

製品・システムの複合化に対応した設計を支援

対話形式で解きほぐす Modelica活用法

第1回 Modelicaとは？

明治大学 大富 浩一*

Modelica Association 平野 豊**

*おおとみ こういち：理工学部機械情報工学科 客員研究員

**ひらの ゆたか：1984年、トヨタ自動車㈱入社、シャシー設計、車両運動制御、モデルベース開発、人工知能、ロボット、人間特性などの研究開発に従事。現在は、自動運転、スマートシティ関連の新事業、新技術開発に従事。自動車技術会、日本機械学会、計測自動制御学会、Modelica Associationの会員。

機械設計は要素単品だけではなく、機械システムとしての評価がより重要となってきた。このようなシステム開発では、要求仕様を定義した後に実際のシステムを設計、動作や効果を確認する検証プロセスに移る。システム開発において、ものを作った後に不具合が発覚し、開発が手戻りするのを防ぐには、あらかじめ、システムの挙動を数理的に記述したモデルを作成、モデルによるシミュレーションでシステムや部品の挙動を予測・確認しておくことが有効である。このような開発手法をモデルベース開発(MBD: Model Based Development)、また、より広い概念としての設計手法をIDCAE¹⁾と呼ぶ。IDCAE・MBDで使用されるシステム全体のモデルとして、集中定数系の微分方程式で動的な挙動を記述するモデルが使用される。これらのモデルを1Dモデル、シミュレーションツールを1D-CAEと呼ぶ。一方、3次元形状に基づく有限要素法モデルは3Dモデル、シミュレーションツールを3D-CAEと呼ぶ。1D-CAEによるシステム全体の仕様・動作検証を行った後、3D-CAEによる各部品の詳細設計を進めることが推奨される。

本連載講座では、1Dモデルの記述法として、各要素の挙動を方程式で記述した要素部品モデルを組み合わせてシステム全体のモデルを構築するためのモデリング言語としてのModelicaの活用法を紹介する。Modelicaに関する専門書²⁾、解説書^{3),4)}は存在するが、いずれも一般の機械設計者には若干敷居が高い。そこで、一般の機械設計者である

大富が生徒役になり、Modelicaの専門家である平野が先生役となり、生徒の疑問に先生が応える対話形式でModelicaを解きほぐし、一般の機械設計者がModelicaを活用できるようになることをめざす。第1回は、そもそもなぜModelicaなのか、Modelicaとは何かについて話を進める。



これからの機械設計に 求められるものは何ですか

現状のものづくりは顧客ニーズの多様化、これに伴う製品・システムの複合化に対応する必要性に迫られている。具体的には製品・システムの複合化に伴い、従来の機械(メカ)中心設計からメカ・エレキ・ソフト融合設計へ、また、顧客ニーズの多様化に伴い、製品(もの)にとどまらず、これを使用するユーザー(ひと)、使用する環境・状況(場)を考慮した設計が必須となっている。すなわち、図1に示すようにものづくりの対象は1990年以前のメカ主体のものから1990年代以降のメカ・エレキ・ソフトが融合したものへ、そして2000年以降はもの(メカ・エレキ・ソフト融合)に加えて

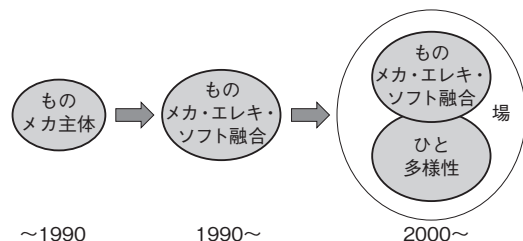


図1 モデリング対象の拡大

ひとの多様性、場の影響を考慮した三位一体へと変遷している。このことはものづくりが従来のもの(メカ)中心からの変革を要求されていることを意味する。すなわち、設計を行う際にもものをメカ・エレキ・ソフト一体として扱うだけでなく、ものを使用するひと、これを取り巻く場も含めてこれらを設計対象とすることを意味し、従来の設計の考え方・手法では対応できなくなっていることを意味する。以上がシステムシミュレーションを必要としている背景である。すなわち、機械設計者といえども、電気、制御、社会、環境を考慮した評価(シミュレーション)が必要な時期を迎えている。これを可能とするのがModelicaに代表される近年のモデリング言語と言える。



具体的事例でもう少し説明してくれますか

例として、コードレスクリーナを考える。クリーナは従来、キャニスター型のAC電源で駆動するものが主体であったが、最近はバッテリー駆動のコードレスクリーナ主流となっている。コードレスクリーナはファン、サイクロン、モータ(含む制御)、バッテリーの主要要素から構成される。図2にコードレスクリーナの設計プロセスと各プロセスで使用するモデルを示す。構想設計では、各要素の仕様を原理原則に則って決定する。統合設計では、コードレスクリーナというシステムの統合設計により、全体最適を図る。この結果を受けて、詳細設計で形として実体化する。この際、統合設計で使用するのが1Dモデルで、このツールが1D-CAEである。したがって、機械設計者といえ



物理モデリングの方法について教えてください

従来の物理モデリングでは、いったん、ユーザーが物理方程式群を手で解いた後、それらの式をブロック線図形式で記述していく方法が一般的である。物理方程式を解くには、何がブロックの入力で何が出来かをあらかじめ指定しないと行けない。このため、このようなやり方は、因果的モデリング(Causal Modeling)と呼ばれる。しかし、このやり方では、①書かれたブロック線図から元の方程式が容易に分からない、②システム構成を変えるごとに一から方程式を解き直し、モデルを作り直す必要がある、③大規模なモデルでは、ブロック間の信号線が複雑に絡み合い、理解が難しくなる、など、使い勝手が良いとは言えない。

一方、近年、各要素部品の間でやり取りされる物理量を定義し、各要素部品モデルの中では、それらの物理量の間で成立する関係式のみを定義しておき、それらの部品をあたかも実物のように組み合わせることで、全体システムのモデルを作成する手法が提案されている。この手法は、各要素への入力、出力信号を予め決定しなくてよいため、非因果的モデリング(Acausal Modeling)と呼ばれる。因果的モデリングでは、モデルの動的挙動は、下式のような常微分方程式による代入式で記述される。

$$\frac{dx}{dt} = f(x, u, t)$$

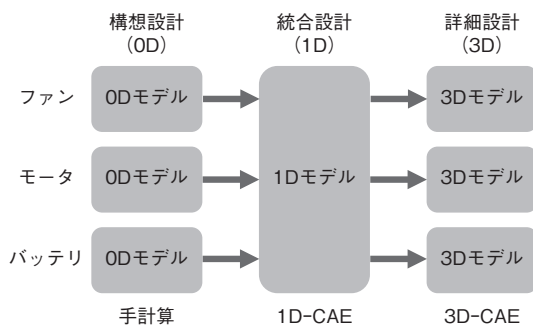


図2 設計プロセスとモデリング

一方、非因果的モデリングでは、モデルの挙動は、以下の微分代数方程式の形の関係式で表すことができる。

$$F\left(\frac{dx}{dt}x, u, t\right) = 0$$



もう少し具体的な事例で説明してくれますか

図3のような一自由度系のばねマスモデルを考えると、これを支配する運動方程式は下記となる。

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + c \frac{dx}{dt} + kx = f(t)$$

上式をラプラス変換すると

$$ms^2X(s) + csX(s) + kX(s) = F(s)$$

これから伝達関数は

$$G(s) = \frac{X(s)}{F(s)} = \frac{1}{ms^2 + cs + k}$$

となる。この関係をブロック線図で表現した図4が従来(因果的モデリング)の物理モデリングとなる。振動、制御の専門家にとっては図4のようなブロック線図は理解可能であるが、そうでない機械設計者にはわかりにくい。

一方、非因果的モデリングでは図5に示すように、実際の機械要素(マス、ばね、減衰)の構成に

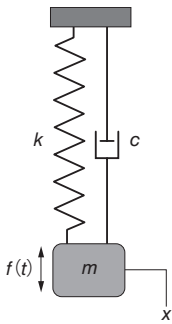


図3 対象とする物理系

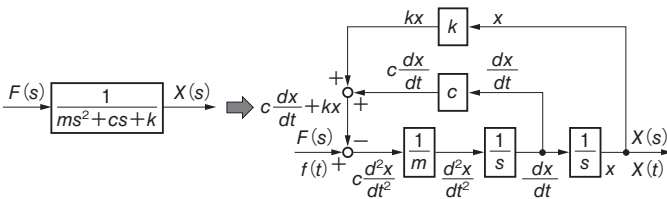


図4 従来の物理モデリング

近く、1D-CAEで言うところの“見通しの良い形式で物理現象を表現する”ことに適している。

因果的モデリングと非因果的モデリングの比較を表1に示す。

非因果的モデリングの言語としては、本講座で取り上げるModelicaの他に、電気回路系で使われているVHDL-AMS (IEEEが管理、標準化)、Simulinkと組み合わせて使用されるSimscapeがある。Modelicaは機械を中心とした複合領域に強いことから、本講座での対象とした。



どのような経緯でModelicaが生まれたのですか？

1976年に、Lund大学のHilding Elmqvistにより考案されたDymola (Dynamic Modeling Language) に端を発する。これは方程式ベースの非因果的モデリングで、モデルの再利用などを考慮した考え方が含まれていた。Elmqvistは情報処理の研究者で、今後一層、多様化、複雑化する情報を見据えて、これらを統一的に扱うことのできる言語の開発を目指したものである。その後、多くの研究者によるモデリング手法が提案され、Elmqvistはこれら一連の手法を取り入れ、統一言語体系とするための活動を行い、1997年に言語仕様としてModelica 1.0を発表した。2000年には非営利団体のModelica協会 (Modelica Association) を発足、現在に至っている。



Modelicaの概要について教えてください

Modelicaは、非因果的モデリング言語として、最もよく使われているものである。欧州を中心に、異種物理系モデルを統一して記述するためのモデリング言語で、その仕様はシミュレーション技術を研究する大学研究者やツールベンダーなどによ

って構成される非営利のModelica協会によって策定されている。最近では、Modelicaは欧州内では広く認知され、自動車やメカトロニクス、航空機、油圧機器、電気機器、化学プラントなどの広い業界で応用が広がっている。Modelica協会では、Modelica言語の仕