

東北大学電子光物理学研究センター加速器施設の現状

STATUS OF ACCELERATOR FACILITY IN RESEARCH CENTER FOR ELECTRON PHOTON SCIENCE AT TOHOKU UNIVERSITY

日出 富士雄[#], 柏木 茂, 鹿又 健, 柴田 晃太郎, 高橋 健, 長澤 育郎, 南部 健一,
三浦 禎雄, 武藤 俊哉, 濱 広幸

Fujio Hinode[#], Shigeru Kashiwagi, Ken Kanomata, Kotaro Shibata, Ken Takahashi,
Ikuro Nagasawa, Kenichi Nanbu, Sadao Miura, Toshiya Muto, Hiroyuki Hama
Research Center for Electron Photon Science, Tohoku University

Abstract

At the Research Center for Electron Photon Science, Tohoku University, research on quark and hadron nuclear physics using the 1.3 GeV electron synchrotron, RI production and research on radio-/nuclear chemistry using the high intensity linac, which has one of the highest electron beam powers in Japan, up to 9 kW, are being conducted. In addition, research and development of coherent terahertz light sources and beam monitors are carried out at the 50 MeV test accelerator facility, which is capable of generating 100 fs ultrashort pulsed electron beams. At the high intensity linac, a new ULQ2 beamline has been constructed to measure proton radius by electron elastic scattering with ultra-low momentum transfer, and the experiment has started. The current status and plans of these accelerator facilities will be reported.

1. はじめに

東北大学電子光物理学研究センターでは、1.3 GeV 電子シンクロトロン (BST リング) を用いたクォーク・ハドロン核物理の研究[1]をはじめ、最大 9 kW と国内屈指の電子ビームパワーを有した大強度 linac を用いた RI 製造や放射核化学の研究[2]、さらには 100 fs の超短パルス電子ビームの生成が可能な 50 MeV 試験加速器施設 (t-ACTS) においてコヒーレントテラヘルツ光源やビームモニターの開発研究が進められている[3-6]。また大強度 linac では、極低運動量移行の電子弾性散乱による陽子半径測定を実施するために新たに ULQ2 ビームラインが建設され[7]、現在は本実験が開始されている。これら加速器施設の現状や今後の予定について報告する。

2. 運転の現状

電子光センター加速器群の概要については過去の年間で報告されている[8, 9]。震災から復旧した 2013 年度以降の運転時間と利用者数の推移を Fig. 1 に示す。全体としては震災前に近い年間 2000 時間程度の運転が実施されているが、電気代の高騰により使用電力の大きな BST の運転を抑制せざるを得なかったため、運転時間に占める BST 利用の割合が少なくなっている。一方で大強度 linac の運転時間は着実に増加してきており、特に昨年度は ULQ2 のコミッショニングが始まったため大きな増加となっている。延べ利用者数については、年度ごとのばらつきがあるものの 1000 人を超え順調に増加傾向にある。2021 年度の利用者が大幅に増加しているのは、新型コロナ感染拡大の影響で海外での活動が制限された規模の大きな利用者グループの分が国内の利用に一時的に回ったものと推測されている。2021 年度の利用者の内訳は、電子光 21%、理学研究科 39%、その他学内 6%、他大学・機関 35%となっている。

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

2021 年度の採択課題は例年並みの 24 件 (大強度 linac: 8 件 54 シフト、BST/linac: 16 件 52 シフト) となっていて、この他に短寿命 RI 供給プラットフォーム事業と企業との共同研究の運転 (20 シフト) が実施された。今年度については、前期は随時申し込み 1 件を含めて 13 件 (45 シフト) が、後期は 14 件 (94 シフト) が採択されている。またプラットフォーム事業と共同研究ではそれぞれ 17 回の RI 供給および 18 シフトの運転が予定されている。大強度 linac における本年度の運転時間については、企業との共同研究の増加に加えて、ULQ2 (60 シフト採択) が本実験を開始したことにより、実施予定シフト数は 110 シフト超と大幅な増加が見込まれている。しかしながら今後、エネルギー価格の上昇がより厳しくなると予想されており、消費電力の大きな BST 運転の更なる抑制が避けられなくなることが懸念されている。

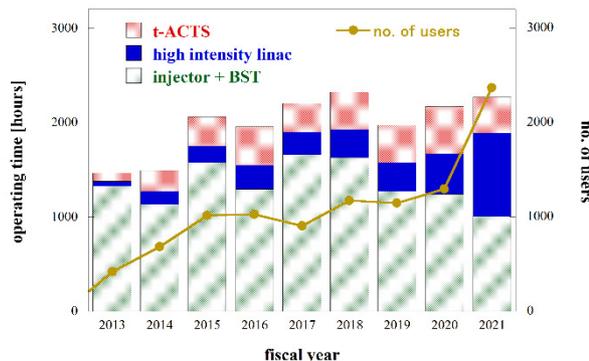


Figure 1: Operating time and number of users.

本センターにおける最近の主なトラブルや改善作業を下記に示す。

- RI 製造用の水タンクで試料を封入したガラス管が破損し、照射試料がタンク内に散逸した。放射線レベルの低下を待ってタンク内の清掃と配管・フィル

ターの交換を実施した。

- 大強度 linac で、約 10 時間の照射終了間際にスクリーンモニターの圧空配管が破断してビームが遮られ、運転中断となった。ビームロスと比較的高くなる場所での放射線による樹脂配管の劣化が原因。
- 大強度 linac 電子銃電源のサイラトロンが故障した。入手は可能ながらも納期が3カ月とのことであったが、BST キッカー電源用のサイラトロンで代用できたので仮復旧し、翌週から利用運転を再開した。
- 大強度 linac のソレノイドコイルの一つ(G3)におけるレイヤショートが原因でビームの透過率が変動する現象が顕著になっていた。50 年以上稼働しているバンチャーシステムと一体構造となっていて、容易には手が出せない(Fig. 2 参照)。当面の対処として電圧値を常時監視し、フィードバックをかけることで安定化をしている。



Figure 2: Solenoid coil (G3) in high intensity linac.

- BST のパルスセプトム電源用充電電源が故障し利用運転が中断した。保守用代替品で仮復旧し、翌日に運転再開した。
- BST の DC セプトム電源が故障した。保守用代替品で仮復旧し、当日中に運転再開した。
- 2 台ある冷温水発生機の 1 台が冷媒の詰まりにより故障し、実験棟施設内の空調能力が低減してしまった。1 台のみの稼働で加速器の運転を継続しながら本格的な夏を迎える前に修理を終えたが、完全には復旧できず、定格の 70%程度での運転に制限されてしまっている。しかし夏季は保守期間に充てられており、利用運転への影響はあまりないと考えている。
- 経年劣化によるファンモーターの故障により、2 台ある冷却塔のタワーファンの 1 台が停止し、加速器冷却系の冷却能力が低減した。幸い冬場であったため納品までの 2 か月間以上を 1 台運転で乗り切ることができた。
- 3 月 16 日に発生した福島沖地震(M7.4)により、いくつかの被害が生じた。入射用 linac においては、クライストロン出口付近のフランジ部で真空リークが生じたが、リーク量が大きくなかったため幸い電子銃その他に被害は波及せず済んだ。その他としては、放射線シールド用コンクリートブロックの位置のずれや冷却配管の弛みなどへの対処が必要であった。加速器のある実験棟建屋への影響について

では、屋上の防水シートに損傷が生じた。また研究棟では室内の壁に多数の亀裂などの損傷が生じた他、工作室などがある建屋では数枚の窓ガラスが割れる被害があった。比較的規模の大きな項目として、空調設備の排気用煙突の崩落が判明した問題がある。この煙突は 1967 年の施設建設当初から存在しているもので頂上部が崩れかけており、その破片の一部が、今回の地震により落下してきたものである。当面の応急処置として、煙突全体をネットで包囲し、破片が周囲に落下しないように対処していたが、9 月に撤去作業が実施された。煙突の下部 5 m ほどを残して上部を撤去し、補修も完了している。

3. 改善・改修作業と今後の予定

最近実施した加速器施設関連の改善・改修作業及び計画の主なものを以下に示す。

3.1 RF gun カソードセル導波管システムの改善

震災後に建設された BST 入射用 linac では、基本的に試験加速器と同じような構成とし電子銃も独立 2 空洞型の熱陰極高周波電子銃(ITC-RF gun)を採用した。建設後間もないころは電子銃の運転に特に問題はなかったが、数年が経過したころから運転条件に依存してカソードセルで放電するようになり、1 年以下の高い頻度で陰極を交換するとともに、空洞内部の陰極の開口部に析出した炭化物も除去しないといけないという状況となっていた。特に最近では放電の頻度がさらに増加し深刻さを増していた。試験加速器との違いとして、予算の都合でサーキュレータの導入を略していたこともあり、原因としては、特定の位相や振幅のとき立体回路に定在波が生じて、これが電子銃カソードセルの放電を誘起しているものと推察された。そこで、本年の春に RF gun のカソードセル導波管システムにサーキュレータを導入するように改造を行った(Fig. 3 参照)。試験加速器と同様にサーキュレータを設置した一部分のみを RF 窓で区切って SF₆ を充填している。7 月までの 3 か月間の運転においては頻発していた放電がほとんどなくなり、安定にビーム供給が行われている。



Figure 3: WG system for ITC-RF gun in injector linac.

3.2 その他の改修・改善作業

- 大強度 linac のバンチャー系同軸導波管変換器更新老朽化により放電と SF₆ ガスのリークが悪化していた

同軸導波管変換器の更新を行った。

- 冷却塔系配管の改修
冷却塔系の配管では、設置から 25 年以上を経て老朽化による補給水系の水漏れや、凍結防止ヒータの断線などがあったが昨夏の停止期間に改修を実施した。
- IQ 変調器の導入によるクライストロン出力の平滑化
クライストロン出力を平滑化する目的で、試験加速器と大強度 linac の RF 制御系に IQ 変調器を導入した。初めに試験加速器において、動作確認や性能評価を行っているが、概ね想定通りの結果が得られており、今後、大強度 linac においても順次稼働の予定である[10]。
- 大強度 linac におけるビーム取り出し部の改善
大強度 linac において、ビーム強度の増強に伴って、ビーム取り出し部の改善が問題となっていた。ビーム取り出し用チタン窓のビーム下流側は冷却のためにヘリウムを吹き付けていて、そのさらに下流側には制動放射ガンマ線に変換するためのタンタルのコンバータが設置されている。3 層構造になったコンバータの間には冷却水が流されているが、冷却水封止用の樹脂製 O リングが放射線により劣化するため頻繁に交換する必要があり、作業時の被曝も大きな問題となっていた。これを改善するために、樹脂製 O リングの劣化を低減するようなビーム取り出し部の改善作業を今夏の停止期間に実施した。現在、定格運転による確認を進めている。

3.3 今後の改修計画

- 実験棟の改修
令和 5 年度以降の施設整備として、加速器のある実験棟と非密封 RI の取り扱いが可能な第 3 実験室の大幅な改修の概算要求が計画されている。これらの建物は建設から 55 年を経ているところで老朽化が認められるようになってきているものであるが、しかし 3600 m² にもわたる大規模な建屋の躯体には手を入れることはできないので、損傷の見られる壁面や床の改修が行われる見込みとなっているが、それでも、この実施に際しては、およそ 2 年間の加速器の停止期間が必要になると見込まれており、中期的な共同利用の実施計画との調整も必要である。まずは設計会社への委託手続きを年度内に開始する予定で、大学本部の協力のもと準備が進められている。
- 特高変電所操作作用直流電源装置蓄電池設備更新
平成 19 年度の特別高圧変電所のガス遮断機の更新から始まり、平成 29 年度末に最終となる電気室変圧器と低圧配電盤の更新まで 4 期にわたる大規模な更新により、電気設備の老朽化対策はほぼ完了している。今年度以降の作業として、特高変電所操作作用直流電源装置蓄電池設備の更新が計画されていて、例年の全所停電作業の都合も加味しながら予定を検討している。
- 放射線施設の変更申請
本年 7 月には 5 年ごとに実施されている放射線施設定期点検・定期確認が滞りなく終了したばかりだが、秋には再び変更申請の実施が予定されている。この申請においては、大強度 linac の最大出力と運転時間を、現状の 9 kW、96 時間/週から、15 kW、120 時間/週に変更するものである。またこの変更申請では第 6 群核種 (Ra-225 など) の非密封放射性同位元素の種類や最大使用数量の変更なども予定されている。

4. まとめ

当センターは 2010 年に文部科学省から全国共同利用・共同研究拠点(電子光理学研究拠点)の認定を受けてより現在まで、東日本大震災の復旧やコロナ禍を経て活動を推進してきた。本年 4 月からは、再び 6 年間の拠点認定を受け、更なる飛躍を期しているところである。昨年度に続き本年度も例年並みの 2000 時間超の運転が見込まれていて、利用者数も順調に増加傾向にある。最近の主なトラブル要因としては、老朽化による機器の故障と、大強度 linac でのビーム出力の大強度化に伴う放射線による機器の故障・誤動作があげられ、可能なところから地道に更新作業を進めている。またエネルギー価格の高騰に伴う運転経費捻出が困難さを増す中で、これまで BST 高周波源の省電力半導体増幅器への更新や実験室水銀灯照明の LED 化、冷却塔系ポンプへのインバータ制御の導入など、可能な限り消費電力の低減に努めてきたが、施設側でできる対応は限界に近い状況である。最近では毎年のように大規模な地震も頻発していて、その都度施設の損傷の回復が要される状況となっているが、施設整備概算要求として実験施設建屋の大幅な改修が計画されている。また本年秋には再び放射線施設の変更申請が予定されていて、大強度 linac の最大出力と運転時間が、15 kW、120 時間/週に増強される予定である。この申請に合わせて非密封放射性同位元素の種類・数量の変更なども予定されており、これにより更なる研究の高度化と放射線管理の合理化が図られている。

参考文献

- [1] T. Ishikawa *et al.*, Phys. Rev. C 104, L052201, (2021).
- [2] J. Jang *et al.*, Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A 987 (2021), 164815/1-10.
- [3] H. Saito *et al.*, Proc. of the 19th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, THOA05, 2022.
- [4] H. Yamada *et al.*, Proc. of the 19th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, THOA01, 2022.
- [5] K. Nanbu *et al.*, Proc. of the 19th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, THOP018, 2022.
- [6] T. Muto *et al.*, Proc. of the 19th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, TUP014, 2022.
- [7] T. Suda *et al.*, 加速器 Vol. 15, No. 2, p.52-59, 2018.
- [8] F. Hinode *et al.*, Proc. of the 16th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, p.1279, 2019.
- [9] F. Hinode *et al.*, Proc. of the 17th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, p.934, 2020.
- [10] S. Yamada *et al.*, Proc. of the 19th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, WEOA03, 2022.