

## 量子ビーム施設を活用して科学技術イノベーションの創出に貢献

原子力機構では、科学技術基本計画等に基づき量子ビーム応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。具体的には、大強度陽子加速器施設 J-PARC、イオン照射研究施設 TIARA、高強度レーザー J-KAREN、大型放射光施設 SPring-8 のビームラインなどの様々な量子ビーム施設群を活用して、(1) 中性子施設・装置の高度化や、中性子等を利用した原子力科学、物質・材料科学、生命科学等に係る先端的な研究、(2) 荷電粒子、光量子等の量子ビームの発生・制御・利用に係る最先端技術の開発と、これらのビームの優れた機能を総合的に活用した先導的な研究を行っています。本章では、こうした原子力機構での様々な量子ビーム応用研究の成果を紹介します。

### 1. 中性子施設・装置の高度化と中性子利用研究等

J-PARC は、リニアック、3 GeV シンクロトロン、50 GeV シンクロトロンの中の陽子加速器と、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。2015 年度は、総合研究基盤施設 (J-PARC 研究棟: 図 5-1) の使用を開始し、実験試料環境機器の開発・調製や研究交流の場としてユーザーの利便性を格段に向上させました。加速器では、2013 年の事故以来停止していたハドロン実験施設へのビーム供給を再開し、ニュートリノ実験施設へのビーム供給も併せて、ほぼ計画どおりに運転を行いました。MLF では、陽子ビーム強度を前年度の 300 kW から 500 kW に増強しましたが、中性子標的容器に 2 回の不具合による停止があったため、運転時間が当初計画よりも減少しました。しかし、中性子実験装置 19 台とミュオン実験装置 2 台を運用し、物質科学、材料科学



図 5-1 総合研究基盤施設 (J-PARC 研究棟)  
地上 4 階建てで、居室、各種実験準備室、計算機室、会議室等のほか、実験利用者等の相互交流を目的とした吹き抜けの広場や談話スペースがあります。

等にかかわる幅広い研究分野で実験課題が行われたほか、アジア・オセアニア中性子スクール等、国際的な人材育成プログラムも実施されました。本章では、加速器に関する成果 (トピックス 5-1, 5-2) と MLF に関する成果 (トピックス 5-3, 5-4) を紹介します。

また、研究用原子炉 JRR-3 等の定常中性子源の特徴を活かした中性子利用技術を発展させ、構造と機能の相関解明に基づく先端材料開発や大型構造等の強度信頼性評価に応用する研究を行っています。さらに、マイナーアクチノイド (MA) 分離等のための新規抽出剤の開発や土壌等への放射性物質の吸着反応メカニズムの解明等を行い、廃炉・廃棄物処理や安全性の向上に貢献しています (トピックス 5-5 ~ 5-8)。

### 2. 最先端量子ビーム技術開発と量子ビーム科学研究

高崎量子応用研究所は、産業応用を目指した環境・エネルギー材料、医療・バイオ技術の研究開発のため、サイクロトロン及び 3 基の静電加速器から成るイオン照射研究施設 TIARA と電子・ガンマ線照射施設を原子力機構内外の利用に供しています。また、イオンビームの発

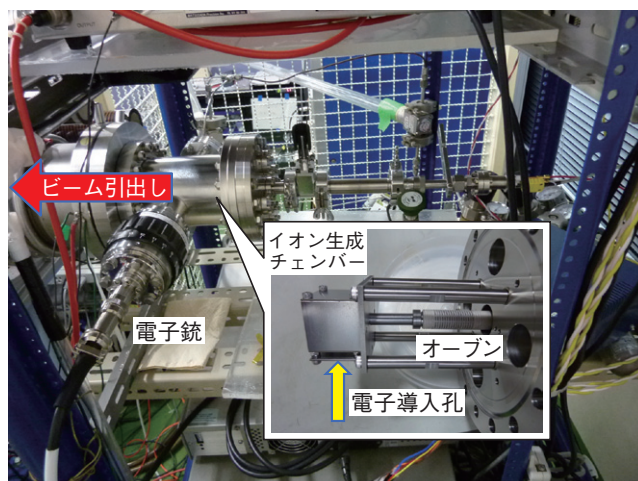


図 5-2 テスト用イオン源  
電子付着方式で  $C_{60}$  分子の負イオンを生成する装置です。

生・制御・計測に係る技術として、イオンビームを効率的に加速・輸送するためのビーム診断機器や大面積均一ビーム形成・照射技術等を開発するとともに、三次元大気  $\mu$ PIXE 分析（トピックス 5-9）や三次元微細加工等のイオンビーム応用技術の開発を行っています。2015 年度は、MeV 級エネルギーのフラレン（ $C_{60}$ ）イオンビームの生成・加速技術とその利用技術の開発の初年度として、タンデム加速器用の数百 nA 級  $C_{60}$  負イオン源の概念設計及びテスト用イオン源（図 5-2）の試作を行い、高強度の負イオン生成条件を明らかにしました。

関西光科学研究所木津地区では、世界トップクラスの高強度レーザーなどの技術開発を基盤として、電子やイオンのレーザー加速など学術の最先端を目指した研究やイノベーションの創出に向けたレーザーの産業・医療応用に関する研究を行っています。2015 年度は、高度化を進めていた J-KAREN-P レーザー（図 5-3）の最終段増幅器の開発を完了し、PW 級出力に必要なエネルギーを 0.1 Hz の繰り返し動作で発生することに成功しました（トピックス 5-10）。また、内閣府の戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）の一環として実施したレーザーによるトンネルコンクリートの健全性検査の高速化では従来の 50 倍での高速検査に成功しました（図 5-4）。



図 5-3 高度化調整中の J-KAREN-P レーザー  
0.1 Hz の高繰り返し動作で世界トップクラスの 1 PW のピークパワーを実現します。

関西光科学研究所播磨地区では、大型放射光施設 SPring-8 に保有する原子力機構専用ビームラインを利用して、物質・材料の研究に必要な最先端解析技術の開発を進めています。また、施設供用制度や文部科学省委託事業「ナノテクノロジープラットフォーム」を通して、外部研究者による量子ビームテクノロジー分野の研究開発も支援し、全ユーザータイムの 28% を外部利用に供しました。

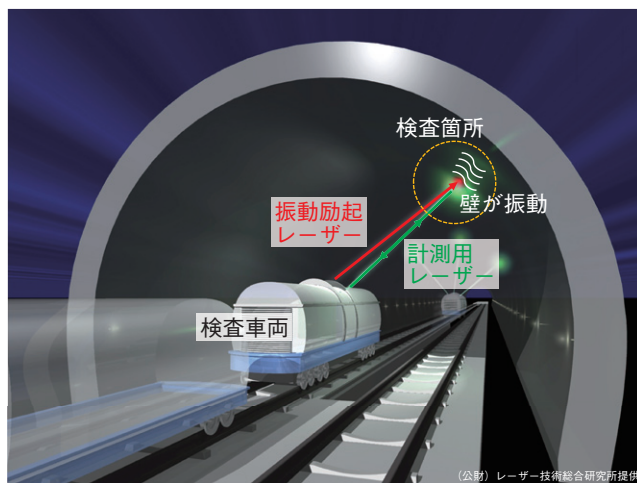


図 5-4 レーザー欠陥検出法のイメージ  
レーザーを用いることで、遠隔・非接触で短時間にコンクリート内部の欠陥を検知できます。

原子力機構では、これらの量子ビーム施設群を駆使して、治療及び診断に役立つ放射性核種の製造や生体高分子の立体構造等の解析技術の開発を進めています（トピックス 5-11, 5-12）。また、放射線の生物作用機構解明に必要な解析・評価手法の開発も行っています（トピックス 5-13）。これらの研究開発により、健康長寿社会の実現、生物・地域資源の創出及び我が国の農林水産業の強化への寄与を目指しています（トピックス 5-14）。

物質・材料分野では、荷電粒子・ラジオアイソトープ（RI）等を利用して、先端機能材料創製技術や革新的電子デバイスを実現するスピン情報制御・計測技術等の研究開発に取り組んでいます（トピックス 5-15, 5-16）。また、産業応用に向けて、レーザー及びレーザー駆動の量子ビームによる物質検知・振動計測、微量核種分析、同位体選択励起及び元素分離技術の高度化を進めています（トピックス 5-17, 5-18）。さらに、放射光と計算科学を活用して、水素貯蔵材料をはじめとする環境・エネルギー材料等の構造や品質、機能発現機構等の解析・評価手法の開発を推進しています（トピックス 5-19）。

本章以外にも、東京電力福島第一原子力発電所事故の復旧・復興に係る量子ビーム応用研究の成果については、第 1 章トピックス 1-13 及び 1-14 を参照ください。

量子ビーム応用研究の一部（本稿 2 節に記した研究開発）は、2016 年 4 月に国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構（QST）に引き継がれ、量子ビーム応用研究センターは物質科学研究センターになりました。