

BMS

Part 03

GSユアサによるバッテリーマネジメント技術の開発の歩み

LFP電池の満充電容量の推定

正極材料にリン酸鉄リチウム(LiFePO₄)を用いるリチウムイオンセル(LFP電池)は、高価で希少なレアメタルを使用しないため安価に製造できる。そのため、電気自動車やエネルギー貯蔵システム(ESS)などの幅広い分野でLFP電池の採用が進んでいる。

電池は、時間の経過や充放電回数の増加とともに徐々に劣化し、その満充電容量が低下していく。電池を自動車などのシステムから取り外せば、所定の測定装置により電池の満充電容量を正確に測定可能だが、そのような測定の間は、システムを停止せざるを得ない。システムの運用を停止することなく、電池の満充電容量を適正に推定する技術が求められている。

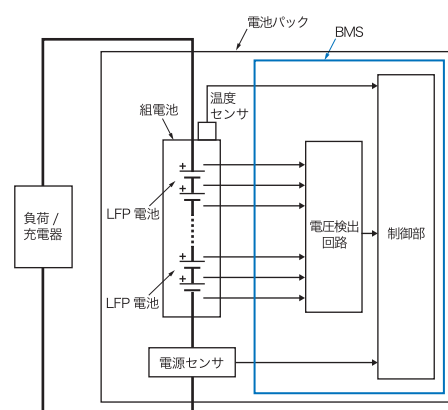
GSユアサは、自動車の電気負荷に電力を供給する12VバッテリーにLFP電池を用いている^{※1}。本稿では、GSユアサが開発した、システムの運用を継続しながらLFP電池の満充電容量を推定するための技術を紹介する。

1. 電池パックの基本構成

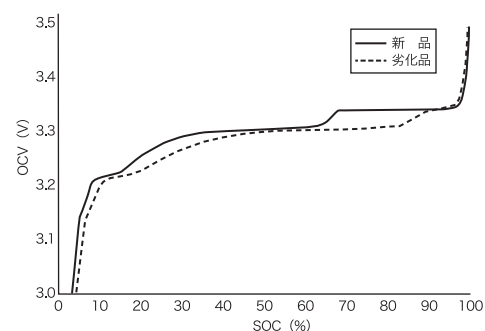
●図1に示す電池パックは、複数のLFP電池が直列に接続された組電池を有する。このような電池パックは、たとえば電気自動車やハイブリッド電気自動車に搭載されて、組電池からの放電によって負荷に電力を供給し、電池パックに接続された充電器が組電池を充電する。電池パックは、バッテリーマネジメントシステム(BMS)を有し、BMSは組電池の状態を監視する。

BMSは、電圧検出回路と制御部を有する。電圧検出回路は、各LFP電池の電圧を測定し、それら電圧を表す信号を制御部に出力する。また制御部には、組電池またはLFP電池の環境温度を測定する温度センサからの信号と、組電池を流れる電流を測定する電流センサからの信号が取り込まれる。制御部は、電流センサから取り込んだ時系列データを積算し、組電池の充電にともなう充電電気量(アンペアアワー:Ah)と、放電にともなう放電電気量(Ah)を算出する。

●図1 電池パックの概略



●図2 LFP電池のSOC-OCVプロファイル



2. LFP電池の特性

●図2に示すようにLFP電池は、SOC-OCVプロファイル(充電状態と開放電圧の関係を表す曲線形状)が、電池劣化の進行とともに変化する。そのため、曲線上の2点の電圧を用いた従来の推定手法(差電圧法など)では、高い精度で満充電容量を推定することが難しい。

●図3は、縦軸をOCV、横軸を電池に残存する電気量(残存容量)としたグラフである。LFP電池は、劣化の進行とともに、曲線右端のOCVの上昇部が左側にシフトする。これは、LFP電池の正極電位と負極電位との相対的なずれが生じることに起因する。LFP電池の残存容量-OCVプロファイル(●図3)には、劣化とともに曲線形状が変化するシフト領域と、曲線形状がほとんど変化しない不変領域とが存在する。不変領域における、ある点Pにおける残存容量とOCVは、電池の劣化度合いにかかわらず、ほぼ一定である。

3. LFP電池の満充電容量推定

電池パックは、●図4の赤点で示すように、システムの運用中に満充電にまで充電されることがある。BMSの制御部(●図1)は、監視している電圧および電流にもとづいて、LFP電池が満充電状態か否かを判定する(●図5:S1)。その後、制御部は満充電状態からの累積充放電量Xの計測を開始し(●図5:S2)、組電池からの放電電気をプラスの値、組電池への充電電気をマイナスの値としてそれらを足し合わせていく。

これにより、●図4に示すように、満充電状態から点Pに至るまでの累積充放電量Xを求めることができる^{※2}。電池が新しいときはXの値は大きく、電池の劣化にともないXの値は小さくなる。

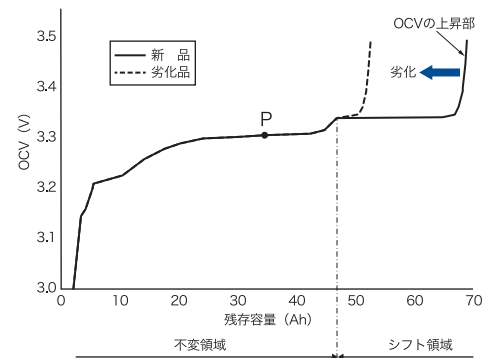
次に制御部は、組電池を流れる電流が閾値以下であるか否かを判定する(●図5:S3)。電流が閾値以下である場合(S3:YES)、点PにおけるOCVである V_p を測定し(●図5:S4)、その点Pが不変領域に含まれるか否かを判定する(●図5:S5)。点Pがまだシフト領域に存在すると判定される場合(S5:NO)、累積充放電量Xの計測を継続するとともに、S3の判定に戻る。

点Pが不変領域に含まれる場合(S5:YES)、制御部は点Pにおける残存容量 C_p (●図4)を算出する。残存容量 C_p は、たとえば、制御部のメモリに記憶されている不変領域における残存容量-OCVテーブルと、測定された V_p とに基づいて算出される。こうして算出した残存容量 C_p に、累積充放電量X(●図4)を加算することで、満充電容量を求めることができる。電圧検出回路による V_p の測定誤差を考慮して、算出した C_p を中央値としたマイナス側からプラス側にいたる所定の範囲に、累積充放電量Xを加算することで、満充電容量が含まれる範囲を求めてもよい。

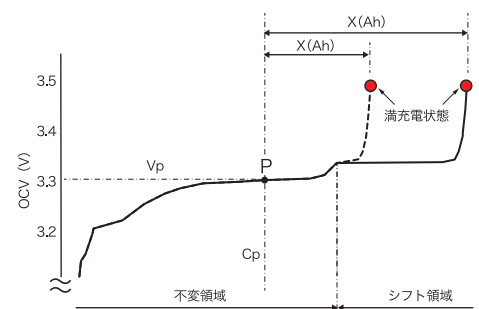
この方法によれば、特殊なセンサを用いたり部品を追加したりすることなく、かつ自動車などのシステムの通常の運用を継続しながら、LFP電池の満充電容量を高い精度で推定できる。

本稿では、汎用的な構成の電池パックにおいて、シンプルな計算によりLFP電池の満充電容量を求めることを可能にする技術を紹介した。GSユアサは、確立したバッテリーマネジメント技術にもとづき、信頼性が高い製品の開発を推進する。

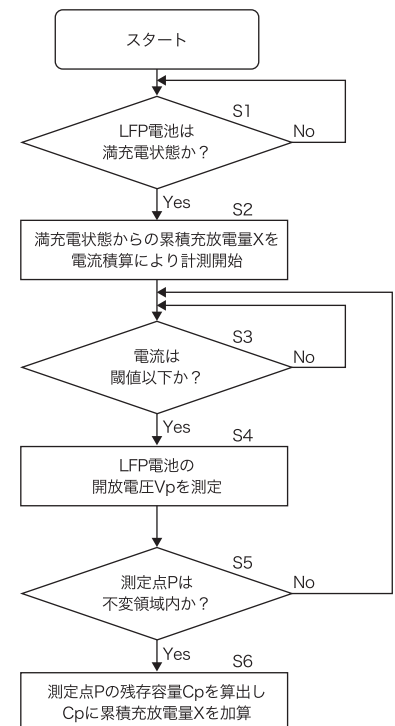
●図3 LFP電池の残存容量-OCV プロファイル



●図4 満充電状態からの累積充放電量



●図5 満充電容量推定のフローチャート



※1 https://www.gs-yuasa.com/jp/technology/making_history/pdf/no12.pdf

※2 日本特許第 6714838 号、米国特許第 10,330,735 号、中国特許第 106257737 号、欧州特許第 3106892 号 (2016 年出願)