

# STUDY OF EXTRACTION AND TRANSPORT LINE 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

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 ions like B, O, N, Ne, Ar, Ni, Kr and Xe has been performed. Further studies for the beam extraction and transport have been done in order to increase the beam injected to cyclotron. The new beam extraction system has been developed and some beam test has been done. It is found that extraction electrode applied to minus increases ion beams. Additional steering magnets also have been installed to counteract against the magnetic field leakage from AVF Cyclotron.

## RCNP 18GHzSC-ECR ビームの引出し系及び輸送系の開発

### 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[1]。今回、更なる加速ビーム増強のため、イオン源出口電極構造の大幅な改造を行った。具体的には開口の拡大、及び印加電圧の最適化を行った。また、引出されたイオンビームの 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、漏れ磁場が問題となっているビーム輸送系へのステアリングマグネットの設置などを行った。

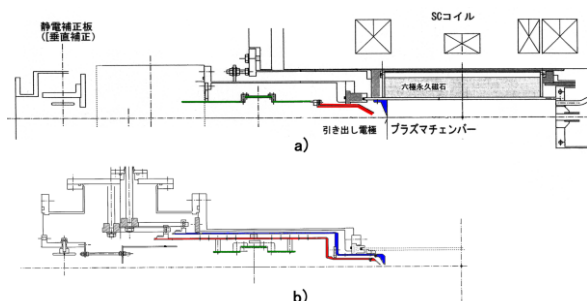


Fig. 1: 今回改造を行った出口電極の構造図。a) が改造前。b) が改造後を示す。いずれの図において、プラズマ電極を青色、引き出し電極を赤色、アインツェルレンズを緑色で示す。

### 2. 引き出し系の開発

#### 2.1 引き出し電極の改造

イオンビーム増強のため、引き出し電極系の改造を行った。改造前の構造を Fig.1 (a)に、改造後の構造を Fig.1(b)に示す。(a), (b)ともプラズマ電極を青色、引き出し電極を赤色、アインツェルレンズを緑色で示している。改造のポイントとしては、まず、プラスに印加されているプラズマ電位に対し、引き出し電極を最大 $-20\text{ kV}$ まで印加可能とした。マイナスに印加された引き出し電位はアインツェルレンズの領域を超え更に下流のバップル部分でグラウンドに戻るようになっている。これにより、引き出しビームの大強度化、低エミッタンス化が期待される。次のポイントとしては、引き出し電位の中に設置されたアインツェルレンズは設置位置に自由度が持たせられている。これにより、アインツェルレンズの最適化が可能になる。最後のポイントとして、プラズマ電極位置、及び引き出し電極位置、双方をビームテストの最中、真空を破ることなしに大気側から変更可能な構造とした。これは、一つは引き出し電極位置の最適化をビーム強度を見ながら調整可能とするためである。また、他方、プラズマ電極を調節可能とすることで、できるだけ条件を変えずに、プラズマチェンバーにおける、ミラー磁場条件、プラズマ電極位置、そして、バイアスディスク位置それぞれのビーム強度に関する相関を詳細に調べることが可能となる。これは即ち、ビーム強度がバイアスディスクの位置及びプラズマ電極位置に依存し、この依存性はプラズマチェンバー内でのRF固有モードが立つ条件でビーム強度最大になることが示唆されており[2]、恐らくは固有モード状態でのRFの腹・節とミラー磁場の共鳴点の位置が強く相関するであろうことが考えられるということ、効率よく

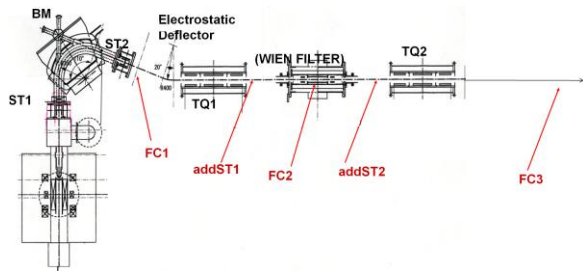


Fig. 2: SC-ECRのビーム輸送系と各コンポーネントの配置図。ST1, ST2 はステアリング、BM は偏向電磁石、TQ1, TQ2 は静電 Triplet Q lens、FC1, FC2, FC3 はファラデーカップ、addST1, addST2 は今回新設したステアリング電磁石である。

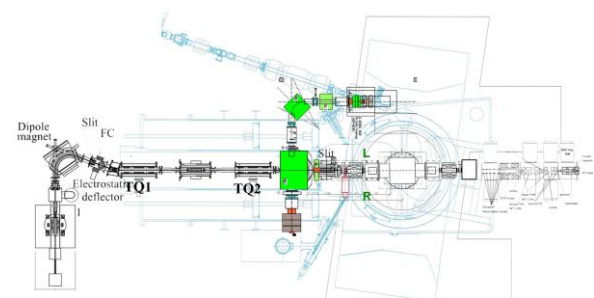


Fig. 3: イオン源ビーム輸送系とAVF電磁石等を上方から重ねてみた様子。イオン源ビームラインとAVFのMedian Planeは6mの高さの差がある。

試験し明らかにしていくことが可能となるのである。

### 3.2 ビームテストと結果

新しい引き出し電極は製作され、設置が完了し、ビームテストが行われた。但し、新しい電極の耐電圧に多少の問題があり、今回実施したテストは引き出し電極を $-6\text{ kV}$ まで印加するところまでである。

20Ne6+で行ったビームテストの結果を、Table 1 に示す。プラズマ電極でのドレンカレントが一定という条件になっている。電極の径は、プラズマ電極、引き出し電極ともに $\phi 10$ 、電極間の距離は $20\text{ mm}$ である。ビーム電流はFig. 2のFC1で示したファラデーカップで測定した。この結果、引き出し電圧をあげるに従いビーム強度が大幅に増加することが分かった。また、Fig. 2のFC3とFC1それぞれの電流の比から求められるビーム透過率も引き出し電圧増強に伴い良くなる可能性が示唆された。これは、引き出し電圧増強に伴うビームの低エミッタンス化による可能性も考えられる。この点については現在FC3 下流側に設置され開発が続けられるエミッタンスモニター[3]による測定などで今後明らかにされていくことが期待される。

Acc kV	Acc mA	Extract kV	Extract mA	FC1( $\mu\text{A}$ )	FC2( $\mu\text{A}$ )	%	FC3( $\mu\text{A}$ )	%
12	1.9	0	0.13	50	38	76	40	80
12	1.9	-2	0.18	82	68	83	73	89
12	1.9	-4	0.24	100	90	90	85	85
12	1.9	-6	0.3	130	115	88	115	88

Table1: Acc kV:加速電圧, Acc mA:ドレンカレント, Extract kV:引き出し電圧, Extract mA:引き出し電極カレント, FC1~3:Fig.2で示した各ファラデーカップ及びそこまでのビーム透過率。これらはAVFメインコイル0Aの条件下での結果である。

## 3. ビーム輸送系の開発

### 3.1 漏れ磁場対策としてのステアリング電磁石

AVFへ入射されるビーム増強のためビーム輸送系の見直しも行った。特にかねてから問題とされてきた、AVFからの漏れ磁場のビーム透過率に対する影響[3]を低減するためビーム輸送ラインにステアリング電磁石を2台設置した。Fig. 3にイオン源のビーム輸送系とAVFのマグネット等を上方から重ねてみた図を示す。イオン源ビームラインとAVFのMedian Planeは6mの高さの差がある。また、Fig. 2のaddST1, addST2で示したのが今回増設したステアリング電磁石である。Fig. 2を見てわかるようにTQ1, TQ2の領域には今回設置したaddST1, addST2を除いてはビーム方向を制御できるコンポーネントが無かったが、今回の設置により、ビームの透過率の向上が期待された。

### 3.2 ビームテストと結果

AVFのメインコイルを励磁して、新設のステアリング電磁石によるビーム透過率の改善が見られるか、ビームテストを行った。結果はTable 2に示した通り。AVFメインコイル電流が最大値に近い1200Aのとき、ステアリングを使わなかった場合

MAINC	Acc kV	Acc mA	Extract kV	Extract mA	FC1( $\mu\text{A}$ )	FC2( $\mu\text{A}$ )	%	FC3( $\mu\text{A}$ )	%	addST1	addST2
1200	12	1.9	-6	0.28	130	90	69	70	54	0.2	0.55
1200	12	1.9	0	—	50	35	70	27	54	0.3	0.41
1200	12	—	0	—	65	30	46	21	32	0	0
600	12	1.5	-4	0.17	77	45	58	42	55	0.17	0.45

Table1: MAINC:AVFメインコイル電流, Acc kV:加速電圧, Acc mA:ドレンカレント, Extract kV:引き出し電圧, Extract mA:引き出し電極カレント, FC1~3:Fig.2で示した各ファラデーカップ及びそこまでのビーム透過率, addST1, 2:新設ステアラー電流(A)。

に比べ使った場合はビーム透過率が改善することが分かった、但し前節でのAVFメインコイル0Aでのビーム透過率80～90%には遠く及ばず、また、引き出し電圧の条件、あるいはメインコイル600Aの場合ともあまり変化の無い結果となった。これらについては、今後、輸送系全体に関して、各コンポーネントの詳細を含んだ漏れ磁場計算や、前節同様のエミッタンス測定など、より包括的な測定、検討、対策が求められる。

#### 4. まとめ

更なるビーム強度の増強を目指して、RCNPの18GHz SC-ECRの引き出し系、及び輸送系の開発を行った。

引き出し系は電極の改造を行った。放電などの問題があるため目下構築途中ではあるが、簡単な引き出し電圧印加テストを行った。その結果、引き出し電圧によってビームが大幅に増強される可能性が示された。

また、輸送系におけるビーム透過率に関して、透過率を悪化させる原因と考えられるAVFメインコイルの漏れ磁場をキャンセルさせるためにステアリング電磁石を2台新設した。これにより、ビーム透過率の向上が見込まれたが、AVF励磁なしの場合の透過率80～90%を達成するためには更に詳細な開発が必要であることが分かった。

#### 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)
- [3] T. Yorita, et. al, Rev. Sci. Instrum. 83, 02A335 (2012)