

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

An accelerator complex consisting of three electron linear accelerators and a synchrotron is operating at Research Center for Electron Photon Science (ELPH), Tohoku University. In addition to the researches on RI production and nuclear/radiation chemistry using the high-intensity electron linac, studies of quark and hadron nuclear physics using high energy gamma rays generated by bremsstrahlung in the 1.3 GeV Booster Storage ring (BST) are also conducted, as well as research on ultra-short electron bunch generation and development of coherent THz light source at test accelerator (t-ACTS). In the high-intensity electron linac, the beam power was significantly increased by introducing the new electron gun and also improving the target irradiation system so far, but the present issue is how to deal with the problems caused by the increased power. In the high-intensity linac, the commissioning of the new beam line (ULQ2) was also successfully performed, and the study of the detector system has been started for experiment by electron scattering with ultra-low momentum transfer. The current status of the accelerator facility is 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 の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中で、クォーク・ハドロン核物理の研究をはじめ RI 製造や放射核化学の研究、超短パルス電子ビームの生成とこれによるコヒーレントテラヘルツ光源の開発研究などが進められている。RI 製造用大強度 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構築された ULQ2 ビームラインについても順調にコミッショニングが進められ、現在は本実験のための検出システムの試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会で報告されているが、大強度 linac では熱電子銃の更新と照射システムの改善により最大ビームパワー 9 kW への増強がなされている[1,2]。震災後の利用運転が再開された 2013 年度以降の運転時間の推移が Fig. 1 に示されている。近年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。2019 年度は復旧に時間を要する真空トラブルが重なり運転時間が制限されてしまった。また一昨年度あたりから運転時間に占める BST 利用の割合が少なくなっているが、これは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である。今年度は電力自由化の影響により基本料金が低減できたので、例年並みの運転が可能と見込まれていて、7 月末までに既に 800 時間超の運転が実施されている。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。

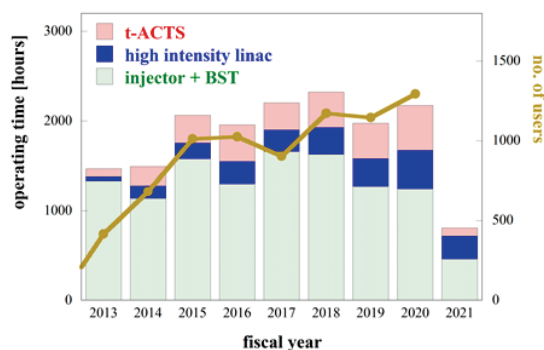


Figure 1: Operating time and number of users.

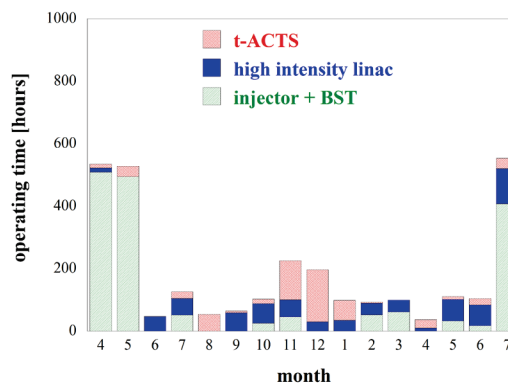


Figure 2: Operating time in recent months.

Figure 2 に 2020 年 4 月から本年 7 月までの月別の運

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

転時間を示した。2020 年度当初は、COVID-19 の緊急事態宣言のもと外部利用者のマシンタイムを取り止め、内部利用者向けの運転を実施した。その後も大学本部による BCP レベルに応じた規制の下、感染予防に十分に配慮した最低限度の運転要員により、利用運転が継続されてきた。例年、冷却系に負荷の大きな夏季の運転は避けてきたが、今年度は後述する真空トラブルにより延期された利用運転の実施のため、7 月の平日は全て稼働日に充てられた。2020 年度の採択課題は 19 件(大強度 linac: 10 件 34 シフト、BST: 9 件 18 シフト)で、次年度繰り越し分を考慮して BST の採択シフトは少なめに設定された。本年度前期の採択課題は 7 件 16 シフトで、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が行われている。今年度後期の共同利用申請も 18 件に上り、例年並みの運転が見込まれる。この他に、50 MeV 試験加速器 t-ACTS においては、加速器・ビーム物理学分野における共同研究に利用されており、超短パルス電子ビームの生成やこれを用いた光源・ビームモニターの開発研究などが行われている[3-5]。

加速器群の最近の主なトラブルを下記に示した。トラブルの要因は、主として機器の老朽化と、大強度 linac におけるビームの大強度化に伴う真空リークや放射線による制御機器の故障や動作異常となっていて、このため対処可能なものから老朽化機器の更新や放射線対策を進めている。

- 大強度 linac のモジュレータで主回路 NFB が故障。50 年物の部品で、老朽化による動作不良。
- 大強度 linac のビームダンプで水漏れ。放射線損傷により樹脂冷却配管が劣化し亀裂が入ったもの。
- 大強度 linac で真空リークが発生。取り出し用チタン窓でリーク発生。ヘリウム冷却ラインに水が混入したためと考えられる。このため露点計を設置し冷却用ヘリウムラインの水分量を監視するようにしている。また高い放射線環境下でも確実にインターロックが機能するように、冷却システムの流量スイッチの2重化やビームロスの監視強化などの対策を施した。
- 大強度 linac でプリバンチャー用位相器が断線。老朽化により位相器のコネクタ部で半田がとれて断線したもの。
- 入射器でサイクロトロン用空冷 FAN が故障。原因は回転センサー回路の故障。
- 大強度 linac で真空リークが発生。照射運転中にビーム取り出し用チタン窓が破損。原因は偏向電磁石用トリムコイルの極性切り替え機が放射線の影響で動作停止したため、ビーム軌道がずれて取り出し窓の壁面に照射され、発熱により短時間でチタン窓部が破損したもの。電源や極性切り替え機を照射室から移設し制御も改良した。
- 大強度 linac で真空リークが発生。照射運転終了直後に微小な真空リーク発生。ビーム取り出し用チタン窓のビーム照射個所に破損を確認(Fig. 3)。取り出し窓でのビームサイズが小さかったことによる冷却不足が原因と推測される。当面は穴あきスクリーンを用いて、ビームサイズを随時監視しているが、照射システムの改造も検討している。

- 大強度 linac で ULQ2 ビームラインの偏向電磁石冷却用インバータポンプが故障。

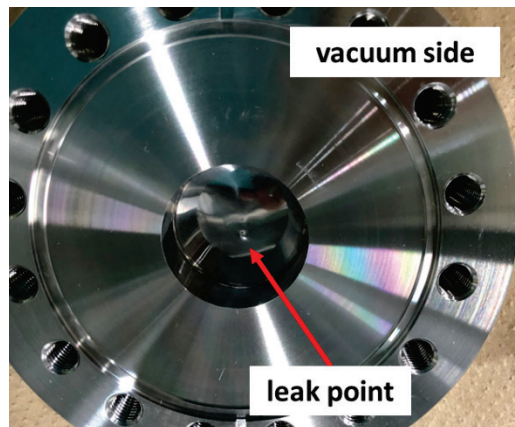


Figure 3: Titanium window for beam extraction with vacuum leak. The diameter and thickness of the titanium window are $\phi 30$ mm and 30 μ m, respectively.

3. 改善作業

最近の主な改善事項として、大強度 linac のビームラインの整備や冷却塔用ポンプのインバータ制御の導入などが実施された。以下にその概略を報告する。

3.1 大強度 linac のビームライン整備

低運動量移行の電子散乱実験のための ULQ2 ビームラインを第 1 実験室内に新設したことにともない、大強度 linac の運転モードの見直しが行われた。2020 年 9 月には放射線変更申請の許可が得られコミッションを開始したが、ビーム調整は順調に進み、その後はスペクトロメータのノイズ対策などを経て、現在は検出器システムの動作試験を実施している。また加速管部より下流のビーム輸送路の改造・整備が行われ、ビーム光学系の変更と電磁石の更新・追加、劣化したイオンポンプやゲートバルブ・アルミ製ビームダクトの交換、プロファイルモニタの追加及びモニタ光学系の再構築などが実施された。この他に、25 年以上使用されている老朽化した古い電磁石電源(全 27 台)を更新し、信頼性の向上とともに操作性・保守性も改善されている[6]。

3.2 冷却塔システムポンプの回転速度制御による消費電力の低減

シンクロトロン電源やクライストロンモジュレータ、電磁石で発生した熱は、2 次冷却水に移動し、プレート式熱交換器を介して 1 次冷却水に移動した後、最終的には開放型冷却塔から大気へ放散される。1 次冷却水システムは加速器以外に、He 冷凍機や大型の分析電磁石など複数の熱負荷が接続されていることと、冬季は配管の凍結を防止するため、基本的には計画された夏季の停止期間を除き連続運転されてきた。また当センターの加速器は運転モードによって、その消費電力が大きく変化するため、運転モードによってはそれほど熱負荷が大きくないにも関わらず、冷却塔システムは全力運転せざるを得ず、運用コストの面で非効率となっていた。そこで、運転モードに応じた冷却塔システムポンプの回転速度制御(イン

バータ制御)を導入することによる、運用コストの低減を検討した。理論的にはポンプ動力は回転数の 3 乗に比例するため、待機モードのように熱負荷が小さい場合には、ポンプの回転数を出来る限り低く抑えることで、消費電力を小さくすることができる。実際にはポンプや誘導電動機には下限回転数が定められているため、ある程度制限されてしまうが、定格回転数の 60 %でポンプを運転すれば、消費電力は定格消費電力の 22 %程度となることから、大幅に消費電力を低減することが可能となる。2019 年度の運転実績に基づくポンプ速度制御導入による年間の消費電力の見積を Table 1 に示す。冬季の凍結防止運転なども含まれるため、6547 時間の運転時間のうち、待機時間が 4927 時間と比較的長く、回転速度制御を実施することにより消費電力を大幅に削減できることがわかる。回転速度制御を行うインバータとそれに伴うポンプ交換に要する費用は、消費電力削減効果により約 3 年で回収できる見込みが立ったため、2021 年の 2 月にインバータ盤の設置と、ポンプ交換作業を実施した。新設したインバータ盤とポンプの写真を Fig. 4 に示す。万一インバータが故障した場合でもポンプを運転できるように、インバータ盤のバイパス回路を追加してある。設置後に消費電力などを測定したが、おおむね見積通りの値であることを確認した。現在運転モードとしては、定格周波数で動作する運用モードと、定格周波数の 60%で運転する待機モードの二つで運用している。現時点においては手動でこれらのモード切り替えを行っているが、今後は加速器の運転状態に応じた自動的な切り替えを可能にする予定である。

Table 1: Estimated Power Consumption of Tower Pumps

	Power consumption [kWh]
No inverter-control	164,984
Inverter-controlled	57,711

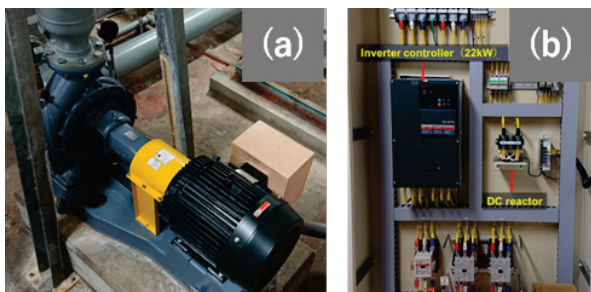


Figure 4: The photograph of new pump (a) and inverter controller (b).

3.3 その他の改善事項と作業予定

その他に改善されたものとして、昨年度は施設内給排水設備の改修工事が実施された。これは創設当時のまま使用されてきた老朽化した給排水設備を全面的に更新・改修したもので、施設整備の概算要求で承認され今年に全ての工事が完了している。

最近の入射器における不具合として、高周波電子銃

のカソード空洞での放電の頻度が増加していることがあげられる。これまでは1年ほど運転していると、カソード近傍に生じた析出物によりカソード空洞内で放電が発生するようになるので、毎年の長期停止期間にカソードを交換していた。しかし本年は春の停止期間に交換して間もなく、カソード空洞内で放電するようになった。空洞内面の損傷が懸念されていて、今夏の停止期間に調査を予定している。

大強度 linac のバンチャー系回路では、老朽化により、同軸導波管変換器での放電と SF₆ ガスのリークが悪化してきた。今夏に更新の予定となっている。

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と、凍結防止ヒータに断線が認められており、これについても今夏に修理の予定となっている。

4. まとめと今後の課題

本センターは、コロナ過のもとでも感染拡大防止に留意しながら共同利用・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真空リークや放射線による機器の故障や誤動作があげられる。このため老朽化した古い電磁石電源や、一部の立体回路機器など、可能なところから更新作業が進められている。また、放射線に弱い制御機器の照射室からの移設や制御システムの改善も進められている。作業時の被曝の低減も課題となっていて、照射システムの改善も検討が進められている。

運転経費維持の困難さが増す中、BST の高周波源をクライストロンから半導体に更新するなど消費電力の縮減にも取り組んできたが、今春には待機時の冷却塔系ポンプの消費電力を抑制するためにインバータ制御を導入し、消費電力が定格の約 4 分の 1 に低減されている。

この他の現在の深刻な問題として、PCB の含有された多量の古いコンデンサの処理や、低濃度 PCB の含有が疑われるモジュールの更新などがあり、今後の課題となっている。

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 17th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, p.934, 2020.
- [3] H. Yamada *et al.*, Proc. of the 18th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, TUP032, 2021.
- [4] H. Saito *et al.*, Proc. of the 18th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, THOA04, 2021.
- [5] T. Muto *et al.*, Proc. of the 18th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, THOA05, 2021.
- [6] K. Shibata *et al.*, Proc. of the 18th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, MOP030, 2021.