

## バッテリーマネジメント工学 電池の仕組みから状態推定まで



足立修一, 廣田幸嗣 編著  
押上勝憲, 馬場厚志,  
丸田一郎, 三原輝儀 共著

東京電機大学出版局 (2015年)  
A5判 248ページ 定価 (本体3,200円+税)  
ISBN: 978-4-501-11720-7 C3054

日本の製造業, モノづくり産業の従来構造にいま変革が求められている。近年, 製品に対する高性能化や多様化の要求が増しており, 素材や部品レベルで最適なものを組合せてシステムを構成し, 製品化するという従来のボトムアップ的な開発は破綻をきたしつつある。最適なシステム構築には, システム全体を俯瞰して各部品の特性を理解し適切に機能要求を各部品へ振り分けるシステム企画技術が必要であることに開発現場の技術者は気づき始めている。

本書は, いまや生活のいたるところで必要不可欠なエネルギー源となっている電池の仕組みからその状態推定まで, バッテリーマネジメント工学全体を解説する一冊である。

第1章では, 電池とバッテリーマネジメントの概要について述べられている。電池は数多くの複雑な反応から成り立つため, 電池を利用する立場の電気回路設計者や制御エンジニアは使用条件や目的に合わせたモデルを用意する必要があること, そのためには電池の必要な要素だけを抽出する技術者の眼力が必要であることが述べられている。

第2章では, 高度な応用システムにおいて, 電池の性能を最大限に引き出しつつ高い信頼性を実現するために必要な, 化学電池の基礎が解説されている。鉛蓄電池とリチウムイオン電池の反応, SOC-OCV (充電率-開回路電圧) 特性や SOH (健全度), 劣化等についてわかりやすく書かれている。電池では低い周波数領域から拡散インピーダンスの虚部が無視できなくなるため, 電池を定電圧源+直流抵抗として扱うと期待した動作にならないなど, 回路設計者や制御設計者に気づきを与えるものになっている。

第3章では, バッテリーマネジメントシステムの基本構成について, 自動車への応用例を中心に述べられている。電池を使いこなすためには SOC, SOH と SOP (充放電可能電力) の3つの状態が鍵であるが, これら3つの情報は直接計測できないため電池の外部から観測可能な電流と電圧を用いて状態推定する必要がある。SOC 推定手法として代表的なものが電流積算法であるが, 初期値が必要なこととセンサ誤差蓄積による誤差増大が課題であり, さまざま

な対応手法がとられている。また OCV の値がわかれば SOC が計算できるが電池端子電圧は必ずしも OCV に一致しないので, コンデンサを含む電池の内部インピーダンスを等価回路として, それらをカルマンフィルタなどで推定し端子電圧と OCV の電位差を計算することで, OCV をリアルタイム推定する方法が述べられている。

第4章では, 電池のためのシステム工学について解説されている。システム工学の核をなすのは, 対象のダイナミクスを記述する数学モデルであり, これに基づくモデルベース制御を適用することでコントローラを設計することができる。ここではシステム同定に基づくモデリングと, モデルベース開発に重要な技術であるカルマンフィルタによる状態推定がわかりやすく解説されている。システム同定で大切なことは, 制御系を構成する上で重要な特性がモデルに織り込まれていることであり, また同定には多くのノウハウが必要で技術者の技に頼る部分が多く残っていることがわかる。

第5章では, 主にリチウム電池を対象として, 電池の内部インピーダンスモデルについて先の第4章で述べたブラックボックス/グレーボックスモデリングの2つのアプローチが解説されている。ブラックボックスモデルは複数個の RC 並列回路を直列接続した等価回路モデルで表わされるが, 物理的な意味づけがない, パラメータ数が多いなどの点が問題になる。一方, 修正ランドルズモデルをベースにワールブルグインピーダンスの非整数階積分を分布定数回路で近似したものがグレーボックスモデリングとして紹介されており, 物理的な意味づけがしやすくパラメータの数が少ないという利点がある事が述べられている。

第6章では, 電池の状態推定すなわち SOC, SOH, SOP 等の推定について解説されている。特に SOC 推定については, その具体的な方法論も交えて述べられている。モデルに基づく SOC 推定では内部インピーダンスを正確に記述することが推定精度向上につながるが, このモデルベース推定法では精度の良い推定値が得られるまでに長い収束時間が必要となる場合があるため, ほかの手段との併用が必要であるなどの実用的な手法も述べられている。

以上のように本書は電池の物理化学的な基礎からモデリング手法, そのモデルを利用したシステムの制御まで幅広く網羅しており, 各分野のエンジニアがお互いの知識をもち寄ってシステム目線で開発に携わることの重要性に気付かせてくれる一冊である。

また, 第4章から第6章には各理論の実装やモデリング・システム同定手法のシミュレーションを行う MATLAB コードも記載されており, 実際に実装・評価することができるので, ぜひ本書をご一読されることをお勧めしたい。  
(トヨタ自動車 黒田 幸男)