

# 当社の原子力発電プラントの 安全確保に関する考え方

2013年1月25日

東京電力株式会社

本資料は、福島事故の教訓を踏まえ、当社の原子力発電プラントの安全確保の基本的な考え方をまとめたものである。  
なお、今後も継続的改善の観点から見直していく予定である。

## 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)
- 後段(第3層、第4層)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

## ○外的事象は深層防護の各層の設備に共通的に作用

- 福島事故では設計基準を超えた津波により後段の各層(「止める」機能以外)が機能せず
- したがって、深層防護の全ての層の対策を充実させる必要あり

## ○深層防護の充実として、各層の設計ベースにおける対応に加えてDECを追加

### ○DEC対応設備に課す設計要件

- 設計ベースの想定を超えて多重故障が発生しても、各層の重要な機能を一定程度維持することを目標として課す
- これによって、設計ベースを超えた後の輻輳した状況に対応するための多様性を充実させ、対応手段の選択肢を多くもつことが重要

## ○本来はDECとして扱うSBOを、高圧注水機能・減圧機能を強化する観点から設計ベースとして仮定

- 動的機器の単一故障 → RCICのバックアップが必要
- 使命時間の長さ → 必要とされる期間中においてSRVが継続して機能維持する必要

# 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D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	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: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	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

# 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 <sub>2</sub> ポンベ、N <sub>2</sub> 供給圧upなど強化	減圧: 専用DC、N <sub>2</sub> ポンベ、N <sub>2</sub> 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	

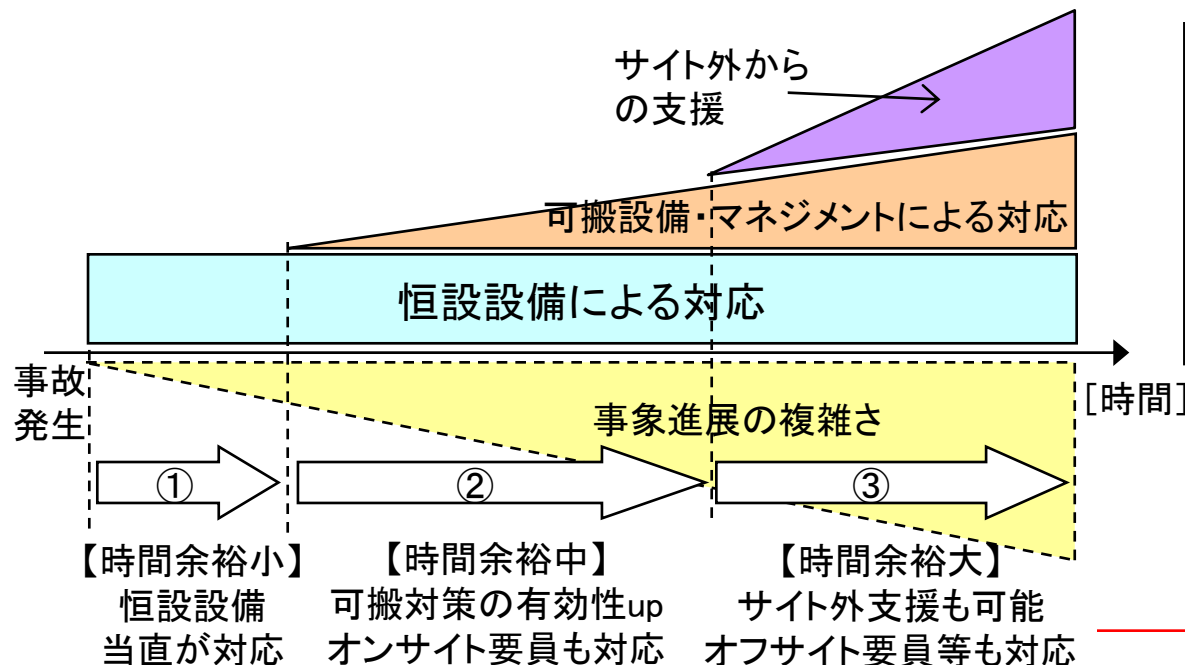
注: ここでは設備設計のあり方を論ずるため、防災を目的とした第5層は記載省略

新たにDECとして追加した領域

欧州で従来からのDEC領域

- 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

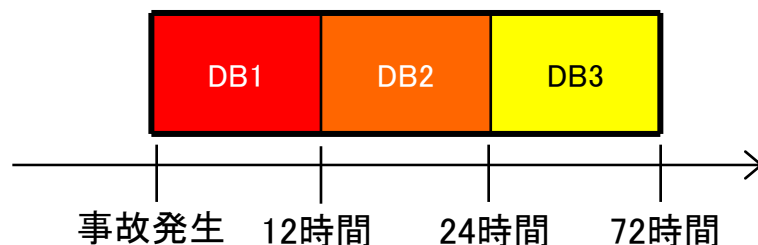
○時間余裕に応じた段階毎に対策を設定する(フェーズドアプローチ)  
→ 深層防護に基づき対策を充実する際の考え方としてフェーズドアプローチを適用



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



- ・収束条件：燃料を損傷させることなく海水系を用いた冷温停止を達成
- ・完了時間：福島第二の事例も踏まえ、72時間以内に収束できるように設計
- ・フェーズ：余裕時間と対応の代替可能性の観点から以下の3つのフェーズを設定、オフサイト支援は期待せず



\*概念としてこのように整理できるが、現在検討している設計ベースは基本的にDB1のみが該当

フェーズ1 (DB1)：対応の裕度が小さい時間領域（～12時間）

- ・恒設設備による対応／事象初期に必要なとなる動的機器は自動起動（ただし、自動起動が安全を阻害する場合、訓練等により起動の手当てがなされている場合は不要）

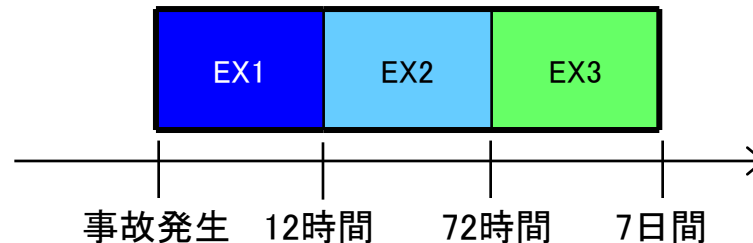
フェーズ2 (DB2)：対応の裕度が増した時間領域（～24時間）

- ・このフェーズ以降は、可搬設備による対応にも期待

フェーズ3 (DB3)：同上（～72時間＝完了時間）

- ・可搬設備による柔軟な対応の比重大
- ・使命時間が長くなることを踏まえ、機器の信頼性等に応じて多様性または多重性を確保

- ・収束条件: 炉心損傷に伴う影響を抑制し、大気圧100°C以下で安定冷却を達成
- ・完了時間: 7日以内に収束条件を達成できるように設計
- ・フェーズ: 余裕時間と対応の代替可能性の観点から以下の3つのフェーズを設定



フェーズ1 (EX1): 対応の裕度が小さい時間領域 (~12時間)

- ・恒設DEC対応設備による対応 / 事象初期に必要なDEC機器は自動起動
- ・DEC対応設備も含めた機能全体の信頼性の観点から多様性または多重性を確保

フェーズ2 (EX2): 対応の裕度が増した時間領域 (~72時間)

- ・可搬設備による柔軟な対応の比重大
- ・使命時間が長くなることを踏まえ、機器の信頼性等に応じて多様性または多重性を確保

フェーズ3 (EX3): オフサイトの支援にも期待 (~7日間 = 完了時間)

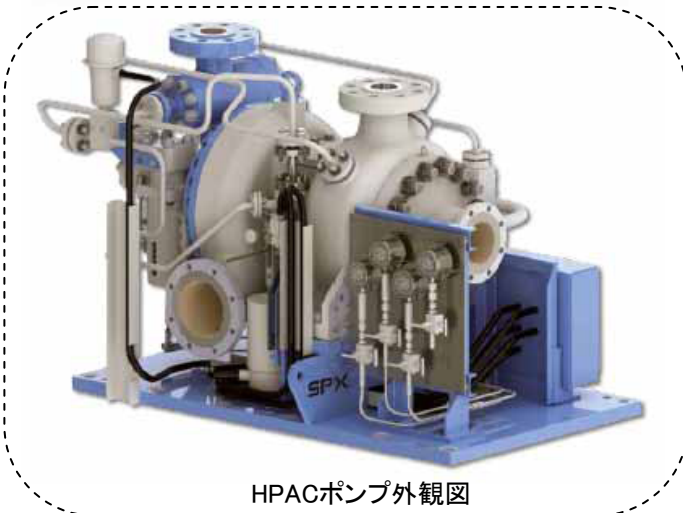
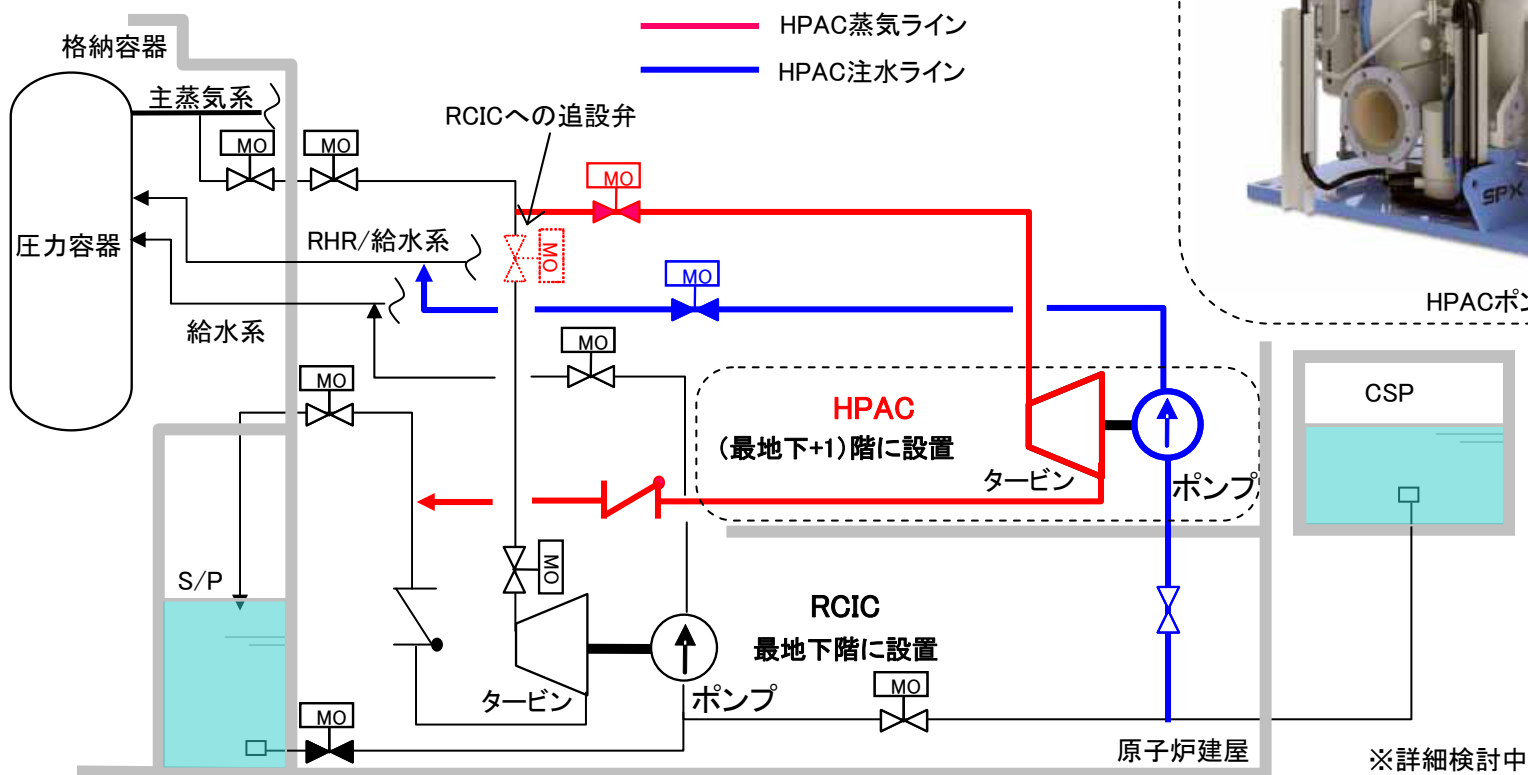
- 新設炉と異なり、既設炉には既に燃料が装荷→迅速に実効的な安全性向上を図るべきで、新設炉とは異なるアプローチをとる場合もある
- 既設炉に対する安全性向上の選択肢
  - ・恒設設備の新規追加
  - ・現有恒設設備をベースに、外的事象に対する多様化や位置的分散も図れる設備との組み合わせ
  - ・常用系、可搬設備とマネジメント(手順書、訓練, 体制)の組み合わせ
  - ・マネジメント策の改善
- 上記から、現有設備とのとりあい、(特に外的事象で顕著となる)サイト固有の条件、事故時対応の現実性(フェーズドアプローチ)などを考慮して対策選定
- 外的事象への対策としては、各種基準への完全な適合を求めるよりも、質が異なる対策(=多様性をもつ対策)が重要との認識にたち、多様性をもつ対策を早めに講じていき、実効的な安全性を向上することを指向
- 一度策定した対策に安住することなく、安全性を高めるべく継続的に改善

# 安全性向上の実行アプローチの例

- 福島事故の教訓から高圧注水系の強化が重要と判断
  - SBO時に動的機器の単一故障を仮定しても、注水による原子炉冷却ができるようにすることを設計ベースとする
  
- 上記に関する安全性向上の選択肢
  - 恒設設備追加： 代替高圧注水系(HPAC)の設置
  - 現有設備＋多様性のある設備： 高圧炉心注水系にガスタービン発電機車で給電し短時間運転しながら減圧
  - マネジメント策の改善： RCICの現場起動手順確立と訓練
  
- 迅速に実効的な安全性向上を図る観点から、以下の対策を実施
  - RCICの現場起動手順を確立し訓練を実施
  - それに加えて、現有の高圧炉心注水系の短時間運転を可能にする(ガスタービン発電機車は高台緊急電源盤に接続し待機)
  
- さらに、フェーズドアプローチを適用し時間余裕の観点から恒設設備による対応を検討。継続的改善の一環としてHPACの設置に着手

## ○高圧代替注水系 (HPAC)

RCIC起動失敗または継続運転に失敗した場合に、早期に起動可能な高圧代替注水系により水位を維持し炉心損傷を防止

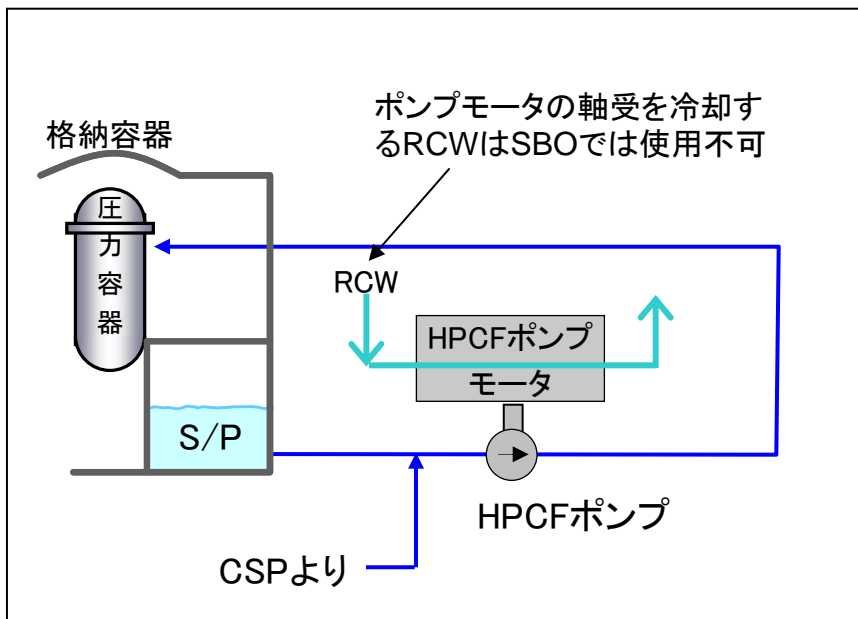


### <設計条件>

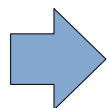
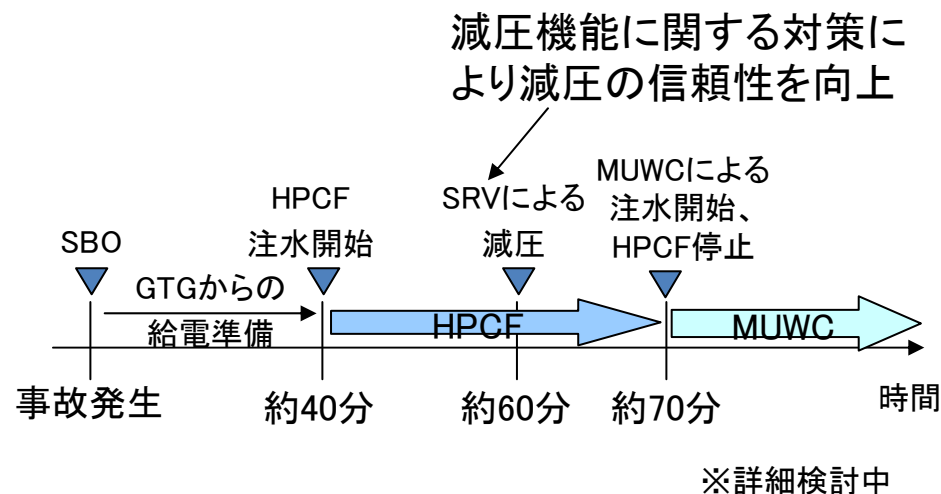
- ・電源使用機器が少ないポンプ(蒸気駆動)を使用することで、SBO時の信頼性を向上
- ・HPACをRCICよりも上階に設置することで位置的分散を図った

## OSBO下での高圧炉心注水系(HPCF)の短時間運転手段\*

系統概要



事故時時系列(例)

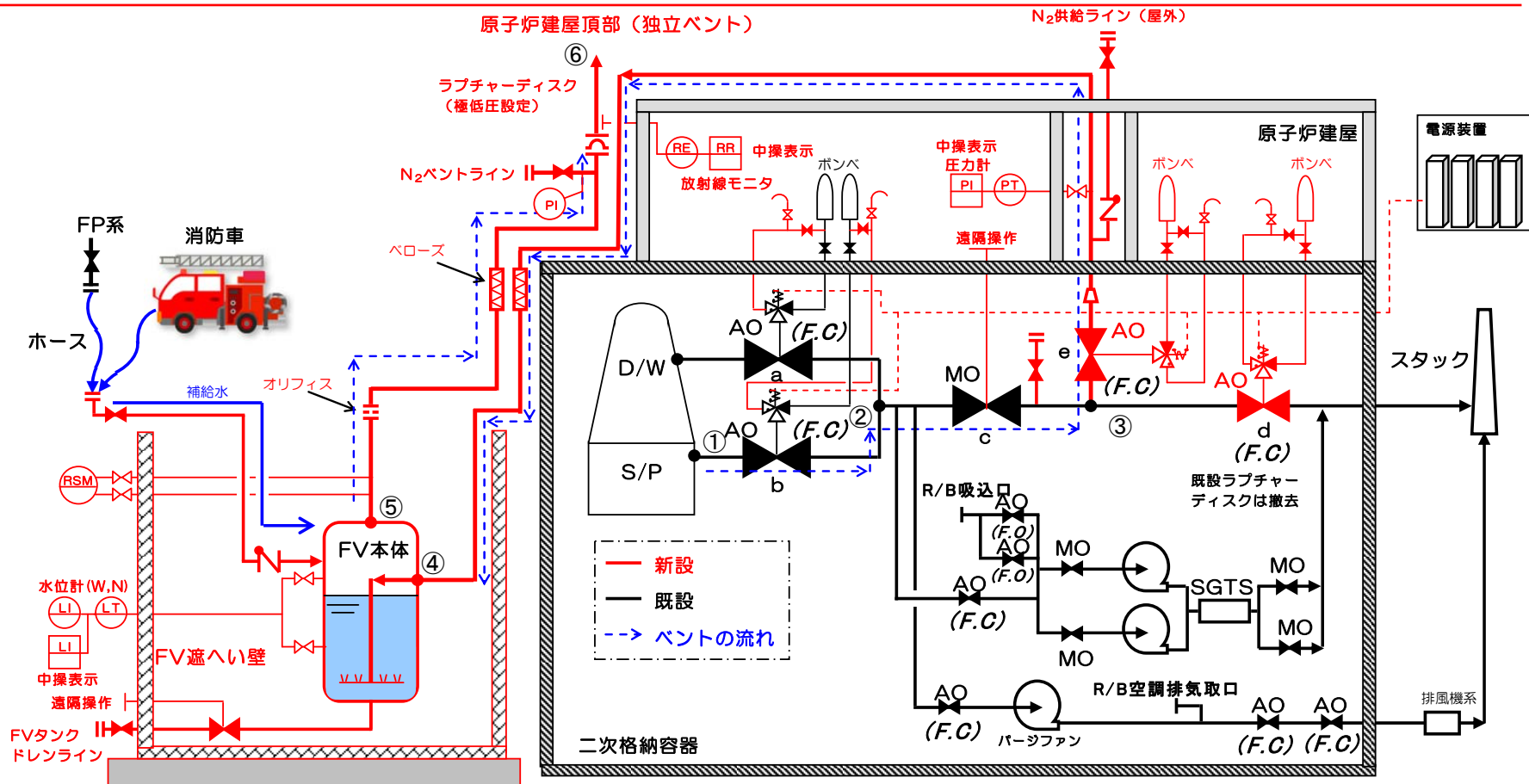


- ・HPCFはモータ軸受冷却なしで30分間程度は運転可能
- ・HPCFによる注水開始20分後に減圧、その10分後にMUWCで注水すれば炉心損傷に至らないことを評価にて確認

\*BWR-5プラントでは、急速減圧+低圧炉心スプレイ系(LPCS)による注水で対応

- 格納容器単体ではなく、炉心損傷後の影響緩和・放出抑制に必要な設備全体で要件を達成させる
  - 格納容器と、代替スプレイ、ペDESTAL注水、W/Wベント、フィルタベント(炉心損傷後)など
- 基準
  - 溶融炉心の冷却、格納容器の冷却(スプレイ、S/Pクーリング、ベント)、非凝縮性ガスの処理(ベント)で格納容器の破損を防止
  - スプレイ、W/Wでのスクラビング、フィルタベントで一定の除去効率を確保
- プラント全体としての性能目標(評価ベース)
  - 炉心損傷前の緩和策ならびに上記の基準を満たす設備により、放出量を福島放出量(評価値)の1/X以下として、敷地外の長期にわたる土地汚染を防止

# 【参考】フィルタベント設備 1/2



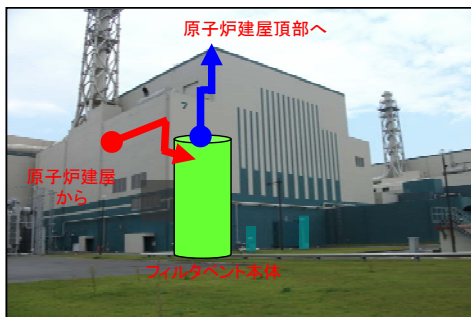
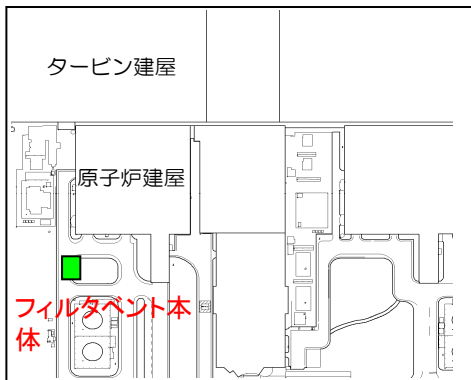
## <設計条件>

- ・SBO時にもPCVベント弁の操作が可能であること。(蓄電池・ポンペ、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)

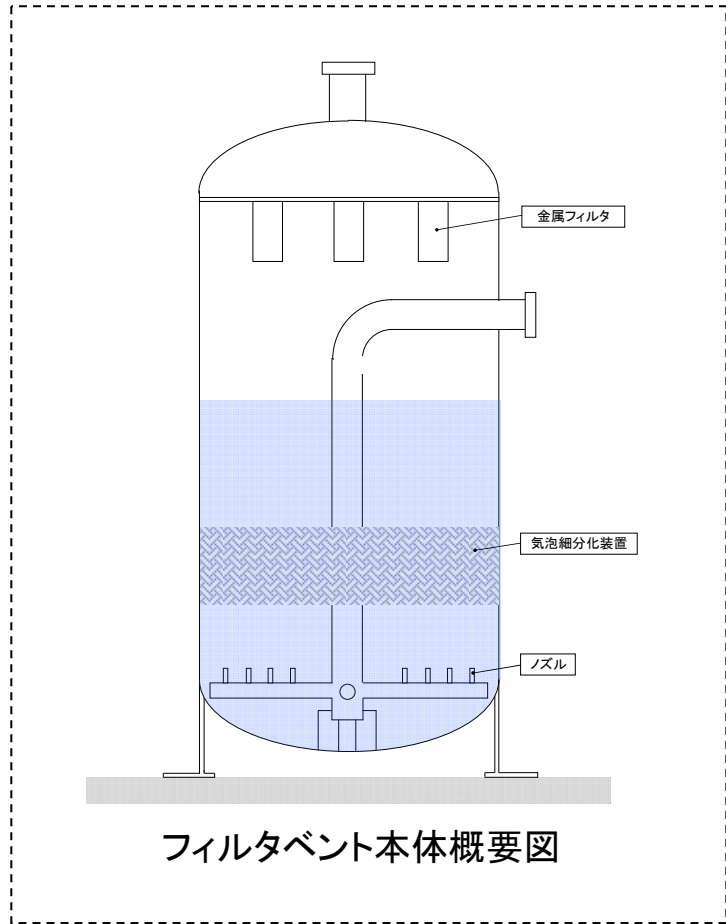


○柏崎刈羽7号機において着工済み(2013年1月15日)

【7号機】



設置予定図



フィルタベント本体概要図

# 安全確保の考え方に基づく柏崎刈羽原子力発電所7号機の設備対策

可搬設備
現有設備に対し位置的分散を図った恒設設備
恒設設備
手順等の対応
赤太枠 福島事故以降に設置または設置検討中の設備

## 第1層 異常の発生防止(津波の例)

- ・設計津波を超える津波に対しても、建屋内への浸水を防ぐよう対策を実施
- ・建屋内への浸水に対して、重要機器のおかれた部屋の浸水対策、排水対策を実施
- ・事故最初期に必要なことや、対策の性格上、基本的に恒設設備の対策を実施

DEC(恒設)	重要区域からの排水	重要区域の浸水対策					津波警告システム
	建屋浸水対策(防潮壁等)	変圧器まわりの浸水対策	開閉所防潮壁				
設計ベース	防潮堤			各設備、機器の設置高さ			
	R/B	T/B	給水建屋	免震重要棟	変圧器	開閉所	津波監視

## 第3層 炉心損傷防止(注水、減圧、循環冷却)

- ・SBOを設計ベースに位置づけ、設計ベース、DECそれぞれで高圧注水機能を強化
- ・減圧機能の強化を検討中
- ・低圧注水以降は可搬設備も含めた多様性をもった対策を実施

※1: 原子炉停止直後の崩壊熱相当量の注水はできないものの、補助的な高圧注水手段として手順を整備  
 ※2: 原子炉水位を正確に計測できない状況であっても、原子炉水位が有効燃料域以下であることを確認するため、基準面器に温度計を設置  
 ※3: HPAC設置まではこの対策も含めたDEC対策により、設計ベースの対策と位置づける  
 ※4: 「電源」の項目に示した蓄電池から給電

手順等	RCIC手動起動手順						
DEC(可搬)	SRV用コンプレッサ	SRV用予備ポンプ	SRV用予備蓄電池	消防車高台配備	MUWCへの外部接続口	代替水中ポンプ	海水ポンプ予備モータ
	SLICによる注水手順	CRDによる注水手順	RCIC喪失時のHPIC注水	HPAC	RCIC(蒸気駆動)	ADS	SRV用ポンプ
DEC(恒設)	消火ポンプ(ディーゼル駆動)	消火ポンプ(電動駆動)	MUWC	CUW	原子炉水位監視機能強化		
	HPAC	RCIC(蒸気駆動)	ADS	SRV用ポンプ	液体窒素設備	蓄電池	LPFL
設計ベース	高圧注水	信号	窒素	電源	低圧注水	原子炉循環冷却	計装
	HPIC(電動駆動)	SRV	RHR	既存の計装設備			

## 第4層 炉心損傷後の影響緩和、放出抑制

- ・DECとして恒設設備中心に対策を実施

DEC(可搬)	消防車高台配備	MUWCへの外部接続口								
	消防車高台配備	MUWCへの外部接続口								
DEC(恒設)	フィルタベント	ベント弁駆動用空気ポンプ	代替スプレー(消火系)	ベント弁操作ハンドル	代替スプレー(MUWC)	耐圧強化ベント	原子炉建屋内の水素処理設備	格納容器頂部水張り設備	フィルタベント	溶融炉心落下対策
	格納容器スプレー	S/P冷却	格納容器スプレー	格納容器冷却	水素制御、濃度監視	コア・コンクリート反応抑制				
設計ベース	格納容器スプレー	S/P冷却	格納容器スプレー	格納容器冷却	水素制御、濃度監視	コア・コンクリート反応抑制				
	格納容器スプレー	S/P冷却	格納容器スプレー	格納容器冷却	水素制御、濃度監視	コア・コンクリート反応抑制				

## 各層共通 炉心損傷の防止/損傷後の影響緩和(電源)

- ・電源は各層の機能をサポートする設備であり、高い信頼性を確保する必要があることから、DECとして位置的分散を重視した恒設設備中心の対策を実施

DEC(可搬)	電源車高台配備	外部からの接続箇所			外部(地元等)からの燃料調達
	高台電源設備(分電盤等)	空冷式ガスタービン発電機車高台配備	隣接号機からの電源融通	隣接号機からの電源融通による充電器への給電	地下軽油タンク設置
DEC(恒設)	非常用D/G	外部電源(開閉所)	蓄電池	軽油タンク	
	交流電源	直流電源	燃料		

## 各層共通 炉心損傷防止/損傷後の影響緩和(水源)

- ・水源は各層に共通するサポート設備であることから、DECとして位置的分散を重視した恒設設備中心の対策を実施

DEC(恒設)	海水	貯水池設置※1	純水タンク、ろ過水タンク	復水貯蔵槽(CSP)
	※1: 補給用水の井戸から補給可能			

## その他 燃料プールの冷却

- ・一般的に時間余裕が大きいことから、可搬設備を用いた対策を実施

DEC(可搬)	消防車高台配備	外部からの注水配管	代替HVを用いた冷却		
	火災の観点で強化した消火系による注水	緊急時用監視カメラ	緊急時用水位計		
設計ベース	MUWC	RHRによる燃料プール冷却	ITVからの監視	スキマーサージタンク水位計	
	注水	除熱	監視・計測		

## その他 常用系設備の耐震機能維持

- ・非常時における常用系の有効活用の観点から、追加の耐震強化を実施

DEC(恒設)	復水補給水系配管等の耐震機能維持	淡水タンク耐震機能維持	一DEC設備の耐震強化
	開閉所、変圧器耐震機能維持	耐震設計審査指針に則った耐震設計	一設計ベースの耐震強化

## その他 その他の観点での安全対策

- ・事故時の対応をサポートする上で重要となる各機能への対策を実施

DEC(可搬)	中操空調室への電源車での給電	瓦撤去用重機	モニタリングカー配備	可搬型PHSアンテナ等
	活動拠点の増強	消防系強化	移動無線機	
DEC(恒設)	免震棟	消防車	既存のモニタリング設備	既存の通信設備
	緊急時対策本部	中央制御室	火災対策	アクセス道路確保