

## CHARGE STRIPPERS FOR U BEAM ACCELERATION AT RIBF

Hiromichi Ryuto<sup>1,2</sup>, Hiroo Hasebe, Nobuhisa Fukunishi, Akira Goto, Masayuki Kase, and Yasushige Yano

Nishina Center for Accelerator-Based Science, RIKEN

2-1 Hirosawa, Wako, Saitama 351-0198, Japan

### Abstract

At the RIKEN RI-beam factory (RIBF), we are aiming at the acceleration of high intensity uranium beam using four cyclotrons, linacs, and charge strippers. It is planned that uranium ions are charge-stripped by three charge strippers placed upstream of the first, second, and third cyclotrons. The charge-stripping scheme of the uranium beam is described. A uranium beam was accelerated using existing accelerators. The charge state fractions of uranium ions were measured at 0.67, 0.87, and 11 MeV/nucleon. The results of the measurements are presented. The result of the beam test of a rotating charge stripper using argon beam is also presented.

### RIBFにおけるU加速のためのチャージストリッパーの開発状況

#### 1. はじめに

理化学研究所RIビームファクトリー(RIBF)は5台のサイクロトロンと線形加速器からなる加速器複合体である。5台のサイクロトロンの内2台は既存で、3台の工事が最終段階に入っている。RIBFでは4箇所に設置されるチャージストリッパーを用いて水素からウランに至る全領域に亘るビームを加速する予定だ<sup>[1]</sup>。これらのビームの内、Uビーム加速に関して議論する。

図1にRIBFを構成する加速器とチャージストリッパーの配置図を示す。イオン源から出たUビームは理研重イオンリニアック(RILAC)で加速された後、Charge state multiplier (CSM)の加速部と減速部の間に設置された第1ストリッパーで荷電変換される。CSMは高い平衡電荷を得る為に荷電変換の前に加速し、CSMを使用しない場合よりも高いエネルギーで

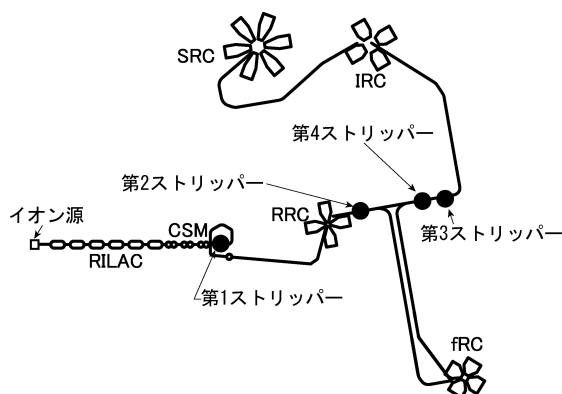


図1: RIBFにおける加速器とチャージストリッパーの配置図。

荷電変換し、さらに理研リングサイクロトロン(RRC)の入射エネルギーまで減速する装置だ<sup>[2]</sup>。荷電変換の後ビームはRRCまで輸送され加速される。以上が既存加速器だ。RRCから取り出されたビームは第2ストリッパーで荷電変換され、固定周波数リングサイクロトロン(fRC)に入射される。fRCで加速されたビームはさらに第3ストリッパーで荷電変換され、中間段リングサイクロトロン(IRC)に輸送される。この後ビームはIRCと超伝導リングサイクロトロン(SRC)で加速され、実験室に導かれる。第3ストリッパーに隣接して第4ストリッパーが設置されるが、これはRRCによる加速の後fRCを用いずに直接IRCに入射される場合に用いられる。

#### 2. U加速のパラメーター

表1にUビーム加速の際に用いられる予定のチャージストリッパーに関する諸量を示す。U以外のイオンを加速する場合のパラメーターに関しては文献4を参照されたい。Uビームを加速する際には第1、第2及び第3ストリッパーを使用する予定だ。この内第1ストリッパーは将来イオン源から十分な量の<sup>238</sup>U<sup>35+</sup>が得られるようになるまで使用される。

表1: U加速に使用するチャージストリッパーに関する諸量。中括弧内はCSM使用時の値。第3ストリッパーに関する量は計算値<sup>[3]</sup>。

エネルギー (MeV/nucleon)	0.68{0.9}	11	51
使用ストリッパー	1	2	3
電荷	35+	73+	88+
厚さ (mg/cm <sup>2</sup> )	0.02	0.5	14
割合	11%{16%}	19%	34%

<sup>1</sup> E-mail: [ryuto@riken.jp](mailto:ryuto@riken.jp).

<sup>2</sup> Formerly, H. Akiyoshi.

イオン源から引き出された $^{238}\text{U}^{14+}$ イオンはRILACで0.68 MeV/nucleonまで加速される。RILACで加速された後 $^{238}\text{U}^{14+}$ イオンは第1ストリッパーによって35+に変換される。第1ストリッパーには厚さ0.02 mg/cm<sup>2</sup>の炭素薄膜が用いられる。後に示す測定値に見られる様に35+はこのエネルギーにおけるUの平衡電荷では無いが、CSMを使用し0.9 MeV/nucleonで荷電変換すると35+の割合は16%まで向上する。次にUビームはRRCで11 MeV/nucleonまで加速され、第2ストリッパーで73+に変換される。第2ストリッパーには厚さ0.5 mg/cm<sup>2</sup>の炭素薄膜を用いる予定だ。炭素薄膜の寿命向上の為に回転膜ストリッパーを開発している。荷電変換されたビームは次にfRCで51 MeV/nucleonまで加速され、第3ストリッパーで88+に変換される予定だ。第3ストリッパーには厚さ14 mg/cm<sup>2</sup>の炭素膜を用いる予定だ。Uビームは運動エネルギーの約1割を第3ストリッパーに与えるので、この入熱に対処する為に回転ストリッパーを開発している。

### 3. 荷電分布測定

上で述べた手順で既存の加速器RILACとRRCを用いてUビームを加速し、荷電分布を測定した。図2に0.67及び0.87 MeV/nucleonのUビームを厚さ0.02 mg/cm<sup>2</sup>の炭素薄膜で荷電変換した時の荷電分布の測定結果を示す。後者はCSMを使用する場合のエネルギーに対応する。前者の場合は33+で荷電分布の最大値をとり、35+の割合は11%だった。一方後者は35+で荷電分布の最大値をとり、その割合は16%だった。この様にCSMを用いると1.5倍の量の $^{238}\text{U}^{35+}$ ビームを下流に送る事が出来る。同様に11 MeV/nucleonにおける荷電分布の測定結果を図3に示す。炭素薄膜の厚さは0.47 mg/cm<sup>2</sup>だ。荷電分布は72+で最大値を取り、73+の割合は19%だった。

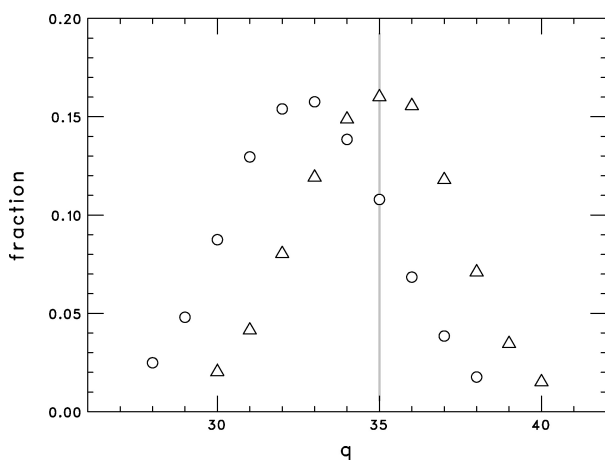


図 2: 0.67 MeV/nucleon(丸)及び0.87 MeV/nucleon(三角)におけるUビームの荷電分布。横軸はチャージステート、縦軸はその割合と示す。

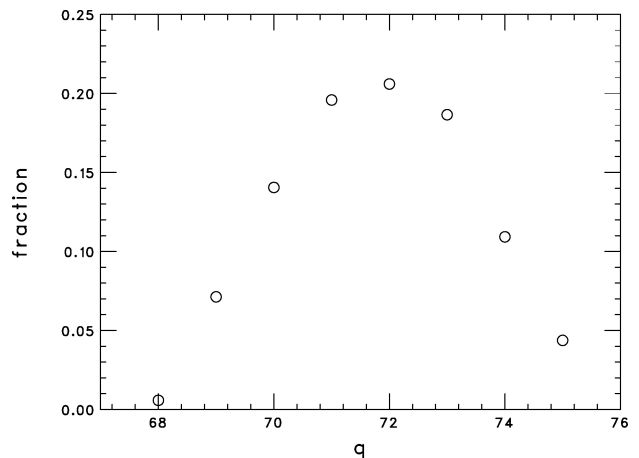


図3: 11 MeV/nucleonにおけるUビームの荷電分布。横軸と縦軸は図3と同様。

### 4. 回転ストリッパーの開発状況

第3ストリッパーとして用いる予定の回転ストリッパーの模式図を図4に示す。真空槽内にある直径120 mmの炭素円板が真空槽外に設置されたACサーボモーターによって回転させられる。回転速度は最大で3000 rpmである。ビームは円板の周辺部に入射する。炭素円板の下流に可動のビームビューアーが設置されている。詳しくは文献4を参照されたい。

RILAC、CSM及びRRCを用いて加速された63 MeV/nucleon、0.75 μAのArビームを用いて、回転ストリッパーのビーム試験を行った。Arビームを1000 rpmで回転する厚さ12 mg/cm<sup>2</sup>の炭素円板に照射し、ビームスポット付近の温度分布を熱画像装置を用いて測定した。ビームビューアーを用いて測定したビームの形状は直径約8 mmの円形であった。熱

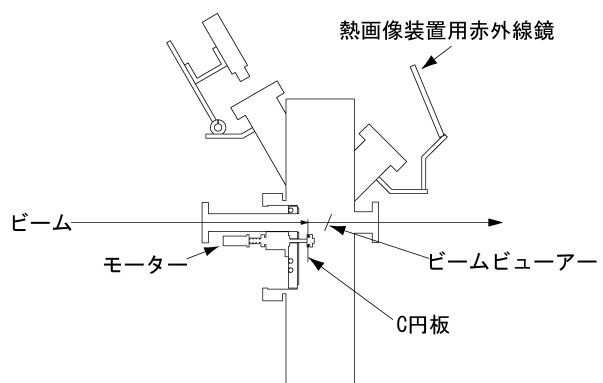


図4: 第3ストリッパーとして用いる回転ストリッパーの模式図。

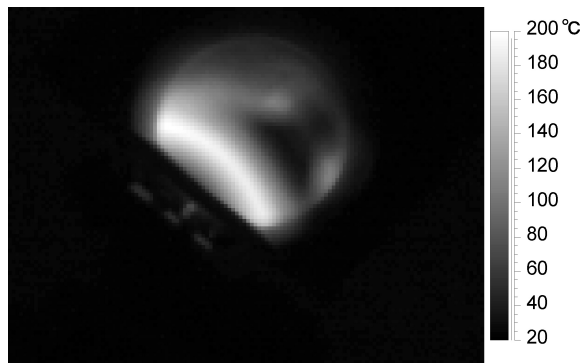


図5: 熱画像装置によるC円板の温度分布測定結果。明るい部分が高温部を示す。

画像装置は放射線による損傷を防ぐために装置から離して設置し、7度望遠レンズと赤外線ミラーを用いて測定した。ビューポートにはBaF<sub>2</sub>を用いた。BaF<sub>2</sub>ビューポートと望遠レンズの透過効率は熱画像装置のメーカーによって測定され、100°Cにおいて0.80だった<sup>[5]</sup>。熱画像装置のメーカーによる赤外線ミラーの反射率は0.95だった。BaF<sub>2</sub>ビューポートと熱画像装置の距離は約4.5 mだった。炭素円板の放射率は、熱画像装置を用いた測定温度が熱電対表面温度計の測定値に一致するように決めた。炭素円板の140°Cにおける放射率は0.65だった。図5に熱画像装置を用いて測定した温度分布を示す。図の右端に示した通り明るい部分が高温部を示す。ビューポートの形状が丸く仄明るく見えている。この丸の左下は赤外線ミラーの縁から食み出して欠けている。明るい丸い帯が回転する高温部を示している。ビームスポットはほぼ図の中央に位置する。明るい丸い帯上の温度は191±5°Cであった。Arビーム照射によって円板は損傷しなかった。

回転円板の温度分布についてのANSYS<sup>[6]</sup>計算を文献7と同様の方法で行った。1000 rpmで回転する炭素円板に63 MeV/nucleon、0.75 μAのArビームを20秒間照射した場合の最高温度の計算値は218°Cだった。これは測定値よりも14%大きい。一方、14 mg/cm<sup>2</sup>のC円板に目標とする条件である51 MeV/nucleon、3 μAの<sup>238</sup>Uビームを照射したときの最高温度の計算値は1512°Cで、炭素の融点よりも十分低かった。

## 5. まとめ

理化学研究所RIBFにおける大強度<sup>238</sup>Uビーム加速のためにチャージストリッパの開発を行っている。RIBFの前半部分にあたる既存の加速器施設においてUビームの加速を初めて行い、荷電分布を測定した。大強度ビームに対応するために回転

ストリッパを開発している。第3ストリッパとして使用予定の回転ストリッパのビーム試験を行い炭素円板に損傷が無い事を確認した。また熱画像装置により温度分布を測定した。ANSYS計算による最高温度は測定値よりも14%高かった。一方目標とする強度のUビームを照射した場合の、ANSYS計算による最高温度は炭素の融点よりも十分低かった。

## 参考文献

- [1] Y. Yano, Proc. PAC2005, Knoxville, TN, USA (2005), p. 320.
- [2] O. Kamigaito, M. Kase, N. Sakamoto, Y. Miyazawa, E. Ikezawa, N. Fukunishi, S. Kohara, M. Fujimaki, M. Hemmi, T. Chiba, Y. Chiba, H. Ryuto, A. Goto, and Y. Yano, Rev. Sci. Instrum. 76 (2005) 013306.
- [3] C. Scheidenberger, Th. Stöhlker, W.E. Meyerhof, H. Geissel, P.H. Mokler, and B. Blank, Nucl. Instrum. Methods B 142 (1998) 441.
- [4] H. Ryuto, N. Fukunishi, H. Hasebe, N. Inabe, S. Yokouchi, O. Kamigaito, A. Goto, M. Kase, and Y. Yano, Proc. PAC2005, Knoxville, TN, USA (2005), p. 3751.
- [5] Chino Corporation, private communication.
- [6] ANSYS 5.4, ANSYS, Inc.
- [7] A. Yoshida, K. Morita, K. Morimoto, D. Kaji, T. Kubo, Y. Takahashi, A. Ozawa, and I. Tanihata, Nucl. Instrum. Methods A 521 (2004) 65.