

特集：MAZDA MX-30

09

MX-30 EV MODEL の外部充電システム開発 Electric Vehicle Charging System Development for MX-30

土井 政寛^{*1} 徳永 隆司^{*2} 藤原 康祐^{*3}
Masahiro Doi Ryuji Tokunaga Kosuke Fujiwara

要約

MX-30 EV モデルの外部充電は欧州仕様では CCS2 (TYPE2), 北米仕様は CCS1 (TYPE1), 日本仕様では CHAdeMO+AC 充電 (TYPE1) を搭載し世界の充電方式をサポートしている。これらの充電規格と充電設備全てに対して互換性を持たせることが開発の課題である。MX-30 の充電システム開発では、これら多数の変化点を持った充電システムの同時開発が求められたことに対し、一括制御構造を構築し主に固定と変動に制御機能を分けて管理することにより効率化を実現した。加えて机上検証環境として充電設備モデルを MILS (Model In the Loop Simulation) 及び HILS (Hardware In the Loop Simulation) 環境内に構築して充電システムの成立性を早期に検証した。本稿ではこれら外部充電システム開発について報告する。

Abstract

The MX-30 is equipped with CCS2 (TYPE2) for European specifications, CCS1 (TYPE1) for North American specifications, and CHAdeMO+AC charging (TYPE1) for Japanese specifications to support charging around the world. Achieving compatibility among the charging standards and charging equipment is the challenge in the development. In the development of the charging system for the MX-30, we have built a new control structure that classified control functions between fixed functions and variable functions to properly manage them, contributing to the reduction in man-hours. Here we report on the development of the series of external charging systems.

Key words : EV and HV systems, Electronics and control, Filling infrastructure, Control simulation hardware in the loop simulation, Power storage system

1. はじめに

電気自動車の駆動用バッテリーの充電は DC 充電 (急速充電) と AC 充電 (普通充電) に大別される。急速充電は主に出先で使用されるスタンドタイプの充電器を使う方式で MX-30 は約 40 分で SOC (充電率) 80% まで充電できる。普通充電は主に自宅で使用される充電方式で約 5 時間で満充電となる。世界の急速充電の種類 (コネクタ形状, 規格) には主に急速充電口と普通充電口を共通化した CCS (Combined Charging System/通称 COMBO) と CHAdeMO, GB-T が規格化されている (その他 Tesla 社独自の方式もあり)。また普通充電には主に TYPE1/TYPE2, GB-T, Tesla 社独自の仕様が存在する。MX-30 は欧州, 北米, 日本の異なった仕向け地に展開されるため, 欧州仕様では CCS (TYPE2) (Fig. 1), 北米仕

様は CCS (TYPE1), 日本仕様では CHAdeMO+普通充電 (TYPE1) の各仕様に対応する。これにより各国のお客様に充電で不自由を感じることなく MX-30 EV を楽しんでいただいている。

2. EV の充電システム開発課題

マツダは過去の EV 開発⁽¹⁾の中で, 市場の充電器にて充電ができないトラブルを経験してきた。これは, 充電設備製造メーカー各社の充電規格解釈が異なる部分があるために, 同一規格をベースとしながらもユニークな振る舞いをする充電器が多数存在したことが主な原因であった。現在でも欧州や北米, 日本にて同様な状況であるため, このような状況でも世界の市場で充電に関する不具合を発生させないことは大きな課題である。加えてタイムリーに商品をお客様にお届けするため, 効率的な開発手法の確立も求められた。

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

*2,3 電子性能開発部
Electrical & Electronics Performance Development Dept.



Fig. 1 MX-30 Charging Port (CCS Type2)

3. EV の充電システム開発手法

前章で述べた課題を解決するために、開発に際し以下の施策を講じた。

- (1) 一括開発を実現する充電システムの構成：ハードウェア変更最少で各種充電規格に対応可能な充電システム構成を検討・採用する。
- (2) 充電システム制御ソフトウェアの MotherSoftware 構造：ソフトウェア変更最少で各種充電規格に対応する制御ソフトウェア構造を採用する。
- (3) 充電システムの検証環境構築：効率的にソフトウェア／ハードウェア（車両）検証を進めるための検証環境を開発する。

3.1 一括開発を実現する充電システムの構成

MX-30 の充電システムは各種充電規格に対応するためのハードウェア変更を最小にするために次の構成とした。構成ユニットは主に OBC (On Board Charger)、駆動用バッテリー、PCM (Power Control Module) から構成される。OBC は AC/DC 変換、充電 I/F のコントロール及び普通充電の TYPE1 と TYPE2 の切り替えと CCS の通信を行う。PCM は高電圧制御、目標充電電力の計算と充電器との I/F のコントロールを行い、更に日本仕向けのみ CHAdeMO 充電用 I/F をコントロールする。本構成とすることで普通充電の TYPE 変更 (TYPE1↔2) は OBC のみで対応でき、急速充電の規格変更 (CCS↔CHAdeMO) は PCM で対応できるようになり、規格変更による影響範囲をシステム構成上で最小化している。

3.2 充電システム制御ソフトウェアの MotherSoftware 構造

車両－設備間の充電シーケンスや充電量をコントロールする充電システム制御ソフトウェアには充電規格ごとの設計変更を最小とするために MotherSoftware 構造を開発し、PCM に実装した。この MotherSoftware 構造では主に充電ソフトウェアの主要機能を固定と変動に分類・管理することで変動領域（設計変更による影響範囲）

の最小化を目指した。例えば各種充電規格へ対応するソフトウェア部分を変動と位置付けて機能配分することで充電規格の変更 (CHAdeMO↔CCS 等) を効率的に対応できるようにした。

この MotherSoftware 構造のイメージを図にあらわしたものが Fig. 2 である。PCM の制御は 1 つのメインソフトウェア (MotherSoftware) で管理しており、充電システム制御ソフトウェアを他の規格に対応させることを容易にする仕組みを採用した。例を挙げると、Core 部分に該当する高電圧の制御を変更する場合に MotherSoftware を変更すれば欧州、北米、日本への変更が同時に行われることを意味する。また、今後導入が予想される給電システム等の追加にも同様にして効率的に対応できる仕組みとなっている。MX-30 ではこの仕組みを活用し欧州、日本、北米、豪州の仕向け地に適合させた充電システムを効率的に同時開発した。

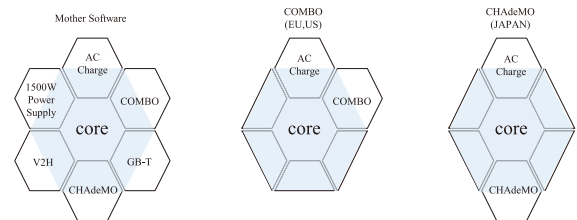


Fig. 2 Fixed and Variable Area Image Diagram of Charging System Control

3.3 充電システムの検証環境構築

充電システムと制御ソフトウェアの検証環境として、MILS 及び HILS を開発した。これらの構成は Fig. 3 のとおりで、充電設備側と車両側それぞれの制御シーケンスが確認できるよう、充電設備モデルを検証環境に組み込んだ。以下、構築した各モデルと検証環境を、机上と実車検証環境の大きく 2 つに分けて紹介する。

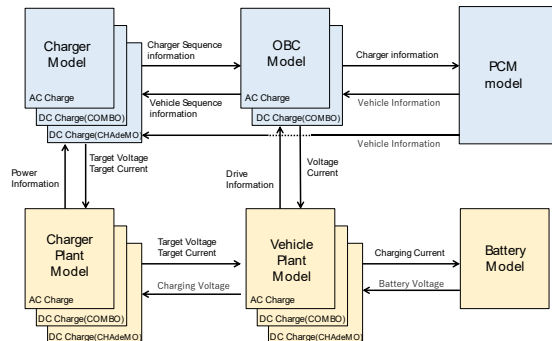


Fig. 3 Charging System Verification Environment

(1) 机上検証環境

開発の初期段階にて充電制御ソフトウェアを効率的に開発・検証するため机上検証環境 (MILS) を構築した。以下、MILS を構成する各モデルを紹介する。

1) 設備制御モデル

設備制御モデルは車両に接続された充電設備の充電時の振る舞いを再現したものである。具体的には、充電タイプ（CCS, CHAdeMO, 普通充電）で指定された充電方式に応じて車両側に対してスイッチ制御及び充電情報／状態設定を行い、コネクタ勘合～車両システムの起動～充電開始手順～充電動作～充電終了手順～車両システムの終了～コネクタ抜去までの充電シーケンス制御を再現する。更に設備制御モデルは充電のインターフェースに関して市場設備独自の振る舞い（遅れ、独自仕様等）を再現できる仕組みにした。具体的には充電のシーケンスに関わる信号の応答時間等の挙動を市場で確認した設備挙動と一致させ、車両側制御と協調動作した際の成立性を机上で確認できるようにしている。これは過去の充電システム開発にて車両と設備の挙動タイミングのずれにより異常を誤検知する等の問題を経験したことから、その挙動を MILS で再現することで、充電システム制御の成立性を早期に確認できる仕組みとしたものである。

2) PCM モデル

PCM モデルは車両コントローラーの制御モデルで、主に設備側に対してスイッチ制御及び充電情報／状態送信を行っている。具体的にはコネクタ勘合認識～高電圧起動～充電開始～充電動作～充電終了判定～遮断までの充電シーケンス制御を再現する。

3) 設備プラントモデル

設備プラントモデルは車両に接続された充電設備そのものを再現したものである。具体的には、設備制御モデルからの制御信号（スイッチ、電流指示）に応じて設備制御モデルへのスイッチ状態通知、車両側への電流指示値設定を行う。

4) 車両プラントモデル

車両プラントモデルは設備プラントモデルから受け取った充電情報から、車両側の LiB の電圧・電流値や高電圧回路の状態を再現する。

MILS では上記の制御／プラントモデル全体を自動実行できる仕組みも取り入れており、一部運用を開始している。今回 MX-30 で収集した市場データを設備モデルへ適用することで、次期モデル以降にて更なる開発効率化を目指した机上検証の完全自動化も準備している。

(2) 実車検証環境

この環境により各種充電規格、電源タイプ（単相、3相、電圧）の変更、異常状態や故障の模擬などが容易に行えるようになった。加えて市場設備ユニーク挙動の再現も行うことができ、例えば欧州市場の充電設備の挙動を開発拠点の日本で再現できるようになり、不具合原因の特定などが容易になった（Fig. 4）。



Fig. 4 Real Vehicle Verification Equipment

4. 充電設備との互換性開発

これまでに MILS や HILS で開発してきた充電システムの最終確認のため、MX-30 の開発では実車を用いた互換性検証を Lab（一般の充電設備ではない Closed な環境）と各仕向け地にて行った。なおここでの「互換性」とは車両・設備間で規格に則った充電を開始・継続できるかどうかを指す。

4.1 LabTest による充電設備との互換性検証

MX-30 の試作車両では初めに Lab にて各仕向け地のシェアの高い充電設備と互換性検証を行った。その結果ある特定の設備と結合することで判明する規格不適合箇所（車両と設備共）や充電開始できない問題を洗い出すことができた（Fig. 5）。

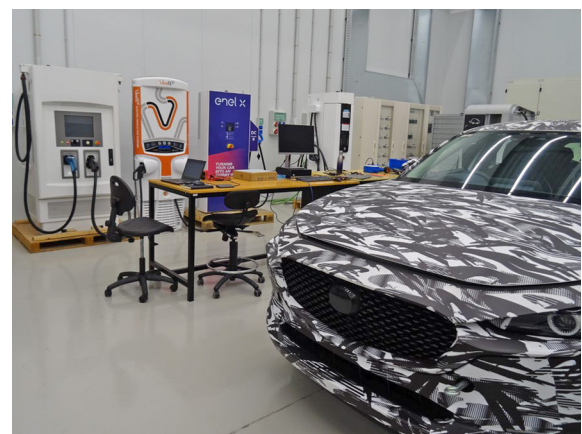


Fig. 5 Verification of Conformity with Charging Standards

4.2 市場互換性確認 (Infield Test)

3章で述べた検証環境で事前に検証していたにもかかわらず市場での確認では互換性に関する問題が確認された。それらは規格に則って構築された机上検証環境では発見できない設備独自の仕様が起因していた。今回知見

を得られたこのような互換性開発の難しさを示す具体例をいくつか紹介する。

市場互換性確認で得られた知見の例

① DC 充電（急速充電）

CCS 充電設備との互換性確認では充電設備によって充電電流の立ち上がり方にかなりの差異があることが確認されている (Fig. 6)。Manufacture A の電流の立ち上がり方が最も一般的な充電電流挙動であるが、市場には B～E のような挙動を示す設備も確認された。こうした充電電流挙動の違いがあることをしっかり認識し、またこれに対して柔軟に対応できる充電制御システムを準備しておかないと、異常を誤検知しかねない。MX-30 ではこうした充電設備の特色の違いにも対応できるように、ある程度の制御余裕度を持たせたシステム開発を行った。

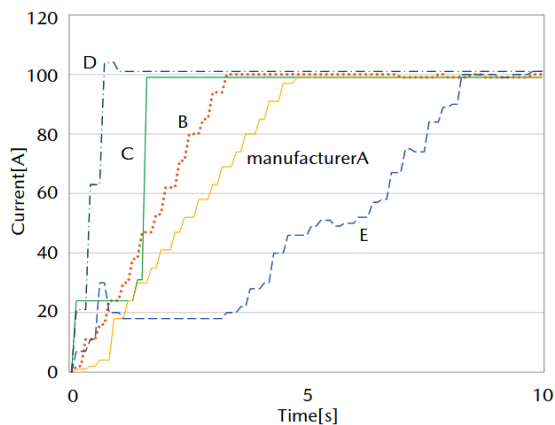


Fig. 6 Difference in Charging Current Rise

② AC 充電（普通充電）

普通充電設備及び普通充電ケーブルでの互換性確認では、欧州メーカー製の充電ケーブル (EVSE) で充電規格上では定義されていない独自の異常判定仕様をもっているものが確認された。これは車両側との接続のタイミングによっては異常判定し、充電出来ない状態に至ってしまうものであった。この充電ケーブルの仕様は充電規格上必要とされてはいないが、車両側で対応しなければ充電が開始・継続できない仕様であった。本件についても車両側の充電シーケンスのタイミングをある程度余裕度を持たせた制御システム挙動とすることで対応を実施した。

以上より現状の充電システムの検証については MILS や HILS のような仮想環境だけではどうしても発見・解決できない事例が少なからず存在するため、現時点では実車による結合性確認は外せない検証となっている。

5. まとめ

MX-30 の開発では一括構造を構築し効率的に各仕向け地の充電方式に対応した。また充電システム検証用の

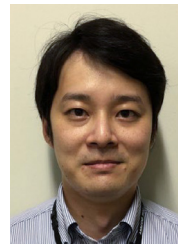
MILS, HILS 環境を構築することで実車検証前に充電システムの成立性確認ができるようになった。ところが MILS, HILS だけでは発見しきれない互換性に関する問題も少なからず発生することも確認された。このため実車を用いた市場結合性確認を織り交ぜながら全方位で充電システムの品質を確保していく必要があると理解している。

MX-30 の開発はコロナ渦での開発となり、特に各国への入国が制限され現地での試験が難しい状況での活動となった。しかしそのような環境下においても現地サプライヤー様、関連会社の皆様のご協力のおかげで評価を進めていただくことができ、当初予定していた評価を全て完了することができた。末筆ながらご協力いただきました全ての関係者の皆様に改めて感謝を申し上げたい。

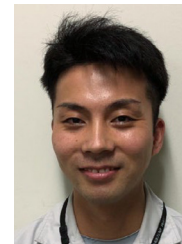
参考文献

- (1) 藤中ほか：デミオ EV の紹介, [マツダ技報, No.30, pp.114-119 \(2012\)](#)

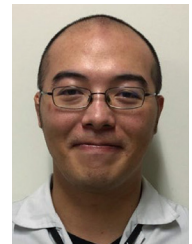
■ 著 者 ■



土井 政寛



徳永 隆司



藤原 康祐