

産業用リチウムイオン電池「LIM シリーズ」の開発

Development of Large-scale Lithium Ion Batteries "LIM series" for Industrial Applications

瀬山幸隆* 下藪武司* 西山浩一*
中村秀司** 園田輝男***

Yukitaka Seyama Takeshi Shimozono Koichi Nishiyama
Hideji Nakamura Teruo Sonoda

Abstract

Large-scale Lithium ion batteries "LIM series" with high performance and safety, have been developed for industrial applications. The batteries are able to charge up to 90% capacity at 3 C rate for 1 hour at 25 °C and 1 C rate for 5 hours at 0°C with constant current charge followed by constant voltage of 4.1 V for the setting time respectively. The ratio of discharge capacity to 1 C rate at 25 °C is 93% at 5 C rate at 25 °C and 96% at 1C rate at 0°C . The capacity retention at 25 °C is about 70% after 3000 cycle and 90% after 28 months for 4.1 V floating charge. Therefore, "LIM series" batteries are suitable for the industrial applications required high rate and long life performance. "LIM series" will be used in the combination of battery module consisting of single cells and a battery management unit (BMU). BMU has three functions of monitoring the terminal voltage of each cell in battery module, detecting the abnormal state with output-alarm, and balancing the voltage of each cell resulting in the appropriate status of each cell.

1 はじめに

リチウムイオン電池は軽量・高エネルギー密度という特長を有している。この特長を活かして携帯電話などの小形携帯機器に搭載され、その市場の急激な拡大ともなっており、その販売量も大幅な伸びを見せてきた。一方、大形リチウムイオン電池に関しても、電気自動車や人工衛星、潜水機などの用途に使用されつつ

あり、その量産化が進んでいる。産業機器分野もその用途の一つとして挙げられるが、現在のところ、この分野では鉛蓄電池およびニッケル-カドミウム電池が使用されている。大形リチウムイオン電池は、前述の高エネルギー密度に加えて高出力・長寿命であり、さらに従来の産業用電池と比較して、メンテナンスが容易である、自己放電量が少ない、メモリー効果がないなどの多くの長所がある。それゆえに、リチウムイオン電池は、長期間の使用を前提とする産業機器分野に関しても適合性が最も高い二次電池であると考えられる。また、この用途では数十セルの単電池を直列あるいは並列に組み合わせたモジュール電池として使用

* 研究開発センター システム開発室 第2G

** 研究開発センター システム開発室 第1G

*** 研究開発センター システム開発室

されることが多い。これは、多くとも数セル単位で使用される小形機器用途にはない特徴である。すなわち、産業機器分野では電池のモジュール化は不可欠となる。

我々は、産業機器分野に対するリチウムイオン電池の優位性に着目し、この分野への適用を目的とした産業用リチウムイオン電池「LIMシリーズ」を開発した。また、リチウムイオン電池のモジュール化の技術開発もあわせて進めている。本報告では、産業用リチウムイオン電池「LIMシリーズ」の概要を紹介するとともに、モジュール化技術についても述べる。

2 リチウムイオン電池「LIMシリーズ」の仕様

表1に開発した産業用リチウムイオン電池LIM40(40Ah級)およびLIM80(80Ah級)の2機種の仕様を示す。また、図1にLIM40の外観写真を示す。

表1 産業用リチウムイオン電池「LIM40」および「LIM80」の仕様

Table 1 Specifications of Lithium ion cell for industrial applications.

Model	LIM40	LIM80
Nominal capacity / Ah	40	80
Nominal voltage / V	3.8	3.8
Dimensions / mm	L	170
	W	47
	H	133
Typical mass / kg	2.1	4.1



図1 LIM40電池の外観写真

Fig.1 Photograph of LIM40 lithium ion cell.

3 リチウムイオン電池「LIMシリーズ」の充放電性能

以下、LIM40を例に産業用リチウムイオン電池の充放電性能を紹介する。なお、電流値については、LIM40の公称容量40Ahを基準として1CA=40Aとした。

3.1 初期性能

3.1.1 充電性能

一般に、リチウムイオン電池の充電には定電流定電圧(CCCV)方式を用いる。LIMシリーズの定電圧設定値は4.1Vである。LIM40電池を0.5CA、1CAおよび3CAの電流で5時間充電した場合における電圧、電流および電気量の変化を図2に示す。図から、充電率が大きくなるにしたがって、定電流で充電できる領域は小さくなるが、この範囲の充電率では、5時間のCCC充電によって、満充電できることがわかる。3CAの充電では、1時間で90%以上の充電が可能である。つぎに、LIM40電池を0℃、25℃および45℃の温度において、1CAで5時間充電した場合における電圧、電流値および電気量の変化を図3に示す。図か

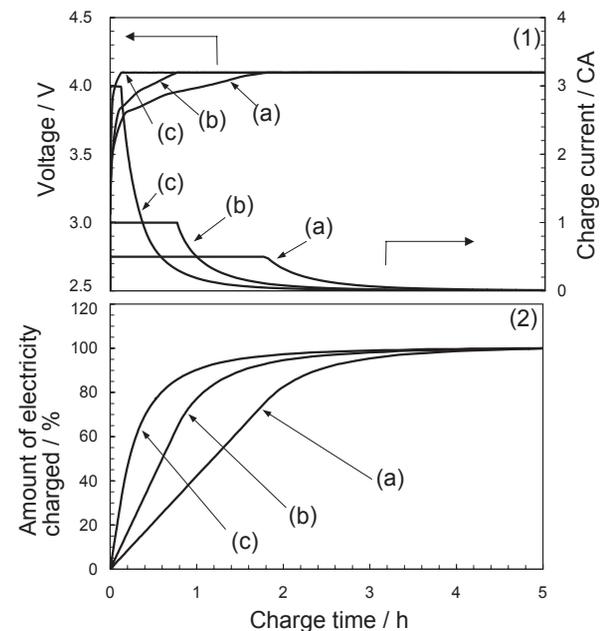


図2 LIM40電池の各率充電における(1)電圧および電流値の推移および(2)電気量の推移

Fig.2 Change in (1) voltage and current, and (2) amount of electricity for LIM40 lithium ion cells at various charging currents (a) 0.2 CA, (b) 1 CA, and (c) 3 CA at 25 °C .

Charge : 0.2 CA, 1 CA, and 3 CA to 4.1 V for total 5 h at 25 °C , 1 CA=40 A

ら、いずれの条件でも満充電できることがわかる。0℃の充電では5時間後の充電電気量は約90%と若干小さくなるが、充電開始から1時間で約60%の充電が可能であることがわかる。以上のことから、LIMシリーズは高率および低温での充電性能に優れた電池であるといえる。

3.1.2 放電性能

LIM40電池を1CAで4.1Vまで充電し、ひきつづき同じ電圧で合計5時間定電圧充電する。その後、0.2CA, 0.5CA, 1CA, 3CAおよび5CAの電流で2.75Vまで放電した場合の性能を図4に示す。放電率が大きくなると分極の増大による電圧の低下が認められるが、放電率が3Cまでは、ほぼ100%の放電容量が得られ、5Cにおいても90%以上の高い値が得られることがわかる。つぎに、放電温度の影響を見るために、LIM40電池を先と同じ条件で充電したのち、温度を0℃, 25℃および45℃とかわえて、1CAで2.75Vまで放電をおこなった場合の性能を図5に示す。放電容量は、25℃および45℃では100%となり、0℃でも95%以上の高い容量を得られることがわかる。

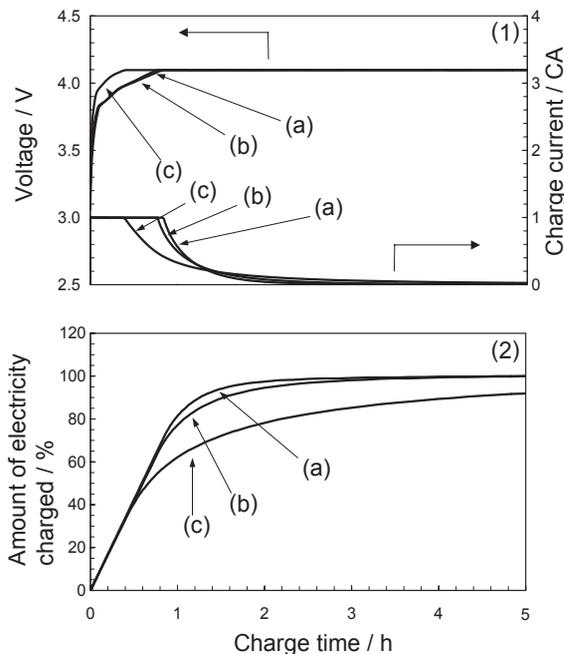


図3 LIM40電池の1CA充電性能：(1) 電圧および電流の推移、(2) 電気量の推移
Fig.3 Change in (1) voltage and current, and (2) amount of electricity for LIM40 lithium ion cells at 1 CA charge at (a) 45℃, (b) 25℃, and (c) 0℃. Charge : 1 CA to 4.1 V for 5 h at 45℃, 25℃, and 0℃, 1 CA=40 A

すなわち、LIMシリーズは高率および低温における放電性能が優れた電池であるといえる。

3.1.3 放電I-V性能

放電深度(D.O.D.)が0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, および90%の場合におけるLIM40電池のI-V性能を図6に示す。この電池は、その内部抵抗が小さいため、放電電流値が増加しても電圧の低下度合いが小さい。すなわち、瞬間的な大電流放電においても高い電圧を維持できることがわかる。

3.2 寿命性能

3.2.1 充放電サイクル寿命性能

温度が25℃, 45℃および60℃におけるLIM40電池のサイクル寿命試験をおこなった。放電容量のサイクルにともなう変化を図7に示す。25℃では、3000サイクル後も初期容量の約70%の容量を維持できることがわかる。図中の曲線は実測データの容量低下傾向から計算した放電容量変化の予測カーブを示している。仮に容量保持率60%を寿命判定基準とすると、25℃では約6000サイクルのサイクル寿命性能となる。この予測カーブから推察される。LIMシリー

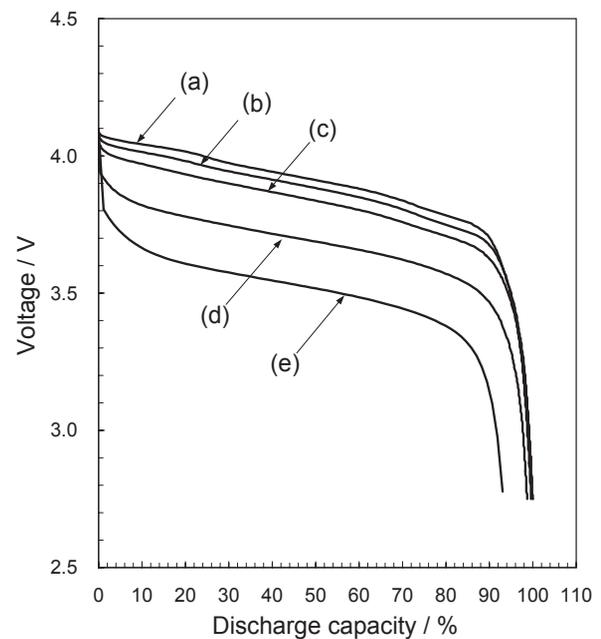


図4 LIM40電池の25℃各率放電性能
Fig.4 Discharge performance for LIM40 lithium ion cells at various currents : (a) 0.2 CA, (b) 0.5 CA, (c) 1 CA, (d) 3 CA, and (e) 5 CA at 25℃. Charge : 1 CA to 4.1 V for 5 h at 25℃ Discharge : 0.2 CA, 0.5 CA, 1 CA, 3 CA, and 5 CA to 2.75 V at 25℃, 1 CA=40 A

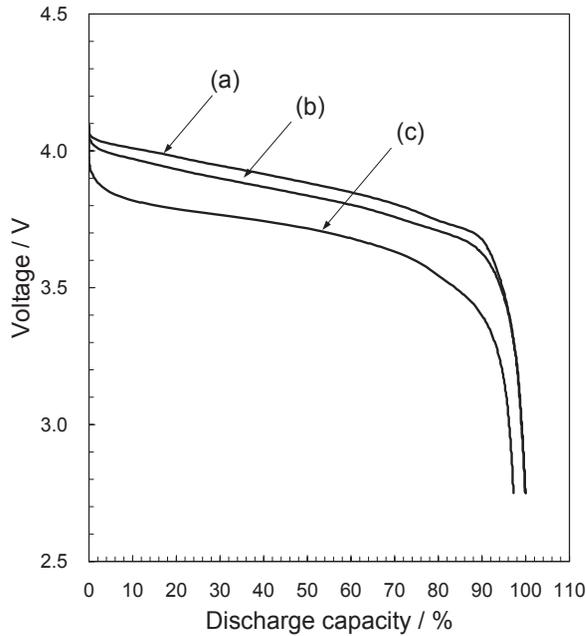


図5 LIM40電池の45℃, 25℃および0℃における1CA放電性能
 Fig.5 1 CA discharge performance for LIM40 lithium ion cells at (a) 45℃, (b) 25℃, and (c) 0℃.
 Charge: 1 CA to 4.1 V for total 5 h at 25℃
 Discharge: 1 CA to 2.75 V at 45℃, 25℃, and 0℃, 1 CA=40 A

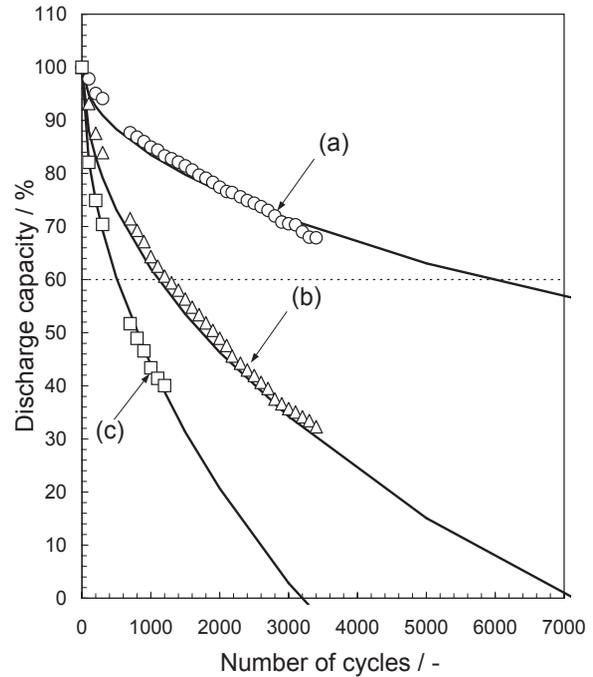


図7 LIM40電池の25℃, 45℃および60℃におけるサイクル寿命試験
 Fig.7 Cycle life test for LIM40 lithium ion cells at (a) 25℃, (b) 45℃, and (c) 60℃.
 Charge: 1CA to 4.1 V for total 5h
 Discharge: 1 CA to 2.75 V, 1 CA=40 A

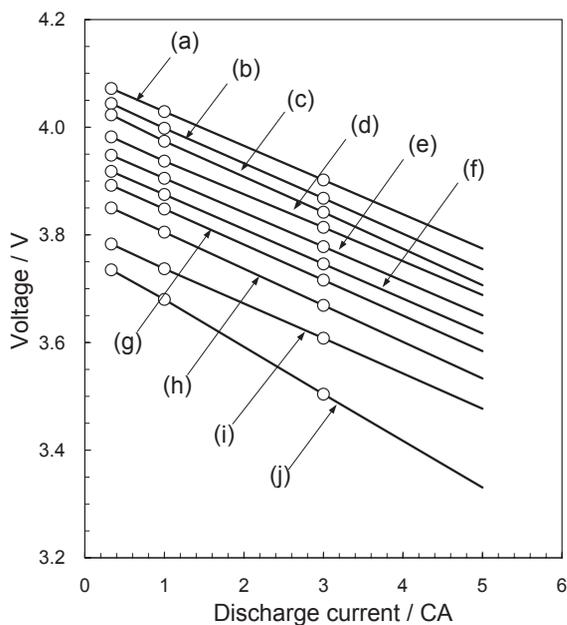


図6 LIM40電池の25℃放電I-V性能
 Fig.6 V-I performance for LIM40 lithium ion cells at (a) 0%, (b) 10%, (c) 20%, (d) 30%, (e) 40%, (f) 50%, (g) 60%, (h) 70%, (i) 80%, and (j) 90% D.O.D. at 25℃.
 Discharge current: 0.33CA, 1CA, and 3CA
 Discharge time: 30 sec
 Temperature: 25℃, 1 CA=40 A

ズは充放電サイクル寿命性能の優れた電池であるといえる。

3.2.2 自己放電性能 (容量保存性能)

温度が25℃, 45℃および60℃におけるLIM40電池の満充電後における保存試験をおこなった。残存容量の保存期間にともなう変化を図8に示す。25℃では、90日保存後にも90%以上の残存容量のあることがわかる。すなわち、90日間の保存でも自己放電量が10%以下であり、LIMシリーズは自己放電性能の優れた電池であるといえる。

3.2.3 フロート寿命性能

温度が25℃および45℃におけるLIM40電池を1CAで4.1Vまで充電してから、1ヶ月間4.1Vのフロート充電をおこなったのち、1CAで2.75Vまで放電をおこなうというフロート寿命試験をおこなった。そのときの、放電容量の変化を図9に示す。25℃では、28ヵ月のフロート後にも約85%の容量を維持できることがわかる。温度が45℃と高温下においても66%の容量が確保できていることがわかる。したがって、フロート充電における寿命性能にも優れているといえる。

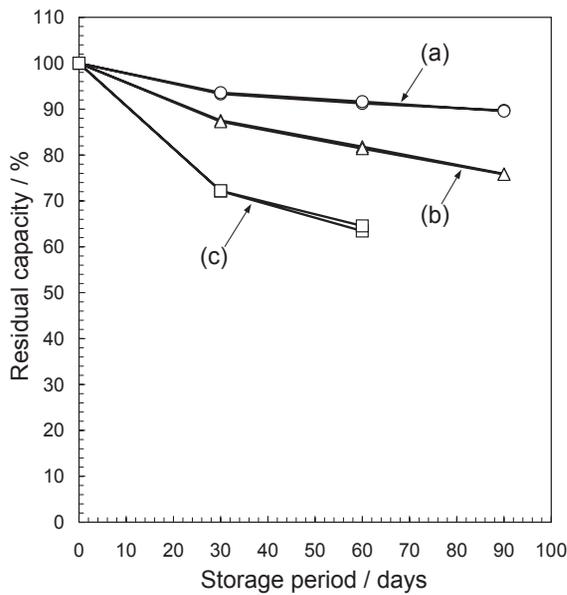


図8 LIM40電池の各温度保存試験における残存容量の推移

Fig.8 Change in residual capacity for LIM40 lithium ion cells under storage test at (a) 25 °C, (b) 45 °C, and (c) 60 °C.

Charge : 1CA to 4.1 V for total 5h at 25 °C
Residual discharge : 1CA to 2.75 V at 25 °C,
1 CA=40 A

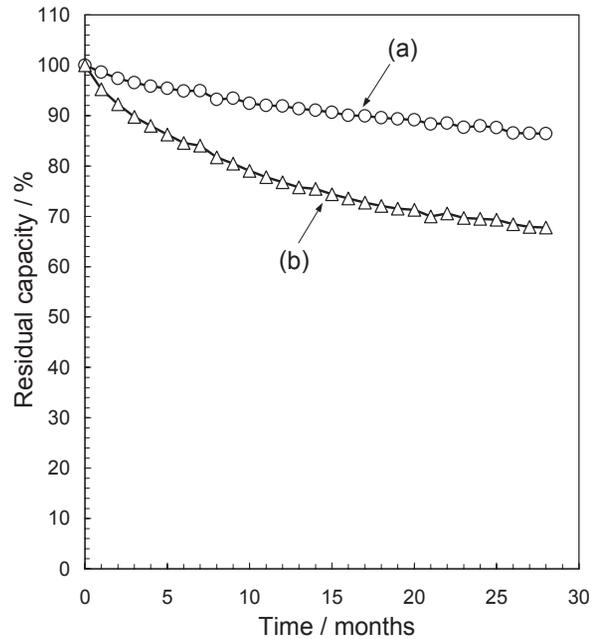


図9 LIM40電池のフロート寿命試験における残存容量の推移

Fig.9 Change in residual capacity for LIM40 lithium ion cells under floating charge calendar life test at (a) 25 °C and (b) 45 °C.

Floating charge : 1CA to 4.1 V followed by 1 month at 25 °C and 45 °C
Residual discharge : 1CA to 2.75 V at 25 °C,
1 CA=40 A

4 大形リチウムイオン電池のモジュール化

4.1 モジュール電池の仕様

今回開発した産業用大形リチウムイオンのモジュール電池 LIM40-7 および LIM80-8 の仕様を表2に示す。また、40 Ah 形モジュール電池 LIM40-7 の外観写真を図10に示す。

4.2 モジュール電池の構成

産業用リチウムイオン二次電池モジュールのブロック図²⁾を図11に示す。リチウムイオン電池モジュールは、電池(a)および管理装置(b)から構成されている。

4.2.1 電池

リチウムイオン二次電池のモジュールでは、7個の単電池を全て直列接続して1モジュールとしている。

4.2.2 管理装置(BMU : Battery Management Unit)

リチウムイオン電池は、上限電圧を越えて充電(過充電)したり下限電圧を越えて放電(過放電)すると、電解液の分解によって電池内圧が上昇し安全弁が作動したり、金属リチウムの電析や集電部の溶解・析出によって内部短絡が発生するなどの問題を生じる場合がある。そのために“LIMシリーズ”では、過充電・

表2 産業用リチウムイオン電池モジュールの仕様

Table2 Specifications of lithium ion battery modules

Model	LIM40-7	LIM80-7
Number of cells	7	7
Nominal capacity / Ah	40	80
Nominal voltage / V	26.6	26.6
Dimensions / mm		
L	451	761
W	180	180
H	160	160
Typical mass / kg	17	30

過放電の防止を目的とする管理装置(BMU : Battery Management Unit)を設置している。

BMUの機能は以下の3点である。

- 1) 単電池単位での電圧監視
- 2) 使用禁止信号の発信
- 3) バランス機能

BMUは、常時、単電池単位での電圧監視をおこない、構成電池のうち1セルでも過充電または過放電状態と



図10 LIM40-7 モジュール電池の外観写真
Fig.10 Photograph of LIM40-7 lithium ion battery module.

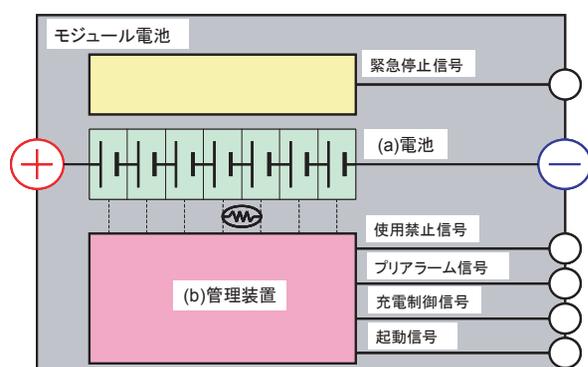


図11 リチウムイオン電池モジュールのブロック図
Fig.11 Schematic diagram of lithium ion battery module for industrial applications.

なった場合には「使用禁止信号」を発信する機能がある。機器側に「使用禁止信号」を受信する機能を付与することで、充電および放電をただちに遮断することが可能である。また、モジュール電池に特有な「構成電池間の電圧ばらつき」に関しても、構成電池間の電圧を均一化する機能（バランス機能）を有しているため、電圧ばらつきに起因するモジュール電池の性能低下を抑制することができる。

5 まとめ

産業機器分野への適用を目的として、産業用リチウムイオン電池「LIMシリーズ」を開発した。これらの電池は優れた高率充放電性能および寿命性能だけでなく、モジュール電池に管理装置を取り付けることにより、異常使用時の安全性をも確保したものである。これらのモジュール電池は、すでに顧客のもとで高い評価を得ている。今後は、さらなる性能向上と低コスト化を目指して産業用リチウムイオン二次電池の開発に注力する所存である。

文献

- 1) 高橋克仁, 西山浩一, 瀬山幸隆, 電気評論, 88(3), 59 (2003)
- 2) LIMシリーズテクニカルハンドブック, (2003) 日本電池(株)