

伊方発電所の安全対策等に関する 四国電力（株）との勉強会

中間とりまとめ

この資料は、高知県が四国電力との勉強会で確認した事項をQ&Aの形にとりまとめたものです。

今後行う勉強会等での確認により内容は変更となることがありますのでご了承ください。

平成 27 年 7 月 6 日
高知県

(はじめに)

平成 23 年 3 月に発生した福島第一原子力発電所事故は、未曾有の被害をもたらし、いまだ多くの方々が避難生活を余儀なくされています。

原発事故の被害の甚大さやその影響が長期間にわたって広範囲に及ぶことを考えれば、脱原発に向けてその依存度を徐々に引き下げていくべきです。しかしながら、その過程の中で、やむを得ず原発を再稼働せざるを得ない場面が出てくる可能性は否定できず、また、仮にそうなった場合でも、安全対策が万全であることが大前提となります。

このため、本県では平成 23 年 7 月から平成 27 年 6 月まで計 15 回、再稼働に向けて手続きが進められている伊方発電所の安全対策等に関する四国電力との勉強会を開催し、原子力規制委員会での審査内容はもとより、県民の皆様が日頃から心配されている原子力発電の安全性に対する様々な疑問を率直に投げかけ、専門的な議論を我々にも理解できるよう丁寧で詳細な説明と安全対策の徹底を求めてまいりました。

このたび、原子力規制委員会において、審査されていきました安全対策等が整理されましたことから、これまでの勉強会を通じて四国電力から得られた回答をわかりやすくとりまとめ、現時点で一旦中間とりまとめとして、公表します。

今後は、中間とりまとめに関するご意見もふまえ、勉強会での確認も行いながら、最終とりまとめを行います。

目次

■地震対策

問① 伊方発電所は想定される最大の揺れに耐えられるのですか。	1
問①-1 伊方発電所で想定される最大の揺れはどのくらいですか。	3
問①-2 2008年の岩手・宮城内陸地震で4022ガルの最大加速度が記録されていますが、伊方発電所で想定している地震は小さくはないのですか。	9
問①-3 中央構造線断層帯と別府-万年山断層帯の全長480kmが一度に動いた場合の地震にも耐えられるのですか。	9
問①-4 安全上重要な施設は損傷しないのですか。特に配管は大丈夫ですか。	10
問①-5 地盤の液状化の影響はないのですか。	13
問①-6 伊方発電所の直下に活断層はないのですか。	13

■津波対策

問② 伊方発電所は想定される最大の津波に耐えられるのですか。	14
問②-1 万一、浸水した場合の対応はどうなっているのですか。	16

■原子炉を止める対策

問③ いざというときに、安全に運転を止めることができますか。	17
問③-1 どんな状況下においても、制御棒は必ず挿入できるのですか。	18
問③-2 万一、制御棒が挿入されなかった場合の対策はあるのですか。	19
問③-3 蒸気発生器の細管や、一次冷却水の配管が破損した場合の対応を教えてください。	21

■原子炉を冷やす対策

問④ 長時間にわたり、電源が喪失する恐れはないのですか。	22
問④-1 南海トラフ地震などにより、四国全体で数ヶ月の長期間にわたり外部電源が復旧しない場合でも電源は大丈夫ですか。	24

問⑤ 全ての電源が失われた場合でも、原子炉を冷やすことはできるのですか。	25
--------------------------------------	----

■放射性物質を閉じ込める対策

問⑥ 万一、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。	26
---	----

問⑦ 使用済核燃料ピット（プール）の安全性は確保されているのですか。	27
------------------------------------	----

■火災対策

問⑧ 火災により安全性が損なわれることはないのですか。	28
問⑧-1 消火体制を詳しく教えてください。	29
問⑧-2 大規模災害や道路の寸断などにより、すぐに公設消防が来られない場合にも、十分な消火はできるのですか。	31
問⑧-3 ケーブルの難燃性は確保されているのですか。	31

■経年劣化対策

問⑨ 経年劣化による危険性はないのですか。	32
問⑨-1 経年劣化により大きな設備を交換したことはありますか。	32
問⑨-2 老朽化により原子炉容器は劣化しないのですか。	33
問⑨-3 原子炉容器の検査で異常が見られたことはありませんか。	33

■プルサーマル運転

問⑩ プルトニウムはウランと比べて危険とされていますが、プルトニウムを燃料として使うプルサーマル運転は安全なのですか。	34
問⑩-1 プルトニウムを混合したMOX燃料は、事故が起こった時の放射線被害がより深刻になるのではないのですか。	35
問⑩-2 MOX燃料はウラン燃料と比較して制御が難しいのではないのですか。	35
問⑩-3 ステップ2燃料（高燃焼度ウラン燃料）と組み合わせたプルサーマル運転は、危険ではないのですか。	36

この資料の中の四国電力による「評価」とある表現は、四国電力が今回の原子力規制委員会による伊方発電所3号機の新規制基準への適合性の確認を受けるに当たり行った検証等のことです。

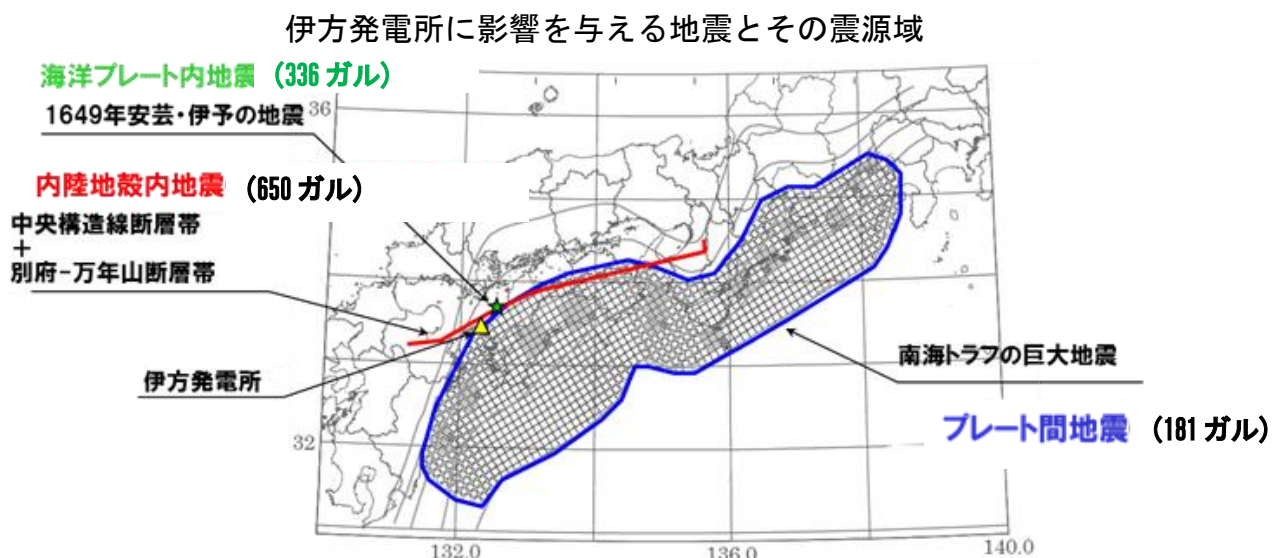
問① 伊方発電所は想定される最大の揺れに耐えられるのですか。

- ・原子力発電所の耐震設計において基準とする地震の揺れを「**基準地震動**」といいます。地震による揺れの大きさは、震源からの距離、震源域の広さ、震源の位置、地盤の固さなどによって決まるため、原子力発電所の立地条件により違ってきます。そのため、「**基準地震動**」を算定する際には、立地する敷地に大きな影響を与える様々な地震をリストアップした上で、地震断層の長さや断層面の傾斜角度などを揺れが大きくなる厳しい条件を想定して発電所における地盤の揺れを評価し、設定しています。
- ・伊方発電所の場合は、“**敷地前面海域の断層群（中央構造線断層帯）**”による地震が最も大きな影響を与えると想定しており、四国電力はこの地震による基礎岩盤の揺れについて厳しい条件を想定して評価し、最大加速度 650 ガル※¹の地震動※²をはじめ、11 種類の地震動を「**基準地震動**」に設定しています。

※¹ ガル：地震による地盤や建物等の揺れの大きさを表す加速度の単位。値が大きいほど揺れが激しいことを示す。（1ガル＝1 cm/秒²）（参考）重力加速度 1 G＝980 ガル

※² 伊方発電所の基礎岩盤で 650 ガルの最大加速度を観測するような地震の場合、一般の地盤ではその 2～3 倍の揺れとなることから震度 7 が観測されることが予想されます。

- ・なお、“**南海トラフの巨大地震（M9.0）**”について四国電力が試算した結果では、内閣府が平成 24 年 8 月に公表した複数のケースの中で、伊方発電所にもっとも影響が大きいと考えられる「**強振動域が陸側のケース**」を基本に、強い振動を発生するエリアを発電所直下に追加したケースでも、震源から発電所までの距離が遠いことから、伊方発電所の岩盤上での揺れの大きさは 181 ガルと想定しています。



[四国電力(株)提供資料に数値を追加]

- 原子炉容器や、使用済燃料プール、制御棒など原子炉を停止する機能や、放射性物質を閉じ込める機能を担う耐震重要度**Sクラス**の施設については、「**基準地震動**」を受けても、構造的な強度、制御棒挿入時間などの基本的な機能を維持できることとしており、現在、新しい基準地震動 650 ガル等に対する耐震性について評価しています。※

※ 伊方発電所では、最大加速度 570 ガルの基準地震動に対する耐震安全性を確認していましたが、基準地震動を引き上げたことにより、新たに耐震性を評価しています。

- さらに、福島第一原発事故を受けた自主的な対応として、伊方発電所では、これら安全上重要な**Sクラス**の施設については、配管も含め、概ね 1000 ガル程度の揺れによる力を受けても機能を維持できる耐震余裕があるかを確認し、余裕が少ない施設に対しては耐震裕度向上工事※を行っていません。

※ 耐震裕度向上工事：3号機の安全上重要な設備については完了しています(平成 24 年 6 月)。水素処理装置や、追加設置した代替格納容器スプレイポンプなどの「重大事故等対処設備」について、概ね 1000 ガル程度の揺れに耐えられるか評価中であり、余裕が少ない施設では耐震裕度向上工事を実施しています。

- また、これら**Sクラス**の安全上重要な施設・設備は、「**基準地震動**」による地震力への耐震性とは別に、建築基準法(第 20 条)で規定される地震力※¹の 3 倍程度の力に対してもほとんど壊れないで耐えられる※²よう設計し、建設しています。

※¹ 建築基準法では、水平方向の 0.2G(約 200 ガル)が基準となっています。原子炉施設の耐震設計では、水平方向の地震力と鉛直方向の地震力を考慮しています。

※² 建築基準法では、「地震の揺れにより一時的に変形しても、揺れが収まればほぼ元の形状に戻る」ことを要求しています。

- なお、放射性廃棄物処理設備や燃料クレーンなど、放射性物質に関連した施設については、耐震重要度**Bクラス**として、建築基準法で規定される地震力の 1.5 倍程度の力に耐えられるよう設計し、建設しており、タービン発電機など、原子炉を停止する機能や放射性物質に関わらない設備で、一般産業施設、公共施設と同等の安全性が要求される施設については、耐震重要度**Cクラス**として建築基準法で規定される地震力に耐えられるよう設計し、建設しています。

原子炉施設の耐震重要度分類

<p>・Sクラス(原子炉容器、原子炉格納容器、制御棒、非常用発電機など) 止める、冷やす、閉じ込める機能など</p>	<p>基準地震動に対して安全機能保持 建築基準法の3.0倍※</p>
<p>・Bクラス(廃棄物処理設備など)</p>	<p>建築基準法の1.5倍※</p>
<p>・Cクラス(タービン設備、発電機など)</p>	<p>建築基準法の1.0倍※</p>
<p>※機器・配管は更に2割増し</p>	

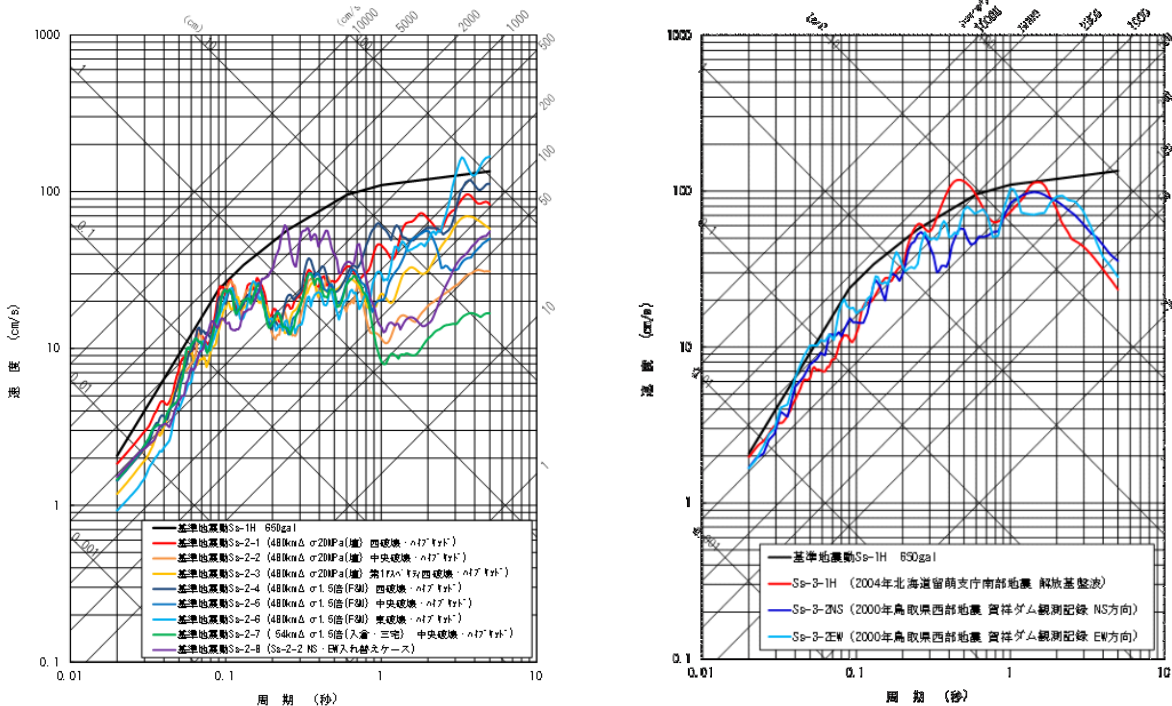
問①-1 伊方発電所で想定される最大の揺れはどのくらいですか。

- ・原子炉を止め、冷やし、放射能を閉じ込める機能を担う安全上重要なSクラスの施設は、伊方発電所の敷地において起こり得る最大規模の揺れである「基準地震動」を受けても、その揺れに十分耐えられるかどうか、現在評価しています。
 - ・伊方発電所が設置されている岩盤上で想定される「基準地震動」は全部で11種類あり、その最大値は650ガルと評価しています。伊方発電所の基礎岩盤で650ガルの最大加速度を観測するような地震の場合、一般の地盤ではその2～3倍の揺れとなることから震度7が観測されることが予想されます。
- ※基準地震動：基準地震動は、周期ごとに異なる加速度となっています。慣例により、周期が一番小さい値（0.02秒）の加速度の値で表記されており、伊方発電所で設定している11の基準地震動のうち、周期0.02秒での最大値が650ガルです。

基準地震動評価結果

基準地震動（全11波）		最大加速度	
震源を特定して策定する地震動	応答スペクトル法による評価	Ss-1 650ガル	
	断層モデルによる評価 （敷地前面海域の断層群 （中央構造線断層帯））	Ss-2 （8波）	579ガル
			478ガル
			418ガル
			494ガル
			452ガル
			360ガル
			458ガル
震源を特定せず策定する地震動	北海道留萌支庁南部 鳥取県西部	Ss-3 （2波）	
		620ガル 531ガル	

基準地震動(11波) (水平方向)



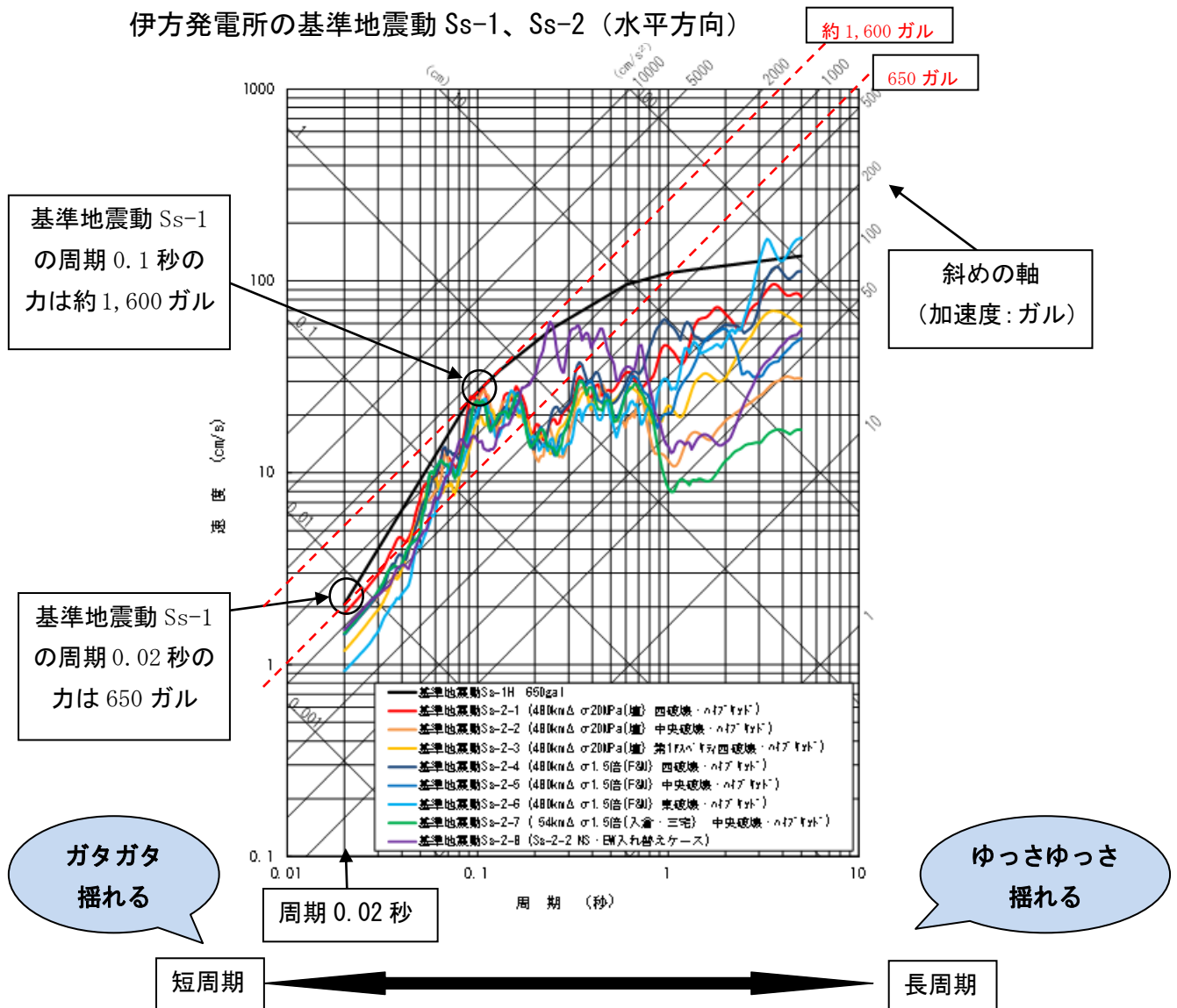
<参考> 基準地震動について

基準地震動を表した下図は、縦軸が速度（cm/秒）、横軸が周期（秒）、斜めの軸が加速度（単位：cm/秒²=ガル）を表しています。

地震の波には、様々な周期の波が含まれていますが、基準地震動の大きさを示す時は、慣例で周期0.02秒の力の値で表現されることとなっており、下図の基準地震動 Ss-1（黒い曲線）の場合は、周期0.02秒のところから650ガルであることから「650ガルの基準地震動 Ss-1」と表現されています。このため、「650ガルの基準地震動 Ss-1」で揺らせた場合、固有周期0.02秒の施設は650ガルの加速度で揺れますが、固有周期0.1秒の施設は約1,600ガルの加速度で揺れます。つまり、「650ガルの基準地震動 Ss-1」といっても、周期が違えば、650ガルよりも大きい加速度で揺れる場合があります。

耐震設計において重要なのは、各施設が固有周期で揺れた場合に受ける力に耐えられるかどうかということであり、「650ガルの基準地震動 Ss-1」に耐えられる設計では、固有周期0.02秒の施設は650ガルの加速度に耐えられる、固有周期が0.1秒の施設は約1,600ガルの加速度に耐えられる設計となっています。

伊方発電所の基準地震動 Ss-1、Ss-2（水平方向）



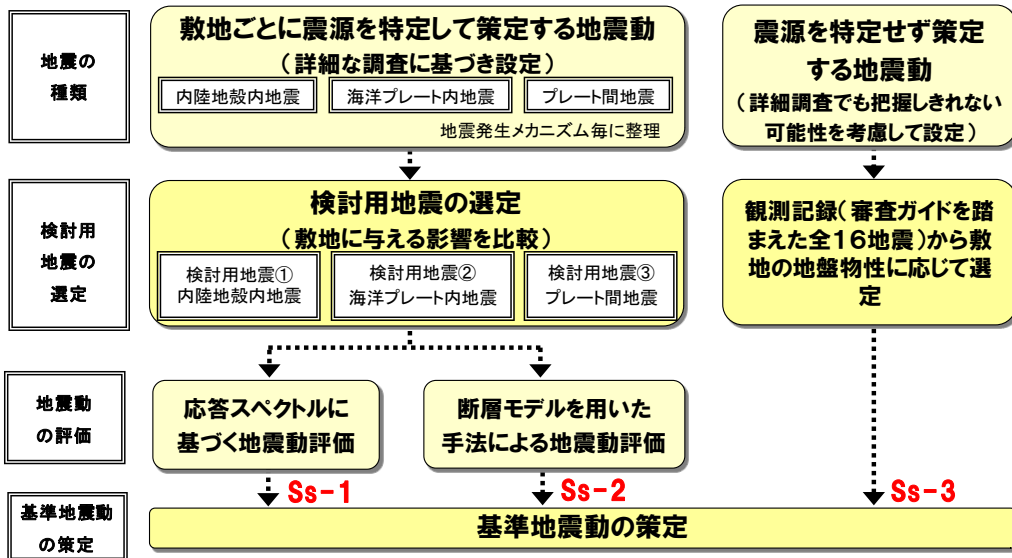
[四国電力(株)提供資料に説明を付加]

・「基準地震動」の設定においては、

○過去にその地域に被害を及ぼした歴史地震や、敷地周辺の活断層が動いた場合に発生する可能性のある地震などの「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」と

○これまで見つからない活断層による地震「震源を特定せず策定する地震動」を考慮して設定しています。

基準地震動の策定フロー



・「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」は、まず、敷地周辺の地形や地質の調査、文献調査などにより敷地に影響を及ぼす様々な地震をリストアップし、それらを地震発生様式別に

①陸域のプレートの断層によって起こる「内陸地殻内地震」

②大陸プレートの下に沈み込んだ海洋プレートが地下で割れたりすることで起こる「海洋プレート内地震」

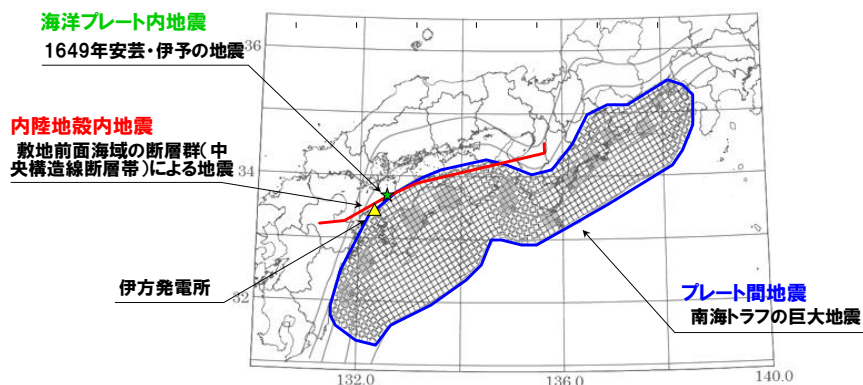
③海洋プレートが大陸プレートの下に沈み込む境界で起こる「プレート間地震」に分類整理したうえで、それぞれの分類中で最も影響の大きい地震を「検討用地震」として選定します。伊方発電所における検討用地震としては、以下の3つを選定しています。

「内陸地殻内地震」：“敷地前面海域の断層群(中央構造線断層帯)による地震”

「海洋プレート内地震」：“1649年安芸・伊予の地震(M6.9)”

「プレート間地震」：“南海トラフの巨大地震(M9.0)”

内陸地殻内地震	: 敷地前面海域の断層群(中央構造線断層帯)による地震
海洋プレート内地震	: 1649年安芸・伊予の地震(M6.9)
プレート間地震	: 南海トラフの巨大地震(M9.0) 内閣府検討会 陸側ケース)



選定された「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の検討用地震

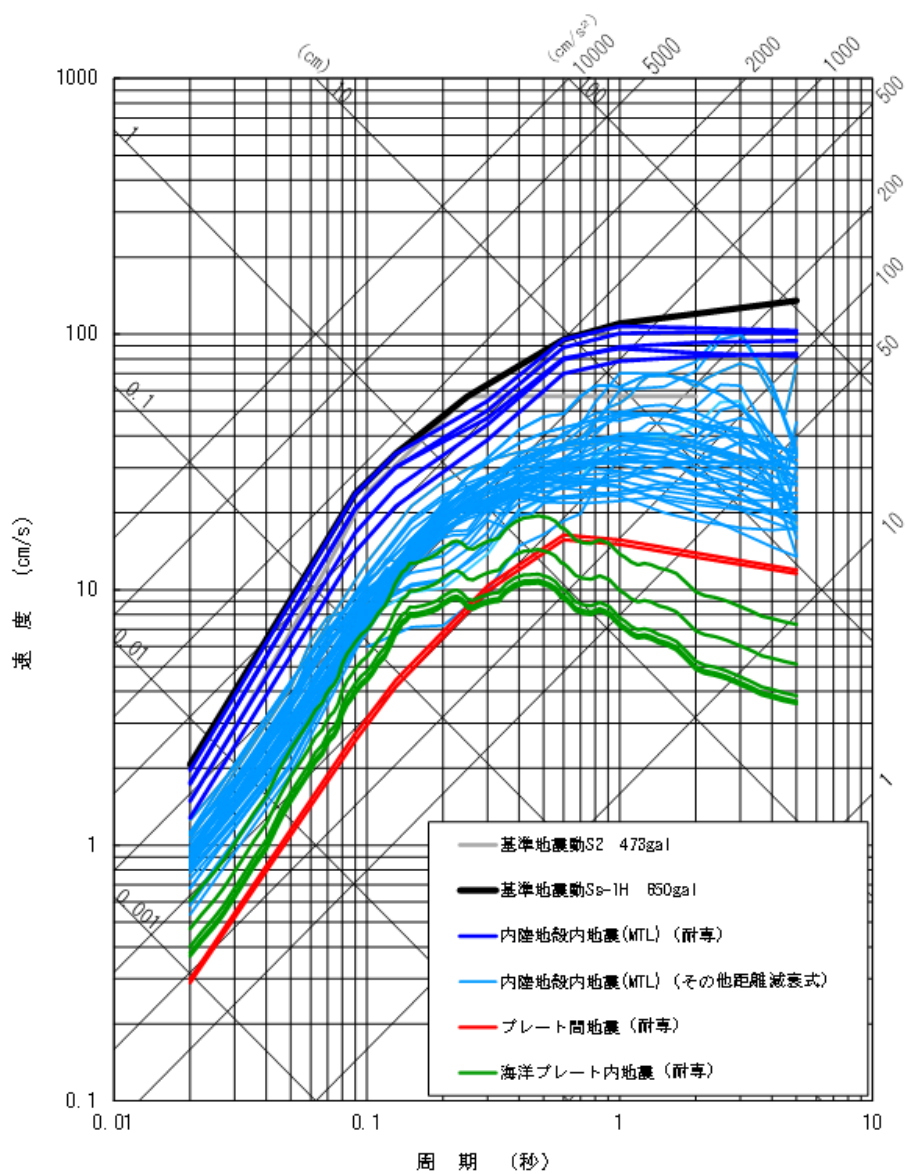
・「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の算定にあたっては、「応答スペクトルに基づく手法」※¹と「断層モデルを用いた手法」※²の二つの方法を用いて評価しています。

※¹ 地震の規模と震源からの距離の関係から、地震動を評価する経験的な手法

※² 地震の原因となる断層の活動を表現したモデルを用い、断層面での破壊の開始から進展を考慮して地震動を評価する精緻な解析手法

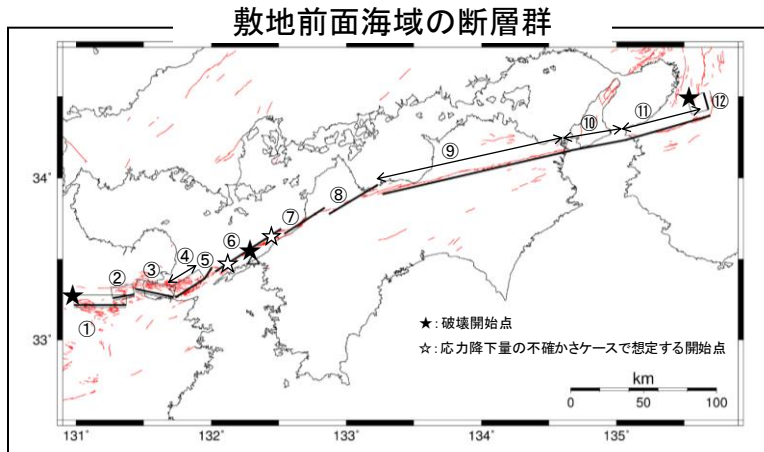
・「応答スペクトルに基づく手法」では、3つの発生様式ごとに選定した検討用地震について、基本となる地震の発生モデルを設定したうえで、断層の長さ、傾きなどの条件を変えて評価し、全ての結果を上回るように「基準地震動」Ss-1（650ガル）を設定しています。

基準地震動 Ss-1（水平方向）



[四国電力(株)提供資料]

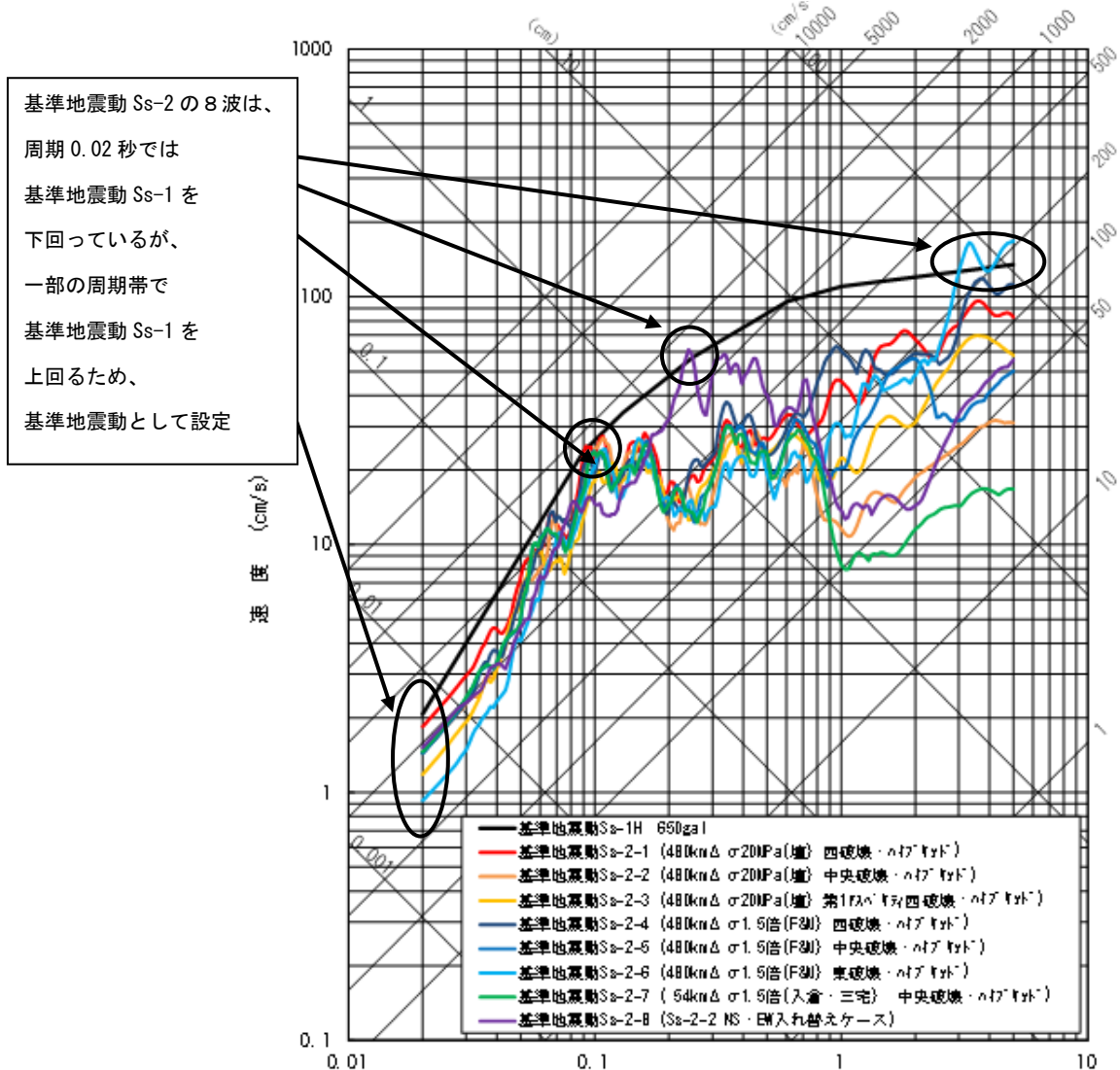
・「断層モデルを用いた手法」では、内陸地殻内地震として選定された“敷地前面海域の断層群（中央構造線断層帯）による地震”について、敷地前面海域の断層群 54km が動く場合だけでなく、紀伊半島から九州にかけての考えられる最大の長さである 480km が動く場合も基本ケースに追加し、断層が破壊される時のエネルギー放出量や、断層の傾きなどの条件を変えて様々なケースで地震動を算定した結果、一部の周期帯で Ss-1 を超える 8つのケースでの評価結果を、「基準地震動」 Ss-2（最大値は 579 ガル）に設定しています。



⑥：敷地前面海域の断層群 54km
 ①～⑫：中央構造線断層帯と別府～一万
 山断層帯（紀伊半島～九州） 480km

[四国電力(株)提供資料]

基準地震動 Ss-1 と Ss-2（水平方向）

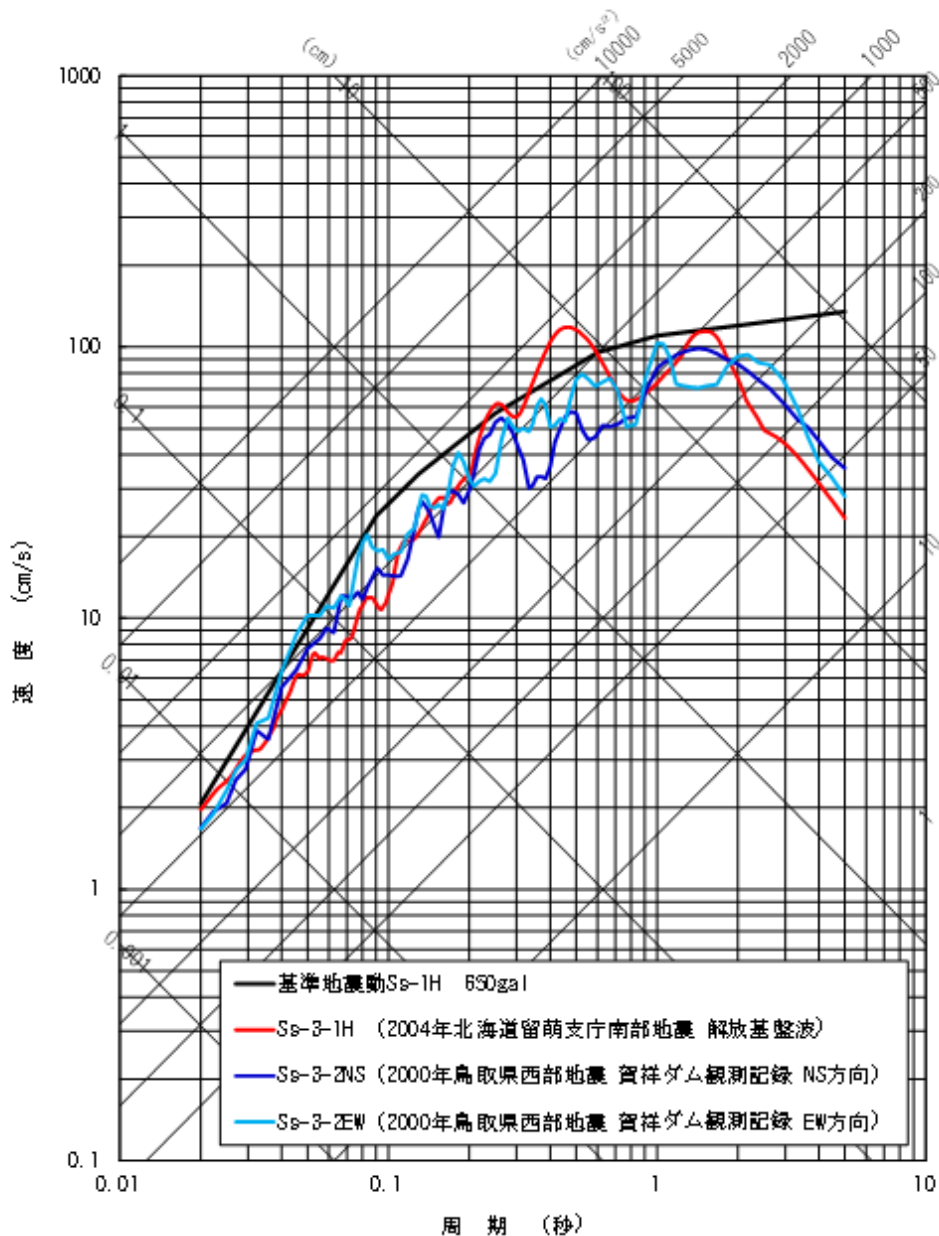


[四国電力(株)提供資料に説明を付加]

- ・「震源を特定せず策定する地震動」については、過去には、それまで活断層が確認されていなかった場所でも地震が発生しており、詳細な調査を実施しても、なお敷地近傍の浅い場所で発生する地震全てを事前に評価できるとは言いきれないことから、基準地震動の策定に当たっては「震源を特定せず策定する地震動」を考慮することとされています。
- ・具体的には、「基準地震動および耐震設計方針に係る審査ガイド」※に示された16の地震について四国電力が地質や活断層の活動度、地下深部の構造などの地域特性を検討した結果、2004年に発生した「北海道留萌支庁南部地震」および2000年に発生した「鳥取県西部地震」を考慮の対象としました。これらの地震で観測された地震動をもとに、620ガルと531ガルの二つの地震動を「基準地震動」Ss-3に設定しています。

※ 平成25年6月19日 原子力規制委員会制定

基準地震動 Ss-1 と Ss-3 (水平方向)

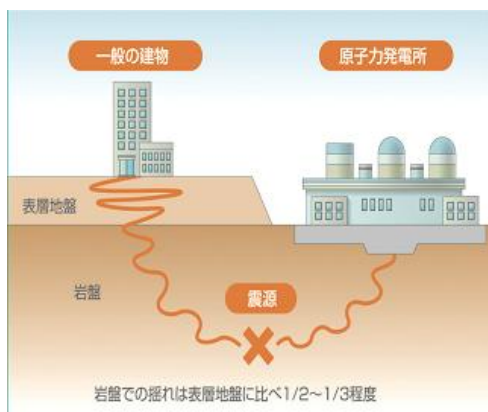


[四国電力(株)提供資料]

問①-2 2008年の岩手・宮城内陸地震で4022ガルの最大加速度が記録されていますが、伊方発電所で想定している地震は小さくはないですか。

- ・地震による揺れの大きさは、震源からの距離、震源域の広さ、震源の位置、地盤の固さなどによって決まるため、立地条件により違ってきます。この地震では、特に地盤の固さの影響が大きく、伊方発電所が固い岩盤に設置されているのに対し、この地盤は、表層地盤のやわらかい地盤であるため、この最大加速度が記録されたものと認識しています。
- ・一般に、表層地盤に比べ、岩盤での揺れは1/2～1/3程度になります。下図のとおり、伊方町においても、過去に観測された地震で、表層地盤の伊方町九町などに比べて岩盤に設置した伊方発電所の方が揺れは小さくなっています。

表層地盤と岩盤での揺れの違い



[四国電力(株)提供資料]

伊方町で観測された地震の例

地震	伊方町	伊方発電所
芸予地震 (2001. 3. 24)	108 ガル (九町)	64 ガル
豊後水道 (2005. 5. 25)	47 ガル (九町)	24 ガル
大分県西部 (2006. 6. 12)	59 ガル (九町)	24 ガル
伊予灘 (2014. 3. 14)	約 230 ガル (湊浦)	56 ガル

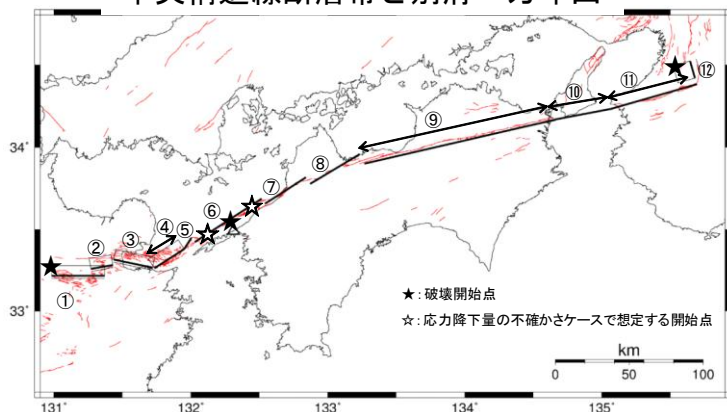
問①-3 中央構造線断層帯と別府一万年山断層帯の全長480kmが一度に動いた場合の地震にも耐えられるのですか。

- ・中央構造線断層帯と別府一万年山断層帯480kmの地振動の評価は、応答スペクトルを用いた手法と断層モデルを用いた手法の二つの手法で評価しています。
- ・応答スペクトルに基づく地震動評価では、下図の①～⑫までの480kmを80km以下に区分し、それぞれで地震規模を算出したものを合計して地震規模を評価、断層モデルを用いた手法による地震動評価では、480kmの断層について、破壊

が始まる地点(破壊開始点)を5ケース想定(右図の★☆)し、評価しています。

・このような2つの手法により、中央構造線断層帯と別府一万年山断層帯の全長480kmの地震規模を評価し、「基準地震動」を設定しています。

中央構造線断層帯と別府一万年山

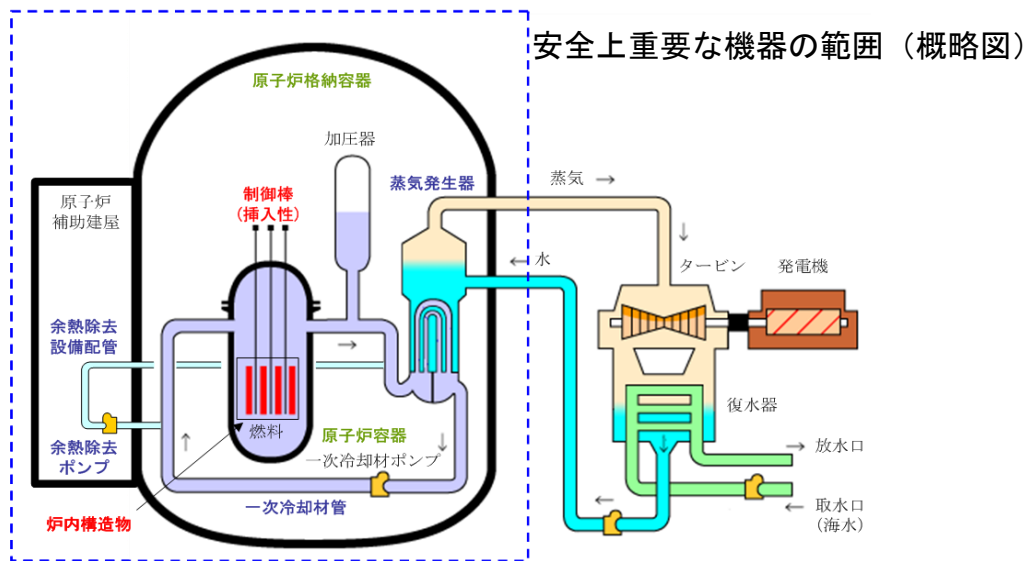


[四国電力(株)提供資料]

問①-4 安全上重要な施設は損傷しないのですか。特に配管は大丈夫ですか。

- 原子力発電所の施設においては施設の耐震重要度に応じて、3つのクラスに分けて耐震設計が行われており、原子炉容器や原子炉の運転を制御する制御棒などの原子炉を安全に「止める」、「冷やす」、放射性物質を「閉じ込める」ための施設については、これらに冷却水や電源を供給する施設、これらを監視、操作する中央制御盤なども含め、安全上重要な施設として耐震重要度Sクラスに分類しています。

安全上重要な主な機器
(新耐震指針に照らした耐震安全性評価報告書記載の耐震Sクラス機器)



[四国電力(株)提供資料]

(具体的な施設)

- 「原子炉冷却材圧力バウンダリ(*)」を構成する機器・配管系(原子炉容器、蒸気発生器、一次冷却材ポンプ、一次冷却材管など)
 - ※*/バウンダリ：原子炉の通常運転時に、一次冷却材(水)を内包して原子炉と同じ圧力条件となっている範囲の総称。
 - 使用済燃料を貯蔵するための施設(使用済燃料ピット、使用済燃料ラックなど)
 - 原子炉の緊急停止のために急激に負の反応度を付加するための施設、及び原子炉の停止状態を維持するための施設(制御棒、ほう酸注入系など)
 - 原子炉停止後、炉心から崩壊熱を除去するための施設(主蒸気・主給水系、補助給水系、余熱除去設備など)
 - 原子炉冷却材圧力バウンダリ破損事故後、炉心から崩壊熱を除去するための施設(安全注入設備、余熱除去設備、燃料取替用水タンクなど)
 - 原子炉冷却材圧力バウンダリ破損事故の際に、圧力障壁となり放射性物質の放散を直接防ぐための施設(原子炉格納容器など)
 - 放射性物質の放出を伴うような事故の際に、その外部放散を抑制するための施設で上記f以外の施設(格納容器スプレイ設備、アニュラス空気再循環設備など)
- および、上記施設の補助的役割を持つ非常用ディーゼル発電機、原子炉補機冷却系など

- これらSクラス施設は、想定される最大の揺れである基準地震動を受けても、原子炉容器や配管などであれば機能を失うような破損、破断をしない構造強度、制御棒であれば既定の時間内での挿入性といった、その施設に求められる機能が維持できることを、現在評価しています。あわせて建築基準法で規定される地震力の3倍の力を受けても、概ね弾性範囲にとどまる※と評価しています。
※地震により一時的に変形しても、揺れが収まればほぼ元の形状に戻ることを。

- ・また、安全機能を有する施設のうち、機能喪失した場合の影響が**Sクラス**と比べ小さい施設である放射性廃棄物処理設備や燃料クレーンなど、放射性物質に関連した施設については耐震重要度**Bクラス**に分類し、建築基準法で規定される地震力の1.5倍程度の揺れに耐えられると評価しています。

<p>(具体的な施設)</p> <p>k. 「原子炉冷却材圧力バウンダリ」に直接接続されていて、一次冷却材を内包しているか又は内蔵し得る施設（化学体制御系のうち抽出系と余剰抽出系など）</p> <p>l. 放射性廃棄物を内蔵している施設（ただし、内蔵量が少ない又は貯蔵方式により、その破損による公衆に与える放射線の影響が周辺監視区域外における年間の線量限度に比べ十分小さいものは除く）（放射性液体廃棄物処理設備など廃棄物処理設備（ただし、Cクラスに属するものは除く））</p> <p>m. 放射性廃棄物以外の放射性物質に関連した施設で、その破損により、公衆及び従事者に過大な放射線被ばくを与える可能性のある施設（使用済燃料ピット水浄化系、化学体積制御設備のうちSクラス及びCクラスに属する以外のもの、放射線低減効果の大きい遮蔽、燃料取替棟クレーン、使用済燃料ピットクレーン、燃料取替クレーン、燃料移送装置など）</p> <p>n. 使用済燃料を冷却するための施設（使用済燃料ピット水冷却系）</p> <p style="padding-left: 20px;">※ 四国電力独自の取り組みとして、耐震重要度分類Bクラスである使用済み燃料ピットポンプ、冷却器とその配管については、耐震性をSクラス相当まで補強する工事を実施</p> <p>o. 放射性物質の放出を伴うような場合に、その外部放散を抑制するための施設で、Sクラスに属さない施設</p>
--

- ・**Sクラス**施設及び**Bクラス**施設以外の一般産業施設で、タービン発電機など、原子炉を停止する機能や放射性物質に関わらない設備で、一般産業施設、公共施設と同等の安全性が要求される施設については耐震重要度**Cクラス**に分類し、建築基準法で規定される地震力に耐えられると評価しています。

<p>(具体的な施設)</p> <p>p. 原子炉の反応度を制御するための設備でSクラス及びBクラスに属さない施設（制御棒クラスタ駆動装置（スクラム機能に属する部分を除く））</p> <p>q. 放射性物質を内蔵しているか、又はこれに関連した施設でSクラス及びBクラスに属さない施設（試料採取設備、洗浄排水処理設備、ペイラ、新燃料貯蔵庫など）</p> <p>r. 放射線安全に関係しない設備等（タービン設備、発電機など）</p>
--

- ・**B、Cクラス**については、「基準地震動」に対する耐震性を求めています※¹が、一部例外があり、例えば、消火配管は**Cクラス**に分類されていますが、火災が起こった際に必要となる消火配管は、**Sクラス**相当※²の耐震強度としています。

※¹ 耐震重要度分類は、耐震重要施設がその機能を喪失した際の公衆への影響の度合いによりS、B、Cの3種類に分かれており、ランクの低い設備は仮に機能を喪失しても安全上大きな影響がないものとなっています。

※² 四国電力独自の取組として、耐震クラス**Sクラス**相当まで補強する工事を実施しており、基準地震動を受けてもその設備に求められる機能が維持できるようにしています。

<p>・Sクラス(原子炉容器、原子炉格納容器、制御棒、非常用発電機など) 止める、冷やす、閉じ込める機能など</p>	<p>基準地震動に対して 安全機能保持 建築基準法の3.0倍※</p>
<p>・Bクラス(廃棄物処理設備など)</p>	<p>建築基準法の1.5倍※</p>
<p>・Cクラス(タービン設備、発電機など)</p>	<p>建築基準法の1.0倍※</p>
<p>※機器・配管は更に2割増し</p>	

- ・さらに、四国電力では独自の追加安全対策として、安全上重要な設備（耐震重要度分類で**Sクラス**の施設）等について、配管も含め、基準地震動を上回る概ね 1000 ガル程度の揺れによる力を受けても機能を維持できる耐震余裕があるかを評価し、余裕が少ない設備に対しては耐震裕度向上工事を行っています。

耐震性向上のため電源盤に設置したサポート金具



[四国電力(株)提供資料]

- ・配管についても、施設の重要度に応じて3つのクラスに分類しています。
「一次冷却水」の配管や緊急時に原子炉へほう酸水を注入するための配管など、安全上重要な施設に係る配管については、耐震重要度**Sクラス**に分類しており、想定される最大の揺れである基準地震動に対して、機能を失うような破損をしない構造強度を有しているか現在評価を行っています。あわせて、建築基準法で規定される地震力の3.6倍に耐えることができると評価しています。
- ・また、放射性廃棄物処理設備などの放射性物質に係る施設に関するものについては**Bクラス**に、「二次冷却水」系統などの配管は**Cクラス**に分類し、それぞれ建築基準法で規定される地震力の1.8倍、1.2倍の力に耐えることができるよう評価しています。

耐震性向上のために配管に設置したサポート金具



[四国電力(株)提供資料]

問①－5 地盤の液状化の影響はないですか。

- ・伊方発電所の原子炉建屋、原子炉補助建屋などの安全上重要な建物・機器等は、地震による揺れが大きく増幅される表層地盤上ではなく、地盤として十分な支持性能があり、すべりや沈下等が生じにくい、緑色片岩でできた非常に強固で安定した岩盤上に直接設置しています。
- ・埋立部には、主変圧器、3号補助ボイラ燃料タンクなどの耐震重要度Cクラスの施設を設置していますが、これらの施設も原子炉施設が設置されている基礎岩盤と同じ岩盤（緑色片岩）に到達するまでの基礎を施工し、その上に設置していることから、液状化の影響を受けることはありません。
- ・また、伊方発電所の敷地内の埋立部分については、以下の観点から総合的に判断し、液状化が発生しにくい地盤条件になっていると考えています。
 - ① 地下水位が地表面から10mより浅い場合は液状化が発生しやすいとされているが、伊方発電所内の埋立部の地下水位は概ね地表から約10mの深さがある。
 - ② 礫ではなく砂が多く含まれ、かつその粒径が比較的揃っている地盤ほど締りが緩く液状化しやすいとされているが、伊方発電所内における埋立部の土は、粒径10mm以上の礫を多く含み、かつ粒径が比較的ばらついた土砂からなっている。
 - ③ 一般的に液状化が発生する地盤は、横波（せん断波）の伝わる速度※が100～200m/秒の比較的軟弱な地盤とされているが、伊方発電所における埋立部の地盤は、横波（せん断波）の伝わる速度が300m/秒以上の建物や構造物の基礎として耐えることが出来る硬い地盤となっている。
 - ※ せん断波速度：地震波のうち、横波の速度。S波速度とも呼ばれ、固く締った地盤や固い地盤ほどS波が早く進む性質がある。

問①－6 伊方発電所の直下に活断層はないのですか。

- ・伊方発電所3号機においては、建設時に活断層の有無を確認しています。具体的には、ボーリング調査や全長約300m、幅約2m、高さ約2mの試掘坑を掘削し、地質や地質構造、破砕帯の性状など詳細な調査を行い、総合的に判断して直下に活断層はないことを確認し、原子力規制委員会においても了承されています。

問② 伊方発電所は想定される最大の津波に耐えられるのですか。

・伊方発電所で想定される津波の高さについては、過去の津波に関する文献調査および敷地周辺の地質調査を行い、

- ①「プレート境界付近で想定される地震に伴う津波」
- ②「海域の活断層に想定される地震に伴う津波」
- ③「周辺の火山の山体崩壊に伴う津波」
- ④「沿岸部の地すべりに伴う津波」

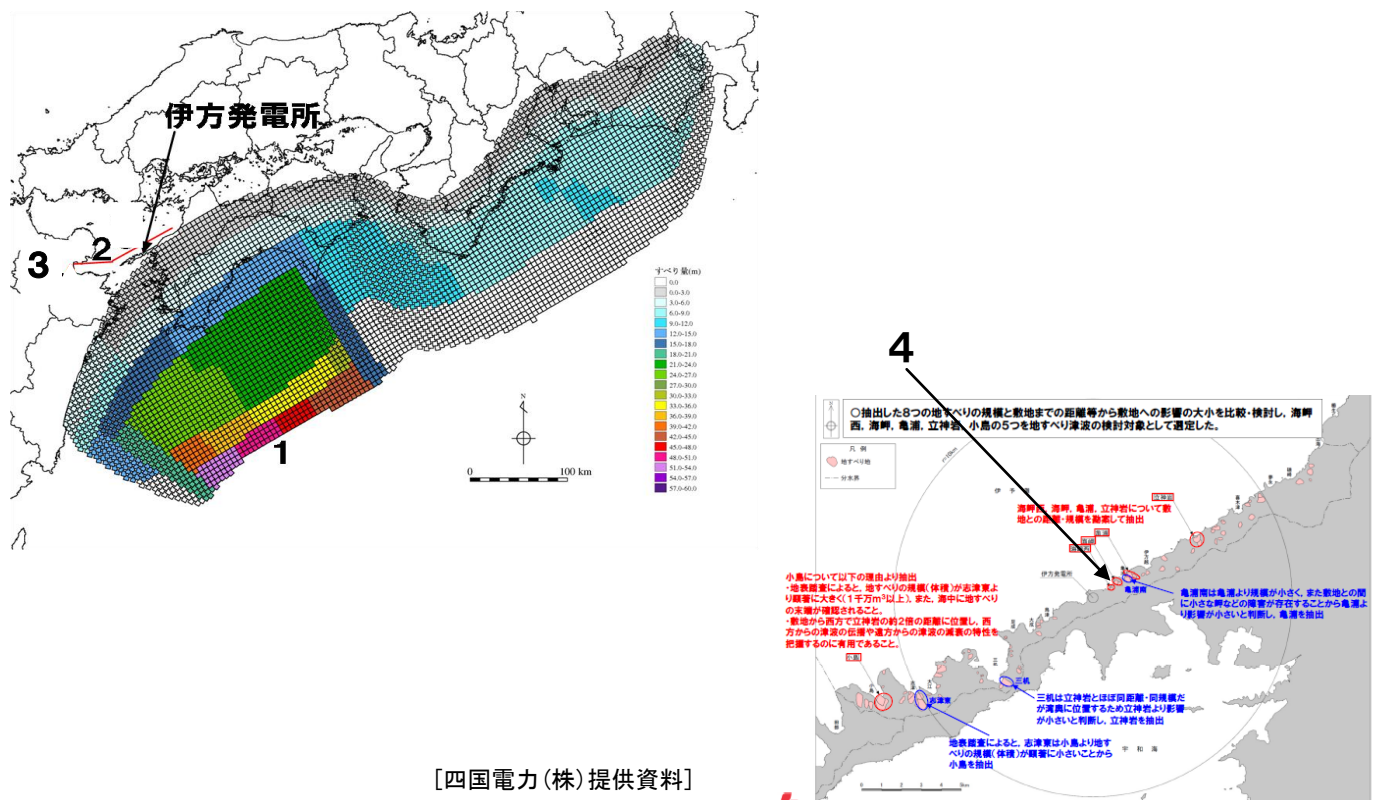
について検討を行っています。各々の津波について、

- ① “南海トラフの巨大地震による津波” ※ 1
- ② “敷地前面海域の中央構造線断層群の地震による津波” ※ 2
- ③ “別府湾の鶴見岳の山体崩壊に伴う津波” ※ 3
- ④ “伊予灘沿岸部の地すべり津波” ※ 4

を選定し、津波の高さを評価しています。

- ※ 1 内閣府「南海トラフの巨大地震モデル検討会」が平成 24 年 8 月 29 日に公表したケース①～⑪のうち伊方発電所の水位が最も高いケース⑤による津波
- ※ 2 中央構造線断層帯（伊予セグメント・敷地前面海域）及び別府一万年山断層帯の地震に伴う津波
- ※ 3 活火山鶴見岳の山頂を含む破局的な規模の山体崩壊に伴う津波
- ※ 4 最も伊方発電所の水位が高くなる発電所の東の海岬西の地すべりに伴う津波

津波波源位置図（検討ケース 1～4）

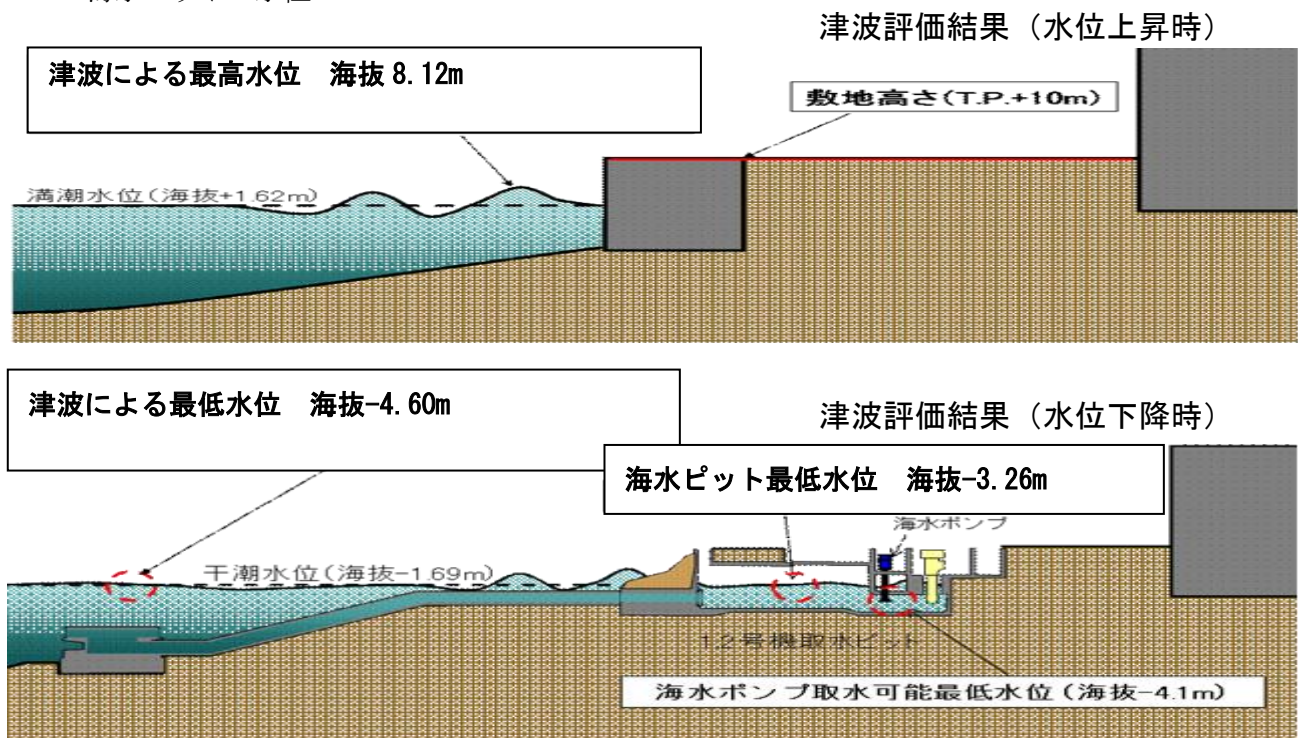


- ・伊方発電所3号機における水位上昇時に最も影響が大きい津波は、②“敷地前面海域の中央構造線断層帯の地震による津波”と④“伊予灘沿岸部の地すべり津波”が重なった津波であり、最高水位は3号機前面海域において海拔約8.1mと評価しています。一方、伊方発電所の敷地高さは海拔10mであり、地震による地盤の沈降が生じた場合を想定して沈降量約0.4mを差し引いても海拔約9.6mであり、最高水位よりも十分高いことから、敷地が浸水することはないと考えています。
- ・また、伊方発電所3号機における水位下降時に最も影響が大きい津波(引き波)は、上昇時と同じく、②“敷地前面海域の中央構造線断層帯の地震による津波”と④“伊予灘沿岸部の地すべり津波”が重なった波であり、最低水位は3号機海水ピットにおいて海拔約-3.3mと評価しています。原子炉を冷却するための海水を取水する海水ポンプの取水可能水位は海拔約-4.1mと、最低水位よりも十分深い位置にあり、これに、地震による地盤の隆起が生じたことを想定し、隆起により取水可能水位が約0.3m上昇したとしても海拔約-3.8mであり、最低水位よりも十分深い位置にとどまることから、引き波時にも冷却用の海水を取水することが可能です。

検討ケース		最高水位※ ¹ (3号機前面海域)	最低水位※ ² (海水取水ピット)
①	南海トラフの巨大地震による津波	+2.45m	—
②	前面海域の中央構造線断層群による津波 (130km連動モデル)	+7.56m	—
③	別府湾の鶴見岳の山体崩壊に伴う津波	+2.56m	—
④	伊予灘沿岸部の地すべり津波	+6.35m	—
②と④が重なった津波		+8.12m	-3.26m

※¹満潮時の前面海域の水位1.62mに津波の高さを加えた水位

※²干潮時の補機冷却海水取水口水位に、海水管路の影響や海水ポンプの取水量などを考慮し求めた海水ピットの水位



[四国電力(株)提供資料]

問②-1 万一、浸水した場合の対応はどうなっているのですか。

- ・万が一陸地が浸水するような場合に備え、非常用ディーゼル発電機や蓄電池など安全上重要な機器が設置されている建物や部屋の扉は水を通さない水密扉に変更しています。また、これらの機器を設置している部屋の配管貫通部などは、水密性を高めるため、防水シール加工を行うなどの浸水対策を行っています。
- ・また、津波の引き波により海水の水位が低下し、冷却用の海水を汲み上げるポンプが空引き状態にならないよう、取水用の海水ピット内に可動式の堰を設置しており、前面海域の水位が低下した際に、海水ピットから海へ海水が逆流することによって可動堰が自動的に閉じ、ピット水位の低下を抑制する対策を講じています。

水密扉（非常用ディーゼル発電機室シャッター開口部）



外壁配管貫通部の防水シール加工

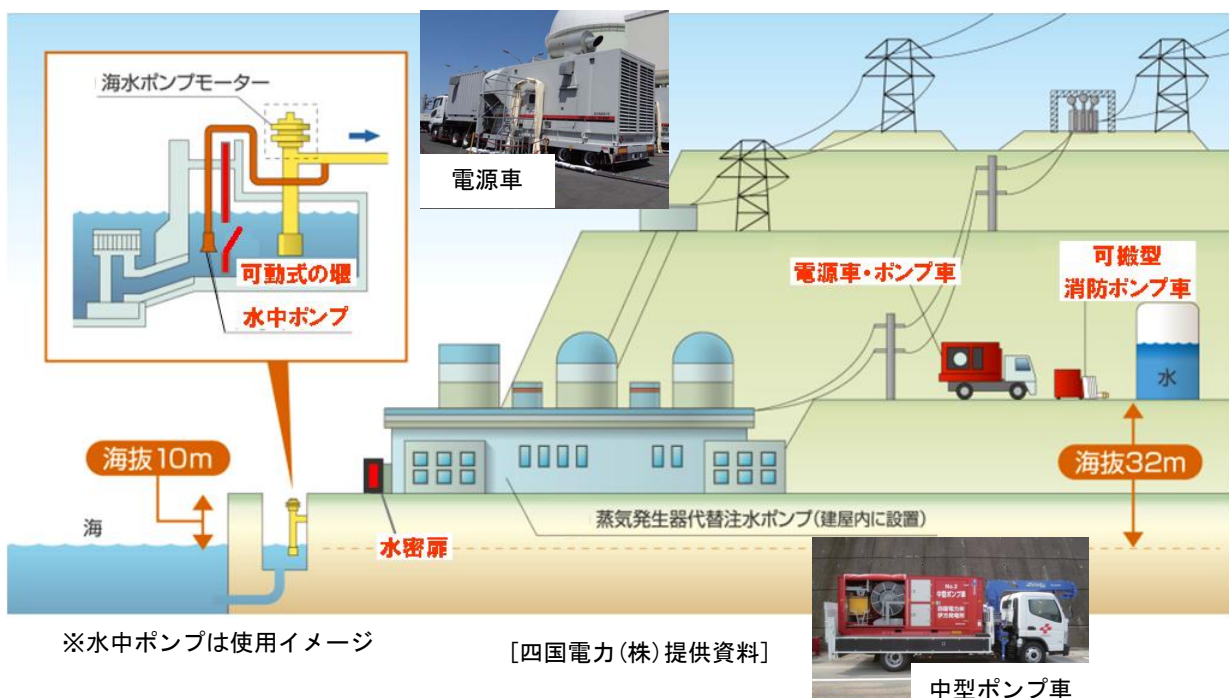


海水ピットに設置する可動式の堰



[四国電力(株)提供資料]

- ・さらに、浸水などにより安全上重要な設備の冷却に必要な海水ポンプや冷却用水ポンプ、非常用ディーゼル発電機や蓄電池などが使用できなくなった場合に備え、大容量の電源車4台（空冷式）やポンプ車14台などを、高台を中心に分散配備しており、代替となる電源および注水手段の多重化を図っています。代替となる電源車やポンプ車の燃料は最低7日間分を高台に保管しており、これを超える分については、外部から、陸路、空路、海路などあらゆる手段により発電所へ輸送します。



- ・また、原子力発電所では、震度5程度の大きな揺れを検知したり※、原子炉内の温度や圧力が制限を超えたときなど、異常を感知したときには、自動的に原子炉を止める信号を出します。そうすると、原子炉の上部で制御棒の駆動軸をグリップしている電磁石の電源が切れ、全ての制御棒が自重で落下し、燃料の中に挿入されるように設計されています。燃料の中に制御棒が挿入されると、核反応が止まり、原子炉は停止します。
- ・緊急に原子炉を停止する必要がある場合には、運転員が中央制御室のスイッチを手動で操作し、制御棒を一度に挿入して原子炉を停止することもできます。また、一次冷却水の中に中性子を吸収する「ほう酸水」を注入することでも、原子炉を停止することができます。
 - ※3号機では、190ガル以上の地震を検知すると原子炉停止信号を発信します。

問③-1 どんな状況下においても、制御棒は必ず挿入できるのですか。

- ・四国電力では、想定される最大の揺れが発生した場合でも、原子炉を安全に止めるために必要な時間内に制御棒が挿入できると評価しており、伊方発電所3号機における評価結果では、想定されている最大の揺れである650ガルの揺れを受けて制御棒案内管が最も大きく変形した状態でも、基準時間内に挿入されることが、今後、国の審査において確認されます。※
 - ※「伊方発電所の原子炉設置変更許可申請書」（3号炉）において、従来 of 基準地震動の最大加速度570ガル、制御棒挿入時間2.2秒で安全性の確認を行い、国の許可を得ています。
- ・また、制御棒は原子炉を安全に停止するための重要な設備であることから、国の耐震信頼性実証試験のなかで、実機を模擬した加振試験が行われ、地震時においても確実に炉心へ挿入できることが確認されています。※
 - ※「平成17年度 原子力施設等の耐震技術評価に関する試験および調査 機器耐力その2（PWR制御棒挿入性）に係る報告書」において、大規模加振条件下で制御棒挿入試験が実施されており、約1560ガルにおいても許容時間（2.2秒）程度で制御棒が正常に挿入できることが確認されています。

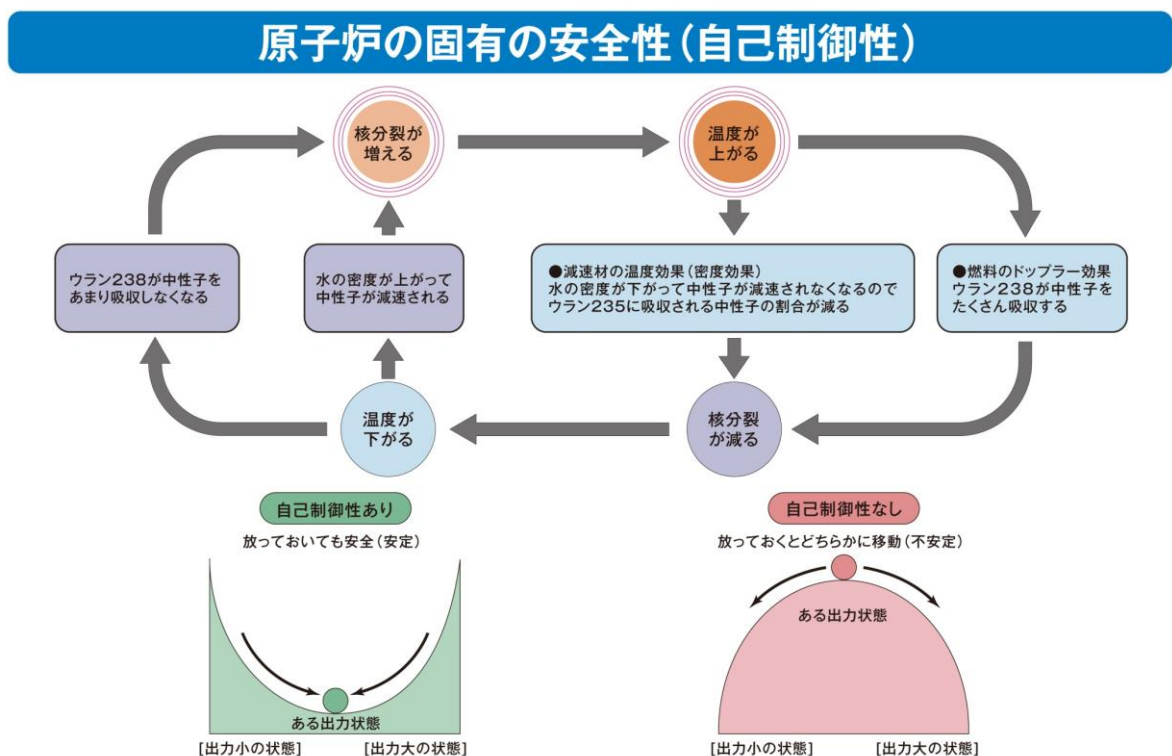
問③-2 万一、制御棒が挿入されなかった場合の対策はあるのですか。

- ・伊方発電所において、万一、制御棒が全て挿入できないといった事態が発生した場合でも、原子炉には自己制御性という固有の安全性が備わっているため、核分裂反応は一定の状態で安定し、急激に出力が上昇することはありません。
- ・自己制御性により、以下のとおり原子炉の出力が上昇した時にも出力の上昇が抑制されます。

①何らかの原因で核分裂反応が増加し、「一次冷却水」の温度が上昇すると、熱膨張により原子炉内を流れる「一次冷却水」の密度が小さくなり、原子炉内の速い中性子が水分子に衝突して減速する確率が減りますので、ウランの核分裂に必要な遅い中性子が減ることになり、核分裂反応が減少します。また、燃料自体の温度も上昇しますので、燃料を構成する「核分裂しやすいウラン 235」と「核分裂しにくいウラン 238」のうち、「核分裂しにくいウラン 238」が温度上昇により中性子を吸収しやすくなり、これも核分裂反応が減少する方向に作用します。

②核分裂反応が減少すると、「一次冷却水」の温度が低くなり、原子炉内を流れる「一次冷却水」の密度が大きくなり、原子炉内の速い中性子が水分子に衝突して減速する確率が増え、ウランの核分裂に必要な遅い中性子が増えることになり、核分裂反応が増加します。また、燃料の温度も下がることにより、「核分裂しにくいウラン 238」が中性子を吸収しにくくなり、これも核分裂反応が増加する方向に作用します。(→①へ戻る)

※ ウランの核分裂により高速の中性子（約2万 km/秒）が放出されますが、「核分裂しやすいウラン 235」は遅い中性子（約2km/秒）を吸収しやすく、「核分裂しにくいウラン 238」は高速の中性子を吸収しやすい性質を持っています。高速の中性子は、原子炉に満たされている水分子と衝突することにより減速し、「核分裂しやすいウラン 235」に吸収されることで、次の核分裂が起き、中性子を放出することによって反応が連鎖的に起こります。



[出典：電気事業連合会ホームページ]

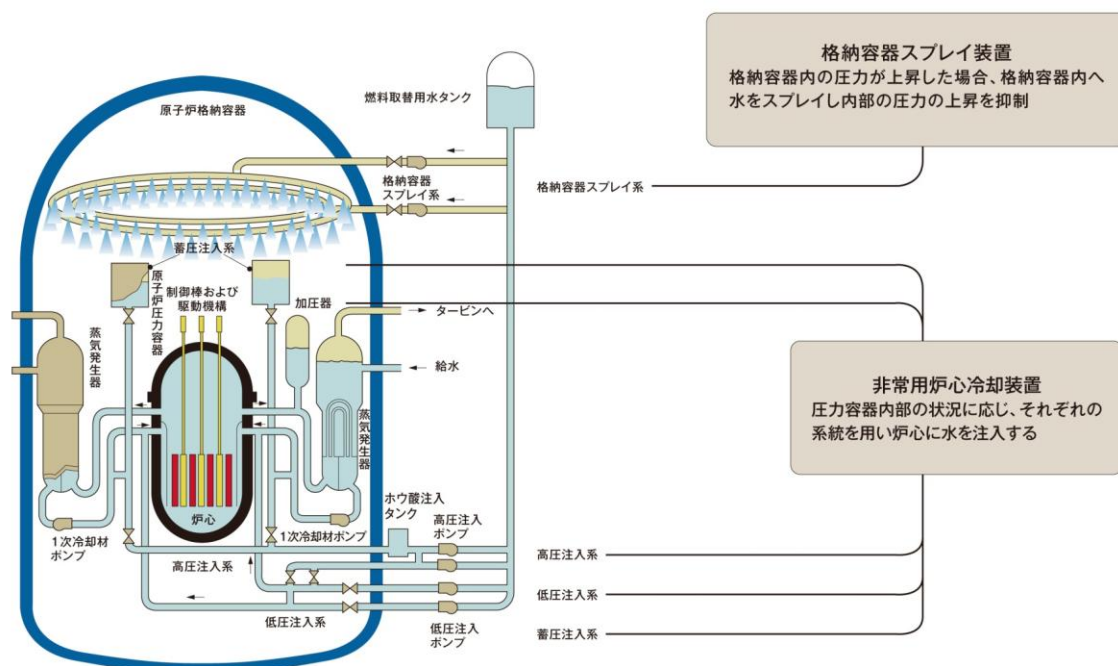
- 伊方発電所において、万が一、制御棒が全て挿入できないといった事態が発生した場合には、中央制御室からの手動操作により、
①タービン発電機を停止させ（主蒸気隔離弁閉）、②補助給水ポンプの起動を行い、蒸気発生器で作る蒸気の量を急減させることで「一次冷却水」系統を流れる冷却水の温度を上昇させます。「一次冷却水」の温度が上昇すると、原子炉の自己制御性によって核分裂は減少する方向に向かいます。
- さらに、「一次冷却水」に中性子を吸収するほう酸水を中央制御室※からの手動操作でほう酸タンクから注入し、原子炉を停止状態にできるようになっています。
- 原子炉の停止後は、原子炉補助建屋にある補助給水ポンプを利用して蒸気発生器の「二次冷却水」へ給水を行い、発生した蒸気を大気中に逃がすことで「一次冷却水」の温度をコントロールし、炉心を継続して冷却できるようになっています。「二次冷却水」は放射性物質を含まないきれいな水であり、大気汚染の問題は生じません。

※中央制御室：発電所全体の運転状態を監視・制御する部屋で、原子炉、タービン、発電機などの運転、監視を行い、核分裂から発電までの主要な設備すべてをコントロールしています。さらに放射線の監視もここで集中管理しています。

問③-3 蒸気発生器の細管や、一次冷却水の配管が破損した場合の対応を教えてください。

- ・蒸気発生器の伝熱細管が破損すると、「一次冷却水」側の圧力が高いため、水は「二次冷却水」側へ流出してしまい、「二次冷却水」に放射性物質を含んだ水が流れ込んでしまいます。そのため、破損の起こった蒸気発生器の弁を閉め、放射性物質を含んだ「二次冷却水」やその蒸気を可能な限り蒸気発生器に閉じ込めるようにします。
- ・蒸気発生器は1台が破損した場合にも他の健全な蒸気発生器により除熱が可能ですが、万が一、全ての蒸気発生器が破損した場合にも、余熱除去系統（余熱除去ポンプ等）などを用いた冷却操作が可能です。
- ・「一次冷却水」の配管が破損すると、「一次冷却水」が大量に流出し「一次冷却水」の圧力が低下します。「一次冷却水」の圧力の低下の状況に応じ、非常用炉心冷却設備が作動し、ほう酸水が原子炉内に注入され、炉心の冷却が行われます。
- ・非常用炉心冷却設備の水源である燃料取替用水タンクの水が低下すると、破損個所より流出し、格納容器の底にたまった「一次冷却水」やほう酸水を冷却し、再び原子炉に注入する仕組みとなっており、長期間の冷却に対応できます。
- ・「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ますが、原子炉格納容器内の温度及び圧力の上昇抑制のため格納容器スプレイ装置が設置されています。格納容器スプレイ装置は格納容器の上部からほう酸水をシャワーのように降らせて、格納容器内に溜まっている蒸気を凝縮させて圧力を下げます。

非常用炉心冷却装置等の例 (PWR)



[出典：電気事業連合会ホームページ]

問④ 長時間にわたり、電源が喪失する恐れはないのですか。

- ・原子力発電所を運転したり、停止時に原子炉等を安定的に冷却したりするためには、ポンプなどの動力用の電源や、計測制御装置※を動かす電源を常に確保する必要があり、通常は発電所内で発電する電力や発電所外から送電線により受電する電力を使用しています。しかしながら、万が一の事故により、これら所内の電源や、送電線を経由する外部の電源がいずれも使用できなくなった場合に対応するために、電源の多重化・多様化を図っています。

※ 計測制御装置

「一次冷却水」の温度や圧力を測定し、結果を表示する装置や、測定結果をもとに弁の開閉状態などを自動的にコントロールする装置などの総称

- ・伊方発電所では、運転開始当初より1号機から3号機までの各号機に2台の非常用ディーゼル発電機を設置（図中④）していると同時に、1号機から3号機間をケーブル（図中④）で接続し、相互に電力を融通できるようにしており、例えば、3号機で、2台の非常用ディーゼル発電機が使えなくなった場合でも、1号機あるいは2号機の2台の非常用ディーゼル発電機を電源として使用できます。
2台の非常用ディーゼル発電機を7日間使用できるだけの燃料を確保（図中⑤）しており、その間に外部から燃料の補給を行います。最低限必要な電力に限れば、非常用ディーゼル発電機1台で十分なので、14日間は燃料がもつこととなります。
- ・非常用のディーゼル発電機が使用できない場合には、海拔32mの高台に大型の空冷式非常用発電装置を4台配備しているほか、電源車も3台配備しています。（図中①）

※ 特に、重要な計測制御装置の電源については、これらの非常用電源がすべて使用できない場合にも、24時間運用が可能な容量の電源（蓄電池、図中②）を備えるとともに、直流電源供給用の電源車（図中③）からも電力を供給できるようにしています。

- ・これらの対策に加え、今後はさらなる対策として、海拔15mの高台に⑧非常用外部電源受電設備、海拔32mの高台に⑨非常用ガスタービン発電機を設置することとしています。

※ ⑧非常用外部電源受電設備は、送電線から受電するための既設の設備が被災した場合に、受電可能な送電線から受電するための設備で、耐震性を高めた設計となっています。

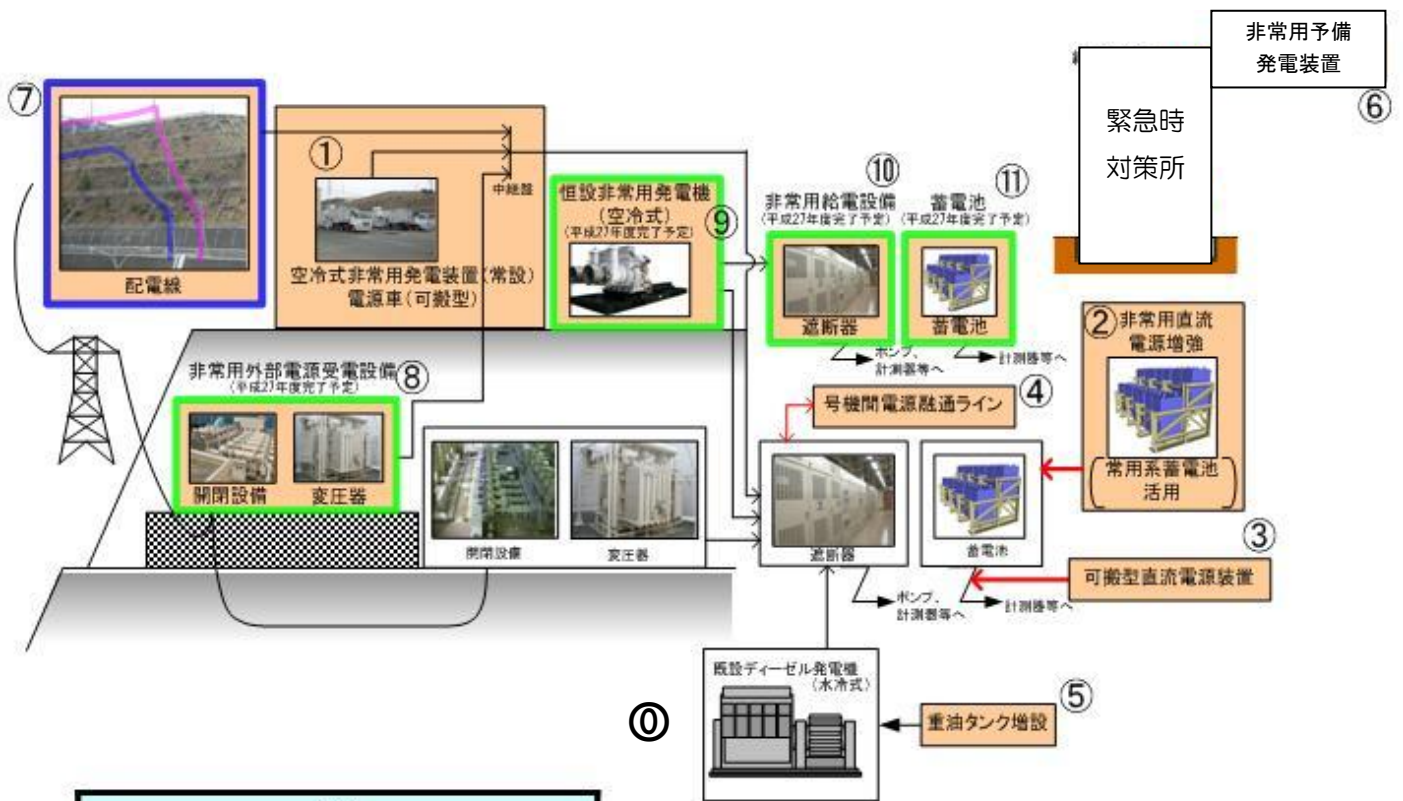
- ・これら以外にも、四国電力独自の取組として、大規模災害時に比較的短期間で復旧に優れる配電線（図中⑦、2ルート（3回線））※を至近の亀浦変電所から敷設するなど、電源の多様化を図っています。

※ 3号機用に1ルート、1・2号機用に1ルートの計2ルートを新たに敷設

- ・また、緊急時対策所についても、電力供給がなくなっても7日間活動できるよう、⑥専用の非常用予備発電装置とそれに軽油を補給することができる燃料タンクを設置しています。

※ 緊急時対策所

非常時に所員が集まり事故対策を行う放射線遮蔽設備。生活用の水や食料を保管しており、発電所の温度・圧力・放射線レベルなどのデータが確認できる。情報発信のための通信設備も完備している。



対策	
①	外部電源及びディーゼル発電機の機能が完全に喪失した場合において、重大事故等に対処するために必要な電源を供給
②	全交流動力電源喪失時において、設計基準対象施設の安全系蓄電池と合わせて、不要な負荷の切り離しを行わずに8時間、不要な負荷の切り離し後さらに16時間、合計24時間にわたり直流電源を供給
③	電源車及び整流器の組み合わせにより、全交流動力電源喪失後24時間にわたり事故の対応に必要な直流電源を供給できる可搬型直流電源設備
④	所内他号炉の非常用高圧母線からの受電が可能のように、あらかじめ電気ケーブルを布設
⑤	外部電源喪失時において、ディーゼル発電機が7日間運転継続が可能となる燃料貯蔵設備
⑥	緊急時対策所への電源供給が喪失した場合に、必要な電源を供給
⑦	亀岡変電所からの配電線による電源供給
⑧	耐震性を高めた外部電源受電設備
⑨	既設ディーゼル発電機と冷却方式の異なる非常用発電機を設置、また、非常用給電設備と蓄電池を増設する。
⑩	既設機と位置的に分散した給電設備
⑪	直流電源設備をさらに1系統追加配備

 自主対応設備・対策
 (今回申請対象外)
 将来設置予定
 (今回申請対象外)

[四国電力(株)提供資料]

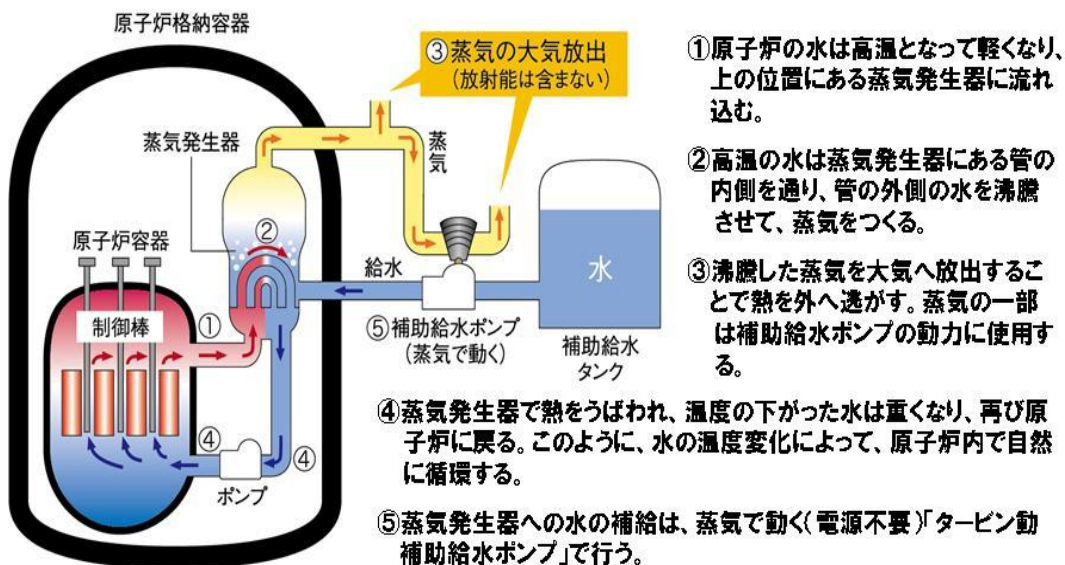
問④－１ 南海トラフ地震などにより、四国全体で数ヶ月の長期間にわたり外部電源が復旧しない場合でも電源は大丈夫ですか。

- ・伊方発電所では、南海トラフ地震のような大規模な災害により、四国各地の火力発電所が被災し、外部からの電源供給が受けられない場合にも必要な電源が確保できるようになっています。
- ・具体的には、3号機には非常用ディーゼル発電機2基を設置しており、各々7日間稼働させる燃料を備えています。3号機を冷却するために最低限必要な電力は非常用ディーゼル発電機1機で賄えますので、燃料は最大限14日間分を確保していることとなります。非常用ディーゼル発電機が使えない場合は、大型の空冷式非常用発電装置（電源車）により電源を最大14日間供給します。その間に、燃料会社との契約により、陸路、海路、空路などあらゆる手段を使って外部から燃料を補給することとなっています。
- ・また、大規模災害時にはオフサイトセンター※が立ち上がることとなっており、仮に電力事業者による外部から燃料の補給が難しいような状況が発生したとしても、国や地方公共団体から支援を受けることで燃料の確保が図られます。

※オフサイトセンター：原子力関連施設で事故が発生した際に利用される活動拠点。関連施設の近辺に設置され、国・地方公共団体・事業者の関係者が集まり、情報収集や避難指示などの対策を行う。

問⑤ 全ての電源が失われた場合でも、原子炉を冷やすことはできるのですか。

- ・伊方発電所では、原子炉内でウランなどの核燃料物質が中性子を吸収して核分裂する際に発生する熱を利用しており、この熱で高温高压になった「一次冷却水」を蒸気発生器とよばれる装置に送り、そこで別の系統で流れている「二次冷却水」を蒸気に変えてタービン発電機を回して発電します。万が一、全ての電源が失われた場合は、この熱を取り出す仕組みを利用して、原子炉内の燃料を冷却します。
- ・具体的には、蒸気発生器で発生する蒸気により補助給水ポンプを作動させ、蒸気発生器に「二次冷却水」を供給します。供給された「二次冷却水」は、原子炉と蒸気発生器の間を循環する「一次冷却水」と蒸気発生器の中で金属の細管を介して接触し、加熱されて蒸気になる過程で「一次冷却水」から熱を奪い、燃料を徐々に冷却できるようになっています。加熱された「二次冷却水」は蒸気となって補助給水ポンプを作動させるので、補助給水ポンプから次々と「二次冷却水」を送ることができます。



【四国電力（株）提供資料】

- ・さらに、福島第一原子力発電所の事故を受け、中型ポンプ車および加圧ポンプ車（いずれもエンジン駆動）を配備しており、電源がなくとも原子炉内に冷却水を直接供給することが可能です。（7日間稼働が可能）

問⑥ 万一、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。

・原子炉格納容器の破損防止対策として以下の対策を講じています。

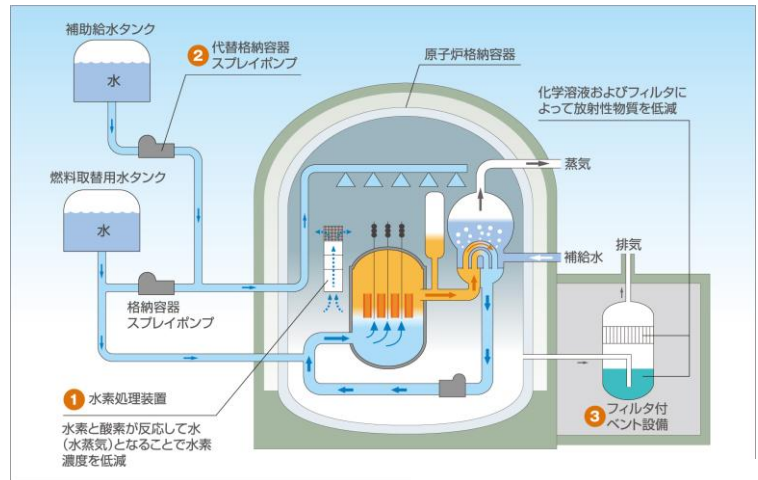
①水素処理装置：原子炉格納容器内において水素が発生し、一定の濃度になると爆轟という激しい爆発が起こる可能性があるため、水素濃度を下げる「水素処理装置」を格納容器の中に設置しました。

②代替格納容器スプレイポンプ：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」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。

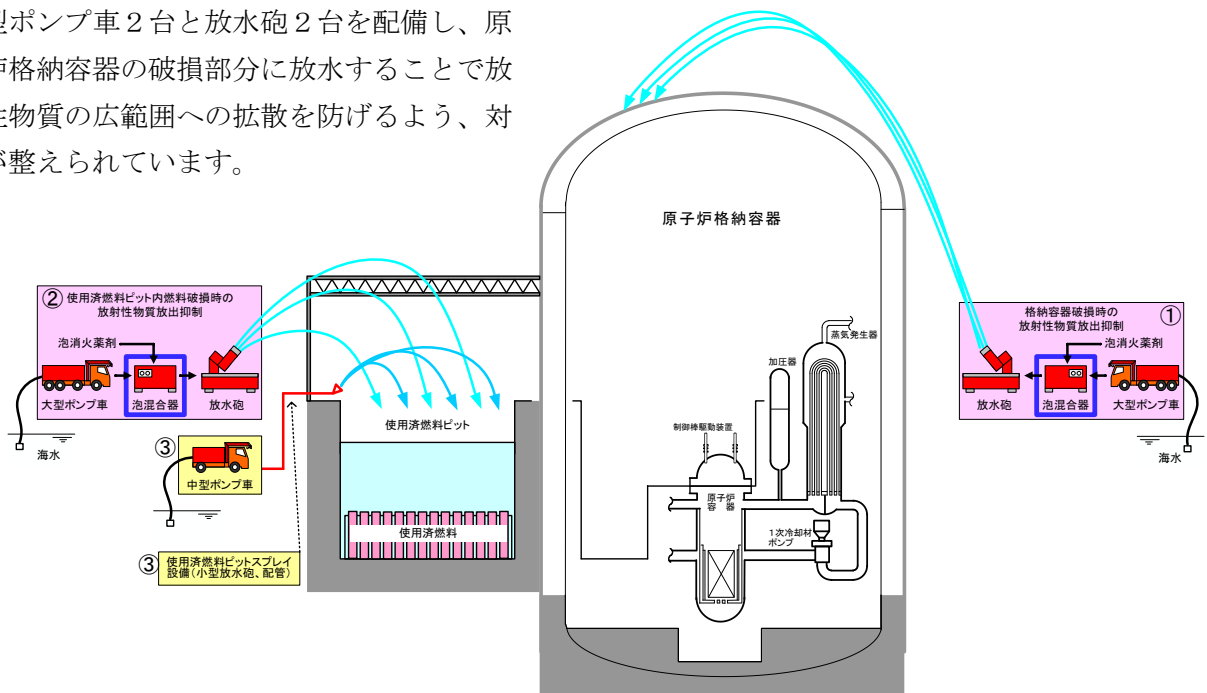
③フィルター付ベント設備：格納容器内の圧力が異常に上昇した場合でも、放射性物質を低減しながら格納容器内の空気を抜いて、内圧を下げるができる「フィルター付ベント設備」を今後設置することとしております。

・万一、原子炉格納容器が破損して、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、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、対策が整えられています。



[四国電力(株)提供資料]

【原子炉格納容器の破損防止対策】



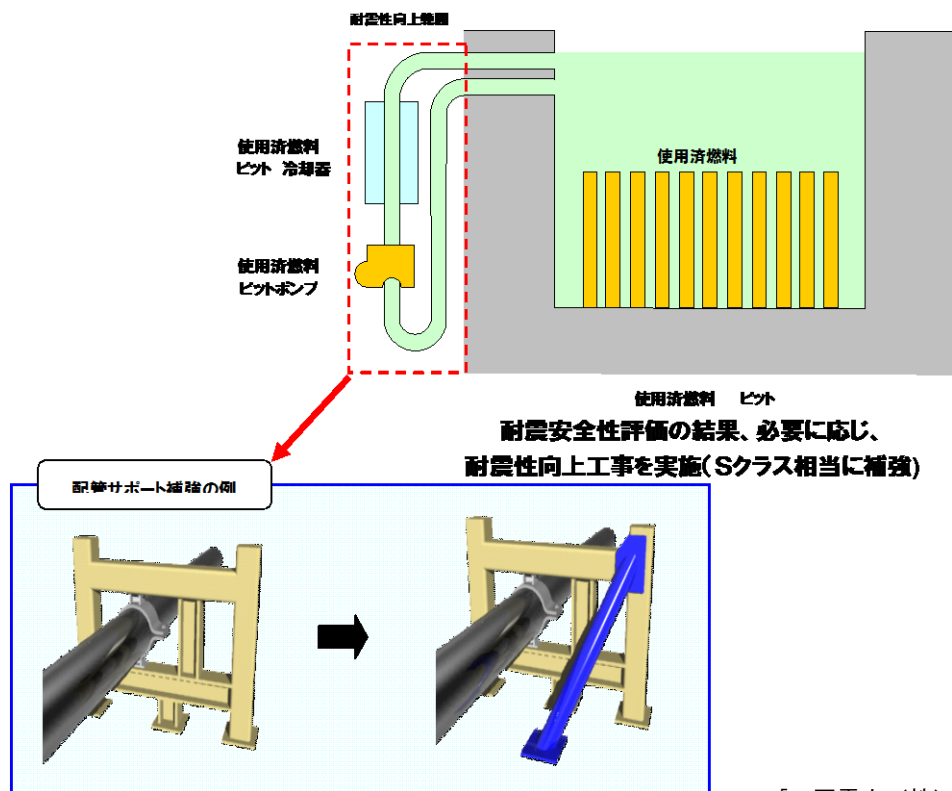
[四国電力(株)提供資料]

【放射性物質の拡散防止策】

- ・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しますが、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、格納容器の周りは堀になっており、漏れた汚染水は堀に溜まります。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、排水路には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。

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。

- ・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㈱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を有しています。
- ・さらに、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などの冷却系統設備の耐震性を確認し、必要に応じてSクラス相当にまで耐震性を向上するため、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。



使用済燃料ピット冷却設備の耐震性向上工事

[四国電力（株）提供資料]

問⑧ 火災により安全性が損なわれることはないのですか。

・伊方発電所では、従来から火災を早期に感知するため、対象となる場所の広さや天井の高さ、温度や湿度などの特徴を踏まえて適切な火災感知器（熱、煙、炎）を選定し、設置しています。また、構内には、様々な場所での火災の発生に備えて、消防自動車3台（化学消防車×1台、水槽付消防車×2台）、可搬型消防ポンプを8台配備しており、通常の火災であれば十分対応できると考えています。さらに、航空機の落下などによって発生す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器、大型放水砲も配備しています。

・伊方発電所では、原子炉施設やその付属設備で発生する「内部火災」に対しては、火災感知設備の追加設置や耐火壁による系統分離により、火災の早期感知および影響軽減対策を実施しています。また、早期消火のために、建屋のほぼ全体に対して、自動消火設備を設置しました。

①火災発生防止対策

・不燃性材料又は難燃性材料の使用

②火災の早期感知、消火対策

・火災感知設備の設置
・異なる種類の感知設備の組み合わせ設置
・早期消火のための各消火設備の設置
ハロン消火設備（自動）
移動式消火設備
（化学消防自動車1台、水槽付消防自動車2台）

③火災の影響軽減対策

・耐火障壁等が設けられていないほう酸ポンプA、B間に耐火障壁による系統分離等

・また、原子炉施設へ影響を及ぼす可能性のある「外部火災」としては、①森林火災、②近隣工場・敷地内施設の火災・爆発、③航空機墜落による火災などが考えられますが、それぞれ次のように、影響がないと評価しています。

①森林火災への対策：施設周辺の森林火災から建物や設備への延焼を防止するため、施設周辺約35m内にある樹木を伐採しています。また、3号機の原子炉南側約1kmの地点からの延焼を検証した結果、原子炉施設の外壁コンクリート表面温度が許容温度200℃※を下回り、ばい煙など二次的影響もないと評価しています。

※許容温度：コンクリートの強度低下が少ないとされる温度

②近隣工場・敷地内施設の火災・爆発への対策：近傍には影響を考慮すべき工場等はありませんが、敷地内の重油タンク火災について評価した結果、原子炉施設の外壁表面で許容温度200℃を下回り、ばい煙など二次的影響についても評価し、原子炉施設に影響がないことを確認しています。

③航空機墜落による火災への対策：落下確率が1000万年に1回以上となる最短地点※（民間機で150m、自衛隊機または米軍機で32m）に航空機が落下した場合も、原子炉施設の外壁表面で許容温度200℃を下回り、ばい煙など二次的影響もないことについて評価して、原子炉施設に影響がないことを確認しています。

※新しい規制基準では、航空機落下による外部火災の影響評価について、「原子炉施設への航空機落下の確率が1000万年に1回以上になる範囲のうち、原子炉施設への影響が最も厳しくなる地点で起こることを考慮する」ことを定めており、伊方発電所において、航空機落下の確率が1000万年に1回以上となる地点は、民間機では150m以上、自衛隊機または米軍機では32m以上となります。

問⑧-1 消火体制を詳しく教えてください。

- ・初期消火活動等にあたる人員については、消火班をはじめ、避難誘導班や救護班からなる自衛消防隊を発電所内に組織しており、夜間休日についても、発電所に常駐している要員の中から 11 名以上が直ちに消防自動車等を使った消火活動等にあたることにしています。
- ・また、所員の資質を維持・向上させるため、消防活動に関するマニュアル類を定め、防火防災に関する教育および消火訓練・通報避難訓練などを 1 回/年以上実施するとともに、消防自動車隊員については消火訓練を 1 回/月実施するなど、計画的に実施しています。

表 初期消火活動を行う要員とそれぞれの作業項目（格納容器内火災の例）

要員	作業内容	操作場所
当直長【1名】 運転員（中央）（1名）	<ul style="list-style-type: none"> ・ 火災発生場所の確認（火災報知器受信盤、カメラ（I T V）） ・ 消防要員等へ出動を指示 ・ 所内関係箇所への連絡（ページング、電話） 	中央制御室
連絡責任者【1名】	<ul style="list-style-type: none"> ・ 消防機関への通報（出動要請） 	緊急時対策所
運転員（中央）（1名）	<ul style="list-style-type: none"> ・ 消火用水弁の開弁（原子炉格納容器外）（注）運転操作として実施 	中央制御室
運転員（現場）【1名】 消防要員【1名】 （チェッカー）	<ul style="list-style-type: none"> ・ 耐熱服、空気呼吸器の準備・運搬 	管理区域内
	<ul style="list-style-type: none"> ・ 耐熱服、空気呼吸器の装着 	エアロック前
	<ul style="list-style-type: none"> ・ エアロック開放 	
	<ul style="list-style-type: none"> ・ 消火用水弁の開弁（原子炉格納容器内） 	原子炉格納容器内
消防要員【7名】	<ul style="list-style-type: none"> ・ 消火活動 	原子炉格納容器内
	<ul style="list-style-type: none"> ・ 公設消防隊の誘導 	建屋入口～原子炉格納容器
	<ul style="list-style-type: none"> ・ 耐熱服、空気呼吸器の準備・運搬 	消防自動車保管場所
守衛所員（1名）	<ul style="list-style-type: none"> ・ 耐熱服、空気呼吸器の装着 	エアロック前
	<ul style="list-style-type: none"> ・ 消火活動 	原子炉格納容器内
守衛所員（1名）	<ul style="list-style-type: none"> ・ 公設消防隊の誘導 （注）本検証には含まれていない。 	正門守衛所～建屋入口
公設消防隊	<ul style="list-style-type: none"> ・ 消火活動 	原子炉格納容器内

上記は要員の減少する夜間休日における火災対応体制を示す。

平日昼間は上記に加え、所員による消火班、避難誘導班など自衛消防隊各班が対応する。

- ・火災が起こった場合、まず火災感知器の感知等により中央制御室の当直長（常駐）に連絡が入ります。当直長は、発電所内にいる自衛消防隊等に火災の周知と消火活動の指示を行うとともに、連絡責任者（常駐）へ連絡します。連絡を受けた連絡責任者は、公設消防へ連絡します。（一番近い消防署は八幡浜市保内町にあり、構内までは消防車で約 20 分の距離です）

 <p>消火栓設備（原子炉施設等の建屋内、構内）</p>	 <p>二酸化炭素消火設備（タービン油タンク、補助ボイラ室）</p>	 <p>泡消火設備（重油タンク）</p>
 <p>ハロン消火設備（中央制御室フロアケーブルダクト、タービン発電機（軸受部））</p>	 <p>水噴霧消火設備（主変圧器、所内変圧器、予備変圧器）</p>	 <p>消防自動車（化学消防自動車、水槽付消防ポンプ自動車）</p>
 <p>消火器（原子炉施設等の建屋内、構内）</p>		

[写真：四国電力（株）提供]

問⑧-2 大規模災害や道路の寸断などにより、すぐに公設消防が来られない場合にも、十分な消火はできるのですか。

- ・大規模災害の発生により道路が寸断し、公設消防が伊方発電所に来ることができない場合でも、伊方発電所では自衛消防隊が配備している消防自動車（3台）を使って消火活動を行うことができます。
- ・また、近隣に航空機が墜落した場合などの大規模な火災に対しては、消防ポンプ車の約10倍の放水能力を持つ大型ポンプ車（2台）や泡混合機、大型放水砲も配備しており、周辺の公設消防からの応援が得られなくても自衛消防隊により大規模火災に対して対応可能です。

問⑧-3 ケーブルの難燃性は確保されているのですか。

- ・伊方発電所では、それぞれ昭和52年、61年に設置変更許可を得た2号機、3号機については、建設時点から難燃性ケーブルを使用しています。

（難燃性ケーブルの性能）

ケーブルの燃焼しにくさは合格する試験によって区別され、原子力発電所では原則としてIEEE383(電気学会技術報告(Ⅱ部)139号)の垂直トレイの燃焼試験(ガスバーナーで20分間加熱した場合も180cm以上延焼しないこと、バーナー消火後自消すること)に合格する性能のものを使用しています。

- ・1号機については、ケーブル選定に係る規制要求が策定される以前の昭和47年に設置許可を受けていることから、難燃性以外のケーブルを使用しています。しかしながら、ケーブル表面に延焼防止剤を塗布しており、実証試験の結果、難燃性ケーブルと同等の性能を有していることが電気事業者やメーカーにおいて確認されています。また、難燃性以外のケーブルが使用されている先行他社の審査状況も注視し、原子力規制委員会の新規制基準を精査し、適切に対応することにしていきます。

問⑨ 経年劣化による危険性はないのですか。

- ・原子力発電所の施設のうち、配管などには、高温、高圧の環境で使用したり、水や蒸気が高速で流れる箇所があります。そのような環境で長い間使用していると、配管の内部が消耗したり、ひび割れが生じたり、ケーブルなどでは絶縁体の絶縁性能が低下するなどの劣化、いわゆる「経年劣化」が起こる可能性があります。
- ・原子力発電所では 13 ヶ月を超えない期間ごとに発電を停止し、2 か月あまりにわたって点検や補修を実施する「定期検査」があります。「定期検査」では、原子炉容器、燃料取扱装置といった重要な設備、機器は毎回点検を実施します。一方、機器の冷却用海水を取水するポンプや冷却水の冷却器の点検は2回の定期検査に1回、蒸気タービンの分解点検は3回の定期検査に1回の割合での実施など、それぞれの設備毎にその重要度や点検内容に応じて点検周期を定めています。
- ・特に、重要な設備である原子炉容器や蒸気発生器、一次冷却水の流れる配管や弁の溶接部については、設備の重要性やサイズに応じ、全箇所または代表箇所を検査対象箇所に定め、その目的や対象物に応じた検査方法（超音波探傷検査、渦流探傷検査、液体浸透探傷検査、目視検査、漏えい検査など）を用いて 10 年間で計画的に対象箇所の検査を実施し、傷やひび割れ、漏洩の有無などの確認をしています。

問⑨-1 経年劣化により大きな設備を交換したことはありますか。

- ・伊方発電所 1、2号機では、大型改良工事として、原子炉容器上部ふたや蒸気発生器、低圧タービン、中央制御盤などの大型の設備を新しい改良品に取り替えています。

【これまでに実施した主な大型改良工事】

主な大型改良工事	実施年月	使用年数*
1号機蒸気発生器および低圧タービン取替工事	H10. 6月	20.8年
2号機低圧タービン取替工事	H12. 8月	19.4年
1号機原子炉容器ふた取替工事	H13. 2月	23.4年
2号機蒸気発生器および原子炉容器ふた取替工事	H14. 1月	20.9年
1号機原子炉容器炉内構造物取替工事	H17. 3月	27.5年
2号機原子炉容器炉内構造物取替工事	H18. 3月	25.0年
1,2号機中央制御盤等取替工事	H21. 8月	31.9年(1号)

※営業運転開始後の年数



2号機蒸気発生器取替工事



1号機原子炉容器炉内構造物取替工事



1,2号機中央制御盤等取替工事

大型改良工事のイメージ

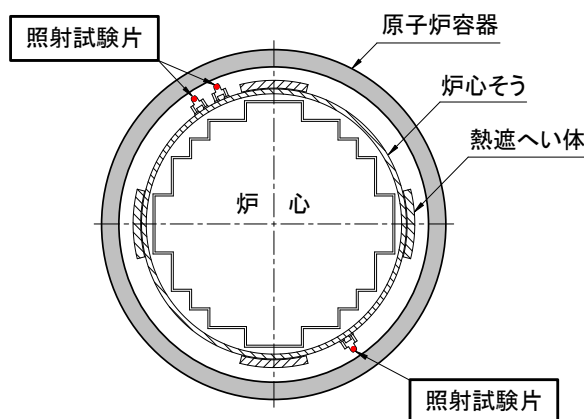
[写真：四国電力（株）提供]

- ・なお、運転開始後 30 年を超える 1、2号機については、平成 24 年 6 月の「原子炉等規制法」の改正までは、それまでの法律に基づいて、各機器に対して考えられる劣化モードごとに経年変化に関する技術評価を行い、その結果に基づき従来の点検に追加して実施すべき点検項目を抽出し、保守管理の計画に反映しています。

(保守管理計画について国の認可を得た年月：1号機：平成 19 年 8 月，2号機：平成 24 年 3 月)

問⑨-2 老朽化により原子炉容器は劣化しないのですか。

- ・原子炉容器は、低合金鋼できているために、燃料の核分裂によって放出される中性子が当たることで劣化し、徐々に材料の粘り強さの低下が進みます。この中性子による劣化を確認するため、原子炉容器内には原子炉容器と同じ材料で出来た監視試験片を設置しており、計画的に試験片を取り出して、原子炉容器の健全性の確認を行っています。
- ・伊方発電所では、1号機から3号機に、それぞれ6個の監視試験片を設置し、これまで1号機は4回、2号機は3回、3号機は2回試験片を取り出し、健全性の確認を行っています。その結果、想定している劣化の進み具合の範囲内に収まっており、特に顕著な劣化は認められていませんので、将来的に使用できるとの結果となっています。



[四国電力(株)提供資料]

問⑨-3 原子炉容器の検査で異常が見られたことはありませんか。

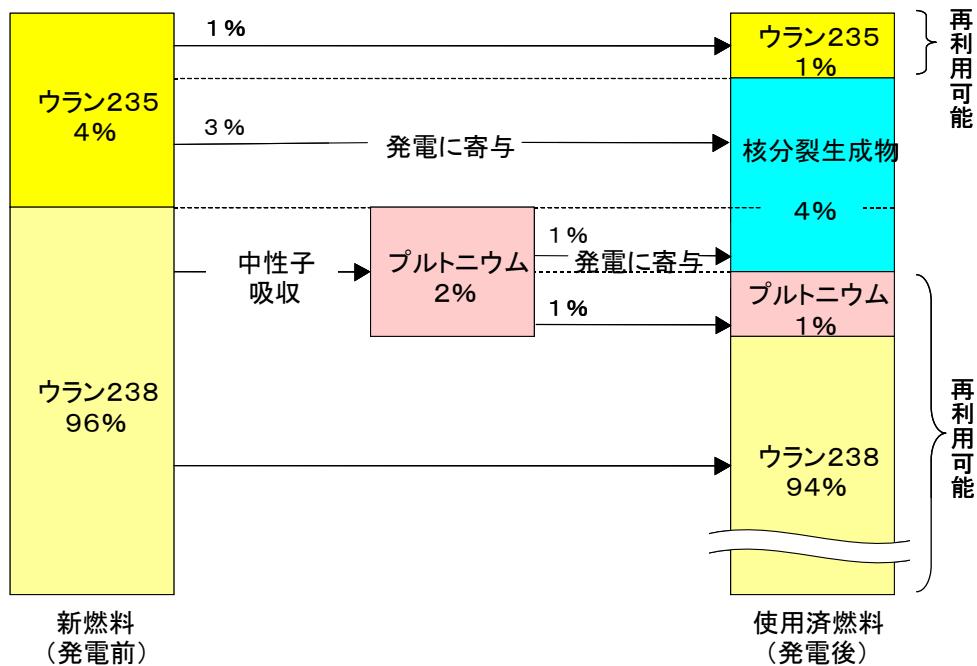
- ・平成 21 年 4 月に取り出された、九州電力玄海 1 号機の第 4 回目の監視試験結果において、金属の粘り強さが小さくなり脆くなる温度（脆性遷移温度）の急上昇が確認されたことがありました。
- ・これを受け、平成 23 年 8 月、愛媛県知事より四国電力に対して、平成 28 年ごろに予定されていた 1 号機における第 4 回目の監視試験の実施前倒しの要請が行われ、四国電力は平成 23 年 10 月に、1 号機で 4 回目の監視試験片の取出しを行い、試験を実施しました。
- ・検査の結果、脆性遷移温度※は予測値 52℃に対して 45℃と、予測の範囲内であり、急激な上昇はみられず、高温時における金属の粘り強さの程度を表す指標（上部棚吸収エネルギー）についても、基準で求められている 68 ジュール以上といった値に対し、200 ジュールであり、問題ないとの確認をしました。また、加圧熱衝撃評価により、試験結果が評価式を上回る結果が得られたことから、加圧された原子炉容器に冷却水が注入され急冷された場合でも原子炉容器が健全であることを確認しました。

※脆性遷移温度：金属材料において、材料の粘り強さが小さくなり脆くなる温度

- ・なお、伊方 2、3 号機についても、これまでの試験結果から原子炉容器の脆性遷移温度の上昇は緩やかに推移していることから金属の粘り強さが保たれており、原子炉容器は健全であることを確認しています。

問⑩ プルトニウムはウランと比べて危険とされていますが、プルトニウムを燃料として使うプルサーマル運転は安全なのですか。

- ・発電後のウラン燃料（使用済燃料）には、核分裂に使われなかったウランおよび新しく生まれたプルトニウムがあわせて95～97%含まれており、これらは再利用できます。この再利用できる部分を回収し、再び原子力発電所で利用することを「原子燃料サイクル」と言います。使用済燃料を再処理し、ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料（MOX燃料）にして再び軽水炉（熱中性子炉：サーマルリアクター）で利用することを「プルサーマル」と言います。



[四国電力(株)提供資料]

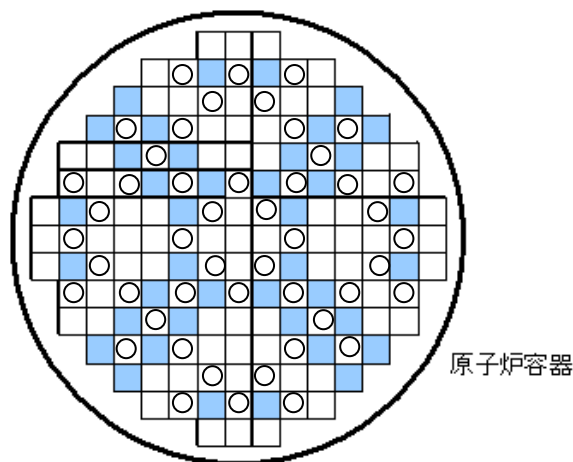
- ・ウラン燃料のみを使用した原子力発電所でも、運転に伴って生成されたプルトニウム（約4年間使用したウラン燃料で約1%が残存）の一部はウランと同様に核分裂して、全体の約30%の発電に寄与しており、炉心でのプルトニウムの燃え方（核分裂）については把握され、既に炉心設計技術に取り込まれています。
- ・プルサーマルで用いるMOX燃料には最初からプルトニウム（約9%）が含まれていますが、MOX燃料も通常のウラン燃料とほとんど同じ燃え方（核分裂）をするように作られており、平成7年に当時の原子力安全委員会において、軽水炉においては炉心の1/3以下であれば安全に利用できることが確認されています。伊方発電所3号機のプルサーマルは、この範囲内（約1/4：炉心燃料157体のうち40体まで）で計画され、国の安全審査を受け、平成18年3月に許可されています。

問⑩-1 プルトニウムを混合したMOX燃料は、事故が起こった時の放射線被害がより深刻になるのではないですか。

- ・従来のウラン燃料を使用した運転においても、燃料中のウランが中性子を吸収してプルトニウムが生成されており、約4年間使用したウラン酸化物燃料の中には、プルトニウムが約1%含まれています。一方、プルサーマル運転で使用するウランとプルトニウムの混合酸化物燃料であるMOX燃料中には、約9%のプルトニウムが入っています。
- ・プルトニウムは、 α 線という放射線を出しますが、この α 線の透過力は弱く、空気中では数センチしか飛ばず、紙1枚で遮ることができますので、プルトニウムが体の外にある限りは、特に危険なものではないと考えられています。ただし、呼吸とともに吸い込んだ場合は肺などに沈着し、何年もの長い期間を経てガンになるなど、身体に影響を与える可能性があると言われています。
- ・原子炉の中の燃料が損傷するような重大な事故が起こった際には、キセノン等の希ガスやよう素、セシウム等の揮発しやすい放射性物質は大気中に放出されやすくなりますが、揮発しにくくガス状になりにくい金属元素であるプルトニウムは燃料から放出されにくい性質を持っています。また、仮に格納容器内にプルトニウムが放出された場合でも、格納容器のスプレイ等で洗い落とされることになっています。

問⑩-2 MOX燃料はウラン燃料と比較して制御が難しいのではないですか。

- ・プルトニウムはウランに比べ中性子を吸収しやすいため、プルサーマル運転を実施すると、制御棒が吸収する中性子の量が減少し、制御棒の「効き」が若干低下する傾向にあります。
- ・しかしながら、制御棒の挿入位置に対するウラン燃料とウラン・プルトニウム混合酸化物燃料（MOX燃料）の配置を考慮して制御棒の効きを確保するなど、MOX燃料の性質を把握した上で適切な対応を実施することにより、MOX燃料を使用した場合でも原子炉を安全に停止するための余裕を、ウラン燃料炉心と同様に確保することができます。



□ : ウラン燃料
■ : MOX燃料 (40体) (3号原子炉燃料157体の約1/4相当)
○ : 制御棒クラスター (48体)

[四国電力(株)提供資料]

問⑩-3 ステップ2燃料（高燃焼度ウラン燃料）と組み合わせたプルサーマル運転は、危険ではないですか。

- ・ステップ2燃料（高燃焼度ウラン燃料）とは、燃料に含まれる核分裂しやすいウラン 235 の濃度を、従来の 4.1wt%から 4.8wt%に高めた燃料で、使用期間を従来の約3年から約4年に延長できます。このため、燃料の使用数が減るとともに、使用済燃料の発生量と、使用済燃料の再処理に伴って発生する放射性廃棄物も、約2割削減することができます。また、長期間原子炉内で使用することから、核分裂しにくいウラン 238 も有効に利用することができます※。

※ ウラン 238 は核分裂しにくいですが、中性子を受けてプルトニウム 239 に変わります。

ステップ2燃料は長期間原子炉内で使用するため、従来の燃料に比べて多くのウラン 238 がプルトニウムに変わります。よって、ステップ2燃料は従来の燃料と比べて多くのプルトニウムを燃やすことができます。

- ・核分裂しやすいウランの増加に伴い、燃料取替時や事故時に使用する燃料取替用水（タンク）のほう素濃度を3号機では2,700ppmから3,400ppmに上昇させるとともに、燃料使用期間の長期化に対応するため、燃料被覆管により耐食性の高い材料を採用するなど安全性を確保しています。
- ・伊方発電所3号機では、平成22年3月から平成23年4月にかけて、ステップ2燃料とMOX燃料を組み合わせたプルサーマル運転を実施しました。実施に当たっては、事前に四国電力において十分な安全性を確認しており、また平成18年3月には国の安全審査においても許可を受けています。その後、フランスにおけるMOX燃料21体の製造、輸入、搬入を経て、平成22年3月からプルサーマル運転を実施しました。この時には、炉心に装荷する157体の燃料集合体のうち、約10分の1に当たる16体をMOX燃料に交換して運転しましたが、従来のウラン燃料のみの場合と同等の制御棒の効きを確保するなど、安全なプルサーマル運転を実施しました。
- ・MOX燃料の導入に当たっては、燃料の配置を決める際にウラン燃料とMOX燃料の配置を考慮して制御棒の効きを確保したり、予め燃料取替時や万一の事故時に使用する燃料取替用水（タンク）のほう素濃度を変更（3,400ppm以上→4,400ppm以上）したりして、原子炉を安全に停止するために必要な能力を、従来のウラン燃料の炉心の場合と同等に確保しました。また、従来どおり、燃焼能力の高い燃料が集中しないように、適切に配置することにより、原子炉内の出力分布が平坦になるよう、配慮しました。