

# 小型 ECR イオン源でのプレートチューナーによる多価イオンの強度増強実験 PRODUCTION OF HIGHLY CHARGED ION WITH PLATE TUNER AT COMPACT ECR ION SOURCE

村松正幸<sup>#, A)</sup>, 濱田滉太<sup>B)</sup>, 加藤裕史<sup>B)</sup>, 北川敦志<sup>A)</sup>

Masayuki Muramatsu<sup>#, A)</sup>, Kouta Hamada<sup>B)</sup>, Yushi Kato<sup>B)</sup>, Atsushi Kitagawa<sup>A)</sup>

<sup>A)</sup> National Institute of Radiological Sciences, Japan

<sup>B)</sup> Osaka University, Japan

## Abstract

There is a desire that a carbon-ion radiotherapy facility will produce various ion species for fundamental research. Although the present Kei2-type ion sources are dedicated for the carbon-ion production, a future ion source is expected: 1) carbon-ion production for medical use, 2) various ions with a charge-to-mass ratio of 1/3 for the existed linac injector, and 3) low cost for modification. A prototype compact electron cyclotron resonance ion source, named Kei3, based on Kei series has been developed to correspond to produce these various ions at National Institute of Radiological Sciences. The Kei3 has an outer diameter of 280 mm and a length of 1120 mm. The magnetic field is formed by the same permanent magnet as Kei2. We investigated basic performance of the Kei3 source at previous experiment. Maximum beam intensity of  $C^{4+}$ ,  $N^{5+}$ ,  $O^{6+}$  and  $Ne^{7+}$  were 565  $\mu A$ , 185  $\mu A$ , 99  $\mu A$  and 50.5  $\mu A$ , respectively.

In order to increase a beam intensity of heavy ion such as neon, we modify the microwave injection. The rf shield in the plasma chamber was used as a tuner of a microwave. The rf shield was installed at 20 mm upstream from the position of a mirror peak of injection side, and it can move 30 mm to an upstream side from there. As a result, we found optimal position of rf shield for production of highly charged Ne ion.

## 1. はじめに

現在、世界的に粒子線治療施設の建設が予定されている。それらの計画の中では炭素以外のイオンを加速し、研究などに用いることが計画されている。たとえば、 $H_3^+$ ,  $^3He^+$ ,  $^{11}B^{4+}$  のようなイオンを利用する要求がある。これらの要求を達成するために、様々なイオンの供給を行える ECR イオン源 (Kei3) の開発を行なっている。Kei3 は、既存の炭素線がん治療装置用の小型 ECR イオン源と同様の閉じ込め磁場を採用しているため、 $C^{4+}$  に近いイオンを生成することが可能となる。Kei3 ではこれまでに、バイアスディスク法、ガスミキシング法などを用いて、多種イオンの生成試験を行ってきた。これまでに得られた最大のビーム強度は、 $He^{2+}$ :1950  $\mu A$ 、 $C^{4+}$ :565  $\mu A$ 、 $N^{5+}$ :185  $\mu A$ 、 $O^{6+}$ :99  $\mu A$ 、 $Ne^{7+}$ :50  $\mu A$  である。窒素、酸素、ネオンの調整には、ガスミキシング法を使用している。

今回は、プラズマチャンバー上流に設置してある rf シールドを駆動させ、マイクロ波のチューナーとして使用し、Ne の多価イオンのふるまいについて調査した。

## 2. プレートチューナーの組み込み

Figure 1 にイオン源の概略図を示す。マイクロ波が上流側チャンバーに漏れ出さないように、銅製の rf シールドが上流側ミラー磁場のピークから 20 mm 上流の位置に設置されている。今回、その位置から上流側に 30 mm 駆動できるように改造し、プレートチューナーと名付けた。イオン源は、ビーム引出のために高電圧が印加されているため、プレートチューナーはバイアスディスク駆動用のモーターを使用して、外部からの遠隔操作ができる。

<sup>#</sup> muramatsu.masayuki@qst.go.jp

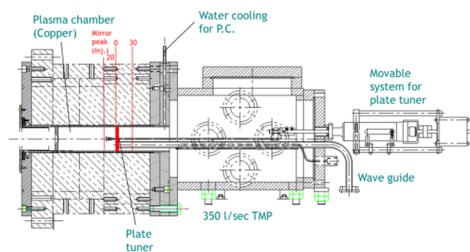


Figure 1: Schematic view of Kei3 source.

## 3. ネオンでのビーム試験

プレートチューナーの効果を確認するために、ネオンでのビーム試験を行った。今回の実験のためにバイアスディスクを取り外したので、多価イオンの生成が困難となった。したがって、7 価でビーム試験を行うのではなく、5 価で行うこととした。Kei3 は閉じ込め磁場が固定のため、進行波管アンプを使用してマイクロ波の周波数を調整パラメータとしている。まず、マイクロ波周波数の依存性を測定し、 $Ne^{5+}$  の電流値が高くなる場所を調べた。次に、その周波数でのプレートチューナーの効果を確認した。

### 3.1 周波数依存性

Figure 2 に  $Ne^{5+}$  のマイクロ波周波数依存性を示す。マイクロ波の周波数を 9.5 から 10.7 GHz まで変化させて、 $Ne^{5+}$  のビーム電流を確認した。ガス流量は  $Ne^{5+}$  が最大になるように調整した。引出電圧は 20 kV である。マイクロ波の出力は 300 W である。プレートチューナーの位置は導波管の先端 (上流側ミラー磁場のピークから 20 mm 上

流)である。マイクロ波の周波数が 9.86, 10.28 GHz のときに、ビーム電流がそれぞれ 120, 121  $\mu\text{A}$  となった。また、10.1 10.2 GHz 付近、10.4 GHz、10.44 GHz 以上ではビームと引出電流は観測されず、プラズマがついていないようであった。この結果から  $\text{Ne}^{5+}$  のビーム電流が多く得られた 9.86, 10.28 GHz でプレートチューナーの位置依存性を確認することとした。

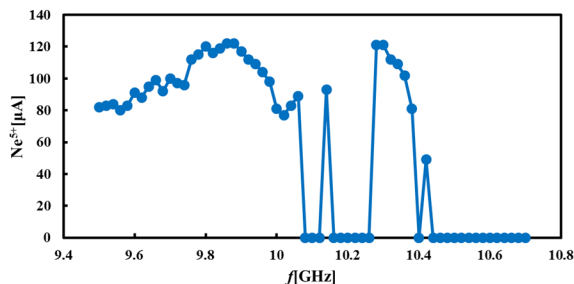


Figure 2: Microwave dependence of  $\text{Ne}^{5+}$  at extraction voltage of 20 kV.

### 3.2 位置依存性

Figure 3 にマイクロ波の周波数が 9.86 GHz のとき、Figure 4 に 10.28 GHz のときの、 $\text{Ne}^{5+}$  ビームのプレートチューナーの位置依存性を示す。イオン源の調整パラメータは、周波数依存性測定のとおりである。9.86, 10.28 GHz ともに、ミラー磁場のピーク (0 mm) の位置で  $\text{Ne}^{5+}$  の電流値が最大となり、プレートチューナーを上流側に移動させたときに、電流値が下がっていった。10.28 GHz のときでは、 $\text{Ne}^{5+}$  の電流値が 130  $\mu\text{A}$  に増えた。プレートチューナーの位置を、少し (0.1 mm 程度) 動かしただけでビーム電流が変化した。また、周波数依存性測定のとおりと同様に、プラズマが消えているような状態があった。これらのことから、プレートチューナーの位置はプラズマに大きな影響を与えていると考えられる。

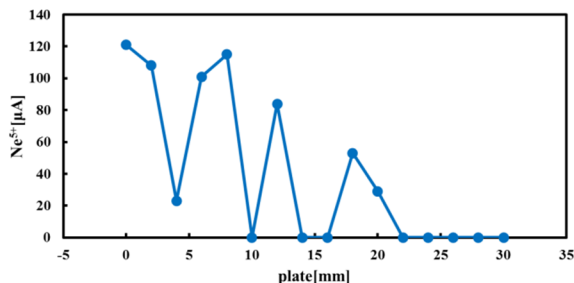


Figure 3: Dependence of tuner position at microwave frequency of 9.86 GHz.

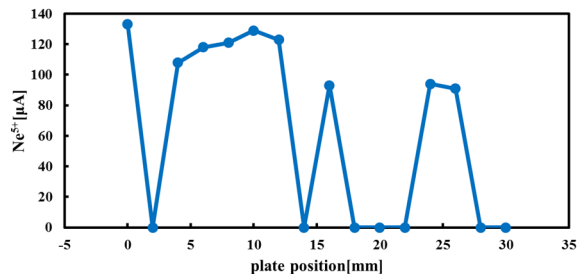


Figure 4: Dependence of tuner position at microwave frequency of 10.28 GHz.

### 3.3 価数分布の比較

マイクロ波の周波数が 10.28 GHz のときで、比較的ビーム電流が高かった、0, 10, 24 mm のところで Ne の価数分布を確認した。Figure 5 に Ne の価数分布を示す。ビーム電流の一番高かった 0 mm のときに、多価イオンが多くなっているのがわかる。また、 $\text{Ne}^{5+}$  の電流値は 145  $\mu\text{A}$  となった。

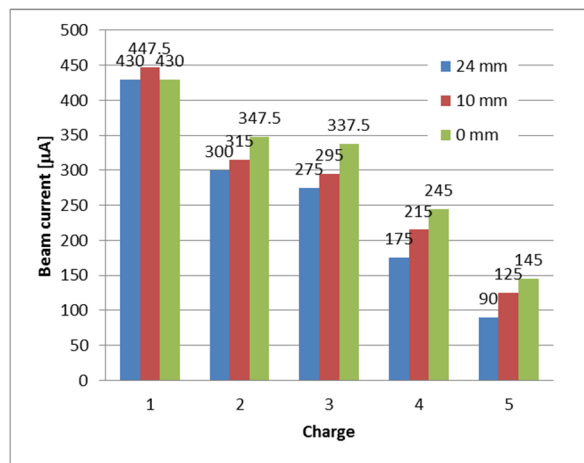


Figure 5: Charge state distribution of neon. Comparison between tuner-positions of 0, 10, 24 mm.

## 4. まとめと今後の予定

プレートチューナーを設置し、ネオンの多価イオンのふるまいを確認した。位置を変えることによって、プラズマに大きな影響を与えることが解った。位置を変えた時の反応がとてもよく、精度の高い位置制御が必要となる。今後は、バイアスディスク、ガスミキシングなどの手法を組み合わせることによって、さらに多価のイオンや、アルゴンの生成試験を行う予定である。