

女川原子力発電所2号炉
確率論的リスク評価(津波PRA)について
(津波PRA, シーケンス選定及び防潮堤を越える津波への対策)

平成30年5月8日
東北電力株式会社

1. はじめに
2. 防潮堤を越える津波高さの設定
3. 敷地内氾濫解析
4. 津波PRAの見直し
5. シーケンス選定
6. 防潮堤を越える津波への対策

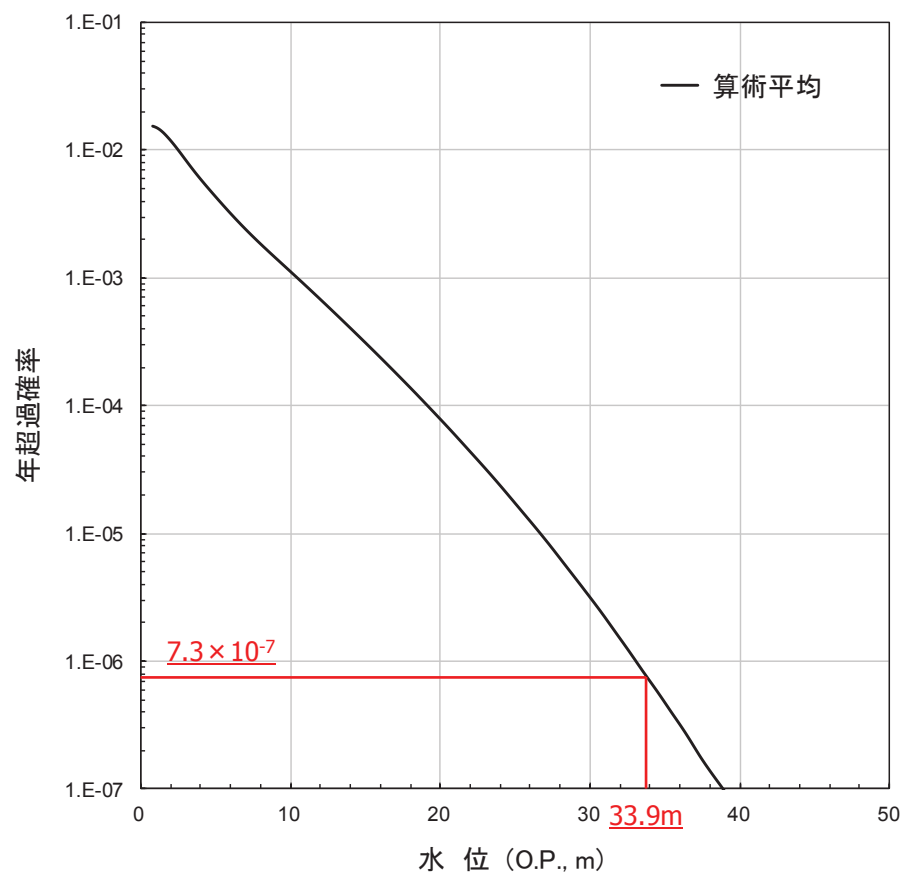
1. はじめに

- 第529回審査会合(平成29年11月30日)において、女川2号炉の津波PRA及び超過津波に対する対応の基本的考え方について説明した。この際、防潮堤を越える津波に対し、全交流動力電源喪失が発生する津波の年超過確率及び全炉心損傷頻度に対する当該事象の寄与割合が大きいことから、その対応について検討するようご指摘を頂いた
- 第545回審査会合(平成30年2月8日)において、防潮堤を越える津波への具体的な対策及び可搬型設備の保管場所の検討状況について説明した
- 本日は、各種対策実施後の地形データ等の見直しを反映した敷地内氾濫解析の再評価結果並びに津波PRA、シーケンス選定の結果及び敷地内氾濫解析結果に基づき検討した防潮堤を越える津波への対策についてご説明する

2. 防潮堤を越える津波高さの設定

■津波高さの設定

- 防潮堤を越え全交流動力電源喪失が発生する津波の年超過確率は 10^{-6} オーダーであり、全炉心損傷頻度に対する寄与割合は5.6%と高い状況にあったことから、当該事象の発生頻度を 10^{-7} オーダーに低減させることを指向（第545回審査会合（平成30年2月8日）で説明済）
- 防潮堤を越え全交流動力電源喪失に至らない津波高さとして、「O.P.33.9m津波（年超過確率 7.3×10^{-7} ）」※を設定



敷地前面(水位上昇側)の津波ハザード曲線

※ O.P.(女川原子力発電所工事用基準面) = T.P.(東京湾平均海面) - 0.74m
津波防護設計においては、2011年東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、一様に約1mの沈降が発生したことを考慮した値を用いる

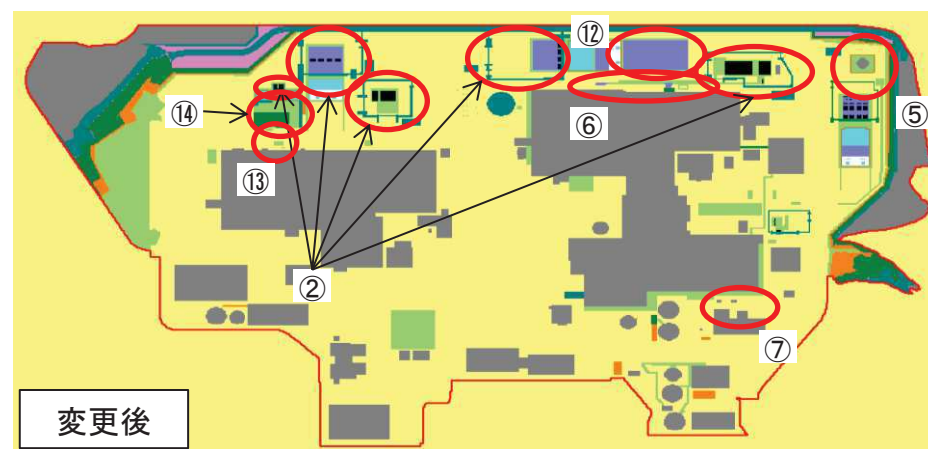
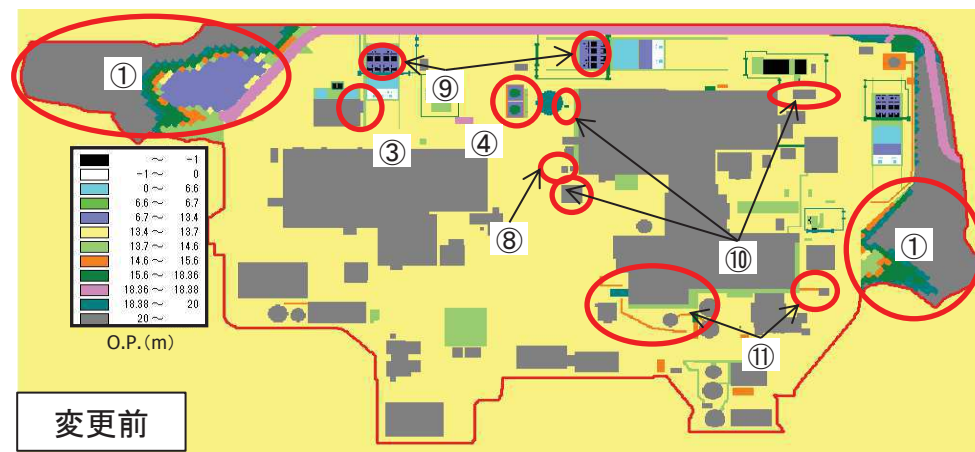
3. 敷地内氾濫解析(1/9)

■ 敷地内氾濫解析に用いる地形データの見直し(1/2)

- 敷地造成, 防潮壁の高さ変更等の各種対策実施後の地形データに見直し

地形データの見直し内容

No.	項目	見直し内容※1
①	敷地	申請後に防潮堤盛土堤防部にアクセスルートを変更したこと, 構内道路変更のための敷地造成, 法面形状の変更を反映【5ページ参照】
②	防潮壁	申請後に入力津波高さに対する裕度向上のための高さ変更, 詳細設計を反映【5ページ参照】
③	3号炉補機冷却海水系放水ビット浸水防止蓋	申請時の津波防護対策の詳細設計を反映
④	2号炉軽油タンク	申請後に外部事象(津波, 溢水含)に対する耐性向上のために実施した地下化を反映
⑤	1号炉軽油タンク周辺	申請時の状態としてモデル化する上で簡略化していたが, 防油堤, ダクトの構造を詳細化し反映
⑥	2号炉補機放水路	申請時の状態としてモデル化する上で簡略化していたが, 補機放水路の状態を詳細化し反映
⑦	開閉所	申請時の状態としてモデル化する上で簡略化していたが, 配管ラック等を詳細化し反映
⑧	固化剤タンク	申請後に火災防護の観点及び今後使用予定がなく, 設備の廃止手続きを行い撤去する計画としたため削除
⑨	除塵機開口部	申請前から継続的に実施している除塵機単機化に伴うスクリーンエリアの構造を詳細化し反映
⑩	諸建屋	申請後に耐震性の観点から実施したCSTペントハウスの撤去及び主要建屋周辺の倉庫等の移設を反映
⑪	トレンチ	申請時の状態としてモデル化する上で簡略化していたが, トレンチの標高を詳細化し反映
⑫	敷地高さ	申請後に周辺構造物への土圧低減のために実施した敷地高さの変更を反映
⑬	泡消火設備	申請時の状態としてモデル化する上で簡略化していたが, 泡消火設備を詳細化し反映
⑭	3号炉海水熱交換器建屋	申請時の状態としてモデル化する上で簡略化していたが, 建屋地上部のタンク, 通路を詳細化し反映



※1 第529回審査会合(平成29年11月30日)からの見直し内容

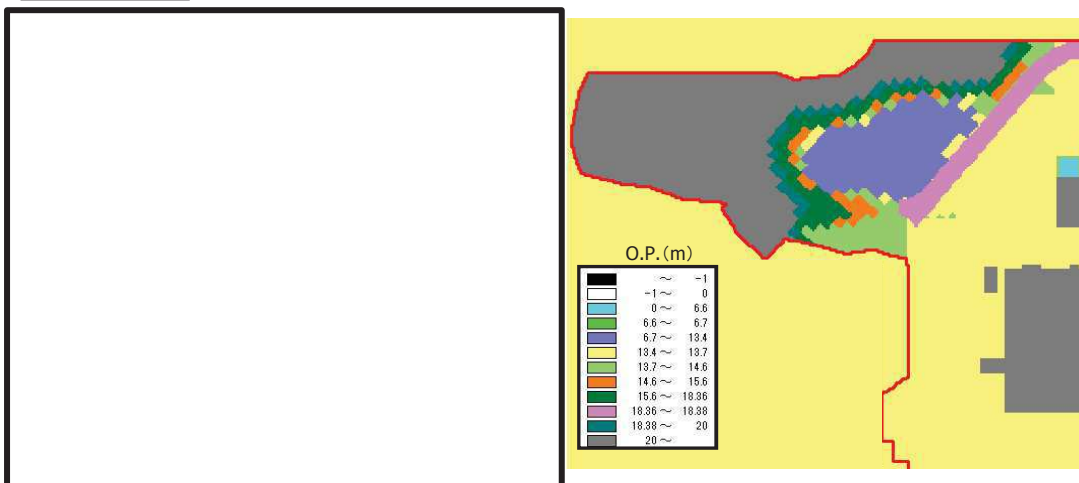
3. 敷地内氾濫解析(2/9)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

■ 敷地内氾濫解析に用いる地形データの見直し(2/2)

- 防潮堤盛土堤防部周辺におけるアクセスルート・構内道路ルート変更, 法面形状の反映は以下のとおり

変更前

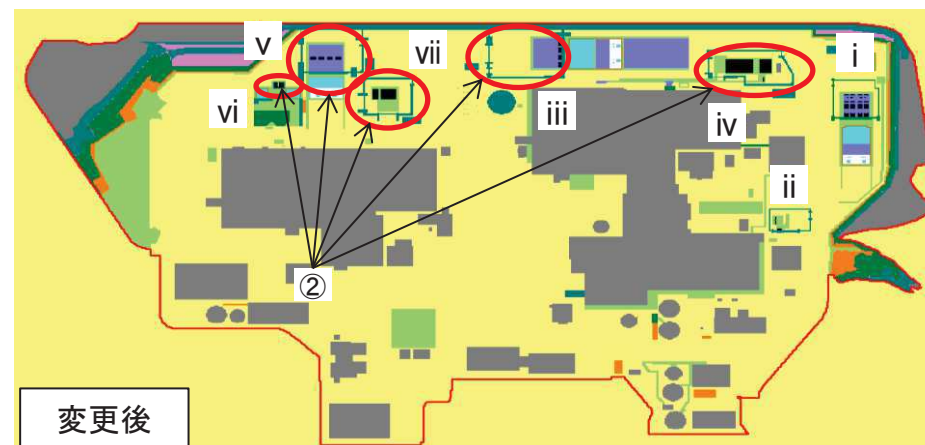


変更後



- 防潮壁の変更前後の高さは以下のとおり

防潮壁設置位置		変更前※	変更後
i	1号海水ポンプ室	3.2m	変更なし
ii	1号放水立坑	5.2m	変更なし
iii	2号海水ポンプ室	4.2m	5.2m
iv	2号放水立坑	4.2m	5.2m
v	3号海水ポンプ室	5.2m	6.2m
vi	3号熱交換器建屋	5.0m	6.0m
vii	3号放水立坑	4.2m	5.2m



変更後

※ 第529回審査会合(平成29年11月30日)を変更前とした。

3. 敷地内氾濫解析(3/9)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

■全交流動力電源喪失の発生防止対策及び起因事象対象設備の設置位置，設置高さの考慮

- 全交流動力電源喪失の発生防止には，外部電源及び非常用ディーゼル発電機の機能喪失を防ぐ必要がある
- 外部電源に係る設備は地震により機能喪失する可能性があるが，非常用ディーゼル発電機に係る設備は耐震性を有しているため，補機冷却機能を設置している補機ポンプエリアに対して津波への対策を講じる
- 更に，起因事象対象設備(起動変圧器，原子炉補機冷却海水ポンプ/高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ，燃料移送ポンプ)の設置位置，設置高さを考慮する

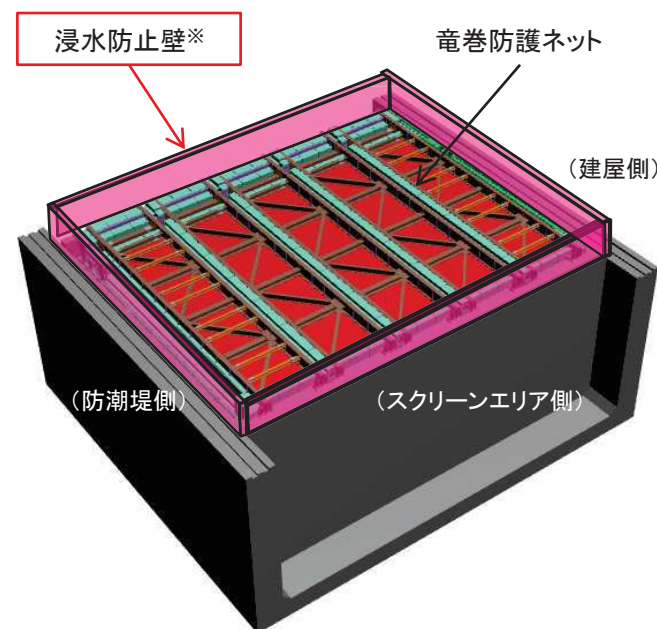
起因事象対象設備の設置位置

3. 敷地内氾濫解析(4/9)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

■補機ポンプエリア周辺への浸水防止壁の設置

- 全交流動力電源喪失の発生を防止するため、補機ポンプエリア周辺に浸水防止壁を設置する
- 敷地内氾濫解析においては、浸水防止壁の高さを決めるために、地形データに循環水ポンプエリア及び補機ポンプエリア周りに仮想的な壁をモデル化し、遡上高を評価する



※ 浸水防止壁は補機ポンプエリア周辺の堰等の嵩上げにより、竜巻防護ネットに干渉しない構造を検討中

補機ポンプエリア周辺への浸水防止壁設置イメージ図

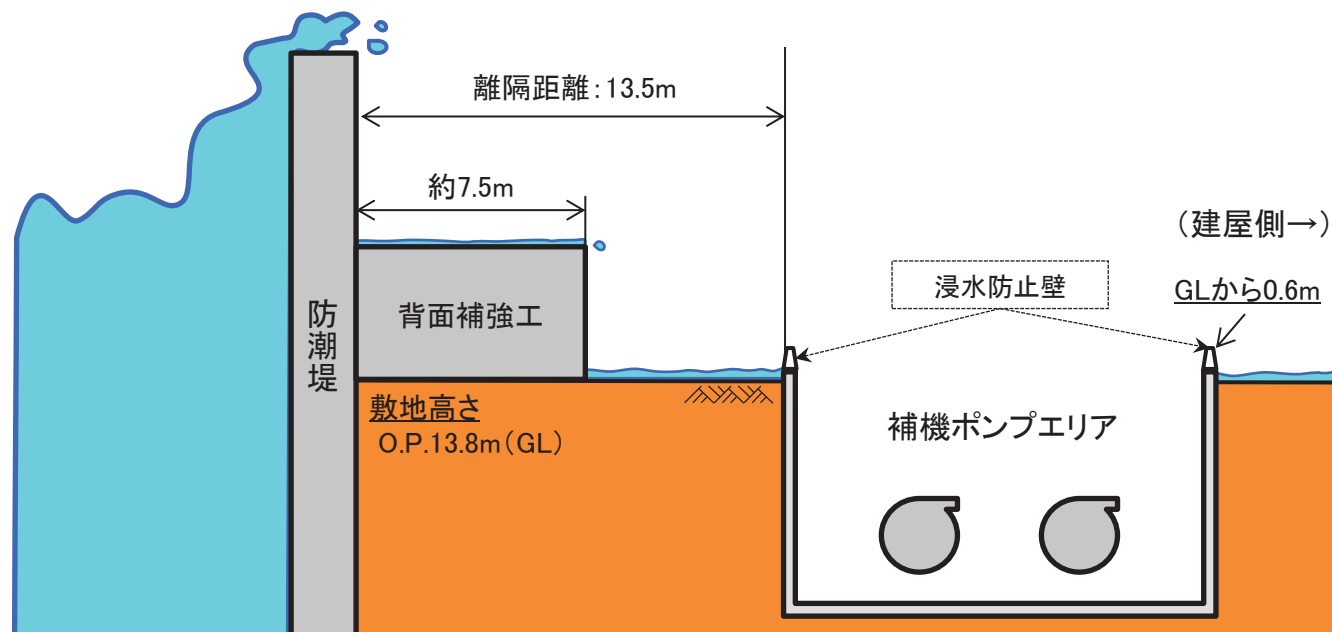
■浸水防止壁の設計方針

- 浸水防止壁は補機ポンプエリアの耐震性を確保した上で可能な限り高くし、耐震Sクラス、O.P.33.9m津波時の波圧への耐性を有する設計(設計基準対象施設)とする方針
- O.P.33.9m津波時の最大浸水深0.34mに対して0.6m(補機ポンプエリア基礎0.2m+浸水防止壁0.4m)の高さとする【O.P.33.9m津波時の敷地内氾濫解析は11ページ参照】

3. 敷地内氾濫解析(5/9)

■ 起因事象対象設備フラジリティの詳細化(1/3)

- 原子炉補機冷却海水ポンプ/高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプは敷地内浸水深が補機ポンプエリアの浸水防止壁の高さを越えた場合に機能喪失するが、敷地内浸水深が浸水防止壁の高さを越えない場合、原子炉補機冷却海水ポンプ/高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプは健全であり、全交流動力電源喪失は発生しない
- 補機ポンプエリア周辺に設置する浸水防止壁は敷地レベルから0.6mの高さを有している
- なお、補機ポンプエリアは防潮堤から離隔距離があり、ピット構造のため、原子炉補機冷却海水ポンプ/高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプに対して、防潮堤を越える津波による被水影響はない



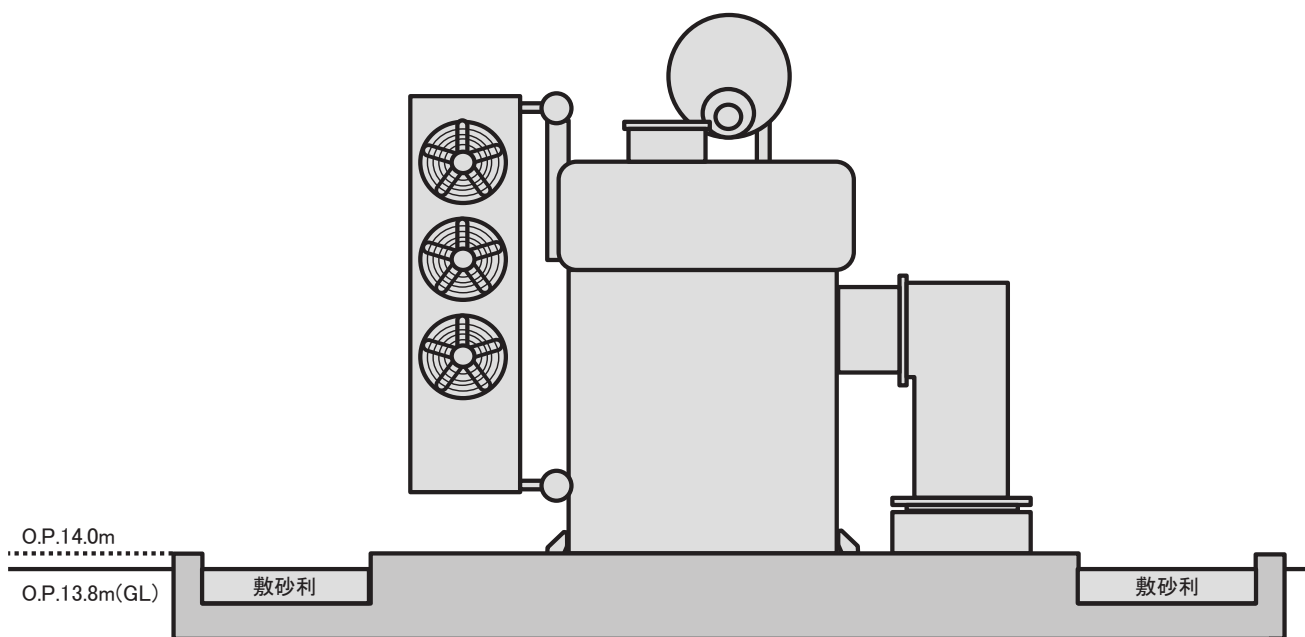
2号補機ポンプエリアの断面図

3. 敷地内氾濫解析(6/9)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

■ 起因事象対象設備フラジリティの詳細化(2/3)

- 起動変圧器は敷地内浸水深が起動変圧器の基礎高さを越えた場合に機能喪失するが、敷地内浸水深が起動変圧器の基礎高さを越えない場合、起動変圧器は健全であり外部電源は維持される
- 起動変圧器は敷地レベルから0.2mの基礎高さを有している



2号炉起動変圧器断面図



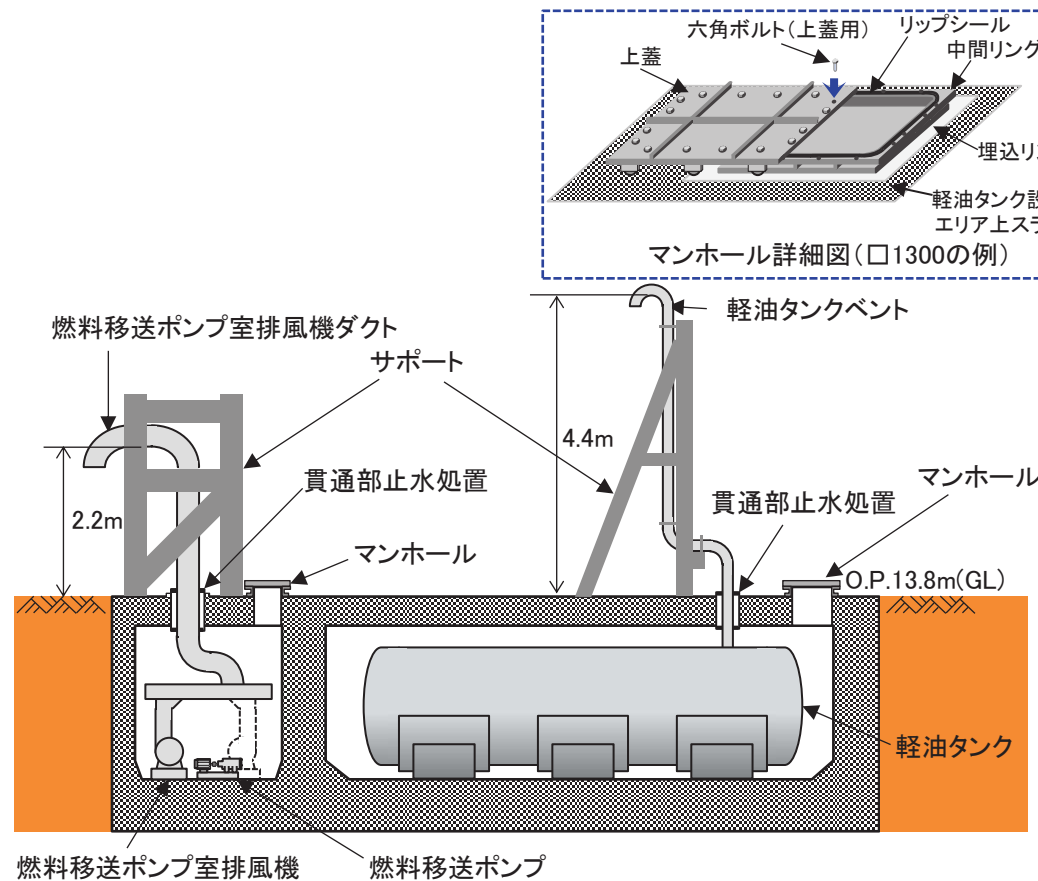
起動変圧器の設置状況

3. 敷地内氾濫解析(7/9)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

■ 起因事象対象設備フラジリティの詳細化(3/3)

- 軽油タンク設置エリアは地下化し、水密構造であるため、敷地内浸水深がその止水性能を越える高さの場合に機能喪失するが、敷地内浸水深が止水性能を越えない高さの場合、燃料移送ポンプは健全であり、全交流動力電源喪失は発生しない
- 燃料移送ポンプ室排風機ダクトは敷地レベルから2.2mの高さを有している



2号炉軽油タンク設置エリア断面図

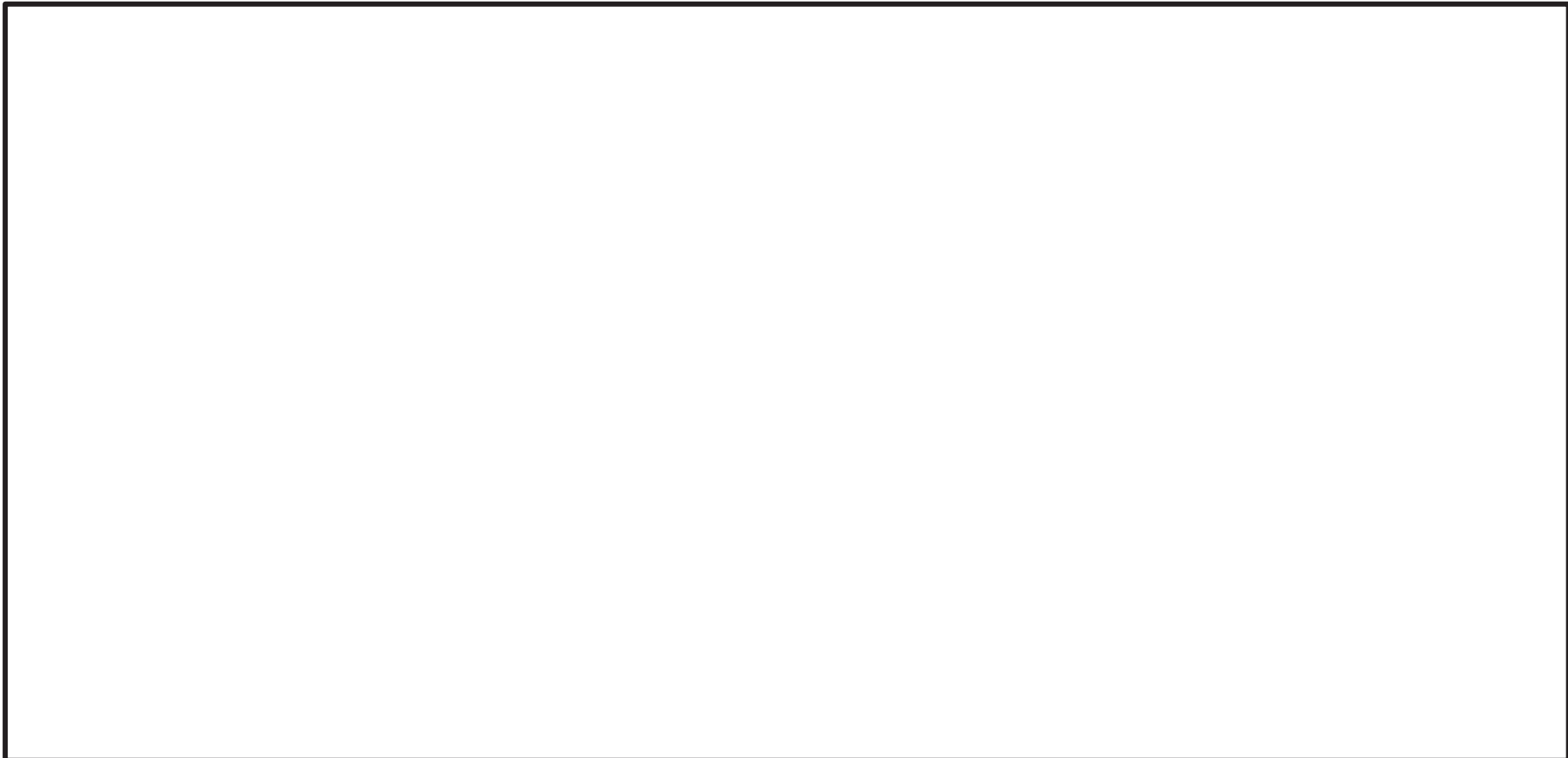
軽油タンク設置エリアの状況

3. 敷地内氾濫解析(8/9)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

■ O.P.33.9m津波時の敷地内氾濫解析の結果

- 敷地内氾濫解析の結果, 防潮堤付近では最大1m程度の浸水があるが, 原子炉建屋, 制御建屋周辺では0.1m~0.2m程度の浸水であり, 建屋のカーブ高さ(敷地レベルから建屋外壁扉の下端レベルの高さ)0.33m以下となる
- 外部電源を受電するための起動変圧器及び非常用ディーゼル発電機に係る燃料移送ポンプ(軽油タンク設置エリア)は津波による影響を受けないことを確認
- 補機ポンプエリアは浸水防止壁を設置することで浸水を防止し, その周辺では0.34m程度の浸水であることを確認



O.P.33.9m津波時の敷地内最大浸水深分布

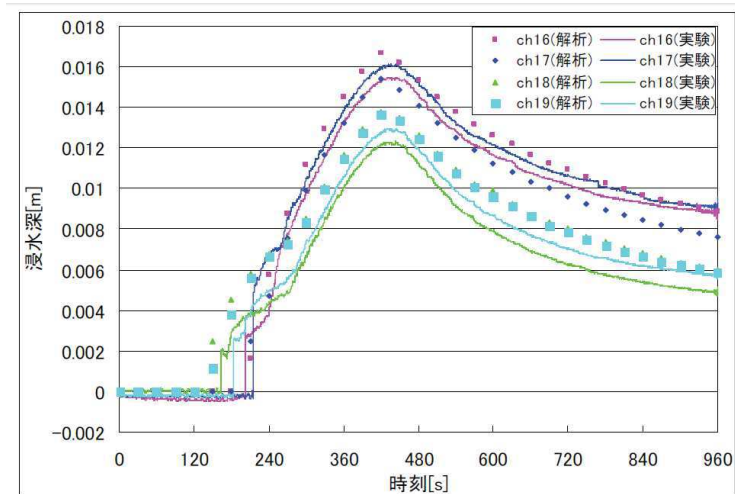
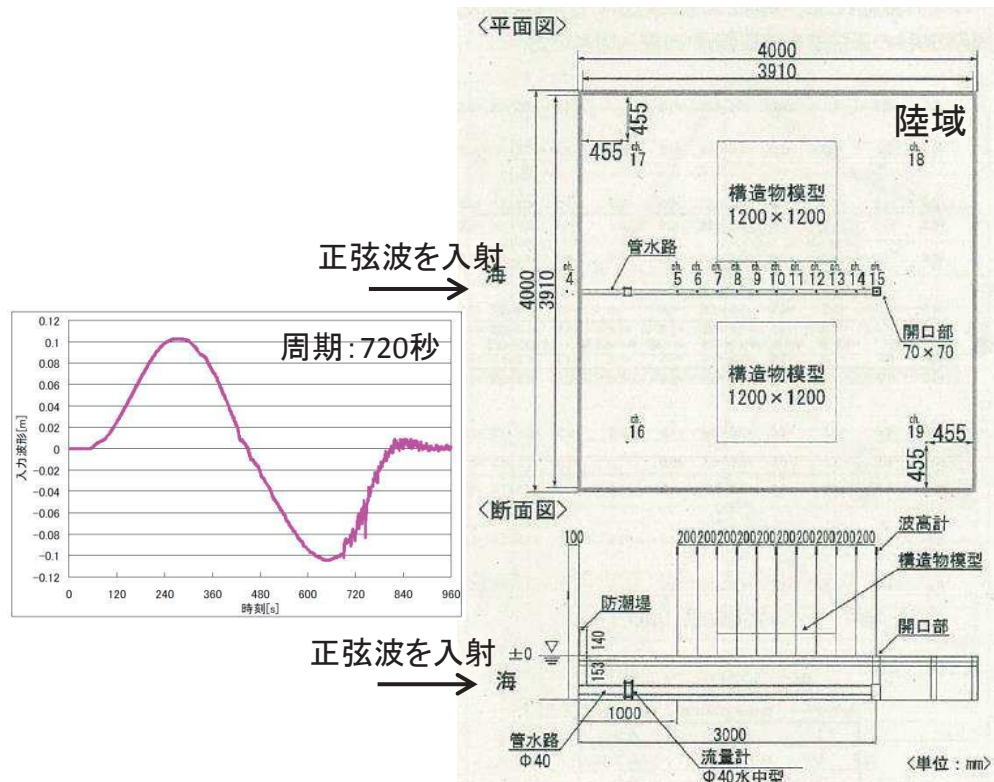
3. 敷地内氾濫解析(9/9)

■解析コードの妥当性

- 解析コードには、鹿島建設(株)・中部大学が開発した「都市型水害予測解析システム(Ver1.2)」を使用
- 本システムは治水対策等への適用実績※1がある都市部における内水氾濫解析コードに、取放水路等を介して海水が構内開口部から溢水する機構を組み込んだもの
- 発電所構内を想定した模型に正弦波を入射させた(左下図)水理模型実験による検証※2がなされており、構内の浸水状況に関し良好な再現性(右下図)が確認されている

※1: 武田 誠, 森田 豊, 松尾 直規: 下水道システムを考慮した氾濫解析の治水対策への適用, 水工学論文集, 第51巻, pp.529-534, 2007

※2: 高橋俊彦, 福山貴子, 新保裕美, 秋山義信, 田中昌宏, 池谷毅: 津波氾濫シミュレーションの水理模型実験による検証, 土木学会論文集B3(海洋開発), 69巻, 1号, pp.22-32, 2013(詳細は下図)



陸域部における水位時刻歴波形(高橋ほか(2013))
(観測点については左図参照。点が解析結果, 線が実測値を示す。)

水理模型実験概要(高橋ほか(2013))に一部加筆)

4. 津波PRAの見直し(1/7)

■ 津波PRAの見直しの概要

- O.P.33.9m津波(年超過確率 7.3×10^{-7})に対する全交流動力電源喪失の発生防止対策を踏まえ、津波PRAの見直しを実施

津波PRAの評価条件の整理(1/2)

項目	変更前	変更後	変更理由
1. 津波PRAにおける評価対象設備の変更	<ul style="list-style-type: none"> ・ 防潮堤 ・ 防潮壁 ・ 開口部(取水路, 放水路)閉塞板, 閉止板 ・ 水密扉(地上部, 地下部) ・ 貫通孔の止水 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 防潮堤 ・ 防潮壁 ・ 開口部(取水路, 放水路)閉塞板, 閉止板 ・ 水密扉(地下部) ・ 貫通孔の止水 ・ <u>補機ポンプエリアの浸水防止壁(追加)</u> 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 全交流動力電源喪失の発生を防止することを目的に, 補機ポンプエリア周辺に浸水防止壁を設置するため ・ 建屋地上部及び建屋内の止水対策に期待しない(建屋地上部の開口部から津波が流入した場合は, 建屋の同一フロア及び下階全体が同時に浸水)
2. 起因事象対象設備フラジリティの変更	<ul style="list-style-type: none"> ・ 起因事象対象設備の設置位置, 基礎高さを考慮せず, <u>防潮堤を越流した場合, 直ちに, 機能喪失すると仮定</u> 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 起因事象対象設備の設置位置, 基礎高さ及び防潮堤を越える津波への対策を考慮し, 敷地内氾濫解析の結果に基づき, <u>基礎高さを越えた場合に機能喪失すると仮定</u> 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 防潮堤を越流した直後に全交流動力電源喪失が発生すると仮定をしていたが, 起因事象対象設備の設置位置, 基礎高さ及び防潮堤を越える津波への対策を考慮するため

4. 津波PRAの見直し(2/7)

津波PRAの評価条件の整理(2/2)

項目	変更前	変更後	変更理由
3. 津波PRAにおける津波分類の変更	<ul style="list-style-type: none"> 津波分類3つ 津波分類1(O.P.29m～O.P.35.2m): 敷地内浸水の開始に伴う外部電源喪失及び原子炉補機冷却海水系機能喪失が発生 津波分類2(O.P.35.2m～O.P.38.6m): 敷地内浸水の開始に伴う外部電源喪失及び原子炉補機冷却海水系機能喪失の発生に加えて, 原子炉建屋外壁扉の機能喪失時にはRCICが没水により機能喪失 津波分類3(O.P.38.6m～): 防潮堤の機能喪失等に伴う敷地及び建屋内浸水が発生し, 全注水機能喪失に至る 	<ul style="list-style-type: none"> 津波分類2つ 津波分類A(O.P.29m～O.P.33.9m): 敷地内浸水に伴い外部電源喪失は発生するが, 緩和設備は健全 津波分類B(O.P.33.9m～): 敷地及び原子炉建屋又は制御建屋内への浸水により, 複数の緩和機能喪失に至る 	<ul style="list-style-type: none"> 起因事象対象設備の設置位置, 基礎高さ及び防潮堤を越える津波への対策を考慮することで, 津波高さ毎に発生する起因事象を見直したため O.P.33.9m津波による敷地内氾濫解析の結果, 敷地及びタービン建屋への浸水によって種々の過渡事象が発生することから, 過渡事象を代表する「外部電源喪失」の発生を仮定したため 浸水防止壁は防潮堤を越える津波への対策の有効性を把握する観点から, その機能に期待する 【15,16ページ参照】

4. 津波PRAの見直し(3/7)

■ 津波PRAにおける津波分類の変更

- 津波高さO.P.33.9m以下の津波では緩和設備は健全
- 津波高さO.P.33.9mを超える津波では、敷地及び原子炉建屋又は制御建屋内への浸水により複数の緩和機能が喪失
- これまで、津波高さO.P.38.6mを超える津波において、「防潮堤機能喪失」が発生し、炉心損傷直結事象となると整理していたが、津波高さO.P.33.9mを超える津波において、「複数の緩和機能喪失」が発生し、炉心損傷直結事象となると見直した
- 上記に基づき、津波高さに応じたプラントへの影響を識別するため、津波高さを以下の2つに分類
 - ・ 津波分類A(O.P.29m～O.P.33.9m)：敷地内浸水に伴い外部電源喪失は発生するが、緩和設備は健全
 - ・ 津波分類B(O.P.33.9m～)：敷地及び原子炉建屋又は制御建屋内浸水が発生し、複数の緩和機能喪失に至る

津波高さ毎のシナリオ分類

津波分類	津波高さ	津波により損傷する主な機器	起因事象
A	O.P.29m～O.P.33.9m	・ タービン建屋内機器	・ 外部電源喪失
B	O.P.33.9m～	・ 敷地及び原子炉建屋又は制御建屋内浸水により、複数の緩和機能喪失	

4. 津波PRAの見直し(4/7)

■ 津波分類の考え方

➤ 事故シーケンス評価を実施するにあたり、津波分類を以下のとおり設定

津波分類	津波高さ [m]	発生頻度※1 (平均値) [/年]	全炉心損傷頻度への寄与割合	イメージ図	津波分類の考え方
—	~29	(4.5×10^{-6}) ※29m津波の年超過確率	—		<ul style="list-style-type: none"> ■ 女川2号建屋周辺への浸水なし ・ 津波によるプラント影響発生せず ・ 内部事象と同等 【O.P.29m津波時の敷地内氾濫解析は17ページ参照】
A	29~33.9	3.8×10^{-6}	—※2		<ul style="list-style-type: none"> ■ 女川2号タービン建屋への浸水 ・ 外部電源喪失 ・ 原子炉建屋及び制御建屋内への浸水が発生しないため緩和設備は健全
B	33.9~	7.3×10^{-7}	0.98%		<ul style="list-style-type: none"> ■ 女川2号原子炉建屋又は制御建屋への浸水 ・ 敷地及び原子炉建屋又は制御建屋内への浸水により複数の緩和機能喪失(炉心損傷直結事象)

※1 着目する津波範囲の年超過確率の差分(例えば、津波分類A(O.P.29m~33.9m)の発生頻度はO.P.29m年超過確率(4.5×10^{-6}) - O.P.33.9m年超過確率(7.3×10^{-7}) = 3.8×10^{-6} (/年)となる)

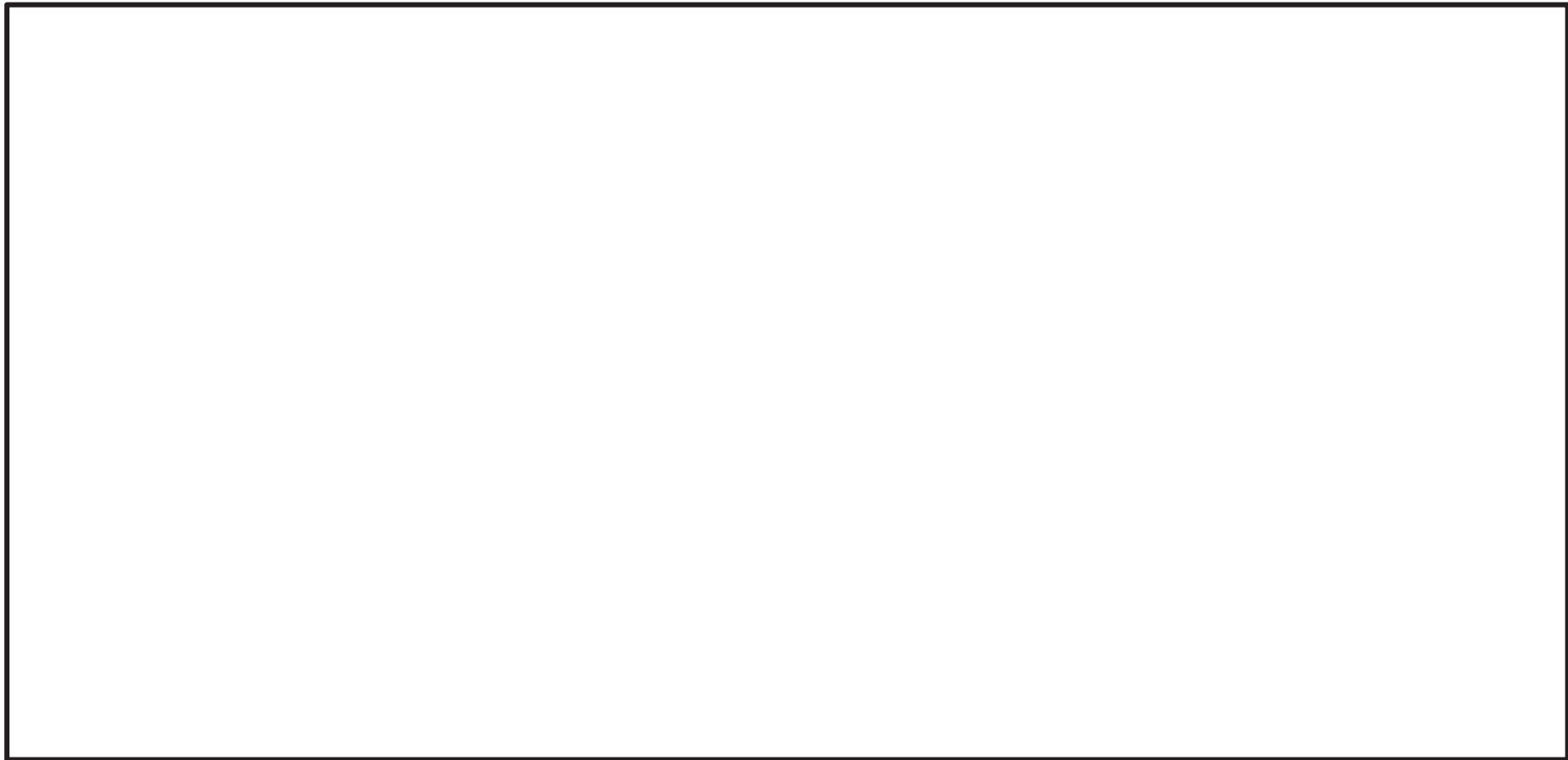
※2 緩和設備は全て健全であるため、地震PRAに包含される。地震PRAでは、地震による外部電源喪失×緩和設備のランダム故障のシーケンスも対象であり、本津波分類は同等のシーケンスとなる。

4. 津波PRAの見直し(5/7)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

■ O.P.29m津波時の敷地内氾濫解析の結果

- 敷地造成, 防潮壁の高さ変更等の各種対策実施後の地形データを用いて, 津波高さO.P.29m時の敷地内氾濫解析を実施
- 敷地内氾濫解析の結果, 原子炉建屋, 制御建屋周辺での浸水はないため, プラントへの影響は発生しない

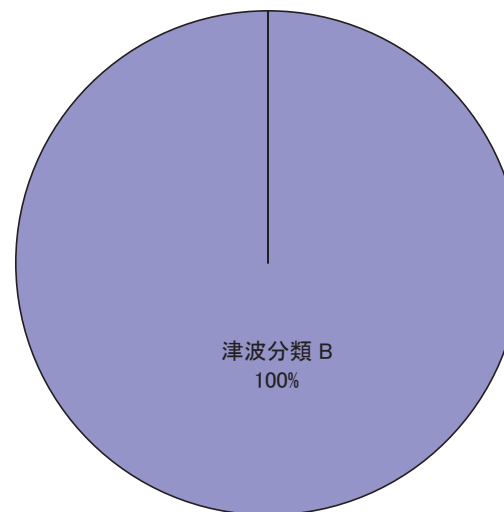


O.P.29m津波時の敷地内最大浸水深分布

4. 津波PRAの見直し(6/7)

■ 炉心損傷頻度評価結果(津波分類別)

- 全炉心損傷頻度: 7.3×10^{-7} [/炉年]
- 津波分類Aは緩和設備は全て健全であるため、地震PRAに包含される。地震PRAでは、地震による外部電源喪失×緩和設備のランダム故障のシーケンスも対象であり、本津波分類は同等のシーケンスとなる(津波PRAの評価対象外)
- 津波分類Bは緩和設備に期待できないため、必ず炉心損傷に至ることから、発生頻度がそのまま炉心損傷頻度になる



津波分類別炉心損傷頻度

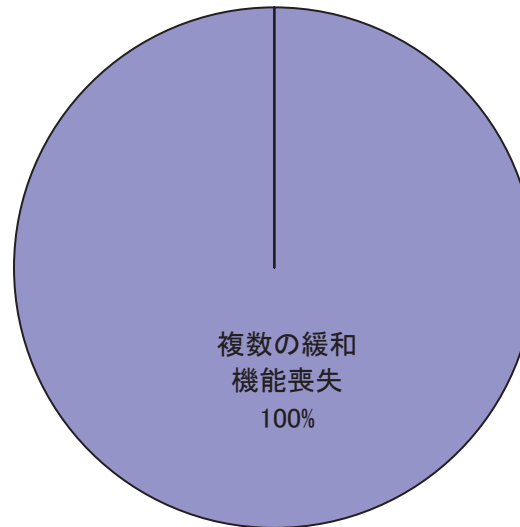
津波分類	津波高さ	津波発生頻度 [/年]	炉心損傷頻度 [/炉年]	寄与割合 [%]
A	O.P.29m~O.P.33.9m	3.8×10^{-6}	—※	—
B	O.P.33.9m~	7.3×10^{-7}	7.3×10^{-7}	100
全炉心損傷頻度			7.3×10^{-7}	100

※ 緩和設備は全て健全であるため、地震PRAに包含される。地震PRAでは、地震による外部電源喪失×緩和設備のランダム故障のシーケンスも対象であり、本津波分類は同等のシーケンスとなる。

4. 津波PRAの見直し(7/7)

■ 炉心損傷頻度評価結果(事故シーケンスグループ別)

- 全炉心損傷頻度: 7.3×10^{-7} [/炉年]
- 複数の緩和機能喪失が全炉心損傷頻度の100%を占める結果となったが、これは、津波分類Aは地震PRAに包絡されるため津波PRAの評価対象外であること及び津波分類Bでは建屋内への浸水により複数の緩和機能喪失(炉心損傷直結)となるためである



事故シーケンスグループ別炉心損傷頻度

津波分類	シーケンスグループ	炉心損傷頻度 [/炉年]	寄与割合 [%]
B	複数の緩和機能喪失	7.3×10^{-7}	100
全炉心損傷頻度		7.3×10^{-7}	100

5. シーケンス選定(1/2)

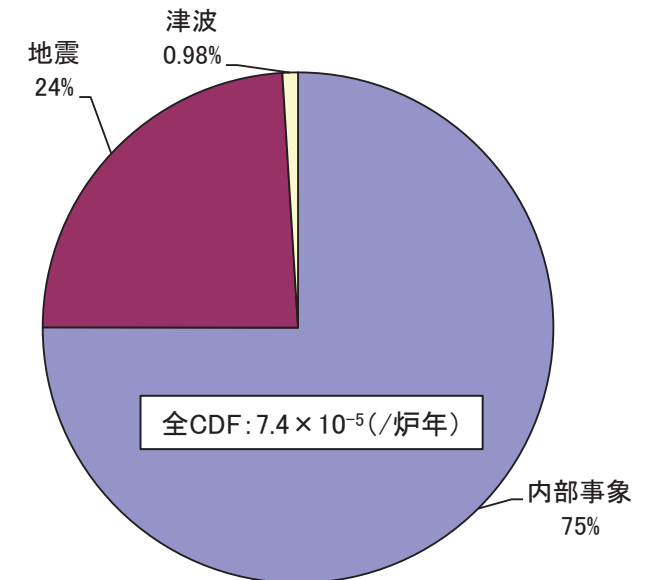
■津波PRAの見直しによる事故シーケンス選定への影響

○津波高さO.P.29m～O.P.33.9m(津波分類A)

- O.P.33.9m以下の津波について、内部事象と同様の炉心損傷防止対策が有効であるため、「津波を起因とした事故シーケンス」と「内部事象を起因としたシーケンス」を同等と評価し、新たな事故シーケンスグループとして追加する必要はないと判断

○津波高さO.P.33.9m～(津波分類B)

- O.P.33.9mを超える津波(炉心損傷頻度 7.3×10^{-7} /炉年)について、炉心損傷直結事象として整理したが、頻度の観点からは、全炉心損傷頻度(内部事象PRA、地震PRA及び津波PRAの炉心損傷頻度の合計 7.4×10^{-5} /炉年)に占める割合は1%未満と小さい
- 影響度の観点からは、①O.P.33.9mを超え防潮堤が機能喪失する高さの津波から抽出される事故シーケンスは内部事象PRAで抽出される事故シーケンスグループと同等と評価していること、②敷地及び建屋内に大量浸水することで、非常用海水ポンプが被水・没水して最終ヒートシンクが喪失するとともに、屋内外の施設が広範囲にわたり機能喪失することが考えられ、津波の影響を特定することが困難
- 以上のことから、新たな事故シーケンスグループとして追加する必要はないと判断
- なお、O.P.33.9mを超える津波の影響を詳細化すれば、O.P.33.9m～38.6mの津波で抽出されるシーケンスは長期TB及びTBUであり、建屋内への浸水防止等により、建屋内の緩和設備への浸水影響を防ぐことができ、炉心損傷を回避できる
- O.P.38.6mを超える津波では、防潮堤の脆弱性の観点から、防潮堤機能喪失と判断しており、その頻度は 1.1×10^{-7} であり、大規模損壊発生時の対策も含め、影響の緩和を図る



事象(内部事象/地震/津波)別
炉心損傷頻度

5. シーケンス選定(2/2)

■PRA結果に基づく新たな事故シーケンスグループの検討結果

- PRAで抽出された事故シーケンスが解釈に基づき必ず想定する事故シーケンスグループに該当することを確認
- 有意な頻度又は影響をもたらす事故シーケンスグループが新たに抽出されないことを確認

事故シーケンス	シーケンス No.	事故シーケンス別の炉心損傷頻度(/炉年)				全炉心損傷頻度に対する割合	炉心損傷に至る主要因	グループ別炉心損傷頻度(/炉年)	全炉心損傷頻度に対する割合	解釈1-1(a)の事故シーケンスグループ	規則解釈	
		内部事象	地震	津波	合計							
1	過渡事象+高圧注水失敗+低圧ECCS失敗	(1)	1.5E-11	-	-	2.2E-08	<0.1%	原子炉注水に失敗	2.2E-08	<0.1%	高圧・低圧注水機能喪失	1-2(a)
	過渡事象+SRV再閉失敗+高圧注水失敗+低圧ECCS失敗	(2)	5.4E-12	-	-	2.2E-08	<0.1%					
	手動停止+高圧注水失敗+低圧ECCS失敗	(12)	4.6E-13	-	-	4.6E-13	<0.1%					
	手動停止+SRV再閉失敗+高圧注水失敗+低圧ECCS失敗	(13)	2.1E-13	-	-	2.1E-13	<0.1%					
	サポート系喪失+高圧注水失敗+低圧ECCS失敗	(14)	7.7E-12	-	-	7.7E-12	<0.1%					
	サポート系喪失+SRV再閉失敗+高圧注水失敗+低圧ECCS失敗	(15)	3.1E-13	-	-	3.1E-13	<0.1%					
2	過渡事象+高圧注水失敗+手動減圧失敗	(3)	1.8E-07	7.9E-07	-	9.7E-07	1.3%	原子炉減圧に失敗	9.8E-07	1.3%	高圧注水・減圧機能喪失	1-2(a)
	手動停止+高圧注水失敗+手動減圧失敗	(16)	8.5E-09	-	-	8.5E-09	<0.1%					
	サポート系喪失+高圧注水失敗+手動減圧失敗	(17)	1.7E-09	-	-	1.7E-09	<0.1%					
3	全交流動力電源喪失(外部電源喪失+DG失敗)+HPCS失敗	(7)	6.1E-11	6.9E-06	-	6.9E-06	9.3%	サポート機能(電源機能)の喪失	7.7E-06	10.4%	全交流動力電源喪失	1-2(a)
	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	(8)	9.3E-13	2.3E-08	-	2.3E-08	<0.1%					
	全交流動力電源喪失(外部電源喪失+DG失敗)+高圧注水失敗	(9)	1.3E-12	2.3E-07	-	2.3E-07	0.3%					
	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	(10)	4.5E-12	6.0E-07	-	6.0E-07	0.8%					
4	過渡事象+除熱失敗	(4)	5.1E-05	-	-	5.6E-05	76.4%	格納容器からの除熱に失敗	6.1E-05	82.3%	崩壊熱除去機能喪失	1-2(b)
	過渡事象+SRV再閉失敗+除熱失敗	(5)	1.4E-07	5.6E-06	-	5.6E-05	76.4%					
	手動停止+除熱失敗	(18)	2.7E-06	-	-	2.7E-06	3.6%					
	手動停止+SRV再閉失敗+除熱失敗	(19)	7.2E-09	-	-	7.2E-09	<0.1%					
	サポート系喪失+除熱失敗	(20)	1.7E-06	-	-	1.7E-06	2.3%					
	サポート系喪失+SRV再閉失敗+除熱失敗	(21)	4.3E-09	-	-	4.3E-09	<0.1%					
	中小破断LOCA+除熱失敗	(22)	8.6E-08	-	-	8.6E-08	0.1%					
	大破断LOCA+除熱失敗	(23)	3.4E-09	-	-	3.4E-09	<0.1%					
5	過渡事象+原子炉停止失敗	(6)	3.9E-09	4.5E-07	-	4.5E-07	0.6%	反応度抑制に失敗	9.5E-07	1.3%	原子炉停止機能喪失	1-2(b)
	中小破断LOCA+原子炉停止失敗	(24)	8.3E-12	-	-	8.3E-12	<0.1%					
	大破断LOCA+原子炉停止失敗	(25)	3.3E-13	-	-	3.3E-13	<0.1%					
	全交流動力電源喪失(外部電源喪失+DG失敗)+HPCS失敗+原子炉停止失敗 ^{※1}	(11)	-	5.0E-07	-	5.0E-07	0.7%					
6	中小破断LOCA+高圧注水失敗+低圧ECCS失敗	(26)	4.3E-13	-	-	4.3E-13	<0.1%	原子炉冷却材の喪失	7.2E-07	0.98%	LOCA時注水機能喪失	1-2(a)
	中小破断LOCA+高圧注水失敗+原子炉自動減圧失敗	(27)	2.9E-12	-	-	2.9E-12	<0.1%					
	大破断LOCA+HPCS失敗+低圧ECCS失敗	(28)	4.2E-14	-	-	4.2E-14	<0.1%					
	E-LOCA ^{※2}	(34)	-	7.2E-07	-	7.2E-07	0.98%					
7	インターフェイスシステムLOCA(ISLOCA)	(29)	2.4E-09	-	-	2.4E-09	<0.1%	格納容器貫通配管からの漏洩	2.4E-09	<0.1%	格納容器バイパス(ISLOCA)	1-2(b)
8	原子炉建屋損傷 ^{※2}	(30)	-	2.1E-08	-	2.1E-08	<0.1%	外部事象による大規模な損傷	7.3E-07	0.98%	該当なし	
	制御建屋損傷 ^{※2}	(31)	-	3.1E-07	-	3.1E-07	0.4%					
	格納容器損傷 ^{※2}	(32)	-	3.1E-07	-	3.1E-07	0.4%					
	圧力容器損傷 ^{※2}	(33)	-	3.1E-07	-	3.1E-07	0.4%					
	計測・制御系喪失 ^{※2}	(35)	-	3.1E-07	-	3.1E-07	0.4%					
	制御建屋空調系喪失 ^{※2}	(36)	-	5.9E-07	-	5.9E-07	0.8%					
	格納容器バイパス ^{※2}	(37)	-	8.0E-08	-	8.0E-08	0.1%					
	複数の緩衝機能喪失 ^{※2}	(38)	-	-	7.3E-07	7.3E-07	0.98%					
	合計		5.5E-05	1.8E-05	7.3E-07	7.4E-05	-					

ハッチング:地震、津波特有の事象で、解釈に基づき想定する事故シーケンスグループと直接的に対応しないもの

※1:地震発生と同時に最大の加速度を受けるものとして評価している地震レベルIPRAの設定上抽出されたものであるが、地震時の挙動を現実的に想定すると、基準地震動よりも十分小さな加速度でスクラム信号「地震加速度大」が発信され、炉内構造物が損傷する加速度に至る前に制御棒の挿入が完了すると考えられることから、現実的には発生し難いと考え、炉心損傷防止対策の有効性を確認する対象に該当しないと判断したシーケンス

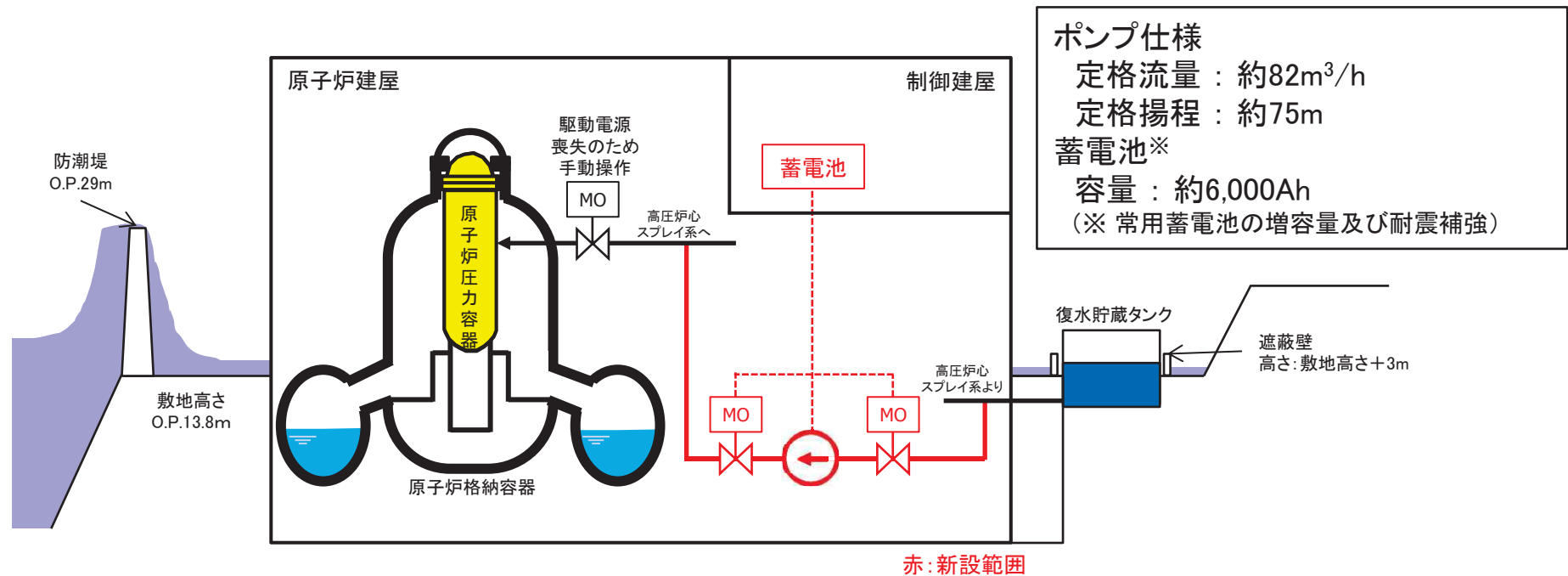
※2:解釈1-1(a)の必ず想定する事故シーケンスグループに該当しないが、安全機能喪失時の対策の有効性を評価するためのシナリオとしては適当でないと判断し、新たに追加するシーケンスとはしないこととしたシーケンス



6. 防潮堤を越える津波への対策(1/4)

■津波の影響を受けない建屋内への常設ポンプ設置

- 敷地内に津波の影響が及んだ直後は可搬型設備の対応の実行性に不確かさが大きいため、TBPシーケンスのように事象進展(注水機能の喪失)が早い事象に対応するため、可搬型の緊急送水ポンプに代えて、新たに常設ポンプを設置
- 交流電源以外の様々な駆動方式を検討(ディーゼル駆動, エアモータ駆動, 蓄圧駆動, 直流電源駆動)
- 配置成立性, 設備構成の観点で比較を行い, 直流電源駆動を採用 (詳細は次ページ参照)
 - ・ 短時間で注水開始するため, 常設設備による構成が可能であること
 - ・ 津波の影響を受けない建屋内に設置可能であること
 - ・ サポート系をできるだけ要さない, 相対的に信頼性の高い構成であること



系統構成概要(直流駆動低圧注水系)

6. 防潮堤を越える津波への対策(2/4)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

■ 駆動方式の比較

- 津波の影響を受けない建屋内への配置成立性があり、サポート系が少なく相対的に信頼性の高い、直流電源駆動を採用

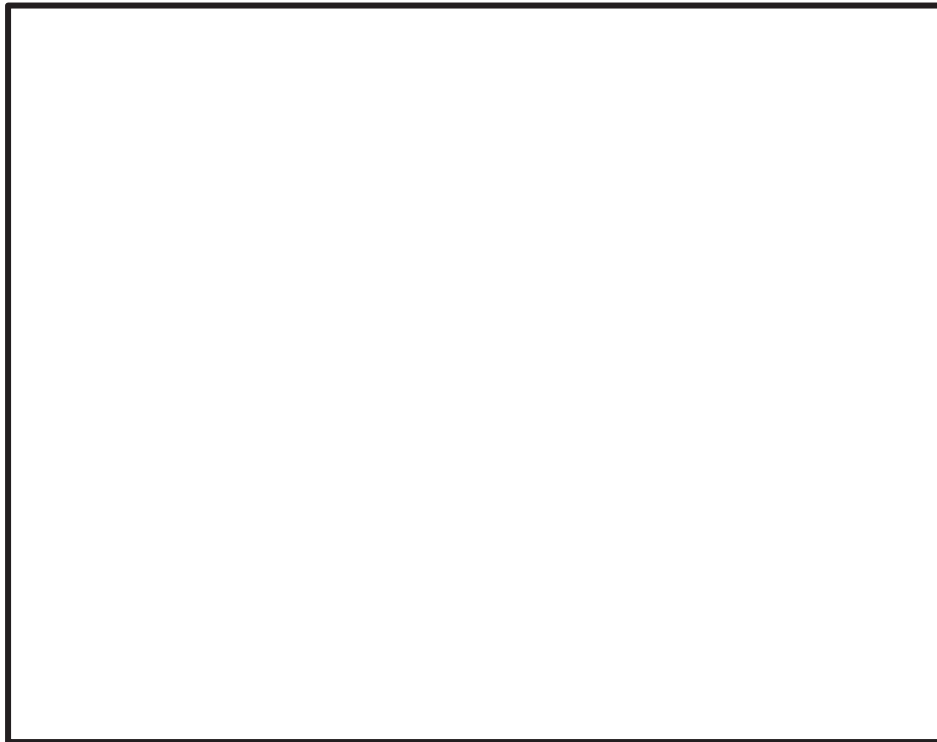
	ディーゼル駆動	エアモータ駆動	蓄圧駆動	直流電源駆動
設備概要	ディーゼルエンジン駆動のポンプにより注水	エアモータ駆動のポンプにより注水 コンプレッサーより圧縮空気をエアモータに供給	圧縮空気を蓄圧したアキュムレータにより注水	蓄電池を電源とする、直流電源駆動ポンプにより注水
津波の影響を受けない建屋内への設置				○ ・ 既設建屋内配置可能 (設備のリプレイス、 空きスペースの活用)
サポート系				○ ・ 電源供給系

6. 防潮堤を越える津波への対策(3/4)

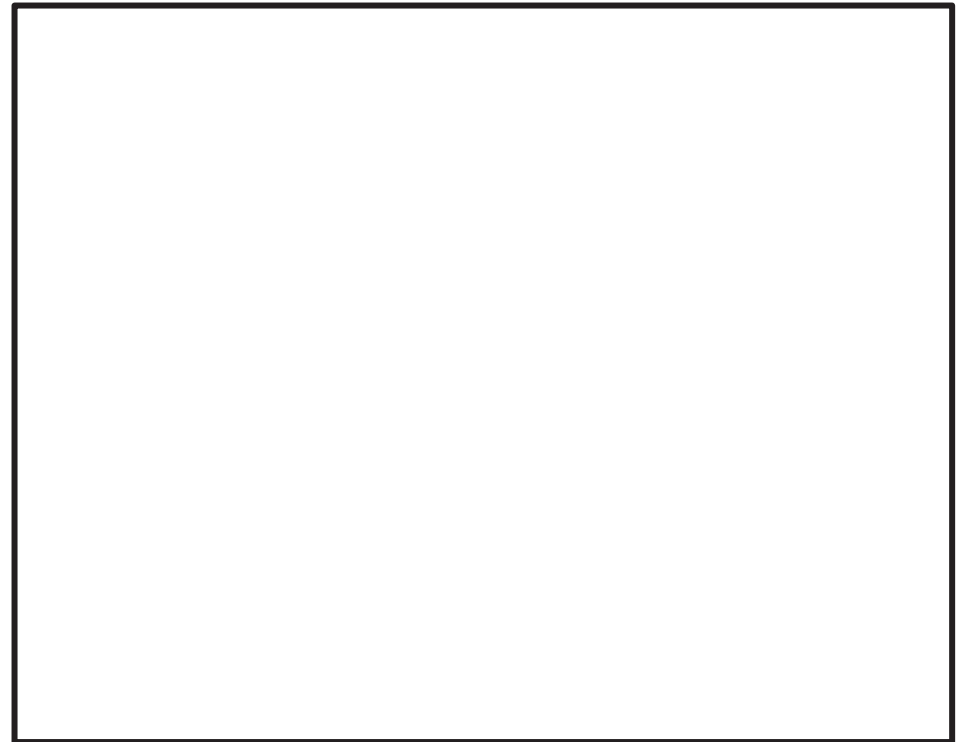
枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

■津波の影響を受ける保管エリアの移転・廃止

- 第3保管エリア(O.P.18.5m)は防潮堤に隣接しており、防潮堤を越える津波により、保管エリアに配置している可搬型重大事故等対処設備が使用不可となることが考えられる
- 2号炉原子炉建屋、第1、第2保管エリアに対し外部事象によって同時に機能喪失に至らないこと、岩盤が浅く耐震性が高いこと、越流津波によって可搬型設備が機能喪失に至らないことを考慮し、第3保管エリアを他の保管エリアから離れた場所(O.P.13.8m)へ移転
- 可搬型の緊急送水ポンプを常設ポンプに置き換え、第5、第6保管エリア(O.P.13.8m)は廃止
- 第4保管エリアは、敷地計画を見直すことで耐震性を有するエリアに移転



保管エリア位置図(変更前)
(第529回審査会合(平成29年11月30日)時点)



保管エリア位置図(変更後)

6. 防潮堤を越える津波への対策(4/4)

■ 防潮堤を越える津波への対策を踏まえた有効性評価について

- 防潮堤を越える津波への対策である直流駆動低圧注水系を考慮し、TBシーケンスの対策を変更
 - ・ TBUシーケンスは125V蓄電池を用いたHPACによる注水
 - ・ TBDシーケンスは125V代替蓄電池を用いたHPACによる注水後、直流駆動低圧注水系による注水
 - ・ TBPシーケンスはRCICの機能喪失後に直流駆動低圧注水系による注水(直流駆動低圧注水系により連続的に炉心注水が可能)
- 今後、上記を踏まえた有効性評価の見直しを実施

直流駆動低圧注水系を考慮したTBシーケンスの見直し

シーケンス名称	変更前(炉心注水)	変更後(炉心注水)
長期TB	RCIC: 125V蓄電池(24時間)	同左
TBU	HPAC: 125V代替蓄電池(8時間) + 電源車	HPAC: 125V蓄電池(24時間)
TBD		HPAC: 125V代替蓄電池(8時間) 直流駆動低圧注水系: 250V蓄電池
TBP	RCIC: 125V蓄電池(～約1時間)※ 可搬型緊急送水ポンプ: 電源不要(95分～)	RCIC: 125V蓄電池(～約1時間)※ 直流駆動低圧注水系: 250V蓄電池(約1時間～)

※ 逃がし安全弁1個の開固着によって、蒸気駆動の注水系が動作できない範囲に原子炉圧力が低下するまでの間(～約1時間)は、125V蓄電池より電源を給電したRCICにより炉心を冷却