

RCNPにおけるサイクロロン入射部およびBT系の開発

DEVELOPMENTS OF INJECTION OF CYCLOTRONS AND BEAM TRANSPORT AT RCNP

依田哲彦^{#,A)}, 福田光宏^{A)}, 畑中吉治^{A)}, 安田裕介^{A)}, 鎌倉恵太^{A)}, 斉藤高嶺^{A)}, 田村仁志^{A)}, 森信俊平^{A)}
T. Yorita^{#,A)}, M. Fukuda^{A)}, K. Hatanaka^{A)}, Y. Yasuda^{A)}, K. Kamakura^{A)}, T. Saito^{A)}, H. Tamura^{A)}, S. Morinobu^{A)}

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

Abstract

Developments of injection systems and beam transport for cyclotrons at Research Center for Nuclear Physics (RCNP) Osaka University have been carried in order to improve the highly intense heavy ions in MeV region for the secondary RI beam, et al.[1,2]. The cyclotron cascade at RCNP consists with injector AVF cyclotron of K=140 and Ring cyclotron of K=400. The additional glazer lens on axial injection of AVF cyclotron is one of those and it has been installed for the purpose of increasing beam transmission to the inflector in center region of cyclotron. Another development is additional buncher for the heavy ion injection like Xe which requires high voltage in comparison with proton case. Extension of baffle slits on injection line of Ring Cyclotron also has been done to extend the flexibility of injection orbit. Those modifications are work well and beam currents of several ions have been improved.

1. はじめに

中高エネルギーのイオンビームの大強度化は、陽子ビームにより生成される中性子やミュオンや、重イオンにより生成されるRIビーム等、2次ビームへの需要の高まりに伴い、非常に重要なテーマである。大阪大学核物理研究センター(RCNP)のサイクロロン施設はAVFサイクロロン及びリングサイクロロンのカスケードで構成されているが、このイオンビーム大強度化を目指して、それぞれのサイクロロンの入射効率の向上、及びビーム輸送系の効率の向上を目的とした、改良・開発を行ってきた[1,2]。AVFサイクロロンの中心軸入射ラインではビーム透過効率向上のため、既存の磁石列に1台グレーザーを追加することでこの問題の解決を図った。また、この軸入射ラインにはもともと1台バンチャーが設置されているが、近年需要の多いXeなどの重イオンに対しては電圧が十分ではないため、もう1台充放電型バンチャーを追加することにより、特に重イオンのバンチングに対応した。更に、リングサイクロロンについても入射効率向上を目指して、入射ライン上のバフスリットの開口を拡げ、入射軌道の自由度を高める改造を行った。

2. AVF サイクロロン入射部

2.1 グレーザーレンズ

AVFサイクロロンへのビーム入射効率の向上を目指し、AVF軸入射部のビーム輸送系にグレーザーの増設を行った。Figure 1 はAVFサイクロロン軸入射部を表す。この Figure 1 の d,e,f で示したのは既設のグレーザーであるが、この3つのレンズのみでは加速平面(MP)から2mまでの範囲に存在するφ57の狭さのビームダクトをロスなく通すことが難しい状況であった。そこでFigure 1 の f で示したグレーザーと同程度の性能のグレーザーを Figure 1 の c で示した箇所に増設した[1,2]。新

設されたグレーザーは Figure 2 で示す形をしており、定格電流が350Aである[1,2]。旧来のオプティクスに新設グレーザーを50A程度の運転状態で追加で導入し、全体を微調整するというテストを行ったところ、2割程度

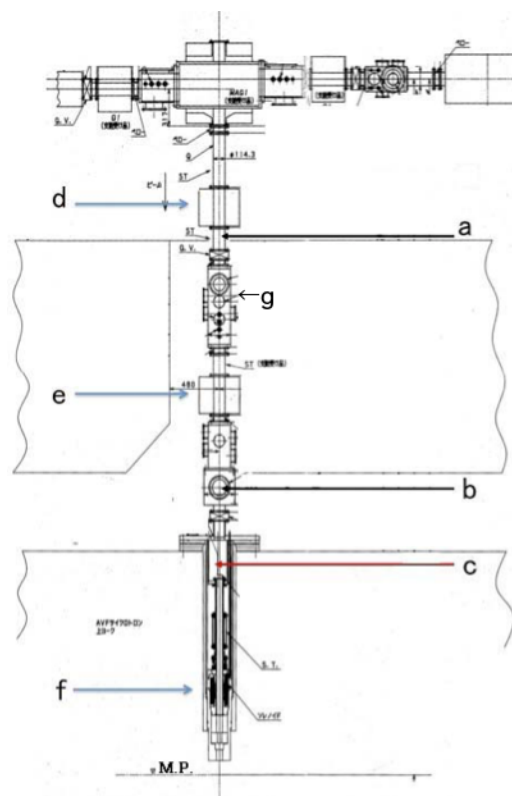


Figure 1: schematic view of injection axis for AVF cyclotron. a:new buncher, b:old buncher, c:new glazer, d~f:old glazer, g:iris slit.

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

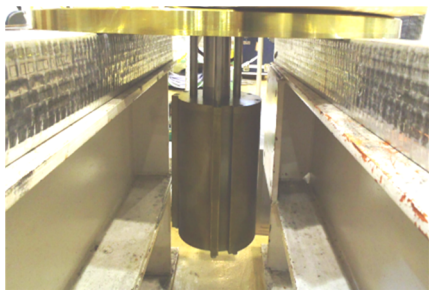


Figure 2: Photo for new glazer placed at “c” in Figure 1.

のビーム電流の増強が実現した。また、Figure 1 の g で示されているアイリススリットについて、新設バンチャー導入以前はアイリススリットをφ5mmより開いてもAVFで加速されるビームのカレントは増えなかった、すなわちアイリススリットの位置でφ5mmより大きいサイズのビームを入射することが困難であったが、新設バンチャー導入後はアイリススリットの位置でφ10mmのサイズのビームもAVFへ入射し加速することが可能となった。今後は増設グレーザーを含めた軸入射部のオプティクス抜本的な見直しを図ることにより、AVF 入射効率の更なる向上を目指していく。

2.2 バンチャーの増設

Xe などの重イオンビーム強度向上のため AVF 軸入射部にバンチャーの増設も行った。Figure 1 の b で示した位置、MP より 2550mm の位置、に既設のバンチャーがあるが、これは高周波の基本波、2倍波、3倍波の合成により最大±600V の鋸歯状波を形成するものであるが、m/q が小さく加速周波数の速い陽子などのバンチングには十分機能するものの、Xe など m/q が大きくあるいは加速周波数の遅いイオンには電圧が不十分であったため、バンチャーの追加増強を行った。今回新設された

バンチャーは充放電型のもので、最大電圧は 2MHz で 0-1200V、6MHz で 0-750V、20MHz で 0-200V の出力が可能である。またこの電圧で重イオンも十分バンチングできるよう MP より 4600mm の位置に設置された。[1,2]

新設バンチャーの動作テストはまず陽子の加速により行った。このとき、AVF の加速周波数は 9.69MHz である。テストではまず既設バンチャーのみで加速調整を行い AVF の出口で 4.1 μA のビームが得られている状態で、バンチャーなしとするとビーム量は 0.57 μA であった。ここで新バンチャーのみ起動し電圧と位相の調整を行うと 3.5 μA のビームが得られた。また、新旧両方のバンチャーを起動し調整することで 5.0 μA のビームを得た。よって、陽子については新バンチャーの導入によりビーム強度が2割程度増強された。次に加速周波数 10.2MHz の 12C5+ ビームについて、バンチャー無しではAVF出口でのビーム電流が 175nA、旧バンチャーのみで 400nA、新バンチャーのみで 550nA、新旧バンチャー両方で 760nA という結果が得られ、新バンチャー導入によりビームが8割り増しとなり、陽子の場合よりも m/q の大きな粒子に対して特に新バンチャーが機能していることが確認された。更に、加速周波数 7.62MHz の 36Ar11+について、新バンチャー導入前後の比で10倍程度のビーム増強が実現した。今後、重イオンビーム強度の更なる向上を目指して、グレーザー等の軸入射ラインのコンポーネント全体の調整を最適化していく。

3. リングサイクロロン入射部

リングサイクロロンについてもビーム入射効率の向上を目指し、入射ビーム軌道の自由度を上げる目的でスリットの大口径化を施した。Figure 4 の A~D が入射ラインのバップルスリット、a,b が磁気チャンネルのバップルスリット、c,d が静電チャンネルのバップルスリットであるが、これらの開口を聞き保護に支障のない範囲で拡張した。例えば Figure 5 の左図で示した入射磁気チャンネルの場合は元々15x15 の開口を 34x30 まで広げている[1,2]。Figure 5 は 12C より重いイオンに対するリングサイクロロ

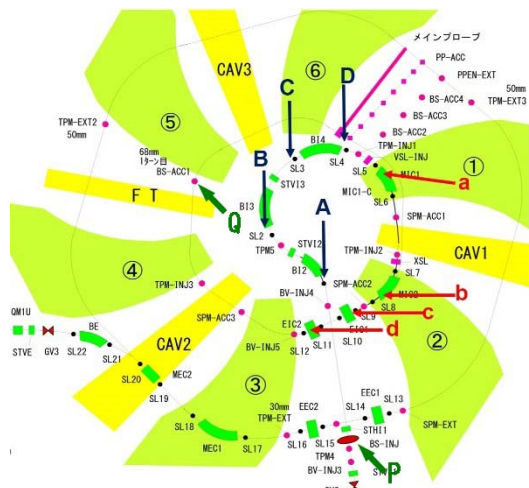


Figure 3: Schematic view of Ring cyclotron. A~D show baffle slit on injection line, a, b show magnetic channels and c, d show electrostatic channels.



Figure 4: Examples of slit enhancements. Left figure shows the enhancement of magnetic channel from 15mmX15mm to 33mmX30mm. And right figure is for slit “B” in Figure 3 from 30mmX24mm to 36mmX30mm.

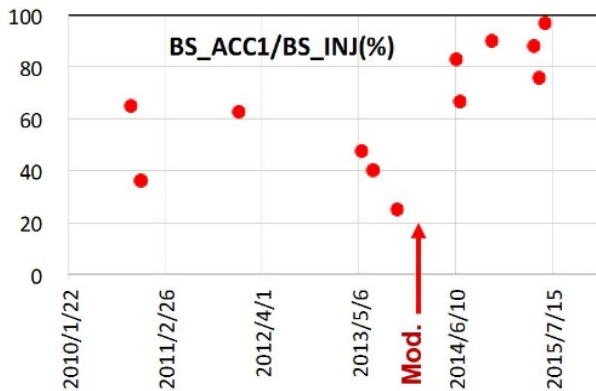


Figure 5: Time series .vs. injection efficiency of ring cyclotron for ions heavier than C. “Mod.” Shows the timing that baffle slit enhancements have been done. Injection efficiency is defined by “(beam current at Q)/(beam current at P)”; P is the component named “BS_INJ” shown in Figure 1 and Q is for “BS_ACC1”.

ンの入射効率の過去5年の推移を示しているが、バップルスリット改造以前は入射効率が25～65%であったのが、改造後は67～97%と大きく改善した。また Figure 3の b で示している静電チャンネル2について、そのコイル電流の最適値は $\sqrt{m/q}$ に対してイオン種によらずほぼ一定の値をとるが、バップルスリット拡張後のこのコイル電流値は拡張前の60%程度と大きく低減した。このことはスリットの拡張により、より最適な軌道でのサイクロロンへの入射が可能となり、その結果入射効率が向上したことを示していると考えられる。今後、軌道解析などにより、このメカニズムについて解明していくとともに、上流側も含めた入射パラメータの再最適化を通してリングサイクロロンへのビーム入射効率の更なる向上を目指していく。

4. まとめ

イオンビーム大強度化を目指して、ビーム輸送系及びサイクロロン入射部においていくつかの改良・開発を行った。AVF サイクロロンについては軸入射部のレーザーレンズの増設、及びバンチャーの増設を行った。また、リングサイクロロンについては入射ラインのバップルスリットの拡張を行った。いずれのコンポーネントもビームの増強に効果的であった。今後これらのコンポーネントの運用の最適化を行い、陽子から重イオンにいたるまで各イオンの更なる大強度化を順次進めていく。

参考文献

- [1] T. Yorita *et al.*, Proc. of HIAT2015, WEPB027 (2015).
- [2] T. Yorita *et al.*, Proc. of PASJ2014, SAP010 (2014).