

2. 量子ビーム科学研究施設の現状

2-1 強力極超短時間パルス放射線発生装置(Lバンドライナック)

2-1-1 Lバンドライナックの運転状況

図1は、令和3年度におけるLバンドライナックの運転日数を、月別、モード別に表したものである。今年度のLバンドライナック共同利用では、14件の量子ビーム科学研究施設 共同利用研究課題と7件の物質・デバイス領域共同研究拠点 施設・設備利用課題が採択された。前期は保守作業の22シフトを含む119シフトが配分され、後期は保守作業の22シフトを含む120シフトが配分された。保守運転を含む運転日数は233日、運転時間実績は2756時間であった。

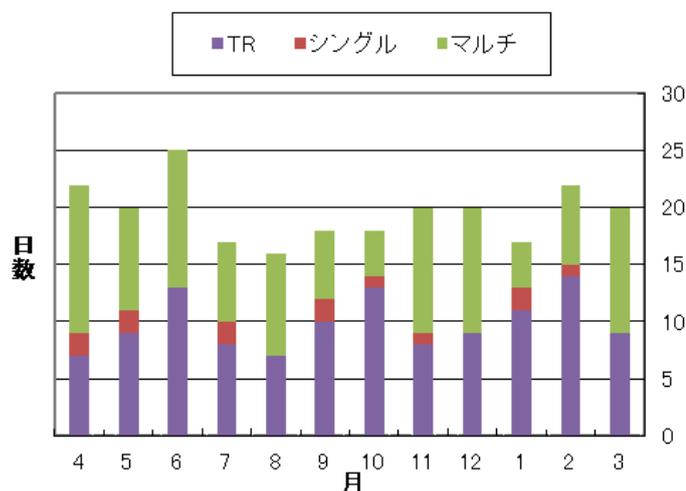


図1 令和3年度Lバンド運転日数

2-1-2 保守および故障の状況

● 振り分けシステム

電子ビーム振り分けシステムの使用に関する原子力規制庁への申請が承認された。それに伴い、重量扉とビームシャッターのインターロックロジックの変更、状態表示板の更新、振り分け制御プログラムの導入を行った。照射室とタイミングシステムの整備を継続しており、利用実験に提供できる体制を整えている。

● 半導体スイッチ

半導体スイッチの放電ノイズによる基板故障対策として自己給電式のゲート基板を開発し、昨年度3月に設置したもののスイッチングが不安定になる症状が発生していた。高繰返し且つ長時間の運転によるFETやサイリスタの温度上昇が原因であると疑い、光絶縁が可能な熱電対で温度測定をしながら運転を行ったが、問題になるほどの温度上昇は確認できなかった。その後、制御基板とサイリスタを固定するネジに緩みがあり、放電が起きていることが確認されたので、締め直しを行った。またゲート基板内の温度上昇検知部がノイズで誤動作してスイッチングが停止することが分かったので、該当箇所を補修した。これらの処置により正常に利用できることが確認できたので、6月よりクライストロンモジュレータに組み込んで利用実験での使用を開始した。

その後、950時間のマシンタイムに無故障で使用することができたが、10月下旬に設置当初と同様にスイッチングが不規則になる現象が発生した。自己給電回路の最上流の逆流防止ダイオードが故障して、過電流により下流の素子も連続的に故障することが判明したので、逆回復時間の

短いダイオードに交換した。12月末に改修した半導体スイッチを設置し、試験運転で問題ないことが確認されたが、1月下旬のマシントimeで再度故障した。現在、原因の追究を行っている。

● FEL

FEL 共振器のデチューニング用の電動 X 軸ステージが昨年度故障したので、新しいステージに交換して運用していた。運用開始から数日のマシントime使用でエンコーダが故障したため位置フィードバックを無効化して手動コマンドで運用していたが、さらに数日のマシントimeで手動コマンドも受け付けなくなった。新機種は放射線耐性が低く、高線量な発生装置室での使用には適さないと判断した。そのため、ステージ内部のエンコーダが故障しているものの手動コマンドを受け付ける従来機種を再度設置し、利用を続けている。

また共振器の角度調整用のエンコーダ付き DC モータータイプのアクチュエータも故障が頻発していた。そのため放射線耐性の高いステップモータタイプのアクチュエータを新たに用意し、試作工場に取付用のジグと放射線遮蔽用の鉛カバーを製作してもらい、共振器に設置した。

● 電磁石電源

偏向電磁石電源の内 1 台で、数か月単位で徐々に設定値とモニター値が乖離し、消磁プロセスが終了しない問題が発生していた。製造業者に現地調査と修理を依頼し、内部基板の AD・DA コンバータ回路のゲインが低下していることが判明したので、基板の修理を行った。

ヘルムホルツコイル用の電源の内 1 台で、運転中に出力が停止する現象が発生した。リモート制御に問題があるものの、リモート制御ケーブルをつないでモニター値を読み込める状態で出力をローカル制御にすれば、問題なく運転できることが判明した。半導体不足の影響で修理に半年程度の期間が見込まれたのでローカル制御での運転を続けていたが、症状が悪化し完全に通信ができない状態になると他のヘルムホルツコイルのリモート制御もできなくなることが判明した。当該電源を修理に出すため予備電源と交換し、同一通信系列上のすべてのヘルムホルツコイルをローカル制御に切り替えて運用している。

また他のヘルムホルツコイル用の電源の内 1 台も運転中に出力が不安定になる現象が発生した。修理不能と診断されたため、予備機と交換した。さらにステアリングコイル用の電源の内 1 台も通信不良が発生することから、通信基板の交換を行った。当該基板の修理は可能であったが、いずれの電源も納入から 20 年程度かそれ以上経過しているため、予備機の整備や更新を進める必要がある。

● その他の保守作業

その他の保守作業として、冷却水システム清掃・整備、圧空ラインのリーク対応、信号発生器の交換と代替機の実験測定、線源付きエリアモニターの廃止とそれに伴うインターロック修正、重量扉駆動系の整備等を行った。

2-2 150 MeV Sバンド電子ライナック

今年度4月は昨年度発生したクーリングタワー用循環水系統についているゲートバルブの交換作業及びフィルターの交換を行い運転可能となった。一方、昨年度から起こっているエネルギーアナライザー用のベンディングマグネットの電流制御回路が、放電ノイズのために誤動作する問題は、結局制御回路の電源を別のコンセントからとることで取り敢えずは誤動作しないようにできた。電源ラインから入ってくるノイズ処理が必要である。そのほかはSF6ガスのリーク量は依然大きいものの、2時間程度はガスの補給なしで運転できるため、陽電子ビームの発生実験に利用した。168時間程度の運転時間であった。

2-3 フォトカソード RF 電子銃 S バンドライナック

2-3-1 運転状況と主な研究成果

今年度には、高周波 (RF) 電子銃を駆動するピコ秒レーザーが故障中であるため、主に「40MeV S - バンドレーザーフォトカソード RF 電子銃ライナック」を利用したフェムト秒・アト秒超短パルス電子ビーム発生と THz 計測に関する研究を行い、「MeV 電子顕微鏡」を利用したフェムト秒時間分解電子顕微鏡の開発に関する研究を行った。以下に、それぞれの研究内容と得られた主な研究成果を示す。

- (1) 「40MeV の RF 電子銃ライナック」を利用したフェムト秒・アト秒超短パルス電子ビームの発生には、電荷量の制御による空間電荷効果の低減、加速管におけるエネルギー変調の高精度化を行った。発生したフェムト秒短パルス電子ビームを用いて、レーザー変調電子ビーム圧縮実験、スミス・パーセル放射実験、電気光学結晶による電子ビームのテラヘルツ計測実験を行っている。
- (2) 「MeV 電子顕微鏡」の研究に関しては、①電子ビームの輝度を向上するために、電子線パルスの繰返しを今までの 10Hz からクライストロンモジュレーターの最高性能である 30Hz に増やして、電子ビームの平均電流値を 0.5nA まで増強できた。②構造変化を引き起すための励起光パルス光学系を構築した。それは、Ti:Sapphire レーザーの 3 倍波 (UV : 266nm) 変換器から残された 400nm と 800nm のフェムト秒光パルスを再利用し、電子顕微鏡の試料室に伝搬する光学系を製作した。また、励起用光パルスとプローブの電子線パルスのタイミングを合わせるために電子線パルス発生用の UV 光の光学系も再構築した。それらを利用した時間分解構造変化の観察を行っている。

2-3-2 保守および故障の状況

電子ビーム発生用の Nd:YLF ピコ秒レーザーの 2 か所の故障が 2019 年度に発生していたが、復旧を完了した。2020 年度に、レーザー発振器部の半導体可飽和吸収ミラー (SESAM) の代替品を導入し、外部 RF に同期して CW mode-locking できる状態になった。2021 年度に、再生増幅器周りの修復を行った。新たな増幅用 Nd:YLF 結晶の選定と治具の設計をフラクシ社に依頼した。現在は、発振器からの基本波を増幅できる状態になり (1047 nm, >1.2 mJ/pulse, 10 Hz)、周波数変換により発生した四倍高調波 (262 nm, 170 μJ/pulse, 10 Hz) を電子ビーム発生に使用できる状態で

ある。取り外した古い Nd:YLF 結晶のブリュースターカットの表面には、調整時もしくは使用時にできたと思われる傷があり、十分な再生増幅ができなかった原因と推測される。

フェムト秒レーザーの発振器内の Ti:Sapphire 結晶を励起するための CW レーザー (Millenia Vs J, Spectra-Physics, 532 nm, 5 W) が故障しかけている。2003 年頃に導入された装置であるため、機器の更新を進行中である。

冷却水装置について、ライナックの電子銃および加速管、フェムト秒レーザー発振器のためのチラーを、SMC 社製の装置へ更新を行った。

2-4 コバルト60照射設備

2-4-1 概要

コバルト 60 ガンマ線密封 RI 線源 3 本を保有し、各線源での γ 線照射の利用が可能となっている。

2-4-2 利用状況

令和 2 年度のコバルト 60 照射施設の利用課題数は 21 件であった。利用状況を表 1 にまとめた。引き続きコバルト 60 線源が広く利用されている。

表 1 令和 3 年度コバルト 60 照射施設利用状況

部局	利用課題件数	総利用時間(hrs)
産業科学研究所	6	190
理学研究科	1	5
レーザー科学研究所	1	5
工学研究科	3	1240
拠点利用	4	131
他大学等	6	234
合計	21	1804

2-4-3 装置の維持管理

コバルト照射施設運転制御システムの総合点検および保守整備を令和 4 年 3 月に行なった。

2-5 令和3年度 共同利用採択テーマ一覧

2-5-1 共同利用テーマ一覧

採択番号	研究課題	所属	申込者氏名	利用装置
R3-C-1	ナノ秒マイクロ秒の放射線化学	産研	小林一雄	Lバンド/コバルト
R3-C-2	ナノ秒領域での量子ビーム誘起化学反応基礎課程	産研	神戸正雄	Lバンド
R3-C-3	EB/EUV用レジスト高感度化のための高速時間反応に関する研究	産研	神戸正雄	Lバンド/コバルト
R3-C-4	放射線化学反応中間体	産研	藤乗幸子	Lバンド/コバルト
R3-C-5	ラジカルイオンの反応性	産研	藤塚守	Lバンド/コバルト
R3-C-6	凝縮相中の量子ビーム誘起スパー反応研究	産研	室屋裕佐	Lバンド/コバルト/RF
R3-C-7	フェムト秒・アト秒パルスラジオリシスの研究	産研	神戸正雄	RF
R3-C-8	フェムト秒時間分解電子顕微鏡に関する研究	産研	楊金峰	RF
R3-C-9	フォトカソードRF電子銃における高輝度電子ビーム発生に関する研究	産研	楊金峰	RF
R3-C-10	Sバンドライナックを用いた陽電子ビームの生成・利用	産研	誉田義英	150S
R3-C-11	量子ビーム誘起によるナノ構造形成機構に関する研究	産研	岡本一将	Lバンド/コバルト
R3-C-12	量子ビーム照射による生体内での新規分子変換反応の開発と応用	産研	山下泰信	Lバンド
R3-C-13	電子線照射による物質制御	産研	入澤明典	Lバンド
R3-D-1	Lバンド電子ライナックによるTHz-FELを用いた固体励起状態の研究	産研/摂南大学 他	入澤明典/ 東谷篤志	Lバンド

採択番号	研究課題	所属	申込者氏名	利用装置
R3-D-2	自由電子レーザーを用いた化学結合状態の2次元評価技術に関する研究	産研/日本製鉄(株)	入澤明典/ 東谷篤志	Lバンド
R3-D-3	超分子の放射線化学	産研/九大工 他	入澤明典/ 西原克浩	Lバンド/ コバルト
R3-D-4	超短パルス電子ビーム発生とTHz計測	産研/三重大学	藤塚守/寫 越恒	RF
R3-D-5	加速器を用いた材料改質と新規機能性材料創製に関する研究	産研/阪大ダイ キン協働研究所	菅晃一/松 井龍之介	施設利用
R3-D-6	電子スピン共鳴(ESR)法による γ 線照射効果の研究	産研/神戸大学	菅晃一/大 島明博	コバルト
R3-D-7	コバルトからの γ 線を用いた新規機能性材料創製に関する研究	産研/阪大ダイ キン協働研究所	藤乗幸子/ 谷篤史	コバルト
R3-D-8	パルスラジオリシス、 γ 線照射を用いた放射線化学反応	産研/青山学院 大	菅晃一/大 島明博	Lバンド/ コバルト
R3-D-9	ヒト由来試料の匂い測定	産研	川井清彦/ 田邊一仁	コバルト
R3-D-10	放射性廃棄物からのエネルギー生産に関する放射線化学研究	産研/中部大学	立松健司	コバルト
R3-B-1	放射線反応場を利用したナノ粒子材料の合成	工学研究科	清野智史	コバルト
R3-B-2	ガンマ線照射における核融合炉材料及び透明材料のダメージ評価	レーザー科学研 究所	山ノ井航平	コバルト
R3-B-3	RF電子銃とプローブレザーを用いた、超高速電場計測手法の開発	レーザー科学研 究所	有川安信	RF
R3-B-4	高分子の放射線照射効果の検討	工学研究科 環 境・エネルギー 工学専攻	秋山庸子	コバルト/ 施設利用
R3-B-5	宇宙機用記機材の放射線試験・石英・ガラス アパタイト試料の放射線被ばく量の決定	理学研究科	山中千博	コバルト

採択番号	研究課題	所属	申込者氏名	利用装置
R3-B-6	3D プリンターによるプラスチック構造体の作製と放射線照射効果の検討	工学研究科 環境・エネルギー工学専攻	秋山庸子	コバルト/施設利用
R3-B-7	生体に対する高線量率電子線照射効果の研究	大阪大学大学院医学系研究科	西尾禎治	Lバンド

2-5-2 物質・デバイス領域共同研究拠点申込テーマ一覧

採択番号	研究課題	所属	申込者氏名	利用装置
R3-J-1	高強度赤外光照射による新規物質創成と新規物性発現	大阪大学 基礎工学研究科 未来物質領域	永井正也	Lバンド
R3-J-2	テラヘルツ FEL をもちいた非線形光学応答の研究	大阪大学 レーザー科学研究所	中嶋誠	Lバンド
R3-J-3	高強度テラヘルツ光照射による分子間相互作用の非線形励起と制御	量子科学技術研究開発機構	坪内雅明	Lバンド
R3-J-4	シンチレーションの前駆励起状態のパルスラジオリシスによる観測	東北大学大学院工学研究科	越水正典	Lバンド
R3-J-5	高分子系飛跡検出器内の放射線損傷形成機構	神戸大学大学院海事科学研究科	山内知也	コバルト
R3-J-6	フォトクロミズム分子の隠れた反応状態の研究	群馬大学大学院理工学府	山路稔	Lバンド/コバルト
R3-J-7	パルスラジオリシス法を用いた非均質反応場等での過渡現象に関する研究	日本原子力研究開発機構・廃炉環境国際共同研究センター	永石隆二	Lバンド
R3-J-8	蛍光性物質を利用した、時空間分解ダイナミック線量測定	埼玉大学理工学研究科	若狭雅信	RF
R3-J-9	テラヘルツ自由電子レーザーを用いた生体材料加工の研究	高エネルギー加速器研究機構	川崎平康	Lバンド
R3-J-10	光・電子デバイス応用に向けたガルバニック水中結晶光合成法による表面ナノパターン作製	北海道大学大学院工学院	高橋優樹	コバルト
R3-J-11	放射線エネルギーの電気エネルギーへの変換 -キャパシタ型ガンマ線電池の開発-	近畿大学理工学部	大塚哲平	コバルト