

東北大930サイクロトロンでのH加速

遠藤卓哉^{A)}、藤田正広^{A)}、山崎明義^{A)}、園田哲^{B)}、宮下裕次^{B)}、横井哲夫^{C)}、
菅志津雄^{D)}、千葉静雄^{D)}、大宮康明^{D)}、高橋直人^{D)}、田中英二^{A)}、篠塚勉^{A)}

^{A)}東北大サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター

^{B)}東北大大学院理学研究科

〒980-8578 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉

^{C)}株式会社トーキンマシナリー 〒982-0003 宮城県仙台市太白区郡山 6-7-1

^{D)}住重加速器サービス株式会社 〒141-8686 東京都品川区北品川 5-9-11

概要

東北大サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター（以下 東北大CYRICと記す）の930サイクロトロンでのH⁻（負水素イオン）加速の準備が進行中である。H⁻加速に必要な準備項目として負イオン源立ち上げ、入射ライン磁場反転、サイクロトロンメインコイル磁場反転、ビーム取出し用フォイルストリッパーの取付、駆動テスト、ビーム取出しラインの整備等の作業、加速テスト等がある。現在進行中のこれらの準備の現況について述べる。

1 イントロダクション

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、サイクロトロ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。新サイクロトロンへの更新後、共同利用と並行して通常の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2002年の10月より開始された。

2 930型サイクロトロンとビームライン

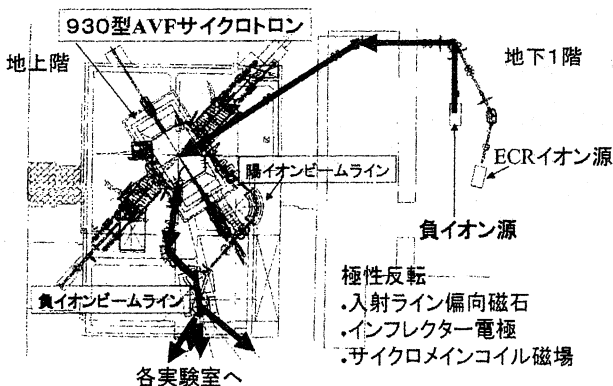


図1: 930型サイクロトロンとビームライン

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ロン内に入射される。入射されたビームはサイクロロン内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680mm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型イオン源[1]）。このイオン源はカスプ型のイオン源で、負の重イオン用に開発されたもので、Cu⁻で5mAの引き出し実績がある。H⁻の引出しで5~10mA程度のビーム電流が得られる事を期待して暫定的に設置された。

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、（通常の陽イオン加速モードに対して）偏向電磁石のみ磁場極性の反転を行う。

2.3 サイクロロン内への入射と加速

サイクロ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。サイクロロン内のメインコイル磁場はやはり極性を反転させる。負イオンはサイクロロン内での

陽イオン加速の場合と同方向に周回する。

2.4 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 680mm 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 ($50 \mu g$) 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内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。陽イオンモード加速の場合 (半径 930mm) の水素イオンの最大エネルギーが 90MeV なのに対して負イオン加速モードの場合は 50MeV となる。

2.5 負イオン加速モード用ビーム取出しライン

負イオン加速モードで使用するビームライン (図 1: 負イオンライン) は運動量収差のない輸送系となっている。

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 $3 \mu A$ 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。期待した電流値 $5 \sim 10 mA$ が得られない場合は他のイオン源を用意する必要がある。

3.2 フォイルストリッパー

2003 年 4 月に取付アームにフォイル (炭素薄膜 $50 \mu g$) 4 枚を装着し、駆動テストを行った。

3.3 磁場反転と RF テスト

2003 年 7 月より、本体磁場反転状態での RF 印加テストを開始し、問題ない事が確認された。

3.4 負イオン加速テスト

2003 年 9 月より H^- イオンをサイクロトロンに入射して負イオン加速のテストを開始した。正イオン加速での陽子 50MeV 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ロン内での加速が確認された。図 2 にサイクロトロン内部のメインプローブで計測された電流値を示す。取出し位置である半径 680mm で電流値が確認された。

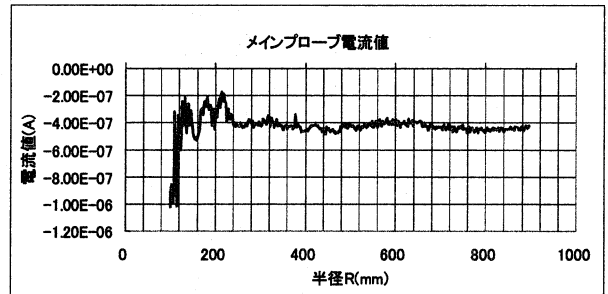


図 2: 負イオン加速の際、メインプローブで計測されたサイクロ内部でのビーム電流値

3.5 負イオン加速用ビーム取出しライン

2003 年 9 月より、未整備であったターボポンプ等が配置された。取出しの際のビーム軌道の修正の為、サイクロトロンの負イオン取出し出口直前にステアリングマグネットの設置が検討されている。

4 まとめと今後の予定

$300 \mu A$ 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。サイクロトロンメインコイル磁場反転状態での RF は安定して立つことが確認された。2003 年 9 月に最初の H^- イオン加速テストを行い、サイクロトロン中で H^- の加速が確認された。次のステップとしては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予定している。これが完了した後は、イオン源からの引出し電流の増強を行い、大電流入射での加速テストに移行する予定である。2004 年 3 月時点での $300 \mu A$ ビーム供給を目指している。

参考文献

- [1] G.D. Alton *et al.*, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A270(1988)194-197