

SPORT HYBRID 用 Li-ion バッテリーの開発

Development of Li-ion Battery for SPORT HYBRID

大 沼 仁 和*
Yoshikazu OHNUMA

高 橋 広 一*
Koichi TAKAHASHI

松 田 剛 史*
Tsuyoshi MATSUDA

要 旨

Honda SPORT HYBRID の要求性能に対応するリチウムイオンバッテリーの開発をおこなった。

セルの性能向上のため、電極表面積拡大や活物質充填量増加等を実施し、-10℃において63%、25℃において26%の出力向上と6%の容量向上を達成した。また、セルの外形状と電圧挙動を維持したことによって既販車への搭載互換も併せて実現した。モジュールはエンドプレートやフレームの材料変更と形状変更、およびセルの保持構造の変更をおこない、セル積層方向の長さを従来の構造に対して7%低減を達成した。

ABSTRACT

A lithium-ion battery was developed to meet the performance required by Honda SPORT HYBRIDS.

The surface area of the electrode was expanded and the amount of active material applied was increased to enhance cell performance. This achieved 63% higher output at -10°C and 26% higher output and 6% higher capacity at 25°C compared to the previous cell. In addition, mounting compatibility with existing vehicles was realized by keeping the same cell outline dimensions and voltage behavior. The module length in the cell stacking direction was reduced by 7% compared to the previous structure by changing the materials and shapes of the end plates and frames, and by changing the structure used to hold the cells.

1. はじめに

石油資源の埋蔵量は有限であり、その枯渇が懸念されている。また、資源の有効活用という観点からも自動車の低燃費技術は今後も継続的に進化させていく必要がある。一方、顧客の自動車商品性に対する要求は多様化しており、低燃費車両においても、自動車が本来持つ運転する楽しさのニーズは依然として高い。

低燃費車の代表であるハイブリッド電気自動車(HEV)は内燃機関以外にトラクションモータや専用バッテリーなどを搭載している。これらデバイスの組み合わせによって、内燃機関の燃焼効率の向上や減速エネルギーの回収をおこない、自動車の低燃費化を実現している。また、内燃機関とは異なる応答性やトルク特性を持つモータを活かした加速性能を実現することができる。

Honda はパラレル方式の Integrated Motor Assist (IMA) システムを搭載した HEV を開発し、販売してきた。IMA システムは軽量、コンパクト、低コストという特徴を有しており、2012 年 9 月末時点の世界累計販売台数は 100 万台を達成している。

また、さらなる燃費と走りの質を高次元で両立させる新世代パワートレイン技術の EARTH DREAMS

TECHNOLOGY として、1 モータの SPORT HYBRID Intelligent Dual-Clutch Drive (SPORT HYBRID i-DCD)、2 モータの SPORT HYBRID Intelligent Multi-Mode Drive (SPORT HYBRID i-MMD)、3 モータの SPORT HYBRID Super Handling - All Wheel Drive (SPORT HYBRID SH-AWD) という三つの SPORT HYBRID システムを揃え、ラインナップの特性に合わせて順次拡大を目指している。

IMA システムのバッテリーには、1999 年モデルの Insight 以来、ニッケル水素バッテリー (Ni-MH) を採用してきたが、2011 年モデルの Civic Hybrid からリチウムイオンバッテリー (LIB) を搭載した。LIB は Ni-MH に対して高出力かつ軽量という特徴を有しており、同電圧の Ni-MH バッテリーに比べて出力は 33% 向上、重量は 30% 低減し、さらなる燃費向上へ貢献している⁽¹⁾。

これまで販売してきた IMA システムはエンジンを主動力、モータを補助動力として設計しているためモータ出力は小さく、バッテリーの出力と容量も要求性能を満足するものであった。しかしながら、今後ラインナップが拡大される SPORT HYBRID は、モータのみでも走行可能としているシステムであるため、バッテリーに要求される容量と出力には、さらなる向上が求められている。また、幅広い車種に搭載するためには、バッテリーを小型化して搭載性を向上させることが望まれる。

* 四輪 R&D センター

本開発では SPORT HYBRID に適した性能とサイズを有し、幅広い車種に搭載可能な LIB を開発することを目標とした。さらに IMA システムを搭載した既販車との互換性がある仕様とすることも併せて目標とした。

2. 開発目標

バッテリーを構成する最小単位をセルと呼び、このセルを直列に束ねたものをモジュールと呼ぶ。さらに、このモジュールを複数個直列にしたものをパックと呼び、システム要求電圧に応じてモジュールの直列数を変えた構成から成る (Fig. 1)。

SPORT HYBRID に求められる高い性能と既販車との互換性を確保するためには、セルの外形寸法と電圧特性を同一にしつつ性能を向上させなければならない。よって、本開発ではセルの外形寸法と正負極活物質は踏襲しつつ、出力密度と容量密度を向上させる手法が求められた。

モジュールは小型化による搭載性向上を目標とするが、セルの外形寸法は変更しないため、セル以外の構成部品の形状を変更することによってモジュールの小型化を実現する。

SPORT HYBRID 用 LIB 開発に際し、以下の3点を開発目標とした。

- (1) セルの高出力化、高容量化
- (2) 既販車とのセル互換性
- (3) モジュールの小型化

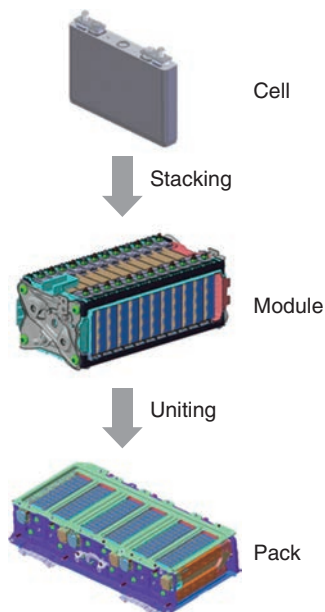


Fig. 1 Battery components for HEV

3. セル

3.1. セル構成

Fig. 2 に搭載セルの構造を示す。LIB は金属箔に活物質を塗布した正負極電極、正負極電極と端子を接続する集電

体、有機溶媒と電解質から成る電解液、電解液保持と絶縁の機能を持つセパレータ、これらを封入する電槽缶で構成されている。

3.2. セル性能向上

本開発の目標であるセルの出力向上を達成するために電極表面積の拡大をおこなった。

出力は電流と閉回路電圧の乗算で算出される。バッテリー許容電流 I の大きさは式 (1) で表現できる⁽²⁾。

$$I = n F A k C_M C_E \exp(n \alpha F \eta / RT) \quad (1)$$

n : 電池反応に関与する電子数, F : ファラデー定数, A : 電極有効表面積, k : 反応速度定数, C_M と C_E : 電極および電極と反応する物質の濃度, α : 透過係数, η : 過電圧, R : 気体定数, T : 絶対温度

式 (1) からわかるとおり、電極の有効表面積 A が大きいほど電極に流せる電流が大きくなり、正負極活物質を変更することなくセルの出力を向上させることができる。

電極表面積を拡大するために活物質を塗布する基板厚やセパレータ厚を低減して電極の長尺化を実施した。さらにセパレータ厚を薄くすることにより、正負極間距離が短縮されてセル内部インピーダンスが抑制されたことや⁽³⁾、添加剤による電極表面被膜の形成も出力向上へ貢献している。

セルの容量向上を達成するために正負極活物質充填量の増加をおこなった。容量は充填した活物質質量に比例するため⁽⁴⁾、正負極電極の基板厚やセパレータ厚を低減して空隙を確保し、正負極活物質の充填量を増加してセルの容量を向上させた。

上記手法により、本開発のセルは -10°C における出力が 63%、 25°C における出力が 26%、容量が 6% 向上し、SPORT HYBRID の要求性能目標を達成することができた (Fig. 3)。

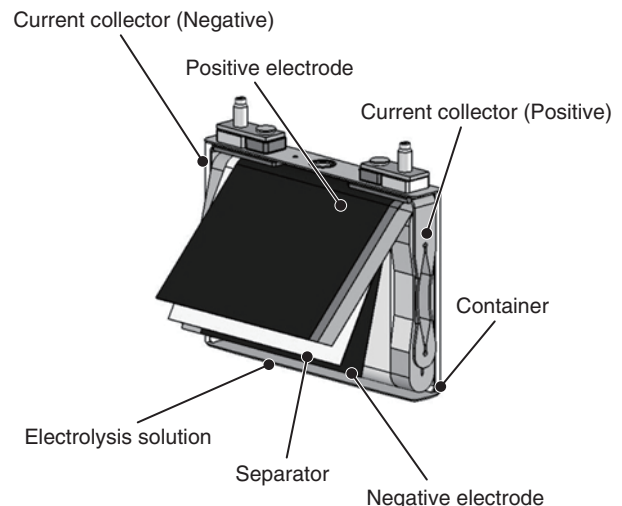


Fig. 2 Construction of cell

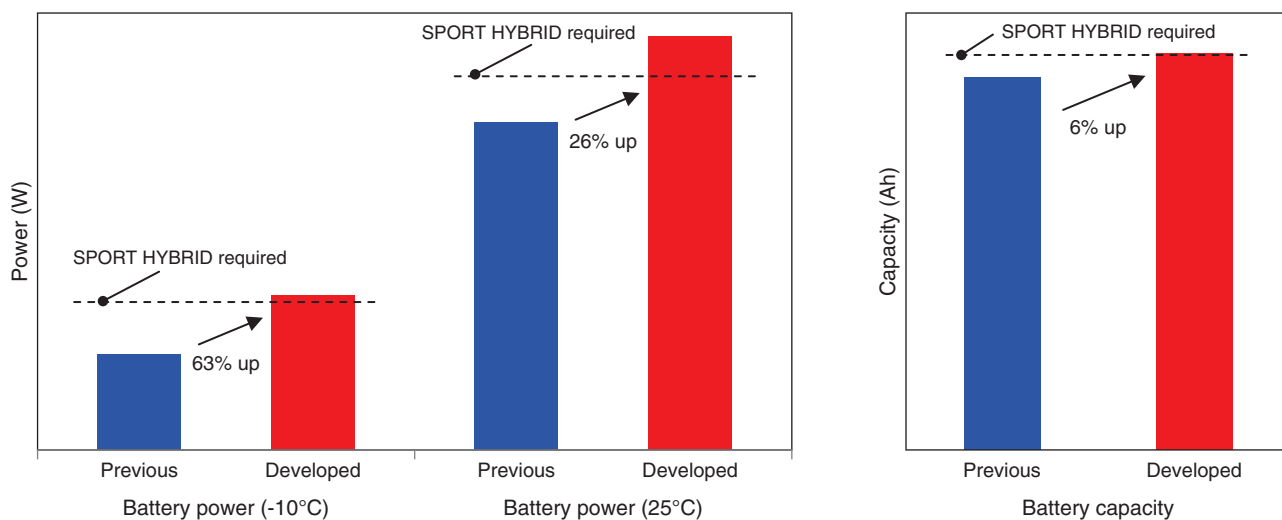


Fig. 3 Comparison of battery performance

なお、セルの性能向上は電極表面積の拡大と活物質充填量増加によって達成したが、セルの電槽缶の体積と正負極活物質の特性は2011年モデル Civic Hybrid と同一である。よって、セルの外形寸法と電圧特性も2011年モデル Civic Hybrid と同一となり、セル搭載互換性も併せて達成した。

4. モジュール

4.1. モジュール構成

Fig. 4 にモジュールの構造を示す。モジュールはバッテリーの最小単位であるセル、セルの位置決めやセル間の絶縁および冷却風流路を確保するためのホルダ、セルを保持するスプリングとエンドプレートとフレームから成る。

モジュールには走行中の振動によるセルの揺動抑制、モジュール自体の揺動など外部からの応力に耐える強度、セルの膨張による内部からの応力に耐える強度が求められる。

4.2. モジュールの小型化

2011年モデル Civic Hybrid 搭載モジュールは軽量化のためにマグネシウム製の鋳造エンドプレートを使用し、セル積層数は10セルで構成されている。

本開発のモジュールは幅広い車種への適応を想定し、小型化を目標とした。さらに、SPORT HYBRID に最適な搭載量にするために、セル積層数を2セル増加して12セルに変更している。これによって積層長が長くなり、ねじれ変位量が大きくなる。

セルのねじれ変位量を抑制させること、およびフレームとエンドプレートの締結部応力を分散させるために、フレームをエンドプレートの四隅に配したボックス構造に変更し、さらにセルを四点保持構造にした (Fig. 5)。

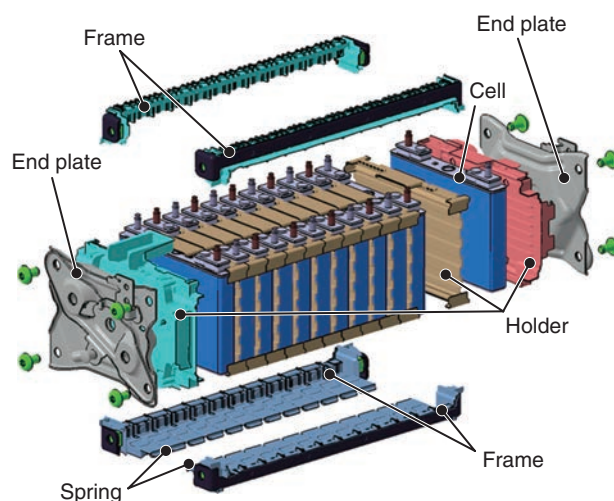


Fig. 4 Construction of module

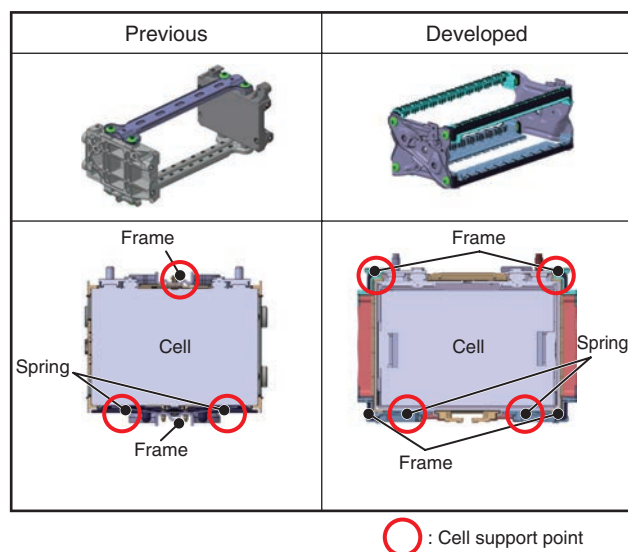


Fig. 5 Cell support points

これらの対応により、エンドプレートやフレームにかかる各部の最大応力は限度内に収まり、セル数増加による課題を解決した。

モジュールの小型化のために、エンドプレートをマグネシウム鋳造から鋼板に変更して厚さの低減をおこなった (Fig. 6)。その結果、エンドプレート厚は 37% 減を達成することができた。なお、エンドプレートの材料変更によるモジュール化重量の増加は、フレームやホルダの材料と形状を変更し、2011 年モデル Civic Hybrid 搭載モジュールと同等のモジュール化重量を達成した。

本開発のモジュールはハイブリッドシステムの要求に合わせて搭載量を変更することができる。SPORT HYBRID i-MMD の 2014 年モデル Accord Hybrid には本開発のモジュールを 6 個搭載しており (Fig. 7)、モジュールの小型化によりセル積層方向の長さを従来の構造に対して 7% 低減を達成した。

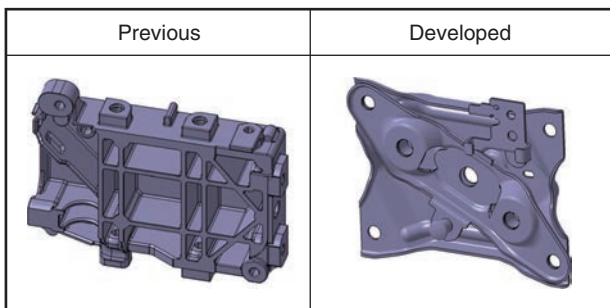


Fig. 6 Module end plate

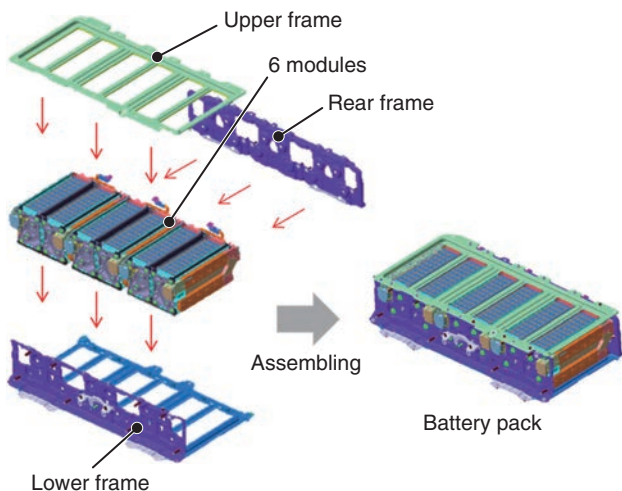


Fig. 7 Battery pack for 2014 model year Accord Hybrid

5. まとめ

SPORT HYBRID 用 LIB 開発に際し、設定した 3 点の開発目標の達成度は以下のとおりである。

(1) セルの高出力化、高容量化

電極の長尺化と電極表面積の拡大と正負極活物質量

の増加によって、 -10°C における出力が 63%、 25°C における出力が 26%、容量が 6% 向上し、SPORT HYBRID の要求性能を達成した。

(2) 既販車とのセル互換性

正負極活物質を変更せずにセルの高出力化および高容量化を達成しているため、電圧特性は既販車と同等である。また、セルの外形寸法も変更していないため既販車とのセル互換性を達成した。

(3) モジュールの小型化

エンドプレートをマグネシウム鋳造から鋼板にすることによってセル積層方向の長さを従来の構造に対して 7% 低減し、モジュールの小型化を達成した。

本開発品は 2014 年モデルの Accord Hybrid から順次採用する予定である。

参考文献

- (1) 小茂田訓, 西田義一, 丸野直樹: HEV 用 Li-ion バッテリーシステムの開発, 自動車技術会学術講演会前刷集, No.107-11, p.1-4(2011)
- (2) 高村勉, 他: 電池反応の基本, 二次電池の開発と材料, シーエムシー出版, p.3-5(2002)
- (3) 佐藤登, 境哲男: リチウムイオン電池の動作原理と特徴, 自動車用大容量二次電池, シーエムシー出版, p.68-75(2003)
- (4) 小久見善八: セパレーターの基本機能と要求特性, 最新二次電池材料の技術, シーエムシー出版, p.100-101(2002)

■ 著 者 ■



大沼 仁和



高橋 広一



松田 剛史