

特集：モデルベース開発

9

マツダの目指すモデルベース開発 Model Based Development in Mazda

藤川 智士*1

Satoshi Fujikawa

要約

マツダでは、「走る歓び」と「優れた環境・安全性能」を SKYACTIV テクノロジーとして 2011 年より提供を始め、2016 年には SKYACTIV 技術搭載車比率を全販売台数の 80%の展開を目標に拡大中である。この SKYACTIV テクノロジーの高度かつ迅速な開発を支えたモデルベース開発に関して、その新たな開発プロセスと開発技術を紹介する。

Summary

In 2011 Mazda started offering “Driving pleasure” and “Excellent environmental and safety performance” in the form of the SKYACTIV technology, and is now expanding its deployment so that vehicles equipped with SKYACTIV technology will make up 80% of Mazda’s total sales volume in 2016. This study introduces a new development process and technology in relation to the Model Based Development which supported Mazda with advanced and prompt development of the SKYACTIV technology.

1. はじめに

近年、車に求められる機能は高度化、多様化する一方で、これに対応する車両の構造や制御システムは複雑化の一途をたどり、今後ますます加速していく方向にある。このような複雑なシステムを限られたリソースで迅速に開発し続けるには、開発そのものを机上で効率良く行う「モデルベース開発」(MBD: Model Based Development)が極めて重要になりつつある。

マツダでは、2012年2月、SKYACTIV テクノロジーとして、エンジン、トランスミッション、シャシー、ボデーに至る全ての車の構造、制御システムを一新した CX-5 を発表し、その後、アテンザ、アクセラと、進化させ続けている。これらの高度、かつスピーディな技術の進化、展開は MBD なくしては成し得ない成果であった。本稿では、今後の展望を含め、マツダの目指す MBD の姿を述べる。

2. モデルベース開発に求められるもの

最初に、未だ世間一般に定着していない MBD の言葉の定義、特にマツダでの定義を述べる。MBD はもともと、制御モデルと制御対象モデルを用い、机上で制御開発を行うことを意味した。しかし、前述のように、車のシステムが複雑化したことにより、個々のシステムの相互影響を考えると、制御の対象が車全体へと広がりつつある。この広がりにより、従来、CAE モデルと呼んでいた強度、振動、燃焼、運動などを扱うモデルのほとんどが、制御対象モデルとしての役割を求められるようになった。また、マツダでは将来、開発の全てを机上化するという理想を掲げているため、CAE モデルと制御対象モデルを区別することは意味がなくなっている。このため、机上開発全てを MBD と定義している。

その上で、マツダではモデルの役割を開発フェーズごとに定義して来た。Fig. 1 は一般的な開発の V 字プロセスを示す。車両からユニット、ユニットから部品へと機能をカスケードし、それを検証していくプロセスである。一般にはこのように標準化された開発プロセスをベースに、それぞれの開発フェーズにモデルの役割を定義して

*1 パワートレイン開発本部
Powertrain Development Div.

いくが、マツダでは、モデルという新たなイネーブラを駆使する視点を加え、MBD プロセスそのものに広がりを持たせることから考えた。それは、従来開発の V 字プロセスの外にあったものをモデルでつなぐことである。車両のシステム構想の前にある「市場要求の把握」と部品設計の次にある「生産品質の開発」のプロセスをモデルでつないで Fig. 2 に示す MBD としての新たな V 字プロセスを設定した。

その上で、この新たなプロセスを鳥瞰し、モデルの役割を定義した。以下、MBD V 字プロセスの各開発フェーズにおけるモデルの役割を述べる。

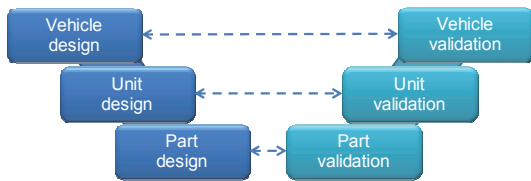


Fig. 1 General V-Type Development Process

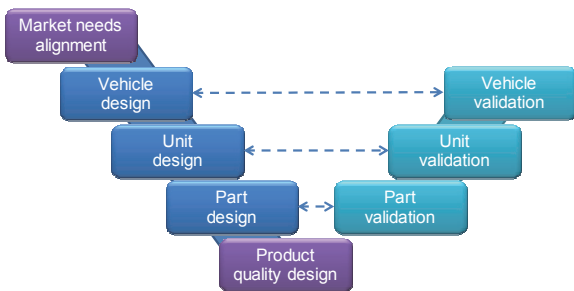


Fig. 2 Model Based V-Type Development Process

3. 各開発フェーズにおけるモデルの役割

3.1 市場要求の把握モデル

車を開発するためには、その車の顧客要求、環境条件を正しく把握し、それを達成、保障すべき目標として開発要件に反映させる必要がある。従来の内燃機関のみを搭載した車であれば、その長い経験の中で、これらの要求はほぼ把握できており、開発コード化できている。しかし、今後、各種電気駆動システムの採用拡大、あるいは従来とは異なる燃焼方式の採用、そしてそれらの組み合わせを考えた場合、市場要求の把握から再構築する必要がある。この課題に効率良く対応するために、モデルを活用している。

燃費や、操縦安定性などの走行性能を予測するモデルをベースに、道路の勾配、路面状況、交通、温度、積載量などの環境、使用条件を付加することで、すなわち仮想空間で車両モデルをフリー走行させることで、運転、環境が与える影響を早期に抽出している。例えば新たなエンジン特性や、モータ特性によるドライブビリティや

制動、操舵性能への影響、あるいは路面状況や温度による電気系への信頼性要件などを早期に抽出することができる (Fig. 3)。

もちろん、実走行で分析しないと抽出できない条件も未だ沢山あるが、試験情報の反映先となるモデルを整備することで、実走行の知見を効率良く蓄積する役割もモデルに持たせている。このように、仮想試験の試行錯誤で、問題抽出の網羅性を向上させるだけではなく、市場要求の情報を蓄積し、開発コード化する重要な役割をモデルに持たせている。

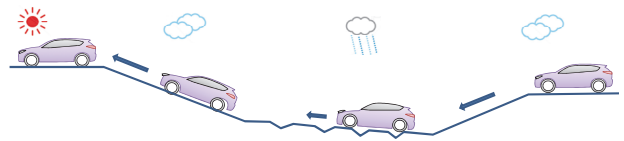


Fig. 3 Driver and Market Ground Model Image
(Altitude, Climate and Road Model)

3.2 車両のシステム構想モデル

開発初期におけるモデルの重要な役割は、目標とする車両性能をサブシステムへ最も効率良く機能配分することである。このシステム構想モデルには、燃費や走り、操縦安定性、NVHなどの車両性能を表現でき、かつ、その性能とエンジン、トランスミッション、シャシー、ボデー、制御などのサブシステムとの機能の関わりを分析可能であることが求められる。

一般に、緻密なモデルを組み合わせると車両モデルを作り上げると、性能現象は表現できても、その複雑さのために、性能と各サブシステムの関わりが見えにくくなる。このため、車両のシステム構想では、機能配分に必要な最低限のモデル要件を性能ごとに定義し、不要な情報を排除した専用のコンセプトモデルを活用している。

ここで用いるサブシステムのモデルは、先行して開発した要素技術の実験結果や、それを再現する詳細モデルなどをベースに、モデル構成の低次元化を行う。具体例としては、アクセル操作に対する加速度応答性を求めるために、エンジンの複雑な燃焼モデルを用いるのではなく、1次元の燃焼モデルを用いたり、あるいは車両の連成振動を解くために、必要最小限の周波数までを表現できるドライブラインの振動モデルを用いたりしている。なお、これらのモデルは、計算速度を向上させるための単純化ではなく、機能の関わりを理解できるコンセプト化（ホワイトボックス化）が重要となる。

これらのコンセプトモデルを組み上げたシステムモデルで、車両全体をエネルギー視点、運動視点で見渡し、新規のエンジンやトランスミッション、電気駆動系の特質に応じた最適な機能配分を開発の初期に行っている (Fig. 4)。

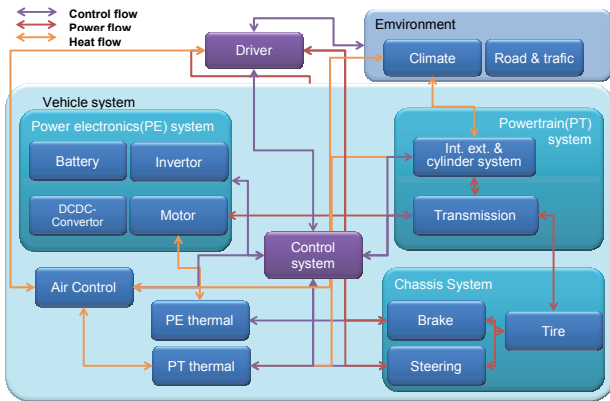


Fig. 4 Vehicle System Design Model

3.3 ユニット、部品の詳細設計モデル

システム構想で配分した機能目標を設計スペックにカスケードすることを目的に詳細な設計モデルを用いる。従来の CAE モデルの役割である。緻密な有限要素モデルによる構造体の強度、振動設計をはじめ、3次元の流れモデルによる燃焼性能の作り込み、機構モデルによる部品挙動の詳細設計などがある。近年では、コンピュータ性能の進化に伴い、モデルの範囲拡大や緻密化を更に進めることで、予測精度を向上させ、手戻りのない開発に大きく貢献している。

また、ソフトウェアの進化によって、流れ、構造、音響といった解法の異なるモデルを組み合わせることが可能となり、従来は実機、実車開発に依存していた複雑な現象を初回設計段階で作り込むことが可能となった。Fig. 5 はエンジンルーム内の吸気系の放射音をモデルで予測した結果である。前述の 1次元のエンジン燃焼モデルで求めた吸気系の脈動を入力に、エンジン本体と吸気系の構造を加振し、それによるエンジンルーム内の放射音を定量予測することで、燃焼性能と騒音を両立させる構造を机上で作成している。

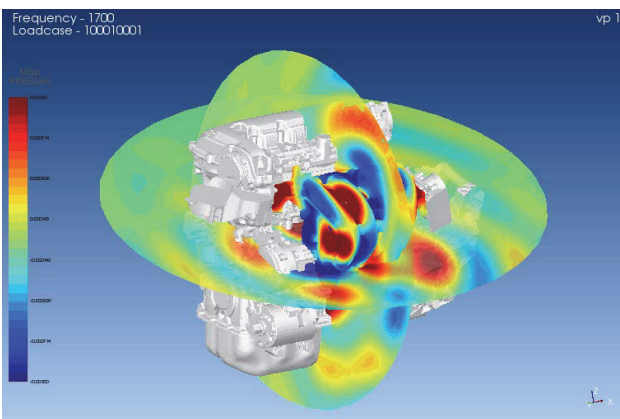


Fig. 5 Intake Manifold Radiation Noise Model

3.4 制御開発モデル

制御開発においては、前述のシステム構想のモデルを用いて、制御仕様の定義を行った上で、「制御の詳細設計」、「コントロールユニット系の動作確認」、「キャリブレーション開発」に連続性のあるモデルを用いている。

制御の詳細設計では、システム構想モデルをベースに、必要な制御対象モデルを全て加えて MILS (Model In the Loop Simulation) を構築する。

制御設計のためには、システム構想モデルよりもモデルの精度が必要となるものがあるため、詳細設計モデルを活用する。しかし、構造、燃焼の複雑な詳細モデルは、大きな計算時間を要するので、そのまま制御対象モデルとして用いることは難しい。そこで、詳細モデルの計算速度向上を目的に、入力に対して出力のみを正しく計算できる統計モデル化などの「単純化」(ブラックボックス化)を持って制御設計に使用している。

その後で、MILS をベースに、コントロールユニットを実機に変えた HILS (Hardware In the Loop Simulation) で、その動作検証を行う。この時、必要に応じて、センサ、アクチュエータ類も実機を用い、電気的な過渡応答やノイズの影響を含めた検証を行う。

そして制御の最終工程であるキャリブレーションにおいては、実機、実車を用いながらも、モデルを活用することで効率的な開発を行っている。緻密さが要求されるキャリブレーションにおいては、この工程以前の制御対象モデルでは精度不足となる。このため、実機、実車の実験分析結果に基づき、モデルの補完と精度向上を行うことで、机上キャリブレーションの範囲を拡大している。これにより、複雑で膨大なシステムでも、制御定数の最適解を短期間で見出すことを可能にしている。

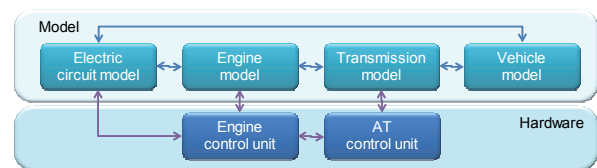


Fig. 6 Schematic of HILS for Powertrain Control

3.5 生産品質の開発モデル

開発部門と生産部門の間では、図面による情報伝達をベースに、1990年代から 3D CAD モデルを用いることで、形状情報の効率的な共有を行ってきた。最近では、これを発展させ、解析モデルを共有することで、早期の生産品質の作り込みに取り組んでいる。

図面、形状情報だけでは管理しきれない生産工程に起因する機能の外乱をモデルで予測し、それを最小化する取り組みである。

射出成形による材料物性値の異方性，あるいは鋳造の冷却や鍛造の塑性加工などに起因する部品の残留応力などを，専用のモデルで予測している。これにより，異方性を前提とした適切な形状の設計や，残留応力を低減するための構造や工法の開発を，開発部門と生産部門が共同で取り組むなど，モデルの活用によって，開発初期に生産を含めた品質の作り込みが可能となりつつある（Fig. 7）。

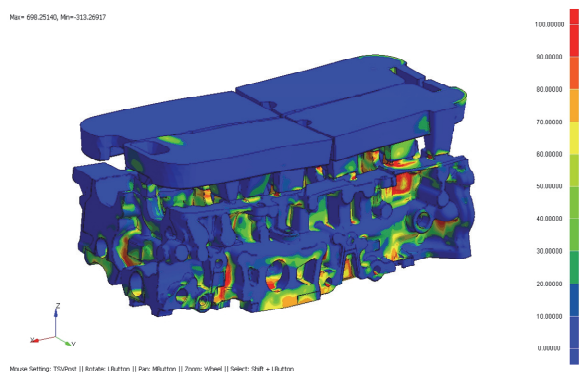


Fig. 7 Residual Stress Model of Cylinder Head

4. おわりに

以上が，市場要求の把握から生産品質の開発までモデル主導で進めていくプロセスであるが，このプロセスに必要なモデルは，ソフトウェアのように購入すれば良いものではなく，自分達で構築していかなければならない。そのためには，複雑かつ膨大な現象を実験主体で解明し，それを開発技術として使えるモデルに整備する必要があり，それに要する工数や費用は開発全体において非常に大きな割合となっている。

しかし，高い商品力を持った製品を効率的に開発し続けるには，モデルの整備とその駆使，すなわち MBD が必要であり，MBD がこそが車の開発そのものであると確信し，この取り組みを一層加速させている。

今後も，MBD によって，SKYACTIV テクノロジーを更に進化させ，市場のサプライズを伴う高いお客様価値の商品を続々と提供していく計画である。

■ 著 者 ■



藤川 智士