

## 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4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、17件（うち4件は拠点重複）の量子ビーム科学研究施設 共同利用研究課題と9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120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246日、運転時間実績は2,804時間であった。

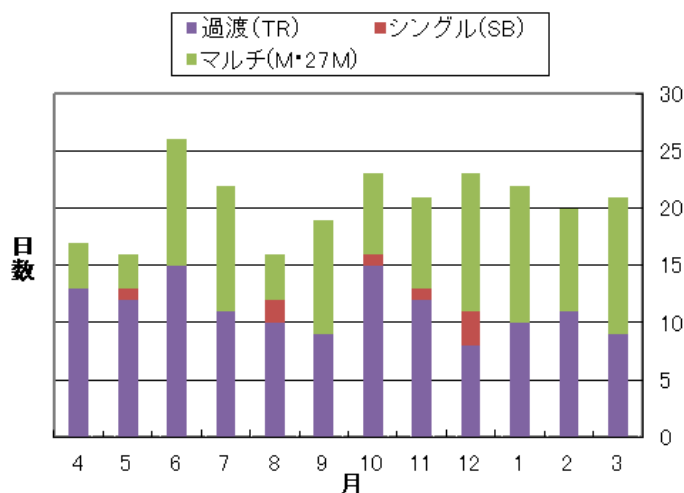


図1 令和4年度Lバンド運転日数

#### 2-1-2 保守および故障の状況

##### ● 電子銃

2年間使用した電子銃カソードから暗電流が発生し始めたので夏季保守期間に交換作業を行った。交換当初エミッションが確認されなかったため、中古のカソードを使って運転を継続した。メーカーに確認したところ、立ち上げ時に正規のヒーター電圧の印加プロセスを踏めていないことが判明した。当初性能の出なかったカソードはメーカーの性能試験で問題がないことが確認された。さらに残りのカソードの1台をSバンドライナックの電子銃を用いて正規プロセスによる立ち上げ試験を行った後、2月の保守期間を利用してLバンドのカソードを中古品から新品に交換した。

##### ● 半導体スイッチ

半導体スイッチは昨年度に自己給電基板を設置して950時間の利用運転に用いたものの、10月下旬に故障し、修理後の1月下旬にも動作不良が発生したため原因調査を行った。自己給電基板は10段・10直列の半導体スイッチの各段に設置され、それぞれが直列接続されている。そのため自己給電基板1枚が故障すると全段の基板への電力供給が停止するが、電力供給停止直後はコンデンサの残留電圧のばらつきによりゲートが出る段と出ない段が発生する。そのためゲートが出ない段に過電圧がかかりSIサイリスタが短絡故障すると推測される。結果として、自己給電基板とゲート基板それぞれ1枚と複数段のサイリスタが故障した。その後、該当箇所の修理を行い、正常に動作することを確認した。さらに自己給電回路が故障しても、連鎖的な故障が起こること

を防ぐために、コンデンサの電圧が一定以下になると Ready 信号を無効化するように基板を改修した。さらに基板の接地強化、出力線の低インダクタンス化、PLC ソフトの改修等を進めている。

また9月の半導体スイッチの試験後にサイラトロンに戻した際に、モジュレータが出力不良になった。サイラトロンのグリッド端子のコネクタと付帯電源内のグリッド電流制限抵抗が焼損していることが確認された。グリッド不良により点弧時にG2にスパイク電圧がかかり、コネクタ部分が耐圧不良を起こして焼損したと推測される。また中古で保管していたサイラトロンの1台も正常点弧しないことが判明し、現行機種としては最後の1台で運転している。サイラトロンは価格高騰の影響もあり、入手が難しいことから半導体スイッチの改修を急いでいる。

### ● 電磁石電源

2021年度にヘルムホルツコイル電源2台が故障したのでメーカーの診断に出したが、どちらも修理不可と診断された。ヘルムホルツコイル電源は電子銃下流部を個別に励磁する小容量電源が7台と複数台を直列に励磁する大容量電源5台で構成され、故障したのはいずれも大容量電源であった。今年度は大容量電源全機の出力量を満たす350V/22.5Aの容量でイーサネット通信に対応した菊水電子工業の電源を購入した。また大型電源の故障後から小型電源の制御ができなくなっていたので、PLCプログラムを改修し大型電源を制御から切り離れた。現在、小型電源は従来のプログラムから制御し、大型電源はローカル運転となっているので、今後大型電源用のプログラムの作成を予定している。

### ● その他

11月の所内一斉停電後の復帰時にバンチャー減衰機の動作不良が発生した。当日はステッピングモータ本体を取り外し、手動で位置調整して運転を再開した。中古ドライバーを入手して交換したが改善せず、さらに調査を行うとモーターの電磁ブレーキ用のタイマーリレーが故障していたため、それを外して直結することで復旧した。

1月後半からは冷却装置の2次側冷却水ポンプがサーマルトリップで停止する現象が発生している。軸負荷増加による過電流が原因と推測されるので、回転数を減らすことで不具合頻度は減少しつつあるが解決には至っていない。後継機種のインバータポンプは納期が半年以上かかるため、非インバータポンプを発注し、4月中旬の交換を予定している。

その他の作業として、冷却水配管の清掃・整備、圧空ラインのリーク対応、FEL強度改善のための光学系ミラーの再蒸着、周波数カウンターと計測用オシロスコープの更新等を行った。

## 2-2 フォトカソード RF 電子銃 S バンドライナック

### 2-2-1 運転状況と主な研究成果

今年度、「RF 電子銃ライナック装置」では、高周波電子銃に入射する光電子発生のためのピコ秒レーザーもしくはフェムト秒レーザーからの紫外光パルスを用いて電子ビームを発生し、超短パルス電子ビーム発生と THz 計測に関する研究を行った。「MeV 電子顕微鏡」では、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) 「RF 電子銃ライナック装置」を利用し、アンジュレータとレーザーを用いるレーザー変調による超短パルス電子ビーム発生の研究および電気光学結晶によるテラヘルツ計測の研究を行っている。レーザー変調実験においては、電子ビームおよびフェムト秒レーザーの軸調整や時刻調整を行い、エネルギー分散測定を通して、レーザー変調の効果として 1.17 が観測された。今後は最適化による変調の効果の増加を目指す。電気光学結晶による電子ビーム計測実験においては、電子ビームがテラヘルツ電場を纏う様子を経時的に明らかにし、ローレンツ収縮の直接的な観測に繋がった。今後は高感度化による計測系の改良を目指す。
- (2) 「MeV 電子顕微鏡」の研究に関しては、エネルギーが 3 MeV のフェムト秒電子線パルスを用いて観察した金ナノ粒子の TEM 像のシャープネス（解像度）を定量的に評価し、パルス電子顕微鏡における色収差と球面収差を調べ、それぞれの低減方法を確立した。RF 電子銃から発生した電子線パルスのエネルギー分散は電子を加速する RF 効果と電子線パルスを輸送する際の空間電荷効果により決定されるため、色収差の低減については電子を加速する RF 位相とパルス当たりの電荷量を最適化し、極低エネルギー分散の電子線パルスを発生させ、電子顕微鏡の空間分解能の向上を試みた。球面収差の低減では、TEM 像の解像度と試料に対する入射角度（ビームの開き角）の依存性を明らかにし、コンデンサーレンズ 2 台とコンデンサー絞りをを用いてビームをコリメーションし、極めで小さな開き角のビーム（平行なビーム）を取り出した。これらにより、今まで直径 200 nm の金ナノ粒子の TEM 像しか観察できなかった測定が、直径 40 nm の金ナノ粒子まで観察を可能にした。今後、電子線パルスを高繰返し化し、電子ビームの電流値を向上させ、RF 電子銃を用いたフェムト秒パルス電子顕微鏡を実現させたい。

### 2-2-2 保守および故障の状況

「RF 電子銃ライナック装置」および「MeV 電子顕微鏡」のための、加速器本体およびクライストロン周りの大きな故障は無かった。同期系において、マスター発振器（2856 MHz）の出力を受ける、1/36 分周器（出力 79.3 MHz、レーザーを同期するための RF）が経年劣化により故障したが、更新を検討している。

電子ビーム発生用の Nd:YLF ピコ秒レーザーは、前年度の発振器部の半導体可飽和吸収ミラーおよび再生増幅器の増幅用 Nd:YLF・励起用レーザーダイオードの保守により、2022 年 4 月時点は紫外光パルスとして 1.7 mW（262 nm, 10 Hz）の出力が得られており、納入時（3.3 mW）の約

50%までの出力に回復していた。しかし、2023年12月時点で、紫外光パルス出力は<0.3 mWと低下した。今後、電子ビームの電荷量の増強のためには、調整や保守が必要な状態にある。

フェムト秒レーザーについて、前年度に発振器内の Ti:Sapphire 結晶を励起するための CW レーザー (Spectra-Physics, 532 nm, 5 W) を更新し、調整も完了し、再生増幅器も含めて、順調に稼働している。

冷却水装置について、冷却塔、二次系の冷却水循環装置、SMC 社製等のチラーは順調に稼働している。

## 2-3 コバルト60照射設備

### 2-3-1 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  $\gamma$  線照射の利用が可能となっている。

### 2-3-2 利用状況

令和 4 年度のコバルト 60 照射施設の利用課題数は 24 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 4 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	49
理学研究科	1	0
レーザー科学研究所	1	0
工学研究科	5	903
蛋白質研究所	1	0
拠点利用	4	245
他大学等	6	14
合計	24	1212

### 2-3-3 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。

## 2-4 令和4年度 共同利用採択テーマ一覧

### 2-4-1 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
R4-C-1	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
R4-C-2	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
R4-C-3	放射線化学反応中間体	産研	藤乗幸子	Lバンド/コバルト
R4-C-4	ラジカルイオンの反応性	産研	藤塚守	Lバンド/コバルト
R4-C-5	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
R4-C-6	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
R4-C-7	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
R4-C-8	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
R4-C-9	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
R4-C-10	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/RF
R4-C-11	微細加工デバイスによるテラヘルツ検出の研究	産研	菅晃一	Lバンド
R4-C-12	自発光植物種子の変異誘発	産研	長部謙二	Lバンド/コバルト
R4-C-13	電子ビーム照射によるプロドラッグの活性化とその薬理学的評価	産研	山下泰信	Lバンド/RF
R4-D-1	超分子の放射線化学	産研/九大工他	藤塚守/寫越恒	Lバンド/コバルト

採択番号	研究課題	所属	申込者氏名	利用装置
R4-D-2	超短パルス電子ビーム発生と THz 計測	産研/三重大学	菅晃一/松井龍之介	RF
R4-D-3	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/大島明博	施設利用
R4-D-4	電子スピン共鳴(ESR)法による $\gamma$ 線照射効果の研究	産研/神戸大学	藤乗幸子/谷篤史	コバルト
R4-D-5	コバルトからの $\gamma$ 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	菅晃一/大島明博	コバルト
R4-D-6	パルスラジオリシス、 $\gamma$ 線照射を用いた放射線化学反応	産研/青山学院大	小阪田泰子/田邊一仁	Lバンド/コバルト
R4-D-7	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	室屋裕佐/堤内要	コバルト
R4-D-8	テラヘルツ自由電子レーザーを用いた短パルスレーザー励起半導体表面キャリアダイナミクスの研究	産研/量子科学技術研究開発機構	誉田義英/川瀬啓悟	Lバンド
R4-D-9	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	産研/日本原子力研究開発機構	吉田陽一/永石隆二	Lバンド
R4-D-10	放射線エネルギーの化学・電気・力学エネルギーへの変換	産研/近畿大学	藤乗幸子/大塚哲平	コバルト
R4-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
R4-B-2	RF 電子銃を用いた超高速電子計測手法の開発	レーザー科学研究所	有川安信	RF
R4-B-3	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
R4-B-4	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
R4-B-5	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

採択番号	研究課題	所属	申込者氏名	利用装置
R4-B-6	生体に対する高線量率電子線照射効果の研究	医学系研究科	西尾禎治	Lバンド /RF
R4-B-7	多孔性有機塩のポストシンセシスによる空間修飾	工学研究科	藤内謙光	コバルト
R4-B-8	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
R4-B-9	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
R4-B-10	水溶性ポリマーの $\gamma$ 線架橋	工学研究科 日本触媒協働研究所	原田信幸	コバルト
R4-B-11	放射線を利用した金属ナノ粒子の合成とその金属ナノ粒子を担持した表面修飾蛍光性ナノダイヤモンドに関する研究	蛋白質研究所	大喜多弘隆	コバルト
R4-B-12	希土類イオン添加フッ素リン酸塩ガラスシンチレーターの放射線耐性	レーザー科学研究所	山ノ井航平	コバルト



## 2-4-2 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
R4-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
R4-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
R4-J-3	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	静岡大学 電子工学研究所	越水正典	Lバンド
R4-J-4	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
R4-J-5	フォトクロミズム分子の三重項状態の研究	群馬大学大学院 理工学府	山路稔	Lバンド/コバルト
R4-J-6	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
R4-J-7	溶液中の放射線誘起化学反応に対する磁場効果	埼玉大学理工学研究科	若狭雅信	Lバンド/RF
R4-J-8	放射線エネルギーの化学・電気・力学エネルギーへの変換	近畿大学理工学部	大塚哲平	コバルト
R4-J-9	電子スピン共鳴(ESR)法によるγ線照射効果の研究	神戸大学人間発達環境学研究科	谷篤史	コバルト
R4-J-10	テラヘルツ自由電子レーザーを用いた短パルスレーザー励起半導体表面キャリアダイナミクスの研究	量子科学技術研究開発機構	川瀬啓悟	Lバンド
R4-J-11	放射線に誘発される化学種への照射後 sub-ナノ秒に見える磁場効果	医学系研究科 保健学専攻	坂田洞察	Lバンド
R4-J-12	遠赤外・テラヘルツ自由電子レーザーを用いた新機能物質材料の創成	立命館大学 SR センター	入澤明典	Lバンド