

特集：新型車（デミオ EV）

26

## 電気自動車の衝突安全性能開発 Development of Crash Safety Performance for EV

神本 一朗\*1  
Ichiro Kamimoto

元木 正紀\*2  
Masaki Motoki

上野 正樹\*3  
Masaki Ueno

### 要約

近年、地球温暖化問題や化石燃料枯渇問題など、環境への関心が高まっている。マツダでは当環境問題への取り組みとしてSKYACTIV engineを皮切りに、ビルディングブロック戦略を着実に実現しつつあり、その一環としてHEV (Hybrid Electric Vehicle) やBEV (Battery Electric Vehicle) の開発にも取り組んでいる。電気駆動車両においては、従来の化石燃料車では装備していなかった高電圧部品の衝突安全への配慮が必要となる。

本稿では、駆動用バッテリーやインバータ、モータ、ハーネスなど高電圧部品を搭載した電気自動車の衝突安全性能開発について紹介する。

### Summary

There are growing concerns about environmental problems such as global warming and exhaustion of fossil fuel. Mazda is steadily adopting the Building Block Strategy as an approach to such environmental issues, starting with the SKYACTIV engine. As part of this approach, Mazda is also working on the development of HEV and BEV. Electric vehicles demand a lot of attention to ensure high crash safety performance for high voltage parts which the existing fossil fuel-powered cars are not equipped with.

This paper introduces the development of crash safety performance for Electric Vehicle which contains high voltage parts such as the propulsive battery, inverter, motor and harness.

### 1. はじめに

地球温暖化問題や化石燃料枯渇問題への関心が高まる中、自動車メーカーにとり、車の燃費向上や二酸化炭素の排出量の削減への対応が急務となっている。これらの動向に対する一つの対応として、電気駆動モータを用いた電気自動車（以下EV）の開発や商品化が各メーカーで活発化している。マツダにおいても、ビルディングブロック戦略として、アイドリングストップにはじまり、減速エネルギー回生、そしてHEVやプラグインHEVも視野にいれて段階的に電気デバイスを導入する予定であり、その一環としてEVの商品開発を行っている。EVには、ガソリン車の燃料タンクやエンジンの代わりに駆動用バッテリーやモータなどの高電圧部品が数多く搭載される。従って、EVの開発では、従来の車の衝突安全性能に加えて、衝突時に感電から人を守るために高電圧安全の確保が必要となる。本稿では、「デミオEV」を例にEVの衝突

安全性能開発の取り組みについて紹介する。

### 2. 衝突時の高電圧安全の基本

本章では各国の主な高電圧衝突安全関連の法規について紹介し、EVの基本的な高電圧安全の考え方について述べる。

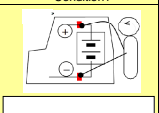
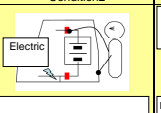

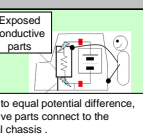
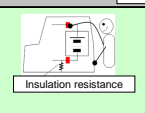
#### 2.1 各国の高電圧安全法規

EV乗車中、メンテナンス中、あるいは、事故の際のレスキュー時などの場面において、人体が感電する主な状況はTable 1に示す3つのケースにまとめることができる。Condition 1は電位差のある2つの露出活電部に人体が触れることで感電するケース、Condition 2は1ヶ所の絶縁性能の低下がある場合に、人体が露出した活電部とボデーに触れることで感電するケース、Condition 3は高電圧部品絶縁ケーシングとボデーなど2ヶ所以上での絶縁性能の低下部位があり等電位化されていない状態のケーシングと

\*1~3 衝突性能開発部  
Crash Safety Development Dept.

ボデーの双方に触れることで感電するケースである。各国の衝突時の高電圧安全法規の基本的な考え方は、Table 2 に示すように「直接接触保護」と「間接触保護」と「絶縁抵抗の保持」の組み合わせによる感電からの保護を必要事項としており、加えて有害なバッテリー電解液の流出防止、バッテリーの飛散防止などの要件を要求している。そこで、マツダの衝突時の高電圧安全基本方針を、市場事故で想定される事故のモードに対して高電圧バッテリーの電解液流出防止と固定保持に加えて、「直接接触保護」と「間接触保護」への対応と、レスキュー時の感電防止を勘案した「高電圧遮断」を必要基本性能として確保すること、また、法規で「絶縁抵抗の保持」と「低電圧化」が求められる場合には、これらにも確実に対応できる技術を確保することとした。

Table 1 Electric Shock Conditions and Protections

Electric shock Conditions	
Condition1	Condition2
	
Direct contact with more than one live parts.	An electric leakage and direct contact with live part.
<b>Requirement</b>	
Protection against direct contact with high voltage live parts 	Investigation of the conditions of protection IPXXB.
Protection against electrical shock with arise from indirect contact	 In order to equal potential difference, conductive parts connect to the electrical chassis.
Electrical Isolation	 Insulation resistance

Requirement of the electrical power train operating on high voltage		JPN	EU ECER-94,R-95	USA FMVSS305
I. Protection against electrical shock	1. Protection against Direct contact with high voltage live parts	○	○	○
	2. Protection against electrical shock with arise from indirect contact	○	○	○
	3. Electrical Isolation	○	○	○
	4. Automatic disconnection and low voltage, low electrical energy	○	○	○
II. Rechargeable energy storage system retention	Rechargeable energy storage system (RESS) retention	○	○	○
	Electrolyte spillage	○	○	○

Table 2 Regulatory Requirement of the Electrical Power train Operating on High Voltage

2.2 直接接触からの保護

直接接触回避とは、人体が活電部に直接接触することのない構造とすることで感電させないようにすることである。具体的には通電部を絶縁性の被覆や構造体で隔離する構造が挙げられ、Table 1 中の Condition 1, Condition 2 の感電条件を防止する。

2.3 間接触からの保護

間接触回避とは、高電圧部品と車体の当電位を確保することにより何らかの理由で高電圧部品内での短絡が発生した場合でも人体を経由した回路ができないようにすることである。具体的には、各高電圧部品と車体間の導通を保つために人体よりも抵抗の低い部品でアースを取る方法が挙げられ、Table 1 中の Condition 3 の感電条件を防止する。

2.4 高電圧の遮断

高電圧遮断の目的は、電源を電氣的に隔離することで感電を防止することであり、加えて過電流による電気火災を防止する機能もある。具体的には、駆動用バッテリー内のシステムメインリレーをオープンにすることで高電圧回路を遮断する。

3. EV の高電圧システムの概要

本章では、デミオ EV の主要な高電圧システムの概要を説明する。Fig.1 に構成部品を示す。駆動用バッテリーとしてフロア下からリヤシート下の範囲にリチウムイオンバッテリー（高電圧バッテリー）を搭載しており、そこから高電圧ハーネスを介して直流電力をインバータへ供給し交流へ変換後モータを駆動し走行する。

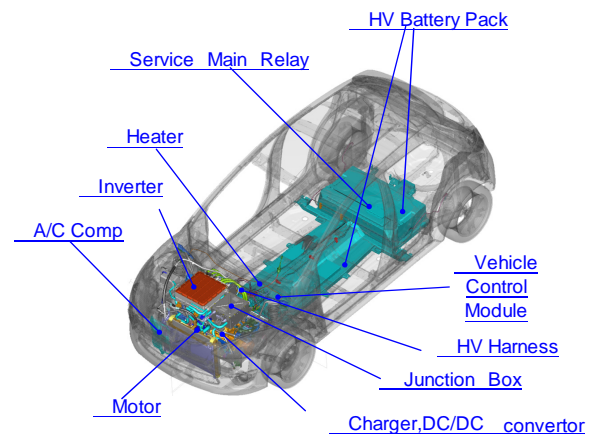


Fig.1 System of Electric Drive Vehicle

3.1 EV の高電圧システム

駆動用システムの電源として、また、補器類作動用の 12 V バッテリーの電源として、高電圧バッテリーからそれぞれに電力を供給する。公称電圧は 346 V で、電気容量は 20 kWh である。走行時にはバッテリー電力をインバータにて直流 346 V から交流へ変換する。その電流で駆動用モータが回転し、駆動力がトランスアクスルを介してタイ

ヤへ伝達される。また、減速時の制動力はモータにより再生され、電力に変換され、再びバッテリーに電力として蓄えられる。通常充電時には一般電源からの供給電力が充電器・DC-DCコンバータユニットを介して高電圧バッテリー電圧に昇圧され、充電される。また、高電圧バッテリーから一般電装品用の12Vバッテリーへの電圧変換もこのユニットで行われる。他にも、各ユニット間への配電ボックスであるジャンクションボックスや、車両の電気駆動システムを制御するビークルコントロールモジュール(VCM)、メンテナンスやレスキュー時の安全作業のために高電圧回路を意図的に解除するサービスプラグ、エアコン用電動コンプレッサやPTCヒータ(暖房用電熱ヒータ)などの高電圧システムが装備されており、それぞれが高電圧ハーネスにより結線されている。

#### 4. 衝突時の高電圧安全確保のための対応

本章では、デミオEVにおける特徴的な高電圧安全の工夫点について詳細を解説する。高電圧バッテリーの保護構造詳細、および、FEM解析を用いた性能予測、実車衝突試験による評価結果について紹介する。最後に、衝突検知式高電圧電源遮断システムについて述べる。

##### 4.1 高電圧部品の基本レイアウト

デミオEVの高電圧バッテリーの基本レイアウトについて紹介する。Fig.2に示すように、高電圧バッテリーや高電圧ハーネスをはじめとする高電圧部品は乗員が直接触れることができないようにキャビン外側にレイアウトしている。これは衝突時に乗員が高電圧のバッテリーターミナルや高電圧ハーネスに直接接触し感電するのを防ぐことを目的としている。また、高電圧バッテリーと高電圧ハーネスをフロントフレーム(サイドメンバ)やサイドシル、フロアフレームといった骨格部材より車体内側に配置し、衝突時の変形が及びにくい部位にレイアウトし保護する考え方である。

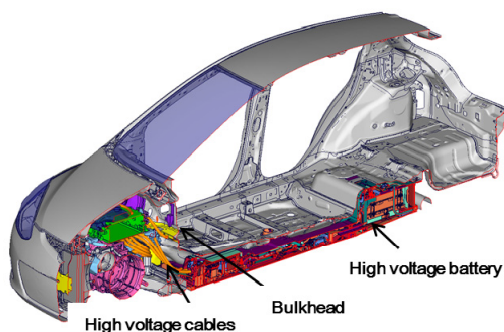


Fig.2 Layout of High Voltage Cable and Battery

##### 4.2 高電圧バッテリーの保護構造

デミオEV高電圧バッテリーの保護構造について紹介する。Fig.3は、ベース車であるデミオのホワイトボデーとバッテリー形状を示している。骨格フレーム内に最大限のバッテリー搭載ができるようにレイアウトや形状や取り付け構造を

工夫した。これにより、衝突時の車体変形や衝撃からのバッテリー保護を可能とした。また、バッテリーモジュールは、アルミ製フレームの筐体で包み込む構造とすることで、複数の構造体で保護するようにしている。これは、特に市場事故での電柱や立木に側面から衝突するといった局部的に大きな車体変形が発生する事故を想定した場合でも、バッテリーモジュール本体の破損による感電や漏電火災を防止するための配慮である。

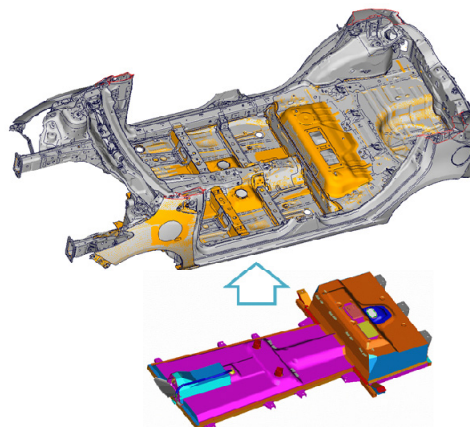


Fig.3 Mounting Electric Drive Battery

##### 4.3 モータールーム内の高電圧部品の保護構造

デミオのフロントフレームは、前面衝突時に先端部が軸圧縮して衝突エネルギーを効率良く吸収した後、エンジンルーム内のクラッシュスペースを十分に使い切るためにフレームを曲げ変形させる構造を採用しエンジンルームでの衝突エネルギー吸収を最大化させている。デミオEVにおいても同じフロントフレーム変形モードを実現させるため、インバータ等の高電圧部品のレイアウトに配慮した。これは、Fig.4, 5に示すようにインバータや充電器などの高電圧部品は左右のフロントフレーム間を橋渡す2本のクロスバーの上に配置することで、高電圧部品の前突時のフレーム変形への影響を回避するとともに、高電圧部品のフロントフレーム間へのレイアウトを可能とした。これにより、前突時のフロントフレームによるエネルギー吸収と高電圧部品の保護を実現している。また、前出のクロスバーをマスタバックとABSユニットに意図的に干渉させることで前突時のハーネス生存空間を確保し、このゾーンに高電圧ハーネスを集中配置することで衝突時のハーネスの破損を防いでいる。



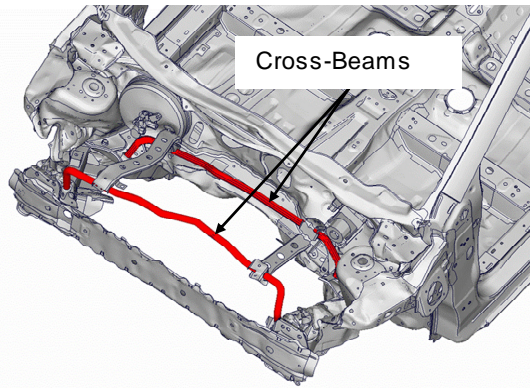


Fig.4 The Cross-Beams on Front Side Frames

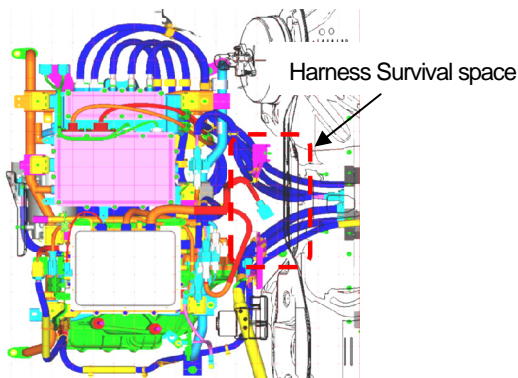


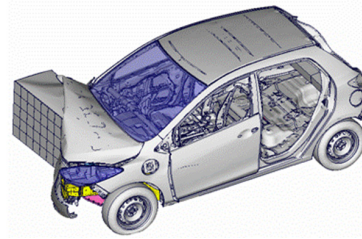
Fig.5 Survival Space for High Voltage Cables

4.4 衝突時の高電圧安全評価

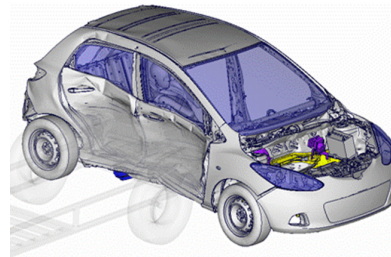
デミオ EV の開発過程では衝突時の高電圧部品の保護に関する徹底した評価を行っている。本章では例を挙げて紹介する。

(1) CAE を用いた衝突安全評価

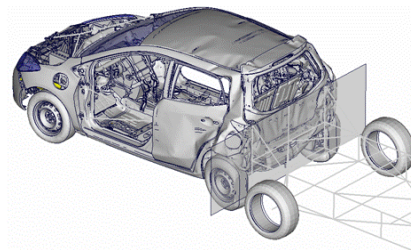
Fig.6 に示すように市場の事故を模擬したさまざまな衝突形態で CAE 評価を実施し、高電圧バッテリーやモータ、インバータ、高電圧ハーネスなどの高電圧部品に対する安全評価を行った。特に高電圧ハーネスは、衝突時の車体変形による挟まりやエッジ干渉が発生すると、絶縁抵抗の低下や活電部が露出し感電につながるリスクが高い部品であるため、CAE 上でもハーネスの挙動や潰れが再現できる詳細なモデルを作成し衝突中の挙動を解析して配置を決定した。また、評価モードは従来の乗員保護の観点で実施しているモードに加えて、高電圧部品のレイアウトを踏まえて損傷を被りやすい衝突形態を選択し追加評価を行った。更に、追加のモードでは、エアバッグセンサ判定による高電圧遮断が作動することを評価している。



Offset frontal Crash



Lateral Crash

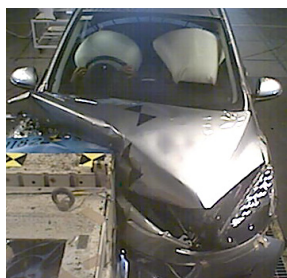


Rear-end Crash

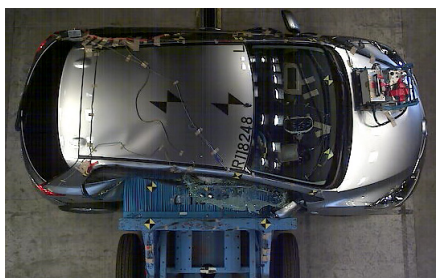
Fig. 6 CAE Evaluation in Various Crash Modes

(2) 実車衝突試験での衝突安全評価

Fig.7 に示すように市場の事故を代表する衝突形態で実車による試験を実施し、高電圧バッテリーやモータ、インバータ、高電圧ハーネスなどの個別部品ごとに損傷の有無と導通抵抗値の計測、絶縁抵抗値の計測を行い、「直接接触からの保護」、「間接接触からの保護」、「絶縁抵抗の保持」の観点で高電圧保護性能が確保されていることを確認している。また、乗員保護性能についても評価を行い、前面衝突、オフセット前面衝突、側面衝突の各衝突モードでデミオ EV はベース車のデミオ（ガソリン燃料車）と同等の性能を有していることを確認している。



Offset frontal Crash



Lateral Crash



Rear-end Crash

Fig. 7 Actual Vehicle Crash Tests

4.5 衝突検知による高電圧電源遮断機能

デミオ EV では、衝突時の感電防止のために直接接触，間接接触の保護に加え衝突検知を活用した高電圧電源遮断システムを採用している。このシステムにより、衝突後の感電防止性能をより高めている。

Fig.8 に高電圧電源遮断システムの模式図を示す。車両前後左右の衝撃力は加速度センサで計測されて衝突の検知をレストレイントコントロールモジュール (RCM) が実施する。次に RCM から高電圧システムを制御するピークルコントロールモジュール (VCM) へ衝突検知信号が送られ、その後 VCM が高電圧バッテリー内のシステムメインリレー (SMR) を遮断する。この高電圧電源遮断システムを実車評価した結果、前面衝突の場合は衝突後、瞬間的 (100 ms 以内) に作動することを確認している。

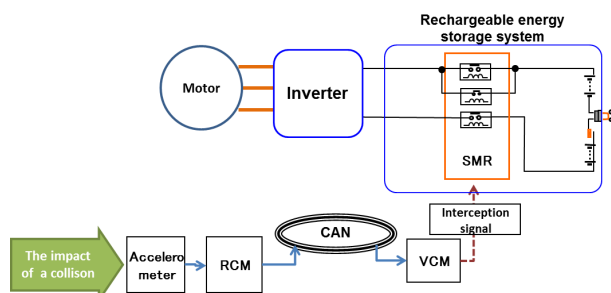


Fig.8 Automatic Disconnect System

5. まとめ

本章では、デミオ EV の衝突時の高電圧安全性能開発への取り組みについて紹介した。下記にその要点を示す。

特徴的な高電圧安全の工夫点として、高電圧部品のレイアウト、高電圧バッテリーの保護を目的としたレイアウトや衝突検知システムを活用した高電圧電源遮断システムを紹介した。

高電圧部品の高電圧衝突安全の一例として、市場での事故を模擬したさまざまな衝突試験における高電圧バッテリーの保護に関する評価結果を示した。乗員保護性能についても、ベースのデミオと同等の安全性能を達成していることを示した。

著者



神本 一朗



元木 正紀



上野 正樹