

**津波に関するワーキンググループ 報告書**  
**－ 津波事象に関する課題の抽出と提言の整理 －**

2018年3月

原子力関連学協会規格類協議会  
津波に関するワーキンググループ



## 目次

<b>1. まえがき</b>	1
1.1 WG 設置の経緯及び目的	1
1.2 活動の方針, 検討メンバー等	1
1.2.1 活動の方針, 対象の範囲	1
1.2.2 ワーキング構成メンバー	2
1.3 WG 活動の概要	2
1.4 ワークショップの開催	2
1.5 報告書の概要	3
<b>2. 課題の抽出</b>	5
2.1 課題抽出の考え方	5
2.2 国内・外規格基準類	5
2.2.1 対象国内外の主な規格基準類	5
2.2.2 各規格基準類の概要	6
2.3 抽出される課題	24
2.4 上記課題のニーズ・技術的難易度	24
2.5 課題の再整理	35
2.6 提言内容の検討	35
2.7 上記課題の同定	35
<b>3. 各課題の内容</b>	37
3.1 目標性能と対処の基本的考え方	37
3.1.1 課題「基本的な考え方」	37
3.1.2 課題「津波のサイトへの影響」	38
3.1.3 課題「想定する津波」	38
3.1.4 津波にかかるリスクインフォームド意思決定 (RIDM)	39
3.1.5 リスクコミュニケーションの活用	39
3.2 耐津波設計	41
3.2.1 設計基準領域から設計超過領域を含む津波防護設計要件の整備	41
3.2.2 「重要度に応じた設計」の導入	43
3.2.3 モバイル設備の設計規格の策定	43
3.3 津波リスク評価	45
3.3.1 津波リスク評価の概要及びリスクプロファイルの活用の考え方	45
3.3.1.1 津波リスク評価の概要	45
3.3.1.2 リスクプロファイルの活用の考え方	45
3.3.2 津波レベル 1PRA	45
3.3.2.1 津波単独事象	45
(1) 事故シナリオ同定	45
(2) 津波ハザード評価	48
(3) フラジリティ評価	51
(4) 事故シーケンス評価	52
3.3.2.2 津波関連複合事象	54
(1) 地震事象との重畳	54
(2) 地震起因の内部溢水・内部火災	55
(3) 内部事象の溢水・火災との重畳	56
3.3.3 津波レベル 2PRA	57
3.3.4 津波レベル 3PRA	57

3.4	運用・保守に係るマネジメントに資する標準の整備	59
3.4.1	津波対策に際しての意思決定を行う際に考慮すべき事項と標準化	59
3.4.2	サイトウォークダウンによる津波防護策の有効性の維持のための支援	59
3.4.2.1	サイトウォークダウン標準の整備と高度化	59
3.4.2.2	サイトウォークダウンによる性能維持	60
3.4.3	津波の影響緩和と浸水対策標準の高度化	60
3.4.3.1	循環水系からの影響緩和	60
3.4.3.2	浸水防止設備標準の高度化	60
3.4.4	津波対策設備による状態把握と体制・手順確立のための支援	60
3.4.5	津波対策設備の保守管理および運用管理における標準化	61
3.4.6	サイト間共有モバイル機器の運用要領の確立	61
3.5	津波事象に係る防災・避難	63
3.5.1	津波事象に係る防災・避難に関する現状認識	63
(1)	2011年福島第一原子力発電所事故以前	63
(2)	2011年福島第一原子力発電所事故以降	63
3.5.2	2011年3月11日の福島第一原子力発電所事故（1F事故）等からの 教訓と防災・避難に係る留意事項	63
(1)	1F事故等からの教訓	63
(2)	防災・避難に係る留意事項	63
3.5.3	原子力防災システムの機能	64
3.5.4	原子力防災の改善の考え方	65
3.6	リスクコミュニケーション	67
3.6.1	原子力リスクコミュニケーションに係る現状認識	67
(1)	国際的原子力リスクコミュニケーションの系譜の理解	67
(2)	我が国での原子力リスクコミュニケーションの動向の理解	67
(3)	日本学術会議における提言の理解	67
(4)	IAEA国際情報伝達ワークショップにおける確認事項の理解	68
3.6.2	原子力リスクコミュニケーションにおける留意事項	68
3.6.3	原子力リスクコミュニケーションにおいて回避してはならない内容	68
3.6.4	原子力リスクコミュニケーションにおける津波事象の係り	69
4.	各学協会への提言	70
5.	ワークショップから得られた知見	85
5.1	設計基準領域から設計超過領域を含む津波防護設計要件の整備に対する 専門家の認識度合の確認	85
(1)	議論1：原子力発電所の耐津波設計構築の流れ/手順	85
(2)	議論2：設計領域における要求性能の不明確の確認	85
(3)	議論3：設計基準領域から設計超過領域に亘る連続性	86
(4)	議論4：設計超過領域における要求性能に係る掘り所の策定（一部設備 重要度の設定含む）	86
5.2	ワークショップの議論を踏まえた課題認識及び提言	87
6.	あとがき	88
	参考文献（再掲）	88

別紙 1. 津波に関するワーキンググループ報告書（概要）	93
別紙 2. 津波に関するワーキンググループ検討経緯	103
別紙 3. 津波に関するワークショップ（導入プレゼン資料）	105
別紙 4. 津波に関するワークショップ（第 I 部資料）	109
別紙 5. 津波に関するワークショップ（第 II 部 A グループ議論まとめ資料）	119
別紙 6. 津波に関するワークショップ（第 II 部 B グループ議論まとめ資料）	127
別紙 7. 津波に関するワークショップ（第 II 部 C グループ議論まとめ資料）	135
別紙 8. 津波に関するワークショップ（第 III 部 質疑応答と講評のまとめ資料）	141



## 1. まえがき

### 1.1 WG 設置の経緯及び目的

第43回原子力関連学協会規格類協議会（2015年12月14日）及びその幹事会（2015年12月8日）において、以下のような意見が出された。

- ・協議会では、原子力関連学協会が、情報共有のみならずその連携のあり方について議論しているが、津波に関して、常時参加の日本建築学会、オブザーバ参加の土木学会を含めて、十分な議論がなされていない。
- ・情報共有だけではなく実質的な議論が出来る場が必要。
- ・日本地震工学会において、複数の分野の技術者が議論して報告書をまとめ、学術的なところを含めて原子力における津波防護の考え方をまとめた。これを発展させていく方向性が必要。
- ・規格策定だけではなく、研究の面でもまとめていく必要がある。
- ・規格類協議会は規制庁が常時参加者として参加しているため、規制とも繋げた議論ができる。
- ・津波・耐震を検討している主査、幹事クラスが検討した上で詳細化してはどうか。テーマが絞られれば、スペシャリストが参加するワーキンググループを設置すれば良い。

上記の議論を受けて、第44回原子力関連学協会規格類協議会（2016年3月8日）において、津波に関する連携を深め、取り組むべき課題を抽出し、関連学協会の規格基準類の充実と安全研究の促進の検討に資するため、今後、学協会がどうすべきかについての提言を行うことを目的に、規格類協議会、同幹事会の下部組織として、「津波に関するワーキンググループ」を設置することとなった。

### 1.2 活動の方針、検討メンバー等

#### 1.2.1 活動の方針、対象の範囲

各学協会の規格基準類の充実と安全研究の促進の検討に資するために、取り組むべき課題を抽出し、原子力関連学協会規格類協議会に対し、今後、学協会がどうすべきかについての提言を行う。

##### (1) 既存の規格基準類の調査

耐津波に関する主な国内及び国外（IAEA、米国等）の規格基準類等の調査を実施するとともに、特に、現時点で良く纏まっていると考えられる、「原子力安全のための耐津波工学—地震・津波防御の総合技術体系を目指して—」（2015 日本地震工学会）を参照し、各学協会が保有する規格基準類から抜け落ちが無いかを確認する。

合わせて、日本における津波 PRA の実施例の調査を行う。

##### (2) 津波に関する課題の抽出

各学協会で行っている事項について課題を抽出して整理する。

##### (3) 提言の整理

各学協会に向け、規格基準類、安全研究に係る提言を整理する。

##### (4) 報告書案の作成、ワークショップの開催

調査、検討した内容を報告書に纏め、広く各分野の専門家の意見を求めるため、ワークショップを開催し、報告書案を見直す。

(5) 規格類協議会への報告

報告書案を原子力関連学協会規格類協議会及び同幹事に報告する。

### 1.2.2 ワーキング構成メンバー

ワーキンググループのメンバーは、津波・耐震を検討している関連学協会の主査、幹事クラスのスペシャリストで構成することとし、以下のメンバーが参加した。事務局は日本電気協会事務局が務めた。

- |         |            |              |  |                 |
|---------|------------|--------------|--|-----------------|
| 日本原子力学会 | 標準委員会      | リスク専門部会      | 外部事象 PRA 分科会                               | 成宮幹事            |
|         | 事務局        | 中越           |  |                 |
| 日本機械学会  | 発電用設備規格委員会 | 波木井副委員長      | 宮口幹事                                       |                 |
|         | 原子力専門委員会   | 永田委員長        |  |                 |
|         | 事務局        | 高柳           |  |                 |
| 日本電気協会  | 原子力規格委員会   | 耐震設計分科会      | 津波検討会                                      | 楊井幹事 (第 15 回まで) |
|         |            |              |  | 井村委員 (第 16 回以降) |
|         | 原子力規格委員会   | 構造分科会        | 水密化検討会                                     | 山田主査            |
|         | 事務局        | 田村 (第 1 回のみ) | 井上 (第 2 回以降)                               | 大村              |
| 土木学会    | 原子力土木委員会   | 津波評価小委員会     | 松山幹事 (兼 日本電気協会原子力規格委員会 耐震設計分科会 土木構築物検討会委員) |                 |
| 日本建築学会  | 原子力建築運営委員会 | 梅木幹事         |  |                 |
| 日本地震工学会 | 耐津波工学委員会   | 蛭沢幹事         |  |                 |
| オプザーバ   | 東京電力HD     | 戸井田          | 高倉 (第 16 回以降)                              |                 |

### 1.3 WG 活動の概要

ワーキンググループはほぼ 1 ヶ月に 1 回の頻度で開催し、調査、検討を実施した。各回のワーキンググループにおける活動経過は別紙 2 のとおり。

### 1.4 ワークショップの開催

本報告書の案を纏めている段階において、本報告書の各分野の専門家の方々と津波に関する問題意識を共有するとともに、幅広く意見を聞くため、以下の内容で「津波に関するワークショップ」を開催した。

1. 日時：2017 年 9 月 27 日 13:30～17:10
2. 場所：日本電気協会 4 階 B, C, D 会議室  
東京都千代田区有楽町 1-7-1 有楽町電気ビル北館 4 階
3. 主催：原子力関連規格類協議会 津波に関するワーキンググループ
4. 参加者：津波、耐震、リスク、保守等に係わる学協会関係者、原子力事業者、関係機関関係者 27 名が参加
5. 目的：津波、リスク等に関連する各分野の専門家が一堂に会し、津波に関するワーキンググループが纏めた報告書(案)を参考に、津波に関する課題認識を共有するとともに、その課題やそれに対して今後何をすべきか等について議論する。  
その結果を報告書(案)における課題の修正、提言の見直し等に役立てる。

6. 構成：

第Ⅰ部：報告書（案）に基づく課題認識の共有を図ると共に、Ⅱ部におけるグループ分け（3グループ）、各グループの論点（テーマ）を説明する。

第Ⅱ部：グループ毎に設定された論点（テーマ）について、ファシリテータ（主査，副主査）のもと議論する。各グループで決定した内容をPPTとして整理する。

第Ⅲ部：各グループのファシリテータ主査が、それぞれ整理したPPTを紹介した上で、参加者全員で確認，議論し，異論がある場合は整理し，解決の方向性（未解決を含め）を見出して，報告書（案）に反映する概要を確認する。

いただいた意見を踏まえ，報告書の各所に意見の反映を行い，記載の見直しを行った。

当日に配付された導入プレゼン，第Ⅰ部の資料及び第Ⅱ部の各グループにおけるグループディスカッションの成果の纏め，第Ⅲ部の全体会議の概要は別紙3～8のとおり。

## 1.5 報告書の概要

本報告書の検討の流れを図1.5-1に示す。

本報告書は1章「まえがき」，2章「課題の抽出」，3章「各課題の内容」，4章「各学協会への提言」，5章「ワークショップから得られた知見」，6章「あとがき」で構成している。

2章では，耐津波に関する国内外の主な規格基準類，報告書を調査して課題として抽出すべき事項の有無を検討し，規格基準類の充実と安全研究の推進を検討するために今後取り組むべき18項目の課題を抽出した。

3章では，各課題を概括して提言すべき内容を検討した。

4章では，3章で検討した提言内容を総括して，規格基準類に係る内容及び安全研究に係る内容について，以下のように分類して提言として取り纏めた。

「A」規格基準類に反映

「B」必要な研究を実施するとともに定量評価の蓄積を進め規格基準類に反映

「C」必要な研究を実施し，その結果を踏まえて規格基準類への反映の要否を検討

4章で取り纏めた提言に加え，5章では，ワークショップの議論を踏まえた提言を提示した。

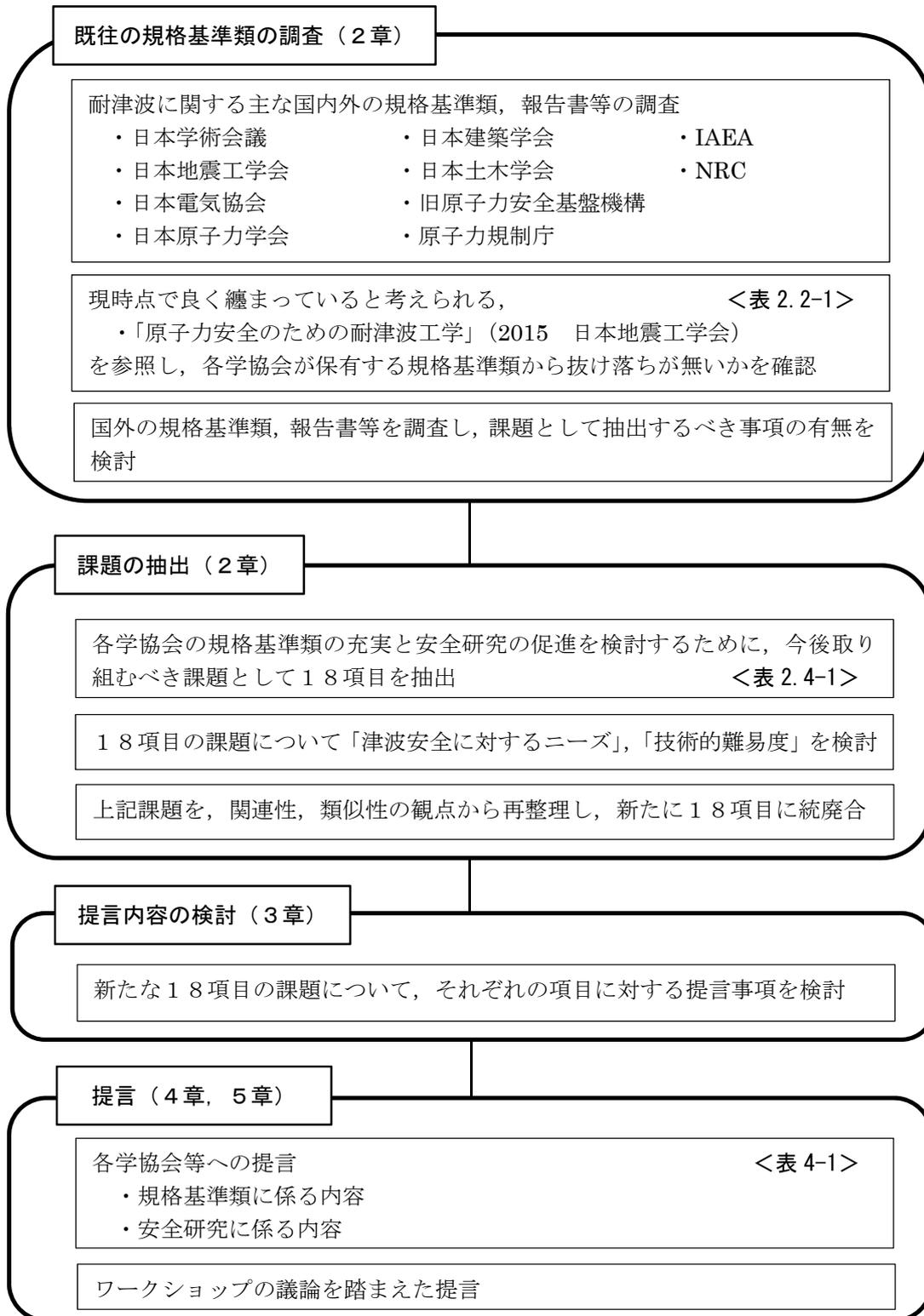


図 1.5-1 「津波に関する WG」 検討フロー

## 2. 課題の抽出

### 2.1 課題抽出の考え方

- ・耐津波に関する国内外の主な規格基準類，報告書等を調査した。
- ・その結果，現時点で良くまとまっていると考えられる，原子力安全のための耐津波工学（2015，日本地震工学会）を参照し，原子力学会，電気協会，機械学会，土木学会，建築学会の各学協会が保有する規格基準類から抜け落ちているものがないかを確認した。
- ・また，国外の規格基準類，報告書等を調査し，課題として抽出すべき事項の有無を検討した。
- ・上記検討を基に，規格基準類の充実と安全研究の促進を検討するために今後取り組むべき課題を抽出した。

### 2.2 国内・外規格基準類

#### 2.2.1 対象国内外の主な規格基準類

国内外の主な規格基準類，報告書等を以下に示す。

A-1：日本学術会議

A-1-1：総合工学委員会原子力事故対応分科会 東京電力福島第一原子力発電所事故の教訓（平成26年（2014年）6月13日）

A-2：日本地震工学会

A-2-1：原子力安全のための耐津波工学(2015)

A-3：日本電気協会

A-3-1：原子力発電所耐震設計技術指針(JEAG4601-2015) 第4章 基準津波策定

A-3-2：原子力発電所耐津波設計技術規程(JEAC4629-2014)

A-3-3：浸水防止設備技術指針(JEAG4630-2016)

A-4：日本原子力学会

A-4-1：日本原子力学会標準「原子力発電所に対する津波を起因とした確率論的リスク評価に関する実施基準」（2012）

A-5：日本土木学会

A-5-1：原子力発電所の津波評価技術(2016)

A-6：旧原子力安全基盤機構

A-6-1：確率論的手法に基づく基準津波策定手引き（JNES-RE-2013-2041,平成26年2月）

A-6-2：津波に対する構造設計・リスク評価手引き（JNES-RE-2013-2027,平成26年1月）

A-6-3：津波堆積物調査・評価に関する手引き(JNES-RE-2013-2022,平成26年1月)

A-6-4：津波堆積物調査ハンドブック(JNES-RE-2013-2039,平成26年2月)

A-6-5：地震及び津波 PRA 技術に基づく耐震及び耐津波裕度評価コード SANMARG の仕様手引き(JNES-RE-2013-2047,平成26年2月)

A-7：原子力規制庁 審査ガイド

A-7-1：基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド(2013.6)

A-7-2：耐津波設計に係る工認ガイド(2013.6)

A-7-3：原子力発電所の内部溢水影響評価ガイド(2013.6)

B-1 : IAEA

B-1-1 : IAEA INTERNAL FACT FINDING EXPERT MISSION OF FUKUSHIMA DAI-ICHI ACCIDENT FOLLOWING THE GREAT EAST JAPAN EARTHQUAKE AND TSUNAMI , IAEA MISSION REPORT (2011.6)

B-1-2 : Safety Guide – Flood Hazard for Nuclear Power Plants on Coastal and River Sites Safety Standards Series No.NS-G-3.5 (Superseded by SSG-18) (2003)

B-2 : NRC

B-2-1 : U.S. Nuclear Regulatory Commission Letter to All Power Reactor Licensees et al., “Request for Information Pursuant to Title 10 of the Code of Federal Regulations 50.54(f) Regarding Recommendation 2.1, 2.3, and 9.3, of the Near-Term Task Force Review of Insights from the Fukushima Dai-ichi Accident” (March 12, 2012).

B-2-2 : U.S. NRC, “Interim Staff, Japan Lessons-Learned Project Directorate, Guidance for Performing the Integrated Assessment for External Flooding,” JLD-ISG-2012-05, Revision 0, November 30, 2012j

B-2-3 : Nuclear Energy Institute, "Guidelines for Performing Verification Walkdowns of Plant Flood Protection Features," Report NEI 12-07, Rev. 0-A, May 2012

B-2-4 : U.S. NRC, “Interim Staff Guidance, Japan Lessons-Learned Project Directorate, Guidance for Performing a Tsunami, Surge, or Seiche Hazard Assessment,” JLD-ISG-2012-06, Revision 0, January 4, 2013c

## 2.2.2 各規格基準類の概要

A-1 : 日本学術会議

A-1-1) 総合工学委員会原子力事故対応分科会 東京電力福島第一原子力発電所事故の教訓（平成26年（2014年）6月13日）

本報告書は6章からなり、これらのうち5章では原子力安全性向上のための提案として、次の6項目に関する提案を明記している。

- (1) 深層防護による安全確保と確率論的リスク評価
- (2) 原子力防災
- (3) 原子力安全規制のあり方
- (4) 多様な局面・場面に共通するコミュニケーション
- (5) 安全研究
- (6) 科学者の責務

(1)では、原子力安全の基本的考え方が「深層防護」に基づくことを挙げた上で、深層防護に基づく安全確保は単なる設備設計への要求だけでなく、不断の設備管理や万一の事故における適切な管理・運用を含んでいることを示している。また、安全性の確認は原則として確率論的リスク評価に向かうべきであることも挙げている。さらに単純なリスクとベネフィットの比較だけではなく、社会の変化によって両者のバランスがどのように変化してきたかについて注意を払うこと等も挙げている。

## A-2：日本地震工学会

### A-2-1) 原子力安全のための耐津波工学(2015)

本報告書は、東日本大震災の経験を踏まえ、原子力発電所の津波防御のための工学的方法を総合的に検討し、「原子力安全の耐津波工学」として体系化したものである。

「原子力安全の耐津波工学」は、津波安全の基本要素、津波の作用・影響・工学的方法、社会との関わりの三本柱からなること、それらを構成する各章を、地震・津波工学に対する原子力安全の基本事項、リスク論による地震・津波防御の体系、事故シナリオ、要求性能、津波の作用、津波防御の工学技術、フラジリティ解析、耐津波工学関連の解析コード、周辺地域における原子力防災、とする総合体系として成立する。

## A-3：日本電気協会

### A-3-1) 原子力発電所耐震設計技術指針(JEAG4601-2015) 第4章 基準津波策定

本指針は、原子力発電所の安全設計において考慮すべき基準津波の策定及び入力津波の評価に適用する。

本指針では、基準津波策定の際の各種調査、津波発生要因の選定、想定する津波波源(地震種別、海底地すべり、火山)について規定している。また、評価に関しては、数値計算の方法、モデル化に係る不確定性、想定津波からの基準津波の選定、入力津波の評価について規定している。

### A-3-2) 原子力発電所耐津波設計技術規程(JEAG4629-2014)

本規程は、耐津波設計に係る技術要素に加え、全体のプロセスやシステム全体としての設計レビューも規定する方針で策定している。

本規程では、設計で適用する津波や重要度分類の考え方、津波防護の基本方針、耐津波設計の手順、津波防護施設・浸水防護設備、機器・電気設備の耐津波設計を行う上での要求事項及び設計基準、津波による個別の要素(水位低下、砂移動、津波随伴火災)に対する要求事項及び設計基準、耐津波設計が完了した段階における性能評価手法、津波の検知、運転管理に対する要求事項を規定している。

### A-3-3) 浸水防止設備技術指針(JEAG4630-2016)

本技術指針は、原子力発電所の浸水防護設備のうち、水密扉並びに建屋躯体の配管貫通部及び電路貫通部の止水に係る設計、製作、現地据付工事及び保全のうち点検を行うにあたり基本となる具体的な事項を示している。

## A-4：日本原子力学会

### A-4-1) 日本原子力学会標準「原子力発電所に対する津波を起因とした確率論的リスク評価に関する実施基準」(2012)

本標準は、出力運転状態の原子力発電所における津波を起因として発生する事故に関する確率論的リスク評価(PRA)の有すべき要件及びそれを満たす具体的方法を、PRA実施の手順を踏まえて実施基準として規定したものである。

本標準における評価手順では、サイト・プラントウォークダウン等によるプラント構成・特性及びサイト状況の調査、事故シナリオの同定、津波ハザード評価、建屋・機器フラジリティ評価、事故シーケンス評価の手法を規定している。

## A-5：日本土木学会

### A-5-1) 原子力発電所の津波評価技術(2016)

本書は、2011年東北地方太平洋沖地震を含む、地震と津波に関する様々な知見を集大成し、原子力発電所における津波によるリスクや影響の評価を行う際の最新の知見、要素技術を織り込んだ技術参考書である。

本書では、深層防護の観点から安全性を向上させるために有用な要素技術として、決定論的津波評価技術、確率論的津波評価技術、及び敷地浸水を考慮した設備に対する津波の作用（浸水深や波力等）評価等について記述している。

## A-6：旧原子力安全基盤機構

### A-6-1) 確率論的手法に基づく基準津波策定手引き（JNES-RE-2013-2041,平成26年2月）

東北地震津波の経験・知見を反映した基準津波の策定及び津波リスク評価における津波ハザード評価に関して、規制基準並びに審査ガイドを補完するための必要な技術的事項を示している。

### A-6-2) 津波に対する構造設計・リスク評価手引き（JNES-RE-2013-2027,平成26年1月）

プラント生涯（設計、リスク評価、建設、運転、廃炉の各段階）における審査内容を示している。手引きの基本方針は、IAEAのドライサイトの考え方と同様の考え方に基づいている。適用例として、構造設計例、リスク評価例、耐津波性試験、津波設計・評価に係る解析コード、同コードによる浸水解析例、及びプラントウォークダウンの概要を記述している。

### A-6-3) 津波堆積物調査・評価に関する手引き（JNES-RE-2013-2022,平成26年1月）

「計画・調査編」と「評価編」からなり、敷地に影響を及ぼす可能性のある津波に対して、津波堆積物調査の計画から実施、評価までの調査全体を通じた津波安全性の審査への考え方を示している。また、津波堆積物調査で得られた津波に関する情報（津波発生時期、波源域及び遡上域等）を用いた確率論的津波ハザード評価への活用方法についても示している。

### A-6-4) 津波堆積物調査ハンドブック（JNES-RE-2013-2039,平成26年2月）

津波堆積物を調査及び評価する際の調査技術（調査手法、記載方法、分析手法等）について示している。具体的には、各調査・分析項目の目的や有効性、対象とする地域又は試料、調査の手順やその精度、調査の留意点等について記載されている。

### A-6-5) 地震及び津波 PRA 技術に基づく耐震及び耐津波裕度評価コード SANMARG の仕様手引き（JNES-RE-2013-2047,平成26年2月）

地震及び津波に対する炉心損傷頻度評価及び重要度解析等の機能、プラント耐震及び耐津波裕度評価機能等を有するコードの手引きであり、地震 PRA 及び津波 PRA 評価例も記述している。

## A-7：原子力規制庁 審査ガイド

### A-7-1) 基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド(2013.6)

基準津波の策定方針，津波防護方針，施設・設備の設計・評価方針及び条件に関する審査内容を定めている。

### A-7-2) 耐津波設計に係る工認ガイド(2013.6)

津波防護設計，津波防護施設の設計，津波防止設備の設計，津波監視設備の設計，及び浸水量評価に基づく安全性評価に関する審査内容を定めている。

### A-7-3) 原子力発電所の内部溢水影響評価ガイド(2013.6)

原子力発電所内で発生する溢水に対し，原子力施設の安全性を損なうことのないことを評価するものとして，溢水源及び溢水量の想定，溢水評価（対象設備，防護区画，溢水経路，評価項目，影響評価）に関する審査内容を定めている。

## B-1：IAEA

### B-1-1) IAEA INTERNAL FACT FINDING EXPERT MISSION OF FUKUSHIMA DAI-ICHI ACCIDENT FOLLOWING THE GREAT EAST JAPAN EARTHQUAKE AND TSUNAMI , IAEA MISSION REPORT (2011.6)

本報告書は，IAEA が，東日本大震災に随伴して発生した津波による東京電力福島第一原子力発電所，福島第二原子力発電所，東海第二原子力発電所，の状況についての調査結果を述べるとともに，東京電力福島第一原子力発電所における事故に関する事実を収集し，これらの情報を世界の原子力コミュニティに公表するために，得られた結果および教訓をまとめたものである。

報告書では，結論として 15 件が，また，教訓として 16 件が挙げられている。評価されている事項は次の通り。

1.IAEA の基本的安全目標，2.IAEA の安全要求と指針，3.IAEA の安全に関するサービス：i .復旧への手引き，ii .外部事象，iii .外部の緊急対応，iv .シビアアクシデントに対する大規模放射線防護組織，v .IRRS(Integrated Regulatory Review Service) 目的の探求。

なお，事故原因について記載されている主な内容は，次のとおりである。

①津波に対する深層防護の考え方が不十分であった。2002 年以降行われた見直しでは，想定した津波は過小評価であり，この結果，対策が不十分で，Dry Site コンセプトが満足されていなかった。また，対策は，規制側の承認を受けたものではなかった。

②シビアアクシデント対策は，同時に複数基のユニット事故が発生した場合不十分であった。

また，推奨される対策として，上記に関連するもの以外に次が述べられている。

③外部事象に対する定期的なレビュー

④津波発生時における運転員の措置を可能にする津波警報システム\*の構築

※：IAEA の安全指針(SSG-18)では，9.4 項に「警報システムは，運転員がプラントを安全な状態にするのに必要な措置をとれるように，予報モデルと接続したものにすべき」とし，また，津波警報システムについては，9.11 項以降に記載されている。

**B-1-2) Safety Guide – Flood Hazard for Nuclear Power Plants on Coastal and River Sites Safety Standards Series No.NS-G-3.5 (Superseded by SSG-18) (2003)**

No.NS-G-3.5 は、海岸及び河川近くに立地される原子力プラントの洪水ハザードに対する評価に関する勧告と指針を示したものである。この中で、設計基準洪水はすべての洪水シナリオに対して確率論的評価を行うべき、とし、決定論的評価を行う場合にも比較のために確率論的評価を実施し、プラント損傷に対する被ばく評価が行われるべき、としている。また、評価対象としては、①嵐による高潮、②波、③セイシによる洪水、④降雨や雪解けによる流出水、⑤人工及び自然によりできたダムの決壊、⑥火山噴火、地滑り等による洪水、⑦地震による津波（近地、遠方）・地震以外（地滑り等）による津波、について考慮すべき、とし、それらの事象を評価する場合の指針として、⑧事象の重ね合わせ（12章）、⑨洪水からのプラント防護について（方法、解析、海岸線等の安定性、サイトの排水、輸送・連絡手段の確保）（13章）、⑩洪水災害条件の時間的変化（地形の変化、気温変動による変化）（14章）、⑪プラント防護のための監視（ハザード評価の定期的見直し）及び警報（プラントを安全停止措置に必要な時間の確保可能な）（15章）、について示されている。なお、NS-G-3.5 は、既に 2011 年に発行された SSG-18 に取って代わられているため、この指針の調査は不要であり、これに代えて SSG-18、及びそこで呼び込まれている他の指針類について、調査を行うことが望ましい。

**B-2 : NRC**

**B-2-1) U.S. Nuclear Regulatory Commission Letter to All Power Reactor Licensees et al., “Request for Information Pursuant to Title 10 of the Code of Federal Regulations 50.54(f) Regarding Recommendation 2.1, 2.3, and 9.3, of the Near-Term Task Force Review of Insights from the Fukushima Dai-ichi Accident” (March 12, 2012).**

本レターは、福島第一原子力発電所の事故を受け、耐震設計及び耐洪水設計の再評価に関する information request である。

耐洪水設計に関しては、「ハザードの再評価」及び「総合評価」が求められている。ハザードとして考慮すべき事項としては、「局所的な降水」、「サイト近傍、あるいはサイト内河川における洪水」、「上流ダムの不具合」、「ストームサージ（ハリケーン）」、「水面の静振」、「津波」、「氷塊によるダム効果」、「河川流路の変更」及び「複合洪水」が挙げられている。

また、ウォークダウン等により、「安全上重要な SSC を内包する区画を貫通している配管やケーブル貫通部の水密性」、「水検出及び警報システムの利用可能性」、「気象条件の悪化した場合でも洪水防護システムが有効に機能すること」等を確認することが要求されている。

**B-2-2) U.S. NRC, “Interim Staff, Japan Lessons-Learned Project Directorate, Guidance for Performing the Integrated Assessment for External Flooding,” , JLD-ISG-2012-05, Revision 0, November 30, 2012]**

本ガイドは、NRC が外部洪水に関する総合評価を行うためのガイドとして発行さ

れたものである。

当該ガイドには、主に、「ハザード設定」、「洪水防護の有効性評価」、「緩和能力に関する評価」等について記載されている。

ここで、「緩和能力に関する評価」とは、溢水防護システムに故障等が発生した場合の主要安全機能を維持可否に関する評価であり、「シナリオベースの評価」、「マージンタイプの評価」、「PRA」のいずれかを使用することでプラントの緩和能力を実証することができるとしている。

また、付録 A の中で、個別の洪水防護機能（例えば、土壌盛土、貫通部シール等）に求められる機能（設計要件）を整理している。

加えて、付録 C の中で、洪水防護関連の手動アクションの実現可能性と信頼性を評価するためのプロセスについても記載している。

#### B-2-3) Nuclear Energy Institute, "Guidelines for Performing Verification Walkdowns of Plant Flood Protection Features," Report NEI 12-07, Rev. 0-A, May 2012

本書は、福島第一原子力発電所での事故を受けて、外部洪水事象に対する防護と軽減機能が担保されている施設の有無や機能性、またそれらが適切に維持されているかを確認するためのウォークダウンの実施について、NRC が事業者に向けた 2012 年 3 月 12 日付文書の "Request for Information Pursuant to Title 10 of the Code of Federal Regulations 50.54(f) Regarding Recommendation 2.1, 2.3, and 9.3 of the Near Term Task Force Review of Insights from the Fukushima Dai-ichi Accident" に示される勧告に従って対象を評価するためのガイダンスを提供するものである。

ウォークダウンの対象範囲（ウォークダウンリスト）の作り方から始まり、実施内容、必要な事前準備事項、ウォークダウンチームの構築方法、ウォークダウン実施方法等について詳細に記述されており、許容基準や結果の評価・報告についても細やかなガイドが示されている。文書の最後には付属書として具体的な実施例やウォークダウン時に用いる記録用紙フォームの例も提供されている。

#### B-2-4) U.S. NRC, "Interim Staff Guidance, Japan Lessons-Learned Project Directorate, Guidance for Performing a Tsunami, Surge, or Seiche Hazard Assessment," JLD-ISG-2012-06, Revision 0, January 4, 2013c

本ガイドは、NRC が洪水ハザード評価についての審査を実施するためのガイドとしてまとめたものである。

附属書 1 では、主に暴風雨あるいはハリケーン等を起因とした洪水ハザードの設定手法について記述している。

また、附属書 2 では、津波ハザードの設定手法及び津波が安全施設に与える影響について記述している。

津波ハザードの設定手法としては、NUREG/CR-7046 (Prasad ら, 2011) 及び NUREG/CR-6966 (Prasad, 2008) に記載される「Hierarchical Hazard Assessment (HHA)」を紹介するとともに、現在研究中である Probabilistic tsunami hazard assessment (PTHA) についても紹介している。

また、津波が安全施設に与える影響としては、「浸水」、「遡上」、「水位低下」、「静水圧及び動水圧」、「漂流物」、「土砂浸食と堆積」等の影響を考慮する必要があるとし

ている。

以上、国内外の規格基準類、報告書等を調査した結果、現時点で良くまとまっていると考えられる、原子力安全のための耐津波工学（2015、日本地震工学会）を参照し、原子力学会、電気協会、機械学会、土木学会、建築学会の各学協会が保有する規格基準類から抜け落ちているものがないかを確認した。結果を表 2.2-1 に示す。

表 2.2-1 原子力安全のための耐津波工学 報告書と学協会規格との連携

報告書概要	規格名称	規格の記載内容（記載の深さ）	備考（課題等）
<p>1章 総説 目的／経緯／位置付け／成果の概要／活動経過／国際的視点</p> <p>2章 地震・津波工学に求められる原子力安全の基本事項</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 2.2 原子力安全の考え方の共有 自然災害に対応した原子力安全確保の基本的考え方の共有</li> <li>・ 2.3 原子力安全の基本 放射性物質放出リスクの低減</li> <li>・ 2.6 安全設計と深層防護</li> <li>・ 2.7 外的事象への取り組み</li> <li>・ 2.8 耐津波設計における深層防護の適用</li> <li>・ 2.9 原子力安全の定量化</li> </ul>	<p>—</p>	<p>—</p>	<p>2章に記載の内容は 2.6 までは津波に特化しない内容であり、「原子力安全基本原則」として明文化され誰もが基本として物事を考えるものとすべき。2.7 は外的事象の特徴に応じた考え方を展開しているもので、これも実務のベースにすべきもの。</p> <p>関係者全て（規制、事業者、メーカ、ゼネコン、自治体、研究機関など）が津波の対応策（ハードに限らない、マネジメントや防災も）を考える際にベースとすべきと考えるので、必ずしも規制が制定して皆に与えるスタイルだけではなく、関係者皆が協働し制定し共有するような形態を考えてはどうか。</p> <p>2.8, 2.9 に対する言及を追記する。</p> <p>2.8 については対津波 JEAC にどこまで記載しているか？</p> <p>2.9 は外的・内的 PRA</p>

表 2.2-1 原子力安全のための耐津波工学 報告書と学協会規格との連携

報告書概要	規格名称	規格の記載内容（記載の深さ）	備考（課題等）
<p>3章 リスク論に基づく地震・津波防御の体系</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 3.2 リスク論に基づく意思決定</li> <li>• 3.3 地震・津波を対象とするリスク論に基づく原子力安全の体系化</li> <li>• 3.4 耐津波工学における津波リスク評価</li> <li>• 3.5 耐津波工学における目標性能と設計のあり方</li> <li>• 3.6 リスクコミュニケーション</li> </ul>	<p>①技術レポート「リスク評価の理解のために」</p> <p>②技術レポート「継続的な安全性向上対策採用の考え方」</p> <p>③原子力学会標準「原子力発電所の安全確保活動の変更へのリスク情報活用に関する実施基準：2010」</p>	<p>テキスト（外的事象 PRA も触れてはいるが津波に限らない）</p> <p>②の具体的実施基準として、改定予定。津波も一つの起因となる事象と位置づけ RIDM のプロセスを具体的に規定する。</p>	<p>「リスク論」は設計妥当性を PRA により確認するという使い方ではなく、津波対応の全てのフェーズにおいてリスク（トリップ）を参照しながら意思決定すること。PRA 以外にも多くの事項を考慮することも述べている。</p> <p>3.2 はリスクに取り組む際の基本的考え方。ただ教科書的な内容から、原子力用のもので記載されている。原子力学会でテキストや技術レポート、標準を制定している。</p> <p>3.3 は地震 PRA と津波 PRA、そして津波のリスクマネジメント。</p> <p>3.4 と 3.5 は個々の設備、あるいは防潮堤の性能に留まらず、プラント全体としてのリスクを軸に深層防護とリスクの視点から展開している。</p> <p>3.6 はマネジメントを動かすためには必須。</p>

表 2.2-1 原子力安全のための耐津波工学 報告書と学協会規格との連携

報告書概要	規格名称	規格の記載内容（記載の深さ）	備考（課題等）
	<p>④原子力学会標準「地震PRA実施基準:2015」「津波PRA実施基準:2011」</p>	<p>地震および津波PRAの方法論を規定。津波PRA実施基準については地震重畳への拡張を進めている。</p>	<p>②にはその重要性は謳ってある。具体的に実施主体をどこにするか。どのように進めるか。</p> <p>まだ「枠組み」を示したのみであり、実際の収集・分析等に基づき事例集を取り纏める、あるいは指針的なものを作るなど、いずれかの形で「リスク論に基づく意思決定」の具体的な姿を示せるとよいと思われる。</p> <p>※左記のA, Bともに実作業自体は同様であるが、Aでは構築した多重・多様な防護の中、脆弱部や不要に裕度の高い部分がないかを確認し、設計の最適化を図る。</p>

表 2.2-1 原子力安全のための耐津波工学 報告書と学協会規格との連携

報告書概要	規格名称	規格の記載内容（記載の深さ）	備考（課題等）
<p>JEAC4629-2014「原子力発電所耐津波設計技術規程」</p> <p>内部溢水防護設計技術規程 or 指針を策定するか？</p>		<p>規格の記載内容（記載の深さ）</p> <p>○基準津波を対象とした津波防護方策を規定しているが、この中では水密扉の損傷や止水部の不具合などを決定論的に想定した上で、防護の多重性・多様性を図ることを求めている。</p> <p>○また、PRA や MA（マージンナリシス）などの手法により、構築した多重・多様な防護のバランスを確認し、必要な場合には設計にフィードバックすることにより設計の最適化を図る枠組みを提示している。(A)</p> <p>○附属書として、基準津波を超える津波に対する対策について言及しており、この中でPRA やMAを用いてプラントの耐津波性能を向上させる枠組みを提示している。(B)</p>	<p>一方、Bでは超過津波に対して安全性向上を図る上で有効な追加対策を特定する、というイメージ。</p> <p>「3.5 耐津波工学における目標性能と設計のあり方」について、現状は概念的なものだが、設計基準の領域についてはもう一步、具体化したものを定めたい。</p> <p>具体的には、耐震設計のように、原子炉安全の考え方を背景とし、</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. どのレベルの事象に対して</li> <li>2. どの機能・設備を</li> <li>3. どの程度の手厚さ（多重・多様等）で防護するかを、具体化する。</li> </ol> <p>⇒①リスク論の考え方の導入（DBEE から BDBEE までを含めた原子力発電所の津波防護の基本的な要件）</p> <p>⇒⑩耐津波重要度分類策定</p>

表 2.2-1 原子力安全のための耐津波工学 報告書と学協会規格との連携

報告書概要	規格名称	規格の記載内容（記載の深さ）	備考（課題等）
<p>4章 原子力発電所の地震・津波事故シナリオ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 4.1 地震・津波事故シナリオ同定</li> <li>・ 4.2 東日本大震災における各発電所の挙動</li> <li>・ 4.3 津波起因事象の発生・進展への影響要因</li> </ul>	<p>JEAC4629-2014「原子力発電所耐津波設計技術規程」</p>	<p>規格の記載内容（記載の深さ）</p>	<p>事故シナリオを網羅的に描くことの重要性が記載されている。</p> <p>津波起因は内部溢水防護上屋外溢水要因の 1 of them</p>
<p>5章 原子力発電所の津波安全に関する性能（原子力発電所の構築物・系統・機器（SSC）の確保すべき性能の明確化）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 設計領域での要求性能</li> <li>・ AM 領域での要求性能</li> <li>・ SAM 領域での要求性能</li> </ul>		<p>○報告書では安全機能を有する SSC を「安全機能 SSC」、それを津波から防護する SSC を「津波防護 SSC」と定義し、それぞれに、その用途に応じた要求性能等を定めることを提案。</p> <p>○JEAC でも、耐震設計に倣い、SSC を安全機能の重要性の観点から耐津波重要度で「耐津波 S クラス施設」、「耐津波 B クラス施設」と分類した上で、さらにそれらを防護する SSC（防潮堤や水密扉等）を「S クラス防護設備」、「B クラス防護設備」と分類する体系を構築。その上で、それぞれに用途、<u>重要度</u>に応じた設計手法を規定。</p> <p>※JEAC は設計規程であり、AM, SAM 領域の運用については言及していない。</p>	<p>○重要度に応じた設計の概念のみ定めた段階であり、B クラスの設計については、津波規模の設定や許容限界などの How Tow の具体化が（必要性も含めて）今後の課題。</p>

表 2.2-1 原子力安全のための耐津波工学 報告書と学協会規格との連携

報告書概要	規格名称	規格の記載内容（記載の深さ）	備考（課題等）
<p>6章 津波の作用</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>津波の発生原因・発生メカニズムの整理</li> <li>津波の伝播・遡上とその評価</li> <li>津波ハザードの確率論的考え方</li> <li>津波による地形変化と津波堆積物</li> <li>構造物等への津波の作用力</li> <li>津波の来襲に伴う被害の連鎖・複合性</li> </ul>	<p>原子力発電所の津波評価技術改訂版【土木学会】  <b>JEAC4629-2014</b>「原子力発電所耐津波設計技術規程」            建築物荷重指針・同解説（2015）【日本建築学会】</p>	<p>津波の発生から伝播，津波による砂移動や地形変化の数値計算手法の提示（発生には地震以外の要因の津波も含む）            確率論的津波ハザード評価手法の提示            津波波力算定式，漂流物衝突力の整理</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>津波波力算定式の提示</li> <li>漂流物の衝突荷重及び漂流物による堰き止め荷重の提示</li> </ul>	<p>津波の伝播・遡上に関する循環水系を介したの影響／対策が津波 JEAC 上どこまで記載してあるか？</p>
<p>7章 津波防御に関する工学的方法</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>津波防御の要求性能への工学的対応</li> <li>深層防護レベル 1～5 に分けて整理</li> <li>設計津波及び津波防御施設・設備設計の考え方</li> </ul>	<p><b>JEAC4629-2014</b>「原子力発電所耐津波設計技術規程」</p>	<p>○報告書では「設計水準津波」と「事故水準津波」を設定し，それぞれに対して防護要求を課している。            ○JEAC では二種類の津波を定義することはしていないが，「基準津波」と「基準津波十何らかの不具合による敷地浸水」，「基準津波十何らかの不具合による建屋浸水」を想定し防護要求を課すこととしており，大きな差異はないと考えられる。</p>	

表 2.2-1 原子力安全のための耐津波工学 報告書と学協会規格との連携

報告書概要	規格名称	規格の記載内容（記載の深さ）	備考（課題等）
<p>設計津波の設定 津波防御施設・設備の設計方針、性能、検証</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>津波防御のための工学的手段手段の分類（回避、隔離、対抗）</li> <li>津波防御の具体策           <ol style="list-style-type: none"> <li>津波の敷地への侵入防止</li> <li>津波の施設への侵入防止</li> <li>津波影響からの早期復旧</li> </ol> </li> <li>津波防御に対する取り組み状況(2013.5)           <ul style="list-style-type: none"> <li>防潮堤・防潮壁等の設置</li> <li>原子炉建屋等の水密化</li> <li>電源確保についての考え方の考え方</li> <li>冷却・除熱機能確保についての考え方</li> <li>津波の監視体制・監視方法</li> <li>作業員避難指示等人身安全に関する配慮</li> <li>防護・回復措置実施のタイミングの考え方</li> </ul> </li> </ul>	<p>原子力発電所の津波評価技術改訂版【土木学会】</p> <p>浸水防止設備技術指針(案) JEAG4630-201X</p>	<p>決定論的津波評価手法及び評価事例を記述している。</p> <p>「水密扉」及び「配管等貫通部」について設計、製作、現地据付工事、保全までのスコープでガイドラインを与えている。</p>	<p>建物・構築物（RC構造、ギヤップ）に対して耐漏えい性を担保するクライテリアの提供</p> <p>内容の高度化，対象の拡大が課題となっている。</p> <p>配管構造でない空調ダクトを介した溢水の伝播防止対策，溢水を止める目的としてのフラップゲート，溢水を排出する目的のフラップゲート付扉などの取り込みの検討に着手。</p>

表 2.2-1 原子力安全のための耐津波工学 報告書と学協会規格との連携

報告書概要	規格名称	規格の記載内容（記載の深さ）	備考（課題等）
<p>津波が敷地内に侵入した場合の排水の考え方の考え</p> <p>敷地内のがれき処理の考え方・体制等</p> <p>緊急時対策所の位置や設置への考慮</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・津波関連情報の活用</li> <li>・海外の津波防御事例</li> <li>・工学的手法の整理と提案及び課題</li> </ul> <p>漂流物の評価、波力の評価、地盤変状の評価、砂移動の評価</p>	<p>原子力学会標準「津波 PRA 実施基準:2011」</p>	<p>津波に関するフラジリティ解析手法について記述。ハザード解析結果からフラジリティ解析結果への接続方法、津波被害事例の整理、損傷モードツリー解析事例の提示、不確実さ要因の例が示されている。</p>	
<p>8章 津波フラジリティ解析</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・津波フラジリティ解析の定義と条件</li> <li>・津波フラジリティの基本事項</li> <li>地震損傷との組み合わせ</li> <li>施設・機器・構造の機能区分</li> <li>津波侵入状態のレベル区分</li> <li>・津波フラジリティ解析の手順</li> <li>地点津波状態の解析</li> </ul>			

表 2.2-1 原子力安全のための耐津波工学 報告書と学協会規格との連携

報告書概要	規格名称	規格の記載内容（記載の深さ）	備考（課題等）
<p>要素のフレンジイテイと機能喪失確率計算</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・事故シナケンスに基づくフレンジイテイ解析</li> <li>・主要要素の役割と評価 防波堤の役割・評価 防水壁、水密扉等（内郭防護設備）の役割・評価 電源・冷却・信号等のシステム構成機器の機能喪失と機能喪失確率分布特性 建屋等の材料・部材・構造全体の機能喪失確率分布特性</li> </ul>			<p>水密扉の開閉状態を中央制御室で監視する必要性の要否。対応マネジメント上の有用性。</p>
<p>9章 施設周辺地域における防災・減災対策の推進</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・津波防災と減災 津波に対するハード対策とソフト対策 二段階の津波規模設定 沿岸の重要施設の対策 ・原子力防災における各種連携の推進</li> </ul>	<p>国土交通省①「津波浸水想定の手引き」②「防波堤の耐津波設計ガイドライン」③「港湾における防波壁（胸壁）の耐津波設計ガイドライン」</p>	<p>①最大クラスの津波に対するハード・ソフト対策について記述。②③津波の規模や発生頻度に応じて、港湾の安全目標を適切に設定する(性能設計)。具体的には、2つの規模を想定して、使用性、修復性、安全性の3性能を規模に応じて、対応する。</p>	<p>原子力防災（複合防災を含む）の分野であり、本WGのスコープ外  原子力災害（複合災害を含む）における自治体と事業者の連携・支援については、内閣府の各地域原子力防災協議会の場で議論されている。</p>

表 2.2-1 原子力安全のための耐津波工学 報告書と学協会規格との連携

報告書概要	規格名称	規格の記載内容（記載の深さ）	備考（課題等）
<p>津波災害を想定した原子力防 災の備え</p> <p>原子力防災における地域連携 の推進</p>	<p>原子力発電所の緊急時対 策指針 JEAG4102-2015</p>	<p>原子力災害対策指針の緊急時活動レベル（EAL） の枠組みに基づき具体的な EAL を設定。原子力 発電所立地県の大津波警報により自動的に警戒 事態に移行。</p> <p>津波によるプラントへの影響度合（例：全交流電 源喪失、溢水による安全機能の喪失）により、事 業者から施設敷地緊急事態（原災法 10 条）、全 面緊急事態（同 15 条）に相当する EAL を関係 機関に通報。</p>	
<p>10章 耐津波工学関連の解析コー ド</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・津波の波源に関する解析 地震による津波の発生 山体崩壊、海底地すべりによ る津波の発生</li> <li>・津波の海洋伝播と遡上に関する 解析</li> <li>・耐津波の構造物に関する解析</li> <li>・津波の取放水路を介した溢水・ 浸水に関する解析</li> <li>・津波による地形変化と洗掘過程 に関する解析</li> </ul>	<p>原子力発電所の津波評価 技術改訂版【土木学会】</p>	<p>津波の発生から伝播（発生には地震以外の要因 の津波も含む）</p> <p>津波波力算定式、漂流物衝突力の整理</p> <p>津波の取放水路に関する数値解析手法の提示</p> <p>津波による砂移動や地形変化の数値計算手法の 提示</p>	

表 2.2-1 原子力安全のための耐津波工学 報告書と学協会規格との連携

報告書概要	規格名称	規格の記載内容 (記載の深さ)	備考 (課題等)
11章 耐津波工学の課題と展望 むすび 本報告書の到達点/今後の課題 と展望	-	-	-
			(抜けている項目) 「バウンダリ管理 (構成管理)」 ・浸水経路やハザード再評価も含めた浸水 対策の構成管理の仕組み 「バウンダリ管理 (点検)」 ⇒③⑭⑮

### 2.3 抽出される課題

2.2 の検討から、津波に対する原子力安全に必要な各学協会の規格基準類の充実、及び安全研究・技術開発の促進の要否を検討するために、今後取り組むべき課題として以下の18項目の課題を抽出した。

- ① リスク論の考え方の導入（設計：決定論，ドライサイトの取り扱い，RIDM）
- ② モバイル設備の設計・運用保守基準の明確化（アクセスルート・HRA 含む）
- ③ 溢水対策のためのウォークダウン基準策定
- ④ 津波に関する SSHAC レベル3 実施
- ⑤ マルチサイト・マルチユニットの場合の基準上の取り扱い（共用設備の扱い）
- ⑥ 漂流物（特に船）等を含むフラジリティ実施基準（条件付確率考慮）
- ⑦ 津波防御用工学的手段の追加（水密扉，配管等貫入部止水処理以外）
- ⑧ サイト内津波設備の状態モニタリング方法（水密扉閉状態確認）
- ⑨ 津波後の安全達成用の体制・操作・手順
- ⑩ 津波監視手段（カメラ etc）
- ⑪ 建屋への浸水から炉心損傷までの時間経過を考慮した評価（津波到達時間）
- ⑫ 津波の建屋内浸水評価手法・コードの使い方
- ⑬ 地震起因の内部溢水・内部火災対策
- ⑭ 保守管理，コンフィギュレーション管理，定検時管理（バウンダリー管理）
- ⑮ 浸水経路チェック方法
- ⑯ 耐津波重要度分類策定（他の重要度との関連チェック要）
- ⑰ 住民を対象としたリスクコミュニケーション
- ⑱ モバイル設備の融通性（規格統一）

### 2.4 上記課題のニーズ・技術的難易度

・抽出した課題について、各委員の考える、津波安全に対するニーズ、技術的難易度についてのランク付けを実施した。結果を表 2.4-1 に示す。

・ランク付けの観点は以下のとおり。

#### ○津波安全に対するニーズ

- ・規格基準類の整備の要否
- ・研究の要否

#### ○技術的難易度

- ・純粋に技術的に難しいかどうか  
（新たな要素技術の開発の要否，評価するための条件設定の難易度など）
- ・評価する（要素）技術はある程度確立されているが，作業の大変さ加減

表 2.4.1 原子力関連学協会規格協議会 津波に関するWG 今後の検討課題リスト【番号付】

番号	項目	津波安全に対する ニーズ	技術的難易度	備考 (耐津波安全に対するニーズ、技術的難易度の理由、背景等、 抜けていると思われるキーワード)
1	<p>リスク論の考え方の導入→NRA は設計基準領域での決定論的考え方を延長しているので設計を超える事態に対する安全確保の考え方、評価、対処の拠り所がない。(設計水準津波、事故水準津波、想定津波の検討、地震動設定外力との対比)</p> <p>(ドライサイトの取扱い：サイトに水が入ることも許容)</p> <p>(限界レベルに対する余裕の示し方、安全の示し方)</p> <p>(津波事象にかかるとのリスクインフォームドデジジョンメーカーキング、深層防護)</p> <p>(RIDM に相応しい津波 PRA 手法の整備)</p>	<p>大</p>	<p>中</p>	<p>●津波を起因としてサイトに現出する事象の頻度と影響の程度に応じた対処の基本的な考え方を、規格化する必要がある。 【1-1-1】</p> <p>●津波に対しては、設計余裕ではカバーできないほどの広範かつ複雑な事象展開が予想されるので、その点を考慮した内的事象とは違う視点の BDBE 対処の考え方が要る。 【1-1-2】</p> <p>●RIDM には活用できる品質の津波 PRA 手法の整備が必要である。津波 PRA が有する不確実さには、「不完全さ」「パラメータ」「モデル」がある。方法論の向上のための努力(研究、試評価、等)は継続して取り組むべき。同時に、活用の方法を規格化する必要もある。津波 PRA の結果の不確実さを補う統合的意思決定手法を確立する必要がある。 【1-1-3】</p> <p>●ドライサイトについては、新規性規準の見直しを視野に入れる必要あり。 【1-4-1】</p> <p>●安全の示し方については、一般市民に対する分かり易い説明方法を模索すべき。 【1-4-2】</p> <p>●ニーズ大の理由：以下の IAEA のドライサイトの定義と異なるので、至急整合を図る必要がある。IAEA の方が合理的と考える。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ Plant layout should be based on maintaining a 'dry site concept', where practicable, as a defence in depth measure against site flooding as well as physical separation and diversity of critical safety systems. (International Expert's Meeting on Protection against Extreme Earthquakes and Tsunami in the Light of the Accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, 4-7, September, 2012) (プラントレイアウトは、安全上重要な設備の物理的分離や多様性と同様に、サイトへの津波浸水に対する深層防護として実行可能な「ドライサイトコンセプト」の維持に基づくべきである。) 【1-5-1】</li> </ul> <p>●本項目には以下のような要素が含まれると思われ、いずれもニーズは高いと思われるが、どの部分(あるいは全部)を課題とするのか、もう少しスコープを整理した方が検討しやすいと思われる。 【1-6-1】</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>①DBE から BDBE までを含めた原子力発電所の津波防護の基本的な要件</li> <li>②①の津波防護の有効性の評価手法、有効性の示し方</li> <li>③②を意思決定(設計へのフィードバック等)に活用する総合的な枠組み</li> </ol> <p>●IAEA 津波設計・PSA Safety report も同様の方針で作成を進めている(今年 8 月頃公表予定)。JNES 公開報告書でも重要性を明記している。 【1-5-2】</p> <p>●再稼働関連で地裁の仮処分がでてきているが、この根拠の一つとして、新基準の合理性が必ずしも十分に科学的に担保されていないことと考える。リスクで裏付けされた合理性が重要。津波事象についても、この合理性について担保されているか、吟味する必要がある。 【1-5-3】</p>

表 2.4.1 原子力関連学協会規格協議会 津波に関するWG 今後の検討課題リスト【番号付】

番号	項目	津波安全に対する ニーズ	技術的難易度	備考 (耐津波安全に対するニーズ、技術的難易度の理由、背景等、 抜けていると思われるキーワード)
2	<p>モバイル設備の設計・運用保守基準の明確化</p> <p>ハードのフラジリティに人間系のふるまいを考慮。</p> <p>モバイルは系統（アクセスルートも含む）で考える。</p>	大	中	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 「モバイル設備」は重要な役割をするが、「臨機応変で柔軟な対応が求められること」に対し、必要な安全機能を提供する対応策」とするのが望ましい。モバイル設備だけでは駄目。使用できるタイミング、使用条件、使用限界、流用性などを考慮。【2-1-1】</li> <li>● モバイル設備の共通設計化、SA発生後の時間的対応余裕のあるものはマルチサイトでの共有化。【2-2-1】</li> <li>● 多種多様なモバイル設備の設計基準を決めるためには、個々の実力を把握するための実験・解析が必要であり、検討に時間を要する。【2-4-1】</li> <li>● モバイル設備のアクセスルートの確保は、地震PRAでも同様であるので、地震事象と津波事象との組み合わせとして考慮する必要がある。【2-5-1】</li> <li>● 現状、発電所の敷地内の頑健な箇所（地盤、耐津波、耐竜巻等）に、頑健な設備を用意するというアプローチが主と思われるが、本場にそれが最善か疑問。多大な費用と手間をかけて用意したものが、想定外の状況で使えないということも起こるかもしれない。（常設のいわゆるSA設備も同じ）【2-6-1】</li> <li>● かつてのAMのように、個々の頑健性は高くないが、様々な状況を考慮し、様々な手段を用意する（国内の複数箇所に事業者共用の保管庫を、空輸等で緊急配備できる手段とともに用意する、そこに多様な対策設備を準備する等）という方が合理的、実効的に安全性を高めるケースも想定され、そのような方向を追求することも価値があると思われる。【2-6-2】</li> <li>● 共用保管庫の資材の型番が一致しているか、特に、緊ぎ（アタッチメント）が一致しているか確認する必要がある。【2-5-2】</li> </ul>

表 2.4.1 原子力関連学協会規格協議会 津波に関するWG 今後の検討課題リスト【番号付】

番号	項目	津波安全に対する ニーズ	技術的難易度	備考 (耐津波安全に対するニーズ、技術的難易度の理由、背景等、 抜けていると思われるキーワード)
3	<p>溢水対策のためのウォークダウンの基準の策定 (How to)</p>	<p>大～中</p>	<p>中～小</p>	<p>● プラントサイトウォークダウンは浸水過程や影響度を見積もるのに重要な役割をするので基準策定は必要だが、対策実施のためのプラントサイト状態の把握方法全体における位置づけを明確にすることが重要。つまり書類だけでなく、現場での確認、プラントサイトウォークダウンは補完ではなく、立体的な視点、図面に書かれていない箇所などを追加できる点で意義がある。ウォークダウンと図面情報の両方があることからニーズは中とした。【3-1-1】</p> <p>● ウォークダウン基準は将来的にはいろいろなハザードに対して同時に実施可能なものに統合していくことが望ましい。【3-2-1】</p> <p>● 1 (リスク論の考え方の導入) とセットで。【3-5-1】</p> <p>● 地震起因の溢水対策、内的事象溢水対策とセットで、トータルな水対策を考慮すると効果的である。内的事象溢水対策が地震起因の溢水対策に悪さすることも考えられるし、この逆もありえる。【3-5-2】</p> <p>● ウォークダウン基準作成にあたっては、5のマルチユニット・サイトも対象とし、リスク上、優先項目を明確にし実効的なものとする。例えば、津波は防潮堤を越流するとのシナリオを優先し、7の水密扉の機能確認を優先する、次いで、配管貫通部、ルーバー等の機能確認を行う、共用施設等。防潮堤のフラットブレード（越流津波の排水用）。地外の周辺河川、隣接海浜からの津波の道路トンネルと通しての影響等。【3-5-3】</p> <p>● 水はその性質上、どれだけ防潮堤等の重厚な防護を構築しても、一つの浸水経路の見落としや対策設備の劣化の見落としなどですべてを台無しにし得る。【3-6-1】</p> <p>● このため、確実に抜けないウォークダウンができることを保証できるようにガイド的なものがあると、事業者にとっては非常に参考になると思われる。【3-6-2】</p>
4	<p>津波に関するSSHACレベル3の実施</p>	<p>中</p>	<p>大～中</p>	<p>● 技術的難易度は、作業が大変なので「大」。【4-3-1】</p> <p>● 地震動の検討を進めている途上であり、本格的検討はその後でもよいのでは。【4-4-1】</p> <p>● 技術的難易度は、難しいと考え「大」。【4-4-2】</p> <p>● 地震 PRA では、SSHAC レベル3が試行されている。津波も早晩求められる可能性が高い。津波に係る認識論的不確実さに係る透明性、説明性を担保する唯一の手段。【4-5-1】</p>

表 2.4.1 原子力関連学協会規格協議会 津波に関するWG 今後の検討課題リスト【番号付】

番号	項目	津波安全に対する ニーズ	技術的難易度	備考 (耐津波安全に対するニーズ、技術的難易度の理由、背景等、 抜けていると思われるキーワード)
5	マルチサイト・マルチユニットの場合の基準上の取扱い（共用設備の扱い）	中	中	<ul style="list-style-type: none"> <li>●マルチプラントではなくマルチサイトとなると、かなり広範囲に考えないといけない。次の点を考慮すべき。【5-1-1】</li> <li>●影響が隣接サイトに及ぶので、共通原因故障を町単位で広範囲に設定し、設計改良＋柔軟な運用でカバーする基準を決める。自治体の応援も必要。期待していた隣接設備が使えない、影響が無いと思っていた隣接設備が悪影響を及ぼす。</li> <li>●複数プラントがダメージ状態になるので、環境影響も大きくなる。</li> <li>●複数近隣サイトで、共有設備を別の場所に保有し、多様性を高めるなどのサイト内では考えない工夫も要る。</li> <li>●以上の懸念事項はあるが、そもそもそのような被害は影響は広範囲かつ甚大だが、発生頻度は小さい。両方の要素を見て、策の意思決定をすることも重要。</li> <li>●事業者が持つ情報を使って評価判断していくのもなので、民間規格に皆が有する知見や経験を反映し、共通かつ先進的で容観性のあるものにすることが重要。【5-1-2】</li> <li>●発電用原子力プラントの運用数は、過酷事故発生時のマネジメントに必要なリソースを勘案して事業者が決めるべきものであり、規格で規定する性格のものではないと考える。【5-2-1】</li> <li>●地震動の検討においては従来から問題視されているが、抜本的な検討は終了していない状況。【5-4-1】</li> <li>●SRAの第2段階で、マルチPRAが挙げられているので。【5-5-1】</li> </ul>
6	漂流物（特に船）等を含むフラジリティの実施基準～条件付確率の考慮	中	大～小	<ul style="list-style-type: none"> <li>●津波PRAのフラジリティ評価においてのことだけではいけない。津波シナリオを考え、設計領域における津波抵抗性を評価把握する必要がある。【6-1-1】</li> <li>●漂流物は竜巻における固縛対策と同様、対応は可能。ただ対象範囲がサイト外にも及ぶ可能性があるので評価技術としては難しいと考えた。【6-1-2】</li> <li>●竜巻飛来物に対するアプローチと同じアプローチで対応できるのではないかと考える。【6-2-1】</li> <li>●技術的に精度を高めるのは難しいので「大」。【6-3-1】</li> <li>●漂流物（特に船）の場合、衝突した場合のフラジリティは非常に高い可能性がある。しかし、船が港湾に存在する可能性（確率）を条件付き確率として、フラジリティに考慮すると、小さい可能性が高い。【6-5-1】</li> <li>●説明性の観点で、定量評価の考え方、定量的把握が必要。【6-5-2】</li> <li>●衝突荷重、フラジリティという個別技術要素の前に「漂流物の発電所への影響評価方法」について体系化されたものがないため、その整備が必要かつニーズが高いと考えられる。【6-6-1】</li> <li>●また、漂流物については、一般の漁港・漁村でなく、原子力発電所という特殊な施設においては、管理により影響を除外する（船を近づかせない等）ことが可能と思われるため、上記の影響評価方法を定めた上で、そのクライテリアに基づく管理基準を定めるというアプローチが有効と考えられる。【6-6-2】</li> </ul>

表 2.4.1 原子力関連学協会規格協議会 津波に関するWG 今後の検討課題リスト【番号付】

番号	項目	津波安全に対する ニーズ	技術的難易度	備考 (耐津波安全に対するニーズ、技術的難易度の理由、背景等、 抜けていると思われるキーワード)
7	津波防御のための工学的手段の追加 (水密扉、配管等貫通部止水処理以外)	中～小	中～小	<ul style="list-style-type: none"> <li>●現時点の対策でほぼ必要な工学的手段は出ているのではないか？この既存策の合理化（運用上）、高性能化は検討の余地はあるかもしれないが、それは「追加」ではない【7-1-1】</li> <li>●精度を向上させるために実験や解析の研究開発は必要。【7-1-2】</li> <li>●電気協会（水密化技術検討会）で実施予定【7-2-1】</li> <li>●深層防護の一角をなす技術であるのでニーズ高【7-3-1】</li> <li>●技術的には地震動の影響評価手法が難しい。津波段波の衝撃力に対する健全性確認の必要性を検討すべき。【7-3-2】</li> <li>●何が使えるかわからないので、まずは頭の体操から。【7-4-1】</li> <li>●ニーズ大の理由：建屋外壁での水密扉は、建屋内への津波浸水を防ぐ要であり、この成否が炉心損傷の事故シナリオを大きく左右する。【7-5-1】</li> <li>●水密扉は耐圧に対して強いと考えられる。しかし、建屋と水密扉とのつなぎ目のヒンジが地震動に弱いと考えられるので、地震動とセットでの検討が重要。【7-5-2】</li> <li>●（具体的なイメージはないが）敷地が浸水した状況（建屋や部屋で防護する状況）においては、信頼性の高い防護設備が必要と思われる、継続的な技術開発が必要と思われる。（通常は閉止したくない、空調ダクト、通路、取・放水路用のフラップゲートなどあると有用。）【7-6-1】</li> <li>●貫通部止水についても現状、事業者ごとに独自に行っているものと考えられるが、設計標準化ができると「業界のリソース最適化」の観点で意義が大きいと思われる。【7-6-2】</li> </ul>
8	サイト内津波モニタリング方法 (水密扉の閉状態の確認)	中～小	小	<ul style="list-style-type: none"> <li>●津波がどの場所のどの高さまで来ているか、は見に行くことが出来ないので、使える機器を把握するために重要。カメラ、水位計、ドローンなど手段は可能。【8-1-1】</li> <li>●考え方の整理と標準化が必要である。【8-2-1】</li> <li>●津波による浸水の有無など、津波のサイト到達後に対応方法策定において重要な情報である。【8-3-1】</li> <li>●水密扉に限る必要なし。サイト内での運用方法の検討。【8-4-1】</li> <li>●9（津波が来た後の安全達成のための体制、操作、手順）、10（津波の監視手段（カメラ etc））とセットで考慮する。効果的な運用マニュアルとセットで。【8-5-1】</li> <li>●9（津波が来た後の安全達成のための体制、操作、手順）とセット。【8-6-1】</li> </ul>

表 2.4.1 原子力関連学協会規格協議会 津波に関するWG 今後の検討課題リスト【番号付】

番号	項目	津波安全に対する ニーズ	技術的難易度	備考 (耐津波安全に対するニーズ、技術的難易度の理由、背景等、 抜けていると思われるキーワード)
9	津波が来た後の安全達成のための体制、操作、手順	大～小	大～小	<p>●津波来襲時は沿岸部から退去する必要がある、その後のプラント状態の把握のためのサイト内探索まで時間経過がある。その特性も踏まえて体制、手順を整備する。【9-1-1】</p> <p>●使える機器の状況、AM策の実施可能性の把握、ガレキ撤去の取組み、など今回の震災の経験から体制、手順の作成は十分に可能。【9-1-2】</p> <p>●他産業とも意見交換し、原子力の特殊性から非柔軟な対応にならないように、工夫すること。【9-1-3】</p> <p>●考え方の整理と標準化が必要である。【9-2-1】</p> <p>●きちんと検討された例をみることがないので技術的に難しいと考える。【9-3-1】</p> <p>●サイト内の運用方法の検討。【9-4-1】</p> <p>●3（ウオークダウンマニュアル）、13（地震起因の内部溢水、火災対策）、14（保守管理、コンフィギュレーションマネージメント、定検時の管理（パウンドダリの管理））、15（浸水経路のチェック方法（事前評価、事後評価（クライシスマネジメント））とセットで。【9-5-1】</p> <p>●耐津波設計とは違い、個々の事業者ごとに実務として手順等を定めているものと思われるが、あまり業界内で最適化検討などされていないのではないかと考えられ、プラクティスの共有、整理などの価値はあるものと思われる。ただし、事業者による実務ベースの話と思われ、学協会として大々的に取り組むものでもないように思われる。【9-6-1】</p>
10	津波の監視手段（カメラ、etc.）	中～小	小	<p>●近づけないでカメラは必須。カメラ搭載のドローンで監視も柔軟性が上がるのではないかと。【10-1-1】</p> <p>●ガイドライン作成は有意義だと思う。【10-2-1】</p> <p>●8（サイト内津波モニタリング方法（水密扉の閉状態の確認））の項目と同じ。【10-3-1】</p> <p>新規デバイスの検討【10-4-1】</p> <p>●3（ウオークダウンマニュアル）、9（津波が来た後の安全達成のための体制、操作、手順）、13（地震起因の内部溢水、火災対策）、14（保守管理、コンフィギュレーションマネージメント、定検時の管理（パウンドダリの管理））、15（浸水経路のチェック方法（事前評価、事後評価（クライシスマネジメント））とセットで。【10-5-1】</p> <p>●現状、規制基準では監視の要求はあるが、目的が曖昧なように思われる。【10-6-1】</p> <p>●検知とその後へのアクション、事故対応、避難も含め、目的が曖昧なように思われる。【10-6-2】</p> <p>●9（津波が来た後の安全達成のための体制、操作、手順）とセット。【10-6-3】</p>

表 2. 4. 1 原子力関連連学協会規格協議会 津波に関するWG 今後の検討課題リスト【番号付】

番号	項目	津波安全に対する ニーズ	技術的難易度	備考 (耐津波安全に対するニーズ、技術的難易度の理由、背景等、 抜けていると思われるキーワード)
11	建屋への水の侵入から炉心損傷までの時間の経過を考慮した評価 (津波の到達時間)	大～中	大～小	<ul style="list-style-type: none"> <li>●水の建屋侵入の時点はサイト内の津波遡上解析で可能。ただ浸入した津波がどの機器を機能停止にしようか、の流動解析は浸入海水流量と建屋内の津波による流路変更（壁やダクト、配管、貫通部などが当初どおりなら流路解析は可能だが地震あるいは波力で変化があれば難しい）の可能性との組み合わせが膨大になる。しかし解析は可能。【11-1-1】</li> <li>●津波により機能喪失した緩和系がわかってからの解析は十分に可能。問題ない。【11-1-2】</li> <li>●時間的な余裕の有無を把握することは重要。難しいと思っていたため技術的難易度「大」とした。【11-2-1】</li> <li>●流体力学的には難易度低い。ただし、扉の損傷と開度の関係(フラジリティ評価)に課題あり。【11-3-1】</li> <li>●実験・解析が必要であり、検討に時間を要する。条件を決めるのが大変と考えて技術的難易度は「大」。難しいものをわざわざやるのかなと考えてニーズは「中」。【11-4-1】</li> <li>●1 2 (津波の建屋内浸水の評価の手法、コードの使い方)とセットで。建屋への水の侵入から炉心損傷までの時間は、津波 PRA レベル 2 において、MARRP コードを活用して、推定可能であるし、実績もある。【11-5-1】</li> </ul>
12	津波の建屋内浸水の評価の手法、コードの使い方 (どこまで高度に実施するか。)	大～中	大～小	<ul style="list-style-type: none"> <li>●どの機器が津波の影響を受けるかは、リスク解析には必須であるので、ニーズはかなり高い。かつ重要なので十分な解析事例の蓄積とコードの改良のための実験も必要と考える。【12-1-1】</li> <li>●浸入口を分類すれば浸入後のルートは地震により変更されていない限り既知であり、解析は可能。【12-1-2】</li> <li>●現状の評価方法は時間がかなり過ぎるため期待したい。【12-2-1】</li> <li>●流体力学的には難易度低い。ただし、扉の損傷と開度の関係(フラジリティ評価)に課題あり。【12-3-1】</li> <li>●実験・解析が必要であり、検討に時間を要する。【12-4-1】</li> <li>●1 1 (建屋への水の侵入から炉心損傷までの時間の経過を考慮した評価)とセットで。【12-5-1】</li> <li>●津波の建屋内浸水の評価の手法、コードの実績はある。実績の蓄積が重要。【12-5-2】</li> <li>●リソース (技術開発資源) の最適化という観点で、耐津波設計のプロセス全体を見たときに、どの解析要素等がどれほどの精度であるべきかを整理しておくことは意義があると思われる。【12-6-1】</li> <li>●上記観点 (何らかの手法の開発ではなく、必要な手法のレベルの整理) については、難易度は高くはないと思われる。【12-6-2】</li> </ul>

表 2.4.1 原子力関連学協会規格協議会 津波に関するWG 今後の検討課題リスト【番号付】

番号	項目	津波安全に対する ニーズ	技術的難易度	備考 (耐津波安全に対するニーズ、技術的難易度の理由、背景等、 抜けていると思われるキーワード)
13	地震起因の内部溢水、火災対策	大～中	大～中	<p>●地震が起因となって建屋内で発生する火災や溢水は、偶発的に発生するそれらとは違い、同時多発となるので、影響も大きい。そのためシナリオによる火災や溢水の対策を苦心するよりも、地震起因内部火災、地震起因内部溢水の評価、有効な対策を至急検討すべきである。【13-1-1】</p> <p>●シナリオが膨大になることから、PRAを用いるのが有効ではあるが、先行例を海外に求めてもないので、我が国が率先して研究を進めるべき。原子力学会では、標準化は容易ではないが、地震火災PRA、地震溢水PRAの手法開発のために現時点でも可能な範囲、今後取り組むべき課題を抽出しているところ。整理したものは原子力学会技術レポートとして公開共有する予定。【13-1-2】</p> <p>●地震により火災、溢水が生じ、更にその後、津波が到達する、という重畳事象は十分に考えられる。ただし、それぞれの影響は大きなものではなくても、地震や津波の影響は広範囲、複数機器に及ぶので、統合した影響は大きく、対策も不足するおそれがある。PRAが出来ないからと手をこまねることなく、十分なシナリオを想起し考えられるものに対策を検討することを行うべきである。【13-1-3】</p> <p>●考え方の整理と材料の選定（止水性能と耐燃性を有する材料）【13-2-1】</p> <p>●地震起因の火災と地震起因の溢水が同一区画内で重畳するか否かを評価して対策を考えるフローを確立する。【13-2-2】</p> <p>●水害と火害に対する対策は両立しないことの理論作り。【13-4-1】</p> <p>●ニーズ大の理由：強震動下でB.C級配管、タンク類が機能喪失して、内部溢水する可能性が否定できない。【13-5-1】</p> <p>●技術的難易度：B.C級配管、タンク類の補強対策と、リスク上重要な設備を区画として隔離対策の合わせ技とする。補強対策だけでなく【13-5-2】、耐震重要度分類の意味がなくなる、費用がかかりすぎる、リスク評価上、合理的でない【13-5-2】</p> <p>●現状は想定する事象やその組合せが十分に練られておらず、過剰に保守的な面が多い反面、本当に心配すべきところが抜け落ちている可能性があるかもしれない。【13-6-1】</p> <p>●津波との関連はそれほど高くないと考えられるが、業界としては今後、高度化していくべきテーマとは思う。【13-6-2】</p>

表 2.4.1 原子力関連学協会規格協議会 津波に関するWG 今後の検討課題リスト【番号付】

番号	項目	津波安全に対する ニーズ	技術的難易度	備考 (耐津波安全に対するニーズ、技術的難易度の理由、背景等、 抜けていると思われるキーワード)
14	①保守管理、②コンフィギュレーションマネージメント、③定検時の管理（バウンダリの管理）←思想の継続性の問題 (例) 水密レベルの表示	大～中	中～小	<ul style="list-style-type: none"> <li>●地震や津波に代表される外部ハザードは、設計（ハード）で対処することが最優先であるが、その機能を長期間にわたり維持することも重要なこと。作りっぱなしでは駄目。そのために安全管理は重要。【14-1-1】</li> <li>●ただ他の設備において安全管理の仕組みも経験も十分にあるので、技術的な難易度は高くない。【14-1-1】</li> <li>●耐津波の対策設備が設計領域で活きるものか、それを越えた領域で活躍するものかは、シナリオとその頻度に依存してリスク重要度を考え、安全管理の優先度を設定することが合理的（理に適ったの意味）である。【14-1-2】</li> <li>●優先度の高いテーマ【14-2-1】</li> <li>●プラント停止時点検時の安全確保・リスクモニタリングの運用などの標準化【14-2-2】</li> <li>●サイト内の運用方法の検討。【14-4-1】</li> <li>●ニーズは、単に作ればいいと考えて「中」。【14-4-2】</li> <li>●3（溢水対策のためのウォークダウンの基準の策定）、13（地震起因の内部溢水、火災対策）、以下の14とセットで。【14-5-1】</li> <li>●事業者の実務としては極めて重要と思われ、ニーズも高いと思われる。ただし、現場の運用管理の話であり、技術的な難易度は高くないと思われ、学協会として大々的に取り組むものでもないように思われる。【14-6-1】</li> </ul>
15	浸水経路のチェック方法（事前評価、事後評価（クライシスマネジメント））	大～中	中～小	<ul style="list-style-type: none"> <li>●「チェック」の意味が事前に把握する、ということなら、解析により想定することは可能。しかし、上述したように地震や津波（波力）により浸水経路が変わる可能性がある。【15-1-1】</li> <li>●12（津波の建屋内浸水の評価の手法、コードの使い方）に含めること可能。浸水経路の抽出を一つでも漏らすようなことがあると致命的なことが生じる可能性があるため、論理的な抽出方法の提供が望まれる。【15-2-1】</li> <li>●地中のダクトなどわかりにくい浸水経路があるが、そういう経路は浸水量が大きくないので技術的に「中」とした。【15-3-1】</li> <li>●重要度は低いのかと考えて「中」。【15-3-2】</li> <li>●実験・解析が必要であり、検討に時間を要する。【15-4-1】</li> <li>●3（溢水対策のためのウォークダウンの基準の策定）、13（地震起因の内部溢水、火災対策）とセットで。【15-5-1】</li> <li>●3（溢水対策のためのウォークダウンの基準の策定）に含める【15-6-1】</li> </ul>

表 2.4.1 原子力関連学協会規格協議会 津波に関するWG 今後の検討課題リスト【番号付】

番号	項目	津波安全に対する ニーズ	技術的難易度	備考 (耐津波安全に対するニーズ、技術的難易度の理由、背景等、 抜けていると思われるキーワード)
16	耐津波重要度分類の策定(他の重要度との 関連チェック要)	大	中	<p>●機器を耐津波重要度で分類し、保安管理のリスクインフォームドグレデッドアプローチに供することは、必要であり重要である。ただ津波の浸入度合い(どこまで津波が到達してどこまで機器が機能喪失しているか)により重要度は変わってくる。そういうことを議論することから開始すべき。【16-1-1】</p> <p>●津波や地震のように影響プロセスにおいて不確実さの大きい事象だからこそ、リスク評価手法からの情報を使い、設計情報や経験なども加味して判断する必要がある。【16-1-2】</p> <p>●間接系を含めた整理が必要【16-2-1】</p> <p>●新規性規準の見直しを視野に入れる必要あり。【16-4-1】</p> <p>●ニーズは、しっかりやらないとみんなSクラスになるので「大」。【16-4-2】</p> <p>●13(地震起因の内部溢水、火災対策)の【13-5-1】【13-5-2】参照【16-5-1】</p> <p>●地震と違うところをあぶりだすためニーズは「大」。【16-5-2】</p> <p>●重要度に応じたアプローチ(資源の適切な配分を含む)は原子力安全の基本であり、福島事故の教訓の一つでもあると思われが、事故以来、なんでも保守側という風潮になってきているように思われる。【16-6-1】</p> <p>●例えば、安全への効果の大きくない大多數のものは一般産業品とするかわりに、効果の極めて大きいものは、現状の重要安全施設の2倍、3倍頑健にする、というアプローチの方が実効的安全性を高めケースが多いように思われる。【16-6-2】</p> <p>●また、地震、津波、竜巻に中程度強い設備を一つ設けるよりも、各事象のみに大程度強い設備を密設ける方が、安全性が高く、経済合理性があるケースもあると思われる。【16-6-3】</p> <p>●津波に限らず、安全設計全体として重要度に応じたアプローチの再構築が必要と思われる。【16-6-4】</p>
17	住民を対象としたリスクコミュニケーション	大	中	<p>●一方的に住民の理解を求める説明会はリスクコミュニケーションではない。情報の提示ももちろん必要であるが、互いに見えや考え、情報を提供しあい、よりよい合意形成を目指すことがリスクコミ。その認識を新たに持つとともに、リスクコミは専門家の介入が必須のものではなく、組織内の部署間、組織間、住民内、住民と組織、など様々な組み合わせにおいて成立するもの。【17-1-1】</p> <p>●津波については知識の共有化がまだまだなされていないのではないかと。今回の震災でその怖さを多くの国民が共有してはいるが、原子力発電所の津波対策をどこまで正確に認識しているだろうか。また原子力関係者(特に設備や安全)は津波被害にたびたび会っている地域の対策をどこまで熟知しているだろうか。まずは知識共有からの対話が必要。【17-1-2】</p> <p>●ニーズ大の理由:3.11のトラウマを払拭するために、信頼回復のために、信頼回復に、市民と双方向のコミュニケーションが重要。【17-5-1】</p> <p>●技術的難易度:以下に継続するか。リスクコミュニケーションに係るファシリテーターの育成が重要。【17-5-2】</p>
18	モバイル設備の融通性(規格の統一)	大	小	<p>●機械学会の安全規制の最適化検討会で対応することになっている。【18-2-1】</p>

## 2.5 課題の再整理

2.3にて抽出した課題について、関連性、類似性の観点から課題を再整理し、新たに、以下の18項目に統廃合した。

- ①津波に対する原子力安全の確保にかかる基本的な考え方
- ②ドライサイトの扱い
- ③プラントシステムの性能が達成される津波レベル
- ④津波にかかるリスクインフォームド意思決定（RIDM）
- ⑤事象の影響度と頻度に応じた設計要件の整備
- ⑥重要度に応じた設計の導入
- ⑦モバイル設備の設計規格の策定
- ⑧サイトウォークダウンの在り方
- ⑨事故シナリオ同定手順の確立
- ⑩津波ハザード評価法の高度化
- ⑪フラジリティ評価法の高度化
- ⑫事故シーケンス評価法の高度化
- ⑬津波関連複合事象の取扱い
- ⑭津波レベル2 PRA の確立
- ⑮津波レベル3 PRA の確立
- ⑯保守・運用に係るマネジメント方針の整備
- ⑰津波事象に係る防災・避難の考え方の整理
- ⑱リスクコミュニケーションの取扱い

## 2.6 提言内容の検討

新たに設定した18項目の課題について、それぞれの項目に対する提言内容を検討した。

## 2.7 上記課題の同定

抽出した課題について、津波リスクの観点から、耐津波設計、津波リスク評価、運用・保守に係るマネジメント、津波関連事象に係る防災・避難に分類し、それぞれの関連性を整理した。結果を図2.7-1に示す。

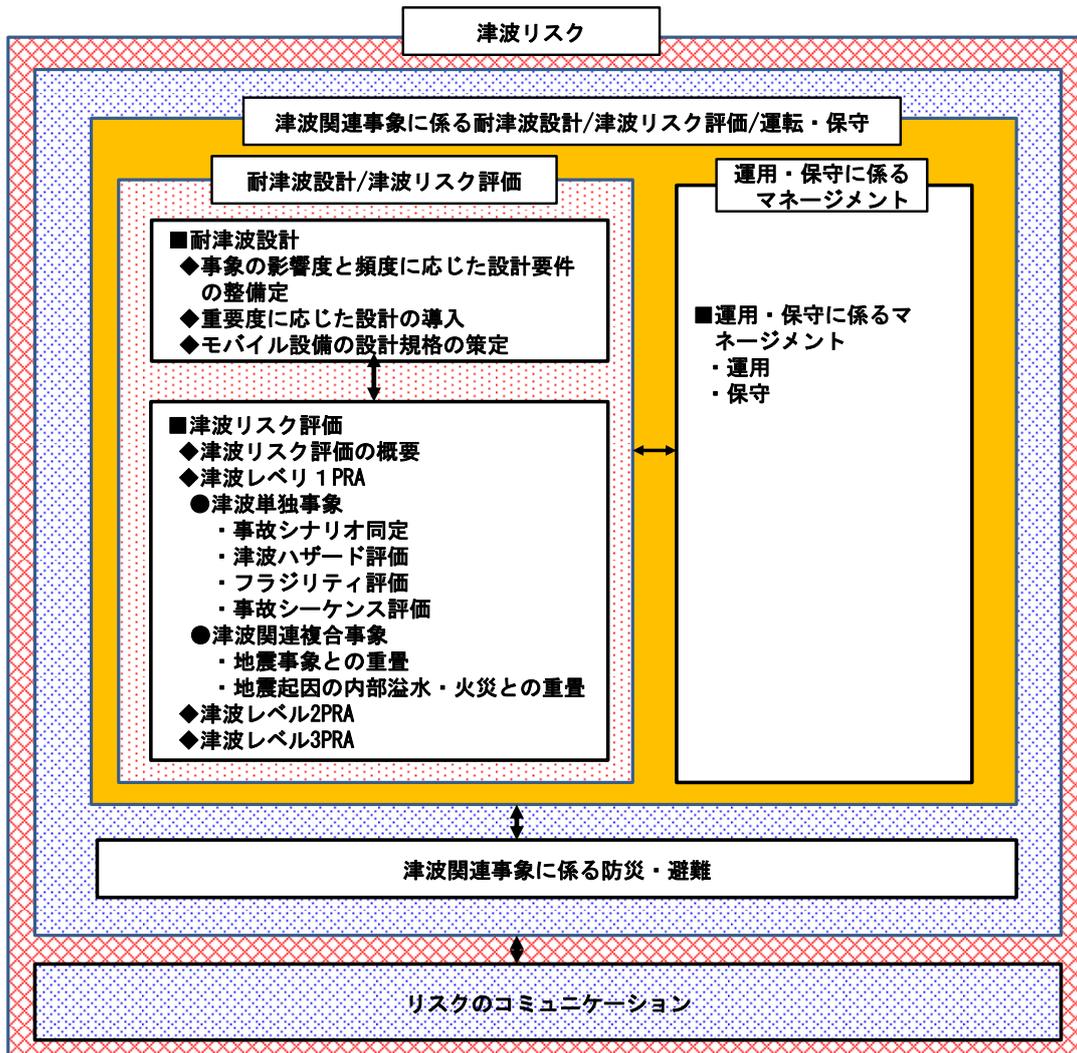


図 2.7-1 抽出された課題の関連性の整理

### 3. 各課題の内容

#### 3.1 目標性能と対処の基本的考え方

津波に対して原子力安全を達成するためには、津波が原子力施設に及ぼす浸水や波力などの考えられる影響因子を設定し、それへの対処として、施設や設備の設計・保守・管理などを行い、対処策が有効に機能するようにすることが必要である。ここでリスク論の考え方を導入して、津波を起因としてサイトに現出する事象の頻度と影響の程度に応じたリスクインフォームドグレーデッドアプローチを基本的な考え方とする。リスク論の導入とは、津波ハザードカーブを基に津波高さを設定することや津波 PRA を実施し、性能目標との比較により対策の妥当性を確認することだけではなく、プラントの安全性を確保する設備のサブ機能を発揮させるためにどのような策（ハードのみならずマネジメントも含む）を施すかを検討することである。この考えにたち、津波に対する原子力安全に必要な規格基準類や研究・技術開発課題を見出すために現状分析から課題を抽出した。

##### 3.1.1 課題「基本的な考え方」

原子力安全の目的は「人と環境を放射線の有害な影響から護る」ことである。この目的を受けた目標性能については、津波事象の頻度と影響の大きさに応じて、合理的に設定すべきものである。さらにリスク論の考え方から、原子力施設の様々なリスク要因を考慮することも重要である。極低頻度だが甚大な影響を持つ大きな津波への対処は重要ではあるが、そのために設備設計（たとえば高い防潮堤）だけに依存することは、より頻度の大きい状態（通常の原子力プラントの保守点検、あるいは事故時）への対応に支障をきたす懸念もある。また防潮堤があるが故に、原子力発電所の周辺へ海水が廻ってしまい、周辺住民の防災に大きな影響を及ぼす可能性も考えられる。

このような原子力施設の潜在的リスクと津波のような外的事象による作用とを組み合わせ、安全を確保することを考えると、外的事象そのもの、および発生する事故シナリオ挙動に大きな不確かさがあることが判る。それゆえ、単一の防護策では安全が達成できないことから、不確かさへの対処として深層防護の概念が必須となる。この基本方針としては、次のとおりである。

- ①原子力安全の目的達成に必要な複数の防護レベルの目的（深層防護レベル、防護対象）を明確にする。
- ②防護レベルの策は、防止と緩和の両方を設定する。
- ③これらの防護策はその有効性が異なるようにする。

このような基本方針を具現化するために参考になる検討がなされている。原子力学会標準委員会技術レポート「原子力安全の基本的考え方について 第 I 編 別冊 2 深層防護の実装の考え方」[3.1-1]によると、次のような実装手順が示されている。

- ・原子力安全の目的から、具体的な策に至るまで分解する。
- ・達成すべき信頼度を設定し、意思決定プロセスに従い策の実施を行う。
- ・策の選定においては、リスク評価、不確かさ、技術的成熟度、コスト、など多面的に考慮する。

このような考え方は、IAEA や NRC などの海外文書において基本的な記載はあるが、津波そのものが欧米において大きなハザードではないため、我が国から発信する意義は大きい。そこで「津波に対する原子力安全の確保にかかる基本的な考え方について（仮

称)」を策定し、津波に対する原子力安全の基本的な考え方の要素として次の事項を提示することが必要である。

- ① 津波のリスク情報を活用した意思決定の枠組み作り
- ② 津波に対する原子力プラントのリスクプロファイルを把握するための手法の整備
- ③ DBE（設計基準事象）から BDBE（設計基準を超える事象）までを含めた津波に起因する事象に対する安全確保の要件の明確化
- ④ リスクコミュニケーションの活用

### 3.1.2 課題「津波のサイトへの影響」

津波は、サイトに対して防潮堤を超えて浸水するという作用だけでなく、海水管ダクトなどの水道からの浸水、漂流物による設備への衝撃、など様々な作用を及ぼす。このようなサイト内での複雑な事象展開に対しては、単純にサイトへの津波浸入を防ぐ防潮堤の高さを上げることだけが良策ではない。さらに浸水防止設備（水密扉など）を多重にあるいは多様に設けることも有効ではあるが、それらによって深層防護概念が実装されているわけではない。原子力安全を達成する機能を担っている「発生防止システム」と「影響緩和システム」が深層防護の各レベルで想定する事態に有効に性能が発揮されるよう、津波影響により機能喪失に至らないように対処することが必要である。

現在の規制要求では、津波がサイト内に入らないことが求められており、プラント状態にかかる要求ではない。しかしこの要求では、防潮堤や水密扉という「発生防止系の設備の性能」に大きく依存していることになり、深層防護の概念を適用する観点からは、十分なものではない。それに将来、今の基準津波を超える津波がどこかで発生した場合に、基準を更新するかどうかの判断が抜けていると考える。

IAEA のドライサイトコンセプトと整合したドライサイトの定義とそれを実現する考え方を作成し、規格に盛り込む。

### 3.1.3 課題「想定する津波」

耐津波工学報告書で提案されている3つの津波レベル「設計水準津波」「事故水準津波」「想定事故津波」は、深層防護のレベル（いわゆる深層防護第一層など）に応じて SCC（structure, system and component, 構築物系統機器）が津波に対して持つべき性能を分析するために分けたものであり、必ずしも耐津波設計に3つの津波高を設定すべきということではない。報告書にも「基本的考え方のひとつ」と記されている。従って、本 WG では、津波高で分類するのではなくプラントシステムの性能が達成される「津波によるプラントの状態レベル」を分割する、という考え方を踏まえることとする。

プラントの状態を考えるための入力条件として、サイトへ影響を与える津波源の解析から「基準津波」として設定し、それに遡上を考慮して増幅し対象とする SSC への「設計津波」とする。これらの津波高に対して、プラント状態を一義的に決めるのではなく、様々な作用の様態と、それらに対する施設の対策、緩和設備の性能により、事故シナリオの種類は多くなる。従って、深層防護の第1レベル（第1層）としては、安全に関わる SSC が津波に対しその性能を維持できることが目標性能である。

次にそれを超える津波については、システムへの脅威になるかならないかをもって「超える津波」とする。ここで「脅威」の現象として、この津波に対しては、事故は発生しても炉心損傷には至らないように拡大防止することを目標性能とする。これは、津

波の影響が地震以上に広範囲かつ想定できるところを超えて及ぶこと、及んだ場合には ON/OFF で機能が喪失してしまうことから内的事象のように「事故」「炉心損傷」と分けて考えるよりも、炉心損傷へ至らない、つまり深層防護第3レベル（第3層）を超えることが無いようにすることが重要と考えた。さらに、それも超える津波により発生する事態に対しては、モバイル設備を活用したアクシデントマネジメント策を活用して環境への放射性物質の大量放出に至らないように抑えることを目標性能とする。津波の場合には、高所へ分散して配置するなどの工夫で、被害を防ぐことも考えられるので、モバイル設備の役割は重要である。深層防護第4レベル（第4層）に相当する。

### 3.1.4 津波にかかるリスクインフォームド意思決定（RIDM）

耐津波設計はもとより、リスク評価や運用管理（マネジメント）なども含めて、津波にかかる活動は、リスクマネジメントの枠組みに則りリスク情報を活用した統合的な意思決定（IRIDM）が進められることが有効である。RIDMについては、IAEA から INSAG25[3.1-2]、NRC から R.G.1.174[3.1-3]、原子力学会からリスク情報活用実施基準 2010[3.1-4]など、多くの規定基準が出されている。現在、原子力学会標準委員会では、リスク情報活用実施基準の改定作業を行っているところである。津波に関しても、基本的にはこれらの枠組みを活用するが、以下の点に工夫と考慮が要るので、規格基準の制改定にはこの点を考慮する。

- ① 不確かさの大きい津波事象に対する意思決定：NRC の NUREG-1855 Rev1 (FinalReport, 2017.3)[3.1-5]における「RIDMにおけるPRA不確かさの取扱プロセス」を踏まえて標準への取り込みを行う。
- ② リスクコミュニケーション：事業者、メーカー、研究機関、規制当局、さらに地元自治体の各組織における評価、設備設計、建屋設計、保安全管理、津波解析、防災業務計画などの組織間のコミュニケーションが津波の場合、特に重要となる。用いる用語の定義も含め、情報の共有化が必要である。そのための用語集、データベースがあると有用。
- ③ 津波PRAの品質向上への研究と意見交換の場：原子力学会で津波PRA実施基準が制定されており地震重畳を追加した津波PRA実施基準2017に改定（現在、発行準備中）されている。また、設置許可申請とは別に、原子力施設の安全性を事業者が継続的に向上させていくための仕組みとして、「安全性向上評価」が義務付けられている。「安全性向上評価」の運用ガイドでは、事業者が、安全性向上措置の有効性をPRAなどにより評価することとなっており、事業者においては実プラントの評価が進められている。これらを事例として原子力学会の津波PRA事例集に掲載し、手法の高度化への糧とする。

### 3.1.5 リスクコミュニケーションの活用

- ・原子力は、総合的な科学・技術であり、リスク評価には異なる領域間のコミュニケーションとこれらに基づいた総合的判断が要求される。
- ・原子力安全のためには、異なる専門分野間の共通認識が重要であり、「知の統合」が必要である。
- ・原子力における緊急時には、各省庁、警察や消防、自衛隊を含む防災に関連する機関、地方自治体と住民、さらにマスメディアを含む異なる組織や集団とそこに属する人間の間のコミュニケーションが重要となる。

参考文献

- [3.1-1] 日本原子力学会：原子力安全の基本的考え方について 第I編 別冊2 深層防護の実装の考え方, AESJ-SC-TR005 (ANX2):2015, 2015.
- [3.1-2] IAEA, “A Framework for an Integrated Risk Informed Decision Making Process,” INSAG25, 2011
- [3.1-3] NRC, “AN APPROACH FOR USING PROBABILISTIC RISK ASSESSMENT IN RISK-INFORMED DECISIONS ON PLANTSPECIFIC CHANGES TO THE LICENSING BASIS,” R.G.1.174 Rev.2, 2011
- [3.1-4] 日本原子力学会：原子力発電所の安全確保活動の変更へのリスク情報活用に関する実施基準, AESJ-SC-RK002:2010, 2010
- [3.1-5] NRC, “Guidance on the Treatment of Uncertainties Associated with PRAs in Risk-Informed Decisionmaking, Final Report” NUREG-1855 Rev1, 2017

## 3.2 耐津波設計

従来の原子力の設計では、「設計」の対象は設計基準の領域とされていたが、福島第一原子力発電所の事故以降、設計基準を超える領域についても対象ととらえる考え方が広がっている。ここでは広義に、設計基準の津波（設計基準津波）に対する主としてハードによる対策だけでなく、これを超える津波（設計超過津波）に対するソフトも含めた対策も含めて検討の対象とし、課題の抽出を行った。この結果、「耐津波設計」に係る規格化を検討すべき課題として次の三点を抽出した。

- ・設計基準領域から設計超過領域を含む津波防護設計要件の整備
- ・「重要度に応じた設計」の導入
- ・モバイル設備の設計規格の策定

以下に各課題について、ニーズの大きさ、実現の難易度を含めて説明する。

### 3.2.1 設計基準領域から設計超過領域を含む津波防護設計要件の整備

福島第一原子力発電所の事故を受けて新規制基準では新たに津波防護に対する要求事項が策定されているが、その多くは、「基準津波に対して“耐震”Sクラス施設を防護する」、「基準津波に対して非常用“海水”冷却系の機能を維持する」といったように、既存の設計体系や、既存のプラントシステムを前提としたものとなっている。これは、事故当時、国内では既に50を超すプラントが稼働中であり、新規制基準の策定にあたっては主としてこれらの既設炉が念頭に置かれたためと考えられる。

いま、既存の設計体系やプラントシステムに捕らわれず、ゼロから原子力発電所の耐津波設計を構築することを考えると、その流れは下記のようになると考えられる。

- ①：津波防護に係る性能目標（CDF、CFF等）の設定
- ②：“設計基準”及び“設計超過”の津波事象の定義
- ③：各津波事象に対する要求性能の設定
- ④：要求性能を達成する具体的な手段（ドライサイト、建屋水密化、代替機能確保等のHow to）の決定

上記②および③で実施する事項の具体的内容は以下のとおり。

- ・②では機械設備の構造強度に影響を及ぼす「波力」や「漂流物の衝突」、電気設備の機能に影響を及ぼす「浸水」、海水の取水性に影響を及ぼす「砂の堆積」等、プラント設計で考慮すべき津波事象（あるいは津波荷重）を特定するとともに、各津波事象に対して“設計基準”と“設計超過”を設定
- ・③では「設計基準の津波事象〇〇に対しては安全機能△△を維持する」、「発生頻度××の設計超過津波事象●●に対しては安全機能▲▲を維持する」といった、②の各津波事象に対してプラントに課すべき要求性能を設定
- ・②及び③は①の性能目標を背景とし、これと整合する形で定義、設定

なお、この流れは基本的には耐震設計も同様と考えられるが、耐震設計では「①性能目標の設定」から「③要求性能の設定」までが「耐震重要度分類（及び対応する地震動）」としてパッケージ化された形で与えられているため、特に①や③が陽には表れない点、地震の影響は主として地震力による構造損傷であるため「②事象」や「④要求性能を達成する手段」にバリエーションがない点が見かけ上の違いとしてあると考えられる。

ここで、以上の流れに照らして現時点の耐津波設計に係る規制基準、規格基準類をみると、いくつかのギャップが抽出される。

まず、設計基準の領域では、現行の規制基準における津波防護要求は、④に相当する「具体的な手段」についてはかなり踏み込んで規定している反面、③に相当する本質的な「要求性能」については明確にしていない。なお、民間規格としてJEAC 4629も制定されているが、規制基準の仕様規定の位置づけとして策定しているものであるため、この点は同様である。

これは、一つには、現状の技術レベルでは津波事象の影響評価や対策の有効性検証に伴う不確実性が大きい、「要求性能」のみを与えた上で達成の「手段」に高い自由度を持たせた場合には基準への適合性の判断が難しくなるという事情もあると考えられる。しかしながら、本来の規制基準のあるべき姿は、「要求性能」を明示した上で「手段」に自由度を持たせることで、創意工夫による安全性の向上を促す形と考えられ、この点は、事象の影響評価や対策の有効性検証の技術の高度化の努力と合わせて、見直されるべきと考えられる。また、民間規格では、有効な「手段」を拡充していくことが求められる。

また、②の「津波事象の定義」に関しては、地震や他の自然現象と異なる津波の特徴として、プラントへの影響モードが多岐にわたることが挙げられるが、現状、「設計基準の津波事象」として明確に定められているのは押し波、引き波による水位の上昇・下降のみである。これについては漂流物の衝突や砂の堆積などのその他の津波事象についても、プラント設計を行うべき設計基準を定めておくことが望ましい。また、津波の原因となる地震、その地震に起因する溢水や火災と津波との重畳事象など、あるいは防潮堤等の損傷を前提とした敷地や建屋の浸水などについて「設計基準の津波事象」として設定した上でプラント設計を行うべきか、「設計超過の津波事象」としてリスク評価も含めた中で取り扱うべきかなど、議論を要するところと考えられる。

一方、設計超過の領域については、現状、様々な概念的な検討はされているものの規格基準化されたものではなく、現時点では各事業者において独自に対策を検討、実施している状況である。この領域の取り組みについては、「①性能目標の設定」から「④具体的な手段の決定」まで、基本的には事業者が各々の安全意識に基づき自主的に行う範囲ではある。しかしながら、特に上記の「②設計超過の津波事象の定義」や「③要求性能の設定」については、設計超過の津波としてどのような事象を想定するべきかといった点、設計超過の領域でどのような要求性能を課すべきかといった点について、各事業者における検討の拠り所となるような、指針の策定が望まれる。

以上のとおり、本来あるべき設計プロセスとの比較の観点でみると、現行の耐津波設計に係る規制基準、規格基準類に足りていない点として上記の「②津波事象の定義」と「③要求性能の設定」の各プロセス、すなわち設計基準から設計超過までを含めた各領域における各種津波起因事象の定義とそれらに対する安全確保の要件の整備が挙げられ、今後の開発が求められる。

なお、「設計基準の事象」はプラント設計のインプットとなるものであるが、昨今、基準地震動などにおいて、プラント運転開始後に設計基準自体が増大するような事例も生じている。このような場合、現実的には改造等による設計対応が不可能なケースも想定されるため事業者にとっては非常に大きなリスクとなり得る。予めこのような状況を設計超過領域における対処として見込んだ、設計基準領域から設計超過領域にわたって連続性をもった設計体系が確立できれば、必要な安全性や説明性を確保した上で、合理的に運

転の継続が可能になると考えられることから、上記の開発にあたっては、このような考え方の導入についても併せて検討されることが望ましい。

### 3.2.2 「重要度に応じた設計」の導入

原子炉施設の安全設計の基本の一つに「重要度に応じた設計」の考え方がある。これは、系統や施設を、それらが機能喪失した際の影響度に基づき分類し、分類ごとに要求性能や管理グレードを定めて設計を行う体系であり、資源の配分を最適化して効率的に高い安全性を実現するためのものである。耐震設計の例では、「地震により発生する可能性のある放射線による環境への影響」の観点から機能・施設をS、B、Cの3つのクラスに分類し、分類ごとに、その重要度に応じて考慮すべき地震力や荷重の組合せ、許容限界を設定して設計を行っている。さらには重要度に応じて信頼性の要求を設定し、品質管理、保守管理等を行っている。

現行の耐津波設計では、規制基準では実質的に、過酷事故に対処するための施設も含め、すべての安全施設に対して一律に基準津波から防護することを求めている。また、民間規格として制定したJEAC 4629では耐震設計の体系に倣い、施設を耐津波SクラスとBクラスとに分類し重要度に応じた設計を行う枠組みを設けてはいるものの、基準津波よりも規模の小さい津波に対する性能要求等が具体化できておらず、「重要度に応じた設計」を設計体系として確立するには至っていない。

耐津波設計への「重要度に応じた設計」の導入は、ドライサイト要求を前提とした設計基準領域を対象とした場合は、設計対象が限定的なため、実質的なメリットは大きくない可能性がある。しかしながら設計超過領域を考えると、設計対象の種類、考慮すべき事象の種類や強度、発生頻度が多様になると考えられるため、個々の設備の要求性能を明確にし、要求性能に応じた設計、管理を行う「重要度に応じた設計」のアプローチは、設計、さらには保守管理等の内容や資源の最適化を図る上でも有効に機能すると考えられる。このため、今後、設計超過領域の対策の拡充が図られるであろうことを踏まえ、耐津波設計への「重要度に応じた設計」の導入の検討を行うことは価値の大きい取り組みと考えられる。

なお、個々の設備の重要度の設定にあたっては、確定的に定める方法もあるが、設計超過の領域で特に、各設備の安全への寄与度をPRA等の手法により定量的に評価し、その結果（リスク情報）に基づき設定する方法がより実効的と考えられ、今後、開発が望まれる領域と考えられる。よって、本課題解決の成否は、PRA等のリスク評価手法の高度化に依存するところが大きく、難易度もこれらの手法の高度化・精緻化の難易度と同等と考えられる。

### 3.2.3 モバイル設備の設計規格の策定

設計基準を超える状況に対処するにあたりモバイル設備は重要な役割を果たすものであり、新規規制基準でも過酷事故等の対処に用いるモバイル設備を「可搬型重大事故等対処設備」として規制対象として位置づけている。

モバイル設備の設計要件として、新規規制基準では地震、津波、竜巻等の自然現象に対して機能維持することを求めているが、モバイル設備はその特長より「臨機応変で柔軟な対応が求められる状況において、必要な安全機能を提供する対応策」とすることが望ましく、このため必要とされる状況で確実に機能することを保証する、環境条件や搬送性、また流用性等、想定される使用状況に則した設計基準を定めることが求められる。

また、事象発生から必要とされるタイミングまでに時間的な余裕がある設備については、常設設備との共通要因故障の防止の観点から、サイトから離れた場所に保管することが一つの選択肢となる。このような設備については、事業者間で共有化することにより業界全体としてのリソースの最適化を図ることが可能であり、実際に検討が進められているところであるが、この実現にあたっては、接続部などの仕様を共通化することが必要となる。

以上の「モバイル設備の設計基準の策定」、「共通仕様の策定」については、現状、各事業者で順次、モバイル設備の配備を進めているところであることから、ニーズの大きい取り組みと考えられる。

### 3.3 津波リスク評価

#### 3.3.1 津波リスク評価の概要及びリスクプロファイルの活用の考え方

##### 3.3.1.1 津波リスク評価の概要

津波 PRA は、津波ハザードを評価し、津波に対する関連設備等（structure, system and component, SSC）の耐性すなわち脆弱性（条件付き損傷確率）を評価し、それらの結果に基づき原子力発電所の安全機能喪失ならびに放射能ハザードの顕在化の頻度と影響度をシーケンス評価で求めることから成り立っている。事故シーケンス評価では、津波到来時において共通原因故障により機器の多重性あるいは多様性が低下することを評価する。さらに、PRA のレベルとして炉心損傷へ至る事故シーケンスを対象としてレベル 1 PRA、放射性物質放出を対象にしたレベル 2 PRA、サイト周辺の人や環境への影響を対象にしたレベル 3 PRA がある。また、プラントの状態としては、出力運転時であるか停止時であるか、に 2 分類される。なお、津波そのものは PRA の起因事象ではなく、津波により引き起こされる外部電源喪失や過渡事象などを「津波による起因事象」と呼んでいる。

##### 3.3.1.2 リスクプロファイルの活用の考え方

- ・津波リスク評価技術の PRA は、後述 5 章の「津波を含む外部事象に対する対処の仕方についてのガイダンス、アドバイス」において述べるように、リスク（CDF, CFF 等）を単に評価するのみならず、リスクプロファイルに基づく弱点を同定したり、国際的リスク判断指標との対比を通して、弱点に対して合理的な対応を行い、より一層のリスク低減を確認する。そして、これらの内容を設計基準に反映することを真骨頂とするものである。同設計基準への反映には、重要分類の合理的な検討も含まれる。
- ・上記のように設計領域と設計超過領域をシームレスに捉えるに当たっては、後述 5 章で挙げるように、SSC 脆弱性とハザードとのトレードオフ関係において、性能目標（CDF, CFF）との対応を思考の中核とすること必須要件とすることが肝要である。ゆめゆめ、ハザードからの基準津波、基準地震動だけを厳しく設定することで、リスク/性能目標が一層低減されるのでよしとの思考停止、リスク論と相いれない思考に陥らないようにすることが肝要である。
- ・加えて、最新知見に注意深く目配りし、合理的なリスク評価を継続し改善し続けることが重要となる。

#### 3.3.2 津波レベル 1 PRA

##### 3.3.2.1 津波単独事象

###### (1) 事故シナリオ同定

###### 1) 津波防潮堤高さに基づく事故シナリオの同定手順の確認

津波事故シナリオは、津波防潮堤高さに基づき次の 3 段階で進められる。同 3 段階毎に、津波遡上・建屋浸入解析を行い、冠水する構造物、機器、システムを確認し、構造物・機器の脆弱性評価やイベントツリー及びフォールトツリー作成に活用する。このような進め方の有無の確認は必須である。

- ・防潮堤高さ以下：海水管ダクトを介して、取水ピットから浸水
- ・防潮堤高さを少し上回る：越流するが、段波による防潮堤への影響大。敷地内施設への影響の可能性が小。敷地内施設への影響の可能性限定的。
- ・防潮堤高さ大きく上回る：越流するが、防潮堤への影響小で。敷地内施設への影

響の可能性大。

## 2) 津波の浸水経路に着目した事故シナリオの同定

### 2-1) 事故シナリオ同定におけるプラントサイトウォークダウンの役割

- ・事故シナリオ同定におけるプラントサイトウォークダウンの役割は、2 つに大別される。1 番目は事故シナリオ同定のための関連情報収集、2 番目は同定シナリオの妥当性確認である。
- ・1 番目の役割では、関連書類情報に加え、図面に書かれていない情報のヒアリング、現場での目視が重要となる。津波の監視手段（カメラ etc）の確認も重要となる。マルチユニット・サイトも対象とし、リスク上優先項目を明確にし実効的なものとする。これらの観点に基づき、浸水経路に着目した事故シナリオを同定する。具体的内容は 2-2)～2-7) に示す。
- ・2 番目の役割では、一つの浸水経路の見落としや対策設備の劣化の見落としなどですべてを台無しにし得る。耐震設計の変更等、変更内容が適切に情報や施工に反映されているかを確認する。

### 2-2) 海水給水系施設の構造物の構成の違いによる機能の確認

- ・海水給水系施設の構造物の構成は、サイト内に港湾施設があるかないかで異なる。
- ・港湾施設がある場合（浜岡 NPP 以外のサイト）での海水給水系施設構造物は、図 3. 3-1 に示す取水口、海水管ダクト、取水ピットからなる。取水口は、海水を取水するもので、設置位置は海岸線か、陸側に設置されている。港湾内の防波堤の影響による海底砂移動による目詰まりの検討が重要となる。
- ・港湾施設がない場合（浜岡 NPP だけ）では、ある場合での取水口が図 3. 3-1 示す取水塔となる。取水塔は、海岸沖合に設置された塔状の構造物である。海底砂移動による目詰まりを防ぐため塔の形となっている。そこで、押し津波に対する機能喪失の程度が極めて重要となり、海水給水系機能喪失の重要要因となる。

### 2-3) 防潮堤

- ・防潮堤基礎は、直接基礎と杭基礎に大別される。前者は洗掘に対する機能喪失の可能性を確認する必要があるが、後者の可能性は小さい。
- ・防潮堤のコンクリート打継の目地からの漏水の可能性を確認する必要がある。

### 2-4) 建屋水密性の確保

- ・津波が取水ピット防潮壁や防潮堤を越波した場合、建屋外壁に設置の水密扉の機能確認が重要となる。建屋外壁での水密扉は、建屋内への津波浸水を防ぐ要であり、この成否が炉心損傷の事故シナリオを大きく左右する。
- ・水密扉本体は水圧に対して強いが、建屋と水密扉との繋ぎ目のヒンジが地震動に弱いと想定されるので、地震動とセットでの検討が重要。
- ・配管貫通部、ルーバー等の機能確認も重要である。

### 2-5) 建屋内浸水による構造物・機器の機能喪失の確認

- ・建屋内浸入解析技術は、整備されているので、建屋内の構造物・機器の機能喪失の確認が重要となる。
- ・浸入解析では、浸入海水流量、流速、流路設定（壁やダクト、配管、貫通部など）が重要となる。

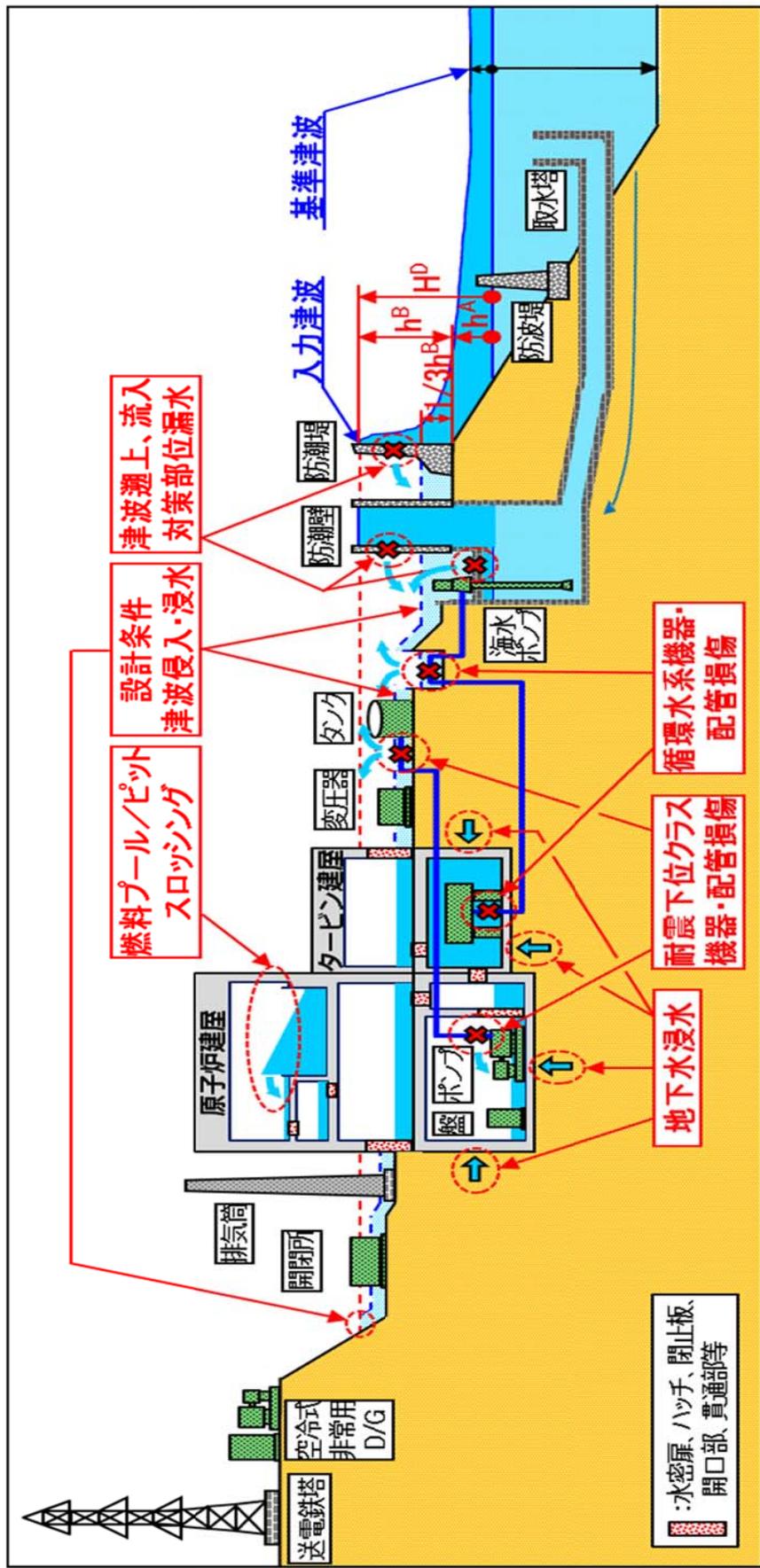


図 3.3-1 海水給水系施設構造物（港湾施設がある場合）  
 (津波に対する構造設計・リスク評価手引き (JNES-RE-2013-2027, 平成 26 年 1 月) より引用)

### 2-6) 排水性確保の確認

- ・防潮堤に設置のフラップゲート（越流津波の排水用）による排水機能の確認が重要となる。

### 2-7) 対象サイト周辺の地形・水理・交通網環境

- ・敷地外の周辺河川，隣接海浜からの道路トンネルを介しての浸水も重要要因であるため，これら要因の有無も確認する。

### 3) 漂流物（特に船）に係るシナリオ

- ・漂流物（特に船）の衝突によるフラジリティは非常に高い可能性がある。しなしながら，船が港湾に存在する可能性（確率）や，湾外から湾内への漂流する可能性を条件付き確率として，フラジリティに考慮すると，小さい可能性が高い。

### 4) 津波事象と他事象との重畳

- ・津波事象と地震起因の溢水対策や内的事象溢水対策とをセットで捉えることが重要である。内部事象溢水対策が地震起因の溢水対策に悪さすることも考えられるし，この逆もありえるので，トータルな水対策の確認が重要となる。

### 5) マルチサイト・マルチユニットにおける観点

- ・マルチユニットにおける共用設備には，海水給水系施設や隣接号機からの電源融通等があるが，共有施設が同時機能喪失の可能性があるため，施設の有無を確認する。
- ・マルチサイトとなると，次のような広域及び広範囲のシナリオの検討が重要となる。周辺自治体単位でシナリオを検討すると共に，自治体の応援の検討も重要となる。複数のサイトの損傷は，環境影響も大きくなるので，緩和用共有設備を別の場所に保有し，多様性を高める等同一サイト内では考えない工夫も必要となる。

### 6) 炉心損傷及び格納容器損傷までの時間の推定

- ・炉心損傷及び格納容器損傷までの時間的な余裕の確認は，各種対応策を検討する上で重要である。
- ・津波の敷地への浸水，建屋内への浸水，炉心損傷までの時間の推定は，既存コードで可能であり，不確実さを考慮して，ある幅で評価することが重要である。

### 7) 津波起因の事象の影響と頻度の考慮

- ・津波起因の各種事故シナリオは，SSC への影響と発生頻度との観点から検討する必要がある。

## (2) 津波ハザード評価

一般的に津波ハザード評価はある地点や施設に対して影響を及ぼす津波の入力条件を評価することである。その入力条件を基に，対象地点や施設への影響を考慮して津波のリスクや影響を評価する。ここでは，津波 PRA における津波ハザード評価ということで，確率論的津波ハザード評価[3.3-1]の課題について述べる。

確率論的な津波ハザード評価は，沖合のある地点におけるハザード定義点(例えば，新規規制基準におけるコントロールポイント)における津波による水位変化等の発生確率を評価する。よって，津波の発生と定義点までの伝播がその範囲である。以下に津波の発生評価に関して 1)～3)に，伝播評価について 4)に示す。

#### 1) 津波波源の評価

##### a) 最新知見の反映

- ・東北地方太平洋沖地震の以前における福島沖から茨城沖の津波地震の想定のは非が、福島第一原子力発電所事故を受けて議論となった[3.3-2]。
- ・一方で、東海第二原子力発電所においては茨城県の津波想定を受けて、津波の想定水位を見直し、海水ポンプ周辺の防潮堤等を2010年度に高くした。東北地方太平洋沖地震津波においては、この対策が結果として功を奏し、津波による水位上昇は防潮堤の約5.4mで防潮堤の天端高より低かった。その結果、一部の海水ポンプは浸水したものの、冷やす機能の全喪失には至らず、原子炉の冷却に成功した[3.3-2]。
- ・このような地震規模の想定に関する最新知見の対策への反映について、課題が残された。地震規模の想定については、その設定範囲や上限などは考え方や用いるデータ等によって異なる見解が示されることがある。

#### b) 地震動と津波の両者を説明可能な地震モデル

- ・東北地方太平洋沖地震の断層において、地震動の揺れの大きさに大きく寄与したセグメントと津波高の規模に寄与したセグメントは位置が異なる。同じ地震における断層運動に励起された地震動と津波であるので、この2つの現象を調和的に説明できる地震のモデル化が望ましく、課題の一つである。この課題を克服すれば、地震動と津波の重畳時の影響を検討する場合の両者の想定に有用であると期待される。

#### c) 認識論的不確定性の設定方法

- ・このような専門家による見解の相違については、認識論的な不確定性として、確率論的な津波評価の中で定量的に考慮されて、津波対策に必要な情報である津波PRAに反映されるべきものである。
- ・特に津波ハザード評価においては、波源の規模を規定する地震のモーメントマグニチュード(Mw)や地震の発生領域やその様式などのパラメータ設定において、専門家の意見が異なることがあり、これらの認識論的不確定性の定量化が必要になる。そのためには、認識論的不確定性を表現するためのロジックツリーを構築し、その分岐において重みを設定する必要がある。この重み付け手法を含むハザード評価の実施方法については、米国の地震動のハザード評価において発展してきた歴史があり、米国のNRC(原子力規制委員会)によってSSHAC(Senior Seismic Hazard Assessment Committee)による手法としてまとめられた。SSHACの手順はレベル1からレベル4の4段階にわかれ、不確かさの程度が大きいほど高いレベルを要求すべきとしている。NRCでは原子力施設を対象とする場合はレベル3以上を要求事項としている[3.3-3]。なお、津波においては、これまで津波評価に関するステークホルダーにアンケート調査を実施した事例があるが、この手法はレベル3に達してはいないと考えられる。このようなSSHAC手法などを参考に、津波についてハザード評価の実施方法について検討する必要がある。

#### d) 地震(断層運動)以外の要因による津波

地震以外の要因による津波(以下、非地震性津波)としては、海底での地すべり、斜面崩壊、火山現象に関わる山体崩壊やカルデラ陥没があげられる。これらの内で、火山活動を起因とした山体崩壊による津波は日本では少なくとも3つの被害例がある。海底地すべりについては日本での被害津波例の報告はないものの、米国ではメキシコ湾において海底地すべりによる津波が評価されている[3.3-4]。また、カルデラ陥没については、九州の鬼界カルデラやインドネシアのクラカタウ火山島における津波の要因の可能

性があると考えられている。これらの非地震性の津波の発生確率については、地震よりも発生頻度が低いことが多いと考えられるが、発生頻度に関するデータも少ない。

このように非地震性津波ハザードの確率論的評価は大きな課題である。データの充実につながる調査、また調査手法、並びにこのような不確かさの大きな現象の取扱手法、これらを研究する必要がある。

#### e) 津波堆積物調査の高度化

- ・日本における津波記録は、古文書によるものが他国と比較して多い。しかし、地震記録と比較して少ない。例えば確率論的評価を行う上で事例が少ないことにより、不確実性が相対的に大きくなる傾向にある。そこで津波により陸上などで見られる大規模な地形変化の結果として残される津波堆積物を調査することにより、津波記録の充実を図ることが期待されている。古記録に見られる津波の浸水規模やその地点の津波履歴の解明や、人間による古記録存在以前の津波の解明について期待が大きい。しかし、津波堆積物については課題が残されており、津波堆積物の認定方法、津波堆積物と津波流動の関係、その残存性など課題も多い。これらの課題の解決していくことが期待されている。

#### 2) マルチハザードの一つとして

- ・津波の要因として最も可能性が高いのは地震である。
- ・また、原子力発電所の敷地に遡上するような巨大津波の場合には、地震規模(マグニチュード)も大きく、津波が原子力発電所に到達する前に本震による地震動を経験している場合がある。また、巨大地震後の余震の規模はM7以上の大きい場合がある。その観点で、本震による地震動と津波、津波前後の余震による地震動といったマルチハザードについて、検討する必要がある。
- ・この時に、地震動を評価する地震と津波を評価する地震については、根源的には同一の地震であることが原則であるので、これらを統一的に説明できる地震のモデル化が望ましい。
- ・地震動以外では、高潮があげられる。高潮と津波はどちらも、海水位の上昇に作用するとともに、作用時間が数10分以上と長く、両者が重なった場合には浸水量が大規模に増大すると考えられる。なお、高潮と津波の同時発生確率に関する研究例は井上ほか(2013)が挙げられる[3.3-5]。

#### 3) 津波の数値解析手法

- ・津波波源において、断層の滑りの不均一性や非地震性津波により、発生する津波において、短周期成分が多く含まれる津波の発生の伝播を取り扱うことが増えた。
- ・短周期の津波の伝播を数値解析する場合、津波の伝播速度(位相速度)は、水深のみならず周期の影響を受ける可能性が高くなる。波動の伝播速度が、周期により異なることを分散性という。
- ・よって、短周期の津波の海域伝播現象を数値解析において再現する観点では、従来の非線形長波モデル(浅水理論)よりも分散性の精度の高い非線形分散波モデル等を用いる方が、精度が良い場合がある。
- ・どのようなケースで、すべり均一の断層モデルにおける分散性の考慮に関する研究はあり、それを参考に検討することは可能と考えられる。
- ・ただし、津波高を説明する多くの断層モデルは、断層モデルを想定して津波伝播計算を

行って断層モデルを構築している。これまでこの過程で用いられた津波伝播計算は非線形長波モデルであることが多い、また津波に関するインバージョン計算の基本となるグリーン関数も線形長波モデルもしくは非線形長波モデルを用いている。そのようにして決められた断層モデルによる津波伝播評価においてのみ、非線形分散波を用いるべきかどうかは議論すべき課題である。

### (3) フラジリティ評価

確率論的な津波ハザード評価結果において、水位上昇については発電所の敷地や防潮堤の高さ、水位下降については冷却機能に対して、それぞれが一定のレベルに達した時には、水位上昇や水位下降による原子力発電所におけるリスクを定量的に評価するために、フラジリティ評価を行う必要がある。ここでは、フラジリティ評価における課題について述べる。

#### 1) 敷地への津波入力条件の設定方法

- ・ハザード評価結果を基にして、発電所設置地点における津波入力条件を設定する必要がある。その手法についてはいくつか提案されているものの、実際の津波 PRA に活用した事例はない。フラジリティ評価とシステム評価を含めた評価手法に応じて、一定の精度と実現性のある手法を整備する必要がある。

#### 2) 津波防御用工学的手段への津波影響評価

防潮堤、水密扉、配管貫通部止水処理等の津波防御用工学的手段は、例えば防潮堤等の外郭施設は、その高さ以下の津波の敷地内への浸水を防ぐ。さらに、外郭施設を超える津波に対して、重要機器への津波の影響を軽減する効果が期待される。このような津波防御用工学的手段に影響を及ぼす津波パラメータは、浸水(被水、没水等)、波圧・波力、漂流物衝突力が代表的である [3. 3-6]。

##### a) 浸水評価

- ・浸水評価において、防潮堤などを越流して発電所内へ浸水した津波の挙動については、研究例も比較的多い。数値解析モデルとしては、平面 2 次元モデルと 3 次元モデルの 2 つが代表的である。津波 PRA においては、多くの数値解析ケースを実施する場合があるが、その場合には平面 2 次元モデルを使うことが現実的であることが多い。数値解析に必要なコストが大きいものの、津波による波圧・波力を直接的に得ることができる点等は 3 次元モデルの長所である。
- ・取放水設備からの溢水(浸水)について解析を行う必要がある場合の数値解析の研究例も複数発表されており、比較の実務的である [3. 3-1] [3. 3-7]。ただし、津波 PRA において、取放水設備からの溢水を考慮した事例は見当たらず、課題の一つと考えられる。
- ・また、建物に侵入した津波(海水)の挙動解析も必要である。内部溢水評価で用いられている解析手法が有効と考えられる。

##### b) 波圧・波力

- ・波圧・波力については研究例も多く、津波の流動に関するパラメータを基にした算定式の提案やその適用性に関する研究例が多い [3. 3-1]。よって、実務的な評価に必要な材料は比較的揃っていると考えられる。

##### c) 漂流物評価

- ・津波による波圧・波力に比べると、やや優先度が低いので、評価技術の成熟度は波圧・

波力よりも低い。漂流物影響に関する確率論的な評価技術の高度化は課題である。

- ・原子力発電所の漂流物評価においては、漂流物の発生源として敷地外の漂流物と敷地内の漂流物の2つに分けることができる。
- ・敷地外の漂流物の選定方法については、具体的な手法は確立されていない。
- ・敷地内の漂流物の選定方法についても、ウォークダウンした場合の選定方法を検討する必要がある。
- ・漂流物のSSCに対する影響を確率論的に評価するには、漂流物の発生確率と非衝突物に衝突する確率が必要であるが、具体的な手法については検討が必要である。
- ・なお、津波漂流物の影響は竜巻の飛来物対策と同様の観点での対策は有効であろう。

#### d) その他

建屋等の開口部については、水密扉を用いていても、実際に浸水した時に閉止されていなければ効果を発揮しないので、その運用管理方法の方針を整備する必要がある。また、これらの経年変化に対するメンテナンスも必要である。配管等貫通部は原子力発電所に数百以上あると考えられる。すべての貫通部からの浸水を止めることは難しいと考えておくべきである。

このような開口部の閉止、多くの配管等の貫通部における浸水、これらから浸水する浸水量とその確率を評価する必要がある。また、経年変化がそれらに及ぼす影響にも注意が必要である。

#### 3) マルチユニット

- ・2011年津波時の福島第一原子力発電所のように浸水域が敷地内に広がる。
- ・同一敷地内の複数のプラントが影響を受ける。また、重要施設やサポート系施設の共用もしくは冗長について、安全確保の考え方も含めて課題を抽出する。
- ・モバイル設備の共用性や冗長性を検討する上で、マルチユニットとしての影響評価が必要である。

#### 4) マルチサイト

- ・2011年津波のような巨大かつ広域の津波の影響は沿岸数100km以上に及ぶ場合がある。この特徴を考慮した津波災害時の対応に関する課題を抽出する。
- ・津波災害特有の地域における影響として、津波浸水による道路などの損壊によるアクセス性の障害、外部電力供給が期待される電力施設の障害があげられる。
- ・上記の観点から、津波災害直後の対応において、津波災害発生後の沿岸での津波被害に関する情報も重要である。2011年時点で、津波は沿岸に到達しないとその高さは判明しなかった。現状も、気象庁の津波予警報は、当時と同じである。ただし、沖合の津波観測も一部の海域では充実してきており、リアルタイムの沖合津波観測データを活用した津波予警報の予測精度の向上に関する研究は気象研などで実施中である[3.3-8] [3.3-9]。このようなリアルタイムに災害情報を得られた場合の津波災害の軽減のための活用方法や、その津波リスク評価への反映は課題の一つである。

### (4) 事故シーケンス評価

事故シーケンス評価は、内的事象PRAや地震PRAなどと同様に、イベントツリーやフォールトツリーを用いてシステムのモデル化を行い、炉心損傷頻度等を求める。特に津波PRAでは(1)で説明した事故シナリオに津波浸入経路が盛り込まれており、浸水や被水

などによる設備（AM 策や SAM 策）の機能喪失が考慮されていることが重要である。

津波 PRA では地震 PRA 以上に、広範囲で複雑な事故シナリオを扱う必要がある。その観点から、以下の 4 項目は研究・技術課題として取り組むことで、津波対策の一層の合理化が期待できる。

#### ①マルチサイト・マルチユニットの場合の共用設備の扱い

- ・津波現象がサイトを越えた広範囲に作用を及ぼすことから、マルチサイト・マルチユニットの被害が発生しうることが注意すべき重要事象である。サイト内の共有施設が機能喪失するとサイト全体の機能が停止するのと同様、近隣する複数サイト間で共有している送電系統や海洋（海水の汚染など）などが機能停止したことはある一発電所に機能支障を及ぼすことだけに留まらず、複数の発電所に影響を及ぼす。ただ、このような広範囲に影響を及ぼす津波の発生頻度は小さいため、スクリーニングアウトは出来ないが、対応を個々のプラント用のものではなく、事象に応じた臨機応変な策（融通、支援など）を用意することが重要となる。
- ・マルチユニット津波 PRA においては、複数号機で共用している設備の施設内における位置類似性、津波浸入防護策の共通性をみて、共通的な機能喪失性を考慮し、融通を期待している共有設備の機能喪失をモデル化する。
- ・マルチサイトとなるとサイト間で類似の設備はあっても共有している設備はない。それに、そのような被害の影響は広範囲かつ甚大だが、発生頻度は小さい。そこで、津波の作用が複数サイトの類似の機能喪失を共通同時に発生させる（例 外部電源喪失）場合について考慮することが望ましいことを列挙しておく。
  - －影響が隣接サイトに及ぶので、複数サイトで類似の事象が起こる。そのためサイト内の対応設備・人材が不足するような巨大被害においては、より広範囲な柔軟な運用でカバーすることを考えることが望ましい。
  - －自治体の応援も必要。

#### ②漂流物（特に船）の考慮

- ・津波事故シナリオにおいて、漂流物は竜巻における飛来物と同様、固縛による漂流防止と建屋や屋外設備などへ衝突した際の損傷評価が必要である。
- ・サイト内の漂流物候補だけでなく、周辺の漁港から船舶が漂流してくることも考慮することになる。
- ・しかし、船が港湾に存在する可能性（確率）を条件付き確率として、フラジリティ評価で考慮すると衝突確率は小さくなる。
- ・設計領域として漂流物を考慮する場合の考え方、設計を越える領域での定量評価の考え方の区別が必要。たとえば設計領域では漂流発生頻度如何にかかわらず、想定漂流物と衝突速度を設定し、建屋や屋外設備の健全性を確認する、などの「漂流物の発電所への影響評価方法」を検討する必要がある。なお、その際、原子力発電所という特殊な施設においては、管理により影響を除外する（船を近づかせない等）ことが可能と思われるため、上記の影響評価方法を定めた上で、そのクライテリアに基づく管理基準を定めるというアプローチが有効と考えられる。

#### ③津波監視・サイト内津波対策設備のモニタリング方法

- ・津波がどの場所のどの高さまで来ているか、は見に行くことが出来ない。しかし、津

波による浸水の有無など、津波のサイト到達後に対応方法策定において重要な情報であるので、使える機器を把握するために重要。カメラ、水位計、ドローンなど手段は可能。考え方の整理と標準化が必要である。

- ・リスク評価だけでなく、サイト内での運用方法の規格も要る。
- ・検知とその後のアクション、事故対応、避難も含め、こういった監視ができるとうい、そのためにどういう設備が有効かを整理することは有用。

#### ④津波の建屋内浸水評価

- ・水の建屋侵入の時点はサイト内の津波遡上解析で可能。ただ浸入した津波がどの機器を機能停止にしまうか、の流動解析は浸入海水流量と建屋内の津波による流路変更（壁やダクト、配管、貫通部などが当初どおりなら流路解析は可能だが地震あるいは波力で変化があれば難しい）の可能性との組み合わせが膨大になる。しかし解析は可能。
- ・実験・解析が必要であり、検討に時間を要する。そこで研究開発体制と工程を検討する必要がある。
- ・どの機器が津波の影響を受けるかは、リスク解析には必須であるので、ニーズはかなり高い。かつ重要なので十分な解析事例の蓄積とコードの改良のための実験も必要と考える。
- ・浸入後のルートは地震により破損していないことを条件として解析は可能。
- ・リソース（技術開発資源）の最適化という観点で、耐津波設計のプロセス全体を見たときに、どの解析要素等がどれほどの精度であるべきかを整理しておくことは意義があると思われる。

### 3.3.2.2 津波関連複合事象

#### (1) 地震事象との重畳

- 1) 地震事象と組み合わせの対象となり得る津波を明確にするために、表 3.3-1 に示すように次の分類を行う必要がある。

表 3.3-1 本震及び余震と津波要因それぞれに係るケースの組み合わせ

地震発生場所	津波要因	地震				
		本震			余震	
		巨大規模 (M9級)	大規模 (M8級)	中規模 (M7級)	巨大規模 (M9級)	大規模 (M8級)
近地地震 津波	①地震津波	○	○	○	○	○
	②地震起因斜面崩 落津波	○	○	×	○	×
	③海底地滑り津波	×				
	④ ①&②	○	○	×	○	×
遠地地震津波	×					

- ・津波には、日本近海の太平洋及び日本海で発生するものと、チリ津波のような遠方からのものがあるが、本報では前者だけを対象とする。
- ・津波は、本震及び余震のいずれでも発生するが、本震は予想される津波高さから、

- (i)M9級の巨大本震，(ii)M8級の大本震，(iii)M7級の中本震に，余震は同様に(iv)M9級の巨大本震，(v)M8級の大本震に，併せて5ケースが想定される。
- ・津波は，発生要因の観点から，①地震起因の津波，②地震起因の海岸断崖崩落による津波，③海底地すべりによる津波に大別される。地震事象と津波事象の重畳は，地震と津波の①から③の組み合わせが考えられるが，発生のタイミングの組み合わせの可能性から，③を除いて，地震と①（ケース1），地震と②（ケース2），地震と①及び②（ケース3）の3通りが想定される。
  - ・地震事象と津波事象の重畳としては，本震及び余震に係る5ケースと，津波要因に係る3ケースの組み合わせの表3.3-1中の11ケースが想定される。
- 2)本震に係る留意事項としては，施設へ津波襲来までの時間の程度と，施設への影響の程度の観点が重要となる。
- 3)本震の時間に係る観点としては，東北地震津波は約46分後に津波が襲来し，何をなし得たかが参考となる。早ければ10分程度で襲来の可能性は否定できないので，時間別で対応を設定することが重要となる。時間に係る観点において重要な他の要因としては日中か，夜間かで，対応内容の質が大きく異なるので重要となる。例えば，夜間であれば，赤外線カメラによる監視体制，来襲時間が短ければ，目視確認が危険であるので，ドローンの活用等が考えられる。
- 4)本震の施設への影響に係る観点としては，影響評価と対応策とに大別し検討することが重要となる。
- ・施設への影響としては，津波襲来前の地震動によって被害を受け後に，津波によって更に被害を受けることの事前分析が重要となる。特に，前者の被害が顕著になり得る施設の分析が重要となる。具体的例としては，建屋壁に設置されている水密扉のヒンジが地震動で被害を受ける。貫通部が地震動で緩む。敷地内の浸水津波の排水用のフラットゲート。
  - ・対応策としては，地震動による被害状況の把握と，被害状況を踏まえた津波襲来時に備えた対応が重要となる。
- 5)余震に係る留意事項としては，時間の観度の重要度は低く，施設への影響の観点が重要となり，対応の考え方は本震と同様となる。

## (2)地震起因の内部溢水・内部火災

- 1)地震起因の内部溢水及び火災事象になり得る要因及び特徴は，次の通りである。
- ・地震起因の内部溢水は，大きな地震動によって，耐震重要度の高いSクラス機器等の機能喪失の可能性は小さいものの，重要度の低いB及びCクラスの配管・タンク等が機能喪失して，内部溢水する可能性が高い。
  - ・地震起因の火災は，大きな地震動によって電気類等が損傷し，あるいは碍管が損傷し絶縁油が漏洩し，かつ発火することによって発生する。また，ケーブルは地震動によって擦れることによって発火する。地震動によって損傷した上で，発火するという条件付確率となるので可能性が低い。
  - ・地震起因の溢水及び火災は，地震ハザードにおける地震動の大きさに依存すると共に，複数個所での同時多発となる可能性が高い。
- 2)優先順位の考え方・根拠
- ・地震起因の溢水及び火災事象は，偶発的に発生するそれらとは違い，同時多発となるので，影響も大きい。そのため内的事象のようなランダムによる溢水や火災の対

策について苦心するよりも、地震起因内部溢水及び地震起因内部火災の評価、有効な対策を至急検討すべきである。

- ・地震起因の溢水や火災が発生し、更に津波が到達するという重畳事象は十分に考えられる。それぞれの影響は大きくなくても、重畳した場合の影響は大きく、対策も不足するおそれがあるので、手をこまねることなく、想起しえるシナリオを検討すべきである。
- ・現状は想定する事象やその組合せが十分に練られておらず、過剰に保守的な反面、考慮すべき内容が抜け落ちている可能性がある。

### 3) 影響評価手法

- ・シナリオが膨大になることから、PRAを用いるのが有効ではあるが、先行例を海外に求めても無いので、我が国が率先して研究を進めるべき。原子力学会では、標準化は容易ではないが、地震火災 PRA、地震溢水 PRA の手法開発のために現時点でも可能な範囲、今後取り組むべき課題を抽出しているところ。整理したものは原子力学会技術レポートとして公開共有する予定。
- ・PRA 手法としては、地震 PRA 手法を活用し得る。ハザードは地震ハザードを活用する。フラジリティが異なるが、ET 及び FT も活用し得る。
- ・影響評価手法の改善には、余震の影響も考慮する必要がある。

### 4) 対 策

- ・地震起因の溢水事象の対策としては、B,C 級配管、タンク類の補強対策と、リスク上重要な設備を区画として隔離対策との合わせ技とする。補強対策だけであると全てが S クラスになり、耐震重要度分類の意味がなくなる、費用対効果が悪すぎる、リスク評価上合理的でない。
- ・隔離対策としては、まず、PRA によって炉心損傷を支配する脆弱な SSC を同定する。次いで、木曾三川の扇状地に築堤されている“輪中”の考え方を取り入れ、上記 SSC が入るある空間を防水壁、防水扉、防水剤等で隔離し、浸水から守る。
- ・地震起因の火災事象の対策としては、同一区画内における地震起因の内部溢水対策と重畳するか否かを検討する。
- ・溢水と火災の両事象対策が両立するかどうかの理論作りが重要となる。例えば、止水材料とその耐燃性が両立するものがあるか。
- ・地震起因の溢水対策及び火災対策と内的事象溢水対策をセットとしてトータルな水対策を考慮すると効果的である。それぞれ個別の対策が、他の対策に悪さすることも考えられるし、この逆もありえる。

### (3) 内部事象の溢水・火災との重畳

- ・上記(2)4)に示す。

### 3.3.3 津波レベル 2PRA

津波レベル 2PRA は、津波を起因とした格納機能喪失評価から放射性物質放出の評価を行うものである。津波により起因事象が発生し、その緩和系も津波により機能喪失している場合に炉心損傷に至る。さらに、格納機能喪失さらに放射性物質放出に至るシーケンスは、格納 ET で描くが、津波の波力で格納容器そのものが倒壊したり損壊することは、考えられないとしても、扉などの津波浸入を防いでいた設備の損壊はフラジリティでみる必要がある。格納機能を担っている設備のサポート系（電源など）が、津波により機能を喪失することは十分に考えられるので、ET にモデル化する。

以上から、地震影響を無視できる津波レベル 2PRA は、地震レベル 2PRA のように建屋損壊による炉心損傷直結事象を考える必要はないが、サポート系機能喪失が広範囲（隣接ユニットも）に想定する必要があるので、過圧過温による格納機能喪失をメインにモデル化する。特に津波来襲に伴い避難するために津波警報解除までは近づけないので、操作の時間遅れも考慮する必要がある。地震との重畳を考えるのであれば次の項目を併せて考慮してモデル化する必要がある。

- ・ レベル 1PRA とレベル 2PRA のインターフェースの検討
- ・ 炉心損傷直結事象の取り扱い
- ・ 現実的なソースターム評価（格納機能が地震により喪失している影響）
- ・ 地震による機器の脆弱化影響（脆弱化した状態で SA 時の加圧加温の影響）
- ・ 余震の取り扱い

### 3.3.4 津波レベル 3PRA

津波レベル 3PRA は、津波レベル 2PRA の結果であるソースターム放出カテゴリごとの放射性物質の特性、影響度、頻度をもとに、敷地周辺への放射性物質による影響を評価する。飛散と降下による影響評価は内的事象を起因とするレベル 3PRA と同じであるが、津波がサイト周辺地域に被害を及ぼすこと、それにより避難が困難になること、特に屋内退避が無理なこと、などを評価に反映する必要がある。

また、避難や屋内退避などの防災策をレベル 3PRA では考慮するが、マルチユニット・サイトのところで記載したように、サイト外あるいは遠隔サイトからの技術的・物資・人的支援が、サイト周辺の道路、通信などの悪化により予定どおりに行えないことも、考える必要がある。

#### 参考文献

- [3.3-1] 土木学会 原子力土木委員会：原子力発電所の津波評価技術 2016，2016 年 9 月，<http://committees.jsce.or.jp/ceofnp/node/84>.
- [3.3-2] 日本原子力学会：福島第一原子力発電所事故 その全貌と明日に向けた提言，丸善出版，2014 年 3 月。
- [3.3-3] 酒井俊朗：確率論的地震動ハザード評価の高度化に関する調査・分析 ー米国 SSHAC ガイドラインの適用に向けてー，電力中央研究所報告，015008，2015。
- [3.3-4] 嶋原 良典，Juan Horrillo：確率論的手法を用いた海底地すべり津波波源の推定 ーメキシコ湾への適用ー，土木学会論文集 B2(海岸工学)，70 巻 2 号，2014。
- [3.3-5] 井上 剛，藤田 尚毅，松山 昌史，田中 良仁：津波と高潮の同時発生確率に関する一考察，土木学会論文集 B3 (海洋開発)，69 巻，2013。
- [3.3-6] 日本地震工学会：原子力安全のための耐津波工学ー地震・津波防御の総合技術体

系を目指してー, 2015.

[3.3-7] 佐藤 嘉則, 松山 昌史, 太田 京助, 内野 大介: 津波到達時の取放水設備からの  
溢水量算定手法に関する検討, 土木学会論文集 B2(海岸工学), 73 卷 2 号, 2017.

[3.3-8] 対馬弘晃, 林 豊, 前田憲二, 横田崇, 川上博隆, 平田怜, 吉村健二, 遠藤清  
隆, 木田洋祐: 沖合津波観測データ同化システムの開発, 土木工学論文集 B2(海  
岸工学), 69 卷 2 号, 2013.

[3.3-9] 辰巳 大介, 富田 孝史: 即時的津波浸水予測手法の開発と適用, 土木工学論文集  
B2(海岸工学), 69 卷 2 号, 2013.

### 3.4 運用・保守に係るマネジメントに資する標準の整備

#### 3.4.1 津波対策に際しての意思決定を行う際に考慮すべき事項と標準化

設計面においては、外部事象としての地震に起因する発電所屋外溢水と、地震後の津波の漏水による発電所屋外溢水とが重畳することを念頭に置いた対策を立案することがポイントとなる。地震に起因する発電所屋外溢水は内部事象であり、耐津波設計と内部溢水防護は一体として扱う必要がある。また、地震起因の屋外溢水量と津波の漏水による屋外溢水量との合計が、降雨など、フラッディングを引き起こす他の事象を包絡することを確認しておく必要がある。

これらを踏まえて、津波を起因としてサイトに出現する事象の頻度と影響の度合いに応じた対処の基本的な考え方を標準化する必要がある。標準化にあたっては、津波に対しては設計余裕ではカバーできないほどの広範かつ複雑な事象展開が予想されるため、その点を考慮した内的事象とは異なる視点として DBBE 対処の考え方がポイントとなるが、新規制基準におけるドライサイト要求は、ドライサイトのコンセプトが新規制基準と IAEA で異なっており、後者の方が合理的と考えられるため、この相違を早急に整合させる努力が必要である。

IAEA の要求では、プラントレイアウトは、安全上重要な設備の物理的分離や多様性と同様に、サイトへの津波浸水に対する深層防護として実行可能な「ドライサイトコンセプト」に基づくべきであるとしている。なお、ドライサイトコンセプトには以下のような要素が含まれる。

- ① DBE から DBBE までを含めた原子力発電所の津波防護の基本的な要件
- ② ①の津波防護の有効性の評価手法、有効性の示し方
- ③ ②を意思決定（設計へのフィードバック等）に活用する総合的な枠組み

#### 3.4.2 サイトウォークダウンによる津波防護策の有効性の維持のための支援

##### 3.4.2.1 サイトウォークダウン標準の整備と高度化

サイトウォークダウンは、俯瞰的な視点で行われれば図面では分からない点が抽出可能であることから有意義である。屋外溢水が発生する際の漂流物、設計基準津波を上回る津波が発生した際に生じる漂流物に対する対処として、対策設計の初期段階においてサイトウォークダウンを行うことは重要である。

サイトウォークダウンは、浸水過程や影響度を見積もるのに重要な役割を果たすが、標準化に際しては、対策の対象とするプラントレベルなのか、サイト状態の把握方法などのサイトレベルなのかの位置付けを明確にしておくことが重要である。サイトウォークダウン標準の作成にあたっては、マルチユニットも対象とし、リスク上の観点からレビュー項目の優先度を明確にし、実効的なものとする必要がある。例えば、津波は防潮堤を越波するとのシナリオを優先し、水密扉の機能確認を優先し、次いで、配管等貫通部の止水機能確認を行う。また、防潮堤のフラップゲート（越流津波の排水用）などのユニット共用施設の機能確認を行う。サイト外では、敷地周辺の河川、隣接海浜、道路トンネルからの津波の遡上に対する影響確認を行う。

サイトウォークダウンを行う際には溢水漂流物の観点のみならず、竜巻飛来物、火山

灰の降下堆積，外部火災影響などの観点を含めた系統立てたやり方を標準化するニーズは高いと思われるため，この分野の標準化を目指していくことを提案する。サイトウォークダウン標準は，将来的にはいろいろなハザードに対して同時に実施可能なものに統合していくことが望ましい。例えば，リスク論の考え方の導入とセットとし，地震起因の溢水対策，内的事象溢水対策とセットとし，トータル的なフラiddiing対策を考慮すると効果的である。この理由としては，内部事象溢水対策が地震起因の溢水対策に悪影響を及ぼすこと，この逆も考えられるからである。

#### **3.4.2.2 サイトウォークダウンによる性能維持**

水はその性質上，どれだけ防潮堤等の重厚長大な防護を構築しても，一つの浸水経路の見落としや，対策設備の性能劣化等の見落としにより，他の全ての防護が台なしとなる。それ故，津波防護策の確実な性能維持が図られるような一過性ではなく，サイクリックに実効性のあるサイトウォークダウン要領を事業者に提供することが課題となる。

#### **3.4.3 津波の影響緩和と浸水対策標準の高度化**

##### **3.4.3.1 循環水系からの影響緩和**

屋外および屋内での溢水量を低減させる目的で，循環水系からの溢水を溢水発生後，速やかに，かつ，高い信頼性をもって隔離できるように対策することは，耐津波設計および内部溢水防護を行う上でポイントとなる。

安全上重要な構築物，系統および機器をフラiddiingから守る対策を講じる際に重要となる点は，屋外のインベントリーを屋内に侵入させないことと，屋内のインベントリーを把握し，インベントリーに応じた流下経路を形成し，溢水による没水水位を抑制することである。

##### **3.4.3.2 浸水防止設備標準の高度化**

溢水の流下経路形成と対をなして重要となるのは，防護対象区画の水密化である。水密化技術を取り纏めたものとしては，JEAG 4630-2016「浸水防止設備技術指針」があるが，水密化技術も限定的であり，内容の拡充，高度化が望まれる。溢水の流下経路形成上，水密化技術とともに排水技術も必要であるが，今後の課題である。また，JEAG 4630-2016「浸水防止設備技術指針」はシナリオレスで記載されているため，対策シナリオを例示していくことも課題と思われる。

#### **3.4.4 津波対策設備による状態把握と体制・手順確立のための支援**

マネジメント面においては，津波監視設備，水密扉の開閉状態表示装置，漏えい検知器等を効果的に設置し，これらを用いたマネジメントマニュアル整備が重要である。津波がどの場所のどの高さまで来ているのかを実際に見に行くことはできないため，これらの設備は，津波による浸水の有無など，津波のサイト到達後の対応方針策定において重要な情報を得るための手段となる。

原子力安全確保のためには，津波到達後の情報を把握し，適切な操作を確実に行うための体制と手順の確立が重要であるが，津波到達時は沿岸部から退去する必要があるため，津波到達後のプラント状態把握のためのサイト内探索までに時間を要することを踏

また体制および手順を整備する必要がある。AM 策の実施可能性の把握、使える機器の状況、ガレキ撤去の段取りなど、福島第一原子力発電所事故の経験から体制構築および手順の確立のための標準化は十分に可能である。標準化にあたっては、他産業とも意見交換を行い、原子力の特殊性から柔軟な対応が取れなくなるような弊害を生じさせないようにすることが肝要である。

#### 3.4.5 津波対策設備の保守管理および運用管理における標準化

保守管理面においては、水密化設備の保全について JEAG 4630-2016「浸水防止設備技術指針」に点検の例が記載されているが、運用実績に基づく劣化管理の標準化が課題である。取り分け、水密性能を担うエラストマーの劣化診断基準の確立は重要な課題となる。

しかしながら、設備の経年劣化に起因する問題と比較してより重要な問題は、プラントの稼働時、停止時を通じて、適切なコンフィギュレーション管理が行われることを確実にすることである。また、コンフィギュレーション管理にあたっては、溢水防護のみでなく火災防護など他の共通原因事象を包絡するマネジメントを確立する必要があり、考え方、アプローチ方法を取り纏めたガイドラインの策定が有用ではないかと思われる。さらには、対策確立後に想定を上回るハザードが発生する可能性が知見として得られた際の組織としての意思決定プロセスの標準化を図るためのガイドラインの策定も必要ではないかと思われる。

地震や津波に代表される外部ハザードは、設備で対処することが最優先であり、設備の機能を長期間にわたり維持するために保守管理は重要であるが、従来からの設備において保守管理の仕組みも経験も十分にあるため、これら設備の保守管理上の技術的な難易度はそれほど高くはない。津波対策設備がその設計領域でのみ性能を発揮するものか、設計領域を超えた領域でも性能を発揮するものかは、シナリオとその頻度に依存するため、リスク重要度を考えて保全の重要度を設定することが合理的である。

優先度の高い標準化テーマとしては、プラント停止時点検時の安全確保、リスクモニターの運用標準化、サイト内運用方法の検討である。

#### 3.4.6. サイト間共有モバイル機器の運用要領の確立

事象発生後早期に炉心損傷に至るシナリオにおいては、モバイル機器のマルチサイト間での共有ニーズは低いですが、事象進展が緩やかなシナリオにおいてはモバイル機器のマルチサイト間での共有は、モバイル機器の保有の観点からも保守管理の観点からもメリットは大きい。マルチサイト間共有モバイル機器の設計の標準化、サイト間輸送手段の確立、その他の運用方法を定めていくことも事業者支援上の課題であると思われる。

マルチサイト運用を行う場合、共有モバイル機器の適用性（例えば、アタッチメント）を確保することが最優先の課題であるが、多種多様のモバイル機器の設計基準を決めるためには、個々の機器の実力を把握するための実験・解析が必要であり、検討に時間を要すると想定される。また、モバイル機器のアクセスルートの確保は、地震の際も

同様であるため、地震事象と津波事象との組合せとして考慮することが合理的である。

現状、発電所敷地内の頑健な場所（地盤、耐津波、耐竜巻等）に、頑健な設備を設置するというアプローチが主流と思われるが、想定外の状況で使えないということも想定しておく必要がある。かつての AM 設備のように個々の頑健性は高くはないが、様々な状況を考慮し、様々な手段を用意しておく。例えば国内の複数箇所に事業者共有の保管庫を設け、空輸等で緊急配備できる手段とともに用意するといった方法が合理的かつ実効的で、安全性が高められるケースも想定され、そのような方向を模索することも価値があると思われる。

### 3.5 津波事象に係る防災・避難

#### 3.5.1 津波事象に係る防災・避難に関する現状認識

津波事象に係る防災・避難に関する現状認識としては、2011年福島第一原子力発電所事故の以前・以降における国内外の動向の理解が重要である。これらの概要を以下に示す。

##### (1) 2011年福島第一原子力発電所事故以前

日本の原子力防災に係る規制基準には、地震・津波等外的事象による原子力災害が規定されていなかった。

しかしながら、旧原子力安全基盤機構は、2004年スマトラ沖津波でのインド/マドラス原子力発電所海水ポンプが冠水により機能喪失したこと受け、IAEA津波EBP(特別拠出金事業)(2007～2010)の一環として、地震・津波等外的事象に対する原子力防災システム(TiPEEZ)の整備を進めていた[3.5-1]。TiPEEZは、インド原子力サイトの緊急時訓練に適用された(2010年2月)。同訓練では、TiPEEZ機能がインドサイト用にカスタマイズされた[3.5-1]。

##### (2) 2011年福島第一原子力発電所事故以降

日本の原子力規制委員会は、2012年10月に原子力災害対策指針を策定し、外的事象に対する地域防災計画を明記した[3.5-2]。日本学術会議では、前述2.2.2で述べたように、原子力安全性向上に係る5つの提案項目の1つに原子力防災を挙げている[3.5-3]。同原子力防災の提言では、放射線防護と事前計画の策定が重要であると共に、緊急時管理における関係機関の責務分担の明確化の重要性も挙げている。また、原子力災害以外の緊急事態への対応の取り決めと適切に統合化されるべきであることも挙げられている。

旧原子力安全基盤機構は、柏崎・刈羽地域を対象として、地元新潟工科大学と協働し、柏崎市・刈羽村支援のもと、TiPEEZを用いた地震・津波等外的事象に対する原子力防災に関する柏崎刈羽地域市民へのデモンストレーションを実施した。同デモンストレーションを通して、多くの知見が蓄積された[3.5-4]。

#### 3.5.2 2011年3月11日の福島第一原子力発電所事故(1F事故)等からの教訓と防災・避難に係る留意事項

##### (1) 1F事故等からの教訓

1F事故等から主な教訓は、以下の通りである。

- ・地震及び津波の外的事象災害と原子力災害の複合災害であった。
- ・原子力施設の敷地内外を含む広域における原子力災害であり、長期間に亘る対応となっている。
- ・関連機関相互の連携や市民との情報伝達が不十分であった。
- ・被災地域の防災・避難関連システムは十分に機能しなかった
- ・一部の原子力発電所は避難先にもなった。

##### (2) 防災・避難に係る留意事項

防災・避難に係る留意事項は、以下の通りである。

- ・対象事象としては、地震及び津波等外的事象を中核事象とするも、内的事象に加え一般防災も含め、各事象間に跨る弱点が顕在化しないようにする必要がある。
- ・原子力防災体制は、国、県、市町村の各レベルに大別され、相互がシームレスな

連関を前提としているが、改善の余地が多いように見受けられる。

- ・地域防災計画は、立地市町村を対象としているが、各市町村の体制（職員数、技術技量、支援の仕組み）が必ずしも十分でないように見受けられる。同計画に当たっては、各市町村の都市計画と連携させることが重要である。
- ・既往原子力防災・避難システムの機能は必ずしも十分でなく、防災訓練は模索段階のように見受けられる。シナリオありきの防災訓練が多く見受けられ、市民目線の防災・避難訓練に一層シフトし、実効的にする必要がある。

### 3.5.3 原子力防災システムの機能

原子力防災システムの機能としては、上記 3.5.2 から以下が挙げられる。以下の機能は、上記 3.5.1 の TiPEEZ の有する機能でもある。

- ①地震及び津波を含む外的事象災害と原子力災害との連携：
  - ・複合災害への対応。
- ②原子力施設敷地内と敷地外との連携：
  - ・PRA 手法による敷地内設備と敷地外設備（道路・橋梁被害、住民避難の支援機能）の被害評価。原子力関連機関と周辺関連自治体機関等との連携。
- ③平常時・緊急時両用機能：
  - ・例えば、大地震動下で緊急時として円滑な機能の稼働のためには、平常時に日常業務で常に稼働していることが必須。
- ④自律分散機能：
  - ・システムが対象地域だけに設置されていると、被災し稼働しない可能性が高い。システム機能を広域の複数の場所に自律分散配置し、被災地をバックアップする。システム機能の回復後に期待し、システム機能を対象地域内の複数の場所にも自律分散配置し、複数の広範なユーザへ情報を双方向伝達する。
- ⑤時空間情報処理機能：
  - ・緊急時に最新情報でシミュレーションするためには、情報・データを新情報へ廉価な形で時間的・空間的更新が必要。緊急時に必要な情報・データは、自治体の日常窓口業務のもの（道路・橋梁等都市インフラ、住民台帳等）が殆どであり、平常時の窓口業務で、逐次時間更新する。これにより緊急用データ整備費が不要となる。
- ⑥全国地図データベース機能：
  - ・緊急時の各種意思決定は、家屋、道路、地番等地図情報とセットでなされる。緊急時において、施設被害、避難者、要援護者等の情報は時々刻々と変化するので、時間情報と地理情報をセットで整理・シミュレーションし、意思決定が必須。
- ⑦地震動分布・津波水位分布、道路・橋梁等被害、放射性物質（FP）放出分布、避難経路の推定機能：
  - ・放射性物質（FP）放出分布は、モニタリングポストや移動観測システム等による実測を基本とする。
  - ・モニタリングポストの実測値を用いることで、詳細に拡散状況を把握し得る。既往のモニタリングポストの数も限られているので、追加配置や耐震性の強化が必要である。
  - ・移動観測システムの例としては、機動性の高いオートバイなどに放射線測定器を

搭載して移動しながら観測し、GPSで観測情報を発信すれば、時々刻々と変わる情報を適切に得ることができる。京都大学原子炉実験所は福島第一原子力発電所事故後、福島地域を対象としたオートバイによる放射線観測システム（KURAMA）による観測実績を有している。実践活用する場合には、勿論ドライバーと事前に個人の安全に係る契約を取り交わしておく等、きめ細かな実践対応が必要となる。

⑧ノートパソコン（PC）等による可搬機能：

- ・劣悪な通信環境が想定されるが、PCの場合、自転車・バイク等で複数の被災箇所へ可搬し、無線通信等によって被害情報を複数箇所へ双方向で同時伝達が可能。電源は放置された車から充電可能。操作が一般化普及。PCは大型計算機に比し極めて廉価。

⑨公開型データベース機能・ソフトウェア無償提供：

- ・公開型とした場合、既存の緊急時システムや地震計ネットワーク等と連携可能で、互いのシステムを排除せず互助・共存可能。ソフトウェア無償提供。

⑩実運用体制：

- ・運用形態は、複数の自治体で共同運用し、各自治体は関連データの整備・管理を行い、隣組・シニアパワー・NPO・等の地域力を充実・活用。これにより、開発費、維持費が低廉。
- ・地域の大学、研究所等と契約し、技術的支援を得る。各機関は24時間体制をシニア人材の活用で確保。これにより、自治体職員の定期異動に伴う技術速度の低下、誤操作等防止可能。
- ・運用単位は、例えば日本を例にすると、北海道、東北、関東、中部、近畿、中国・四国、九州単位で（例えば、大地震災害は広域で発生（M8程度で、約300km四方））。

### 3.5.4 原子力防災の改善の考え方

原子力防災の改善の考え方については、上記3.5.1(2)で挙げた文献[3.5-4]等を参照し述べる。地震動や津波は、原子力プラントだけをピンポイントで襲うわけではなく、プラント敷地外の広範な市街地における道路、橋、斜面等のインフラにも襲来し、それらの機能を奪う。併せて周辺地域には放射性物質が拡散される可能性もあるので、その状況を詳細に把握した上で、避難行動に結び付けなければならない。

シナリオありきの防災・避難訓練から、市民と手作りの原子力防災への移行を一層推進する必要がある。具体的な内容は、以下の通りである。

- ・地元の大学や研究機関との連携した市民と密着型を進める。
- ・訓練やデモンストレーションにおける質疑事項や、市民の方々へのデモンストレーションに係るアンケート調査における要望事項をシステム機能に追加していく。
- ・要援護者避難に係る住所番地機能を用いた木目細かな避難シミュレーションを進めるが、機密情報の取り扱いの観点から、市民や市との合意が重要となる。
- ・市町村職員や市民の方がたと一緒に議論を行いながら、きめ細かく、手作りすることで、愛着が生れ、自ら進んで協働していこうという環境が育まれる。実効性のある原子力防災・避難には、このような市民目線の発想が大事である。
- ・原子力立地の地元大学のアンケート調査の結果（回収率82%，58人／71人）、各種防災訓練に参加経験があると答えた人が9%という中で、市民密着型のシミュレーション

訓練の活動に参加したいという回答が84%という報告もある。

- 原子力防災訓練と原子力リスクコミュニケーションとの連携については、3.6 で記述する。

#### 参考文献

- [3.5-1] 原子力安全基盤機構：地震・津波等外的事象に対する原子力災害対応システム (TiPEEZ) の適用に関する手引き，JNES-RE-2013-2031，平成26年1月。
- [3.5-2] 原子力規制委員会：原子力災害対策指針，平成24年10月31日。
- [3.5-3] 日本学術会議：報告東京電力福島第一原子力発電所事故の教訓，総合工学委員会 原子力事故対応分科会，平成26年（2014年）6月13日。
- [3.5-4] 蛭沢勝三：地震や津波による原子力のリスクと防災・避難～柏崎刈羽地域での実践を通して得られたこと～，ENERGY for the FUTURE, 2017 NO.1, 2017年1月5日。

### 3.6 リスクコミュニケーション

#### 3.6.1 原子力リスクコミュニケーションに係る現状認識

原子力リスクコミュニケーションに係る現状認識としては、2011年福島第一原子力発電所事故以前における、国際的原子力リスクコミュニケーションの系譜[3.6-1]の理解と、我が国での原子力リスクコミュニケーションの動向の理解が重要である。また、同事故以降における、日本学術会議における提言[3.6-2]や、IAEA国際情報伝達ワークショップにおける確認事項[3.6-3]の理解が重要となる。これらを以下に示す。

##### (1) 国際的原子力リスクコミュニケーションの系譜の理解

- ・原子力リスクコミュニケーション（NRC）の重要性の認識促進のためには、NRCの系譜を理解することが必須である。NRCは、啓蒙、説得、PAの手段ではない。NRCの系譜の理解は、このような手段と認識している一部の専門家の頑迷性の払拭や、頑迷性に対する市民の不信感の払拭に大きく寄与する。
- ・NRCの系譜の概要は、北村によれば次の通りである。原子力分野の多くの専門家は、当初、リスクコミュニケーションの目的を、相手方の意思へ影響を与えることや啓蒙・説得することとしていた。原子力に反対する人々は、科学技術的知識が不足しており、正しい科学技術情報の提供により彼らの不安は解消し、反対運動は姿を消すとの見方であった。しかしながら、1986年チェルノブイリ事故等に伴い、専門家に対する社会の信頼が大きく損なわれ、啓蒙・説得の目的設定は意味を失った。それ以降、市民と専門家は、協働作業を進めながら問題解決を図るとの市民参加方式による社会的意思決定の方向へと進み、NRCは問題を打開しようとする一部の専門家と市民との間に登場し、実践されてきた。

##### (2) 我が国での原子力リスクコミュニケーションの動向の理解

- ・我が国での原子力エネルギーは、潜在リスクが大きいものの、エネルギー集約型の魅力的資源という利点のもとに普及されてきた。潜在リスクの十分な議論なしで、魅力的資源だけを強調しても、必ずしも国民からの十分な信頼は得られていなかった。
- ・一方では、潜在リスクを定量評価するPRAの有用性を論じると、有用性は理解するが「リスク論は日本の文化に馴染まない」とする意見の壁にしばしばぶつかってきた。日本文化の特質を論ずるのでなく、少なくとも原子力発電を推進するためには、硬直した「疑似文化論」に逃避するのではなく、原子力リスクを直視し、市民との対話に積極的に取り組むことが必須であった。信頼形成のためのリスクコミュニケーションこそ重要である。この前提のもとで、原子力リスクに関する明確な科学技術的説明力が求められており、活動を積極的に進めていた。

##### (3) 日本学術会議における提言の理解

- ・コミュニケーションは、原子力安全に関する課題に共通する重要な因子である。原子力は、総合的な科学・技術であり、リスク評価には異なる領域間のコミュニケーションとこれらに基づいた総合的判断が要求される。今回津波高さの設定において情報交換と議論の不十分さがあったことが問題となった。原子力安全のためには、異なる専門分野間の共通認識が重要である。すなわち「知の統合」の必要性がここにある[3]。
- ・原子力安全の専門家は、俯瞰的視野と高い倫理観を基本にコミュニケーションを先導する役割を担わなければならない。緊急時においては、各省庁、警察や消防、自衛

隊を含む防災に関連する機関，地方自治体と住民，さらにマスメディアを含む異なる組織や集団とそこに属する人間の間のコミュニケーションが重要となる。

- ・事故発生からの時間スケールに応じた連絡体制や情報 伝達，双方向の情報交換の手段を予め検討し訓練で確認することが必要であろう。また 統括した情報を社会や海外各国へ一元して発信することも重要である。緊急時のコミュニケーション手段として，新たなソーシャルメディアの利用も検討されるべきであろう。

#### (4) IAEA 国際情報伝達ワークショップにおける確認事項の理解

- ・IAEA 国際情報伝達ワークショップは，2011 年 12 月に新潟工科大学で開催され，国内外の専門家と地元自治体/地元メディア/柏崎・刈羽市民とのパネルディスカッションがなされた。次の内容が確認された。
  - ・「今は同意していないという状態であることに同意する (agree to disagree)」の認識が重要
  - ・「不毛の対立を超えて意義のある不一致」の実現が必要

#### 3.6.2 原子力リスクコミュニケーションにおける留意事項

- ・一方的に住民の理解を求める説明会は，リスクコミュニケーションではない。原子力リスク情報の提示ももちろん必要であるが，互いに意見や考え・情報を提供し合い，よりよい合意形成を目指すことがリスコミである。
- ・リスコミは，組織内の部署間，組織間，住民間，住民と組織，など様々な組み合わせにおいて成立するものである。原子力リスクコミュニケーションにおける対象専門家間の例としては，原子力肯定と非肯定の専門家間，原子力と非原子力分野の専門家間，原子力分野内の専門家間，理学と工学の専門家間，自然科学と人文社会科学分野の専門家間等が挙げられる。
- ・原子力リスク情報は，原子力システム安全の専門家と協力して実施し有用情報を特定・提供すること，結果を説明性の高い情報に加工・編集し社会や市民と双方向で繰り返し発信すること，これにより信頼の醸成が可能となる。
- ・原子力リスク情報の取り扱いとしては，残余のリスクに係る数値結果の情報だけでは原子力リスクのコミュニケーションは成立しない。評価条件，評価モデル，使用データ等のプロセスも陽に明示し，透明性・説明性の確保が必要である。
- ・リスコミは専門家の介入が必須ではないものの，リスクコミュニケーションに係るファシリテーター (FT) の役割の重要性を認識し，FT の育成が重要である。

#### 3.6.3 原子力リスクコミュニケーションにおいて回避してはならない内容

- ・原子力リスクコミュニケーションの実践において回避してはならない内容がある。原子力エネルギーのリスクにおけるコストと便益の議論である。リスクにはコストと便益が含まれるが，これに触れることを忌み嫌う風潮がありタブー視してきた。安全評価は重要であるが，リスクの観点を直視・重視する姿勢が欠けていた，怠っていた。

### 3.6.4 原子カリスクコミュニケーションにおける津波事象の係り

- ・原子カリスク情報としては、まず、地震・津波という自然現象の不確かさを考慮した地震・津波ハザード評価、これに基づく設計地震動・設計津波高さ、これらを超えた領域における構造物・機器のフラジリティについて、工学的に意味するところを丁寧に説明し認識してもらうことが重要である。
- ・加えて、原子カリスク情報には、敷地内におけるレベル1～3 PRA に基づく FP 放出情報を含むリスク情報や、敷地外の広域における避難関連のインフラ（道路、橋梁、斜面、港湾施設、ヘリポート施設等）被害情報、地形・天候（風向、風速、天気）等の環境情報、防災、避難等に係る広範な情報も含まれること丁寧に説明し認識してもらうことが重要である。
- ・多くの国民は、今回の震災での地震・津波の怖さを共有してはいるものの、津波対策等津波に係る知識の共有化が十分なされていないのではないか。原子力関係者（特に設備や安全）は津波被害にたびたび会っている地域の対策をどこまで熟知しているだろうか。まずは知識共有からの対話が必要である。
- ・他産業とも意見交換し、原子力の特殊性から非柔軟な対応にならないように、工夫することが重要である。3.11 のトラウマの払拭のためには信頼回復しかない。信頼回復には、市民と双方向のコミュニケーションしかない。

#### 参考文献

- [3.6-1] 北村正晴：原子カリスクとヒューマンインタラクション，ヒューマンインタフェース学会誌，Vol.14，No.1，2011.
- [3.6-2] 日本学術会議：報告東京電力福島第一原子力発電所事故の教訓，総合工学委員会 原子力事故対応分科会，平成26年（2014年）6月13日.
- [3.6-3] 蛭沢勝三：地震・津波に対する原子力防災と原子カリスクコミュニケーションの取り組み～3.11 地震・津波における福島第1原子力発電所事故を踏まえて～，ENERGY for the FUTURE，2012 NO4，2012年9月30日.

#### 4. 各学協会への提言

新たに設定した18項目の課題に対する「3. 各課題の内容」の検討結果から、それぞれの提言内容を整理して表4-1に示す。

提言には、

「A」：規格基準類に反映

「B」：必要な研究を実施するとともに、定量評価の蓄積を進め、規格基準類に反映

「C」：必要な研究を実施し、その結果を踏まえて規格基準類への反映の可否を検討があるため、それらを分類して提示した。

表 4-1 各項目の提言内容一覧

凡例:「A」:規格基準類に反映  
「B」:必要な研究を実施するとともに、定量評価の蓄積を進め、規格基準類に反映  
「C」:必要な研究を実施し、その結果を踏まえて、規格基準類への反映の要否を検討

番号	項目	提言	反映先	表 2.4-1 リスト番号
1	津波に対する原子力安全の確保に係る基本的な考え方	<p>① 「津波に対する原子力安全の確保にかかる基本的な考え方について(仮称)」の策定  津波が有する不確かさ、意思決定に必要な多面的な視点、からリスクインフォームドの思考を基にすることが重要である。また、リスク評価と深層防護の考え方を対峙させて考えることは間違いない  あり確率論的考察や決定論的考察、経験、経済的コスト、社会意見などを広く踏まえて時間軸も配慮した意思決定と実施が要る。次の事項を提示することが必要である。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 津波のリスク情報を活用した意思決定の枠組み作り</li> <li>✓ 津波に対する原子力プラントのリスクプロファイルを把握するための手法の整備</li> <li>✓ DBE(設計基準事象)からBDBE(設計基準を超える事象)までを含めた津波に起因する事象に対する安全確保の要件の明確化</li> <li>✓ リスクコミュニケーションの実施と活用</li> </ul>	A 仕様規定の規格ではなく、考え方を示したもののイメージ	1
2	ドライサイトの扱い	<p>① IAEA のドライサイトコンセプトと整合したドライサイトの定義とそれを実現する考え方を策定  現在の規制要求では、防潮堤等により津波がサイト内に浸入しないことが求められており、津波防護が「発生防止系の設備の性能」に大きく依存していることとなっている。  一方で、津波が原子炉施設に与える影響は多様であること踏まえ、単純にサイトへの津波浸入を防ぐ防潮堤の高さを上げることだけが良策ではない。  IAEA の要求では、プラントレイアウトは、安全上重要な設備の物理的分離や多様性と同様に、サイトへの津波浸水に対する深層防護として実行可能な「ドライサイトコンセプト」に基づくべきであるとしている。なお、ドライサイトコンセプトには以下の要素が含まれる。  1) DBE からBDBE までを含めた原子力発電所の津波防護の基本的な要件  2) 1)の津波防護の有効性の評価手法、有効性の示し方  3) 2)を意思決定(設計へのフィードバック等)に活用する総合的な枠組み</p>	A 仕様規定の規格ではなく、考え方を示したもののイメージ	1

表 4-1 各項目の提言内容一覧

凡例:「A」:規格基準類に反映  
 「B」:必要な研究を実施するとともに、定量評価の蓄積を進め、規格基準類に反映  
 「C」:必要な研究を実施し、その結果を踏まえて、規格基準類への反映の要否を検討

番号	項目	提言	反映先	表 2.4-1 リスト番号
3	プラントのシステムの性能が達成される津波レベル	<p>① 耐津波設計を実施する際に考慮する津波レベル及び各津波レベルに応じた目標性能を設定                      津波防護に深層防護の概念を適用する観点から、津波レベルを分類し、各津波レベルに応じた目標性能を設定することが有効である。                      なお、津波の不確実性及び津波防護におけるクリフエッジ性を考慮し、津波レベルについては、津波高で分類するのではなく、津波によるプラントの状態レベルで分類することが望ましいと考える。例えば、以下のような分類が考えられる。</p> <p>1) 設計津波(基準津波)                      上記津波に対して、安全に関わる SSC が津波に対してその性能を維持できることを目標性能とする。(深層防護の第 1 層)</p> <p>2) 超える津波                      上記津波に対して、事故は発生しても炉心損傷には至らないように拡大防止することを目標性能とする。(深層防護 第 3 層)</p> <p>3) それも超える津波                      上記津波に対して、AM 策を活用して環境への放射性物質の大量放出に至らないように抑えることを目標性能とする。(深層防護 第 4 層)</p>	A 仕様規定の規格ではなく、考え方を示したもののイメージ	1
4	津波にかかるリスクインフォームド意思決定 (RIDM)	<p>① 現在、原子力学会で統合的なリスクインフォームド意思決定の標準を策定中であり、そこに以下の点を反映する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 不確実さ解析で計算をするだけでなく、その結果を踏まえた適切な取扱いの取り込み (NUREG-1855Rev.1 の取り入れ)</li> <li>✓ リスクコミュニケーションの実施(内部コミュニケーション、外部コミュニケーション)</li> <li>✓ 津波 PRA の品質向上への研究と意見交換の場を作り、活発な議論から評価方法の改良につなげる。</li> </ul>	A 現在改定中のRIDM標準(仮称)に外的事象に対するリスク評価、として反映する	1

表 4-1 各項目の提言内容一覧

凡例:「A」:規格基準類に反映  
 「B」:必要な研究を実施するとともに、定量評価の蓄積を進め、規格基準類に反映  
 「C」:必要な研究を実施し、その結果を踏まえて、規格基準類への反映の要否を検討

番号	項目	提言	反映先	表 2.4-1 リスト番号
5	事象の影響度と頻度に応じた設計要件の整備	<p>① 設計基準領域から設計超過の領域にわたる事象をシームレスに捉え、影響度と頻度に応じた要求性能を整備</p> <p>現状の規制基準及び民間規格(JEAC4629)では、耐津波設計については主に「要求仕様」が規定されており、本質的な「要求性能」は明確にされていない。</p> <p>また、基準地震動のように、プラント運転開始後に設計基準自体が増大するような事例が生じていることも考慮すると、予めこのような状況を設計超過領域における対処として見込んだ設計体系を構築しておくことも有用である。</p>	A	16
6	重要度に応じた設計の導入	<p>① リスク情報を活用した、重要度に応じた設計体系を確立</p> <p>設計超過領域における耐津波設計の実施にあたっては、設計・保守管理等の内容や資源の最適化を図る上で、各設備の安全への寄与度を PRA 等の手法により定量的に評価し、その結果に基づき重要度を設定した上で、個々の設備の津波に対する要求性能を明確にすることが有用である。</p>	A or B	16
7	モバイル設備の設計規格の策定	<p>① モバイル設備の想定される使用状況(共有使用を含む)に則した設計基準の策定</p> <p>事象発生後早期に炉心損傷に至るシナリオにおいては、モバイル機器のマルチサイト間での共有ニーズは低いですが、事象進展が緩やかなシナリオにおいてはモバイル機器のマルチサイト間での共有は、モバイル機器の保有の観点からも保守管理の観点からもメリットは大きい。また、マルチサイト間共有モバイル機器の設計の標準化、サイト間輸送手段の確立、その他の運用方法を定めていくことも事業者支援上の課題であると思われる。マルチサイト運用を行う場合、共有モバイル機器の適用性(例えば、アタッチメント)を確保することが最優先の課題である。</p>	A	2 18

表 4-1 各項目の提言内容一覧

凡例:「A」:規格基準類に反映  
 「B」:必要な研究を実施するとともに、定量評価の蓄積を進め、規格基準類に反映  
 「C」:必要な研究を実施し、その結果を踏まえて、規格基準類への反映の要否を検討

番号	項目	提言	反映先	表 2.4-1 リスト番号
8	サイトウォークダウンの在り方	<p>① サイトウォークダウンを実施する際の、竜巻、火山、外部火災などの外部事象による影響を取り入れた系統的な実施方法の標準化</p> <p>サイトウォークダウンは、俯瞰的な視点で行われれば図面では分からない点が抽出可能であることから有意義であり、対策設計の初期段階においてサイトウォークダウンを行うことは重要である。サイトウォークダウンを行う際には、溢水漂流物の観点のみならず、竜巻飛来物、火山灰の降下堆積、外部火災影響などの観点を含めた系統立てたやり方を標準化するニーズは高いと思われる。サイトウォークダウン標準は、将来的にはいろいろなハザードに対して同時に実施可能なものに統合していくことが望ましい。</p>	A	3
9	事故シナリオ同定手順の確立	<p>① 津波防波堤高さH(H以下, H程度, H以上)に基づく事故シナリオ同定手順の確立</p> <p>津波事故シナリオは、津波防波堤高さ(H)に基づき次の3段階毎に、津波遡上・建屋浸入解析を行い、冠水する構造物、機器、システムを確認し、重要事故シナリオを同定する。</p> <p>1) H以下:海水管ダクト等を介して、取水ピットから浸水</p> <p>2) Hを少し上回る:越流し、段波による防潮堤への影響大。敷地内施設への影響の可能性が小。敷地内施設への影響の可能性限定的。</p> <p>3) Hを大きく上回る:大幅に越流し、敷地内施設への影響の可能性大。</p> <p>② 津波の浸水経路における施設(海水給水系取水タイプ、建屋水密扉、排水施設、漂流物、周辺河川等)、マルチサイト・ユニット、炉心損傷・格納容器損傷所要時間に着目した事故シナリオ手順の確立</p> <p>建屋水密扉本体は水圧に対して強いが、建屋と水密扉との繋ぎ目のヒンジが地震動に弱いと想定されるので、地震動とセットでの検討が重要。マルチサイトでは、周辺自治体からの応援の検討も重要。複数のサイトの損傷は、環境影響も大きくなるので、緩和用共有設備を別の場所に設置する等、多様性の向上が必須。炉心損傷及び格納容器損傷までの時間的な余裕の確認は、各種対応策を検討する上で重要。</p>	A	1

表 4-1 各項目の提言内容一覧

凡例:「A」:規格基準類に反映  
 「B」:必要な研究を実施するとともに、定量評価の蓄積を進め、規格基準類に反映  
 「C」:必要な研究を実施し、その結果を踏まえて、規格基準類への反映の要否を検討

番号	項目	提言	反映先	表 2.4-1 リスト番号
10	津波ハザード評価法の高度化 (1)津波波源の評価	① 非地震性津波ハザードの確率論的評価法の確立(調査方法、不確かさの取扱い など) 自然外部事象(自然災害)に関する将来の外力の種類とその規模は、対象となるサイト(原子力発電所)における人類の経験知の範囲で起こるとか限らない。そこで、将来の外力については、対象となるサイトに関する災害記録のみならず、世界的な災害記録も参考に外部ハザードを設定することが必要となる。 日本におけるこれまでの津波の発生要因としては、地震が最も多いものの、地震以外の要因として山体崩壊の海面突入による津波災害が少なくとも 3 例はあげることができる。世界的には、他にも海底地すべり、火山に関係したカルデラ陥没等の津波による災害記録が存在する。よって、非地震性津波についてもそのリスクや影響を評価する必要がある。	B	1 4
	(2)マルチハザードの 一つとして	① 本震による地震動と津波、津波前後の余震による地震動といった、マルチハザードに対する評価法の確立 日本に被害を及ぼす津波の発生要因として最も多いのが地震である。地震の規模(マグニチュード)が大きいく程、大きな津波が発生する傾向がある。同時に地震動も大きくなる。地震動には本震以外にも、大きな余震や、巨大地震後にその誘発地震が起きる場合がある。このため、地震動の影響後に津波が到達する場合や、津波影響を受けた後に、大きな地震動(余震、誘発地震)が影響する可能性がある。よって、地震と津波の 2 つのハザードを考慮した津波 PRA が今後必要と考えられる。	B	1 4
	(3)最新知見の反映	① 津波ハザード評価時における不確かさのロジックツリーの重み付け手法の確立 ② 津波ハザードの不確かさ評価 SSHAC・Tsunami の確立・実践 津波 PRA においてその外力とな地震の規模や評価(波源評価)は、その結果に大きな影響を及ぼす。一方で波源評価には、その学説などの意見が別れることがしばしばある。津波 PRA では、この多様な意見の分布を認識論的不確定性として、定量的に評価する必要はある。この評価において、社会的な説明を見据えて評価を行う上で、その手法や専門家会議の体制や運営について、確立する必要がある。	A	1 4

表 4-1 各項目の提言内容一覧

凡例:「A」:規格基準類に反映  
 「B」:必要な研究を実施するとともに、定量評価の蓄積を進め、規格基準類に反映  
 「C」:必要な研究を実施し、その結果を踏まえて、規格基準類への反映の要否を検討

番号	項目	提言	反映先	表 2.4-1 リスト番号
10	(4)津波の数値解析手法	① 非線形長波モデル(浅水理論)と非線形分散波の使い分けに関する考え方の確立 津波ハザード評価において、波源評価の後の海域での津波の伝播評価においては、非線形長波モデルによる数値解析を行うことが現在標準的である。しかし、津波の評価項目が水位のみならず、波力や砂移動など、複数の項目に広がっており、従来の手法は、水位評価において十分な精度は有していると考えられてきたが、波力や砂移動となると流速についても高精度な手法が望まれる。そこで、波動方程式としてより精度の高い数値解析手法の導入により、最大水位や最小水位だけでなく、流速や水位の時間変動についても制度の良い結果が得られると考えられる。ただし、より高精度な数値解析手法を用いた場合には、経済的なコストや時間的なコストが増加するという悪い面もある。	B	1 4
11	フラジリティ評価法の高度化 (1)漂流物評価  (2)マルチサイト	① 漂流物影響に関する確率論的な評価技術の高度化 ② 敷地内・外の漂流物の選定方法の確立 津波 PRA においては、発電所内に浸水するシナリオが想定される可能性が高い。よって、津波の評価項目として、水位のみならず波力や漂流物のリスク評価も必要となる。 ① (オフサイトとの連携の観点から)津波浸水によるアクセス性の障害、外部電源供給が期待される電力施設の障害 ⇒津波災害発生後の沿岸での津波被害情報の入手方法の確立 巨大かつ広域の津波の影響は沿岸数 100 km 以上に及ぶ場合がある。津波災害直後に、発電所において、外部からの援助が必要な場合に、発電所へのアクセス性に関する情報を速やかに得ることで、外部からの援助のアクセス手段を速やかに確保し、迅速な援助につなげることが可能である。	B  C 規格類の枠組みにとらわれず反映先を探す	6  5
	(3)マルチユニット	① (モバイル設備の共用性や冗長性を検討するための)津波によるマルチユニットへの影響評価法の確立 福島第一原子力発電所事故では、1~4 号機について電源喪失が発生した。このような複数ユニットの災害対応は、1 つのユニットのみの対応と比較して、非常に難しいことが容易に想像される。よって、津波 PRA についてもマルチユニットに適用可能な手法の構築が望まれる。	B	5

表 4-1 各項目の提言内容一覧

凡例：「A」：規格基準類に反映  
 「B」：必要な研究を実施するとともに、定量評価の蓄積を進め、規格基準類に反映  
 「C」：必要な研究を実施し、その結果を踏まえて、規格基準類への反映の要否を検討

番号	項目	提言	反映先	表 2.4-1 リスト番号
11	(4)津波防御工学的手段	<p>① 漂流物による影響評価を踏まえた管理策                  漂流物候補の数、大きさ、固縛などの管理状況などを踏まえた漂流物発生と建屋や屋外設備などへ衝突した際の損傷評価から、漂流物影響評価が構成される。この際、サイト内の漂流物候補だけでなく、周辺の漁港から船舶も考慮する。設計領域と、設計を越える領域での定量評価の考え方の区別した上で、「漂流物の発電所への影響評価方法」を検討する。影響評価で用いる判断基準と相応した「漂流物候補の管理基準」を定め、サイト周辺との協力も含めた手段が有効である。</p> <p>② 開口部の閉鎖確認に関する運用方法方針の整備                  建屋等の開口部については、水密扉を用いていても、実際に浸水した時に閉止されていなければ効果を発揮しないので、その運用管理方法の方針を整備する必要がある。</p> <p>③ 止水部の経年劣化に対するメンテナンス                  これらの経年変化に対するメンテナンスに資する知見の系統的な蓄積が必要である。しかしながら、配管等貫通部は原子力発電所に数回以上あると考えると考えられることから、すべての貫通部からの浸水を止めることは難しいと考えるべきである。このような開口部の閉止、多くの配管等の貫通部における浸水、これらから浸水する浸水量とその確率を評価する必要がある。また、経年変化がそれらに及ぼす影響にも注意が必要である。</p> <p>④ 許容流入量の評価からの補強/管理策                  建屋浸入はサイト内の津波遡上解析で可能だが、建屋内の流動解析は浸入海水流量と建屋内の津波による流路変更(地震あるいは波力による変更は予想困難)の可能性との膨大な組み合わせを評価する必要がある。しかし、この評価結果から、可能性の大きい個所の水密化信頼度向上、扉閉管理などの対策検討に資することができる。                  なお、この評価には、次の点に留意すべきである。                  ・十分な解析事例の蓄積とコードの改良のための実験も必要。                  ・時間を要するため、研究開発体制と工程を検討する必要がある。</p>	B	7 11 12 15

表 4-1 各項目の提言内容一覧

凡例:「A」:規格基準類に反映  
「B」:必要な研究を実施するとともに、定量評価の蓄積を進め、規格基準類に反映  
「C」:必要な研究を実施し、その結果を踏まえて、規格基準類への反映の要否を検討

番号	項目	提言	反映先	表 2.4-1 リスト番号
12	事故シナリオ評価法の高度化	<p>津波 PRA では浸水経路の複雑さ、設備の機能喪失モードの多様さ(浸水、波力、衝突)から以下の点を研究課題として取り組む必要がある。</p> <p>① マルチサイト・マルチユニットの場合の共用設備の取扱い方針の確立  津波はサイト内の広範囲に影響を及ぼすことから1ユニット内の複数設備の考慮だけでなく、隣接のプラントの設備への影響も含めて PRA のシナリオを考える必要がある。その際、位置類似性、津波防護策の共通性を見る。隣接サイトのプラントとの共有設備はないが、複数サイトに及ぶ津波の影響による同時発生は考える必要がある。</p> <p>② 漂流物の発電所への影響評価方法の確立  サイト内だけでなく近隣の港湾の船舶なども考慮する必要がある。発生頻度についてはサイト外との管理にかかるとも踏まえて考える。</p> <p>③ 津波監視、サイト内津波モニタリング手法の確立  津波影響時に使える設備の把握は重要であるため、カメラ、水位計、ドローンなど多様な手段で津波の状況を把握する。</p> <p>④ 津波の建屋内浸水評価法の確立  建屋内の浸水による設備への影響解析は流路の多様性(地震による破損も含む)から膨大な計算量となるので、体制と工程を十分に検討する。</p>	A or B さらなる品質向上 (目的によっては部分的な詳細化が必要になる)には研究が必要	8 10

表 4-1 各項目の提言内容一覧

凡例:「A」:規格基準類に反映  
 「B」:必要な研究を実施するとともに、定量評価の蓄積を進め、規格基準類に反映  
 「C」:必要な研究を実施し、その結果を踏まえて、規格基準類への反映の要否を検討

番号	項目	提言	反映先	表 2.4-1 リスト番号
13	津波関連複合事象の取扱いの整理 (1)地震事象との重畳	<p>① 本震及び余震と津波要因(地震津波、地震起因斜面崩落津波、海底地滑り津波)との組み合わせケースの考え方                      地震事象と津波事象の重畳では、本震及び余震に係るケースと、津波要因に係るケースとの組み合わせを想定し、重要な組み合わせに対し優先的に対応策を確保する。</p> <p>② 施設へ津波来襲までの時間の把握方法(赤外線カメラ、ドローン等の活用)                      時間に係る観点での重要要因としては、津波来襲が日中か、夜間か、来襲までの時間の長短によって、対応内容が大きく異なる。夜間であれば、赤外線カメラによる監視体制、来襲時間が短ければ、目視確認が危険であるので、ドローンの活用等が考えられる。</p> <p>③ 地震動により影響を受けた施設把握方法の確立                      施設への影響としては、津波襲来前の本震地震動による被害後に、津波によって更なる被害の事前分析が重要。特に、本震地震動による被害が顕著になり得る施設(建屋壁に設置されている水密扉のヒンジが地震動での被害等)の分析が重要。</p>	A or B	8

表 4-1 各項目の提言内容一覧

凡例:「A」:規格基準類に反映  
 「B」:必要な研究を実施するとともに、定量評価の蓄積を進め、規格基準類に反映  
 「C」:必要な研究を実施し、その結果を踏まえて、規格基準類への反映の要否を検討

番号	項目	提言	反映先	表 2.4-1 リスト番号
13	(2)地震起因の内部 溢水・火災	<p>① 地震起因の内部溢水・火災は地震動の大きさに依存し、対象構造物・機器の地震動下での機能損傷確率に溢水及び発火の発生確率を考慮した条件付き評価の実践</p> <p>地震起因内部溢水は、大きな地震動によって、耐震 S クラス機器等の機能喪失の可能性は小さいものの、B 及び C クラスの配管・タンク等が機能喪失して、内部溢水する可能性が高い。地震起因火災は、地震動によって電気類等が損傷し、あるいは配管が損傷し絶縁油が漏洩し、かつ発火によって発生する。このように地震動によって損傷した上で、発火するという条件付確率となるので可能性が低い。</p> <p>② 地震起因による内部溢水、内部火災の評価法、対策法の確立</p> <p>地震起因の溢水及び火災は、複数個所での同時多発となる可能性が高く、更に津波が到達するという重畳事象も十分に考えられる。地震起因溢水事象の対策では、B,C 級配管、タンク類の補強対策と、リスク上重要な設備を区画として隔離対策との合わせ技としないと、補強対策だけでは全ても S クラスになり、費用対効果が悪すぎず。即ち、津波 PRA によって炉心損傷を支配する脆弱な SSC を同定した上で、木曾三川扇状地における“輪中”の考え方を取り入れ、上記 SSC が入るある空間を防水壁、防水扉、防水剤等で隔離する考え方が重要。</p> <p>③ 地震起因の内部溢水、内部火災の対策と津波対策との整合の確認</p> <p>地震起因の溢水対策及び火災対策と内的事象溢水対策をセットとしてトータルな水対策を考慮すると効果的である。それぞれ個別の対策が、他の対策に悪さすることも考えられるし、この逆もありえる。</p> <p>地震起因の溢水事象対策では、津波 PRA によって炉心損傷を支配する脆弱な SSC を同定した上で、木曾三川扇状地における“輪中”の考え方を取り入れ、上記 SSC が入るある空間を防水壁、防水扉、防水剤等で隔離する考え方が重要。津波事象と地震起因の溢水対策や内的事象溢水対策とをセットで捉えることが重要。内部事象溢水対策が地震起因の溢水対策に悪さすることも考えられるし、この逆もありえるので、トータルな水対策の確認が重要。</p>	A or B	13

表 4-1 各項目の提言内容一覧

凡例:「A」:規格基準類に反映  
 「B」:必要な研究を実施するとともに、定量評価の蓄積を進め、規格基準類に反映  
 「C」:必要な研究を実施し、その結果を踏まえて、規格基準類への反映の要否を検討

番号	項目	提言	反映先	表 2.4-1 リスト番号
14	津波レベル2PRAの確立	<p>① 地震との重畳を考慮した津波レベル2PRAの精度向上のためのモデル化のための検討項目</p> <p>1) レベル1PRAとレベル2PRAのインターフェースの検討                      計算プロセスとして分けて行うため、炉心損傷モードを括りすぎると放射性物質放出に重要な事故シナリオを見落とすおそれがある。</p> <p>2) 炉心損傷直結事象の取扱い                      放射性物質放出評価まで行う場合には、広範囲な設備や建屋損壊などを一括りにしてしまふと、見えてこない。</p> <p>3) 現実的な放射性物質放出評価(格納機能が地震により喪失している影響)                      建屋や扉などの津波波力による損壊が、放射性物質放出にどう影響するかを解析する研究は必要である。</p> <p>4) 地震による機器の脆弱化影響(脆弱化した状態でのSA時の加圧、加温の影響)                      放射性物質放出評価には、地震による壁や扉などの損壊だけでなく、加圧加温によりその状態が変化することも重要である。</p> <p>5) 余震の取扱い                      放射性物質放出評価には、長い時間を要するシナリオも含まれている。その間に余震により、放出経路の変化、放出緩和設備の機能喪失などを考慮して評価する必要がある。</p>	A or B 性能規定的な要求事項を規格(標準)に規定し、簡易な方法を提示することは可能だが、品質を上げるためには研究が必要。	1
15	津波レベル3PRAの確立	<p>① 以下の点を考慮した津波レベル3PRAの高度化</p> <p>✓ 津波によりサイト周辺地域に被害が及び避難が困難になることなどの反映                      避難経路が確保できない、車両などが届かない、なども評価に考慮する必要がある。</p> <p>✓ サイト外あるいは遠隔サイトからの技術的、物資・人的支援が予定通り行えないことなど反映                      道路が津波により使えないことは十分に考慮する必要がある。また支援を期待している遠隔地だけが津波の影響を受けていることもあることに留意する必要がある。</p>	A or B 性能規定的な要求事項を規格(標準)に規定し、粗いパラメータ設定をすることは可能だが、品質を上げるためには研究が必要	1

表 4-1 各項目の提言内容一覧

凡例：「A」：規格基準類に反映  
「B」：必要な研究を実施するとともに、定量評価の蓄積を進め、規格基準類に反映  
「C」：必要な研究を実施し、その結果を踏まえて、規格基準類への反映の要否を検討

番号	項目	提言	反映先	表 2.4-1 リスト番号
16	運用・保守に係るマネジメント方針の整備	<p>① 設計面において、津波を起因としてサイトに現出する事象の頻度と影響の程度に示した対処の基本的な考え方の規格化</p> <p>② 水密化技術の充実、排水技術法の確立</p> <p>③ モバイル設備の共有</p> <p>④ マネジメント面における津波監視設備、漏えい検知器、水密扉の開閉状態表示装置等の設置方針及びマニュアル整備(標準化)</p> <p>⑤ 保守管理面における</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ コンフィギュレーション管理方法の確立</li> <li>✓ 火災防護など他の共通原因を包括するマネジメントの確立</li> <li>✓ 想定を上回るハザードに対する意思決定プロセスの標準化</li> </ul> <p>設計面においては、外部事象としての地震に起因する発電所屋外溢水と、地震後の津波の漏水による発電所屋外溢水とが重畳することを念頭に置いた対策を立案することがポイントとなる。地震に起因する発電所屋外溢水は内部事象であり、耐津波設計と内部溢水防護は一体として扱う必要がある。また、地震起因の屋外溢水量と津波の漏水による屋外溢水量との合計が、降雨など、フラディングを引き起こす他の事象を包絡することを確認しておく必要がある。</p> <p>これらを踏まえて、津波を起因としてサイトに出現する事象の頻度と影響の度合いに応じた対処の基本的な考え方を標準化する必要がある。標準化にあたっては、津波に対しては設計余裕ではカバーできないほどの広範かつ複雑な事象展開が予想されるため、その点を考慮した内的事象とは異なる視点として BDBE 対処の考え方がポイントとなる。</p>	<p>B</p> <p>A</p> <p>B</p> <p>B</p> <p>B</p>	<p>2</p> <p>8</p> <p>9</p> <p>10/14</p> <p>18</p>

表 4-1 各項目の提言内容一覧

凡例：「A」：規格基準類に反映  
 「B」：必要な研究を実施するとともに、定量評価の蓄積を進め、規格基準類に反映  
 「C」：必要な研究を実施し、その結果を踏まえて、規格基準類への反映の要否を検討

番号	項目	提言	反映先	表 2.4-1 リスト番号
17	津波事象に係る防災・避難の考え方の整理	<p>① 対象事象：外部事象(地震・津波等)、内部事象、一般防災の間の連携方策の確立                  日本の原子力防災に係る規制基準は、2011 年福島第一原子力発電所事故以前、地震・津波等の事象による原子力災害が規定されていなかったが、事故以後規定された。対象事象としては、地震及び津波等外的事象を中核事象とするも、内的事象に加え一般防災も含め、各事象間に跨る弱点が顕在化しないようにすることが肝要。</p> <p>② 原子力防災体制：国、県、市町村に跨るきめ細かな市民目線の原子力防災体制の確立                  原子力防災体制は、国、県、市町村の各レベルに大別され、相互にシームレスな連携を前提としているが、必ずしも十分でない。実効的体制の確立に当たっては、市民と密着型で、市民目線の発想が大切。</p> <p>③ 地域防災計画：各市町村の都市計画と地域防災計画との連携体制の確立                  地域防災計画は、立地市町村を対象としているが、各市町村の体制(職員数、技術技量、支援の仕組み)が必ずしも十分でない。同計画策定に当たっては、各市町村の都市計画と連携させることが重要。</p> <p>④ 原子力防災、避難システム：実効的な原子力防災避難システムの確立(防災、避難訓練)                  既往原子力防災・避難システムの機能は必ずしも十分でなく、防災訓練は模索段階のように見受けられる。シナリオありきの防災訓練が多く見受けられ、市民目線の防災・避難訓練に一層シフトし、実効的にする必要がある。</p>	C 規格類の枠組みにとられず反映先を探す	17

表 4-1 各項目の提言内容一覧

凡例：「A」：規格基準類に反映  
「B」：必要な研究を実施するとともに、定量評価の蓄積を進め、規格基準類に反映  
「C」：必要な研究を実施し、その結果を踏まえて、規格基準類への反映の要否を検討

番号	項目	提言	反映先	表 2.4-1 リスト番号
18	リスクコミュニケーションの取扱い	<p>① 原子力リスクコミュニケーションの系譜(啓蒙・説得から市民との協働作業への脱却)の理解  原子力分野の多くの専門家は、当初、リスクコミュニケーションの目的を、相手方の意思へ影響を与えることや啓蒙・説得することとしていたが、1986年チェルノブイリ事故等に伴い、このような目的は意味を失った。それ以降、市民と専門家は、協働作業を進めながら問題解決を図るとの市民参加方式による社会的意思決定の方向へと進み、市民からの信頼形成の必須手段として歩んできた。</p> <p>② 原子力リスクコミュニケーションにおいて回避してはいけない事案(原子力エネルギーの便益・コストとリスク等)の認識  原子力エネルギーのリスクに係るコストと便益の議論を避けてきた。リスクにはコストと便益が含まれるものの、これに触れることを忌み嫌う風潮がありタブー視してきた。安全評価は重要であるが、リスクの観点を直視・重視する姿勢が欠けていた、怠っていた。</p> <p>③ 市民と双方向のコミュニケーションの真摯で地道な活動を通じた 3.11 福島事故のトラウムの払拭  原子力リスク情報には、敷地内における放射性物質放出情報も含むリスク情報や、敷地外の広域における避難関連のインフラ被害情報、地形・天候等の環境情報、防災、避難等に係る広範な情報も含まれること丁寧に説明し認識してもらうことが重要。3.11 福島第1原子力発電所事故のトラウマの払拭には、このような活動を通じ、市民からの信頼回復が肝要であり、市民と双方向のコミュニケーションが必須。</p> <p>④ 原子力地域防災・避難訓練と原子力リスクコミュニケーションとの連携  原子力地域防災・避難訓練においては、日頃の原子力リスクコミュニケーション活動との連携が必須。</p>	C 規格類の枠組みにとられず反映先を探す	17

## 5. ワークショップから得られた知見

### 5.1 設計基準領域から設計超過領域を含む津波防護設計要件の整備に対する専門家の認識度合の確認

ワークショップにおいては、前述 3.2.1「設計基準領域から設計超過領域を含む津波防護設計要件の整備」の内容がどれ程専門家に認知されているかどうかを確認するために、「事象の影響度と頻度に応じた設計要件の整備」を議論の大タイトルとし、これを更に次の 4 つの中タイトルに分け、ファシリテータがそれぞれ 4 項目に対し議論の切り口/課題を説明した後、専門家間で議論を行い専門家の認識を確認した。

- ・ 議論 1：原子力発電所の耐津波設計構築の流れ/手順
- ・ 議論 2：設計領域における要求性能の不明確の確認
- ・ 議論 3：設計基準領域から設計超過領域に亘る連続性
- ・ 議論 4：設計超過領域における要求性能に係る抛り所の策定（一部設備重要度の設定も含む）

これらの議論が一層具体的になるように更に小項目に分けて議論した。これら小項目の内容及び専門家間の議論の内容及び認識度合の詳細を別添 B に示す。

専門家の認識度合としては、必ずしも十分でない方がおられると共に、否定的に捉える方、逆に肯定的に捉える方様々で幅があった。これらの代表的な議論の概要を以下に示す。

#### (1) 議論 1：原子力発電所の耐津波設計構築の流れ/手順

- ・  $10^{-4}$  (回/炉・年) や  $10^{-6}$  (回/年・サイト) はあくまでの原子炉システム全体に対する数値であり、津波についてはそのまま適用できない。各リスクをリニアに足し込むとして各起因事象の性能目標を切り下げるのか？或いは不確かさが大きいので各リスクに対して同じ性能目標を与えるのか。
- ・ 起因事象が独立であればその結果は足し込みなので、CDF, CFF も基本は足し込むべき（独立事象として性能目標値を各起因事象に割り振るべき）ではないか。
- ・ 個別事象として津波, 地震, 残りの事象の各数値基準を足し合わせて総合的にみるか、一つの基準を全部がクリアするののかという点がポイント。
- ・ 津波単独の性能目標はありえない。地震起因の津波を考えているのであるから、性能目標も“地震+津波“について与えられるべき。
- ・ 他の自然現象との重畳をどこまで重ねるかは、頻度だけでは設計としてやり辛い。

#### (2) 議論 2：設計領域における要求性能の不明確の確認

規制当局が津波に対する性能要件を示さずに、仕様規定を直接規定していることについては、下記のような意見が多かった。

- ・ 規制は審査しなければならないので統一基準(仕様規定)が欲しいことは理解できる。
- ・ 規制側のリソースを考えると性能要求への適合性審査は難しい。
- ・ 規制が性能要件を示していないことにも、その方が対外説明が容易等、それなりの Merit はある。
- ・ 「入口で止めること」との規制要求もある意味では非常に分かり易い。

(ファシリテータ注記): 議論が既存規制基準ありきの立場でのものが目についたので、念のために本ワークショップの目的(規制基準も含めて、改善すべき事項を挙げて、具体的な建設的対応策を提言すること)を再度説明したと

ころ、既存規制基準ありきでの議論と認識して議論していたとの意見が複数人からあった。その後、フランクで建設的な議論となった。  
基準津波の頻度と設計超過の考え方については、次のような意見があった。

- ・実質上の基準津波の超過頻度は、 $10^{-4}$ （回/年）が目安の頻度になっているが、サイトによって1~2桁頻度が違っている。サイトの状況を考慮するのは当然でも統一的な基準は有って然るべき。
- ・実際的には現状の基準津波は Beyond を含んでいると思う。規制側からすると設計の範疇と見られる。
- ・設計超過とはより小さな頻度の起因事象まで考える、との意味なのか？

（ファシリテータ注記）：設計超過の考え方としては、深い議論には進まなかった。議論1~4の議論一巡後、FTがCDFとCFFとの関係が“且つ”であるべき理由を説明し納得いただく。地震・津波事象の場合、炉心損傷後ある時間を経て、地震・津波による注入系機器機能喪失のため、高温乃至過圧で格納容器損傷が必然的に発生する。また、地震・津波の場合、複数機器が同時に機能喪失するため、対策としては多重性が効果少なく、多様性や独立性が重要なことも説明し納得いただく。

### (3) 議論3：設計基準領域から設計超過領域に亘る連続性

CDFをベースとした設計基準事象と設計超過事象の連続性の確保については、次のような意見があった。

- ・共通の目標頻度は必要なので、津波ハザード評価に基づく超過頻度（の目安）を $10^{-4}$ （回/年）とすることには同意する。
- ・現行の規制体系では（決定論的評価の）設計基準と（リスク論的評価の）設計超過の連続性の確保は疑わしい。設計基準にも手を付ける必要がある。

（ファシリテータ注記）：津波事象単独ではなく、より統一的・包括的なアプローチが必要との趣旨の意見と理解。

### (4) 議論4：設計超過領域における要求性能に係る抛り所の策定（一部設備重要度の設定も含む）

設計に対する津波PRAの有効性については否定的意見と肯定的意見があり、比較的前者が多かった。

（否定的意見）

- ・RPAはリスク評価ツールであって深層防護をみるものではない。
- ・（津波PRAに限らず）設計段階でのPRAにより正しいCDFが出せるかどうかは疑わしい。

（ファシリテータ注記）：ファシリテータが同意見に対し、2006年耐震設計審査指針改定時公開審議において、基本設計段階でCDFを評価し得る合理的理由が明示されたことを紹介し、納得いただく。

- ・津波等の溢水については設計時のPRAは当てにならない。貫通部の処置一つにより結果が大きく変わる。
- ・フラジリティ評価には高さだけでなく浸漬時間等も重要なファクターになる。

（肯定的意見）

- ・津波PRAの結果は非常にシンプルであり、波圧等は殆ど関係なく津波高さのみで決

まる。

SSC フラジリティとハザードのトレードオフについて：前項と同様に肯定的意見と否定的意見があった。

(否定的意見)

- ・不確かさの大きな事象に対して PRA のみで設計するのは不可である。設計段階でのフラジリティとハザードのトレードオフは避けるべき。SSC 要求性能は否定しないが決定論的な考え方は尊重すべき。

(ファシリテータ注記)：ファシリテータが前述 22-3)の議論，どれ程の基準津波とすべきかの定量的頻度論なしの青天井論を肯定するか否かについて，再度議論すべきと尋ねるが反論無し

- ・「CDF に寄与しないから壊れてもよい」は単純すぎる。

(ファシリテータ注記)：ファシリテータが「」の真意 (CDF へ寄与する SSC について丁寧に対応し，対応の優先順位を明確にした上で，資源を有効活用する) を説明したところ，納得いただく。

(肯定的意見)

- ・CDF は“重点的にケアする機器”を明確にするとの建設的な意味である。
- ・深層防護の視点から片側のみで担保し，もう片側は要らない，は有りえない。リスクとコストのバランスは入る。ミニマムは抑えてあとは設計重度を持たせる。

## 5.2 ワークショップの議論を踏まえた課題認識及び提言

5.1 に示すように，BDDE (設計基準を超える事象) に対処する上ではリスク論が必要不可欠である，ということに対する認識不足があり，それを関係者にどのように浸透させるかという課題が見えてきた。これは，現状の外的事象に対する PRA は手法開発に力点が置かれ，構造設計 (配置設計)，保守管理などへの実践が伴っていないことが背景にあると思われる。

今後は，PRA の方法論はもとより，適切な原子力安全向上のために有効となるリスク論がどのように実行に結びつけられるかなどを示したガイダンス等の作成が望まれる。

## 6. あとがき

本報告書は、原子力関連学協会規格類協議会、同幹事会の下部組織として設置された「津波に関するワーキンググループ（2016年4月～2018年3月）」の活動を通して、今後、津波に対して学協会がどうすべきかについての提言をまとめたものである。

提言には、短期的に規格基準類に反映できるものもあるが、長期的に必要な研究を実施するとともに、定量評価の蓄積を進めて規格基準類に反映する、もしくは反映の要否を検討するものもあり、今後、これらの課題を規格基準あるいは研究成果・技術開発成果として成立させるステップに乗せていくことに取り組む必要があると考える。関係学協会、関連各組織においては、課題の内容と必要性をご理解のうえ、課題解決後の目的を明確にしたロードマップを検討いただき、津波に対する原子力施設の安全性向上に役立つ活動に結び付けることを望む。

また、ワークショップの議論では、多くの専門家（リスク評価、保守管理、設計、津波ハザード等）においてもリスクにかかる理解の違いが鮮明に表れた。これはリスク論の活用においては、PRAの計算結果を示すだけではリスク活用ではないこと、設計や保守管理の面からもリスク評価に対する意見や情報を示すべきこと、など、専門分野間の密接な協働が必須であることが改めて判明した。さらに津波のような不確かさの大きな自然ハザードへの対処を考える際の「不確かさへの向き合い方」と「対応活動を実施に移す覚悟」についても、大きな課題であることを強く認識した。

最後に、ワークショップに際し、法政大学 宮野先生、東京大学 糸井先生、日本原子力研究開発機構 高田氏に多大なるご指導をいただきました。ここに深く感謝の意を表します。

## 参考文献（再掲）

- [3.1-1] 日本原子力学会：原子力安全の基本的考え方について 第I編 別冊2 深層防護の実装の考え方，AESJ-SC-TR005 (ANX2):2015, 2015.
- [3.1-2] IAEA, “A Framework for an Integrated Risk Informed Decision Making Process,” INSAG25, 2011
- [3.1-3] NRC, “AN APPROACH FOR USING PROBABILISTIC RISK ASSESSMENT IN RISK-INFORMED DECISIONS ON PLANTSPECIFIC CHANGES TO THE LICENSING BASIS,” R. G. 1.174 Rev.2, 2011
- [3.1-4] 日本原子力学会：原子力発電所の安全確保活動の変更へのリスク情報活用に関する実施基準，AESJ-SC-RK002:2010, 2010
- [3.1-5] NRC, “Guidance on the Treatment of Uncertainties Associated with PRAs in Risk-Informed Decisionmaking, Final Report” NUREG-1855 Rev1, 2017
- [3.3-1] 土木学会 原子力土木委員会：原子力発電所の津波評価技術 2016, 2016年9月, <http://committees.jsce.or.jp/ceofnp/node/84>.
- [3.3-2] 日本原子力学会：福島第一原子力発電所事故 その全貌と明日に向けた提言，丸善出版，2014年3月.
- [3.3-3] 酒井俊朗：確率論的地震動ハザード評価の高度化に関する調査・分析 一米国SSHACガイドラインの適用に向けて一，電力中央研究所報告，015008，2015.
- [3.3-4] 嶋原 良典，Juan Horrillo：確率論的手法を用いた海底地すべり津波波源の推定 一メキシコ湾への適用一，土木学会論文集 B2(海岸工学)，70巻2号，2014.
- [3.3-5] 井上 剛，藤田 尚毅，松山 昌史，田中 良仁：津波と高潮の同時発生確率に関する一考察，土木学会論文集 B3 (海洋開発)，69巻，2013.

- [3.3-6] 日本地震工学会：原子力安全のための耐津波工学―地震・津波防御の総合技術体系を目指して―，2015.
- [3.3-7] 佐藤 嘉則，松山 昌史，太田 京助，内野 大介：津波到達時の取放水設備からの溢水量算定手法に関する検討，土木学会論文集 B2(海岸工学)，73 卷 2 号，2017.
- [3.3-8] 対馬弘晃，林 豊，前田憲二，横田崇，川上博隆，平田怜，吉村健二，遠藤清隆，木田洋祐：沖合津波観測データ同化システムの開発，土木工学論文集 B2(海岸工学)，69 卷 2 号，2013.
- [3.3-9] 辰巳 大介，富田 孝史：即時的津波浸水予測手法の開発と適用，土木工学論文集 B2(海岸工学)，69 卷 2 号，2013.
- [3.5-1] 原子力安全基盤機構：地震・津波等外的事象に対する原子力災害対応システム (TiPEEZ) の適用に関する手引き，JNES-RE-2013-2031，平成 26 年 1 月。
- [3.5-2] 原子力規制委員会：原子力災害対策指針，平成 24 年 10 月 31 日。
- [3.5-3] 日本学術会議：報告東京電力福島第一原子力発電所事故の教訓，総合工学委員会 原子力事故対応分科会，平成 26 年（2014 年）6 月 13 日。
- [3.5-4] 蛭沢勝三：地震や津波による原子力のリスクと防災・避難～柏崎刈羽地域での実践を通して得られたこと～，ENERGY for the FUTURE，2017 NO.1，2017 年 1 月 5 日。
- [3.6-1] 北村正晴：原子力リスクとヒューマンインタラクション，ヒューマンインタフェース学会誌，Vol.14，No.1，2011.
- [3.6-2] 日本学術会議：報告東京電力福島第一原子力発電所事故の教訓，総合工学委員会 原子力事故対応分科会，平成 26 年（2014 年）6 月 13 日。
- [3.6-3] 蛭沢勝三：地震・津波に対する原子力防災と原子力リスクコミュニケーションの取り組み～3.11 地震・津波における福島第 1 原子力発電所事故を踏まえて～，ENERGY for the FUTURE，2012 NO4，2012 年 9 月 30 日。



## 別 紙

- 別紙 1. 津波に関するワーキンググループ報告書（概要）
- 別紙 2. 津波に関するワーキンググループ検討経緯
- 別紙 3. 津波に関するワークショップ（導入プレゼン資料）
- 別紙 4. 津波に関するワークショップ（第Ⅰ部資料）
- 別紙 5. 津波に関するワークショップ（第Ⅱ部 Aグループ議論まとめ資料）
- 別紙 6. 津波に関するワークショップ（第Ⅱ部 Bグループ議論まとめ資料）
- 別紙 7. 津波に関するワークショップ（第Ⅱ部 Cグループ議論まとめ資料）
- 別紙 8. 津波に関するワークショップ（第Ⅲ部 質疑応答と講評のまとめ資料）



# 津波に関するWG報告書

## — 津波事象に関する課題の抽出と提言の整理 —

2018年3月

原子力関連学協会規格類協議会  
津波に関するWG

### 1. はじめに

- 原子力関連学協会規格類協議会では、津波に関する関連学協会の規格基準類の充実と安全研究の促進の検討に資するため、今後、学協会がどうすべきかについて提言を行うことを目的に、「津波に関するWG」を設置して検討し、報告書を作成し提言を取り纏めた。
- WGのメンバーは、津波・耐震を検討している関連学協会の主査、幹事クラスのスぺシャリストで構成することとし、事務局は日本電気協会事務局が務めた。

## 2. 報告書(案) 目次

1. まえがき
  - 1.1 WG設置の経緯及び目的
  - 1.2 活動の方針, 検討メンバー等
  - 1.3 WG活動の概要
  - 1.4 報告書の概要
2. 課題の抽出
  - 2.1 課題抽出の考え方
  - 2.2 国内・外基規準類等
    - 2.2.1 対象国内外の主な基規準類等
    - 2.2.2 各基規類の概要
  - 2.3 抽出される課題
  - 2.4 上記課題のニーズ・技術的難易度
  - 2.5 上記課題の同定
3. 各課題の内容
  - 3.1 目標性能と対処の基本的考え方
  - 3.2 耐津波設計
  - 3.3 津波リスク評価
    - 3.3.1 津波リスク評価の概要
    - 3.3.2 津波レベル1
      - 3.3.2.1 津波単独事象
      - 3.3.2.2 津波関連複合事象
    - 3.3.3 津波レベル2PRA
    - 3.3.4 津波レベル3PRA
  - 3.4 運用・保守に係るマネジメントに資する標準の整備
  - 3.5 津波事象に係る防災・避難
  - 3.6 リスクコミュニケーション
4. 各学協会への提言
5. ワークショップから得られた知見
  - 5.1 設計基準領域から設計超過領域を含む津波防護設計要件の整備に対する専門家の認識度合の確認
  - 5.2 ワークショップの議論を踏まえた提言
6. あとがき

2

## 3. 検討のフロー

### 既往の規格基準類の調査(2章)

- ◆ 耐津波に関する国内外の主な規格基準類, 報告書等の調査
- ◆ 「原子力安全のための耐津波工学」を参照し, 各学協会が保有する規格基準類とのギャップを確認
- ◆ 国外の規格基準類, 報告書等を調査し, 課題として抽出すべき事項の有無を検討

### 課題の抽出(2章)

- ◆ 今後取り組むべき課題として18項目を抽出
- ◆ 18項目の課題について「津波安全に対するニーズ」, 「技術的難易度」を検討
- ◆ 上記課題を, 関連性, 類似性の観点から再整理し, 新たに18項目に統廃合

### 提言内容の検討(3章)

- ◆ 新たな18項目の課題について, それぞれの項目に対する提言事項を検討

### 提言(4章, 5章)

- ◆ 各学協会等への提言
  - ・規格基準類に係る内容
  - ・安全研究に係る内容
- ◆ ワークショップの議論を踏まえた提言

3

## 4. 「18項目」の課題(統廃合後)

- |                             |                      |
|-----------------------------|----------------------|
| ①津波に対する原子力安全の確保にかかる基本的な考え方  | ⑧サイトウォークダウンの在り方      |
| ②ドライサイトの扱い                  | ⑨事故シナリオ同定手順の確立       |
| ③プラントシステムの性能が達成される津波レベル     | ⑩津波ハザード評価法の高度化       |
| ④津波にかかるリスクインフォームド意思決定(RIDM) | ⑪フラジリティ評価法の高度化       |
| ⑤事象の影響度と頻度に応じた設計要件の整備       | ⑫事故シーケンス評価法の高度化      |
| ⑥重要度に応じた設計の導入               | ⑬津波関連複合事象の取扱い        |
| ⑦モバイル設備の設計規格の策定             | ⑭津波レベル2PRAの確立        |
|                             | ⑮津波レベル3PRAの確立        |
|                             | ⑯保守・運用に係るマネジメント方針の整備 |
|                             | ⑰津波事象に係る防災・避難の考え方の整理 |
|                             | ⑱リスクコミュニケーションの取扱い    |

4

## 5. 各学協会への提言

- 新たに設定した18項目の課題に対する「3. 各課題の内容」の検討結果から、それぞれの提言内容を整理して以下の表に示す。  
(詳細は、報告書の表4.1を参照)
  - 提言には、
    - 「A」:規格基準類に反映
    - 「B」:必要な研究を実施するとともに、定量評価の蓄積を進め、規格基準類に反映
    - 「C」:必要な研究を実施し、その結果を踏まえて規格基準類への反映の要否を検討
- があるため、それらを分類して提示した。

5

## 5.1 各学協会への提言(1)

凡例:「A」:規格基準類に反映  
 「B」:必要な研究を実施するとともに、定量評価の蓄積を進め、規格基準類に反映  
 「C」:必要な研究を実施し、その結果を踏まえて、規格基準類への反映の要否を検討

番号	項目	提言	反映先
1	津波に対する原子力安全の確保に係る基本的な考え方	①「津波に対する原子力安全の確保にかかる基本的な考え方について(仮称)」の策定 ✓ 津波のリスク情報を活用した意思決定の枠組み作り ✓ 津波に対する原子力プラントのリスクプロファイルを把握するための手法の整備 ✓ DBE(設計基準事象)からBDBE(設計基準を超える事象)までを含めた津波に起因する事象に対する安全確保の要件の明確化 ✓ リスクコミュニケーションの実施と活用	A

6

## 5.1 各学協会への提言(2)

凡例:「A」:規格基準類に反映  
 「B」:必要な研究を実施するとともに、定量評価の蓄積を進め、規格基準類に反映  
 「C」:必要な研究を実施し、その結果を踏まえて、規格基準類への反映の要否を検討

番号	項目	提言	反映先
2	ドライサイトの扱い	①IAEAのドライサイトコンセプトと整合したドライサイトの定義とそれを実現する考え方の策定 1) DBEからBDBEまでを含めた原子力発電所の津波防護の基本的な要件 2) 1)の津波防護の有効性の評価手法, 有効性の示し方 3) 2)を意思決定(設計へのフィードバック等)に活用する総合的な枠組み	A
3	プラントのシステムの性能が達成される津波レベル	①耐津波設計を実施する際に考慮する津波レベル及び各津波レベルに応じた目標性能を設定 1) 設計津波(基準津波):SSCが津波に対して性能を維持 2) 超える津波:事故は起こしても損傷には至らないように拡大防止(深層防護 第3層) 3) それも超える津波:AM策を活用して環境への放射性物質の対象放出に至らないように抑える(深層防護 第4層)	A

7

## 5.1 各学協会への提言(3)

凡例:「A」:規格基準類に反映  
 「B」:必要な研究を実施するとともに、定量評価の蓄積を進め、規格基準類に反映  
 「C」:必要な研究を実施し、その結果を踏まえて、規格基準類への反映の要否を検討

番号	項目	提言	反映先
4	津波にかかるリスクインフォームド意思決定(RIDM)	①RIDMの規格基準へ、以下の点を考慮して反映 ✓ 不確実さの適切な取扱いの取り込み ✓ リスクコミュニケーションの実施 ✓ 津波PRAの品質向上への研究と意見交換の場	A
5	事象の影響度と頻度に応じた設計要件の整備	①設計基準領域から設計超過の領域にわたる事象をシームレスに捉え、影響度と頻度に応じた設計要件の整備	A
6	重要度に応じた設計の導入	①リスク情報を活用した、重要度に応じた設計体系の確立	A or B
7	モバイル設備の設計規格の策定	①モバイル設備の想定される使用状況(共有使用を含む)に則した設計基準の策定	A
8	サイトウォークダウンの在り方	①サイトウォークダウンを実施する際の、竜巻、火山、外部火災などの外部事象による影響を取り入れた系統的な実施方法の標準化	A

8

## 5.1 各学協会への提言(4)

凡例:「A」:規格基準類に反映  
 「B」:必要な研究を実施するとともに、定量評価の蓄積を進め、規格基準類に反映  
 「C」:必要な研究を実施し、その結果を踏まえて、規格基準類への反映の要否を検討

番号	項目	提言	反映先
9	事故シナリオ同定手順の確立	①津波防波堤高さH(H以下, H程度, H以上)に基づく事故シナリオ同定手順の確立 ②津波の浸水経路における施設(海水給水系取水タイプ, 建屋水密扉, 排水施設, 漂流物, 周辺河川等), マルチサイト・ユニット, 炉心損傷・格納容器損傷所要時間に着目した事故シナリオ手順の確立	A
10	津波ハザード評価法の高度化 (1)津波波源の評価	①非地震性津波ハザードの確率論的評価法の確立(調査方法, 不確かさの取扱い など)	B
	(2)マルチハザードの一つとして	①本震による地震動と津波, 津波前後の余震による地震動といった, マルチハザードに対する評価法の確立	B
	(3)最新知見の反映	①津波ハザード評価時における不確かさのロジックツリーの重み付け手法の確立 ②津波ハザードの不確かさ評価SSHAC-Tsunamiの確立・実践	A
	(4)津波の数値解析手法	①非線形長波モデル(浅水理論)と非線形分散波の使い分けに関する考え方の確立	B

9

## 5.1 各学協会への提言(5)

凡例:「A」:規格基準類に反映  
 「B」:必要な研究を実施するとともに、定量評価の蓄積を進め、規格基準類に反映  
 「C」:必要な研究を実施し、その結果を踏まえて、規格基準類への反映の要否を検討

番号	項目	提言	反映先
11	フラジリティ評価法の高度化 (1)漂流物評価	①漂流物影響に関する確率論的な評価技術の高度化 ②敷地内・外の漂流物の選定方法の確立	B
	(2)マルチサイト	①(オフサイトとの連携の観点から)津波浸水によるアクセス性の障害, 外部電源供給が期待される電力施設の障害 ⇒津波災害発生後の沿岸での津波被害情報の入手方法の確立	C
	(3)マルチユニット	①(モバイル設備の共用性や冗長性を検討するための)津波によるマルチユニットへの影響評価法の確立	B
	(4)津波防御用工学的手段	①漂流物による影響評価を踏まえた管理策 ②開口部の閉鎖確認に関する運用方法方針の整備 ③止水部の経年劣化に対するメンテナンス ④許容流入量の評価からの補強/管理策	B

10

## 5.1 各学協会への提言(6)

凡例:「A」:規格基準類に反映  
 「B」:必要な研究を実施するとともに、定量評価の蓄積を進め、規格基準類に反映  
 「C」:必要な研究を実施し、その結果を踏まえて、規格基準類への反映の要否を検討

番号	項目	提言	反映先
12	事故シーケンス評価法の高度化	①マルチサイト・マルチユニットの場合の共用設備の取扱い方針の確立 ②漂流物の発電所への影響評価方法の確立 ③津波監視, サイト内津波モニタリング手法の確立 ④津波の建屋内浸水評価法の確立	A or B
13	津波関連複合事象の取扱いの整理 (1)地震事象との重畳	①本震及び余震と津波要因(地震津波, 地震起因斜面崩落津波, 海底地滑り津波)との組み合わせケースの考え方 ②施設へ津波来襲までの時間の把握方法 ③地震動により影響を受けた施設把握方法の確立	A or B
	(2)地震起因の内部溢水・火災	①地震起因の内部溢水・火災は地震動の大きさに依存し, 対象構造物・機器の地震動下での機能損傷確率に溢水及び発火の発生確率を考慮した条件付き評価の実践 ②地震起因による内部溢水, 内部火災の評価法, 対策法の確立 ③地震起因の内部溢水, 内部火災の対策と津波対策との整合の確認	A or B

11

## 5.1 各学協会への提言(7)

凡例:「A」:規格基準類に反映

「B」:必要な研究を実施するとともに、定量評価の蓄積を進め、規格基準類に反映

「C」:必要な研究を実施し、その結果を踏まえて、規格基準類への反映の要否を検討

番号	項目	提言	反映先
14	津波レベル2PRAの確立	①地震との重畳を考慮した津波レベル2PRAの精度向上のためのモデル化のための検討項目 1) レベル1PRAとレベル2PRAのインターフェースの検討 2) 炉心損傷直結事象の取扱い 3) 現実的なソースターム評価 4) 地震による機器の脆弱化影響 5) 余震の取扱い	A or B
15	津波レベル3PRAの確立	①以下の点を考慮した津波レベル3PRAの高度化 ✓ 津波によりサイト周辺地域に被害が及び避難が困難になることなどの反映 ✓ サイト外あるいは遠隔サイトからの技術的、物資・人的支援が予定通り行えないことなどの反映	A or B

12

## 5.1 各学協会への提言(8)

凡例:「A」:規格基準類に反映

「B」:必要な研究を実施するとともに、定量評価の蓄積を進め、規格基準類に反映

「C」:必要な研究を実施し、その結果を踏まえて、規格基準類への反映の要否を検討

番号	項目	提言	反映先
16	運用・保守に係るマネジメント方針の整備	①設計面において、津波を起因としてサイトに現出する事象の頻度と影響の程度に応じた対処の基本的な考え方の規格化 ②水密化技術の充実、排水技術法の確立 ③モバイル設備の共有 ④マネジメント面における津波監視設備、漏えい検知器、水密扉の開閉状態表示装置等の設置方針及びマニュアル整備(標準化) ⑤保守管理面における ✓ コンフィギュレーション管理方法の確立 ✓ 火災防護など他の共通原因を包括するマネジメントの確立 ✓ 想定を上回るハザードに対する意思決定プロセスの標準化	B  A B B  B

13

## 5.1 各学協会への提言(9)

凡例:「A」:規格基準類に反映

「B」:必要な研究を実施するとともに、定量評価の蓄積を進め、規格基準類に反映

「C」:必要な研究を実施し、その結果を踏まえて、規格基準類への反映の要否を検討

番号	項目	提言	反映先
17	津波事象に係る防災・避難の考え方の整理	①対象事象:外部事象(地震・津波等), 内部事象, 一般防災の間の連携方策の確立 ②原子力防災体制:国, 県, 市町村に跨るきめ細かな市民目線の原子力防災体制の確立 ③地域防災計画:各市町村の都市計画と地域防災計画との連携体制の確立 ④原子力防災, 避難システム:実効的な原子力防災避難システムの確立	C
18	リスクコミュニケーションの取扱い	①原子力リスクコミュニケーションの系譜の理解 ②原子力リスクコミュニケーションにおいて回避してはいけない事案の認識 ③市民と双方向のコミュニケーションの真摯で地道な活動を通じた3.11福島事故のトラウムの払拭 ④原子力地域防災・避難訓練と原子力リスクコミュニケーションとの連携	C

14

## 5.2 ワークショップ(WS)の議論を踏まえた提言

- 開催日:2017年9月27日
- 目的:各分野の専門家の方々に幅広い意見を聞くため
- 参加者:学協会関係者(津波, 耐震, リスク, 保全), 原子力事業者, 津波機関関係者(27名)
- WSの議論から見えてきた課題:  
BDBE(設計基準を超える事象)に対処する上ではリスク論が必要不可欠である, ということの認識が浸透していない
- WSの議論を踏まえた提言:  
適切な原子力安全向上のために有効となるリスク論を実行に結びつけるためのガイダンス等の作成

15

## 6. おわりに

- 報告書は、今後、津波に関して学協会がどうすべきかについての提言をまとめたものである。
- 提言には、短期的に規格基準類に反映できるものもあるが、長期的に必要な研究を進めて規格基準類に反映する、もしくは反映の要否を検討するものもあり、今後、これらの課題を規格基準あるいは研究成果・技術開発成果として成立させるステップに乗せていくことに取り組む必要がある。
- 関係学協会、関連各組織においては、津波に対する原子力施設の安全性向上に役立つ活動に結び付けることを望む。

16

## 6. おわりに

- また、ワークショップの議論から、多くの専門家においてもリスクにかかる理解の違いが鮮明に表れ、専門分野間の密接な協働が必須であることが改めて判明した。
- さらに津波のような不確実さの大きな自然ハザードへの対処を考える際の「不確かさへの向き合い方」と「対応活動を実施に移す覚悟」についても、大きな課題であることを強く認識した。

17



## 津波に関するワーキンググループ 検討経緯 (1/2)

回数	年月日	検 討 概 要
1	2016年 4月11日	津波に関するワーキンググループ設置に関する方針，進め方を確認。 各学会から津波関連の規格基準類の概要を説明・質疑，事務局より規制委員会の安全研究の状況を説明・質疑。
2	2016年 5月26日	「原子力安全のための耐津波工学－地震・津波防御の総合技術体系を目指して－」（2015 日本地震工学会）を参照し，各学協会が保有する基規準類から抜け落ちがないかを確認。（2～7章） 原子力の自主的安全性向上の取組の改善に向けた提言（ロードマップ）のうち，耐津波工学に関連した部分の説明，共有。
3	2016年 7月6日	「原子力安全のための耐津波工学」を参照し，各学協会が保有する基規準類から抜け落ちがないかを確認。（7～10章）
4	2016年 8月4日	「原子力安全のための耐津波工学」を参照し，各学協会が保有する基規準類から抜け落ちがないかを確認。（9章，2～6章の見直し） 津波に関する今後の検討課題リストの検討。
5	2016年 9月15日	津波に関する今後の検討課題リストの検討・議論。津波安全に対するニーズ，技術的難易度の確認。
6	2016年 10月18日	津波に関する海外での検討状況（米国，IAEA）の共有，質疑。
7	2016年 11月30日	東北電力殿から津波 PRA の実施例についての説明，質疑。 津波に関する今後の検討課題リストの再確認。 報告書イメージの摺合せ。
8	2016年 12月26日	報告書の目次，項目の調整。纏め方についての議論。 今後のスケジュールの確認。今後の検討課題の相関図の検討。
9	2017年 1月27日	今後の検討課題リスト，相関図の修正。 報告書の目次，項目の執筆分担の決定。
10	2017年 3月8日	報告書の第1ドラフトの確認，議論，修正。 今後の検討課題リストの見直し。
11	2017年 4月10日	報告書の第2ドラフトの確認，議論，修正。
12	2017年 5月9日	報告書の第3ドラフトの確認，議論，修正。
13	2017年 5月17日	報告書の第3ドラフト，提言内容の確認，修正。
14	2017年 5月31日	原子力関連学協会規格類協議会幹事会（平成29年5月24日）におけるコメントとその対応
15	2017年 6月28日	標準委員会委員長説明時のコメントとその対応 ワークショップの構成イメージの検討
16	2017年 7月28日	標準委員会委員長説明時のコメントとその対応 ワークショップの構成イメージの検討

津波に関するワーキンググループ 検討経緯（2／2）

回数	年月日	検 討 概 要
17	2017年 8月9日	ワークショップの進め方, 論点整理
18	2017年 8月29日	ワークショップの進め方の確認, 配付資料の検討
19	2017年 9月25日	ワークショップの進め方の最終確認, レイアウト確認, 配付資料の最終チェック
20	2017年 10月17日	ワークショップの結果のまとめ, 報告書(案)への反映方針の検討
21	2017年 11月20日	ワークショップの結果の報告書(案)への反映の検討
22	2017年 12月19日	ワークショップの結果の報告書(案)への反映の検討
23	2018年1 月19日	ワークショップの結果の報告書(案)への反映の検討
24	2018年3 月6日	報告書(案)最終確認

# 津波に関するワークショップ

日時: 2017年9月27日 13:30～17:10

場所: 日本電気協会 4階B, C, D会議室

主催: 原子力関連学協会規格類協議会  
津波に関するワーキンググループ

1

## 1. ワークショップの目的

- 津波, リスク等に関連する各分野の専門家が一堂に会し, 津波に関するワーキンググループが纏めた報告書(案)を参考に, 津波に関する課題認識を共有するとともに, その課題やそれに対して今後何をすべきか等について議論する。



- 報告書(案)における, 課題の修正, 提言の見直し等に資する。

2

## 2. ワークショップ(WS)の進め方

○ワークショップは以下の3部構成とする。

I部：報告書(案)に基づく課題認識の共有を図ると共に、II部におけるグループ分け(3グループ)、各グループの論点(テーマ)を説明する。

II部：グループ毎に設定された論点(テーマ)について、ファシリテータ(主査、副主査)のもと議論する。各グループで決定した内容をPPTとして整理する。

III部：各グループのファシリテータ主査が、それぞれ整理したPPTを紹介した上で、参加者全員で確認、議論し、異論がある場合は整理し、解決の方向性(未解決を含め)を見出して、報告書(案)に反映する概要を確認する。

3

## 3. ワークショップ議事次第

- |                            |             |
|----------------------------|-------------|
| ・開会の挨拶                     | 13:30-13:35 |
| ・I部 報告書(案)に基づく課題認識の共有(20分) | 13:35-13:55 |
| ・II部 グループディスカッション(90分)     | 13:55-15:25 |
| ・休憩(20分)                   | 15:25-15:45 |
| ・III部 各グループ発表、纏め(80分)      | 15:45-17:05 |
| ・閉会の挨拶                     | 17:05-17:10 |

4

#### 4. 各グループのファシリテータ及び参加専門家

グループ	ファシリテータ	分野											
		原子力工学	自然災害モデリング	安全	PRA	耐震	耐津波設計	津波ハザード	内部溢水	水密化	保守	合計	
A	正:成宮 祥介	1		1	3	1	2					1	9
	副:波木井順一												
	副:井村 尚貴												
B	正:蛭沢 勝三			1	1	3	1	1	1			1	9
	副:宮口 治衛												
	副:高倉 一真												
C	正:山田 浩二		1	1		2	1			1		3	9
	副:松山 昌史												
	副:永田 徹也												
合計		1	1	3	4	6	4	1	1	1	5	27	



【2017.9.27 津波に関するワークショップ】

## 津波に関するWG 報告書(案)

### — 津波事象に関する課題の抽出と提言の整理 —

【2017.9.27 津波に関するワークショップ】

#### 1. はじめに

- 原子力関連学協会規格類協議会では、津波に関する連携を深め「取り組むべき課題を抽出し、関連学協会の規格基準類の充実と安全研究の促進の検討に資するため、今後、学協会がどうすべきかについて提言を行うことを目的に、「津波に関するWG」を設置して検討し、報告書(案)を作成し提言(案)を取り纏めた。
- 本日のワークショップでは、提言(案)を含む報告書(案)について各専門家の方々から幅広いご意見をいただきたい。
- 各小人数グループにおける議論を取纏め、参加者全員で共有するとともに、報告書(案)における、課題の修正、提言の見直し等に活用する。

## 2. WG構成メンバー

ワーキンググループのメンバーは、津波・耐震を検討している主査、幹事クラスのスペシャリストで構成することとし、以下のメンバーが参加した。事務局は日本電気協会事務局が務めた。

日本原子力学会；	標準委員会 リスク専門部会 外部事象PRA分科会 成宮幹事, 事務局 中越
日本機械学会；	発電用設備規格委員会 波木井副委員長, 宮口幹事 原子力専門委員会 永田委員長, 事務局 高柳
日本電気協会；	原子力規格委員会 耐震設計分科会 津波検討会 楊井幹事, 井村委員 原子力規格委員会構造分科会 水密化技術検討会 山田主査, 事務局 井上, 大村
土木学会；	原子力土木委員会 津波評価小委員会 松山幹事 (兼 日本電気協会原子力規格委員会 耐震設計分科会 土木構築物検討会委員)
日本建築学会；	原子力建築運営委員会 梅木幹事
地震工学会；	耐津波工学委員会 蛭沢幹事
オブザーバ；	東京電力HD 戸井田, 高倉

2

## 3. 報告書(案) 目次

1. まえがき	3.3 津波リスク評価
1.1 WG設置の経緯及び目的	3.3.1 津波リスク評価の概要
1.2 活動の方針, 検討メンバー等	3.3.2 津波レベル1PRA
1.3 WG活動の概要	3.3.2.1 津波単独事象
1.4 報告書の概要	(1) 事故シナリオ同定
2. 課題の抽出	(2) 津波ハザード評価
2.1 課題抽出の考え方	(3) フラジリティ評価
2.2 国内・外基規準類等	(4) 事故シーケンス評価
2.2.1 対象国内外の主な基規準類等	3.3.2.2 津波関連複合事象
2.2.2 各基規準の概要	(1) 地震事象との重量
2.3 抽出される課題	(2) 地震起因の内部溢水・火災
2.4 上記課題のニーズ・技術的難易度(12/26参考2)	(3) 内部事象の溢水・火災との重量
2.5 上記課題の同定(12/26資料2-3)	3.3.3 津波レベル2PRA
3. 各課題の内容	3.3.4 津波レベル3PRA
3.1 目標性能と対処の基本的考え方	3.4 運用・保守に係るマネジメントに資する標準の整備
3.2 耐津波設計	3.5 津波事象に係る防災・避難
	3.6 リスクコミュニケーション
	4. 各学協会への提言
	5. あとがき

3

## 4. 検討のフロー

### 既往の規格基準類の調査

- ◆耐津波に関する国内外の主な規格基準類、報告書等の調査
- ◆「原子力安全のための耐津波工学」を参照し、各学協会が保有する規格基準類とのギャップを確認

### 課題の抽出

- ◆今後取り組むべき課題として18項目を抽出
- ◆18項目の課題について「津波安全に対するニーズ」、「技術的難易度」を検討
- ◆上記課題を、関連性、類似性の観点から再整理し、新たに18項目に統廃合

### 提言内容の検討

- ◆新たな18項目の課題について、それぞれの項目に対する提言事項を検討

### 提言

- ◆各学協会等への提言
  - ・規格基準類に係る内容
  - ・安全研究に係る内容

4

## 5. 「18項目」の課題(統廃合後)

- ①津波に対する原子力安全の確保にかかる基本的な考え方
- ②ドライサイトの扱い
- ③プラントシステムの性能が達成される津波レベル
- ④津波にかかるリスクインフォームド意思決定(RIDM)
- ⑤事象の影響度と頻度に応じた設計要件の整備
- ⑥重要度に応じた設計の導入
- ⑦モバイル設備の設計規格の策定
- ⑧サイトウォークダウンの在り方
- ⑨事故シナリオ同定手順の確立
- ⑩津波ハザード評価法の高度化
- ⑪フラジリティ評価法の高度化
- ⑫事故シーケンス評価法の高度化
- ⑬津波関連複合事象の取扱い
- ⑭津波レベル2PRAの確立
- ⑮津波レベル3PRAの確立
- ⑯保守・運用に係るマネジメント方針の整備
- ⑰津波事象に係る防災・避難の考え方の整理
- ⑱リスクコミュニケーションの取扱い

5

## 6. 本日の議論

- 抽出した18項目のうち、本日は主に①～⑦のテーマについて議論を実施する。
- 各項目の概要を以下に示す。

6

### 7.1 津波に対する原子力安全の確保にかかる基本的な考え方(1)

- 原子力安全とは、「人と環境を放射線の有害な影響から護る」こと
- この目的を受けた目標性能は、津波事象の頻度と影響の大きさに応じて、合理的に設定すべき
- リスク論の考え方から、原子力施設の様々なリスク要因因子のバランスを考慮することも重要
- 深層防護の考え方を踏まえて、多重性、多様性のある対処を行うことも「合理的」な対処
- このような考え方は、IAEAやNRCなどの海外文書において基本的な記載はあるが、津波そのものが欧米において大きなハザード危険源ではないため、我が国からにおいて発信する意義は大きい

7

## 7.1 津波に対する原子力安全の確保にかかる基本的な考え方(2)

- 規格「津波に対する原子力安全の確保にかかる基本的な考え方について(仮称)」を策定することを提案する
- そこには、津波に対する原子力安全の基本的な考え方の要素として次の事項が含まれることが必要
  - ① 耐津波のリスク情報を活用した意思決定の枠組み作り
  - ② 津波に対する原子力プラントのリスクプロファイルを把握するための手法の整備
  - ③ DBE(設計基準事象)からBDBE(設計基準を超える事象)までを含めた津波に起因するよる事象に対する安全確保の要件の明確化

8

## 7.2 ドライサイトの扱い

- 現在の規制要求では、基準津波がサイト内に入らないことが求められており、プラント状態にかかる要求ではない
- この要求では、防潮堤や水密扉という「発生防止系の設備の性能」に大きく依存していることになり、深層防護の概念を適用する観点からは、十分なものではない
- 将来、今の基準津波を超える津波がどこかで発生した場合に、基準を更新するかどうかの判断が抜けている
- IAEAのドライサイトコンセプトと整合したドライサイトの定義とそれを実現する考え方を作成し、規格に盛り込むことを提案する

※ IAEA:安全に係わる重要な設備を設計浸水レベルより上になるように設置  
NRA:安全に係わる重要な設備を基準津波に対し、これより高い敷地に立地

9

## 7.3 プラントシステムの性能が達成される津波レベル

- 本WGでは、津波高で分類するのではなくプラントのシステムの性能が達成される「津波によるプラントの状態レベル」を分割する、という考え方を踏まえることを提案する
  - (1) 基準津波
  - (2) 設計津波
  - (3) 超える津波：システムへの脅威への有無。事故は起こしても損傷に至らないように拡大防止(深層防護 第3層)
  - (4) それも超える津波：AM策を活用して環境への放射性物質の大量放出に至らないように抑える(深層防護 第4層)

10

## 7.4 津波にかかるリスクインフォームド意思決定 (RIDM)

- 津波にかかる活動(設計, リスク評価, 運用管理)は、リスクマネジメントの枠組みに則りリスク情報を活用した統合的な意思決定(IRIDM)が進められることが有効
- 規格基準の制改定には以下の点を考慮する
  - ① 不確実さの大きい津波事象に対する意思決定;  
「RIDMにおけるPRA不確実さの取扱プロセス」(NUREG-1855 Rev1)を踏まえた規格化
  - ② リスクコミュニケーション;  
事業者, メーカー, 研究機関, 規制当局, さらに地元自治体の各組織間のコミュニケーションが特に重要
  - ③ 津波PRAの品質向上への研究と意見交換の場;  
原子力学会の津波PRA実施基準(2017)や「安全性向上評価」の評価における検討内容を事例として, 原子力学会の津波PRA事例集に掲載し, 手法の高度化への糧とする

11

## 7.5 事象の影響度と頻度に応じた設計要件の整備(1)

- 既存の設計体系やプラントシステムに捕らわれず、ゼロから原子力発電所の耐津波設計を構築することを考えると、その流れは下記のようにになると考えられる。
  - ①: 津波防護に係る性能目標の設定(CDF, CFF等)
  - ②: “設計基準”及び“設計超過”の津波事象の定義
  - ③: 各津波事象に対する要求性能の設定
  - ④: 要求性能を達成する具体的な手段(How To)の決定  
(ドライサイト, 建屋水密化, 代替機能の確保 等)
- 現時点の耐津波設計に係る規制基準, 規格基準類といくつかのギャップがみられる。
  - ✓ 現状の規制基準, 民間規格では, ③に相当する本質的な「要求性能」については明確にしていない
  - ✓ 防潮堤等の損傷を前提とした敷地や建屋の浸水などについて「設計基準の津波事象」として設定した上でプラント設計を行うべきか, 「設計超過の津波事象」としてリスク評価も含めた中で取り扱うべきかなど, 議論を要する

12

## 7.5 事象の影響度と頻度に応じた設計要件の整備(2)

- 予め設計超過領域における対処を見込んだ, 設計基準領域から設計超過領域にわたって連続性をもった設計体系が確立できれば, 必要な安全性や説明性を確保した上で, 合理的に運転の継続が可能になると考えられ, 今後, その確立が望まれる
- 「②設計超過の津波事象の定義」や「③要求性能の設定」については, 設計超過の津波としてどのような事象を想定するべきかといった点, 設計超過の領域でどのような要求性能を課すべきかといった点について, 各事業者における検討の拠り所となるような, 指針の策定が望まれる

13

## 7.6 重要度に応じた設計の導入

- 現行の耐津波設計では、「重要度に応じた設計」を設計体系として確立するには至っていない
- 耐津波設計への「重要度に応じた設計」のアプローチは、設計、さらには保守管理等の内容や資源の最適化を図る上でも有効に機能すると考えられる
- このため、今後、設計超過領域の対策の拡充が図られるであろうことを踏まえ、耐津波設計への「重要度に応じた設計」の導入の検討を行うことは価値の大きい取り組みと考えられる
- なお、個々の設備の重要度の設定にあたっては、設計超過の領域で特に、各設備の安全への寄与度をPRA等の手法により定量的に評価し、その結果(リスク情報)に基づき設定する方法がより実効的と考えられる

14

## 7.7 モバイル設備の設計規格の策定

- 設計基準を超える状況に対処するにあたりモバイル設備は重要な役割を果たすもの
- モバイル設備はその特徴より「臨機応変で柔軟な対応が求められる状況において、必要な安全機能を提供する対応策」とすることが望ましい
- 事業者間で共有化することにより業界全体としてのリソースの最適化を図ることが可能であり、実際に検討が進められているところであるが、この実現にあたっては、接続部などの仕様を共通化することが必要

15

## 8.1 WSにおける論点と各グループの分担

### 【論点Ⅰ】 …… Aグループ

- ・安全確保の基本的な考え方(7.1)
- ・プラントシステムの性能が達成させる津波レベル(7.2, 7.3)
- ・リスクインフォームド意思決定(7.4)

### 【論点Ⅱ】 …… Bグループ

- ・影響度と頻度に応じた設計要件(7.5)

### 【論点Ⅲ】 …… Cグループ, Bグループ(一部)

- ・重要度に応じた設計(7.6, 7.7)



## 津波に関するワークショップ 第Ⅱ部

### 【論点Ⅰ】

- ・安全確保の基本的な考え方 (7.1)
- ・プラントシステムの性能が達成させる津波レベル (7.2, 7.3)
- ・リスクインフォームド意思決定 (7.4)

### Aグループ

G主査：成宮 祥介

G副主査：波木井 順一／井村 尚貴

## 外的ハザードの特性

外的ハザードは、サイト外にその発生源をもつもので、大きく次の3つに分類する。

- 1) 自然ハザード：地震、津波、台風、火山など
- 2) 偶発的人為ハザード：近隣工場の爆発、鉄道事故など
- 3) 故意的人為ハザード：テロなど

外的ハザードの伝播過程を次の3つに分割して考える。

ステップ1「発生」：発生源においてハザードが生じる。その時、ハザードは潜在力を有している。

ステップ2「潜在力の伝播」：発生源の遠近に係わらず、空間を潜在力が伝播するが、その間に存在する物体に影響を与え、力は減衰。あるいは、新たな潜在力を得る場合もある。

ステップ3「影響」

#### ステップ1「外的ハザードの発生」

● 発生源

外的ハザードの潜在力  
(例)運動エネルギー、熱エネルギーなど

#### ステップ2「外的ハザードの到達」

外的ハザードの潜在力の伝播

外的ハザードの潜在力の伝播  
・伝播過程でまわりの物体に影響を与える。  
・その結果、潜在力は減衰する。



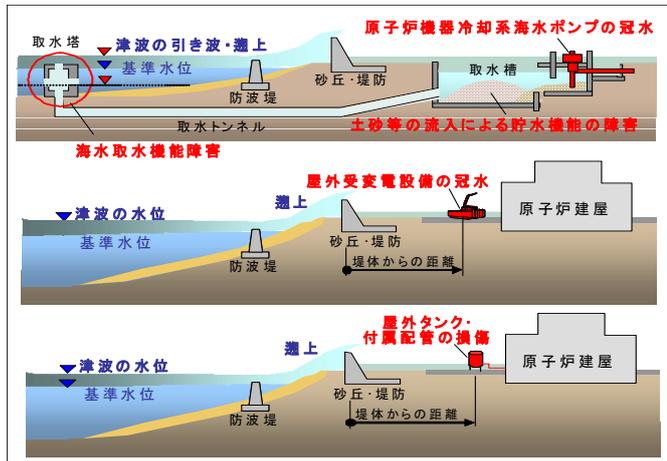
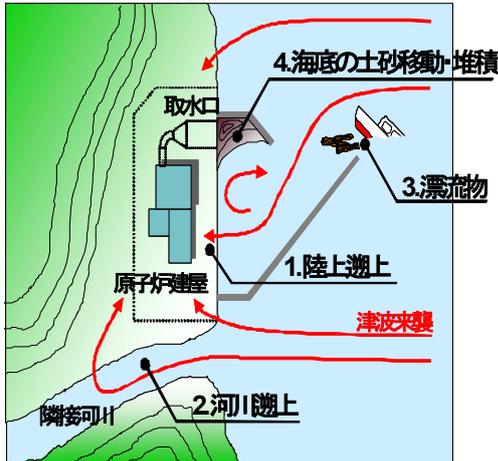
#### ステップ3「外的ハザードの発電所への影響」

出典：日本原子力学会標準「外部ハザードに対するリスク評価方法の選定に関する実施基準：2014(AESJ-SC-RK008:2014)」

# 外的ハザードの特性

津波による発電所への「脅威」は、①波力、②洗掘、③漂流物衝突、④海底砂移動、⑤没水、⑥被水 が考えられる。これらが「プラントへの影響」である。

次にこれらの影響は原子力発電所機能を脅かす。たとえば浸水により機能喪失になる設備も出てくる。しかし、注目すべきは、原子炉安全、つまりシビアアクシデントの発生につながる「事故シナリオ」である。



出典：日本原子力学会標準「原子力発電所に対する津波を起因とした確率論的リスク評価に関する実施基準：2011(AESJ-SC-RK004:2011)」

# ドライサイトの考え方 (IAEA、USNRC)

1. IAEA における浸水対策の考え方は、「安全に係わる重要な設備を設計浸水レベルより上になるように設置すべきである。これは、十分な高さにプラントを配置すること、または、敷地のレベルを高くするように建設することにより達成できる。」また、他の方法として、堤防、防潮堤、隔壁のような常設の外部障壁によりサイトを浸水から守ることも許容している。
2. 米国NRCは、プラントは設計基準浸水高さより高い位置に設置する。これにより、安全に係わる構築物、系統および設備は浸水の影響を受けないようにする、としている。また、これ以外の手段として、プラント敷地の外側に設置する工学的施設による浸水等から保護、構築物等の止水措置による防護、のいずれかにより対策を行うこととしている。

出典：日本地震工学会 原子力安全のための耐津波工学の体系化に関する調査委員会報告書「原子力安全のための耐津波工学」2015年

# ドライサイトの考え方(日本)

3. 我が国の原子力規制庁におけるドライサイトの考え方は、基準津波に対し、これより高い敷地に立地すること、または防潮堤等により敷地内への浸水を防止もしくは抑制することを基本としている。さらに、基準津波を上回る津波が施設に及ぶリスクを認識し、敷地が浸水しても炉心及び使用済燃料プールの燃料の重大な損傷を防止できる対策を求めている。具体的には、防潮壁、水密扉等による原子炉建屋等への浸水防止、浸水時の屋外活動の一部制限、漂流物が施設に与える影響の考慮、浸水後の排水機能、などである。

出典：日本地震工学会 原子力安全のための耐津波工学の体系化に関する調査委員会報告書「原子力安全のための耐津波工学」2015年

## 深層防護

戦略	事故の防止			事故の影響緩和（軽減）	
	通常運転 (停止状態を含む)	運転時の異常な過渡変化(AOO)事象	複雑な運転事象と設計基準事故	設計基準を超えるシビア・アクシデント（過酷事故）	シビア・アクシデント後の状況
プラントの運転状態	通常運転 (停止状態を含む)	運転時の異常な過渡変化(AOO)事象	複雑な運転事象と設計基準事故	設計基準を超えるシビア・アクシデント（過酷事故）	シビア・アクシデント後の状況
深層防護の防護レベル	レベル1	レベル2	レベル3	レベル4	レベル5
防護目的	異常運転や故障の防止	異常運転の制御及び故障の検知	設計基準内への事故の制御	事故の進展防止及びシビア・アクシデントの影響緩和を含む、過酷なプラント状態の制御	放射性物質の大規模放出による放射線影響の緩和
基本的な機能	建設・運転での保守的な設計と品質	制御、抑制及び防護系並びにその他のサーベランス機能	工学的安全施設及び事故時手順	格納容器の防護を含む補完的手段及びアクシデントマネジメント	サイト外の緊急時対応
コントロール（管理）	通常の運転活動		設計基準事故の制御	事故マネジメント（アクシデントマネジメント）	
手順	通常の運転手順		緊急時運転手順	緊急時運転手順の究極段階	
対応	通常の運転システム		技術的安全機能	特別な設計機能	サイト外での緊急時に対する備え
バリアの状態	特定の許容燃料設計限界		燃料の破損 燃料の重大な損傷	燃料の溶融 制御不能な燃料の溶融	閉じ込めの失敗
カラー・コード	通常		想定事故	緊急時	

出典：IAEA, INSAG-12 FIG.3 Overview of defence in depth

# 耐津波性能(津波防御SSC)

分類	設置場所	SSC名称	耐津波施設・設備の性能
津波浸入防護施設	屋外	・防潮堤(沿岸域)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・越波を起こさないこと。</li> <li>・地震動あるいは波力で、倒壊しないこと。</li> <li>・防潮堤の内側に浸水させないこと、又は浸入量を低減できること。</li> </ul>
		・防波堤(海域)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・来襲した津波の高さ、エネルギーを低減できること。</li> <li>・津波により全体あるいは一部が破壊され、漂流物とならないこと。</li> </ul>
		・敷地高さ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・敷地での津波の浸水深、エネルギーを低減できること。</li> </ul>
浸水防止設備	屋外	<ul style="list-style-type: none"> <li>・建屋設置面高さ</li> <li>・建屋開口部高さ(ダクト等)</li> <li>・建屋・水密扉</li> <li>・機器周囲の防潮囲い(防水壁)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・津波の最大高さにおける静水圧に耐えられること。</li> <li>・来襲した津波の波力・流体力により倒壊しないこと。</li> <li>・建屋内に水を浸入させない、又は浸入量を低減できること。</li> <li>・漂流物からの衝撃により、上記の性能を損失することがないこと。</li> </ul>
	屋内	<ul style="list-style-type: none"> <li>・機器室・水密扉</li> <li>・機器周囲の防潮囲い(防水壁)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・津波の最大高さにおける静水圧に耐えられること。</li> <li>・機器室内に水を浸入させない、又は浸入量を低減できること。</li> </ul>
津波監視設備	屋外	<ul style="list-style-type: none"> <li>・取水ピット水位計</li> <li>・津波監視カメラ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・津波監視設備は、被水・没水あるいは交流電源を喪失したとしても、津波監視機能を継続できること。</li> <li>・津波の波力により倒壊あるいは監視機能の喪失に至らないこと。</li> </ul>

出典：日本地震工学会 原子力安全のための耐津波工学の体系化に関する調査委員会報告書「原子力安全のための耐津波工学」2015年

6

# 耐津波性能(安全機能SSC)

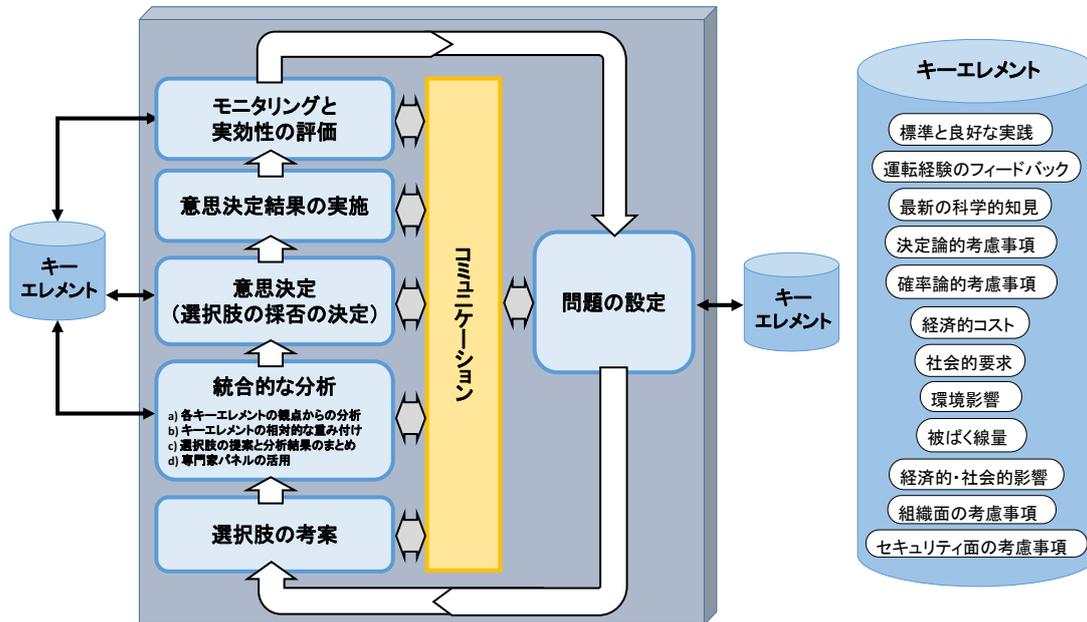
分類	設置場所	SSC名称	耐津波性能
海水系	屋外	<ul style="list-style-type: none"> <li>・海水ポンプ</li> <li>・現場操作箱</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・引き波により、キャビテーションを起こさないこと。</li> <li>・浮遊砂により、ローターの回転が妨げられないこと。</li> <li>・モーター部に被水しないこと。</li> <li>・波力により倒壊しないこと、あるいは海水送水機能が喪失しないこと</li> </ul>
循環水系	屋外	<ul style="list-style-type: none"> <li>・循環水ポンプ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・引き波により、キャビテーションを起こさないこと。</li> <li>・浮遊砂により、ローターの回転が妨げられないこと。</li> <li>・モーター部に被水しないこと。</li> <li>・波力により倒壊しないこと、あるいは海水送水機能が喪失しないこと</li> </ul>
原子炉補機冷却水系	A/B I/B	<ul style="list-style-type: none"> <li>・原子炉補機冷却水ポンプ</li> <li>・補機冷却水系統配管・弁</li> <li>・電源操作箱</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・建屋内に津波が浸入した場合、浮遊砂によりローターの回転が妨げられないこと。</li> <li>・建屋内に津波が浸入した場合、モーター部に被水しないこと。</li> </ul>
非常用電源	屋内	<ul style="list-style-type: none"> <li>・非常用DG</li> <li>・メタクラ</li> <li>・パワーセンタ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・盤内の母線や用品の端子部は充電部が露出しているために、被水することにより絶縁低下等が起きないこと。</li> <li>・建屋内に津波が浸入した場合、没水しないこと。</li> </ul>
外部電源	屋外	<ul style="list-style-type: none"> <li>・主変圧器</li> <li>・所内変圧器</li> <li>・予備変圧器</li> <li>・特高開閉所</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・津波による波力により損傷しないこと。</li> <li>・津波が敷地内に浸入した場合没水しないこと。</li> </ul>
直接炉心損傷	A/B	<ul style="list-style-type: none"> <li>・中央制御室主盤(原子炉盤)</li> <li>・原子炉補助盤</li> <li>・中央制御室外原子炉停止盤</li> <li>・原子炉安全保護計装盤</li> <li>・原子炉安全保護盤ロジック盤</li> <li>・安全保護シーケンス盤</li> <li>・リノイト分電盤</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・盤内の母線や用品の端子部は充電部が露出しているために、被水することにより絶縁低下等が起きないこと。</li> </ul>

出典：日本地震工学会 原子力安全のための耐津波工学の体系化に関する調査委員会報告書「原子力安全のための耐津波工学」2015年

7

# IRIDM標準

## IRIDM: Integrated Risk-Informed Decision Making



出典: 日本原子力学会「継続的な安全性向上対策採用の考え方について」2017年発行準備中

8

## WSにおける論点

1. 原子力安全の目的は「人と環境を放射線の有害な影響から護る」こと。津波事象を考えた場合、これは納得しますか？

- 最上段の目的はこの通り、津波を考えた場合には、このために何をすることが無いといけない。どうやって達成するのか？
- 福島再発防止、有害な影響から守るだけでは、作戦実施に躊躇い、若干漏れても許容するとか？線量チェック無しに人を逃がす、極限の状態では制約に緩和があっても良い、締め付けより、逃げ場をつくる
- 賛成でも、制約は本当はないのか？
- 事故の防止の責任を事業者にならせずすぎている。敷地の嵩上げ等に頑張りすぎでないか？

2. 津波が引き起こす事象に対して、その頻度・影響を考慮して合理的(理に適った)に対処をすること。現在実施している/した対処は、理に適っていますか？

- 理は何か？損益か？
- 極めて稀な事象に設計基準の場合と同様に求めるのは理に適わない

## WSにおける論点

3. 津波への対処は、深層防護の概念に則っていると思いますか？

- 現状の規制要求では、事故の発生防止のみに注目しすぎている気がする。

4. 原子力安全を達成するために行う種々の対策は、深層防護のレベルに割り振ることは行うべきことと思いますか？防潮堤は、深層防護のどのレベルの対策だと思いますか？水密扉はどのレベルですか？

- 防潮堤も水密扉もレベル1

5. 津波のPRAの結果からはCDFあるいはCFFだけではなく、事故シナリオとその頻度、重要度ランクも判ります。それらリスク情報のうち、津波対策検討のための意思決定には、どのように使えば有効と思いますか？

- 防潮堤の耐力は高くすれば弱くなる。信頼性確保のためのレベルは18m、南海トラフで更に高く、22mなら耐力大丈夫、更に高くすると、防潮堤の耐力を削がないか。
- 水密扉はパニックで開け放しのリスク、却ってリスク増(津波PRAの結果、弱点と抽出された)、だから自動閉の対策を施し、リスク低減に繋げた。
- 新しい知見があった場合、シナリオそのものから見直すのが大事。

10

## WSにおける論点

6. 対策の判断には「性能目標」が重要です。性能目標が決まっていなくてリスクを考えた対策検討はできないと思いますか？

- ないことを前提に合理的に続ける。もしこれがあるならば有用だが、無いとできないのは、リスク活用の観点から適切ではない。

7. 津波を原子力サイトに1滴も入れない、ということは、原子力安全の点から、ベストな考えだと思いますか？

- 防潮堤は上げれば上げるほど弱く、倒壊リスクを高める。倒れたら終わり。

8. 地震も津波も、世界のどこかで過去最大のものが発生したときに、設計基準を更新すべきだと思いますか？更新してそれを満足する対策を施すことと、更新せずリスクを評価し、対処の有効性を確認することと、どちらが望ましいと思いますか？

- 設計基準は、新しい知見があれば、更新、既設は、安全確保できれば良い。
- 設計基準更新を検討はその通り、更新するかどうかは別の課題
- 発生メカニズムに新しい発見は、更新必要(日本で同じメカニズムで起こり得るかの検討は必要)、只大きくなるのは別
- 環太平洋、チリ、アラスカの知見を見落としたのは、福島レポート策定時にIAEAからも批判、でも茨城沖で起こりうるかを判断できたかは、簡単ではない
- 判定基準は変えてもよい。そもそもリスクの評価が最初にあって高い津波が発生するハザードがあがる。その影響が無視できない程上がるなら設計基準見直しにつながる

11

## WSにおける論点

9. リスク情報を有益に活用するためにいくつかの組織からプロセスが提案されています。8ページで紹介したプロセスは津波について、有用だと思いますか？

- 津波だからこそ強調すべき点はないか？
- ウォークダウンで対策の有効性は第三者で確認するが、PRA実施段階と工事計画認可の時点で異なる。意思決定の記録があり、トレースが可能なら異なる。
- 意思決定のプロセスがきちんと残るようなシステムにすると、今回の意思決定が全体の意思決定と整合性がとれるのかが分かる。



## 津波に関するワークショップ 第Ⅱ部

### 【論点Ⅱ】

- ・ 影響度と頻度に応じた設計要件 (7.5)

### Bグループ

G主査：蛭沢 勝三

G副主査：宮口 治衛／高倉 一真

1

#### ■ 議論の項目（詳細は別添）

- ・ 議論 1：原子力発電所の耐津波設計構築の流れ/手順（議論11-12に細分化）
- ・ 議論 2：設計領域における要求性能の不明確の確認（議論21-23に細分化）
- ・ 議論 3：設計基準領域から設計超過領域に亘る連続性（議論31-32に細分化）
- ・ 議論 4：設計超過領域における要求性能に係る掘り所の策定（一部設備重要度の設定も含む）  
（議論41-42に細分化）

#### ■ グループBの進め方

- (1) ファシリテータ（FT）が上記議論毎に具遺体的な切り口/課題を説明後（後述PPTの青字部分）、各専門家間での議論（後述PPTの黒字部分）を見守る。
- (2) 議論 1～4の一巡後、重要な項目について再度議論を行う。議論の途中で、事実関係と大きく異なる場合、FIが簡易な情報提供等を行い（後述PPTの緑字部分）、活性化を図る。
- (3) FI主査が最後に事実関係と認識が大きく異なる内容については、再度共通認識の範囲で解釈を紹介する。これに対する専門家の意見も求める。

## 議論 1：原子力発電所の耐津波設計構築の流れ/手順

### ■ 議論11：議論11：規制体系①～④の枠組みの現状（図1-1参照）

11-1) 枠組みの現状認識として、認識しているか、妥当・有効と思うか

➢4レベルの安全規制体系の考え方については異論なし

### ■ 議論12：①：津波防護に係る性能目標の設定(CDF, CFF等)（図1-2参照）

12-1)安全目標(SG)/性能目標(CDF, CFF)に対する現状認識として、認識しているか、民間でも規定すべきか

- 10E-4や10E-6はあくまでの原子炉システム全体に対する数値であり、津波についてはそのまま適用できない。各リスクをリニアに足し込むとして各起因事象の性能目標を切り下げるのか？或いは不確かさが大きいので各リスクに対して同じ性能目標を与えるのか？
- 起因事象が独立であればその結果は足し込みなので、CDF, CFFも基本は足し込むべき（独立事象として性能目標値を各起因事象に割り振るべき）ではないか？
- 個別事象として津波、地震、残りの事象の各数値基準を足し合わせて総合的にみるか、一つの基準を全部がクリアするののかという点がポイント。
- 津波単独の性能目標はありえない。地震起因の津波を考えているのであるから、性能目標も“地震+津波”について与えられるべき。
- 他の自然現象との重畳をどこまで重ねるかは、頻度だけでは設計としてやり辛い。

3

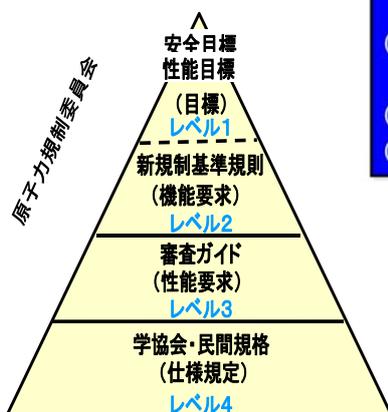


図1-1 規制体系

### ■ 旧原子力安全委員会 耐震設計審査指針（2006年9月改訂）：「残余のリスク」明記

- (1) 基準地震動を上回る地震動の影響が施設に及ぼすことによる施設の重大損傷事象が発生すること ⇒ レベル1 PRA対応
- (2) 大量の放射性物質が放散する事象が発生すること ⇒ レベル2 PRA対応
- (3) 周辺公衆の放射線被ばくによる災害を及ぼすこと ⇒ レベル3 PRA対応

#### 判断指標(旧原子力安全委員会2006年)

##### ■ 安全目標(案)：

敷地境界付近の公衆の個人平均急性死亡リスクと敷地周辺の公衆の個人平均がん死亡リスクが $10^{-6}$ /年・サイト程度以下

##### ■ 性能目標：

炉心損傷頻度( $10^{-4}$ /炉・年)、且つ、格納容器機能損傷頻度( $10^{-5}$ /炉・年)以下

図1-2 残余のリスクの定義と判断指標

## 議論2：設計領域における要求性能の不明確の議論

- 議論 21：現行規制基準は、学協会・民間規定範疇の仕様規定④に踏み込んで規制している反面、規制規定範疇の性能規定③に関する本質的「要求性能」については明確にしていない。（図1-1参照）

- ◆ 規制当局が津波に対する性能要件を示さずに、仕様規定を直接規定していることについては、下記のように存外“好意的”な意見が多かった。
  - 規制は審査しなければならないので統一基準（仕様規定）が欲しいことは理解できる。
  - 規制側のリソースを考えると性能要求への適合性審査は難しい。
  - 規制が性能要件を示していないことにも、その方が対外説明が容易等、それなりのMeritはある。
  - 「入口で止めること」との規制要求もある意味では非常に分かり易い。
- ◆ ドライサイト要求について
  - ドライサイト要求は性能要件ではなく、敷地に対する要求なのではないか？
  - 地震に比べて津波はクリフエッジ効果が顕著なので、「保守性を高さに求めるだけというのではなく、炉心損傷を起こさないという意味でのドライサイト」と締め括られた。

5

## 議論2：設計領域における要求性能の不明確の議論

- 議論 22：「設計基準の津波事象」として設定した上でプラント設計を行うべきか
  - 22-2) 津波事象の不確実さの取り扱いが保守的な扱いとしており、合理的・定量的な取り扱いとなっていない。
  - 22-3) どれ程の基準津波とすべきかの定量的頻度論なしの青天井論/確率論的津波ハザードによる超過頻度を参照しているのみ。（図2-1参照）
- 議論 23：「設計超過の津波事象」としてリスク評価も含めて取り扱うべきか（図2-2参照）

- ◆ 基準津波の頻度と設計超過の考え方について
  - 実質上の基準津波の超過頻度は、 $10^{-4}$ （回/年）が目安の頻度になっているが、サイトによって1~2桁頻度が違っている。サイトの状況を考慮するのは当然でも統一的な基準は有って然るべき。
  - 実際的には現状の基準津波はBeyondを含んでいると思う。規制側からすると設計の範疇と見られる。
  - 設計超過とはより小さな頻度の起因事象まで考える、との意味なのか？

(FT注)：設計超過の考え方としては、深い議論には進まなかった。

議論1~4の議論一巡後、FTがCDFとCFFとの関係が“且つ”であるべき理由を説明し納得いただく。地震・津波事象の場合、炉心損傷後ある時間を経て、地震・津波による注入系機器機能喪失のため、高温乃至過圧で格納容器損傷が必然的に発生する。また、地震・津波の場合、複数機器が同時に機能喪失するため、対策としては多重性が効果少なく、多様性や独立性が重要なことも説明し納得いただく。

6

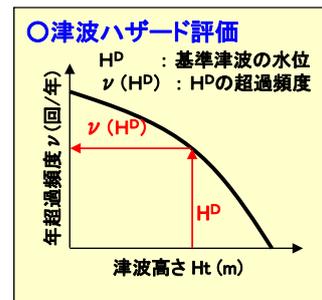
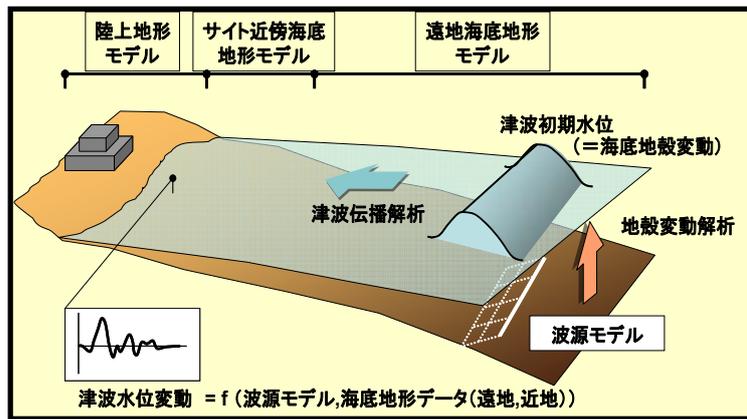


図2-1 基準津波の策定手順及び超過頻度との関係



防潮堤(中部電力HP)



防潮堤断面



排水ゲート(北陸電力HP)

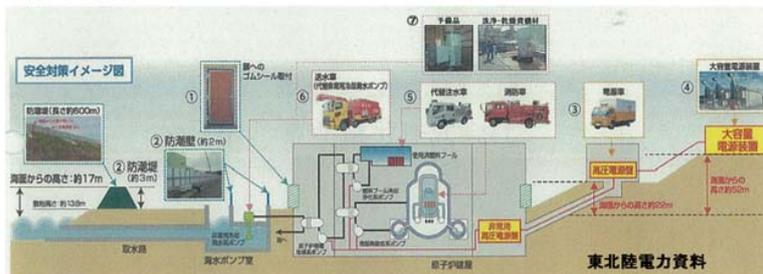


図2-2 津波設計の対象構造物の例:津波関連構造物

7

### 議論3：設計基準領域から設計超過領域に亘る連続性

- 議論 31：設計超過領域に係るリスク評価の経験の現状 (図3-1参照)
  - 31-2) 「設計基準領域」及び「設計超過領域」に係る実施例の蓄積が少ない。  
そこで、決定論的津波設計を受けて、津波PRA実施の結果、性能目標CDF ( $10^{-4}$  (回/炉・年))確保の確証が必ずしも十分でない。
  - 31-3) 両領域それぞれの基準を確保するまでのフィードバックの仕組みが必要。
- 議論 32：設計超過領域の津波事象の頻度に係る技術の現状 (図3-2参照)
  - 32-2) 現行の基準津波は決定論に保守的に設定されているが、定量的判断指標・基準(定量的な頻度)が不明示なので、「設計基準領域」と「設計超過領域」の境界が定量的に繋がっていない。
  - 32-3) 「設計基準」の判断指標・基準を、津波ハザード評価に基づく超過頻度  $10^{-4}$  (回/年)とすることで 両領域の境界が定量的に繋がりが合理的となる。

- ◆ CDFをベースとした設計基準事象と設計超過事象の連続性の確保について
  - 共通の目標頻度は必要なので、津波ハザード評価に基づく超過頻度(の目安)を $10^{-4}$  (回/年とすることには同意する。
  - 現行の規制体系では(決定論的評価の)設計基準と(リスク論的評価の)設計超過の連続性の確保は疑わしい。設計基準にも手を付ける必要がある。

(FT注)：津波事象単独ではなく、より統一的・包括的なアプローチが必要との趣旨の意見と理解。

◆ 津波と他の外的事象との重畳について

- 他の自然現象との重畳はどう考えるべきかについて、XXプラントの場合、設計地震と設計津波は重畳しないが内部溢水との重畳が必要との意見があり。
- 津波対策が他の事象に対策上マイナスになる可能性はについて、それは設計で解決すべき課題との意見があり。
- 津波と地震起因内部溢水の重畳は余り問題にならない。問題は内部火災との重畳との意見があり。
- 冗長すべき事象はサイトにより違うし、時間軸も考慮すべきとの意見があり。

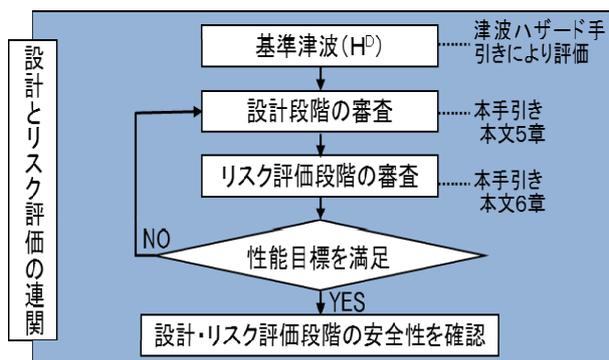


図3-1 津波設計と津波リスク評価との連関

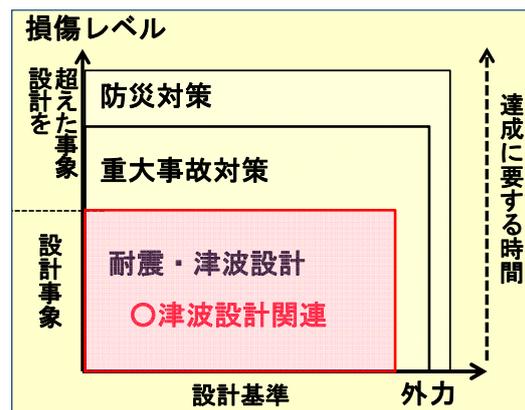


図3-2 「設計津波」の設計段階と「設計超過」のリスク評価との関係

#### 議論 4 : 設計超過領域における要求性能に係る掘り所の策定

- 議論 41 : 「②設計超過の津波事象の定義」/議論32と同じなので議論省略
- 議論 42 : 「③要求性能の設定」/設計超過領域でのSSC（構造物・システム・機器）の要求性能の想定（図4参照）

- 421-1) 津波関連構造物・機器の要求性能設定において、構造性能要求のみならず、炉心損傷(CD)防止の機能性能要求の考えが十分か否か。
- 421-2) 防潮堤高さ設定のみならず、越波した場合のCD防止の考え方は十分か否か。
- 421-3) 現状津波重要度におけるSクラスだけの要求性能で、性能目標（CDF, CFF）を確保し得るか否か。
- 421-4) 既往CDF評価を参照すると、CDFを支配する構造物・機器はカテゴライズされた5乃至6個のもので、Sクラス以外のものもあり。

- ◆ 設計に対する津波PRAの有効性については否定的意見と肯定的意見があり、比較的前者が多かった。

(否定的意見)

- RPAはリスク評価ツールであって深層防護をみるものではない。
- (津波PRAに限らず) 設計段階でのPRAにより正しいCDFが出せるかどうかは疑わしい。  
(FI注) : FIが同意見に対し、2006年耐震設計審査指針改定時公開審議において、基本設計段階でCDFを評価し得る合理的理由が明示されたことを紹介し、納得いただく。
- 津波等の溢水については設計時のPRAは当てにならない。貫通部の処置一つにより結果が大きく変わる。
- フラジリティ評価には高さだけでなく浸漬時間等も重要なファクターになる。

(肯定的意見)

- 津波PRAの結果は非常にシンプルであり、波圧等は殆ど関係なく津波高さのみで決まる。

11

#### 議論 4 : 設計超過領域における要求性能に係る掘り所の策定

- 議論 41 : 「②設計超過の津波事象の定義」/議論32（設計超過領域の津波事象の頻度に係る技術の現状）と同じなので議論省略
- 議論 42 : 「③要求性能の設定」/設計超過領域でのSSC（構造物・システム・機器）の要求性能の想定（図4参照）

- 423-1) 基準津波設定を大きく（厳しく）し、SSC設定を楽にする/逆に、前者を楽にして、後者を厳しくするとの考えは、基本的に許容されるか否か。
- 423-3) SSCの要求性能を現状維持とした上で、Hsを厳しくすると、性能目標CDFをはるかにクリアし、リスク/CDFが一層小さくなるのでよしの考えかた。許容し得るか否か。
- 424-4) 上記と関連しコストの考えを粗上に挙げることをよしとするか否か。

- ◆ フラジリティとハザードのトレードオフについて：前頁と同様に肯定的意見と否定的意見があった。

(否定的意見)

- 不確かさの大きな事象に対してPRAのみで設計するのは不可である。設計段階でのフラジリティとハザードのトレードオフは避けるべき。SSC要求性能は否定しないが決定論的な考え方は尊重すべき。

(FT注記) : FTが前述22-3)の議論、どれ程の基準津波とすべきかの定量的頻度論なしの青天井論を肯定するか否かについて、再度議論すべきと尋ねるが反論無し

- 「CDFに寄与しないから壊れてもよい」は単純すぎる。

(FT注記) : FTが「」の真意（CDFへ寄与するSSCについて丁寧に対応し、対応の優先順位を明確にした上で、資源を有効活用する）を説明したところ、納得いただく。

(肯定的意見)

- CDFは“重点的にケアする機器”を明確にするとの建設的な意味である。
- 深層防護の視点から片側のみで担保し、もう片側は要らない、は有りえない。リスクとコストのバランスは入る。ミニマムは抑えてあとは設計重度を持たせる。

12

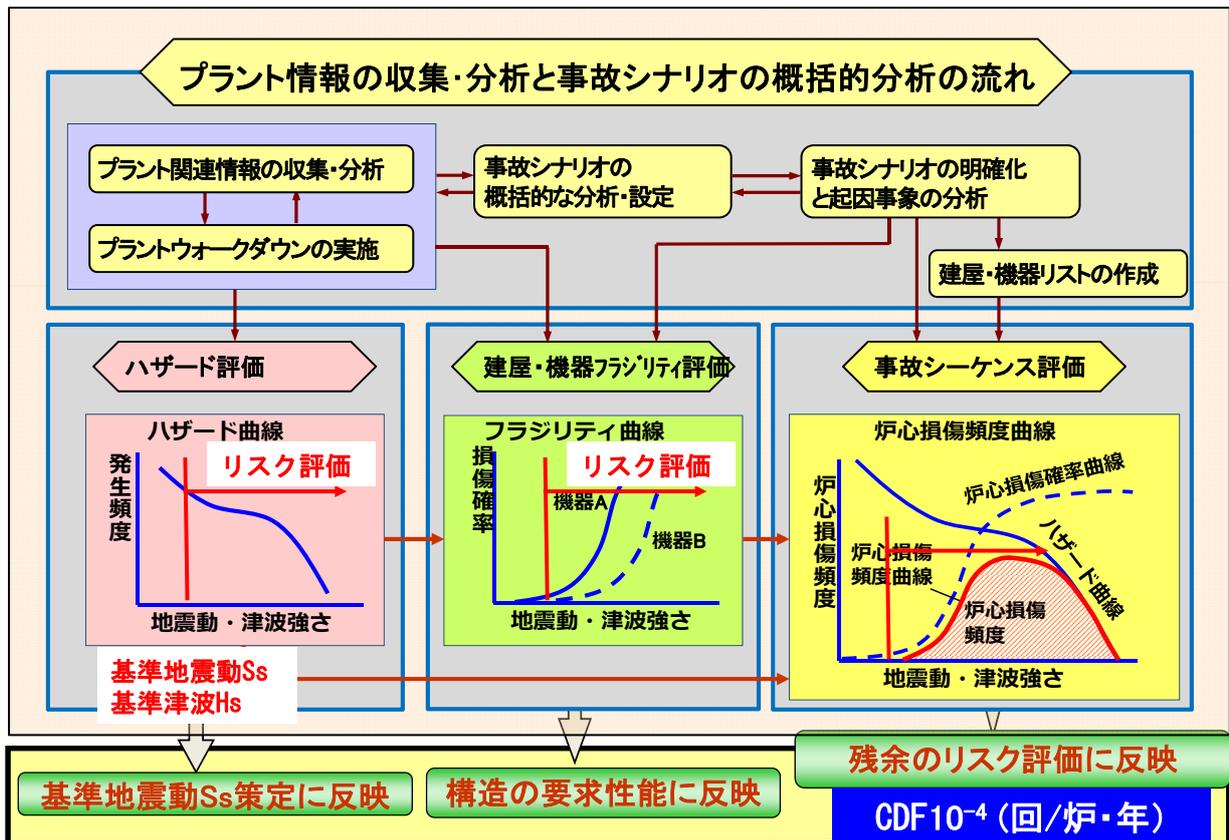


図4 地震・津波PRA手順

## 別 添

### 7. 5 事象の影響度と頻度に応じた設計要件の整備(1)

- 既存の設計体系やプラントシステムに捕らわれず，ゼロから原子力発電所の耐津波設計を構築することを考えると，その流れは下図のようになると考えられる。

- ①：津波防護に係る性能目標の設定 (CDF, CFF等)
- ②：“設計基準”及び“設計超過”の津波事象の定義
- ③：各津波事象に対する要求性能の設定
- ④：要求性能を達成する具体的な手段 (How To) の決定 (ドライサイト, 建屋水密化, 代替機能の確保 等)

議論1：流れの認知度の確認

- ✓現時点の耐津波設計に係る規制基準，規格基準類とにいくつかのギャップがみられる

議論2：設計領域における要求性能の不明確の確認

- ✓設計基準の領域では，現行規制基準における津波防護要求は，④について踏み込んで規制している反面，③に相当する本質的な「要求性能」については明確にしていない。民間規格JEAC4629は規格基準の仕様規定であるため，③を明確にしていない。
- ✓防潮堤等の損傷を前提とした敷地や建屋の浸水などについて「設計基準の津波事象」として設定した上でプラント設計を行うべきか，「設計超過の津波事象」としてリスク評価も含めた中で取り扱うべきかなど，議論を要する

## 7. 5 事象の影響度と頻度に応じた設計要件の整備 (2)

### 議論3：設計基準領域から設計超過領域に亘る連続性

- 予め設計超過領域における対処を見込んだ、設計基準領域から設計超過領域にわたって連続性をもった設計体系が確立できれば、必要な安全性や説明性を確保した上で、合理的に運転の継続が可能になると考えられ、今後、その確立が望まれる。

- 「②設計超過の津波事象の定義」や「③要求性能の設定」については、設計超過の津波としてどのような事象を想定するべきかといった点、設計超過の領域でどのような要求性能を課すべきかといった点について、各事業者における検討の拠り所となるような、指針の策定が望まれる。

### 議論4：設計超過領域における要求性能に係る拠り所の策定

15

## 7. 6 重要度に応じた設計の導入

- 現行の耐津波設計では、「重要度に応じた設計」を設計体系として確立するには至っていない。
- 耐津波設計への「重要度に応じた設計」のアプローチは、設計、さらには保守管理等の内容や資源の最適化を図る上でも有効に機能すると考えられる。
- このため、今後、設計超過領域の対策の拡充が図られるであろうことを踏まえると、耐津波設計への「重要度に応じた設計」の導入の検討を行うことは価値の大きい取り組みと考えられる。
- なお、個々の設備の重要度の設定にあたっては、設計超過の領域で特に、各設備の安全への寄与度をPRA等の手法により定量的に評価し、その結果（リスク情報）に基づき設定する方法がより実効的と考えられる。

### 議論4：設計超過領域における要求性能に係る拠り所の策定

16

## 津波に関するワークショップ 第Ⅱ部

### 【論点Ⅱ】

- ・ 影響度と頻度に応じた設計要件 (7.5)

### 【論点Ⅲ】

- ・ 重要度に応じた設計 (7.6)

### Cグループ

G主査：山田 浩二

G副主査：松山 昌史／永田 徹也

1

## 耐津波設計に係る規格化における課題



設計基準領域から設計超過領域  
を含む 津波防護設計要件の整備

7.5

Cグループ



「重要度に応じた設計」の導入

7.6



モバイル設備の設計規格の策定

7.7

2

## 設計基準領域から設計超過領域を含む津波防護設計要件の整備

### 7.5

① 津波防護に係る**性能目標の設定**(CDF, CFF等)

② 「設計基準」及び「設計超過」の津波事象の定義

③ 各津波事象に対する**要求性能の設定**\*1

④ 要求性能を達成する具体的な手段(How to)の決定\*2

\*1 [発生頻度〇〇の津波事象××に対しては安全機能△△を維持する。  
この場合、□□レベルの信頼性(多重性、多様性、独立性)を確保する 等]

\*2 [ドライサイト、建屋水密化、代替機能の確保 等]

3

## 「重要度に応じた設計」の導入

### 7.6

**設計超過領域の対策設備の重要度設定**にあたっては、各設備の安全への寄与度をPRA等の手法により定量的に評価し、**リスク情報**に基づき設定する方法が実効的と考えられる

4

# モバイル設備の設計規格の策定

7.7

モバイル設備は、臨機応変で柔軟な対応が求められる状況下で必要な安全機能を提供する対応策とすることが望ましい。

事象発生から必要とされるタイミングまでに時間的な余裕がある設備については、常設設備との共通要因故障の防止の観点から、サイトから離れた場所に保管することも選択肢となる。この場合、複数の事業者間で共有化することによりリソースの最適化が図れる。

モバイル設備の設計基準の策定、共通仕様の策定のニーズは大きい。

5

## 7.6 質問事項1

➤耐津波設計、内部溢水防護設計上、重要度に応じたアプローチを行なっていますか？もしくはその必要性についてお考えをお聞かせ下さい。

- 耐津波JEACでは、超過津波の考慮の必要性は記述しているが、どう対策を行っていくのかまで言及していない。
- 防潮堤の構造強度に関してマージンの把握はできていない。(基準津波を超える津波は設計上考えていない。)
- 耐津波設計／内部溢水防護上、内郭防護施設の位置付けを明確にするべき。
- 内部溢水防護上の第2項要求(汚染水を建屋外に出すな)に対する適合レベル(性能水準)を明確にするべき。
- 常設SA設備とモバイル設備の保全重要度は同じとしている。

6

## 7.6 質問事項2

➤重要度の決め方に関してお考えをお聞かせ下さい。  
(深層防護、重大事故への進展上の時間的裕度などの観点から。)

- 津波PRAが使える段階ではないのではないか。どのタイミングでPRAを実施すると効果的なのか？
- リスク情報は確率(数字)だけを議論すべきではない。シナリオが重要。女川の事例ではどこが肝かということが把握されている。
- 浸水したら壊れるとするとフラジリティは地震より決めやすい(浸水レベルに応じて生き残る設備の把握は容易)が、半面ハザード設定は難しい。
- 事象の進展シナリオは、常設SA設備での対応とするのか、モバイル設備での対応とするのかの設計に役立っているし、モバイル設備の設置場所の選定にも役立っている。

7

## 7.6 質問事項3

➤自主的安全性向上の観点から、今後設計超過領域の対策拡充が図られると思われませんが、リスク情報に基づく重要度の決め方の難易度に関するお考えをお聞かせ下さい。

- -

8

## 7.7 質問事項4

➤モバイル設備のユニット間共用、**サイト間共用**、**事業者間共用**に関して現状どの範囲までを想定していますか？もしくは想定すべきでしょうか。

- サイト間共有が有効なのは間違いないが、現状の規制では不可。
- サイト間共有により予備機のパイが増え、安全性が増す。ただし、事象の進展に1週間程度の時間的な猶予がある場合に限定される。
- FLEXのような運用(比較的進展の速い事象対応)とする場合には輸送ヘリなどの使用が前提となる。

9

## 7.7 質問事項5

➤モバイル設備の配置に関して、**事象発生から投入までの時間的な余裕の有無に応じた考慮**をどの程度行っていますか？もしくはどのように行うべきでしょうか。

- ある発電所では、事象進展シナリオの時間的なファクタを考慮して大容量電源を可搬(モバイル)設備から常設設備に変更した。
- ある発電所では、越波ありきの設計であることから、モバイル設備はあまりあてにしていない。注水設備では、信頼性を上げるため、常設設備の多重化、RCIC室(地下階)の水密化などの対応を行っている。モバイル設備の場合であっても、事象発生6~8時間後に必要となる設備は近隣の発電所との共用は困難と考えており、自前の設備で1週間は持ち堪えられるように計画している。

10

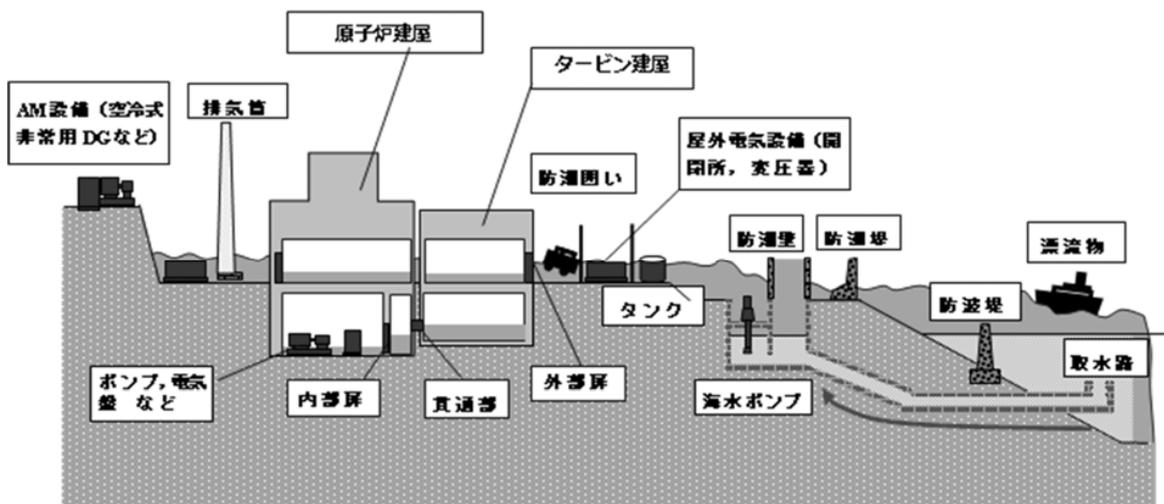
## 7.7 質問事項6

▶モバイル設備の**設計の標準化**はどの程度まで考慮されていますか？(性能面、互換性、搬送手段等の観点で)もしくは、どこまで必要と考えますか。

- 1F事故対応の経験で消防車はよく故障したことを踏まえ、Kサイトでは近隣の消防署の消防車と同じような標準的な消防車を配備している。
- SA後の冷温停止に向けての設備などは事業者間共用のメリットは大きい。このことを踏まえれば標準化は重要。
- 整備済みのモバイル設備に対しても、カプラーなどを導入したうえでの標準化であればメリットは得られる。
- (モバイル設備は訓練で使用されることを踏まえたうえで)モバイル設備の保守管理の標準化は今後の課題。

11

## 津波作用に関わるSSC配置のイメージ



原子力安全のための耐津波工学(2015)「図5.4-1 津波作用とSSCの配置(イメージ)」より

12

原子力関連学協会規格類協議会 津波に関するワークショップ  
第Ⅲ部の質疑応答と講評のまとめ

1. 日時：2017年9月27日（水）15:49～17:20
2. 場所：日本電気協会 4階B, C, D会議室
3. 第Ⅲ部 質疑応答・講評

【津波の深層防護レベル】

- ・津波の深層防護（DiD）レベル1～5設定の考え方が必要。
- ・DiDレベル1～3の話しはレベルを区切って考えるよりDiDレベル3を超えることがない、すなわち炉心損傷に至らないようにすることが重要である。原子力安全の視点からは、津波と地震は、DiDレベルに同じく影響する。従って、DiDレベル1があつてあとはDiDレベル3でよいとも考えられる。
- ・設備をDiDレベルに分けることは意味がないが、設備、系統の機能をDiDレベルで割り当てることには意味がある。
- ・リスクを否定はしないが、リスクを大いに活用しようということには疑問である。津波のハザードの大きな不確かさをカバーするのは前段否定に基づく深層防護。津波に対する設計をするためには統一基準が必要である。その基準を大きくした条件に対しては、不確かさをどうカバーしていくかということで、深層防護は必要と主張した。
- ・PRA自体は深層防護と対応している。PRA、リスクと深層防護の考え方の普及の仕方にかなり工夫が必要。

【耐津波の考え方】

- ・新知見を基準津波に反映するのであれば、新しい地震津波が起こるたびに上げることになる。新知見の津波の大きさだけに一喜一憂するのはやめる。考え方の発想を変えること。基準津波を越える可能性を否定せず、越波するのは前提であり、最終的に炉心損傷を起こさなければ良いとする「ドライサイト」の考え方であるべき。
- ・設計基準領域と設計基準超過領域との関係においてSSCをどのように取り扱うか、という観点で議論することがポイント。津波PRAの結果から判ることは津波のリスクプロファイルは極めて簡単であり、これを使えばCDFを小さく出来る点が判る。
- ・一番良い高さで設計し、越波しても壊れない防波堤を構築した上で、原子力建屋の水密扉という形でやっていく方が現実的と考える。越波したら防潮堤は持つのかについては、設計ベースで検討しているので答えは出ない。一方、越波を前提に後段を対策する。これは、浸水経路に沿って徐々に浸水レベルが上がってくることをベースに考えていることである。
- ・防潮堤に引っ張られ過ぎている。防潮堤が倒れようが関係ない。防潮堤に炉心損傷防止を期待しない。越波は当たり前で、原子力建屋の水密扉をきちんすれば一番いい防潮堤になる。前面にある防潮堤だけに全部を期待するというのはおかしい。防潮堤ではなく、水密扉の考慮次第でCDFは全然違ってくる。炉心損傷防止を、前面の土木構築物に懸けるは疑問。

### 【地震重畳津波 PRA】

- ・地震も津波も PRA の基本的な評価プロセスは同じ。しかし、地震と津波では影響の仕方が違う。その点は留意して評価すべき。
- ・一般的に、地震 PRA、津波 PRA で、ハザードは、縦軸は超過頻度を用いるが、横軸は地震が最大加速度、津波が高さと、物理量が異なり、脆弱性に及ぼす影響が異なる。地震と津波の相関性を考慮しなければいけないという考え方を原子力学会では取っている。

### 【使える PRA とは】

- ・PRA は、今ある情報および技術を使い、対象のリスク特性（例 設備のリスク重要度、重要な事故シナリオの頻度など）を得て対応することが基本。手法が成熟しないとやらないのなら、いつ使うのか。アメリカでは初期の PRA でも 30 年を経ても使って対応している。PRA を使うメリットは何かを十分に議論すべき。
- ・津波 PRA を対策の評価に使った例は設計や保守の立場からすると非常に分かり易い。一方、津波 PRA からの情報の信頼性はハザードに依存する。
- ・津波 PRA では、脆弱性は地震より分かり易いが、ハザードは信頼性は低い。一方、浸水レベルごとで発生する事態、相対的な系統重要度の変化などは、PRA を使わなくても判る。シナリオごとに、浸水レベルによる起こる事態に関する思考訓練が必要。

### 【PRA の読み方・使い方】

- ・ハザードの不確かさが大きいので基準地震動を超過頻度の発想なしに大きくすると、耐力は既存で一定とした時、CDF は性能目標の  $10^{-4}$  (回/炉・年) をクリアしていて  $10^{-6}$  もしくは  $10^{-7}$  (回/炉・年) かも知れない。ハザードの頻度と構造物の適正なものであって、 $10^{-4}$  という性能を満たせば良い。ハザードが厳しくなれば、構造物を楽にすれば良い。最終的に CDF を一定にするというのが基本の考え。
- ・頻度を入れない限りは最終的な性能を確保しているかどうか判断できない。そのような判断ができる枠組みが重要。全部の構造物を強化するのではなく、リスクプロファイルから重要となる設備を手厚くするという発想で性能を議論すべき。ハザード側で決定論的に頻度が明確にされていないことが抜け落ちている点。理学分野の主張に対して工学分野が引っ張られる形に終止符を打つべき。
- ・コストの観点も重要。重要なところに合理的に手厚くお金を掛けるべき。

### 【リスクマネジメント】

- ・PRA に関して、使えないまだその段階ではないというご意見があったが、いつになったら、どうなれば使えるか、それが判れば実現できるように技術開発すべき。意思決定においてリスクを考えるというのは、リスクだけを考えるのではなく、コストや経験や見識などいろんなものを提示した上で意思決定していくものである。深層防護の前段否定の話が出たが、津波は、必ずしも前段否定ではうまく扱えない。言い過ぎかもしれないが、だからこそ、PRA のような方法論

を使って、シナリオや頻度をみて、どう判断するかを考えるべき。PRA の数値結果だけで OK という話しでは決してない。

- 1F の評価で安心した観点が、CDF であったり、津波の高さであったり、リスクの使い道と言う考えで、そこにこだわると安心になってしまう。高すぎるとやり過ぎてしまう。シナリオが大事で、扉が開いているシナリオをつぶすにはどうすればいいかという話しから入っている。確率、ハザードとかは関係なくて、シナリオで何が起こるのかを知るのが大事。現時点で足りないところは使えないというのではなく、現時点でできるところを使うのではないか。
- ハザードの上振れは何かについて地震学会では、昔の地震、津波の再評価をしている。福島では貞観津波、貞観津波についてはいろいろ議論があったし、1611 年の慶長津波、場所も北海道、福島沖、また大きさが 8.6 になったり、9 プラスになったりする。酒田沖に新しい津波堆積があるのでとんでもない地すべりがあったのではないかという話しがある。どういう事実に基づいてそれを決めたのかを明らかにしてもらったら、PRA の津波ハザード評価の中に取り入れられるかもしれない。決定論で続けると青天井になる。ハザード評価も PRA 等いろいろな意見を入れていることは必要かと考える。PRA の結果をどう分かり易くどう説明するか、という課題がある。今後いろんな説がハザード側に出て来るので、それをどう使っていかは今後の課題も大きいと考える。

#### (4) 講評

○原子力機構 高田氏

報告書は全体を見渡して、しっかり必要なことがまとめられていると感じた。論点の「影響度と頻度に応じた設計要件」は端的に言うと、従来の設計に加えて、リスクの考え方を設計に入れていくということ。現状の PRA でできること、できないこと、できないからだめだということだけでなく、リスク評価として、他の手法も使って、まだまだできることはある。この考え方はこれから重要となってくる。リスクコミュニケーションのところにも記載されていたが、考えたこと、纏めたことを世間の方々にぜひ情報発信してほしい。こういう考え方は、楽をしようとしている、お金をかけないようにしているとみられる可能性が非常に高い。そうではなくて我々は効果的に安全を達成すればいいのかのひとつの考え方として展開していると積極的に公開していただくと良いかと考える。

○東京大学 糸井先生

保守から設計、地震、津波といろいろなところから集まって議論し、共有した認識をどうやって規格に落としこんでいくかは今後の課題だ。発電所が安全に設計され、運用できるかということだけでなく、全体として整合がとれたような考え方が、こういう議論を通じてできていくと思う。こういうふうにすると安全になりますという説明ができるが、それがどういうロジックで整合がとれているか。原子力だけでなく、建築もそうで、説明ができないところがあり、なかなか世界の人に日本の良さが分かってもらえないところがある。今までの安全性を高める活動と周りに説明できるように両立するように結び付けていただきたい。

○法政大学 宮野先生

本日の出席者は、リスクを理解いただけなければいけないが、ほとんどリスクを理解されていないということがわかった。設計屋とリスク屋はお互い対立するものではない。設計基準を決めたら、オーバーしたところをどうカバーするか、それがリスク論である。厳しく決めればリスクは下がるし、緩く決めればリスクは上がる。リスクにどう対応するか方法論がいろいろある。その対応した時にリスクが上がる、下がる、を評価すると、このリスクを下げるにはこういうことをやれば良いと説明できるのでリスクを活用してほしい。設計基準は極めて重要で、DiD レベル 3 までの議論がほとんどではないかと思う。ドライサイトは、どうでも良い。防波堤は倒れても良い。倒れることを評価してあると、リスクはこうであるので、倒れないようにすることが良いのか、倒れた後に対応する方が良いのか、評価できる。設計基準を下げて、防潮堤は作らなくても良いから、リスクを下げる努力として、高台に置くとかヘリコプターで可搬型を持ってくる等、いくらでもやり方はある。そういう議論を今後していかないと世界から笑われる。津波の議論は、本当はすごく簡単で、越えたらどうするのだ、で済んでしまう。もっと大変なのは地震の議論。地震動がどんどん高くなったらどうするか、100 万年まで考慮することになったらどうするか。リスクを併用するように考えていかないと多分難しい。リスクで出た数値が正しいとは誰も思っていないが、対策をするとどの程度変わるか、どういうことを考えなければいけないかというスタディーが出てくるので、是非もっとリスク屋さんとも議論をして、うまく活用してほしい。世の中に対しても、今言った話しは多分通用する。こういうふうに評価して決めた残りはこういう対策をとっているからこのプラントはこうです、津波対策はあまりしなくて良い地域のプラントです、リスクを低くすることができたと説明できることが必要になってくる、などということを理解いただければ議論した甲斐があったのではないかと思う。リスク屋はまだまだ未熟だなと思う。リスク屋さんはもっと頑張らなければいけない。

以 上