

## Present Status of RILAC

Eiji Ikezawa<sup>A)</sup>, Tomonori Ohki<sup>B)</sup>, Toshimitsu Aihara<sup>B)</sup>, Hiromoto Yamauchi<sup>B)</sup>, Akito Uchiyama<sup>B)</sup>,  
Kazuyuki Oyamada<sup>B)</sup>, Masashi Tamura<sup>B)</sup>, Yutaka Watanabe<sup>A)</sup>, Masayuki Kase<sup>A)</sup>

<sup>A)</sup> RIKEN Nishina Center 2-1 Hirosawa, Wako-shi, Saitama, 351-0198

<sup>B)</sup> 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 operation of RILAC-RRC and RILAC-RRC-RIBF started its operation in 1986 and in 2006, respectively.

For the RIBF, a high voltage terminal of the Cockcroft-Walton injector for RILAC was remodeled and a 28 GHz superconducting ECR ion source was installed on it. The medium energy beam transport line (MEBT) from the Cockcroft-Walton injector with the 28 GHz superconducting ECR ion source was installed in parallel with the existing injection line of the FC-RFQ linac with an 18 GHz ECR ion source.

Research experiments on the heaviest elements have been carried out since 2002 at the No. 1 target room of RILAC. The present status of RILAC is reported.

## 理研重イオンリニアックの現状報告

### 1. はじめに

理研重イオンリニアック (RILAC)<sup>[1]</sup>は、単独運転にて各種実験へのビーム供与が1981年に開始された。1986年には、単独運転に加え、理研リングサイクロトロン (RRC) への入射運転も開始された。2006年には、理研RIビームファクトリー (RIBF)<sup>[2]</sup>の入射器としての運転が開始された。現在RILACは、入射器としての運転をするとともにRILAC単独運転での実験供与を行っている<sup>[3]</sup>。

2008年12月から2009年3月にかけて、RIBFにおけるウランビーム増強<sup>[4]</sup>のためにRIBFの新入射器 (RILAC-II) 用に新たに開発された28GHzの超電導 ECRイオン源 (28GHz-SCECRIS)<sup>[5, 6]</sup>が、RILACの旧入射器を改造した高電圧ターミナル (HV-Terminal) 上に搭載された。この28GHz-SCECRISの性能試験をRILAC入射で行うために、HV-TerminalからRILACへの入射ビームトランスポートライン (MEBT) の設置工事を2009年3月から2009年7月にかけて行った。現在、これらの総合試験としてビーム加速試験を行っている。

RILACのブースターとして使用している荷電状態増幅装置用共振器 (CSM) のうち1台をRILAC-II用の加速器として転用するために、2009年5月に既設ラインから撤去し、現在メーカーにて改造を行っている。また、RILAC-IIに関わる各装置についても設計及び製作が進められている。

RILACの第1照射実験室では、気体充填型反跳分離器 (GARIS) での超重元素探索関連の実験が、2002年3月より引き続き行われている。また、2009年4月からは、GARISの2号機を設置する工事も進行中である。

本発表では、RILACに関して、運転状況を含め

た現状について報告する。

### 2. RIBFの入射器としての運転状況

RIBFビームコミッショニングは、RILACを入射器として2006年の7月に開始された。

2006年7月から2007年6月中旬においては、RIBFコミッショニング関連のために、RILACは、<sup>238</sup>U、<sup>84</sup>Kr、<sup>27</sup>Al、<sup>136</sup>Xeのイオンビームを入射し、延べ約4584時間の運転を行った。また、2007年5月には、<sup>238</sup>Uイオンビームが実験に供与された<sup>[7]</sup>。2007年6月下旬から2008年7月上旬においては、RIBFコミッショニング関連のために、RILACは、<sup>238</sup>U、<sup>86</sup>Kr、<sup>48</sup>Caのイオンビームを入射し、延べ約1496時間の運転を行った。

2008年7月中旬以降としては、2008年10月下旬～11月下旬にかけて<sup>238</sup>Uビームを720時間、2008年12月上旬～12月下旬にかけて<sup>48</sup>Caビームを480時間にわたり入射する運転を行い、RIBF実験関連のためにRILACは延べ1200時間の運転を行った<sup>[8]</sup>。

### 3. 超重元素探索実験における運転状況

RILACの第1照射実験室におけるGARISでの超重元素探索関連の実験は、18GECRIS+RFQ+RILAC+CSMの運転で加速したイオンビームを利用して2002年3月に始まった<sup>[9]</sup>。

この超重元素探索実験のためにRILACは、2002年3月から2008年6月までの間には、延べ12,525時間の加速器運転を行い、延べ10,331時間に渡ってイオンビームを供給した。

2008年7月以降としては、2008年9月及び、2008年12月下旬から2009年2月下旬にかけて、超重元素

探索実験のためにRILACは、延べ1656時間に渡りイオンビームを供給した。

我々は、この実験に対して、安定で必要十分な強度のイオンビームの供給を行い、これまでにこの実験では、貴重な成果が得られている。

また、RILACの第1照射実験室では、2009年4月からGARISの2号機（GARIS-2）の工事も進められている。

#### 4. 主な改良

RIBFにおけるウランビーム増強のために、2008年12月から2009年7月にかけて、RILACのHV-Terminalの改造、そのHV-Terminal上への28G-SCECRISの搭載、MEBTの設置工事を行った。図1に現状の理研重イオンリニアックの構成図を示す。

RILACの旧入射器（500kV静電加速器）は、HV-Terminal上に8GHz ECRイオン源（NEOMAFIOS）が搭載され、2003年までRILACの入射器として使用されていた。2004年春に18GECRIS+RFQ系入射ビームトランスポートライン改造に伴い、旧入射器系ビームトランスポートラインは撤去された。その後から旧入射器は、2008年までは単独運転にてイオンのチャージストリップをする炭素薄膜の照射試験に利用していた。この旧入射器のHV-Terminalを再利用するために次の改造を行った。28G-SCECRISを搭載するにあたり、HV-Terminal上は、床面積を16㎡から30㎡へ広げ、天井を2.2mから3.3mへ高くした。高電圧ターミナル上で必要となる受電設備は50kVA（発電機）から100kVA（絶縁トランス）に増強し、冷却水系配管を改造した。核燃料であるウランを取り扱うにあたり、HV-Terminal上の室内は、そのための安全対策を施した。

この静電加速器の加速管は、ウラン加速に合わせて新たに製作した。加速管の電極は、口径が100mm、幅が12mm、間隔が13.75mm、枚数が11枚である。ウラン加速時には、この加速管に110kVを印加して使用する。

このHV-Terminal上には、28G-SCECRISを始め、ヘリウム冷凍機、18GHz-RF電源、90度分析用などの電磁石及びそれらの電磁石電源、真空ポンプ、ビーム診断装置、遠隔制御インターフェース<sup>[10]</sup>などの装置が設置された。28G-SCECRISは、2009年3月に据付後の励磁試験が行われ、その後引き出し電圧印加試験及び18GHzでのイオン源性能試験を行い、2009年5月に初ビームが引き出された。

MEBT<sup>[11]</sup>は、既設の18GECRIS+RFQ系入射ビームトランスポートラインに接続された。そのために以下のことを行った。MEBT設置予定場所にはいくつかの装置があったが、このうち超電導ECRイオン源（SC-ECRIS）を撤去し、またRFQ用終段アンプとローレベル盤などをMEBTと干渉しない場所に移設した。2004年まで使用していた旧入射器系用の60度偏向電磁石2台及びビームバンチャー（1f-Bun）を再利用し、設置した。この1f-Bunのドリフトチューブ口径は30mmから50mmに拡大する加工を施した。四重極電磁石及びステアリング電磁石は既存のものを流用して設置した。電磁石電源は全て既存のものを流用して設置した。診断箱、診断装置、ビームチョッパー、真空ダクト、及び真空排気装置は、ほとんどを新たに製作し設置した。各真空容器や真空ダクトの内はアウトガスを減少させるために、ほとんどのものについて内表面処理を施した。またMEBTの目標到達真空度を $1 \times 10^{-6}$ Paとし、真空ポンプは、ターボ分子ポンプ7台、クライオポンプ2台を配置した。

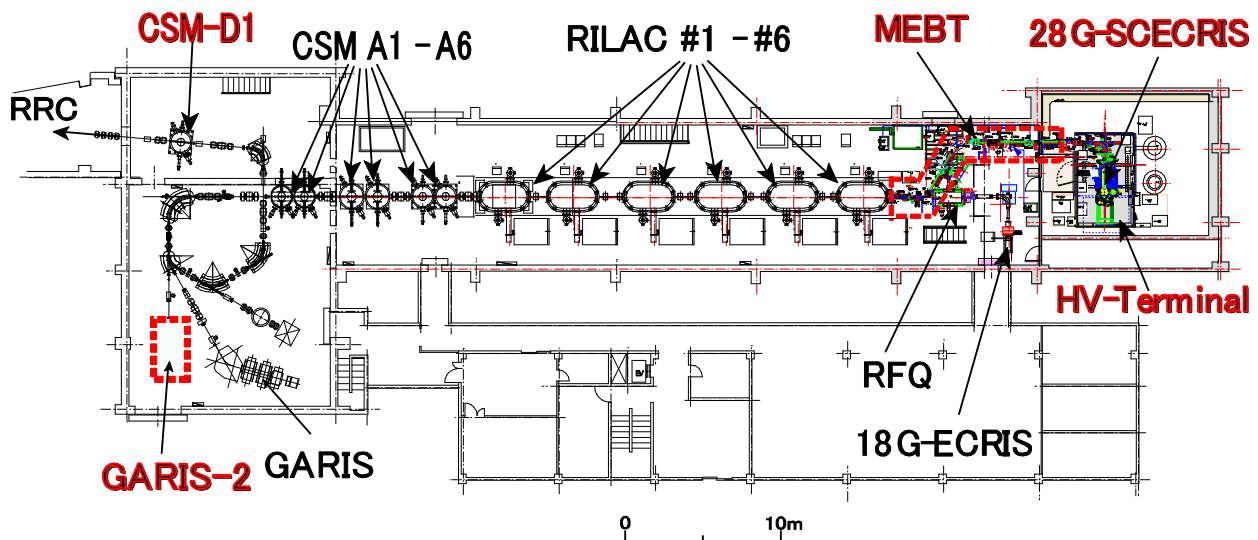


図1 現状の理研重イオンリニアックの構成図

CSM-D1：撤去前の設置場所（現在：この部分はビームダクト）

GARIS-2：据付予定場所

ビームバンチャーとしては、1f-Bun とともにRFQ用リバンチャーを併用するため、RFQ用リバンチャーの設置変更を行った。また、MEBT系の冷却水配管、圧空配管、ケーブル関係の工事を行った。2009年7月には、28G-SCECRISで生成し17 kVで引き出した $^{136}\text{Xe}^{20+}$ イオンにて、HV-Terminal加速試験、MEBTビーム通過試験、及びRILAC加速試験を行った<sup>[12]</sup>。

RILACの後段には、荷電状態増幅装置 (CSM) が設置されている。そのうち6台が加速用で、1台が減速用である。この減速用共振器 (CSM-D1) は、RILAC-II用の加速器として使用するために、既設ラインから2009年5月に撤去し搬出した。この搬出の際には、搬出路を確保するために既設のビームトランスポートライン上の偏向電磁石などを一時的に移動した。現在CSM-D1は、この改造をメーカーにて行っている。

RILACからRRCへのビームトランスポートラインにある偏向電磁石の電源のうち、4台の偏向電磁石電源が、老朽化により電源の初期性能維持及び交換部品入手が困難となったため、新たに製作した。これらの新電源は、2009年3月に使用を開始した。

この他RILACでは、ウランビームの加速通貨率及び安定度向上のために以下のことを行った。RFQ及びRILAC #1の共振器の真空排気系強化<sup>[13]</sup>として、一部のターボ分子ポンプをクライオポンプに入れ替えた。高周波装置の安定度向上のため、ローレベル系回路及び基準信号系などの改良を行った<sup>[14]</sup>。

## 5. 主な故障

表1に2008年7月から2009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）を示す。さまざまな故障が総計102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、52件であった。これらは全故障のうちの51%にあたる。

発生した故障のうち、重故障としては、以下の事があった。

MEBT据え付け工事の際に、RFQ用リバンチャーを損傷した。機械的に大きく変形した部分があったが、真空漏れは生じていなかった。このため、損傷品はプレスによる形状回復を行う専門業者により修理を行い、元の形状に直され、性能も回復した。

CSM-D1では、この搬出に関連する作業時にビームライン上のダクトを損傷し、修理により復旧した。

CSM-A3では、終段プレート電源にてクローバー異常のインターロック作動が頻発した。原因は、この電源内高電圧部の出力コンデンサー及び巻き線抵抗での微小放電発生時のノイズによるものであった。出力コンデンサーは予備品に交換し、巻き線抵抗は清掃し絶縁強化を施した。

RFQでは共振器外壁面の冷却水銅配管にて、18G-ECRISではクイックジョイントとドレインバルブにて、MEBTではシンフレックスホース継手にて、水漏れが発生した。その際に水がかかり18G-ECRIS用ソレノイド電源やRFQ用1kW広帯域増幅器が故障し

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故障などで、後日、調査や修理を行った。

装置名	故障発生件数	修理件数
RF系	42	21
イオン源系	8	6
制御系	10	2
診断系	14	5
真空系	12	7
冷却、空圧系	10	7
電磁石電源系	6	4
合計	102	52

表1 故障発生状況

## 6. 今後の予定

28G-SCECRISでは、ウランなどのイオン生成試験を行い、また、RILACに入射しての加速試験を進めてゆく。本年の秋には、28G-SCECRISで生成しRILACで加速したウランイオンビームをRIBFで利用する予定である。

RILACは、RIBFの入射器として、また、超重元素探索実験やその他の各種実験等に対し安定に必要なイオンビームを供給するために、RILACのビーム通過効率及び安定度の向上をさらに進めてゆく。また、長年使用して老朽化した装置については、順次更新を行う予定である。

## 参考文献

- [1] M. Odera, et al., Nucl. Instr. & Meth. 227, 187 (1984)
- [2] Y. Yano, Nucl. Instr. Meth. B261, 1009 (2007)
- [3] E. Ikezawa, et al., The 5th Annual Meeting of Particle Accel. Society of Japan and The 33th Linear Accel. Meeting in Japan, WP006 (2008).
- [4] O. Kamigaito, et al., WOOPD02 in this Proceedings.
- [5] J. Ohnishi, et al., TPMGA22 in this Proceedings.
- [6] Y. Higurashi, et al., WOPSA01 in this Proceedings.
- [7] E. Ikezawa, et al., The 4th Annual Meeting of Particle Accel. Society of Japan and The 32ed Linear Accel. Meeting in Japan, 242(2007).
- [8] N. Fukunishi, et al., WOOPD01 in this Proceedings.
- [9] E. Ikezawa, et al., The 3rd Annual Meeting of Particle Accel. Society of Japan and The 31th Linear Accel. Meeting in Japan, 272(2006).
- [10] M. Komiyama, et al., WOCOA01 in this Proceedings.
- [11] Y. Watanabe, et al., TPOPA22 in this Proceedings.
- [12] Y. Sato, et al., FOBTAA01 in this Proceedings.
- [13] S. Yokouchi, et al., FRVAA03 in this Proceedings.
- [14] N. Sakamoto, et al., WOACB01 in this Proceedings.