

自動車用リチウムイオン電池

Automotive Lithium-ion Battery

東本 晃二 Higashimoto Kouji
 本間 英樹 Homma Hideki
 上村 保雄 Uemura Yasuo
 河合 英正 Kawai Hidemasa
 西原 昭二 Saibara Shoji
 弘中 健介 Hironaka Kensuke

深刻化する地球環境問題のソリューションの一環としてハイブリッド電気自動車、プラグインハイブリッド電気自動車の開発が活発化している。

日立グループではそのキーデバイスであるリチウムイオン電池の開発を推進している。今回、第三世代の円筒形電池が完成し、2011年から米国GM社のハイブリッド車に採用が決定した。さらに、第四世代の高出力角形電池、プラグインハイブリッド用の新型角形電池も開発中である。

1. はじめに

地球環境問題に対する取り組みの重要性は強まっており、エネルギー利用に関する問題解決が注目されている。中でも自動車の環境性、経済性の両面から、二次電池を搭載したHEV (Hybrid Electric Vehicle：ハイブリッド電気自動車) やPHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle：プラグインハイブリッド電気自動車) が製品化され、普及の拡大が急速に進んでいる。現時点では二次電池としてニッケル水素電池 (Ni-MH：Nickel Metal Hydride) 搭載車が主流であるが、より高出力、高エネルギー密度であるリチウムイオン電池の実用化が加速している。

ここでは、General Motors Corporation (以下、GM社と記す。) のHEVに採用が決定した第三世代のHEV用リチウムイオン電池と、開発中の次世代HEV用、PHEV用リチウムイオン電池への取り組み、および展望について述べる。

2. これまでの取り組み

日立グループは、1990年代から車載用リチウムイオン電池の開発を進めており、高性能、長寿命なリチウムイオン電池を世界に先駆けて製造し、市場へ投入してきた。

各世代の電池性能の推移を図1に示す。

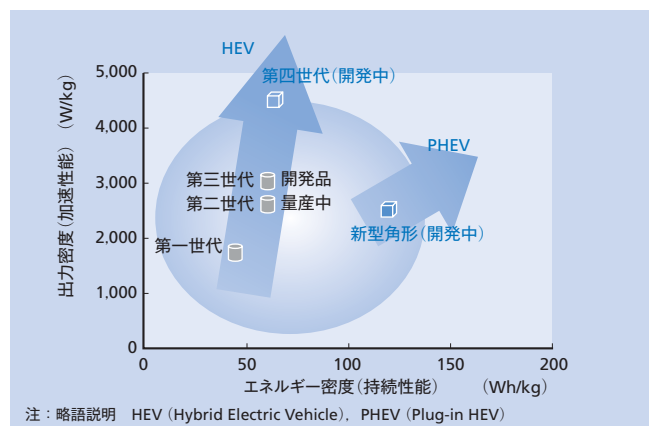


図1 | 日立グループにおける車載用リチウムイオン電池の性能推移
マンガン系正極材をベースに独自開発による出力、エネルギー密度の向上を図っている。

エネルギー密度と出力密度は相反する性能であるが、電池の主要材料である活物質の継続的な開発によって、着実に進化させている。

第一世代から多種多様な車両に搭載され、すでに10年以上の市場経験を積んでいる(図2参照)。現在量産中の第二世代電池は2,600 W/kgの出力密度を有し、120万セル以上の市場実績がある。

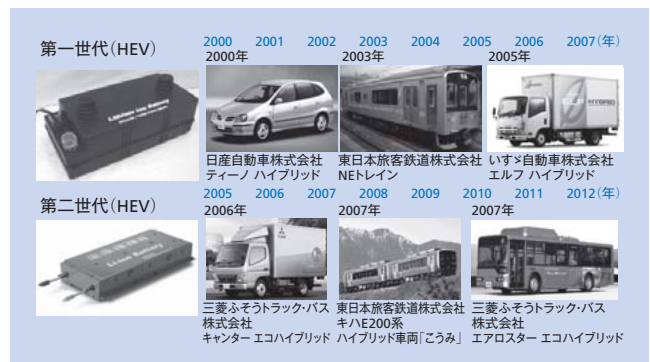


図2 | HEV用リチウムイオン電池の電動車両への搭載実績
さまざまな車両での搭載実績があり、高いシステムの信頼性を得ている。

3. 第三世代HEV用リチウムイオン電池

HEVの高性能化に対応するために、高出力、長寿命を実現させた第三世代リチウムイオン電池を開発した。

3.1 電池の特徴と性能

第二世代、第三世代電池の主要諸元を**表1**に示す。

第三世代電池の特徴は、出力密度を3,000 W/kgまで高め、小型軽量を実現したことである。出力向上のため、材料面ではマンガン系正極のリチウムと金属の比率を最適化し、結晶性制御によって活物質表面の反応抵抗を低下させた。また、構造面では正負極のリード端子の最短設計、および溶接法の改良によって低抵抗化を実現した。

第三世代電池の外観を**図3**に、第二世代、第三世代電池の入出力特性の比較を**図4**に、第三世代電池の出力の温度特性を**図5**にそれぞれ示す。

さらに電池の開発ポイントとして保存寿命の改善にも注力した。HEVでは10年以上の電池寿命が要求され、かつ寿命特性に優れることは劣化が少なく、活物質を有効に使えるため、電池の小型化につながる。

第二世代、第三世代電池の出力温度の特性とセルの50°C保存寿命特性を**図6**に示す。

保存寿命の向上には、主として負極の電極構造の改善および新規の電解液添加剤の導入で対応した。

リチウム電池に要求される安全性についても、多項目にわたり評価を実施し確認した。主な評価項目と結果を**表2**

表1 | 第二世代、第三世代電池の主要諸元と量産状況

量産中の第二世代リチウムイオン電池と2011年量産の第三世代リチウムイオン電池の主要諸元を示す。

	第二世代	第三世代
ステータス	量産中	2011年量産
セル形状	円筒形	円筒形
正極材料	Mn系	改良Mn系
負極材料	非晶質炭素	非晶質炭素
容量 (Ah)	5.5	4.4
質量 (kg)	0.30	0.26
出力密度 (W/kg)	2,600	3,000

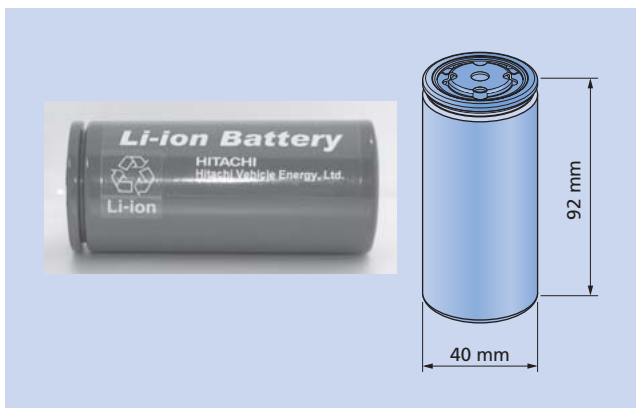


図3 | 第三世代電池の外観

120万セル以上の市場実績がある高信頼性円筒形電池をベースとした。

に示す。いずれの条件においても破裂・発火は見られなかった。

3.2 電池パックの開発

HEV用の電池システムにはセルの複数接続によるパック化が不可欠である。また、リチウムイオン電池では各セルを監視する監視システムの搭載が必須となっている。そのため、GM社の要求にマッチした電池パックを開発した。

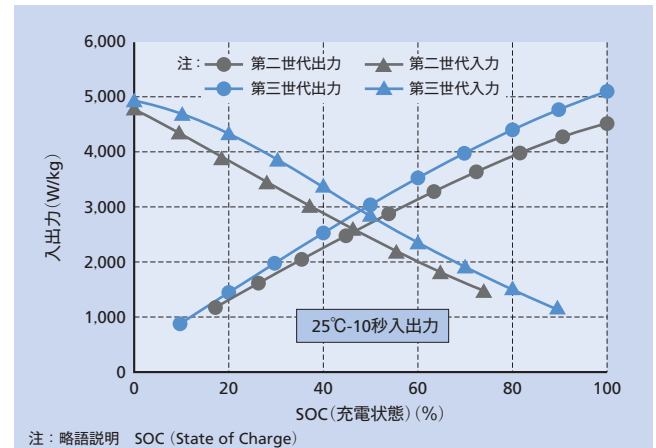


図4 | 第二世代、第三世代電池の入出力特性

第三世代電池はSOC50%で3,000 W/kgの出力密度を有する。

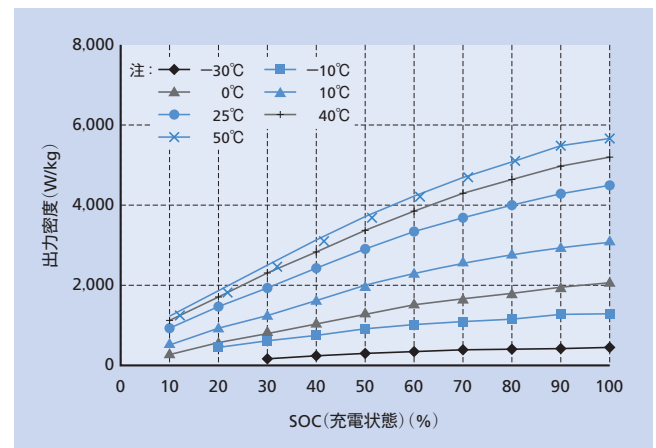


図5 | 第三世代電池の出力の温度特性

-30°Cの条件下においてもSOC50%で300 W/kgの出力を持つ。

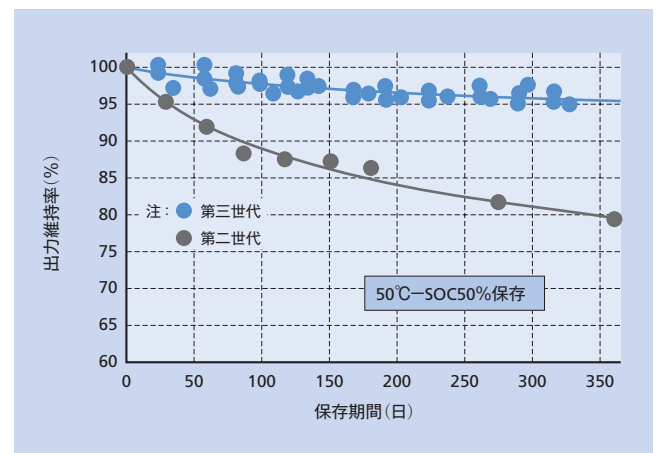


図6 | 第二世代、第三世代電池の保存寿命特性

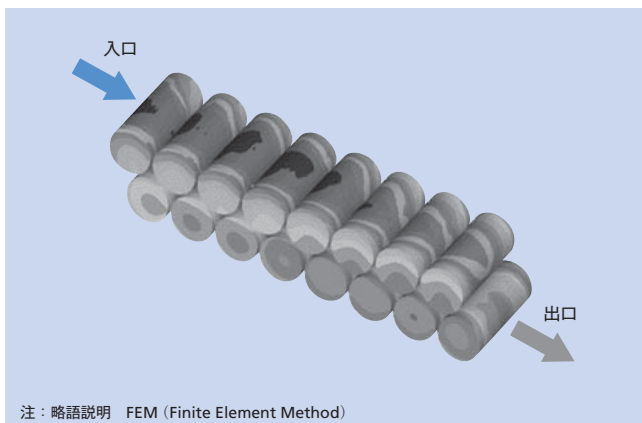
高温保存特性の大幅な改善により、電池の小型化を実現化した。

表2 | 安全性試験結果

いずれの条件においても破裂、発火は見られない。

試験項目	試験条件	結果 EUCAR 現象レベル*
釘(くぎ)刺し	SOC 60%, 70%, 80%, 90%, 100%, @55°C	3, 4
圧壊	255kgw-5min SOC 60%, 70%, 75%, 80%, @55°C	2
外部短絡	回路抵抗: <5mΩ (1mΩ) SOC 60%, 70%, 75%, 80%, @55°C	2
過充電	100%から200% SOC 32A-CC Charge, @55°C	2
過放電	100%から100% SOC 1CA, @55°C	2
加熱試験	最大温度250°C 昇温速度5°C/分 5°Cステップ-30分保持 SOC 60%, 70%, 80%	3

注: 略語説明ほか EUCAR (European Council for Automobile R&D)
*レベル4 (電解液が電池外に50%以上散出)、レベル3 (電解液が電池内に50%以上残存)、レベル2 (弁作動なし、液漏れなし)



注: 略語説明 FEM (Finite Element Method)

図7 | 電池パック内のセル温度FEM解析結果

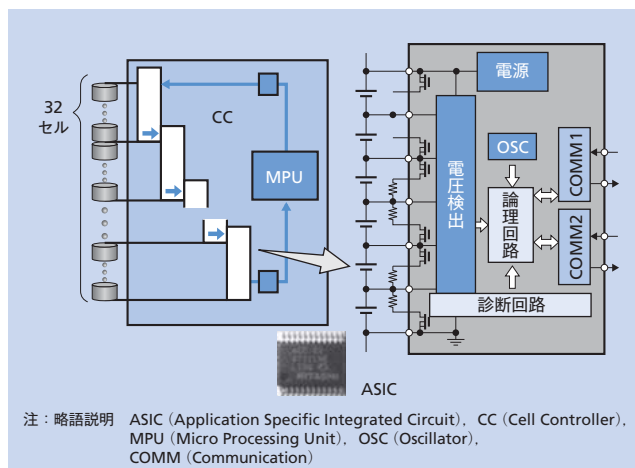
セル温度上昇低減, 各セル間温度ばらつき低減, 流路圧力損失低減を達成するため, セル配置や冷却通路を最適化した。

8列2段組み16本をモジュールとし, パックは2個のモジュールから構成される。また, バッテリー監視装置はモジュールの上部に配置させる構造とした。

パックの設計にあたって耐振動性, 耐衝撃性などのメカニカルな要求特性はもちろんのこと, 特に重点をおいたのは温度マネジメント対応である。空冷構造, 空冷条件で全体の温度上昇の低減と各セル間の温度ばらつきの低減を, シミュレーションと実測の繰り返しによって解決した。また, 冷却風とガス排出溝を完全分離し, 非常時の車室安全性を確保する構造としている。シミュレーションの例を図7に示す。

バッテリー監視システムには, 自己診断機能を強化した新規カスタムASIC (Application Specific Integrated Circuit)を開発し, 採用した。機能安全性評価を行い, セル電圧の入力からマイコンまでのエンドツーエンド診断方式を開発し, 冗長レスアーキテクチャを実現した。

カスタムASICは1個につき4セルまたは6セルの監視を受け持つ。バッテリー監視システムの構成を図8に示す。



注: 略語説明 ASIC (Application Specific Integrated Circuit), CC (Cell Controller), MPU (Micro Processing Unit), OSC (Oscillator), COMM (Communication)

図8 | バッテリー監視システムの構成

自己診断機能を強化した新規ASICを開発し, 機能性安全評価を行って冗長系の過充電検出系を削除した。



図9 | 量産ライン (セル組立ライン: 日立ピークルエナジー東海事業所内) 月産30万セルの組立ラインが完成し, 2011年から量産を開始する。

3.3 量産設備

第三世代の円筒形電池については月産30万セルに対応する量産ラインを構築し, 完成させた。電極工程は日立マクセル株式会社京都事業所が, セル組立工程と電池パック組立工程は日立ピークルエナジー株式会社東海事業所が行う。

この量産ラインで2011年からGM社のHEV用電池の量産を開始する。量産ライン (セル組立: 日立ピークルエナジー東海事業所) の一部を図9に示す。

4. 次世代電池の開発

4.1 第四世代HEV用電池の開発

HEV車両の高性能化に伴いエンジンをアシストする瞬発力, すなわち高い実効電流に耐えうる電池が求められている。これに応えるために, 高出力, 放熱性を追求した角形電池を開発中である。第四世代電池の外観, および第三世代, 第四世代電池の主要諸元を図10に示す。

第四世代電池の構造においてはパッケージ部品ごとの抵抗許容値を定め, 特に電流通電部は電流解析によって集電・接続方法を適正化し, 徹底した内部抵抗低減を図った。材料面では, 結晶制御など最適粒子設計を用いた新規材料を採用した。さらに, 電極の薄膜化など反応抵抗の低減も織

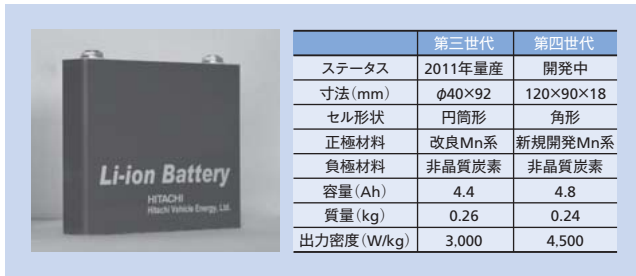


図10 | 第四世代電池の外観と第三世代、第四世代の主要諸元比較
第四世代電池は世界トップクラスの出力密度4,500 W/kgを有する。

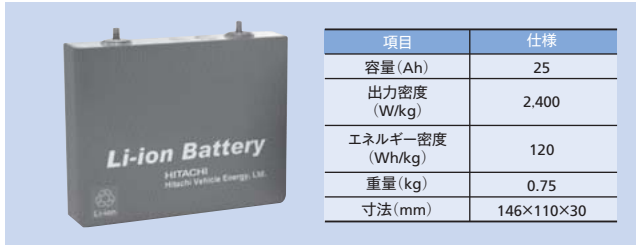


図11 | PHEV用新型角形電池の外観と仕様
高エネルギー(EV走行)と高出力(HEV走行)性能をバランスさせた高安全性のPHEV用新型角形電池を開発中である。

り込んだ。

性能検証の結果、第三世代電池の1.5倍の出力密度が得られ、自然対流下11C(Cは1時間率の電流)の連続通電において温度上昇約23°C、電池内温度分布約2°Cとなり、良好な放熱性が確認できた。

4.2 PHEV用角形電池の開発

EV(Electric Vehicle)走行とHEV走行を使い分け、大幅な燃費改善と排出ガス抑制が可能なPHEVが注目されている。この電源として高エネルギー(EV走行)かつ高出力(HEV走行)の電池を開発中である。両者は電池設計上相反する特性であるが、角形電池の低抵抗化構造と電極活物質の組成および電極厚みの最適化によって両立を可能とした。また、高エネルギー化に伴う安全性の確保には、セラミックセパレータの採用、新電解液添加材の開発などで対応した。PHEV用電池の外観と仕様を図11に示す。

5. おわりに

ここでは、GM社のHEVに採用が決定した第三世代のリチウムイオン電池と、開発中の次世代HEV用、PHEV用リチウム電池への取り組み、および展望について述べた。

日立グループは、車載用リチウムイオン電池事業を地球環境問題解決の重要な柱として位置づけており、高性能・高信頼性電池の提供で未来に貢献するとともに、さらなる電池イノベーションに挑戦し、これからの市場ニーズに積極的に応えていく所存である。

参考文献

- 1) M.Isogai, et.al.: Hitachi Li-ion Battery for HEV Applications, 2010 Advanced Automotive Battery and EC Capacitor Conference, Proceeding Section 2, p.93 (2010.5)
- 2) 小関, 外: 配送用ハイブリッドトラック向けリチウムイオン電池システムの開発, 新神戸テクニカルレポート, No.18, p.15 (2008)

執筆者紹介



東本 晃二

1986年新神戸電機株式会社入社、日立ビークルエナジー株式会社 設計開発本部 電池第一設計部 所属
現在、第三世代電池の設計マネジメントに従事



本間 英樹

1985年日立オートモティブエンジニアリング株式会社(現株式会社日立カーエンジニアリング)入社、日立ビークルエナジー株式会社 設計開発本部 システム設計部 第一グループ 所属
現在、第三世代電池モジュールの設計、開発マネジメントに従事



上村 保雄

1985年日立オートモティブエンジニアリング株式会社(現株式会社日立カーエンジニアリング)入社、日立ビークルエナジー株式会社 設計開発本部 システム設計部 第四グループ 所属
現在、バッテリーコントローラの設計、開発マネジメントに従事



河合 英正

2009年日立製作所入社、日立ビークルエナジー株式会社 設計開発本部 電池第二設計部 所属
現在、第四世代電池の開発マネジメントに従事
電気化学会会員



西原 昭二

1986年日立マクセル株式会社入社、日立ビークルエナジー株式会社 設計開発本部 電池第二設計部 所属
現在、プラグインハイブリッド電池の開発マネジメントに従事



弘中 健介

1980年新神戸電機株式会社入社、日立ビークルエナジー株式会社 設計開発本部 電池開発部 所属
現在、電池材料開発のマネジメントに従事