

RCNP サイクロトロン施設の現状

STATUS OF THE RCNP CYCLOTRON FACILITY

依田哲彦^{#,A)}, 福田光宏^{A)}, 神田浩樹^{A)}, 友野大^{A)}, 安田裕介^{A)}, 斎藤高嶺^{A)}, 田村仁志^{A)}, 永山 啓一^{A)},
原隆文^{A)}, 荘浚謙^{A)}, Zhao Hang^{A)}, 橘高正樹^{A)}, 松井昇太郎^{A)}, 井村友紀^{A)}, 渡辺薫^{A)}
Tetsuhiko Yorita^{#,A)}, Mitsuhiro Fukuda^{A)}, Hiroki Kanda^{A)}, Dai Tomono^{A)}, Yuusuke Yasuda^{A)}, Takane Saito^{A)},
Hitoshi Tamura^{A)}, Keiichi Nagayama^{A)}, Takafumi Hara^{A)}, Tsunhim Chong^{A)}, Hang Zhao^{A)}, Masaki Kittaka^{A)},
Shotaro Matsui^{A)}, Tomoki Imura^{A)}, Kaori Watanabe^{A)}

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

Abstract

The upgrade work of the accelerator facility of Research Center for Nuclear Physics (RCNP) has been carried from 2019 to 2021 to renovate the AVF cyclotron and to improve the performance of the accelerator and the functionality of the RCNP. After the approval of the use of the radiation generator by the Nuclear Regulation Agency Japan in March 2022, we had started the commissioning of AVF cyclotron with the beam of 4He^{2+} of 28.5 MeV for ^{211}At production. After that the commissioning of the ring cyclotron has been carried from the beginning of October 2022 and we successfully accelerated proton beams of 392 MeV with 1 μA which were transported to the white neutron generating course which supplied for the irradiation of semiconductor devices. We also supplied the 392 MeV proton beam for the commissioning of the high-resolution spectrometer Grand Raiden. In the test of the high-resolution achromatic beam transport mode, the energy spread of the proton beam was obtained for 392 MeV proton beam. In 2023, normal user time has been restarted. Though the financial situation is quite severe mainly due to the soaring electricity bills, we would manage the time for the development of beams and supply them to the users.

1. はじめに

大阪大学核物理研究センター(RCNP)では K140 AVF サイクロトロンと K400 リングサイクロトロンが稼働しており、原子核物理学、加速器科学、情報科学、物性物理学、宇宙物理学、医学等の分野におけるビーム利用を推進している。2019 年より AVF サイクロトロンの更新工事のため長期運転停止をしていたが、2022 年 3 月に放射線発生装置の承認使用に係る変更承認申請に対する認可が下りて以降、サイクロトロンの運転を再開した。AVF サイクロトロンでのビーム加速、ビームコースへの輸送、リングサイクロトロンでのビーム加速と一通りのコミッショニングを実施し、2023 年より、通常のユーザーへの供給を再開した。



Figure 1: New target system for ^{211}At production. The blue colored magnets are for beam scanning.

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

2. ビームコミッショニング

AVF の更新では、イオン入射エネルギーの増大や、Dec 電極をシングルから 2Dec に変更するための RF 共振器システムの総入れ替えがあった。ビームコミッショニングはまずこれらの機器の稼働からスタートした。イオン源のコミッショニングでは、高い加速電圧でのイオン源と LEBT が問題なく安定稼働することを確認した。また、RF 共振器のコミッショニング[1]では機器の修正なども含めて非常に時間がかかったものの最終的に設計電圧の 90% で安定運用できるようになった。施設検査合格後のビーム発生コミッショニングでは、まず、がん治療研究用の ^{211}At 製造のための 28.5 MeV 4He^{2+} 加速から開始された。このとき、実際に ^{211}At の製造も実施している。続いて半導体照射用の白色中性子発生のためビームコミッショニング、即ち AVF サイクロトロンとリングサイクロトロンとの組み合わせによる陽子 392 MeV の加速のコミッショニングが 2022 年 10 月より開始され、それに引き続いて、企業による半導体照射実験への白色中性子の供給も実施された。その後、精密物理実験のための超高分解能ビーム生成コミッショニングや異なるエネルギーでのビーム生成試験も実施され、基礎科学実験へのビーム供給再開への足掛かりとした。2023 年より本格的にユーザータイムが再開された。電気代高騰など加速器運転には厳しい世情下ではあるが、様々な予算をやり繰りしながら、順次、ユーザーへのビーム供給を実施している[2]。

3. ユーザーへのビーム供給

AVF の更新工事は供給ビームの大強度化が大きな目的であった。He のビームに関しては ^{211}At 供給のため

の大電流ビーム供給の調整が引き続き実施された。211At 供給のためのビームタイムはおおよそひと月に1回の頻度であるが、そのユーザータイムのたびに、供給ビーム量が更新され、現在ビスマス標的が溶融しないギリギリの $7\mu\text{A}$ でのビーム供給がなされている。このとき、ビスマス標的を溶かさないう工夫として、スキヤニングマグネットによるワプリングを併用している(Fig. 1)。白色中性子のビームラインは2022年の企業利用実験の後、中性子大強度化のための大口径コリメータの設置などのビームライン改造工事が実施された[3](Fig. 2)。2023年の7月には新しいタングステンターゲットの熱負荷試験も実施され、2023年10月に予定されている企業利用実験で問題なく稼働するであろうことが確認された。

2022年のコミッションも含めたビーム加速実績は陽子が1668時間、4Heが876時間であった。2023年については7月末までの実績で陽子が1716時間、4Heが1176時間であった。

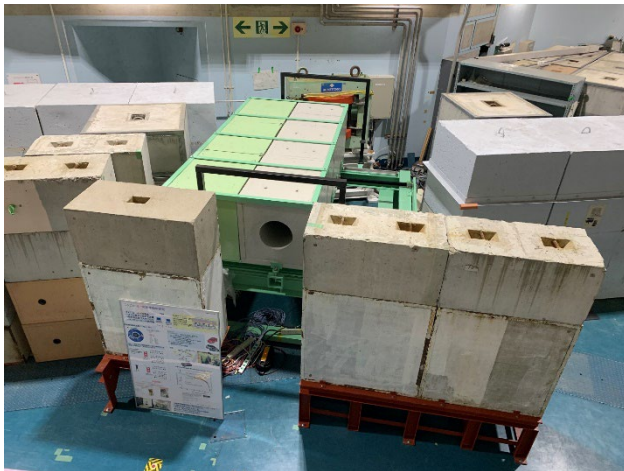


Figure 2: New beam line of white neutron.

4. 各種基礎研究

通常のビーム供給と並行して、各種基礎研究も進められてきた。高温超電導線材のみによるスケルトンサイクロトロン設計[4,5]、自動サイクロトン共鳴加速原理に基づく新しいタイプの加速器開発[6]、高温超伝導材によるスペクトロスコープタイプ小型ガントリーの開発[7,8]、レーザーイオン源開発[9]、機械学習手法の開発[4,10,11]などがそれである。

5. アルファ線核医学治療社会実装拠点

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「アルファ線核医学治療社会実装拠点」が採択された。これにより、211At 製造用の加速器を設置するため施設の建築、企業と協力しての加速器、照射施設、ホットラボ用機器の設置、およびアルファ線核医学治療に向けた薬剤の安全性、有効性的大阪大学および連携大学での実施といった事業が始まった。連携大学は、国立大学法人金沢大学、国立大学法人香川大学、学校法人近畿大

学、学校法人関西医科大学、学校法人藤田学園であり、産学連携の協力機関として大阪府、住友重機械工業、アルファフュージョン株式会社が参画している。この拠点が完成し、多くの211Atを供給することにより、アルファ線核医学治療のさらなる研究の発展と治療への貢献が可能になるものと期待されている。現在、建屋の建設が2024年2月の竣工を目標に急ピッチで進められている(Fig. 3)。



Figure 3: Construction of new building for 211At distribution.

6. まとめ

ビームの強度増大を目指したAVFサイクロトロンアップグレードとそれに対応した施設改修を2021年度に終え、2022年より加速器の運転を再開しビームコミッションを進めてきた。そして、2023年より通常のユーザー運転も再開された。Heビームについては更新工事よりも多くのビームが供給できており、陽子ビームについても許可量の範囲内で最大限の量と質でビーム供給がなされている。今後、重イオンビームなどの供給を順次再開していく。

参考文献

- [1] Y. Yasuda *et al.*, Proceedings of PASJ2021, WEP33.
- [2] H. Kanda *et al.*, Proceedings of PASJ2023, WEOB1.
- [3] H. Kanda *et al.*, Proceedings of PASJ2021, TUP39.
- [4] S. Matsui *et al.*, Proceedings of PASJ2021, TUP19.
- [5] T. Chong *et al.*, Proceedings of PASJ2021, TUP23.
- [6] T. Hara *et al.*, Proceedings of PASJ2021, WEP18.
- [7] H. Zhao *et al.*, Proceedings of PASJ2021, TUP44.
- [8] K. Watanabe *et al.*, Proceedings of PASJ2021, TUP14.
- [9] M. Kittaka *et al.*, Proceedings of PASJ2021, WEP35.
- [10] T. Imura *et al.*, Proceedings of PASJ2023, TUP10.
- [11] T. Yorita *et al.*, Proceedings of PASJ2023, THOA8.