

Status of RILAC operation as an injector for RIBF

Eiji Ikezawa^{A)}, Tomonori Ohki^{B)}, Toshimitsu Aihara^{B)}, Hiromoto Yamauchi^{B)},
Akito Uchiyama^{B)}, Kazuyuki Oyamada^{B)}, Masashi Tamura^{B)}, Masayuki Kase^{A)}

^{A)} RIKEN Nishina Center

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

^{B)} SHI Accelerator Service, Ltd.

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

Abstract

The RIKEN heavy ion linac (RILAC) started to supply ion beams for experiments in 1981. The combination of RILAC and a K540 RIKEN Ring Cyclotron (RRC) started its operation in 1986. RILAC is a main linear accelerator, and now has two different types of ECR ion sources (an 18 GHz ECR ion source and a superconducting ECR ion source), a variable-frequency folded-coaxial RFQ linac (RFQ) as a pre-injector, and a Charge-State Multiplier system (CSM) as a booster. RILAC operation as an injector for the RIKEN RI beam factory (RIBF) started in 2006. The status of the operation is reported.

RIビームファクトリー入射用重イオンリニアック運転状況

1. はじめに

理研重イオンリニアック (RILAC) ^[1] は、1981年に単独運転が開始されて以来、各種実験に供されてきた。また、いくつもの改良や増強がなされ、現在では、2台のECRイオン源、前段入射器のRFQ^[2]、主加速器のRILAC、ブースターのCSM^[3, 4]で構成されている。図1に重イオンリニアックの構成図を示す。入射用としては、1986年に理研リングサイクロトロン (RRC) の入射器としての利用が始まった。以来、リニアック単独実験用及びRRC入射用として運転を行っている^[5, 6]。

理研RIビームファクトリー (RIBF) 計画では、3台のリングサイクロトロン (fRC, IRC, SRC) に関する建設が1997年に始まり、2006年に完成した。RILACは、RIBFに於ける入射用重イオンリニアックとしての役割を担うこととなった。

RIBFに於いて重要なウランイオンの生成試験が、2005年10月にRILACの18GHz-ECRイオン源で始まった。2006年2月には、RILACとRRCでこのウランイオンビームを用いた加速試験が始められた。新たなRIBFの3台のリングサイクロトロンは、完成次第、順次試運転が開始された。2006年7月には、RILACとRRCで加速したウランイオンビームを入射して、fRCの加速試験が始まった。その後、クリプトンイオンビームやアルミニウムイオンビームを利用し、IRCおよびSRCの加速試験を行い、2006年の年末にSRCからのアルミニウムイオンビームの取り出しに成功した。そして、2007年3月にはSRCからウランイオンビームの取り出しに成功した。

ここでは、ウランイオン生成開始から現在までの

RIBF入射用重イオンリニアックとしての運転状況を報告する。

2. イオン源の運転状況

現在使用しているRILAC用のイオン源としては、1996年に設置された常伝導電磁石の18GHz-ECRイオン源 (18G-ECRIS) ^[7] と2004年に移設された18GHzの超電導ECRイオン源 (SC-ECRIS) がある。これらは、リニアック棟加速器室内のイオン源室に、並列に設置されている。

18G-ECRISにおいて核燃料であるウランを取り扱うにあたり、その安全対策としてウラン生成試験の前に、イオン源設置エリアの隔離、汚染検査室の新設、RI排気装置の増設、放射線管理装置の改造を行った^[8]。また、刺激臭や非常に強い酸化作用があり猛毒であるフッ素ガス対策として、ガス導入系の変更、排気ガス洗浄装置設置を行った。

ウランイオン生成試験^[9]は、18G-ECRISでイオン生成試料に六フッ化ウランガス (UF₆) を用いて2005年10月に始まった。イオン生成試料としてこの他に金属ウラン (U) や二酸化ウラン (UO₂) を使用して生成試験が行われた。

生成試験においていくつか問題点が起き、次のような部品改良を行った。六フッ化ウランガス (UF₆) でウランイオンを生成すると、ステンレス製のバイアスディスクやその支持棒に固体ウラン化合物である四フッ化ウラン (UF₄) が多く蓄積したため、それらをより反応しにくく汚れにくい材質で

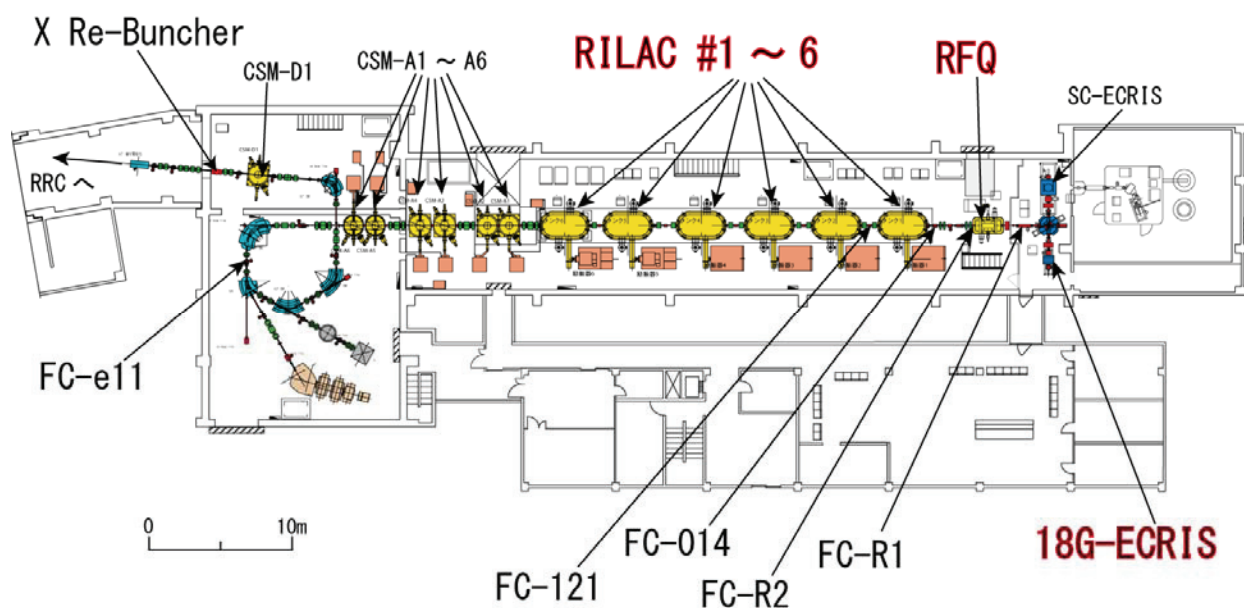


図1 重イオンリニアックの構成図

ある銅に換えた。金属ウランでは、ステンレス製の試料固定ホルダーと反応して癒着したためその材質を銀に換えた。さらに金属ウランとホルダーの間には薄いタンタル板をはさんだ。

2007年4月上旬には約10日間かけて、イオン源系の透過効率を上げるために、次のような改造を行った。

18G-ECRISのビーム出射BT系で、アクセラ・ディ

セル装置の設置、アインツェルレンズの強化、ステアリング機能付き四重極電磁石の設置を行った。

表1にアクセラ・ディセル装置などの改造前後のウランイオンビーム量を示す。この改造により、18G-ECRISビーム出射BT系の90度分析電磁石直後にあるFC-R1からRILAC加速後の90度分析電磁石直後にあるFC-e11までのビーム透過率は、3倍以上になった。

3. RILACとRRCでの加速試験

RIBFビームコミッショニングの前に、RILACとRRCにおいてウランイオンビームの加速試験が2006年の2月に始まり、まず5日間行われた。2回目の加速試験は5月末から4日間行われた。これらでは、ウランイオンビームの透過率向上を目指すとともに、チャージストリッパ^[10]の荷電分布測定やフォイルの耐久性なども含めて試験された。

4. RIBFコミッショニング時のRILAC運転状況

RIBFビームコミッショニング^[11]は、2006年の7月に始められた。RILACは、7月から11月にかけて計8回で延べ36日間にわたり、コミッショニングのために0.669 MeV/nucleonの²³⁸UイオンビームをRRCへ入射した。11月中旬から12月にかけては、2.675 MeV/nucleonの⁸⁴Krイオンビームを14日間にわたり、またその後12月末まで2.653 MeV/nucleonの²⁷Alイオンビームを22日間にわたりRRCへ入射した。その結果、2006年12月末にSRCからの²⁷Alイオンビーム取り

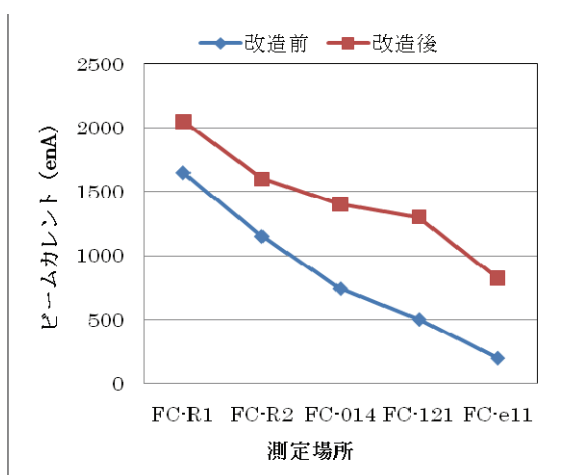


表1 アクセラ・ディセル装置などの改造前後のウランイオンビーム量
測定場所 (FC-R1～FC-e11) : 各位置を図1に示す。

出しに成功した。

2007年に入り、1月には、0.669 MeV/nucleonの²³⁸Uイオンビームを9日間にわたり、また0.669 MeV/nucleonの¹³⁶Xeイオンビームを3日間にわたり、2月には0.669 MeV/nucleonの²³⁸Uイオンビームを計2回で10日間にわたり、2月から3月にかけては2.676 MeV/nucleonの⁸⁴Krイオンビームを26日間にわたり、3月には0.669 MeV/nucleonの²³⁸Uイオンビームを15日間にわたりRRCへ入射した。その結果、2007年3月末にSRCからの²³⁸Uイオンビーム取り出しに成功した。

2007年4月上旬には、後述するいくつかの改良を行った。その後の4月中旬から計2回で11日間にわたり、また5月上旬から30日間と6月中旬から15日間にわたり、0.669 MeV/nucleonの²³⁸UイオンビームをRRCへ入射した。また、この5月中旬から6月上旬にかけては、RIBFの²³⁸Uイオンビームを利用して、BiGRIPSで実験が初めて行われ実験成果が得られた。

以上のRIBFコミッショニング関連のために、2006年7月から2007年6月までにかけて、延べ191日間RILACは運転された。

5. 主な改良

2007年4月上旬に約10日間かけて行われた18G-ECRISのビーム出射BT系の改造と同時に、RILACとRRC間のBT系では、RRCへの入射効率を上げるために、ダブルリバンチャー化などの改造を行った。リバンチャー（X Re-Buncher）は同BT系に1台が設置されていたが、図1に示すように、これをCSM-D1の近くに移設した。また別の加速器のリバンチャーをRRC室内のRRC入射前BT系に移設した。この他、同BT系では、四重極電磁石や診断装置の設置位置変更や追加設置を行った。

これらの改良によりRRCへ入射するウランイオンビームの性質が良くなり、また加速器運転調整などを行ったことにより、結果としてSRCの出口でのウランイオンビーム量が約3倍に上がった。

6. 故障

2006年2月から2007年7月までの間に起きた各装置別の故障発生状況（動作不良も含む）を表2に示す。さまざまな故障が総計207件起こった。これらの故障のうち部品交換などの修理を行ったのは、121件であった。これらは全故障のうちの58%にあたる。ただし、どれも加速器運転スケジュールに影響する故障では無かった。この他の故障は、一時的な動作不良や不調、また運転に影響しない箇所の故障などで、後日、調査や修理を行った。各装置の中で最も多く故障が起きたのは、RF系の故障で90件あった。これらは全故障のうちの43%にあたる。またこの内の58件は部品交換などの修理を必要とする故障であった。

装置名	故障発生件数	修理件数
RF系	90	58
イオン源系	9	1
制御系	25	8
診断系	13	8
真空系	18	13
冷却、空圧系	21	13
電磁石電源系	23	16
ビームインターロック系	6	2
設備	2	2

表2 故障発生状況

7. 今後の予定

さらにウランイオンビーム量を増やすため、18G-ECRISのビーム出射BT系では、アクセル・ディセルの装置を設置してのテストなどを行っている。今年の8月には、このビーム出射BT系の改造も予定している。また、RFQのビーム出射BT系の改造やビームアッテネーターの増設及び改良が検討されている。この他、RILACの透過効率向上のためには、診断系の改良、真空系の改善などが検討されている。

参考文献

- [1] M. Odera, et al., Nucl. Instr. & Meth. 227, 187 (1984)
- [2] O. Kamigaito, et al., The 22nd Linear Accel. Meeting, 47 (1997)
- [3] O. Kamigaito, et al., The 13th Sympo. on Accel. Sci. and Tech., 229 (2001).
- [4] E. Ikezawa, et al., The 13th Sympo. on Accel. Sci. and Tech., 169 (2001).
- [5] E. Ikezawa, et al., The 2nd Annual Meeting of Particle Accel. Society of Japan and The 30th Linear Accel. Meeting in Japan, 519 (2005).
- [6] E. Ikezawa, et al., The 3rd Annual Meeting of Particle Accel. Society of Japan and The 31th Linear Accel. Meeting in Japan, 272(2006).
- [7] T. Nakagawa, et al., The 12th Sympo. on Accel. Sci. and Tech., 206 (1999).
- [8] H. Sakamoto, et al., The 3rd Annual Meeting of Particle Accel. Society of Japan and The 31th Linear Accel. Meeting in Japan, 269 (2006).
- [9] Y. Higurashi, et al., "Production of U beam from RIKEN 18GHz ECR Ion Source", in this proceedings.
- [10] H. Ryuto, et al., "Charge strippers for acceleration of U beam at RIKEN RIBF", in this proceedings.
- [11] N. Fukunishi, et al., "Commissioning of RI beam Factory Accelerator Complex", in this proceedings.