

産業界におけるミュオン利用の展望

梅垣いづみ

株式会社 豊田中央研究所

ミュオンの局所磁気プローブとしての特長を活かして、私どもはリチウムイオン電池材料 [1-3] を中心に、燃料電池関連材料、磁石（磁性体）等を解析してきた。特にもっとも一般的なミュオンスピン回転緩和（ μSR ）法は、核磁気モーメントによる数 G 程度から電子スピンの担う数 T の範囲の磁場とそのダイナミクスを捉える。また核磁場と電子磁場の各々の観測はもちろんのこと、両者が共存する系でも、両者を区別して観測できる。そのため、磁性元素を含む電池材料中のイオン拡散を調べる際には、 μSR が強力なプローブになる [4]。

さらに μSR は深さ分解測定という強みを有している。入射運動量を調整することで、試料内のある程度任意の深さにミュオンを止め、その周辺の情報のみを取り出すことができる。薄膜試料を対象にした βNMR （スピン偏極した ^6Li を打ち込み、スピンの緩和過程を捉える、 μSR によく似た測定法）や、これから J-PARC で本格的な利用が始まる超低速ミュオンを利用することで、表面や隠れた界面の探索が可能となる。また、世界で唯一 J-PARC でのみ利用可能な「大強度の低運動量負ミュオン」を用いると、深さ分解のある非破壊元素分析 [5] が可能である。負ミュオンを物質に照射したとき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 200 倍も高いため、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 18.7 keV）。これを活用して、リチウムイオン電池に負ミュオンの元素分析を適応し、非破壊で厚み数十 μm に渡る構成部分ごとの元素分析が可能になった。

このように、深さ分解能と透過力を有する優れた磁気プローブであるミュオンは非常に有用であり、その応用先はまだまだ拡がると予想している。さらに将来の飛躍的なミュオン強度の増強により、負ミュオン元素分析によるその場観察や、 μSR （負ミュオンを用いた μSR ）のより有効な利用が実現するかもしれない。今後、正/負ミュオンは界面解析や非破壊その場解析等により、私たちの知らない”世界”を照らし出していこう。私たちの期待の根底には、純粋な科学への興味だけではなく、技術開発と安全につながる本質を理解するという動機がある。今後、正/負ミュオンとともに、誰も見たことのない世界を切り拓いていきたい。

参考文献

- [1] J. Sugiyama, J. Phys. Soc. Jpn. 82, SA023 (2013).
- [2] H. Nozaki *et al.*, Solid. State Ionics, 262, 585 (2014).
- [3] I. Umegaki *et al.*, Phys. Chem. Chem. Phys. 19, 19058 (2017).
- [4] J. Sugiyama *et al.*, Phys. Rev. Lett. 103, 147601 (2009).
- [5] K. Ninomiya *et al.*, J. Phys., Conf. Ser. 225, 012040 (2010). K. Ninomiya *et al.*, Bull. Chem. Soc., Jpn. 85, 228 (2012).