

東北大学先端量子ビーム科学研究センター三神峯事業所加速器施設の現状 STATUS OF ACCELERATOR FACILITY AT RARiS-Mikamine, TOHOKU UNIVERSITY

南部 健一[#], 柏木 茂, 柴田 晃太郎, 高橋 健, 長澤 育郎, 武藤 俊哉, 日出 富士雄
Kenichi Nanbu[#], Shigeru Kashiwagi, Kotaro Shibata, Ken Takahashi, Ikuro Nagasawa, Toshiya Muto, Fujio Hinode
Research Center for Accelerator and Radioisotope Science (RARiS), Tohoku University

Abstract

To promote study using Radioisotopes, the Research Center for Electron Photon Science (ELPH) and Cyclotron Radioisotope Center (CYRIC) were integrated to form the Research Center for Accelerator and Radioisotope Science (RARiS), Tohoku University on April 1, 2024. ELPH has become RARiS Mikamine site, which has four electron accelerators in operation, including a 1.3 GeV Booster storage ring, an injector linac, a 70 MeV linac and a test accelerator. Those accelerators are used for research on quark and hadron nuclear physics, Radioisotope (RI) production and radio/nuclear chemistry, and the development of coherent terahertz light sources and beam monitors by generating ultrashort electron bunches. Due to the increasing number of RI users and the start of the ULQ2 experiments, the operation time of the 70 MeV linac has significantly increased. The operation status and improvement plans are presented.

1. はじめに

2024年4月1日、短寿命 RI を用いた研究を加速するために、全国共同利用・共同研究拠点である東北大学電子光理学研究センター(電子光理学研究拠点)と、学内共同利用・共同研究施設であるサイクロトロン・ラジオアイソトープセンターは、組織統合され、先端量子ビーム科学研究センター(RARiS)が設立された。電子光理学研究センターは RARiS 三神峯事業所となり、1.3 GeV 電子シンクロトロン(BST リング)と 3 台の線形加速器が稼働している[1, 2]。BST リングでは、制動放射により生成した高エネルギーガンマ線を用いたクォーク・ハドロン核物理の研究が行われている。70 MeV linac では、RI 製造、核・放射化学の研究及び極低運動量移行の電子弾性散乱により陽子半径を測定する ULQ2 実験[3]が行われ、試験加速器(t-ACTS)では、超短パルス電子ビーム生成[4]やこれを用いた光源開発[5]や超伝導加速器[6, 7]の研究などが行われている。本発表では、これら加速器群の現状や運転状況、今後の予定などについて報告する。

2. 先端量子ビーム科学研究センターの役割

近年、環境中の物質循環、有害物質の植物浄化に関する研究や、治療(Therapeutics)と診断(Diagnostics)を同時に行うセラノスティクス(Theranostics)に、半減期が2週間程度の短寿命 RI が注目され利用され始めている。このような短寿命 RI を利用した研究を行うためには、年間を通じた安定供給と取扱いに関する技術的な支援が必要不可欠であるため、平成 28 年度より大型加速器を有する国内加速器施設の連携による短寿命 RI 供給プラットフォーム事業が推進され、電子光理学研究センターとサイクロトロン・ラジオアイソトープセンターもその一員として RI の安定供給に努めてきた。実際に短寿命 RI 供給プラットフォームに供給している放射エネルギーの 90%は、東北大学の両センターから供給したものである。

[#] nanbu@raris.tohoku.ac.jp

電子光理学研究センターでは電子ビームを、サイクロトロン・ラジオアイソトープセンターではイオンビームを用いて RI 製造を行っており、製造できる核種が異なる。両加速器で製造した RI の同時供給による研究は、世界的にもほとんど例がなく、各々の加速器でしか生成できない核種の同時使用や比較研究を組み合わせることで、前例がない研究となる可能性を秘めている。また統合イノベーション戦略 2023 や医療用ラジオアイソトープ製造・利用推進アクションプランにおいて、短寿命 RI 供給能力体制の強化方針が策定され、供給能力向上に加えて、利用環境の構築など研究環境の強化が急務となっている。これらの課題・要請に対応するために、電子光理学研究センターとサイクロトロン・ラジオアイソトープセンターを組織統合し、先端量子ビーム科学研究センターが設置された。本センターは、両加速器の連携運転による多種多様な短寿命 RI 核種の製造・利用やこれらを用いた新学術分野の創生を目指して研究を行っていく予定である。

3. 加速器の運転状況

3.1 運転時間と利用の状況

近年の運転時間の推移を Fig. 1 に示す。概ね年間 2000 時間程度加速器運転を実施している。図から年々 70 MeV linac の運転時間が増加し 1.3 GeV 電子シンクロトロン(BST リング)の運転時間が減少していることがわかる。次に昨年度の月ごとの運転時間を Fig. 2 に示す。近年光熱費の高騰により、どの加速器施設でも運転経費の捻出は頭の痛い問題であり、当センターも例外ではなく、昨年引き続き使用電力の大きな BST リングの稼働が厳しい状況が継続している。この一方で、70 MeV linac は、冒頭で述べたように、RI 製造ニーズの高まりに加え、企業との共同研究や、ULQ2 実験が本格的に開始されたことから、昨年の 9 月以降は、ほぼすべての平日にマシンタイムがアサインされ運転を行っている。昨年度の共同利用者の延べ人数は 2300 名程度であり、例年通りであった。

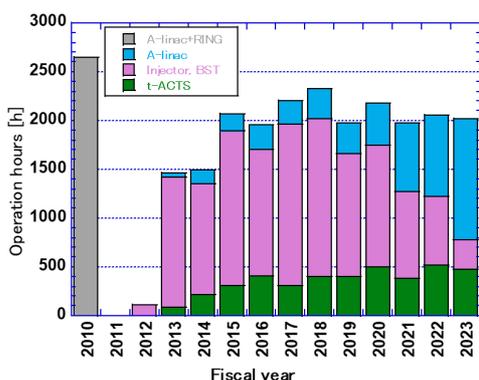


Figure 1: Annual operating hours.

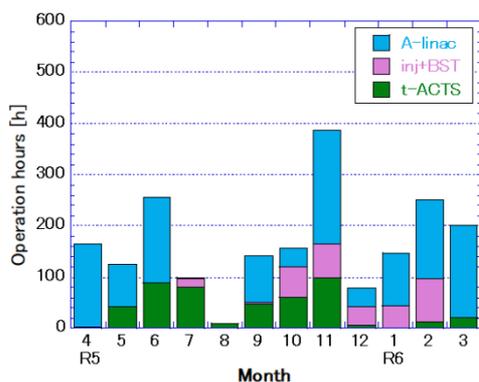


Figure 2: Run time of each accelerator in the previous fiscal year.

3.2 マシントラブルと問題点

大きなマシントラブルは、70 MeV linac で発生しており、その原因は構成機器の老朽化である。

・導波管からの SF₆ ガスリーク

70 MeV linac の導波管は、度重なる補修を重ねながら加速器建設時から使用している。定期的にリークチェックを行い、リーク箇所にはエポキシ系接着剤を塗布し対処してきた。昨年 10 月頃から、SF₆ ガス加圧系導波管へのガス供給量が著しく増加したため、リーク箇所の調査を行い、プリバンチャー及びバンチャー系導波管の方向性結合器に大きなリークがあることがわかった。直ちに対処を行い、リークを止めることができたが、本リーク箇所は、17 年前に一度補修を行った場所であり、一度補修した場所で、再リークしたことから、補修箇所のリークチェックを強化していく予定である。

・精密温調系チラーの故障

昨年 10 月に、導波管系冷却水の温度異常の警報が発報し、調査したところ、精密温調チラーの故障であることが判明した。精密温調チラーの導入から 12 年を経過し、機器内部の部品故障による故障が散見されている。現在予備機を 2 台有しており、故障時には予備機と交換し、復旧に要する時間の最小化を図っている。

・高圧ケーブルフィードスルーの放電

4 月のマシンタイム中に、突然前触れなく、クライストロンモジュレータの 1 号機の高圧及び低圧が落ち、運転が停止した。停止直前の充電電圧、ディキュー電流等は、通常運転時とほぼ変わらない値であった。調査を進めると、シャントダイオードタンクのフィードスルーに異常を認

め、放電痕を確認した。あらかじめ準備していた予備のフィードスルーと交換し対処した。

・高圧ケーブルの地絡故障

5 月のマシンタイム中に、インターロックにより高圧が落ち、メインブレーカーがトリップした。原因を調査したところ、高圧ケーブルと筐体間で放電していたことが判明した。幸いケーブルの長さに余裕があったため、放電部位を切断し、復旧することができた。

・ダミーロード冷却用ファンの能力低下

PFN の反射電力吸収用抵抗ユニット下部に設置されている冷却ファンが故障し、風量低下が確認された。予備品と交換して対応した。

4. RI 製造用照射システムの運転状況

RI 製造用照射システムは 2017 年に改修され[8]、RI 製造に利用されてきた。2021 年にビーム取り出し窓を冷却するヘリウム冷却系の部分改修[9]、2022 年に照射セットアップ変更時の被ばく線量減少と信頼性向上を目的に、コンバータユニットの改修を行った。ヘリウム冷却系は、チタン製のビーム取り出し窓の冷却に使用している。冷却システム内の水分量が多くなると、ビーム取り出し窓が酸化により劣化し、真空リークの原因となるため、ヘリウム冷却系内の水分量は露点計で常時監視している。本冷却系内には気密を取るために、O リングを使用している部分があり、O リングが劣化すると、僅かではあるものの、冷却水がヘリウム冷却系側に漏出することから、運転中の露点温度が-60℃程度まで上昇したら、乾燥剤(モレキュラーシーブ)を交換し運用している。Figure 3 にヘリウム冷却系の運転時間と乾燥剤の吸水量を示す。運転時間と O リングの劣化との間には、強い相関があると考えていたが、運転時間と吸水量の間の相関係数を求めたところ 0.44 程度であり、強い相関は見られなかった。O リングの劣化は、使用時間の他に、ビームエネルギーやビーム電流にも依存するため、運転時間と吸水量の間に強い相関がみられなかったと考えられる。露点温度が上昇すると、ビーム取り出し窓が劣化し、真空リークに直結するため、今後も、ヘリウム冷却系内の水分量の監視を行い、運用していく予定である。

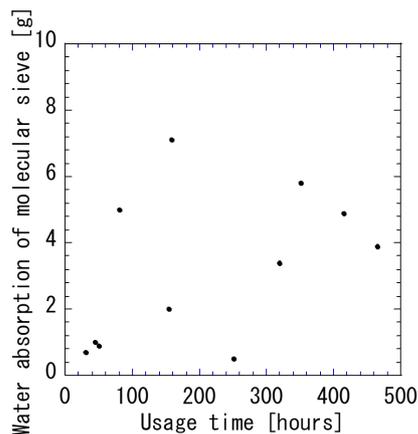


Figure 3: Correlation between the Helium cooling system operating time and amount of water absorption by molecular sieve.

5. 改善・改修作業と今後の予定

低濃度 PCB 廃棄物は 2027 年 3 月末までに適正に処分する必要がある。これまでの同型式コンデンサのサンプリング調査から、70 MeV linac の RF モジュールに組み込まれている高圧コンデンサは、低濃度 PCB を含有した絶縁油を使用している可能性が極めて高いため、早急な分析調査が求められている。絶縁油中の PCB の濃度分析を行うためには、高圧コンデンサのケースに穿孔し、絶縁油の抜き取りを行わなければならないが、穿孔したものは安全上使用できないため、濃度分析や処分等に要する時間を考慮すると、遅くとも処分期限の半年前に、70 MeV linac を停止せざるを得ない。この一方で 70 MeV linac は RI 製造用加速器として第一線で活躍している装置であり、本装置が停止した場合、短寿命 RI を含めた RI 供給に大きな影響を与える恐れがある。そのため現在、70 MeV linac の RF モジュールを更新すべく、予算要求を含めて関係各所と協議を進めている、

加速器本体が設置されている実験棟は、これまで一度も大規模改修がなされておらず、近年、配線の劣化による絶縁抵抗低下、漏電、火災報知器の誤動作をはじめ、壁面からの漏水など、老朽化による不具合が顕在化している。現在これらの課題を一挙に解決するため、実験棟のリニューアル工事が計画されている。本リニューアル工事は、4 年計画で実施される予定である。

6. まとめ

東北大学電子光物理学研究センターとサイクロトロン・ラジオアイソトープセンターは、2024 年 4 月に統合され、先端量子ビーム科学研究センターに改組された。改組後も共同利用・共同研究拠点(電子光物理学研究拠点)の活

動を推進し、昨年度に引き続き、本年度も例年並みの 2000 時間程度の共同利用運転を見込んでいる。昨年トラブル要因は、機器の老朽化に伴うもので、不具合箇所を修理しても、他の老朽化している部分が故障するもぐら叩きの様相を呈している。抜本的な対策は困難であるため、地道に機器更新を行っていかざるを得ない。

2013 年から進めてきた低消費電力化により、現在の状況においても年間 2000 時間程度の運転時間を確保できているが、低消費電力化にも限界があり、対応に苦慮している。大規模改修が入れば、建屋の断熱性能などが格段に向上し、運転経費削減に直結するため、大いに期待しているところである。

参考文献

- [1] F. Hinode *et al.*, Proc. of the 16th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, p.1279, 2019.
- [2] F. Hinode *et al.*, Proc. of the 19th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, p.1138, 2022.
- [3] T. Suda *et al.*, 加速器 Vol. 15, No. 2, p.52-59, 2018.
- [4] K. Kudo *et al.*, Proc. of the 21st Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, WEOT06, 2024.
- [5] H. Yamada *et al.*, Proc. of the 21st Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, THP029, 2024.
- [6] Anjali B. Kavar *et al.*, Proc. of the 21st Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, WEOT05, 2024.
- [7] S. Kashiwagi *et al.*, Proc. of the 21st Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, THP048, 2024.
- [8] K. Takahashi *et al.*, Proc. of the 15th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, pp. 688-691, 2018.
- [9] K. Shibata *et al.*, Proc. of the 18th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, pp. 311-314, 2021.