

# 第7章 津波防御に関する工学の体系化

- 様々な施設・設備や機能・対応を駆使して巨大津波の外力・影響を軽減させるための工学的手法を整理し、その工法やシステムなどの提案を行う。まず、既存の施設設備、機能、情報やシステムなどのレビューを行い、対象エリアに応じた要求性能を踏まえて、多重防御・深層防御などの考え方を整理する中で、必要な工法やシステム(人員、体制)の提案を行う。
- メンバー

今村文彦	東北大学	津波工学	7.1 津波防御に関する技術のレビュー (多重防災機能) 7.2体系化の考え 7.5津波関連情報システムの活用
有賀義明	弘前大学	地震工学	7.2体系化の考え 7.3構造工学、機器工学の検討および提案
飯田晋	東北電力	プラント運転管理	7.1 津波防御に関する技術のレビュー (アンケート) 7.2体系化の考え
石黒幸文	中部電力	電力土木	7.1 津波防御に関する技術のレビュー (アンケート) 7.2体系化の考え
庄司学	筑波大学	ライフライン防災	7.3構造工学、機器工学の検討および提案 7.4回復力 (Resilience) の維持
高橋郁夫	清水建設	耐震工学	7.3構造工学、機器工学の検討および提案 7.4回復力 (Resilience) の維持

# 検討事項

- 7.1 津波防御に関する技術のレビュー
  - 既存の技術, 施設やシステムなどのレビュー(アンケート調査など)
  - 多重防御の機能を有する技術の体系化に向けた機能(防水, 耐水, 避水など)
- 7.2 体系化の考え
  - 対象エリア・構造物に対する多重性・多機能を持つ減災・防御の体系化に向けて
  - 多重防御, 深層防御, フェールセーフなどの構造工学等の検討や回復力について考えの整理
- 7.3 構造工学、機器工学の検討および提案(事前対応, 予防)
  - 多重防御の機能を持つ構造, 機器の検討
  - 防水工法、耐水工法、避水工法
  - 浸水からの設備の遮蔽vs設備側で対応
- 7.4 回復力(Resilience)の維持(事後対応, 危機管理)
  - 津波からの影響を受けた後のいち早い復旧・復興について
  - いち早い復旧を目指した対応(排水, がれき処理, 体制など)
- 7.5 津波関連情報システムの活用
  - 津波警報などの利用
  - リアルタイム情報の活用リアルタイム情報の活用による低減効果
  - 地震発生後来襲間でのフェーズ, 来襲後から収束までのフェーズ, 収束後のフェーズ
- 7.6 提案事例

# 7.1 津波防御に関する技術のレビュー

- 既存の技術，施設やシステムなどのレビュー（アンケート調査など）
- 多重防御の機能を有する技術の体系化に向けた機能（防水，耐水，避水など）

# 発電事業者等へのアンケート調査

## 【調査対象】

発電用原子炉施設(建設中を含む)を保有する事業者を対象

北海道電力(株)、東北電力(株)、  
東京電力(株)、中部電力(株)、  
北陸電力(株)、関西電力(株)、  
中国電力(株)、四国電力(株)、  
九州電力(株)、日本原子力発電(株)、  
電源開発(株)、  
(独)日本原子力研究開発機構

## 【調査内容】

1. 発電所概要(複数サイト, 複数号機が設置されている場合で、以降1~4の回答内容が号機毎に異なる場合はそれが分かるように記載願います。)

Q1.1 施設名称:

Q1.2 原子炉形式:

Q1.3 敷地高さ:(原子炉建屋地表面位置の基準面からの高さを記載願います。可能であれば、図面などを添付下さい。)

2. 津波に対する防護措置内容(可能な限り、3.11の「地震前」と「地震後」の各々で、記載願います。なお、計画中、建設中の場合にはその旨が判るように注記ください。)

Q2.1 想定している津波高さ:(波高、遡上高、浸水高の何れかを記載願います。)

<ハード面>

Q2.2 防潮堤、防波堤等の設置(敷地内に津波を浸入させない対策):

Q2.3 防潮壁等の設置(敷地内に津波が浸入した場合の屋外機器などを防護する対策):

Q2.4 原子炉建屋等の水密化:

Q2.5 電源確保についての考え方:

Q2.6 冷却、除熱機能確保についての考え方:

<ソフト面>

Q2.7 津波の監視体制・監視方法(津波関連情報の活用):(気象庁の大津波警報等、あるいは独自の津波監視情報等、活用を検討されている津波関連情報について記載願います。)

Q2.8 作業員避難指示等人身安全に関する考慮事項:

Q2.9 防護、回復措置実施タイミングの考え方(津波余波を考慮した対策実施方法):

3. 津波襲来からの回復措置内容

Q3.1 津波が敷地内に浸入した場合の排水の考え方:

Q3.2 敷地内のがれき処理の考え方、体制など:

4. その他

Q4.1 津波に関し考慮している事項:

Q4.2 緊急時対策所を設置している場合、あるいは設置計画がある場合の、位置や設置に関して考慮した点:

Q4.3 敷地外への防災・減災取組の現状や課題

# アンケート調査結果

- 回答数 19発電所※1 53ユニット※2

【内訳】PWR 8発電所 24ユニット

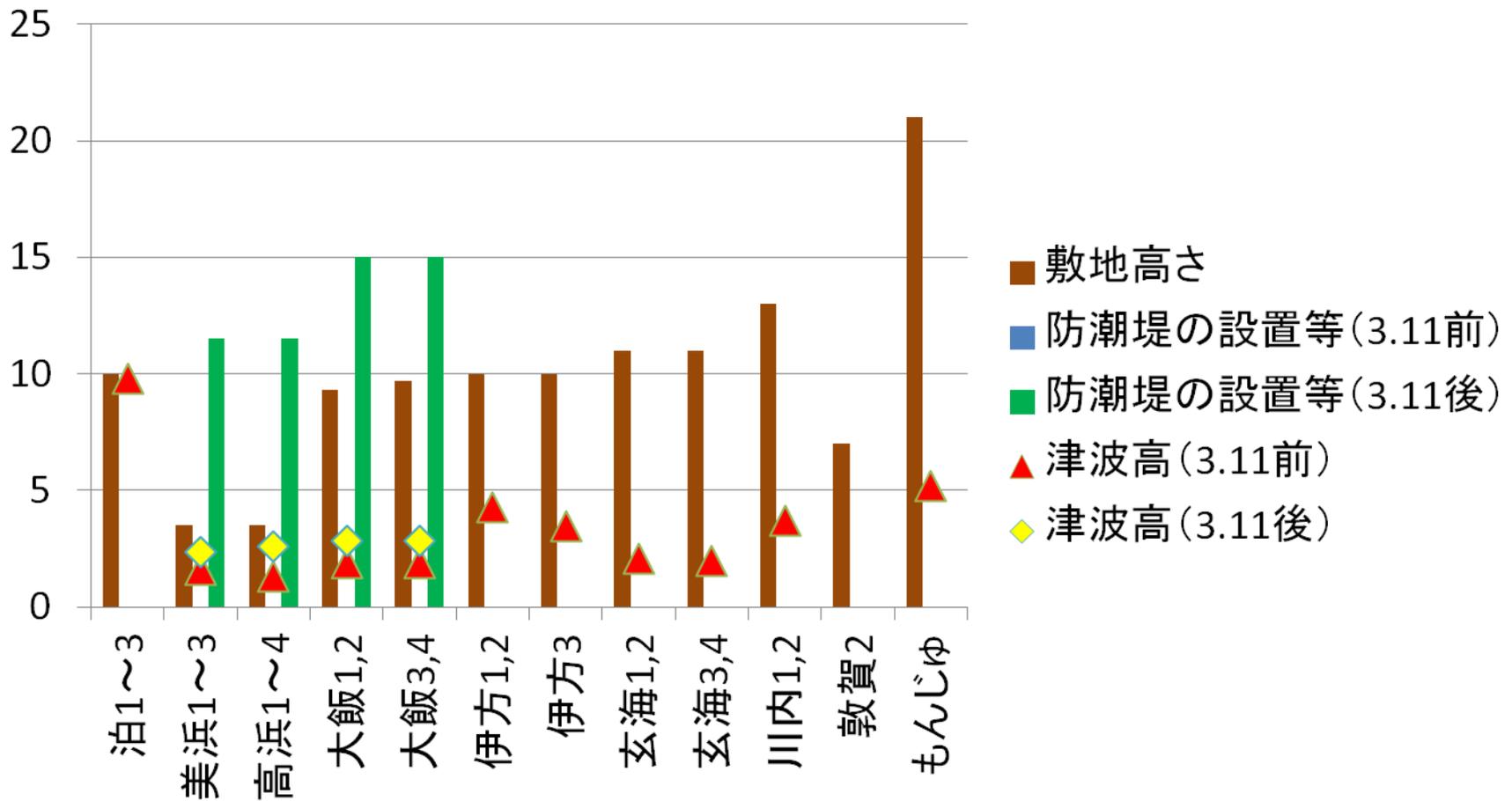
BWR、ABWR 11発電所 28ユニット

FBR 1発電所 1ユニット

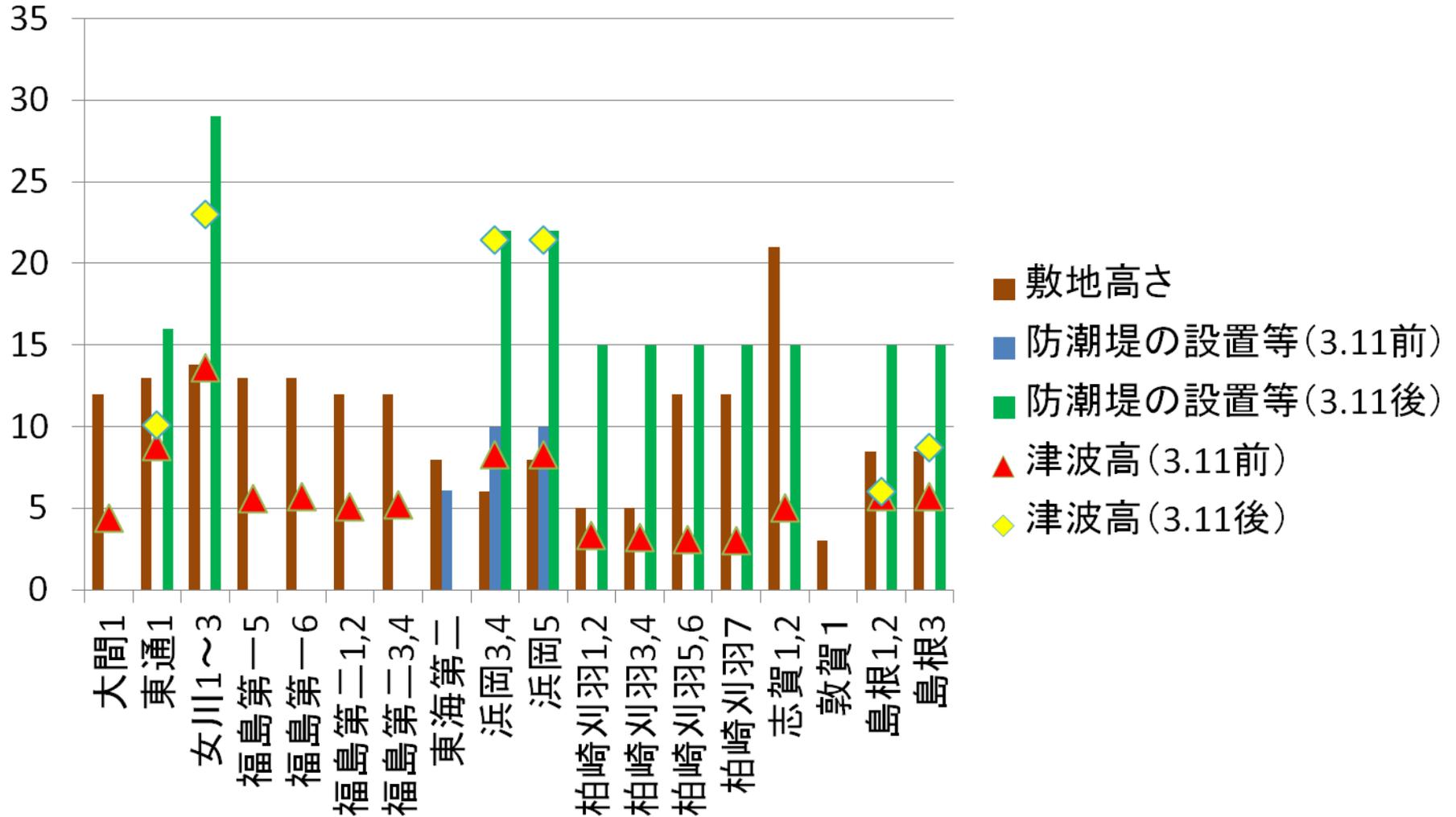
※1 敦賀発電所は1号機BWR、2号機PWR

※2 既設51ユニット、建設中2ユニット

# 発電所敷地高さと防潮堤、 想定津波高等 (PWR、FBR)



# 発電所敷地高さ防潮堤、 想定津波高等(BWR)



# 津波に対する防護措置内容(1)

防潮堤等の設置	<ul style="list-style-type: none"><li>● 防潮堤や防潮壁等の高さは、平成14年土木学会津波評価技術に基づき算定した津波高さ+9.5m又は福島第一発電所の津波高さを踏まえたT.P.+15m、或いは個別サイトの津波評価結果による。</li></ul>
防潮壁等の設置	<ul style="list-style-type: none"><li>● 敷地高さが想定する津波高さに比べて十分に高い場合には、防潮堤や防潮壁等が設置されない事例もある。</li><li>● 19発電所中、防潮堤等は14発電所で、防潮壁等は15発電所で設置または検討中。</li></ul>
原子炉建屋等の水密化	<ul style="list-style-type: none"><li>● 原子炉建屋等の水密化として、水密扉の設置・貫通部の止水対策等が行われている。</li><li>● 19発電所中、18発電所で対策済みまたは検討中。</li></ul>

# 津波に対する防護措置内容(2)

<p>電源確保についての考え方</p>	<ul style="list-style-type: none"><li>● 既存の外部電源や非常用ディーゼル発電機の代替として、高台への電源車の配備や空冷式非常用発電機の設置等が行われている。</li><li>● 原子炉建屋内上層階への電源盤・非常用発電機の設置や蓄電池容量の増強等の対策が行われている事例もある。</li><li>● 外部電源の信頼性強化や号機間融通に取り組んでいる事例もある。</li></ul>
<p>冷却・除熱機能確保についての考え方</p>	<ul style="list-style-type: none"><li>● 水源の多様化、消防車や可搬式ポンプ、大容量ポンプ車等の配備、給水配管の設置や、ポンプ・電動機の予備品配備等が行われている。</li><li>● 特にBWR形式の発電所では、フィルター付き格納容器ベント設備の導入を進めている事例もある。</li></ul>

# 津波に対する防護措置内容(3)

<p>津波の監視体制・監視方法</p>	<ul style="list-style-type: none"><li>● 気象庁の津波警報の活用、発電所の潮位計・水位計等の活用の他、GPS波浪計データの活用、監視カメラの設置等が検討されている事例もある。</li></ul>
<p>作業員避難指示等人身安全に関する考慮事項</p>	<ul style="list-style-type: none"><li>● 構内通話設備や一斉放送等で高台への避難等呼びかける運用が計画されている。</li><li>● ライフジャケットの配備や海拔表示・避難看板設置に取り組んでいる事例もある。</li></ul>
<p>防護・回復措置実施タイミングの考え方</p>	<ul style="list-style-type: none"><li>● 津波警報等の解除後に回復措置実施を行うという考え方の他、独自の津波監視による情報などに基づき、警報発令中でも回復措置実施を行うという考え方もある。</li></ul>

# 津波襲来からの回復措置内容

<p>津波が敷地内に浸入した場合の排水の考え方</p>	<ul style="list-style-type: none"><li>● 側溝等から海に排水される。</li><li>● 防潮堤にフラップゲート等の排水設備を設置している事例もある。</li></ul>
<p>敷地内のがれき処理の考え方・体制など</p>	<ul style="list-style-type: none"><li>● アクセスルート確保のために、大半の発電所が重機を配備している。</li><li>● 重機の運転等に関しては、社員で対応できるよう必要な資格を取得するとともに、教育訓練等を計画的に実施している事例もある。</li></ul>

# その他

津波に関し 考慮してい る事項	<ul style="list-style-type: none"><li>● 想定を超える津波への対応。</li><li>● 想定を超える引き津波時の補機冷却系取水確保。</li><li>● 漂流物、地震との重畳による影響。</li></ul>
緊急時対策 所の位置や 設置に関し て考慮した 点	<ul style="list-style-type: none"><li>● 免震構造の建屋を津波の影響を受けない高台へ設置済みまたは計画中。</li><li>● 放射線対策も考慮。</li></ul>
敷地外への 防災・減災 取組の現状 や課題	<ul style="list-style-type: none"><li>● 敷地外への放射性物質拡散抑制のため、放水砲やシルトフェンスの設置予定事例あり。</li><li>● 原子力事業者防災業務計画に基づき対応することとしており、原子力防災訓練により検証し、継続的な改善を図っていく必要がある。</li></ul>

# 追加で聞き取り調査が必要な事項

- アンケート実施時期(今年5月)以降の最新状況の反映
- 特に、「検討中」とされていた項目の確認
- 各社を横並びに見た時の記載内容の修正の要否

## 7.2 津波防御の体系化:目的

- 目的;耐津波性向上のため,津波への防御施設,対策・対応を相互に関連性させ、発生時から来襲・浸入,収束,さらに回復までの間,津波の外力・影響を最小化させる.多重防御(多重性,多様性,独立性),深層防御(多相性)への体系化を図る.
- 対象エリアに応じた津波来襲・外力の特性を踏まえて,構造工学等の検討や対策・対応の考えの整理し,必要な工法やシステムを提案する.

# (1) 体系化のための考える視点

- 津波および災害の特殊性
  - 地震発生後に伝播し、サイトや周辺施設に作用する
  - 来襲までに猶予時間がある。来襲の継続時間が長い、影響範囲もサイト周辺も含めて広い。サイト周辺の相互影響が大きい。波源位置とサイトの位置関係により影響が異なる
  - 津波来襲による随伴事象（土砂移動、漂流物、火災など）がある。
- 津波の作用・影響の過程の整理
  - 発生、伝播、陸上遡上、建屋への浸入・移動、漂流物移動、複数の来襲、収束・排水

## (2) 津波防御に際しての要求性能

要求性能		概 要
安全性	放射線影響に係る安全性	津波作用に対して放射線影響を顕在化させないこと(防水性)
	放射線影響には係らない安全性	発電施設内外の人々の生命の安全が確保されること
使用性	発電性	発電機能が継続的に維持されること
	電力供給性	電力供給機能が継続的に維持されること
	気密性	気密性が保持されること
	水密性(耐水性)	水密性が保持されること(内側、外側の両面に対して)
	遮蔽性(避水性)	遮蔽性が保持されること(漏洩が生じないこと)
復旧性		性能の回復、復旧が所定の期間内に所定の費用で合理的に実施できること
環境性		津波防御対策を講じたことにより、陸域や海域等の自然環境、周辺の世界環境等に副次的な影響を及ぼさないこと等
廃炉性		安全に経済的、合理的に廃炉ができること

# (3) 津波防御の考え方(機能)

- 津波の回避(抜本的な対策技術): **防水, 浸入防止**
  - 適地選定(津波の影響が及ばない場所⇒選定条件)
  - 防災性の高い立地技術(将来に向けた技術⇒地下立地等)
- 津波からの隔離・排除: **避水・排水**
  - 構造体(防波堤等)を用いた隔離
  - 建屋内設置による隔離(レイアウトの工夫)
  - 施設全体を覆う構造形式による隔離・排除(排水)
- 津波に対する個別的防御技術: **耐水生, 水密性**
  - 構造力学的な耐津波技術(耐水・波力性等)
  - 水理学的な耐津波技術(経路, 流速, 水密性等)
  - 冷却水確保

# (4) 各地域での防御機能

- 海域において(サイト外)
  - 波高減衰・到達時間遅延(防波堤など)
- 沿岸において(サイト境界)
  - 防水, エネルギー減衰(防潮堤など)
- サイト内(陸上)において
  - 浸食防止(アスファルト, コンクリート), 漂流物抑止(フェンス), 波高減衰・到達時間遅延(堤防, フェンス), レイアウト, 構造形式による隔離
  - 排水, 土砂・瓦礫排除
  - 冷却機能(取水排水ポンプ), 防火, 漏電防止, 電源の確保
- 建屋内(浸入経路の特定出来る場合と出来ない場合)において
  - 重要な機器等
  - 防水(防潮壁、水密扉の多重化、開口部閉止・嵩上げ、貫通部閉塞)

## (5) フェイズ毎の防御機能

- フェーズⅠ（津波に備える）
  - 防水・耐水・避水
- フェーズⅡ（津波来襲に対処）
  - 察知（観測，予測）
  - 来襲から収束までの対応（サイト内外）
  - 人員の安全確保と対応の両立
- フェーズⅢ（津波被害からの回復・復旧）
  - 復旧（瓦礫撤去，排水）

# 津波防御体系化の整理イメージ素案

○多重防御，深層防御，フェールセーフなど基本要件を整理した上で，次の各段階で考慮すべき事項を整理

## 時間の流れ（深層防御実践の流れ）

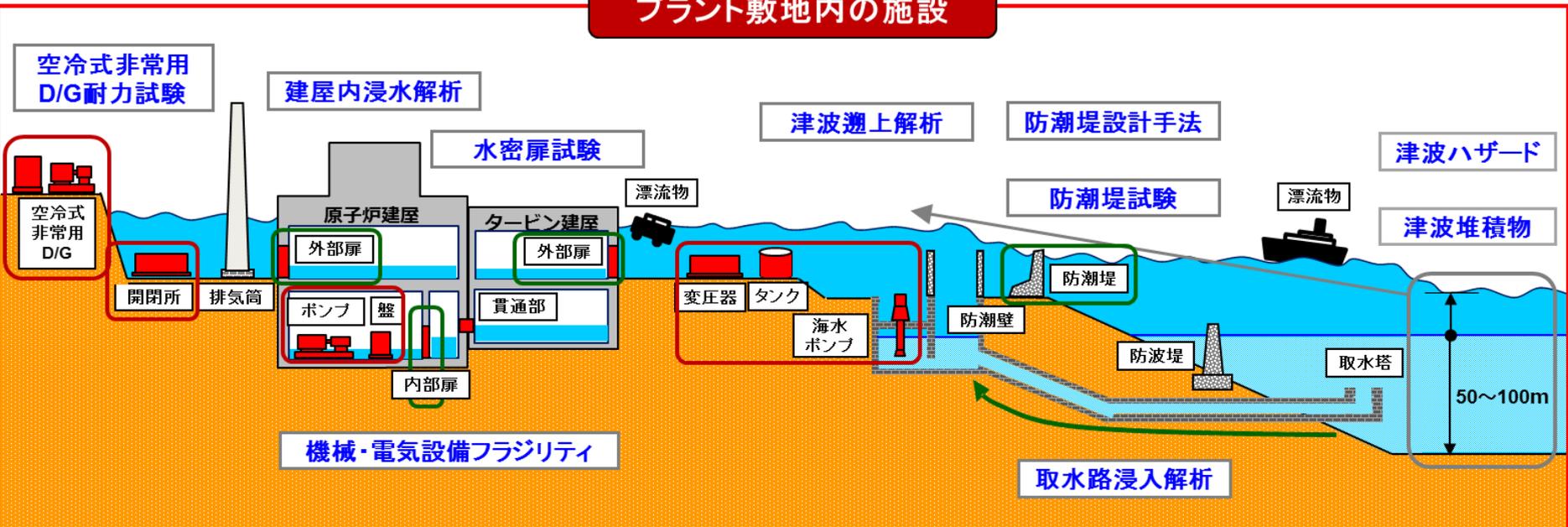
ライフサイクル	フェーズⅠ(津波に備える)			フェーズⅡ(津波襲来に対処)		フェーズⅢ (津波被害からの回復)
	防潮堤等による敷地への設計 基準津波侵入防止 <b>(津波防御Ⅰ)</b>	水密扉等による安全機器 への設計超過津波浸水 防止 <b>(津波防御Ⅱ)</b>	設計超過津波襲来に備え た炉心損傷防止・緩和対 策 <b>(津波防御Ⅲ)</b>	察知 <b>(津波防御Ⅳ)</b>	襲来～収束	復旧 <b>(津波防御Ⅴ)</b>
設計	<ul style="list-style-type: none"> <li>設計基準津波の設定</li> <li>設計津波波力の考え方</li> <li>発電所沿岸地形に応じた防潮堤の設計方法</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>設計基準津波超過レベルの考え方</li> <li>水密扉等設計方法</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>可搬型機器を中心とした万全，設計超過津波により安全機器が損傷した際の炉心損傷防止・緩和する設備の準備</li> <li>所内の通信連絡システム</li> <li>外部との通信連絡システム</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>津波警報システム等津波検知システム導入</li> <li>大規模災害も考慮した検知システムの信頼性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>津波監視，対策指揮所の設計要件</li> <li>大規模災害も考慮した検知システムの信頼性</li> <li>万一，浸水した際の検知</li> <li>浸水時の排水対策設備(人が近づけないことを前提とした設計)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>がれき撤去機器</li> <li>浸水防止施設損傷復旧機材の準備</li> <li>浸水時の排水対策設備</li> </ul>
施工	<ul style="list-style-type: none"> <li>人身安全上の留意事項</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>人身安全上の留意事項</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>人身安全上の留意事項</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>人身安全上の留意事項</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>人身安全上の留意事項</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>人身安全上の留意事項</li> </ul>
運転・保守	<ul style="list-style-type: none"> <li>日常点検</li> <li>定期点検</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>日常点検</li> <li>定期点検</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>日常点検</li> <li>定期点検</li> <li>万一，設計超過津波により安全機器が損傷した際の炉心損傷防止・緩和対応体制の整備および訓練</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>津波警報システム等津波検知システムを活用した察知方法</li> <li>外部予報機関等との連携</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>津波監視体制</li> <li>現場作業が必要となった際の退避連絡の体制・方法など人身安全上の留意事項</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>津波監視体制</li> <li>現場作業が必要となった際の退避連絡の体制・方法など人身安全上の留意事項</li> <li>外部支援の考慮</li> </ul>
廃止措置	<ul style="list-style-type: none"> <li>津波防御設備のデコミッションング順番の考え方(燃料がある場合は，運転中の考え方と同様に防御，燃料搬出終了時の人身安全を考慮した津波防御設備デコミッションングの整理)</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>津波警報システムデコミッションング中の監視方法</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>津波防御システムデコミッションング中の対処の考え方</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>津波防御設備の復旧の考え方(燃料の有無，建屋の有無，防潮堤のデコミッションングなど)</li> </ul>

・各段階で考慮，具備すべき要件，注意事項について記載

ライフサイクル

# 対象エリア（第3章Gより）

## プラント敷地内の施設



まず、理想像を描くこととする  
これ、各サイトの現状を比較する

## 7.3 構造工学、機器工学の検討および提案（事前対応）

- 多重防御の機能を持つ構造，機器の検討
- 防水工法、耐水工法、避水工法
- 浸水からの設備の遮蔽 vs 設備側で対応

# (1) 構造工学の視点から見た津波防御の目的

- ◆津波防御の手段・方法を考える際の前提条件となる、津波防御の目的について土木工学、構造工学の視点から考察
- ◆津波防御における要求性能としては、主として、次の5項目を設定することが必要と考えられる。
  - ①安全性、②使用性、③復旧性、④環境性、⑤廃炉性
- ◆安全性に関しては、原子力に特有の放射線災害に係るものと関係しないものに分けて考えることが可能
- ◆使用性に関しては、電力施設としての基本性能である、発電機能、電力供給機能に加え、津波に対しての気密性、水密性、遮蔽性等が要件として加わる
- ◆環境性に関しては、津波防御を講じたことによって周辺の自然環境(陸域環境、海域環境、地下環境等)や社会環境にマイナスの影響が波及しないことが必要
- ◆廃炉性に関しては、安全かつ経済的、合理的に廃炉ができることが必要

## (2) 隣接構造物や連結構造物の間の被害連鎖を考慮した津波防御の必要性

- ◆ 発電施設は、多種多様な地盤、構造物、設備、機器配管系等々の集合体である。そのため、発電施設における地震被害は、隣接する構造物/設備等の間や連結された構造物/設備等の接合部等で発生する危険性が高くなる。
- ◆ このような背景から、津波防御技術を考える際には、つぎのような事項を考慮することが必要になると考えられる。
  - 隣接する構造物/設備等の中の相互影響と地震被害連鎖
    - ・ 個々の構造物/設備の損傷・破壊
    - ⇒ 隣接する構造物/設備への損傷・破壊の影響の波及
    - ⇒ 発電所の性能への影響の波及
  - 【備考】 発電所の地震時健全性は、強靱な部分に支配されるのではなく、脆弱な部分に支配されるので、最も脆弱な部分の評価が肝要
  - 連結された構造物/施設間の相互影響と地震被害連鎖
    - ・ 個々の構造物/設備の地震時挙動
    - ・ 地震時挙動の相異や相対変位の発生等による損傷・破壊
    - ・ 発電所の性能への影響の波及

# (3) 構造工学の視点から見た津波防御の基本的考え方

## A. 津波防御の基本原則

### ◆津波の回避(完全回避)

- ・津波が到達しない場所に発電所を立地する
- ・津波が到達しない場所に発電所を移設する

### ◆津波が到達しない場所に発電所を構築すれば、津波の回避が可能 ⇒抜本的対策

## B. 津波の影響の顕在化の防止

### ◆津波が到達する場所に発電所が建設されている場合等における 津波の影響の顕在化の防止策

### ◆津波がサイトに到達した場合でも津波の影響が生じないようにする対策

(1) 津波の回避(部分的回避:例、放射線災害に関連する設備等の一部を津波が到達しない場所に移設する等)

(2) 津波からの隔離

- ・完全隔離:発電所全体を構造体によって被覆・隔離(包括的対策)
- ・部分隔離:発電所の一部を構造体によって被覆・隔離(個別的対策)

(3) 津波への対抗

- ・津波の侵入防止:防波、防水、遮水、遮蔽、耐波、制波等(個別的対策)
- ・侵入した津波の排出処理:排水(個別的対策)

# 表 7-3 (1) 津波防御の手段についての基本的考え方

分 類		概 要	
回避	完全回避	<ul style="list-style-type: none"> <li>・本質的な津波防御の概念⇒津波防御の基本原則</li> <li>・津波が来ない場所に発電所を構える ⇒地点選定条件の明確化の必要性</li> </ul>	
	部分回避	<ul style="list-style-type: none"> <li>・放射線災害に係るものと係わらないものを峻別し、放射線災害に関係するものを津波が来ない場所に設置する概念⇒放射線災害に着目した峻別が必要</li> </ul>	
隔離	完全隔離	<ul style="list-style-type: none"> <li>・発電所全体を構造体によって完全に被覆・隔離する概念（例：ドーム型構造や箱型構造による被覆等）</li> </ul>	
	部分隔離	<ul style="list-style-type: none"> <li>・放射線災害に係るもの集めて、それらを構造体によって被覆・隔離する概念</li> </ul>	
対抗	水理的 対抗	防波	<ul style="list-style-type: none"> <li>・サイト内への津波の侵入防止（例：防波堤等）</li> </ul>
		防水 遮水	<ul style="list-style-type: none"> <li>・サイト内に侵入した津波の構造物/設備等の内部への侵入防止（例：防水扉、遮水壁等）</li> </ul>
		排水	<ul style="list-style-type: none"> <li>・サイトや構造物内に侵入した津波の排水</li> <li>・ヘドロ等の混在物を多く含んだ海水の排水</li> </ul>
	構造的 対抗	耐波	<ul style="list-style-type: none"> <li>・津波による損傷・破壊に耐える構造（形状、方向性等）</li> </ul>
		制波	<ul style="list-style-type: none"> <li>・津波の破壊力等を軽減・制御する構造</li> </ul>
		免波	<ul style="list-style-type: none"> <li>・津波の破壊力等を受け流す構造</li> </ul>

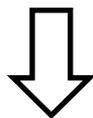
## (4)放射線災害との関連性の有無の明確化および 相互影響の有無の峻別

有効性の高い津波防御技術を考える場合、個々の構造物/設備等の安定性や損傷・破壊に着目するだけではなく、発電所を構成する多種多様の構造物/設備群の相互影響や地震被害連鎖に着目することが重要。

そのため、津波によって水理的あるいは構造的に損傷・破壊を受けた場合について、つぎのような事項の明確化が重要。

【津波によって構造物/施設等が損傷・破壊を受けた場合について】

- ①放射線災害に直接的に影響を及ぼす構造物/設備等の明確化
- ②間接的に放射線災害に影響を及ぼす構造物/設備等の明確化
- ③放射線災害に影響を及ぼさない構造物/設備等の明確化



「合理的な津波防御の手段の実施」

## (5) 津波防御のフェーズ

■津波防御の手段を考える際にはフェーズを設定して考えることが必要  
津波防御のフェーズの考え方の一例を下に示す。

### ①津波からサイトを護る

- ・沿岸からの襲来する津波をサイト内に入れない
- ・空間的には、水平方向の防御と鉛直方向の防御
- ・構造的には、護るべき「第一の砦」

### ②津波から施設を護る

- ・サイト内に流入してしまった津波が施設内への流入するのを防ぐ  
(引き波の作用も含めて)
- ・構造的には、護るべき「第二の砦」

### ③早期復旧を行う

- ・津波が引いたあとに早期に復旧する

■上記の多重防護は、「深層防護」の5つのフェーズでいえば、全てが「第一層」に属するものと考えられる。

■漂流物からの防御は別途記述

# 表 7-3 (2) 津波防御のフェーズ

フェーズ	エリア	対象となる地形・施設	防御の方法	施設用途 (日常・非常)	求める機能・仕様	備考 (参考事例など)
【1】 津波からサイトを 護る	サイト境界 (沿岸)	防潮堤	外洋から襲来する津波の流入を防ぐ	非常	・遮断性(堤の高さや広がり) ・耐波力性(衝撃力・水圧) ・耐波力性(支持力:耐洗掘)	・福島第一原子力発電所では、津波が防潮堤を乗り越えてサイトに大量に流入した。 ・また、防潮堤が洗掘により転倒した。
		立地場所	遡上する津波に洗われないようにする	日常	遮断性(敷地高さ)	・福島第一原子力発電所では、……
		取水口	津波襲来時に取水路を通してのサイト内への津波の流入を防ぐ	日常	・非常時の遮断性	・
【2】 津波から施設を 護る	サイト内 (陸地)	防潮壁	開口部から施設内への津波の流入を防ぐ	非常	・耐波力性(衝撃力・水圧) ・水密性	
		防潮扉	出入り口(搬出入口)から施設内への津波の流入を防ぐ	日常・非常	・耐波力性(衝撃力・水圧) ・水密性 ・操作性(自動・手動)	
		立地場所	遡上する津波に洗われないようにする	日常	遮断性(敷地高さ)	※サイト内の施設に関して高所立地の重要度を表に整理して示す

# 表 7-3 (3.1) 津波防御の対策の分類例(その1)

フェーズ	エリア	対象となる地形・施設	防護の方法	施設用途 (日常・非常)	求める機能・仕様	備考 (参考事例など)
【1】 津波からサイトを 護る	サイト境界 (沿岸)	防潮堤	外洋から襲来する津波の流入を防ぐ	非常	・遮断性(堤の高さや広がり) ・耐波力性(衝撃力・水圧) ・耐波力性(支持力:耐洗掘)	・福島第一原子力発電所では、津波が防潮堤を乗り越えてサイトに大量に流入した。 ・また、防潮堤が洗掘により転倒した。
		立地場所	遡上する津波に洗われないようにする	日常	遮断性(敷地高さ)	・福島第一原子力発電所では、……
		取水口	津波襲来時に取水路を通してのサイト内への津波の流入を防ぐ	日常	・非常時の遮断性	・
【2】 津波から施設を 護る	サイト内 (陸地)	防潮壁	開口部から施設内への津波の流入を防ぐ	非常	・耐波力性(衝撃力・水圧) ・水密性	
		防潮扉	出入り口(搬出入口)から施設内への津波の流入を防ぐ	日常・非常	・耐波力性(衝撃力・水圧) ・水密性 ・操作性(自動・手動)	
		立地場所	遡上する津波に洗われないようにする	日常	遮断性(敷地高さ)	※サイト内の施設に関して高所立地の重要度を表に整理して示す

# 表 7-3 (3.2)津波防御の対策の分類例(その2)

フェーズ	エリア	対象となる地形・施設	防御の方法	施設用途 (日常・非常)	求める機能・仕様	備考 (参考事例など)
【3】 早期復旧を行う	サイト境界 (沿岸)	防潮堤	サイト内に流入した海水を早急に外洋に排出する	非常	・耐波力性(水圧) ・引き波に対する透水性	
		オイルフェンス	サイト内で漏洩したオイルなどの化学物質の外洋への拡散を防ぐ	非常	・耐波力性(後発の津波など)	
	サイト境界 (陸地)	道路・橋梁	排水後の外部との交通機能を確保する(人・物資の移動)	日常	・耐波力性(水圧)	
	サイト内 (陸地)	取水口	引き波になった時に取水槽の枯渇を防ぐ	日常	・非常時の遮断性	
		道路	排水後のサイト内の交通機能を確保する	日常	・耐波力性(洗掘)	

# 表 7-3 (4) 漂流物に対する防御の例

フェーズ	エリア	対象となる地形・施設	防御の方法	施設用途 (日常・非常)	求める機能・仕様	備考 (参考事例など)
【1】 漂流物からサイトを護る	サイト境界 (沿岸)	防潮堤	外洋から襲来する大型漂流物の流入を防ぐ	非常	・遮断性(高さ) ・耐衝撃性	
		取水口	取水路内への漂流物の流入を防ぐ	日常	・非常時の遮断性	
【2】 漂流物から施設を護る	サイト内 (陸地)	防潮壁	防潮壁としての機能(津波流入の防護)を損なわないように自身の損傷を防ぐ	非常	・耐衝撃性	
		防潮扉	防潮扉としての機能(津波流入の防護)を損なわないように自身の損傷を防ぐ	日常・非常	・耐衝撃性	
【3】 早期復旧を行う	サイト内 (陸地)	立地場所	施設や自動車などが漂流物・がれきとならないようにする	日常	・遮断性(敷地高さ) ・埋設	・福島第一原子力発電所では、自動車が建屋周辺に押し寄せた。
		オイルタンク	オイルタンクは漂流しないよう、またオイルが流出しないようにする	日常	・固定化 ・埋設	・女川原子力発電所では防潮堤外のオイルタンクを漂流した

# 表 7-3 (5) 設置場所の高さによる津波防御の例

優先度	施設	施設の用途 (日常・非常)	高所設置に関する考慮事項
高	(オフサイトセンター)	非常	非常時のサイト全体のコントロール
	非常用電源装置	非常	非常時の「止める」「冷やす」の要となる装置
	電源車(駐車場)	非常	非常時の「止める」「冷やす」の要となる可動式車両
	.....		
中	作業用車両(駐車場)	非常	がれき撤去による早期復旧の手段
	.....		
低	R/B・T/B	日常	取水の関係から、高所設置は不経済
	一般駐車場	日常	津波流入時の自動車が漂流物となることを防止する
	オイルタンク	日常	津波流入時の自動車が漂流物となることを防止する
	事務棟	日常	日常業務の利便性

# 施設種別の耐津波性整理シート

施設種別	施設A	エリアA・フェイズ	耐津波性
		海域, 沿岸域, サイト内, 建屋内	防水, 耐水, 避水
		事前, 事中, 回復・復旧	冷却水維持機能, 揚水・排水機能

# 7.4 回復力 (Resilience) の定義

- 事後対応, 危機管理
- 定義案:
- 津波からの影響を受けた後のいち早い復旧・復興について
- いち早い復旧を目指した対応 (排水, がれき処理, 体制など)
- 万一, 津波の被害が生じた際に, 炉心損傷を防止するよう, いかに早く対処し, 被害設備の復旧するための設備や体制の準備と実行力
- 災害 (津波) に備える事前の準備だけでなく, その影響や想定外の事態も想定し, いち早く事業の復旧・再開することを念頭においた計画と戦略や現場の対応力
- ◆ 地震、津波発生後において、確実に冷温停止に導くことができること
- ◆ 安全確認の後、早期に再起動できること

## 7.4回復力 (Resilience) の維持

- 何が必要か？
- 停止, 高圧・低圧注水, 減圧, 除熱
- 排水, 瓦礫・土砂排除,
- 東北電力(新仙台火力や相馬火力での経験を参照する)

# 回復力を維持するための対策

- アンケート, 現地視察(それに伴うヒアリングを含む), 及び, 委員会の委員の方々の資料に基づき, 回復力を維持するための具体的な対策を以下に観点から列挙した.
- ハード的対策: 防潮壁・防潮板, 水密対策(防潮扉, シーリング), 溢水防止壁
- ソフト的対策: 高圧注水対策, 減圧対策, 外部電源から受電, 災害対策用発電機, 電源車, 低圧注水対策, 除熱対策, 常時・非常時の自立分散型制御
  - 個々の対策事例についての詳細な記述を今後, 追記していきます.
- また, 災害発生前後の連続性や, (1)で述べた復旧時間への寄与の観点から, 以下の図に示すように4つのシステムとして類型化した. これらは災害発生を前提としたシステムで, その際の回復力の維持するためのシステムなので, 炉心冷温停止を支えるバックアップシステムと捉えることができる.

# 7.4 回復力 (Resilience) の定義 (まとめ)

## 広く捉えた場合の定義:

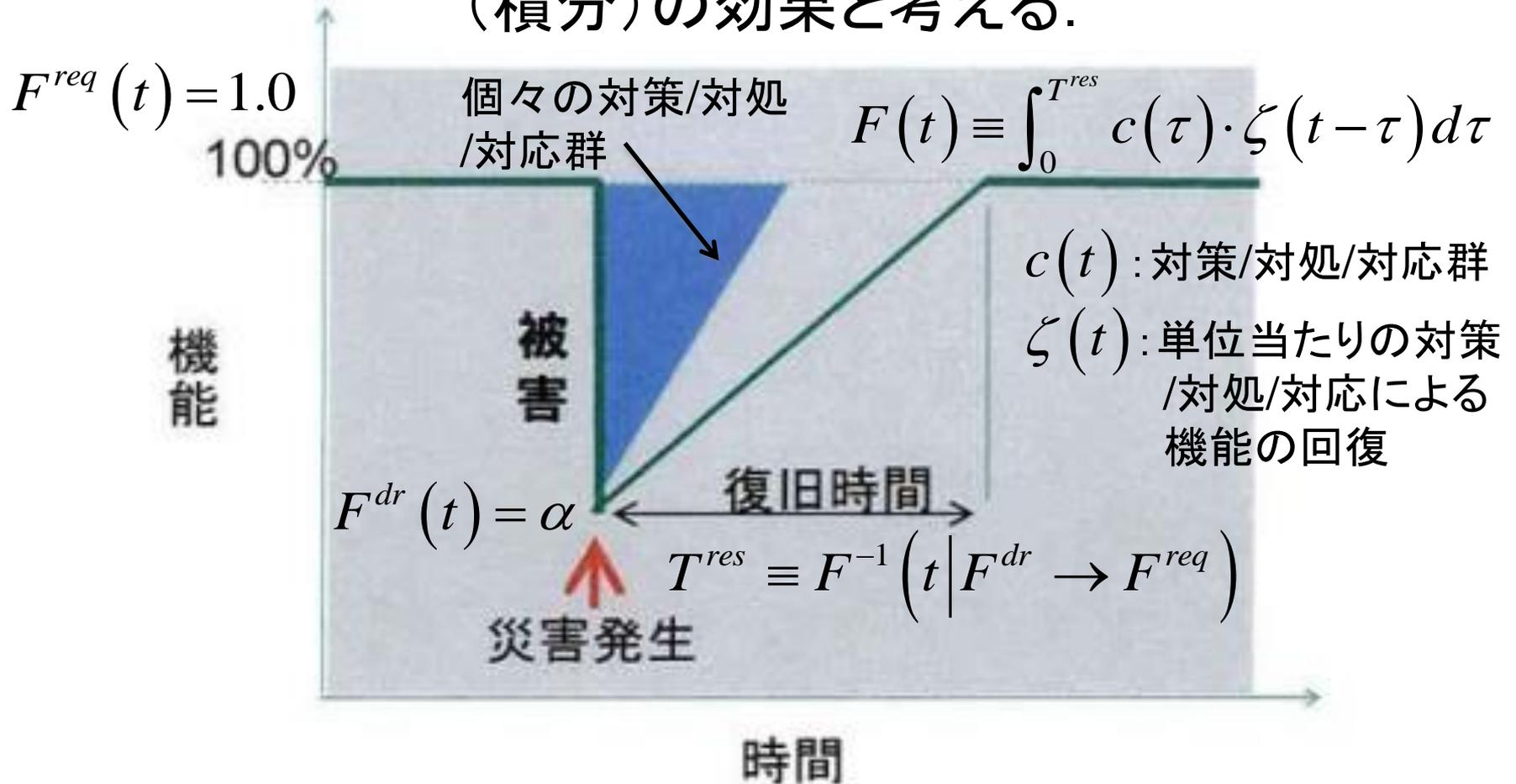
- 津波によって原子力発電所が被害を受け、その所与の機能が低減した場合に、復旧・復興の過程において、**低減した機能を所与の機能まで回復できる力**
- **炉心の冷温停止状態**が、津波による被害を受けた場合の、原子力発電所の満足すべき所与の機能と考えられる。

## 具体的には:

- 万一、津波による被害が生じた際にも、炉心損傷(上記、炉心の冷温停止状態の余事象)を防止するよう、いち早く確実に対処でき、被害設備を復旧するための**設備や体制の準備と実行力**
- 津波による被害の影響や想定外の事態を網羅的に想定し、いち早く再稼働することを念頭においた**戦略並びに計画や現場の対応力**を含む。
- **事前、事後のハード的並びにソフト的な対策／対処／対応の重畳**である。

# 7.4 回復力 (Resilience) のモデル

機能の回復は対策/対処/対応群の重畳 (積分) の効果と考える.



# 7.4 回復力 (Resilience) の維持

災害発生前 **サイトに津波が到達するまで:**

【フェーズ1-0】 ← 想定段階

想定される地震・津波に対するサイトの被害想定, それを踏まえた復旧戦略・行動計画の立案及び事前の対策／対処／対応が求められる時間フェーズ

炉心の冷温停止状態の維持をはかるためには, 1時間程度の単位区分できめ細かく

【フェーズ1-1】 ← 地震発生

地震発生からサイトに津波が到達するまでの時間フェーズ

災害発生後 **サイトに津波が到達した後:**

【フェーズ2-0】 津波到達直後 (30分から1時間程度) の時間フェーズ

【フェーズ2-1】 津波到達後の1時間から3時間程度の時間フェーズ

【フェーズ2-2】 津波到達後の3時間から6時間程度の時間フェーズ

【フェーズ2-3】 津波到達後の3時間から6時間程度の時間フェーズ

【フェーズ2-4】 津波到達後の12時間から24時間程度の時間フェーズ



# 7.4 回復力 (Resilience) の維持

災害発生前 サイトに津波が到達するまで:

【フェーズ1-0】 ← 想定の段階

想定される地震・津波に対するサイトの被害想定, それを踏まえた復旧戦略・行動計画の立案及び事前の対策／対処／対応が求められる時間フェーズ

・ハード的側面:

地震・津波観測網の構築・整備, 設備・機器動態のモニタリング, 設備・機器の防御方策の構築・整備・運用・維持

・ソフト的側面:

被害想定, 復旧戦略・行動計画の立案, 避難訓練・防災訓練, 防災教育

# 7.4 回復力 (Resilience) の維持

災害発生前 サイトに津波が到達するまで:

【フェーズ1-1】 ← 地震発生

地震発生からサイトに津波が到達するまでの時間フェーズ

・ハード的側面:

地震・津波観測データの活用(緊急地震速報, 津波監視を含む),  
スクラム, 設備・機器の点検・応急復旧の作業

・ソフト的側面:

非常体制発令, 態勢確保・確立, 避難指示・避難行動, 要員参集,  
安否確認, 情報収集・伝達・活用(地震・津波情報, 設備・機器の  
被害情報, 津波被害予測など), サイト内外の復旧資源(資機材,  
燃料, 飲料・食糧)の準備・確保, サイト外の後方支援体制の準備・  
発動

# 7.4 回復力 (Resilience) の維持

災害発生後 サイトに津波が到達した後 :

【フェーズ2-0~2-4】 ← 炉心の冷温停止

津波到達直後より24時間程度までの時間フェーズ

・ハード的側面 :

設備・機器の点検・応急復旧の作業, サイト内インフラの点検・  
応急復旧の作業, 地震・津波観測の継続, 設備・機器動態の  
モニタリング

・ソフト的側面 :

安否確認・安全管理, 復旧戦略・行動計画の立案・軌道修正・  
実行, サイト内外の復旧資源(資機材, 燃料, 飲料・食糧)の  
準備・確保, サイト外の後方支援の実行

# 7.4 回復力 (Resilience) の維持

キーとなるハード的側面から:

【**設備・機器の応急復旧**に係わる対策／対処／対応】

防潮壁・防潮板, 水密対策(防潮扉, シーリング), 溢水防止壁,  
高圧注水対策, 減圧対策, 電源の確保(外部電源から受電, 災害  
対策用発電機, 電源車), 低圧注水対策, 消防車, 除熱対策,  
常時・非常時の自立分散型制御

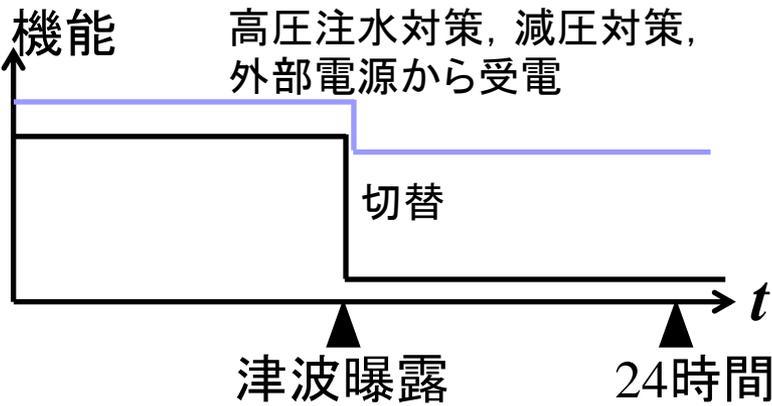
【**サイト内インフラの応急復旧**に係わる対策／対処／対応】

がれき撤去, 重機の配備, アクセスルートの確保, 排水処置,  
排水経路の確保, 通信設備の多重化

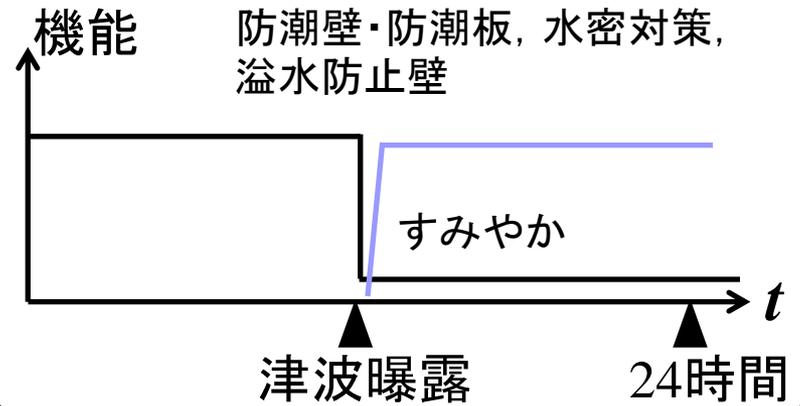
# 7.4 回復力 (Resilience) の維持

ハード的側面からの対策／対処／対応を類型化：

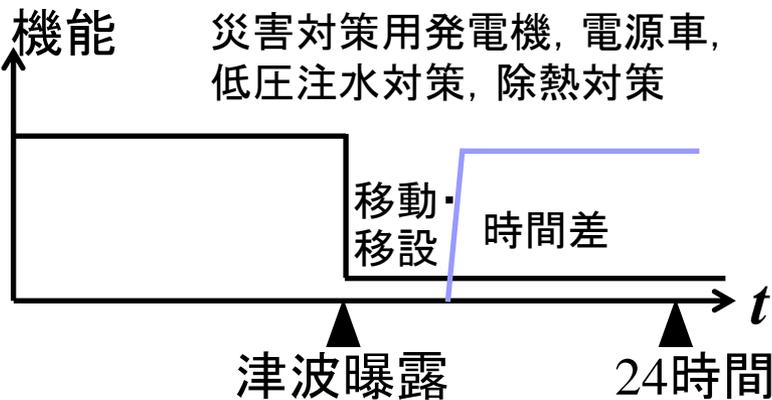
## システムⅠ：リダンダンシー



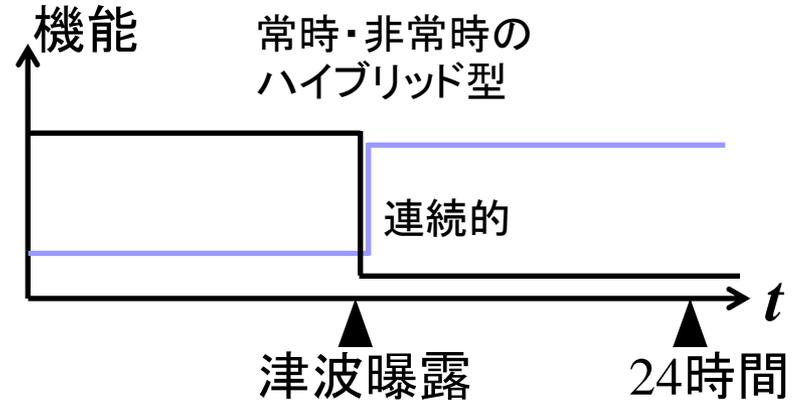
## システムⅡ：非常用ハードウェア



## システムⅢ：外生的手段



## システムⅣ：自立分散型制御



# 7.5 津波関連情報・システムの活用

- 地震発生後から得られる様々な津波に関する情報を利用し、サイトでの津波影響の低減や早い回復・復旧への活用を検討する。気象庁などの津波情報(警報, 注意報), 量的予報, 各地での観測データなどがその対象となる。
- 以下が本節での内容となる
- 津波警報などの利用
- リアルタイム情報(観測, 予測)の活用と低減効果
- 地震発生後来襲間でのフェーズ, 来襲後から収束までのフェーズ, 収束後のフェーズ

# 津波警報などの利用

- 気象庁の津波警報は60年以上の実績
- 全日本対象 ⇒ 詳細性は問題
- 地震規模に依存（津波地震や非地震性津波には過小評価）
- データベースに基づく、量的予報（津波到達時間や高さ）を予測，浸水域はまだ

# リアルタイム情報の活用・低減効果

- 地震発生から、僅かながら、到達まで時間があるので、そこでの対応が可能
- システム停止, 水門などの閉鎖, 担当者の避難など, レベルに応じて
- 船舶の退避も可能
- リアルタイム情報
  - 気象庁津波情報(予測値)
  - 沖合津波観測(GPS波浪計, 海底津波計)
  - 沿岸津波観測(潮位計, 波浪計)
  - 陸上遡上感知システム
  - 監視カメラ

# フェーズ毎の整理

- 地震発生後来襲間でのフェーズ，来襲後から収束までのフェーズ，収束後のフェーズ
- (1) 地震直後津波来襲まで
- (2) 来襲から浸水開始まで
- (3) 浸水開始から最大波出現まで
- (4) 津波の収束まで
- (5) 収束後

## 7.6 提案と課題？

- 工法やシステムの提案
- 施設・設備, 機能・情報, システム
- 運転・保守, 維持管理
- 人員システムでのルールはシンプルに, 機械システムとの違い
- 回復・再開, または廃止(廃炉)
- 廃炉作業中での安全確保