

女川原子力発電所 及び 東海第二発電所
東北地方太平洋沖地震及び津波に対する
対応状況について（報告）

平成 25 年 8 月

原子力安全推進協会

目 次

1	はじめに	1
2	東北地方太平洋沖地震及びそれに伴う津波の概要	2
2.1	地震及び津波の概要	2
3	女川原子力発電所の概要	6
3.1	全体配置	6
3.2	系統構成	7
3.3	電源系統	9
4	女川原子力発電所での地震及び津波の被害	11
4.1	女川原子力発電所での観測結果	11
4.2	地震による被害及び影響	14
4.3	津波による被害及び影響	16
5	女川原子力発電所での震災対応の状況	19
5.1	地震発生直後、津波襲来～復旧、冷温停止までの対応状況の概要	19
5.2	震災対応の状況	19
5.2.1	地震発生直後	19
5.2.2	津波到達直後	21
5.2.3	津波到達後の復旧に向けての対応	22
6	女川原子力発電所での震災対応からの教訓	29
6.1	組織、マネジメント、コミュニケーション	29
6.2	事前の準備（設備、マニュアル、訓練）	29
6.3	震災時の初動対応	30
6.4	追加の対策	30
7	東海第二発電所の概要	31
7.1	全体配置	31
7.2	系統構成	32
7.3	電源系統	34
8	東海第二発電所での地震及び津波の被害	35
8.1	東海第二発電所での観測結果	35
8.2	地震による被害及び影響	36
8.3	津波による被害	36
9	東海第二発電所での震災対応の状況	38
9.1	地震発生直後、津波襲来～復旧、冷温停止までの対応状況の概要	38
9.2	震災対応の状況	38
9.2.1	地震発生直後	38
9.2.2	津波到達直後	40
9.2.3	津波到達後のプラント内での対応	40
10	東海第二発電所での震災対応からの教訓	44
10.1	組織、マネジメント、コミュニケーション	44

10.2	事前の準備（設備、マニュアル、訓練）	44
10.3	震災時の初動対応	45
10.4	追加の対策	45
11	終わりに	46

1 はじめに

東北太平洋沖地震及び津波に伴う東京電力（株）福島第一原子力発電所の事故について、原子力安全推進協会の前身である日本原子力技術協会が、電力会社及びプラントメーカーの協力の基、平成 23 年 10 月に、教訓をまとめ報告書を作成して公表した。この報告書では、事故防止及び影響の緩和のための対策として、主としてハード面での対策 80 項目をまとめ、更に深層防護の観点から重要と位置づけた対策 23 項目の実施を強く提言している。これらの対策は、各社の設備や状況に応じて導入されており、概ね全ての項目が導入済みもしくは導入検討中となっている。

また、地震及び津波の影響を受けながらも、原子力災害の発生を防止し、安全にプラントを停止できた発電所が、東京電力（株）福島第二原子力発電所、東北電力（株）女川原子力発電所、日本原子力発電（株）東海第二発電所である。これらの発電所のうち、比較的被害が大きかった福島第二原子力発電所での震災対応について、東京電力（株）のご協力を頂き、ヒューマンファクター及び組織の観点から分析し、主としてソフト面での教訓を抽出して平成 24 年 12 月に報告書としてまとめ、公表を行った。

これらの対策は、導入すれば完了というものではなく、今後も訓練等を通して改善が図られていくべきものである。

上記 2 つの報告書は、原子力安全推進協会のホームページで閲覧可能であり、本報告書を作成する契機となったものであることから、ご一読して頂くことをお願いしたい。

今回、残りの 2 発電所、女川原子力発電所及び東海第二発電所での震災対応について、記録として残すことを目的として、原子力安全推進協会内に検討チームを立上げ、東北電力（株）及び日本原子力発電（株）のご協力を得て、それぞれの発電所での震災対応について整理し、教訓のまとめを行った。

女川原子力発電所では、建設時に敷地高さを決定する際に、保守的に想定津波高さをはるかに超える敷地高さが確保されたことから、プラント本体での津波被害がほとんど発生せず事故を収束することができた。また、東海第二では、津波対策として水密化工事を実施していたところであり、完成していなかった領域で若干の被害が出たもののすべての海水ポンプが機能喪失する事態が回避されたことで、事故の収束に至っている。これらの発電所でこれらの手立てが行われ、なぜ東京電力では行われなかったのか、組織のあり方の検討が行なわれることを望むところである。

今回、両発電所での事故時の対応状況とそこから教訓を抽出して報告書としてまとめたが、今後、各社が安全性向上に取り組んでいく際に参考として活用されることを望むものである。

2 東北地方太平洋沖地震及びそれに伴う津波の概要

2.1 地震及び津波の概要

平成 23 年 3 月 11 日 14 時 46 分に発生した東北地方太平洋沖地震は、本震規模では日本国内で観測された最大の地震であり、この地震により宮城県栗原市で最大震度 7 を観測した。

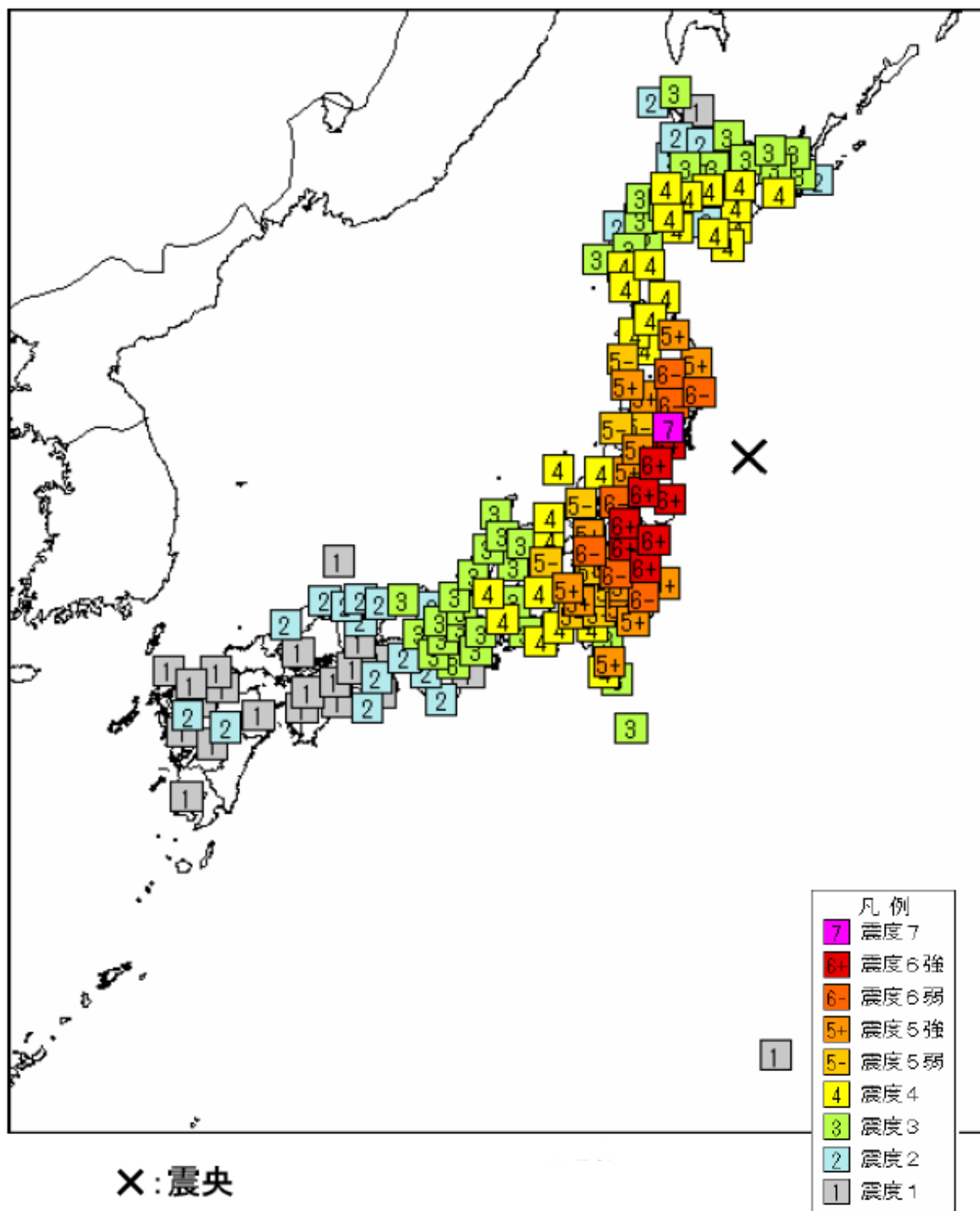
また、北海道地方、東北地方、関東地方の太平洋沿岸で高い津波が観測された。

今回の地震の震源は、三陸沖北緯 38.1 度、東経 142.9 度、牡鹿半島の東南東 130km 付近であり、震源深さ 24km であった。震源域は、岩手県沖から茨城県沖までに及んでおり、その長さは約 500km、幅は約 200km で、最大すべり量は 50m 以上であったとされている。

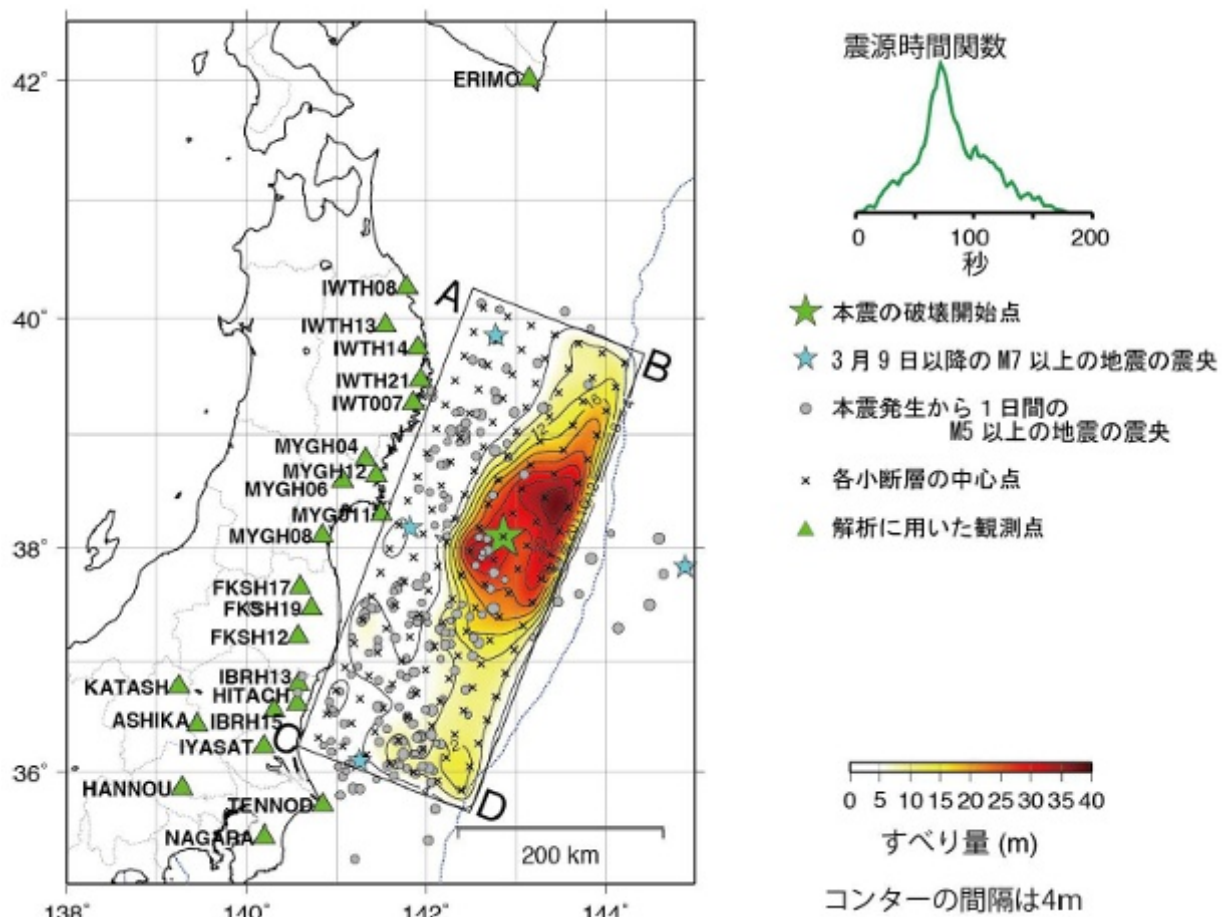
本地震は、三陸沖南部海溝寄り、三陸沖北部から房総沖の海溝寄りの一部で大きなすべり量が観測され、三陸沖中部、宮城県沖、福島県沖、茨城県沖の複数の領域も震源域として連動して発生したマグニチュード 9.0（世界の観測史上 4 番目の規模）の巨大地震であり、国の調査・研究機関である地震調査研究推進本部においても、過去に事例のある個別の領域の地震動や津波は評価していたものの、これらすべての領域が連動して発生する地震は想定されていなかった。中央防災会議の専門部会においても、我が国の過去数百年の地震発生履歴からは想定することができなかったマグニチュード 9.0 の規模の巨大な地震が、複数の領域を連動させた広範囲の震源域を持つ地震として発生したとしている。

この地震に伴い発生し、東北地方太平洋沿岸に大規模災害を引き起こした津波は、津波の規模を表す津波マグニチュードで 9.1 とされ、世界で観測された津波の中で 4 番目、日本では過去最大に位置付けられる。

平成 23 年 3 月 11 日 14 時 46 分頃の三陸沖の地震
震度分布図



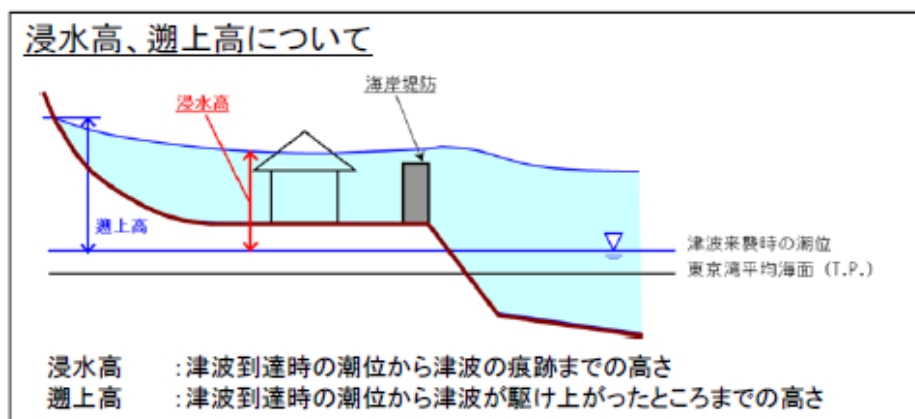
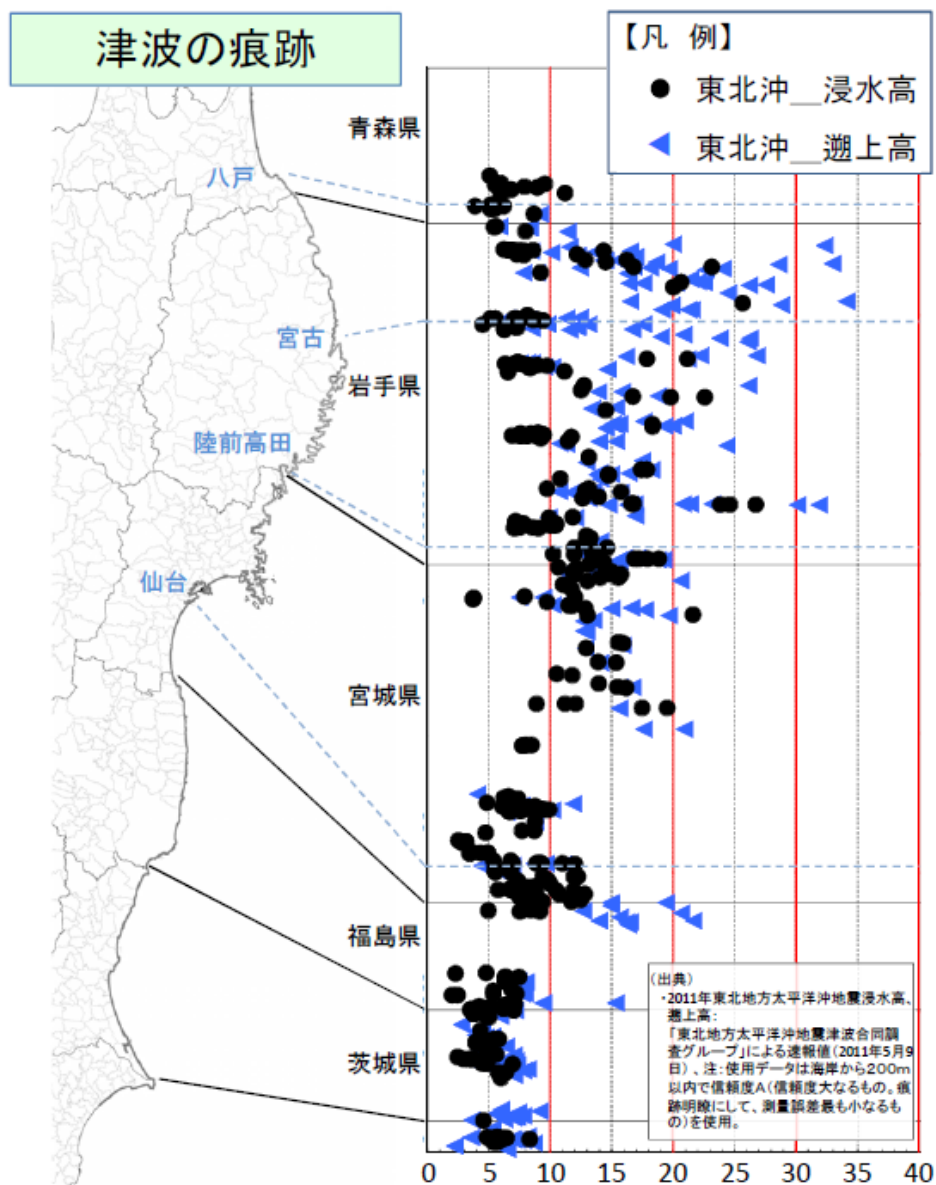
出典：気象庁（平成 23 年 3 月 11 日 14 時 46 分頃の三陸沖の地震について）



(コンター：輪郭。輪郭線。また、等高線)

出典：気象庁（平成 23 年 3 月 地震・火山月報）

津波は、震源のほぼ真上の海底が約 3m 隆起したことにより起こったと推定される。最大遡上高さは、宮古市の北で 35m 近くとなっている。また、宮古市の北での浸水高さは 25m を超えている。浸水面積は、岩手県で 58km²、宮城県で 327km²、福島県で 112km²、茨城県で 23km² となっている。



出典：東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会
第1回会合資料より抜粋

地震と津波による被害は、平成25年7月10日時点で、死者15,883名、行方不明者2,667名、全壊建物126,467戸、半壊建物272,244戸と甚大である。(出典：平成25年7月10日 警察庁発表資料)

3 女川原子力発電所の概要

3.1 全体配置

女川原子力発電所は、宮城県牡鹿半島のほぼ中央東部に位置し、北東側は太平洋に面している。敷地は、三方を山に囲まれ、山地と狭小な平地からなり、海岸線に直径をもつほぼ半円状の形状となっており、敷地面積は約 173 万 m²である。

現在 3 基の沸騰水型軽水炉が設置されており、海に向かって山側から敷地の南東側に 1, 2 号機が、南西側に 3 号機が配置されている。発電機出力は 1 号機が 52.4 万 kW、2, 3 号機が 82.5 万 kW であり、総発電設備容量は 217.4 万 kW となっている。

東北地方太平洋沖地震発生時は、1, 3 号機は定格熱出力運転中、2 号機は定期検査中であり 14 時から原子炉起動中の状況であった。



図 3.1 発電所の全体配置（震災当時）

号機	運転開始	型式		出力 (万 kW)	地震発生時の状況
		原子炉	格納容器		
1 号機	S59.6	BWR-4	マーク I	52.4	定格熱出力一定運転
2 号機	H7.7	BWR-5	マーク I	82.5	原子炉起動中（定検）
3 号機	H14.1		改良型	82.5	定格熱出力一定運転

3.2 系統構成

女川の各号機における、系統構成は図 3.2-1 および図 3.2-2 のとおり。

各系統の役割を以下に示す。

- ・ 原子炉隔離時冷却系（RCIC）

通常運転中、何らかの原因で主蒸気隔離弁の閉等により主復水器が使用できなくなった場合、原子炉の蒸気でタービン駆動ポンプを回して復水貯蔵タンクの水を原子炉に注水し、燃料の崩壊熱を除去し減圧する。また、給水系の故障時等に、非常用注水ポンプとして使用し、原子炉の水位を維持する。

- ・ 残留熱除去系（RHR）

原子炉を停止した後、ポンプや熱交換器を利用して冷却材の冷却（燃料の崩壊熱の除去）や非常時に冷却水を注入して炉水を維持する系統（非常用炉心冷却系のひとつ）で、原子炉を冷温停止に持ち込める能力を有している。原子炉停止時冷却モード、低圧注水モード（非常用炉心冷却系）、格納容器スプレイモード、圧力抑制室冷却モード、燃料プール冷却モードの 5 つの運転モードを有する。

- ・ 非常用炉心冷却系（ECCS）

低圧炉心スプレイ系（LPCS）、低圧注水系（LPCI）、高圧注水系（HPCI）、高圧炉心スプレイ系（HPCS）及び自動減圧系（ADS）からなり、原子炉再循環系配管のような原子炉冷却材圧力バウンダリーの配管が破断し、冷却材喪失事故（LOCA）が発生した場合に、炉心から燃料の崩壊熱及び残留熱を除去し、燃料の過熱による燃料被覆管の破損を防ぎ、さらに、これに伴うジルコニウムと水との反応を無視しうる程度におさえる。

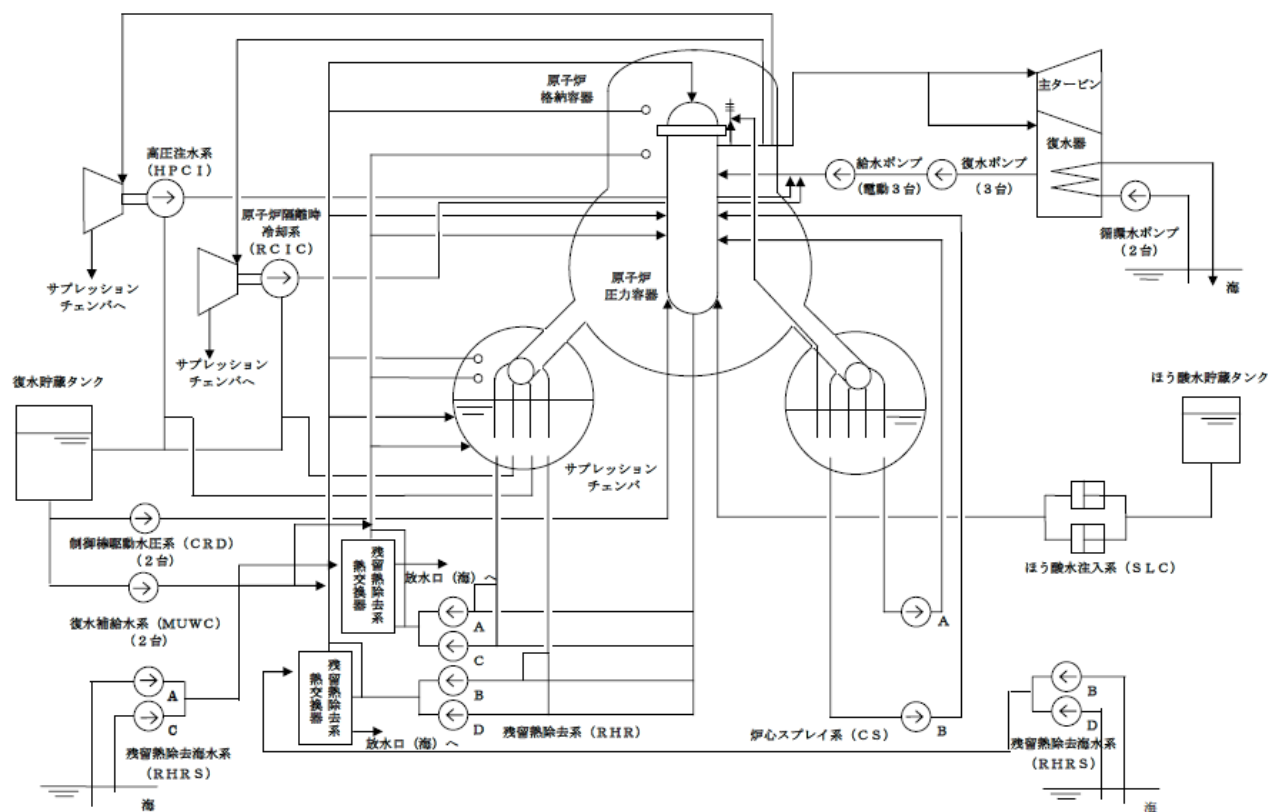


図 3.2-1 女川原子力発電所 1 号機 系統構成図

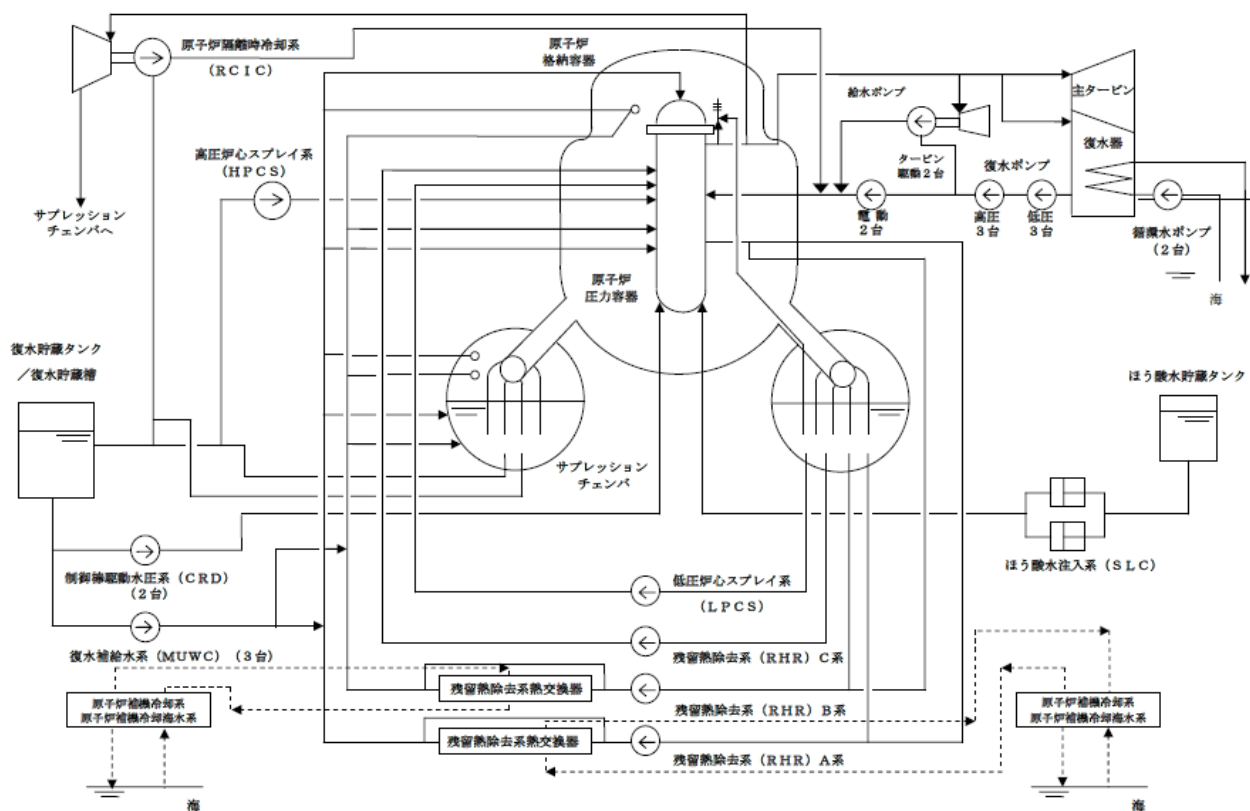


図 3.2-2 女川原子力発電所 2, 3 号機 系統構成図

3.3 電源系統

各ユニットで発電した電力は、275kV 送電線 4 回線で、電力系統へ送電される。この 275kV 送電線は、1 回線停止時でも女川原子力発電所の全発生電力を送電しうる容量があり、仮に 1 回線に事故が発生しても発電所を全出力運転できる。

万一、275kV 送電線 4 回線が全て停電した場合に、原子炉を安全に停止するための設備への電力は、非常用ディーゼル発電機及び高圧炉心スプレイ系（HPCS）ディーゼル発電機又は 66kV 送電線 1 回線から供給される構成となっている。

66kV 送電線 1 回線は、1～3 号機共用であり、予備変圧器を通して受電する。

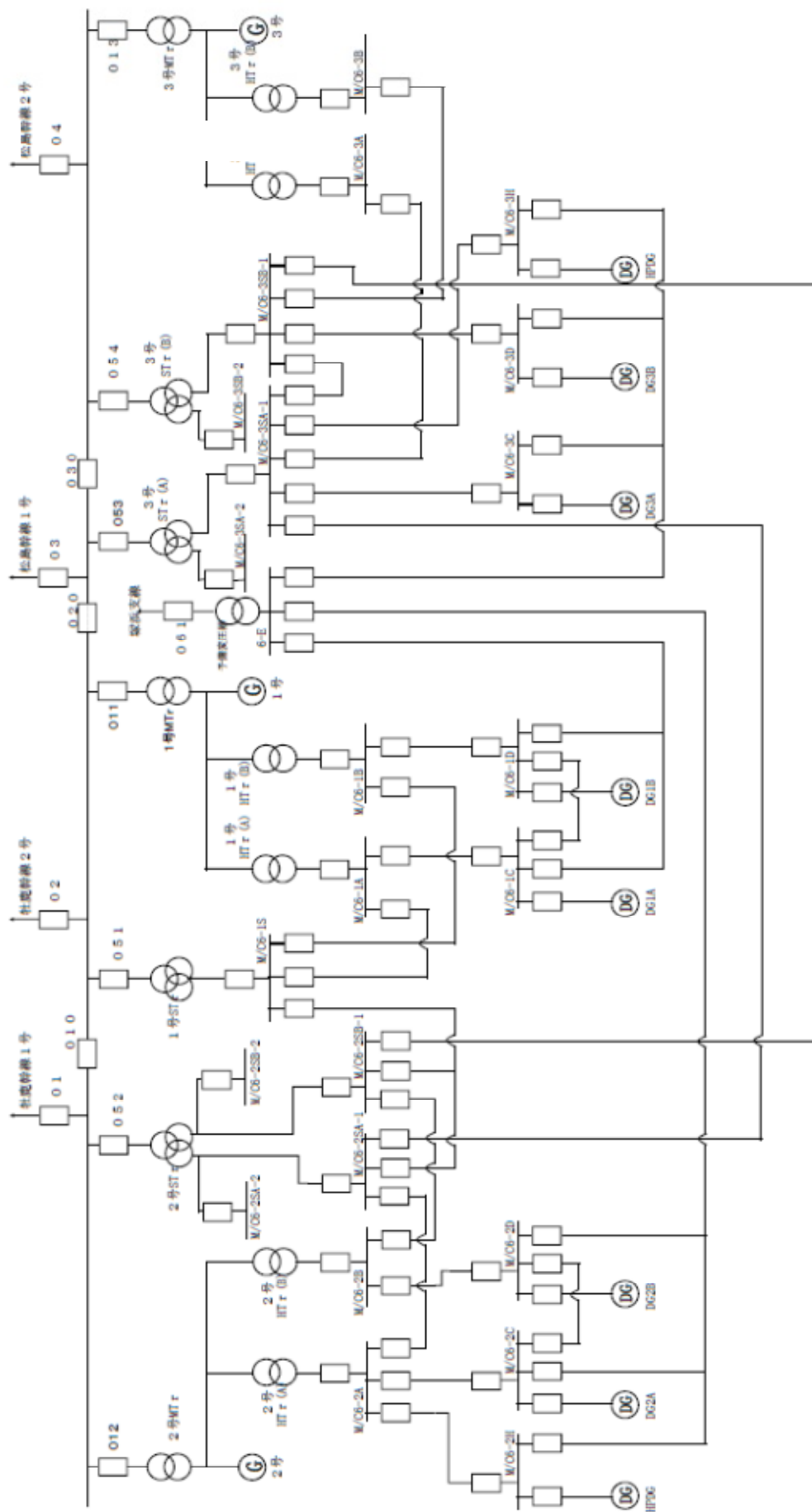


図 3.3-1 電源系統図、非常用電源系 単線結線図

4 女川原子力発電所での地震及び津波の被害

4.1 女川原子力発電所での観測結果

女川 1 号機、2 号機および 3 号機原子炉建屋の各階で観測された最大加速度値は、基準地震動 S_s に対する最大応答加速度値を一部上回っているものの、ほぼ同等であった。

本震時に取得された敷地地盤の地震計による解放基盤表面相当位置(O.P.-8.6m)の地震観測記録について、はぎとり解析を実施した結果、短周期で揺れが大きくなり、はぎとり解析の実施前と同様、基準地震動 S_s を一部の周期帯で上回ることが確認された。

地震観測記録に基づき地震応答解析を実施し、女川 1～3 号機の原子炉建屋の耐震壁の変形および各階毎の耐震壁に作用したせん断力を評価した結果、原子炉建屋の機能が維持されていることを確認した。

地震により、敷地が全体に約 1m 沈下した。

表 4.1-1 観測記録と基準地震動 S_s に対する最大応答加速度値の比較^{※1} (単位：ガル)

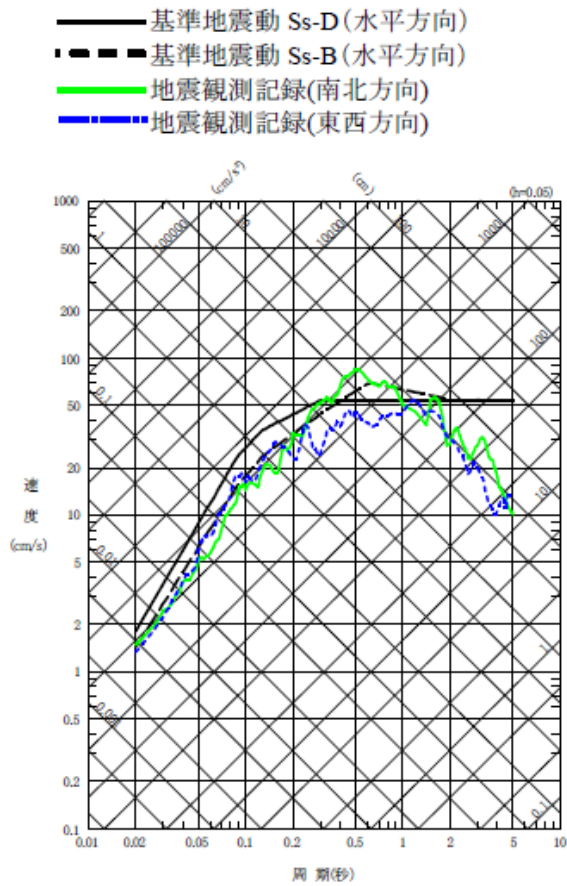
観測位置		観測記録（最大加速度値）			S_s に対する最大応答加速度値		
		南北方向	東西方向	鉛直方向	南北方向	東西方向	鉛直方向
1 号機	屋上	2000 ^{※2}	1636	<u>1389</u>	2202	2200	1388
	燃料取替床(5 階)	<u>1303</u>	998	<u>1183</u>	1281	1443	1061
	1 階	573	574	510	660	717	527
	基礎版上	<u>540</u>	<u>587</u>	439	532	529	451
2 号機	屋上	1755	1617	<u>1093</u>	3023	2634	1091
	燃料取替床(3 階)	<u>1270</u>	830	743	1220	1110	968
	1 階	605	569	330	724	658	768
	基礎版上	<u>607</u>	461	389	594	572	490
3 号機	屋上	1868	1578	1004	2258	2342	1064
	燃料取替床(3 階)	956	917	888	1201	1200	938
	1 階	657	692	547	792	872	777
	基礎版上	<u>573</u>	458	321	512	497	476

出典：東北電力（平成 23 年 4 月 7 日 地震および津波調査結果報告書概要）

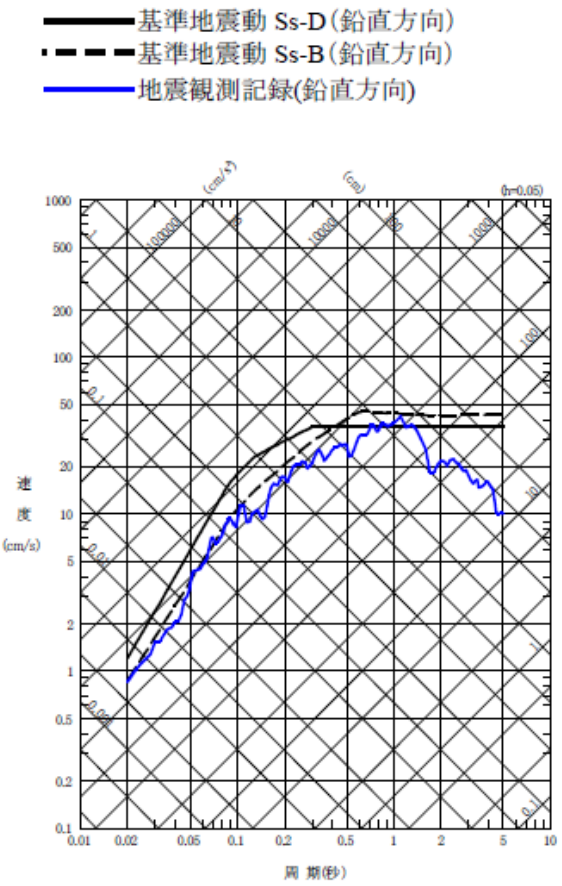
表 4.1-2 地震観測記録とはぎとり解析結果の最大加速度値 (単位：ガル)

	南北方向	東西方向	鉛直方向
地震観測記録	467	421	269
はぎとり解析結果	517	636	312
基準地震動 S_s	580		387

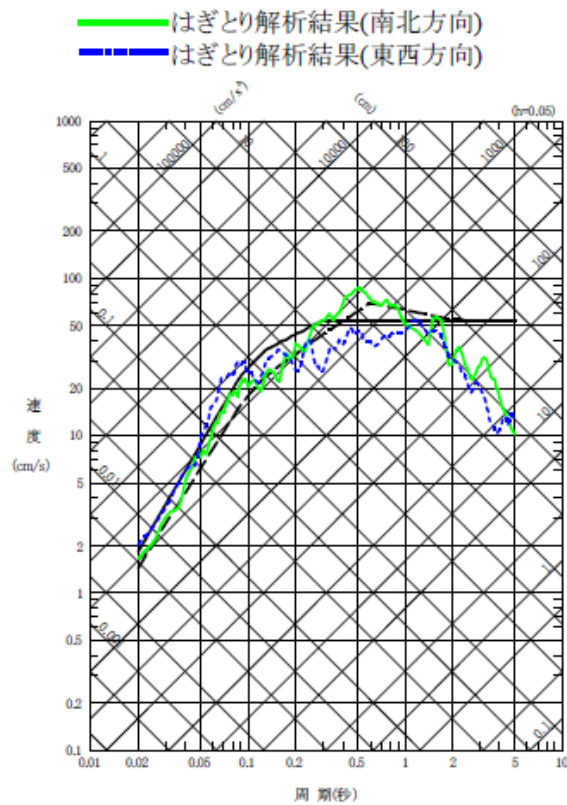
出典：東北電力（平成 23 年 12 月 9 日 はぎとり解析結果概要）



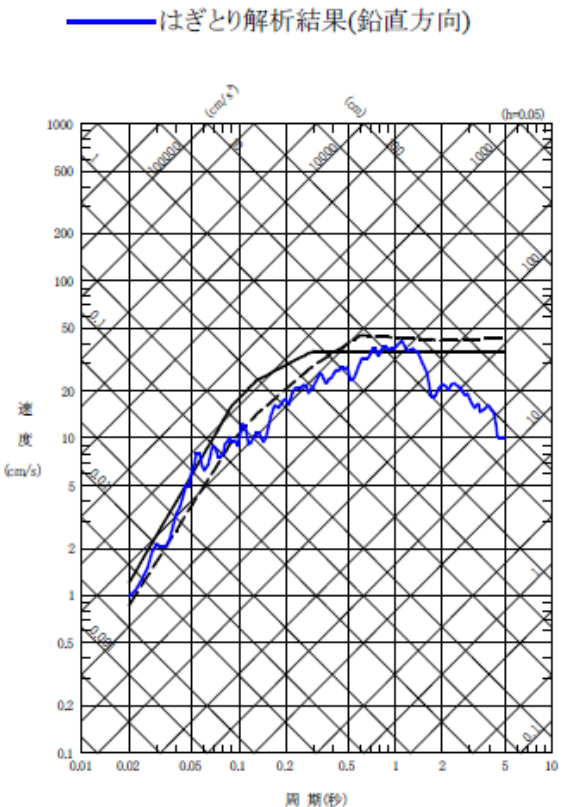
3.11 地震 水平方向



3.11 地震 鉛直方向



3.11 地震 水平方向



3.11 地震 鉛直方向

図 4.1-1 地震観測記録（上）及びはぎとり解析結果（下）の応答スペクトル

出典：東北電力（平成 23 年 12 月 9 日 はぎとり解析結果概要）

(1) 最大加速度

1号機原子炉建屋地下2階：567.5ガル

(2) 女川発電所との距離

震央距離：123km、震源距離：125km

(3) 津波データ

(ア) 浸水高

O.P.+約13m^{※3}

(イ) 浸水域

敷地高さ（O.P.+約13.8m^{※3}）を超えていない。なお、敷地海側の一部に海水の浸入痕があったが、主要な建屋には到達していない。

(4) 最大津波到達時刻

平成23年3月11日15時29分

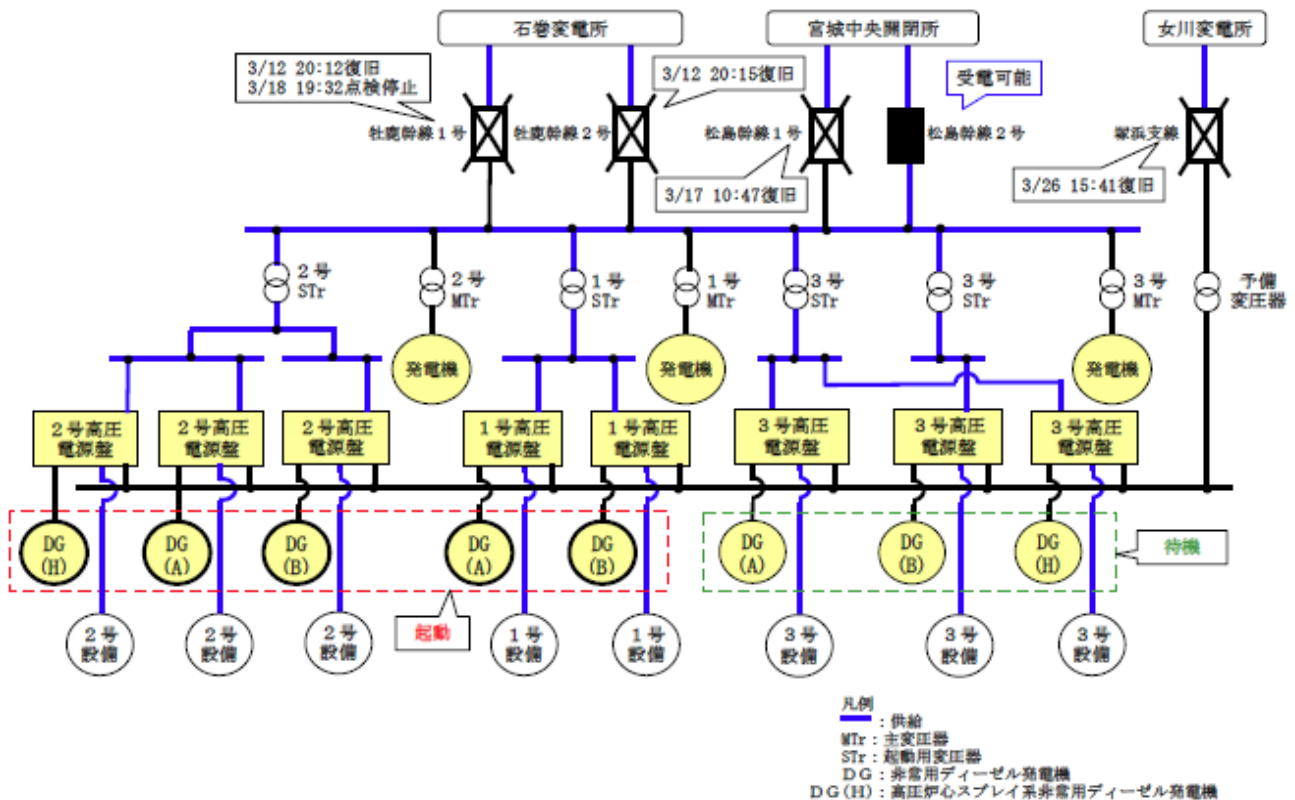
※1：水平方向および鉛直方向で複数の観測点がある場合は、それぞれ最大値を記載。

※2：当該地震計の最大設定値（2000ガル）を上回っているため参考値。

※3：東京湾平均海面(T.P.)=O.P.+0.74mであり、今回の地震後に公表された国土地理院による女川原子力発電所周辺の地殻変動(一約1m：速報値)を考慮している。

4.2 地震による被害及び影響

女川には、外部電源として5回線（牡鹿幹線1、2号線（275kV系）、松島幹線1、2号線（275kV系）、塚浜支線（66kV系））が接続されている。地震直後は、東北電力管内の送電線事故に伴う系統保護回路の動作により、松島幹線2号1回線のみとなったが、3月12日20時12分に牡鹿幹線1号、同日20時15分に牡鹿幹線2号、3月17日10時47分に松島幹線1号、3月26日15時41分に塚浜支線がそれぞれ復旧している。



女川原子力発電所1～3号機の電源系統状態（3月11日地震直後）

図 4.2-1 外部電源概略図

出典：東北電力（平成23年5月 地震およびその後に発生した津波に関する女川の状況）

被害状況

地震の被害を受けた設備のうち、電源および原子炉の冷却に係る設備であり、今般の地震による設備被害の特徴を端的に示している設備について被害状況を以下に示す。

a. 高圧電源盤火災（1号機）

1号機のタービン建屋地下1階において、3月11日15時30分、発煙を発見したことから、消火活動を行い、3月11日22時55分に消火を確認するとともに、高圧電源盤からの発煙であったことが確認された。

原因は、高圧電源盤内の吊り下げ設置型しゃ断器^{*1}が、地震による振動で大きく揺れたため、当該しゃ断器の断路部が破損し、高圧電源盤内で周囲の構造物と接触して短絡等が生じ、これに伴い発生したアーク放電の熱により、高圧電源盤内のケーブルの絶縁被覆が溶け、発煙したものと推定された。

b. 非常用ディーゼル発電機(A)機能喪失（1号機）

4月1日、女川原子力発電所1号機非常用ディーゼル発電機(A)の定期試験を実施したところ、所内電源系へ接続するための同期検定器※2が動作せず、所内電源系への接続ができなかった。

このため、同期検定回路の点検を実施していたところ、非常用ディーゼル発電機（A）が起動していない状態で、非常用ディーゼル発電機（A）のしゃ断器が自動投入される事象が発生したことから、4月5日より、非常用ディーゼル発電機(A)の点検を開始した。

点検の結果、非常用ディーゼル発電機の電圧調整などに使用している回路の損傷が確認された。

原因は、高圧電源盤の火災による影響により、同期検定器の回路を接続しているケーブルが地絡しており、同期検定器のスイッチを入れた際に地絡電流が流れヒューズが切れたため、同期検定器が動作しなかったものと推定した。

また、同高圧電源盤の火災による影響により、同期検定器の回路を接続しているケーブルの絶縁被覆が溶け、別の絶縁被覆が溶けたケーブルと接触し、電気が流れる状態となっていた。このため、同期検定器の点検に伴い回路を高圧電源盤から切り離す作業の実施中に、非常用ディーゼル発電機（A）のしゃ断器が自動投入され、所内電源系から非常用ディーゼル発電機(A)の電圧調整などに使用している回路に過電圧がかかり、損傷したものと推定された。

同期検定回路の切れていることが確認されたヒューズと損傷が確認された電圧調整などに使用している回路を取り替え、5月18日、動作確認を実施し、非常用ディーゼル発電機(A)が使用可能な状態となった。

c. 使用済燃料貯蔵プール冷却浄化系停止（全号機）

地震により、3月11日14時47分に使用済燃料貯蔵プール冷却浄化系が停止したが、設備に異常のないことを確認し再起動した。停止期間中、使用済燃料貯蔵プールの温度に有意な上昇は認められなかった。

原因は、地震の揺れに伴う「スキマサージタンクレベル低低」用レベルスイッチの動作、若しくは地震の揺れに伴う使用済燃料貯蔵プール水位の一時的な低下により、使用済燃料貯蔵プール冷却浄化系のポンプの吸込み圧力が低下したことによるものと考えられる。

d. 起動用変圧器停止（1号機）

電源の状態は、松島幹線2号線からの外部電源を起動用変圧器を介して所内に受電していたが、3月11日14時55分、起動用変圧器が停止したため、所内電源がなくなり、設計どおり非常用ディーゼル発電機（A）および（B）による非常用母線への受電が行われた。

原因は、高圧電源盤のうち常用メタクラ6-1Aの内部で地絡・短絡が発生（その後、火災に至る）し、起動用変圧器の過電流継電器が動作したためである。その後、外観目視および絶縁抵抗測定結果より起動用変圧器に異常のないことを確認のうえ、3月12日2時05分に起動用変圧器を復旧している。起動用変圧器の復旧後、常用メタクラ6-1A以外の常用母線について順次復電した。

※1：電気回路の接続や、過電流が流れた場合などに自動で電気回路を切り離す機器。

※2：定期試験時など手動でディーゼル発電機を所内電源系に接続する際に、接続のショック

を和らげるため、電気の性質（電圧、周波数）が同じくらいかを確認する機器。なお、外部電源喪失時は、所内電源系に電気がないため、同期検定器を使用せずに、非常用ディーゼル発電機を自動で接続する。

4.3 津波による被害及び影響

地震の後に潮位計で確認された津波の高さは、最大で O.P.+約 13m[※]であり、女川の敷地高さ（O.P.+約 13.8m[※]）を超えていないことを確認した。なお、遡上により敷地海側の一部に海水の浸入痕が確認されたが、主要な建屋には到達しなかった。

これは、女川原子力発電所 1 号機の計画当初から、津波対策が最重要課題であるとの認識があり、外部専門家を含む社内の検討会で討議を重ね、「敷地の高さをもって津波対策とする。敷地高さを海拔 15m 程度とすべき」との検討結果を反映して、敷地高さを 14.8m としたことが結果として津波被害を小さく抑えることとなった。

なお、海水ポンプ本体は津波対策の敷地高さを考慮した上で設置するため敷地高さ（O.P.+約 13.8m[※]）よりも低い位置（O.P.+2.5m）まで掘り下げてピット化し、ポンプを収納している。また、津波襲来に対して取水路から海水が流入しないようにポンプ基礎部等には止水処置がなされている。放水路は立坑構造としている。

※ 今回の地震発生後に公表された国土地理院による女川原子力発電所周辺の地殻変動（一約 1 m）を考慮した値。

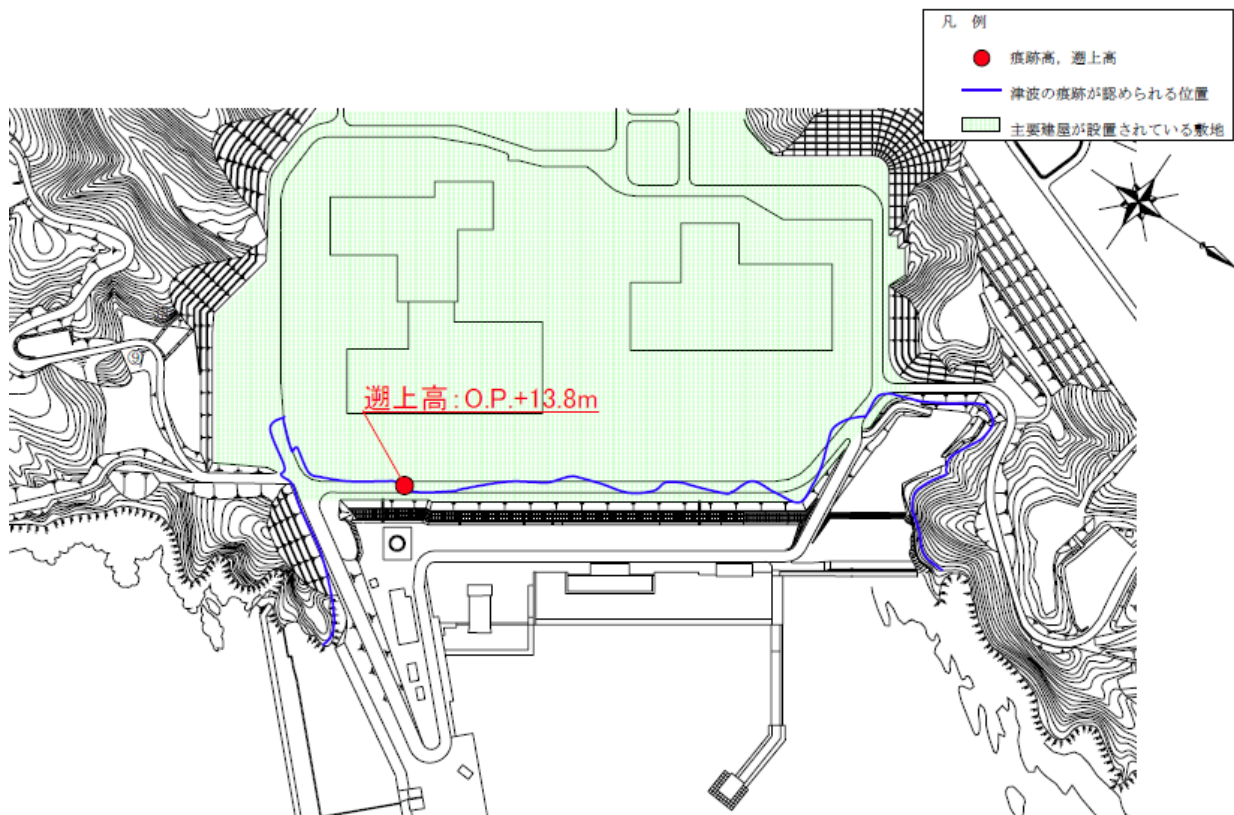


図 4.3-1 痕跡調査結果

出典：東北電力（平成 23 年 7 月 8 日 津波調査結果）

被害状況

津波の被害を受けた設備のうち、電源および原子炉の冷却に関する設備であり、今般の津波による設備被害の特徴を端的に示している設備について被害状況を以下に示す。

a. 重油貯蔵タンク倒壊（1号機）

女川原子力発電所1号機の補助ボイラー^{※1}用に屋外に設置していた重油貯蔵タンクが倒壊し、重油が漏れていたことを確認した。

原因は、当該タンクは、発電所構内の主要設備が設置されている敷地高さ（約 13.8m[※]）より低い基準海面から高さ 2.5m の場所に設置していたことから、津波の影響により倒壊したものと判断した。タンクを取り囲む防油堤に損傷が認められないことから、津波によりタンクが浮き上がり防油堤を越えて倒壊したものと考えられる。

漏れ出た重油約 600kl を可能な限り拡散を抑制するため吸着マットで可能な限り回収し、その後湾内にオイルフェンスを 2 重に設置した。

※ 今回の地震発生後に公表された国土地理院による女川原子力発電所周辺の地殻変動（一約 1m）を考慮した値。



図 4.3-2 重油タンク倒壊状況

出典：東北電力（平成 23 年 6 月 発電所だより）

b. 原子炉補機冷却水系(B)系、原子炉補機冷却海水系(B)系および高圧炉心スプレイ補機冷却水系機能喪失（2号機）

2号機の原子炉建屋地下3階非管理区域にある補機冷却系熱交換器室に海水の浸水を確認したため、排水完了後、浸水していた補機冷却系熱交換器室の原子炉補機冷却水ポンプ^{※2}(B)モータと高圧炉心スプレイ補機冷却水ポンプ^{※3}モータを点検した結果、使用できないことが確認された。

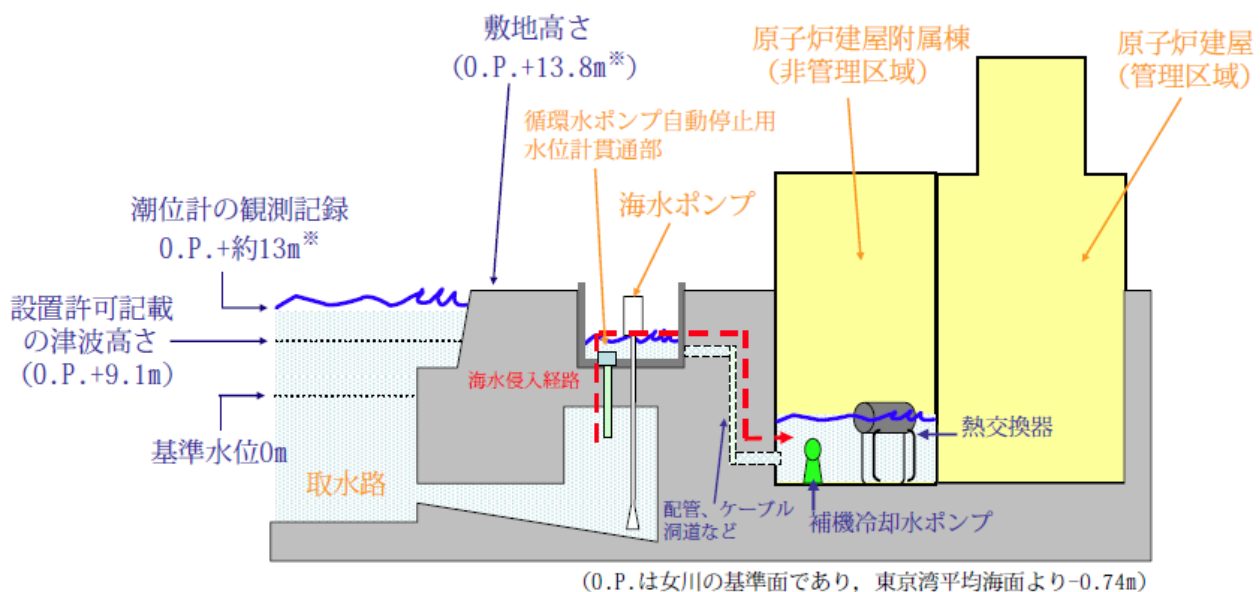
地震の揺れにより発電機界磁喪失信号が発信し、非常用ディーゼル発電機および高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機が自動起動していたが、この浸水の影響により、非常用ディーゼル発電機(B)および高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機が自動停止した。しかし、外部電源から電源が供給されており、所内電源は確保されていた。また、仮に外部電源が喪失しても非常用ディーゼル発電機(A)の起動により、必要な電源が確保される状態であった。

海水浸入の原因は、津波による水位上昇の影響で海水ポンプ室に設置している水位計設置箱の上蓋が押し上げられ、そこから流入した海水がケーブルトレイおよび配管の貫通部を通じて地下トレンチに流入した後、配管の貫通部を通して、原子炉補機冷却系熱交換器室等に浸水したものと推定された。

後日、対策として当該水位計を取外し、開口部に止水処理を行った。当該水位計は異なるエリアである除塵装置エリアに移設することとした。

当該水位計は1号機および3号機にも設置されているが、設置エリアが異なる（除塵装置エリア）ため、原子炉補機冷却系等への被害はなかった。

- ※1：発電所建屋内の暖房等に使用する蒸気やプラント起動時のタービン軸封部へのシール蒸気（回転部からタービン蒸気が漏れ出さないように軸封部に供給する蒸気）を供給するグラウンド蒸気発生器の加熱用に蒸気を供給するための設備。
- ※2：非常用ディーゼル発電機や残留熱除去系等の冷却を行うための水を循環させるポンプ。
- ※3：高圧炉心スプレイ系用ディーゼル発電機や原子炉の水位が異常に低下した際に原子炉へ給水する高圧炉心スプレイポンプモータ等の冷却を行うための水を循環させるポンプ。



※ 今回の地震発生後に公表された国土地理院による女川原子力発電所周辺の地殻変動（一約1m）を考慮した値。

図 4.3-3 女川2号機原子炉補機冷却系熱交換器(B)室等への浸水経路（イメージ図）

出典：東北電力（平成23年5月30日 法令報告）

5 女川原子力発電所での震災対応の状況

5.1 地震発生直後、津波襲来～復旧、冷温停止までの対応状況の概要

女川原子力発電所は、1号機及び3号機が定格熱出力一定運転、2号機が原子炉起動中のところ、東北地方太平洋沖地震により、「地震加速度大」信号発信により全号機の原子炉が自動停止した。

外部電源は、5回線のうち松島幹線2号線が機能維持していたため、2号機と3号機は起動用変圧器を介して受電し、所内電源が確保されていた。

1号機では、地震により常用母線が地絡し起動用変圧器が停止したため非常用ディーゼル発電機が起動した。また、直流電源からの電源により原子炉隔離時冷却系を起動して原子炉を冷却した。圧力制御は、主蒸気逃し安全弁により行った。減圧後、制御棒駆動水圧系で原子炉への給水を行った。サプレッションチャンバ及び原子炉の冷却を残留熱除去系で行って12日0:58に冷温停止となった。

2号機では、地震発生直前の状態は、原子炉は未臨界で炉水温度100℃未満であったため、3月11日14時49分に原子炉モードスイッチを「停止」位置に操作することで冷温停止となった。なお、海水ポンプ室の取水路から流入した海水が地下トレンチを通じて原子炉建屋に浸入し、原子炉補機冷却系（B）と高圧炉心スプレイ補機冷却系が機能喪失したが、原子炉補機冷却系（A）が健全であったため、残留熱除去系（A）による原子炉の冷却機能は確保されていた。また、海水ポンプ用水位検出器が押し波により損傷したことにより循環水ポンプが自動停止したものと考えられる。

3号機では、津波の押し波により海水ポンプ用水位検出器が損傷し、海水ポンプ室水位極低信号が発信したため、循環水ポンプが自動停止した。更に、海水の浸入によりタービン補機冷却海水系が機能喪失したため、原子炉給水ポンプを停止し、原子炉隔離時冷却系を手動起動して原子炉の冷却を行った。圧力制御は主蒸気逃し安全弁で行った。原子炉減圧後はMUWCにより原子炉に給水を行った。サプレッションチャンバ及び原子炉の冷却を残留熱除去系で行って12日1:17に冷温停止となった。

使用済燃料プールの冷却系も地震の揺れによる影響で自動停止したが、設備に異常がないことを確認して再起動し、有意な温度上昇は認められなかった。

外部電源は、翌日の3月12日の20時12分及び15分に牡鹿幹線1号、2号が復旧した。また、1号機の起動用変圧器は、同じく12日の2時05分に復旧した。

5.2 震災対応の状況

5.2.1 地震発生直後

地震発生後直ちに、発電所及び本店で対策本部が立ち上げられて対応が行われた。本店の非常災害対策本部は全社規模であり、原子力発電所との窓口は原子力部が原子力班として対応した。本店からは、資機材や食料等の手配や復旧のための手続き等で支援が行われた。本店の対策本部では、東北地方全体の設備の被害状況の把握及び復旧そのための資機材等の手配、広報活動及びお客様対応等で原子力だけに対応する状況ではなかった。

1、2号機の原子炉主任技術者は、地震発生時、2号機の起動操作の監督のために1、2号機の中央制御室に居た。地震によるプラント停止を受けて、1号機の原子炉の冷却操作を指導していたが、その後1号機の火災及び2号機の浸水等が発生したため、これらの対応が落ち着くまで5時間近く中央制御室で運転員の指導・監督を行った。

地震発生時には、中央制御室では天井から照明やルーバーが落下・散乱した。また、防煙垂壁

の一部が破損した。このため、運転員はヘルメットを着用して操作を行った。制御盤には揺れに対して姿勢を保持できるようにてすりを設置しており、これにつかまり、なんとか監視姿勢を維持した。

1号機では、14時46分に原子炉が地震で自動停止した。14時57分に火災報知器が発報し、運転員が現場確認に向かった。15時30分にタービン建屋地下から発煙が認められたため、15時41分に消防署に通報を行った。自衛消防隊が状況確認と消火のために現場に向かったが、発煙による視界不良により発煙箇所の特定制定ができなかったため、タービン建屋から作業員の退避を指示し避難が完了したことを確認して17時15分に二酸化炭素消火設備（主油タンク室、EHC（電気油圧式制御装置）制御油ユニット室、励磁機室）を起動した。念のために16時13分から発電機の水素ガスを窒素ガスに置換した。

発煙の発生箇所はタービン建屋地下1階の高圧電源盤エリアと推定し、エアラインマスクを着用して現場確認を行った。高圧電源盤のうち常用メタクラ6-1AのユニットNo.7とNo.8が焼損し過熱状態であることを確認し、粉末消火器7本で消火活動を行った。地震及び津波のために発電所の周辺道路が一部損壊しており、消防署員が入構できなかったため、協力企業の作業員で消防署勤務経験者が22時55分に消火を確認した。この火災は、地震の揺れにより高圧電源盤内で短絡・地絡が発生し、発生したアーク放電の熱により盤内ケーブルの被覆が溶けて発煙したものとして推定される。

3.11 当時は、免震構造の事務新館は建設途中であり、緊急対策室は、事務本館内に設置されていた。緊急対策室には、保安電話、衛星電話、無線通信設備、防災 FAX 等の通信設備が備えられていた。また、プラントパラメータを監視できるよう SPDS（原子炉安全状態監視装置）等を設置していた。事務本館は地震直後に一時的に停電したが、通信設備や SPDS は CVCF（定電圧・定周波電源）や UPS（無停電電源）等により電源が確保されていたため、特に支障はなかった。事務本館が停電していた間は、中央制御室から電話連絡でプラントのパラメータの状況を確認していた。なお、防災 FAX については発電所外の NTT 回線が流されたので使用できなかった。ERSS(緊急時対策支援システム)による国へのデータ転送については、本店の停電により、一時、情報の伝達が途絶えた。一般回線と携帯電話は通じなかったため使用できなかった。東北電力の社内連絡用の発電所最寄のマイクロ波中継所では、停電時に非常用発電機が自動起動するようになり、発電機の燃料の補給を適宜行っていたことにより通信を維持していた。

震度6弱以上の地震発生時には自動的に非常体制発令となる決まりであり、平日の午後であったことから地震発生と同時に対策要員は対策室に集合した。対策本部の班編成は、対策本部（25名）、情報班（7名）、総務班（5名）、広報班（3名）、技術班（3名）、放射線管理班（4名）、保修班（10名）、発電管理班（3名）で構成されている。

協力会社への人員確保の要請は、一般災害に係るマニュアルに基づき総務課長が行った。

1～3号機の原子炉が停止したことを所長から本店の原子力部長に連絡した。また、国及び自治体への連絡を FAX で行った。

地震後は、50 ガル以上又は震度5弱以上の場合に運転員及び設備担当課がパトロールを実施することとなっているが、その後津波警報が発令されたことを受け、屋外の危険箇所等を除外して非常時の連絡手段を確保した状態で被害状況の確認のパトロールを行った。パトロールの結果は、一旦中央制御室で集約してから、対策室に連絡した。

中央制御室のパソコンやプリンタ等は、固縛していたため落下しなかった。

中央制御室では、確認できていない配管破損が発生していることを想定して、サンプの水位やサンプポンプの発停頻度を確認していた。幸いに、配管の破損はなく、特別な対応は必要なかった。

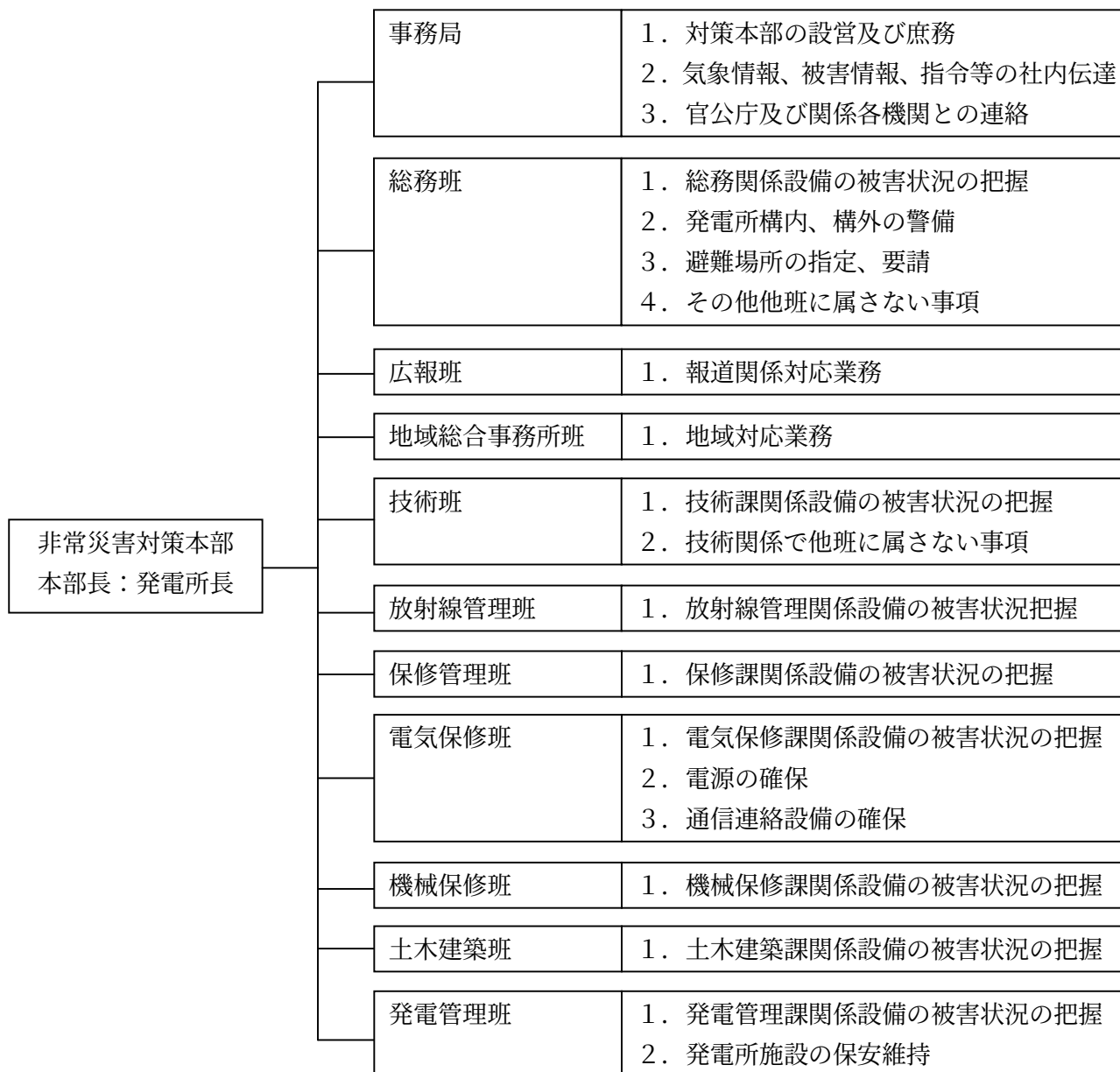


図 5.2.1-1 非常災害対策体制及び主な任務

5.2.2 津波到達直後

2号機の中央制御室に設置してある ITV 監視盤のモニタ TV (CRT) が転倒していたため、元の状態に復旧した。地震発生前の ITV 監視盤では、取水口の映像を選択していたため、復旧したモニタ TV 画面には津波襲来の様子が映されていた。モニタ TV 画面を確認して間もなく、1号機の重油タンクが半分まで海水に浸かっていることを確認した。直ちに対策室に津波の到達を連絡した。また、ページングにより避難指示を発令した。

潮位計は、最初の押し波で指示値がダウンし、機能喪失した。事態が落ち着いて、バックアップの潮位計の記録から 15 時 29 分が最大津波到達時刻であり、高さが 13m であることを確認した。

津波襲来以降は、NTT 外線が不通となり自治体への FAX 及び電話連絡が不可能となった。また、携帯電話も使えなかった。このため、発電所から本店へ保安回線の FAX で連絡を入れ、本

店から国・自治体へ FAX で情報提供を行った。

2 号機では、地震による揺れの影響で発電機界磁喪失信号が発信し、非常用ディーゼル発電機 (A)、(B)、(H) が自動起動したが、津波により原子炉建屋地下 3 階の非管理区域にある原子炉補機冷却系熱交換器 (B) 室、高圧炉心スプレイ補機冷却系熱交換器室、エレベータエリアにアクセスする階段室に海水が流入し、原子炉補機冷却系ポンプ (B)、(D) および高圧炉心スプレイ補機冷却系ポンプが浸水した。このため、15 時 34 分に原子炉補機冷却系ポンプ (B) が自動停止し、バックアップで起動した原子炉補機冷却系ポンプ (D) も即自動停止したことから、非常用ディーゼル発電機 (B) は冷却水の供給がなくなり、15 時 35 分に自動停止した。また、15 時 41 分に高圧炉心スプレイ補機冷却系ポンプが自動停止したことから、非常用ディーゼル発電機 (H) は冷却水の供給がなくなり、15 時 42 分に自動停止した。なお、原子炉補機冷却系熱交換器 (A) 室にも海水が流入した。

使用済燃料プールではスロッシングによりプール外に水が少量飛散したが、屋内のプール周辺が濡れた程度であった。なお、中越沖地震の対策として屋外への漏洩防止や貫通部のシール強化などを実施済みであった。

5.2.3 津波到達後の復旧に向けての対応

(1) 復旧に向けての作業と運転操作

電源が確保されており、冷却に必要な機器も特に機能喪失していなかったことから、原子炉の冷温停止に向けての操作はマニュアル通りの操作であり、中央制御室が適切に操作して冷温停止に導くことができた。

2 号機では、海水ポンプ室の取水路から流入した海水が地下トレンチを通じて原子炉建屋に浸入したため、仮設排水ポンプ 8 台を使って中継用の溜め升を設置して 2 段階で排水した。排水に当たっては、予めサンプリングを行って放射性物質が含まれていないことを確認した。この排水ポンプの電源確保のために仮設ケーブルを敷設するにあたっては、予め保管していたケーブルおよび資機材に加え、協力会社から提供を受けた資機材で対応することができた。これらの対応においては、所長代理が指導を行った。

大きい余震が続き、都度パトロールを実施して国および自治体に連絡を行った。このパトロールの実施と連絡が大きな負担となった。

本店からの指示により、原子力関係の保安通信ネットワークの維持・復旧が優先的に実施された。本店の対策本部は、発電所が復旧に専念できるように問合せを必要最小限度にとどめ、現場からの要請に応えることを優先して復旧対応に当たった。TV 会議も必要最小限の使用にとどめた。

(2) 人員及び資機材他の手配

1・2 号機の教育直の運転員が 11 名、日勤 18 名が出社していたことから、中央制御室の運転員の助勢として 1・2 号機と 3 号機のそれぞれ 2 班を編成し、2 交代で復旧対応に当たらせた。13 日以降は、自動出社した人員と最寄りの営業所からの保安回線で連絡がついた出社可能な人員を召集し、3 交代制で対応した。

発電所へのアクセス道路は全て寸断されていた。仙台に出張していた社員が震災翌日発電所に出勤しようとして、山の中の道路からのアクセスが容易であろうと考えてコバルトラインを通行したが、小積 IC から道路が通行できず、徒歩で発電所に到達した。その後、発電所から各アクセス道路の状況を把握するためにパトロールを出したが、全てのアクセス道路が寸断さ

れていることを確認した。道路の復旧は、本店が宮城県と協議し、除雪のためや改良工事のための重機が発電所の構内にあったことからこれらを活用して 5 日かけて道路の復旧を行った。以前に、台風襲来時に寸断された道路を自分達で復旧した経験があり、その経験を活かして復旧作業を行った。

発電所で対策本部にいた人員は 2 日目以降、交代制として適宜休憩を取ることとしたが、道路が寸断されていたため帰宅できず、事務所内の会議室や訓練センター等仮眠を取れる場所をそれぞれの課で確保し、着の身着のままで過ごした。毛布はヘリコプターで運搬されてきたが、当初は、避難されてきた人たちへの配布を優先したため、所員に渡ったのは 4 日目くらいからであった。

軽油は非常用ディーゼル発電機用に 7 日分を備蓄していたため、追加の補給をしなくても支障なく対応できた。軽油移送配管は地下トレンチ内に設置していたため、津波の影響を受けなかった。重機の燃料には、浸水により機能喪失した 2 号機非常用ディーゼル発電機（B）の軽油を流用した。当初は、帯電防止用のホースがなかったため、サンプリング用の 1L ボトルを使って苦労して抜き取りを行った。また、水運搬車や大型車両も軽油を使用した。ガソリンの備蓄はなかったため、陸路復旧後に本店から携行缶により毎日数十リットルずつ搬入してもらった。

電源車は、アクセス道路が損壊していたため到達できず石巻で待機していた。しかし、3 月 12 日の 20 時 12 分及び 15 分に牡鹿幹線 1 号、2 号が復旧したため、結局発電所まで来てもらうに至らなかった。

ヘリコプターを 3 月 11 日に本店が手配し、運搬に使用した。ヘリコプターは、本来地震等に対する送電網の健全性を確認するために必要であったが、原子力発電所用に 1 台確保してもらった。ヘリコプターは仙台空港に待機していたが、マニュアルで、地震が起こった場合、高台に移動するように定められていたため、津波の被害にあわず活用できた。また、グループ企業ではないヘリコプターの運航会社にいち早くアクセスして、ヘリコプターを確保できたことが運搬手段として大きな手助けとなった。ヘリコプターは当初の 3 日で 21 回の運搬を行った。ヘリポートが構内の離れた場所にあったため、荷物は、車両を活用して人海戦術で構内の運搬を行った。

構外作業との連絡には通常の携帯電話が使用できなかったため、無線が有効であった。発電所内での連絡手段は PHS が非常に有効であった。一部でアンテナが破損したために通じないエリアも出たが、手当てを行い、特段の支障がなく作業時の連絡が確保された。また、自治体（女川町）等外部との連絡に衛星携帯電話も活用した。しかし、保有台数が少なく十分な通信状態を維持するのに苦労した。ページングは、非常用電源から供給し、交流電源喪失の際は蓄電池から給電される。このため、地震及び津波に対する退避指示は発電課長がページングで行った。

放射線管理資機材は、地震や津波の被害を受けておらず、不足する事態にもならず作業に支障をきたすことはなかった。

食糧については 500 名の 3 日分を、飲料水については 500 名の 3 日分として 1500 リットルを備蓄していたが、関係会社・協力会社の備蓄は不十分であった。また、地域住民が避難してきたため、3 月 12 日時点で合計 1800 人の人員に対しては、1 日分しか確保していない状態であった。3 月 16 日の道路復旧までは、被害の少なかった日本海側の東北電力の供給範囲から食糧調達し、ヘリコプターにより発電所へ運搬した。軽食 1～2 食の状態であった。

生活用水のための取水設備、導水設備が地震の影響で破損したため、生活用水の使用制限を

行った。また、代替運搬車を本店が手配し、河川管理者に取水許可を取り、水が確保された。河川に仮設ポンプを設置し、ポンプで取水した水を運搬車に入れてピストン輸送を行い、1日に400t程度の水を運搬した。埋設管の接続部が地震により破損しており、路面を掘削して補修したため、全線の仮通水となったのは4月下旬となった。

看護師免許を有している健康推進スタッフ2名を中心に、所員及び構内体育館に避難してきた地域住民の健康管理を行った。また、本店から心理カウンセラーが来所し、カウンセリングを行った。

家を流されたり、道路が寸断したことにより孤立した地域から区長とともに住民の方々が、3月11日の16時頃、発電所PRセンターに避難を求めてきた。しかし、PRセンターも停電していたため、発電所長の判断により発電所構内への受入れを決めた。核物質防護上、区長が身元保証人になって頂き受け入れた。国へも受け入れについて連絡した。当初は徒歩で避難されてきたが、途中からバスを発電所から出して迎えた。避難された方々は、3月14日には最大人員の364名となった。避難されてきた方々が出入りされるため、その出入管理が煩雑であった。自治体に地域住民の方々を受け入れている旨連絡し、3月16日に女川町の避難所として指定され、それ以降は自治体の職員が常駐し対応に当たられた。新たな避難先が見つかった人から順次退去され、6月6日に全員の退去が完了した。自治体からの食料が届くまで、発電所に備蓄していた非常食を配給した。水は備蓄していたペットボトルを配給した。発電所内の水道設備が復旧した後は水道水を使用してもらった。避難されてきた方々の日用品は、要望をお尋ねして本店へ手配を依頼し、ヘリコプターで運搬してもらった。更に、避難者の方々のうち妊婦の方や酸素ボンベが必要な方の搬送のためにヘリコプターを活用した。

また、津波を避けるために沖に避難していた船も、戻る港が被害にあったため、一時的に、発電所の港湾に受入れを行った。

13日の2:00頃にモニタリングポストの指示値がピークとなり、原災法10条通報の通報基準 $5\mu\text{Sv/h}$ を超えたため、10条通報を行った。発電所では、自分達のプラントの収束対応に手一杯であり、福島第一発電所での事故に関しては、ほとんど知らなかった。本店では、福島第一事故の影響であることが明白であり、通報は不要ではないかと規制側に相談していたが、法律に基づいて粛々と手続きするように指導があり、通報を行うこととなった。その後、3ヶ月程度定期連絡を行う必要があった。

自衛隊は、出動要請が多数の状況であり、4~5日経過した後、発電所に対する支援の話があった。

表 5.2.3-1 女川 1 号機 地震発生後のプラント状況時系列

地震発生前：定格熱出力一定運転

平成 23 年 3 月 11 日（金）

- 14：46 東日本大震災発生（発電所内観測震度 震度 6 弱）
鉛直方向地震加速度大 原子炉自動停止
- 14：47 全制御棒全挿入を確認
非常用ディーゼル発電機（A）（B）自動起動、使用済燃料プール冷却浄化系ポンプ（A）自動停止
- 14：55 起動用変圧器停止（ロックアウトリレー動作）
- 14：59 非常用ディーゼル発電機（A）、（B）負荷運転開始
- 15：00 原子炉隔離時冷却系手動起動
- 15：01 残留熱除去系ポンプ（A）手動起動（サブプレッションチャンバ冷却運転のため）
- 15：05 残留熱除去系ポンプ（C）手動起動（サブプレッションチャンバ冷却運転のため）
- 15：05 原子炉未臨界確認
- 15：12 残留熱除去系ポンプ（B）手動起動（サブプレッションチャンバ冷却運転のため）
- 15：55 残留熱除去系ポンプ（D）手動起動（サブプレッションチャンバ冷却運転のため）
- 16：15 残留熱除去系ポンプ（A）、（C）自動停止
- 17：10 頃 残留熱除去系ポンプ（A）手動再起動（サブプレッションチャンバ冷却運転のため）
- 18：29 原子炉減圧開始（主蒸気逃し安全弁使用）
- 19：30 頃 原子炉隔離時冷却系タービン自動停止（原子炉水位高（L-8）による）
- 20：20 使用済燃料プール冷却浄化系ポンプ（A）手動起動（燃料プール冷却）
- 21：56 制御棒駆動水機構ポンプ（A）手動起動（原子炉への給水）
- 23：46 残留熱除去系ポンプ（A）手動停止（原子炉停止時冷却準備（フラッシング）のため）
残留熱除去系ポンプ（A）手動起動（原子炉停止時冷却モード）

平成 23 年 3 月 12 日（土）

- 0：57 原子炉冷却材温度 100℃到達
- 0：58 原子炉の状態「冷温停止」
- 2：05 起動用変圧器受電（復旧）以降、火災が発生したメタクラ 6-1A 以外の常用母線を復電

表 5.2.3-2 女川 2 号機 地震発生後のプラント状況時系列

地震発生前：第 11 回定期検査中で、地震発生直前に「起動」

平成 23 年 3 月 11 日（金）

- 14：00 原子炉モードスイッチ「燃料取替」→「起動」（原子炉の状態「起動」）
制御棒引き抜き開始
- 14：46 東日本大震災発生（発電所内観測震度 震度 6 弱）
原子炉建屋下部水平方向地震加速度大 原子炉自動停止
- 14：47 全制御棒全挿入を確認
非常用ディーゼル発電機（A）、（B）、（H）自動起動
※発電機界磁喪失信号発信による
使用済燃料プール冷却浄化系ポンプ（B）自動停止
- 14：49 原子炉モードスイッチ「起動」→「停止」
（原子炉の状態「冷温停止」）
- 15：34 原子炉補機冷却系ポンプ（B）、（D）自動停止（ポンプ浸水による）
- 15：35 非常用ディーゼル発電機（B）自動停止（原子炉補機冷却系（B）、（D）停止による）
- 15：41 高圧炉心スプレイ補機冷却系ポンプ自動停止（ポンプ浸水による）
- 15：42 非常用ディーゼル発電機（H）自動停止（高圧炉心スプレイ補機冷却系停止による）
- 20：29 使用済燃料プール冷却浄化系ポンプ（A）手動起動（燃料プール冷却）

平成 23 年 3 月 12 日（土）

- 12：12 残留熱除去系ポンプ（A）手動起動（原子炉停止時冷却モード）

表 5.2.3-3 女川 2 号原子炉補機冷却系 B 系、原子炉補機冷却海水系 B 系
および高圧炉心スプレイ補機冷却系に関する時系列

平成 23 年 3 月 11 日（金）

14：00	原子炉起動
14：46	地震発生（発電所内観測震度 震度 6 弱） 原子炉自動停止 非常用ディーゼル発電機（A）、（B）、（H）自動起動（無負荷運転）
14：49	大津波警報発令
15：21 頃	津波第一波（運転員による目視での確認時刻）
15：34	原子炉補機冷却系ポンプ（B）自動停止 原子炉補機冷却系ポンプ（D）自動停止（バックアップ起動後、即停止）
15：35	非常用ディーゼル発電機（B）が「RCW（原子炉補機冷却系）差圧低」信号により自動停止
15：41	高圧炉心スプレイ補機冷却系ポンプ自動停止
15：42	非常用ディーゼル発電機（H）が「HPCS（高圧炉心スプレイ補機冷却系）差圧低」信号により自動停止
16：00 頃	現場確認に向かった運転員が、原子炉建屋の非管理区域の最地下階 RCW 熱交換器（B）室および高圧炉心スプレイ補機冷却系熱交換器室にアクセスするための階段（2 箇所）の地下 3 階部および、原子炉補機冷却系熱交換器（A）室に浸水を確認
16：01	原子炉補機冷却海水系ポンプ（B）手動停止（原子炉補機冷却系 B 系浸水のため）
16：06	高圧炉心スプレイ補機冷却系海水ポンプ手動停止（高圧炉心スプレイ補機冷却系浸水のため）
20：12 頃	浸入した水を分析した結果、放射能は検出されず、海水と判明
20：25	仮設ポンプを設置し、原子炉建屋（非管理区域）地下 3 階に流入した海水を屋外へ排水開始

平成 23 年 3 月 16 日

10：30	流入した海水の排水完了
-------	-------------

表 5.2.3-4 女川 3 号機 地震発生後のプラント状況時系列

地震発生前：定格熱出力一定運転

平成 23 年 3 月 11 日（金）

14：46	東日本大震災発生（発電所内観測震度 震度 6 弱） 原子炉建屋下部鉛直方向地震加速度大 原子炉自動停止
14：47	全制御棒全挿入を確認
14：57	原子炉未臨界確認
15：26	原子炉隔離時冷却系手動起動（原子炉への給水）
15：28	原子炉補機冷却海水系ポンプ（D）手動起動（サブプレッションチャンバ冷却運転）
15：30	原子炉補機冷却系ポンプ（B）手動起動（サブプレッションチャンバ冷却運転）
15：30	残留熱除去系（B）手動起動（サブプレッションチャンバ冷却運転）
15：43	原子炉補機冷却海水系ポンプ（C）手動起動（サブプレッションチャンバ冷却運転）
15：44	残留熱除去系（A）手動起動（サブプレッションチャンバ冷却運転）
15：45	原子炉補機冷却系ポンプ（A）手動起動（サブプレッションチャンバ冷却運転）
16：40	原子炉減圧開始（主蒸気逃し安全弁使用） 原子炉隔離時冷却系タービン停止（原子炉水位高（L-8）による）
16：57	原子炉隔離時冷却系手動起動（原子炉への給水）
21：44	残留熱除去系ポンプ（A）手動停止（原子炉停止時冷却準備）
21：45	原子炉隔離時冷却系タービン手動停止
21：54	復水補給水系による注水（原子炉への給水）
23：51	残留熱除去系ポンプ（A）手動起動（原子炉停止時冷却モード）

平成 23 年 3 月 12 日（土）

1：17	原子炉冷却材温度 100℃到達 原子炉の状態「冷温停止」
------	---------------------------------

6 女川原子力発電所での震災対応からの教訓

女川原子力発電所の震災対応からも、ちょっとした工夫により現場での負担軽減が図られると思われる項目や、グッドプラクティスとして他発電所でも同様の対応を行うことで実効的な対応が可能となる項目があり、これらを以下にまとめた。

6.1 組織、マネジメント、コミュニケーション

- ・ 本店と発電所において課題毎に組織横断的な対応が可能な非常時の体制を構築する必要がある。特に、本店による後方支援の準備が重要である。
- ・ 中央制御室と緊急時対策室の連絡要員を配備することは運転員がプラント運転操作に集中できる環境の整備として有効である。
- ・ 非常時に発電所が現場の対応に集中できるよう全社的な後方支援（設備対応、地域対応、業務継続・生活支援、状況確認など）の準備をしておくべきである。
- ・ 自衛隊については、非常災害時には、多数の緊急出動の要請があり、当面は助力を期待できない状況であることを認識しておく必要がある。

6.2 事前の準備（設備、マニュアル、訓練）

- ・ 緊急安全対策（短期対策）、緊急安全対策（中長期対策）、シビアアクシデント対応措置、さらなる安全性向上対策といった安全性向上対策（ソフト・ハード）に取り組む必要がある。
- ・ アクセス道路途絶時に陸路・空路（場合によっては海路を含む）などの複数の移動・物資輸送手段を組み合わせ対応できるよう準備をしておくべきである。アクセス道路途絶時の移動・物資輸送対応のためのヘリコプターや重機の準備、重機運転員の確保をしておくことが望まれる。
- ・ 中央制御室の天井から照明が落下・散乱したり、現場で火災・浸水が同時発生するような状況下においても、非常時操作手順書に従った冷静なオペレーションが実施できるよう訓練を積み重ね、有事に備えた能力向上を図るべきである。
- ・ 制御盤への手すりの設置は地震発生時の計器値の確認や運転操作に対し非常に有効である。また、机上パソコン・プリンタのベルト固定など、中央制御室の天井や備品の耐震性対策は運転操作の環境整備として重要である。
- ・ 津波による建屋浸水に備えた排水用仮設ポンプなどの資機材の準備が必要である。
- ・ アクセス道路途絶時に火災が発生した場合を想定し、発電所の消火設備と自衛消防隊で火災への初動対応ができるようにしておくべきである。自衛消防隊は発煙による視界不良時においても活動ができるように訓練をしておくべきである。初動対応を円滑に行なうために、火災現場用の酸素ボンベは十分な量を準備しておく必要がある。
- ・ 非管理区域の建屋内に汚染水が発生した場合の対応方法を検討しておくべきである。
- ・ 発電所周辺でガソリンが確保できない場合に非常用ディーゼル発電機の軽油タンクの軽油を活用することを想定し、発電所車両の更新にあわせてディーゼル車化すること及び軽油抜き取り用の帯電防止ホースの準備をすることは有効である。
- ・ 水・食料は、協力会社の作業者也考慮して 2000～3000 人分を確保しておき、更に、補給方法も予め準備しておくべきである。なお、水・食料の備蓄は、関係企業、協力企業に対しての、食糧備蓄の要求も含んだものである。
- ・ 携帯電話が使用できない場合の屋外、発電所構外活動においても発電所との業務連絡、地震津波

情報の連絡ができる体制を構築しておくべきである。無線や衛星携帯電話を必要十分な台数準備しておくことが有効である。

- ・ 一般回線、携帯電話が使用できなくなることを想定し、国・自治体やプラントメーカー等との連絡手段、屋外活動時の連絡手段を確保することが重要である。通信設備の信頼性を向上させるために、非常用電源もしくはバッテリーから給電できるように準備しておくこと、トラブル発生時の復旧・維持作業の体制を整えておくことが望まれる。衛星通信を活用した TV 会議回線のバックアップルートの確保が望まれる。保安電話・TV 会議の使用時は、マイクロ波無線回線と光通信回線（OPGW、配電線添架光ケーブル）による異種多ルート構成が通信の信頼性確保に有効であるため、通信設備の維持・保守は重要である。
- ・ プラント保安要員を確保するための対応として、関係会社も含めた発電所近傍の宿舎の準備や発電所の宿直体制の構築が望まれる。

6.3 震災時の初動対応

- ・ 火災で視界が悪く現場に近づけない場合は、二酸化炭素消火設備を用いた消火が有効である。また、火災発生時には、被害拡大を抑える対応（発電機の水素ガスを窒素ガスに置換し排出など）を迅速に行えるよう準備しておくことが必要である。
- ・ 地震発生時は中央制御室の ITV カメラによる津波襲来の確認が有効である。また、地震発生時の津波襲来を事務所からも確認・状況把握する方法を準備することが望まれる。

6.4 追加の対策

- ・ 外部電源の信頼性強化が重要である。また、外部電源から所内の非常用負荷に給電する設備の信頼性向上（多様化・他ルート化・耐震化等）が重要である。
- ・ 構内事務所の業務用設備の電源としてバックアップの非常用電源の設置が望ましい。
- ・ 構内一斉放送による津波警報発生時の避難指示以外にも実際に津波が襲来したときの周知方法を明確化しておく必要がある。避難場所は大規模な津波の襲来を考慮した高台などを選定し明確化しておく必要がある。

7 東海第二発電所の概要

7.1 全体配置

東海第二は、水戸市の北東約 15km に位置し、東は太平洋に面し、標高約 8m の平坦な台地からなっている。敷地の形状は、海岸線に長辺を持つほぼ長方形となっており、敷地面積は隣接する東海発電所を含めて約 36 万 m²である。

沸騰水型軽水炉が設置されており、発電機出力は 110 万 kW である。

今般の発災時は、定格熱出力一定運転中であった。

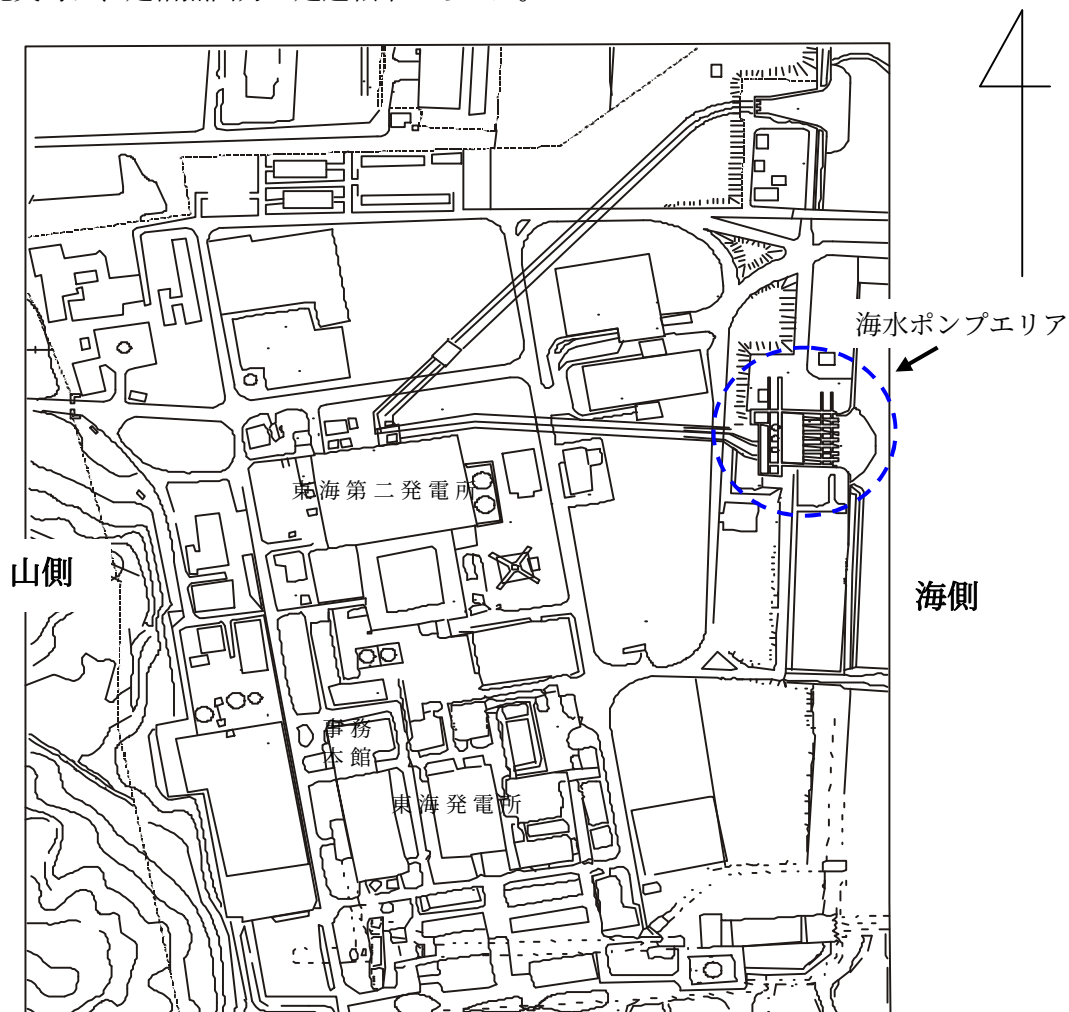


図 7.1-1 発電所の全体配置

運転開始	型式		出力 (万 kW)	地震発生時の状況
	原子炉	格納容器		
S53.11	BWR-5	マークII	110	定格熱出力一定運転

7.2 系統構成

東海第二の系統構成は図 7.2-1 のとおり。

各系統の役割を以下に示す。

- ・ 原子炉隔離時冷却系（RCIC）

通常運転中、何らかの原因で主蒸気隔離弁の閉等により主復水器が使用できなくなった場合、原子炉の蒸気でタービン駆動ポンプを回して復水貯蔵タンクの水を原子炉に注水し、燃料の崩壊熱を除去し減圧する。また、給水系の故障時等に、非常用注水ポンプとして使用し、原子炉の水位を維持する。

- ・ 残留熱除去系（RHR）

原子炉を停止した後、ポンプや熱交換器を利用して冷却材の冷却（燃料の崩壊熱の除去）や非常時に冷却水を注入して炉水を維持する系統（非常用炉心冷却系のひとつ）で、原子炉を冷温停止に持ち込める能力を有している。原子炉停止時冷却モード、低圧注水モード（非常用炉心冷却系）、格納容器スプレイモード、圧力抑制室冷却モード、使用済燃料プール水冷却モードの 5 つの運転モードを有する。

- ・ 非常用炉心冷却系（ECCS）

低圧炉心スプレイ系（LPCS）、低圧注水系（LPCI）、高圧炉心スプレイ系（HPCS）及び自動減圧系（ADS）からなり、原子炉再循環系配管のような原子炉冷却材圧力バウンダリーの配管が破断し、冷却材喪失事故（LOCA）が発生した場合に、炉心から燃料の崩壊熱及び残留熱を除去し、燃料の過熱による燃料被覆管の破損を防ぎ、さらに、これに伴うジルコニウムと水との反応を抑制する。

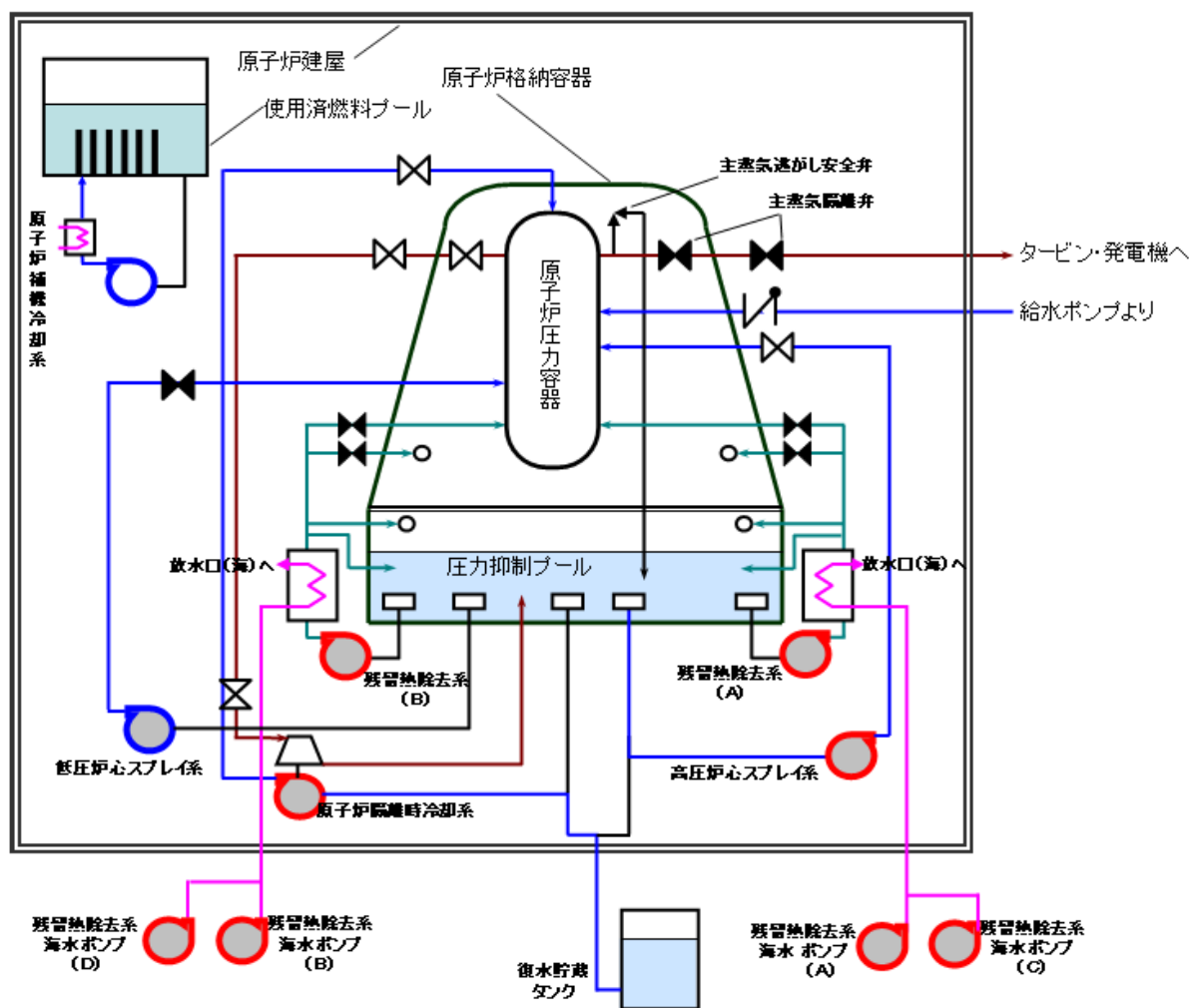


図 7.2-1 東海第二 系統構成図

7.3 電源系統

発電した電力は、275kV 送電線（東海原子力線）2 回線で、電力系統へ送電される。この東海原子力線は、1 回線で東海第二の全発生電力を送電しうる容量があり、仮に 1 回線に事故が発生しても発電所を全出力運転できる。

原子炉を起動・停止するための電力は、主回線である東海原子力線 2 回線で受電する。

万一、東海原子力線 2 回線が停電した場合に、原子炉を安全に停止するための設備への電力は、非常用ディーゼル発電機から供給される構成となっている。復旧に時間がかかる場合には、154kV 送電線（原子力線）1 回線で受電する。

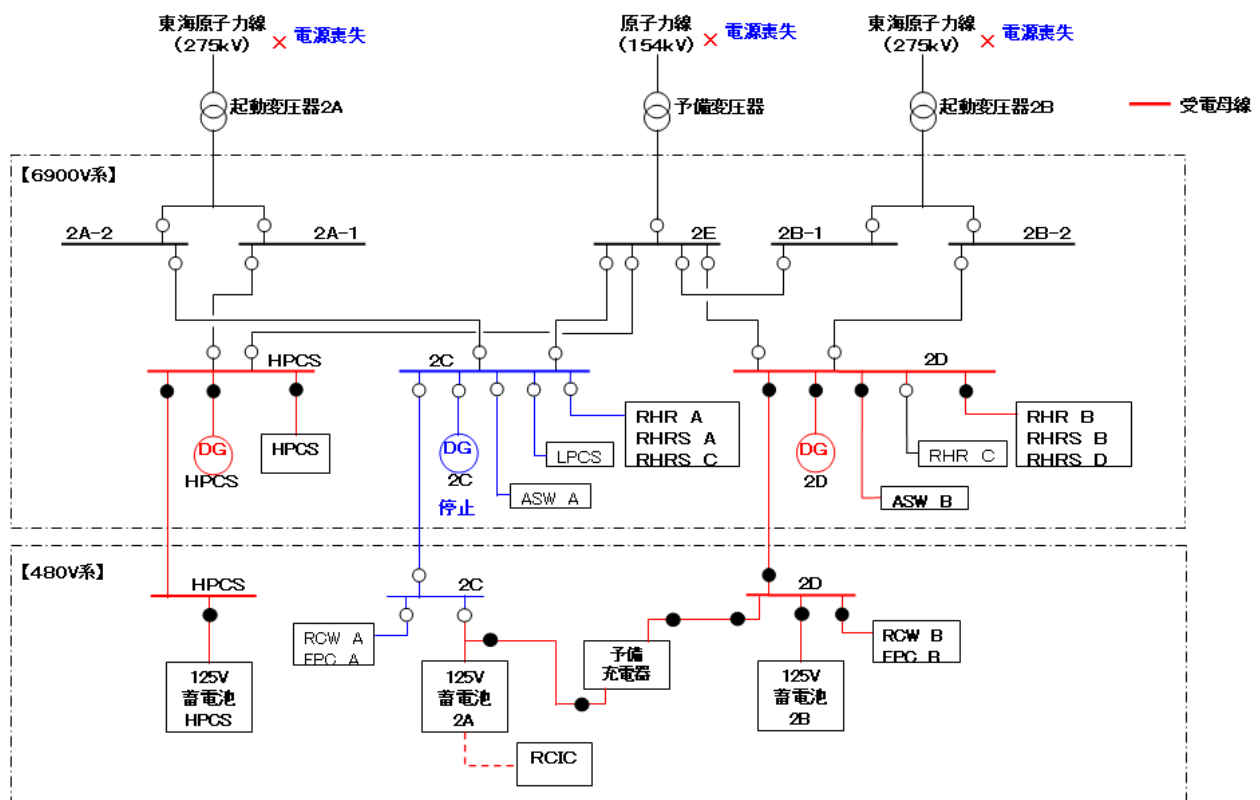


図 7.3-1 電源系統図、非常用電源系 単線結線図
(非常用ディーゼル発電機 (2C) 停止後の電源状況)

8 東海第二発電所での地震及び津波の被害

8.1 東海第二発電所での観測結果

地震の震度（東海村）は震度 6 弱であり、原子炉建屋地下 2 階に設置している地震観測記録の最大加速度は、南北方向 214 ガル、東西方向 225 ガル、上下方向 189 ガルを観測した。

原子炉建屋各階で観測された最大加速度値は、耐震設計審査指針の改訂（平成 18 年 9 月）を踏まえ策定した基準地震動 S_s に対する最大応答加速度を下回っていることが確認された。

なお、地震観測記録の応答スペクトルにおいて、基準地震動 S_s の応答スペクトルを局所的に上回っている記録が観測されたが、耐震設計上重要な設備の固有周期が集中する周期帯を含むほとんどの周期帯で基準地震動 S_s の応答スペクトルを下回る解析結果が得られている。

また、地震の揺れにより受けた影響について、地震観測記録に基づく原子炉建屋の解析結果を踏まえ、東海第二発電所の原子炉を「止める」「冷やす」、放射性物質を「閉じ込める」機能を有する耐震安全上重要な主要施設の地震時における構造強度評価及び動的機能維持評価を行った結果、各施設の発生値は、評価基準値以下であることが確認された。

津波高さについては、東海第二発電所港内に設置していた潮位計の観測可能範囲を超え、3 月 11 日 16 時 40 分頃以降については電源喪失のためデータが取得できていない。このため、痕跡高調査を行った結果から、標高※+約+4.8～5.3m（地殻変動調査後の標高）、遡上高さは、標高※+5.3m 程度（地殻変動調査後の標高）であったと推定された。

※：東京湾平均海面（T.P.）を標高の基準としている。

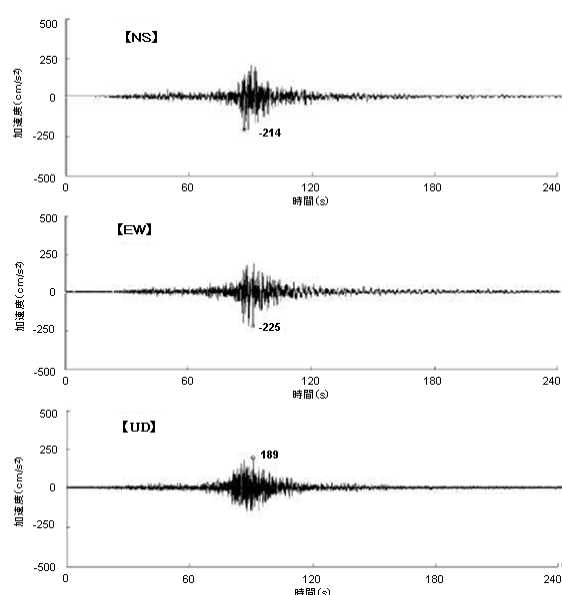


図 8.1-1 原子炉建屋
加速度時刻歴波形（地下 2 階）

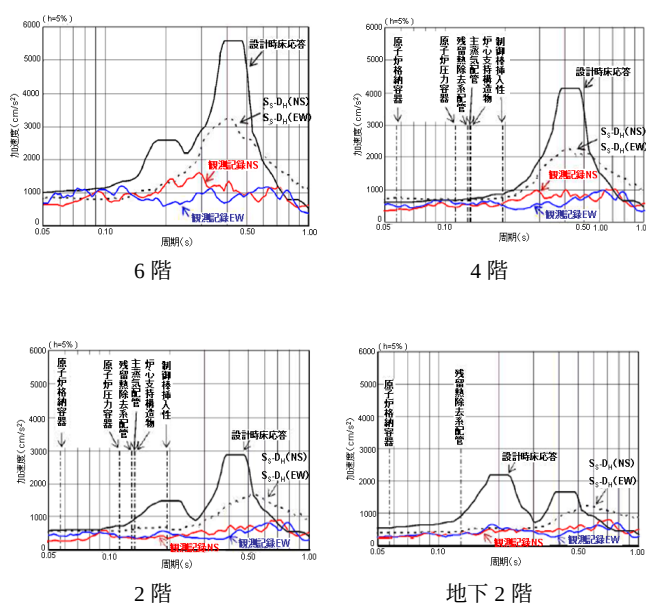


図 8.1-2 原子炉建屋
床応答スペクトル（水平方向、減衰 5%）

8.2 地震による被害及び影響

地震直後、外部電源 3 回線（275kV 系並びに 154kV 系）は喪失した。このため、非常用ディーゼル発電機 3 台（2C、2D、HPCS）が自動起動し非常用電源母線へ電源が供給された。

地震の影響によりタービン軸受の振動が増加し、タービン軸受振動大の信号によりタービン発電機が自動停止し、原子炉自動停止に至った。

サービス建屋内の実験室サンプにおいて、サンプポンプシール水電磁弁が外部電源喪失に伴う常用系電源の停電により“開”となり、シール水が当該サンプに流入し続けたこと、及び当該ファンネルを閉塞していたゴム栓が外れたことで、当該サンプとの僅かな水頭差により、複合建屋 1 階のバッテリー室において床ドレンファンネルより溢水が発生した。バッテリー保護のため漏えい水を非常用ディーゼル発電機室屋上（屋外）に排出した。

使用済燃料プールは、地震によるスロッシングにより、使用済燃料プール水位警報（「FUEL POOL LEVEL HI/LO」）が発報するとともにプールの周囲に溢水が発生したため、通常の水位から約 20cm 低下した。そのため、復水貯蔵タンク水による使用済燃料プールへの水張りを行った。

なお、水位は低下したものの、使用済み燃料プールに保管されている使用済み燃料は、十分冠水されている状態（燃料頂部+約 7m）が継続されていた。

使用済燃料プール冷却浄化系は、外部電源喪失で停止していたが、健全な非常用ディーゼル発電機（2D）からの給電によって冷却を再開した。

8.3 津波による被害

現場調査による痕跡等の確認結果から、東海第二における津波遡上高は、標高※+5.3m 程度（地殻変動調査後の標高）であったと推定され、東海第二の敷地高さ（標高※+8.0m（地震発生前の標高））を超えていないことから、主要な建屋には津波は到達しなかった。

敷地海側の海水ポンプ室（標高※+3.3m（地震発生前の標高））の周囲に津波が到達したが、南北の海水ポンプ室側壁は、標高※+約 5.7m（地震発生前の標高）の津波対策として標高※+6.1m（地震発生前の標高）の側壁を設置しており、上部からの浸水はなかった。

しかし、止水工事が終了していない以下の 2 ヶ所から北側ポンプ室に海水の浸水が発生した。

- ① 北側ポンプ室と ASW ストレナエリア間の開口（排水溝）
- ② ケーブルピットの非密閉構造

※：東京湾平均海面（T.P.）を標高の基準としている（地殻変動による地盤の沈降は考慮していない）。

なお、南側ポンプ室は止水工事が完了していた。

津波による北側ポンプ室への海水浸入により、非常用ディーゼル発電機海水ポンプ（2C）が停止した。このため、非常用ディーゼル発電機（2C）が使用不能となり非常用交流電源母線 2C が停電した。非常用交流電源母線 2D と HPCS 母線は引き続き電源が確保され、非常用機器への電源供給は維持された。

なお、浸水のあった北側ポンプ室には、非常用ディーゼル発電機海水ポンプ（2C）の他に、残留熱除去海水系ポンプ（A）及び（C）、補機冷却海水系ポンプ（A）及び（C）が設置されており、これらの海水ポンプは電動機下部付近まで浸水したが、機能への影響はなかった。

平成 19 年に茨城県が防災対策の見直しの中で、津波高さを従来よりも高く評価するよう見直しを行っていた。これを受けて、原電としても側壁の高さを+6.1m に嵩上げすることについて本店の土木部から提案があり、工事にかかっていたものである。この嵩上げを行っていなかったら、外部電源喪失の状態で非常用 DG が全台機能喪失する事態になっていた可能性があり、この工事の実施が結果として大事故を未然に防いだこととなる。

津波により、海水電解装置、取水口除塵装置等海岸側の常用機器は全て機能を喪失した。津波襲来時には、電源系の地絡警報が発報したが、プラントの安定化を優先し、対応が落ち着いた翌日以降に状況の確認を行った。ただし、安全上重要な機器で機能喪失したものは非常用ディーゼル発電機海水ポンプ（2C）のみであったため、プラントの冷温停止操作上は支障がなかった。



図 8.3-1 東海第二発電所 津波の浸水状況

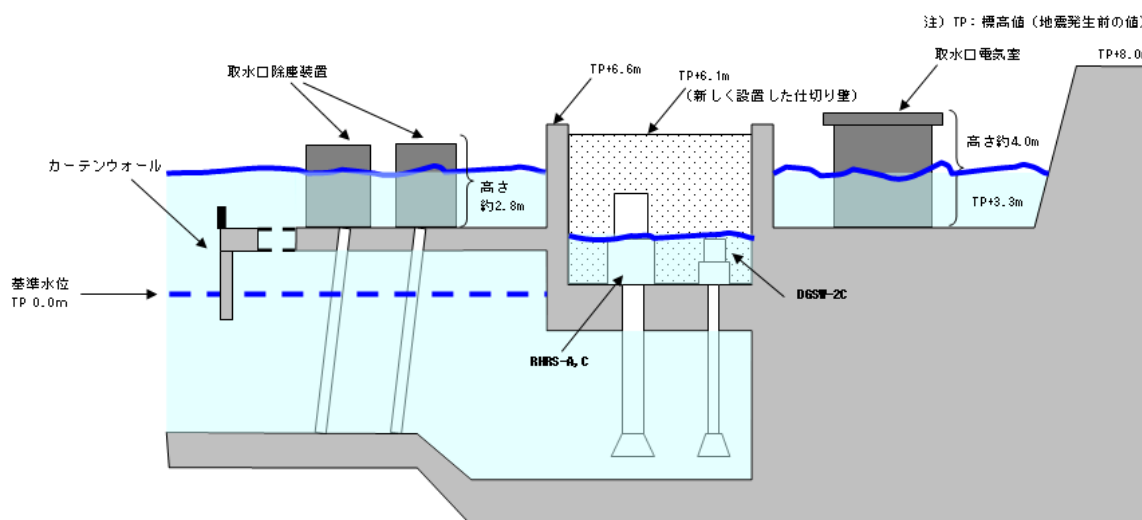


図 8.3-2 東海第二発電所 取水口津波浸水状況

9 東海第二発電所での震災対応の状況

9.1 地震発生直後、津波襲来～復旧、冷温停止までの対応状況の概要

東海第二は、定格熱出力一定運転中であったところ、3月11日14時48分に地震によるタービン軸受振動大でのタービン発電機が自動停止し原子炉が自動停止した。地震発生直後、3回線ある外部電源が全て喪失したが、非常用ディーゼル発電機3台が起動したことにより非常用機器への電源は確保された。原子炉自動停止直後は、原子炉隔離時冷却系及び高圧炉心スプレイ系により原子炉水位は通常水位で保たれるとともに、主蒸気逃し安全弁により原子炉圧力は制御された。原子炉停止後の崩壊熱は、残留熱除去系のサプレッションプール冷却により除去した。

その後、津波の影響により非常用ディーゼル発電機海水ポンプ（2C）が自動停止し非常用ディーゼル発電機（2C）は使用できなくなったが、残り2台の非常用ディーゼル発電機により非常用電源は確保し、原子炉及び使用済燃料プールの冷却機能に影響はなく、3月15日0時40分に原子炉を冷温停止した。

9.2 震災対応の状況

9.2.1 地震発生直後

地震によりタービン発電機が自動停止して原子炉が自動停止したため、中央制御室からページングで全館に連絡されたが、地震の揺れによる混乱のためページングの内容は事務所の多くの社員は認識できていなかった。発電電力指示計が事務所に表示してあり、それがゼロとなっていたことから、発電停止を各人確認し、声をかけあって通常のトラブル体制に移行した。最終的には、非常時体制や緊急時体制に移行せず、通常のトラブル体制（即ち、通常の業務ラインの長がそれぞれの責任所掌範囲の業務を遂行する体制）のままでプラントを冷温停止に移行できた。

本店側でも第一報を受けて直ちに社長をヘッドとした対策本部を立上げ、発電所からの情報を受け、必要な支援を行えるよう体制を構築した。

当初は、余震の揺れが大きいため危険を回避する目的で免震重要棟に移ったが、同棟は3月末竣工予定であり、通信設備や画像設備等は設置されていなかったことから、30分程度様子を見て揺れが収まってから再度、従来からの緊急対策指令所である本館3階対策本部に戻った。

3.11当日は、発電所長は本店での会議のため出張中であった。このため、翌日の午前中に、所長が、パトカーの先導を受けて常磐自動車道経由で発電所に着くまで、「災害対策要領」に基づき所長代理が震災対応の指揮を執った。

東海地区の原子力関連施設との連携に関しては「東海 NOAH 協定」により非常時の資機材や人員の融通の申し合わせがなされている。しかし、今回は非常時にまで至らなかったため、発電所内での対応で完結することができた。

地震発生時に東京電力の変電所側の機能喪失により3系統ある外部電源は喪失したが、非常用ディーゼル発電機3台（2C、2D、HPCS）が自動起動し非常用電源母線へ電源が供給された。この影響により、本館事務所内の照明は喪失した状態であった。一方、本館の緊急対策指令所は、非常用電源から電力を供給していたため、照明、通信設備、プラントの状態をモニタできる設備等は使うことができた。また、ページング設備も非常用電源から電力を供給しているので、機能は維持された。

対策本部と本店との連絡や中央制御室との連絡は、PHSや携帯電話で行った。携帯電話は、災害優先電話として登録していたことが有効であった。更に、テレビ会議システムで情報共有を図

るとともに、CRT で主要な運転パラメータを表示し、対策本部内での情報共有を行った。テレビ会議システムは、通信事業者側の支障発生と思われる切断が、度々生じた。また、中央制御室に派遣した運転員からの情報もホワイトボードに記載して情報の共有を行った。

原子炉主任技術者は、社長への第一報の連絡を行い、中央制御室でプラント状態及び初期対応状況を確認した後は、対策本部で所長の補佐として対策の検討等に参加していた。

原子炉停止直後の水位変動（低下）により、非常用炉心冷却系の 1 つである高圧炉心スプレイ系、原子炉隔離時冷却系が自動起動し原子炉が高圧状態での原子炉への注水機能が確保され、原子炉水位は、確保された。その後の原子炉水位維持は、原子炉隔離時冷却系（水源は、当初は復水貯蔵タンク、後にサプレッションプール）により実施し、原子炉圧力の制御は、主蒸気逃し弁開閉操作により実施した。

原子炉自動停止直後の水位変動（低下）により、格納容器隔離系が正常に作動したことで、格納容器が隔離された。

また、同様に、原子炉自動停止直後の水位変動（低下）により、原子炉建屋が自動隔離され、原子炉建屋換気系が通常の換気系から非常用ガス再循環系／非常用ガス処理系へ正常に切り換わった。

中央制御室の運転員の応援のために、連絡要員を適正人数派遣するよう手順化されていた。事務所に居た運転支援グループ員等が数名で応援のために中央制御室に行った。

地震直後、中央制御室では多数の警報が一斉に発報したが、どれが正でどれが揺れによる影響かひとつひとつチェックを行った。

地震に対する対策として中央制御室の照明用ルーバー（吊り天井）を落下防止のために互いに固縛していたことが有効であった。また、ロッカー類の転倒防止や備品類の固縛・アンカーボルトによる固定等を実施していたため、負傷者は出なかった。

原子炉自動停止の国及び自治体への連絡は、本震と直後の余震の収まった間に、決められた通報手順に従って一斉通報により FAX で行った。その後、国、自治体へは適宜状況の連絡を行った。地震直後から保安検査官は対策本部に来て、適宜情報を確認していた。

放射線管理区域への立入を管理する装置は常用系電源から電力を供給していたため、機能を喪失したため、手入力で対応した。また、携帯型の線量計は、充電器が停電により使えなかったため、仮設電源が確保できるまで乾電池タイプのものを使用した。汚染モニタについても機能喪失したため、人手で汚染検査を行った。

9.2.2 津波到達直後

地震の後、携帯電話のワンセグ機能により情報を取得していたところ、津波警報が発令されたため、発電所内に高所への避難指示を発令した。協力会社には、総務系列の連絡ルートで指示を行った。免震重要棟と本館屋上に人を配置して警戒に当たらせた。津波警報が解除にならなかったため、安全確保のために落ち着くまではパトロール員の派遣はしていない。ただし、震度 4 以上の地震発生による運転員のパトロールは、建屋内に関してのみ実施していた。

中央制御室から取水口が監視可能なカメラは常用電源であったため、対策本部に詰めていた者は、津波到達をリアルタイムで認識できなかった。一方で、警備用のカメラは別電源で給電継続されていたことから、この記録画像により、津波の襲来状況を、後に対策本部内で確認することが出来た。

中央制御室では、潮位計で監視を行っていたが、大きな第一波を観測した後、津波をかぶったことで潮位計はダウンした。また、海水ポンプの状況確認のため、吐出圧力を監視していた。

津波による北側ポンプ室への海水浸入により、非常用ディーゼル発電機海水ポンプ（2C）が停止した。このため、非常用ディーゼル発電機（2C）が使用不能となり非常用交流電源母線 2C が停電した。非常用交流電源母線 2D と高圧炉心スプレイ系は引き続き電源確保され、非常用機器への電源供給は維持された。

また、非常用直流電源は非常用電源母線よりバッテリーへ充電するとともに直流電源負荷へ供給した。停電した非常用交流電源母線 2C につながる直流電源は、健全な非常用交流電源母線からの電源供給に切替わってバッテリーへ充電したことから、直流電源が喪失することはなかった。

原子炉自動停止後の崩壊熱除去のため、残留熱除去系（B）を手動起動し、サプレッションプールの冷却を開始した。

使用済燃料プールのスロッシングによる溢水の状況確認を行うとともに、火災報知器の発報を受けての状況確認を行ったが、プラント設備の被害状況確認のパトロールはプラント停止操作がある程度安定してから行った。

9.2.3 津波到達後のプラント内での対応

(1) プラントの安定化のための運転・作業

原子炉を冷却する運転操作は、非常用ディーゼル発電機から電源が供給されており、外部電源喪失の通常のマニュアルの通りであり、特別な対応が必要な状況にはならなかった。このため、運転操作に関しては、本部から特別な指示を行うことはなく、中央制御室の判断で行われた。

本部では、「原子炉水位、圧力、温度」、「格納容器圧力、温度」、「圧力抑制室圧力、水位、温度」、「環境放射線モニタ値」を特に監視していた。圧力抑制室の圧力は 102kPaabs 程度までしか上昇せず、プラントの状態が切迫したものになることはなかった。

ただし、冷却系が B 系 1 系列のみ使用可能状態であったので、サプレッションプールを冷却していた残留熱除去系を炉心冷却に切り替えるためには、一旦停止する必要があった。切り替えが失敗すると冷却系が喪失するために、念のために、13 日の午後に外部電源が復旧し、A 系が復旧して 2 系列使用可能となるまで待ってから、A 系を原子炉停止時冷却モードに入れて炉心冷却に入った。

外部電源は、東京電力が原子力線の復旧作業を優先して取組んでいたことにより 3 月 13 日に 154kV 系が復旧し、3 月 17 日に 275kV 系 1 回線、更に 4 月 27 日に 275kV1 回線が復旧し、全ての外部電源が復旧した。外部電源が復旧するまでは、非常用ディーゼル発電機一系列が使用不

可能であったため、運転している非常用ディーゼル発電機が故障等で停止した場合を想定して、どう対応するか準備していた。

PHS が充電式であり常用電源が停電していたため、早いものは 1 時間程度で電池切れとなって使えなくなり現場との連絡に不自由した。ページングや携帯電話でやりくりした。

海水ポンプエリアには、夜中になってからアクセスして状況の確認を行った。パトローラーは 4 人 1 組として、トランシーバを持たせ、ライフジャケット着用の上、万一の津波襲来時には避難可能なよう取水口エリアフェンスに開口を設けてから確認に行った。

海水ポンプのグラウンドからは潤滑水が出ており、エリアに設置されているドレンポンプの電源が常用系であり排水ができず、水溜りを生じていた。排水するために、夜が明けてから第二陣を派遣し、エンジン駆動の水中ポンプを水たまりに入れて排水を行った。

仮設電源は、対策本部で、関係部署から必要な電源を申請してもらって集約し、優先順位をつけて順次手配し工事を行った。作業員は、協力会社と直営ほぼ半々であった。ケーブルや工具の不足分は協力会社の倉庫から搬送してもらった。工事前に系統図や現場確認を行った結果を反映した簡単な図面や手順書を起こしてから工事に着手した。

(2) 人員及び資機材他の手配

3.11 当日は翌日まで発電所員全員で対応したが、2 日目以降は、各室毎に 2 シフト制で 12 時間～24 時間交代で対応した。

中央制御室では、各盤毎に 2 名を担当として配置していて、2 名ずつの引継ぎ・交代を行った。

協力会社の要員の確保に関しては、保修サイドから想定される作業量を提示して必要な人員の確保をお願いした。特に、電気関係に関しては多めの人員確保をお願いした。

サプレッションプールの水を放射性廃棄物（液体）処理系に送るポンプの電源は常用系だったため、本店からのアドバイスを受け、免震重要棟に設置していたガスタービン発電機を使って電力の供給を行った。本館周りの電源確保のために電源車を活用した。電源車の一部は燃料とともに中部電力から提供された。軽油は 1 週間分の備蓄があったが、追加分を本店が手配した。移動手段のためのガソリンは入手できず、手配を断念した。また、非常用の淡水源として、タンクローリーを手配した。

放射線管理資機材は、不足する事態にならず作業に支障をきたすことはなかった。

非常用の食料としては、3 日間の食料を備蓄していた。3 月 12 日以降は、食堂を運営している協力会社からおにぎりを搬入してもらった他、本店や敦賀発電所からも支援を受けた。

本店からは、現場で必要となりそうな物資の提案が行われ、発電所の要望に応じて手配をして支援を行った。

食料や資機材等の運搬に際しては、通行規制下の道路を優先的に通行できる「緊急車両通行許可証」の申請を出発地の所轄警察署に行った。

停電した本館内での活動には、仮設照明が有効であった。

特別に医療チームが必要となる怪我人等の発生はなかったため、常設の健康管理室は仮眠等で活用した。

表 9.3.2-1 東海第二発電所 地震発生後のプラント状況時系列

地震発生前：定格熱出力一定運転

平成 23 年 3 月 11 日（金）

- 14：46 地震発生（東海村 震度 6 弱）
- 14：48 タービン軸受け振動大によりタービン発電機が自動停止しタービン主蒸気止め弁閉
で原子炉自動停止
- 14：48 全制御棒全挿入を確認
- 14：48 PCIS 作動
- 14：48 高圧炉心スプレイ系自動起動
- 14：49 原子炉隔離時冷却系自動起動
- 14：52 高圧炉心スプレイ系注水弁自動閉及び原子炉隔離時冷却系自動停止（原子炉水位高（L
ー8）による）
- 15：10 原子炉未臨界確認
- 15：22 残留熱除去 A 系にてサプレッションプール冷却運転開始（手動）
- 15：36 原子炉隔離時冷却系手動起動（原子炉への給水）
- 16：42 残留熱除去 B 系にてサプレッションプール冷却運転開始（手動）
- 19：01 非常用ディーゼル発電機海水ポンプ（2C）自動停止
- 19：21 残留熱除去 A 系にてサプレッションプール冷却運転停止（手動）
- 19：25 非常用ディーゼル発電機（2C）手動停止
- 21：52 原子炉減圧開始（主蒸気逃し弁を間欠に使用）

平成 23 年 3 月 12 日（土）

- 11：37 原子炉水位を原子炉隔離時冷却系から高圧炉心スプレイ系による原子炉水位制御へ
切り替え
- 13：11 原子炉隔離時冷却系手動停止（原子炉圧力低下に伴う）

平成 23 年 3 月 13 日（日）

- 19：37 所内電源を外部予備電源（154kV）系より順次受電開始

平成 23 年 3 月 14 日（月）

- 23：43 残留熱除去 A 系にて原子炉停止時冷却モードによる運転開始

平成 23 年 3 月 15 日（火）

- 0：40 原子炉冷却材温度 100℃未満（原子炉の状態「冷温停止」）

平成 23 年 3 月 17 日（木）

- 15：20 275kV 東海原子力線 1 号充電

平成 23 年 3 月 22 日（火）

- 22：10 非常用ディーゼル発電機（2C）待機（海水ポンプ 2C 点検完了）

平成 23 年 4 月 27 日（水）

16：29 275kV 東海原子力線 2 号充電

10 東海第二発電所での震災対応からの教訓

東海第二の震災対応からも、ちょっとした工夫により現場での負担軽減が図られると思われる項目や、グッドプラクティスとして他発電所でも同様の対応を行うことで実効的な対応が可能となる項目があり、これらを以下にまとめた。

10.1 組織、マネジメント、コミュニケーション

- ・ 協力会社との緊急時の連絡体制を予め決めておき、非常事態発生とともに対応体制を確立することが必要である。この体制を活用して、十分な情報共有を図るべきである。
- ・ 発電所長が不在時に地震及び津波の襲来を受け、所長代理が所長の代行として指揮を執り、事故の収束に導いている。所長代理が適切に対応できたのは、上層部全体の参加の基、日頃より緊急時対応の訓練が行われていたことによるものと思われる。
- ・ 地元への情報発信のための社内の体制、マスコミや自治体との連携のあり方を決めておき、連絡のための複数の方法を準備しておくべきである。
- ・ 緊急対策室と中央制御室の情報共有のために、緊急対策室で、プロセスコンピュータ、現場監視カメラ（ITV）、潮位計指示値の監視を可能としておくべきである。テレビ会議システムも有効である。また、外部からの情報入手手段（テレビやラジオ）も準備しておくべきである。

10.2 事前の準備（設備、マニュアル、訓練）

- ・ 事故対応上動員の必要がない発電所の作業員に関しては、避難させることが必要である。予め、避難ルート、避難方法、避難場所を決めておき、日頃から作業員に周知しておく。管理区域からの退避の際には、避難を優先し、汚染検査は退避箇所で行う手順とすべきである。避難すべき事態であることを伝える手段としてページングが効果的であり、緊急性を伝えるために、発信音を分かりやすいものとすべきである。また、適宜、訓練を行い、避難が確実に行えるように準備しておくべきである。更に、発電所の見学施設に來ている見学者の非常時の避難誘導に関しても、事前に準備しておくべきである。
- ・ 管理職は、部下の非常時の連絡手段を確保しておくべきである。メールが有効であり、安否確認の方法を予め決めておくべきである。
- ・ 仮設電源作業の際、予備ケーブルの物量、仕様、保管場所を予め整理しておくこと、関連資機材の保管場所、数量、事前点検方法を予め明確にしておくこと、機器の電源供給元や MCC ユニットのリスト（NFB 等の内蔵機器の仕様等）を整理しておく、現場近くに紙ベースで最新図面（CWD 等）を保管しておくこと等が、迅速な仮設電源作業を可能とする。また、可搬型エンジン発電機を電圧別、容量別に配備しておくことも有効である。
- ・ 水・食料に関しては、緊急時用に予め災害対策要員の 3 日分を備蓄していたが、平日の午後の地震及び津波の襲来であったため、想定以上の要員が対応に当たり、更に帰宅困難者が残ったために水・食料が不足した。このため、本店（東京）や敦賀から物資を運搬して補充した。水・食料は、協力会社の作業員も考慮して 2000～3000 人分を確保しておき、更に、補給方法も予め準備しておくべきである。
- ・ 非常用ディーゼル発電機や電源車は連続運転すると大量の燃料を消費するので、使い方を予め決めておき、それに合わせた燃料の備蓄及び補給方法を準備しておくべきである。燃料の備蓄に際しては、津波が影響しない箇所に保管することが必要である。

- ・ 緊急時の体制が長期に亘る場合に必要となる備品類を予めリスト化しておき、本店と情報共有して迅速な補給を実現することが望まれる。仮設トイレなどのロジスティクスについても同様である。
- ・ 地震時の備品類の転倒・落下防止を徹底しておくことが望まれる。

10.3 震災時の初動対応

- ・ パトロール等現場への作業者派遣の際にはチームを編成し、安全上の観点から単独での行動とならないように配慮することが必要である。
- ・ ヘルメットや懐中電灯といった非常時に必要となる備品類は、極力各自の手元近くに準備しておくべきである。
- ・ 急を要する場合でも、予め手順書を作成し情報共有を行うことが、円滑で確実な作業のために必要である。
- ・ 現場から中央制御室への連絡の際には、連絡相手を決めて情報管理を行うことで情報の錯綜を回避できる。事前に訓練等で徹底しておくことが望まれる。
- ・ 海水ポンプ室等ページングが聞こえず、海の様子も確認できないエリアで作業する場合には、作業者の安全確保のために、携帯電話の常備だけではなく、専任の監視員を配置することが望まれる。

10.4 追加の対策

- ・ 自治体の防災計画の見直しをフォローして、海水ポンプエリアの側壁を嵩上げしていたことが結果として電源確保となり事故に至らず収束することができた。安全対策をタイムリーに躊躇なく行うことの重要性が示された事例である。
- ・ 震災後の復旧作業時には、関係者が朝夕のミーティング等により綿密に情報共有することが、円滑な作業のために必要である。
- ・ 通信設備の信頼性を向上させるために、非常用電源もしくはバッテリーから給電できるように準備しておくことが望まれる。TV 会議システムの衛星回線化等回線の多様化が望まれる。通信手段は有線の固定電話、バッテリー式簡易通話装置、無線機やトランシーバ等多様化を図るべきである。また、携帯は災害時優先として登録しておくべきである。電話連絡では、スピーカーフォン機能があれば、情報共有が容易である。
- ・ 災害対策で必要となる放射線監視用計算機、気象観測装置、現場監視カメラは非常用電源からの給電が可能とし、また、できる限り冗長性を持たせることが望ましい。
- ・ 中央制御室の緊急時に監視が必要な計器類を予めリストアップしておき、バッテリー等の電源を迅速に接続できるように準備しておくべきである。
- ・ PHS のアンテナは被水した場合、再使用は不可であり、予備アンテナの保有が必要である。また、アンテナの設置箇所も地震や津波の影響を考慮して配置すべきである。

11 終わりに

現在、日本の原子力発電所は、大飯 3、4 号機以外の 49 プラントは停止したままである。今年の 7 月に、原子力規制庁から新しい技術基準が出され、安全上重要な対策がきちんと取られていることが確認された後に、プラントの再起動が可能となるということになっている。

しかし、原子力規制庁のこういった取組みのみでは、国民の原子力の安全性に対する不信を払拭するには足りず、今後も息長く電力会社が、安全性向上に取り組む姿を見せていくことが必要と思われる。安全性の向上には、ハード面での対策（例えば、事故の拡大を防止するための設備の増設等）とソフト面での対策（例えば、事故の状況に応じた対応マニュアルの整備等）の組み合わせが必要であり、訓練を通して事故対応に習熟するとともに、年月の経過により劣化することがないように安全文化の醸成活動を継続して行っていくことが必要である。

今回の報告書が、これら電力会社の活動の一助になることを期待している。