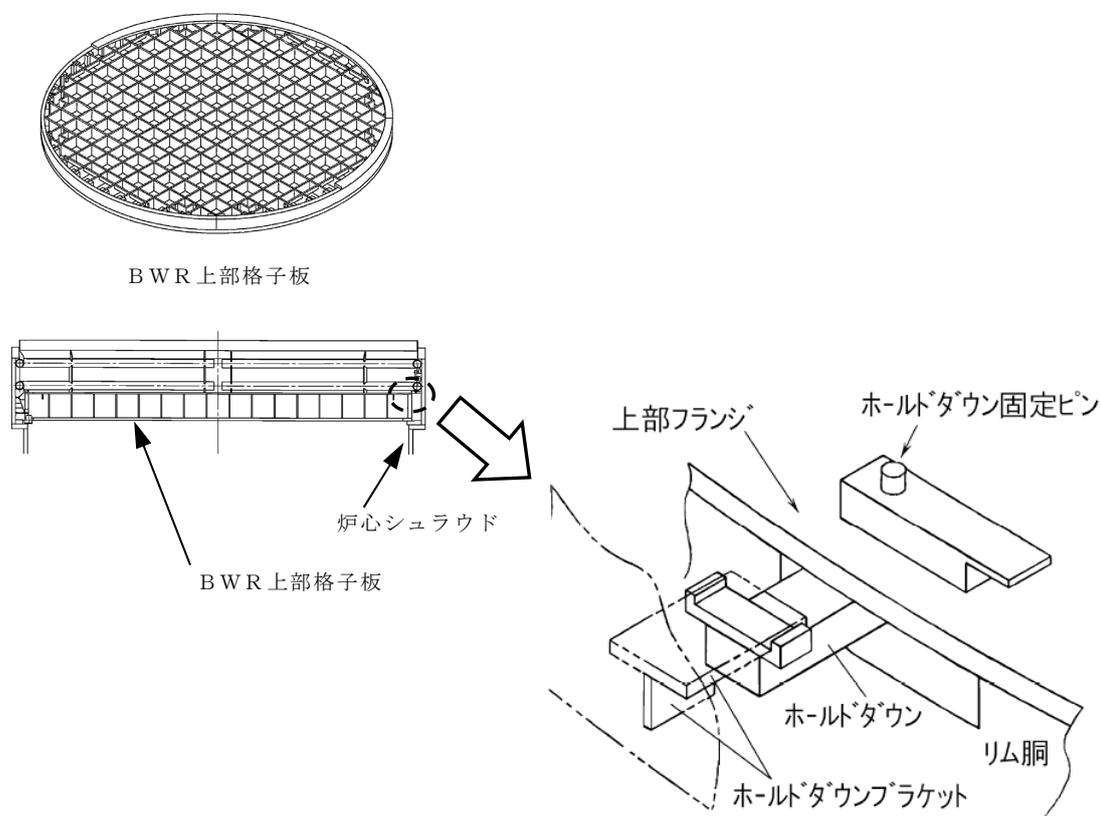


図 A-2.5.6 ホールドダウン構造

2.5.7 リム胴／下部フランジ溶接部（図 A-2.5.3）

リム胴／下部フランジ溶接部は，上部格子板構造を保持し，地震時の燃料集合体により格子板に作用する水平方向荷重を，レストレイント構造に伝達する機能を有しているが，リム胴／下部フランジ溶接部が損傷した場合でも，上部格子板固定ピン→上部フランジ→リムピン→リム胴の保持／荷重伝達機能が健全であり，燃料の位置決め機能が失われることはない。

したがって，リム胴／下部フランジ溶接部が損傷しても，上部格子板の持つ以下の安全機能に影響を与えないため，個別点検は行わず，一般点検により健全性の確認を行うものとする。

- ・「制御棒挿入性の確保」，「炉心支持」

リム胴／下部フランジ溶接部が損傷しても，燃料の位置決め機能は失われな
いことから，リム胴／下部フランジ溶接部の損傷は当該安全機能に影響を与
えない。

2.5.8 リムピン (図 A-2.5.8)

リムピンは、上部フランジとリム胴を接続し、地震時の燃料集合体により格子板に作用する水平方向荷重を、リム胴へ伝達する機能を有している。図 A-2.5.8 に示すように、リムピンにはボルトを用いている型式や、ピンを打ち込む型式等が存在するが、いずれの型式においても SCC による損傷が想定される部位は、リムピンと上部フランジの溶接部である。しかし、この溶接が損傷したとしても穴とボルト又はピンとの嵌合は保持されるため、燃料の位置決め機能が失われることはない。

したがって、リムピン溶接部が損傷しても、上部格子板の持つ以下の安全機能に影響を与えないため、個別点検は行わず、一般点検により健全性の確認を行うものとする。

- ・「制御棒挿入性の確保」、「炉心支持」

リムピン溶接部が損傷しても、燃料の位置決め機能は失われないことから、リムピン溶接部の損傷は当該安全機能に影響を与えない。

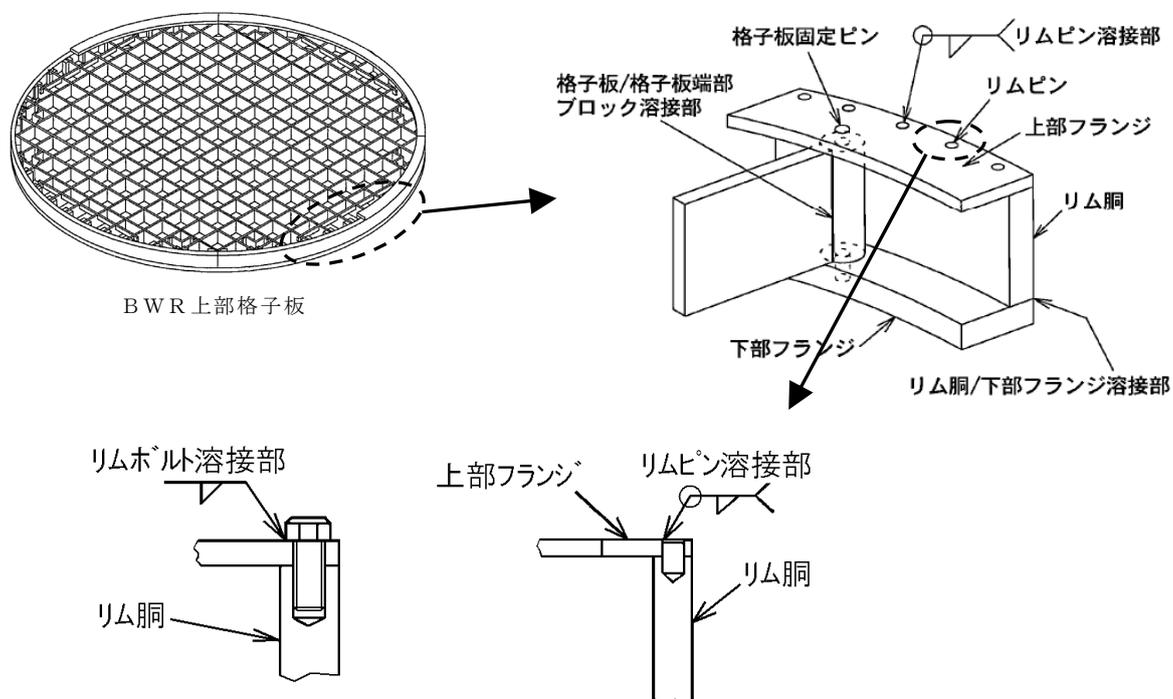


図 A-2.5.8 リムピン構造の例

2.5.9 リム胴の縦溶接線（図 A-2.5.3）

リム胴の縦溶接は、リム胴を形成する溶接であるが、この溶接が損傷しても、上部格子板の構造は上部格子板固定ピン、上部／下部フランジ、リムピン 及びリム胴の周溶接により保持されているため、燃料の位置決め機能が失われることはない。

したがって、リム胴の縦溶接線が損傷しても、上部格子板の持つ以下の安全機能に影響を与えないため、個別点検は行わず、一般点検により健全性の確認を行うものとする。

- ・「制御棒挿入性の確保」、「炉心支持」

リム胴の縦溶接線が損傷しても、燃料の位置決め機能は失われないことから、リム胴の縦溶接線の損傷は当該安全機能に影響を与えない。

2.5.10 格子板／格子板端部ブロック溶接部（図 A-2.5.10）

格子板端部ブロックは上側格子板 又は 下側格子板の位置を固定して格子を成形する機能と、地震時の燃料集合体により格子板に作用する水平方向荷重を、格子板固定ピンへ伝達する機能を有している。

上側格子板と下側格子板は格子板端部ブロックのスリットに差し込まれ、溶接により固定されている。格子板／格子板端部ブロックの溶接が損傷したとしても、上側 及び 下側格子板と格子板端部ブロックのスリットとの嵌合は保持されるため、燃料の位置決め機能が失われることはない。

したがって、格子板／格子板端部ブロック溶接部が損傷しても、上部格子板の持つ以下の安全機能に影響を与えないため、個別点検は行わず、一般点検により健全性の確認を行うものとする。

- ・「制御棒挿入性の確保」、「炉心支持」

格子板／格子板端部ブロック溶接部が損傷しても、燃料の位置決め機能は失われないことから、格子板／格子板端部ブロック溶接部の損傷は当該安全機能に影響を与えない。

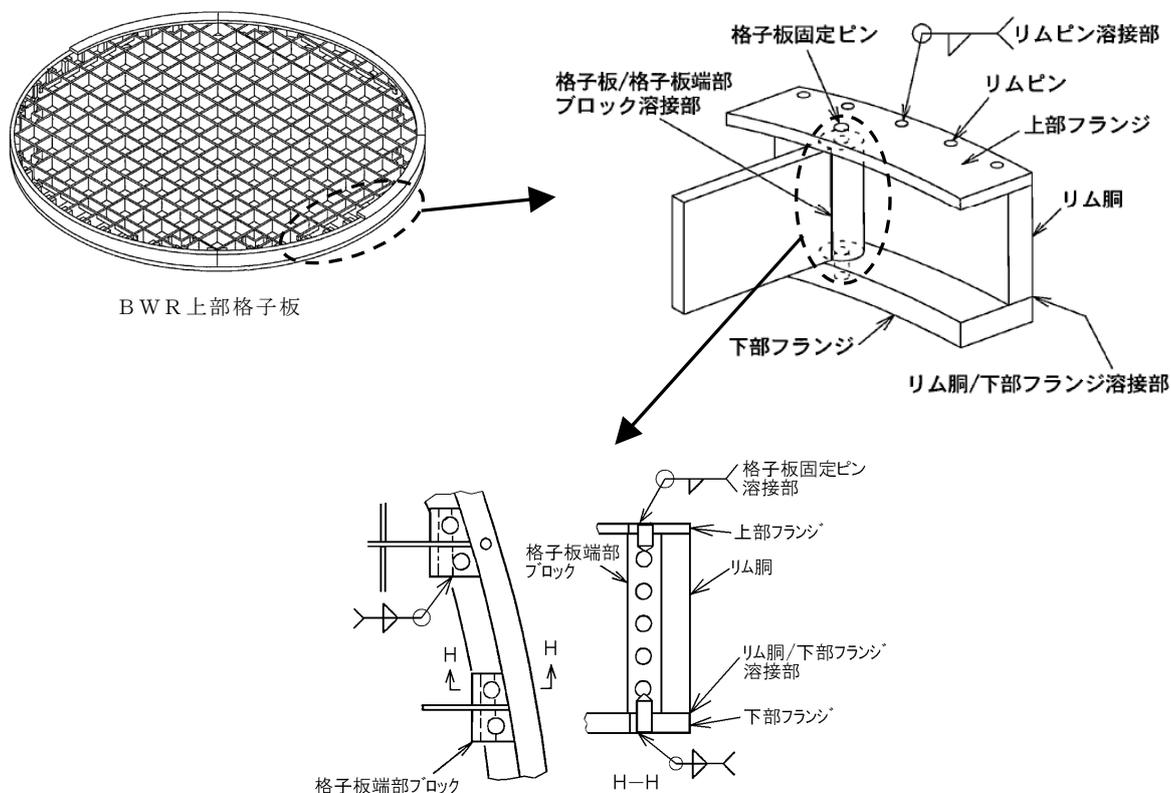


図 A-2.5.10 格子板／格子板端部ブロック溶接部

2.6 点検対象の選定

BWR 上部格子板を構成する各構造体の、損傷による安全機能に対する影響の評価結果を、表 A-2.6 に示す。

上記の評価結果から、個別点検対象には、その損傷が安全機能の喪失につながるレストレイント構造とホールドダウン構造を選定した。

損傷しても、その損傷がすぐに安全機能に影響しないその他の部位は、一般点検により点検を行うこととする。

2.7 点検手法の選定

点検対象であるレストレイント構造とホールドダウン構造において、想定される経年劣化事象は、ステンレス鋼溶接部に対する SCC である。

レストレイント構造において、SCC の可能性のある溶接部としては、レストレイント留め板の回り止め溶接、レストレイントブロックとシュラウドのすみ肉溶接がある。

レストレイント留め板の回り止め溶接は、レストレイントの浮上り防止板を固定するものであるが、もともとレストレイントを浮上らせるような荷重が発生する状況は少なく、回り止め溶接の損傷がすぐにレストレイントの機能喪失につながることはない。

また、レストレイントブロックの機能はレストレイントから伝わる圧縮荷重を炉心シュラウドに伝達することであるため、レストレイントブロックのすみ肉溶接が損傷したとしても、レストレイントブロックは圧縮荷重を伝達可能であることから、すみ肉溶接の損傷がすぐにレストレイント構造の機能喪失につながることはない。

以上のことから、レストレイント構造の点検は VT-3 により、レストレイントの脱落など異常がないことを確認するものとする。

一方、ホールドダウン構造において、SCC の可能性のある溶接部としては、ホールドダウン固定ピンの抜け止め溶接、ホールドダウンブラケットとシュラウドのすみ肉溶接がある。

ホールドダウン固定ピンはホールドダウンをリム胴に保持するための構造物であるが、抜け止め溶接が損傷したとしても、ホールドダウンはリム胴と上部フランジに挟まれて保持されており、抜け止め溶接の損傷がすぐにホールドダウン構造の機能喪失につながることはない。そのためホールドダウン固定ピンの点検は VT-3 により、ピンの脱落などの異常がないことを確認するものとする。

ホールドダウンブラケットのすみ肉溶接が損傷した状態で、BWR 上部格子板が事故時の大きな差圧荷重を受けると、ホールドダウンブラケットは上向き荷重を支えき

れないため、ホールドダウンブラケットのすみ肉溶接は MVT-1 により、亀裂などが無いことを確認する必要がある。

2.8 点検範囲の選定

BWR 上部格子板のレストレイント構造とホールドダウン構造の点検範囲は、上部格子板の安全機能を維持するために必要な範囲とする。(付録 D, F)

2.9 点検時期の選定

BWR 上部格子板のレストレイント構造とホールドダウン構造は、国内の運転経験では、当該溶接部の損傷事例の報告はないこと、流体振動などの損傷を加速する要因もないことから、供用期間中におけるレストレイント構造とホールドダウン構造の損傷の可能性は極めて低いと考えられるが、将来起こりうる経年劣化事象に対する運転経験を蓄積するだけでなく、保守管理の妥当性等の確認や評価を行う高経年化技術評価にも資することを踏まえ、機器の供用開始後 20 年から 30 年の期間内に初回点検を行い、以降、炉心シュラウド等近傍の部位の点検時期に合わせて、点検を実施するものとする。

表 A-2.6 BWR の上部格子板の損傷による安全機能への影響評価 (1 / 2)

検討対象	機能	安全機能との関連	想定される劣化モード	損傷による安全機能への影響	個別点検要否*
① 格子板	燃料集合体の位置決め及び支持	有 (制/支)	IASCC	<ul style="list-style-type: none"> 上側の格子板は、損傷しても機能に影響しない。 下側格子板は、2 箇所の破断により破断部が炉心支持板に落下する可能性があるが、制御棒挿入性は保持されるため、安全な炉停止が可能。 	不要
② 調整ピン	上部格子板の位置調整	無	SCC	上部格子板設置後は、損傷しても上部格子板の機能に影響しない。	不要
③ 格子板固定ピン	<ul style="list-style-type: none"> 格子板の支持 水平方向荷重の支持 	有 (制/支)	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;"> SCC 回り止め溶接 </div>	損傷しても、ピンの位置が保持されるため、上部格子板の機能に影響しない。	不要
④ 燃料集合体誤装荷防止板及び防止板固定ボルト	燃料集合体の誤装荷防止	無	SCC	燃料集合体装荷後は、損傷しても上部格子板の機能に影響しない。	不要
⑤ レストリント構造 ・レストリント ・レストリント用ブロック	水平方向荷重の支持	有 (制/支)	SCC	<ul style="list-style-type: none"> レストリント構造の機能が喪失する可能性は非常に小さいと考えられる。 水平方向荷重の伝達経路として重要なため、万一レストリント構造が喪失した場合には、上部格子板に要求される安全機能に影響大。 	点検対象
⑥ ホールドダウン構造 ・ホールドダウン ・ホールドダウンブラケット	垂直方向荷重の支持	有 (制/支)	SCC	<ul style="list-style-type: none"> ホールドダウン固定ピン、又はホールドダウンブラケット溶接部が損傷すると、上部格子板に要求される安全機能に影響大。 上部格子板に作用する垂直方向荷重が自重より小さい場合は点検不要。 	点検対象
⑦ リム胴/ 下部フランジ溶接部	<ul style="list-style-type: none"> 上部格子板構造の保持 水平方向荷重の支持 	有 (制/支)	SCC	<ul style="list-style-type: none"> 損傷しても、上部格子板の構造は格子板固定ピンにより保持される。 損傷しても、レストリントにより水平方向荷重が支持されるため、上部格子板の機能に影響しない。 	不要
⑧ リムピン	<ul style="list-style-type: none"> 上部格子板構造の保持 水平方向荷重の支持 	有 (制/支)	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;"> SCC 回り止め溶接 </div>	損傷しても、ピンの位置及びピン機能は保持されるため、上部格子板の機能に影響しない。	不要
⑨ リム胴の縦溶接線	上部格子板構造の保持	有 (制/支)	SCC	<ul style="list-style-type: none"> 損傷しても、リム胴/下部フランジ溶接部及びリムピンにより、上部格子板の構造は保持される。 損傷しても上部格子板の機能に影響しない。 	不要

制：制御棒挿入性の確保

支：炉心支持

*：個別点検を不要とする対象は、一般点検により健全性の確認を行う。

表 A-2.6 BWR の上部格子板の損傷による安全機能への影響評価 (2 / 2)

検討対象	機能	安全機能との関連	想定される劣化モード	損傷による安全機能への影響	個別点検要否*
⑩ 格子板/ 格子板端部 ブロック溶接部	<ul style="list-style-type: none"> 格子板の支持 水平方向荷重の支持 	有 (制/支)	SCC	溶接部が破断しても、格子板の位置は保持され、水平方向荷重の伝達が可能なため、上部格子板の機能に影響しない。	不要

制：制御棒挿入性の確保

支：炉心支持

*：個別点検を不要とする対象は、一般点検により健全性の確認を行う。

3. A B W R 上部格子板の各構造体に対する点検方針

3.1 安全機能

A B W R 上部格子板は安全機能として、燃料の上端を水平方向に支持し、燃料の水平方向の位置決めを行うことにより達成される、「制御棒挿入性の確保」、「炉心支持」の機能と、原子炉内部隔壁を構成することにより達成される、「流路確保」の機能を有している。

3.2 形状 及び 材質

3.2.1 形 状 (図 A-3.2.1-1)

A B W R 上部格子板は、鍛造材を格子状に削り出して一体構造により製作された格子板と、B W R のシュラウド上部リング・上部胴に相当するフランジ・胴を溶接することにより構成されている。

フランジ部分には、内面に水シールを形成するためのスカート、外面にシュラウドヘッド据付時の位置出しを行うガイドロッドブラケットが付属している。

胴には炉心スプレイスパージャが付属している。

格子板の外周部分には、炉心シュラウドと上部格子板を接続するための、上部格子板スタッド、上部格子板ナット、上部格子板キーパ 及び 二重偏心スリーブ構造が付属している。

注：①～⑩は点検評価位置を示す。

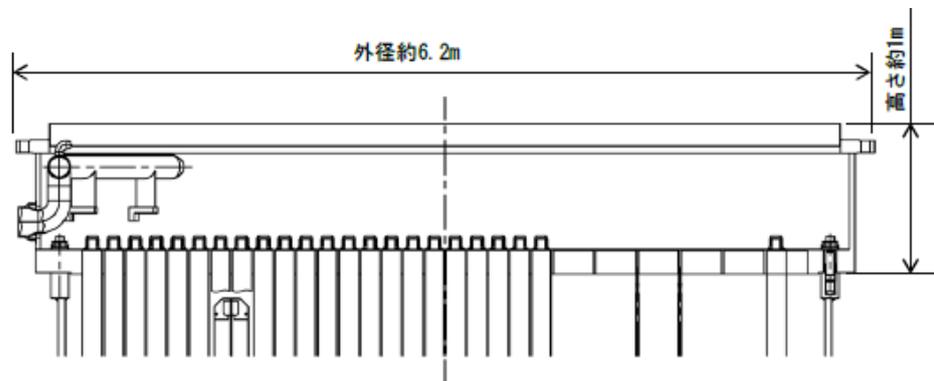
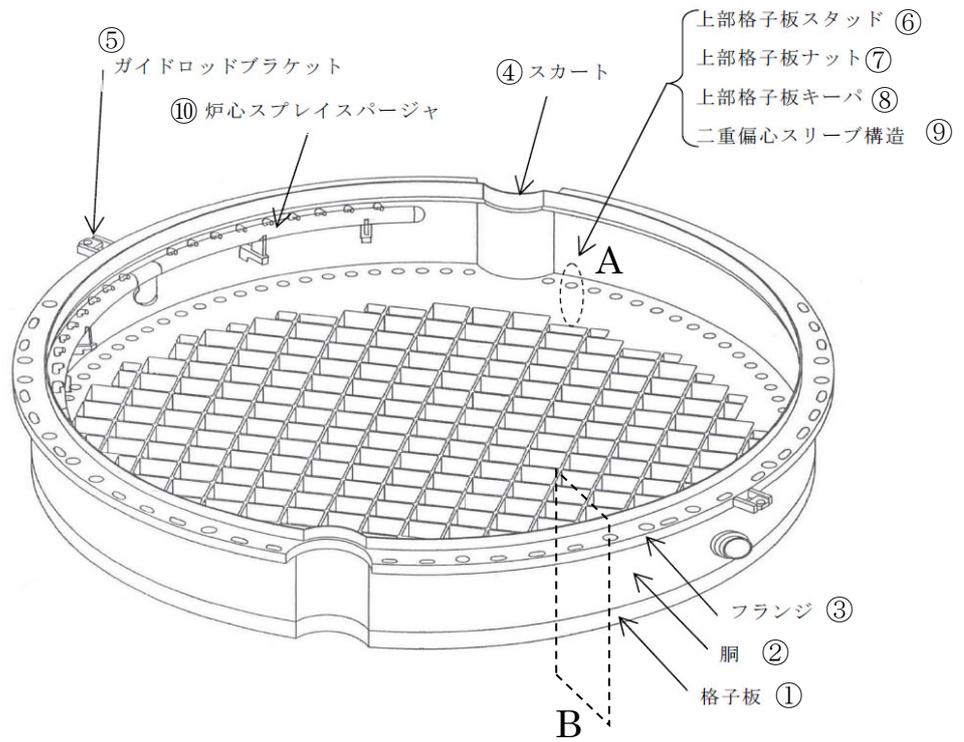
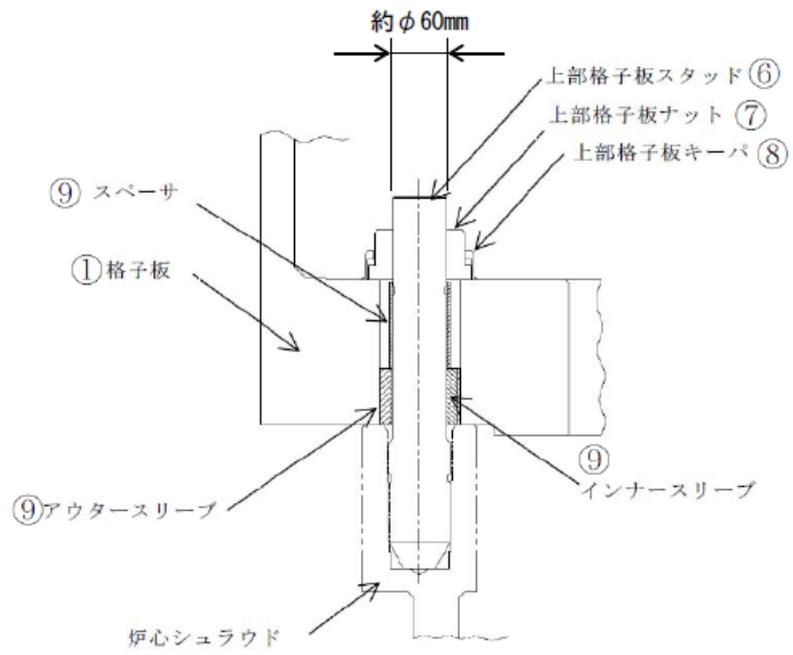
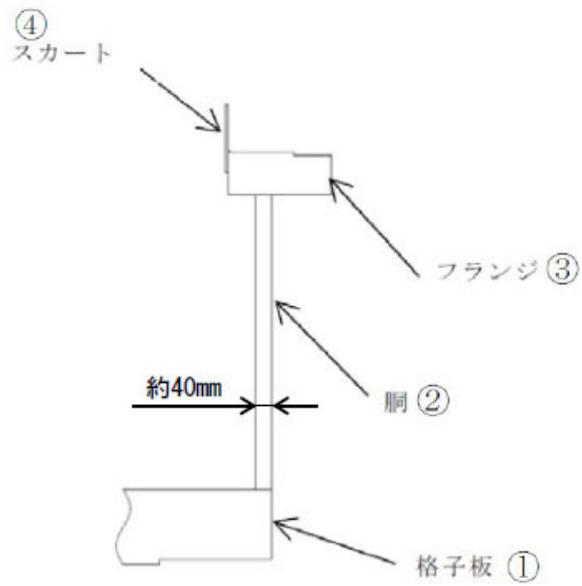


図 A-3.2.1-1 ABWR 上部格子板 (1/2)



A 部詳細



B 断面

図 A-3.2.1-1 A B W R 上部格子板 (2/2)

3.2.2 材 質

A B W R 上部格子板の材質は、ステンレス鋼（炭素含有量が 0.03%以下のステンレス鋼（SUSF316L 等の低炭素ステンレス鋼））及び耐熱ステンレス鋼（GXM1）であり、格子板は鍛造材により構成される構造物である。

A B W R 上部格子板の各部品に使用される材質の代表例を、表 A-3.2.2 に示す。

表 A-3.2.2 A B W R 上部格子板材質の代表例

部 位	ABWR (1350MWe)
格子板	SUS316L
胴	SUS316L
フランジ	SUS316L
スカート	SUS316L
ガイドロッドブラケット	SUS316L
上部格子板スタッド	GXM-1
上部格子板ナット	GXM-1
上部格子板キーパ	SUS316L
二重偏心スリーブ構造	SUS316L
炉心スプレイスパージャ	SUS316L

3.3 想定される経年劣化事象

A B W R 上部格子板はステンレス鋼製であり、溶接部に SCC が発生する可能性がある。A B W R 上部格子板の照射量は B W R よりも低く、照射誘起型応力腐食割れ（IASCC）の可能性はない。

なお、疲労に関しては、発電用原子力設備に関する構造等の技術基準（告示 501 号）又は日本機械学会 発電用原子力設備規格 設計・建設規格に基づく設計がなされていること、及び国内外で疲労による損傷事例がないことから対象外とする。

3.4 国内外の運転経験

A B W R 上部格子板は、B W R 上部格子板と炉心シュラウドの上部胴を結合した構造物であるため、参照する運転経験として、A B W R 上部格子板の他に、B W R 上部格子板、B W R 炉心シュラウドの上部胴も考慮するものとする。

国内においては、A B W R 上部格子板に相当する範囲の損傷事例として、B W R 炉心シュラウドの上部胴の調整ピン用ブロックの溶接部近傍、スカート溶接部近傍、ガイドロッドブラケット溶接部近傍、H 2 溶接線近傍等に、損傷が報告されている。

海外のA B W R 上部格子板に相当する範囲の損傷事例としては、B W R 上部格子板の格子板に IASCC が原因とされる損傷事例が 2 件報告されている。(国内においては、格子板の IASCC に着目した点検実績は 4 例あるが、損傷は報告されていない。)

また、B W R の炉心シュラウド溶接部で SCC 損傷事例がある。

3.5 損傷による安全機能への影響

3.5.1 格子板 (図 A-3.5.1)

A BWR 上部格子板は鍛造材を格子状に削り出した構造物であり、格子部分が「制御棒挿入性の確保」と「炉心支持」の機能を有し、外周部分が「流路確保」の機能を有する。

本節では、格子板の損傷による安全機能に対する影響を、格子部分と外周部分に分けて記載する。

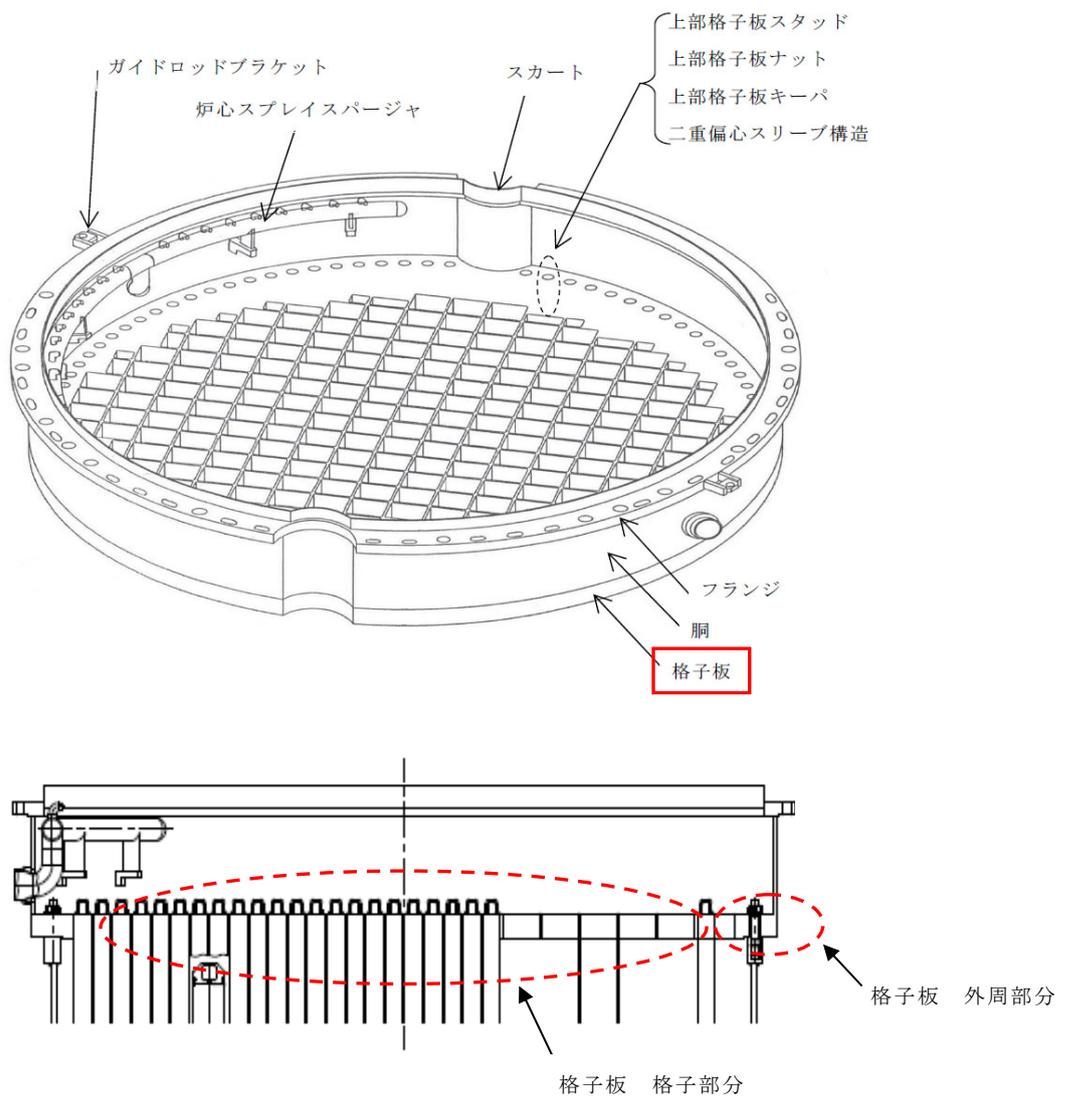


図 A-3.5.1 A BWR 上部格子板

3.5.1.1. 格子部分

格子板の格子部分は、上部格子板の他の部位と異なり、中性子照射量が高く、海外BWRでも2件の損傷事例が報告されていることから、溶接部が無くとも照射誘起型応力腐食割れ（IASCC）による損傷を考慮する必要がある。

格子板の格子部分の照射量はしきい値を超えるため照射誘起型応力腐食割れ（IASCC）が発生する可能性はあるものの、溶接部が無いため残留引張応力はなく、運転中の差圧、熱、自重に起因する引張応力成分も小さいことから、照射誘起型応力腐食割れ（IASCC）の亀裂が進展する可能性はないと考えられる。

仮に亀裂が進展し、格子板が破断に至った場合を想定しても、1カ所であれば、ABWR上部格子板の格子部分は一体構造であることから、格子形状は維持されるため、燃料の位置決め機能は失われず、制御棒挿入性と炉心支持には影響を与えない。

格子部分を構成する1枚の板に2か所以上の破断が生じた場合、破断した格子板が炉心支持板上に落下する可能性があるが、制御棒挿入経路側には落下しないため、制御棒挿入性に影響を与えない。炉心支持を考えると、格子板の破断部が落下しても、燃料は燃料支持金具－制御棒案内管－CRDハウジングにより支持されており、炉心支持には影響はない。

以上のことから、格子板の格子部分が損傷しても、上部格子板の持つ以下の安全機能に影響を与えることはないため、個別点検は行わず、一般点検により健全性の確認を行うものとする。

- ・「制御棒挿入性の確保」

格子板の格子部分が損傷しても、制御棒の挿入経路は確保されることから、格子部分の損傷は当該安全機能に影響を与えない。

- ・「炉心支持」

格子板の格子部分が損傷しても、炉心支持は確保されることから、格子部分の損傷は当該安全機能に影響を与えない。

- ・「流路確保」

格子板の格子部分は流路確保の機能を有しておらず、損傷しても、当該安全機能に影響を与えない。

3.5.1.2. 外周部分

外周部分については、格子部分と異なり照射量が低いため、照射誘起型応力腐食割れ（IASCC）による損傷を考慮する必要はない。

外周部分は胴と周溶接（H 2 溶接）されており、SCC を考慮する必要がある。SCC により H 2 溶接線が損傷した状態で、差圧荷重や地震荷重が加わると、隔壁が開放され、「流路確保」の機能が失われる可能性がある。

以上のことから、格子板の外周部分においては、以下の安全機能に対する影響を考慮する必要があるため、一般点検に加え、個別点検を実施するものとする。

- ・「制御棒挿入性の確保」

格子板の外周部分は制御棒の挿入性確保の機能を有しておらず、損傷しても、当該安全機能に影響を与えない。

- ・「炉心支持」

格子板の外周部分は炉心支持の機能を有しておらず、損傷しても、当該安全機能に影響を与えない。

- ・「流路確保」

格子板外周部分と胴の周溶接（H 2 溶接）が損傷した状態で地震荷重が加わると、隔壁が開放され、冷却材の流路が確保できなくなることから、格子板外周部分と胴の周溶接（H 2 溶接）は当該安全機能に影響する。

3.5.2 胴（図 A-3.5.2）

胴はBWRシュラウドの上部胴に相当する構造物であり、「流路確保」の機能を有する。

胴の溶接のうち、縦方向溶接部（V1，V2溶接線）は、構造強度評価の結果、それらが損傷しても「流路確保」の機能維持に影響を及ぼさないと評価できる。

一方、周方向溶接線（H1，H2溶接線）が損傷した状態で地震荷重が加わった場合、隔壁が開放され、「流路確保」の機能が失われる可能性がある。

以上のことから、胴においては、以下の安全機能に対する影響を考慮する必要があるため、一般点検に加え、個別点検を実施するものとする。

- ・「制御棒挿入性の確保」

胴は制御棒の挿入性確保の機能を有しておらず、損傷しても、当該安全機能に影響を与えない。

- ・「炉心支持」

胴は炉心支持の機能を有しておらず、損傷しても、当該安全機能に影響を与えない。

- ・「流路確保」

胴の周溶接（H1，H2溶接線）が損傷した状態で地震荷重が加わると、隔壁が開放され、冷却材の流路が確保できなくなることから、胴の周溶接（H1，H2溶接線）は当該安全機能に影響する。

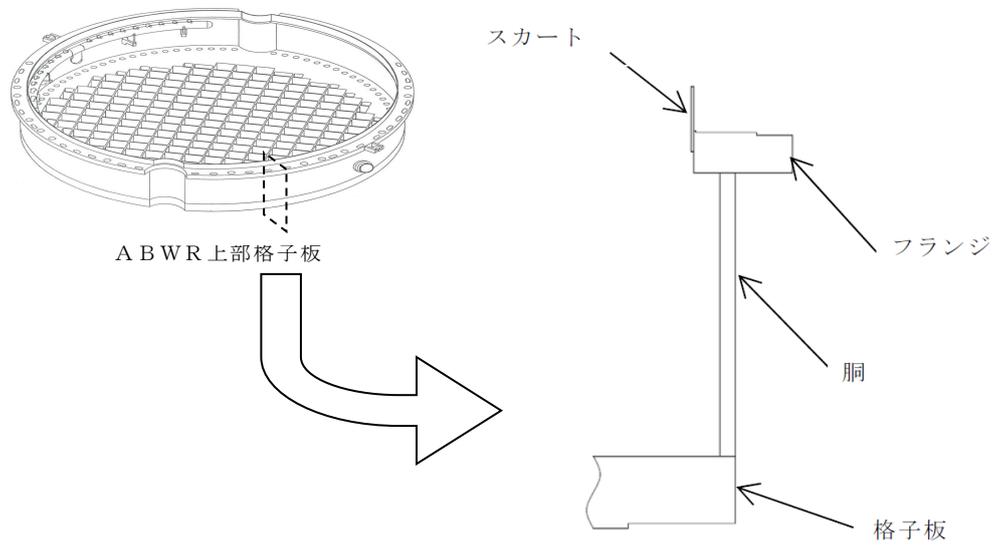


図 A-3. 5. 2 ABWR 上部格子板断面

3.5.3 フランジ (図 A-3.5.2)

フランジはBWRシュラウドの上部リングに相当する構造物であり、「流路確保」の機能を有する。

フランジの溶接のうち、縦方向溶接部は、構造強度評価の結果、それらが損傷しても「流路確保」の機能維持に影響を及ぼさないと評価できる。

一方、周方向溶接線（H1溶接線）が損傷した状態で地震荷重が加わった場合、隔壁が開放され、「流路確保」の機能が失われる可能性がある。

以上のことから、フランジにおいては、以下の安全機能に対する影響を考慮する必要があるため、一般点検に加え、個別点検を実施するものとする。

- ・「制御棒挿入性の確保」

フランジは制御棒の挿入性確保の機能を有しておらず、損傷しても、当該安全機能に影響を与えない。

- ・「炉心支持」

フランジは炉心支持の機能を有しておらず、損傷しても、当該安全機能に影響を与えない。

- ・「流路確保」

フランジの周溶接（H1溶接線）が損傷した状態で地震荷重が加わると、隔壁が開放され、冷却材の流路が確保できなくなることから、フランジの周溶接（H1溶接線）は当該安全機能に影響する。

3.5.4 スカート (図 A-3.5.2)

スカートはシュラウドヘッドとの間に水シールを構成することにより、間接的に「炉心支持」と「流路確保」の機能を有する。

スカートは、炉心流路の形成にかかわる部材ではあるが、万が一損傷したとしても、隔壁そのものに影響を与えることはないため、「炉心支持」と「流路確保」の機能に影響を与えることはない。

以上のことから、スカートの損傷は、以下の安全機能に対する影響を与えないため、個別点検は行わず、一般点検により健全性の確認を行うものとする。

- ・「制御棒挿入性の確保」

スカートは制御棒の挿入性確保の機能を有しておらず、損傷しても、当該安全機能に影響を与えない。

- ・「炉心支持」

スカートは炉心支持の機能を有しておらず、損傷しても、当該安全機能に影響を与えない。

- ・「流路確保」

スカートの溶接線が損傷しても、隔壁そのものに影響を与えることはないことから、スカートの損傷は当該安全機能に影響を与えない。

3.5.5 ガイドロッドブラケット

ガイドロッドブラケットはシュラウドヘッド据付時にその位置決めを行うものであり、安全上の機能を有しない。

したがって、ガイドロッドブラケットが損傷しても安全上の機能に影響を与えない。

以上のことから、ガイドロッドブラケットの損傷は、以下の安全機能に対する影響を与えないため、個別点検は行わず、一般点検により健全性の確認を行うものとする。

- ・「制御棒挿入性の確保」

ガイドロッドブラケットは制御棒の挿入性確保の機能を有しておらず、損傷しても、当該安全機能に影響を与えない。

- ・「炉心支持」

ガイドロッドブラケットは炉心支持の機能を有しておらず、損傷しても、当該安全機能に影響を与えない。

- ・「流路確保」

ガイドロッドブラケットは流路確保の機能を有しておらず、損傷しても、当該安全機能に影響を与えない。

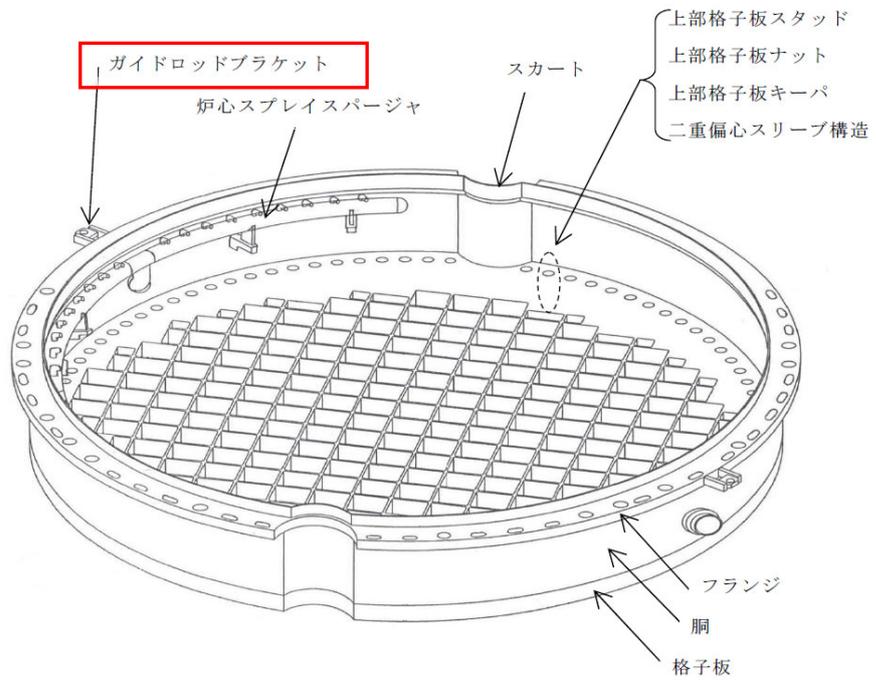


図 A-3.5.5 ABWR 上部格子板

3.5.6 上部格子板スタッド (図 A-3.5.6)

上部格子板スタッドは、上部格子板と炉心シュラウドを接続する部材であり、上部格子板の位置を確保することで間接的に「制御棒挿入性の確保」と「炉心支持」の機能を達成する。また、上部格子板と炉心シュラウドの密着性を確保することで間接的に「流路確保」の機能を達成する。

上部格子板スタッドは、照射量が低く、かつ溶接部が無いことから、損傷の可能性はない。

上部格子板ナットとの結合が緩んだ場合、地震などの荷重を受けることで上部格子板のずれや浮上りが生じ、安全上の機能が喪失する可能性があるが、上部格子板キーパが健全であれば、緩みが発生する可能性はない。

以上のことから、上部格子板スタッドは、以下の安全機能に対する影響を与えないため、個別点検は行わず、一般点検により健全性の確認を行うものとする。

・「制御棒挿入性の確保」「炉心支持」及び「流路確保」

上部格子板スタッドの照射量は少なく、溶接部もないことから、損傷の可能性はない。また、上部格子板キーパが健全であれば、締結の緩みの可能性もない。したがって上部格子板スタッドの安全機能に対する影響は、上部格子板キーパを点検することで確保できる。

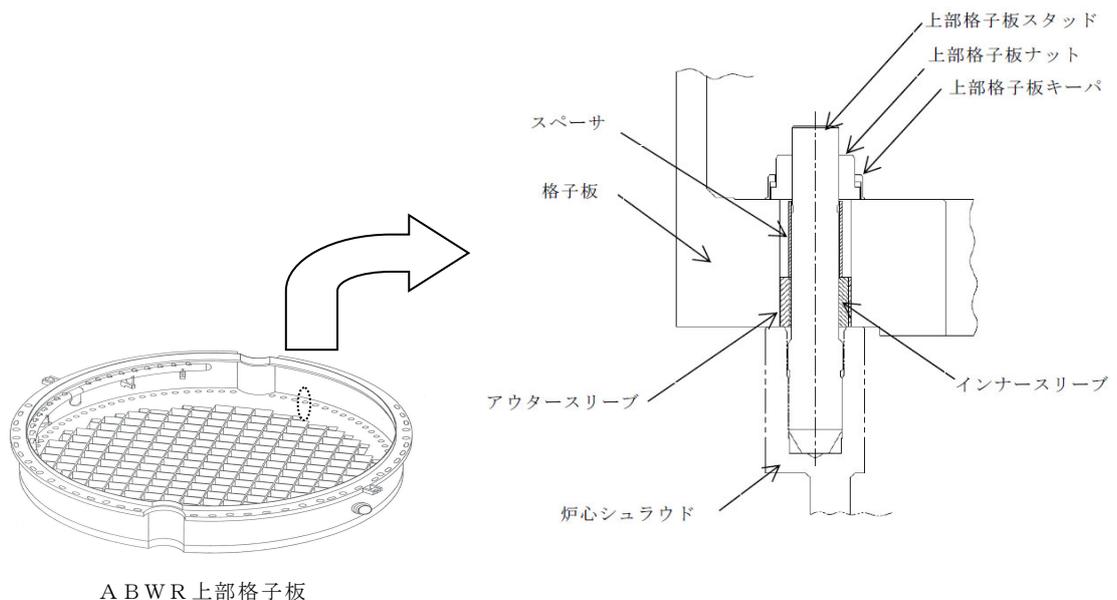


図 A-3.5.6 ABWR 上部格子板連結構造

3.5.7 上部格子板ナット (図 A-3.5.6)

上部格子板ナットは、上部格子板と炉心シュラウドを接続する部材であり、上部格子板の位置を確保することで間接的に「制御棒挿入性の確保」と「炉心支持」の機能を達成する。また、上部格子板と炉心シュラウドの密着性を確保することで間接的に「流路確保」の機能を達成する。

上部格子板ナットは、照射量が低く、かつ溶接部が無いことから、損傷の可能性はない。

上部格子板スタッドとの結合が緩んだ場合、地震などの荷重を受けることで上部格子板のずれや浮上りが生じ、安全上の機能が喪失する可能性があるが、上部格子板キーパが健全であれば、緩みが発生する可能性はない。

以上のことから、上部格子板ナットは、以下の安全機能に対する影響を与えないため、個別点検は行わず、一般点検により健全性の確認を行うものとする。

- ・「制御棒挿入性の確保」「炉心支持」及び「流路確保」

上部格子板ナットの照射量は少なく、溶接部もないことから、損傷の可能性はない。また、上部格子板キーパにより緩み止めされていることから、締結の緩みの可能性もない。したがって上部格子板ナットの安全機能に対する影響は、上部格子板キーパを点検することで確保できる。

3.5.8 上部格子板キーパ（図 A-3.5.6）

上部格子板キーパは、上部格子板と炉心シュラウドを接続する部材であり、上部格子板の位置を確保することで間接的に「制御棒挿入性の確保」と「炉心支持」の機能を達成する。また、上部格子板と炉心シュラウドの密着性を確保することで間接的に「流路確保」の機能を達成する。

上部格子板キーパは上部格子板ナットの外形に合わせた穴を持ち、格子板に回り止め溶接されることで、上部格子板スタッド・ナット締結の緩みを防止する。

上部格子板キーパの回り止め溶接が損傷した場合、上部格子板スタッド・ナット締結を保持するものが無くなるため、流体振動などにより上部格子板スタッド・ナット締結が緩む可能性が生じる。

上部格子板スタッド・ナット締結が緩むことは、地震時の横荷重による格子板の位置ずれを発生させ、「制御棒挿入性の確保」と「炉心支持」の機能喪失につながる可能性がある。

また、上部格子板スタッド・ナット締結が緩むことで、運転時の差圧が生じた際に浮上りに伴うリークパスが生じ、「流路確保」の機能が喪失する可能性がある。

以上のことから、上部格子板キーパの損傷に対して、以下の安全機能に対する影響を考慮する必要があるため、一般点検に加え、個別点検を実施するものとする。

- ・「制御棒挿入性の確保」「炉心支持」及び「流路確保」

上部格子板キーパの回り止め溶接が損傷することで、上部格子板スタッド・ナット締結が緩む可能性が生じる。上部格子板スタッド・ナット締結の緩みは、事故時等の過大な差圧による浮上りに伴うリークパスの発生や、地震時の横荷重による上部格子板の位置ずれを防止できなくするため、上部格子板キーパの回り止め溶接は当該安全機能に影響する。

3.5.9 二重偏心スリーブ機構

(インナースリーブ, アウタースリーブ, スペーサ) (図 A-3.5.6)

二重偏心スリーブ機構は、格子板の穴と上部格子板スタッドの隙間を埋めて、水平方向の荷重を伝達する機構であり、上部格子板の位置を確保することで間接的に「制御棒挿入性の確保」と「炉心支持」の機能を有する。

二重偏心スリーブ機構は、「制御棒挿入性の確保」「炉心支持」にかかわる部材ではあるが、万が一損傷したとしても、構造体が A B W R 上部格子板の穴から抜けることはなく、水平方向の荷重伝達は可能であり、「制御棒挿入性の確保」と「炉心支持」の機能が喪失することはない。

以上のことから、二重偏心スリーブ構造は、以下の安全機能に対する影響を与えないため、個別点検は行わず、一般点検により健全性の確認を行うものとする。

- ・「制御棒挿入性の確保」「炉心支持」

二重偏心スリーブ構造が損傷しても、構造体が A B W R 上部格子板の穴から抜けることはなく、水平方向の荷重伝達は可能であることから、二重偏心スリーブ構造の損傷は当該安全機能に影響を与えない。

- ・「流路確保」

二重偏心スリーブ構造は流路確保の機能を有しておらず、損傷しても、当該安全機能に影響を与えない。

3.5.10 炉心スプレイスパージャ (図 A-3.5.10)

A B W R 上部格子板には，緊急時の炉心冷却機能を有する，炉心スプレイスパージャが付属しているが，炉心スプレイスパージャに関しては，別途，点検評価ガイドラインが発行されており，A B W R 上部格子板の炉心スプレイスパージャの構成部品に対する点検方針は，炉心スプレイスパージャの点検評価ガイドラインに従って行うものとする。

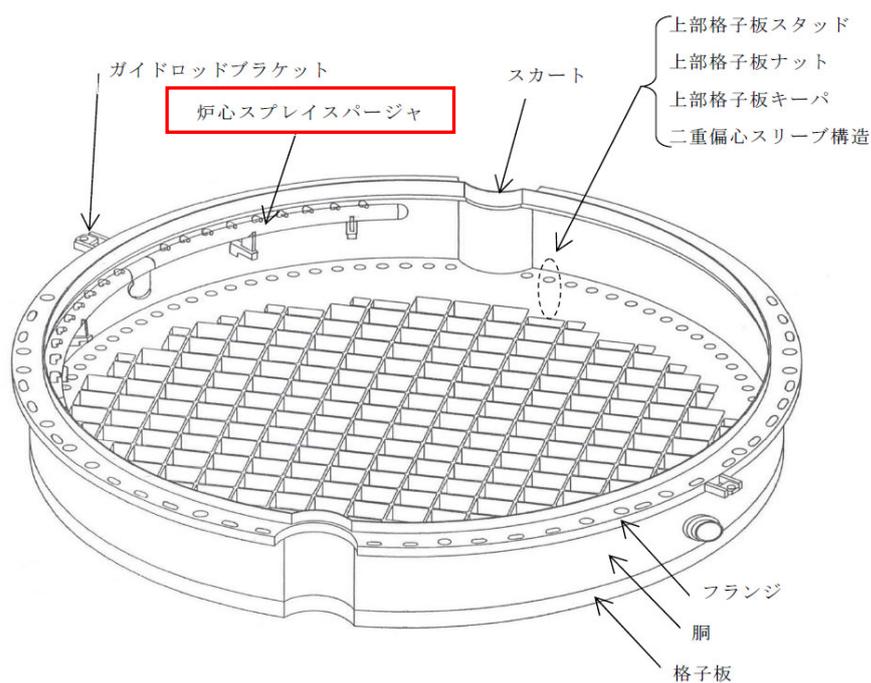


図 A-3.5.10 A B W R 上部格子板

3.6 点検対象の選定

A B W R 上部格子板を構成する各構造体の、損傷による安全機能に対する影響の評価結果を、表 A-3.6 に示す。

上記の評価結果から、個別点検対象には、その損傷が安全機能の喪失につながるフランジ・胴間の溶接（H 1 溶接線）、胴・格子板間の溶接（H 2 溶接線）及び上部格子板キーパを選定した。

損傷しても、その損傷がすぐに安全機能に影響しないその他の部位は、一般点検により点検を行うこととする。

3.7 点検手法の選定

点検対象である H 1，H 2 溶接線と上部格子板キーパにおいて、想定される経年劣化事象は、ステンレス鋼溶接部に対する SCC である。

H 1，H 2 溶接線はシュラウドに準じ、MVT-1 により、亀裂などが無いこと等を確認する。

上部格子板キーパは回り止め溶接部に SCC による損傷の可能性があるが、回り止め溶接が損傷したとしても、上部格子板スタッド・ナットの締結を緩めるような事象は少なく、回り止め溶接の損傷がすぐに上部格子板スタッド・ナットの締結の緩みにつながることはない。そのため上部格子板キーパについては、VT-3 により、回り止め溶接の破断など異常が無いことを確認するものとする。

3.8 点検範囲の選定

H 1，H 2 溶接線の点検範囲は、初回点検においては接近可能なすべての範囲とし、再点検においては、次回点検までの想定期間 N 年を考慮し、点検できない範囲に亀裂があること想定し、それが次回点検までの期間 N 年分進展したとして評価した次回点検時の残存断面積が、許容残存断面積以上となるように設定する。

上部格子板キーパの点検範囲は、A B W R 上部格子板の安全機能を維持するために必要な範囲とする。（付録 F，G）

3.9 点検時期の選定

A B W R 上部格子板のフランジ・胴間の溶接（H 1 溶接線）、胴・格子板間の溶接（H 2 溶接線）については、以下の根拠により、炉心シュラウドと同じ点検時期とし、初回点検はプラント供用開始時点からの実運転時間で 10 年を超え 40 年経過するまでとする。

- ・ A B W R 上部格子板の周溶接線は、B W R 炉心シュラウドの上部胴の周溶接線と同等な構造であること。
- ・ 炉心シュラウドの破壊評価上、考慮する荷重は、炉心シュラウドより上部の構造物、炉心支持板、上部格子板等から加わる荷重であり、それら荷重の影響が最も大きく表れるのは、炉心シュラウド基部にある H 7 溶接線であること。
- ・ A B W R 上部格子板の周溶接線は、炉心シュラウドの上部に据え付けられており、炉心シュラウドの基部にある H 7 溶接線の方が、破壊評価が厳しいこと。
- ・ 炉心シュラウド H 7 溶接線のシュラウド下部胴内面側において、深さ $50\mu\text{m}$ / 長さ $500\mu\text{m}$ の初期亀裂を想定して亀裂進展を評価した際、実運転時間 40 年程度であっても、亀裂深さは 27mm 程度であり、シュラウドの構造健全性に影響を及ぼすようなシュラウド下部胴厚さの 80%（約 51mm）に及ぶ深さに進展することはないこと。（図 A-3.6.1。詳細は炉心シュラウドの点検評価ガイドライン*参照）。
- ・ A B W R 上部格子板の材料は低炭素含有量のステンレス鋼であり、応力腐食割れの発生に対する裕度があること。
- ・ 実運転年数が少ない時期にあっては、亀裂が存在しないか、存在しても小さいため、発生した亀裂が MVT-1 試験で検出可能な大きさになる期間を考慮する必要があること。
- ・ 国内の運転経験で、B W R で同等の位置にある溶接線に、運転開始後 10 年以内に亀裂の検出事例はないこと。
- ・ 上記の通り、A B W R については、実運転時間 40 年であっても構造健全性が損なわれる可能性が低く、点検の必要性はないと考えられるが、運転係数の蓄積および経年劣化事象に対する知見の拡充を目的として、40 年で初回点検を実施するものとする。

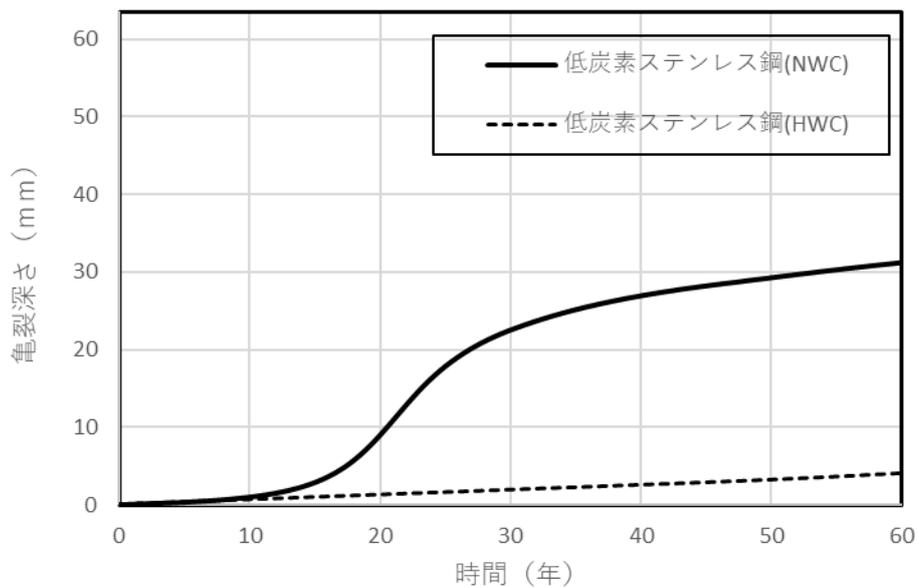


図 A-3.6.1 炉心シュラウド H7 亀裂長さと時間の関係 (ABWR) *

注記 * : BWR 炉内構造物点検評価ガイドライン [炉心シュラウド], JANSI-VIP-06 付録 A,

H 1, H 2 溶接線の再点検時期は, 実施済み点検範囲と健全範囲から算出される, 点検周期 N 年以内とする。初回点検で亀裂が検出されなかった場合も, 炉心シュラウドの点検時期と同じとし, 実運転年数が初回点検から 20 年を超えない時期に再点検を実施してもよいとした。

また, 上部格子板キーパの点検対象部位は, 上部格子板キーパの回り止め溶接であるが, BWR で同等の位置にあるレストレイント留め板の回り止め溶接に損傷事例がないことから, ABWR 上部格子板キーパについても損傷の可能性は低いと考えられる。したがって初回点検時期/再点検時期については, 炉心シュラウドに合わせるものとする。

4. 引用

国内外の運転経験は, 以下の情報に基づいた。

- (1) 「原子力情報施設公開ライブラリー (ニューシア) : 原子力安全推進協会」
- (2) U. S. NRC IASCC 関連情報

表 A-3.6 A B W R の上部格子板の損傷による安全機能への影響評価（1 / 2）

検討対象	機能	安全機能との関連	想定される劣化モード	損傷による安全機能への影響	個別点検要否*
① 格子板	・シュラウドヘッドの支持 ・燃料集合体の位置決め及び支持	有 (制/支/流)	IASCC (格子部分) SCC (外周部分)	・格子部分は、2箇所破断により破断部が炉心支持板に落下する可能性があるが、制御棒挿入性は保持されるため、安全な炉停止が可能。 ・格子板外周部分はBWRの炉心シュラウドの中間部リングに相当するため、格子板外周部分と胴の溶接部の点検は、シュラウドの考え方に準じる。	点検対象 (H2溶接線)
② 胴	・シュラウドヘッドの支持	有 (流)	SCC	・胴はBWR炉心シュラウドの上部胴に相当するため、溶接部の点検評価の考え方はシュラウドの考え方に準じる。	点検対象 (H1, H2溶接線)
③ フランジ	・シュラウドヘッドの支持 ・シュラウドヘッドとの連結	有 (流)	SCC	・フランジは炉心シュラウドの上部リングに相当するため、溶接部の点検評価の考え方はシュラウドの考え方に準じる。	点検対象 (H1溶接線)
④ スカート	・水シール形成による漏えい防止	有 (流)	SCC	・シュラウド内部の蒸気がシュラウド外に漏れないように水シールを形成するための部材であり、損傷しても上部格子板の安全機能には影響しない。	不要
⑤ ガイドロッドブラケット	・シュラウドヘッドとの位置調整	無	SCC	・上部格子板とシュラウドヘッドを連結するための部材であり、損傷しても上部格子板の安全機能には影響しない。	不要
⑥ 上部格子板スタッド	・炉心シュラウドとの締結	有 (制/支/流)	SCC	・上部格子板と炉心シュラウドを締結する部材であり、鉛直方向の締結と水平方向の支持を行う。 ・損傷により浮上りが生じ、冷却材流路が形成できなくなる可能性がある。 ・損傷により、水平方向の支持ができなくなり、燃料の支持位置がずれる可能性がある。	不要
⑦ 上部格子板ナット	・炉心シュラウドとの締結	有 (制/支/流)	SCC	・上部格子板と炉心シュラウドを締結する部材であり、鉛直方向の締結を行う。 ・損傷により浮上りが生じ、冷却材流路が形成できなくなる可能性がある。	不要
⑧ 上部格子板キーパ	・炉心シュラウドとの締結	有 (制/支/流)	SCC	・上部格子板ナットの緩み止めのため、上部格子板に溶接される部材である。本部品が損傷しなければ、上部格子板スタッド・ナットが緩むことはない。	点検対象

制：制御棒挿入性の確保

支：炉心支持

流：流路確保

*：個別点検を不要とする対象は、一般点検により健全性の確認を行う。

表 A-3.6 ABWR の上部格子板の損傷による安全機能への影響評価（2 / 2）

検討対象	機能	安全機能との関連	想定される劣化モード	損傷による安全機能への影響	個別点検要否*
⑨ 二重偏心スリーブ構造 ・上部格子板 インナースリーブ ・上部格子板 アウタースリーブ ・上部格子板 スペーサ	・炉心シュラウドとの位置調整 ・水平方向の荷重伝達	有 (制/支)	SCC	・上部格子板の穴と上部格子板スタッドの隙間を埋めることで、水平方向の支持を行う部材。 ・損傷しても隙間から抜けることはないため、炉心の支持機能に影響はない。	不要
⑩ 炉心スプレイ スパージャ ・ヘッド ・ティー ・アダプタ ・90° エルボ ・オリフィス ・ブラケット ・キャップ	・炉心スプレイ系配管・スパージャの点検評価ガイドライン（JANSI-VIP-25-第3版）によるため、本ガイドラインの対象外				

制：制御棒挿入性の確保
支：炉心支持
流：流路確保

*：個別点検を不要とする対象は、一般点検により健全性の確認を行う。

付録B 上部格子板の荷重伝達経路

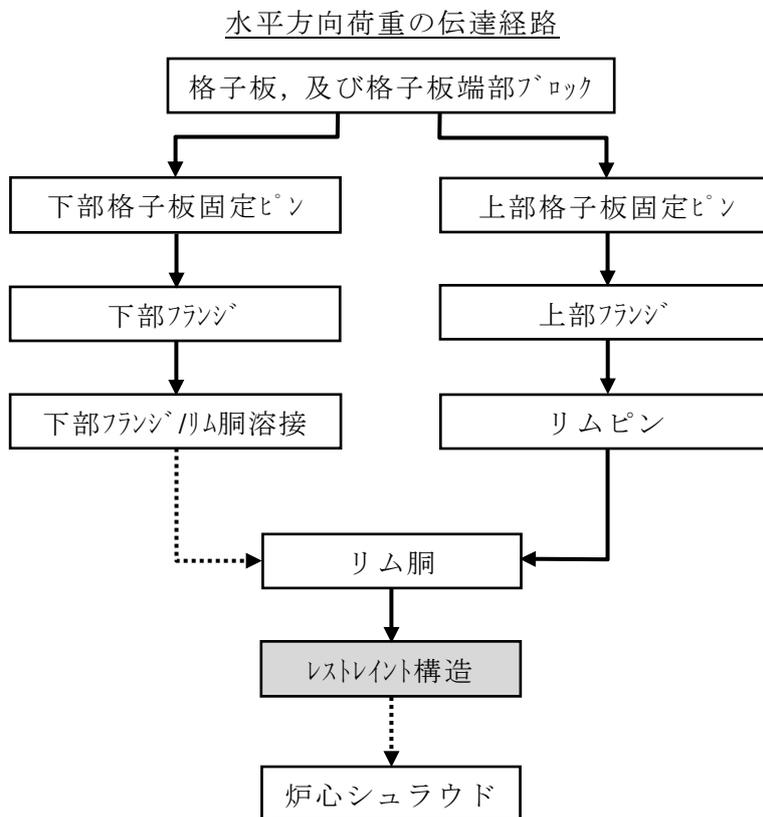
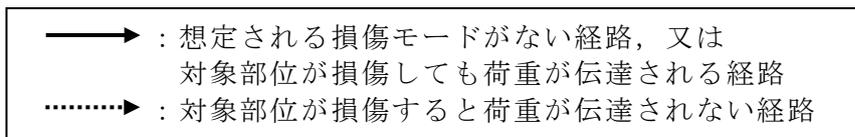


図 B-1A BWR 上部格子板の水平方向荷重の伝達経路

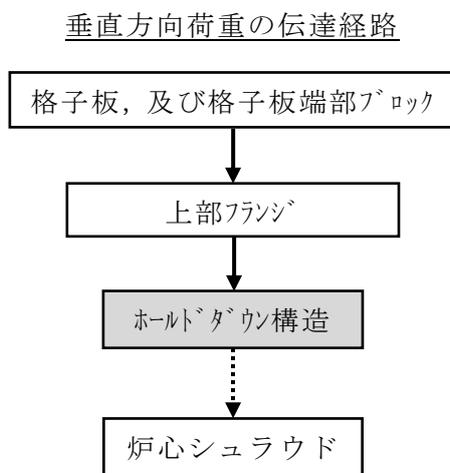
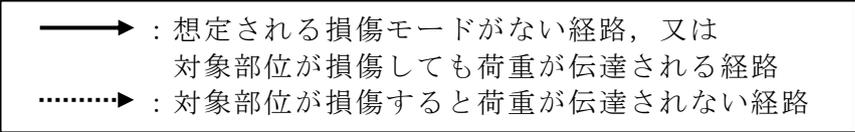


図 B-1B BWR 上部格子板の垂直方向荷重の伝達経路



水平方向荷重の伝達経路

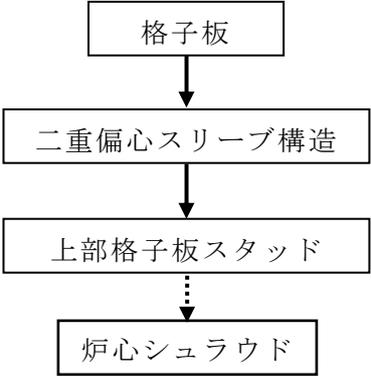


図 B-5A A B W R 上部格子板の水平方向荷重の伝達経路

垂直方向荷重の伝達経路

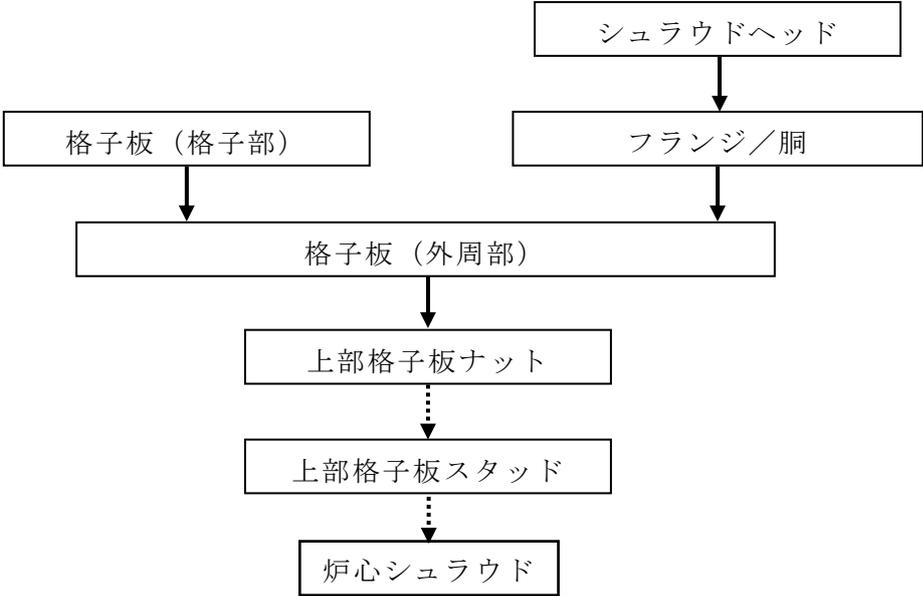


図 B-5B A B W R 上部格子板の垂直方向荷重の伝達経路

付録C IASCCの可能性について

1. はじめに

本付録は、BWR、ABWRそれぞれの上部格子板の照射誘起型応力腐食割れ（IASCC）の可能性を検討したものである。

2. IASCC発生のしきい照射量

図 C-1 は、中性子照射したオーステナイトステンレス鋼の溶体化処理材を対象に、BWR 加速環境中で SSRT 試験した結果である[1]。SCC 感受性を示す IGSCC 破面率は、SUS304 系の場合には中性子照射量が約 5×10^{24} n/m² 以下、SUS316 系の場合には約 1×10^{25} n/m² 以下では見られないが、それ以上では中性子照射量とともに上昇する。したがって、IASCC 感受性が発現するしきい照射量は、SUS304 系では約 5×10^{24} n/m²、SUS316 系では約 1×10^{25} n/m² と考えられる。

3. IASCCによる損傷の可能性について

3.1 BWR 上部格子板

二次元中性子輸送計算コード DORT (DOORS3.2a) を用いた BWR (1100 MWe クラス) の炉内中性子束分布計算によると、BWR 上部格子板の格子板位置における高速中性子束 (エネルギー > 1MeV) の 60 年累積照射量は約 2.9×10^{25} n/m² であり、IASCC 感受性が発現するしきい照射量に達するのは、SUS304 系では供用開始後約 12.9 年 (稼働率 80%)、SUS316 系では約 25.9 年 (稼働率 80%) と評価される。したがって、BWR 上部格子板の格子部分は IASCC による損傷を考慮する必要がある。

また、二次元中性子輸送計算コード DOT3.5 を用いた BWR (800 MWe クラス) の炉内中性子束分布計算によると、BWR 上部格子板のレストレイント構造及びホールドダウン構造の位置における高速中性子束は約 3×10^{15} n/m²・s であり、IASCC 感受性が発現するしきい照射量に達するのは、SUS304 系では供用開始後約 70 年 (稼働率 80%)、SUS316 系では約 140 年 (稼働率 80%) と評価される。したがって、BWR 上部格子板のレストレイント構造及びホールドダウン構造で IASCC 損傷が生じる可能性は非常に小さいと考えられる。

3.2 ABWR 上部格子板

ABWR の炉内中性子束分布計算によると、ABWR 上部格子板の格子板位置における高速中性子束 (エネルギー > 1MeV) の 32 年累積照射量は約 1.1×10^{25} n/m²・32EFPY であり、

IASCC 感受性が発現するしきい照射量に達するのは、約 36.4 年（稼働率 80%）と評価される。

したがって、BWR 上部格子板の格子部分は IASCC による損傷を考慮する必要がある。

また、ABWR 上部格子板の上部格子板キーパの位置における高速中性子束を考えると、上部格子板の位置する炉心炉心外周部は、炉心中央部に比べて中性子照射量が格段に低くなることから、IASCC 損傷が生じる可能性は非常に小さいと考えられる。

[参考文献]

- [1] M. Kodama, R. Katsura, J. Morisawa, S. Nishimura, S. Suzuki, K. Asano, K. Fukuya and K. Nakata: Proc. 6th International Symposium on Environmental Degradation of Materials in Nuclear Power Systems - Water Reactors, (1993) 583.
- [2] Assessment and management of aging of major nuclear power plant components important to safety: BWR pressure vessel internals, IAEA-TECDOC-1471, International Atomic Energy Agency, October 2005.

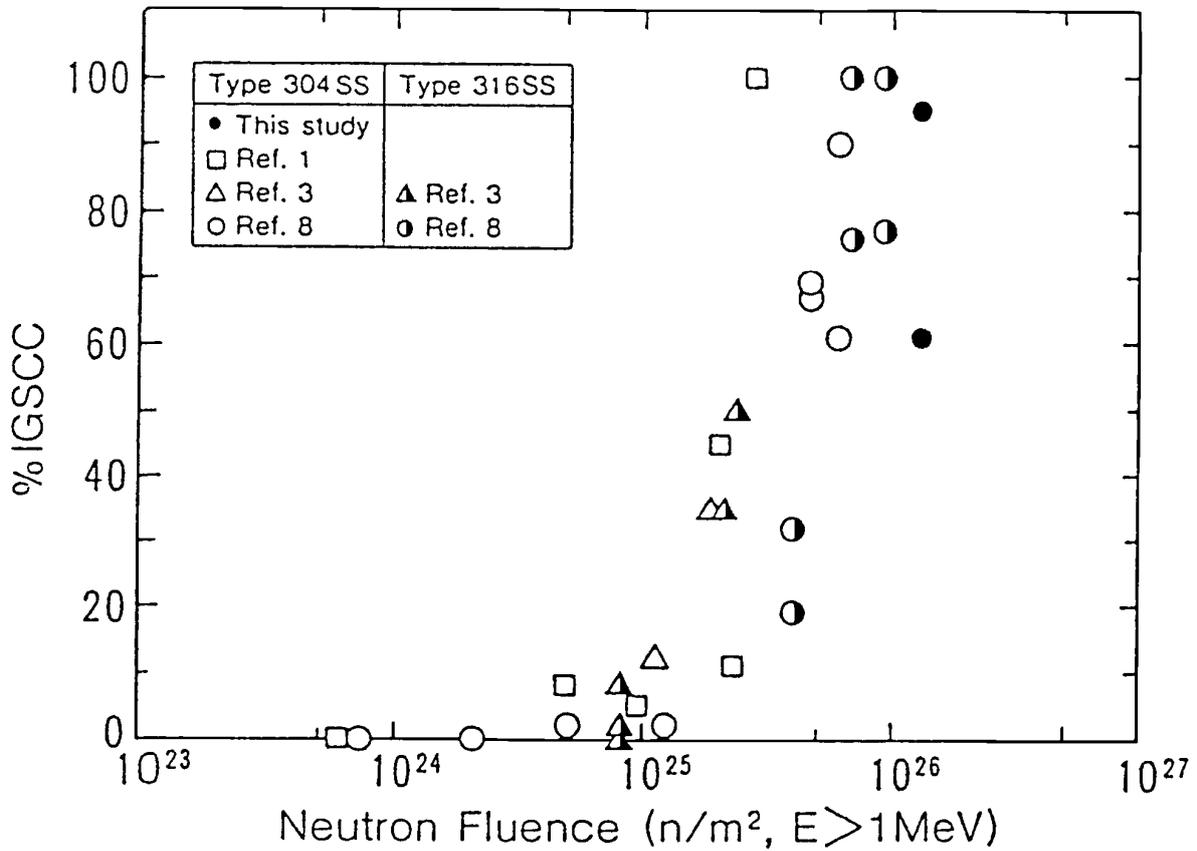


図 C-1 中性子照射したオーステナイトステンレス鋼の IGSCC 破面率と照射量の関係

[図 C-1 で引用されている参考文献]

Ref. 1 : W. L. Clarke and A. J. Jacobs: Proc. 1st International Symposium on Environmental Degradation of Materials in Nuclear Power Systems - Water Reactors, (1983) 451.
 Ref. 3 : A. J. Jacobs, G. P. Wozadlo, K. Nakata, T. Yoshida and I. Masaoka: Proc. 3rd International Symposium on Environmental Degradation of Materials in Nuclear Power Systems - Water Reactors, (1987) 657.
 Ref. 8 : M. Kodama, S. Nishimura, J. Morisawa, S. Suzuki, S. Shima and M. Yamamoto : Proc. 5th International Symposium on Environmental Degradation of Materials in Nuclear Power Systems - Water Reactors, (1991) 948.

付録D レストレイント構造の点検必要範囲の検討

1. はじめに

本付録は、地震時における制御棒挿入性の保持に必要なレストレイント構造の個数を求め、レストレイント構造の点検必要範囲を評価した例を示すものである。

2. 点検必要範囲の検討手法

地震時の上部格子板の変位を、点検範囲外とするレストレイント構造の機能は喪失したとして導出し、制御棒挿入性が保障される上部格子板の変位と比較することにより、レストレイント構造の点検必要範囲を評価する。図 D-1 に評価フローを示す。

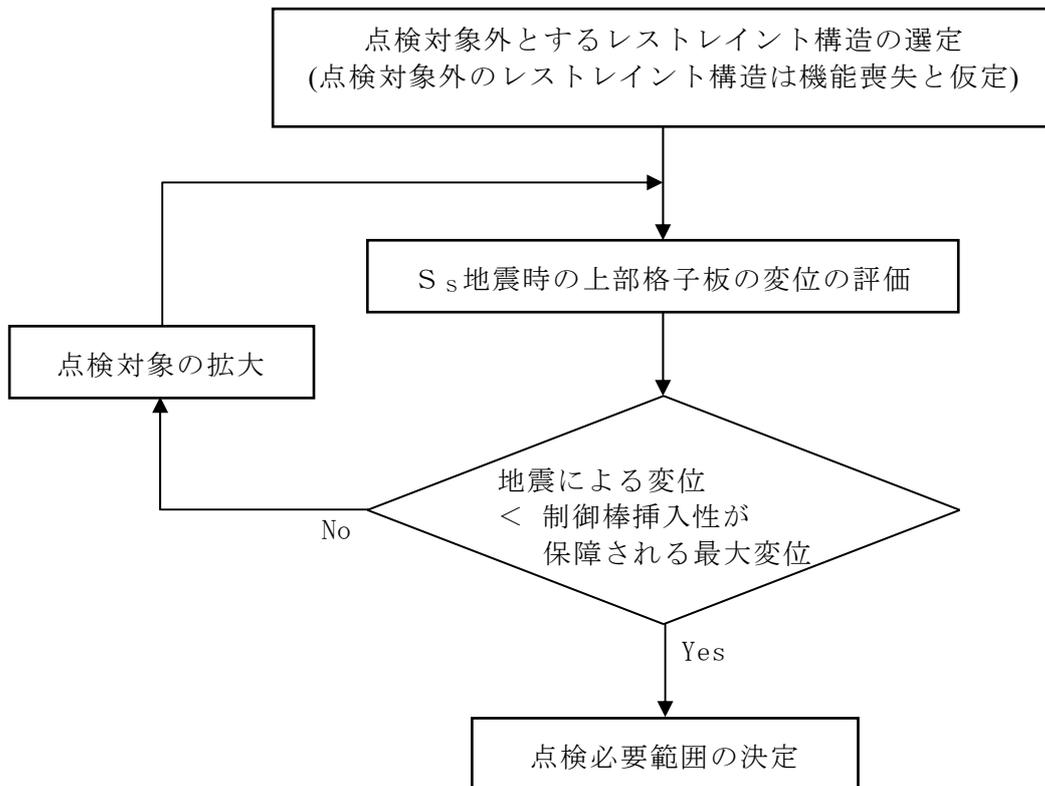


図 D-1 点検必要範囲の評価フロー

3. 点検必要範囲の評価例

3.1 制御棒挿入性の評価基準

地震時の制御棒挿入性確認のため、図 D-2 に示すような変位を上部格子板及び炉心支持板に与えた状態で、燃料集合体を振幅 40mm まで加振させた制御棒の挿入性解析を行っている。その結果、表 D-1 に示す変位を与えても、図 D-3 に示すように、通常運転時のスクラム仕様値である 3.5 秒を十分満足することを確認している。

炉心支持板と上部格子板の相対変位は、図 D-2 に示す B であり、制御棒挿入性が保障される相対変位は、表 D-1 より 9.6mm である。

上部格子板の変位の許容値は、保守的な評価とするため、地震により上部格子板と炉心支持板が反対方向へ変位した場合を想定し、上部格子板と炉心支持板の相対変位 (B) から炉心支持板の変位を差し引いた値とする。炉心支持板は、炉心支持板のボルトとボルト穴のギャップ分だけ横ずれすることが可能である。ボルトとボルト穴との最大ギャップはランダムな方向に分布すると考えられるため、炉心支持板の変位は、ボルト穴の中央にボルトがあると仮定した場合のギャップ 3.3mm とした。したがって、上部格子板の変位の許容値は、6.3mm (=9.6mm-3.3mm) になる。

表 D-1 解析のケース

ケース	1	2	3
A (mm)	3.6	7.1	10.9
B (mm)	+2.4	+5.8	+9.6

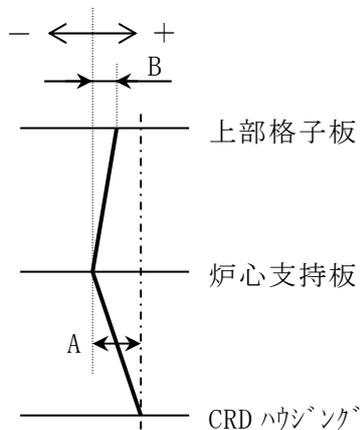


図 D-2 評価体系

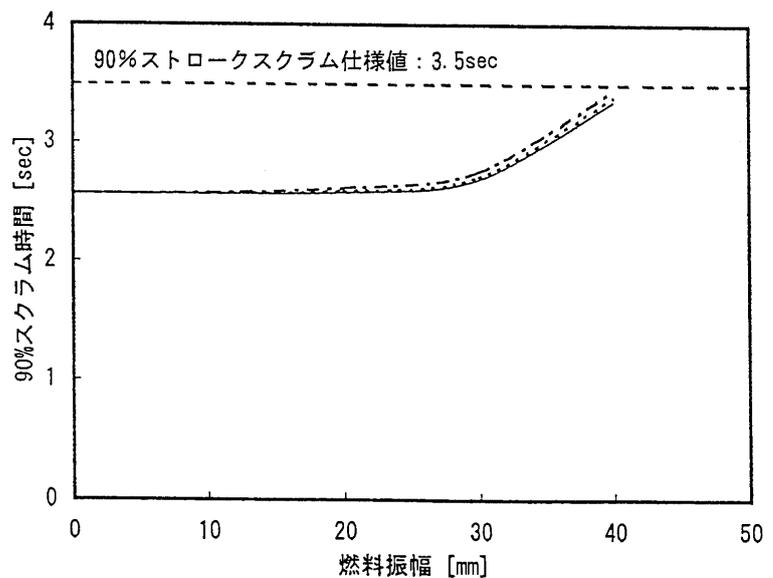


図 D-3 解析結果

3.2 点検必要範囲の検討

上部格子板の変位は，レストレイント構造の点検必要範囲（合計 3 ケース）を予め想定し，点検範囲外としたレストレイント構造の機能は喪失したと仮定して，地震時に予測される値を評価した。想定した点検必要範囲を図 D-4 に示す。

求めた上部格子板の変位は，制御棒挿入性が保障される変位の許容値と比較する。これにより想定した点検必要範囲の妥当性を評価する。また，本評価では 1100MWe 級プラントを対象としているが，同クラスのプラントに設置されている低圧炉心注水（LPCI）系の配置と合わせ点検必要範囲を決定する。なお，上部格子板の変位は， S_2 地震を想定した弾性解析結果をもとに， S_S 地震時の変位を比例倍により求める。 S_2 地震を想定した弾性解析の詳細は付録 E に記載した。

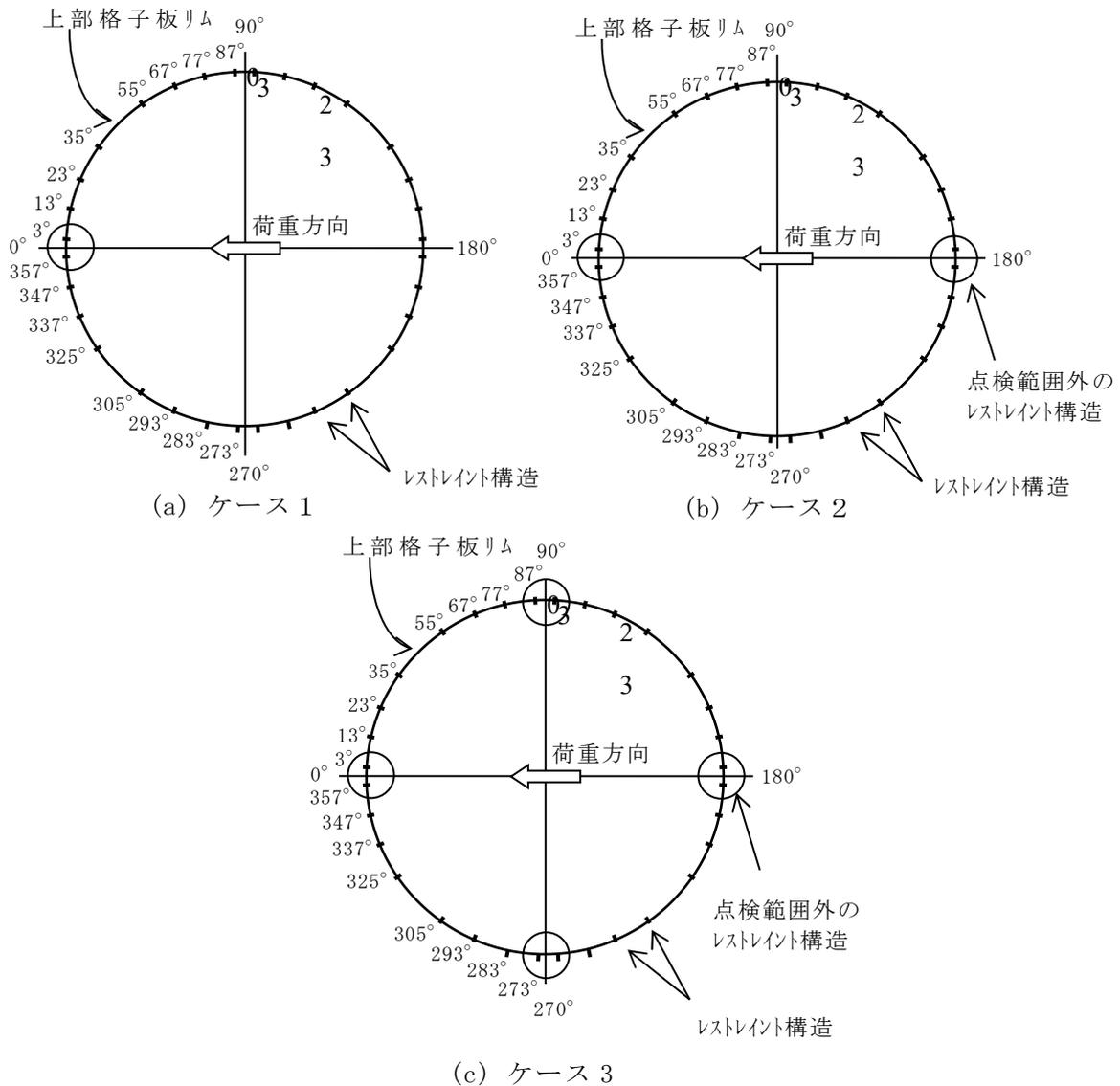


図 D-4 上部格子板の変位を検討したレストレイント構造の配置(○で囲んだ部分が点検範囲外)

(a) 2 個が点検範囲外，(b) 4 個が点検範囲外，(c) 8 個が点検範囲外

図 D-5 に上部格子板の変位を評価した結果を纏めた。

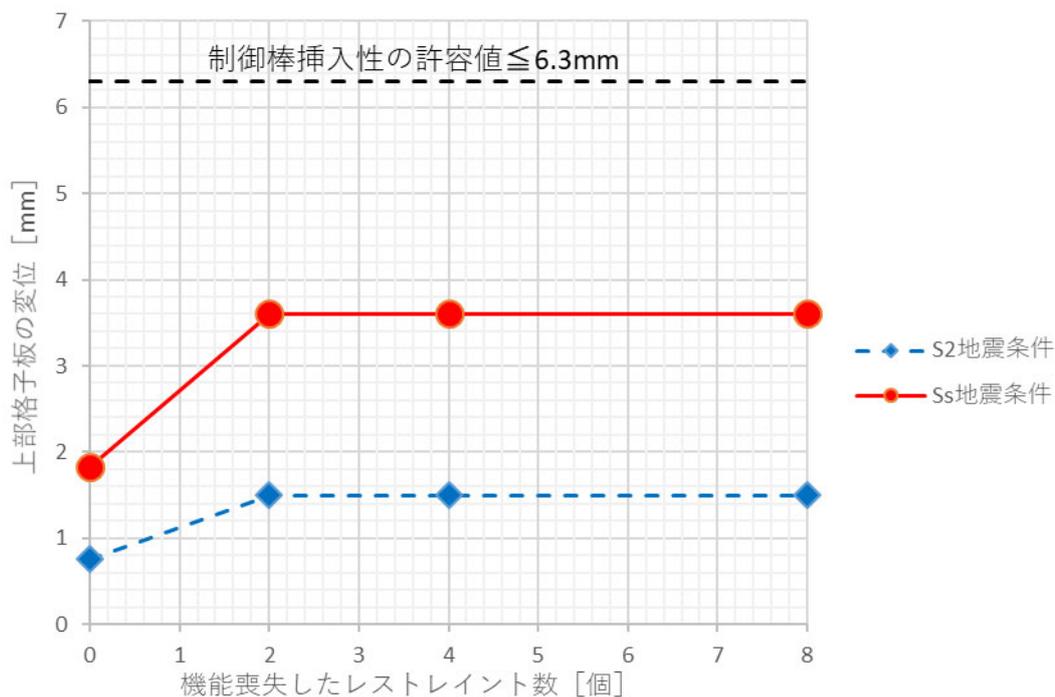


図 D-5 S_s地震における上部格子板の変位と機能を喪失したレストレイント数の関係
(1100MWe プラント)

表 D-6 S_s地震における上部格子板の変位と機能を喪失したレストレイント数の関係

S ₂ 評価				地震荷重		S _s 換算	
ケース		変位 [mm]	歪み換算	S ₂ 荷重 [kN]	S _s 荷重 [kN]	変位 [mm]	歪み換算
0	健全	0.76	1.50E-04	10	24	1.824	3.60E-04
1	2個機能喪失	1.5	2.90E-04	10	24	3.6	6.96E-04
2	4個機能喪失	1.5	2.90E-04	10	24	3.6	6.96E-04
3	8個機能喪失	1.5	2.90E-04	10	24	3.6	6.96E-04

ケース 1 では、点検範囲外とした 2 個のレストレイント構造が機能を喪失しても、上部格子板の変位は最大で 3.6mm であるため、制御棒挿入性の許容値 6.3mm を超えないことから、制御棒挿入性に影響しない。また、S s 地震における歪みの値は、 6.96×10^{-4} であり、運転温度における SUS304 及び SUS316L の降伏歪み（それぞれ、 1.1×10^{-3} 、 9.5×10^{-4} ）より小さいことから、強度上の問題もない。

ケース 2 の 180° 離れた 2 対（4 個）のレストレイント構造を点検範囲外とした場合も、ケース 3 の 90° ずつ離れた 4 対（8 個）のレストレイント構造を点検範囲外とした場合も、上部格子板の変位と歪みの値は 2 個のレストレイント構造が機能を喪失した場合と同等であるため、制御棒挿入性も強度上も問題ない。

以上の検討から、8 個のレストレイント構造を点検範囲外とすることができる。同様の評価を繰り返すことにより、点検範囲外とできるレストレイント構造を増加できる可能性がある。なお、点検範囲外としたレストレイント構造の個数を、2 個から 4 個及び 8 個と不連続に増加させたのは以下の理由による。本評価では、点検範囲外としたレストレイント構造、すなわち機能が喪失したと想定したレストレイント構造の配置に対し、リム胴の変形が最も大きくなる方向に荷重を設定した。その場合、レストレイント構造の配置の対象性から、ある荷重の方向に対し、リム胴の変形が等しくなる等価な位置にある複数のレストレイント構造が存在し、それらも同時に点検範囲外とすることができるためである。

評価対象とした 1100MWe 級プラントには低圧炉心注水（LPCI）系が設置されている。このようなプラントでは、レストレイント構造の下部に LPCI フローバッフルが設置されているため、ここに設置されたレストレイント構造は落下する可能性がない。図 D-6 は 1100MWe プラントにおける LPCI フローバッフルの設置位置（網掛け部）を示すが、網掛け部に設置されたレストレイント構造は、機能を喪失する可能性がないため点検範囲外とすることができる。したがって、今までの検討範囲では、LPCI フローバッフル上にない 10 個のレストレイント構造のうち、両端の 2 個ずつ（ 3° 、 357° の 2 個、及び 267° 、 273° の 2 個）を点検範囲外とできるため、全 32 中、6 個を点検必要範囲とすればよい。

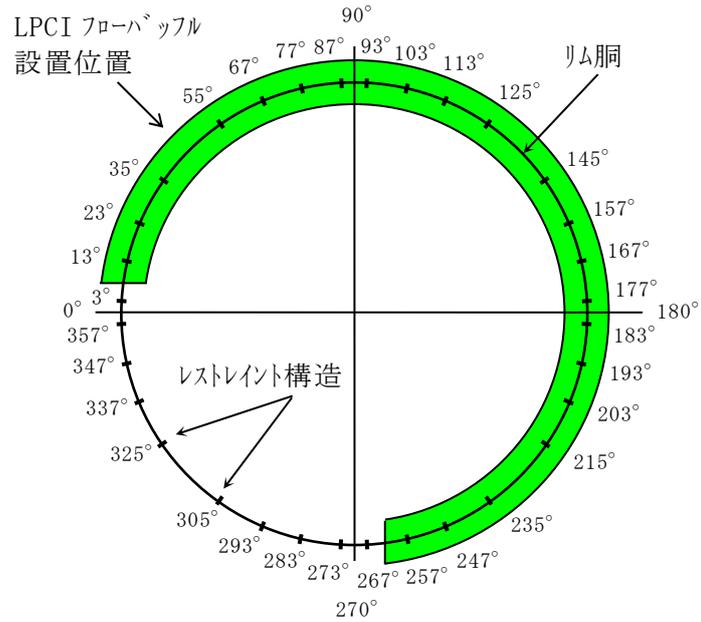


図 D-6 1100 MWe プラント上部格子板のフローバップル設置位置
(網掛け部したレストレイント構造の下部に設置)

4. まとめ

レストレイント構造の点検必要範囲の評価方法を示した。1100MWe プラントを対象とした評価例では、全 32 個のレストレイント構造のうち、LPCI フローバップルの直上でない 6 個が点検必要範囲に該当する。

5. 特記事項

本例は、点検必要範囲を特定するための評価例として記載したが、点検により、本例で仮定した位置以外のレストレイント構造が損傷した場合においても、本評価と同様な手法により、機能維持可能か否かについて評価することができる。

付録E 上部格子板の変位に関する検討

1. はじめに

本付録は、レストレイント構造が損傷した場合を想定し、地震時における上部格子板の変位を評価した結果をまとめたものである。

2. 解析内容

2.1 検討対象プラント

BWR 5 の 1100 MWe 級プラントを検討対象とする。

2.2 レストレイント構造の配置

図 E-1 は、1100 MWe 級プラントに設置されたレストレイント構造（全 32 個）の配置を示す。レストレイント構造は、図中の 0° - 180° 及び 90° - 270° を軸として対称に配置されている。

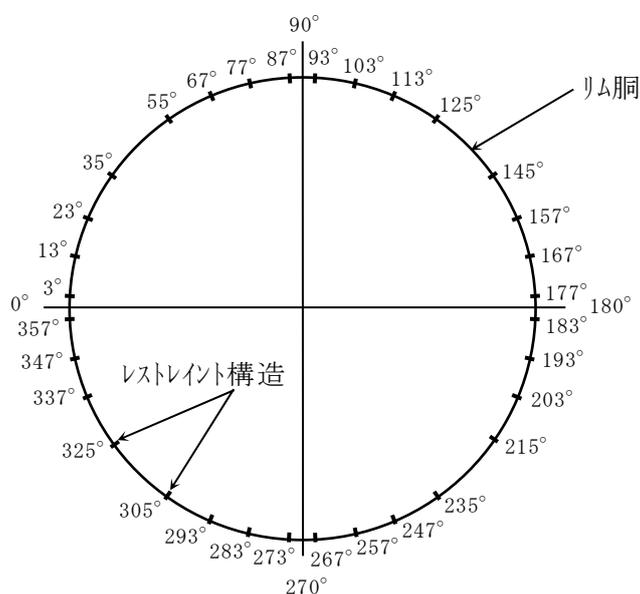


図 E-1 レストレイント構造の配置（全 32 個） レストレイント構造は 0° - 180° 及び 90° - 270° を軸として対称に配置（対象プラント：1100MWe 級）

2.3 解析方法

上部格子板に作用する最大の水平方向荷重は地震に起因することから、 S_2 地震を想定し、それによる上部格子板の変形量評価に基づき、その変位を評価する。

上部格子板の変形量は有限要素法によりを評価した。図 E-2 が解析モデルで（BWR 5 /1100 MWe 級の上部格子板）、平板を垂直に組んだ格子板、格子板を固定するためのリム胴、及びレストレイント構造より構成される。

レストレイント構造は、図 E-1 に示すように、 $0^\circ - 180^\circ$ 及び $90^\circ - 270^\circ$ を軸にして対称に配置されていることから、解析では、簡単のため、上部格子板の半分（ $0^\circ - 180^\circ$ の範囲）を対象とした。格子板の交差部分は、板幅の 1/2 の深さまで切り込みがあり、その位置で板同士が組み合わされているため、モデルでは、格子板の板幅を 1/2 とし、板同士が直交する部分を剛体接合とすることにより、その構造を模擬した。レストレイント構造は圧縮荷重のみ支持するとした。

2.4 解析条件

S_2 地震を想定し、それによる燃料集合体の変形により、格子板で区切られた各セルに燃料集合体 4 体分の水平荷重 10kN が作用するものとし、また、荷重が伝達されるシュラウドは剛体として、上部格子板の変形量を弾性解析した。

なお、レストレイント構造の設置間隔が狭い位置に設置されたレストレイント構造ほど、その機能が喪失したことによる、上部格子板の変位に対する影響が小さくなることから、本評価では、 0° 、 90° 、 180° 及び 270° 位置近傍に設置されたレストレイント構造（図 E-1）を、点検対象外とした場合について評価する。

上部格子板の変形量は荷重方向に依存する。そのため、本評価では、まず 0° 位置近傍に設置されたレストレイント構造（ $\pm 3^\circ$ ）の機能が喪失した場合を想定し、その場合に、変形量が最大になると考えられる荷重方向として、 0° 方向に作用するとして評価した。その後、順次、 180° 、 90° 又は 270° 位置のレストレイント構造の機能が喪失したとして評価し、点検必要範囲の検討に反映する。

また参考のために、格子板に対して 45° の方向に荷重が作用する場合（図 E-1 の 45° 方向）も解析し、 0° 方向に荷重を作用させた場合の変形量と比較することにより、検討対象とした荷重方向が（ 0° 方向）、レストレイント構造の機能喪失を想定する 0° 位置に対し、最も厳しい荷重方向であることを確認する。

2.5 物性値

解析で用いたステンレス鋼の物性値を表 E-1 に纏める。

表 E-1 解析で用いた物性値

縦弾性係数	176 kN/mm ² ¹⁾
ポアソン比	0.3

¹⁾ 出典：告示 501 号

3. 解析結果

3.1 全レストレイント構造が健全な場合

全レストレイント構造が健全な上部格子板の弾性解析結果を、図 E-3 に示す。荷重を 0° 方向に負荷すると、0° 位置での変形量が-0.17mm、180° 位置での変形量が-0.76mm であった。つまり、荷重方向である 0° 位置では、レストレイント構造によりリム胴の変形は抑制されるが、その反対側の 180° 位置では、格子板の変形の蓄積により、荷重方向に対する変形量が 0° 方向よりも大きくなることがわかる。

上部格子板の変形量としては、その値が大きくなる 180° 位置での変形を代表値とし、0.76mm とする。この変形量 (=0.76mm) と上部格子板リム胴の外径の比を上部格子板の弾性歪み (ε) とすれば $\varepsilon = 1.5 \times 10^{-4}$ である。一方、運転温度での SUS304 及び SUS316L の降伏歪み (ε_y) は、それぞれ 1.1×10^{-3} 、 9.5×10^{-4} であることから、上部格子板の変形は弾性変形内である。

参考のために実施した、荷重が-45° 方向に作用した場合の変形量は、図 E-4 に示すように、荷重方向である-45° 位置では-0.21mm、その反対である 135° 位置では-0.67mm であった。また、0° 位置では-0.12mm、90° 位置では-0.52mm であり、いずれも 0° 方向に荷重を負荷した場合の変形量 (-0.76mm) に比べて小さくなることを確認した。

3.2 2 個のレストレイント構造が機能を喪失した場合

本評価では、180° モデルによる解析のため、機能喪失を想定した 1 個のレストレイント構造に加え、それと 0° -180° 軸に対して対称な位置にあるレストレイント構造も機能喪失した場合を想定する。

図 E-5(a)に示すように、0° の±3° 位置に設置された 2 個のレストレイント構造の機能が喪失した場合を想定し、荷重は、2 個のレストレイント構造の中央位置である 0° 方向に作用するとした。

解析結果を図 E-6 に示す。この場合のリム胴外周部の変形量は、0° 方向も 180° 方向

もほぼ等しい値となった。この場合の上部格子板の変形量を約 1.5mm とし、変形量を弾性歪みに置き換えると $\varepsilon = 2.9 \times 10^{-4}$ であり、運転温度における SUS304 及び SUS316L の降伏歪みより小さい。したがって、上部格子板の変形は弾性変形内であり、強度上の問題は無い。

3.3 4 個のレストレイント構造が機能を喪失した場合

図 E-5(b)に示すように、 0° の $\pm 3^\circ$ 位置のレストレイント構造に加え、 180° 対称位置 (177° , 183°) の 2 個のレストレイント構造の機能が喪失したと想定し、 0° 方向に荷重が作用したとする。 180° 対称位置のレストレイント構造は、 0° 方向の荷重に対しては作用しないため、リム胴外周部の変形量は、レストレイント構造 2 個の機能喪失と同じ約 1.5mm になる。

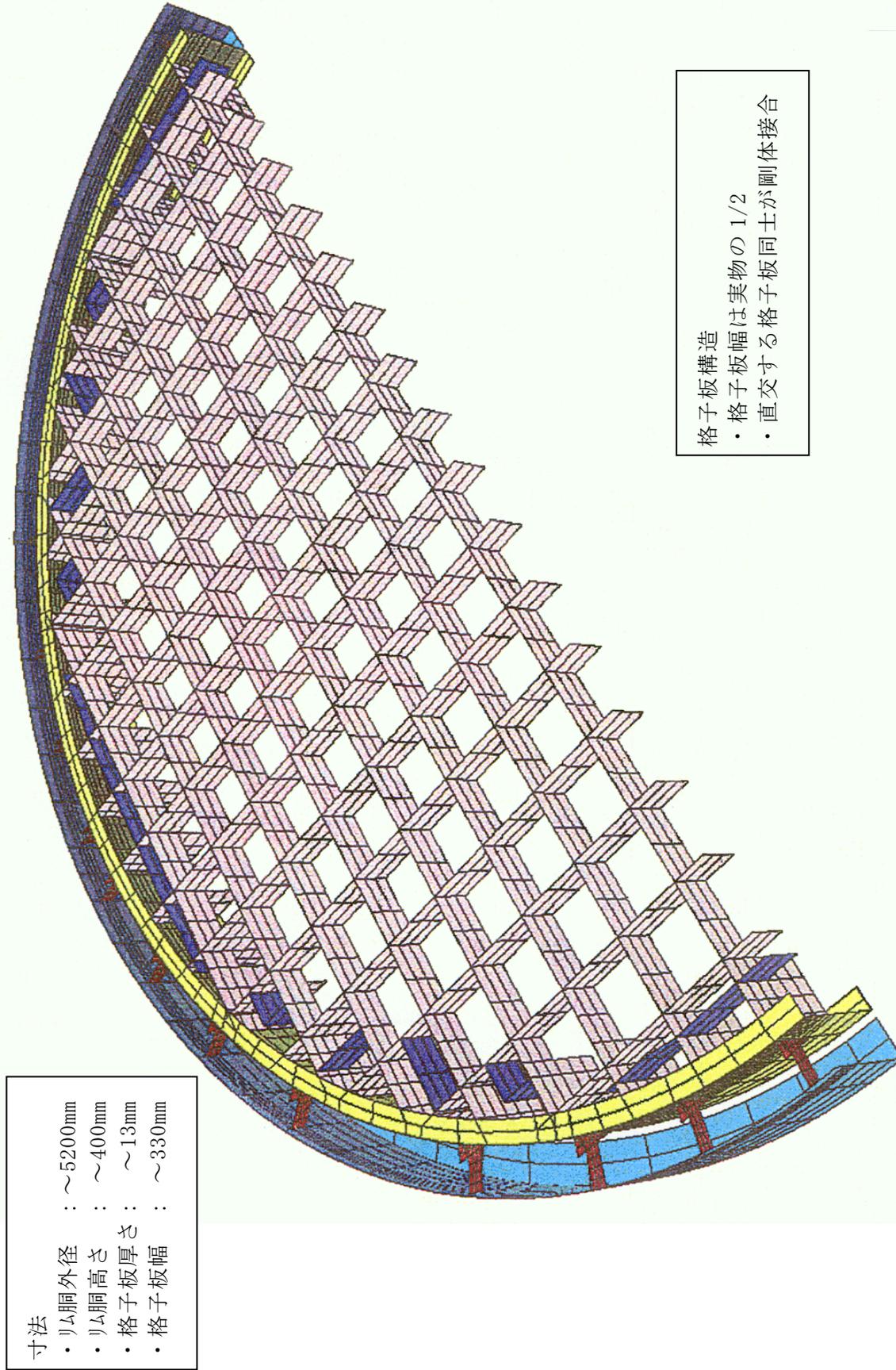
3.4 8 個のレストレイント構造を点検対象外とした場合

図 E-5(c)に示すように、 0° 及び 180° 対称位置のレストレイント構造に加え、これらの中間位置である 90° 対称位置 (87° , 93°) 及び 270° 対称位置 (267° , 273°) のレストレイント構造を加えた合計 8 個を点検対象外とした場合を検討した。荷重の方向は同様に 0° 方向である。

解析結果を図 E-7 に示す。この場合のリム胴外周部の変形量は約 1.5mm で、変形量を弾性歪みに置き換えると $\varepsilon = 2.9 \times 10^{-4}$ であり、運転温度における SUS304 及び SUS316L の降伏歪みより小さい。したがって、上部格子板の変形は弾性変形内であり、強度上の問題は無い。

4. まとめ

S_2 地震を想定した場合の上部格子板の変位は、4 個のレストレイント構造の機能が喪失した場合には約 1.5 mm、8 個の場合も約 1.5mm であり、弾性変形範囲内である。



寸法

- リム外径 : ~5200mm
- リム高さ : ~400mm
- 格子板厚さ : ~13mm
- 格子板幅 : ~330mm

格子板構造

- 格子板幅は実物の 1/2
- 直交する格子板同士が剛体接合

図 E-2 上部格子板モデル

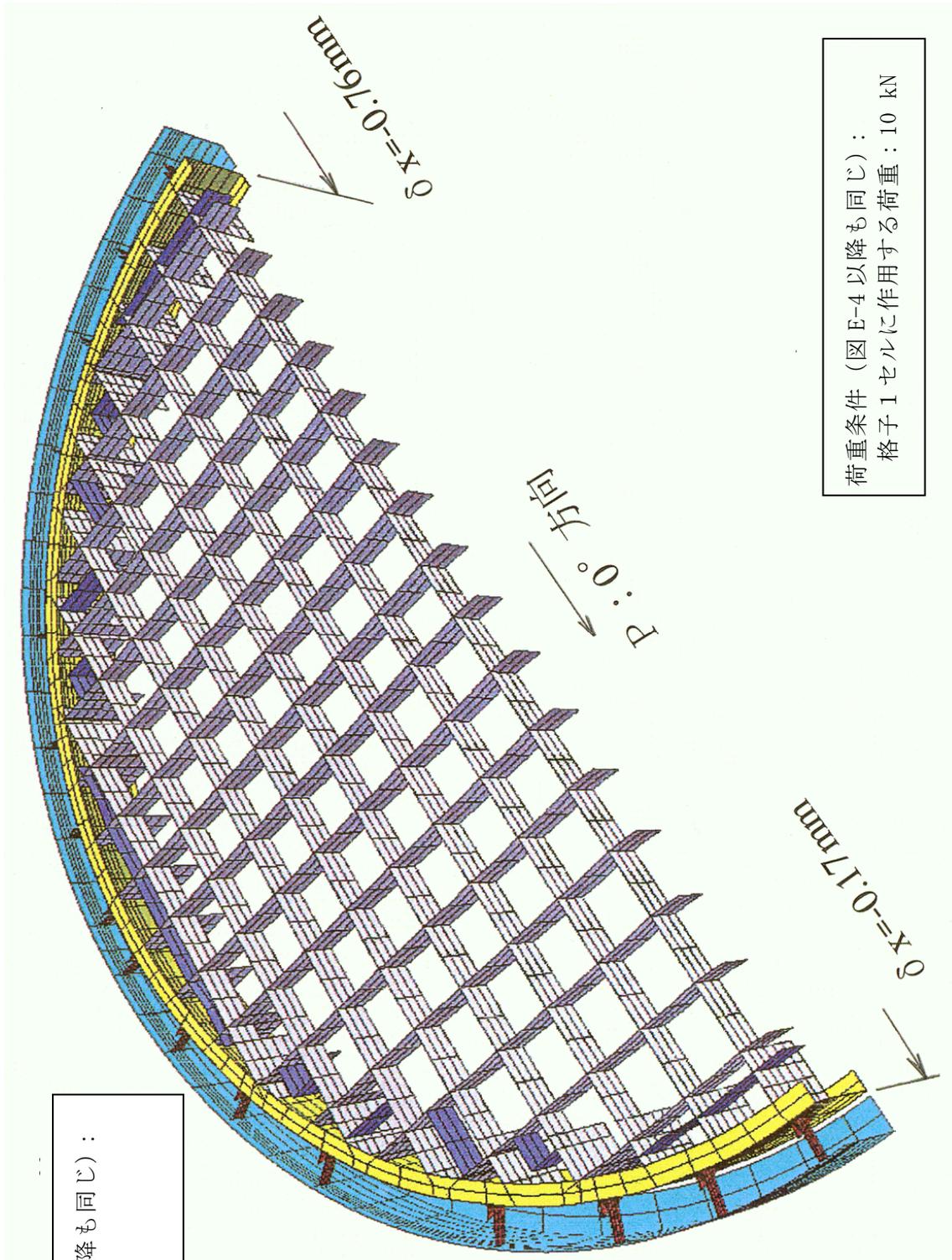


図 E-3 全レストレイント構造が健全な場合 I (S₂地震時の上部格子板の変形)

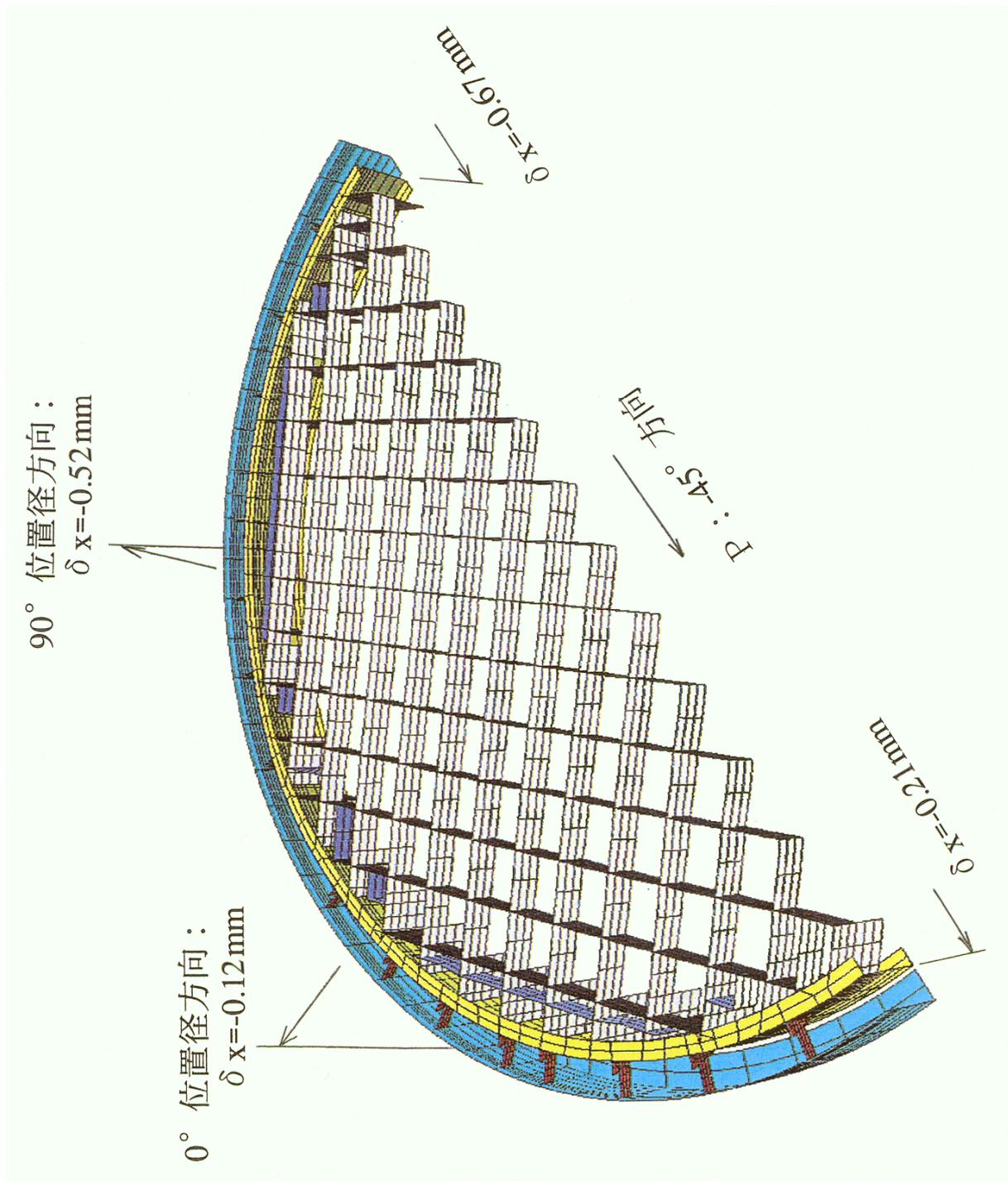
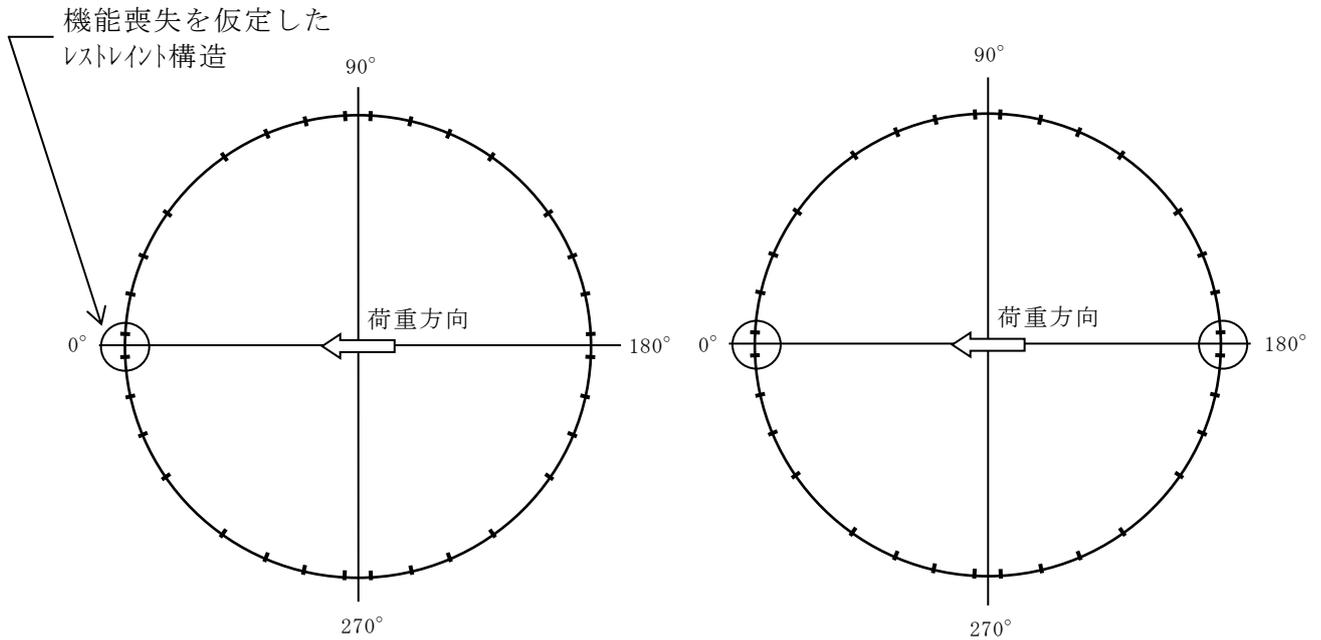
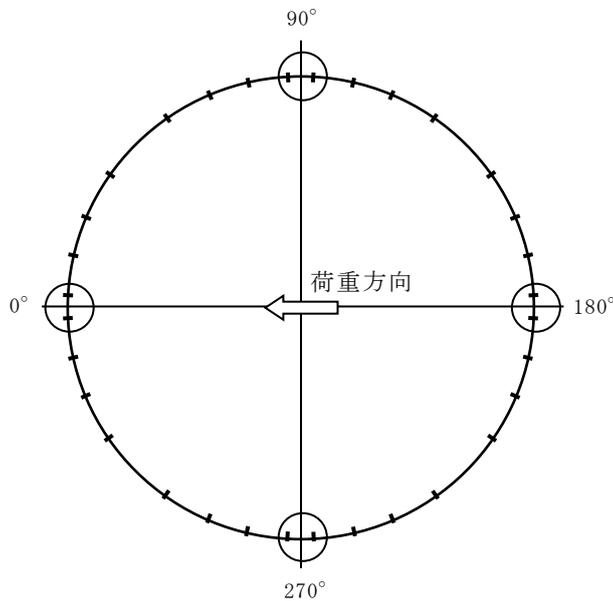


図 E-4 全レストレイント構造が健全な場合 II (S₂地震時の上部格子板の変形)



(a) 2 個のレストレイント構造の機能喪失を想定した
レストレイント構造の配置及び荷重の方向
(○で囲んだレストレイント構造が機能喪失)

(b) 4 個のレストレイント構造の機能喪失を想定した
レストレイント構造の配置及び荷重の方向
(○で囲んだレストレイント構造が機能喪失)



(c) 8 個のレストレイント構造の機能喪失を想定した
レストレイント構造の配置及び荷重の方向
(○で囲んだレストレイント構造が機能喪失)

図 E-5 上部格子板の変位を検討するレストレイント構造の配置

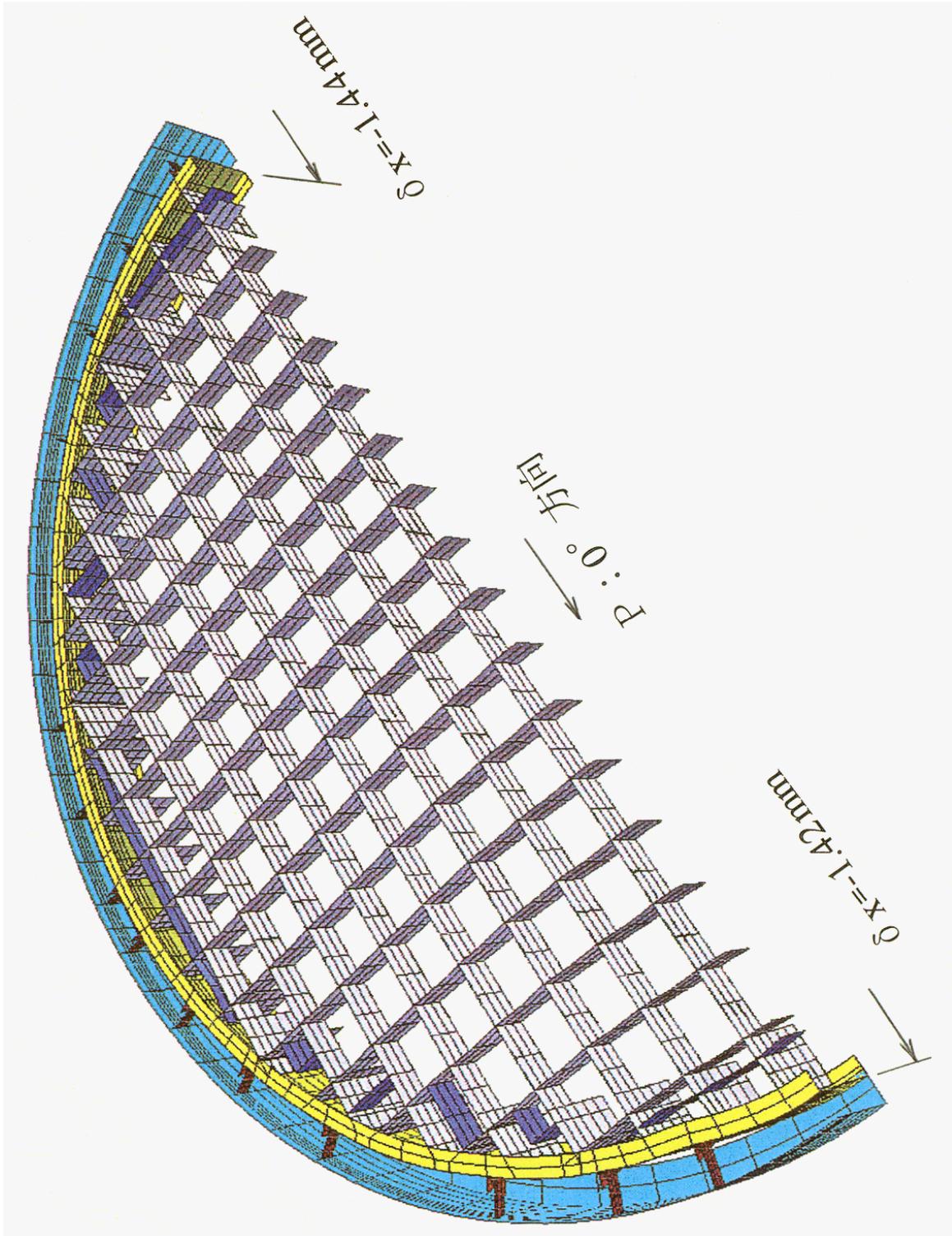


図 E-6 2 体のレストレイント構造が機能喪失した場合 (S₂地震時の上部格子子板の変形)

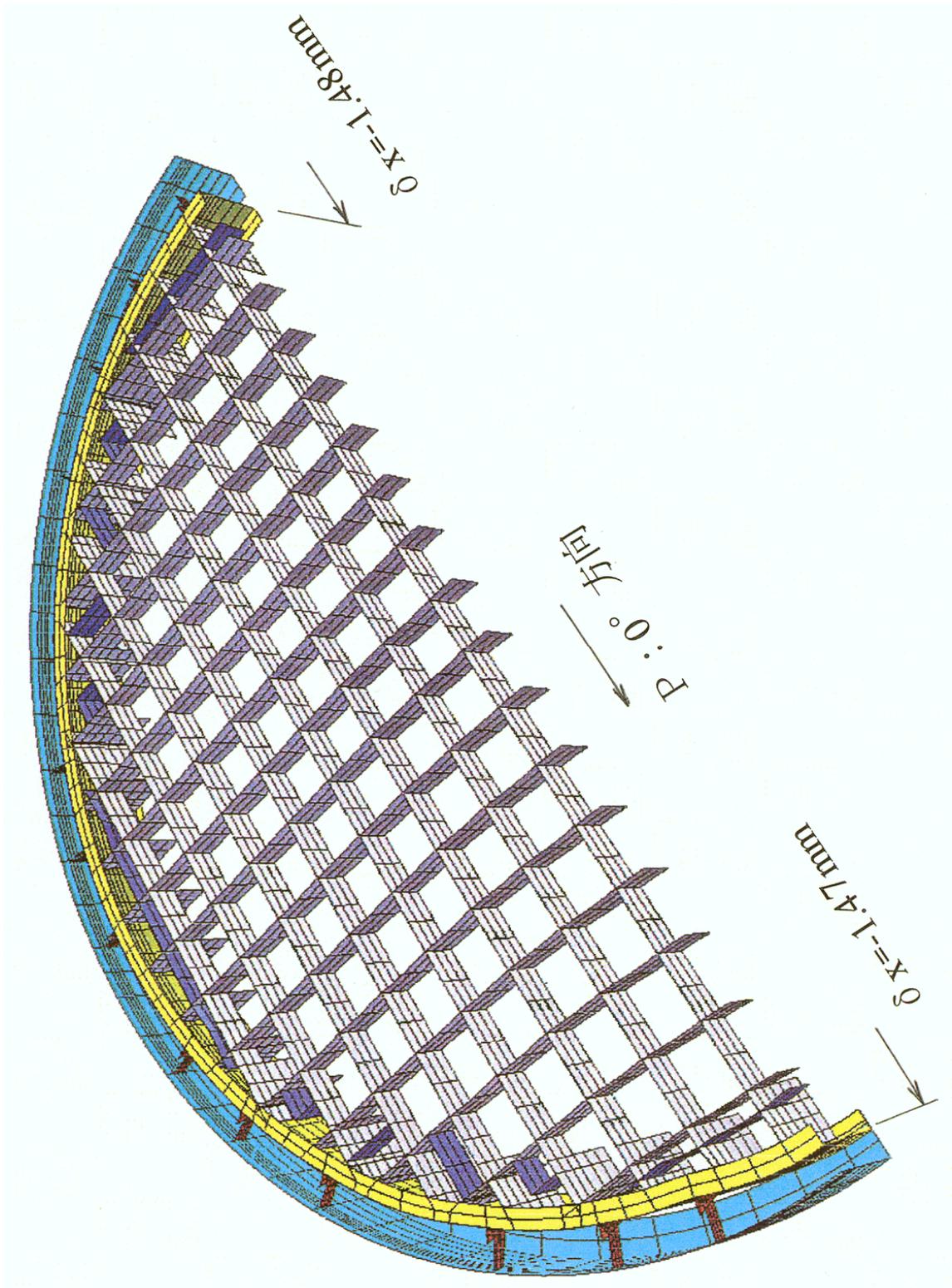


図 E-7 8 体のレストレイント構造が機能喪失した場合（S₂地震時の上部格子板の変形）

付録F ホールドダウン構造の点検必要範囲の検討

1. はじめに

上部格子板の上側と下側では圧力に差異が生じるため、この差圧により、上部格子板には垂直方向荷重が作用する。この差圧による荷重は、主蒸気系配管が破断した LOCA 時に最大となり、自重より大きい場合には、上部格子板に、浮き上がる方向の荷重が作用する。そこで本付録では、500MWe 800 MWe, 1100MWe クラス 及び A B W R プラントを対象に、上部格子板に作用する差圧荷重と自重を比較し、差圧荷重が上回るプラントについては、浮き上がり抑止のために設置されたホールドダウン構造の点検必要範囲を検討するため、浮き上がり抑止に必要なホールドダウン構造の個数を評価する。

2. 上部格子板に作用する差圧荷重と自重の比較

500MWe, 800 MWe, 1100 MWe 及び A B W R プラントについて、上部格子板に作用する差圧荷重と、上部格子板の自重を比較した例を表 F-1 に示す。表中の差圧は解析で求め、それぞれ通常運転時と、主蒸気系配管の破断を想定した事故時の値を示した。表 F-1 に示す 500MWe, 800 MWe プラントと A B W R の場合、差圧荷重が自重よりも大きく、上部格子板が浮き上がる方向の荷重が作用するが、上部格子板に取付けられたホールドダウン構造 (B W R) 又は上部格子板スタッド (A B W R) により、上部格子板の浮き上がりが抑止される。

表 F-1 差圧荷重と自重の比較例

	記号	単位	500 MWe プラント		800 MWe プラント		1100 MWe プラント	
			通常 運転時	事故時	通常 運転時	事故時	通常 運転時	事故時
水中での自重	W_w	N	4.4×10^4		6.5×10^4		8.3×10^4	
受圧面積	A	mm^2	2.04×10^6		2.70×10^6		3.73×10^6	
差圧	ΔP	MPa	0.002	0.028	0.002	0.025	0.002	0.012
浮き上がり力	F_P	N	4.08×10^3	5.71×10^4	5.40×10^3	6.76×10^4	7.46×10^3	4.48×10^4
ホールドダウンに 作用する 浮き上がり力	F	N	0	1.31×10^4	0	2.56×10^3	0	0

	記号	単位	A B W R プラント	
			通常運転時	事故時
水中での自重	W_w	N	7.21×10^5	
受圧面積	A	mm^2	シュラウドヘッド部： 2.70×10^7 上部格子板部： 4.44×10^6	
差圧	ΔP	MPa	シュラウドヘッド部： 0.032 上部格子板部： 0.003	シュラウドヘッド部： 0.150 上部格子板部： 0.065
浮き上がり力	F_P	N	8.78×10^5	4.34×10^6
ホールドダウンに 作用する 浮き上がり力	F	N	1.57×10^5	3.62×10^6

3. ホールドダウン点検必要範囲の評価例

BWR 上部格子板に作用する事故時の差圧荷重が、自重を上回る表 F-1 の 800MWe プラントを対象に、ホールドダウン構造（全 4 個）の点検必要範囲を評価するため、1 個のホールドダウン構造が支持できる荷重を求める。

検討したホールドダウン構造を図 F-1 に示す。ホールドダウンブラケット及びホールドダウンの計算モデルを図 F-2 及び図 F-3 に示す。いずれも片持梁とし、その先端に荷重が作用するものとして、1 個当たりの支持可能荷重を評価した結果を表 F-2 に示す。

表 F-2 ホールドダウンブラケット及びホールドダウンの支持荷重の評価結果

ホールドダウンブラケット			ホールドダウン		
梁の長さ(L1)	101.6	mm	梁の長さ(L2)	49.5	mm
梁の断面積	8.0×10^2	mm ²	梁の断面積	3.2×10^3	mm ²
梁の断面係数	8.8×10^3	mm ³	梁の断面係数	2.7×10^4	mm ³
支持可能荷重	1.7×10^4	N	支持可能荷重	1.7×10^5	N

事故時に上部格子板に作用する差圧荷重は、表 F-1 より約 2.56×10^3 N であることから、強度上は 1 個のホールドダウン構造で上部格子板を支持可能である。ただし、支持荷重のバランスを考慮すれば、対称位置のホールドダウンも必要であり、全 4 個のホールドダウン構造のうち、180° 離れた 2 個が点検必要範囲に該当する。

4. 上部格子板スタッド点検必要範囲の評価例

A BWR 上部格子板においては、通常時・事故時とも差圧荷重が自重を上回るため、上部格子板スタッドによる支持が必要である。

上部格子板スタッドの構造を図 F-4 に示す。

上部格子板スタッド 1 個当たりの支持可能荷重を評価した結果を表 F-3 に示す。

表 F-3 上部格子板スタッドの支持荷重の評価結果

	通常時		事故時	
断面積	2.43×10 ³			mm ²
許容応力	201	MPa	369	MPa
支持可能荷重	4.88×10 ⁵	N	8.96×10 ⁵	N

事故時に上部格子板に作用する差圧荷重は、表 F-1 より通常時で約 1.57×10⁵ N、事故時で約 3.62×10⁶ N であることから、強度上通常時は 1 本、事故時は 5 本の上部格子板スタッドで上部格子板の浮上り荷重は支持可能である。

したがって、上部格子板スタッドの必要点検本数は 5 本である。

5. まとめ

- (1) BWR においては、500MWe 及び 800MWe プラントで、事故時に上部格子板に作用する差圧荷重が自重を上回るため、ホールドダウン構造が必要である。
- (2) BWR 800MWe プラントでは、強度上は 1 個のホールドダウン構造で差圧荷重を支持できるが、支持荷重のバランスを考慮して、全 4 個のホールドダウン構造のうち、180° 離れた 2 個が点検必要範囲に該当する。
- (3) A BWR においては、通常時、事故時とも、上部格子板に作用する差圧荷重が自重を上回るため、上部格子板スタッドによる支持が必要である。
- (4) A BWR プラントでは上部格子板の浮上りを防止するために、通常時で 1 本、事故時で 5 本以上の上部格子板スタッドが必要であるため、点検数は 5 本とする。

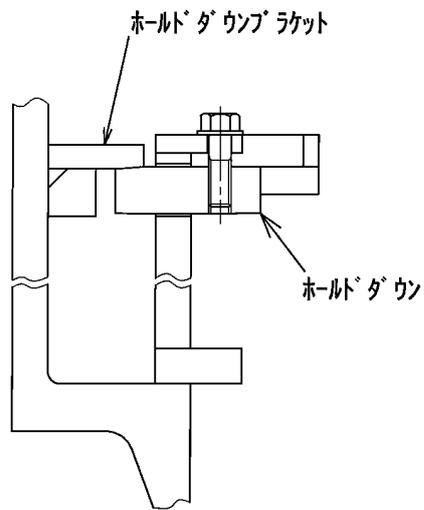


図 F-1 ホールドダウン構造

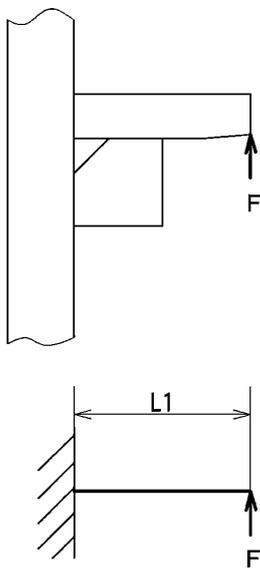


図 F-2 ホールドダウンブラケットの計算モデル

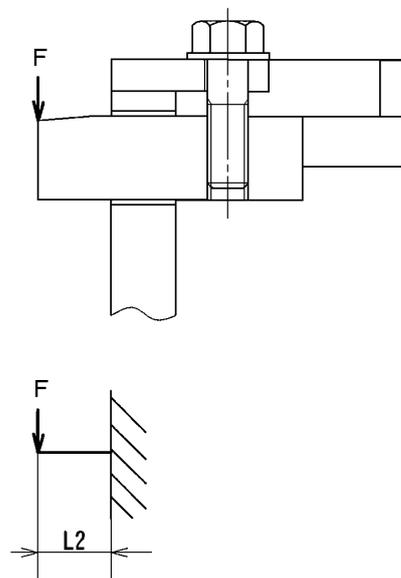


図 F-3 ホールドダウンの計算モデル

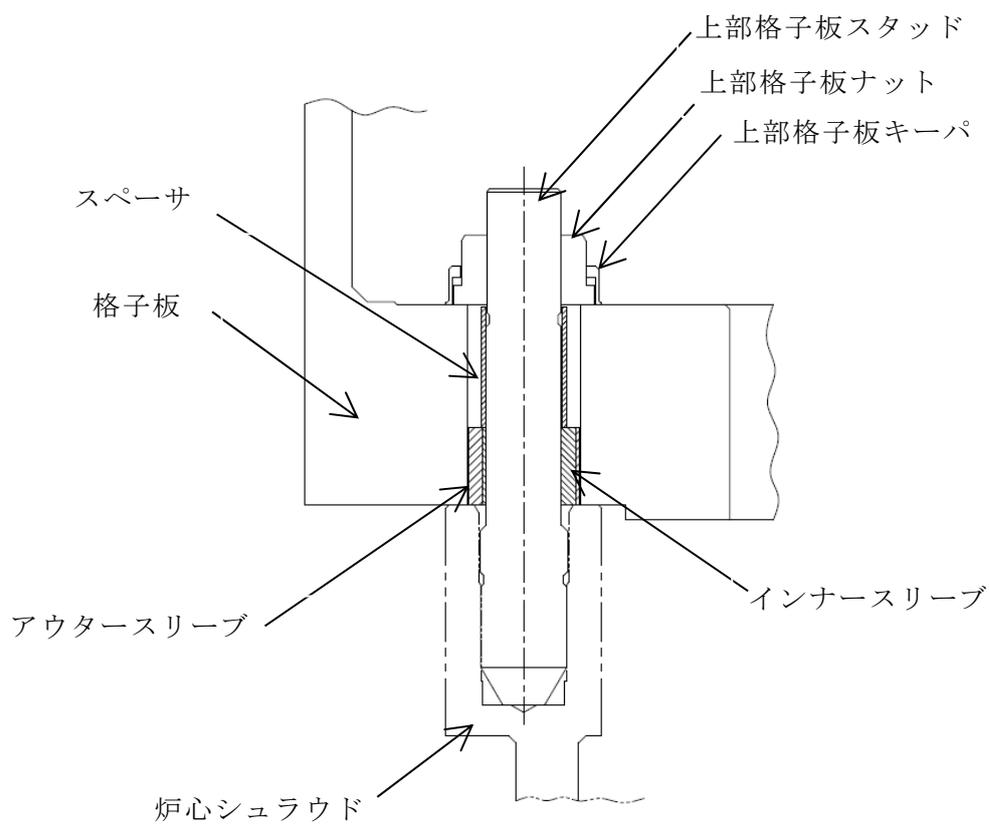


図 F-4 上部格子板スタッド構造図

付録G 上部格子板キーパの点検必要範囲の検討

1. はじめに

本付録は、ABWR上部格子板の地震時における制御棒挿入性の保持に必要な上部格子板スタッドの個数を求め、上部格子板キーパの点検必要範囲を評価した例を示すものである。

2. 点検必要範囲の検討

制御棒挿入性の確保のためには、燃料の上端が正しい位置に保持されている必要がある。燃料上端の保持のためには、ABWR上部格子板が変形しないことと、位置ずれしないことが求められる。

ここで、ABWR上部格子板は、BWR上部格子板と異なり、リム胴はシュラウド中間部リングと一体化した剛な構造物であり、地震荷重を受けても変形しない。

位置ずれについて考えると、ABWR上部格子板の地震時に発生する横荷重は、格子板から二重偏心スリーブ構造を介して、上部格子板スタッドにせん断力として伝わり、炉心シュラウドで支持される（付録B参照）が、二重偏心スリーブ構造により格子板の穴と上部格子板スタッドのギャップは無くなっていることから、ギャップ間の移動による位置ずれは発生しない。そのため、地震時の横荷重に対し、上部格子板スタッドが破断しなければ、位置ずれは発生せず、制御棒挿入性は確保されると言える。

Ss地震を想定し、地震時の横荷重を支持するためのスタッドの必要本数の評価例を、表G-2に示す。

表 G-2 地震荷重と必要スタッド本数の評価例

	記号	単位	ABWR
地震時の横荷重	H	N	5.24×10^6
スタッド断面積 (1本当たり)	A	mm ²	2.43×10^3
許容せん断力	τ_{lim}	MPa	121
必要スタッド本数	n	本	18

表 G-2 から、スタッドの必要点検本数は 18 本である。

BWR炉内構造物点検評価ガイドライン [上部格子板] の概要

1. 基本的考え方

- 原子炉安全性の確保を大前提とし、上部格子板 (図-1, 2) に要求される機能を維持できるように合理的な点検範囲、点検周期を規定する。
 - ① 原子炉安全機能：制御棒挿入性の確保 (BWR・ABWR)
冷却材の流路の確保 (ABWR)
 - ② 経年変化事象：SCC を想定する。
 - ③ 点検対象：構造強度評価、安全機能維持の評価結果から重要な部位を選定する。

2. 点検対象と点検対象部位

BWR

- 制御棒挿入性の確保に必要な下記の部位を点検対象とする。
 - (1) レストレイント構造 (図-3.1(1))
点検対象部位：レストレイントブロック
 - (2) ホールドダウン構造 (図-3.1(2))
点検対象部位：ホールドダウンブラケット
ホールドダウン固定ピン
(事故時の差圧荷重が自重を上回るプラント)

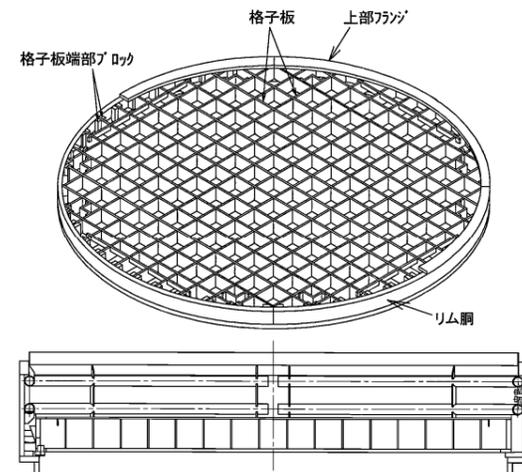


図-1 BWR上部格子板の概略構造

ABWR

- 制御棒挿入性と冷却材流路の確保に必要な下記の部位を点検対象/点検対象部位とする。
 - (1) H1, H2 溶接線 (図-3.2(1))
 - (2) 上部格子板キーパ (図-3.2(2))

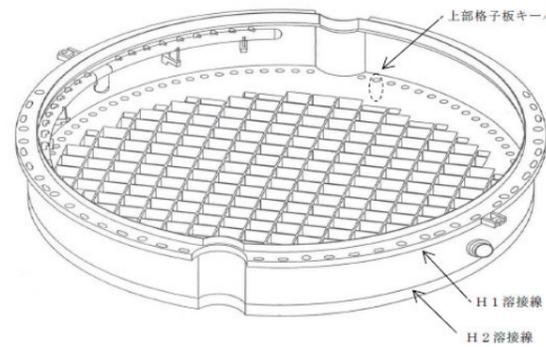


図-2 ABWR上部格子板の概略構造

3. 点検方法

BWR

- 目視試験を基本とする。
- ホールドダウンブラケットには、表面欠陥を検出可能な MVT-1 (0.025mm 幅のワイヤを識別) を適用する。
- レストレイント及びホールドダウン固定ピンは、異常の有無を検知可能な VT-3 を適用する。

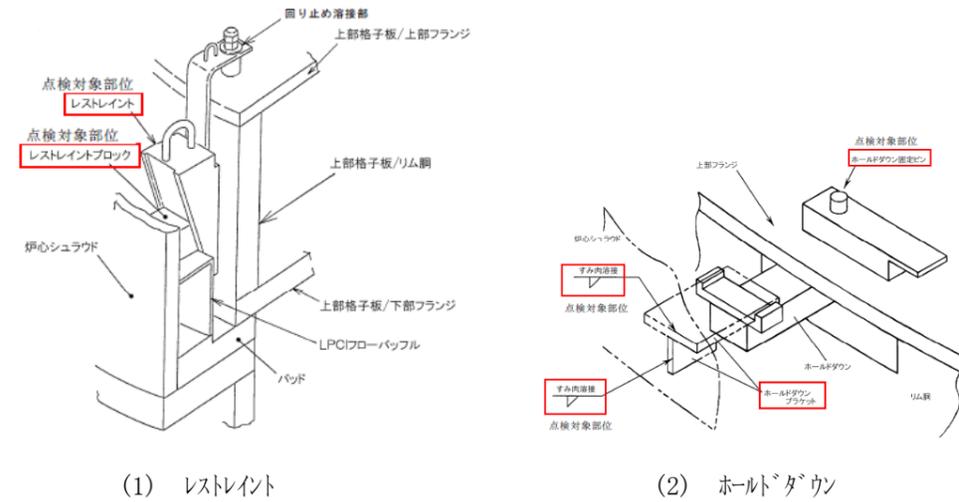


図-3.1 レストレイント構造及びホールドダウン構造

ABWR

- 目視試験を基本とする。
- H1, H2 溶接線には、表面欠陥を検出可能な MVT-1 (0.025mm 幅のワイヤを識別) を適用する。
- 上部格子板キーパは、異常の有無を検知可能な VT-3 を適用する。

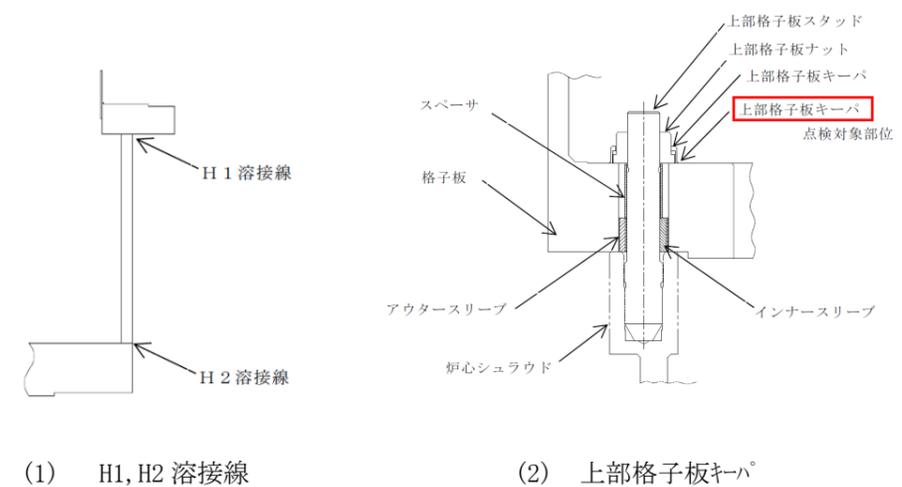
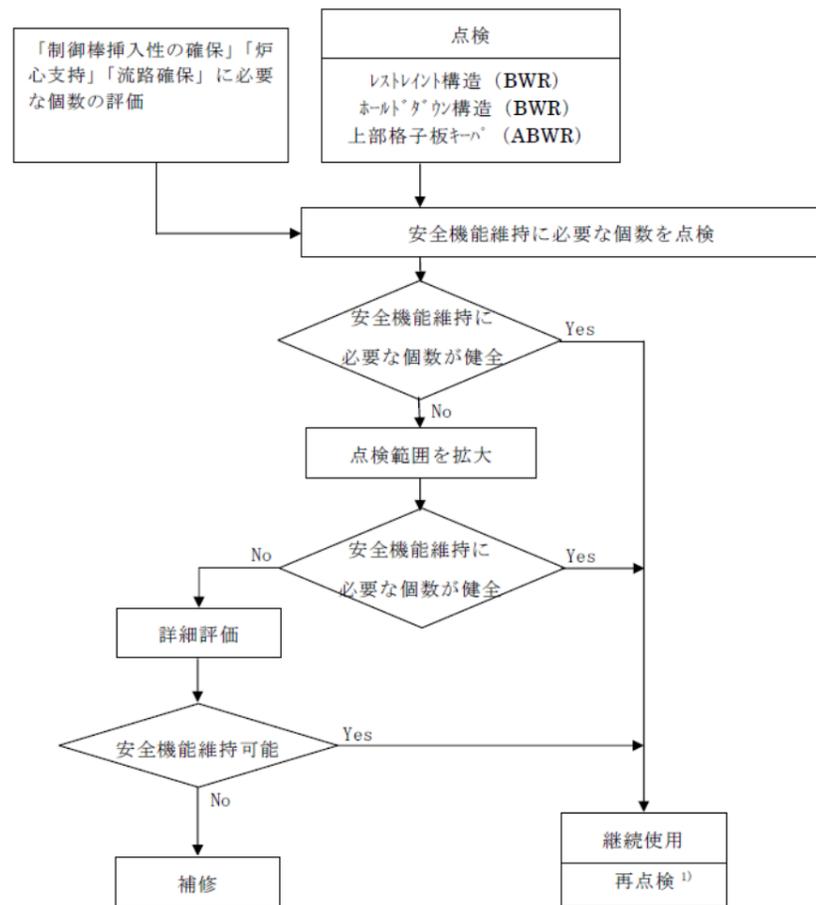


図-3.2 H1, H2 溶接線及び上部格子板キーパ

4. 点検範囲及び点検周期の考え方

BWR (図 4-1)

- レストレイント構造の点検範囲は、地震時に制御棒挿入性が確保される上部格子板の変位の評価結果を基に定める。
- レストレイント構造は、制御棒挿入性に影響する損傷の可能性が極めて低いと考えられることから、供用開始後 20~30 年の期間内に初回点検を行う。
- ホールドダウン構造は、強度上 1 個で事故時の差圧荷重を支持できるが、荷重バランスを考慮して、180 度離れた 2 個を点検必要範囲とする。
- ホールドダウン固定ピンとホールドダウンブラケットは SUS316L 材で SCC 感受性が低く、損傷の可能性が低いことから、ホールドダウン構造は供用開始後 20~30 年の期間内に初回点検を行う。
- レストレイント構造、ホールドダウン構造共に、炉心シュラウド近傍の部位の点検に合わせて再点検を行う。
- 点検必要範囲が健全な場合は、継続使用できる。健全でない場合は、補修等の対策を行う。

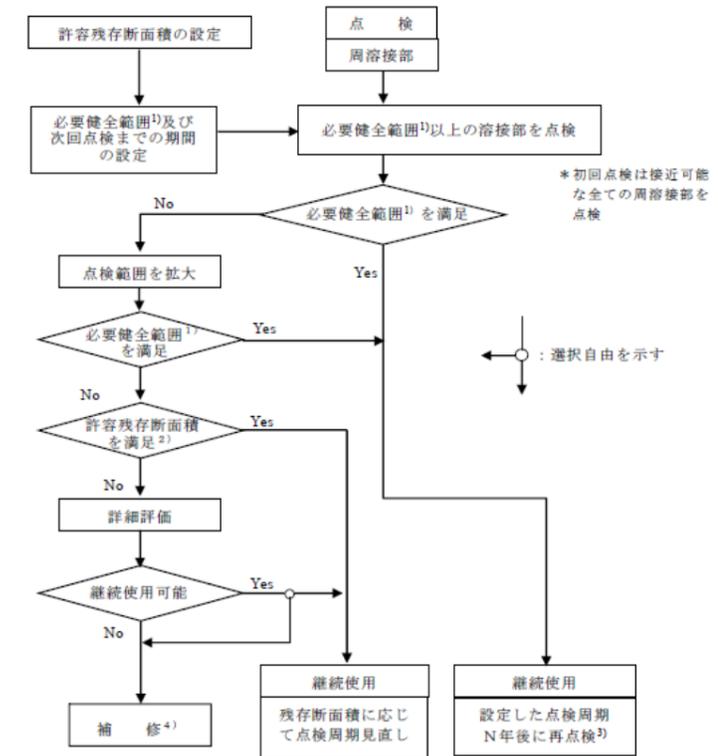


1) 炉心シュラウド等近傍の部位の点検時期に合わせて実施

図 4-1 上部格子板の点検の考え方

ABWR

- H1, H2 溶接線の点検は、炉心シュラウドの点検ガイドラインに準じ、構造強度と安全機能を維持するために必要な溶接部の断面積（許容残存断面積）を算出して定める。(図 4-2)
- H1, H2 溶接線について、欠陥がある場合は、その欠陥の進展を、欠陥がない場合についても初期欠陥とその進展を仮定して評価することにより、次回点検時における健全な断面積が許容残存断面積より大きくなるように、次回点検時期を設定する。
- H1, H2 溶接線の初回点検は、供用開始後 20 年までに行う。
- 上部格子板キーパの初回点検は、制御棒挿入性に影響する損傷の可能性が極めて低いと考えられることから、H1, H2 溶接線に合わせ、供用開始後 20 年までに行う。(図 4-1)
- 上部格子板キーパは、地震により発生する横荷重と、差圧による浮上りを防止するのに必要な本数を点検数とする。
- 上部格子板キーパの再点検も、H1, H2 溶接線に合わせ実施する。
- 点検必要範囲が健全な場合は、継続使用できる。健全でない場合は、補修等の対策を行う。



- 1) 必要健全範囲 = 許容残存断面積 + 次回点検までの健全部残存面積減少量 + 次回点検までの検出亀裂の進展量
- 2) 許容残存断面積を満足: 健全範囲 - 検出亀裂の進展量 - 健全部残存面積減少量
- 3) 初回点検で亀裂が検出されなかった場合は、実運転年数が初回点検から 10 年を超えない時期に再点検してもよい。
- 4) 補修技術の例については解説 7-2 参照

図 4-2 H1, H2 溶接線の点検の考え方

改訂経緯

平成 14 年 7 月 初版発行

平成 27 年 3 月 第 2 版発行

解説 1-2 にガイドライン運用にあたっての留意事項を記載し、適用する規格基準を見直した。

2020 年 7 月 第 3 版発行

- ・改良型BWR（ABWR）の上部格子板の情報を追加した。
ABWR 上部格子板は、BWR 上部格子板と構造が異なるため、BWR 上部格子板とは異なる安全機能が要求される事を反映し、全面的に見直した。
- ・廃炉となる比較的初期のプラントの情報削除を反映し、全体を見直した。
- ・付録Aに上部格子板を構成する各構造について、有意な劣化モード、運転経験、安全機能への影響に基づいた点検の考え方を記載した。
- ・その他全体を通して文章・図の適正化を図った。

BWR 炉内構造物点検評価ガイドライン
[上部格子板]
(第3版)

編集者 一般社団法人 原子力安全推進協会
炉内構造物等点検評価ガイドライン検討会
発行者 一般社団法人 原子力安全推進協会
〒108-0014 東京都港区芝 5-36-7 三田ベルジュビル 13～15 階
TEL 03-5418-9312 FAX 03-5440-3606
