

日本原子力学会 2018年度秋の大会 安全部会セッション
「福島第一原子力発電所事故の解明の進展から学ぶ」
6 September, 2018

シビアアクシデント対策とその実効性確保への教訓

(一財) 電力中央研究所
原子力リスク研究センター
山中 康慎

yasunori@criepi.denken.or.jp

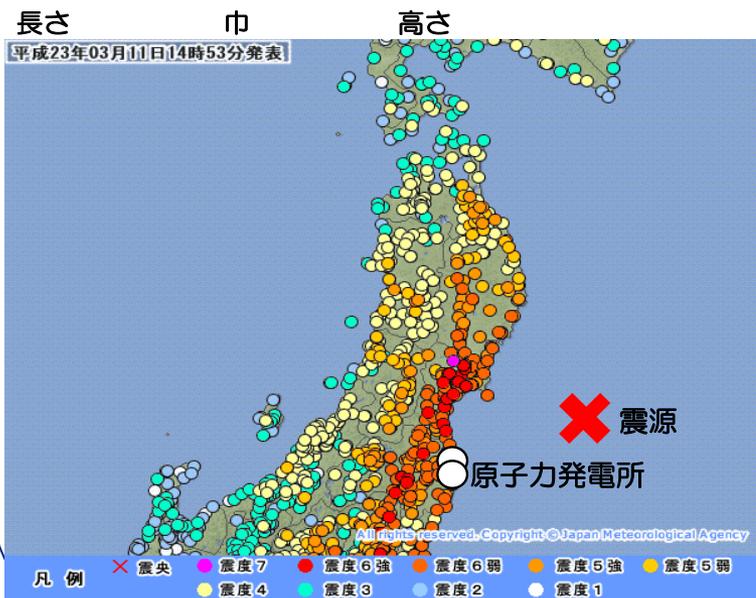
目次

- 福島第一原子力発電所事故の概要
- 福島第一原子力発電所事故から得られた教訓
- 事業者による対策（東京電力HDの例）
 - 設備・手順書
 - 体制・運用
- 発電所のさらなる安全性向上に向けて

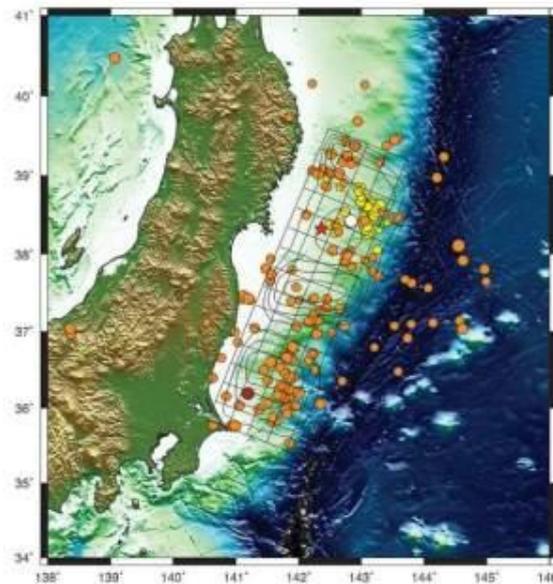
東北太平洋沖地震と津波

発震日時；2011年3月11日（金）午後2時46分頃
 発生場所；三陸沖（北緯38度、東経142.9度）、震源深さ24km、マグニチュード9.0
 各地の震度；震度7：宮城県栗原市
 震度6強：福島県楡葉町、富岡町、大熊町、双葉町
 震度6弱：宮城県石巻市、女川町、茨城県東海村

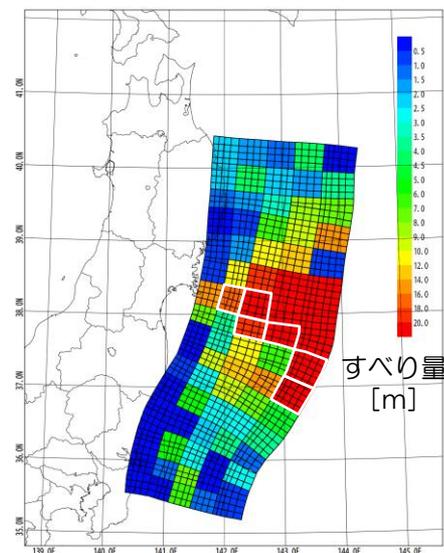
500km（三陸沖、宮城沖、福島沖、茨城沖）×200km×10m=1000km³



今回の地震の震度分布



今回の地震の震源域
 (東京大学地震研究所による)



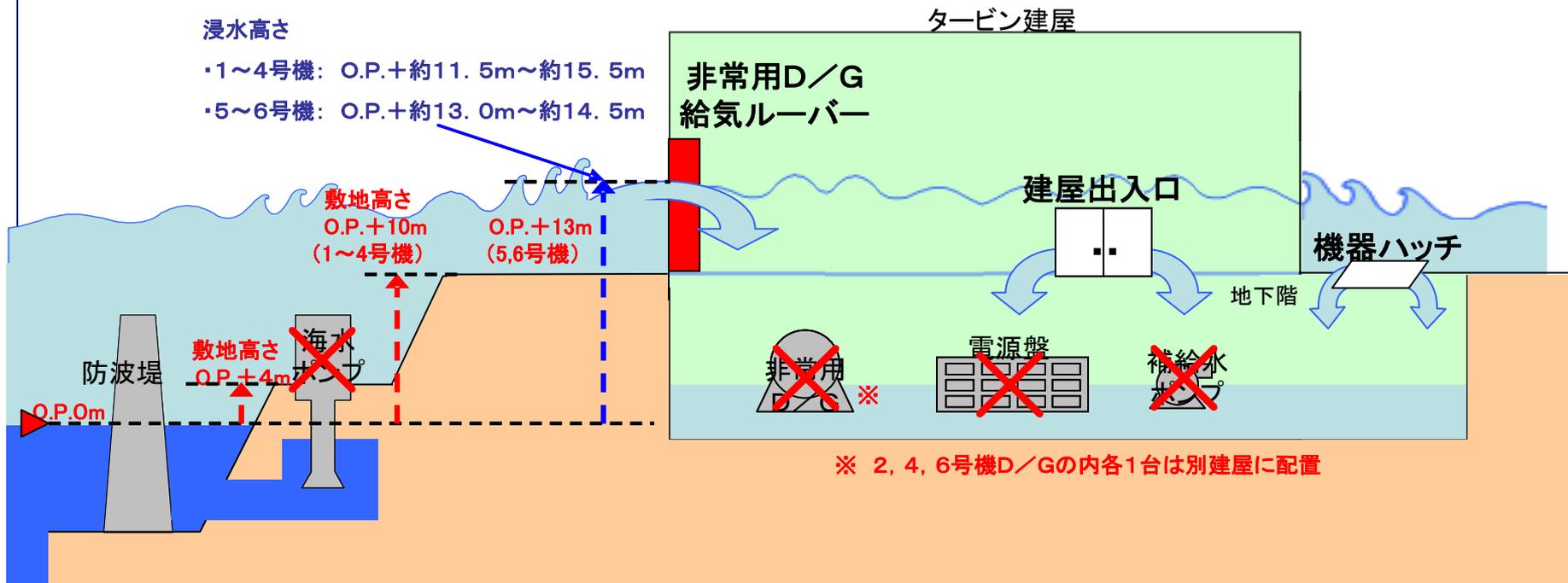
今回の津波の波源
 (東京電力作成)

1 F主要建屋への浸水経路

①建屋出入口、②機器ハッチ、③非常用ディーゼル発電機給気ルーバー、④トレンチ、ダクト（ケーブル等貫通部）等を通じて非常用ディーゼル発電機、電気品室等へ浸水。
屋外にある循環水ポンプ、非常用海水ポンプは水没。

浸水高さ

- ・1～4号機： O.P.+約11.5m～約15.5m
- ・5～6号機： O.P.+約13.0m～約14.5m



※ 2, 4, 6号機D/Gの内各1台は別建屋に配置

D/G：ディーゼル発電機
O.P.：小名浜港工事基準面
(東京湾平均海面の下方0.727m)

事故進展概要

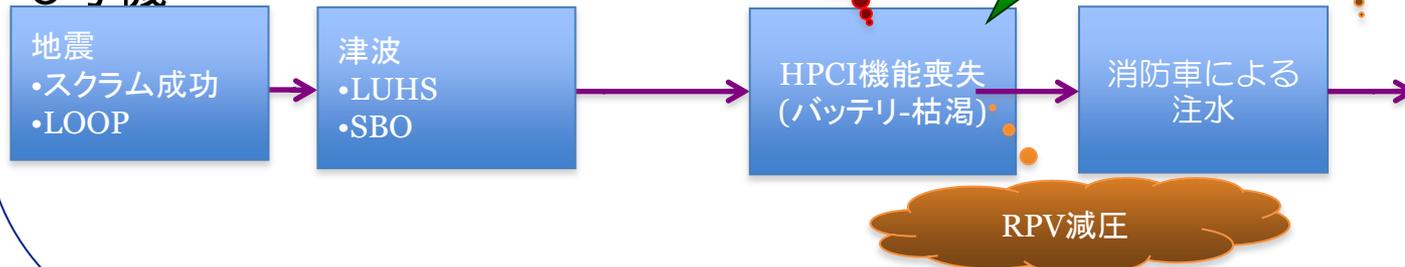
1号機



2号機



3号機



TIMELINE

福島第一原子力発電所事故の教訓

【設備面】

- 発生防止
 - 津波に対する想定・備え
- 冷やす
 - 電源 (AC/DC) 喪失による既設設備の冷却機能 (注水・減圧)
 - 可搬設備
- 閉じ込める
 - 水素対策
 - 格納機能維持対策

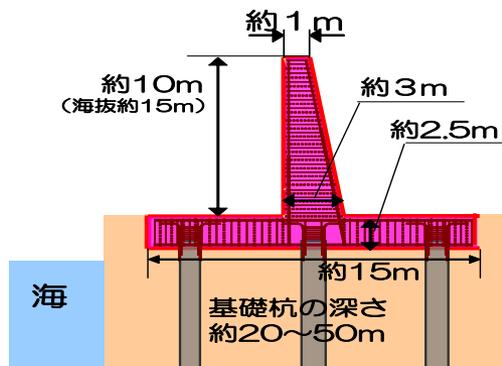
【人・組織面】

- シビアアクシデント (SA)に関する知識不足
 - 手順書類の整備・拡張
- 事故対応の混乱
 - 意思決定、情報伝達・共有、復旧作業への対応
- 後方支援・外部支援

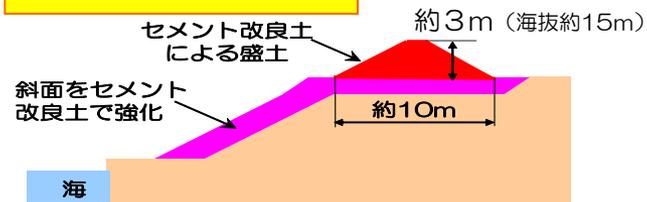
津波対策

柏崎刈羽原子力発電所の想定津波高さ：海抜 6.8m

1～4号機側 防潮堤



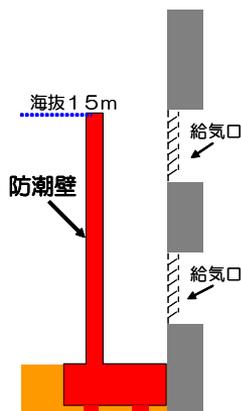
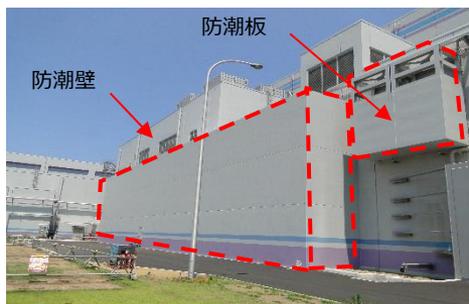
5～7号機側 防潮堤



敷地高さ
1～4号機側：海抜 5m
5～7号機側：海抜 12m

建屋への浸水防止対策

防潮壁・防潮板



重要な設備のある部屋への浸水防止対策

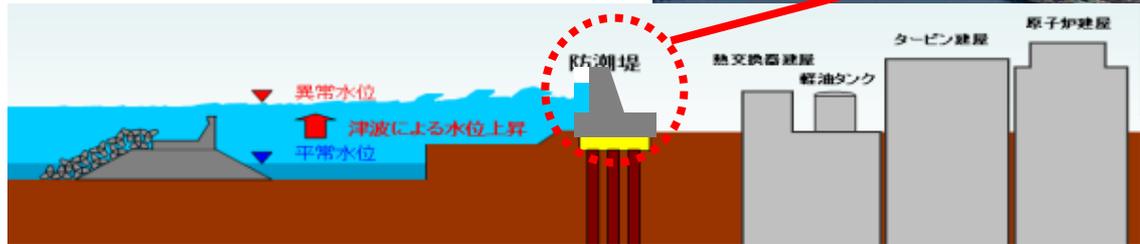
水密扉



配管貫通部の止水処理

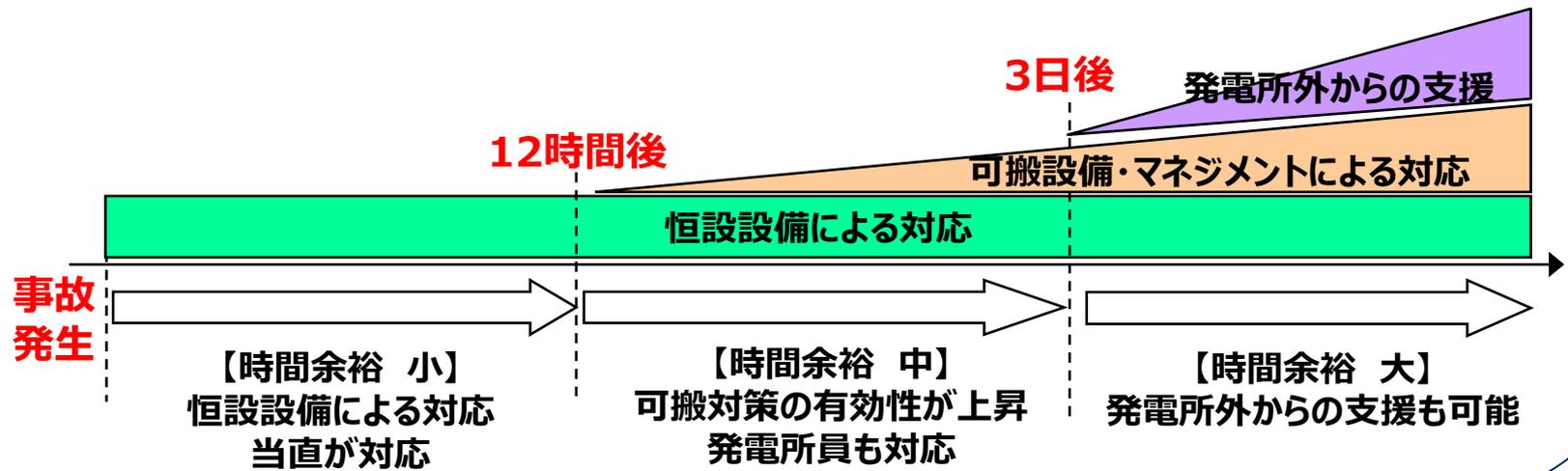


津波対策（防潮堤）



緊急時対応の基本的考え方

層	目的 (重要機能)	設計ベース	機能強化の方向	設計ベースを超える状態 (DEC)
第1層	異常発生防止	津波の例：設計津波に対し全交流電源喪失の発生を防止し、後段各層の安全機能の喪失を防ぐ		津波の例：対津波用の設備の異常を考慮し、ある程度の建屋内浸水があっても、重要区画内の設備の機能喪失を防ぐ、重要区画からの排水を行う
第2層	事故への拡大防止	従来の設計ベース		従来のアクシデントマネジメントで整備済み
第3層	炉心損傷防止	冷却： } 全交流電源喪失+動的機器の単一故障 減圧： }		冷却： } 長期全交流電源喪失に対し、多様又は多重の設備で対応 減圧： }
第4層	炉心損傷後の影響緩和、放出抑制	格納容器と格納容器を防護する設備の機能とを併せて、長期にわたる土地汚染及び制御できない放射性物質放出を防ぐ		

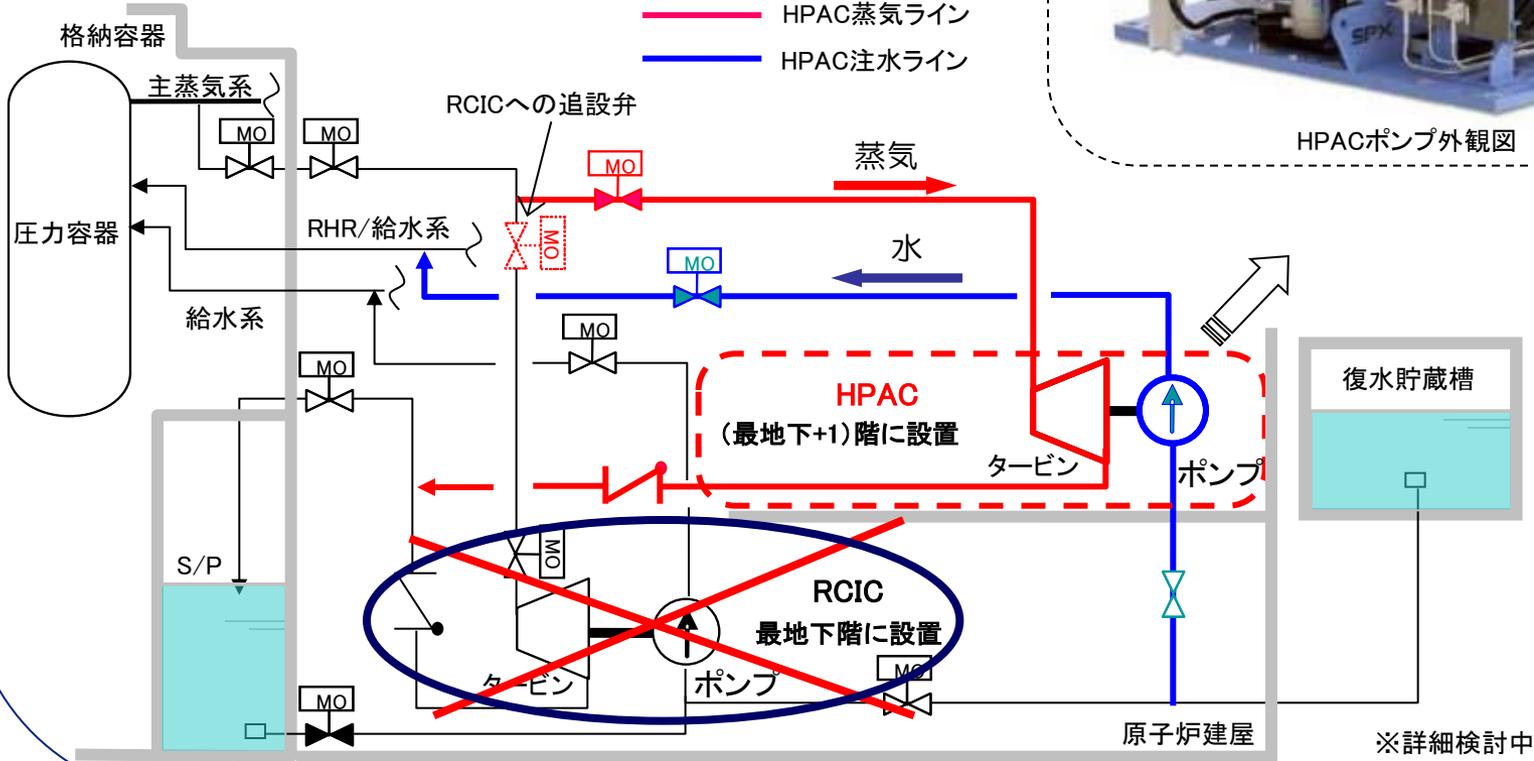


冷やす : HPACの新設

原子炉隔離時冷却系 (RCIC) のバックアップとして、早期に起動可能な**高圧代替注水系ポンプ (HPAC)** を新設。

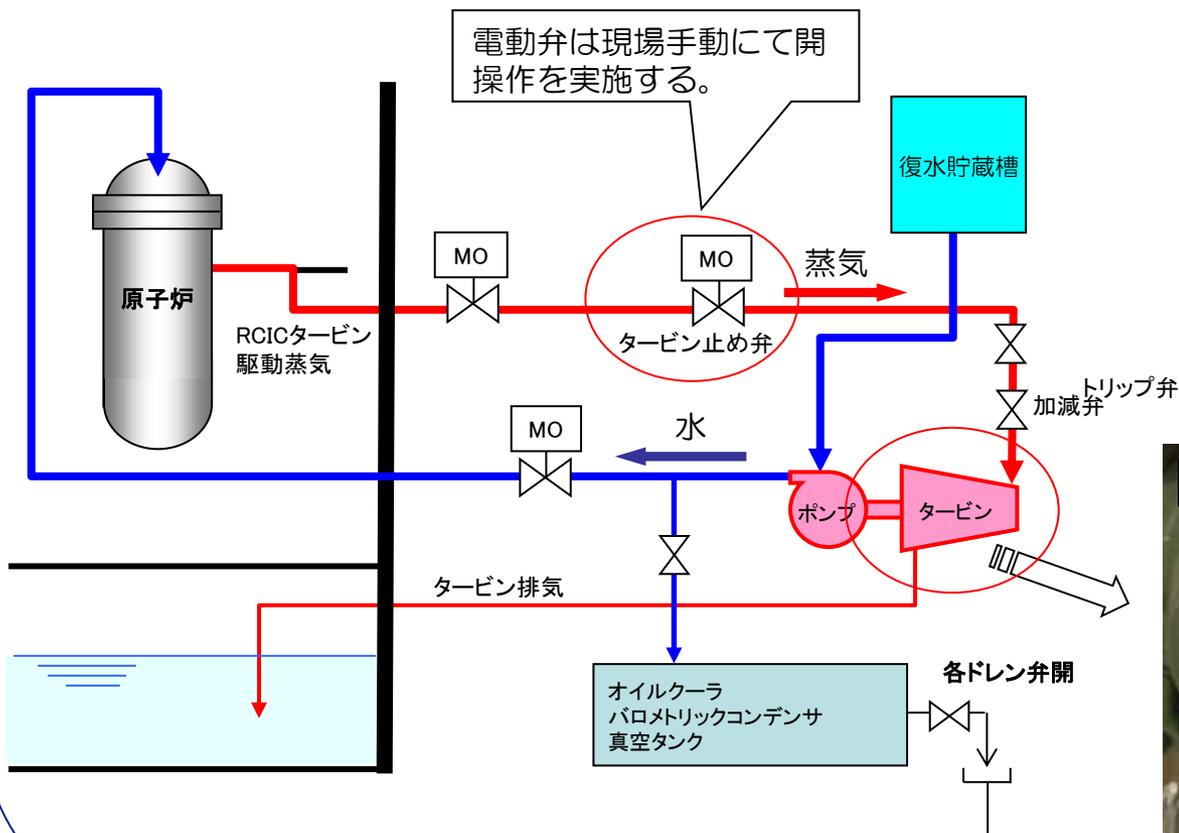


HPACポンプ外観図

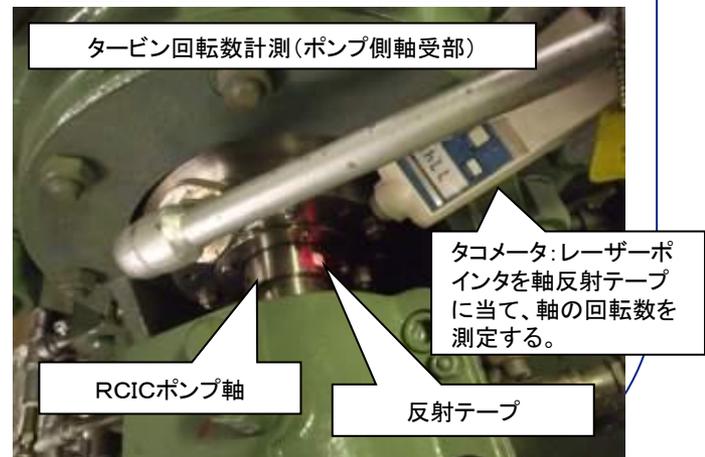


冷やす：RCIC手動起動手順の整備

起動・制御用の直流電源喪失を想定し、その場合でもRCICを起動・機能維持できるように、現場の弁を**手動操作する手順を整備するとともに、訓練で実効性を確認。**



<訓練風景>



冷やす : SRV操作手段の多様化

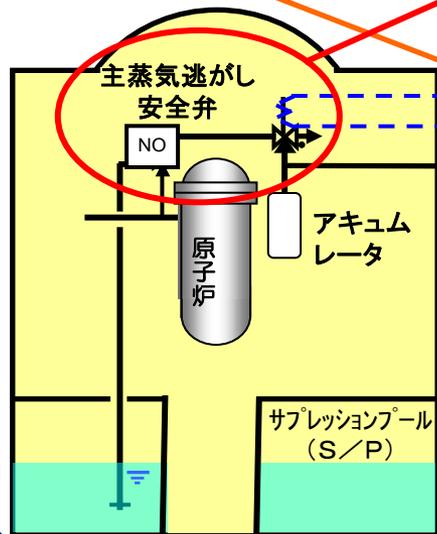
原子炉を確実に減圧できるよう、SRV駆動用予備窒素ボンベや空気圧縮機、駆動用電磁弁の予備蓄電池の配備、配管・弁の追加を行い操作手段を多様化。

逃がし安全弁用可搬型蓄電池1台/1プラント配備

操作スイッチ



安全系多重伝送現場盤
接続箇所



原子炉格納容器

蓄電池

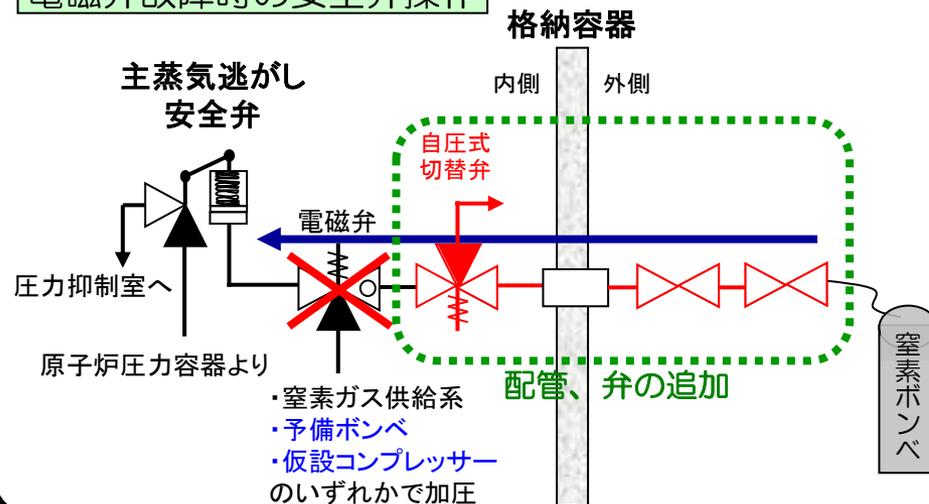


接続コネクタケーブル



常設の窒素ボンベ
A系、B系ともに10本設置
(5本使用中：5本充填待機)

電磁弁故障時の安全弁操作



予備窒素ボンベ
5本/1プラント配備



空気圧縮機(仮設)配備

冷やす：可搬設備の充実化

ガスタービン発電機車



高台からの電力供給

3セット配備済

電源車



高台からの電力供給／号機への直接供給

23台配備済

地下軽油タンク



5万リットルタンク3基（2日分）を貯蔵。

設置済

消防車



原子炉への注水用。

42台配備済

代替海水熱交換器車



原子炉等の冷却水を海水で冷やす代替設備。

7台配備済

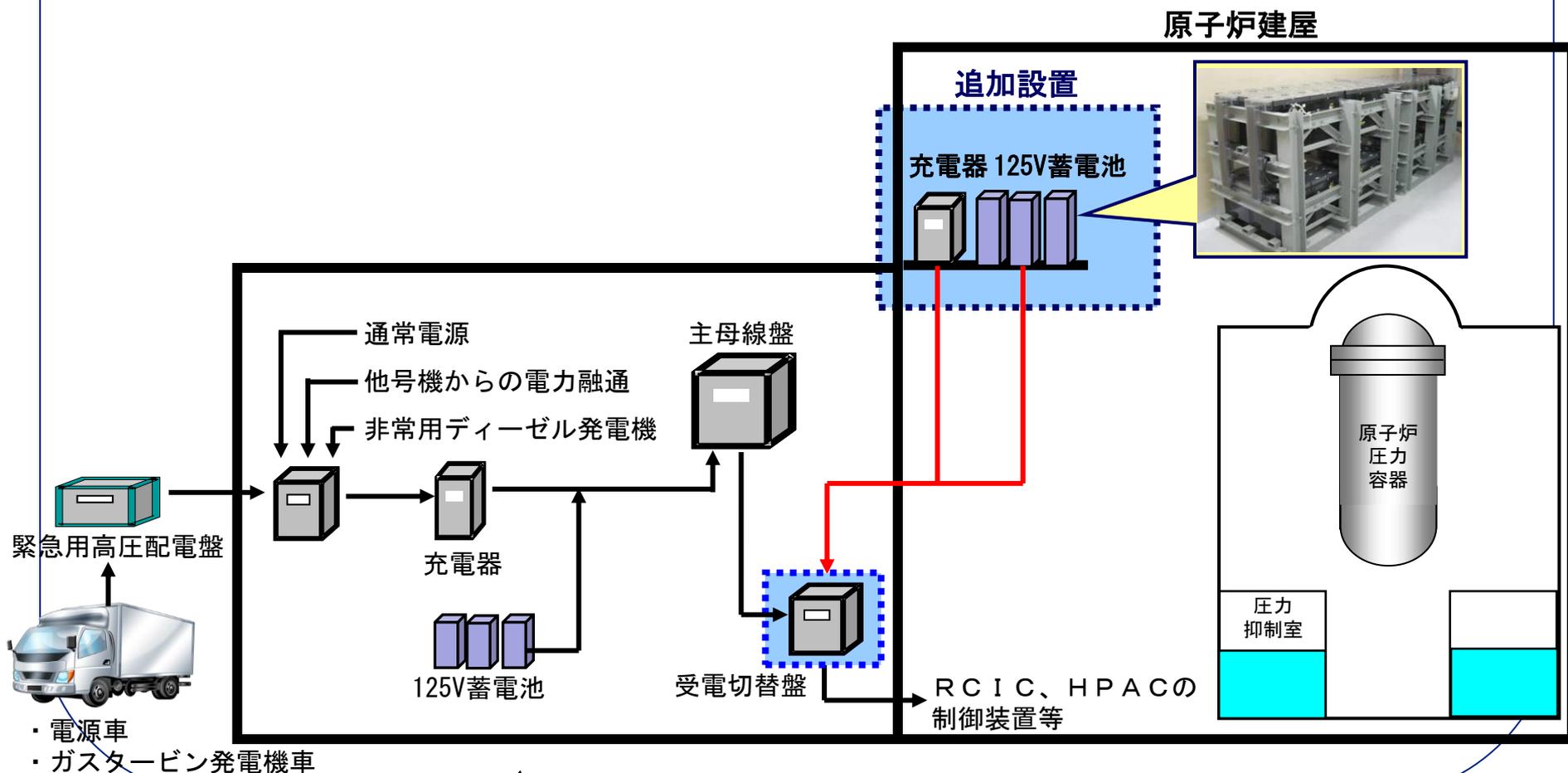
貯水池



約1.8万トンの貯水池。

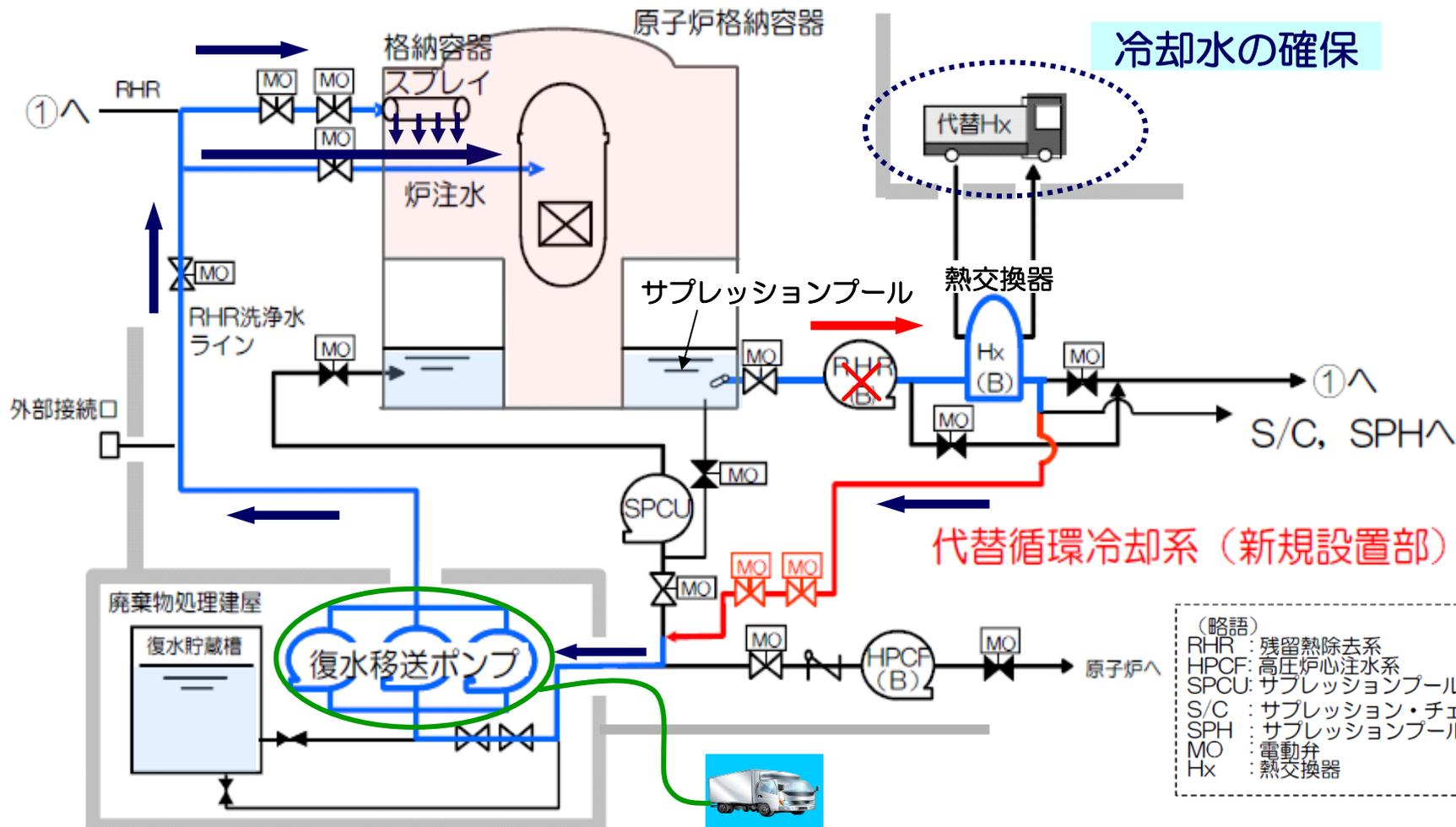
冷やす : DCの強化

RCICやHPAC用の計装、制御用のDCを強化するため、蓄電池や充電器を高所に追設。



冷やす／閉じ込める：代替循環冷却系の新設

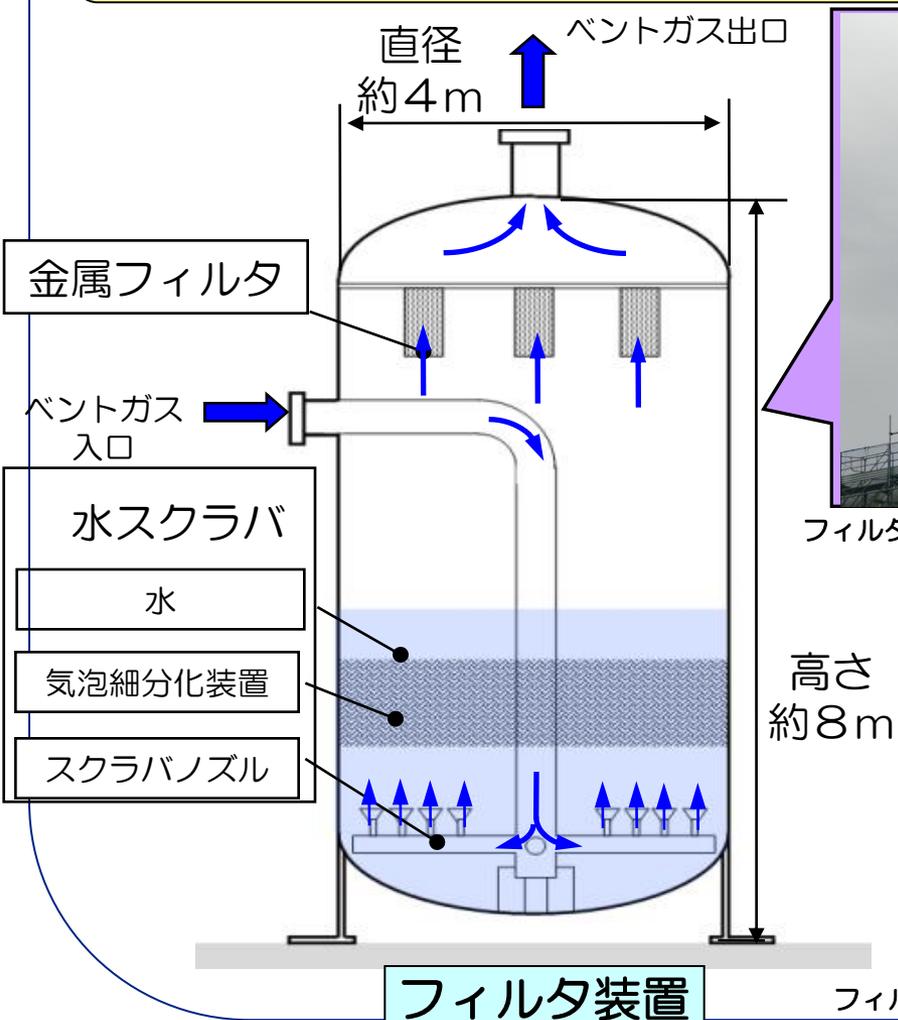
S/P水を復水移送ポンプを使い循環させ、除熱する配管（代替循環冷却系）を新設。PCV圧力上昇を抑制し、PCVベントを回避。



- (略語)
- RHR: 残留熱除去系
 - HPCF: 高圧炉心注水系
 - SPCU: サブレーションプール水浄化系
 - S/C: サブレーション・チェンバ
 - SPH: サブレーションプール水排水系
 - MO: 電動弁
 - Hx: 熱交換器

閉じ込める：FV装置の新設

格納機能を極力維持するため、**フィルタバント**を新設。
 (除去効率：粒子状放射性物質99.9%以上、気体状放射性よう素98%以上)



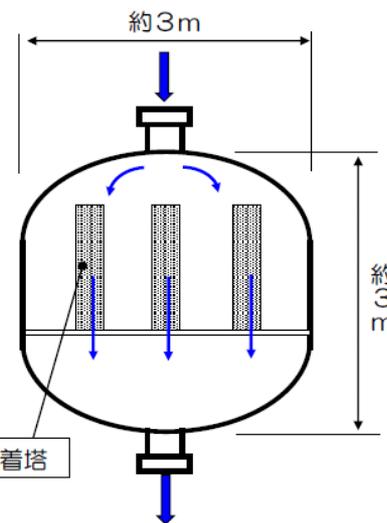
フィルタ装置吊り込み(2013.10.22)



フィルタ装置吊り込み(2015.10.21)

吸着塔

- 吸着塔には、銀ゼオライトを充填
- 気体状のよう素を含んだガスが吸着塔を通過する過程で、銀ゼオライトに気体状よう素が吸着・捕捉される



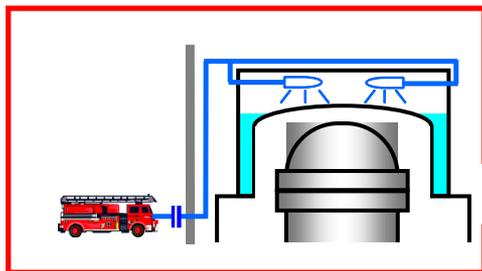
※ よう素フィルタは、容量50%のものを並列に2基設置

よう素フィルタ

閉じ込める：水素対策の強化

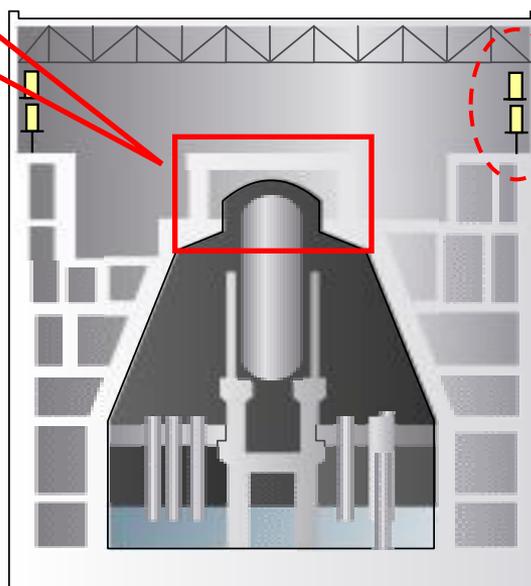
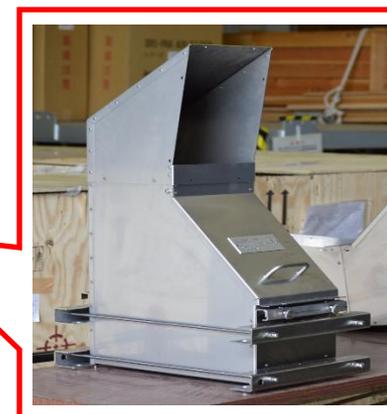
① 格納容器頂部水張り設備の設置

PCV漏えい個所として想定されるPCVフランジ部を熱的に保護し、格納機能維持を図る。



② 原子炉建屋水素処理設備

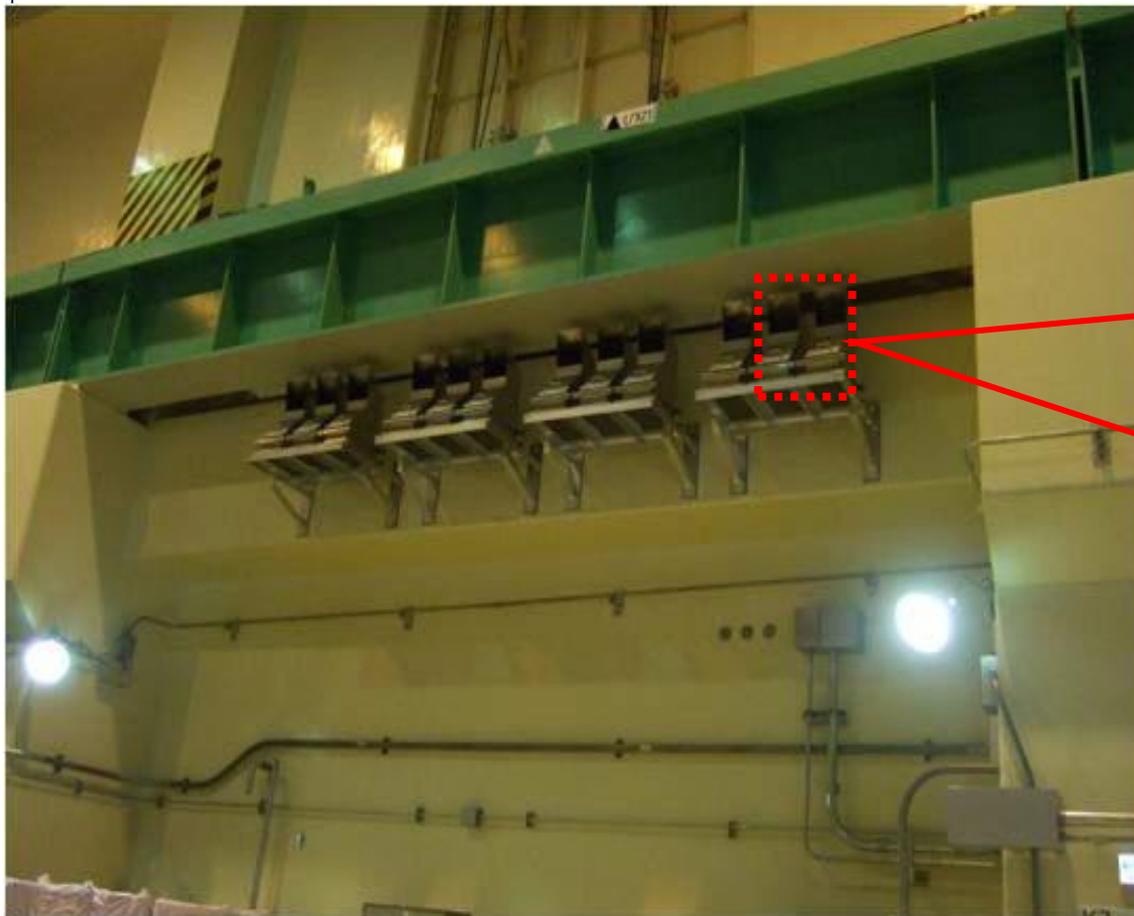
原子炉建屋内に漏えいした水素を処理し、水素爆発防止を図る。



閉じ込める：PARの設置状況（7号機）

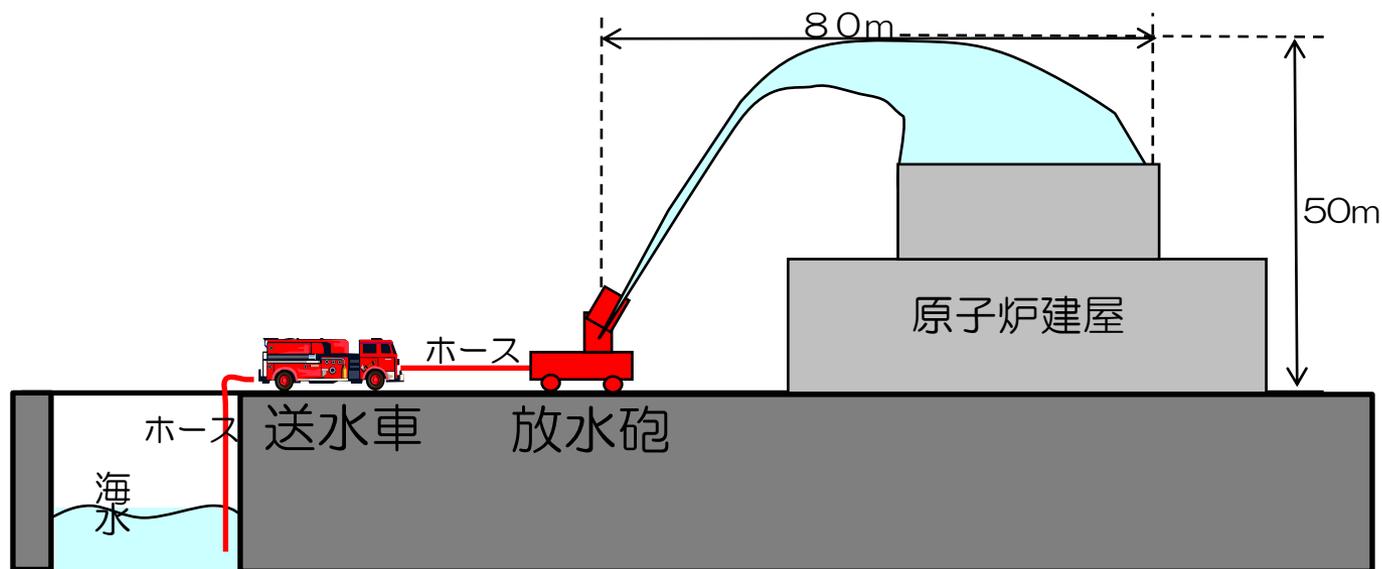
原子炉建屋水素処理設備

7号機原子炉建屋4階の壁面に設置された水素処理設備



閉じ込める：大容量放水設備の配備

原子炉建屋からのFP放出を抑制するため、**大容量放水設備**を配備。
この設備は、航空機衝突による航空機燃料火災時には、泡を放射による消火にも対応可。



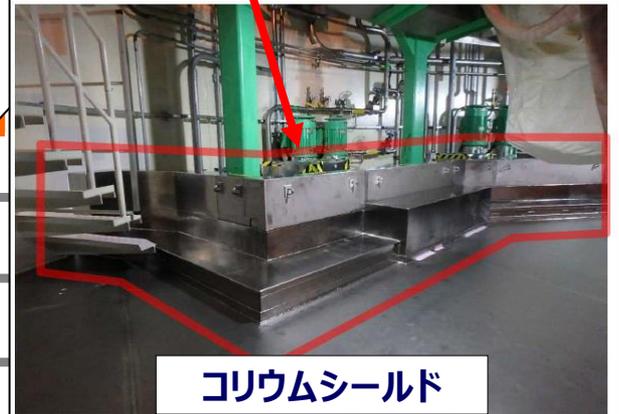
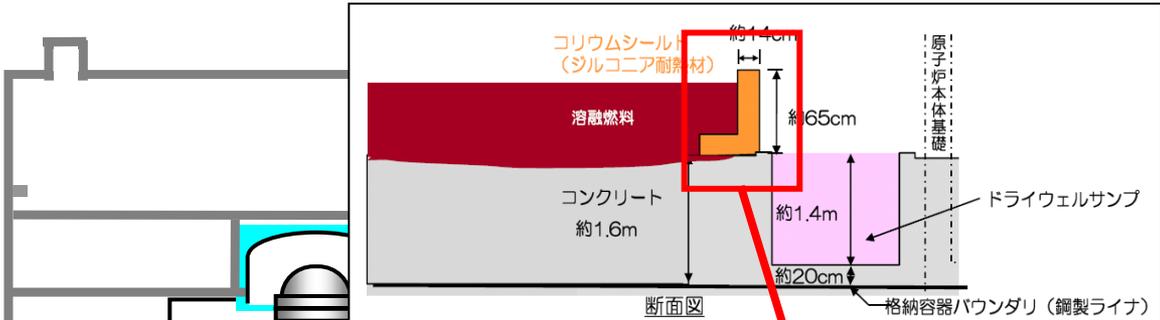
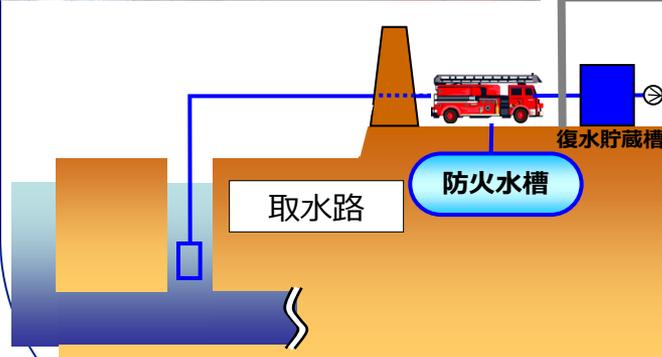
送水車



放水砲

閉じ込める：コリウムシールドの設置

溶融燃料の、D/Wサンプへの落下及びそれによる格納容器底部破損の可能性を低減させるため、**格納容器下部への注水冷却**に加え、サンプに溶融燃料が流れ込むことを防ぐため**高耐熱性の材料で堰（コリウムシールド）**を設置。



SAへの備え：手順・訓練の強化

整備した主な手順

- 電源喪失時の電源車等による電源供給や原子炉、使用済燃料プールに代替注水するための手引き
- 電源喪失時の原子炉の減圧や注水を行うための手引き
- 電源車、空冷式GTGによる電源供給などの現場作業の手引き
- 手順書、ガイド等については、継続的に更なる見直しを実施

訓練実績

- 総合訓練（ブラインドのケースもあり）
- 個別訓練：
電源車操作訓練、空冷式GTG運転訓練
消防車注水訓練、緊急時Eリング訓練 等

資格の取得

- 大型免許
- 大型特殊免許
(がれき撤去車技能講習)
- 大型けん引免許

【参考】EOP/AMGの構成

【3.11以前】

【3.11以降】

【ERO】

AMG

AMG

EROG

EHP

【中操】

AOP

AOP

EOP

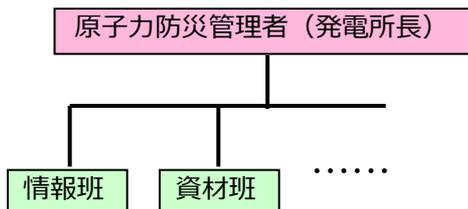
EOP

SOP

SOP

意思決定のあり方：ICSの導入

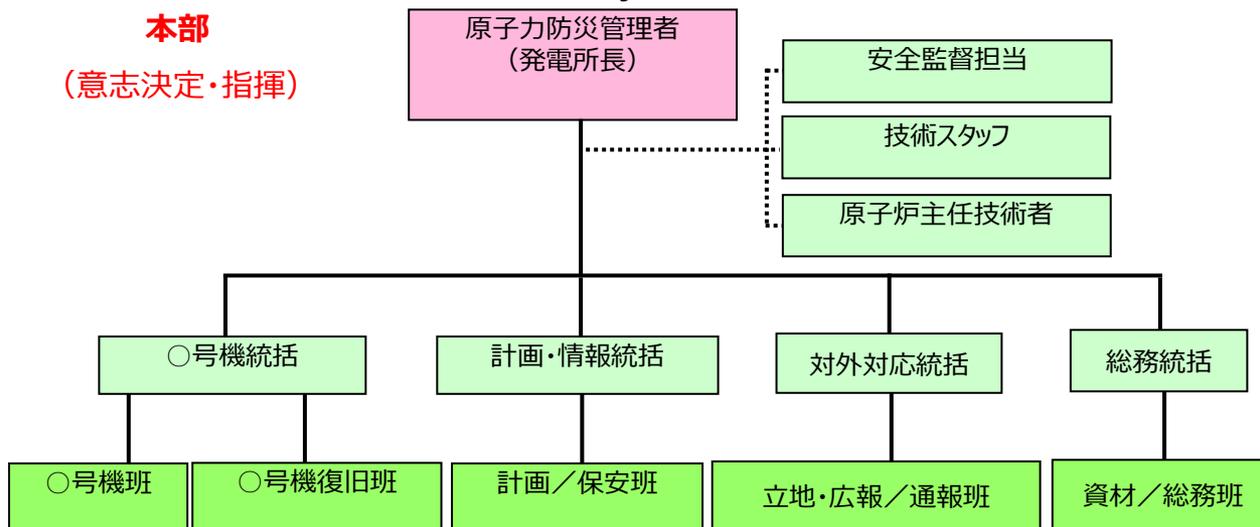
【従前】



原子力防災管理者（発電所長）の下に12の機能班を有する体制

【Incident Command System】

本部
(意志決定・指揮)



緊急時組織の改編

各機能毎に統括を置き、原子力防災管理者の監督人数を低減（3～7人）

情報伝達：機能強化の実施

プラント監視・通信手段の強化

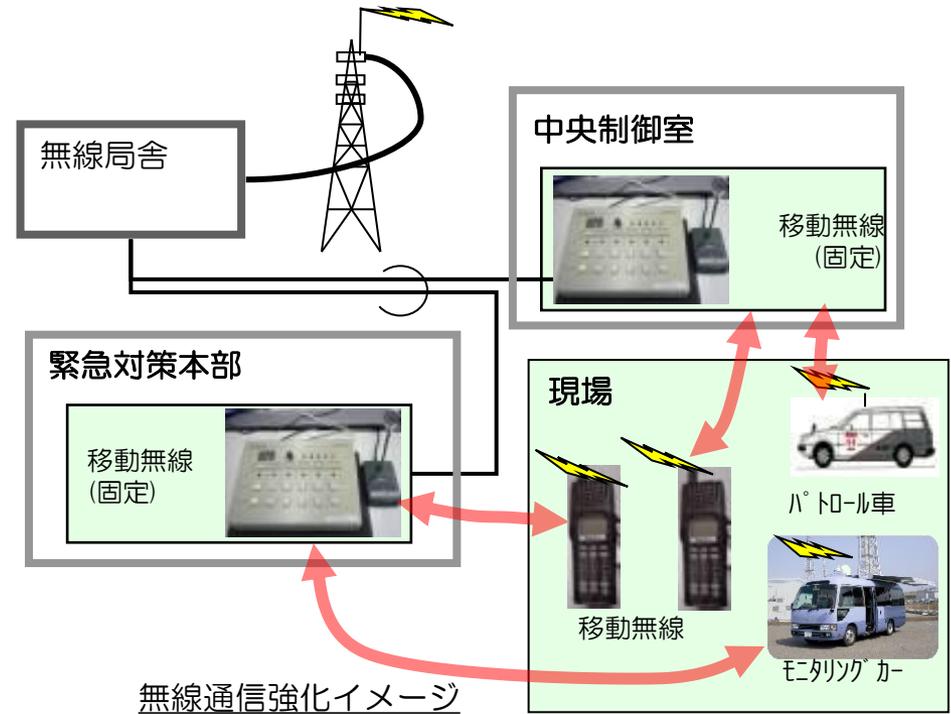
- 既設通信手段（ページング、PHS等）に加え、中央制御室の通信設備増強（無線設備増設、衛星携帯電話増設、トランシーバーの設置）

重要情報の共有化

- プラント情報収集のための宿直体制を2名増員
- プラントパラメータ伝送システムの機能喪失を想定し、重要な計器等の情報を確実に共有するための様式、手引きを作成

国との連携、自治体への通報手段の多様化

- 国、関係機関と結ぶTV会議システム（専用回線、衛星回線）と連携
- 自治体への通報手段を多様化するため、衛星回線を利用した一斉同報FAXの導入



復旧作業：要員の増強

発電所要員の増員

- ・一次現場対応（電源復旧・注水・ガレキ撤去等）を充実させるため、宿直体制増強（～40名）
- ・交替を考慮した緊急時対策要員数の設定（約850名）
- ・津波後の現場対応操作を踏まえ、運転員を55名増員（260名）（定員） 今後60名増員予定
- ・事故後の現場把握や設備の応急処置等に対応するため、更なる増員を計画中

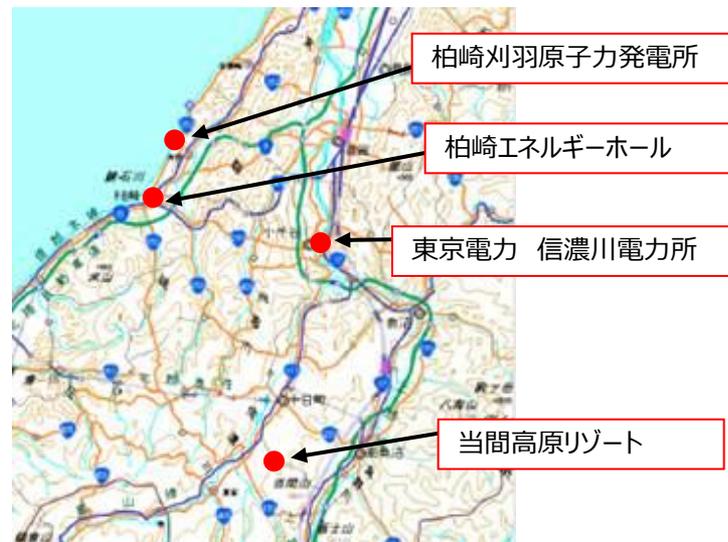
本店要員の増員

- ・交代を考慮した本店緊急時対策要員数の設定（約500名）
- ・発電所を迅速に支援するため、本店宿直要員を増強

復旧作業：後方支援、外部支援

後方支援拠点の設置

- 1 F事故時のJVが果たした役割（資機材・作業員の中継基地、スクリーニング）を担う地点をあらかじめ選定。資機材保存も。



外部支援のための協力

- 電力が共同で「原子力レスキュー隊」を組織（福井）
- 平常時はロボット、資機材の管理、訓練。緊急時は発電所に運搬、支援を実施。

【平常時】

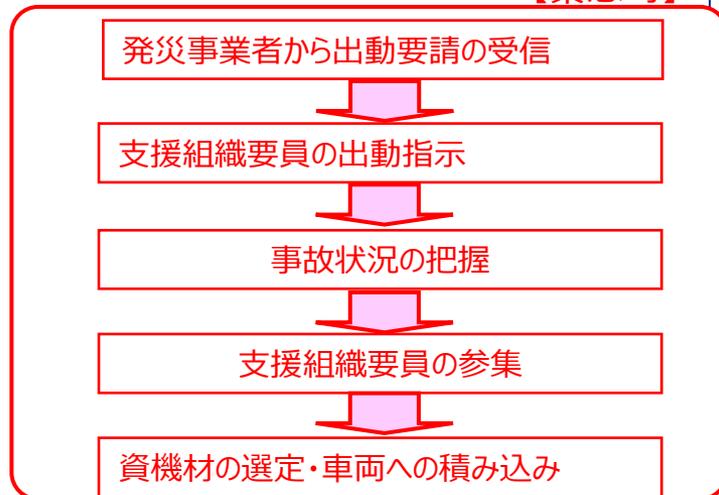


- 緊急時の連絡体制確保
- 要員の訓練、育成
- ロボット等資機材の維持管理、保守・改良
- 資機材等に関する情報管理
- 関係機関（大学・メーカー等との連携）



約20名のスタッフ
365日・24時間
オンコール待機

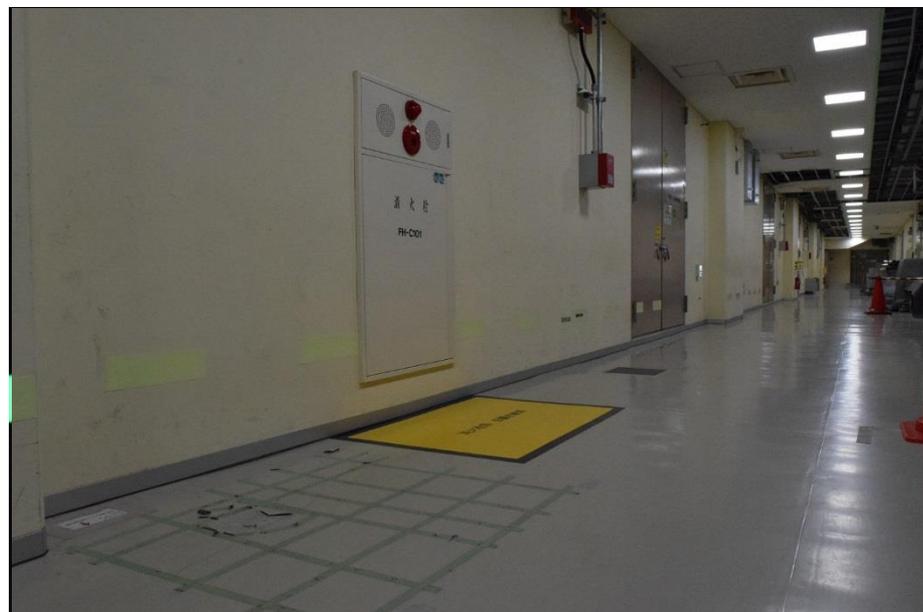
【緊急時】



さらなる改善への取組（１）

運転員の証言

- ・事故初期の対応は、DCを喪失したため、全くの暗闇の中で行うしかなかった。



さらなる改善への取組（２）

リスク要因抽出のための現場レビュー

- 緊急時の対応（主に可搬設備を用いた対応）を対象に、実動作をレビューし、現場対応上のリスク（成功パスを阻害するような手順や設備に係る要因）を抽出、改善に繋げる取組み

抽出されたリスク(例)

リスク	現状	対策※
非常用物品庫が施錠されており、物資が搬出できない	通常訓練では非常用物品庫（車両鍵、無線機等保管）が開いていることが前提	鍵を開ける役割分担を手順書に明記 鍵の分散配置化（執務室 & TSC）
鍵紛失、使用する車両を動かさない	福島事故の経験で、持ち出した車両鍵を紛失、対応の障害となった	持ち出した車両鍵は全で取付けた状態とし、外さないことを手順書に明記
RHR注入ライン上のバルブが動作不能で注水できない	電源喪失、制御系不具合、弁体固着等が想定される。A系、B系はD/W内の逆止弁あり。	遠隔操作不能に備え現場操作訓練を実施。（機器配置確認も含む）

- 約100件が抽出され、対応中。

さらなる改善への取組（3）

1 F事故の教訓

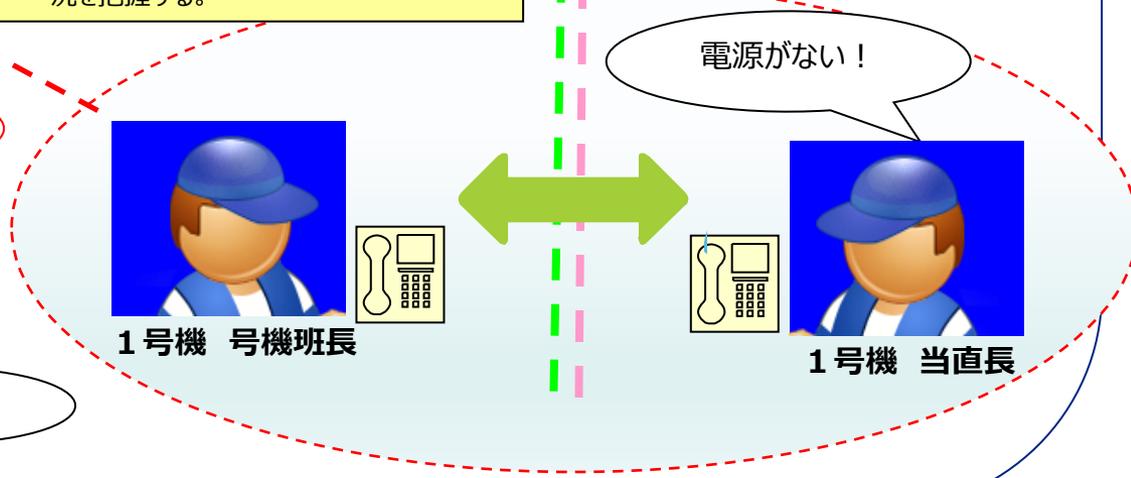
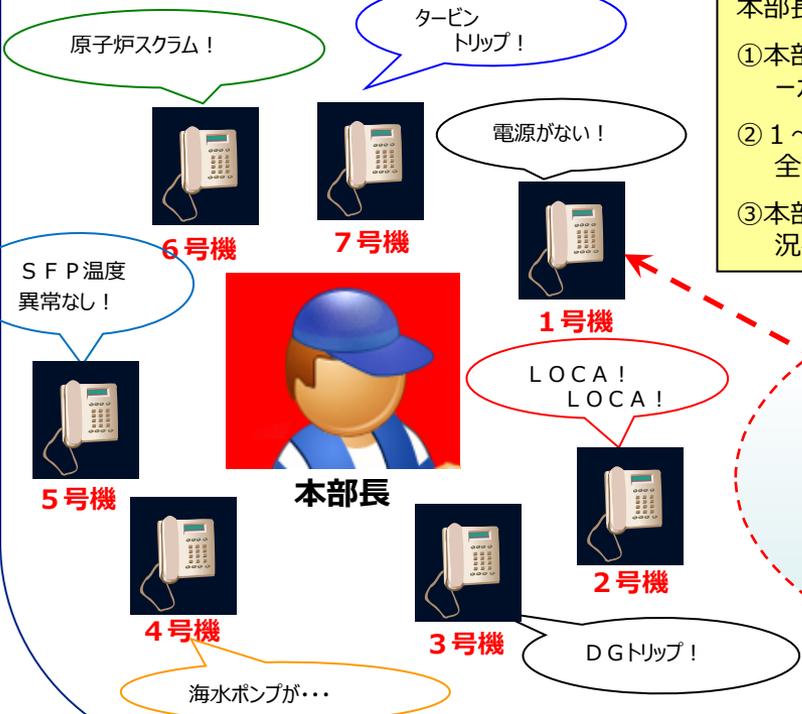
・中操・ERO間の情報伝達・共有

当直長発話の本部側傍受システム (聖徳太子システム)

緊急時対策所

サイトシミュレータ

- 本部長席
- ① 本部長席に7台の電話機を置き、全てスピーカーモードにする。
 - ② 1～7号機の号機班長・当直長の会話を全て聞くことが可能となる。
 - ③ 本部長席にて会話を聞き、全プラントの状況を把握する。



発電所のさらなる安全性向上に向けて

- 1F事故の再検証・再評価
 - 各発電所で採られた対策
- 新知見の反映
 - 今後の1F調査の結果から得られる知見
 - 原子力安全研究の成果
- リスク情報の活用
 - 安全性向上への寄与度を評価、活用
- 発電所の実情を踏まえた改善