

18GHz ECR チャージブリーダーの開発

小柳津充広^{A)}、鄭 淳讚^{A)}、東條栄喜^{A)}、渡辺 裕^{A)}、石山博恒^{A)}、榎本一志^{A)}、川上宏金^{A)}、片山一郎^{A)}、宮武宇也^{A)}、野村 亨^{A)}、市川進一^{B)}、長 明彦^{B)}、松田 誠^{B)}

^{A)}高エネルギー加速器研究機構 〒305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1

^{B)}日本原子力研究所東海研 〒319-1181 茨城県那珂郡東海村白方白根 2-4

概要

現在、原研東海研のタンデム加速器施設において KEK-JAERI 短寿命核ビーム実験施設の建設が進められている。ここでは JAERI オンライン同位体分離器によって作られた 1 価の短寿命核イオンを多価イオンに変換し後段加速器で再加速する。この荷電変換のため、チャージブリーダーとして、18GHz ECR イオン源を設計、製作した。施設へ組み込む前に、KEK 構内のテストベンチで 1 価の安定核イオンをチャージブリーダーに打ち込み、多価イオンへの変換効率の測定を行った。今までに Ar^{+9} で 13.5%、 Kr^{+12} で 10.4%、 Xe^{+20} で 6.5% の価数増殖効率を得た。

1. はじめに

KEK-JAERI 短寿命核ビーム実験施設[1]ではタンデム加速器からの 30MeV の陽子ビームをウランターゲットに照射してウランの核分裂反応により生成される中性子過剰核[2]を、表面電離イオン源や FEBIAD イオン源等の ISOL イオン源によって電離し、1 価のイオンビームとして取り出す[3]。このイオンを後段加速器で加速し、核子あたり 5~9MeV の短寿命核ビームにするには、1 価のイオンを後段加速器の加速条件に合った多価イオンにしなければならない。我々はこの目的に沿って 18GHz ECR イオン源を専用のチャージブリーダーとして設計製作した[4]。このイオン源を 18GHz ECR チャージブリーダーと呼ぶ。

2. 18GHz ECR チャージブリーダー

この 18GHz ECR チャージブリーダーの断面図を図 1 に示す。建設中の短寿命核ビーム施設で最高エネルギーまで加速可能な短寿命核イオンの質量/電荷 (A/q) は 7 以下である。したがって、この条件を満たすようなイオンを効率よく電離できるように 18GHz、1kW のマイクロ波源を用いる ECR イオン源を製作した。1 価イオンを ECR プラズマ中に入射、捕獲し多価イオンに変換するには、入射イオンをプラズマチャンバーの中で効率よく止める必要がある。イオンがチャンバーの壁にぶつかる前に止まるように、計算シミュレーションからチャンバー内径が $\phi 75\text{mm}$ に決められた[5]。さらに構造上、普通のイオン源と異なり、ビーム引き出し側の反対側に 1 価のイオンを受け入れ、ECR プラズマに効率よく止めるための減速レンズシステムを持っている。入射した 1 価イオンは減速レンズを通り急減速され、ミラーコイルの磁場によって軌道を曲げられ ECR プラズマに入る。減速レンズは 2 重の円筒構造からなっていて、外側の筒がイオン源と同電位になり、内側は接地されており、両電極の間で主に減速される。図 2 に ECR チャージブリーダーの軸上磁場分布と 6 極磁石による径方向磁場分布を示す。ECR ゾーンは 18GHz に対して 0.64T の領域である。左図がミラーコイルによる、典型的な運転状態での軸上磁場を表している。ビーム入射側のピークは $\sim 1.55\text{T}$ で最も磁場が強く、引き出し側は低く設定されている。1 価ビームは図の左側から入り、右から多価

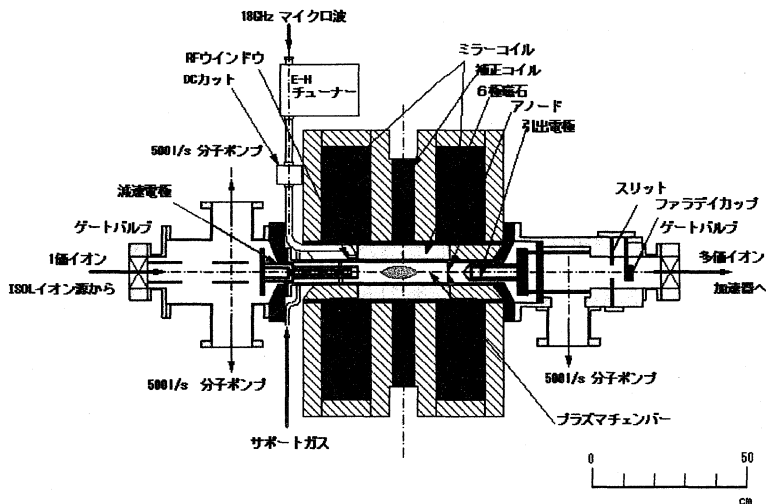


図 1 : KEK 18GHz ECR チャージブリーダー断面図

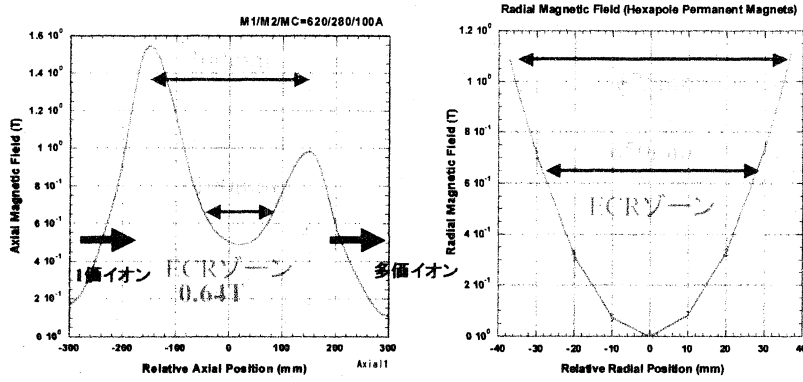


図2： ミラーコイルによる軸上磁場分布（左）と6極磁石による径方向磁場分布（右）

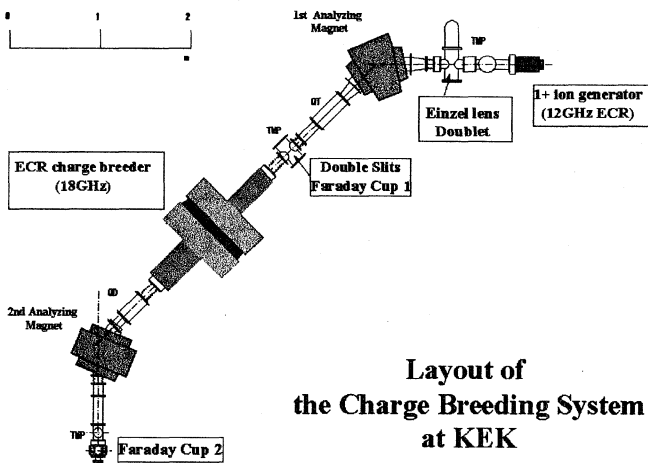


図3： KEK 構内のテストベンチ配置図

イオンビームとして取り出される。ミラーコイル間隔は300mmで、二つのコイルの間にさらに補正コイルを設け軸上磁場を持ち上げられるようにした。右図は6極磁石による径方向磁場分布を表している。ECRゾーンは内壁より12mmのところにある。図からわかるようにこのイオン源のECRゾーンの大きさは約φ50mm x 100mmである。

3. チャージブリーディング実験

KEKにおけるテストベンチの配置を図3に示す。図からわかるように、2組のイオン源と分析磁石からできている。初段の永久磁石型の12GHz ECRイオン源を用いて、短寿命核ビームの代わりに安定核の1価イオンを生成する。アインツェルレンズ、1段目の分析電磁石を用いて目的の1価イオンを分析し、第2段に送る。2段目がテストされるECRチャージブリーダーである。1価のビームはさらに、ダブルスリットを通り入射エミッタンスが決められ(～50πmmrad)、チャージブリーダーに入射される。1価のイオンは12kV+δVで加速され、チャージブリーダーに入る寸前で上記の減速レンズによりほぼゼロエネルギーまで減速されてからECRプラズマに打ちこまれる。イ

オン源とチャージブリーダー間の電位差δVはチャージブリーダーのプラズマポテンシャルの補正電圧で数10Vかけられている。打ち込まれた1価イオンは、多価イオンとなり、ECRチャージブリーダーから12kVの加速電圧で再加速される。入射ビームは1段目の分析電磁石後方のファラデイカップで、多価イオンはシステム最後部にあるファラデイカップで測られる。この1価イオンのビーム強度とチャージブリーダーから引き出されたそれぞれの価数のビーム強度と比べて変換効率を求めた。各々の価数のイオン電流 (particle ampere) の元の1価イオン電流 (particle ampere) に対する割合を価数増殖効率と呼ぶことにする。実際は予め目的とするイオンの価数に合わせてECRチャージブリーダーのパラメータを調節してから1価イオンを打ち込む。打ち込み前後のスペクトルを比較して荷電分布を得る。

4. 実験結果

このようにして、現在までAr, Kr, Xeを1価のイオンとして打ち込み、チャージブリーダーで得られる荷電分布を測定してきた。それぞれの典型的な価数増殖効率を表1に示す。

表1: 価数増殖効率

	質量数	価数	価数増殖効率(%)	RF(W)
Ar	40	9	13.5	350
Kr	84	12	10.4	350
Xe	132	20	6.5	400

価数増殖効率に対する荷電分布の例として、図4にArを、図5にXeを示す。これらの図で各々の価数の価数増殖効率を足すとECRチャージブリーダーは両端が開いているイオン源なので、およそ50%となる。イオンが重くなるに従って価数の分布が広がっていくので、各々の価数に対する価数増殖効率は落ちていく。

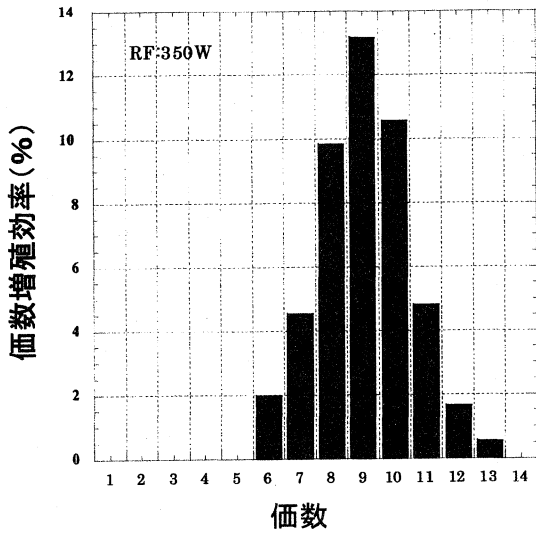


図4 : Ar の価数増殖効率の荷電分布

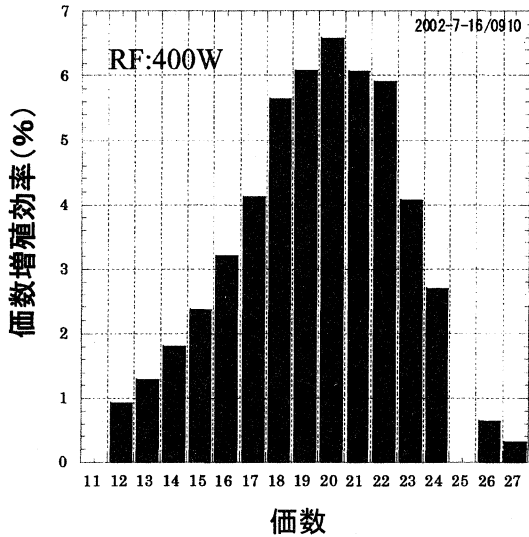


図5: Xe の価数増殖効率の荷電分布

したり、ゲッター材を入れて選択的に残留ガス成分を減らす等残留ガスを減らす努力をしてきた。これまで、価数増殖効率を上げるため、打ち込み実験をしてきたが、この点が今後の課題と思われる。

参考文献

- [1] H. Miyatake, *et al.*, Nucl. Phys. A 701(2002)62c-66c.
- [2] 川上宏金, KEK Report 2003-4, 2003, H/R.
- [3] S. Ichikawa *et al.*, Nucl. Instru and Meth., B204(2003)372.
- [4] M. Oyaizu, *et al.*, 15th International Workshop on ECR Ion Sources, ECRIS'02, June 12-14, 2002, University of Jyväskylä, Finland.
- [5] S. C. Jeong, *et al.*, Rev. Sci. Instr. 73, 2(2002)803.

5. 考察と今後の課題

短寿命核ビーム実験施設専用の ECR チャージブリーダーを設計製作し、イオンの価数増殖効率を測定してきた。これらの実験では 100~500nA 程度のビームを用いて、前節で述べたような結果を得た。しかし、実際に生成される短寿命核は、ビームとしては非常に少ないので (<10⁹ イオン/s)、我々の ECR チャージブリーダーの場合は、A/q の値が 6~7 の間で残留ガスの多価成分が強く現れると目的の短寿命核との分離が困難になる。短寿命核イオンをきれいに分離するには、不純物の少ないプラズマを作り、プラズマチャンバー中の残留ガス成分 (空気、特に C、O、N) をできるだけ少なくすることが重要である。我々はこれまでも、チャンバー内壁の材料や上流側にポンプを増設