

## 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、令和元年度におけるLバンドライナックの運転時間を、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、19件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26シフトを含む118シフトが配分され、後期は保守作業の19シフトを含む119シフトが配分された。保守運転を含む運転日数は223日、運転時間実績は2793時間であった。

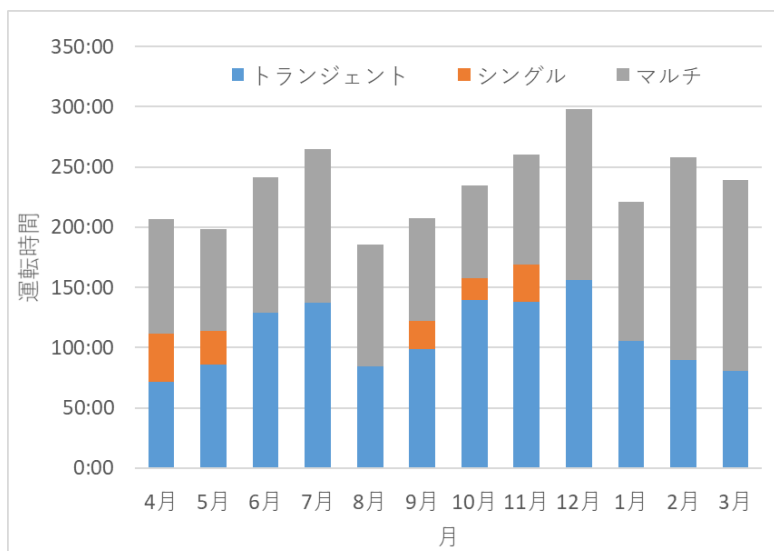


図1 令和元年度Lバンドライナック月別運転時間

#### 2-1-2 保守および故障の状況

##### ● 電子銃

昨年度の電子銃カソード交換から1年5か月が経過した1月にカソードからの暗電流の発生が顕著になった。エミッションはほとんど減少しておらず、バイアス電圧調整で暗電流を減らせると判明したので、当分はカソードを利用し続けることにした。今後のコンディションを見ながら、他社製カソードへの交換を行う予定である。

##### ● 冷却装置

高額で手間のかかるクーリングタワーのフィルター交換頻度を減らすために、クーリングタワー吸い込み口に交換の容易なフィルターを設置して不純物の除去を行っている。当初は吸い込み口に設置された樹脂製カバーに排水溝ネットを被せて不純物の除去を行っていたが、圧力損失でカバーが破損したため新たに製作したステンレス製のカバーと交換した。8月に3年ぶりにクーリングタワーのフィルターを交換した際に目視で詰まりが減っていることが確認できたので、3年以上の頻度の交換で問題ないことが分かった。

精密系のダミーロードの配管、一般冷却系の白金温度計溶接部と熱交換器のフランジからの水漏れ、SHPB#3の流量計の故障が発生し、それぞれ補修・交換を行った。

##### ● 圧空動作ライン

Lバンドはゲートバルブ、ビームモニター、ビームシャッター等多数の圧空動作機器を持ち、それら全てに1台のコンプレッサーから圧縮空気を供給している。ゲートバルブ用のレギュレータ2台にエア漏れが確認されたが、圧力調整なしでも動作範囲内に収まるため取り外して配管直結とした。さらにリークチェッカーで圧空システム全体の漏れを調べると銅パイプと接手の10か所で漏れが見つかったので、増し締めと接手の交換により補修した。一連の作業でコンプレッサーの動作頻度をおよそ30%程度減らすことができた。リークチェッカーでは発見が難しい漏れがあると考えられるので、引き続き調査を進めている。

## ● RF 関係

ノイズの影響で故障した半導体スイッチは昨年度修理して4月に再設置したが、設置後数日で電源基板2枚が故障したのでサイラトロンに戻した。電源基板の光トリガーを電気信号に変換するO/E変換ICが故障し、連続出力することで下流のICが過電流で連鎖的に故障することが判明した。そこでノイズに弱いO/E変換ICの電源ラインと信号入力ラインに高周波用のコンデンサを設置し、O/E変換ICを銅シールドで覆うことにした。基板の修理とノイズ対策後の1月に再設置し、試験運転を行った。定格での運転を確認することができたが、差動プローブを用いてO/E変換ICの出力波形を確認した際に、基板が故障したので再度サイラトロンに戻した。差動プローブを介してO/E変換ICに微量電流が流れることで故障したと考えられる。現在修理を進めている。

## ● FEL

1月にウィグラーのギャップ幅計測用エンコーダの読み取り不良が発生した。放射線ダメージによる故障と考えられ、7-8年前にも同様の現象が発生していた。電源の再起動で一時的に復活するものの症状の頻度が増加傾向だったので、エンコーダを取り外して通常使用する37mmに固定して運転を行った。予備を含め2台の後継機種を注文し、2月に設置して正常な動作を確認した。

アライメントに利用しているHeNeレーザーが2月に故障したので、治具を作り直して形状の違うレーザーを取り付けた。HeNeレーザーの交換の前後からビーム強度の低下が顕著になったため、ミラー角度を遠隔制御するためのアクチュエータを取り付けて調整を行い、従来以上の光強度が得られることが確認できた。

動作が不安定になっていたFEL制御用PCをWindows10搭載のPCに更新した。従来は1台のFEL制御用PCをユーザー使用時はローカルで使用し、オペレータの調整時はリモート接続というように切り替えながら使用していたが、USBとGPIB接続機器をイーサネットで制御するデバイスサーバーを用いて、2台のPCで同時利用できる環境を整備している。

## ● ビーム振り分けシステム

昨年度はLバンド設置当初より利用していた45度偏向電磁石にパルス電流を流して、5ppsまでのビーム振り分けが可能であることが確認できた。しかし鉄損が大きく、立ち上がり時に振り分け電源(300V, 100A)の上限近い電流を流して磁場を立ち上げる必要があることから、10pps以

上では利用不可だと分かった。また 5pps 運転時では運転開始 50 分のヨークの温度上昇勾配が 4.4 °C/h と高いことや、電磁石の仕様外での利用であること、さらに納入から 40 年経過したことによる劣化の心配もあった。

そこで今年度は 10pps 以上の繰り返しに対応するケイ素鋼板を用いたキッカー電磁石の製作を株式会社トーキンに依頼した。新しいキッカー電磁石は鉄損が十分に小さく、磁場の立ち上がりはほぼ電流の立ち上がりと一致すると考えられる。電流の立ち上がりは電磁石のインダクタンスと抵抗で決まるため、線材の断面積とターン数を調整し、140 V 印加時に 10 ms で電磁石の定格の 50 A に到達するよう設計した。これにより保有する振り分け電源のスペック内で最大 60 pps での運転が可能であると見込んでいる。

キッカー電磁石は 3 月末に納入され、来年度早期に設置と振り分け運転試験を行う予定である。

## 2-2 150 MeV Sバンド電子ライナック

150 MeV Sバンドライナックは昨年度から運転可能となったが、以前いくつかの問題が生じて生きている。それぞれの問題に対する対応や、故障への対応を以下に記す。

### ● ノイズ対策

Sバンド運転中のノイズにより、Lバンドライナックを用いたラマン散乱の実験が影響を受けたり、B1階、B2階にある運転状態表示板がブラックアウトすることなどの問題が生じたため、いくつかのノイズ対策を施した。現在2台のモジュレータを使用しているが、1台の筐体は新たに製作した筐体に入れてあるのに対し、もう1台は依然古い筐体に入っており、放電回路のノイズが外部に出やすいと考えられたため、この古いモジュレータ筐体の交換を行った。この結果Lバンドの実験には影響が出なくなったが、モニターは依然としてブラックアウトする状況であった。これらのモニターはイーサネットケーブルを介してパソコンと接続されており、このケーブルを別途引き直すことでこの現象は起こらなくなった。そこでこのイーサネットケーブルに近いところに敷設されている、コントロールルームとモジュレータをつなぐ運転制御用ケーブルのノイズを調べたところ、放電のタイミングで数10V以上のノイズが入っていることが判った。このノイズを低減させるため、このケーブルの2重シールド化やSSR、光ケーブル等でノイズ混入の低減を試みたが、依然としてノイズは減ることはなかった。これはモニター誤作動の原因となるノイズがこの運転制御用ケーブルに乗った物ではなく、別のグラウンド線に乗ったノイズだと考えられる。これを回避するためにはモジュレータ自体の配線を考え直す必要が有るが、Lバンドライナックの実験には直接影響が出ていないこと、イーサネットケーブルを敷設しなおすことでモニターは正常に動作することから、モジュレータの改造は今後の課題とすることにした。このほか、モジュレータの直流充電電源のオイルクーラーに設置されている流量計の故障に伴う交換工事、クライストロン用コイル電源のアンダーカレントに伴うインターロック信号に乗るノイズの抑制対策などが依然として残っている。

### ● SF6の漏れ

既に昨年度SF6ガスの漏れは改善しておらず2時間に1回程度ガスを補充する必要があるが、実験はできる状況である。

### ● 45度ビームラインの整備

150 MeV Sバンドライナックにはエネルギーアナライザ側とは反対側にもビームラインが設置してあり、このビームラインを使って他のユーザーに電子ビームを供給することになっている。このビームラインを使用するため、ビーム切り替え電源（消磁用電源）の改造やビームダンプの設置を行い、電子ビームのモニターを行った。電子エネルギーが120MeV、ピーク電流が100 mA程度の時では、偏向電磁石の下流に設置してあるダブレットの極性を同じにすることで、約1cm径にまで絞れることを確認した。

- その他

これまでも第1照射室の開閉にはインターロックがかかっており、これには電離箱が使用されているが、古く較正も行われていないため、その数値はそれほど信頼できないことから、現在は原則的に第1照射室への入室は運転終了後から1時間以降とすることになっている。しかしこれは短時間運転で線量も実際それほど高いわけでもないのに、いたずらに待ち時間が増えるため好ましくない。そこで新たに電離箱を設置し、これをモニターして入室許容線量を直接計測できるようにした。実際、ビーム停止後の計測される放射線は空気に依るものより加速器から放出される放射線量のはるかに大きいため、正しく空間線量を評価するためには線量計の位置や遮蔽を考慮しなければならないが、この実際の線量による入退室管理に変更するように準備中である。

本年度はクライストロン（PV3035）に供給するマイクロ波を生成するためのクライストロン（TH2436）から出力が得られなくなり調べた結果、ヒーターが断線していることが判ったため、この交換を行った。

## 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した為、主に「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と計測、フェムト秒電子線パルスによる THz 光の発生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、光伝導アンテナおよびマイケルソン干渉計を用いたコヒーレント遷移放射と、溝幅の狭い回折格子からのテラヘルツ放射の計測を行った。これにより、フェムト秒電子線パルス幅の精密測定とスミス・パーセル放射に基づく高出力テラヘルツデバイスの開発につなげた。
- (2) 「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では、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かつ極低エミッタンス電子ビームの発生を行い、大阪大学超高压電子顕微鏡センターから移設した超高压電子顕微鏡レンズを用いてフェムト秒時間分解電子顕微鏡の実証実験を行った。直径が 200nm の金ナノ粒子の透過電子顕微鏡 (TEM) 像の観察に成功し、電子回折の測定モードでは極めて明瞭な回折パターンがシングルショットの測定で得ることができた。更に、低倍率の電子顕微鏡測定モードでは、シングルショットの測定による TEM 像の観察に成功した。今後、現有装置の高度化・高精度化により、フェムト秒時間領域での超高速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。

今年度の RF 電子銃ライナックの利用時間数は、レーザー故障のため大幅に減少し、377 時間であった。MeV 電子顕微鏡の利用時間数は 271 時間であった。

### 2-3-2 保守および故障の状況

今年度に電子ビーム発生用の Nd:YLF ピコ秒レーザーの故障が発生した。故障した場所は、レーザー発振器部と再生増幅器部の 2 箇所があった。(1) レーザー発振器部に半導体可飽和吸収ミラー (SESAM) を使っており、このミラーにひび割れが生じた。(2) 再生増幅器の出力が低下し、原因は結晶のダメージと思われる。このレーザーは、2003 年に極短パルス発生装置導入時に購入したものであり、17 年に使用されていた。故障原因は寿命だと考えられる。

このレーザーは、Time-Bandwidth 社製のものであるが、今は生産してなく、部品の扱いと供給もできない状況である。今後、新たに代替機種を精査し、更新が急がれる。

## 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  $\gamma$  線照射の利用が可能となっている。

### 2-4-2 利用状況

令和元年度のコバルト 60 照射施設の利用課題数は 22 件であった。利用状況を表 1 にまとめた。利用件数は増加した。引き続きコバルト 60 線源が広く利用されている。

部局	利用回数	総利用時間(hrs)
産業科学研究所	72	356
レーザー科学研究所	15	30
工学研究科	85	307
RI センター	32	9
拠点利用	12	13
他大学等	119	560
合計	335	1273

表 1 令和元年度コバルト 60 照射施設利用状況

### 2-4-3 装置の維持管理

令和元年 5, 11 月に施設自主点検を行った。施設・照射設備について問題はなかった。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 2 年 3 月に行い問題はなかった。

## 2-5 令和元年度 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
31-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
31-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	菅晃一	Lバンド
31-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	菅晃一	Lバンド/コバルト
31-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
31-C-5	放射線照射による遺伝子損傷の分子機構	産研	小林一雄	Lバンド/コバルト
31-C-6	ラジカルイオンの反応性	産研	藤塚守	Lバンド/コバルト
31-C-7	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
31-C-8	フェムト秒・アト秒パルスラジオリシスの研究	産研	菅晃一	RF
31-C-9	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
31-C-10	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
31-C-11	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	菅田義英	150S
31-C-12	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	川井清彦	Lバンド/コバルト
31-C-13	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
31-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



31-D-2	高速焦電検出器を用いた THz 自由電子レーザーの特性測定と焦電検出器の性能評価	産研/京都大学	入澤明典/ 全炳俊	L バンド
31-D-3	テラヘルツ自由電子レーザーによるアミロイド線維の照射効果に関する研究	産研/東京理科大学	入澤明典/ 川崎平康	L バンド
31-D-4	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/新日鐵住金株式会社	入澤明典/ 西原克浩	L バンド
31-D-5	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
31-D-6	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
31-D-7	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/工学研究科/阪大ダイキン協働研究所	菅晃一/大島明博/佐藤数行	施設利用
31-D-8	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
31-D-9	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/工学研究科/阪大ダイキン協働研究所	菅晃一/大島明博/佐藤数行	コバルト
31-D-10	THz パルス EO 計測による FEL の時間発展に関する詳細研究	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
31-D-11	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
31-D-12	アクリルファントム中の高エネルギー電子ビーム輸送に関する研究	産研/名古屋大学大学院ほか	細貝知直/ 山崎淳ほか	L バンド /150S
31-D-13	有機低分子のパルスラジオリシス	産研/産業技術総合研究所	川井清彦/ 高橋淳子	L バンド
31-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
31-B-2	電離放射線の生体影響の解析	放射線科学基盤機構附属ラジオアイソトープ総合センター	清水喜久雄	コバルト
31-B-3	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
31-B-4	ポッケルス効果を用いた超高速電子計測機の応答評価関数	レーザー科学研究所	有川安信	L バンド/コバルト/RF

31-B-5	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
31-B-6	液中での短パルス電子ビーム照射による Fe-S クラスターの化学変化解析	工学研究科応用 化学専攻	焼山佑美	Lバンド/ コバルト
31-B-7	宇宙機材料とシリカ物質の放射線照射効果の研究	理学研究科	山中千博	コバルト
31-B-8	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

## 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
31-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
31-J-2	高強度テラヘルツ光照射によって誘起される生体高分子の構造と細胞機能の解明	理化学研究所	保科宏道	Lバンド
31-J-3	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
31-J-4	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
31-J-5	テラヘルツ自由電子レーザーによる材料の光電界加工に関する基礎研究	京都大学・化学研究所	橋田昌樹	Lバンド
31-J-6	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
31-J-7	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
31-J-8	芳香族分子のラジカルイオンの化学反応の研究	群馬大院・理工学府	山路稔	Lバンド/コバルト
31-J-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	日本原子力研究開発機構・廃炉国際共同研究センター	永石隆二	Lバンド
31-J-10	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
31-J-11	放射線化学反応の制御と有機合成への展開	青山学院大学理工学部	田邊一仁	Lバンド/コバルト