

理研重イオンリニアックの現状報告

PRESENT STATUS OF RILAC

山内啓資^{A)}, 西隆博^{#B)}, 大木智則^{A)}, 小山田和幸^{A)}, 田村匡史^{A)}, 遊佐陽^{A)},
金子健太^{A)}, 坂本成彦^{B)}, 今尾浩士^{B)}, 内山暁仁^{B)}, 大関和貴^{B)},
木寺正憲^{B)}, 須田健嗣^{B)}, 長友傑^{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)}

Hiromoto Yamauchi^{A)}, Takahiro Nishi^{#.B)}, Tomonori Ohki^{A)}, Kazuyuki Oyamada^{A)}, Masashi Tamura^{A)},
Akira Yusa^{A)}, Kenta Kaneko^{A)}, Naruhiko Sakamoto^{B)}, Hiroshi Imao^{B)}, Akito Uchiyama^{B)}, Kazutaka Ozeki^{B)},
Masanori Kidera^{B)}, Kenji Suda^{B)}, Takashi Nagatomo^{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 is the 42nd year since the RIKEN heavy ion linac (RILAC) started to supply ion beams for experiments. Since then, the RILAC has accelerated a variety of ion species at various energies based on the requirements of each experiment. The RILAC was upgraded by the introduction of a new superconducting linac-booster (SRILAC) and a new superconducting ECR ion source for further investigation of the super-heavy elements (SHE) synthesis program beyond nihonium. After the shutdown from June 2017, beam commissioning was made in Jan 2020 and an ⁴⁰Ar beam was successfully accelerated to 6.2 MeV/u for the first time. Then beam acceleration for SHE experiment was started in June 2020 using the SRILAC and the superconducting ECRIS. This year we found several problems with RILAC's RFQ and ion source, but by solving these problems we have achieved stable beam delivery. The current status of the RILAC operation 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42年目を迎えた。現在のRILACのレイアウトをFig. 1に示す。1986年に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も開始し、2006年には理研RIビームファクトリー (RIBF) [3]の複合加速器ための入射器としての運転も開始した。新たなビーム強度の増強として超伝導ECRイオン源 (28-GHz SCECRIS) 及び超伝導リニアック (SRILAC) が2019年に導入された。

2019年から2020年3月にかけて総合加速試験運転[4]が行われ、同年6月から超重元素探索実験 (SHE) へのビーム供給が開始された。

現在のビームラインはSHE実験のコースのみ整備が完了しているが、RI製造の為の新たな実験装置の工事も進められている。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年間における運転、保守作業などについて報告する。

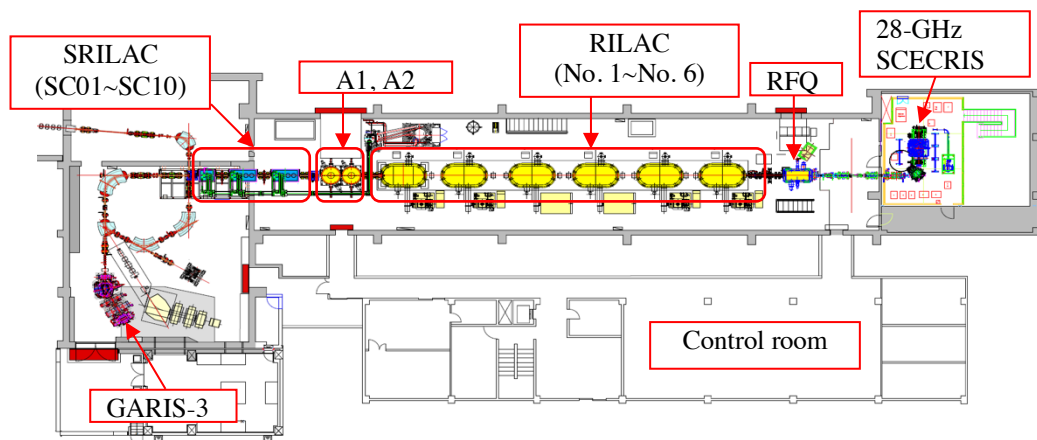


Figure 1: Layout of RILAC.

takahiro.nishi@riken.jp

2. 運転状況

Figure 2 に 2012 年～2021 年の運転時間を示す。2017 年 6 月より 28-GHz SCECRIS 及び SRILAC の導入のために加速器運転の長期停止期間に入った。2019 年 11 月より入射コース (LEBT) において 28-GHz SCECRIS からのビームテストを開始し、12 月には RILAC No. 6 までの加速試験を行った。2020 年 1 月より SRILAC でのビーム加速試験を行い、6 月下旬より SHE へのビーム供給を開始した。

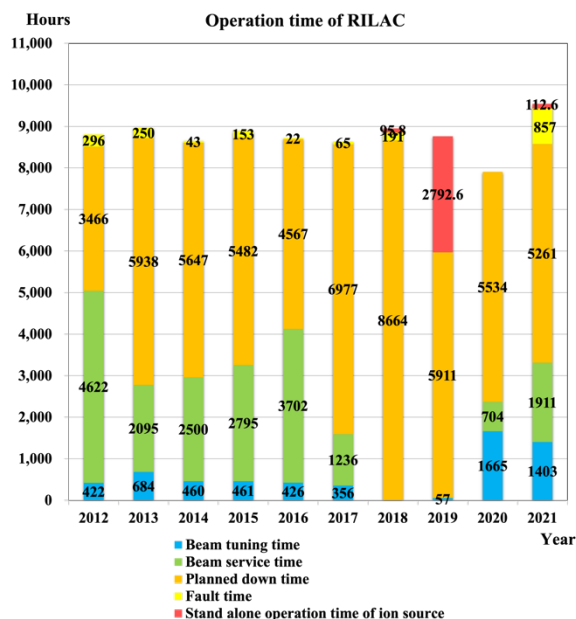


Figure 2: Operation time of RILAC.

Figure 3 に 2012 年～2021 年のビーム供給時間の内訳 (実験時間) を示す。入射運転としては、2017 年まで RIBF 実験及びその他の実験のため RRC へビームを入射した。2020 年からは超重元素探索関連の実験[5-7]が行われている。

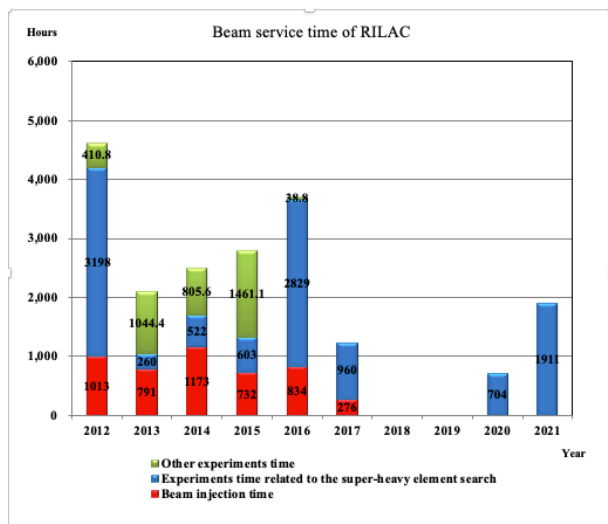


Figure 3: Beam service time of RILAC.

3. 故障事象報告

2021 年 10 月に流量計固着のため冷却水を流さずに励振してしまい、Radio Frequency Quadrupole (RFQ) のショート板コンタクトフィンガーを焼損、キャビティーを釣り上げ外筒と内筒を分離、コンタクトフィンガーを交換する作業をした。(Figure 4 参照)



Figure 4: Photo of RFQ being repaired. (top) Damaged area of a shorting plate. (middle) A shorting plate is being lifted by a crane for the repair. (bottom) New contact fingers are attached to the shorting plate.

また、2022年5月電食により、加速タンク#6 中間段アンプより水漏れが発生、Fig. 5 の様に、ホース継ぎ手を交換、カプトンテープを貼り対策を施した。



Figure 5: Intermediate stage amplifier.

2016年7月から2022年6月までの6年間に発生した各装置別の故障・メンテナンスに関して、発生件数を Fig. 6 に示す。故障・メンテナンスの43%はRF系で、その他の装置は3%~15%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理由として考えられる。

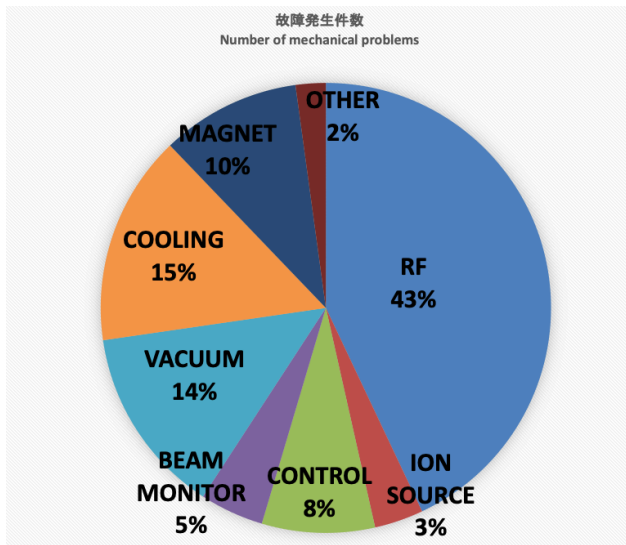


Figure 6: Number of maintenances and mechanical problems from July 2016 to June 2022.

2016年7月~2021年7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. 7 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368件あった。

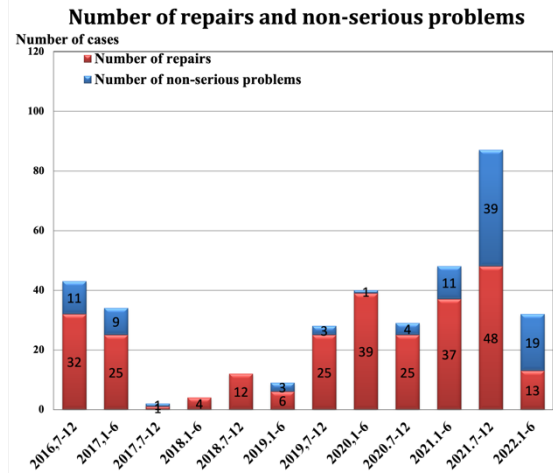


Figure 7: Number of repairs and non-serious problems from July 2016 to June 2022.

4. 保守作業状況

装置を常に最良の状態に維持するために、我々は主に以下の保守作業を行った。

- 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気的接触部、励振器及び共振器の水冷部、高電圧部、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、及び水冷部の点検、清掃、部品交換を行った。
- 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、真空度測定装置の点検、オイル交換、及び部品交換を行った。
- 制御系はサーバー、クライアント機器、UPSの点検、清掃、及び部品交換を行った。また、ビームインターロックシステム (BIS) の再整備を行い、大強度のビームへの対応を行った。
- 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、ロックインアンプの点検、及び部品交換を行った。
- イオン源系は装置内部品、高電圧部及び駆動部などの点検、清掃、及び部品交換を行った。
- 冷却系は冷却水ポンプ、冷却塔、熱交換器、空冷チラー、各種フィルターの点検、清掃、及び部品交換などを行った。また、RILAC DT 系統の流量計交換を行った。

これらの保守作業の他に、冷却系の水温の安定性を高めるために冷却系二次側に温度調節器を追加した。その結果、Fig. 8, 9 に示すように気温の変化に対して冷却水の温度を一定に保ち、RF位相や電圧などの加速器パラメータの安定化に大きく貢献していることが確認された。

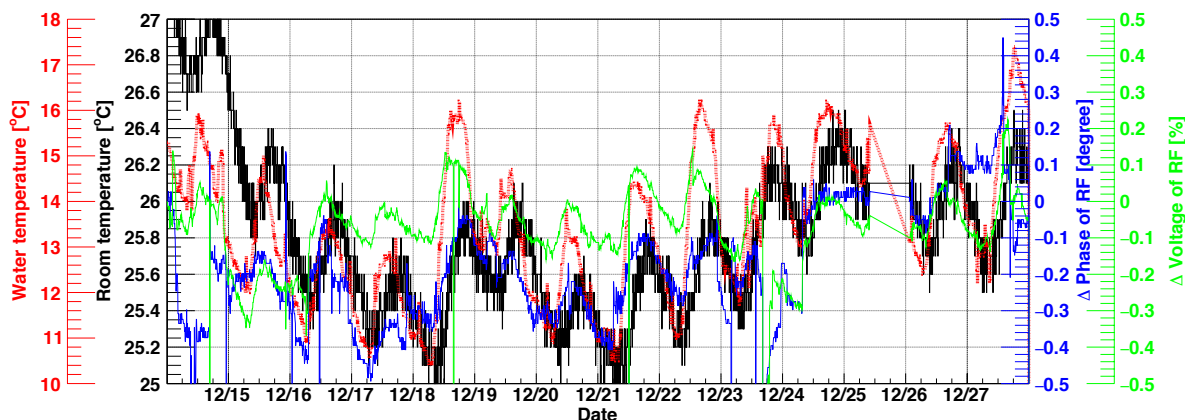


Figure 8: Room temperature (Black) and water temperature (red) before thermostat installation. These data are taken in 2020 Dec. 14th - 27th. The RF phase (blue) and voltage (green) of tank#2 change diurnally in conjunction with the room temperature through the water temperature.

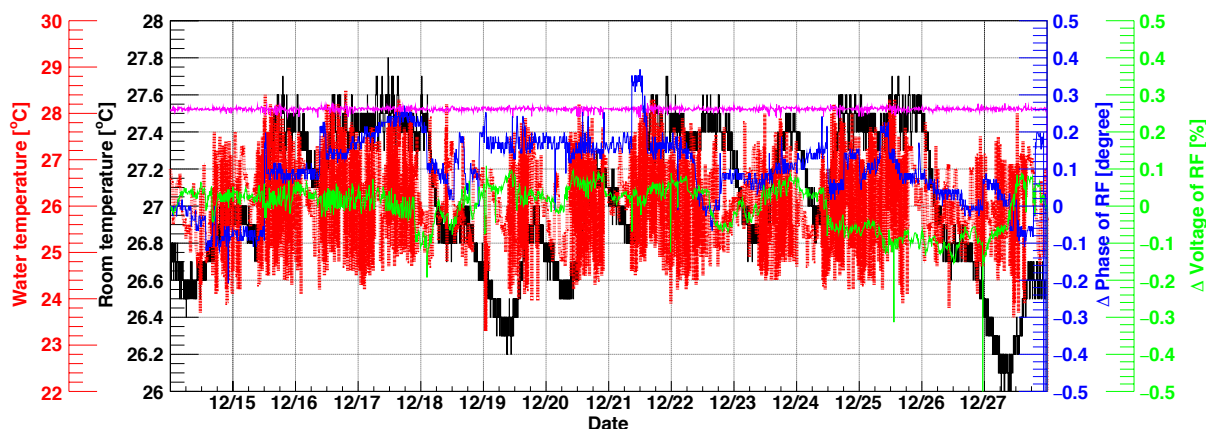


Figure 9: Room temperature (Black) and water temperature (red) after thermostat installation. These data are taken in 2021 Dec. 14th - 27th. Water temperature changes frequently by the thermostat. Magenta line shows the water temperature close to the resonator, which is controlled more precisely. The graph shares the y axis with the red graph. The diurnal change of RF phase (blue) and voltage (green) of tank#2 have almost disappeared, although the values still vary smoothly.

5. 老朽化対策と現在の状況

6台ある RILAC の常温励振器のうち 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。前年度報告した No. 4 のドリフトチューブ冷却液漏れについて[8]は冷却液温度が18°C以下になると冷却液が真空中に漏れ出すことが分かっているため、冷却水温度調整の効果を見ている。

6. 今後の予定

RILAC は、SHE へのビーム供給が始まり長期の連続運転が必要とされている。大強度ビームの加速に伴いより精度の高いビーム調整が要求される事が予想されるため、RILAC No. 6 の下流側に新たにビームエネルギー・位置モニター(BEPM [9])を増設する予定である。さらに現在入射操作系の更新を実施しており、ビーム供給の安定化を目指している。

また、RI 製造の為にビームラインは今年度中に設置される予定である。現在行われている SHE 実験、及びRI 製造用ビームラインの安定した運用のためにも、励振器および共振器等の老朽化対策が必要であり、引き続き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.*, Proc. of PASJ2019 FSPI010 (2019) 1263.
- [3] Y. Yano, Nucl. Instrum. & Methods. B261 (2007) 1009.
- [4] N. Sakamoto *et al.*, Proc. of PASJ2020, FRPP05 (2020) 679.
- [5] E. Ikezawa *et al.*, Proc. of PASJ3-LAM31, WP02 (2006) 272.
- [6] M. Kase *et al.*, Proc. of IPAC2012, THPPP040 (2012) 382.
- [7] E. Ikezawa *et al.*, Proc. of HIAT2015, WEPB14 (2015) 222.
- [8] T. Ohki *et al.*, Proc. of PASJ2021, THP059 (2021) 983.
- [9] T. Watanabe *et al.*, Proc. of PASJ2020, FRPP20 (2020) 718.