

# 福島第一原子力発電所事故を踏まえた 安全性向上対策の実施状況について

平成28年5月13日

○高浜1、2号機の安全性向上対策の概要	.....	1	~	3
○高浜発電所における今後の主な安全対策工事	.....	4	~	10
○高浜1、2号機の今後のスケジュール	.....	11	~	12
○高浜発電所における同時発災の観点から考慮すべき対応	...	13	~	16
○事故時対応能力の向上	.....	17	~	21
○中長期対策の対応状況	.....	22	~	25

# 高浜1、2号機の安全性向上対策の概要

# 電源の確保（外部電源喪失対策）

## <設計基準事故対処設備>

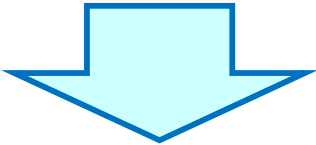
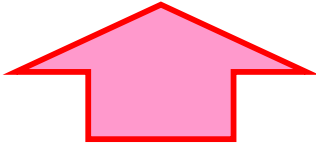
外部電源

外部電源  
喪失時

非常用  
ディーゼル発電機

使用でき  
ない場合  
に備え

福島第一原子力発電所  
事故以前に設置されていた設備



福島第一原子力発電所  
事故以降に設置した設備

## <重大事故等対処設備>

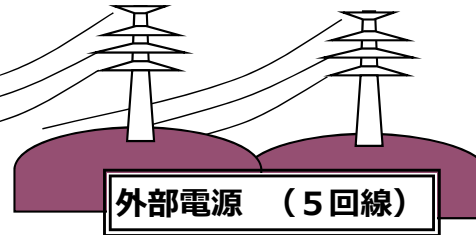
空冷式  
非常用発電装置

更なるパッ  
クアップ

号機間電力融通ケーブル (1号～2号) : 3,900kW (4,875kVA)  
(1号～2号)  
(1組+予備1組)

更なるパッ  
クアップ

電源車



外部電源 (5回線)



(2台/ユニット) 1台:3,900kW (4,875kVA)

《凡例》

◻ : 既設設備

◻ : 新規設備



(2台/ユニット) 1台:1,460kW (1,825kVA)



(2台/ユニット+予備1台)  
1台:488kW (610kVA)

3、4号機との設備の違いはない

# 炉心冷却・格納容器冷却機能の確保

## <設計基準事故対処設備>

【原子炉への直接注水による冷却】

余熱除去ポンプ



(2台/ユニット)

充てん・高圧注入ポンプ



(3台/ユニット)

【蒸気発生器への給水による冷却】

タービン動補助給水ポンプ

電動補助給水ポンプ

(写真はタービン動補助給水ポンプ)



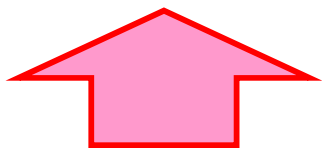
(タービン動補助給水ポンプ：1台/ユニット、容量 約148m<sup>3</sup>/h)  
(電動補助給水ポンプ：2台/ユニット、容量 約75m<sup>3</sup>/h/台)

《凡例》

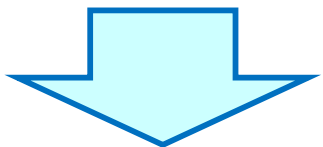
: 既設設備

: 新規設備

福島第一原子力発電所  
事故以前に設置されていた設備



福島第一原子力発電所  
事故以降に設置した設備



## <重大事故等対処設備>

使用できない  
場合に備え

恒設代替低圧注水ポンプ  
(写真は高浜3,4号機)



約120m<sup>3</sup>/h  
(1台/ユニット)

可搬式代替低圧注水ポンプ  
(写真は高浜3,4号機)



約150m<sup>3</sup>/h  
(2台/ユニット+予備1台)

更なる  
バックアップ

## <重大事故等対処設備\*1>

充てん・高圧注入ポンプ



(3台/ユニット)

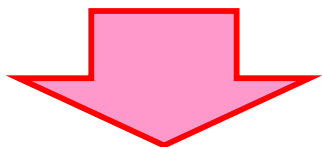
原子炉格納容器スプレイポンプ



(2台/ユニット)

\*1：設計基準事故対処設備であるが、  
重大事故等対処設備としても活用

福島第一原子力発電所  
事故以前に設置されていた設備



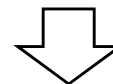
【溶融炉心冷却機能】

### 原子炉下部キャビティ注水ポンプ

・格納容器下部に落下した溶融炉心を冷却するための注水ポンプを配備

⇒ 8

高浜3, 4号機  
との相違点



### 送水車 (高浜3, 4号機は消防ポンプ)

・海水をくみ上げて直接、間接的に炉心、格納容器、使用済み燃料ピットを冷却するための送水車を配備  
(高浜3, 4号機では消防ポンプを使用していたが、容量の大きい送水車にすることで、所要時間短縮、要員削減を図った)

消防ポンプ(高浜3,4号機)



送水車(高浜1,2号機)



# 高浜発電所における 今後の主な安全対策工事

# 高浜発電所における今後の主な安全対策工事

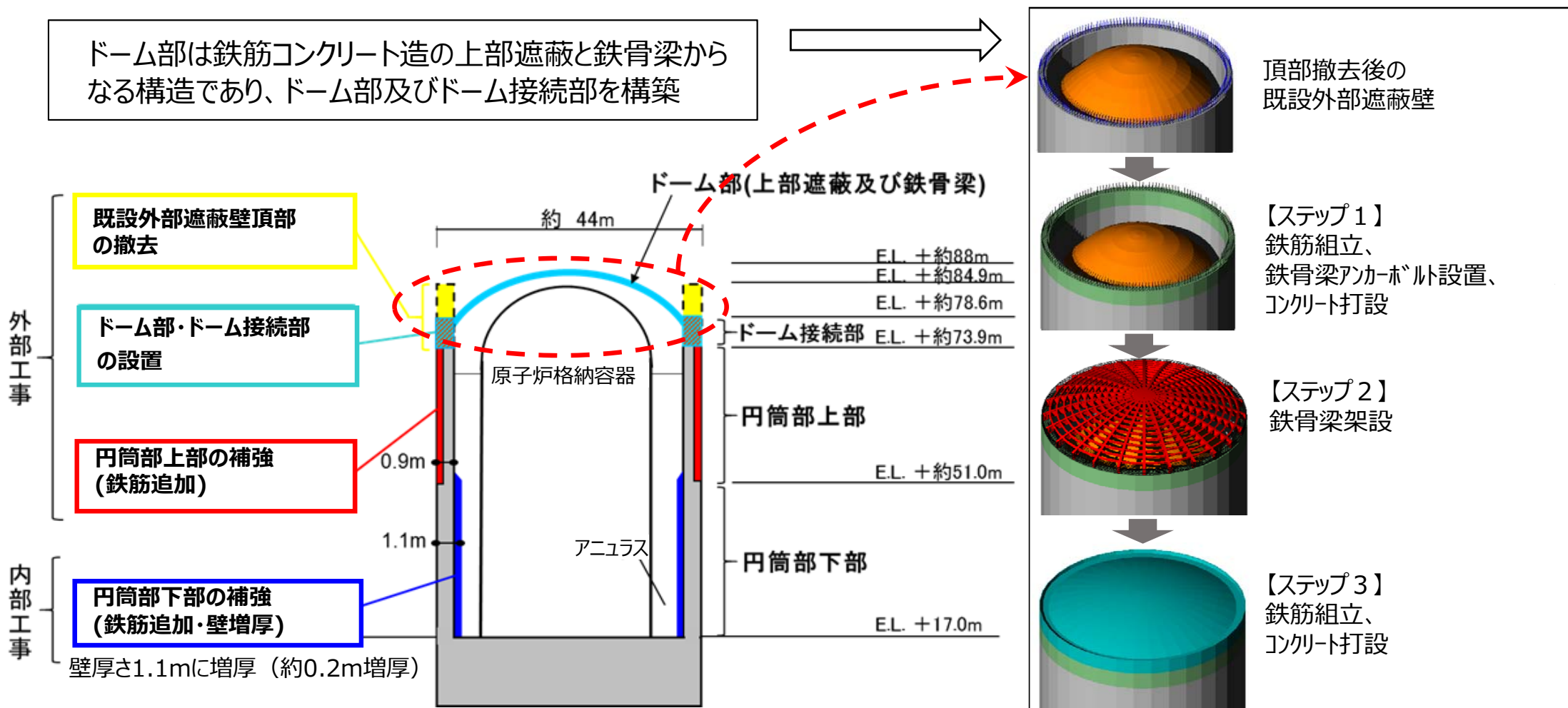


# 高浜1、2号機 格納容器上部遮蔽設置工事

- 重大事故時の原子炉格納容器からのスカイシャインガンマ線※を低減し、屋外作業における被ばく低減を図るため、格納容器上部外側にドーム状の鉄筋コンクリート造の遮へいを設置。
- 荷重増、基準地震動に対応すべく、外部遮蔽壁の増厚ならびに補強。

※：放射線源（格納容器内）から、上方に放出された放射線のうち、大気により散乱され地上に到達するもの。

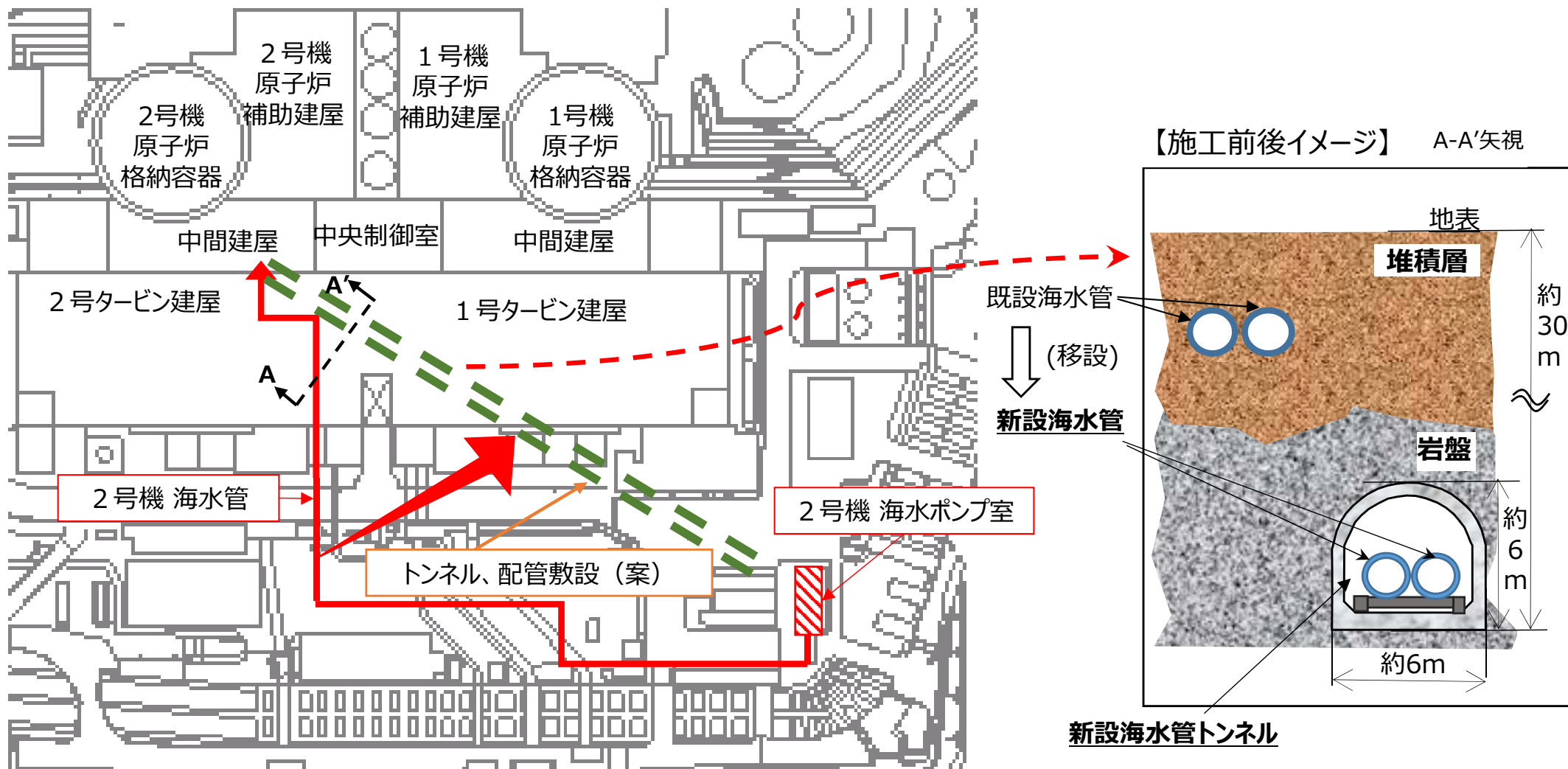
ドーム部は鉄筋コンクリート造の上部遮蔽と鉄骨梁からなる構造であり、ドーム部及びドーム接続部を構築





# 高浜2号機 海水取水設備移設工事

基準地震動の見直し(550ガル→700ガル)を踏まえ、強固な岩盤上に海水管を移設し、海水管が設置されている地盤の支持性能を向上。



— : 既設海水管ルート

— — : 新設海水管ルート案 (海水管トンネル)

▨ : 海水ポンプ室

# 高浜1、2号機 原子炉下部キャビティ注水ポンプ設置工事

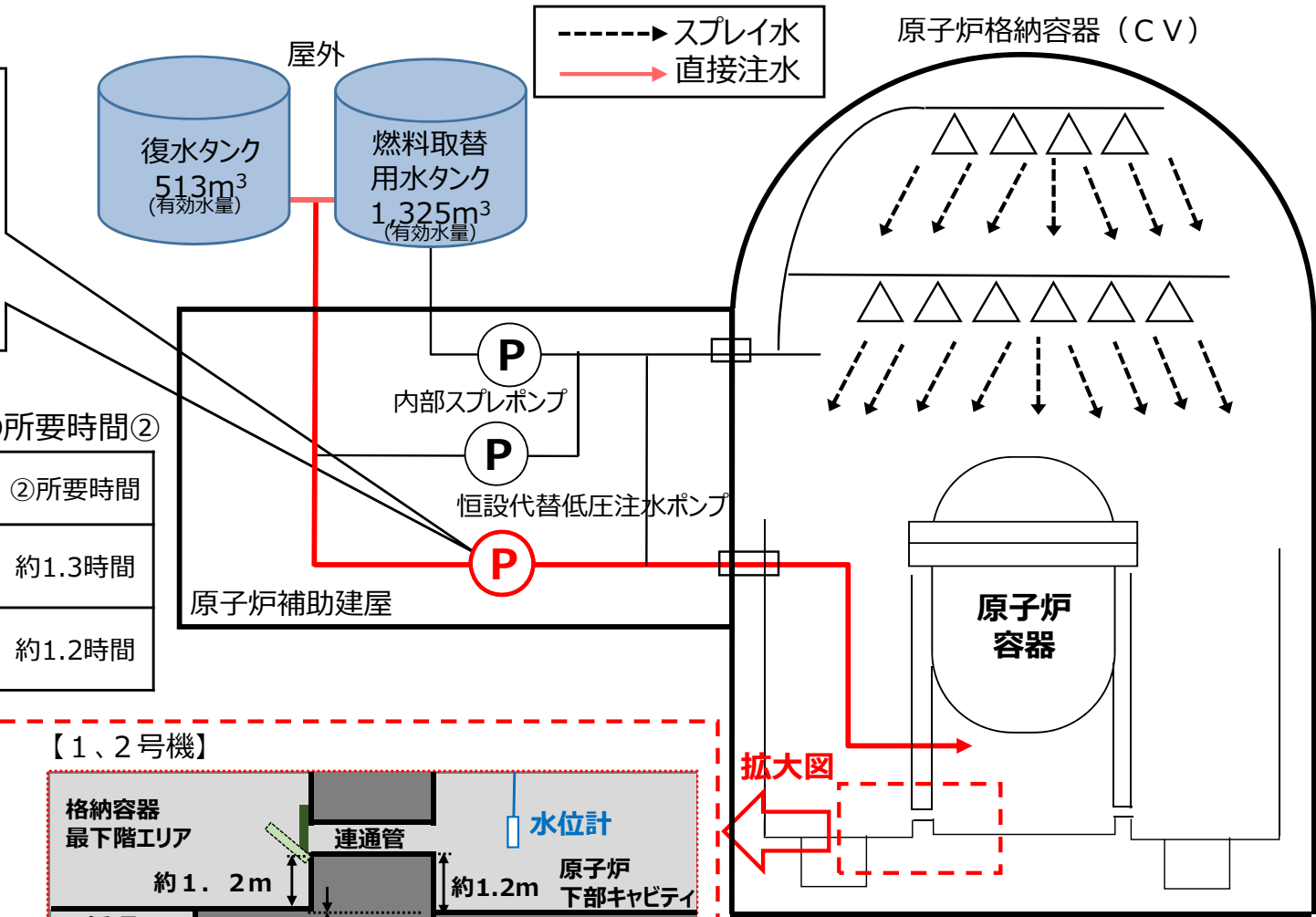
炉心の著しい損傷が発生した時、格納容器下部に落下した熔融炉心を冷却するため、原子炉下部キャビティへ注水し蓄水。

【3、4号機】 原子炉下部キャビティ（以下、下部キャビティ）底部が格納容器底部よりさらに低いため、恒設代替低圧注水ポンプによる代替格納容器スプレイにより下部キャビティの水位を確保可能。

【1、2号機】 下部キャビティ底部と格納容器底部の高低差がほとんどないため、恒設代替低圧注水ポンプによる代替格納容器スプレイでは、下部キャビティの水位が確保できないことから、下部キャビティへ直接注水する設備・手順を整備。

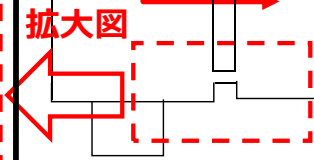
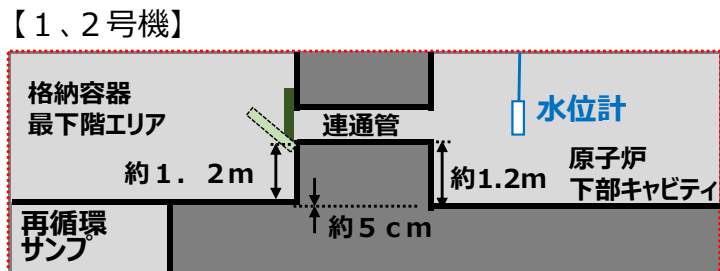
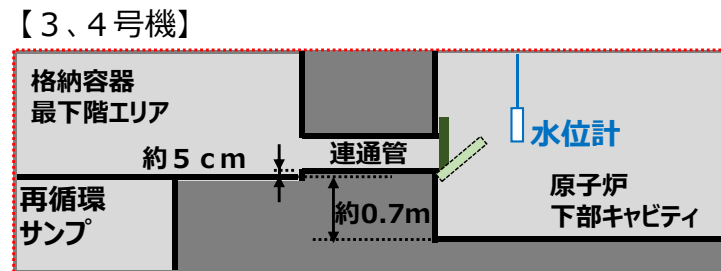
**原子炉下部キャビティ注水ポンプ（1台/号機）**

- ・注水量：120m<sup>3</sup>/h
- ・ポンプ型式：うず巻形
- ・耐震クラス：Sクラス相当
- ・中央制御室から起動可能
- ・空冷式非常用発電装置から給電
- ・操作時間：20分（想定）、4分（実績）



事象発生から原子炉容器(RV)破損までの時間①、及び熔融炉心の冷却に必要な水量を蓄水するまでの所要時間②

	①RV破損までの時間 (過圧破損シーケンス)	②所要時間
3、4号機 (代替CVスプレイのみ)	約1.5時間	約1.3時間
1、2号機 (代替CVスプレイ+直接注水)	約2.0時間	約1.2時間



新規制基準では難燃ケーブルの使用が要求されていることから、敷設されている非難燃ケーブルに対し、全体の約6割※を難燃ケーブルに引替え。それ以外については防火シート又は電線管への収納による防火措置を実施し、難燃ケーブルと同等以上の性能を確保。

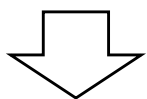
※：ケーブル量を大幅に削減できる区画、デブリの発生を抑える必要のある格納容器内及び過電流による発火の可能性がある範囲のケーブル

## 防火シートによる防火措置概要

### 【具体的設計方針】

ケーブルが露出しないように、ケーブル及びケーブルトレイを不燃材の防火シート※で覆い複合体とする。

※：採用する防火シートは、不燃性、耐久性、被覆性に対する要求事項が確認されたものを採用。

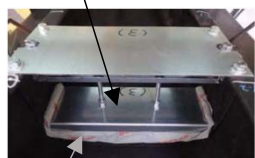


複合体について、「自己消火性」及び「耐延焼性」等の実証試験を行い、難燃ケーブルを上回る難燃性能を確保していることを確認。

### 【複合体施工例】



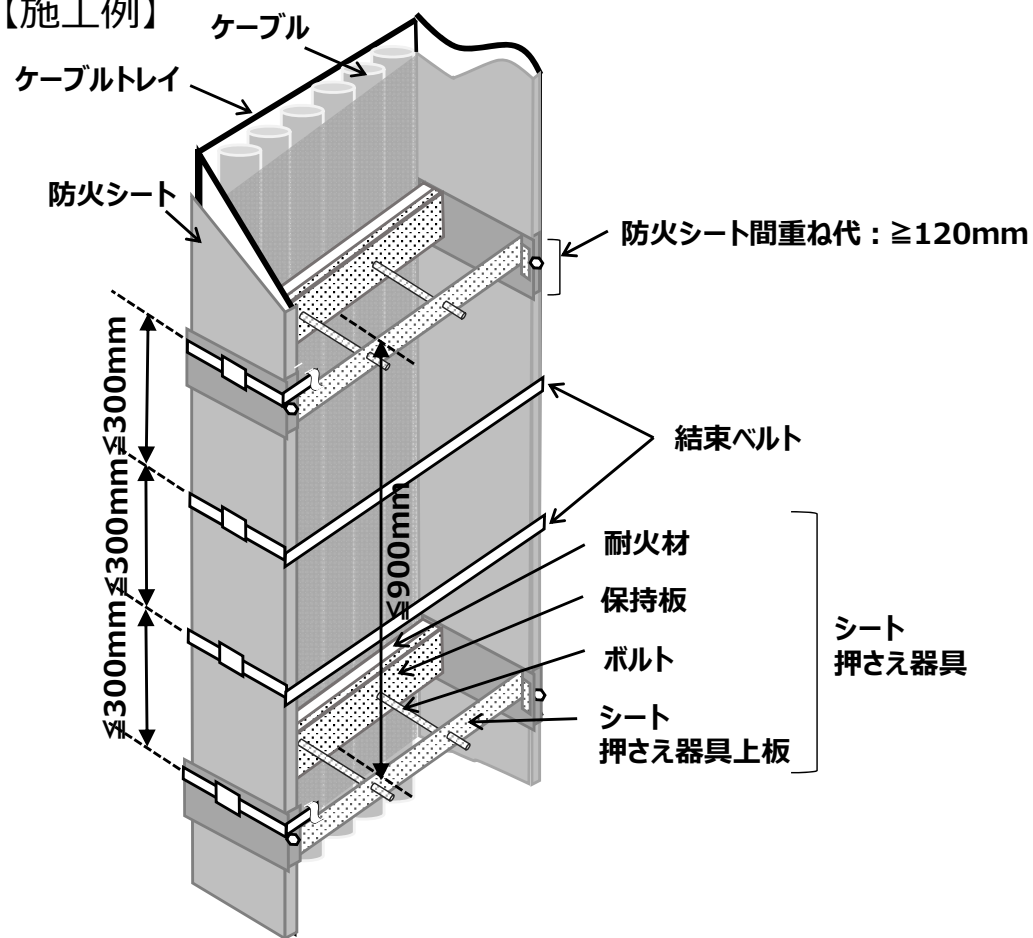
### 【シート押さえ器具】 保持板 (SGCC※)



耐火材  
(セラミックファイバー)

※：溶融亜鉛めっきを行った鋼板

### 【施工例】



## 対策後の保守管理

防火シートを巻き付けた内部のケーブルの健全性確認については、現状のケーブルの健全性確認と同様に、機器の試運転や絶縁抵抗測定により、ケーブルの通電機能、絶縁機能が問題ないことを確認。

中央制御盤の指示計等は、既に多くが生産中止となっており、保守性向上の観点から、中央制御盤全体を最新のデジタル式に取替え。

## 【工事概要】

従来の中央制御盤上にある指示計による監視から、運転コンソールのディスプレイ及び大型表示装置での監視に変更

中央制御盤更新の概要図（イメージ図）

既設中央制御盤



更新

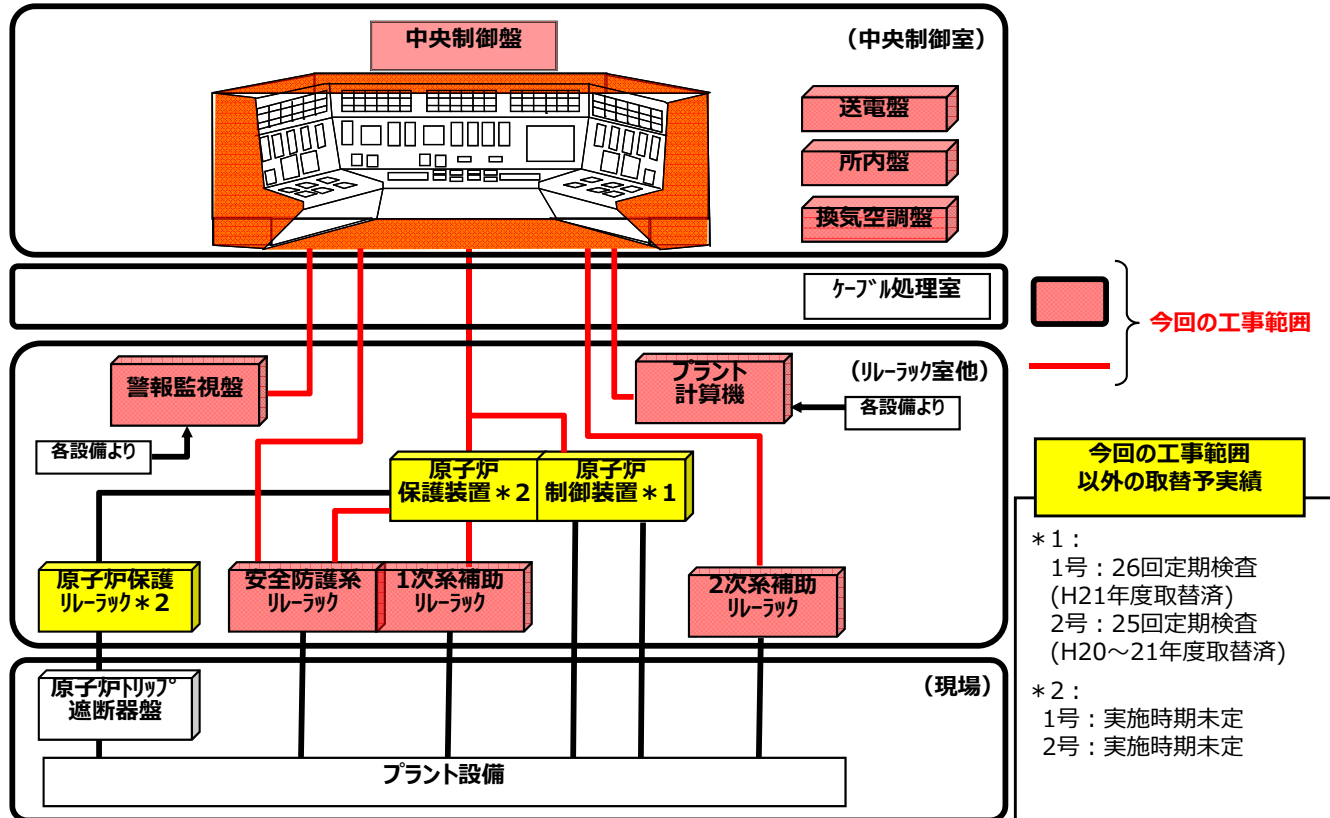
デジタル式中央制御盤



大型表示装置

運転コンソール

## 【工事範囲図】

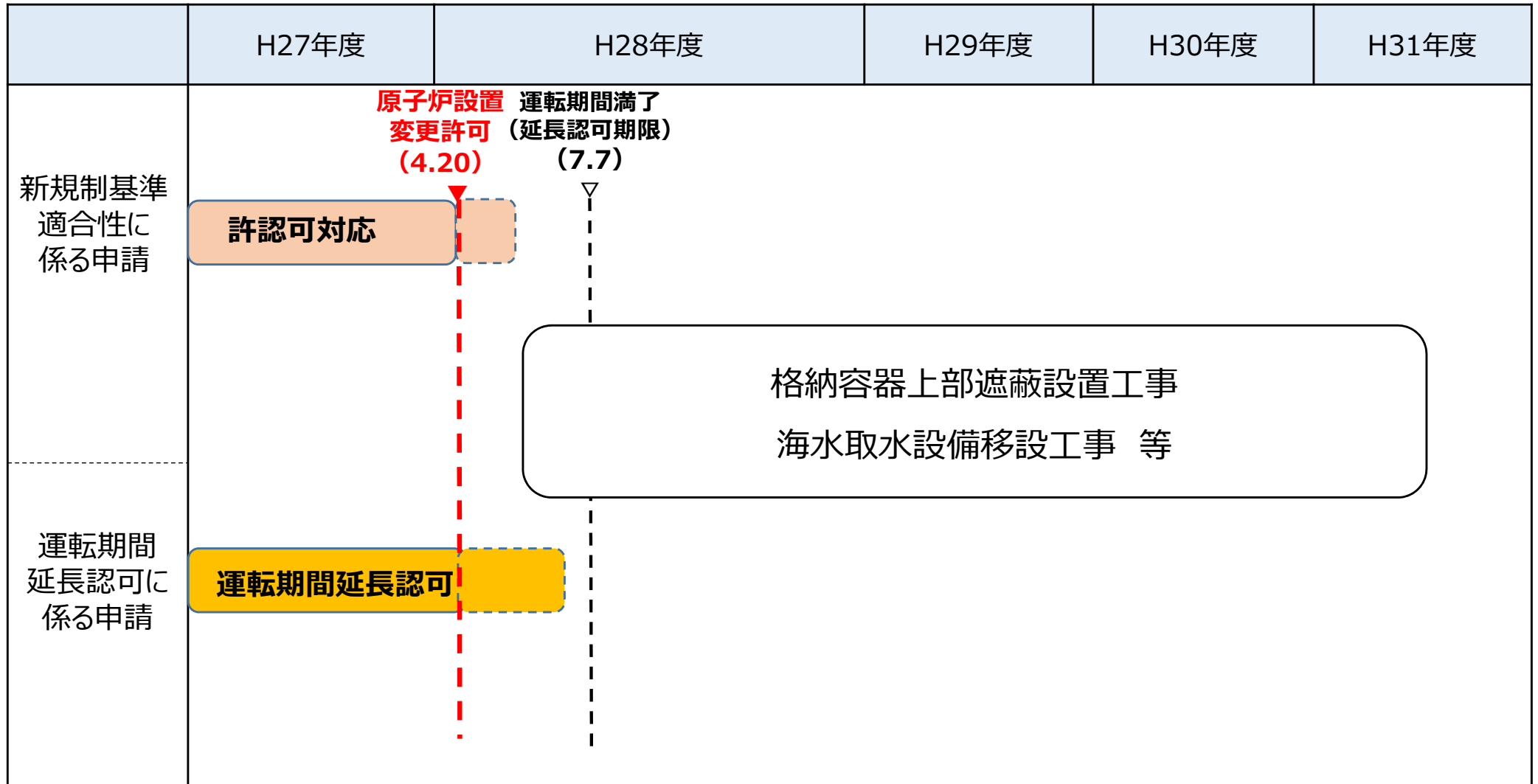


## 【電源構成】

総合デジタル式中央制御盤導入に伴い、計器用電源容量が増加するため、事前評価した上で、計器用電源の増強(更新)を実施。  
(定格容量：170KVA→300KVA)

# 高浜1、2号機の今後のスケジュール

# 高浜1、2号機の今後のスケジュール



※：原子炉設置変更許可上の工事計画では、H31.10竣工

# 高浜発電所における同時発災の 観点から考慮すべき対応

同時発災時においても、それぞれのユニットで独立して事故対応にあたることを原則とするが、他号機の影響を受ける可能性があるため、4基同時に事故対応を実施するための考慮すべき事項について、①作業性の確保、②資源の確保の観点から考慮すべき事項を整理

視点	考慮すべき事項	
①作業性の確保	1,2号機及び3,4号機のアクセスルートの復旧作業が同時に実施可能であること	15
	可搬型重大事故等対処設備の運搬、敷設作業が同時に実施できるアクセスルートが確保されること	
	可搬型重大事故等対処設備の保管場所は、他号機の影響を受けずに運搬可能な配置であること	
	1～4号機の事故収束に必要な海水が同時に取水可能であること	
②資源の確保	1～4号機の同時発災時に必要となる7日分の燃料、資材等が確保されること	※ 23
	同時発災の対応に必要な要員、指揮命令系統が確保されること	16
	緊急時対策所は、同時発災の対応に必要な要員が活動するための収容能力が確保されること	23
	同時発災においても緊急時対策所内にとどまる作業員の被ばく線量が100mSvを超えないこと	

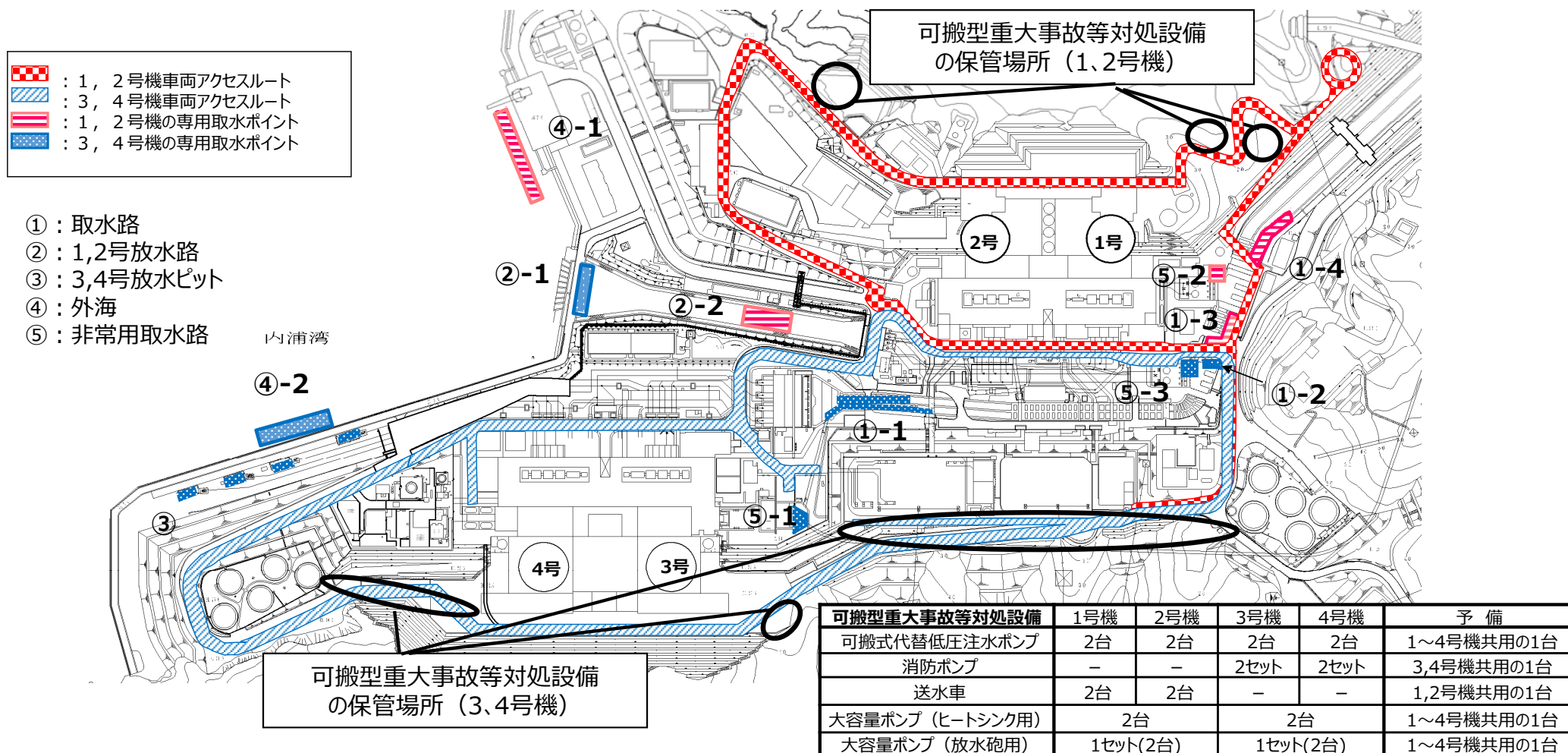
※：緊急時対策所の場合



○各ユニット指揮者が、他ユニットの作業状況に配慮することなく、担当ユニットの事故対応に集中できるよう、1,2号機と3,4号機の操作場所を分離。

- ・中央制御室、屋内アクセスルート  
1,2号機および3,4号機は建屋が異なるため操作場所が重なることはない。
- ・屋外アクセスルート、海水取水場所  
敷地の北側、南側で分けたそれぞれの道路、海水取水場所を1,2号機、3,4号機の専用エリアとして設定。

○可搬型重大事故等対処設備については、1,2号機と3,4号機の保管場所を分離するとともに、ユニット毎に必要な数量を確保。



# 高浜発電所における事故時対応要員の体制について

発電所構内に常駐する初動対応要員と事故発生から6時間以内※に召集する要員の体制は以下のとおり。  
 (1～4号機の全号機において事故(格納容器加圧破損)が発生した場合を想定)

※：大規模自然災害による交通手段の途絶を想定した場合でも6時間以内に確実に参集

【高浜3, 4号機】

	3号機	4号機	備考
全体指揮者	1人		
ユニット指揮者	1人	1人	ユニットごとに指揮を行う
現場調整者	1人		3,4号機の各操作場所内での調整を行う
通報連絡者	1人	1人	
本部要員	(+召集5人)	(+召集5人)	保修班,総務班,情報班,安管班,放管班 (各1人/号機)
運転員	24人 (内1,2号炉 12人)		
ガレキ除去要員	4人		
消火活動要員	7人		
給水・設備・電源・ 運転支援要員	29人 (+召集38人)		
合計	初動対応要員70人 (+召集48人)		

【高浜1, 2号機 (1～4号機)】

	1号機	2号機	3号機	4号機	備考
全体指揮者	1人				
ユニット指揮者	1人	1人	1人	1人	ユニットごとに指揮を行う
現場調整者	1人		1人		1,2号機/3,4号機の各操作場所内での調整を行う
通報連絡者	1人	1人	1人	1人	
本部要員	(+召集5人)	(+召集5人)	(+召集5人)	(+召集5人)	保修班,総務班,情報班,安管班,放管班 (各1人/号機)
運転員	12人		12人		
ガレキ除去要員	4人		4人		
消火活動要員	7人(+7人)				+7人は給水・設備・電源・運転支援要員を兼ねる
給水・設備・電源・ 運転支援要員	33人		29人 (+召集38人)		1,2号機は送水車(3,4号は消防ポンプ使用)の導入等により、初動対応要員のみで対応が可能
合計	初動対応要員112人 (+召集58人)				

# 事故時対応能力の向上

## 重大事故等発生時の対応能力向上のための教育・訓練の概要

### ○指揮者（所長、原子力安全統括、運営統括長他）

- ・知識ベースの教育（事故対策への習熟）として、研修ツールを用いた学習、演習など
- ・実践的な訓練（対応能力向上）として、リーダーシップ研修、実動を含む原子力防災訓練など
- ・事故時に所長をサポートする参謀機能を担う原子力安全システムを俯瞰する人材の育成



19



20

### ○緊急時対策本部の技術系社員（通報連絡者、技術系本部要員他）

- ・事故対応への習熟（知識ベース）として、研修ツールを用いた学習など
- ・実践的な訓練（対応能力向上）として、実動を含む原子力防災訓練など



21



シミュレータ訓練  
(非常灯照明下)

### ○運転員

- ・シミュレータ訓練に、長時間の全交流電源喪失を想定した訓練
- ・シビアアクシデント発生時のプラント挙動を可視化するツールを用いた教育など

### ○緊急安全対策要員

- ・協力会社社員を含め、電源供給、給水活動等の手順の教育
- ・重大事故等発生時を想定した訓練など



21



可搬式代替低圧  
注水ポンプの訓練

### 【教育・訓練実績（高浜発電所）】

	H23年度	H24年度	H25年度	H26年度	H27年度
教育・演習受講者人数 (延べ人数)	約480人	約1,300人	約1,200人	約1,600人	約2,500人
訓練回数	約280回	約400回	約800回	約1,500回	約890回

## H 2 4 年度

【評価】  
福島第一原子力発電所事故の原因と教訓を継続的に学ぶ必要があること、シビアアクシデントとその対応策に関する専門的知識、国内外の最新の知識を学んでいく必要があると評価し、以下の教育を追加

- 【改善】
- ①「シビアアクシデント  
マネジメント研修」  
1 F 事故の事象・教訓を学ぶ教育
  - ②「シビアアクシデント専門技術  
研修」  
PWRプラントの設計思想を踏まえたシビアアクシデント事象の専門教育

PWR : 加圧水型軽水炉  
SA : シビアアクシデント  
EAL : 緊急時活動レベル  
JANSI : 原子力安全推進協会  
INSS : 原子力安全システム研究所

## H 2 5 年度

【評価】  
福島第一原子力発電所事故を踏まえ、指揮者の重要性和、事故時に的確に統率できるための指揮能力向上のための専門教育が必要と評価し、以下の教育を追加、充実・強化

- 【改善】
- ③「シビアアクシデント対応  
教育Ⅰ」  
指揮者を対象に可視化ツールを用いたSA挙動理解と、SA対応を模擬する実践的な演習を含む教育
  - ④「**JANSI緊急時指揮者リーダーシップ研修**」  
緊急時のリーダーシップを学ぶ指揮者対象の教育
  - ⑤「**初動対応訓練（模擬含）**」  
初動対応習熟のため、対策本部召集までの初動訓練
  - ⑥「**原子力防災訓練**」  
指揮者に対するブラインド要素も取り入れた訓練に充実・強化

## H 2 6 年度

【評価】  
EAL通報基準の法令改正等を踏まえた知識教育、緊急時の現場指揮能力向上のための教育訓練の充実が必要と評価し、以下の教育を追加

- 【改善】
- ⑦「**重大事故の解析事象、EAL判断のための教育**」  
事故シーケンス事例のプラント挙動を理解し、事故対応やEAL判断等の知識を深めるための教育  
(テキストを用いた講義形式)
  - ⑧「**JANSI危機管理研修（課長クラス）**」  
緊急時の過酷状況下での任務遂行における現場指揮者としての事象把握・コミュニケーション能力等の教育・訓練

## H 2 7 年度

【評価】  
「③シビアアクシデント対応教育Ⅰ」の実施実績を踏まえ、カリキュラム分割による基礎知識と対応演習それぞれの教育内容の充実が必要と評価し、以下の教育を充実・強化

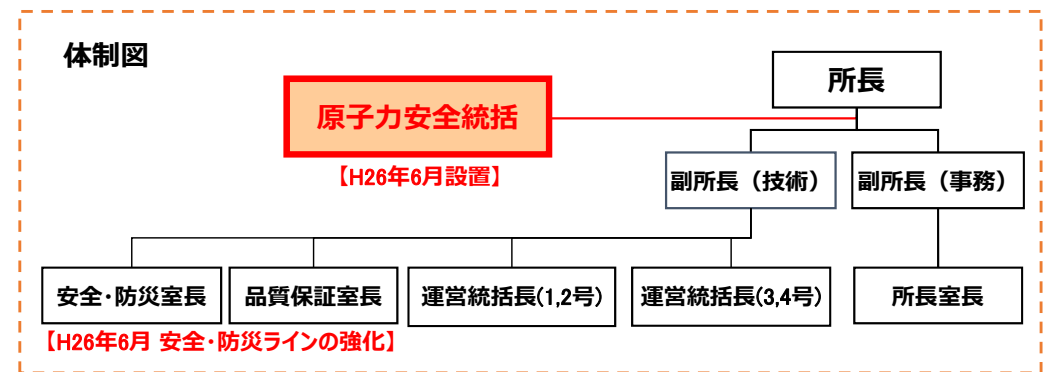
- 【改善】
- ⑨シビアアクシデント対応  
教育Ⅲ（講義）  
新たに指揮者の役割に就く者にも理解が深まるように、事故シーケンス等基礎知識を習得するための教育を新設（従来の教育Ⅰから分割）
  - ⑩シビアアクシデント対応  
教育Ⅰ（演習）  
指揮能力向上を目的に、従来よりも演習時間を拡大するため、演習単独の教育に強化  
・グループ形式で本部要員の役割を決め、事故事例を用いた模擬演習

○ H 2 8 年度は、INSSを活用した緊急時リーダーシップ能力向上の社内研修実施に向けて検討を進める

## 事故時に所長をサポートする参謀機能を担う原子力安全システムを俯瞰する人材の育成

### ○原子力安全統括の配置 (H26.6)

- ・福島第一原子力発電所事故を踏まえ、事故時に原子力安全システム全体を俯瞰して所長をサポートする人材を原子力安全統括として配置。(所長に次ぐ職位)
- ・平時は安全性向上を推進、事故時は所長の技術的判断のサポートを行う参謀機能を担う。



### ○俯瞰人材の育成

原子力安全分野に精通した人材を育成し、俯瞰人材候補の裾野を拡大していくため、教育・訓練の充実、原子力安全分野への配置拡大等を実施中。

〔教育・訓練の充実〕

- ・原子炉安全の基本を学ぶ原子炉主任技術者資格試験の学習支援の充実、P R A※技術研修への派遣、等
- ・事故収束手段を検討・判断する発電所の指揮者向けシビアアクシデント対応教育（机上演習等）を発電所要員のみでなく、事業本部の安全部門要員に対しても実施し、実践的な事故時対応能力を養成

〔原子力安全分野への配置拡大〕

- ・事業本部に新設（H26.6）した原子力安全部門への配置
- ・原子力安全分野に関連する部署への積極的な配置

※ PRA(Probabilistic Risk Assessment) : 確率論的リスク評価

# 事故時対応能力の向上～技術系社員、緊急安全対策要員向け教育、訓練の改善～

## 技術系社員、緊急安全対策要員の教育・訓練（H28年度の改善検討（例））

### ○技術系社員向け教育の改善

教育項目	気づき・指摘事項	改善案
<b>シビアアクシデント 対応教育（講義）</b> プラント挙動可視化ツールを用いたS A所達に基づく対応に関する知識を習得するための教育	<b>受講者感想による気づき</b> ・プラントの挙動が良くわかった ・事故対策が成功する説明だけでは最悪の場合どうなるかがわからない ・後でテキストだけを見てもわかるようにしてほしい	・テキストの改善を検討する 対策に失敗した場合に生じる事象を例示する 説明文と図面との対応を明示する

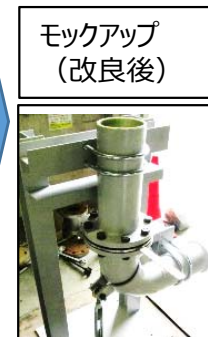
### ○緊急安全対策要員向け重大事故対応訓練の改善

#### a. 成立性確認訓練の運用改善

訓練項目	気づき・指摘事項	改善案
<b>成立性確認訓練</b> 現場における重大事故対応のための手順操作が、所定の時間内に実施できることを確認する訓練	<b>原子力規制庁および社内での気づき</b> ・防護服の破れや、ヘッドライトのずれに気づかず訓練をしていた	・訓練者相互の服装チェックを慣例化 ・ヘッドライトはテープで固定する運用化

#### b. 訓練用施設の改善

訓練項目	気づき・指摘事項	改善案
<b>訓練用モックアップ設備</b> 現場における重大事故対応のために操作する配管等を模擬したモックアップ設備を使用して実機では経験できない手順の習熟を図る	<b>原子力規制庁からの指摘</b> ・作業性や周辺環境の観点で実機と異なる部分があった（冷却水配管ディスタンスピース取替用モックアップ）	・配管形状や支持構造物を改造し、操作性や周辺環境を実機に近づける（取り付け高さ、L形状、サポート位置等）



今後も継続実施し、前向きに改善に取り組む。

# 中長期対策の対応状況について

- 高浜発電所緊急時対策所の設置 ..... 23
- 高浜発電所免震事務棟の設置 ..... 24
- 特定重大事故等対処施設設置工事(高浜3、4号機) ..... 25

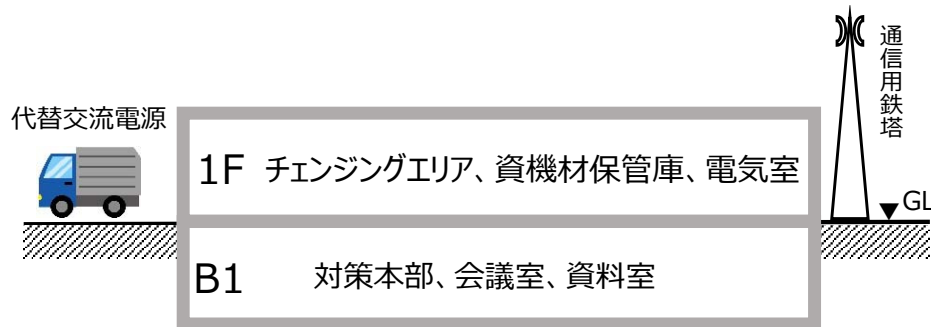


# 高浜発電所緊急時対策所の設置

1～4号機共用の緊急時対策所として設置。設置工事は、平成28年3月に、敷地造成に干渉する柵の撤去工事に着手。なお、設置場所の地質調査結果から、支持地盤が深く、掘削工事の山留や掘削量が増えたことなど、必要な工事期間を確保するため、運用開始を平成29年度から平成30年度内に見直す。

## 設計方針

- ・7日間で100mSv以下となる居住性を確保するために必要な遮へい、換気機能を確保。
- ・必要な要員を7日間とどまることができるよう資機材、食料、飲料水を確保。
- ・必要な指揮命令・通報連絡に支障がない配置を考慮。



### 【主な仕様】

- ・耐震構造
- ・建屋内面積 約750㎡
- ・収容想定人数 最大約200人
- ・通信連絡設備
- ・換気及び遮蔽設備
- ・情報把握設備
- ・代替交流電源



現地状況

	H26年度	H27年度	▽現在 H28年度	H29年度	H30年度
変更前		設計・調査	敷地造成等	建物工事	機電工事等
変更後		設計・調査 着工 (H28.3.22)	敷地造成等	建物工事	機電工事等 ▽運用開始

大飯発電所緊急時対策所は、高浜とほぼ同様の仕様、同様の工程で実施する。美浜発電所緊急時対策所は、審査の進捗を踏まえて計画する。

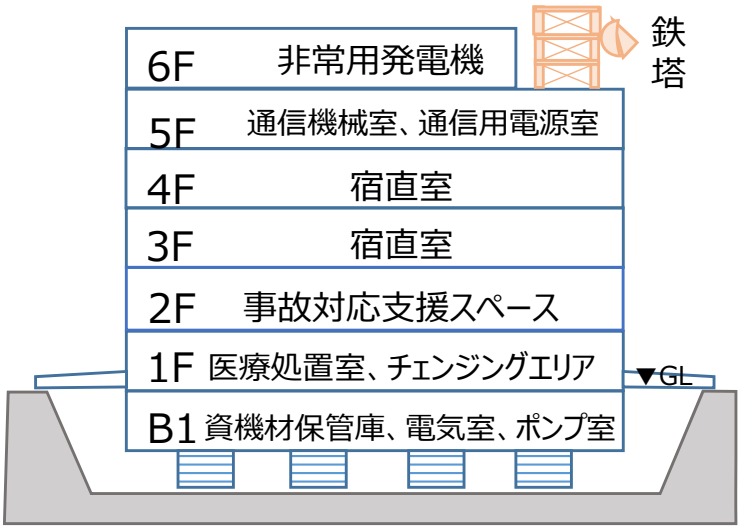
# 高浜発電所免震事務棟の設置

免震事務棟は、事故対応が膨大かつ長期化した場合の支援を目的とし、主に、初動要員の宿直場所、要員待機場所、資機材受入れ及び保管場所として活用するために、自主的な位置付けとして設置。

工事は、平成25年6月に着手し、基準地震動の見直しに伴い平成26年10月に工事を中断。免震装置の再設計などを実施中であるが、平成28年度中には工事を再開し、平成30年度内の運用開始を目指す計画に見直す。

## 設計方針

- ・初動要員および事故対応要員が安全に待機できる場所として必要な遮蔽機能、換気機能を確保。
- ・事故対応用の資機材を受入れるスペースを確保。



- 【主な仕様】
- ・免震構造
  - ・建屋内面積 約4,000㎡
  - ・収容想定人数 最大約800人
  - ・通信連絡設備 (衛星電話)
  - ・非常用発電装置 (機器配置は、イメージ)



現地状況

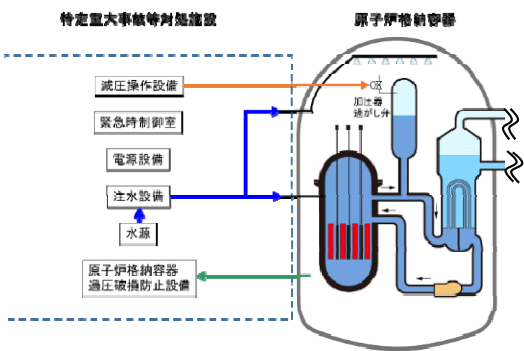
	H26年度	H27年度	▽現在 H28年度	H29年度	H30年度
変更前		▽工事中断 設計・調査	▽現在 建物工事	機電工事等	
変更後		設計・調査等	▽工事再開 建物工事		運用開始 機電工事等

大飯発電所免震事務棟は、高浜とほぼ同様の仕様、同様の工程で実施する。美浜発電所免震事務棟は、審査の進捗を踏まえて計画する。

## 概要

- 原子炉建屋への故意による大型航空機の衝突その他のテロリズムに対してその重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがないものであること。
- 原子炉格納容器の破損を防止するために必要な設備として注水設備、緊急時制御室、電源、フィルタベント等を設置。

## 【概念図】



## 規制要求

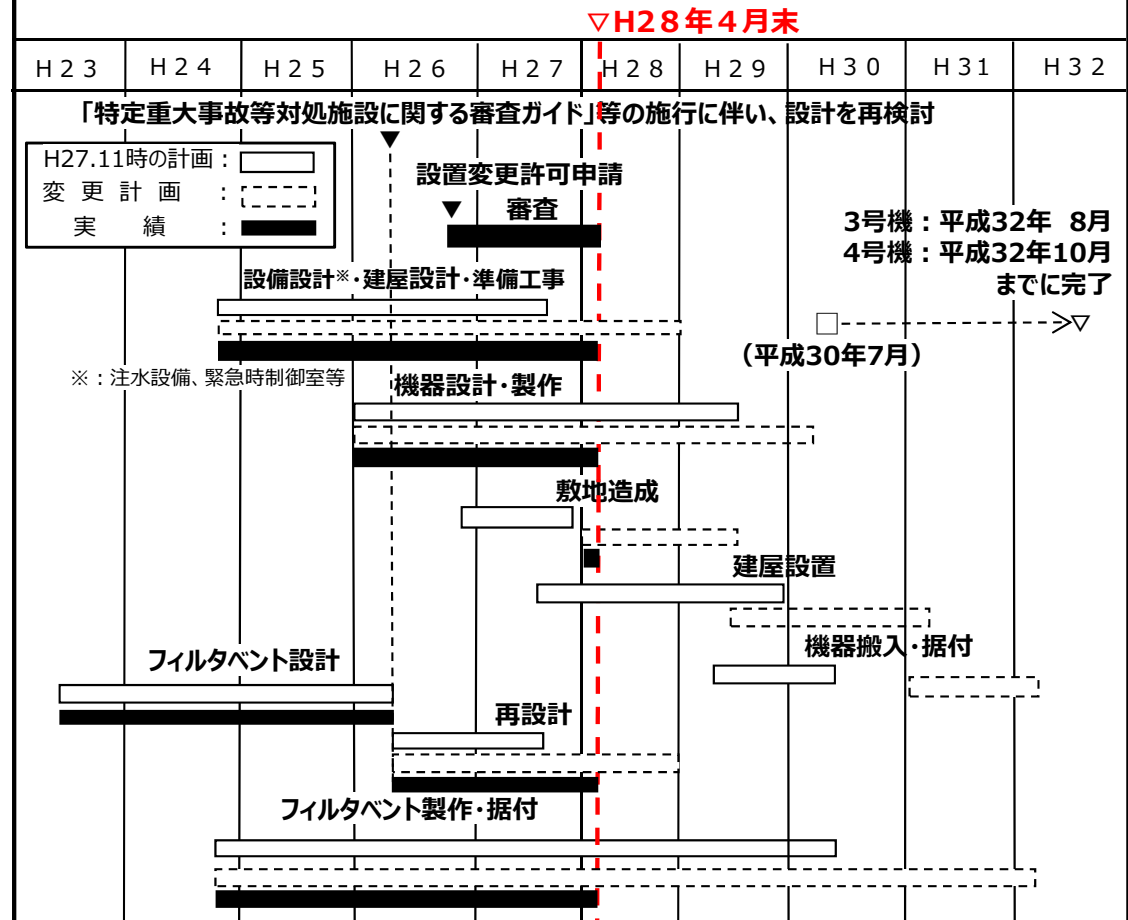
- 減圧操作設備
  - ・特定重大事故等対処施設から既設の加圧器逃がし弁を動作させ、原子炉内の減圧を操作する設備。
- 注水設備（ポンプ、水源）
  - ・格納容器スプレイや格納容器下部への注水設備。
- 原子炉格納容器過圧破損防止設備（フィルタ付ベント）
  - ・原子炉格納容器内の空気を放出し、内圧を低減させる設備。
- 緊急時制御室
- 電源設備（発電機）

## これまでの時系列

- 平成25年7月8日  
「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」が施行。  
その中で、特定重大事故等対処施設を、平成30年7月7日までに設置することを要求。
- 平成26年9月17日  
原子力規制庁が、特定重大事故等対処施設に関する審査ガイド等を制定。
- 平成26年12月25日  
高浜3、4号機特定重大事故等対処施設に関する原子炉設置変更許可申請書を提出。
- 平成28年1月12日  
規則の一部が改正となり、特定重大事故等対処施設は、工事計画認可（高浜3号機：平成27年8月4日、高浜4号機：平成27年10月9日）から5年までに設置することを要求。

## 進捗状況

- フィルタベント設備については、当初、平成27年度中に設置するよう設計条件、フィルタ仕様検討、フィルタ設置準備作業等を自主的に進めてきたが、新規基準において、フィルタベント設備は、特定重大事故等対処施設として位置づけ。
- 「特定重大事故等対処施設に関する審査ガイド」および「航空機衝突影響評価に関する審査ガイド」が平成26年9月に制定されたことを受け、特定重大事故等対処施設に係る設置変更許可を申請。（平成26年12月25日）
- 審査指摘による配置見直し等の設計変更を行い、平成28年4月に敷地造成着手。
- 平成32年8月（高浜3号機）、平成32年10月（高浜4号機）の設置期限までに完成予定。



# 福島第一原子力発電所事故を踏まえた 安全性向上対策の実施状況について

参考資料

平成28年5月13日



○高浜 1、2号機の安全性向上対策の概要 .....	1	~	2
○高浜発電所における今後の主な安全対策工事 .....	3	~	10
○高浜発電所における同時発災の観点から考慮すべき対応 .....	11	~	13
○中長期対策の対応状況 .....	14	~	16
○高浜 4号機の発電機自動停止に伴う 原子炉自動停止について .....	17	~	21

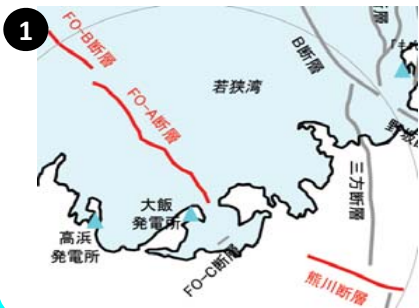
# 高浜1、2号機の安全性向上対策の概要

# 高浜1、2号機の安全性向上対策の概要

## 自然現象から発電所を守る備え(事故発生防止)

### 地震

○発電所周辺の断層の運動性等について、詳細な調査を実施。



保守的に運動性等を評価し、地震想定を引上げ。  
(基準地震動S<sub>e</sub>:700ガル)  
必要箇所には耐震補強等実施。



配管補強の例

重大事故を発生させないために

### 津波

○最大規模の津波を想定し、取水路防潮ゲート(T.P.+8.5m)、放水口側防潮堤(T.P.+8.0m)を設置。



取水路防潮ゲート

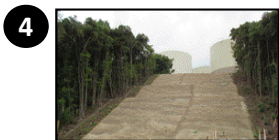
- <水位上昇側>(入力津波高さ)
  - ・取水路防潮ゲート前面:T.P.+6.2m
  - ・1号炉海水ポンプ室前面:T.P.+2.6m
  - ・放水路(奥):T.P.+6.7m
- <水位下降側>(入力津波高さ)
  - ・1号炉海水ポンプ室前面:T.P.-2.3m



放水口側防潮堤

### 外部火災

○森林火災の延焼を防ぐため、発電所施設周辺の樹木を伐採し、幅18mの防火帯を確保



### 内部火災

○火災の影響軽減の各防護対策を追加実施。

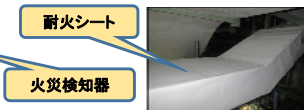
- ・ケーブル等に耐火シートを巻き付け。
- ・異なる種類の火災検知器やハロン消火設備に加え、スプリンクラー等を追加設置。



ハロン消火設備の設置



スプリンクラーの設置



ケーブルトレイへの耐火シートの設置

### 竜巻

○飛来物から機器を守るために竜巻対策設備を設置 ※

※過去の日本最大風速(92m/秒)を上回る、風速100m/秒の竜巻が発生した場合に、鋼製材が飛来すると想定



工事前(例)



工事後(例)

《上面》鋼鉄製の金網で飛来物のエネルギーを吸収

《側面》鋼板で貫通を阻止

※図はイメージです。

### アクセサルート確保

○がれき撤去用重機を配備



### 電源設備

○外部電源の強化や、所内電源を多量化・多様化

7 外部電源(既設)

8 非常用ディーゼル発電機(既設)【4台/2ユニット】

9 空冷式非常用発電装置【4台/2ユニット】

10 電源車【5台/2ユニット】

使用できない場合に備え

### 重大事故等対策(事故進展防止)

○海水取水手段の多様化

11 海水ポンプモーター予備品

12 大容量ポンプ【3台/2ユニット】

故障に備え

使用できない場合に備え

海水ポンプ(既設)

○蒸気発生器の冷却手段の多様化

13 中庄ポンプ【2セット/2ユニット】(当社の自主的な安全対策)

14 送水車【5台/2ユニット】

15 可搬式代替低圧注水ポンプ【5台/2ユニット】

使用できない場合に備え

○炉心の直接冷却手段の多様化

16 非常用炉心冷却設備(既設)

使用できない場合に備え

万一、重大事故が発生した場合に備え

### 重大事故等対策(事故拡大防止)

#### 放射性物質の放出抑制対策



○放水砲(大気拡散抑制)【3台/2ユニット】



○大容量ポンプ(放水砲専用)【2台/2ユニット】



○シルトフェンス(海洋拡散抑制)

#### 格納容器の水素爆発防止対策



静的触媒式水素再結合装置【5台/ユニット】



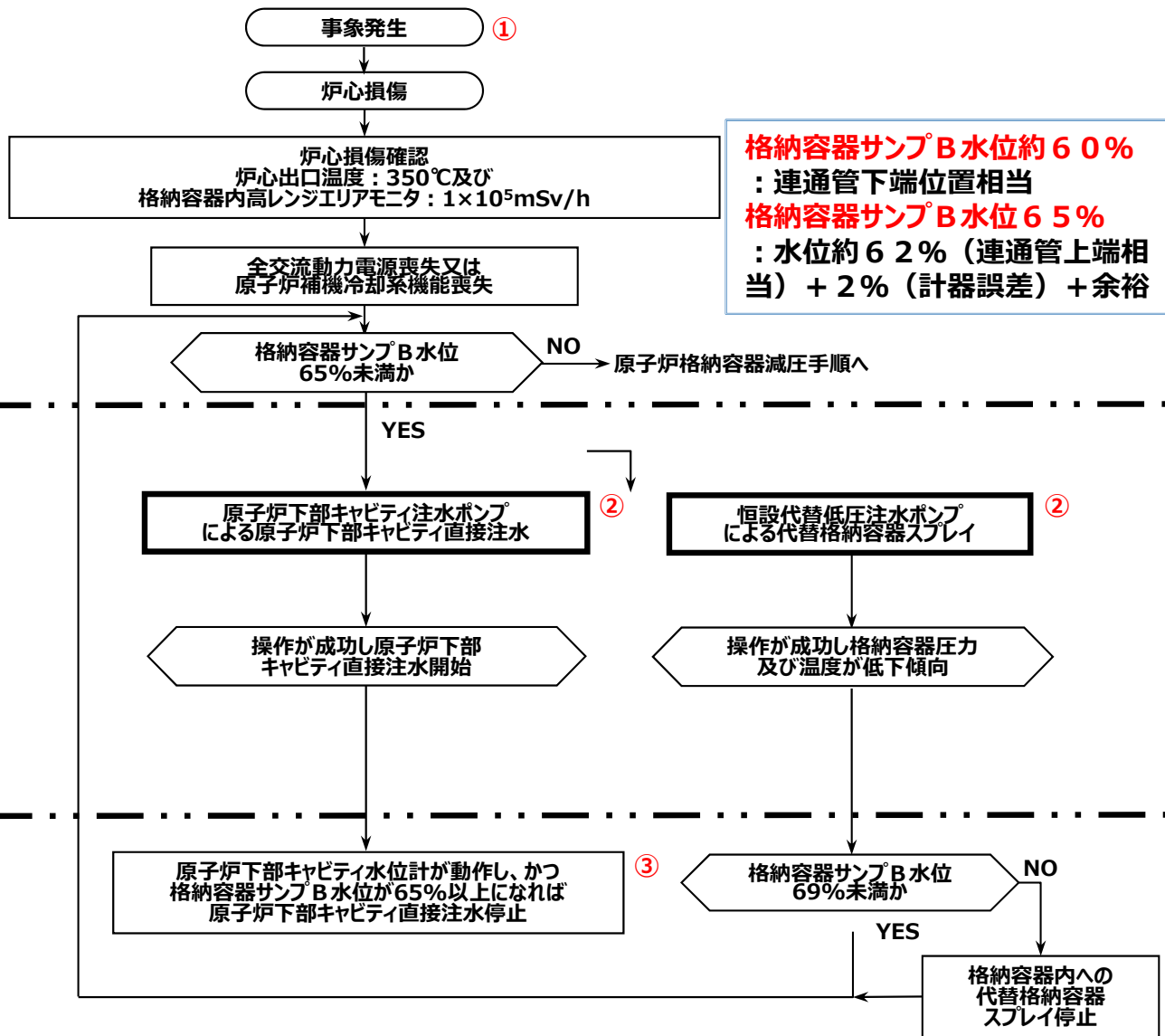
原子炉格納容器水素燃焼装置(イグナイタ)【13台/ユニット】

# 高浜発電所における 今後の主な安全対策工事

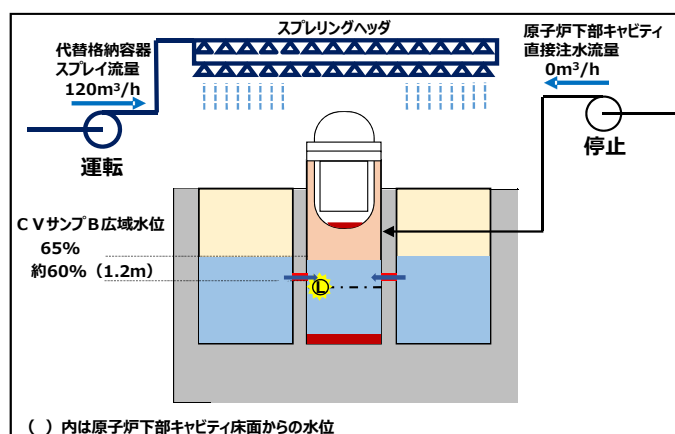
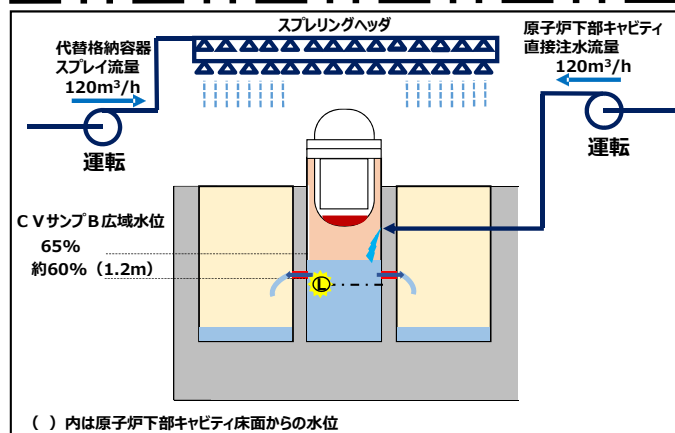
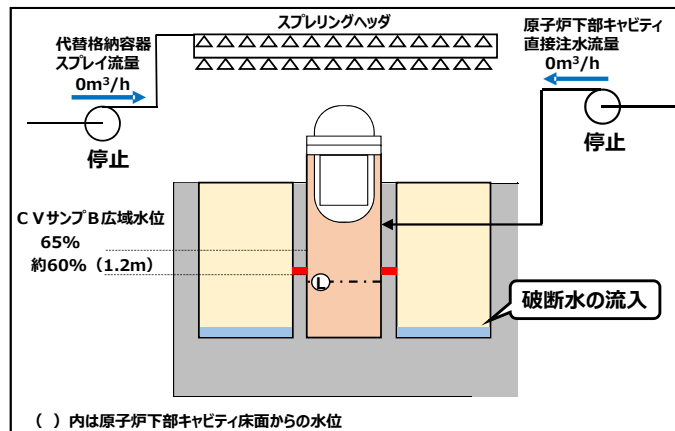


# 高浜1、2号機 原子炉下部キャビティ注水ポンプ設置工事関係 (格納容器下部に落下した溶融炉心の冷却に関する対応手順)

想定例：大破断 L O C A 時に高圧注入機能、低圧注入機能及び格納容器スプレイ注入機能が喪失する事故 (CV過圧破損シーケンス)



**格納容器サンプB水位約60%  
: 連通管下端位置相当**  
**格納容器サンプB水位65%  
: 水位約62% (連通管上端相  
当) + 2% (計器誤差) + 余裕**

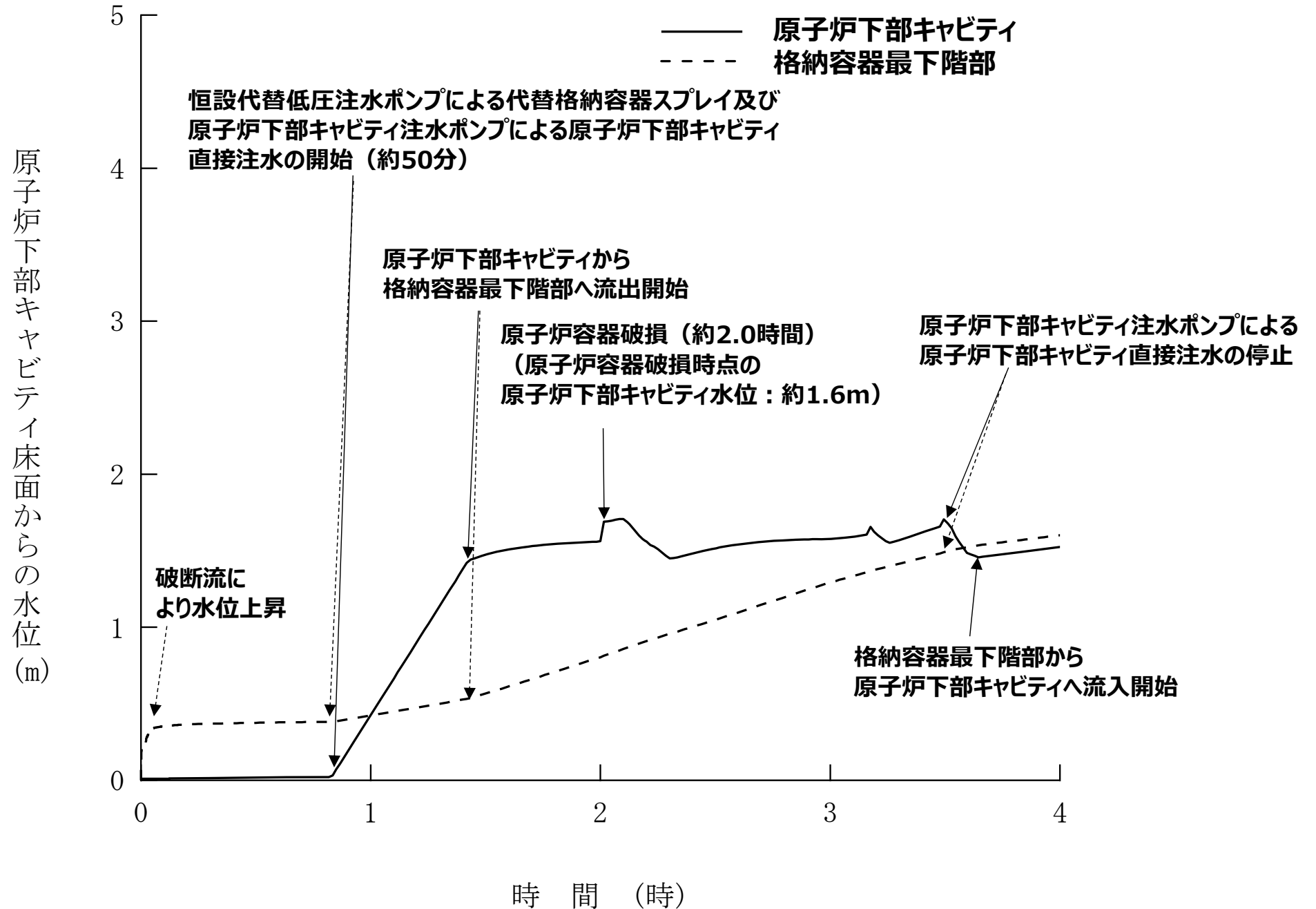


① 事象発生

② 原子炉下部キャビティ注水ポンプ及び恒設代替低圧注水ポンプ起動  
事象発生後約50分

③ 原子炉下部キャビティ注水ポンプ停止  
事象発生後約3.5時間

想定例：大破断 L O C A 時に高圧注入機能、低圧注入機能及び格納容器スプレイ注入機能が喪失する事故  
(CV過圧破損シーケンス)



第303回審査会合 (H27.12.8)  
資料 2 - 1 を抜粋

複合体を形成しても、ケーブルやケーブルトレイが保有する機能に問題のないことを確認。

ケーブル及びケーブルトレイの保有機能を阻害する要因を抽出し、検証方法を定める。

機能項目	機能を阻害する要因	複合体形成による影響の有無	検証方法
<b>ケーブルの保有機能</b> 電气的機能 絶縁機能 機械的機能	通電機能 絶縁体許容温度の範囲内で機器等の使用電流が通電できること。	導体抵抗増加 × : 導体に直接接触しない	IEEE848-1996に準拠した電流低減率試験を実施し、放熱性の低下によりケーブルの通電機能に問題ないことを確認 JIS C 3005に準拠した絶縁抵抗試験, JIS C 3605に準拠した耐電圧試験を実施し、ケーブルの絶縁機能に影響がないことを確認 JIS K 6833-1 5.3に準拠したpH試験を実施し、化学的な侵食によりシースによる保護機能及びケーブル保持機能に影響がないことを確認
		導体の断線 × : 導体に直接接触しない	
		放熱性の低下 ○ : 外部への放熱性が低下し、 <u>使用電流による発熱により絶縁体の許容温度を超過</u>	
	絶縁機能 導体を外部から絶縁できること。	絶縁性能低下 ○ : 防火シートがケーブルに直接接触れることによる絶縁性能低下	
	シースによる保護機能 ケーブル形状を保ち外的要因から保護できること。	シースの損傷 ○ : 防火シートがケーブルに直接接触れることで化学的にシースを侵食	
<b>ケーブルトレイの保有機能</b> ケーブル保持機能	ケーブル保持機能 敷設されるケーブルを保持できること。	ケーブルトレイの損傷 ○ : 防火シートがトレイに直接接触れることで化学的にトレイを侵食 ○ : 複合体形成による重量増加	重量増加が、ケーブルトレイの設計裕度の範囲内であることを確認

× : 影響無し ○ : 影響の可能性有り

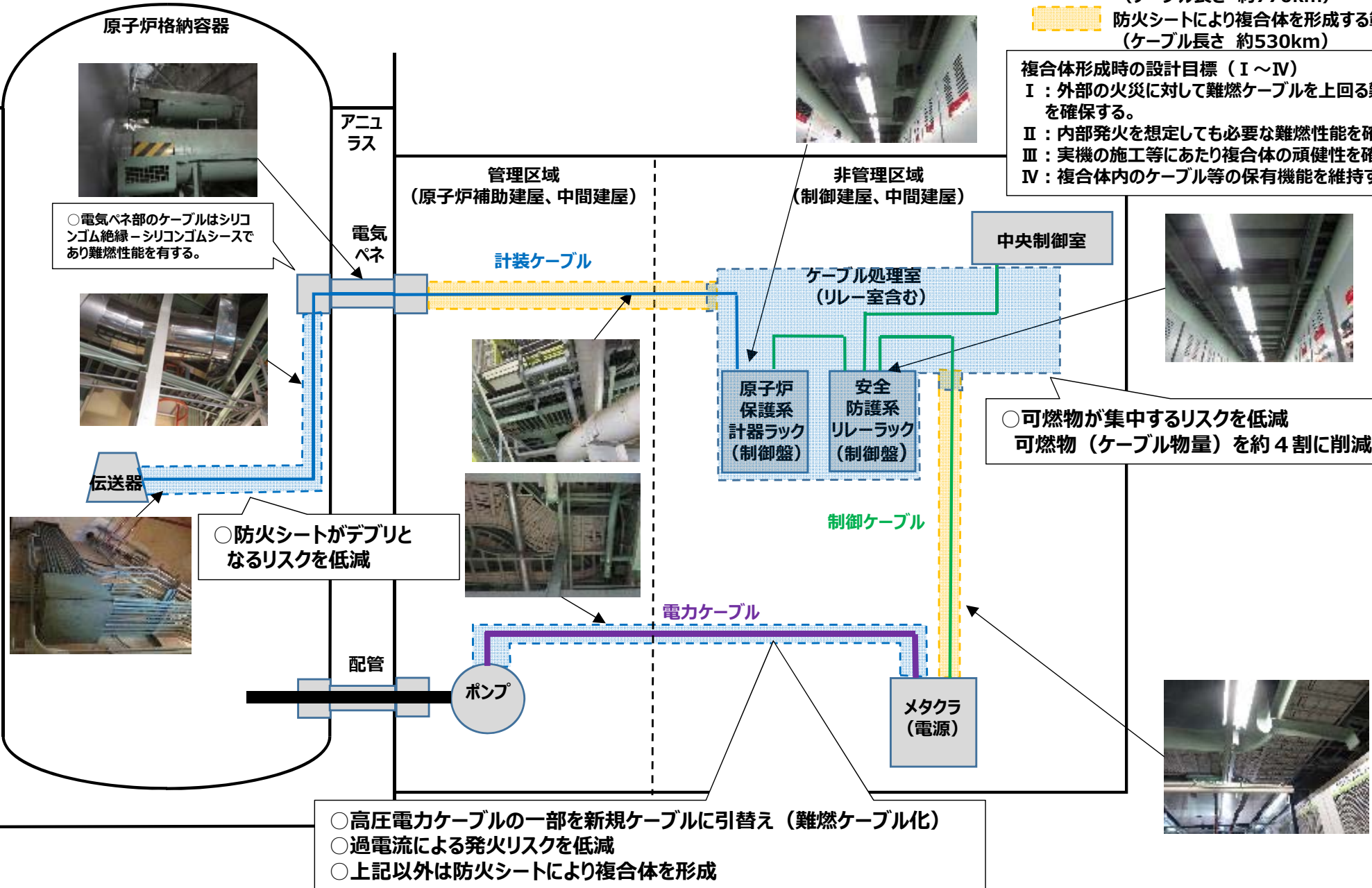
なお、評価結果については、工事計画認可申請段階で示す。

# 高浜1、2号機 ケーブル火災防護対策工事関係 (ケーブルの難燃性能の向上にむけた対応について)

非難燃ケーブルについては、不燃材の防火シートによりケーブル及びケーブルトレイを覆った複合体を形成することで難燃性能を確保

- 難燃ケーブルに引替える範囲  
(ケーブル長さ 約770km)
- 防火シートにより複合体を形成する範囲  
(ケーブル長さ 約530km)

複合体形成時の設計目標 (I~IV)  
 I : 外部の火災に対して難燃ケーブルを上回る難燃性能を確保する。  
 II : 内部発火を想定しても必要な難燃性能を確保する  
 III : 実機の施工等にあたり複合体の頑健性を確保する  
 IV : 複合体内のケーブル等の保有機能を維持する



○電気パネ部のケーブルはシリコンゴム絶縁-シリコンゴムシースであり難燃性能を有する。

○防火シートがデブリとなるリスクを低減

○可燃物が集中するリスクを低減  
可燃物(ケーブル物量)を約4割に削減

○高圧電力ケーブルの一部を新規ケーブルに引替え(難燃ケーブル化)  
 ○過電流による発火リスクを低減  
 ○上記以外は防火シートにより複合体を形成

# 高浜1、2号機 中央制御盤他取替工事関係 (計器用電源容量の増強)

高浜1、2号機中央制御盤他取替工事(CBR)に伴う、計器用電源定格容量評価結果に基づき、計器用電源の増強工事を実施し、電源定格容量を満足する設計。

## 【計器用電源評価結果】

電源装置	高浜1号機				
	CBR前		*更新	CBR後	
	定格容量 KVA	連続負荷 容量	電源設備 更新時期	定格容量 KVA	連続負荷 容量
A計器用電源(安全系)	10→20*	6.9	2011	20	13.6
B計器用電源(安全系)	10→20*	7.3	2011	20	13.0
C計器用電源(安全系)	10→20*	7.3	2011	20	14.1
D計器用電源(安全系)	10→20*	7.4	2011	20	13.0
AC後備計器用電源(安全系)	10→20*	11.3	2011	20	17.8
BD後備計器用電源(安全系)	10→20*	12.1	2011	20	16.7
E F計器用電源(常用系)	30→30*	17.8	2009	30	15.8
G計器用電源(常用系)	20→50*	42.0	2009	50	29.4
H計器用電源(常用系)	30→50*	12.9	2009	50	43.6
I計器用電源(常用系)	30→50*	14.9	2009	50	46.1

電源装置	高浜2号機				
	CBR前		*更新	CBR後	
	定格容量 KVA	連続負荷 容量	電源設備 更新時期	定格容量 KVA	連続負荷 容量
A計器用電源(安全系)	10→20*	7.5	2011	20	12.1
B計器用電源(安全系)	10→20*	7.4	2011	20	11.7
C計器用電源(安全系)	10→20*	6.8	2011	20	11.9
D計器用電源(安全系)	10→20*	7.6	2011	20	11.4
AC後備計器用電源(安全系)	10→20*	12.1	2011	20	14.1
BD後備計器用電源(安全系)	10→20*	13.1	2011	20	13.7
E F計器用電源(常用系)	30→30*	17.9	2009	30	17.1
G計器用電源(常用系)	20→50*	42.1	2009	50	31.6
H計器用電源(常用系)	30→50*	13.0	2009	50	42.9
I計器用電源(常用系)	30→50*	15.0	2009	50	46.4

更新時期は、年度を示す

## 原子炉制御装置取替工事

### 【工事目的】

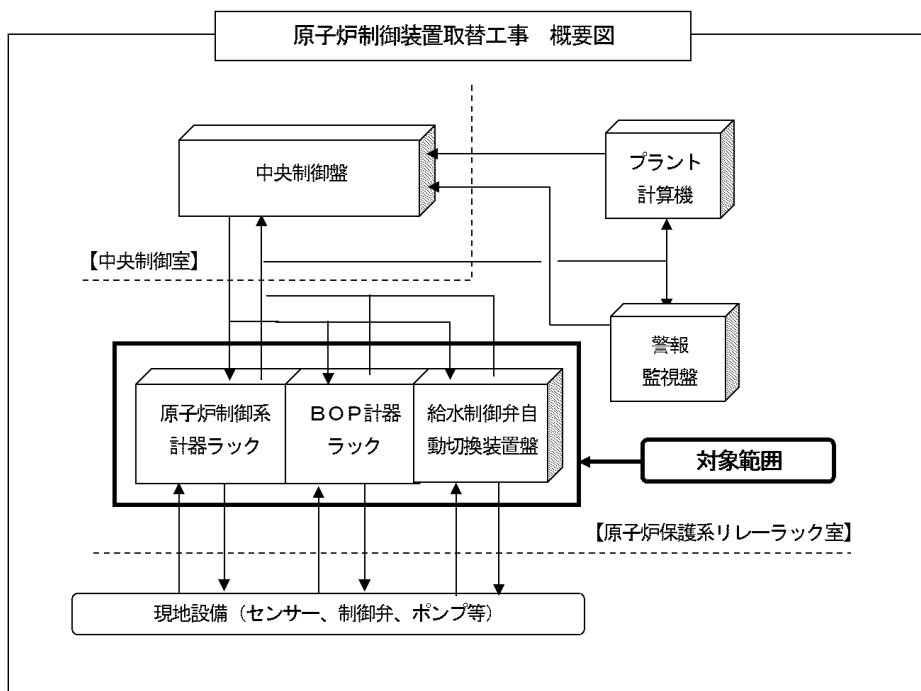
現状の原子炉制御装置※について、電子部品の製造中止に伴い保守継続が困難になる恐れがあるため、保守性向上の観点より取り替える。

※：原子炉制御装置とは、1次系の圧力・水位信号などをセンサーから受け取り、中央制御盤やプラント計算機に信号を送るとともに、必要な操作信号を演算して制御弁等に送る設備であり、原子炉制御系計器ラック、補助的な機器を制御するBOP\*計器ラックから構成。

### 【工事概要】

原子炉制御装置を、アナログ制御装置から、最新プラントに導入された技術を取り入れたデジタル制御装置に取り替える。

- ・原子炉制御系計器ラック
- ・BOP(Balance of Plant)計器ラック (1次系補助計器ラック)
- ・給水制御弁自動切換装置盤



## 原子炉保護装置取替工事

### 【工事目的】

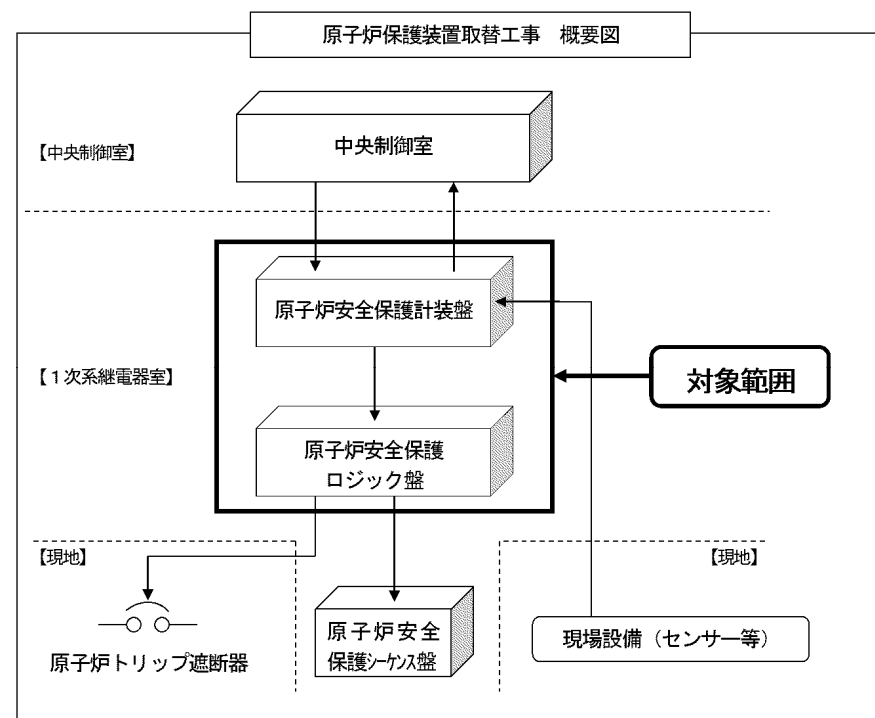
原子炉保護装置※1について、電子部品の製造中止により、今後の保守継続が困難になる可能性があるため、設備の保守性向上の観点から、最新設計の保護装置※2へ取り替える。

※1：原子炉保護装置とは、1次系の圧力・温度信号などをセンサーから受け取り、プラント異常を検出して、原子炉トリップ遮断器および工学的安全施設を動作させるための信号を送る設備。

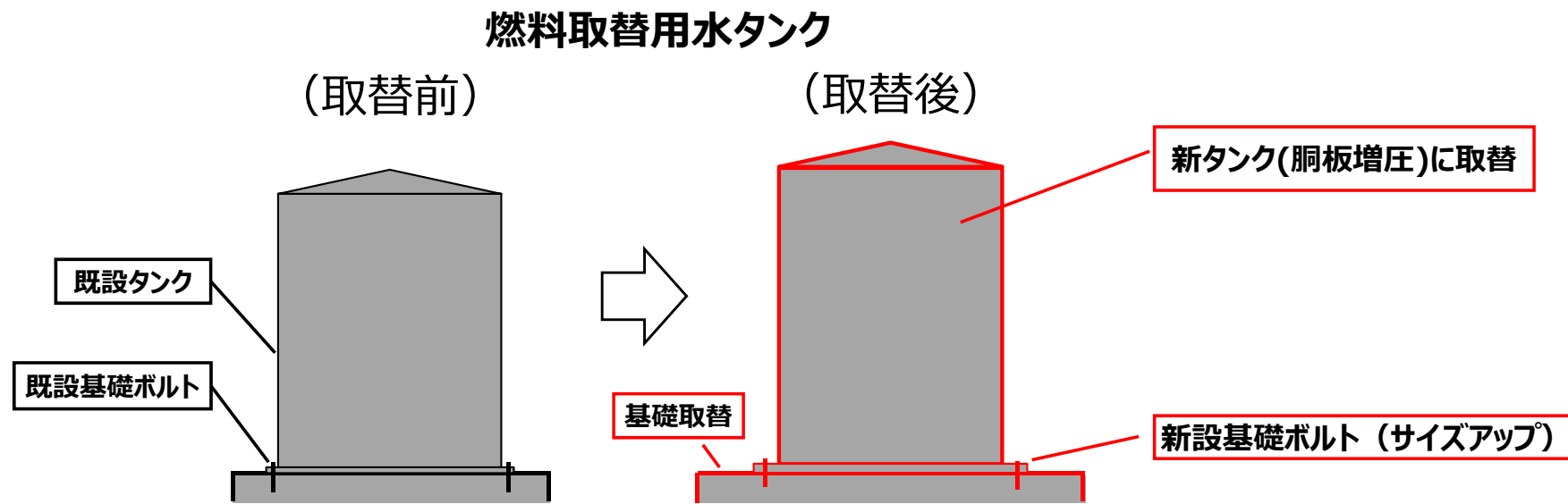
※2：他電力新設プラントで採用されているマイクロプロセッサによるデジタル式を採用し、保守性・信頼性を維持。

### 【工事概要】

原子炉安全保護計装盤をデジタル式に取替え、原子炉安全保護ロジック盤の論理回路を原子炉安全保護計装盤に統合。



基準地震動の見直し(550ガル→700ガル)を踏まえ、燃料取替用水タンクの胴板(座屈)及び基礎ボルトの耐震性確保の観点から取替え。



項目	取替前	取替後
容量	1,720m <sup>3</sup>	同左
本体材料	SUS304	同左
寸法 (内径×高さ)	11m×21.8m	11m×22.2m
胴板厚さ	8~34mm	8~40mm
基礎ボルト (直径×本数)	57.15mm×100本	64mm×100本

# 高浜発電所における同時発災の 観点から考慮すべき対応



# 高浜1～4号機同時発災時における消火活動の体制等について

## ＜消火活動体制の内訳＞

- 重大事故等対応にあたっては、1,2号機及び3,4号機が同時発災し、さらにそれぞれに火災が発災した場合でも、1,2号機、3,4号機独立して、また重大事故等対応と並行して消火活動を実施できるよう体制を構築。
- 消火活動は専属の消火活動要員7名（A班）、プラント全体の対応と消火活動の力量を有する緊急安全対策要員7名（B班）により対応。

	1,2号消火活動	3,4号消火活動	プラント全体の対応 (緊対所、モニタリング等)
1,2号機発災、3,4号機健全の場合	A班	—	B班（1,2号緊急安全対策要員）
1,2号機健全、3,4号機発災の場合	—	A班	3,4号緊急安全対策要員
1～4号機同時発災の場合	B班	A班	3,4号緊急安全対策要員※1

※1：プラント全体の対応に必要な作業は、1,2号機（3,4号機）のみ発災の場合と1～4号機発災の場合で、同様の対応である。

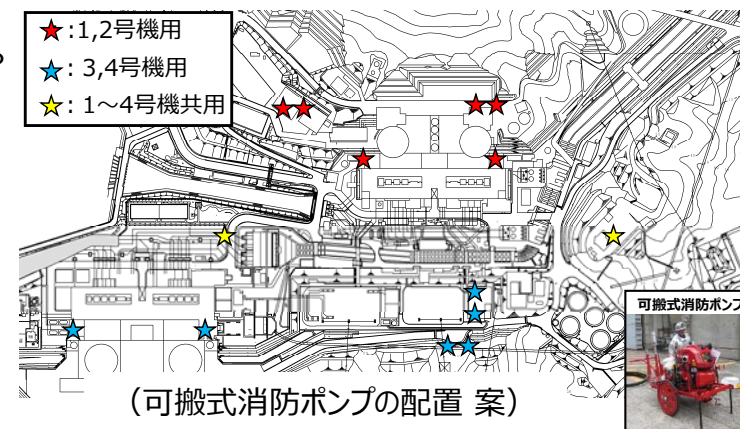
- 最も事故対応の時間的余裕が少なく最大の初動要員を必要とする事故シナリオ※2の4基同時発災を想定しても、消火活動に必要な要員を確保。

※2：「大破断LOCA+高圧注入失敗+低圧注入失敗+格納容器スプレイ注入失敗」

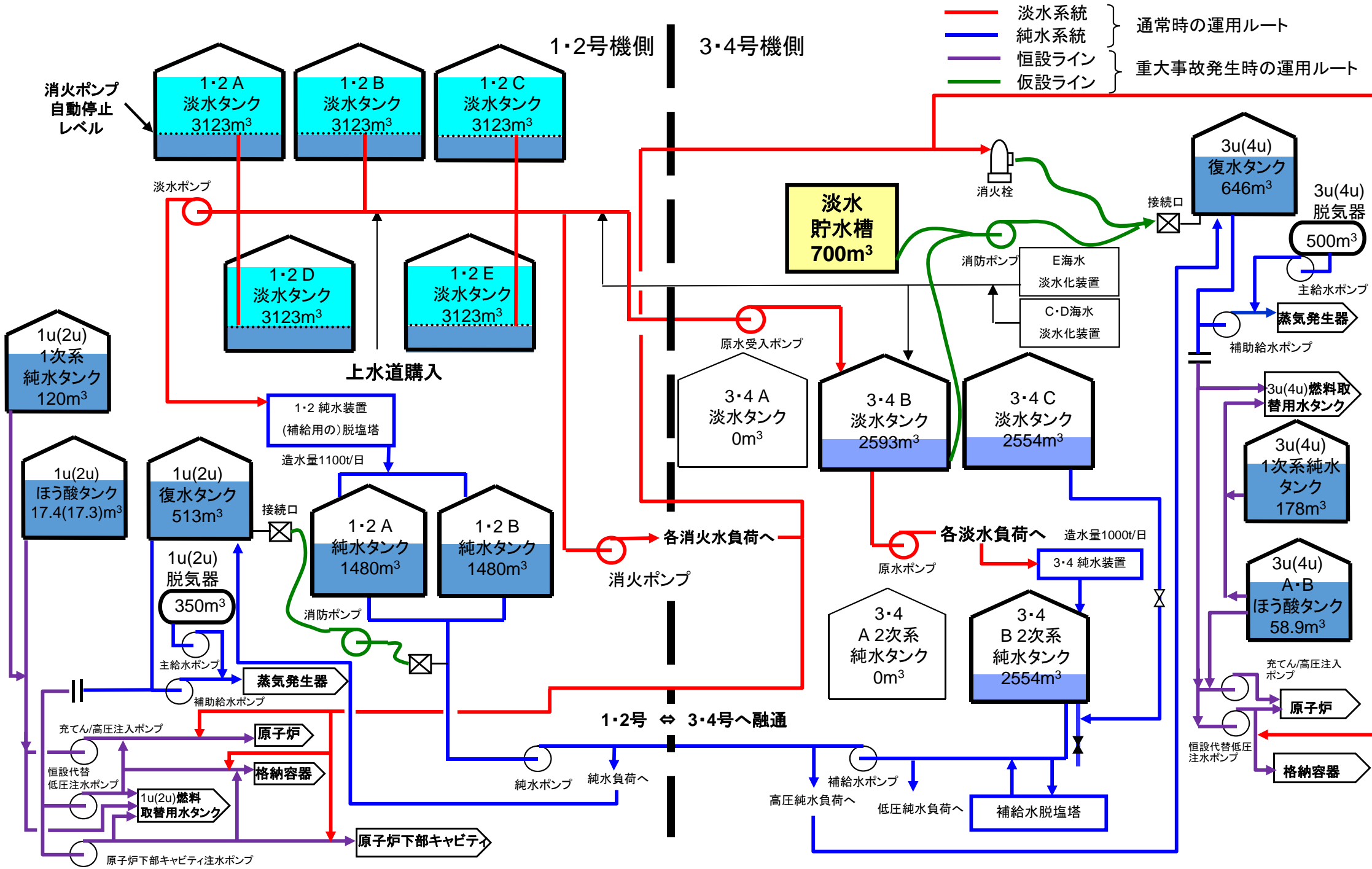
- B班の緊急安全対策要員は、消火活動に対する教育・訓練の充実を図る。

## ＜消火設備の配備＞

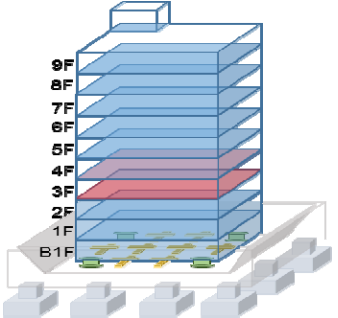
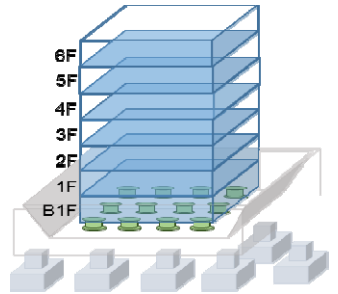
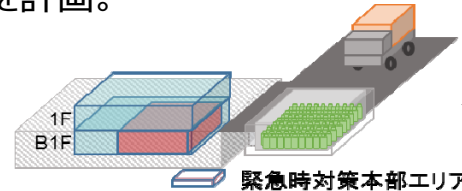
- 独立して初期消火活動、および大規模な火災の消火が実施できるよう、1, 2号機にも3, 4号機と同様の消火設備を配備する。



# 高浜1~4号機 重大事故等対策における主なタンクの運用について



# 中長期対策の対応状況

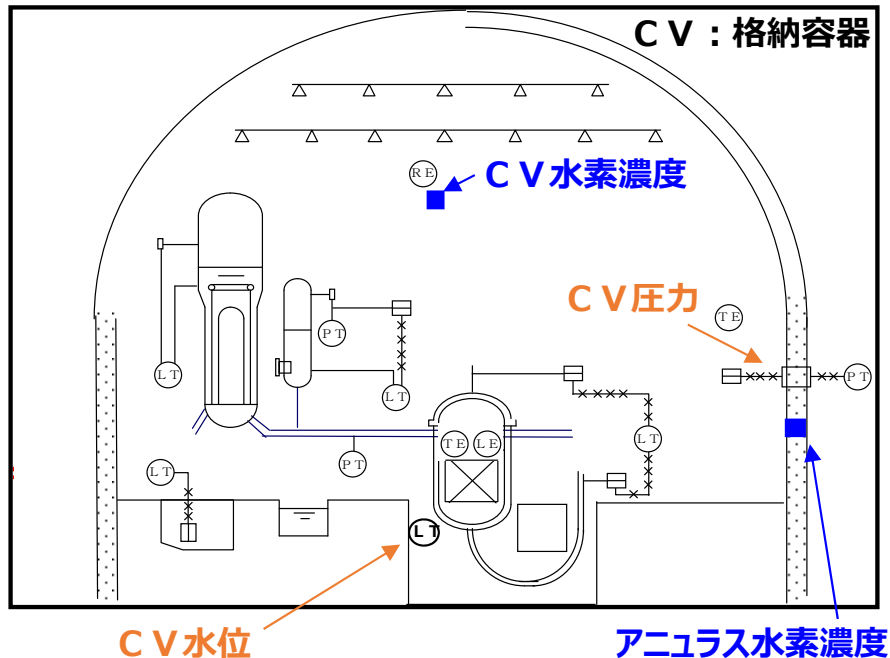
	免震事務棟	緊急時対策所	
		(1～4号機用)	<b>新規制基準要求</b> (3, 4号機用)
H25.6	福島第一原子力発電所事故を踏まえた対策として、事故対応時の指揮機能の強化等の更なる充実の観点から、免震構造や対応要員の収容機能等を有する免震事務棟の設置工事に着手。	---	---
H25.7 新規制基準が施行	施行された新規制基準を踏まえ、建設中の免震事務棟を、高浜1～4号機の運転を前提とした緊急時対策所として活用することを検討。 	同左	高浜1・2号機の原子炉容器に燃料を装荷しないことを前提に、高浜1・2号機の原子炉補助建屋内に高浜3・4号機の緊急時対策所を設置することとして、新規制基準適合性に係る申請を実施。 ⇒H25.8設置完了 ⇒H27.2設置変更許可
H25.10	基準地震動見直しに伴い、工事中断		
H27.3	建設中の免震事務棟については、事故対応支援要員をより多く収容する等のために、自主的に設ける施設（新規制基準要求対象外）と位置付け、計画を変更。 	1～4号機の運転を前提とした緊急時対策所の設置を計画。 	(機能を移設)
H28.3	・機器仕様及び配置調整、各種荷重確認、構造計算、設計図書作成を実施。	・敷地造成干渉物の撤去に着手 ・機器仕様及び配置調整、各種荷重確認、構造計算、設計図書の作成を実施。	
H28.5現在	・平成30年度中に運用開始予定。	・平成30年度中に運用開始予定。	

重要なパラメータ（格納容器（C/V）水素濃度、圧力、水位）について、過酷事故条件下における更なる信頼性向上を目的として、計装システムの開発、実用化に向けた検証を実施している。

## ■ 研究状況

- 過酷事故用計装システムに関する研究では、東電福島第一原子力発電所事故の教訓から抽出されたパラメータであるC/V水素濃度、C/V圧力、C/V水位を計測する耐環境性を向上させた検出器の開発が平成26年度で完了した。
- 開発が完了した検出器について、実機への適用を視野に実証試験等を進めている。

## ■ 研究概要



## ■ スケジュール

(年度)

項目	H 2 6	H 2 7	H 2 8
開発	[Orange bar spanning H26, H27, and H28]		
実証試験等		[Orange bar spanning H27 and H28]	
			実機向 製作開始 ▼

# 高浜 4 号機の発電機自動停止 に伴う原子炉自動停止について

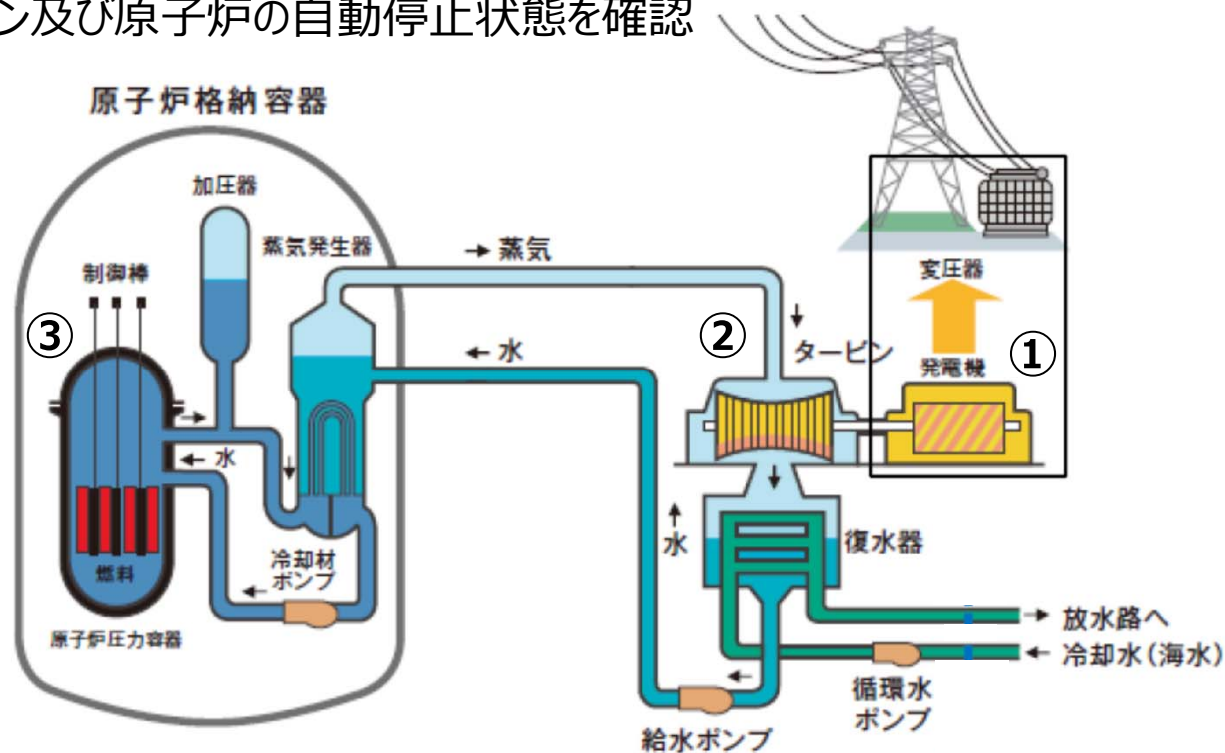
- 平成28年2月29日14時01分 並列(送電開始)操作時発生
- 主変圧器比率作動リレー（M87B(保护装置)）が作動し発電機自動停止、それに伴いタービン自動停止、原子炉自動停止

**M87B作動** ➡ ①**発電機自動停止** ➡ ②**タービン自動停止** ➡ ③**原子炉自動停止**

- 環境への放射能の影響なし
- 実用炉規則第134条「発電用原子炉施設の故障により、発電用原子炉の運転を停止したとき」に該当

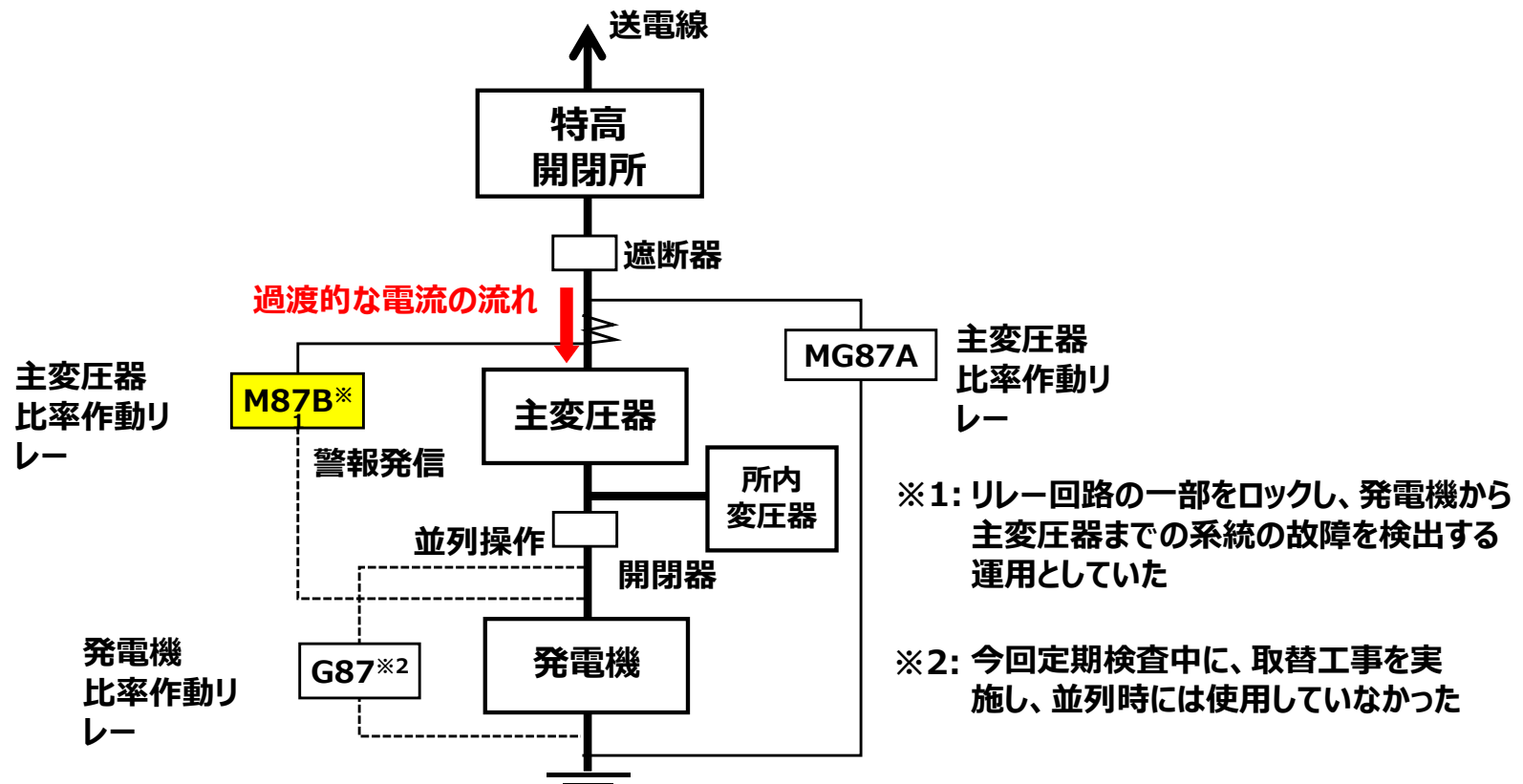
## <時系列>

- ・14:01：発電機並列 → 発電機自動停止、それに伴いタービンと原子炉が自動停止
- ・14:03：タービン及び原子炉の自動停止状態を確認



## 主変圧器比率作動リレー (M87B) が作動した原因

- 並列時に送電系統から発電機側に瞬時に流れる電流が、M87Bの設定値(30%)を超過 (35%の電流が流れた)
- 並列の際に過渡的に流れる電流の定量的な評価が行われておらず、定性的な評価でM87Bの設定値を決定していた

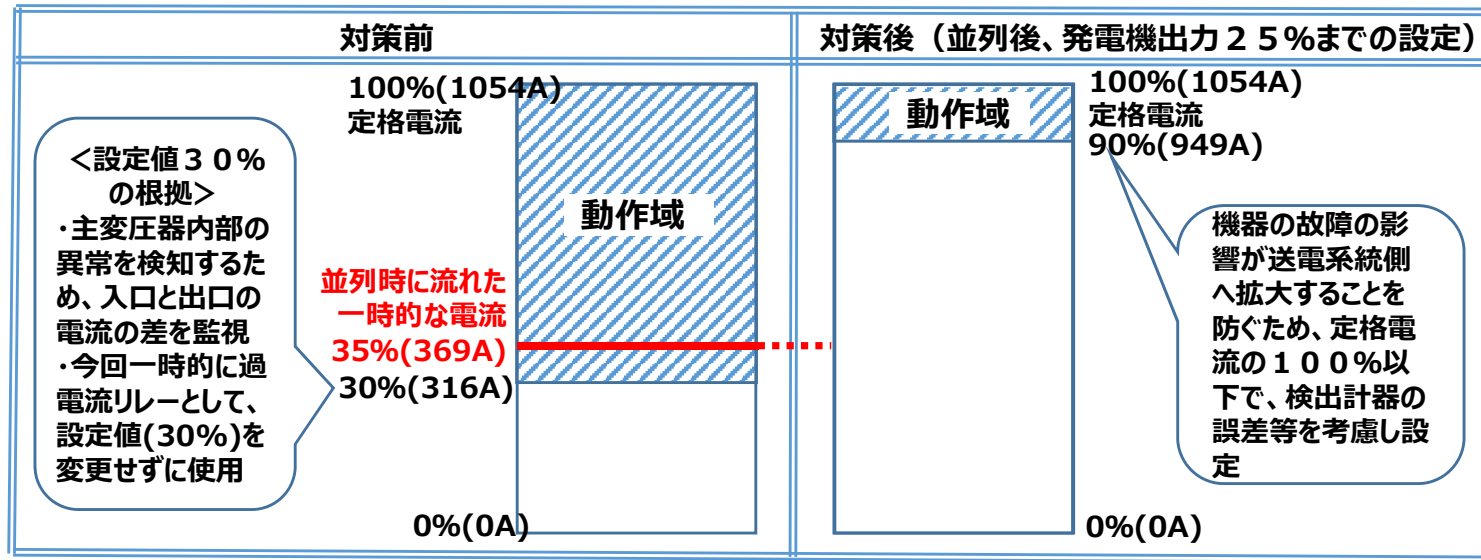




並列の際に過渡的に流れる電流の定量的な評価が行われていなかった原因  
（主変圧器比率作動リレー（M87B）の設定値を30%としていた原因）



- 発電所・電気保修課は暫定的な設定値を設定する際、社内ルールに検討項目として記載が無かったこと、同種工事の実績があったことから、定量的な評価は不要と考えた
- メーカーは当社から定量的な評価を行うよう調達要求がなかったこと、及び同種工事の実績を優先して、定量的な評価を行わなかった



## 【設定値変更】

- 当該リレーの暫定的な設定値を、並列時の過渡的な電流増加を考慮した値に変更 (30%→90%)

## 【技術検討の充実】

- 保護リレーの暫定的な設定値の定量的な影響評価の実施およびルール化

## 【プラント安全確認のための水平展開】

- 今回の定検で実施した工事(約1,800件)のうち、設備の追加、改造を行ったものを抽出(36件)し、設定値等の妥当性を確認等

## 【総点検の実施】

- 今回の定検で実施した改造工事等に伴う設備変更箇所の再確認等