

リチウムイオン電池用保護回路（BMS）と組電池について

—コンバート EV 用リチウムイオン電池モジュールの開発—

松尾 博 (マイクロ・ビークル・ラボ株式会社, matsuo@mvl.co.jp)

Battery management system of li-ion batteries and battery module:
Development of large sized li-ion battery module for electric vehicles

Hiroshi Matsuo (Micro Vehicle Lab., Ltd., Japan)

要約

リチウムイオン電池には、過充電および過放電を防止する保護回路が必要である。24 V系の電源では、リチウムイオン電池を7セル直列に接続して、各セルの電圧を監視し、正常な電圧範囲を逸脱した場合、回路を遮断する保護装置が必要である。電気自動車や大型蓄電システムでは高効率のための300 V以上の高電圧化となり、100セル近い直列数となる。上位側のコンピューターとの通信も必要となり、高機能な制御を含めたBMS (Battery Management System) が求められている。そこで、我々も保護ICを用いて、最大120セルの直列数まで可能で、上限電圧や下限電圧の閾値を任意に変更できる研究開発で利用しやすい特殊なBMSを開発してきた。本論文では、このBMSとリン酸鉄系リチウムイオン電池を組み合わせて9 kWh (153 V-60 Ah) の電池モジュールを試作し、電気自動車に搭載した結果について述べる。

キーワード

リチウムイオン, 組電池, 保護回路, BMS, 電気自動車

任意に変更できる特殊なBMSを開発したので、その結果について述べる。

1. はじめに

リチウムイオン電池は、携帯電話や小型ビデオ、ノート型パソコン用の電源として1990年に開発され、25年を経た現在では、大部分のモバイル機器に普及している。移動体への応用は、1980年代後半のカリフォルニア州ゼロエミッション構想が発表されて燃料電池自動車や電気自動車の開発がスタートした。近年、エンジンとモーターを組み合わせたハイブリッドシステムで燃費を向上させ、環境にもお財布にもやさしい車作りの競争が激しくなっている。リチウムイオン電池の用途もモバイル機器から移動体まで広がり、それとともにセル数が多くなり、高効率のための300 V以上の高電圧化や走行距離延長のための高容量化が必然となっている (松尾, 2011b)。

このような背景のもと、我々は2005年より大型リチウムイオン電池を用いたロボットや移動体向けの組電池の開発を行ってきた。当初は、24 V系の電源に対応できる7セル直列用の保護回路を開発し、最大21セル直列(72 V系)まで接続可能なシステムとし、大型ロボットやパーソナルモビリティと呼ばれる一人乗り電気自動車に対応してきた。軽自動車クラスより大型の車両の電動化を開発する自動車メーカーは、デバイスメーカーより専用の保護ICを入手してBMSと呼ばれる高機能な保護回路を開発し、市販する電気自動車に搭載している。このBMS技術は外部に公開されることなく、メーカーのノウハウとなっている。

2011年より我々も保護ICの入手が可能となり、最大120セルの直列数まで対応できる保護回路の開発を開始した (松尾, 2012a)。我々は、BMSの低コスト化を目指すのではなく、電気自動車や蓄電システムの試作や実証実験に利用可能で、異なる正極材料に対応できるように上限電圧や下限電圧の閾値が

2. 保護回路の必要性

リチウムイオン電池は、過充電および過放電を防止するために、セル電圧を監視し、正常な電圧範囲を逸脱した場合、回路を遮断する保護装置が必要である (松尾, 2011b)。図1にセル電圧と過充電・過放電領域を示す。Mn系やMn/Co/Ni系のリチウムイオン電池の使用電圧範囲は、3.0 Vから4.2 Vとされている。4.2 Vを超えると、過充電状態に近づき、5 V付近では電解液の分解→ガス化→内圧の上昇→膨れ・安全弁の解放を引き起こし、最悪の場合は発火・破裂事故を引き起こす場合がある (松尾, 2012a)。そこでリチウムイオン電池には、上限電圧を4.25 Vと設定し、これ以上の電圧に迄充電されないようにした安全回路を取り付ける必要がある。また、放電によりセル電圧が3.0 V以下になると、過放電状態に近づき、2.0 V以下では電解液の分解→ガス化が起こり、容量が極端に

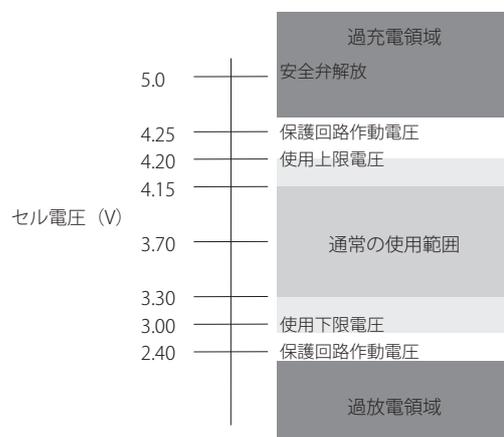


図1: リチウムイオン電池のセル電圧と過充電・過放電領域

低下し、電池の機能が失われる。上限電圧・下限電圧の厳密な閾値は、正極・負極に使用される活物質に左右されるので、それぞれの電池にあった設定が求められる。

3. アナログ計測による 24V 系保護回路

ロボットや電動車いすには、24 Vの直流モーターが多く使用されており、12 Vの鉛電池を2個直列に接続して駆動してきた。2005年頃より、小型・高性能化を目的に、リチウムイオン電池を搭載したロボットや小型移動体の開発が盛んになり、我々はアナログ計測による24 V系保護回路の開発に着手した(松尾, 2008c)。リチウムイオン電池の各セル電圧をオペアンプで計測し、上限電圧 ($4.25\text{ V} \pm 0.025\text{ V}$) および下限電圧 ($2.40\text{ V} \pm 0.025\text{ V}$) に達するとFETにより遮断する回路を開発した。開発した保護装置の写真を図2に示す。直列方向の各セル電圧は写真右側のコネクタ部分より接続され、この基板1枚で5直列から8直列までの電圧監視をすることが可能で、異常の際はFET回路で入出力の電流を遮断する。FETは基板の裏側に2個設置されており、アルミの放熱板に接している。セル電圧が正常値に戻れば、遮断は解除される。また、短絡時に備えて20 Aの溶断ヒューズが用意されている。90 V以下のシステムではFETが使用できるが、それ以上の高電圧になると耐圧の問題でコンタクトと呼ばれるDCリレーに置き換えることが必要となる。

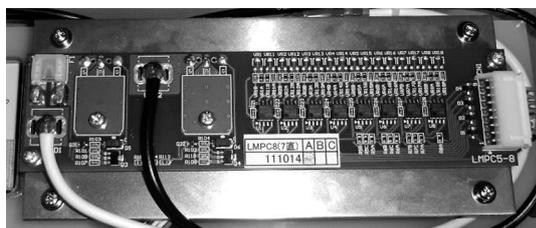


図2：開発した24V系保護回路

4. 保護 IC を利用した高機能な BMS

交流モーターを搭載する電気自動車では、300 V以上の電圧が求められ、リチウムイオン電池のセル数が多く、車両側のコンピューター (ECUなど) との通信が求められ、BMSと呼ばれるマイコンを搭載したシステムが必要となる(松尾, 2011b)。図3にそのために開発したBMSを示す。各セルの電圧は写真(上)の電圧監視基板で計測し、そのデータが写真(下)のCPU基板へと伝えられる。電圧監視基板(写真上、下の基板)には、リニアテクノロジー社の保護IC (LTC-6803) を使用した。この保護ICは12 chまでの電圧を計測することが可能で、さらにIC同士を10直列して、計120 chの計測を可能にしている。電池電圧準化基板(写真上、上の基板)には12本のセメント抵抗が用意されており、抵抗加熱方式で充電末における電圧ばらつきを整える方法を採用した。写真下側のCPU基板には、セル電圧だけでなく電流値、セル温度などの情報も入力され、CANやRS485、RS232C通信で上位の車両コンピューターに伝えられる。車両コンピューターは電池の状態を把握し、異常があれば電流値の制限やドライバーへの

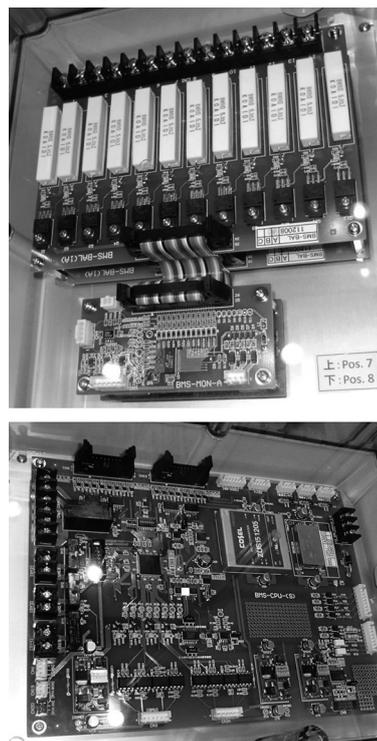


図3：高機能なBMS基板

警告、充電の停止などを指示する。

開発したBMSは、研究開発中のEVや蓄電システムへの利用を目的としているため、新しく開発された活物質にも対応できるように上限電圧や下限電圧の閾値を任意に変更できるようにしている。これらの変更は、図4に示す液晶モニターで0.5 Vから5.0 Vの範囲で10 mV単位での設定を可能としている。上側が電池状況を示す画面であり、各セルの電圧値やSOC値、平均電圧、最大電圧、最小電圧、エラーメッセージなどを表示する。下側の画面は、上限電圧・下限電圧(それぞれ警告値と遮断値)などの閾値を設定する画面である。

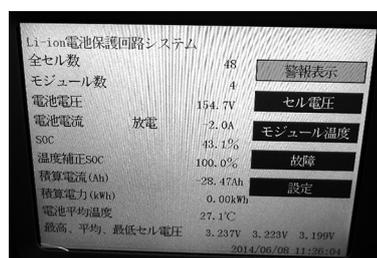


図4：BMS液晶モニター

5. コンバート EV 用電池モジュールの製作

コンバートEVと呼ばれるガソリン自動車を電気自動車に改造した車両の電池モジュール（組電池）の製作について述べる。実験に使用した車両には、定格出力34.0 kW（6,000 RPM）、最大出力66.0 kW（4,800 RPM）の交流モーター（HPEVS社、AC-51型）とコントローラー（カーチス社、モデル1239）が搭載されている。コントローラーの入力電圧はDC144Vであるから、定格出力時の電流は236 Aとなる。自動車は発進時に大きな出力を必要とするが、その後のモーター負荷は小さくなる。使用したリン酸鉄系リチウムイオン電池の公称電圧は3.2V、容量は20 Ahで、正極に三井造船（株）が開発したリン酸鉄系材料を使用し、負極に黒鉛を用いて、エルクセル（株）が製作したラミネート型セルである。この電池を48個直列にすると、 $3.2V \times 48 = 153.6V$ の公称電圧となり、充電末を $3.5V \times 48 = 168V$ 、放電末を $2.4V \times 48 = 115.2V$ とした。電池の搭載可能な容量なども考慮した結果、20 Ahのセルを3並列に接続し、60 Ahとした。発進時の5秒程度の負荷を240 A（4 C）と考え、発進後は負荷120 A（2 C）という設定で市内をゆったり走行できる仕様である。

この結果、電池の容量は、公称電圧153 V、容量60 Ahで約9 kWhとなる。ここに前節で述べた高性能なBMSを取り付け、上限電圧を3.75 V（警告値を3.65 V）下限電圧を1.7 V（警告値を2.3 V）と設定した。セル電圧が警告値に達すると液晶モニターよりドライバーに警告音で注意を喚起し、さらに限界値に達すると、コンタクトによる電流遮断となる。SOC値は、ホール素子式電流計による積算とし、Ah値を用いて計算している。開発初期には、電圧データを加えたWh値による積算値を求めたが、誤差が多くなるためAh値を採用した。

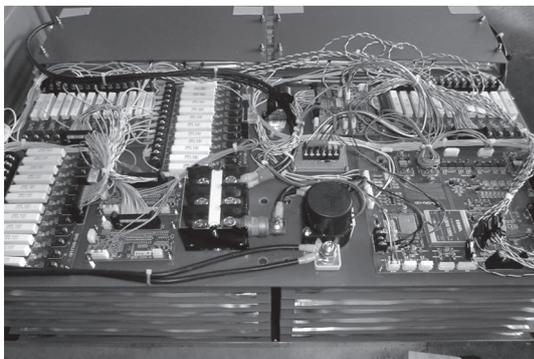


図5：BMSを取り付けた組電池

6. 車両への搭載

車両に搭載した組電池を図6に示す。保護回路部分が見えるように中央部をアクリル製の窓とし、ステンレス製の箱の中に収められている。この電池を図7に示すコンバートEV車両「EVデロリアン」に搭載した。デロリアンは約30年前のアメリカ車で、リア部分にV6型2,849 ccのエンジンを積むガソリン車であるが、日本EVクラブ広島支部が2009年に電気自動車に改造したもので、2013年8月に本開発のリン酸鉄系リチウムイオン電池モジュールを搭載した。搭載した車両を

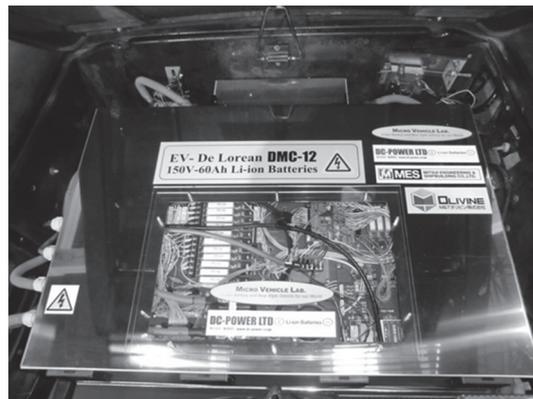


図6：車両に搭載した状態の組電池



図7：コンバートEV車両「EVデロリアン」

2013年10月に幕張メッセで開催されたCEATEC JAPANに出展し、現在も広島市内を走行して、電気消費量やセル電圧の変化、電池の寿命などに関するデータを収集している。

7. まとめ

本研究によって得られた知見を以下にまとめる。

- (1) 保護IC（リニアテクノロジー社、LTC-6803）を用いて、120直列（400V系）まで対応できるBMSを開発した。このBMSは、新しく開発された活物質にも対応できるように上限電圧や下限電圧の閾値を液晶モニターを用いて、0.5 Vから5.0 Vまで10 mV単位で変更することができる。
- (2) SOC値は、ホール素子式電流計による積算としAh値を基準とした。開発初期には、Wh値による積算を試みたが誤差が多く、Ah値を採用した。
- (3) コンバートEV車両「EVデロリアン」に3.2V-20 Ahのリン酸鉄系リチウムイオン電池を48直列、3並列に接続し、開発したBMSとともに153 V-60 Ah（9 kWh）の電池モジュールを搭載した。現在、広島市内を走行して、電気消費量やセル電圧の変化、電池の寿命に関するデータを収集している。

謝辞

リチウムイオン電池モジュールの開発にあたり、エルクセル株式会社、三井造船株式会社、株式会社電源設計、有限会社ケニックシステム、キャドオフィス・マツオの関係者の方々

にご支援・ご協力を頂いたことに厚く感謝の意を表します。
また、コンバートEV車両「EVデロリアン」への電池搭載および走行試験では、日本EVクラブ広島支部の藤井様をはじめ多くの方々にご協力いただき、厚く感謝いたします。

引用文献

- 松尾博 (2012a). 大型リチウムイオン電池の寿命予測に関する研究. 福井大学学位論文.
- 松尾博(2011b). リチウム二次電池の車載技術. 技術情報協会, 628-629.
- 松尾博(2008c). 最新リチウムイオン二次電池. 技術情報協会, 289-312.

(受稿：2014年6月9日 受理：2014年6月26日)