

東北大学電子光物理学研究センターの加速器の現状

PRESENT STATUS OF THE ACCELERATORS IN RESEARCH CENTER FOR ELECTRON PHOTON SCIENCE, TOHOKU UNIVERSITY

東谷千比呂^{#,A)}, 柏木茂^{A)}, 日出富士雄^{A)}, 武藤俊哉^{A)}, 柴崎義信^{A)},
南部健一^{A)}, 長澤育郎^{A)}, 高橋健^{A)}, 小林恵理子^{A)}, 濱広幸^{A)}

Chihiro Tokoku^{#,A)}, Shigeru Kashiwagi^{A)}, Fujio Hinode^{A)}, Toshiya Muto^{A)}, Yoshinobu Shibasaki^{A)},
Kenichi Nanbu^{A)}, Ikuro Nagasawa^{A)}, Ken Takahashi^{A)}, Eriko Kobayashi^{A)}, and Hiroyuki Hama^{A)}

^{A)} Research Center for Electron Photon Science, Tohoku University

Abstract

Research Center for Electron Photon Science, Tohoku University, has been providing high-energy electron beam for application experiments in nuclear physics and radiation chemistry. With advanced developments of accelerator technologies and continual maintenance work for the facilities and utilities, operation time for all the accelerators was totally more than 1400 hours in FY2014. Current status of each accelerator and updates and changes of the facilities are reported.

1. はじめに

東北大学電子光物理学研究センターは東日本大震災からの復旧作業と並行して 2013 年 12 月から共同利用を再開している^[1]。現在は、1.3 GeV ブースター蓄積 (BST) リングとその入射専用 90 MeV 電子リナック、および 70 MeV 大強度電子リナックによる共同利用を推進している。さらに加速器科学・ビーム物理研究専用の試験加速器である 50 MeV 電子リナック (光源加速器 t-ACTS) を運用している。現在の実験施設の概要を Figure 1 に示す。本報告では、これらの共同利用および加速器施設の現状について報告する。

2. 共同利用の状況

2014 年度の加速器運転時間は、1.3 GeV BST リングが約 1048 時間、70 MeV 大強度電子リナックが約 141 時間、50 MeV 光源加速器が約 215 時間、3 組の加速器でのべ約 1400 時間であった。月別・加速器別の運転時間を Figure 2 に示す。運転時間は、1.3 GeV BST リングは RF が ON の時間、70 MeV 大強度リナックはクライストロンの低圧回路が ON の時間、50 MeV 光源加速器は電子銃からビームが出力されている時間をそれぞれ積算しており、共同利用以外のビーム調整やマシンスタディの時間も含まれている。

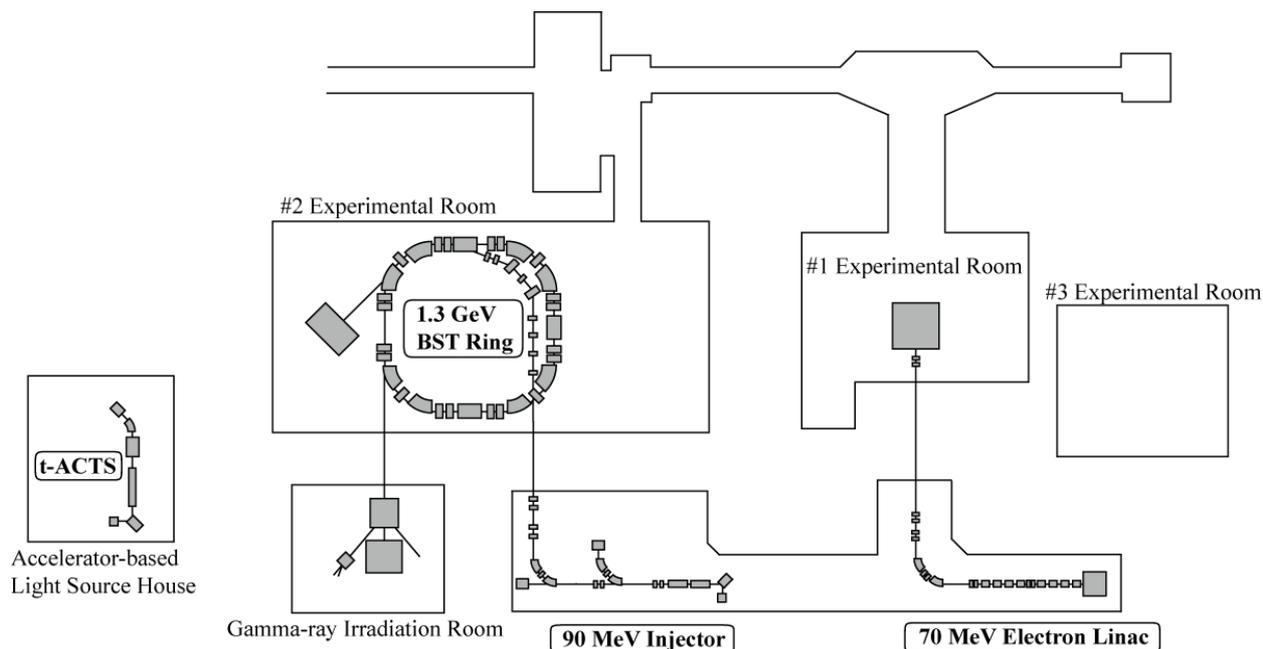


Figure 1: Schematic view of the accelerators and beam lines in our facility.

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

現在は 1.3 GeV BST リングを用いる原子核実験と 70 MeV 大強度リナックを用いる RI 製造等の実験を並行して行えるようになってはいるが、実験によっては電力使用量が施設全体の受電容量を超えそうになることもあり、運転パターンなどに制限が加わっている。また 1.3 GeV BST リングは 24 時間連続運転も行えるようになってきている。日々の改修作業による運転効率の改善により、稼動時間の推移は震災前の水準に戻りつつあるが、一方で電気料金の値上がりなどにより実際の総運転時間は強く制限されている。

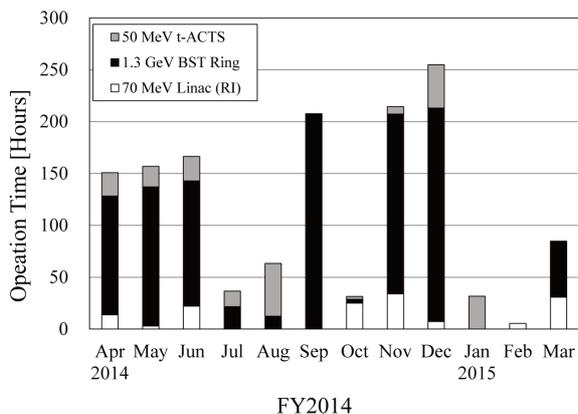


Figure 2: Monthly operating time for each accelerator in FY2014. Total time was about 1400 hours.

3. 加速器の状況

3.1 70 MeV 大強度リナック

70 MeV 大強度リナックでは、20~50 MeV (平均電流は約 100 μ A) の電子ビームをターゲットに照射して生成される制動放射ガンマ線と試料との光核反応によって RI を生成し、放射化学や材料科学実験に利用している。2014 年末に電子銃高圧電源保護回路の短絡事故があり、回路の改修を行った。2015 年は研究用 RI 製造におけるビーム特性の把握と品位の向上を目的として、電子ビームのプロファイル、エミッタンス、制動放射ガンマ線プロファイル等の計測を行っている^[2]。他にも、イオンポンプの経年劣化による真空悪化の改善のためのセル交換、クライストロンのインターロック回路の更新、放射線によるビーム照射エリア周辺機器の損傷を軽減するための修繕などを予定しており、運転開始から 50 年近くたつ老朽化した加速器の継続的なメンテナンスを行っている。

3.2 90 MeV BST 入射用リナック

2015 年 2 月に、熱陰極高周波電子銃の交換を行った (Figure 3)。これは空洞冷却系の不具合により室温の変化による空洞パラメータの不安定性がみられたことや、カソードヒータの電源ラインが構造的に不安定で地絡が発生したことなどに対処するためである。主な変更は、カソードを LaB₆ (直径 1.8 mm) から CeB₆ (直径 3.0 mm) へ交換、カソードヒータ

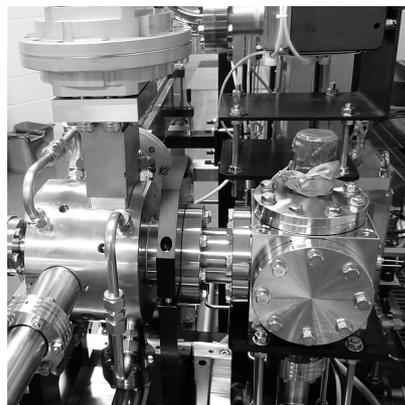


Figure 3: Replaced electron gun of the 90 MeV Injector.

ラインの絶縁強化、および空洞冷却系の強化などで、空洞の高周波パラメータに変更はない。

3.3 1.3 GeV BST リング

1.3 GeV BST リングでは、加速した蓄積ビームの軌道の上にラジエータを挿入して GeV 領域の制動放射ガンマ線を生成し、原子核物理実験に利用している。これまで閉軌道歪み COD (Closed Orbit Distortion) が大きく、偏向電磁石を設計位置より約 20 mm も移動させて補正していた問題を抜本的に改善するため、2015 年 2 月に BST リングの全ての磁石の位置 (傾きも含む) を測定し、再アラインメントを実施した。最大 1.5 mm 程度あった設置誤差が、再アラインメントにより、全ての電磁石について 0.1 mm 以内の精度で設置された。その結果、ステアリング磁石なしでもビームの周回・加速が可能なまで COD が改善された^[3]。

またステアリング電磁石電源について、これまでではプログラマブル電源を個々にプログラムして使用していたものを、電源をアンプとして利用し外部からのアナログ信号で運転パターンを制御できるように改良した。これにより、機種異なる電源でもプログラムなしで交換できるようになるため、今後の電源のリプレースが簡易化できると期待される。

こうした改修により、1.3 GeV 運転時で約 30 mA 以上の周回電流が安定して加速できるようになった。また制動放射ガンマ線の利用可能なエネルギー範囲を広げる目的で、1.0 GeV や 0.8 GeV 運転モードの整備を進めている。

さらに BST 入射用リナックと併せて、全ての制御操作とステータスの常時記録を開始した。運転中に起こるトラブルの内容や頻度をモニタすることにより、トラブルの事前対処や事後の速やかな対処に結びつける。またこの記録を利用して、所内での加速器運転情報のリアルタイムウェブ配信を試験運用している。

一方で、真空ポンプの経年劣化によりリング内の圧力が悪いところで 10⁻⁵ Pa 台のところもあり、イオントラップ現象によるビームの広がりが観測されるなど、実際にガンマ線の品位を損ねる症状が発生し

PASJ2015 FSP001

ている。そのため2015年夏のメンテナンス期間中にイオンポンプの再生作業を行う予定である。また共同利用時のユーザ操作の制御画面の整備なども継続的に行っている。

3.4 50 MeV 試験加速器 (t-ACTS)

2013年に新設された50 MeV 試験加速器では、極短電子バンチを使った加速器ベースの高輝度テラヘルツ光源の開発研究を行っている。2014年には加速管中における Velocity bunching によりサブピコ秒電子バンチ生成に成功した^[4]。現在は、アンジュレータからの超放射 (Superradiance) 発生実験の準備を進めている。並行して、電子銃から引き出された低エネルギー電子ビームの縦方向位相空間分布を直接観測する Liner Focal Cherenkov Ring (LFC) カメラの開発も進めている^[5]。これはチェレンコフ光の放出角度が電子の速度に依存することを利用し、電子ビームのエネルギーと時間情報をストリークカメラで同時に測定するものである。

4. 施設ユーティリティの状況

これまで t-ACTS を除く施設加速器群の加速管や導波管用の精密温調チラーの一次側には開放式冷却塔系統の冷却水を使用していたが、粉塵の混入や藻類の発生などによるトラブルが頻発したため、2015年7月に精密温調チラーの一次側を純水系統に切り替える配管改修工事を行った。

また変圧器や低圧分電盤など耐用年数が超過した機器を更新する作業も毎年継続的に行っている。

5. まとめと今後

震災後の共同利用再開から一年以上が経ち、構成を新たにした新旧4台の加速器は、それぞれ日々の保守に伴い新しい技術も導入しながら大きなトラブルもなく稼動している。今後も老朽化への対策とともに、共同利用者のニーズに応える改善を図り、さらに次世代の加速器技術につながる研究開発を、大学施設ならではの立ち位置で切り開いていく必要がある。

参考文献

- [1] Takahashi et al., Proceedings of PASJ Conference, Vol. 11, FSP022, p394 (2014).
- [2] Takahashi et al., Proceedings of PASJ Conference, Vol. 12 (2015).
- [3] Hinode et al., Proceedings of PASJ Conference, Vol. 12 (2015).
- [4] Kashiwagi et al., Proceedings of PASJ Conference, Vol. 12 (2015).
- [5] Nanbu et al., Proceedings of PASJ Conference, Vol.12 (2015).