

理研重イオンリニアックの現状報告

PRESENT STATUS OF RILAC

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

^{A)} SHI Accelerator Service, Ltd.

^{B)} RIKEN Nishina Center

Abstract

This year marks 44 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 experiment 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44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いるが、ラジオアイソトープ製造の為の新たな実験コース(RI製造コース)の整備も進められている。

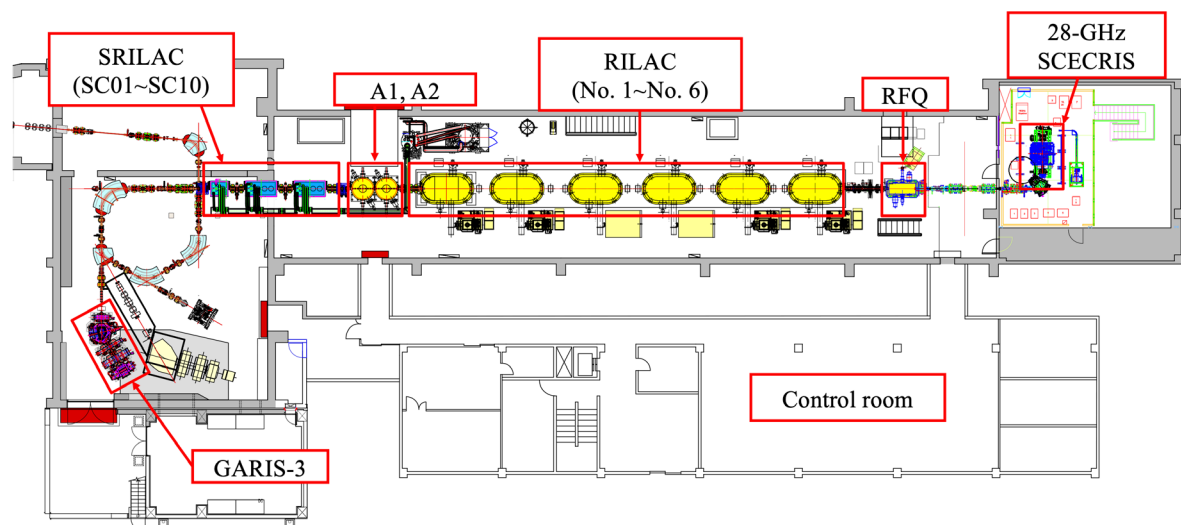


Figure 1: Layout of RILAC.

higurasi@riken.jp

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 2014 年～2023 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。

- ・運転時間 = (調整時間) + (供給時間) + (故障時間)
- ・可用性 = (供給時間) / (運転時間)

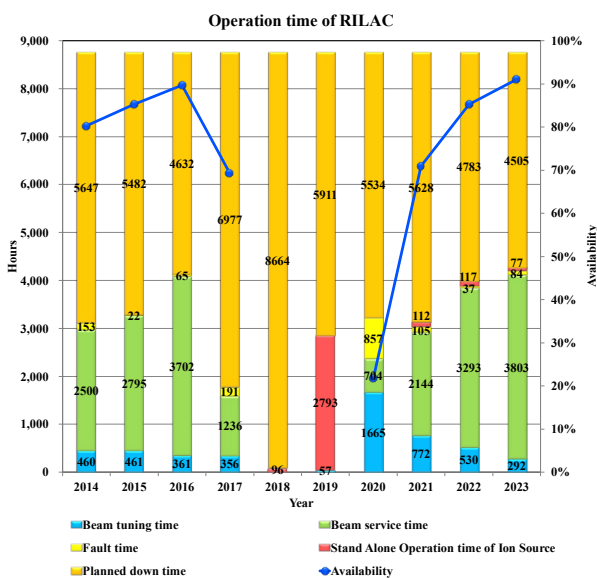


Figure 2: Operation time of RILAC.

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。2019 年 11 月より 28 GHz SCECRIS の入射コース(LEBT)でのビームテストを開始し、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、同年 6 月下旬より SHE 探索実験へのビーム供給を開始した。

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た。

Figure 3 に 2014 年～2023 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。

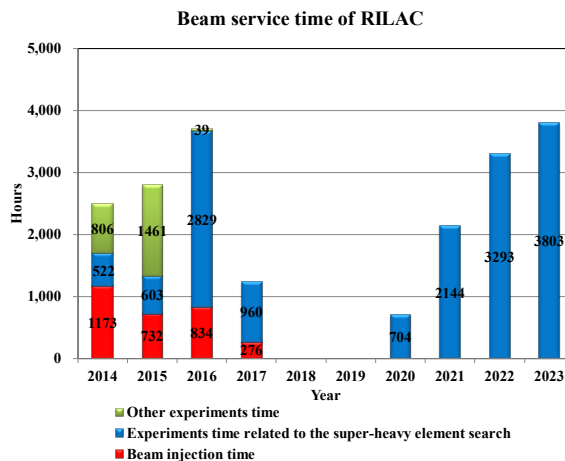


Figure 3: Beam service time of RILAC.

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た。

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却部、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。特に RILAC No. 5、No. 6、A1、A2 の励振器冷却配管について真鍮製のバルブや継ぎ手などを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 SRILAC の制御やヘリウム冷凍機の制御に用いている 30 kVA 出力 UPS が故障したため交換を行った。

電磁石電源系は、空冷ファン、エアフィルター、水冷却部について、点検、清掃、及び部品交換を行った。また、RI 製造コースとその他のコースの電磁石を切り替えるための負荷切り替え盤などの設置も行った。

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。

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、プロフィールモニター、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、2021 年に導入さ

れたデータアーカイバー(EPICS Archiver Appliance)のデータをブラウザで表示するための Web アプリケーションの開発や改善も進められている[13] (Fig. 4)。これらのアプリケーションは Archiver Appliance に用意されている Web API を利用してデータの取得を行い、表示処理やユーザーインターフェースは D3.js[14]や React[15]などの JavaScript ライブラリが用いられている。これによりアーカイブされたデータをより手軽に閲覧できるようになったほか、相関関係の可視化などもブラウザ上で簡単に行うことができるようになった。



Figure 4: Web applications for Archiver Appliance.

4. 故障状況

2018年7月から2024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43%はRF系で、その他の装置は4%~16%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。

2018年7月~2024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 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384件あった。2023年7月から2024年6月までの1年間では総計43件の故障が発生しており、一時的な不具合6件を除く、37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。

2023年9月にA2真空管プレート電源のクローバ回路が故障し、プレート電源回路内のダイオード基板の交換を行った。また2024年2月にはA2フィラメント電源のトランス入力部が熱により損傷したため、端子台を交換した。

2023年10月にはRILAC No. 2の終段真空管が故障し、2024年4月には2004年から使用していたRILAC

No. 4の終段真空管が故障した。特にRILAC No. 4は旧型の励振器であるためメンテナンス性に乏しく、真空管の交換作業に1週間程度の時間を要した。

2024年5月には主にRILAC No. 1~No. 6の共振器を冷却している冷却水ポンプが故障した。このポンプは現在保守部品の入手が困難となっており、この夏に本体一式を交換予定となっている。

その他の故障については、装置内にあるリレーなどの故障や信号線の断線及び機器の通信不良など、軽微な故障であり、その都度部品交換や再起動などを実施して修理した。

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

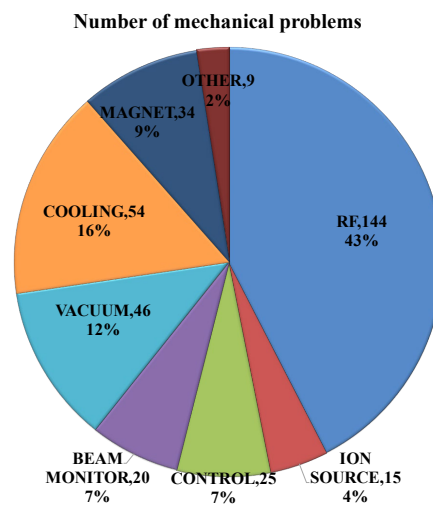


Figure 5: Number of mechanical problems from July 2018 to June 2024.

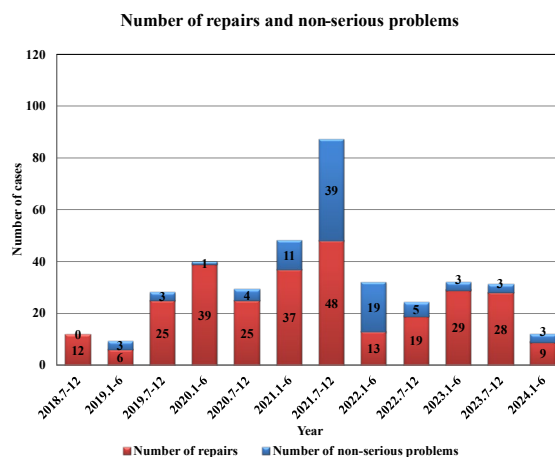


Figure 6: Number of repairs and non-serious problems from July 2018 to June 2024.

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[16]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、不具合が発見された際にはその都度補修を行っている。

型式の古い冷却水ポンプに関しても更新が必要であり、今年度交換予定であった共振器系の冷却水ポンプが交換予定を待たずして故障したこともあり、ほかのポンプについても早急に交換の計画を進めていくべきである。

制御関係では、各種装置の遠隔制御用インターフェースである N-DIM[17]を Programmable Logic Controller (PLC)へと置き換える計画が進められており、今年度中に一部の N-DIM については置き換えが始まる予定である。

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、現在 RI 製造コースの整備作業が進められているほか、 α ビームの加速試験なども行われている。さらに RRC 入射コースの整備も進んでおり、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.*, Nucle. 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, 620-625 (2018).
- [6] K.Yamada *et al.*, Proc. SRF2019, Dresden, Germany, TUP037, pp. 504-409(2019).
- [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 222-224 (2015).
- [13] A. Uchiyama *et al.*, Proc. PASJ2022 TUOA02 (2022).
- [14] <https://d3js.org/>
- [15] <https://react.dev/>
- [16] T. Ohki *et al.*, Proc. PASJ2021, THP059 (2021) 984-985.
- [17] M. Fujimaki *et al.*, RIKEN Accel. Prog. Rep. 37, p. 279 (2004).