

## 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、平成29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、35件の量子ビーム科学研究施設共同利用研究課題と10件の物質・デバイス領域共同利用拠点施設・設備利用課題が採択された。前期は保守作業の19シフトを含む121シフトが配分され、後期は保守作業の19シフトを含む121シフトが配分された。3月8日現在の、保守運転を含む運転日数は285日、運転時間実績は3106時間である。3月末までの推定の通算運転日数は289日、通算運転時間は約3213時間以上と予想される。

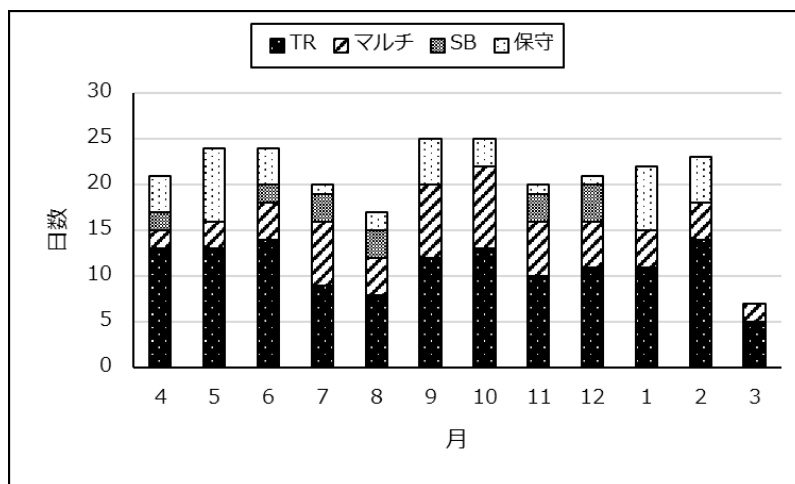


図1 平成29年度Lバンドライナック月別運転日数(3/8現在)

#### 2-1-2 保守および故障の状況

##### 電子銃

昨年度の最終マシンタイムでビームが出力しなくなったので、電子銃タンクを開けてカソードの調査を行うと、フィラメントに電流が流れず断線していることが確認できた。3/31(金)にカソードの交換を行いイオンポンプで真空引き、4/3(月)にフィラメントに電流を流してガス出し、4/4(火)の午前に高圧試験を行い、その日の午後に運転を再開した。当初はエミッションが小さかったが、数日かけて従来と同程度の出力が出ることが確認できた。

##### 冷却装置

昨年度末に高価で交換に手間のかかる1次側フィルターの交換頻度を下げることやメンテナンス性の向上を目的に、1次側冷却水のバルブ交換、Yストレーナ増設、クーリングタワー充填剤交換、流量計設置、ステンレス製のポンプへの交換及びポンプのインバータ制御化等の大幅な整備を行った。増設したYストレーナは網目が細く掃除頻度が高いことから、入口側に交換の容易なネットを取り付けて対応を行っている。

Lバンドは冷却水の安定までに1時間程度かかることから、マシンタイムの有効利用のためタイマーによる自動運転システムを構築した。PLCを冷却室に設置しイーサネット経由で冷却装置の入切用のリレーを駆動し、制御室のPCからLabVIEWを用いてPLCと通信を行うシステムと

した。また自動運転中の水漏れに対応するため、冷却水使用室に漏水センサーを導入し PLC に取り込み、漏水検出時に自動で運転が止まるよう同じ LabVIEW プログラムに組み込みを行った。

BM-1 冷却水のポリウレタンチューブから水漏れがあり、放射線や経年劣化により硬化が進んでいることから、該当部分並びに冷却用のポリウレタンチューブすべてを交換した。

FEL ビームラインを中心に止まりきらないバルブや反応していないフロースイッチの交換、さらに排水経路や空気抜き、流量計、バルブの追加といった 2 次側冷却装置の整備を 3 月末に予定している。

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 0.03 °C の温度安定性を実現しているが、1 次側冷却水の温度安定性が十分良いことから、1 次冷却水を直接 2 段階温度安定装置の冷却に用いることで、高額な消耗品点数の減少や運転電力の低下を目指した改造を検討している。今年度は改造に必要な熱交換器、三方弁、制御盤の納入、設計を行い、来年度に実機への組み込みを予定している。

## RF 関係

昨年度末に納入されたクライストロンを 4 月後半から 12 月末まで動作試験を兼ねて運転に使用した。パービアンズは従来のものが  $1.55 \mu\text{A}/\text{V}^{3/2}$  に対して、新しいものでは  $1.44 \mu\text{A}/\text{V}^{3/2}$  と低く、同じ充電電圧だと RF の出力が従来のものより低いため、入力 RF のレベルを上げて運用を行った。また入力用の RF アンプに予備がなく、トラブル時に対応ができない状態であったので R&K 製の 200 W アンプを購入し 12 月より運転に使用している。

半導体スイッチは 7 月頃に誤動作で温度異常アラームを頻発することがあり、サイリスタの絶縁抵抗が下がっているものがあつたので取り替えて改善した。またノイズ対策のため、8 月の保守期間に高压入力側のシリコンケーブルを銅板に変更をしたが、次のマシンタイムで複数の基板のアラームで停止したのでサイラトロンと切り替えて運転を行った。調査を行うと、光送受信 IC からトリガー入力がないにも関わらず出力が出て、ゲートを ON にすることで出力電流が上昇し電圧が低下する現象が確認できた。また基板だけではなくサイリスタやスナバのダイオードに複数ショートしているものが見つかり現在修理を行っている。ノイズ対策に銅板を使用した。制御基板は銅板とサイリスタに挟まれた同軸構造の間にあることから、強力な磁束が基板を通過することが原因であると考えられるため、修理と並行して新たなノイズ対策を検討している。

L バンド制御系と切り離して PLC のアナログ出力モジュールから独立に制御をしている低レベル RF 移相器が 240 ° 程度までしか動作しないことが分かり、原因を調査するとアナログ出力モジュールの出力電流が十分でないことが判明したので、イーサネット制御可能な DC 電源を用意して制御プログラムの製作を行った。近日中に実装を予定している。

## その他

ビーム振り分けシステム実現に向けて、ビーム振り分けキッカー電磁石電源の設計検討を行った。電源は SiC デバイスによる 50 kHz インバータ回路、CT による電流又はガウスメータによる磁場フィードバック、LAN 制御を採用することにした。予備電磁石での試験結果から、負荷インダクタンス 100 mH 以下、負荷直列抵抗 1 Ω 以下、負荷並列抵抗 30 Ω 以下の電磁石を 10 Hz で駆動できる性能とした。納入後温度変化等による磁場安定性の確認試験を行った後、必要であれば

ば新たな電磁石の設計を検討している。

現在の制御プログラムは平成14年度の大規模改造の時に製作された Windows2000 を用いたシステムであるが、維持管理費用や対応ハードの枯渇、セキュリティ上の問題等から、独自に更新を行っている。非同期同時処理可能で、汎用性が高く安価で、現在の PLC やネットワーク通信システムのリソースをそのまま使用できる構成として、制御 PC と PLC 間の通信を FL-net から Ethernet に変更し、Ethernet 通信用言語として JAVA、データベースとして My SQL、ユーザーインターフェースとして C#を用いることにした。現在各機器との通信、状態表示や運転表示部分の製作が完了し動作の検証を行っており、今後実際のビーム調整を行いながら、操作性の向上を行う予定である。

## 2-2 150 MeV S バンド電子ライナック

昨年度末に故障した加速感用循環水ポンプを新たなものと交換した。循環水ポンプ故障の原因は以前の錆がローター部にたまったためだとわかったが、この時無理にモーターのローターを回そうと過電流が流れたため、分電盤の端子台が焼損した。実際には設置されていたブレーカーが定格以上の電流でも落ちなかったため、老朽化による劣化と考えられた。このようなことが生じないように、大電流用のブレーカーから順次交換することにし、今年度は L バンドライナック本体室のブレーカー取り換え工事を行った。クーリングタワーに行く冷却水用フィルターの交換を行った。電子銃電源が故障した。ここで使用されてきた昇圧トランス用タンクの油には PCB が微量混入されていることが解っていたため、新たな電子銃用高圧電源及び絶縁トランスをすでに購入済みであったため、この機会に新たな電源システムに更新した。以前のは交流 200 V を 100 kV 近くまで昇圧した後全波整流していたが、今回は 140 kV の直流電源を使うことにし、関係する回路、制御系の変更を行った。電子銃の電流が急激に減少し、利用不能となったため、カソードの交換を行った。エネルギースペクトル用 XY レコーダーが故障したため、L バンドライナックで使用していて今は使わなくなっている XY レコーダーに交換した。ライナックの運転が可能になったのでビームローディングの計測を行った結果、ゼロ電流で 150 MeV の電子ビームが得られることがわかり、これまでとほぼ変わらずに定常運転ができるものと考えている。

## 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

平成 29 年度には、ベータトロン室に設定された「最大エネルギーが 40MeV の RF 電子銃ライナック」、最大エネルギーが 5MeV の「MeV 電子顕微鏡」と「小型短パルス電子線発生装置」においては、下記の研究課題を中心とした利用研究を展開してきた。

- ① フェムト秒・アト秒パルスラジオリシスの研究
- ② 超短パルス電子ビーム発生と THz 計測
- ③ 時間分解電子顕微鏡に関する研究
- ④ フォトカソード RF 電子銃における低エミッタンス電子ビーム発生に関する研究

課題①と②は、RF 電子銃ライナックを利用した超短パルス電子ビーム発生・計測、フェムト秒電子線パルスによる超高速ラジオリシスと THz 光発生に関する研究であった。超短パルス電子ビーム発生・計測の研究では、世界中にも研究例がまだ少ない 1～数フェムト秒の超短パルス電子ビームの発生に成功した。更に、これらの超短電子線パルスを利用した THz 波の発生を推進しており、将来には短パルス電子線や THz 波を利用した様々な研究成果が期待できる。フェムト秒・

ア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る生成されるドデカン励起カチオンラジカルの探索やアルカンの放射線分解初期過程などの研究を展開している。

課題③については、今までの RF 電子銃を用いた時間分解電子顕微鏡実証機の開発経験を活かし、原理実証の成果に基づいて、新たに相対論的フェムト秒電子線パルスを利用した超高速電子顕微鏡装置のアップグレードを行った。詳細については、後ろに添付した研究テーマの報告書を参考して頂きたい。今後、ビーム強度の増強、拡大倍率の向上を行うことにより、フェムト秒とナノメートルの時空間分解能を実現すれば、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。

課題④は、小型短パルス電子線発生装置を用いた極低エミッタンスの超短パルス電子ビーム発生に関する研究である。今年度には、RF 電子銃の位相安定化、ショットキー効果によるビーム品質の影響や RF によるエミッタンス増大などのビームダイナミクスを明らかにし、シングルパルスによる電子回折測定技術を確立した。

しかし、装置（モジュレータ、レーザー、冷却水循環装置等）の老朽化を伴い、様々な故障が発生した。今年度の利用日数は2月まで約60日であり、前年度の半分であった。

### 2-3-2 保守および故障の状況

まず、SバンドフォトカソードRF電子銃ライナックのモジュレータに使用されている、昨年度に修理したPFN充電用の30kV直流電源が再び故障した。故障原因は電解コンデンサの液漏れと高圧タンク内の分圧器セラコン破壊であった。

次に、フェムト秒レーザーのチラーが故障した。このチラーは米国製で修理に時間がかかり、修理費が高額であるため、メーカーが推奨した代替機種を購入し、運転再開した。その後、平成30年2月末に、フェムト秒レーザーの再生増幅器が故障した。原因は、ポッケルセルを駆動する高圧パルス発生基板が故障したことであった。現在、部品購入と交換作業を進行中である。

その他に、循環冷却水装置の熱交換器の内部に配管つまりが起り、コンプレッサー負荷がかかり過ぎ、運転できないトラブルも発生した。これに対して、循環冷却水装置内の配管を洗浄する対策を行い、一時的に運転が可能となった。3月15～16日に新しい熱交換器やコンプレッサーを交換する予定である。

## 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γ線照射の利用が可能となっている。

### 2-4-2 利用状況

平成29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。

表1 平成28年度コバルト60照射施設利用状況

(平成29年度3月19日現在)

部局	利用回数	総利用時間(hrs)
産業科学研究所	28	708 : 53
理学研究科	32	67 : 28
レーザーエネルギー学研究センター	1	78 : 00
工学研究科	13	626 : 32
RIセンター	15	3 : 03
拠点利用	22	145 : 07
合計	111	1629 : 03

### 2-4-3 装置の維持管理

平成 29 年 3 月に移動台車制御機器の更新を行った。

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平成 30 年 3 月に行う予定である。

## 2-5 平成 29 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
29-A-C1	ナノ秒領域での量子ビーム誘起化学反応基礎過程	産研	小林一雄	Lバンド
29-A-C2	EB/EUV 用 レジスト高感度化のための高速時間反応研究	産研	近藤孝文	Lバンド
29-A-C3	放射線化学反応中間体	産研	近藤孝文	Lバンド コバルト
29-A-C4	放射線照射による遺伝子損傷の分子機構	産研	藤乗幸子	Lバンド コバルト
29-A-C5	ラジカルイオンの反応性	産研	小林一雄	Lバンド コバルト
29-A-C6	放射線化学反応活性種	産研	藤塚 守	Lバンド コバルト
29-A-C7	ラジカルイオン光励起状態	産研	藤塚 守	Lバンド コバルト
29-A-C8	水溶液の放射線誘起スパー反応研究	産研	藤塚 守	Lバンド コバルト
29-A-C9	フェムト秒アト秒パルスラジオリシスの研究	産研	室屋裕佐	Lバンド コバルト RF 電子銃
29-A-C10	時間分解電子顕微鏡に関する研究	産研	近藤孝文	RF 電子銃
29-A-C11	フォトカソード RF 電子銃における低エミッタンス電子ビーム発生に関する研究	産研	楊 金峰	RF 電子銃
29-A-C12	S バンドライナックを用いた陽電子ビーム生成の検討	産研	楊 金峰	RF 電子銃

29-A-C13	陽電子局在消滅に関する研究	産研	誉田義英	S/施設利用
29-A-C14	Lバンド電子ライナックによる THzFEL を用いた固体励起状態の研究	産研	誉田義英	施設利用
29-A-D1	サブピコ秒パルスラジオリシスによる ナノ空間反応初期過程の研究	産研	入澤明典/ 東谷篤志	Lバンド
29-A-D2	ナノエレクトロニクス用高分子材料の 反応素過程	産研	古澤孝弘/ 岡本一将	Lバンド
29-A-D3	超分子の放射線化学	産研	山本洋揮/ 岡本一将	Lバンド コバルト
29-A-D4	パルスラジオリシス法による軟 X 線顕 微鏡用レジストの高感度化研究	産研/早稲田大	藤塚 守/ 大内秋比古 他	Lバンド コバルト
29-A-D5	電子スピン共鳴 (ESR) 法による $\gamma$ 線照 射効果の研究	産研/北大	吉田陽一/ 鷺尾方一	Lバンド
29-A-D6	超短パルス電子ビーム発生と THz 計測	産研/産総研他	谷 篤史/ 藤乗幸子	コバルト
29-A-D7	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/北大	菅 晃一/ 松井龍之介	RF 電子銃
29-A-D8	低線量放射線による生体影響に関する 研究	産研/三重大	近藤孝文/ 足立健二	施設利用
29-A-D9	希土類系近藤物質の Fermi 準位近傍の 詳細電子状態ならびに素励起結合の TH z -FEL による研究	産研/東北大	誉田義英/ 松尾陽一郎	コバルト 施設利用
29-B-1	V02 と Cr203 における電場や磁場印加 金属絶縁体転移機構の偏光 TH z -FEL に よる研究	レーザー研	菅 滋正/ 入澤明典	Lバンド
29-B-2	高強度赤外光照射による新規物質創成 と新規物性発現	レーザー研	菅 滋正/ 入澤明典	Lバンド
29-B-3	高強度テラヘルツ波照射による非線形 光・伝導応答の探索	RI センター	永井正也	Lバンド
29-B-4	電子線起動制御による X 線治療装置の 改良に向けた基礎実験	レーザー研	中嶋 誠	Lバンド
29-B-5	Lバンドライナックを用いた中性子イ メージング計測技術の開発	工学研究科	八木雅史	Lバンド RF 電子銃

29-B-6	放射線反応場を利用したナノ粒子材料の合成	理学研究科	有川安信	コバルト Lバンド
29-B-7	電離放射線の生体影響の解析	理学研究科	清野智史	コバルト
29-B-8	放射線を利用したソフトマテリアルの機能化	工学研究科	清水喜久雄	コバルト
29-B-9	石英の OSL 発光特性の研究	工学研究科	西嶋茂宏	コバルト 施設利用
29-B-10	ガンマ線照射における核融合炉材料のダメージの評価	工学研究科	山中千博	コバルト
29-B-11	COMET Phase-I CDC 用読み出し回路と実装部品のガンマ線耐性試験	工学研究科	山ノ井航平	コバルト
29-B-12	ナノ秒領域での量子ビーム誘起化学反応基礎過程	工学研究科	吉田学立	コバルト

#### 2-5-2 拠点共同利用・共同研究採択テーマ一覧

採択番号	研究課題	所属	申込者氏名	利用装置
29-J-1	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
29-J-2	高強度テラヘルツ光照射による分子配向制御の研究	理化学研究所	保科宏道	Lバンド
29-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	東北大学	超水正典	Lバンド
29-J-4	産研テラヘルツ自由電子レーザーのさらなる高強度化手法の探索	広島大学放射線科学研究センター	川瀬啓悟	Lバンド
29-J-5	量子ビーム誘起による有機・無機ナノ構造形成機構の解明と応用	北海道大学	岡本一将	Lバンド コバルト
29-J-6	ラジカルイオンの結合解離過程の研究	群馬大学	山路 稔	Lバンド コバルト
29-J-7	高分子系飛跡検出器内の放射線損傷形成構造	神戸大学	山内知也	Lバンド コバルト

29-J-8	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	永石隆二	Lバンド RF 電子銃
29-J-9	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	若狭雅信	コバルト RF 電子銃
29-J-10	生体高分子反応系への高強度テラヘルツ光照射の作用機序解明	京都大学	小川雄一	Lバンド