

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28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、20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18シフトを含む118シフト

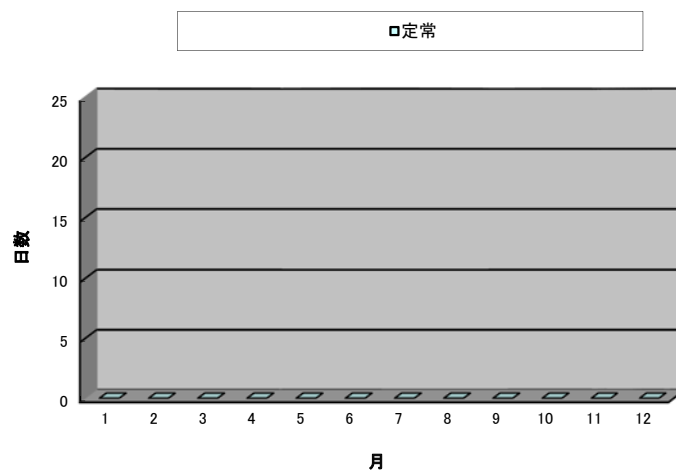


図1 平成28年度Lバンドライナック月別運転日数。2～3月は予定日数。

トが配分され、後期は保守作業の19シフトを含む118シフトが配分された。3月31日現在の、保守運転を含む運転日数は274日、運転時間実績は3014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。

2.1.2 保守および故障の状況

電子銃

運転中に入射電流が低下する問題の改善や安定性向上のため、グリッドパルサーやEO/OEコンバータ、27MHz切り出し器等の調査を行っている。27MHz切り出し器の入力電圧が過大で、出力電圧が歪であるといった問題があったため、入力電圧の調整を行った。グリッドパルサーは通常パルスで動作させているが、5月の調査中にCW信号を入力したことによる基板の故障が発生した。故障中は予備基板で運転を行い、故障基板は調査の結果最終段のトランジスタが加熱により故障したことが判明したので、当該トランジスタの交換を行い改善した。

また6月に、原因は不明であるが電子銃の入射タイミングが今までと変わり、FEL発振が弱まることがあったため、電子銃のトリガーラインにトロンボーン型移相器を追加し、手

動で調整をできるようにした。

11 月には FEL 運転中に電子ビームの出力が止まる現象が頻発した。不具合が再現せず調査は難航したが、昇圧タンク内のケーブルに接触不良が発見され、外れていたナットを固定することで症状は改善した。また調査の際に EO コンバータの電源として使用していた自作回路の三端子レギュレータの故障で、EO コンバータに過大な電圧がかかっていることが判明したので、汎用電源から電源供給を行うよう変更することで、EO/OE コンバータのゲインが規定値より下がっていた問題も解決した。

冷却装置

精密系冷却装置に関して、7 月頃から冷凍機 1 のインナーサーマルによる運転停止が発生した。当初は運転開始時に稀に発生する程度であったが、定常運転中にも発生し始めたため修理の依頼を行った。インナーサーマルは冷凍機の過電流が原因であり、コンプレッサーを交換するしかないとの回答を業者から得ていたが、実際に調査をしてもらおうと温度上昇を検知するモータープロテクタの誤動作が原因であったため、モータープロテクタの交換のみで改善した。また納入時に比べ冷媒圧力が高い状態であったため、熱交換器の洗浄も行ったが確認できるほどの効果はなかった。

12 月には冷凍機 2 の低圧カットで運転が停止することがあった。冷凍機 2 は昨年度末に交換をしたばかりであったが、今回は 2 次側の冷媒圧力で 1 次側の流量を調整する制水弁からの冷媒漏れであり冷凍機自体に異常はなく、制水弁の交換で改善した。

8 月の保守期間に 2 年ぶりに一次側冷却装置フィルターの交換を行った。フィルター表面はこれまでと同様にヘドロ状の汚れに覆われており、54 本の全フィルターの交換を行うと共にタンク内の掃除を行った。またフィルタータンクパッキンの劣化が進んでいたため、ゴム板の切り出しを行い交換した。フィルタータンク前後のバルブは水が止まりきらず、フィルターの汚れも顕著であることから、バルブの交換、フィルター増設、ポンプ交換、クーリングタワー充填剤交換、流量計の設置などの整備を年度末に予定している。

1 月に電磁石等冷却用の冷却配管の閉止プラグからの水漏れが発見された。増し締めを行うと漏れ量が増加するようだったので、保守日に配管中の水を抜き、プラグのシールテープを通常より多く巻き閉めなおすことで改善した。

RF 関係

5 月に 1.3GHz のマスターオシレータが故障した。購入から 10 年経過していたが、メーカーの好意で定額修理の対象となり、バックライトと内部基板の交換を行った。

半導体スイッチは 2015 年の 11 月から 2 号機で運転をしており、1 年間以上故障なく運転に使用することができた。半導体スイッチ運転中はクライストロンへの逆電圧が大きいことから、逆電圧防止用に半導体スイッチに直列にダイオードを付けることで対策を予定していた。12 月にダイオードの設置を行ったところ、逆電圧が 6 割程度低減していること

が確認できたが、ダイオードを取り付けた次の日に半導体スイッチ 2 号機の制御基板故障が起こった。故障はノイズによるものと考えられるため、半導体スイッチの出力ケーブルの固定や複線化等によるノイズ対策を行った後再度ダイオードの設置試験を行う。またその後 1 号機での運転時にも基板の故障が発生した。1 号機は 2 号機と違いスナバ用ダイオードやケーブルが固定されておらず、電位の違うケーブルが重なった状態になっているため、ケーブルの固定やフェライトコアの追加を行い、さらにサイリスタ全数の絶縁試験を行う予定である。

制御関係

Windows2000 を用いた現在の制御システムに関して、バックアップと新しい制御システムの製作を進めている。GW-SVR と DB-SVR に関してはソフト会社に依頼し、同じ性能のクローン機の製作を行った。運転開始時に電子銃 1 次側電源のリモート切り替えに不具合があり手動で設定を行う必要がある以外は、どちらも問題なく動作している。また OP-PC と IL-PC に関しては実機のバックアップを製作すると共に、Windows2000 以外の PC での制御システムの動作を確認することができた。また新しい制御システムでは機器を制御する PLC は現状から変更をせず、新しい制御 PC から PLC のレジスタを直接書き換えることにより制御を行う方式で製作を進めている。

その他

放射化物に関する法令改正に伴い、昨年度末に発生装置室、第 1 照射室、第 2 照射室の吸排気ダクトに定風量ダンパーを設置し、L バンド又は S バンドの運転中と運転終了後の一定時間ダンパーを自動閉鎖するシステムを導入した。このシステムは PLC に照射室の扉の開閉情報を読み込ませて、それぞれの部屋のダンパーの自動開閉を行う。

7 月に B2F クリーンルーム空調の温度設定を下げた際に冷凍器異常により運転が停止した。製造業者に依頼し、冷媒追加、室外機熱交換器清掃、フィルター清掃を行った。冷凍機異常の原因としては高圧カット、冷媒温度上昇、コンプレッサー過電流が考えられるが、症状は再現していないため原因の特定はできていない。また 9 月にクリーンルーム空調のブレーカー投入時に漏電が発生した。業者に点検を依頼すると室外機のケーブルの被膜が劣化し亀裂が入っていたが、冷媒管と一緒に巻かれており交換が困難であったので、応急処置として端子台の清掃等を行い、絶縁抵抗は回復した。トラブルが頻発していることや、冷媒の製造打ち切りが近く今後の修理も難しいことから、インバータエアコンを用いた新たな空調システムの導入を検討している。

数年ぶりに第 1 照射室での照射依頼があり、照射室の整備を行った。第 1 照射室と発生装置室間の動作不良の鉛ビームシャッター用のアクチュエータとニューマチックバルブの交換や、発生装置室のビームラインスイッチの圧空漏れを起こしていたハンドバルブの交換を行った。またビーム調整用にビームプロファイルモニター用カメラの増設を検討して

いる。

2.1.3 Lバンドライナック用制御プログラムの更新

現在 L バンドライナック運転用システムは、4 台の PC が用いられている。これらの PC には SQL データベース、ライナックや放射線レベルの状態表示プログラム、ライナック運転用プログラムがインストールされており、機器制御を PLC (Programable Logic Controller)、GPIB を介して行っている。これらの機器で用いられている OS は Windows 2000, Windows XP であり、Windows 2000 では C++により横河電機の PLC 間の通信に使われる FL-Net とメモリーを共有し、データベース (SQL) との通信を行っている。一方、運転を行うためのデータ通信やインターロックに係る状態表示用データの読み書きは Windows XP で動作する Visual Basic 6.0 (VB6)を用いて行っている。Windows XP は Microsoft 社がセキュリティ対策を止めて以降、インターネットに繋がる PC では使用しないようになっているが、ここではインターネットと繋がっていないためこの点では問題ないが、周辺機器が XP 対応でなくなりつつあるため、今後問題が生じると予想される。Windows 2000 に至ってはもっと状況は深刻である。このようなシステムを維持管理また更新するには、その都度このシステムのプログラムを構築した会社に依頼すればよいが、そのためには多額の費用が掛かり、維持費が漸減している現状では、今後もそのような対応を取るのには難しい。

一方、施設全体の放射線モニターシステムも老朽化が進んでいる。特にライナック棟エリアモニターの管理システムは稼働できない状態となっている。一方、コバルト 60 ガンマ線照射装置放射線モニタリングシステムは数年前にシステムを新たに構築し、Windows 7 で動いている。また、新たに移設した RF 電子銃ライナックを中心とした実験室のモニタリングもこのシステムに組み込むことができるようになっている。この放射線モニタリングシステムも PLC を介してデータ収集を行っており、L バンドライナックの運転システムとも共通点が多い。今後放射線施設におけるセキュリティ管理は一層強化される方向であり、このような自動計測・記録システムは今後更に重要になっていくことが予想される。

このような背景のもと、L バンドライナックの運転・モニターシステムを独自に更新することに着手した。現状のシステムは大規模施設に対応できるシステムであり、L バンドライナック用のシステムとしてはオーバースペックとなっていることも考慮し、方針としては、規模を縮小し、できるだけ OS に左右されないようにすること、非同期同時処理可能な言語であること、汎用性が高く安価にシステムが構築できること、市販の機器制御用組み込みプログラムは使用しないこと、ソフトウェアのバージョンアップが容易であること、今までの 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えること、などの点を考慮し、データベースシステムは無料で手に入る My SQL を利用し、PLC とのやり取りは Windows 10 でも Linux でも利用可能な JAVA を用いることにした。これにより Windows への依存を将来的に軽減できる。しかし、ライナック制御やインターロック画面の画像表示を行うに

は **JAVA** ではやりづらいため、この部分は **Windows 10** で動作する、**C#**を用いることにした。これまでは **VB6** が用いられてきたが、後継である **VB.Net** ではコマンドも変わっており、現在のプログラムをそのまま利用することはできず、大幅な書き換えが必要である。**Microsoft** の開発環境は **.Net** のリソースを異種言語でも共通して使う方向であり、**C#**も同じリソースを使う言語であることから、これまで使用してきた **C** 言語の系統であり、**.Net Framework 4.6** をベースにした **C#**で新たなプログラムを作成することにした。

図 2 に現在開発中の運転・制御システムを示す。ここでは開発中のため、1 台の PC です

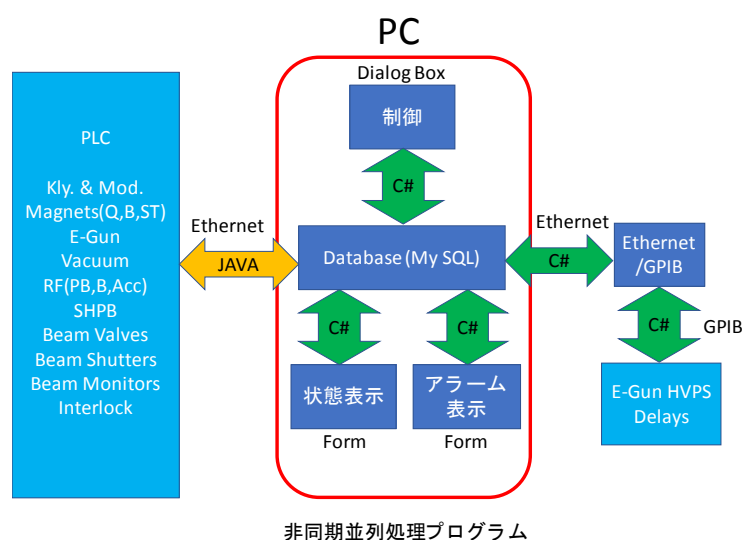


図 2 新たな L バンドライナック制御モニターシステム

べてをこなすようになって
いるが、タスクが多くな
りすぎる場合は、データベ
ースと PLC との通信部分
は別の PC にすることも考
えている。上でも記したよ
うにデータベースと PLC
間は、これまでの **FL-Net**
から **Ethernet** 方式に変え、
制御言語も **JAVA** を用いて
いる。**FL-Net** は同時にデー
タを共有する有効な手段
ではあるが、現在の **FL-Net**
のバージョンは古く、
更新する場合、ライセンス

含めすべて買いなおさなければならない。当初の方針で余計なプログラムを入れないようにすることを決めたため、今回は通信に汎用の **Ethernet** を用いることにし、PLC からなる各 **DCS (Device Control Station)** とデータベース間の通信を **JAVA** で非同期並列処理する。現在直接サーバーから **GPIB** を介し制御しているタイミングシステムや電子銃高圧電源については、**Ethernet/GPIB** 変換モジュールを介して制御するようにし、PC からは **Ethernet** のケーブルのみを使い、データベースとの通信は **C#** による非同期で並列処理するようにした。加速器の運転表示や状態表示で使うパラメータはデータベースから供給される。ここでも **C#** による非同期並列処理で最新データが絶えず更新されるようにした。

現在各機器との通信や **GPIB** 制御の部分、状態表示や運転表示部分は完成しており、残すは電子銃トリガ系の一部とファイル管理、エネルギースペクトルの取得や各パラメータのログ表示部分を製作するだけとなっている。来年度中には新たなプログラムを用いた運転・制御を行いたい。

2-2 150 MeV S バンド電子ライナック

クライストロン・コイルの冷却水系で使われている熱交換器が腐食したため、新たなものに交換したが、その後鉄さびのようなものが引き続き出てきており、フィルターがすぐ変色する現象が起こっている。現在錆の原因となるものが子の冷却水系にはないため、どこかにたまっていたものが出てきていると思われる。今年度もフィルターを頻繁に交換することで除去を行ってきた。一応利用可能と思われる程度になったので、ライナックの立ち上げを試みた。導波管のエージングも終わりビームの立ち上げを行っているときに、今度は加速管用の冷却水ポンプが故障した。現在はこのポンプの修理を行っているところで、3月末には再設置する予定になっている。ここではまだ 150MeV と表記しているが、実際には RF 電子銃ライナックに電源が使用されるようになったため、実際の運転可能エネルギーは 100 MeV もいかないと思われる。法令改正で当該 S バンドライナックは特に規制が強化される対象となることから、ビームローディング等の測定を早く行い、実情に即した申請値にして修正していきたいと考えている。

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 運転状況と主な研究成果

平成 28 年度には、「40MeV の RF 電子銃ライナック」、「5MeV 電子顕微鏡」と「5MeV の小型短パルス電子線発生装置」を RF 切り替えながら運転し、利用研究を行った。

40MeV の RF 電子銃ライナックは、主に超短パルス電子ビーム発生・計測とフェムト秒・アト秒パルスラジオリシスの研究に利用されている。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 10 フェムト秒を切る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物質における集団励起・イオン化の研究、THz 波の発生を推進しており、将来には短パルス電子線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、電子ビームや分析レーザー光の強度の安定化を行うことにより、過渡光吸収の測定 S/N 比を極力に向上し、ミリオーダーの極小な Optical Density (OD) の測定が可能となった。現在、フェムト秒パルスラジオリシスを利用したアルコールなどの極性溶媒中の早い時間領域での電子の溶媒和過程の解明、アルカン中の放射線分解初期過程や EB/EUV 用レジスト材料中の放射線化学初期過程などの研究を展開している。詳細については、後ろに添付した各研究テーマの報告書を参考して頂きたい。

RF 電子銃を用いた「MeV 電子顕微鏡装置」と「小型短パルス電子線発生装置」は、吉田研究室グループが独自で開発・製作した装置である。MeV 電子顕微鏡装置では、世界初の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である。まだ開発の途中であるが、今年度は RF 電子銃を用いてエネルギーが 3.1MeV、パルス幅が 100fs のフェムト秒電子線パルスを発生し、このフェムト秒電子線パルスを用いた直径 400~500nm の金ナノ粒子やポリスチレン微粒子の透過型電子顕微鏡像の観測に成功した。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。小型短パルス電子線発生装置は、主に極低エミッタンスの電子ビームの発生と応用研究に利用されている。今年度には、RF 電子銃を駆動するレーザービーム径の制御、RF 電子銃から発生された電子ビームのコリメーションを行い、規格化エミッタンスが 0.14mm-mrad の低エミッタンスかつ短パルス電子ビームの発生に成功した。更に、低エミッタンスのフェムト秒電子線パルスを用いたシングルパルスで電子線回折の測定も実現した。このシングルパルスで電子回折図形を観測できることは、物質における不可逆な構造変化の観測・解明への応用研究が可能であることを示唆する。

装置の保守時間が短縮できた為、利用日数は年々増加しており、今年度の 1 月までは 120 日以上であった。来年度はもっと増えると考えている。今後、3 つの装置に対して、ビーム利用や装置を使って見たい要望があれば、是非担当者に相談していただきたい。

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に PFN 充電用の 30kV 直流電源が 4 台使用されているが、一昨年度に 4 台の内に 2 台が故障した。そのうちの 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。今年度は残りの 1 台を修理し、取り戻した。現在、3 台の直流電源を使用して、繰返し 10Hz で運転を行っている状況である。

S バンド 2856MHz の RF 信号発信器が故障した。原因は使用している部品の寿命であった。この種類の RF 信号発信器は既に生産中止となり、修理費用が高額であるため、来年度には代替機種を探し出し、購入検討中である。その他に、循環冷却水装置のポンプと計測のオシロスコープの故障もあった。故障原因は使用している部品の寿命であった。全て修理を行った。

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

平成 28 年度のコバルト 60 照射施設の利用課題数は 25 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 3 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	68 : 58
理学研究科	4	4 : 24
レーザーエネルギー学研究センター	14	9 : 20
工学研究科	36	847 : 55
RI センター	0	0
ダイキン共同研究講座	0	0
拠点	11	26 : 48
企業その他学外	21	243 : 37
合計	97	1201 : 02

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 8 月に行った。