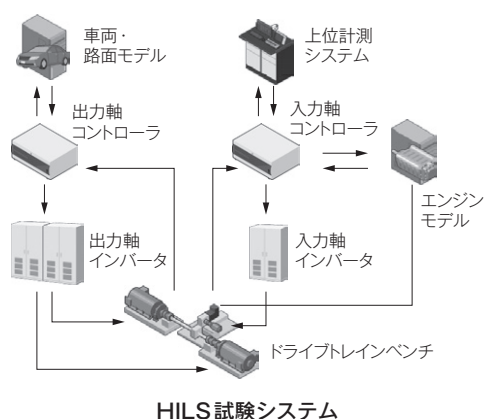


モデルベース開発 (MBD) 支援システム

山口 崇 Takashi Yamaguchi

キーワード モデルベース開発, HILS, シミュレーション, CAE

概要



近年、自動車業界は電動化・自動運転化の急激な加速によって、自動車開発における評価項目数が増加し、信頼性評価にかかるコストが増大している。そこで、モデルベース開発 (MBD) によって開発工数の削減と質の向上が図られ、モデル主体の開発プロセスへと変化している。台上試験でより高精度な試験結果を得るには、大規模モデルをリアルタイムで実行しながら、様々なシステムと連携動作し、より高精度かつ高速にダイナモメータシステム (以下、ダイナモメータ) を運転する必要がある。当社は、従来のダイナモメータ試験システムとモデルを連携したHILS (Hardware In the Loop Simulation) 試験システムを開発し、計測精度を向上し、信頼性の向上に取り組んできた。

1 まえがき

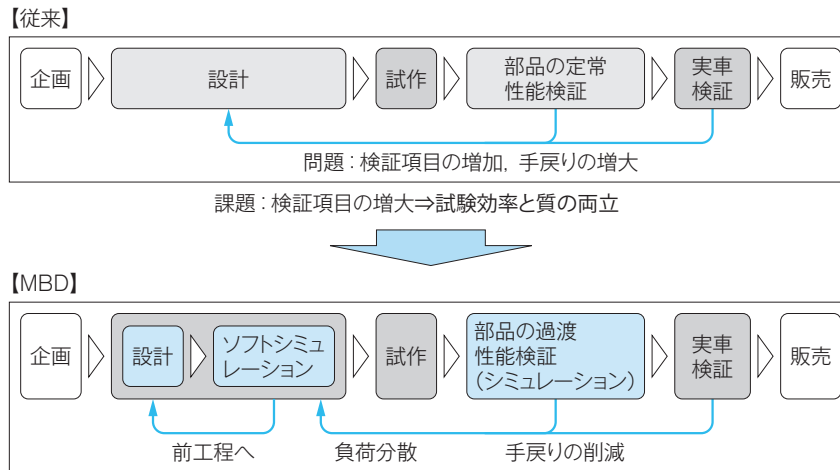
自動車のシステムが高機能・複雑化すればするほど、開発における信頼性評価にかかるコストが飛躍的に増大している。

この問題に対応するために、モデルベース開発 (MBD) と呼ばれる手法が広まっている。MBDでは、シミュレーションで実車走行時の状態を詳細に検討することで設計精度が向上し、部品の検証も従来の単純な耐久試験から実走行と同じような環境下で試験ができ、開発工数の削減と質の向上が実現できる。実製品を試験する際のMBDでは、製品周辺をシミュレーションモデルとして実車相当の負荷を与え、より実車走行に近い試験を行う。実製品が車両であれば路面をモデル再現し、エンジンであればトランスミッションから車体・路面までをモデル再現する。当社製品はこの試験環境を実現すべく、お

お客様のシミュレーションマシンと連携した制御システム、モデル指令を高精度に再現するダイナモメータシステム (以下、ダイナモメータ)、といったMBD支援システムを開発・提供している。本稿では、当社のMBD支援システムの最近の取り組みを紹介する。

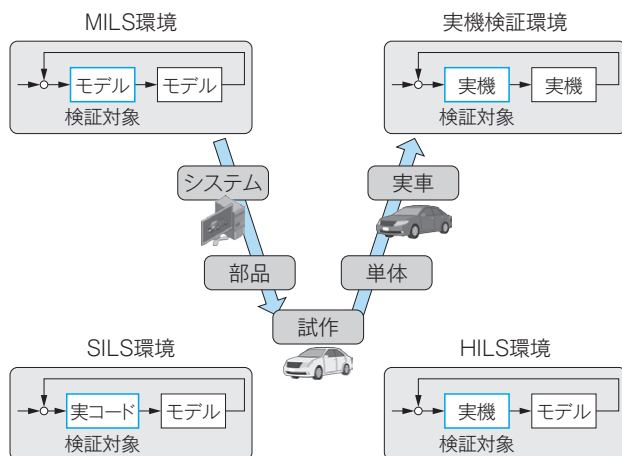
2 MBDのプロセス

第1図に自動車会社の開発プロセスの変化を、第2図にMBD工程を示す。モデル主体の開発プロセスは大きな変革を遂げてきているが、そのプロセスも様々あり、「X In The Loop Simulation」と呼ばれる各ステップがある。まずMILS (Model In the Loop Simulation) は、V字カーブに開発工程をとり、最終的な完成車検証に対し、初期段階にPC上でどのような車にすればよいかなど全てモデルで



第 1 図 自動車会社の開発プロセス変化

自動車会社の開発プロセス変化例を示す。前工程への負荷分散や手戻りの削減を目的に、MBD が浸透してきている。

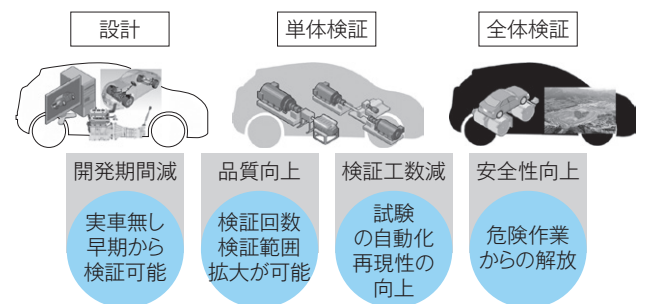


第 2 図 MBD 工程

V 字カーブ開発工程の各検証ステージを示す。

シミュレーションを行う。次に SILS (Software In the Loop Simulation) は、搭載機器のプログラムコードの検証として、それ以外の周辺をモデル化して実行する。HILS (Hardware In the Loop Simulation) は、部品単体の検証としてそれ以外をモデルとしている。供試体に対する仮想負荷をダイナモメータで作成している動計製品は全て HILS であると言える。近年では、モデルで再現できることが非常に高度化し、実環境の再現性能が飛躍的に向上している。

第 3 図に HILS 試験システムの導入効果を示す。HILS 試験システムの導入で、以下の効果が見込める。まず設計段階では、実車無しの早期から実車相



第 3 図 HILS 試験システムの導入効果

HILS 試験システムの導入効果例とその内容を示す。

当の試験ができるため、開発期間を短縮できる。単体検証の段階では、モデルの修正だけで状態の変化を再現できるため、検証回数や範囲を簡単に増やすことができ、品質の向上が見込める。全体検証の場合、再現性が高く試験自体の自動化が簡単で、無人かつ自動で一晩中様々な試験を行うことができるため、検証工数を削減できる。全体検証の段階では、実車に人が乗り込んで、限界に近いもしくは超えるような運転をする必要がなく、安全性の高い試験ができる。

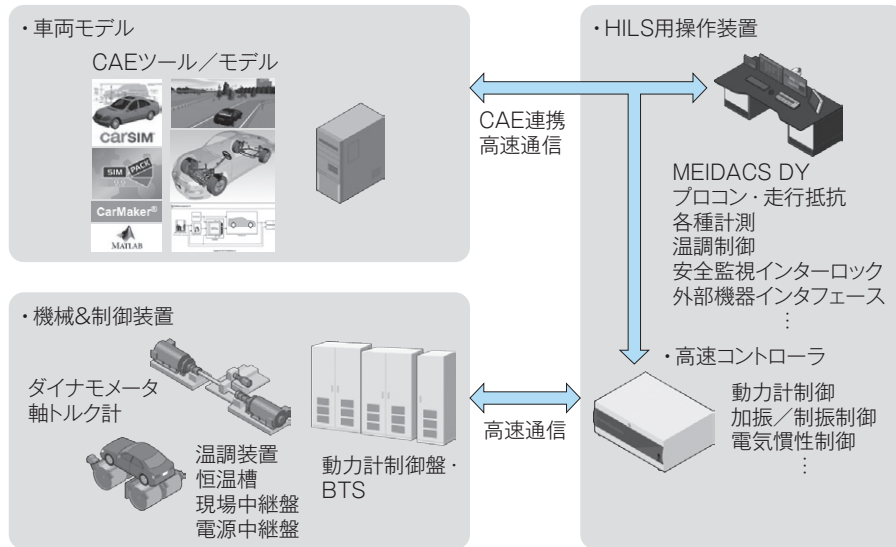
3 HILS 試験システム技術

第 4 図に HILS 試験システムの概要を示す。ダイナモメータ・インバータ盤・中継盤・温調装置、さらにそれらに備わる各種計測装置など機械制御装置

があり、これらと高速コントローラを高速通信でつなぎ、トルクや速度を対象に加振や制振、慣性制御などを行っている。操作計測装置とつなげることで、各種データの計測や安全監視、運転操作などを行う。HILSの根幹であるモデルは、外部の演算マシン又は高速コントローラや操作装置内のCAE (Computer Aided Engineering) ツールやモデルソフトで構築し、試験システムとリアルタイムで連

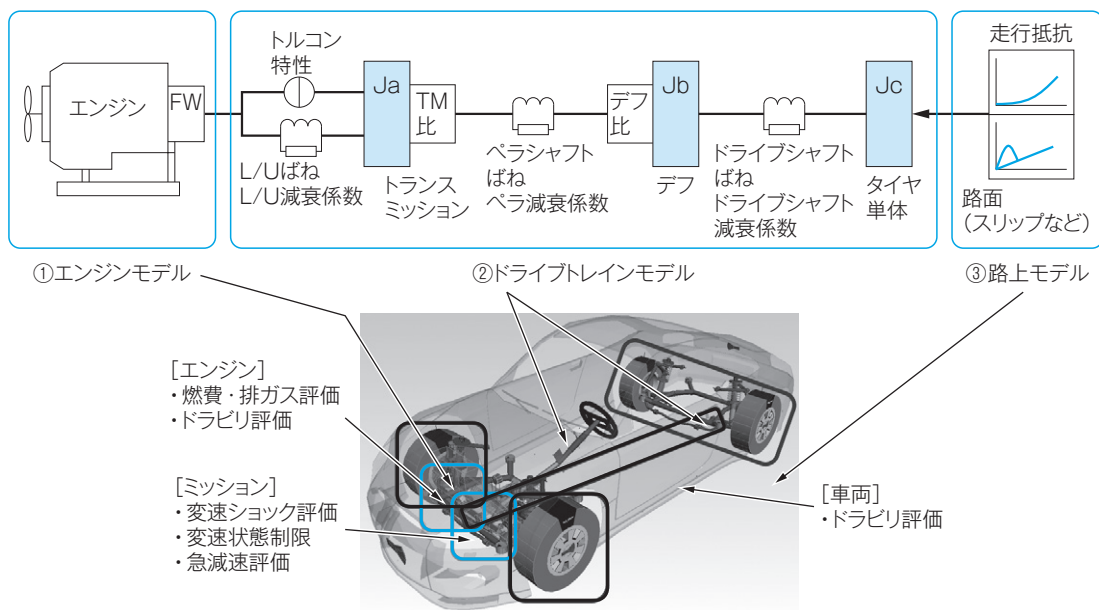
動させている。

第5図に車両モデルと評価項目を示す。HILSの基幹となる車両モデルだが、モデル要素とモデル上で評価できる例である。エンジンからトルクコンバータやトランスミッション、ディファレンシャルギヤ(デフ)を介してタイヤ、そして路面へといったパワートレインのモデルでは、エンジン特性やトランスミッションのギヤ比などを変更することで車



第4図 HILS試験システムの概要

HILS試験システムを構築するために必要となる主な装置類を示す。



第5図 車両モデルと評価項目

モデル要素とモデル上で評価できる例を示す。

第 1 表 HILS 試験システムの技術課題

HILS 試験システムの実現にあたる技術課題とその対策を示す。

システム構成	技術課題	対策
車両モデル	車両の実車挙動のリアルタイム再現	モデルとのリアルタイム連携 (SIMPACK/CarSim/MATLAB/dSPACE…)
HILS 用操作計測装置	他機器連携 通信速度 (500Hz) 高応答制御	高速度相互通信 (1kHz) 慣性再現 (100Hz) モデル連携制御
	供試体周辺機器との高速接続 (CAN 通信 10Hz)	エンジンコントロールユニット (ECU) との高速通信接続 (> 1kHz)
機械制御装置	実エンジン/実タイヤ相当慣性の実現 (DY 慣性: 0.95kg・m ² /14.6kg・m ²)	ダイナモメータ低慣性化 (DY 慣性: 0.12kg・m ² /1.6kg・m ²)

両特性を調整し、燃費や排ガスを評価できる。また、路面を坂道や雪道、オフロードなどに設定することで走行環境を変更できる。さらに車体や部品類の取り付け機構、ドライバーまでモデルで再現すると、あるミクロな部品が車体全体のマクロに及ぼす影響を見ることができ。例えば、発進又は変速した場合、凸凹道でドライバーが感じる乗り心地まで評価できる。

第 1 表に HILS 試験システムの技術課題を示す。HILS 試験システムでは、モデルと試験システムがリアルタイムで連携し、動きを忠実に再現することである。このため、個々のシステムを高速通信でつなぎ、各機器の高応答化を図る必要がある。このため、1kHz を超える高速通信や車載電子機器との直接接続、共振を抑制しながら高い応答を達成する制御、基本となるダイナモメータの慣性では、一昔前と比べて 1/10 の低慣性化を実現した。

4 HILS 試験システムの事例と効果

第 2 表に HILS 試験システムの構築実績を示す。それぞれ、変速機やハイブリッドシステムの検証を目的に、1D/3D の車両モデルや動力機構モデルと連携し、検証工数減・安全性向上・開発期間減・品質向上に寄与してきた。

A 社には、車両モデルとエンジンコントロールユ

第 2 表 HILS システム構築実績

現在までに収めてきた HILS 試験システムの代表例を示す。

納入例	実機	モデル	評価ポイント	効果
A 社	変速機	車両挙動モデル	変速時トルク再現	●検証工数減 変速機単体で実車相当評価を実現
B 社	変速機	雪道車両挙動モデル	タイヤロック再現 ミッション強度	●安全性向上 台上で実車相当の危険な試験を実現
C 社	HEV システム	動力機構モデル	機構モデル変更	●開発期間減 試作レスで機構違いの燃費評価を達成
D 社	変速機	3D 車両機構モデル	乗り心地 実車再現性	●品質向上 乗り心地改善を台上で実施

ニット (ECU) を連携し、トランスミッションの変速挙動を再現するベンチを納入した。実車計測データと台上データが過渡的なトルク・速度変化で一致し、細かな挙動まで路上運転を台上で再現した。変速はトルクや速度、油圧などいろいろな条件に左右されるため、様々な調整要素がある。これらの調整を実車で実路走行しなくても、台上で行うことができる。

B 社には、雪道いわゆる低 μ 路走行を再現できるベンチを納入した。A 社と同様なシステムを構築し、雪道を走行時に急ブレーキをかけた場合の動きを再現した。タイヤをロックした状態を再現できるため、例えばアンチブレーキロックシステム (ABS) の制御調整を台上で行える。専用設備や特定地域に赴く必要があったが、本ベンチによって手間や時間を短縮できる。

C 社には、ハイブリッド自動車の燃費を評価できるベンチを納入した。ハイブリッド車は複数の動力装置やパワー機器を搭載しており、これらをどのように連携するかで燃費性能が大きく変化する。このパワーバランスの設計が、HEV 開発の本質となる。本ベンチは、エンジン・モータ・バッテリーの各装置の試験ベンチを個別に用意し、車両・動力機構モデルを中心にこれらを仮想的に接続した複雑な構成となっている。動力機構とシステム連携が複雑なため、試作・試験の繰り返しは膨大なコストが必要と

なる。本ベンチでは肝となる動力機構だけをモデルとし、ダイナモメータと情報システムを介して連携することで開発時間を短縮し、ハイブリッド車の開発に貢献している。

D社には、3Dモデルと連携して乗り心地を評価するベンチを納入した。A社と同様に変速時の挙動を評価するが、大きく異なるのはモデルが3Dとなった点にある。本ベンチの3Dモデルは、サスペンションや各部品の接続といった内部機構まで詳細に再現している。変速の良し悪しは人がどう感じるかに大きな評価ポイントがあり、本ベンチでは、変速が車体やドライバーにかかる影響を観測し、これを品質評価に組み入れたことで、今までとは一つ次元の異なる評価ができる。

5 むすび

モデルベース開発（MBD）支援システムを紹介した。当社は、先進的な自動車開発・試験システムを提供し、新車の市場投入のスピードアップと開発における信頼性の向上に貢献してきた。HILS試験をはじめとするMBDは、近年の製品開発プロセスの主流になりつつあり、今後も優れたHILS試験システムを提供していく所存である。

- ・ SIMPACKは、Dassault Systemes Simulia Coporationの商標である。
- ・ CarSimは、Mechanical Simulationの登録商標である。
- ・ MATLABは、米国The MathWorks, Inc.の登録商標である。
- ・ CANは、ROBERT BOSCH GmbHの登録商標である。
- ・ 本論文に記載されている会社名・製品名などは、それぞれの会社の商標又は登録商標である。

《執筆者紹介》



山口 崇
Takashi Yamaguchi

動力計測システム工場
動力計応用製品の制御装置の開発に従事