

1DCAEによるものづくりの革新

Design Innovation Applying 1DCAE

大富 浩一 羽藤 武宏

■OHTOMI Koichi ■HATO Takehiro

製品開発では、良い製品を早く、安く作ることが求められる。CAD/CAEの普及により、早く、安く作る手法は定着してきている。しかし、CAD/CAEは形状が基本になっているため、設計情報が少ない上流設計で適用することは困難であることから、製品開発の初期段階から適用できる設計の枠組みが求められている。

東芝は、革新的なものづくりを実現するために、CAD/CAEが従来カバーしきれいかなかった概念設計や機能設計を対象とした、この領域に適用可能な考え方及び手法の概念かつ設計支援ツールとして“1DCAE”の開発を推進している。全体適正設計の段階で1DCAEにより機能を定義し、個別設計の段階でこの結果を仕様として構造設計であるCAD/CAEに受け渡す。CAD/CAEの結果は1DCAEに戻され、機能検証を行う。この1DCAEを起点とした設計手法により、従来のCAD/CAEを中心とした手法では創出が困難であった設計解を導き出すことが可能になる。

The main task of product development is to develop a good product at lower cost and to bring it to market in a shorter period. Conventional computer-aided design and computer-aided engineering (CAD/CAE) systems are well established in this regard. However, although upstream design is particularly important in product development to add value and incorporate the required functions, it is difficult to apply conventional shape-based CAD/CAE systems to the upstream design stage due to the lack of design information at that stage.

As a solution to this issue, Toshiba is promoting the development of a design framework called "1DCAE," which can be applied to the early design stage of product development including the conceptual and functional design phases. 1DCAE is defined as the design concepts, methods, and tools that cover the early design stage. The output of 1DCAE is input as the design requirements to a conventional CAD/CAE system, which transforms the design requirements into an actual product image. The CAD/CAE results are then fed back to 1DCAE to verify the overall functions. The 1DCAE concept is expected to realize design innovation and more innovative products.

1 まえがき

製品開発では、設計、特に上流設計は、後戻り作業が及ぼす影響が大きいことから重要であると言われている⁽¹⁾。CAD/CAEの普及は、ものづくりのやり方を大きく変え、設計の効率化や開発期間の短縮などの効果をもたらした。一方、改良設計ではCAD/CAEによる構造を起点にしたものづくりが適しているが、新規設計では、製品に求められる価値や機能を起点にして、それらを構造に反映する仕組みが必要になる。しかし、価値や機能を起点にした設計を考える場合、現状のCAD/CAEを適用することができない。そこで東芝は、この価値や機能を起点にした設計の概念及びそのツールを“1DCAE”と呼び、開発を推進している。

一般に、わが国のものづくりは与えられた仕様に基づいて、要素製品を作ること得意にしているが、これだけでは今後のものづくりには不十分である。いわゆるデザイン思考を設計に取り込む概念及びそのツールが必要である。そこでわが国の特質を生かし、設計の上流から下流まで通して適用可能で、革新的なものづくりを実現する考え方として1DCAEを提唱した。

ここでは、1DCAEの考え方とものづくりにもたらす効果、及び

1DCAEを製品開発の設計に適用する方法と適用事例について述べる。

2 1DCAEとは

ものづくりは、概念設計に始まり、機能設計、配置設計、構造設計、製造設計へと進む。しかし、設計の初期段階では設計情報が曖昧なため、CAD/CAEなどの設計支援ツールを適用することが困難である。設計の後半段階になるとCAD/CAE又は実体モデル(RP: Rapid Prototyping)の適用や実験も可能になるが、この段階では多くの設計制約が発生しており、自由に設計することが難しくなる。したがって、設計の上流段階から適用できる設計の考え方や設計支援ツールが求められている。

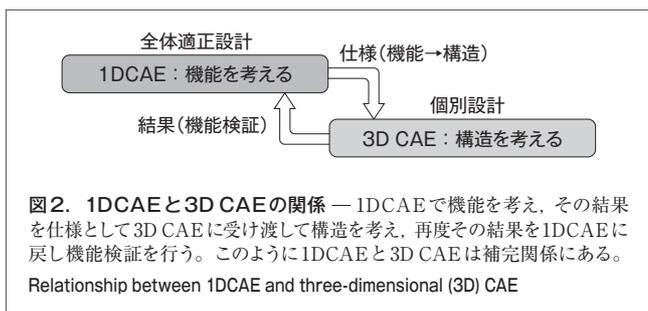
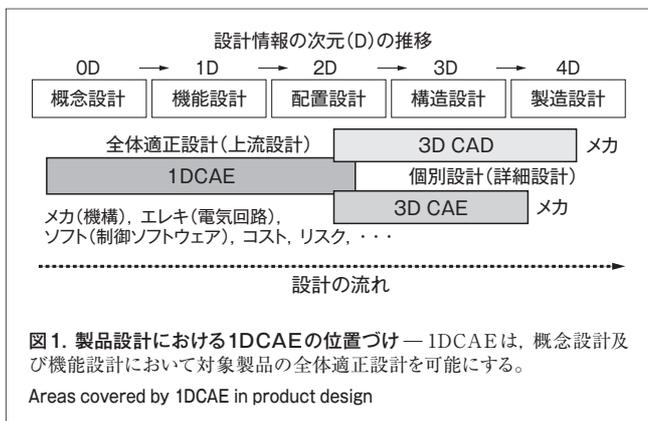
当社は、製品の価値や機能を起点にした、設計の上流段階から適用可能な考え方及び手法の概念かつ設計支援ツールとして1DCAEを開発している。ここで“1D”は特に1次元の意味ではなく、物事の本質を的確に捉え、機能を見通しのよい形式でシンプルに表現することを意味している。1DCAEを用いると、設計の上流から下流段階までCAEでの評価が可能

になる。ここで言うCAEはいわゆるシミュレーションだけでなく、本来のComputer Aided Engineering (コンピュータ支援によるエンジニアリング)を意味する。

製品設計における1DCAEの位置づけを図1に示す。1DCAEでは、製品設計を行うにあたり、構造を設計する前に対象とする製品又はシステム全体を機能ベースで表現し、評価解析できるようにすることで、製品開発の上流段階における全体適正設計を可能にする。全体適正設計を受けて、その結果を入力として個別設計を実施し、その個別設計の結果を全体適正設計に戻しシステム検証を行う。

1DCAEと“3D CAE”の関係を図2に示す。1DCAEでは、製品開発の目標を設定し、これを基に概念設計及び機能設計を行う。製品の機能を考えることにより、設計仕様を仮決定し3D CAEに受け渡す。3D CAEでは、1DCAEから受け取った仕様に基づいて配置設計及び構造設計を行う。3D CAEはいわゆる構造を考える部分であり、従来のCAD/CAEが威力を発揮する。3D CAEの結果は1DCAEに戻され、システムとしての機能検証を行う。広義の1DCAEとは、この1DCAEを起点とした3D CAEも含む設計の枠組みである。

1DCAEは対象とする製品の価値、機能、及び現象をハードウェアやソフトウェアに関わらず漏れなく記述し、パラメータサーベイを可能にする環境を構築する。目的に応じて、製品を使用する消費者や、社会、経済、流通といった非物理現象も含む場合があるが、実はこちらのほうが製品開発にとっては重要である場合が多い。



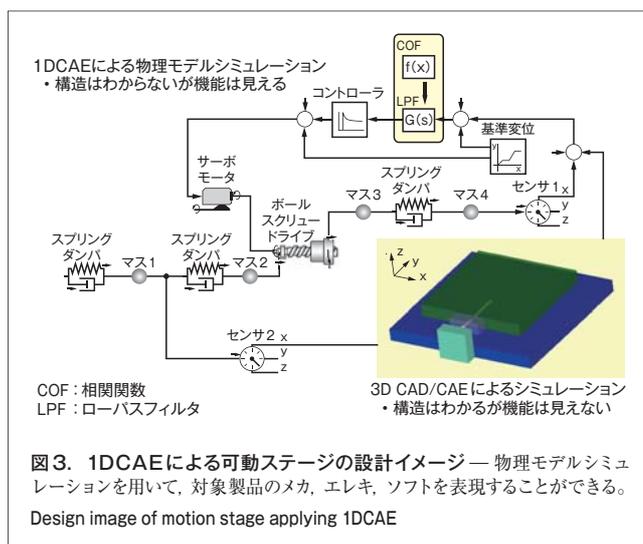
3 1DCAEと物理モデルシミュレーション

1DCAEが目指すところをそのまま具体化するツールはまだ存在しないが、物理モデルシミュレーションは1DCAEの考え方を具現化してくれる一つのツールとして有力である。

一例として、物理モデルシミュレーションを用いた1DCAEによる可動ステージの設計イメージを図3に示す。可動ステージは、可動テーブル、これを駆動するモータ、メカ(機構)、エレキ(電気回路)、及びモータを駆動するソフト(制御ソフトウェア)から成る。これを1DCAEの一つの姿である物理モデルシミュレーションで表現すると図3の左上ようになる。この段階では、メカ部分の構造は気にする必要はなく、質量やばね定数といった離散情報だけが必要である。1DCAEで最適な質量やばね定数を決定した後、これを実現するため図3の右下に示すように3D CAD/CAEを用いて構造化していく。ここで決定された詳細情報から最終的な質量やばね定数を1DCAEに戻し、可動ステージとしての機能を検証する。

図3は非常に簡単な例で示したが、実際には複雑なシステムにも適用可能である。しかし、現存する物理モデルシミュレーションツールで全ての物理現象を扱えるわけではなく、1DCAEが目指すコンセプトの実現には更なる改良若しくは別のまったく違うコンセプトのツールが必要になる可能性がある。

実は1DCAEは特殊な考え方ではない。以前から、技術者は対象としている製品をモデル化したいと考え、自分の能力の範囲で時間を掛けてモデル化やパラメータサーベイをしていた。しかし近年、製品開発のサイクルが短くなり、従来のやり方では間に合わなくなった。また、狭義の意味でのCAEの普及で開発効率は一見上がったかに見えるものの、技術者の思考がワンパターン化し、価値ある製品の創出にブレーキがかかってしまった。このような現状の課題に対して、1DCAEは一つの解を示してくれる可能性のある考え方及び手法の設計支援ツール



ルである。物理的なことを理解していれば、1DCAEを用いて短時間で対象製品をモデル化することが可能である。ここで目指す1DCAEは、このような機能も持ちながら、より広範囲に、より柔軟に設計を支援する概念である。

4 1DCAEのものづくりへの効果

ものづくりの視点から1DCAEの重要な効果は、上流設計の実現、システム全体の可視化、及びエンジニアの育成と、これらによりもたらされるものづくりの革新である。

- (1) 上流設計の実現 設計の上流段階から適用可能なため、広い設計空間を対象とすることができ、結果として新たな価値の創造につながる。また、設計の早い段階で設計の問題点を見つけることができ、結果として設計の品質向上と効率向上につながる。従来の3D CAE手法は部分最適を可能にしていたものの、システム全体を見通した全体最適は不得手であったのに対して、1DCAEは全体最適による価値最大化、コスト最小化、及びリスク最小化が可能である。
- (2) システム全体の可視化 メカ、エレキ、ソフトといった分野を横断した設計仕様の策定が可能になる。これは分野単独の部分最適から、分野横断の全体最適を可能にし、無理やむだを排除できる。また、システム全体での抜けを防止でき、品質向上と安全・安心の実現につながる。また、結果の可視化だけでなく、メカや、エレキ、ソフトの各機能の可視化、機能を実現するパラメータ(数値)の可視化、及びどの分野を対象にしているのかといった情報の可視化を実現できる。
- (3) エンジニアの育成 1DCAEは、技術者の思考を計算機上に容易に具現化してくれるが、これには技術者の資質が大きく影響する。1DCAEではこれが3D CAE以上に如実に表れる。すなわち、1DCAEでは物理現象を十分に理解していることが最大の効果を発揮することにつながり、考えている製品イメージを機能に展開する能力が要求される。一方、システム全体を対象としているので自分の専門分野以外のことも知る必要がある。例えば、メカ担当であってもモータのことも勉強しないとイケないかもしれない。このように1DCAEには技術者に学習を能動的に働きかける重要な効果がある。

5 1DCAEの適用方法と事例

1DCAEは設計の目的によって構成が大きく異なる。設計は、図4に示すように、品質管理の方法である狩野モデルをベースにして、目的に応じてMust設計、Better設計、及びDelight設計の三つに分類できる⁽²⁾。

これら三つの設計を念頭に置いた1DCAEの製品設計への

適用手順を図5に示す。製品開発においては社会動向や、顧客要求、自社の強みなどを考慮して目標を設定し、これを受けて設計が開始される。概念設計及び機能設計では1DCAEの考え方に基づいて全体適正設計の枠組みの構築と、その評価を実施する。この部分は三つの設計によって内容が異なる。1DCAEで決定された仕様は3D CAEに受け渡され、メカ設計や、エレキ設計、ソフト設計、意匠設計など個別設計が実行され、個別の検証と妥当性確認(V&V: Verification & Validation)が行われる。それら個別設計の結果は1DCAEに戻され、システムV&Vを行い、システム及び個別設計の成立性を確認した後、製品製造へと受け継がれる。1DCAEという全体適正設計の枠組みを設定することにより、新たな気づきを誘発し、結果としてものづくりに革新をもたらすことを想定している。

1DCAEの適用事例について次に述べる。医用機器を対象に、コストの最小化を目的としたBetter設計における1DCAEの構成を図6に示す。ここでは、単なるコストダウンではない本質的なコスト低減が可能な構造の提案を目的としており、対象製品の価値と顧客要求の機能展開、及び設計論の知識⁽³⁾も

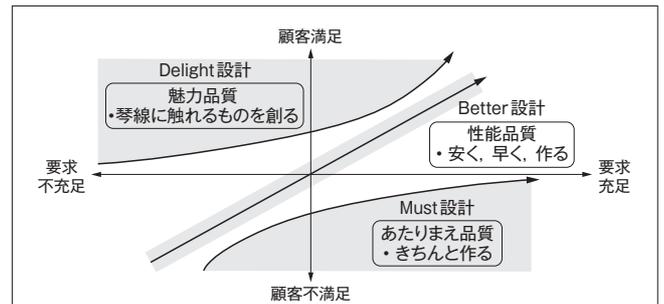


図4. 狩野モデルと三つの設計 — 設計は目的に応じて、Must設計、Better設計、Delight設計の三つに分類できる。

Three types of design based on Kano model

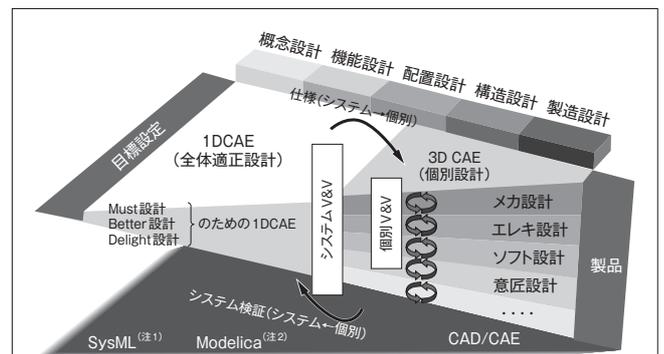
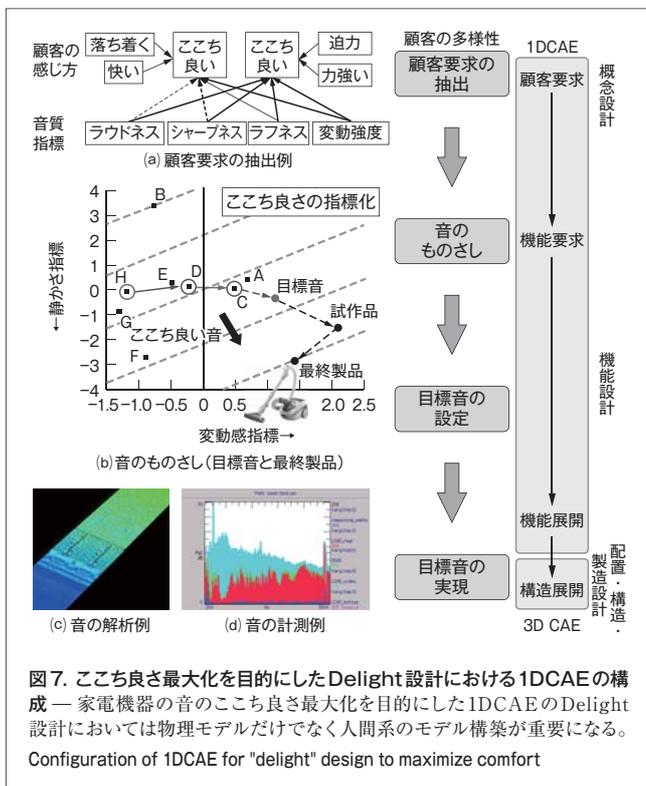
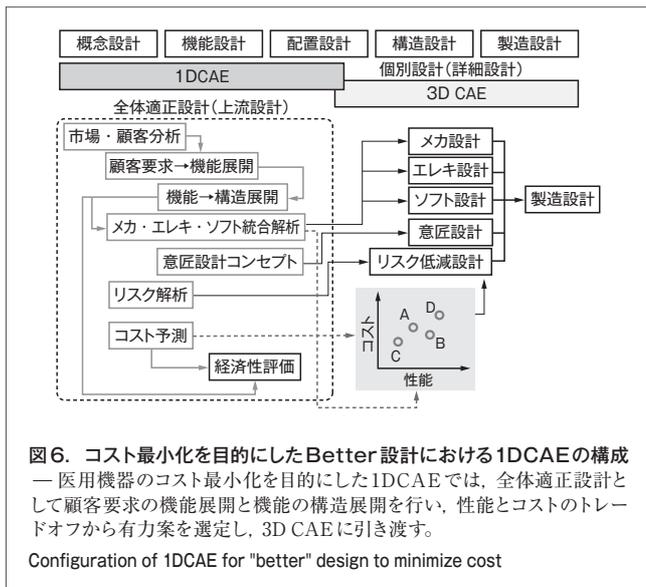


図5. 1DCAEの製品設計への適用手順 — 全体適正設計での1DCAEは設計の目的に応じて内容が異なるが、個別設計での3D CAEは既存の環境が適用できる。

Procedure for application of 1DCAE to product development

(注1) SysMLは、Object Management Group, Inc.の商標又は登録商標。
 (注2) Modelicaは、Modelica Associationの登録商標。



加味した機能の構造展開を経て、いくつかの設計案を創出した。設計案は機能ベースのものであるが物理モデルシミュレーションで性能検証が可能であり、併せてコスト予測を行うことによって、設計上流での性能とコストのトレードオフ問題へと導いた。ここで得られた複数の案から性能対コスト比の高い案を選定し、その製品仕様を基に個別設計（詳細設計）へと展開している。このような1DCAEの考え方と手法により、従来の設計法では得られなかった新しいコンセプトも生まれた。家電機器を対象に、こころ良さを最大化を目的としたDelight

設計における1DCAEの構成を図7に示す。従来、製品が発する音は騒音と呼ばれ、その大きさを低減させることに注力していた。この考え方は現在も続いているが、ここでは視点を変えて、音を製品の一つの価値として捉えた音のデザインという設計手法を用いた⁽⁴⁾。音を騒音でなく価値として捉えるには、音に関する顧客の潜在的な要求を抽出する必要がある。顧客の要求は多様であるため、これを考慮した顧客要求の設定が重要である。一方、騒音の場合は騒音レベルという確立した設計指標が存在する。音を価値と考える場合には、こころ良い音というものを理解可能な指標に落とし込み、目標とすべき音を設定する必要がある。この顧客要求の抽出、「音のものさし」の策定、及び目標音の設定がDelight設計における1DCAEである。1DCAEで得られた仕様、すなわち音のものさし上の目標音に基づいて製品設計を実施し、試作品の音を1DCAEの音のものさしにマッピングして性能検証を行い、最終的に目標を満足する音質を備える製品の開発を実現した。

6 あとがき

1DCAEの製品設計への適用手順を検討するとともに、いくつかの製品開発で試行した結果、従来のCAD/CAEとの連携により大きな効果が期待できることを確認した。1DCAEの考え方でシステム全体を把握することによって、現状のCAD/CAEがより効果的に活用できる仕組みを構築でき、本来のCAD/CAEの実現に向けて一歩前進したと考えている。

一方で、1DCAE活用の鍵はこれを使用する技術者の資質にかかっており、1DCAEの推進にあたってはものづくりを支える人材育成の手段としての期待も大きい。

文献

- (1) Ohtomi, K. "Importance of Upstream Design in Product Development and Its Methodology". Proceedings of EuroSimE 2005. Berlin, 2005-04, IEEE, 2005, p.17-18.
- (2) 大富浩一. 設計工学の目指すところ：設計からデザインへ. 日本機械学会論文集C編. 75, 751, 2009, p.516-523.
- (3) Suh, N. P. Axiomatic Design: Advances and Applications. USA, Oxford University Press, 2001, 528p.
- (4) 大富浩一 他. 家電製品の音のデザイン. 日本音響学会誌. 64, 9, 2008, p.583-587.



大富 浩一 OHTOMI Koichi, Ph.D.

研究開発センター 機械・システムラボラトリー参事, 工博. 機械システム機器の開発, 及び設計支援技術の研究・開発に従事. 日本機械学会, 日本計算工学会, 日本設計工学会, ASME, 日本音響学会会員. Mechanical Systems Lab.



羽藤 武宏 HATO Takehiro

研究開発センター 機械・システムラボラトリー研究主務. 設計支援技術及び実機レス試験技術の研究・開発に従事. 日本機械学会, 日本ロボット学会会員. Mechanical Systems Lab.