

シミュレーションの品質保証とV&V

国内外の品質標準
V&Vの原理、考え方

中村 均

伊藤忠テクノソリューションズ(株)

平成24年(2012年)9月10日

版 : 9/10/2012

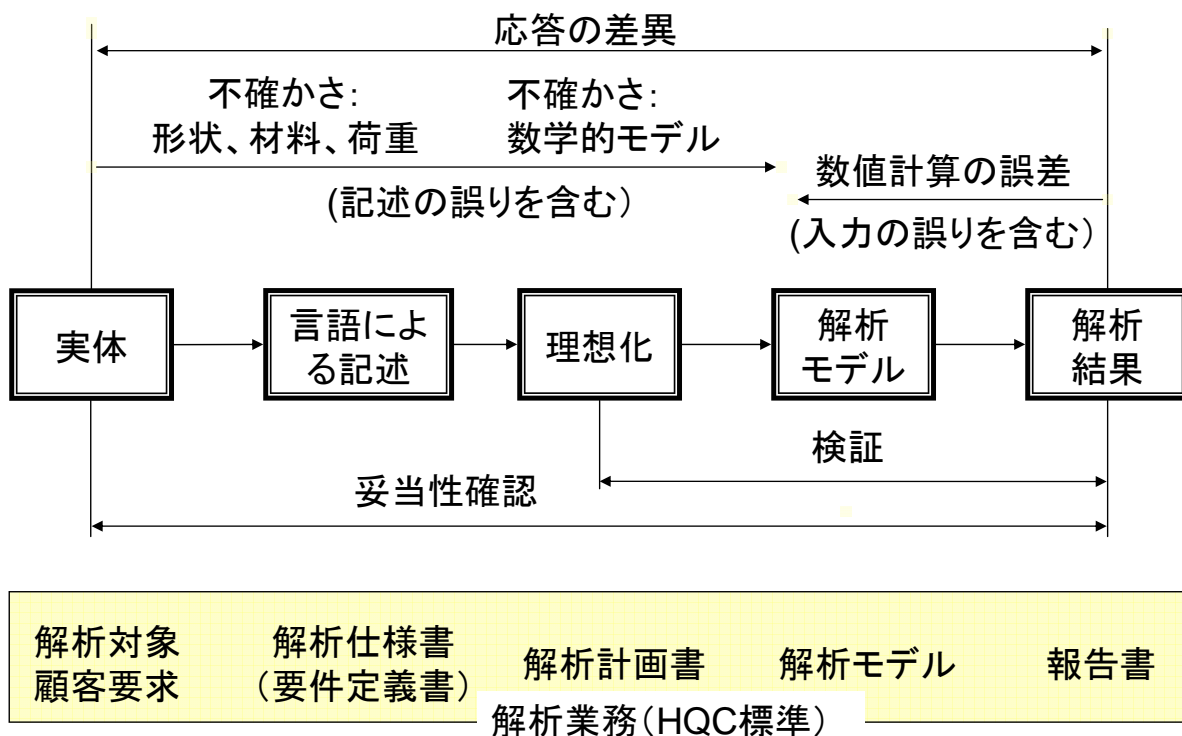
V&Vと品質標準

- Verification & Validation
 - 品質用語 (ISO対訳) としての検証、妥当性確認
 - 広義の検証プロセス、品質管理活動全般
 - 品質保証の基本原則: 目的のものをつくるためには
- シミュレーションのV&V: 2つの系統(越塚)
 - 「品質マネジメントにおけるV&V」
 - SAFESA (NAFEMS, 1995): 構造解析の品質(精度)管理
 - QSS001 (NAFEMS, 2007): ISO9001, 解析の要求事項
 - HQC標準 (日本計算工学会, 2011): 解析の要求事項 & 標準手順
 - 「Modeling SimulationにおけるV&V」
 - AIAAガイド (1998): 流体力学のV&V
 - ASME V&V10-2006: 固体力学のV&V、基本概念
 - ASME V&V20-2009: 流体力学のV&V、評価手順
 - 日本原子力学会標準 (策定中)

V&Vの原理:なぜ検証だけではだめなのか？

- 検証:「**規定要求事項**を満たすことを確認」
↑
本当の要求を完璧に**言葉で記述**することは難しい
- 妥当性確認:「特定の**意図された用途**又は適用に関する**要求事項**が満たされていることを確認」
- 検証: **正しく**製品を作っているか？
 - 仕様通りに作っているか？
 - **Are we building the product right?**
- 妥当性確認: **正しい**製品を作っているか？
 - 顧客要求を満たす製品を作っているか？
 - **Are we building the right product?**

シミュレーションの過程、誤差とV&V

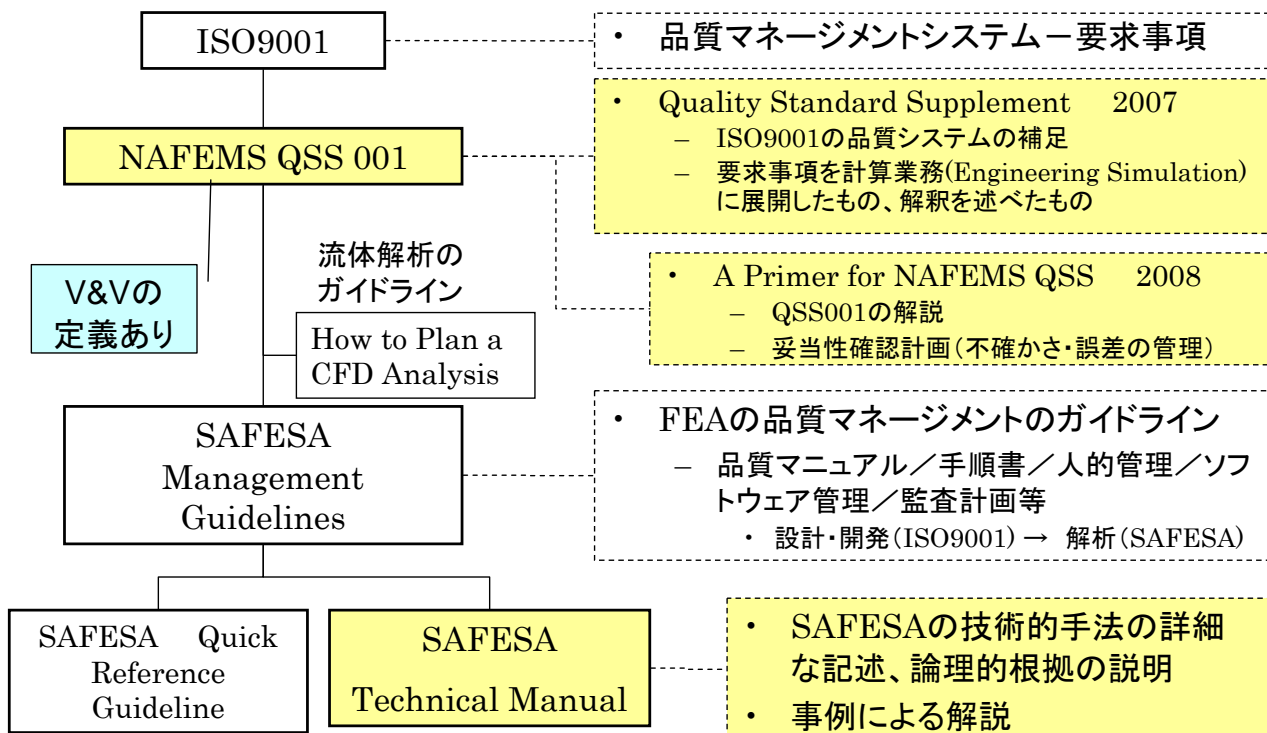


NAFEMS の品質マネジメント標準 QSS001, SAFESA

英国の非営利組織、1980年代初め～
古くは汎用構造コードの”ベンチマーク”で有名
FEM,CFD等商用コードの使用者側への情報提供
品質マネジメント等 数百社の会員、日本は10社程度

5

NAFEMSの標準体系



SAFESAの適格性確認の手順

・段階1 – スコープの定義

- 適格性確認のクライテリア、構造の境界条件の定義
- 計算結果の妥当性確認方法の計画

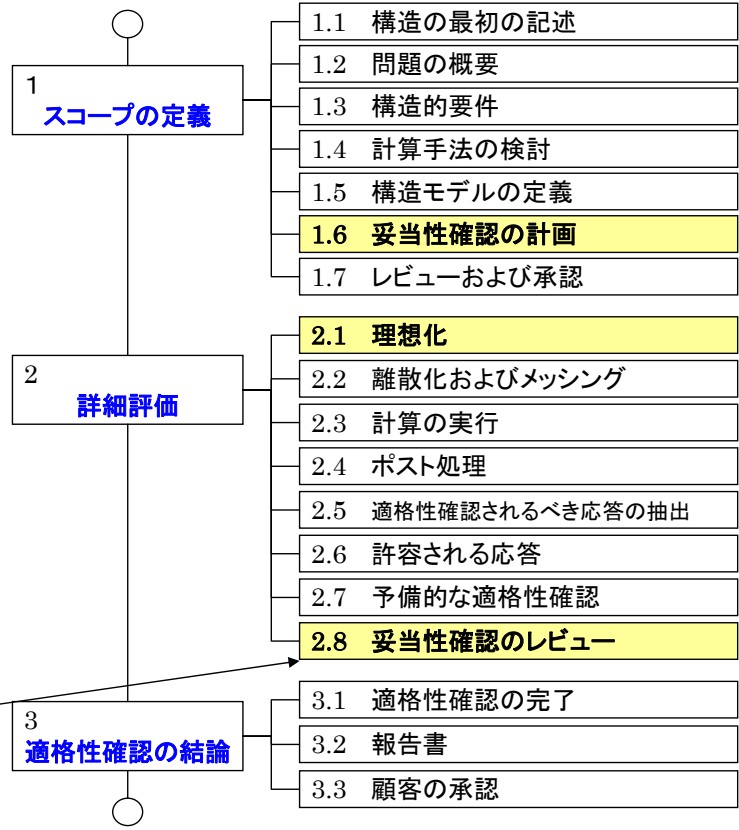
・段階2 – 詳細評価

- 理想化過程において誤差の識別、評価
- スコープに従った計算
- 計算結果を適格性確認クライテリアと比較し予備的な適格性確認
- 計算結果の妥当性を確認
 - ・ 計算モデルを用いた追跡誤差評価

・段階3 – 適格性確認の結論

- 許容クライテリアとの完全な比較と、構造の健全性評価に対する結論

V&Vの表現はなし
Consistency check
(適合性確認)

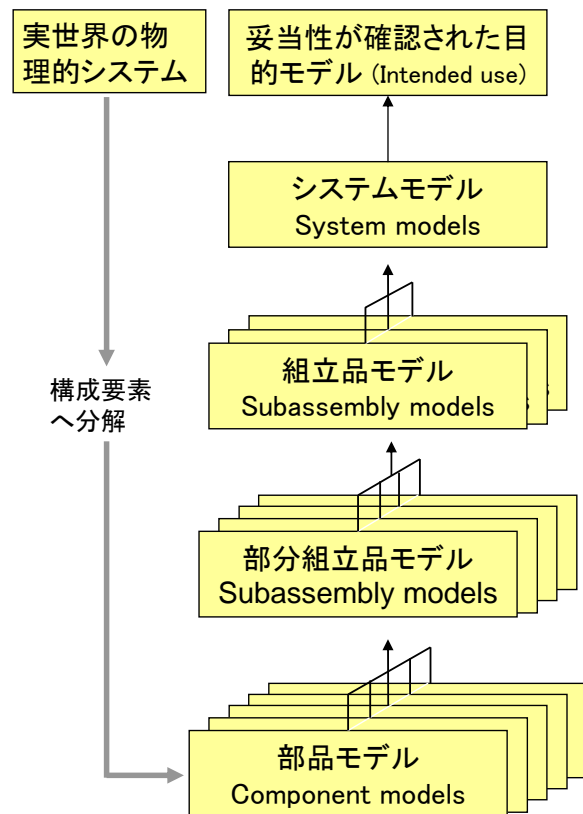


ASME V&V の概略

1. V&V10-2006 “Guide for verification and Validation in Computational Solid Mechanics”
「計算固体力学における検証と妥当性確認のための指針」
2. V&V20-2009 “Standard for Verification and Validation in Computational Fluid Dynamics and Heat Transfer”
「計算流体力学および伝熱における検証と妥当性確認の標準」

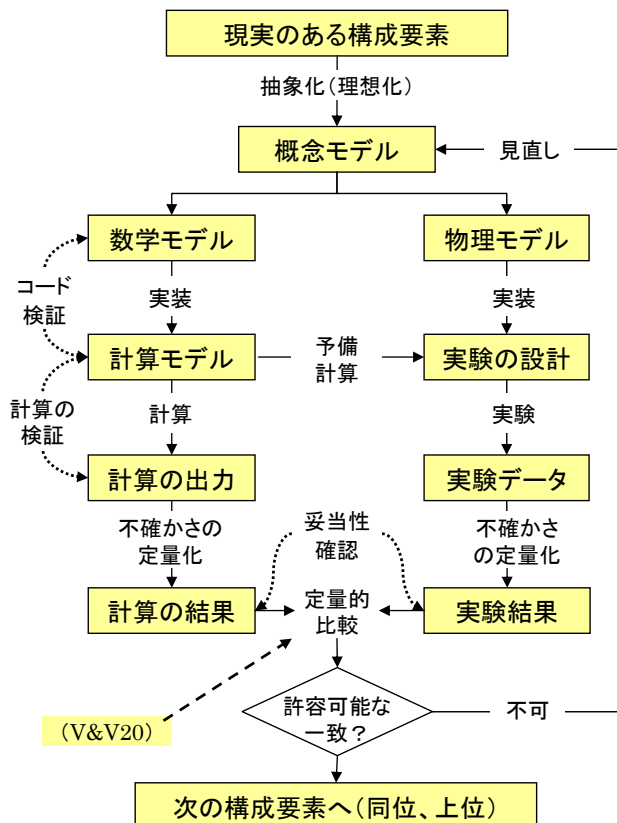
V&V 10 : ①対象物の階層構造化

- “Hierarchical structure of Physical Systems”
 - 物理的対象物を階層構造の構成要素へ
 - 対象システム／組立品／部分組立品
／．．／部品
- 階層構造モデルの構築とV&V
 - 最下層から構成要素の重要な物理現象を特定し記述：概念モデル
 - 理想化のための仮定を明確にすること。
 - 構成要素の計算モデルの構築
 - 概念モデル→数学モデル→ 計算モデル
 - 各計算モデルのV&Vによる確認
 - 上位モデルでは相互作用発生
 - 組立、接触、摩擦等
 - 最下層からの計算モデルの積上げによってのみ信頼度のある目的モデルを構築可
 - 上位階層でいきなり計算モデルを構築しても、信頼度低い。



V&V 10 : ②階層モデルのV&V

- 目的: 各層の計算モデルの予測能力の評価
- 概念モデル = 理想化
 - (対象領域、物理プロセス、入力&出力)
- 計算モデルの経路 (左側経路)
 - 数学モデル：プログラム実装(FEM等)
 - コード検証: 理論、半解析解等との比較
 - 計算の検証: 計算モデルの精度の検証
 - 分割数、収束度合い等
 - 計算結果の不確かさの定量化
 - 入力やモデルの不確かさ→結果の不確かさ
- 実験解析の経路 (右側経路)
 - 計算モデルの精度評価に必要な情報提供
 - 予備計算の推奨、計測位置、測定法等の確認
 - 計算モデルのチューニングに実験結果を用いるのは不可 ← キャリブレーション
 - 実験結果の不確かさの定量化
 - 測定誤差、製品のばらつき、組立の差異
- 妥当性確認：予測精度の評価
 - 計算と実験結果の定量的比較
 - 問題あれば、モデル化を見直し



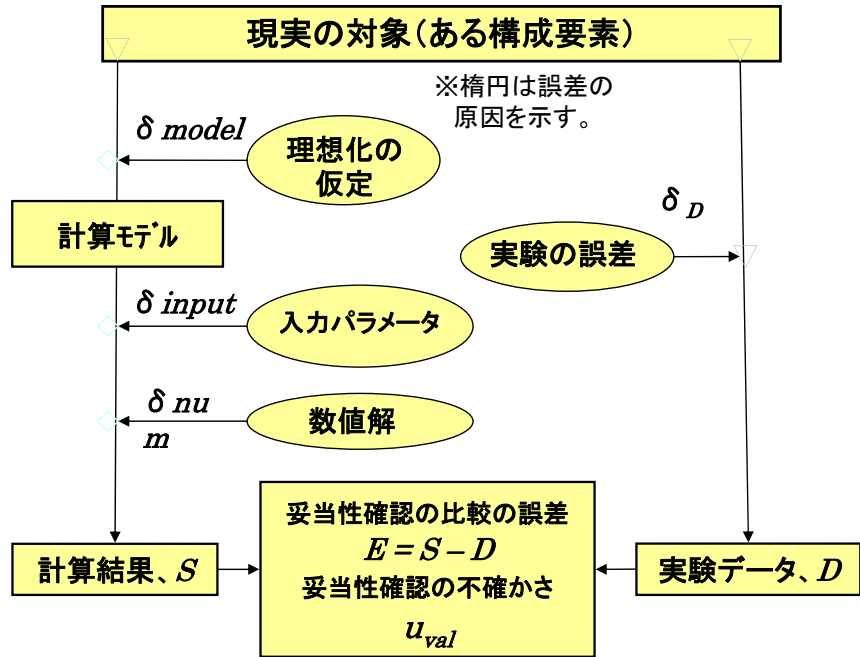
V&V 20: 妥当性確認の精度の評価

u : 不確かさ、測定(計算)値に対して「真の値」が存在する範囲。信頼区間(= error bar)

u_{input} : 入力パラメータの不確かさによる計算結果Sの不確かさ。1)感度解析 2)モンテカルロ法等により算出

u_{num} : 数値計算に伴う不確かさ。ベンチマーク解析との比較 2)計算格子依存性試験等々

u_D : 実験、計測における不確かさ。計測データの統計処理ほか



$$E = \delta_{model} + (\delta_{num} + \delta_{input} - \delta_D)$$

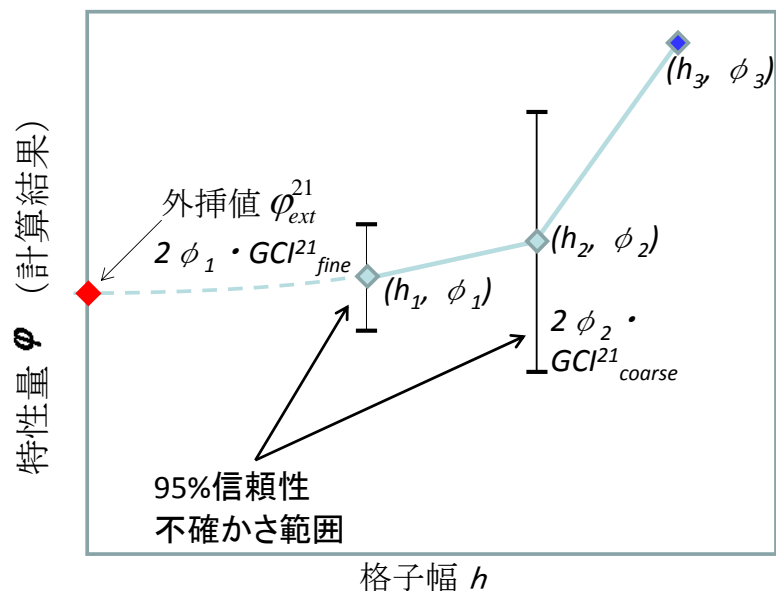
$$u_{val} = \sqrt{u_{num}^2 + u_{input}^2 + u_D^2}$$

V&V 20: 格子収束性の評価(GCI)

- GCI (Grid Convergence Index): ASME V&V20, Roche
 複数の h の計算結果を収束次数 p のべき乗級数でフィッティング、
 $h \rightarrow 0$ での収束解 $\phi(0)$ を得る。 : リチャードソン外挿(の変形?)

$$\phi(h) = \phi(0) + \phi^{(p)} h^p + \dots$$

- ① 収束傾向を前提
- ② 3つの格子解から p をフィッティング
- ③ 外挿値を算出
- ④ 外挿値と格子解との
 相対誤差 * F_s
 = GCI
 $F_s = 1.25$ 経験値



HQC分科会 (High Quality Computing)

- 「シミュレーションの品質・信頼性に関わる調査・研究」分科会
 - 主査: 白鳥正樹(横国)、副主査: 越塚誠一(東大)、高野直樹(慶応)

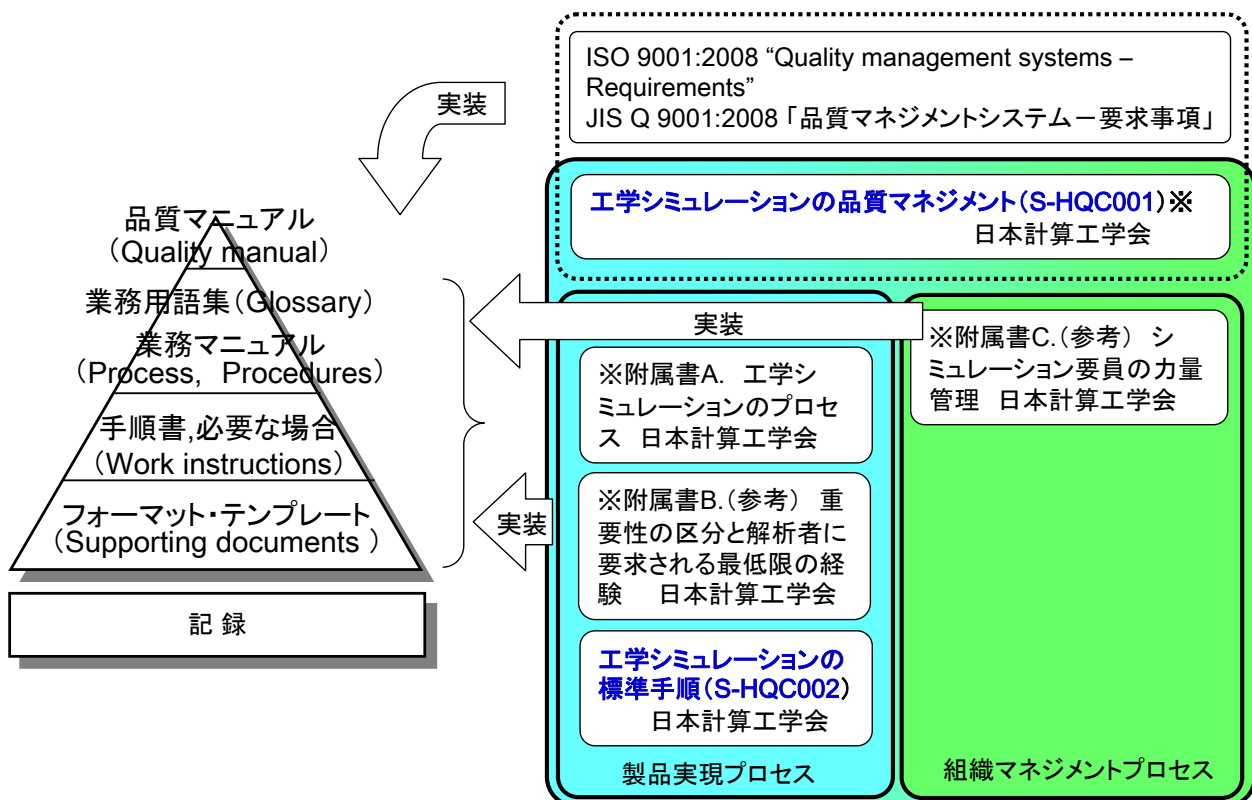
□ 第1期(2009年6月～ 2011年5月) 主査: 白鳥正樹

- 日本計算工学会標準の発行: 2011年(H23)5月
- ISO9001に基づく解析業務の品質管理標準
 - HQC001「工学シミュレーションの品質マネジメント」
 - HQC002「工学シミュレーションの標準手順」

第2期(2011年6月～ 2013年5月予定)

- 学会標準の整備・拡張と普及
 - シミュレーションツールの品質管理、外注管理等の手順の追補
 - 適用事例集、解説書等の作成
- 高度シミュレーションモデルの品質管理技術の研究
 - シミュレーションの精度管理手法の研究
 - 原子力学会の取り組みを参照: 一般産業向けのガイド、解説書の検討
- JSME 計算力学技術者資格認定専門委員会との連携
 - 品質保証のコンテンツ作成

品質マネジメント文書としてのHQC標準



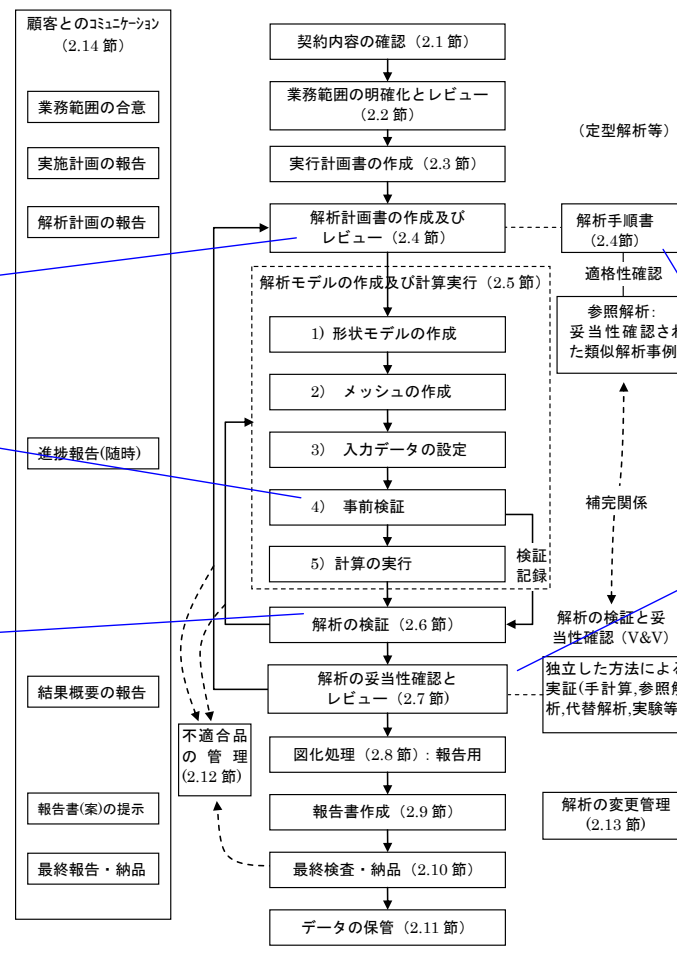
HQC002: 「工学シミュレーションの標準手順」

解析計画書:
V&Vの実施計画

事前検証:本番解析前のモデルのチェック、試解析等

検証:
解析が計画通りに正しく行われたことの確認

事前検証の結果も用いて計画した通りに正しく解析が行われたことを確認



V&Vを基軸とする品質保証プロセスの実務的な適用方法

解析プロセスの妥当性確認によるV&V(定型解析)

妥当性確認:
解析結果が意図した用途に適用できることの確認

工学的妥当性評価
独立した方法

V&V

HQC標準におけるV&Vの構造

解析の検証と妥当性確認(V&V)

- 検証(Verification)
 - 解析が計画通りに正しく行われたこと
 - 整合性(consistency)の確認
- 計算前の検証
 - 入力データの整合性
 - 予備計算:力の釣合い、変形、収束性、格子依存性等
- 計算後の検証
 - 正常に数値解析が行われたこと
 - 計算結果の整合性
- 妥当性確認(Validation)
 - 解析結果が意図した用途に適用できること
 - 検証結果を含め総合判定
- 独立した方法による実証
 - 工学式、類似計算、クロスチェック、実験

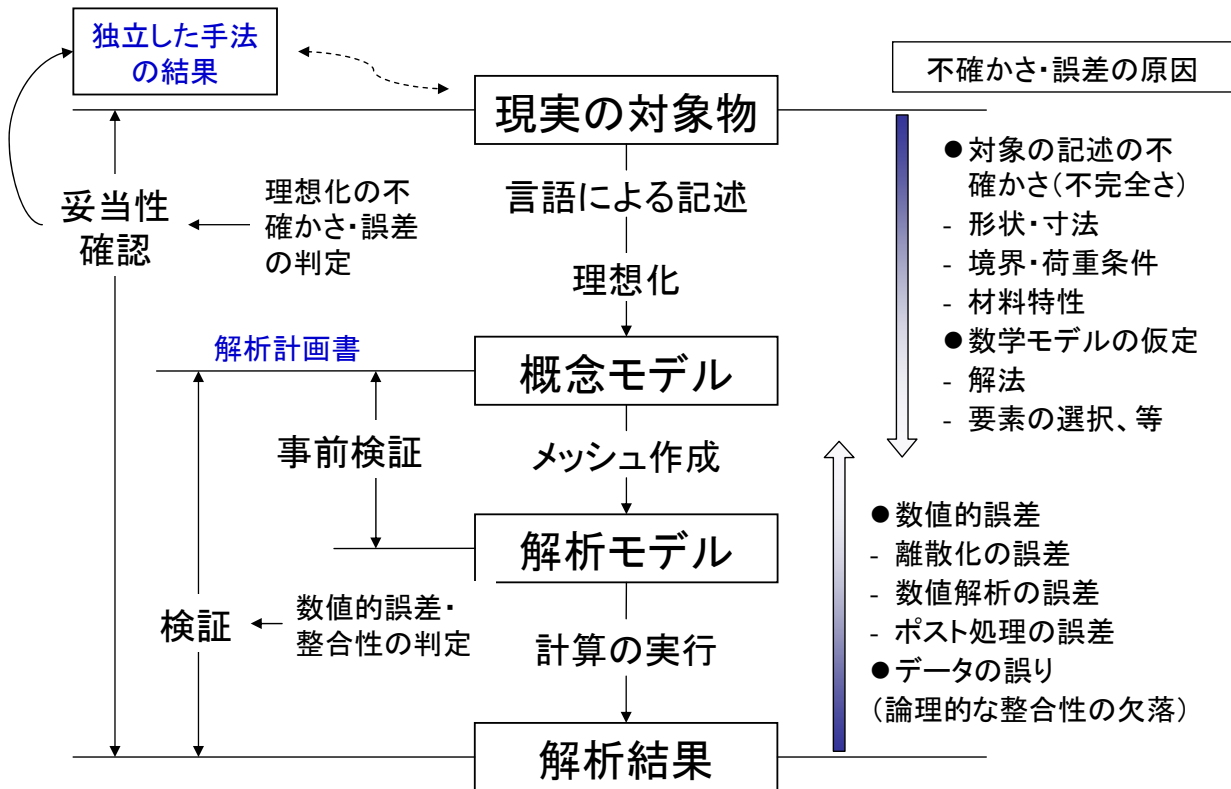
解析プロセスの妥当性確認

- 参照解析結果
 - 妥当性確認済みの類似解析
- 適格性確認された解析プロセス
 - 認定解析手順書&プロセスのQMS
 - 問題の特性・要求事項
 - シミュレーションツールの品質保証
 - モデル化方法、結果の解釈の方法
 - 検査方法 / プロセスの適用範囲
 - 適用する解析の重要度
- 解析プロセスの妥当性確認(Validation)
 - 解析プロセスの妥当性を保証することにより解析結果の品質を確保
- V&Vを補完、プロセスの簡素化可
 - 論証材料の不足、不十分
 - 実機環境でないという判定不可等

相補関係

現象の予測という本質的限界

HQC002 : V&Vの構造

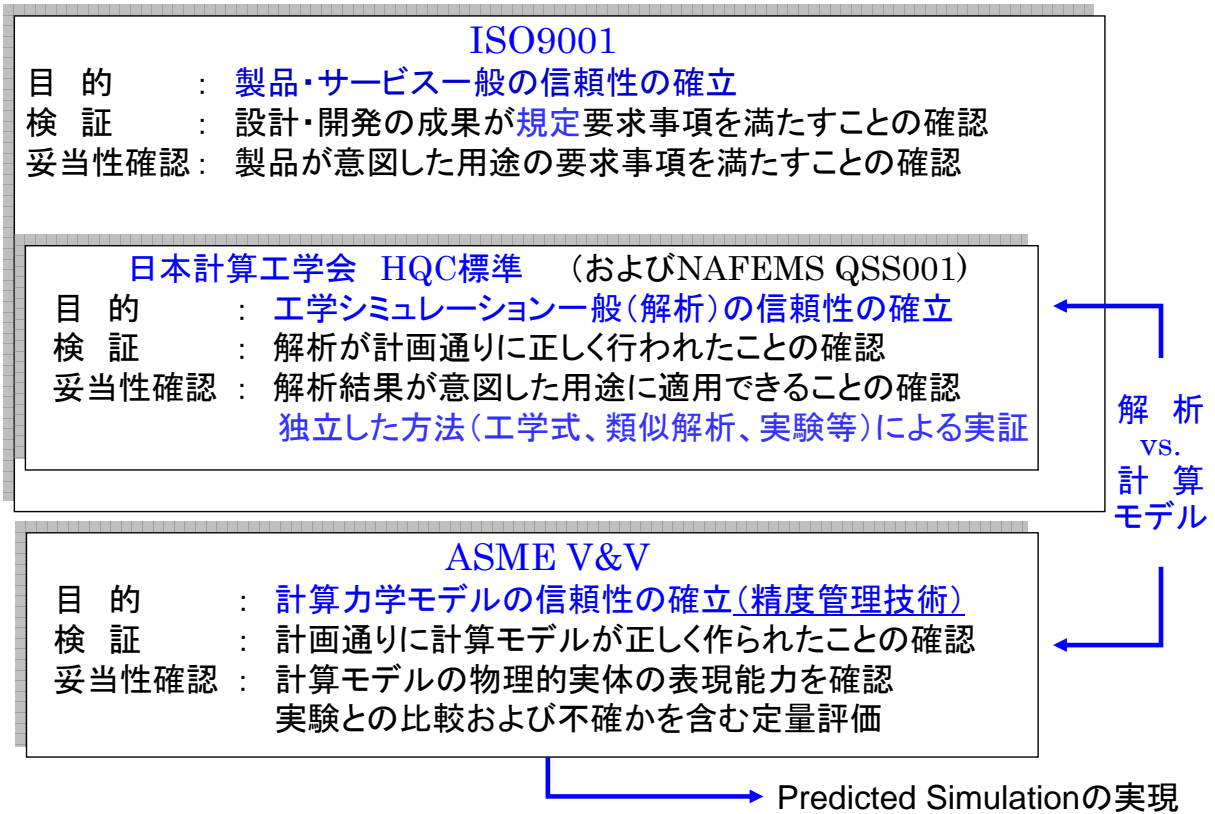


17

HQC標準のビジネスへの展開

- **高品質シミュレーションによる解析組織(会社)の地位の向上**
 - 顧客、設計部門の信頼の獲得
 - 顧客が価値を認める(儲かる仕事)をやる。
 - データ处理的業務は単価低下
 - 付加価値に対価は必要
- **解析者のプライドの向上(若手の教育、自覚)**
 - 自信を持って顧客、設計部門に解析結果を説明できるようになる。
 - 工学者としての自覚を持つ。
 - ドキュメントを大事にする文化の定着(ISOの基本)
- HQC001&2共、社内標準への展開可(PDF版)

まとめ：各標準のV&Vの比較



“品質” & “HQC” で検索

HQC研究分科会 <http://www.jsces.org/research/hqc/index.html>

ご清聴ありがとうございました。