

「放射性物質を閉じ込める対策」に関する回答要旨

○伊方発電所では、福島第一原子力発電所の事故や新規規制基準をふまえ、原子炉内の燃料が損傷するような重大事故が発生した場合でも、原子炉格納容器の破損を防止し、外部への放射能の放出を最小限に抑えるため、次のような対策を講じています。（詳細は問⑥【原子炉格納容器の破損防止対策】）

・水素処理装置

重大事故が発生し、燃料被覆管が900度以上の温度になると、燃料被覆管中のジルコニウムと水との反応により水素が発生し、原子炉格納容器内において一定の濃度になると、爆轟（ばくごう）という激しい爆発が起こる可能性があります。

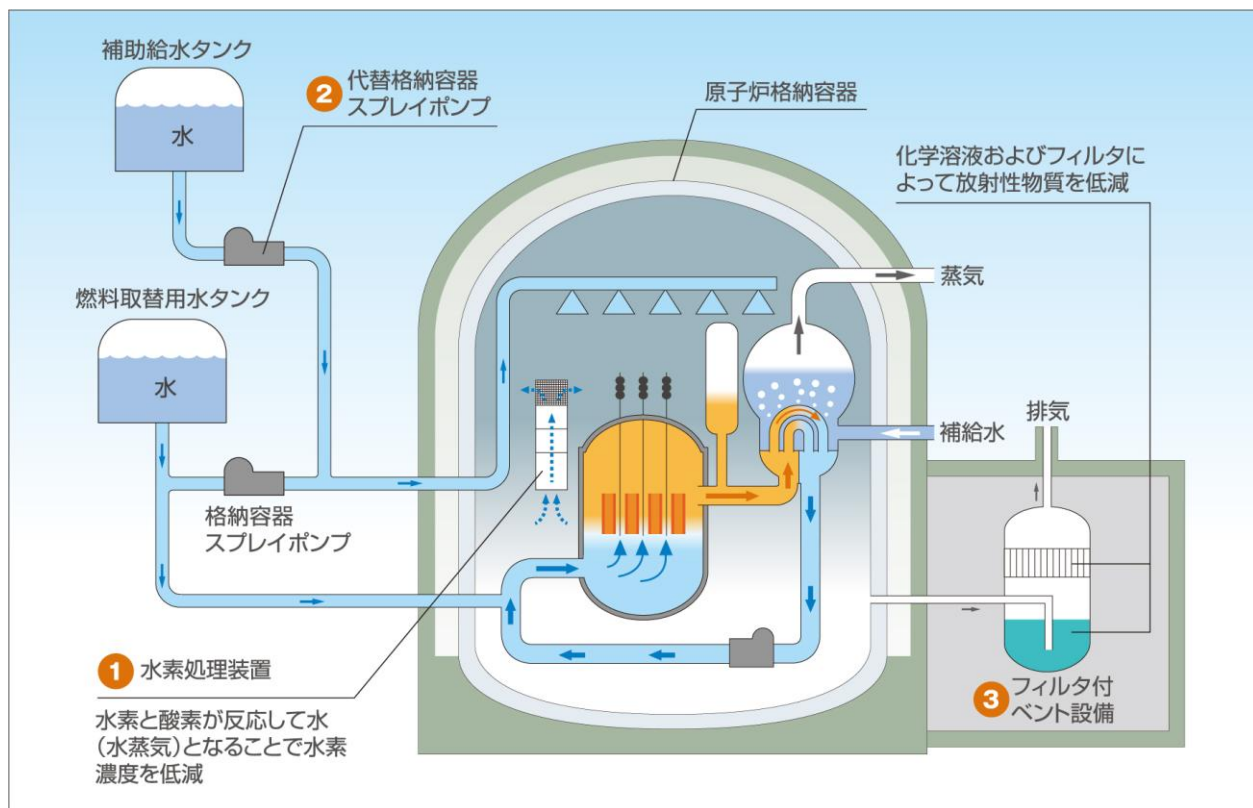
伊方発電所のような加圧水型原子炉の場合は、福島第一原子力発電所のような沸騰水型原子炉と異なり原子炉格納容器の容積が大きいため、原子炉格納容器内の平均水素濃度が爆轟の生じる濃度に達することはないと評価されていますが、万一の事態に備え、発生する水素の濃度を下げる「静的触媒式水素再結合装置」（5台）、「電気式水素燃焼装置」（13台）を設置しています。

・代替格納容器スプレイポンプ

高温・高圧の「一次冷却水」の配管断裂などにより水蒸気が発生し、格納容器内の急激な圧力上昇することを防止するために格納容器内に冷却水を散布する設備として、従来から設置されているスプレイポンプが使用できない場合に備え「代替格納容器スプレイポンプ」を設置しました。

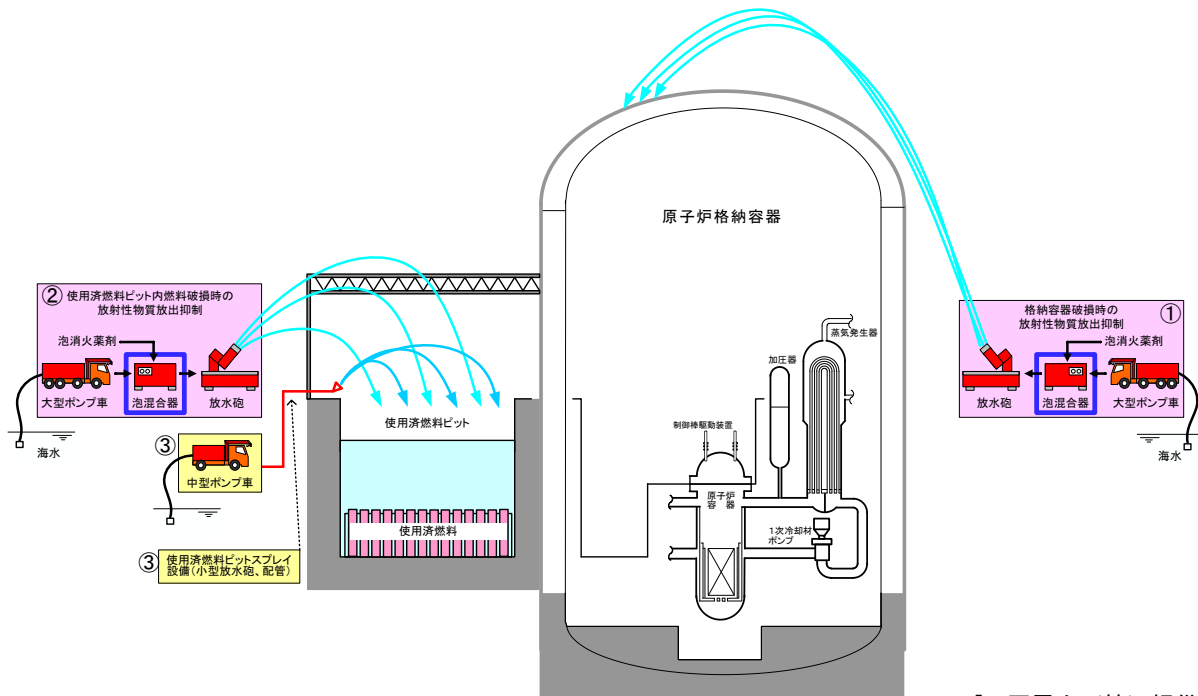
・フィルター付ベント設備

万が一、格納容器内の圧力が異常に上昇した場合でも、フィルターにより放射性物質を低減しながら格納容器内の空気を抜いて、内圧を下げるができる「フィルター付ベント設備」を今後設置することとしています。



[四国電力（株）提供資料]

○万が一、原子炉格納容器や使用済燃料ピットが破損して、外部へ放射性物質が飛散するような事態が生じた場合に備え、大型ポンプ車2台と放水砲2台を配備しており、原子炉格納容器の破損部分などに放水することで放射性物質の広範囲への拡散を防ぎます。



[四国電力(株)提供資料]

格納容器が破損して汚染水が外部に漏れてしまった場合も、格納容器の周りは堀になっており、漏れた汚染水は堀にたまります。水の量が多くなり、堀から溢れた場合には排水路へ流出しますが、排水路に放射性物質の吸着材(ゼオライト)を敷き詰め、放射性物質を吸着して低減します。さらに、海洋への出口はシルトフェンスで仕切り、流出を防ぎます。(詳細は問⑥【放射性物質の拡散防止策】)



[四国電力(株)提供資料]

○また、使用済燃料ピットについては、「基準地震動」を受けても機能が維持できるように対策していますが、万が一、破損等により水が大量に流出し、通常の補給水系統も使えない場合に備え、さらなる安全対策として、プールへ水を補給するポンプ車を配備しています。

問⑥ 万が一、原子炉内の燃料が損傷するような重大な事故が起きた場合でも、放射性物質が外部に漏れないような対策は取られているのですか。

【重大事故が発生した場合の影響緩和対策】

伊方発電所では、福島第一原子力発電所の事故や新規規制基準をふまえ、原子炉内の燃料が損傷するような重大事故が発生した場合でも、原子炉格納容器の破損を防止し、外部への放射能の放出を最小限に抑えるため、次のような対策を講じています。

＜参考＞安全目標

原子力規制委員会において、セシウム 137 の放出量が 100TBq（テラベクレル）を超えるような事故は、100 万炉年に 1 回に抑えるという安全目標が示されており、伊方発電所 3 号機でも事故時において、この量を下回ると評価しています。

ベクレルは放射能の強さを表す単位であり、テラは 10 の 12 乗（1 兆）倍を表します。

【原子炉格納容器の破損防止対策】（図⑥-1）

○水素処理装置

重大事故が発生し、燃料被覆管が 900 度以上の温度になると、燃料被覆管中のジルコニウムと水との反応により水素が発生し、原子炉格納容器内において一定の濃度になると、爆轟（ばくごう）という激しい爆発が起こる可能性があります。

伊方発電所のような加圧水型原子炉の場合は、福島第一原子力発電所のような沸騰水型原子炉と異なり原子炉格納容器の容積が大きいため、原子炉格納容器内の平均水素濃度が爆轟の生じる濃度に達することはないと評価されていますが、万一の事態に備え、発生する水素を空気中の酸素と反応させ水にすることにより水素濃度を下げる「静的触媒式水素再結合装置」（電源不要、図中①）を原子炉格納容器の中に 5 台設置※しました。また、より一層の水素低減を図るため、電気ヒータで水素を燃焼させる「イグナイタ（電気式水素燃焼装置）」も原子炉格納容器の中に 13 台（予備 1 台を含む）設置しました。

※静的触媒式水素再結合装置のみでも、原子炉格納容器内の水素濃度は最高 11.3vol% までとなり、爆轟限界（13vol%）未満と評価しています。（vol%：体積パーセント濃度、水素の体積/格納容器の容積）

なお、熔融炉心とコンクリートの相互作用により発生する一酸化炭素とイグナイタが反応し、爆発を起こすとの指摘もありますが、伊方発電所のコンクリートは、ケイ素の含有量が高く、熔融炉心とコンクリートの相互作用が発生したとしても水素に比べて、一酸化炭素の発生量は少なく、影響は無視できると評価しています。

○代替格納容器スプレイポンプ

また、高温高圧の「一次冷却水」の漏洩などによる格納容器の急激な圧力上昇※を抑えるために、格納容器内に冷却水を散布する設備として、従来から設置されている格納容器スプレイポンプに加え、

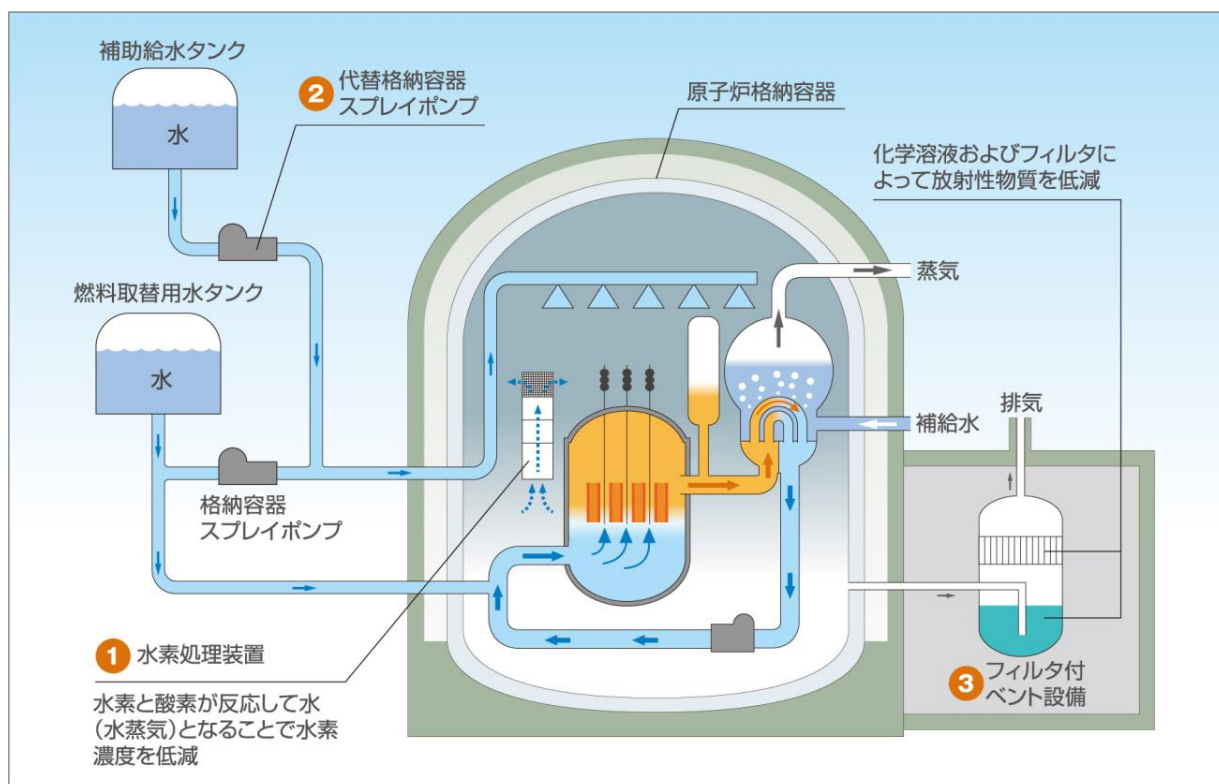
「代替格納容器スプレイポンプ」(図中②)を設置しました。

※「一次冷却水」は高温・高圧のため、配管が破断すると一気に蒸発し、格納容器の圧力が上昇します。

○フィルター付ベント設備

さらに万が一、格納容器内の圧力が異常に上昇した場合でも、放射性物質を低減しながら格納容器内の空気を抜いて、内圧を下げるができる「フィルター付ベント設備」(図中③)を設置します。

図⑥-1 原子炉格納容器の破損防止対策



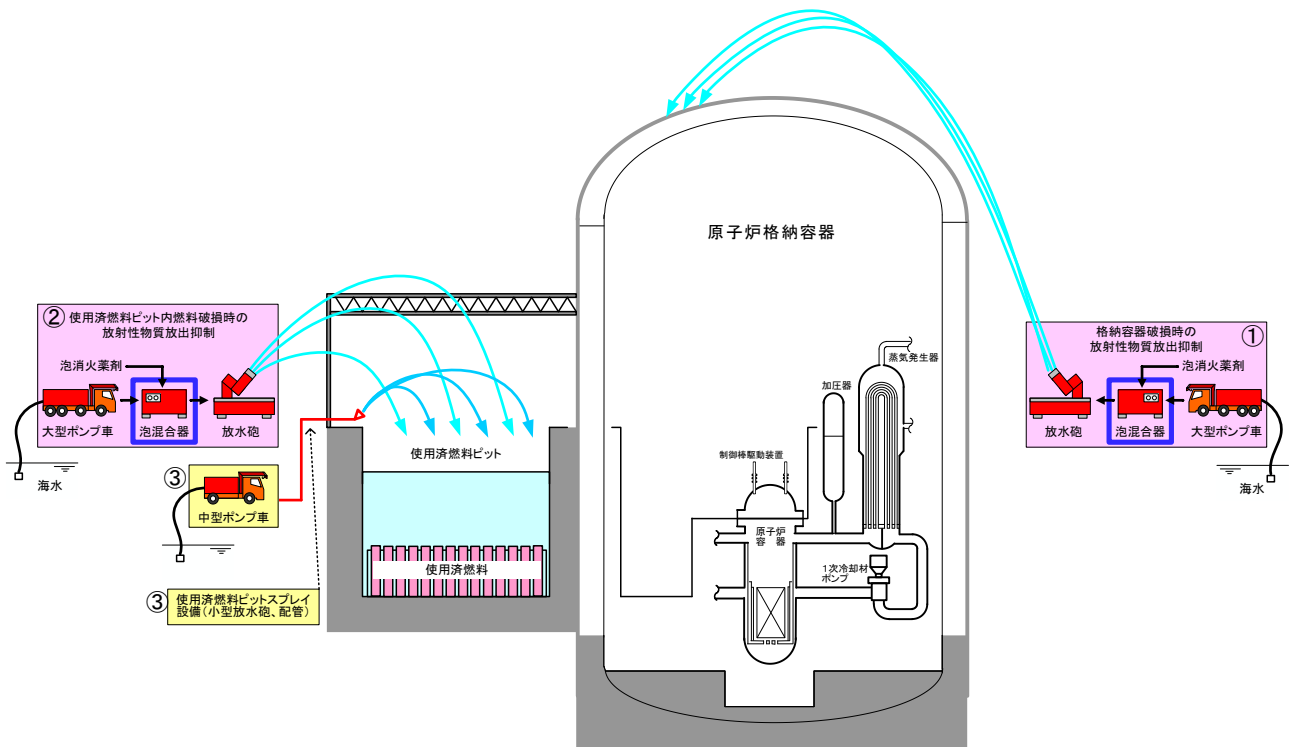
[四国電力(株)提供資料]

【放射性物質の拡散防止策】(図⑥-2、図⑥-3)

万一、原子炉格納容器や使用済燃料ピットが破損して、外部へ放射性物質が飛散するような事態が生じた場合に備え、大型ポンプ車2台と放水砲を2台配備し、原子炉格納容器の破損部分に放水することで放射性物質の広範囲への拡散を防げるよう、対策を整えています。

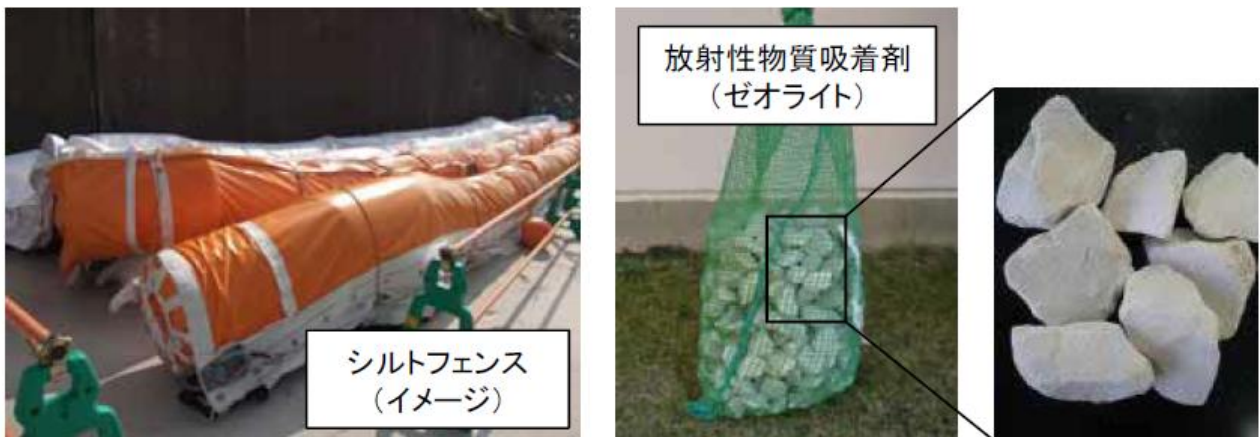
また、事故により一次冷却水が漏れてしまった場合には、格納容器外にあるほう酸水のタンクから原子炉へ注水を行います。タンクのほう酸水が無くなった後は、格納容器の中にたまったほう酸水を循環させるので、基本的に汚染水が外部へは漏れないようになっています。万が一、格納容器が破損して汚染水が外部に漏れてしまった場合も、格納容器の周りには堀になっており、漏れた汚染水は堀にたまり、水の量が多くなり、堀から溢れた場合には排水路へ流出しますが、排水路に放射性物質の吸着材(ゼオライト)を敷き詰め、放射性物質を吸着して低減します。さらに、海洋への出口はシルトフェンスで仕切り、流出を防ぎます。

図⑥-2 放射性物質の拡散防止策



[四国電力(株)提供資料]

図⑥-3 海洋への流出防止策



[四国電力(株)提供資料]

【燃料の落下対策】（図⑥-4）

燃料が溶けてしまい、原子炉容器を突き破って下に落ちる事故を想定し、炉心の溶融や原子炉容器の損傷が予想される場合には、原子炉格納容器内（原子炉キャビティ※）に注水し、溶け落ちた燃料を水で受け止めることにより、原子炉格納容器を守ることとしています。

格納容器下部の水位を確認するため、原子炉下部キャビティ水位計も設置しています。

さらに、注水機能を確実にするために、原子炉格納容器の底へ水が流れるライン（連通口）を設置し、水がスムーズに格納容器下部へ流れる経路を確保しました。

※原子炉キャビティ：格納容器の下部にあるプール状の空間。

図⑥-4 燃料落下対策



[四国電力(株)提供資料]

問⑥-1 今後設置予定とされていた特定重大事故等対処施設とはどのような施設で、いつごろ完成しますか。

【特定重大事故等対処施設】(図⑥-1-1)

特定重大事故等対処施設は、新規規制基準において設置が要求されている施設であり、原子炉建屋等への故意による大型航空機の衝突やその他のテロリズムにより、原子炉を冷却する機能が喪失し炉心が著しく損傷する恐れがある場合、または炉心が損傷した場合に備えて、原子炉格納容器の破損を防止するための機能を有する施設であり、**既設安全対策設備のバックアップ施設**として設置されるものです。

こうした信頼性を向上させるバックアップ施設については、新規規制基準の施行段階で必要なシビアアクシデント対策等に係る**工事計画の認可から5年までに備えていることが求められています。**

四国電力では、こうした特定重大事故等対処施設について、平成28年1月14日に原子炉設置変更許可申請を行っており、これらの施設は平成31年度までに完成予定です。

＜特定重大事故等対処施設の概要＞

○減圧操作設備

- ・緊急時制御室から既設の加圧器逃がし弁を動作させ、原子炉内を減圧操作する設備

○注水設備（ポンプ、貯水槽）

- ・炉心注水及び格納容器スプレィを行うことにより、溶融炉心の冷却、原子炉格納容器の冷却、放射性物質の低減を図る設備

○原子炉格納容器過圧破損防止設備（フィルタ付きベント設備）

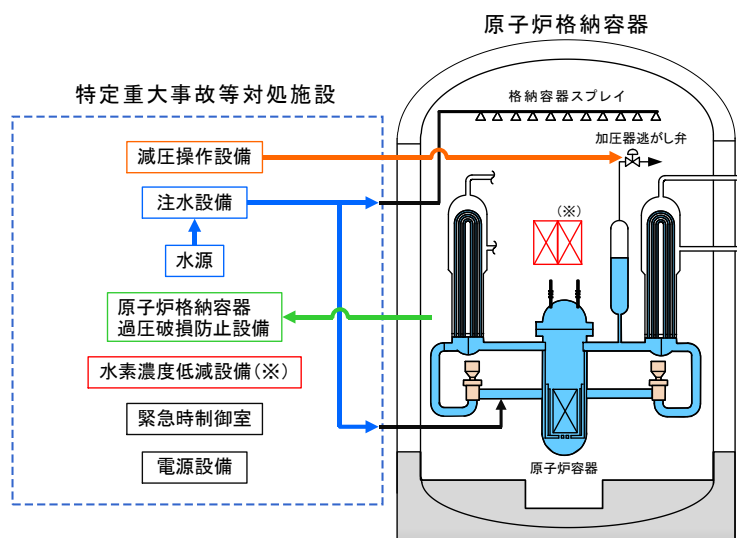
- ・原子炉格納容器内の空気を大気へ放出し、内圧を低減させる設備（フィルタを通すことで、放射性物質の放出量を低減）

○水素濃度低減設備（静的触媒式水素再結合装置）

○緊急時制御室

○電源設備（発電機）

図⑥-1-1 特定重大事故等対処施設



[四国電力（株）提供資料]

問⑥-2 意図的な航空機の原子炉への衝突に対する対策はどうなっていますか。

【航空機の衝突】

新規制基準では、航空機の衝突に耐えられる対策ではなく、万が一、航空機が衝突した場合の放射性物質の拡散抑制及び火災の消火が要求されています。

原子力規制委員会における審査の内容については、核セキュリティ上、非公開で行われており、その詳細については提示することはできません。

なお、原子炉容器などの重要設備は、格納容器とその周囲の厚さ1 m以上のコンクリート壁で囲まれており、万が一航空機が衝突した場合、格納容器に被害はあるものの、原子炉の安全性は保たれると考えています。

【放射性物質の拡散抑制策】(図⑥-2-1)

航空機の衝突により格納容器が破損し、外部へ放射性物質が飛散するような事態が生じた場合に備え、大型ポンプ車2台と放水砲2台を配備し、格納容器の破損部分に放水することで放射性物質の広範囲への拡散を抑制できるよう対策を整えています。

【火災対策】

航空機の落下による大規模な火災に備え、消防ポンプ車の約10倍の放水能力を持つ大型ポンプ車や泡混合機、大型放水砲を配備しており、対応が可能となっています。

図⑥-2-1 放射性物質の拡散防止策



大型放水砲

大型ポンプ車

[四国電力(株)提供資料]

<参考> 航空機落下に関する新規制基準の考え方

原子炉施設の安全性に与える影響が大きいと考えられるものに対しては、大規模損壊（大規模な自然災害又は故意による大型航空機の衝突その他のテロリズムによる発電用原子炉施設の大規模な損壊）が発生した場合における体制の整備、消火活動の実施、炉心や格納容器の損傷を緩和するための対策についても確認しています。

なお、武力攻撃事態に対しては、武力攻撃事態対処法及び国民保護法に基づき、必要な対策を講じることとしています。

[出典：四国電力株式会社伊方発電所3号炉の発電用原子炉設置変更許可申請書に関する審査書（案）に対するご意見への考え方（H27.7.15 原子力規制委員会）]

問⑦ 使用済燃料ピット(プール)の安全性は確保されているのですか。

【使用済燃料ピットの構造】(図⑦-1、図⑦-2、図⑦-3)

原子力発電で使い終わった燃料(使用済燃料)は、冷却するために、発電所内の「使用済燃料ピット」で保管・管理し、十分冷却されたのち、青森県六ヶ所村に設置されている日本原燃(株)の再処理工場へ送られます。

「使用済燃料ピット」は、耐震Sクラスの強度を持つ原子炉建屋と一体構造となった鉄筋コンクリート製のプール状の設備(以下、「プール」とします)で、さらに厚さ約4.5mmのステンレス鋼板で内張りされています。

プールの中は、使用済燃料の冷却、放射線遮蔽、臨界防止のため、水(ほう酸水)で満たされておりポンプを使って冷却・循環するようにしています。また、蒸発などにより保有水が減少した場合に備えて、補給水を注入できる系統(「補給水系統」)を有しています。

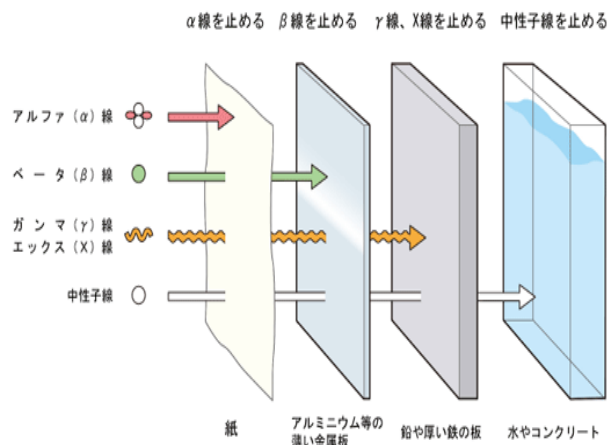
燃料が近づきすぎると再び臨界状態になる可能性があるため、燃料はプール内で基盤のようにマスで仕切られたラックに一定の間隔をおいて収納しており、物理的に近づくことはありません。

使用した燃料の内部にはウランの核分裂で生じた欠片(核分裂生成物)があり γ 線や β 線などが放出されています。このうち、 β 線※¹は透過力が弱く、燃料被覆管で止まるので被ばくの恐れはありません。 γ 線※²は燃料被覆管を透過しますが、燃料集合体の上端からプールの水面まで8mある水(ほう酸水)で遮へいされるのでプールに人が近づいても被ばくすることはありません。

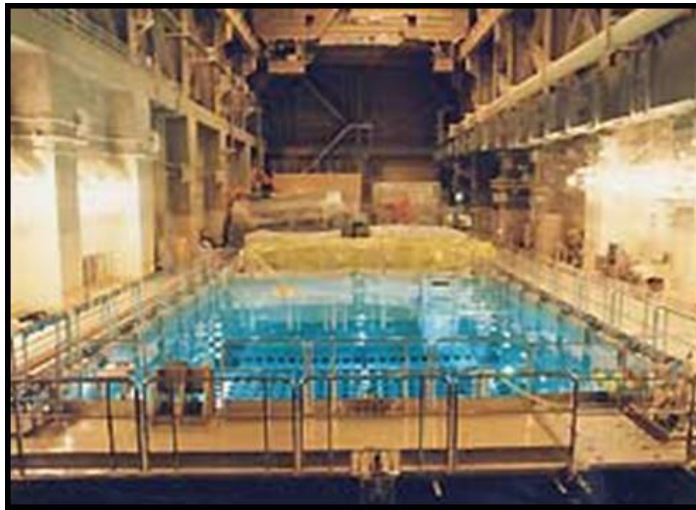
※¹ β 線は高速の電子であり、電気を帯びているため、物質中を通過する際、周囲の原子を電離したり励起したりしてエネルギーを与え、自身はエネルギーを失い停止します。燃料棒の中にあるセシウムなどからの β 線もこの作用により燃料被覆管の中でほとんどのエネルギーを失い止まります。

※² γ 線は鉛や厚い鉄の板で止まりますが、使用済燃料プールでは、水面まで8mある水で止めます。

図⑦-1 放射線の種類と透過力



図⑦-2 使用済燃料ピット



[四国電力(株)提供資料]

【伊方発電所における安全対策】

①地震対策

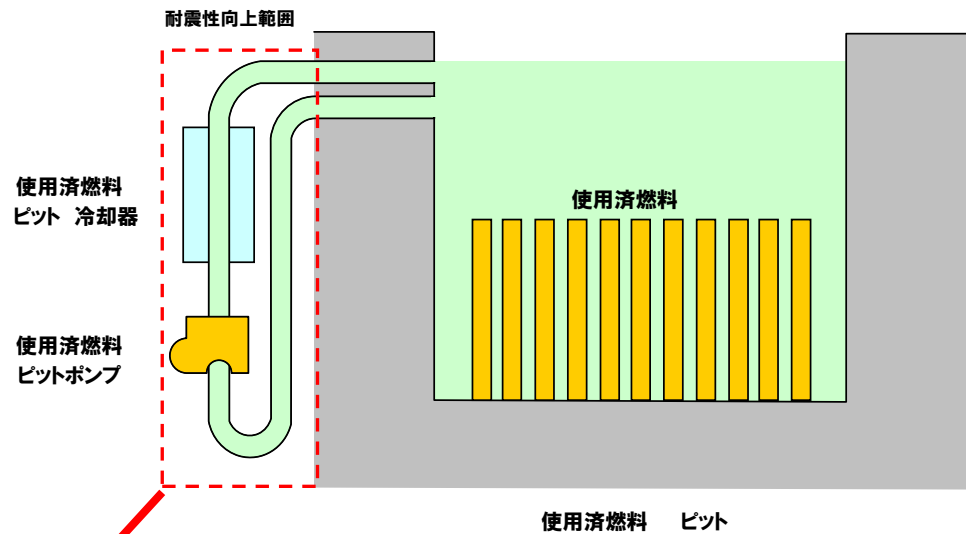
伊方発電所の「使用済燃料ピット」および「補給水系統」は、「基準地震動」を受けても基本的な機能が維持できることを評価されており、工事計画認可の過程で原子力規制委員会によって確認されました。

また、四国電力独自の取組として、耐震Bクラス設備である使用済燃料ピットの「冷却水ポンプ」や「冷却器」等の冷却系統設備の耐震性を確認し、必要に応じて耐震Sクラス相当にまで耐震性を向上するため、1、2号機では補強工事（配管支持構造物の追加設置工事）を行っております。

②水の補給

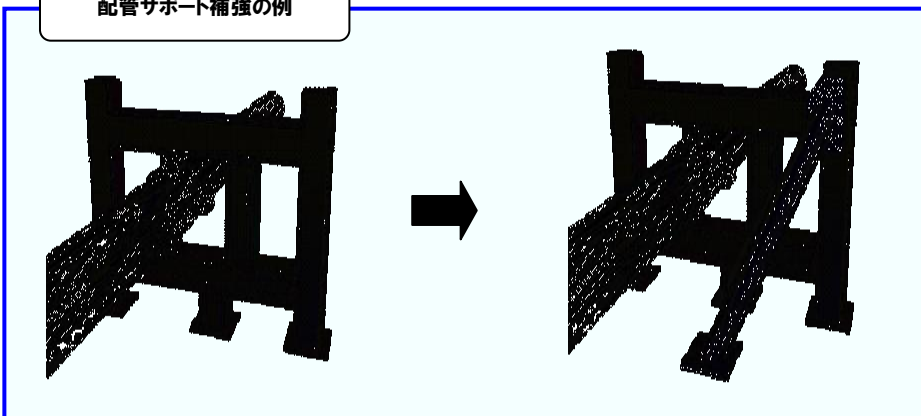
プールでの燃料の冷却には水が必要です。上述のとおり「基準地震動」に対する耐震性のある「補給水系統」を有しておりますが、万一プールの破損等による水の多量流失や、「補給水系統」による水の補給ができなければ燃料が露出して温度が上昇し、燃料が損傷してしまう可能性があるため、さらなる安全対策として、プールへポンプ車で水を補給する対策をとっています。

図⑦-3 補強工事の概要



耐震安全性評価の結果、必要に応じ、
耐震性向上工事を実施(Sクラス相当に補強)

配管サポート補強の例



使用済燃料ピット冷却設備の耐震性向上工事

問⑦ー1 伊方発電所1号機の廃炉の決定にともない、使用済燃料の扱いはどうなりますか。

【1号機廃炉の決定】

伊方発電所1号機については、平成29年9月に営業運転開始から40年となることから、これまで、新規基準への適合や40年超運転に向けて必要となる具体的対策等について、検討を進めてきました。その結果、供給力確保の観点、各種安全対策工事の技術的問題、工事費用、運転可能期間などを総合的に勘案し、同機の運転期間延長認可申請は行わず、平成28年3月25日に廃止を決定しました。

【使用済燃料プールの状況】

伊方発電所の使用済燃料プールについて、1号機から3号機まですべての原子炉が稼働した際には8～9年で満杯になる状況でした。

平成28年5月に1号機を廃止したことに伴い、1号機の使用済燃料プールも廃止されることから、1号機の使用済核燃料及び今後使用予定であった核燃料を3号機の使用済燃料プールに移動することとしています。そのため、3号機の使用済燃料プールの貯蔵余裕が少なくなり、発電所の運転状況により変動するため貯蔵可能期間については今後精査する必要がありますが、3号機の再稼働とともに仮に2号機も同時に再稼働し、直ちに1号機の使用済燃料プールも廃止し、核燃料の再処理施設などへの搬出もないといった仮定を含む条件で単純に計算すれば6～7年で使用済燃料プールが満杯になる計算となります。ただし、現実的には今後これらの条件がすべて当てはまることはないことから、6～7年よりは長くなると考えております。

使用済核燃料については、青森県の六ヶ所再処理工場へ計画的に搬出することを基本に考えていますが、搬出するまでの間についても使用済燃料プールでしか保管できないわけではなく、**乾式キャスク※¹**に移し替えて保管することも検討しています。実際、日本原子力発電株式会社は、敷地内で一部の使用済核燃料を乾式キャスクにより保管しています。

※¹ 乾式キャスク：使用済燃料を、熱伝導に優れた不活性ガスであるヘリウムガスとともに閉じ込め、貯蔵する金属製の容器。

また、国からの要請を受け、四国電力を含む電気事業者でつくる電気事業連合会は、平成27年11月、**使用済燃料対策推進計画※²**を策定しています。四国電力では、当面、現行の貯蔵設備を活用することとしていますが、将来に向けて、**敷地内外の貯蔵施設への搬出や、乾式キャスクによる貯蔵など**、種々の技術的調査や保管方法について検討しています。

※²使用済燃料対策推進計画：使用済燃料の貯蔵能力の確保・拡大へ向けた具体的な取組を示した計画