

RCNP AVF サイクロトロンへのアップグレード計画 UPGRADE OF RCNP AVF CYCLOTRON

福田光宏、依田哲彦、神田浩樹、友野大、中尾政夫、安田裕介[#]、畑中吉治、齋藤高嶺、森信俊平、田村仁志、
永山啓一、鎌倉恵太、原周平、Koay Hui Wen、山野下莉那、森田泰之

Mitsuhiro Fukuda, Tetsuhiko Yorita, Hiroki Kanda, Dai Tomono, Masao Nakao, Yusuke Yasuda[#], Kichiji Hatanaka,
Takane Saito, Shunpei Morinobu, Hitoshi Tamura, Keiichi Nagayama, Keita Kamakura, Shuhei Hara, Koay Hui Wen,
Rina Yamanoshita, Yasuyuki Morita
RCNP Osaka University

Abstract

In RCNP, an upgrade program of the AVF cyclotron and its facilities is in progress. The AVF cyclotron has provided different ion beams with different energies for experiments since 1976. It has worked for more than 40 years. The upgrade program will replace old parts in the cyclotron and install new devices to improve the beam quality and intensity from the cyclotron. We plan to raise energies of injection ions from 15kV to 50kV typically, and replace its injection electrodes at the center of the cyclotron correspondingly. We also plan to replace the dee electrode and resonator with 2- dee and resonator. Additional wall shield for high intensity beam will be extended. We will suspend our facility from the latter half of the 2018 fiscal year and proceed the engineering work for 1 year.

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、陽子では AVF サイクロトロン単独運転で 80MeV、さらにリングサイクロトロン単独運転で 400MeV まで加速して共同利用実験にビームを供給している。

RCNP の加速器施設は多種のイオンビームをさまざまなエネルギーで供給することができるため、その利用範囲は原子核物理実験だけでなく、白色中性子を用いた半導体照射、短寿命 RI の供給、アルファ線内用療法実用化の研究など幅広い分野に広がっている。また、DC ミューオン源とそのビームライン (MuSIC) が整備され、基礎科学、応用研究へのミューオンビームの供給も始まった。

RCNP では、これまで主に原子核物理実験に対して高分解能、ハローフリーなビームを供給してきたが、近年、白色中性子、ミューオンなどの二次粒子の利用が増加したこと、RI 生成における生成量の増加、短時間化が望まれることから ビーム高強度化への需要が高まっている。マシンタイムの多くを占める原子核物理実験分野でも、低収量の実験や二次粒子を使う実験などで、ビーム強度の増強は望まれている。また、次世代の不安定核物理実験には、高強度、低エミッタンスのビームが不可欠である。

これをうけて我々は、プライマリービームの質向上、二次粒子・RI 生成量の増強により現在の研究利用をより充実させ、さらに発展させるために、ビームの高強度化に向けて AVF サイクロトロンの高機能化を中心に検討を進めてきた。

AVF サイクロトロンは、1973 年に完成し、1976 年から共同利用実験にビームを供給している。建設から 40 年以上が経過していることから、近年、故障による実験中

断、運転スケジュールの変更が増加している。老朽化箇所は、トラブルを起こす前に改修、更新することが望ましいが、近年の維持費減少から事前対応ができず、故障が発生してから修理を行っていることが多い。実験中の故障対応では、加速器装置の大半は運転状態にあるので、電気代の浪費となり、運転コストの増加につながっている。このような故障対応の悪循環を断つために、さらには、これまで以上の大きな故障の発生を防ぐために、老朽化箇所の事前改修および応急修理箇所の復旧が急務となっている。

AVF サイクロトロン単独運転の高機能化には加速器中心部の改造が不可欠であり、老朽化箇所の改修もこれまで開けたことがない中心部分の工事が必要となる。そのため、これらを同時に行うメリットは大きい。そこで、我々は、老朽化箇所のオーバーホールを行って故障の芽をつみ、AVF サイクロトロン単独運転の寿命を延ばしつつ AVF サイクロトロン単独運転の性能向上を目指すアップグレードを行うこととした。

老朽化箇所は、加速器本体だけでなく、冷却水設備、シールド扉などの付属施設にも見られる。ビーム強度増強に備えて、付属施設も改修するだけでなく、シールド強化などの機能強化を図る必要がある。

我々は、加速器機能の強化、老朽化箇所のオーバーホール、付属施設の改修および強化を平成 30 年度に実行することを目標に準備を進めている。

2. アップグレードとオーバーホール

今回の AVF サイクロトロンアップグレードでは、AVF サイクロトロンからのビーム強度の増強を目指して、イオン源からのビーム量増強および低エミッタンス化を中心とした高機能化を計画している。

そのために、イオン源での引き出し電圧を引き上げる。AVF 取り出しで陽子 65MeV のビームに対して、現在はイオン源からの引き出しを 15kV で行っ

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

ているところを 50kV まで上げる。平成 29 年度、高輝度量子ビーム供給システム整備と称して、イオン源から AVF 入射までの整備を行う。この中で、デュオプラズマトロンイオン源を 1 台追加する。また、既存のイオン源（偏極イオン源、超伝導 ECR イオン源、ネオマフィオス ECR イオン源、HIPECR イオン源）および入射ビームラインの加速電圧増加に向けた整備やビーム診断機器の追加などを行う。現在は、AVF 入射直前の軸入射部分にエミッタンスモニターがないが、近年開発を行っているペッパーポット型エミッタンスモニターの導入を検討している[1]。これらは平成 30 年度アップグレード計画に先行して進めている。

イオン源の引き出し電圧を上げると、AVF への入射部の改造も必要となる。RCNP の AVF サイクロトロンは、建設当初は内部イオン源を使用し、その後 1992 年に外部入射イオン源のみとなった。イオン源は AVF 本体室の上にあり、イオン源から引き出されたイオンは、水平方向のビームラインを通して AVF 中心上部まで導かれ、垂直方向に曲げられた後、軸入射ラインから垂直に AVF 中心部へと入射される。イオンは中心部にある入射インフレクターで水平方向に向きを変えられ、AVF の加速軌道へと乗せられる。AVF から陽子 65MeV ビームを出す場合、陽子イオンの引き出し電圧は 15kV で、入射インフレクターはこの値でデザインされている。イオン源引き出しエネルギーを上げると、今のインフレクターでは曲げきれないため、入射半径を拡大した新たなインフレクターを導入する[2]。

さらに、AVF 高機能化として、Dec を 1 つから 2

つに増やす 2Dec 化を検討している。現在、180 度 Dec の $1/4\lambda$ 同軸型共振器(6~18MHz) 1 台であるが、90 度 Dec の $1/4\lambda$ 同軸型共振器(18~36MHz) 2 台に変更し、ハーモニクス 2 ないし 3 で加速する。これまでよりも少ないターン数で加速し、引き出しでのターン分離を向上させて引き出し効率を高める狙いがある。

AVF の改修、修理については、これまでも、共振器 Dec 電極、異形部の作り替えや共振器終段アンプ、高圧電源の更新など、大きな更新も行っているが、加速真空箱の内側はほとんど建設当時のままである。建設から 40 年以上が経過し、トラブルとして目立つのはやはり冷却水漏れである。共軸異形部の作り替えは、加速器内部の冷却水用配管からの水漏れに対処するためであった。真空槽内での冷却水漏れは、加速箱真空度の低下につながり、加速ができなくなるため、修理対応でマシンタイムの遅れやキャンセル、スケジュール変更を余儀なくされてきた。2016 年 12 月には、アース板裏側の冷却水配管から水漏れが発生した。この箇所は、アース板を外さなければアクセスができない場所で、この際は、真空シーラントによる応急手当と水量の抑制を行った。また、バレーコイルは 2010 年 12 月に発生した冷却水漏れ以来、冷却水を流していない。(冷却水なしで運転できているが、穴はあいたままで、加速箱の真空悪化につながるので、ロータリーポンプで真空引きしている。) これらのような加速箱内の冷却水ラインは取り換えが必要である。

オーバーホールの中で最も重要な箇所が AVF のトリムコイルである。トリムコイルは幸いにもこれま

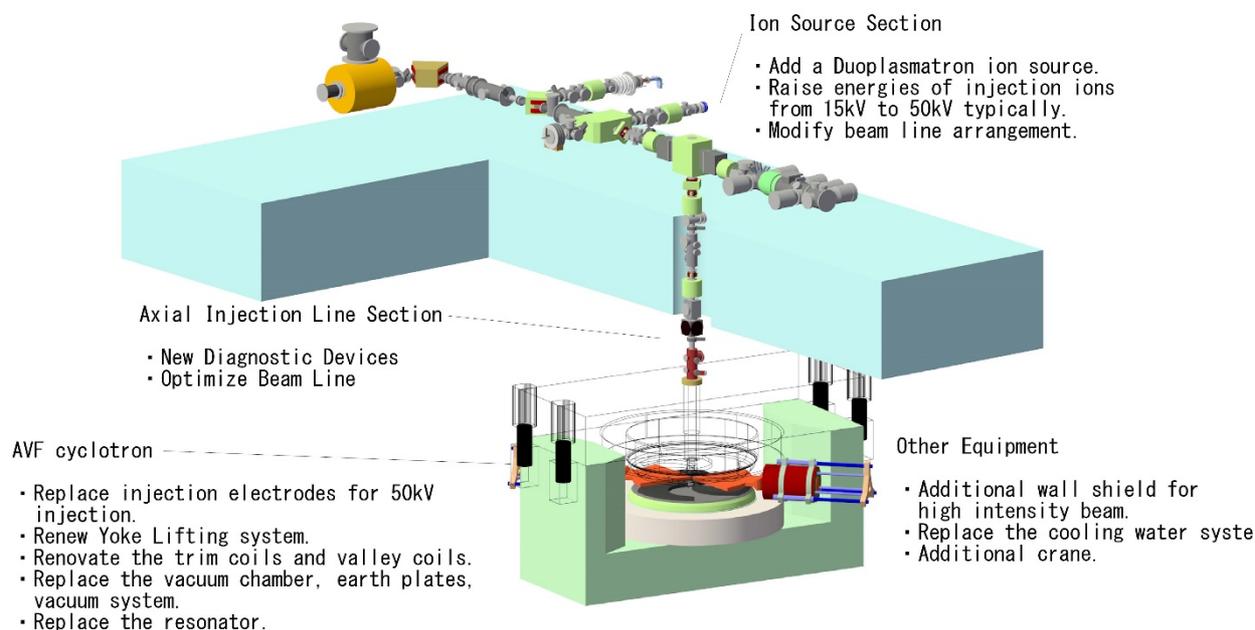


Figure 1: A schematic view of the upgrade program of the AVF Cyclotron.

でトラブルを起こしていないが、冷却水を流している以上、経年劣化によるトラブルは不可避と考えられる。すでに水漏れを起こしたバレーコイルとともに更新する。トリムコイルとバレーコイルは、マグネットポール表面に設置されており、アース板の下側に位置する。これにアクセスするためには、上ヨークを持ち上げ、アース板を撤去する必要がある。これまでAVFのヨークリフターは設置されているものの使われていなかったが、今回の改修で復活させる。これにより、通常メンテナンスにおいてもAVF内部へのアクセスが可能となる。ビーム電流の増強は、長年の課題であったが、その開発をしにくくしていたことのひとつが、AVFサイクロトロン内部アクセス性の悪さであった。ヨークリフターを復活されることで、AVF中心部にあるインフレクターや電極などの要素についての改良、交換などが容易になり、今後の入射効率向上に向けた開発[3,4]が行いやすくなる。

老朽化箇所改修とアップグレードのためには、加速箱、アース板の作り替えも必要となり、加速箱の中は大きく作り替えられることになる。真空排気系の更新も併せて行い、加速箱内の真空度上昇も図りたい。

今回、リングサイクロトロン本体は工事の中心ではないが、こちらも建設から25年を超えるので、各種スイッチ類の交換や、放射線障害の影響が起きやすい電源の場所を変えるなど、高強度化に備えた対策を行う。

今回のアップグレードでの仕様変更内容をTable 1にまとめた。また、概略図をFigure 1に示す。

Table 1: Summary of Specification for the AVF Upgrade Program

Item	Present Status	Upgrade Plan
Dee	180 deg. x 1	90 deg. x 2
Dee Voltage	60 kV	60 kV
Harmonics	1	1, 2, 3
RF Frequency	6~19 MHz	18~36 MHz
Ion Source Extractor Voltage (typically)	15kV	50kV

3. 付属施設

平成30年度アップグレード計画では、AVF本体回りの改修だけでなく、付属施設の改修や更新も行う。ヨークを持ち上げた際のヨーク上部のスペースを確保するためにAVFが収まっている本体室の上部天井ブロックを60cm高くする。また、ビーム増強に備えて、建屋の壁の増強を行う。

その他、AVF本体室外側の建屋にクレーンを追加、

一部冷却塔の更新、RI排水設備の整備、液体窒素設備の改修などを計画している。

4. 工事スケジュール

平成29年度の高輝度量子ビーム供給システム整備では、イオン源の整備を図るが、平成30年度アップグレード計画において、AVFサイクロトロン本体室の天井を開ける必要があるため、その上にあるイオン源およびビームラインは、一度全て解体することとなる。そのため、新たなイオン源の設置整備は平成30年度工事と併せて行うことになる。

今後、平成29年度および平成30年度は設計を進め、平成30年度後半から工事に入る予定である。加速器の停止は、平成30年度後半から約1年間。平成31年度中には、コミッションングおよび試験的なマシンタイムを確保したい。

参考文献

- [1] Y. Morita *et al.*, Proceedings of this conference. TUP079.
- [2] M. Nakao *et al.*, Proceedings of this conference. TUP022.
- [3] M. Fukuda *et al.*, Proceedings of this conference. TUP032.
- [4] N. Miyakawa *et al.*, NIM A 715 (2013) 126.