

博士論文の概要

テーマ「高出力・高エネルギー密度型次世代キャパシタに向けた電解液の設計」

Electrolyte Design for Next-Generation Electrochemical Capacitors with High Power and High Energy Densities

東京農工大学 工学府 応用化学専攻修了(2021年度)
近岡 優(Yu CHIKAOKA)

本博士論文では蓄電デバイス(例えばリチウムイオン電池等)を普及させる上で重要な、デバイスの高出力化・高エネルギー密度化(図1)について電解液の観点から課題解決を実施した。高出力化というのはどれだけ高速に充放電できるのか、高エネルギー密度化というのはどれだけエネルギーが蓄えられるかの指標である。電気自動車や再生可能エネルギーの蓄電用途などに向け蓄電デバイスの高性能化が求められる中、高速な充放電が得意な「キャパシタ」という蓄電デバイスのエネルギー密度を上げる研究に取り組んだ。

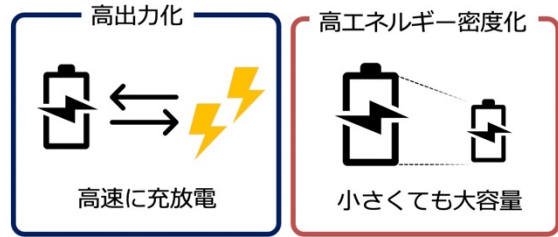


図1. 高出力化・高エネルギー密度化

まず、電極の厚みを増やしたデバイスにより(従来の 120 μm から 600 μm)、エネルギー密度を従来の 5 倍に向上させた。しかし、厚膜型蓄電デバイスでは、電極内のイオン輸送反応に負荷が生じ、出力特性が低下するという課題が生じた。この課題に対し私は、従来の 3 次元の電解液設計指針(Li 塩種・溶媒・塩濃度)ではなく、異種イオンを混合するという 4 次元のアプローチにより、課題解決ができないか考えた(図 2, テーマ 1)。実際に異種イオンを混合した電解液(デュアルカチオン電解液)を適用した結果、電解液のイオン伝導性が 2~3 倍程度向上し、出力特性が大幅に向上した(薄膜型デバイスに匹敵)。本研究によってこれまでの電解液設計で注目されていた「反応イオン種の輸送能向上」ではなく、それらが低下した場合においても「異種イオン混合による系全体のイオン伝導度向上」が厚膜型蓄電デバイスの高出力化に有効であることを明らかにした。

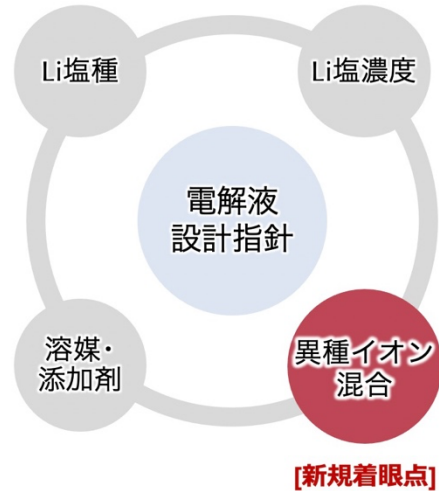


図2. テーマ1の研究コンセプト

2 つ目のテーマとして、充放電反応における劣化挙動を迅速かつ効率的に予測可能な充放電サイクルシミュレーションの開発に取り組んだ(図 3)。開発したシミュレーションは実測の結果を良く反映しており、テーマ 1 と組み合わせることで充放電反応を最適化できる電解液設計指針の提案が可能となった。

本研究で開発した新規電解液や充放電シミュレーションは、ポストリチウムイオン電池(K^+ , Na^+ , Mg^{2+} 電池等)への応用も期待でき、波及効果は大きいものと考えている。

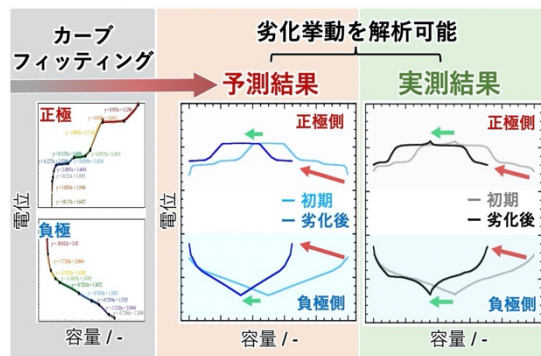


図3. テーマ2の研究コンセプト