日本原子力学会「2015年春の年会」
企画セッション一標準委員会セッション1
「原子力安全のための地震・津波防御総合技術体系を目指して
一日本地震工学会と日本原子力学会の協働一」

真の分野間協働を目指して
～耐津波工学委員会の使命～

2015年3月20日、茨城大学日立キャンパスにて

亀田弘行（京都大学名誉教授、電力中央研究所名誉研究アドバイザー／委員長＊）
今村文彦（東北大学災害科学国際研究所教授／副委員長＊）
宮野　廣（法政大学大学院デザイン工学研究科客員教授／副委員長＊）
高田毅士（東京学大学院工学系研究科建築学科教授／ｼﾝﾎﾟｼﾞｳﾑWG主査＊）
成宮祥介（関西電力　マネージャー／編集WG主査＊）

＊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」における役割

1. 企画セッションの目的

2. 「耐津波工学委員会」の概要

3. 委員会の成果（多分野間協働の成果として）

4. むすび

1. 企画セッションの目的

日本地震工学会と日本原子力学会の協働のもとに行った委員会活動

(1)委員会の成果の紹介

(2)地震工学・津波工学・原子力安全工学の分野間協働の意義の検証

２.「耐津波工学委員会」の概要

＝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」（2012.9～2015.3）

＝「耐津波工学委員会」

＊直接の動機＝2011東日本大震災における原子力発電所の挙動

＊委員会の目的

+原子力発電所の津波安全を確保するための工学的方法論の体系化

+個別技術とシステム評価技術が的確に融合する技術体系の構築

＊多分野間連携の必要性（学術の責任）

+ 福島事故の原因のひとつ：学術分野における分野横断的視野の欠如
+ 地震工学、津波工学、原子力安全工学の分野横断的討議が不可欠
+「技術ガバナンス」の観点から重要

＊委員会の体制：日本地震工学会に設置／日本原子力学会標準委員会との密接な協力のもとに企画・運営

+ 背景：2008年以降の日本地震工学会と日本原子力学会の協力関係
+ 委員長と2名の副委員長に、地震工学（亀田）、津波工学（今村）、原子力安全工学（宮野）の専門家
+ 幹事・委員の構成にこれら3分野の専門家を配置、多分野が連携して討議を行う体制
+ 土木学会原子力土木委員会津波評価小委員会との連携

「原子力安全のための耐津波工学大系化に関する調査委員会」名簿（2015年1月現在）

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 委員名簿

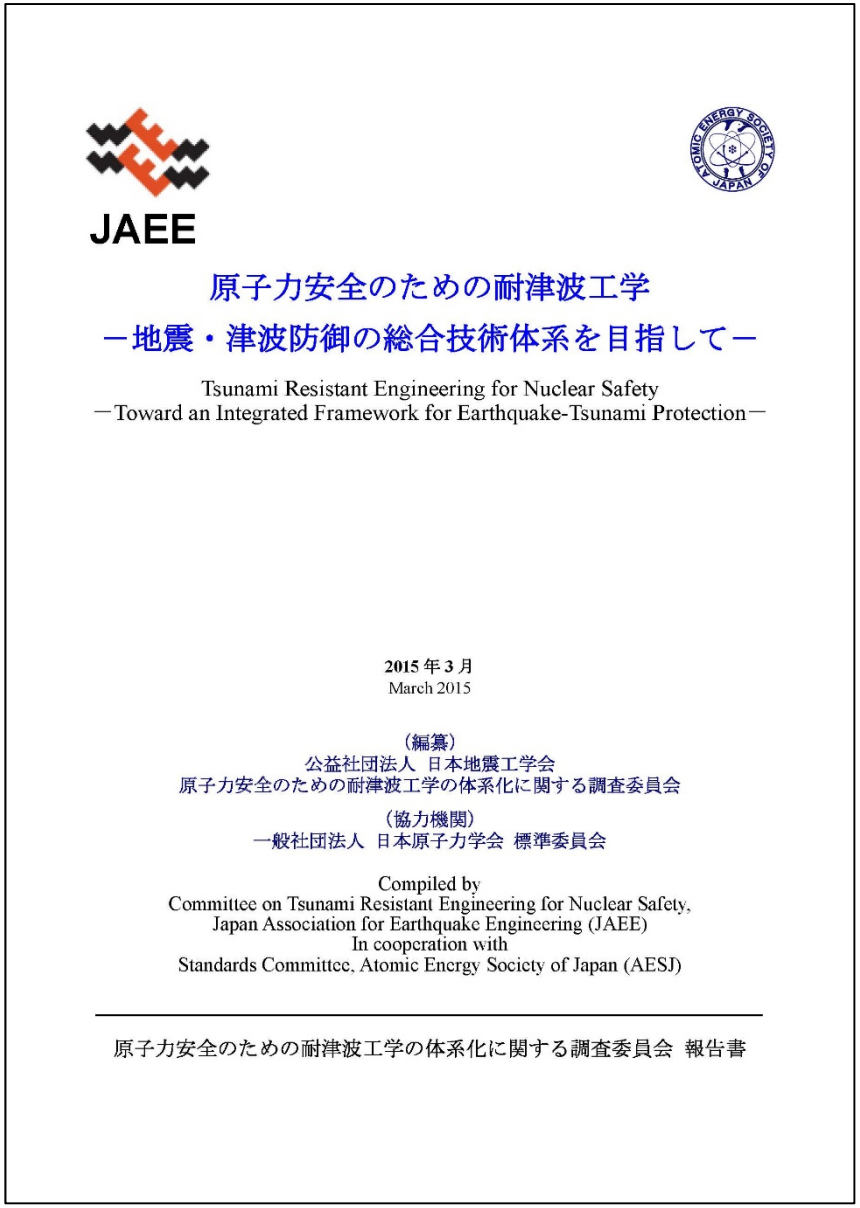
委員長	亀田弘行（地震工学）	京都大学／電力中央研究所
副委員長	今村文彦（津波工学）	東北大学災害科学国際研究所 災害リスク研究部門
	宮野 廣（システム工学）	法政大学大学院デザイン工学研究科
幹事	糸井達哉（地震工学）	東京大学大学院工学系研究科 原子力国際専攻
	蛯澤勝三（リスク論）	電力中央研究所
	香月 智（構造信頼性）	防衛大学校 システム工学群 建設環境工学科
	越村俊一（津波工学）	東北大学災害科学国際研究所 災害リスク研究部門
	佐藤愼司（海岸工学）	東京大学大学院工学系研究科 社会基盤学専攻
	高田毅士（リスク論）（シンポジウムWG主査）	東京大学大学院工学系研究科 建築学専攻
	中村隆夫（原子力社会工学）	大阪大学大学院工学研究科 環境・エネルギー工学専攻
	成宮祥介（リスク評価）（報告書編集WG主査）	関西電力株式会社 原子燃料サイクル室
	松山昌史（海岸工学）	電力中央研究所地球工学研究所 流体科学領域
	平石哲也（海岸工学）	京都大学防災研究所 沿岸域土砂環境研究領域
委員	安部 浩（原子力工学）	原子力規制庁 技術基盤グループ
	有川太郎（海岸工学）	（独）港湾空港技術研究所 アジア・太平洋沿岸防災研究センター
	有賀義明（地震工学）	弘前大学大学院理工学研究科
	飯田 晋（プラント運転管理）	東北電力株式会社 火力原子力本部 原子力部
	岩渕 洋子（津波工学）	原子力規制庁 技術基盤グループ
	桐本順広（PRA、故障分析）	電力中央研究所原子力技術研究所 原子力システム安全領域
	庄司 学（ライフライン防災）	筑波大学システム情報系
	杉野英治（津波工学）	原子力規制庁 技術基盤グループ
	高橋郁夫（耐震工学）	清水建設株式会社 技術研究所 原子力技術センター
	高橋智幸（津波工学）	関西大学社会安全学部 安全マネジメント学科
	中埜良昭（耐震構造）	東京大学生産技術研究所
	中村 晋（地震工学）	日本大学 工学部 土木工学科
	奈良 博（電気工学）	株式会社東芝 電力システム社 原子力電気設計部
	奈良林直（原子炉工学）	北海道大学大学院工学院 エネルギー環境システム専攻
	西村裕一（地震学）	北海道大学大学院理学研究院 地震火山研究観測センター
	東川直樹	中部電力株式会社 発電本部 土木建築部
	藤田 聡（装置機器学）	東京電機大学工学部 機械工学科
	美原義徳（耐震設計）	鹿島建設株式会社 原子力部
	楊井 知啓（機械工学）	東京電力株式会社原子力設備管理部
	山田博幸（防災・リスク論）	電力中央研究所
顧問	柴田 碧（耐震安全の体系化）	東京大学名誉教授
	首藤伸夫（津波工学）	東北大学名誉教授
	平野光將（原子力安全工学）	電力中央研究所

3. 委員会の成果（多分野間協働の成果として）

（1）報告書の総合性

序
1. 総説
2. 地震・津波工学に求められる原子力安全の基本事項
3. リスク論に基づく地震・津波防御の体系
4. 原子力発電所の地震・津波事故シナリオ
5. 原子力発電所の津波安全に関する性能
6. 津波の作用
7. 津波防御に関する工学的方法
8. 津波フラジリティ解析
9. 施設周辺地域における防災・減災対策の推進
10. 耐津波工学関連の解析コード
11. 耐津波工学の課題と展望

コラム（A～N）
むすび
執筆者一覧
付録
English Summary



JAEE

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－

Tsunami Resistant Engineering for Nuclear Safety
－Toward an Integrated Framework for Earthquake-Tsunami Protection－

2015年3月
March 2015

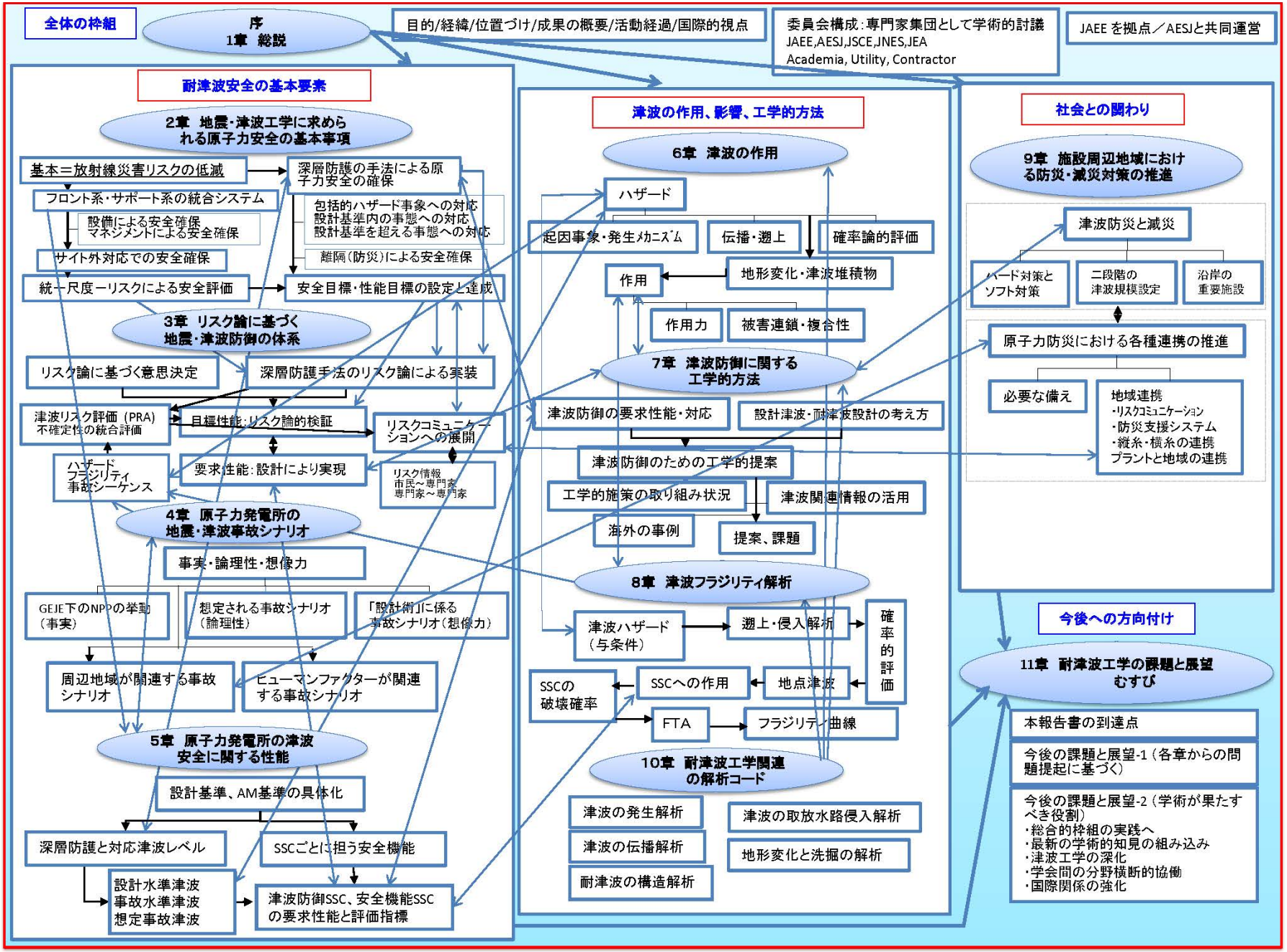
（編纂）
公益社団法人 日本地震工学会
原子力安全のための耐津波工学の体系化に関する調査委員会

（協力機関）
一般社団法人 日本原子力学会 標準委員会

Compiled by
Committee on Tsunami Resistant Engineering for Nuclear Safety,
Japan Association for Earthquake Engineering (JAEE)
In cooperation with
Standards Committee, Atomic Energy Society of Japan (AESJ)

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

各章間の関係


全体の枠組
序
1章 総説
目的/経緯/位置づけ/成果の概要/活動経過/国際的視点
委員会構成：専門家集団として学術的討議
JAEE,AESJ,JSCE,JNES,JEA
Academia, Utility, Contractor
JAEE を拠点／AESJと共同運営
耐津波安全の基本要素
2章 地震・津波工学に求められる原子力安全の基本事項
基本＝放射線災害リスクの低減
深層防護の手法による原子力安全の確保
フロント系・サポート系の統合システム
設備による安全確保
マネジメントによる安全確保
包括的ハザード事象への対応
設計基準内の事態への対応
設計基準を超える事態への対応
サイト外対応での安全確保
離隔（防災）による安全確保
統一尺度ーリスクによる安全評価
安全目標・性能目標の設定と達成
3章 リスク論に基づく地震・津波防御の体系
リスク論に基づく意思決定
深層防護手法のリスク論による実装
津波リスク評価（PRA）不確定性の統合評価
目標性能：リスク論的検証
リスクコミュニケーションへの展開
ハザード
フラジリティ
事故シーケンス
要求性能：設計により実現
リスク情報
市民～専門家
専門家～専門家
4章 原子力発電所の地震・津波事故シナリオ
事実・論理性・想像力
GEJE下のNPPの挙動（事実）
想定される事故シナリオ（論理性）
「設計術」に係る事故シナリオ（想像力）
周辺地域が関連する事故シナリオ
ヒューマンファクターが関連する事故シナリオ
5章 原子力発電所の津波安全に関する性能
設計基準、AM基準の具体化
深層防護と対応津波レベル
SSCごとに担う安全機能
設計水準津波
事故水準津波
想定事故津波
津波防御SSC、安全機能SSCの要求性能と評価指標
津波の作用、影響、工学的方法
6章 津波の作用
ハザード
起因事象・発生メカニズム
伝播・遡上
確率論的評価
作用
地形変化・津波堆積物
作用力
被害連鎖・複合性
7章 津波防御に関する工学的方法
津波防御の要求性能・対応
設計津波・耐津波設計の考え方
津波防御のための工学的提案
工学的施策の取り組み状況
津波関連情報の活用
海外の事例
提案、課題
8章 津波フラジリティ解析
津波ハザード（与条件）
遡上・侵入解析
確率的評価
SSCの破壊確率
SSCへの作用
地点津波
FTA
フラジリティ曲線
10章 耐津波工学関連の解析コード
津波の発生解析
津波の取放水路侵入解析
津波の伝播解析
地形変化と洗掘の解析
耐津波の構造解析
社会との関わり
9章 施設周辺地域における防災・減災対策の推進
津波防災と減災
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
原子力防災における各種連携の推進
必要な備え
地域連携
・リスクコミュニケーション
・防災支援システム
・縦系・横系の連携
プラントと地域の連携
今後への方向付け
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-1（各章からの問題提起に基づく）
今後の課題と展望-2（学術が果たすべき役割）
・総合的枠組の実践へ
・最新の学術的知見の組み込み
・津波工学の深化
・学会間の分野横断的協働
・国際関係の強化

（2）目標5項目の達成

1) 原子力発電所の津波防御のための工学技術の把握

2) 地震・津波防御における深層防護とリスク論の位置づけの明確化

3) リスク論に基づく原子力発電所の地震・津波安全評価体系の明確化

4) 地震工学，津波工学，原子力安全工学の分野横断的討議をふまえた総合的視野の構築

5) 以上を包含する地震・津波に対する原子力安全実現への総合工学的枠組みを「原子力安全の耐津波工学」として体系化

（3）コラムの作成

+ 多分野で討議していると、同じ概念を異なる用語で表現したり、同じ用語を異なる概念で用いたり、ずれがある場合などがある。
+ 討議で現れたこれら事例のうち、重要な用語・概念につき、報告書の本文とは別に、各1ページのコラムを作成した。
+ これにより、分野間交流の円滑化を図った。
+ 解説だけでなく、委員会独自の提案を含むものもある。

コラム

コラムA 技術ガバナンス
コラムB ハザード
コラムC 深層防護の役割と効用
コラムD 多様性・多重性・独立性
コラムE ALARPの考え方について
コラムF 原子力分野でのリスクの使われ方
コラムG 不確定性の概念と用語の整理
コラムH 事故シナリオと事故シーケンス
コラムI 過酷事故とシビアアクシデント
コラムJ SSC
コラムK 作用（Action）
コラムL 計画津波・設計津波・想定津波・基準津波について
コラムM ドライサイトの定義
コラムN 浸水、冠水、湛水等について

＜コラムA＞ 技術ガバナンス

原子力安全を確立するためには，政策的，経営的，および技術的基盤を体系的に結びつけた取り組みが重要である。その基盤となるのが技術であることは言うまでもない。技術に真摯に向き合い，技術に基づいた適切な判断を行うことこそ最も優先させなければならない。それが技術ガバナンスである[1),2)]。そのためには，科学者，技術者は適切に判断のための情報を示さなければならない。それが科学者，技術者の原子力安全を確保するための重要な責務である。その上で，原子力安全は技術的な判断だけでは成り立たないことを自覚し，他の要素を有機的に結びつけ，それらを有効に機能させる枠組として，リスクガバナンスの確立が不可欠となる。リスクガバナンスとは，「様々な脅威(リスク)に対する問題解決の行為における能動的参加者と責務，規則と約束事，意思決定の構造，情報の蓄積・解析・開示・運用，のすべてを有機的に包含し有効に機能する仕組みの総体」と規定される[3)]。そこでは，リスクマネジメントやリスクアナリシスなどの手順に加え，能動的参加者（ステークホルダー）の役割が活動的に位置づけられていることが必須とされる。すなわち，原子力安全においては，それはトータルな運営体制の問題であり，特に自然ハザードに対する安全において不備があったことが福島第一事故の重要な要因として指摘されている[4),5)]。技術ガバナンスは，リスクガバナンスを支える不可欠の柱である。

原子力安全を具体的に実現する手段として，工学技術はその中核をなす。これまでに実現された個別要素技術および総合化技術は膨大であり，その集積のうえに原子力発電所が存在している。しかし，リスクガバナンスが重要課題とされる中で，工学の役割は「正しい技術」を持つだけでは果たされない。それ以上に，「技術を正しく適用する」ことが必須である。リスクガバナンスの包括的な枠組の中で，技術的真価を発揮させねばならない。この点で，技術ガバナンスを担うべき工学の責任は大きい。

本報告書は，原子力安全の課題を，「耐津波安全の基本原則」，「津波の作用・影響・工学的方法」，「社会との関わり」から，総合的に扱ってきた。それは，技術ガバナンスの概念と軌を一にするものである。

参考文献

1) 亀田弘行，高田毅士，蛯沢勝三，中村晋：原子力災害の再発を防ぐ（その3） —地震工学分野から原子力安全への提言—，日本原子力学会誌, Vol. 54, No. 9，pp.29-37，2012.9.
2) 宮野廣：技術ガバナンスとトータルデザイン，学術の動向，Vol.20,No.2，日本学術会議，pp.68-71，2015,2.
3) Ortwin Renn: Risk Governance towards an Integrative Approach, IRGC White Paper No.1, International Risk Governance Council, September 2005.
(http://irgc.org/IMG/pdf/IRGC_WP_No_1_Risk_Governance__reprinted_version_.pdf)
4) 首相官邸原子力災害対策本部：原子力安全に関する IAEA 閣僚会議に対する日本国政府の報告書－東京電力福島原子力発電所の事故について－，2011.6.
(http://www.kantei.go.jp/jp/topics/2011/iaea_houkokusho.html)
5) 国会事故調（東京電力福島原子力発電所事故調査委員会）：調査報告書，2012.6.

＜コラムL＞ 各種津波対策において設定する津波について

行政や事業者は，住民や施設の津波対策において想定する津波を設定する。ある想定に沿って波源を想定し対象地点での津波による作用（水位，浸水域，流体力等）を推計する方法が一般的であり，これらの推計結果は津波対策の資料として活用される。分野によって以下の用語が用いられる。

[計画津波]

ハードとソフトを含めた総合津波対策を計画するための津波であり，東日本大震災では，国土交通省などが「津波防災まちづくりの計画や避難計画の策定のための津波」（参考：津波防災まちづくりの計画策定に係る指針[1)]などに明記）とされている。

[設計津波]

「海岸保全施設である海岸堤防等の設計に必要となる津波」となり，ハード中心とした津波対策を検討する際の津波である。同様に，東日本大震災では，レベル1・2などを対象として，国土交通省「設計津波の水位の設定方法等[2),3)]」を提案している。

[基準津波]

原子力規制委員会が東日本大震災以降，平成25年に制定した新規制基準[4)]の用語であり，「設計基準対象施設の供用中に当該施設に大きな影響を及ぼすおそれがある津波」とされる。基準津波は，施設からの反射波の影響が微少となるよう，施設から離れた沿岸域で定義され，設計基準対象施設位置で定義される津波（同規制基準では，これを入力津波と呼び，上述の設計津波とほぼ同義である。）とは明確に区別されている。

[想定津波]

対策，計画，設計など実施をする際に想定すべき（検討すべき）津波であり，定義の範囲が広い。

以上は一般的に用いられる用語であるが，本報告書では深層防護との関連で，原子力発電所を対象に，以下の呼称を提案している。

[設計水準津波 (Design Tsunami)]

異常発生防止用SSC設計のための設計津波（深層防護レベル1に対応）

[事故水準津波 (Accident-Control Tsunami)]

異常検知用または設計基準内への事故の制御用のSSC設計のための設計津波（深層防護レベル2, 3に対応）

[想定事故津波 (Severe-Accident Tsunami)]

アクシデントマネジメント策および原子力防災の有効性評価のような設計基準を超える想定津波（深層防護レベル4，5に対応）

ここで，設計津波（SSC設計用の想定津波）は，「設計水準津波」と「事故水準津波」2種類から構成されるべきとするものである。

参考文献

1) http://www.mlit.go.jp/common/001000488.pdf (2014.7.3参照)
2) http://www.mlit.go.jp/report/press/river03_hh_000361.html (2014.7.3参照)
3) https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/kasentsunamitaisaku/dai02kai/dai2kai_ref4.pdf (2014.7.3参照)
4) http://law.e-gov.go.jp/htmldata/H25/H25F31901000005.html (2014.7.3参照)

（4）将来展望

i) 本報告書の到達点
＝目標5項目に関する検証

ii) 今後の課題と展望～1（各章からの問題提起に基づく）／
（技術課題）

a) 耐津波安全の基本要素に関する事項

b) 津波の作用，影響，工学的方法に関する事項

c) 社会との関わりに関する事項

iii) 今後の課題と展望～2（学術が果たすべき役割）／
（戦略的課題）

a) 耐津波原子力安全確保の実践に向けた学術の役割

b) 最新の学術的知見の組み込み

c) 原子力安全のための津波工学の深化

d) 学会間の分野横断的協働

e) 国際関係の強化

4. むすび

＊本企画セッション:

+発表:

(1)真の分野間協働を目指して～耐津波工学委員会の使命（亀田）

(2)原子力発電所の耐津波技術（有川）

(3)原子力発電所の事故シナリオに係るフラジリティ（蛯沢）

(4)原子力発電所周辺地域における防災・減災の推進（佐藤）

+総合討論：地震・津波に対する原子力安全実現への「耐津波工学」として体系化するための課題（コーディネーター：宮野)

＊成果報告会:

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」報告会

+ 平成27年4月15日（水） 9:30～17:30

+ 東京大学弥生講堂　一条ホール

+ 参加費【報告書1冊＋講演資料】:

12,000円（会員：JAEE, AESJ, JSCE）／14,000円（非会員）

＊報告書販売: 10,000円（会員）、12,000円（非会員）