参考資料

46

ＩＡＥＡにおける深層防護の考え方

IAEAにおいては、原子力施設の安全性確保の基本的考え方として深層防護を取り入れている。

	深層防護の各層	各層の考え方
原子力規制で対応	第１層	そもそも異常を生じさせないための対策。
	第２層	プラント運転中に起こりうる異常がおきても事故に発展させない対策。
	第３層	設計上想定すべき事故が起きても炉心損傷等に至らせない対策。
	第４層	設計上の想定を超える事故（シビアアクシデント）が起きても炉心損傷や格納容器破損を防止する対策。
原子力防災で対応	第５層	放射性物質の放出による外部への影響を緩和するための対策。住民の避難など。

従来の基準で対応

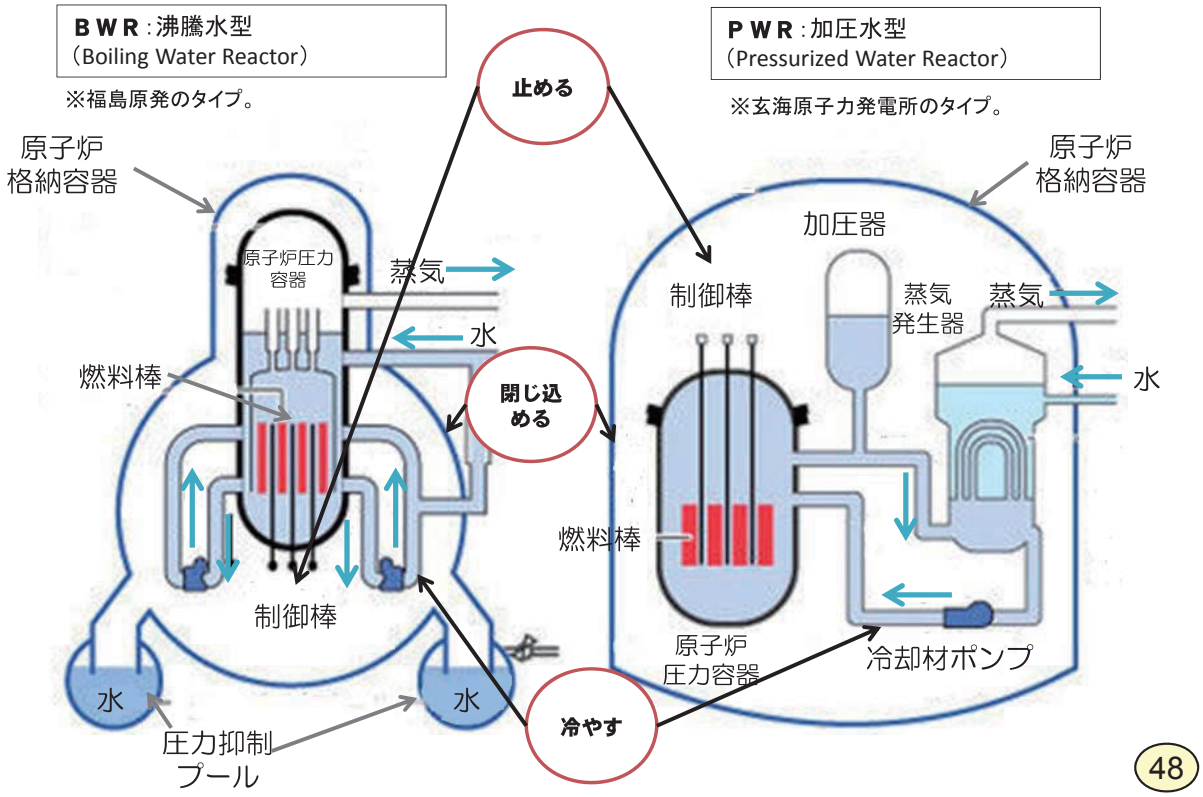
新基準で対応

原子力防災で対応

IAEA安全基準から作成

47

原子力発電所のタイプ（ＢＷＲとＰＷＲ）



48

新規制基準の基本的な考え方と主な要求事項

➢ 共通原因による機能喪失及びシビアアクシデントの進展を防止するための基準を策定

共通原因による安全機能の複数喪失を防止（シビアアクシデントの防止）

（従来の対策は不十分）

- 大規模な自然災害への対応強化
  - 地震・津波の想定手法を見直し
  - 津波浸水対策の導入
  - 火山・竜巻・森林火災も想定
- 火災・内部溢水・停電などへの耐久力向上
  - 火災対策の強化・徹底
  - 内部溢水対策の導入
  - 外部電源の信頼性向上
  - 所内電源・電源盤の多重化・分散配置
  - モニタリング・通信システム等の強化

万一シビアアクシデントが発生しても対処できる設備・手順の整備

（これまで要求せず）

- 炉心損傷の防止
  - 原子炉の停止対策の強化
  - 原子炉の減圧対策の強化
  - 原子炉への注水・除熱対策の強化
- 格納容器の閉じ込め機能等の維持
  - 使用済燃料プールへの注水対策の強化
  - 格納容器の破損防止対策の強化
  - 建屋等の水素爆発防止対策の導入
- 放射性物質の拡散抑制
  - 放射性物質の拡散抑制対策の導入
- 指揮所等の支援機能の確保
  - 緊急時対策所
- 原子炉建屋外設備が破損した場合等への対応
  - 原子炉から100m離れた場所に電源車等を保管。更なる信頼性向上対策として常設化（特定重大事故等対処施設）

（対策に共通性）

テロや航空機衝突への対応

（これまで要求せず）

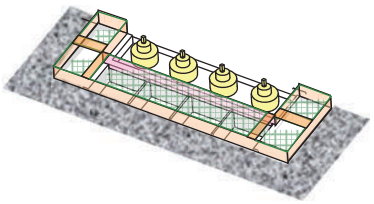
49

竜巻対策

【要求事項】
- 原子力発電所の立地地域の特性等を考慮して、想定される最大の竜巻を設定。
- 想定される竜巻による荷重（風圧力＋気圧差＋飛来物の衝撃荷重）に対しても原子炉施設の構造安全性を維持できること。
- 竜巻により発生する火災、外部電源喪失等により安全機能が損なわれないこと。

＜申請の概要 ＞

- 日本国内で過去に発生した最大の竜巻である92m/sの竜巻を基準竜巻として設定。それに対して、100m/sの竜巻から防護できるよう設計。飛来物に対する防護ネットの設置や飛来物の飛散防止を実施。
- 竜巻により発生する可能性のある火災、溢水及び外部電源喪失に対しても安全機能が損なわれないことを確認。



海水ポンプエリアの竜巻飛来物防護対策設備の設置状況イメージ

飛来物の飛散防止対策の例



建屋内収納（保管庫）イメージ

＜審査結果の概要 ＞
竜巻の影響に対して、安全機能が損なわれない設計方針であると判断。

50

外部火災対策（森林火災及び近隣施設火災対策）

【要求事項】
原子力発電所の敷地外で発生する森林火災及び近隣の産業施設（工場、コンビナート等）による火災・爆発により、原子炉施設の安全機能が損なわれないこと。

＜申請の概要 ＞

- 森林火災の発火点を敷地周辺10km以内に設定し、もっとも厳しい気象条件や風向き等を設定して評価しても、安全機能が損なわれない措置を講じる。
  - 必要な防火帯幅29．7mに対し、35m以上の幅の防火帯の設置による延焼防止対策
  - 火災による熱に対する防護設計
  - 火災による煙に対する防護設計（フィルタ等の設置）
- 近隣の産業施設の火災影響については、発電所敷地外の半径10km以内に石油コンビナート等に相当する施設はないこととしている。



可燃物の撤去・モルタル施工
防火帯の確保

（出典：九州電力提供写真を使用）

＜審査結果の概要 ＞
森林火災や近隣の産業施設の火災の想定は妥当であり、外部火災に対して安全機能が損なわれない設計方針であると判断。

51

航空機墜落への対策

【要求事項】
- 航空機が原子炉施設に衝突する確率が、原子炉1基毎に1千万年に1回（10^{-7}回／炉・　年）を超える場合、航空機の衝突について設計上考慮すること。
- 航空機の墜落による火災により、安全機能が損なわれないこと。

＜申請の概要 ＞
- 航空機衝突については、最近20年間の航空機墜落の実例を踏まえ、玄海原子力発電所3号及び4号の各原子炉への衝突の確率を評価した結果、1千万年に1回の頻度を下回っているため、設計上考慮する必要がない。
- 航空機墜落による火災を想定しても、原子炉施設は十分な耐火性能を有し、安全機能が損われない設計とする。

＜審査結果の概要 ＞
- 航空機衝突を設計上考慮する必要がないとしたことは妥当と判断。
- 航空機の墜落による火災に対して、安全機能が損なわれない設計方針であると判断。
- 故意による航空機衝突への対策は、原子炉施設の大規模な損壊への対応に係る審査で確認。

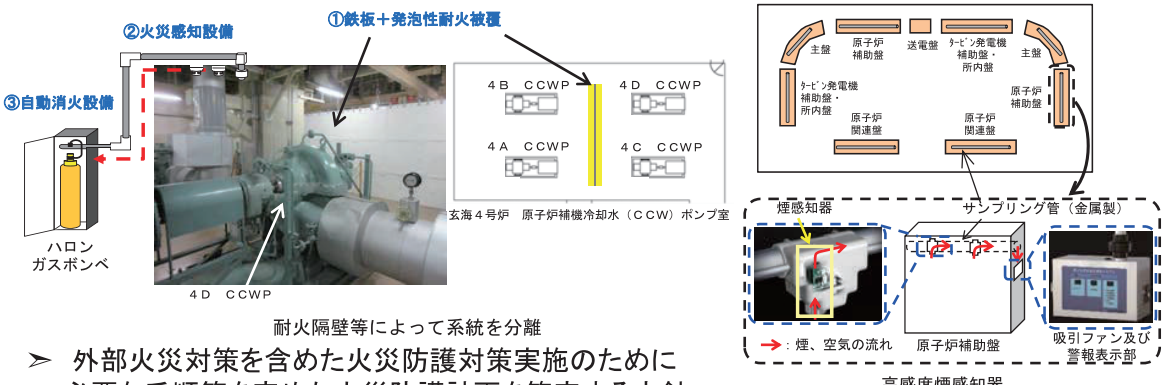
52

内部火災への対策（例）

- 安全機能を有する構造物、系統及び機器を火災から防護することを目的として火災区域又は火災区画を設定し、火災発生防止、早期の火災感知・消火、影響軽減のそれぞれの方策により対策を講じる設計方針であることを確認。
  - ・火災発生防止のため、不燃性材料又は難燃性材料、難燃ケーブルを使用する方針を確認。
  - ・早期の火災感知のため、異なる種類の火災感知器を組み合わせて設置する方針を確認。また、火災区域又は火災区画には、消火設備として、原則ハロン消火設備を使用する方針を確認。
  - ・火災の影響軽減のため、原子炉停止、冷却等に必要な安全機能の系統分離方針（3時間以上の耐火能力を有する隔壁等）を確認。

原子炉格納容器の火災影響軽減対策
- 火災源の影響の限定化
- 消火活動の手順の整備・訓練等

原子炉制御室の火災影響軽減対策
- 火災の早期発見のための高感度煙検出設備設置
- 常駐運転員の消火訓練等



耐火隔壁等によって系統を分離

高感度煙感知器

- 外部火災対策を含めた火災防護対策実施のために必要な手順等を定めた火災防護計画を策定する方針を確認。

（出典：九州「電力提供写真等を使用）

53

内部溢水への対策（例）

➢ 没水、被水、蒸気の影響により、防護対象設備の安全機能が損なわれない設計であることを確認。
・溢水源として、機器の破損、消火水の放水、地震等による機器の破損等を想定することを確認。
・溢水によって発生する外乱に対する評価方針を確認。
➢ 放射性物質を含む液体の管理区域外への漏えいを防止するための設計方針を確認。

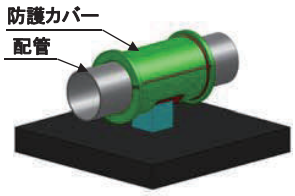
防護設備への対策





防護対象設備が設置される建屋内への溢水防護として貫通部止水処置を実施

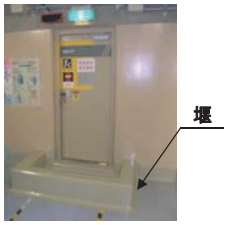
溢水源への対策





配管破損時の蒸気漏えい量を制限するため、防護カバーを設置

溢水経路への対策





流入・流出を防止するため、水密扉及び管理区域外伝ば防止堰を設置

（出典：九州電力提供写真を使用）

54

その他の対策

＜不法な侵入等の防止＞
基準要求：人の不法な侵入等を防止するための設備の設置
申請内容：人の侵入を防止できる障壁等の設置並びに人の接近管理等を行う設計

＜誤操作防止＞
基準要求：地震等の環境条件における操作の容易性
申請内容：識別しやすい操作スイッチの使用や地震の影響を考慮した操作盤の固定等

＜安全避難通路＞
基準要求：事故が発生した場合に用いる照明及びその専用電源の設置
申請内容：作業用照明の設置とそれに対する無停電電源からの電源供給等

＜安全施設＞
基準要求：①静的機器の多重性要求の強化
②重要安全施設の共用条件の強化
申請内容：①多重化しない静的機器は最も厳しい条件でも安全上影響がない期間内で修復可能
②重要安全施設を共用する場合は、安全性が向上することを確認

＜燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設＞
基準要求：①使用済燃料貯蔵施設に対する重量物の落下対策
②使用済燃料貯蔵槽の監視機能
申請内容：①クレーン等は基準地震動によっても落下しない設計
②使用済燃料貯蔵槽の水温、水位を検知し、原子炉制御室で監視できる設計

＜審査結果＞
申請者の設計方針は新規制基準に適合するものであると判断。

55

その他の対策

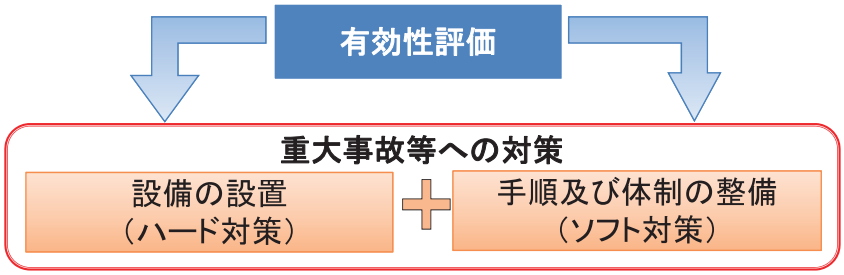
＜原子炉冷却材圧力バウンダリ＞
基準要求：冷却材圧力バウンダリの範囲の拡大
申請内容：冷却材圧力バウンダリの範囲の拡大
＜安全保護回路＞
基準要求：不正アクセスを防止できる設計
申請内容：コンピュータウイルスに感染しない設計とするとともに盤を施錠管理できる設計
＜原子炉制御室等＞
基準要求：制御室外の状況を把握できる設計
申請内容：自然現象や発電所構内の周囲の状況を昼夜にわたり監視するカメラの設置等
＜通信連絡設備＞
基準要求：①多様性を有した通信連絡設備の設置
②緊急時対策支援システム（ERSS）へ必要なデータを伝送できる設備を設置
申請内容：①有線、無線、衛星回線等による多様性を有した通信連絡設備の設置
②事故状態の把握に必要なデータを転送できる設備の設置

＜審査結果＞
申請者の設計方針は新規制基準に適合するものであると判断。

56

重大事故等対処に係る有効性評価

重大事故等への対処が有効であることを示すため、評価対象とする事故シーケンスを整理し、対応する評価項目を設定したうえで、計算プログラムを用いた解析等を踏まえ、設備、手順及び体制の有効性を評価



- 必要となる水源、燃料及び電源を確認し、7日間継続してこれらの資源が供給可能であることを確認
- 重大事故等対処設備を用いて、事故を収束させ、安定状態に移行できることを確認　等

- 要員確保の観点で、時間外、休日（夜間）でも対処可能な体制であることを確認
- 必要な作業が所要時間内に実施できる手順であることを確認
- 手順着手の判断基準が適切であることを確認　等

※解析コード及び解析条件の不確かさとして、運転員等操作時間に与える影響、評価項目となるパラメータに与える影響及び要員の配置による他の操作に与える影響を確認し、それらの影響を踏まえても評価項目を満足することを感度解析等による確認

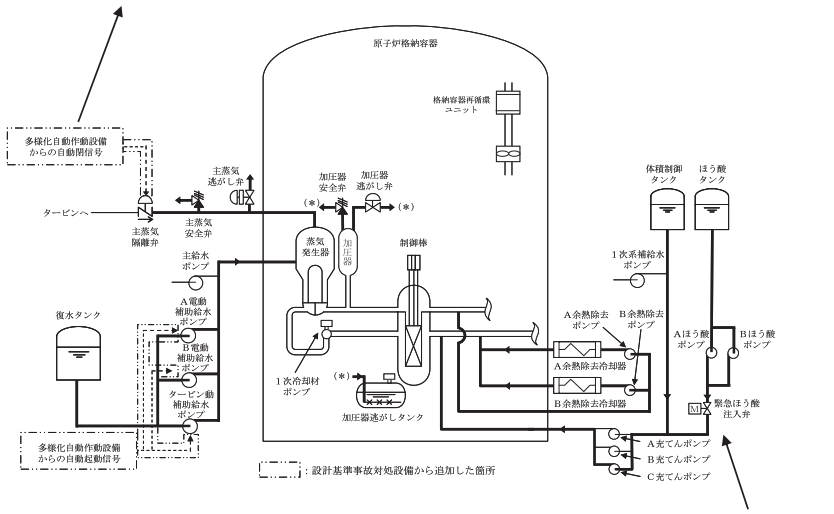
57

原子炉を停止させる対策（止める）（原子炉停止機能喪失（ATWS）対策①）

【要求事項】「原子炉停止機能喪失」において、最も厳しい事故シーケンスに対し、炉心損傷を防止すること

事故想定　負荷喪失時に原子炉トリップ機能が喪失する事故

対策概要　対策①：多様化自動作動設備の作動



対策②：緊急ほう酸注入

（出典：九州電力説明資料に一部加筆）

主な設備及び手順等

○手動による原子炉緊急停止
・原子炉トリップスイッチ

○自動作動による原子炉出力の抑制
・多様化自動作動設備
・主蒸気隔離弁
・電動補助給水ポンプ　等

○化学体積制御設備又は非常用炉心冷却設備を用いたほう酸水の注入
・ほう酸ポンプ
・ほう酸タンク
・充てんポンプ
・燃料取替用水タンク(ピット)　等

●自主設備
・電動発電機電源
・原子炉トリップしゃ断器スイッチ
・制御棒操作スイッチ
・タービントリップスイッチ

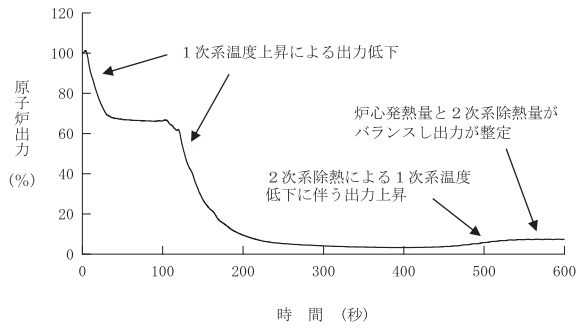
○：要求事項
●：申請者の対策

58

原子炉を停止させる対策（止める）（原子炉停止機能喪失（ATWS）対策②）

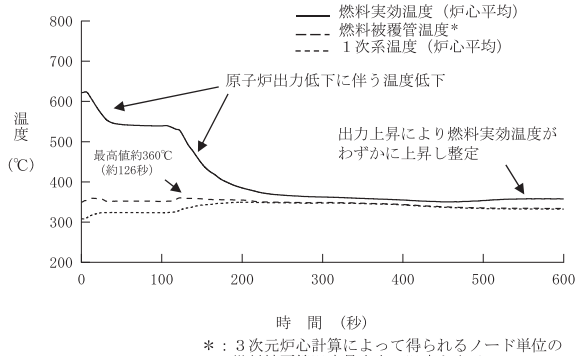
解析結果

原子炉出力の推移



燃料被覆管温度の推移

評価項目：燃料被覆管の温度が1200℃以下であること



＊：3次元炉心計算によって得られるノード単位の燃料被覆管温度最高点の温度を表示

（出典：九州電力説明資料に一部加筆）

審査結果

【設備及び手順】
要求事項に対し設備・手順等が適切に整備されていることを確認し、要求事項に適合していると判断。

【有効性評価】
申請者の解析結果について、申請者が使用したコード、解析条件の不確かさを考慮しても、炉心損傷防止対策の評価項目を満足していること、対策及び復旧作業に必要な要員及び燃料等から、対策が有効なものと判断。

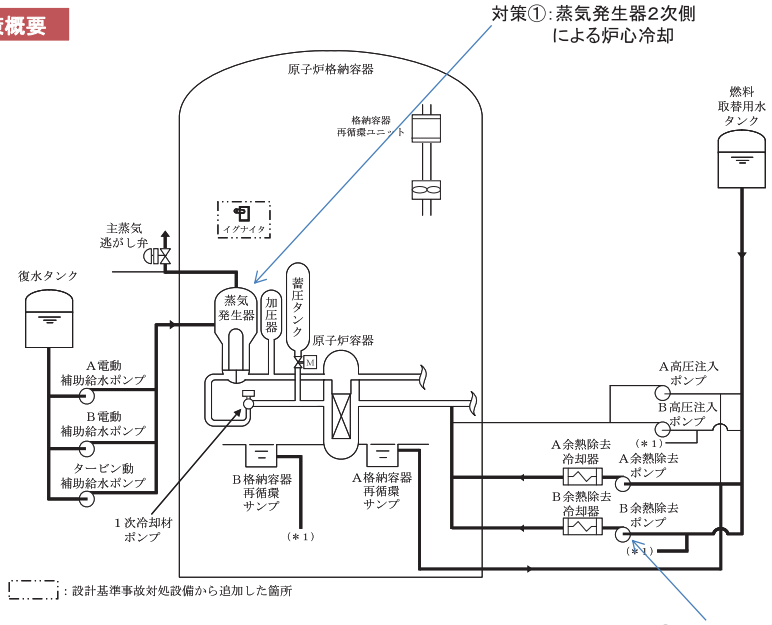
59

原子炉を冷やすための対策（冷やす）（ECCS注水機能喪失対策①）

【要求事項】
事故シーケンスグループ「ECCS注水機能喪失」について、最も厳しい事故シーケンスに対して、炉心損傷を防止すること

事故想定　中破断LOCA時に高圧注入機能が喪失する事故

対策概要



（出典：九州電力説明資料に一部加筆）

主な設備及び手順等

○2次系強制冷却
・補助給水ポンプ
・主蒸気逃がし弁
・蒸気発生器
・復水タンク　等

○低圧注水
・余熱除去ポンプ
・燃料取替用水タンク　等

○低圧再循環
・余熱除去ポンプ
・格納容器再循環サンプ　等

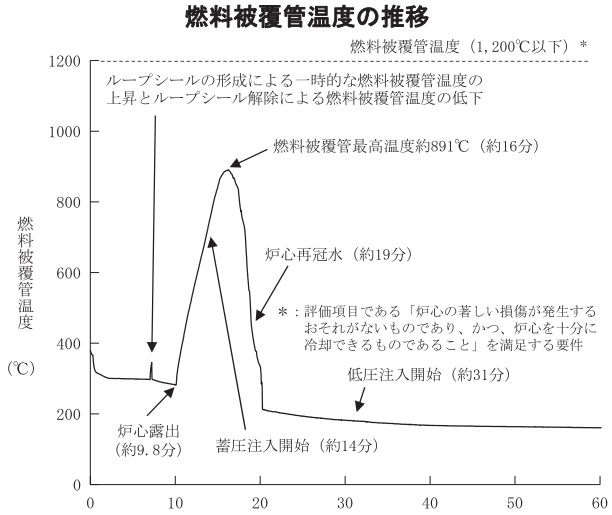
●自主設備
・電動主給水ポンプ
・タービンバイパス弁
・可搬型ディーゼル注入ポンプ
・格納容器スプレイポンプ（自己冷却）
等

○：要求事項
●：申請者の対策

60

原子炉を冷やすための対策（冷やす）（ECCS注水機能喪失対策②）

解析結果



（出典：九州電力説明資料に一部加筆）

燃料被覆管最高温度は1200℃以下を満たしている（左図）

審査結果

【設備及び手順】
要求事項に対し設備・手順等が適切に整備されていることを確認し、要求事項に適合していると判断。

【有効性評価】
申請者の解析結果について、申請者が使用した解析コード、解析条件の不確かさを考慮しても、炉心損傷防止対策の評価項目を満足していること、対策及び復旧作業に必要な要員及び燃料等から、対策が有効なものと判断。

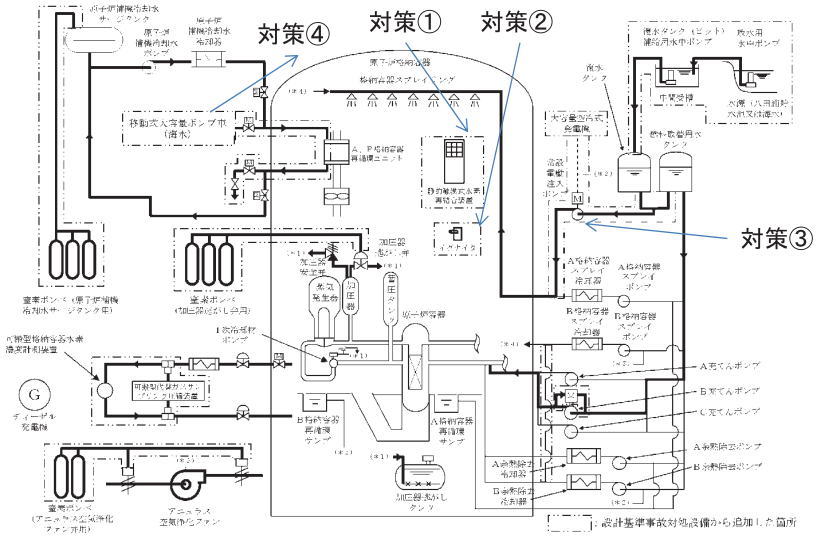
61

炉心溶融後に格納容器破損を防ぐ対策（閉じ込める）（格納容器過圧破損防止対策①）

【要求事項】
格納容器破損モード「格納容器過圧破損」について、最も厳しいプラント損傷状態に対して、格納容器破損を防止すること

事故想定 大破断LOCA時に低圧・高圧注入機能喪失及び格納容器スプレイ注水機能喪失、さらに全交流動力電源喪失及び原子炉補機冷却機能喪失が重畳する事故。

対策概要 ①PAR、②イグナイタ、③常設電動注入ポンプによる代替格納容器スプレイ
④格納容器再循環ユニットによる格納容器内自然対流冷却



主な設備及び手順

○格納容器再循環ユニットの設置
・格納容器再循環ユニット
・移動式大容量ポンプ車
等

○格納容器スプレイ代替注水設備の配備
・常設電動注入ポンプ
・燃料取替用水タンク
・復水タンク
・大容量空冷式発電機
等

●自主設備
・電動消火ポンプ、ディーゼル消火ポンプ
・格納容器スプレイポンプ（自己冷却）
等

○：要求事項
●：申請者の対策

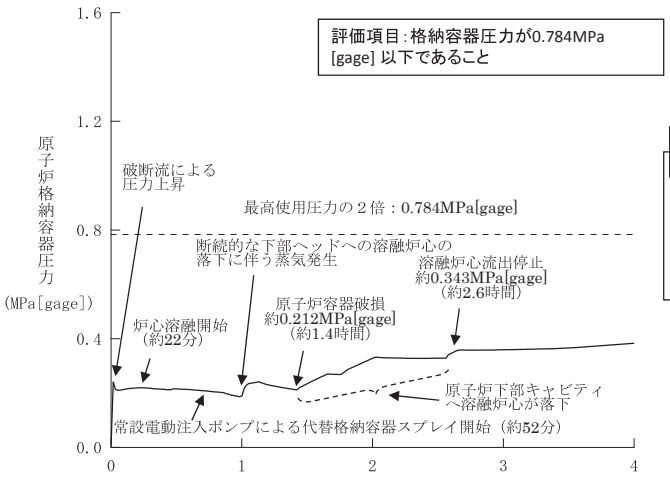
（出典：九州電力説明資料に一部加筆）

62

炉心溶融後に格納容器破損を防ぐ対策（閉じ込める）（格納容器過圧破損防止対策②）

解析結果

格納容器圧力の推移



放出量評価

Cs-137放出量：約4.5TBq（7日間）

評価項目：
100TBq以下であること

（出典：九州電力説明資料に一部加筆）

審査結果

【設備及び手順】
要求事項に対し設備・手順等が適切に整備されていることを確認し、要求事項に適合していると判断。

【有効性評価】
申請者の解析結果について、申請者が使用した解析コード、解析条件の不確かさを考慮しても、格納容器破損防止対策の評価項目を満足していること、対策及び復旧作業に必要な要員及び燃料等から、対策が有効なものと判断。

63

炉心溶融後に格納容器破損を防ぐ対策（閉じ込める）（水素対策）

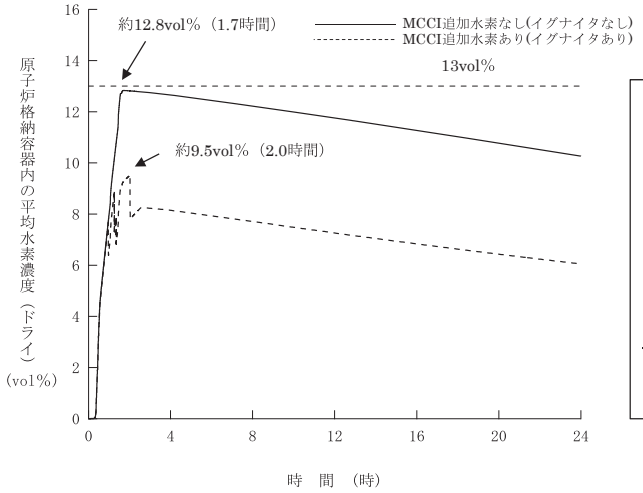
【要求事項】　「水素燃焼」について、最も厳しいプラント損傷状態に対し、格納容器破損を防止すること

事故想定　大破断LOCA時に低圧・高圧注入機能が喪失する事故

対策概要　主に炉心損傷時に発生した水素の処理のためにイグナイタを設置する。
加えて、継続的に発生する水素の処理のためにPARを設置する。
なお、有効性評価において、溶融炉心・コンクリート相互作用（MCCI）による水素発生を考慮した解析では、イグナイタの効果に期待する。

解析結果

水素濃度の推移



水素濃度の最大値は、炉心の75%のジルコニウムが反応した場合（規制要求）、約12.8%である。
さらに、MCCIに伴い発生する水素の不確かさを考慮し、保守性を入れて評価した場合、イグナイタの効果により、約9.5vol%（左図）となり、13%以下を満足した。

主な設備及び手順等

○原子炉格納容器内の水素濃度の低減
・静的触媒式水素再結合装置（PAR）
・PAR動作監視装置
・電気式水素燃焼装置（イグナイタ）
・イグナイタ動作監視装置

○原子炉格納容器内の水素濃度の監視
・可搬型格納容器水素濃度計測装置
・可搬型ガスサンプリング冷却器用冷水ポンプ
・可搬型代替ガスサンプリング圧縮装置
等

●自主設備
・ガス分析計

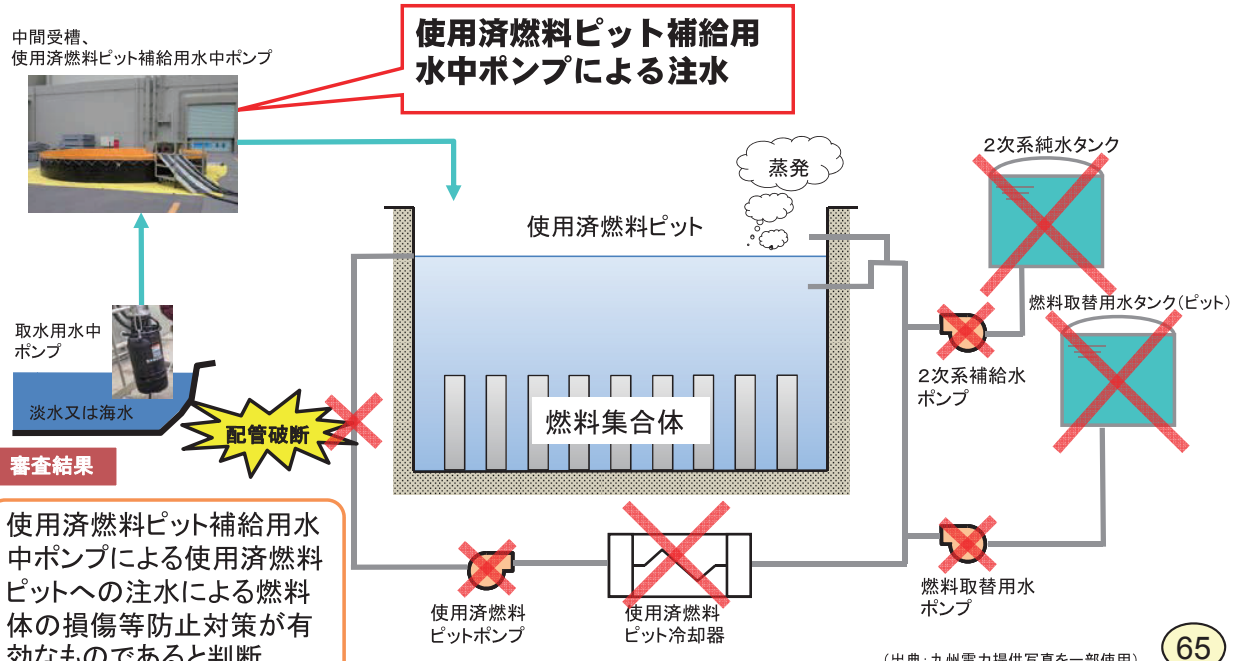
○：要求事項
・：申請者の対策

64

使用済燃料ピットにおける燃料損傷防止対策

水の漏えい等により使用済燃料ピットの水位が低下した場合でも、燃料体を冷却し、放射線を遮蔽し、臨界を防止するための対策を要求

事故想定　配管破断によるサイフォン現象等により使用済燃料ピット内の水の小規模な喪失が発生し、水位が低下する事故



審査結果

使用済燃料ピット補給用水中ポンプによる使用済燃料ピットへの注水による燃料体の損傷等防止対策が有効なものであると判断

（出典：九州電力提供写真を一部使用）

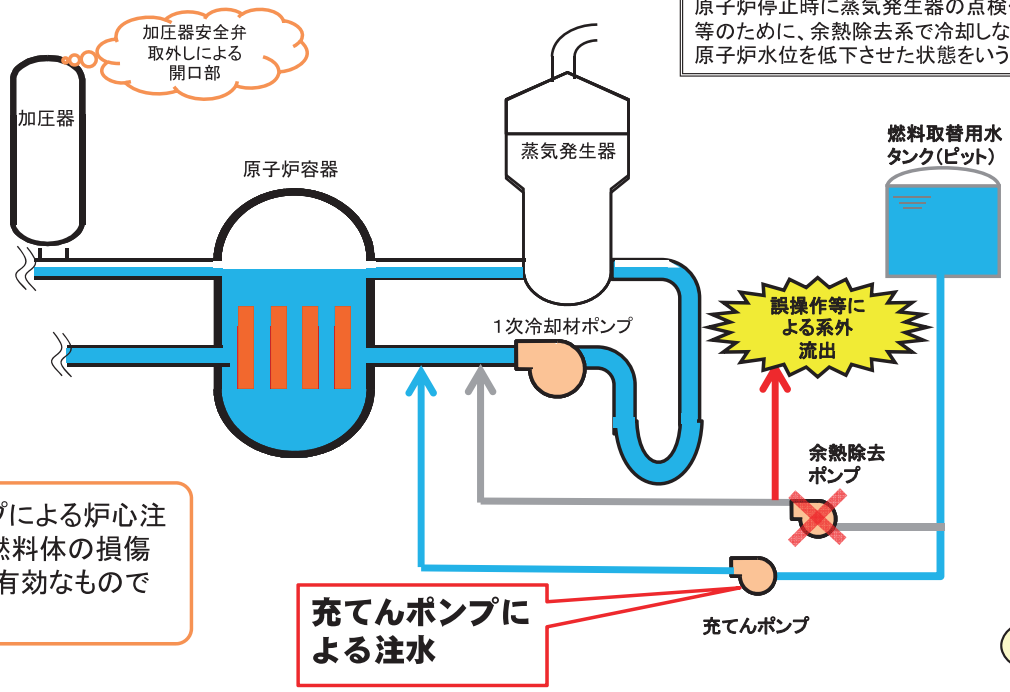
65

停止中の原子炉の燃料損傷防止対策

原子炉が運転停止中に水が系外に流出した場合でも、保有水量を確保し、燃料損傷に至らせないための対策を要求

事故想定　燃料取出前のミッドループ運転中（※）に原子炉冷却材圧力バウンダリが喪失する事故

ミッドループ運転：
原子炉停止時に蒸気発生器の点検作業等のために、余熱除去系で冷却しながら、原子炉水位を低下させた状態をいう



審査結果

充てんポンプによる炉心注水等による燃料体の損傷防止対策が有効なものであると判断

66