

TED Plaza

熱工学的観点から見た蓄電池の開発



可知 直芳

CONNEXX SYSTEMS 株式会社
 研究開発本部 開発企画室長
 naok@connexsys.com

1. はじめに

CONNEXX SYSTEMS 株式会社は、2011年に京都で設立されたスタートアップ企業である。当時、米国にて医療・衛生等用リチウムイオン電池メーカーを運営していた創業者の塚本が、新たな蓄電技術を生み出すべく創業した。

弊社のビジョンは、「革新的蓄電技術と自然エネルギーを組み合わせ、耐災害性と環境保全性に優れた未来社会を実現する」である。災害に強く持続可能な社会を実現するには、エネルギーの自給自足が必要不可欠であり、そのためには、太陽光や風力といった、半永久的に利用可能で偏在のない自然エネルギーから電力を生み出す必要がある。一方で、自然エネルギーは時間による変動が大きい。例えば太陽光であれば、天候不良時や夜間の発電は期待できないし、風力であれば、局所的な風速はゼロから数十 m/s まで秒単位で変動する。

自然エネルギーによる発電電力を有効活用するには、いったん電力を貯め、需要に合わせて放出するダムのような機能が必要である。この機能を担うのが蓄電池である。弊社は、自然エネルギーの地産地消を可能にする蓄電池を核としたマイクログリッドを PowerNET と呼称し、未来社会に必要なとなる複数の蓄電池技術を開発している（図1）。



Fig. 1 Conceptual image of PowerNET

これら蓄電池技術を開発する上で、熱工学は切っても切り離せないものである。本稿では、弊社が開発する蓄電池技術の一つである、パワー型リチウムイオン電池について、熱工学の観点から紹介させていただきたい。

2. パワー型リチウムイオン電池の開発

スマートフォンや電気自動車に用いられるリチウムイオン電池は、機器の動作時間を最大化するために、単位重量、体積当たりのエネルギーを高めた、エネルギー型の蓄電池である。一方で、ハイブリッド自動車や電動工具など、瞬間的な入出力が求められる用途があり、これらには単位重量、体積当たりの最大入出力を高めた、パワー型の蓄電池が用いられる。

パワー型リチウムイオン電池は、これまでもハイブリッド自動車用を中心に開発されてきたが、今後、新しい産業分野にも需要が拡大することが見込まれる。例えばドローンやロボット用の蓄電池では、発進時の大電力供給、制動時の回生電力受入が必要である。また、AGVやフォークリフト等の産業機器では、設備の稼働率を最大限にするために、短時間で急速充電を行える性能が求められる。

弊社ではこれらの新たな需要に対応可能なパワー型リチウムイオン電池を、「HYPER Battery」と名付け、開発を推進している。現在は、ロボット用途を想定した電池パックの開発を進めており、来年の製品化を目指している(日経新聞, 2018)。

3. 発熱によるリチウムイオン電池の劣化

リチウムイオン電池は一般に、使用温度が高い程劣化が促進される。例えば、あるリチウムイオン電池は、25℃環境で1200回繰り返し使用しても90%以上の容量を維持するが、45℃環境で使用すると、同じ1200回の使用で70%付近まで容量が低下する(吉岡, 2010)。

リチウムイオン電池の劣化要因は、(1) 負極表面上に成長する抵抗被膜に起因する内部抵抗の増加、(2) 活物質層の電極集電体からの剥離による集電性能の低下、(3) 活物質の利用率低下からなり、温度が高い程これらの現象が促進される(熊井, 2001)。

上述したパワー型リチウムイオン電池においては、入出力電流が従来品と比べて大きいために、発熱による温度上昇が顕著となる。従って、蓄電池の寿命を延長するために、蓄電池の温度管理が非常に重要となる。

ドローン、ロボット、AGVなどの用途には、24~300V程度の電圧が必要であり、用いるリチウムイオン電池は、単セルを直並列に接続した組電池を、保護回路等の他部品とともに筐体内に格納した構成が一般的である。このような構成を電池パックと呼ぶ。この電池パックの温度を管理することは、具体的には、パック内にある全ての単セルの温度を一定値以下に抑え、かつ、単セル内、および単セル間の温度ばらつきをできるだけ抑制することである。

4. リチウムイオン電池単セルの発熱挙動

リチウムイオン電池単セルの温度分布は一定ではなく、入出力電流による発熱により、セル内で温度分布が生じる。図2は、平板型リチウムイオン電池単セルに約6C(10分で完全に充電が完了する電流値)の急速充電電流を負荷した場合における、セル部位ごとの表面温度変化を示したものである。なおこの試験は、一般的なリチウムイオン電池セルの発熱挙動を定量的に示すために行ったものであり、本セルが当該条件で連続使用できるかを判断するためのものではないことに留意されたい。

90秒間の急速充電によるセル表面温度の上昇は部位ごとに異なり、電流端子に近い部位 Front で約12℃の上昇がみられた。一方、電流端子から遠い部位 Rear では6℃の上昇にとどまった。また、急速充電後においては、部位 Front の温度は徐々に低下した一方、部位 Center ではほとんど変化が無く、部位 Rear ではわずかな上昇がみられた。

この結果は以下のように解釈できる。電流端子に近い部位 Front では電流集中が起こるため、温度上昇は顕著になった。一旦部位 Front に蓄積された熱は、外部に放出される一方で、同一セルの他部位にも伝導されたと考えられる。

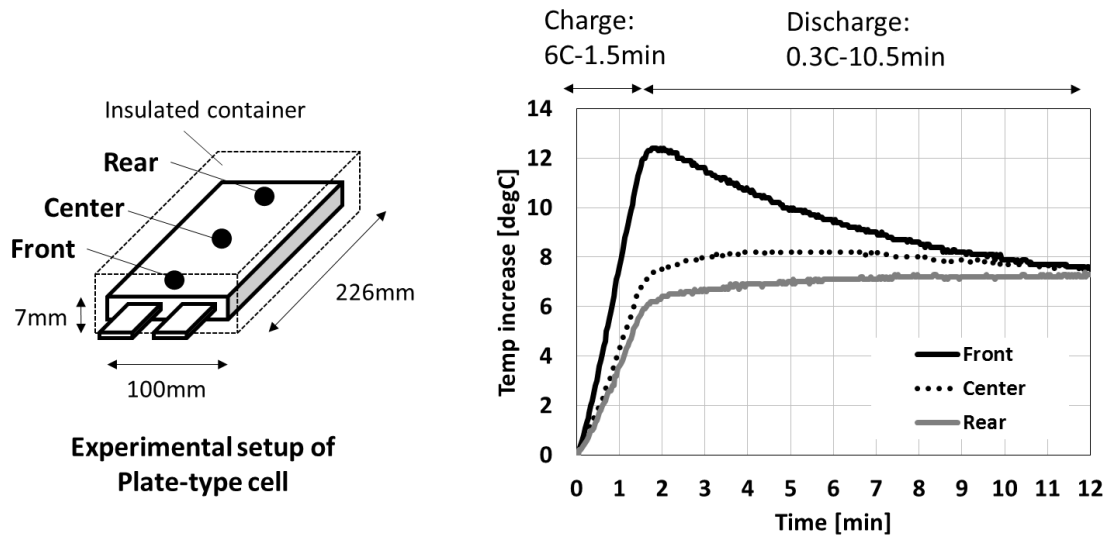


Fig. 2 Heat generation of plate-type Li-ion cell

このように、部位ごとの温度差が大きくなると、温度上昇の激しい電流端子近傍において電極の劣化が促進され、さらに発熱が増大するという悪循環に陥る。また抵抗上昇が顕著になると当該電極部位で金属リチウムの析出が発生するなど、安全性にも影響を及ぼす。

従って、リチウムイオン電池の温度管理を行う上では、まず想定される使用条件において単セルがどの程度温度上昇するか、またセル内の温度分布がどのように変化するかを確認することが重要である。

5. リチウムイオン電池パックの発熱挙動

最終製品となる電池パックには、前述のとおり複数の単セルが格納される。これらセル間での温度不均一性をできるだけ抑制することも重要である。電池パックにおけるセル間の温度分布を測定するために、平板型リチウムイオン電池を28個直並列に接続した組電池を、アルミ製の筐体内に格納し、約6Cの急速充電電流を負荷する試験を行った。結果を図3に示す。最端部のセル温度上昇は最も小さく、一方で中央に位置するセルの温度は最も高くなった。セル間の温度差は最大で約4℃であった。

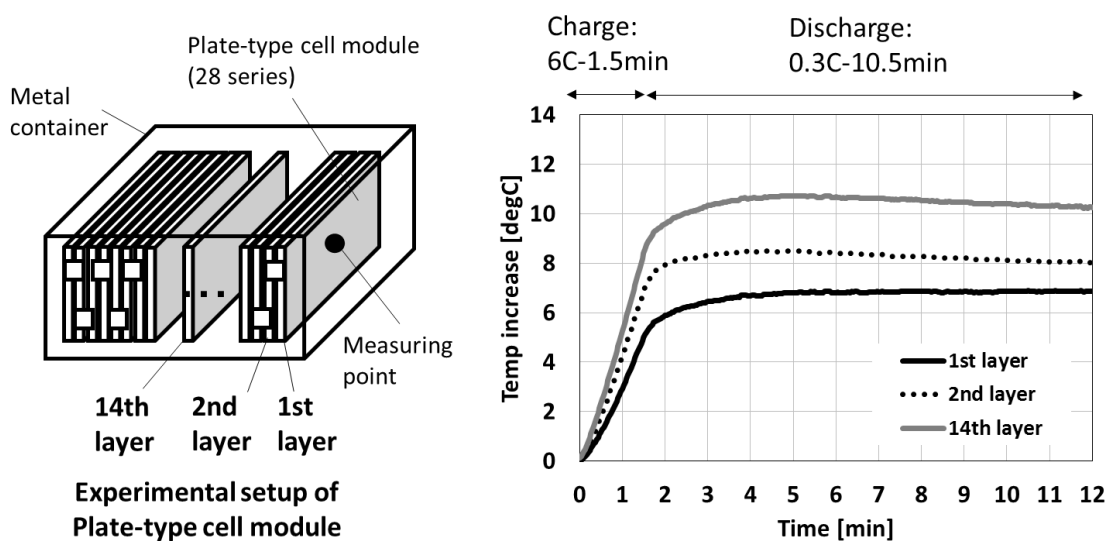


Fig. 3 Heat generation of plate-type Li-ion pack.

電池パックにおいては中央に位置する単セルに熱が蓄積し、セル間で温度差が生じる。セル間の温度差は、セル間の劣化速度の差に直結する。リチウムイオン電池パックは、温度や電圧をセル単位（または並列接続されるセルブロック単位）で監視しているため、いずれか一つの単セルの劣化が、パック全体の性能に影響を及ぼす。上述したように、25℃と45℃では蓄電池の劣化速度が大きく異なることを鑑みると、セル間の温度差が4℃というのは決して無視できる数値ではない。

6. 電池パックの温度管理

これまでの議論から、パワー型のリチウムイオン電池パックにおいて、温度管理が重要であることを示してきた。ここでは、具体的にリチウムイオン電池パックにおいて行われている温度管理を、電気自動車用電池パックを例として述べる。

例えば日産の電気自動車「Leaf」の電池パックでは、密閉型の空冷方式を採用している。電池パック内には放熱性に優れるラミネート型セルを8枚積層したモジュールが配置されている。この方式はコスト性に優れる一方、冷却効率は十分でない場合があり、夏日に急速充電を繰り返して連続走行するような厳しい使用状況では、温度上昇を抑制するために充電電流が制限されることもある。

一方で、Tesla社の電気自動車の電池パックは間接水冷式を採用している。円筒型リチウムイオン電池単セルが垂直方向に配置されたパック内に配管が配置されており、配管内に冷媒を循環させることで単セルを冷却する。この方式の冷却効率は高く、セルの均熱性も高く保つことができる。一方でパック全体としてのコストは高くなり、また冷媒の交換等、メンテナンスも複雑となる。

最適な冷却方式は、セル特性、コスト、重量、冷却効率、求められる温度均一性、消費電力等の条件により異なり、一概に決められるものではない。Chenらは、電気自動車用電池パックの冷却方式として、空冷、直接水冷（パック全体を冷媒中に浸漬する）、間接水冷（配管を通して冷媒を循環させる）、フィン方式の4方式のメリット、デメリットを比較した(Chen, et al., 2016)。これによると、同一体積という制約のもとでは、間接水冷方式が最も現実的かつ効果的な冷却方式であるという見解が示されている。

蓄電池は製品の競争力を左右する重要な機関部品である。一方で産業用等の分野においては、モーターなど他の要素部品を配置し、余ったスペースの中で電池パックの設計を行わざるを得ないなどの制約があることが多い。設置場所、コスト等の制約の中で、電池パックとしてのトータルコストを最適化するための冷却方式は、電池パックごとに様々であり、弊社でも今後、用途ごとに最適な電池パック設計を行う必要があると考えている。

7. おわりに

弊社では現在、ロボット用以外でも、HYPER Batteryの開発を進めている。特に力を入れているものの一つが、トラックやバス等の重量車EVである。重量車の場合、要求される寿命や入出力性能要求が乗用車よりもはるかに厳しい。このような高い要求に対して、弊社では、パワー型リチウムイオン電池（HYPER Battery）と、従来EVで用いられるエネルギー型リチウムイオン電池とを併設した、ハイブリッド型の電池パック構成を提案している(Matoba, et al., 2018)。入出力性能を前者で、航続距離を後方でそれぞれ担わせることにより、設計の自由度を高めるとともに、バッテリー全体の総合的な性能を向上させる試みである（図4）。

このようなハイブリッド型の電池構成でも、今後電池パックの熱設計を本格的に推進していく予定である。我々のようなスタートアップ企業が新しい技術を確立するには、外部機関との連携は必要不可欠である。この原稿を読んでいただいた方々と、蓄電池開発の仕事をいつかご一緒できれば大変幸甚である。



Fig. 4 Concept of Hybrid Battery for heavy duty vehicle

文献

Chen et al. Comparison of different cooling methods for lithium ion battery cells, Applied Thermal Engineering, Vol. 94, No.5 (2016) pp. 846-854.

熊井一馬, リチウムイオン電池の劣化メカニズムの解明, 電中研報告 (2001) T01033.

日経新聞 2018年3月26日朝刊.

Matoba, T. et al., Lithium-Lithium BIND Battery: Innovative Hybrid Lithium-Ion Battery with High Energy Density and High Rate Capability, The 31st International Electric Vehicles Symposium, A5-2, (2018).

吉岡伸晃, Li イオン電池の寿命に影響を与える外部要因について, 第4回平成21年度環境対応車普及方策検討会 (2010).