

原子力発電所の安全確保の考え方

対話 in 長岡技術科学大学
平成25年6月12日

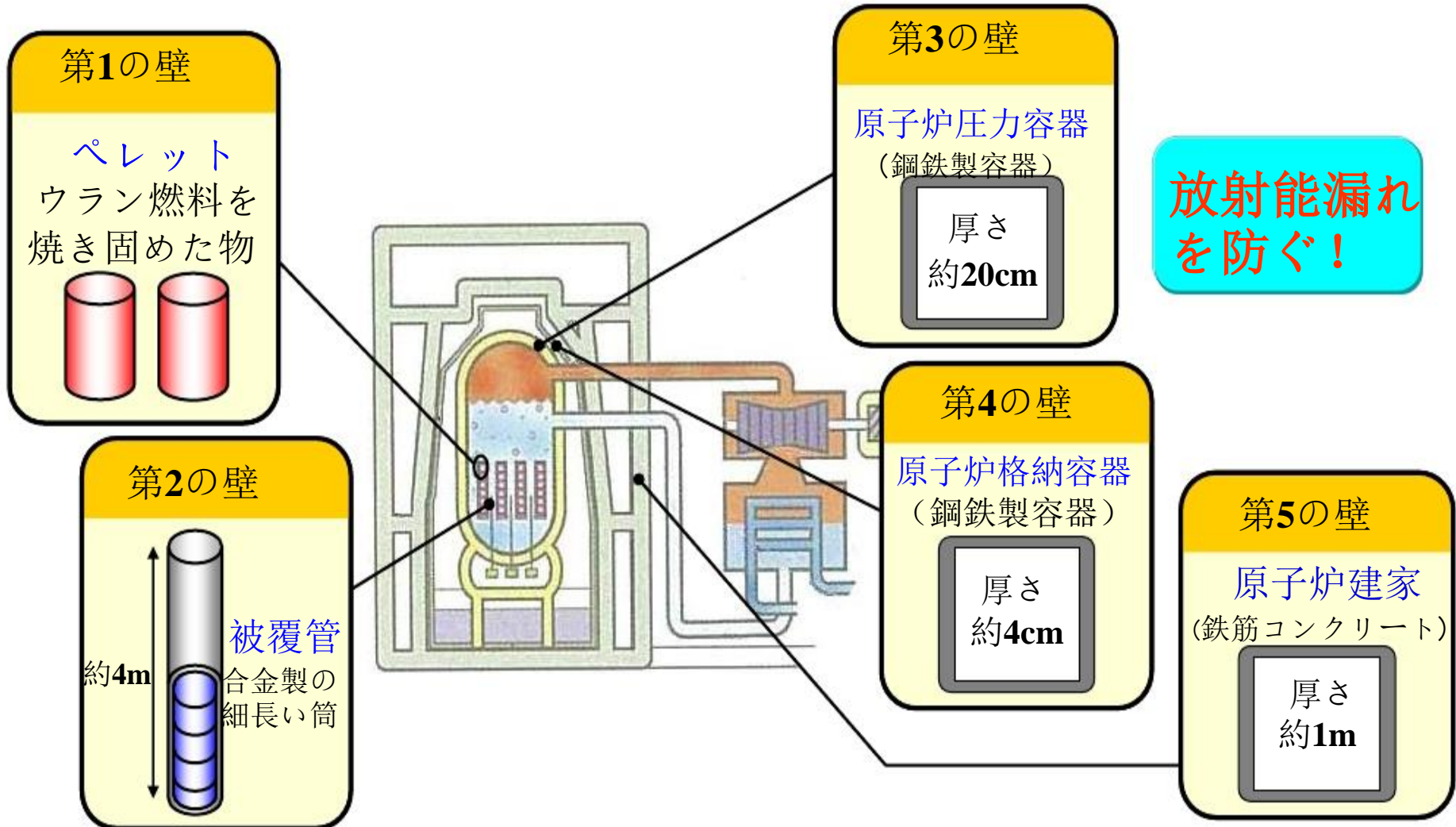
シニアネットワーク運営委員
大野 崇

原子力発電所の安全の確保

- 5重の壁により放射性物質を閉じ込める
- 深層防護 (Defence in Depth) 思想により安全設計を行う
- 運転・保修員の資質向上を図る
- 厳重な品質管理、入念な点検・検査を行う

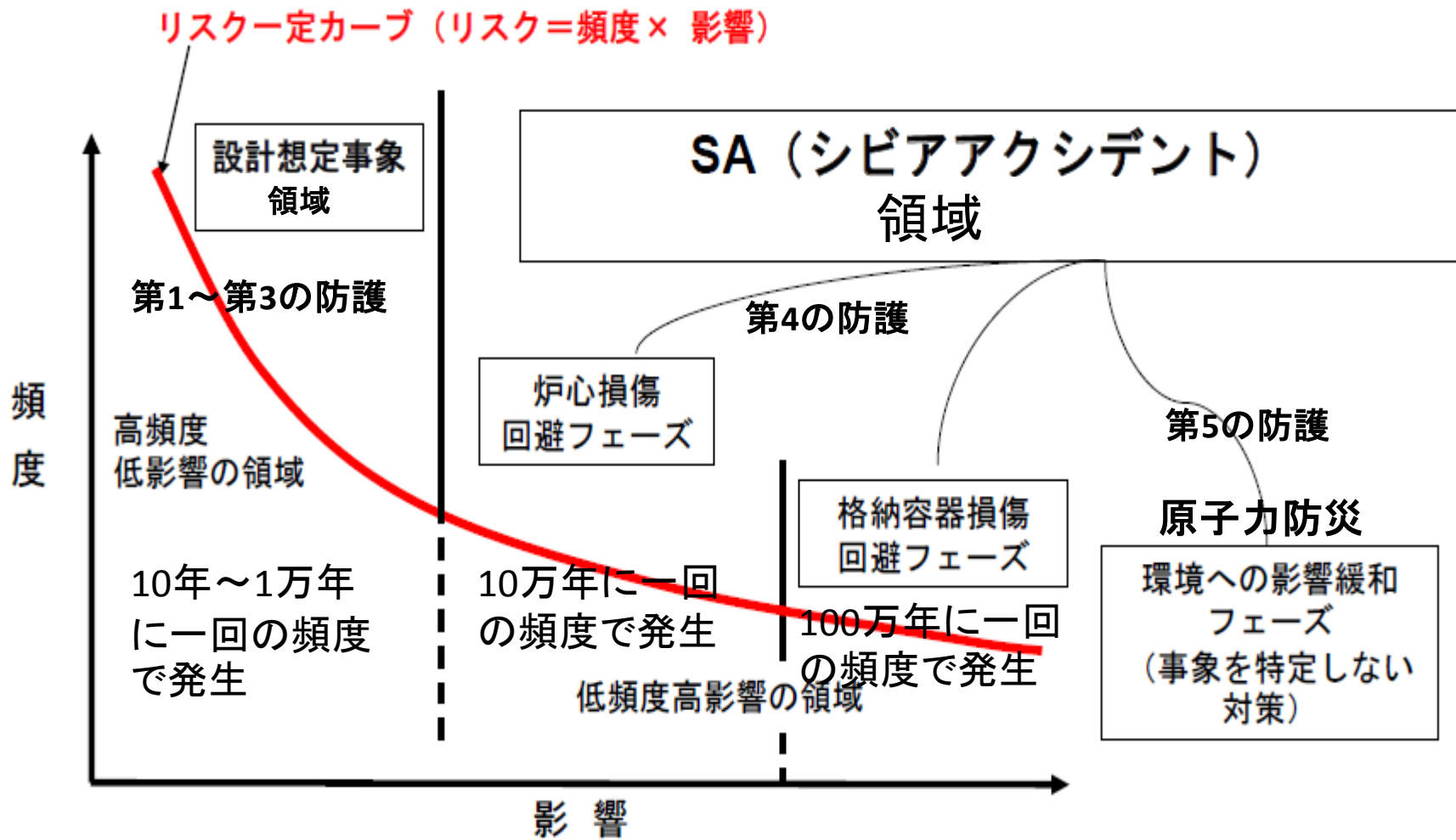
5重の壁

放射能を閉じ込める**5重の壁**



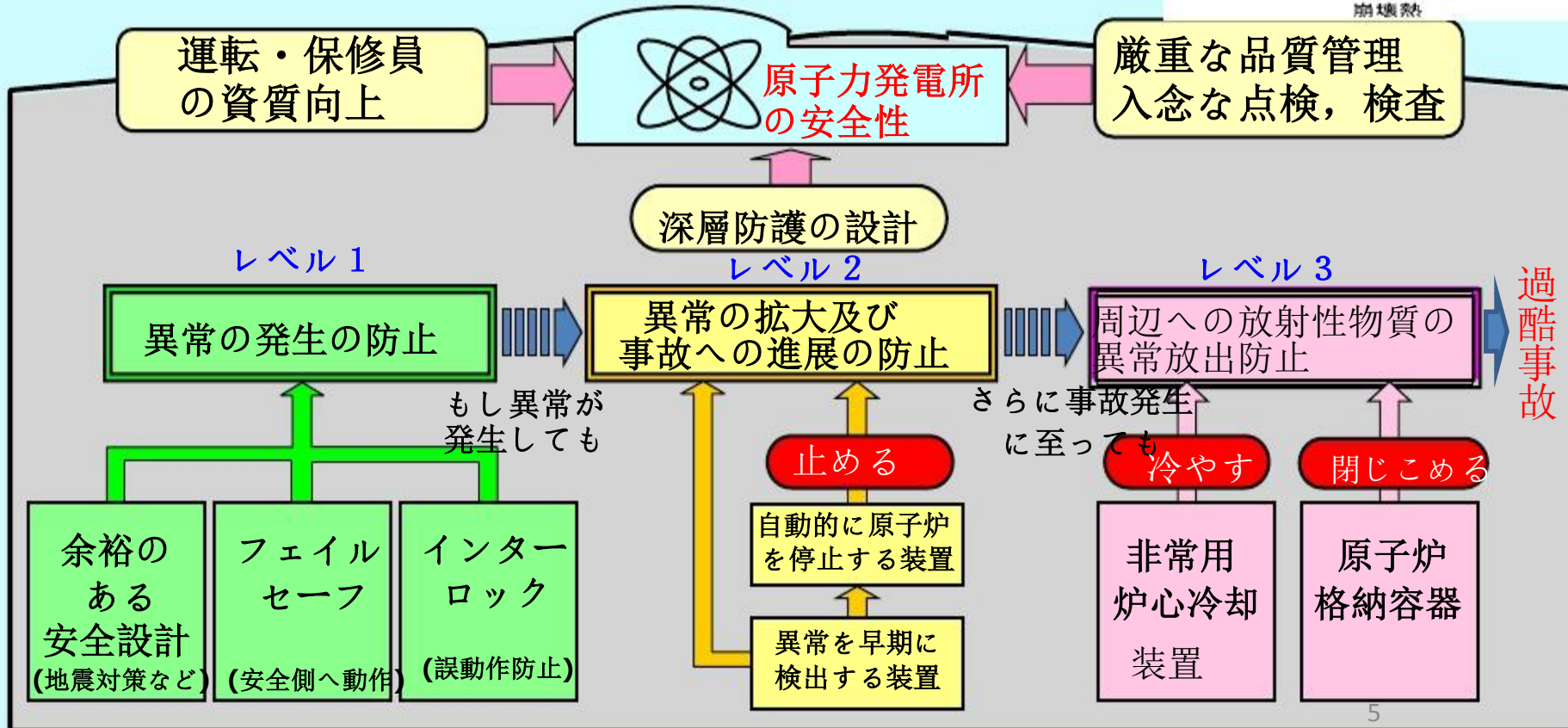
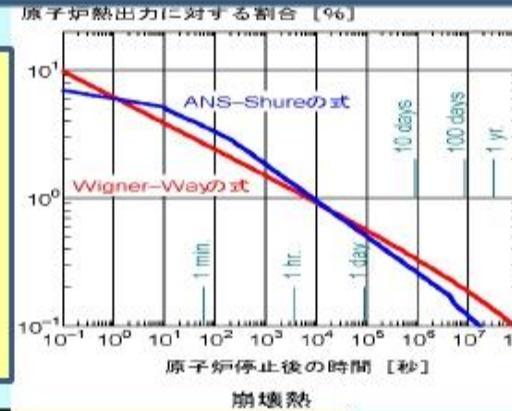
深層防護による安全確保のイメージ

想定し得る様々な事象を考慮するため、リスク概念を導入し、頻度に応じた対策をとる
(高頻度低影響から低頻度高影響まであらゆる領域を考慮)



第1～第3の深層防護 (1)

- ・ 深層防護の設計思想を確立し、多重の安全設備を設ける。
- ・ 核分裂生成物と言う厄介な物質が生成する。
- ・ 原子炉を止めても発熱（崩壊熱）があり、冷却しなければならない。
- ・ 大量の放射性物質を如何なる際も閉じ込めなければならない。
- ・ 高レベルの放射性廃棄物を最終処分（深地層処分）しなければならない。



第1～第3の深層防護(2)

深層防護	防護策
第1の防護 異常発生防止	<p>(1) 原子炉の固有の安全性を有するように設計する(出力上昇を抑制するような方向にフィードバックがかかる設計)</p> <p>(2) 異常が発生しないように安全装置や機器は性能や品質の高い設計とする</p> <ul style="list-style-type: none">・余裕を持った設計とする(例耐震設計に安全尤度を持たせる)・性能試験や寿命試験により信頼性を確認しておく・フェールセーフ設計を採用する(例電源等の駆動源が喪失した場合にシステムが安全側の方向に作動する設計)・フルプルーフ設計を採用する(例制御棒の過剰引き抜きを防止するインターロックを設ける)・安全系統は多重・多様設計とする・定期的に保守・点検を行う。また、行えるように設計する
第2の防護 異常の拡大防止	<p>異常が発生した場合に、出力や温度等の上昇等を早期に検知し制御棒を原子炉に挿入して緊急に停止させ異常の拡大を防止する設計とする (原子炉は異常を検知してから2～3秒で制御棒が挿入され停止する)</p>
第3の防護 周辺環境への放射性物質の放出防止	<p>事故が発生した場合に、原子炉を冷却して炉心溶融を防止し、また、放射性物質を閉じ込めて放射性物質を周辺環境へ放出しない設計とする</p> <p>具体的には以下の工学的安全施設を設ける</p> <ul style="list-style-type: none">・原子炉を冷却する非常用炉心冷却設備・放射性物質を閉じ込める原子炉格納容器設備・原子炉格納容器から漏洩してくる放射性ヨウ素を取り除く空気浄化設備・発生した水素を結合させて取り除く可燃性ガス濃度制御設備(BWR)

工学的安全施設

(新規制基準(設計基準)H25.4.3版)

• 定義

「原子炉施設の破損、故障等に起因して、原子炉内の燃料の破損等による多量の放射性物質の放散の可能性がある場合に、これを抑制又は防止するための機能を備えるよう設計された施設」

▪ 設計要求(安全機能を有する構築物、系統及び機器に対する要求)

- 規格基準準拠(設計、材料選定、製作、検査等)
- 自然現象(地震・津波、洪水、風(台風)、竜巻、凍結、降水、積雪、落雷、地滑り、火山の影響、生物学的事象等)
- 外部人為事象(航空機落下、ダム崩壊、爆発、近隣工場等の火災、有毒ガス、船舶の衝突、電磁的障害等)
- 内部発生飛来物(弁及び配管の破断、高速回転機器の破損、ガス爆発、重量機器の落下等)
- 内部溢水(機器及び配管の破損、消火系統等の作動、使用済み燃料プールのスロッシング等)
- 環境条件(その機能が期待されている通常運転時、運転時の異常な過渡変化、設計基準事故でさらされる環境)
- 共用の禁止(2基以上の原子力施設間で同一の構築物、系統又は機器の使用禁止。安全性向上の場合は除く)
- 運転員操作(異常な過渡変化又は設計基準事故の発生後運ある時間までは転員の操作を期待しない設計等)
- 信頼性(高い信頼性の確保と維持、単一故障の仮定(多重性又は多様性及び独立性の要求)、外部電源喪失の仮定)
- 試験等可能性(原子炉の運転中又は停止中に試験又は検査ができる設計)

BWR工学的な安全施設(1)

(1) 非常用炉心冷却設備(Emergency Core Cooling System)

原子炉冷却系の配管破断を想定し、燃料の過熱による燃料被覆管の破損を防ぎ、大量の放射性物質の放出と水素の発生を抑える設備。

高圧炉心スプレイ系: 小配管破断～中配管破断に対して高圧のポンプにより炉心の上のノズルからスプレイして冷却する。水源は最初は復水貯蔵タンク水を使用し、枯渇後は自動的に圧力抑制プール水に切替わる。

低圧炉心スプレイ系: 大配管破断に対して低圧のポンプにより大量の冷却水を炉心の上のノズルからスプレイして冷却する。水源は圧力抑制プール水を使用。炉心に注入された冷却水は破断口から溢流し圧力抑制プールに戻り循環する。

低圧注入系: 大配管破断に対して低圧のポンプにより大量の冷却水を原子炉圧力容器に直接注入する。水源は圧力抑制プールの水を熱交換器を通して使用。これにより圧力抑制プール水に溜った崩壊熱を除去する。

自動減圧系: 小配管破断時に逃がし安全弁を自動的に開放し、原子炉蒸気原子炉圧力を低下させて、低圧炉心スプレイ系あるいは低圧注入系による大量の注入を早期に可能とする。

BWR工学的安全施設(2)

(2)原子炉格納設備

原子炉格納容器とそれを収納する原子炉建屋とからなる。原子炉冷却系の配管破断事故等で原子炉から放出された放射性物質を閉じ込め環境へ放出されないようにする。

原子炉格納容器：原子炉冷却系の配管破断事故時に放出される高温の蒸気と水をベント管を通して下にある圧力抑制プールに導いて凝縮する。また、格納容器を貫通する配管を自動的に隔離して放出された放射性物質を閉じ込める。

格納容器スプレイ系：圧力抑制プール水を熱交換器経由で冷却し格納容器内上部のノズルからスプレイさせて原子炉格納容器の圧力上昇を抑制する。また、格納容器内に浮遊する放射性物質を除去する。

可燃性ガス濃度制御系：燃料過熱によるジルコニウム-水反応で発生した水素を再結合装置に導き格納容器内での水素爆燃を防ぐ。

非常用ガス処理系：原子炉格納容器から原子炉建屋へ漏れいする放射性物質をフィルターで除去し排気筒から放出する。

非常用炉心冷却装置等の例 (BWR)

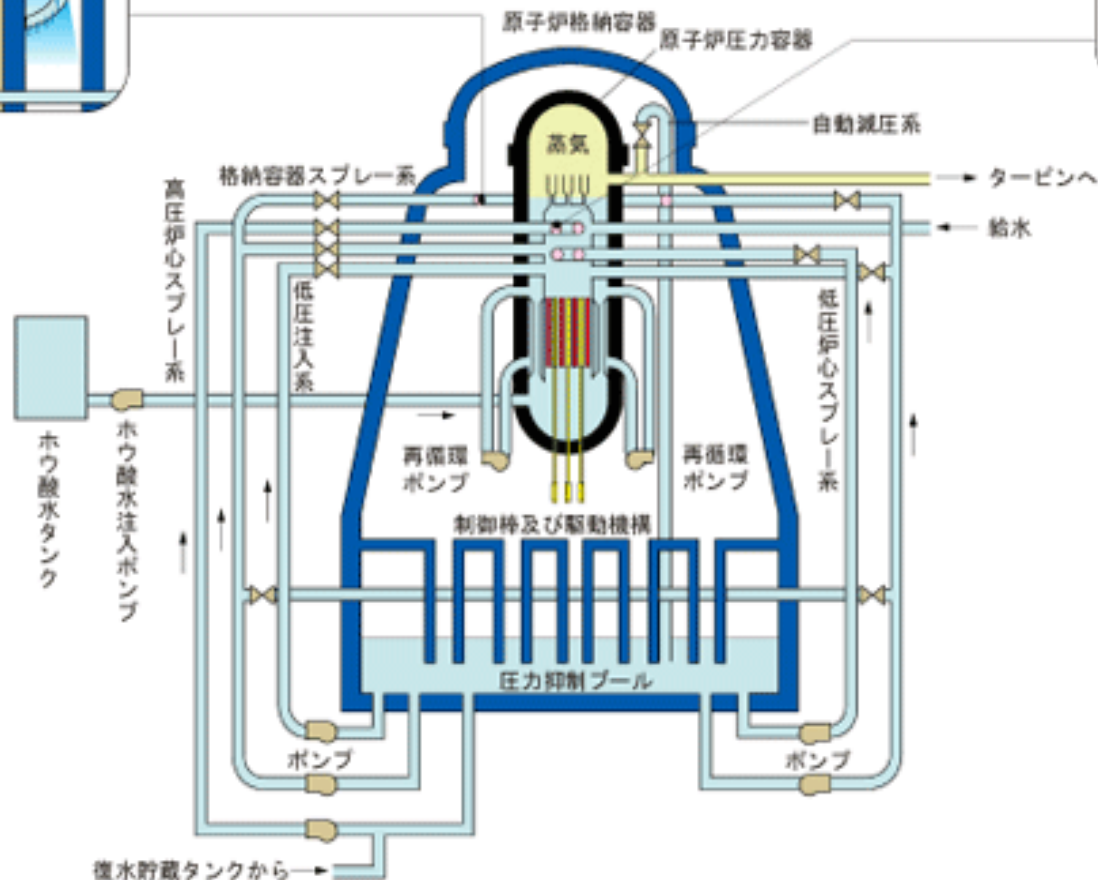
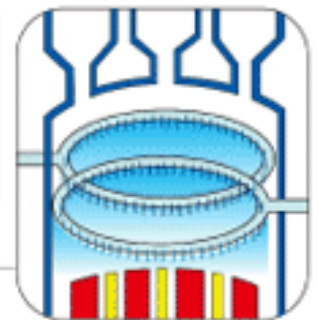


格納容器スプレー装置

格納容器の内壁に取り付けたドーナツ型の水管からも、水がシャワーのように流れて格納容器の内部を冷やします。これが格納容器スプレーです。

非常用炉心冷却装置

ドーナツ型の穴の空いた水管があって炉心の水が減ると、自動的にスプレーのように放水され燃料を冷やします。これが炉心スプレー系の冷却装置です。



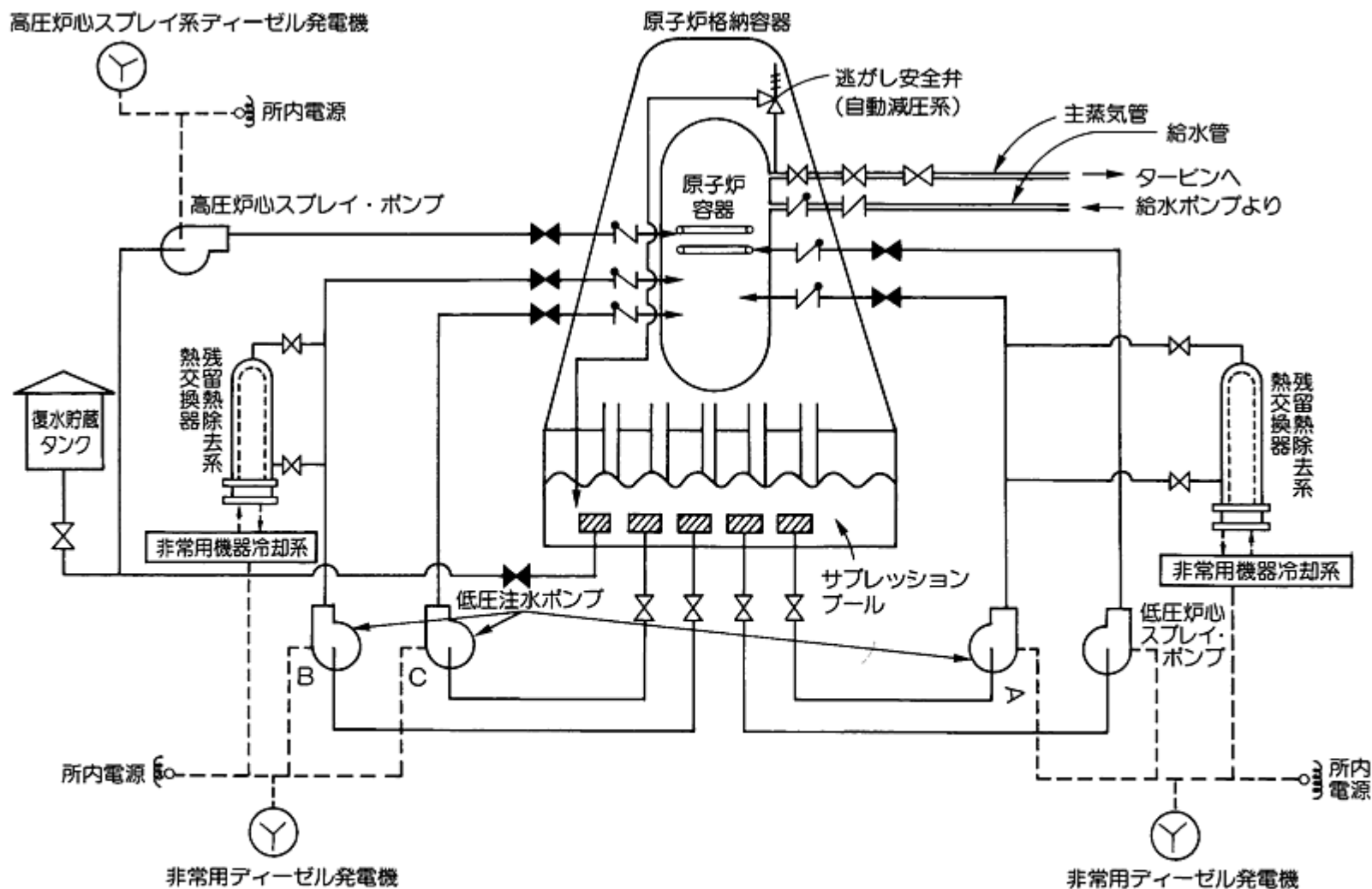


図1 BWR非常用炉心冷却系

(出典) 東京電力：福島第二原子力発電所原子炉設置変更許可申請書、昭和53年12月

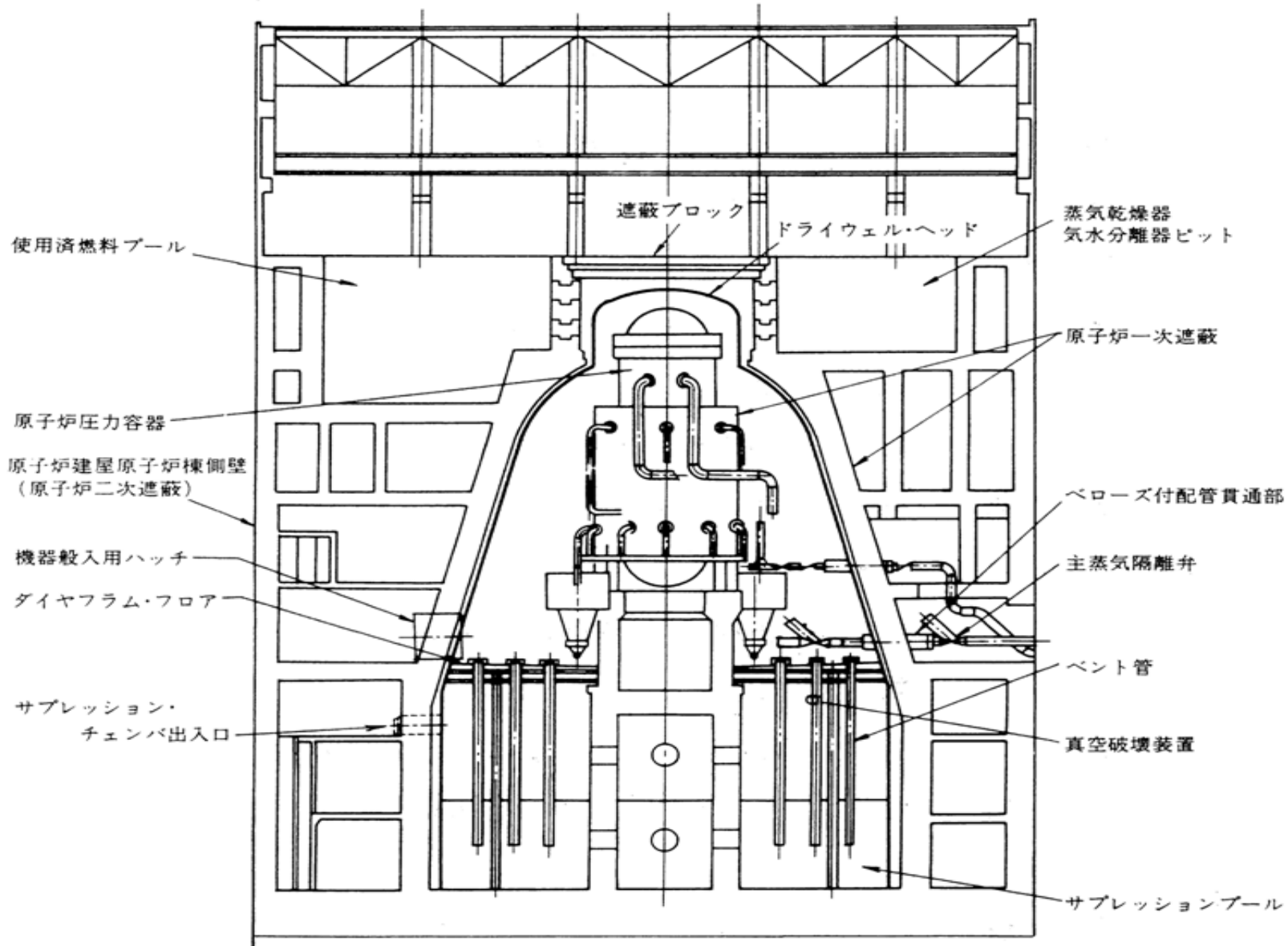
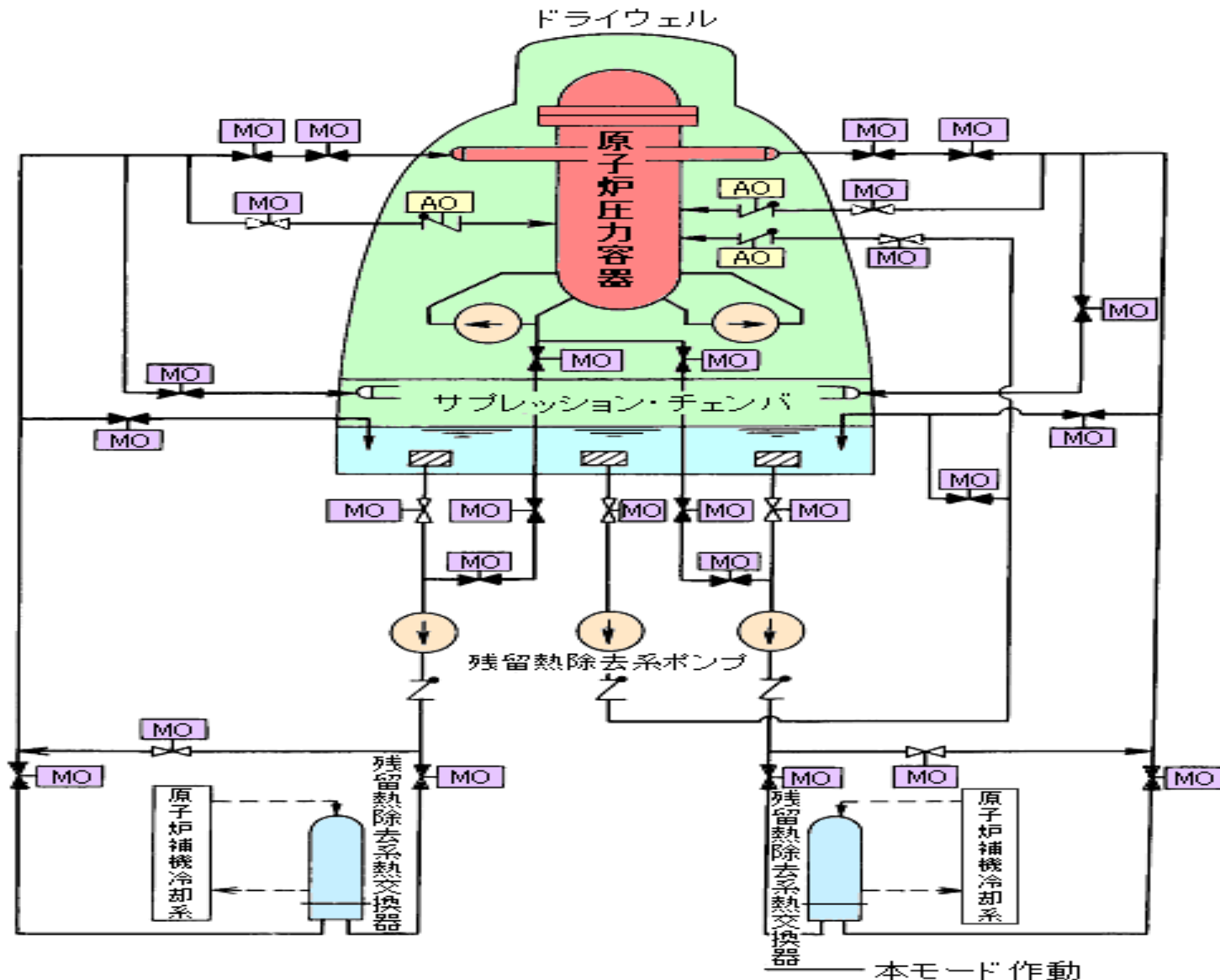


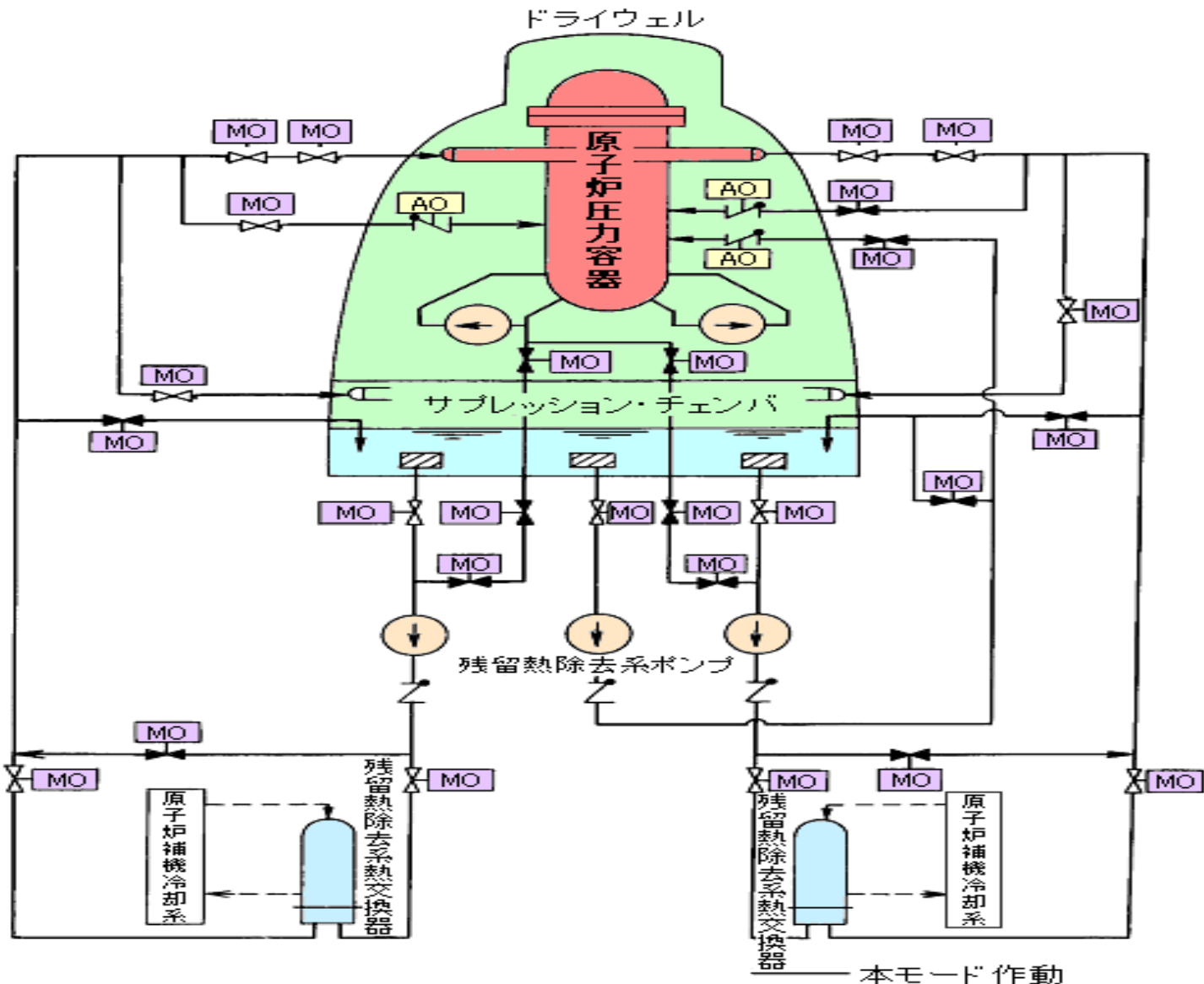
図5 BWR原子炉格納施設



下記出典を元に作成した

図2 BWR残留熱除去系低圧注水モード

[出典]原子力安全研究協会(編・刊):軽水炉発電所のあらし(改訂第3版)、13
平成20年9月、p.86



下記出典を元に作成した

図6 BWR残留除去系格納容器スプレイ冷却モード

[出典]原子力安全研究協会(編):軽水炉発電所のあらかし(改訂第3版)
平成20年9月、p.92

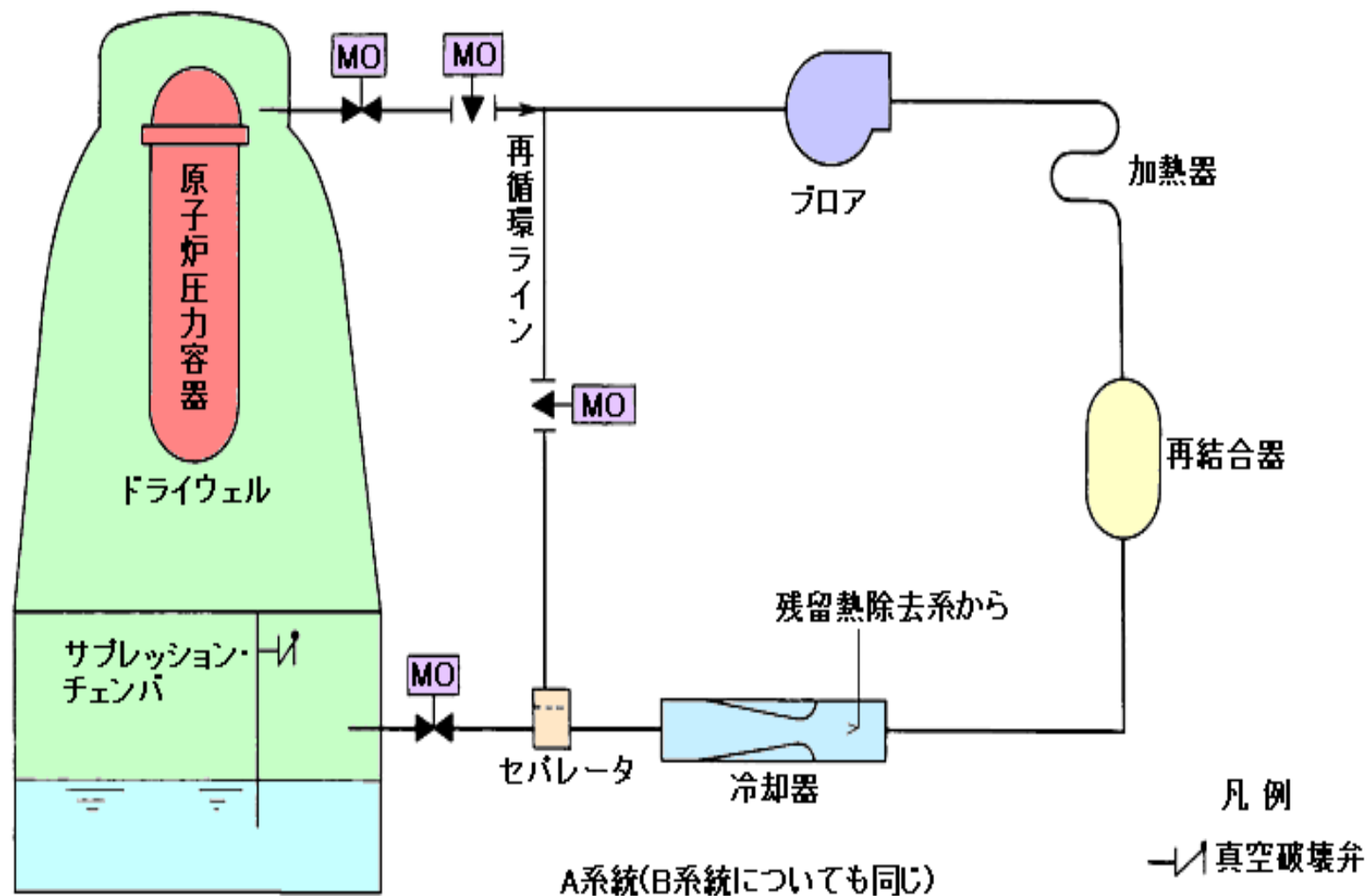


図7 BWR可燃性ガス濃度制御系

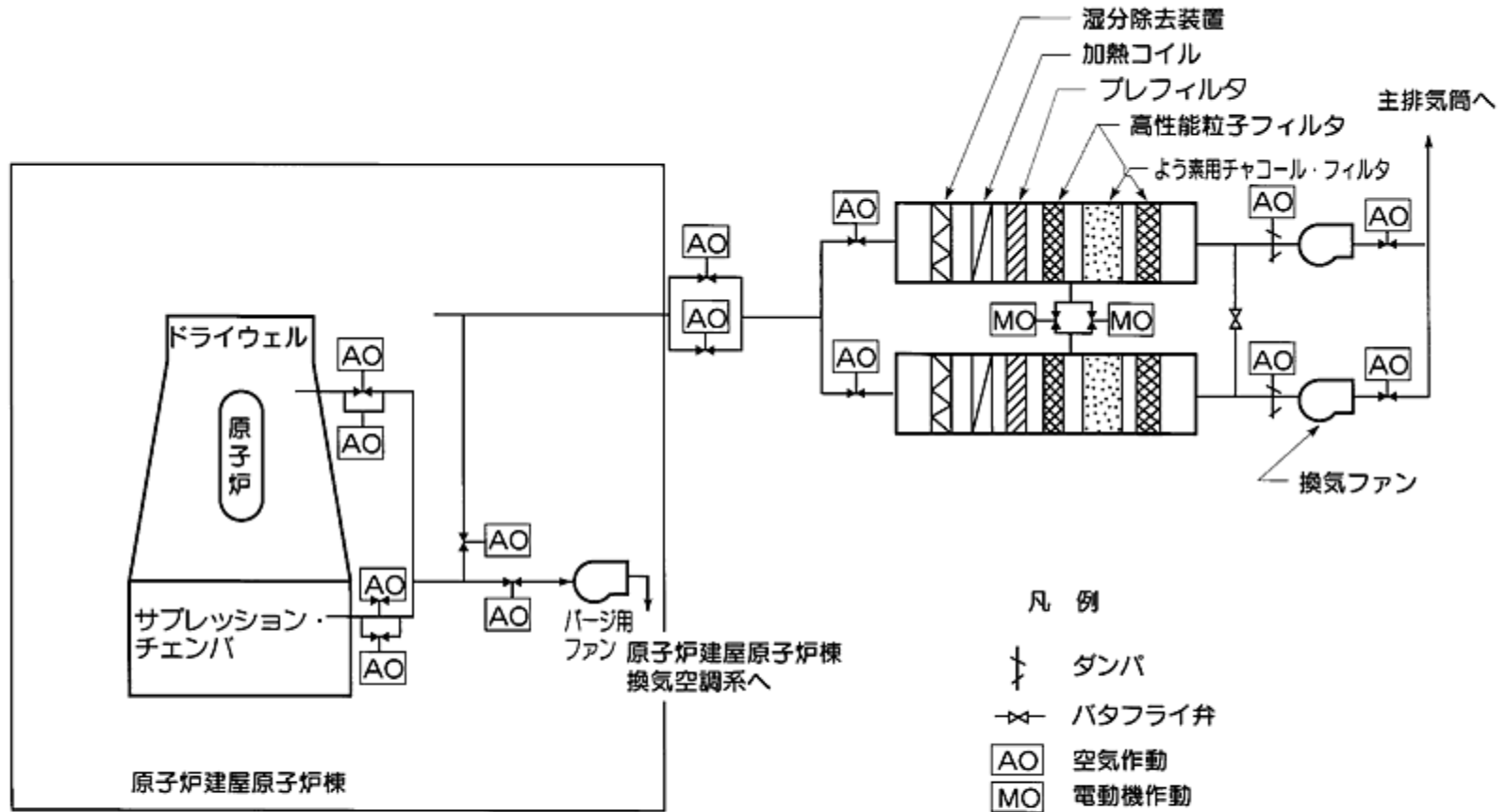


図8 BWR非常用ガス処理系

[出典]東京電力:福島第二原子力発電所原子炉設置変更許可申請書、昭和53年12月、P8-5-29

PWR工学的な安全施設(1)

(1) 非常用炉心冷却設備(Emergency Core Cooling System)

原子炉冷却系の配管破断を想定し、燃料の過熱による燃料被覆管の破損を防ぎ、大量の放射性物質の放出と水素の発生を抑える設備。

高圧注入系: 小配管破断に対して高圧のポンプにより高温側配管経由で原子炉に注入する。水源は燃料取り替え用水タンクのホウ酸水を使用する。

蓄圧注入系: 中配管破断に対して窒素ガスで加圧された蓄圧タンクのホウ酸水を低温側配管経由で原子炉に注入する。

低圧注入系: 大配管破断に対して低圧のポンプにより大量の冷却水を低温側配管を経由して原子炉に注入する。水源は最初は燃料取り替え用水タンクのホウ酸水を、枯渇後は破断口から溢流して格納容器の床に設けた格納容器サンプに溜まった水を熱交換器を経由して循環させて使用する。

PWR工学的安全施設(2)

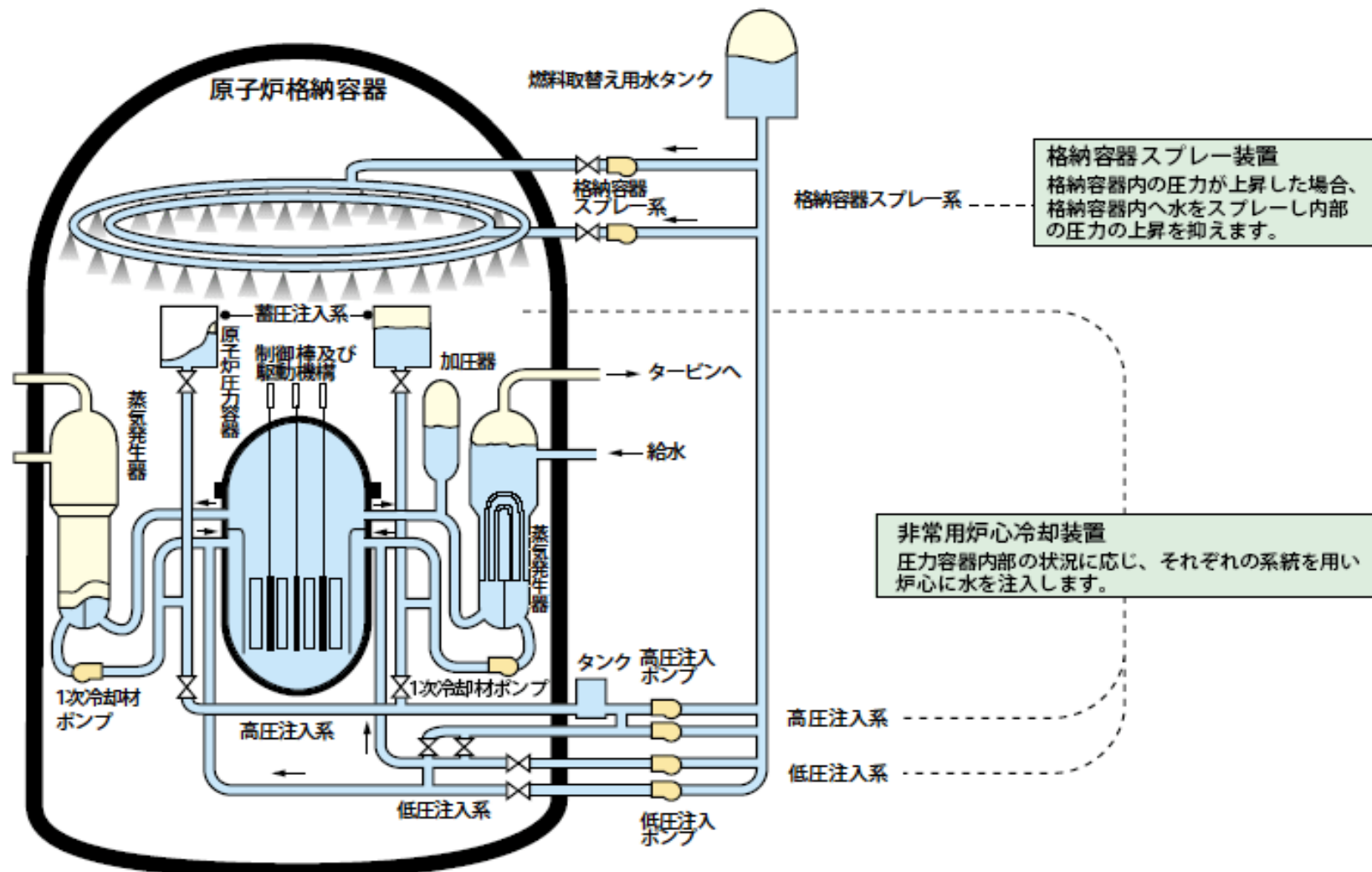
(2)原子炉格納設備

原子炉格納容器とその外側のアニュラス部とからなる。原子炉冷却系の配管破断事故等で原子炉から放出された放射性物質を閉じ込め環境へ放出されないようにする。

原子炉格納容器：直径約43mの鋼鉄製のドームで原子炉冷却系の配管破断事故時に高温の蒸気と水が放出される。格納容器を貫通する配管を自動的に隔離して放出された放射性物質を閉じ込める。

格納容器スプレイ系：燃料取り替え用水タンクの水を格納容器内上部のリングからスプレイさせて原子炉格納容器の圧力上昇を抑制するとともに格納容器内に浮遊する放射性物質を除去する。枯渇後は、破断口から溢流して格納容器の床に設けた格納容器サンプルに溜まった水を熱交換器を経由して循環させて使用する。

アニュラス：原子炉格納容器から漏れいする放射性物質を負圧のアニュラス部に集めフィルタで除去し排気筒から放出する。



出典：資源エネルギー庁「原子力2007」

図1 工学的安全施設の主要な設備(PWR)説明図

[出所]電気事業連合会:「原子力・エネルギー」図面集 2008年版(2008年4月)、p.91、
<http://www.fepec.or.jp/library/publication/pamphlet/nuclear/zumenshu/pdf/all05.pdf>

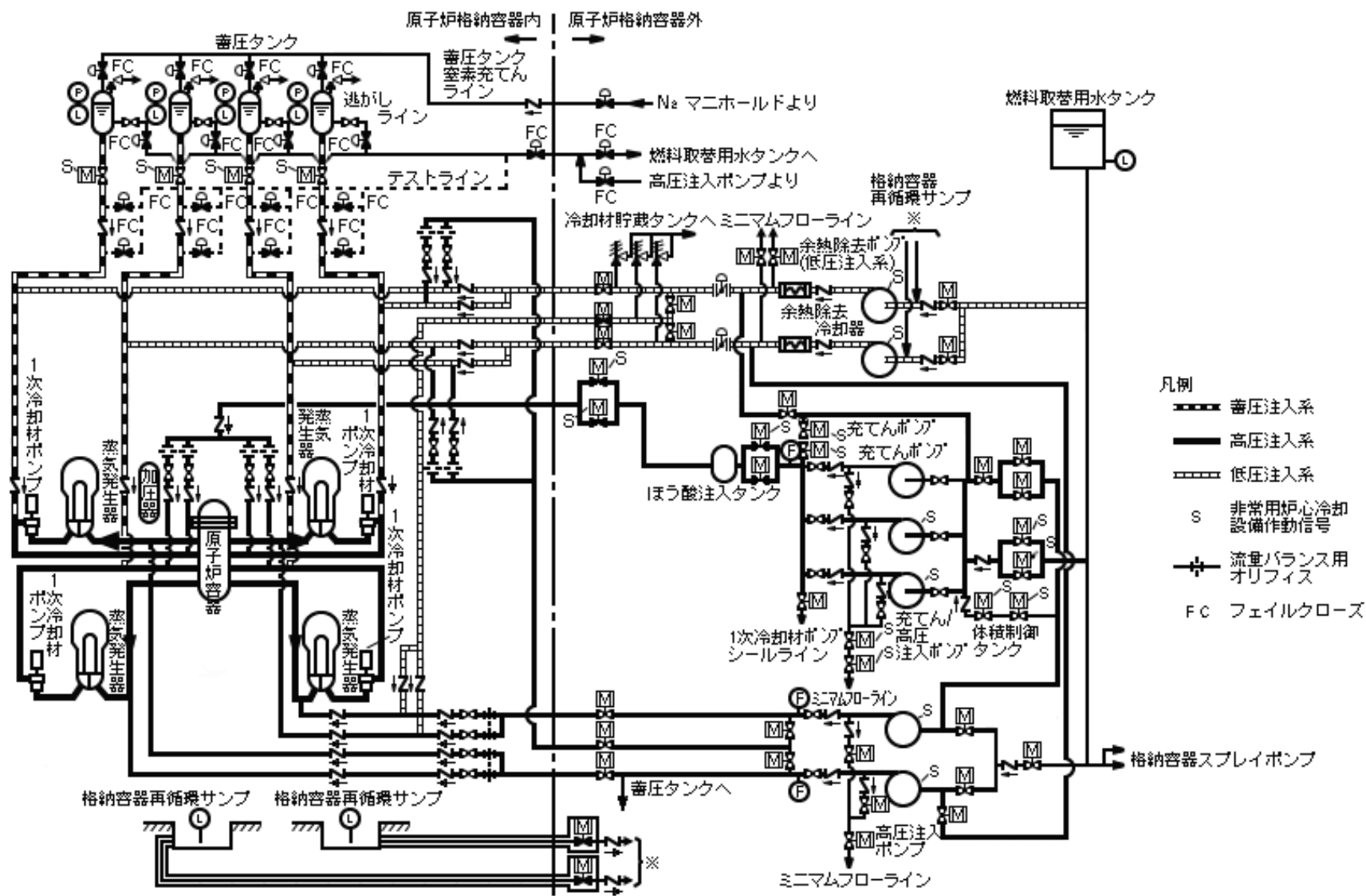


図2 非常用炉心冷却設備(PWR)系統説明図

[出典]日本原子力発電:敦賀発電所原子炉設置許可申請書(昭和55年8月)

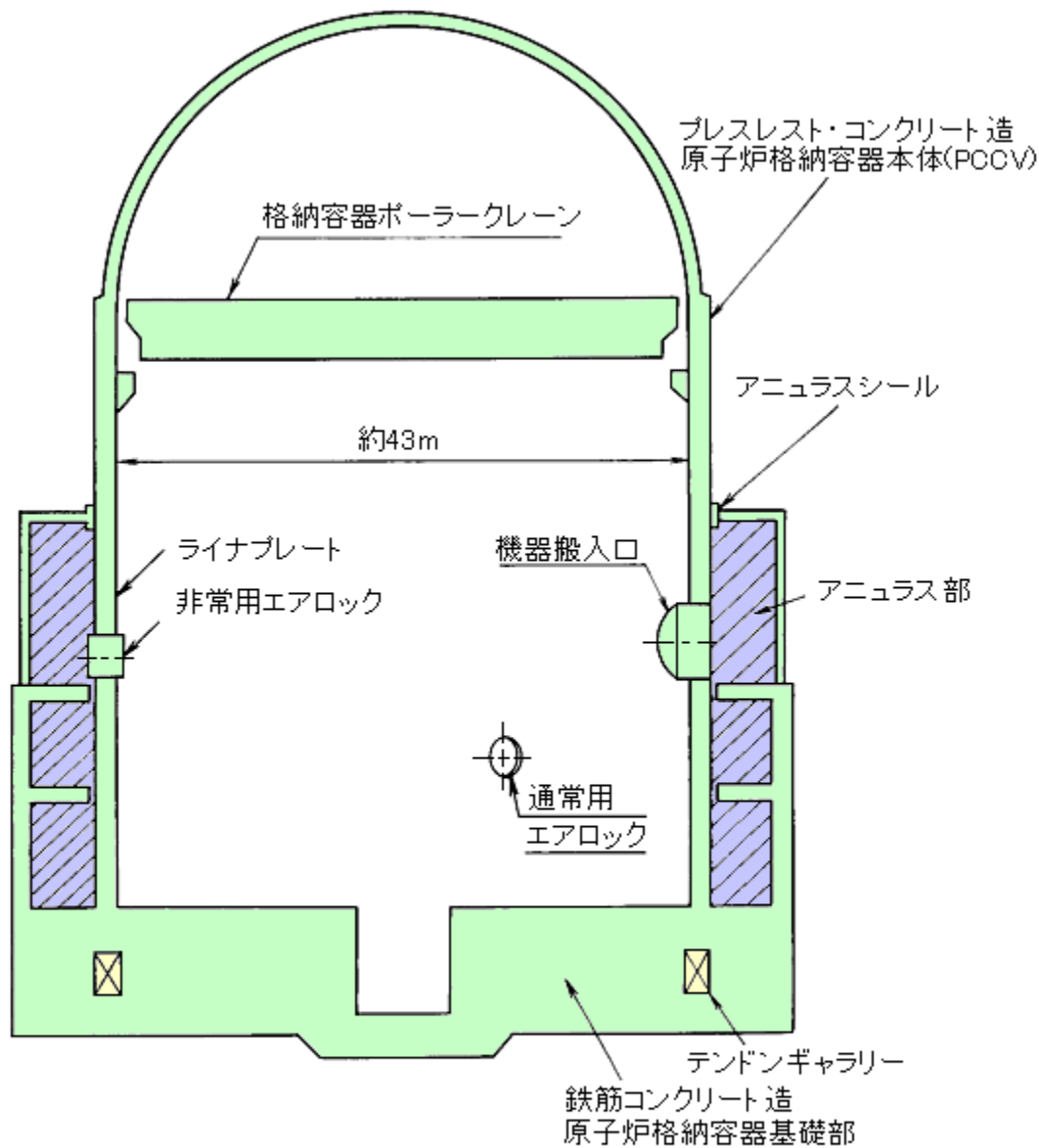


図3 原子炉格納施設(PWR)構造説明図

[出典]原子力安全研究協会 実務テキスト編集委員会(編):軽水炉発電所のあらまし(改訂3版)、
原子力安全研究協会(平成20年9月)、p.197

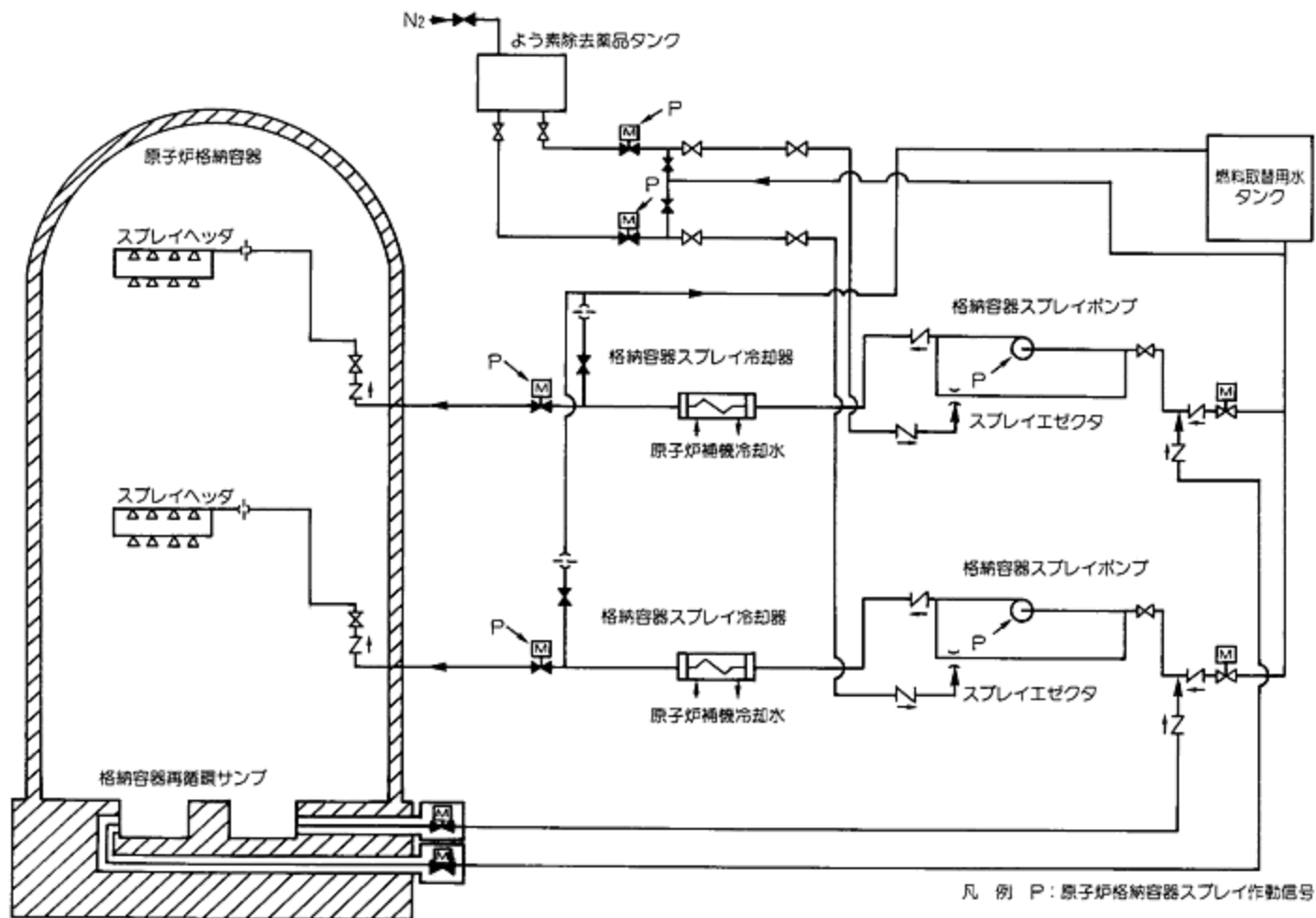


図4 原子炉格納容器スプレイ設備(PWR)系統説明図

[出典] 日本原子力発電: 敦賀発電所原子炉設置許可申請書(昭和55年8月)

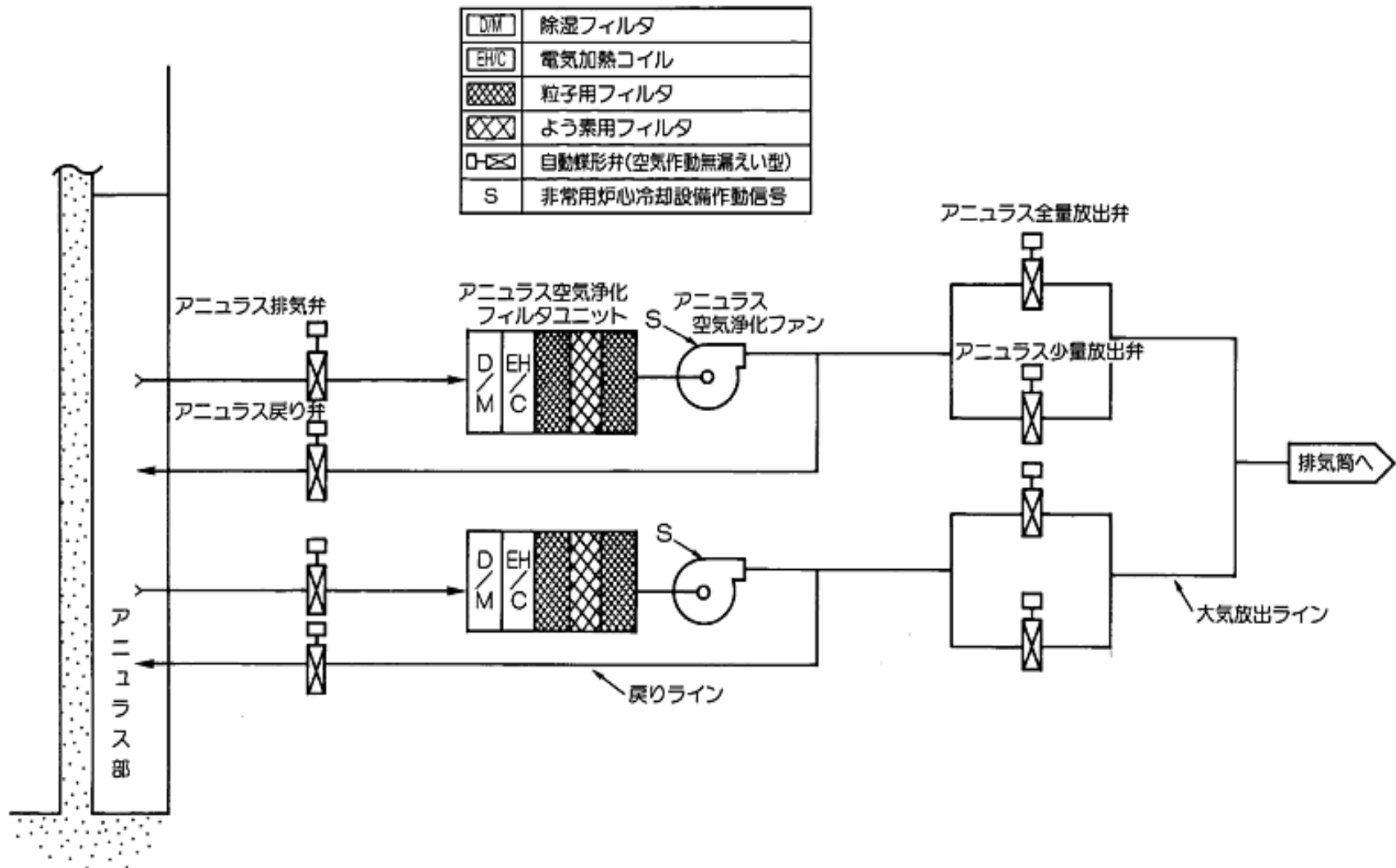


図5 アニュラス空気浄化設備(PWR)系統説明図

[出典] 日本原子力発電: 敦賀発電所原子炉設置許可申請書(昭和55年8月)

第4層 過酷事故対策(アクシデントマネジメント)

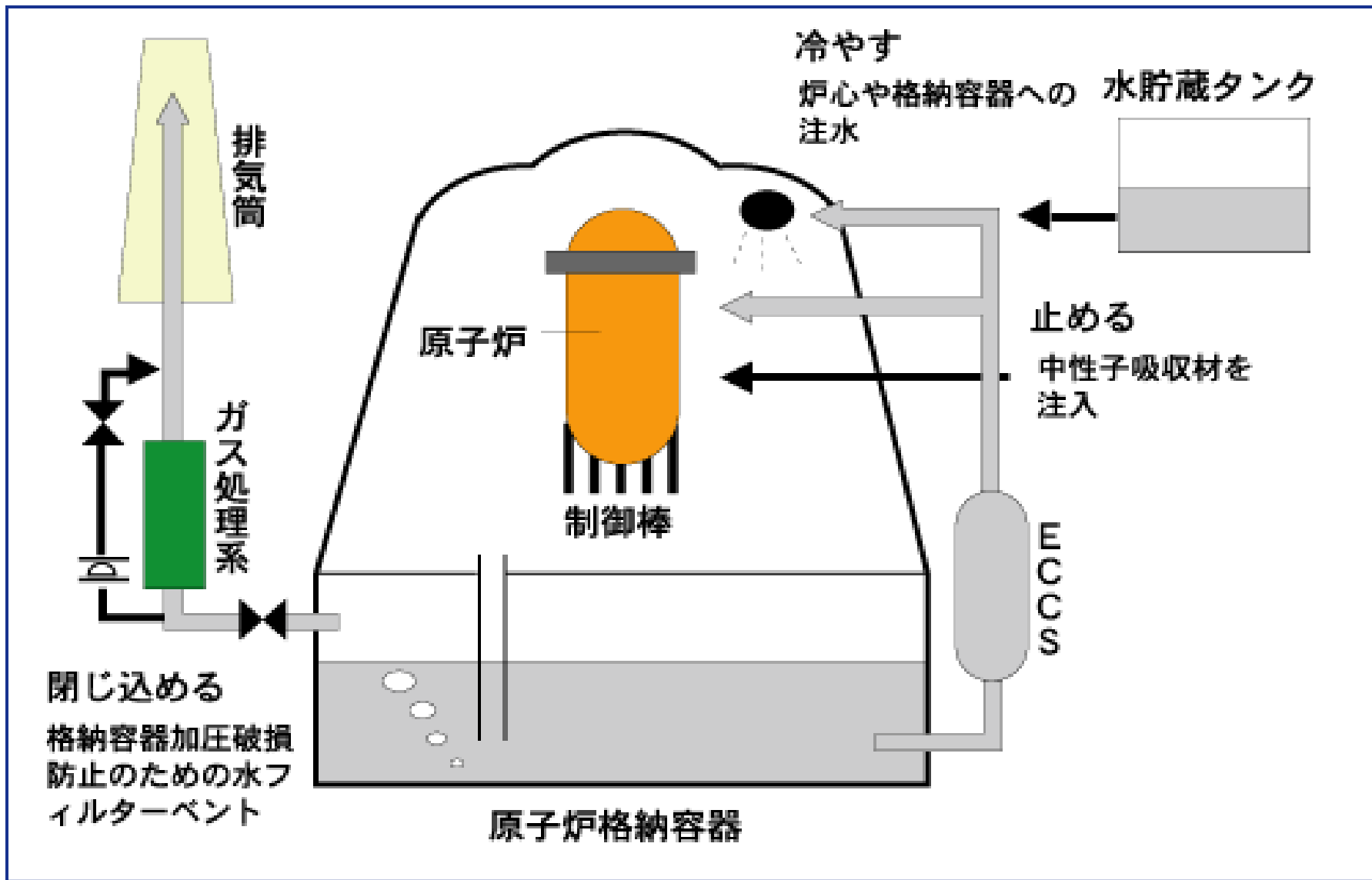
BWR

- ・原子炉停止失敗→代替制御棒挿入、ホウ酸注入、再循環ポンプトリップ
- ・炉心注入失敗→復水補給水系及び消火水系を用いた消防ポンプ等による代替注水、原子炉減圧の自動化等
- ・格納容器冷却失敗→ドライウェルクーラー、原子炉冷却材浄化系を用いた代替冷却、格納容器ベント等
- ・交流電源喪失:隣接原子炉施設間で動力用交流電源を融通等

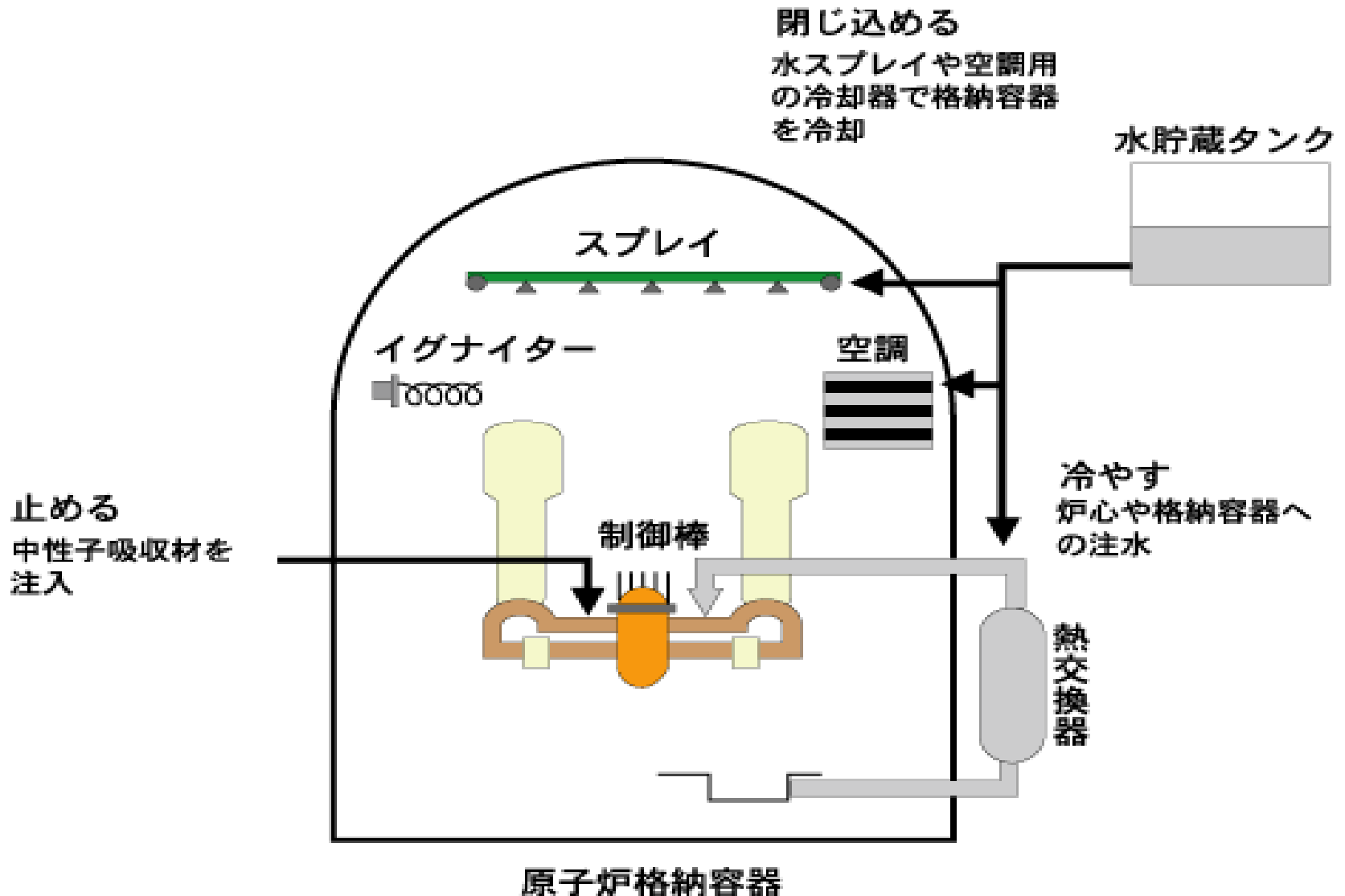
PWR

- ・原子炉停止失敗→代替計装系による制御棒挿入、タービントリップ、補助給水起動等
- ・炉心注入失敗→復水補給水系及び消火水系を用いた消防ポンプ等による代替注水、タービンバイパス系の活用等による2次系冷却強化等
- ・格納容器冷却失敗→格納容器再循環ユニット活用による自然対流冷却、原水タンク水を用いた消防ポンプによる格納容器スプレー等
- ・水素爆燃対策→イグナイターの設置(格納容器容量の小さい大飯1, 2号対象)
- ・交流電源喪失:隣接原子炉施設間で動力用交流電源を融通等

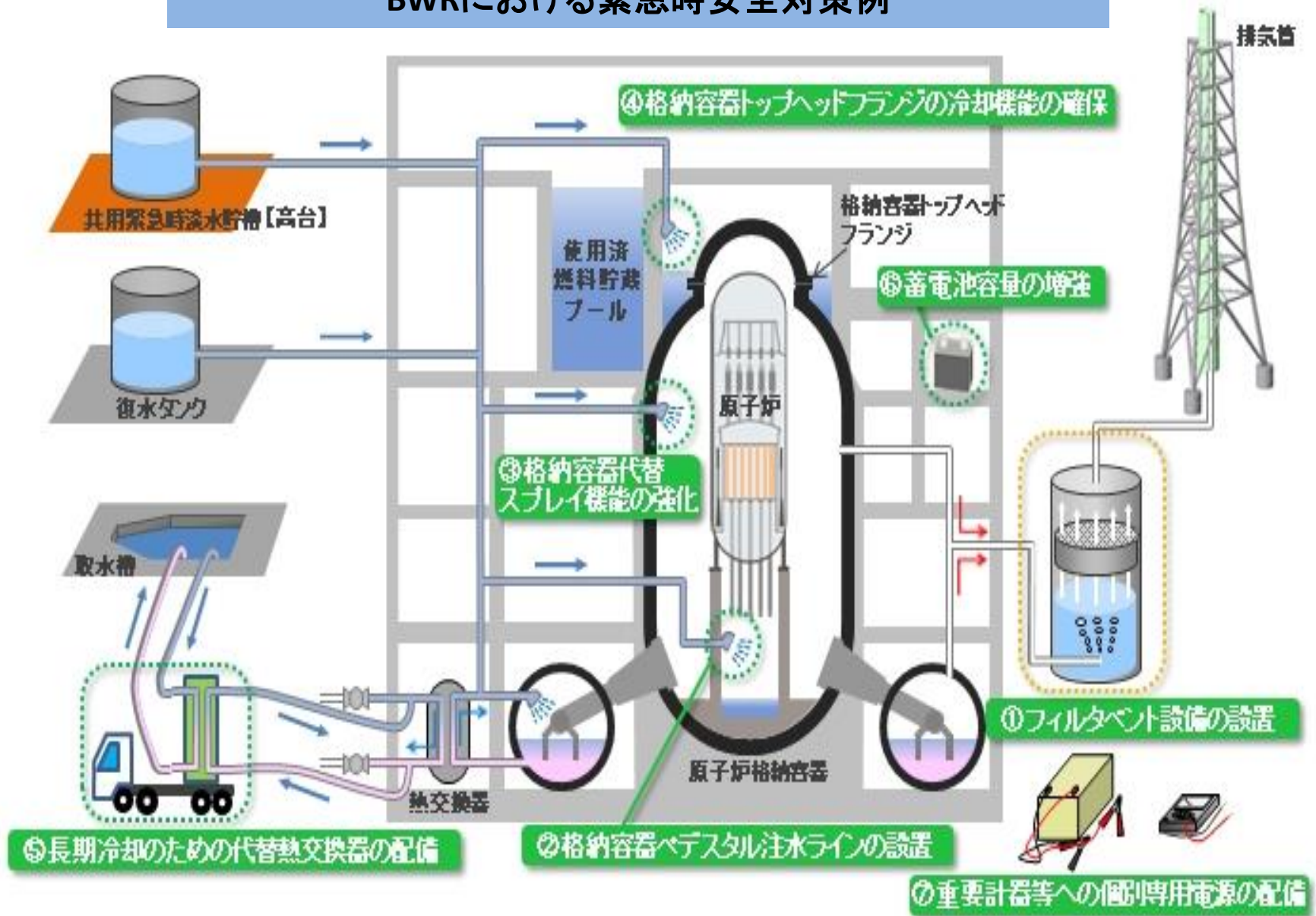
BWR原子力発電所のアクシデントマネジメントの例



PWR原子力発電所のアクシデントマネジメントの例



BWRにおける緊急時安全対策例



PWRにおける津波発生時の事象 (緊急安全対策実施後のイメージ)

