

理研重イオンリニアックの現状報告

PRESENT STATUS OF RILAC

大木智則^{A)}, 山内啓資^{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)}, 西隆博^{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)}, 池沢英二^{B)}, 上垣外修一^{B)}

Tomonori Ohki^{A)}, Hiromoto Yamauchi^{A)}, Kazuyuki Oyamada^{A)}, Masashi Tamura^{A)}, Akira Yusa^{A)}, Kenta Kaneko^{A)},
Naruhiko Sakamoto^{B)}, Masaki Fujimaki^{B)}, Eiji Ikezawa^{B)}, Hiroshi Imao^{B)}, Masanori Kidera^{B)}, Takashi Nagatomo^{B)},
Takahiro Nishi^{B)}, Kazutaka Ozeki^{B)}, Kenji Suda^{B)}, Akito Uchiyama^{B)}, Tamaki Watanabe^{B)},
Yutaka Watanabe^{B)}, Kazunari Yamada^{B)}, Osamu Kamigaito^{B)}

^{A)} SHI Accelerator Service, Ltd.

^{B)} RIKEN Nishina Center

Abstract

This year is the 41st year since the RIKEN heavy ion linac (RILAC) started to supply ion beams for experiments. Since then, the RILAC has accelerated various ion species with various energy according to the requests from experiments. The RILAC was upgraded by the introduction of a new superconducting linac-booster (SRILAC) and a new superconducting ECR ion source to further continue 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 6.2MeV/u for the first time. Then beam delivery to the GARIS-3 for SHE experiment was started in June 2020 using the superconducting linac-booster and the superconducting ECR. This year a serious trouble with DTL tank of the RILAC occurred. Beam delivery was stopped until the problem was fixed. The present 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年の運転開始からイオン源やブースターの追加のほか細かいアップグレードを行い、今年で41年目を迎える。現在のレイアウトをFig. 1に示す。1986年に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]の複合加速器のための入射器としてビーム供給を行うようになった。2017年からビーム強度と加速電圧の増強のため超伝導ECRイオン源(28 GHz SC-ECRIS)[4]及び超伝導リニアック(SRILAC)[5,6]導入によるアップグレードが施された。

2019年秋からの超伝導線形加速器の冷却試験、高周波試験ののち、2020年1月に最初のビーム加速試験に成功した。その後総合加速試験運転[7-9]が行われ、同年6月よりGARIS-3へのビーム供給を開始した。並行してRI製造の為の新たな実験装置・ビームライ

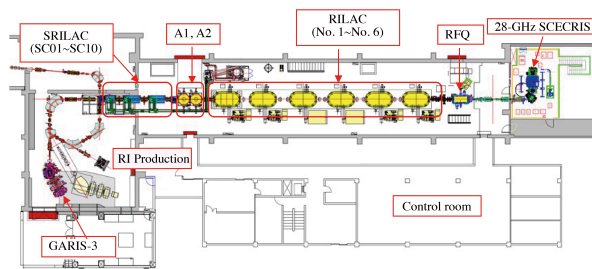


Figure 1: Layout of RILAC and SRILAC.

ンの整備も進められている。

ここ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・開発作業などについて報告する。

2. 運転状況

Figure 2 に 2011 年～2020 年の運転時間とその内訳を示す。2017 年 6 月より RILAC アップグレードのため長期停止期間に入った。2019 年 11 月より 28-GHz SCECRIS から入射コース(LEBT)間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

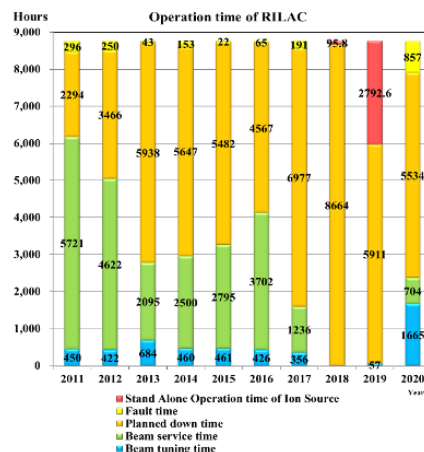


Figure 2: Operation statistics of RILAC.

速試験を行ったのち、6月下旬より GARIS-3 コースへのビーム供給を開始した。夏季メンテナンス期間ののち、10月よりビーム加速開始。リニアックドリフトチューブ冷媒のリークや、超伝導空洞6番のカプラートラブルなどで、度々中断。年末年始の中断のあと、年明け運転を再開したが、リニアックドリフトチューブ冷媒リークの量が急増したため補修を行うこととした。詳細は4の故障状況に説明する。この間並行して、リークしている2台の超伝導空洞用カプラーの手当を行なった。具体的には、カプラーの大気側に追加で真空窓を設置し高周波を入力できるように改造した。リニアックドリフトチューブ補修完了後、5月中旬よりビーム供給を再開。7月の初旬までビームを安定的に供給することができた。SRILACは空洞10台での安定な運転を実現できた。

Figure 3に2011年～2020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、2017年まではRIBF実験及びその他の実験のためRRCへビームを入射した。単独運転としては、ニホニウム関連の実験が主に行われた[10-12]。

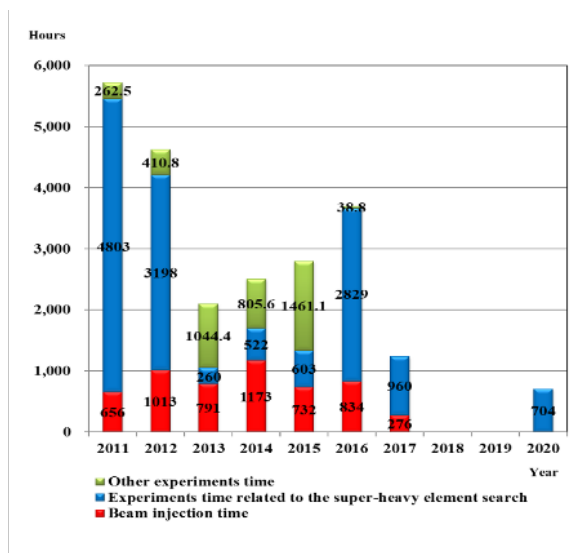


Figure 3: Beam service time of RILAC.

3. 保守作業状況

ビーム供給中の加速器のトラブルを最小限にするために、我々は保守作業として高周波系、電磁石電源系、冷却系、圧縮空気系、真空系、制御系、診断系、イオン源について以下のような作業を行った。

RILAC 高周波系は可変周波数真空管アンプ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。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。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、RILAC DT 系統の流量計交換。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。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。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、ビームインターロックシステム(BIS)の再整備を行いビーム調整時の高効率化を図った。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。イオン源系は、装置内部品、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。また、オープンのダブルオープン化を行った。これにより試料を追加することなしに大強度のビームを長時間供給することができるようになった。

4. 故障状況

2020年10月にSRILAC SC06のカプラー部より真空悪化が発生した。これによりSRILACのSC05とSC06は励振ができなくなった。カプラー部のWウインドウ化により2021年5月より励振を行っている。

冷却液漏れが懸念されていたRILACドリフトチューブのエポキシ樹脂部の点検を2020年7月に全数実施し、冷却液漏れ量がほかに比べて多い6箇所について修理をトルシールで行った。2020年10月に再点検を行い、液漏れの多い物については再修理を実施した。また、同じ10月には従来品の購入ができなくなるため新たな冷媒を導入した。

2021年1月、ビーム供給中に運転中のドリフトチューブ冷却液漏れ量が急激に増加するとともにNo.4タンクの放電頻度が止まらなくなる事象が発生した。調べてみると冷媒のもれは補給が追いつかない程度になり、RGAでみたところタンク内に冷媒が漏れ出していることがわかった。このため徹底的に対策を施すことにした。修理は高圧ドリフトチューブをタンクから取り出し、各ドリフトチューブを取り外して行うため、約2か月の期間を要した。

トルシールの代わりに新たにエポキシ系のボンドを選定し、さらに柔らかくなった従来のシール部にあるエポキシを取り除き十分に脱脂した後にボンドを充填した。2021年6月時点では大きな漏れは発生していないが、夏のメンテ時に点検を予定している。冷却液漏れをしたDTの写真を図4に示す。ドリフトチューブDT4-5は冷却液温度が18℃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おり、#4キャビティの励振にも影響が出ている。

2015年7月から2021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、故障発生件数を図5に示す。故障の46%はRF系で、その他の装置は2%~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考えられる。



Figure 4: Problematic DT for RILAC.

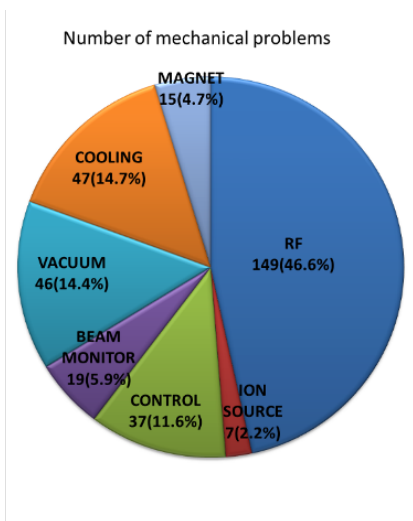


Figure 5: Number of mechanical problems from July 2015 to June 2021.

2015年7月～2021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発生し、総計 326 件であった。

5. 老朽化対策と状況

RILAC No.1 から No.6 の真空管アンプのうち 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。ドリフトチューブの冷却液漏れは、完全に修理が完了したわけではないので、定期的な点検と観察が必要である。ドリフトチューブ DT4-5 の問題は今後冬に向けての対策は必須である。

真空的な問題では 2018 年に修理を行った RILAC No. 5 同様に他の共振器も 40 年間使用し続けているためリーク箇所をその都度補修している。

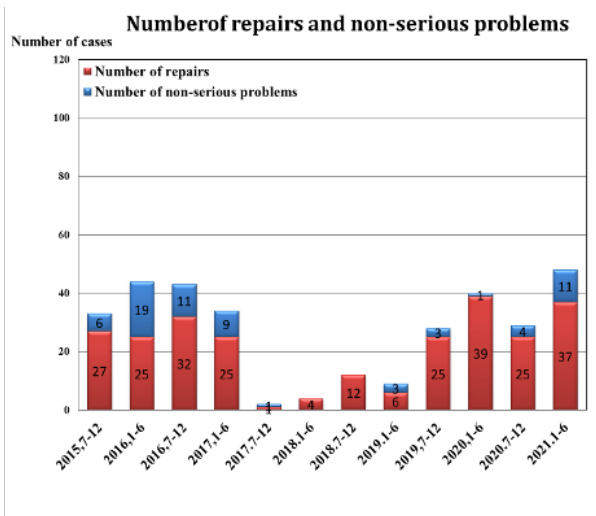


Figure 6: Number of repairs and non-serious problems from July 2015 to June 2021.

6. 今後の予定

RILAC は、GARIS-3 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。今後、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 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)を増設予定である。

また RI 製造の為のビームラインは今年度中に設置される予定である。そして RRC への入射コースの整備も行われる予定である。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、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.*, PASJ2019 FSPIO10, (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, 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).