

軽車両用リチウムイオン電池の開発

Lithium Ion Battery for Light Vehicles

小関 満* Mitsuru Koseki 相羽恒美* Tsunemi Aiba 小貫利明* Toshiaki Onuki
鈴木克典* Katsunori Suzuki 後藤健介* Takeyuki Goto 工藤彰彦* Akihiko Kudo 新井寿一** Juichi Arai

都市生活における短距離移動に適した排ガスゼロで静粛，かつ軽便な電動二輪車へのニーズが高まりつつあり，自動車用リチウムイオン電池で培った技術を基礎にして，軽車両用リチウムイオン電池開発に新たに取り組んできた。開発したマンガン系リチウムイオン電池はエネルギーと出力を用途に最も適した設計に調整したことで，35Aの大電流連続放電が可能となり，-5℃でも30A放電時に定格の90%容量が得られ，冬の走行性も確保された。また，耐震性，耐衝撃性のある電池構造と熱安定性の良いマンガン系正極活物質を使用したほか，安全機構の多重化などにより，信頼性を高め室内充電も可能となった。ライフサイクルアセスメントの結果，開発電池を搭載した電動二輪車は既存のエンジン式二輪車に比べ温室効果ガスである二酸化炭素の排出量を約1/3まで削減できるなど，環境負荷改善効果の大きいことが分かった。

It is expected that electric bicycle of zero emission, low noise and lightweight will take a significant position for short movement in urban life. We have developed new battery technology to meet the needs based on the technology developed for EV and HEV batteries. The battery developed has well-balanced performance of high energy density and high power density, which enable the cell to discharge continuously up to 35A, and to keep the discharge capacity at -5℃ more than 90% of that for rating. Therefore, even in midwinter season, the battery supports almost same one charge drive distance as other seasons.

High reliability for the battery pack was supported by the firm cell structure of good vibration durability and shock durability, excellent thermal stability of manganese-based positive electrode active material and the multifold protection system. Consequently, the battery pack can be charged in a living room through commercial electric power grid of 100V.

Life cycle assessment (LCA) proved that the electric bicycle with the battery developed lessen the load to the environment better than a scooter with a gasoline engine, eg. the emission of carbon dioxide is to be reduced to one third of a conventional gasoline engine scooter.

〔1〕 緒 言

現代社会の人の移動手段は自動車に大きく依存している。しかしながら，一方では，その広範な普及と利用のために，資源，および環境との調和に対する要求も高まっている。そのような背景の中で，人の軽便な移動手段であるガソリン駆動二輪車等の軽車両が電気駆動になれば，エネルギー節約型で排気・騒音の問題が少なく環境調和性にも優れ，都市生活における新しい機能を有する製品になることが期待される。

このような状況において，当社，および株式会社日立製作所は，ヤマハ発動機株式会社と共同で電動二輪車用リチウムイオン電池の開発を進め，その製品化に成功した。

リチウムイオン電池は，全ての電池の中で最も高い理論エネルギー密度を有する高性能電池であることは良く知られている。さらに，その高いエネルギー密度から出力密度も高い値が得られることも併せて期待されている。そのような特性を利用して，当社では，すでに電気自動車（pure-EV）用，およびハイブリッド電気自動車（HEV）用のリチウムイオ

*技術開発本部EV開発部 ** (株)日立製作所日立研究所

ン電池を開発してきた¹⁾²⁾。これらの電池は、それぞれ高エネルギー密度特性と高出力密度特性を際立った特徴とする電池である。それらに対して、電動二輪車用のリチウムイオン電池は、車両重量が小さいため、電池も相対的に小さくなるものの走行エネルギーは全て電池に貯蔵されるので、高エネルギー密度は必須である。また、電池が小さい割には大きな加速性が必要とされるので、出力密度特性も無視できない。四輪車と比べた二輪車の大きな特徴は、その軽便性であり、振動・衝撃、転倒などの機械的条件は四輪車に較べてかなり厳しくなる。また、温度の遮蔽も少なく、周囲温度とほぼ同じような温度環境に電池が曝される。さらには、電池を車両より外して室内にて充電することも可能になるので、その安全性、信頼性には一段の強化が望まれる。

以上から、電動二輪車用リチウムイオン電池には、走行に必要なエネルギーと出力の確保という基本特性のほかに、夏と冬の厳しい環境下での使用に適すること、安全性と信頼性の確保、寿命の確保などが実用上の重要課題である。これらの観点に基づき開発した電池の概要を以下に報告する。

〔2〕単電池の開発

2.1 基本特性

電動二輪車に要求される特性から電池の仕様を設計し、試作、評価、改良を重ねて、目標値に到達した。電池を構成する活物質系には、電池への要求特性を総合的に判断してマンガン系正極と非晶質炭素負極の組み合わせを選定した。

表1に開発した電動二輪車用リチウムイオン電池の仕様を示す。定格は3.7V・7Ahで、外寸は、直径40mm、長さ125mmであり、質量は、350gである。その結果、質量エネルギー密度は、74Wh/kg、体積エネルギー密度は、165Wh/dm³となった。また、最大連続放電は35Aまで可能である。この仕様は、本開発品が高いエネルギー密度と優れた出力特性を兼ね備えていることを示している。

本開発品のリチウムイオン電池と、当社が既に開発したpure-EV用、およびHEV用リチウムイオン電池を他の二次電池と併せて、エネルギー密度 - 出力密度関係図として図1に示す。図より、リチウムイオン電池がエネルギー密度、出力密度ともに最も高く、しかもその特性が幅広く調整可能な優れた電池系であることが分かる。そして本開発品が、リチウムイオン電池のそのような特長を生かしたエネルギー密度と出力密度のバランスの取れた設計になっていることが示されている。

電動二輪車の滑らかで快適な走行には、セル当たり30A程度の連続放電が必要であり、そのレベルでの放電特性で、実走行特性を推定した。冬季の低温環境下でも走行距離が短くならないためには、低温特性の優れた電池が必要である。そのために、二輪車の走行環境の最低温度として-5を設定し、その環境での特性改善のために、電極仕様の高出力型への調整、電解液の低温抵抗抑制などの電池の設計を見直し、改良を図った。その結果、-5における30A放電容量が7Aの放電容量の95%程度になった。これは改良前ではその比率が30%であったのに比べると低温での高率放電特性が大幅に改良されていることを示している。25と-5の30A放

電容量特性を図2に示す。図より、-5において、25のときの放電容量の90%以上の値が得られており、低温下においても、常温時と比べて走行距離の低減が少ないことが期待できる。さらに、より実用的な評価をするために、単電池を-5において模擬負荷パターンで放電する試験をした。より厳しい条件での試験とするために、放電時の抵抗発熱に

表1 開発品の仕様

Table 1 Specifications of the Developed Lithium Ion Cell.

項目	内容	
形式	I M 7	
電池系	マンガン系リチウムイオン	
公称電圧	3.7 V	
定格容量	7 Ah	
寸法	長さ	125 mm
	直径	40 mm
質量	350 g	
最大放電電流 (連続)	5 CA (35A)	

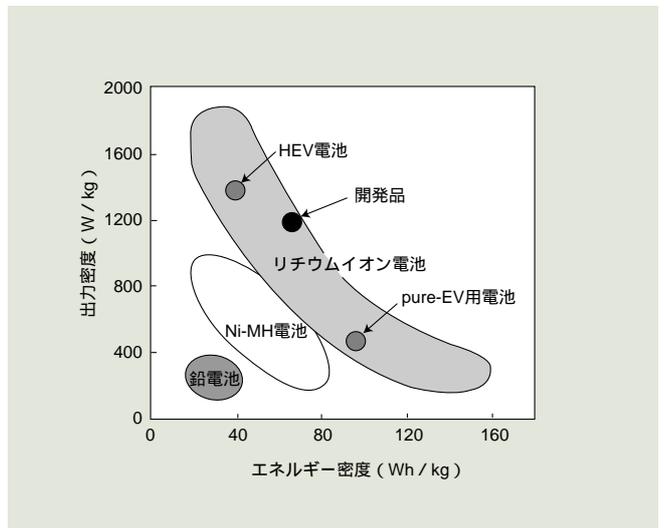


図1 各種電池の特性比較

Fig.1 Energy-Power Diagram of Secondary Batteries.

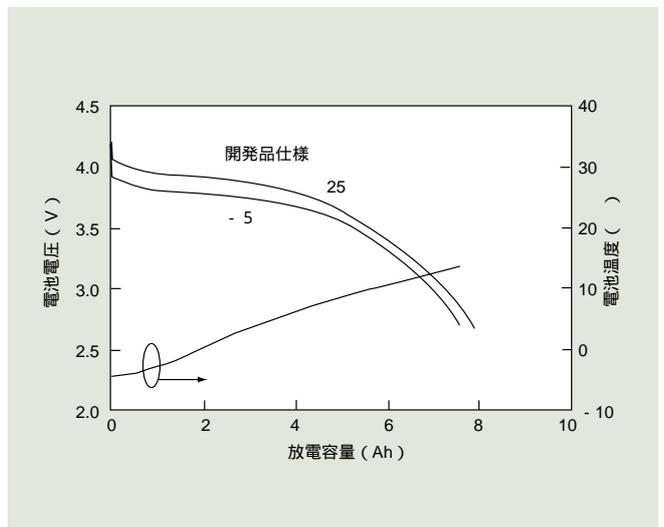


図2 30A放電特性の向上

Fig.2 Improvement of Discharge Characteristic at 30 A.

より電池温度が0℃以上にならないように電池温度を制御した断続運転とした。結果を図3に示す。図より、この条件においても、25℃と比べて90%以上の放電容量が確保できていることが確認された。

2.2 寿命

寿命特性で問題になるのは、夏季の炎天下でも走行を繰り返すことにより、リチウムイオン電池の弱点とされる高温劣化環境に曝されることにある。高温下でも劣化の少ない電極材料、電解液組成の改良などにより高温劣化の改善を進めた。夏季を想定した35℃での充放電サイクル試験により、電池の高温下での耐久性を評価した。その結果を図4に示す。500サイクル後でも、目標とした初期の80%以上の容量を維持することができ、実用寿命として2年以上を達成することが予想される。

2.3 安全性

単電池の安全性試験は、(社)電池工業会の「リチウム二次電池安全性評価基準ガイドライン」³⁾に規定された「安全性試験基準」に基づいて実施した。結果を表2に示す。なお、表にある試験項目のうち、「8.塩水水没」、「9.高温充電」、「11.電子レンジ加熱」は上記「ガイドライン」に含まれていない項目であるが、今回の試験では、独自の判断で追加した。試験結果は全ての項目において、「発火・破裂なし」の合格基準に達していた。観測された事象は、すべてガス放出弁の作動以下の非常に穏やかな現象に留まっており、本開発品において高い安全性が維持できていることを示している。

〔3〕モジュール電池の開発

3.1 仕様

開発した単電池を構成単位として、2セル並列で7直列の14セルからなるモジュール電池を構成した。このような2並列接続構造にしたのは、7Ah容量クラスの単電池のサイズによる放熱性の良さ、および単電池の加工性、取り扱い性の良さを重視したことによる。

開発したモジュール電池の外観、およびモジュール電池を収納して構成された組電池の外観を図5と図6に示す。14セルのモジュール電池は熱収縮性合成樹脂で被覆されている。組電池の外装は合成樹脂容器であり、その定格は、26V・14Ahであり、質量は6kgで、外寸は95mm×370mm×147mmである。車両から脱着可能で、室内充電も可能な構造となっている。

3.2 安全性および信頼性

単電池の安全性については、既に2.3で示したように、良好な結果が得られている。その優れた安全性は、マンガン系活物質の熱的安定性、円筒形金属容器の強靱な構造、信頼性の高いガス放出弁機構などによって確保されている。その単電池を構成要素として構成された組電池においても同様の安全性が維持されることが期待されるものの、組電池化による新たな問題として、放熱が不十分になり、発熱がトリガーとなる連鎖的現象の制御が困難になること、および組電池全体にかかる大きな外部負荷、つまり大きな電流、高い電圧などがある。一方では過充電防止回路が機能することによる安全性の向上が期待できる。それらの影響と効果を確認するため

に実施した安全性試験の結果を表3に示す。表2と同様に、全ての項目で「破裂・発火なし」の結果を示しており、14セルからなるモジュールにおいても実用上十分な安全性が確保できていることが示された。以上のような優れた安全性は、本開発品の電池系自体の安全性に加えて、上記した単電池、およびモジュールにおける多重安全機構が良好に機能している

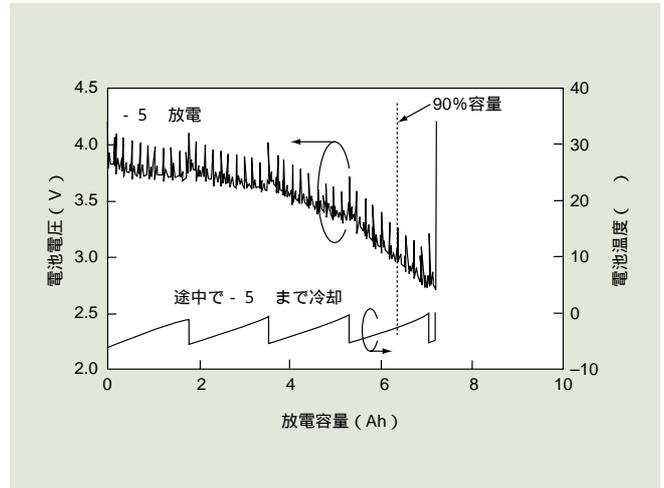


図3 低温走行模擬試験

Fig.3 Continual Simulated Load Pattern Test at -5℃

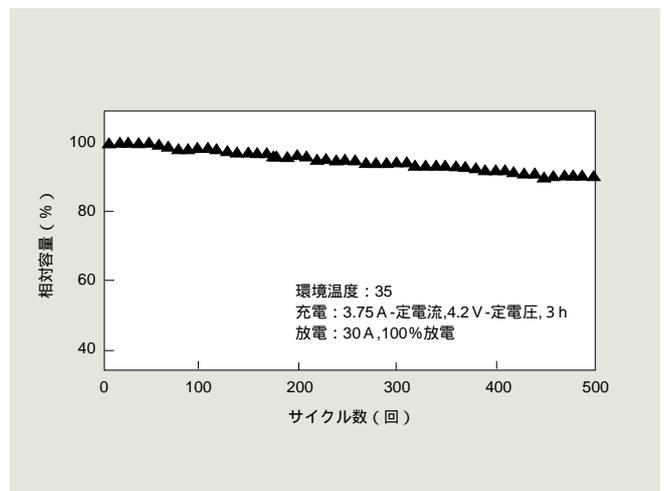


図4 サイクル寿命試験

Fig.4 Charge-Discharge Cycle Life Test.

表2 単電池の安全性試験

Table 2 Abuse Test of the Single Cell.

No.	試験項目	試験結果	評価
1	外部短絡 (SOC 100%)	破裂・発火なし	
2	過充電 (SOC 100%)	破裂・発火なし	
3	過放電 (SOC 250%まで)	破裂・発火なし	
4	圧壊 (SOC 100%)	破裂・発火なし	
5	釘刺し (SOC 100%)	破裂・発火なし	
6	加熱 (SOC 100%, 130℃)	破裂・発火なし	
7	高所落下 (10m)	破裂・発火なし	
8	塩水水没 (SOC 100%)	破裂・発火なし	
9	高温充電 (60℃)	破裂・発火なし	
10	大電流充電 (21A)	破裂・発火なし	
11	電子レンジ加熱 (SOC 100%)	破裂・発火なし	

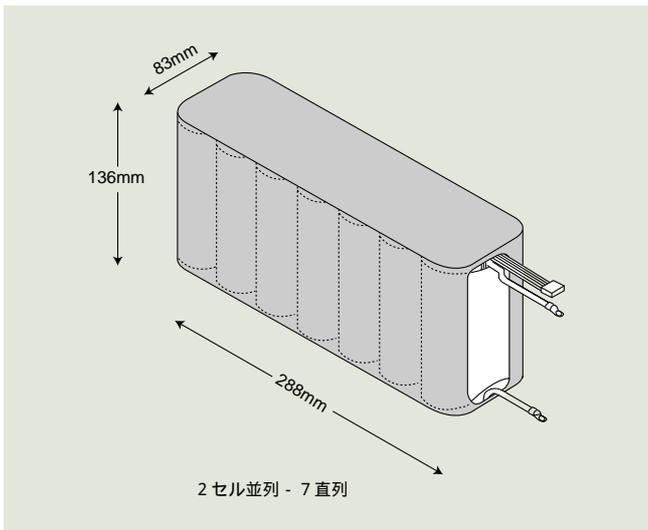


図5 モジュール電池外観
Fig.5 Module Battery.



図6 組電池外観 (ヤマハ発動機株式会社提供)
Fig.6 Battery Pack. (product of Yamaha Motor Co., Ltd.)

表3 モジュール電池の安全性試験

Table 3 Abuse Test of the Module Battery.

No.	試験項目	試験結果	評価
1	外部短絡 (SOC 100%)	破裂・発火なし	
2	過充電 (SOC 100%)	破裂・発火なし	
3	塩水噴霧 (SOC 100%)	破裂・発火なし	
4	大電流充電 (21A)	破裂・発火なし	
5	高温充電 (60)	破裂・発火なし	
6	低温充電 (-21)	破裂・発火なし	
7	塩水水没 (SOC 100%)	破裂・発火なし	
8	AC100V印加 (SOC 100%)	破裂・発火なし	

ことによるものである。

組電池としての運搬, 保存, 取り扱い, 使用などの環境における過酷条件を想定した各種信頼性試験を実施した。過酷条件とは, 温度・湿度・水・塵埃などの使用環境, 振動・衝撃・落下などの機械的ストレス, 印加されるおそれのある電圧など実使用環境で想定され, 電池にとって悪影響の懸念される条件である。その試験項目と結果を表4に示す。このような取り扱いにおいても, 極端な性能低下, あるいは破裂・発火などの深刻な事態に至ることがないことが確認できた。判定は全て合格であり, これらの試験により実用上十分な信頼性が確保できていることが実証された。

[4] ライフサイクルアセスメント

本開発品は, 既にヤマハ発動機株式会社殿の電動コンピュータ “パッソル” に搭載され, 販売が進められている。二輪車の電動化による環境負荷低減効果を定量的に評価するために, ライフサイクルアセスメント (以下, LCAと記す) を実施した⁴⁾⁵⁾。本来は車両製造に関わる部分も含める必要があるが, 本報告では車両部分は同一と見なし, 走行エネルギーを発生させる部分のみの比較とした。すなわち, 電動二輪車ではモジュール電池の製造に関するものと走行用の充電電力, ガソリン式二輪車では走行用のガソリン燃焼による発生エネルギーと排出物のみ限定した⁴⁾。LCAにおいて仮定した電動二輪車とガソリン式二輪車の条件を表5に示す。電動二輪車の一充電当りの時速30km定地走行距離は32kmである。500回充放電した場合を想定し, 総走行距離を 16,000km

表4 モジュールの信頼性評価試験

Table 4 Reliability Test of the Module Battery.

No.	試験項目	試験結果	評価
1	高温高湿貯蔵 (60 , 95%)	破裂・発火なし, 性能低下なし	
2	耐振動性 (7G)	破裂・発火なし, 性能低下なし	
3	耐熱衝撃 (-30 60)	破裂・発火なし, 性能低下なし	
4	耐落下	破裂・発火なし, 性能低下なし	
5	耐転倒性	破裂・発火なし, 性能低下なし	
6	絶縁性 (500V)	破裂・発火なし, 性能低下なし	
7	耐水試験 (JIS条件)	破裂・発火なし, 性能低下なし	
8	耐塵埃性試験 (JIS条件)	破裂・発火なし, 性能低下なし	
9	低気圧環境 (11.6 kPa)	破裂・発火なし, 性能低下なし	
10	定電圧連続充電 (30日)	破裂・発火なし, 性能低下なし	
11	衝撃 (70G)	破裂・発火なし, 性能低下なし	
12	高温貯蔵 (60)	破裂・発火なし, 性能低下なし	
13	低温貯蔵 (-20)	破裂・発火なし, 性能低下なし	

表5 LCAの前提条件

Table 5 Prerequisite for Life Cycle Assessment.

車両	電動二輪車（リチウムイオン電池搭載）	エンジン式二輪車（50ccエンジン）
条件	定地走行距離：32 km / 1 充電 サイクル数：500 回 総走行距離：16,000 km 充電電力：26 V × 14 Ah × 500 回 充電器効率：85%	定地走行距離：63 km / ℓ 総走行距離：16,000 km ガソリン使用：16,000 km / 63 km / ℓ = 254 ℓ

注) 定地走行速度は 30 km / h

表6 LCAの試算結果

Table 6 Results of Life Cycle Assessment.

車両	エネルギー使用内容	排出量		
		CO ₂ (g / 台)	SO _x (g / 台)	NO _x (g / 台)
電動二輪車（リチウムイオン電池搭載）	リチウムイオン電池製造～廃棄	115,172	176	100
	リチウムイオン電池で走行（1.6 万km）	82,176	43	62
	計	197,348	219	162
エンジン式二輪車（50 ccエンジン）	ガソリンで走行（1.6 万km）	599,186	1,778	2,083
電動二輪車による排出ガス削減率（%）		67	88	92

とした。ガソリン式二輪車では、50ccエンジンで時速30kmの定地走行燃費を63 km/ℓとし、総走行距離は同じ16,000kmとした。上記の仮定に基づいて算出した結果を表6に示す。電動化することによりCO₂、SO_x、NO_xの総排出量が、ガソリン式のときに比べて、それぞれ約1/3、1/8、1/13までの大幅な削減が見込まれ、環境負荷低減効果の大きいことが分かった。この結果は、高い充放電効率と高いエネルギー密度・出力密度を有するリチウムイオン電池の特長を生かした機器を開発した場合の効果を端的に示している。

本報告で紹介した本開発品は、ヤマハ発動機株式会社殿の電動二輪車向けに開発したリチウムイオン電池であるが、その優れた特性から、他の種類の電動軽車両、電動車椅子などの電動式福祉介護機器などの小形軽量、高出力が要求される用途へも応用展開が可能と考えられる。さらに、現在もなお進化しつつあるリチウム電池技術を取り入れて一層の高性能化、長寿命化を推進すれば、その用途はさらに拡大し、それによる量産効果と相俟って、さらなる技術、用途、市場の進化拡大が期待される。

〔5〕結 言

- (1) 電動二輪車の負荷要求と冬期の低温時の出力要求を満たす高エネルギー・高出力密度のマンガン系リチウムイオン電池を開発した。
- (2) 開発した単電池を構成単位とする組電池を開発し、実用上問題のない高い安全性と信頼性を確保することができた。
- (3) ライフサイクルアセスメントの結果から、二輪車の電動化による環境負荷の大幅な低減効果が期待できることが確認できた。

〔6〕謝 辞

本開発品は、ヤマハ発動機株式会社殿のご指導のもとに開発されたものである。関係各位のご協力に感謝いたします。また、本開発品には、経済産業省/新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）からの委託を受けた「分散型電池電力貯蔵技術開発」の成果の一部が利用されています。

〔参考文献〕

- 1) 弘中健介 他：“電気自動車用マンガン系リチウムイオン電池” 新神戸テクニカルレポート, 10, p.3 (2000).
- 2) T. Horiba et al.: J. Power Sources, 97-98, p.719 (2001).
- 3) 社団法人電池工業会：電池工業会指針SBA G1101-1997, リチウム二次電池安全性評価基準ガイドライン (1997).
- 4) 環境庁：環境活動評価プログラム エコアクション21 (1999).
- 5) 石原薫 他：“大型リチウム二次電池のリサイクル・廃棄時の環境負荷の試算”, 第43回電池討論会講演要旨集, 3C17 (2002).