

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。

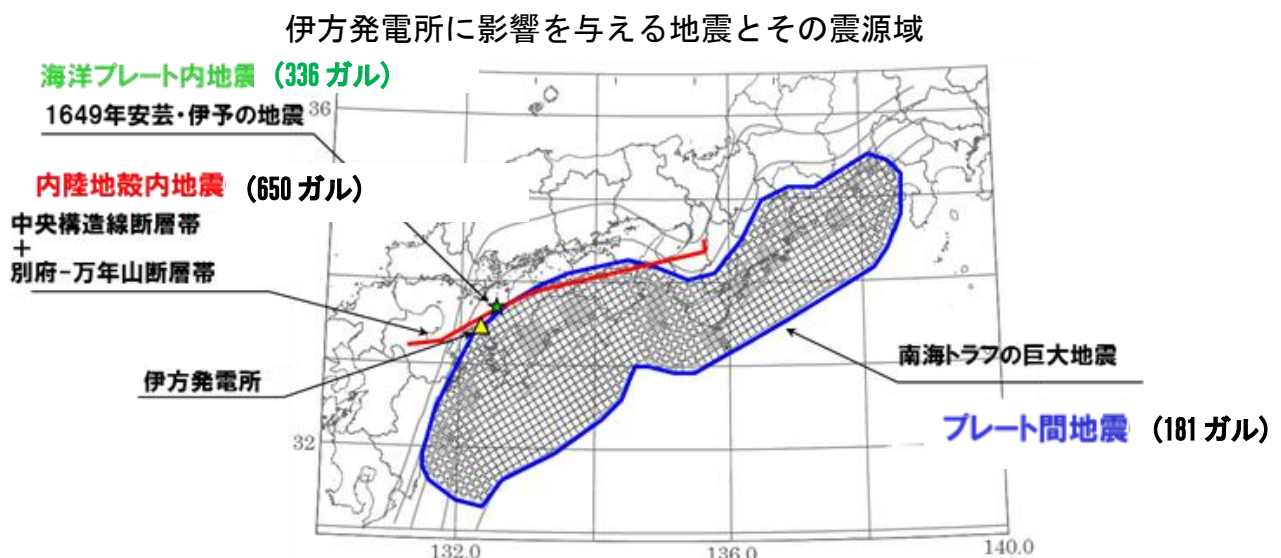
問① 伊方発電所は想定される最大の揺れに耐えられるのですか。

- ・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1G＝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>	

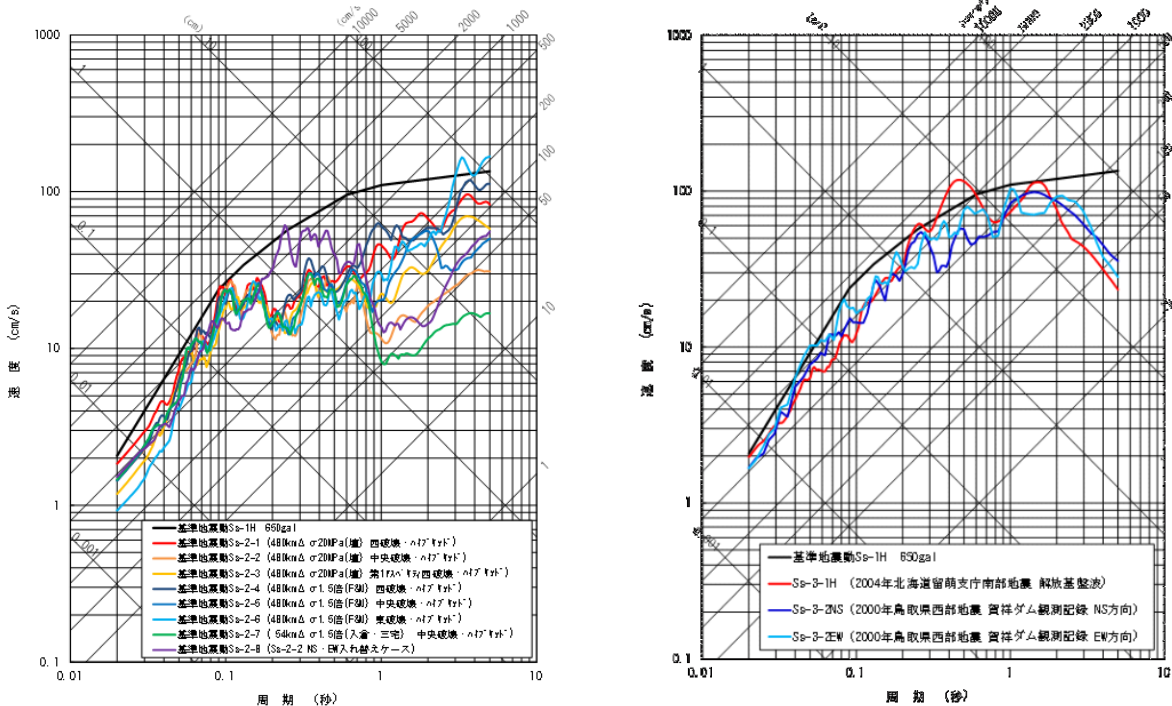
問①-1 伊方発電所で想定される最大の揺れはどのくらいですか。

- ・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	Ss-3 (2波)	
	鳥取県西部	620ガル	
		531ガル	

基準地震動(11波) (水平方向)



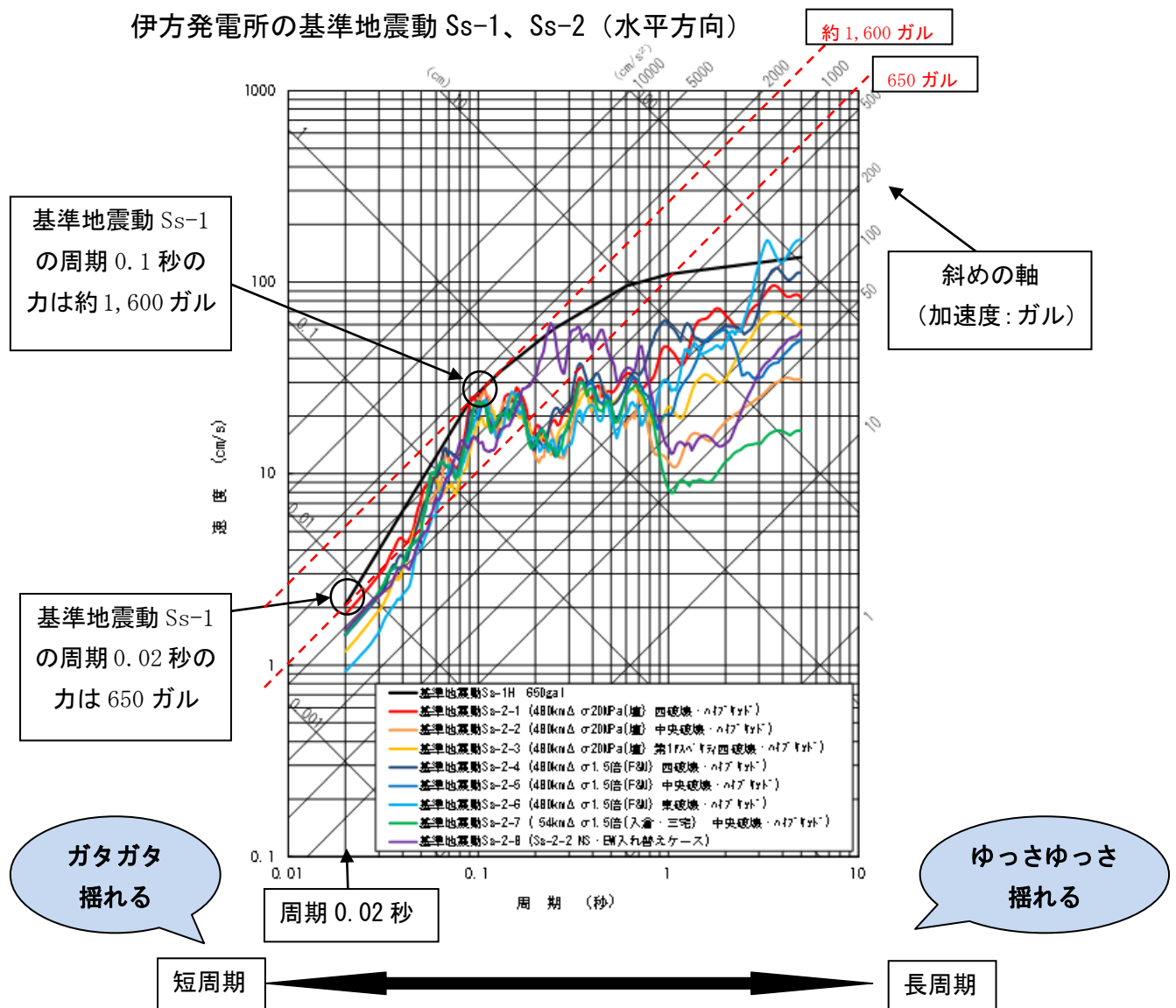
<参考> 基準地震動について

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秒のところは**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）



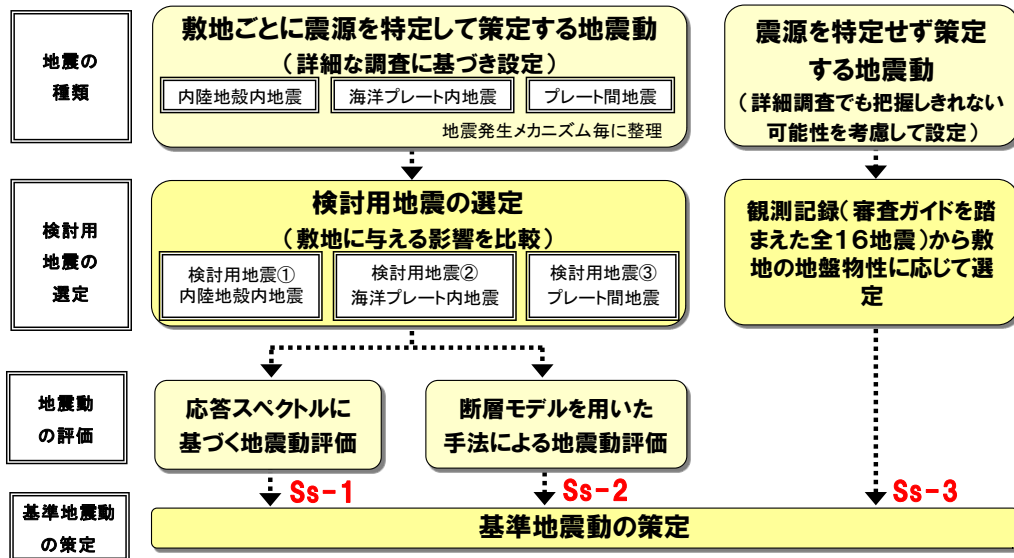
[四国電力(株)提供資料に説明を付加]

・「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」

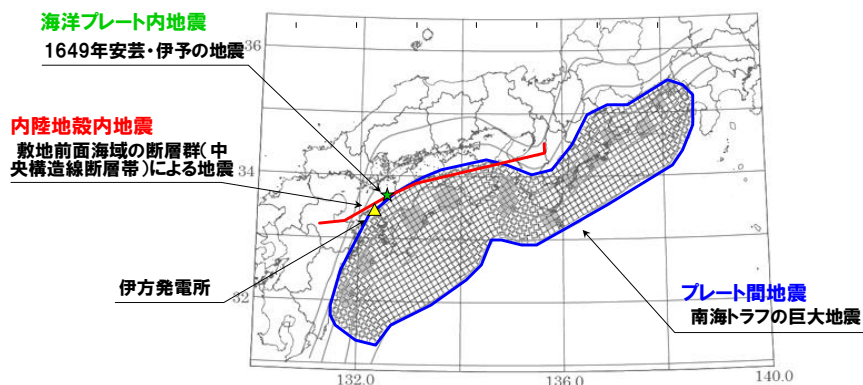
③海洋プレートが大陸プレートの下に沈み込む境界で起こる「プレート間地震」に分類整理したうえで、それぞれの分類中で最も影響の大きい地震を「検討用地震」として選定します。伊方発電所における検討用地震としては、以下の3つを選定しています。

「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

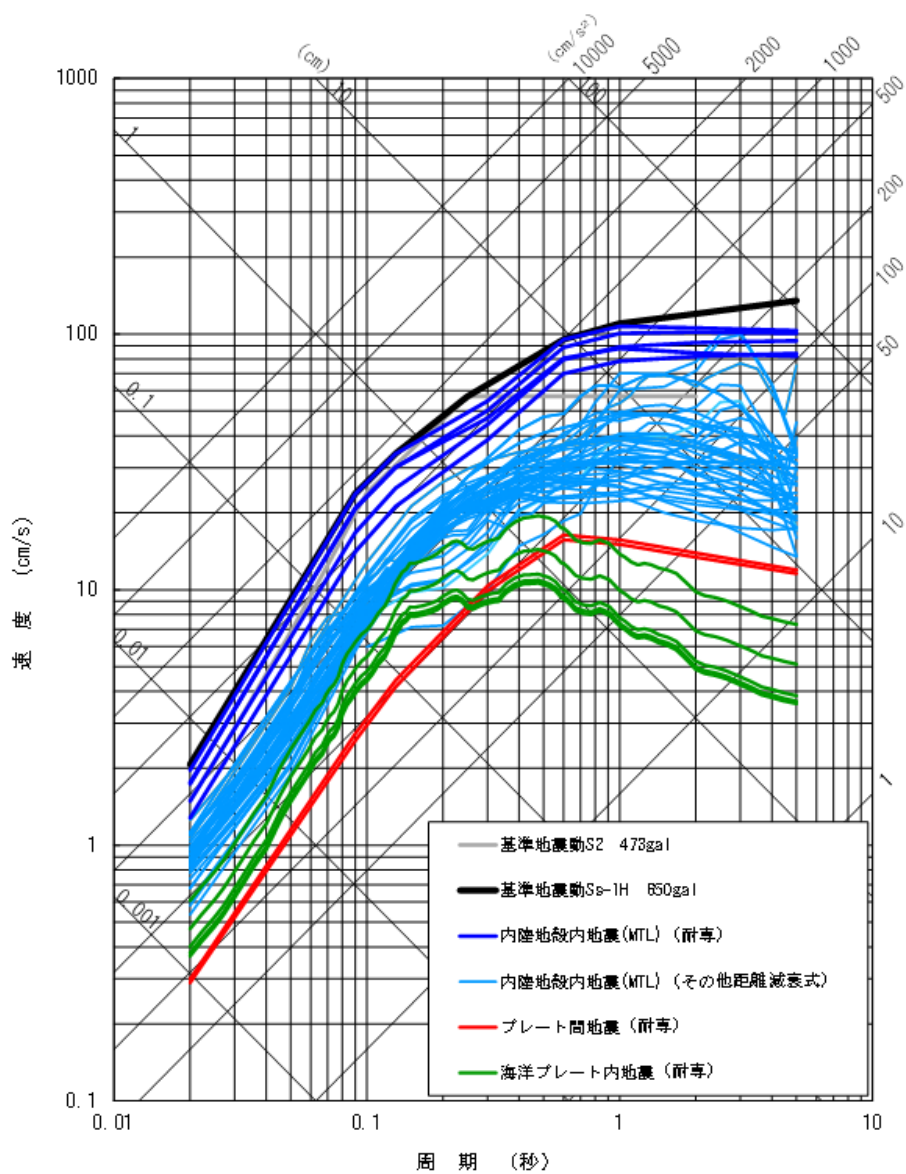
・「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の算定にあたっては、「応答スペクトルに基づく手法」※¹と「断層モデルを用いた手法」※²の二つの方法を用いて評価しています。

※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

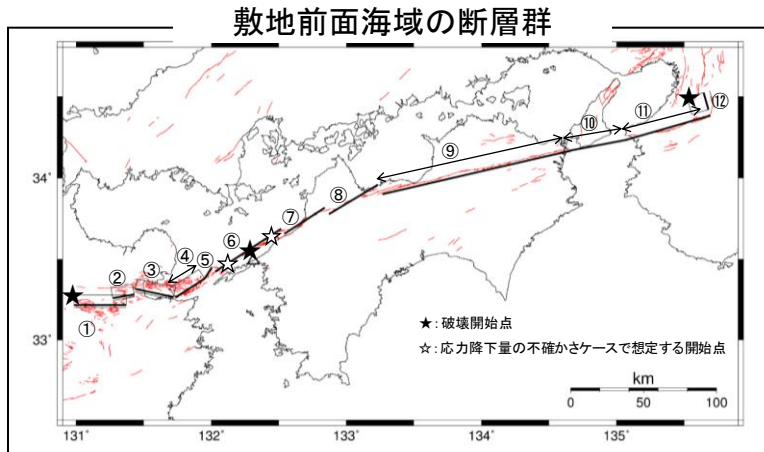
※² 地震の原因となる断層の活動を表現したモデルを用い、断層面での破壊の開始から進展を考慮して地震動を評価する精緻な解析手法

・「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）



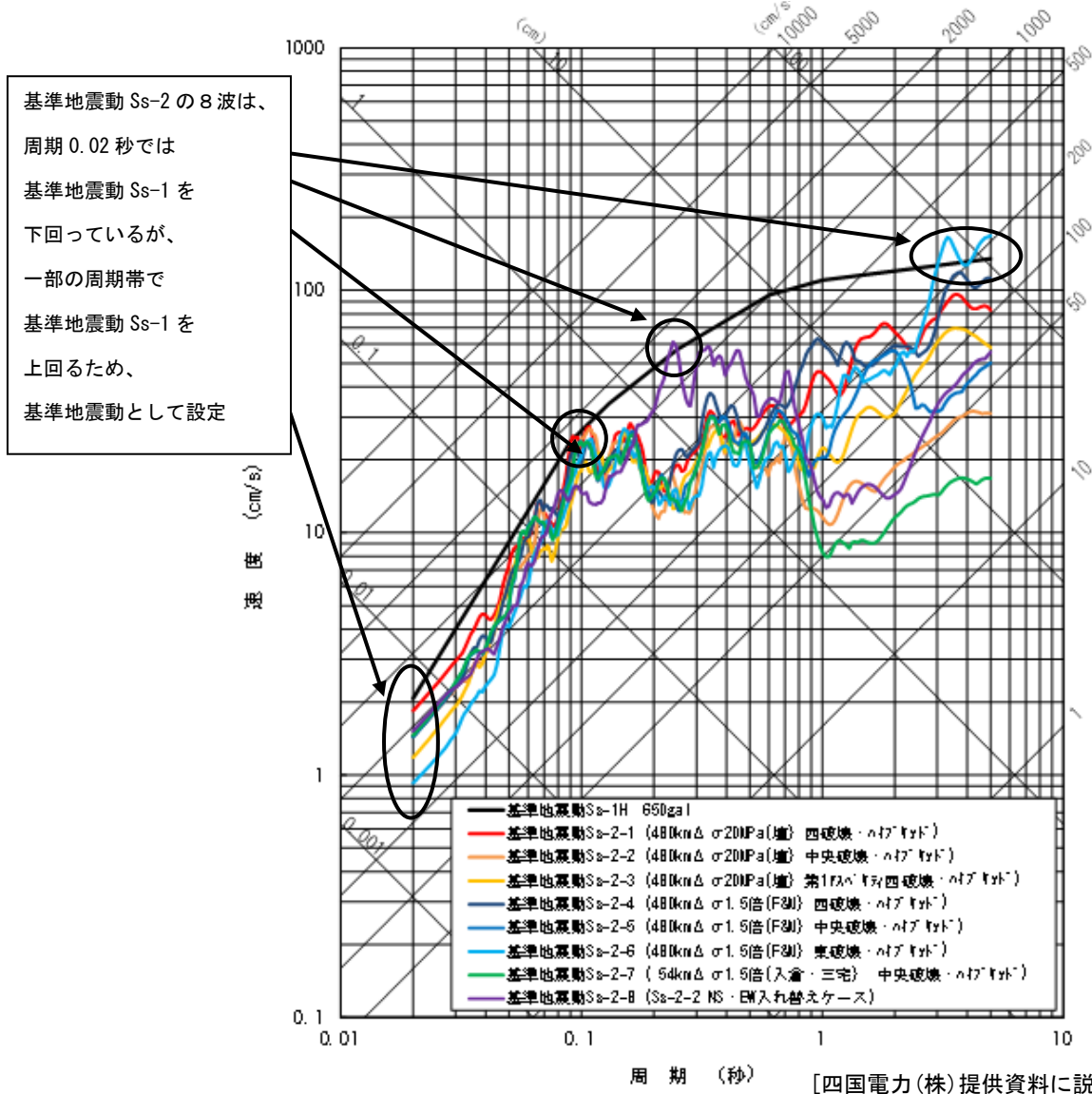
・「断層モデルを用いた手法」では、内陸地殻内地震として選定された“敷地前面海域の断層群（中央構造線断層帯）による地震”について、敷地前面海域の断層群 54km が動く場合だけでなく、紀伊半島から九州にかけての考えられる最大の長さである 480km が動く場合も基本ケースに追加し、断層が破壊される時のエネルギー放出量や、断層の傾きなどの条件を変えて様々なケースで地震動を算定した結果、一部の周期帯で Ss-1 を超える 8 つのケースでの評価結果を、「基準地震動」 Ss-2（最大値は 579 ガル）に設定しています。



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]

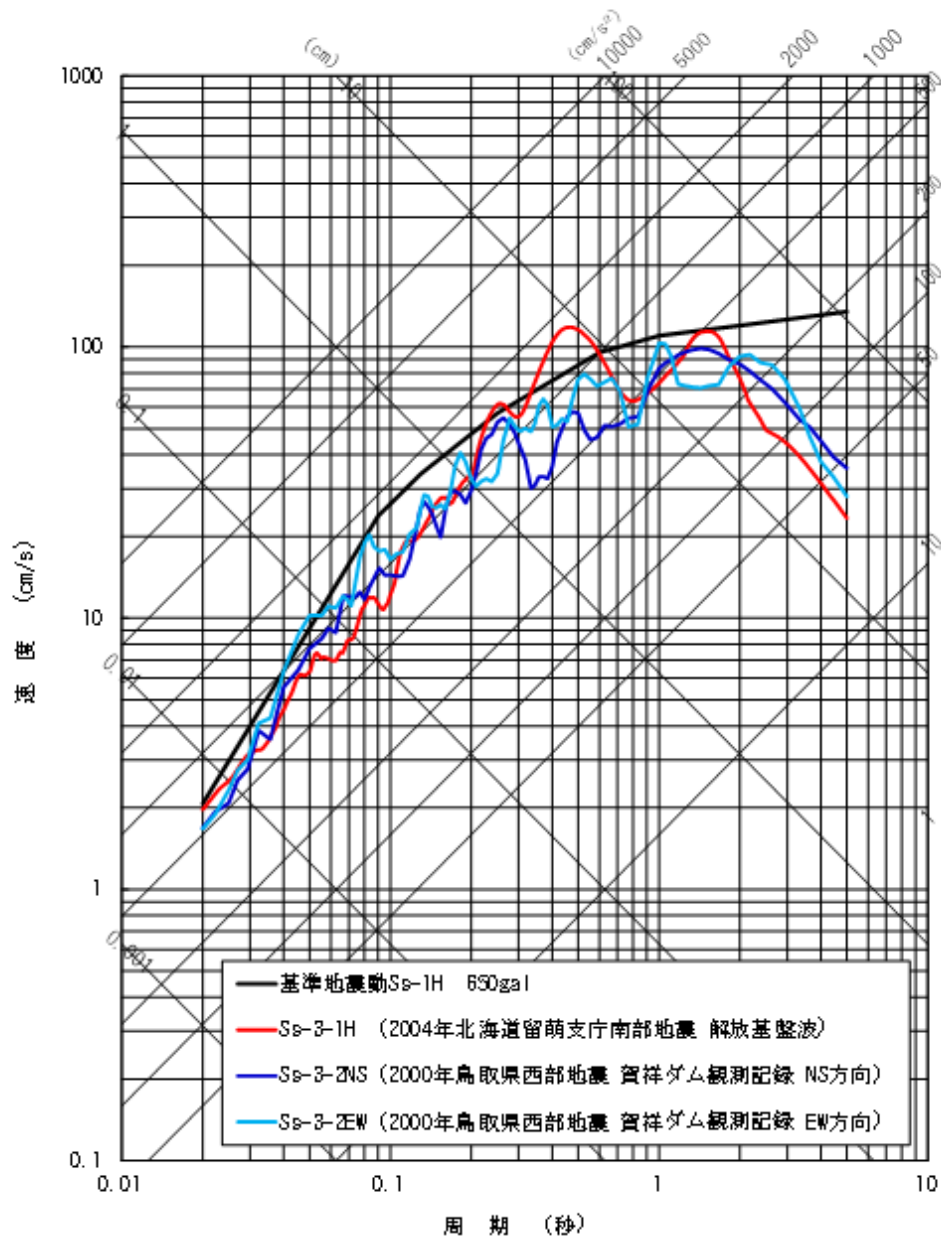
基準地震動 Ss-1 と Ss-2（水平方向）



- ・「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)

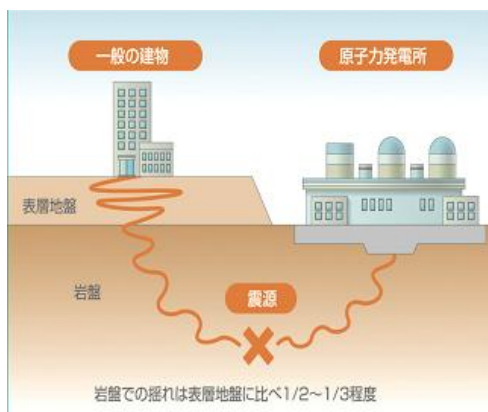


[四国電力(株)提供資料]

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

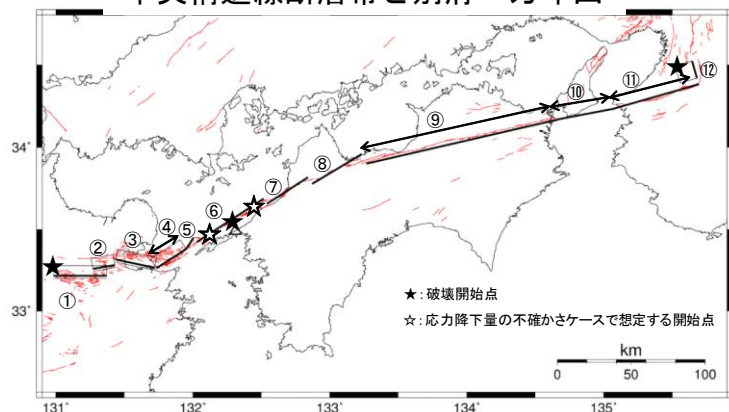
問①－３ 中央構造線断層帯と別府一万年山断層帯の全長480kmが一度に動いた場合の地震にも耐えられるのですか。

- ・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

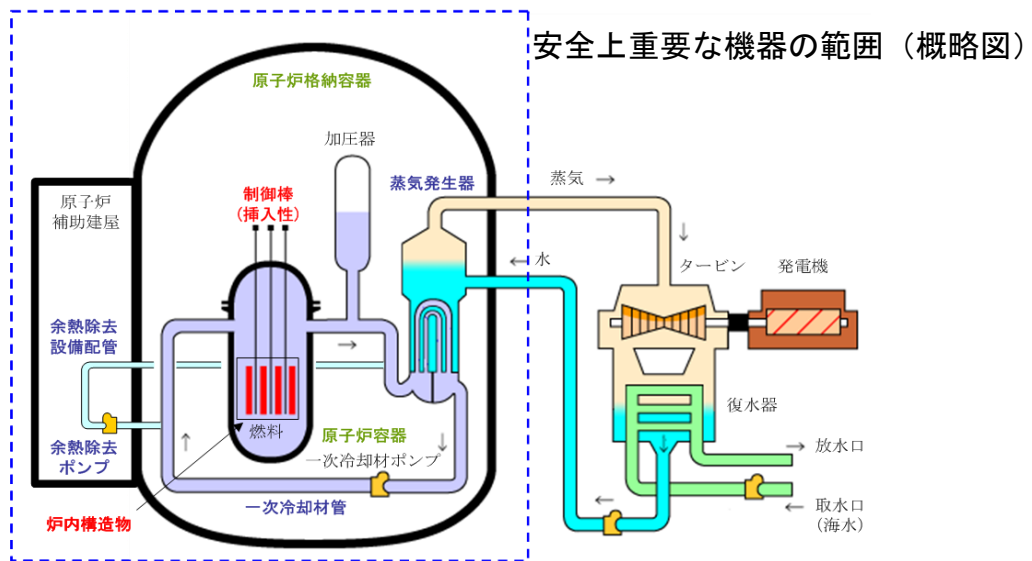


[四国電力(株)提供資料]

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。

(具体的な施設)	
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）
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））
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）
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）
	※ 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
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

- ・**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。

(具体的な施設)	
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））
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）
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）

- ・**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。

<ul style="list-style-type: none"> ・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>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>
<ul style="list-style-type: none"> ・Bクラス(廃棄物処理設備など) 	<p>建築基準法の1.5倍※</p>
<ul style="list-style-type: none"> ・Cクラス(タービン設備、発電機など) 	<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。