

女川原子力発電所2号炉に関する 審査の概要

原子力規制庁

2020年8月

※ 本資料は、東北電力株式会社女川原子力発電所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. 新規制基準の概要
3. 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)

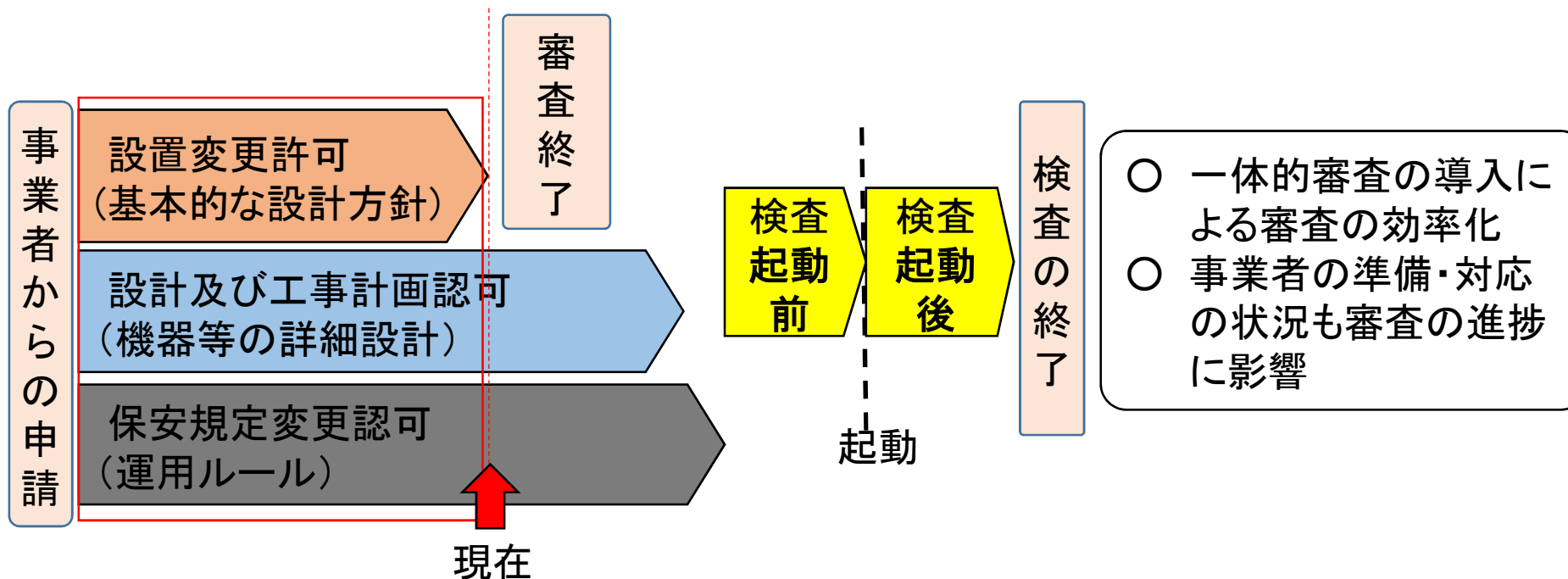
原子力規制委員会

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) 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、女川原子力発電所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、東北電力による「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。

(3) 女川原子力発電所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27日：東北電力が設置変更許可申請書、工事計画及び保安規定の変更申請書を提出

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）

※176回の審査会合と8回の現地調査等を実施

※598回のヒアリングを実施

令和元年11月27日：設置変更許可に係る審査結果（案）をとりまとめ

令和元年11月28日～12月27日：審査書（案）に対する科学的・技術的意見を募集

令和 2年 2月26日：審査書を原子力規制委員会です承し、設置変更許可

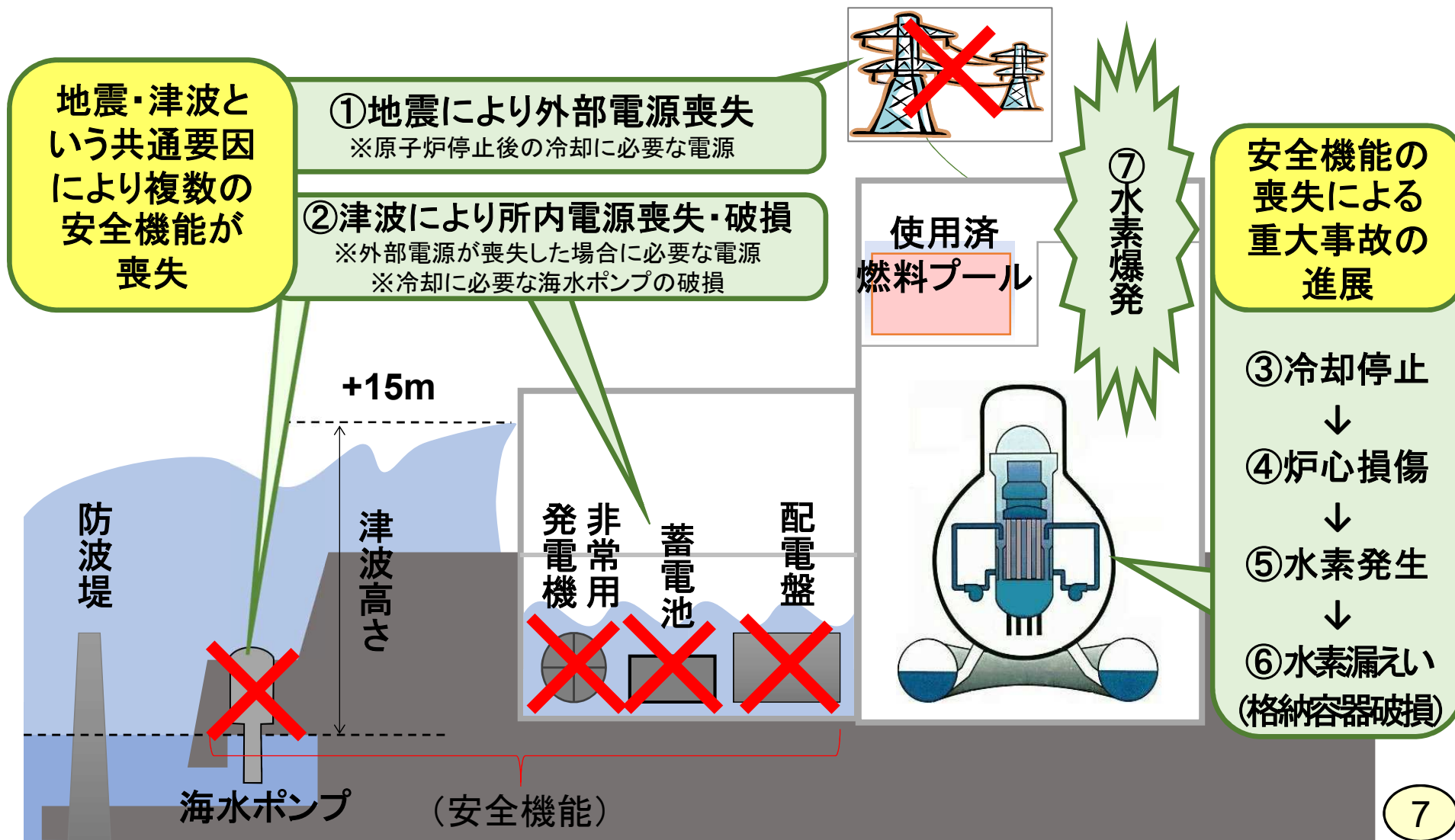
※審査書全文は原子力規制委員会ホームページに掲載しています。

「設置変更許可 審査書」：<https://www.nsr.go.jp/data/000302937.pdf>

2. 新規制基準の概要

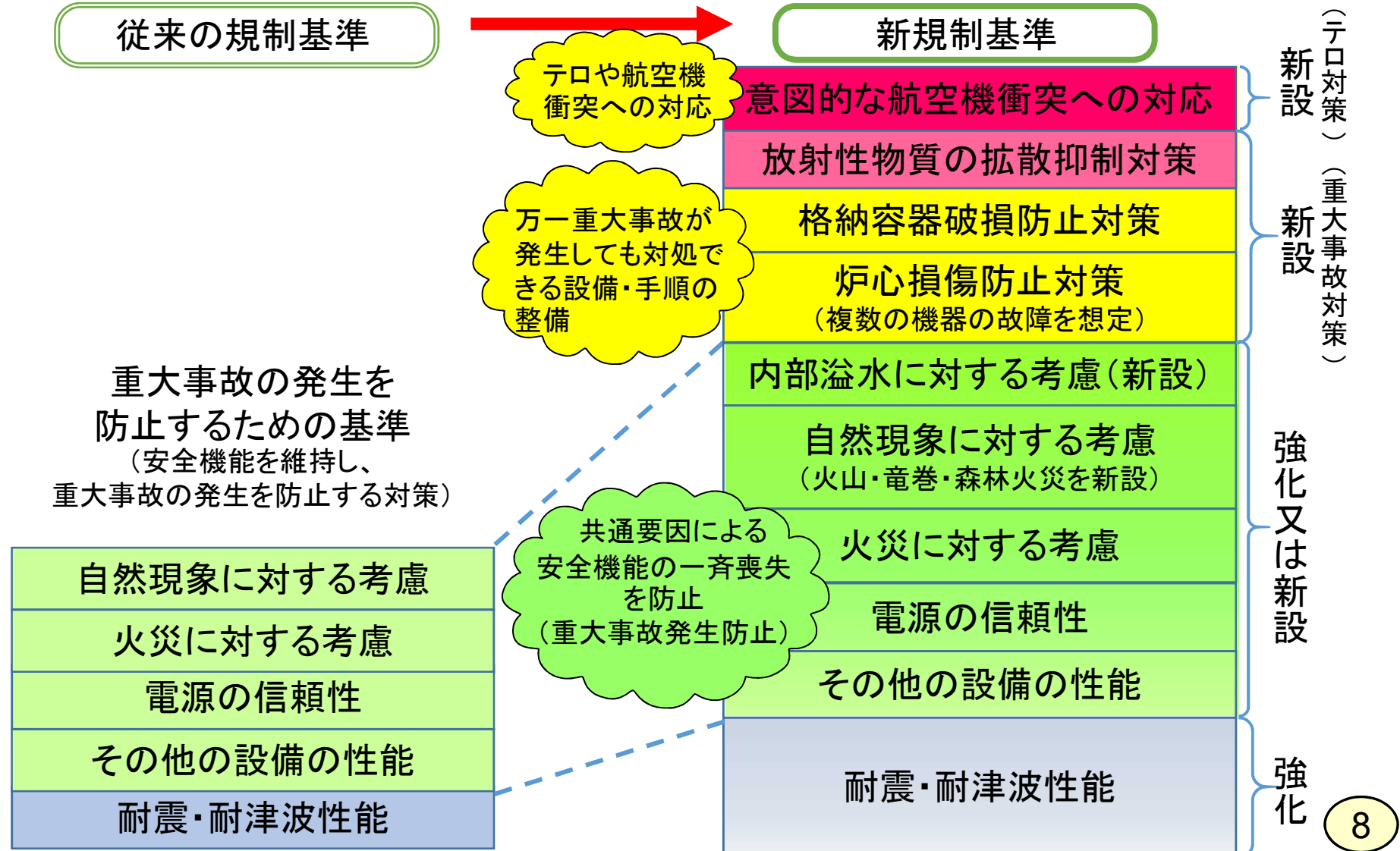
(1) 福島第一原子力発電所事故における教訓

- 福島第一原子力発電所事故では、地震や津波などの共通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。



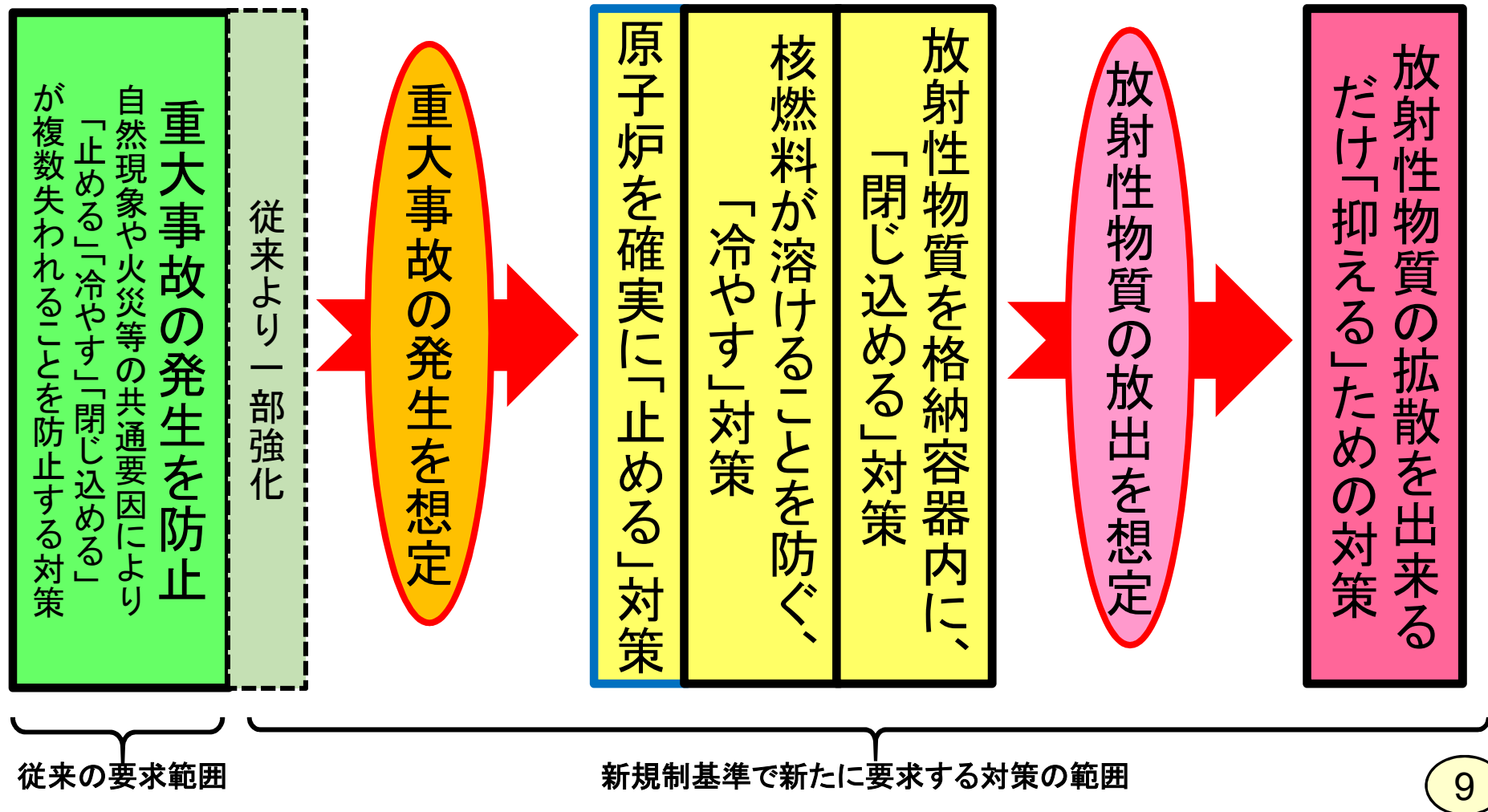
(2) 強化した新規制基準

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。



(3) 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

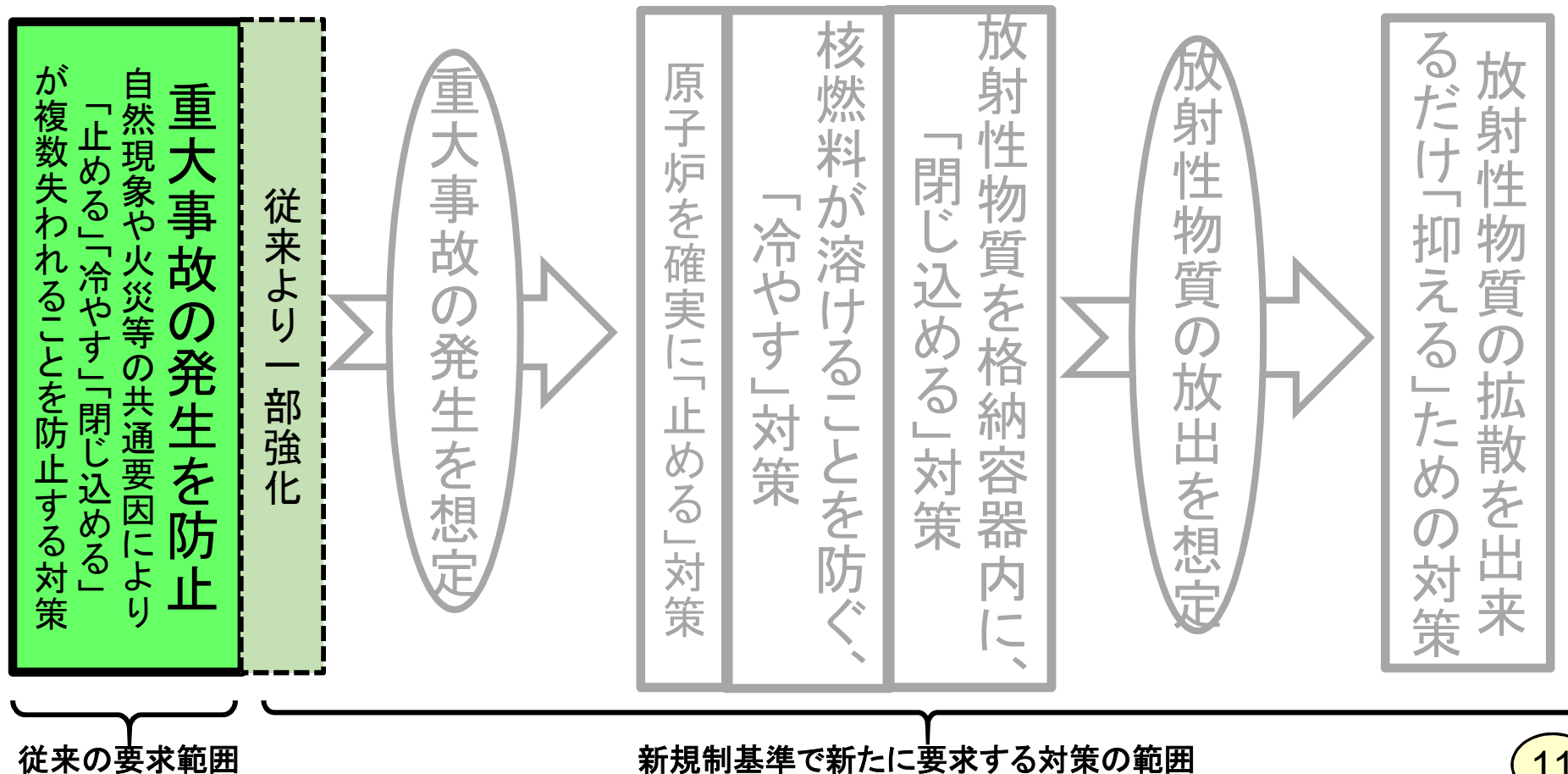


3. 設置変更許可申請に関する 審査結果の概要

(1) 重大事故の発生を防止するための対策

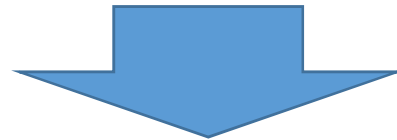
新規制基準で新たに要求した主な対策

- 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)

共通要因により
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

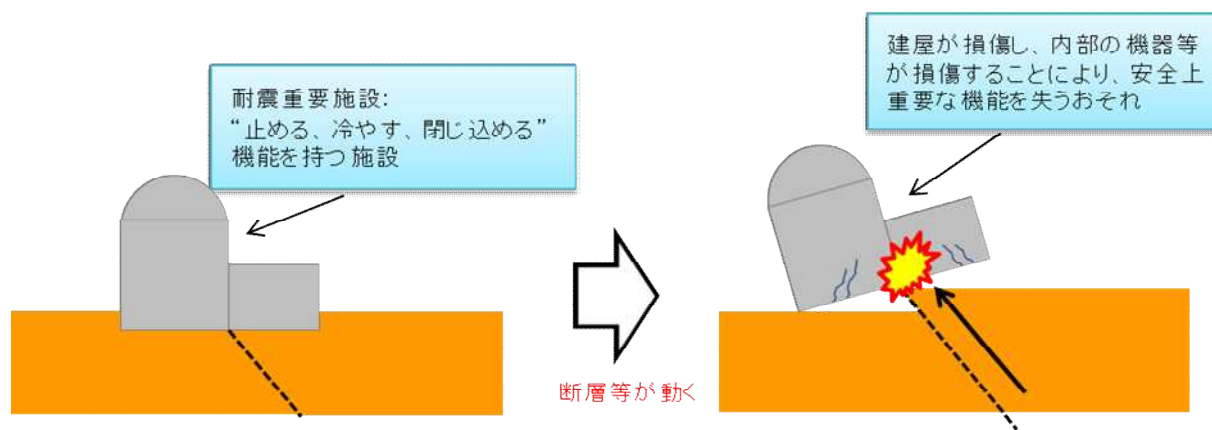
その他の要因の考慮と
対策の強化

- 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いけません。(左図)
- ◆ 「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です。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について確認します。(右図)

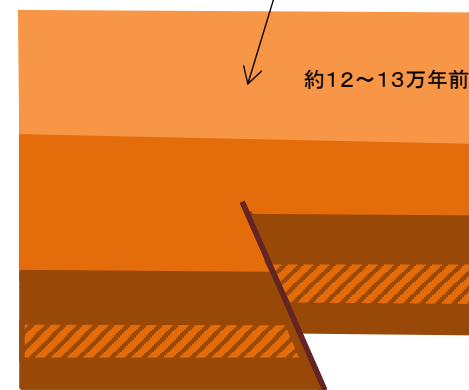
【断層活動による地盤の変位(ずれ)】



(「実用発電用原子炉に係る新規規制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規制基準について(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】

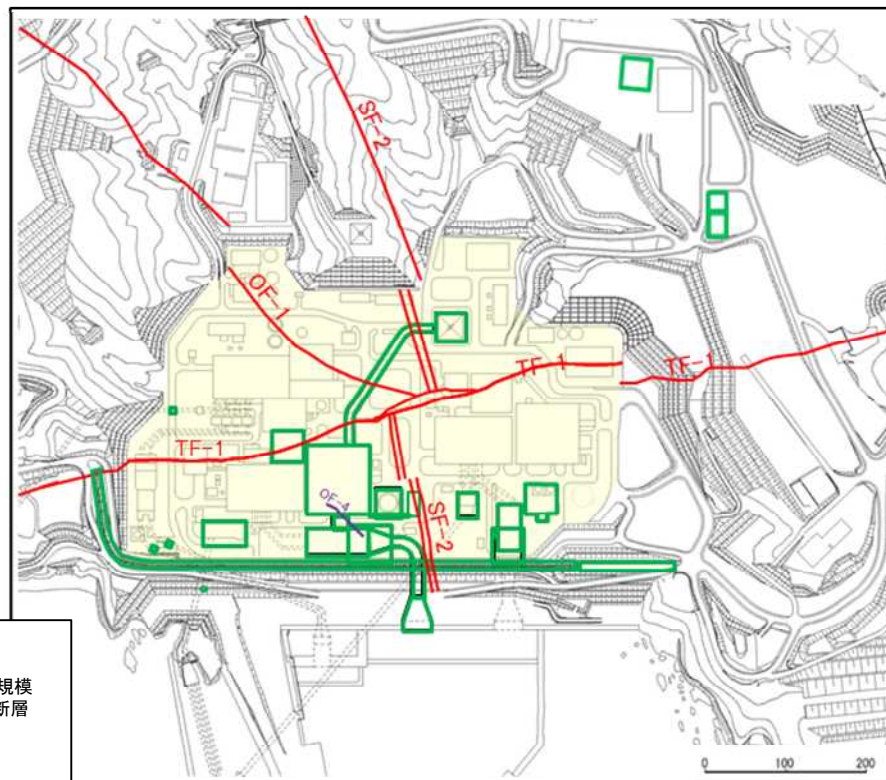
- ▶ 耐震重要施設は、「将来活動する可能性のある断層等」の露頭が無いことを確認した地盤に設置する。

地盤の変位

- ◆ 活動性の評価対象断層として、耐震重要施設を設置する地盤に確認される9断層を抽出。
- ◆ これら9断層については、約1億年前の活動が終息して以降、断層の活動がないものと評価。※

※活動性評価としては、9断層のうち破碎規模や活動の新旧関係から、代表2断層(TF-1断層及びOF-4断層)を選定し評価

【敷地内の評価対象断層と施設の位置】



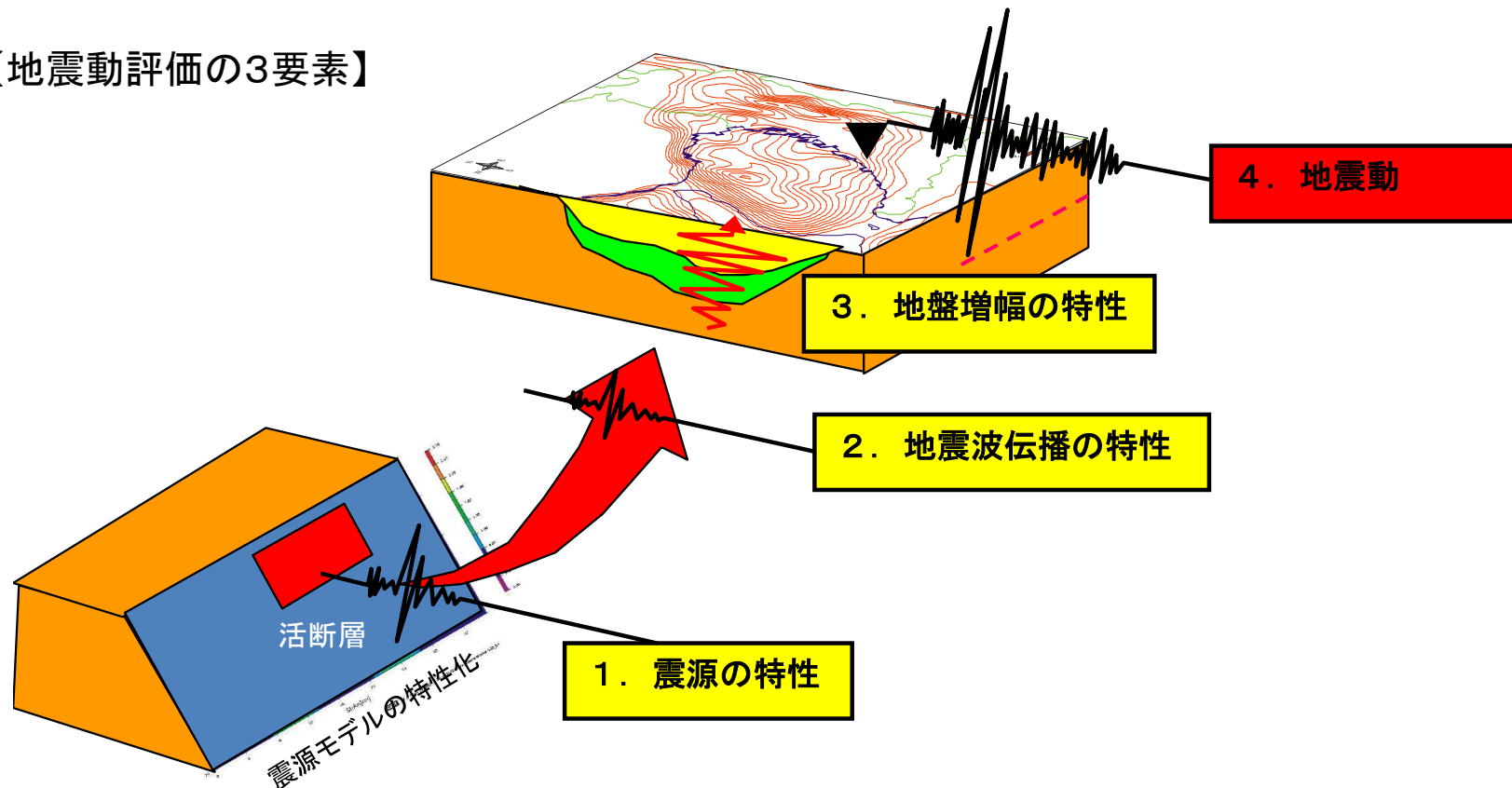
凡 例	
	: 耐震重要施設等※の直下にある断層のうち規模及び連続性の大きい断層として選定された断層
	: 同 選定の対象外の断層
	: O.P.+14.8m盤
	: 耐震重要施設等

※ 耐震重要施設又は常設重大事故等対処施設

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(地震増幅の特性)という三つの特性によって決定されます。

【地震動評価の3要素】



基準地震動(震源として考慮する活断層、検討用地震の選定)

【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

- ◆ 産業技術総合研究所発行の地質図、地質調査所編(1992)、地震調査研究推進本部(2006)、今泉ほか編(2018)等の文献調査を含む調査結果に基づき、震源として考慮する活断層として右図の通り抽出し、活断層の位置、形状等の評価。

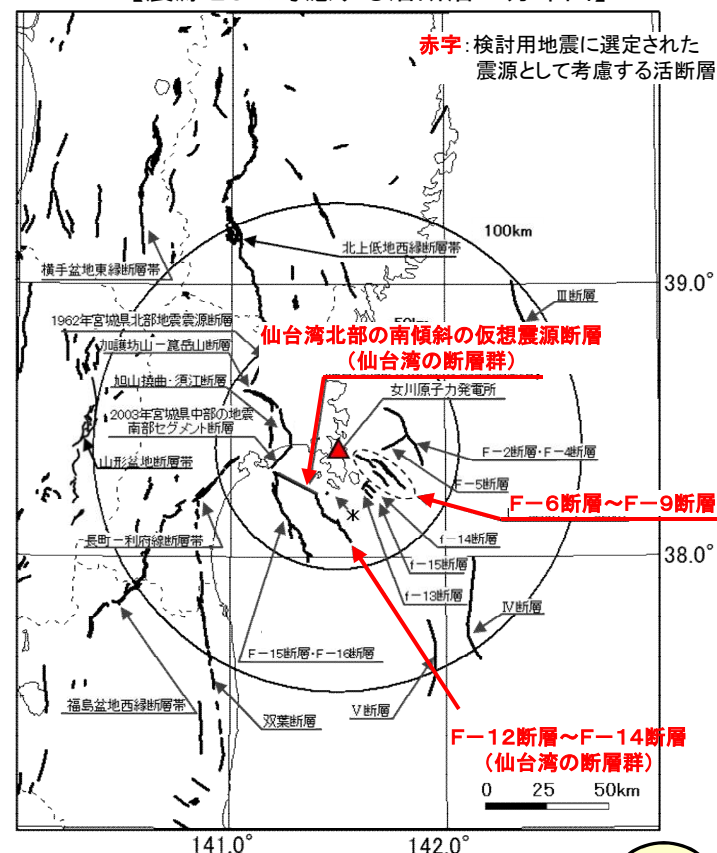
検討用地震の選定

- ◆ 検討用地震については、地質調査結果等に基づき、敷地に大きな影響を与えると予想される地震として、以下の4地震を選定
 - ※①及び②の内陸地殻内地震による地震動評価結果は、③プレート間地震及び④海洋プレート内地震による地震動評価結果に包絡されることから、基準地震動に反映されない

- ①F-6断層～F-9断層による地震※
- ②仙台湾の断層群による地震※
- ③2011年東北地方太平洋沖型地震
- ④2011年4月7日宮城県沖型地震

- 【内陸地殻内地震①】
- 【内陸地殻内地震②】
- 【プレート間地震】
- 【海洋プレート内地震】

【震源として考慮する活断層の分布図】



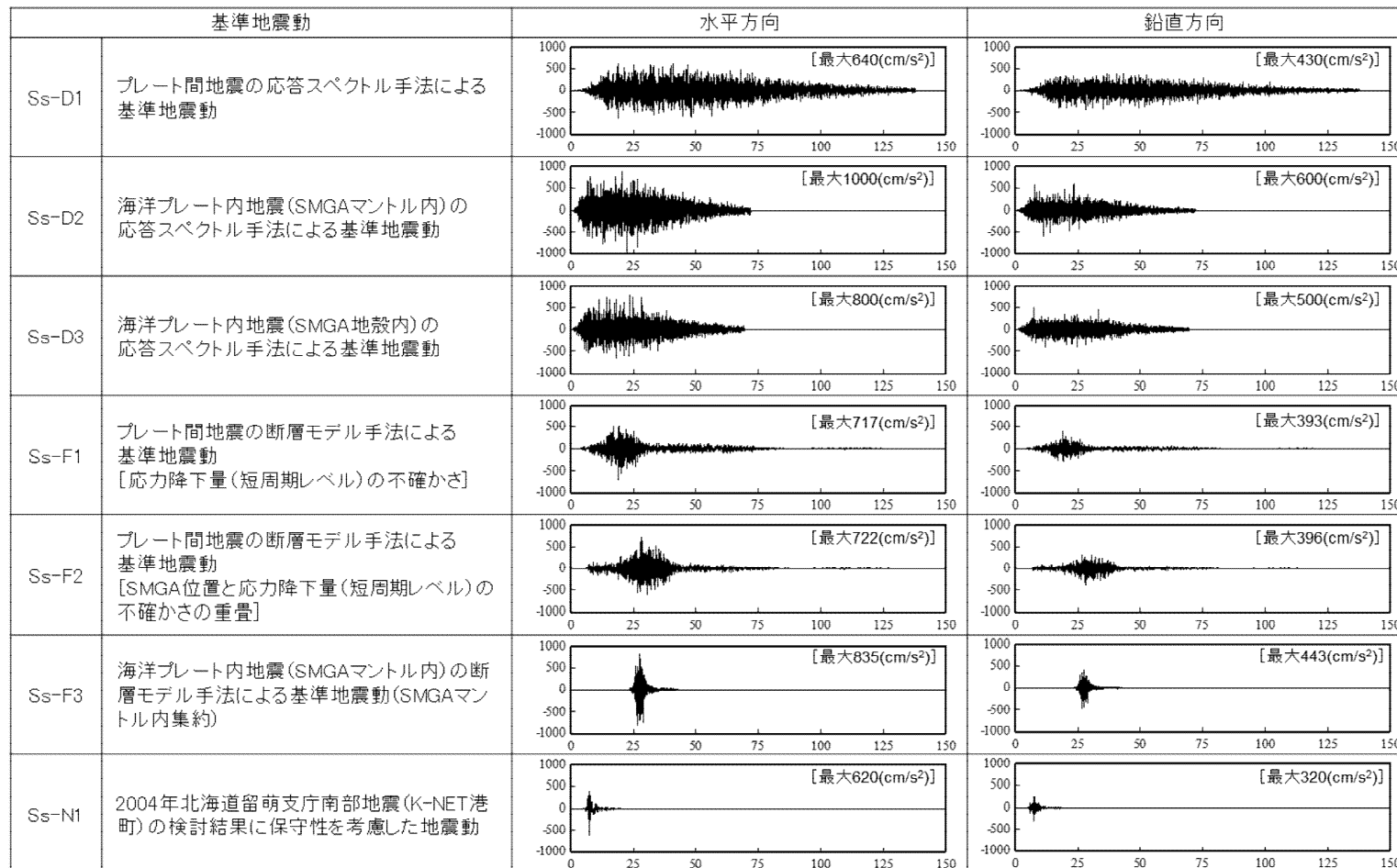
(東北電力(株)女川原子力発電所2号炉審査資料
第778回審査会合資料(令和元年9月27日)に加筆
<<http://www2.nsr.go.jp/data/000285204.pdf>>)

基準地震動(基準地震動の策定(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、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



申請時Ss-1から応答スペクトル形状、継続時間を変更

申請時Ss-2から応答スペクトル形状を変更

申請時から追加

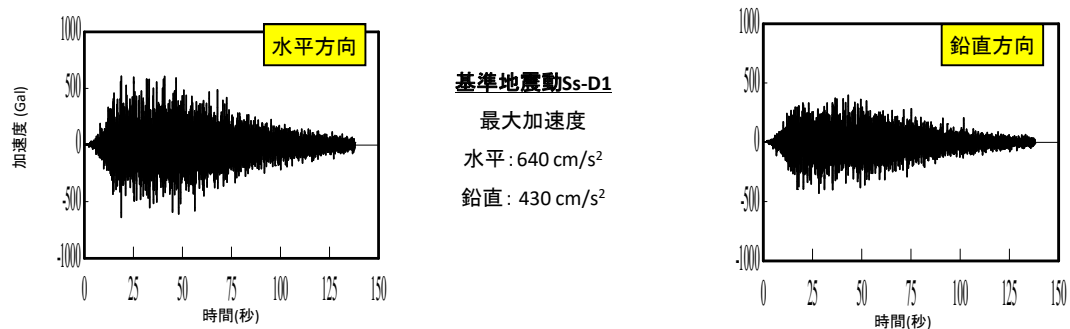
注1: 表中のグラフは各基準地震動の加速度時刻歴波形[縦軸: 加速度(cm/s²), 横軸: 時間(s)]

注2: 断層モデルによる基準地震動のSs-F1, Ss-F2, Ss-F3については、3.11地震、4.7地震の観測記録との整合性を確認したシミュレーションでの手法(統計的グリーン関数法、放射特性一定)を用いていることから水平一方向としている。

基準地震動(補足①: 2011年東北地方太平洋沖地震による地震観測記録と基準地震動)

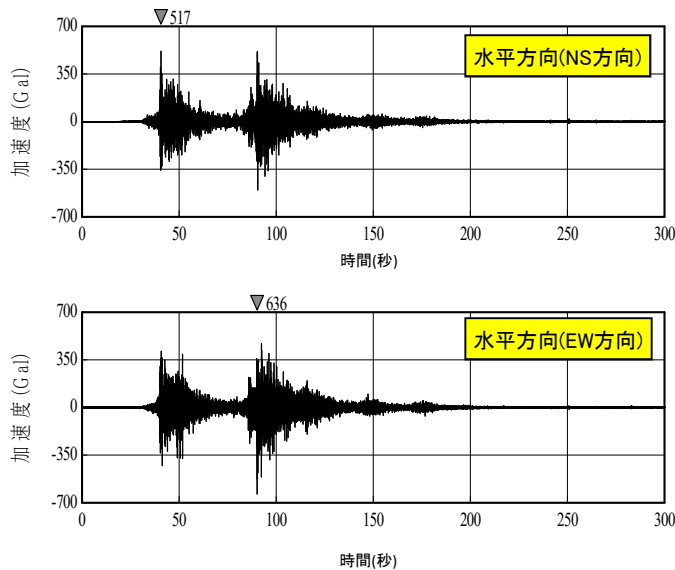
- 2011年東北地方太平洋沖地震による敷地での地震観測記録を包絡した基準地震動Ss-D1を策定した。

【2011年東北地方太平洋沖型地震による基準地震動の加速度時刻歴波形】

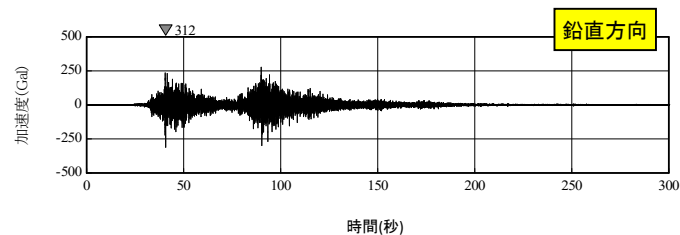


(東北電力(株)女川原子力発電所2号炉審査資料 第778回審査会合資料から抜粋・修正(令和元年9月27日)<<http://www2.nsr.go.jp/data/000285215.pdf>>)

(参考)女川原子力発電所における 2011年東北地方太平洋沖地震の観測記録



(東北電力(株)女川原子力発電所2号炉審査資料 第149回審査会合資料から抜粋・修正
(平成26年10月17日)<<https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/10953979/www.nsr.go.jp/data/000036054.pdf>>)

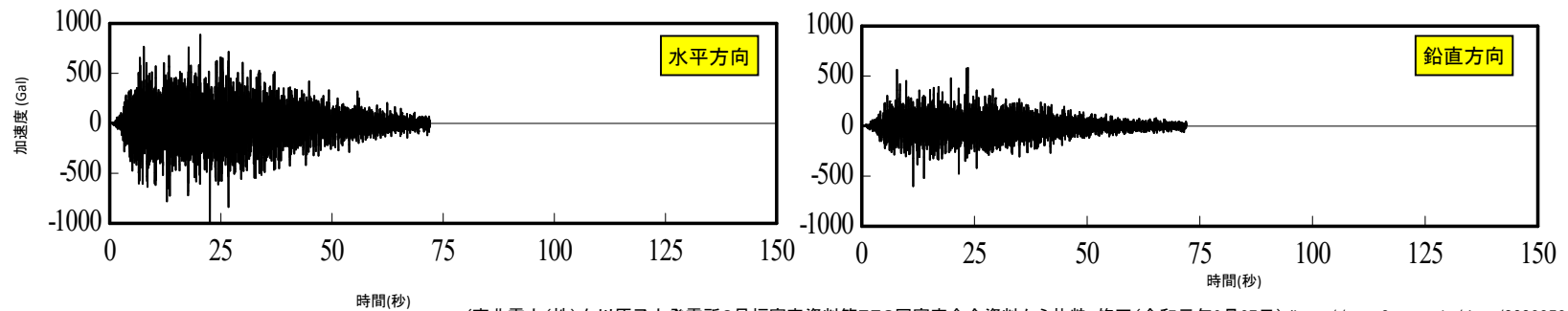


基準地震動(補足②): 2011年4月7日宮城県沖の地震による観測記録と基準地震動

- 2011年4月7日宮城県沖の地震(M7.2)を上回る規模の地震 (M7.5)による地震動評価結果を包絡させて基準地震動Ss-D2を策定した。

【2011年4月7日宮城県沖の地震による基準地震動の加速度時刻歴波形】

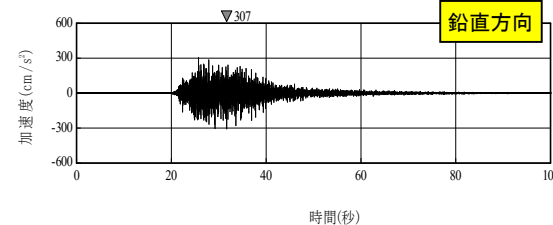
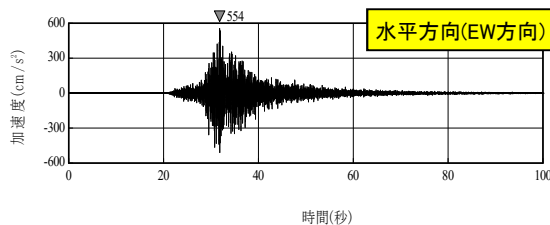
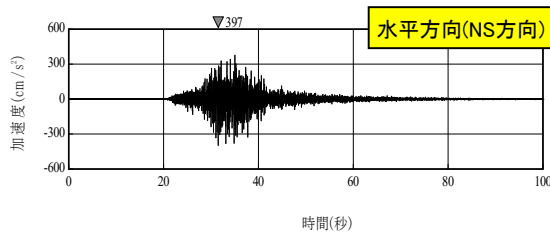
基準地震動Ss-D2 最大加速度 水平: 1,000 cm/s² 鉛直: 600 cm/s²



(東北電力(株)女川原子力発電所2号炉審査資料第778回審査会合資料から抜粋・修正(令和元年9月27日)<<http://www2.nsr.go.jp/data/000285215.pdf>>)

(参考)女川原子力発電所における 2011年4月7日宮城県沖の地震の観測記録

(東北電力(株)女川原子力発電所2号炉審査資料 第180回審査会合資料から抜粋・修正
(平成26年10月17日)<<https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/10953979/www.nsr.go.jp/data/000088242.pdf>>)



耐震設計方針

【要求事項】

- 設計基準対象施設は耐震重要度の区分に応じた地震力に対し十分に耐える設計とする。耐震重要施設は基準地震動による地震力に対して安全機能が損なわれない設計とする。

以下の対策により基準への適合を確認

- 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。

鉄骨ブレース追設

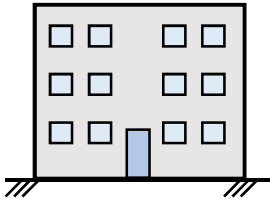
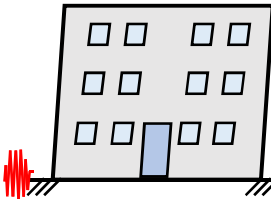
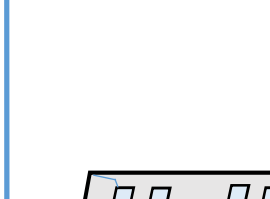
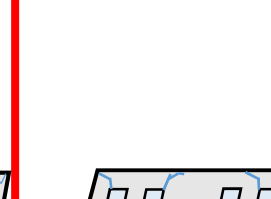
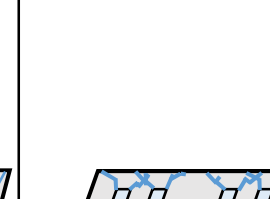

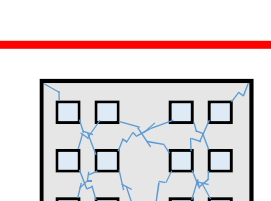
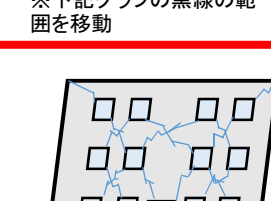
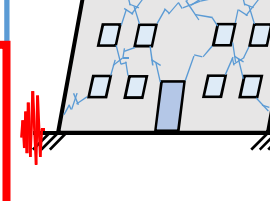
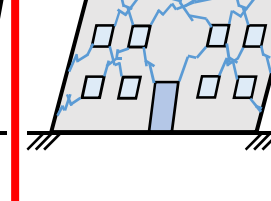
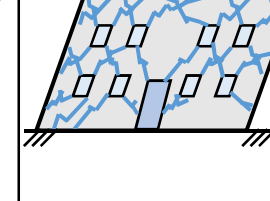
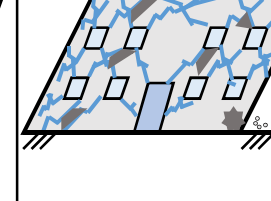


RC耐震壁増設

原子炉建屋耐震補強工事状況

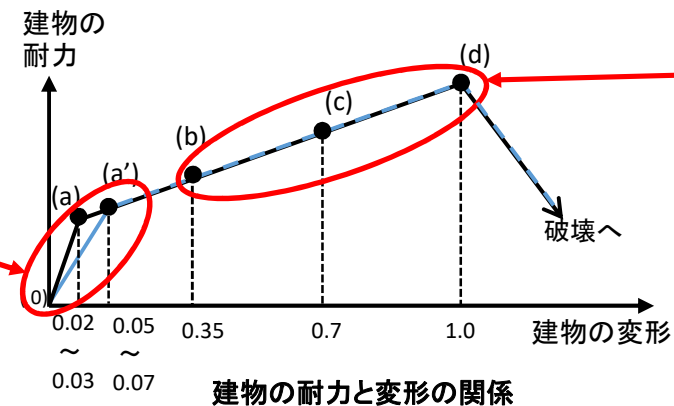
耐震設計方針(地震による影響)

(原子炉建屋相当の耐震性を有する場合のイメージ)

	【現在の状況】 状態(0)	【宮城県沖地震相当 の地震時】	【東北地方太平洋沖 地震相当の地震時】 状態(a')	【機能維持限界】 (機能維持限界耐力時) 状態(b)	【終局限界】 (終局耐力時) 状態(c)	【破壊限界】 (最大耐力時) 状態(d)
ひび割れなし		 ※下記グラフの黒線の範囲を移動				
ひび割れあり (女川2号炉)		 ※下記グラフの青線の範囲を移動				
備考			現在のひび割れの状態と同様となる。	コンクリートのひび割れが進展・増大する。	コンクリートのひび割れ幅が増大する。	コンクリートの剥離・崩落が生じる。

ここから先は、同じ状態になる

女川2号炉は、地震等によるひび割れにより、建物の初期の硬さが低下した状態にあり、小さな力を受けた時の変形は異なる。



大きな力を受けた時の建物の耐力は変わらない。

基準津波

【要求事項】

- 津波の発生要因として、地震のほか、地すべり、斜面崩壊その他の地震以外の要因、及びこれらの組合せによるものを複数選定し、各種の不確かさを十分に考慮して数値解析を実施し、策定する。
- 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。

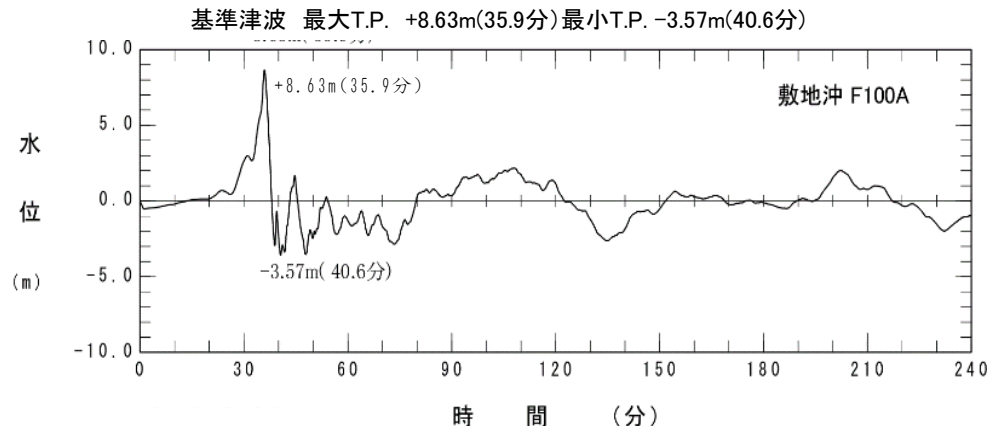
地震に伴う津波

- ◆ 敷地に大きな影響を及ぼすおそれがある地震に伴う津波について、以下の3つの検討対象波源についての検討結果から、敷地への最も影響が大きい津波波源は、「東北地方太平洋沖型の地震による津波」と評価。
 - 「東北地方太平洋沖型の地震による津波」(最大Mw9.13) 【プレート間地震】
 - 「1896年明治三陸地震による津波」(Mw8.5) 【津波地震(プレート間地震)】
 - 「1933年昭和三陸地震による津波」(Mw8.6) 【海洋プレート内地震】

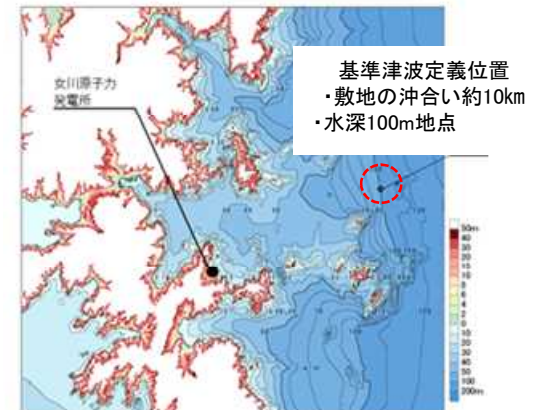
基準津波の策定

- ◆ 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、敷地に最も影響を与える「東北地方太平洋沖型の地震による津波」を基準津波として策定。

【基準津波定義位置における水位時刻歴波形】



【基準津波定義位置】



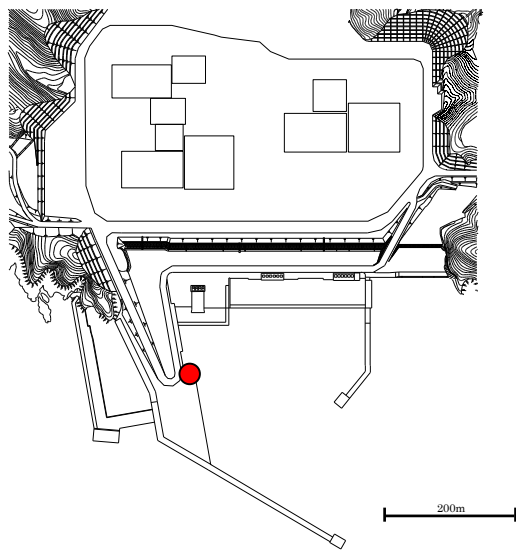
基準津波定義位置における時刻歴波形(上昇側最大:基準断層モデル③-1※2)
※2 大すべり域・超大すべり域の位置:標準/破壊開始点及び破壊伝播速度:基準(同時破壊)

津波(補足:女川原子力発電所で観測された2011年東北地方太平洋沖地震に伴う津波)

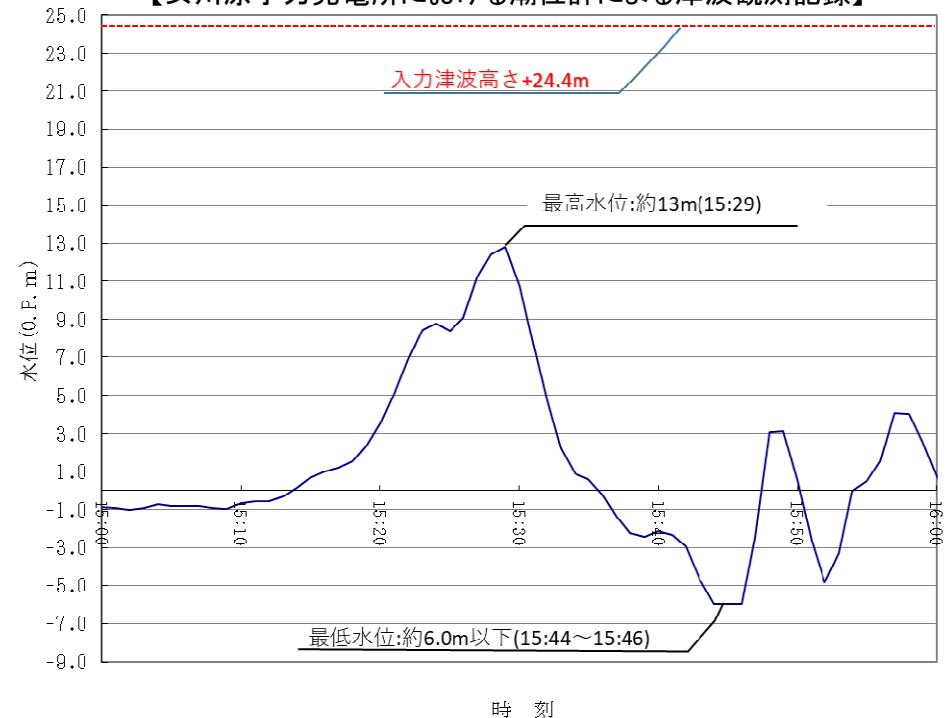
2011年東北地方太平洋沖地震に伴う津波の女川原子力発電所における観測記録

- ◆ 2011年東北地方太平洋沖地震に伴う女川原子力発電所での津波の高さは、潮位計の観測記録によれば、地盤沈下量を考慮※すると、最高水位は約+13m、最低水位は-6.0m以下であったものと推定
※女川原子力発電所周辺の地殻変動(一約1m)を考慮した値
- ◆ 防潮堤等を設計するための入力津波高さは+24.4mであり、東北地方太平洋沖地震に伴う女川原子力発電所で観測された津波の最高水位を十分上回っている

【女川原子力発電所における潮位計設置位置】



【女川原子力発電所における潮位計による津波観測記録】



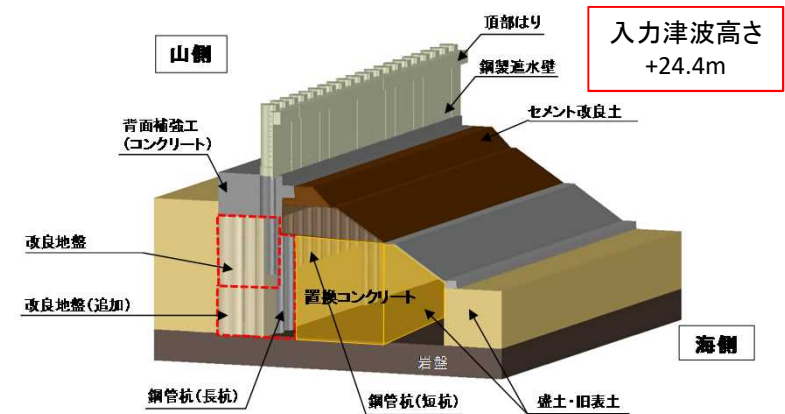
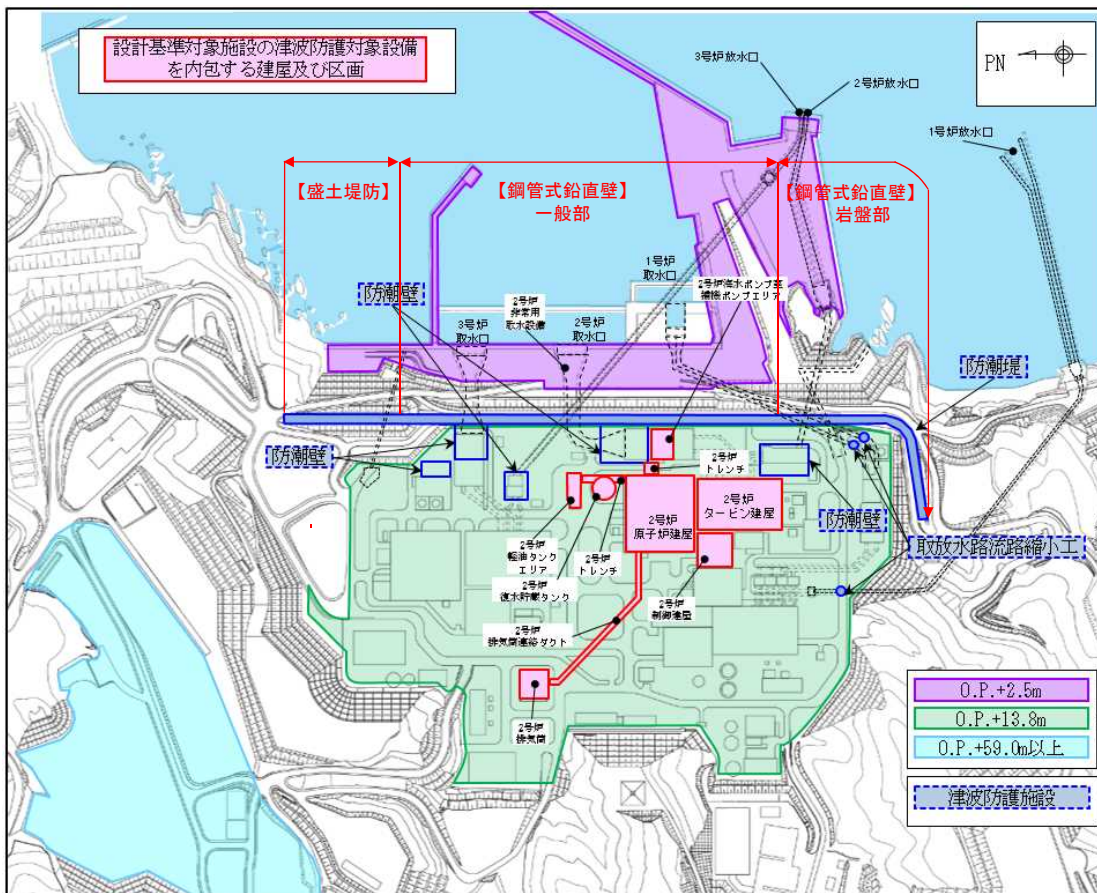
観測記録:3月11日:15:00~16:00(地殻変動量約1mを考慮して補正)

耐津波設計方針

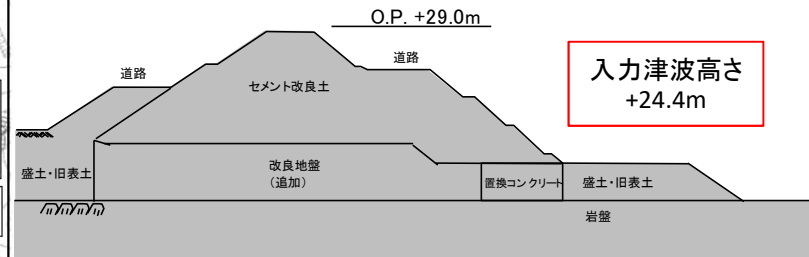
【要求事項】

➤ 基準津波に対して安全機能が損なわれるおそれがないよう設計にする。

- 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前面に津波防護施設(防潮堤:頂部+29.0m)を設置することを確認。
- 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(防潮壁、取放水路流路縮小工)及び浸水防止設備(浸水防止蓋、水密扉等)を設置することを確認。



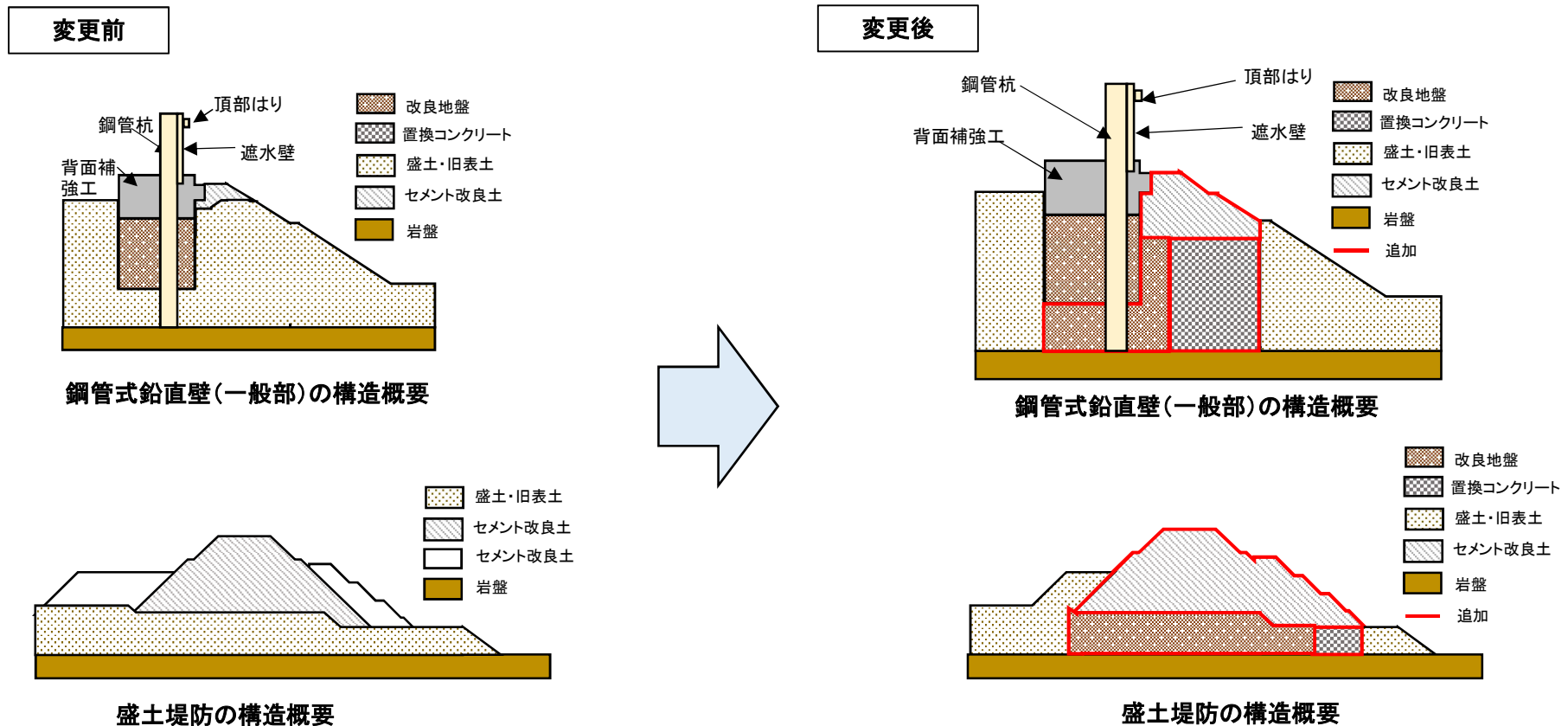
防潮堤【鋼管式鉛直壁(一般部)】の概要図(鳥瞰図)



防潮堤【盛土堤防】の概要図(断面図)

耐津波設計方針(防潮堤)

- 変更前の鋼管式鉛直壁(一般部)及び盛土堤防では、防潮堤下部の盛土・旧表土が地震時に不等沈下した場合に、止水性を喪失する可能性がある。
- 地震時に不等沈下をしないように、盛土・旧表土を改良地盤に変更するとともに、すべり安定性を確保するため、置換コンクリートを設置することを確認。



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)

- ◆ 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11火山(右図▲及び▲)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。

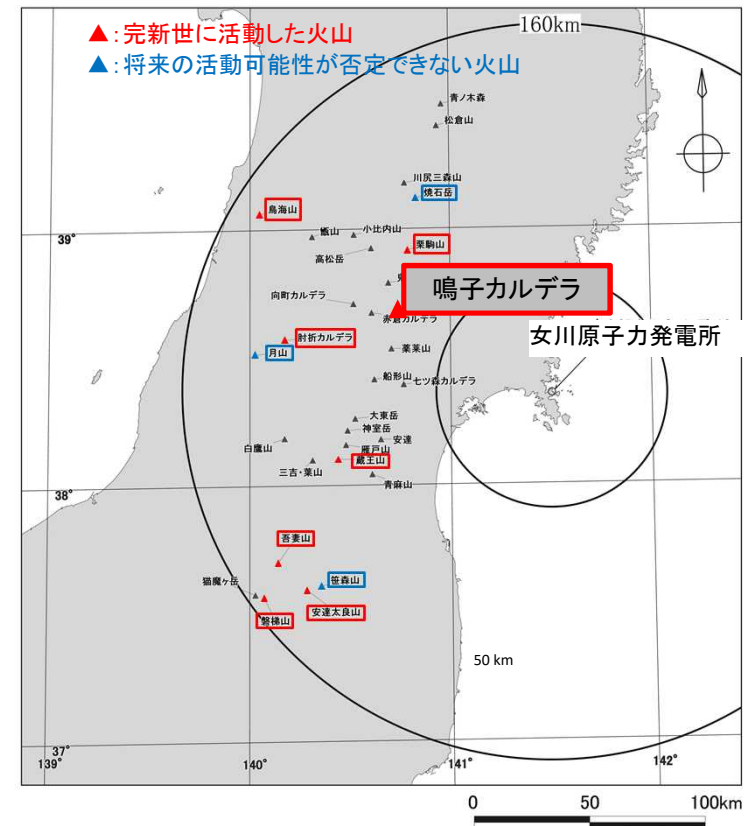
火山事象の影響評価(降下火砕物の影響評価)

- ◆ 降下火砕物(火山灰)の分布状況及び降下火砕物シミュレーション結果から総合的に判断し、鳴子^{なるこにさか}荷坂テフラ(鳴子カルデラ)を考慮し、敷地における降下火砕物の最大層厚を申請時の10cmから15cmへ見直し。

火山灰に対する設計方針

- ◆ 火山灰が15cm堆積しても、建屋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。

【敷地から半径160km以内の第四紀火山の位置図】



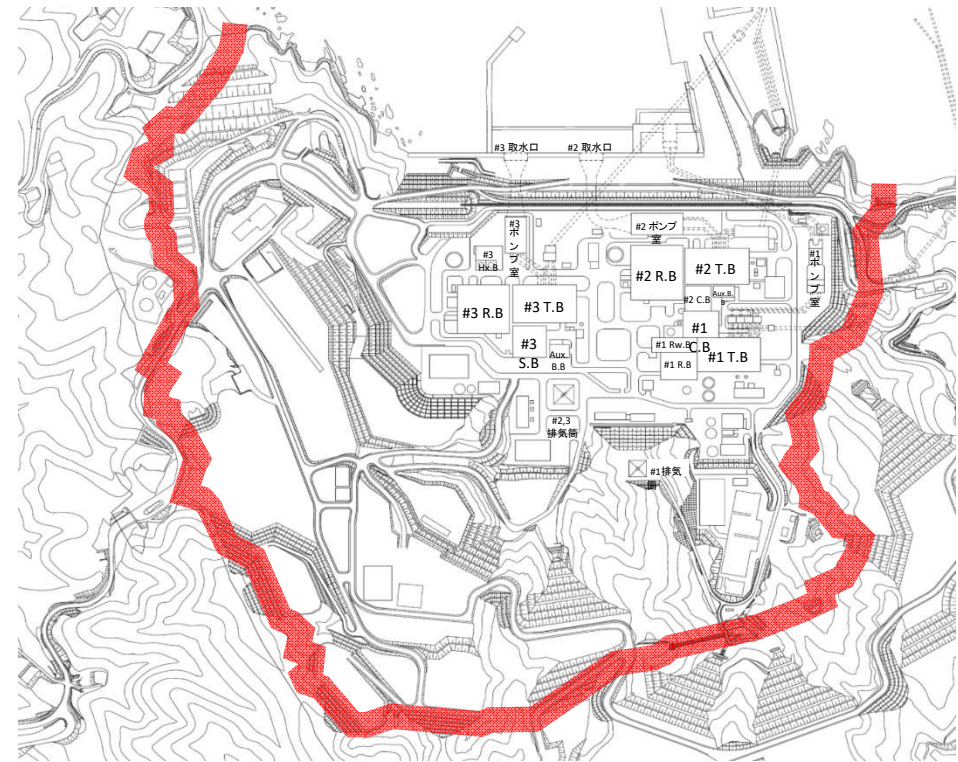
(東北電力(株)女川原子力発電所2号炉審査資料
第778回審査会合資料(令和元年9月27日)から抜粋・加筆
<<http://www2.nsr.go.jp/data/000285222.pdf>>

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19.7mに対し、約20m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することを確認。

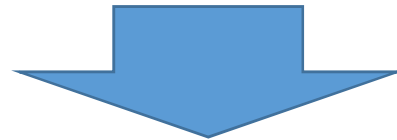


防火帯位置

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
(2019年9月19日)から一部抜粋 <<http://www2.nsr.go.jp/data/000286150.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)

共通要因により
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

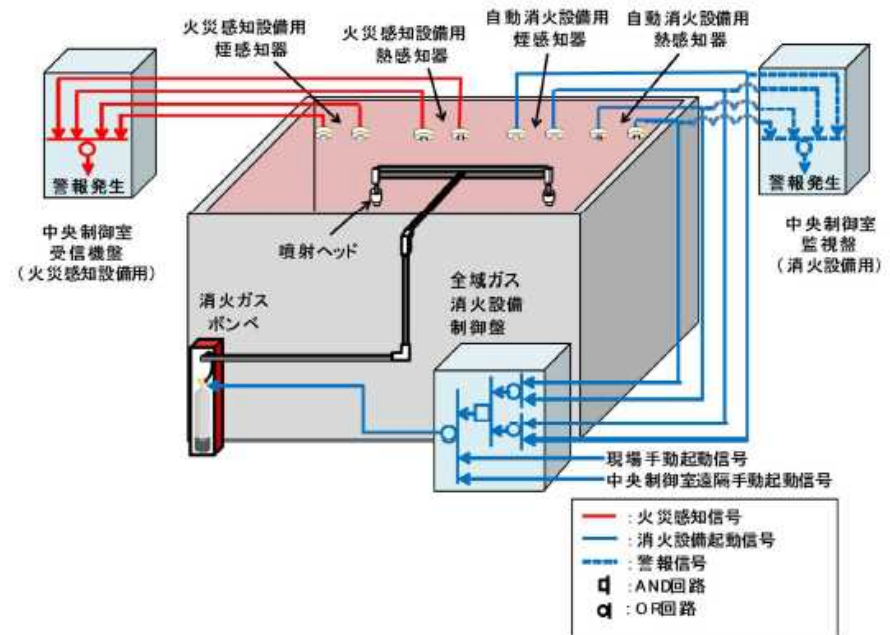
その他の要因の考慮と
対策の強化

- 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、難燃材料、難燃ケーブルを使用し、難燃性を確保するなどの対策を実施。また、水素が発生するおそれのある場合は、換気機能を確保。
- 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、互いに異なるシステムを分離すること(耐火壁等)により、多重化されたシステム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。



消火困難となる火災区画の感知消火設計(全域ガス消火設備)

内部溢水(いっすい)防止対策

以下の対策により基準に適合していることを確認。

- 設備を没水(床に溜まった水の水位が上がり設備等が沈むこと)しない高さに設置する。
- 被水(設備等に水がかかること)により、安全機能が損なわれる場合は、カバーを取り付けて防護する。
- 蒸気の流出を検知・隔離することにより、安全機能が損なわれない設計とする。
- 地震で設備が破損すること等により溢水が発生しても安全機能が損なわれない設計とする。



水密扉(例)



堰(例)

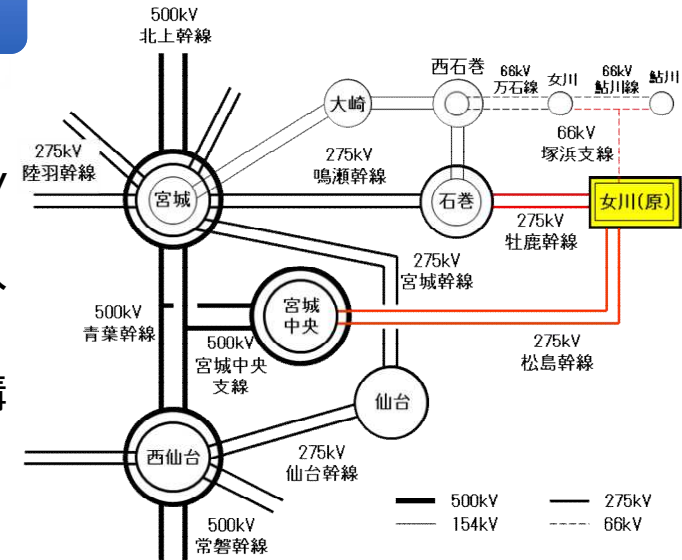


貫通部の止水(例)

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、275kV4回線と66kV1回線をそれぞれ独立して接続する。
- 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している。
- これらの送電線のいずれか2回線が喪失しても受電可能な構成とする。



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】
- 軽油貯蔵タンクは、非常用ディーゼル発電機等が7日間分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
 - ・可搬型代替交流電源設備(電源車) 計4台(予備1台)



ガスタービン発電機

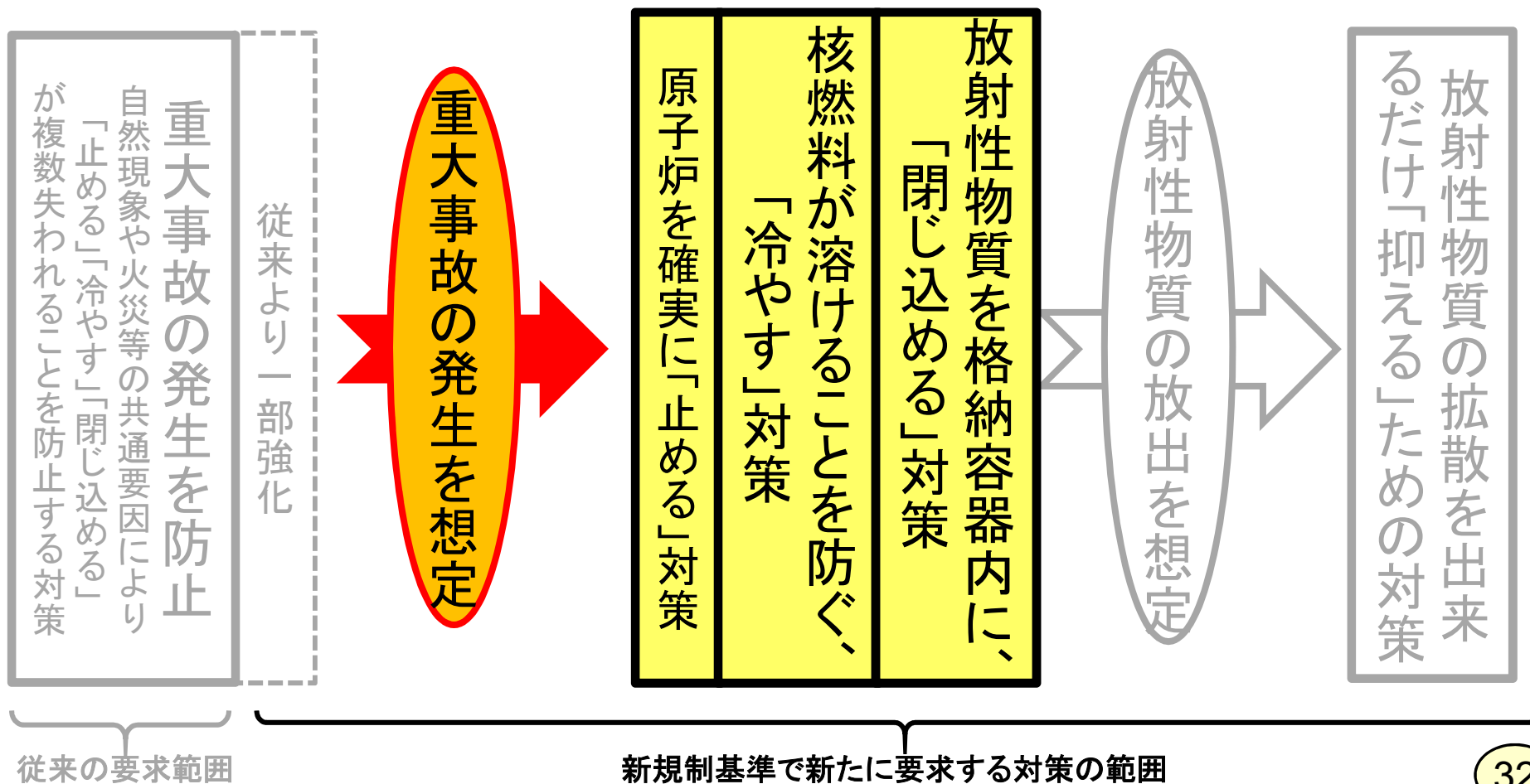
- 直流電源設備【強化】

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(電源車等)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

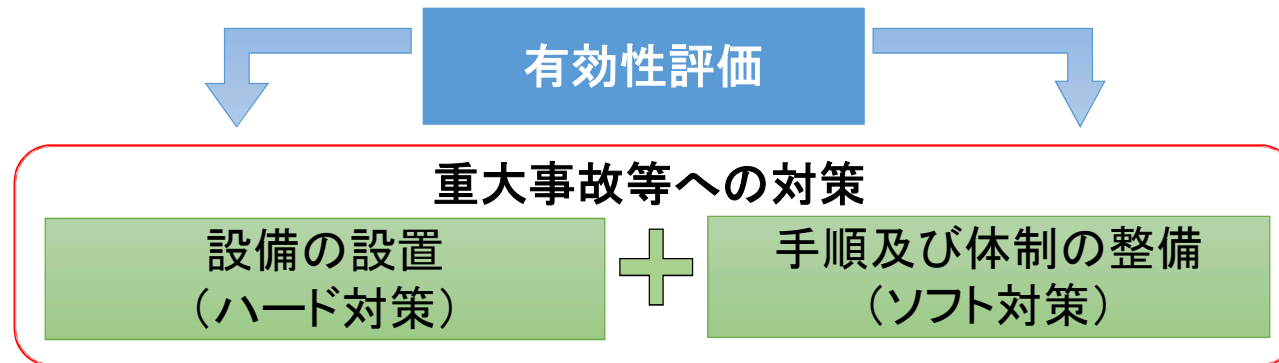
- 新規制基準では、重大事故(シビアアクシデント)を防止する対策の強化に加え、重大事故の発生を想定した対策も要求。
- それでもなお、敷地外へ放射性物質が放出されるような事態になった場合を考え、さらなる対策として、放射性物質の拡散をできるだけ「抑える」ための対策を要求。



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

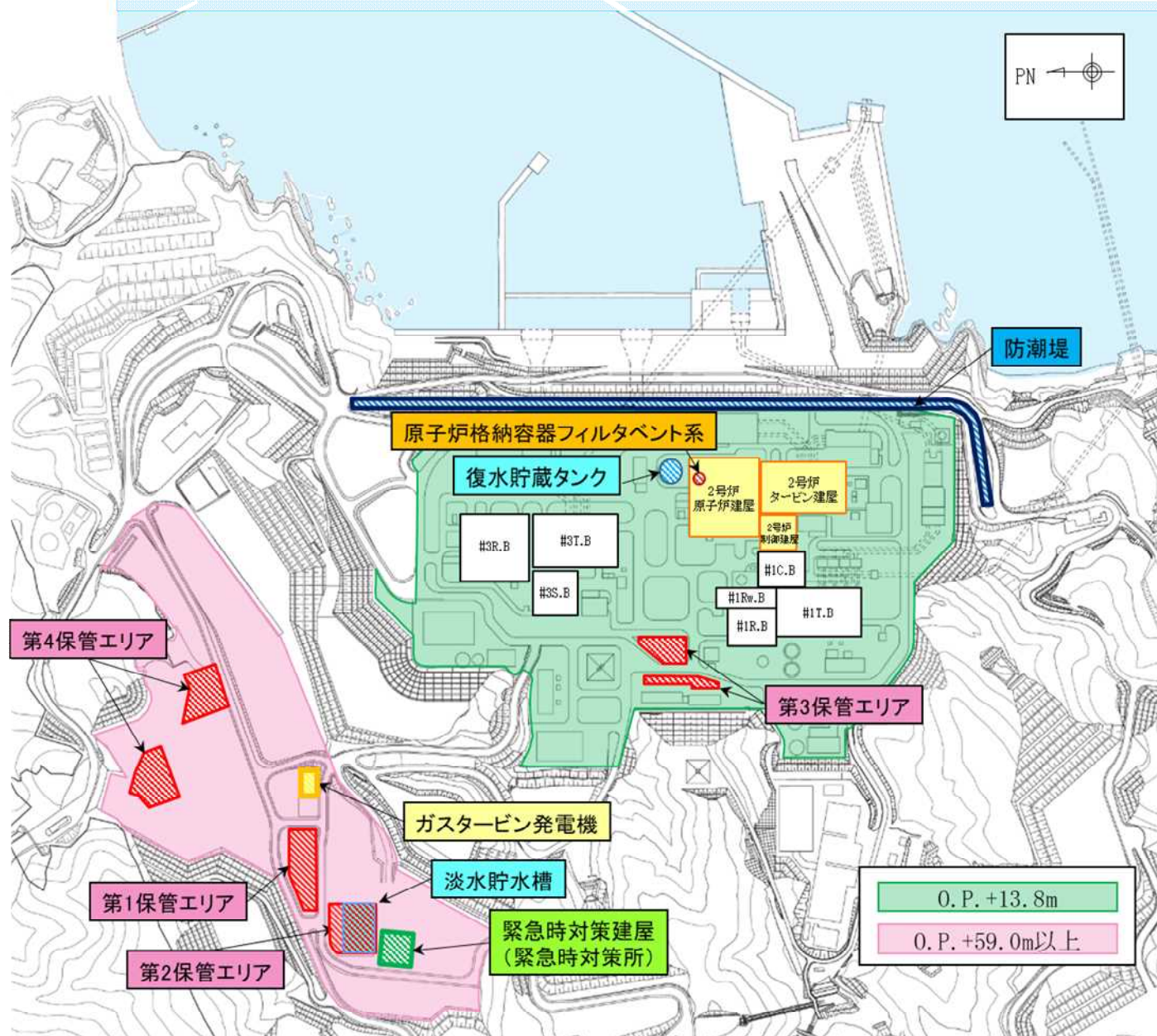


～確認項目の例～

- 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

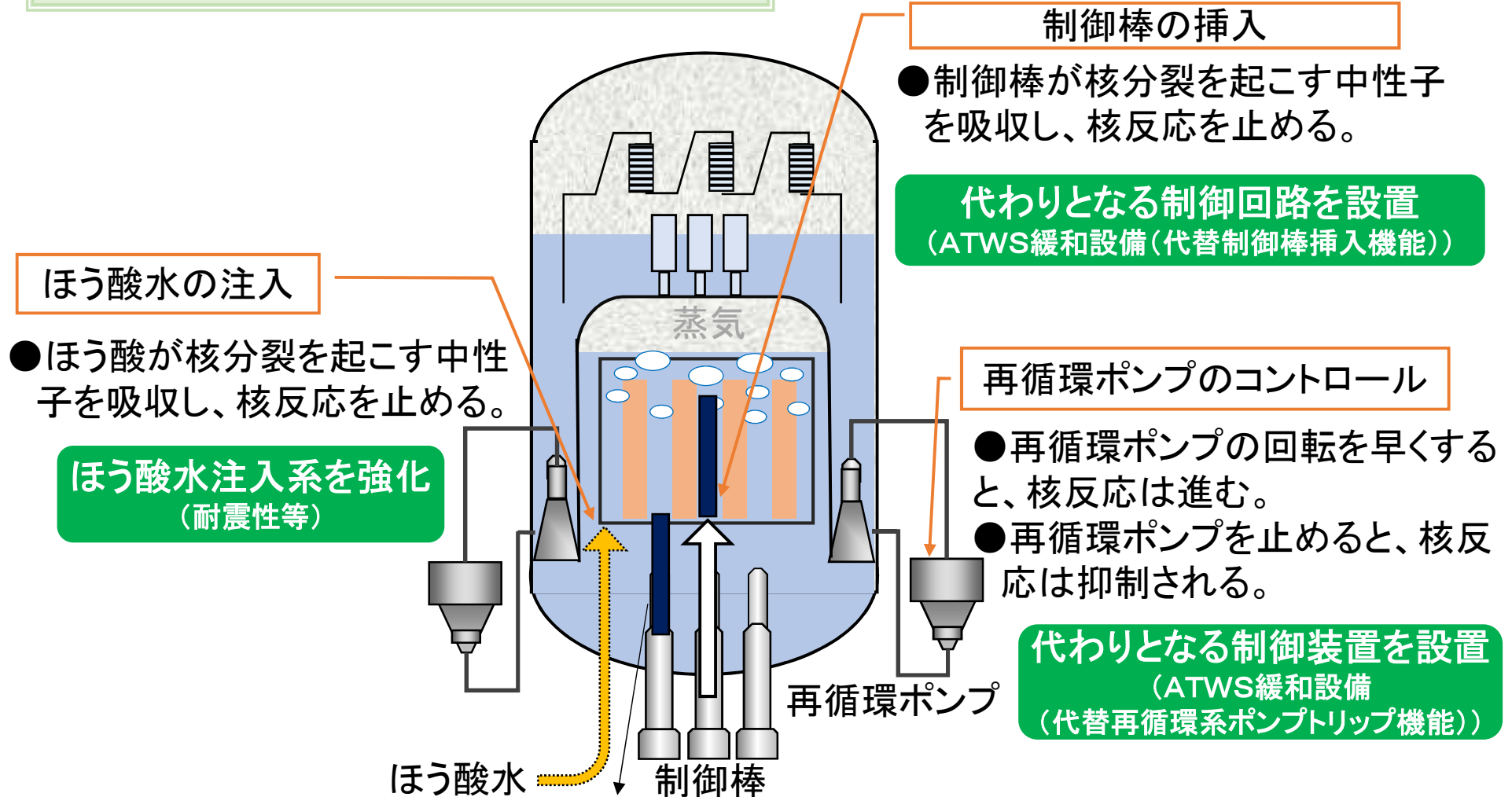


対策をとらないと炉心が損傷しうる重大事故

事故シーケンスグループ		重要事故シーケンス
①高圧・低圧注水機能喪失		過渡事象(給水流量の全喪失)+高圧注水失敗+低圧ECCS失敗
②高圧注水・減圧機能喪失		過渡事象(給水流量の全喪失)+高圧注水失敗+手動減圧失敗
③全交流動力電源喪失	長期TB	全交流動力電源喪失(外部電源喪失+DG失敗)+HPCS失敗(蓄電池枯渇後RCIC停止)
	TBU	全交流動力電源喪失(外部電源喪失+DG失敗)+高圧注水失敗(RCIC本体の機能喪失)
	TBD	全交流動力電源喪失(外部電源喪失+DG失敗)+直流電源喪失+HPCS失敗
	TBP	全交流動力電源喪失(外部電源喪失+DG失敗)+SRV再閉失敗+HPCS失敗
④崩壊熱除去機能喪失	取水機能喪失	過渡事象(給水流量の全喪失)+崩壊熱除去失敗(取水機能が喪失した場合)
	残留熱除去系機能喪失	過渡事象(給水流量の全喪失)+崩壊熱除去失敗(残留熱除去系が故障した場合)
⑤原子炉停止機能喪失		過渡事象(主蒸気隔離弁の誤閉止)+原子炉停止失敗
⑥LOCA時注水機能喪失		中破断LOCA+HPCS失敗+低圧ECCS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

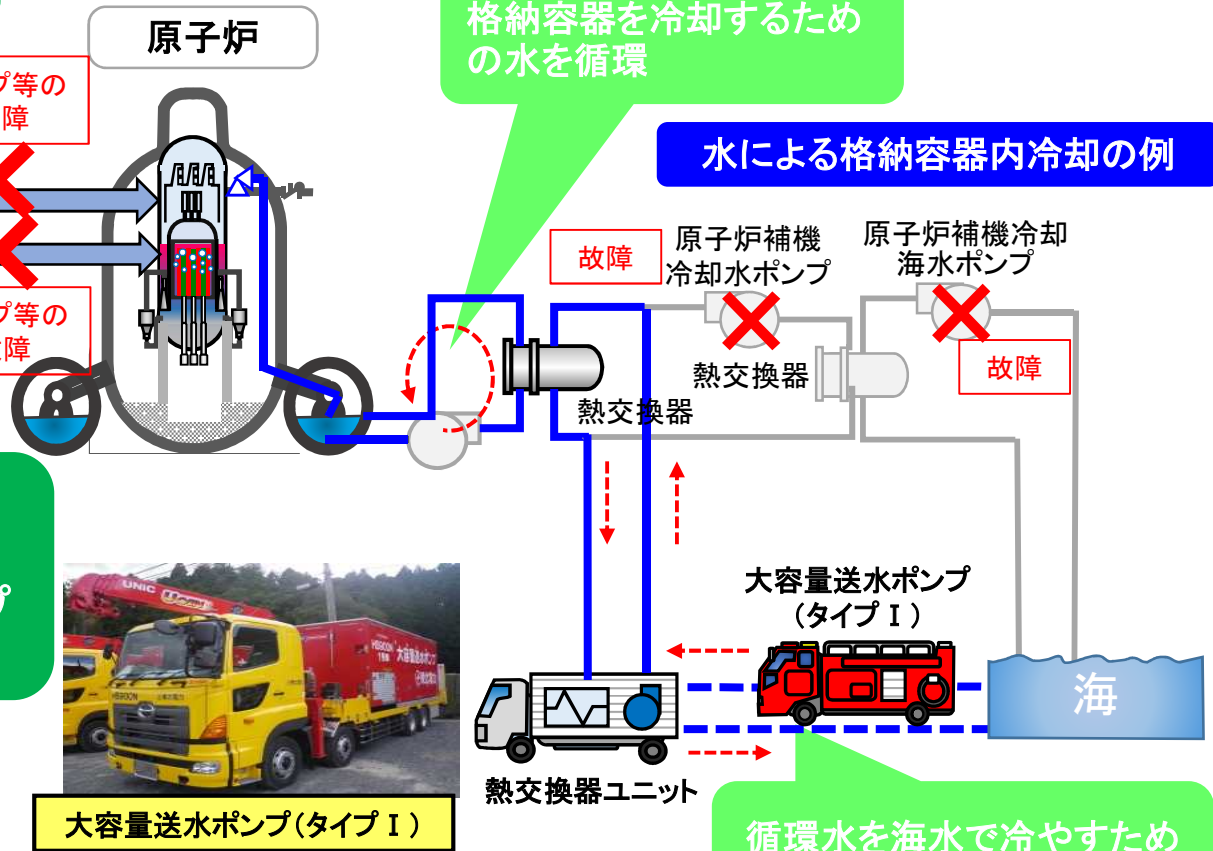
水を注入して循環させる

代替となる注水装置の確保
(高圧代替注水ポンプ)

非常用炉心冷却系(高圧)

非常用炉心冷却系(低圧)

代替となる注水装置の確保
(復水移送ポンプ、直流駆動低圧注水系ポンプ、大容量送水ポンプ(タイプI))

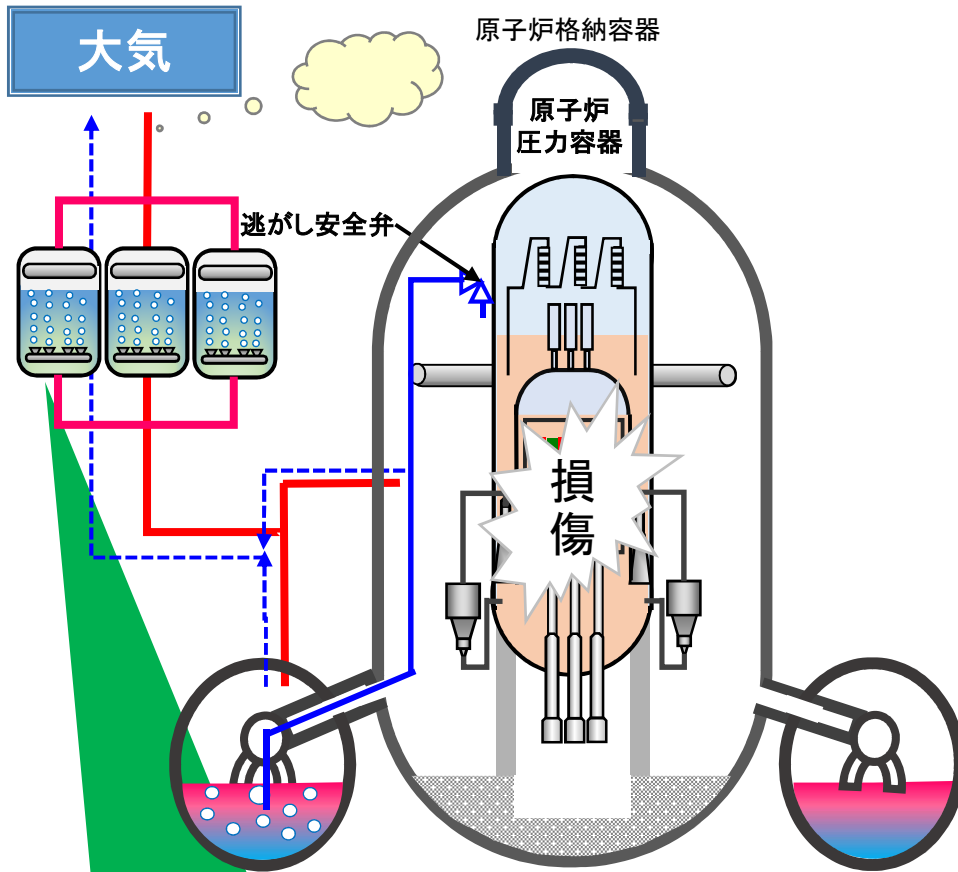


「冷やす」安全機能が失われた場合に備えて、
原子炉を冷却するための代替手段等を確保

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
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）	大破断LOCA＋HPCS失敗＋低圧ECCS失敗＋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	過渡事象＋高圧注水失敗＋手動減圧失敗＋炉心損傷後の原子炉減圧失敗（＋DCH発生）
③ 原子炉圧力容器外の溶融燃料－冷却材相互作用	過渡事象＋高圧注水失敗＋低圧ECCS失敗＋損傷炉心冷却失敗（＋FCI発生）
④ 水素燃焼	大破断LOCA＋HPCS失敗＋低圧ECCS失敗＋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＋高圧注水失敗＋低圧ECCS失敗＋損傷炉心冷却失敗（＋デブリ冷却失敗）

「閉じ込める」ための手段（重大事故時）



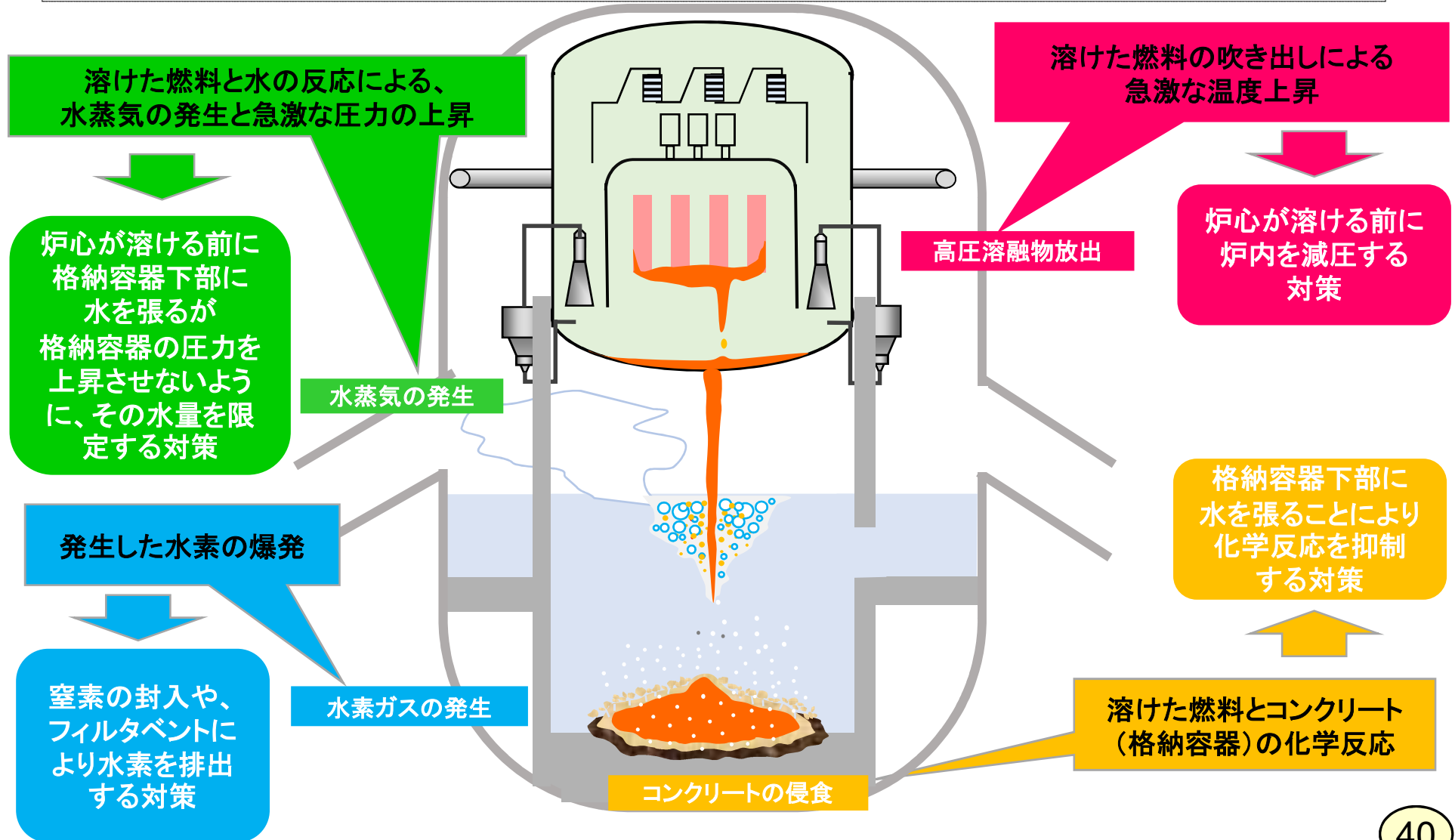
原子炉格納容器フィルタベントにより、
格納容器内の圧力を下げる

- 格納容器内の減圧が困難な時は、「原子炉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。
- フィルタベント装置は、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。

フィルタベント装置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の予測する手順
- ・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ブルドーザ等の重機の保管、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

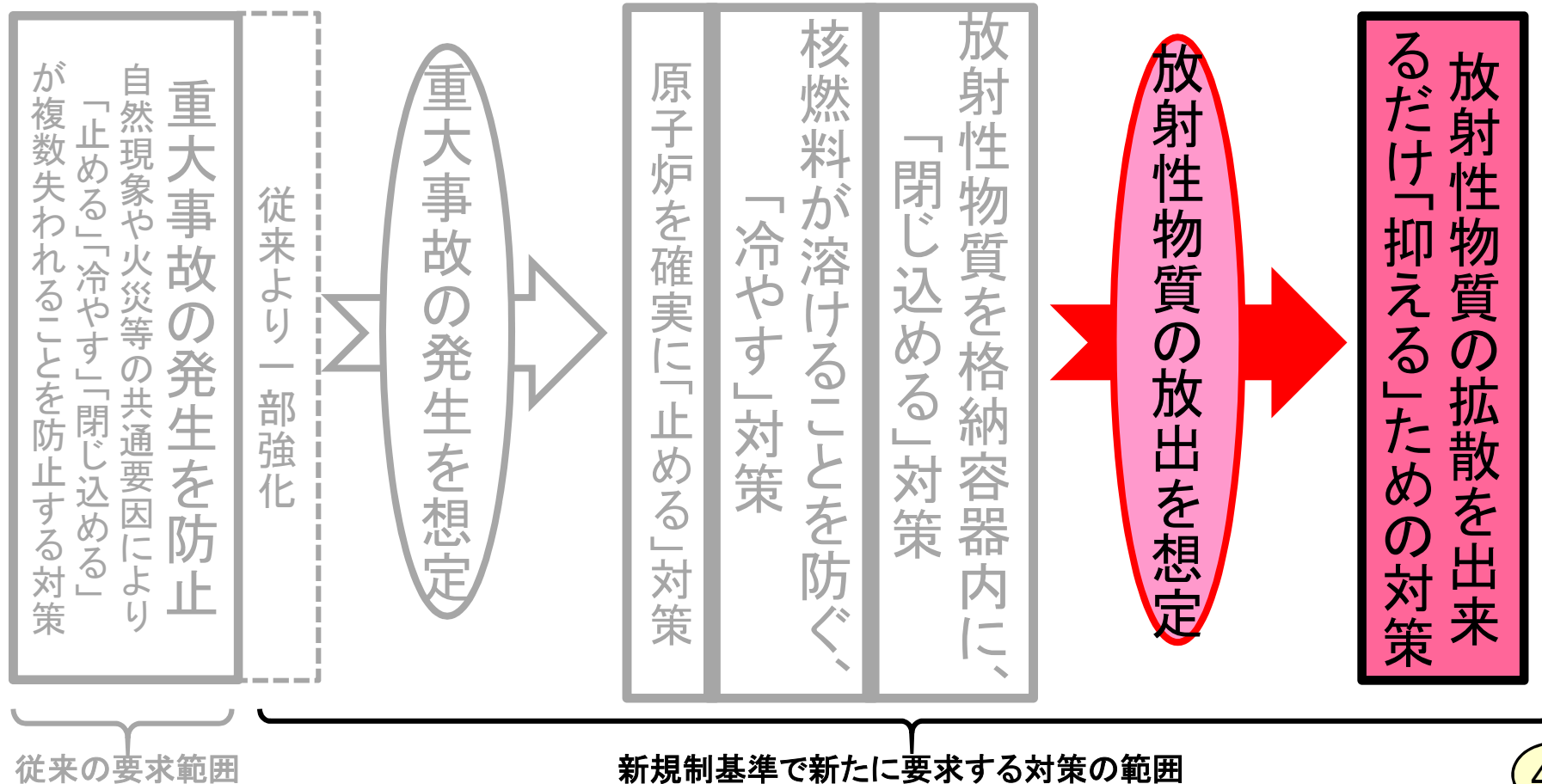


ブルドーザによるアクセスルートの復旧

(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。

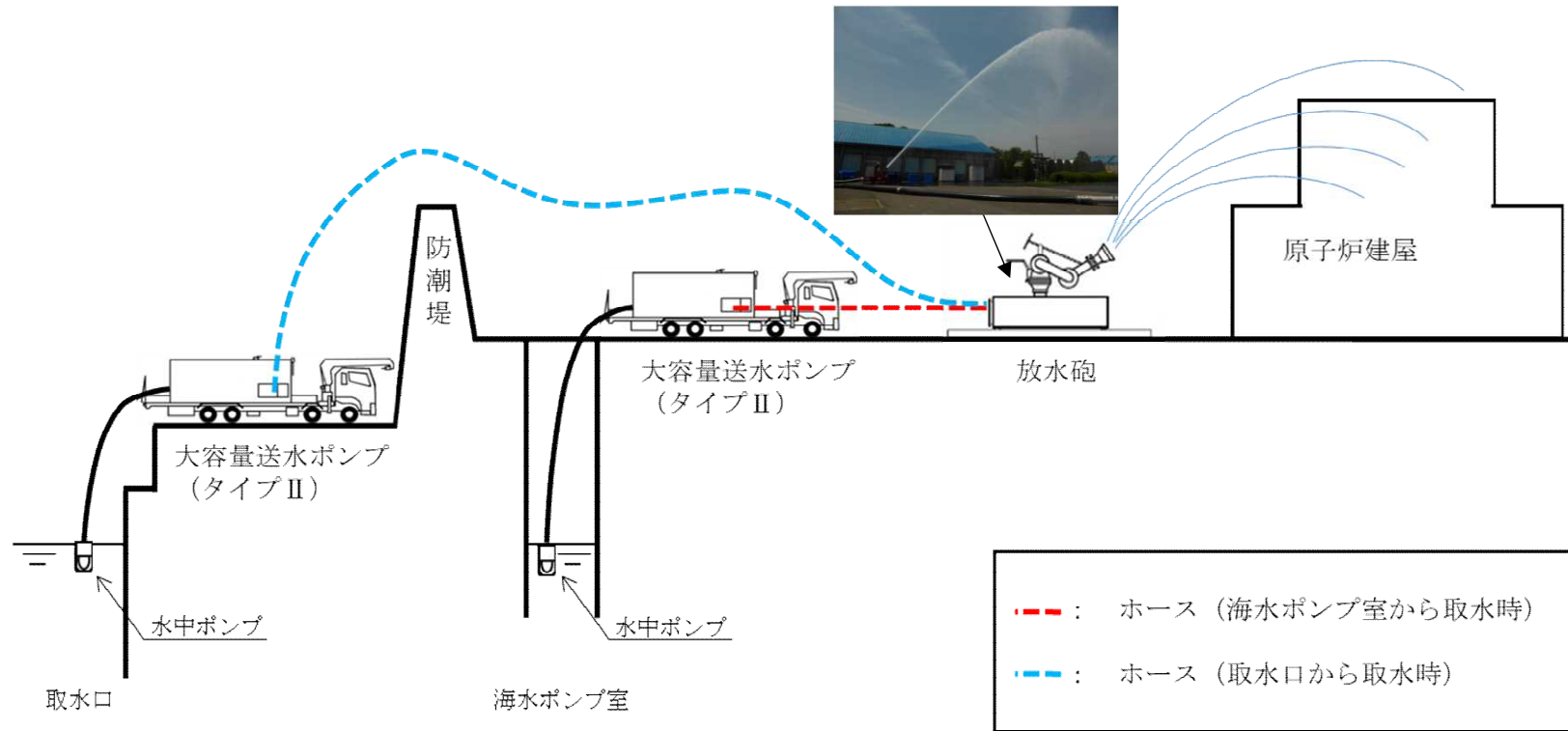


発電所外への放射性物質の拡散を抑制するための対策

◆ 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

- 大容量送水ポンプ(タイプⅡ)、放水砲等の原子炉建屋へ放水する設備及び手順を整備することを確認
- 海洋への拡散抑制設備(シルトフェンス)の設置及び手順を整備することを確認



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(2019年9月19日)から加筆修正 <<https://www.nsr.go.jp/data/000285018.pdf>>、<<https://www.nsr.go.jp/data/000286640.pdf>>

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することを確認
- 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に体制を整備することを確認
- 設備の配備にあたっては、共通要因による損傷を防止するため、複数箇所に分散配置することを確認

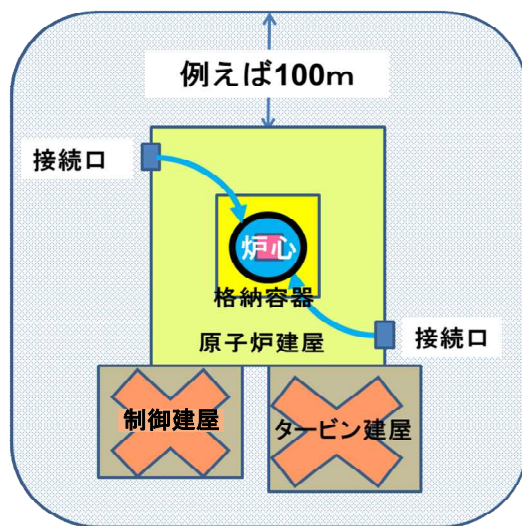


大容量送水ポンプ(タイプ I)



化学消防自動車

原子炉建屋及び制御建屋から100m以上離隔をとった
保管場所に、複数箇所に分散配置



電源車

(4)原子力規制委員会としての結論

以上の確認の結果、

- 女川原子力発電所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2年2月26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。

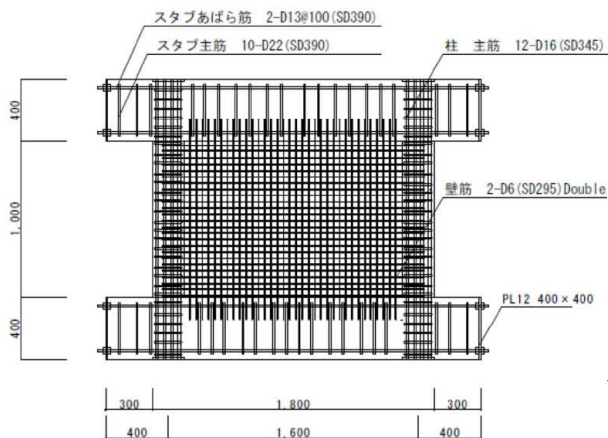
～「安全機能」を持った設備の例～

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)

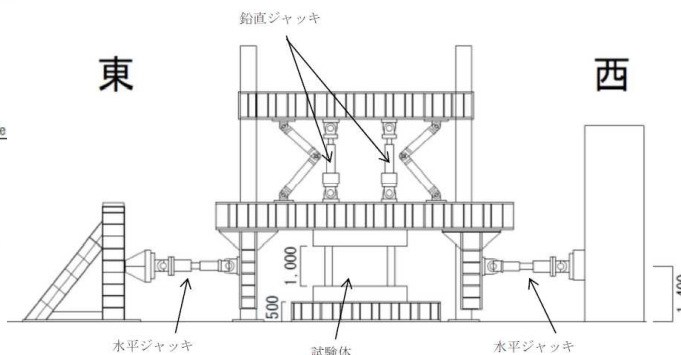
放射性物質を閉じ込める設備 → 核燃料を装荷する原子炉圧力容器
それを取り囲む原子炉格納容器、配管など
(これらに必要な非常用電源なども含まれる)

耐震設計方針(実験による耐力の検証)

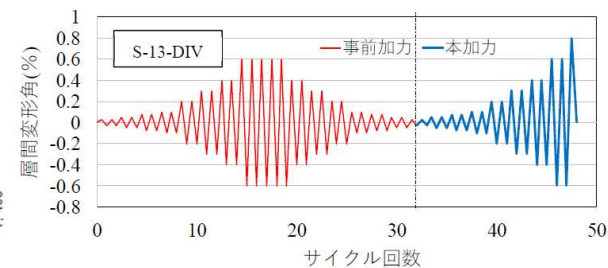
- ▶ 大地震を経験した後の耐震壁の終局耐力及び最大耐力を把握するため、原子炉建屋の耐震壁を模擬した試験体を用いて、本加力前に大地震相当の事前加力を与えた実験を行った結果、事前加力は、終局耐力及び最大耐力に影響しないことを確認



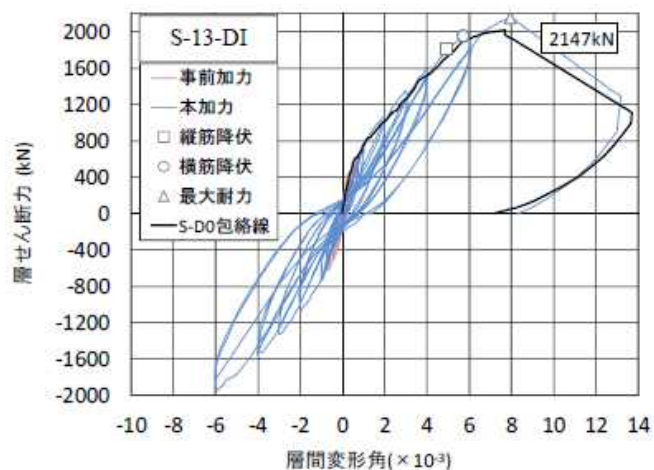
試験体



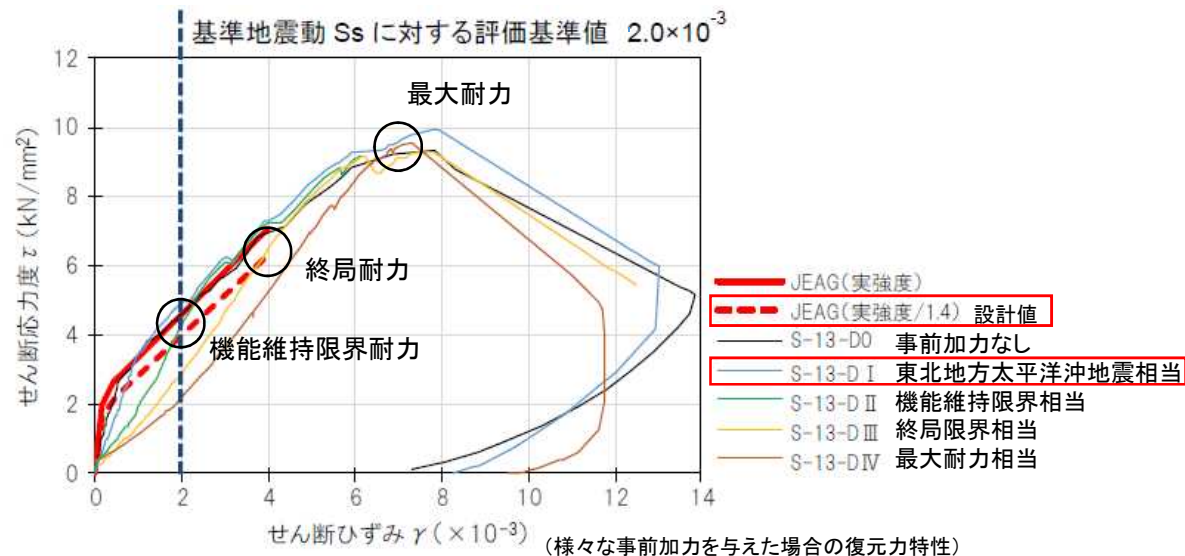
加力装置



加力サイクルの例



(事前加力として東北地方太平洋沖地震相当を与えた場合: 右記S-13-D1試験体)



繰り返し実験結果

「冷やす」「閉じ込める」ための手段（代替循環冷却系）

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

代替循環
冷却系
ポンプ

原子炉補機
冷却水ポンプ

故障

故障

原子炉補機冷却
海水ポンプ

残留熱除去系ポンプ

故障

熱交換器ユニット

大容量送水ポンプ
(タイプ I)

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「代替循環冷却系」。
- 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。

代替循環冷却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

東北地方太平洋沖地震時の状況

➤ 地震前

- 1号炉： 運転中
- 2号炉： 起動中
- 3号炉： 運転中

➤ 地震直後

- ・全ての号炉が原子炉自動停止(3/11 14:46)
- ・外部電源の5回線のうち、4回線が停止
⇒ 残りの1回線及び非常用ディーゼル発電機により、必要な電源を確保

➤ 津波による影響

[2号炉]

- ・ 原子炉補機冷却水ポンプ(B)及び高圧炉心スプレイ補機冷却水ポンプが浸水
⇒ 残留熱除去系(A)により冷却を継続

➤ 原子炉冷温停止に移行

	1号炉	2号炉	3号炉
原子炉冷温停止	3/12 0:58	3/11 14:49	3/12 1:17

➤ 発電所敷地内に設置してある放射線モニターの値に異常なし

※東京電力福島第一原子力発電所事故の影響により3/12にモニタリングポスト指示値が上昇