

大飯発電所の 安全性向上対策の実施状況等について

平成**29**年**10**月**23**日



○教育・訓練の実施状況について 1 ~ 7

○大飯3,4号機の非常用ディーゼル発電機の火山灰対策について 8 ~ 9

教育・訓練の実施状況について

大飯3,4号機 新規制基準を踏まえた運転シミュレータ訓練の充実

○福島第一原子力発電所事故以降、重大事故等対策設備を計画的にシミュレータに反映し、重大事故への対応訓練を実施。
○さらなる充実を図るため、炉心溶融モデルを使用した炉心損傷後における対応訓練を導入予定。

(1) 重大事故等への対応訓練の実施状況（平成30年度内には炉心損傷後の対応訓練を導入）

プラント	平成23～28年度	平成29年度		平成30年度	
		上期	下期	上期	下期
	▽H23 福島第一事故 ▽H25 新規制基準施行				
SA対策訓練の充実	<p>SA対策設備のシミュレータへの反映（適宜実施）</p> <p>（改造例） ▲H24 空冷式非常用発電装置 ▲H25 大容量ポンプ ▲H26 ATWS※²緩和設備</p>		継続的に反映（継続）		
重大事故シーケンスに係る訓練			炉心溶融モデル※ ¹ 導入・訓練シナリオ作成検証		訓練実施
			<炉心損傷後の対応訓練>		
					【炉心溶融モデル導入以降 炉心損傷後の訓練 追加】 ⑩格納容器過圧破損 ⑪格納容器過温破損 ⑫水素燃焼
					【H28.1.28以降 中央制御室主体の成立性確認 追加】 7シーケンス（左記①～⑤、⑦） ⑨崩壊熱除去機能喪失
					【福島第一事故以前から実施】 ①2次冷却系からの除熱機能喪失 ②原子炉格納容器の除熱機能喪失 ③原子炉停止機能喪失 ④ECCS注水機能喪失 ⑤ECCS再循環機能喪失 ⑥格納容器バイパス（IS-LOCA） ⑦格納容器バイパス（SGTR） ⑧全交流電源喪失（シールLOCAなし）

(2) 炉心損傷後の対応訓練内容

- ・ 格納容器破損防止シーケンスを模擬した重大事故に対処するための訓練
- ・ 事故対応上必要となる重要な判断（炉心損傷判断など）に関する訓練

※1：軽水炉の炉心損傷、原子炉圧力容器破損、原子炉格納容器破損から、放射性物質の発生・移行・放出に至る事故シーケンス全般の現象解析に用いるプログラム

※2：原子炉停止機能喪失

事故発生時のプラント挙動の理解等に関する教育訓練の改善の取り組み

事故時にプラント設備の応急復旧対応や現場の緊急安全対策要員への指示・命令、対外連絡、放射線管理などを実施する発電所の緊急時対策本部要員に対して、事故発生時のプラント挙動の理解等を図る学習効果を向上させるため、新たな研修ツールを用いた学習を平成29年度から開始している。

従来

【概要】

- ・重大事故発生時のプラント挙動
- ・S A所達に基づく事故収束対応の概要

【受講対象】

- ・発電所緊急時対策本部の技術系要員
(指揮者クラス、安全管理担当を除く)
- 約250名/発電所

【方法】

- ・集合研修にて、講師が講義形式で説明
- ・講義では、テキストと補助資料を投影
- ・受講後、理解度確認テストを実施
- ・1回の講義で、約30～50名が同時に受講

【課題】

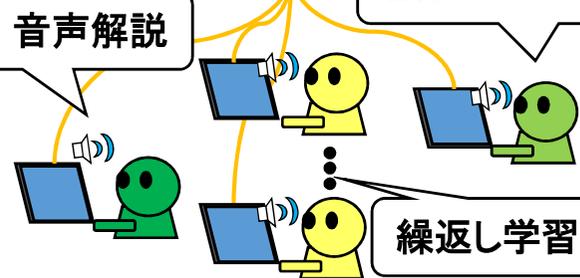
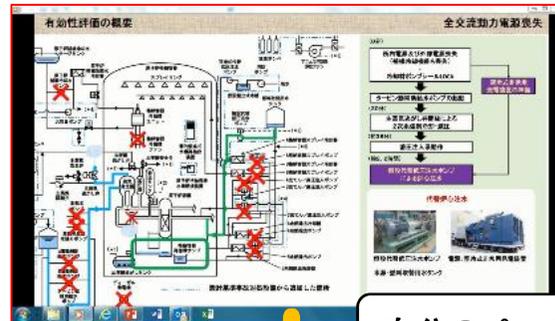
- ・多人数による講義形式であるため、受講生の知識レベル差によって、**相反する意見**

基礎的な部分に時間を掛けて聞きたい
 ⇔ 基礎的な内容よりも応用を聞きたい
 (レベル分けを検討したが、日程調整が困難)

- ・復習して欲しいが、講師による説明がないと学ぶべきポイントがわかりづらい

- ・大人数の集合研修受講のため、限られた日程での受講となり、受講者の負担感が増加

改善後のイメージ



講義の様子

改善後

【概要】

- ・従来の通り

【受講対象】

- ・発電所緊急時対策本部の技術系要員
(指揮者クラス、安全管理担当を除く)

<任意受講>

- ・事業本部、発電所の受講対象外の技術系要員

【方法】

- ・eラーニングによる動画教材の導入
- ・音声解説付きの動画教材で自己学習が可能
- ・受講者の時間余裕に合わせた受講が可能
- ・繰り返し動画視聴が可能
- ・受講後の理解度確認テストを実施
- ・従来の集合研修は、3年程度に1回の受講を継続

【予想効果】

- ・自分のペースで繰り返し学習ができ、理解度が向上
- ・事業本部も含めた要員全体の知識レベルの底上げ
- ・集合研修の削減により、負担軽減

今年度の実施結果を踏まえて
 継続的に改善を検討する

緊急時リーダーシップ能力の向上

○ 原子力安全システム研究所（INSS）が開発している緊急時リーダーシップ能力の向上を図る研修を発電所の指揮者クラスの要員を対象に試行実施

▽ いかなる状況下でも冷静な判断を下し、的確な指揮を執れる能力の向上を目的に、ストレス状況を模擬した指揮者向けロールプレイを実施。

【H28年度】 大飯発電所
緊対所本部要員 6名×2回 計12名受講



プレイヤーとコントローラーは別室

情報伝達は電話のみ

プレイヤーの動きをモニタリング



プレイヤー（数名）

- 緊急時対策所の本部指揮者、ユニット指揮者、通報連絡者、現場調整者に分かれ演習を実施。
- プレイヤーは、事前に説明された状況とコントローラーから逐次伝達される情報のみに基づき状況を認識し、対処の判断や情報発信を行う。

コントローラー（数名）

- 当直課長、事業本部など緊急時対策所の外部を模擬。
- コントローラーは、ストレス下の意志決定、コミュニケーション、状況把握等の能力が必要となるシナリオに基づき、プレイヤーと情報授受を行う。
- コントローラーはプレイヤーの言動を観察する。
(コントローラーの他に行動観察者などもプレイヤーを観察)

○ 重大事故等発生時の対応能力向上のための教育・訓練の継続実施

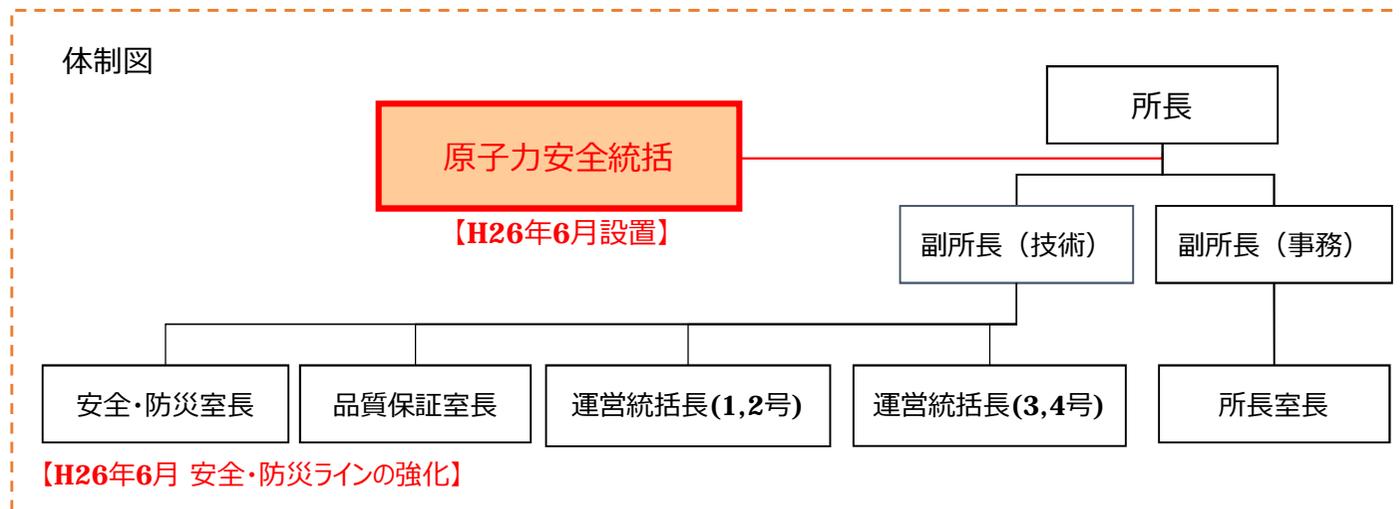
H29年度は上期実績

大飯発電所	H23年度	H24年度	H25年度	H26年度	H27年度	H28年度	H29年度
教育・演習受講者人数 (延べ人数)	約470人	約1,000人	約1,100人	約1,400人	約1,300人	約1,600人	約170人
訓練回数	約290回	約310回	約1,100回	約1,000回	約1,100回	約1,000回	約500回

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）

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。



○人材育成の継続的な実施

▽ 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実施

【H28年度】 原子炉理論研修（JAEA講座：5日間×2回） 新入社員 14名受講
 レベルアップ講座（社内講座：2日間×3回） 選抜社員 14名受講
 NTC炉物理講座（NTC講座：5日間） 選抜社員 1名受講
 社内模擬試験 27名受験 口答模擬試験 筆記合格者 8名受験
 学習動機付けのための練習問題配信 13回 選抜試験受験者 42名対象

▽ 確率論的リスク評価（PRA※）技術研修への派遣

【H28年度】 原子力安全推進協会（JANSI）主催のPRA研修
 PRA教育マネジャーセミナー 1日間 5名受講
 PRA技術導入研修 5日間×6回 延べ17名受講

※ PRA(Probabilistic Risk Assessment)

▽ シビアアクシデント対応教育（机上演習等）を実施し、実践的な事故時対応能力を養成

【H28年度】 シビアアクシデント対応教育 机上演習 46名受講（大飯発電所員）
 同上 講義 258名受講（ " ）

若手技術者への技術継承に関する教育

平成27年から若手技術者を中心に運転中プラントでの現場実務研修やシミュレータ施設による実技研修を実施し、若手技術者への技術継承に取り組んでいる。

① 運転員による運転中プラントでの実務研修

- 技術力維持向上、モチベーション維持・向上を目的に**運転中プラントでの現場実務研修**を実施
巡回点検、定期点検に同行し、現場点検時の異音・異常検知、運転中の緊張感、高温箇所等の危険感受性などの体感

【平成28年度】舞鶴火力発電所

大飯発電所 発電室当直員 4日間の業務研修（合計28名） 9月下旬～11月下旬
発電実習生 1日間の体感研修（合計11名） 9月下旬～10月下旬

【平成29年度】高浜3, 4号機

大飯発電所 発電室当直員 効日間の業務研修（合計効9名） 7月中旬～9月上旬

効果：運転中プラントの熱気や振動、騒音などを体感し、運転している現場の緊張感を体感でき有益



② 原子燃料課員による運転中プラント及びシミュレータ施設での実務等の研修

- 頻度の少ない作業や、検査の技術力維持向上を目的に**運転中プラントでの立ち会い**や、シミュレータ施設での業務研修技術力維持向上を目的に**実務研修等**を実施

【平成27、28年度】高浜3, 4号機

大飯発電所 原子燃料課員 燃料装荷、燃料取出作業立会い（合計4名）

【平成26年度以降】原子力運転サポートセンターのシミュレータを用いた炉物理検査業務研修

大飯発電所 原子燃料課員および発電室員

H26年度：11名 H27年度：33名 H28年度：15名 H29年度：17名

効果：現場での体制イメージ、操作内容等を理解でき有益



③ 放射線管理課員による運転中プラントでの実務研修

- 起動時の水質管理体制の強化を目的に**実務研修**を実施

【平成27年度】高浜4号機

大飯発電所 放射線管理課員 2次系クリーンアップに係る水質分析作業立会い 3回（合計3名）

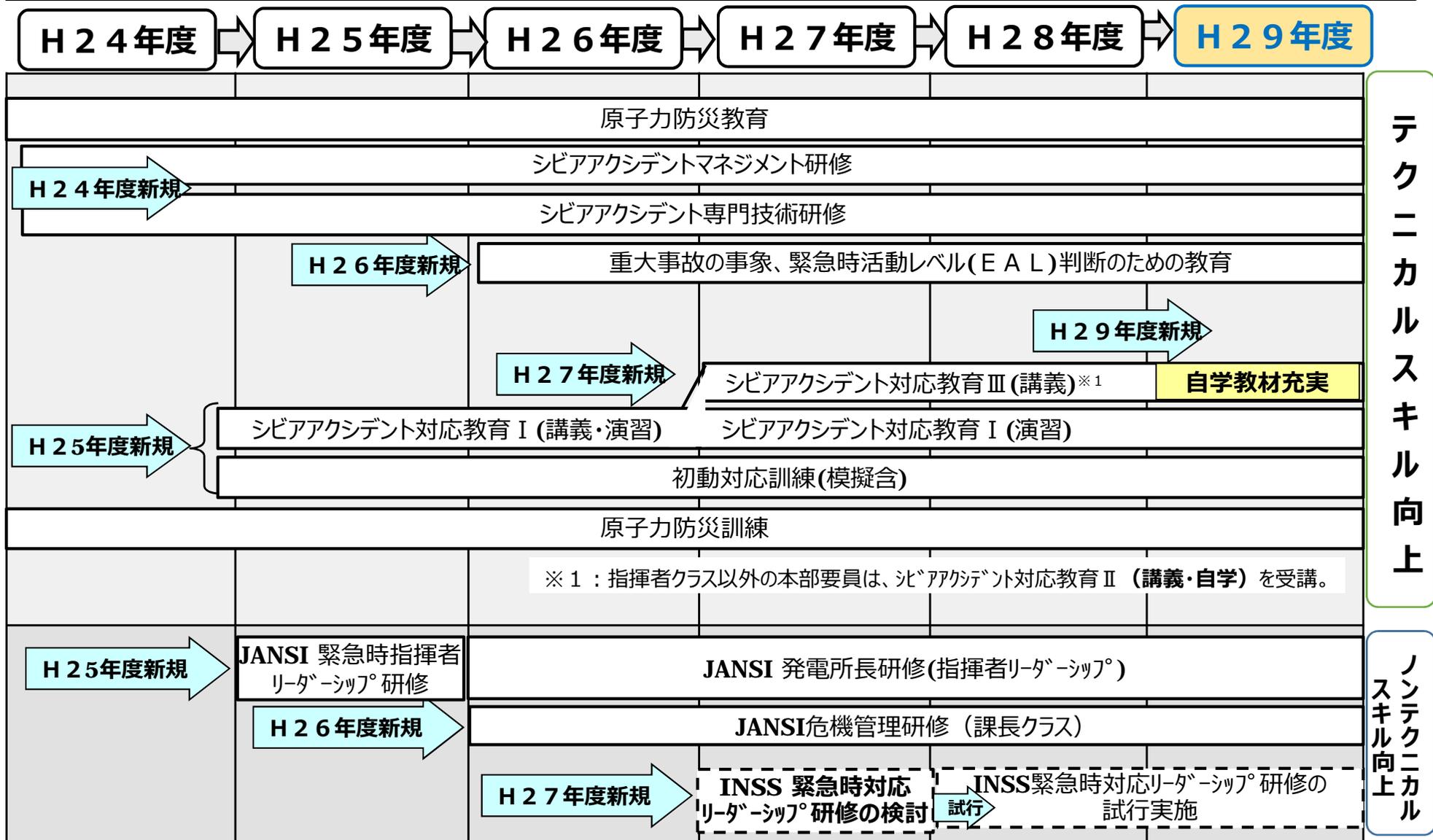
効果：プラント工程の流れの理解と分析操作のノウハウなどが習得でき有益



今後ともOJT機会を継続的に創出することにより社員の技術力の維持継承を図り、プラントの再稼動に備える

事故発生時のプラント挙動の理解等に関する教育訓練の改善の取り組み

事故時にプラント設備の応急復旧対応や現場の緊急安全対策要員への指示・命令、対外連絡、放射線管理などを実施する発電所の緊急時対策本部要員に対して、事故発生時のプラント挙動の理解等を図る学習効果を向上させるため、新たな研修ツールを用いた学習を平成29年度から開始している。



大飯3,4号機 非常用ディーゼル発電機の 火山灰対策について

大飯3,4号機 非常用ディーゼル発電機の火山灰対策に係る評価の比較

既許可では既往観測最大濃度に対して非常用ディーゼル発電機が運転可能なことを確認、規則改正案の濃度に対しては設備対策により運転可能なことを確認している。

	現行規制 (大飯3, 4号機 設置許可)	規則改正案への対応評価 (カートリッジ式の分割フィルタ)
火山灰の想定	・既往観測最大濃度 セントヘレンズ火山 (0.033g/m³)	・設置許可にて確認された堆積量から推定する 手法による濃度 (約 1.5g/m³)
設備 (フィルタによる 火山灰対策)	・吸気口にフィルタをボルトで固定 (5分割)	・格子状のフレームにカートリッジフィルタを挿入 (8段×3分割)
	・非常用ディーゼル発電機を停止せずに取 替可能 (2台を同時に運転)	・閉止板を挿入し非常用ディーゼル発電機を停 止せずに取替可能 (2台を同時に運転) (フィルタの性能、非常用ディーゼル発電機の吸 気量は現行と同様)
体制 (フィルタ取替など)	・12名/2台必要	・8名/2台必要
フィルタ取替時間	・約20分	・約20分
評価	・ 0.033g/m³ の濃度に対し運転可能※1	・ 1.5g/m³ の濃度に対し運転可能※2

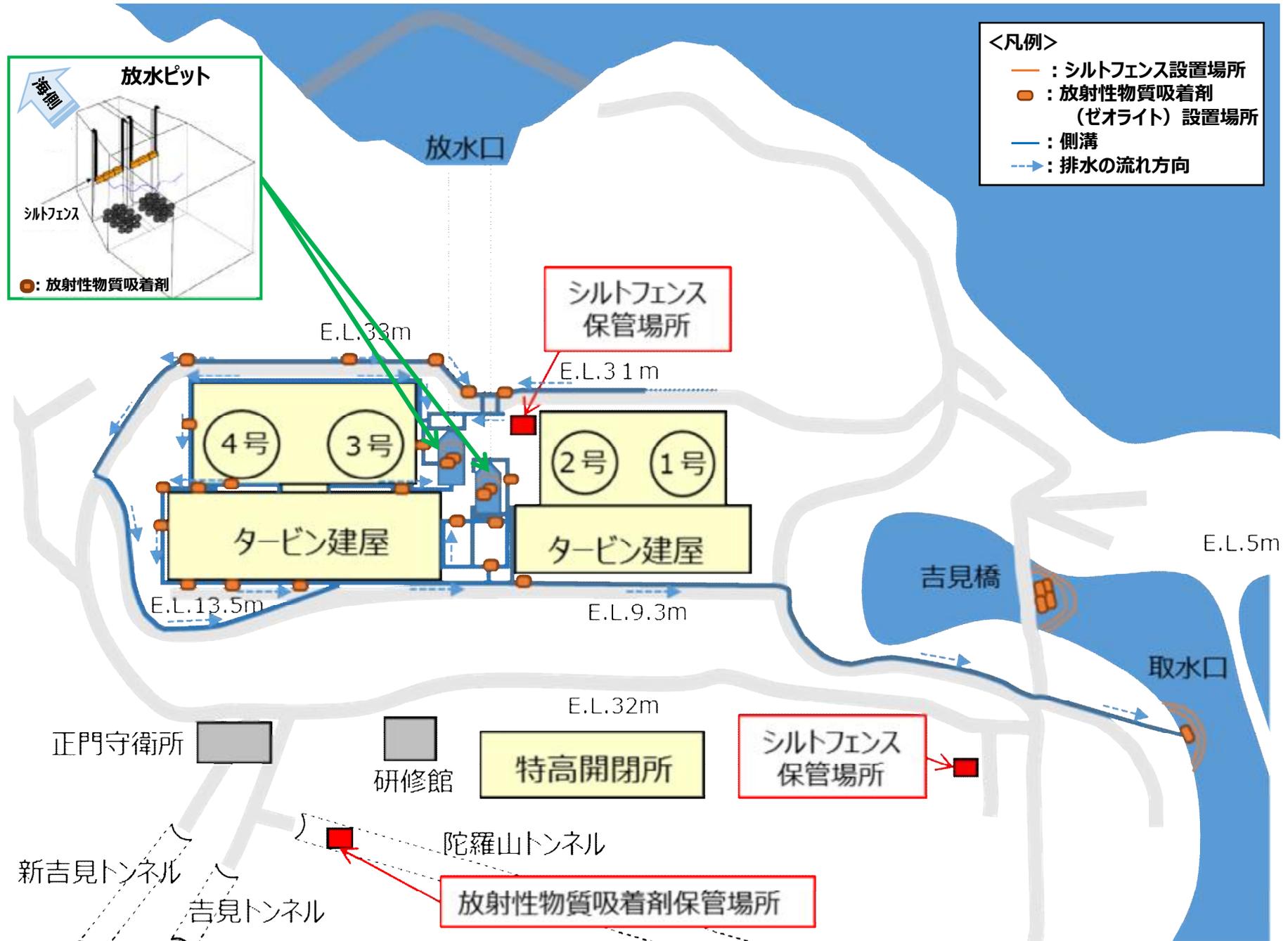
※1：保守的にフィルタ表層部分（フィルタ体積の1%）のみで灰が捕集されると想定した場合の火山灰捕集量（**1,000g/m²**）を用いて評価。

※2：関西電力にて実機と同性能のフィルタを用い、実機での風速を模して実施した簡易試験データに基づく火山灰捕集量（**20,000g/m²**）を用いて評価。（原子力規制委員会 降下火砕物の影響評価に関する検討チームにて説明済み）

参考

- 大飯3,4号機シルトフェンス、放射性物質吸着剤の保管及び設置場所
- 大飯発電所の長期停止に伴う対応について
- 大飯3,4号機外部電源喪失時の電源確保
- 大飯3,4号機重大事故等発生時の原子炉容器等への注水設備
- 事故収束活動の体制 <本店対策本部>
- 大飯3,4号機緊急時対策所、免震事務棟の設置状況

大飯3,4号機 シルトフェンス、放射性物質吸着剤の保管及び設置場所



大飯3,4号機 長期停止期間中の保守管理について

【法令上の扱い】

○実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則(第81条第1項第7号)

発電用原子炉の運転を相当期間停止する場合その他発電用原子炉施設がその保守管理を行う観点から特別な状態にある場合においては、当該発電用原子炉施設の状態に応じて、前各号に掲げる措置（対象設備の保守管理方針等）について**特別な措置を講じること。**

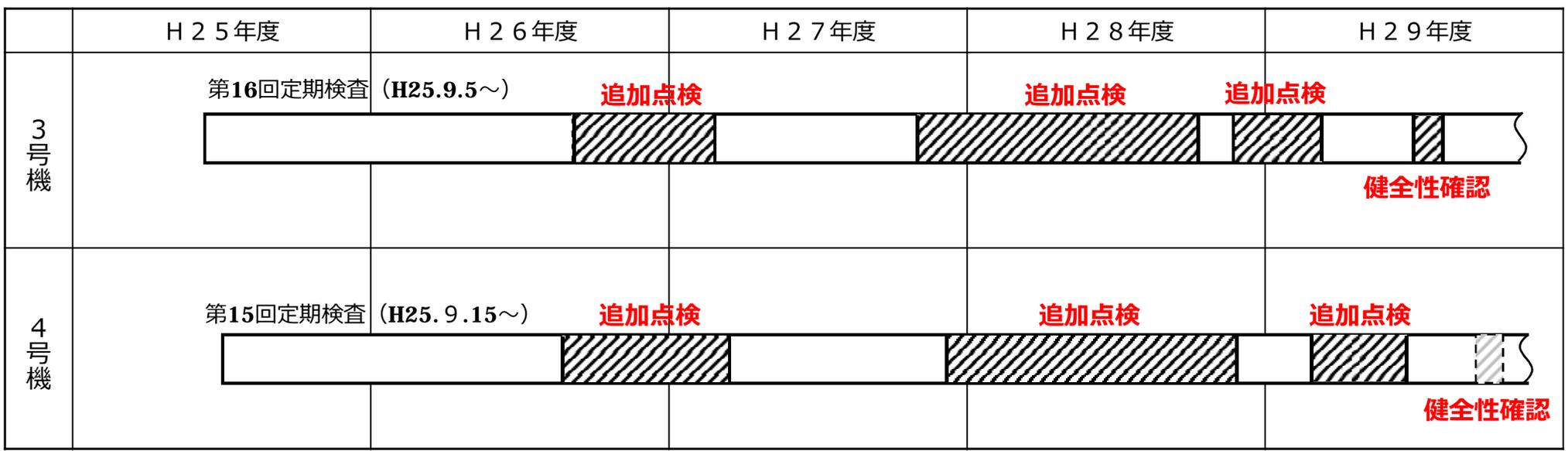
○発電用原子炉施設の使用前検査、施設定期検査及び定期事業者検査に係る実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則のガイド

・特別な保全計画が必要な場合

発電用原子炉の運転を相当期間停止する場合その他プラントがその保守管理を行う観点から特別な状態にある場合においては、**特別な保全計画等を定め、実施する必要がある。**

相当期間とは、概ね1年以上とする。特別な状態にある場合とは、比較的広範な機器に対し**追加的な点検等を実施する必要がある場合や、設備全般に対する長期保管対策を実施する場合**等とする。

【大飯3, 4号機 長期停止中における追加点検の実績工程】



大飯3,4号機 長期停止期間中における設備の健全性維持について

プラントの長期停止期間中においては、特別な保全計画で策定する以下の①～③の内容を適切に実施することで、プラントの設備・機器の健全性を確保している。

- ①プラント停止中の系統・機器について、通常の停止状態または待機状態で**保管対策を実施**
- ②点検計画を考慮の上、保管状態、停止期間に応じた追加保全（分解点検等）の検討を行い、**必要な追加保全を実施**
- ③保管状態、停止期間に応じた追加的な健全性確認の検討を行い、**必要な健全性確認を実施**

上記①～③の具体的内容は以下の通り

①保管対策

長期停止状態において、各系統・機器に応じた適切な保管対策を実施

○乾式保管

水分を除去する方式。水抜きの後、乾燥機を通して乾燥空気を循環し、定期的に湿度を確認または水抜きし、自然乾燥状態を維持。[タービン本体、主蒸気・抽気系統など]

○湿式保管

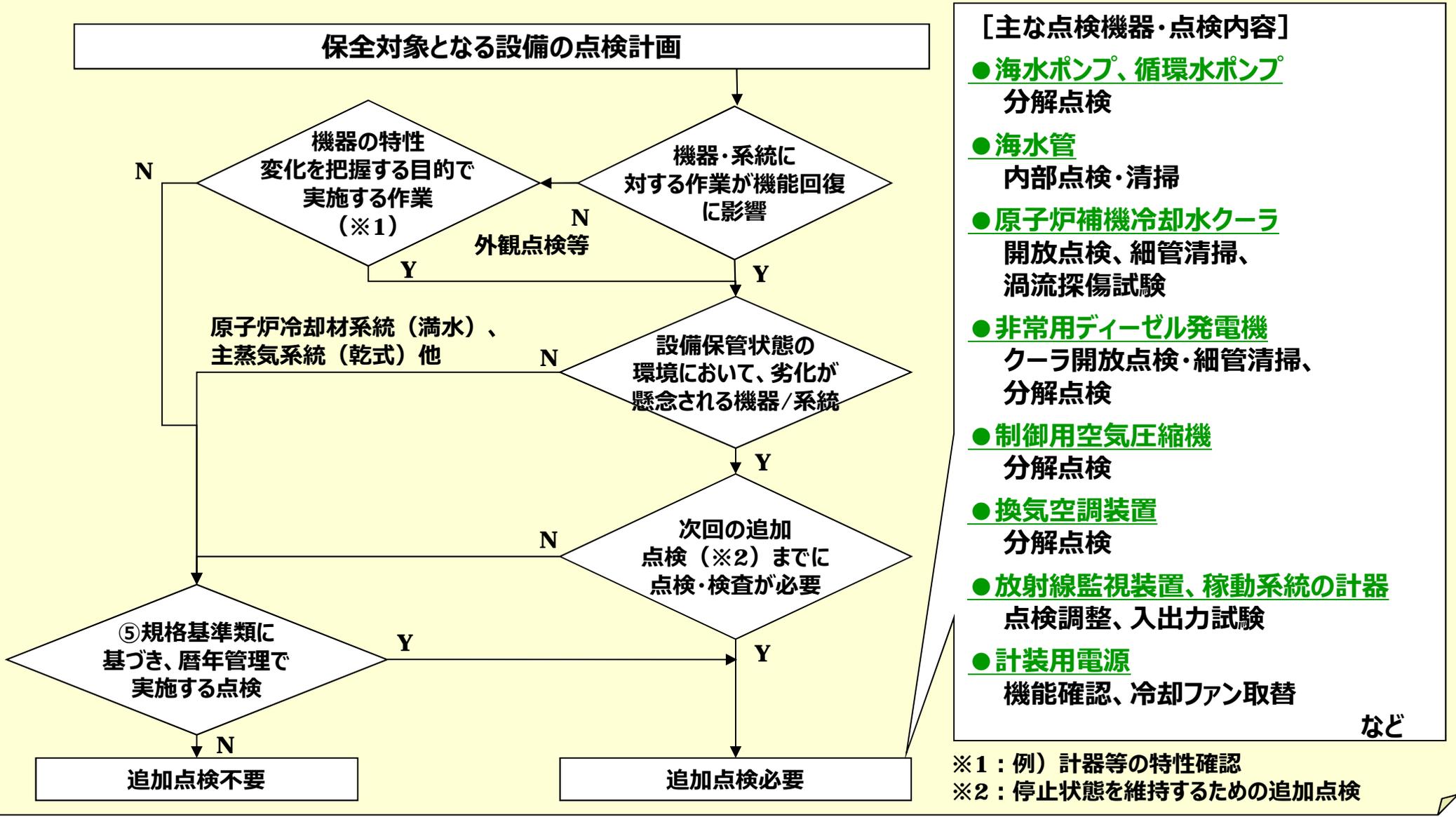
脱酸素剤であるヒドラジンを添加して水張りする方式。必要に応じて添加したヒドラジン濃度を確認する。気相部が存在する場合は、窒素ガスを封入。[蒸気発生器2次側など]

1次冷却材系統においては、原子炉容器ノズルセンターまでの水張り状態にて水質管理を定期的に行い、必要により脱塩塔に通水することで耐腐食環境を維持。蒸気発生器2次側においても水質が管理値内にあることを定期的に確認。

大飯3,4号機 長期停止期間中における設備の健全性維持について

②必要な追加保全

以下のフローに基づき、機器の保管状態や停止期間に応じ、分解点検等の追加点検が必要な機器、項目を抽出。



- [主な点検機器・点検内容]**
- 海水ポンプ、循環水ポンプ
分解点検
 - 海水管
内部点検・清掃
 - 原子炉補機冷却水クーラ
開放点検、細管清掃、渦流探傷試験
 - 非常用ディーゼル発電機
クーラ開放点検・細管清掃、分解点検
 - 制御用空気圧縮機
分解点検
 - 換気空調装置
分解点検
 - 放射線監視装置、稼動システムの計器
点検調整、入出力試験
 - 計装用電源
機能確認、冷却ファン取替
- など

※1：例) 計器等の特性確認
 ※2：停止状態を維持するための追加点検

大飯3,4号機 長期停止期間中における設備の健全性維持について

③必要な健全性確認

②において、点検計画に基づき検討した追加点検（分解点検等）に加えて、機器の保管状態や停止期間を考慮し、必要な健全性確認を実施。

○定期試験

非常用ディーゼル発電機(保安規定要求)、充てんポンプ、高圧注入ポンプ、余熱除去ポンプ、格納容器スプレイポンプ など

○ターニング

主タービン

○絶縁抵抗測定

1次冷却材ポンプモータ、復水ブースタポンプモータ、電動主給水ポンプモータ など

○再稼動先行プラントの不具合反映

川内1号機 復水器細管漏えい事象を踏まえ、復水器細管の渦流探傷検査(ECT)を実施し、健全性を確認。

伊方3号機 1次冷却材ポンプシール部のリークオフ流量増加事象を踏まえ、シール部の点検を実施し、健全性を確認。

○実動作等による健全性確認

2次系の主要な設備(復水ポンプ、復水器真空ポンプ等)について、実動作等による健全性確認を実施。

【結論】

プラント長期停止状態においても、「①保管対策」「②必要な追加保全」「③必要な健全性確認」を適切に実施することで、プラントの設備・機器の健全性を確保しており、今後もこの取組みを継続。また、新たな技術的知見等が得られれば、適切に反映。

大飯3,4号機外部電源喪失時の電源確保（交流電源）

<設計基準事故対処設備>



外部電源
(5回線)

外部電源
喪失時

非常用
ディーゼル発電機
(2台/1ユニット)

使用できない
場合に備え

空冷式
非常用発電設備
(2台/1ユニット)

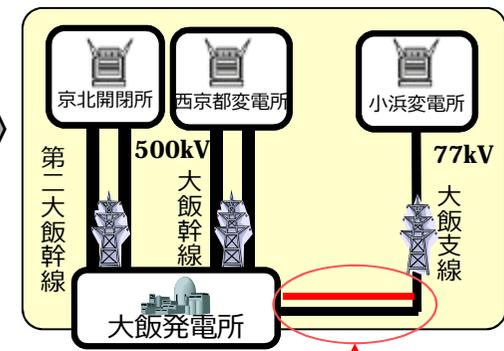
更なるバック
アップ

号機間電力融通ケーブル
(3号機～4号機)
(1組+予備1組)

更なるバック
アップ

電源車
(2台/1ユニット+予備1台)

➡ (A)



<外部電源ラインの追加>

3,4号機に電源供給できるよう、77kV
供給ラインを追設(これまでは1,2号機
のみ電源を供給) H26.3完了

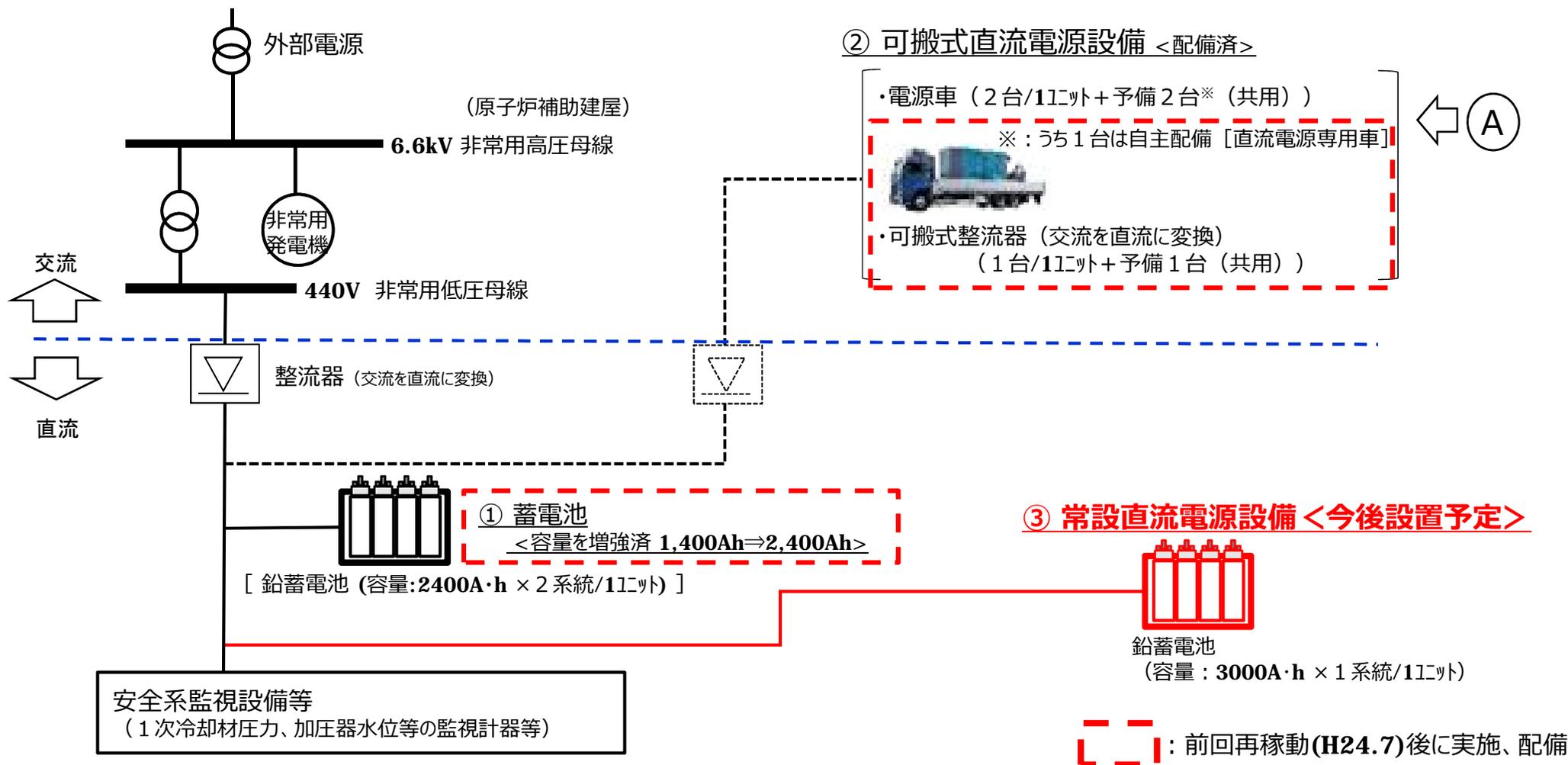
<重大事故等対処設備>



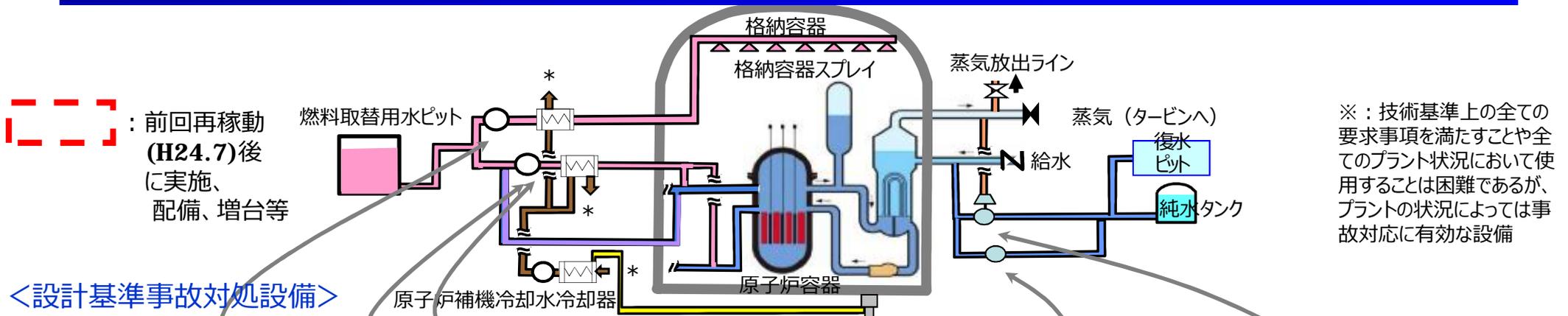
[- - -]: 前回再稼動(H24.7)後に実施、配備

大飯3,4号機外部電源喪失時の電源確保（直流電源）

- ・大飯3,4号機再稼動以降、新規制基準対応として、①蓄電池の容量増強(1系統目)や②可搬式の直流電源設備(2系統目)を配備。
- ・さらに、重大事故等の対応に必要な設備に電気の供給を行うための、特に高い信頼性を有する ③常設直流電源設備(3系統目)を設置予定。
- ・本体施設の工事計画認可（H29.8.25）から5年が設置期限であり、H34.8.24までに設置。



大飯3,4号機重大事故等発生時の原子炉容器等への注水設備



：前回再稼動 (H24.7) 後に実施、配備、増台等

<設計基準事故対処設備>

<p>格納容器スプレイポンプ</p> <p>1200m³/h 【2台/1ユニット】</p>	<p>高圧注入ポンプ</p> <p>320m³/h 【2台/1ユニット】</p>	<p>余熱除去ポンプ</p> <p>1020m³/h 【2台/1ユニット】</p>	<p>海水ポンプ</p> <p>5300m³/h【3台/1ユニット】</p>	<p>電動補助給水ポンプ</p> <p>140m³/h【2台/1ユニット】</p>	<p>タービン動補助給水ポンプ</p> <p>250m³/h【1台/1ユニット】</p>
--	---	--	---	--	---

<重大事故等対処設備>

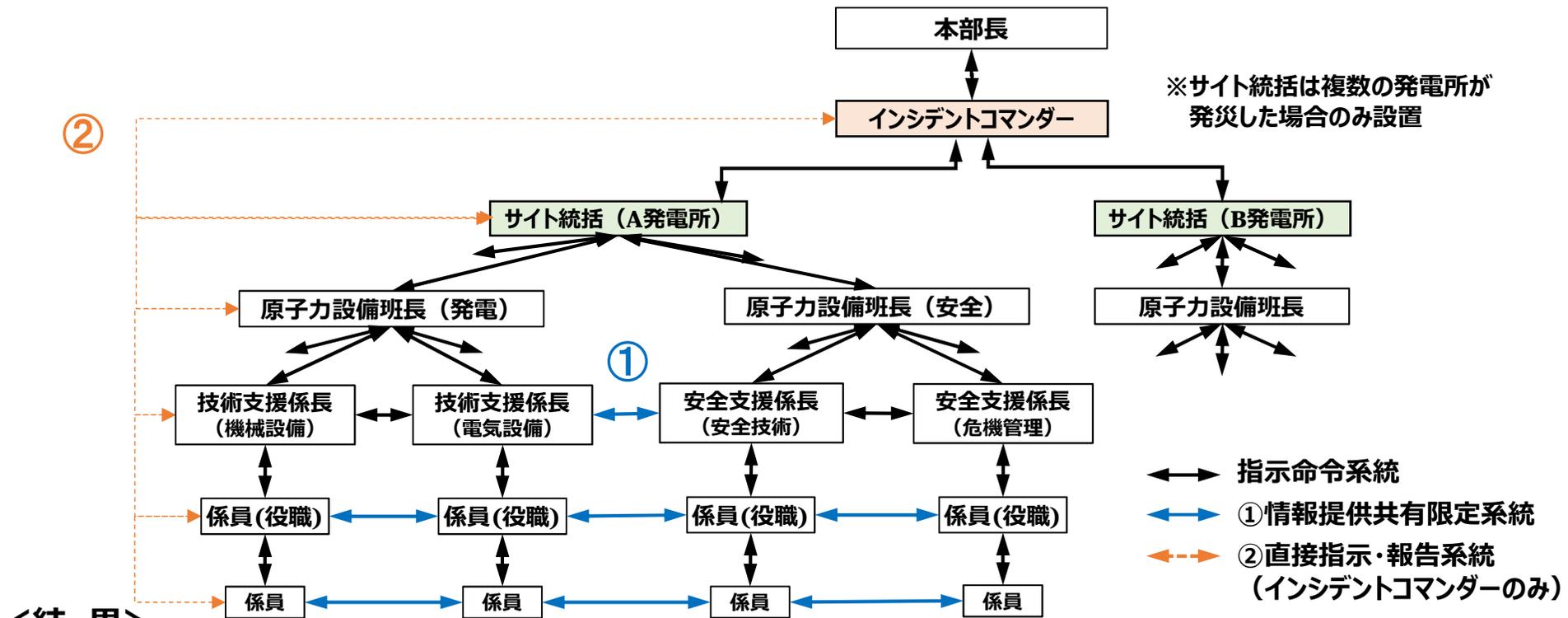
<p>恒設代替低圧注水ポンプ</p> <p>150m³/h 【1台/1ユニット】</p> <p>更なるバックアップ</p>	<p>大容量ポンプ</p> <p>1800m³/h 【3台/2ユニット】</p> <p>前回再稼動後に2台追加</p>	<p>中圧ポンプ</p> <p>50m³/h 【1台/1ユニット】</p> <p>更なるバックアップ</p>
<p>可搬式代替低圧注水ポンプ (+送水車)</p> <p>150m³/h 【4台/2ユニット + 予備1台】</p>	<p>海水ポンプ予備機</p> <p>【2台/2ユニット】</p>	<p>送水車</p> <p>300m³/h 【2台/2ユニット + 予備1台】</p>

<多様性拡張設備※>

事故収束活動の体制 <本店対策本部>

本店対策本部で試行しているICS（Incident Command System）※¹の考えを取り入れた「指揮命令系統の明確化を図った本部体制の改善」について、H28.8月の発電所防災訓練結果を踏まえ改善を図り、H29.2月および9月の発電所防災訓練において、その有効性を確認しました。今後も、より機能的な改善の検討を進め、さらなる緊急時対応機能の向上に努めてまいります。

- ※ 1：1970年代に米国カリフォルニア州で頻発した森林火災への危機対応において問題となった、1人の管理者への報告の集中、通信手段の互換性の欠如、各機関間で使用される用語の相違等の問題に対応するため、**指揮命令系統の明確化、監督限界の設定、専門用語の共通化等の危機対応活動を定めた緊急時のマネジメントシステム**です。
- ※ 2：インシデントコマンダーは、本部長への報告・意見具申および指揮命令を一元的に発信する役割を担います。



<結果>

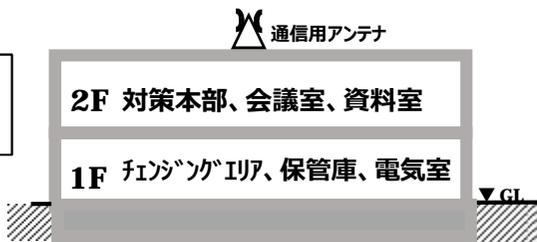
- ① 係間の横のコミュニケーションを許容する連携手法に改善し、より円滑な連携を確認した (H29.2美浜防災訓練)
- ② 複数発電所発災を想定し、発電所毎に「サイト統括」を設置する運用方法を設け、更に対策本部の部屋、体制を分けることにより、情報の輻輳なく、的確に発電所支援活動が実施できることを確認した (H29.9高浜・大飯防災訓練)

大飯発電所緊急時対策所、免震事務棟設置状況

○緊急時対策所設置工事

プラントに緊急事態が発生した場合に、事故の制圧・拡大防止を図るための対策本部となる緊急時対策所を設置。

【緊急時対策所外観イメージ】



【設置工程（高浜発電所もほぼ同様）】

	H26年度	H27年度	H28年度	H29年度	H30年度
工程		設計・調査	設計・調査 ▼開始 (H28.3) 敷地造成等	▼開始 (H28.12) 建物工事	▼現在 機電工事等※

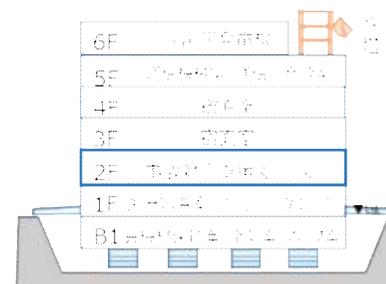
・美浜発電所緊急時対策所は、干渉物撤去中。

※：機械設備、電気設備等の配置

○免震事務棟設置工事

事故対応が膨大かつ長期化した場合の支援を目的に、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、自主的な位置付けで免震事務棟を設置。

【免震事務棟イメージ】



【設置工程（高浜発電所もほぼ同様）】

	H26年度	H27年度	H28年度	H29年度	H30年度
工程		設計・調査等		▼工事再開 (H29.3) 建物工事	▼現在 機電工事等※

・美浜発電所免震事務棟は、仕様等について設計検討中。

※：機械設備、電気設備等の配置