理研重イオンリニアックの現状報告

PRESENT STATUS OF RILAC

金子健太#B), 池沢英二 A), 大木智則 B), 山内啓資 B), 小山田和幸 B),
田村匡史 B), 遊佐陽 B), 渡邉裕 A), 上垣外修一 A)
Kenta Kaneko #B), Eiji Ikezawa A), Tomonori Ohki B), Hiromoto Yamauchi B), Kazuyuki Oyamada B),
Masashi Tamura B), Akira Yusa B), Yutaka Watanabe A), Osamu Kamigaito A)
A) RIKEN Nishina Center, B) SHI Accelerator Service, Ltd.

Abstract

This year is the 38th 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. 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. For the beam experiments of the RI Beam Factory (RIBF), ion beam accelerated by the RILAC were injected into the RIKEN Ring Cyclotron (RRC) for the past year. 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、1981 年に単独運転が開始され、今年で 38 年目を迎えた。1986 年からは、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利用を開始した。2006 年からは、理研 RI ビームファクトリー（RIBF）[3]の複合加速器のための入射器としての利用も開始した。

これまでに様々な装置の改良、ビームエネルギー及びビーム強度の増強をすると共に老朽化対策を実施し、この加速器を最良の状態に維持し、各種実験へ様々なビームを供与している。

2017 年 6 月からは、新超電導イオン源（New 28GHz-SCECRIS）及び超電導リニアック（SRILAC）の導入に先立ち、既設装置の 18GHz-ECRIS や A3～A6[4]の撤去及び移設の作業を開始した。また、建物関連の改装工事なども開始された。現状の理研重イオンリニアックの構成を Fig. 1 に示す。また、老朽化対策として、主加速器の高周波共振器内の真空シール材交換の作業、RFQ の高周波共振器内の中間導体部品交換の検討、A1 の真空漏れ修理の調査、ビームライン清浄化に伴う作業、コントロール室の改装などを進めている。本発表ではこの加速器の現状報告として、この 10 年間の運転状況、およびこの 1 年間における保守作業などについて報告する。

2. 運転状況

Figure 2 に 2008 年～2017 年の運転時間を示す。この 10 年間の全加速器運転時間に対する全ビーム供給時間の割合は平均 87.5%で、2017 年は 77.6%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 3.2%で、2017 年は 12.0%であった。

Figure 3 に 2008 年～2017 年の入射運転でのビーム入射時間、及び単独運転でのビーム供給時間（実験時間）を示す。

入射運転としては、RIBF 実験及びその他の実験のため RRC へビームを入射している。単独運転としては、超重元素探索関連の実験[5-7]、核化学、放射線化学の実験及びマシンスタディが行われ過去 5 年間においては ^{4}He、^{14}N、^{15}N、^{16}O、^{18}O、^{19}F、^{22}Ne、^{23}Na、^{24}Mg、^{26}Mg、^{27}Al、^{30}Si、^{34}S、^{36}Ar、^{40}Ar、^{40}Ca、^{48}Ca、^{48}Ti、^{50}Ti、^{51}V、^{70}Zn、^{82}Kr、^{86}Kr、^{136}Xe、^{197}Au、及び ^{238}U のビームを実験及びマシンスタディに供給した。この 10 年では年間約 600 時間から 3200 時間のビーム入射を行った。2017 年 7 月からは、新超電導イオン源及び超電導リニアックの導入のため加速器運転を停止しており、ビームの供給は行われていない。

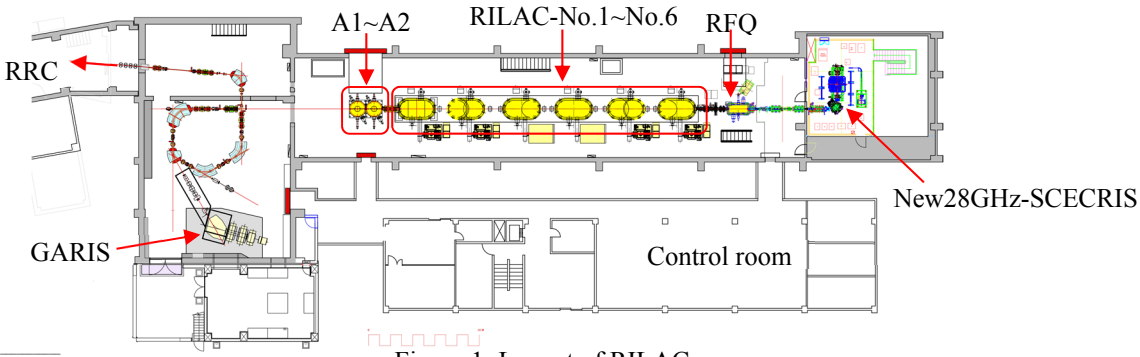

Figure 1: Layout of RILAC.

kenta.kaneko.zu@riken.jp

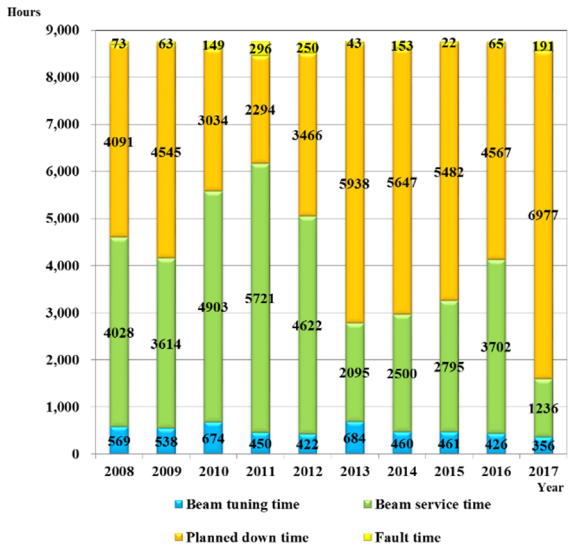

Figure 2: Operation time of RILAC.

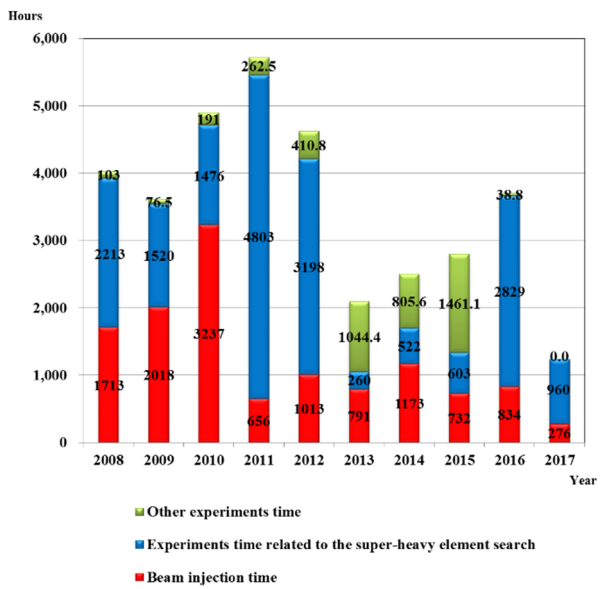

Figure 3: Beam service time of RILAC.

3. 保守作業状況

2017 年 6 月からは、New 28GHz-SCECRIS 及び SRILAC の導入のため加速器運転の長期停止期間に入った。停止期間中、各装置の維持や設備更新のための作業として、主に以下の作業を行った。

RF 系は定期的に高周波アンプ及びキャビティの励振を行い健全性の確認を行った。特に RFQ については中間導体の交換作業の検討を行っている。A3 から A6 までの高周波アンプ、キャビティ及びローレベル操作盤は、撤去を行った。A6 に関してはリングサイクロトロン下流ビームラインへ新たな用途のために移設した。

電源電磁石系は、電源の通電確認や電磁石の励磁を行い健全性の確認を行っている。また RILAC-No.5 の真空修理作業に付随して、各低圧ドリフトチューブに内蔵されている Q 電磁石のコイル抵抗値および絶縁抵抗値の測定、磁場測定を行い異常が無いことを確認した。新たな装置の設置のために、既設の各種電磁石電源の設置場所の変更を行った。

冷却系は、定期的に冷却水ポンプ及び冷却塔を運転して健全性の確認を行っている。

真空系は、定期的に真空ポンプの運転を行い到達真空度の確認を行っている。

制御系はサーバー、クライアント機器のリプレースや無停電装置のバッテリー交換などを行った。また停止期間中の主な作業としてコントロール室の改修を行っている。施設建設当初から存在するコンソール卓は近年加速器制御の主体となっている PC や液晶画面と親和性が低かったため、これらの撤去を行い新たなコンソール卓の導入を行う予定である。

4. 故障状況

2012 年 7 月から 2018 年 6 月までの 6 年間に発生した各装置別の故障に関して、故障発生件数を Fig. 4 に示す。故障の 43.3%は RF 系で、その他の装置は 3.7%~18.1%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が他の装置に比べ多いことが考えられる。

2012 年 7 月～2018 年 6 月の修理実施件数と一時的不具合件数に関する半年ごとの集計を Fig. 5 に示す。これらの故障としては、一時的な動作不良から重故障まで様々な故障があり、総計 434 件あった。そのうち部品交換などの修理を必要としたのは約 64.1%（278 件）であった。

この 1 年間の主な故障と修理として、RILAC-No.5 の真空悪化に関する問題が挙げられる。以前から内筒周辺にリークの疑いがあったため、ヘリウムリークテスト及びカラーチェックによるリークテストを行い内筒-高圧ドリフトチューブ台間の O リングからのリークを確認する事が出来た。この O リングの交換のために低圧ドリフトチューブ台および高圧ドリフトチューブ台の取り外しや、内筒の冷却配管やドリフトチューブ冷却のためのフレオン配管の取り外しなどを行った。リークの原因となった O リングは施工当時から一度も交換されておらず、経年劣化のためひび割れや硬化などが顕著であった。現在引き続き O リングの交換作業中であり、今夏中に仮組作業を完了させ、到達真空度を確認する予定である。同時に各ドリフトチューブの O リング交換も行う予定である。

この O リング交換作業の際にドリフトチューブ 5-11(DT5-11)において、大気側に面している冷却配管廻りのエポキシ樹脂が溶けているのが確認された。これについてはエポキシ樹脂部を今後修理する予定である。

冷却関係については平成 30 年豪雪による寒波の影響で、屋外に設置されているイオン源系冷却水装置の流量計や真空系冷却塔の配管の凍結破裂があった。これらについては修理もしくは交換を行い、また保温材を新しくするなどして対策を行っている。

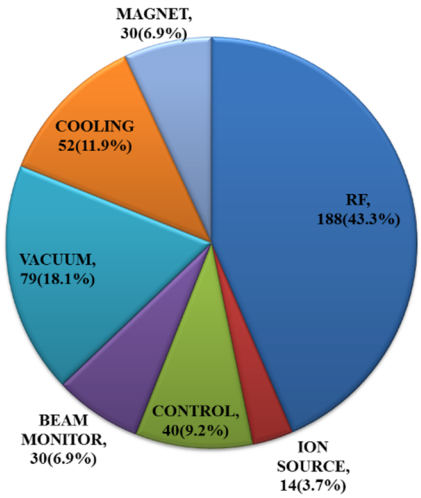

Figure 4: Number of mechanical problems from July 2012 to June 2018.

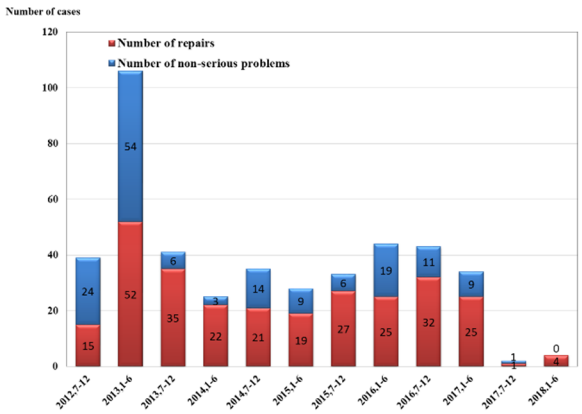

Figure 5: Number of repairs and non-serious problems from July 2012 to June 2018.

5. 老朽化対策と状況

RILAC-No.1~No.6 の励振器は、これまでに No.1、No.2、No.5、No.6 の 4 台について更新したが、No.3 と No.4 の 2 台は未更新である。これら 2 台は 38 年間使用し続けており、早期の更新が必要である。また、RILAC-No.1~No.6 の共振器も同様に 38 年間使用し続けて真空的な問題があり、リーク箇所をその都度補修している。RILAC-No.5 に関しては加速器の長期停止期間中のため長期にわたるメンテナンスが可能であり、リーク箇所の特定から修理までを実行することが出来た。一方で真空修理の過程において様々な個所の部品の取り外しを行ったことで問題も浮上した。特に高圧ドリフトチューブ台と内筒との RF コンタクトを担っている銀板及びリン青銅板は一度外してしまうと元に戻すのが困難である。よって再度組み立てる際に RF コンタクトをどのように担保するのかが問題になっており早期に解決策を考案する必要がある。

その他真空関係では RILAC-No.1~No.6 共振器真空排気用 5000L/sec のターボ分子ポンプは 38 年間使用し続けているので、順次更新することを検討している。

制御系では施工当時から使用していた制御卓の更新を行っており、モニター画面の整備やコントロール用の PC の整備などを行っている。今後は GPIB 制御電源の NIO 制御化なども検討している。

6. 今後の予定

RILAC は現在加速器増強計画により加速器運転を停止し、New 28GHz-SCECRIS 及び SRILAC の導入に伴う作業を急ピッチで行っている。New 28GHz-SCECRIS に関しては、すでに据え付けが完了しており、現在真空や冷却、制御系の整備を行っている。今夏中にファーストビームの生成テストを行う予定である。

SRILAC については理研内で空洞の性能試験を行っており今年度中の据え付けを目指している。またそれに伴い、SRILAC 周辺で使われる部品の組み立てが行われるクリーンルームの整備や排気装置の組み立て、周辺ビームラインの洗浄なども行われている。

最後に、励振器および共振器等の老朽化は対策が必要であり、昨年に引き続き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.*, PASJ2017, FSP029, (2017) 1400.
[3] Y. Yano, Nucl. Instrum. & Methods. B261 (2007) 1009.
[4] O. Kamigaito *et al.*, Rev. Sci. Instrum. 76 (2005) 013306.
[5] E. Ikezawa *et al.*, PASJ3-LAM31, WP02, (2006) 272.
[6] M. Kase *et al.*, IPAC2012, THPPP040 (2012) 382.
[7] E. Ikezawa *et al.*, HIAT2015, WEPB14 (2015) 222.