

## RCNP サイクロトロン施設の現状

### STATUS OF THE RCNP CYCLOTRON FACILITY

依田 哲彦<sup>#, A)</sup>, 福田 光宏<sup>A)</sup>, 神田 浩樹<sup>A)</sup>, 畑中 吉治<sup>A)</sup>, 斎藤 高嶺<sup>A)</sup>, 友野 大<sup>A)</sup>, 中尾 政夫<sup>B)</sup>,  
Koay HuiWen<sup>A)</sup>, 安田 裕介<sup>A)</sup>, 田村 仁志<sup>A)</sup>, 森田 康之<sup>A)</sup>, 武田 佳次郎<sup>A)</sup>, 原 隆文<sup>A)</sup>, 荘 浚謙<sup>A)</sup>, Zhao Hang<sup>A)</sup>,  
Tetsuhiko Yorita<sup>#, A)</sup>, Mitsuhiro Fukuda<sup>A)</sup>, Hiroki Kanda<sup>A)</sup>, Kichiji Hatanaka<sup>A)</sup>, Takane Saito<sup>A)</sup>, Dai Tomono<sup>A)</sup>,  
Masao Nakao<sup>B)</sup>, Huiwen Koay<sup>A)</sup>, Yuusuke Yasuda<sup>A)</sup>, Hitoshi Tamura<sup>A)</sup>, Yasuyuki Morita<sup>A)</sup>, Keijiro Takeda<sup>A)</sup>,  
Takafumi Hara<sup>A)</sup>, Tsunhim Chong<sup>A)</sup>, Hang Zhao<sup>A)</sup>

<sup>A)</sup> Research Center for Nuclear Physics, Osaka University

<sup>B)</sup> Gumma University Heavy Ion Medical Center

#### 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 proceed the intensive maintenance and large scale upgrade aiming at the update of old equipment for stable operation and the upgrade of the performance. The main object of the upgrade of the AVF cyclotron is more than 10 times higher intensity of the primary beam for RI production and secondary beam production such as neutron, muon and RI beams. We started the upgrade work of the AVF cyclotron from Jun. 2020. We plan to start the beam commissioning soon after the completion of the construction of the upgraded cyclotron in 2021FY.

#### 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。これらの実験研究のさらなる発展を目指し、ビーム強度をこれまでより 10 倍に増強する目的で、2019 年 2 月に加速器運転を終了し、2020 年度にかけて AVF サイクロトロン本体や附属機器類、施設の老朽化対策および性能の向上を目的とした集中メンテナンス、アップグレードを実施した。AVF サイクロトロン本体のアップグレードとしては大強度高品質一次ビームの供給を中心とし、近年需要の増えてきた RI 製造能力の向上を図るとともに、ミュオンや中性子、RI ビームといった二次粒子ビームおよび高分解能ビームの強度の増大を図る。この AVF サイクロトロン本体のアップグレードは 2020 年度内にサイクロトロン本体の更新工事が完了した。2021 年度は制御や真空・冷却などの配線配管など最終仕上げ作業を実施し、ビームコミッショニングを行い、ユーザーへのビーム供給を開始する予定である。

#### 2. AVF サイクロトロン更新工事

AVF サイクロトロンは 1973 年に建設され、リングサイクロトロンは 1991 年に建設され、共に長い期間運転されてきたが、近年、コイルの水漏れなどといった機器の老朽化によるトラブルを抱えていた。一方、近年の RI 製造の需要の増加や、白色中性子ビーム、準単色中性子ビーム、ミュオンビームや RI ビームといった二次ビーム利用の効率化のためのビーム強度の増大が期待されていた。そこで、AVF サイクロトロンを集中的にオー

<sup>#</sup> yorita@rcnp.osaka-u.ac.jp

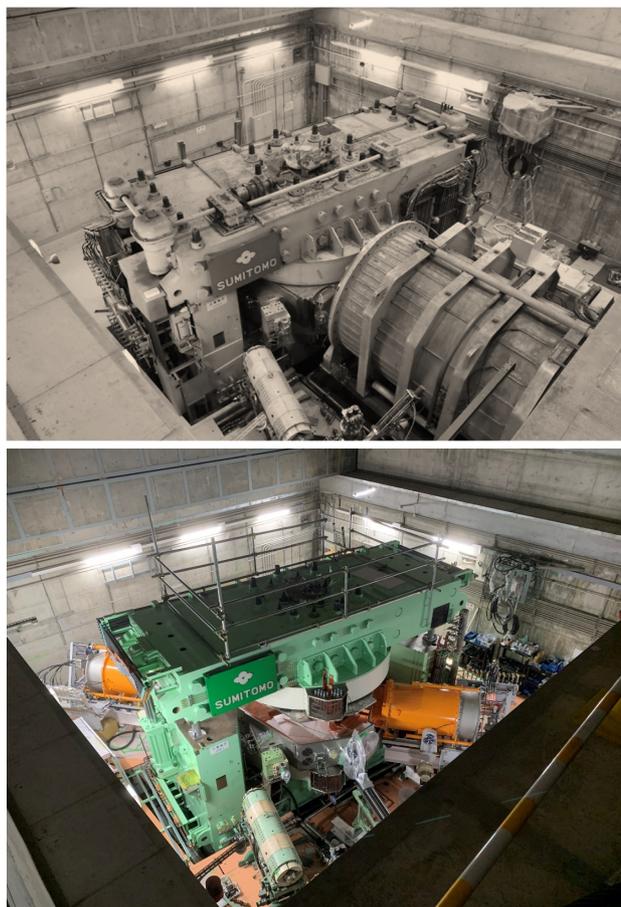


Figure 1: Top views of AVF Cyclotron at RCNP. Upper figure shows the cyclotron before upgrade, and bottom shows the one after upgrade.

バーホールし、アップグレードを行うことで、安定でかつ高機能化したビームが供給できることを目指している。AVF サイクロトロンへのアップグレードは「高輝度化」つまりビーム強度増強とエミッタンスの低減を目指し、主に以下の項目に関して改善を図り、多くの機器の改造を進めてきた。

1. イオン源の加速電圧の 50 kV への高電圧化、それに伴うビーム輸送光学の最適化[1]及びインフレクターなど中心領域の更新、新規イオン源の製作[2]
2. ターンセパレーション拡大による出射効率向上を目指して、シングルディーから 2 ディーへと変更、それに伴う共振器の更新及び RF 電源の更新、そしてトリムコイル、バレーコイルを含む加速箱の刷新
3. 荷電変換に伴うビームロスの低減すべく真空度改善を目指した、真空系の更新
4. 制御系の更新と EPICS の導入[3]

トリムコイル、バレーコイルについては 2019 年末までに製作を完了していた。加速箱、共振器、ディー電極などの主要な機器については慎重な設計が必要なことから設計に時間を要したものの 2020 年前半に製作が完了した。このアップグレード工事では AVF サイクロトロンの中のほとんどの機器は更新されるが、ヨーク、磁極、メインコイルはアップグレード後にも引き続き利用される。2020 年度初頭より 9 月半ばまで、AVF サイクロトロンアップグレード工事の第 1 期工事である既設の AVF サイクロトロンへの解体が実施された引き続いて第 2 期工事であるサイクロトロンへの機器の組付けが実施され 2021 年 3 月に終了した。

これらの工事と干渉しない範囲での配線配管等のインフラ整備や制御関連工事は並行して進められた。また、更新された AVF 周りの配線等については上記工事終了後直ちに実施した。

イオン源室は AVF 本体室の天井の上に位置するが、AVF サイクロトロン更新工事に際し、この天井を構成するコンクリートブロックを一旦撤去する必要があったため、イオン源室は完全解体された状態であった。AVF 更新工事後、順次、復旧作業が進められた。

新規構築された真空系はかつてのディフュージョンポンプを中心としたものから、クライオポンプによるものに更新されている。これにより真空度の向上が期待される。新規導入された真空系の動作試験と問題の洗い出しが進められ、問題なく真空が引ける状態となっている。

新規製作された RF 関連機器の動作試験も順次進められ問題点の洗い出しとその改善が進められている。

### 3. 基礎研究の実施

AVF 改修工事と並行して、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]、自動サイクロトロン共鳴加速原理に基づく新しいタイプの加速器開発[5, 6]、At-211 製造用ビームスキヤニングシステムの開発[7]、サイクロトロンの高エネルギー効率化に向けた検討[8]、高強度小型サイクロトロンへのエネルギー効率向上を目指した要素技術開発[9]、などがそれである。



Figure 2: Components inside the AVF cyclotron are shown. After upgrade the upper yoke of magnet can be lifted in 60 cm and then maintainability is achieved.

### 4. まとめ

ビームの強度増大を目指した AVF サイクロトロンへのアップグレードとそれに対応した施設改修を 2019 年度から実施してきた。2020 年度には AVF サイクロトロン本体の改造工事が実施された。2020 年 9 月中旬にサイクロトロン解体が完了。新しい機器類の組み上げは 2021 年 3 月にかけて実施された。現在、各機器の整備・個別動作試験実施中である。各機器の整備が終了し次第、また、規制庁からの変更申請に対する許可が出次第、コミッショニング開始予定となっている。

### 参考文献

- [1] T. Morita *et al.*, Proceedings of PASJ2021, WEP005.
- [2] T. Chong *et al.*, Proceedings of PASJ2021, THP005.
- [3] T. Yorita *et al.*, Proceedings of PASJ2021, THP041.
- [4] H. Koay *et al.*, Proceedings of PASJ2021, MOOA04.
- [5] H. Kanda *et al.*, Proceedings of PASJ2021, MOP020.
- [6] T. Hara *et al.*, Proceedings of PASJ2021, WEP019.
- [7] H. Zhao *et al.*, Proceedings of PASJ2021, TUP003.
- [8] K. Takeda *et al.*, Proceedings of PASJ2021, TUP020.
- [9] M. Fukuda *et al.*, Proceedings of PASJ2021, THP003.