

特集：MAZDA MX-30

07

MX-30 EV MODEL への MBD の適用

Application of Model Base Development to MX-30 EV Model

三戸 秀樹^{*1} 北川 浩之^{*2} 嶋濱 真悟^{*3}
 Hideki Mito Hiroyuki Kitagawa Shingo Shighihama
 明神 未季^{*4} 田中 大介^{*5}
 Miki Myojin Daisuke Tanaka

要 約

ZEV (Zero Emission Vehicle) 規制を筆頭に環境規制への適合による開発ボリュームの増加は、開発期間をどれだけ短縮化できるかがキーである。MX-30 EV MODEL (以下、MX-30) は、マツダ初の量産電気自動車 (Battery Electric Vehicle, 以下 BEV) として従来の ICE (Internal Combustion Engine) 車にはないモーター (駆動) 制御系/バッテリー (エネルギー) 制御系を搭載し、各高電圧コンポーネントを協調させた機能を実現するパワートレインシステム (以下、PT システム) を新規開発した。

今回、MX-30 では、制御システムが多重通信 (Controller Area Network, 以下、CAN) 中心のシステム構成に変わること、検証環境や開発のプロセスの視点を変更する必要がある。BEV 特有の課題に対して、効率よく開発する手段としてマツダが強みとしている MBD (Model Based Development) の既存開発環境をベースに仕様変更することで、開発期間の短縮化を実現した。

Abstract

As the demand for the compliance with environmental regulations such as ZEV regulation grows, shortening development time (up to development completion) is essential. MX-30 EV Model (MX-30), Mazda's first Battery Electric Vehicle (BEV), is equipped with motor (driving)-/battery (energy)-control systems that are not found in conventional gasoline-powered cars, and with the newly-developed power train system (PT system) that functions as a combination of each high voltage component.

As the control system configuration of the MX-30 is renewed to center on Controller Area Network (CAN), the viewpoints of the inspection-environment process and development process have to be changed. For BEV-specific issues, we have revised the specifications of development environment for the change-points based on the MBD's existing development environment, successfully achieving shorter development time.

Key words : Battery Electric Vehicle, High voltage component, Controller Area Network, MBD, Shorter development time

1. はじめに

世界的な環境意識の高まりによる排ガス規制強化の流れは、ZEV=BEVの導入義務付けや優遇政策を加速させている。

マツダは「走る歓び」と「優れた環境・安全性能」を高い次元で両立させた商品を提供すべく、多彩な PT システムによるクルマ全体での低燃費化に挑戦し続けており、差別化を図った特色のある魅力的な電動車の早期市場導入が必要な状況である。

今回、電動デバイスのみで走行する電気自動車の開発において、ICE を搭載する車両の PT 制御システム開発で

培った MBD をベースに BEV 特有の課題への対策、及び効率的な改善を実施したので紹介する。

2. BEV のシステム概要と開発課題

2.1 BEV の制御システム概要

今回開発した BEV は、PCM (Powertrain Control Module) を統合コントローラーとして、高電圧ラインに接続されるコンポーネント (以下、高電圧コンポーネント) や従来の PT システムのユニットと協調制御を行うシステム構成とした。

ICE システムと、BEV システムの大きな変更点は、駆

*1,3~5 PT 制御システム開発部
PT Control System Development Dept.

*2 電子性能開発部
Electrical & Electronics Performance Development Dept.

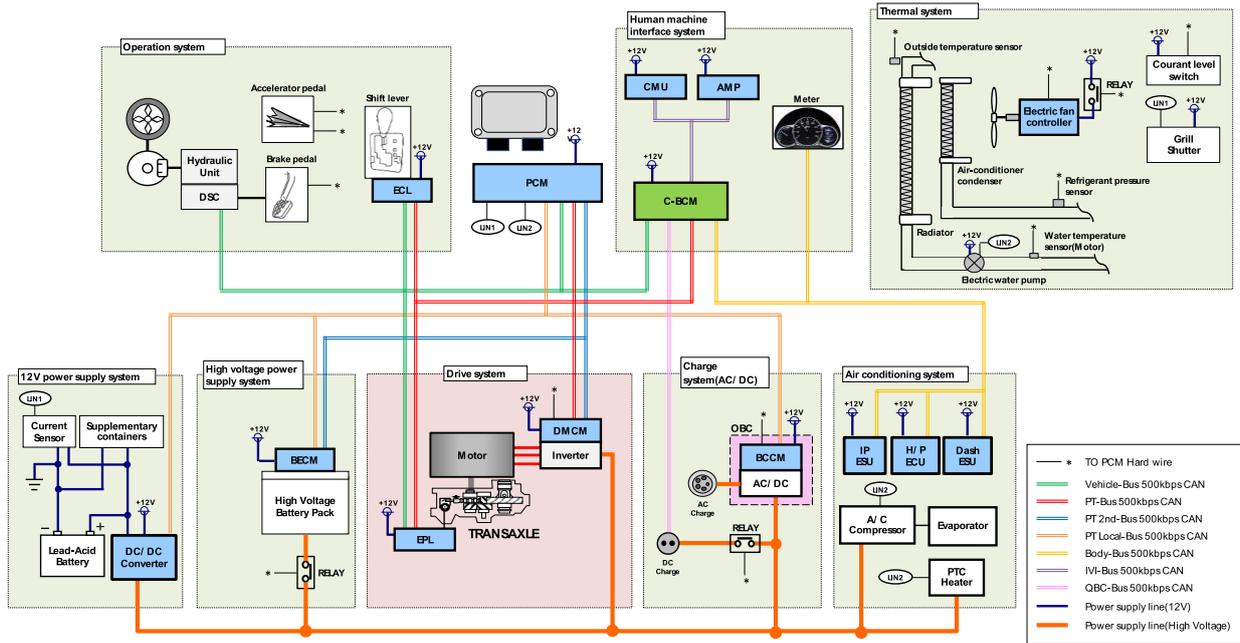


Fig. 1 System Scheme of BEV

Table 1 The Unit Which Cooperates with PCM

DMCM (Drive Motor Control Module)	モーターのコントロールを行う
BECM (Battery Energy Control Module)	バッテリーパック内の電池セルを監視し、測定した情報を統合コントローラーへ通知する
DCDC (DC/DC Converter)	高電圧の電力から 12V 系の補器電力へ降圧して供給する
OBC (On Board Charger) BCCM (Battery Charger Control Module)	外部電源から車両へ充電を行う。BCCM と AC/DC 変換器部分を統合したユニットを OBC と呼称する
H/P ECU (Heart Pump ECU)	空調（ヒートポンプ）システムを統合コントロールするコントローラー
IP-ESU (Instrument Panel-Electric Supply Unit) Dash-ESU (Dash-Electric Supply Unit)	空調関連の入力操作及び、センサー値を検知し、H/P ECU に通知するコンピューター
A/C Compressor (Air-conditioner Compressor)	エアコンコンプレッサー
PTC Heater (Positive Temperature Coefficient Heater)	空調用のヒーター
C-BCM (Center-Body Control Module)	車両側の統合コントローラー
CMU (Connectivity Master Unit)	コネクティビティマスタユニット
AMP (audio amplifier)	オーディオ用アンプ
DCM (Data Communication Module)	車外とデータ通信するためのユニット

動力源がエンジンからモーターに置き換えることに加え、各高電圧コンポーネントと協調制御して基本的な機能を実現することであり、各高電圧コンポーネントは各々でマイコンをもち、独立して複雑な制御が可能なユニットを配置している (Fig. 1, Table 1)。

BEV は走行時以外にも、充電時、車外からのリモート操作時等、起動コントローラーが通常の IG-ON とは異なる起動要求を PCM へ行い、PCM が関連するコントローラーへ起動指示を行うことで各モードの切り替えを行う。また、KEY-OFF 時も、ユーザーからの遮断要求あるいは、起動中コントローラーからの遮断要求の後、PCM が関連コントローラーの動作停止を確認した上で PCM の処理を止める必要がある (Fig. 2)。

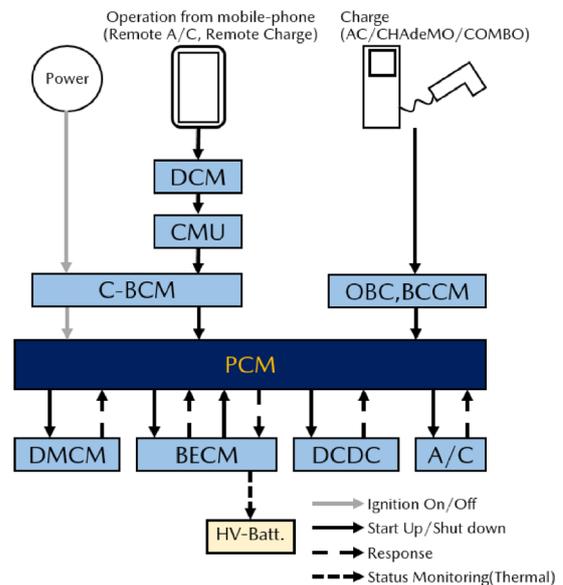


Fig. 2 Startup/Shutdown System

そのため、システムのキーは、統合コントロールするPCMと高電圧コンポーネントが相互に情報をやり取りするCAN通信を中心としたシステムである。

2.2 BEVの制御システムの開発課題

マツダでは、これまでICEを中心としたPTシステムがメインであり、PCMが多くのデバイスを直接コントロールする制御構造となっていた。

ICE車はPCMがエンジン、TCM (Transmission Control Module) がATに付帯するアクチュエータをハードワイヤで駆動させる形であり、イグニッションONするとクラッキングを行い、エンジン回転が上がることで起動したと判定され、イグニッションOFFすれば各アクチュエータの電源がOFFされてICEが停止できていたため他のコントローラーとの干渉はほとんど存在しなかった (Fig. 3, Table 1)。

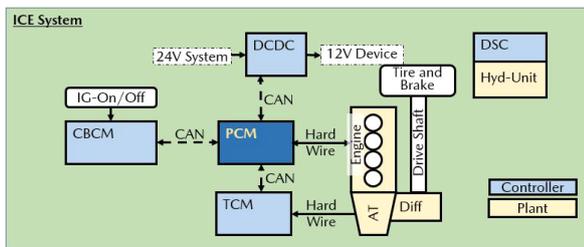


Fig. 3 System Scheme of ICE

しかし、BEVでは前述したとおり、PCMが各高電圧コンポーネントに付帯しているコントローラーと協調制御を行い、コンポーネントのアクチュエータを駆動させる機能分散型システム構成へと大きく変更しており、PCMと各高電圧コンポーネント同士が複雑に連携するシステムである。

そのため、BEVのシステムにおいて大きく課題となるのは、“高電圧システムにおける起動/遮断を含むCANネットワークマネジメント”であり、CANを中心としたシステム視点の検証環境の整備、各コンポーネントの設計・検証サイクルを滞りなくスムーズに回すことが開発期間短縮化への手段となる。

このようなBEV特有の課題に対して、高速MILs⁽¹⁾ (High-Speed Model In the Loop Simulation)/HILs (Hardware In the Loop Simulation) と段階的に検証を進めたMBDの適用内容と、ブレッドボード評価/システムベンチの実機を用いたコリレーション分析内容を紹介する。

3. BEVの制御開発へのMBD適用事例

3.1 プラントモデルへの対応：高速MILs

2011年デミオに初搭載したSKYACTIV-G以降、マツダはMBD開発手法の一つとして高速MILsを用いたPCM機能性検証を行ってきており、その開発手法をBEVにも適用させる土台はあった。

しかし、開発当初マツダには電動デバイスのプラントモデルはなかったため、Key ON時の協調制御システムの起動/遮断シーケンス、ICEシステムに存在しなかったKey OFF時の車外の充電器や携帯端末によるリモート操作によるPTシステムの起動/遮断シーケンスについてソフトウェア開発V字モデルの設計フェーズで検証可能とすることを目標に、BEVの検証環境を構築することとした。

高速MILsではコントローラー間の協調機能となる起動遮断機能を再現するため、実機と同等にPCMを中心に各高電圧コンポーネントのコントローラーモデルと各デバイスのプラントモデルを配置、更に車両状態に応じた高電圧ラインを模擬し、モーターが駆動力をタイヤに伝える構造を新規構築した (Fig. 4)。

ICEのMILsでは必要なかったイグニッションOFF時のPCM起動/遮断を可能とするために高速MILsのGUI及びプラントモデルを新規開発した。

また、高電圧バスラインの電流の動きを再現し、高電圧バッテリーパックを中心に電流を受け渡す構造とし、車外充電器との協調制御を検証できるモデル構築としている。

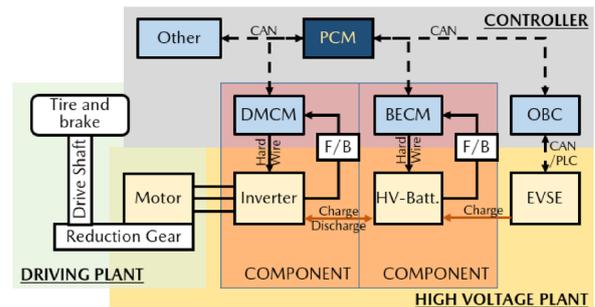


Fig. 4 High-Speed MILs Basic Structure

3.2 CAN中心の検証：HILs領域

HILsは実部品を搭載することで更に実機に近い検証が可能であり、主にハードウェアに依存するCAN/LIN通信、サプライヤーのハンドコード領域、実車で検証が難しいフェールセーフ機能の検証を目的に構築した。特にCAN通信やそのネットワークマネジメント機能は、通信周期に依存する機能分散型システムの協調制御において要となる機能であり、通信タイミングも考慮した検証環境を構築する必要があった。

そこでBEVのHILsは、高速MILsの要件に加えて、新規開発となるCANネットワークマネジメント・起動遮断システム・故障診断の機能性検証をソフトウェア開発V字モデルの検証フェーズで実現することを目標に構築した。具体的には、高速MILsのシステム構成をベースに、CANネットワークマネジメントを備えた通信環境、PCM-高電圧コンポーネント間の故障診断模擬機能、イグニッションOFF時のデータ計測環境を新たに組み込んだHILsを新規構築した (Fig. 5)。

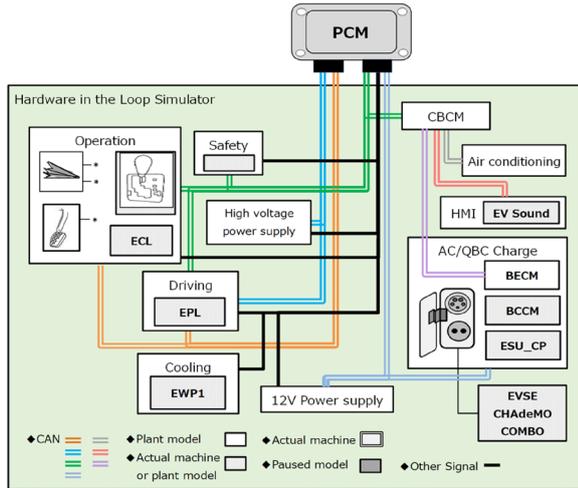


Fig. 5 BEV-HILS Schematic

また、電動パーキングロックアクチュエータなど BEV から新たに電子制御に切り替わった部品は、HILS での早期検証ニーズが多数あった。これに対応すべく、プラントモデル上に ECU 単位で信号を切り替える機能を実装し、プラントモデル⇄実部品 (PCM 以外の制御部品や充電設備を模擬するアナライザ) を検証用途に合わせて付け替え可能としたことで、複雑な協調制御パターンを開発初期の段階から検証できる環境を実現した (Fig. 6)。

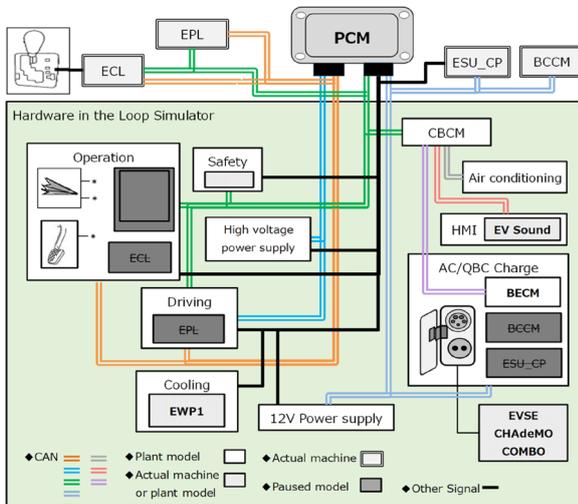


Fig. 6 BEV-HILS (Change models to actual machines)

新規機能には網羅的な検証が必要とされていたが、高速 MILS と違いリアルタイムの検証となる HILS は検証数に応じて工数が跳ね上がる。新機能の検証として約 2500 パターンの検証が必要と判明し、自動検証機能を構築することで検証の効率化を図った。

具体的には、手動で操作していたさまざまな HILS パラメーター操作をパターン別を実施するシーケンスを作成し、ECU の計測ツールと組み合わせ、インプットされた指示に従い操作パターンを順次実行・計測する機能を構築した。複数のテストケースのインプットを自動化し高

効率の検証を実現した。また、上記の自動検証環境をベースに故障模擬機能を組み合わせることで、天落や地絡などの故障診断の検証も自動化に対応した。

これらの自動検証環境は、膨大な数の検証を一貫したテストパターンで効率的に検証できることから、オペレーターによる操作のばらつきが抑制され、テストの再現性を向上させることができた。

4. MBD 適用結果の確認早期化

高速 MILS/HILS での検証対象は PCM 以外のモデルであり、モデルでは表現できない機能の成立性検証や、高電圧安全の担保という領域を、その後の開発へフィードバックする施策を実車完成前に検証できる仕組みを導入した。

具体的には 2 つの施策を行った。1 つは、空調制御などの車両系の制御ユニット、DMCM や DCDC といった高電圧コンポーネントを含む PT 系の制御ユニットを組み合わせた 12V 電源制御、通信検証を行うブレッドボード評価 (Fig. 7) である。本検証工程の追加により、PT システムでの変化点である CAN 通信が中心のシステムの確認を実車での適合前に可能となり、不具合の早期抽出、MILS/HILS のプラントモデルとのコリレーション分析を可能とした。

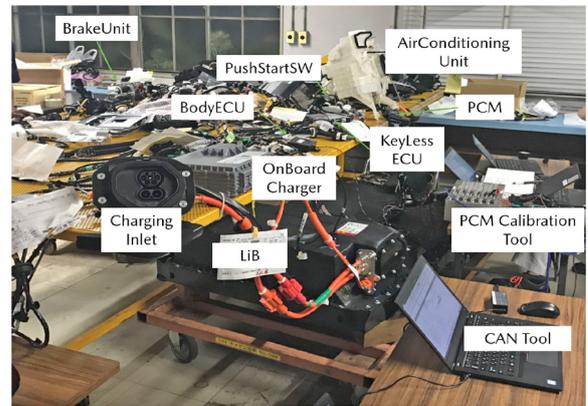


Fig. 7 Breadboard Evaluation

もう 1 つは高電圧コンポーネント等を中心に、実際に高電圧を使用している起動遮断制御から駆動力制御、高電圧安全までの電駆システム検証が行える電駆システムベンチ評価 (Fig. 8) である。

本検証の追加により、高電圧を接続するまでのシーケンス制御や、実際に高電圧を使用する駆動力制御や 12V への電源供給制御、普通充電制御の実施、また、高電圧を扱うために必要な安全機能、具体例としては、高電圧遮断時の低電圧化や実機では起こし難い故障時のフェールセーフといった、初期モデルでの机上設計状態では表現が難しい機能のチェックを早期に行い、モデルへのフィードバックを行い、その後は実機レスでの改善、改良を加速した。

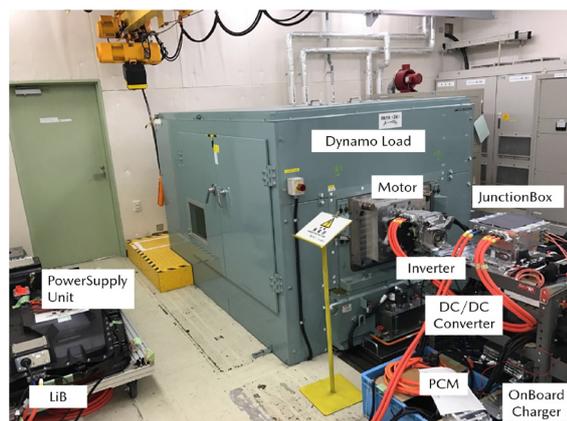


Fig. 8 Electric Driving System Bench Evaluation

本2手法の導入により、実車での評価タイミングに、より完成度の高い制御システムを準備でき、開発期間の短縮化に貢献した。

5. おわりに

今回、MX-30の制御システムの概要と開発へ適用したMBDの内容について解説した。

パワートレインシステムの基幹となる制御構造は、エンジン制御を基盤とするシステム（従来のエンジン車の制御構造）から、統合コントローラー（PCM）と高電圧コンポーネントがCAN通信を基盤とする協調制御システムへ移行した。

マツダがこれまで培ってきたMBDのモデル化技術により、“高電圧システムにおける起動／遮断を含むCANネットワークマネジメント”の挙動をモデル化することで、高速MILS/HILSにて検証を進めることが可能となり、BEVのパワートレイン制御システムを短納期にて開発を進めることができた。

本開発手法は、今後の電動車開発のベースとすることで、今後の車種開発においてより一層のスピード向上を目指した改善を進めていく所存である。

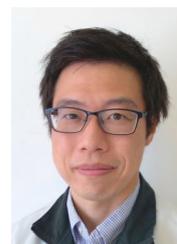
参考文献

- (1) 白田ほか：SKYACTIVのMBD検証環境について、[マツダ技報](#), No.31, p.48-53 (2013)

■ 著 者 ■



三戸 秀樹



北川 浩之



鳴濱 真悟



明神 未季



田中 大介