

J-PARC 物質・生命科学実験施設における中性子・ミュオンを用いたサイエンス

J-PARC センター¹、KEK² 山田悟史^{1,2}

norifumi.yamada@kek.jp

大強度陽子加速器施設(J-PARC)は世界最高クラス(1 MW)の陽子ビームを用いた研究施設で、物質・生命科学実験施設(MLF)では、大強度陽子ビームにより生成される世界最高強度のパルス中性子およびミュオンビームを用いた実験施設である。2015年12月現在、19本の中性子ビームラインと2本のミュオンビームラインが実験に供されており、国内外を問わず、学術分野の利用者だけでなく、産業界の利用者も実験を行うことが出来る。MLFでは半年に一度、実験課題の公募を行っており、ピアレビューシステムによる科学的・産業的な評価に基づいて、利用者へビーム利用時間の配分を行っている。

中性子はX線と同程度の波長を有する中性粒子であり、これを用いるメリットは主に以下の4つが挙げられる。(1)X線が電子で散乱されるのに対し、中性子は原子核で散乱されるため、電子数が少ない軽元素の観測に適しており、また同位体を識別することもできる。(2)分光法により、構造スケールの変化に伴うダイナミクスの変化を、階層的に観察することができる。(3)高い透過力を生かし、物質内部の構造を観察する事ができる。(4)磁気モーメントを有するため、磁気構造を解析することができる。具体的には、(1)や(2)の性質を利用して水素吸蔵合金やリチウムイオン伝導体といった材料における、水素やリチウムなど軽元素の位置やダイナミクスを観察することが可能である。また、重水素化によってタイヤ用のゴムや有機ELなどの有機材料中の特定の部位を着色することが可能であり、その構造やダイナミクスの観察における強力な手法として用いられている。他にも、(3)の高い透過性を利用することで、リチウムイオン電池の充放電過程におけるその場観察や応力負荷下での鉄鋼材料のひずみ観察など材料内部の構造・組織観察、(4)の磁気感性を利用することによって次世代型磁気メモリデバイスに用いられると期待されている磁性薄膜や、微小な磁気渦(スキルミオン)などスピントロニクス材料における内部スピンの観察等、幅広い分野で用いられている。

一方ミュオンは、正電荷・負電荷のいずれかを持つ荷電粒子で、それぞれ軽いプロトン、重い電子のような性質を持つ。ミュオンも中性子と同様に磁気モーメントを有しており、かつ加速器で生成されたミュオンは100%スピン偏極している。特に、正電荷を持つミュオンを物質中に注入することによってその偏極度を解析する μ SR法は核磁気共鳴(NMR)法と類似の手法であり、水素原子や磁性の静的状態に加え、ナノ秒からサブミリ秒といった中性子散乱とNMRの間の時間領域をカバーするダイナミクスも観測することができる。具体的には、アンモニア合成用新触媒における水素の役割解明、全固体電池用材料中の水素やリチウムの拡散挙動、ダイオードの青色発光を阻害する水素の状態や磁性コア材料形成の時分割観測といった実験が行われている。また、負電荷を持つミュオンを物質中に注入すると、電子線を用いた蛍光X線分析のような元素分析が可能である。ミュオンは電子よりも質量が大きいため準位間遷移における特性X線のエネルギーが電子の場合の約200倍となるため、物質内部にある軽元素からの信号も容易に検出でき、cmサイズの物質内部の化学組成の情報を非破壊で得ることが可能である。この手法は考古学的に貴重なサンプルの内部における化学組成を非破壊で観測できる他、2020年に帰還予定の「はやぶさ2」が小惑星から持ち帰ったサンプルの非破壊分析にも用いられる予定である。

当日のポスター発表では、これらの応用研究の成果について詳細を報告する。