

特集：MAZDA MX-30

08

## MX-30 高電圧システム制御の紹介

### High Voltage Control System for MX-30

藤岡 真也<sup>\*1</sup> 川田 卓二<sup>\*2</sup> 北川 浩之<sup>\*3</sup>

Shinya Fujioka Takuji Kawada Hiroyuki Kitagawa

#### 要 約

マツダは技術開発の長期ビジョン「サステイナブル “Zoom-Zoom” 宣言 2030」に基づき、2030年時点で生産する全ての車に電動化技術を搭載することを発表した。今回、全ての電気駆動システムにおける高電圧コンポーネントを統合制御するパワートレイン制御 ECU を中心としたシステム構造を構築し、モデルと実機を活用した検証により品質を担保した。これにより、電気駆動システムの多様化に伴って複雑化するパワートレインの全ての機能を、安全かつ不整合なく動作させる高電圧システムを短期間で開発することに成功した。本稿では、MX-30 へ実装した新たな制御構造を採用した高電圧システムの技術紹介を行う。

#### Abstract

In line with its “Sustainable Zoom-Zoom 2030” long-term vision for technology development, Mazda announced that electrification technologies will be applied to all cars produced as of 2030. We built a system structure mainly composed of the power train control ECU that controls all high voltage components of electric drive system, and secured quality by the inspection, utilizing a model and an actual machine. As a result, we succeeded in developing a high voltage system in a short term, which enables secure and consistent operations of all power train functions that have become complicated due to the diversification of the electric drive system. This paper introduces technologies of the high voltage system which applied the new control structure that we implemented to MX-30.

**Key words :** Power Transmission, Power Transmission, Electric vehicle and hybrid electric vehicle control, Electronic control unit, Control system, Design optimization

### 1. はじめに

マツダは技術開発の長期ビジョン「サステイナブル “Zoom-Zoom” 宣言 2030」に基づき、2030年時点で生産する全ての車に電動化技術を搭載し、「SKYACTIV マルチソリューションスケーラブルアーキテクチャー」の商品として、ハイブリッドモデル 5 車種、プラグインハイブリッドモデル 5 車種、EV モデル 3 車種を順次導入する予定としている (Fig. 1)。これらマルチソリューション実現に伴ってパワートレイン制御が複雑化し、協調制御が必要な制御ユニットが増加するため、全ての機能を安全かつ不整合なく動作させるシステムを短期間で開発することが大きな課題となっている。



Fig. 1 SKYACTIVE Multi Solution Scalable Architecture

### 2. マルチソリューション実現に向けたアプローチ

マルチソリューション実現に向けて、従来からエンジン制御の領域で取り組んできた一括開発の考え方を電気駆動システムの制御にも適用し、マツダが導入する電動

\*1,2 PT 制御システム開発部  
PT Control System Development Dept.

\*3 電子性能開発部  
Electrical & Electronics Performance Development Dept.

車間での多様性と開発効率を高める共通性を高次元で両立させることで、商品力を高めることを目指した。そこで、全ての電気駆動システムを統合制御する Powertrain Control Module (PCM) を中心とした制御システム (Fig. 2) と、PCM 内部のソフトウェア構造を一括開発 (Fig. 3) し、BEV として必要な機能のみを取捨選択することで MX-30 EV MODEL (以下 MX-30) の短期開発をねらった。

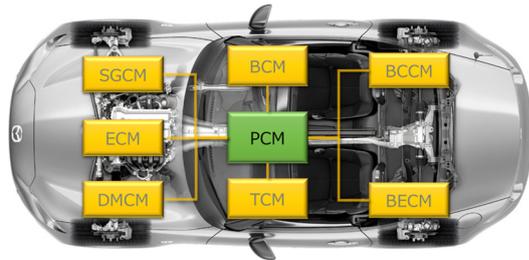


Fig. 2 Electric Drive Control System Architecture

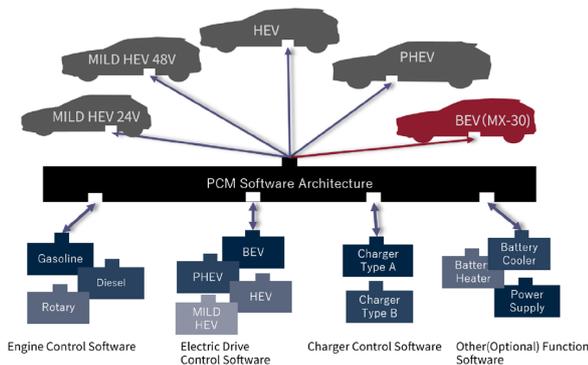


Fig. 3 PCM Software Architecture

### 3. 電動化に伴う機能追加

従来の内燃車 (ICE 車) では“走行機能”が主目的であったが、電動車では、充電・プリアエアコンなどといったパワーソースを使用した機能が追加となる。そのため、マツダの次世代商品群で導入する電気駆動システムで想定する追加機能を抽出し、高電圧を扱って制御する高電圧システムの一括構造を構築した。本章では MX-30 にて追加した機能を紹介する。

#### 3.1 MX-30 に実装する機能紹介

新型 MX-30 では ICE 車に対し以下に紹介する単機能 (1) と、組み合わせ動作で商品性向上を図る機能 (2) を追加した。

##### (1) 単独で動作する新機能

DC 充電 (急速充電): 急速充電機から駆動用バッテリーへ DC 電力で充電する。

AC 充電 (普通充電): 家庭用コンセントなどからの AC 電力を DC 電力に変換して駆動用バッテリーへ充電する。

プリアエアコン: 出発時刻をあらかじめ設定する (タイマ

エアコン)、またはスマートフォンで遠隔操作する (リモートエアコン) ことで、車に乗る前に、冷暖房やガラスの曇り取りを作動する。

バッテリーヒータ: 駆動用バッテリーの温度が低下すると走行性能や充電性能が低下するため、バッテリーヒータによって駆動用バッテリーの温度を保つことで、性能の低下を抑制する。

バッテリークーリング: 運転終了後の駆動用バッテリー温度が高温時、駆動用バッテリーの劣化を防ぐために駐車中に駆動用バッテリーを冷却する。

補充電: 12V バッテリーの消費が所定量を超えると、駆動用バッテリー電力から 12V バッテリーを充電する。

##### (2) 組み合わせで動作する機能

機能作動中の電力補填: プリアエアコンやバッテリーヒータ使用時に充電コネクタを挿入状態であれば外部電力系統から充電することで駆動用バッテリー容量低下を抑制する。

除霜: ヒートポンプ運転で発生した霜を充電放置中に溶かすことで、次回の空調時に PTC (Positive Temperature Coefficient) ヒータより高効率な電動コンプレッサーの作動割合を増やし、効率を上げる。

充電時のバッテリーヒータ: 冷間状態での充電時に駆動用バッテリーを温めることで、早期に駆動用バッテリー受け入れ電力を上昇させ、充電時間を短縮する。

### 3.2 複数機能追加への課題

3.1 節で紹介した機能を安全性・利便性を両立し高電圧システム一括開発で MX-30 に実装していくためには、以下 3 つの課題に対してブレイクスルーが必要となった。

#### (1) 安全性と利便性の両立した機能実装

ICE 車では、キーをイグニッション ON 状態にすることで全てのユニットを起動してきた。しかし電動車では、“充電”や“プリアエアコン”といった、ユーザーが車両に不在の状態を想定した機能が追加となる。その際に全てのユニットを起動させると、本来作動させたくない機能が意図せず動作してしまうなどの安全上の懸念や、無駄な電力を消費してしまうことによる充電時間の増加や走行可能距離の低下、更に 12V バッテリー上がりの助長にもつながってしまう。そのため、安全性・利便性を両立させるためには必要なタイミングで必要なユニットを起動させることができるシステム構成が必要となる。

#### (2) 複数機能間の整合取り

ユーザーの使い方によっては、各機能を同時に動作させようとするシーンも発生する。とはいえこのとき、これらの機能は、同時に動作させてはいけない背反機能と、同時に作動させる共存可能機能の関係性が存在する。例えば、ユーザーが AC 充電中にスマートフォンで“プリアエアコン”を作動させるシーンにおいては、“AC 充電”と“プリアエアコン”の両方を作動させたい。一方、“充

電”中は家屋と車両が充電ケーブルで接続されているため、“走行”はできないようにしなければならない。

ユーザーの要求に対して、共存できる機能は積み上げて作動させてユーザーの利便性を確保しつつ、背反するものは拒絶または上書きして安全を担保させる仕組みを構築し、これを不整合なく動作させるソフトウェア構成が必要である。

(3) 機能追加削除可能な拡張性

CASEでの急速な電動化の進化により今後さまざまな機能追加が想定される。これら新規機能を必要な車両にタイムリーに導入しなければならない。更に、各機能を実現するために追加ユニットが必要になる。そのため、機能やユニットを追加・削除が自在にコントロールできるプラグアンドプレイの仕組みを構築する必要がある。

4. MX-30 への新機能実装

これまでマツダでは幾つか電動化技術を導入してきたが、どれも個別開発を行ってきた。そのため、ICE車のシステム構成ではマルチソリューションに対応できる拡張性をもっておらず、BEV機能追加が容易な状態ではない。そのため、第3章での課題を解決できる新世代商品群で適応可能な以下の制御構造・システム構成に刷新した。

4.1 高電圧エレキシステム構成（電源構成）

ユーザーが機能を必要とするタイミングに必要なユニットを起動させるため、ICE車のPCMを高電圧システムの頭脳ECUとして設定し、高電圧コンポーネント（以下コンポーネント）の起動遮断や動作を管理する構造を構築した。その際、各ユニットとの起動遮断IFをシンプル化し、ユニット間通信もPCMとのPeer to Peer通信を基本とした（Fig. 4）。

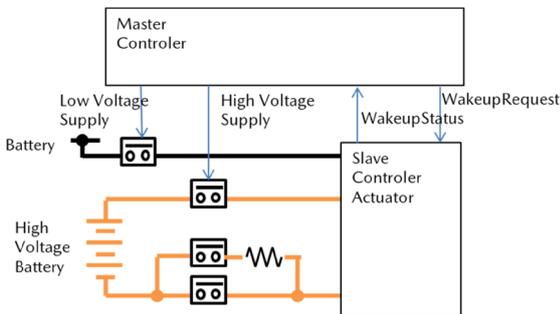


Fig. 4 Electric System Configuration

これにより、電気駆動システムによってコンポーネントが増減した場合でも、容易にPCMで差分を吸収することができる。各コンポーネントにおいても、何の機能で起動されているかは認識せずとも、頭脳ECUに従って必要なタイミングで起動、動作すればよい。そのため、使われ方が変わっても各コンポーネントに影響を与えな

い。加えて、 unnecessary シーンで起動しないため間違っても動作することもない。こうした構造を設定することで、安全面の確保と、マルチソリューション実現に向けた電気駆動ユニットのプラグアンドプレイ構造を実現した。

4.2 高電圧エレキシステム構成（通信構成）

近年のECUは通信で起動遮断できることで機能の幅が広がる一方、通信が行われることで unnecessary ECUまで起動してしまうのが現状であり、またその際の消費電力も増加している傾向にある。そのため、これを通信トポロジの適正化によって防止した（Fig. 5）。

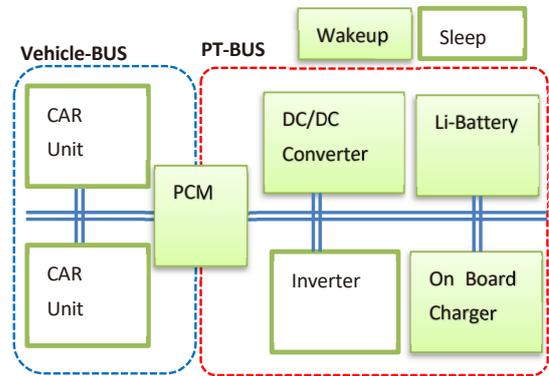


Fig. 5 Network Topology

“充電”などの機能では、充電制御の通信は常時必要であるのに対し、ユーザーへの通知などによる通信は機能開始時や終了時のみ必要と限定的である。そのため、充電制御に関係する電気駆動系のユニットと、ユーザーへの通知などの車両系のユニットで分離したトポロジを採用した。その際に、PCMが電気駆動系と車両系の通信の仲介を担い、電気駆動系のみで通信可能となるようなNM（Network Management）システムを構築した。これにより、充電中は車両系の unnecessary ユニットの遮断できる構造とし、電力消費を最小化するとともに充電時間短縮といった性能向上を実現した（Fig. 6）。

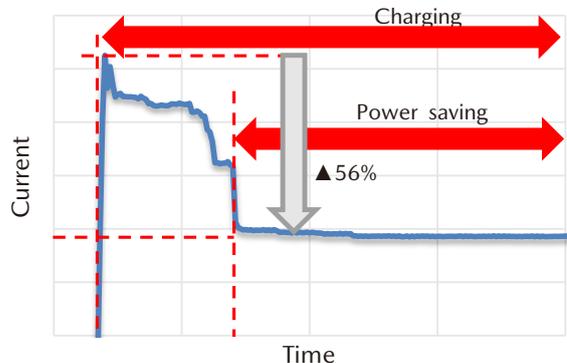


Fig. 6 Current Consumption

4.3 マトリックスによる一括モード管理

複数機能を安全かつ不整合なく動作させるため、ユーザー操作に対して一括で作動させる機能を管理する仕組み（ユーザーマトリックス）を構築した。ユーザーマトリックスは、パワーソース（駆動用バッテリー電力・ガソリン燃料・外部電力などのエネルギー）を使用する機能をマトリックスで管理し、商品性や安全性の観点から各機能間の優先度を設定する。これにより、領域をまたがった機能の作動要件を一元管理し、要件の抜け漏れ防止や全体の統一性を図った（Table 1）。更に、これを頭脳 ECU である PCM で一括管理することで、不整合のない機能作動を担保する構造を構築した。

また、今後の電気駆動システムの進化に伴う新機能追加時も、本マトリックスを拡張することでフレキシブルな対応を狙う。

Table 1 User Matrix

User Action	Before																	
	Key-Off	ACC	IG	Driving	AC Charging			DC Charging		Pre-Air Conditioning		Battery Heating	Battery Cooling	Pb Charging	Defrosting	Heating for Charging	Charging for other function	Air Conditioning
Key-Off	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-	-	-	-
ACC	x	○	○	○	○	○	○	○	x	x	○	x	○	○	x	-	-	-
IG	○	○	○	○	○	○	○	○	x	x	x	x	x	x	-	-	-	-
Driving	○	x	x	○	-	-	-	○	x	x	x	x	x	x	x	-	-	○
AC Charging	Prug-in	○	○	x	○	○	○	○	x	○	○	○	○	x	○	○	x	○
	Remote	○	○	x	○	x	○	x	○	○	○	○	○	x	○	-	x	○
	Timer	○	○	x	○	x	○	x	○	○	○	○	○	x	○	-	x	○
DC Charging	○	○	○	x	x	x	x	○	○	○	x	x	x	x	-	-	-	-
Pre-Air Conditioning	Remote	-	○	○	○	○	○	○	○	○	x	○	-	x	-	-	○	-
	Timer	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-	-	x	-	-	○	-
Battery Heating	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-	x	-	-	○	-
Battery Cooling	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-	-	-	-	-	○	-
Pb Charging	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-	-	-	-	-

○ Enable ×Disable -No Care

5. 高電圧システム検証

MX-30 では、複数機能を追加したことに伴い、ユーザー操作インターフェースと、それによって変化する車両の状態、通知などのユーザーフィードバックの組み合わせが無数に存在する。これらを、モデルと実機を使い分けて効率的かつ網羅的に検証を行い、開発品質を担保した。

5.1 モデルによる検証

各コンポーネント間の検証は、1:1 の協調制御のみでなく、各機能作動においては複数のコンポーネントとの協調制御が同時並行して作動し非常に複雑化している。これら協調制御を破綻させずにあらゆるシーンでもねらいの動作を実現できることを MILS (Model In The Loop Simulation) にて検証した。MILS ではパラメーターを自在にコントロールできる特性を生かし、協調制御のフィードバックを通常応答・応答なし・異常応答に振ったテストを実施し、各機能の検証を行った。

各機能間での成立確認については、ユーザーマトリッ

クスで規定した状態遷移が正しく遷移することを HILS (Hardware In The Loop Simulation) にて検証した。HILS ではユーザーモデルと車両モデルを実装し、機能追加によって増加したユーザー操作を、さまざまな車両状態から入力して検証を行った。

更にこれらモデル検証は、自動でテストパターンを順番に実行できる環境を構築することで、効率的に短期間で検証を完了した。

5.2 実機による網羅性検証

実機検証では機能追加に伴って増加した、ユーザー操作や画面などの通知といったユーザーインターフェースに着目して検証を行った。停車/走行, キー OFF/ACC/IG などの 12V 系電源状態, 高電圧電源状態, シフトなど各車両状態に応じてユーザー操作に対する応答や画面状態を網羅的に検証する必要があるが、組合せが無数となり発散してしまう。

そこでユーザー操作に対する応答と画面表示は、検証したい項目に焦点を当てユーザー操作に対する応答と画面表示は別評価とし、それぞれを詳細に検証することで網羅性を担保することとした。ユーザー操作に対する応答は、先述のユーザーマトリックスを活用し車両の状態変化に着目した複合状態遷移テストで、画面表示についてはメーター/ヘッドアップディスプレイ/センターディスプレイ/ロアディスプレイの 4 つの画面変化に着目した画面遷移テストで詳細に検証を行った。

複合状態テストの充電機能検証では、キー OFF から充電コネクタを挿入し、充電状態に遷移する基本的な動作だけではなく、充電コネクタ挿入タイミングでパワースイッチを操作するといった二人同時操作も実施した。また、充電コネクタを挿してから実際に充電電流が流れて充電開始するまでの間に充電設備停止スイッチを押すなどの状態遷移中に別操作の割り込みテストやパワースイッチの連続操作による EV システム作動 ON/OFF 繰り返しテストなど、あらゆる操作を想定して網羅的に検証を行っている。

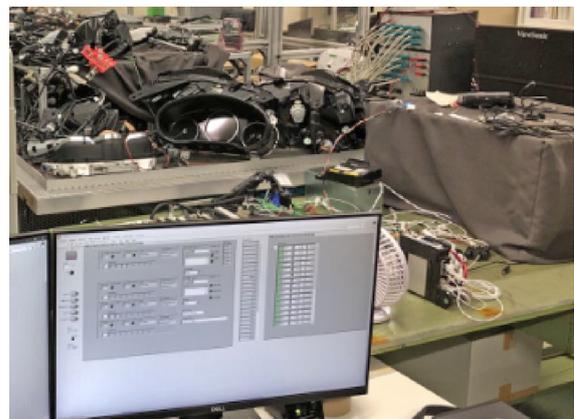


Fig. 7 Verification by HILS

画面遷移検証ではHILSを用いてワーニング閾値の確認、その際のメーターとセンターディスプレイの表示連携や画面遷移の確認を行った。例えば、電欠と出力制限のワーニング条件が同時に成立した際に優先度に従い調停された表示となるか検証を実施している (Fig. 7)。

更に、開発品質を確保するために、取扱説明書をベースに車両操作を行っていく「オーナーズマニュアルテスト」、車両の電源状態 (+B, ACC, IG, Ready, Sleep) が遷移した場合に、各種情報の保持/破棄、復帰後の機能動作が仕様どおりになることを確認する「電源状態遷移テスト」、充電などの機能がハードウェア故障、もしくは動作できない状態になった場合のシステムの挙動、及び正常状態に復帰した場合のシステムの挙動を確認する「障害対応テスト」など、Table 2 に示す 9000 とおりを超えるテストケースを抽出の上、事前に机上検討を行うことで実機での試験数を抑制し、約 3000 とおりの実機検証により網羅性を確認した。

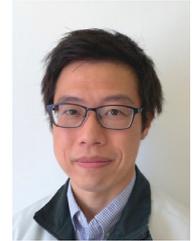
■著者■



藤岡 真也



川田 卓二



北川 浩之

Table 2 List of Verification in Function

Function	Sub Function	Owners Manual Base Test	Charge Standard Test	Functional Operation Test		State transition Test		Display Transition Test	Cumulative operation Test	Trouble shooting Test	Use Case Test	Total
				Conflict Test	Threshold Matching Test	Component State Transition Test	Power Supply Transition Test					
Charge	AC Charge	1			24	2239	23		9	25	2	2326
	DC Charge(CH/AdMO)	1	276			78	1		5	25	8	396
	DC Charge(CO/MB)	1			24	2063	23		3	25	9	2163
Remaining Distance Disp.	HFC Display Request	18			40	68	84			7	20	237
	Fail Safe					54						54
A/C	Interaction Display	3						5				8
	AC Control	158				1368		19	1	25	30	1604
	Setting Window	12				154		4			2	205
	Pre A/C Information Disp.	2						22	4	3	8	40
	Light Sound Control	44										44
	Failure diagnosis	2				54						56
Meter Disp.	Meter Disp.	154		635	24			490				1483
	User Setting of Center Disp.	134				214	239	161			24	1174
	Remote Control	15				84	36				2	137
	Charge Inlet Control	18					12					30
Warning, Guidance	TPMS	1					13					14
	Door lock	2										38
	Key Less Entry	4										4
	Hill Lid	1										1
	Buglar Alarm	3										3
	Information Sound Control	3		210								213
Maintenance	4										4	

6. おわりに

今回、高電圧システム一括開発で構築したシステム構造を、新型 MX-30 へ実装した。このシステム構造により、複数機能を短期間で安全かつ不整合なく確実に作動する高電圧制御システムを実装することができた。

このシステム構造を後続する電気駆動車へ順次展開していくことで効率的に市場導入し、マルチソリューションに対応していく。更に、プラグアンドプレイ構造によりCASEによる電動化の急激な進化についてもフレキシブルに対応し、お客さまに『走る歓び』と『優れた環境・安全性能』を提供していく。