

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バンド電子ライナック）

2-1-1 Lバンド電子ライナックの運転状況

図1は、平成25年度におけるLバンドライナックの運転日数を、月別、モード別に示したものである。今年度のLバンドライナック共同利用では、33の量子ビーム科学研究施設共同利用研究課題と10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120シフトが配分され、後期は保守作業の18シフトを含む119シフトが配分された。2月14日現在の、保守運転を含む運転日数は223日、運転時間実績は2,660時間である。ライナックの不調により利用が中止となったマシンタイムは1日だけであったが、それ以外に利用開始時間に遅れが生じたマシンタイムが数日あった。3月末までの推定の通算運転日数は248日、通算運転時間は約2,860時間以上と予想される。

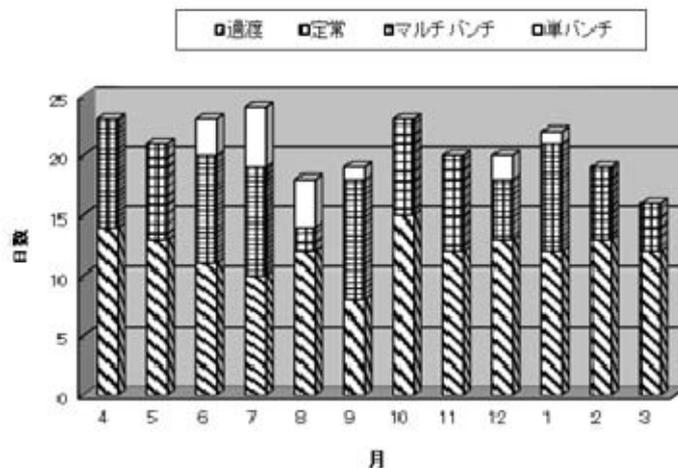


図1 平成25年度Lバンドライナック月別運転日数。2～3月は予定日数。

2-1-2 保守および故障の状況

電子銃関係

前回の電子銃陰極の交換から1年7ヶ月ほど経過した。未だ顕著なグリッドエミッション増加の兆候は見えていないが、夏期停止期間を利用して予防的に陰極交換を行った。

6月に入って電子銃のパルス長制御用モーターが運転中に勝手に位置がずれてしまうトラブルが発生した。モーターとドライバーを切り離すと問題が起きなくなることから、ドライバー本体の不具合と推測された。当面、ライナックの立ち上げ時のみモーターとドライバーを接続し、運転中は切り離すことで運用した。ドライバーはすでに廃番となっていることと、電子銃で使用している他のモーターと部品を共通化する観点から、モーターとドライバーをセットで交換することにした。この交換作業は9月の保守日を利用して行った。

9月ごろから電子銃のグリッド電圧の制御が一方（昇圧方向）にしか動かなくなる不具合が生じた。手動での制御で運用し、その間に原因調査を行った。その結果、端子台からモータードライバーまでの結線上で、接触不良が起きていると推測された。急遽、仮配線で復旧したが、その他の配線も同時期に結線されているため、年末の保守期間にフィラメント、バイアス、グリッドの各電圧制御モータードライバーまでの配線をすべて新規のものと交換した。

新開発の 27MHz グリッドパルサーは電子銃からのピーク電流を 2 倍に増強できる 2 号機が完成した。5 月に動作試験を行ったところ、電子ビームパルス先頭電流のみが異常に高く、その負荷がビーム調整に影響をあたえるため、6 月に取り外して 1 号機のパルサーに戻した。パルサー基板の修正を行うことで先頭電流をある程度抑えることができるようになったので、8 月に再度 2 号機パルサーを組み込み、試験運用を継続している。

サブハーモニックバンチャー関係

サブハーモニックバンチャー用の高周波パルス増幅器と高周波空洞に関係したトラブルが続いている。

昨年度に判明した高周波パルス増幅器の出力パルスの 100 ns のタイミングジッターは、デジタル回路 (FPGA) の動作クロック (10 MHz) に起因していることが判明した。年度末に RF ON のタイミングを FPGA の動作クロックに対して非同期化し、外部トリガーのタイミングで ON するようプログラムを変更することで解決した。

5 月には 216 MHz 高周波空洞で入力 RF パワーを増加させていくと途中で RF 入らなくなる不具合が生じた。構造上、空洞本体の問題とは考えにくいいため、入力結合器、モニター結合器、周波数チューナー等の付加物で放電が起きている可能性が考えられた。ただし、原因を究明するにはライナックの加速管全体を大気開放する必要があるため、不具合箇所の特定制をまたずに 216 MHz 空洞用の付加物を 1 セット用意した。交換作業までの間は、入力パワーを定格の 15 kW から 8 kW 程度に、パルス長を通常の 100 \cdot s から 50 \cdot s に抑えた運転を行った。夏期停止期間中に一度にすべての部品を交換し復旧させているが、取り外した部品の概観からだけではどの部品が原因となっていたのか特定できていない。

他方 8 月初旬には 216 MHz 高周波パルス増幅器で RF 出力が不安定になる事象がおきた。216 MHz 増幅器の増幅部と分配合成部を工場に返送し、故障原因の調査を依頼した。その結果、増幅部に使用されているすべての FET ユニットで、実装されたチャージバンク用の電解コンデンサの防爆弁が開弁していることが確認された。電解コンデンサへの過電圧や逆電圧による漏れ電流により、コンデンサの温度が上昇し、このような状況になりうることは判っているが、そのような電圧を発生させる要因についてはまだ特定できていない。108 MHz 増幅器も基本的に 216 MHz 増幅器と同じ構造となっているため、製造業者から使用中止の要請を受け運用を中止した。その後、各 FET ユニットのコンデンサ近傍に温度センサーを取り付けて、運転時の温度変化をモニターしながら運用を再開している。216 MHz 増幅器については、現在、原因の究明、保護対策の検討を行っているところである。

クライストロン関係

昨年度サイラトロンに替わるスイッチング素子として試験的に導入された SI サイリスタを用いた半導体スイッチは、これまで一部の運転モードでのみ運用されてきたが、今年度からすべての運転モードでの運用を開始した。当初はダイオードの焼損の問題が発生したが、これは高周波に対応したショットキーダイオードに変更することで改善した。運用開始からしばらくは安定な動作が実現できていたが、3 週間ほど使用したあと故障したため、サイラトロンに切り替えた。

故障箇所はダイオードで整流後に昇圧するコンバータと推測され、このコンバータを交換することで復旧している。クライストロン・モジュレータで発生した EOL 電流オーバーがこの故障の要因と考えられており、今後の対策を検討している。また、より汎用に使用できるよう定格を向上させた 2 号機の製作中である。

また、ノーマルモードと長パルスモードの切り替えに際して、パルスフォーミングネットワーク (PFN) のコンデンサとインダクタコイルを接続する銅板の締め付け不良から放電を生じ、締め付けナットが部分的に溶解する事故が発生した。コンデンサのネジ部も溶けていたためネジ溝を切りなおし、銅板の押えが緩くなった分は平ワッシャーをはさんで応急処置をした。コンデンサのネジの根元は一回り細くなっていたため、後日予備のコンデンサと交換した。

冷却水装置関係

電子ビームの更なる安定化のため、1 次冷却水用の冷却タワーFAN のモーターをインバータ制御化する工事を行った。これまでは FAN の制御は手動スイッチによる ON または OFF しかなかったため、冬場の夜間運転時に FAN スwitch が ON のままのときには、1 次冷却水の温度が 0℃近くまで下がることがあった。今回、後付のインバータユニットにより、FAN の回転周波数を制御し、当初は 25℃の設定で運用を開始した。6 月に入り、インバータが立ち上げ後 1 時間程度で停止してしまう現象が起きるようになった。エラーの内容は減速時過電圧であり、このエラーはパワー ON リセットで復旧可能である。夏期は外気温の上昇に伴い設定温度を 29℃に変更して運用している。

7 月には冷却水装置が冷媒ガス漏れで停止した。装置配管の吐出管と冷却器が接触している箇所があり、そこに運転時の冷凍機の振動が伝わって、吐出管側に亀裂ができたことが原因と考えられる。亀裂箇所を溶接し、冷媒ガスを充填して復旧した。冷却器と接触しそうな箇所については干渉防止のために、ゴムとノンアスベストガスケットで保護した。

9 月に行われたライナック棟のトランス交換に伴う停電後、冷却水装置の制御通信不良が起きた。冷却水装置は制御 PLC に対して 3 台のタッチパネルがシリーズにつながってシリアル通信で接続されており、最上流側のタッチパネルが故障すると、他の 2 台も通信できなくなることが原因であった。最下流のタッチパネルを最上流に移設することで、2 台のタッチパネルからの制御できるように変更した。またすべてのタッチパネルが故障しても装置の ON/OFF だけにはできるように冷却水装置本体にスイッチを取り付けた。後日修理の完了したタッチパネルを最下流に取り付けて、元の状態に復旧した。3 台のタッチパネルがシリーズにつながった通信形態は運用上問題があるので、PLC に対して 3 台のタッチパネルを平行に接続する方式に変更する予定である。

10 月にはクライストロン室に設置された旧式の冷却水装置で水漏れが発生した。鉄配管が腐食し、穴が開いたことが原因であった。ゴムパッキンによる応急処置で対応し、後日配管の交換修理を行った。

その他の機器トラブル

ライナックの立ち上げ時に偏向電磁石 BM1 の消磁プロセスが正常に行われず残留磁場が残る現象が発生するようになった。調査の結果、立ち上げ直後に冷却系のアラームが出て、わずかの時

間でそのアラームが消えていることが報告された。BM1 についている冷却水フロースイッチの動作不良の可能性が考えられたため、動作点の調整を行ったところ消磁プロセスが正常に終了できるようになった。ライナックにはこのフロースイッチと同時期に設置されたものが 10 個ほど使用されており、今後同様の不具合が生じる可能性が考えられる。そのため、年末の保守期間を利用して比較的容易に交換できるフロースイッチ（10 個中 7 個）を交換した。残りの 3 個は、今後加速管全体の冷却水を抜く作業のときに行う予定である。

2-1-3 ライナックの性能向上と開発研究

ノートパソコン型オペレータ PC によるユーザー運転

これまで L バンド電子ライナックの運転は、ライナック棟制御測定室の制御卓に設置されたオペレータ用パーソナルコンピュータ（OP-PC）で行ってきた。他方、ユーザーの多くは第 2 照射室から遮蔽壁 1 枚隔てた位置で測定を行うことが多い。日中、専任オペレータが付いているときは声をかけるだけで運転停止や重量扉の閉鎖解除を行ってもらえるが、夜間運転ではその都度、ユーザーが制御卓まで足を運ぶ必要が生じていた。この不便を解消し、実験を効率よく行えるようにするために、ライナックの運転と照射室の閉鎖解除をユーザーが手元で操作できるように可搬型の遠隔制御 PC（ノートパソコン）を用意した。

L バンド電子ライナックの制御システムは、オペレータに対するユーザーインターフェースとなる複数台の OP-PC と、制御対象機器を直接コントロールする PLC 盤により構成される。制御室、加速器本体室、クライストロン室に分散配置された PLC は、ネットワークにより相互接続される。この PLC 間を接続するネットワークには FL-net が使用されている。他方、マンマシンインターフェースとなる PC 間のネットワークとしては標準的な Ethernet を用いるため、FL-net との間で仲介を行う機器が必要となる。そのために 1 台の PC に FL-net インターフェースソフトをインストールして、Gateway Server（GW-SVR）としている。GW-SVR は FL-net 上の共通メモリに保持されたデータを他の OP-PC から利用できる形に変換・提供するデータベース・サーバーとしての機能を持つ。PC 側のネットワークでは Ethernet（UDP/IP）プロトコル上に構築された Shared メモリ（共有メモリ）を介して PC 間で制御データの送信・受信を行うが、基本的にはこのネットワークに参加して GW-SVR と通信することになる。

今回、ノートパソコンから無線 LAN 経由でこのネットワークに接続するために、制御卓に無線 LAN ルーター（Buffalo, WHR-HP-G300N）を設置した。これをアクセスポイントモードで動作させることにより、無線 LAN にアクセスするノートパソコンが PC 側制御ネットワークに参加できるようにしている。前述の無線 LAN ルーターとユーザーが使用するノートパソコンには PC 側制御ネットワークで使用する固定のプライベートアドレスを割り振っている。一方でこの無線 LAN へのアクセスは暗号化されており、個人のノートパソコンを持ち込んでも、制御情報を取得できないようにしている。

ノートパソコンに実装された制御プログラムコアは制御卓のプログラムと同じであるが、安全性の観点から機能に制約を設けている。制約のひとつはライナックの立ち上げとシャットダウン、ポート変更であり、もうひとつはビーム条件の変更、調整である。また、本体室、第 2 照射室ユーザーが利用することを前提としているため、第 1 照射室の閉鎖解除の操作ボタンとビームシャ

ッターの操作ボタンは表示されない。基本的にはライナックの高圧部の運転・停止とこれらの部屋の閉鎖・解除という最小限の機能のみを実装している。今後、ユーザーからの要望に基づいて機能の追加を行う予定である。

2-2 150 MeV S バンド電子ライナック

昨年度は RF 電子銃ライナックと共存するため、150 MeV S バンドライナックの遮蔽を試みてきたが、今年度 RF 電子銃ライナックをベータトロロン棟へ移設することが決まり、遮蔽の必要はなくなった。RF 電子銃ライナックの移設化終わり次第、通常稼働できるようにする予定である。

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

フォトカソード RF 電子銃 S-バンドライナックは、平成 26 年 1 月末にシャットダウンし、ベータトロロン室に移設することとなった。平成 25 年度には、主にフェムト秒・アト秒電子パルス発生と計測の研究、フェムト秒パルスラジオリシスの開発及びパルスラジオリシスを用いたナノ空間における反応機構や放射線化学初期過程の解明に利用された。平成 25 年度に実施した利用研究課題及び成果は、下記の通りである。

1) フェムト秒・アト秒電子パルス発生と計測の研究

フォトカソード RF 電子銃をフェムト秒レーザーに駆動し、低エミッタンス電子ビームの発生や磁気パルス圧縮の高度化により、シングルパルスで 1.3fs の超短パルス電子線パルスの発生に成功した。電子線パルス幅の測定には、コヒレント放射による THz 自己干渉測定法を開発した。

2) フェムト秒パルスラジオリシスの開発

分析用フェムト秒レーザーの強度や位置の安定性を向上し、世界最高記録となるサンプルセル長が 1mm 以下のパルスラジオリシスの測定に成功した。また、測定可能な波長範囲は 200～2000nm を拡大し、OH ラジカルから溶媒和前電子が直接かつ高時間分解能で観測可能となった。これから、フォトカソード RF 電子銃 S-バンドライナックを用いたパルスラジオリシスのユーザー利用拡大につなげる。

3) フェムト秒・ピコ秒時間領域での反応機構や放射線化学初期過程の解明

水やアルコール等の極性溶媒中での水和・溶媒和電子の生成過程の研究では、初めてフェムト秒・ピコ秒時間領域での溶媒和前電子の挙動を観測成功した。水のパルスラジオリシスでは、水和前電子のスペクトルのブルーシフトや水和前電子の電子軌道遷移による水和電子の生成過程を観測した。アルカンやレジスト材料中のジェミネートイオン再結合過程の研究では、アルキルラジカルの直接的な観測に成功し、フェムト秒・サブピコ秒時間領域でのラジカルカチオンの様々な新しい挙動の観測に成功した。

今年度の利用日数としては、昨年度に比べて 30 日が増え、運転日数は 1 月まで 135 日であった。ビーム利用時間数は 2200 時間以上に達した。

2-3-2 保守および故障の状況

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ーにはPFN充電用の30kV直流電源が4台使用されている。昨年度に、4台共相次ぎ故障し、修理を行った。その1台は高圧タンクとトランスが破壊したため、修理が不可となった。故障の原因としては、電源の劣化と思われる。特に、取り付けられたダイオードやフィルターキャパシターも寿命に近いと考えられる。現在、3台の直流電源を使用し、運転を行っている状況である。

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25年度のコバルト60照射施設の利用課題数は18件であった。利用状況を表1にまとめた。利用件数および総利用時間が大幅に増加し、学内利用の部局数も増加した。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25年度コバルト60照射施設利用状況

(平成25年度12月31日現在)

部局	利用件数	総利用時間(hrs)
産業科学研究所	11	58
理学研究科	5	30
レーザーエネルギー学研究センター	0	0
工学研究科	36	2964
RIセンター	8	5
基礎工学研究科	1	4
拠点利用	0	0
合計	61	3061

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おこなった(2月)。

2-5 平成 25 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
25-A-C1	マイクロ秒ミリ秒パルスラジオリシス法における放射線化学の研究	産研	小林一雄	Lバンド
25-A-C2	ナノ秒領域での量子ビーム誘起化学反応基礎過程	産研	楊 金峰	Lバンド
25-A-C3	高輝度電子ビームの発生と特性測定	産研	川瀬啓悟	Lバンド
25-A-C4	赤外 FEL によるテラヘルツ波源開発	産研	磯山悟朗	Lバンド
25-A-C5	OTRによるウェーク場とバンチ構造の評価	産研	加藤龍好	Lバンド
25-A-C6	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	吉田陽一	Lバンド
25-A-C7	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
25-A-C8	放射線化学反応活性種	産研	藤塚 守	Lバンド コバルト
25-A-C9	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
25-A-C10	ラジカルイオンの反応性	産研	藤塚 守	Lバンド コバルト
25-A-C11	放射線化学反応中間体	産研	藤乗幸子	Lバンド コバルト
25-A-C12	水溶液の放射線誘起スパー反応研究	産研	室屋裕佐	Lバンド コバルト RF 電子銃
25-A-C13	フォトカソードRF電子銃ライナックによるフェムト秒・アト秒電子パルスの発生	産研	楊 金峰	RF 電子銃
25-A-C14	フェムト秒アト秒パルスラジオリシスの研究	産研	楊 金峰	RF 電子銃
25-A-C15	陽電子消滅法を用いた高分子電解質膜の研究	産研	誉田義英	コバルト 施設利用
25-A-C16	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	誉田義英	施設利用
25-A-D1	集束型ウイグラー開発の基礎研究	産研/高エネ研/ 東北大	磯山/山本/ 柏木	Lバンド
25-A-D2	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/北大院工	古澤/岡本	Lバンド
25-A-D3	テラヘルツ領域における癌凍結組織の透過スペクトル計測の試み	産研/福井大	磯山/三好	Lバンド
25-A-D4	Lバンド電子ライナックにおけるTHz-FEL 光特性評価および利用発展の研究	産研/摂南大	磯山/東谷	Lバンド

25-A-D5	L バンド電子ライナックによる偏光高強度 THz 光を用いた固体電子状態の研究	産研/撰南大	礒山/東谷	Lバンド
25-A-D6	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	吉田/鷺尾	Lバンド
25-A-D7	超分子の放射線化学	産研/ Konkuk Uni.	藤塚/ Dae Won Cho	Lバンド コバルト
25-A-D8	ナノエレクトロニクス用高分子材料の反応素過程	産研/北大院工	山本/岡本	Lバンド コバルト
25-A-D9	陽電子による大環状ポリエーテルの物性評価	産研/京大	誉田/芝原	施設利用
25-B-C1	Lバンドライナックを用いた氷物質のパルスラジオリシス	理学研究科	谷 篤史	Lバンド
25-B-C2	電子線パルスおよび ^{60}Co 線源を用いた、レーザー核融合 γ 線スペクトロメーター校正実験、並びに γ 線遮蔽中性子計測器の開発	レーザー研	有川安信	Lバンド コバルト
25-B-C3	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	西嶋茂宏	コバルト 施設利用
25-B-C4	電離放射線の生体影響の解析	RI センター	清水喜久雄	コバルト
25-B-C5	電子スピン共鳴 (ESR) 法による γ 線照射効果の研究	理学研究科	谷 篤史	コバルト
25-B-C6	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
25-B-C7	極低温下での Ku 帯パルス ESR 実験用石英への γ 線照射	基礎工学研究科	香川晃徳	コバルト
25-B-C8	ミュオン電子転換過程探索実験 DeeMe 計画のための電子飛跡検出用極小カセルガスチェンバーのプロトタイプ検出器のビーム試験	理学研究科	青木正治	RF 電子銃

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・氏名	申込者氏名	利用装置
24-J-1	テラヘルツカメラを用いた ISIR THz-FEL の特性評価	日本電気(株)	小田直樹	Lバンド
24-J-2	極微細加工材料の反応機構の解明	北海道大学	岡本一将	Lバンド
24-J-3	大強度 THz FEL を用いた円偏光赤外分光法による固体電子状態の研究 (II)	撰南大学	東谷篤志	Lバンド
24-J-4	レドックス機能を付与したリポソーム内での反応活性種のダイナミクス	神戸大学	鏑木基成	Lバンド
24-J-5	イオン液体中での電子およびホールのダイナミクス	金沢大学	高橋憲司	Lバンド

24-J-6	高強度赤外光照射による物性制御	大阪大学	芦田昌明	Lバンド
24-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
24-J-8	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
24-J-9	パルスラジオリシス法を用いた非均質反応場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
24-J-10	高精度放射線治療のためのナノ・マイクロ線量計開発	広島国際大学 保健医学部	林慎一郎	Lバンド RF 電子銃