

深層防護の設計適用に関する課題 — PWR —

三菱重工業株式会社
炉心・安全技術部 梅澤 成光

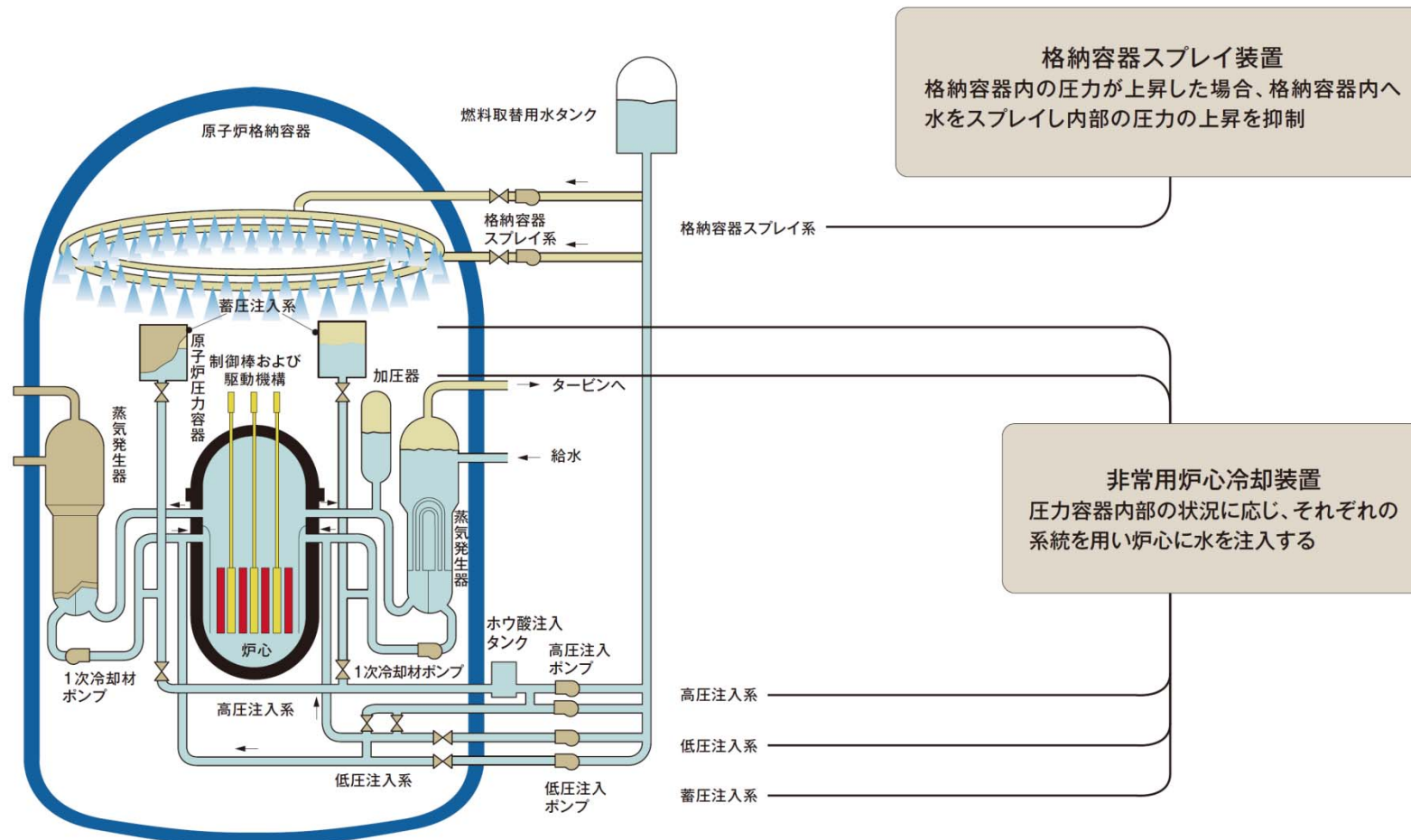
- PWRプラントの深層防護設計
 - 安全設計の基本的な考え方
 - 非常用炉心冷却装置等の例
 - 新規規制基準を踏まえた対策例
 - 炉心損傷防止対策及びCV破損防止対策の有効性評価
- 深層防護の設計適用に関する課題
 - 深層防護レベルの考え方関連
 - 深層防護の設計・運用などへの適用関連
 - 深層防護と規制基準との関係性関連
- まとめ

安全設計の基本的な考え方

	防護 レベル	目的	目的達成に 不可欠な手段
当初設計 プラントの	レベル 1	異常運転や故障の防止	保守的設計及び建設・運転における高い品質
	レベル 2	異常運転の制御及び故障の検知	制御, 制限及び防護系, 並びにその他のサーベランス特性
	レベル 3	設計基準内への事故の制御	工学的安全施設及び事故時手順
設計基準外	レベル 4	事故の進展防止及びシビアアクシデントの影響緩和を含む, 過酷なプラント状態の制御	補完的手段及び格納容器の防護を含めたアクシデントマネジメント
緊急時 計画	レベル 5	放射性物質の大規模な放出による放射線影響の緩和	サイト外の緊急時対応

※深層防護の考え方 技術レポート
 添付資料 各機関における深層防護の防護レベルの分け方
 表2-1 IAEA の深層防護の防護レベル(INSAG-10) より

非常用炉心冷却装置等の例 — 深層防護 レベル3 —



※電気事業連合会、原子力・エネルギー図面集抜粋

PWRプラントの深層防護設計(3)

新規制基準を踏まえた安全性向上対策例

電源確保	①電源の増強／多様化 ②蓄電池の増強
冷却機能確保	①炉心冷却手段多様化／設備の増強 ②水源の確保 ③使用済み燃料ピット冷却機能の強化

内部ハザード耐性強化	①火災防護対策の強化 ②溢水防護対策の強化
外部ハザード耐性強化	①津波対策設備(水密化・シール対策の強化等) ②耐震補強 ③竜巻防護対策の強化



①空冷式非常用発電装置を高台に設置



②蓄電池の増強



①可搬式ポンプの手配



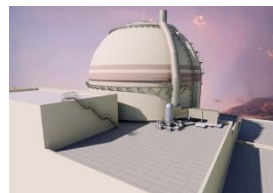
①大容量ポンプの手配



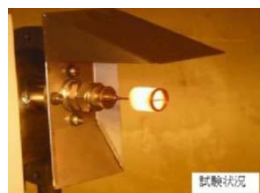
①吸排気口の嵩上げ(非常用ディーゼル発電機)



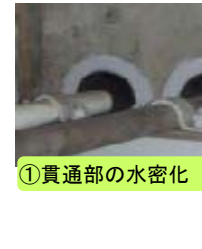
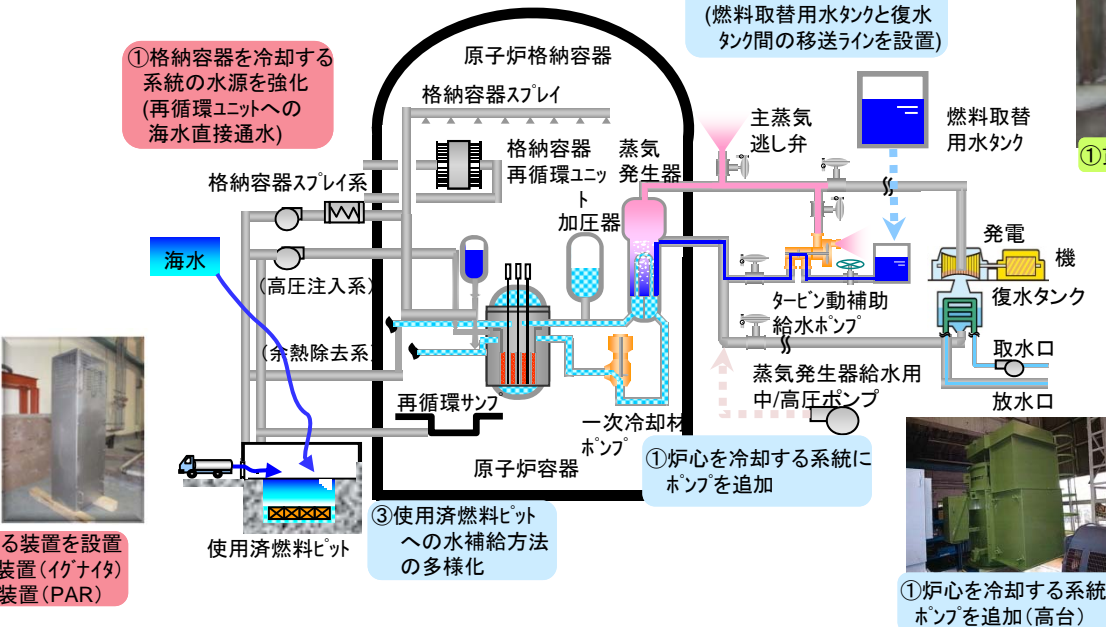
①止水板の設置



②CV減圧時に、放射性物質の放出を低減させる設備を設置(フィルタードベント)(計画中)



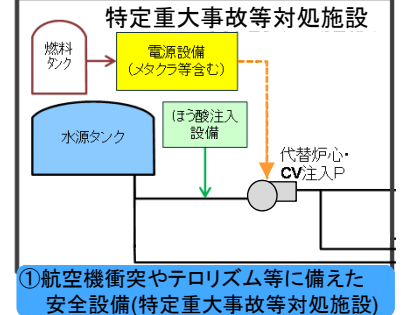
③水素を水蒸気に変換する装置を設置
左:電気式水素再結合装置(イナタ)
右:静的触媒水素結合装置(PAR)



①貫通部の水密化



②緊急時の対策、通信等の重要設備を集めた耐震性の高い建物(免震重要棟)



①航空機衝突やテロリズム等に備えた安全設備(特定重大事故等対処施設)

シビアアクシデント対策	①CV冷却手段の増強／多様化 ②CV減圧手段の強化(外部環境への影響低減) ③水素対策設備
-------------	---

更なる安全性向上対策

①特定重大事故等対処施設
②免震重要棟

炉心損傷防止対策及びCV破損防止対策の有効性評価 –レベル4–

- **評価事象の選定**
 - 想定される起因事象に対して炉心損傷／格納容器破損に至る可能性のある事故シーケンスグループ
 - PRAに基づき、類型化された重要事故シーケンスを追加
- **炉心損傷防止対策の有効性の評価**

設計上の想定を超える事態の発生を前提とし、炉心損傷に至らせないための対策（シート5の「電源確保」「冷却機能確保」の一部に対応）

 - 重大事故（シビアアクシデント）の類型化された重要事故シーケンスから炉心損傷防止対策の有効性を解析により確認
- **格納容器破損防止対策の有効性の評価**

炉心損傷の発生を前提とし、格納容器の破損を防止するための対策（シート5の「電源確保」「シビアアクシデント対策」の一部に対応）

 - 重大事故（シビアアクシデント）の類型化された格納容器破損モードから格納容器破損防止対策の有効性を解析により確認

「深層防護の考え方」報告書検討時の論点の分類に従い具体例を紹介

- **深層防護レベルの考え方関連**
 - 設計想定としてどこまでの事象を考慮すべきか
- **深層防護の設計・運用などへの適用関連**
 - 外的ハザード時の原子炉停止をどう考えるべきか
 - 防護レベルの信頼性の持たせ方をどう考えるべきか
 - シビアアクシデントを含む事故発生と外的事象との重ね合わせをどう考えるべきか
- **深層防護と規制基準との関係性関連**
 - 静的機器や構造物の故障はどのように考えればよいか

- **課題：設計想定としてどこまでの事象を考慮すべきか**
 - DBA、SA対応に関わらず、設計想定事象は、深層防護設計に係る設備・マネジメントの機能要求範囲(投入時刻、容量、運転操作)に大きく影響
 - 頻度的には十分に小さい事象を設計想定として考慮する必要性をどう考えるべきか
(例)

項目	内容	設計への影響
配管破断の規模	大破断LOCA(全周破断等)は機械設計上は既にDBAから外れており、米国においてはECCS設計においても再定義を検討	ECCS容量 必要投入時刻等
複数個所の破断	EX-LOCAは地震PRAにおいては考慮されている	RVキャビティへの水張り時刻等
内部事象の重畳	蒸気発生器伝熱管破損と2次系破断の重畳等	運転要領等

- 課題: 外的ハザード時の原子炉停止をどう考えるべきか
 - 負荷遮断、外部電源喪失といった外乱時には、原子炉スクラムを避けて所内単独運転による電源確保を図る設計
 - 地震時等の原子炉停止
 - 地震加速度大の信号等により原子炉スクラム
 - 外部電源喪失時には原子炉停止後は非常用ディーゼル発電機により電源確保
 - 原子炉停止をできるだけ避けて、所内単独運転機能を積極的に活用することで電源を確保するアプローチはリスク低減策として考えられないか

- 課題：防護レベルの信頼性の持たせ方をどう考えるべきか
 - 第4レベルまで深層防護が既に実装されている状態を想定
 - 継続的な安全性向上の一環として、深層防護のレベルの信頼性を向上させる場合に、炉心損傷防止設備と格納容器損傷防止設備のいずれを重視すべきか
 - 両設備の信頼性が同等であれば、上流側設備を重視する方が、格納容器損傷確率は同等で、かつ炉心損傷防止確率をより小さくすることが可能であるが、バランスとしてどうあるべきか

- 課題:シビアアクシデントを含む事故発生と外的事象との重ね合わせをどう考えるべきか
 - 緩和設備の設計においては、事故を要因とする荷重や環境条件に対する健全性、及び地震動に対する健全性それぞれが考慮されている
(例)
 - 原子炉格納容器バウンダリにかかる圧力 \leq 最高使用圧力又は限界圧力
 - 原子炉格納容器バウンダリにかかる温度 \leq 最高使用温度又は限界温度
 - 両者を重ね合わせると機械設計上、より厳しい条件となるが、例えば地震動としてどの程度の規模を想定するのが、妥当であるか
頻度についてはどのように考えるべきか

- 課題：静的機器や構造物の故障はどのように考えればよいか
 - 重要度の特に高い安全機能を有する系統は、長期間では動的機器の単一故障又は想定される静的機器の単一故障のいずれかを仮定しても、所定の安全機能を達成する必要がある
 - この仮定は深層防護に基づく設計におけるある防護レベルの信頼性を高めるための一つの手段
 - 防護レベルの信頼性を高めるために緩和設備等において静的機器の故障を想定する場合に、破損の程度の想定が設備容量に影響を与える
 - 例えば、配管、容器の破損の程度(亀裂、破断等)をどのように想定するのが適切か、可能性についてどのように考えるべきか

- 深層防護の具体的な適用に向けての論点整理の位置づけで、PWRの深層防護の設計適用に係る課題を例示した
- 日本原子力学会での深層防護の適切な実装のための議論に寄与すると共に、外部ハザードの研究成果やリスク情報も活用してより適切な設計判断の手法を開発してゆく