

feature article

自動車用リチウムイオン二次電池

Automotive Lithium-ion Batteries

丸山 昭彦 Akihiko Maruyama
石津 竹規 Takenori Ishizu

河野 竜治 Ryuji Kono
小関 満 Mitsuru Koseki

佐藤 豊 Yutaka Sato
村中 廉 Yasushi Muranaka

深刻化する地球環境問題に対して、自動車の低燃費化と排気ガス削減を図るために、ハイブリッド電気自動車向けの次期高出力リチウムイオン電池を開発中である。これは日立グループ製品の中で第四世代品に相当し、従来の円筒形電池に対して角形電池構造を検討している。新規マンガン系正極材料の採用、電極の薄膜化、および低抵抗集電体を含む新型構造の開発などにより、第三世代品の約1.5倍に相当する、4,500 W/kgの出力密度を確認できた。角形電池は放熱性に優れるなど有利な点も多く、今後は長期信頼性の検証を実施するとともに、製造プロセスの開発を行い、量産性を判断していく予定である。

1. はじめに

化石エネルギーの枯渇、CO₂増大に伴う温暖化などの地球環境問題が広く取り上げられ、エネルギー利用に関する問題の解決と持続的な経済発展の両立策が模索されている。

この問題に深く関与する自動車においては、いっそうの低燃費化と排出ガス削減が主要課題となっている。モノづくり面での具体的対応策として、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EV (Electric Vehicle: 電気自動車) が現実化しつつある。現時点ではニッケル-水素 (Ni-MH) 二次電池を搭載したものが多くを占めるが、より高出力化、大容量化が可能なりチウムイオン二次電池 (以下、リチウムイオン電池と記す。) の実用化が期待されている。

ここでは、自動車用リチウムイオン電池の高性能化への日立グループの取り組みと展望について述べる。

2. リチウムイオン電池の概要

リチウムイオン電池は二次電池の一種であり、使い捨ての金属リチウム電池とは区別される。正極にはリチウムを含有する金属複酸化物、負極には炭素などリチウムを受容 (挿入) / 放出 (脱離) できる材料を用い、イオン解離可能なリチウム塩とそれを溶解可能な有機溶媒から成る電解液を含浸させる。これらの構成により、高い単電池電圧とエネルギー効率を備え、かつ長寿命化が可能な電池系となる。エネルギー貯蔵能力の指標であるエネルギー密度 (電池重量当たりのエネルギー量) は、実用化されている二次

電池の中で最も高い値を示す。

1992年の民生分野での上市以降、まだ歴史の浅い新電池であるにもかかわらず、今日、わが国では最大の市場規模を有するに至り、世界的に見ても鉛電池に次ぐ地位を占めている。

3. これまでの取り組み

日立グループは1990年代初頭から大型リチウムイオン電池の研究開発を行ってきた。2004年には、車載用リチウムイオン電池の開発・製造を行う日立ビークルエナジー株式会社を設立し、材料から電池制御システムまでの一貫した技術力とモノづくり力により、高性能かつ長寿命な電

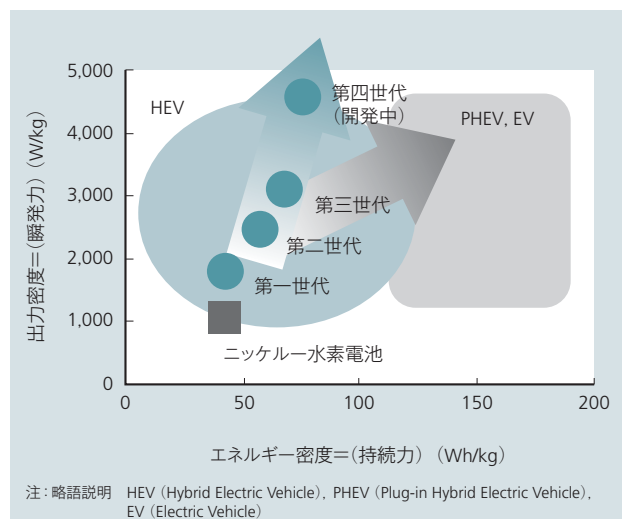


図1 リチウムイオン電池の性能推移

コスト面で競争力のあるマンガン系をベースとした独自材料で、出力、エネルギー密度を向上させている。また材料、構造設計の両面から高い安全性を追求している。

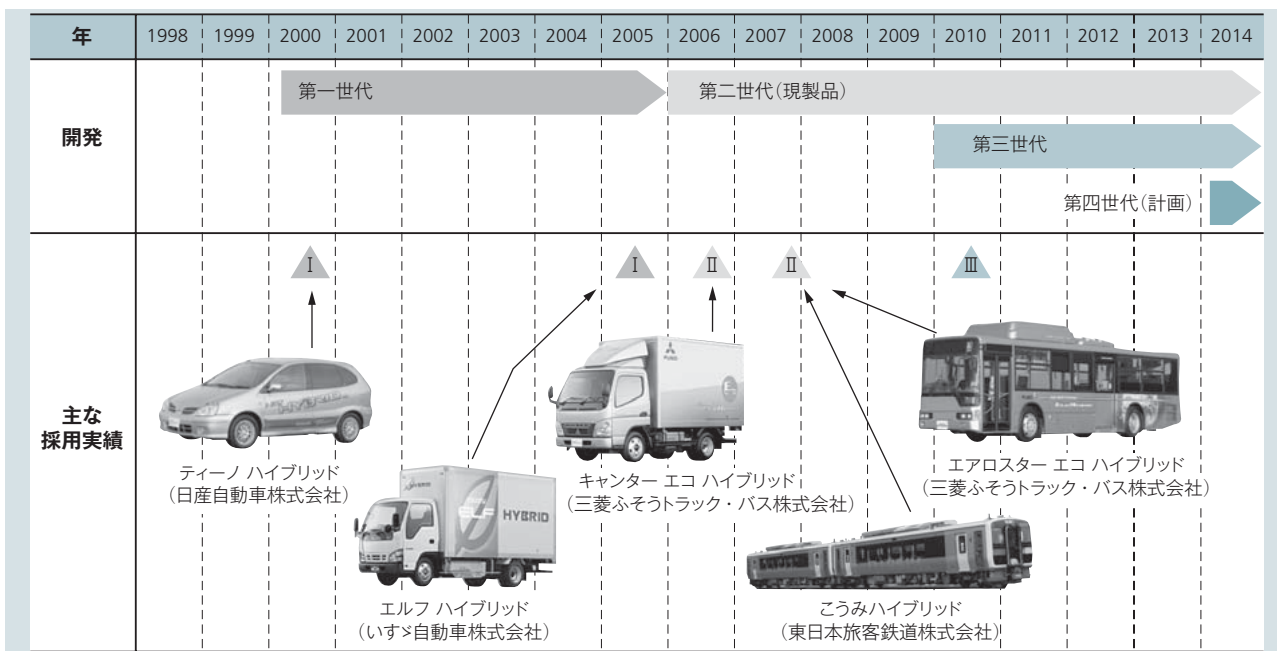


図2 自動車への搭載実績

2000年の日産自動車株式会社「ティーノ ハイブリッド」試作車を皮切りに、第一世代および現行の第二世代電池を商用車両を中心とした市販車に搭載してきた。2010年には最新の第三世代電池を乗用車向けに提供する予定である。

池を世界に先駆けて製造し、市場に投入してきた。反応効率とエネルギー密度が高いリチウムイオン電池の安全性を高めるために、構造および製造技術両面の開発にとりわけ大きなリソースを投じている。

各世代電池の性能推移を図1に示す。

電池の主要特性であるエネルギー密度と出力密度は、一般に相反の関係があるが、材料面や構造面の継続的改良によって世代ごとに着実に両者を向上させてきた。

第一、第二世代製品はすでに一部の市販車に採用されている(図2参照)。これらは現在公道で見られる世界に数少ないリチウムイオン電池搭載HEVである。

車載用リチウムイオン電池のラインアップを表1に示す。

正極にマンガン(Mn)系をベースにした独自開発材料、負極に非晶質炭素を使用している点が特徴である。マンガン系材料は一般的なコバルト(Co)系材料に比べてコスト面での競争力に優れ、非晶質炭素材料は高い安全性を有する。

表1 各世代電池の主要緒元とステータス

量産中の第二世代電池はハイブリッドトラックなどに搭載されており、5年間で出荷数70万セルに達している。第三世代電池の開発もすでに完了し、最終的な量産準備段階にある。さらに、飛躍的に出力向上を図った世界トップ性能の第四世代電池を開発中である。

	第二世代	第三世代	第四世代
正極材料	Mn系	Mn系	新開発Mn系
負極材料	非晶質炭素	非晶質炭素	非晶質炭素
容量(Ah)	5.5	4.4	4.8
重量(kg)	0.30	0.26	0.24
セル形状	円筒形	円筒形	角形
出力密度(W/kg)	2,600	3,000	4,500
ステータス	量産中	量産準備中	開発中

現在量産中の電池は第二世代と呼ばれる(図3参照)。2,600 W/kgの出力密度を備え、量産レベルでは最高出力の製品と位置づけられている。ハイブリッドトラックなどに搭載され、現在も多くのニーズがある。累計販売数は70万セルに上っている。

また、第二世代電池をいっそうの大量生産に適合するように構造改良するとともに、出力密度を3,000 W/kgまで向上させた第三世代電池およびその搭載システム(電池パック)もすでに開発を完了した(図4参照)。

2010年から月産30万セルの体制で量産を開始し、ハイブリッド自動車に搭載する予定である。

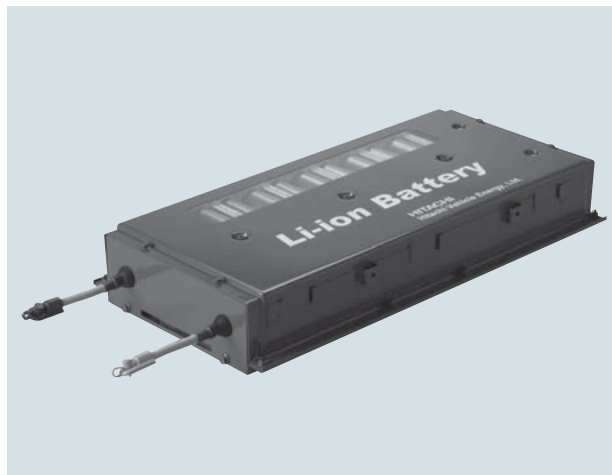


図3 第二世代電池

車両用量産レベルでは最高出力の製品と位置づけられており、現在も多くのニーズがある。



図4 第三世代電池

量産レベルでは世界トップの3,000 W/kgの出力性能を有する。2010年から量産の予定である。

4. 第四世代電池の開発

リチウムイオン電池を搭載した自動車市場の本格的な拡大は2014年以降と予想され、以後大規模な需要が見込まれる。そのタイミングでの市場投入をめざし、第四世代と位置づける新型電池を開発している。

4.1 開発スタンス

前述した電池のエネルギー密度と出力密度の関係は、材料選択や電極層形成方法などによって変化する。電池への要求特性に応じてこれらを正確にチューニングすることが重要である。

例えば、EVでは航続距離を確保するうえでエネルギー容量が比較的重視されるのに対し、HEVでは状況に応じてエンジンを即座にアシストし得る瞬発力、すなわち出力が必要とされる。電極の材料量と面積を増やせば容量、出力ともに向上するが、電池体積、重量およびコストが増大して商品性を損なう。低燃費であることと価格低減が命題のHEVやEVにおいて、車両当たり数十個搭載する電池の重量やコストは厳しく制限される。

以上から、電池の開発プロセスは、電池の性格づけを明確にしたうえで構成部材の改良と新技術の注入により、優先特性の目標を満足しながら相反特性を補い、総合的価値を満足することが基本スタンスとなる。

第四世代電池はHEVをターゲットとし、徹底した高出力化をめざした。これまでは円筒形状をベースに製品化しているが、第四世代では、新たな試みとして角形状の開発を開始した。これは(1)放熱性に優れる、(2)自動車メーカーのニーズに合致する、(3)構造がシンプルで出力を上げやすいなどの理由による。

4.2 課題への対応

出力向上のための取り組みは、端的に言えば内部抵抗低減を図ることである。この課題に対し、材料およびパッケージ各部品ごとの抵抗許容値を定め、それぞれのクリアをめざした。

材料面では、正極にマンガン系を主体として結晶制御など最適な粒子設計を行った新規材料を採用することで抵抗低減をねらった。この技術は、リチウムイオン電池に共通利用できるため、円筒形の出力向上も可能となる。また構造面では、今回の角形電池開発にあたりFEM (Finite Element Method) 電流解析によって、電極から外部端子までの接続形状、集電方法を適正化して目標を満足した。

一方、出力最重視でありながらもエネルギー容量を確保するため、電極の薄膜化および大面積化を図った。

4.3 評価

性能の検証に用いた電池の外観を図5に示す。

外形サイズは120×90×18 (mm)、重量は240 gである。出力密度は4,500 W/kg、エネルギー密度は75 Wh/kgであった。

角形電池の放熱特性の一例として、充放電電流と到達温度の関係を図6に示す。

今回検証した電池は、自然対流下、11 C (Cは1時間率の電流) の通電において温度上昇約23 °C、電池内の温度分布約2 °Cであった。これは表面積 (放熱面積) が大きく、電池中心から表面までの距離が小さい角形状の特長に加え、内部抵抗を下げた発熱量を小さくした効果と考えられる。

出力が大きいことは、HEVの応答要求によるエンジンアシスト性が大きいことを意味する。その結果、少ない電池搭載数で車両トータルの小型軽量化、燃費向上、コスト低減に効果を発揮することが可能になる。また、放熱特性



図5 第四世代電池

新規正極材料、電極の薄型化、および電流経路の低抵抗化により、4,500 W/kgの出力密度を実現した。

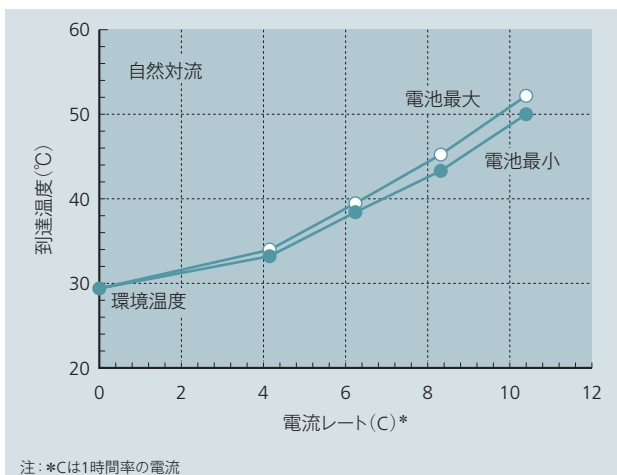


図6 第四世代電池の通電時温度上昇

角形電池は内部の温度分布を小さくできるため、電池の長寿命化や冷却システムの簡素化が期待できる。

のよいことは、電池内部の温度分布を少なくし、電池の長寿命化や冷却システムの簡素化が期待できる。

今後は角形電池の長期信頼性や安全性などの検証を行うとともに量産性プロセス検討を実施し、製品化の判断を行う予定である。また、この開発で得た電極技術を、これまで実績のある円筒形電池へ適用することも合わせて検討していく。

5. おわりに

ここでは、自動車用リチウムイオン電池の高性能化への日立グループの取り組みと展望について述べた。

日立グループは、地球温暖化抑制に向けた長期計画「環境ビジョン2025」の下、リチウムイオン電池事業をはじめとする蓄電池を用いたシステム事業の拡大を通じて、地球環境の未来に貢献するとともに、社会イノベーション事業の強化を図っていく。

参考文献

- 1) 新井, 外: 車載用高出力・高容量リチウム二次電池, 日立評論, 86, 5, 347~350 (2004.5)
- 2) 前島, 外: 高出力・長寿命HEV用リチウムイオン電池の開発, 新神戸テクニカルレポート, No.14, p.3 (2004)
- 3) 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)
- 4) 石井, 外: 自動車におけるCO₂削減技術, 日立評論, 90, 5, 412~417 (2008.5)

執筆者紹介



丸山 昭彦

1983年日立ビデオエンジニアリング株式会社入社, 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, 第四世代電池の開発マネジメントに従事



河野 竜治

1986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, 第四世代電池の構造開発に従事
日本機械学会会員, エレクトロニクス実装学会会員



佐藤 豊

1985年日立ビデオエンジニアリング株式会社入社, 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, 第四世代電池の構造開発に従事



石津 竹規

1994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 電池第二設計部 所属
現在, リチウムイオン電池新材料の開発に従事



小関 満

1976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 所属
現在, 車載用リチウムイオン電池開発のマネジメントに従事
電気化学学会会員



村中 廉

1979年日立製作所入社, 日立ビークルエナジー株式会社 所属
現在, 車載用リチウムイオン電池システムの設計・開発取りまとめに従事
工学博士
電気化学学会会員