

# 機械系シミュレーション技術の動向

## Trends in Mechanical Simulation Technology

吉田 有一郎 小澤 薫

■ YOSHIDA Yuichiro

■ OZAWA Kaoru

数値シミュレーションを利用して製品の研究、開発、及び設計を加速する手法はCAE (Computer Aided Engineering) と呼ばれ、現在、それらの業務における必須の手法として広く利用されている。一方、CAEの利用範囲の広がりとともに、CAEの品質保証と適切なCAEの推進も必要になっている。CAEの品質保証は英国の非営利団体NAFEMSがもっとも進んでおり、ASME (米国機械学会) やJSME (日本機械学会) もこの分野での活動を開始している。

このような状況のなかで、東芝は、ISO9001 (国際標準化機構規格9001) に基づくCAEの品質保証及び適切なCAEの推進に注力している。

Computer-aided engineering (CAE) is an essential information technology, supporting engineers in tasks such as research, development, and design of products and contributing to the shortening of development periods. With CAE now being widely used in the business sphere, the quality assurance of CAE and efforts to strengthen appropriate CAE processes are also required. Britain's National Agency for Finite Element Methods and Standards (NAFEMS) is taking the initiative in the quality assurance of CAE, and the American Society of Mechanical Engineers (ASME) and the Japan Society of Mechanical Engineers (JSME) have also started work in this area.

With this as a background, Toshiba has been promoting the quality assurance of CAE processes based on ISO 9001, and is making strong efforts to utilize the appropriate CAE processes for product development.

### CAEの定義と東芝の取組み

シミュレーションは、現象をなんらかの手段で模倣することを言う。現象を記述する方程式を有限要素法などの数値解析手法で解析し、解析結果を製品の研究、開発、及び設計に利用して効果を出す手法はCAEと呼ばれる。これに対し、機械系の数値解析手法の研究分野は計算力学、計算工学と呼ばれる。

現在ではCAEは製品の研究、開発、及び設計において必須の手法として広く利用されている。数値解析手法だけでなく、実験、3次元 (3D) CADやPDM (Product Data Management) システムなども含む広い意味でCAEと呼ぶのが本来のCAEの考え方であろう。

ここでは機械系の数値解析手法をCAEと呼び、製品の開発と設計におけるCAEの利用価値、東芝におけるCAEの利用環境の変化と利用範囲の広がり、及び機械系CAEの動向について述べる。

一方、CAEの利用範囲の広がりとともに、CAEの品質保証 (囲み記事参照) と適切なCAEの推進も必要になっている。これに対しては、CAEの品質保証の世界的な動向や、東芝のCAE担当部門であるISセンター (以下、ISCと略記) 及び東芝インフォメーションシステムズ (株) (以下、TSISと略記) の、ISO9001に基づくCAEの品質保証と適切なCAEの推進への取組みについて述べる。

### 製品開発と設計におけるCAEの利用価値

三角法で書かれた2次元図面を図1に示す。これを3D CADの画面で見ると図2のように見える。図1が図2の立体を意味していることを理解するには教育訓練が必要であるが、図2は直感的に理解できる。3D CADの利点の一つは、誰でも設計図面がよくわかること、すなわち設計情報の共有化である。一般に、図1の図面には部品表 (BOM:

Bill of Materials) がついており、製品に使用する各種部品の個数や材質などが書かれている。PDMシステムを使用すれば、3D CADデータとBOMをPDMシステムの中に格納し、設計図面と部品情報の共有化ができるようになる。

図3は、企画、設計、製造という従来の設計製造プロセスが3D CADとPDMシステムの利用により、より効率的なプロセスに変化する過程を示している。

3D CADの利用により、プロセス下流の製造準備での関係者が設計上流のレビュー会議で画面上の立体モデルを見れば、設計者の意図を明確に理解できる。そうすれば、製造段階で起こり得る不具合を事前に指摘することができるようになり、設計下流からの後戻りを防ぐことが期待できる。

PDMシステムを利用して、プロセス下流の作業の担当者が設計途上で3D CADや部品表の情報を共有すれば、設計と並行して実施可能な作業を開始できるため、工期短縮が期待できる。こ

## CAEの品質保証

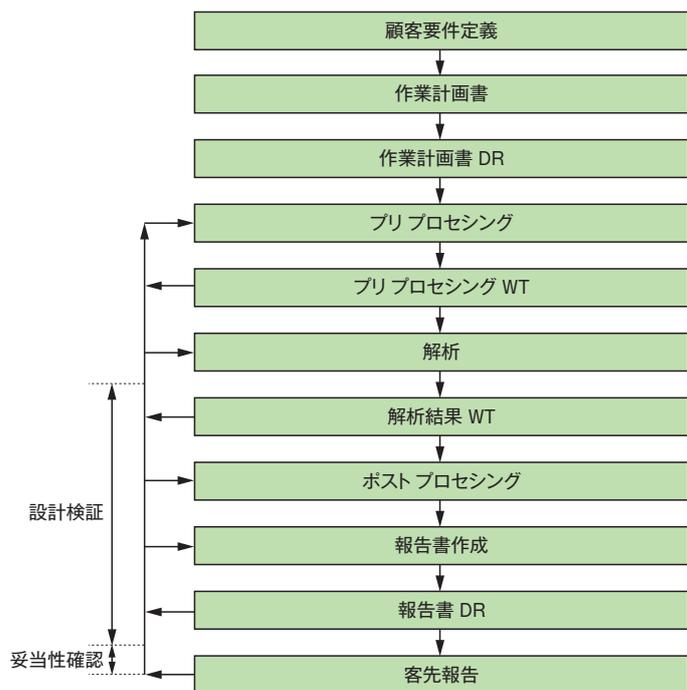
構造解析の品質保証手法としては、英国の非営利団体NAFEMSによるISO9001に基づく品質保証体系のSAFESA<sup>(1)</sup>と、ASME V&V 10-2006<sup>(2)</sup>がある。SAFESAを検討しているNAFEMSのAMWG(Analysis Management Working Group)のメンバー

とASME V&V 10-2006のメンバーは、ISO9001-2000に対応するNAFEMS QSS 001<sup>(3)</sup>の発行で協働作業を実施している。

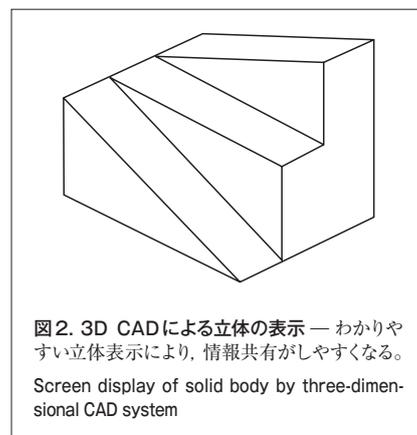
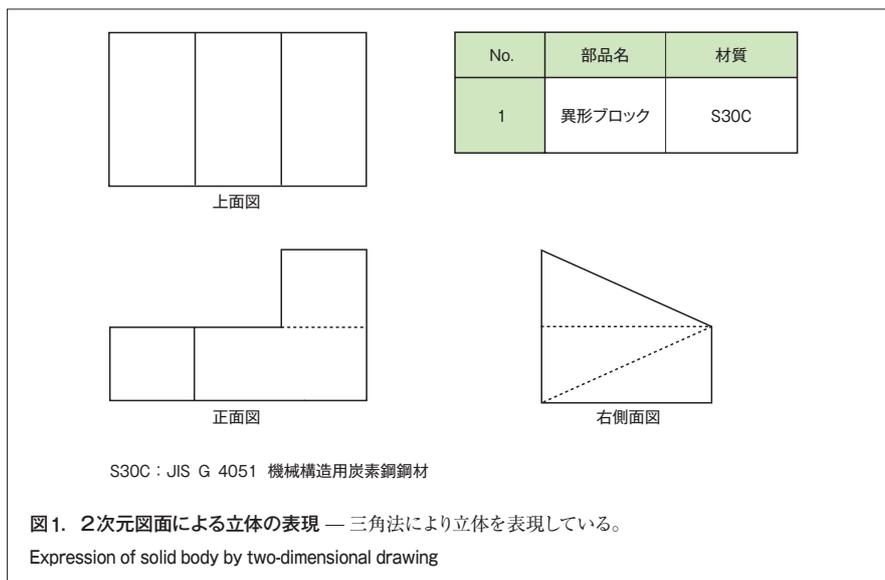
ISCとTSISは、CAE業務分野のISO9001認証を取得している。CAEの実施プロセスを図に示す。図ではWTはウォークスルー、

DRはデザインレビューである。各プロセスにおける作業が標準化されマニュアルに明確に記述されていること、作業は記録として残すこと、及びWTやDRで各々の作業結果のレビューを実施し品質確保を図ることなどが、ISO9001に基づくCAE業務の品質保証の要点である。図のプロセスは、SAFESAで示されているプロセスと同等である。ISO9001に基づく品質手法では、品質を保証するための明確な業務プロセス、道具であるCAEソフトウェアの精度検証、及びCAEを実施する要員の能力管理を要求する。これに対し、ASME V&V 10-2006は、CAEの品質保証のために必要な事項を網羅的にまとめた記述であり、発展途上の規格と考えられるが、数値解析ソフトウェアの品質保証手法に関する詳細な記述などが特長であり、今後の発展が期待される。

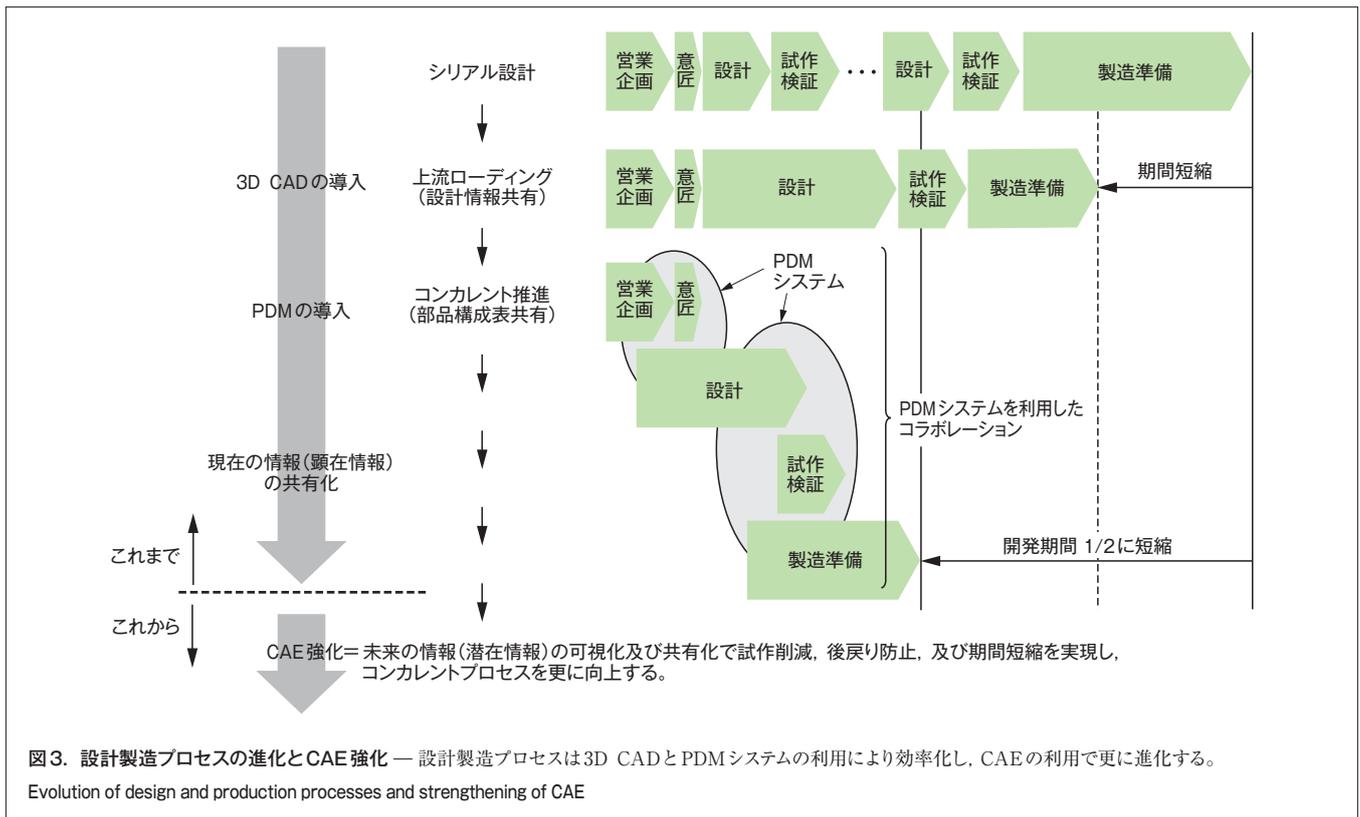
NAFEMSは、ベンチマークテスト(比較、評価するために行われるテスト)による汎用構造解析ソフトウェアの精度評価で世界的に定評を得ており、各種CAE入門書の出版や認定解析士(Registered Analyst)制度も実施しているNPOである。わが国でも、CAEの品質保証に関する体系的な取組みが必要な時期と考えられる。



CAEの実施プロセス — 各段階でレビューを実施し、記録を残す。



のようなプロセスは、コンカレント(同時並行処理)エンジニアリングと呼ばれる。情報共有の範囲は自社の部門内、



工場内から国内外のパートナーに広がっており、コラボレーティブエンジニアリングとも呼ばれる。3D CADとPDMシステムの利用では、現在ある情報（ここでは、顕在情報と呼ぶ）を共有することに本質的な意味がある。

一方、製品開発では性能向上とコスト削減のための改良を行う。改良が機能するかどうかという運命（ここでは未来情報、潜在情報と呼ぶ）は設計データに内包される。そこで、仮想実験（CAEによる計算実験）で設計データを分析し改良が設計者の意図どおりに機能するかどうかを検証すれば、試作・検証工程における後戻りはなくなる。結果としてコンカレントプロセスの確度が向上し、試作・検証期間も削減できる。

情報処理の観点からは、CAEは潜在情報の可視化・共有化ツールとして理解することができる。設計製造プロセスの進化とともに、CAE利用技術がよりいっそう重要になることが理解できる。現在では3D CADにCAEツールが組み込まれるようになっている。

コラボレーティブエンジニアリングは半導体技術の進歩による計算機とネットワークの性能向上、及びインターネット、基本ソフトウェア（OS）、ミドルウェア、CAEソフトウェアなどをはじめとするソフトウェア技術の発達に牽引（けんいん）されている。CAEのビジネス上の効果に関しては、経営学研究者が自動車業界などにおける調査結果を紹介している<sup>(4)</sup>。また、米国の調査会社は製造業への聞き取り調査を基に設計上流でのCAEの効果について検証し、CAEを使い成功した会社と成功していない会社における平均試作回数の差や、種々

の製品における試作削減の経済的効果を報告している<sup>(5)</sup>。これらの紹介や報告は、CAE投資を考えるための判断資料として興味深い。

### CAEの利用環境の変化と利用範囲の広がり

ISCが保有する技術計算用高性能計算機の性能（理論性能）の推移を表1に示す。1980年代初頭にはスカラー型の高性能計算機<sup>(注1)</sup>が使用された。

1980年代初頭のCAEの主たるユーザーは重電・原子力分野の研究者や設

**表1. 高性能計算機の性能の推移**  
Trends in performance of high-performance computers

年代	相対性能	アーキテクチャ
1983年以前	~1	スカラー型
1984~1998年	~3,000	ベクトル並列型
1999~2006年	~18,000	スカラー並列型
2007年以降	183,000	スカラー並列型

(注1) スカラー型高性能計算機  
計算を逐次的に（1個ずつ）実施する方式を採用する高性能計算機。

計者である。ユーザーとユーザーを支援するシステムエンジニアは、ともにCAE理論を理解し苦勞して完成度の低いCAEソフトウェアを利用した。

1980年代の中盤からはベクトル並列型の高性能計算機<sup>(注2)</sup>が使用された。このころから高性能計算機のユーザーとして重電・原子力分野以外に半導体分野が登場した。この後、技術計算のプラットフォームはEWS (Engineering Work Station) あるいはパソコン (PC) へと展開し始め、CAEの適用範囲も、PCなどのデジタル製品、家電製品、医療機器、及び社会インフラや産業機器など多くの製品分野へ広がった。設計者自身がCAEを実施する動きも広がり始めた。半導体製造装置関連のCAE、製造工程設計への最適化手法の適用、制御ソフトウェアと機構の動作を連携したエミュレーションなどは近年の特徴である。

東芝グループは2001年以降分社化が進み、現在はスカラー並列型高性能計算機が情報システム部門を含むいくつかの部門に導入されている。

2000年に登場したIntel社のMPU (Micro Processing Unit) Pentium<sup>®</sup><sup>(注3)</sup> 4により数値計算を実施した場合の実効性能は、1980年代末に導入された高性能計算機と同程度と推察される。最新のMPUは更に性能が向上しているだけでなく、64ビット拡張機能が付加され、OS、コンパイラも対応しているため、アクセスできるメモリ空間は実質的に制限がない。

1980年代末において東芝全社で1台しかなかった高価な高性能計算機上で実行していた計算を、PCで実行できるようになっている。しかも、PCは当時では得がたかった精細なグラフィックスと柔軟なユーザーインタフェースを兼ね備えている。MPUは高性能並列計算機にも使われ、技術計算用計算機のコストは過去に比較して大幅に低下した。このことが企業の研究、開発、及び設計におけるCAEの利用拡大を加速している。

使い勝手の良いユーザーインタフェースを備え、アルゴリズム改良により解きがたい悪条件の問題でも解を出すようにロバスト化<sup>(注4)</sup>したCAEソフトウェアを使い、CAEの理論を知らない設計者でも見かけ上の解析結果を得ることができ。その結果、CAEの理論を知らない設計者が誤って入力した解析モデルから得られる、誤ったCAE結果に基づいて設計をすることを防ぐ仕組みと仕掛けが必要になっている<sup>(6)</sup>。

### 機械系CAEの動向

日本機械学会が毎年8月に発行している特集“機械工学年鑑<sup>(7)</sup>”には計算力学という章があり、機械工学系の計算力学分野における研究動向が解説されている。ここ数年の記事から読み取れるキーワードは、次のとおりである。

- (1) 構造解析 マルチスケール及びマルチフィジックス解析、メッシュレス解法、超大規模問題の解析、フェーズフィールド法による相

変態の解析

- (2) 熱流体解析 DNS (Direct Navie-Stokes) による大規模乱流解析と乱流構造の解明、流体と構造の連成解析、CIP法 (Cubic Interpolated Pseudoparticle Method) の高度化、粒子法の適用。
- (3) 最適化 最適化支援ソフトウェア、大域的最適化、多目的最適化、設計上流における最適化、多目的設計探査

ほかにも、格子生成、ビジュアルゼーション、生体流体力学、グリッドコンピューティング<sup>(注5)</sup>、及び次世代スーパーコンピュータ開発などのトピックスが解説されている。これらの研究成果の一部は商用CAEコードに組み込まれ、企業のCAE技術者も利用し始めている。

これに対し一般の企業におけるCAE利用現場には、非線形解析における材料特性のモデル化技術、実測と解析結果のキャリブレーション技術、設計プロセスへのCAEの組み込み、汎用ソフトウェアの利用技術の向上、実験計画法や田口メソッドなど実用的な最適化手法の利用技術<sup>(8)</sup>の向上などの技術的問題から、CAE技術者の育成や確保、CAEのビジネス上の効果の定量化、CAE関連投資のための上位役職者の説得などのマネジメントにわたる数多くの課題がある。課題を抱える企業のCAE技術者と大学の研究者の情報交換会や勉強会としてのNPO (Non Profitable Organization) も盛んに活動している。

東芝はCAE教育とCAEの品質保証の推進における、大学研究者と企業のCAE技術者の今後の連携に期待する。既に、日本機械学会の計算力学技術者認定制度<sup>(9)</sup>は、大学研究者と企業の技術者の協働作業により着実に成果を拡大し、世界的にも先行している。これに対し欧米では、英国の非営利団体NAFEMSのSAFESA<sup>TM</sup> (Safe Structural Analysis)<sup>(11)(注6)</sup>と、米国ASME V&V 10-2006<sup>(2)(注7)</sup>などがCAEの品質保

(注2) ベクトル並列型高性能計算機  
計算を配列 (ベクトル) として実施するベクトル演算方式を採用した、CPUを複数並列に動作できる高性能計算機。

(注3) Pentiumは、米国又はその他の国における米国Intel Corporation又は子会社の登録商標又は商標。

(注4) ロバスト化  
数値計算のアルゴリズムを工夫して、解きにくい問題の場合でも解が求まるようにアルゴリズムを改良すること。

(注5) グリッドコンピューティング  
ネットワークでつながった複数のコンピュータを、特定の目的のために統合して使用できるようにしたシステム。

(注6) SAFESAは、NAFEMSの商標。

(注7) ASME V&V 10-2006  
計算固体力学の品質保証に関する規格。ASMEの規格がANSI (American National Standard Institute) 規格になっている。

証で先行している。ISC及びTSISはCAE業務においてISO9001の認証を取得し、東芝グループでの開発と設計に対し、ISO9001に基づくCAEの品質保証<sup>10)</sup>を実践している。

### 東芝のCAE担当部門の適切なCAEの推進への取組み

ISCとTSISは東芝のCAE担当部門として、CAEの適切な利用技術を東芝グループ内で共有化するため各種のCAEユーザー会とCAE教育<sup>10)</sup>を実施している。

通常、設計者はCAE理論の教育を受ければ定型の簡易な解析は実施できるが、非定型で難度の高いCAEは実施できない。そこで、設計者は簡易なCAEを実施し、難度の高いCAEは専任のCAE技術者が担当する部門が増えた。CAE技術者も必要な製品知識を勉強するようになっている。

近年では、CAE技術者が傍らにいて共同で作業することを希望する設計部門も多い。そこでISCとTSISは拠点にCAE技術者を配置して、設計部門におけるCAEを強化し、適切なCAEを推進する取組みを開始している。

### CAE利用技術の展開に向けて

製品の開発と設計におけるCAEの利用価値、東芝におけるCAEの利用環境

の推移と利用範囲の広がり、及び機械系CAEの動向について述べた。また、CAEの品質保証の世界的動向、及び東芝のCAE担当部門の、ISO9001に基づくCAEの品質保証と適切なCAEの推進への取組みについて述べた。

製品の開発と設計におけるIT(情報技術)利用のいっそうの発展とともに、CAE利用技術は一段と進化する。適切なCAE利用技術を東芝グループ内に展開し製品の開発と設計に寄与することを通じ、社会にも貢献できるよう研さんを重ねたい。

### 文 献

- (1) NAFEMS. SAFESA TECHNICAL MANUAL To Construct Qualification Supported by Finite Element Analysis. The SAFESA Consortium, Ref:R0041. NAFEMS, 1995.
- (2) ASME. Guide for Verification and Validation in Computational Solid Mechanics. ASME V&V 10-2006. NAFEMS, 2006.
- (3) NAFEMS. NAFEMS QSS001, Quality Standard Supplement Engineering Simulation Quality Management Systems Requirements. NAFEMS, 2007.
- (4) Thomke, S.H. Experimentation matters: unlocking the potential of new technologies for innovation. Harvard Business School Press, 2003.
- (5) Jackson, C. "Simulation Driven Design Benchmark Report: Getting It Right the First Time". <[http://www.aberdeen.com/summary/report/benchmark/BM\\_Simulation\\_driven\\_Design\\_3591.asp](http://www.aberdeen.com/summary/report/benchmark/BM_Simulation_driven_Design_3591.asp)>, (参照2008-05-19).
- (6) 白鳥正樹. "今、なぜ解析の品質か". 日本機械学会第16回計算力学講演会講演論文集, No.03-26. 神戸, 2003-11, 日本機械学会, 2003, p.731 - 732.

- (7) 中橋和博, ほか. 計算力学. 日本機械学会誌, 108, 1041, 2005, p.605 - 608.
- (8) 小沢 薫, ほか. "実験計画法を用いた設計上流段階の熱設計最適化". 日本機械学会第16回計算力学講演会講演論文集, No.03-26. 神戸, 2003-11, 日本機械学会, 2003, p.677 - 678.
- (9) 日本機械学会. "計算力学技術者認定事業". <<http://www.jsme.or.jp/cee/cmnintei.htm>>, (参照2008-05-19).
- (10) 吉田浩俊, ほか. 開発イノベーションとCAE. 東芝レビュー, 62, 9, 2007, p.59 - 62.



吉田 有一郎

YOSHIDA Yuichiro, D.Eng.

東芝インフォメーションシステムズ(株) エンジニアリングシステム・サービスオフィス プロフェッションエグゼクティブ, 工博. 電気・機械系のCAE業務に従事。日本機械学会会員(フェロー)。  
Toshiba I.S. corp.



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。機械系解析業務に従事。日本機械学会会員。  
Information Systems Center