

新型ISUZU D-MAX EVの生産技術について

Manufacturing Engineering of New ISUZU D-MAX EV

須藤 啓太*
Keita Sudo

Siriwat Samuang*

永井 宏明**
Hiroaki Nagai

要 旨

いすゞは、世界のカーボンニュートラル社会の実現に貢献すべく、世界100か国以上で販売されているISUZU D-MAXの電気自動車モデルを開発した。本プロジェクトにおいて、いすゞとして初となる量産用バッテリーアセンブリを泰国いすゞ自動車にて2025年4月に開始した。本稿では、バッテリーパックアセンブリラインを中心として生産準備段階で顕在化した課題について概説するとともに、それらに対する生産技術的対応策を紹介する。

Abstract

ISUZU is developing an EV model of the ISUZU D-MAX, which is sold in over 100 countries worldwide, in order to contribute to the realization of a global carbon neutral society. As part of this effort, Isuzu Motors Co., (Thailand) Ltd. carried out ISUZU's first-ever mass production of a battery assembly. This report explains the challenges faced in the production process, which was a first for ISUZU, and introduces the approaches and solutions from a manufacturing technology perspective.

1 はじめに

新型ISUZU D-MAX EV(Electric Vehicle) (以下、D-MAX EV)はISUZU D-MAXをベースに開発されているが、EV固有部品のバッテリーアセンブリ、e-Axle等が多数追加されることに加え、台数が限定的であることから、ディーゼルエンジン車との混流生産は困難であると判断した。そこで、今後開発が予定されているほかのx-EV車にも対応可能な新規組立ライン、MAライン(マルチパスウェイ車両組立ライン：multi-pathway vehicle assembly line)を新設し、D-MAX EVの生産に対応すべく工法・工程計画及び設備準備を進めることとした。

2 生産工法

D-MAX EVでは、いすゞとして初めてバッテリーパックのアセンブリを内製化した。本取り組みにあたっては、ベンチマーキング活動及び研究試作のバッテリーを用いたトライアルを通じて生産工法の検証を行った。また、設計構造に対して生産要件のフィードバックを行い、成立性の詳細な検証を実施した結果、最適な生産工法を確立した。

3 バッテリーアセンブリライン

D-MAXのEVモデルでは、内製によるバッテリーアセンブリを採用した。本採用の主な狙いは、以下の2点である。

- (1) 車両に最適なバッテリー容量の確保
いすゞがLCV(軽商用車：Light Commercial Vehicle)に先行して開発したエルフEVでは、バッテリーを車両の左右及びフレーム中央に分割搭載することでバッテリー容量を確保している。一方、D-MAXをはじめとするLCVは車両レイアウトの制約から分割搭載が困難であり、バッテリーをフレーム中央に集約した構造を採用する必要があった(図1)。そのため、車種の特性に合わせた最適なバッテリー容量を確保することを目的とした。

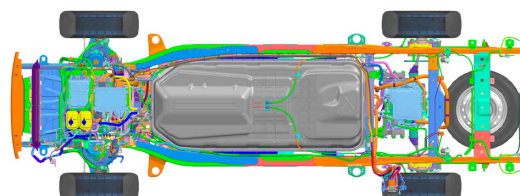


図1 D-MAX EV車両レイアウト

*Isuzu Motors Co., (Thailand) Ltd

** 車両技術部

(2) バッテリーパックの生産・輸送コスト削減

バッテリー容量確保のために大型化したバッテリーは、いすゞ専用のバッテリーとなり、サプライヤで専用生産ラインの追加によるコスト増加及び輸送コストの大幅な増加が懸念された。そこで、生産・輸送コスト低減及び車両レイアウト変更への柔軟な対応を図るため、内製によるバッテリーアセンブリ方式を採用した。

4章では主にいすゞ初であるバッテリーアセンブリラインについて論じる。

4 ISUZU D-MAX EV総組立工程の生産課題

バッテリーアセンブリ内製組立に当たっての重要なポイントは「安全確保」と「品質確保」である。それぞれについて4.1節～4.4節で述べる。

4.1 バッテリーパック組立の安全性確保

バッテリーを内製するに当たっての最初のポイントは作業の安全性の確保である。タイ国では開発時点で内製バッテリーアセンブリを行っている競合他社もなく、法整備もまだ十分に整っていない状況であった。そのために日本・アメリカの法規と照らし合わせながら安全の確保を実施した。4.1.1項～4.1.3項は安全確保のために実施した内容である。

4.1.1 組立工程における対応

導通部へのショートと感電リスクを低減させるために、バッテリーアセンブリ時のコンタミネーションを防止する環境を作る必要があり、バッテリーアセンブリルームを設定した。バッテリーアセンブリルームはコンタミネーション防止の観点から、クリーンルームとした(図2)。入室前にエアシャワールームを設置し、作業員及び部品搬送用ドーリ等に付着した塵埃(じんあい)及び汚染物を除去したうえでクリーンルームへの入室を可能とした。更に、バッテリーアセンブリルーム内は外部よりも高い陽圧(正圧)環境を維持し、外部からの塵埃と汚染物の侵入を抑制している。



図2 コンタミネーション計測機

4.1.2 火災対応

バッテリーの組立工程及びバッテリーアセンブリルーム内における火災予防・初期対応のため、複数の安全対策を講じた。まず、サーマルカメラシステムを導入し、組立中並びにバッテリーアセンブリルーム内における異常高温をリアルタイムで監視している。バッテリーアセンブリルームにおいては室温が一定値を超過した場合、即座に警報を発するシステムを運用している。また、火災感知については熱感知式火災警報システムを設置し、早期発見体制を強化した。更に、バッテリーアセンブリルーム自体は耐火性能を持つ構造とすることで、火災発生時における組立エリア外への延焼を防止している。安全管理上、事故発生時の避難経路の策定及び訓練体制も整備した。加えて、消火器、消火器カバー、水タンク(バッテリー冷却用)などの火災予防・制御装備を適切に配置した。

4.1.3 感電対応

感電リスク対策としては、作業員の発汗による感電リスクを抑えるためにアセンブリルームの室温を23℃に設定・維持している。また、万が一の事故発生時に迅速な救助・対応ができるよう、AED(自動体外式除細動器)及び電気救助フックなど、緊急救命装備を常備している。作業員の安全を確保するため、組立部品の取り扱いには絶縁ソケット及びカバートルクレンチ等の絶縁工具を使用し、感電防止対策を徹底した。また、高電圧に関わる作業には個人用保護具を装着し、バッテリー組立作業を実施している(図3)。



図3 安全対策装備

4.2 バッテリーパック品質確保

4.2.1項～4.2.3項では、バッテリーパック組立における品質管理について述べる。

特に今回の生産において最も苦勞し、日本とタイで協力して工法を確立したEV固有であるリークテストについて重点的に述べる。

4.2.1 部品品質管理

バッテリー関連部品について受入検査を実施しており、とりわけ重要部品であるリチウムイオンバッテリーモジュールに関しては組立前に設計基準に基づき、電圧の全数検査を行っている。サプライヤの生産日から

起算して、電圧降下が基準値を逸脱したバッテリーモジュールは不良品と判定し、組立工程への使用を取り止め、適切に廃棄している。

4.2.2 締付品質管理

バッテリーアセンブリ工程は誤組立を防止するためにポカヨケを設置し、組立順序も画面に表示して間違いを防止した。万が一、組立不具合が出た場合にトレーサビリティを取るために、シリアル番号・工程履歴を記録するトレーサビリティシステムを設置した(図4)。



図4 ポカヨケ・トレーサビリティシステム

4.2.3 水冷配管・バッテリーパックリークテスト

バッテリーアセンブリへの水侵入は、車両の走行停止及び感電等の重大なリスクを引き起こす可能性がある。このため、バッテリーアセンブリに対する水侵入検査を実施し、製品品質の保証を行っている。特に、組立工程においては、いかにして水侵入リスクを低減し、確実に品質を保証するかが重要な課題となっている。

試作・開発評価段階では、実際に水没試験を実施した。しかし、量産工程では重量500kgを超えるバッテリーアセンブリを毎回長時間(30分以上)水没させることは現実的ではなかった。そこで、量産時の検査方法としては、水没試験に代えて差圧式リークテストを採用し、水密性の確認を行っている。差圧式リークテストについては次の4.3節で述べる。

バッテリーパックの水侵入防止構造は、次のように設計されている。筐体(きょうたい)の接合部には防水ガスケットを配置し、コネクタ部にはシール材を用いて気密性を確保している。

まず、コネクタ部のリークテストはケース供給者(サプライヤ)にて実施され、その気密性が保証される。更に、バッテリーパック全体に対するリークテストは、最終組立工程であるIMCT(泰国いすゞ自動車: Isuzu Motors Co., (Thailand) Ltd.)において実施している。

4.3 差圧式リークテストによるバッテリーパックの品質保証

リークテストのメカニズム及びIMCT工程におけるバッテリーアセンブリ工程では、バッテリー内冷却配管及びバッテリーパック全体についてリークテストを実施しているが、両者の検査メカニズムは同一である

ことから、4.4節ではバッテリーパックを代表例として記述する。

差圧式リークテストを用いた測定の基本的な工程は次のとおりである。

まず、測定系内部を加圧し、Fill Valveを閉じることにより、系を等圧化する。その後、Test Valveを閉じて平衡状態とし、基準側(Reference側)は閉回路となるため基準値として用いられる。以降、Test Item側でリークが生じている場合、差圧として検出される仕組みである(図5・図6)。

このようにして、バッテリーパックの水密性を差圧変化として測定し、製品の品質保証を行っている。リークテストの合否(OK/NG)を判定する際には、(1)等価内容積、(2)差圧、(3)時間、の三つのパラメータが特に重要な要素となる。

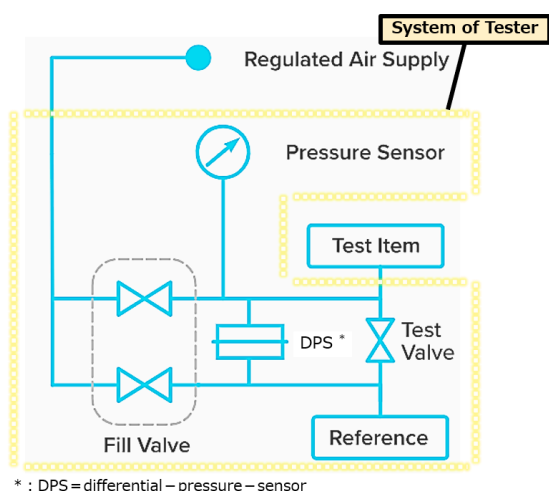


図5 リークテスト構造図

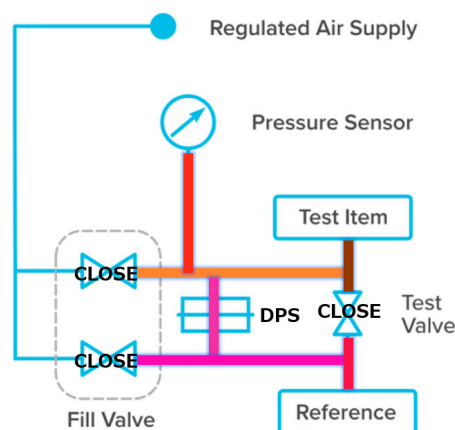


図6 リークテスト検査時状態図

等価内容積は、被検査物の容積とリークテストの内容積の和として表される(等価内容積 = 被検査物容積 + リークテスト内容積)。この等価内容積は、主として設備構成及び被検査物の設計により規定される。一方、差圧についてはリークテストにより自動的に検出・測

定されるものであり、検査者が任意に設定可能なパラメータは検査時間のみである。

4.4 検査閾値決定までのプロセス

4.4.1 許容漏れ量の設定

リーク量の許容範囲については、開発部門と連携して検討を行い、適切な基準値を決定した。

4.4.2 タイムパラメータの決定

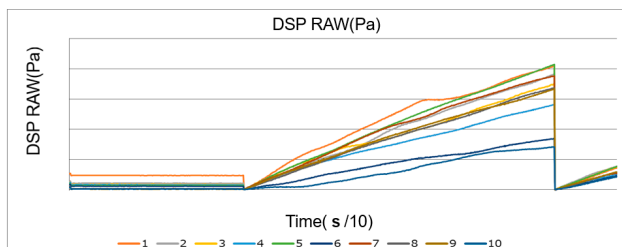
許容リーク量に基づき、リークの可能性がある箇所をパテ等で完全に封止したコンプリートシールパック(CSP)を作製し、検証試験を行った。リークテストにおけるタイムパラメータは、以下の4項目から構成される。

- CHG(充填時間：Charge Time)
- BAL1(等圧化時間：Balance Time 1)
- BAL2(平衡化時間：Balance Time 2)
- DET(差圧検出時間：Detection Time)

各タイムパラメータについて実験的に値を変えて検証し、最適条件を採用した。参考として、水冷配管におけるBAL2の時間を変化させた結果を記載する(図7)。

図7の結果から検出の安定性は測定時間の延長に伴い向上する傾向が示された。この実験の結果で最終的なパラメータ設定した。

測定時間長い場合の圧力値推移データ



測定時間短い場合の圧力値推移データ

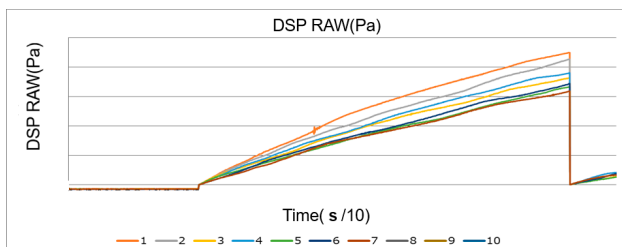


図7 BAL2時間変化

4.4.3 検査閾値の決定

4.4.1項及び4.4.2項で決定したパラメータをもとに温度変化の影響を考慮し、検査閾値を設定した。バッテリーパック内部の容量変化がごく小さいと仮定し、ポイル=シャルルの法則に従って体積を一定とすれば、室温領域では温度上昇1 Kあたり内部圧力は約1/300増加する。温度とリーク量の相関についても実験的に確認し検査閾値を決定した。

なお、量産検査において生産されたバッテリーパックを用いた水没試験の結果、漏れが確認されず、品質要件を満たしていることを確認した。

5 まとめ

内製バッテリーアセンブリの開発及び生産工法の検討において直面した諸課題への対応について述べた。いすゞとして初めてとなる量産バッテリーアセンブリへの取り組みであったため、課題の抽出から始まり、各種検証と対策の立案・実施を繰り返すことで、最終的に要求される品質及び性能を満足する工法を確立することができた。これらの活動を通じて得られた知見及び反省点については、今後のプロジェクトへの更なる改善に向けて十分に整理・共有していく所存である。また、今後も継続して品質向上とノウハウの蓄積に努めていきたい。

6 おわりに

開発初期段階から工法の検討を開始し、生産試作および量産準備の各段階で発生したさまざまな課題に対しても、関係各部門が連携し、創意工夫及び迅速な対応を行うことで、納期遅延なく市場への供給を実現することができた。

最後に、D-MAX EVの開発・生産準備・立ち上げ、並びに本報執筆に当たりご協力いただいた多くの関係者の皆様に深く感謝の意を表したい。