

講座

1DCAE によるものづくり

第4部：シミュレーションと 1DCAE

大富 浩一*

MONOZUKURI by 1DCAE

Part 4: New Area of Simulation from the Viewpoint of 1DCAE

Koichi Ohtomi*

Key words: Simulation, Estimation, Creation, Gravity, CAE, Computer Aided Engineering, V&V (Verification and Validation), 1DCAE, 1D-CAE, MBD, Design, Risk, Cost, Kansei, 3D-CAD, 3D-CAE, Better Design, Must Design, Delight Design

1. はじめに

本講座も今回で最終回を迎える。第1部ではものづくりの変遷、現状の課題とともに、これを打破する考え方としての 1DCAE 概念の提案、方法、手順を紹介、第2部では現象理解が 1DCAE の出発点であること、現象の具体例として機械工学で言うところの4力の重要性とその原理原則に基づく理解の方法について紹介、第3部では、ものづくりの現状と課題について紹介、複雑化、多様化するものづくりを3つの設計に分類、この3つの設計への 1DCAE の適用を通してものづくりの革新が可能なることを示した。第4部（本報）では、シミュレーションをその定義、現状から紐解き、1DCAE の視点からシミュレーションの新たな展開を考える。

2. シミュレーションとは？

シミュレーションの定義に関してシミュレーション学会の関係資料を調べたが明確な規定はなかった。また、日本では CAE がシミュレーションと同義になっているが、CAE は Computer Aided Engineering の略語であり、ここからシミュレーションを直接連想することは難しい。そこで、最初にシミュレーションとは何

かについて考えることにする。シミュレーションは英語では simulation, この動詞形は simulate である。Oxford Dictionary of English によると Simulate: imitate the appearance or character of … とある。すなわち、現存する現象をなぞる行為と解釈できる。具体的には、現象を理解して数式等で表現、計算機で解析可能とすることと言える。しかしながら、シミュレーションの目的がこれだけというのは実態とも実力ともかけ離れている。日本語で言うところのシミュレーションには simulation に加えて、estimation, すなわち予測するという機能もあるように思う。因みに、estimation の動詞形 estimate は Estimate: roughly calculate or judge the value, number, quantity, or extent of … と前述の辞書にはある。

そこで、ここではシミュレーションを現存する現象・製品を表現・解析可能とするとともに、これから起こる（開発する）現象・製品を予測・解析可能とすることによって、新たな価値を生む手段、手法、ツールと定義する。すなわち、

$$\text{シミュレーション} = \text{simulation} + \text{estimation} = \text{creation}$$

と考えたい。

3. ものづくりのためのシミュレーション

ものづくりの視点からシミュレーションを考える。この場合、二つの視点があると考えられる。一つは実験で

* (株)東芝 生産技術センター
Corporate Manufacturing Engineering Center, Toshiba Corp

は見ることのできない事象を解析によって可視化する、いわゆる“高度シミュレーション”である。この場合、他に手段がないので多少の手間隙、費用がかかっても見合う高度な数値実験、大規模シミュレーションが行われている。自動車、重電機器、宇宙機器への適用はこの代表例である。一方、家電機器、ノートPCなどの単価が安く、開発期間が短い製品を考えると状況は変わってくる。これらの製品では一般に実験、試作が容易であり、シミュレーションはこれらと同等の効果をより簡便に提供する必要がある。このためには、過去の設計履歴も取り込みながら、実効的に精度がよく、効率的な“設計シミュレーション”が必要となる。“高度シミュレーション”も“設計シミュレーション”もシミュレーション技術としては大きな違いはないが、その使用形態からして用いる計算機環境、必要とされる精度は異なってくる。図1に両者の関係を示す。“高度シミュレーション”の成果は“設計シミュレーション”へ順次反映される。

次に、シミュレーション技術を重要度を横軸に、実

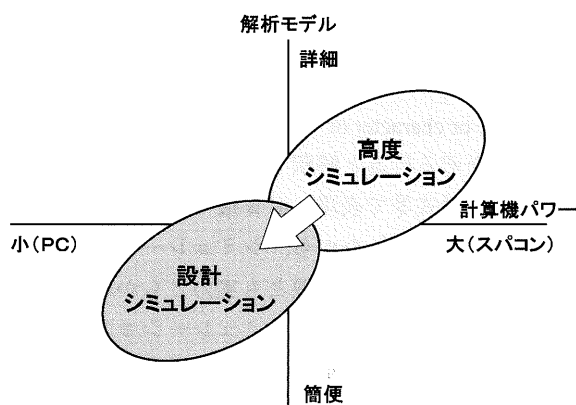


図1 高度シミュレーションと設計シミュレーション

現困難度を縦軸にとって分類してみる。図2に1997年にこのようにしてシミュレーションを分類した例を示す¹⁾。重要度とは製品開発を行う上で是非とも必要な要求度、実現困難度とは実現を模擬するためのシミュレーションの技術的達成困難度を示す。右下に向かう矢印が目指すべき方向と考える。

図3には現時点でのシミュレーションの分類例を示す。1997年当時に比べて多くのシミュレーションが必要となるとともに、全体に右下に移行している。これには製品の多様化、計算機環境の大衆化、計算工学の発達が関係している。

図2、3の例は身の回りの製品、現象がベースにある。一方、最近のものづくりは日常現象を越えた非日常現象を扱う場合が少なくない。図4に非日常現象の例を示す。横軸に大きさ、縦軸に重力を示している。日常現象は大きさで言うと数cmから数m、重力は1Gである。しかしながら、半導体プロセスでは μ , nmのサイズを扱うし、大型構造物では数百mのサイズを扱う。また、回転機械では場所によって巨大なG

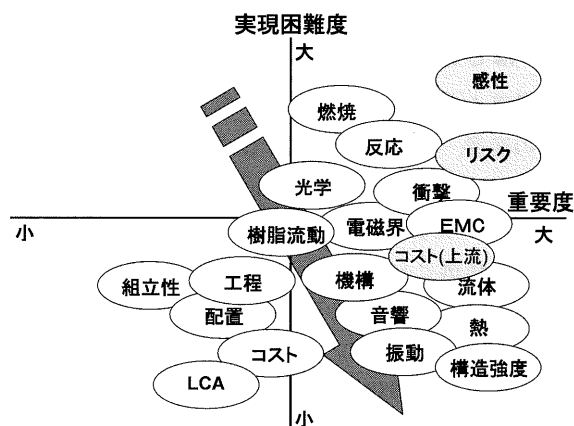


図3 シミュレーションの分類例 (2014年)

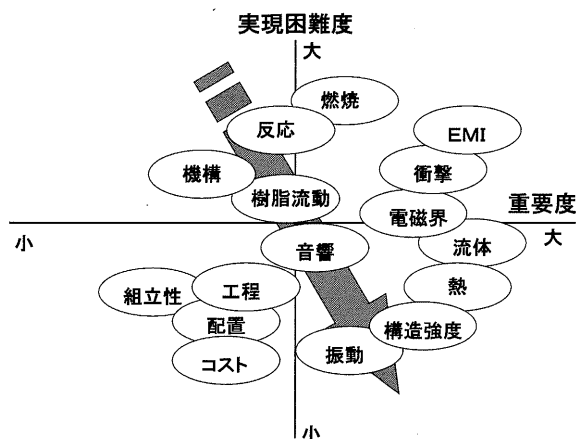


図2 シミュレーションの分類例 (1997年)

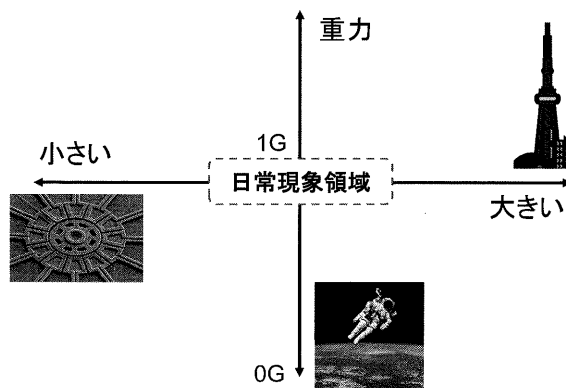


図4 非日常現象の例

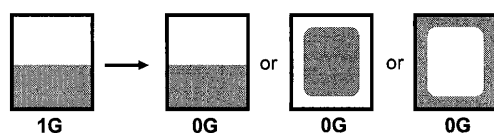


図5 無重力環境下での流体の挙動

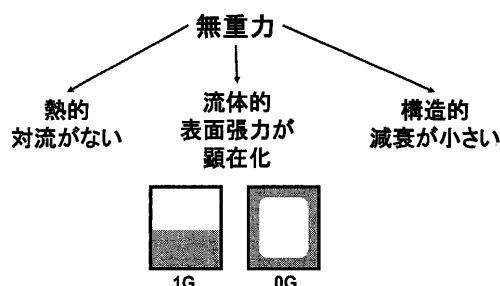


図6 宇宙環境下での物理現象

が発生する。このような場合、日常現象の常識が適用できないケースが出てくる。

例えば、重力に関しては日常現象では1Gであるが宇宙環境ではほぼ0Gであり、月、火星ではこの中間に位置する。地上とは異なる重力環境下でどのような現象が発生するかを予測することは宇宙機器開発では重要である。図5に無重力環境下での流体の挙動がどうかを設問として設定した。タンクの下半分に流体が1G環境下で存在する場合、0Gになったらどうなるかという設問である（三択で考えてみてください）。この現象には表面張力が大きく影響していて、1G下でも、0G下でもこの効果は同等である。しかしながら、1G下では表面張力に比べて、重力の影響が大きいため、一般にはこの効果は無視されている。0G下では重力が存在しないため、表面張力の影響が顕在化する。1G下であっても微小構造物の場合には相対的に表面張力の効果が無視できなくなる。このように日常現象を扱う場合には、すべての現象を扱うのではなく、影響の大きい現象だけを経験的（もしくは無意識）に抽出している。非日常現象の場合には、想定しうるすべての現象を表層化し、その影響度を評価、無視できない場合はシミュレーションに取り込む必要がある。前述の表面張力の問題も現状は接触角、濡れ性といった便宜的な指標を基にシミュレーションを行っているが、本来であれば分子レベルでのモデル化が必要な分野である。すなわち、非日常現象はある意味、シミュレーションの新たな領域の宝庫と言える。

図6に宇宙環境下での物理現象の例を示す。これらは現状我々が把握している宇宙環境下での特性であり、恐らくこれらがすべてではないし、実際にそのよ

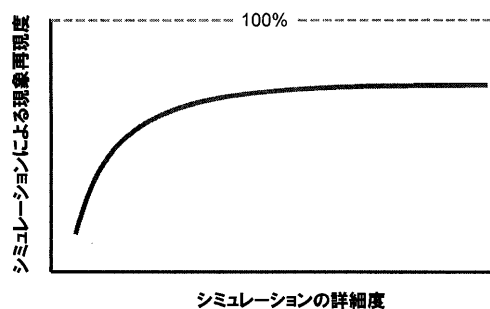


図7 シミュレーションの詳細度と現象再現度

うな環境にならないと分からない現象も多く存在すると考えられる。まさに、シミュレーションの estimation 力が試されるのが非日常現象である。非日常現象の場合は当然ながら仮定を前提としたシミュレーションとなる。この仮定は結果として正しい場合もあれば、間違っている場合もある。従って、非日常現象のシミュレーションを行う場合にはそのリスクを見積もることが重要である。例えば、宇宙機器の場合には、安全率という形でリスクを設計に反映する。

ものづくりの際のシミュレーションで問題となるのがその精度（品質）の問題である。これは最近、V&V（Verification and Validation）というキーワードで注目を浴びている²³⁾。シミュレーション結果の確からしさをそのプロセス、実験による検証も含めて評価することを目的とする。シミュレーションの詳細度を上げていけば、図7に示すように一般にはシミュレーションの現象再現度は高くなる。しかしながら、シミュレーションは一般には現象の一部を選択的に表現しているに過ぎないので、詳細度を上げてもある値に収束するだけで、現象再現度が100%になるわけではない。V&Vで重要なことは設定したシミュレーションの詳細度で現象の再現度が何%になるかを把握することである。家電製品のように試作が容易なものは無闇にシミュレーションの詳細度を上げるより、適切な詳細度で現象の方向性を把握、試作により検証の方が総合的に見て得策である。一方、試作による検証が困難な宇宙機器においてはある程度、詳細度を上げて現象再現度を高めることが望まれる⁴⁾。

4. シミュレーションと1DCAE

ここで今一度、従来の3Dを基本としたものづくり、最近注目を浴びているMBD（モデルベースデザイン）によるものづくりと1DCAEによるものづくりについて触れる。図8に3Dを基本としたものづくりを示す。現物を起点に3D-CAD/CAEにより改良設計を行う。

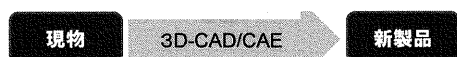


図8 3Dを基本としたものづくり

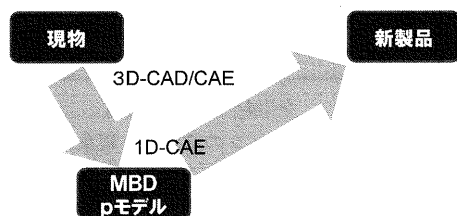


図9 MBD (モデルベースデザイン) によるものづくり

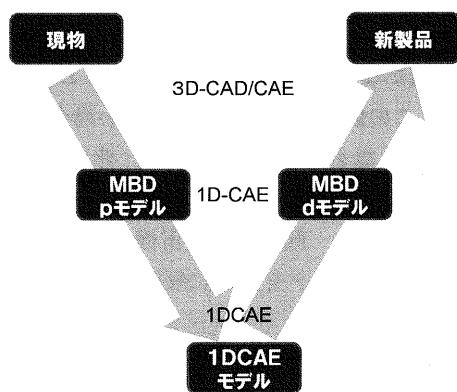


図10 1DCAEによるものづくり

形状最適化による性能向上, 重量削減に効果を発揮する。これがものづくりの基本であることは言うまでもない。

図9にMBDによるものづくりを示す。現物をどうなっているかを理解して、メカだけでなく、エレキ、ソフトも含めてモデルベースで表現する。メカ、エレキ、ソフトを対象とするため設計空間が広くなり、新しい設計解が求まる可能性がある。ここで対象となるMBDは現状では物理事象を対象としているため、MBD pモデルと定義する。pは物理 (physics) のpを意味する。MBDに使用するツールをここでは1D-CAE (1DCAEとは区別) と定義する。まさに、1DのCAEという意味である。MBD pモデルで表現された1D-CAEでデザインを行い、この解を入力とした3D設計を行うことにより、改良設計の一步先を行く新製品が生まれる。

一方、1DCAEによるものづくりでは図10に示すように、MBD pモデルから一步踏み込んで、なぜそうなっているのかという設計意図を理解して1DCAEモデルで表現する。これが1DCAEである。ただし、現時点では1DCAEの確立した表現方法はない。次に、

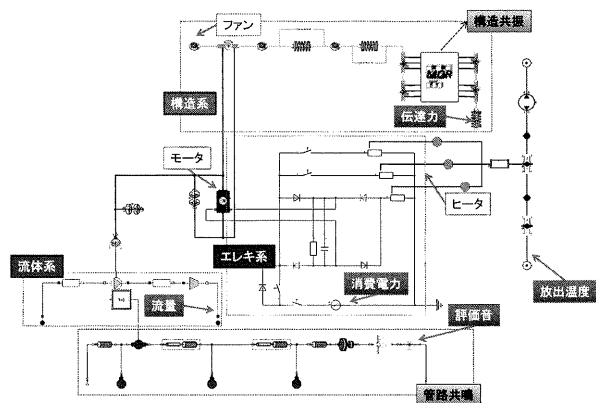


図11 MBD p (物理) モデルの例

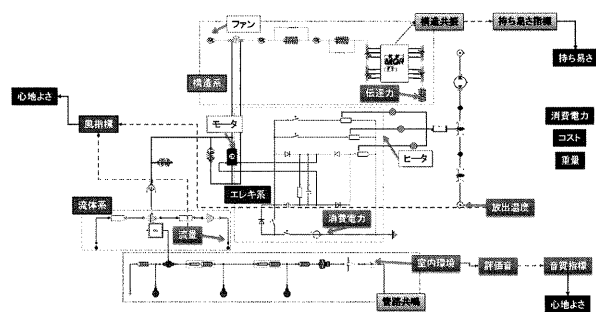
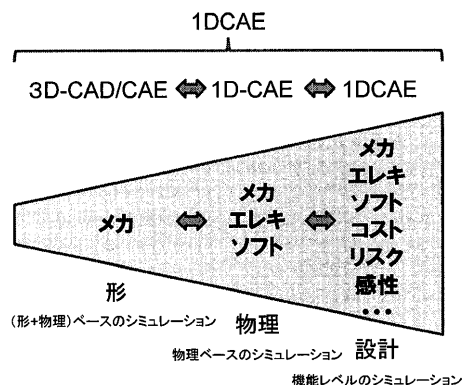


図12 MBD d (設計) モデルの例

この1DCAEモデルから設計意図を取込んだMBDモデルを作成する。これをMBD dモデルと定義する。dは設計 (design) のdを意味する。MBD pモデルもMBD dモデルも1D-CAEを用いるが、MBD dモデルは設計意図が反映された物理モデルであるため、革新的なアイデアが創出される可能性が高い。繰り返しになるが、1DCAEによるものづくりとは図10に示したV字のプロセス全体を指す。

図11にMBD p (物理) モデルの例を、図12にMBD d (設計) モデルの例を示す。これらはある家電製品の例であるが、この場合、“心地よい音”、“心地よい風”、“持ち易さ”と言った設計意図が1DCAEモデルで表現され、これをMBD dモデルに反映している。MBD pモデルの場合は低騒音、風量、重量といった物理量ベースの設計目標となるが、1DCAEのプロセスを経たMBD dモデルでは心地よい音、心地よい風、持ち易さと言った人の感性に近いレベルでのデザインが可能となる。図11、図12の大半は同じであるが、図12のMBD dモデルでは、1DCAEモデルから抽出された設計意図をMBD pモデルのシミュレーション結果を用いて解析評価可能としている点が異なる。



る。例えば、心地よい音は MBD p モデルのシミュレーション結果（音の時刻歴情報）を人の耳元での音に変換，さらに音質指標を用いて心地よさを定量化している。これにより，音の心地よさの度合いが数値化され，物理量との関係が明確になることにより，心地よさを実現するモデルが ID-CAE 上で具体化される。

シミュレーションと 1DCAE の関係を図 13 に示す。3D-CAD/CAE では形および物理をベースとしたシミュレーション、1D-CAE では物理ベースでのシミュレーション、1DCAE では機能レベルでのシミュレーションということになる。例えば、図 12 で音という物理量を心地よさに結び付けるところが機能レベルのシミュレーションに相当する。1DCAE が目指すものづくりは現物 = 3D-CAD/CAE → 1D-CAE → 1DCAE → 1D-CAE → 3D-CAD/CAE = 新製品となる。これを 1DCAE V 字プロセスと呼ぶ。1DCAE の機能レベルのシミュレーションのうち、コストは Better 設計、リスクは Must 設計、感性は Delight 設計に該当する。

以上のように，1DCAE の視点に立つと，従来の物理ベースのシミュレーションに加えて，機能レベルで

のシミュレーションが必要なことが分かる。機能レベルのシミュレーションは感性、リスクに代表されるようにひと、社会といった捉えどころのないものを対象とする。今までこれらは必ずしもシミュレーションの対象となっていなかったと思うが、大まかであってもいいのでモデル化、解析評価可能とすることにより、製品開発の上流段階での俯瞰、見通し、方向づけが可能となる。これにより戦略的なものづくりが可能となり、ものづくりの革新につながる。

5. おわりに

本講座では4回にわたって、ものづくりおよびひとづくりの革新を目的としたIDCAEに関して、その考え方、手法、適用方法を紹介した。シミュレーションの視点に立つならば、従来の物理ベースのシミュレーションに加えて機能レベルのシミュレーションが重要なことを本報では述べた。ただ、機能レベルのシミュレーションとはいっても具体性がないのが現状である。今後はIDCAEを推進していく中でひと、社会を対象に、感性、リスクといった機能レベルのシミュレーションを切り拓いていきたい。

参 考 文 献

- 1) 大富浩一, “機械系シミュレーション技術の動向” 東芝レビュー, Vol.52 No.7, 32-33 (1997)
- 2) 日本計算工学会, “工学シミュレーションの品質マネージメント: 第2版”, 2014
- 3) 日本計算工学会, “工学シミュレーションの標準手順”, 2011
- 4) Ohtomi, K., Kanzawa, T., Roy Hampton, and Kawamoto, O. (2004) “Centrifuge Rotor Integrated Analysis”. SPIE Defense & Security Symposium, Modeling, Simulation and Calibration of Space-based systems, 5420-01.