

ミュオン特性 X 線によるリチウムイオン電池の解析

P44

Analysis of Lithium Ion Battery using Muonic X-ray

梅垣いづみ umegaki@mosk.tytlabs.co.jp

(株)豊田中央研究所

私達はこれまで、負の電荷を有するミュオン(負ミュオン)を利用した非破壊元素分析法を、リチウムイオン電池の解析に応用してきた[図 1(a)]。負ミュオンは質量が電子に比べて約 200 倍大きいので、負ミュオンを物質に照射した際に発生するミュオン特性 X 線のエネルギーが蛍光 X 線の約 200 倍も高く、物質内部の軽元素検出に力を発揮する(Li-K α のミュオン特性 X 線のエネルギーは 18.70keV)。また照射する負ミュオンの運動量を調整することで、ミュオンが物質中で停止する深さ方向の位置を選択できる。これらの性質により、リチウムイオン電池内の各層における位置を選択して分析が可能である[図 1(b)]。

リチウムイオン電池において、充放電に伴いリチウムは正負極間を往来する。その往来が滞りなく行われないと、電極内に分布の偏りが生じ、それによる抵抗が生じることで、電池性能が損なわれる。さらに、低温や高いレートでの充電により、リチウムが金属に還元されて析出する現象が起こることが知られている[図 1(c)]。このような金属リチウム析出は、電極間の短絡の原因や電解液との熱反応、容量低下の要因となる。一度析出した金属リチウムは容易には元に戻らないため、リチウムイオン電池をリユースする場合には、金属リチウム析出の有無は重要な確認事項になる。したがって、リチウムイオン電池内の金属リチウムの有無、濃度や分布を非破壊で検出する方法が求められている。

しかし、一般に負極に析出する金属リチウムは、充電された負極内に含まれるリチウムと区別することができない。また破壊分析では、金属リチウムの状態は容易に変化してしまい、分析するのが難しい。そこで、リチウムイオン電池にミュオン特性 X 線元素分析を適応し、非破壊で電極内部の金属リチウムの検出を目指して取り組んだ。そのなかで、金属リチウムと、インターカレーションにより負極内に挿入されるリチウムイオンとは、負ミュオンの捕獲率の違いにより、信号強度が約 50 倍異なることを明らかにした[1]。これを利用すると、2 つの化学状態の異なるリチウムが区別できると期待される。実際に、表面に金属リチウムを析出させた充電負極[図 1(d)]を用意し、ミュオン特性 X 線を用いた元素分析を実施した。その結果、表面の金属リチウムに由来して、充電負極と比較して、信号強度の顕著な増加が観測された。本研究により非破壊で、金属リチウムを選択的に検知できることを実証した。加えて、この分析方法の深さ方向分解能を活かし、金属リチウム

析出の位置を特定することができた。

金属リチウムの析出は、電池の容量と密接に関係しているため、電池の容量劣化の調査にも応用できると期待される。さらに将来の飛躍的なミュオン強度の増強や、検出器の改良により、ミュオン特性 X 線元素分析によるその場解析が実現し、電池の技術開発と安全につながる本質的な理解に取り組んでいきたい。

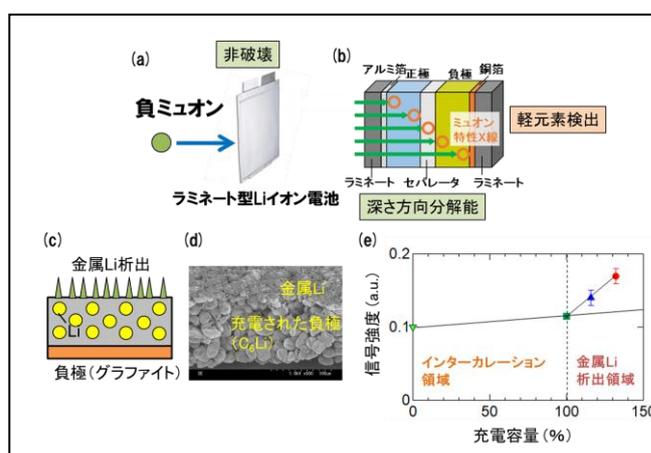


図 1 (a)ラミネート型リチウムイオン電池と(b)その構成。(c)充電された負極(C_6Li)に金属リチウムを析出させた試料の概略図と(d)断面 SEM 像。(e)充電容量によるリチウムに由来するミュオン特性 X 線の信号強度。

【共著者(所属)】

樋口雄紀(豊田中研)・近藤康仁(豊田中研)・反保元伸(KEK)・竹下聡史(KEK)・二宮和彦(大阪大学)・久保謙哉(国際基督教大学)・三宅康博(KEK)

【参考文献】

[1] 梅垣いづみ他、“負ミュオンを用いたミュオン特性 X 線元素分析による金属リチウムの検出”日本物理学会 第 74 回年次大会, 2019.