

RCNP サイクロトロン施設の現状

STATUS OF THE RCNP CYCLOTRON FACILITY

神田浩樹^{#A)}, 福田光宏^{A)}, 依田哲彦^{A)}, 友野大^{A)}, 安田裕介^{A)}, 齋藤高嶺^{A)}, 田村仁志^{A)}, 永山啓一^{A)},
荘浚謙^{A)}, Zhao Hang^{A)}, Shali Ahsani Hafizhu^{A)}, 松井昇太郎^{A)}, 井村友紀^{A)}, 渡辺薫^{A)}, 石畑翔^{A)},
板倉菜美^{A)}

Hiroki Kanda^{#A)}, Mitsuhiro Fukuda^{A)}, Tetsuhiko Yorita^{A)}, Dai Tomono^{A)}, Yuusuke Yasuda^{A)}, Takane Saito^{A)},
Hitoshi Tamura^{A)}, Keiichi Nagayama^{A)}, Tsunhim Chong^{A)}, Hang Zhao^{A)}, Ahsani Hafizhu Shali^{A)}, Shotaro Matsui^{A)},
Tomoki Imura^{A)}, Kaoru Watanabe^{A)}, Sho Ishihata^{A)}, and Nami Itakura^{A)}

^{A)} Research Center for Nuclear Physics, Osaka University

Abstract

The cyclotron facility at the Research Center for Nuclear Physics (RCNP), Osaka University, consisting of the AVF cyclotron built in 1973 and the ring cyclotron built in 1991, has provided the various ion beam for nuclear and elementary particle physics, nuclear chemistry, and nuclear medicine. We carried out the renovation and upgrade work from 2019 to 2021. We started the beam time for joint use and joint research from 2022. The user beam time is increasing in 2023. We still commissioning the ion sources the accelerator systems for providing the ions which was available before. A new building called as “TAT cyclotron building” was completed in the end of February 2023. It is the center for the production and chemical refinement of ²¹¹At. We are now preparing for the installation of the new accelerator and the facility for the chemical treatment in the TAT building.

1. はじめに

2019年2月より2020年度にかけて加速器の運転を長期間運転停止して実施したAVFサイクロトロンアップグレード作業の後、2021年度には機材コミッショニング、2022年度にはビームコミッショニングを実施し、2023年度よりビームコミッショニングをしつつビーム利用を順次再開してきた。2023年度にはアスタチン-211の製造、原子核物理学のための共同利用、半導体デバイスへのビーム照射を目的とした企業との共同研究など、比較的長時間のビームタイムを実施した。また2024年2月にはアルファ線核医学治療拠点の建物が竣工し、現在では化学操作を行うための機器の導入に向けた準備、RI取り扱いのための変更申請の準備、また、2026年に予定している加速器の導入に向けた準備を進めている。

2. ユーザーへのビーム供給

RCNPにおける一連の改修・アップグレード作業はAVFサイクロトロンビーム強度の増強を目指しており、これまでのビームコミッショニングの結果、²¹¹At製造のための⁴Heビームの強度は最大で8 μ Aと、アップグレード以前の約3倍に達した。2023年度より²¹¹Atはひと月に1回の頻度で大阪大学病院に供給しており、現在は新しいRI薬剤である²¹¹At-PSMAの医師主導治療が進行中である[1]。治療に必要な²¹¹Atの量は、1回の供給当たり数百MBqであり、10時間程度の照射時間の間に製造するために必要なビーム強度は6 μ Aであることから、細心の注意を払って加速器およびビーム輸送の調整を実施している。特にターゲットにおけるビーム強度の読み出しには注意を要し、実際の²¹¹At製造量がビーム強

度に比して著しく少ないというトラブルが何度か発生していた。現在、この原因をターゲット用のチェンバーとその上流のスリットを取り付けたチェンバーとの間が絶縁されていなかったことに起因すると考えて、確実に標的に届いたビームの電流を正確に測定するための工夫を行っている。また、²¹¹Atは短寿命RI供給プラットフォームやRIコラボラティブ学際領域展開プラットフォームを通してユーザーに対して提供を行っており、ひと月に一度の阪大病院用の²¹¹At製造に合わせて製造している。2024年度には4月から7月の4か月間に228時間のビームタイムを実施してきた。また、両プラットフォームでは²¹¹At以外のRI製造に向けて、板状の標的にビーム照射をできるホルダーも準備している。今後も定期的にビームタイムを配分してRI供給を実施し、RIを利用した研究を強力にサポートしてゆく。

また核物理ユーザーに対しても共同利用実験のビームを提供している。学生実験や物理を目的とした実験の中でもビーム強度やビームのエネルギー広がりに対する要請が比較的厳しくない実験を主に対象としている。共同利用実験ではWSコースのGrand Raidenスペクトロメーターを用いることが多く、2024年度には4月から7月の4か月間に陽子ビームを用いた実験と⁴Heビームを用いた実験を合わせて576時間実施してきた。また、教育用ビームタイムとしては24時間の⁴Heビームの供給を行った。¹⁵⁶Gd(⁴He, 2n)¹⁵⁸Dyによって生成した¹⁵⁸Dyの回転バンド間の遷移によって放出されるガンマ線をNaI検出器によって検出するという実験で、簡単なセットアップでありながら物理的にきれいな状態を見出すことができ、教育用の実験としてはかなり成功したといえる。

これまでRCNPの加速器の特長としてきた、精密核物理実験で用いるためのエネルギー精度の高いビームの供給に向けて、ビームの安定度とエネルギー広がり

[#] kanda@rcnp.osaka-u.ac.jp

定と調整を、RCNP の加速器グループと実験グループが協力して実施している。加速器のアップグレード後に、新しく導入した RF 機器の安定度不足や、ビームラインの電磁石の設置精度の問題があぶり出され、実験に必要とされる高精度ビームの供給に向けて精力的に取り組んでいる。

3. イオン源のコミッションング

現在 RCNP で利用可能なイオンは $^1\text{H}^+$ と $^4\text{He}^{2+}$ のみである。現在、超伝導電磁石を使用した重いイオン用の SCECR と偏極陽子用のイオン源 HIPIS の再稼働に向けた準備を行っている。

今年度の秋から利用が希望されている ^{22}Ne の加速のために、SCECR のコミッションングに努力がはらわれてきた。SCECR に限らず、イオン源の機器類は 2019 年度の改修工事以来長期間にわたり他の場所に退避しており、2021 年度によく元の場所に戻った。この退避のための移動時の振動が原因とみられる電源の制御部の故障や冷凍機とコイルの間の熱接触の悪化が見られたほか、電極の部品が行方不明になるなどトラブルが山積であった。これらのトラブルの解決のための努力を続け、コイルに通電可能になるまでのコイルの冷却、AVF サイクロロンにイオンを入射可能な電圧までの引き出し電圧の向上を果たし、つい先日、2024 年の 7 月末には ^{22}Ne 7 価および 8 価のイオンを引き出すことに成功した (Fig. 1)。

また、HIPIS の再稼働のために、イオン源全体のアライメントの調整および ECR 部からのイオンの引き出し、収束用の電極のための電線の配置や絶縁の調整を実施してきた。今後は ECR 部の引き出し電圧の増大を図るとともに、解離器の調整、偏極用の RF トランジション部の機器の更新とコミッションングを実施してゆく。また、偏極を測定するためのポラリメーターも、長期間の停止期間中に散乱した陽子を通すための薄いマイラー製の窓の真空漏れなどのトラブルが発生しているので、再稼働に向けた準備を進めてゆく必要がある。

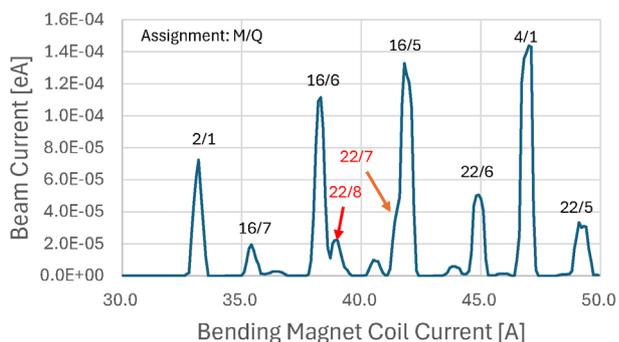


Figure 1: Ion beam current after mass/charge analysis with a bending magnet.

4. TAT サイクロロン棟

2022 年 3 月に、経産省令和 3 年度産学連携推進事業費補助金 (地域の中核大学の産学融合拠点の整備) に

大阪大学が申請した「アルファ線核医学治療社会実装拠点」が採択され、拠点としての建物の建設が 2023 年度より急ピッチで行われてきた。この建物は 2024 年 2 月末に竣工し [2] (Fig. 2)、アルファ線核医学治療 (Targeted Alpha Therapy) の拠点ということで、TAT サイクロロン棟と名付けられた。この建物には、TAT に必要な RI を製造するためのサイクロロン、および、化学精製に必要な機器類を内部に持ち、定期的に大量の RI 製造を行い化学精製した RI を出荷するという役割が期待されている。現状では内部には機器類が全く設置されていないが、化学操作を行うための施設の導入に向けた向けて機種選定を実施している。2025 年度の初頭には RI 取り扱いを開始することを計画しているため、機種選定と設置、RI 排気設備の改修、RI 取り扱いの許可を得るための変更申請の準備を行っている。また、加速器の導入は 2026 年を予定しており、そのための準備も合わせて実施している。



Figure 2: Photo of the TAT cyclotron building.

5. まとめ

2019 年度から 2021 年度までの建屋改修・AVF サイクロロンのアップグレードのための長期のシャットダウン期間の後、RCNP では 2022 年よりユーザービームタイムを開始した。2023 年度から 2024 年度にかけてはユーザービームタイムをより長時間確保し、利用を進めてきた。AVF サイクロロンのアップグレードの目的であったビーム強度の増強にはある程度成功したものの、当初の目標であった 10 倍のビーム強度の実現に向けた調整が必要である。また核物理のユーザーの希望する安定度とエネルギー精度の達成のために、RCNP を挙げて取り組みを行っている。2022 年度より整備がおこなわれてきた TAT サイクロロン棟は 2024 年 2 月末に竣工した。この建物の機能の発揮のため、現在精力的に準備を行っている。

参考文献

- [1] Osaka University, “難治性前立腺がんに対する医師主導治療を開始”, Press Release, May 2024.
https://resou.osaka-u.ac.jp/ja/research/2024/20240527_1
- [2] Osaka University, “核物理研究センター TAT サイクロロン棟が竣工”, Press Release.
https://www.rcnp.osaka-u.ac.jp/RCNPhome/ja/news/pr_2024feb29.pdf