

阪大産研量子ビーム科学研究施設の現状報告

STATUS REPORT OF RESEARCH LABORATORY FOR QUANTUM BEAM SCIENCE, ISIR, OSAKA UNIVERSITY

古川和弥[#], 菅田義英, 磯山悟朗, 岡田宥平, 徳地明, 楊金峰, 近藤孝文, 菅晃一, 神戸正雄, 吉田陽一
Kazuya Furukawa[#], Yoshihide Honda, Goro Isoyama, Yuhei Okada, Akira Tokuchi, Jinfeng Yang, Takafumi Kondoh,
Koichi Kan, Masao Gohdo, Yoichi Yoshida
ISIR, Osaka University

Abstract

The present status of L-band, RF-gun and S-band linacs and MeV electron microscope at the Research Laboratory for Quantum Beam Science in ISIR, at Osaka University was reported. The L-band linac is used for time-resolved measurements of ionizing radiation induced reactions by pulse radiolysis technique in the time range from nano-second down to sub-picosecond, and for generation of terahertz light based on free electron laser (FEL). The last year, the cathode and high-voltage power supply of the electron gun were replaced, and the refrigerator bypass function to the precision cooling system was newly installed. Operation test of the beam sharing system was performed using existing electromagnets. The RF-Gun linac is mainly used for generation of ultrashort-pulsed electron bunches and for study of femto-second/atto-second pulse radiolysis. Production and transportation of slow positron beam using the S-band 150 MeV linac were started. The MeV electron microscope was upgraded by developing a 1.4 cell RF electron gun and the lens system replacement.

1. はじめに

阪大産研量子ビーム科学研究施設は L バンド 40 MeV 電子ライナック、フォトカソード RF 電子銃ライナック、S バンド 150 MeV 電子ライナック、コバルト 60 γ 線照射装置を持つ放射線共同利用施設である。

L バンドライナックはナノ秒とサブピコ秒領域のパルスラジオリシスを用いた放射線化学の研究や、FEL による大強度テラヘルツ波の発生と利用に用いられる。昨年度は暗電流トラブルに伴う電子銃カソードの交換、電子銃高圧電源の更新、精密系冷却装置の冷凍機のバイパス改造、半導体スイッチの基板修理などを進めた。またビーム振り分けシステムの導入に向け、現有の設備を用いたビーム試験を行った。

RF 電子銃ライナックは主にフェムト秒パルスラジオリシスによる放射線化学初期過程の解明に用いられる。昨年度は超短パルス電子ビーム発生研究やフェムト秒電子線パルスによる THz 光の発生研究を行った。RF 電子銃を装備した MeV 電子顕微鏡は 1.4 セル RF 電子銃の開発やレンズ系の更新によるアップグレードを行った。

S バンド 150 MeV 電子ライナックは主に低速陽電子生成に用いられる。昨年度は多数のトラブルに対応しながら、モデレータの製作とビーム調整を行い、今年度に入ってから陽電子ビームの生成と輸送を行った。

本年会では当施設の保守管理・開発の状況に関して報告をする。

2. 量子ビーム科学研究施設の利用状況

平成 30 年度の量子ビーム科学研究施設の共同利用採択テーマ数は産研から 14 件、学内から 6 件、学外の研究者を含むものが 13 件、物質・デバイス領域共同研

[#] furukawa@sanken.osaka-u.ac.jp

究拠点からが 12 件の合計 45 件であった。

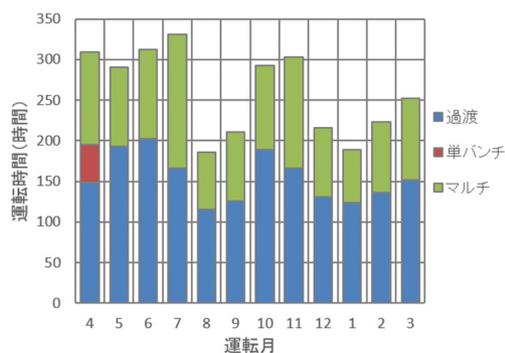


Figure 1: Operation Time of the L-band linac of 2018.

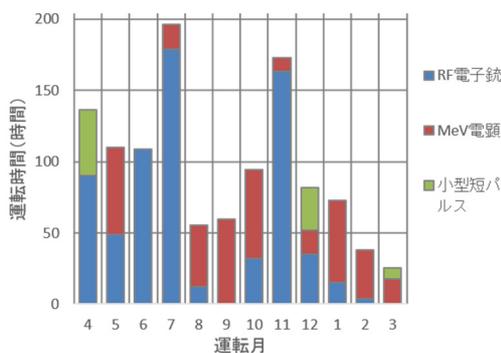


Figure 2: Operation Time of the RF-Gun linac and MeV electron microscope and small short pulse electron linac of 2018.

また L バンドライナックの運転状況を月別、モード別に

Fig. 1 に示す。L バンドの運転日数は 257 日、テーマ数 31、通算運転時間は 3,117 時間であった。また RF 電子銃ライナック、MeV 電子顕微鏡、小型短パルス電子線発生装置の通算運転時間はそれぞれ 688 時間、379 時間、84 時間であった。3 台の加速器の月別の運転時間を Fig. 2 に示す。

3. L バンドライナックの現状

3.1 電子銃

昨年度 6 月から電子銃カソードからの暗電流が急増し、主にパルスラジオリシス実験に使用される第 2 照射室 (2 室) での実験に支障をきたした。暗電流の電荷量は Fig. 3 に示すようにカソードのグリッドバイアスと反比例し、2 室の線量 1 $\mu\text{Sv/h}$ あたり 0.08 nC/s の発生量であることを確認した。

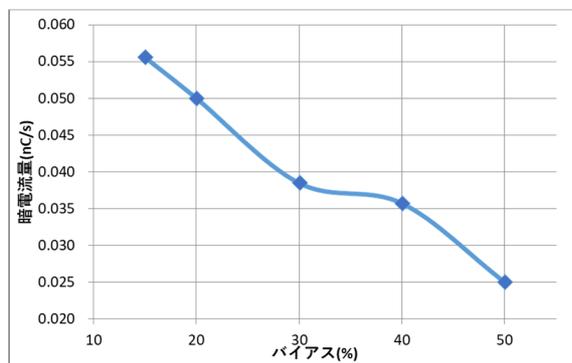


Figure 3: Relations of grid bias and the under current.

そこでバイアス調整と 2 室の線量をモニターすることでサンプルに照射される暗電流量を管理し、利用実験を継続し、8 月の保守期間にカソードの交換を行った。今回のカソードの寿命は 1 年 4 か月であった。現在用いているカソードの YUI56 (CPI 社) の値段高騰のため、同スペックの HWEG-1227 (HeatWave 社) を購入し、今年度に試運転を行うことにした。

微量 PCB の混入が発覚した電子銃の昇圧トランスを廃棄するために、Spellman 社の直流高圧電源 (最大電圧 -130 kV 、最大電流 2.3 mA) と AC100 V 供給用のユニオン電機の絶縁トランスの設置、電子銃タンクへの配線を行った。絶縁トランスには安全のため感電防止用のカバーを取り付け、高圧電源は L バンドのインターロックに組み込んだ。高圧電源の制御プログラムは LabVIEW で作成し、ユーザーからの操作が不要になるように PLC の運転状態と同期するようにした。

3.2 冷却装置

精密系冷却装置は 2 台の冷凍器と 2 段階の温度安定装置により $\pm 0.03 \text{ }^\circ\text{C}$ の温度安定性を実現しているが、2 次側冷却水の温度が 1 次側冷却水の温度より十分高いため、冷凍機を経由せずに 2 次側から 1 次側の熱交換を直接行えることが分かった。そこで高額な消耗品である冷凍機の寿命延長や電気代と騒音の低減を目指し、1 次側と 2 次側冷却水の熱交換を行う熱交換器を追加し、バルブ切り替えで冷凍機のバイパスを可能とするシステムを構築した。改造後の精密系冷却水システムの系

統図を Fig. 4 に示す。初段の 2 次冷却水の安定化のため、熱交換器の 1 次側に三方比例弁を並列に設置し自動制御し、必要に応じて 2 台の冷凍機を独立に運転できるようにした。昨年度 9 月より冷凍機のバイパス運転を始め、従来通りの利用運転が可能であり、常時 20 kW 程度の電気代が削減できていることが確認できた。

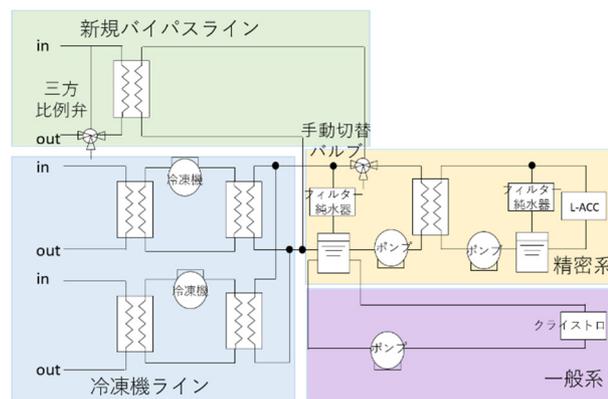


Figure 4: System diagram of precision cooling system.

また昨年度は 2 次側冷却水システムの排水経路や、空気抜き、流量計、バルブの追加等の整備を行った。さらにクーリングタワーのフィルターの交換頻度を減らすための排水溝ネットの設置や、清掃を容易にするためのコンセント、蛇口、散水層へのカバーの設置を行った。

3.3 RF 関係

半導体スイッチがノイズで故障した原因調査のため高圧電源と模擬負荷による放電試験回路を組み動作確認を行った。共通基板の光送受信 IC や DCDC コンバータ、ゲート基板の FET や DCDC コンバータ、サイリスタやスナバ用のダイオードの故障が判明した。故障の深刻な共通基板 1 枚とゲート基板 1 枚を除いた、基板 9 枚の修理が完了した。引き続き動作試験とノイズ対策を続けている。

3.4 ビーム振り分け

複数ユーザーの同時利用に向けたビーム振り分けシステムの実現のために、昨年度は購入したパルス電源と現有のビームライン及び偏向電磁石を用いて動作試験を行った。パルス電源は正負両極性のチョッパ回路と PWM 用マイコンを用いて、最大出力 $\pm 300 \text{ V}_p \pm 100 \text{ A}$ 、平均電力 10 kW の台形波を生成可能である[1]。今回はこのパルス電源で磁場フィードバックを行いながら現有の偏向電磁石に電流を流し、2 室と偏向電磁石直下にあるスイッチャードポートで電子ビームをモニターし、安定度を評価した。

1 pps の繰り返しで振り分けを行った際の制御信号、パルス電源の出力電流、モニター磁場の波形を Fig. 5 に示す。磁場の安定度は 0.41% で、磁場の立ち上がりはおよそ 80 ms であった。またこの時の 2 室でのビーム電流の安定度は 0.46% で、ビームの中心位置の x 軸方向の変動は 0.046 mm であった。5 pps では磁場のフラットトップを得ることはできないが、磁場の安定度は 0.72% で、2 室でのビーム電流の安定度は 0.18% であった。今後長時間運転に対する検討やインターロックの変更、ケイ素

鋼板を用いたパルス対応の偏向電磁石の発注を行う予定である。

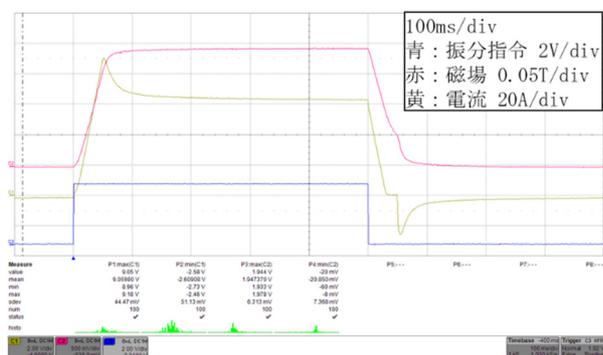


Figure 5: Time profiles of beam current, magnetic field and control signal.

4. RF 電子銃ライナックの現状

平成 30 年度は最大エネルギーが 40 MeV の RF 電子銃ライナックを利用してフェムト秒・アト秒パルスラジオリシスの研究、超短パルス電子ビーム発生とフェムト秒電子線パルスによる THz 光の発生研究を行った。フェムト秒パルスラジオリシスの研究では、ドデカンの放射線照射により生成されるドデカン励起カチオンラジカルの探索、アルカンの放射線分解初期過程と四塩化炭素の放射線化学初期過程等の研究を展開した。THz 光の発生研究では、光導電アンテナ (PCA, photoconductive antenna) を用いたコヒーレント遷移放射の計測、グレーテッド・グレーティングからのテラヘルツ放射の計測を行った。詳しくは本年会 WEOI02「コヒーレント遷移放射によるテラヘルツ電場の時間・空間分布の測定」を参照のこと。

RF 電子銃を用いた MeV 電子顕微鏡と小型短パルス電子線発生装置では、フェムト秒電子線パルスを利用した超高速電子顕微鏡の開発やフォトカソード RF 電子銃を利用したフェムト秒超短パルス且つ極低エミッタンス電子ビーム発生に関する研究を行った。MeV 電子顕微鏡では、新たに超短パルス電子ビームを発生可能な 1.4 セル RF 電子銃の製作や大阪大学超高压電子顕微鏡センターから超高压電子顕微鏡レンズ系の移設を行い、アップグレードとテスト運転を行った。今後、ビーム強度の増強、拡大倍率の向上を進め、フェムト秒とナノメートルの時空間分解能を実現することで様々な物質における超高速で進行する構造相転移や反応素過程に関する応用研究が期待できる。詳しくは本年会 FROH08「フェムト秒電子線パルスを用いた超高速電子線回折と電子顕微鏡の開発」を参照のこと。

機器の状態としては PFN 充電用の 30 kV 直流電源、フェムト秒レーザー用チャラー、ピコ秒レーザー用チャラーの故障が発生し、いずれも代替機との交換、修理により運転を継続している。現在使用しているピコ秒レーザーとフェムト秒レーザーの本体は 2003 年の購入から 16 年が経過しており、更新が急がれる。

5. S バンド 150 MeV 電子ライナック

S バンド 150 MeV 電子ライナックは従来 3 台の加速管に RF を供給するため、クライストロンとモジュレータを 3 組利用していた。平成 26 年度に RF 電子銃ライナックと共通で使用していた 1 組を別棟に移設し、残り 2 組で運用することに決まり、再稼働に向け調整・補修等を行ってきた。平成 29 年度以降、エネルギースペクトル、並びにビームローディングの測定を行い、移設前とほぼ同様の 100 MeV での運転が可能であることが確認できたが、フレキシブル導波管や導波管立体回路のパワースプリッター部分、導波管継手部分からの SF6 ガスの漏洩が顕在化し、パーツ交換等を行い対処してきているが、依然として完全には修復できてはいない。特にパワースプリッター部分での漏洩修復は困難且つ、買い替えるにも高額であることから、ガス補給の頻度を上げて対応している状況である。この他、昨年度は特にクライストロンタンクなどで PCB 混入が予想されるコンデンサーの取り換え工事を行った。

本加速器利用の主要テーマである陽電子ビームの生成に関しては、陽電子発生部に使用するモデレータを新たに製作し、1800 °C 以上で焼鈍後、組み立てと設置を行った。陽電子ビームラインについても長期間稼働していなかったことから、ビーム制御系や真空系でいくつかの不具合が生じ補修を行ってきたが、昨年度にはこれらの作業もほぼ終了し、低速陽電子ビーム発生の準備が整った。今年度に入って低速陽電子ビームの生成を行い、輸送された陽電子ビームプロファイルを確認した。陽電子量についてはまだ生成のための最適化や計測ができていないが、MCP 像からは従来並みの陽電子量が得られていると推測される。

6. まとめ

L バンドライナックは電子銃のカソードと高压電源の交換、精密系冷却装置のバイパス改造、半導体スイッチの基板修理等を行った。また現有の設備を用いたビーム振り分けシステムの試験を行い、電子ビームの出力安定度と X 軸方向の安定度を確認した。

RF 電子銃ライナックでは超短パルス電子ビーム発生の研究と、それを用いたフェムト秒・アト秒パルスラジオリシスや、THz 光の発生研究を推進している。また MeV 電子顕微鏡は 1.4 セル RF 電子銃の製作やレンズ系の移設によるアップグレードと試験運転を行った。

S バンド 150 MeV 電子ライナックは SF6 リークや真空リーク、機器の故障等多くのトラブルに見舞われながらも低速陽電子ビームの生成と輸送を行うことができた。

参考文献

- [1] H. Mori *et al.*, “Control circuit of power supply for beam distributing magnet, as an application of PWM controller microcomputer”, Proceedings of the 15th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Nagaoka, Japan, Aug. 7-10, 2018.