

[P 1–31]

PRESENT STATUS OF THE 2.45GHz ECR ION SOURCE

M.MURAMATSU, S.YAMADA, A.KITAGAWA, Y.SATO, T.MURAKAMI, K.TASHIRO, S.SATO,
 T.FUKUSHIMA*, T.KIMURA*, M.YAMAMOTO*, T.OKADA*, H.MURATA*, H.SAKAMOTO*, Y.HONDA*,
 C.KOBAYASHI*, W.TAKASUGI*, T.YOKOYAMA*, T.FUJIMOTO*, S.SHIBUYA**, T.KAWAMA**,
 T.HATTORI***

National Institute of Radiological Sciences, 4-9-1, Anagawa, Inage-ku, Chiba 263.

*Accelerator Engineering Corporation, 4-9-1, Anagawa, Inage-ku, Chiba 263.

**Sumitomo Heavy Industries Co. Ltd., 5-2, Soubiraki, Niihama, Ehime 792.

***Tokyo Institute of Technology, 2-12-1, Ohokayama, Meguroku, Tokyo 152.

ABSTRACT

A compact 2.45 GHz ECR ion source has been developed at NIRS (National Institute of Radiological Sciences). The source is designed to provide doubly charged carbon ions, aiming the easy maintainance of the source. A set of permanent magnets is adopted to realize a minimum B structure. A size of the ECR zone is very large comparing with the small body of the source. Extraction voltage and beam current are designed to be 30 kV and 300 μ A, respectively. In a pulse operation with a duty factor of 5%, we obtained the total beam current of 2.5 mA with neon gas. Analyzed beam currents are 816 and 45 μ A for Ne⁺, and Ne²⁺, respectively. In this paper, the beam test and the status of the source are reported.

NIRS-HIMAC における 2.45GHz ECR イオン源の現状

1. はじめに

放射線医学総合研究所の重粒子線がん治療装置 HIMAC では、10GHz ECR イオン源 (NIRS-ECR) が供給する炭素ビームによって臨床試行が行われている [1]。NIRS-ECR では、長時間炭素イオンを生成しているとプラズマチェンバーの内壁や、絶縁物等にすずが付着し、半年以上の使用で、絶縁耐圧等の劣化を引き起こす。この問題に対応するために、炭素ビーム専用の小型 ECR イオン源 (軽イオン源) の開発が行われている [2][3]。現在は、Ne ガスを用いた基礎データの収集を行っている。ここでは、ビームテスト及びマイクロ波導入方法の変更について述べる。

2. 軽イオン源の仕様

軽イオン源の断面図を図 1 に示す。軽イオン源は NIRS-ECR と異なり、メンテナンスを容易にするために小型及び軽量を追求したため、プラズマの閉じこめ磁場は永久磁石によって生成

されている。磁石の材質は、住友特殊金属の NEOMAX35H で、ミラー磁場の最大磁場強度は、上流側で 2.2kG、下流側で 1.8kG となっている。マイクロ波の周波数は、3 価以上のイオン生成を目的としていないので 2.45GHz である。マイクロ波源の最大電力は 1.3kW であり、矩形導波管によりプラズマチェンバーの内部に側方向から導入される。マイクロ波源は、パルスと CW の運転が可能である。引出電圧は最大 30kV である。現在までテストを行ってきたイオン種及び最大ビーム強度を表 1 に示す。

表 1. 軽イオン源で得られた最大ビーム強度

Charge state	Beam Intensity (e μ A)					
	He	C(a)	C(b)	N	Ne(a)	Ne(b)
1 ⁺	1700	250	30	260	816	510
2 ⁺	60	17	5	20	40.4	45
3 ⁺	-	-	-	<1	2	2

C(a) CO₂ ガス使用
 C(b) CH₄ ガス使用
 Ne(a) マイクロ波側方向入射
 Ne(b) マイクロ波軸方向入射

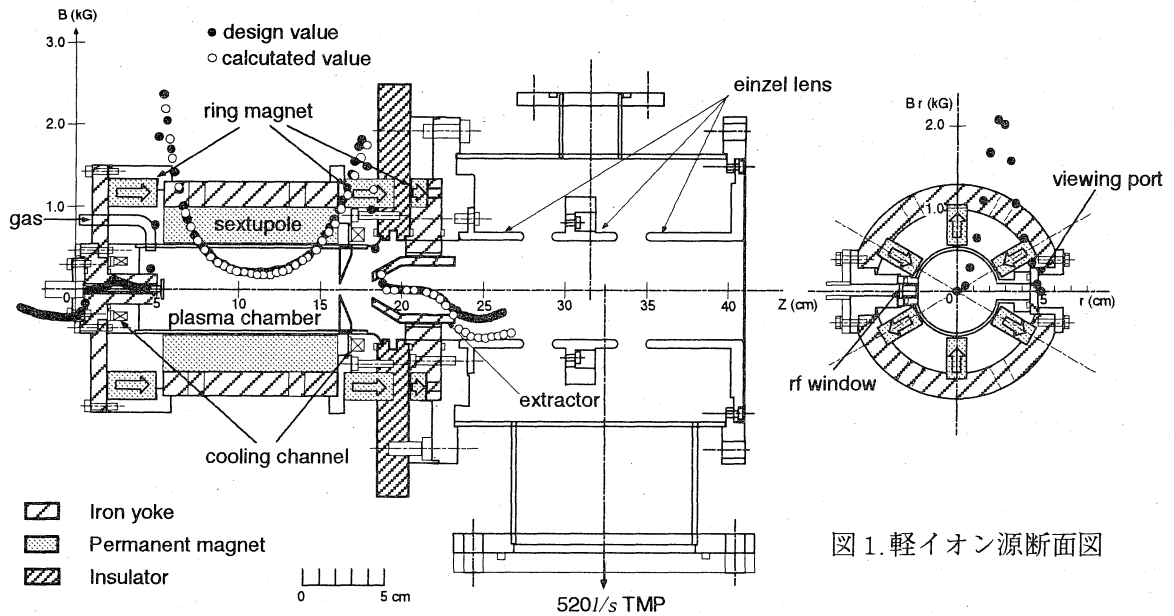


図1. 軽イオン源断面図

3. ビームテスト

軽イオン源では、 C^{2+} は $15e\mu A$ 、 Ne^{2+} は、 $45e\mu A$ と、ビーム強度が当初の目標の1/10程度しか得られていない。多価を生成するには高真空が必要である。軽イオン源では、真空度が約 $3.0E^{-6} Torr$ 以下になるとプラズマが消えてしまうために、ガス流量を増やし $3.0E^{-6} Torr$ 以上の真空度で運転している。高真空でプラズマを保持できない理由に、閉じ込め磁場が最適化されていないこと、マイクロ波がプラズマに吸収されていないことなどが考えられる。そこで今回はマイクロ波導入法の変更や、閉じ込め磁場の最適化により、2価のビームに影響するかを調査するために以下のようなことを測定した。

(1) Ne^{2+} の真空度依存性

まず Ne^{2+} の真空度依存性を見るために、イオン源でプラズマが保持できるぎりぎりの真空度から徐々にガス流量を増やし、真空度依存性を調査した。調査結果のグラフを図2に示す。ガス流量を増やして真空が悪くなるにつれて、 Ne^{2+} の強度が減っているのがわかる。また図3から、 Ne^+ に対する Ne^{2+} の割合が小さくなっていることがわかる。よって、軽イオン源で2価のビーム強度が低い原因は、多価イオンの生成で必要になる高真空のところではプラズマが消えてしまうので、低真空で運転しているためだ

と考えられる。 Ne^{2+} の強度を増やすためには、 $3.0E^{-6} Torr$ 以下の高真空でイオンを生成すれば良いと予想される。

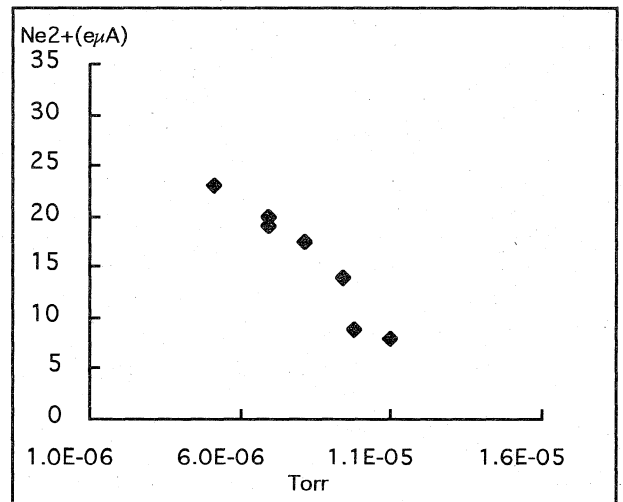


図2. Ne^{2+} の真空度依存性グラフ

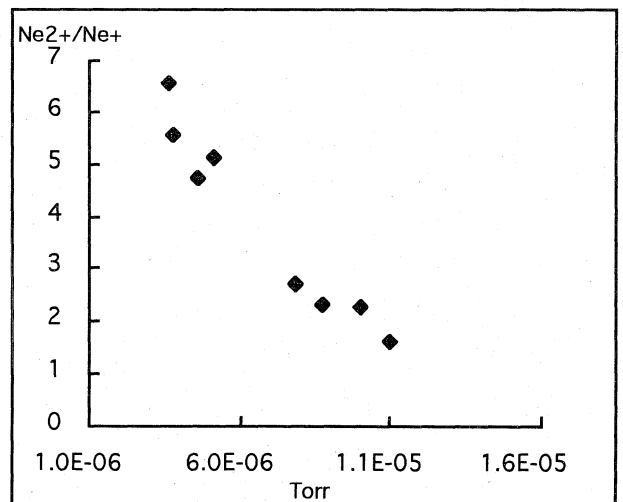


図3. Ne^+ に対する Ne^{2+} の割合の真空度依存性グラフ

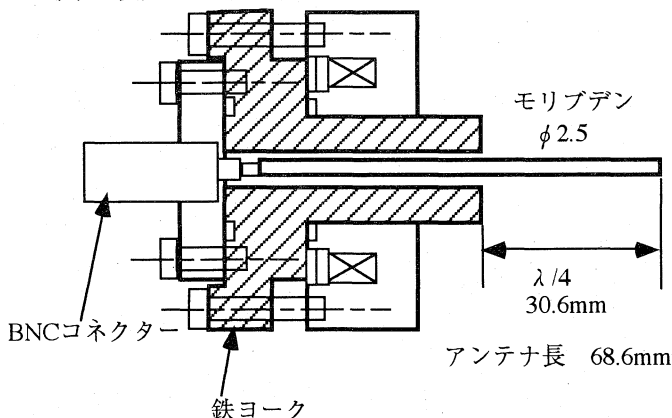
(2) マイクロ波軸方向入射

高真空でプラズマが保持出来ない理由の一つとして、マイクロ波がプラズマに吸収されていないということが挙げられる。軽イオン源では通常側方向からマイクロ波を導入するが、パルス運転又はCWで数100W程度なら同軸ケーブルが使用でき、軸方向からの導入が可能である。今回は1種類のアンテナで試験した。結果は、通常の側方向導入の場合と比べ、低真空で引出電流総量が大きかったにもかかわらず、 Ne^{2+} の強度が大きかった。マイクロ波の側方向入射と軸方向入射の比較したパラメーターを表2に示す。使用したアンテナを図4に示す。しかしアンテナを使用して運転していると、絶縁物が汚れ、マイクロ波が入らなくなるので、アンテナ付近の構造を変える必要がある。

表2. 比較した運転パラメーター

	側方向入射	軸方向入射
イオン源ガス	Ne	Ne
電極間隔 (mm)	4.5	4.5
真空度 (Torr)	$5.0E^{-06}$	$1.0E^{-05}$
マイクロ波 (W)	765.7	795.6
パルス幅 (ms)	10	10
くり返し周波数 (Hz)	5	5
アインツェル電圧 (kV)	9.1	3
アインツェル電流 (mA)	-	-
引出電圧 (kV)	15	15
引出電流 (mA)	2.58	-
FC1 (μA)	1650	2530
分析イオン	Ne^{2+}	Ne^{2+}
FC2 (μA)	40.4	45
分析イオン	Ne^{+}	Ne^{+}
FC2 (μA)	732	524
Ne^{2+}/Ne^{+}	5.52	8.59

図4. 使用したアンテナ



また輸送効率については、引出電極とアノード電極の間隔を変え、電場構造の依存性を調べた結果、電流密度の高い Ne^{+} 等のビームは、電極間隔を狭くし引出電場を強くすると輸送効率が良くなることがわかった。図5。

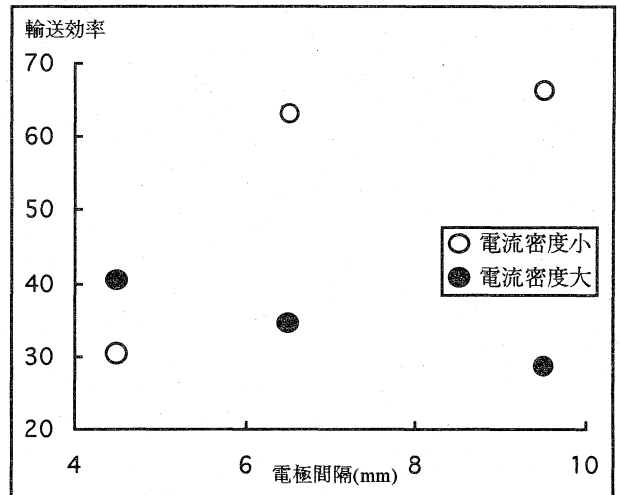


図5. 電極間隔と引出ビームの関係

4. 今後の予定

今後の予定としては、高真空でプラズマを保持できるように以下のようなことを予定している。

- (1) 高真空でプラズマを保持することが出来ないもう一つの理由として、閉じ込め磁場の最適化が十分に行われていないということが考えられる。軽イオン源はECRゾーンを大きくとってあり、電子はエネルギーが高くなると軌道半径が大きくなるので、プラズマチェンバーの内壁に当たることが予想されるので、ECRゾーンが小さくなるように、全体的に磁場を強くする方向で磁場構造の変更を行う予定である。
- (2) マイクロ波の軸方向入射を、いろいろな形及び素材のアンテナを使い、調査する予定である。

参考文献

- [1] 坂本久雄他, HIMAC イオン源の現状, 第21回リニアック技術研究会報告集
- [2] 渋谷真二他, 2.45GHz ECR 軽イオン源の開発, 「多価イオン用 ECR イオン源」研究会報告集, 東大核研 INS-T-534, Dec., 1994
- [3] S. Shibuya *et al.*, Rev. Sci. Instrum. 67, 1171, 1996.