

東北地方太平洋沖地震とその後の 福島第二原子力発電所の状況について

TEPCO

2016年10月
東京電力ホールディングス株式会社

発電所の概要及びレイアウト



発電所の概要

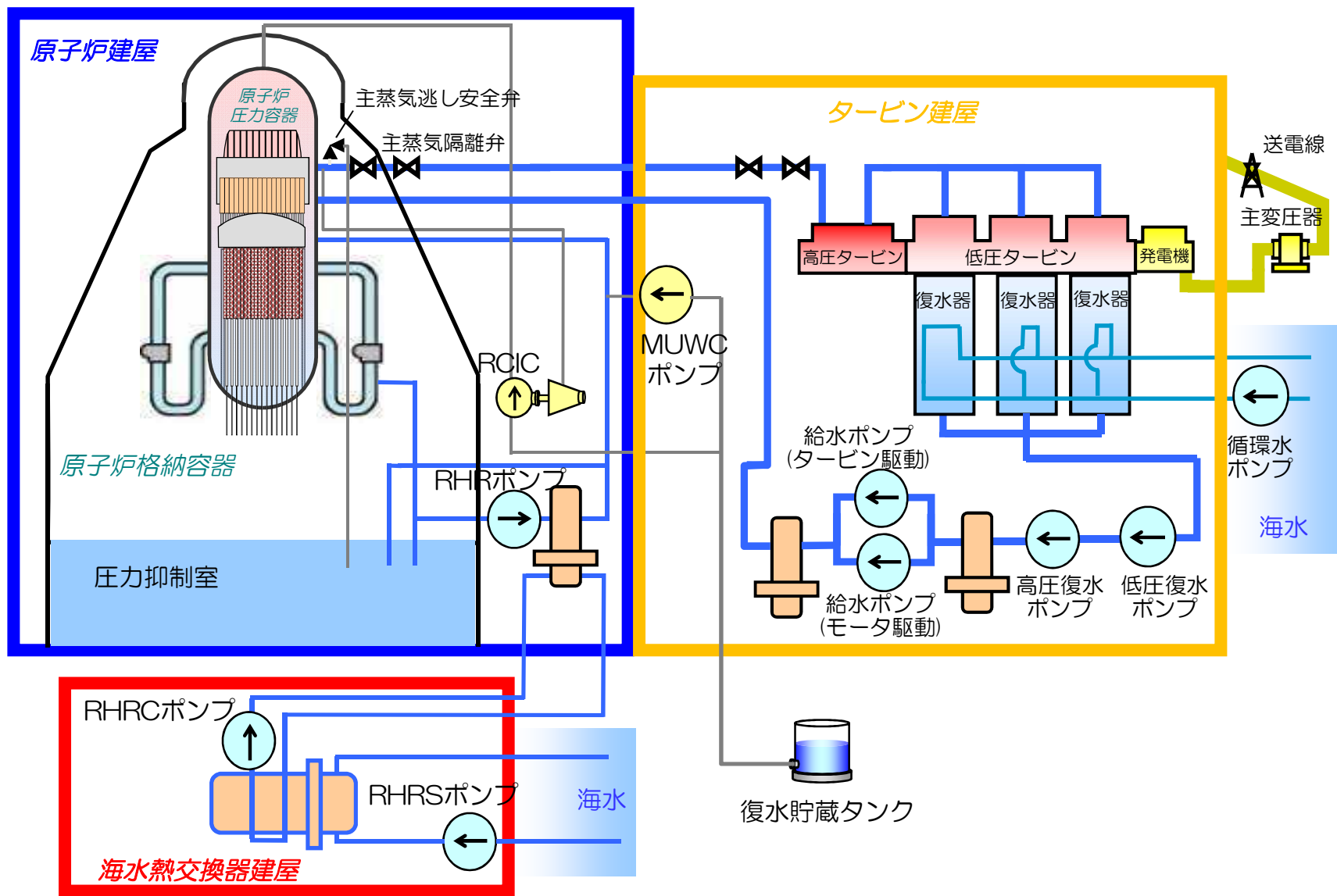
位置：東京から北東に約210km
 楢葉町に1, 2号機,
 富岡町に3, 4号機

敷地：1.5km²
 南北に1.5km, 東西に1km

	1号機	2号機	3号機	4号機
炉型	BWR 5 Mark II (円すい)	BWR 5 Mark II 改 (つりがね)	BWR 5 Mark II 改 (つりがね)	BWR 5 Mark II 改 (つりがね)
熱出力	3,293 MWt			
電気出力	1,100 MWe			
運転開始	1982年 (昭和57年) 4月	1984年 (昭和59年) 2月	1985年 (昭和60年) 6月	1987年 (昭和62年) 8月
燃料集合 体数	764			
制御棒本 数	185			
主機メーカー (国産化率)	東芝 (約98%)	日立 (約99%)	東芝 (約99%)	日立 (約99%)



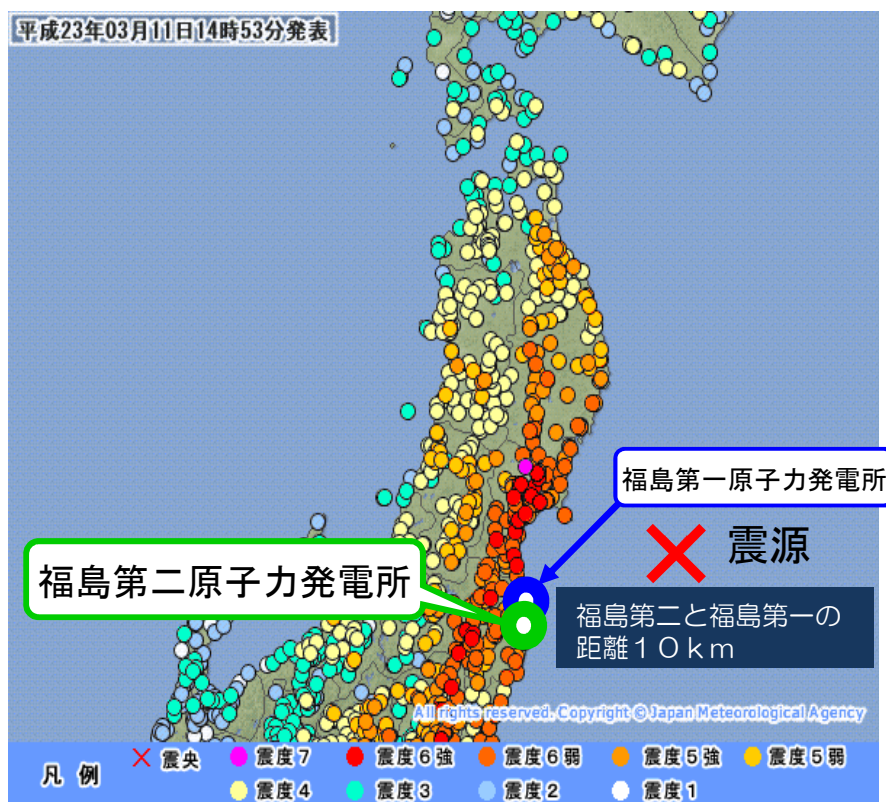
沸騰水型軽水炉 (BWR) の主要設備



東北地方太平洋沖地震

- 発生日時：2011年3月11日14:46
- 発生場所：三陸沖（北緯 38.1度，東経 142.9 度），深さ：24 km
- マグニチュード：9.0
- 震度(気象庁発表)：楢葉町，富岡町，大熊町，双葉町で震度6強

震源位置と原子力発電所



地震発生前，福島第二原子力発電所では
1～4号機の全号機が定格熱出力で運転中



全号機が「地震加速度大」により自動停止
(スクラム※)

福島第二で観測された最大加速度は
水平方向277gal※1，上下方向305gal※2

(※1 3号機原子炉建屋最地下階)

(※2 1号機原子炉建屋最地下階)

※スクラム設定値は原子炉建屋最地下階で水平方向135gal，
上下方向100gal

地震により新福島変電所の設備が一部損傷したこと
で外部電源が一部停止したが，4回線の内1回線
は受電継続
(1回線点検停止中，2回線が停止)

津波の到達

■津波の到達：3/11 15時30分頃



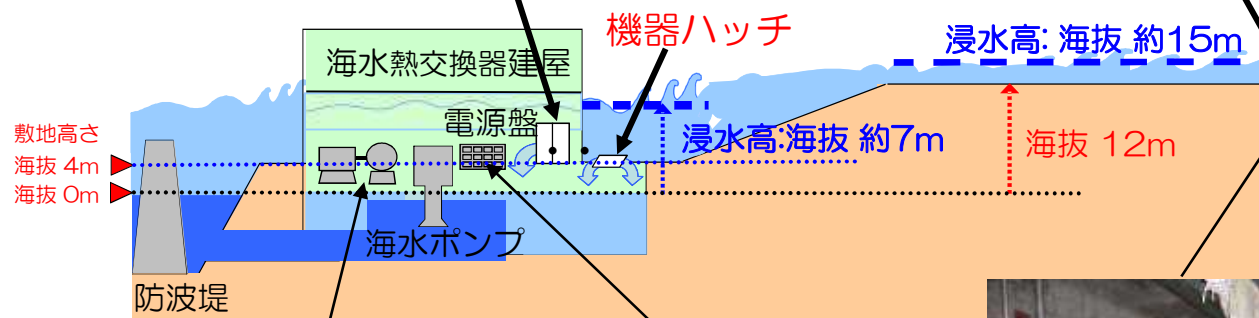
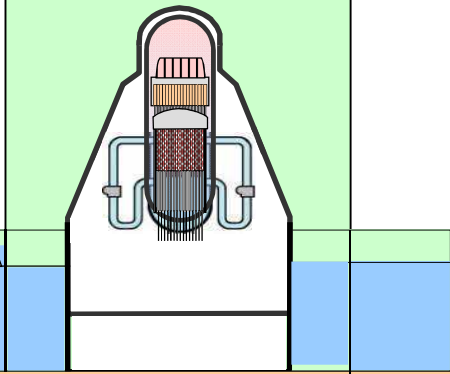
震災時の設備被害（その1）福島第二の詳細 TEPCO

※全号機
（3号機南側海水熱交換器建屋除く）
機器搬入口が津波により破壊され、建屋へ浸水



※1号機
原子炉建屋付属棟へ非常用ディーゼル発電機給気処理ルーバー等から浸水

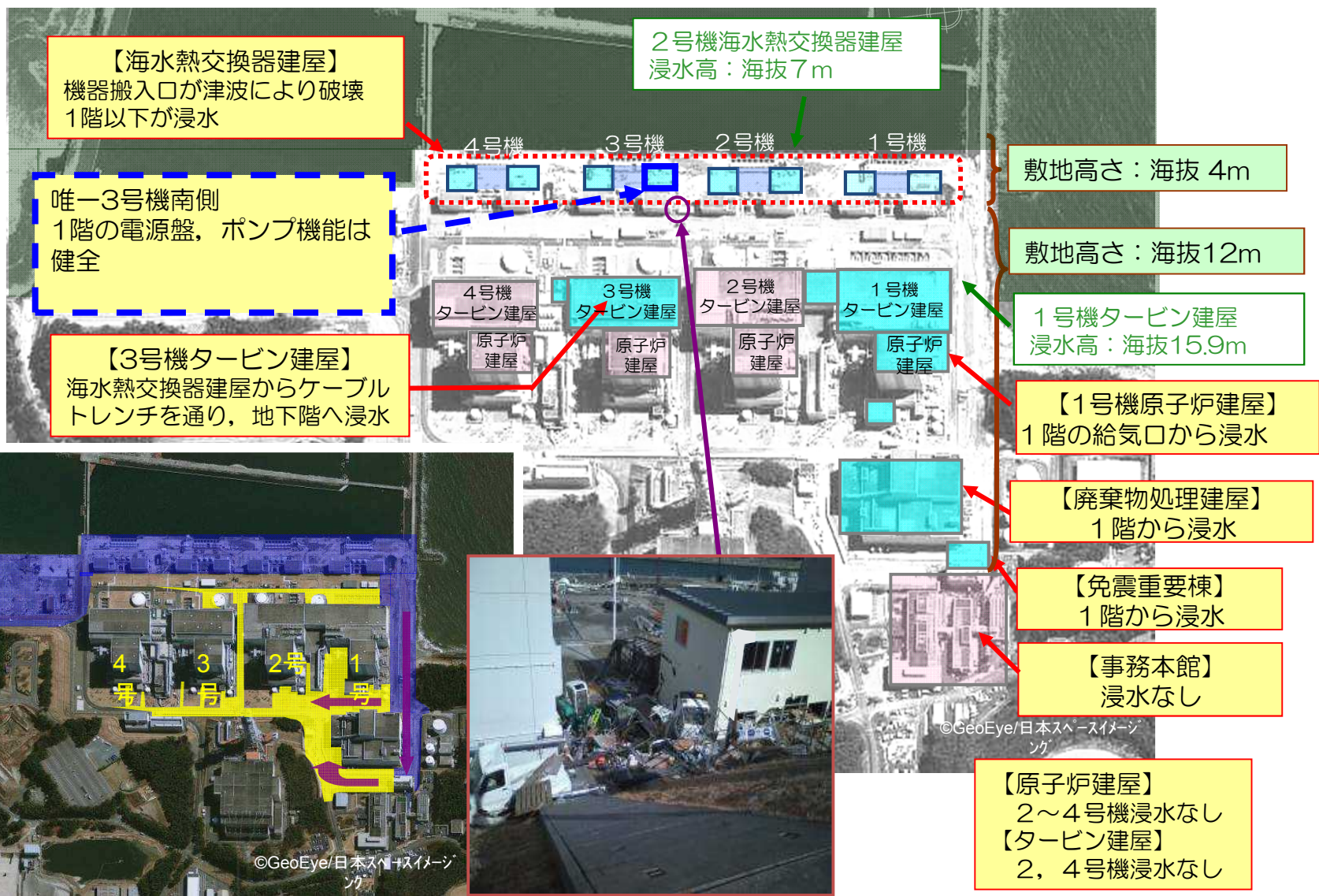
1号機 原子炉建屋



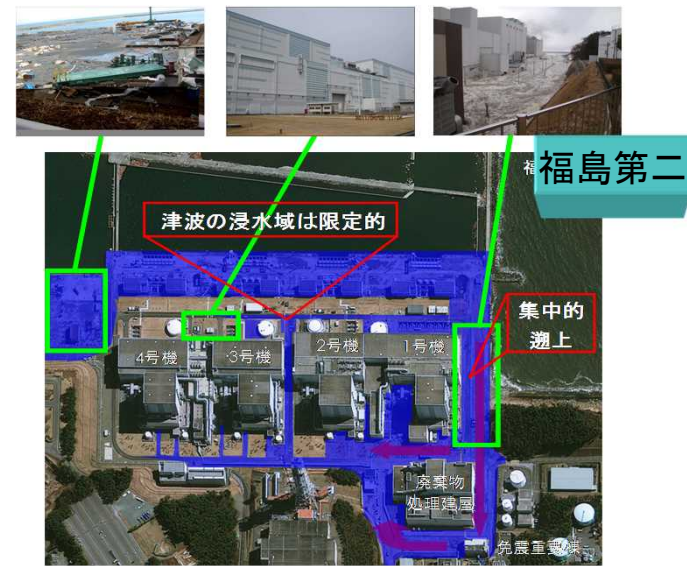
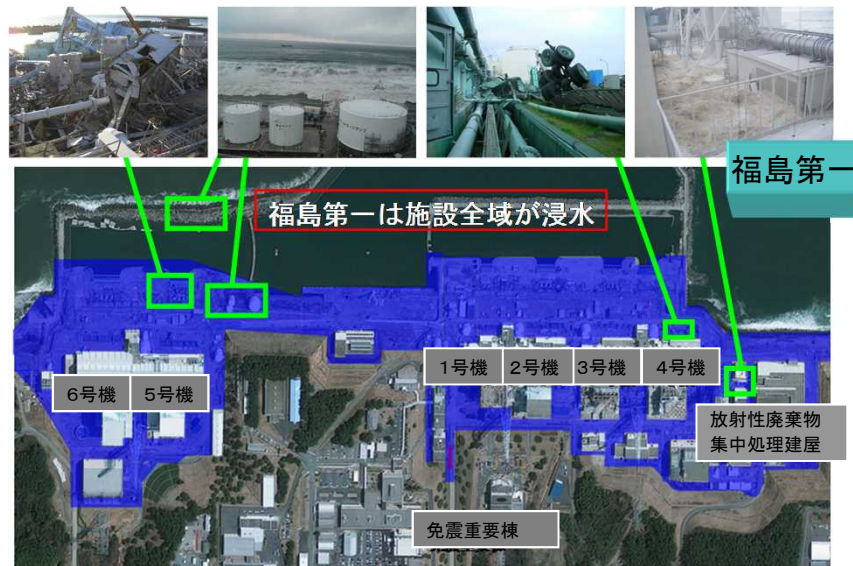
※2~4号機
原子炉建屋付属棟への浸水はほとんどなし

震災時の設備被害（その2）福島第二の詳細 TEPCO

浸水
 浸水なし



震災時の設備被害（その3）福島第一との比較 **TEPCO**



	福島第一原子力発電所							福島第二原子力発電所			
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	
地震発生時の状況	運転中			定期検査のため停止中				運転中			
外部電源	×							○			
非常用ディーゼル発電機(D/G) (*:空冷式)	A	×	×	×	×	△	△	×	△	△	△
	B	×	△*	×	△*	△	○*	×	△	○	△
	H	—	—	—	—	—	△	×	△	○	○
非常用高圧電源盤(M/C)	×	×	×	×	×	○	1/3	○	○	○	
常用高圧電源盤(M/C)	×	×	×	×	×	×	○	○	○	○	
非常用低圧電源盤(P/C) ()内は工事中系統数	×	2/3	×	1/2 (1)	×	○	1/4	2/4	3/4	2/4	
常用低圧電源盤(P/C) ()内は工事中系統数	×	2/4	×	1/1 (1)	2/7	×	○	○	○	○	
直流電源	×	×	○	×	×	○	○	3/4	○	○	
海水ポンプ	×	×	×	×	×	×	×	×	1/2	×	

○または分数
:使用可(分数の場合は、
使用可能な系統数を表示)

△:D/G本体は被水していないが、
M/C・関連機器等の水没により
使用不可

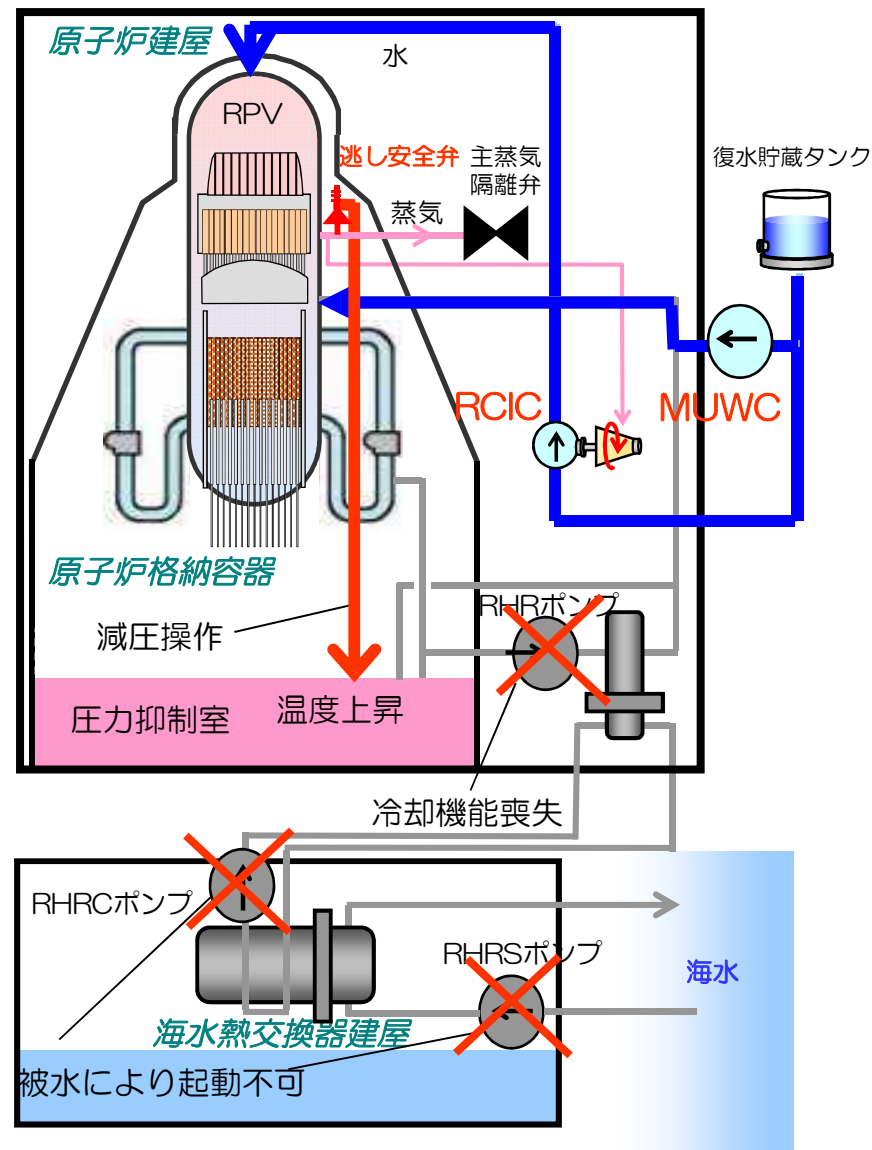
×:使用不可

—:設備無し

分数:上流の給電元のM/Cが使用
不可のため受電不可

対応（その1）中央制御室における操作対応

- 津波後、1, 2, 4号機の原子炉除熱のためのポンプ（電動機）が被水・使用不能※ⁱ
（※ⁱ：原災法第10条（原子炉除熱機能喪失）該当）
- 事故時運転操作手順書（徴候ベース）を活用し、RCICからの高圧注水によって原子炉水位を維持しつつ逃し安全弁にて原子炉を減圧ただし、原子炉からの蒸気で圧力抑制室水温100℃超えが発生※ⁱⁱ
（※ⁱⁱ：原災法第15条（圧力抑制機能喪失）該当）
- 低圧注水可能な圧力まで原子炉減圧後にMUWCによる代替注水で原子炉水位を維持
- MUWCによる代替格納容器スプレイで格納容器内圧力上昇を緩和



略語説明	RCIC：原子炉隔離時冷却系
	MUWC：復水補給水系
	RHR：残留熱除去系
	RHRC：残留熱除去機器冷却系
	RHRS：残留熱除去機器冷却海水系

対応（その2）設備復旧対応①

■ウォークダウンによる設備被害状況の確認(2011年3月11日深夜)

- 津波警報が継続する中、所員の安全対策を講じた上でウォークダウン実施
- 多くの機器損傷の状況で、短時間で効率的に除熱機能の回復方法を検討し、機器復旧の優先順位を決定（RHR（B）系の復旧を優先）

■復旧機材の緊急調達(2011年3月12日)

- 交換用電動機、電力ケーブル、電源車、移動用変圧器を緊急調達
- 交換用電動機は、東芝工場から空輸、及び柏崎刈羽原子力発電所からのトラック搬送にて確保

■現場における機器及び電源の復旧(2011年3月13日)

- RHR（B）系の補機冷却系ポンプ点検、使用不能電動機の交換
- 健全な廃棄物処理建屋電源盤を使用し、また高圧電源車と移動変圧器を現場に配備し、仮設ケーブルを布設
- 総延長9kmの仮設ケーブルの大半を約200名の所員及び協力企業社員の手でほぼ1日で布設

■残留熱除去系のポンプを起動し、原子炉の冷却を開始 (2011年3月14日)



さまざまな努力により、2011年3月15日 午前7時15分に
全号機において冷温停止を達成

電源車の調達



電動機の交換



仮設ケーブルの布設



対応（その3）設備復旧対応②

総延長9 kmの仮設ケーブル布設、
被水したモーターの交換を実施



電源車からの電源供給

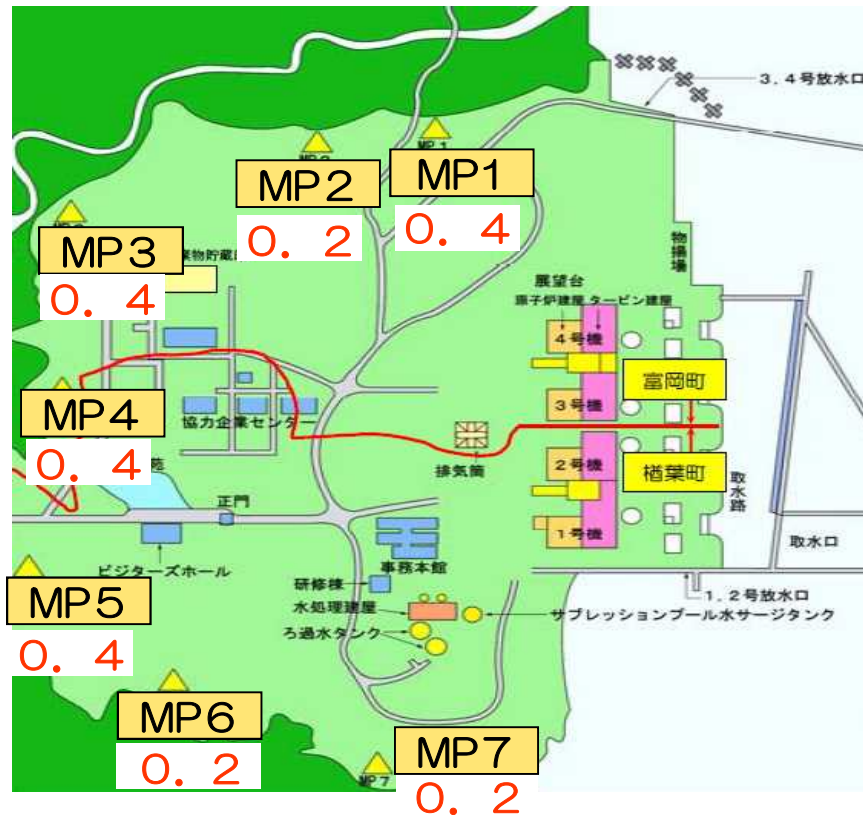


敷地境界放射線量の推移

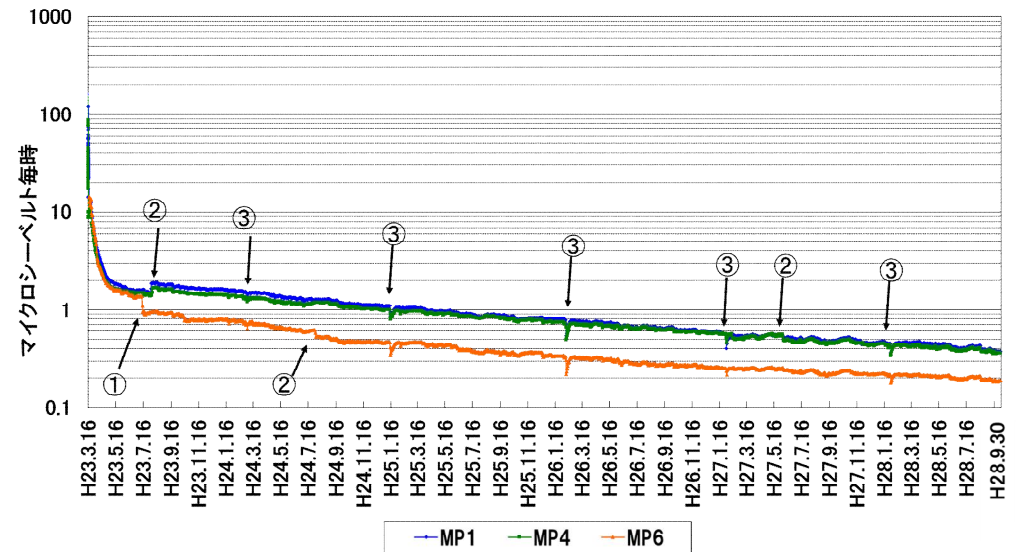
敷地境界放射線量の推移

- 2011年3月14日22:00 福島第一の事故の影響により敷地境界放射線量が $5 \mu\text{Sv/h}$ 以上（原災法第10条に該当）
- 2011年4月3日9:30以降 敷地境界の放射線量は再び $5 \mu\text{Sv/h}$ を下回って推移

モニタリングポスト空間線量率
2016年9月30日 9:00
単位：マイクロシーベルト毎時



モニタリングポストの指示値

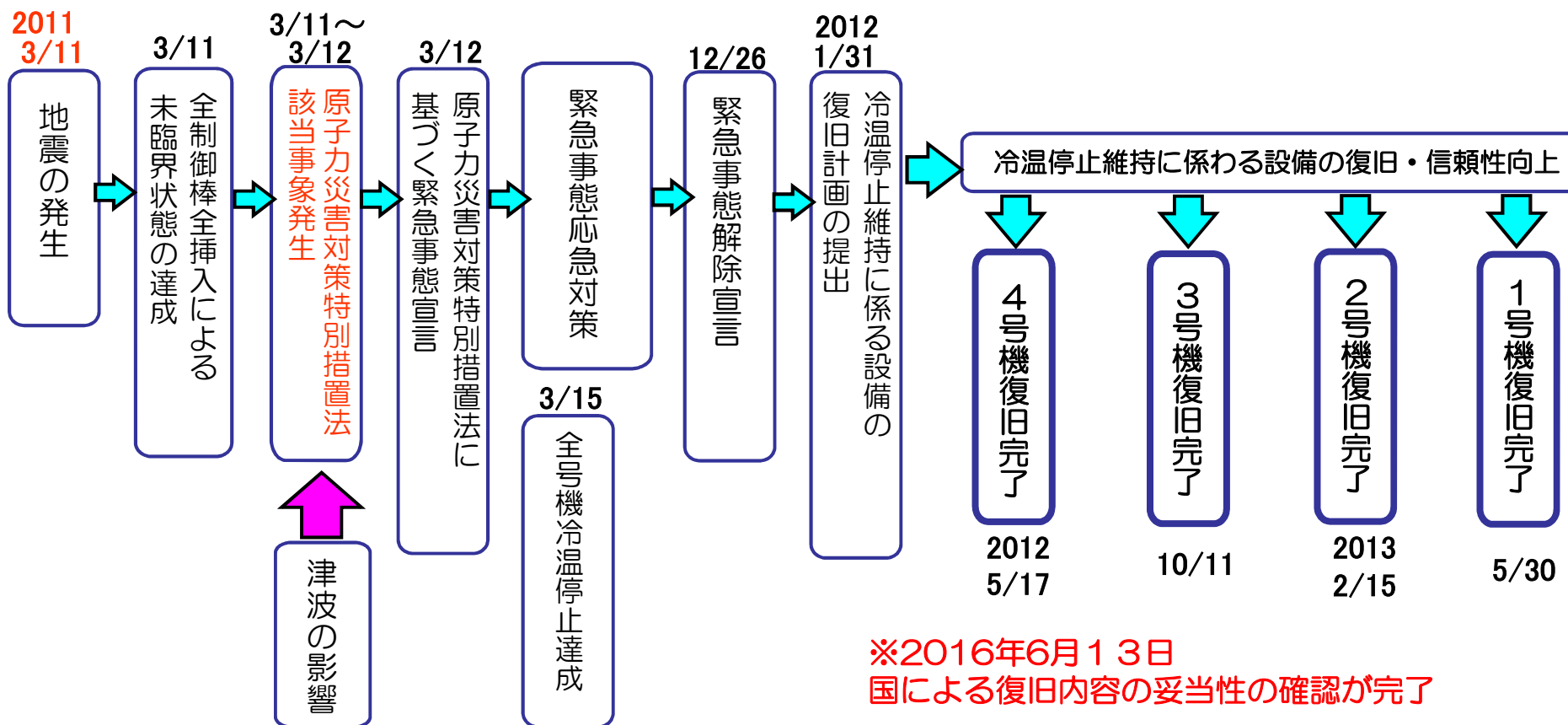


- ① MP6付近のガレキ撤去による変動
- ② 検出器の調整の影響による変動
- ③ 積雪の影響による変動

復旧計画に基づく設備の本設復旧

当社では、2011年12月26日、緊急事態応急対策完了を受け内閣総理大臣からの「緊急事態解除宣言」が発出された以降、2012年1月31日に原子力災害事後対策に関する計画である「復旧計画」を策定し、これに基づき計画的に復旧を実施してきた。

4号機は2012年5月17日、3号機は2012年10月11日、2号機は2013年2月15日、1号機は2013年5月30日に冷温停止の維持に必要な設備の本設復旧が完了した。

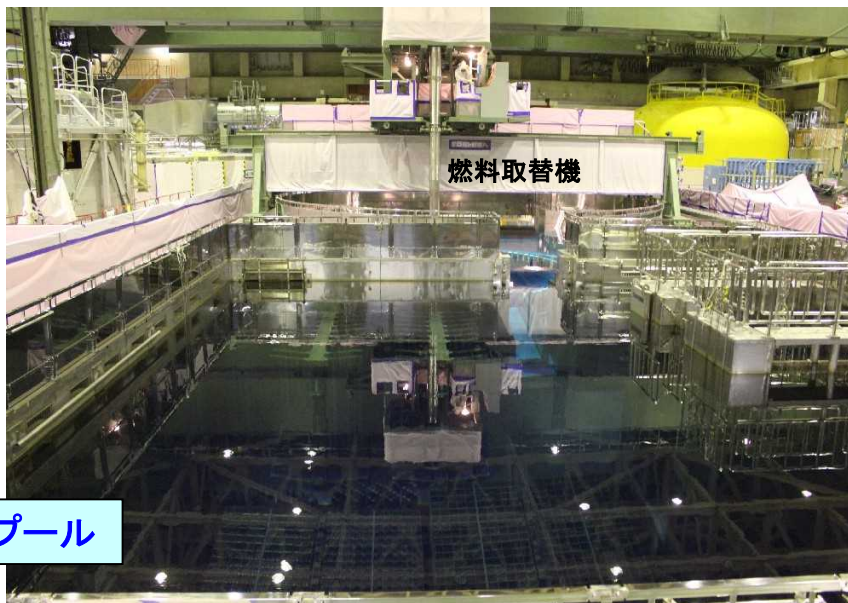


※2016年6月13日 国による復旧内容の妥当性の確認が完了

燃料の保管状況

燃料の保管

停止期間が長期に及ぶため、設備の維持管理の合理化及び効率化の観点から、原子炉内の燃料を使用済燃料プールへ移動した。



使用済燃料プール

【3号機原子炉建屋6階平面図】



●燃料の保管状況

	使用済燃料プール				原子炉内	燃料移動完了期日
	照射燃料	新燃料	保管容量	使用率		
1号機	2334体	200体	2662体	95%	0体	H26年 7月
2号機	2402体	80体	2769体	90%	0体	H25年10月
3号機	2360体	184体	2740体	93%	0体	H27年 3月
4号機	2436体	80体	2769体	91%	0体	H24年10月

燃料冷却にかかわる安全確保（その1）

■緊急時の電源確保

- ガスタービン発電機車・電源車の構内高台への配備，電源確保手順の策定
 - ・空冷式ガスタービン発電機車（4500kVA／1台）2台を配備
 - ・電源車（500kVA／1台）必要台数8台を確保
 - ・地下軽油タンク（200kL，事故発生後7日間，原子炉・使用済燃料プールの注水・除熱手段を確保するために所内で必要となる軽油量を保有）を設置



燃料冷却にかかわる安全確保（その2）

■ 緊急時の最終的な除熱機能及び使用済燃料プールの冷却確保

- 消防車の構内高台への配備，代替注水手順の策定
- 全交流電源喪失時の予備ポンペ等を用いた格納容器ベント操作手順の策定



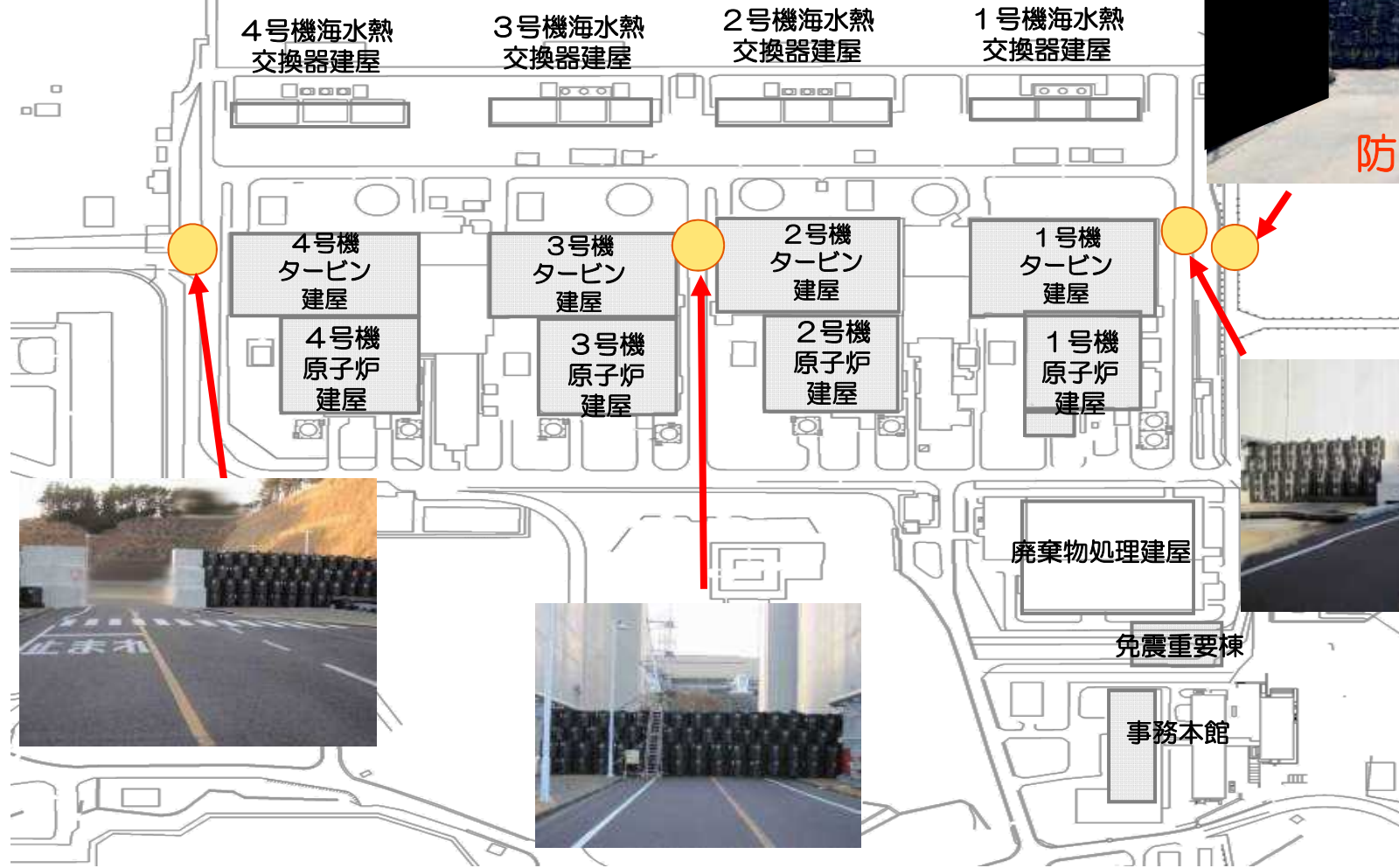
■ がれき撤去対策の実施

- がれき撤去用重機の配備
- 通路確保用の砕石や鉄板を常備



燃料冷却にかかわる安全確保（その3）

アウトライズ津波対策 仮設防潮堤の設置



技術力強化訓練（その1）

震災以降、緊急安全対策として、資機材の確保、電源の強化（電源車、空冷式ガスタービン発電機車の配備）、注水手段の確保（消防車の配備）を進める一方、震災時と同様の状況に至った場合でも、当社社員単独で初動対応ができるよう訓練を重ねてきた。

2013年7月からは、震災時の経験から得た教訓をもとに、以下4つのプロジェクトチームを結成し、技術力の習得訓練を各チームにより計画的に行っている。

チーム名	体制	リスク対応
モータ取替チーム	各チーム 3～4班体制 (7～8名/班)	予備の冷却ポンプ用モータを運搬し、水没して使用できなくなったモータと取り替える。
ポンプ復旧チーム		水没したポンプを分解し、軸受けを交換後、ポンプを再度組み立て、復旧させる。
ケーブル接続チーム		取り替えたモータへ電源を供給するためのケーブルを布設し、モータを動かす。
ガレキ撤去チーム		上記作業を行うために道路のガレキの撤去ならびに砂利や鉄板で道路を復旧する。

- 各班1～2回/月の頻度で訓練を実施
- 上記4チームの他に、進捗管理や力量管理のまとめや検討会の開催等を行う「プロジェクトチーム（8名）」も設置している。



津波によるモータの被水状況



津波によるポンプの被水状況



仮設ケーブルの布設の様子



海側通路近辺のガレキ

技術力強化訓練（その2）

■各チームの訓練風景

●モータ取替チーム

モータ取替作業の様子



●ケーブル接続チーム

ケーブルドラムの移動・ケーブル接続の様子



●ポンプ復旧チーム

軸受の点検及び手入れの様子



●ガレキ撤去チーム

重機を使用した土砂の積み込み等、運転技術習得訓練の様子



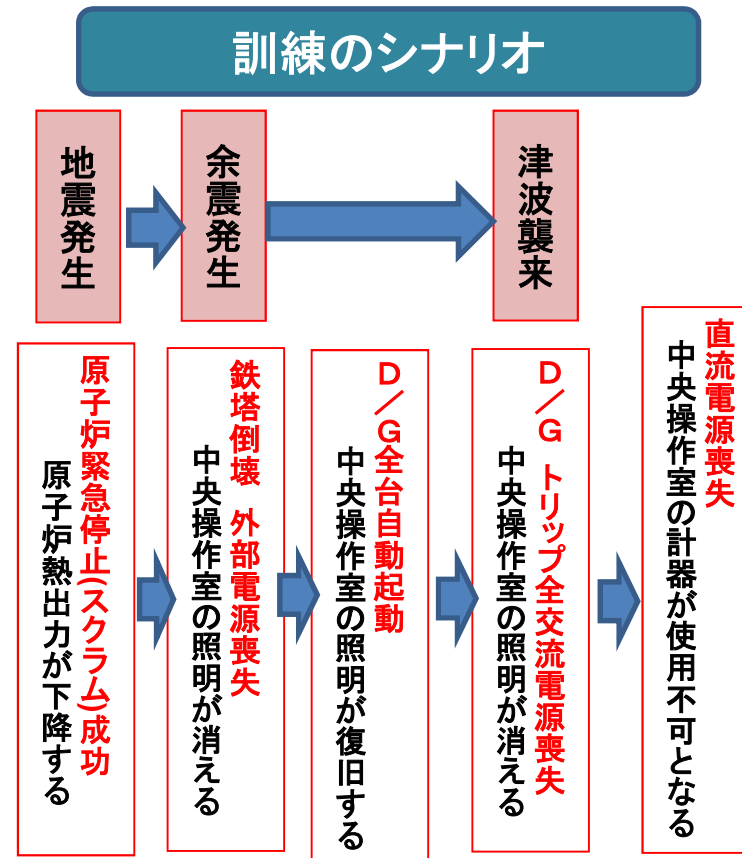
技術力強化訓練（その3）

発電所の運転を担当する当直員は、発電所に設置されているシミュレータ設備を活用し、運転技術の維持向上に努めています。

震災当時福島第一原子力発電所が経験したと想定される事象についても、シミュレータ設備で経験することにより、同じような事象が福島第二原子力発電所で発生した場合でも、冷静に事象対応ができるよう訓練を積み重ねています。



略語説明 D/G：非常用ディーゼル発電機
各号機毎に3台設置されている。
外部からの交流電源が喪失した場合、自動
起動し電源を共有します。



燃料冷却にかかわる安全確保

参考

新規制基準を考慮した地震動（水平最大900gal^{※1}）及び津波（海拔27.5m^{※2}）を策定（1回／1万年～100万年程度）。

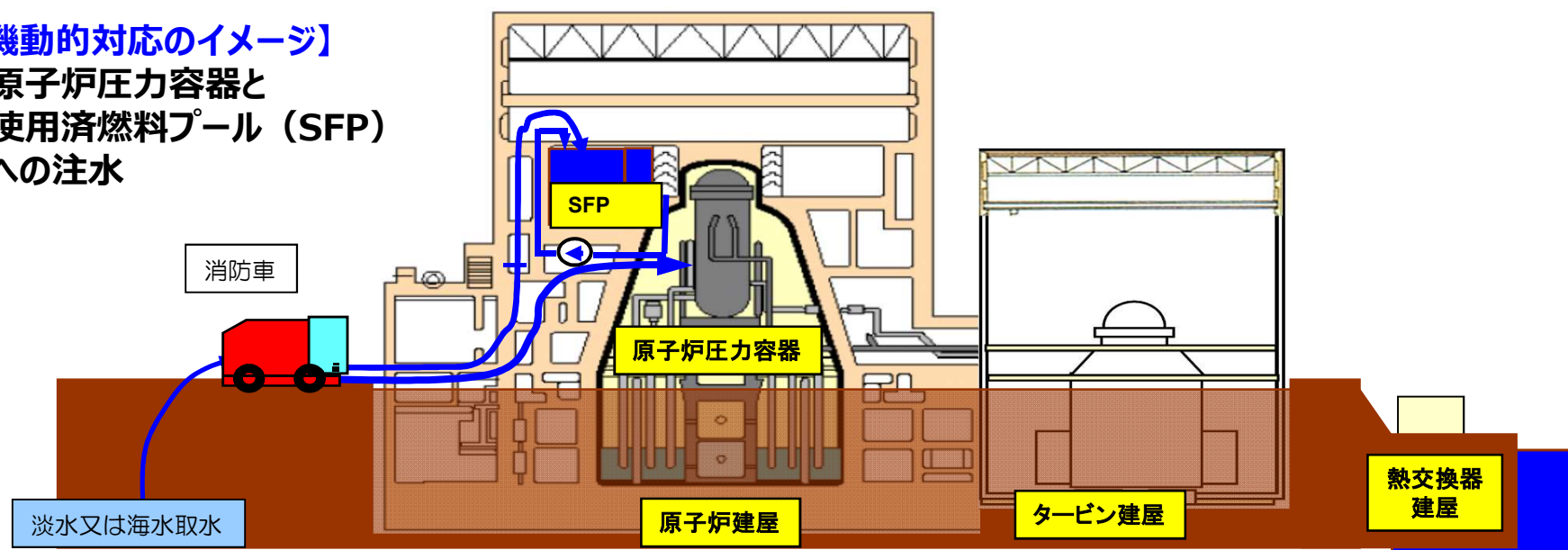
※1：解放基盤面 ※2：1号機取水口前面

○使用済燃料プール（SFP）及び原子炉圧力容器は地震・津波に対して維持されることを確認。

○除熱機能が喪失した場合においても、機動的対応にて燃料健全性は確保可能。

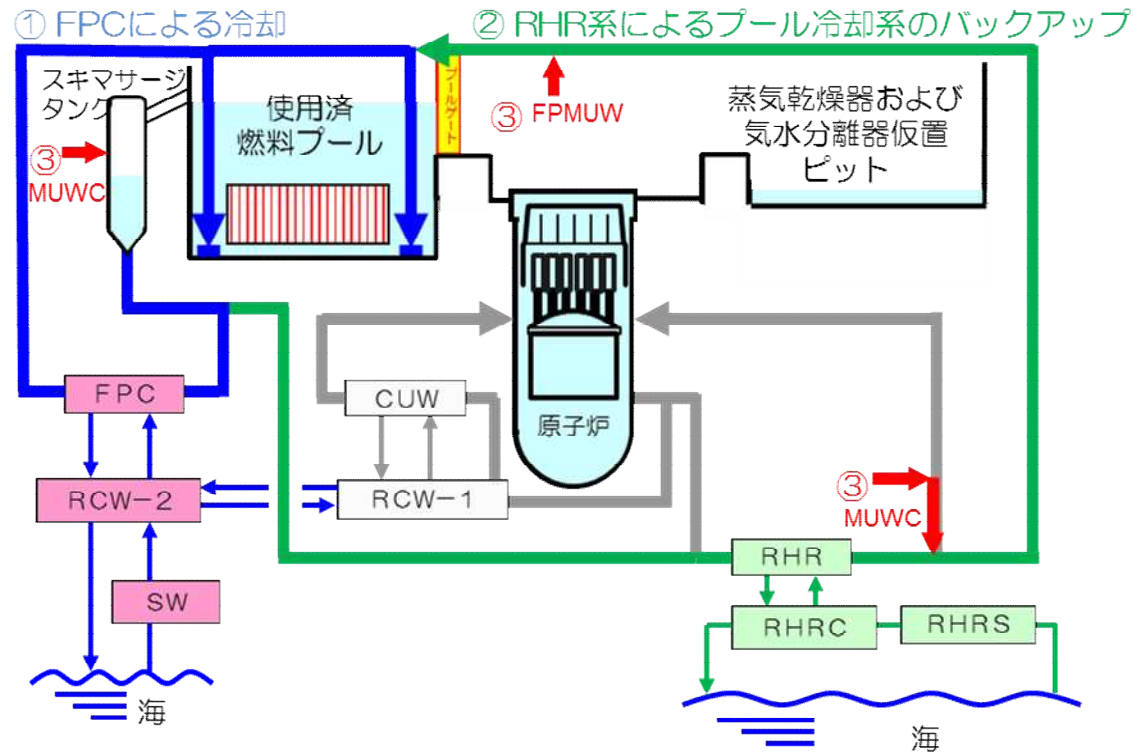
【機動的対応のイメージ】

原子炉圧力容器と
使用済燃料プール（SFP）
への注水



*現在は、東北地方太平洋沖地震の影響により発生が指摘されているアウターライズ津波への対策として仮設防潮堤を設置。

参考 【使用済燃料プール水の冷却】



①FPCによる冷却（通常時の冷却）
 プールゲート閉後も「開」時と同様にFPCにより冷却。

②冷却のバックアップ
 FPC系の停止時には、RHR系統にてプールを冷却。

③補給水
 通常時は復水貯蔵タンクを水源に、2系統（MUWC・PMUW）で計3箇所の補給ラインにて水を補給。

- FPC : 燃料プール冷却浄化系
- CUW : 原子炉冷却材浄化系
- RCW-1 : 原子炉補機冷却系第一中間ループ
- RCW-2 : 原子炉補機冷却系第二中間ループ
- SW : 補機冷却海水系
- RHR : 残留熱除去系
- RHRC : 残留熱除去機器冷却系
- RHRS : 残留熱除去機器冷却海水系
- MUWC : 復水補給水系
- FPMUW : 燃料プール補給水系

冷却停止時の時間余裕（1号機：2016年 9月 1日時点）

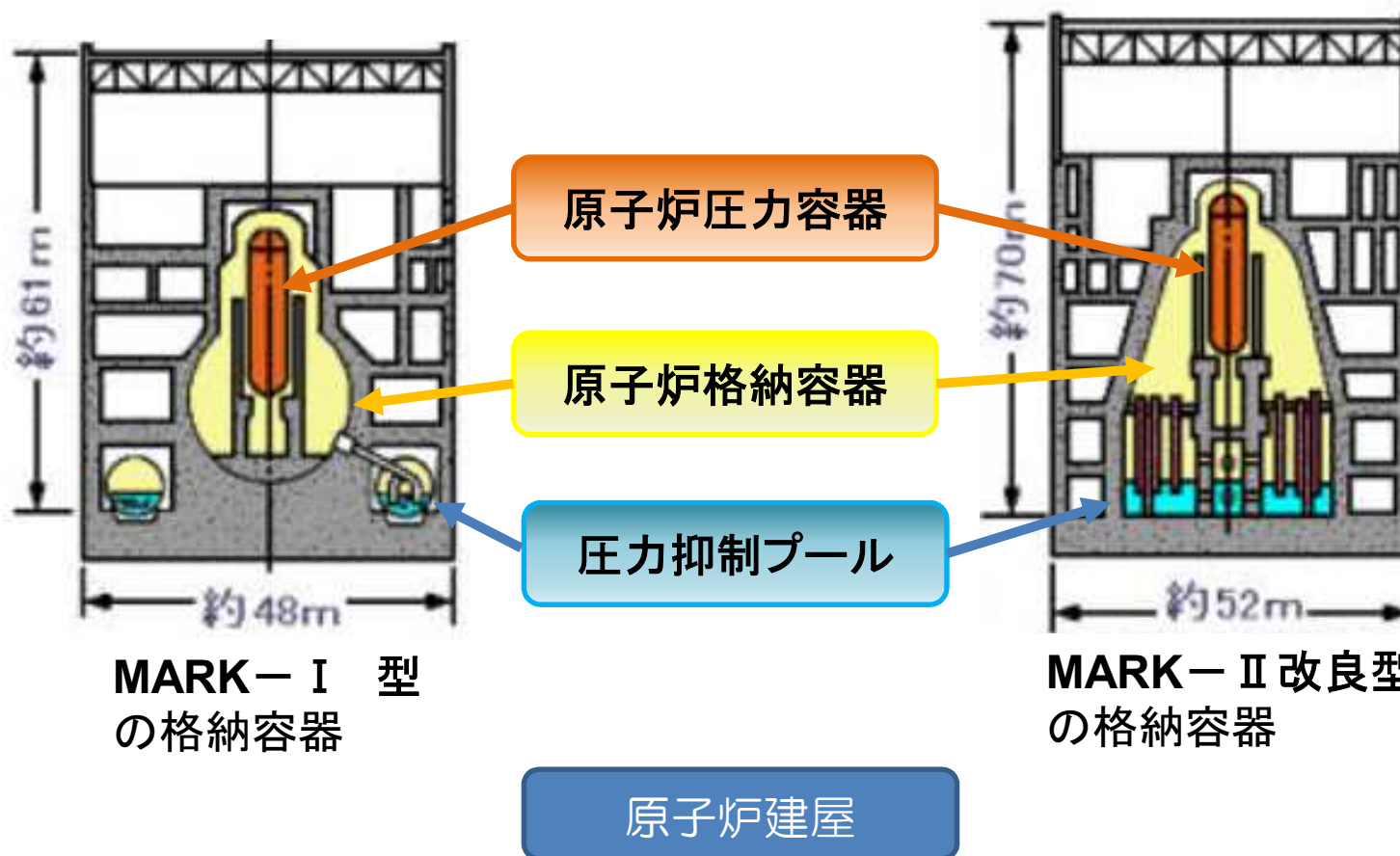
65℃到達時間	100℃到達時間	燃料露出までの時間
120 時間	236時間	83 日

格納容器の比較

参考

主に福島第一で使用されるタイプ

主に福島第二で使用されるタイプ



■ RHR : Residual Heat Removal System / 残留熱除去系

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原子炉水位を維持する系統（非常用炉心冷却 ECCSのひとつ）で、原子炉を冷温停止に持ち込めるだけの能力を有している。ポンプ流量・熱交換器ともに能力が高く、以下のような運転方法（モード）を有する。

- (1) 原子炉停止時冷却モード
- (2) 低圧注水モード（LPCIモード）
- (3) 格納容器スプレイモード
- (4) 圧力抑制室冷却モード
- (5) 非常時熱負荷モード

■ RHRC : RHR Cooling Water System / 残留熱除去機器冷却系

RHR熱交換器、RHRポンプと低圧炉心スプレイ系（LPCS）ポンプのメカニカルシール冷却器などに淡水の冷却水を供給する設備。

■ RHRS : RHR Sea Water System / 残留熱除去機器冷却海水系

残留熱除去系の冷却水は、熱交換器を介して冷却している。この残留熱除去系の冷却水を冷却するために海水を供給する系統。

■ RCIC : Reactor Core Isolation Cooling System / 原子炉隔離時冷却系

通常運転中何らかの原因で主蒸気隔離弁（MSIV）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冷却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、給水系の故障時などに、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。原子炉から発生する蒸気を駆動源とするため、一定の原子炉圧力がないと運転ができない。

■ MUWC : Make-Up Water System (Condensate) / 復水補給水系

発電所の運転に必要なさまざまな水（水源は、復水貯蔵タンク、基本的には原子炉等で使われた水を浄化したもので、若干の放射能を含むがその濃度は低い）を、ポンプ（復水移送ポンプ）を利用して供給する系統。

■ D/G : Diesel Generator / 非常用ディーゼル発電機

6.9 kVの高圧所内電源が喪失した時に、非常用母線に電源を供給するための非常用予備電源設備。

■ P/C : Power Center / パワーセンタ

所内低電圧回路に使用されている動力電源盤で、しゃ断器、保護継電器、付属計器をコンパクトに収納したもの。

■ CRD : Control Rod Drive / 制御棒駆動水系

制御棒（CR）を引抜いたり挿入したりする設備。緊急時には引抜かれた制御棒を炉内に緊急に挿入し燃料の損傷を防ぐ。