

CHARGE STRIPPERS FOR ACCELERATION OF U BEAM AT RIKEN RIBF

Hiromichi Ryuto^{1,2}, Hiroo Hasebe, Shigeru Yokouchi,
Nobuhisa Fukunishi, Akira Goto, Masayuki Kase, and Yasushige Yano
RIKEN Nishina Center
2-1 Hirosawa, Wako, Saitama 351-0198

Abstract

Two or three stages of charge strippers were utilized to accelerate a uranium beam to 345 MeV/nucleon at the RIKEN RI-beam factory. Charge state fractions of ^{238}U ions behind the charge strippers of various thicknesses are measured at 11, and 51 MeV/nucleon together with previously reported 0.67 and 0.87 MeV/nucleon. Rotating charge strippers were constructed for high intensity beams.

理研RIBFにおけるウラン加速のためのチャージストリッパー

1. はじめに

理研RIビームファクトリー(RIBF)の様な、重イオンを加速する複合加速器施設においては、荷電変換を行う事によって小さな加速器を用いての高エネルギーへの加速が可能になる。したがって、RIBFにおいてチャージストリッパーは重要な要素である。平衡電荷はイオンの速度によって決り、また高いエネルギーで荷電変換するとより高い平衡電荷を持つので、加速器間数箇所にチャージストリッパーを配置し、それぞれのエネルギーに応じた電荷のイオンを次の加速器に入射する事によって、効率の良い加速を行う事が出来る。図1にRIBFの模式図を示す。RIBFは理研重イオンリニアック(RILAC)と4台のリングサイクロトロン—理研リングサイクロトロン

(RRC)、固定周波数リングサイクロトロン(fRC)、中間段リングサイクロトロン(IRC)、超伝導リングサイクロトロン(SRC)—を直列に繋いで周期律表の全領域にわたる重イオンを加速する加速器施設である[1]。チャージストリッパーは前半3台の加速器、RILAC、RRC、fRCの下流側に設置されている。チャージストリッパーに入射するビームエネルギーは、それぞれ0.67、11、51 MeV/nucleonである。

このたびRIBFが完成し、2回または3回の荷電変換を行い、ウランビームを345 MeV/nucleonまで加速した。RIBFでは3台のリングサイクロトロンが新設されたが、これらの設計にあたってはチャージストリッパーで得られる電荷と必要なチャージストリッパーの厚さの予想値が必要であった。ところがRIBFで加速が予定されていた典型的なイオンであ

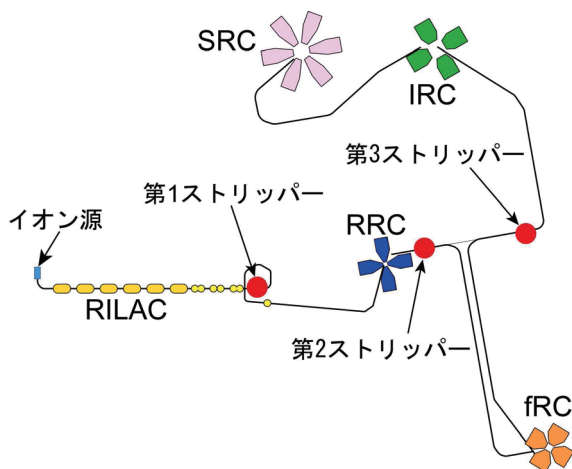


図1: 理研RIBFの模式図。加速器とチャージストリッパーの配置を示す。

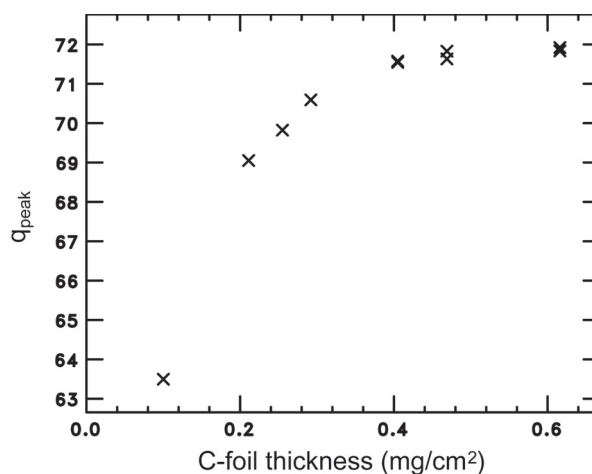


図2: 11 MeV/nucleonにおける ^{238}U の荷電分布のピークの膜厚依存性。横軸はC膜の厚さ、縦軸は荷電分布のピークのチャージステートを示す。

¹ E-mail: ryuto@riken.jp

² Formerly, H. Akiyoshi.

るウランの荷電分布と必要なチャージストリッパーの厚さに関するデータは不足していた。特にfRCとIRCの間に設置される第3ストリッパーに入射するエネルギーにおいては理論計算のみを指標とせざるを得なかった。理論計算の妥当性については、ウランよりも軽いイオンを用いて、第3ストリッパーのエネルギー領域における測定を行い、計算値を測定値と比較する事により調査した。その結果、軽いイオンにおいては平衡領域において理論計算が実験値を良く再現する事を確認した[2]。今回ウランビームを加速するにあたり、それぞれのチャージストリッパーに入射するエネルギーにおいて種々の厚さの炭素膜による荷電分布を測定したので、その測定結果について報告する。さらに今後のビーム強度増強にむけて開発中の回転ストリッパーについても報告する。

2. 第1ストリッパー

第1ストリッパーはRILACとRRCの間に設置されている。イオン源から十分な量の $^{238}\text{U}^{35+}$ イオンが得られなかった初期に、イオン源から取り出された14+からRRCで加速可能な最小の電荷である35+への荷電変換に使用された。荷電分布については報告済みである[3]。炭素膜によるエネルギーロス分のエネルギーはRILACの調整によって補われた。

3. 第2ストリッパー

第2ストリッパーはRRCとfRCの間に設置されている。第2ストリッパーの目的はRRCを用いて11 MeV/nucleonまで加速したビームをfRCで加速可能な電荷まで荷電変換する事である。RIBFの設計段階においては厚さ 0.5 mg/cm^2 の炭素膜を用いて72+への荷電変換を予定していた[2]。ウランビームの加速に際しては、当初、 0.5 mg/cm^2 よりも厚い膜を使用することが可能な様にfRCの入射エネルギーが余裕を

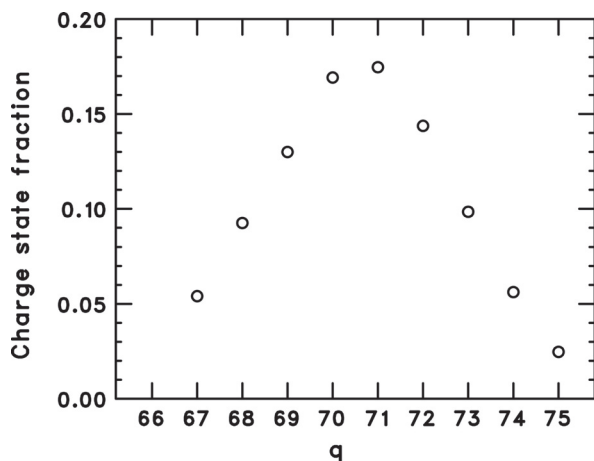


図3: 11 MeV/nucleonにおける 0.3 mg/cm^2 のC膜による ^{238}U の荷電分布。横軸はチャージステート、縦軸は割合を示す。

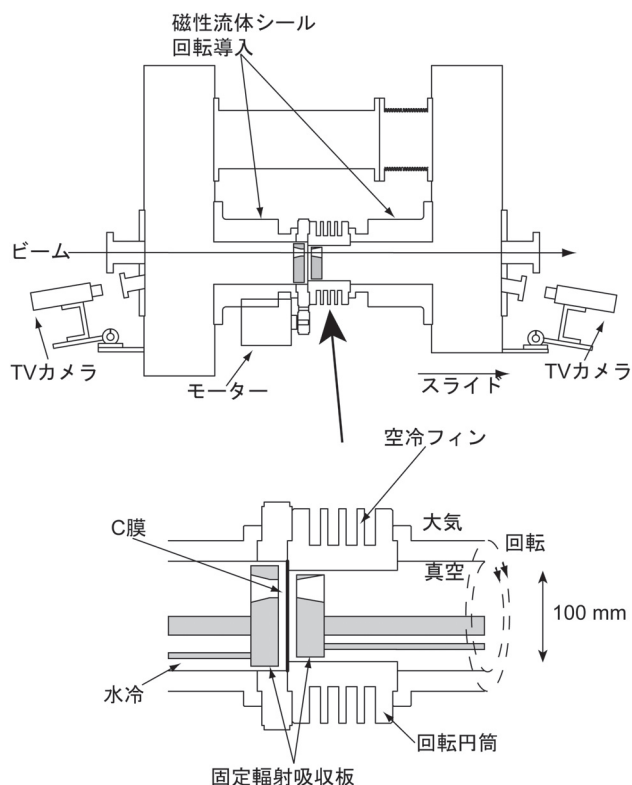


図4: 回転円筒ストリッパーの模式図。全体図と炭素膜付近の拡大図を示す。

持って低めに設計されていたため、予定よりも2割厚い 0.6 mg/cm^2 の炭素膜を用いて荷電変換を行った。ところが、炭素膜によるエネルギー広がりエネルギーストラグリングの計算値から予測された量よりも大きかったので、厚さ 0.3 mg/cm^2 の炭素膜を用いてfRCで加速可能な最小の電荷である71+を得る方針に変更した。図2に荷電分布のピーク位置の膜厚依存性を、図3に厚さ 0.3 mg/cm^2 の膜による荷電分布を示す。

ビーム量増強に向けて回転円筒ストリッパーを製作した[4]。図4に回転円筒ストリッパーの模式図を示す。炭素膜は内径100 mm、長さ120 mmのアルミ製の円筒の一端に貼り付けられる[5]。円筒の外側には空冷用のフィンが設けられている。円筒の両端は中空の磁性流体シール回転導入器に接続され、回転導入器はそれぞれ角型真空槽の側面に設置されている。ビームは円筒と回転導入器の内側すなわち真空側を通過し、中程に設置された炭素膜を通過し荷電変換される。炭素膜上のビームスポットと回転軸の距離は30 mmである。円筒は大気中に置かれたモーターで最大1000 rpmの回転数で回転させられる。回転する膜の近くには、固定され回転しない、膜からの熱輻射を受けるための水冷された板が設置されている。この水冷された板の表面には放射率を増すためにアルミナが溶射されている。膜が圧力差によって破れることを防止するために、角型真空槽は直径165 mmのダクトで接続されている。現在のところ

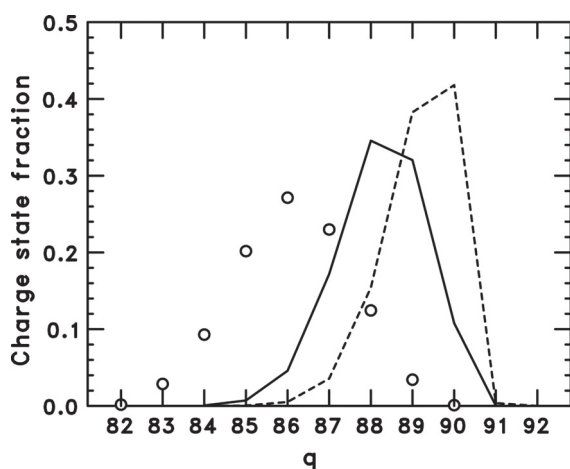


図5: 51 MeV/nucleonにおける厚さ14 mg/cm²の炭素膜による²³⁸Uの荷電分布。横軸はチャージステート、縦軸は割合を示す。丸はデータ、実線はGLOBAL計算、破線はETACHA計算を示す。

膜の交換に40分程度の時間がかかり、膜交換手順の単純化が課題となっている。厚さ0.5 mg/cm²の膜を500 rpmで回転し、膜に損傷が無いことを確認した。

4. 第3ストリッパー

第3ストリッパーはfRCとIRCの間に設置されている。fRCで51 MeV/nucleonまで加速されたビームが、第3ストリッパーを用いてIRC及びSRCで加速可能な電荷まで荷電変換され、同時にIRCの入射エネルギーまで減速される。RIBFの設計段階では適当なデータが見つからなかったため、計算コードGLOBAL [6]を用いて膜厚と荷電分布を見積った。その結果、厚さ14 mg/cm²の炭素膜を用いて88+に荷電変換する計画になり、設計が行われた。図5に51 MeV/nucleonにおける厚さ14 mg/cm²の炭素膜によるウランの荷電分布を示す。測定値と共にGLOBAL計算とETACHA計算[7]を示す。図から明らかなように計算値の荷電分布のピークはチャージステートの高い側にずれている。図5の測定値から分かる様に荷電分布のピークは86+であったので、IRC及びSRCでは86+を加速することにした。厚さ4 mg/cm²から17 mg/cm²の炭素膜による荷電分布を測定した結果、10 mg/cm²でほぼ平衡に達していることが分かったが、fRCの取り出しエネルギーが余裕を持って高めに設計されていたため、IRCの入射エネルギーまで減速するために、エネルギー調整器の機能を持った膜交換機[8]を用いて14 mg/cm²の膜を33°傾け、有効厚17 mg/cm²の膜で荷電変換することになった。

ビーム強度が増大すると、ストリッパーへの大きな入熱が予想される。これに対処するために開発した回転円板ストリッパー[3,4]をビームラインに設置した。第3ストリッパーはRRCによる加速の後fRCを用いず、直接IRCで加速する際の荷電変換にも用い

られる。

4. まとめ

2回または3回の荷電変換を行う事により、ウランビームを345 MeV/nucleonまで加速した。それぞれのストリッパーで得られる荷電分布の膜厚依存性を測定し、膜厚と選択するチャージステートを決定した。ビーム強度の増大に備えて回転ストリッパーを開発している。

参考文献

- [1] Y. Yano, Nucl. Instr. and Meth. B 261, 1009 (2007).
- [2] H. Ryuto, N. Fukunishi, H. Hasebe, N. Inabe, S. Yokouchi, O. Kamigaito, A. Goto, M. Kase, and Y. Yano, Proc. 2005 Particle Accelerator Conference, Knoxville, USA, 2005, p. 3751.
- [3] H. Ryuto, H. Hasebe, N. Fukunishi, A. Goto, M. Kase, and Y. Yano, Proc. the 3rd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan and the 31st Linear Accelerator Meeting in Japan, Sendai, 2006, p. 618.
- [4] H. Ryuto, H. Hasebe, N. Fukunishi, S. Yokouchi, A. Goto, M. Kase, Y. Yano, Nucl. Instr. and Meth. A 569, 697 (2006).
- [5] H. Hasebe et al., in this proceedings.
- [6] C. Scheidenberger, Th. Stöhlker, W.E. Meyerhof, H. Geissel, P.H. Mokler and B. Blank, Nucl. Instr. and Meth. B 142, 441 (1998).
- [7] J. P. Rozet, C. Stéphan, D. Vernhet, Nucl. Instr. and Meth. B 107, 67 (1996).
- [8] H. Ryuto, H. Hasebe, N. Fukunishi, T. Abe, A. Goto, M. Kase, Y. Yano, accepted for publication in Nucl. Instr. and Meth. A.