

日本原子力学会「2012年秋の大会」
広島大学 東広島キャンパス
2012.9.19-21

標準委員会セッション5(基盤・応用専門部会)
「数値解析技術と標準」
V & V標準の世界的現状

東京大学
越塚誠一

目次

1. V&V (Verification and Validation)の背景
2. 海外での技術基準の現状
3. 日本における技術基準の現状
4. まとめ

V&V (Verification and Validation) の背景

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。
- 欧米では技術基準として確立されつつある：モデルV&Vと品質V&Vの2つの流れがある。

原子力分野における 計算結果の信頼性の重要性

- 安全解析：許認可の要求事項
従来の保守的解析から最適評価へ
「保守性の担保」から「定量的な不確かさ評価」へ
- 研究の手段：
研究の手段、事故やトラブルの原因追求と対策
- プラントの設計、運転、保守：
設工認、定検での利用
- 汎用コードの利用：
中身のブラックボックス化
- コード認証
計算結果の信頼性を制度として確保するには

福島原発事故におけるV&V上の課題

- 地震動影響解析
- 津波解析
 - 現状において不確かさの評価が適切か
 - 水撃力や浮遊物衝撃力の評価
- 放射性物質のリアルタイム大気拡散解析
 - 避難に有効な程度に高精度な解析は可能か
- 過酷事故解析
 - 福島事故の再現解析
 - 損傷燃料位置の推定
 - 放出源評価
 - 過酷事故対策の有効性の評価
 - V&Vの現状と見通し

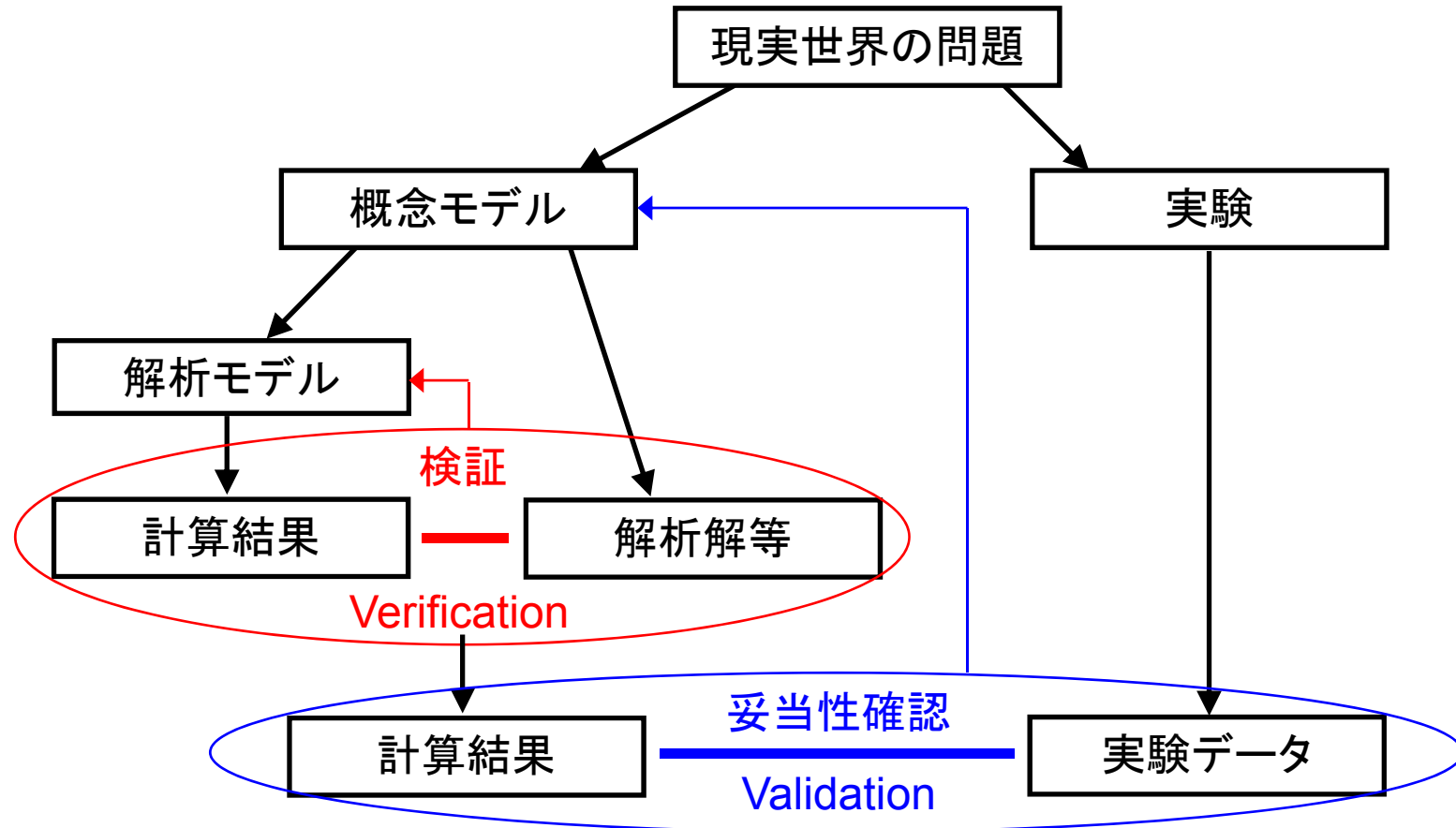
2種類のV&V

- モデリング & シミュレーションにおけるV&V(モデルV&V)
 - 解析コードによってどこまで実現象を評価できるか
 - 品質V&Vは前提
 - 海外: ASME V&Vの技術基準
 - 日本: 日本原子力学会 標準委員会 基盤・応用専門部会
シミュレーションの信頼性分科会
- 品質マネジメントにおけるV&V(品質V&V)
 - 工学シミュレーション業務の適切な遂行
 - 海外: ①NAFEMS QSS ②ASME NQA-1
 - 日本: ①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)
②日本原子力技術協会 解析業務品質向上検討会

海外での技術基準の現状

ASME V&Vの概要

(モデルV&V)



Verification & Validation (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

ASME V&V 10-2006

- PTC 60 委員会
 - Chair: Schwer
 - メンバー: 30人
- 内容
 - Guide
 - 計算固体力学分野
 - V&Vの一般的概念を提示
 - 27ページ
 - 広く注目を集める

コード開発の流れ



PIRT (Phenomena Identification and Ranking Table)

- Conceptual Modelの作成に有用
- V&V計画の作成に有用

PIRTは原子力分野から生まれた概念
統計的安全評価手法にも用いられている

ASME V&V 20-2009

- V&V 20 委員会
 - Coleman, Steele
 - メンバー: 10人
- 内容
 - Standard
 - 熱流動分野
 - error, uncertaintyの具体的評価手順
 - 88ページ

ASME V&V 組織

- ASME Codes and Standards: Board on Standardization and Testing
 - V&V Verification and Validation in Computational Modeling and Simulation
 - V&V 10 Verification and Validation in Computational Solid Mechanics
下部規定が多数作成中: Draft 10.1~10.8
 - V&V 20 Verification and Validation in Computational Fluid Dynamics and Heat Transfer
Standardが発刊された (2009)
 - (V&V 30 Verification and Validation of System Analysis and Computational Fluid Dynamics Software for Nuclear Applications)
StandardのDraftができています

米国機械学会標準委員会

ASME Codes and Standards

-Board on Standardization and Testing-

V&V Verification and Validation in Computational Modeling and Simulation

V&V 10 Verification and Validation in Computational Solid Mechanics

V&V 20 Verification and Validation in Computational Fluid Dynamics and Heat Transfer

V&V 30 Verification and Validation in Computational Simulation of Nuclear System Thermal Fluids Behavior

V&V 40 Verification and Validation in Computational Modeling of Medical Devices

ASME V&V Document Status (1)

- Published Standards
 - ASME V&V 10-2006 - Guide for Verification and Validation in Computational Solid Mechanics
 - ASME V&V 20-2009 - Standard for Verification and Validation in Computational Fluid Dynamics and Heat Transfer
 - V&V 10.1-2012 - An Illustration of the Concepts of Verification and Validation in Computational Solid Mechanics
- Drafts
 - Draft V&V 10.2 - Role of Uncertainty Quantification in Verification and Validation of Computational Solid Mechanics Models
 - Draft V&V 10.3 - Role of Validation Metrics in Verification and Validation of Computational Solid Mechanics Models
 - Draft V&V 10.4 - Role of Verification Methods in Verification and Validation of Computational Solid Mechanics Models
 - Draft V&V 10.5 - Role of Validation Methods in Verification and Validation of Computational Solid Mechanics Models
 - Draft V&V 10.6 - Defining Model Adequacy for Intended Model Usage in Verification and Validation of Computational Solid Mechanics Models
 - Draft V&V 10.7 - Role of Model Revision in Verification and Validation of Computational Solid Mechanics Models

ASME V&V Document Status (2)

- Drafts
 - Draft V&V 10.8 - An End-to-End Example of Hierarchical Verification and Validation of Computational Solid Mechanics
 - Draft V&V 10.X – Value of V&V for Decision Making
 - Draft V&V 20.1 - Multivariate Metrics - Supplement 1 of ASME V&V 20 - Standard for Verification and Validation in Computational Fluid Dynamics and Heat Transfer
 - Draft V&V 20.2 - Simulation at an Application Point - Supplement 2 of ASME V&V 20 - Standard for Verification and Validation in Computational Fluid Dynamics and Heat Transfer
 - Draft V&V 30 - Standard for Verification and Validation of System Analysis and Computational Fluid Dynamics Software for Nuclear Applications
 - Draft V&V 40 - Standard for Verification and Validation in Computational Methods for Medical Devices

ISO 9001のV&V (品質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/>

How to Plan a CFD Analysis

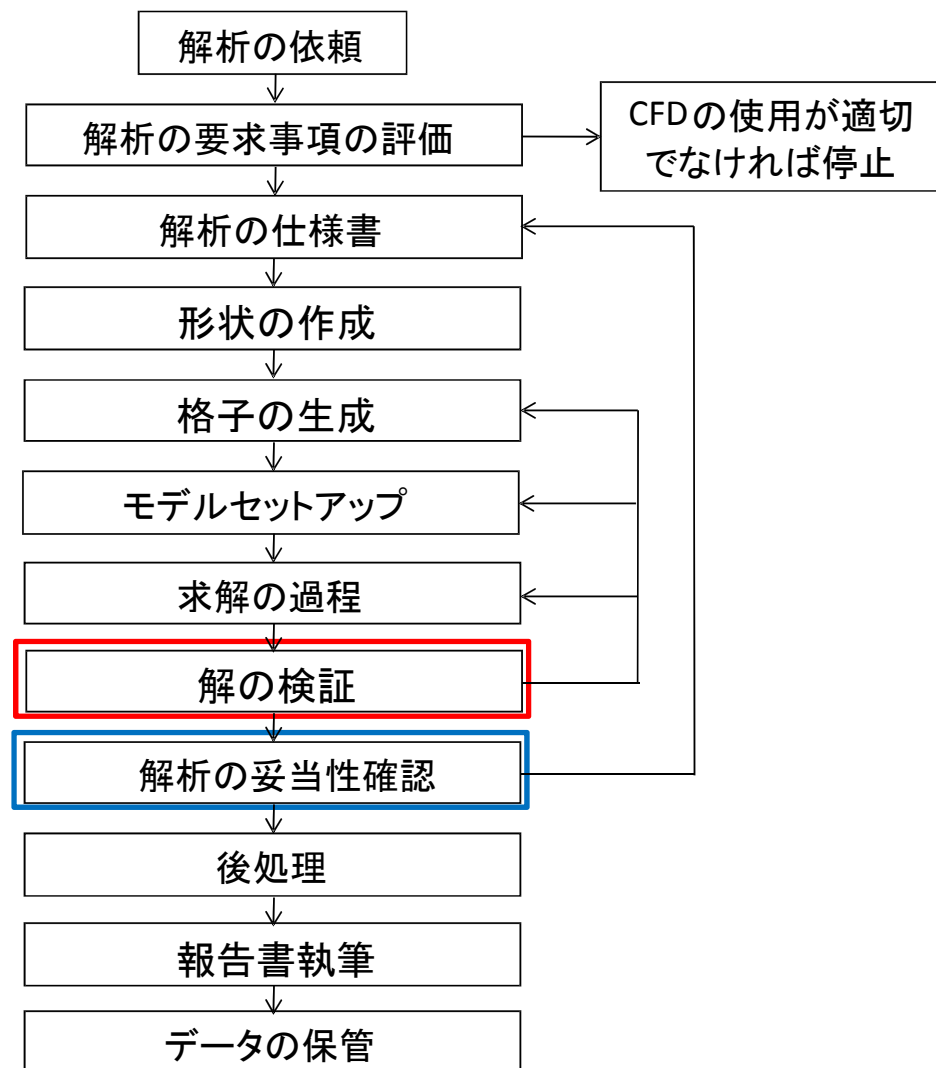
- QSS(Quality Management System)の下部規定の1つ
- Author: A. C. de Souza
- 2002

CFD業務の流れ

- 具体的にCFDの業務を書き下し、V&Vを加えたもの。
- ASME V&Vの影響を受けていると思われる。

Verification

Validation



A. C. de Souza, "How to Plan a CFD Analysis" (2012)より

ASME NQA-1

- 米国の原子力の品質マネジメントの基準
- 解析業務についても記述されている。
 - Requirement 3 Design Control: 401 Use of Computer Program, 800 Software Design Control
 - Requirement 11 Test Control: 400 Computer Program Test Procedures, 602 Computer Program Test Records
 - Subpart 2.7 Quality Assurance Requirements for Computer Software for Nuclear Facility Applications
 - Nonmandatory Appendix 11A-1 Guidance on Test Control: 200 Computer Program Test Procedures
 - Subpart 4.1 Application Appendix: Guide on Quality Assurance Requirements for Computer Software

日本における技術基準の現状

日本原子力学会

- 計算科学技術部会
 - 計算結果評価法研究専門委員会(2002-2005)
 - シミュレーションの信頼性ワーキンググループ(2010-2012)
 - 標準の元となるような報告書を作成
- 標準委員会 基盤・応用技術専門部会
 - シミュレーションの信頼性検討タスク (2009-2010)
 - 4回の会合の後、報告書を提出 → WGの発足
 - 放出源の有効高さ計算実施基準 AESJ-SC-A004:2011
 - モデルV&Vの考え方を全面的に取り入れている。
 - シミュレーションの信頼性分科会(2012-)
 - 原子力分野における一般的なモデルV&Vの標準を策定する予定

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)、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)
 - 品質V&Vに関する標準を発刊した。(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1~4回会合を開催(2011.4~)
 - 下部規定(具体事例)の策定
 - 最新情報の交換

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

原子力施設における許認可申請等に係る解析業務の品質向上ガイドライン

- 日本原子力技術協会(JANTI)
- JANTI-GQA-01 (2010)
- 解析業務品質向上検討会
 - 主査 渥美法雄(東京電力)
 - 副主査 戎崎浩治(関西電力)
 - 委員:電力(発注者)とメーカー(受注者)を中心に29名
- 内容
 - 調達、実施、検証、報告書の確認、記録の保管管理

計算力学技術者資格認定制度

日本機械学会

- 固体力学分野(2003~)
 - 初級(2006~)、2級(2003~)、1級(2004~)、上級(2009~)
- 熱流体力学分野(2005~)
 - 初級(2006~)、2級(2005~)、1級(2007~)、上級(2009~)
- 合格者数:3779人(~2011)
 - 固体力学分野:2586人、熱流体力学分野:1193人
 - 初級:558人、2級:2306人、1級:874人、上級:41人

2012年6月27日に東京でNAFEMSと国際シンポジウムを開催し、NAFEMSの認証制度との相互乗り入れについて検討を開始した。

まとめ

- 原子力分野およびその他の産業において、シミュレーションの信頼性を高めることがますます重要になってきている。
- V&Vはシミュレーションの信頼性を高める方法論であり、世界的に急速に広まっている。
- モデルV&Vと品質V&Vの2種類の流れがある。
- 日本原子力学会では、一般的なモデルV&Vの標準を作成するべく分科会が発足した。(→堀田様)
- 既に発刊された「放出源の有効高さ計算実施基準 AESJ-SC-A004:2011」においてはモデルV&Vの考え方が全面的に採用されている。(→佐田様)