

特集：新型車（デミオ EV）

27

感電安全を考慮したワイヤハーネス設計の紹介 Wire Harness Design for Electric Shock Prevention

佐藤 宏樹^{*1}
Hiroki Sato

松川 剛志^{*2}
Takeshi Matsukawa

要約

マツダは環境技術としてアイドリングストップシステム「i-stop」や減速エネルギー回生システム「i-ELOOP」を搭載した商品を順次市場導入している。

マツダは1966年にEV開発に着手し、これまでに約70台のEVを市場導入してきた。デミオEVは将来の本格的な量産に向けた取り組みとして、現行デミオの基本構造を共通化しつつ、EV用機器（以下高電圧機器という）、及びワイヤハーネス（以下高電圧ハーネスという）を搭載するコンセプトで開発したものである。デミオEVは動力として高電圧を使用しているため、人体への感電防止と従来と同様の信頼性を両立した設計に加えて、今後段階的に導入予定の電気デバイスを含めたEVプラットフォームの構築を目指した。

Summary

Mazda has been launching new products equipped with environmental technologies such as an idling stop system, “i-stop”, and a regenerative braking system, “i-ELOOP”.

Mazda has started EV development since 1966, and released about 70-sets EV. Among such products, the DEMIO EV is positioned as the next action for future full mass production, using a common base-structure with the current DEMIO, and installing the devices for EV (high voltage devices) and wire harnesses for connecting them. As the car uses high voltage for its power, an electric shock preventive design is considered while high reliability is kept as before. The EV platform is constructed in view of other electric devices to be incorporated step by step.

1. はじめに

マツダは段階的にアイドリングストップシステム「i-stop」、減速エネルギー回生システム「i-ELOOP」、モータ駆動技術などの電気デバイスを導入する「ビルディングブロック戦略」（Fig.1）を推進しており、今後導入する商品においては、パワーソースを内燃機関に加えて高電圧の電気デバイスを段階的に採用し、優れた環境性能の実現を目指している。一方、車両の高電圧化は、高電圧という新たな危険因子を市場へ追加することを意味する。これら高電圧機器を接続する高電圧ハーネスも、従来と同様の信頼性と安全性を確保するだけでなく、機器の高電圧化に伴う人体への感電防止を考慮した設計が必須である。本稿では、

高電圧システム搭載における感電安全を考慮したワイヤハーネスの設計の取り組みを紹介する。

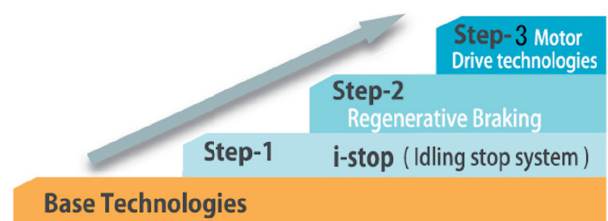


Fig.1 Building Block Strategy⁽¹⁾

*1,2 電子開発部
Electrical and Electronics development Dept.

2. 開発コンセプト

デミオ EV は現行デミオのデザイン、居住性を維持しつつ (Fig.2)、現行デミオのプラットフォームに EV システムを搭載することで“Zoom-Zoom”な走りの進化とともに、従来同等の信頼性と実用安全の確保に加え、高電圧からの感電防止構造の構築を目指した。



Fig.2 DEMIO EV

デミオ EV におけるワイヤハーネス開発の注力ポイントは以下である。

- ・感電安全設計
 - ・活電部の直接接触保護
 - ・露出導電部の間接接触保護
 - ・高電圧ハーネスの絶縁
 - ・衝突時の感電安全設計
- ・EV プラットフォームの構築
 - ・EV プラットフォーム
 - ・充電インレットのパッケージング

3. 感電安全設計

3.1 感電に関する安全思想

電気自動車をはじめとする高電圧機器や高電圧ハーネスを搭載する車両には、感電等に関する法規が定められている。マツダにおける感電安全の統一安全思想は、市場はもちろんのこと、取引先様も含めた社内外の人々には感電に対する知識はないという考えのもと、

- ・予見や回避行動は期待しない。
- ・“うっかり”行動は考慮の範囲内とする。

ことを前提としている。

マツダはお客様をはじめ、サービスマン、生産ライン作業者、開発者、消防レスキュー関係者、警察関係者など、いかなる人々にも感電させないための施策を講ずることが自動車メーカーとしての使命と捉えて、施策を以下のように定めた。

- ・構造的な安全確保を最優先とする。
- ・1つのミスや故障では感電に至らない配慮をする。
- ・電動化車両に接触する全員に教育、啓蒙を実施する。

高電圧の感電は、人体を介して電流が流れる閉回路が構

成された場合に発生する。主として閉回路が構成される状況は以下のような場合である (Fig.3)。

- ・高電圧 + / - の活電部分両側に直接接触した場合
- ・高電圧部の絶縁抵抗低下時に露出導電部に間接的に接触した場合

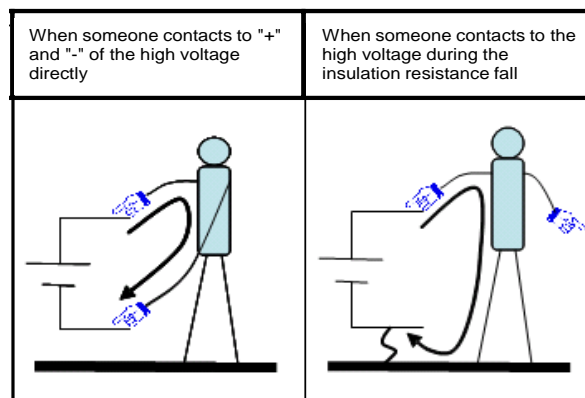


Fig.3 Situation with the Danger of an Electric Shock

デミオ EV では、法規要件の適合に加えて他に 1 つ以上の構造的な感電防止策を講じる二重系保護を基本として設計することとした。二重系保護とは 2 つ以上の防止策が失陥しないと、上記に示すような人体を介した閉回路が構成されず、感電には至らない配慮をした設計のことである。

3.2 感電安全設計の重要性

デミオ EV の開発では、先ずワイヤハーネスの機能を FMEA で徹底的に見つめ直し、網羅的に故障モードが及ぼす影響を確認することから始めた。その結果、高電圧ハーネスの故障による影響で最も重大な事象が「感電」であり、感電防止は商品の基本品質として考慮すべき性能であると捉えた。

感電は「故障」のみに起因して発生するとは限らず、開発段階から生産、物流、お客様の使用、サービス、廃却など時系列的な検証に加えて、人為的なミスやイレギュラな使用や作業も想定した検証にて、あらゆる感電シーンを洗い出す必要がある。

マツダでは高電圧ハーネスも含めた高電圧システムについて感電を Top 事象とした FTA にて網羅的に感電シーンを洗い出して、必要な施策を実施した。

内容は設計的な感電防止構造の採用、絶縁保護具着用等の作業要領の教育、マニュアル等多岐にわたる。

3.3 具体的な設計の考え方

設計的な感電防止構造は、主としてワイヤハーネス単体の信頼性確保と、車両の実用に耐え得るパッケージングを確保することである。特に衝突安全性能はその性能の大部分がパッケージングで決まるため、デミオ EV の開発では先ず必要な衝突安全性能を満足するパッケージングを成立させることから着手した。

電気自動車の衝突後の感電安全は、法規で定められている。デミオ EV の衝突時の感電安全設計は基本的に法規で定められている衝突モードに加え、市場での事故を代表する、さまざまな衝突モードにおいても高電圧ハーネスを損傷させない構造とした。更に、衝突時に高電圧を自動的に遮断するシステムや高電圧機器内部の残留電荷を強制的に放電するシステムを搭載することで、上述の安全思想に則った設計を実現した。

通常使用時の感電安全に関しても同様である。お客様の整備/点検時に触れる可能性がある部位は、ブラケットや他の部品等のバリアやエンクロージャによる感電防止構造の採用や、活電部が露出した直後に、危険電圧以下に下げる設計によって二重系保護を実現した。

以下にその内容を詳述する。

3.4 活電部への直接接点保護

高電圧 + / - 両方に、人体が直接接触すると感電が発生する。直接接触による感電リスクは、その感電防止構造が故障や外乱によって失陥した場合のみとは限らず、量産ラインや市場での整備や点検時等、完成車でない状態で車両に触れるだけでも感電のリスクがある。電気保安統計（政府統計）による、過去の感電事故を原因別に見てみると、人為的なミスや不注意、過失によるものが多くを占めていることが分かっており、工場やディーラでの作業工程、開発中の評価も含めた一連のプロセスを考慮しなければならない。高電圧機器内部の活電部は高電圧から絶縁された筐体で覆われており、通常の使用過程において直接人体が接触するリスクは少ない。一方、高電圧ハーネスの活電部は機器を接続する電線の芯線部分と圧着された端子部分であり、芯線部分は絶縁体の被覆で覆われているものの、端子部分はコネクタの脱着によって容易に露出する。従って、コネクタは量産ラインや市場サービスでの脱着作業性を確保しつつ、容易に活電部が露出しない構造が必要となる。デミオ EV では、コネクタ部をバリアで保護することを最優先で検討した。まず、完成車状態において、コネクタのロック部分に手が入る可能性がある箇所に対しては、容易にコネクタが脱着できないようコネクタのロック部分を覆い隠すブラケットを設定した。具体例を Fig.4 に示す。

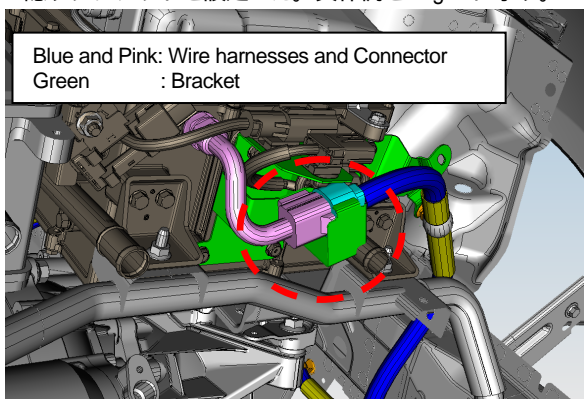


Fig.4 Protect high Voltage Connector by the Bracket

ブラケットの設定が困難な箇所は、意図的に工具でクリップを取り外さないと、コネクタ脱着作業ができない構造を採用して、容易に活電部を露出させない構造を実現した。具体的には、オス側にコネクタ固定用、メス側にもクリップを設定し、双方のクリップアンカ部を取り付け穴に差し込み、コネクタの挿抜軌跡上にクリップアンカを座面へ干渉させることで、量産ラインでのコネクタ結線作業性を確保しつつ、クリップをブラケットに嵌合させた後は、工具で、コネクタをブラケットから外さないと、コネクタの脱着ができない構造とした。具体例を Fig.5 に示す。

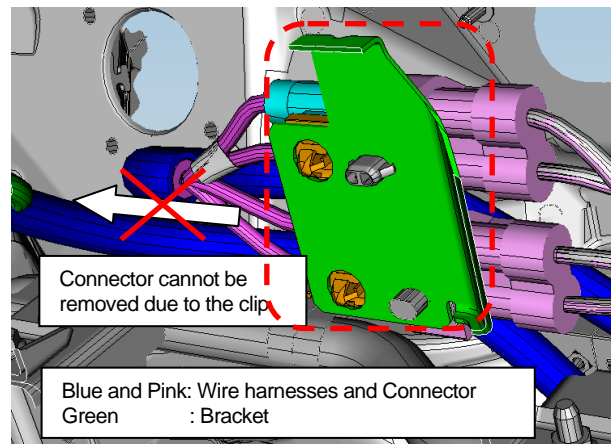


Fig.5 Protect High Voltage Connector by the Clip

これらは物理的に活電部に到達するまでの「壁」を作ることであり、安全性を担保する最も有効な手段であると考えている。しかし、新たな部品を設定することによるコスト/質量 UP とパッケージングに制約を与えることとなり、車両全体で考えると必ずしも有効な手段となるとは限らない。加えて採用したのが、コネクタが取り外された直後に活電部が危険電圧以下の電圧となる構造である。これはコネクタが取り外されても安全な状態を作ることである。デミオ EV では基本的に高電圧の + 側をメス端子、- 側にオス端子を採用し、コネクタを分離した状態で接触が容易なオス端子は危険電圧が生じないように配慮するとともに、パッケージングの都合上コネクタへのアクセスが容易な箇所についてはインターロック回路を設定した。インターロックとは高電圧コネクタ内に 12V 系回路を同時に設定し、接続状態をモニタして、接続されていない状態 (OPEN) を検出すると高電圧を遮断するシステムである。実施例を Fig.6 に示す。

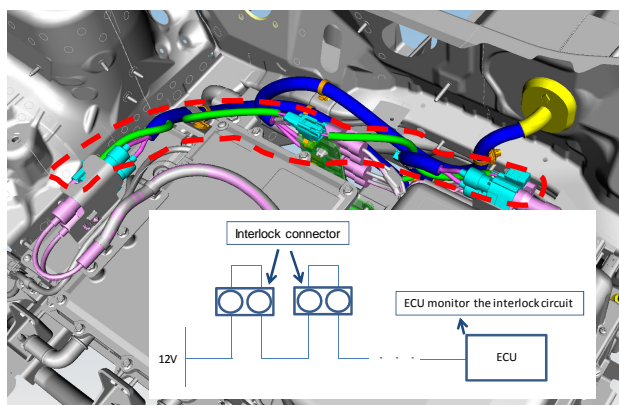


Fig.6 Interlock Circuit

これらは机上での設計検証に加えて、開発車にて安全性に問題ないことを確認した。

3.5 露出導電部の間接接触保護

故障によって高電圧部の絶縁抵抗が低下し、通常は絶縁されている高電圧機器の筐体などに漏電して、その部位に人体が接触して閉回路が形成されると感電に至る。この防止策として、万一人体が接触しても人体への通電電流を極力小さくする目的で、常時露出している導電性部分は車体との等電位化を行っている。等電位化は筐体と車体とを固定する締結部分で電気的な接続を作る方法と、ワイヤハーネスで接続する方法がある。車体へのボルト等による締結で電気的な接続を作る方法は、追加部品が不要であることが大きなメリットであるが、車体は、絶縁性の塗料で塗装されているため、安定的な性能を出すにはアースボルト等で締結し、締結部から車体まで確実に電気的な接続を保証する必要がある。一方、ワイヤハーネスによる接続は、専用の電線や端子等が必要であるが、EMC (Electromagnetic Compatibility) 性能等も考慮した位置に設定できる点が優れている。デミオ EV では基本的に筐体と車体の電気的接続はワイヤハーネスで接続している。

3.6 高電圧ハーネスの絶縁

高電圧システムが、外部と十分な絶縁を保持していないと人体の接触によって閉回路が形成されて感電に至る。デミオ EV の高電圧ハーネスを構成する電線やコネクタは、必要な絶縁抵抗、耐電圧性能を有していることを確認している。

3.7 衝突時の感電安全設計

通常使用時だけでなく、衝突時における高電圧の保護要件が法規で定められている。

高電圧ハーネスは、活電部を電線被覆やコネクタハウジングで保護しているが、衝突後においても、他の部品との干渉等に起因した活電部の露出による、人体への感電を避けなければならない。また、衝突時には高電圧の電圧レベル及び電気エネルギーに関する要件も定められており、デミオ EV の高電圧システムは一定以上の衝撃を検知する

と、自動的に高電圧システムを遮断し、残留電荷を強制的に放電するシステムを搭載している。

デミオ EV の高電圧ハーネスのパッケージングは、正突フルラップやオフセットなど数種類の衝突モードにおける接触や挟まれ、相対変位による電線の引っ張りなどでの芯線の露出、コネクタの破損等、高電圧ハーネスが損傷しない構造を採用した。構造決定に当たっては CAE を中心とした検証を行った。実施例を Fig.7 に示す。

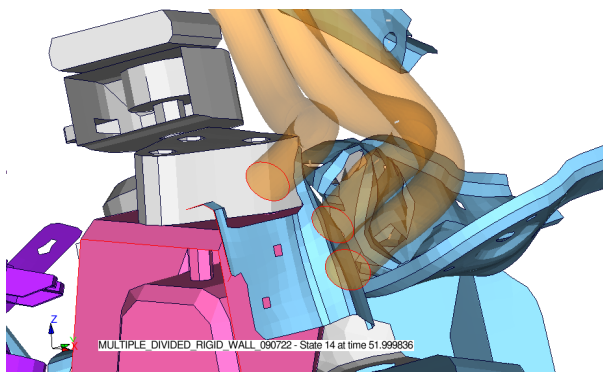


Fig.7 Crash CAE of DEMIO EV

高電圧遮断システムや強制放電システムの制御は、12V 系の高電圧システム制御機器によって行っている。これらの制御に関わる 12V 系ハーネスも、衝突時の高電圧ハーネスと同様の考え方で保護する構造を採用した。

12V 系ハーネスは保護構造に加えて、さまざまな衝突モードにおける、システム作動への影響範囲を最小限にするため、システムを構成する部品を最少とするよう設計した。また、高電圧遮断システムは、衝突時のボデーとの接触によるハーネスの損傷で高電圧制御用の回路が地絡して、高電圧遮断システムの機能不良につながる可能性がある。

万一、損傷しても地絡と同時に制御用の電源回路も遮断できるハーネス配策の工夫で、ロバストなパッケージングを実現した。

12V 系の高電圧システム制御機器の電源分配も、衝突時における高電圧の強制放電システムの制御回路を他機能と独立した電源回路とする等、他システムのショート故障においても確実に作動するよう設計した。

4. EV プラットフォームの構築

4.1 EV プラットフォーム

既述の感電安全設計と並行して、エンジン車の基本構造を流用しつつ効率的に EV へ、載せ替えを可能とする EV プラットフォームを構築した (Fig.8)。

デミオ EV に織り込んだ EV プラットフォーム構造を以下に詳述する。

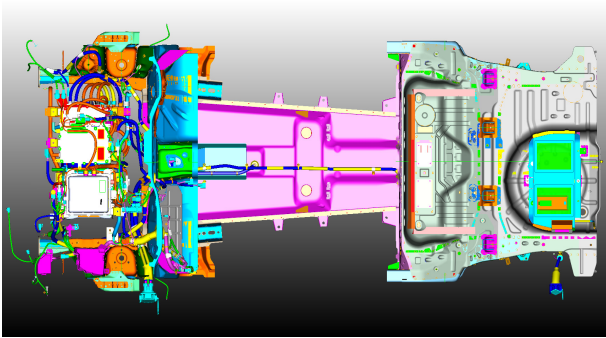


Fig.8 EV Platform

高電圧ハーネスの車体取り付け経路は、内燃機開用の部品である、フューエルパイプや、ヒータホースと置き換えることで、衝突安全性能などの諸性能の確保と、車体構造の共通化を図り、現行デミオと同一の量産ラインでの車両組立製造も可能としたEVプラットフォームを実現した。

更に、12V系の高電圧システム制御機器の車両搭載位置とそれらをつなぐ、制御回路の12V系ハーネスの経路は、先ず12V系の高電圧システム制御機器を、助手席フロア配置として、フロア下のバッテリーを制御するハーネス回路は最短経路とし、質量抑制と車体共通化を実現した。

今後のEV開発においてはEVプラットフォームをベースとした更なる理想の追求が必要であり、発展させていく方針である。

4.2 充電インレットのパッケージング

高電圧機器の中には、直接お客様がアクセスする充電インレットがある。他の高電圧機器と違い、充電インレットはお客様自身が充電時に接続する部位であり、他の高電圧機器同様の考え方の感電安全設計に加えて、充電インレットの接続操作性等も考慮した設計が必要である。

エンジン車にない充電インレットの車載配置は、さまざまな車両環境とお客様の使用状況を想定した未然防止の設計と、車載状態での確認検証を実施すべく、各開発部門の協力によるFMEAを実施した上で決定した。使用頻度が高い普通充電(AC)インレットは、エンジン車と同様に違和感なく取り扱えるよう従来のフューエルリッド部に(Fig.9)、急速充電(DC)インレットは、充電中であることの認知性を高めるため、左側のフロントフェンダ部(Fig.10)とした。また、充電インレット部はボデー側を庇とする設計等、被水や塵埃等に対してロバストなパッケージングとした。



Fig.9 AC Charge Inlet (Rear Fender LH)



Fig.10 DC Charge Inlet (Front Fender LH)

5. おわりに

今回のデミオEVは、開発部門、生産部門、物流部門、サービス部門、取引先様と一丸となったONE MAZDAの活動により、車両を取り巻く全ての人々に安全で信頼性の高い商品を提供することができた。

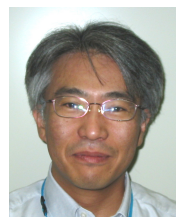
今後のEV開発においては、高電圧機器を安全に搭載する技術開発が使命と捉え、安全で信頼性の高い商品の導入を最優先としていく。一方、パワートレインの電動化が拡大している中、車両全体でワイヤハーネスが占めるコストや質量も飛躍的に増大しており、同時にこれらの低減が必須の状況となっている。

EVプラットフォームを通じて、理想の追求と更なる進化を実現し、全てのお客様へ歓迎される商品が提供できるようにONE MAZDAで邁進していく所存である。

参考文献

- (1) 吉田ほか: 新型デミオ向けバッテリーマネジメントシステムの紹介, マツダ技報 No.29, pp.14-19 (2011)

著者



佐藤 宏樹



松川 剛志