

中性子／ミュオン加速器ビームが切り開く物質材料研究の新展開

世話人 杉山直治（東芝）、間瀬一彦（KEK）

第 60 回応用物理学会春季学術講演会において開催された日本真空学会企画の標記シンポジウムについて報告する。J-PARC（大強度陽子加速器施設）の物質・生命科学実験施設（MLF）では、加速器で生成した 3GeV 陽子ビームを用いて世界最高強度の中性子ビームおよびミュオンビームを発生させ、これらを利用した物質科学・生命科学研究を推進している。本シンポジウムの目的は、中性子およびミュオンを用いた物質材料研究の概要を紹介していただき、今後の研究の展望を議論することである。聴衆は約 35 名であった。

以下、個々の講演について簡単に紹介する。はじめに KEK 物構研の瀬戸秀紀氏が J-PARC と物質・生命科学実験施設の概要を紹介した。物質・生命科学実験施設では 3GeV の陽子ビームを水銀ターゲットにあてて中性子ビームを得ている。中性子ビームライン 18 本が建設済み、3 本が建設中である。中性子は水素やリチウムに強く散乱されるため、結晶構造中の水素やリチウムの位置や動的挙動を捉えることができる。また、スピンを持つため結晶構造中の磁気構造の研究にも利用される。フォノンやマグノンなどの素励起や緩和現象を解明する基礎研究や産業利用も行なわれている。

原子力機構の金正倫計氏は J-PARC の現状を紹介した。東日本大震災で J-PARC も大きな被害を受けたが、精力的に復旧作業を進めて 2011 年末にビーム調整運転を再開した。現在、物質・生命科学実験施設用 3GeV リングは 300kW で安定に供用運転をしている。2013 年 8 月から 1MW 出力に向けた作業を予定しており、2014 年 1 月の供用運転再開を目指している。

三重大院工の鳥飼直也氏は、中性子によるソフトマターの界面・薄膜構造の研究について紹介した。ソフトマターの機能の発現メカニズムを理解するためには、界面や薄膜で形成される構造をその場観測することが重要である。中性子反射率法は、中性子の光学的な反射現象を利用して、サブ nm スケールの深さ方向分解能で物質界面や薄膜の構造を解析できる。J-PARC には 2 台の中性子反射率計 SOFIA、SHARAKU が建設されており、様々な研究が展開されている。

東工大総理工の菅野了次氏は中性子を用いたリチウム電池の電極電解質界面の構造と反応の研究を紹介した。エピタキシャル薄膜によるモデル電極と中性子ビームを用いてリチウム電池の電極界面での反応を解明する研究を進めている。また、高いイオン伝導率を持つ固体電解質材料 $\text{Li}_{10}\text{GeP}_2\text{S}_{12}$ を J-PARC の超高分解能粉末中性子回折装置

SuperHRPD を用いて研究し、 $\text{Li}_{10}\text{GeP}_2\text{S}_{12}$ は三次元骨格構造を持ち、その骨格構造内にリチウムが鎖状に連続して存在するために、高いイオン伝導率を示すことを明らかにした。

KEK物構研の大友季哉氏は高強度中性子ビームを用いた水素貯蔵物質の構造研究を紹介した。2009年にJ-PARCの大強度中性子ビームを利用した高強度中性子全散乱装置（NOVA）が稼働した。NOVAはエネルギースペクトル分布が広い中性子を活用し、最隣接原子間距離から最大数十nm程度までの原子間相関を短時間で観測可能である。試料環境として、水素貯蔵プロセスをその場観測するための水素ガス雰囲気装置を整備しており、水素貯蔵・放出過程の過渡的な構造変化の観測が可能である。

KEK物構研の下村浩一郎氏はミュオン科学における超伝導技術の応用とその成果を紹介した。ミュオンは、パイ中間子の崩壊を利用して生成する。ミュオンを効率的に生成・輸送のために超伝導技術を導入した。また、 ZnO がn型半導体となりやすい理由は伝導帯の直下にドナー準位があるためであることをミュオンスピン回転/緩和/共鳴法で解明した研究例が紹介された。

山梨大医工の鳥養映子氏は超低速ミュオン顕微鏡の開発と界面研究への展望を紹介した。電荷、スピン、体内時計の3つの特徴を持つミュオンは、物質内部の局所的な電子状態とそのダイナミクスを探るユニークな量子ビームであり、物質の機能を探索するプローブである。超低速ミュオン顕微鏡開発の目的は、物質表面から内部にいたる実空間イメージング法を確立することにより、高感度な局所プローブとしてのミュオンの特徴を十二分に生かし、表面や界面に現れる多様な物理・化学・生命現象の機構を解明することにある。

J-PARC の中性子ビームおよびミュオンビームを利用した物質・生命科学実験施設は、東日本大震災の試練を乗り越えて力強く発展していること、リチウム電池やソフトマター、水素吸蔵物質、半導体などの材料研究においてかけがえのない存在になりつつあることが強く印象に残ったシンポジウムであった。