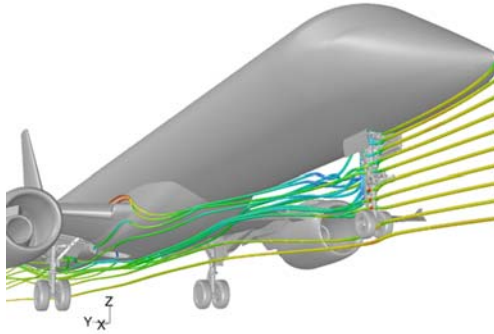


# 安全・安心な社会を支える製品開発のための 最新数値シミュレーション技術

Latest Technology of Numerical Simulations for Development  
of Products Supporting Secure and Safe Society



越智 真弓\*1  
Mayumi Ochi

三戸 良介\*2  
Ryosuke Mito

松山 敬介\*3  
Keisuke Matsuyama

高田 智成\*1  
Tomoshige Takata

池末 俊一\*4  
Syunichi Ikesue

東日本大震災や原子力発電所の被災などにより国内産業は大打撃を受ける一方、世界的景気減退、円の独歩高でもあり、日本の製造業は危機的な状況にある。また、日本のエネルギー戦略の見直し議論とともに、地球温暖化も避けて通れない課題であり、引き続きその対応策が求められる。このような状況下で、社会インフラシステムの基礎となるエネルギー関連機器や輸送機械などの製品開発に関して、上流から下流まで総合的な技術を有する数少ない企業である当社が、この困難な状況を克服し、今後も継続して各種の関連技術開発及び製品化に取り組んで、より安全で、より安心な製品を開発していく必要がある。本論文では、当社が取り組んでいる安全・安心な社会を支える製品開発で活用されている数値シミュレーション技術の一端を紹介する。

## 1. はじめに

当社では技術品質に起因するトラブルをなくし、かつ製品開発期間を短縮するために、大規模な数値シミュレーションを活用した設計支援ツールの開発に取り組んでいる。また、短期間・低コストで大規模シミュレーションを実現する最新技術の一例として GPU (Graphic processor unit) の利用も進めている。数値シミュレーション技術を部品設計、製品全体の機能・信頼性評価の各段階で用い、また、3次元 CAD、品質工学と組み合わせることで、あらゆる故障モードを想定した高品質なものづくりの実現を目指している。

図1は数値シミュレーションの役割の拡大を示すものである。

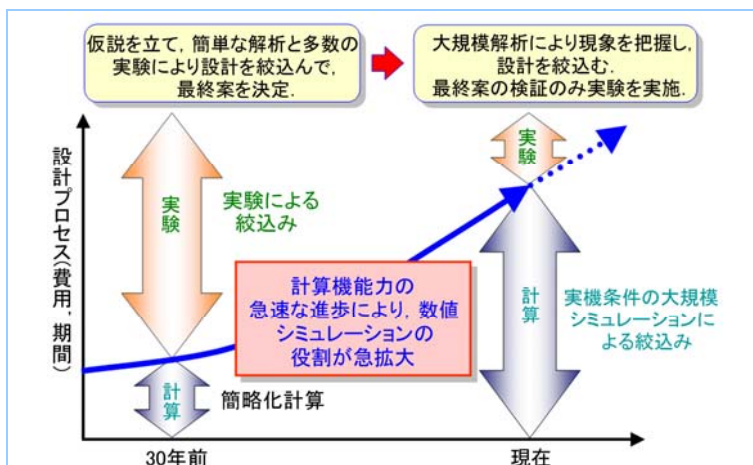


図1 設計における数値シミュレーションの役割の拡大

\*1 技術統括本部高砂研究所 首席研究員

\*2 技術統括本部高砂研究所

\*3 技術統括本部高砂研究所 工博

\*4 技術統括本部長崎研究所 工博

最新の数値シミュレーション技術を組み込んだ設計支援ツールを用いて、メッシュ点数が5千万～数億点規模となる大規模なシミュレーションを実用時間内に実施可能とし、複数の物理現象が絡み合った複雑な事象を詳細に理解し、新しい設計コンセプトのヒントを得る、さらには、大掛かりな実験の数値シミュレーションへの置き換えにより、開発期間の短縮と設計品質の向上を進めている。

## 2. 複数物理事象(マルチフィジックス)への対応技術

すべての現象は、厳密には複数の物理現象が互いに影響を及ぼすことで成り立っているが、それらを統合的に解くには、多大の時間と費用を必要とする。このため、それぞれの影響は小さいものとして、単独に物理現象を表す方程式を解いてきた。しかし、計算機の能力が向上するに伴って、複数の物理現象の関与を考慮しながら解くこと(マルチフィジックス)が可能となってきた。

図2は、蒸気タービン用バルブの複数物理事象の解析を示した事例である。蒸気タービン用バルブはタービンへの蒸気流入量を制御するキーコンポーネントのひとつで、蒸気タービンの効率や急速起動性能に影響を与えるため、その中の流動解析(CFD解析)、バルブの構造解析(FEM解析)、弁軸と軸受の機構解析(マルチボディ解析)の検討が必要である。そこで、これらの解析技術を組み合わせ、性能と急速起動に対する信頼性の向上を目指している。

図3は、流体力を考慮した船舶の衝突解析の事例である。解析では、衝突船、被衝突船とも内部構造部材まで詳細にモデル化されており、また、船体運動に寄与する流体影響も考慮していることから、衝突時の船体変形を高精度に算出することが可能である。

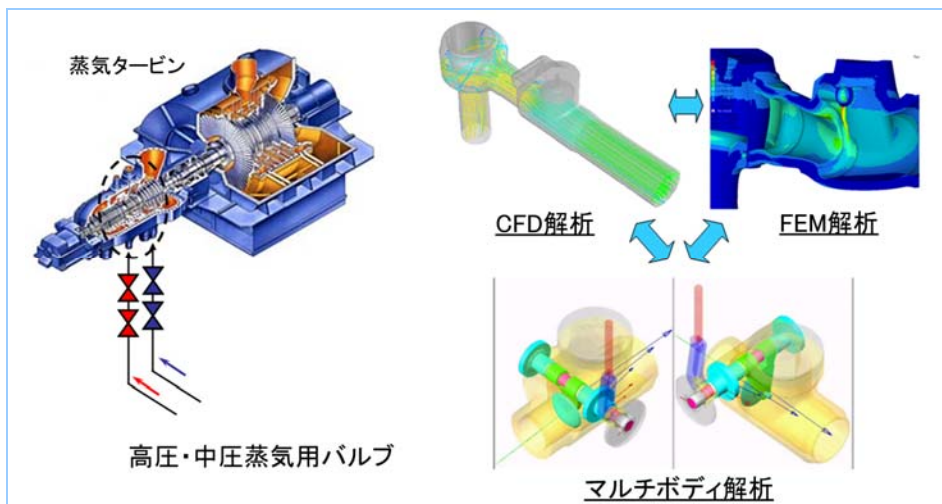


図2 蒸気タービン用バルブの複数物理事象の解析

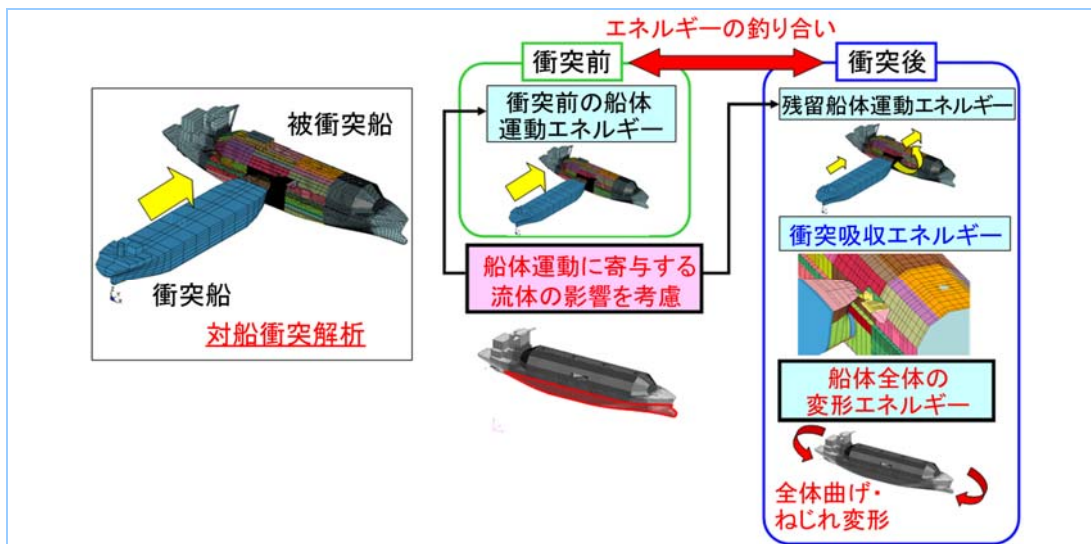


図3 流体力を考慮した船舶の衝突解析

### 3. 大規模シミュレーションの利用技術構築

#### 3.1 安全・高効率なガスタービン発電機開発への適用

ターボ機械の信頼性・安全性にかかわる事象を評価するためには、**図4**に示されるような非定常事象を精緻に予測する必要がある。しかしながら、実用的な期間、及び、コストで解を得るためには、解析モデルを簡素化するなどの工夫が必要であった。これを打開する技術として、GPU の利用を進めている。これは、演算の一部を GPU の内臓コア上で行わせるようにコーディングされたソフトウェアの開発を必要とするが、純粋なCPUだけの解析に比べて数倍～数十倍の速さで解を得ることを可能とする。ガスタービンの主要コンポーネント、もしくは、複数のコンポーネントにまたがって本技術を適用し、機器全体として最適な設計を目指している。

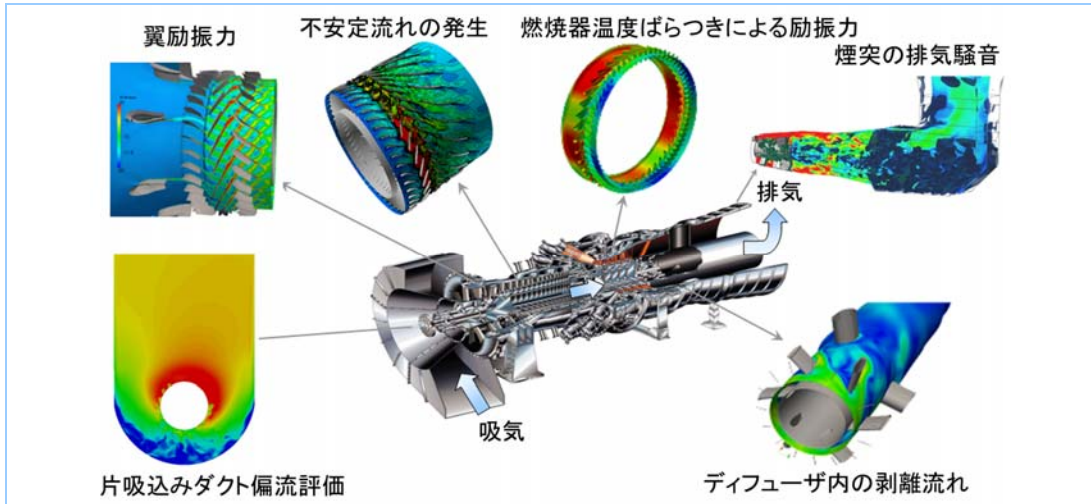


図4 ガスタービン発電機開発への数値シミュレーションの適用

**図5**は、亜音速単段軸流圧縮機の全周非定常解析の事例である。6300 万点規模の解析モデルで数十回転分の予測を 32GPU にて1週間程度で可能である。予測された失速開始点(流量-圧力比)、及び、その事象は、実測データと良好に一致している。

**図6**は、非定常流れ解析により、ガスタービン排気ダクト全体の流れをシミュレートしたもので、カラーコンターは流速分布を示したものである。排気ダクト上流部の構造物により乱れが発生している状況がうまくシミュレートされている。一方、本結果を周波数分析し、ダクト音響固有値成分の音圧分布を実験値と比較し、流れ方向の音圧成分が実験結果と良く一致する結果を得ている。

この事例のように、大規模の非定常シミュレーションの精度検証を着実にを行い、大掛かりな実験検証より事前に機器の信頼性・安全性を評価する技術の構築を進めている。

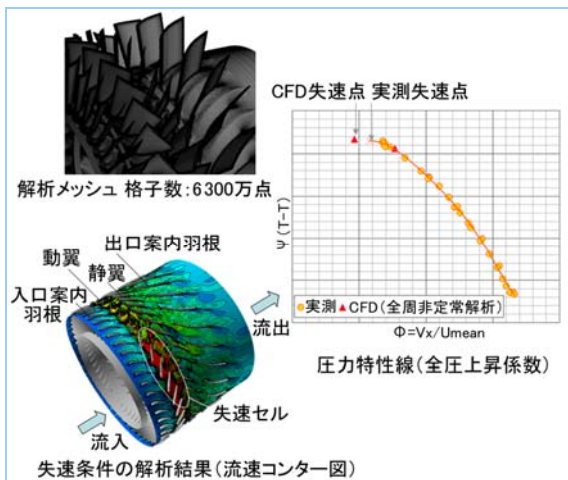


図5 亜音速単段軸流圧縮機の全周非定常解析

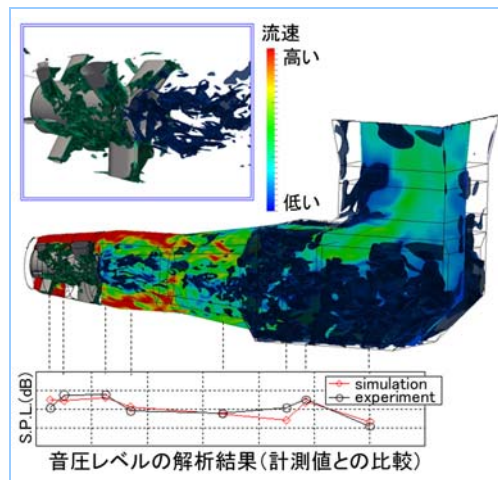


図6 ガスタービン排気ダクトの非定常流動解析



### 3.2 安全な発電プラント開発への適用

東日本大震災では、従来の想定を超える巨大な津波が発生し、沿岸部の被害は甚大なものであった。特に、陸上に遡上した津波の波力によって数多くの構造物が損壊しており、その中には港湾設備や発電所といった当社製品にも関連する社会インフラの損壊も含まれている。これら社会インフラは、一度損壊するとその復旧に多大な労力・時間が費やされることとなり、経済や市民生活に対する社会的影響は極めて大きい。したがって、津波に対する防災対策の確立が今後の重要な技術課題となる。

沿岸域における津波の変形や陸上への遡上、及び構造物との干渉といった津波波力に関係する現象は非線形性が強い為、実験でこれらを網羅するには膨大な実験ケースが必要となる。したがって、様々な地形や構造物形状、及びその配置の影響を考慮するには、形状を忠実に考慮した CFD による津波シミュレーションも一つの選択肢になるものと考えられる。特に、近年の計算機の性能向上にはめざましいものがあり、大規模 CFD による津波の再現も現実性を帯びつつある。船舶に適用してきた CFD 技術の活用による津波シミュレーション事例を紹介する。

図7に矩形構造物を対象とした津波シミュレーションの CFD 事例及び文献データとの比較を示す。今後、沿岸地形を含めた広域のシミュレーションに展開を図る予定である。

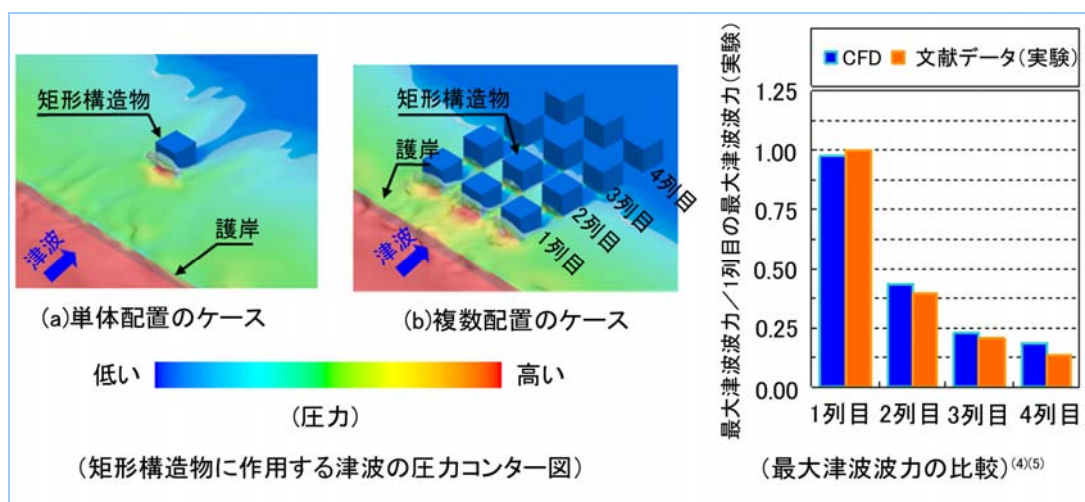


図7 津波波力の予測解析

## 4. まとめ

安全・安心な社会の構築に貢献するために、実際の現象に近い複数の物理現象の関与を考慮した統合解析技術とGPUを用いた大規模シミュレーションの活用例について、その一端を紹介した。多種の製品を製造し総合的な技術を有する当社が、最新シミュレーション技術を製品群を横断して横通し展開を図り、科学的アプローチに基づく革新的設計コンセプトを構築することが製造業生き残りの鍵であり、今後も適用範囲を拡大するとともに、更なる高度化、高精度化を推進していく。

### 参考文献

- (1) 青木素直, 企業における数値シミュレーション, 計算科学振興財団講演, 2009-12
- (2) 内田澄生ほか, ターボ機械を支える先進流動解析技術, 三菱重工技報 Vol.40 No.6(2003) p.336~339
- (3) 田中守ほか, 数値シミュレーションを活用し, 生産性を向上させるものづくり革新, 三菱重工技報 Vol.48 No.1(2011) p.61~64
- (4) チャルレス シマモラほか, 建物群に作用する津波波力に関する推理実験, 海岸工学論文集, 第 54 巻 (2007), pp.831-835
- (5) 中村友昭ほか, 遡上津波の変形と陸上構造物に作用する津波力に関する3次元数値シミュレーション, 第 23 回数値流体力学シンポジウム(2009), G7-3