

リン酸鉄系リチウムイオン電池とその SOC 推定

正極材料にリン酸鉄リチウム (LiFePO₄) を用いたリチウムイオン電池は、他の正極材料を用いた電池よりも寿命性能が優れる。そのため、車載用途のみならず、寿命性能をより重視する産業用途への応用も期待されている。

GSユアサは、正極にリン酸鉄リチウム、負極にグラファイトを用いたリン酸鉄系リチウムイオン電池（以下、「LFP 電池」という）の開発に早期から着手し^{※1}、2012 年には大型 LFP 電池（●図1 参照）の寿命試験と安全性試験の結果を発表した。そして、この電池を使いこなすための各種制御技術の開発に継続的に取り組んでいる。

本稿では、LFP 電池の概要と、その電池の制御のために不可欠である、充電状態（以下、「SOC」という）を推定する技術を紹介する。

1. LFP 電池の特性

LFP 電池は、充放電の繰返しや、高温環境下での使用に対する耐久性が高く、長期間にわたって電池容量を高水準に維持できることが知られている。また、車両事故を想定して電池を圧壊したり、システム故障を想定して電池を過充電しても、高い安全性を示す^{※2}。

LFP 電池は、SOC の変化にともなう電池電圧の変化が微小な使用範囲（以下、「フラット領域」という）が広い（●図2 参照）。そのため、広い使用範囲にわたって電池から安定的に電力を供給できる。

2. LFP 電池の SOC 推定

電池から放電可能な電気量（残存容量）および電池に充電可能な電気量を正しく把握して、LFP 電池を最適に制御するためには、精度よく SOC を求める技術が必要とされる。電池の SOC を求めるために、電池の開放電圧（以下、「OCV」という）を測定し、その OCV から図2の相関関係に基づいて SOC を求める「OCV 法」が一般的に用いられる。

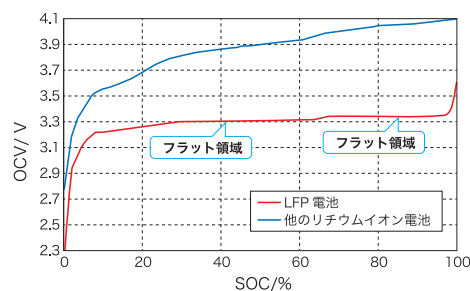
しかし、LFP 電池のフラット領域では、OCV から SOC を求めることがむずかしい。たとえば OCV を測定する電圧センサの測定精度が±5ミリボルト (mV) であると仮定する。SOC50%付近のフラット領域では、3.310V±5mV の OCV に相当する SOC は約 24%の幅をもつ（●図3 参照）。つまり、フラット領域では測定誤差の影響を受けやすく、OCV の測定値から SOC を一義的に定めることがむずかしい。

SOC を求める方法として、OCV 法のほかに、「電流積算法」がある。これは、電池に流れた電流を測定・積算して SOC を推定する方法である。しかし、電流積算法においても、電流センサの測定誤差の影響により、時間の経過とともに SOC 推定の精度が徐々に低下する。

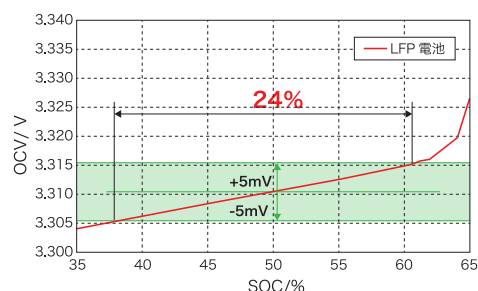
●図1 大型 LFP 電池



●図2 LFP 電池の SOC-OCV 特性



●図3 フラット領域の拡大図



3. 変化領域における SOC 補正

LFP 電池は、図2の SOC-OCV 特性において、SOC30%以下の領域、SOC65%付近の領域、および SOC95%以上の領域が、SOC の変化にともなって OCV が比較的大きく変化する「変化領域」になっている。この変化領域では、OCV 法によって正しい SOC を求めることができる。電流積算法と、変化領域での OCV 法とを組み合わせることで、LFP 電池における SOC 推定の精度を向上することができる。具体的には、電池の使用開始とともに電流積算法による SOC 推定を開始し、OCV が変化領域に入った時に、電流積算法から OCV 法に切り換えて、SOC 推定値を OCV 法により求めた値に補正する。

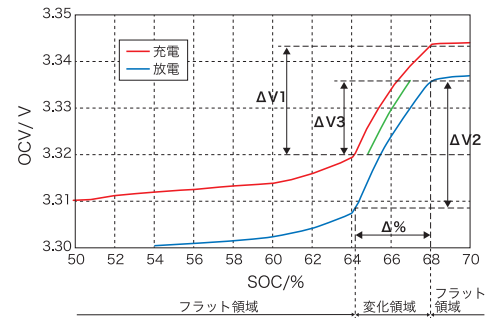
図4は、図2における SOC65%付近の拡大図である。LFP 電池は、充電時の SOC-OCV 曲線（図4、赤線）と、放電時の SOC-OCV 曲線（図4、青線）とが若干ずれている。変化領域では、充電時の OCV の範囲 $\Delta V1$ と放電時の OCV の範囲 $\Delta V2$ とが重複する領域 $\Delta V3$ が生じる。この重複領域 $\Delta V3$ で、OCV 法を実行して、電流積算法による SOC 推定値を、OCV 法による値に補正することができる。重複領域 $\Delta V3$ を使うことで、OCV 法の実行前に充電がおこなわれたか放電がおこなわれたかにかかわらず、高精度な SOC 推定が可能となる。

図5に示すように、まず電流積算処理をおこなう（S1）。充電電流または放電電流が基準値以下であるなどの OCV 検出条件が満たされた時点で（S2、Yes）、LFP 電池の OCV を測定する（S3）。そして、OCV の測定値が変化領域（重複領域 $\Delta V3$ ）内であるときに（S4、Yes）、OCV 法により SOC を求め（S5）、それまで電流積算法により求めていた SOC 推定値を OCV 法により求めた値に補正（シフト）する（S6）。

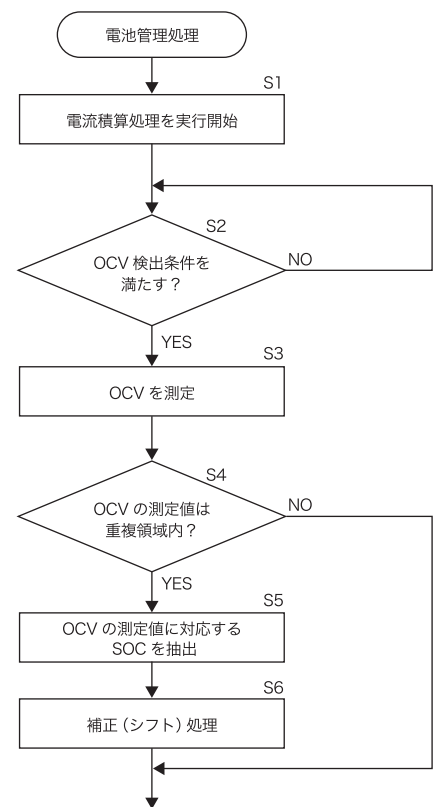
この技術により、電流積算法と OCV 法のそれぞれの長所を活かして、LFP 電池における SOC の推定精度を高水準に維持できる。また、適切でないタイミングで OCV 法を実行して SOC 推定値の誤差が広がる可能性を低減できる。LFP 電池を、太陽光パネルと組み合わせたシステムにおいても、このような SOC 補正の技術は有効である^{※4}。

以上、本稿では、LFP 電池の概要と、この電池の制御のためにGSユアサが開発した SOC 推定技術とを説明した。「Part 2」では、複数の LFP 電池を組み合わせた組電池において電池の SOC を均等化する技術を紹介する。

● 図4 SOC 補正をおこなう OCV の範囲の例^{※3}



● 図5 SOC 補正のフロー



※1 GS Yuasa Technical Report 第5巻第2号 2008年
 ※2 GS Yuasa Technical Report 第9巻第1号 2012年
 ※3 日本特許第 6155781 号、米国特許第 9429626 号、中国特許第 201310163549.8 号 (2012 年出願)
 ※4 米国特許第 9800086 号 (2012 年出願)