

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

日出富士雄[#], 柏木茂, 南部健一, 長澤育郎, 高橋健, 柴田晃太郎, 胡文卿

Fujio Hinode[#], Shigeru Kashiwagi, Kenichi Nanbu, Ikuro Nagasawa, Ken Takahashi, Kotaro Shibata, Wenqing Hu
Research Center for Accelerator and Radioisotope Science (RARiS) Mikamine, Tohoku University

Abstract

The research center for accelerator and radioisotope science (RARiS) was established at Tohoku University in April 2024 by integrating the Research Center for Electron Photon Science and the Cyclotron and Radioisotope Center. Four electron accelerators are in operation at the RARiS Mikamine site: 1.3 GeV booster storage ring (BST ring), injector linac for BST, 70 MeV high intensity linac, and test accelerator for generation of short electron bunches. As national joint usage and research center, designated by MEXT, Japan, we continue to provide a wide range of unique electron/positron and photon beams generated by these accelerators to researchers both in Japan and abroad for research on quark and hadron nuclear physics, RI production and radio/nuclear chemistry, accelerator science, while also preparing for further development of research using short-lived RIs. Meanwhile, the high intensity linac, one of the core facilities of RARiS, was constructed approximately 60 years ago, and the aging was causing serious problems. This year, a new budget was approved to update two modulators for this old linac, and it will be replaced with a new system at the end of next year, along with some high-power RF components. In addition, another budget was also approved for the renovation of the very old buildings of experimental halls and administration building where the accelerator and related equipment are installed. It was decided that these large-scale renovation works will be carried out over a period of four years starting from this fiscal year. Currently, detailed design preparations for the renovation work are being made while continuing the operation for user machine time. The operation status of the accelerator complex at the RARiS Mikamine site and the upgrade project are reported.

1. はじめに

東北大学先端量子ビーム科学研究センター (RARiS) は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統合して2024年4月に設立された[1]。これまで両センターで展開してきた研究に加えて、「短寿命ラジオアイソトープ (RI) を活用する新たな学術分野の創造を目指した短寿命 RI 生成能力の強化や利用促進」と「短寿命 RI の利活用を行う研究者間のネットワーク構築」という新たな機能の醸成が期待されている。その一方で三神峯事業所においては、従来からの全国共同利用・共同研究拠点 (電子光理学研究拠点) の活動も継続されており、それらの基盤となる加速器施設の維持・改善はますます重要になっている。

三神峯事業所には、1.3 GeV 電子シンクロトロン (BST リング) と BST 入射用 linac、RI 製造用大強度 70 MeV linac、そして極短バンチ生成用試験加速器 t-ACTS が引き続き稼働している[2]。このうち共同利用の中心である 70 MeV linac は、ビーム出力 10 kW 超の国内有数の大強度電子 linac であるが、既に建設から 60 年近くが経過し、特にモジュレータの老朽化が深刻な状況となっていた。今年度、これを新たに更新するための予算措置が得られ、来年末に新モジュレータを導入の予定である。更に、加速器や付帯設備の設置されている実験棟と管理棟についても、今年度から 4 年間の計画で大規模な改修を実施することが決定されている。現在は、共同利

用運転を行いながら、改修工事の実施設計に向けた準備が進められている。以下に、三神峯事業所における加速器群の運転状況やこれら改修計画について報告する。

2. 電子加速器群の運転状況

2.1 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。東日本大震災からの復旧後は、概ね年間 2000 時間程度の加速器運転が実施されてきた。昨年度は 70 MeV linac で行われていた大型の ULQ2 実験[3]が一段落したことなどから、約 1500 時間の運転時間となった。共同利用者の延べ人数は約 2000 名で前年の 9 割ほどである。

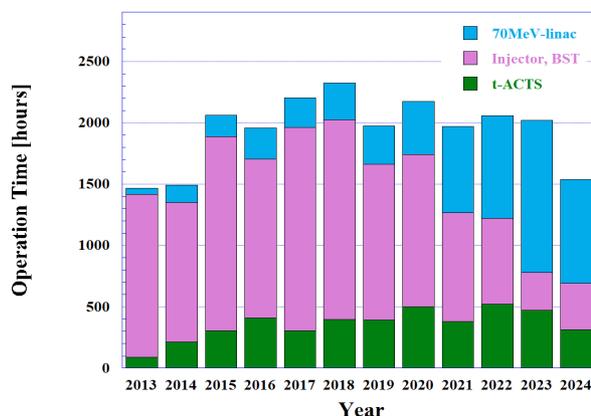


Figure 1: Operation time.

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

最近の全体の傾向としては、70 MeV linac の運転時間が増加する一方で、BST リングの運転時間が減少している。RI 製造や企業との共同研究が活発に推進されていることから、長期停止期間を除いたほぼ毎週で 70 MeV linac を用いたマシンタイムがアサインされている。最近の 2 年ほどは BST リングの運転時間が少なかったため大きな影響はなかったが、近年の光熱費の高騰により使用電力の大きな BST リングの稼働が厳しい状況も継続している。この他、最近では大きなビーム強度を必要としないユーザー向けに入射器のテストビームラインを用いた電子照射実験も実施されるようになっており、このビームラインの整備も今後の課題である。今年度の利用運転に関しては、既に 46 シフトのマシンタイムが実施され、後期も 16 件・84 シフトの課題が採択されており、昨年度並みの運転が見込まれている。

2.2 主なマシントラブル

最近のマシントラブルの多くは主として構成機器の老朽化を原因として 70 MeV linac で発生している。以下に主な内容を列記する。

・導波管からの SF6 ガスリーク

70 MeV linac の導波管の方向性結合器など複数個所で無視できないリークがあり、SF6 ガス供給量が増加している。補修した比較的大きなリーク箇所は、20 年ほど前にも補修が行われた部位であり、抜本的な対策が必要である。

・精密温調系チラーの故障

RF 系精密温調チラーの動作不良が年に数回の頻度で発生している。チラーの導入から 12 年が経過していて、機器内部の部品故障が主な原因である。本年、停止期間中に稼働中 9 台のうち、70 MeV linac で使用している 5 台を新規及びオーバーホール済みのチラーと交換した。チラー故障の頻度とその際のダウンタイムも大きいことを踏まえて、予備機を用意して故障時の速やかな復旧に備えている。

・高圧ケーブルでの放電

70 MeV linac のモジュレータ筐体内で使用している高圧ケーブルのトラブルがこの 1 年の間に 5 回ほど発生している。放電部位はその都度異なるが、速やかに復旧できるように交換用ケーブルをあらかじめ用意している。

・ステアリング磁石のレイヤーショート

70 MeV linac の照射点でのビーム電流が運転中に 10% 程度減少した。加速管部を抜けてくる電流の透過率が減少していて、調査の結果、加速管のジャケット内側に設けられている一部のステアリング磁石の電圧が低下しているのが確認され、コイルがレイヤーショートしているものと推察された。ステアリング磁石の磁場の安定性が保証できないこと、また容易には修理もできないため、当面の対応として当該のステアリングの前後の磁石のみでビーム輸送を試みた結果、不具合前と同等のビーム透過率を実現することができた。

・BST-RF 空洞用大電力半導体増幅器の故障

2019 年 3 月にクライストロン代わりに導入した加速空洞用大電力半導体増幅器において、通常運転時の出力 10 kW に対して、最大出力が 8 kW 程度に低下する故障が発生した。出力の MOSFET が損傷していることが確認され、定期メンテ期間に修理・復旧した。

3. 70 MeV linac 用モジュレータの更新

低濃度 PCB 廃棄物は 2027 年 3 月末までに適正に処分されなければならないが、70 MeV linac の RF モジュレータに組み込まれている古い高圧コンデンサの絶縁油にも低濃度 PCB が含有されている可能性が十分に高いと考えられている。モジュレータの老朽化に起因するトラブルが頻発していることに加えて、PCB 分析の実施にともなうコンデンサ全数分の代替品の手配等に要する時間とコストを考慮すると、モジュレータ更新のための予算獲得が喫緊の課題であった。70 MeV linac は RI 製造用大強度加速器として RARiS における共同利用の第一線で活躍している設備であり、その存続は RI 供給や関連研究分野にとって大変に重要な問題である。線形加速器全体を更新するのは困難なため、この対策としてまずは、70 MeV linac の RF モジュレータ 2 台を更新すべく予算要求を続けていたが、本年度、幸いにもこの為の予算を獲得することができた。

更新の方針としては、PFN などの従来型の高圧回路に伴う不具合に対する懸念や保守性の観点から、またサイクロトンの将来にわたる入手性なども考慮して、最終的にスカンジノバ・システムズ社製のモジュレータシステムを導入することになった。Split Core テクノロジーと Parallel Switching™方式を採用したこのクライストロン用モジュレータは、コンパクトで信頼性も高く、一般民生品の IGBT を用いたスイッチングモジュールはトラブルの際にはユニットごとと交換することで修理が可能と、保守性にも優れている[4]。導入するモデルは、出力 30-60 MW 仕様に適合した K400 で、将来的な拡張も考慮して最大 500 pps での高繰り返し運転も可能なものとなっている。またモジュレータに合わせて導入されるクライストロンは、パルス出力 26 MW 対応のキヤノン電子管デバイス社の E37311,C である。令和 8 年の 11 月頃に納品の予定となっている。

更に、今回のモジュレータの更新に合わせて、SF6 ガスリークや可動部の動作不良など、老朽化による不具合が問題となっている移相器や減衰器、及び方向性結合器など一部の導波管系コンポーネントも更新される予定で、安定性や信頼性、保守性の改善も期待されている。

4. 加速器建屋の改修計画

加速器本体が設置されている実験棟は、これまで約 60 年近くにわたって一度も大規模な改修がなされておらず、このため配線の劣化による絶縁抵抗の低下や漏電、壁面や天井からの漏水など、老朽化による不具合が顕在化していた。これらの課題を解決すべく、加速器本体や付帯設備の設置されている実験棟と管理棟など、放射線管理区域全体を中心とする大規模な改修工事が要求されていたが、昨年度末になってこの為の予算が正式に承認され、本年より 4 年間の計画で実施される運びとなった。建屋だけでも合わせて 5500 m² に及ぶ大規模な改修工事で、改修計画の完成予想図を Fig. 2 に示す。メインとなる実験棟は地上 1 階地下 1 階の建物で、70 MeV linac と入射器の設置されている加速器本体室と RI 製造用照射設備のある第 1 実験室、BST リングの設置されている第 2 実験室、クライストロンモジュレータの設置されているクライストロン室、及び空調・冷却設備の設置され



Figure 2: Perspective drawing of the renovation plan.

ている第 2 空調機械室からなっている。この他に、加速器制御室や放射線安全管理室、事務室、共同利用者用設備などが設置されている管理棟や、非密封同位元素の化学処理が可能な第 3 実験室などが改修対象の施設となっている。また今回の改修と合わせて、手狭となっていた放射化物のための廃棄物貯蔵庫のスペースを拡張するように、かつての旧アイソトープ協会の倉庫として使用されていた建屋を放射線管理区域として復活させるための準備も進められている。

今回の改修では、主としては老朽化した建屋の健全化と将来を見据えての機能改善が図られるが、建屋の躯体自体の変更は難しいため、建屋の外周部を掘削して地中外壁を露出させて、損傷箇所から屋内への漏水を処置する工程が検討されている。また加速器本体には手を付けながらも、実験棟内部の床や壁なども全体的な改修が施されることになっている。

さらに「第5次国立大学法人等施設整備5か年計画」に基づいて「共創」の拠点としての役割を果たすこと、また環境に配慮した技術を積極的に利用することで NearlyZEB を実現することなども求められていて、相応しい共創空間の創出にも配慮されている。詳細については来年の本工事の契約・着工に向けて、実施設計が現在進められているところである。本格的な工事の開始は、令和 9 年1月以降の予定となっているが、その前に大量に存在する物品の移動について、放射化物や精密機器、重量物などの種類ごとに移動先別の仕分けの作業をする必要があり、必要経費の算出を行っている。共同利用については、令和 8 年の7月末までは 70 MeV linac が、12月末までは入射器と BST リングの運転が継続される。改修工事の完了が令和 11 年 3 月と想定されていて、4 月以降の早期に運転を再開できるように、改修工事と並行して加速器の復旧作業を実施できるような工程も検討する必要があり、本学の施設部や事務部との連携のもと多角的に種々の準備が進められている。

5. まとめと今後の展望

東北大学先端量子ビーム科学研究センターは電子光

学理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が統合する形で 2024 年 4 月に発足した。このうち三神峯事業所では、全国共同利用・共同研究拠点（電子光物理学研究拠点）の活動も継続中で、昨年度は 1500 時間超の運転が実施されている。最近のトラブルは主として 70 MeV linac において生じていて、機器の老朽化に起因するものが大半である。

本年度は、新たに 70 MeV linac 用のクライストロンモジュレータ 2 台と、更には実験棟・管理棟などの建屋の大規模な改修の予算が承認された。新しいモジュレータの納入は来年の 11 月頃の予定である。このため 70 MeV linac については令和 8 年 7 月末まで、入射器と BST リングは同じく 12 月末まで運転が継続され、その後本格格的な改修工事が開始される。改修工事の完了は令和 11 年 3 月の予定で、その後の可能な限り早期に加速器の運転を再開できるように、加速器の復旧作業も改修工事と並行して実施できないか検討を進めている。

その他、試験加速器 t-ACTS においても加速器の高度化に関する開発研究として、ファイバーレーザー発振器を用いた光陰極高周波電子銃の開発[5]や狭帯域チェレンコフ回折放射の測定[6]、ニオブスズ超伝導電子加速器のための冷却システムの構築[7]などが進められており、本年会においても報告される予定である。

参考文献

- [1] <https://www.raris.tohoku.ac.jp/about/overview/>
- [2] F. Hinode *et al.*, Proc. of the 16th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, p.1279, 2019.
- [3] T. Suda *et al.*, 加速器 Vol. 15, No. 2, p.52-59, 2018.
- [4] <https://scandinovasystems.com/technology/>
- [5] P. Kitisri *et al.*, Proc. of the 22nd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, WEP001, 2025.
- [6] K. Nanbu *et al.*, Proc. of the 22nd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, WEP081, 2025.
- [7] H. Abiko *et al.*, Proc. of the 22nd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, WEP052, 2025.