

論文の要旨

題目 中間特性と抽象化モデルを活用したモデルベース開発手法に関する研究
(A Study on Model-based Development Method Utilizing Intermediate Property
and Abstracted Model)

氏名 中村幸宣

わが国の製造業が栄華を誇った時代は「欧米の製品に対して追いつけ追い越せ」という目標があり、良い品質の製品を安く作れば売れた時代であった。しかし、消費者はすでに欲しいものは持っており、求められるのは「新しい価値」である。消費者の嗜好はどんどん変化・高度化するため、それを先取りして対応できなければ会社として生き残れなくなっている。消費者ニーズの高度化に伴って、製品はどんどん複雑化・高度化する傾向にあるため「不十分な検討→不具合→対策に追われてまた不十分な検討」という「手戻りによる負のスパイラル」から抜け出すのが困難になっている。すなわち従来の「モノを試作して検証&調整」の開発方法では、もう対応できない状態になっていると言える。

こうした状況の中「ものづくり白書 2017」で謳われたように「デジタルトランスフォーメーション (DX)」に取り組む重要性と、「システムズエンジニアリング (システム工学: SE) に基づいた「システム思考」を取り入れて「木を見て森も見る」重要性が注目されてきた。デジタルトランスフォーメーション (DX) のうち、特にエンジニアリングチェーンを改革する手法である「モデルベース開発(MBD)」は、SE の V 字プロセスの考え方を製品開発に適用し、シミュレーションモデルを活用しながら開発する手法として取り組みが活発になっている。

その目的は大きく分けて2つある。

1) モノを作らずにモデルで開発検討を進めることで、手戻りを削減し、開発費用と時間を大幅に節約しようという「効率化」の観点。

2) 製品への要求を的確に製品開発に落とし込むことで、従来なかった新しい価値を持った画期的な製品を開発することを、創業者社長のような一部の天才に頼らずにシステムチックに実施するという観点。

これらの目標を達成するためには、現在のモデルベース開発の考え方をさらに進めて、「SE の階層化の考え方」と「シミュレーションモデルを用いた製品開発の考え方」を適切に融合させることが重要である。しかし、製品開発全体においてこれらの考え方をうまく融合させることは、まだまだ道半ばであり、世界的に見ても著しい成果が出ているのは限定した分野に限られている。

特に欧米においては、分業化が進みすぎて SE を推進する「システムズエンジニア」とシミュレーションによる検証を実施する「アナリスト」とが完全に分かれてしまっており、業務をうまく融合させるべきと言うモチベーションが働いていない。

一方日本では、(自動車などの)「すり合わせ型開発」の製品に対する SE 適用のハードルが非常に高く、また歴史的に「『何のために、どういう構成で作るべきか』を自分たちで考えて、それを仕様落とし込む」という V 字プロセスの左側の部分に力を入れずに、開発目標が決まったら従来製品をベースにした詳細設計から始めてしまう例が非常に多い。それでも V 字の右で試作&修正を高速で実現できるために、これまでは競争力のある製品を世に出せていたという成功体験が改革を妨げている。

MBD には「シミュレーションモデル」を用いるが、1990 年代より本格化したいわゆる CAE という「シミュレーションによる仮想検証」の手法は 3D 形状ありきの手法となっており、設計が終わってから実機試作の前に活用するのがその大きな役目となっているため、MBD のためのモデルとしては使い道が少ない。MBD で必要なのは、V 字の各階層において検討するためのシミュレーションモデルである。

さらに昨今、開発の手戻りの要因として大きな割合を占めていると思われるのが、複数部署間の連携不足である。製品の複雑化に伴ってますます専門分化が進み、多くの部署・多くの技術者が製品開発に関係する必要性が高まっているが、自分の専門分野以外のことがわからないために、全体俯瞰をして重点を捉えた開発を進めるのがますます難しくなっている。

よって以上の現状を打開するためには、以下の課題に対して取り組む必要がある。

- 1) 製品への要求を、工学的に定量的に製品目標に落とし込む仕組みを持つこと
- 2) 定量的な製品目標に基づいて、目標を達成できるかどうかを「モノを作る前・詳細仕様を決める前」から階層的にシミュレーションで検討し、目標を割付けることができる仕組みを持つこと
- 3) 上記 2 つの仕組みは、単純作業等の省力化を図ることはもちろんであるが、いたずらに自動化を進めて設計者が考えなくなる方向ではなく、要求を満たすための設計意図をしっかりと明示し、それらを部署間でお互いに照会しあって議論ができることで設計者がエンジニアとして成長することを後押しすると共に、その情報を残すことで後世のエンジニアへの伝承に役立つものであること
- 4) 上記 2 つの仕組みが、従来製品の改良の域を脱して「画期的な機能」を持ったものを検討できる仕組みであること

本論文では、これらの課題を解決する手法を以下のように説明する。1) の課題に対しては、要求を達成するために必要な機能を原理原則に立ちかえって検討し、それを基本機能ブロック図に落とし込むことが有効な手段となる。2) の課題に対しては、基本機能ブロック図を段階的に機能で分解し、その機能を数式で表現し、それをもとにシミュレーションモデルを作ることが有効である。この際に、適切な粒度で各階層を分解することで、シミュレーションモデルも詳細になりすぎないようにコントロールすることが可能になる。3) の課題に対しては、各階層の機能を決める「特性」に対して目標を上位から順に割り付けて行くことで設計意図を表現し、ブロック図や定式化内容を他部署と共有することで、シミュレーションツールを使えない人・専門分野が違って詳細がわからない技術者へも概要を理解してもらいつつ全体を俯瞰した議論が可能になる。ブロック図の中身を読み解いて、また自ら改善してゆくことで技術者としての成長を促し、ベテランからの技術の伝承もこのブロック図と定式化内容、および各開発プロジェクトでどの特性に注目して開発したかという情報で明示的に可能になる。さらに、4) の課題に対しては、ブロック図を分解する最初の階層の抽象度が重要であり、より抽象度を上げて考えることで、従来なかった新しい仕組みを検討しやすくなる。そのための手法として最上位をエネルギー変換機能として抽象化する手法を提案する。またこの手法を、時間領域のみならず周波数領域にも拡張して、音／振動の検討にも使用できる方法として提案する。

以下に各章の概要と結論を総括する

第 1 章では、本研究の背景となる日本の製造業の危機について述べ、それを解決する一助となりうる MBD とそのベースとなるシステムズエンジニアリングについて、欧米と日本で

の現状の問題点を考察し、それらを克服するための4つの課題を示す。

第2章では、本手法の基本的な考え方と手順を説明し、それに則った事例を2つ紹介する。基本的な考え方として説明するのは、目標を達成するための機能をブロック図で表現すること、ブロック図やツリー図、二元表の使い方である。手順として説明したのは、階層的に分解するやり方、定式化の仕方、定式化内容のうち特に「特性」を重視し、それを直接入力できるようにシミュレーションモデルを作ること、さらには二元表を用いた階層間の目標の連鎖のさせ方である。特性の中から重要なものを可視化し、選定して階層間の目標連鎖に用いることから、本手法を「中間特性法」と呼ぶことにする。

事例の1つ目、ドライバーの事例では、上記で説明した内容を具体的に示すとともに、この手法を使わずに詳細まで統合的にモデル化した場合との検討時間を比較する。階層的に分けてモデルを3つ使う方が手間も時間もかかりそうだが、実は検討の見通しが良くなるので無駄な検討をせずに済み、結局は効率的であることを示す。

事例の2つ目、車両の運動性能の事例は2つの相反する目標を両立させる問題であり、このような場合にも本手法で見通し良く検討できることを示す。従来の制御開発の場合には「ハードありき」で後から制御系を設計していたものを「ハードと制御の全体システム」で考えることで、実はハード側を従来と違う考え方で特性を決めると、全体バランスを取りやすくなること、並びにその検討が本手法で考えやすくなる、ということを示す。

第3章では、本手法の第1階層での検討に「エネルギーモデル」を導入し、このモデルを下位のモデルでの結果から抽象化することで作り上げる手法を説明する。これを「抽象化エネルギーモデル」と名付ける。このモデル構築には下位のモデルでの結果得られたエネルギー値を用いてはいるが、計算の際にはエネルギー保存のみを考慮して下位の物理法則と分離することで、現行機種のアーキテクチャに囚われない新しい発想をしやすくすることを説明する。

事例としては、エアコンディショナーを取り上げ、この非常に簡素な計算モデルで目標割付ができること、並びにエネルギーで考えると様々な冷却方式の可能性を考えることが可能になることを示す。

第4章では、「抽象化エネルギーモデル」を周波数領域に拡張し、複素数で振幅と位相とを表現した振動エネルギー伝達をモデル化することで、音／振動分野での活用が可能になることを示す。

事例としては、自動車のエンジンシェイクを取り上げ、「エネルギーの流れをどうしたいか」と考えることで、従来なかった発想で他の要件と背反しない対応案を出せることを示す。

最後に第5章では、全体を総括し、本手法が提供しうる製品開発の将来像、本手法普及への壁、研究の将来展望を述べる。本手法が浸透した開発現場では、ベテラン開発者の知見と過去の製品の設計意図が、全てブロック図とその定式化内容に残っており、新しく職場に来た人でもそれを見れば短時間で即戦力になるなど、いわゆる匠の「暗黙知」が「形式知」化されて共有されていることになる。ただし、本手法を普及・浸透させるには経営レベルでも担当者レベルでも危機感を持ち、長期的な視野で忍耐強く実施してゆく意志の強さが求められるであろうことを記す。本研究の将来に向けた展望として、本手法のツール化、抽象化エネルギーモデルの拡張・補間、「要求・目標」自体を論理的に探索して定量化すること、AIとの棲み分けと融合などを挙げる。