

理研重イオンリニアックの現状報告

PRESENT STATUS OF RILAC

池沢英二^{A)}, 田村匡史^{B)}, 大木智則^{B)}, 藍原利光^{B)}, 山内啓資^{B)},
小山田和幸^{B)}, 遊佐陽^{B)}, 内山暁仁^{A)}, 渡邊裕^{A)}, 加瀬昌之^{A)}, 上垣外修一^{A)}
Eiji Ikezawa^{A)}, Masashi Tamura^{B)}, Tomonori Ohki^{B)}, Toshimitsu Aihara^{B)}, Hiromoto Yamauchi^{B)},
Kazuyuki Oyamada^{B)}, Akira Yusa^{B)}, Akito Uchiyama^{A)}, Yutaka Watanabe^{A)}, Masayuki Kase^{A)},
and Osamu Kamigaito^{A)}

^{A)}RIKEN Nishina Center, ^{B)}SHI Accelerator Service, Ltd.

Abstract

This year is the 33rd year since the RIKEN heavy ion linac (RILAC) started to supply ion beams for experiments in 1981. Since then, the RILAC has been supplying various ion beams for various experiments. For the beam experiments of the RI Beam Factory (RIBF), ⁷⁰Zn-ion beam, ¹⁸O-ion beam and ⁴⁰Ar-ion beam accelerated by the RILAC were injected into the RIKEN Ring Cyclotron (RRC) for the past year. Research experiments on the heaviest elements have been carried out since 2002 at the e3 beam course of the No. 1 target room of RILAC. As a result, the convincing candidate event of the isotope of the 113th element was observed for the third time in August 2012. The present status of the RILAC operation is reported.

1. はじめに

理研仁科加速器研究センターの理研重イオンリニアック (RILAC) ^[1, 2]は、前段入射器のFC-RFQ、主加速器のRILAC、ブースターのCSM^[3]、及び18GHz-ECRイオン源で構成されており、単独運転及び入射運転を行っている。この線形加速器の特徴は周波数可変型であり、最大加速エネルギーは、5.8 MeV/nucleonである。

各種実験へのビーム供与は、1981年に単独運転で開始した。この加速器は、これまでに前段入射器の改良及び増強、ブースターを新設しての増強をするとともに、主加速器部などの改良及び老朽化対策を実施し、33年目となる今日まで、この加速器を最良の状態に維持しビームを供与している。

単独運転としては、最重要実験課題としてリニアック実験室のe3実験ラインにおいて超重元素探索関連の実験が2002年から行われ、2012年8月には、この実験において113番元素の3例目の合成に成功している。

入射運転としては、後段の理研リングサイクロトロン (RRC) のための入射器としての運転を1986年から行っている。また、超伝導リングサイクロトロン (SRC) などで構成される理研RIビームファクトリー (RIBF) ^[4]の複合加速器ための入射器としての運転を2006年から行っている。

本発表では、RILACの現状報告として、運転状況として入射運転、及び超重元素探索実験などにおける単独運転について、また故障状況及び老朽化対策状況などについて報告する。

2. 運転状況

図1に2005年～2012年の運転時間を示す。この8年間の全加速器運転時間に対する全ビーム供与時間の割合は平均85.8%で、2012年は91.6%であった。また、全加速器運転時間に対する全故障停止時間の割合は平均2.4%で、2012年は5.0%であった。

入射運転としては、RIBF実験及びその他の実験のためにRRCへビームを入射している。図2に2005年～2012年の入射運転でのビーム入射時間を示す。年間約600時間から3200時間のビーム入射を行った。この1年間の2012年7月～2013年6月においては、2012年7月に⁷⁰Znビームを、2013年4月に¹⁸Oビームを、2013年5月に⁴⁰ArビームをRIBF実験等のためにRRCへ入射した。これらの加速器運転時間は合計439時間で、ビーム入射時間は合計326時間であった。

単独運転としては、超重元素探索関連の実験などにビームを供与している。図2に2005年～2012年の単独運転でのビーム供与時間 (実験時間) を示す。超重元素探索関連の実験には、2007年を除いて年間約1500時間から4800時間のビーム供与を行った。また、その他の実験には年間約80時間から410時間のビーム供与を行った。この1年間の2012年7月～2013年6月においては、超重元素探索関連の実験、核化学、放射線化学、試料分析の実験が行われ、¹⁶O、¹⁹F、²²Ne、²⁴Mg、²⁷Al、⁴⁰Ar、⁷⁰Zn、及び¹³⁶Xeのビームを実験に供与した。このうち超重元素探索関連の実験のための加速器運転時間の合計は1447時間で、この実験へのビーム供給時間の合計は1352時間であった。

#ikezawa@riken.jp

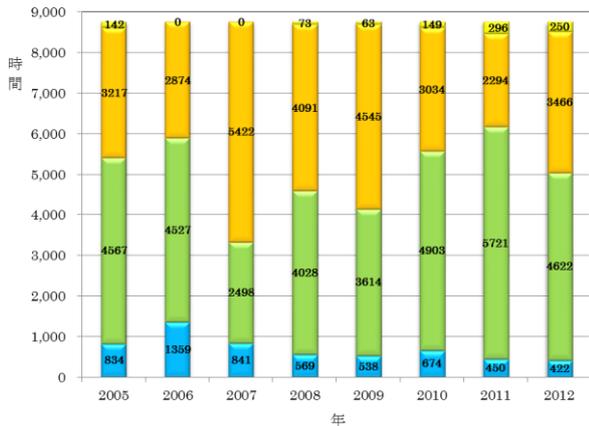


図1 2005年～2012年の運転時間

- : 加速器調整時間
- : ビーム供与時間 (入射及び単独実験時間)
- : 計画停止時間 (改良、保守などを含む)
- : 故障停止時間 (修理などを含む)

超重元素探索関連の実験においては、2003年9月から113番元素の合成実験が行われ、2004年7月及び2005年4月に113番元素の1例目及び2例目の合成に成功している^[5]。そして2012年8月には、113番元素の3例目の合成に成功している^[6]。我々はこれまでのこの実験のために毎年1500～5000時間程度、必要十分な強度及び安定度のビームを供与してきた。

3. 主な保守作業

各装置を常に最良の状態に維持するために、我々は保守作業として、主に以下の作業を行っている。

RF系は、励振器の駆動部及び高電圧部、共振器の駆動部及び内部電氣的接続部、水冷部、高圧電源、ローレベル信号制御機器などについて点検、清掃及び部品交換などを行った。

電磁石電源系は、空冷ファン、エアフィルター、水冷部などについて、点検、清掃及び部品交換などを行った。

冷却系は、冷却水ポンプ、冷却塔、熱交換器、空冷チラーなどについて、点検、清掃及び部品交換などを行った。

圧空系は、コンプレッサー及び電磁弁の点検及び部品交換などを行った。

真空系は、ターボ分子ポンプ、クライオポンプ、ロータリーポンプ、真空バルブについて、点検もしくは分解整備などを行った。

制御系は、サーバー、インターフェースなどの機器について、点検及び部品交換などを行った。

診断系は、ファラデーカップ、プロファイルモニター、バンチピックアップ、アッテネーターなどについて点検及び部品交換などを行った。

イオン源系は、装置内部部品、高電圧部及び駆

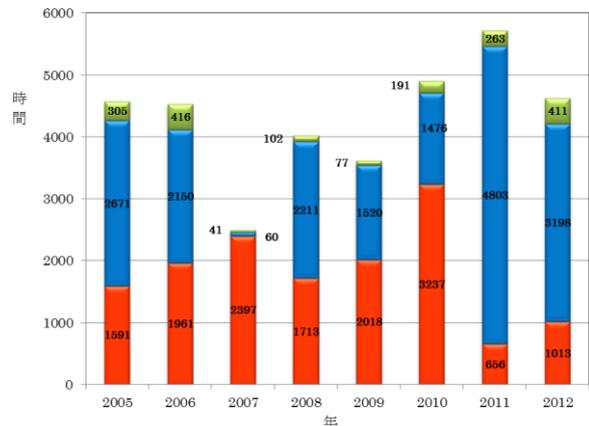


図2 2005年～2012年のビーム供与時間

- : ビーム入射時間 (入射運転)
- : 超重元素探索関連の実験時間 (単独運転)
- : その他の実験時間 (単独運転)
- : 加速器調整時間

動部などについて、点検、清掃及び部品交換などを行った。

4. 故障状況

2008年7月から2013年6月までに発生した各装置別の故障に関して、故障件数を図3に示す。故障の43%はRF系で、その他の装置はほぼ同じ10%程度であった。これはこの加速器の主要装置がRF系であるが故に部品点数の割合が他の装置に比べて多いため、及び老朽化によるものと考えられる。

2008年7月～2013年6月の修理実施件数と一時的な不具合件数に関する半年ごとの集計を図4に示す。これらの故障としては、一時的な動作不良から重大故障まで様々な故障があり、総計524件あり、そのうち部品交換などの修理を必要としたのは約51% (269件) であった。2013年1月～6月は故障発生件数が特に多いが、これはRF系での一時的な不具合を含めた故障が多発したためである。

この1年間の重大故障としては、RF系でのみ発生し、合計3件あった。そのうち2件は、FC-RFQ共振器内部に設置されているステム2の冷却水配管において冷却水漏れが発生した。最初は2012年9月に発生した。我々はFC-RFQ共振器を我々で分解し、ステム2を取外して応急処置を施してから組み付けた。しかしながら、その応急処置が不十分であったため2013年1月に同箇所冷却水漏れが再発し、再度念入りに応急処置を施した。これにより、この故障箇所は適切な修理が不可能であると判断し、新たにこのステム2を製作した。今後ステム2を新規製作品に交換する予定である。また、この修理時にFC-RFQの共振器内における冷却水配管接続箇所の各部劣化がみられたが、新規製作が

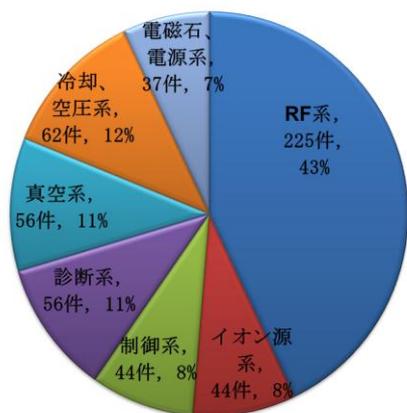


図3 2008年7月～2013年6月の装置別故障発生件数

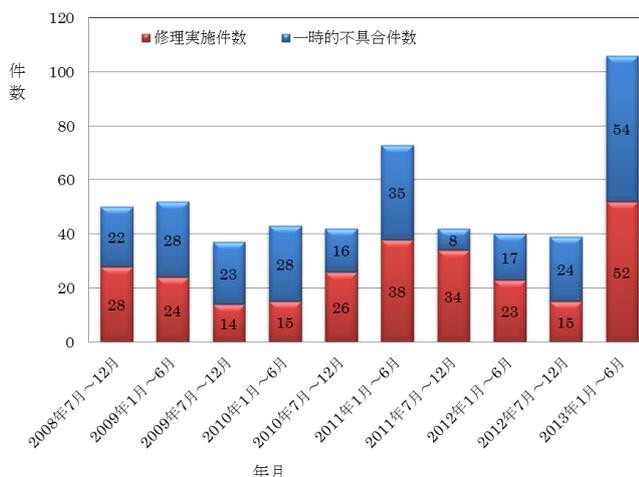


図4 2008年7月～2013年6月の修理実施件数と一時的な不具合件数

必要な部品であるため、修理は行わなかった。もう1件は、2013年1月にRILAC-No. 3励振器において、終段真空管のプレートスタブの上部にある冷却水継手が破損し冷却水漏れが発生した。この破損箇所自体は交換修理で済んだが、漏れた水がプレートスタブ内部及び終段真空管周辺を濡らした。このため我々はプレートスタブ及び終段真空管周辺部を分解し、濡れた部分を乾燥させて組み立て直した。なお、以上の3件はともにマシンタイム実施中に発生したため、マシンタイムを数日間程度中断させて修理を実施した。

この他の故障は、一時的な動作不良や不調、または運転に大きく影響しない時期の故障などであったので、その都度、調査や修理を行った。

5. 老朽化対策状況

主加速器 RILAC の主要装置である RILAC-No. 1～No. 6 の RF 系及び電磁石電源系の機器は 1980 年以前に製作されたもので、これまでに老朽化対策として次のように更新してきた。RF 系では、RILAC-No. 5 及び No. 6 の励振器を 1999 年に更新した。また、RILAC-No. 1～No. 6 の終段真空管のプレート用高圧直流電源も同時期に更新した。電磁石電源系では、RILAC-No. 1～No. 3 の共振器関係の四重極電磁石のための電磁石電源を 2002 年に更新した。これらの更新時には、それまで使用していた励振器や電磁石電源の主要部品を保管し、これまで更新できなかった RILAC-No. 1～No. 4 の励振器や RILAC-No. 4～No. 6 関係の電磁石電源の修理のための部品として利用し、ほとんどの故障を我々で修理してきた。

RILAC-No. 1～No. 6 の共振器は、老朽化のためと思われる真空溶接部などでの微小真空リークがある。しかしながら、共振器の構造が複雑であること及びその構造上のため修理作業スペースが確保できないなどの理由から、その発生箇所の修理

は極めて困難な場合がある。このため真空排気装置を増強することとし、各共振器に 2 台装備されていたターボ分子ポンプのうち 1 台を約 2 倍の排気速度のクライオポンプに更新することをこの 4 年間で順次行い今年完了した。また、これに伴い真空制御盤の更新も完了した。

以上の他、RILAC-No. 1～No. 6 の共振器及び励振器用の冷却系では、冷却水ポンプ、冷却塔、熱交換器を 2000 年に更新した。

6. 今後の予定

今後の予定として今年度には、老朽化した RILAC-No. 1 及び No. 2 の励振器、及び RILAC-No. 4～No. 6 の共振器関係の四重極電磁石のための電磁石電源を更新する。これらは現在メーカーにて設計を進めており、年内に完成させ、2014年1月から2014年3月にかけて更新工事及び試運転を行う予定である。また、これらの更新のために既設のこれらの装置を2013年12月に撤去する作業を我々で行う予定である。

また、FC-RFQの共振器内外における冷却水配管の劣化、RILAC-No. 3及びNo. 4の励振器の老朽化、及びRILAC-No. 1～No. 6の共振器の内のドリフトチューブに内蔵された四重極電磁石のための冷却設備の老朽化などに関して対策が必要であり、今後計画的に進めて行くことが重要な課題の一つである。

参考文献

- [1] M. Odera, et al., Nucl. Instrum. & Methods. 227 (1984) 187.
- [2] E. Ikezawa, et al., PASJ9, WEPS002, (2012) 344.
- [3] Kamigaito et al., Rev. Sci. Instrum. 76 (2005) 013306.
- [4] Y. Yano, Nucl. Instrum. & Methods. B261 (2007) 1009.
- [5] E. Ikezawa, et al., PASJ3-LAM31, WP02, (2006) 272.
- [6] M. Kase, et al., IPAC2012, THPPP040 (2012) 3823.