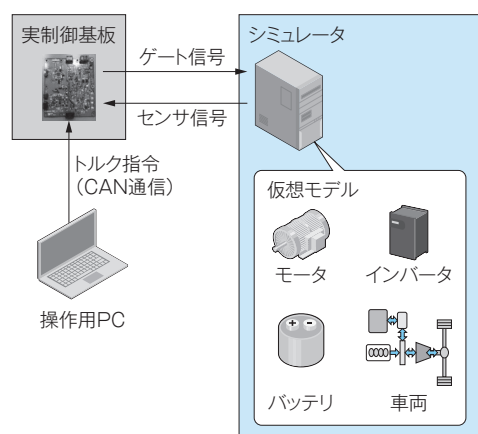


HILSによる実制御基板を使った 駆動系のリアルタイム動作評価

矢野 淳也 Junya Yano

キーワード HILS, モデルベース開発, リアルタイムシミュレーション

概要



EVドライブシステムHILS構成

近年、電気自動車（EV）の開発現場では、限られた開発リソースで多様化する市場の要求に応えるため、開発プロセスを改善するモデルベース開発（MBD）の導入が進んでいる。その開発手法の一つであるHILS（Hardware In the Loop Simulation）は、実制御基板と実機の仮想モデルを組み合わせたリアルタイムシミュレーションによって、開発の期間短縮や品質向上を実現できる。

当社は、EV用のモータ・インバータを開発し、製品化を進めている。開発効率化のためMBD導入を推進しており、車両走行を模擬できるEVドライブシステムのHILS構成を構築した。

1 まえがき

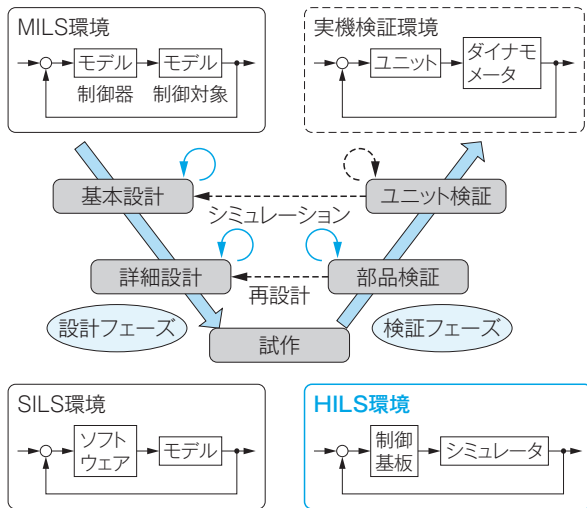
近年、電気自動車（EV）の市場が急拡大しており、EVに求められる機能の高度化によって車両開発におけるソフトウェア開発の工数が増大している。EVの開発現場では、シミュレーション技術を活用した開発手法であるモデルベース開発（MBD）の導入が進んでいる。MBDでは実機を仮想環境で動作するモデルに置き換えて、設計や検証の各フェーズでシミュレーションによる評価を行い、設計及び検証の手戻り減少による開発効率化を実現できる。

MBDプロセスの中で部品検証ステージでは、HILS（Hardware In the Loop Simulation）によるシミュレーションを実施する。本稿では、EVドライブシステム用に構築したHILS構成を紹介する。

2 MBD プロセス

第1図にEVドライブシステムのソフトウェア開発におけるMBDプロセスを示す。各シミュレーション環境の特長は、以下のとおりである。

- (1) MILS（Model In the Loop Simulation）環境では、制御器及び制御対象共にモデルを用いる。制御器に組み込む制御ロジックに対する検証が主な目的となる。
- (2) SILS（Software In the Loop Simulation）環境では、制御器にソフトウェアを用いる。実装するソフトウェアに対する検証が主な目的となり、コード生成はハンドコード及びオートコードの手法がある。
- (3) HILS環境では、制御器に制御基板、制御対象にシミュレータを用いる。HILSシミュレータは高い演算処理能力を有し、制御対象となるモータ・インバータなどの挙動をリアルタイムでシミュレーションできる。



第 1 図 MBD プロセス

MBDを導入した開発V字プロセスを示す。

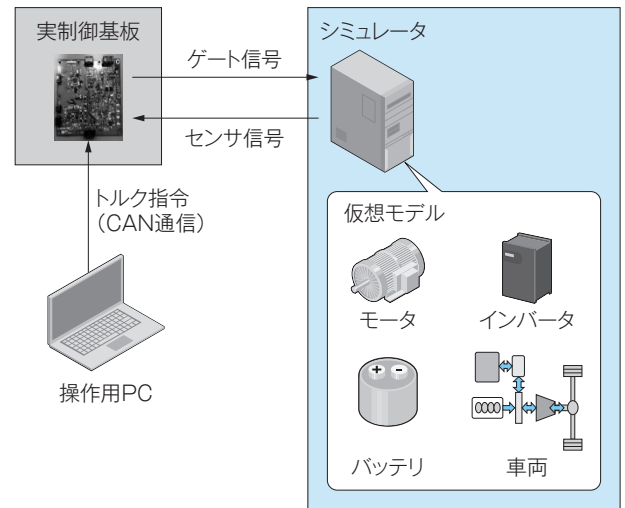
実機検証環境では、当社が開発するモータ・インバータのユニットと車両走行模擬するダイナモメータを組み合わせて、最終的な検証を実施する。

(1)MILSと(2)SILSは、実機が存在しない設計フェーズで開発のフロントローディングを実現している。

(3)HILSには二つの特長がある。一つ目は開発期間短縮である。実機検証ではハードとソフトを全てそろえる必要があり、特にモータ試作には数か月の期間がかかる。HILSによって、モータやインバータ主回路を用いずソフトウェアや制御基板の検証を先行して実施できる。二つ目は、不具合や故障時の再現検証である。実機で破損するような条件での検証がHILSでは容易に実施できるため、ソフトウェアの品質が向上する。また実制御基板を使用するため、サンプル遅れなどの影響を反映したより正確な制御アルゴリズムの評価も行うことができる。

3 EV ドライブシステム HILS

第 2 図にEVドライブシステムのHILS構成を、第 1 表にHILSシステムの仕様を示す。実制御基板上のマイコンには車両を制御する振動抑制制御やモータを制御するベクトル制御が実装されている。操作用パソコン (PC) からCAN通信経由でトルク指令を受信して、生成したゲート信号をHILSシ



第 2 図 EVドライブシステムHILS構成

EVドライブシステムのHILS構成を示す。シミュレータ内にモータ・インバータなどの仮想モデルを組み込む。

第 1 表 HILS構成システム仕様

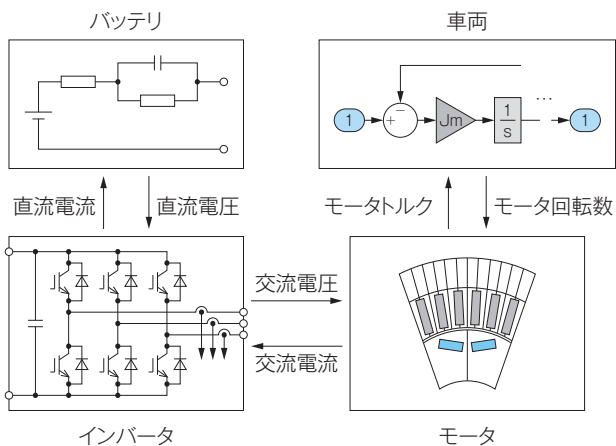
HILS構成のシステム仕様を示す。

項目	仕様
モータ種類	PMモータ
最大出力	100kW
最大トルク	195N・m
最高回転数	12,000min ⁻¹
直流電圧	340V

ミュレータに出力してインバータモデルを駆動する。また駆動結果としてバッテリー直流電圧・インバータ出力電流・レゾルバ出力信号のセンサ情報を入力する。

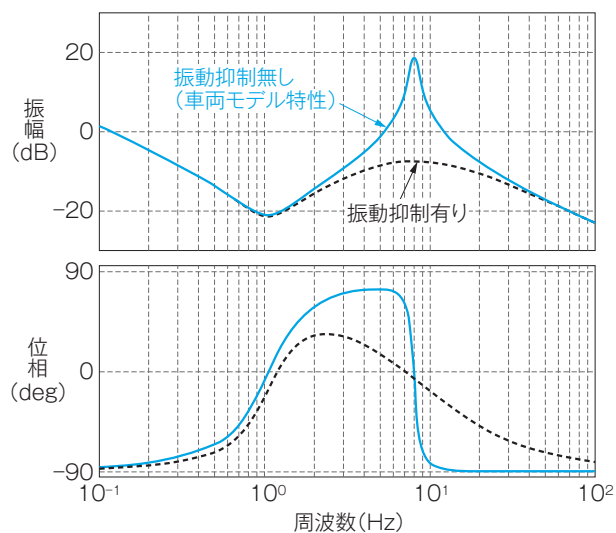
第 3 図にHILSシミュレータ内のモデル構成を示す。HILSシミュレータには制御対象として電気系モデルや機械系モデルを組み込むことができる。

電気系モデルはバッテリー・インバータ・モータから成る。バッテリーモデルは、バッテリー等価回路を模擬したモデルである。フィードバックされた直流電流を入力して、等価回路パラメータと直流電流の積分から直流電圧を演算して出力している。インバータモデルは3相の2レベルインバータを模擬したモデルである。モータへ交流電圧を出力して、モータから交流電流を入力して、実制御基板出力のゲート信号で駆動する。モータモデルは、電磁界解析ソフトウェアで生成したモデルを取り込むことで



第3図 HILSシミュレータモデル構成

HILSシミュレータに組み込むモデルの入出力の関係を示す。



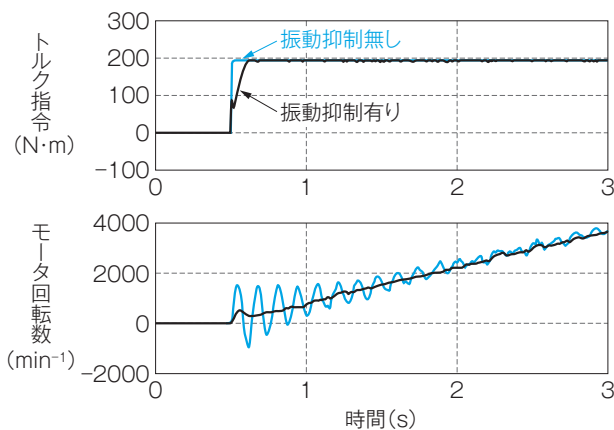
第4図 車両モデル周波数応答特性

車両モデルの周波数応答特性を示す。入力にはモータトルク、出力にはモータ回転数である。

磁気回路を含むモータ特性を模擬している。車両モデルへモータトルクを出力し、車両モデルからモータ回転数を入力して動作する。

機械系モデルは、モータトルクから車体駆動力までの動力伝達系を模擬した車両モデルから成る。

第4図に車両モデルの周波数応答特性を示す。車両の動力伝達系にはドライブシャフトのねじれによる共振現象があることが知られており、図のように8Hz付近に顕著な共振特性を持っている。実使用上では実装されている振動抑制制御が働くことで、共振周波数付近のピークを抑えることができる。



第5図 全開加速時のシミュレーション波形

HILS環境で全開加速走行を模擬したシミュレーション波形を示す。上段はモータトルク、下段はモータ回転数を示す。

第5図に全開加速時のシミュレーション波形を示す。停車状態から最大トルクを印加して全開加速するような車両走行を模擬しており、振動抑制制御の有無を比較している。振動抑制制御無しの場合、急峻なトルク変化によってねじり共振振動が誘起されてしまうことで、モータ回転数に振動が発生している。振動抑制制御有りの場合、制御動作によって振動が抑制されており、スムーズに車両が加速していることが分かる。実車両検証実施前に車両走行を模擬したシミュレーションを行うことで、実車両検証の適合時間の短縮にも役立てることができる。

4 むすび

実制御基板のみで車両走行を模擬できるEVドライブシステムのHILS構成を紹介した。

今後もHILSをはじめとするMBD推進に取り組むことで、更なる開発効率化に努めていく所存である。

・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》



矢野 淳也
Junya Yano

EV営業・技術本部開発第一部
EV用インバータの開発に従事