

PRESENT STATUS OF RILAC

Eiji Ikezawa^{A)}, Tomonori Ohki^{B)}, Toshimitsu Aihara^{B)}, Hiromoto Yamauchi^{B)}, Akito Uchiyama^{B)}, Kazuyuki Oyamada^{B)}, Masashi Tamura^{B)}, Yutaka Watanabe^{A)}, Masayuki Kase^{A)}, Osamu Kamigaito^{A)}
^{A)} RIKEN Nishina Center

2-1 Hirosawa, Wako-shi, Saitama, 351-0198

^{B)} SHI Accelerator Service, Ltd.

2-1 Hirosawa, Wako-shi, Saitama, 351-0198

Abstract

This year is the 31st 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, beam acceleration tests, and beam commissioning. For the beam experiments of the RI Beam Factory (RIBF), ⁴⁸Ca-ion beam and ¹⁸O-ion beam accelerated by the RILAC were injected into the RIKEN Ring Cyclotron (RRC) for the past year. 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. The present status of the RILAC operation as an injector and for research experiments on the heaviest elements is reported. In addition, we report the situation of the damage caused by the Tohoku Earthquake.

理研重イオンリニアックの現状報告

1. はじめに

理研仁科加速器研究センターの理研重イオンリニアック (RILAC)^[1, 2]は、重イオン用の周波数可変型線形加速器で1981年から各種実験へのビーム供与を行っている。今年で31年目を迎えた。これまでにいくつもの改良や増強がなされ、現状のRILACは、図1に示すように、18GHz-ECRイオン源、前段入射器のRFQ、主加速器のRILAC、ブースターのCSMで構成されている。

単独運転の一つとしては、2002年3月から、リニアック実験室にあるe3実験ラインでの超重元素探索関連の実験のために、18GHz-ECRイオン源で生成し、RFQ+RILAC+CSM運転で加速した重イオンビームを供与している。気体充填型反跳分離器 (GARIS) の設置位置を図1に示す。入射運転としては、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が1986年に開始された。また、2006年には、超伝導リングサイクロトロン (SRC) など構成される理研RIビームファクトリー (RIBF)^[3]のための入射器としての運転が開始された。

また、東北地方太平洋沖地震が発生したことにより、RILACの主要機器の点検を約2週間行った。その後、RILACの加速器としての健全性を確認するための運転を行った。

本発表では、RILACに関して、これまでの運転状況を含めた現状及び東日本大震災に起因する被害の状況について報告する。

2. 入射器としての運転状況

RILACは、単独運転に加え、RIBF実験及びその他の実験のためにRRCへの入射運転を行っている。図2にRRCへの入射時の運転時間を示す。

2010年7月から2011年6月においては、⁴⁸Caと¹⁸OをRIBF実験のためにRRCへ入射した。これらの加速器運転時間の合計は1,902時間で、実験へのビーム供給時間の合計は1,192時間であった。また、¹²C、²³Na、⁵⁸Fe、⁸⁴Kr、及び²³⁸Uをその他の実験のためにRRCへ入射した。これらの加速器運転時間の合計は1019時間で、実験へのビーム供給時間の合計は685時間であった。

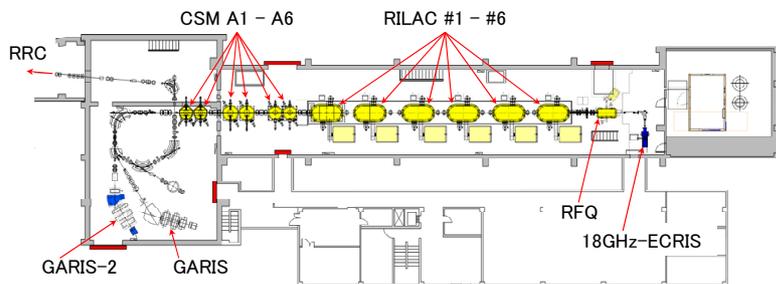


図1：現状の理研重イオンリニアックの構成図

3. 超重元素探索実験における運転状況

ブースターとして荷電状態増幅装置 (CSM) が、東京大学原子核科学研究センター (CNS) との協力により開発され、2000年にRILACに設置されことにより、RILAC単独運転での最大加速エネルギーが5.8 MeV/nucleonとなった^[4]。これにより、RILACでの超重元素探索関連の実験が、2002年3月に始まった^[5]。図2にこの実験のための運転時間を示す。

2010年7月から2011年6月においては、超重元素探索関連の実験のための加速器運転時間の合計は4,016時間で、実験へのビーム供給時間の合計は3,145時間であった。我々は、この実験に対して、必要十分な強度及び安定度のイオンビームの供給を行っている。

また、リニアック実験室にあるe2実験コースでは、2009年5月にGARISの2号機 (GARIS-2) が設置され、2010年4月には、この装置の試験実験が行われた。GARIS-2の設置位置を図1に示す。

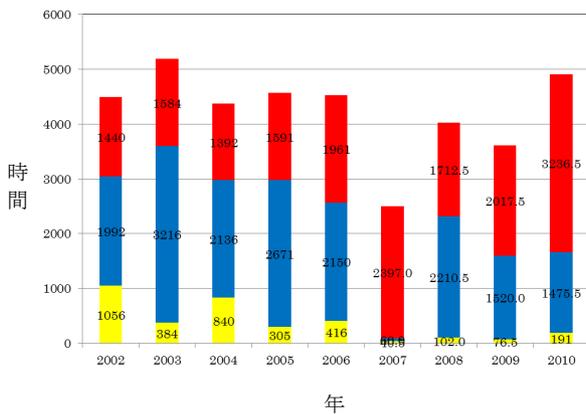


図2: 2002年～2010年の運転時間

- : 入射時間 (2002年～2005年: RILAC-RRC 運転、2006年～2010年: RILAC-RRC 運転 及び RILAC-RRC-RIBF 運転)
- : 超重元素探索関連の実験時間
- : その他実験時間

4. 主な改善

主な改善として、以下のことを行った。18GHz-ECR イオン源では、ミラーコイル用電磁石電源で使用しているトランスが老朽化したため、その交換をするとともに電源のオーバーホールを行った。前段入射器の装置である RFQ、入射バンチャー、及びリバンチャーの遠隔コントロールシステムを EPICS 制御できるように改造した。RILAC-No. 4、RILAC-No. 5 及び RILAC-No. 6 の共振器のドリフトチューブ内蔵電磁石のための電磁石電源では、これらのための遠隔制御インターフェースを GPIB から PLC に更新した。RILAC-No. 3 及び RILAC-No. 4 励振器では、各部の冷却配管の流量スイッチが老朽化したため、

全数更新した。RF 系の安定度向上のためにローレベ系などの改良を行った。CSM 励振器のための直流電源では、空冷ファンモーターが地絡した際に直流電源盤の主電源ブレーカーがトリップしてしまう問題が判明したので、空冷ファンモーターの AC 電源回路を改良した。

5. 主な故障

2010年7月から2011年7月までの間に起きた各装置別の故障発生件数を表1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115件が発生した。また、これらの故障のうち部品交換などの修理が必要であったのは、64件であった。これは、全故障件数のうちの55.7%にあたる。重故障としては、RF系、イオン源系、冷却系、真空系、及び診断系の機器で合計16件が発生した。これは、全故障件数のうちの13.9%にあたる。これらの故障のうちほとんどがマシンタイム実施中に発生したが、応急処置が可能な故障はそれを施し、マシンタイムは続行させ、後日、適切な修理を行った。しかし、故障状況によっては、マシンタイムを数日間程度中断させて修理をした場合もあった。重故障の状況としては以下のとおりである。

RF系では11件の重故障が発生した。RFQ共振器では、外筒壁面の大气側にある冷却配管にピンホールが開き、水漏れが発生したため、応急処置を施した。RFQ共振器の電力フィーダーでは、その先端部電極にある冷却水配管にピンホールが開き、水漏れが発生したため、応急処置を施した。RFQの終段真空管用のプレート電源では、高電圧部ダイオード回路の高電圧ケーブル間での絶縁不良が発生したため、部品交換の修理を施した。RFQの終段電力増幅器では、終段真空管が故障し、またプレートスタブのショート板部のコンタクトフィンガーが破損したため、部品交換の修理を施した。RILAC-No. 2励振器では、終段真空管のグリッドスタブ部において、接続端子の焼損や冷却水漏れが発生したため、部品交換の修理を施した。RILAC-No. 5励振器では、終段アンブと電力フィーダーの接続部において、接触不良が発生したため、部品交換の修理を施した。CSM-A2の直流電源盤では、盤内の空冷ファンモーターの地絡が発生したため、部品交換の修理を施した。

イオン源系では、1件の重故障が発生した。これは、18GHz-ECRイオン源用RF電源のクライストロンの故障であったが修理不可能であったため、別の入射器用のイオン源で使用している同周波数のRF電源を移設し、18GHz-ECRイオン源に使用するのに必要な手立てを施した。

冷却系では、1件の重故障が発生した。これは、イオン源系の20度冷却水用空冷チラーの故障であった。この空冷チラーは2004年に機種を更新したが、それまで使用していた空冷チラーを予備機として保

存しておいたので、その予備機に切り替えた。また、故障した空冷チラーは修理を行った。

真空系では、2件の重故障が発生した。これは、RILAC-No. 1とRILAC-No. 2の共振器用真空ポンプであるクライオポンプが故障したため、ともに真空ポンプ交換の修理を施した。

診断系で1件の重故障が発生した。これは、3月11日の東日本大震災に起因するもので、診断装置用真空容器で真空リークが発生した。詳細は事項に記す。

その他の故障は、一時的な動作不良や不調、または運転に大きく影響しない箇所故障などであったので、後日、調査や修理を行った。

表1：故障発生件数

装置名	故障発生件数	修理件数
RF系	47	33
イオン源系	12	6
制御系	9	4
診断系	11	3
真空系	12	7
冷却、空圧系	19	10
電磁石、電源系	5	1
合計件数	115	64

6. 東日本大震災に起因する被害の状況

2011年3月11日（金）14時46分頃に発生した東北地方太平洋沖地震の時、RILACは単独運転で超重元素探索実験のマシントイムのために、18GHz-ECRイオン源、前段入射器のFC-RFQ、主加速器のRILAC、及びブースターのCSMなどが運転状態にあったが、イオン源の試料交換のためビーム供給は中断していた。震度5弱（和光市）の地震発生に伴い、冷却系及び真空系の異常により一部の装置が停止した。また、遮蔽扉の開異常が発生した。地震直後は、二次災害の発生を防ぐために、真空系以外の全装置を停止させた。また、安全の確保に十分配慮した上で、短時間かつ速やかに全装置、建物、及び建物付帯設備の被害状況を調査した。マシントイムは、強い余震が起きる恐れがあるとして中止とした。また、放射線管理区域の立ち入りは、制限された。

装置の安全確認点検作業については、関係者全員で安全確保、必要点検項目、及び作業方針などを協議した上で、3月14日（月）にRILACの機器及び実験装置の総点検を開始した。しかしながら、3月15日（火）に東京電力の福島第一原子力発電所からの放射性物質の拡散があったため、放射線管理区域への立ち入りは禁止された。3月16日（水）には、条件付きで立ち入り許可が出されたので、この日に点検作業を再開し、3月31日（木）まで行った。

併せて、3月18日（金）からは、装置ごとの健全性を確認するために昼夜連続交代で全装置の真空度の監視を行った。さらに、理研仁科加速器研究セ

ンター（和光）の電力監視を行うとともに、加速器関係の屋外放射線モニターの監視にも協力した。

4月1日（金）には、RILACの加速器及びGARIS実験装置の健全性を確認するために、同日に加速器を起動し、4月2日（土）から総合的な健全性確認のための運転を行った。この結果としては、RILACの加速器及びGARIS実験装置は、地震による顕著な影響は認められなかった。

なお、理研仁科加速器研究センター（和光）には、自家発電機として6.5MWのコージェネレーションシステム（CGS）が設置されており、理研仁科加速器研究センター（和光）内では、CGSで電気を賄った。また、CGSで発電した電気の一部は、理研（和光）所内の他施設にも供給された。

3月11日に行った被害状況調査の結果は、以下のとおりである。

冷却系では、一部の冷却系用リザーバタンクの下限水位センサーが動作して一次冷却系ポンプが停止し、これに伴いRF系や電磁石電源系の装置が停止した。これは、リザーバタンク内の液が地震の揺れで大きく揺さぶられたために水位センサーが動作しただけであった。また、一部の二次冷却系で、冷却塔の充填材に付着していた固形物が剥離し、この系のストレーナーが目詰まりを起こし、冷却水圧力異常が発生した。これにあたっては、後日、冷却塔内水槽及びストレーナーの清掃を行った。

診断系では、診断装置用真空容器付属のビームダクト溶接部が破断し、ビームラインの真空リークが発生した。この修理にあたっては、現場修理が不可能なこと及び修理日数が必要であったため、設置されているビームラインからこの真空容器を取り外して修理を行った。

建物では、一部の壁面などで亀裂や剥離があったが、軽微なもので、後日該当箇所を補修した。

放射線管理では、放射線管理システムの遮蔽扉開異常でビームインターロックが働いたが、地震の揺れで遮蔽扉が数cm動いたためであった。

7. 今後の予定

2011年8月以降は、RILAC単独運転での超重元素探索実験などが予定されている。我々はこれらの実験のために、より安定で大強度なイオンビームを供給できるように努め、また、故障対策及び老朽化対策を計画的に進めて行く。大震災では、大きな被害は受けなかったが、この経験と教訓を活かし、改めて危機管理体制の充実強化を推進する。

参考文献

- [1] M. Odera, et al., Nucl. Instrum. & Methods. 227 (1984) 187.
- [2] E. Ikezawa, et al., PASJ7, FSRP21, (2010) 67.
- [3] Y. Yano, Nucl. Instrum. & Methods. B261 (2007) 1009.
- [4] O. Kamigaito et al., Rev. Sci. Instrum. 76 (2005) 013306.
- [5] E. Ikezawa, et al., PASJ3-LAM31, WP02, (2006) 272.