

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

Lithium-Ion Battery System for Delivery-Use Hybrid Truck

小関 満* Mitsuru Koseki 東本晃二* Koji Higashimoto 相羽恒美** Tsunemi Aiba
前島敏和** Toshikazu Maeshima 小野樹生** Tatsuo Ono 甲斐 剛** Tsuyoshi Kai 山内辰美** Tatsumi Yamauchi

排ガス改善，燃費向上が強く求められている配送用トラックのハイブリッド化のために，リチウムイオン電池システムを開発した。リチウムイオンセル，それらを組み合わせたモジュール，そしてセルの状態監視や調整機能を有するコントローラをそれぞれ開発し（当社にとってはいずれも第二世代製品），さらに電気系統，機械系統と制御系統を統合することによってリチウムイオン電池システムに纏め上げた。開発品は実車走行耐久試験やセルの安全性試験等により信頼性を確認した。現在，開発したリチウムイオン電池システムを搭載した配送用ハイブリッドトラックは全国で活躍中である。

A new lithium-ion battery system, using the second generation products for our company, was developed for hybrid delivery-use trucks which had been strongly required to improve the fuel economy and the emission. A lithium-ion single cell, a battery module consisting of the lithium-ion cells and controllers to watch the state of the cells were developed. And all of them were integrated into a lithium-ion battery pack system which combined with electric, mechanical and control systems. The reliability of the developed system was confirmed by a severe driving test on the truck and safety tests of the cells. Delivery-use hybrid trucks installed the systems are running in Japan now.

〔1〕 緒 言

近年，窒素酸化物等の環境汚染物質や二酸化炭素等の温室効果ガスによる地球規模の環境破壊が加速されており，このような物質の排出量削減が重要かつ緊急な課題となっている。また，中国やインド等の新興経済大国の発展に伴い，化石燃料の枯渇も現実味を帯びてきており，最近の原油価格の急上昇は石油依存を低下させるべく，エネルギー戦略の転換を強く求めている。したがって，石油を動力源とするエンジン車両には排気ガスの削減と燃費の向上がより一層強く求められている。日本，米国，欧州では燃費規制を2012年以降大幅に強化する方向で進めており，環境負荷の少ない車両の開発が全世界的に喫緊の重要課題となっている^{1) 2) 3)}。

特に我国における運輸部門の石油依存度は，ほぼ100%と脆弱なエネルギー構造を持っており，2030年までに石油依存

度を80%まで下げる目標（新・国家エネルギー戦略）⁴⁾が示された。それにともない，排ガス，燃費規制も強化される見通しで，トラックメーカーは環境対応車の導入を迫られている。

これらの要求に応えるため，自動車のエネルギー技術の多様化と，これを支える電池技術の必要性が叫ばれており，先進電池としてのリチウムイオン電池の開発が鍵となっている⁵⁾。我々はこのような動向に先駆けて2000年より，ハイブリッド電気自動車（HEV），電気自動車（EV）にリチウムイオン電池を搭載して市場投入実績を積み上げてきているが⁶⁾，今回，HEVの導入加速が求められている配送用トラック向けに新たにリチウムイオン電池システムを開発した。本報告では，電池モジュールの構造，コントローラの改良，電池システムの構成，電池の耐久性推定結果，安全性などについて述べる。

*日立ビークルエナジー(株) **日立製作所 オートモーティブシステムグループ

〔2〕 開発の内容

2.1 開発指針

開発の指針は以下のとおりである。

- (1) 性能を大幅に向上したリチウムイオンセル（当社では第2世代に当たるため、Gen 2セルと呼ぶ）の開発
- (2) モジュール（セルを組電池化したもの、セルコントローラを内蔵）の構造を一新した、モジュール（当社では第2世代に当たるため、Gen 2モジュールと呼ぶ）の開発
- (3) カスタムIC化したセルコントローラ（当社では第2世代に当たるため、Gen 2セルコンと呼ぶ）の開発
- (4) 電池系、冷却系、リレー系、コントローラ系を全て収容した車両搭載型の電池システムの開発
- (5) 開発の過程での加速実車試験などによる信頼性の確保

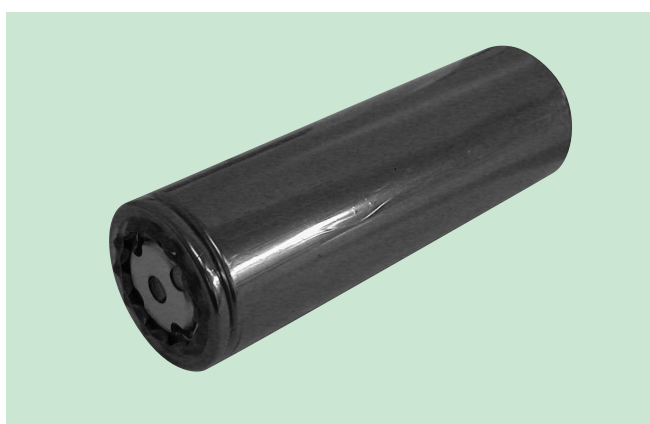


図1 リチウムイオンセル（Gen 2セル）の外観

Fig.1 Appearance of Lithium Ion Cell. (Gen2 cell)

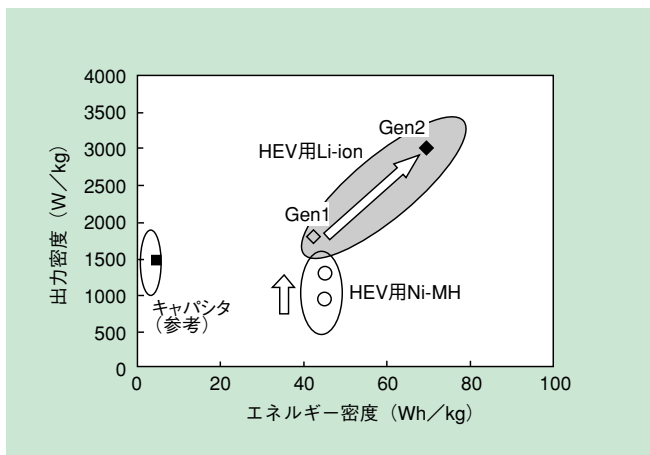


図2 エネルギー密度と出力密度の関係

Fig.2 Relationship between Energy Density and Power Density.

表1 リチウムイオンセルとモジュールの性能

Table 1 Performance of Lithium Ion Cell and Module.

項目	開発品 (Gen 2)		既存品 (Gen 1)
	セル	モジュール	モジュール
モジュール構成	—	48セル直列	48セル直列
公称電圧 (V)	3.6	170	170
定格容量 (Ah)	5.5	5.5	5.5
サイズ (mm)	φ40×108	611×318×100	541×272×160
質量 (kg)	0.3	23	20
パワー密度 (W/kg) @50%SOC	3,000	1,900	1,350

2.2 リチウムイオンセルの開発

開発したGen 2セルの外観を図1に、性能を表1に示す。円筒型で、定格電圧3.6V、公称容量5.5Ahである。エネルギー密度と出力密度の関係を図2に示す。ニッケル水素電池のレベルに対し、開発したGen 2セルの性能は大幅に向上しており、従来のGen 1セルに較べてもエネルギー密度 (Wh/kg)、出力密度 (W/kg) 共に約1.5倍の大幅な性能向上を達成した⁷⁾。

2.3 モジュールの開発

モジュールの開発指針は以下のとおりである。

- (1) 互換性ある最小単位として世の中で普及している12V系列に相当する電圧になる4セル直列
- (2) 再組立（リビルト）を可能とするためユニット化
- (3) 車両の低床化対応のセル2段積み
- (4) 耐振、冷却、安全性の観点から、外装ケースには鋼板を使用

4セルユニットの構造とGen 2モジュール内の構成を図3に示す。4セルユニットは電池固定の樹脂枠と直列接続用のバスバー、電圧計測端子から構成される。この4セルユニットをコの字状に12個直列接続して、48セル直列のモジュール構成とした。外装ケースには鋼板を用いた。

モジュール内のセル温度のばらつきは電池性能や制御に与える影響が大きいため、温度ばらつきを抑えることは極めて重要である。モジュール内のセルの配置と冷却空気 (Air)

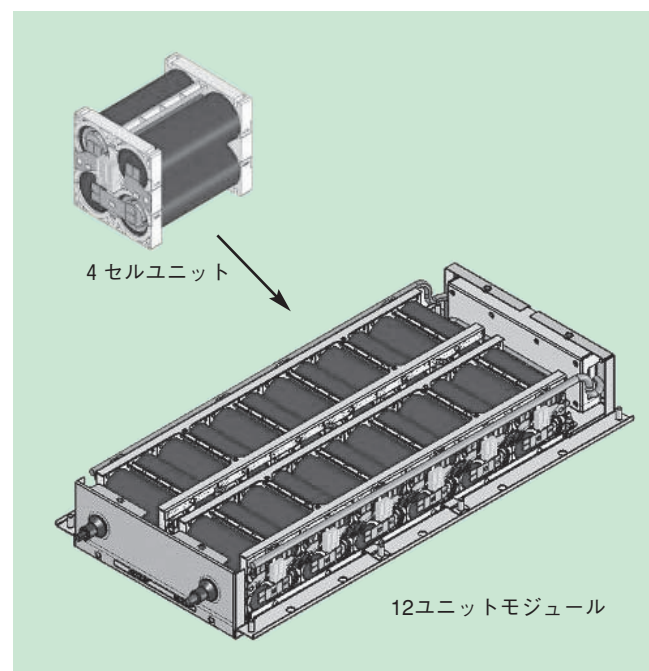


図3 Gen 2モジュールの構成

Fig.3 Structure of Gen2 Module.

の流れを示す断面図を図4に示す。冷却空気はモジュールの下部から導入し、Air分配ダクトを通して、セル間の隙間を流れ、出口から排出する構造とした。Air分配ダクトの形状等はシミュレーションを活用し構造の最適化をして、温度ばらつきの低減を図った。その結果、過酷な使用条件を想定した場合でも、セルの性能に影響の少ない、最大と最小の温度差を10℃以内とすることが出来た。

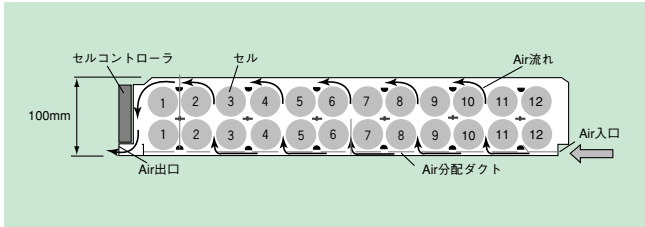


図4 Gen2 モジュールの断面
Fig.4 Cross Section of Gen2 Module.

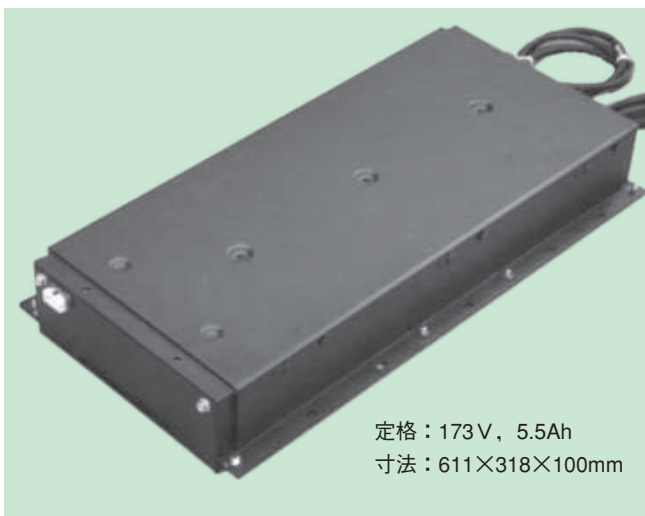


図5 Gen2 モジュールの外観
Fig.5 Appearance of Gen2 Module.

最終的なGen2 モジュール外観を図5に示す。モジュールの高さ100mmに抑えたので、低床用途にも対応出来ると考えられる。配送用トラックには搭載スペースの都合により図6に示すようにモジュールを2段積みで使うこととした。

2.4 セルコントローラの開発

開発したGen2セルコントローラは、主要回路をカスタムIC (ASIC) 化することで、実装密度を高めると共に、マイコンレスを実現しコストの大幅低減を目指した。

従来品であるGen1セルコントローラとGen2セルコントローラの比較を図7と表2に示す。1基板あたりの対応セル数は6倍、モジュールあたりの面積比は1/5になり、部品数の低減により信頼性の向上および暗電流が大幅に低減されたことによる補充電なしでの1年保管が可能になった。また、部品コストも1/6に削減できた⁸⁾。このGen2セルコントローラをGen2モジュールに搭載した。

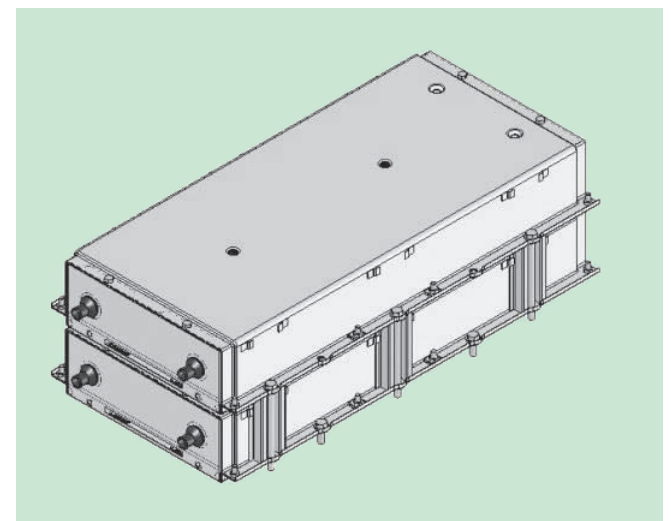


図6 Gen2 モジュールの二段積み構造
Fig.6 Double-Deck Structure of Gen2 Module.

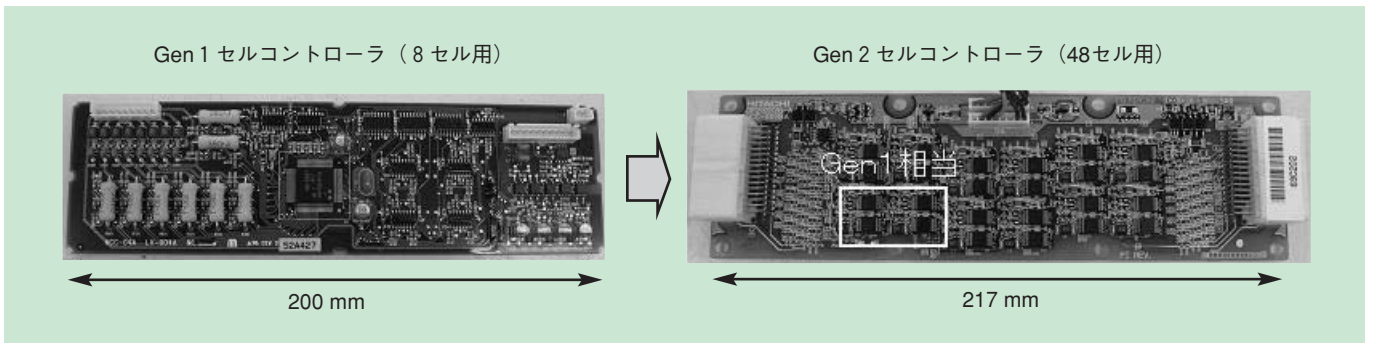


図7 Gen1 とGen2 セルコントローラの比較 (1)
Fig.7 Comparison of Gen1 and Gen2 Cell Controller. (1)

表2 Gen1 とGen2 セルコントローラの比較 (2)
Table 2 Comparison of Gen1 and Gen2 Cell Controller. (2)

項目		Gen 1	Gen 2 (開発品)
主制御素子		8 bitマイコン	カスタムIC
対応セル数 (1基板当り)		8	48
基板寸法 (mm)		200×60	217×65
モジュール当り	面積比	100	20
	部品数比	100	10
	故障率	100	3.8
	部品コスト	100	16

2.5 電池システムの開発

電池システムの基本構成を図8に示す。破線で囲まれた部分の部品が全て本システムに含まれる。電池モジュールの他に、DDコンバータ、バッテリーコントローラ、冷却ファン、安全プラグ、リレーボックス、コネクタなどで構成される。電池システムのレイアウトを図9に示す。図6にも示したように、電池モジュールを2段積みし、それ以外の構成部品を上部に集中配置し、コンパクト化を実現した。

図10に本電池システム搭載の一例として三菱ふそうトラック・バス(株)のキャンターエコハイブリッド車を示す。配送用トラックのホイールベース間に電池システムが設置される。

〔3〕電池の特性検討

3.1 寿命推定と実車耐久試験

電池の寿命はシミュレーションと実車耐久試験によって検討した。寿命シミュレーションには以下に示す前提条件と実験項目を用いた。

〔前提条件〕

- (1) 実車走行パターン（今回は最大負荷走行時の充放電パターンを使用）
- (2) 年間の環境温度頻度分布（走行時と停車時で最高（Max）最低（Min）温度データを使用）



図10 電池システムの車両搭載場所
Fig.10 Mounting Position of Battery System on Delivery-Use Truck.

図8 リチウムイオン電池システムの基本構成

Fig.8 Basic Construction of Lithium Ion Battery System.

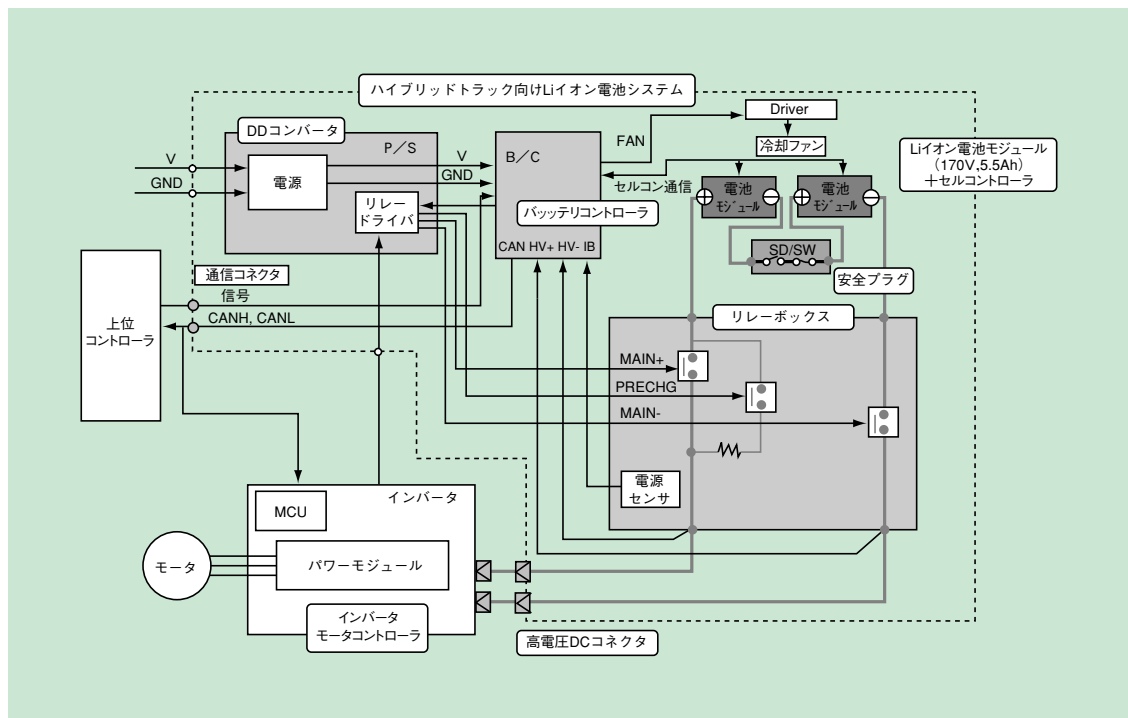
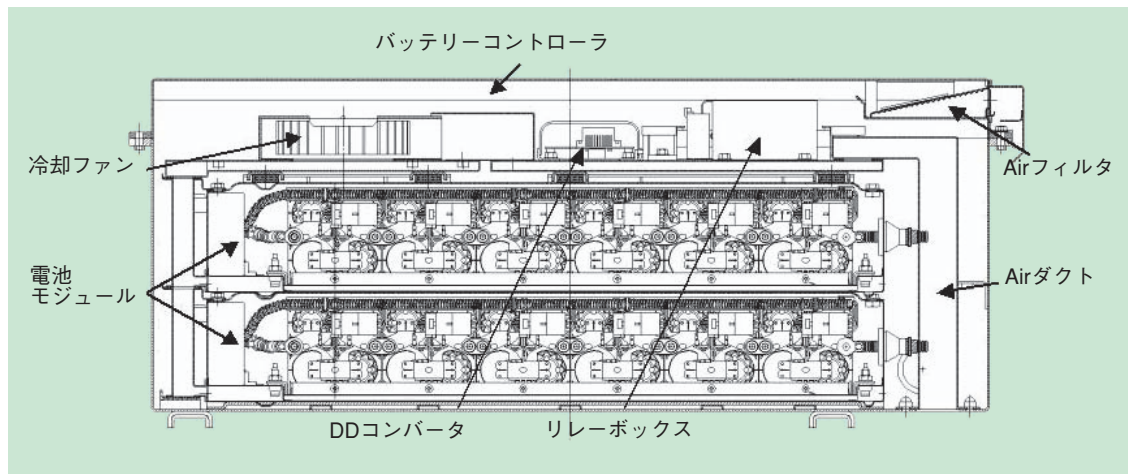


図9 リチウムイオン電池システムのレイアウト

Fig.9 Inside Configuration of Lithium Ion Battery System.



〔実験項目〕

- (3) 各温度での実車模擬電池充放電サイクル試験
- (4) 各温度での電池保存試験
- (5) では (1) の走行パターンを使用した。

寿命シミュレーションは (3) の電池寿命試験結果より、各温度での走行時の劣化係数を算出し、さらに (4) の電池保存データから停車時の劣化係数を算出して、それらを加算して寿命を推定した。その結果を図11、図12に示す。図11には環境温度が最高になる条件（環境Max）と同じく最低になる条件（環境Min）における電池の内部抵抗変化を使用期間と走行距離で表わした。図12は同様に電池容量の変化を示した。なお、図中には実車耐久試験における悪路3万kmと平地10万km走行後の結果をそれぞれ示した。図11および図12の寿命シミュレーションから、使用期間10年、走行距離27万kmで内部抵抗増加2倍、容量低下25%～45%の見通しが得られた。一方、実車耐久試験の結果はシミュレーション結果より良好であり、かなりの長寿命な電池であることが予測される。今後は市場実績をモニターしながら、寿命シミュレーションの確度を上げて行きたい。

電池システムは実車耐久試験における悪路3万kmと平地10万kmのそれぞれの走行で何ら異常が認められなかったことから、信頼性が確認出来た。

3.2 安全性の検討

電池の安全性に関する最悪事象4項目と試験結果を表3に示す。過充電や外部短絡は車輻システムを含めて多重の保護機構を課すことが可能であるが、押し潰し（圧壊）や突き刺し（釘刺し）などで直接電池内部が破損する場合は電池の材

料系で保護する必要がある。結果はいずれの項目も発煙、発火無しであった。なお、圧壊と釘刺し試験はハイブリッド車での使用上限である充電状態（SOC：State of Charge）70%で実施した。Gen 2セルの圧壊と釘刺し試験結果の一例を図13、図14に示す。経過時間に対するセル電圧の変化とセル温度の変化が示されている。電池の発熱は110℃以内で、いずれも考慮すべき発煙などには至っていない。本電池の材料系の安定性を示すものと考えられる。

〔4〕 結 言

排ガス改善、燃費向上が強く求められている配送用トラックハイブリッド化のために、リチウムイオン電池システムの開発に取り組んだ。その結果

- (1) 顧客ニーズの多様化と組立易さ等を考慮し、4セルユニットで構成されたGen 2モジュールを開発した。
- (2) セルコントローラの主要回路をカスタムIC化し、従来に比べ1/5のコンパクト化、1/6の低コスト化、暗電流の大幅低減等を果たしたGen 2セルコントローラを開発し、Gen 2モジュールに搭載した。
- (3) 電池系、冷却系、リレー系、コントローラ系をコンパクトに配置した車両搭載型電池システムを開発した。信頼性は実車走行耐久試験（悪路3万km、平地10万km）で確認した。
- (4) 本開発電池システムを搭載した三菱ふそうトラック・バス(株)の「キャンターエコハイブリッド」が2006年7月より販売された。商用車の分野においても急速にハイブリッド化が進むものと期待される。

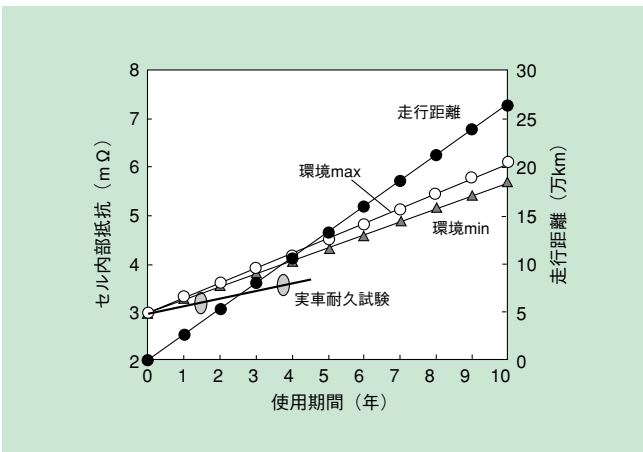


図11 電池寿命シミュレーション結果（セル内部抵抗変化）
Fig.11 Simulation Results of Battery Life. (Change of cell internal resistance)

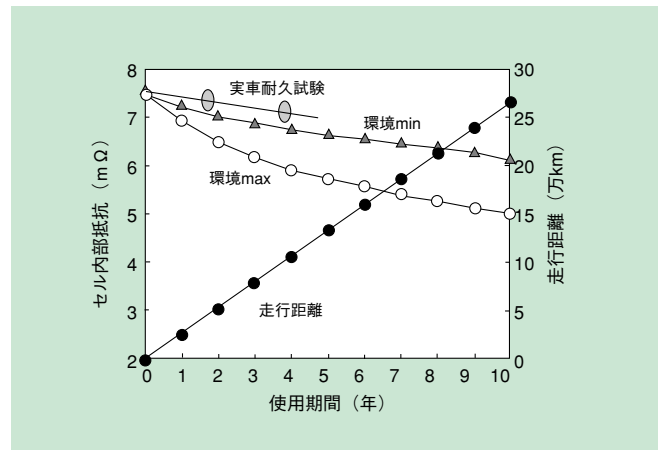


図12 電池寿命シミュレーション結果（セル容量変化）
Fig.12 Simulation Results of Battery Life. (Change of cell capacity)

表3 電池の安全性試験

Table 3 Safety Tests of Lithium Ion Battery.

最悪事象	保護機構	結果
過充電	(a) 電池電圧の二重監視（セルコン）	(a) (b) をすり抜けた場合でも発煙、発火無し
	(b) SOCの制御	
	(c) 電池に遮断弁内蔵	
外部短絡	(d) モジュールにヒューズ内蔵	(d) が不動作の場合でも発煙、発火無し
	(e) 電池に電流遮断弁内蔵	
クラッシュ（圧壊）	(f) SOCの制御 (g) 電池に内圧開放弁内蔵	電池内部の材料系の安定性で発煙、発火無し
クラッシュ（釘刺し）	(h) SOCの制御 (i) 電池に内圧開放弁内蔵	電池内部の材料系の安定性で発煙、発火無し

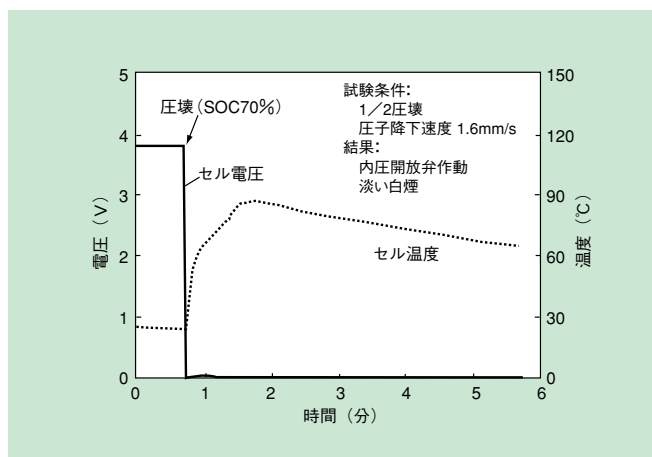


図13 Gen 2 セルの圧壊試験結果
Fig.13 Crush Test Result of Gen2 Cell.

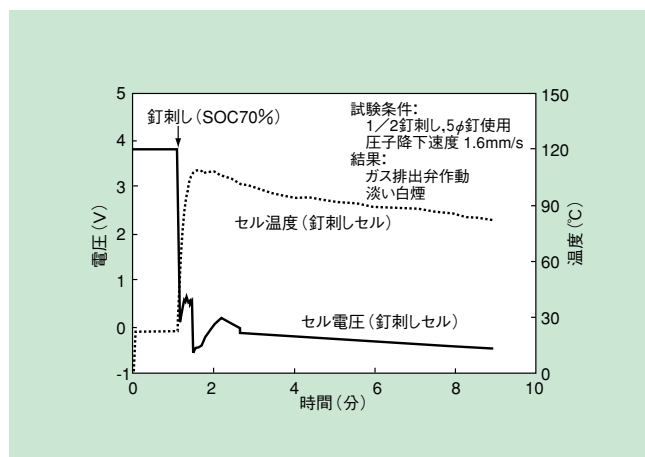


図14 Gen 2 セルの釘刺し試験結果
Fig.14 Nail Penetration Test Result of Gen2 Cell.

〔5〕謝 辞

本開発の一部は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構殿との共同研究として実施したものである。関係各位のご支援、ご指導に感謝申し上げます。

〔参考文献〕

- 1) U.S. DOE:"The Energy Independence and Security Act of 2007", <http://www.whitehouse.gov/news/releases/2007/12/20071219-6.html> (参照：2008/01/17).
- 2) EU News:"Commission proposal to limit the CO2 emissions from cars to help fight climate change reduce fuel costs and increase European competitiveness", http://ec.europa.eu/environment/co2/pdf/co2_cars_proposal.pdf (参照：2008/01/17).
- 3) 経済産業省：“次世代自動車・燃料イニシアティブとりまとめ”, 次世代自動車・燃料に関する懇談会, <http://www.meti.go.jp/press/20070528001/initiative-torimatome.pdf> (参照：2008/01/17).
- 4) 経済産業省：“新・国家エネルギー戦略”, http://www.meti.go.jp/policy/sougou/juuten/simon2006_13-4.pdf (参照：2008/01/17).
- 5) 経済産業省：“次世代自動車用電池の将来に向けた提言”, 次世代自動車の基礎となる次世代電池技術に関する研究会, <http://www.meti.go.jp/policy/automobile/LEV/battery-report.pdf> (参照：2008/01/17).
- 6) 村中康 他：“車載用高出力・高容量リチウム二次電池”, 日立評論, Vol.86, No 5, p.15 (2004).
- 7) 前島敏和 他：“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, No14, p.3 (2004).
- 8) 工藤彰彦 他：“リチウムイオン電池用IC化セルコントローラの開発”, 新神戸テクニカルレポート, No16, p.16 (2006).