

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	過渡電圧及び電気化学インピーダンス解析によるリチウムイオン電池のその場劣化診断
Title(English)	On-site diagnosis of lithium-ion battery degradation using voltage profile and impedance analyses
著者(和文)	カヴァリエーレ ダヴィデ
Author(English)	Davide Cavaliere
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12896号, 授与年月日:2024年9月20日, 学位の種別:課程博士, 審査員:荒井 創,平山 雅章,稲木 信介,鈴木 耕太,黒木 秀記
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12896号, Conferred date:2024/9/20, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	CAVALIERE DAVIDE		
論文審査 審査員		氏名	職名		氏名	職名
	主査	荒井 創	教授	審査員	黒木 秀記	准教授
	審査員	平山 雅章	教授			
		稲木 信介	教授			
鈴木 耕太		准教授				

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「On-site diagnosis of lithium-ion battery degradation using voltage profile and impedance analyses」と題し、英語で書かれており、以下の6章より構成されている。

第1章では、車載用電池等で幅広く用いられているリチウムイオン電池 LIB の特徴、LIB の残存容量を理解することの重要性、主たる劣化モードである有効リチウム量の損失のメカニズム、従来の LIB 残存容量の解析手法とその課題について述べ、本研究では、電池ユーザーの利便性を妨げない非解体の LIB 残存容量の診断手法の開発を目的とすることを述べている。

第2章では、提案する劣化解析手法である、放電時の過渡電圧解析、および充電時に交流信号を重畳させて計測する動的な電気化学的インピーダンス測定 (Dynamic EIS) の手法について述べている。過渡電圧解析では、放電直後の電圧降下から直流抵抗成分を、また放電後 10 秒間までの電圧降下挙動を拡散に参与した成分として抽出し、拡散成分が電圧プロファイルの容量に対する勾配に比例すること、黒鉛を負極とする一般的な LIB では放電初期の電圧プロファイル勾配が正極の成分のみで記述できることを明らかにし、適切な等価回路モデルとデータフィッティングのアルゴリズムにより、LIB の残存容量を推察できることを示している。また Dynamic EIS の解析では、充電の進行によって電極の状態が変化するために、時間のかかる静的なインピーダンス測定をそのままでは代替できないという課題に対して、寄生成分をモデル化して数学的に除去する手法、およびそれが適用できる条件について明らかにしており、充電時の電圧プロファイル解析と合わせた残存容量診断の進め方について述べている。また開発した解析手法を実証するために用いたラミネート型 LIB のスペック、実施する劣化試験条件、さらに劣化試験後の解体解析手法である電子顕微鏡観察およびエックス線回折について記述している。

第3章では、 -5°C から 25°C の温度範囲で、最大 3600 回に渡る繰り返し充放電を行なって劣化させたラミネート型電池の状況を、従来の解析手法である電圧プロファイル解析、静的なインピーダンス測定、および試験後の解体解析により示しており、今回実施した試験では、電池が一般的な劣化モードである有効リチウム量の損失によって劣化したこと、低温での試験では金属リチウム析出によって劣化が加速的に進んだことを明らかにしている。

第4章では、放電時の過渡電圧解析を第3章で示した電池に適用し、解析した結果を示している。抽出したパラメータのうち直流抵抗成分は試験温度に依存した挙動を示す一方で、拡散成分は試験温度によらない挙動を示し、一般的な LIB で適用される容量維持率 80%以上の条件において、拡散成分から残存容量を求められること、また直流抵抗成分を併用することにより電池の温度履歴に関する情報が得られることを明らかにしている。

第5章では、Dynamic EIS を第3章で示した電池に適用し、解析した結果を示している。提案した手法により、特に低周波側において顕著な寄生成分が除去でき、静的なインピーダンス測定と同等なデータを取得できることを示し、また抽出した抵抗成分を用いることにより、劣化度合いの解析に加えて、電池充電状態 (State of Charge) を短時間で解析できることを明らかにしている。

第6章では本論文を総括している。開発した LIB 劣化診断手法の適用性・汎用性・利便性について述べ、今後の展望を示している。

これを要するに本論文は、幅広く実用で用いられている LIB の残存容量の診断を、放電過渡電圧の測定および充電中の Dynamic EIS という、電池ユーザーの利便性を妨げない非解体の手法により実施する方法を述べ、その有用性を実証したものであり、学術上の貢献が大きい。よって本論文は博士 (工学) の学位論文として十分な価値があると認められる。