

理研重イオンリニアックの現状報告

PRESENT STATUS OF RILAC

田村匡史^{A)}, 日暮祥英^{#,B)}, 伊東雅史^{A)}, 金子健太^{A)}, 小山田和幸^{A)}, 鈴木惇也^{A)}, 遊佐陽^{A)},
藤巻正樹^{B)}, 今尾浩士^{B)}, 木寺正憲^{B)}, 長友傑^{B)}, 西隆博^{B)}, 大関和貴^{B)}, 坂本成彦^{B)},
須田健嗣^{B)}, 内山暁仁^{B)}, 渡邊環^{B)}, 渡邊裕^{B)}, 山田一成^{B)}, 山内啓資^{B)}, 上垣外修一^{B)}
Masashi Tamura^{A)}, Yoshihide Higurashi^{#,B)}, Masashi Ito^{A)}, Kenta Kaneko^{A)}, Kazuyuki Oyamada^{A)},
Junya Suzuki^{A)}, Akira Yusa^{A)}, Masaki Fujimaki^{B)}, Hiroshi Imao^{B)}, Masanori Kidera^{B)}, Takashi Nagatomo^{B)},
Takahiro Nishi^{B)}, Kazutaka Ozeki^{B)}, Naruhiko Sakamoto^{B)}, Kenji Suda^{B)}, Akito Uchiyama^{B)},
Tamaki Watanabe^{B)}, Yutaka Watanabe^{B)}, Kazunari Yamada^{B)}, Hiromoto Yamauchi^{B)}, Osamu Kamigaito^{B)}

^{A)} SHI Accelerator Service, Ltd.

^{B)} RIKEN Nishina Center

Abstract

This year marks 45 years since the RIKEN Heavy Ion Linac (RILAC) began supplying ion beams; RILAC has accelerated a variety of ion species at different energies according to experimental requirements. Following a shutdown in June 2017, RILAC was upgraded with a new Superconducting ECR Ion Source (SCECRIS) and Superconducting Linac Booster (SRILAC) to further continue the Superheavy Element (SHE) synthesis program beyond nihonium. Beam commissioning was carried out in January 2020, and the 40Ar beam was successfully accelerated to 6.2 MeV/u for the first time. Beam acceleration of the SHE experiments using SCECRIS and SRILAC started in June 2020. This year, the maximum beam service time and availability were achieved after 2020. Preparation of a new beamline for RI production is also ongoing. The current operation status of the RILAC is reported.

1. はじめに

理研仁科加速器科学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45年目を迎えた。1986年には後段の理研リングサイクロトロン(RRC)の入射器としての運転も開始し、2006年には理研RIビームファクトリー(RIBF)[3]複合加速器の入射器としての運転も開始した。2017年6月から

は、より高い強度のビームを加速するための増強工事が行われ、超伝導 ECR イオン源(28 GHz SCECRIS)[4]及び超伝導リニアック(SRILAC)[5, 6]が2019年に導入された。現在のレイアウトを Fig. 1 に示す。

2019年から2020年3月にかけて総合加速試験運転[7-9]が行われ、同年6月から超重元素(SHE: Super Heavy Elements)探索実験へのビーム供給が開始された。現在はSHE探索実験のビームラインのみが稼働して

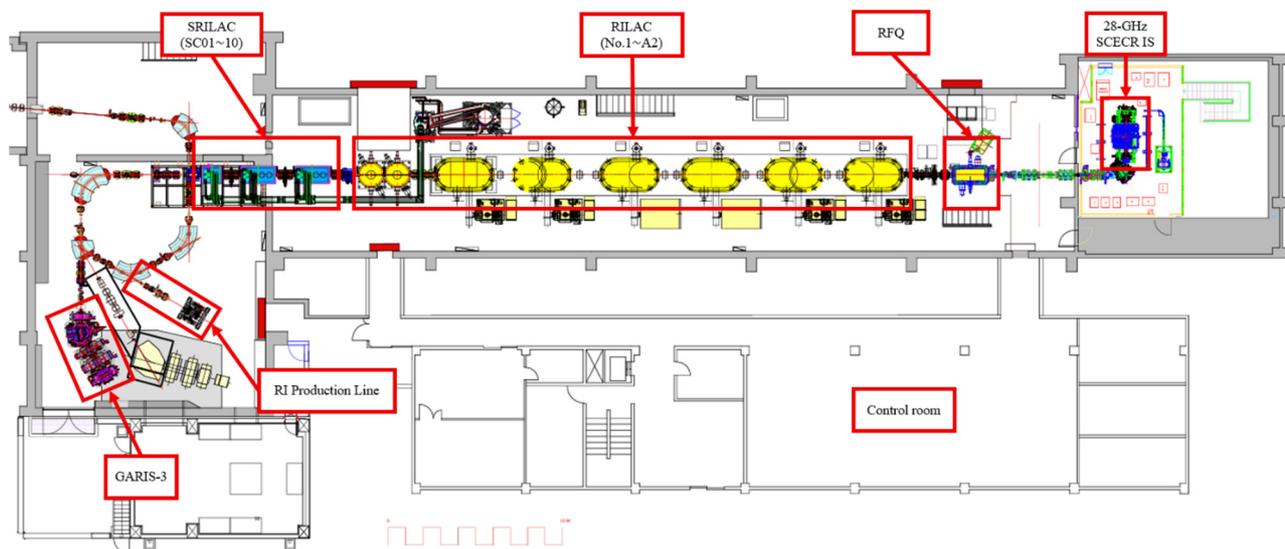


Figure 1: Layout of RILAC.

higurasi@riken.jp

いるが、ラジオアイソトープ (RI : Radio Isotope) 製造の為の新たな実験コース(RI製造用コース) の整備も進められている。

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、及びこの1年間における保守・改良作業などについて報告する。

2. 運転状況

Figure 2 に 2015 年～2024 年における各年の調整時間(Beam tuning time)、供給時間(Beam service time)、故障時間(Fault time)、28 GHz SCECRIS 単独運転時間(Stand Alone Operation time of Ion Source)、保守・改良作業等を行う停止時間(Planned down time)の内訳及び可用性(Availability)の推移を示す。

また、運転時間(Operation time)及び可用性は以下の関係で計算している。2018 年と2019 年は停止及び試験運転期間中のため、可用性は算出していない。

$$\bullet \text{ 運転時間} = (\text{調整時間}) + (\text{供給時間}) + (\text{故障時間})$$

$$\bullet \text{ 可用性} = (\text{供給時間}) / (\text{運転時間})$$

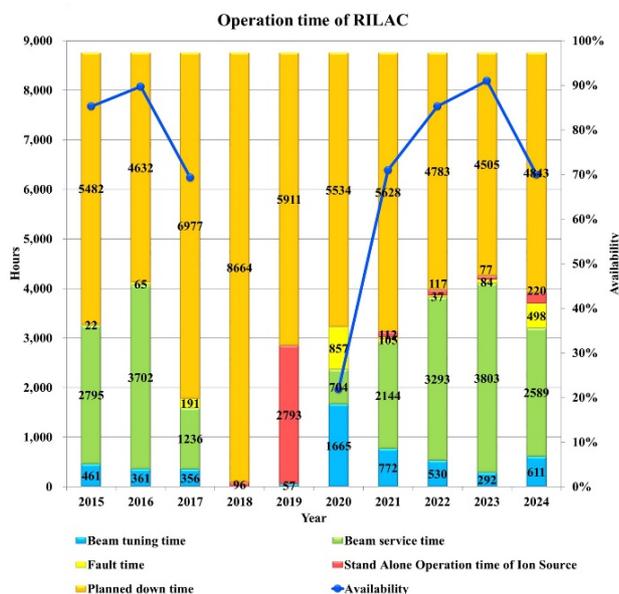


Figure 2: Operation time of RILAC.

2017 年 6 月からは 28 GHz SCECRIS 及び SRILAC 導入のため加速器の長期停止期間に入ったため、これ以降の運転時間が少なくなっている。2019 年 11 月より 28 GHz SCECRIS の入射コース(LEBT)でのビーム試験を開始、12 月には RILAC No. 6 での加速試験、2020 年 1 月には SRILAC での加速試験及び照射コース(HEBT)でのビーム調整を行い、2020 年 6 月下旬よりビーム供給を再開した。

以降、ビームの安定供給を目指して装置の調整や最適化、保守・改良を行った結果、運転時間と可用性は停

止以前と同等の水準まで回復している。

Figure 3 に 2015 年～2024 年の供給時間における各年の単独運転での SHE 探索実験時間(Experiments time related to the super-heavy element search)、その他実験時間(Other experiments time)、RRC 入射器運転での入射時間(Beam injection time)の内訳を示す。

RRC 入射器としては、2017 年まで RIBF 実験及びその他の実験のため RRC へのビーム入射運転を行った。単独運転としては、2017 年の長期停止までは SHE 探索実験[10-12]及びその他実験を行っていた。2020 年の運転再開以降は SHE 探索実験のみが行われ、2024 年には RI 製造用コース[13, 14]のコミッションング[15]が行われている。

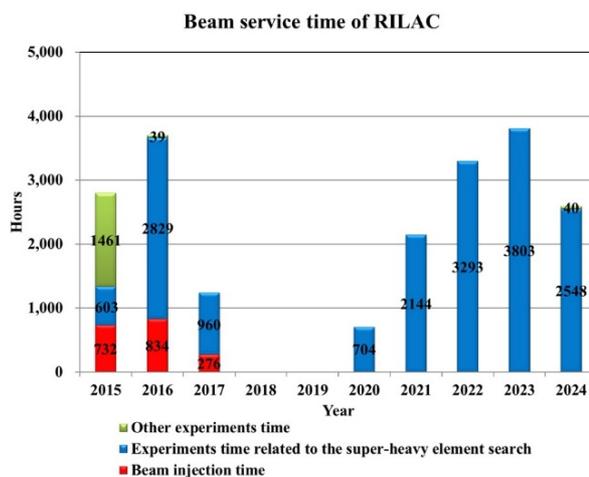


Figure 3: Beam service time of RILAC.

3. 保守・改良作業状況

各装置を常に最良の状態に維持するため、我々は保守及び改良作業として、主に以下の作業を行っている。2024 年 7 月から 2025 年 6 月までの保守改良について以下に記載する。

また、Fig. 4 に示すように RI 製造用コース[13, 14]の整備を進め、2024 年 12 月にコミッションングを行い、ファラデーカップ FC-0C1 までビーム輸送することができた[15]。その整備内容についても記載する。

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触部、励振器及び共振器の水冷部、高電圧直流電源、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。また、RFQ、REB、RILAC A1 冷却部のバルブやヘッダーなどを真鍮製からステンレス製に交換し、電蝕などによる漏水の対策を行った。また、RILAC No. 6 RF ローレベル回路をデジタル化し、制御システムの更新も行った。

冷却系は、冷却水ポンプ、冷却塔、熱交換器、空冷チラー、各種フィルターについて、点検、清掃、及び部品交換などを行った。また、共振器冷却水ポンプの更新し、SRILAC 系冷却水の熱交換器への自動流調弁を 1 台更新した。

圧空系は、コンプレッサー、除湿ドライヤー及び電磁弁の点検、及び部品交換を行った。

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、ドライポンプ、真空バルブ、真空度測定装置について、点検、オイル交換、及び部品交換を行った。

診断系は、ファラデーカップ、プロファイルモニター、アッテネーター、ロックインアンプについて、点検、及び部品交換を行なった。

イオン源系は、装置内部部品、高電圧部及び駆動部などについて、点検、清掃、及び部品交換を行なった。

制御系は、サーバー、クライアント機器、UPS の点検、清掃、及び部品交換を行なった。また、新規電源の導入に伴う制御系の整備及びデータアーカイブシステムの更新を行った。また、ファラデーカップの制御を、新たに開発した EtherNet/IP ベースのデバイス[16]に置き換えた。

電磁石電源系は、空冷ファン、エアフィルター、水冷部について、点検、清掃、及び部品交換を行った。また、RI 製造用コースとその他のコースの電磁石を切り替えるため、切り替え盤へのケーブル接続、インターロック用の配線、動作確認などを行った。

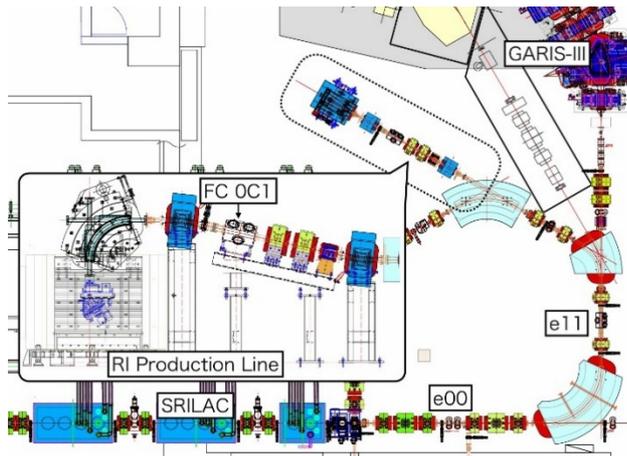


Figure 4: Layout of RI Production Line.

4. 故障状況

2019年7月から2025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、故障発生件数及び割合を Fig. 5 に示す。故障の47%はRF系で、その他の装置は2%~14%であった。これはこの加速器の主要装置がRF系であり、部品点数が他の装置に比べ多いためであると考えられる。

2019年7月~2025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. 6 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407件あった。2024年7月から2025年6月までの1年間では総計44件の故障が発生しており、一時的不具合3件を除く、41件について修理を実施した。この内、ビーム照射に大きな影響を与えたものを以下に挙げる。

2024年10月にSRILAC間の真空排気系に使用していたドライポンプが故障した。クリーン環境下での交換作業、ビームラインのArスローリークとベーク等が要求されるため、復旧までに1週間程度の時間を要した。

2024年12月にRILAC No. 6の終段アンプ真空管用

G2ソケットとGND間のバイパスコンデンサに穴が開いて導通し、交換した。また、2025年5月にRILAC No. 6のフィーダー接続部コンタクトフィンガーが焼損して接触不良になり、交換した。

以上が加速器運転中に発生した故障であり、いずれも数時間から数週間程度中断して修理した。

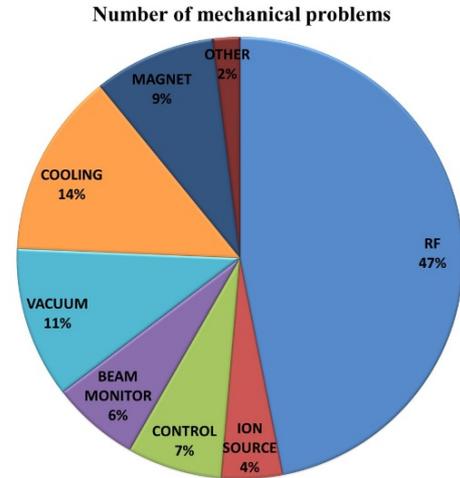


Figure 5: Number of mechanical problems from July 2019 to June 2025.

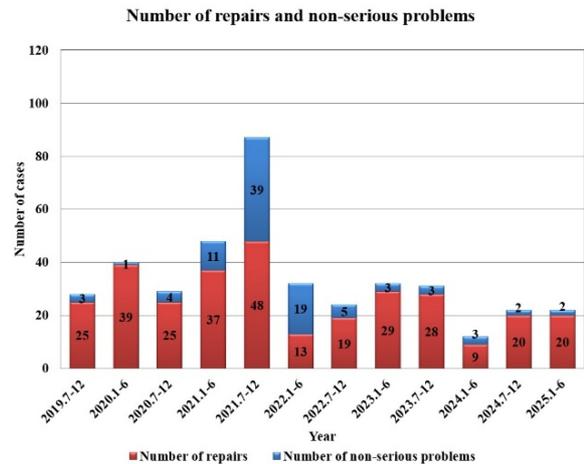


Figure 6: Number of repairs and non-serious problems from July 2019 to June 2025.

5. 老朽化対策と状況

RILAC No. 1~No. 6の励振器のうちNo. 3とNo. 4の2台は未だ更新されていない為、早期の更新が必要である。また、No. 5 RF ローレベル回路のデジタル化も、今後実施予定である。共振器に関しては40年以上使用し続けており、ドリフトチューブの冷却液漏れ[17]の問題や、真空リークなどの問題を抱えている。これらについては定期的に点検を行い、最近では2025年2月に、ドリフトチューブの補修を行っている。

型式の古い冷却水ポンプに関しても更新が必要であり、今年度はRILAC本体2次系、イオン源2次系の更

新を予定しており、その他のポンプについても徐々に更新していく予定である。また、SRILAC 系の流調弁の不具合が発生しており、更新が必要である。

6. 今後の予定

RILAC は SHE 探索実験へのビーム供給を再開して以来、大強度ビームでの長期連続運転を行っている。今後更なる大強度ビームの加速には、より精度の高いビーム調整が要求されるため、RILAC No. 6 の下流側に新たにビーム位置・エネルギー測定モニター(BEPM)[8]を増設予定である。

また、コミッショニングが行われた RI 製造用コースは現在、ビーム供給に向けて準備が進められている。さらに RRC 入射コースに関しては復旧作業に必要な整備項目および資材について検討を行った。今後は RRC への入射器としての運転再開が期待されている。

最後に、RILAC RF の励振器および共振器等の老朽化には対策が必要であり、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 Phys. Res. A 227 (1984) 187.
- [2] E. Ikezawa *et al.*, Proc. PASJ2019, FSPI010 (2019) 1263.
- [3] H.Okuno *et al.*, Prog. Theor. Exp. Phys. 03C002 (2012).
- [4] T.Nagatomo *et al.*, Rev. Sci. Instrum. 91, 023318 (2020).
- [5] N.Sakamoto *et al.*, Proc. Linac2018, Beijing, WE2A03, (2018) 620-625.
- [6] K.Yamada *et al.*, Proc. SRF2019, Dresden, Germany, TUP037, pp. (2019) 504-409.
- [7] N. Sakamoto *et al.*, Proc. PASJ2020, FRPP05 (2020).
- [8] T. Watanabe *et al.*, Proc. PASJ2020, FRPP20 (2020).
- [9] T. Nishi *et al.*, Proc. PASJ2020, THOO08 (2020).
- [10] E. Ikezawa *et al.*, Proc. PASJ3-LAM31, WP02 (2006) 272.
- [11] M. Kase *et al.*, Proc. IPAC2012, THPPP040 (2012) 382.
- [12] E. Ikezawa *et al.*, Proc. HIAT2015, WEPB14 (2015) 222-224.
- [13] X. Yin *et al.*, RIKEN Accel. Prog. Rep. 57, (2024) 149.
- [14] H. Arata *et al.*, RIKEN Accel. Prog. Rep. 57, (2024) S45.
- [15] T. Nishi *et al.*, RIKEN Accel. Prog. Rep. 58, to be published (2025).
- [16] A. Uchiyama *et al.*, RIKEN Accel. Prog. Rep. 58, to be published (2025).
- [17] T. Ohki *et al.*, Proc. PASJ2021, THP059 (2021) 984-985.