

# CAEにおけるV&Vの重要性

東京大学  
越塚誠一

# 目次

1. V&V (Verification and Validation)
  - 1.1 V&Vの背景と現状
  - 1.2 日本計算工学会の技術標準
2. 福島原発事故と工学シミュレーション
  - 2.1 事故での問題
  - 2.2 新規制基準における役割

# V&V (Verification and Validation)

## —検証と妥当性確認—

# V&V (Verification and Validation)

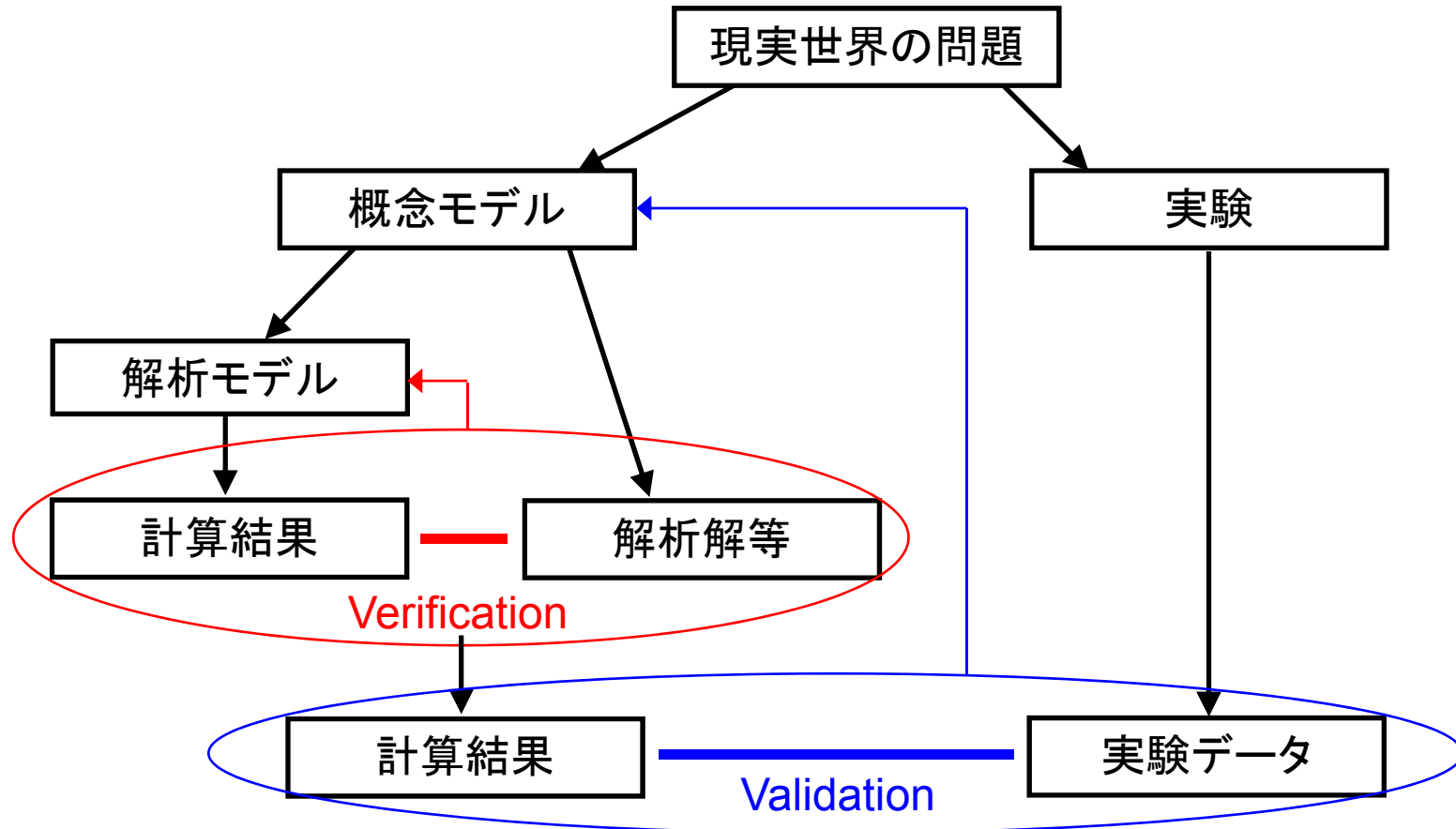
## 検証と妥当性確認

- シミュレーション結果の信頼性を具体的に確立するための方法論。
- CAE(Computer-Aided Engineering)(=シミュレーションの産業利用)においてシミュレーション結果の信頼性は欠かすことができない要件。
- モデルV&Vと品質V&Vの2つの流れがある。

白鳥正樹, 越塚誠一, 吉田有一郎, 中村均, 堀田亮年, 高野直樹,  
工学シミュレーションの品質保証とV&V, 丸善出版 (2013)

# モデルV&Vの概要

(モデリング & シミュレーションにおけるV&V)



# モデルV&V(米国)

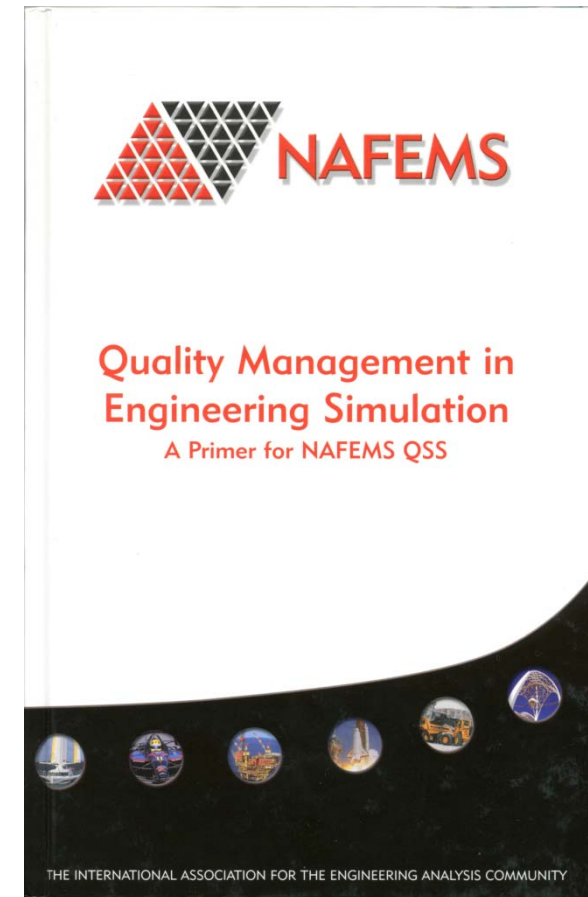
- U.S.DoD, 1996(2003), "DoD Modeling and Simulation (M&S) Verification, Validation, and Accreditation (VV&A)," DoD Instruction 5000.61, Defense of Modeling and Simulation Office
- AIAA, 1998, **Guide** for the Verification and Validation of **Computational Fluid Dynamics** Simulations, AIAA G-077-1998, American Institute of Aeronautics and Astronautics
- ASME, 2006, **Guide** for Verification and Validation in **Computational Solid Mechanics**, ASME V&V 10-2006, American Society of Mechanical Engineers
- ASME, 2009, **Standard** for Verification and Validation in **Computational Fluid Dynamics and Heat Transfer**, ASME V&V 20-2009, American Society of Mechanical Engineers

# 品質V&V

## (品質マネジメントにおけるV&V)

### NAFEMS

- 英国の非営利団体
- **ISO9001**準拠の計算業務の品質保証標準を整備している。
- FEM構造解析を中心に既に膨大なドキュメントが発行されている。
- 解析者の力量管理も重要。



<http://www.nafems.org/>

# モデルV&Vと品質V&Vの違い

- 何を目標とするのか
  - モデルV&V: real world
  - 品質V&V: customer
- 対象とする範囲
  - モデルV&V: コンピュータシミュレーション
  - 品質V&V: 企業活動->ソフトウェア業務  
->シミュレーション



# 日本計算工学会

- 「シミュレーションの品質・信頼性にかかわる調査・研究」  
研究分科会(HQC研究分科会)
  - 主査:白鳥正樹(横国大)
  - 副主査:高野直樹(慶大), 山田貴博(横国大), 越塚誠一(東大)
  - 幹事:吉田有一郎(東芝IS), 中村均(CTC), 堀田亮年(JNES)
  - 委員構成:自動車, 電機, 原子力, 建設, CAE, 大学など
  - フェーズ1:第1~9回会合を開催(2009.6~2011.3)
  - ISO9001のV&Vに関する日本の標準を発刊した。(2011.5)
    - 工学シミュレーションの品質マネジメント, JSCES-S-HQC001:2011
    - 工学シミュレーションの標準手順, JSCES-S-HQC002:2011
  - フェーズ2:第1~8回会合を開催(2011.4~2013.3)
  - フェーズ3:第1~2回会合を開催(2013.4~)
  - V&V講習会の開催

# 計算工学 Vol.16(4) (2011)



## 特集「シミュレーションの品質保証」

- ・企画趣旨 白鳥正樹
- ・シミュレーションの品質に関する海外の動向 越塚誠一
- ・シミュレーションの品質に関する原子力分野の動向 堀田亮年
- ・自動車開発におけるシミュレーションの品質保証 沢田龍作
- ・工学シミュレーションの品質マネジメント 吉田有一郎
- ・工学シミュレーションの標準手順 中村 均

日本計算工学会標準「工学シミュレーションの品質マネジメント」JSCES S-HQC001:2011  
 日本計算工学会標準「工学シミュレーションの標準手順」JSCES S-HQC002:2011

## 委員名簿

主査	白鳥 正樹	横浜国立大学	委員	塩見 忠彦	(株)マインド
副主査	越塚 誠一	東京大学	委員	設楽 親	東京電力(株)
副主査	高野 直樹	慶應義塾大学	委員	渋谷 忠弘	横浜国立大学
幹事	中村 均	伊藤忠テクノソリューションズ(株)	委員	鈴木 喜雄	(独)日本原子力研究開発機構
幹事	堀田 亮年	(株)テプコシステムズ	委員	竹内 則雄	法政大学
幹事	吉田 有一郎	東芝インフォメーションシステムズ(株)	委員	松橋 徹生	(株)本田技術研究所
			委員	長谷川 浩志	芝浦工業大学
			委員	原田 隆	(株)富士テクニカルリサーチ
委員	梅津 康義	(株)JSOL			
委員	大富 浩一	(株)東芝	委員	平野 栄樹	日産自動車(株)
委員	岡本 旦夫		委員	室園 浩司	プロメテック・ソフトウェア(株)
委員	小國 健二	慶應義塾大学			
委員	加口 仁	三菱重工業(株)	委員	森井 正	(独)原子力安全基盤機構
委員	加藤 毅彦	エムエスシーソフトウェア(株)	委員	山村 和人	新日本製鐵(株)
委員	佐々木 直哉	(株)日立製作所			(以上、50音順、敬称略)
委員	佐藤 学	カワサキプラントシステムズ(株)			
委員	沢田 龍作	トヨタ自動車(株)			

# 講習会

- 第1回「ものづくりシミュレーションの品質向上を目指して」
  - 2011.1.11
  - 慶応大学 矢上キャンパス
- 第2回「工学シミュレーションの品質保証ガイドラインの解説とその活用に向けて」
  - 2012.6.28
  - アルカディア市ヶ谷 私学会館

# 福島原発事故と工学シミュレーション

# 福島原発事故の調査

- 4つの事故調査委員会の報告書
  - 東電、国会、政府、民間
  - 2012年7月までにすべての報告書が発表された。
- 日本原子力学会の事故調査委員会
  - 2012.8発足、2013.9に最終報告案を発表
  - 計算科学技術部会が事故におけるシミュレーションの課題を担当した。

政府事故調:事務局事故原因等調査チーム長

学会事故調:委員、コアメンバー

計算科学技術部会:2010~2012 副部会長、2013 部会長

# 福島原発事故におけるシミュレーションに関する課題

## 日本原子力学会計算科学技術部会

- SPEEDI
  - モニタリングデータとの相補的利用
- 耐震計算
  - 最新技術を取り入れた合理的な解析
- 津波数値計算
  - 津波波源
  - 陸上遡上の3次元解析
- 過酷事故解析
  - 福島原発事故の再現解析が十分にできていない。

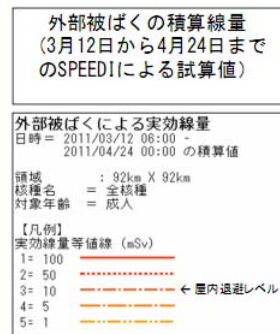
# SPEEDIをめぐる時系列

- 防災計画におけるSPEEDIの役割
  - ERSS:放射性物質の放出源予測
  - SPEEDI:ERSSと気象データを入力として放射性物質の大気拡散を予測、関係機関に配信
- 2011年3月11日
  - 14:46 東北地方太平洋沖地震が発生(M9.0)
  - 15:27 津波第1波が福島第一原発に到達
  - 15:42 原災法第10条通報
  - 16:43 ERSSのデータ送信が止まる。
  - 16:49 SPEEDIが緊急時モードへ切替られる。
    - ・単位放出源を仮定した計算結果は1時間毎に関係省庁等に自動的に送付。
    - ・保安院、文部科学省、原子力安全委員会は独自に様々な計算を依頼し結果を得る。



# SPEEDIデータの公表

- 3月15日
  - 文部科学省の記者会見で、SPEEDIデータの公表を求められる。
- 3月23日
  - 原子力安全委員会は逆解析によるSPEEDI計算結果を公表



平成23年4月24日の線量率

# SPEEDIに関する評価

- 国会事故調
  - SPEEDIは本事故の初動には有効ではなかった。
- 政府事故調
  - 避難対策にSPEEDIを活用しようという視点が欠落していたのは問題。
- 日本原子力学会事故調
  - 早い段階での避難指示にSPEEDIを活用しないとの決断は正しかった。
  - SPEEDIは3/15以降の避難指示に役立てられた可能性がある。
- 日本学術会議
  - 計算機シミュレーションの情報発信検討小委員会：科学者の自律的な情報発信が必要、シングルボイスの問題の指摘

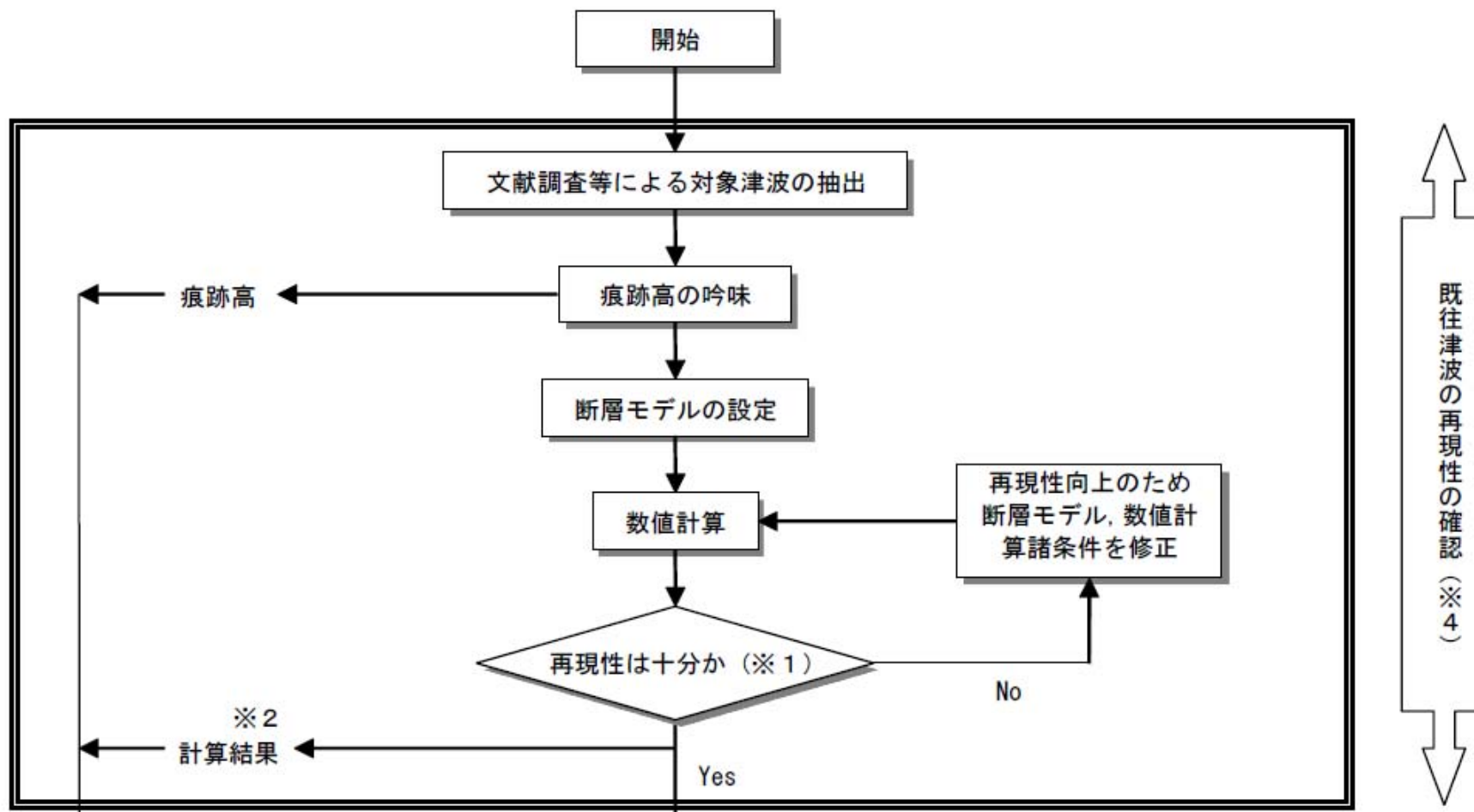
# 震災発生時の原子力発電所の津波想定

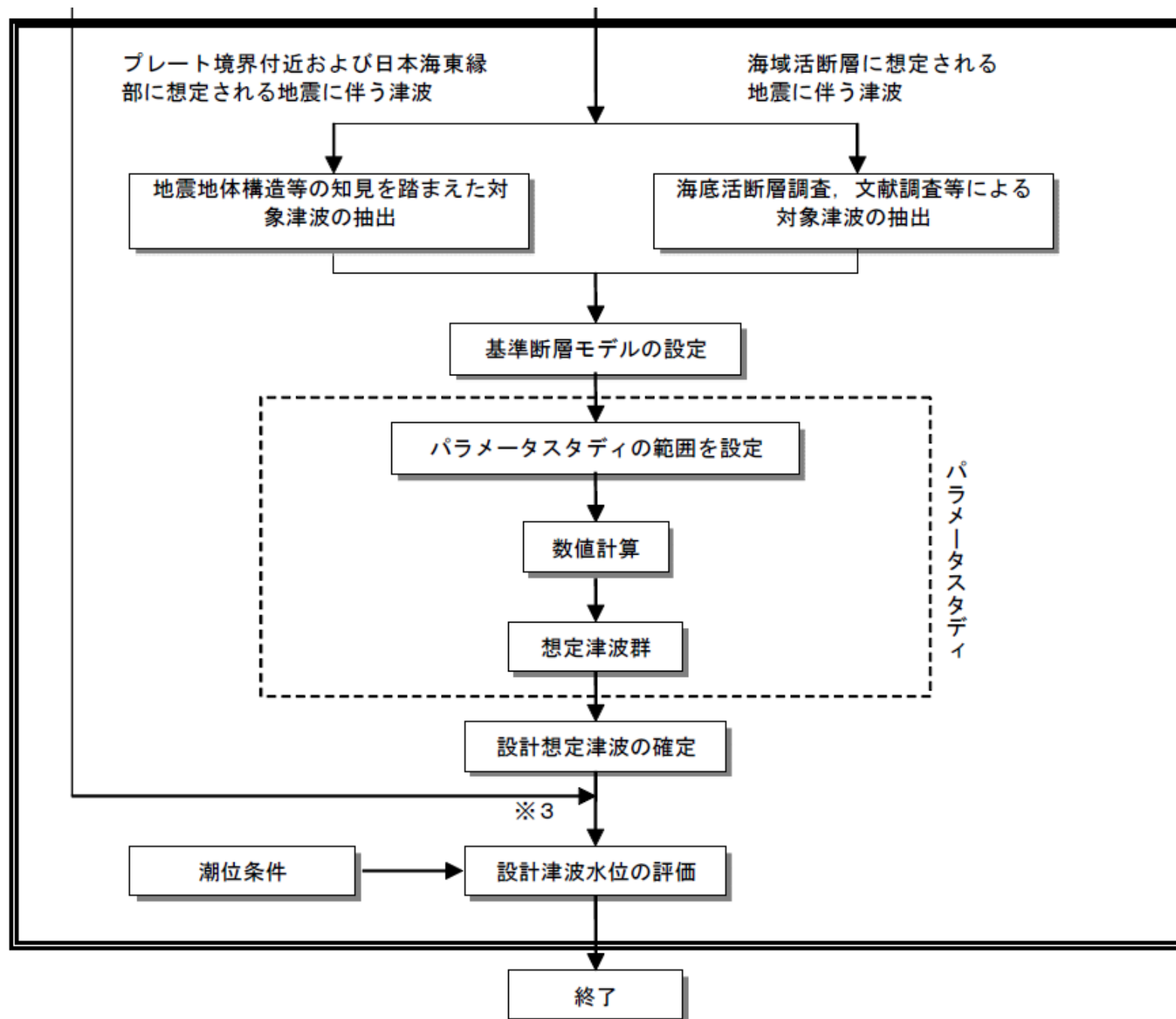
- 土木学会原子力土木委員会津波評価部会「原子力発電所の津波評価技術」(2002) → 津波水位評価

	想定値	3月11日の実測値
女川(3基)	9.1	13
福島第一(6基) 炉心損傷:1, 2, 3号機 水素爆発:1, 3, 4号機	5.7	15
福島第二(4基)	5.2	7
東海第二(1基)	5.72	5.4

単位[m]

# 土木学会：原子力発電所の津波評価技術 (2002)

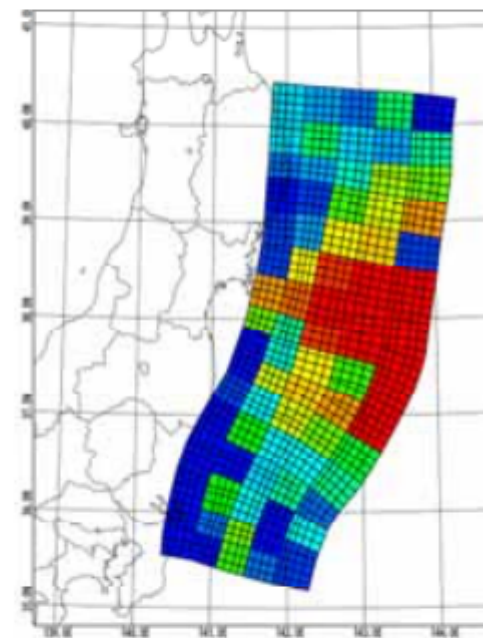
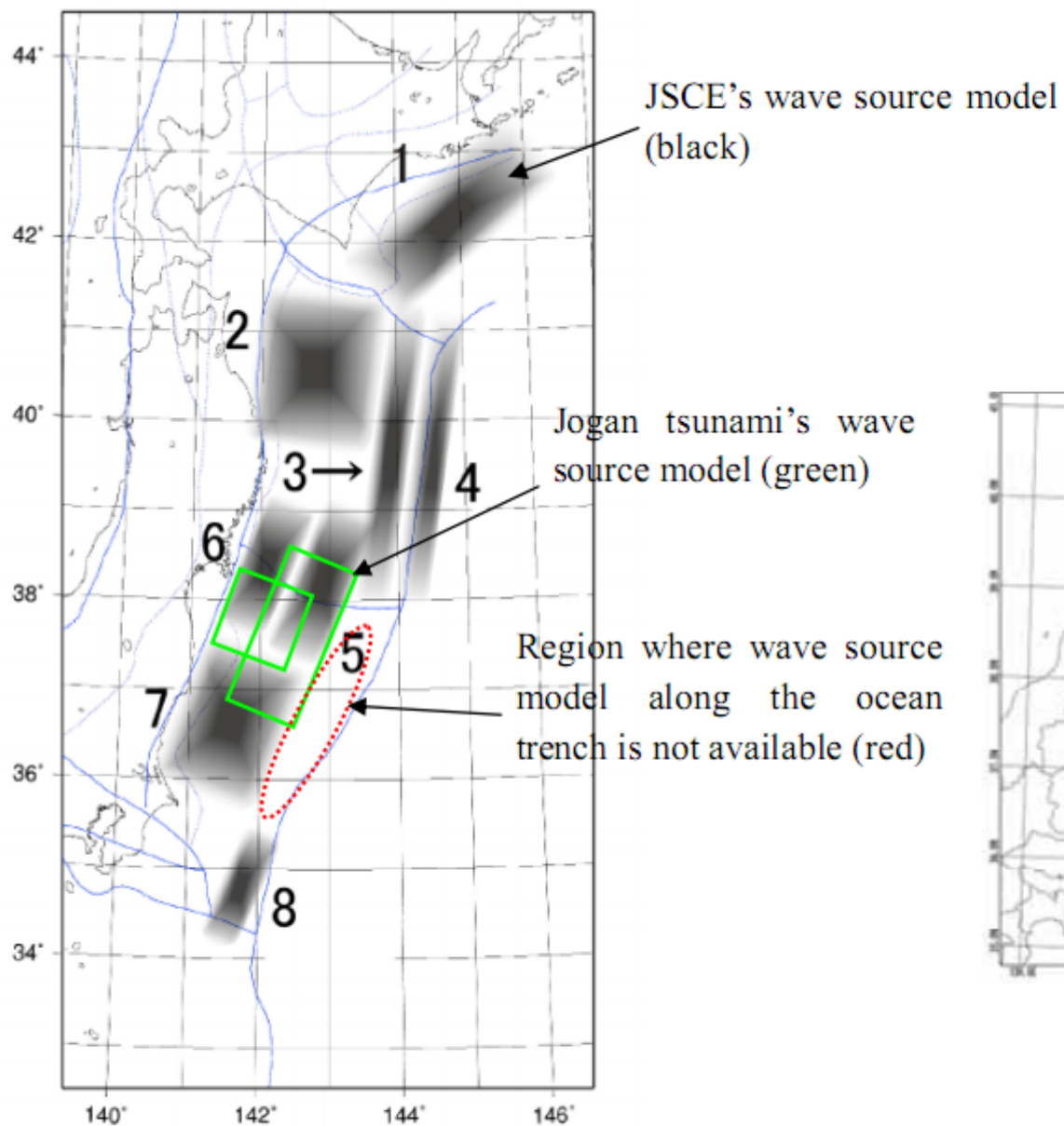




想定津波による設計津波水位の検討 (※4)

# 津波対策の経緯（政府事故調中間報告）

年.月.日	できごと
901	「日本三代実録」が書かれる。「貞観津波 (869)」が記載される。
1966-1972	東京電力福島第一原発が津波波高OP+3.122mで設置許可。
2002.2	土木学会より「原子力発電所の津波評価技術」が発刊される。
2002.3	東京電力が津波波高OP+5.4-5.7mと再計算。対策が取られる。
2002.7	地震調査研究推進本部が、津波地震は海溝寄りの領域内のどこでも発生しうると表明。
2006.9	原子力安全委員会が耐震設計審査指針を改定。 原子力安全・保安院が耐震バックチェックを要請。
2008	佐竹らの論文が出版される。貞観津波の波源モデルが示される。
2008.5-6	東京電力は三陸沖の波源モデルを福島沖に流用して津波波高OP+9.3-15.7mの計算結果を得る。 佐竹らの波源モデルを用いて津波波高OP+8.6-9.2mの計算結果を得る。
	東京電力はWGを立ち上げる。津波堆積物調査を開始。専門家への説明を開始。
2009.9	東京電力はOP+8.6-8.9mの計算結果を保安院に報告。
2011.3.7	保安院はOP+9.3-15.7mおよびOP+8.6-9.2mの計算結果を東京電力より聴取。
2011.3.11	東北地方太平洋沖地震が発生。



JSCE's wave source and Jogán tsunami's wave source (Jogán tsunami's wave source was evaluated based on Satake et al., 2008)

Wave source of the tsunami on March 11 (Evaluated by TEPCO)

# 問題が生じた背景

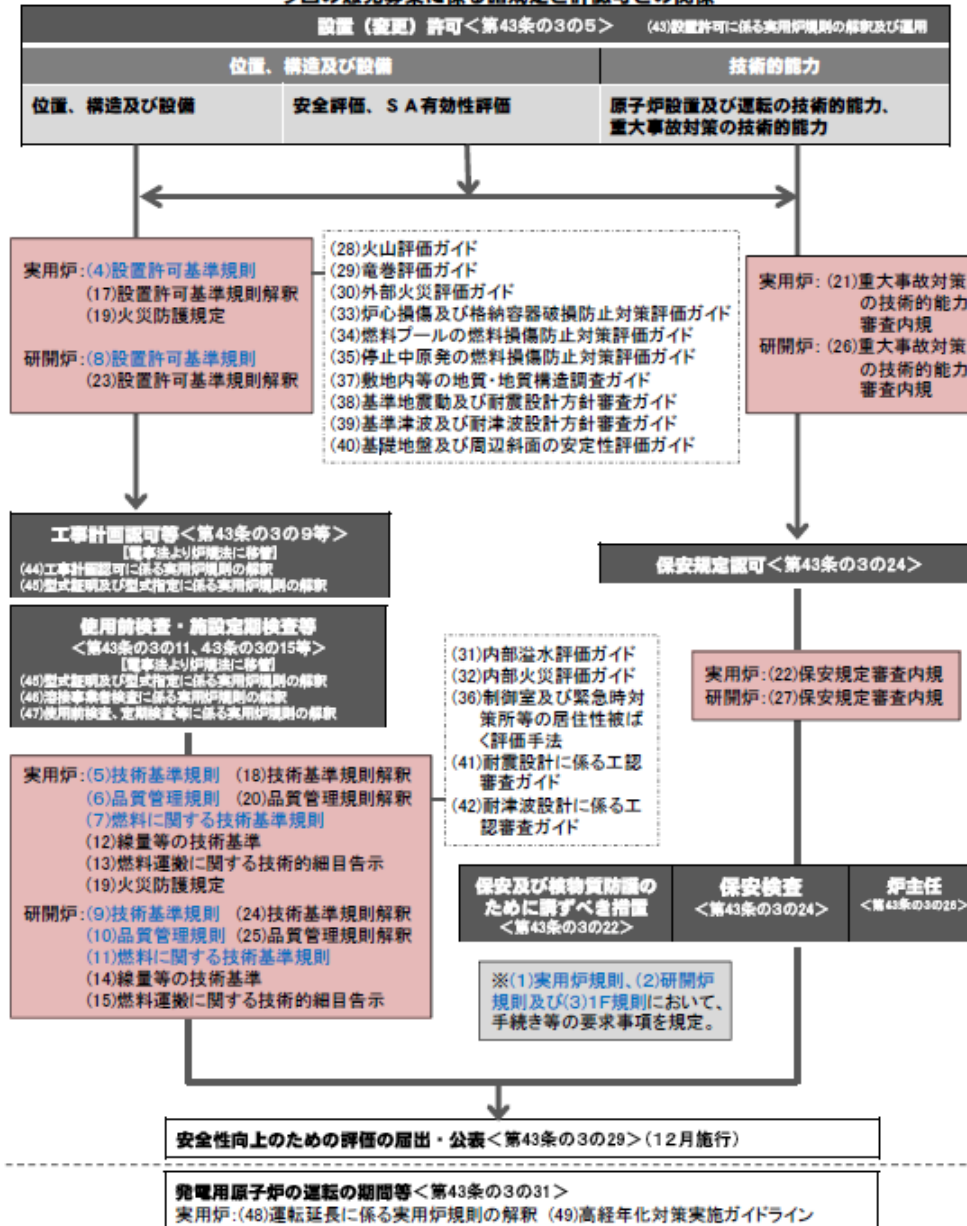
- シミュレーションは現代社会において極めて重要な役割を既に担っている。
- しかしながら、シミュレーション結果の信頼性に対する認識が不足していた。
  - SPEEDI: 計算結果が信頼できないとして、避難に活用しようとも思われなかった。
  - 津波想定: 仮定した波源に対してほぼ正確な津波波高の予測が計算できていた。しかし、現実にもそのような津波が発生するとは想像しにくかった。
- シミュレーションを活用する技術基準があまり整備されていない。



# 新規制基準(原子力規制委員会 2013.7.8施行)における役割

- 外的事象に関する解析手法
  - 地震、津波、溢水、火災、竜巻のガイドが作られた。
- 過酷事故解析
  - 過酷事故対策が規制要件化：有効性評価が必要
- 確率論的リスク評価
  - 安全性向上のための評価(事業者届出)で積極活用
- V&V
  - 品質V&V: 新規制基準では品質保証ガイドラインが運転段階から設計・工事段階(安全解析を含む)へ拡張。
  - モデルV&V: シミュレーションを活用する技術基準には不可欠、コード認証制度

今回の意見募集に係る諸規定と許認可との関係



[16]は全審査基準を一覧表にまとめたもの 赤字は原子力規制委員会規則、黒字は告示又は内規 <>内は、改正伊能法の該当条番号

※意見募集は、行政手続法に基づく(1)～(27)と任意の意見募集(28)～(49)の2件に分かれています。

# まとめ

- V&VはCAEにとって重要であり、日本計算工学会では2011年に2冊の技術標準を発刊した。
- 福島原発事故では、SPEEDIや津波想定など、シミュレーションに関わる大きな問題が生じた。これは、シミュレーションが大きな役割を担っていることの裏返しでもある。
- 事故の教訓を生かした新規制基準においては、シミュレーションの役割が増しており、新たな課題も生じている。