



## シリーズ：つなぐ つながる RI 施設 ～紙上で巡る施設探訪～ 第3回 東北大学先端量子ビーム科学研究センターの紹介



大西 裕季

### はじめに

「つなぐつながる RI 施設～紙上で巡る施設探訪～」として、今回の掲載では、筆者が所属する「東北大学先端量子ビーム科学研究センター（Research Center for Accelerator and Radioisotope Science, RARiS）」について紹介させていただきます。

### 沿革

RARiS は、大強度電子線形加速器及び最大エネルギー1.3 GeV の電子シンクロトロンを基盤とする三神峯事業所(旧電子光理学研究センター)と、2台のサイクロトロンを基盤とする青葉山事業所(旧サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター)を統合再編し、2024年4月に発足した研究センターです。

三神峯事業所の歴史は古く、約60年前に遡ります。1966年に東北大学理学部附属原子核理学研究施設として創設され、学内共同利用施設として整備されました。翌1967年には300 MeV 電子 LINAC が完成し、パルス中性子回折実験を開始しました。その後、150 MeV パルスストレッチャーの整備を経て、1988年には世界で初めてコヒーレント放射光の観測に成功しました。2009年には「電子光理学研究センター」へと改組され、全国共同利用・共同研究拠点としての活動を開始しました。更に2019年には低エネルギー電子散乱実験ビームラインの運用を開始する等、原子核物理の基礎研究から量子ビームの応用利用まで、幅広い分野を牽引してきました。

一方、青葉山事業所の前身であるサイクロトロン・ラジオアイソトープセンター(CYRIC)は、1977年に学内共同教育研究施設として設立されました。AVFサイクロトロンを中心とする加速器群を備え、原子核研究に加え、多様なラジオアイソトープ(RI)の製造、PET製剤の合成、PETを用いた核医学・分子イメージング研究等を担ってきました。

2024年4月、これら歴史と実績を有する2つの拠点が統合され、RARiSが誕生しました。電子線・光子ビーム(三神峯)とイオンビーム・RI(青葉山)という異なる特性を持つ研究基盤を一体化することで、基礎物理から医療・産業応用までを連続的に展開する研究体制を構築しています。

### アクセス

#### 【青葉山事業所】

・地下鉄利用の場合：仙台市地下鉄東西線「青葉山駅」にて下車。北1出口より徒歩3分(理学研究科の方面へ。青葉山北キャンパス内に位置していません。)

#### 【三神峯事業所】

・バス利用の場合：仙台駅より仙台市営バス又は宮城交通バスに乗車。「西多賀一丁目西・三神峯公園入口」又は「西多賀中学校前」にて下車で徒歩約5分。  
・地下鉄・タクシー利用の場合：仙台市地下鉄南北線「長町南駅」にて下車し、バス又はタクシーで約10分。

### 施設紹介

#### ■青葉山事業所(旧CYRIC)

#### 【研究拠点とラジオアイソトープ施設】

青葉山事業所は、1977年の設立以来、東北大学における加速器科学と原子核研究、放射線・アイソトープ研究として、日本の基礎科学から医療・産業応用に至るまで多大な貢献を果たしてきました。本事業所の最大の特徴は、大強度のイオンビームを供給する大型サイクロトロンと、非密封のラジオアイソトープ(RI)を安全かつ高度に取り扱える「ラジオアイソトープ施設」が一体化している点です。複数のホットセルが完備されており、極めて高い放射能を持つ製造直後のRIであっても、作業員の被ばくを防ぎながら化学分離や標識化合物の合成を行う

ことができます。これにより、RIの製造から、動物実験での薬効評価、そして大学病院等と連携した臨床研究へとつながるトランスレーショナル・リサーチ（橋渡し研究）を、1つのキャンパス内で完結させることが可能となっています。



図1 青葉山事業所

### 【930AVFサイクロトロンと高度なイオン源技術】

施設の中心的な役割を担っているのが、大型の930AVFサイクロトロンです。この装置の汎用性を支えているのが、外部に設置された複数のイオン源（ECRイオン源等）です。ここでプラズマ状態から引き出された陽子、重陽子、 $\alpha$ 粒子から、炭素やアルゴン、クリプトン、更にはキセノン等の多種多様な重イオンに至るまで、様々な粒子を極めて高いエネルギー状態まで加速する能力を有しています。陽子を最大約90 MeV、 $\alpha$ 粒子を約110 MeVまで加速できる能力を示しています。また、 $^{11}\text{C}$ や $^{18}\text{F}$ といった短寿命RIを製造する小型サイクロトロン（HM12）も設置されています。

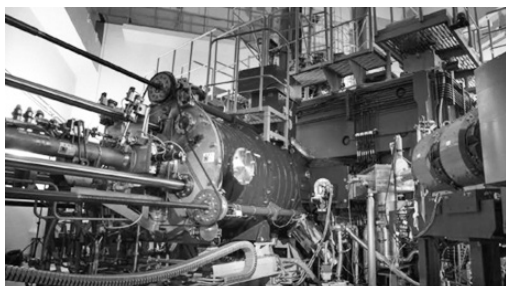


図2 930AVFサイクロトロン

### 【中性子法による医療用RI製造（DATEプロジェクト）】

現在、最注力分野としているのが「次世代の医療用RIの開発と大量製造」です。がんの診断と治療を一体化させる「セラノスティクス」に向けた取組みとして、「DATEプロジェクト」を推進しています。従来の医療用RIの多くは原子炉で作られていま

すが、本事業所では、サイクロトロンで重陽子を加速し、炭素等の標的に照射することでストリッピング反応を利用し、極めて強度の高い中性子を発生させることができます。この加速器中性子を利用し、次世代のRI医薬品として有望な $^{64}\text{Cu}$ や $^{67}\text{Cu}$ を効率的に製造することが可能となりました。

### 【分子イメージングと最新のPETプローブ開発】

$^{64}\text{Cu}$ と $^{67}\text{Cu}$ は化学的性質が同一であるため、体内へ運ぶ薬剤を変えることなく使い分けることができます。画像診断に優れる $^{64}\text{Cu}$ でがんの位置を特定し、次に $\beta$ 線を放出する $^{67}\text{Cu}$ を投与してがん細胞を攻撃するという診断と治療の一体化、これがまさにセラノスティクスです。また、施設内には小動物用の高解像度マイクロPET装置やヒト用PET装置を備え、小型のサイクロトロン（HM12）から製造される $^{11}\text{C}$ や $^{18}\text{F}$ といった短寿命RIを用いた新しいPETプローブの開発も行っています。アルツハイマー病の病態解明等、基礎医学から臨床応用まで幅広く対応できる点が最大の強みです。



図3 ヒト用PET/CT装置

### 【宇宙環境試験】

多様な重イオンを安定して加速できる強みは、産業や宇宙開発でも劇的な貢献を果たしています。スマートフォンや人工衛星の集積回路は、宇宙線（高エネルギー荷電粒子等）の衝突によってメモリが書き換わる「ソフトエラー」を引き起こす危険性があります。青葉山事業所では、イオンビームを照射し、粒子が物質に与えるエネルギー（LET:線エネルギー付与）を細かく制御することで、過酷な宇宙環境を地上で擬似的に再現できます。宇宙機開発や半導体メーカーが次世代デバイスの信頼性評価を行っています。

### 【全学の放射線管理】

RARiS は、大学におけるいわゆる「RI 総合センター」としての役割も有しており、全学の放射線安全管理のとりまとめを担っています。具体的には、放射線の安全取扱いに関する教育訓練や、放射線業務従事者の全学一括管理等です。現在、東北大学には 11 の許可事業所がありますが、各事業所に原子力規制庁や IAEA の立入検査が入る際には、センターからも立ち会いを行い、全学的な管理レベルの向上を図っています。

### ■三神峯事業所 (旧 ELPH)

#### 【基礎物理学の重要拠点と進化の歴史】

三神峯事業所は、1966 年の創設以来、半世紀以上にわたり日本の原子核・素粒子物理学を牽引してきた研究拠点です。300 MeV リニアックに始まる加速器の高度化を継続し、現在は電子・光子ビーム施設として運用されています。青葉山事業所がイオンビームによる応用研究に強みを持つのに対し、三神峯事業所は物質の根源や宇宙の成り立ちに迫る基礎物理研究で国際的な成果を挙げています。文部科学省認定の共同利用・共同研究拠点として、国内外から年間延べ約 2500 人の研究者が集う研究ハブとなっています。



図 4 三神峯事業所

#### 【大強度 LINAC】

1967 年に設置された三神峯事業所の基幹設備の 1 つである大強度線形加速器 (LINAC) は、平均ビームパワー 10 kW を超える国内でも有数の大強度電子ビームを安定的に供給することが可能であり、その高いビーム強度を活かして RI の効率的な製造を実現しています。RARiS では加速器由来 RI の製造から精製、更にそれらを用いた放射化学・ライフサイエンス研究までを一貫して展開できる点に特徴があ

り、現在も本加速器は当センターにおける現役設備として多分野の研究に貢献しています。加えて、RI 製造を目的とした加速器技術開発に関する共同研究を受け入れ、次世代 RI 製造基盤の高度化にも寄与しています。

#### 【1.3 GeV ブースター・ストレージリング (BST) と 2 本の光子ビームライン】

100 MeV BST 入射用線形加速器から供給された電子ビームは BST リングに入射され、1.3 GeV まで加速されます。リング内では電子軌道上にカーボンファイバーを挿入し、電子と炭素との相互作用により制動放射  $\gamma$  線を生成します。本施設の特長は、この光子ビームがエネルギー標識化されている点にあります。光子放出後の電子を磁場中で運動量分析することで、各  $\gamma$  線のエネルギーを事象ごとに決定でき、入射エネルギー既知の反応事象を選別した精密測定が可能となります。本設備は、エネルギー標識化光子ビームを安定供給できる国内でも限られた基盤であり、共同利用・共同研究を支えています。生成された  $\gamma$  線は、2 箇所の生成点に対応する独立な 2 系統の光子ビームラインで供給されます。更に、対生成で得られる陽電子ビームは、検出器開発・性能評価にも利用されています。



図 5 1.3 GeV 電子シンクロトロン (BST リング)

#### 【巨大検出器 FOREST がとらえる質量の起源】

BST リングで生成された高エネルギー光子ビームを、陽子や重水素等の原子核に照射することで、これら原子核の励起状態を生成できます。生成された励起状態は短時間で崩壊し、その過程で放出される粒子を、各光子ビームラインに設置された大型検出器で精密に測定します。当施設では、大立体角電磁カロリメータ「FOREST」や中性 Kaon スペクトロメータ「NKS2」を用いて崩壊生成物を捉え、ハド

ロンの質量の起源等に迫る研究を推進しています。

### 【低エネルギー電子散乱実験施設 (ULQ2)】

2019年に運用を開始した低エネルギー電子散乱実験施設 (ULQ2) は、国際的に注目されています。電子を陽子等の原子核に照射し、その散乱を精密に測定することで、原子核内部の電荷分布 (形状や大きさ) を明らかにします。ULQ2では、2連磁気スペクトロメータにより、従来は困難であった極低運動量移行領域での電子散乱を高精度に測定する独自技術を確立しています。本設備は、国内の低エネルギー電子散乱研究の拠点として、関連コミュニティに貢献しています。

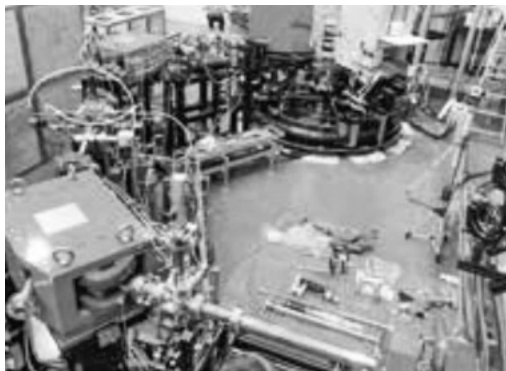


図6 ULQ2ビームライン

### ■青葉山と三神峯の融合がもたらす進化

2024年4月、旧サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター (CYRIC) と旧電子光理学研究センター (ELPH) という、異なる歴史と強みを持つ2つの加速器施設が統合し、「先端量子ビーム科学研究センター (RARiS)」が誕生しました。サイクロトロンと電子加速器はそれぞれ異なる特性を持ち、生成可能なRIも異なります。青葉山事業所と三神峯事業所の統合により、センターとして製造可能な核種の幅は大きく拡張されました。更に、両加速器を独立に運転できることから、異なる短寿命RIを同時に供給できる点も大きな強みです。このように複数種の加速器を併用し、RIの製造と供給を一体的に行う施設は、世界的にも稀です。現在、イオンビームと電子ビームを組み合わせた新たな研究も進展しています。本センターは、このRI製造基盤を活かし「短寿命RI供給プラットフォーム」に参画し、年間を通じた安定供給と安全取扱いの技術支援を担ってい

ます。市販されていない核種や極短寿命RIを含め、多様な分野の研究者へ供給しています。RARiSは、自身の研究及び学内外の共同利用に加え、国内研究コミュニティ全体への貢献を強化しています。

### ■人材育成

RARiSが掲げるもう1つの重要な使命は、日本の未来を支える高度専門人材の育成です。現在、医療、産業、原子力安全の各分野において、放射線や加速器を扱える専門人材の不足が深刻な課題となっています。量子ビームの運用や短寿命RIの製造・利用には、放射線安全管理や加速器の高度化・保守を担う高度な専門性が不可欠です。これに対応するため、RARiSでは研究者ネットワークを活用し、次世代人材の育成を進めています。本センターは理学・工学・医学・薬学・医工学の大学院生を広く受け入れる教育拠点として機能しています。更に、F-REI (福島国際研究教育機構) と連携したRI製造の実技研修等、学外や産業界に開かれた人材育成にも取り組んでいます。



図7 非密封RI実験実習室

### ■おわりに

基礎物理学から短寿命RIの製造・供給、新しい医療用標識化合物の開発、高度産業応用に至るまでの広範な研究開発を行うと共に、人材育成と放射線安全管理の要として、多彩な量子ビーム利用の総合拠点となることを目指しています。

URL : <https://www.raris.tohoku.ac.jp/contact/>

E-mail : [koho@raris.tohoku.ac.jp](mailto:koho@raris.tohoku.ac.jp)

(東北大学先端量子ビーム科学研究センター)