

東北地方太平洋沖地震発生後の 女川原子力発電所の状況および安全対策について

平成24年10月22日

東北電力株式会社



目次

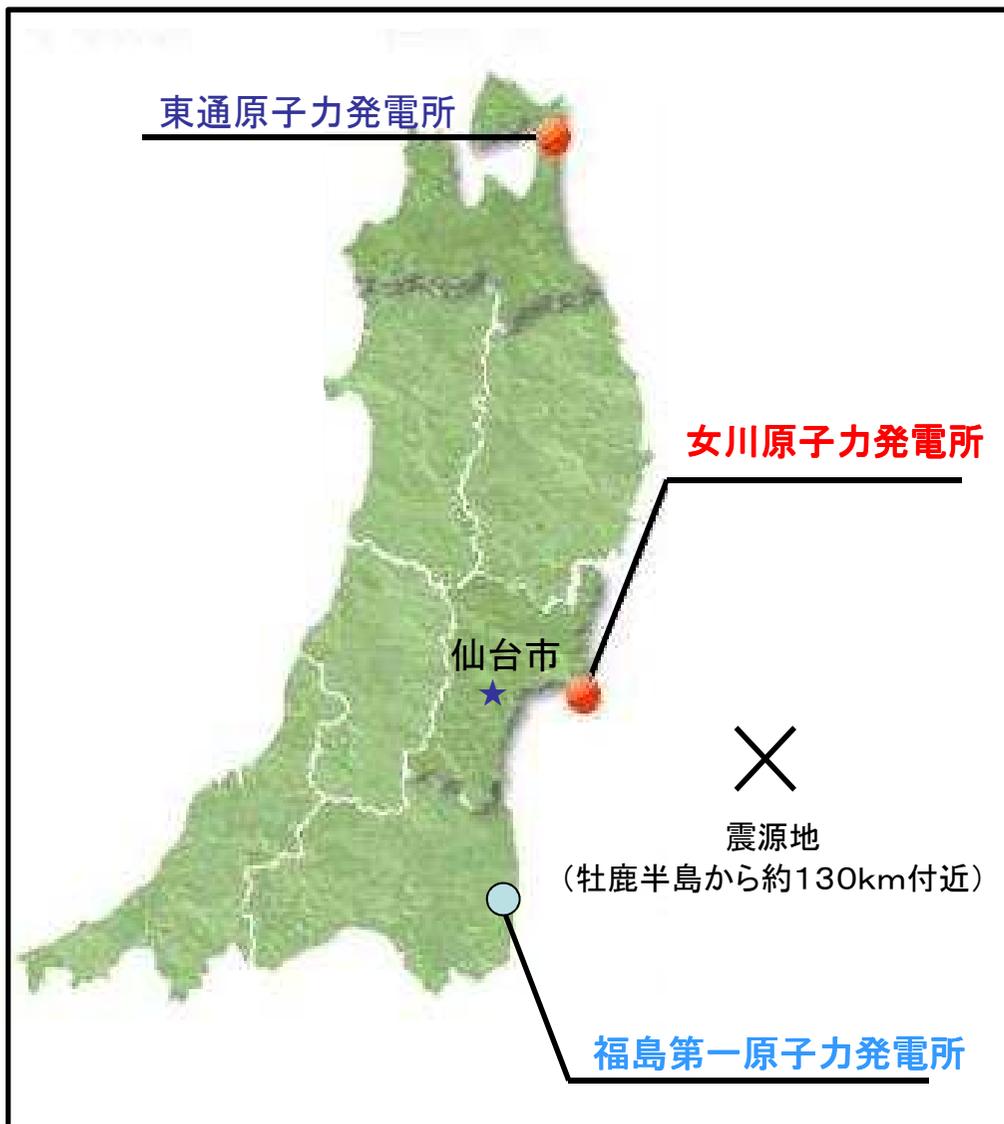
1. 東北地方太平洋沖地震発生後のプラント対応状況
2. プラントの被害状況
3. 女川原子力発電所の安全機能確保の要因
4. 更なる安全性向上に向けた取り組み
5. まとめ



1. 東北地方太平洋沖地震発生後の プラント対応状況



1-①女川原子力発電所の所在地



【所在地】宮城県牡鹿郡女川町塚浜字前田1



設備の概要

	1号機	2号機	3号機
定格電気出力	52万4千kW	82万5千kW	82万5千kW
営業運転開始年月	昭和59年6月	平成7年7月	平成14年1月
原子炉型式	BWR-4	BWR-5	BWR-5
格納容器型式	Mark- I	Mark- I 改	Mark- I 改

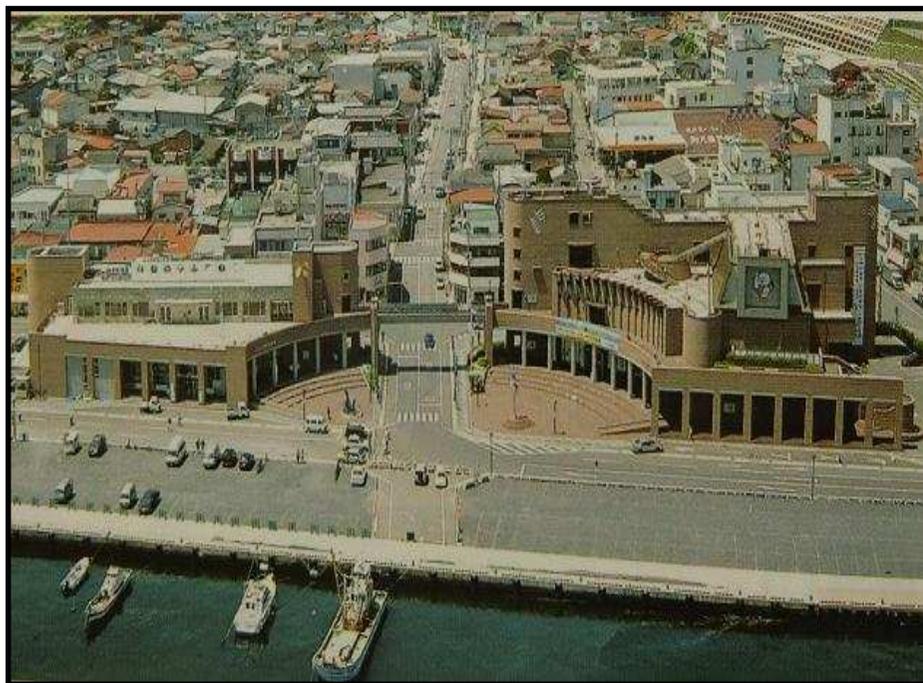


1-②地震・津波の概要

発生日時：2011年3月11日(金)14時46分頃
震源地：三陸沖約130km 深さ約24km
マグニチュード：9.0(日本国内観測史上最大)
震度：6弱
地震加速度：567.5ガル(1号機 原子炉建屋地下2階)
(過去最大地震加速度：251.2ガル, H17.8.16)

【女川町被害状況(2012.6.3現在)】
震災前人口(2011.3.11現在)：10,014名
死亡(認定者含む)：816名
行方不明者：11名
住家被害(全壊+半壊)：4,411棟

【震災前】



【震災後】



1-③女川原子力発電所の概要



1-④地震直後の電源の状況

1. 非常用電源

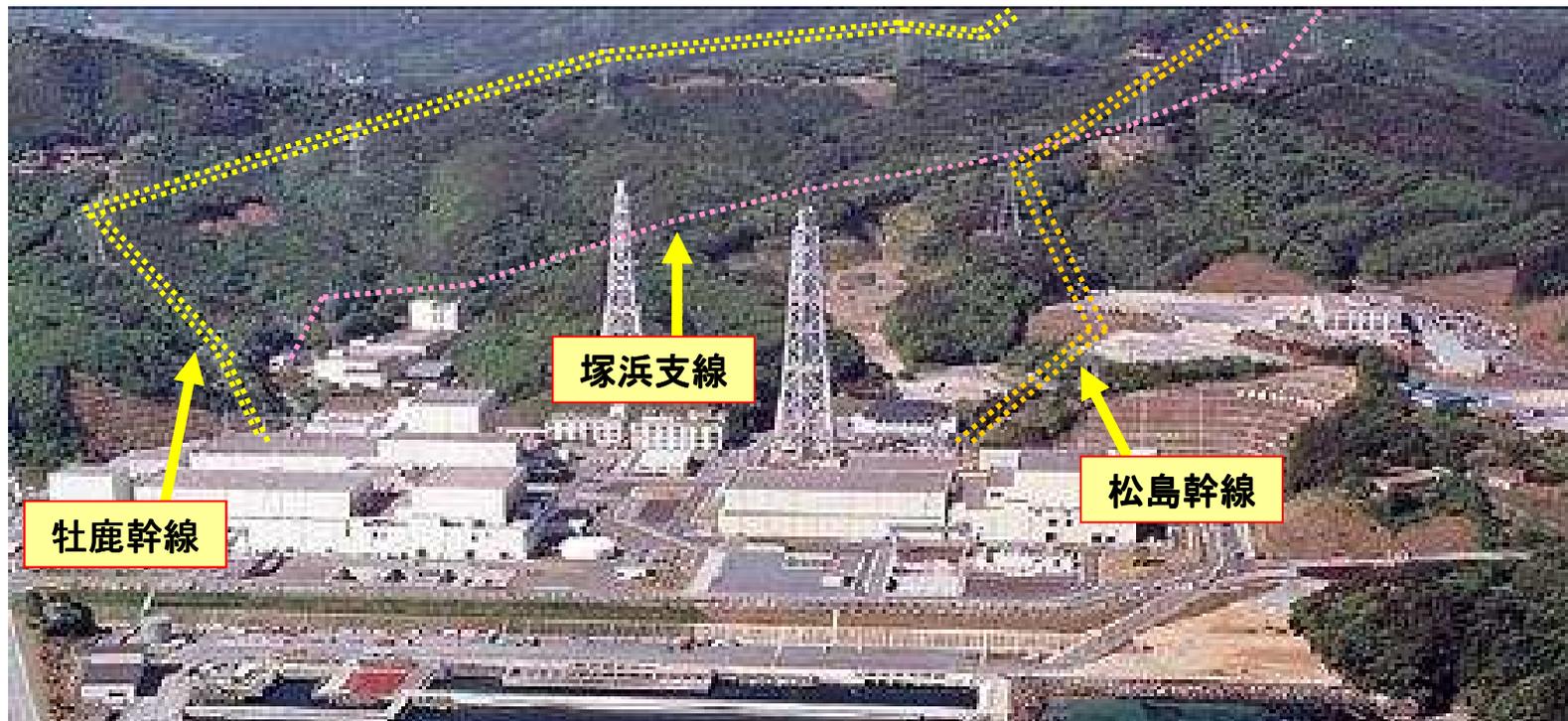
非常用ディーゼル発電機(D/G)はすべて健全(待機状態)※

2. 外部電源

(1) 松島幹線(275kV) : 1回線正常, 1回線停止(2011.3.17復旧)

(2) 牡鹿幹線(275kV) : 2回線停止(2011.3.12復旧)

(3) 塚浜支線(66kV) : 1回線停止(2011.3.26復旧)



※2号機B系D/GおよびH系D/G(高圧炉心スプレイ)は、その後の津波の影響で使用不可
(A系D/Gは使用可能、各号機間での電源融通が可能)



1-⑤津波の状況

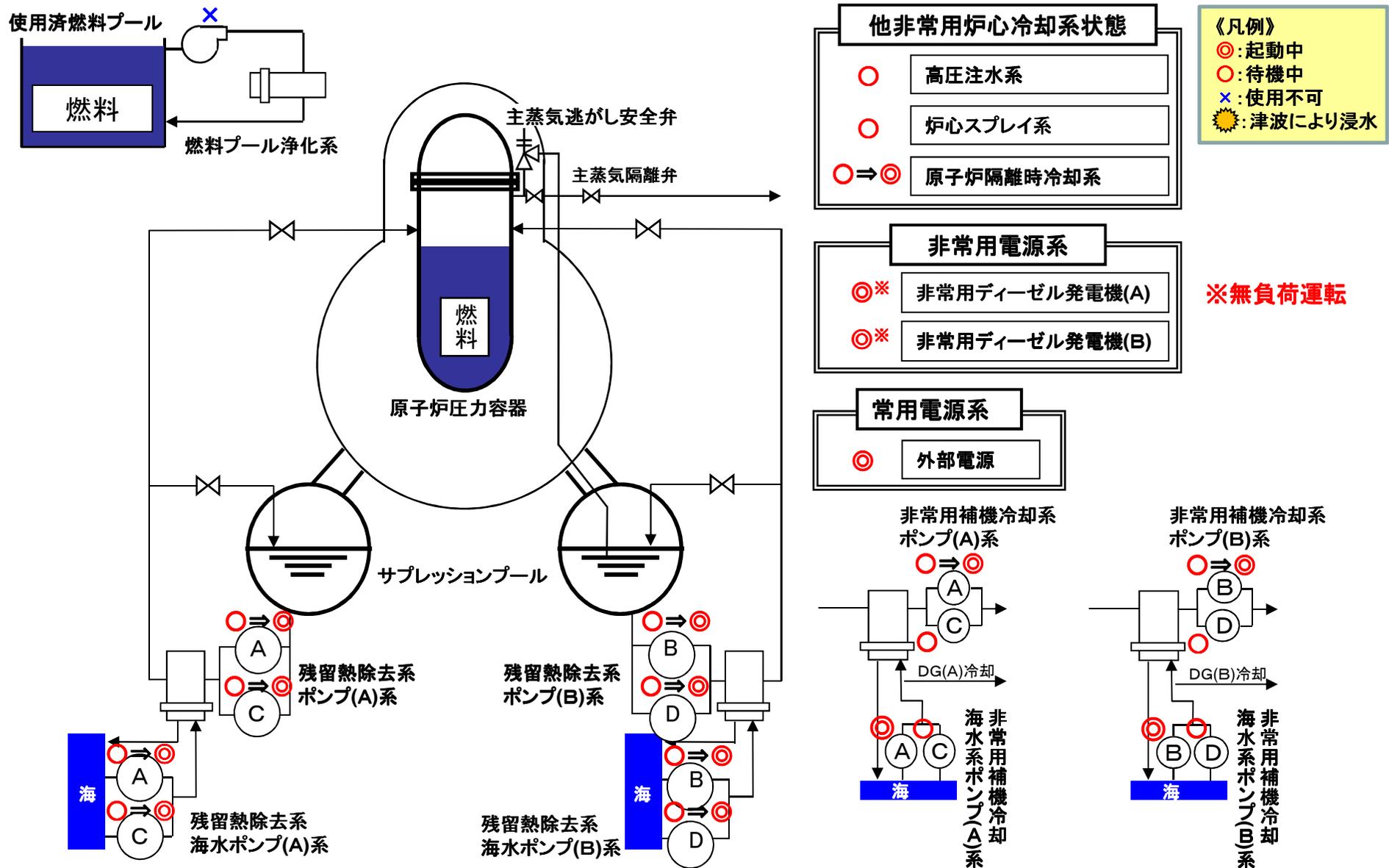


1-⑥地震発生後のプラント状況(1~3号機の主な時系列)

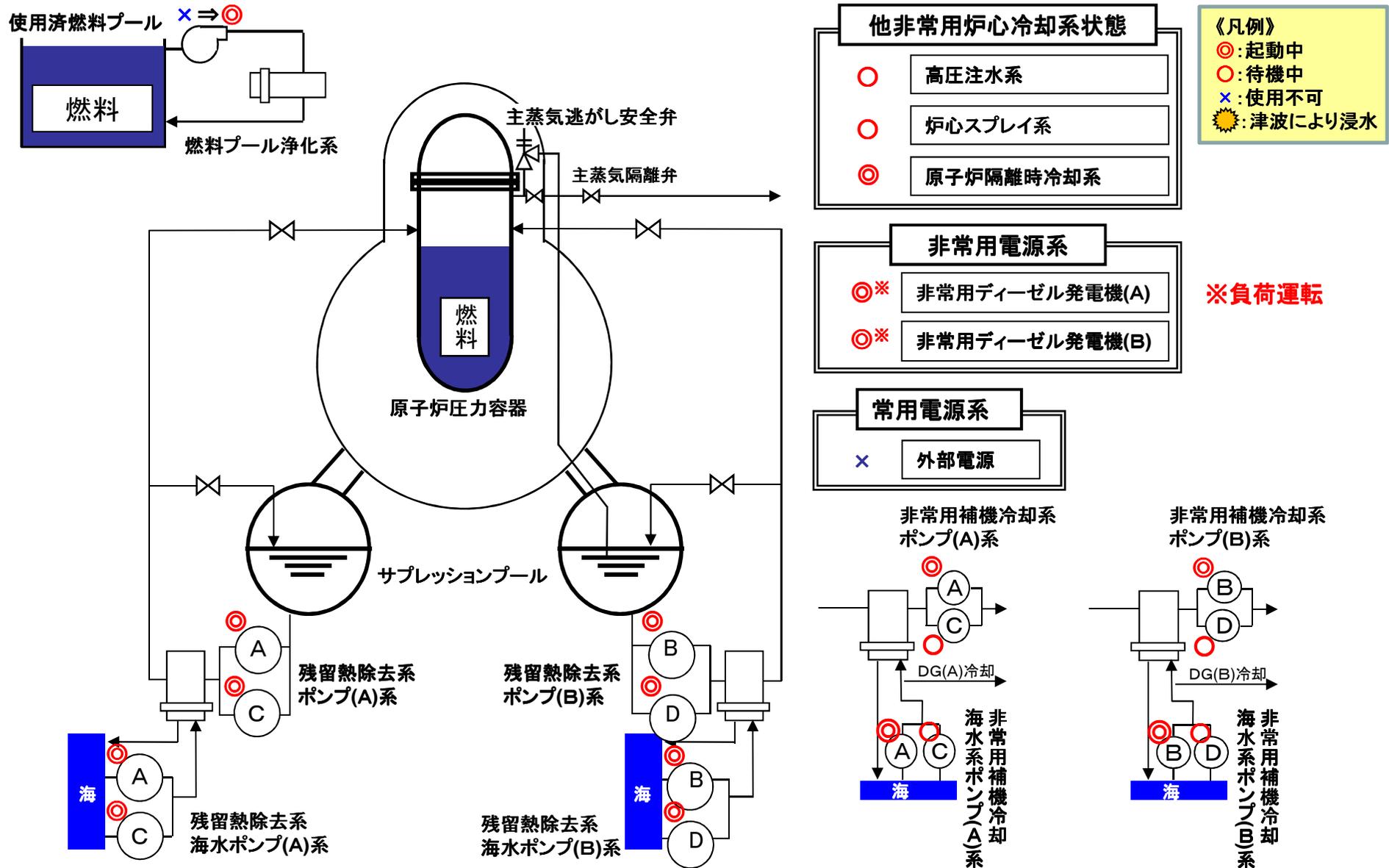
1号機(定格熱出力一定運転中)		2号機(第11回定期検査中で起動操作中)		3号機(定格熱出力一定運転中)		
3月11日(金)						
14:46	原子炉自動停止 主タービン自動停止	14:46	原子炉自動停止 ※	14:46	原子炉自動停止	
14:47	DG(A)(B)自動起動 FPCポンプ自動停止	14:47	DG(A), (B), (H)自動起動 FPCポンプ自動停止	14:47	主タービン自動停止 FPCポンプ自動停止	
14:55	起動用変圧器停止	14:49	冷温停止確認	14:57	原子炉未臨界確認	
14:57	火災報知機発報 (M/C 6-1A火災による)		<div style="border: 1px solid green; padding: 5px; color: green;"> ※2号機は原子炉起動直後のため 原子炉は未臨界(常温常圧状態) タービンは停止(ターニング)中 </div>			
14:59	RCIC手動起動					
15:00~	RHRポンプ(A~D)手動起動 (S/P冷却運転のため)					
15:05	原子炉未臨界確認			15:22	TSWポンプ(A)(C)自動停止	
				15:23	「CWP(A)(B)海水ポンプ室水位極低」 警報発生 FPCポンプ(A)手動起動	
				15:26	RCIC手動起動	
--- <15:30頃 津波襲来> ---						
		15:35	DG(B)自動停止 (津波による補機冷却水系停止のため)	15:30~	RHR(A, B)手動起動 (S/P冷却運転)	
		15:42	DG(H)自動停止 (津波による補機冷却水系停止のため)	16:40	原子炉減圧開始(SRV使用)	
17:10頃	原子炉減圧開始(SRV使用)					
19:30頃	FPCポンプ(A)手動起動	20:29	FPCポンプ(A)手動起動			
22:55	消火宣言(M/C 6-1A火災)			23:51	RHRポンプ(A)による 原子炉冷却開始	
23:46	RHRポンプ(A)による 原子炉冷却開始					
3月12日(土)						
0:58	冷温停止確認	12:12	RHRポンプ(A)による 原子炉冷却開始	1:17	冷温停止確認	
2:05	起動用変圧器受電					



1-⑦地震発生後のプラント状況(1号機:地震発生後)

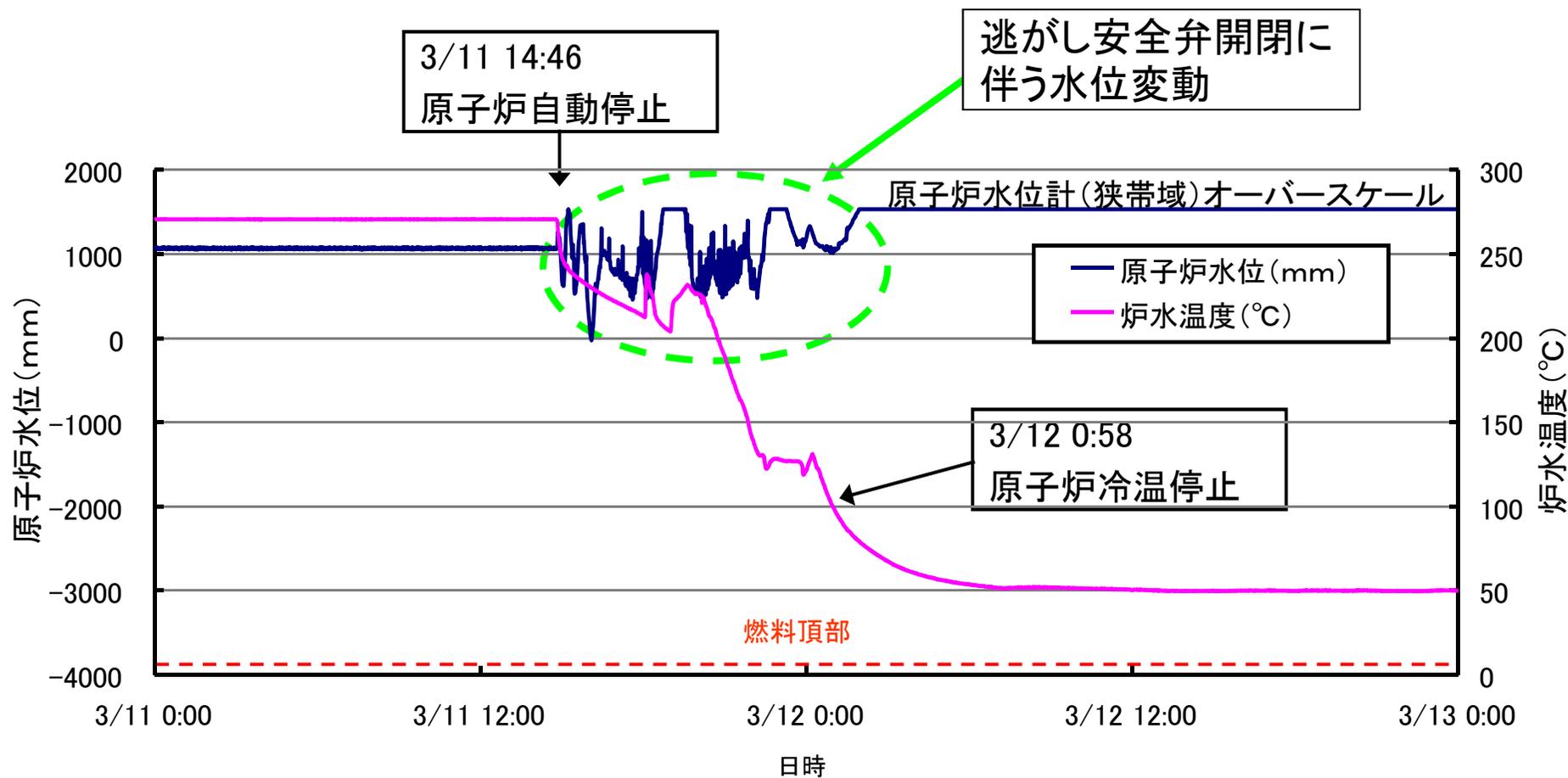


1-⑦地震発生後のプラント状況(1号機:起動用変圧器停止後)

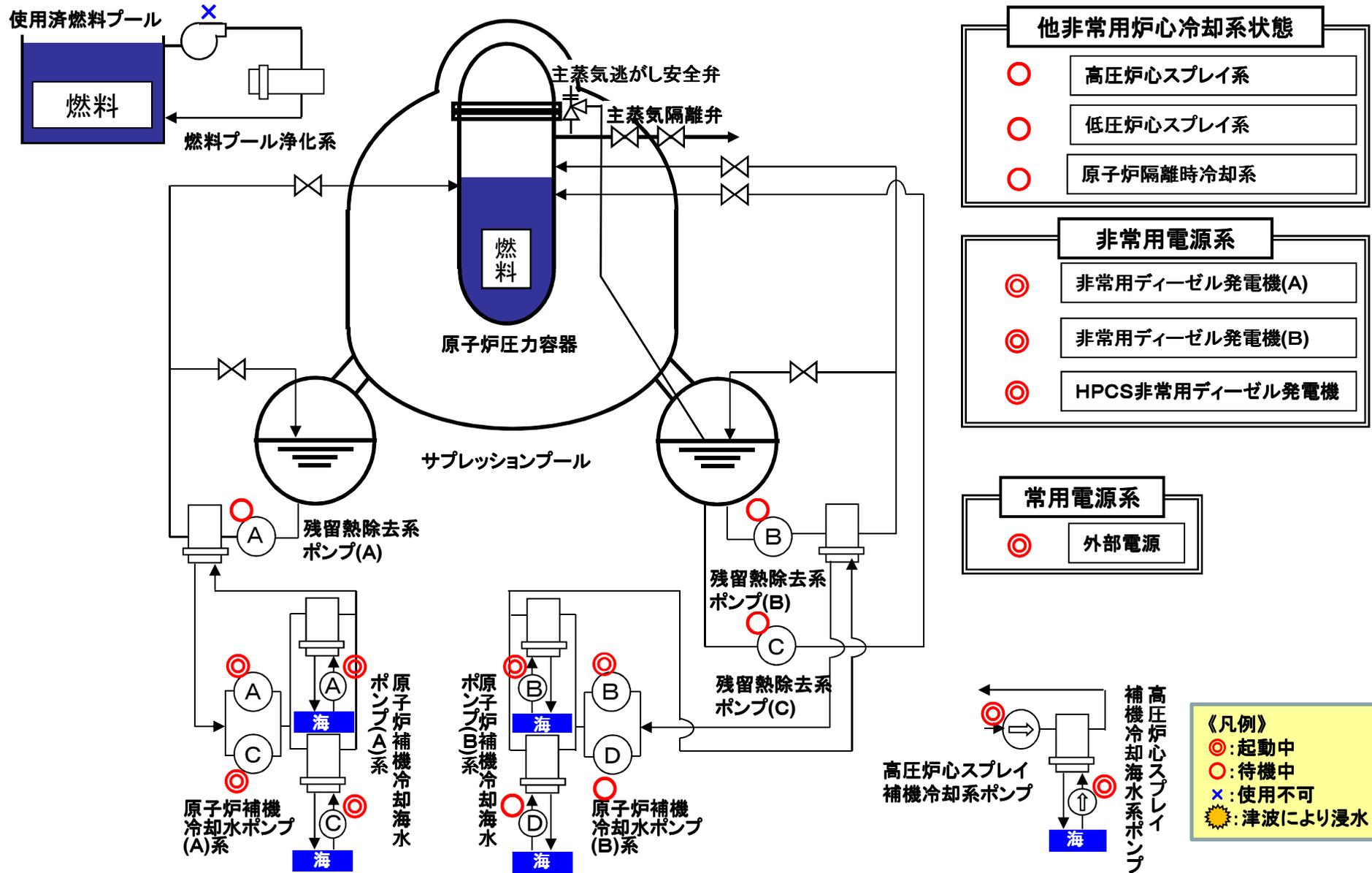


1-⑦地震発生後のプラント状況(1号機原子炉水位・温度)

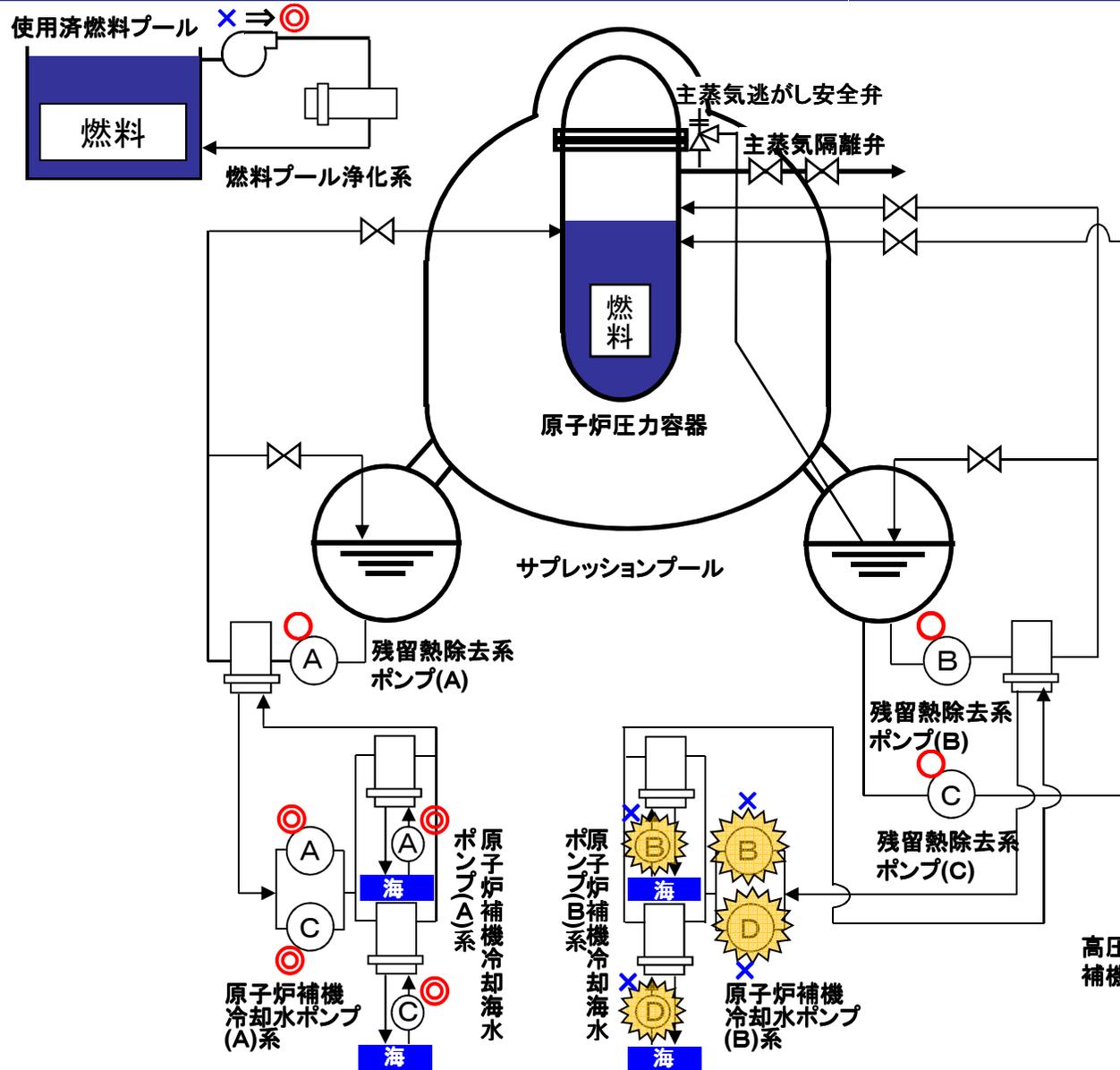
1号機



1-⑧地震発生後のプラント状況(2号機:地震発生～津波発生前)



1-⑧地震発生後のプラント状況(2号機:津波発生後)



他非常用炉心冷却系状態

- 高圧炉心スプレイ系
- 低圧炉心スプレイ系
- 原子炉隔離時冷却系

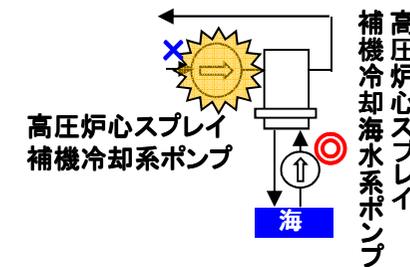
非常用電源系

- ◎ 非常用ディーゼル発電機(A)
- ×※ 非常用ディーゼル発電機(B)
- ×※ HPCS非常用ディーゼル発電機

※関連機器の浸水の影響

常用電源系

- ◎ 外部電源

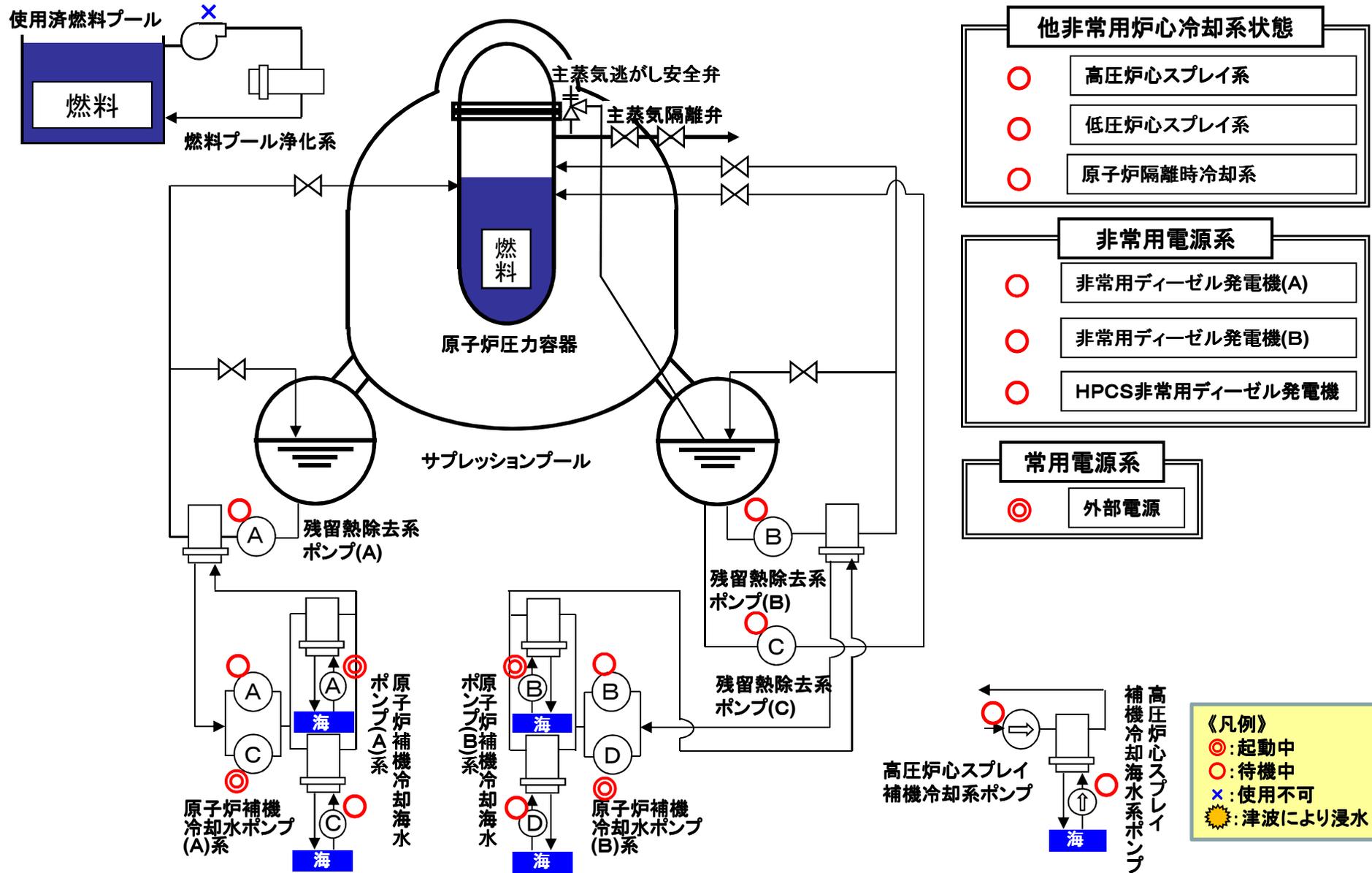


《凡例》

- ◎: 起動中
- : 待機中
- ×: 使用不可
- ☀: 津波により浸水

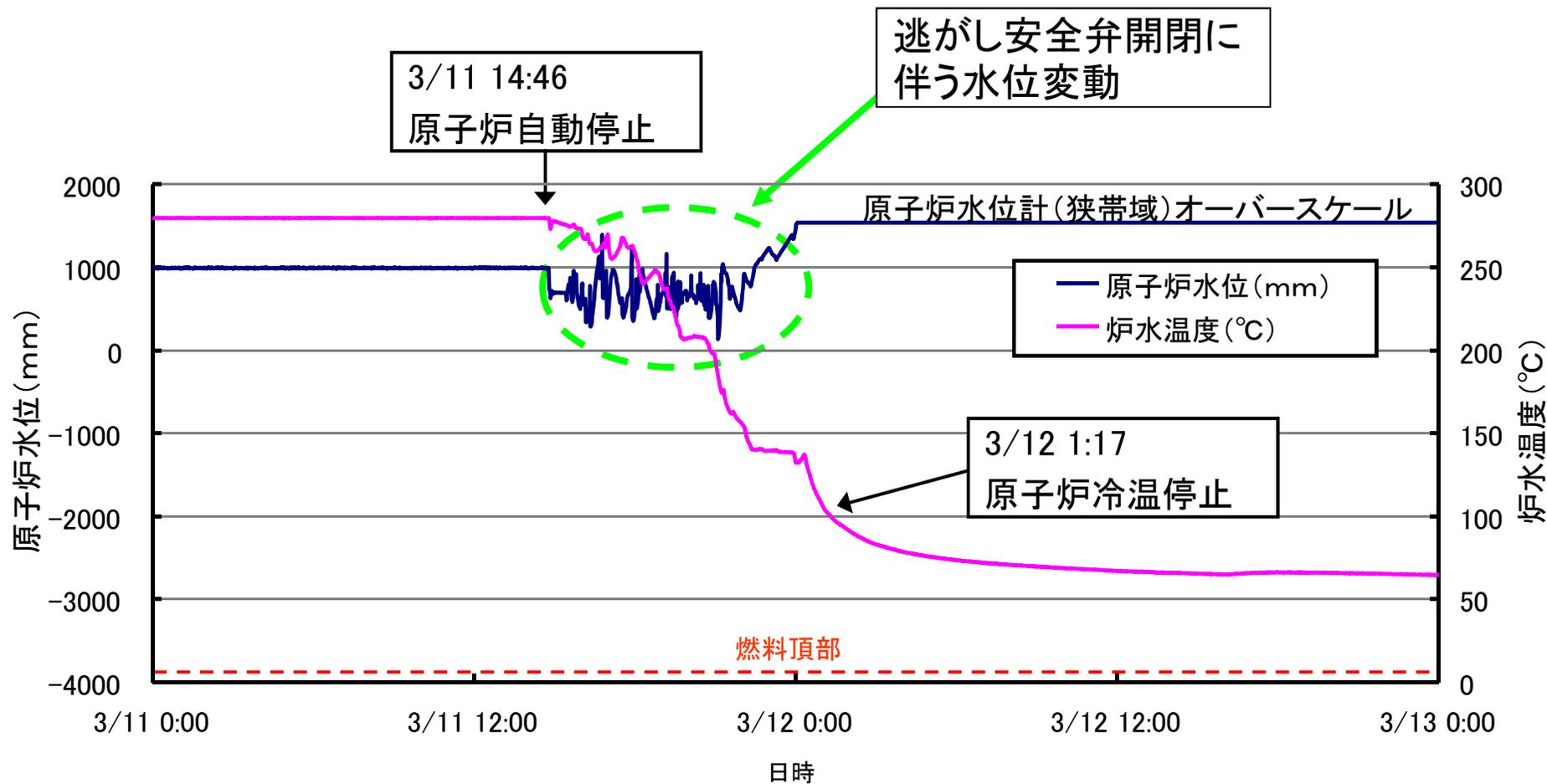


1-⑨地震発生後のプラント状況(3号機:地震発生～津波発生前)



1-⑨地震発生後のプラント状況(3号機原子炉水位・温度)

3号機



1—⑩福島第一原子力発電所の被害状況との比較

発電所		女川原子力発電所			福島第一原子力発電所					
号機		1	2	3	1	2	3	4	5	6
外部電源	275kV	1/4			×				×	
	66kV	×								
非常用 ディーゼル 発電機	A	○	○	○	×	×	×	×	△	△
	B	○	△	○	×	△	×	△	△	○
	H	—	△	○	—	—	—	—	—	△
非常用高圧電源盤(M/C)		○	○	○	×	×	×	×	×	○
常用高圧電源盤(M/C)		1/2	○	○	×	×	×	×	×	×
非常用低圧電源盤(P/C)		○	○	○	×	2/3	×	1/2	×	○
常用低圧電源盤(P/C)		○	○	○	×	2/4	×	1/1	2/7	×
直流電源		○	○	○	×	×	○→×	×	○	○
海水ポンプ		○	2/4	○	×	×	×	×	×	×

○:使用可(分数は、使用可能な系統数を表す)
 △:D/G本体は被水していないが、関連機器の水没により使用不可
 ×:使用不可
 —:設備なし



1-⑪女川原子力発電所の地震観測記録(H23.3.11)

平成23年3月11日の地震観測記録と基準地震動Ssに対する最大応答加速度値の比較※1

観測位置		観測記録			基準地震動Ssに対する最大応答加速度値(ガル)		
		最大加速度値(ガル)			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	1389	2202	2200	1388
	燃料取替床(5階)	1303	998	1183	1281	1443	1061
	1階	573	574	510	660	717	527
	基礎版上	540	587	439	532	529	451
2号機	屋上	1755	1617	1093	3023	2634	1091
	燃料取替床(3階)	1270	830	743	1220	1110	968
	1階	605	569	330	724	658	768
	基礎版上	607	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	573	458	321	512	497	476

※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。



1-⑪女川原子力発電所の地震観測記録(H23.4.7)

平成23年4月7日の地震観測記録と基準地震動Ssに対する最大応答加速度値の比較※1

観測位置		観測記録			基準地震動Ssに対する最大応答加速度値(ガル)		
		最大加速度値(ガル)			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	1494	1212	2202	2200	1388
	燃料取替床(5階)	1280	901	724	1281	1443	1061
	1階	403	513	385	660	717	527
	基礎版上	378	373	381	532	529	451
2号機	屋上	1975	1657	1386	3023	2634	1091
	燃料取替床(3階)	1173	686	1002	1220	1110	968
	1階	465	516	426	724	658	768
	基礎版上	387	388	373	594	572	490
3号機	屋上	1959	1775	963	2258	2342	1064
	燃料取替床(3階)	750	1019	1333	1201	1200	938
	1階	420	688	477	792	872	777
	基礎版上	396	398	311	512	497	476

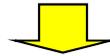
※1 水平方向および鉛直方向で複数の観測点がある場合は、それぞれ最大値を記載。

※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。

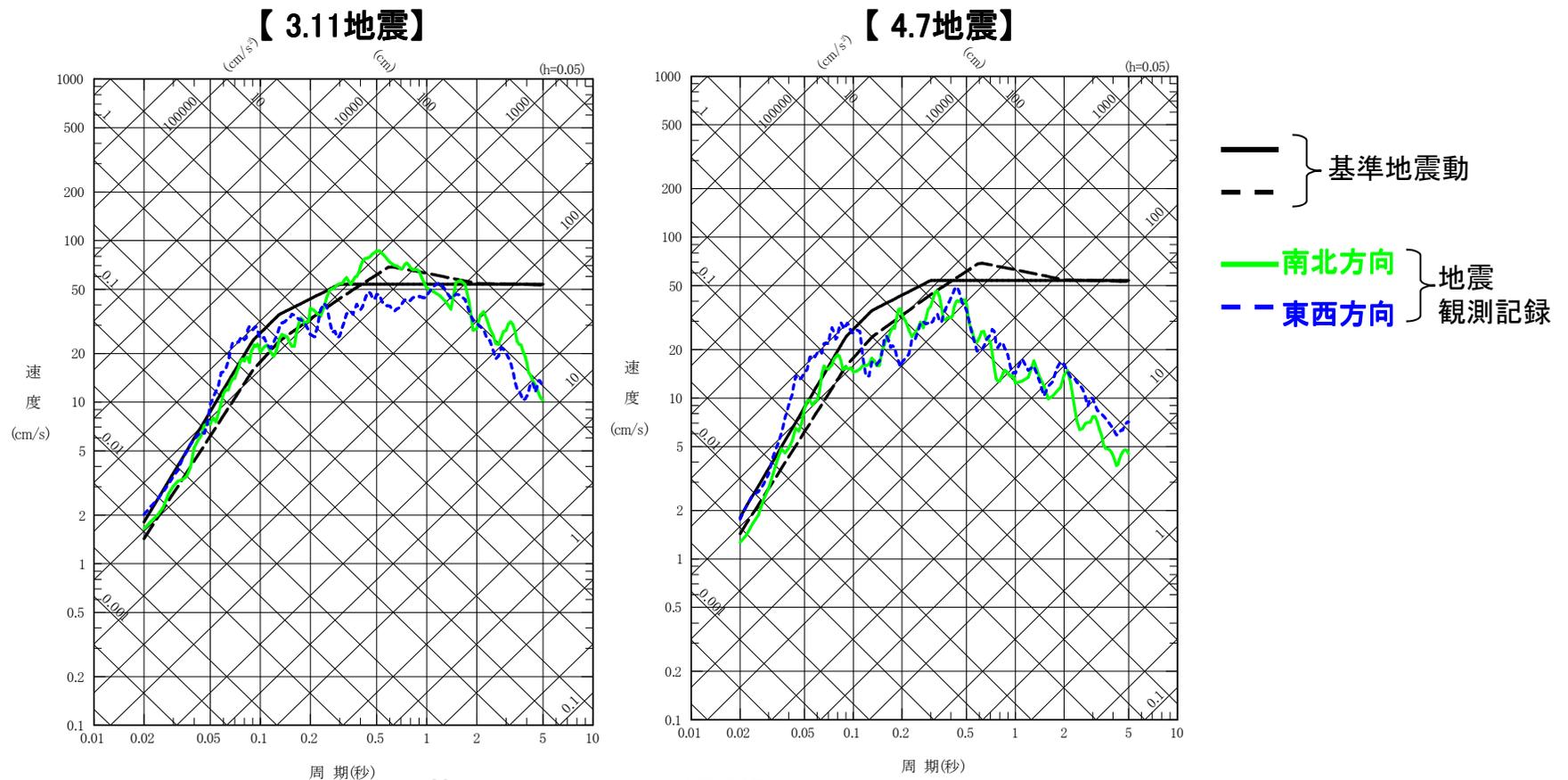


1-⑫地震観測記録と女川原子力発電所への影響評価

3月11日の本震, 4月7日の余震において, 基準地震動Ssを一部上回った



基準地震動Ssを一部上回った要因の分析に関する詳細な評価を実施



基準地震動と地震観測記録



2. プラントの被害状況



2-①プラントの被害状況

	設備名称	被害概要	原因
1号機	屋外重油貯蔵タンク	倒壊	津波
	高圧電源盤	常用のA系高圧電源盤が焼損 (B系および非常用電源は問題なし)	地震
2号機	補機冷却水系	原子炉補機冷却水B系および高圧炉心ス プレイ補機冷却水系が浸水 (A系の機能に問題はなし)	津波
全号機	使用済燃料貯蔵プール	プール水がわずかに飛散 (法令報告レベルの約700分の1以下)	地震

この他、地震により管理区域内で水漏れが発生したが、非管理区域への漏出はなし



2-②女川1号機 重油タンクの倒壊

タンク容量: 960kℓ

倒壊時のタンク内貯油量: 約600kℓ



オイルフェンス設置



重油タンクの用途: 補助ボイラー※の燃料供給設備
※補助ボイラーからの蒸気は建屋内の暖房や液体
廃棄物の濃縮等に使用 (常用系)



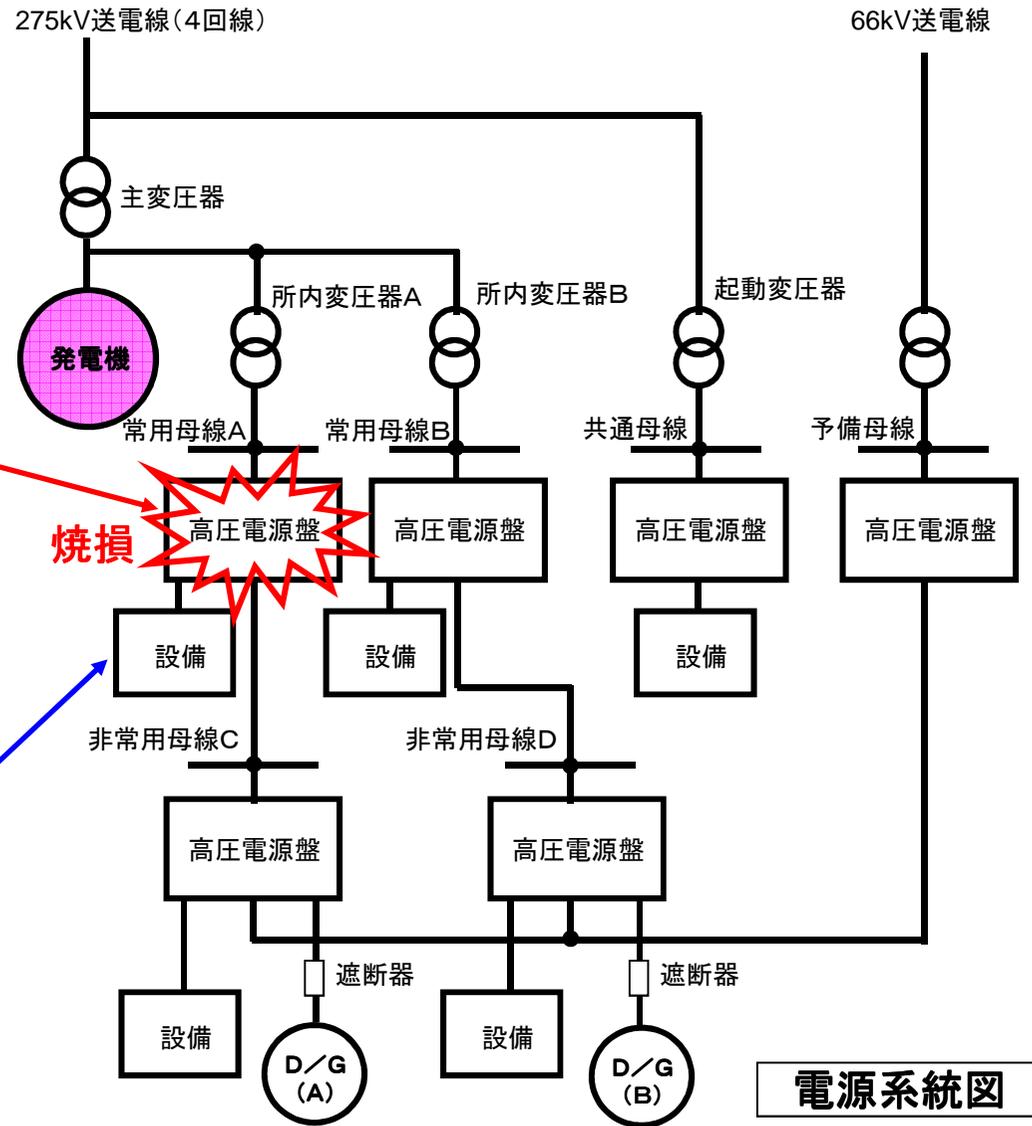
2-③女川1号機 高圧電源盤(A)の焼損(1/2)

【時系列】

- 14:57火災報知機発報
- 15:30タービン建屋地下1階で発煙を確認
- 15:41消防署へ119番通報
- 自衛消防隊消火活動
- 22:55消火宣言

【高圧電源盤(A)の主要負荷】

原子炉再循環ポンプ(A),
 循環水ポンプ(A),
 復水ポンプ(A) などの常用負荷



2-③女川1号機 高圧電源盤(A)の焼損(2/2)

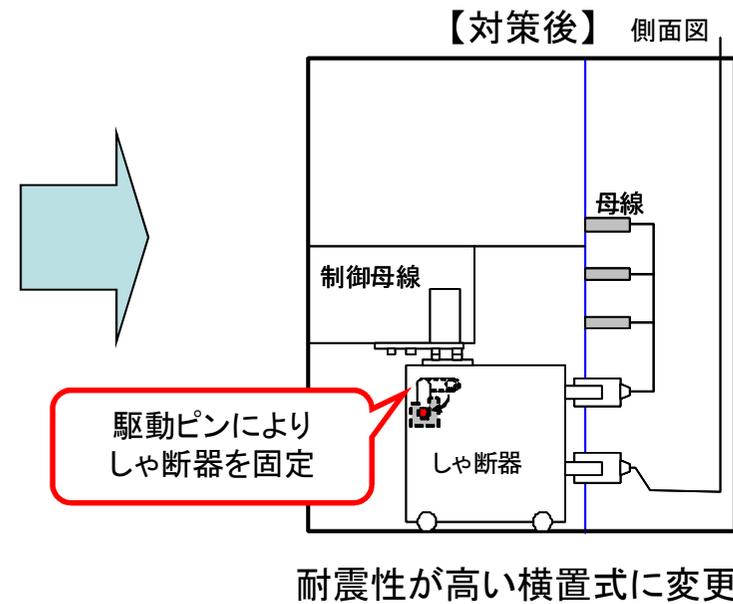
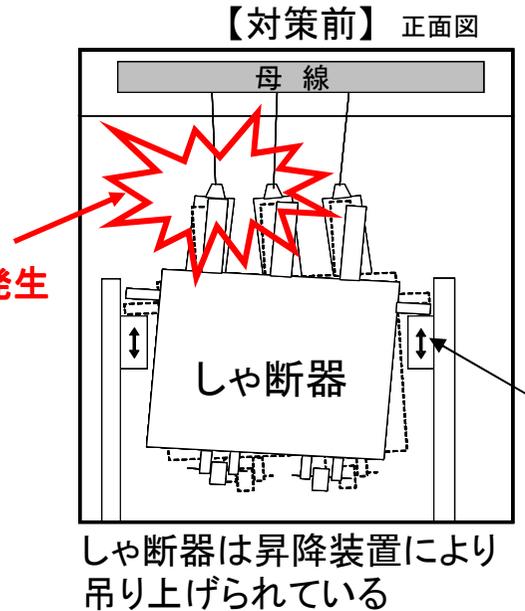


【推定原因】

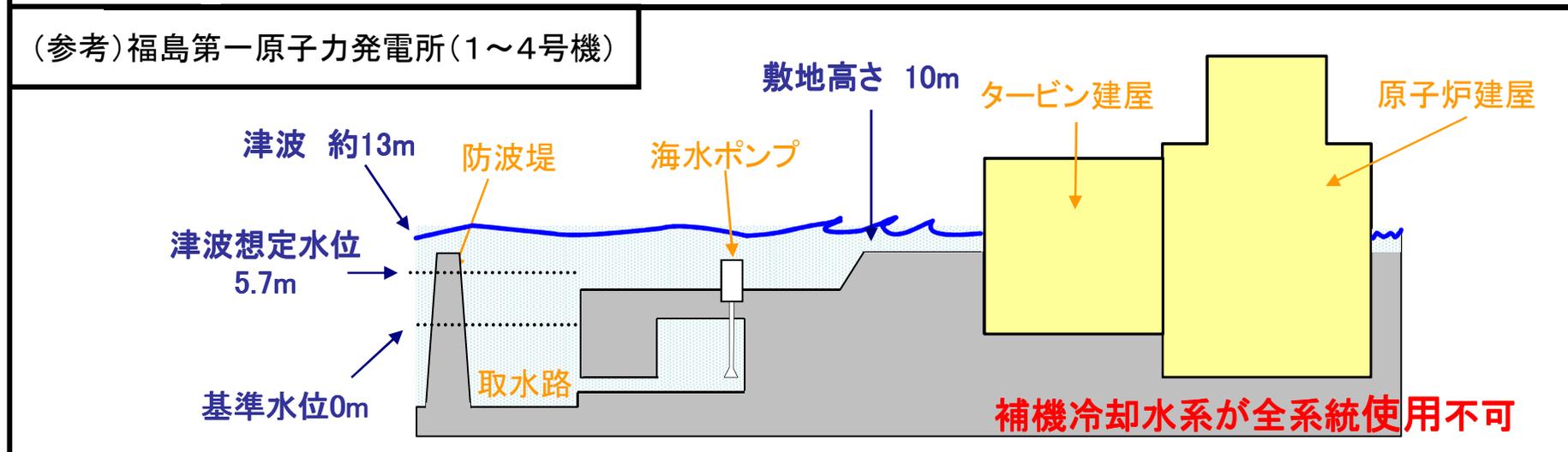
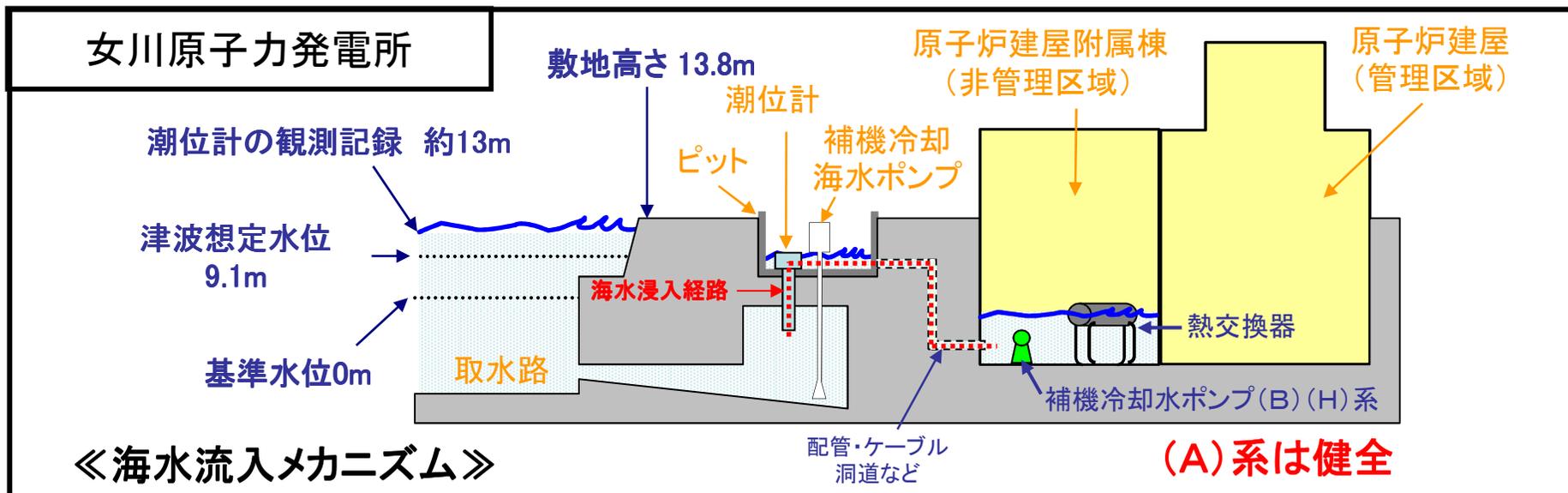
地震により短絡

↓
短絡電流・アーク(火花)発生

↓
盤内のケーブルの
絶縁被覆が焼損

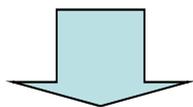


2-④女川2号機 原子炉建屋付属棟への海水流入(1/2)



2-④女川2号機 原子炉建屋付属棟への海水流入(2/2)

高さ約2.5mまで浸水



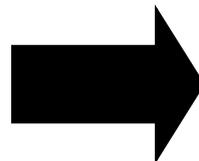
仮設ポンプ8台にて
海水の汲み上げを実施



海水流入源となった海水ポンプ室内潮位計への閉止板取り付け



施工後



2-⑤ その他の被害状況

固体廃棄物貯蔵所:ドラム缶の落下・転倒

(ドラム缶の破損・フタのはずれは無し)



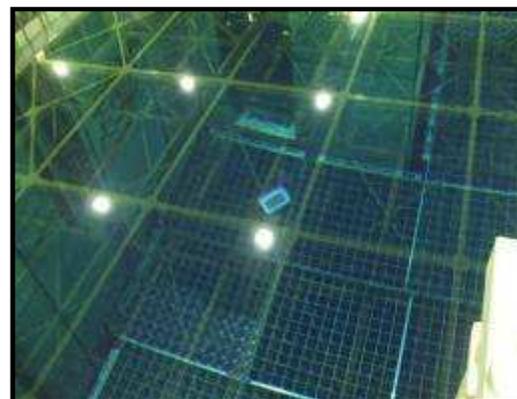
構内:舗装道路陥没



1号機中央制御室:天井化粧板の脱落



3号機使用済燃料貯蔵プール:異物落下



その他極軽微な被害多数あり



3. 女川原子力発電所の安全機能確保の要因



3-① 女川原子力発電所の安全機能確保の要因

地震・津波に対する安全裕度

- ・敷地高さ(3-②参照)
- ・法面防護工(3-④参照)
- ・海水ポンプ室のピット化(3-⑤参照)
- ・引き潮時における非常用冷却海水確保のため取水路の底を深く掘削(3-③参照)

	女川	福島第一
津波想定水位※1	13.6m	5.7m
敷地高さ	13.8m※2	10m
津波高さ	約13m	約13m

※1:土木学会手法による

※2:敷地の地盤沈下量(-約1m)を考慮した値

電源の確保

	地震後の電源状況	
女川	1. 非常用電源:正常 →津波により2号機B系およびH系D/Gのみ停止 2. 外部電源:1回線正常 →停電原因の調査・改良	電源確保
福島第一	1. 非常用電源:正常 →津波によりDG全台停止 2. 外部電源:喪失	全交流電源喪失

被害状況の最小化

女川原子力発電所の安全機能確保

「止める」「冷やす」「閉じ込める」の機能確保
操作・監視の機能確保

様々な耐震対策

- (1) 耐震裕度向上工事の実施
 - ・新耐震指針に伴い, 各種地質調査を実施
 - ・耐震安全性向上工事(1号機~3号機で約6600箇所)を平成22年6月までに実施済み(3-⑥参照)
 - ・今後更なる耐震裕度向上工事を実施
- (2) 中央制御室制御盤への手すり棒の設置(3-⑦参照)

適確な対応

日常的な訓練

- ・シミュレータによる全交流電源喪失時の訓練実施
- ・消防訓練
- ・緊急安全対策訓練(4-⑦参照)

正確な情報の収集・伝達

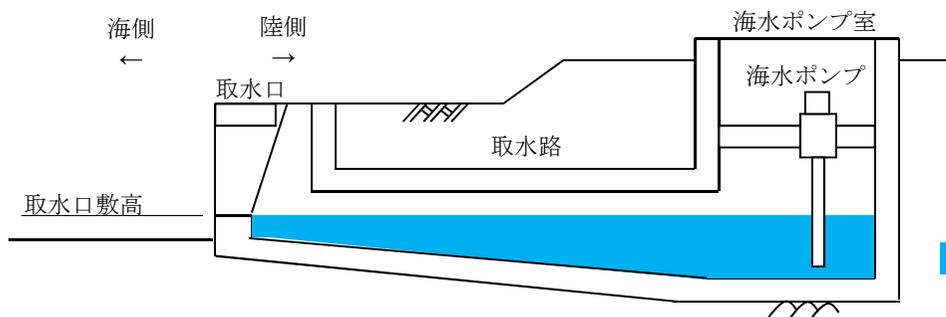
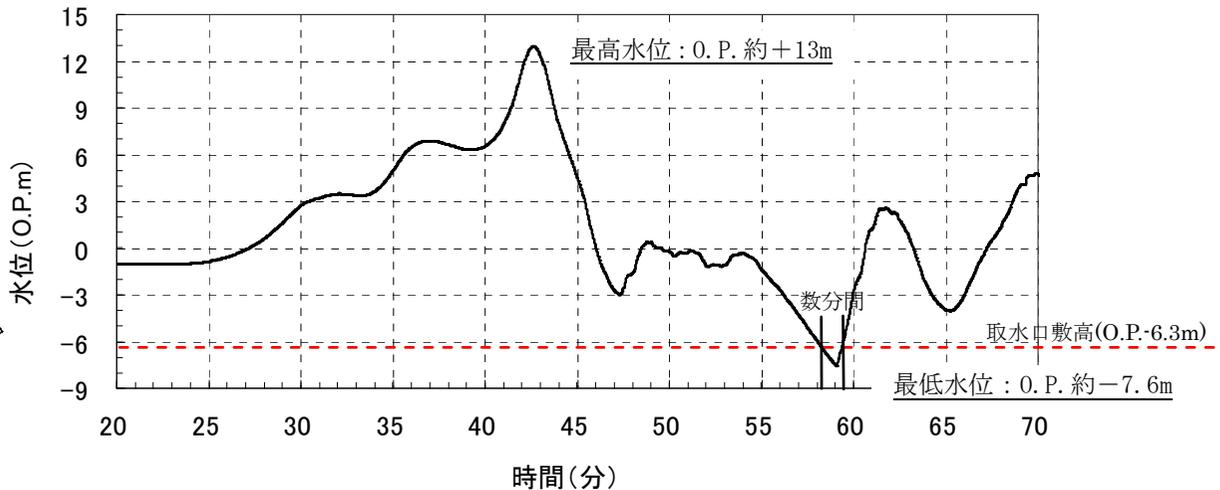
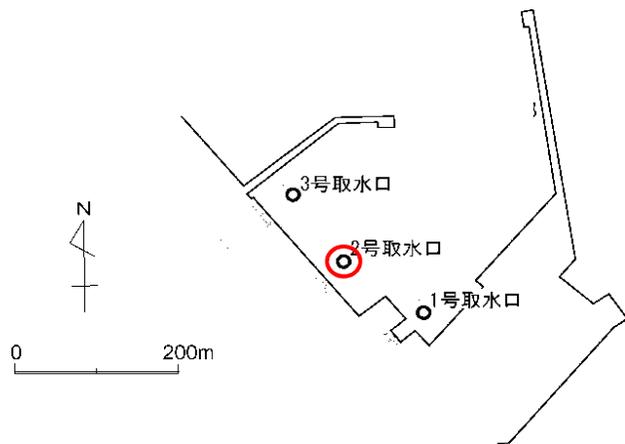
緊急対策室の機能維持

- ・中越沖地震を踏まえて事務棟(旧館:緊急対策室を含む)の耐震補強工事を平成22年3月までに実施済み(3-⑧参照)
- ・緊急対策室の計算機や通信設備等の資機材を固縛等



3-③ 発電所の安全性への影響の分析

- 1号～3号の取水口前面では最低水位O.P.約-7.6m
- 数分間程度、水位が取水口敷高を下回ったと推定
- 原子炉補機冷却系海水ポンプに必要な海水が1号機では約40分間、2, 3号機では約38分、取水設備内に確保される構造となっていることから、発電所の安全性に影響が無かったことを確認



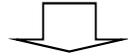
取水口前面の水位と取水口敷高の関係(2号機の例)

取水設備の概要図(断面図)



3-④法面防護工

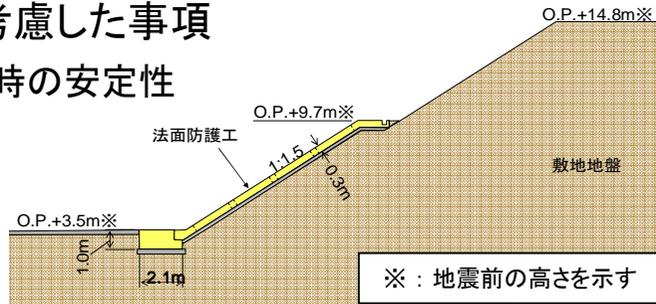
2号機増設時に想定津波水位を9.1mと評価



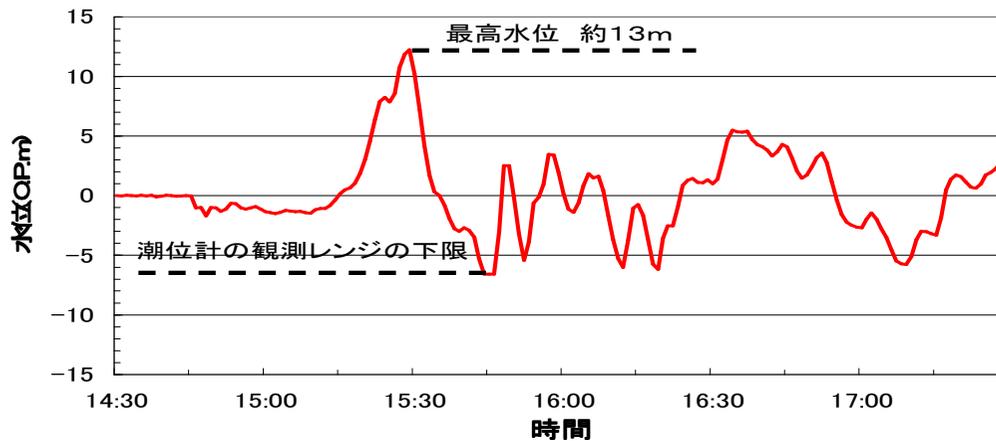
コンクリートブロックによる法面防護工を9.7mの高さまで設置(追加工事)

■設計に考慮した事項

- ・津波引き波時の安定性
- ・耐震性



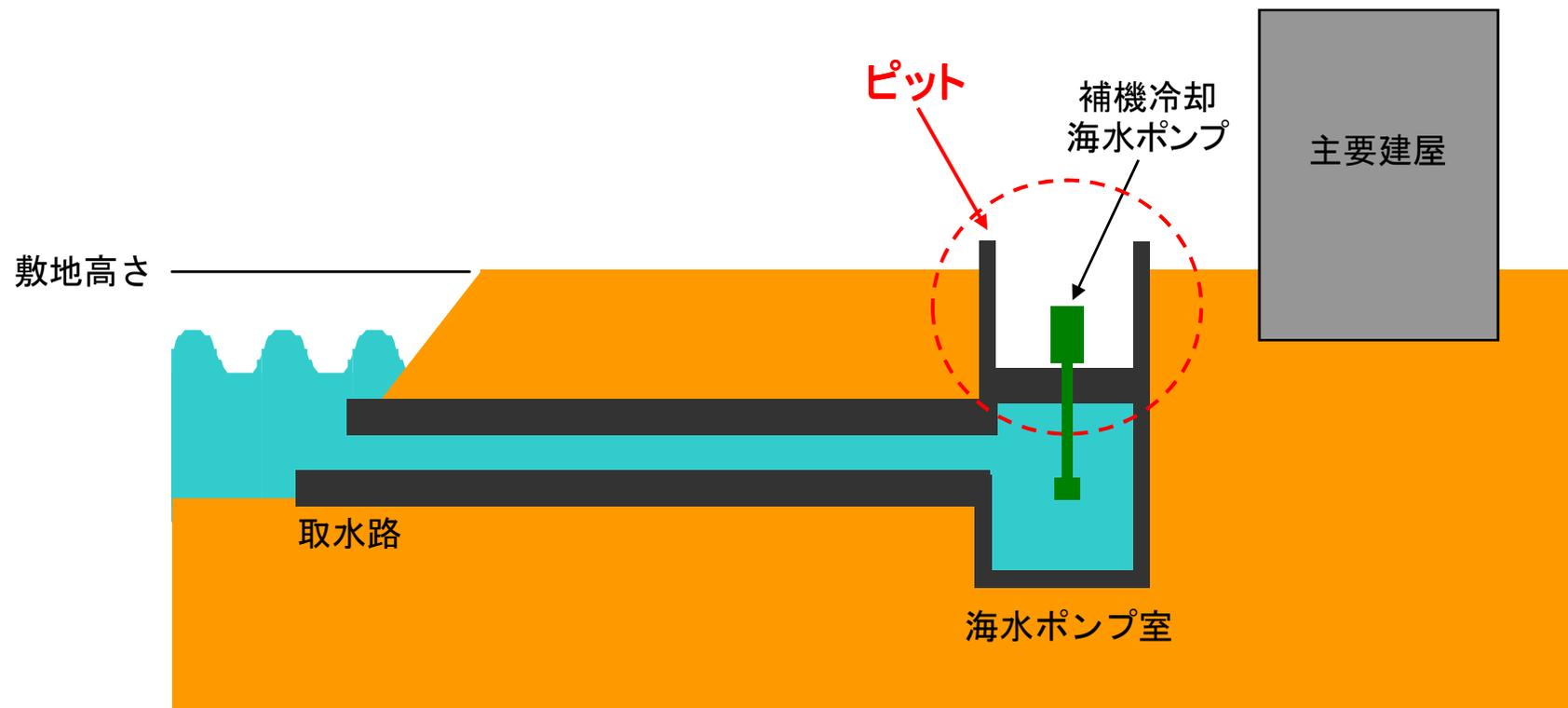
津波の観測記録



津波の第一波だけでなく
第二波以降についても耐えた



3-⑤ 海水ポンプ室のピット化



【効果】

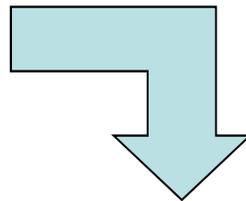
- ・海水ポンプにとっては壁で囲まれている
- ・海水ポンプの動力が少ない



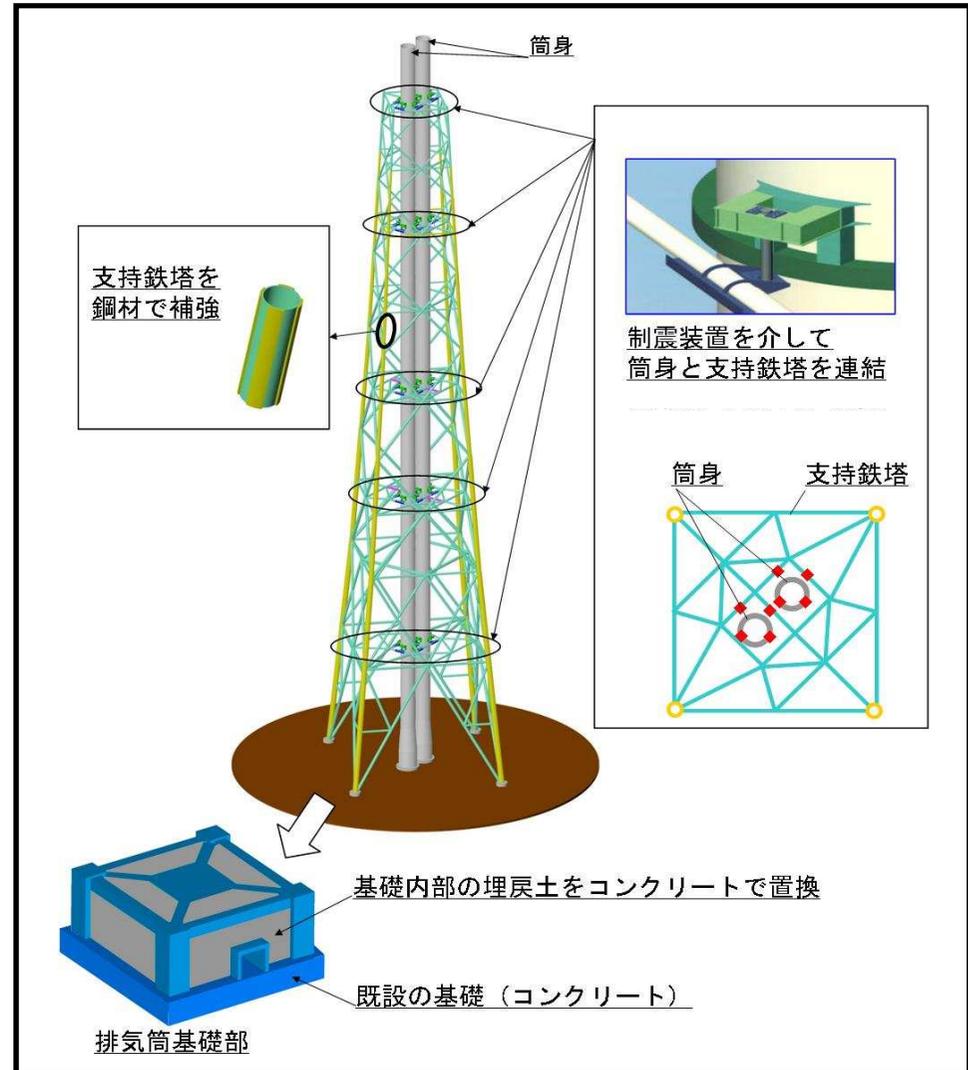
3-⑥耐震裕度向上工事

耐震裕度向上工事(機器・配管を含む)

1号機 約3600箇所
2号機 約900箇所
3号機 約2100箇所 } 約6600箇所

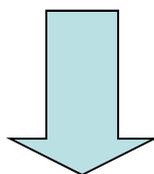


排気筒耐震裕度向上工事(平成21年8月～)

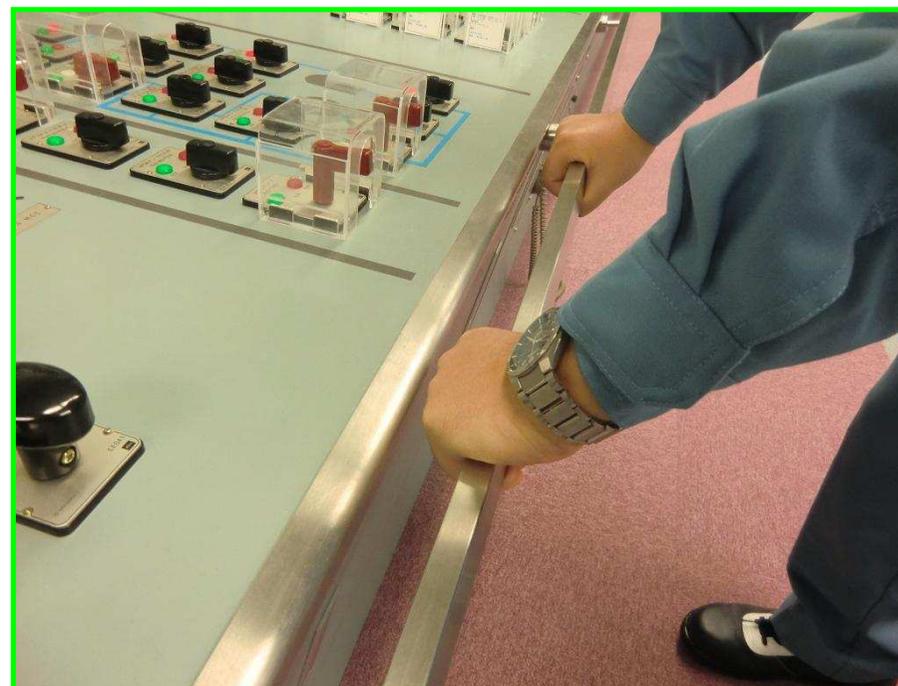


3-⑦ 中央制御室制御盤への手すり棒の設置

地震時には手すり棒※を握り体を支える



安定した状態で操作・監視が可能
(通常操作時もヒューマンエラー防止に有効)



※1号機第1回定期検査時に設置

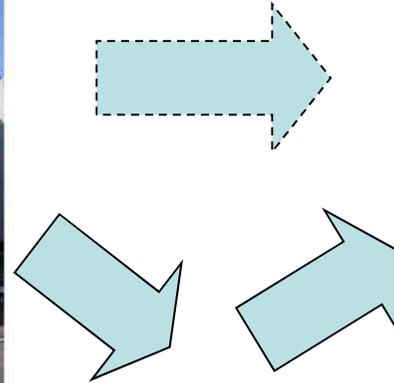


3-⑧事務棟について

事務棟（旧館）



事務新館 免震構造
(工事期間 平成21年12月～平成23年8月)



大震災以前に耐震補強工事（筋交い）実施
(平成21年7月～22年3月)



- ・緊急時対策室
 - ・計算機室
- } 等を耐震補強



4. 更なる安全性向上に向けた取り組み



4-① 更なる安全性向上に向けた取り組み

① 建屋の浸水防止 (4-②, ③参照)

- 〔建屋扉の浸水対策〕 ゴムシールによる防水  → 水密性強化 
- 〔貫通部の浸水対策〕 水密性強化 
- 〔防潮堤・防潮壁の設置〕 

⑤ 被曝低減対策

-  線量計
-  高線量対応防護服 (タンクステンベスト)
-  全面マスク

⑥ がれき撤去対策



【凡例】

- ◎ : 実施済
- : 実施中
- : 実施予定

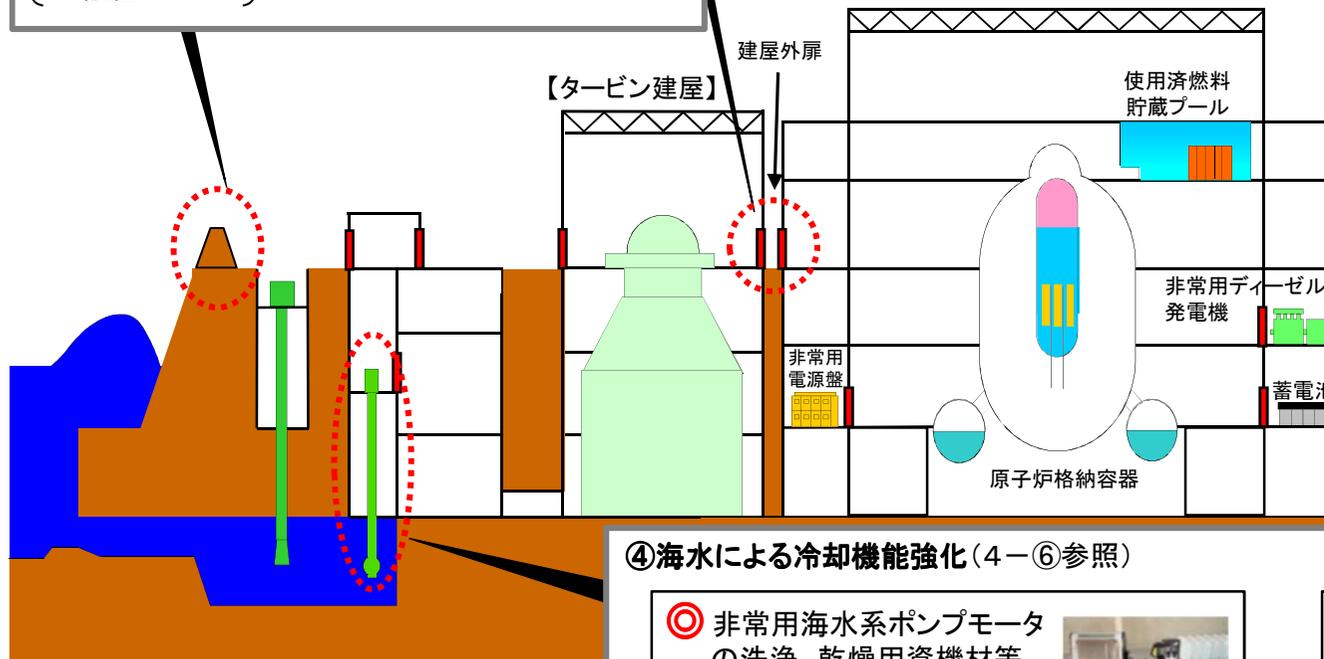
② 電源強化 (4-④参照)

◎ 電源車の配備

◎ 大容量電源装置の配備

□ 非常用発電機の配備

【原子炉建屋】



③ 燃料の冷却機能強化 (4-⑤参照)

- ◎ ・代替注水車による代替注水・水源確保

④ 海水による冷却機能強化 (4-⑥参照)

- ◎ 非常用海水系ポンプモータの洗浄、乾燥用資機材等の配備



- ◎ 代替非常用海水ポンプの配備



4-②建屋の浸水防止

建屋への海水浸入を防止するため、建屋外扉および建屋配管貫通部等の防水機能の健全性を確認し、さらに建屋外扉にゴムシールおよびカンヌキを取り付け防水性を向上させた。

建屋外扉および貫通部の 浸水対策健全性確認

シール材による防水施工



ケーブルトレイ貫通部

ゴムシール取り付けによる防水性向上

対策前



ゴムシールの設置

対策後



およびカンヌキによる扉補強

カンヌキの設置



扉にカンヌキを設置し、
水圧による扉の破損を防止



4-③防潮堤の設置(概要)

防潮堤の概要

目的：敷地への浸水防止

構造：セメント改良土による堤防

高さ：約3m (O.P.※1約+17m)

長さ：約600m

[参考]

防潮壁の概要

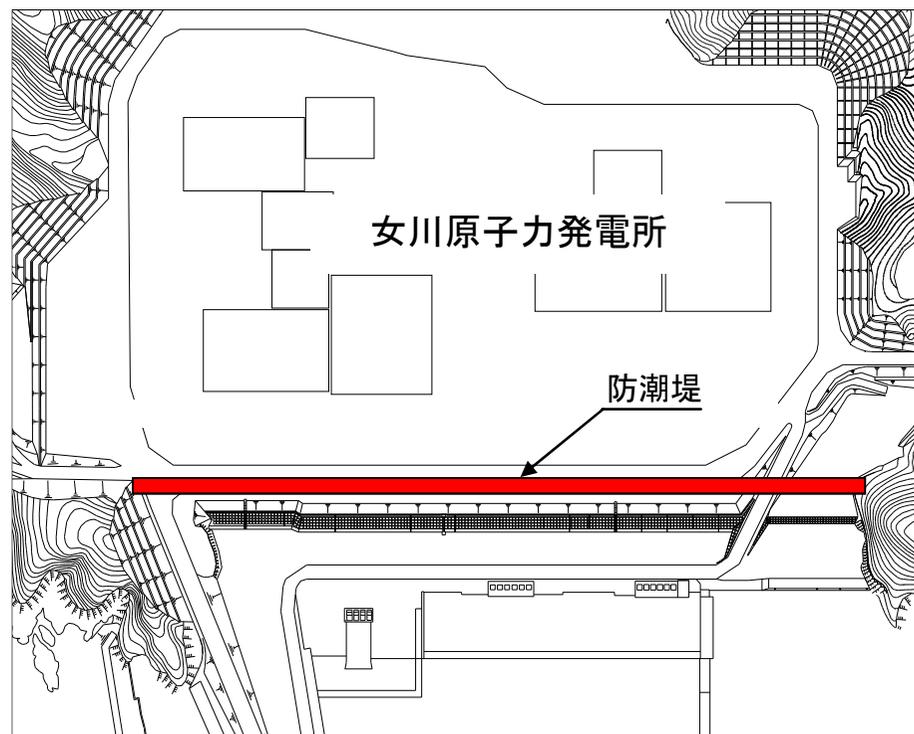
目的：非常用海水ポンプエリアへの浸水防止

構造：鋼製枠＋防潮板（ポリカーボネイト製）

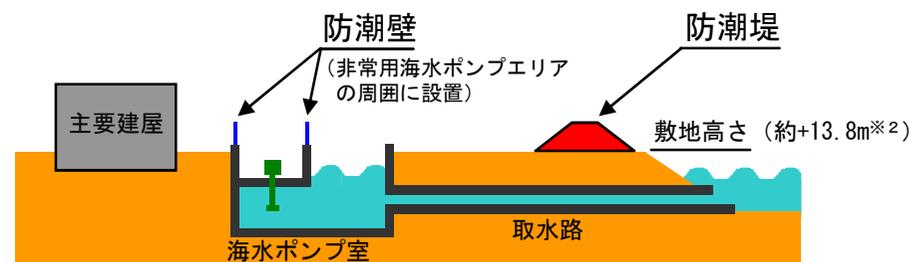
高さ：約2m (O.P.※1約+16m)

※1 O.P.とは、女川の工事用基準面で、
O.P. ±0.0mは東京湾平均海面 (T.P.) -0.74mに相当

※2 女川周辺の地盤沈下量 (約1m) を考慮



防潮堤配置計画図



防潮堤・防潮壁断面イメージ図

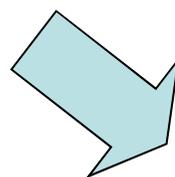


4-③防潮堤の設置



防潮堤設置工事前

平成23年12月1日工事着工



防潮堤設置工事後

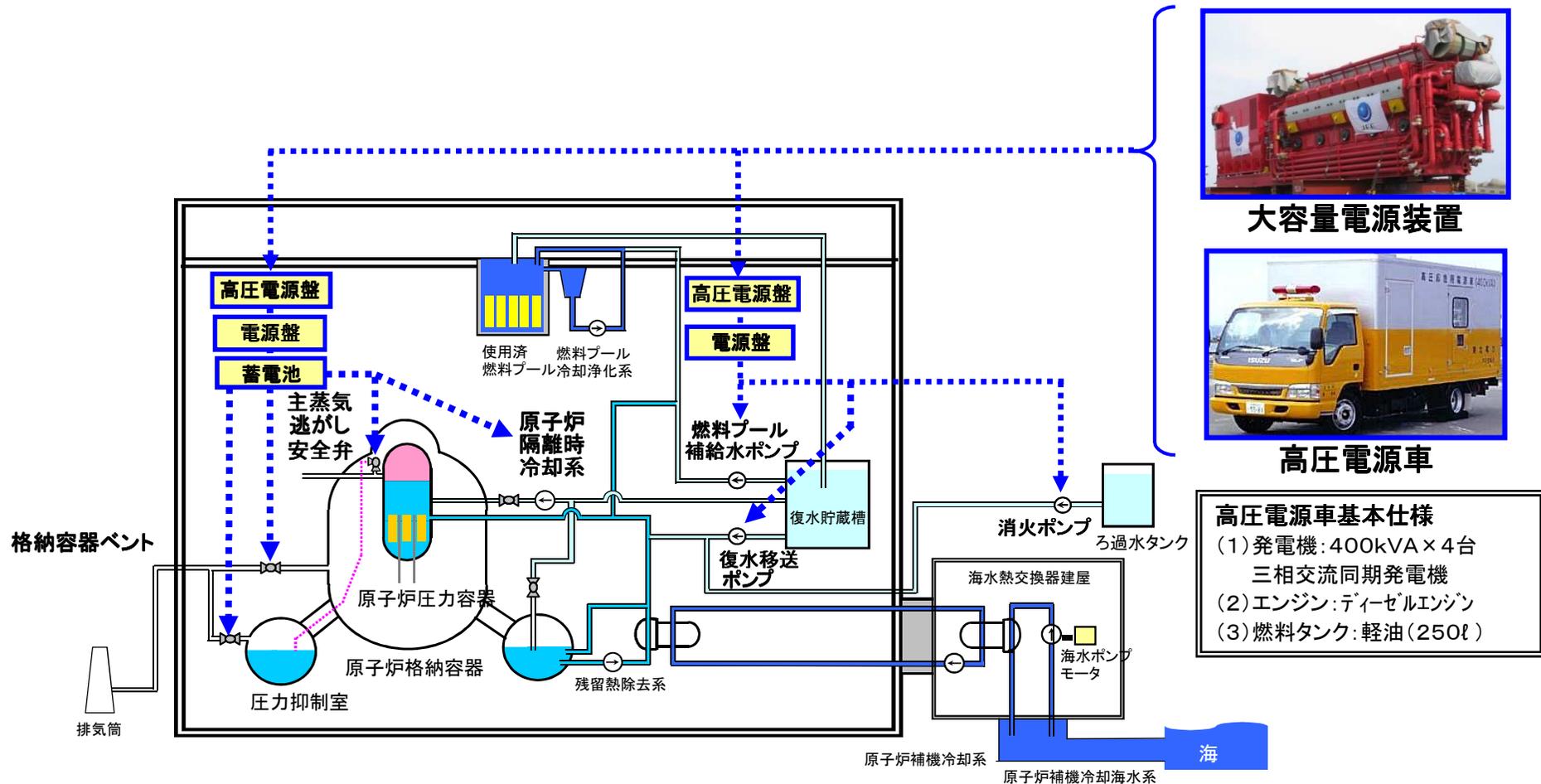
平成24年4月26日工事完了

防潮堤(約3m)



4-④電源の強化

電源機能等喪失時においても、原子炉や使用済燃料プールへ注水するために必要なポンプや計測制御装置、原子炉格納容器ベント機能などに必要な電力を供給する。



大容量電源装置



高圧電源車

- 高圧電源車基本仕様**
- (1) 発電機: 400kVA × 4台
三相交流同期発電機
 - (2) エンジン: ディーゼルエンジン
 - (3) 燃料タンク: 軽油 (250ℓ)

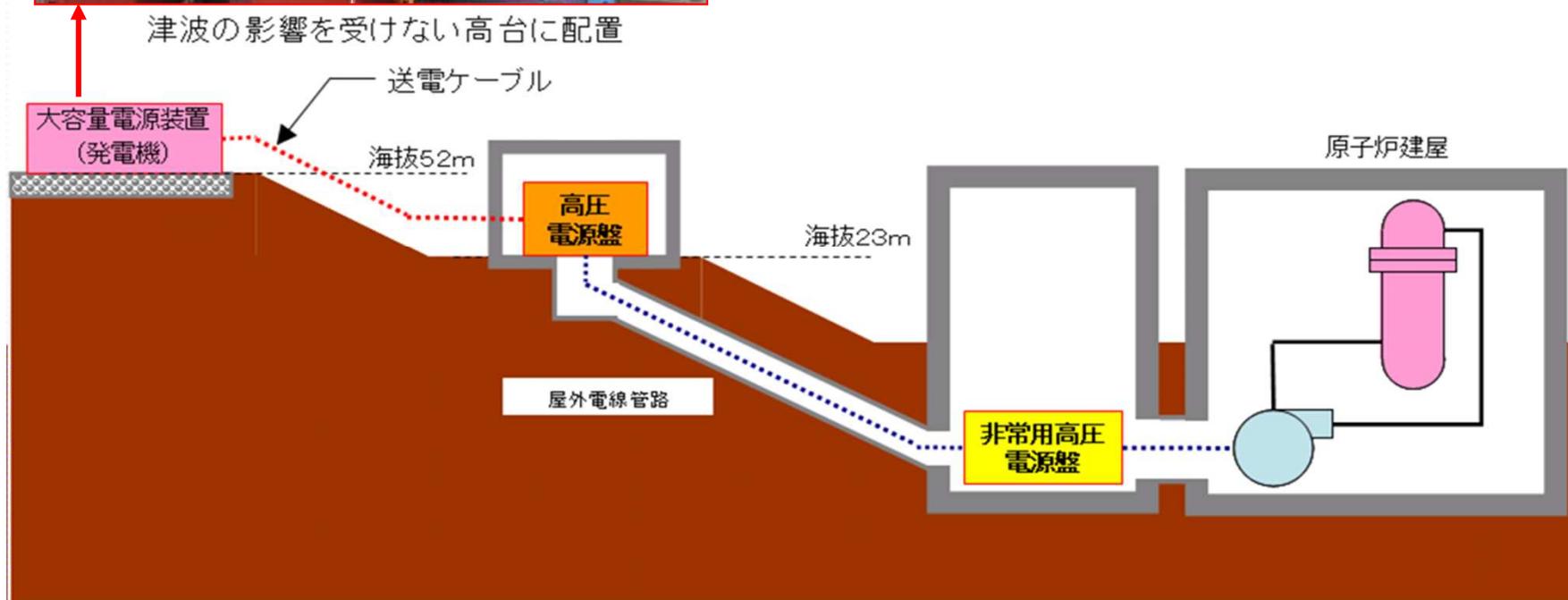


4-④電源の強化(大容量電源装置の概要)



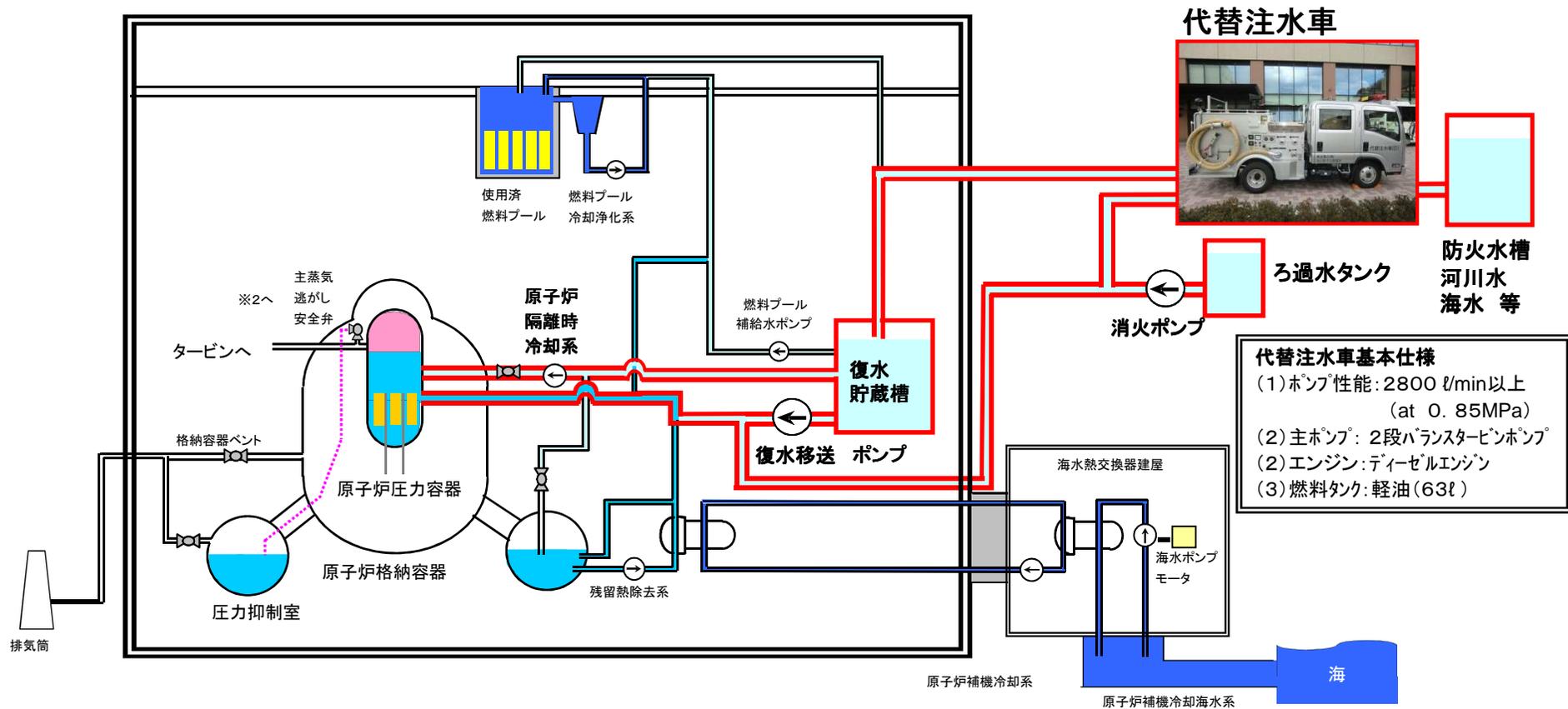
基本仕様

- (1) 発電機: 5000kVA × 3台
三相交流同期発電機
- (2) エンジン: 空冷ディーゼルエンジン
- (3) 燃料タンク: 軽油 (90kl)



4-⑤燃料の冷却機能強化

- ・ 代替注水車を活用し，注水用水源への水補給を行う。
- ・ 原子炉および使用済燃料プールへ注水するポンプが使用できない場合は，代替注水車により注水する。



4-⑥ 海水による冷却機能強化

津波の浸水により、非常用海水系ポンプが故障した場合でも、洗浄装置や予備品等を配備することにより、除熱機能が早期に回復できるようにする。

非常用海水ポンプモータの復旧対策

非常用海水系ポンプのモータ部の洗浄資機材配備



非常用海水系ポンプのモータ部の予備品を確保



非常用冷却海水系ポンプ

非常用海水ポンプの復旧対策

代替非常用海水系ポンプを配備



ポンプ基本仕様

- (1) 送水能力: 30000 l/min (at 1.2MPa[最大送水圧])
- (2) エンジン出力: 1193kW
- (3) 燃料: 軽油
- (4) 燃料タンク容量: 900l



4-⑦ 訓練の実施

更なる安全性向上対策が実効的に運用できることを確認するとともに、訓練を通して課題を抽出し、改善を実施。



① 運転訓練(想定事象:全交流電源喪失)

- ・シミュレータ訓練
- ・その他机上訓練
- ・その他実働訓練



② 電源車を用いた電源確保訓練

- ・電源車起動訓練
- ・ケーブル敷設訓練
- ・夜間訓練

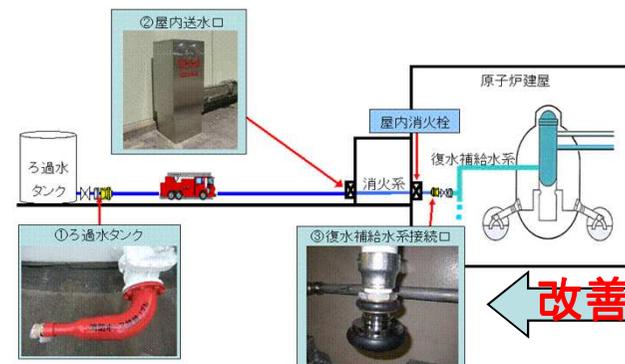


接続箱



③ 大容量電源装置を用いた電源確保訓練

- ・現場訓練
- ・机上訓練
- ・夜間訓練



④ 消防車を用いた代替注水訓練

- ・注水実技訓練
- ・注水机上訓練

改善

素早く・簡単に
接続可能



5. まとめ



5 まとめ

- 地震により、外部電源が全5回線の内4回線停止したが、1回線は正常であった。
また、津波に伴う建屋浸水の影響により、2号機の非常用ディーゼル発電機が2台使用不可となったが、その他の安全系設備については、使用可能な状態であった。
- 襲来した津波は高さO.P.約+13.0mであり、地盤沈下を考慮した敷地高さO.P.約+13.8mを越えなかった。
- 以上より、安全機能は確保され、原子炉を冷温停止状態へ移行させることができた。
- 今後とも福島第一原子力発電所の事故から得られた知見を踏まえ、安全性向上に向けた対策に取り組んでいく。

