話　題

新学術領域研究（研究領域提案型）『学術研究支援基盤形成』

短寿命 RI 供給プラットフォーム

福田　光宏[*1]・中野　貴志[*1]・羽場　宏光[*2]・酒見　泰寛[*3]
渡部　浩司[*4]・菊永　英寿[*5]・依田　哲彦[*1]

Supply Platform of Short-lived Radioisotopes for Fundamental Research

Mitsuhiro FUKUDA[*1], Takashi NAKANO[*1], Hiromitsu HABA[*2], Yasuhiro SAKEMI[*3]
Hiroshi WATABE[*4], Hidetoshi KIKUNAGA[*5] and Tetsuhiko YORITA[*1]

Abstract

A new scheme of short-lived radioisotope (RI) supply for fundamental research in a wide variety of scientific field was started in 2016 under the framework of cooperation among accelerator facilities at RCNP, RIBF, CYRIC and ELPH. The project aims at promoting cutting-edge research supported by Grant-in-Aid for Scientific Research (KAKENHI) by supplying a short-lived RI which is hard to obtain commercially. A research proposal requiring a short-lived RI is collected twice a year and one of accelerator facilities supplies the short-lived RI for the approved proposal according to the user's requirement. This platform provides technical support for RI treatment and gives beginners an opportunity to learn safe handling of RIs as well.

1. はじめに

平成28年度より3年間のプロジェクトとして，文部科学省 科学研究費助成事業 新学術領域研究（研究領域提案型）学術研究支援基盤形成「短寿命 RI 供給プラットフォーム」（領域代表者：大阪大学核物理研究センター・中野貴志）が採択された．本支援事業の目的は，科研費の支援を受けている基礎・応用研究に対して，市販品では手に入らない短寿命放射性同位体（RI）を研究者のニーズに応じて供給し，様々な分野の先端的な研究の進展を支える短寿命 RI 供給の基盤整備を行うことにある．RI を供給できる複数の加速器施設が密接に連携して定常的な RI 供給体制を構築することにより，年間を通じた短寿命 RI の安定供給が可能となる．また，多様な研究分野での潜在的な RI 利用のニーズを掘り起こし，RI 利用研究の幅を拡大することも大きな目標である．また，これまで，RI の取扱いにあまり慣れていない初心者などに対して技術講習会を開催し，RI の安全な取扱いのための技術的な支援を行うことも重要な使命の一つである．特に日本アイソトープ協会などから入手できない RI や海外からの輸入に頼っている短寿命の研究用 RI を，国内の加速器施設が連携することにより安定に供給できるような基盤整備を行うことは極めて重要なことである．これにより，物理，化学，生物学などの基礎科学研究をはじめ，工学，農学，医学，薬学，環境科学などにおける応用研究まで，幅広い研究分野において，RI を用いた先進的な研究や学際的な研究の発展が大いに期待される．RI の化学的な性質は安定同位体と全く同じであるため，特定

[*1] 大阪大学核物理研究センター　Research Center for Nuclear Physics, Osaka University
（E-mail: mhfukuda@rcnp.osaka-u.ac.jp）
[*2] 理化学研究所仁科加速器研究センター　RIKEN Nishina Center for Accelerator-Based Science
[*3] 東京大学原子核科学研究センター　Center for Nuclear Study, the University of TOKYO
[*4] 東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター　Cyclotron and Radioisotope Center, Tohoku University
[*5] 東北大学電子光理学研究センター　Research Center for Electron Photon Science, Tohoku University

の元素をRIに置き換えるだけで，様々な分野でRIを用いたユニークな研究が可能となる．

本支援事業では，大阪大学核物理研究センター（阪大RCNP）を中核機関とし，理化学研究所仁科加速器研究センター（理研RIBF），東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター（東北大CYRIC），東北大学電子光理学研究センター（東北大ELPH）の4つの連携機関が密接に協力し，利用者が必要とする研究用短寿命RIを円滑に製造・供給する（**図1**）．ユーザーの利便性を図るため，本支援事業の受付窓口は一元化し，共同利用・共同研究拠点である阪大RCNPがそれを務めている．特に新規ユーザーや外部ユーザーにとって短寿命RI利用の敷居はかなり高く感じられている場合が多いが，RIの取扱いの技術的な支援も併せて行うことにより，RI利用研究のすそ野の拡大と，RIの安全な取扱いに熟知した人材の育成も目指している．

本支援事業の実施体制を**図2**に示す．

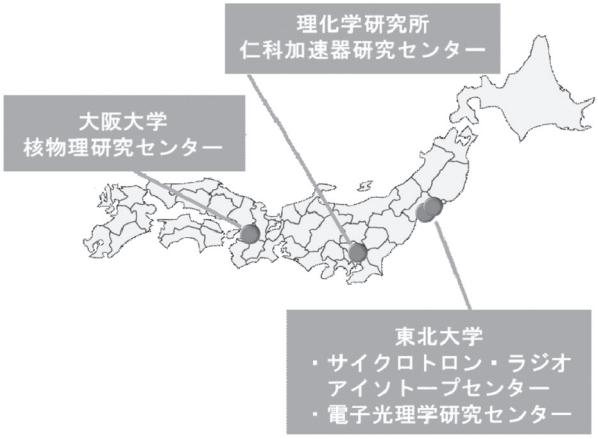

図1　短寿命RI供給プラットフォームを担う連携4機関とその位置

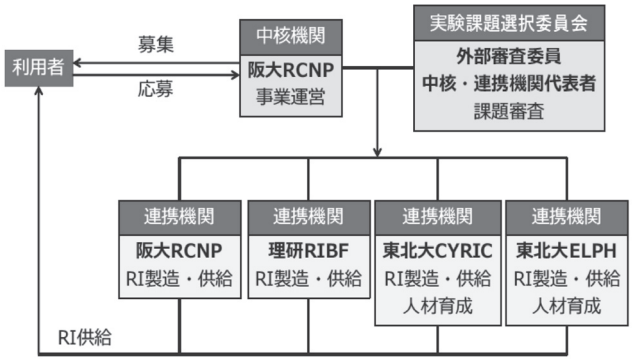

図2　短寿命RI供給プラットフォームの実施体制

2. 支援対象分野と研究の例

本支援事業は基礎科学研究から応用研究に至る幅広い研究分野において，短寿命RIを用いた先進的な研究や学際的な研究の発展に大きく貢献することを目的としている．これまでに実施されている短寿命RI利用研究として，「進行がん治療のためのAt-211などを利用したアルファ線内用療法の基礎研究」，「分子イメージング研究のための標識プローブの開発」，「高濃度F-18 FDGを用いた糖代謝の基礎研究」，「放射性バナジウム（V-48）を用いたバナジウム・レドックスフロー電池の隔膜の研究」，「新元素（超重元素）の化学的性質の解明」などが挙げられる．これらの研究も含め，本支援事業が想定している主な支援対象研究分野のリストを**表1**にまとめる．本支援事業が軌道に乗り，短寿命RI利用が多方面に広く浸透してくると，**表1**に示した研究分野以外からも利用のニーズが寄せられるものと予想される．通常，入手しにくい短寿命RIを利用した研究が拡がることによって研究の独自性や優位性が増していき，国際競争を勝ち抜いていける研究が増えていくと考えられる．また，短寿命RIは極めてユニークなツールであることから，萌芽的な新しい研究課題が本支援事業の利用により生まれ育ち，さらに革新的な研究へと発展していくことを期待している．

表1　主な支援対象分野

環境解析学：	環境動態解析，放射線，化学物質影響科学
人間医工学：	医用システム
物理学：	素粒子，原子核，宇宙線，宇宙物理
地球惑星科学：	宇宙地球化学
基礎化学：	無機化学
複合化学：	分析化学・生体関連化学
材料化学：	無機工業材料，デバイス関連化学
境界医学：	医学物理学・放射線技術学
内科系臨床医学：	放射線科学
腫瘍学：	腫瘍診断学

3. 中核及び連携機関の役割

本支援事業では，阪大 RCNP を中核とした 4 機関の連携により短寿命 RI 供給体制を運用していく．各機関の加速器施設がそれぞれの特徴・強みを生かした役割を担うとともに，大きな需要が見込まれる種類の RI については，複数の機関で供給できる体制を整備する. 人材育成については，実地研修が重要なことから，各種の放射線測定装置が充実し，既に RI の取扱いに関する研修の実績もある東北大学を中心に実施する（**表 2**）.

3.1 実施計画

WEB ページ及びメーリングリストを用いて，関連分野へ広く本支援事業への応募を呼びかけている．課題の応募は随時受け付けており，年 2 回開催する課題選択委員会で, 支援課題を選択する. 年間の支援課題は，阪大 RCNP で 5 件，理研 RIBF で 6 件，東北大 CYRIC で 5 件，東北大 ELPH で 5 件程度を想定している．利用実績や得られた成果を WEB 等で積極的に情報発信し，さらなる利用拡大の呼び水にしたいと考えている. 本支援事業のもう一つの柱となる，ビギナーを対象とした RI 技術講習会は年 2 回を目処に開催する．平成 28 年度は東北大学で実施し，平成 29 年度以降は関東，中部，関西などで順次開催する予定である．平成 29 年度の第 1 回 RI 技術講習会は，11 月に名古屋大学で開催する．本支援事業の円滑な運営と情報共有，意思決定を行うために，中核及び連携機関の間の全体打ち合わせを定期的に毎月 1 回 TV 会議システムやインターネット会議システムを活用して行っている.

表 2　連携 4 機関の支援体制

支援内容	阪大 RCNP	理研 RIBF	東北大 CYRIC	東北大 ELPH
ポジトロン放出核種の供給	○	○	◎	○
シングルフォトン核種の供給	◎	○	—	◎
ベータ線放出核種の供給	○	○	○	○
アルファ線放出核種の供給	◎	◎	○	—
中性子過剰放射性核種の供給	—	—	—	◎
重元素放射性核種の供給	—	◎	—	—
RI 技術支援人材育成	—	—	◎	◎

3.2 実施体制

先述のとおり, 本支援事業の実施にあたっては, 核物理分野で全国共同利用の実施実績がある阪大 RCNP にユーザー対応窓口を設置し，実験課題の受付や RI 供給の相談などを取りまとめている. さらに阪大 RCNP の研究企画室と事務部が一元化窓口の業務を補助し，本支援事業の組織的な運営を支えている.

支援課題の選択における透明性と公平性の確保のために，外部委員を過半数とする課題選択委員会を設置した．課題選択にあたっては，原則，申請書類と事前質問への回答などに基づいた審査を行い，課題選択委員会での審議に基づく総合的な評価により決定している．また必要に応じてヒアリングを実施し，より公正な評価を行うように工夫している.

審査にあたっては，科学的な重要性と技術的な実行可能性に重点を置き，総合的な評価により支援課題を選択している．具体的には，書類審査などにおいて学術的な重要性・妥当性，研究計画・方法の妥当性，RI の必要性などの科学的評価，RI 供給の技術的な適合性，RI 利用の安全性などの技術的評価を 5 段階で点数化し，平均点が 3 点以上の課題を選択している.

なお，本支援事業において正規に支援を行うのは既に科研費を獲得している研究課題のみであるが，科研費を申請中あるいは申請予定の研究課題についても審査の対象とし，科学的な評価が高くかつ技術的にも問題がない課題については，中核及び連携機関の自己負担により支援していきたいと考えている．これにより萌芽期にある短寿命 RI 利用基礎研究の発展に貢献できればと願っている.

3.3 阪大 RCNP の特徴と実績

阪大 RCNP には，陽子を 80 MeV，重陽子 70 MeV，α 粒子 140 MeV まで加速できる低エネルギー用の AVF サイクロトロンと，陽子を 400 MeV まで加速可能な中高エネルギー用リングサイクロトロンがある．RI 生成専用のビーム

ラインを２コース持っており，また，約 1,900 種類の非密封 RI を取扱うことができる（**図 3**）．阪大 RCNP は，共同利用・共同研究拠点として原子核物理学やその関連分野の加速器を用いた基礎研究を支援してきたが，本支援事業と関連の深い実績としては，学内の他部局との連携による重元素化学や核医学の基礎研究がある．近年は年間 300 時間以上を RI 生成実験に費やしており，本支援事業が支援した平成28年度のRI供給は7件，それ以外は 21 件であった．

3.4 理研 RIBF の特徴と実績

理研 RIBF では，世界的重イオン加速器施設である RI ビームファクトリーの重イオン線形加速器と２台のサイクロトロンを利用し，周期表のほとんどすべての RI を製造することができる（**図 4**）．平成 27 年の大晦日，113 番元素の発見がニュースとなったが，理研 RIBF が支援する最もユニークな RI は，原子番号 103 を超える超重元素の RI である．さらに，世界最高強度の重イオンビームを利用した RI の大量製造とガスジェット法による短寿命 RI の製造に特徴がある．これ

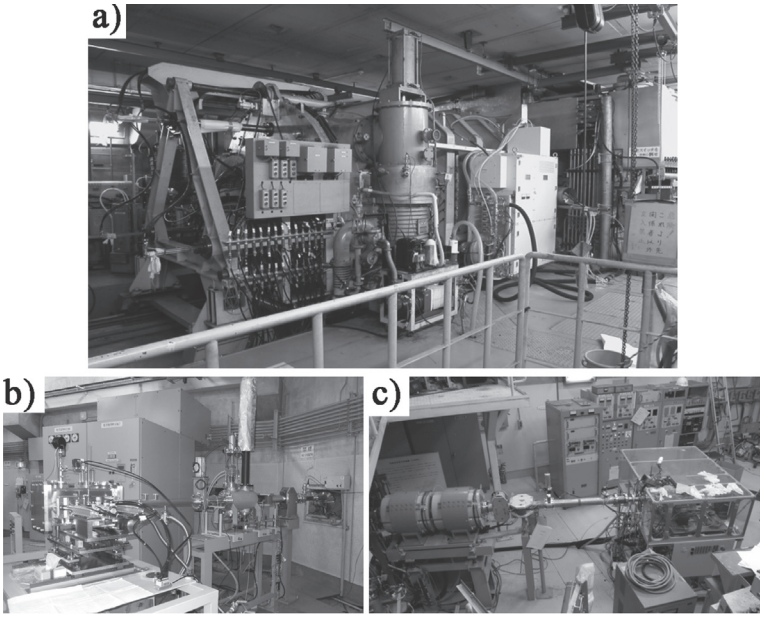

図 3　阪大 RCNP：a）AVF サイクロトロン，b）RI 生成装置（F コース），c）RI 生成装置（K コース）

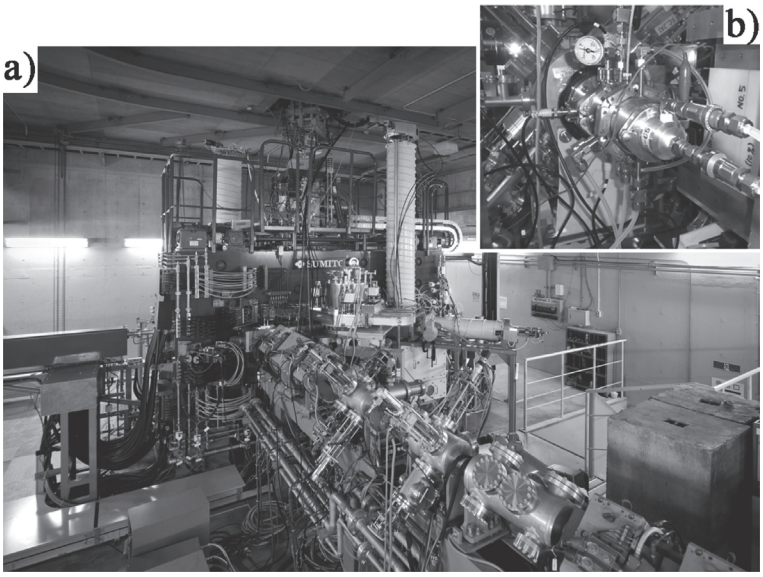

図 4　理研 RIBF：a）K70 AVF サイクロトロン，b）RI 製造チェンバー

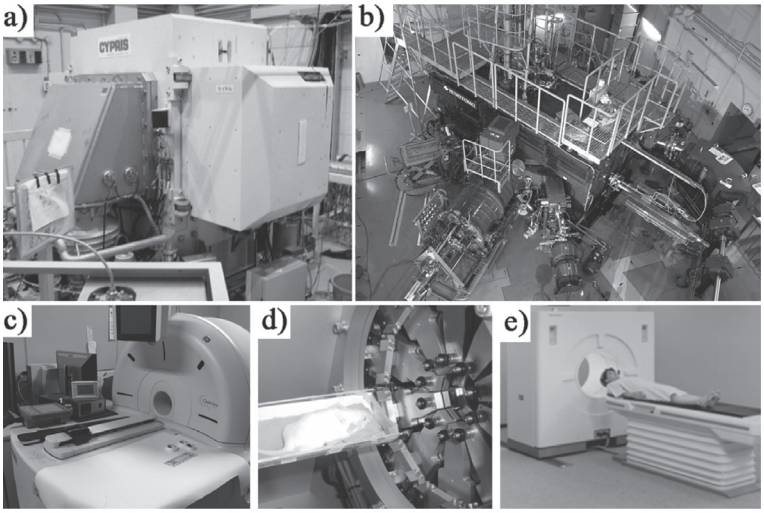

図 5　東北大 CYRIC：a）HM12 小型サイクロトロン，b）930 型大型サイクロトロン，c）半導体用 PET，d）小動物用 PET，e）臨床診断用 PET

まで，ベリリウムからボーリウムまで，100 種類以上の RI 製造技術を確立し，国内外 24 機関の研究者と物理学，化学，生物学，工学，医薬学，環境科学分野における応用研究を展開している．特に，Zr-89m や Nd-141m などの半減期が数分程度の短寿命 RI を施設内のホットラボにて利用者に提供するという特徴がある．理研 RIBF で開発したこれらの RI の一部は，理研加速器技術の社会貢献として，日本アイソトープ協会を経由して，国内の大学，研究機関に有償頒布している．本支援事業が支援した平成 28 年度の RI 供給は 10 件，それ以外は 59 件であった．

3.5　東北大 CYRIC の特徴と実績

東北大 CYRIC の特徴は，2 台のサイクロトロンを有し，様々なポジトロン放出核種を製造できるところである（**図 5**）．小型サイクロでは主に PET 用の多彩な RI 製造を行い，大型サイクロでは I-124 のような，新たな PET 核種の製造に利用されている．もう一つの特徴として，RI 製造のみならず，製造した RI をオンラインでホットラボに輸送し，新しい放射性薬剤製造・品質検定等を実施•支援できることが挙げられる．さらに，この薬剤を用いた PET 診断もできる設備が備わっており，臨床診断用，小動物実験用等，多彩な PET 装置により，RI 製造から，薬剤合成，PET 診断等，連携した研究支援を行うことが可能である．また，ラジオアイソトープセンターとして，全学・全国の RI 取扱いや，分子イメージング研修を実施しており，RI 技術支援の人材育成も進めていくことが可能である．本支援事業が支援した平成 28 年度の RI 供給は 9 件，それ以外は 8 件であった．

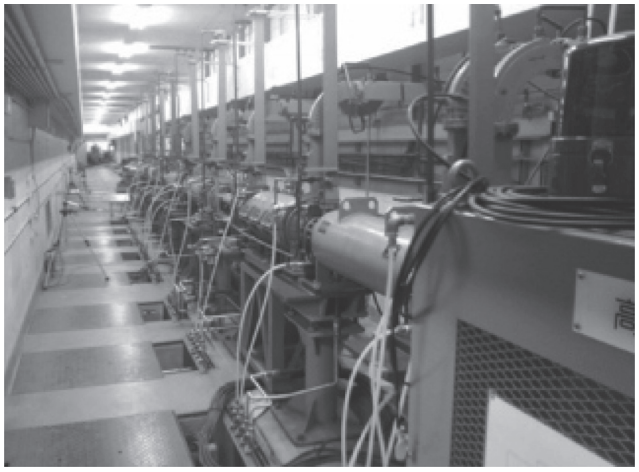

図 6　東北大 ELPH：大強度電子線形加速器

3.6　東北大 ELPH の特徴と実績

東北大 ELPH の特徴は RI 製造を主目的とした大強度電子線形加速器を所有していることである（**図 6**）．この電子加速器を用いて，サイクロトロンでは製造困難な中性子過剰核の RI を，光核反応を用いて効率よく製造することが可能である．また，製造した短寿命 RI をその場ですぐ研究に使えるように技術的なサポートや実験設備を提供している．これらの特徴を利用して，平成 23 年度より共同利用・共同研究拠点として活動してお

り，他では提供していない K-43 などをライフサイエンス系の外部ユーザーに提供している．本支援事業が支援した平成 28 年度の RI 供給は 2 件，それ以外は 33 件であった．

以上，連携 4 機関において平成 28 年度に本支援事業が支援した実績は合計 28 件であった．今後，短寿命 RI を用いた先端研究の支援を拡大していくためには，外部ユーザーや新規課題の割合を増やしていく必要がある．本支援事業では，窓口の一元化や技術サポート，年間を通じた安定で迅速な短寿命 RI 供給体制の整備を充実させていくことにより，特に経験の浅い新規ユーザーの利便性が格段に改善されて短寿命 RI 利用分野が拡大していくと期待している．連携機関の自己充当の割合も高く，潜在的な需要を発掘するという面において費用対効果が高い支援計画になっている．

4. 将来の発展

年間を通じて，メンテナンス等の休止期間を設けずに RI を製造し続けている加速器施設はなく，また，本支援事業で提供を予定している短寿命 RI の多くは長距離の輸送が不可能であることから，将来的な利用拡充を図る上で，日本原子力研究開発機構，京都大学原子炉実験所，量子科学技術研究開発機構などといった高度な RI 製造技術と生産能力を有する機関との連携を積極的に推進し，オールジャパン体制の構築による安定供給網の整備が必須となる．また支援体制の充実のためには，ハード面だけではなく，ソフト面も重要であり，本支援事業を契機として，放射化学・核化学分野の人材育成も併せて進めていく．

さらに，積極的な広報，公正な課題選択，細やかな技術支援の質と量を改善していくことにより，潜在的な需要や利用者を継続的に発掘していく必要がある．

連携機関側から見ても，本支援事業は，情報収集，特にユーザーからの声の拾い上げの面でスケールメリットがあり，長期的には加速器施設の価値を高めていくことにつながる．

ユーザーの要求に応えていく中で，RI 製造技術についても当然改善や進歩があると思われ，そのような新技術は積極的に公開し，また可能なものは民間に移転することによって，社会への還元も並行して進めていく．

5. ま と め

短寿命 RI プラットフォームでは，民間からの購入も輸入もできない短寿命 RI を安定供給し，RI を用いた先端研究の飛躍的な発展を促す．共同利用・共同研究拠点を中心とする加速器施設の連携の下，RI を用いる基礎的研究課題への技術支援を一体的に推進する．窓口を一元化し，積極的な広報，公正な課題選択，細やかな技術支援を行うことにより，ユーザーの利便性を高め，潜在的なユーザーの発掘を目指す．RI 製造，分子イメージング，診断をはじめとする高度な RI 利用における安全管理・RI 取扱い技術・人材育成を支援していく．また，連携機関を拡充し，オールジャパン体制での支援事業の展開を目指す．本支援事業で得られる新規 RI 製造・利用技術は，積極的に公開し，可能なものについては民間移転や事業化を目指す．これらの支援により，問題解決への先進的な手法を提供するとともに，人材育成を推進し，我が国の学術研究のさらなる発展に貢献する．

なお，本研究は科研費（16H06278）の助成を受けたものです．本支援事業にご支援を賜りました関係各位に対しまして，厚く御礼申し上げます．

6. お 知 ら せ

短寿命 RI の供給を希望される実験課題を募集中である．短寿命 RI を用いた研究を計画されている方は，是非，本支援事業をご利用いただきたい．詳しくは，短寿命 RI 供給プラットフォーム事業の HP [†1] を参照されたい．

供給可能な RI についてのリストもここに掲載されている [†2]．リストに掲載されていない RI の希望は，下記事務局まで．

【問合せ先】
短寿命 RI 供給プラットフォーム事業・事務局
〒 567-0047 大阪府茨木市美穂ヶ丘 10-1
大阪大学　核物理研究センター　研究企画室
（森本，福田）
E-mail : info-ripf@rcnp.osaka-u.ac.jp
TEL : 06-6879-8944

[†1] http://www.rcnp.osaka-u.ac.jp/~ripf/
[†2] http://www.rcnp.osaka-u.ac.jp/~ripf/info/ri.html