

世界初、リチウムイオン二次電池を長期利用するための健全性診断技術を開発 ～リアルタイムかつ非破壊でリチウム金属析出の有無を診断することに成功～

株式会社 豊田中央研究所は、リチウムイオン二次電池(以下、LiB)の内部で析出するリチウム(以下、Li)金属を、高周波電流の応答から検出できる技術を開発しました。

本技術は、統計的データ処理や機械学習を用いて間接的に検出する技術とは異なり、リアルタイムかつ非破壊でLi金属の析出を直接的に検出できるため、リユースなどLiBを長期間利用する際に求められる、電池の状態の健全性をセンシングする技術として期待されます(図1)。

この研究成果は、Springer-Natureの論文誌「Nature Communications(オンライン)」に2023年11月10日に掲載されました(DOI:10.1038/s41467-023-43138)。

【 研究のポイント 】

- LiBに特定の高周波帯域の電流を流すことで、LiB内の電子の動きを、電池内部の構造体(端子など)やLiイオンの動きによる影響を受けにくく、強調して捉えられることを発見
- 負極表面にLi金属が存在する場合に、電子が流れやすくなる方向に生じる電池内部の抵抗変化を利用することで、Li金属析出の有無を診断
- リアルタイムかつ非破壊でLi金属析出が検出できるため、LiBを長期間使用する際に求められる“健全性のセンシング技術”への応用が期待される

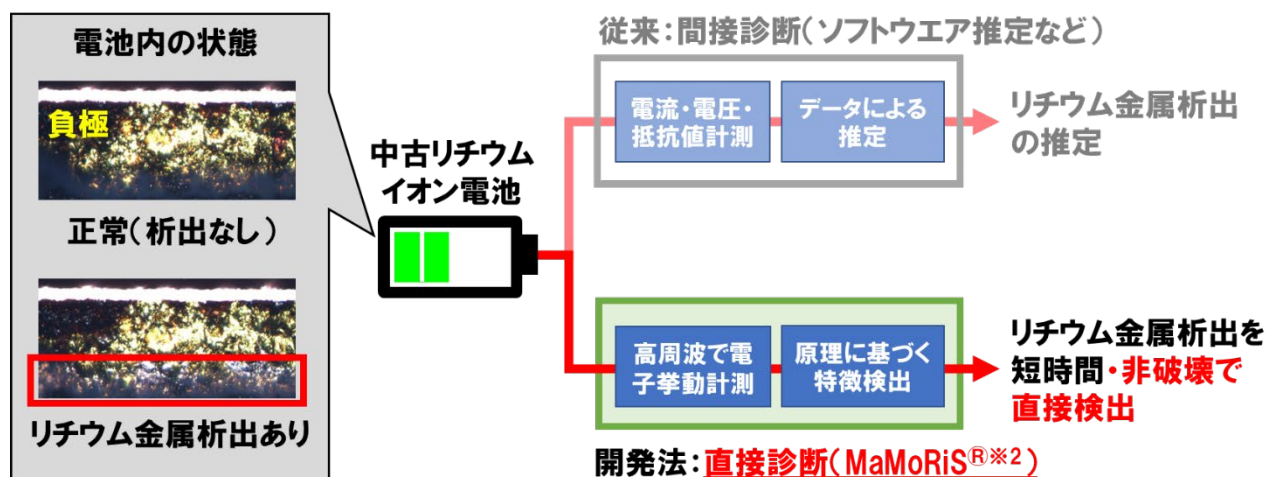


図1. 本研究全体のイメージ図

< 背景 >

LiB の需要は、今後 10 年間で約 20 倍に増加すると予測されています^{※1}。その一方、原材料の調達から製造、利用、リサイクルに至るまでのライフサイクル全体における環境負荷の低減が求められています。そのため、中古 LiB のリユースなどを通じて、長期間にわたって有効活用することが近年注目されています。

その一方で、LiB をリユースする為には、健全な LiB を選別する必要があります。LiB の場合、限度を超える過剰な急速充電などで過度なストレスが加わると、内部の Li イオンが負極表面上で金属化して析出する事があります。この Li 金属の析出は、容量や出力を低下させるだけでなく、電池の熱暴走開始温度の低下や内部短絡などの故障の要因となることが知られています。

そのため LiB をリユースするためには、容量や出力などの劣化状態だけでなく、Li 金属が析出していないかを診断する技術が必要不可欠になると考えられます。

< 研究内容と成果 >

従来は、Li イオンの動きに着目した抵抗値の変化などから、LiB の容量と出力といった基本性能の劣化診断が行われてきました。しかしこの手法では、直接的に Li 金属の析出度合いを判断することが難しいという課題がありました。

そこで当社の研究チームは、Li イオンの動きではなく、金属材料の特性の変化に直接的な影響を与える電子の動きに着目しました。電子を高周波で流すと電子電流が通流経路の縁に集中する「表皮効果」という現象が知られています。この現象を活用すれば、負極表面という電極の縁に析出した Li 金属を特異的に検出できると考えました(図 2)。

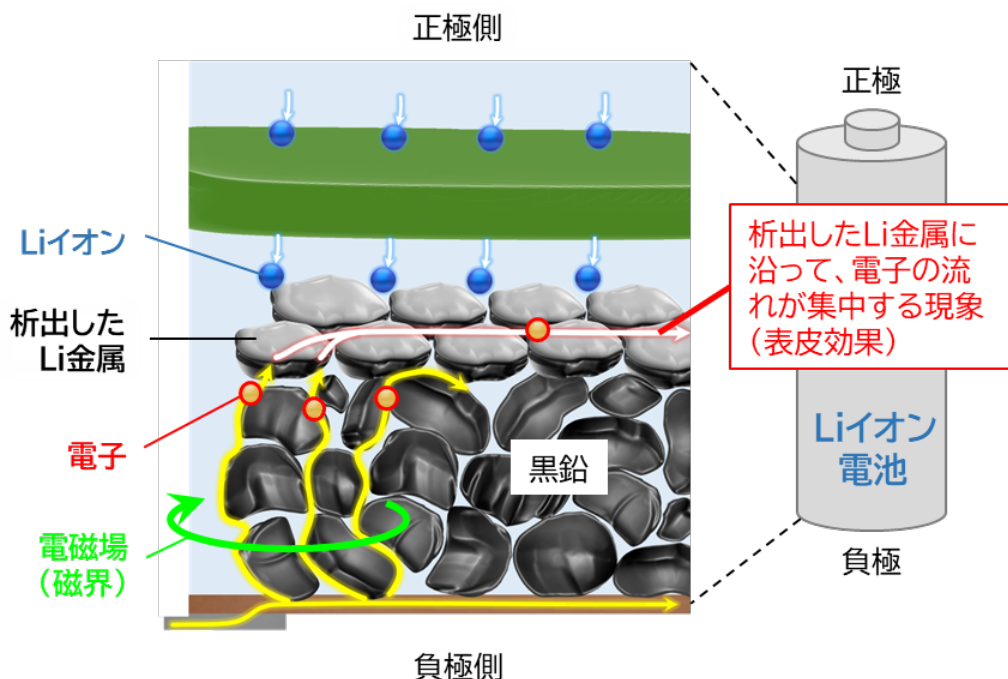


図 2. Li 金属析出により電子電流の「表皮効果」現象が発生し、電磁場が変化するイメージ図

この電子の流れを抽出するために、様々な条件での実験を繰り返す中で、ある特定の高周波帯域では、「イオンの動きや端子など構造体による影響が小さく、電池内部の電子の動きを強調して捉えられる」という性質があることを発見しました(図 3)。

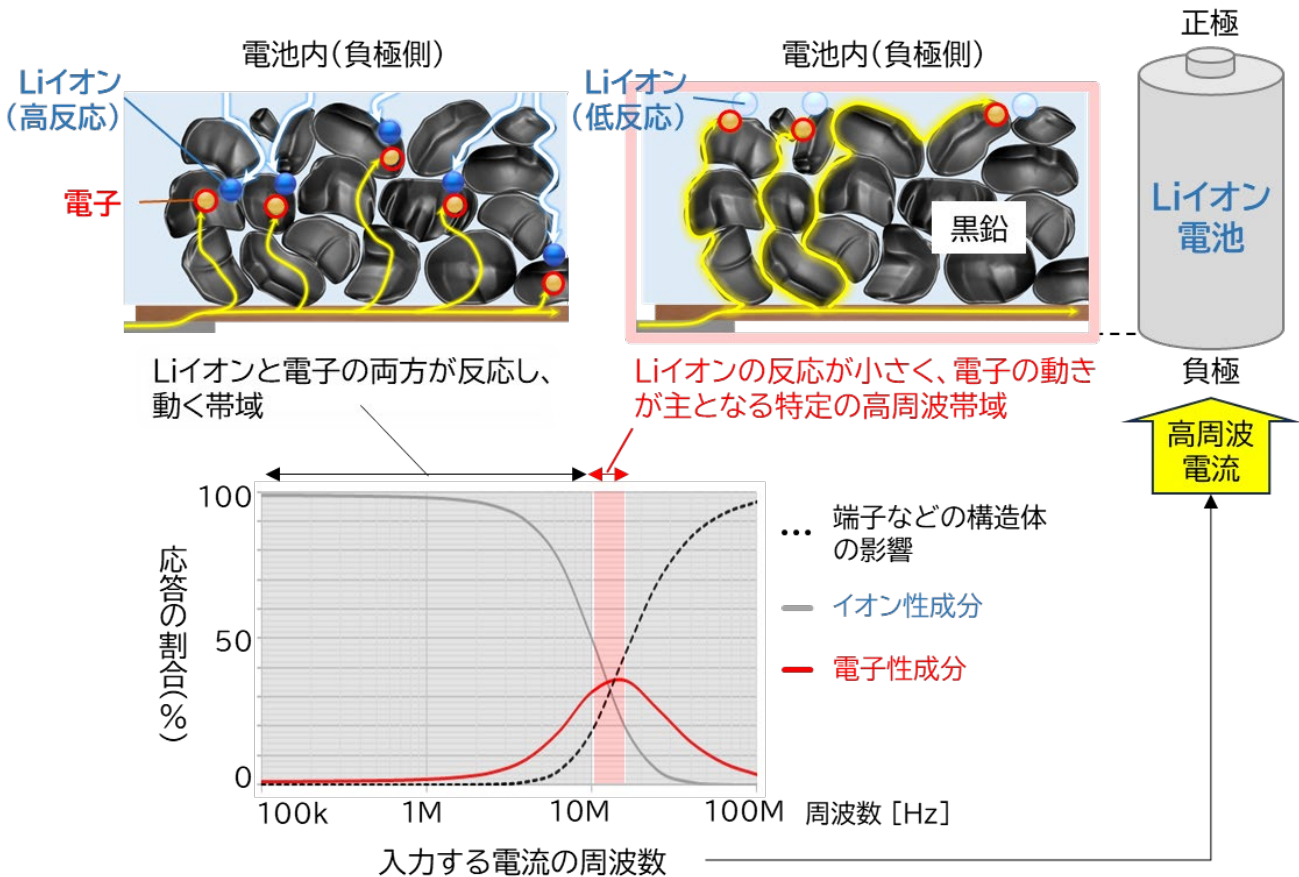


図 3. 特定の高周波帯域にて、電子の動きのみを高精度で抽出するイメージ図

そしてこの特定の高周波帯域では、負極表面に Li 金属が存在する場合に、電子が流れやすくなる方向に電池内部の抵抗が変化する事を観測できることがわかりました(図 4)。

この抵抗値の変化をとらえることで、非破壊かつリアルタイムで Li 金属析出を簡便に計測できることを実証し、LiB の健全性を診断できる技術を実現しました。

< 本研究の意義、今後への期待 >

本原理に基づいて試作したセンサ(図 5: MaMoRiS[®]*2)によって、複数の充電条件による Li 金属の析出をモニタリング可能であることを検証しました。

本研究によって得られた成果は、中古 LiB の健全性を診断する技術として、将来の LiB のリユース促進に貢献すると共に、Li 金属析出を監視するためのセンサとしての応用も期待されます。

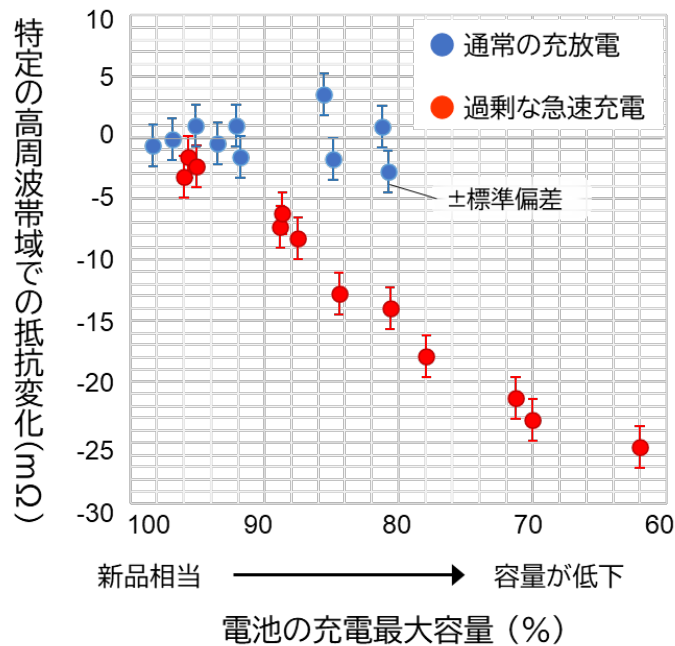


図 4. 過剰な急速充電により Li 金属析出が増えると、特定の高周波帯域での抵抗が下がる実測図



図 5. LiB の健全性監視センサ(MaMoRiS®) の試作品

< 論文情報 >

タイトル: Operando Li metal plating diagnostics via MHz band electromagnetics
(和訳: MHz 帯域の電磁気学を用いた電池内部の Li 金属析出のオペランド診断)

掲載紙: Nature Communications (オンライン版 11 月 10 日)

著者: 石垣将紀^{*1}、石川敬佑^{*1}、臼杵司^{*1}、近藤広規^{*1}、駒形将吾^{*1}、佐々木巖^{*1}

*1: 豊田中央研究所

DOI <https://doi.org/10.1038/s41467-023-43138-w>

【 お問い合わせ先 】

株式会社 豊田中央研究所 総合企画・推進部 広報室

<https://www.tytlabs.co.jp/contact/toiawase.html>

【用語解説】

※1. Global EV Outlook2021 Trends and Developments in Electric Vehicle Markets (2021)

※2. MaMoRiS[®] : 豊田中央研究所にて発明した LiB の非破壊健全性診断装置。この名称(マモリス)には、検出原理(電磁気効果により増幅された金属応答から析出を検出するシステム)の略称であると同時に、電動化社会の中心に立つ LiB を“お守りします”という意味を込めました。

(ご参考) 電池循環システムにおける研究プロジェクト

株式会社 豊田中央研究所では、車載用二次電池の、持続可能な資源循環、安心・安全な電池管理、使用済み電池の再利用を促進することで、電池を社会で循環させ、その価値を最大限に引き出すための研究プロジェクトを推進しています。

当社が蓄積してきた電気化学、材料工学、電気工学、制御工学などの要素技術を融合し、電池材料の探索から電源システムの応用開発までを一体的に取り組むことで、カーボンニュートラルとサーキュラーエコノミーが両立した持続可能な循環型社会の実現に貢献していきます。

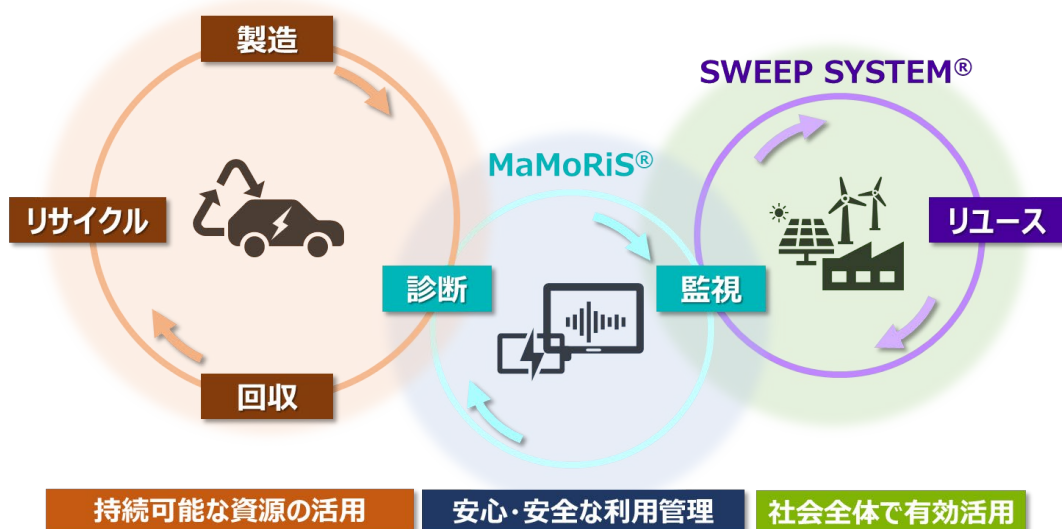


図 6. 電池循環システムにおける研究プロジェクトのイメージ図

< 関連研究 >

- ・ [SWEEP SYSTEM[®] 中古電池を無駄なく使い切る技術を開発！～再生可能エネルギーによる電力の蓄電・供給に活用～ | お知らせ | 株式会社 豊田中央研究所 \(tytlabs.co.jp\)](#)

以上