

H⁻ acceleration with 930 AVF cyclotron at CYRIC, Tohoku Univ.

T.Endo^{1,A)}, M.Fujita^{A)}, A.Yamazaki^{A)}, T.Shinozuka^{A)}, T.Yokoi^{B)}, S.Kan^{C)}, S.Chiba^{C)}, Y.Ohmiya^{C)},
A.Matsumura^{C)}, N.Takahashi^{C)}, S.Yokokawa^{C)}, T.Honma^{D)}

^{A)} Cyclotron and Radioisotope Center, Tohoku University

Aoba, Aramaki, Aoba-ku, Sendai, 980-8578

^{B)} Tokin Machinery Co.,Ltd.

6-7-1 Kohriyama, Taihaku-ku, Sendai, 982-0003

^{C)} SHI Accelerator Service Ltd.

5-9-11 Kita-Shinagawa, Shinagawa-ku, Tokyo, 141-8686

^{D)} National Institute of Radiological Sciences

4-9-1, Anagawa, Inage-ku, Chiba-shi, 263-8555

Abstract

The preparation of H⁻ acceleration by 930 AVF cyclotron, for multipurpose utilization of neutron beam, is now being implemented at Cyclotron and Radioisotope Center (CYRIC), Tohoku Univ. After some preparations such as negative ion source, magnet field reversing of cyclotron & initial beam line and carbon foil for beam extraction, we started H⁻ acceleration and extraction test. Recently we accomplished extraction of accelerated proton beam with carbon foil electron stripper at 90 percent efficiency.

東北大学930サイクロトロンでのH⁻加速

1. はじめに

東北大CYRICでは1999年に680型から930型へのサイクロトロンの更新が行われたが、その際、300 μ Aの大電流陽子ビームの供給を目的として負イオン加速用のビーム取出しラインが設けられ、サイクロトン内部には負イオン加速の際のビーム取出しに使うフォイルストリッパー装着アームが設けられた。大電流の陽子ビームはイオンガイド法での不安定核探索、熱中性子源、ホウ素中性子捕獲がん治療 (BNCT)等、物理学、工学、薬学、医学等の各研究分野で供給が待たれている。新サイクロトンへの更新後、共同利用と並行して通常陽イオン加速での加速パラメータの最適化を行ってきたが、ほぼこれらが確定したのを受けて負イオン加速の準備が開始された。

2. 930型サイクロトロンとビームライン

図1に930型サイクロトロンとその入射ビームライン及び出射ビームラインを示す。負イオン源と、重イオンを含む陽イオン用の ECR イオン源が地下室に設置されている。イオンビームは入射ビームラインによってサイクロトロンの直下まで輸送され、偏向磁石によって90度振り上げてサイクロトン内に入射される。入射されたビームはサイクロトンのインフレクター電極によって水平方向に偏向され、中心加速

領域に導かれる。サイクロトロンからのビームの取出し方法は陽イオンと負イオンの場合で異なる。陽イオン加速モードでは陽イオンは半径930mmまで加速されてデフレクターを通過して引き出され、陽イオンの取出しラインから後段のビーム輸送系に接続される。一方負イオン加速モードでは負水素イオンは半径750~800mmに置かれたフォイルストリッパー(炭素薄膜)を通過し、電子を剥ぎ取られて陽イオンに変換された後、引き出され、負イオン加速専用の取出しラインでビーム輸送系に接続される。以下負イオン加速モードで使用する要素について簡単に述べる。

2.1 負イオン源

負イオン源にはBLAKE V型イオン源を使用してテストを行っている(BLAKE V型イオン源[1])。このイオン源はカस्प型のイオン源で、負の重イオン用に開発されたものであるが、これを流用しH⁻を引き出している。

2.2 入射ビームライン

入射ビームラインは複数の偏向電磁石とグレーザーレンズ電磁石、ステアリング電磁石から構成されているが、負イオン加速モードでは、(通常陽イオン加速モードに対して)偏向電磁石の磁場極性

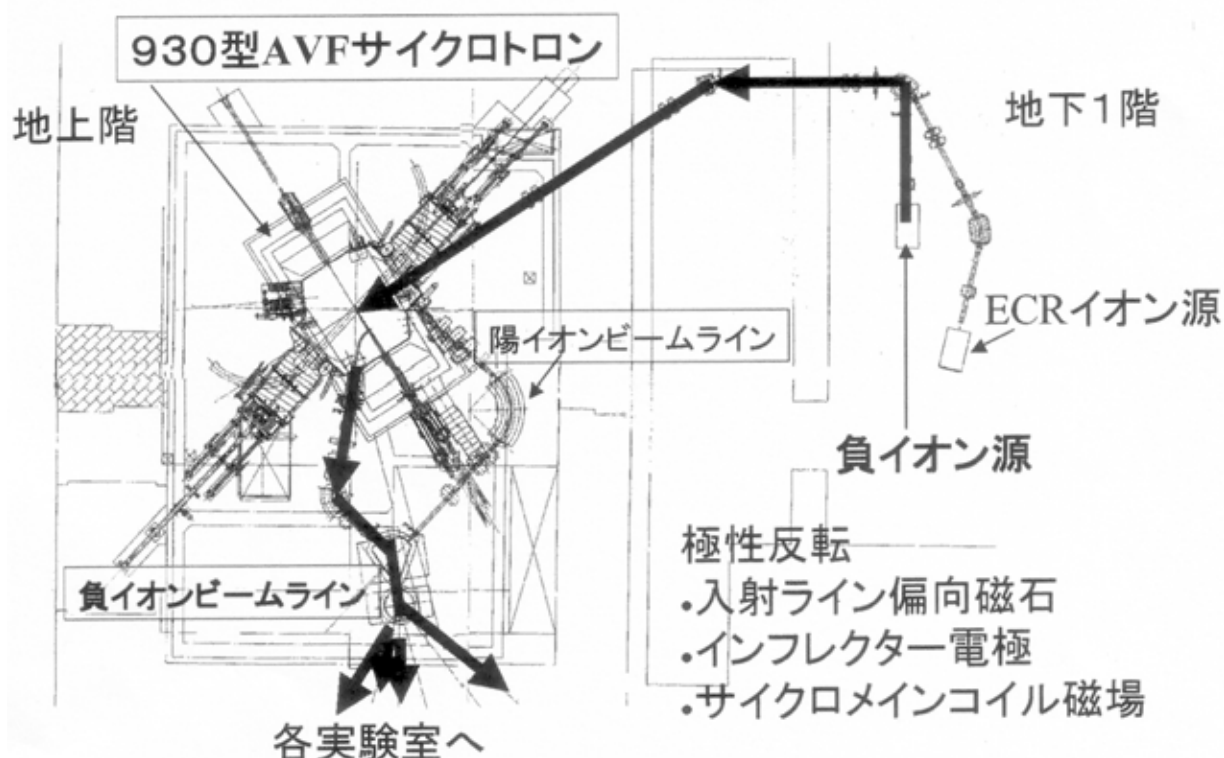


図1: 930型サイクロトロンとビームライン

の反転を行う。

2.3 サイクロトロン内への入射と加速

サイクロトロン内部でビームを水平方向に偏向するインフレクター電極は負イオン加速モードでは印加電圧極性を反転させる。サイクロトロン内のメインコイル磁場は極性を反転させる。負イオンはサイクロトロン内での陽イオン加速の場合と同方向に周回、加速される。

2.3 フォイルストリッパーでの荷電変換と取出し

負イオン加速モードでは半径750~800mmまで加速した負水素イオン(H^-)をフォイルストリッパーと呼ばれる炭素薄膜($50 \mu\text{g}/\text{cm}^2$)を通過させることで電子を剥ぎ取り、陽イオン(H^+)に変換する。陽イオンになったビームはサイクロトロンの磁場から外向きの力を感じて軌道が外部に向き取り出される。陽イオン加速モードの場合、半径930mmでの水素イオンのエネルギーが70MeVとすると、その反転磁場で行う負イオン加速モードの場合は電子の剥ぎ取り位置の半径までの加速になり、ビームのエネルギーは50MeV程度となる。

3 H^- 加速の準備作業の現況

東北大CYRICでは1999年にサイクロトロンを680型から930型に更新した。当初は共同利用に付する為、陽イオン加速のパラメータチューニングが優先して行われたが、2002年に入ってほぼこれが完了し、2002年10月より共同利用と並行しながら、マシンメンテナンスの時間を利用して負イオン加速系の整備を開始した。以下に準備作業の現況について示す。

3.1 負イオン源

負イオン源は、東北大CYRICで他の目的で使われていたBLAKE V型イオン源を流用し、2002年10月よりガス系、各種電源及び、それらのPLCでの制御系の整備を開始した。現況では最初の90度偏向磁石後のファラデーカップで200 μA の H^- ビーム電流値が得られている。今後、引き出し電流増強の為、イオン源内へのセシウム蒸気導入系の整備及び引出電極形状等の最適化、ガス流量やアーク電流、電圧等の最適化が必要になる。電流値5~10mAを目指してチューニング中であるが、到達できない場合も考えて他のイオン源も検討している。

3.2 フォイルストリッパー

もともと930サイクロトロン更新時に設けられたフォイルストリッパーアームには H^- から H^+ への荷電変換を行う炭素薄膜の位置の角度方向の自由度がな

い為、アーム先端の予備フォイル交換用の回転子に250mmの延長腕を装着して、荷電変換点が径方向と、角度方向の2つの自由度を持つように変更した。

3.3 負イオン加速および取出しテスト

Hイオンをサイクロトロンに入射しての負イオン加速および取りだしのテストをサイクロトロンのメンテナンスの時間を利用して行っている。正イオン加速での陽子50MeV、70MeVの場合のパラメータ(磁場は反転)で、Hイオンのサイクロトン内での加速が確認された。図2にサイクロトン内部のメインプローブで計測された電流値を示す。

またフォイルストリッパーでのビームの取り出しテストも行い、通常の陽イオン加速モードのビームラインとの合流点までビーム電流を確認した。この合流点以降のビームラインは陽イオン加速の場合と同じになる。フォイルストリッパーの延長腕の改造によってビームの取出しラインへの入射位置と角度を調整できるようになり、これによって合流点までのビーム輸送が可能となった。

ビーム取り出しの効率はメインプローブで測定される電流値の90%程度が得られている。現在までの

引き出し電流値の最大値は $8.7\mu\text{A}$ であり、今後イオン源のパラメータチューニング、入射ビーム輸送系の効率の改善によって $100\mu\text{A}$ オーダーのビーム電流の取出しをめざす。

4 まとめと今後

$300\mu\text{A}$ の大強度陽子ビーム供給の為のH負イオン加速の準備が進行中である。サイクロトンメインコイル磁場反転をして、Hイオン加速テストを行い、 H^+ 加速の場合の50MeVと70MeVの2つの設定の反転磁場でサイクロトン中でのH⁻の加速を確認した。またフォイルストリッパーを使用したビームの取出しテストを行い90%の効率でビームの取りだしに成功した。現在の最大取出し電流値は $8.7\mu\text{A}$ である。今後、イオン源からの引出し電流の増強および入射系の効率の上昇を図り、 $100\mu\text{A}$ オーダーの加速の実現を目指す。

参考文献

- [1] Y.Mori, Rev. Sci. Instrum., Vol65, N4(1994)1148-1150

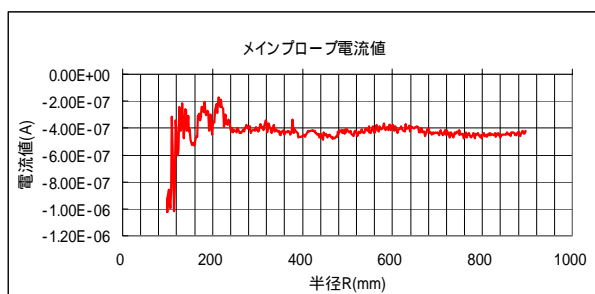


図2：負イオン加速の際、メインプローブで計測されたサイクロ内部でのビーム電流値。メインコイル磁場の設定は H^+ 50MeVの反転磁場。