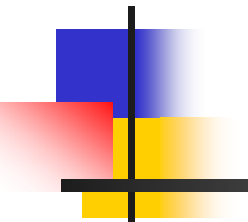


2018年8月22日@TKPガーデンシティ仙台
第34回バックエンド夏期セミナー

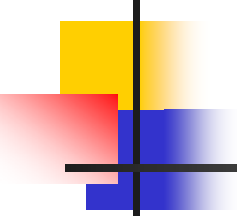


工学シミュレーションの 品質保証と信頼性提示

－ 国内外の動向とASME V&V概説 －

清水建設 技術研究所

櫻井英行



Verification and Validation (V&V: 検証と妥当性確認)

■ **検証**: 規定要求事項が満たされていることの確認

■ 正しく製品を作っているか？

*Are we building the product **right**?*

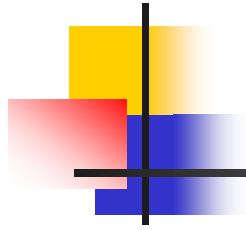
*Are we solving the problem **right**?*

■ **妥当性確認**: 特定の意図された用途または適用に関する要求事項が満たされていることの確認

■ 正しい製品を作っているか？

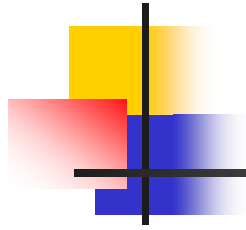
*Are we building the **right** product?*

*Are we solving the **right** problem?*



内容

二つのV&V, 国内外の動向
ASME V&V10の考え方



V&Vの二つの流れ

品質V&V(業務的)

- ・顧客への品質保証(ISO9001)
- ・要求事項を満足していることの確認
- ・英NAFEMS, 日本計算工学会

モデルV&V(本質的)

- ・実現象に対するモデルの信頼性確立
- ・正確度の要件を満足していることの確認
- ・ASME, NASA, 日本原子力学会

工学シミュレーションの 品質保証とV&V

著

白島正樹 越塚誠一 吉田有一郎 中村均 堀田亮年 高野直樹

QUALITY
ASSURANCE
AND
VERIFICATION &
VALIDATION
OF
ENGINEERING
SIMULATION

丸善
4,536円

丸善出版

英国NAFEMS(品質V&V)

The **N**ational **A**gency for **F**inite **E**lement **M**ethods and **S**tandards, 1983

⇒ The International Association for the Engineering Modelling,
Analysis and Simulation Community, 現在

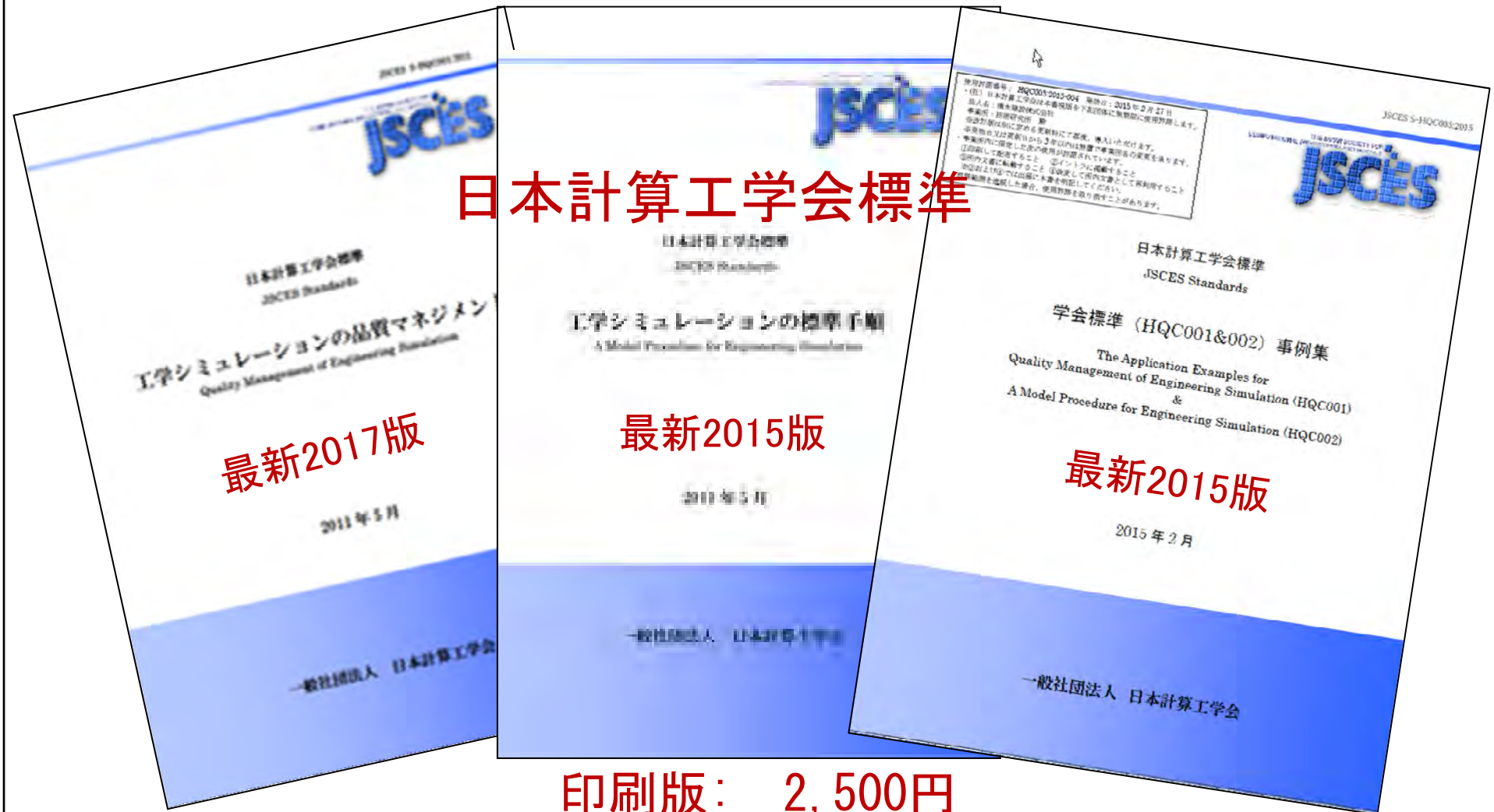


- How to本等の出版
- ベンチマーク問題の出版
- E-leaning
- 国際会議主催

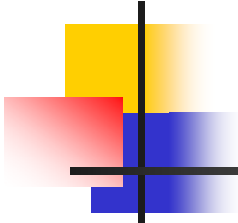
.

訳者: CAEユニバーシティ(サイバネット)

日本計算工学会の品質V&V



印刷版： 2,500円
(特別会員) 1,500円

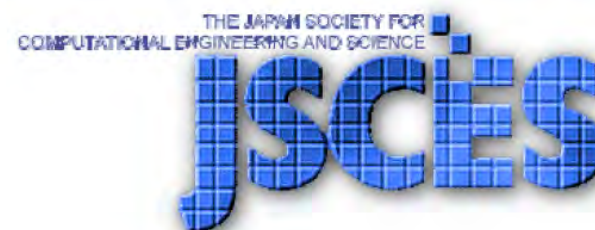


日本計算工学会標準

工学シミュレーションの品質マネジメント
工学シミュレーションの標準手順
学会標準(HQC001&002)事例集

pdf: 40,000円
(特別会員) 20,000円

使用許諾番号: HQC001:2014-004 発効日: 2015年2月27日
・(社) 日本計算工学会は本書現版を下記団体に無期限に使用許諾します。
法人名: 清水建設株式会社
事業所: 技術研究所 殿
※改訂版は別に定める更新料にて都度、導入いただけます。
※発効日又は更新日から3年以内は無償で事業所名の変更を承ります。
・事業所内に限定した次の使用が許諾されています。
①印刷して配布すること ②イントラに掲載すること
③所内文書に転載すること ④改変して所内文書として再利用すること
※③および④では出展に本書を明記してください。
・許諾範囲を逸脱した場合、使用許諾を取り消すことがあります。



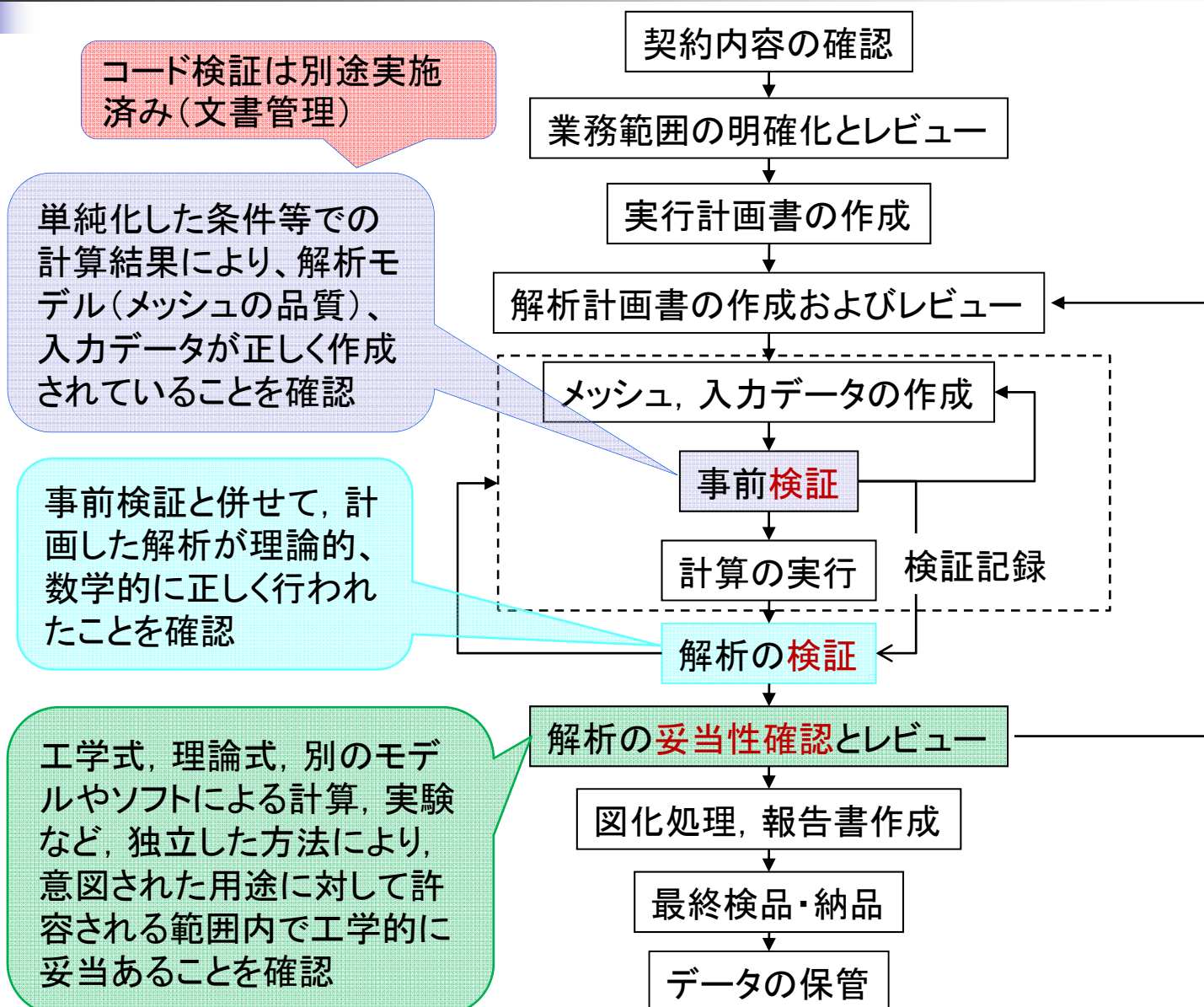
日本計算工学会標準

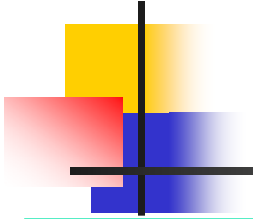
JSCES Standards

工学シミュレーションの品質マネジメント

Quality Management of Engineering Simulation

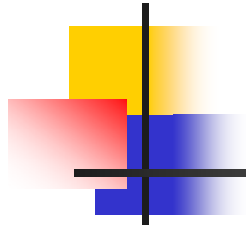
日本計算工学会標準 S-HQC002





HQC研究会(34名)

主査	越塚・東京大
副主査	高野・慶應大 山田・横浜国大 吉田・東芝IS
幹事	櫻井・清水建設 長谷川・芝浦工大 松井・横浜国大
大学(6)	大阪大 慶應大 東京大 芝浦工大 横浜国大(2)
研究(5)	JAXA(3) JAEA(2)
CAE(12)	アドバンスソフト ANSYS CTC CYBERNET ダッソー 構造計画 JSOL みずほIR MSC(2) プロメテック 東芝IS
製造/建設(7)	千代田化工 本田技研 IHI 川崎重工 清水建設 新日鐵住金 東芝
ENG(4)	中央図研 FTR マインド サワダ技研



米国の取り組み(モデルV&V)

ANS-10.4-1987: Guidelines for the V&V of Scientific and Engineering Computer Programs for the *Nuclear Industry* , 米・原子力学会

DoD I 5000.61-1996,2003,2009: DoD Modeling and Simulation VV&A(Accreditation) , 米・国防総省

AIAA G-077-1998e: Guide for the V&V of Computational *Fluid Dynamics Simulations* , 米・航空宇宙学会

ASME V&V 10-2006: **Guide** for V&V in Computational *Solid Mechanics* ,
米・機械学会

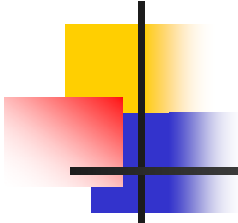
ASME V&V 20-2009: **Standard** for V&V in Computational *Fluid Dynamics and Heat Transfer*.

ASME V&V 30-20??: *Nuclear Applications*.

ASME V&V 40-20??: *Medical Devices*

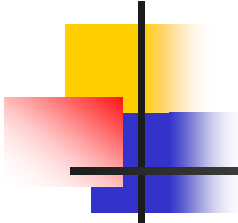
ASME V&V 50-20??: *Advanced Manufactuering*

ASME V&V 60-20??: *Energy System*



ASMEのモデルV&V





NASA STANDARD(モデルV&V)

NOT MEASUREMENT
SENSITIVE



NASA TECHNICAL STANDARD

National Aeronautics and Space Administration

NASA-STD-7009A

Approved: 2016-07-13

Superseding NASA-STD-7009
(Baseline)

Download Free

STANDARD FOR MODELS AND SIMULATIONS

日本原子力学会標準

AESJ-SC-A008:2015

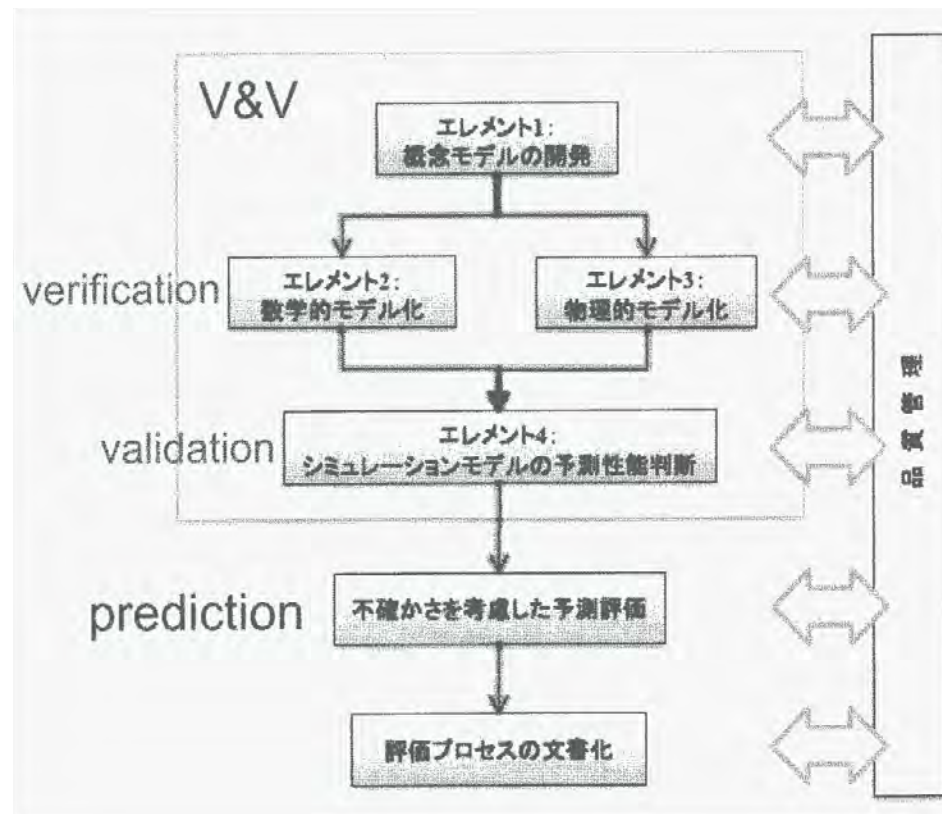


日本原子力学会標準

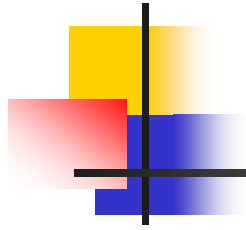
シミュレーションの信頼性確保に関する
ガイドライン：2015

2015年12月

一般社団法人 日本原子力学会



定価： 18,750円
会員価格： 15,000円



土木学会 応用力学委会 (2014～)

土木分野の数値解析におけるV&Vに関する小委員会

委員長	渦岡・京都大
副委員長	櫻井・清水建設
幹事	中井・名古屋 森口 東北大
大学(9+3)	浅井・九州 上田・関西 大竹・新潟 岡崎・香川 葛西・熊本 車谷・茨城 柴沼・東京 西村・岡山 山本・名古屋 若井・群馬
研究(0)	
コンサル(4)	鈴木・JPBS 磯部・地層科学研 竹原・JIP 土井・日本工営
建設(4+1)	大野・鹿島 桐山・清水 佐藤・大林 山本・清水

土木学会 地震工学委員会（2016～）
地盤・構造物の非線形地震応答解析法の
妥当性確認/検証方法の体系化に関する研究小委員会

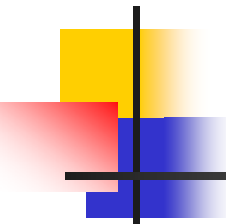
委員長：中村 晋（日本大）

幹事：酒井 久和（法政大） 中瀬 仁（東電設計） 末富 岩雄（エイト）

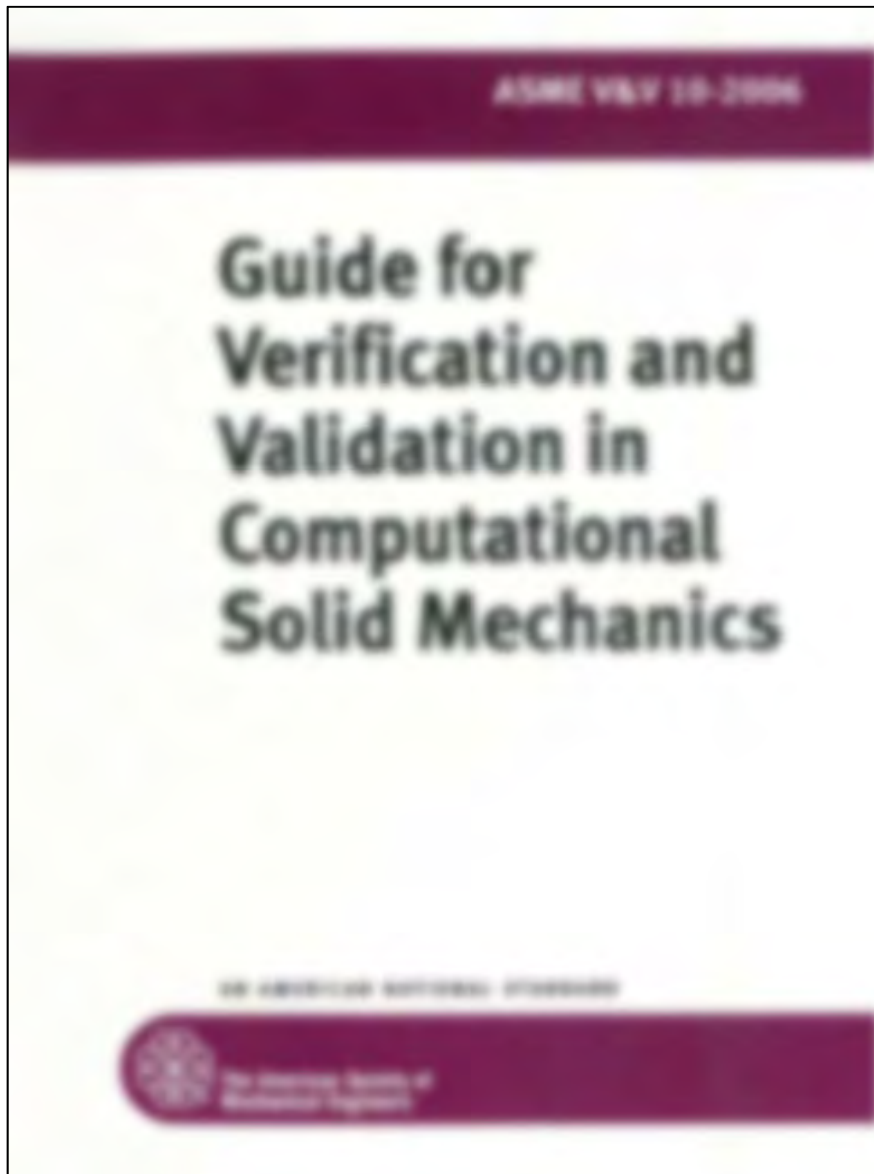
樋口 俊一（大林組） 室野 剛隆（鉄道総研） 矢部正明（長大）

西山 誠治（日建設計シビル）

委員：18名



ASME V&V 10-2006



V&Vの
基本理念
数式なし

ASME V&V10の考え方

Intended Use (所期の利用目的)

モデル化したと
おりに、正しく、
十分な精度で解
析しているか？

モデリング

- ・モデル化(実問題)
- ・検証(*Verification*)
- ・予測解析
- ・不確かさの定量化

実験

- ・実験計画
- ・初期・境界条件
- ・応答値の計測
- ・不確かさの定量化

How good is good enough ?

検証済の解析結果と
実験結果との差異は、
所定の要件を満足し
ているか？

妥当性確認 (*Validation*)

モデルの適用 *Prediction*

つくりたいもの

見た目も
きれいな
肉じゃが

レシピ通り

煮崩れた
肉じゃが

つくったもの

ASME V&V10のモデリング

概念モデル (Conceptual Model)

重要な物理過程、仮定、着目する物理量

数理モデル (Mathematical Model)

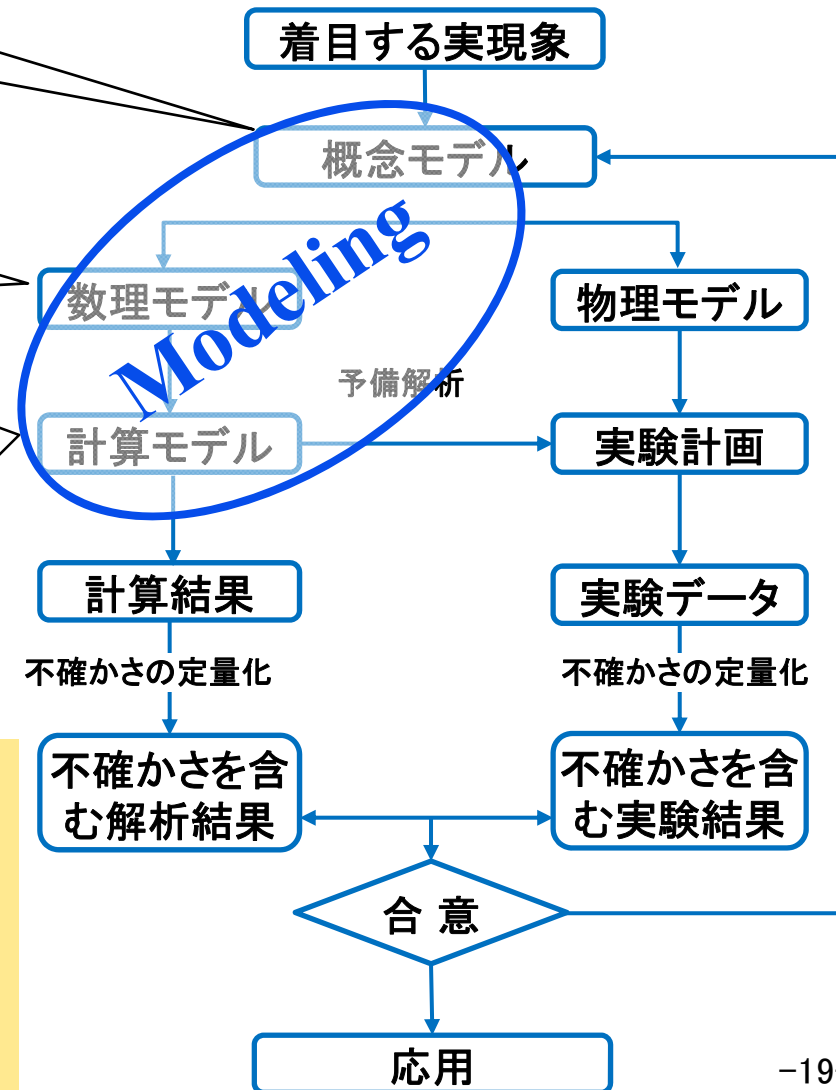
微分方程式, 境界・初期条件, 荷重, 構成式(応力-歪み関係)など

計算モデル (Computational Model)

FEMや差分法等による離散化とプログラム開発、コンピュータへの実装。
(商用ソフトと解析オプション等の選択)

最初に決まっていなければならない

- **RoI: Reality of Interest** (着目する実現象)
- **IU: Intended Use of Model** (所期の利用目的)
- **RF: Response Features of Interest**
(着目する応答値)
- **Accuracy Requirements** (正確度の要件)



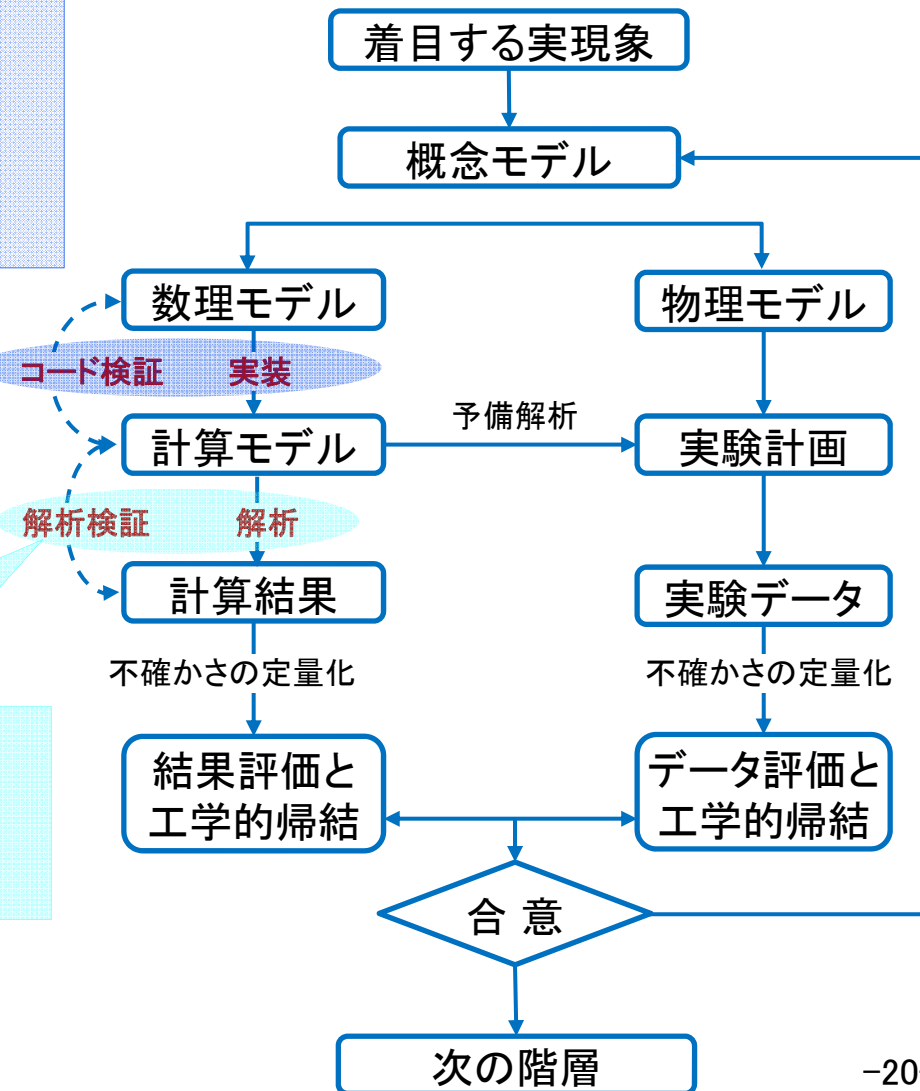
ASME V&V10の検証

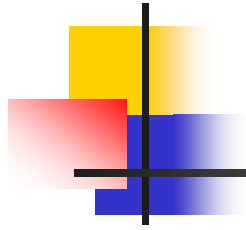
コード検証 (Code verification)

- ・解析ソフトの誤りの除去
 - ・格子収束性と精度確認
- ↑ 古典的理論解／創成解

解析検証 (Calculation verification)

入出力データの確認
数値誤差の算定



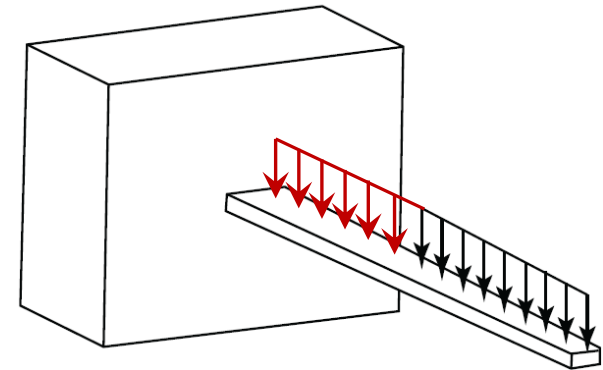
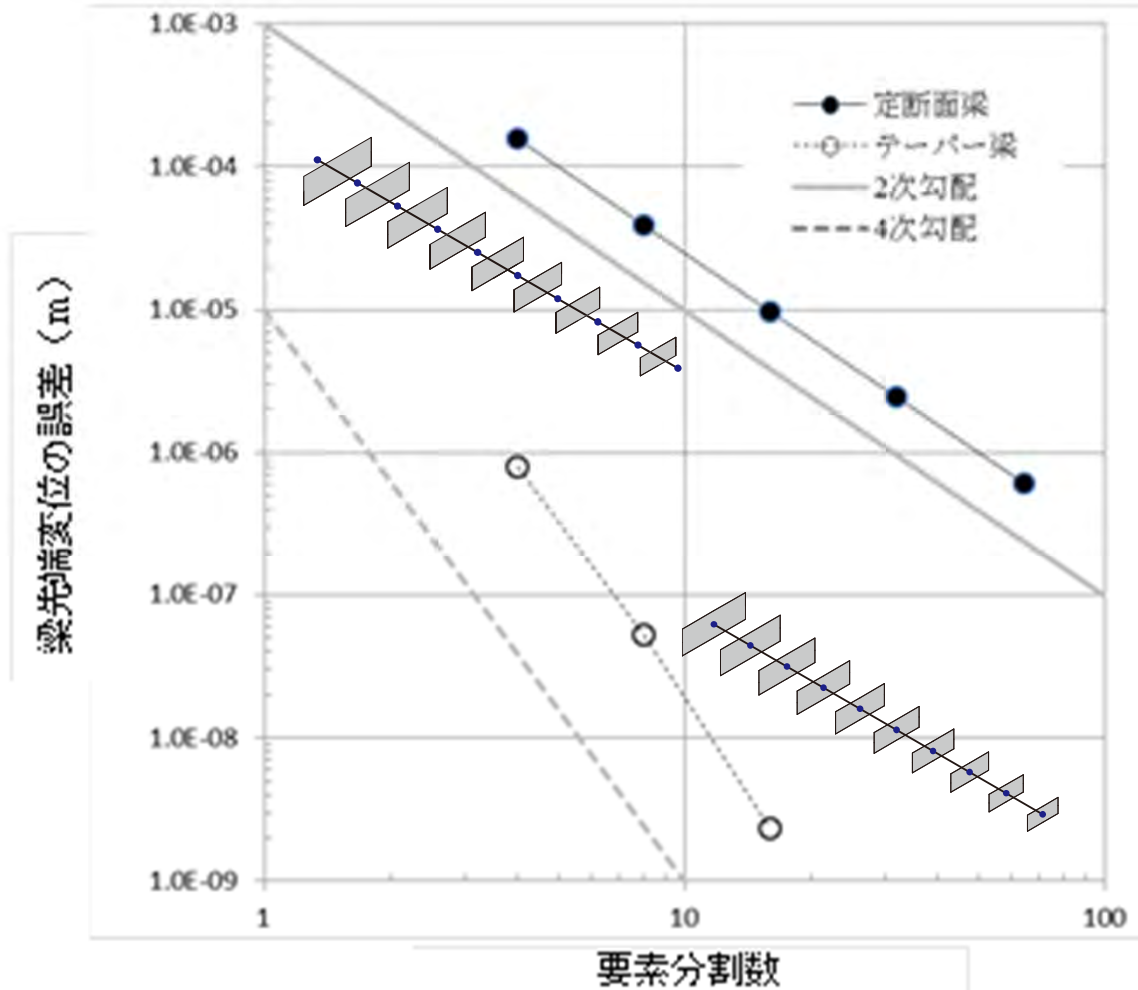


コード検証

アルゴリズム・プログラミングに誤りがないこと
商用ソフトは信じるしかないが

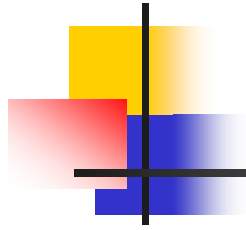
IUに合致した解析対象のモデル化が可能か
商用コードの機能・仕様が対応しているか
格子／メッシュ収束性, *h-convergence*の確認

コード検証(メッシュ収束性)



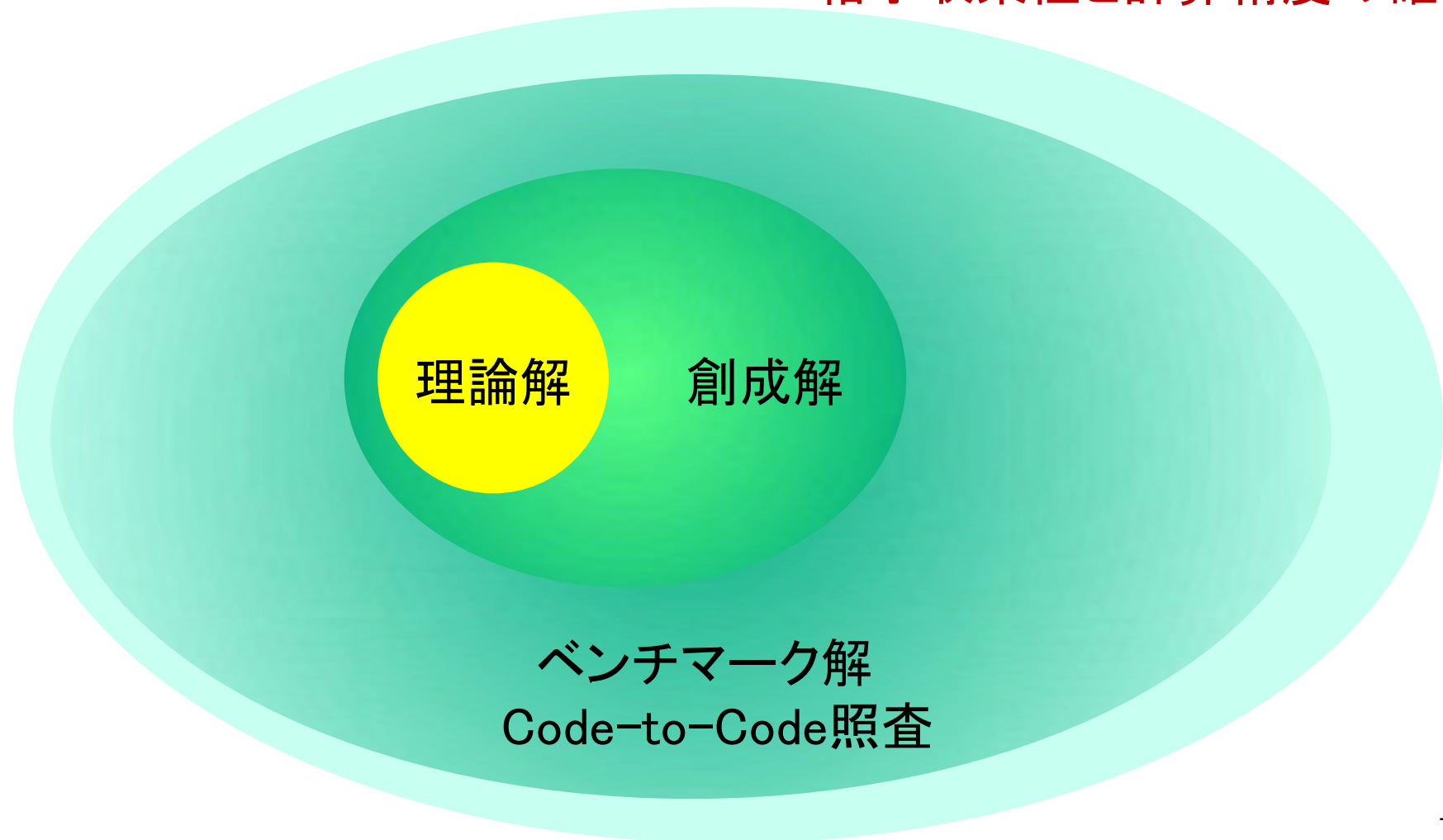
ASME V&V 10.1

図 1.4 梁先端変位の格子収束性



コード検証に用いる問題

プログラムに誤りがないこと
格子収束性と計算精度の確認



ASME V&V10の解析検証

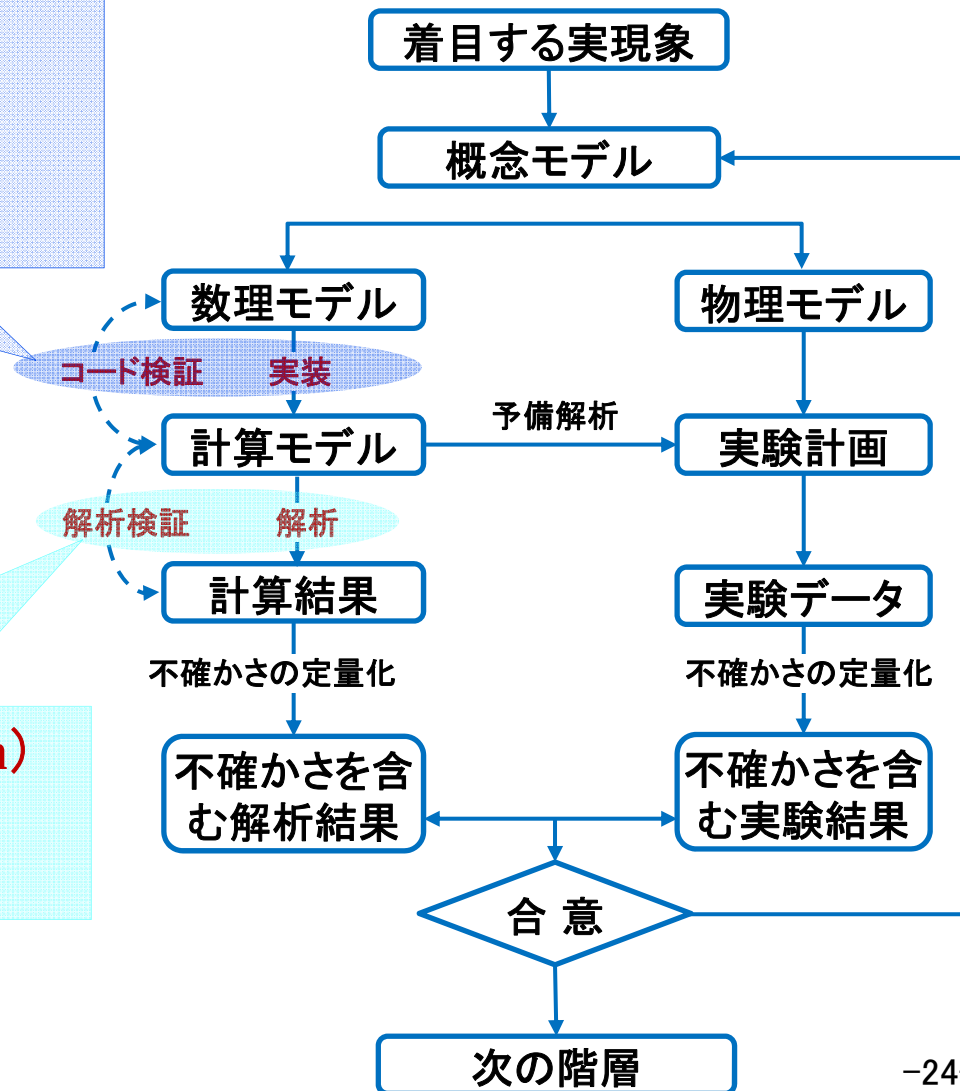
コード検証 (Code verification)

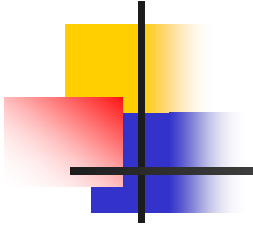
- ・解析ソフトの誤りの除去
- ・格子収束性と精度確認

↑ 古典的理論解／創成解

解析検証 (Calculation verification)

入出力データの確認
数値誤差の算定





解析検証(数値誤差の推定)

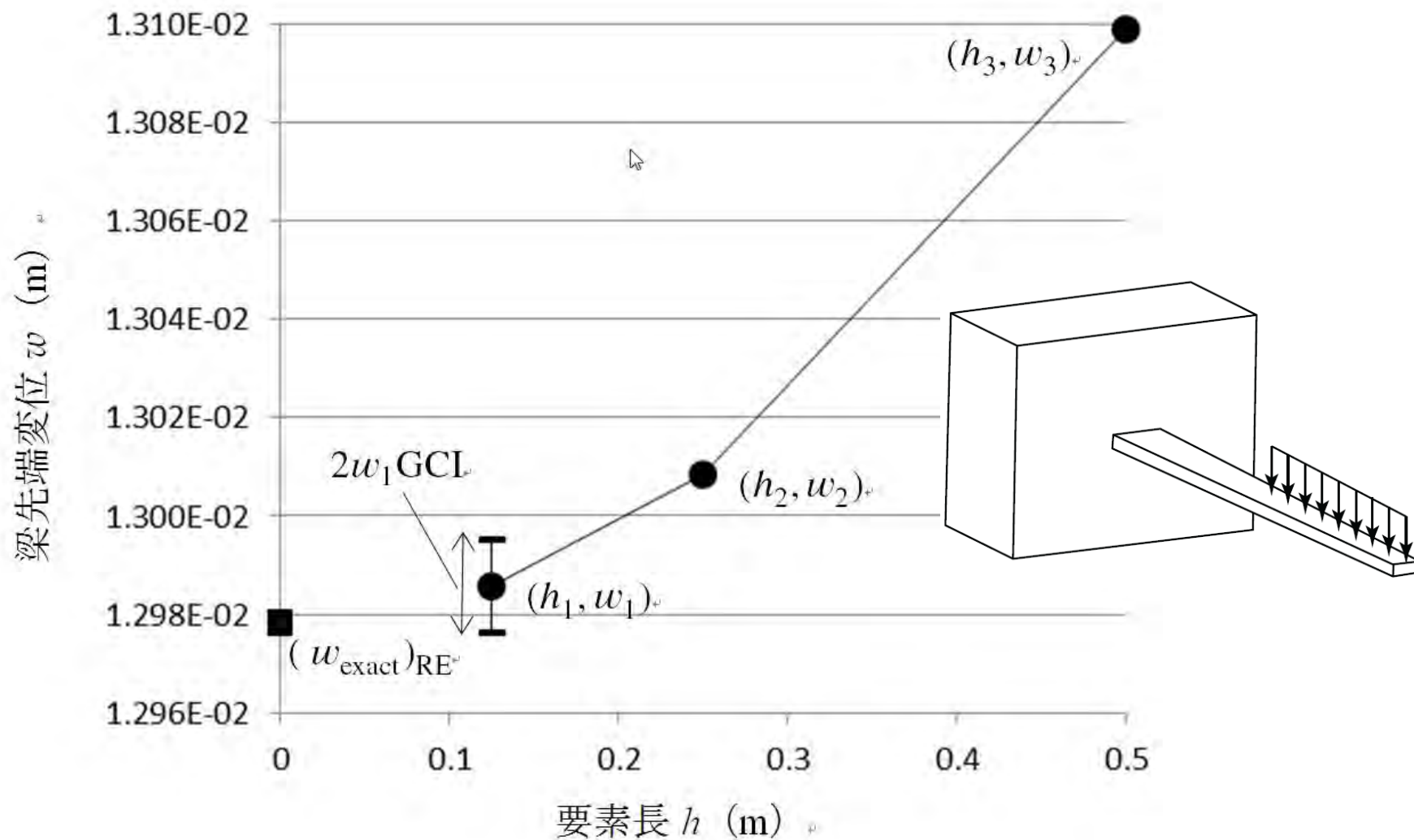
数値誤差 E が、
妥当性確認の要件 R より非常に小さい
ことを確認すること

$$E \ll R$$

このメッシュで良いこと定量的に示す

- ・十分細かいか？(word! 離散化誤差)
- ・仮想境界(モデルの切り出し)の影響は？
- ・所定の時間内に解析が完了するか？

解析検証 (離散化誤差の推定: GCI)



解析検証

数値誤差の定量化

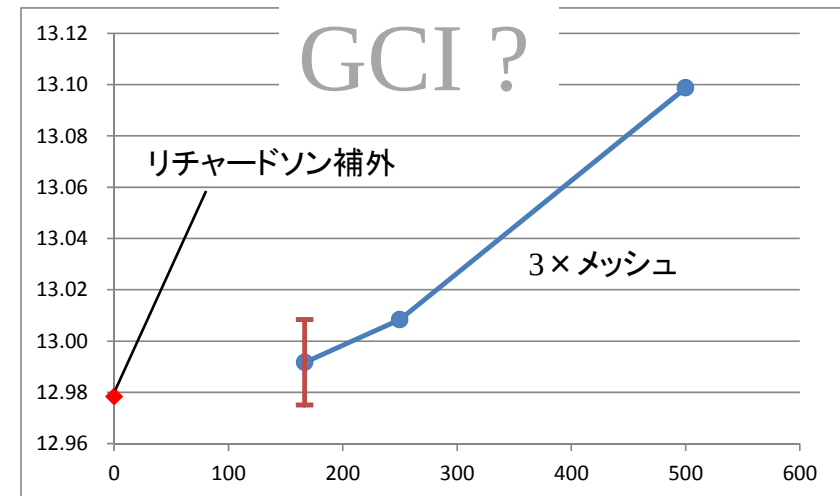
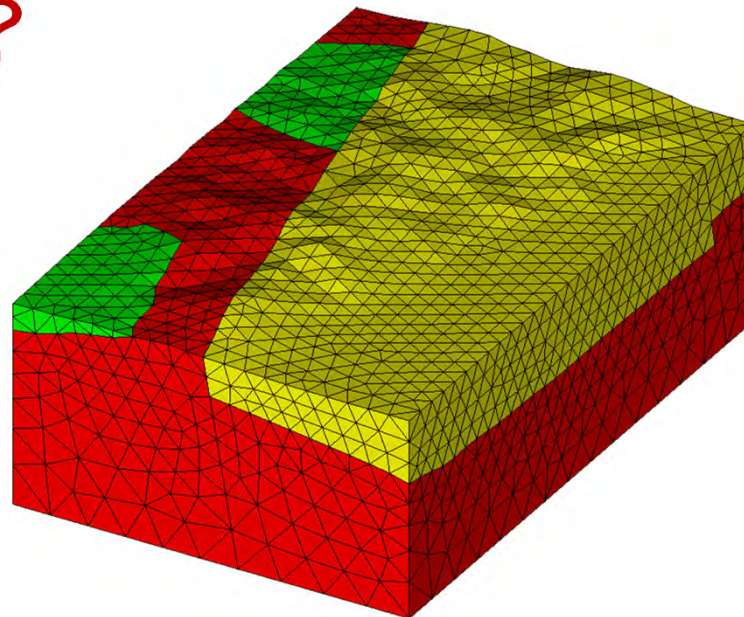
三次元複雑形状の非構造格子

大規模三次元メッシュ

幾何学的な制約の大きい複合領域

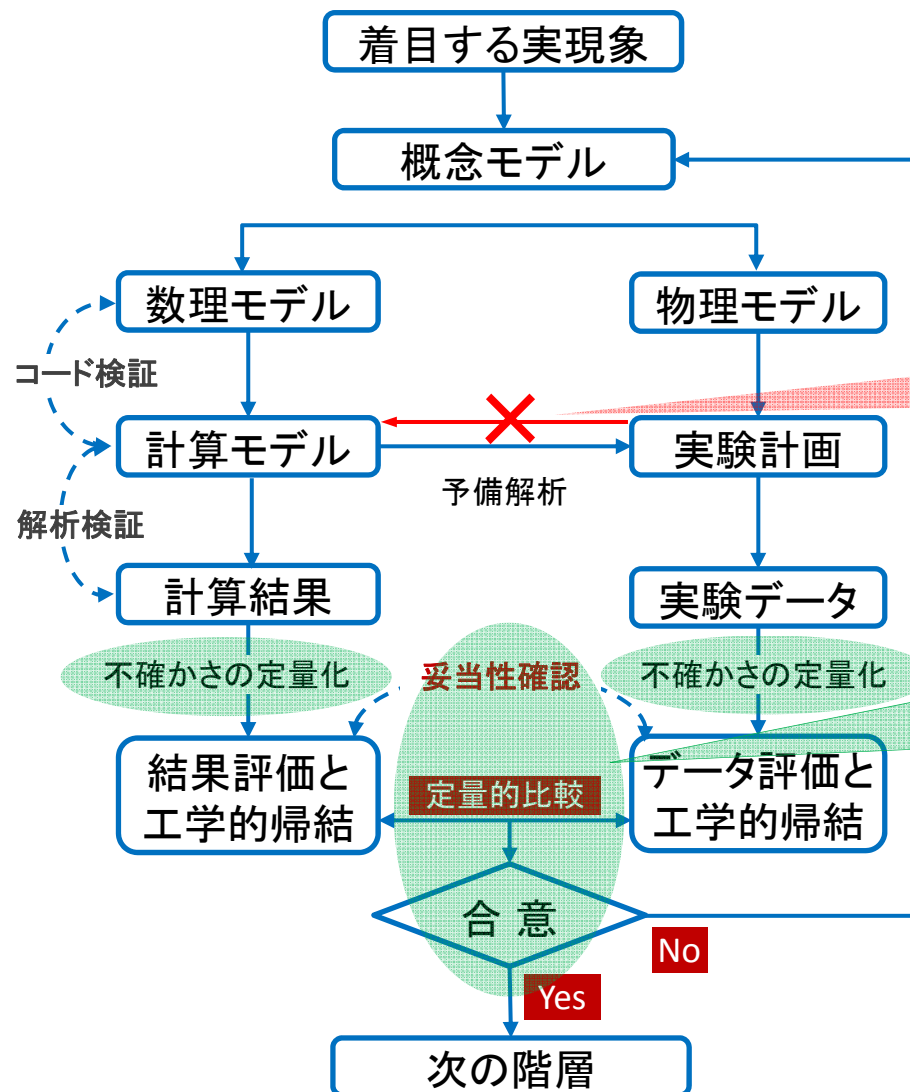
格子生成標準？

近傍解？



アダプティブ法？

ASME V&V10の妥当性確認



1st class revision → 計算／数理モデル

・パラメタの校正

2nd class revision → 数理／概念モデル

・物理、シナリオ、仮定の再考

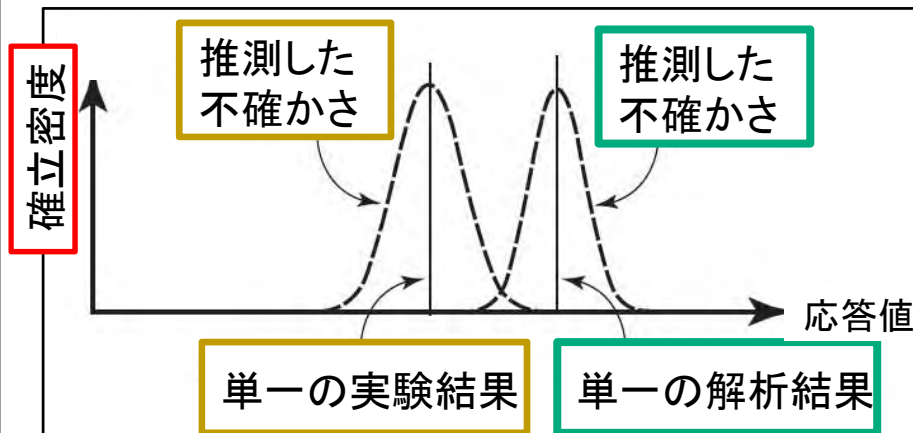
意識的に、あるいは無意識に実験結果に合わせようとすることを排除するため

妥当性確認 (Validation)

モデルが実現象を正確に表現しているかをモデルの *intended use* の観点から評価。

不確かさの定量化のアプローチ

アプローチ1: 単一の結果から専門家により判断



アプローチ1: 単一の結果から専門家により判断

$$\mu^{\text{exp}} = w_1^{\text{exp}}$$

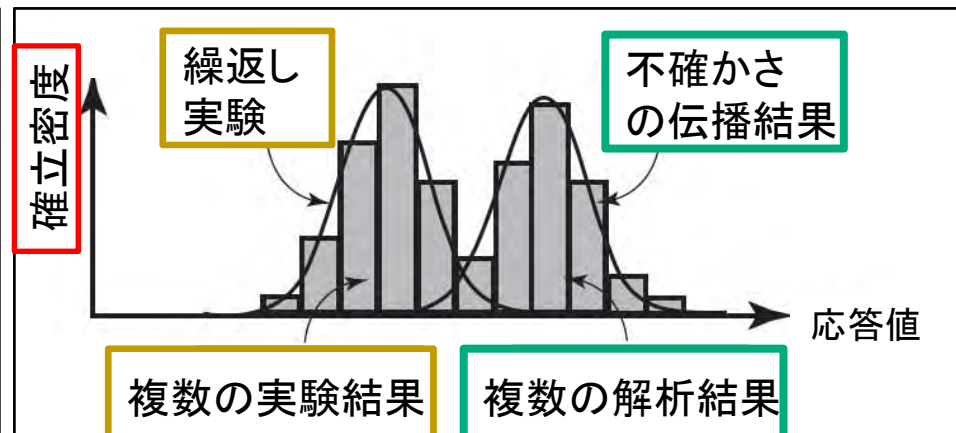
$$\mu^{\text{mod}} = w_1^{\text{mod}}$$

平均値=1回の結果

$$3\sigma^{\text{exp}} \cong \Delta_{\text{Judge}}^{\text{exp}}$$

$$3\sigma^{\text{mod}} \cong \Delta_{\text{Judge}}^{\text{mod}}$$

分散=専門家の判断



アプローチ2: 複数の結果から推定

$$\mu^{\text{exp}} = \overline{w}_N^{\text{exp}}$$

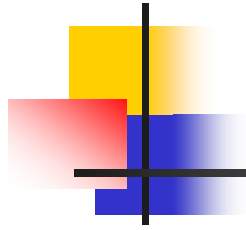
$$\mu^{\text{mod}} = \overline{w}_N^{\text{mod}}$$

平均値←複数回の結果

$$\sigma^{\text{exp}} = \sigma(w_N^{\text{exp}})$$

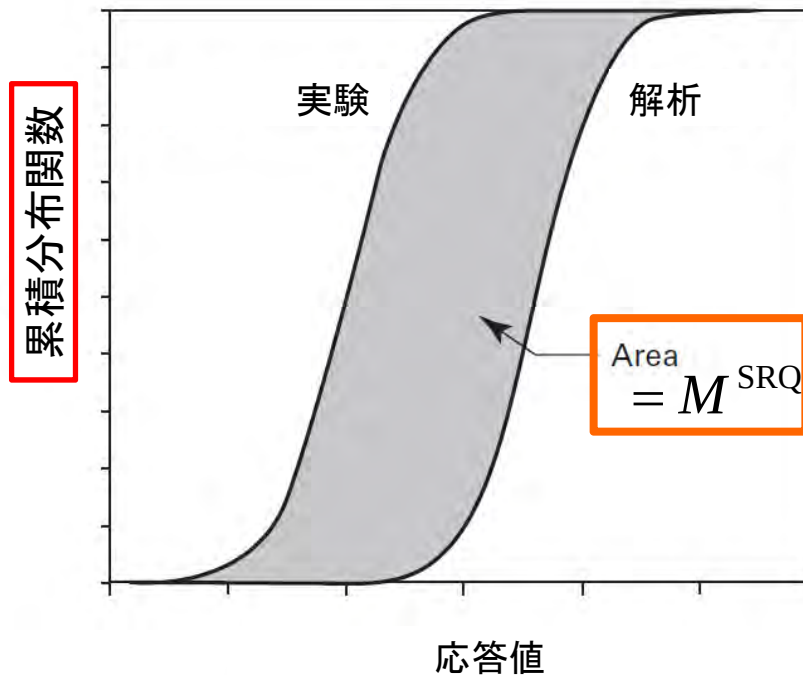
$$\sigma^{\text{mod}} = \sigma(w_N^{\text{mod}})$$

分散←複数回の結果 (非ガウスも)



妥当性確認の評価指標

$$M^{\text{SRQ}} = \frac{1}{|\overline{w}^{\text{exp}}|} \int_{-\infty}^{\infty} |F_{w^{\text{mod}}}(y) - F_{w^{\text{exp}}}(y)| dy$$



予測解析の課題

V&V DB → *Prediction with UQ*

