

幅広い科学技術・学術分野における革新的成果の創出を目指して

原子力機構では、科学技術・イノベーション基本計画に基づき中性子利用研究や放射光利用研究を通して科学技術イノベーションの創出を促し、科学技術・学術の発展や産業の振興に貢献することを目指しています。そのため、大強度陽子加速器施設 J-PARC や、高性能汎用研究炉 JRR-3、大型放射光施設 SPring-8 (図 1) のビームライン等を活用して、中性子施設・装置の高度化や、中性子・放射光を利用した原子力科学、物質・材料科学を先導する研究開発を行っています。



J-PARC物質・生命科学実験施設



JRR-3



SPring-8

図1 中性子及び放射光利用研究を展開する施設

(1) J-PARC センターでの研究開発

J-PARC は、リニアック、3 GeV シンクロトロン、メインリングシンクロトロンの三つの陽子加速器と、中性子、ミュオンを用いて物質・材料研究に関する実験を行う物質・生命科学実験施設 (MLF)、K 中間子等を用いた原子核・素粒子実験を行うハドロン実験施設及びニュートリノを発生させるニュートリノ実験施設から成り、国内外の利用に供しています。

加速器では、目標である陽子ビーム出力 1 MW 相当で安定な運転のために不可欠なビームロスの低減に関して、リニアックにおけるビームロスの一因である加速途中の負水素イオンが水素原子に替わる事象が起きるメカニズムを解明しました (トピックス 5-1)。この結果を元に、ビームロスの更なる低減のための対策を検討していく予定です。

MLF では入射陽子のビーム出力を前年度の 700 kW から 830 kW に増加させ、中性子実験装置 21 台とミュオン実験装置 3 ラインを運用して 144 日の利用運転を行い、物質科学、材料科学等に関わる幅広い実験を実施しました。中性子利用実験では、世界の中性子実験施設の中でも最高圧力となる 21 GPa を加えることができる先導的な実験環境を整備し、蛍石型構造を持つ水素化物 ($ZrH_{1.8}$ 、 $TiH_{1.84}$) では、高圧環境下で水素原子の方が金属格子の収縮に比べて優先的に収縮することを明らかにしました (トピックス 5-2)。この高圧実験環境を用いて、今後、様々な物質の高圧下での特性を調べる研究が展開されることが期待されます。

また、中性子回折による強磁場下での物質の磁気構造評価に関する先導研究に役立てるために、銀銅合金のワイヤーをコイルに採用し、30 T を超える強磁場を発生できる独自の小型パルスマグネット装置を開発しました (トピックス 5-3)。MLF で供給される世界最高強度の中性子パルスを利用し、磁性体の新しい磁気特性の探究が進むことが期待されます。

(2) 物質科学研究センターでの研究開発

物質科学研究センターは、JRR-3 と SPring-8 (原子力機構専用ビームライン) の実験装置の運用を担うとともに、中性子や放射光を用いた先端測定技術を開発・高度化し、幅広い科学研究・開発分野における革新的成果・シーズの創出を目指しています。2022 年 9 月に SPring-8 RI 実験棟での核燃料物質の使用許可を原子力機構として取得したことにより、東京電力福島第一原子力発電所の実燃料デブリに対する放射光分析を今後展開していく計画です。

中性子利用研究では、磁性元素が持つ磁気の大きさを正確で簡便に評価する新たな手法を開発しました (トピックス 5-4)。極低温下の中性子回折実験により、磁性元素の電子由来の磁気に加えて原子核由来の磁気も観測できますが、本手法は、この原子核磁気を正確に計算できることを利用して、電子磁気を評価するというものです。実際に、ネオジウム化合物 $Nd_3Pd_{20}Ge_6$ に適用してネオジウム元素の磁気の評価に成功しました。また、充電中の全固体リチウム蓄電池中のリチウムイオンの動きをリアルタイムで捉えることに成功しました (トピックス 5-5)。熱中性子と 6Li による (n, α) 反応で発生する α 線とトリチウムのエネルギーを測定することで、電池内のリチウムイオンの位置を可視化したものです。今後の全固体電池開発の加速が期待されます。

放射光利用研究では、使用済核燃料中の放射性元素を分離回収する新手法の原理実証に成功しました (トピックス 5-6)。本成果は、使用済核燃料に含まれる元素の中から、特に有害であるアメリカシウムをレーザー光を使って選択的に酸化させることによって抽出分離することに成功した成果であり、放射性廃棄物処分の負担軽減化に貢献することが期待されます。また、半導体デバイスの性能制御の鍵を握るシリコン酸化膜の成長過程について、界面欠陥とキャリア (電子、正孔) 捕獲が関与する酸化反応メカニズムを明らかにしました (トピックス 5-7)。本成果は、半導体デバイスの省電力化、信頼性向上、高密度集積化による小型化といった応用展開につながることを期待されます。