

## 理研重イオンリニアックの現状報告

### PRESENT STATUS OF RILAC

小山田和幸<sup>#B)</sup>, 池沢英二<sup>A)</sup>, 大木智則<sup>B)</sup>, 山内啓資<sup>B)</sup>, 田村匡史<sup>B)</sup>, 遊佐陽<sup>B)</sup>,  
金子健太<sup>B)</sup>, 今尾浩士<sup>A)</sup>, 内山暁仁<sup>A)</sup>, 大関和貴<sup>A)</sup>, 西隆博<sup>A)</sup>, 坂本成彦<sup>A)</sup>,  
須田健嗣<sup>A)</sup>, 長友傑<sup>A)</sup>, 藤巻正樹<sup>A)</sup>, 山田一成<sup>A)</sup>, 渡邊環<sup>A)</sup>,  
渡邊裕<sup>A)</sup>, 上垣外修一<sup>A)</sup>

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

<sup>A)</sup> RIKEN Nishina Center, <sup>B)</sup> SHI Accelerator Service, Ltd.

#### Abstract

This year is the 40th 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 nuclear experiments of the RI Beam Factory (RIBF), ion beams accelerated by the RILAC were injected into the RIKEN Ring Cyclotron (RRC). A new 28-GHz superconducting electron cyclotron resonance ion source (28-GHz SCECRIS) and a new superconducting linac (SRILAC) were commissioned. 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年に単独運転が開始され、今年で40年目を迎えた。現在のレイアウトを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]の複合加速器の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12月から2020年3月にかけて総合加速試験運転[4]が行われ、6月から超重元素探索実験(SHE)へのビーム供給が行われた。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て他のビームラインは今後整備予定である。また、RI製造の為の新たな実験装置の導入が進められている。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。

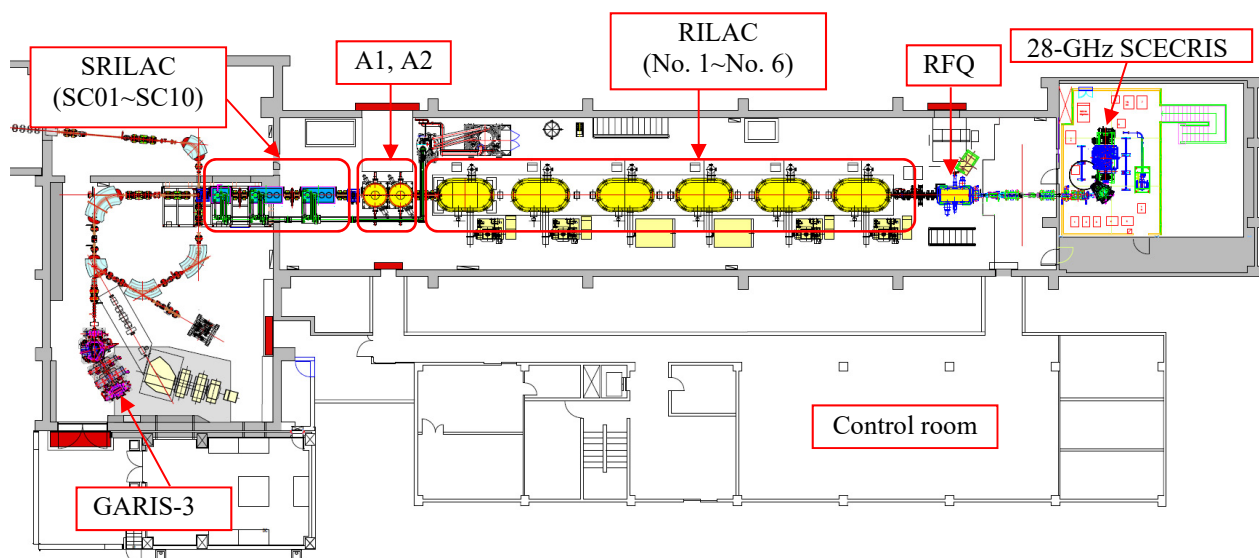


Figure 1: Layout of RILAC.

# oyamada@riken.jp

## 2. 運転状況

Figure 2 に 2010 年～2019 年の運転時間を示す。2017 年 6 月 12 日まで加速器運転を行い、その翌日から 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)の 28-GHz SCECRIS のビームテストが開始し、12 月には RILAC No. 6 までの加速試験を約 78 時間行った。

2020 年 1 月に SRILAC でのビーム加速試験を約 997 時間行った。6 月下旬から 7 月末まで SHE へのビーム供給が行われた。SRILAC の加速調整には不純物の付着により加速空洞の超伝導面を劣化させないように注意する必要があり、各所のビームインターロックの見直しが行われた。また停止期間中に完成した新たなコントロールルームのマルチモニターでは各所真空度や RF の状態などが常時表示され、調整に必要な情報が集約

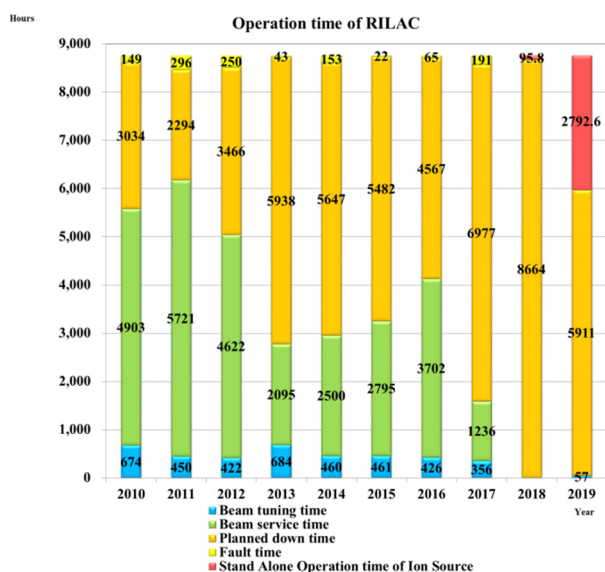


Figure 2: Operation time of RILAC.

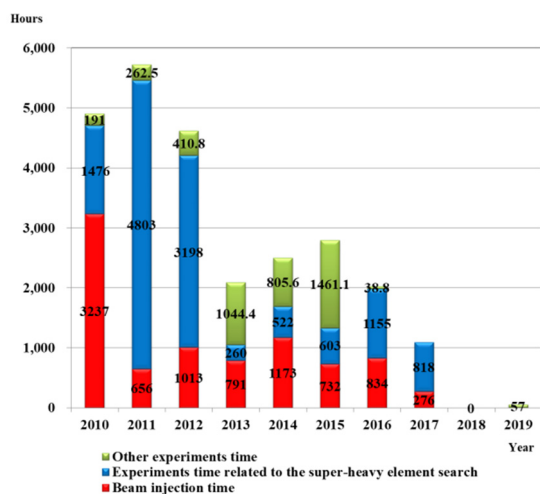


Figure 3: Beam service time of RILAC.

された。非接触型のビームエネルギー位置モニター (BEPM)[5]が 5 か所に設置され常時ビームのエネルギーとビーム位置を観測出来るようになった。

Figure 3 に 2010 年～2019 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 へビームを入射した。2010 年～2019 年では年間約 600 時間から 3200 時間のビーム入射を行った。単独運転としては、超重元素探索関連の実験 [6-8]、核化学、放射線化学の実験が行われた。

## 3. 保守作業状況

2019 年度内のビーム加速を目指し以下の作業を行った。

SRILAC へのビームライン接続のクライオモジュール間にクリーンブースの設置が行われた。照射室のビームチェンバーは清掃が行われ DMe1 チェンバーや e11 チェンバーは清掃が困難な為新しい物に作り替えられた。

またクライオモジュールの間を含む前後には BEPM が 8 台設置され 4 つのステーションでエネルギー測定が出来るようになった。

イオン源系は、2019 年 3 月に 28 GHz マイクロ波でのビーム生成が開始され、V, Ar, Zn, CaO のビーム開発を行った。またエミッタンスモニターはペッパーポット型が採用され入射ビームラインの各所でエミッタンス測定が行われた。12 月には Ar ビームで LEBT のコミッションングを行いビームエミッタンスの測定とオプティクスの最適化を行った。

RILAC は、SRILAC に合わせキャビティー発生電圧の限界試験を行った。また 36.5 MHz で励振を行うと発生してしまう RILAC No. 1 フィーダ水冷ホースの焼損対策としてフィーダの空冷化を施した。

電源電磁石系は、LEBT には新たな電磁石の設置が行われ、RILAC No. 6 より下流の電磁石のレイアウト変更に伴い電源の移設が行われた。

また電源制御方法の変更に伴い制御ステーションの更新が行われた。

冷却系は、常伝導キャビティーの台数の減少や実験装置の新規導入などに合わせ各冷却水ポンプの経路の改修が行われた。また、36 台ある低圧側ドリフトチューブ内蔵 Q 電磁石のための流量計の更新の為、配管の改造をせずに取付けが可能である超音波式流量計を採用し、動作試験を行っている。

真空系ではクライオモジュールの上流と下流に既存のビームラインと接続するための作動排気システムが設置された。更に作動排気システムの中には静電集塵システムを導入して超伝導キャビティーへのゴミの流入を防いでいる。また急激な真空悪化による超伝導キャビティーの劣化を防ぐためにファストクロージングバルブが 3 か所に設置された。

制御系は、更新されたコンソール卓の運用が始まり細やかなアップデートを行っている。

また大強度ビームから各装置を守る為、ビームインターロックシステムの整備が行われた。

#### 4. 故障状況

2014年7月から2020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42.9%はRF系で、その他の装置は2.2%~20.2%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。

2014年7月~2020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. 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314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73.9%(173件)であった。

停止期間中にRILAC No. 3キャビティーの真空悪化が発生しショート板の空圧Oリングの交換とショート板冷却配管の水漏れ修理を行った。これはRILAC No. 1~No. 6全てのキャビティー共通の構造であり他のキャビティーでも水漏れを起こす可能性がある。

2020年3月に冷却液漏れ問題が発生しドリフトチューブのエポキシ樹脂部の冷却液漏れを全数確認、漏れの酷い場所の補修をトルシールで行った。しかし

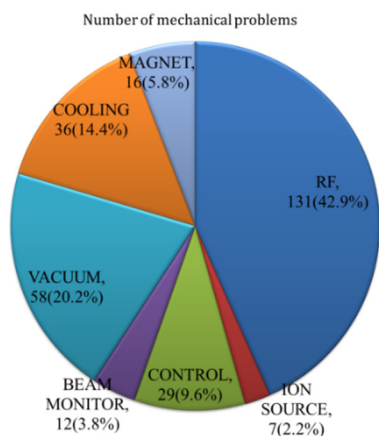


Figure 4: Number of mechanical problems from July 2014 to June 2020.

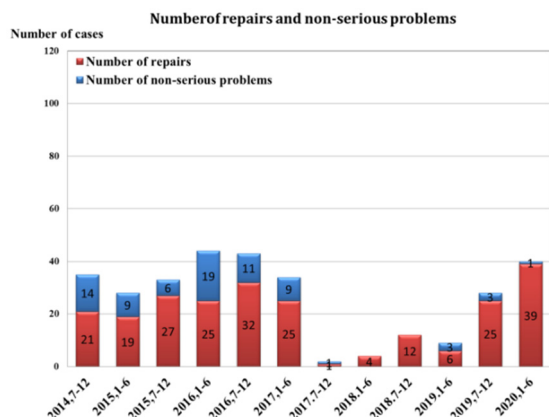


Figure 5: Number of repairs and non-serious problems from July 2014 to June 2020.

冷却液漏れは引き続き発生していて今夏に漏れ調査及び、冷却液の代替品入れ替え作業を予定している。

#### 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、ドリフトチューブのエポキシ樹脂部の冷却液漏れが多数発生しており夏季メンテナンスで全数補修を行う予定である。ドリフトチューブ内のQマグネットを冷却する冷却液は環境対策品のために総入れ替えする事が決まっている。真空的な問題では一昨年に修理を行った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。

#### 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予想される。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製造の為にビームライン及び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 FSPI010, (2019) 1263.
- [3] Y. Yano, Nucl. Instrum. & Methods. B261 (2007) 1009.
- [4] N. Sakamoto *et al.*, PASJ2020 FRPP05, (2020).
- [5] T. Watanabe *et al.*, PASJ2020 FRPP20, (2020).
- [6] E. Ikezawa *et al.*, PASJ3-LAM31, WP02, (2006) 272.
- [7] M. Kase *et al.*, IPAC2012, THPPP040 (2012) 382.
- [8] E. Ikezawa *et al.*, HIAT2015, WEPB14(2015) 222.