

量産車の MBD におけるシャシ性能設計技術の構築

Development of Chassis Performance Design Technologies for MBD of Mass-production Vehicles

豊島 貴行*

Takayuki TOYOSHIMA

遠藤 喜章*

Yoshiaki ENDO

松澤 俊明*

Toshiaki MATSUZAWA

高野 広喜*

Hiroki TAKANO

伊藤 憲悟*

Kengo ITO

牛村 智也**

Tomoya USHIMURA

要 旨

自動車のような複雑なシステムを量産車として効率良く開発するため V-Model の機能設計と性能設計について、MBD の実用技術を構築した。必要な技術は大きく三つに分類される。それぞれは、シミュレーションモデルの作成時間を短縮する技術、シミュレーション条件の定義時間を短縮する技術、シミュレーションの結果の共有時間を短縮する技術である。これら三つは MBD を量産車開発に適用する上ですべて必要な技術である。この技術により、従来の機能設計と性能設計の MBD におけるシミュレーションの Output time をおよそ 1/50 に短縮することができた。その結果、機能設計と性能設計について、MBD を量産車の開発に対して適用することが可能となった。

ABSTRACT

Technologies have been developed that enable practical application of MBD in function design and performance design stages using the V-model, in order to realize efficient development of mass-production vehicles incorporating complex systems. These technologies, all essential for the application of MBD in mass-production vehicle development, can be broadly divided into three categories: a technology that reduces the time necessary for the formulation of simulation models; a technology that reduces the time necessary for the definition of simulation conditions; and a technology that reduces the time necessary for the sharing of simulation results. These technologies have reduced the simulation output time for MBD in function design and performance design stages to approximately 1/50th of the previously required time. As a result, it has become possible to apply MBD in function design and performance design during the development of mass-production vehicles.

1. まえがき

昨今の交通社会の発展により、自動車のマーケットは先進国に限らず新興国にも拡大しており、さまざまな多様化を生み出している。具体的には Fig. 1 に示すように、環境問題がクローズアップされるに従い、エンジンやモータ、ハイブリッドのパワートレインの多様化が進んでいる。また、生活スタイルの変化に伴い顧客のニーズを反映したセダンや、ミニバン、SUV などのカテゴリーの多様化が進んでいる。さらに、高まる安全へのニーズから、SH-AWD や Active Yaw Control などの、さまざまな運転支援システムが搭載され、デバイスや電装系の多様化が進んでいる。その結果、近年の自動車は急速に複雑なシステムとなってきた。

* 四輪 R&D センター

** HONDA R&D AMERICAS, INC.

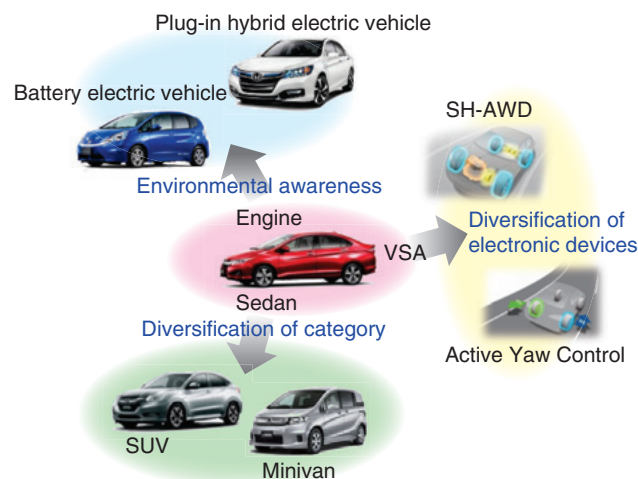


Fig. 1 Automotive diversification

ている⁽¹⁾⁻⁽³⁾。

複雑なシステムを構築する際には、システムを構成する部品の形状や特性などの詳細な考察に入る前に、そのシステムが目的とする機能を十分満たすものになるかどうかを大枠のコンポーネントで仕組みを捉え、システム全体の機能を検証することが有効である^{(4),(5)}。その段階で見通しを得てから、さらに詳細な構成部品について検討を進めるというステップを踏んだ開発により、複雑なシステムを効率良く構築することができる⁽⁶⁾。一般的にこのプロセスはFig. 2に表すようなV-Modelとして表現される⁽⁷⁾。ここでは設計段階の上位から各ステップごとにそれぞれ概念設計(構想設計)と、機能設計と性能設計、構造設計と部品設計と呼ぶこととする。

複雑なシステムを効率良く最適に構築するためには、上位の概念設計(構想設計)、下位の構造設計と部品設計の中間に位置する機能設計と性能設計が重要となる。機能設計と性能設計の検討に、シミュレーションモデルを使い、机上で仕様の考察を進め見通しを得た上で実機検証するモデルベース開発(以後MBD)という手法がある^{(8),(9)}。MBDに対し、シミュレーションを使わずに試作から入り、目標を達成するまで試行錯誤を繰り返しながら実験的に仕様を決めてゆく開発手法をここではモデルフリー開発(以後MFD)と呼ぶこととする。Fig. 3はそれぞれの開発の流れをフローチャートで表現したものである⁽¹⁰⁾。

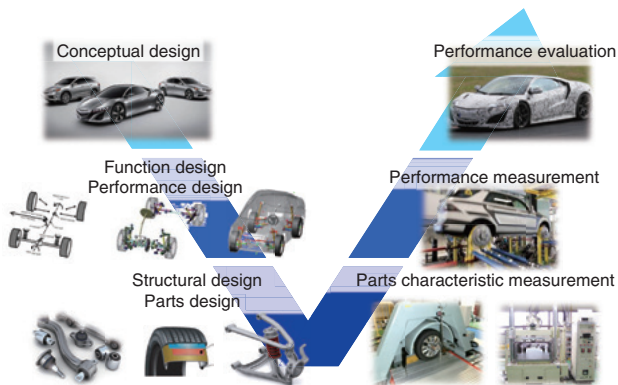


Fig. 2 V-Model for chassis development

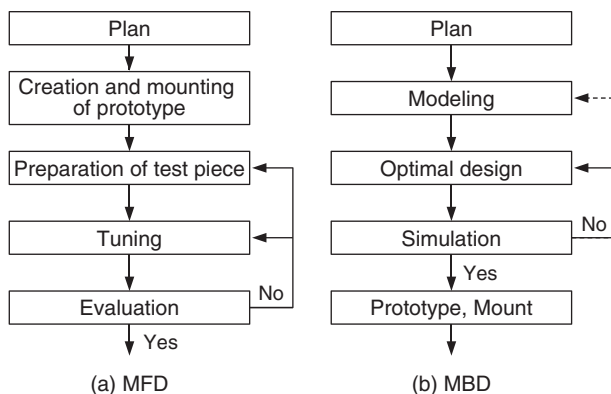


Fig. 3 Concept of MFD and MBD

MBDの導入には、まず開発対象となる開発車のシミュレーションモデル(以下モデル)を作成しなければならない。最初のモデルの作成には時間を要するが、一旦モデルを作成してしまえば、仕様の検討は机上で進めることができるため、何度も実機による試行錯誤を繰り返す必要はない。またモデルにはシステムのメカニズムが明確に盛り込まれるため、目標を達成させるための手段(達成解)の効果も明確である。これに対しMFDはモデルを使わずに実機検証から入るため、システムのメカニズムが不明確なまま試行錯誤を繰り返すので、達成解の効果がわかりにくい。比較的単純なシステムであれば、MFDの方がむしろ短時間でゴールに到達することもあるが、システムが複雑になるに従い、達成解の探索難易度は急速に上昇し、場合によっては目標を達成する可能性の見通しも立たなくなる。

複雑なシステムとなっている自動車にはV-Modelを使ったMBDの実践が必要となるが、実際にMBDを量産車開発にも適用するには、機能設計と性能設計に要する時間を短縮させることが必要である。これまでシミュレーションによる計算検討に必要な時間や、MBDを量産車開発へ適用させるために求められる時間短縮の割合について、具体的な手法が論じられることはなかった。ここでは開発する量産機種すべてのシャシに対してV-ModelによるMBDを実現するために、機能設計と性能設計の時間的制約を明確にし、それを達成するための実用化技術について論じる。

2. 機能設計と性能設計

自動車の機能設計と性能設計のMBDを進める上で、重要な役割となるのが1Dシミュレーション⁽⁸⁾である。1Dシミュレーションでは自動車を構成する各コンポーネントの特性をブロックで表現し、矢印でつなぐことによってコンポーネントどうしの相互作用を表現する。例えばMATLAB/Simulinkは代表的な1Dシミュレーションツールである。モデル作成においては、車両システムをどのように捉え、モデルのメカニズムをどのように構成するかを考察することが機能設計の主な内容である。機能設計により最初に使う検討モデルが決まった後、コンポーネント特性の最適な組合せを求めて考察する。これが性能設計の主な内容である。1Dシミュレーションは、実際の個々の部品の寸法や特性を細かく定めなくても、大枠のコンポーネント特性を定義すれば計算検討を進めることができる⁽¹¹⁾。

1Dシミュレーションを使い、目的とする機能や性能を達成する見込みがあるかどうかを検討し、その時点で達成見込みがなければ、システムの仕組みを変えなければならない。機能設計と性能設計は互いに補完し合う関係にありMBDを進める上で双方が欠かせない。例えば車両のロール運動に関する機能設計と性能設計の概念を図示

したのが Fig. 4 である。Fig. 4 の上段の図はロール運動の計算をするために適切なモデルの検討をしていることを表現しており、下段の図はロール運動を計算するモデルの各コンポーネントの特性について検討をしていることを表現している。ここで上段が機能設計に相当し、下段が性能設計に相当する。つまり機能設計はシステムの構成を考察し、性能設計はコンポーネント特性の組合せを考察している^{(12), (13)}。

最終的に設計図面に反映させるためのコンポーネント特性を整理すると全項目は数百項目となる。Fig. 5 はそれらの項目を一覧表にしたものの一部を示したものである。これをここでは性能設計一覧と呼ぶ。性能設計一覧の縦の欄はシステムの目標値を示す項目（シミュレーションの出力）であり、横の欄はシステムを構成する各コンポーネント特性の項目（パラメータスタディの項目）である。1Dシミュレーションで目指す性能設計は、この数百あるコンポーネント特性の組合せの中から最適解を探求することである。

機能設計と性能設計の時間とは、適切なモデルを作成するところから、計算検討の結果を構造設計者と共有するまでの時間である。具体的には、コンポーネント特性の最適な組合せを探索すること、性能設計一覧にある値をすべて決定すること、その計算結果をレポート化して出力すること、情報を報告会等で共有するまでの時間が含まれる。

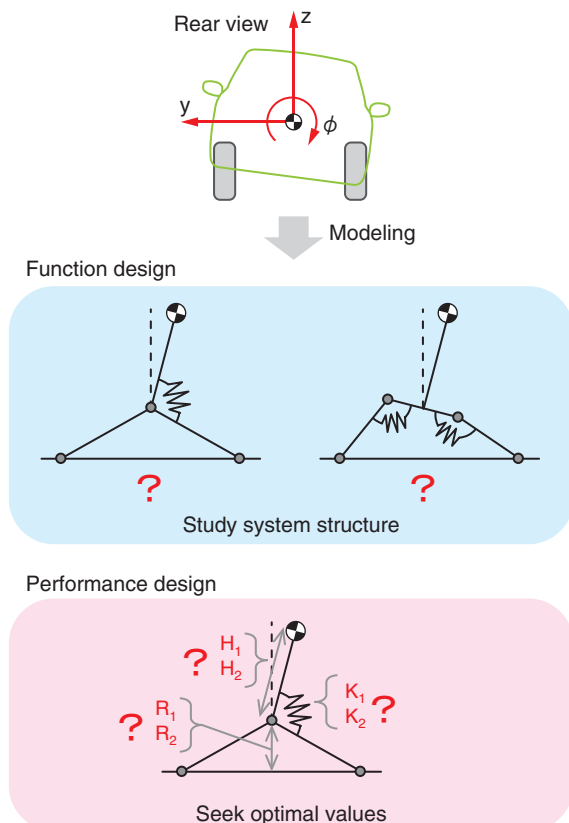


Fig. 4 Function design and performance

[illegible]

Fig. 5 Performance design item list

3. 技術課題

量産車の開発においては、仕様を決定するため、特性にある程度の幅を持たせて何種類かの試作品を作成し、それらの試作品群の組合せを試行錯誤しながら、最良の仕様を実験的に選び出すという作業がおこなわれる。2010 年から 2011 年に実施された MFD の試行錯誤に費やされる時間の調査において、なんらかの判断が最初になされるまでの時間一回の試行にかかる平均時間はおよそ 6 時間程度と試算されていた。

MBDを量産車の開発へ適用するためには、MFDの一回の試行時間よりも短時間でシミュレーション計算による検討結果を提示できることが有効である。つまりMBDでおこなわれる計算検討結果を6時間以内に提示することを意味する。

一方 2010 年時点で、ある特定の開発車に対して、機能設計と性能設計に対してかかる時間は合計して約 300 時間であった。従って、MBD による機能設計と性能設計を量産車開発で実用化するためには、機能設計と性能設計に要する時間を約 $1/50$ に短縮することが必要となる。Fig. 6 の棒グラフは MFD の試行錯誤を繰り返してかかる時間と MBD の計算検討結果を提示するまでの時間を高さで比較したものである。

ここで留意すべき点は、MFD の試行錯誤は実際には一回の試行だけでは済まないため、何度も繰り返され、複雑なシステムであればあるほど、繰り返される回数は増えていくという点である。

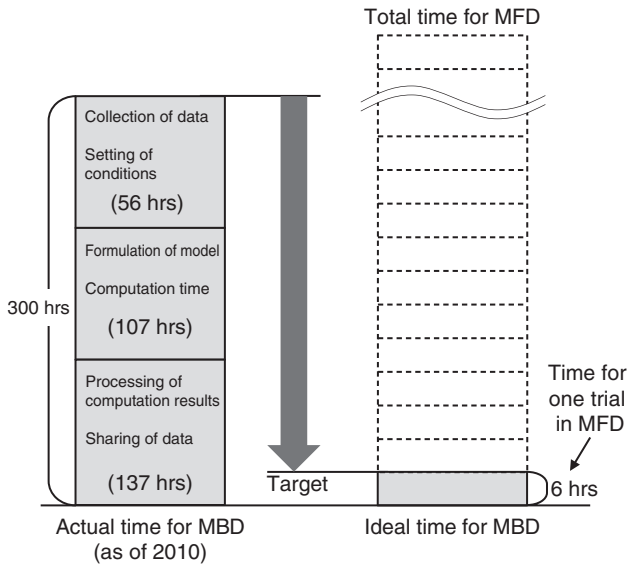


Fig. 6 Target for time reduction

4. 実用化技術

4.1. 機能設計の時間短縮

MFD から MBD に移行するときの最大の課題は、機能設計と性能設計の双方にかかる時間の短縮であるが、まずは機能設計の短縮についての考え方から示す。

多様な特性値を確認しながら、複雑なシステムの目標値に対する最適な仕様を探求する際、単純化したモデルでシステムの重要な特性値を確認するところから始め、徐々にモデルを詳細化し、次第に多様な特性値の検討に進めていく方法がある。このプロセスはいくつかの段階に分けてシミュレーションが実施されるが、従来この分け方に明確な決まりはなく、開発する車種ごとに個別のモデルを作成し、コンポーネントの特性もその都度個別に決められていた。そのため、モデルを作成する時間が検討の度に発生していた。そこであらかじめ各段階で必要な検討内容を決めておき、その段階で使用するモデルを定義しておけば、モデル作成に要する時間は基本的に必要なくなる。この段階を三段階に設け、ほとんどの開発車種に対して性能設計が進められるような標準となるモデルを定めた。

第一段階は、時間をかけないで、必要な精度が得られるモデルを定義した。この第一段階のシミュレーションをここでは Level 1 と呼ぶ。Fig. 7 は、モデルを詳細にすればするほどシミュレーションで扱える項目は増えるが、逆に達成解の探索に手間がかかることを示したグラフである。図中の破線矢印で示されたところが Level 1 であり、短い時間で計算検討が進められる割に、多くの項目の検討に対して扱えるモデルである。Level 1 のモデルは Fig. 8 のようなシンプルなブロック線図で表されるため、数式でも容易に表現できる。従って Microsoft/Excel のような表計算ソフト

トを使っても計算することが可能であり、パラメータスタディをすばやく進めるには適しているモデルである⁽¹⁴⁾⁻⁽¹⁶⁾。

第二段階は性能設計一覧にあるすべての項目を計算するために最低限必要な要素がすべて盛り込まれたモデルを定義した。このシミュレーションをここでは Level 2 と呼ぶ。Level 2 のモデルは Fig. 9 のようなブロック線図となる。

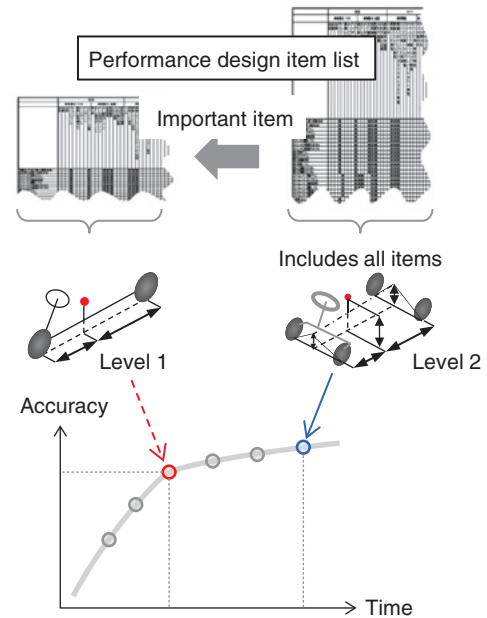


Fig. 7 Relationship between detail of model and output speed

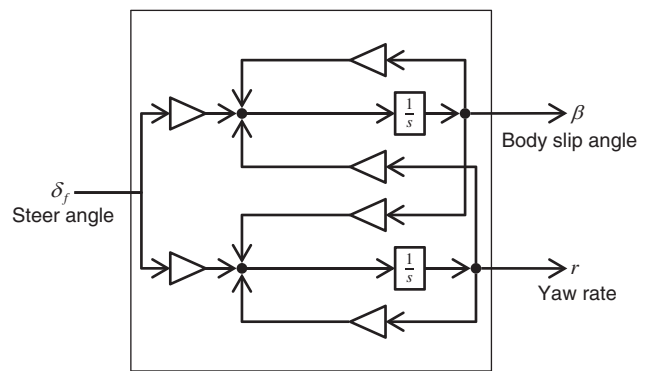


Fig. 8 Model for Level 1

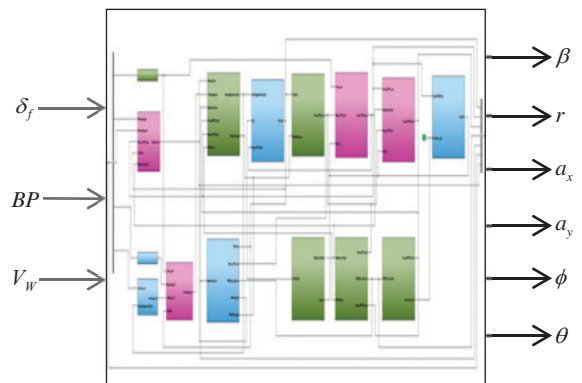


Fig. 9 Model for Level 2

このモデルは数式だけで表記するのは容易ではないので、表計算ソフトのようなツールでの検討は適切ではない。例えば MARLAB/Simulink のような専用の 1D シミュレーションソフトを活用の方が有利である⁽¹⁷⁾。

第三段階はシャシを構成する部品すべてをモデル化した機構解析モデルであり、いわゆる一般にフルビークルシミュレーションと呼ばれるものである。これをここでは Level 3 と呼ぶ。Fig. 10 は ADAMS を使ったシミュレーションモデルのアニメーションイメージである。Level 3 は 1D シミュレーションではなく 3D シミュレーションと呼ばれる⁽¹⁸⁾。

2016 年現在、Level 1 から Level 3 までのモデルがあれば、ほとんどの開発車種についての運動性能を検討することが可能である。最も詳細な計算ができる Level 3 だけでも量産車開発への MBD 適用ができるように思えるが、Level 3 のモデルだけでは課題を達成できない。なぜならば、Level 1、Level 2 という段階を踏まない性能設計はかえって時間がかかってしまうことや、Level 3 の計算条件を揃えるためだけでも、目標以上の時間がかかってしまうためである⁽¹⁹⁾。

4.2. 性能設計の時間短縮

次に性能設計の時間短縮に関する考え方である。我々は性能設計の時間短縮のために、特定の条件が与えられてからシミュレーション結果を関係者間で共有するまでの時間 (Output time) に着目した。シャシの MBD の性能設計で時間を要するのは、計算モデルの作成以外にも、データの収集と計算条件の設定、計算結果の処理とレポートの共有などがある。Fig. 11 はその概念を表したものである。

計算時間 (Computation time) を短縮させても、計算条件を揃え入力項目を定義するまでの時間がかかっては、結果として Output time の短縮に対して効果が薄い。また計算結果が出て、その後その結果をレポート化して情報共有するまでの時間がかかってしまえば、これも同様である。実際は Computation time 以外のところにも多くの時間を要し、これが性能設計時間を短縮できない要因となってい

たことがわかった。Fig. 6 ではある特定の車種の開発に着目して、実際に必要となる時間を測りグラフ化した例を示したが、このグラフを見ても、モデルの作成時間だけを短縮しても目標達成には遠く及ばないことがわかる。

このように性能設計は大きく前半と後半とに分けられるが、まずは前半の時間短縮について論じる。先に我々は三つのモデルを定義し機能設計の時間を短縮したが、モデルを定義したことにより、そのモデルによるシミュレーションの入力と出力は一義に決めることができた。常に同じモデルを使用すれば、入力と出力も常に同じであるため、データの形式を同じにしておけば入出力に関する作業は自動化させることが容易である。入出力データを性能設計一覧の書式と合致するようにし、Level 1 および Level 2 のデータが生成されるように、シミュレーションツールをあらかじめ工夫しておけばよい。モデルライブラリ構築の取組はその一例である。ここでモデルライブラリとは、シミュレーションの計算条件を格納したデータベースと、シミュレーションツールに直接データを取り込めるように変換するシステムの総称である。モデルライブラリからシミュレーション条件を自動抽出し、シミュレーションツールへ自動入力する技術を構築しておくことで、従来人手に頼ってデータを収集し計算条件を設定していた時間が短縮された。Fig. 12 は 2010 年時点に対する 2014 年時点の比

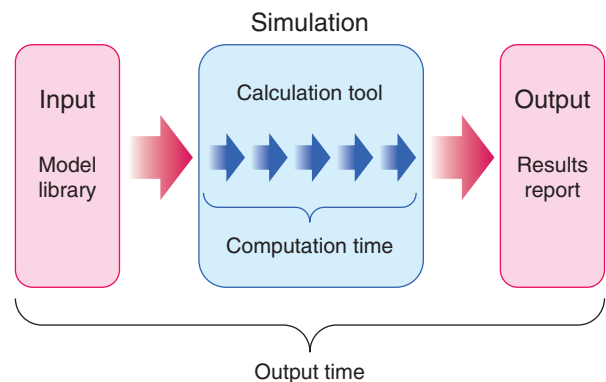


Fig. 11 Computation time and output time

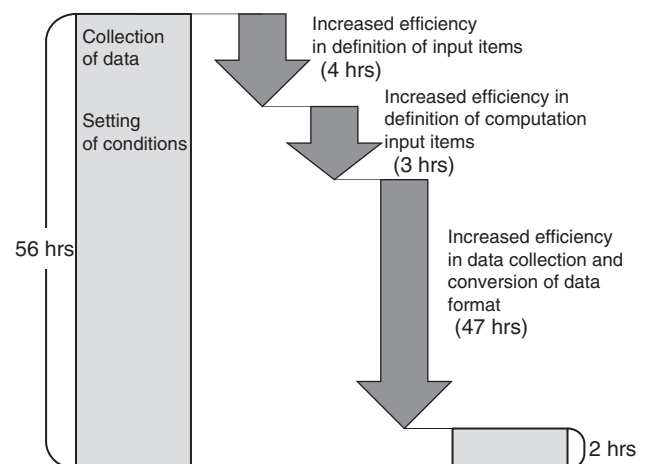


Fig. 12 Enhanced input efficiency

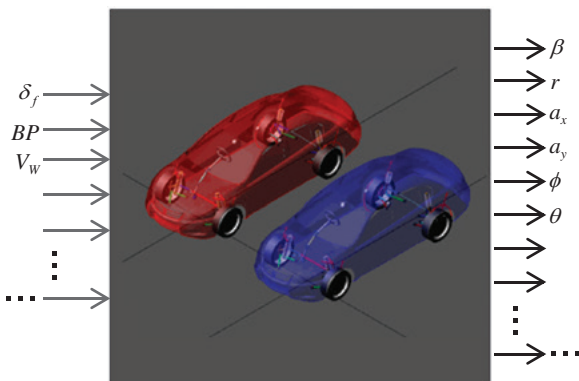


Fig. 10 Model for Level 3

較で、その内容をグラフにしたものである。これを見ると前半部分はおおよそ 1/30 の時間でできるようになったことがわかる。

性能設計の時間短縮に対するもう一つの課題が、性能設計の後半に相当するシミュレーション結果をレポート化して情報を共有する時間の短縮である。従来はその都度異なるモデルを使って計算された結果を、性能設計者が各々資料化し、個別に報告することで情報を共有していた。だが Level 1, Level 2 のモデルを性能設計一覧の項目に従って計算結果が出力されるようにしておけば、決まった書式にグラフなどを自動生成するにすることは容易である。これでレポート化にかかる時間は短縮できる。また我々はこのレポートを性能仕様書の一部として定義し、データベースで共有する環境を構築した。Fig. 13 は性能仕様書の一部を抜粋したものである。性能仕様書をデータベースで共有管理することで、検討内容や計算結果を共有する手間を省くことができ、時間を短縮することができた。Fig. 14 はその内訳を表現したものである。性能設計の後半に相当する、計算結果を処理しレポート化して共有するまでの時間はおよそ 1/70 に短縮された。

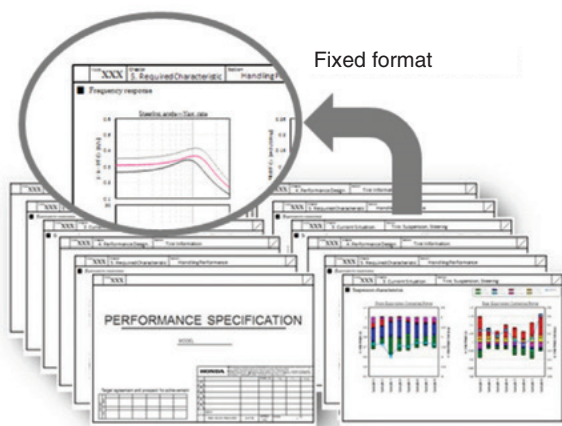


Fig. 13 Performance specifications

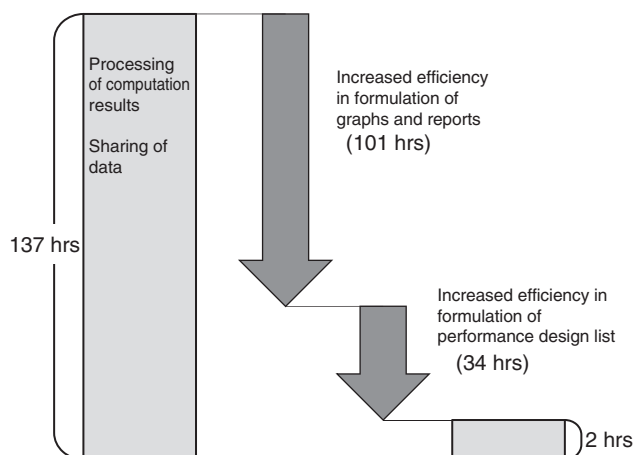


Fig. 14 Enhanced output efficiency

5. 性能設計の実施例

5.1. S660 の運動性能向上検討

S660 は、軽自動車でありながら本格的なスポーツ性能を楽しむことができる「痛快ハンドリングマシン」が車両コンセプトとして掲げられた。そのコンセプトを際立たせるため、操舵初期の回頭性、ステアリングを切り込んだときの旋回性は特に重視され、操縦性の動的性能目標が設定された。また一方でスポーツカーとしての十分な安定性も兼ね備えなければならない。高速走行時の安定性に対する目標も設定され、それらをすべて同時に両立させる必要があった。具体的な性能設計目標値を以下に記す。

- (1) 高速走行時の安定性については、100 km/h におけるスタビリティファクタを $0.001 \text{ s}^2/\text{m}^2$ 以上、かつ操安キャパシティを 220 m/s^2 以上とする⁽²⁰⁾⁻⁽²⁴⁾。
- (2) 痛快ハンドリングの操縦性については、最大横加速度は 10.4 m/s^2 以上、100 km/h の J ターンの最大後輪横すべり角を 10 deg 以下とする^{(20), (22)-(24)}。

S660 の性能設計における大きな課題は、この二つの目標を同時に達成する仕様を、無数に存在する組合せの中から効率良く探し出してくることである。

S660 の開発は短時間で実施することが要求されていたが、多くの部品が専用に設計され設計自由度が高く、目標性能を実現させるための各コンポーネントの組合せは無数に存在する。そこで開発初期から MBD による開発を実践し、何十通りもの仕様の組合せについて計算検討を短時間でおこない、性能設計から最終的に最適と考える仕様提案された。Fig. 15 の二つのグラフは提案された仕様について、目標を達成するための仕様の割り付けを示した例である。ここでは代表指標についてのみを記している⁽²⁴⁾。今回の S660 の開発のように、他の量産車とは大きく車両諸元や駆動型式などが異なる車両は、詳細部の特性値や物性値の参考となるデータが少ないため基本となる値が見えにくい。そういった中で複数の目標値を同時に検証しつつ、無数にあるコンポーネント特性の組合せの中から適切な仕様を探し出す作業を、試行錯誤で実験的に進めていたら、この機種の開発期間で目標を達成する仕様を決めることはできなかったであろう。本技術により S660 は開発初期において多くの性能を同時に確認しながら仕様検討をすすめることができた⁽²⁵⁾。

5.2. CLARITY FUEL CELL の緊急回避性能と乗心地の両立

CLARITY FUEL CELL は燃料電池を使って電気を生成し、モータを動力として走行する、先進的な技術を搭載した車両である。それゆえに静粛性も高く乗心地の良い車であることが望まれた。また、CLARITY FUEL CELL には各コンポーネントの実用的なレイアウトとデザインを

成立させるためのパッケージが求められた。これは慣性モーメントを小さくすることに対しては不利な条件であった。さらにさまざまなデバイス類を搭載しなければならない FCV は、同一クラスの車に対して車両重量が重くなることは避けられない。つまり慣性モーメントが大きく重い車両を、同一クラスの一般的な車両と同等の運動性能にすることも求められた。特にスタックを補助する電池パックや動力モータは重量が大きいので、それらの配置が運動性能に与える影響は大きく、乗心地や静粛性との両立のカギとなる。そうしたさまざまな制約条件の下で設定された運動性能の性能設計目標値は、ダブルレーンチェンジ（以下 DLC）における横加加速度応遅れ時間 1st が 0.15 sec 以下、2nd は 0.175 sec 以下にすることであった。ここで DLC における横加加速度応遅れ時間について Fig. 16 に示す。

上記目標を達成するタイヤ特性、サスペンション特性などのコンポーネント特性の組合せは無数に考えられるが、

ねらいとするパッケージを満たしつつ、乗心地や静粛性の性能とも両立させる仕様を試行錯誤で探し出すのは容易ではない。特にスタックとモータの配置やマウント剛性は乗心地や静粛性を大きく変化させるため、運動性能もその点を考慮しながら同時に検討を進めなければならない。本技術を使うことにより、運動性能以外の性能との両立を踏まえながら、何十通りもの組合せ計算を短時間で実施することができた。Fig. 17 は検討結果の一例を示すものであるが、このように運動性能以外の性能や要求仕様との両立も同時に検討を進める場合においても、本技術は有効であることが示された⁽²⁵⁾。

5.3. 2014 年モデル FIT の線形領域操安性ポテンシャル向上の検討

グローバルな車種である 2014 年モデル FIT（以下 2014 FIT）は、全世界に向け販売し、世界中の仕様を同時に立上げることがをねらいとしていたため、仕向けごとに異なる多様な仕様で目標性能を達成する組合せを、短時間で探し出す必要があった。さらに 2014 FIT で開発したプラット

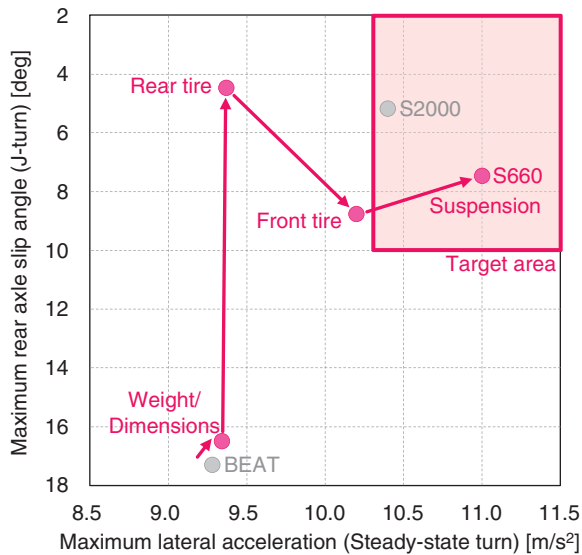


Fig. 15 Performance design for S660

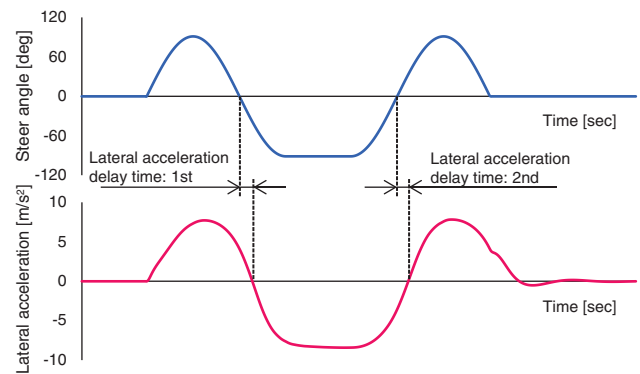


Fig. 16 Lateral acceleration during DLC

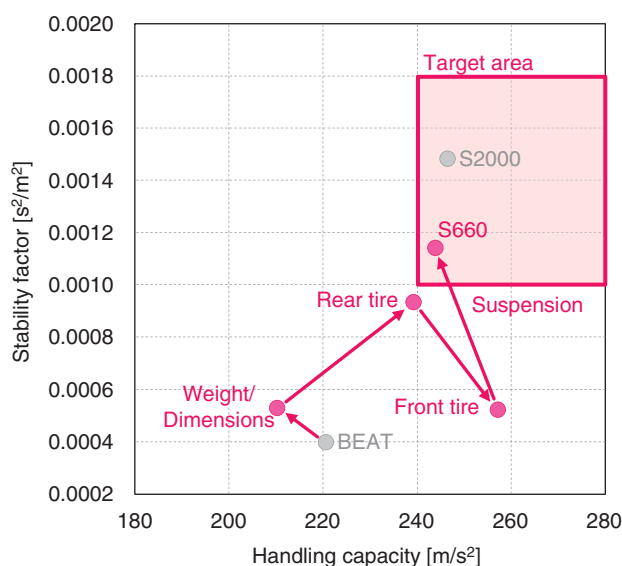


Fig. 17 Performance design of 2016 model year FCV

フォームを活用し、セダン、ワゴン、SUV、ミニバンなど多くの派生機種を開発することも決まっていた。そのため2014 FITは幅広い形態の車両にも派生対応できるように、開発の初期段階から性能ポテンシャルを高めておく必要があった。そこで本技術を用いたMBDによる開発を適用した。2008年モデルFIT(以下2008 FIT)のデータを参考にすることができたので、2014 FITは計算条件や目標性能を速やかに作成することができた。2014 FITは、MBDによる性能設計が線形領域の操安性検討に対して本格的に適用され実践された最初の機種である。

2014 FITでは、MBDによる検討が進められたため、全世界の仕向け先の仕様すべてに対して計算することができ、全仕様に対してシミュレーションによる目標値達成の是非を机上で確認することができた。つまり派生に対するベース機種としてのポテンシャルを机上で確認することができた。

MBDを実用的に量産車の開発にも実用できるようになったため、並行して開発される派生機種の性能も、同時に見通しを立てることが可能となった。例えばSUVでは高いロードクリアランスを確保するためサスペンションがリバウンドした状態における性能を検討し、セダンでは乗心地性能をさらに高めるといった目標で検討し、さらにミニバンの開発ではFITプラットフォームとしては最大のオーバーハングをもった寸法諸元で、運動性能の目標値に対する最適仕様の検討を実施した。Fig. 18は2014 FITの派生機種も含めた計算検討を実施した図であるが、本技術の活用により、このような数多くの検討を短時間でできるようになった。

5.4. 2017年モデルCR-Vの限界領域の操安性ポテンシャル向上検討

2017年モデルCR-V(以下2017 CR-V)の開発において、運動性能に求められた大きな課題は、限界領域の操安性をすべての仕様について成立させることである⁽²⁶⁾。2017 CR-Vはターボエンジン、ディーゼル、ハイブリッドなど多岐にわたるパワープラント、4WD、FWDの駆動方式、2列、3列シートのシートレイアウト、17 inch、18 inchなどのタイヤサイズ、さらにパノラマルーフのオプション設定など、多数の仕様が存在し、それらはすべて運動性能に大きく影響することが予想された。これらすべての仕様について目標性能を成立させる検討をMFDを進めることは容易ではない。従って、2017 CR-Vの性能設計では、線形領域の操安性の検討に加えて、限界領域の操安性についても短時間で検討する必要がある。

2017 CR-Vは先代の2012年モデルCR-V(以下2012 CR-V)のデータ群を参照することができたため、計算条件や性能設計目標値について速やかに決めることができた。2012 CR-Vの開発に対して、比較的开发初期に三つの

Levelでそれぞれ定義したモデルを使い計算検討を進めることができたため、効率以外に精度の面でも十分な考察を進めることができた。その時の計算結果をFig. 19⁽²¹⁾、Fig. 20⁽²⁸⁾に示す。ここでSteer Angle Amplitudeとは、横加速度 2.9 m/s^2 で定常円旋回しているときのハンドル角を1[A]として、その倍率を示したものである⁽⁵⁾。先代では代表機種の検討結果しか机上検討できなかったのに対して、本検討では多数の仕様すべてに対して計算検討を実施している。2017 CR-Vの開発では、MBDによる性能設計について、タイヤやバンブラーパーブッシュといった非線形要素にまで広げた検討が可能であることを確認できた⁽²⁷⁾。

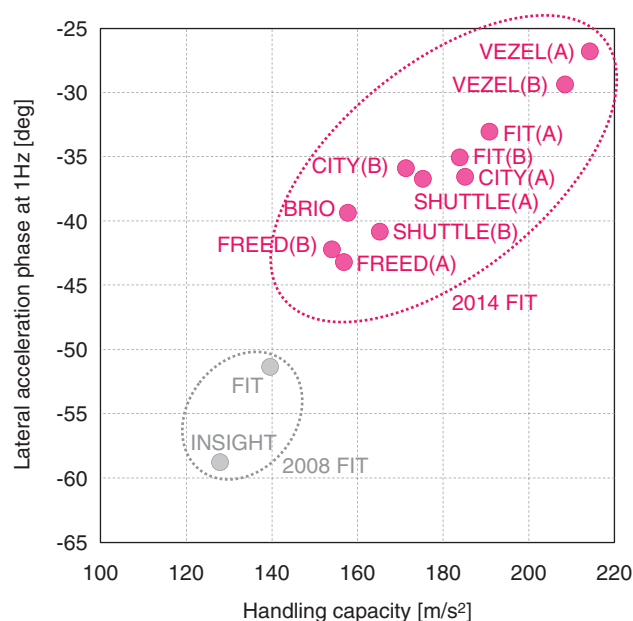


Fig. 18 Performance design of 2014 FIT

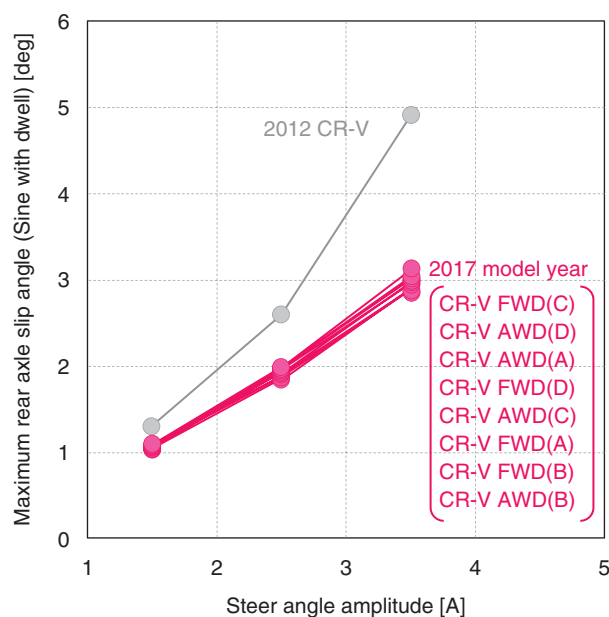


Fig. 19 Study of emergency handling

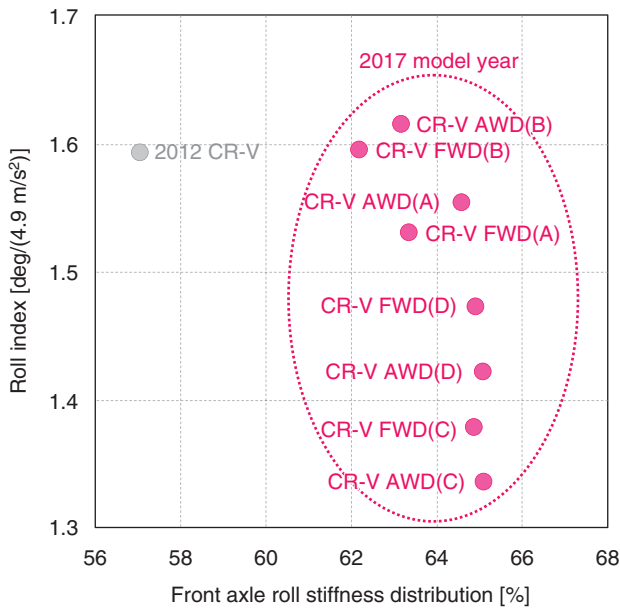


Fig. 20 Performance design for 2017 CR-V

以上四つの事例により、本技術が量産車のシャシ開発の中で幅広く適用可能であることを実績で示した。

6. まとめ

機能設計と性能設計の MBD におけるシミュレーションの Output time をおよそ 1/50 に短縮することで、MBD を量産車に適用できるようになることを示した。実施した内容をまとめて以下に列記する。

- (1) 機能設計で標準となる車両のシミュレーションモデルを三段階に定義した。
- (2) シミュレーションに必要な入力項目を定め、作業効率を上げることにより、性能設計の前半の時間を約 1/30 に短縮した。
- (3) シミュレーション結果の書式を性能仕様書として定め、性能仕様書のデータベースを作ることにより、性能設計の後半に相当する、検討結果を共有するまでの時間を約 1/70 に短縮した。
- (4) MBD の機能設計と性能設計にかかる時間を、従来の約 1/50 に短縮することができた。

あとがき

本技術の構築により MBD によるシャシ開発を実用的に量産車の開発に対して適用することができるようになった。今後はこの技術を使いすべての機種において MBD を実践し、さらに制駆動領域の運動性能や乗心地性能などにも MBD による機能設計、性能設計技術を拡大し、効率の高い自動車開発につなげていきたい。

参考文献

- (1) 吉村健太郎, 宮崎泰三, 横山孝典:オブジェクト指向組み込み制御システムのモデルベース開発法, 情報処理学会論文誌, Vol.46, No.6, p.1436-1446, (2005)
- (2) 深野善信, 後藤広生, 松原正裕, 勝康夫, 宮崎義弘:複雑化する車載制御ソフトウェア開発を支える最新電子プラットフォーム技術, 日立評論, Vol.95, No.11, p.784-785, (2013)
- (3) 山本真規:運動性能温故知新, TOYOTA Technical Review, Vol.55, No.1, p.6-13, (2006)
- (4) 西村秀和 監訳:デザイン・ストラクチャ・マトリクス DSM(複雑なシステムの可視化とマネジメント), 慶應義塾大学出版会, 340p., (2014)
- (5) 赤木新介:システム工学—エンジニアリングシステムの解析と計画—, 共立出版, 276p., (1992)
- (6) 干強, 白鳥正樹, 荒木敏弘:自動車の高機能化・電子化における設計支援技術, 日本機械学会論文集 (A 編), 第 75 巻, 第 758 号, p.1260-1268, (2009)
- (7) 大富浩一, 羽藤武宏:1DCAE によるものづくりの革新, 東芝レビュー, Vol.67, No.7, p.7-10, (2012)
- (8) 近藤伸亮, 手塚明, 高本仁志:1DCAE のモデル論 (第 1 報) モデルを用いた知識獲得過程の数学的定式化, 日本計算工学会論文集, Vol.2014, p.20140002, (2014)
- (9) 藤川智士:マツダの目指すモデルベース開発, マツダ技報, No.31, p.45-47, (2013)
- (10) 木村英紀:制御工学の考え方, ブルーバックス, 240p., (2002)
- (11) 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, 第 75 巻, 第 751 号, p.516-523, (2009)
- (12) 嘉納秀明, 小林博明, 江原信郎, 小野治:動的システムの解析と制御, コロナ社, 236p., (1991)
- (13) Fenton, J.: HANDBOOK OF VEHICLE DESIGN ANALYSIS, Mechanical Engineering Publications Limited, 755p., (1996)
- (14) 木村健一:建築設備基礎
https://storage.googleapis.com/google-code-archive-downloads/v2/code.google.com/setukiso/Setukiso_versions.0.8.1.pdf, 2011/4/22
- (15) 藤岡健彦, 鎌田実, 中村秀一, 津川定之, 山本真規, 武田信之:自動車プロジェクト開発工学—環境, ITS, 運動性能, 物流—, 技報堂出版, 226p., (2001)
- (16) 山本真規:運動性能の基本計画～無次元量を用いた運動性能の理解～, 日本機械学会 交通・物流部門 第 2 技術委員会 基礎セミナー・中級セミナー「自動車の運動力学」資料集, No.07-39, p.21-40, (2007)
- (17) 大川進, 本田昭:自動車のモーションコントロール技

- 術入門, 山海堂, 203p., (2006)
- (18) Blundell, M., Harty, D.: The Multibody Systems Approach to Vehicle Dynamics, SAE International, 518p., (2004)
- (19) 野口博史, 宮川哲, 影山雄介: 車両運動性能設計を支えるシミュレーション技術, 自動車技術, Vol.65, No.1, p.47-52, (2011)
- (20) 堀内伸一郎: 運動性能の計算, 日本機械学会 交通・物流部門 第2技術委員会 基礎セミナー・中級セミナー「自動車の運動力学」資料集, No.09-62,63, p.29-45, (2009)
- (21) NHTSA, U.S. Department of Transportation: Laboratory Test Procedure for FMVSS 126, Electronic Stability Control Systems, TP-126-03, p.24-30, (2011)
- (22) 安部正人: 自動車の運動と制御 第2版, 東京電機大学出版局, 310p., (2012)
- (23) 金井喜美雄, 越智徳昌, 川邊武俊: ビークル制御ー航空機と自動車ー, 槇書店, 256p., (2004)
- (24) Lincke, W., Richter, B., Schmidt, R.: Simulation and Measurement of Driver Vehicle Handling Performance, SAE Paper, No.730489, (1973)
- (25) 熊沢達也, 于強, 鈴木重人, 南中道裕規: トレードオフを考慮した設計支援手法の開発と車両運動性能設計への応用, 自動車技術会学術講演会前刷集, No.136-06, p.15-20, (2006)
- (26) Allen, R. W., Rosenthal, T. J., Klyde, D. H., Hogue, J. R.: Computer Simulation Analysis of Light Vehicle Lateral/Directional Dynamic Stability, SAE Paper, No.1999-01-0124, (1999)
- (27) 安部正人, 大沢洋: 自動車の運動性能向上技術, 朝倉書店, 171p., (1998)
- (28) 大車林, 三栄書房, 1397p., (2003)

■ 著 者 ■



豊島 貴行



松澤 俊明



伊藤 憲悟



遠藤 喜章



高野 広喜



牛村 智也