

ものづくり産業開発のための  
DNS-Validationプラットフォーム構想について  
(議論促進のためのプレゼン)

平成26年3月13日

CAE計算環境研究会  
松岡 浩

# 科学技術イノベーションと 日本企業の産業競争力強化をめざして

1. CAE計算環境研究会では、CAEシミュレーションに適した計算機アーキテクチャとその技術的な実現及び効率的な利用環境の構築等に関する研究を本格的に始めようとしている。
2. 理想的には、その成果を受けて、ものづくり支援に用いるCAE用シミュレーションコードの効率的な実行環境が整備され、
  - (1) ①試作・実験の削減、②試作・実験の代替、③試作・実験ができない条件下での挙動推定 の推進による効率的なものづくり(開発工期の短縮とコストの削減)の実現、
  - (2) 現象のメカニズムに対する理解が深まることを通じて、
    - ④より適切なモデルの考案によるシミュレーションの高精度化、
    - ⑤当該メカニズムを直接制御できる革新的な新設計の着想等による革新的なものづくりへ繋がる道の開拓が望まれる。

# シミュレーション結果に含まれる 誤差(あるいは不確かさ)の定量的な把握

3. しかし、“科学技術イノベーションと日本企業の産業競争力強化”という最終目標までの道のりを確実に実現するためには、CAE用コードによる計算結果の信頼性の度合いを正しく把握できていることが大前提として必要である。

これができなければ、例えば、シミュレーション評価段階における安全裕度の見込み違いが、実機試験以降の段階における予期せぬトラブル発生の原因になり重大な損失を与えてしまう。

4. 一般に、シミュレーションをものづくりのための有用な手段として活用するためには、設計が許容する誤差(あるいは不確かさ)の範囲内で、この仮想空間で求められた解が現実世界でおこる現象を正しく表していることが必須の条件として求められる。

# 誤差(あるいは不確かさ)の発生要因

5. 日本学術会議の総合工学委員会・機械工学委員会合同“計算科学シミュレーションと工学設計”分科会の報告書『ものづくり支援のための計算力学シミュレーションの品質保証に向けて』(H23-4-28)では、連続体を対象とする力学シミュレーションにおける誤差発生の要因を以下のように分類している。

- ①自然現象を連続体力学の問題として数学モデルに近似するモデル化による誤差
- ②材料データなど入力データの持つばらつき(構成式、減衰率、熱伝達率など)
- ③形状の近似による誤差、 ④境界条件の設定による誤差
- ⑤離散化誤差、 ⑥丸め誤差、
- ⑦結果の表示に関わる誤差、 ⑧単純な間違い、
- ⑨その他(知的財産保護による市販ソフトのブラックボックス化に起因する誤差など)

# V&Vのうちの後ろのVへの高精度化要求

6. シミュレーション結果が含む誤差(あるいは不確かさ)の大きさを正しく把握するため、

## ①Verification

仮定された数理モデルに対して計算が正しく行われているという“検証”

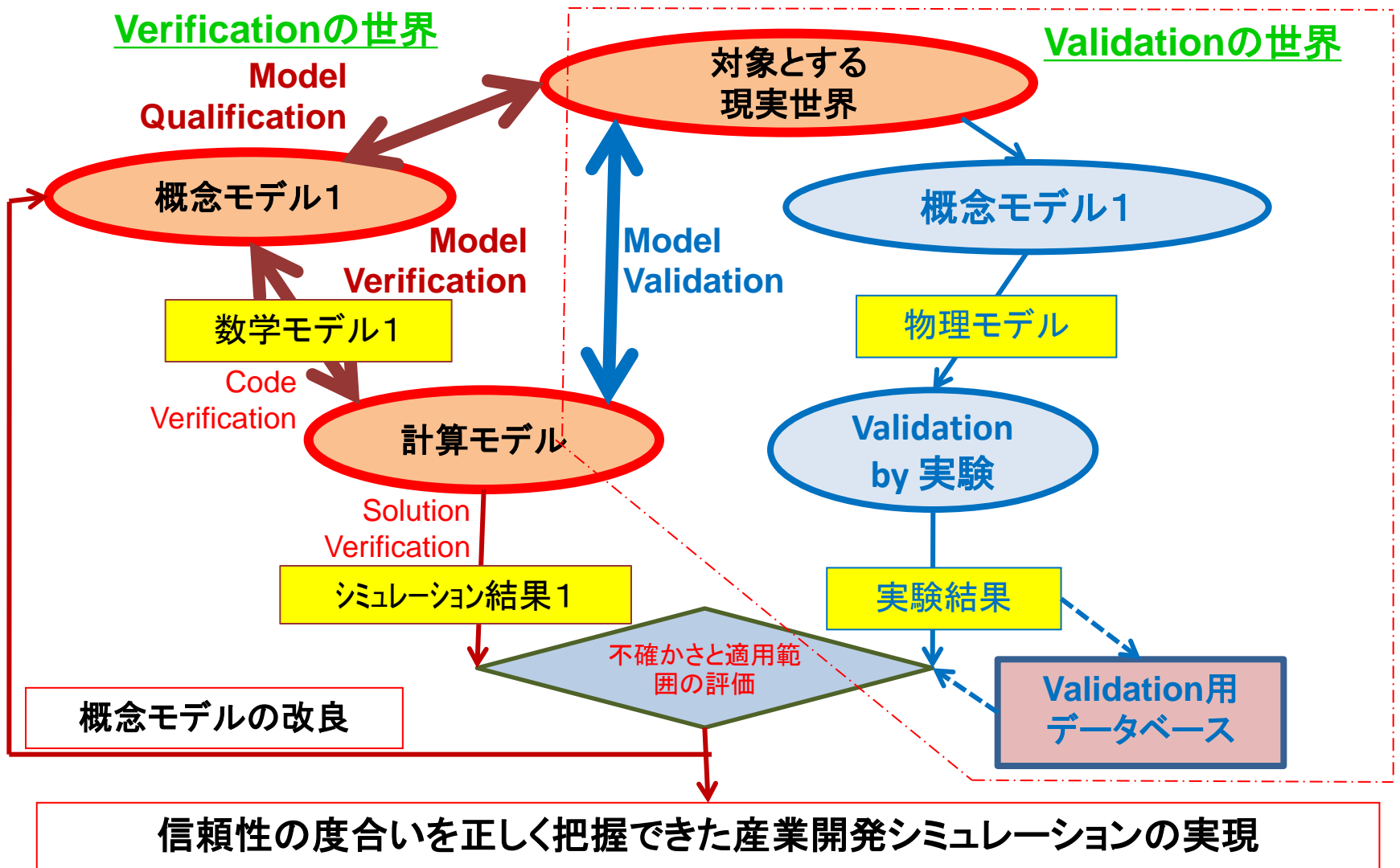
## ②Validation

計算された結果が実際の物理的挙動を正しく表現していることを保証するための実験等による“妥当性確認”

を実行する必要があるが、Validation(妥当性確認)の部分については、それを完全に行うことは困難であろう。

しかし、CAE用コードによるシミュレーションについては、今後、ものづくり評価のValidation過程で、より高い“精度”での“誤差(あるいは不確かさ)”の把握が求められ、最善の努力をすべき。

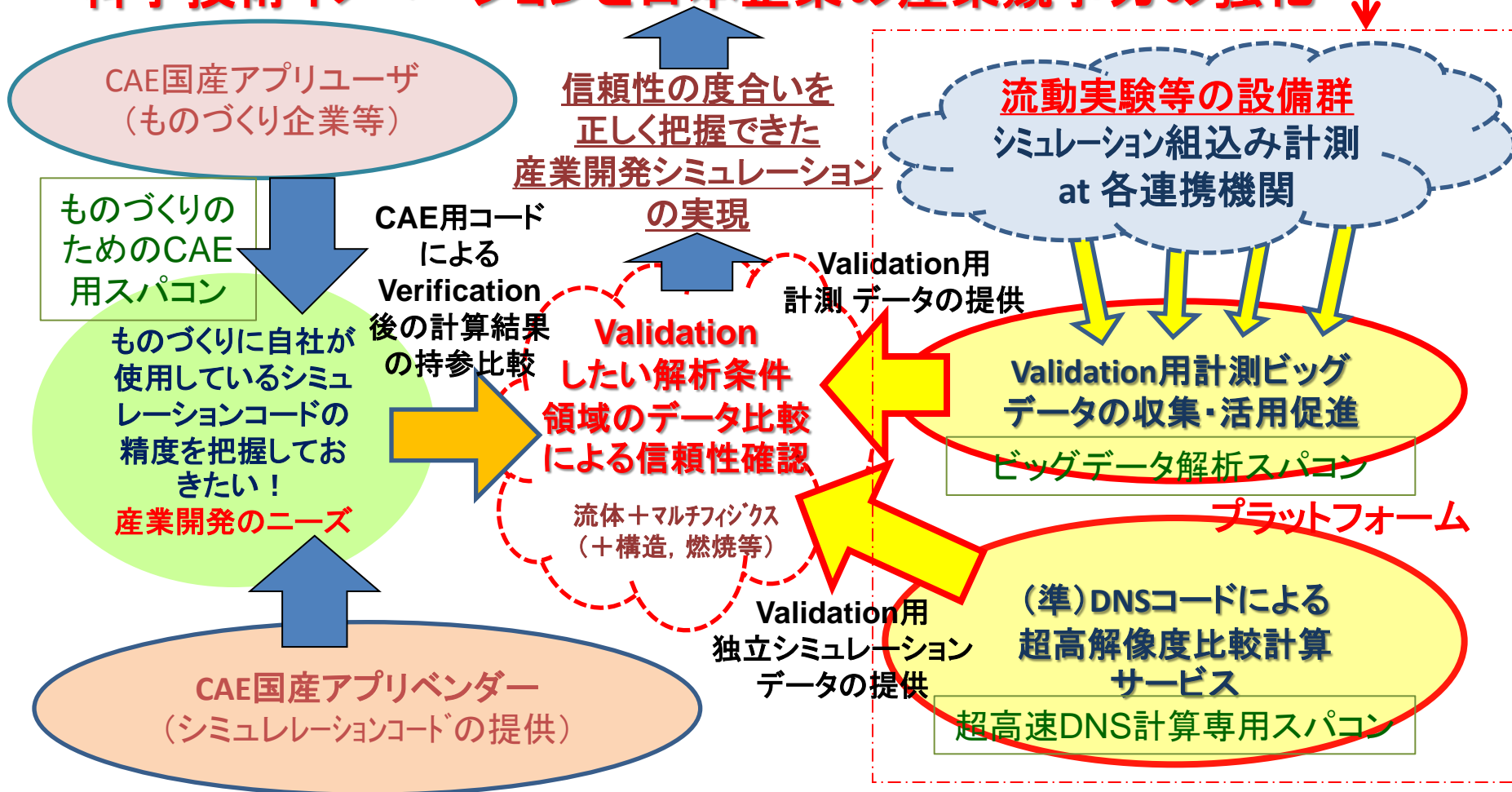
# [参考] V&Vの通常体系



より高精度なValidationを  
実現できる体制の構築をめざして、  
今から、できるところからで良いから、  
開始すべきであろう。

# より高精度なValidationを実現する “DNS-Validation プラットフォーム構想”

科学技術イノベーションと日本企業の産業競争力の強化





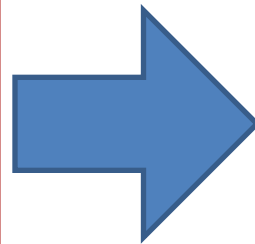
## 第1の柱

# Validationデータ発信施設における “シミュレーション組込み計測”の普及

○高精度なValidationを実現するため、  
ポイントの比較から全体像の比較へ移行！

CAEコードによるシミュレーション結果と比較するデータ:

センサーの設置場所と  
種類によって決まる特定  
のポイントにおける特定  
の物理量の時系列



計測融合シミュレーション  
技術によって推定された  
いろいろな場所における、  
いろいろな物理量の時系列

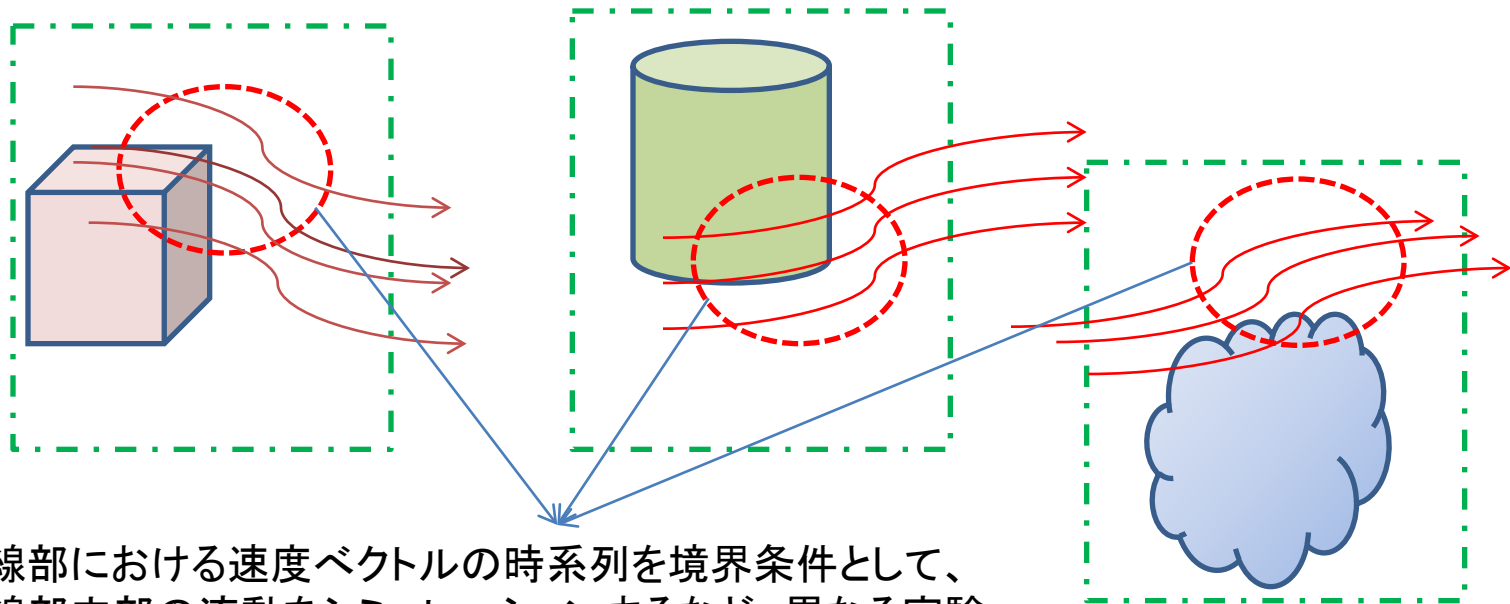
より一致した条件下における詳細な  
比較に耐えるデータを得られる！

参考：東北大学流体科学研究所の早瀬敏幸教授から  
お借りした“計測融合シミュレーション”の実験ビデオ

## 第2の柱

# “Validation用計測ビッグデータ”の収集・活用を促進するプラットフォームの設置

- 高精度なValidationを実現するため、  
単一実験施設のデータ活用から  
複数実験施設のデータの連携活用へ移行！



破線部における速度ベクトルの時系列を境界条件として、破線部内部の流動をシミュレーションするなど、異なる実験施設の時系列データをさほど区別なく連携して利用できる。

## 第3の柱

# 人為的なモデルを極力排除した(準)DNS コードによる超高解像度比較計算サービス

○Validation用計測データが得られていない未知の解析条件領域に対しても有効な推定機能を発揮するため、

比較計算のコードに(準)DNSコードを使用！

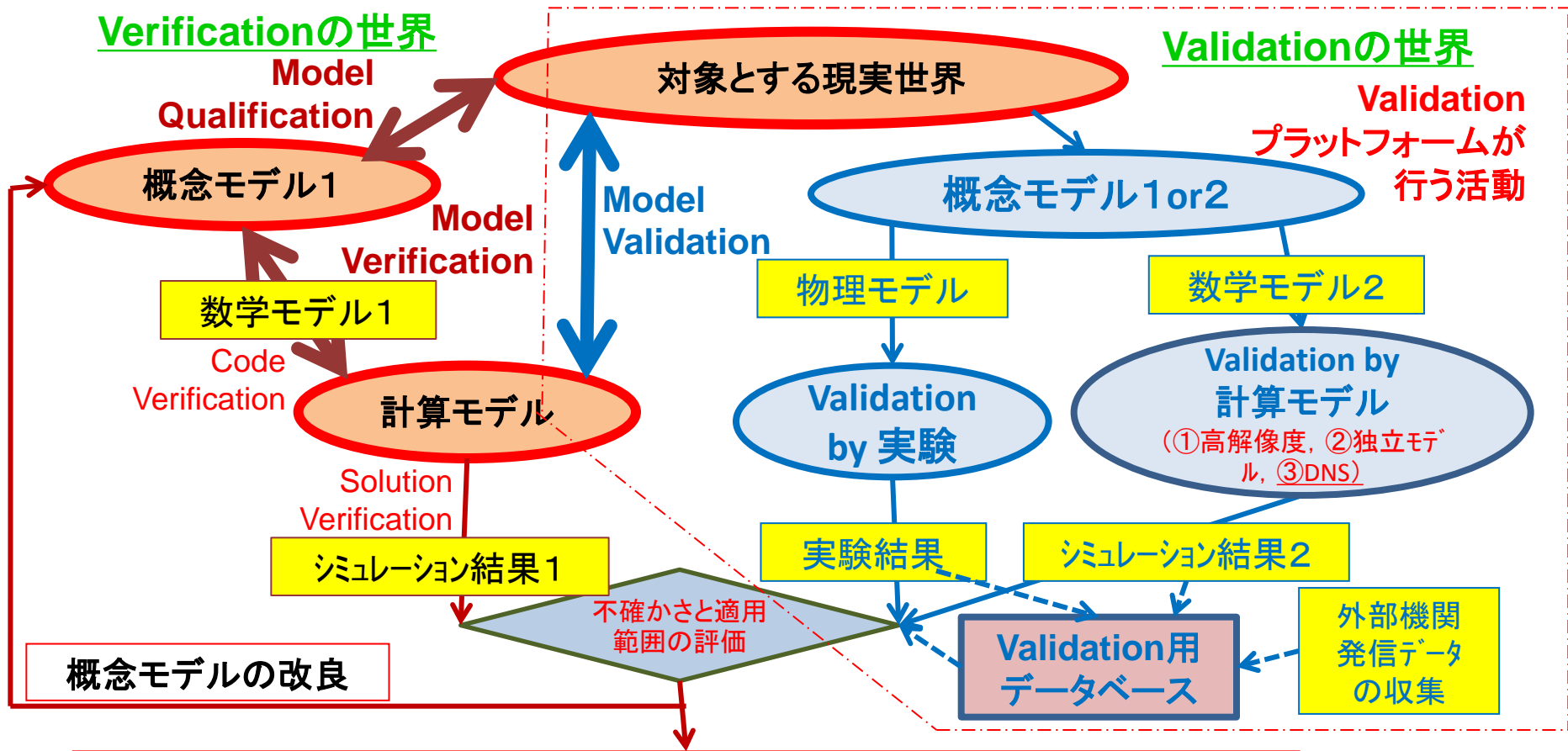
専用計算機等により、超高解像度なシミュレーション計算を低消費電力低運用コストで実現する。

# V & V体系における独立シミュレーション

同じ条件下で十分なValidationを行うためには、シミュレーションどうしの直接比較が有力である。このときの意義は、①より高解像度なものととの比較、②異なるモデルとの比較、③人為的なモデルを含まないDNSとの比較、である。⇒③を推奨。

## Verificationの世界

## Validationの世界



信頼性の度合いを正しく把握できた産業開発シミュレーションの実現

# (準)DNS実現時期の現時点の予測

文部科学省の「今後のHPC技術の研究開発のあり方を検討するワーキンググループ」の合同作業部会がとりまとめた“計算科学ロードマップ”においては、今後数年以上にわたり、RANS(レイルス平均ナビエ・ストークス方程式)やLES(Large Eddy Simulation)が想定されている。⇒Validationはこれ以外のDNS手法でトライ

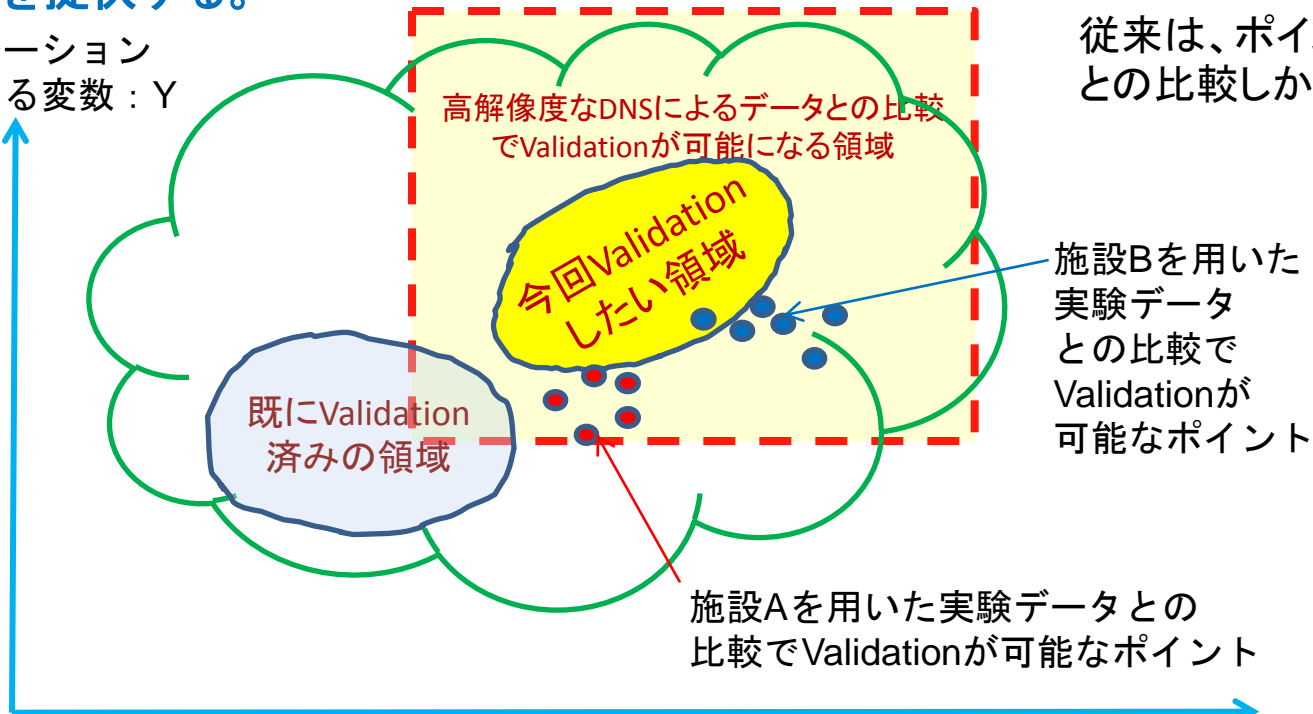
年代 課題	2012 ~	2014 ~	2016 ~	2018 ~	2020 ~	2022 ~
アルゴリズム開発	← エクサに向けた産業利用の全体像の検討、アルゴリズム開発 →					
基盤S/W開発		← エクサに向けた基盤S/Wの研究開発 →				
実証・実用化研究	← Re数 $10^6$ に対するLESの実証研究 →				← Re数 $10^7$ に対するLESの実証研究 →	
	← 多目的設計探査手法の実証研究 →		← 100億~1,000億格子規模のLES解析(自動車、ターボ機械など) →			
実用化フェーズ					← 10兆~100兆規模格子のLES解析(航空宇宙、高圧ターボ機械など) →	
	← RANS計算による設計探査 →				← LES計算による設計探査 →	

図 4.4-3 熱流体解析ロードマップ

# Validationプラットフォームにおいて(準)DNSシミュレーションが提供する比較検討データのイメージ

1. 連携している機関の流動実験等の設備群から組込み計測によって得られるビッグデータをもとに、(準)DNSコードのパラメータの値を学習する。
2. 当該パラメータを用いて、CAEコードユーザやそのベンダがValidationしたい条件領域を含む領域について超高解像度なDNSシミュレーションを行い、比較検討のためのデータを提供する。

シミュレーション  
を代表する変数：Y



従来は、ポイントデータ  
との比較しかできない。

施設Bを用いた  
実験データ  
との比較で  
Validationが  
可能なポイント

施設Aを用いた実験データとの  
比較でValidationが可能なポイント

シミュレーションを代表する変数：X

# 超高解像度の実現と格子点数

“計算科学ロードマップ”では、2020年に「ポスト京」によって実現が期待される数値シミュレーションの規模を1000億格子点 ~ 10兆格子点としている。・・・Validationもこのレベルが目標か

課題	要求性能 (PFLO PS)	要求メモリ帯幅 (PB/s)	要求ネットワーク性能 (PB/s)	要求ファイルI/O性能 (TB/s)	メモリ量/ケース (PB)	ストレージ量/ケース (PB)	計算時間/ケース (hour)	ケース数	総演算量 (EFLOP)	概要と計算手法	問題規模	備考
ターボ機械の熱流動、振動、音響解析	120	50	5	70	16	500	120	20	1,000,000	有限要素法	10 <sup>13</sup> 格子	B/F=0.5として計算
自動車の空力解析、流体振動解析、車室内の騒音解析、エンジンルームや車室内の熱解析	10	20	0.5	16	0.05	4.8	28	1,000	1,000,000	Re=10 <sup>6</sup> ~10 <sup>7</sup> のLES流体計算	10 <sup>11</sup> 格子	BF=2として計算
電子機器の熱流体解析、騒音解析	14	20	1	25	0.01	1.6	2	1,000	100,000	有限要素法	10 <sup>10</sup> 格子	
航空機の翼設計機体設計、エンジンや機体の空力・騒音解析	23	23	0.4	25	0.1	8	24	1,000	2,000,000	差分法	10 <sup>11</sup> 格子	
宇宙機の熱流体設計、推進系解析、全機システム解析	58	57	4	25	1	80	240	10	500,000	差分法	10 <sup>12</sup> 格子	
都市や建築物内の空気の流れや汚染物質の拡散解析	930	500	5	20	50	160	96	10	3,200,000	有限要素法	10 <sup>13</sup> 格子、10 <sup>4</sup> ステップ	

※ 本見積もりは、2013年12月20日時点での見積もりである。未だ精査の余地があり、最終版では、より精度の高い数値を記載する予定である。



# まとめ:このような構想は本当に有益か？

## “DNS-Validation プラットフォーム構想”

