

柏崎刈羽原子力発電所の 安全対策について

2013年3月27日

東京電力株式会社
村野 兼司

深層防護について

深層防護
(※)の
流れ

第1層：トラブル発生防止

第2層：事故への進展防止
止める（制御棒緊急挿入）

第3層：事故時の炉心損傷防止
冷やす（高圧注水，低圧注水）

第4層：事故後の影響緩和
放射性物質を閉じこめる

第5層：避難に係わる対策
（迅速かつ確実な通報・情報発信）

※深層防護：原子力施設の安全確保の考え方。
(A)に失敗しても(B)で対応、(B)に失敗しても(C)で対応、…という様に(A)～(E)の各層で対策を講じるという考え方。

① 外的事象に対する深層防護が不十分

【事実】

- 設計基準津波の高さが低すぎた(第1層の対策が不十分)
- 第3, 4層の設備が広範囲かつ同時的に機能喪失
- 直後からその場で考えながらの対応を余儀なくされ、対応手段と時間余裕の確保などの点で多くの困難を伴った

【教訓】

- 外的事象に対して深層防護の各層を充実し、設計基準の想定を超えても容易には後段に移行させないことが重要



【対応の基本方針】

- ・外的事象を念頭に、各層の重要な機能(「異常防止」、「止める」、「冷やす」、「閉じ込める」)に対し、
 - 設計基準の一部に追加的な要件を課した設計ベースを設定
 - さらに、同一層内での対策の厚みを増すために設計ベースを超える分類設計拡張状態(Design Extension Condition; DEC)を設定
 - 設計拡張状態に対応のための設備を展開

② 全交流電源喪失を前提とした高圧注水機能、減圧機能の強化

【事実】

- 1号機は非常用復水器がほとんど機能せず、高圧注水系も機能喪失
- 2号機、3号機は、ただ一つの高圧注水系に長時間依存するとともに、その後の原子炉減圧にも困難を伴った

【教訓】

- 事故後直ちに必要となる高圧注水機能について、全交流電源喪失(Station Black Out; SBO)を前提とした強化が必要
- 主蒸気逃がし安全弁の長期にわたる機能維持は、従来のLOCAベースの設計基準事象では十分に想定しておらず、それに対応した強化が必要



【対応の基本方針】

- (SBO発生防止対策も講じた上で、さらに)高圧注水機能・減圧機能を強化するための想定として、設計ベース及びDECそれぞれにおいてSBO発生を仮定

③ 第4層設備としての格納容器の設計要件の明確化

【事実】

- 格納容器が過温破損し、放射性物質を環境に放出
- 炉心損傷後の閉じ込め機能に対する具体的な設計要求が存在せず
 - 冷却材喪失事故に基づく要件で設計
 - 過去のアクシデントマネジメント整備は現有設備の有効活用によるもので、第4層設備としては強化せず

【教訓】

- 炉心損傷後の影響緩和と放射性物質の放出抑制について、マネジメント策だけでなく、設備としても強化が必要



【対応の基本方針】

- 格納容器と格納容器を防護するための設備について、第4層設備としての設計要件を明確化し、閉じ込め機能を強化

外的事象を中心とした深層防護各層の設計要件

深層防護の充実

各層の機能を強化する方向(深層防護の各層の充実)

層	目的 (重要機能)	設計ベースとしての要件	DECとしての要件(後述のフェーズドアプローチに基づき恒設と可搬設備それぞれを用いる)
第1層	異常の発生防止(異常防止)	津波の例:設計津波に対しSBOの発生を防止し、後段各層の安全機能の喪失を防ぐこと	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、重要区画内の設備が機能喪失しないこと 重要区画からの排水ができること
第2層	事故への拡大防止(止める)	従来から変更なし (反応度価値が最大の制御棒1本が挿入できないときでも原子炉を未臨界にできること。常用系で原子炉を冷却できること)	従来から変更なし (制御棒以外の設備により原子炉を未臨界にできること。制御棒による停止機能の信頼性を向上させること)
第3層	炉心損傷の防止(冷やす)	冷却:SBOに対し、動的機器の単一故障を想定しても、注水により原子炉を冷却できること 減圧:SBOに対し、動的機器の単一故障を想定しても、原子炉の減圧ができること	冷却:長期のSBOに対し、多様または多重の設備によって、注水による原子炉の冷却、ヒートシンクによる原子炉の冷却ができること 減圧:長期のSBOに対し、多様または多重の設備によって、原子炉の減圧ができること
第4層	炉心損傷後の影響緩和、放出抑制(閉じ込める)	格納容器と格納容器を防護する設備の機能とをあわせて長期にわたる土地汚染を防ぐこと 制御できない放射性物質放出を防ぐこと	

注:ここでは設備設計のあり方を論ずるため、防災を目的とした第5層は記載省略

新たにDECとして追加した領域

欧州で従来からのDEC領域

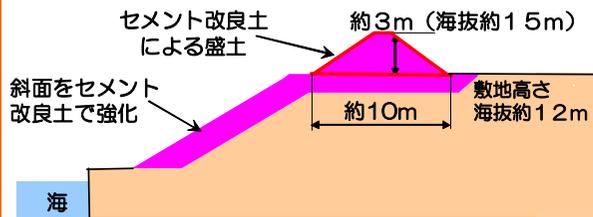
防潮堤の設置による敷地内への浸水低減と衝撃回避＜津波対策＞

想定を超える津波が発電所に襲来した場合においても、海拔約15mの防潮堤により敷地内への浸水を低減するとともに、津波による建屋等への衝撃を回避。

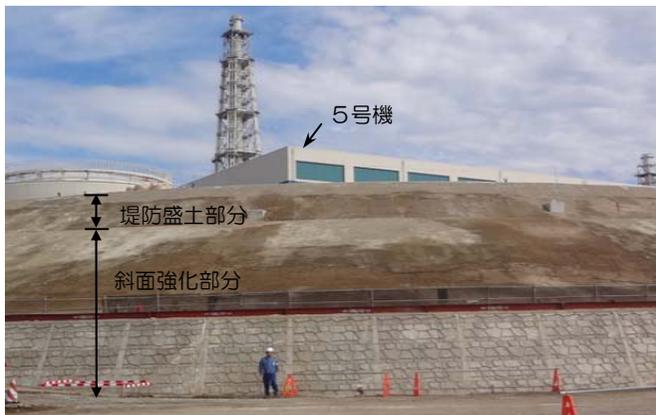
5～7号機側の防潮堤（堤防）

⇒8月29日に本体工事が完了しました

- ◆ 海拔約12mの敷地に、高さ約3mのセメント改良土による盛土と海側斜面の強化を行いました。
- ◆ 今後、周辺整備を平成24年度内を目途に進めてまいります。



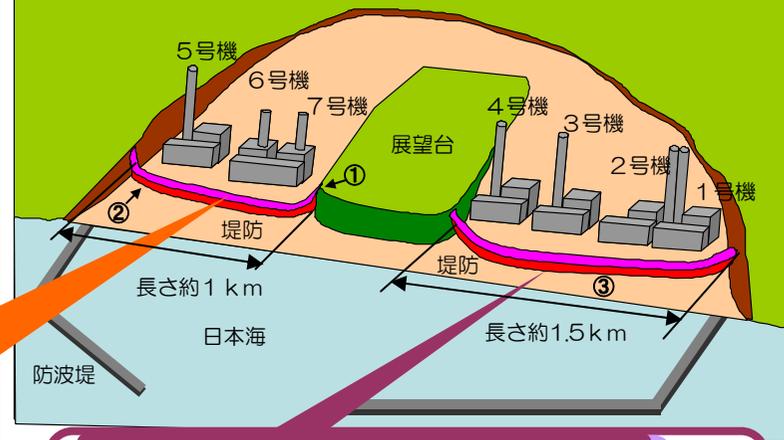
①展望台から（8月28日撮影）



②海側から（8月28日撮影）

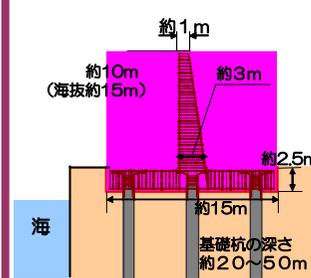
防潮堤（堤防）設置イメージ

数字は写真撮影地点



1～4号機側の防潮堤（堤防）

⇒工事を順調に進めています



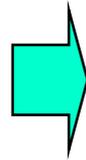
③3号機海側（8月28日撮影）

- ◆ 海拔5mの敷地に、基礎杭でしっかり固定した高さ約10mの鉄筋コンクリート製の堤防を作っています。
- ◆ 基礎杭は全891本の打込みが8月28日に完了し、一部の壁部分も完成しています。

水密扉等の設置による重要エリアへの浸水防止<津波対策>

さらに万一、何らかの理由により建屋内に海水が流入した場合においても、重要機器への冠水を防止するため、重要機器室の水密扉化等を実施。

重要機器室の水密扉化（1号機 原子炉隔離時冷却系ポンプ室の例）

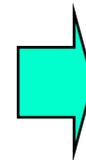


水密扉設置箇所
 ・RCIC室
 ・ECCS室（A系）
 ・MUWC室
 ・非常用電気品室等

設計条件（水密扉）
 水密性
 ・ $0.2 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 程度
 水頭圧
 ・各階フロア高さ
 例：K1地下5階
 18mを設定

配管貫通孔・ケーブルトレイ・電線管

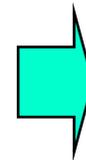
配管
施工例



防水処理箇所
 ・配管貫通孔
 ・ケーブルトレイ
 ・電線管 等

設計条件（貫通口）
 【津波波力（外部）】
 ・津波正面 静水圧3倍
 ・津波側面 1.5倍
 ・建屋内 1.0倍
 【水頭圧】
 地上部
 ・津波高さ15mー
 貫通口敷地高さ(m)

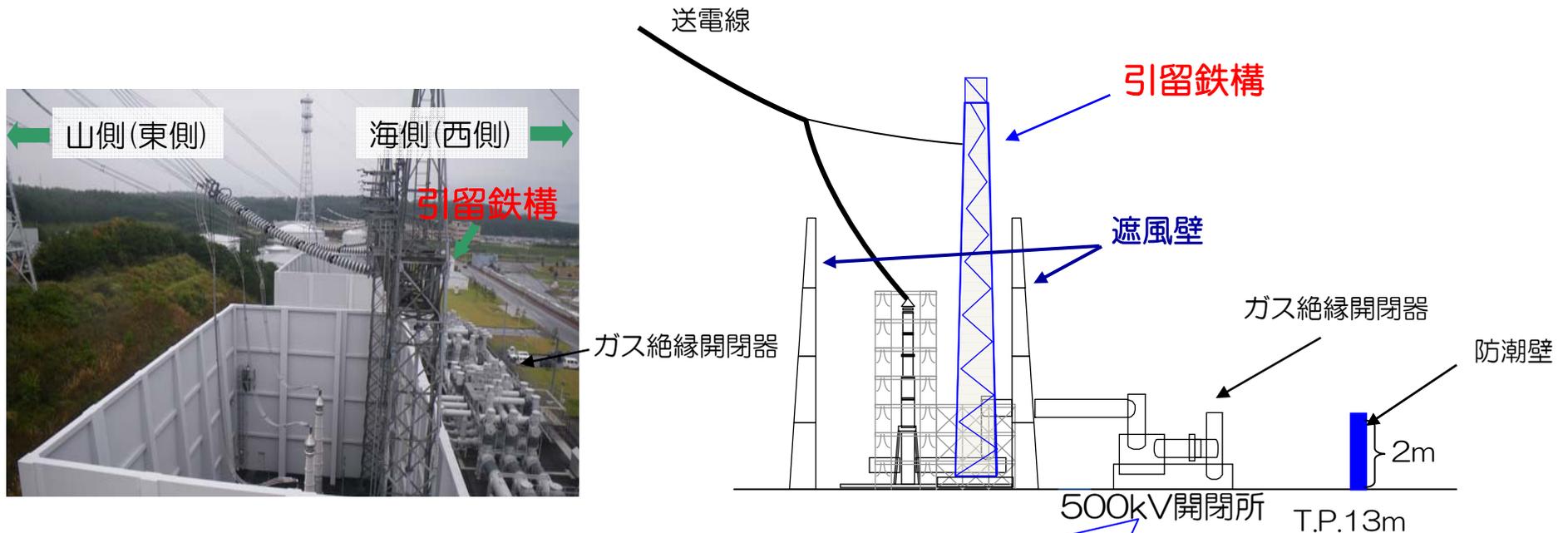
ケーブル
トレイ
施工例



シリコンゴム
材を使用し防
水対策を実施

開閉所引留鉄構の耐震強化等による外部電源の信頼性向上＜地震対策＞

500kV開閉所において送電線を引込み固定する引留鉄構の取替えを実施し、耐震性の向上を図るとともに、浸水対策として、開閉所設備に防潮壁を設置。また、遮風壁の耐震強化を実施。



【取替対象設備】

南新潟幹線1号線／2号線

新新潟幹線1号線／2号線

工期：平成24年7月～平成25年12月（予定）

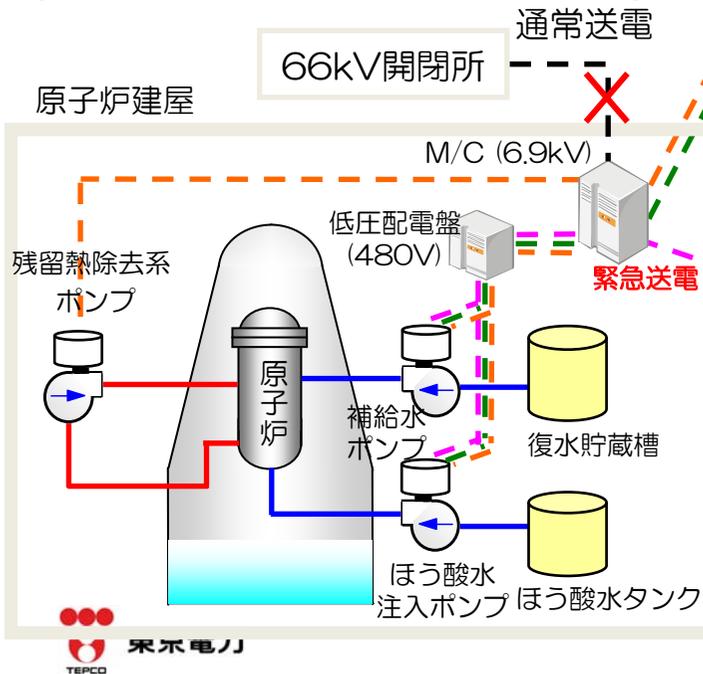
柏崎刈羽原子力発電所の開閉所設備は、耐震性に優れたガス絶縁開閉装置(GIS)を採用（GIS:JEAG5003＜電気設備の耐震設計指針＞は満足、JEAC4601＜原子力発電所耐震設計技術規程＞評価中）

空冷式GTG、電源車の高台配備による早期電源復旧＜電源対策＞

万一、プラントの全交流電源喪失時にも重要機器の動力が迅速に確保できるよう、大容量の空冷式ガスタービン発電機車（空冷式GTG）を高台に配備。併せて、燃料補給用の地下軽油タンクを設置。また、電源供給が迅速に行えるよう高台に緊急用の高圧配電盤（M/C）を設置し、常設ケーブルを各号機へ布設。さらに空冷式GTGに加えて、多数の電源車を高台へ配備。

- ・空冷式GTG：2台配備済
- ・電源車：23台配備済
- ・エンジン付発電機：配備済
- ・その他の資機材（接続ケーブル等）：配備済
(平成24年12月4日現在)

- ・空冷式GTG～緊急用M/C～R/B M/C
- ・電源車～接続箱～緊急用M/C～R/B M/C
- ・電源車～R/B M/C



高台電源設備（分電盤等）設置

154kV開閉所建屋

設置場所：T.P. 約27m

緊急用M/C(6.9kV)

給電ルート

接続箱

設置場所：T.P. 約35m

電源車を並列接続

空冷式GTG 高台配備

容量：4,500kVA

配備数：2台(7プラントのRHR(A)が運転可能)

配備場所：高台(T.P. 約35m)

電源車高台配備

容量：500kVA

配備数：21台

配備場所：高台(T.P. 約35m)

設置場所：T.P. 約35m

容量：144 kL(公称)

空冷式GTG、電源車、消防車の約1日(24時間)分の燃料消費量

地下軽油タンク設置

既設軽油タンク（1～7号機）合計5700kl

×7プラント

輸送手段を整備中

既設軽油タンク

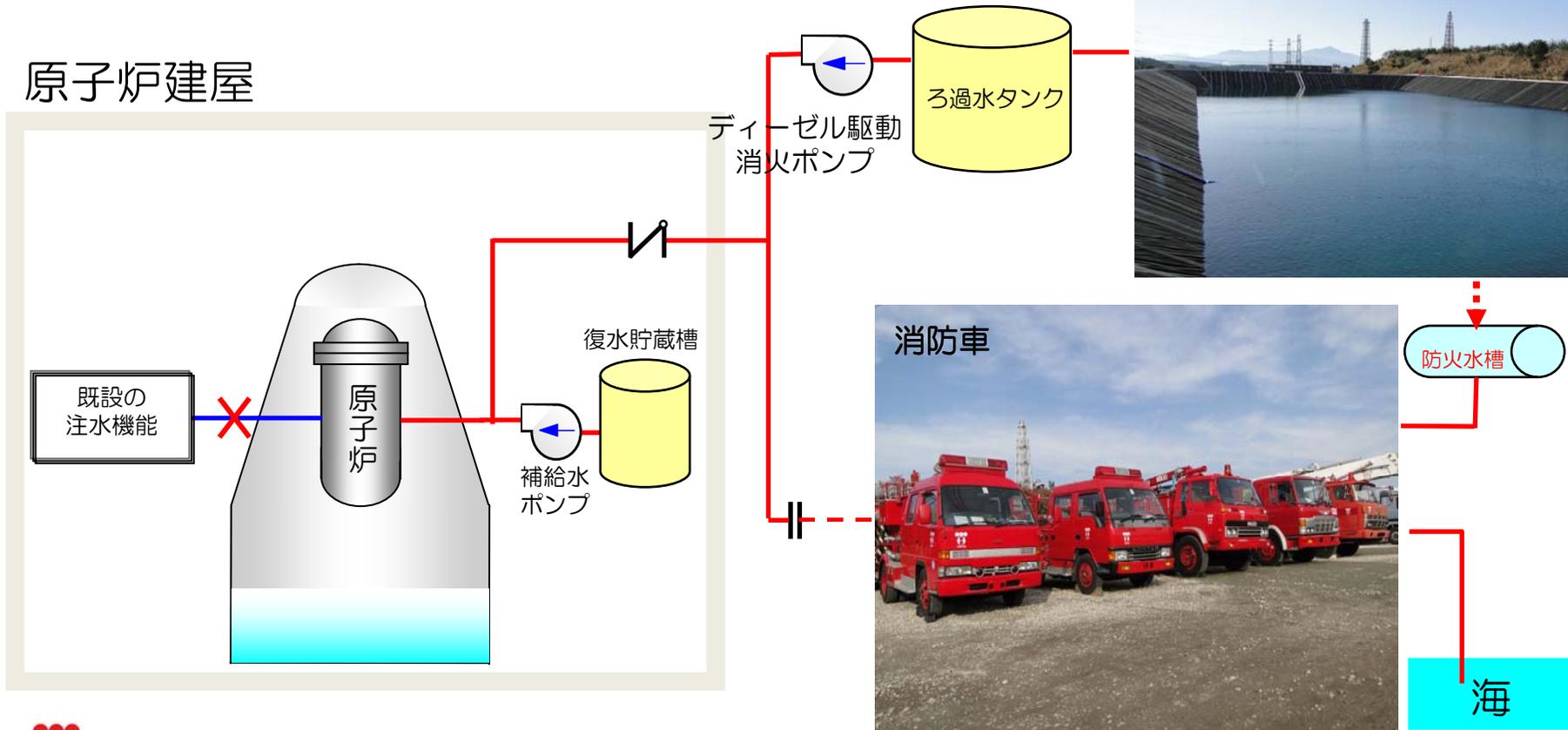
地元の石油販売業者と燃料調達契約を締結しており、災害発生より6時間以内に120klの燃料補給が可能

ガスタービン発電機車のバックアップとして、電源車を複数台簡易に接続可能（最大15台）な接続箱を設置し非常用電源の強化をし、復旧の迅速化を図りました。

消防車等の高台配備による原子炉注水の多重性・多様性向上＜低圧注水対策＞

全交流電源喪失により電動の低圧注水設備がすべて機能喪失しても、原子炉への注水機能を確保するため、消防車8台（AⅠ級2台，AⅡ級6台）*をT.P.約35mの高台に分散配置。消防車により建屋に設けた注水口等から注水可能。

- * AⅠ級のポンプ仕様：高圧放水圧力1.4MPa，高圧放水量120m³/h以上
- AⅡ級のポンプ仕様：高圧放水圧力1.4MPa，高圧放水量84m³/h以上

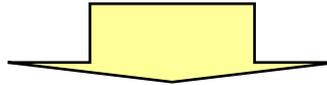


復水補給水系配管等の耐震強化＜地震対策＞

柏崎刈羽原子力発電所では、中越沖地震で安全上重要な機器への問題は生じなかったものの、基準地震動 S_s を中越沖地震の知見を踏まえて中越沖地震に余裕のあるレベルに設定した。さらに、安全上重要な機器について、基準地震動 S_s に対して余裕を持つよう、耐震補強を実施済である。

津波襲来等のアクシデント発生時に復水補給水系を用いて原子炉・燃料プールへの注水を行うことを想定し、サポート及び電線管・ケーブルの耐震強化を行う。

- 非常用炉心冷却系が全て機能喪失した際、3つの代替注水手段（MUWC系、D/DFP系、消防車）のいずれについても、原子炉注水にあたりMUWC系ラインを必ず使用



MUWC系ラインの耐震強化実施。基準地震動 S_s に対して実働性確保することにより低圧注水の信頼性を向上

- ・サポート約100カ所の補強
- ・ケーブルの引き替え
- ・電線管敷設（既設耐震トレイが無いルート）

サポートを追加



【工事前】



【工事後】

【耐震条件】

耐震強化工事用地震動 $S1000$ （基準地震動 S_s と新潟県中越沖地震増幅波 $1.5NCO$ の包絡）に対し余裕1倍以上を確保する。

※ $1.5NCO$ は、新潟県中越沖地震時に1号機原子炉建屋基盤上で観測された地震動を1.5倍に増幅したものの。

蓄電池等（直流電源）の強化＜電源対策＞

重要な機器の制御電源や監視計器の電源に用いる直流電源を長い間維持できるように強化するとともに、予備蓄電池を配備。

現状



設置場所：K1→C/S B1F
K7→C/B B1F
既設直流電源容量（K1の例）
(A)：4000Ah
(B)：1600Ah
(H)：500Ah
※A系(RCIC等)8h供給可能
(負荷カット状態)

既設直流電源室の防水強化

バッテリー室への浸水を防止するための防水処理を実施する

電源供給
(負荷カット状態)
約8時間

蓄電池強化のイメージ



充電



設置場所：K1→C/S屋上
K7→C/B屋上
※ RCIC及び監視計器に供給可能。
(負荷カット状態)

プラント内の15 m以上の
高所に蓄電池充電器専用の
非常用発電機を設置予定

設置場所：K1→R/B中3F
K7→R/B 4F
増設直流電源容量：
(A)：3000Ah（既設の75%）

既設直流設備とは別の
15 m以上の高所に
直流電源設備を増設予定
(位置的分散と蓄電池容量の増加)

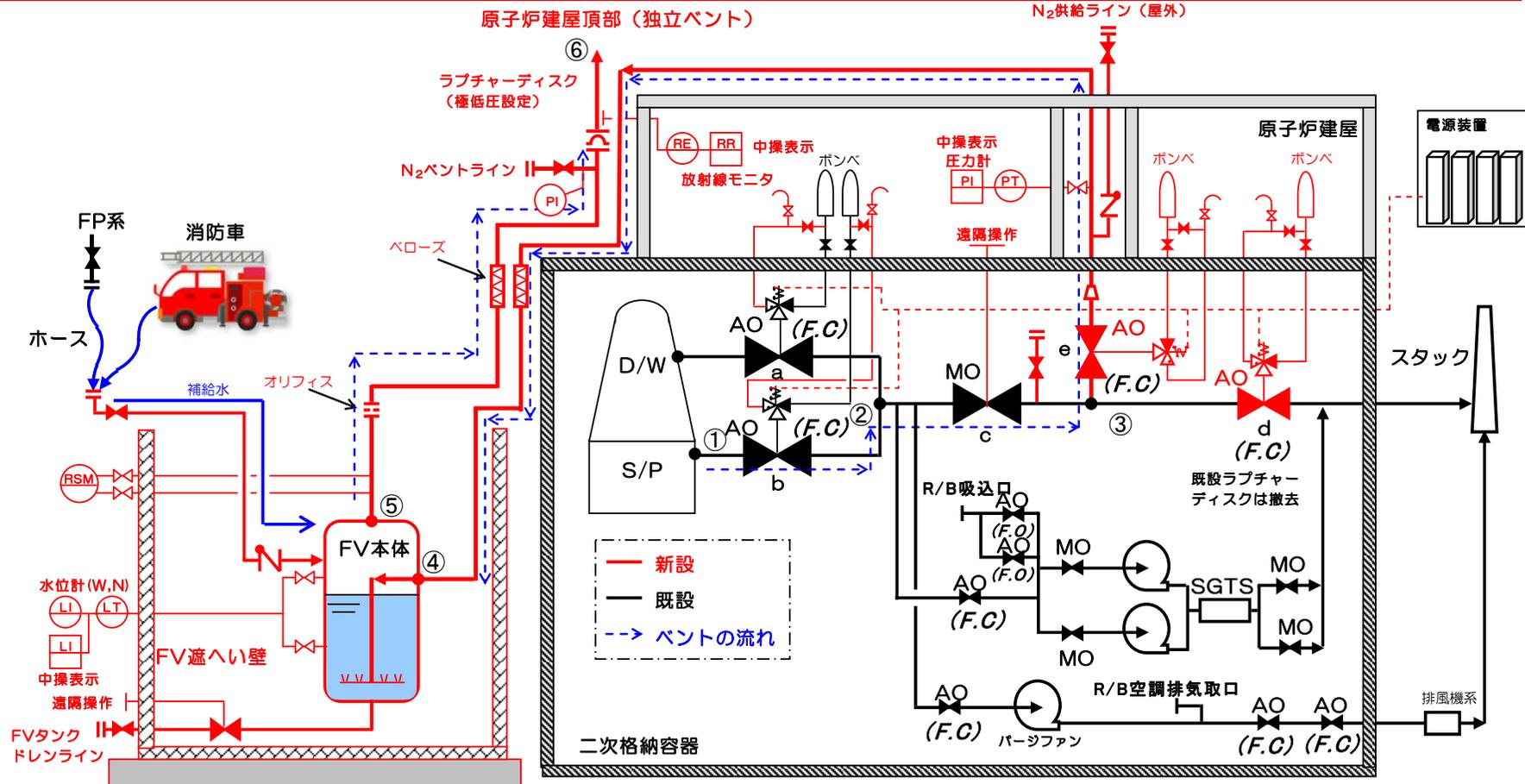
給電

【供給先】

- ◆原子炉隔離時冷却系（高圧注水設備）
- ◆主蒸気逃がし安全弁（減圧設備）
- ◆重要監視計器

フィルタベント設備 1/2

格納容器



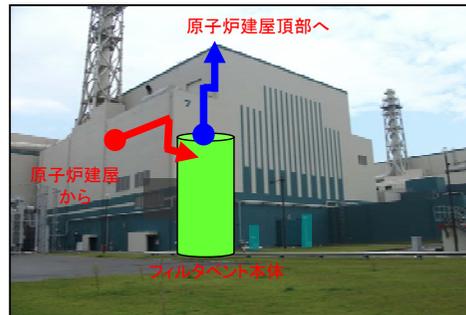
<設計条件>

- ・SBO時にもPCVベント弁の操作が可能であること。(蓄電池・ポンベ、手動遠隔操作)
- ・二次格納容器の外からPCVベント弁の操作が可能であること。(放射線防護対策)
- ・他系統へのPCVベントガスのまわり込みを防止すること。(弁による隔離、独立排気ライン)

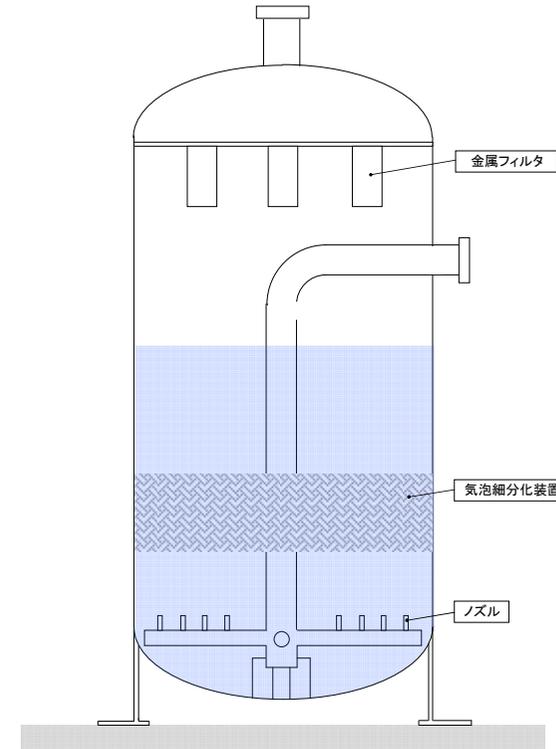
フィルタベント設備 2/2

格納容器

【7号機】



設置予定図



フィルタベント本体概要図

深層防護各層の主な対策

	目的	設計ベース	DEC
第1層	異常の発生防止	津波の例:防潮堤、防潮壁、防潮板、建屋貫通部防水	津波の例:重要区画の浸水対策設備、重要区画からの排水設備
第2層	事故への拡大防止	開閉所設備の強化を除き、基本的に従来から変更なし	従来から変更なし
第3層	炉心損傷の防止	冷却:従来のECCS、RCICに加え、多様性のある高圧注水手段を追加	冷却:RCICのDC強化、CUW+電源車他、MUWC+電源車、消防車、ディーゼルポンプ、車載式代替海水熱交換器、W/Wベント、フィルタベント(炉心損傷前)
		減圧:SRV に対し、専用DC、N ₂ ポンベ、N ₂ 供給圧upなど強化	減圧:専用DC、N ₂ ポンベ、N ₂ 供給圧up(以上はDEC要件での設計)、SRV作動用コンプレッサ、減圧手段の多様化(検討中)
第4層	炉心損傷後の影響緩和、放出抑制	代替スプレイ、ペDESTAL注水、格納容器フランジ水張り、フィルタベント(炉心損傷後、W/W経由ならびにD/W経由)、原子炉建屋内の触媒式水素結合装置	

注:ここでは設備設計のあり方を論ずるため、防災を目的とした第5層は記載省略

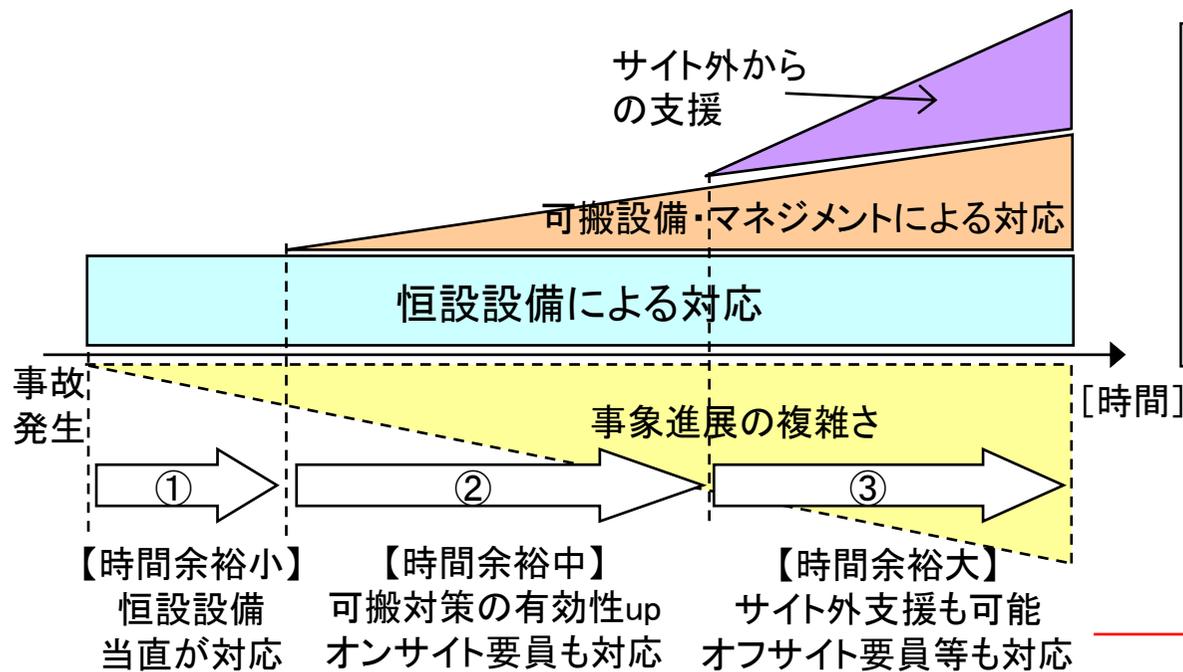
新たにDECとして追加した領域

欧州で従来からのDEC領域

フェーズドアプローチの考え方

- 対策は時間余裕に応じて適切に選定しなければ、安全上有効に機能せず。
- 対策に課す設計要件も時間余裕や代替可能性の観点から適切に設定することが必要。
 - 事故初期: 人的リソースが限定・現場アクセス困難の可能性
→ 恒設設備だけでも初期対応ができるように設計することが適切
 - 事故後期: 状況が輻輳・特定の条件で設計した恒設設備では対応できなくなるおそれ
→ 可搬設備も選択肢に加え、対応の多様性や代替可能性を高めることが重要

○時間余裕に応じた段階毎に対策を設定する(フェーズドアプローチ)
→ 深層防護に基づき対策を充実する際の考え方としてフェーズドアプローチを適用



対策選定の方向性
特に外的事象には共通要因故障の排除が重要
→ 多重性よりも、多様性(駆動方式、電源設備の冷却方式等)、位置的分散を重視

過酷事故に備えた手順・訓練の強化＜事故への備え＞

- ①津波、全電源の喪失など従来の想定を大きく超える事故の対応手順を整備。
- ②整備した対応手順について、繰り返し教育・訓練を実施。

整備した主な手順

- ・津波アクシデントマネジメントの手引き
～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
- ・緊急時臨機応変対応ガイド
～電源喪失時の原子炉の減圧や注水を行うための手引き
- ・電源機能等喪失時の対応ガイド類
～電源車、ガスタービン発電機車（GTG）による電源供給などの現場作業の手引き



整備した手順の例

訓練実績

- ・総合訓練：10回（H24年度）
- ・個別訓練：電源車操作訓練、GTG運転訓練
消防車注水訓練、緊急時E列ク訓練等
- ・総合訓練においてはシビアアクシデントを想定したブラインド訓練も実施



GTGによる電源供給訓練風景

複合災害、複数プラント同時被災への態勢整備＜緊急時対応の備え＞

- ①複数プラント、長期の事故にも対応できるよう、緊急時対策要員を大幅に増強。
- ②緊急時対策本部の指揮命令系統の明確化。
- ③国が本店に規制委員会委員、緊急事態対策監を派遣。また、国、関係機関と結ぶ TV 会議システムと連携。自治体への通報手段を多様化。

発電所運転員・宿直・緊急時対策要員

- ・津波後の現場対応操作を踏まえ、発電所運転員を60名増員(205名→265名)(定員)
- ・交替制も考慮し緊急時対策要員を増員(324名→649名)
- ・対外連絡とプラント情報収集の機能強化のため宿直体制を増強(6名→8名)

緊急時対策本部の指揮命令系統の明確化

- ・発電所緊急時対策本部号機責任者を配置し、報告連絡・指示伝達を強化。
- ・複合災害、複数プラント同時被災に対し、迅速な意志決定下で復旧活動を実施するため、現場指揮マネジメントシステム ICS (Incident Command System) を導入。

国との連携、自治体への通報手段の多様化

- ・国が本店に「原子力施設事態即応センター」を設置。規制委員会委員、緊急事態対策監を派遣
- ・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 を導入中

まとめ

- 外的事象を念頭に、各層の重要な機能（「異常防止」、「冷やす」、「閉じ込める」）に対し、設計ベースを超える分類設計拡張状態（**Design Extension Condition; DEC**）を設定し、設備を展開
- 深層防護に基づき対策を充実する際の考え方として、時間余裕に応じた段階毎に対策を設定する**フェーズドアプローチ**を適用
- より一層の信頼性確保のための安全対策を継続検討