

島根原子力発電所2号炉に関する 審査の概要

原子力規制庁

※ 本資料は、中国電力株式会社島根原子力発電所2号炉の新規制基準への適合性審査に係る審査の概要を分かりやすく表現することを目的としているため、技術的な厳密性よりもできる限り平易な記載としています。正確な審査内容及び審査結果については、審査書をご参照ください。

1. はじめに

2. 設置変更許可申請に関する審査結果の概要

1. はじめに

(1) 原子力規制委員会について

- 東京電力福島第一原子力発電所事故の反省を踏まえ、規制と利用の分離を徹底し、独立した「原子力規制委員会」を設置(2012年9月発足)

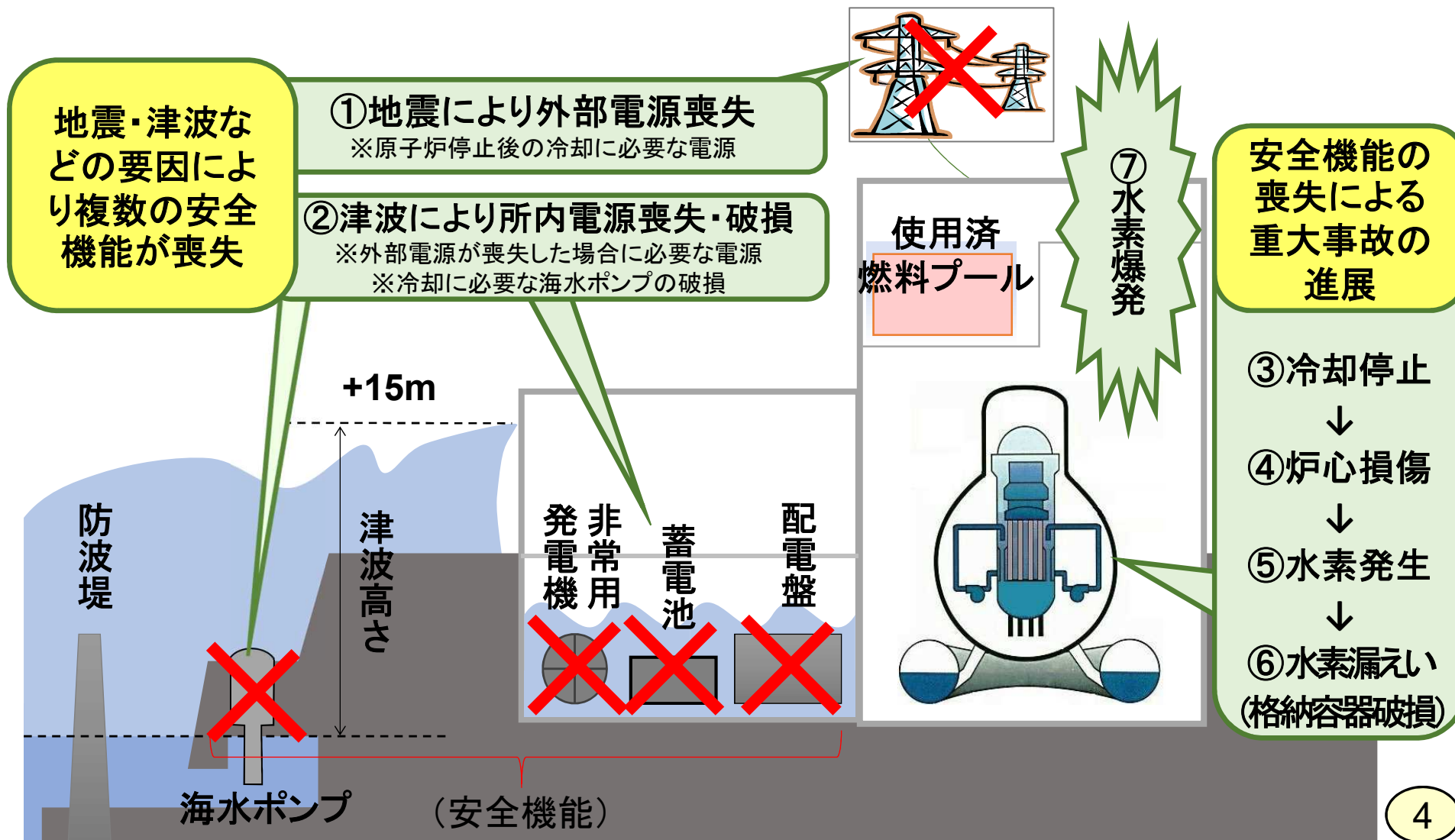
原子力規制委員会

原子力規制庁(事務局)

- ✓ 「規制」と「利用」の分離、「規制」の一元化
- ✓ 透明性の高い情報公開
- ✓ 原子力規制の転換
 - これまでの基準を大幅に強化した新規制基準を策定
(2013年7月施行)
- ✓ 原子力防災体制の強化

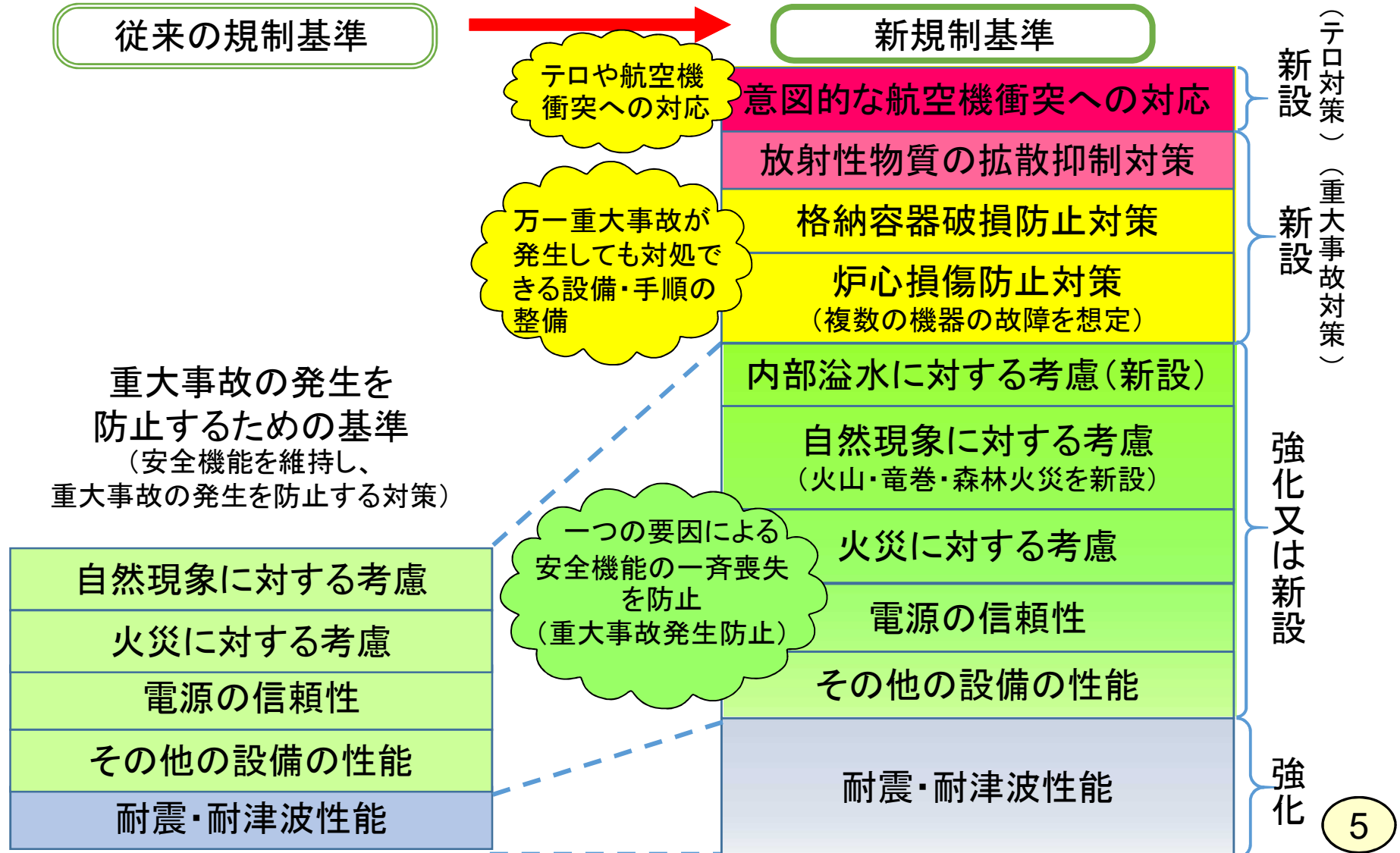
(2) 福島第一原子力発電所事故における教訓

- 福島第一原子力発電所事故では、地震や津波などの要因により複数の安全機能が喪失。
- さらに、その後の重大事故(シビアアクシデント)の進展を食い止めることができなかった。



(3) 強化した新規制基準

福島第一原子力発電所事故の教訓を踏まえ、重大事故(シビアアクシデント)の発生を防止するための基準を強化するとともに、万一重大事故やテロが発生した場合に対処するための基準を新設。

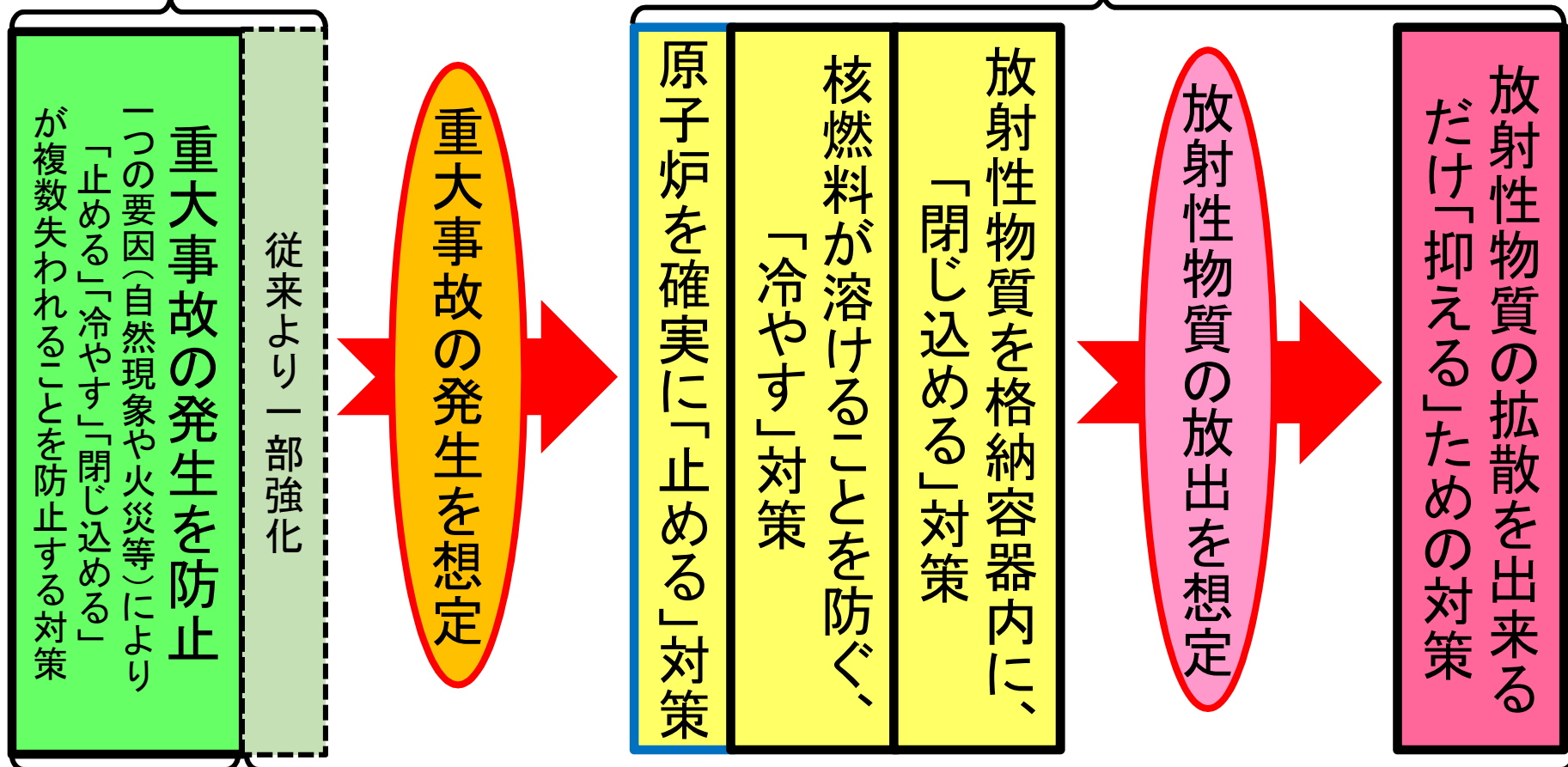


(4) 新規制基準で新たに要求した主な対策

- 新規制基準では、重大事故(シビアアクシデント)を防止する対策の強化に加え、重大事故の発生を想定した対策も要求
- それでもなお、敷地外へ放射性物質が放出されるような事態になった場合を考え、さらなる対策として、放射性物質の拡散をできるだけ「抑える」ための対策を要求

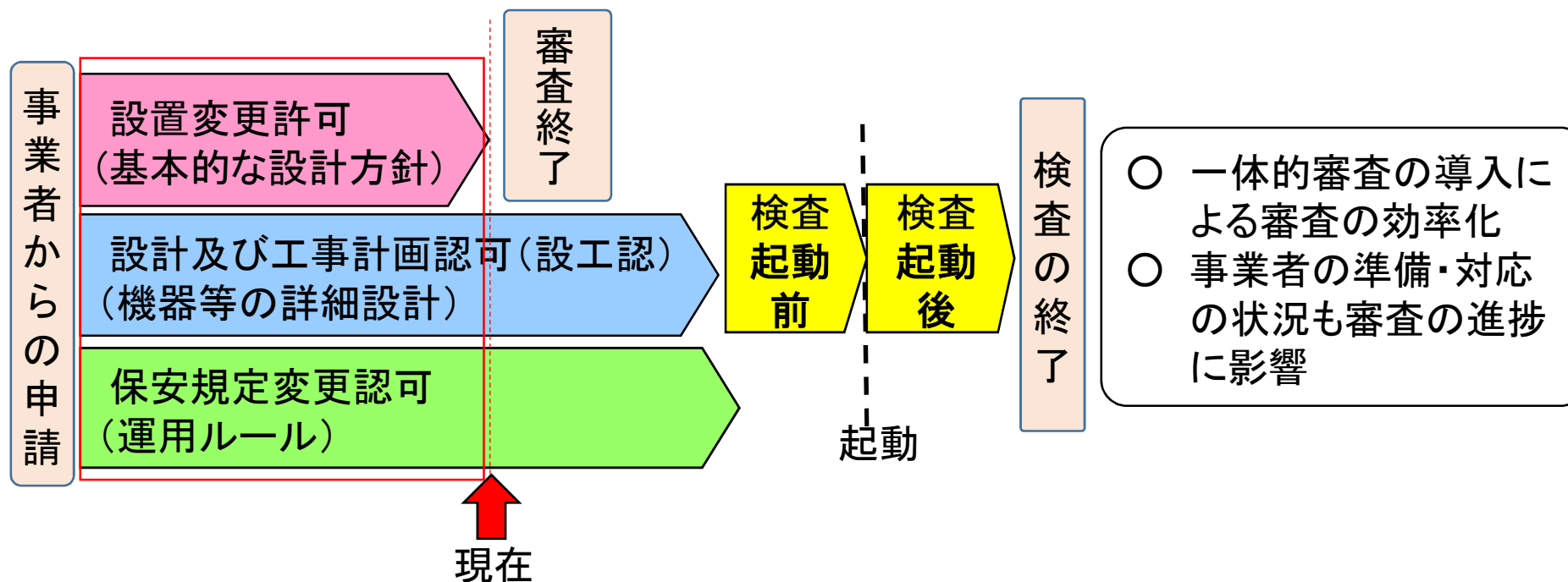
常設設備で対応

可搬型設備も活用し、柔軟に対応



(5) 原子炉等規制法に基づく発電用原子炉施設に係る規制

- 新規制基準への適合性確認のためには、原子炉等規制法に基づき、設置変更許可、設計及び工事計画認可、保安規定変更認可、使用前事業者検査等の手続きが必要
- 新規制基準適合性審査では、これら許認可に係る事業者からの申請を同時期に受け付け、同時並行的に審査を実施



今回、島根原子力発電所2号炉の新規制基準適合性審査の「設置変更許可」に関する審査が終了。
今後、中国電力による「設計及び工事計画認可」及び「保安規定変更認可」に関する補正申請の状況に応じて、これらの審査を行うこととなる。

(6) 島根原子力発電所2号炉の審査の経緯

平成25年 7月 8日：新規制基準施行

平成25年12月25日：中国電力が設置変更許可申請書、工事計画認可申請書及び保安規定の変更認可申請書を提出

平成26年1月16日～ 審査会合での審査（原子力規制委員、規制庁審査官）

※184回の審査会合と10回の現地調査等を実施

※564回のヒアリングを実施

令和 3年 6月23日：設置変更許可に係る審査の結果の案をとりまとめ

令和 3年 6月24日～ 7月23日：審査書（案）に対する科学的・技術的意見を募集

令和 3年 9月15日：審査書を原子力規制委員会です承し、設置変更許可

※審査書全文は原子力規制委員会ホームページに掲載しています。

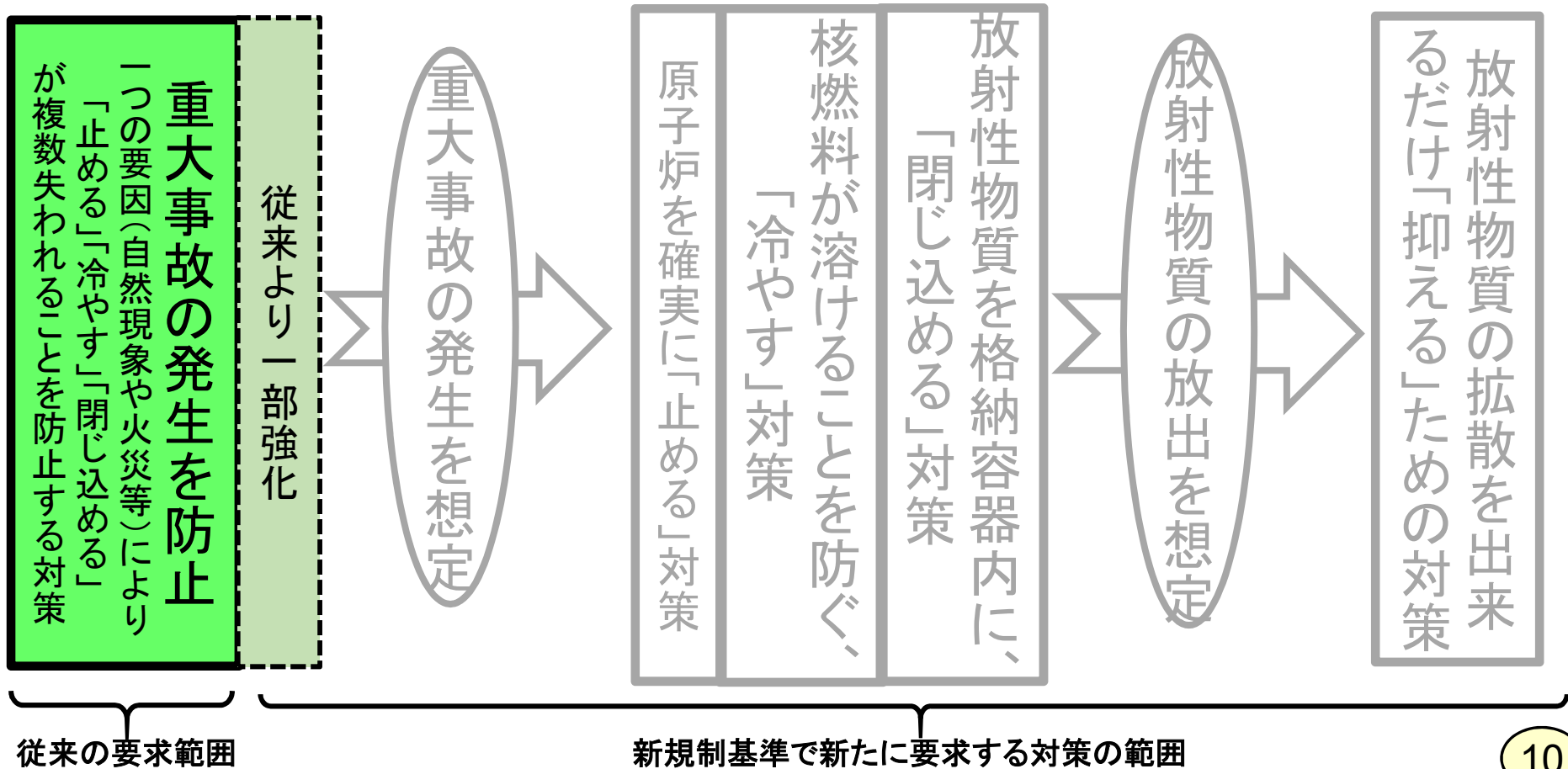
「設置変更許可 審査書」：<https://www.nsr.go.jp/data/000365227.pdf>

2. 設置変更許可申請に関する 審査結果の概要

(1) 重大事故の発生を防止するための対策

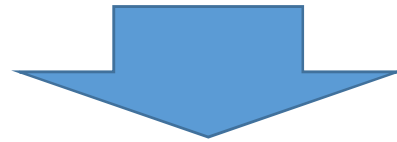
新規制基準で新たに要求した主な対策

- 新規制基準では、重大事故(シビアアクシデント)を防止する対策の強化に加え、重大事故の発生を想定した対策も要求。
- それでもなお、敷地外へ放射性物質が放出されるような事態になった場合を考え、さらなる対策として、放射性物質の拡散をできるだけ「抑える」ための対策を要求。



(1)①重大事故の発生を防止する対策について(自然現象)

一つの要因により
複数の安全機能(「止める」、「冷やす」、「閉じ込める」)が
同時に失われないような対策



自然現象の想定の見直しと
対策の強化

- 地盤、基準地震動、基準津波
- 火山、外部火災 等

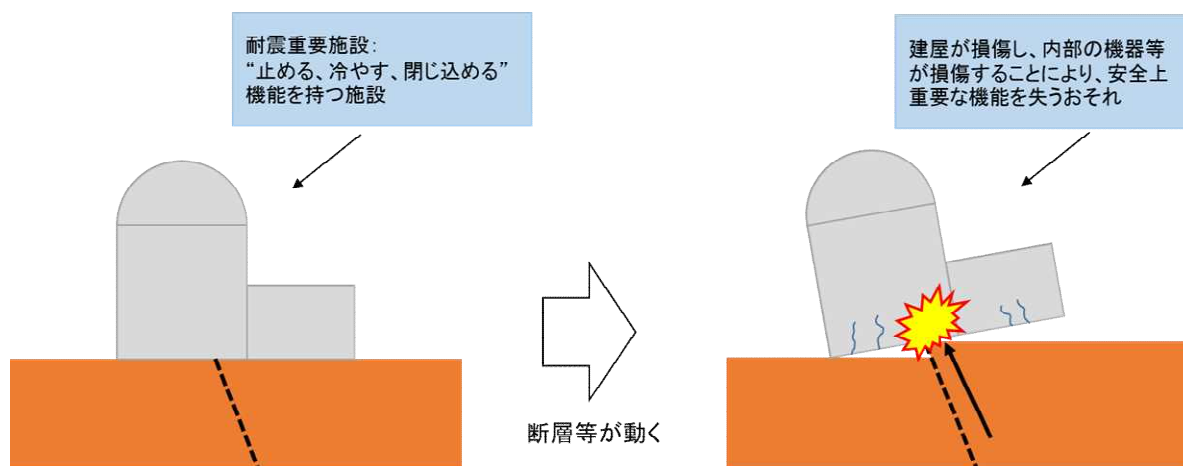
その他の要因の考慮と
対策の強化

- 内部火災、内部溢水(いっすい) 等

地盤の変位と断層の活動性評価について

- ◆ 耐震重要施設等は、「将来活動する可能性のある断層等」が地表に露出していないことを確認した地盤に設置しなければならない。(左下図)
- ◆ 「将来活動する可能性のある断層等」は、後期更新世以降(約12~13万年前以降)の活動が否定できないものをいう。断層の活動性評価に当たっては、断層の上に分布する地層(上載地層)の堆積年代が約12~13万年前より古いかどうか、また、上載地層に断層活動による変位や変形があるか否かについて確認する。(右下図)

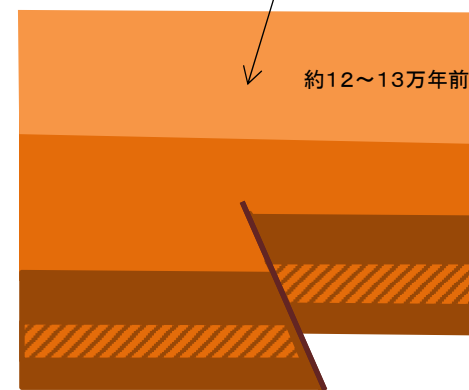
【断層活動による地盤の変位(ずれ)】



(「実用発電用原子炉に係る新規基準の考え方について」から一部抜粋 <<http://www.nsr.go.jp/data/000155788.pdf>>)

【上載地層による断層の活動性評価】

上載地層に断層活動による変位や変形がなければ、「将来活動する可能性のある断層等」ではないと評価



(「実用発電用原子炉及び核燃料施設等に係る新規基準について(概要)」から一部抜粋・加筆 <<http://www.nsr.go.jp/data/000070101.pdf>>)

地盤(地盤の変位)

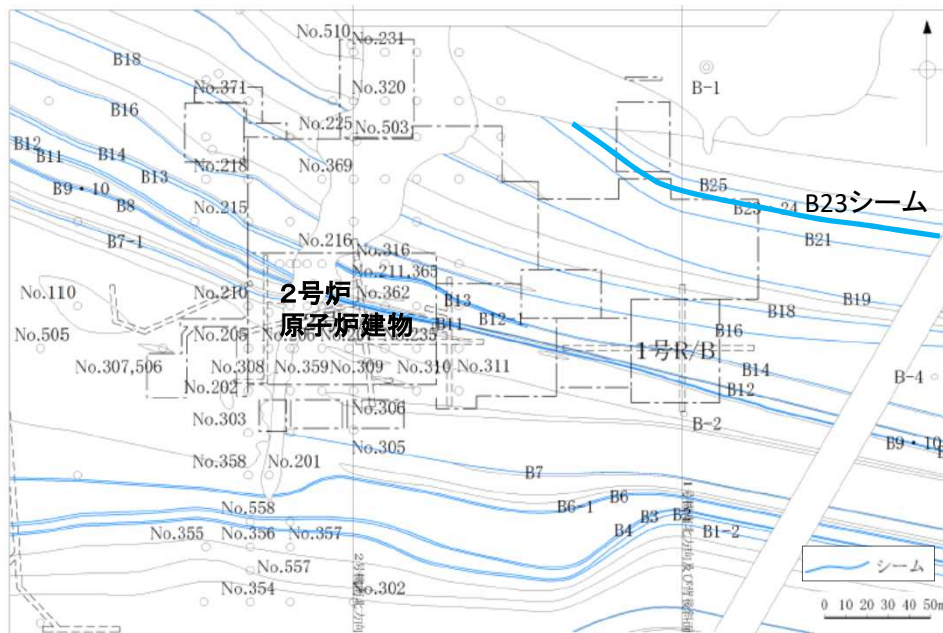
【要求事項】

- 耐震重要施設は、将来活動する可能性のある断層等の露頭が無いことを確認した地盤に設置する。

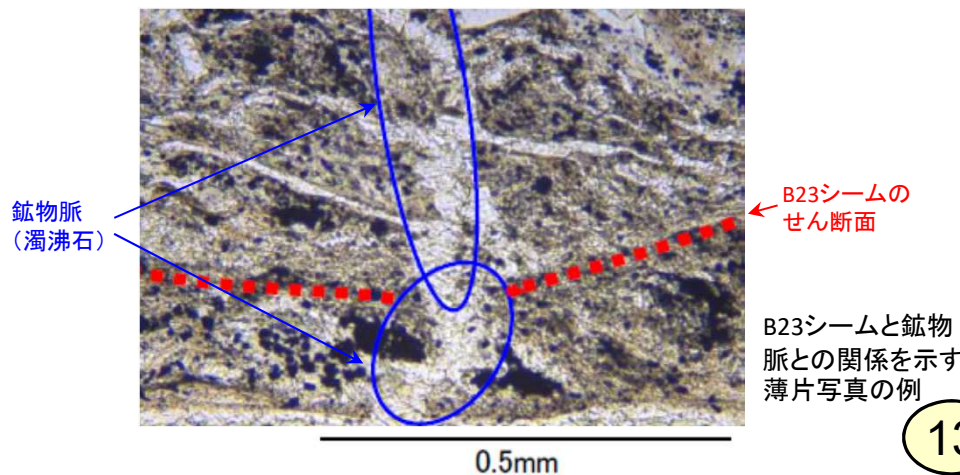
地盤の変位

<審査書 P.45-48>

- 敷地には、地層を切るような断層は認められない。
- 過去に変位した21条のシーム(地層と平行する面がすべる断層)について、活動性を評価した(最も連続性が高いB23シームを対象)。
- 中期中新世～後期中新世(約1,000万年前)に生成した鉱物脈がシームによって変位・変形を受けていないことから、当該シームは「将来活動する可能性のある断層等」には該当しないと評価。



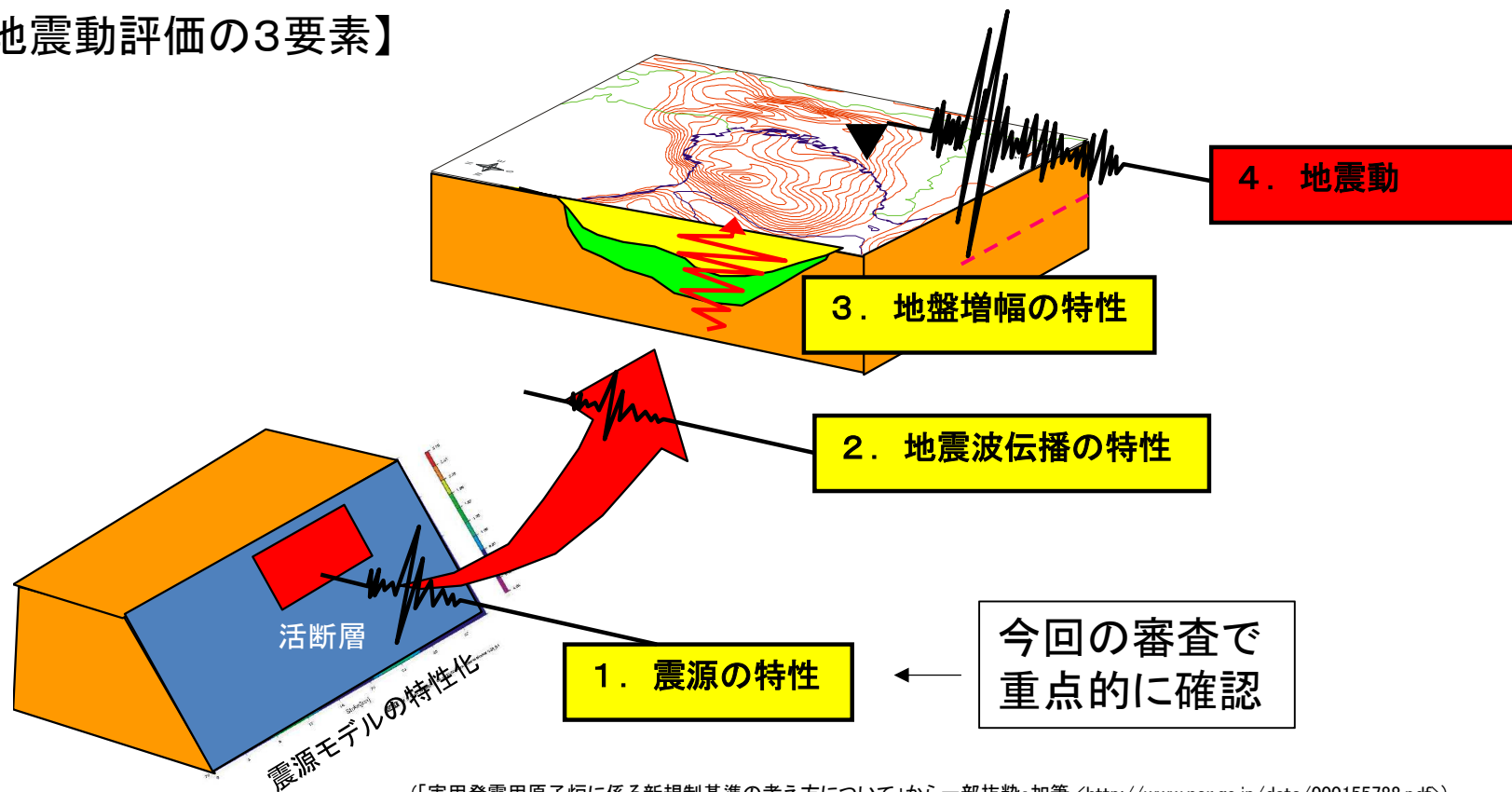
シーム分布水平断面図(2号炉原子炉建屋周辺)



地震動評価について

- ◆ 一般に、地震による地盤の揺れ(地震動)は、震源においてどのような破壊が起こったか(震源の特性)、生じた地震波がどのように伝わってきたか(地震波伝播の特性)及び対象地点近傍の地盤構造によって地震波がどのような影響を受けたか(地盤増幅の特性)という三つの特性によって決定される。

【地震動評価の3要素】



基準地震動(敷地ごとに震源を特定して策定する地震動)

【要求事項】

- 震源として考慮する活断層の評価に当たっては、文献調査、変動地形学的調査、地質調査等の結果を総合的に評価し、活断層の位置、形状、活動性等を明らかにする。
- 「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」は、内陸地殻内地震、プレート間地震及び海洋プレート内地震について、検討用地震を複数選定し、不確かさを十分に考慮して応答スペクトルに基づく地震動評価及び断層モデルを用いた手法による地震動評価を行う。

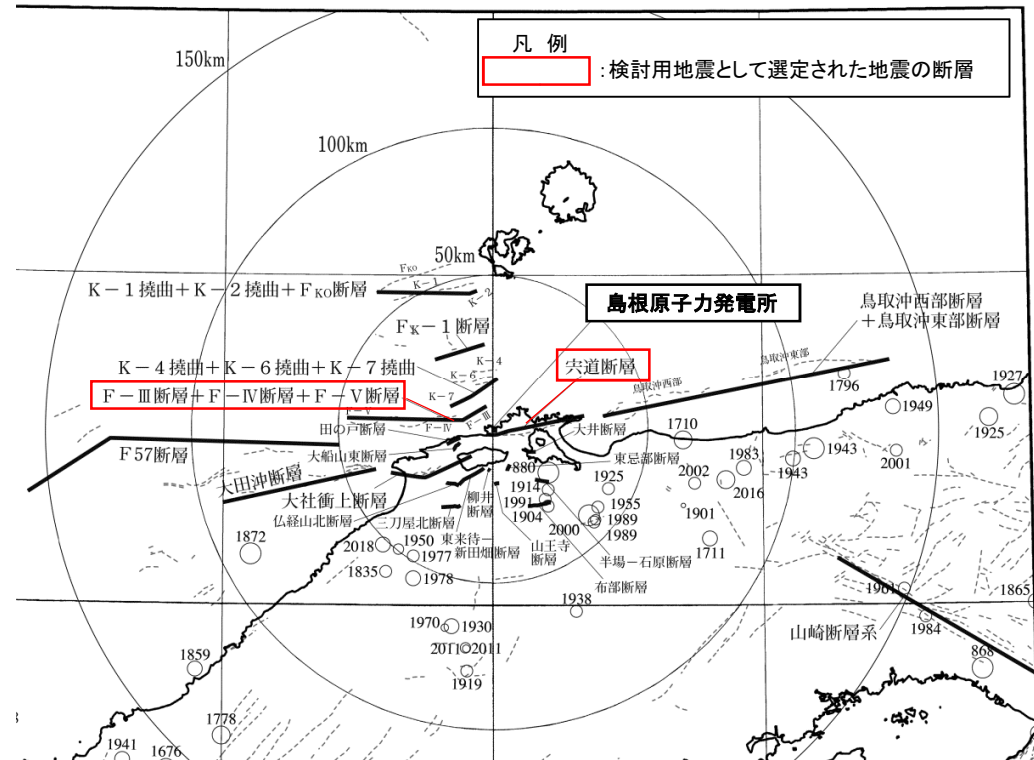
震源として考慮する活断層の抽出

- 各種の調査結果に基づき、「震源として考慮する活断層」として右図のとおり抽出し、活断層の位置、形状等々を評価。

検討用地震の選定

- 検討用地震は、地質調査結果等に基づき、敷地に大きな影響を与えることと予想される地震として、以下の2地震を選定。
 - ・ 宍道断層による地震
 - ・ F-Ⅲ断層 + F-Ⅳ断層 + F-V断層による地震

<審査書 P.15-21>



敷地周辺における活断層の分布と被害地震の震央分布
(中国電力(株)島根原子力発電所発電用原子炉設置変更許可申請書(一部補正)
(令和3年5月10日)から一部抜粋・加筆 <<https://www.nsr.go.jp/data/000351176.pdf>>)

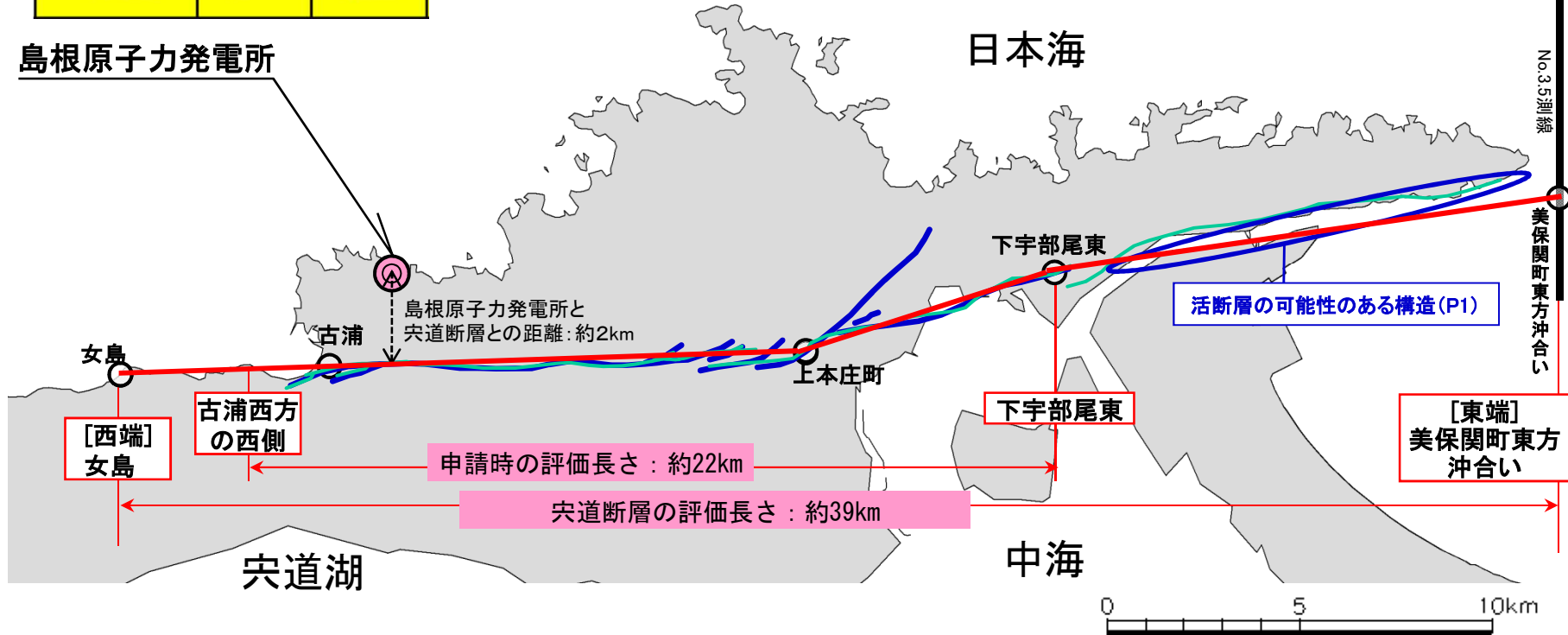
基準地震動(震源として考慮する活断層)

宍道断層の評価

断層名	評価長さ (—)	
	申請時	最終評価
しんじ 宍道断層	約22km	約39km

<審査書 P.16-19>

- : 宍道断層(約39km) (当社評価)
- : 地震調査研究推進本部(2016a)における宍道(鹿島)断層
- : 地震調査研究推進本部(2016a)における活断層の可能性のある構造(P1)
- : 今泉ほか編(2018)における宍道(鹿島)断層



(中国電力(株)島根原子力発電所2号炉審査資料 第972回審査会合資料(令和3年4月30日)から一部抜粋・加筆 <<https://www2.nsr.go.jp/data/000350345.pdf>>)

➤ 申請時は断層長さ約22kmとしていたが、規制委員会の指摘を踏まえた追加調査等の結果、西端及び東端を以下のとおり見直し、断層長さ約39kmと再評価。

- 西端 : 古浦西方の西側 (こうら) ⇒ 女島(古浦西方の西側より西方約3km) (めしま)
- 東端 : 下宇部尾東 (しもうべお) ⇒ 美保関町東方沖合い(下宇部尾東より東方約14km) (みほのせきちよう)

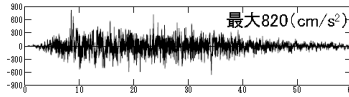
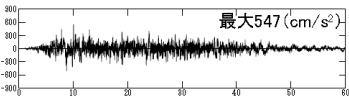
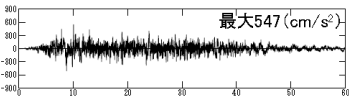
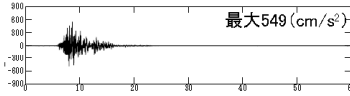
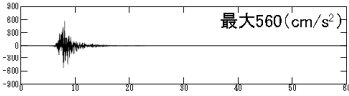
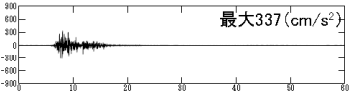
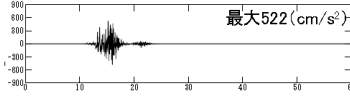
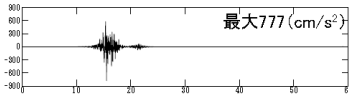
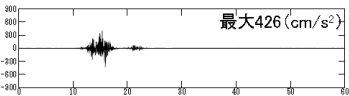
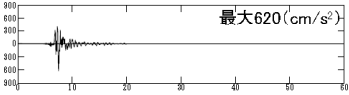
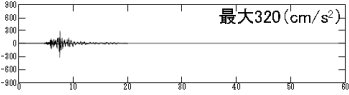
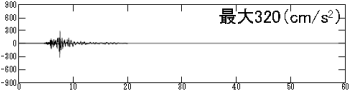
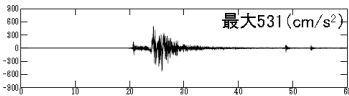
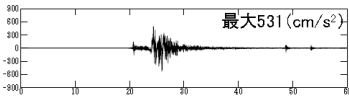
基準地震動(加速度時刻歴波形)

【要求事項】

- 基準地震動は、最新の科学的・技術的知見を踏まえ、敷地及び敷地周辺の地質・地質構造、地盤構造並びに地震活動性等の地震学及び地震工学的見地から想定することが適切なものを策定する。

基準地震動の加速度時刻歴波形

<審査書 P.28-29>

基準地震動		水平方向(NS成分)	水平方向(EW成分)	鉛直方向	
Ss-D	「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」による基準地震動 〔応答スペクトル手法による基準地震動〕				600cm/s ² →820cm/s ² に見直し
Ss-F1	「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」による基準地震動 断層モデル手法による基準地震動 〔突道断層による地震の短周期の地震動レベルの不確かさ(1.5倍)破壊開始点5〕				586cm/s ² →777cm/s ² に見直し
Ss-F2	「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」による基準地震動 断層モデル手法による基準地震動 〔突道断層による地震の短周期の地震動レベルの不確かさ(1.5倍)破壊開始点6〕				586cm/s ² →777cm/s ² に見直し
Ss-N1	「震源を特定せず策定する地震動」による基準地震動 〔2004年北海道留萌支庁南部地震(K-NET港町)の検討結果に保守性を考慮した地震動〕				585cm/s ² →620cm/s ² に見直し
Ss-N2	「震源を特定せず策定する地震動」による基準地震動 〔2000年鳥取県西部地震の賀祥ダム(監査廊)の観測記録〕				申請時から追加

※ 表中のグラフは、解放基盤表面(標高-10m)の位置における各基準地震動の加速度時刻歴波形[縦軸: 加速度(cm/s²), 横軸: 時間(s)]

(中国電力(株)島根原子力発電所2号炉審査資料 審査取りまとめ資料(令和3年6月18日)から一部抜粋・加筆 <<https://www2.nsr.go.jp/data/000356567.pdf>>)

耐震設計方針

【要求事項】

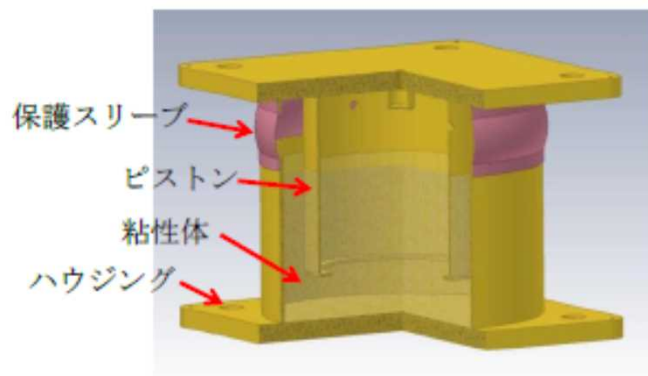
- 事故等の発生、拡大を防ぐために必要な施設は、地震力に十分に耐える設計にする。このうち特に耐震性が求められるSクラス等の重要な施設は、基準地震動でもその機能が損なわれない設計にする。
- 発電所の施設・設備を耐震重要度に応じて、Sクラス、Bクラス及びCクラスに分類し、クラスに応じて適用する地震力に対して十分に耐え、安全機能が損なわれないように設計する方針。
- 耐震重要施設(Sクラス)は、基準地震動による地震力に対して安全機能が維持できるように設計する方針。
- 津波から重要な設備を守る津波防護施設、浸水防止設備等についても、基準地震動による地震力に対して機能が維持できるように設計する方針。



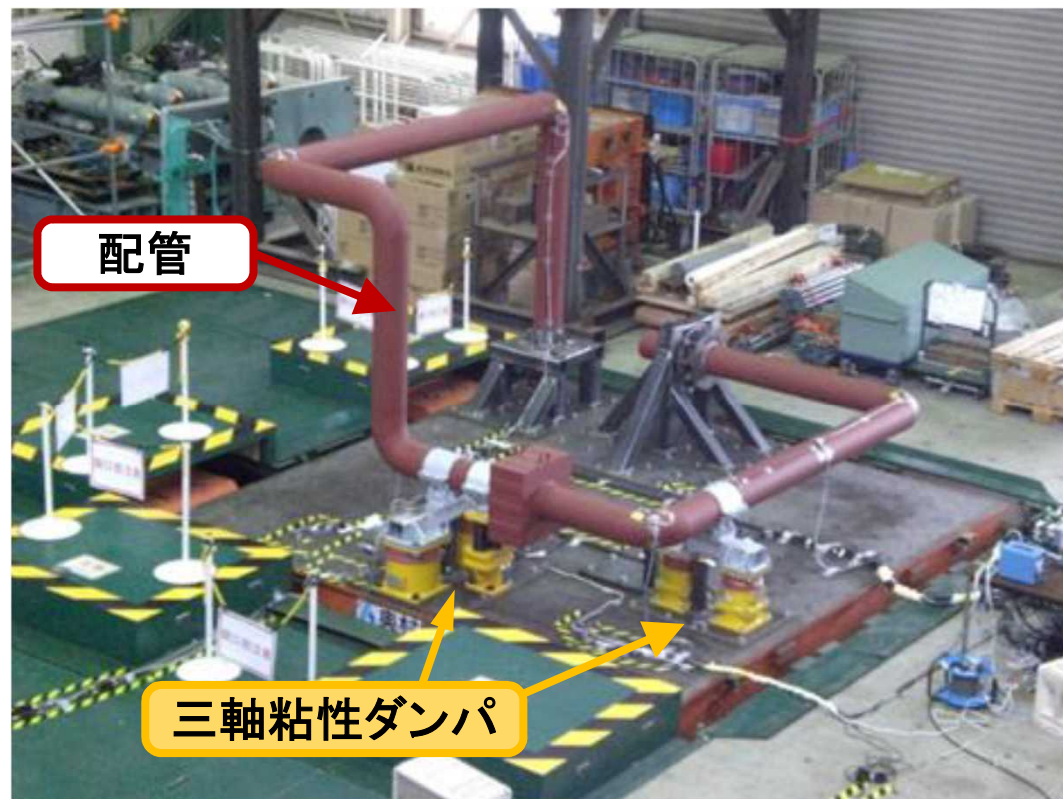
原子炉建物耐震補強工事状況

耐震設計方針

- 基準地震動の増大に伴い、耐震性を確保するため広範囲の補強が必要となることから、従来型の支持構造物を設置するほか、水平2方向と鉛直方向のゆれを同時に吸収する制震装置(三軸粘性ダンパ)を設置。
- 国内の原子力発電所での三軸粘性ダンパの適用実績がないため、三軸粘性ダンパを設置した配管の加振試験を実施し、十分な性能があることを確認。



水平2方向と鉛直方向のゆれを同時に吸収する制震装置
(三軸粘性ダンパ)



三軸粘性ダンパを設置した配管の加振試験

基準津波

【要求事項】

- 基準津波は、最新の科学的・技術的知見を踏まえ、波源海域から敷地周辺までの海底地形、地質構造及び地震活動性等の地震学的見地から想定することが適切なものを策定する。

地震に伴う津波評価

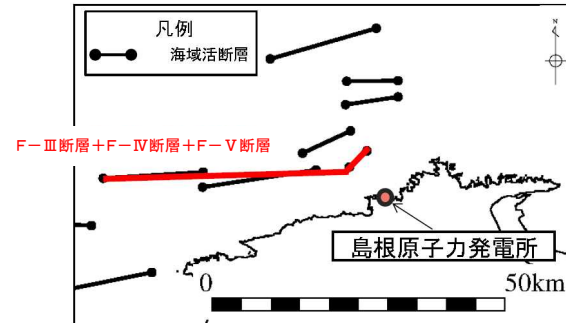
< 審査書 P.52-57 >

- 発電所に大きな影響を及ぼすと考えられる以下の二つの波源を選定。

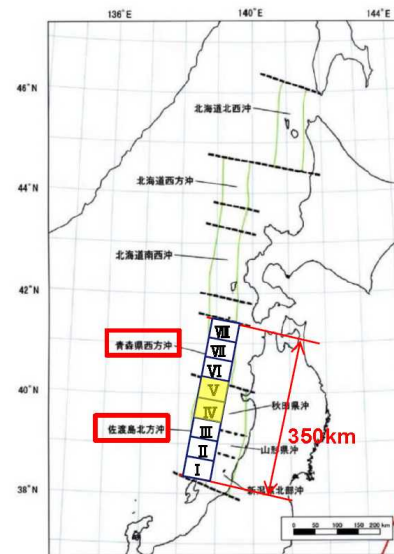
○ 敷地周辺の海域活断層 (F-Ⅲ断層 + F-Ⅳ断層 + F-Ⅴ断層) から想定される地震に伴う津波

○ 日本海東縁部に想定される地震による津波

- ・ 敷地への影響が大きい地震発生領域の連動を考慮した波源モデルを設定。
- ・ これに加え、安全側の評価を実施する観点から、鳥取県(2012)の波源モデルも選定。

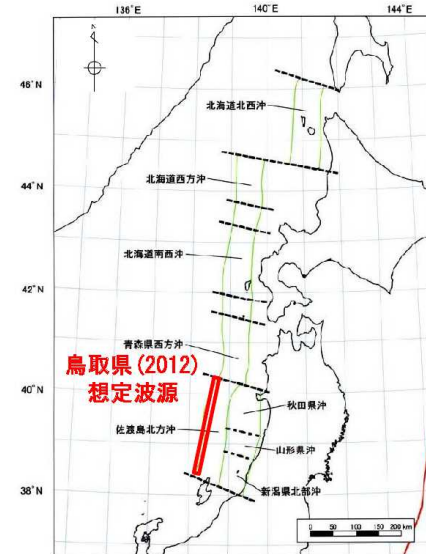


F-Ⅲ断層 + F-Ⅳ断層 + F-Ⅴ断層による地震に伴う津波の波源モデル



□ : セグメント ■ : 大すべり域 (例)

日本海東縁部に想定される地震による津波(2領域連動モデル)の波源モデル



地震調査研究推進本部(2003)を引用・加筆

日本海東縁部に想定される地震による津波(鳥取県モデル)の波源モデル

基準津波

基準津波の策定

<審査書 P.59-61>

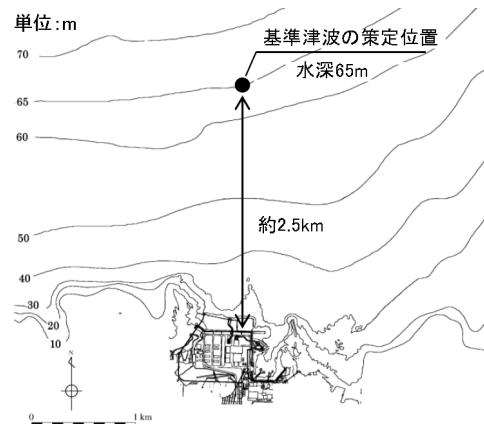
- 地震による津波、地震以外の要因による津波及びそれらの組合せによる津波について検討した結果、以下の6つの基準津波を策定。
- 基準津波は、敷地周辺の津波堆積物の調査結果から推定される過去の津波高及び浸水域を上回っていることを確認。

【上昇側の基準津波】

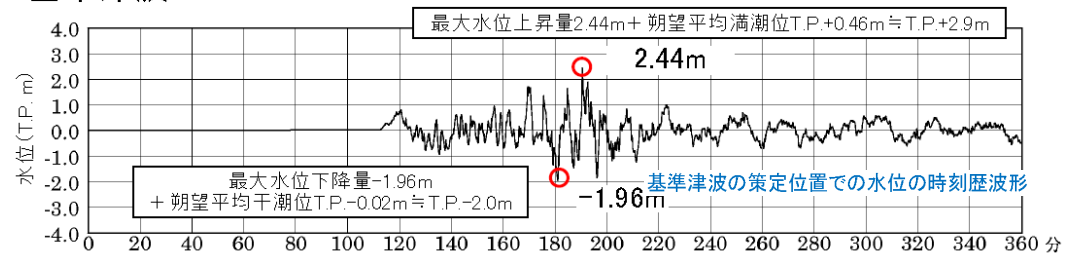
- ・基準津波1: 日本海東縁部に想定される地震による津波(鳥取県モデル)の波源モデル(防波堤有り、防波堤無し)
- ・基準津波2: 日本海東縁部に想定される地震による津波(2領域連動モデル)の波源モデル(防波堤有り)
- ・基準津波5: 日本海東縁部に想定される地震による津波(2領域連動モデル)の波源モデル(防波堤無し)

【下降側の基準津波】

- ・基準津波1: 日本海東縁部に想定される地震による津波(鳥取県モデル)の波源モデル(防波堤有り、防波堤無し)
- ・基準津波3: 日本海東縁部に想定される地震による津波(2領域連動モデル)の波源モデル(防波堤有り)
- ・基準津波4: F-Ⅲ断層+F-Ⅳ断層+F-Ⅴ断層による地震に伴う津波の波源モデル(防波堤有り、防波堤無し)
- ・基準津波6: 日本海東縁部に想定される地震による津波(2領域連動モデル)の波源モデル(防波堤無し)



基準津波1

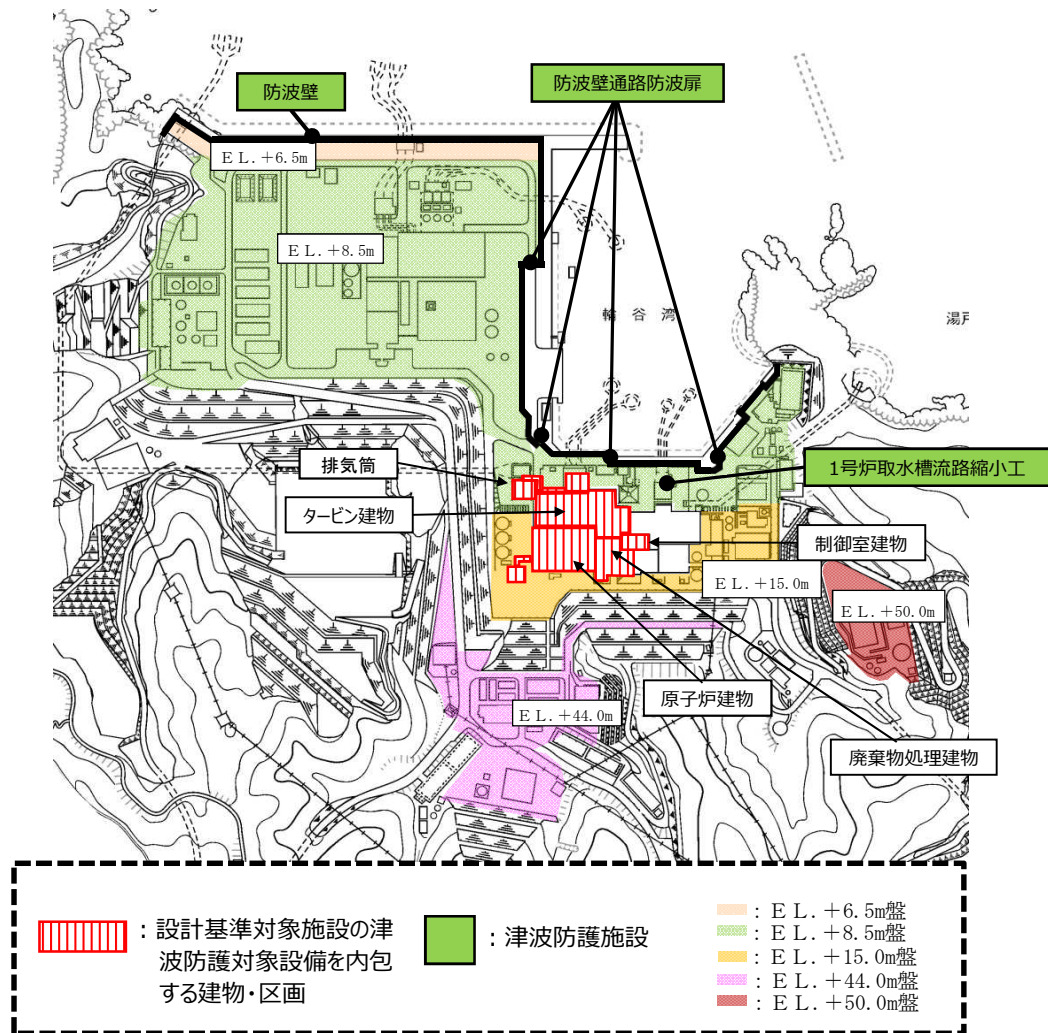


(中国電力(株)島根原子力発電所2号炉審査資料 第972回審査会合資料
(令和3年4月30日)から一部抜粋・加筆 <<https://www2.nsr.go.jp/data/000350671.pdf>>)

耐津波設計方針

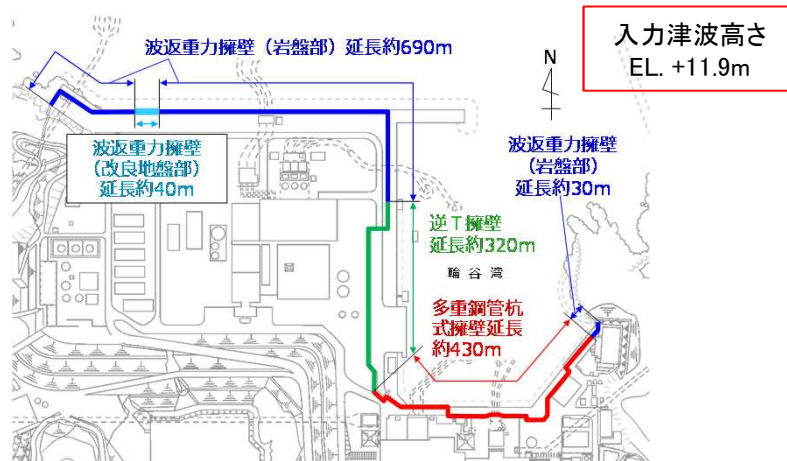
【要求事項】

- 基準津波に対して発電所の安全性を確保する機能が損なわれない設計にする。
- 敷地への遡上波の到達、流入を防止するため、防護対象とする施設が設置された敷地の前面に津波防護施設(防波壁及び防波壁通路防波扉)を設置。
- 取水路、放水路等の開口部からの津波の流入を防止するため、津波防護施設(1号炉取水槽流路縮小工)及び浸水防止設備(防水壁、水密扉等)を設置。
- 津波防護施設等は津波や地震に対して、機能が維持できるように設計する方針。

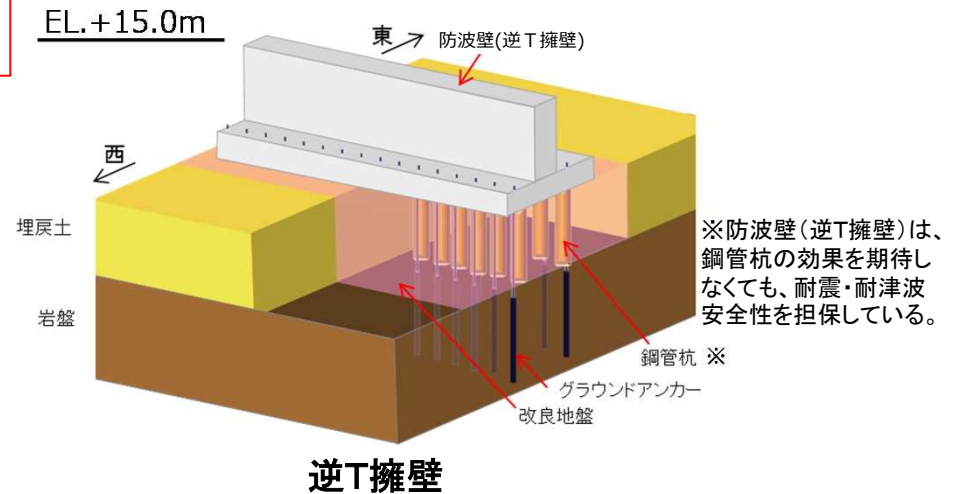


耐津波設計方針(防波壁)

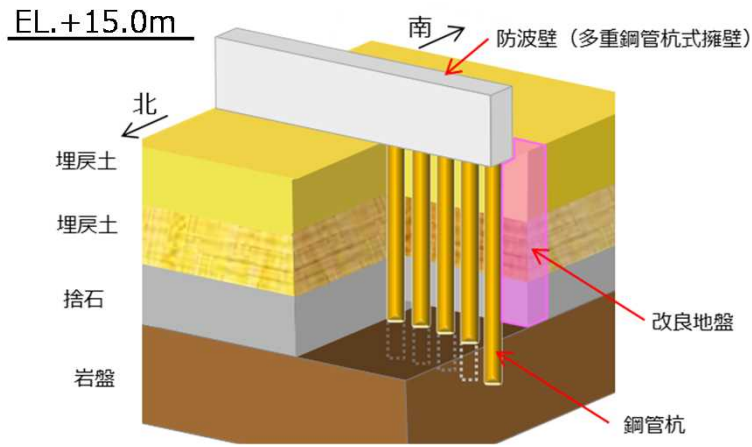
- 防波壁として、多重鋼管杭式擁壁、逆T擁壁及び波返重力擁壁の3種類を設置し、地震や津波に対して津波防護機能が維持できるように設計する方針。



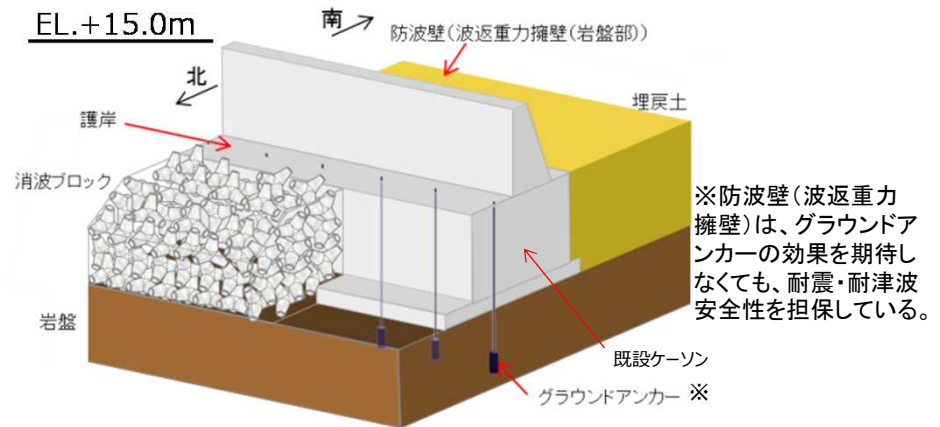
防波壁の位置図



逆T擁壁



多重鋼管杭式擁壁

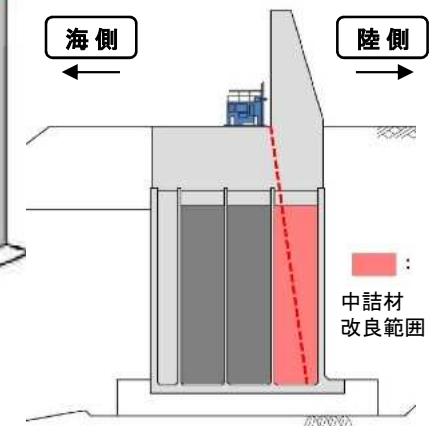
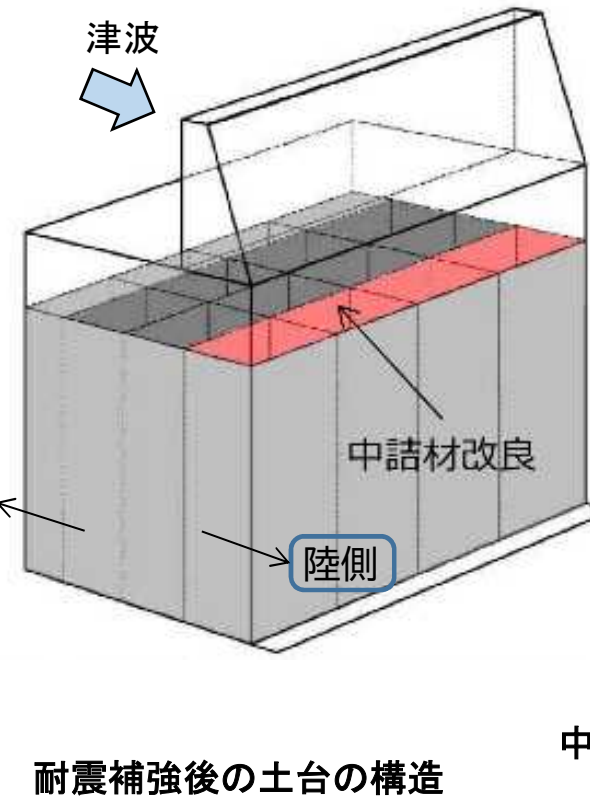
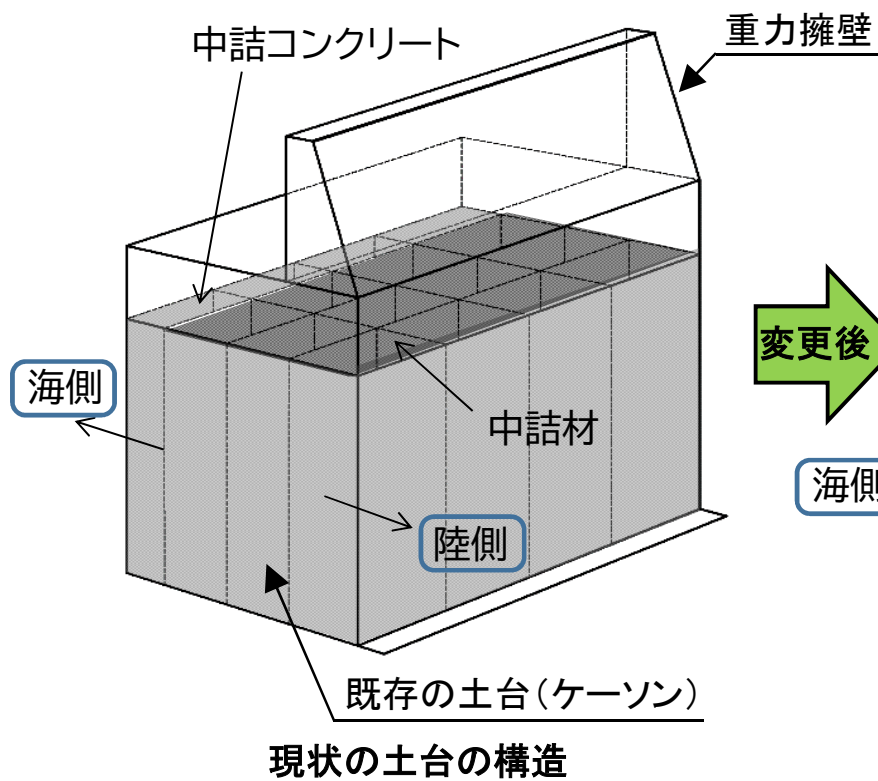


波返重力擁壁(岩盤部)

耐津波設計方針(防波壁)

- 防波壁(波返重力擁壁)は、既存の土台(ケーソン)を活用し、地震や津波に対して津波防護機能が維持できるように設計する方針。
- 既存の土台については、中詰材※を改良固化する耐震補強対策を行い、地震や津波に耐えられる構造とする方針。

※中詰材:銅の精錬過程で発生する砂状の物質



外部からの損傷の防止(火山事象)

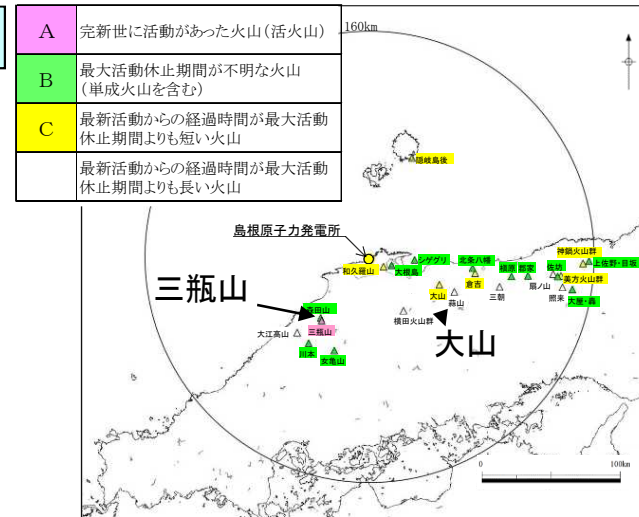
【要求事項】

- 火山事象が発生した場合においても安全施設の安全機能が損なわれないように設計する。

火山活動に関する個別評価(設計対応不可能な火山事象)

＜審査書 P.97-98＞

- ◆ 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山として敷地から半径160km以内の24火山を抽出し、火砕物密度流、溶岩流等の火山現象の影響評価を行った結果、十分な離隔距離があり敷地に到達しないこと等から、本発電所に影響を及ぼす可能性は十分に小さいと評価。



敷地から半径160km以内の第四紀火山の位置図

火山事象の影響評価(降下火砕物の影響評価)

＜審査書 P.98-101＞

- ◆ 降下火砕物(火山灰)の分布状況、降下火砕物シミュレーション結果、三瓶^{さんべうきぬの}浮布テフラの50cm等層厚線から総合的に判断し、敷地における降下火砕物の最大層厚を申請時の2cmから56cmへ見直し。



三瓶山の敷地周辺の降灰層厚を踏まえた検討

火山灰に対する設計方針

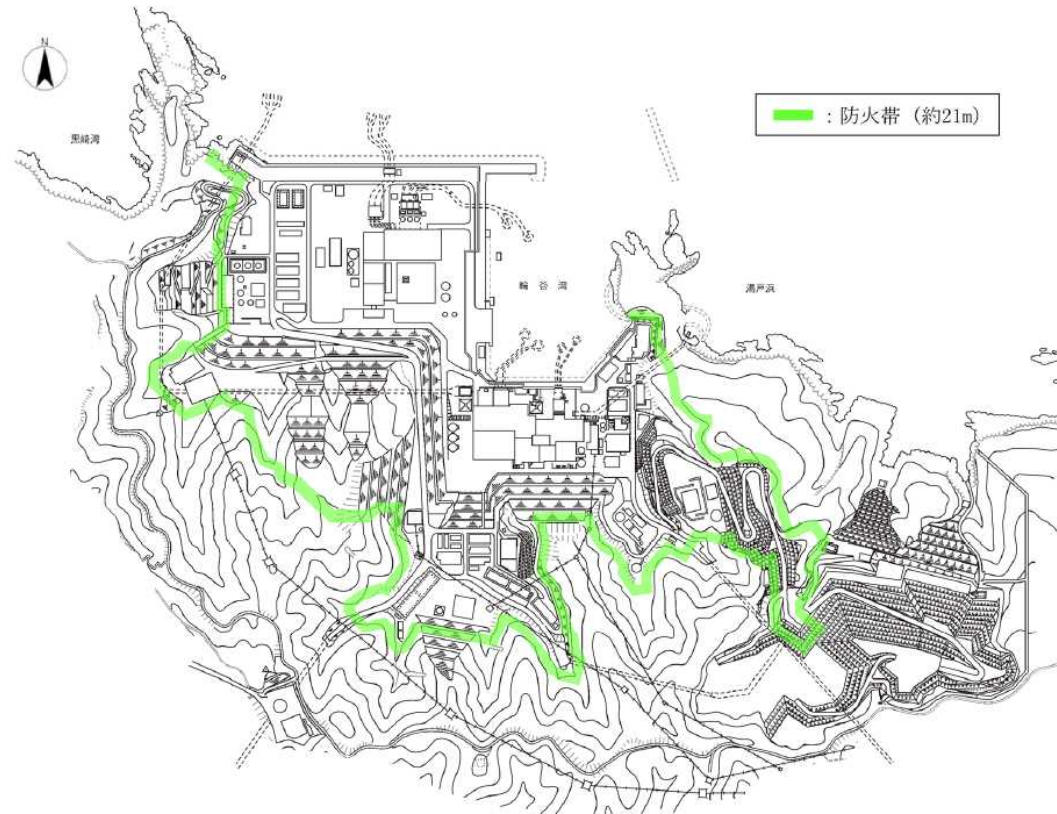
- ◆ 火山灰が56cm堆積しても、建物や設備は耐えることが可能な設計とする。
- ◆ 火山灰が施設の内部に入り込まないようにフィルタを設置する。

外部火災対策

【要求事項】

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

- 森林火災については、発火点を敷地周辺10km以内に設定し、もっとも厳しい気象条件や風向き等を設定して評価しても、安全機能が損なわれない措置を講じることを確認。
 - 必要な防火帯幅19.5mに対し、約21mの幅の防火帯の設置による延焼防止対策
 - 火災による熱に対する防護設計
 - 火災によるばい煙に対する防護設計(フィルタ等の設置)
- 近隣の産業施設の火災影響については、発電所敷地外の半径10km以内に石油コンビナート等に相当する施設はないとしていることを確認。

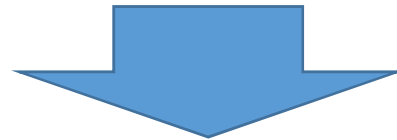


防火帯位置

出典: 発電用原子炉設置変更許可申請の補正書及び補足説明資料(2021年6月17日)から一部抜粋<<https://www.nsr.go.jp/data/000356208.pdf>>

(1)②重大事故の発生を防止する対策について(火災、溢水等)

一つの要因により
複数の安全機能(「止める」、「冷やす」、「閉じ込める」)が
同時に失われないような対策



自然現象の想定の見直しと
対策の強化

- 地盤、基準地震動、基準津波
- 火山、外部火災 等

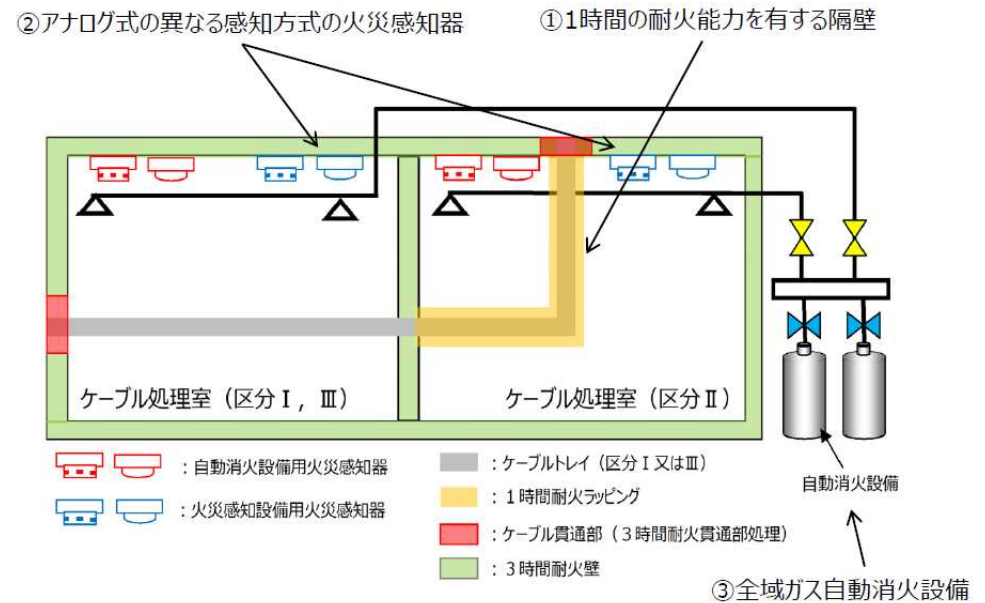
その他の要因の考慮と
対策の強化

- 内部火災、内部溢水(いっすい) 等

内部火災対策

以下の対策により基準に適合していることを確認。

- 火災を発生させないように、不燃材料などを採用し、可燃物である油を多く含むような変圧器は建屋の中に設置しないなどの対策を実施。
- 火災が発生しても早期に感知・消火できるように、異なる種類の感知器を組み合わせることで設置し、消火設備には多重性又は多様性を考慮。
- 火災による影響を考慮しても、互いに異なる系統を分離すること(3時間耐火壁(火にさらされても3時間耐える壁)等)により、多重化された系統が同時に機能を喪失することがないように設計することを確認。



特徴的な火災区画の火災防護対策(ケーブル処理室)

出典：第720回新規基準適合性審査会合資料(2019年5月30日)から一部抜粋
<<https://www.nsr.go.jp/data/000271512.pdf>>

内部溢水(いっすい)対策

以下の対策により基準に適合していることを確認。

- 地震で機器が破損すること等により溢水が発生しても、内部溢水の流入防止対策等より、設備の安全機能が損なわれない設計とする。
 - 没水(床に溜まった水の水位が上がり設備が沈むこと)しない高さに設備を設置。
 - 被水(設備に水がかかること)により、安全機能が損なわれる場合には、設備にカバーを取付けて防護。
 - 蒸気(設備が蒸気にさらされること)により、安全機能が損なわれる場合には、蒸気への耐性を有する設備への取替え。

【内部溢水の流入防止対策の例】



水密扉(例)



堰(例)

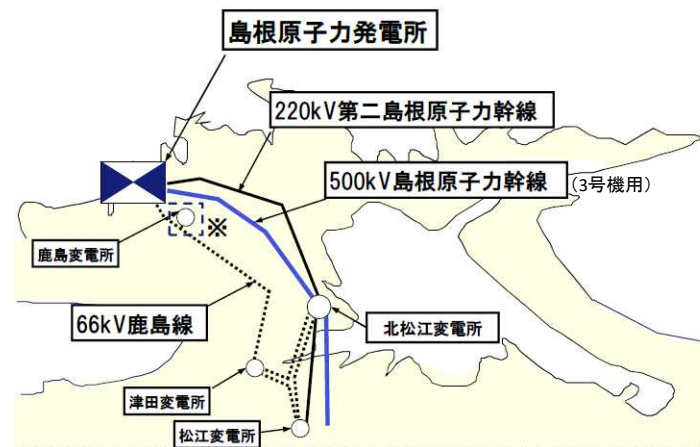


貫通部の止水(例)

電源の強化

①外部電源【強化】

- 外部から電力供給を受ける送電線は、いずれか2回線が喪失しても受電可能なように220kV2回線と66kV1回線で構成する。
- これらの送電線は、一つの変電所又は開閉所に連系しない独立した設計とする。
- これらの送電線が1つの送電鉄塔に設置されない物理的に分離した設計とする。



②非常用電源

- 非常用電源設備は、非常用ディーゼル発電機2台及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機1台の計3台設置し、3台のうち1台が故障しても安全を確保するために必要な電力を供給可能な設計とする。【既設】
- 燃料貯蔵タンクは、非常用ディーゼル発電機等が7日間以上の連続運転可能な容量を有する設計とする。【強化】

③全交流動力電源喪失時の対策

- 交流電源設備【新設】
 - ・常設代替交流電源設備(ガスタービン発電機)計2台(予備1台)
 - ・可搬型代替交流電源設備(高圧発電機車)計7台(予備1台)



ガスタービン発電機



高圧発電機車

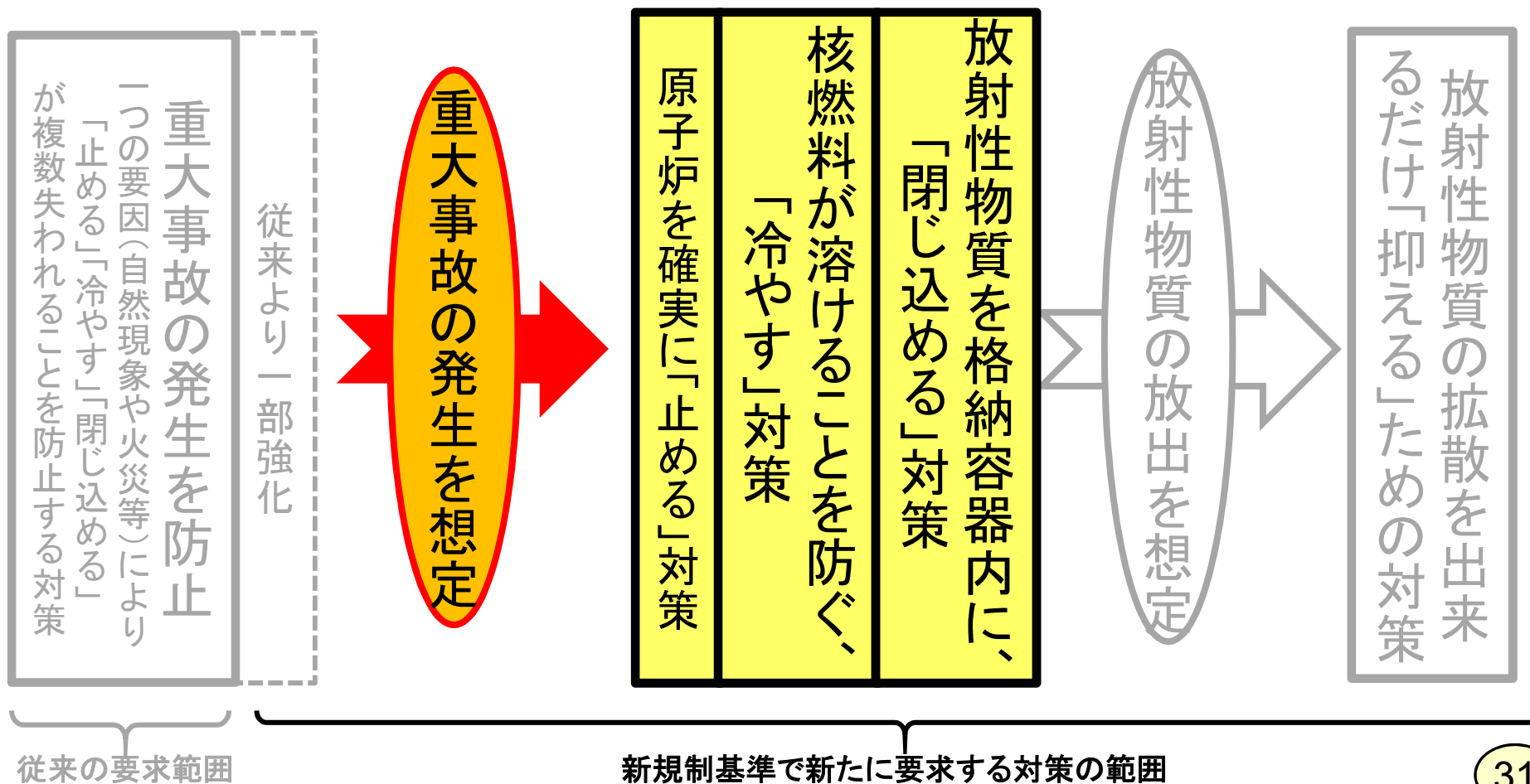
- 直流電源設備【強化】

全交流動力電源喪失時でも24時間にわたり事故の対応に必要な直流電源を確保するため、常設の蓄電池、可搬型の代替直流電源設備(高圧発電機車等)等を整備

(2) 重大事故の発生を想定した対策

新規制基準で新たに要求した主な対策

- 新規制基準では、重大事故(シビアアクシデント)を防止する対策の強化に加え、重大事故の発生を想定した対策も要求。
- それでもなお、敷地外へ放射性物質が放出されるような事態になった場合を考え、さらなる対策として、放射性物質の拡散をできるだけ「抑える」ための対策を要求。



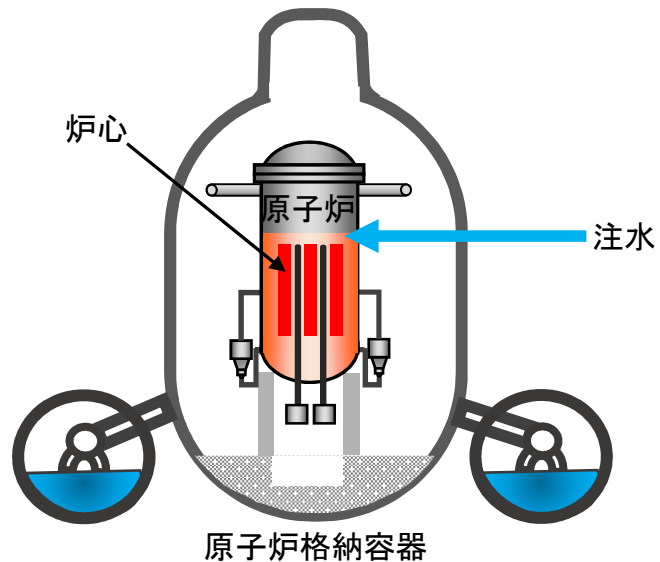
重大事故対策とは

これまで説明してきた対策が機能せず、さらに深刻な事態が発生しても、

- ① 原子炉内の核燃料(炉心)の著しい損傷を防止する対策
- ② 格納容器の破損を防止する対策

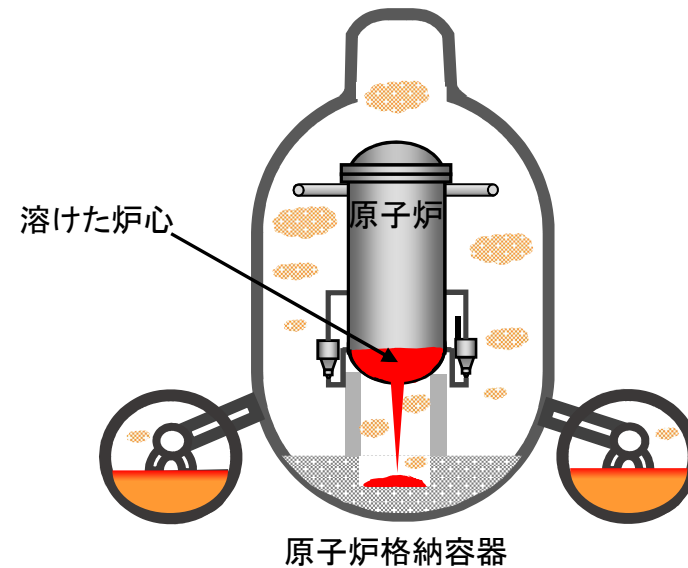
炉心損傷防止の考え方

原子炉内に注水し、炉心を冷却する。



格納容器破損防止の考え方

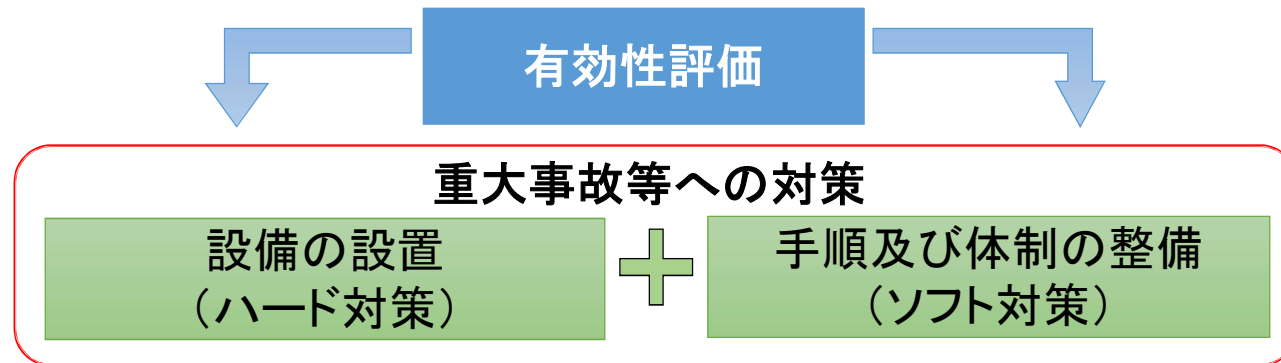
溶けた炉心の影響で原子炉格納容器が破損に至ることを防ぐ。



重大事故の想定について

重大事故の対策が有効であるかどうかを確認するために、

- 様々に考えられる重大事故が漏れなく考慮され、代表的な重大事故が選定されていることを確認
(確率論的リスク評価(PRA)を活用)
- 計算プログラムを用いた事故の進展に関する解析結果を確認
- その結果得られた事故の時間的推移等を見て、設備、手順及び体制が基準に適合しているかを審査

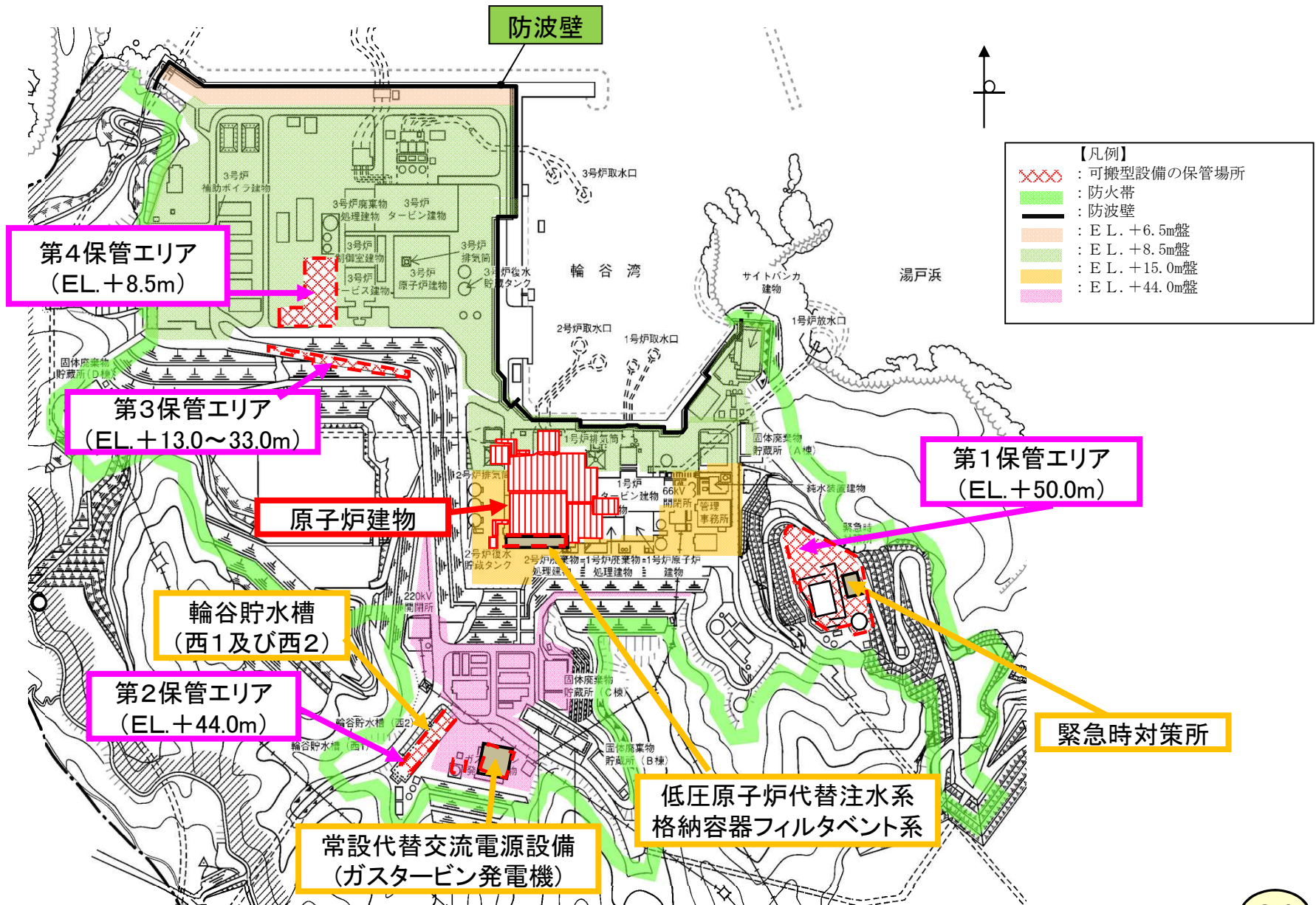


～確認項目の例～

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

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

発電所全体敷地図

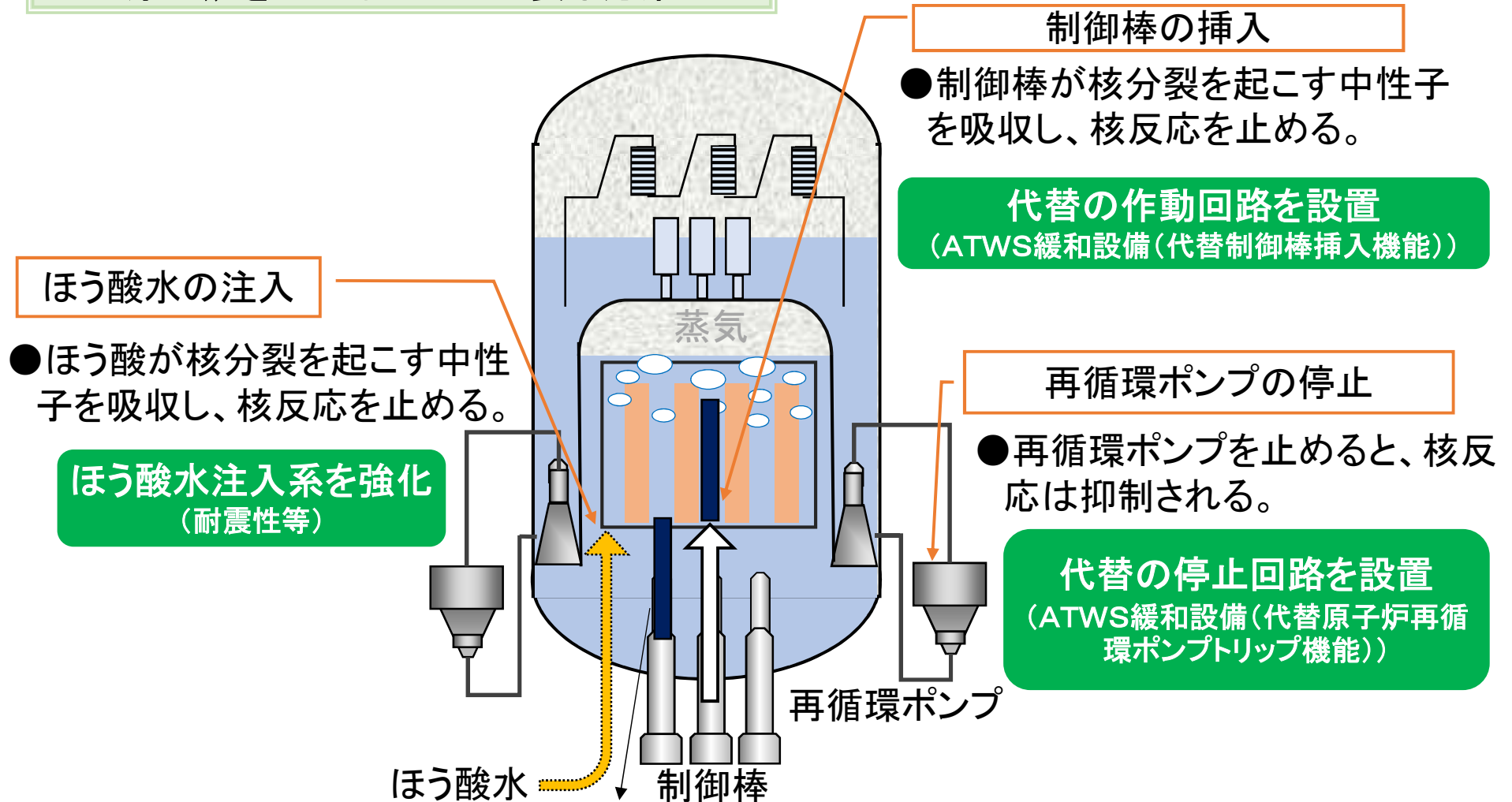


対策をとらないと炉心が損傷しうる重大事故

		事故シーケンスグループ	重要事故シーケンス
<p>臨界を止められない</p> <p>炉心に注水できない</p>		①原子炉停止機能喪失	過渡事象＋原子炉停止失敗
		②高圧・低圧注水機能喪失	過渡事象＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗
		③高圧注水・減圧機能喪失	過渡事象＋高圧炉心冷却失敗＋原子炉減圧失敗
<p>電気が無い</p>	④全交流動力電源喪失	長期TB	外部電源喪失＋交流電源(DG-A、B)失敗＋高圧炉心冷却(HPCS)失敗
		TBU	外部電源喪失＋交流電源(DG-A、B)失敗＋高圧炉心冷却失敗
		TBD	外部電源喪失＋直流電源(区分1、2)失敗＋高圧炉心冷却(HPCS)失敗
		TBP	外部電源喪失＋交流電源(DG-A、B)失敗＋圧力バウンダリ健全性(SRV再閉)失敗＋高圧炉心冷却(HPCS)失敗
<p>熱を逃がせない</p>	⑤崩壊熱除去機能喪失	取水機能喪失	過渡事象＋崩壊熱除去失敗
		残留熱除去系機能喪失	過渡事象＋崩壊熱除去失敗
<p>配管から水が漏えい</p>		⑥LOCA時注水機能喪失	冷却材喪失(中破断LOCA)＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗
		⑦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

炉心損傷防止対策①

原子炉を止めるための主要な方策



「止める」安全機能が失われた場合に備えて原子炉を停止するための代替手段等を確保していることを確認

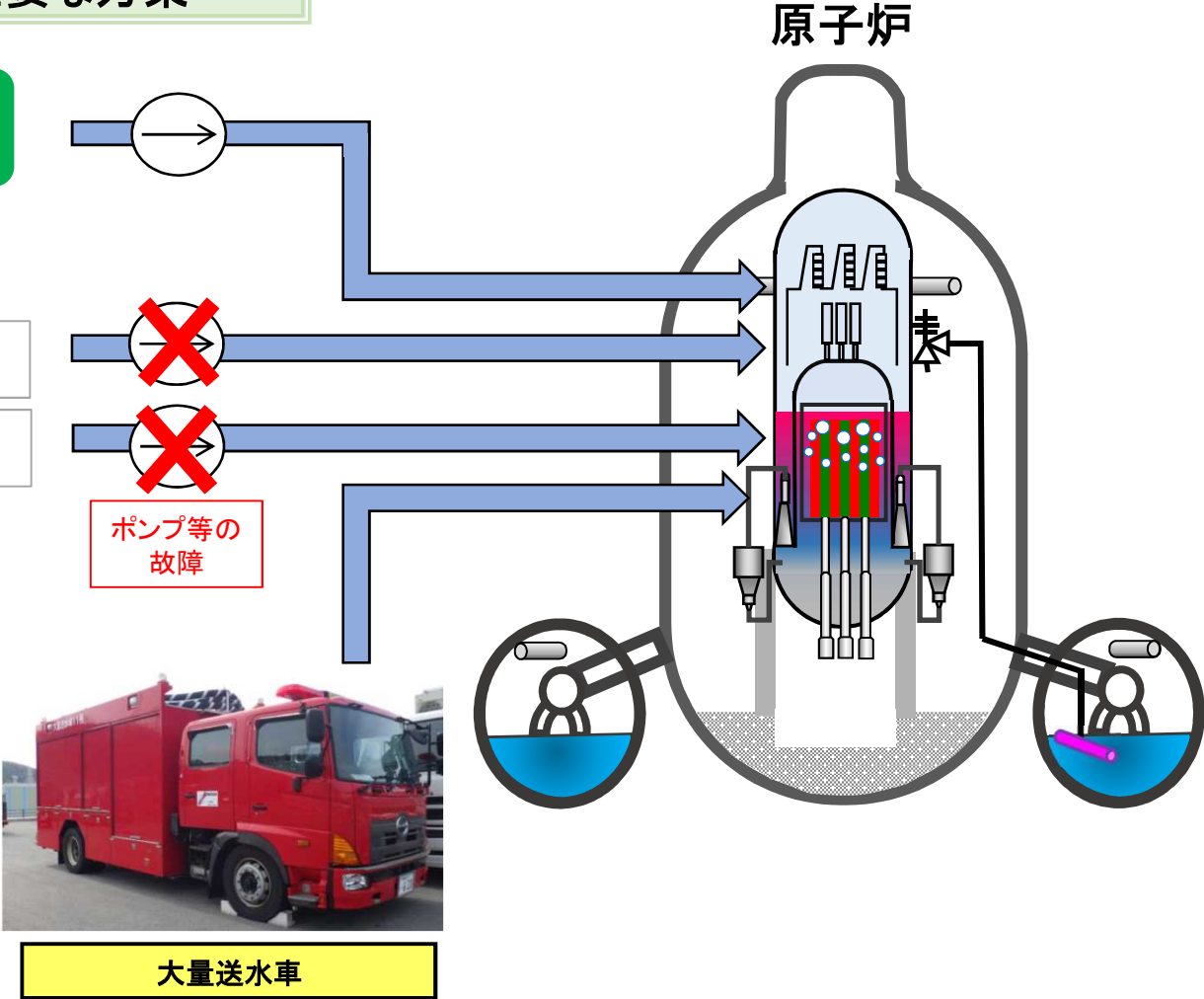
炉心損傷防止対策②

原子炉を冷やすための主要な方策

代替りとなる注水手段の確保
(高圧原子炉代替注水ポンプ)

- 非常用炉心冷却系(高圧)
- 非常用炉心冷却系(低圧)

代替りとなる注水手段の確保
(低圧原子炉代替注水ポンプ、
大量送水車)



出典: 発電用原子炉設置変更許可申請の補正書及び補足説明資料
(2021年6月17日)から一部抜粋・加工<<https://www.nsr.go.jp/data/000356342.pdf>>

**「冷やす」安全機能が失われた場合に備えて、
原子炉を冷却するための代替手段等を確保**

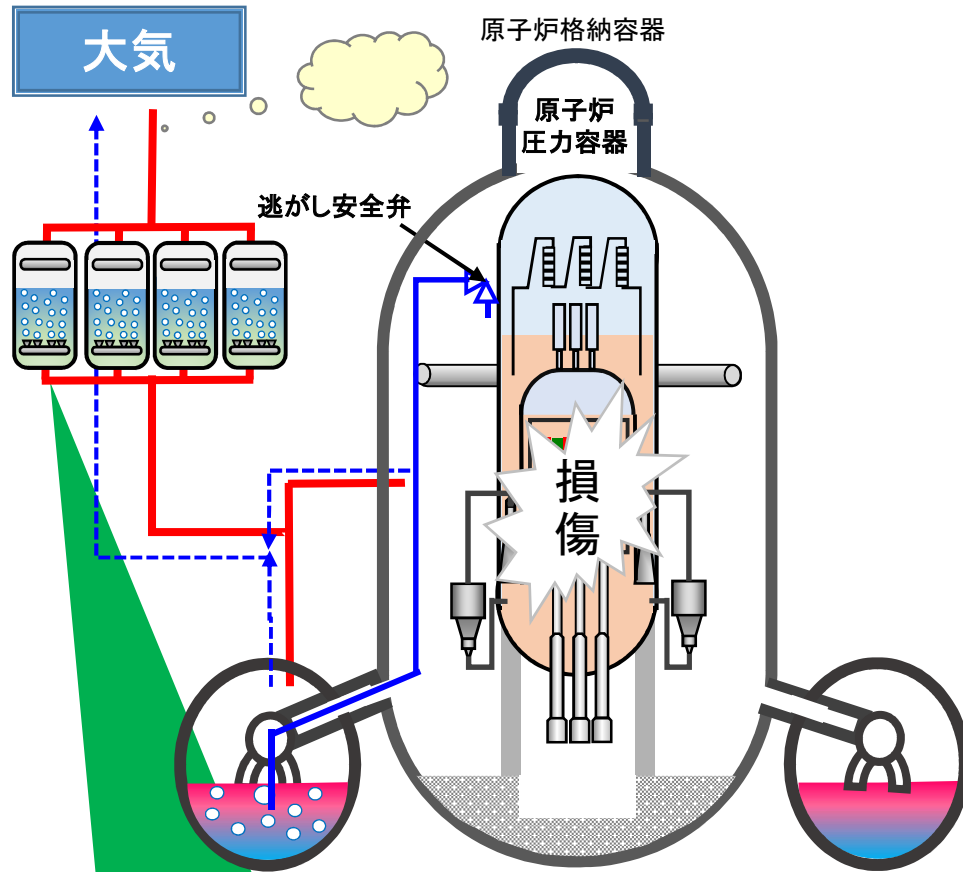
対策をとらないと原子炉格納容器が破損しうる重大事故

	格納容器破損モード	評価事故シーケンス
格納容器内の 圧力・温度の 上昇による破損	① 雰囲気圧力・温度による静的負荷(格納容器過圧・過温破損)	冷却材喪失(大破断LOCA) + ECCS注水機能喪失 + 全交流動力電源喪失
	② 高圧溶融物放出 / 格納容器雰囲気直接加熱(DCH(※1))	過渡事象 + 高圧炉心冷却失敗 + 原子炉減圧失敗 + 炉心損傷後の原子炉減圧失敗 + 原子炉注水失敗 + DCH発生
	③ 原子炉圧力容器外の溶融燃料 - 冷却材相互作用(FCI(※2))	過渡事象 + 高圧炉心冷却失敗 + 低圧炉心冷却失敗 + 炉心損傷後の原子炉注水失敗 + FCI発生
溶融燃料の接 触による破損	④ 水素燃焼	冷却材喪失(大破断LOCA) + ECCS注水機能喪失 + 全交流動力電源喪失
	⑤ 溶融炉心・コンクリート相互作用	過渡事象 + 高圧炉心冷却失敗 + 低圧炉心冷却失敗 + 炉心損傷後の原子炉注水失敗 + デブリ冷却失敗

※1 DCH : Direct Containment Heating

※2 FCI : Fuel Coolant Interaction

「閉じ込める」ための手段（重大事故時）



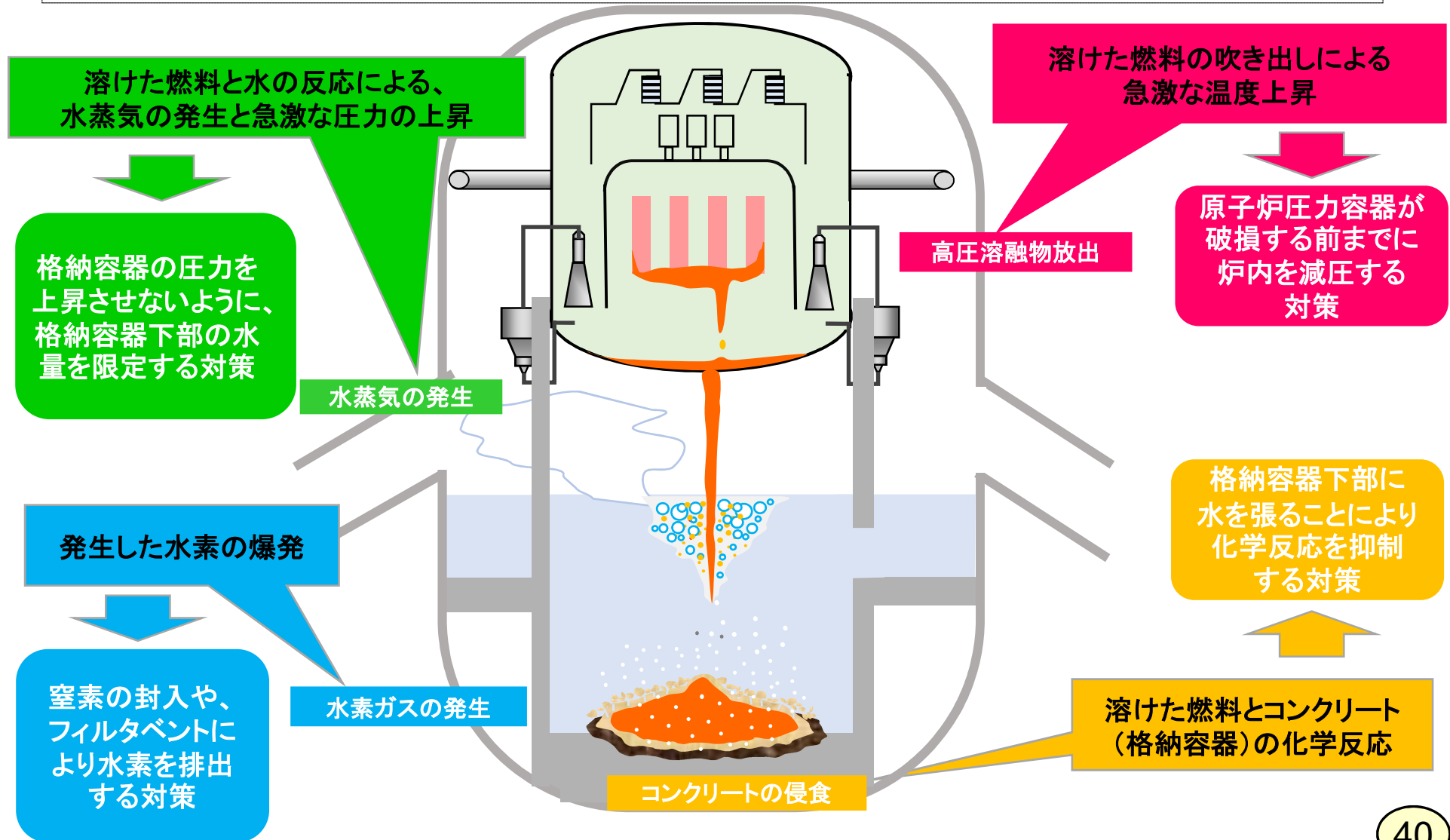
格納容器フィルタベント系により、
格納容器内の圧力を下げる

- 格納容器内の減圧が困難な時は、「格納容器フィルタベント系」を通じて、格納容器内の蒸気を逃がし、圧力を下げて閉じ込め機能を維持。
- 格納容器フィルタベント系は、排気中の放射性物質を低減できるが、完全に除去できるわけではない。

格納容器フィルタベント系により格納容器
内の圧力を下げて閉じ込め機能を維持

重大事故の拡大を防止する対策（炉心が溶けた状態を想定）

- 燃料が溶けて、原子炉圧力容器が破損し、燃料が格納容器の下部に落下すると、放射性物質を閉じ込める格納容器を破損させるような様々な現象が発生する。
- 放射性物質を閉じ込める格納容器を守るための対策を講じる。



共通事項(対策要員による作業のための体制・手順など)

重大事故等時におけるソフト面の対策として、体制の整備、要員に対する訓練の実施、設備復旧のためのアクセスルートの確保等を要求

以下の対策により基準に適合していることを確認。

➤ 手順の整備

- ・プラント状態の把握や事故の進展を予測する手順
- ・状況に応じ、適切に判断をするための基準の明確化
- ・設備等の使用手順

➤ 体制の整備

- ・指揮命令系統の明確化
- ・発電所内の燃料や予備品等の備蓄により事故後7日間、自力で事故収束活動を実施
- ・重大事故等の中長期的な対応が必要となる場合に備えた体制の整備

➤ アクセスルートの確保

- ・可搬型重大事故等対処設備の運搬等のため、迂回路も考慮して複数のアクセスルートを確認
- ・障害物を除去可能なホイールローダ等の重機の保管、運転要員の確保

➤ 緊急時の訓練(重大事故体制)

- ・高線量下だけでなく、夜間、悪天候等を想定した訓練を実施



夜間訓練

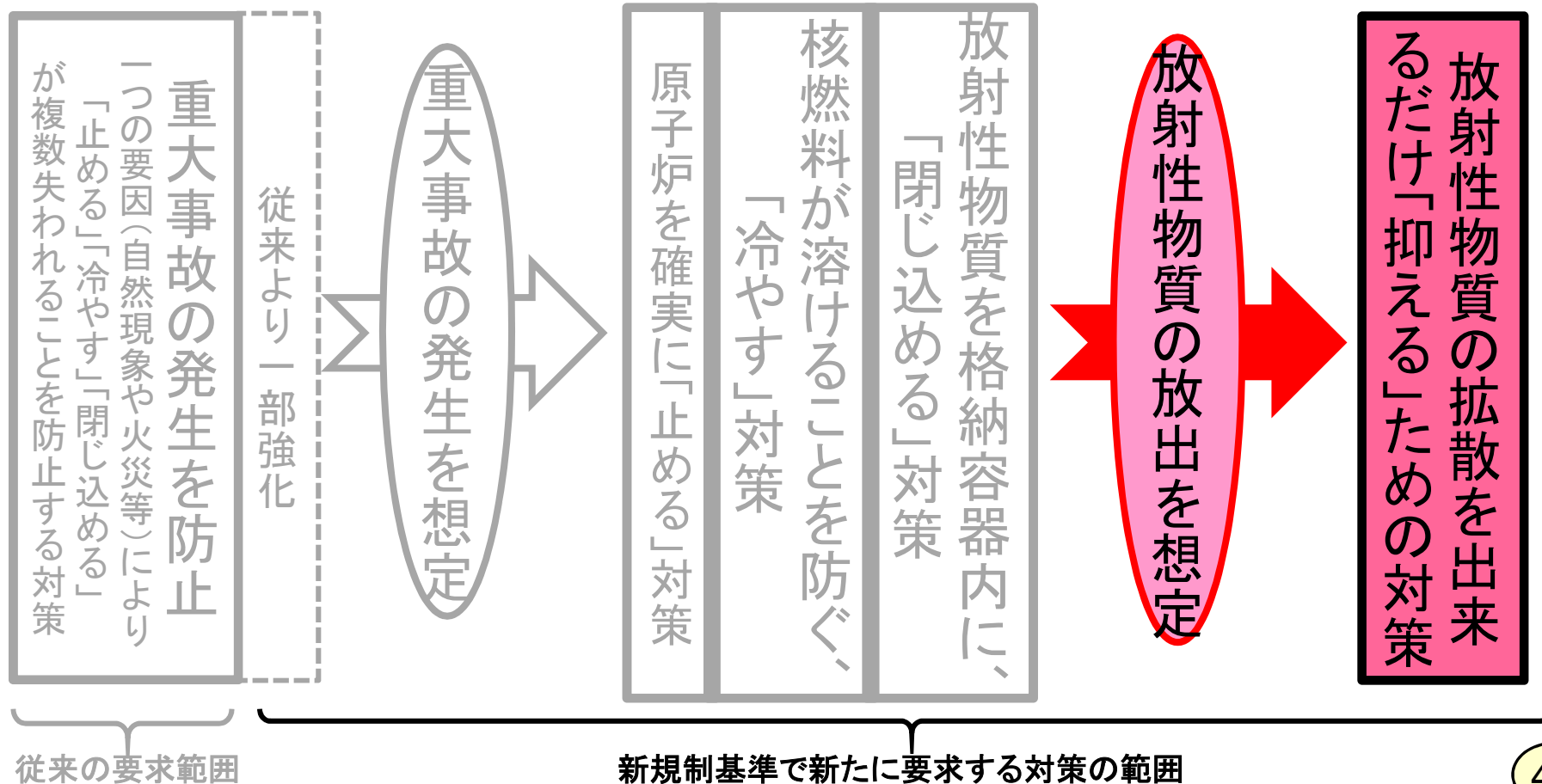


ホイールローダによる復旧

(3) 放射性物質の放出を想定した対策

新規制基準で新たに要求した主な対策

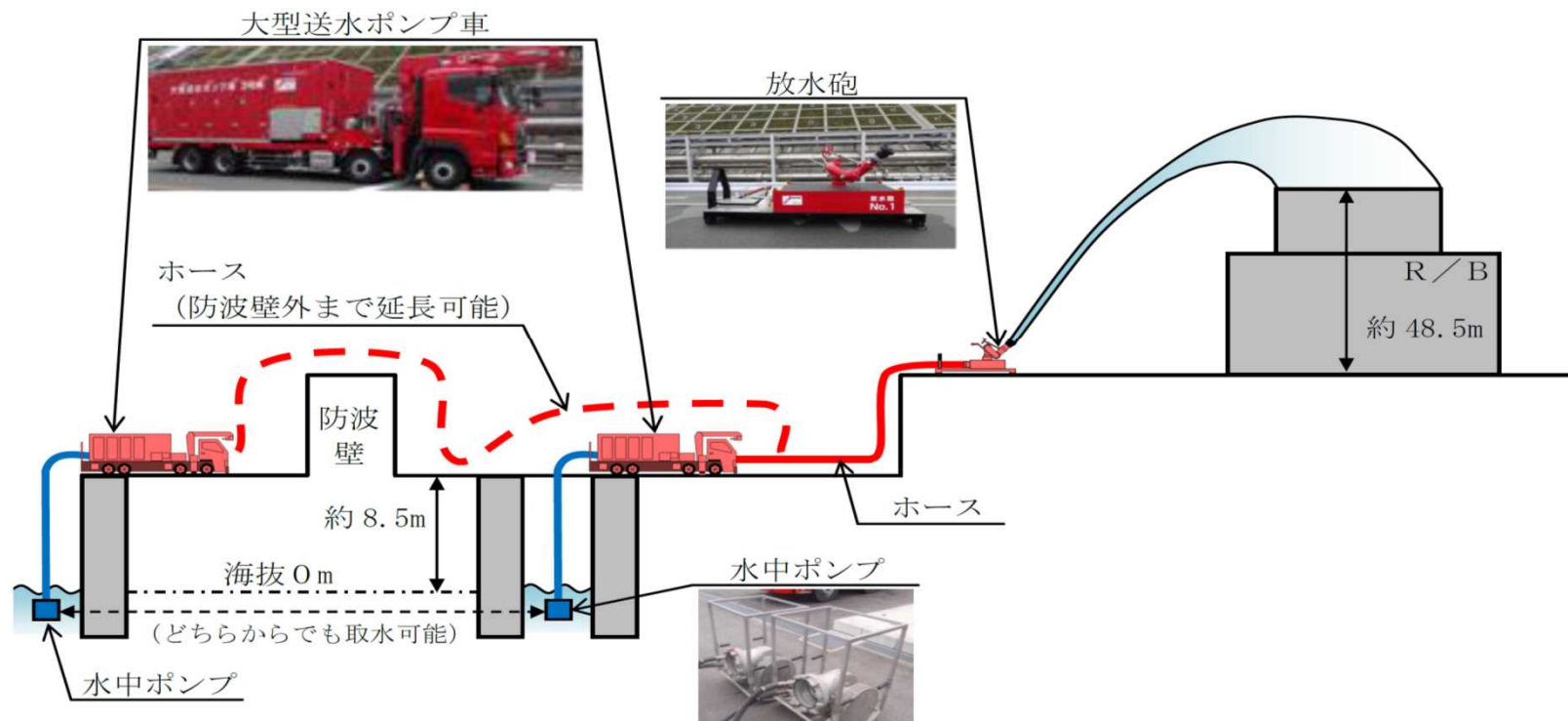
- 新規制基準では、重大事故(シビアアクシデント)を防止する対策の強化に加え、重大事故の発生を想定した対策も要求。
- それでもなお、敷地外へ放射性物質が放出されるような事態になった場合を考え、さらなる対策として、放射性物質の拡散をできるだけ「抑える」ための対策を要求。



発電所外への放射性物質の拡散を抑制するための対策

- ◆ 発電所外への放射性物質の拡散を抑制するため、以下の対策を要求
 - 原子炉建屋に放水し、大気への放射性物質の拡散の抑制
 - 海洋への放射性物質の拡散の抑制

- 大型送水ポンプ車、放水砲等により原子炉建物へ放水する設備及び手順の整備。
- 海洋への拡散抑制設備(放射性物質吸着材及びシルトフェンス)を設置する設備及び手順の整備。



発電用原子炉施設の大規模な損壊への対応

◆ 大規模な自然災害や故意による大型航空機の衝突その他のテロリズムが発生した場合に活動するための手順書、体制及び設備の整備等を要求

- 可搬型設備による対応を中心とした多様性及び柔軟性を有する手順書を整備。
- 通常と異なる対応が必要な場合でも柔軟に対応できるよう体制を整備。
- 設備は複数箇所に分散配置。

原子炉建物等から100m以上離隔をとった高台に
複数箇所に分散配置

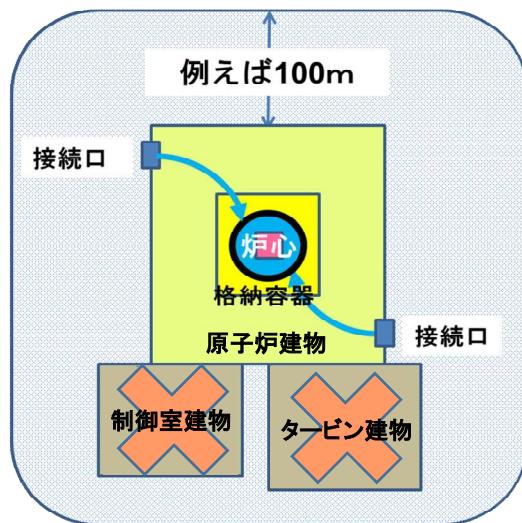


大型送水ポンプ車



放水砲

放水設備



高圧発電機車

(4)原子力規制委員会としての結論

以上の確認の結果、

- 島根原子力発電所2号炉に関する設置変更許可申請の内容については、新規制基準に適合していると判断。
- 令和3年9月15日、原子力規制委員会は、審査書を了承し、設置変更許可。

(参考資料)

「安全機能」とは

規制基準の基本的考え方とは？

原子力発電所を運転するためには様々な設備が必要
原子炉に悪影響を与えるような異常状態や設備の故障等（事故）の発生に備え、

『止める 冷やす 閉じ込める』役割を持つ設備を用意すること。

こうした安全を守る役割のことを「安全機能」と呼ぶ。

異常状態や事故に対処するため、
安全機能を持つ設備には高い信頼性が求められる。

～「安全機能」を持った設備の例～

原子炉を止める設備 → 核分裂連鎖反応を止める制御棒
原子炉を冷やす設備 → 水を注入したり、循環させるポンプなど
(原子炉は核分裂連鎖反応を止めても熱を発する)

放射性物質を閉じ込める設備 → 核燃料を装荷する原子炉圧力容器
それを取り囲む原子炉格納容器、配管など
(これらに必要な非常用電源なども含まれる)

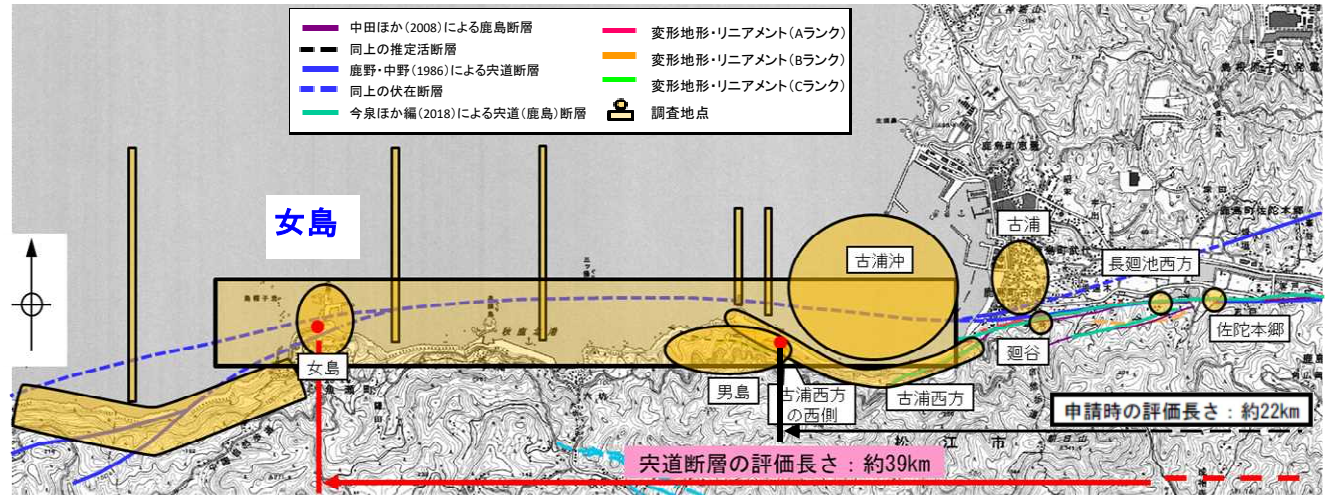
基準地震動(震源として考慮する活断層)

突道断層の評価

<審査書 P.16-19>

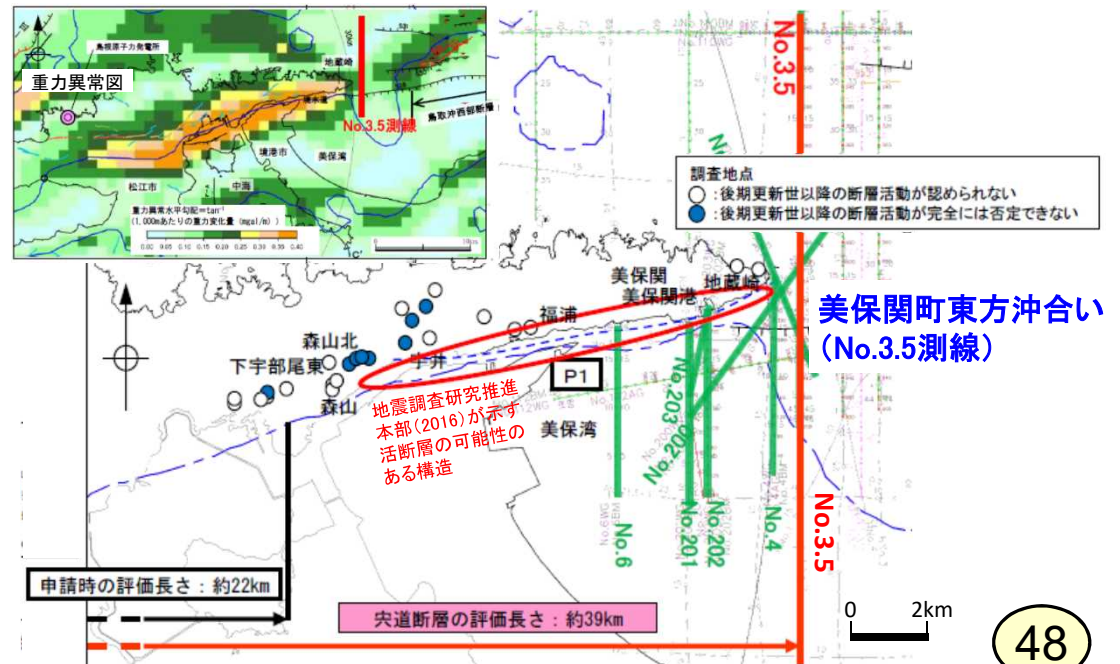
西端の評価

- 古浦から女島付近において後期更新世以降の断層活動は認められないが、精度や信頼性の高い調査により突道断層が認められないことを確認した女島を西端と評価。



東端の評価

- 美保湾における音波探査の結果、後期更新世以降の断層活動は認められないものの、精度や信頼性の高い音波探査によって後期更新世以降の断層活動が認められないこと及び既往文献により東側で明瞭な重力異常が認められなくなることを確認した位置の美保関町東方沖合いを東端と評価。



基準地震動(震源として考慮する活断層)

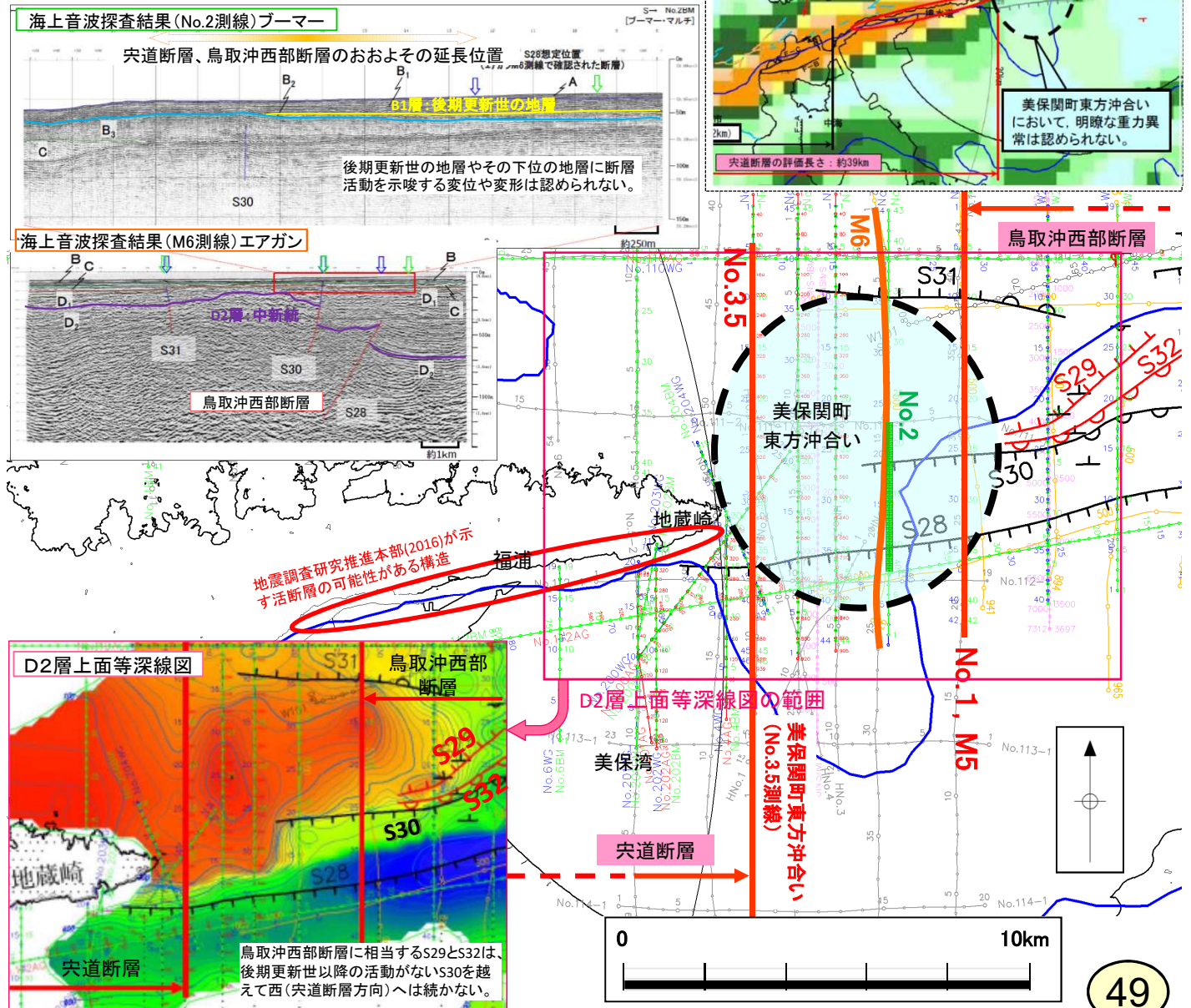
宍道断層と鳥取沖西部断層との関係

<審査書 P.16-19>

<審査結果の概要>

以下のことなどから、宍道断層と鳥取沖西部断層は連動しないと評価。

- 音波探査の結果から両断層の間に後期更新世以降の断層活動は認められないこと。
- 両断層間にはD2層(中新統)の高まりとその高まりの南縁に後期更新世以降の活動は認められない断層が分布しこれらの構造を横断する断層は確認されないこと。
- 宍道断層で認められる明瞭な重力異常は鳥取沖西部断層へ連続しないこと。
等

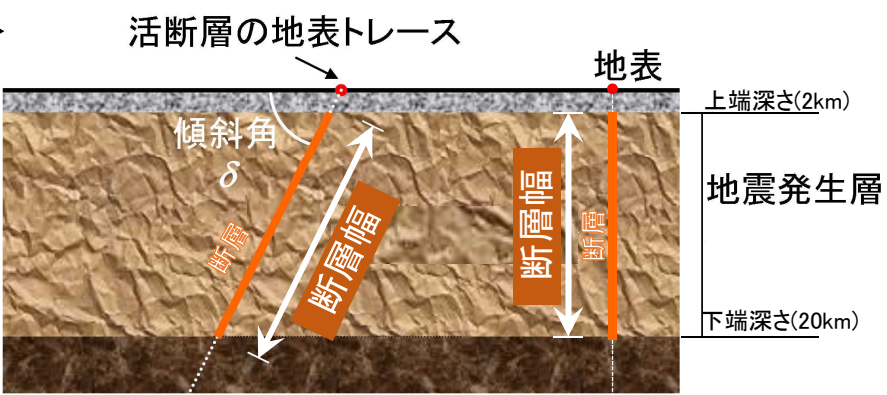


基準地震動(敷地ごとに震源を特定して策定する地震動の地震動評価)

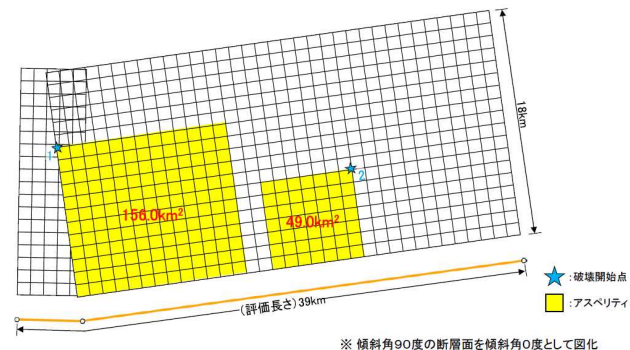
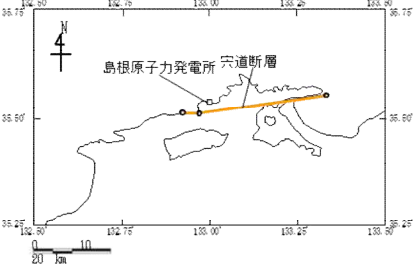
突道断層による地震の評価

<審査書 P.21-26>

- 申請時は断層下端深さを15kmとしていたが、規制委員会の指摘を踏まえ、微小地震の発生状況、他機関の断層モデルの断層幅(2000年鳥取県西部地震)等を考慮し、20kmに見直し。(F-III断層+F-IV断層+F-V断層による地震の評価についても同様)
- 規制委員会の指摘を踏まえ、震源が敷地に極めて近いことから、各種の不確かさの組合せにより、さらに十分な余裕を考慮した評価を実施。(評価ケース⑨~⑪)



断層幅、上端深さ、下端深さ、傾斜角
 (「震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」)」
 地震調査研究推進本部(2020)から抜粋・加筆)



※ 傾斜角90度の断層面を傾斜角0度として図化

突道断層による地震の断層モデル図:①基本震源モデル

突道断層による地震の地震動評価ケース(基本震源モデル、不確かさを考慮したケース)

No.	評価ケース	断層長さ	断層幅	断層傾斜角	破壊伝播速度	アスペリティ	短周期の地震動レベル	すべり角	破壊開始点
①	基本震源モデル	39km	18km	90°	0.72Vs	敷地近傍(2個)	レシピ	180°	2箇所
②	破壊開始点の不確かさを考慮したケース	39km	18km	90°	0.72Vs	敷地近傍(2個)	レシピ	180°	4箇所
③	断層傾斜角の不確かさを考慮したケース	39km	約19km	70°	0.72Vs	敷地近傍(2個)	レシピ	180°	6箇所
④	破壊伝播速度の不確かさを考慮したケース	39km	18km	90°	0.87Vs	敷地近傍(2個)	レシピ	180°	6箇所
⑤	すべり角の不確かさを考慮したケース	39km	18km	90°	0.72Vs	敷地近傍(2個)	レシピ	150°	6箇所
⑥	アスペリティの不確かさ(一塊:正方形)を考慮したケース	39km	18km	90°	0.72Vs	敷地近傍(1個)	レシピ	180°	5箇所
⑦	アスペリティの不確かさ(一塊:縦長)を考慮したケース	39km	18km	90°	0.72Vs	敷地近傍(1個)	レシピ	180°	5箇所
⑧	短周期の地震動レベルの不確かさ(1.5倍)を考慮したケース	39km	18km	90°	0.72Vs	敷地近傍(2個)	レシピ × 1.5	180°	6箇所
⑨	断層傾斜角の不確かさと破壊伝播速度の不確かさの組合せケース	39km	約19km	70°	0.87Vs	敷地近傍(2個)	レシピ	180°	6箇所
⑩	断層傾斜角の不確かさと短周期の地震動レベルの不確かさ(1.25倍)の組合せケース	39km	約19km	70°	0.72Vs	敷地近傍(2個)	レシピ × 1.25	180°	6箇所
⑪	破壊伝播速度の不確かさと短周期の地震動レベルの不確かさ(1.25倍)の組合せケース	39km	18km	90°	0.87Vs	敷地近傍(2個)	レシピ × 1.25	180°	6箇所

■:不確かさを考慮した断層パラメータ(認識論的不確かさ) □:不確かさを考慮した断層パラメータ(偶然的不確かさ)

基準地震動(震源を特定せず策定する地震動)

【要求事項】

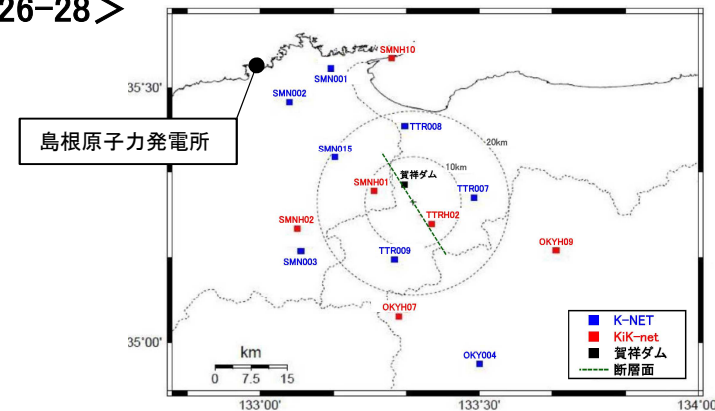
- 「震源を特定せず策定する地震動」は、震源と活断層を関連づけることが困難な過去の内陸地殻内の地震について得られた震源近傍における観測記録を収集し、これらを基に各種の不確かさを考慮して、敷地の地盤物性に応じた応答スペクトルを設定して策定する。(※)

(※)本項は、令和3年4月21日改正前の「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」による。

震源を特定せず策定する地震動の評価

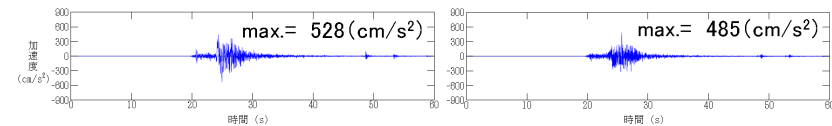
<審査書 P.26-28>

- 地域性を考慮するMw6.5以上の地震である2000年鳥取県西部地震については、震源域と敷地及び敷地近傍とは地質学的背景等に類似性が認められることから、当該地震の震源近傍で取得された地震観測記録のうち、信頼性が高く最も地震動レベルの大きい賀祥ダム(監査廊)の観測記録を採用。
- 全国共通に考慮すべきMw6.5未満の地震については、2004年北海道留萌支庁南部地震による震源近傍の観測点における記録に各種の不確かさを考慮した地震動及び加藤ほか(2004)に敷地の地盤物性を考慮した応答スペクトルを採用。



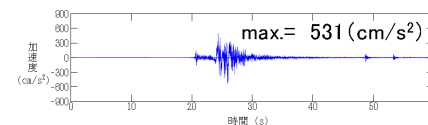
※断層面は地震調査研究推進本部(2002)による

2000年鳥取県西部地震の断層面と観測点位置



水平方向(NS成分)

鉛直方向



水平方向(EW成分)

2000年鳥取県西部地震の賀祥ダム(監査廊)の観測記録

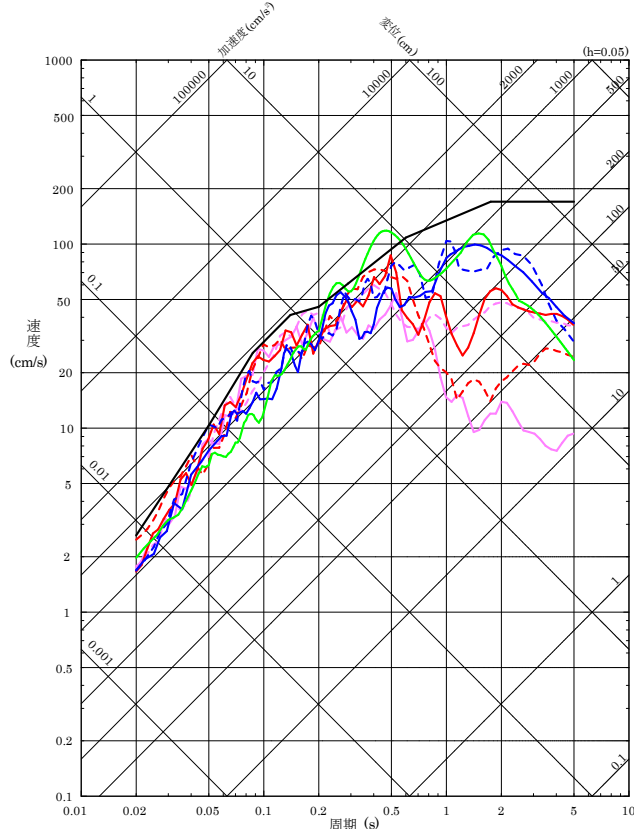
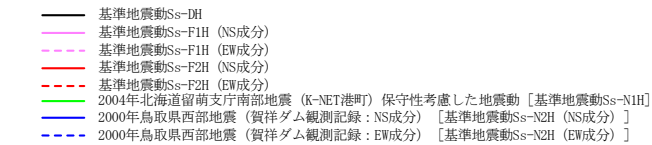
(中国電力(株)島根原子力発電所2号炉審査資料 審査取りまとめ資料
(令和3年6月18日)から一部抜粋・加筆 <<https://www2.nsr.go.jp/data/000356567.pdf>>)

基準地震動(応答スペクトル)

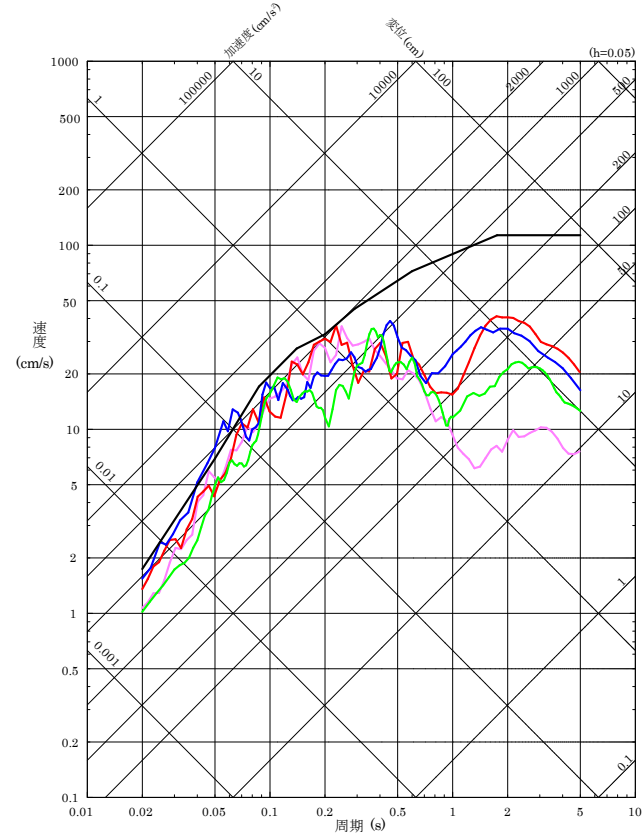
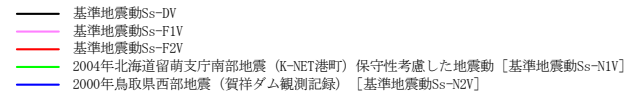
基準地震動の応答スペクトル

〈審査書 P. 28-29〉

- 最新の科学的・技術的知見を踏まえ、各種の不確かさを十分に考慮して、敷地及び敷地周辺の地質・地質構造、地盤構造並びに地震活動性等の地震学及び地震工学的見地から適切に基準地震動を策定。



水平方向



鉛直方向

基準地震動の擬似速度応答スペクトルの比較

(中国電力(株)島根原子力発電所2号炉審査資料 第972回審査会合資料 (令和3年4月30日) から一部抜粋・加筆 <<https://www2.nsr.go.jp/data/000350624.pdf>>)

「冷やす」「閉じ込める」ための手段（残留熱代替除去系）

循環水をスプレ
イし、格納容器
内の水蒸気を水
に戻し、圧力を
下げる

炉内の圧力
が上がるため
減圧

原子炉
圧力容器

原子炉格納容器

逃がし安全弁

主蒸気系へ

損傷

熱交換器
残留熱
代替除去
ポンプ

原子炉補機
冷却水ポンプ

故障

故障

原子炉補機
海水ポンプ

残留熱除去ポンプ

故障

移動式代替熱交
換設備

大型送水ポンプ車

海

- 格納容器は、炉心が損傷しても、放射性物質を閉じ込める機能を有する。
- 炉心損傷時は、蒸気により、格納容器内の圧力が上がり、格納容器が破損する可能性がある。
- 格納容器に水をスプレイし、蒸気を水に戻し、圧力を下げるのが「残留熱代替除去系」。
- フィルタベント装置と同等の機能を有するが、放射性物質を外に出さない。

残留熱代替除去系により格納容器内の
圧力を下げて閉じ込め機能を維持

循環水を海水で冷やすための
代替となるポンプ等