

# STUDY OF TRANSPORT LINE AND EMITTANCE MONITOR FOR 18GHz SCECR AT RCNP

T. Yorita, K. Hatanaka, M. Fukuda, M. Kibayashi, S. Morinobu, A. Tamii

RCNP, Osaka University

10-1 Mihogaoka, Ibaraki, Osaka 567-0047 Japan

## Abstract

The upgrade program of the AVF cyclotron is in progress at the cyclotron facility of the RCNP, Osaka Univ., in order to improve the quality, stability and intensity of accelerated beams. An 18 GHz superconducting ECRIS has also been installed to increase beam currents and to extend the variety of ions, especially for highly charged heavy ions which can be accelerated by RCNP cyclotrons. The mirror magnetic field is produced with four liquid-helium-free superconducting coils and the permanent magnet hexapole is of Halbach type with 24 pieces of NEOMAX-44H material. The production development of several ion like B, O, N, Ne, Ar, Ni, Kr and Xe has been performed [1,2]. Further study for its beam transport has been done in order to increase the beam current for injection of cyclotron and parameters of electrostatic Triplet Q lens are optimized taking account with magnetic field leakage from AVF. The emittance study also has been done to see the quality of injection beam and two types of emittance monitor has been developed. One is using three wire profile monitor and another has BPM with rotating wire for quick measurement.

## RCNP 18GHz SCECR ビームの輸送系及びエミッタンスモニターの開発

### 1. はじめに

大阪大学核物理研究センター（RCNP）では、AVF サイクロトロン及びリングサイクロトロンでの加速ビームの強度の増強及び加速イオンの多様化を目指し、18GHz 超伝導 ECR イオン源を導入し開発を進めてきた。これまで B, C, O, N, Ne, Kr, Xe などのイオン生成の開発が行われ、既に実験ユーザーにも供給されてきた。更なる加速ビーム増強のため、イオン源出口から AVF サイクロトロン入射までのビーム透過効率の向上が望まれている。

このビーム透過効率について、運転時のパラメータの解析によりビーム輸送系がイオン源設置室階下の AVF サイクロトロンに漏れ磁場に影響されることが明らかとなり、ステアラー導入により、対処を行った。

またビーム輸送を更に詳しく調査するため、入射ビームのエミッタンスと入射効率の相関等の測定が可能となるよう、新規のエミッタンスモニターが設置された。このモニターは 18GHz SCECR のみならず、RCNP の保有する他のイオン源 10GHz NEOMAFIOS、2.45GHz HIPECR のエミッタンス測定も可能なようこれら 3つの ECR の合流点に設置された。(Fig.1 参照)

### 2. ビーム輸送の漏れ磁場の影響

これまでのビーム調整を通して、ビーム輸送が AVF のメインコイルの通電の状態に影響されていることがわかっていった。例えば AVF メインコイル

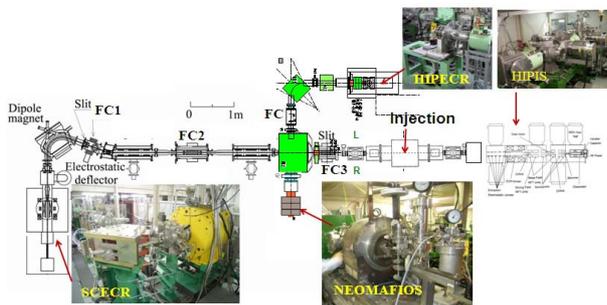


Figure 1: Ion Source Complex:イオン源室はAVFサイクロトロンの上階に設置されている。軸入射周りに3種のECRと1台の偏極イオン源(HIPIC(偏極 p, d), 2.45GHz HIPECR(大強度 p), 10GHz NEOMAFIOS(p~Mg), 18GHz SCECR(重イオン))が設置されている。

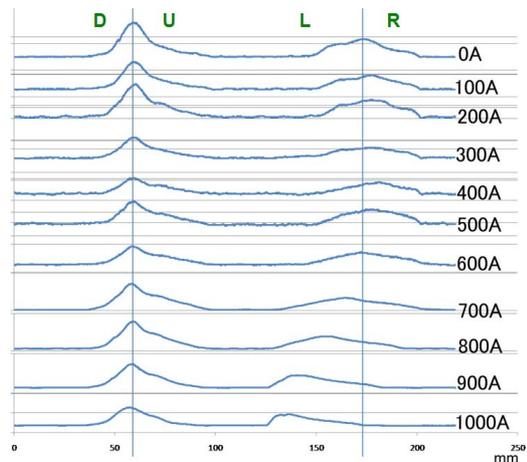


Figure 2: AVF メインコイル電流と SCECR からの Ar11+ビームのキック量の相関。Fig.1 の FC3 直下に設置された BPM で測定。

電流 1000A とき、Fig.1 で示されるファラデーカップ FC2 でのビーム電流は FC1 でのビーム電流の 72%、FC3 は FC1 の 52%であるが、AVF 電流をゼロとした場合それぞれの値が 76%、75%と改善される。この現象は、イオン源設置室階下の AVF サイクロトロン の漏れ磁場の影響であると考えられる。しかしながら、これまで2つの Triplet 静電Q (Fig.1 の TQ1,TQ2) の領域にステアラーが無いいため調整が難しかった。

まず実際漏れ磁場の影響があるのかどうかの確認を行った。FC3 下流に設置されているビームプロファイルモニターBPM82 (詳細は次項参照) により AVF コイル電流と輸送ビーム偏向との相関を測定した。結果は Fig.2 に示す。使用したビームは SCECR で生成した Ar11+で Triplet Q などのパラメータは AVF メインコイル電流 0A での最適地である。その結果、メインコイル 600A 以下では Fig.1 の FC3 近傍に示した R 方向(横方向)に偏向、600A 以上ではL方向に大きく偏向していることがわかった。これは 600A 以上では鉄ヨークの法話に伴う漏れ磁場によりビームが大きく偏向する一方、600A 以下ではフリンジングフィールドの影響により逆方向の影響を受けていると考えられる。また、縦方向については影響がほとんど見られない。この漏れ磁場によるビームの偏向については、バッフル類の焼け焦げ履歴の様子 (約5年の運転分) からも観測される。Fig.3 で示した様に FC2 近傍部分に偏ったビーム痕が見られる。これは TQ 部で偏向したビームを下流によく通るように輸送の調整の最適化がおこなわれていた結果と考えられる。

この漏れ磁場により悪化しているトランスミッション改善のため、まずTQ架台を鉄からSUSに変更することで漏れ磁場の集中を抑制できないかと考え実行した。しかしTQの最適値の変化がみられたものの、トランスミッションそのものは改善しなかった。そこで、ステアラー (ビーム方向ポール長 180mm) を TQ2 直上の位置に導入した。その結果 H+ビームについてメインコイル 260A 環境下で試験したところ、下向き (L側に振る方向) に 1.8~2.2mT の磁場を導入することでトランスミッション改善がみられ、ステアラーが有効であることがわかった。

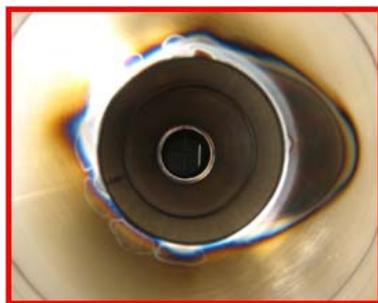


Figure 3: 輸送チェンバー内部のビーム痕 (Fig.1 の FC2 近傍)。

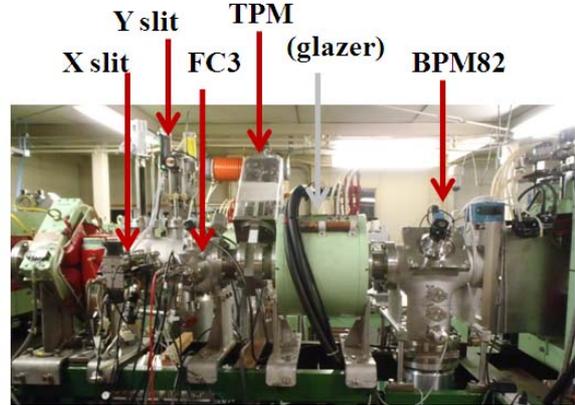


Figure 4: エミッタンスモニターの配置図。BPM82 使用時はグレーザーの電流をゼロとする。

### 3. エミッタンス測定

入射ビームのエミッタンスと入射効率の相関等の測定が可能なよう、そして Fig.1 で示す3種の ECR のエミッタンスを全て測れるよう、合流水平磁石下流(Fig.1 の FC3 周辺)にエミッタンスモニターを導入した。このとき高速測定が可能となる様ワイヤー回転式BPMを採用した。

このワイヤー回転式のプロファイルモニターは National Electrostatics Co. の BPM82 でモリブデンワイヤを 18cps で回転ドライブしワイヤーからの2次粒子をコレクターで受けて信号として取り出すようになっていた。Fig.5 上図に BPM82 によるプロファイルを示す。ここではワイヤー64 回転分の平均である。横軸は時間軸であり回転するワイヤーの位置に対応すし図の数値 1347Ch の時間幅が 118mm の

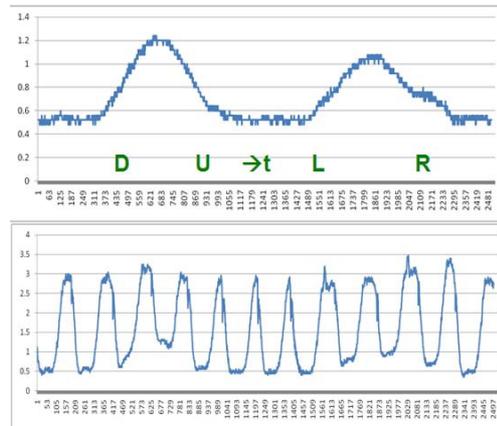


Figure 5: BPM82 によるビームプロファイル。上図：測定を64回平均したもの。左側がyプロファイル、右がx。下図：1回測定(平均化無し)の場合。~4.2ms の時間構造が見られる。

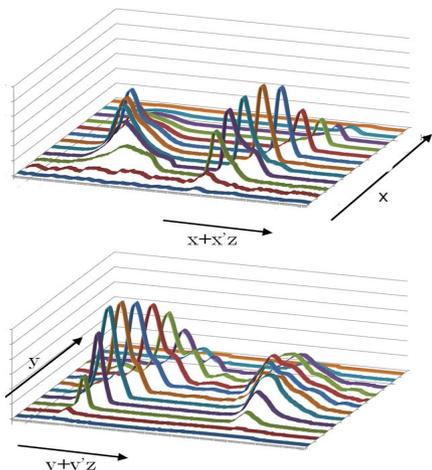


Figure 6: BPM82 による SCECR からの Ar11+ビームエミッタンスの測定の様子。

空間幅に対応する。

この BPM と  $x$ 、 $y$  それぞれのスリットとの組み合わせでエミッタンスを測定する。各コンポーネントの配置図を Fig.4 に示す。このモニターにより、SCECR からの Ar11+ビームのエミッタンスを実測したこの際スリット幅 3mm で 3mm ステップで駆動した。直行スリットは  $\pm 21\text{mm}$  固定である。 $x$  スリットと  $x$  スキャン時のワイヤーとの距離は 1012mm、 $y$  スリットと  $y$  スキャン時ワイヤーとの距離は 1018mm である。測定されたデータの様子は Fig.6 に示したとおりで  $\epsilon_x = 108.8 \pi \text{ mm mrad}(90\%)$ 、 $\epsilon_y = 82.8 \pi \text{ mm mrad}(90\%)$  であった。

この測定に際しいくつかの問題が明らかとなった。まず SCECR からのビームが今回の測定では約 4.2ms 間隔の時間構造を持つことがわかった。この構造は SCECR の運転状況に依存しているようである。Fig.5 下図で示したのが平均をとらずワイヤ 1 回転分のプロファイルデータであるが 18cps での測定では、この 4.2ms の時間構造が見えてしまい、正しいプロファイルの測定が難しくなる。この問題に対しては差し当たり先述のとおり 16~64 回平均で対処した。ただしこれでは 18cps のうまみがなくなってしまふ。また、バップルからの散乱粒子がコレクター電流のベースラインを引き上げてしまう場合がある。これは時間によらず一定であるためエミッタンス解析時引き算を行うことで対処した。データ取得時点でベースラインの効果がでないよう  $x$ 、 $y$  スリットに近い位置に 3 線式 PM (TPM) を導入した (Fig.4 の TPM)。この TPM によるエミッタンスモニターは NEOMAFIOS 等のエミッタンスの大きなビームに対してもデータの取りこぼしが低減される。

TPM でのエミッタンス測定は SCECR からの Ar7+ビームで BPM82 と同時に行った。スリット幅は 3mm、3mm ステップ、直行スリットは  $\pm 20\text{mm}$  固定である。TPM と  $x$ 、 $y$  スリットそれぞれとの距離は 370mm、270mm である。測定の結果 TPM で

のエミッタンスは  $\epsilon_x = 111 \pi \text{ mm mrad}(90\%)$  で BPM82 での測定  $\epsilon_x = 108 \pi \text{ mm mrad}(90\%)$  及び先述の Ar11+ビームの測定とコンシステントな結果が得られた。

#### 4. まとめ

更なる加速ビーム増強のため、イオン源出口から AVF サイクロトロン入射までのビーム透過効率の向上を目指し AVF サイクロトロンに漏れ磁場に影響の調査と対策を行った。この結果、漏れ磁場と輸送ビームの偏向との相関が明らかとなった。対策としてステアラーの追加導入を行い、H+ビームに対して改善が見られた。今後、重イオンについても詳細なテストを行い、透過効率向上の実現を目指す。

また入射ビームのエミッタンスと入射効率の相関等の測定が可能なよう、新規のエミッタンスモニターが設置された。BPM82 および TPM の 2 種類のプロファイルモニターによるエミッタンスモニターであるがどちらもうまく動作した。ただし、当初のもくろみの 18cps での測定がビームの時間構造によりうまくいかないで、今後の取り組みとして、ビームの ECR の条件に依存していると思われる 4.2ms 間隔の時間構造の解明と対処を行い、平均化が不要な 18cps での測定の実現を目指し、最終的には高速スリットとの組合せで速いエミッタンスモニターの実現をめざす。

#### 参考文献

- [1] T. Yorita, et. al, Rev. Sci. Instrum. 79, 02A311 (2008)
- [2] T. Yorita, et. al, Rev. Sci. Instrum. 81, 02A332 (2010)