

# 上流設計から保守までを高度化するシミュレーション技術

Simulation Technologies Supporting Development of Advanced Products and Services from Upstream Design to Maintenance

近藤 浩一      久野 勝美      小澤 薫

■ KONDO Koichi      ■ HISANO Katsumi      ■ OZAWA Kaoru

高品質かつ高性能で信頼性の高い製品を適切なコストで提供するためには、設計の上流段階から様々な技術的要素を総合的に考慮し、詳細設計や運用及び保守における幅広い観点から技術検討を行うことが必要である。このような検討を効率的に行うためには、計算機によるシミュレーションを的確に活用することが重要である。

東芝は、機械力学や、熱力学、流体力学、材料力学などの機械工学分野のシミュレーション技術を幅広い製品分野で活用している。また、上流設計から、詳細設計、運用、保守までの段階で、シミュレーションを活用し、信頼性の高い製品を提供している。

In order to offer reliable and high-performance products at appropriate prices, it is necessary to conduct comprehensive technological studies from the upstream stage taking into consideration various factors in the detailed design stage and the operation and maintenance stages. Efficient use of computer simulation is required for this purpose.

Toshiba has been utilizing simulation technologies in the field of mechanical engineering, in such areas as thermodynamics, dynamics of machinery, fluid dynamics, mechanics of machinery, and so on, for a wide variety of products. We are promoting the use of further advanced simulation technologies in each process of upstream design, detailed design, and operation and maintenance, for better products and services.

## ものづくり産業をとりまく環境

わが国の製造業は、新興国市場の成長、国際分業の進展、グローバル競争の激化などの大きな構造変化のなかにある。更に円高の進展に加えて、液晶テレビに代表されるようにデジタル機器の急速な価格低下などで、極めて厳しい経済環境に置かれている。このような状況のなか、製造業には、技術的な優位を付加価値に結び付ける進化を遂げ、新興国市場の拡大を成長の糧として生かしながら、持続的な成長を達成することが求められている。

一方、中国をはじめとしてアジアでは、“メイド イン ジャパン”がブランドとして強い訴求効果があると言われている。東日本大震災を契機に、そのブランド力にはややかげりが見られるという意見もあるが、高品質や、高性能、安全性、耐久性といった技術力がその基礎となっている。このような日本製品の競争力を、価格競争力と両立させながら更に強化することが重要である。

高品質かつ高性能で信頼性の高い製

品を適切なコストで提供するためには、設計の上流段階から様々な技術的要素を総合的に考慮し、詳細設計や運用及び保守における幅広い状況を想定して技術検討を行うことが必要である。このような検討を効率的に行うためには、計算機によるシミュレーションを、技術検討の目的や必要な詳細度に合わせ、的確に活用することが重要である。

## 機械システムとシミュレーション

東芝は、機械システムを広く捉え、機械工学に関連するシミュレーション技術を幅広い製品に活用している。

発電機器やメカトロニクス機器など機械的な動きが明確な製品だけではなく、電子部品やデジタル機器でも、熱の問題や材料強度や信頼性などの機械工学的な問題は非常に重要である。制御システムの分野でも、制御対象を機械工学的にきちんと表現してシミュレーションすることで、的確な設計が期待される。

機械工学では、機械力学（機構学、動力学、振動）、熱力学、流体力学、及

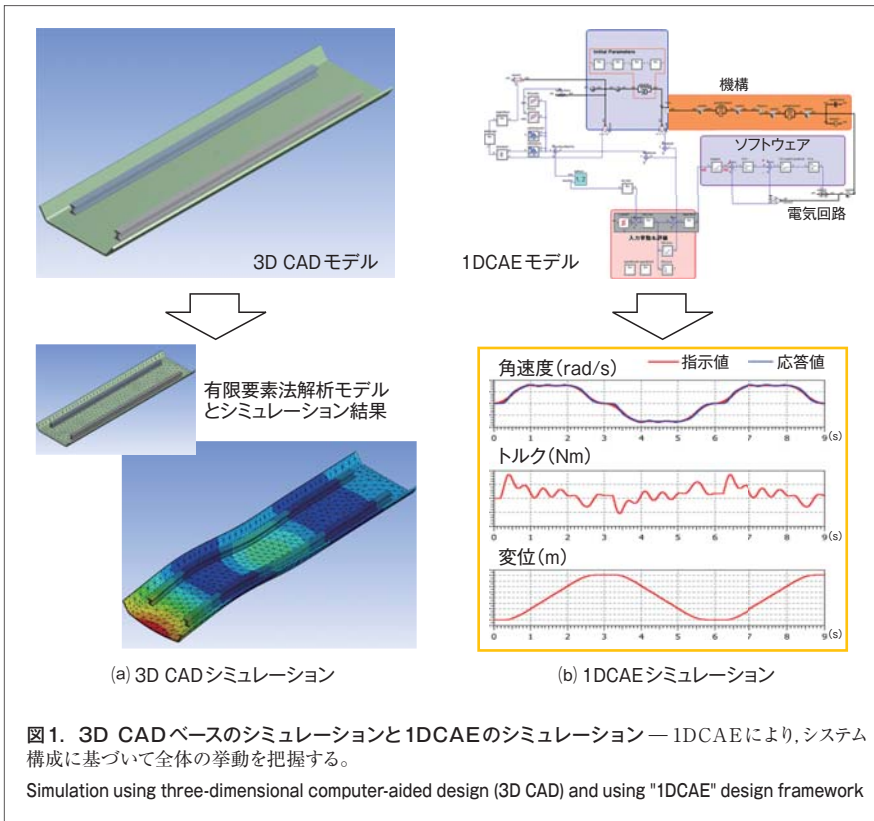
び材料力学が主要な基礎分野である。これに、潤滑を扱うトライボロジーや制御工学、更には、モータなどのアクチュエータの技術や光学技術などが加わって機械システムを構成する。

ここでは、このような技術が必要となるシステムを機械システムとして考え、その設計から運用、保守の幅広い段階で活用されるシミュレーション技術について述べる。

## 製品ライフサイクルとシミュレーション

### ■ 上流設計とシミュレーション

当社では、“フロントローディング設計”をキーワードに上流設計力の強化に取り組んできた<sup>(1)</sup>。製品ライフサイクルコストの大きな部分は上流設計段階に決まると言われており、システム全体を見渡して設計を行うことができたかどうか、製品のよしあしを決定づける。一般に、上流の設計段階では、関与する関係者も少なく、机上での検討が主になるため、技術検討するためのコストも小さ



くて済む。しかし、この段階では、設計の詳細は決まっていないため、不完全な情報をもとにシステムの構成や性能などを見積もる手法が必要である。

機械設計の詳細設計段階において、部品や組立品の詳細な形状を入力するツールとして3次元(3D)CADが広く使われている。既に3D形状が入力されていれば、有限要素法メッシュの自動生成機能などを活用し、変形解析などのシミュレーションを比較的容易に行うことができる。しかし、構想設計段階などの上流設計では、詳細な形状が決まっていることはまれで、新たなツールが必要となる。2Dの図面の作成支援ツールは2D CADと呼ばれるが、このような2Dの作図を行う段階よりも更に前に、システム構成とシステムの挙動を評価するためのシミュレーション及び設計支援ツールという視点から“1DCAE”という概念が提唱されている(図1)。

1Dは3Dや2DのCADが使われる前の段階であることを示しており、単なる形状入力や作図支援ではないという意

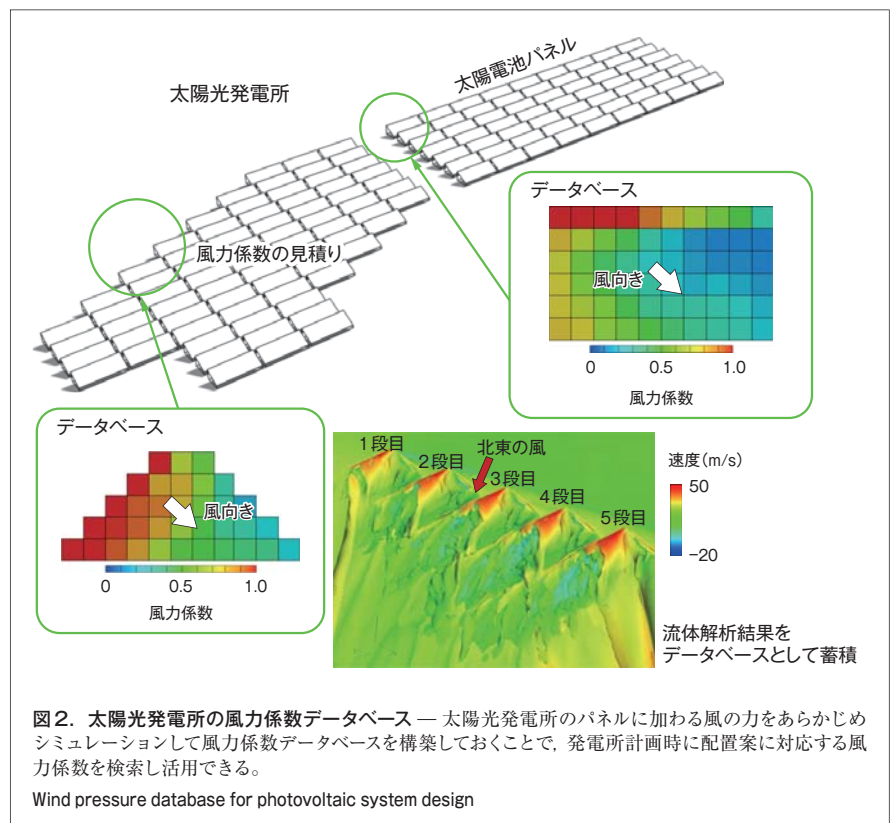
味で、CADではなくCAE(Computer-Aided Engineering)が使われている。

この特集では、当社における適用例を紹介する(p.7-10参照)。

システム全体を見渡して設計することの重要性は、部品を提供する事業でも同様である。システムの挙動を踏まえて、部品の仕様や使い方を設定することで、より付加価値の高いシステムに貢献できると考えられる。この特集では、EV(電気自動車)ドライブシステムのエネルギー動特性を精度よく予測できるEVシミュレータを例に、当社での取組みを紹介する(p.11-14参照)。

また、設計作業では、毎回細かい条件に基づいて正確なシミュレーションを行うのではなく、過去の類似事例などを参照して技術判断をする場面も多い。このような場合には、技術判断の視点に沿って設計事例や知識を整理し、幅広い設計者から参照できるようにすることが重要となってくる。

当社における一つの例として、メガソーラーシステムなど太陽光発電システムの設計に必要な風力係数をデータベース化している(図2)。太陽光発電



パネルの基礎や架台の低コスト化と安全性を両立するためには、設計の上流段階で風力係数を見積もることが必要で、あらかじめ実行しておいた数値解析結果を設計者が容易に活用できる仕組みを構築している<sup>(2)</sup>。

## ■詳細設計とシミュレーション

詳細設計の段階では、個別の設計作業において、設計案が仕様を満たしているかを確認するツールとしてシミュレーションが活用される。機械設計のほとんどが3D CADで行われるようになった現在では、設計者が普段使っている計算機環境で、有限要素法解析などが手軽に実行できるようになった。

個別の部品レベルの性能チェックに加えて、システム全体の最適化にもシミュレーションが活躍する。近年は、大規模かつ複雑なシミュレーションの実行が可能になり、設計パラメータを変更しながらシミュレーションを行って、最適な設計解を求めることもできる。この特集では、水力発電用の機器を例に、性能検証模型試験に代えて水車流路全体解析による全体最適化への取組みを紹介する (p.19-22 参照)。

3Dデータを活用したデジタルモックアップの技術も、広い意味では、シミュレーションの応用である。実際に試作機を作ることなく、設計の検証を計算機上で行うことができる。高速なグラ

フィックスを用いて、複雑な組立品のデザインレビューを電子的に効率的に行ったり、組立手順を確認したりするのが典型的な例である。最近では、デジタルモックアップも、形状情報や3Dグラフィックスだけではなく、機能面のモデルと連携して、試作機を代替する活用が広がっている。当社では、制御のソフトウェアと機構が密接に連携するメカトロニクス機器を対象に、機構部分の試作機の代わりにデジタルモックアップのシミュレータと制御ソフトウェアを結合してソフトウェアのテストを行う実機レステスト技術を開発し、製品に適用している<sup>(3)</sup> (囲み記事参照)。

## 制御用ソフトウェアの実機レステストにおけるシミュレーションの特徴的な役割

制御用のソフトウェアと機構が密接に連携するメカトロニクス機器を対象とした実機レステスト技術は、高価な機構部分の試作機の代わりにデジタルモックアップを活用するシミュレーション応用技術である。シミュレーションは、一般には、現象をいかに正しく再現するかが重要で、実機レステストでは、制御系からの信号に従って機構の動きをシミュレーションし、適切なタイミングで正しいセンサ情報を返すことが必要である。

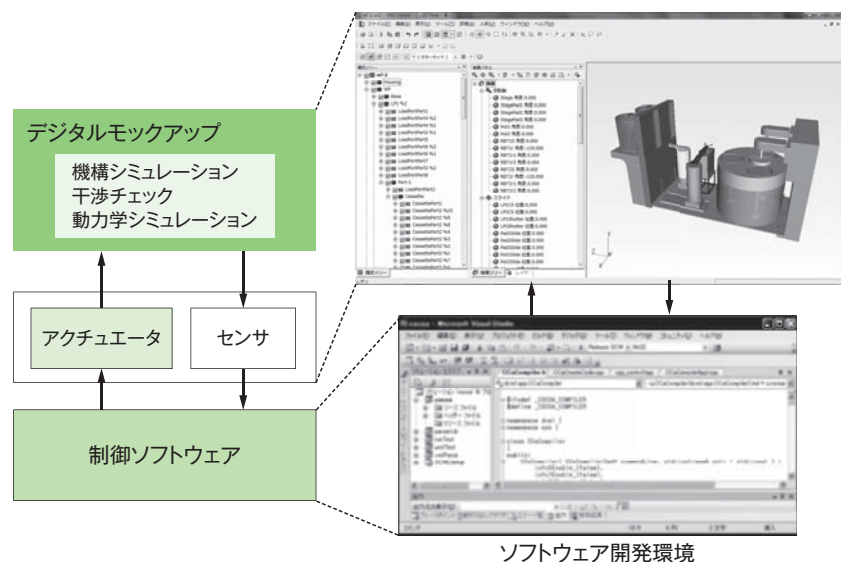
しかし、制御用ソフトウェアの実機レステストでは、もう一つの重要な役割がある。異常系の処理の確認である。機構がなんらかの原因で通常と異なる挙動をした場合に、制御用のソフトウェアがそれを正しく検知し、適切な異常処理を行うことが求められる。そのため、実機レスのシミュレーションでは、あえてモータなどのパラメータを現実と異なる値に設定することで、通常想定されていない挙動をさせ、異常処理ソフトウェアの機能が正しく実行されることを確認する。パラメータの変更で自由に挙動を変えることのできるシミュレーション

の利点を、異常処理ソフトウェアのテストに応用する、特徴のあるシミュレーションの活用法である。

実際の試作機では、例外的な挙動を意図的に再現することは非常に難しく、センサからの信号の値を強制的に指定のタイミングで変更してしまう異常系のマニュアル

再現機能と併せて、異常状態のシミュレーションによる再現は、製品の信頼化に大きく貢献する。

この技術をラティス・テクノロジー (株) にライセンス供与し、同社で仮想メカトロニクスシミュレータ Vmech<sup>TM</sup> (注1) として製品化されている。



デジタルモックアップを活用した実機レステスト

(注1) Vmechは、ラティス・テクノロジー (株) の登録商標。

## ■運用及び保守とシミュレーション

製品は顧客が購入して終わりではない。製品の稼働率を高く、故障停止期間を最小限にするには、製品の状況を正しく診断し、適切な保守を行うことが重要である。このために製品の健全性を運用時に評価し、故障を予測する技術をヘルスマonitoringと呼ぶ。

製品の運用時に収集できるセンサ情報から、故障の可能性のある部位の状態を推定するには、これらを関連付けるモデルが必要になる。実際の製品にはばらつきもあり、統計的なモデルを用いる場合が多い。

当社は、このような統計モデルを作成する際にも、シミュレーションを活用し、実際には発生・観測しにくい状況も含むデータ群を作成することで、より高度な寿命予測を実現した。この特集では、ノートPC（パソコン）など電子機器のヘルスマonitoringにシミュレーション技術を適用した例を紹介する（p.23-27参照）。

## シミュレーション技術の進展

シミュレーション技術とシミュレーションを実行するハードウェアは、車の両輪のように発達してきた。能力の高い計算機が、精度の高い現象モデルと必要な空間・時間解像度でのシミュレーションを可能にする。再現可能になった現象の様相から、新技術の可能性や、検討手法が生み出され、より高い計算機能力が必要になる。シミュレーション技術が、進歩するハードウェアに満足することはない。しかし、ハードウェアの能力を最大限に活用して現象を知ろうとする試みは、設計プロセスの各段階でシミュレーションを適用する範囲を確実に広げている。

最近のシミュレーション技術は“大規模”及び“マルチフィジックス”という二つのキーワードで特徴付けられる。大規模は文字どおりの量だけではな

く、先に述べたように、これまで現実の問題に適用が難しかった現象モデルを採用できるようにすることで質的な変化ももたらす。マルチフィジックスは熱と流体、あるいは構造と流体のような古くからある組合せだけでなく、目的に応じた様々な分野の組合せが実現されつつあり、扱う技術者にも幅の広い知識を要求する。既に述べた、上流段階でシステム全体の挙動を横断的にシミュレーションするIDCAEだけでなく、3D CADベースの詳細なシミュレーションでも、より付加価値の高い製品開発のためには技術を横断する視点が必要である。

この特集ではメガソーラーシステムの設計で、発電所に吹く風が太陽電池パネルに与える流体力を高次精度LES (Large Eddy Simulation) により予測する技術について紹介する（p.15-18参照）。LESは、小さい渦を流れ場に影響されないモデルとして扱い、大きい渦は直接計算する、乱流の解析手法である。多数の太陽電池パネルが並ぶ広い敷地を扱うためモデル規模が大きく、力を算出するため圧力に対して要求される精度が高い。この解析技術は、蒸気タービン翼列の非定常的な流れと熱移動の詳細な再現や、ガス遮断器の性能を左右する超音速流れでの流体とプラズマの干渉に関する研究<sup>(4)</sup>にも用いられている（図3）。

また、先に述べた電子機器のヘルスマonitoring技術の一部として、ノート

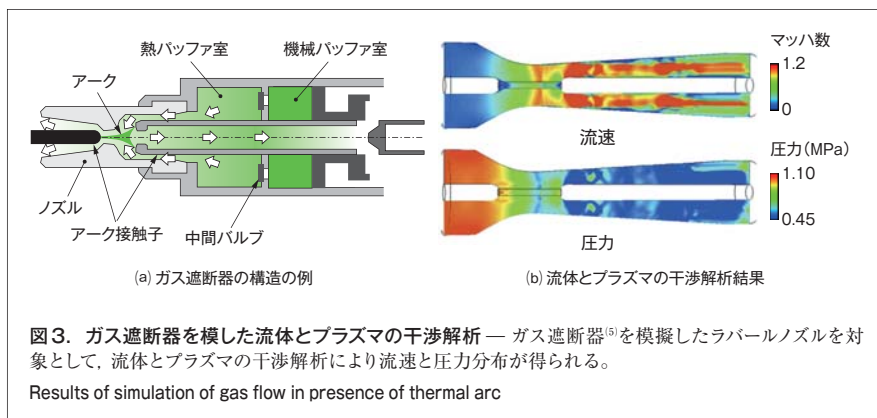
PCやSSD（ソリッドステートドライブ）をまるごと解析対象とする大規模解析技術の開発を行っている。電子機器には数多くの部品が高い密度で組み込まれ、これらの部品の応力やひずみを正しく捉えるには形状を細部までモデル化するのとはより、機器全体の大局的な変形挙動も再現しなければならない。シミュレーション技術は、複合材料や多孔質材料の異方性や残留応力の扱いなど、試験データだけでモデルを作ることが難しい材料の微視構造に踏み込むところまで既に達している。

## シミュレーション活用の推進

ハードウェア的な計算機環境（以下、計算機インフラと呼ぶ）の進化とその活用推進の施策が、前述のシミュレーション技術の進展を支えてきている。

## ■シミュレーションを支える計算機インフラ

システム全体の最適化や複雑な現象をシミュレーションするためには、大規模計算を行う計算機環境（HPC：High Performance Computing）が必要である。CPUやメモリ、周辺機器の高性能化とコストパフォーマンスを併せ持つ形で進化したPCが、エンジニア一人ひとりの計算機インフラを高度化している。また、HPCのアーキテクチャは、スカラ型、ベクトル型、ベクトル並列型、そして大規模スカラ並列型と進化を遂げ、シミュ



レーションは、クラウドコンピューティング環境の中で利用されている。シミュレーションを行うユーザーが、手元のPCから、扱っている問題の分野とモデル規模に応じて適切なソフトウェア及び計算機リソースを選択し、大規模計算が必要な場合は、イントラネット上のHPCクラウドにアクセスすることで、PCでの小規模シミュレーションからHPCでの大規模シミュレーションまで、すばやく、柔軟に実行できることが重要である。東芝グループでは、このような計算機インフラを、全社的な視点でIS(情報システム)センターが構築している。

社会インフラに寄与する大規模なシステム及び機器の設計や、半導体素子に代表されるナノオーダーの微細加工を追求するデバイス設計及びプロセス設計では、これら製品の設計や開発を行ううえで、試作による検討が物理的に、時間的に、あるいはコスト的に困難になってきている。また、設計上流段階で、製品品質、製造性、及び信頼性を加味した設計を行うためには、試作による試験に代わり、シミュレーションモデルによる性能試験と評価が確実に必要となってきている。その具体的な手法として、設計パラメータ( $X_i$ )の変化に伴う製品性能の応答( $Y$ )を評価可能にするシミュレーションモデル(応答モデル)を得る必要がある。このため、適性な実験計画のもとに数十~数百のケーススタディをシミュレーションによって行い、データを統計的に解析する多数のケーススタディを効率よく短時間で実行する。この手法を現実的なものにするために、大規模スカラ並列型のHPCが威力を発揮する。

## ■シミュレーション推進の取組み

これまで述べてきたシミュレーションは、1980年代はCAE専任者が高価なハードウェアを駆使して行っていた。21世紀に入り、使い勝手の良いユーザーインタフェースを備えたCAEソフトウェアが登場し、設計CAEの認知度と応用が

拡大してきた。ものづくりの強化のために、従来の設計者の勘と経験からCAEの活用へシフトしてきている。

ところが、使いやすいCAEソフトウェアは、ツールの理論に関連する操作部分がブラックボックス化されメニュー化されている。更にアルゴリズム改良により、誤った条件でも解が得られ、きれいなグラフィックスで表示されるため、設計の判断を誤るリスクもある。このような誤ったCAE結果に基づいた設計を防ぐ取組みとして、CAEを支える理論の教育は、操作教育とともに重要な意味を持つ。

当社は、CAEを実施するユーザーだけでなくCAEを依頼する設計者に対して、シミュレーションを支える知識及びスキルである機械工学をはじめとする工学理論と基本的な数値計算理論を、座学とeラーニングを組み合わせることで効率よく学習できるようにしている。また、マネージャーに、CAE品質の確保とCAE教育の重要性を教育している。

## 今後の展望

計算機ハードウェアの進歩とシミュレーション関連のソフトウェア技術の進歩は、製品開発におけるシミュレーションの適用範囲を大きく広げてきた。シミュレーションは、実験などでは簡単に解明できない現象の深い理解のための道具であるとともに、研究開発や設計をスピードアップするために必須なツールでもある。

研究開発や設計がグローバル、かつコンカレントに行われる環境では、設計情報の共有だけでなく、技術検討の内容に深く踏み込んだコラボレーションが必要になる。シミュレーションの可視化手段としての側面は、このようなグローバルなコラボレーションにも有効である。

当社は、シミュレーション技術の発展と利用環境及び利用技術の深耕の両面から技術開発に取り組み、よりよい製品とサービスを迅速に提供していく。

## 文 献

- (1) 池田義雄. フロントローディングによる上流設計力強化. 東芝レビュー. 62, 9, 2007, p.2-8.
- (2) 石井 岳 他. メガソーラーシステムのグローバル展開を可能にするシステム統合基盤. 東芝レビュー. 67, 1, 2012, p.22-25.
- (3) 吉田充伸 他. 制御系ファームウェア試験のための実機レスシミュレーション技術. 東芝レビュー. 63, 8, 2008, p.40-43.
- (4) 神保智彦 他. “高次精度LESによるSF6ガスアークプラズマ基礎特性に関する研究”. 日本機械学会2011年度年次大会講演論文集. 東京, 2011-09. 論文番号 G050022. (CD-ROM).
- (5) 小坂田昌幸 他. 変電所設備の保全・更新状況と今後の展開. 東芝レビュー. 63, 12, 2008, p.2-6.



近藤 浩一  
KONDO Koichi, D.Eng.

研究開発センター次長, 工博。  
設計支援技術及びシミュレーション技術などの研究・開発に従事。日本機械学会, 精密工学会, ACM会員。  
Corporate Research & Development Center



久野 勝美  
HISANO Katsumi

研究開発センター 機械・システムラボラトリー 研究主幹。放熱・熱利用技術の開発に従事。日本機械学会, 日本伝熱学会会員。  
Mechanical Systems Lab.



小澤 薫  
OZAWA Kaoru

ISセンター エンジニアリングシステム推進部参事。  
東芝グループ全社のCAE活用推進業務に従事。  
日本機械学会会員。  
Information Systems Center