

# 浜岡原子力発電所 4号炉

## 新規制基準適合性に係る 審査の状況

平成27年9月1日

中部電力株式会社

## これまでの申請の状況

- H26.2.14 浜岡4号機設置変更許可、工事計画変更認可、保安規定変更認可の3点申請
- H27.1.26 浜岡4号機設置変更許可申請を一旦取り下げ、使用済燃料乾式貯蔵施設を加えて再申請
- （ ■ H27.6.16 浜岡3号機設置変更許可の申請 ）

# 原子力規制委員会による審査の進め方



当社が提出した原子炉設置許可変更許可申請書等は、原子力規制委員会により、地震・津波等に関する事項とプラントに関する事項に分けて審査されている。

- 審査会合：担当委員出席の下、審査会合が公開で行われている。  
一般傍聴およびネット中継により公開。（資料は原則公開。）
- ヒアリング：審査会合に加え、申請書の記載内容に関する事実確認等を実施するため、事務方によるヒアリングが適宜実施されている。  
（議事概要および資料は原則公開。）
- 事務方：原子力規制庁

審査事項	地震・津波等に関する事項	プラントに関する事項	備考
担当委員	石渡委員※1 (任期:H26. 9~H31. 9)	更田委員長代理※2 (任期:H24. 9~H32. 9)	※1:H24. 9~H26. 9 島崎委員 ※2:H27. 9 再任
主要な審査項目※3	○地震、津波、火山 地下構造、地質構造、 基準地震動、 基準津波、 地盤斜面の安定性、 火山影響評価 等	○設計基準事故対策 内部溢水、内部火災、 外部火災、竜巻 等 ○重大事故等対策 確率論的リスク評価(以下PRA)、 有効性評価、解析コード 等	※3:地震・津波等に関する事項は各サイト個別に、プラントに関する事項は当初合同にてヒアリング・審査会合を実施

# 浜岡4号機に関する審査状況(H27.8.31現在)



地震・津波関係	地震		地質		津波	火山	地盤	会合回数
	地下構造	地震動	敷地周辺	敷地内				
	●	□	□	△	△	△	—	9

プラント関係	重大事故等対策(SA)						設計基準事故対策(DBA)						SA/DBA		会合回数			
	PRA	事故シーケンス選定	有効性評価			解析コード	設備・技術的能力			竜巻	火山	外部火災	内部火災	内部溢水		その他	中央制御室	緊急時対策所
			炉心損傷防止	格納容器破損防止	燃料プール・停止中		建屋水素対策	フィルタベント	その他									
	□	□	□	□	□	□	—	□	—	□	□	□	□	□	□	□	49	

(凡例) ●: 審査終了・概ね了解、□: 審査会合でコメント対応中、△: ヒアリング中、  
—: ヒアリング未実施

# 1. 地震、津波等に関する審査の状況

- (1) 概要
- (2) 地下構造

## (1) 概要

- 地震、津波等に関する審査の状況
- 敷地周辺海域における地質調査の概要

# 地震、津波等に関する審査の状況

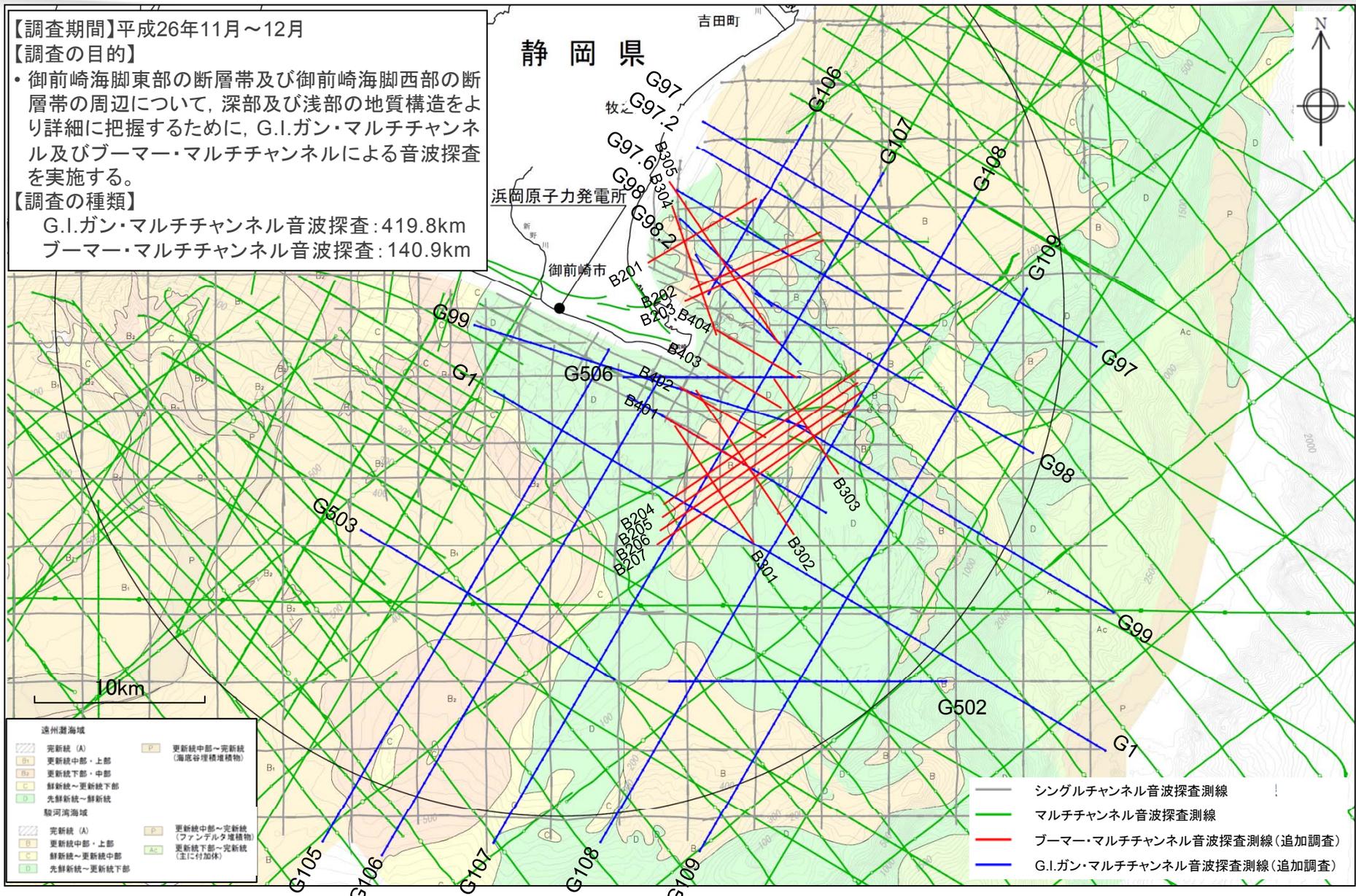


主な審査項目		回数	状況	主なコメント
地質	敷地周辺	審査会合: 3回 (ヒアリング: 17回)	平成26年6月20日敷地周辺陸域・海域の活断層 ～ 平成27年5月29日敷地周辺海域の活断層 (コメント回答)	・御前崎周辺海域における 調査データを拡充して検討 すること など
	敷地内	審査会合に向けヒアリング実施中		
地震	地下構造	審査会合: 4回 (ヒアリング : 12回)	平成27年2月13日地震動の増幅特性 ⇒必要な評価・検討がなされており審議終了 とされた	・低速度層の4号炉への影 響を検討すること など
	地震動	審査会合: 2回 (ヒアリング : 9回)	平成27年7月3日プレート間地震 平成27年7月24日海洋プレート内地震	・不確かさの考慮が十分か など
津波		審査会合に向けヒアリング実施中		
火山(影響・評価)		審査会合に向けヒアリング実施中		
地盤		今後ヒアリング実施		

# 敷地周辺海域における地質調査の概要(追加調査を反映)



【調査期間】平成26年11月～12月  
 【調査の目的】  
 ・御前崎海脚東部の断層帯及び御前崎海脚西部の断層帯の周辺について、深部及び浅部の地質構造をより詳細に把握するために、G.I.ガン・マルチチャンネル及びブーマー・マルチチャンネルによる音波探査を実施する。  
 【調査の種類】  
 G.I.ガン・マルチチャンネル音波探査: 419.8km  
 ブーマー・マルチチャンネル音波探査: 140.9km



## (2) 地下構造

- 概要
- 敷地における地盤増幅特性
  - ① 地下構造
  - ② 地震観測
  - ③ 地震波の伝播経路
- 敷地における地盤増幅特性の地震動評価への反映方法

# 基準地震動の策定フロー

○内陸地殻内地震, プレート間地震および海洋プレート内地震について不確かさを考慮して地震動評価を行うとともに, 地震動の顕著な増幅を踏まえた地震動評価を行い, 基準地震動を策定。

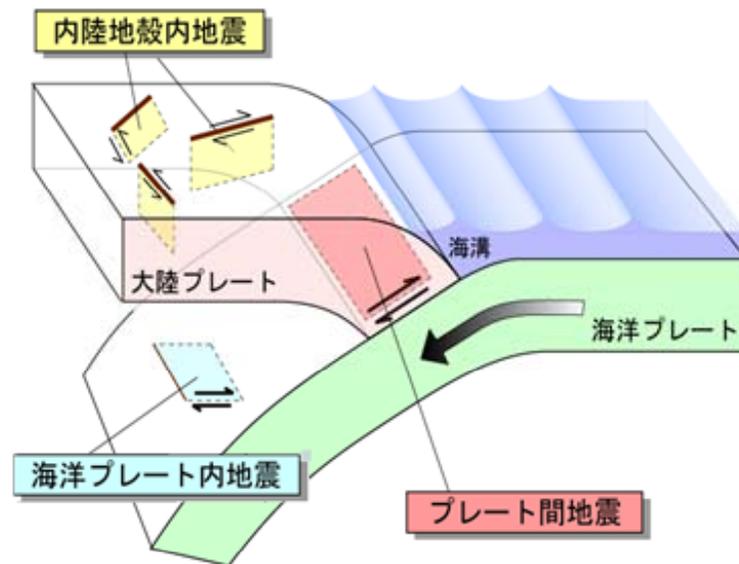
**敷地周辺で発生する地震に関する調査**  
・敷地周辺の地震発生様式・地震発生状況  
・内陸地殻内地震(敷地周辺で考慮する活断層), プレート間地震, 海洋プレート内地震に係る調査

検討用地震を選定し不確かさを考慮した地震動評価, 地震動の顕著な増幅を踏まえた地震動評価を実施

- 内陸地殻内地震\*
- プレート間地震
- 海洋プレート内地震

顕著な増幅を踏まえた地震動評価

基準地震動



※敷地周辺の地質調査による活断層評価を反映

**敷地における地震動の増幅特性**  
敷地における地盤増幅特性  
地震動評価への反映方法

[敷地における地震動の増幅特性について  
ご説明\(第194回審査会合資料\(平成27年  
2月13日\)他より抜粋\)](#)

# 敷地における地震動の増幅特性(検討概要)

○2009年8月11日に発生した駿河湾の地震において、浜岡原子力発電所5号炉周辺の観測記録が他号炉に比べ大きかった。

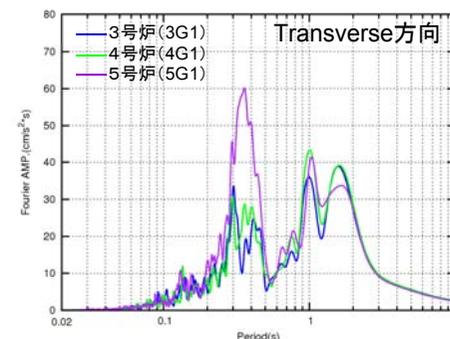
○このような地震動の増幅に影響を及ぼす地下構造の地盤増幅特性等を検討するため、浜岡原子力発電所では、以下に示す地震観測及び地下構造調査を実施。

## <地震観測>

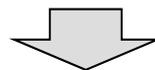
- ・各号炉周辺における鉛直アレイ観測
- ・敷地全体を対象とした多点連続地震観測
- ・海底試掘トンネルにおける連続地震観測

## <地下構造調査>

- ・敷地周辺の地下構造調査(深部からやや浅部の地盤を対象)
  - : 屈折法地震探査、反射法地震探査、大深度ボーリング調査・物理検層
- ・敷地近傍の地下構造調査(浅部地盤を対象)
  - : オフセットVSP探査、ベイケーブル探査、反射法地震探査、ボーリング調査・物理検層



<2009年駿河湾の地震の加速度フーリエスペクトル>



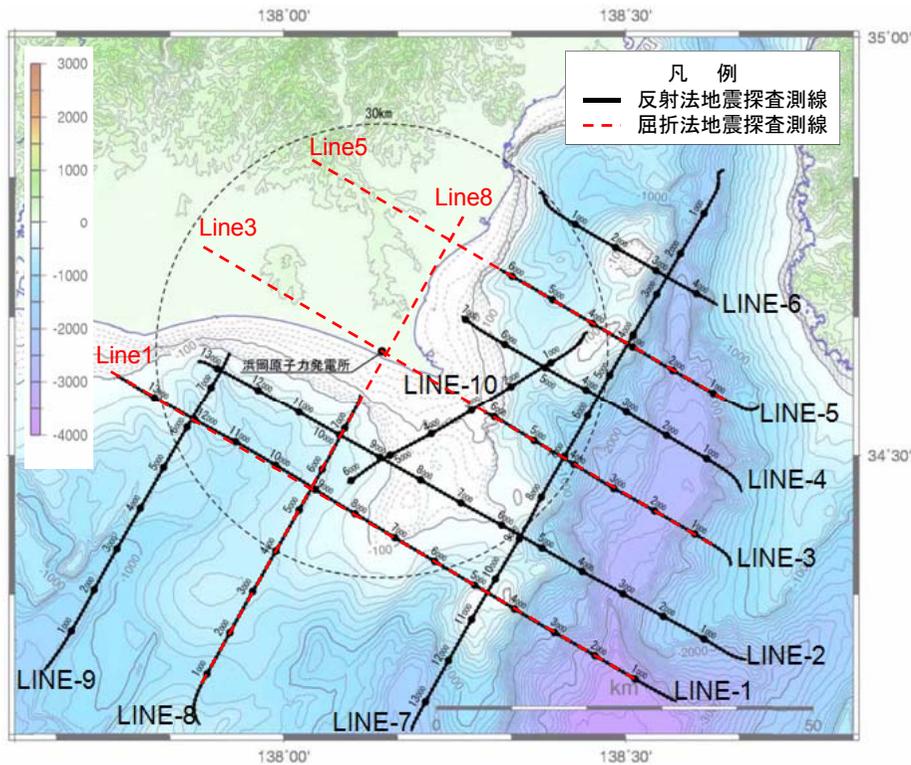
○地震観測記録及び地下構造調査結果の分析を行い、2009年駿河湾の地震において5号炉周辺の観測記録が他号炉に比べ大きかった主要因や地盤増幅特性等を把握し、敷地における地震動の増幅特性及びそれを踏まえた地震動評価への反映方法について検討。

# 敷地における地盤増幅特性 ①地下構造

## 敷地周辺の調査位置図

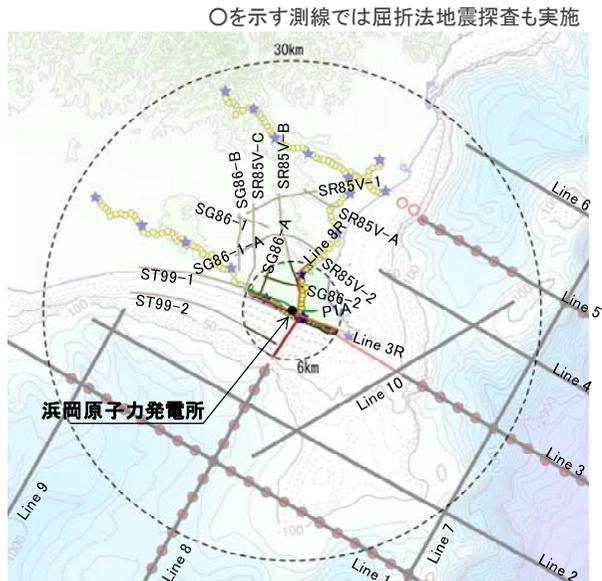


○2007年新潟県中越沖地震時に柏崎刈羽原子力発電所において観測された地震動が大きくなった要因を受け、浜岡原子力発電所では、敷地周辺の深部からやや浅部の地盤を対象として、屈折法地震探査、反射法地震探査、大深度ボーリング調査・物理検層を実施している。



# 敷地における地盤増幅特性 ①地下構造 敷地周辺(深部からやや浅部)の地下構造 (深部三次元地下構造モデルの作成)

○敷地周辺の深部からやや浅部を対象とした地下構造調査(屈折法地震探査、反射法地震探査、大深度ボーリング調査・物理検層、既往調査等)の結果に基づき、敷地周辺の地震基盤以浅の深部三次元地下構造モデルを作成。

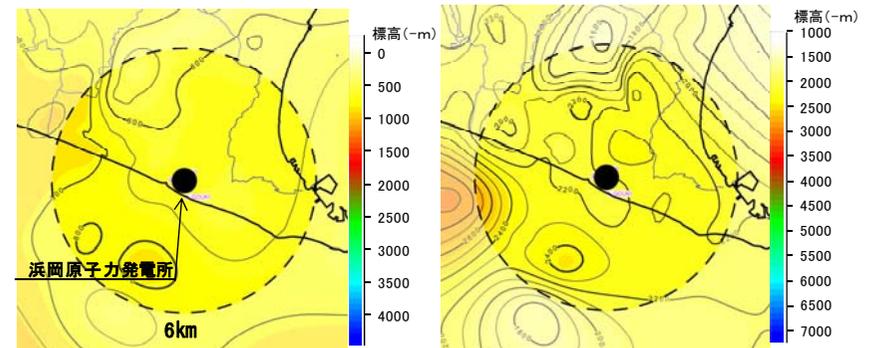


＜敷地周辺の地下構造調査＞  
(反射法地震探査の例)

深部三次元地下構造モデルの作成

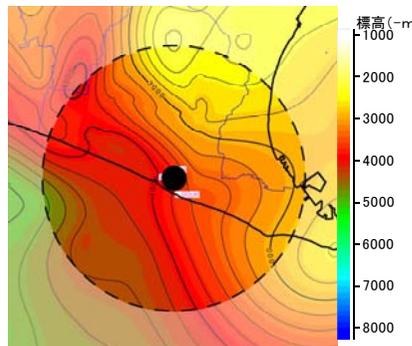
＜各層の物性値＞

層区分	上面			下面		
	Vs (m/s)	Vp (m/s)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	Vs (m/s)	Vp (m/s)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )
A層	700	2000	2.07	1330	2560	2.21
B層	1330	2560	2.21	1580	3180	2.33
C層	2130	3990	2.46	2200	4080	2.48
D層	2350	4310	2.51	2560	4610	2.56
E層	2620	4700	2.57	3230	5600	2.68

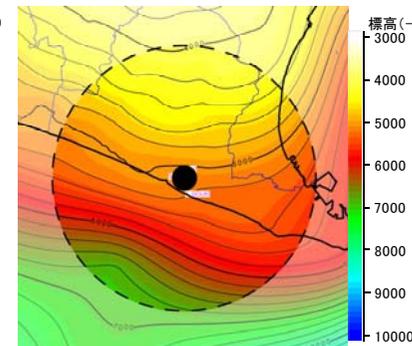


A層下面

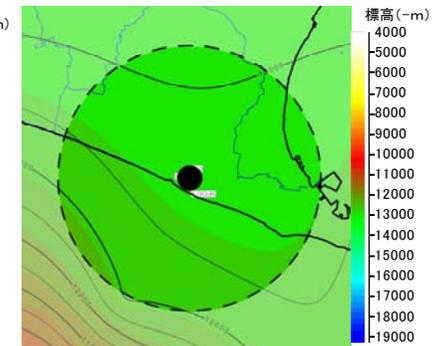
B層下面



C層下面



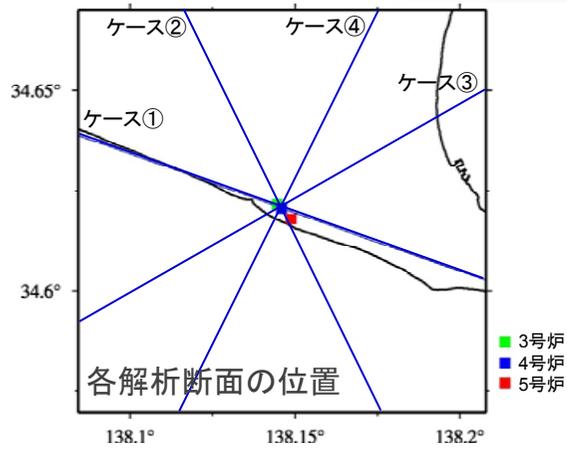
D層下面



E層下面

＜各層境界のコンター＞

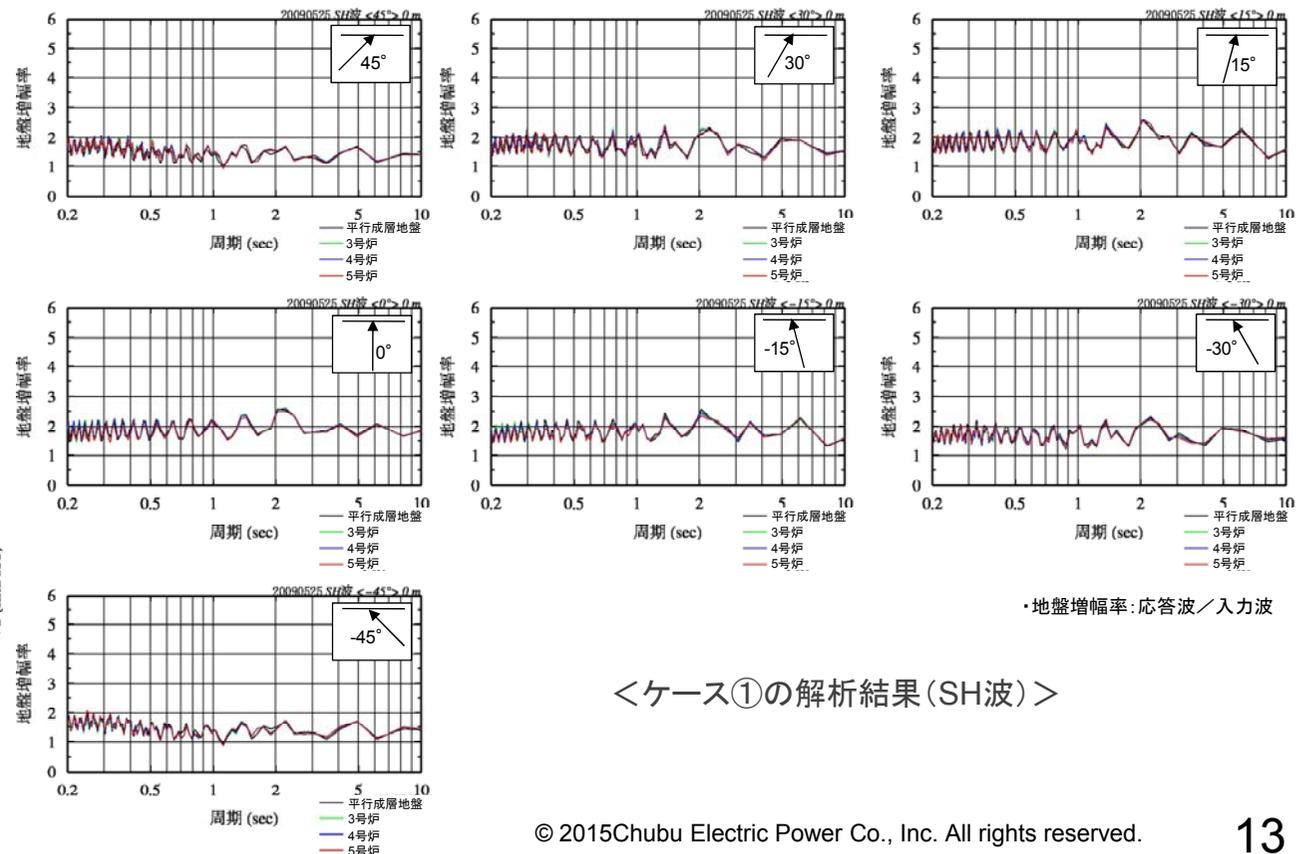
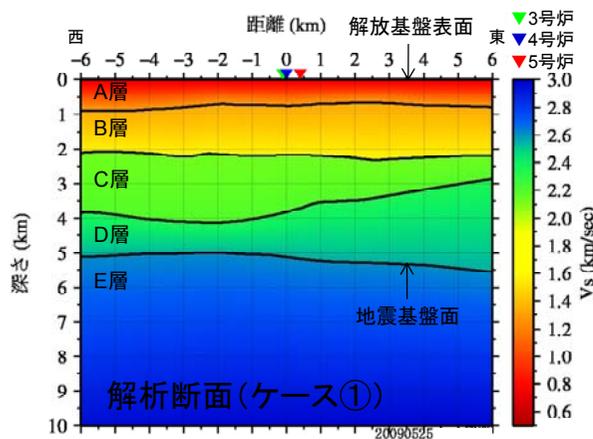
# 敷地における地盤増幅特性 ①地下構造 敷地周辺(深部からやや浅部)の地下構造 (深部三次元地下構造モデルを用いた解析検討)



解析断面(ケース①)の解析例

○作成した深部三次元地下構造モデルの代表的な4方向を解析断面として、二次元有限差分法により、3～5号炉位置の地盤増幅特性に係る解析検討を行った結果、3～5号炉位置の地盤増幅率は、いずれの入射角においても平行成層地盤の地盤増幅率と同程度である。

⇒敷地周辺における地震基盤面及びそれ以浅の速度構造は、地震動の顕著な増幅に影響を及ぼすものではない。



・地盤増幅率: 応答波/入力波

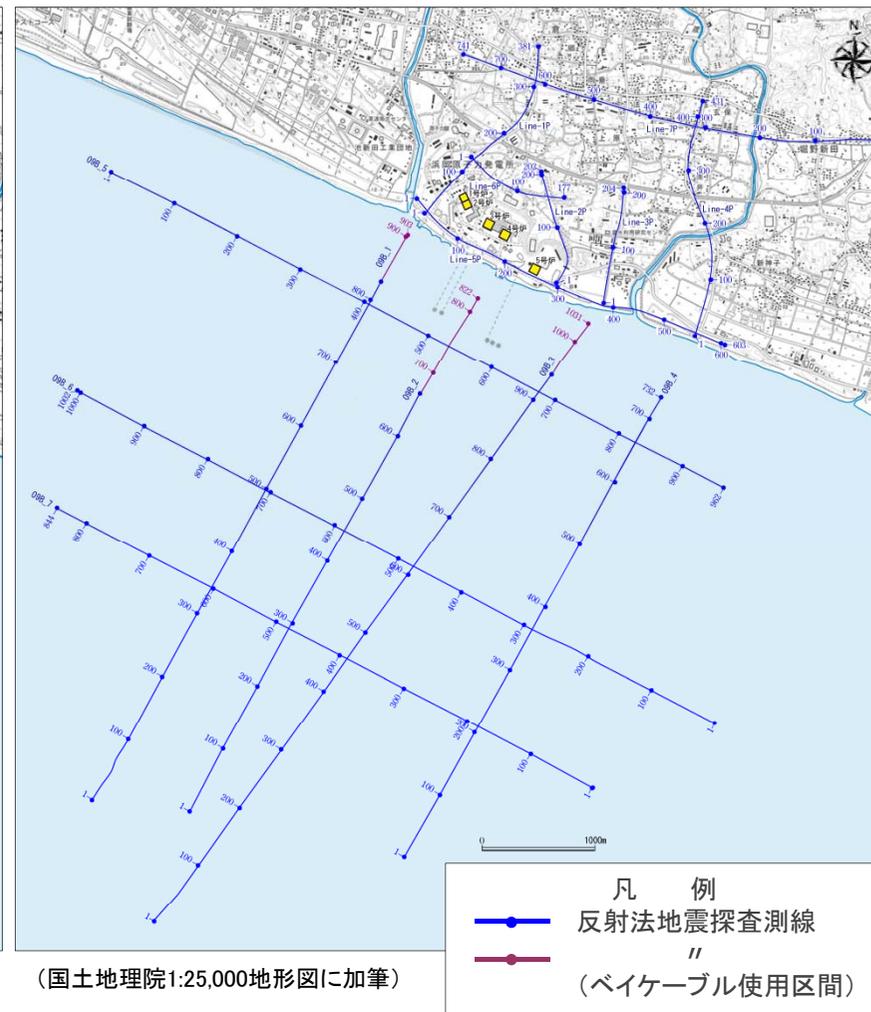
＜ケース①の解析結果(SH波)＞

# 敷地における地盤増幅特性 ①地下構造

## 敷地近傍の調査位置図

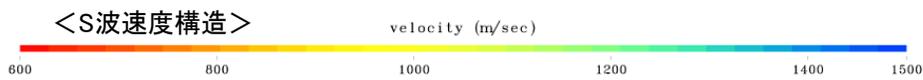
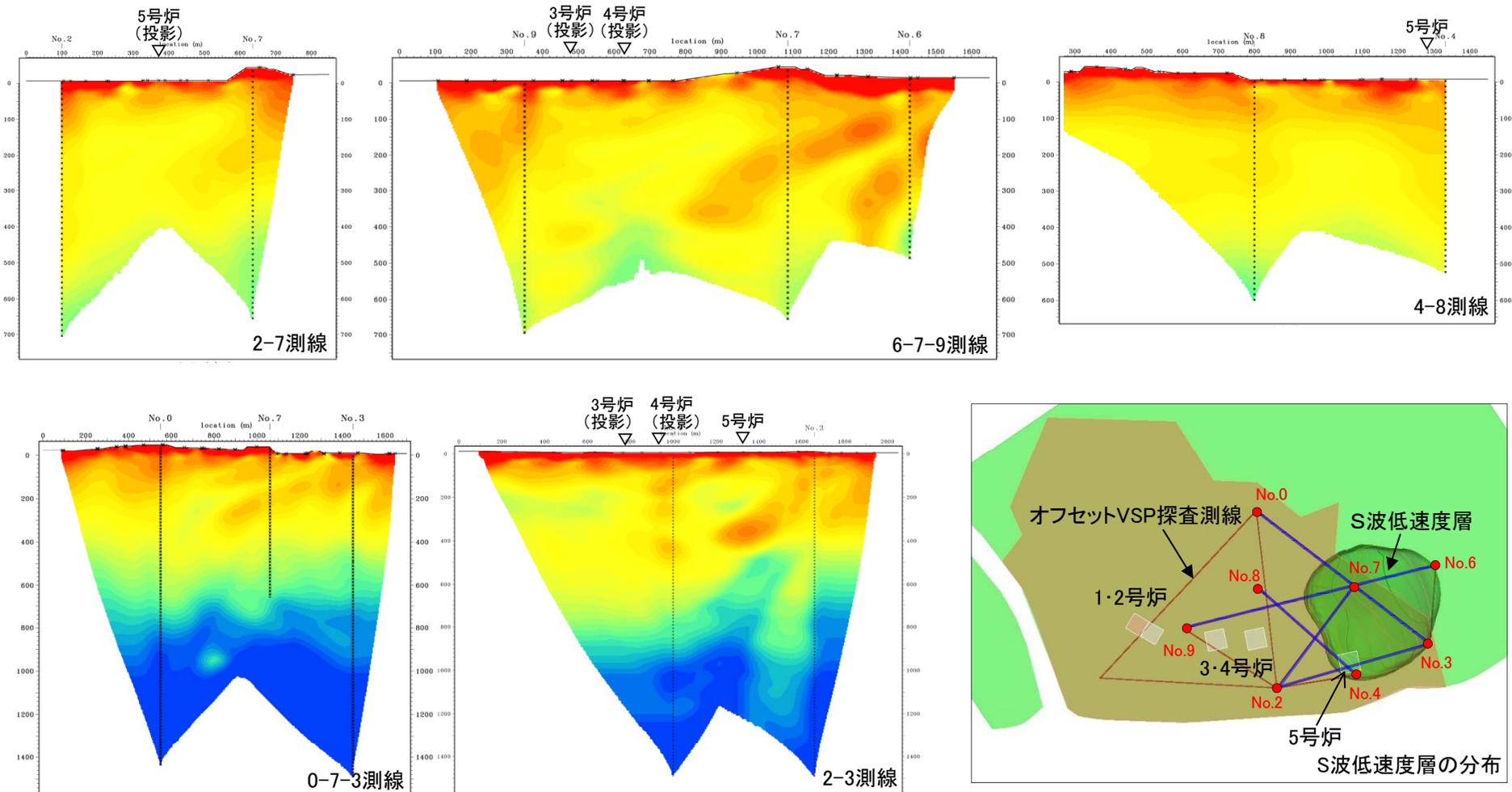


○浜岡原子力発電所では、2009年駿河湾の地震において5号炉周辺の観測記録が他号炉に比べ大きかったことを受けて、敷地近傍の浅部地盤を対象とし、速度構造調査として複数の測線でオフセットVSP(Vertical Seismic Profiling)探査、海域発振オフセットVSP探査、ベイケーブル探査を実施し、地質構造調査として反射法地震探査、ボーリング調査・物理検層を実施している。



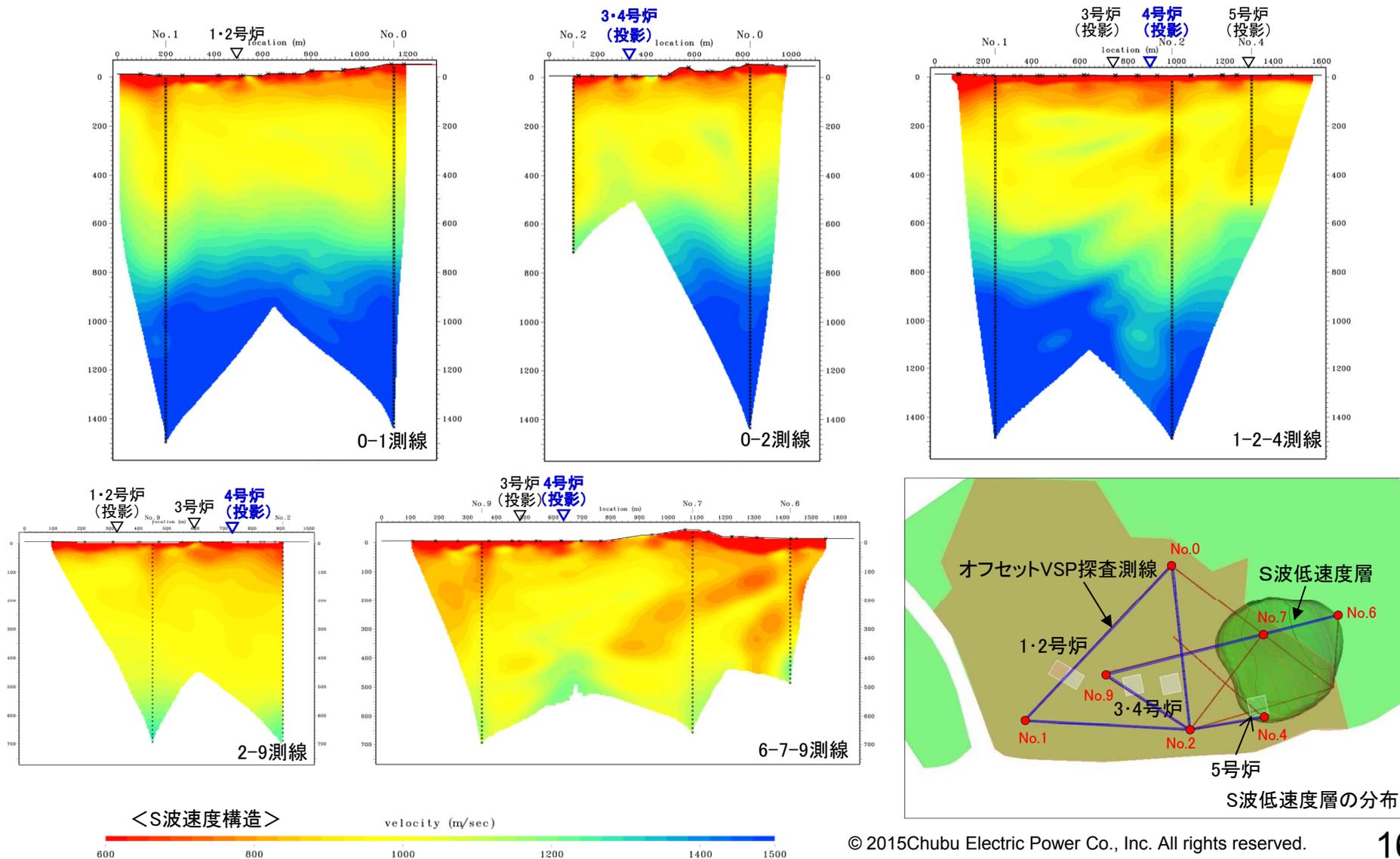
# 敷地における地盤増幅特性 ①地下構造 敷地近傍(浅部)の地下構造 (5号炉周辺の地下構造調査結果)

○5号炉周辺のオフセットVSP探査結果によると、5号炉周辺では、周囲に比べてS波速度が2～3割程度低下し、三次元的な拡がりや連続性を有する不均質構造(S波低速度層)が確認される。



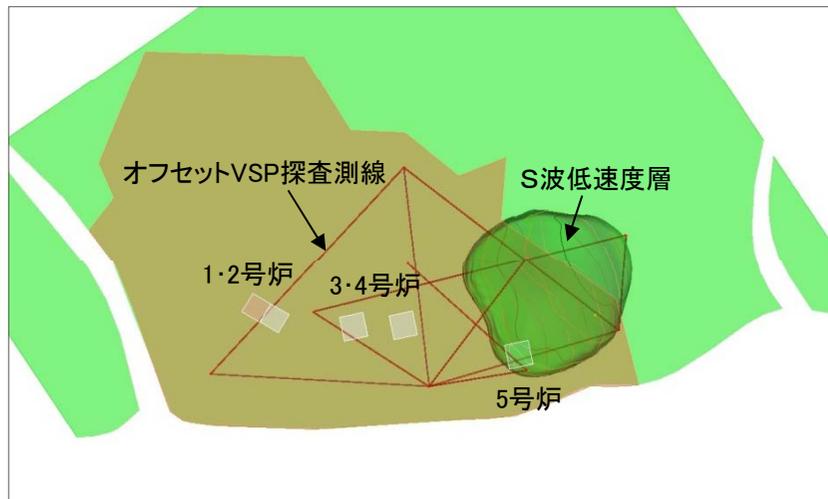
# 敷地における地盤増幅特性 ①地下構造 敷地近傍(浅部)の地下構造 (4号炉周辺の地下構造調査結果)

○4号炉周辺のオフセットVSP探査結果によると、4号炉周辺ではS波低速度層が確認されず、概ね深度方向に漸増する構造となっている。

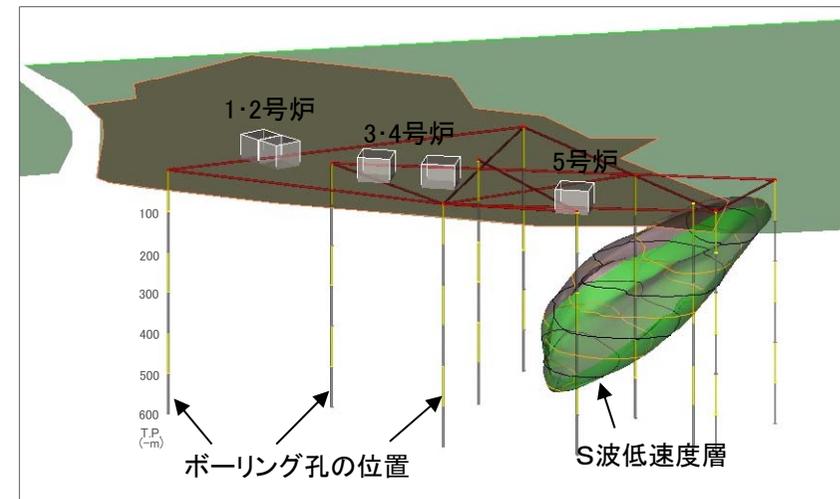


# 敷地における地盤増幅特性 ①地下構造 敷地近傍(浅部)の地下構造 (S波低速度層の分布)

- 敷地近傍の複数の速度構造調査結果によると、S波低速度層は5号炉周辺より東側に分布し、1, 2号炉周辺及び3, 4号炉周辺や海側には分布していない。
- この調査結果に基づき敷地近傍の地質・地質構造を参考に推定したS波低速度層の分布図によると、S波低速度層は5号炉から2009年駿河湾の地震の到来方向である北東方向にかけて、深さ数百mの浅部に局所的に分布していると考えられる。



平面分布図

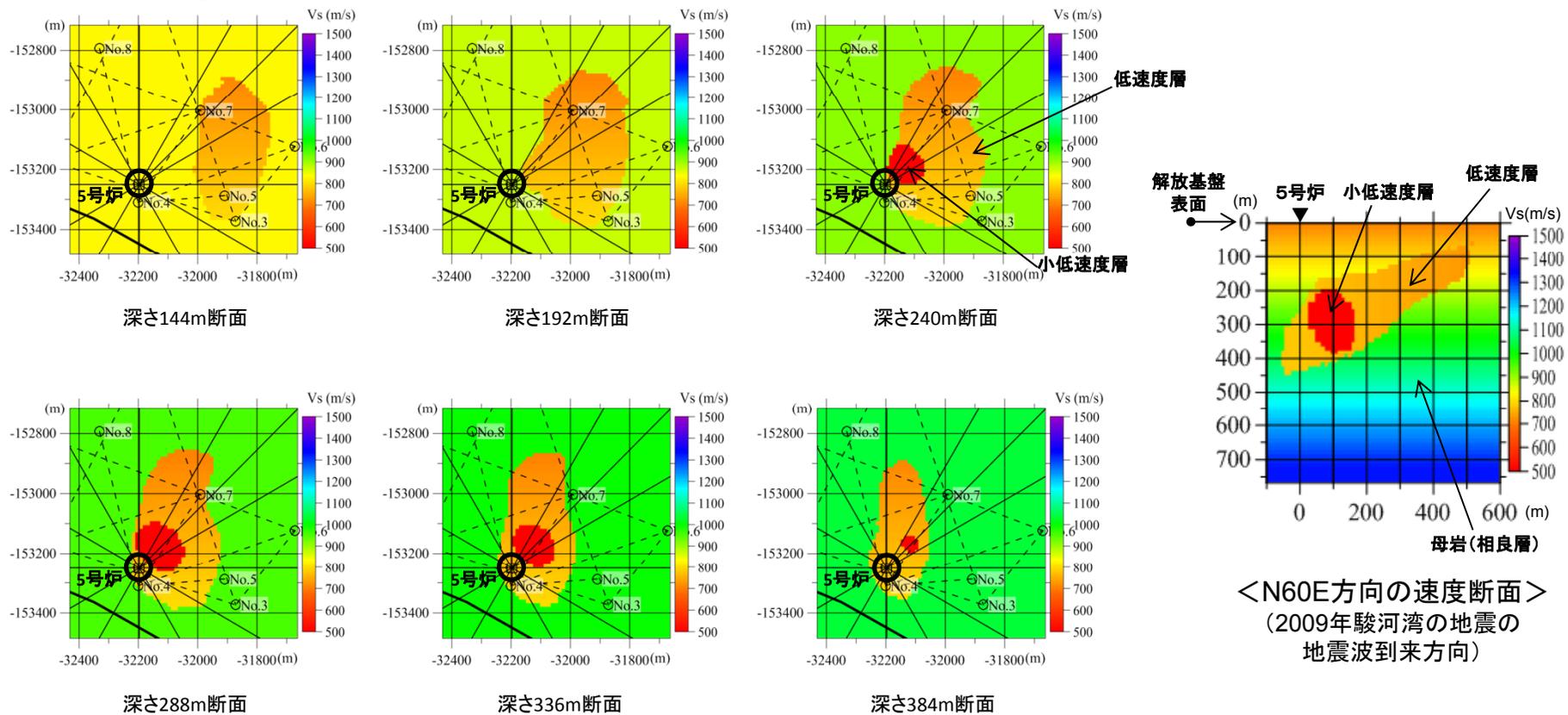


鳥瞰図

# 敷地における地盤増幅特性 ①地下構造 敷地近傍(浅部)の地下構造 (浅部三次元地下構造モデル)

○低速層、小低速層※、母岩(相良層)から成る浅部三次元地下構造モデルは、基本的に地下構造調査結果に基づき設定し、小低速層は地震観測記録の特徴を説明できるよう、その形状をチューニングして低速層の内部に設定する。

※オフセットVSP探査結果(フルウェーブインバージョン)によると、低速層の内部が濃淡のある不均質な速度構造の集合体であることを踏まえ、低速層の内部には更に速度が低い構造(小低速層)をモデル化する。

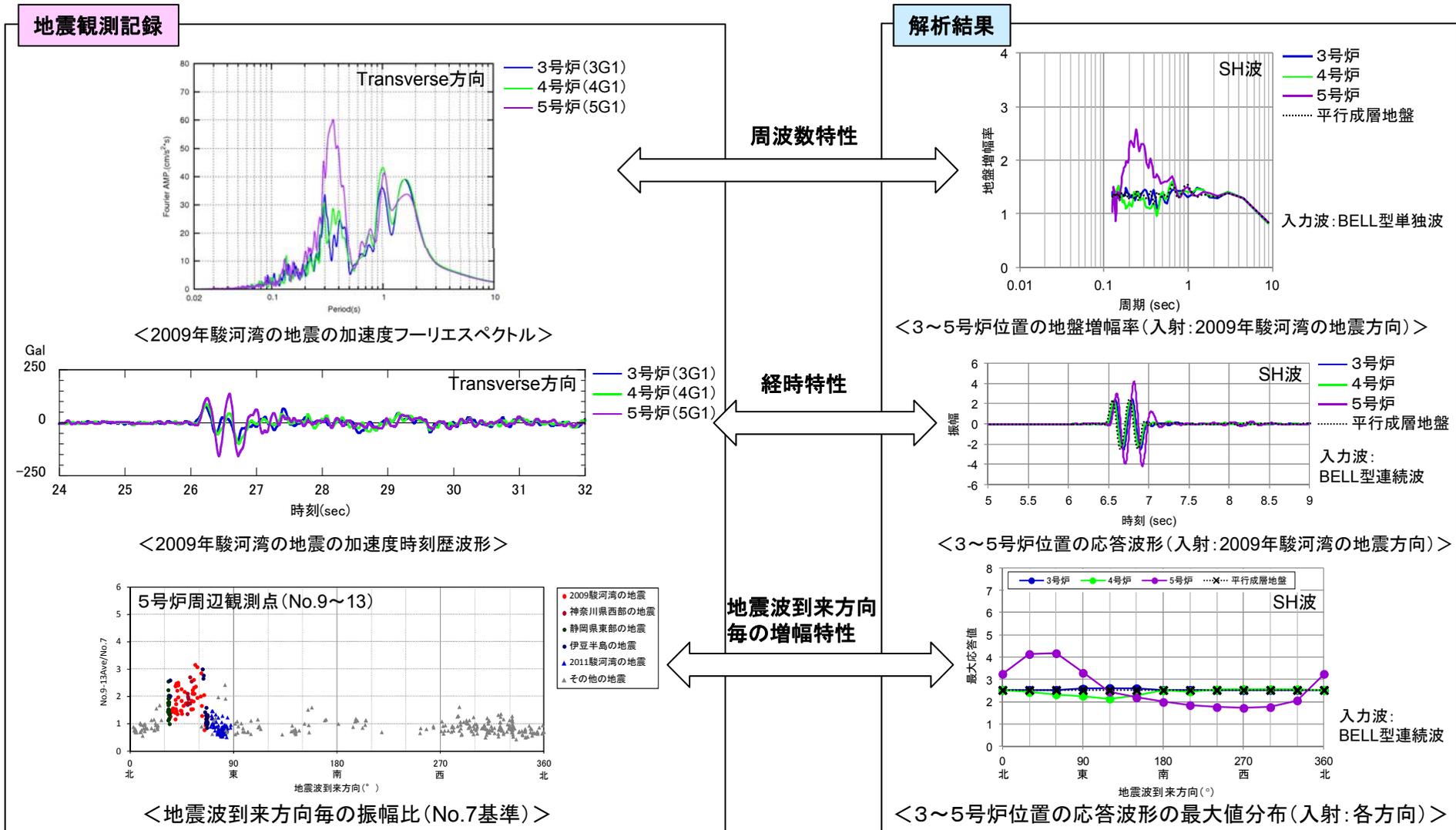


＜深さ毎の速度断面＞

＜N60E方向の速度断面＞  
(2009年駿河湾の地震の地震波到来方向)

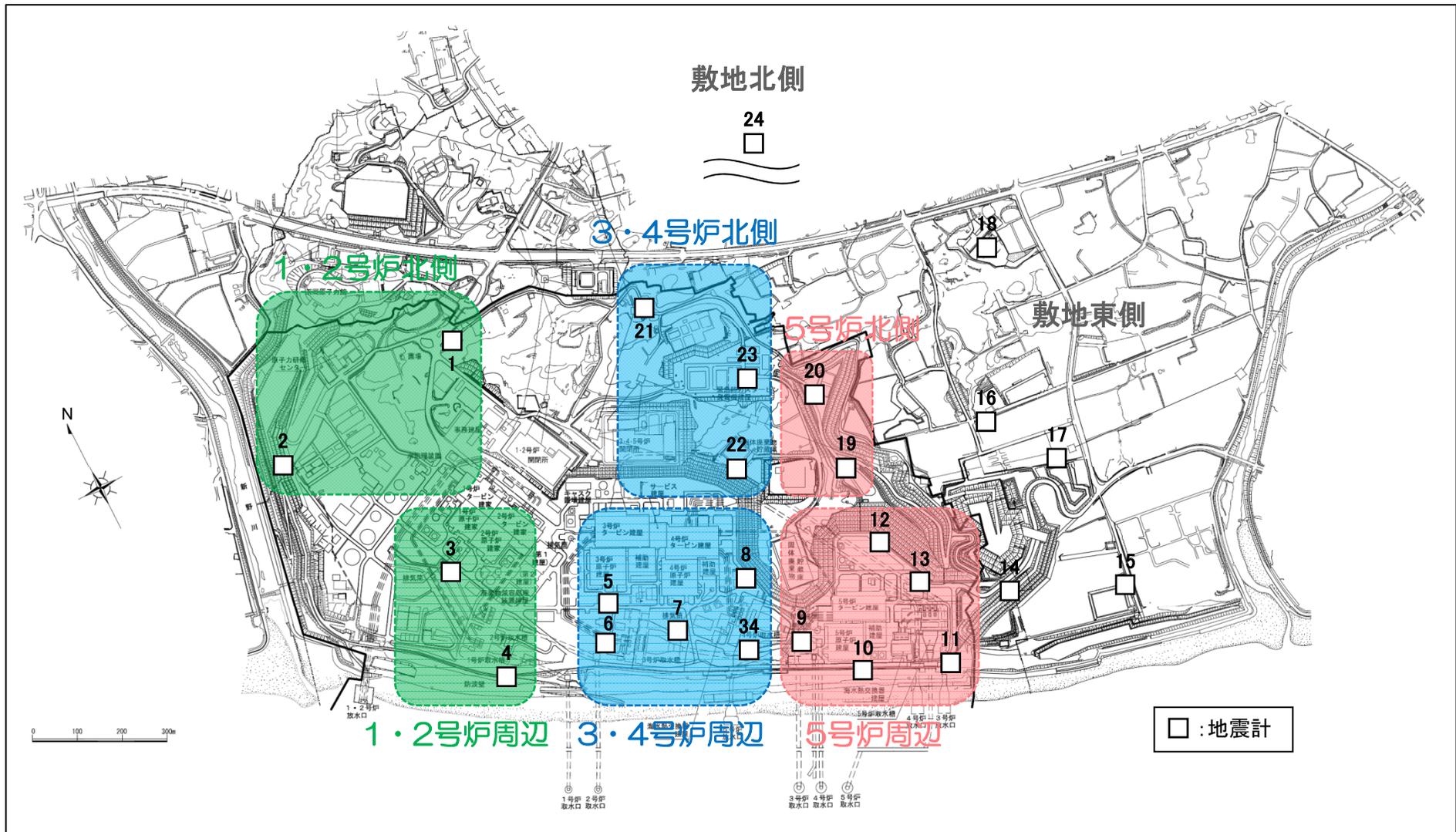
# 敷地における地盤増幅特性 ①地下構造 敷地近傍(浅部)の地下構造 (浅部三次元地下構造モデルを用いた観測記録の再現検討)

○周波数特性、経時特性、地震波到来方向毎の増幅特性について、浅部三次元地下構造モデルを用いた解析結果は地震観測記録の特徴と概ね整合していることから、5号炉周辺の増幅要因はS波低速度層であり、当該モデルは妥当であると考えられる。



# 多点連続地震観測(地震計の配置)

○敷地では、地表に地震計(2Hz速度計)を多数設置し、連続地震観測を行っている。



# 敷地における地盤増幅特性 ②地震観測 多点連続地震観測 (敷地全体における地震波到来方向毎の地盤増幅特性)

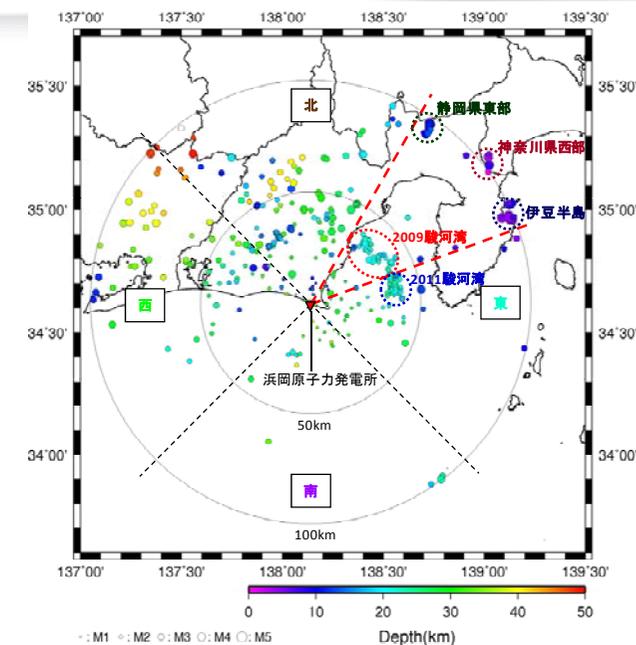


○地震波到来方向毎の地盤増幅特性を検討するため、地震波到来方向毎に地震をグルーピングして、各観測点の振幅比(No.7基準)を算出。

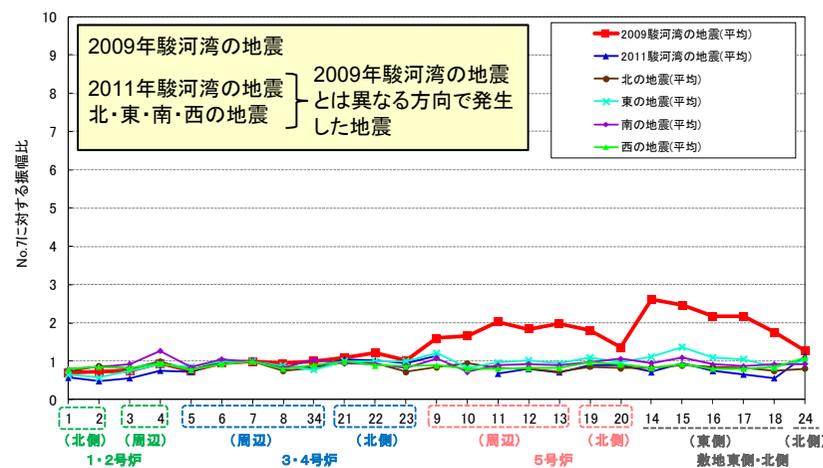
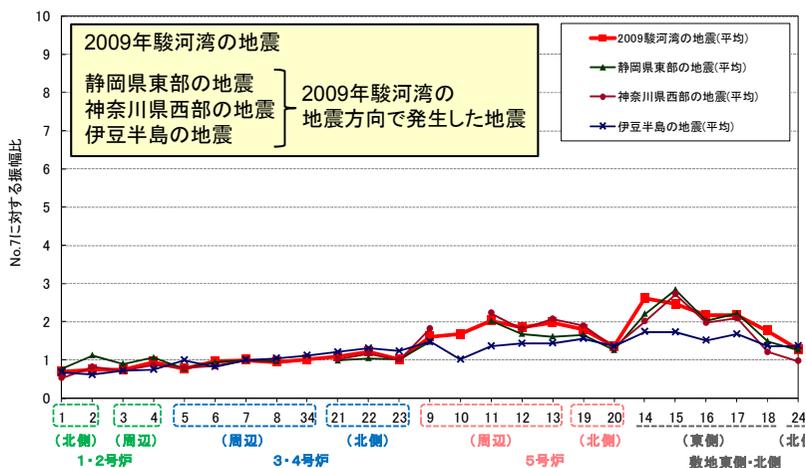
⇒5号炉周辺及び敷地東側の観測点では、2009年駿河湾の地震のグループ及びその遠方で発生した地震のグループの振幅比は大きいが、その他の地震のグループの振幅比は1程度であり、振幅比が最も大きい地震のグループは2009年駿河湾の地震のグループである。

⇒1～4号炉周辺を含むその他の観測点では、いずれの地震のグループにおいても振幅比が1程度である。

- ・自然地震のフーリエスペクトル比、微動アレイ探査の分散曲線及びボーリングデータを用いて表層地盤を推定し、地表で得られた観測記録からはざと波を推定する。
- ・推定したざと波について、No.7に対する各観測点の振幅比を算出し、地震波到来方向毎の地盤増幅特性を検討する。
- ・振幅比の算出は、ざと波に対し2009年駿河湾の地震で5号炉周辺の顕著な増幅が見られた周期0.2～0.5秒のバンドパスフィルターを施し、時刻歴波形のS波主要動部付近の最大値(水平2方向の平均値)を対象とする。



<検討の対象とした観測地震の震央分布>

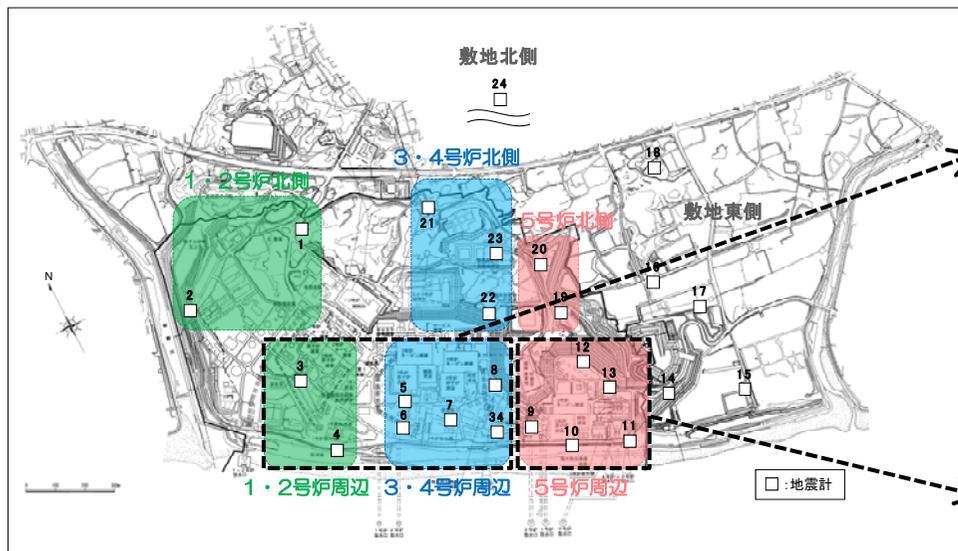


<各地震グループにおける各観測点の振幅比(No.7基準)(水平平均)>

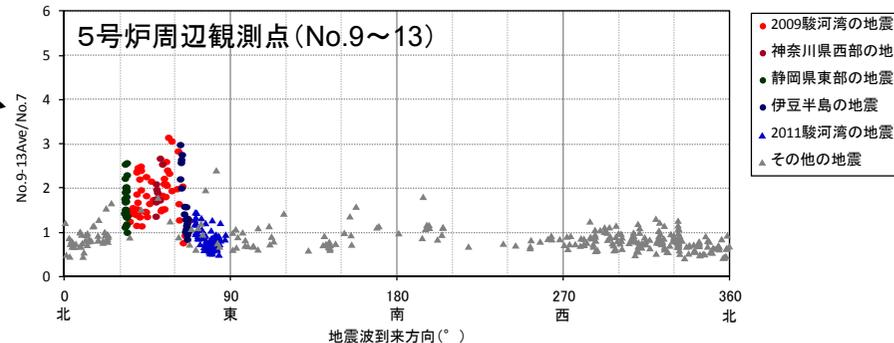
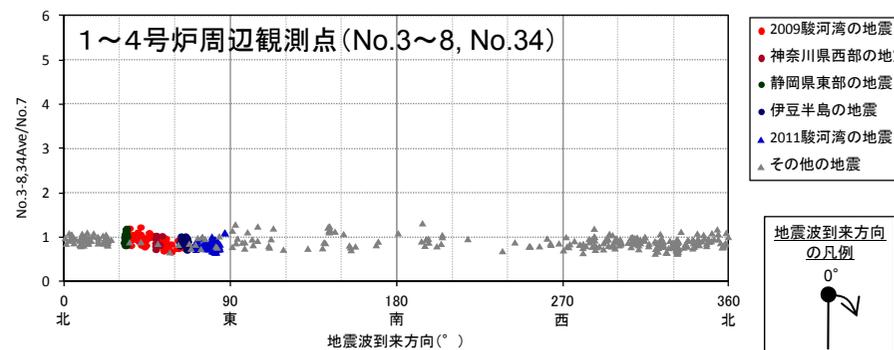
○振幅比が大きい地震のグループが確認された観測点として5号炉周辺 (No.9~No.13) を、いずれの地震のグループにおいても振幅比が1程度であった観測点として1~4号炉周辺 (No.3~No.8, No.34) をそれぞれグルーピングして、地震波到来方向毎に各地震の振幅比 (No.7基準) を算出。

⇒5号炉周辺では、2009年駿河湾の地震を含むN30E~N70Eの地震波到来方向の地震では振幅比が大きいが、その他の地震波到来方向の地震では振幅比が1程度である。

⇒1~4号炉周辺では、2009年駿河湾の地震の地震波到来方向を含め、いずれの地震波到来方向の地震も振幅比は1程度である。



<多点連続地震観測の地震計配置>

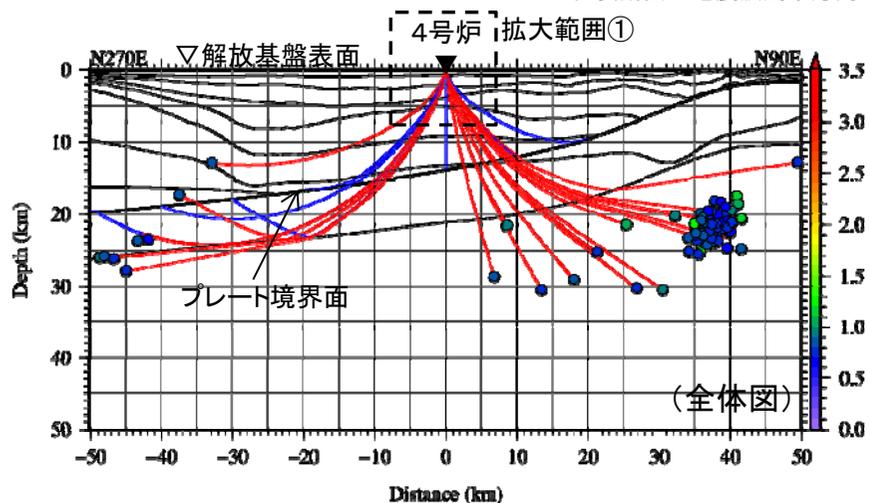


<各地震の振幅比 (No.7基準) と地震波到来方向との関係>  
(水平平均)

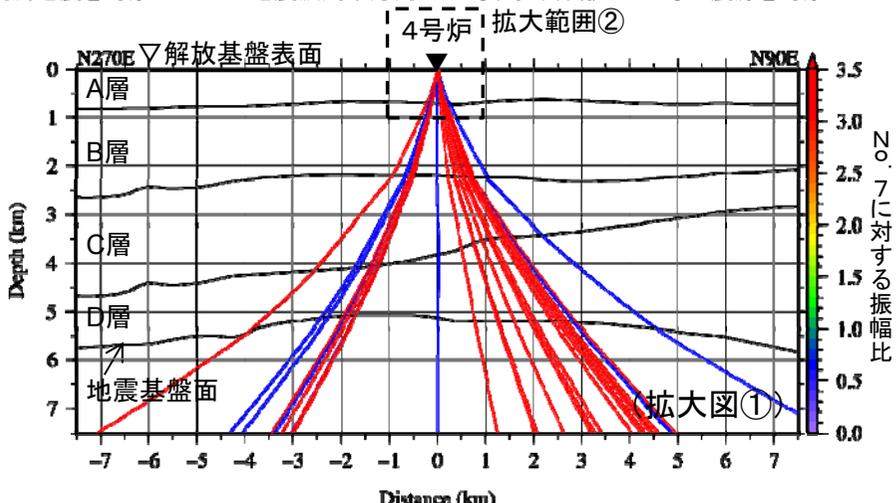
# 4号炉に到達する波線と低速度層との関係

- 多点連続地震観測における観測地震※<sup>1</sup>及び内閣府(2012)によるプレート境界面(震源モデルの断層面に相当)※<sup>2</sup>の震源を対象としてレイトレーシング解析を行い、4号炉に到達する主要な地震波の伝播経路(波線)について検討。
- 4号炉に到達する観測地震及びプレート境界面の震源の波線について、上方へ伝播するにつれて鉛直下方に近づいており、S波低速度層を伝播しない。

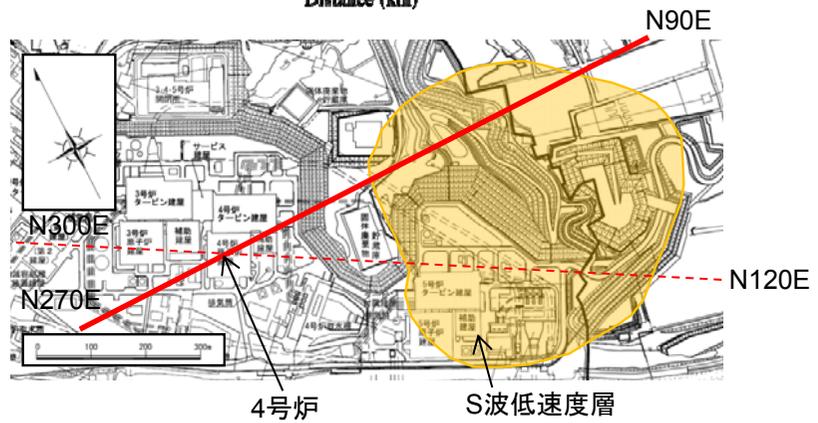
※<sup>1</sup>: 代表断面は地震波到来方向30° 毎の観測地震を対象    ※<sup>2</sup>: 地震波到来方向30° 毎、水平距離10km毎の震源を対象



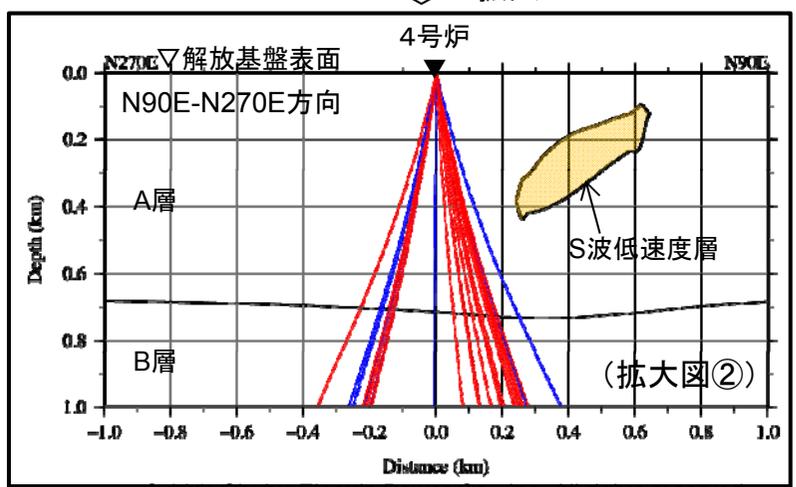
拡大



拡大



- 4号炉に到達する観測地震の波線
- 4号炉に到達するプレート境界面の震源の波線

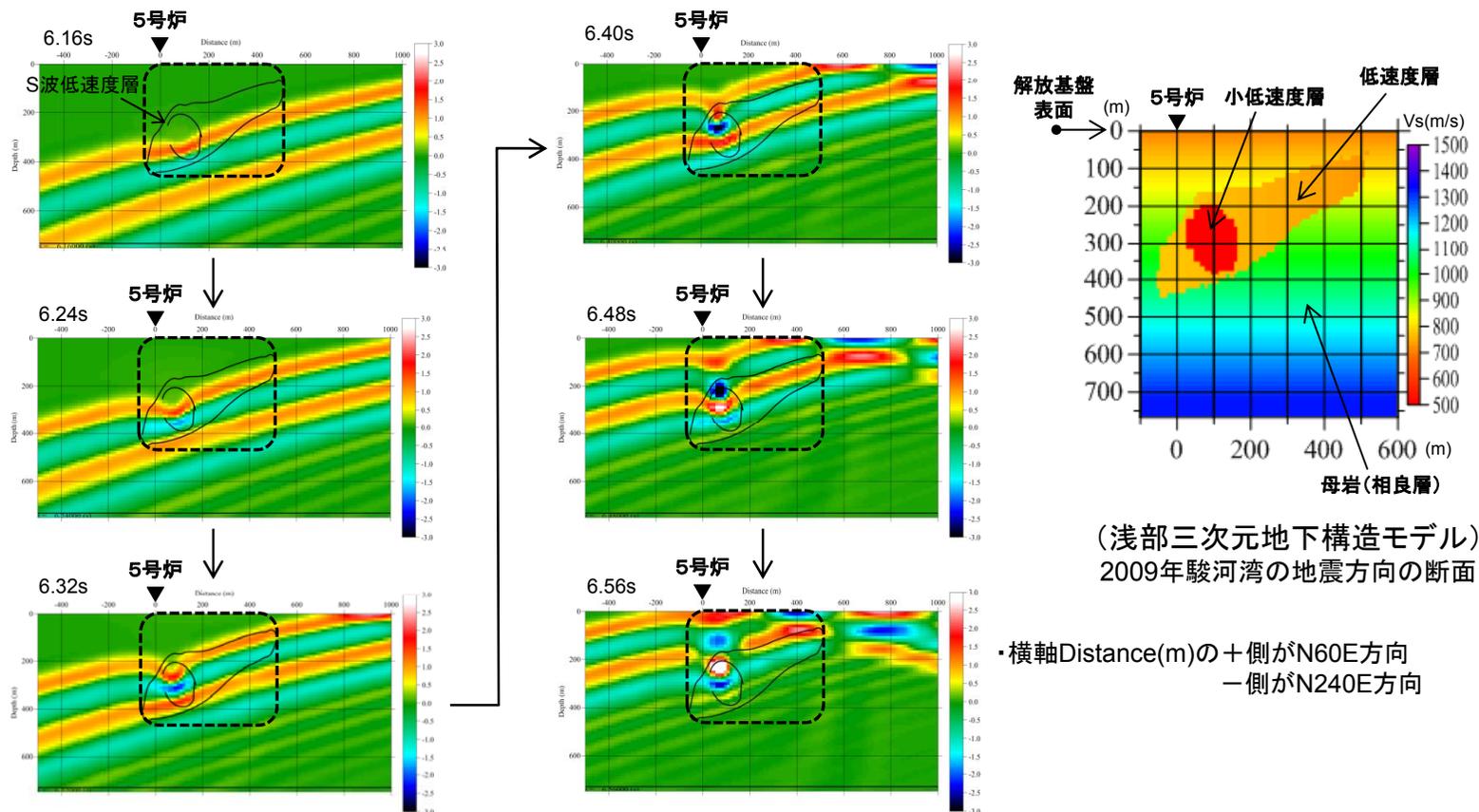


# 5号炉周辺の地震波の増幅メカニズム

○S波低速度層による5号炉周辺の地震波の増幅メカニズムについて、低速度層、小低速度層、相良層(母岩)の伝播速度が異なることにより、地震波の波面が凹形状に屈曲し、これにより地震波が干渉して増幅するフォーカシング現象と考えられる。

○地震波の増幅メカニズムがこの波面の凹形状の屈曲に起因するため、S波低速度層が影響を及ぼす範囲は、5号炉周辺等のS波低速度層の上部付近に限られる。

⇒5号炉周辺の下方にはS波低速度層が確認されており、一部の方向で5号炉周辺はS波低速度層による影響を受けるが、5号炉から離れた4号炉周辺の下方にはS波低速度層が確認されていないことから、4号炉周辺はS波低速度層による影響を受けないと考えられる。



(浅部三次元地下構造モデル) 2009年駿河湾の地震方向の断面

・横軸Distance(m)の+側がN60E方向  
 -側がN240E方向

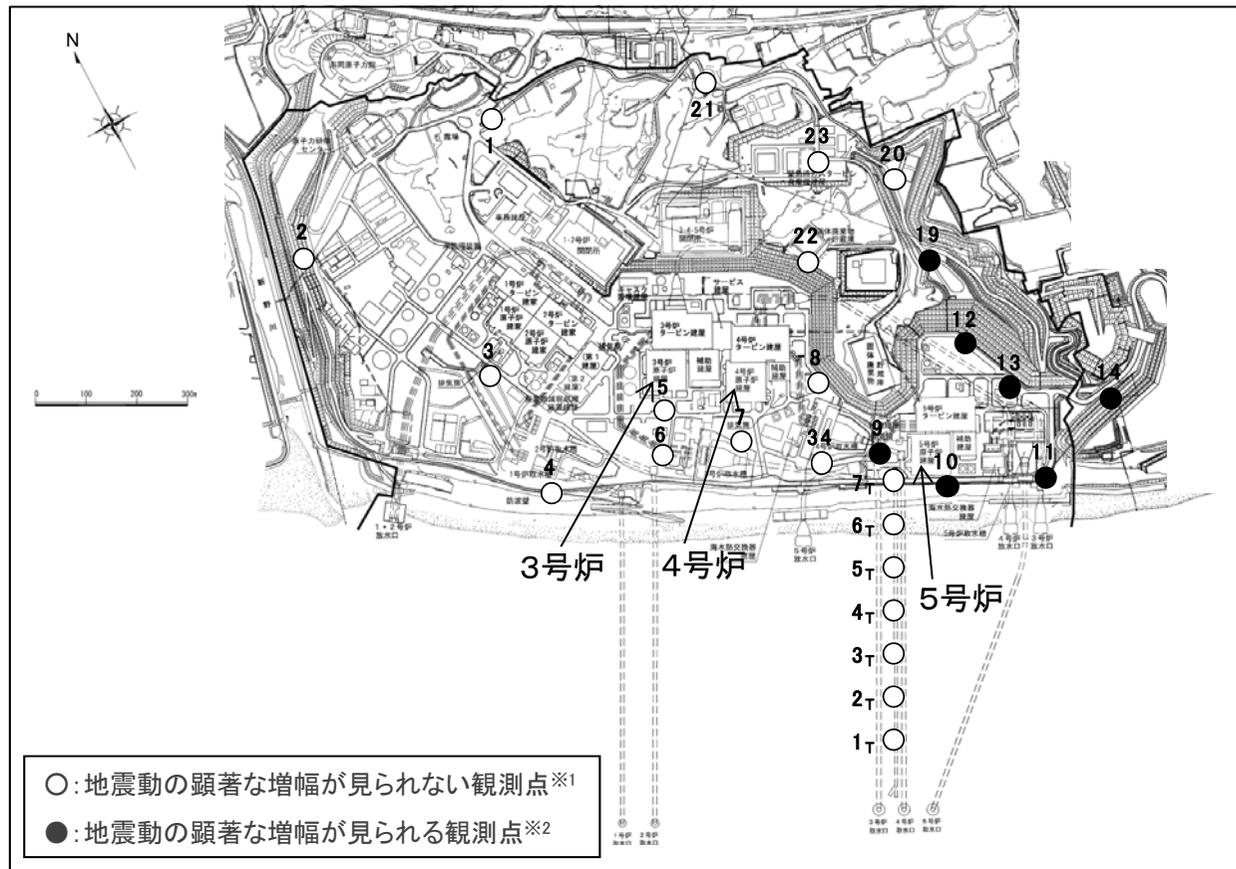
<浅部三次元地下構造モデルを用いた解析結果に基づくスナップショット(5号炉から2009年駿河湾の地震方向の断面)>  
 (入力波: BELL型連続波、入射方向: 2009年駿河湾の地震方向、入射角: 20°)

# 敷地における地盤増幅特性の地震動評価への反映方法

## 敷地における地盤増幅特性

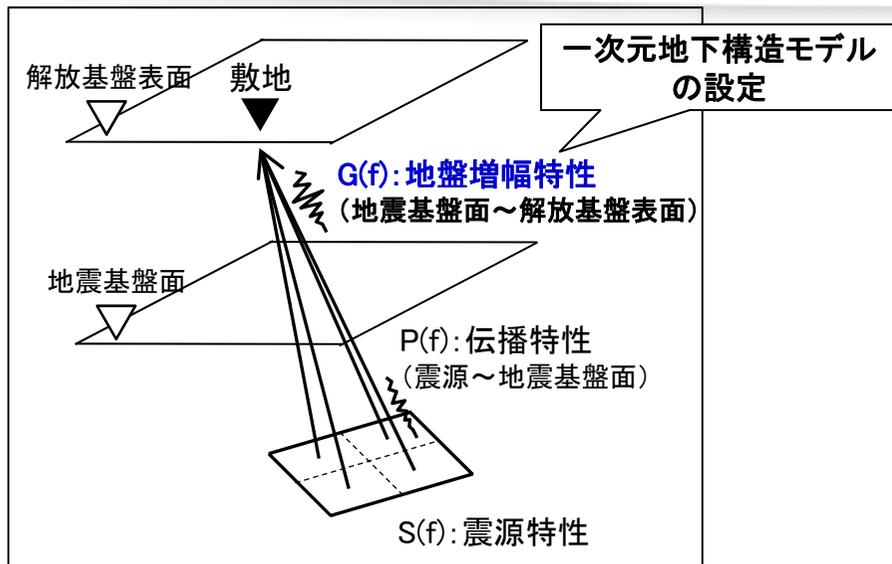
○敷地における解放基盤表面相当深さの地盤増幅特性によると、敷地の地震観測点は、2009年駿河湾の地震の地震波到来方向付近のみ地震動の顕著な増幅が見られる観測点（地震動の顕著な増幅が見られる観測点）といずれの地震波到来方向でも地震動の顕著な増幅が見られない観測点（地震動の顕著な増幅が見られない観測点）に分かれ、3, 4号炉周辺の観測点は地震動の顕著な増幅が見られない観測点に相当し、5号炉周辺の観測点は地震動の顕著な増幅が見られる観測点に相当する。

○以降では、S波低速度層によって異なる敷地の地盤増幅特性を踏まえて、地震動の顕著な増幅が見られる観測点及び地震動の顕著な増幅が見られない観測点のそれぞれについて、当該観測点の地盤増幅特性の地震動評価への反映方法を示す。

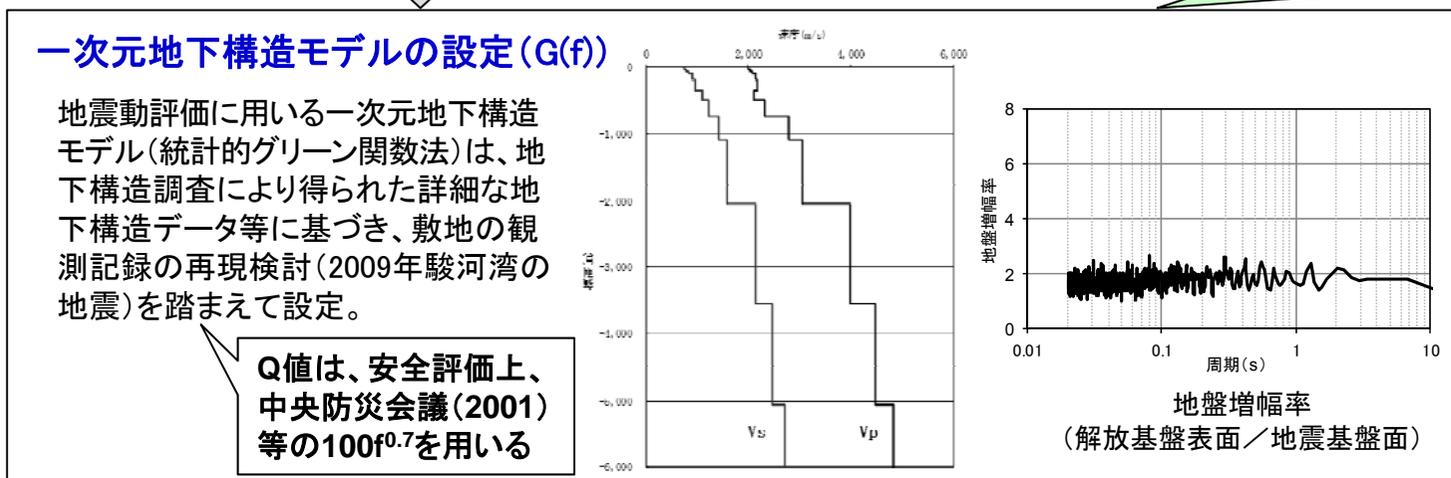
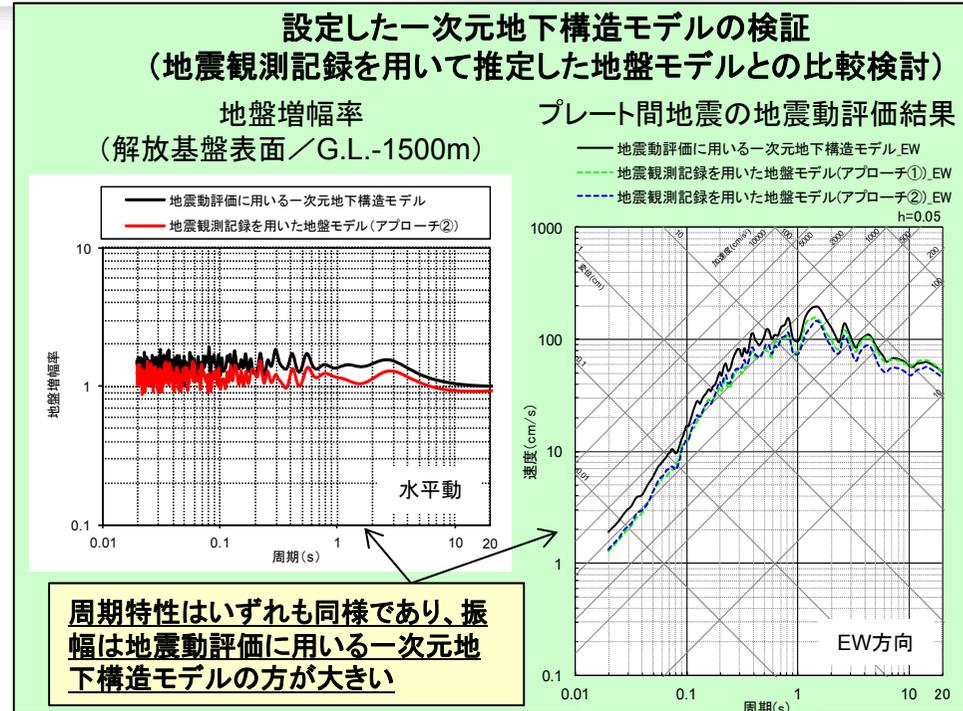


※1: 2009年駿河湾の地震の地震波到来方向を含め、いずれの地震波到来方向でも顕著な増幅は見られず、周辺観測点の地盤増幅特性と同様である。  
※2: 2009年駿河湾の地震の地震波到来方向付近(N30E~N70E)では顕著な増幅が見られるが、その他の地震波到来方向では顕著な増幅は見られず、周辺観測点の地盤増幅特性と同様である。

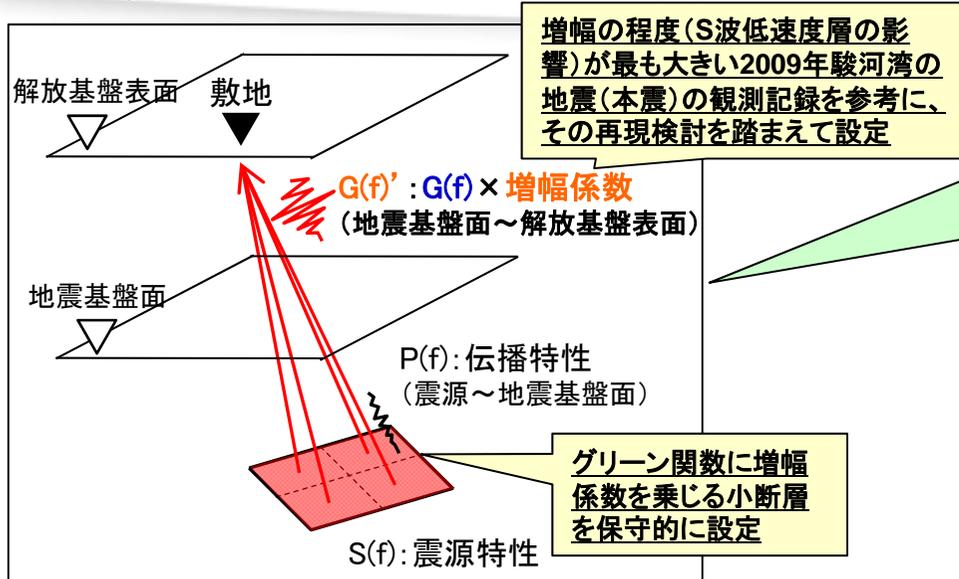
敷地における地盤増幅特性の地震動評価への反映方法  
**地震動評価への反映方法【地震動の顕著な増幅が見られない観測点】**  
 (地震動評価への反映方法の全体像)



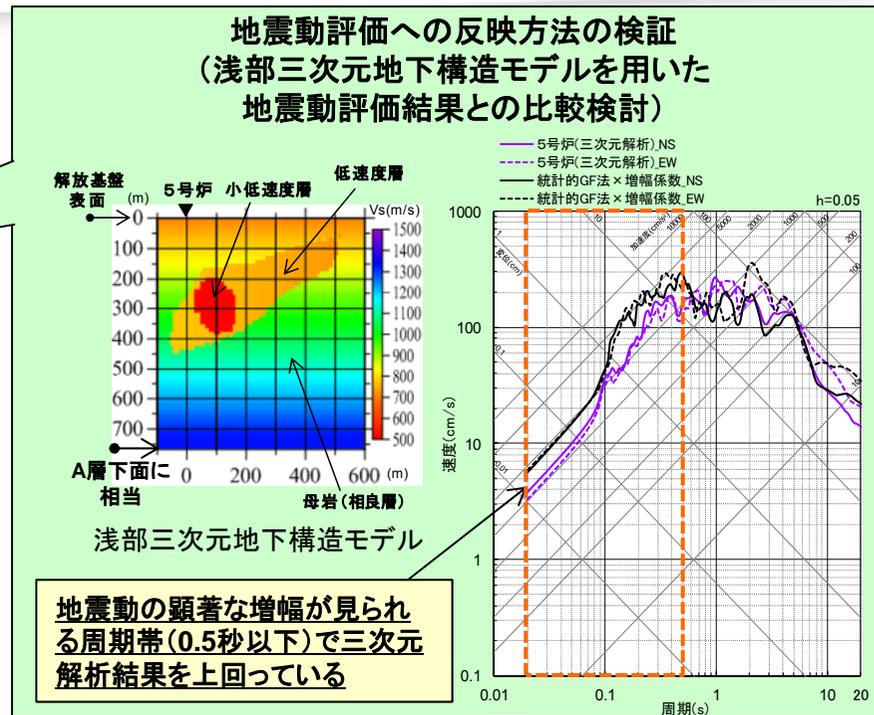
敷地におけるグリーン関数  
 $= S(f) \times P(f) \times G(f)$



# 敷地における地盤増幅特性の地震動評価への反映方法 地震動評価への反映方法【地震動の顕著な増幅が見られる観測点】 (地震動評価への反映方法の全体像)

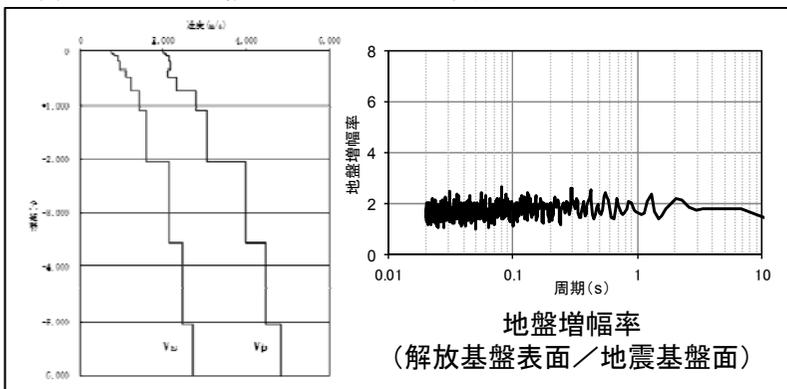


敷地におけるグリーン関数  
 $= S(f) \times P(f) \times G(f)' (G(f) \times \text{増幅係数})$

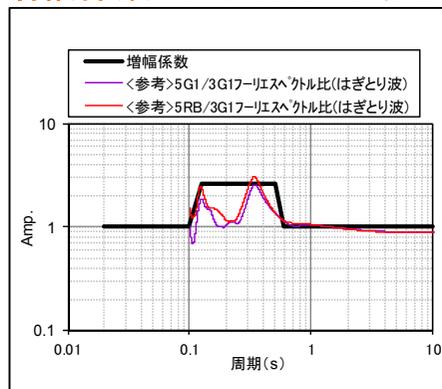


$G(f)'$ : S波低速度層の影響を考慮した地盤増幅特性

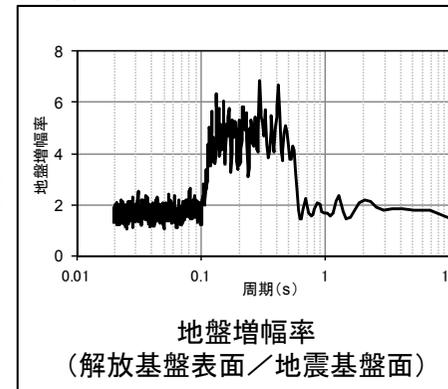
$G(f)$ : 一次元地下構造モデルの地盤増幅率



増幅係数: S波低速度層の影響を考慮



$G(f)'$

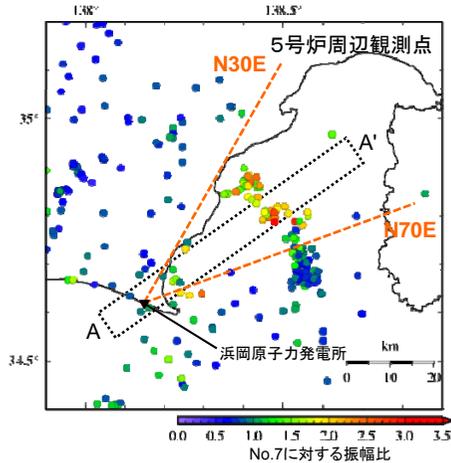


# 敷地における地盤増幅特性の地震動評価への反映方法

## 地震動評価への反映方法【地震動の顕著な増幅が見られる観測点】

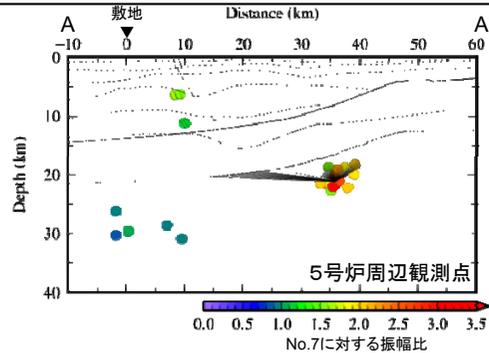
### (グリーン関数に増幅係数を乗じる小断層の設定)

#### 地震観測記録の分析

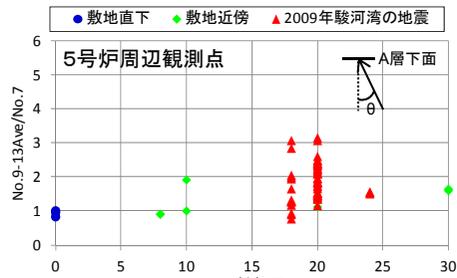


<振幅比の平面図>  
(多点連続地震観測)

※浅部三次元地下構造モデルの底面に相当するA層下面への入射角について、各断面の地震ラスタ毎にレイトレーシングを行い評価。

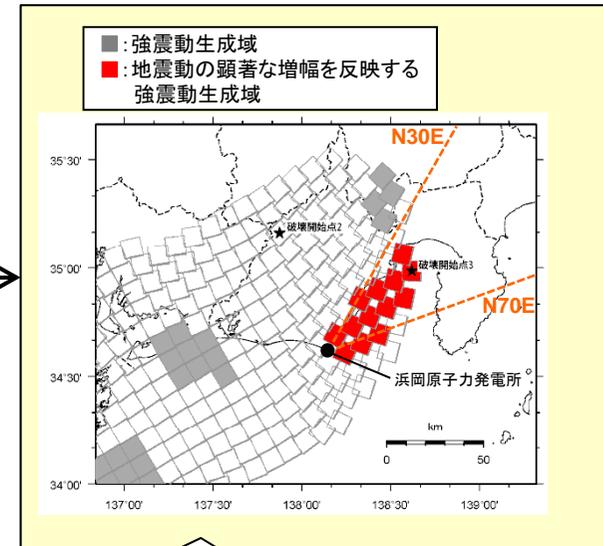


<振幅比の断面図(A-A'断面)>



<入射角毎の振幅比>  
(N30E~N70E方向+敷地直下の地震)

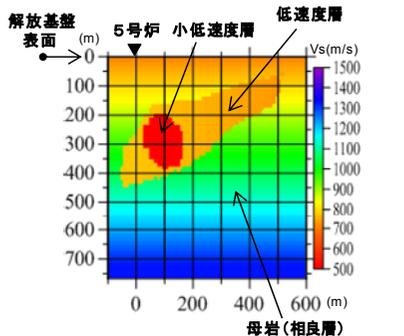
地震動の顕著な増幅を反映した震源モデル(プレート間地震の例)



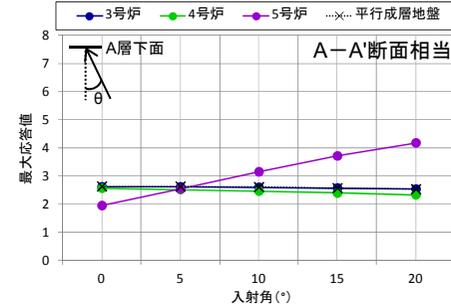
- ・安全評価上、N30E~N70E方向では、全ての地震で地震動の顕著な増幅が見られると想定。
- ・プレート間地震では、N30E~N70E方向を包絡するよう強震動生成域を設定し、このグリーン関数に増幅係数を乗じることによって、地震動の顕著な増幅を地震動評価に反映。

地震動の顕著な増幅が見られているわけではない  
N30EからN70E方向では、必ずしも全ての地震で

#### 三次元地下構造モデルによる解析検討



<浅部三次元地下構造モデル>



<入射角毎の解析結果>

(入力波: BELL型連続波(SH波)、入射方向: N60E方向)

# 敷地における地震動の増幅特性(まとめ)



## 敷地における地盤増幅特性

### ①地下構造

- 敷地周辺の地下構造(深部からやや浅部:P11~P13)
  - ・敷地周辺の地下構造調査結果に基づき、深部三次元地下構造モデルを作成し、解析検討を実施。
  - ⇒地震基盤面及びそれ以浅の速度構造(褶曲構造を含む)は地震動の顕著な増幅に影響を及ぼすものではない。
- 敷地近傍の地下構造(浅部:P14~P19)
  - ・敷地近傍の地下構造調査結果に基づき、地震観測記録の特徴のチューニングを踏まえ、S波低速度層を含む浅部三次元地下構造モデルを作成し、解析検討を実施。
  - ⇒S波低速度層は4号炉周辺に見られず、4号炉周辺の地震動の顕著な増幅に影響しない。
  - ⇒S波低速度層は5号炉周辺の地震動の顕著な増幅に影響。
  - ・さらに、4号炉周辺への影響検討の観点から、観測記録の特徴とは整合しないものの、小低速度層を4号炉周辺へ最も近づけた場合のパラメータスタディを実施。
  - ⇒仮定条件下の影響検討においても、S波低速度層は4号炉周辺の地震動の顕著な増幅に影響しない。

- ・4号炉周辺の地下構造には物性の顕著な変化はなく、平行成層地盤に近似することができる。
- ・5号炉周辺の地震動の顕著な増幅にはS波低速度層が影響。

### ②地震観測

- 各号炉周辺における鉛直アレイ観測
  - ・地震観測記録の特徴や地震波到来方向毎の地盤増幅特性の検討、鉛直アレイ観測点と周辺観測点(RK-net)の地震観測記録の比較・検討を実施。
  - ⇒3~5号炉の観測点における地震波到来方向毎の地盤増幅特性及び敷地の観測点と周辺観測点の地盤増幅特性の関係を把握。
- 敷地全体の多点連続地震観測(P20~P22)
  - ・高感度の速度計を用いた高感度連続地震観測を敷地全体で行い、多方向からの観測記録を取得し、分析を実施。
  - ⇒敷地全体における地震波到来方向毎の地盤増幅特性を把握。
- 海底試掘トンネルにおける連続地震観測
  - ・海底試掘トンネルにおいて連続地震観測を行い、多方向からの観測記録を取得し、分析を実施。
  - ⇒海域部における地震波到来方向毎の地盤増幅特性を把握。

- ・4号炉周辺では地震動の顕著な増幅が見られない。
- ・5号炉周辺では一部の方向で地震動の顕著な増幅が見られる。

### ③地震波の伝播経路

- ・観測地震の地震波及び敷地への影響が大きいプレート間地震(震源モデル)の地震波について、4号炉周辺に到達する伝播経路を検討。
- ・地震波が低速度層を伝播して増幅するメカニズムを検討(P23,P24)。
- ⇒4号炉周辺に到達する地震波の伝播経路を把握。
- ⇒5号炉周辺の地震波の増幅メカニズムを把握。

- ・4号炉周辺に到達する主要な地震波は、S波低速度層を伝播せず、顕著な増幅が見られない。
- ・5号炉周辺に到達する地震波は、一部の方向でS波低速度層を伝播し、顕著な増幅が見られる。

## 敷地における地盤増幅特性の地震動評価への反映方法(P25~P28)

- ・地震動の顕著な増幅が見られない観測点(4号炉周辺等)では、平行成層地盤と見なして地盤増幅特性を保守的に考慮し、地震動評価を行う。
- ・地震動の顕著な増幅が見られる観測点(5号炉周辺等)では、S波低速度層による三次元的な地下構造の影響を踏まえて地盤増幅特性を保守的に考慮し、地震動評価を行う。

## 2. プラントに関する審査の状況

(1) 設計基準事故対策

(2) 重大事故等対策

## プラントに関する事項（設計基準(DB)）

主な審査項目			状況
設計基準 (DB)	竜巻	設計上考慮する竜巻を設定し、施設の安全性を評価する	コメント対応中
	火山(対策)	火山噴火による降下物の堆積等の影響を考慮し、施設の安全性を評価する	今後実施
	外部火災	森林火災、敷地内タンクの火災、航空機落下による火災等に対し、施設の安全性を評価する	コメント対応中
	内部火災	建屋内の火災に対し、「火災の発生防止」、「火災の感知・消火」、「火災の影響軽減」対策の妥当性を評価する	コメント対応中
	内部溢水	配管破断等による施設内部での漏水事象に対し、施設の安全性を評価する	コメント対応中
	その他	安全施設、誤操作防止、安全避難通路、安全保護回路、保安電源等の対策の妥当性を評価する	コメント対応中

# 浜岡4号機 新規制基準への適合性審査の状況(2/2)



## プラントに関する事項（重大事故等対策(SA)）

主な審査項目		状況	
重大事故等対策(SA)	PRA、事故シーケンス選定	PRAによる、機器の故障や地震・津波が起因となって重大事故に至る頻度の評価結果等を踏まえ、対策の有効性を確認するための事故シーケンス(重要事故シーケンス)の選定が妥当であることを確認する	コメント対応中
	有効性評価	選定した重要事故シーケンスに対し、重大事故等対策が有効に機能することを評価する	コメント対応中
	解析コード	有効性評価で使用している解析コードの妥当性を評価する	コメント対応中
	原子炉格納容器圧力逃がし装置(フィルタベント)	フィルタベント設備等の基本仕様や性能等について評価する	コメント対応中
	水素爆発による原子炉建屋等損傷防止対策	水素爆発による原子炉建屋等の損傷を防止するための設備及びそれにより、原子炉建屋二次格納施設内の水素濃度を可燃限界未満に抑制できることを評価する	コメント対応中
	中央制御室(DBA含む)	重大事故等を想定した場合でも中央制御室で運転員が必要な措置がとれることを評価する	コメント対応中
	緊急時対策所(DBA含む)	重大事故等に対処するための要員の収容能力、資機材の備蓄等について評価する	コメント対応中

\* :平成27年6月26日現地調査実施

## (1) 設計基準事故対策

- 設計基準事故対策の審査の進め方
- 竜巻
- 外部火災対策
- 内部火災対策
- 内部溢水対策
- 設計基準事故対策の審査の状況(全般)

## 設計基準事故対策の審査の進め方

- 以下の項目は、個別に審査を進めている。
  - ・竜巻(設計竜巻等の設定、飛来物評価モデルまで)
  - ・外部火災
  - ・内部火災
  - ・内部溢水
  - ・その他(安全保護回路、誤操作防止、安全避難通路など)
  
- 以下の項目は、耐震班の地震、津波、火山の審査が進んでから、審査を始めることになっている。
  - ・耐震設計、耐津波設計
  - ・火山
  - ・竜巻(施設防護対策)
  - ・使用済燃料プールの重量物落下対策

## 設計竜巻の評価

### 基準竜巻・設計竜巻の設定

- (1) 竜巻検討地域の設定  
原子力発電所が立地する地域及び竜巻発生  
の観点から特性が類似する地域を設定
- (2) 基準竜巻の最大風速の設定  
( $V_{b1}$ と $V_{b2}$ のうち大きな風速)
  - ① 過去に発生した竜巻による最大風速( $V_{b1}$ )  
藤田スケール3 (70~92m/s)  
1999年9月24日 愛知県豊橋市
  - ② ハザード曲線による最大風速( $V_{b2}$ )  
観測記録の統計処理により評価  
90.4m/s (年超過確率 $10^{-5}$ /年)
- (3) 設計竜巻の最大風速を決定  
基準竜巻の最大風速(92m/s)を安全側に切り  
上げて、設計竜巻の最大風速(100m/s)を決定

### 竜巻防護施設

建屋, 構築物	設備
原子炉建屋 海水熱交換器建屋 等	海水取水ポンプ 等

## 設計評価及び対策

### 設計竜巻荷重の設定

- ① 風圧力による荷重の設定
- ② 気圧差による荷重の設定
- ③ 飛来物<sup>(※)</sup>の衝突による衝撃荷重の設定

(※) 砂利, 鋼製材等

浜岡原子力発電所の飛来物調査結果に基づき設定

### 設計評価

- (1) 設計荷重によって施設に生じる変形・応力等の算定
- (2) 構造健全性の確認



### 対策(例)

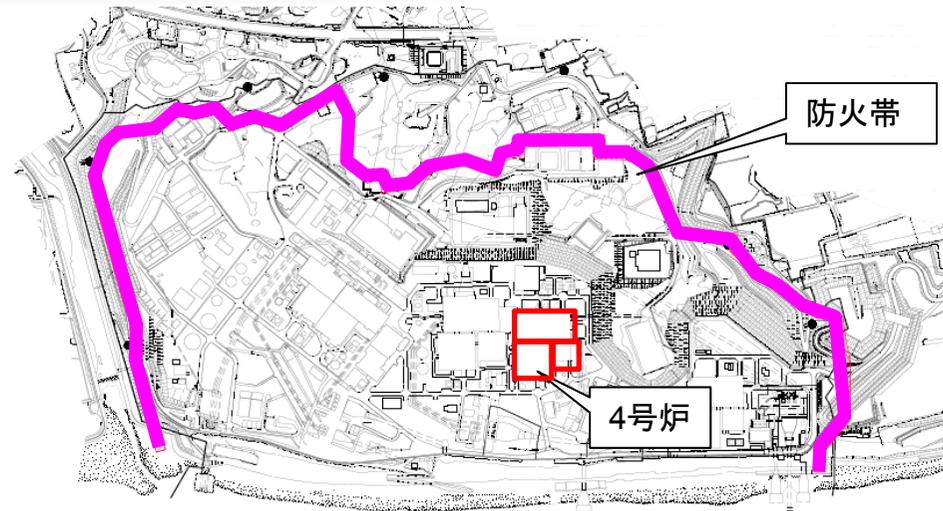
- ・海水取水ポンプ及び周辺の配管等に対する飛来物防護対策(防護鉄板及び防護ネット等)

# 外部火災

- 外部火災の影響評価の対象事象について、原子炉施設への影響を評価

## 【対象事象】

- ① 発電所敷地外での出火を想定した森林火災
- ② 発電所近隣の産業施設での火災爆発
- ③ 発電所敷地内の危険物タンクの火災
- ④ 航空機落下確率が $10^{-7}$ 回/炉・年以上となる範囲に落下した航空機による火災



## 【評価】影響評価対象事象による原子炉施設への影響がないことを確認

対象事象	影響評価
① 森林火災	発電所敷地外での森林火災発生を想定した場合であっても、防火帯の設置※により、原子炉施設の安全性が損なわれることはない ※森林火災の影響を防ぐためのエリア(帯状の地域、幅21m×長さ約3.2km)
② 近隣産業施設の火災爆発	発電所近隣の産業施設の火災爆発を想定しても、原子炉施設の安全性が損なわれることはない
③ 敷地内タンク火災	発電所敷地内の危険物タンクの火災を想定しても、原子炉施設の安全性が損なわれることはない
④ 航空機落下による火災	航空機の落下による火災に対して、原子炉施設の安全性が損なわれることはない

# 内部火災

## ■ 火災により原子炉施設の安全性が損なわれないよう、以下の3つの対策を実施

### ①火災発生防止

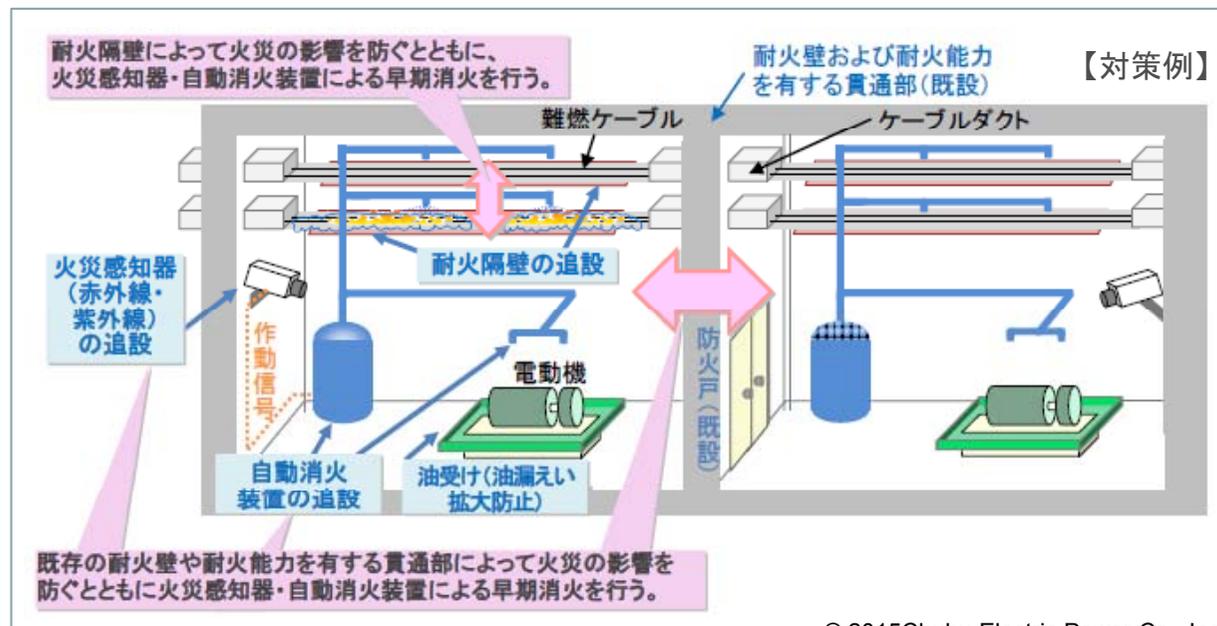
- 発火性又は引火性物質を内包する系統・・・漏えい防止対策等を行うよう設計
- 電気機器等・・・系統の地絡，短絡等に起因する過電流による過熱を防止するよう設計  
可能な限り難燃ケーブルを使用

### ②火災感知及び消火

- 火災感知器・自動消火設備を追設

### ③火災の影響軽減

- 火災区域等及び隣接する火災区域等における火災による影響に対し，耐火隔壁の追設等を実施



# 内部溢水

## 【新規基準の要求事項】

- 原子炉施設内において溢水が発生した場合においても安全機能を損なわないこと
- 配管等の破損によって、放射性物質を含む液体があふれでた場合において、その液体が管理区域外へ漏えいしないこと

## 【想定事象】

- 配管等の損傷等，原子炉施設内部での溢水事象（地震に起因するものを含む）

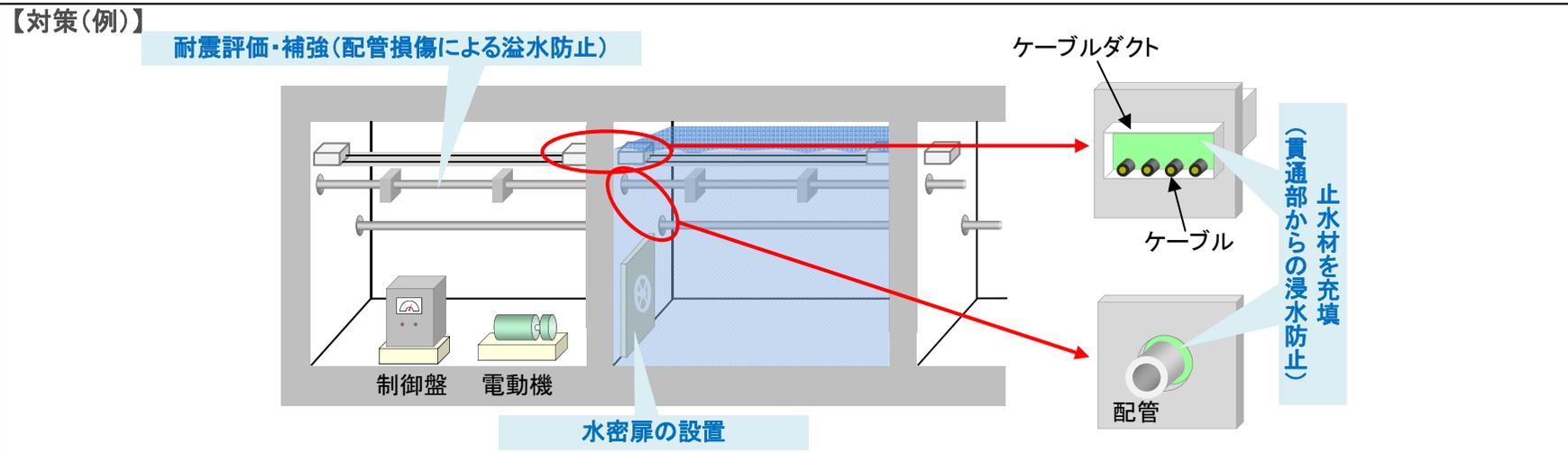
## 【対策（例）】

### <安全機能>

- 水密扉の設置(27枚)
- 配管等の壁貫通部からの浸水防止対策
- 配管等の耐震評価，補強

### <流出防止>

- 放射性物質を含む溢水の管理区域外への流出防止（管理区域との境界の障壁等を設置）



# 設計基準事故対策の審査の状況(全般(1/2))

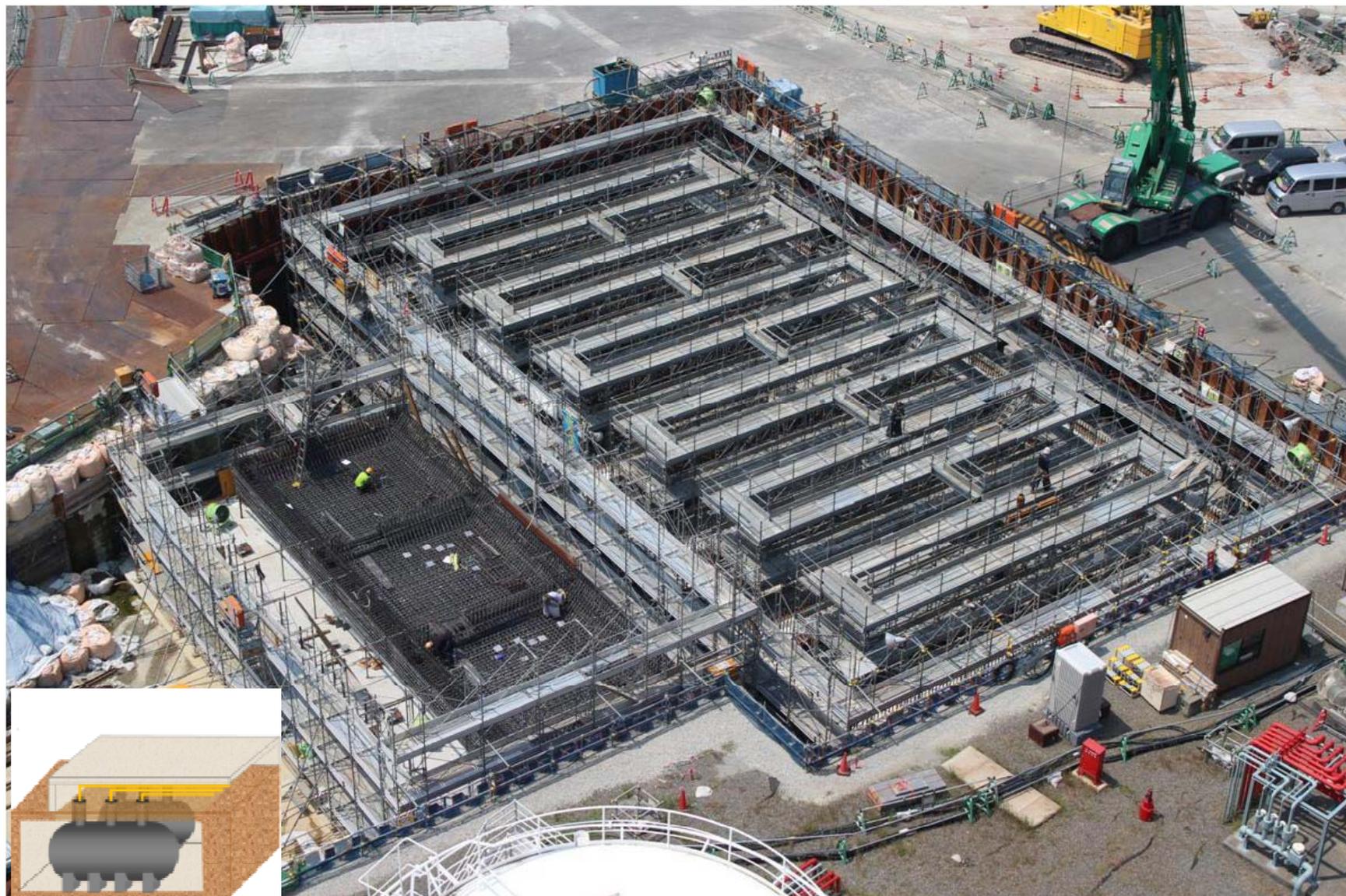


- 竜巻については、設定竜巻の最大風速を100m/sとしていることに対しコメントはなかった。
  
- 外部火災対策については、自他社審査状況を踏まえ、
  - ・重大事故等対処設備が防火帯の内側に設置されるように防火帯の位置を変更
  - ・火災防護対象設備への影響軽減のため、軽油タンクを地下化等の対応を取っている。  
熱影響評価の解析の保守性他について、コメント対応中である。

## 設計基準事故対策の審査の状況(全般(2/2))

- 内部火災対策については、火災の「発生防止」「感知・消火」「影響軽減」について、基準適合性を説明している。審査では、起動停止時及び定期検査中の格納容器内がN<sub>2</sub>置換されていない期間における格納容器内の火災防護対策について議論があった。仮設の火災感知器を設置するとともに、設置された限られた可燃物を的確に管理することで火災の発生を防止できると説明した。
  - 内部溢水対策については、想定される溢水により、原子炉建屋内の安全機能を損なうことがないこと、また放射性物質を内包する液体が、建屋外に伝播しないことを確認していることを説明した。審査では評価対象物の網羅性や評価の保守性についてコメントがあった。
- ⇒ 設計基準事故対策全般にわたり、大きな方針変更を要する状況にはない。

# 軽油タンクの地下化



(工事後イメージ)

## (2) 重大事故等対策

- 重大事故等対策の審査の進め方
- PRA、事故シーケンス選定、有効性評価
- 原子炉格納容器圧力逃がし装置(格納容器フィルタベント系)
- 水素爆発による原子炉建屋等損傷防止対策
- 中央制御室
- 緊急時対策所

# 重大事故等対策の審査の進め方



■以下の項目はシーケンシャルに関連しているため、付番順に審査を進めている。

1)PRAの実施

2)事故シーケンス選定

3)有効性評価

また、新たな解析コード、使用実績のある解析コードの有効性評価への適用の妥当性について審査で確認している。

■有効性評価後に重大事故等対策に係る設備と運用の審査を行うこととしているが、福島事故を踏まえ、「原子炉格納容器圧力逃がし装置(格納容器フィルタベント設備)」と「水素爆発による原子炉建屋等損傷防止対策」については、先行して設備と運用の審査を進めている。

■設計基準対象施設でもある「中央制御室」「緊急時対策所」については、個別に審査を進めている。

# PRA、事故シーケンス選定、有効性評価(1/7)

## 事故シーケンス選定

審査ガイドに基づき重大事故等対策等の有効性評価を行うにあたって想定する重要事故シーケンスを選定

## PRA等

### 個別プラントに対する評価

⇒ 設計基準対象施設のみを考慮したプラントをモデルとした確率論的リスク評価(PRA)を活用

- ・内部事象: レベル1PRA
- ・外部事象※1: 地震、津波PRA

※1 地震、津波以外の外部事象に対しては、現時点ではPRAの適用が難しいため、定性的な検討を行うことで概略評価を実施

## 技術的能力等

大規模損壊対策も含め、発電所内における使用可能な設備・機器を活用して影響緩和を図ることを検討し、整備する手順や体制の妥当性を確認

### (a) 必ず想定する事故シーケンスグループ

- 高圧・低圧注水機能喪失
  - 高圧注水・減圧機能喪失
  - 全交流動力電源喪失
  - 崩壊熱除去機能喪失
  - 原子炉停止機能喪失
  - 格納容器バイパス  
(インターフェイスシステムLOCA)
  - LOCA時注水機能喪失
- 〈炉心損傷防止が困難なもの〉  
大LOCA+ECCS注水失敗

### (b) 個別プラント評価により抽出した事故シーケンスグループ

- 津波浸水による全注水機能喪失

- 建屋・構造物損傷
- 計装・制御故障
- 直流電源喪失
- 大規模なLOCA等

※2 全炉心損傷頻度への寄与及び影響度の観点から、新たな事故シーケンスグループとしての追加は不要と判断

### 炉心損傷防止対策の有効性評価にて確認

事故シーケンスグループ毎に以下の着眼点で重要事故シーケンスを選定

- ・系統間機能依存性
- ・余裕時間
- ・設備容量
- ・代表シーケンス(炉心損傷頻度寄与割合)

### 格納容器破損防止対策の有効性評価にて確認

国内外の先進的な対策を考慮しても炉心損傷防止対策が困難なものであるため、格納容器破損防止対策に期待する(格納容器破損防止対策におけるシーケンス選定にて扱う)

## 有効性評価

重大事故等が発生した場合においても、影響を緩和し、事象を収束させる設備や手順が整備されていることを評価・確認

# PRA、事故シーケンス選定、有効性評価(2/7)

事故シーケンスグループ別

事象(内部/外部)別

## ■レベル1PRAの評価結果

- 全炉心損傷頻度 : 1.2E-05/炉年

## ■事故シーケンスグループ別の寄与割合

- 津波により直接的に炉心損傷に至る事象(「津波浸水による全注水機能喪失」)の寄与割合が約61%と支配的
  - ・津波浸水による全注水機能喪失 : 約61%
  - ・崩壊熱除去機能喪失 : 約22%
  - ・全交流動力電源喪失 : 約15%

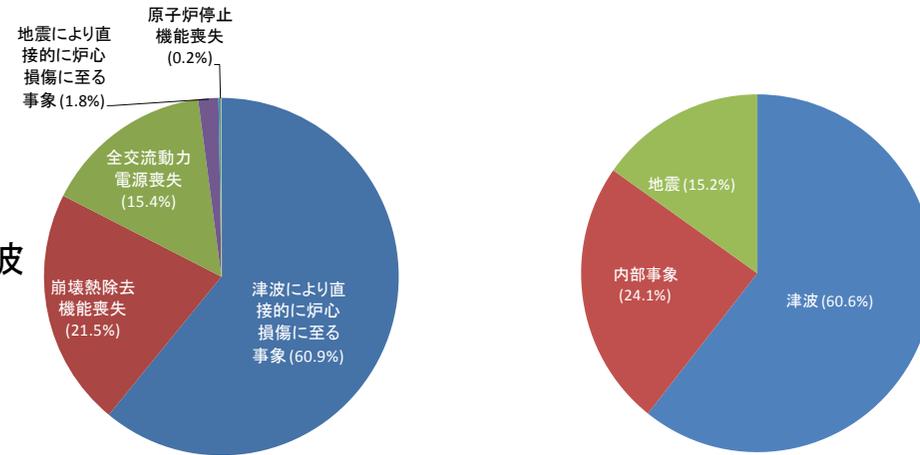
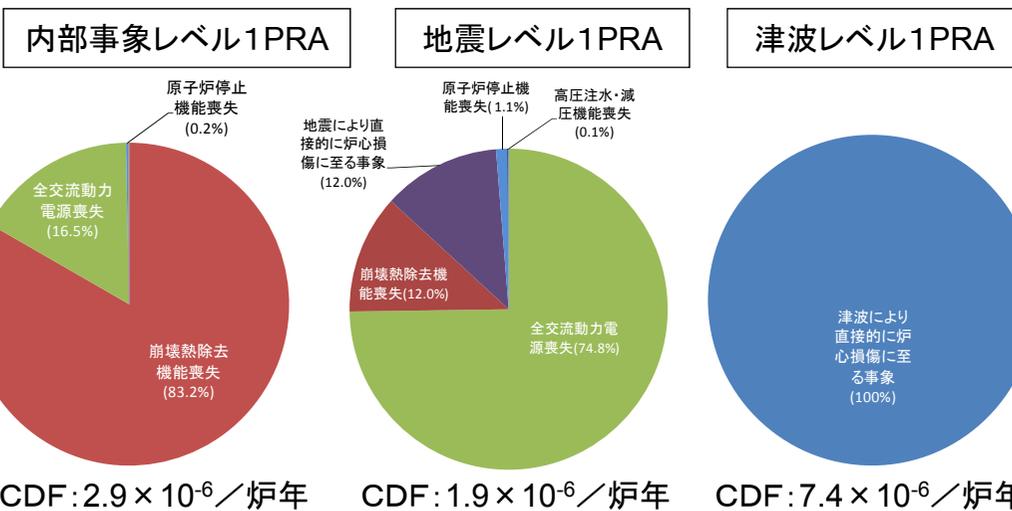


図 レベル1PRAの炉心損傷頻度

## ■事象(内部事象/地震/津波)別の寄与割合

- 津波の寄与割合が約61%と支配的
  - ・津波レベル1 : 約61%
  - ・内部事象レベル1 : 約24%
  - ・地震レベル1 : 約15%



CDF:  $2.9 \times 10^{-6}$ /炉年

CDF:  $1.9 \times 10^{-6}$ /炉年

CDF:  $7.4 \times 10^{-6}$ /炉年

- レベル1PRAの結果より、「津波浸水による全注水機能喪失」の対策をとることがリスク低減の観点から最も重要であり、次に「崩壊熱除去機能喪失」、「全交流動力電源喪失」の対策が重要である

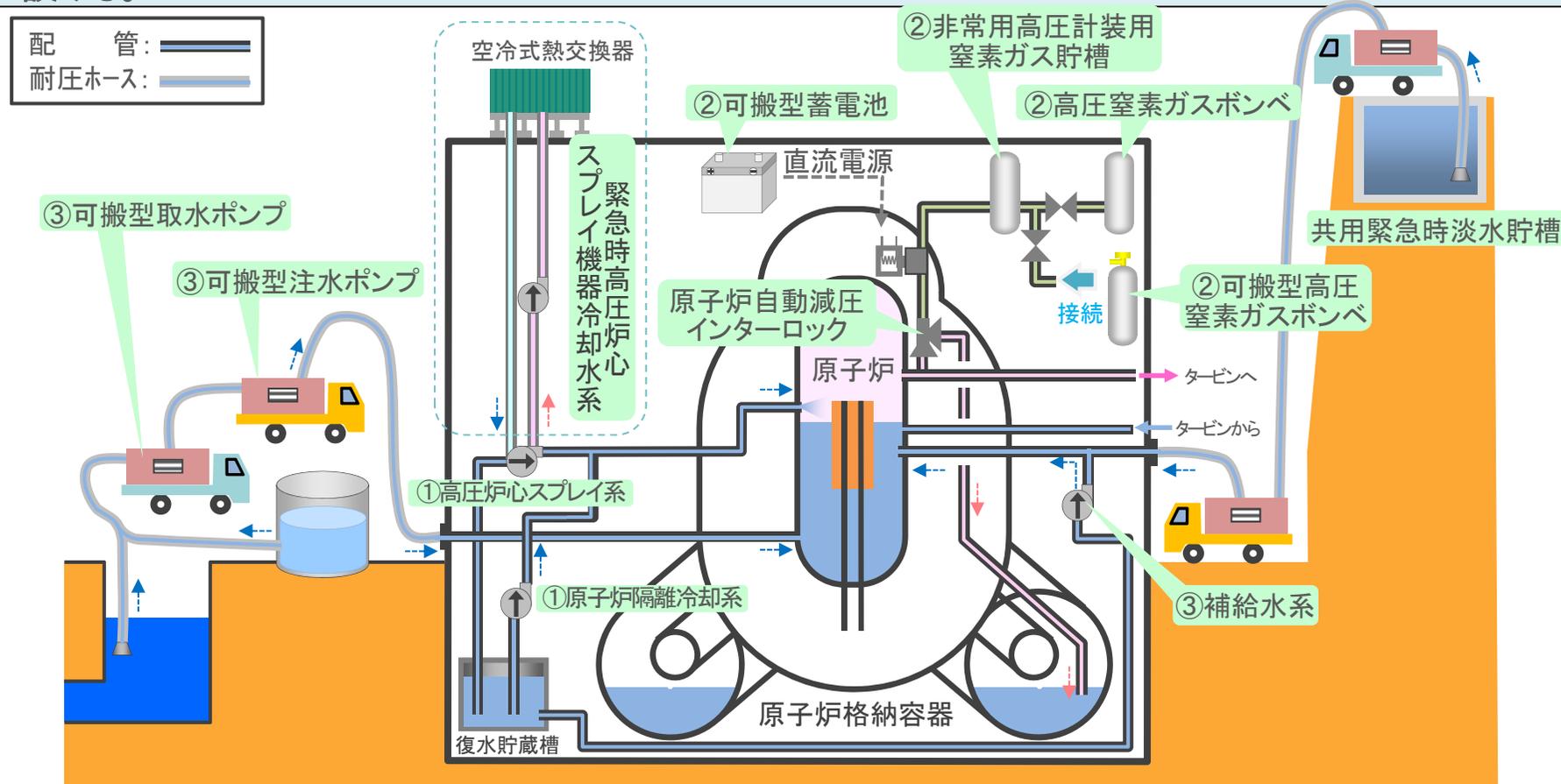
図 事故シーケンスグループ別の寄与割合(個別PRA)

# PRA、事故シーケンス選定、有効性評価(3/7)

## ～炉心冷却機能に係る対策(重大事故等対応)

■ 重大事故等対策では、設計基準対象施設の機能が喪失することを仮定して、炉心損傷に至る事象の想定を行い、これら事象に対する対策を講じて、炉心損傷を防止する。

⇒ 炉心損傷を防ぐための炉心冷却では、設計基準事故対策である非常用炉心冷却系等の高圧・低圧注水機能の喪失を仮定し、①代替電源・代替冷却により機能を復旧させた原子炉隔離冷却系、高圧炉心スプレイ系等で構成される原子炉高圧代替注水系、②可搬型蓄電池、可搬型高圧窒素ガスポンプ等で構成される原子炉代替減圧系および③補給水系、可搬型注水設備等で構成される原子炉低圧代替注水系を設ける。



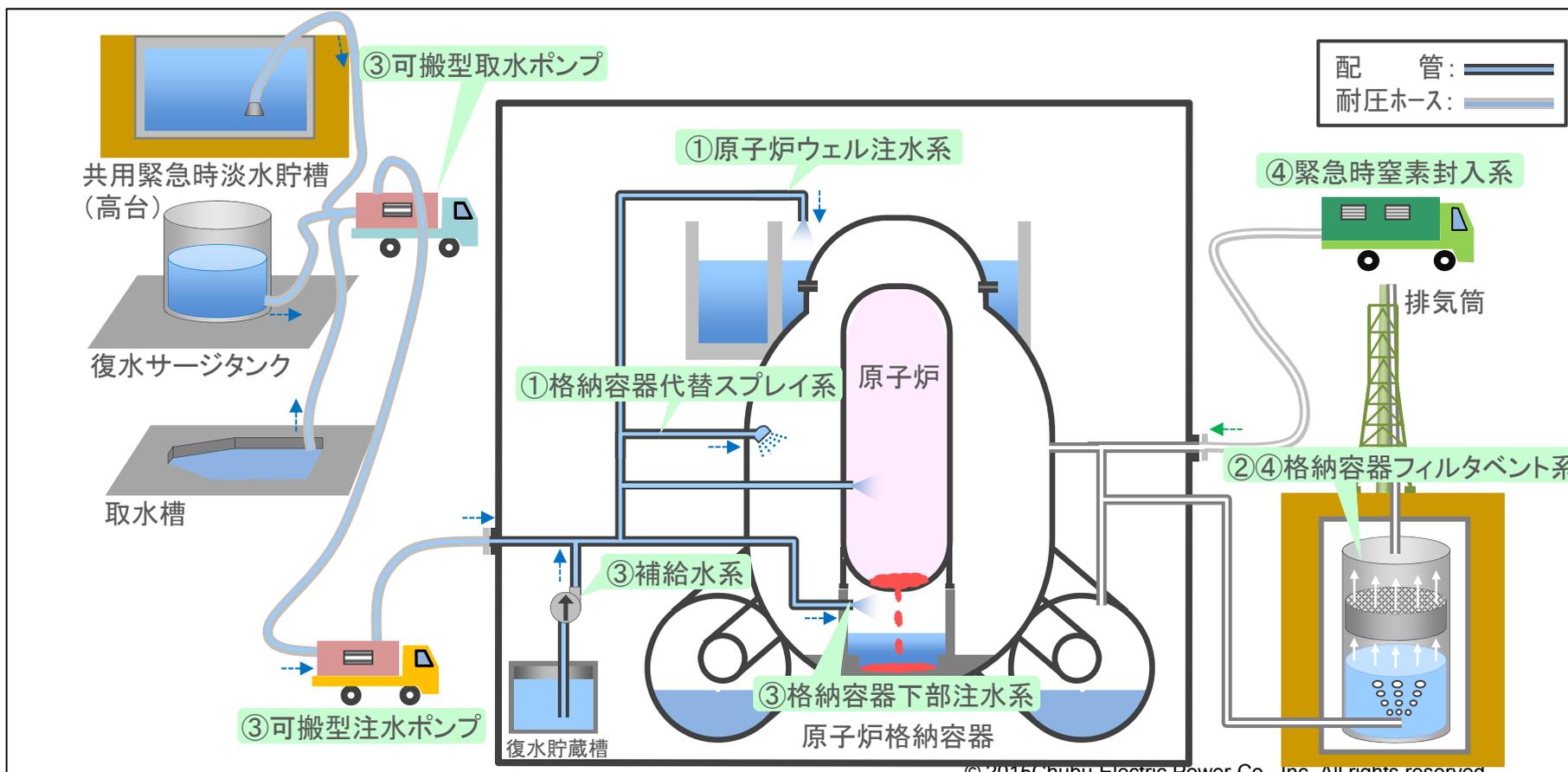
# PRA、事故シーケンス選定、有効性評価(4/7)

## ～格納容器破損防止対策(原子炉格納容器の健全性維持)～



■炉心損傷防止対策を図るものの、さらに、炉心が損傷して、格納容器破損に至る事象の想定を行い、これら事象に対する対策を講じて、格納容器破損を防止する。

⇒格納容器の健全性維持のため、①格納容器代替スプレイ系および原子炉ウェル注水系で構成される格納容器代替冷却系、②格納容器フィルタベント系等で構成される格納容器過圧破損防止系、③補給水系、可搬型注水設備等で構成される格納容器下部注水系、④格納容器フィルタベント系および緊急時窒素封入系で構成される格納容器水素燃焼防止系を設ける。



# PRA、事故シーケンス選定、有効性評価(5/7)



## 【炉心損傷防止対策】

事故シーケンスグループ		評価対象事故シーケンス	主な重大事故等対処設備等	評価結果の概要
高圧・低圧注水機能喪失 (TQUV)		全給水喪失 + 高圧注水機能喪失 + 低圧注水機能喪失	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子炉高圧代替注水系 (HPCS+EHPCCW)※<sup>1</sup></li> <li>原子炉低圧代替注水系 (補給水系)</li> <li>格納容器代替スプレイ系</li> <li>格納容器フィルタベント系</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>燃料被覆管の最高温度のが1,200℃以下</li> <li>燃料被覆管の酸化量は、酸化反応が著しくなる前の被覆管厚さの15%以下</li> </ul>
高圧注水・減圧機能喪失 (TQUX)		全給水喪失 + 高圧注水機能喪失 + 原子炉減圧機能喪失	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子炉代替減圧機能 (原子炉自動減圧インターロック)</li> <li>原子炉高圧代替注水系 (HPCS+EHPCCW)※<sup>1</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>[TQUV]約890℃※<sup>3</sup>/1%以下</li> <li>[TQUX]約641℃/1%以下</li> <li>[TB,TW]初期値を上回らない/1%以下</li> </ul>
全交流動力電源喪失 (TB)		外部電源喪失 + 非常用ディーゼル発電機 / 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機 機能喪失	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子炉隔離冷却系</li> <li>原子炉低圧代替注水系 (補給水系)</li> <li>格納容器代替スプレイ系</li> <li>格納容器フィルタベント系</li> <li>所内125V蓄電池</li> <li>緊急時ガスタービン発電機</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>[TC]約1027℃※<sup>4</sup>/1%以下</li> <li>[LOCA]約1088℃※<sup>3</sup>/約11%</li> <li>[ISLOCA]初期値を上回らない/1%以下</li> <li>原子炉冷却材圧力バウンダリにかかる圧力が最高使用圧力の1.2倍の圧力(10.34MPa[g])を下回る</li> </ul>
崩壊熱除去機能喪失 (TW)	取水機能喪失時(TW1)	外部電源喪失 + 原子炉機器冷却水系 機能喪失(海水取水機能喪失)	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子炉隔離冷却系</li> <li>原子炉高圧代替注水系 (HPCS+EHPCCW)※<sup>1</sup></li> <li>緊急時海水取水系</li> <li>緊急時ガスタービン発電機</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>[TC]約9.48MPa[g]※<sup>4</sup></li> <li>[TC以外]約7.38MPa[g]※<sup>5</sup></li> <li>原子炉格納容器バウンダリにかかる圧力が最高使用圧力(427kPa[g])又は限界圧力(854kPa[g])を下回る</li> </ul>
	余熱除去系故障時(TW2)	外部電源喪失 + 余熱除去系機能喪失	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子炉隔離冷却系</li> <li>原子炉高圧代替注水系 (HPCS+EHPCCW)※<sup>1</sup></li> <li>格納容器代替スプレイ系</li> <li>格納容器フィルタベント系</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子炉格納容器バウンダリにかかる温度が最高使用温度(DW:171℃,S/C:104℃)又は限界温度(200℃)を下回る</li> </ul>
原子炉停止機能喪失 (TC)		主蒸気隔離弁誤閉止 + スクラム失敗	<ul style="list-style-type: none"> <li>再循環ポンプトリップ系</li> <li>ほう酸水注入系</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>[TQUV,TB,TW2,LOCA]約427kPa[g] / 約154℃※<sup>6</sup></li> <li>[TQUX,ISLOCA]限界圧力・温度より十分低い</li> <li>[TW1] 約44kPa[gage] / 約85℃※<sup>6</sup></li> </ul>
LOCA時注水機能喪失 (LOCA)		小破断LOCA + 高圧注水機能喪失 + 低圧注水機能喪失	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子炉高圧代替注水系 (HPCS+EHPCCW)※<sup>1</sup></li> <li>原子炉低圧代替注水系 (補給水系)</li> <li>格納容器代替スプレイ系</li> <li>格納容器フィルタベント系</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>[TC] 約322kPa[g] / 約134℃※<sup>4,7</sup></li> <li>※3原子炉低圧代替注水系 (補給水系)の場合</li> <li>※4MOX燃料装荷時の値</li> </ul>
格納容器バイパス (インターフェイスシステムLOCA)		インターフェイスシステムLOCA (ISLOCA)	漏えいの検知及び漏えい箇所の隔離	<ul style="list-style-type: none"> <li>※5原子炉圧力。圧力容器底部圧力との差(高々0.3MPa)を考慮しても、基準を満足すると評価</li> </ul>
津波浸水による全注水機能喪失 <sub>2</sub>		津波浸水による全注水機能喪失※	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子炉建屋等に対する浸水対策</li> <li>緊急時海水取水系</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>※6格納容器雰囲気温度</li> <li>※7サプレッションプール水温度</li> </ul>

※1: 高圧炉心スプレイ系(HPCS)については、高圧炉心スプレイ機器冷却系の海水系の取水機能喪失、高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機の故障等により、その機能が喪失している場合には、緊急時ガスタービン発電機による給電を実施し、緊急時高圧炉心スプレイ機器冷却系(EHPCCW)を用いて高圧炉心スプレイポンプを冷却することにより復旧する

※2 評価条件は、崩壊熱除去機能喪失(取水機能喪失時)の方が保守的なため、その結果を適用

# PRA、事故シーケンス選定、有効性評価(6/7)



## 【格納容器破損防止対策】

格納容器破損モード	評価対象事故シーケンス	主な重大事故等対処設備等	評価結果の概要
雰囲気圧力・温度による 静的負荷 (格納容器過圧・過温破損)	大破断LOCA+高圧注水機能喪失 +低圧注水機能喪失	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子炉低圧代替注水系(補給水系)</li> <li>格納容器代替スプレイ冷却系</li> <li>原子炉ウェル注水系</li> <li>格納容器下部注水系</li> <li>格納容器フィルタベント系</li> <li>緊急時ガスタービン発電機</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子炉格納容器圧力バウンダリに係る圧力及び雰囲気温度は、限界圧力(854kPa [gage])及び限界温度(200°C)を概ね下回る</li> <li>[全シーケンス共通] 約854kPa[gage]</li> <li>[大LOCA(RPV健全)] 約189°C</li> <li>[大LOCA(RPV破損)] 約195°C</li> <li>[TQUV(RPV破損)] 約187°C</li> </ul>
	全給水喪失+高圧注水機能喪失 +低圧注水機能喪失(※)		
	大破断LOCA+高圧注水機能喪失 +低圧注水機能喪失(※)		
高圧溶融物放出/ 格納容器雰囲気直接加熱	全給水喪失+高圧注水機能喪失 +原子炉減圧機能喪失(※)	・主蒸気逃がし安全弁による原子炉減圧	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子炉圧力容器破損までに原子炉冷却材圧力は2.0MPa以下に低減される</li> <li>[TQUV(RPV破損)] 約0.5MPa[gage]</li> </ul>
原子炉圧力容器外の溶融燃料 -冷却材相互作用	全給水喪失+高圧注水機能喪失 +低圧注水機能喪失(※)	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>溶融炉心が原子炉格納容器下部へ落下する際の圧力上昇(圧カスパイク)は限界圧力に対して低く、原子炉格納容器の健全性に影響を与えない</li> </ul>
水素燃焼	全給水喪失+高圧注水機能喪失 +低圧注水機能喪失	・原子炉格納容器の不活性化	<ul style="list-style-type: none"> <li>酸素濃度(ドライ条件)は5%以下であり、水素の爆轟に至ることはない</li> <li>[TQUV(RPV健全)]</li> <li>D/W: 約3.4vol.%, S/C: 約3.3vol.%</li> </ul>
格納容器直接接触 (シェルアタック)	(原子炉圧力容器から落下した溶融炉心が原子炉格納容器バウンダリに直接接触することはない構造)		
溶融炉心・コンクリート 相互作用	大破断LOCA+高圧注水機能喪失 +低圧注水機能喪失(※)	・格納容器下部注水系	<ul style="list-style-type: none"> <li>溶融炉心によるコンクリートの侵食は抑制され、格納容器の構造部材の支持機能は喪失しない</li> <li>[大LOCA(RPV破損)] 約0.23m</li> </ul>

※原子炉圧力容器破損に至る事象を想定するため、重大事故等対策である原子炉低圧代替注水系(補給水系)等の注水を実施しない

## < 審査の状況 >

- PRA、重要事故シーケンスの選定については、資料の説明が終わり、耐震班の同席が必要な地震PRA・津波PRAを除き、一通りのコメント回答を終了した。ただし、有効性評価のコメントや設備の審査状況を踏まえ、必要に応じて再度確認がなされる可能性がある。
- 有効性評価については、炉心損傷防止対策、格納容器破損防止対策、燃料プールにおける燃料損傷防止対策、運転停止中の燃料損傷防止対策に関し、一通り資料説明を終了し、コメント回答準備中である。

### 【主なコメント】

- 解析条件の妥当性(厳しい想定となっているか)
- 要員確保、現場状況、アクセス性等を踏まえた対策成立性の根拠
- 隣接号炉における同時発災を考慮した、現場対応の成立性及び対策要員、資機材等の十分性
- 長期にわたる安定状態の達成見通し
- 解析コード、運転員操作等の不確かさの影響



# 原子炉格納容器圧力逃がし装置 (格納容器フィルタベント系)

## ■ 除去性能試験

AREVA社製のベントフィルタ(フィルタ装置)は、AREVA社により大規模な試験装置を用いて、実機使用条件を考慮した除去性能試験(JAVA試験、JAVA PLUS試験)を行い、粒子状物質(エアロゾル)に対して99.9%(DF1,000)以上、ガス状無機よう素に対して99.8%(DF500)以上、ガス状有機よう素に対して98%(DF50)以上の除去効率が得られることを確認している。

- JAVA試験 粒子状物質(エアロゾル)およびガス状無機よう素の除去性能試験
- JAVA PLUS試験 ガス状有機よう素の除去性能試験

(DF: 除去係数)



JAVA PLUS試験装置(ドイツ カールシュタイン)

参考: OECD Nuclear Energy Agency (2014), "Status report on Filtered Containment Venting", NEA/CSNI/R(2014)7.

## 除去性能試験の結果

試験	年	試験物質	試験条件			除去効率[%] (DF)
			圧力 [kPa abs]	温度 [°C]	蒸気割合 [%]	
JAVA 試験	1989- 1990	硫酸バリウム (エアロゾル)	160-1,000	75-192	0-100	99.992-99.999 (12,500-100,000)
		酸化スズ (エアロゾル)	180-610	90-200	0-100	99.997-99.999 (33,333-100,000)
		ウラン (エアロゾル)	200-600	98-119	0	99.997-99.999 (33,333-100,000)
		無機よう素	160-1,000	140-160	30-100	99.0-99.9*1 (100-1,000)*1
JAVA PLUS 試験	2012- 2013	有機よう素	150-800	80-170	50-95	>98 (>50)

\*1: ベンチュリスクラバ単体での除去効率を示す。実際の設備では、ベンチュリスクラバとよう素除去フィルタで構成されるため、無機よう素の除去効率は、ベンチュリスクラバ除去効率(DF100以上)×よう素除去フィルタ除去効率(DF50以上)=DF5,000以上となり、DF500以上の除去効率が得られる。

圧力は、1[bar abs]=100[kPa abs]として換算した。

参考: OECD Nuclear Energy Agency (2014), "Status report on Filtered Containment Venting", NEA/CSNI/R(2014)7.

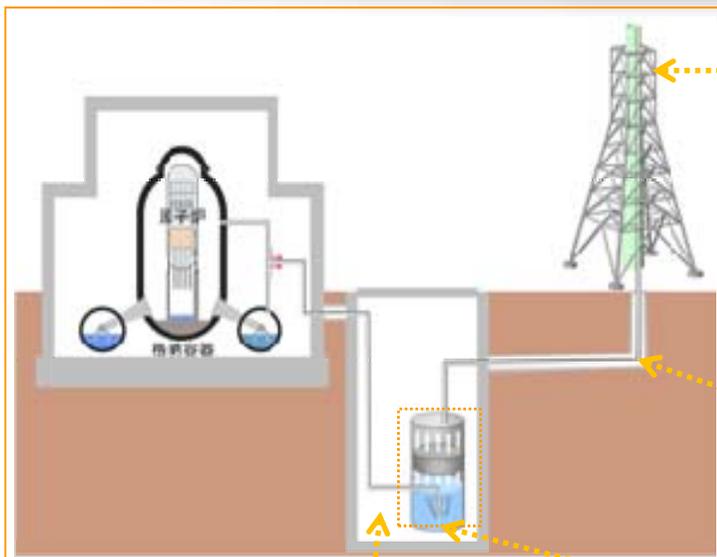
# 原子炉格納容器圧力逃がし装置 (格納容器フィルタベント系)



## < 審査の状況 >

- 審査会合では以下の観点のコメントがあった。
  - 格納容器からの分岐部の弁構成及び配管形状
  - 除去性能試験結果の検証
  - スクラビング水の水質管理方法
  - ベント配管の系統設計、配置設計の妥当性
  - ヨウ素除去装置について
  - ベント開始の判断基準について
  - ベント時の監視について
  - ベント設備の保守管理の考え方 等

# 原子炉格納容器圧力逃がし装置 (格納容器フィルタベント系)



配管トンネル



排気筒に沿わせた排気ライン  
(工事中)



ベントフィルタ格納槽



4号機ベントフィルタ本体  
(高さ:約11m、幅:約5m)

# 水素爆発による原子炉建屋等損傷防止対策

＜水素対策における深層防護の考え方＞



## 水素発生防止対策

設計基準対処設備による炉心損傷防止

非常用炉心冷却系等

重大事故等対処施設による著しい炉心損傷防止

代替高圧注水系、代替低圧注水系等

## 格納容器水素漏えい防止

格納容器の冷却強化

格納容器代替スプレイ系

原子炉ウェル注水系

格納容器フランジシール材耐性強化



格納容器から原子炉建屋に異常な水素漏えいがある場合

格納容器水素漏えいの抑制

(原子炉格納容器の保護)

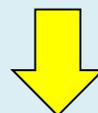
格納容器内水素の排出

格納容器フィルタベント系

## 原子炉建屋水素爆発防止

原子炉建屋内水素の排出

非常用ガス処理系



非常用ガス処理系による水素排出ができない場合

放射性物質拡散の抑制

原子炉建屋内水素の排出

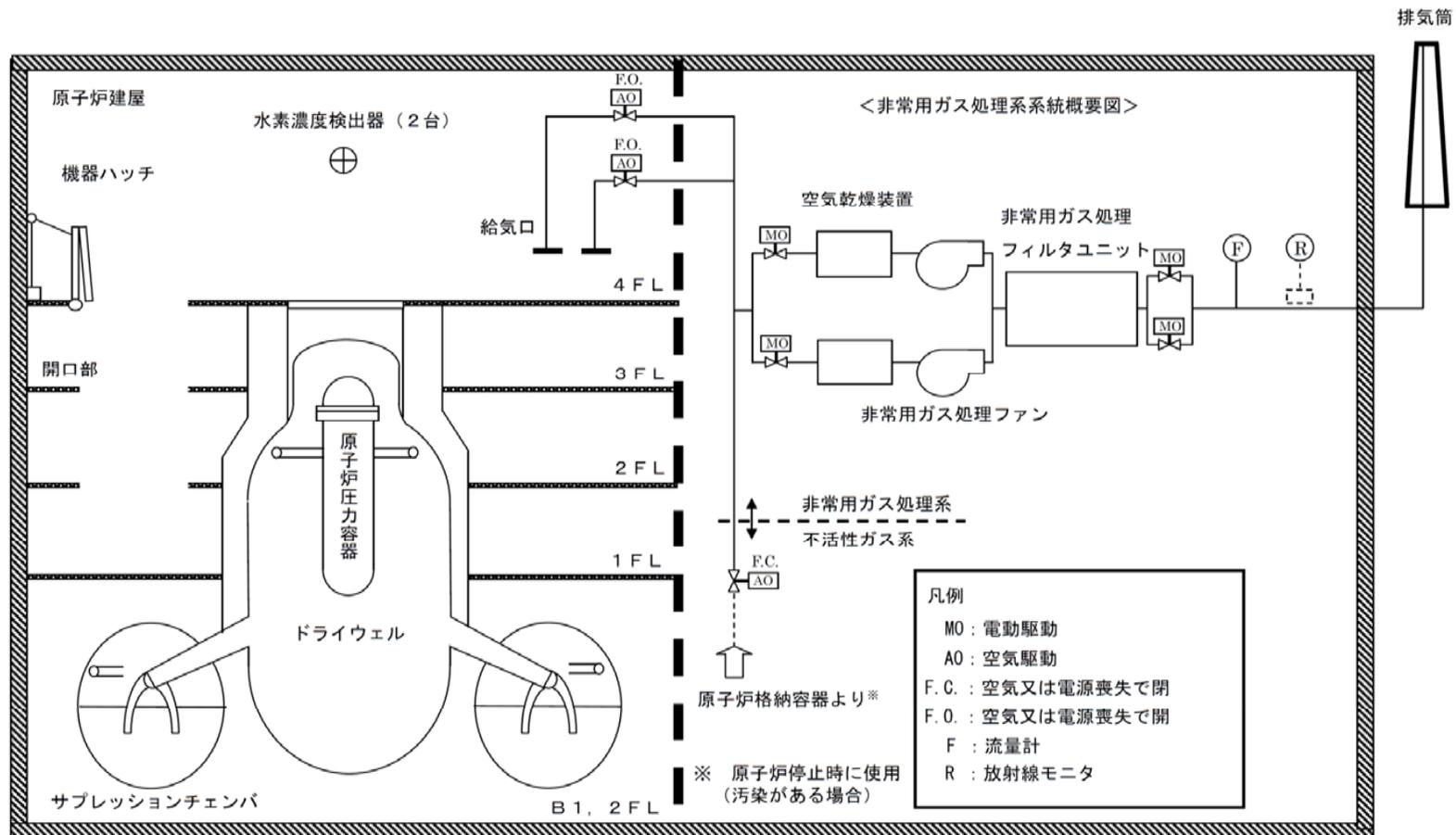
原子炉建屋ベント系

事象進展

# 水素爆発による原子炉建屋等損傷防止対策 <非常用ガス処理系等の活用>

- 炉心の著しい損傷が発生した場合，原子炉格納容器から漏れいする水素の爆発による原子炉建屋等の損傷を防止するため，非常用ガス処理系等を活用した原子炉建屋水素燃焼防止系を設置

【構成】非常用ガス処理系及び原子炉建屋内水素ガス濃度計



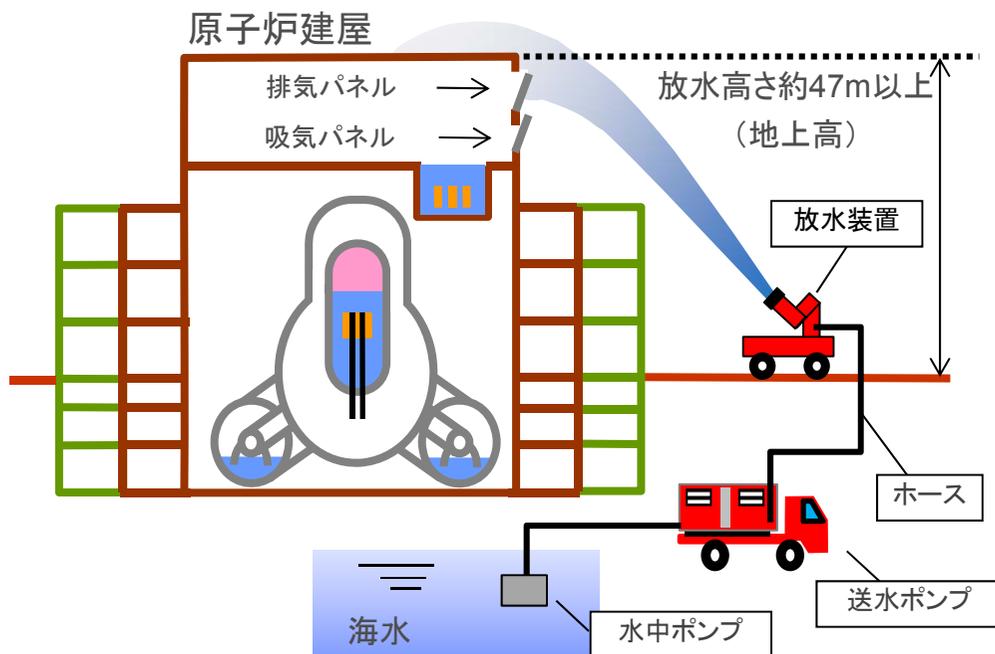
# 水素爆発による原子炉建屋等損傷防止対策

## <原子炉建屋ベント系他>

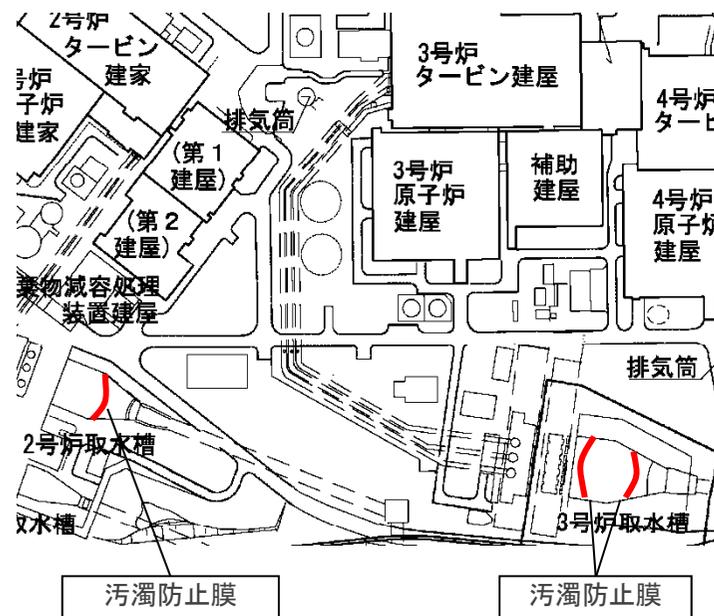
■ 非常用ガス処理系が有効に機能しない場合を想定しても、原子炉建屋から水素を排出する設備として、原子炉建屋ベント系を設置する。原子炉建屋ベント系は、可搬型原子炉建屋放水設備等と併用することで、発電所敷地外への放射性物質の拡散を抑制する。

- **原子炉建屋ベント系**： 原子炉建屋ベント吸気パネル・原子炉建屋ベント排気パネル
  - ・原子炉建屋外壁に設置したパネルを開放し、下記放水設備と連携して、原子炉建屋からの放射性物質の拡散を抑制
- **可搬型原子炉建屋放水設備**： 可搬型水中ポンプ、可搬型送水ポンプ、ホース、放水装置
  - ・代替水源(取水槽)から取水し、原子炉建屋開口部等へ放水(放水高さ 約47m以上(地上高))
- **可搬型海洋拡散抑制設備**： 汚濁防止膜
  - ・上記放水設備により原子炉建屋へ放水し、構内排水路等へ流れ込んだ放射性物質を含む水の海洋への拡散を抑制

【原子炉建屋ベント系,可搬型原子炉建屋放水設備】



【可搬型海洋拡散抑制設備】



# 水素爆発による原子炉建屋等損傷防止対策



## ＜審査の状況＞

- BWRの他3社は静的触媒式水素再結合器(PAR)を採用
- 当社は非常用ガス処理系(SGTS)を重大事故等対処設備に位置付け、SGTSにてR/B外に排出する設計である。
- 当社の方針に対し、審査では異論は出ていない。
- 水素が成層化し、水素濃度の濃淡が発生しないか、それに関連して、水素濃度測定器の設置位置は適切か、とのコメントが出ている。

⇒解析の結果、成層化することはなく、均一に拡散するとの評価結果及び水素濃度計設置位置の妥当性について、今後詳細に説明していく方針。

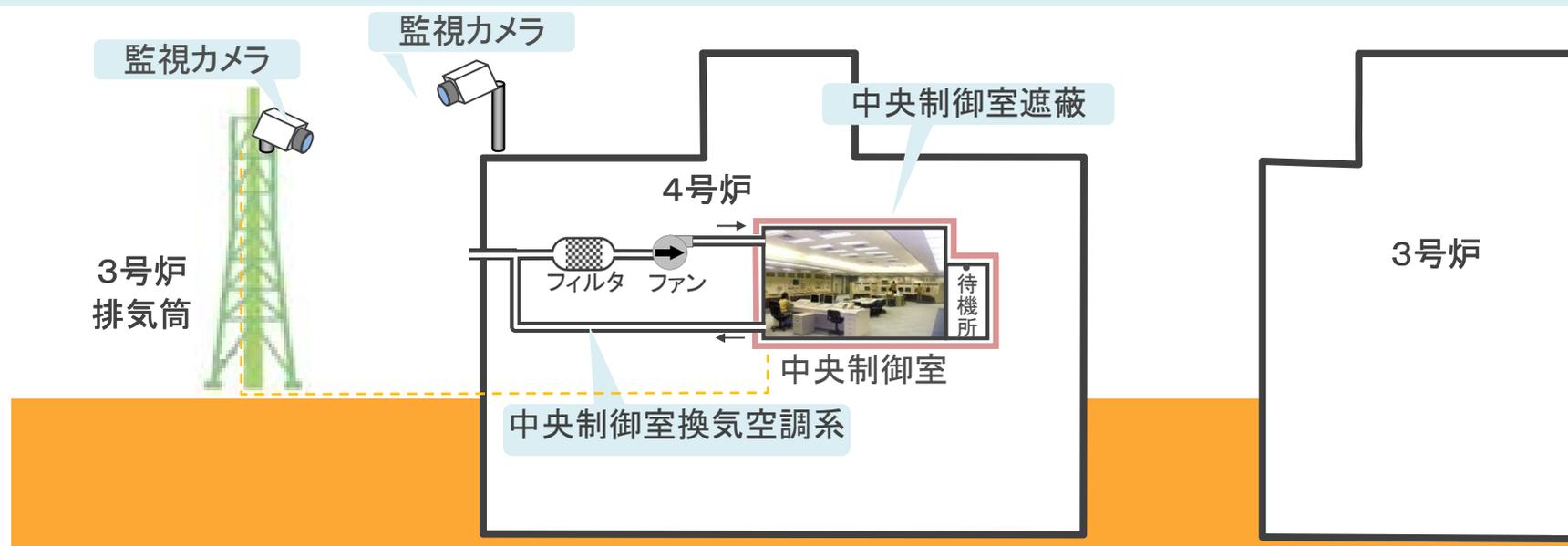
# 中央制御室

## 【屋外監視関係】

- 中央制御室から原子炉施設の外の状況を把握できるよう監視カメラを設置

## 【居住性確保】

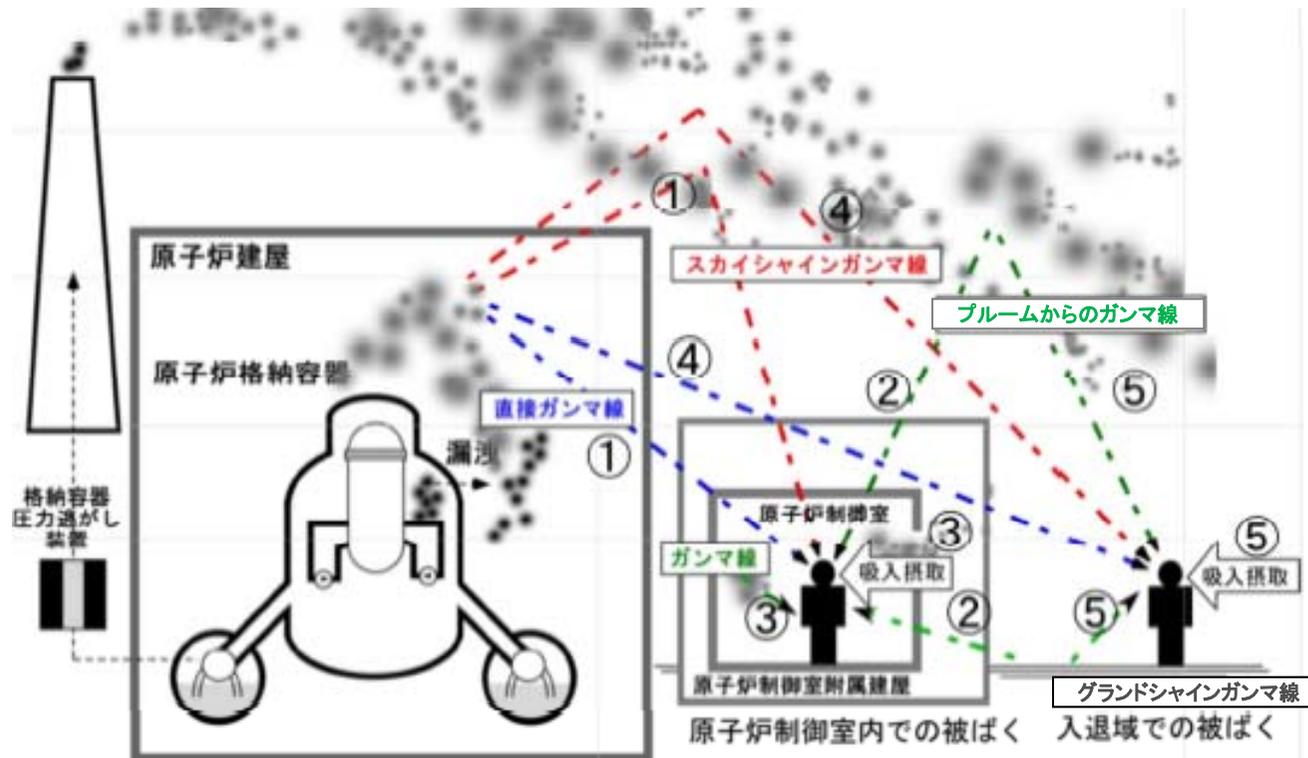
- 重大事故が発生した場合においても、中央制御室に運転員がとどまって、必要な操作、措置がとれる対策を実施
  - 中央制御室用の電源(空調, 照明等)は, 緊急時ガスタービン発電機から給電可能
  - 格納容器破損防止対策の有効性評価において, 被ばくの観点から厳しい事象(大破断LOCA(圧力容器破損))においても, 運転員の実効線量が7日間で100mSvを超えない設計
    - ・適切な換気設計及び遮蔽設計に加え, 格納容器フィルタベント時(放射性雲(以下、「プルーム」という)通過時)の待機所を設置
    - ・待機所では, 事故時の主要なパラメータが監視可能
  - 中央制御室への汚染の持ち込みを防止するため, モニタリング, 作業着の着替え等を行うための資機材配備及び手順整備



# 中央制御室<被ばく評価>

## <重大事故時の場合>

- 評価事象として、格納容器破損モードのうち中央制御室の運転員の被ばく評価が最も厳しくなる「大破断LOCA時注水機能喪失(原子炉圧力容器破損)」シーケンスを選定
- 評価結果: 7日間の実効線量はで約7.5mSvであり、判断基準(100mSv)を満足(中央制御室内での被ばくと入退域時の被ばく合計)

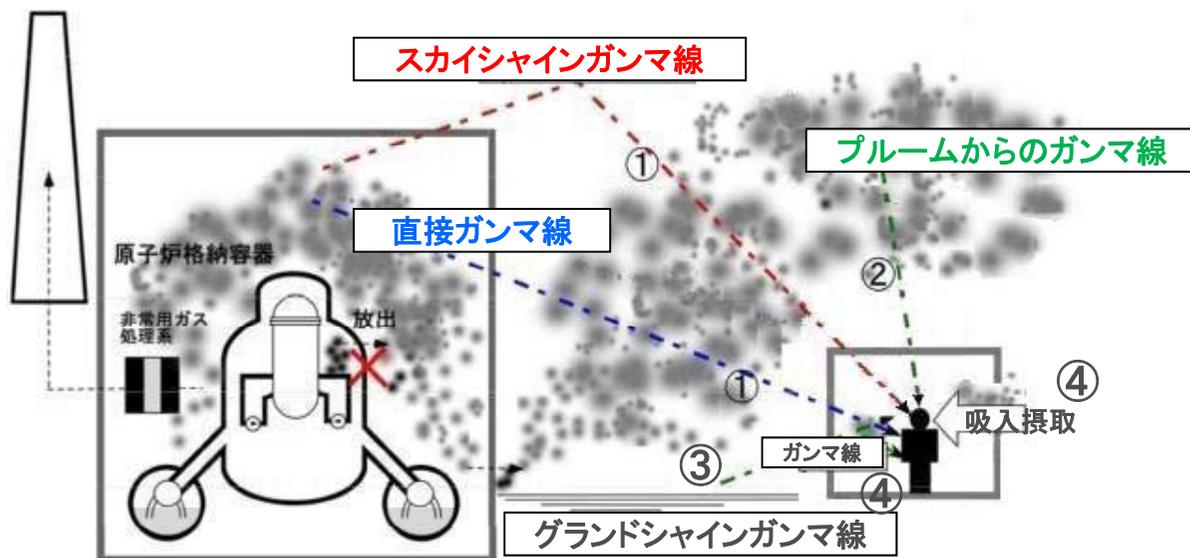


中央制御室の居住性(重大事故)に係る被ばく経路イメージ(審査ガイドより抜粋)



# 緊急時対策所<被ばく評価>

- 想定する事故は「福島第一原子力発電所事故と同等」とする
- 事故発生から24時間後に10時間放出継続、地上放出を仮定
- 換気設備の運転状態は事故後0～34時間は外気少量取込運転\*1、34～168時間は通常運転とする  
( \*1: プルーム通過時は通常運転時より外気取込量を低減させるとともに非常用フィルタ装置に通気することにより、緊対所内への放射性物質の流入を抑制する)
- 評価結果
  - 緊急時対策所の対策要員に及ぼす実効線量は7日間で約6.3mSvであり、判断基準(100mSv)を満足



緊急時対策所の居住性に係る被ばく経路イメージ(審査ガイドより抜粋)

## 中央制御室、緊急時対策所

### < 審査の状況 >

- 中央制御室のうち、監視装置についてカメラが使えない場合の代替設備、方法について再説明を求められた以外、コメントはなかった。  
居住性についても大きなコメントはなく、そのうち、被ばく評価については実施した風洞実験について、実環境を適切に模擬できているかという主旨のコメントがあった。
- 緊急時対策所についてはプルーム通過時、室内をボンベ加圧せず、換気設備による外気少量取込運転で対応する。  
原子炉建屋と適切な離隔距離があること等により、緊急時対策所に留まる人員の被ばく評価値は判断基準を満足することを説明している。  
設備に対しては換気設備の各運転モードの切替え等に関するコメントがあった。

### 3. 今後の審査について

# 今後の審査(主要な項目)について



今後、以下の項目、内容について審査が進められる予定。

## ■ 地震、津波等に関する事項

地質構造(コメント回答)他、基準地震動、基準津波、火山、地盤

## ■ プラントに関する事項

### ➤ 設計基準事故対策

- ・主要項目(竜巻(設計竜巻の設定、飛来物評価)、内部火災、外部火災、内部溢水):コメント回答
- ・耐震班関連項目(耐震設計、耐津波設計、火山、竜巻(施設防護対策)、地震PRA・津波PRA(コメント回答)他)

### ➤ 重大事故等対策

- ・PRA、事故シーケンス選定、有効性評価、解析コード:コメント回答
- ・緊急時対策所、中央制御室、通信連絡設備、監視測定設備:コメント回答
- ・重大事故等対策設備
- ・技術的能力(体制、教育・訓練、手順(大規模損壊を含む))

⇒平成27年8月6日の審査会合において、更田委員長代理から、「当面の期間、東京電力柏崎刈羽に集中して議論を行う」旨の発言があり、しばらくの間、浜岡のプラント関係の審査は中断することとなった。