

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26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23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

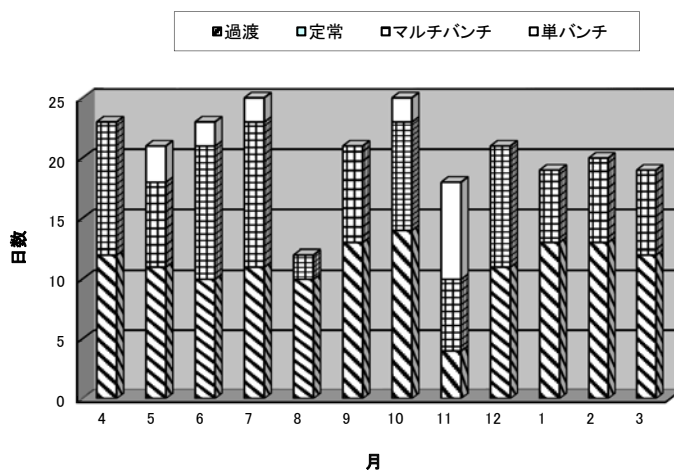


図1 平成26年度Lバンドライナック月別運転日数。3月は予定日数。

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27日現在の、保守運転を含む運転日数は228日、運転時間実績は3,045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10日であったが、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247日、通算運転時間は約3,200時間以上と予想される。

2-1-2 保守および故障の状況

クライストロン関係

今年度最大の故障は11月の後半に起きたクライストロンからの冷却水漏れであった(図2)。漏れた冷却水がパルストランス tanks の絶縁油に混入し、油中で小さな水滴となってタンク内の高電圧部品に多数付着し、さらにタンクの底に深さ2cm程たまっていたため、大掛かりな復旧作業となった。クライストロンとフォーカスコイルを撤去した後、タンク上蓋に吊下げられたパルストランス等の機器を油中から引上げた。引上げ途中で絶縁油を吹き付けながら水滴を洗い流したが、細部に入り込んだ水滴は洗い流せないため、可能な限り分解して拭き取り作業を行った。それと並行して取り外したクライストロンの水漏れ箇所の特定制を行った。漏れ箇所はクライストロン本体の入力空洞の両端をつなぐ冷却水パイプの溶接部に空いたピンホールであった(図3)。このパイプを取り外して、補修した。新たな絶縁油を注入・脱気し、再度クライストロンを取り付けてRF出力試験を行った。と



図2 作業のために引き上げられたクライストロン。正面下側の茶色の吸引紙が漏れた冷却水で変色しているのが見える。



図3 漏水個所の拡大。パイプの溶接部に開いたピンヒールから入力空洞側面に向けて冷却水が噴出している。

ころが、RF 出力が本来の出力の 1/4 程度しか出なかったため、予備のクライストロンに交換した。翌日の過渡モードでの運転では特に問題が生じなかったが、翌々日のマルチバンチモードの運転では安定性に問題があることが分かった。現在、利用運転を継続しながらエージングを進めている。クライストロン交換直後は突発的に変動が始まると、しばらくそれが続くような状態であった。1箇月程度でこの変動の問題は収束し、現在は安定な運用が可能なレベルに落ち着いている。

後日、ネットワークアナライザで出力の出なくなったクライストロンの周波数特性を確認したところ、他のクライ

ストロンの特性とは大きくずれていることが判明した。また、今回のクライストロン交換により、30MWクライストロンの予備はゼロとなった。今後、長期にわたる安定なマシンタイムの供給を考えると早急な手配が必要となる。

このクライストロンエージングの際、半導体スイッチ 1 号機、半導体スイッチ 2 号機、サイラトロンと切り替えて運転を行ったが、その際半導体スイッチ 2 号機が一定の電圧を超えると温度アラームが誤動作する症状が起きた。ノイズ対策としてサーモスイッチの配線をシールド線に変更したが症状に変化は見られなかった。また半導体スイッチ 1 号機で運転していた際に、スナバ用ダイオードがショートした。1 号機はダイオードを交換し現在利用運転に使用している。半導体スイッチはこのような小さな故障が時々発生しているが、1 時間程度で代替機への交換が可能であるため、利用時間を大きく損なうような事態には至っていない。

電子銃関係

前回(平成 25 年 8 月)の電子銃カソードの交換から 1 年 4 ヶ月ほど経過した平成 26 年 12 月にカソード交換を行った。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、次に交換可能な時期が夏季停止期間となるため早めの交換となった。

ところが交換から 1 か月ほど経って、カソードのヒーター電流を通常使用値の半分程度に上げたとき、カソードアノード間に定格高電圧を印加できなくなった。電子銃の高電圧を保持したままヒーター電流を上げていくと、途中から電圧値が降下し始めるとともに真空度が悪化してくるのである。ヒーター電流を固定したまま印加電圧を上げていった場合も同様である。試しにビーム輸送系のコイルの電流値を変化させると、真空が悪化するイオンポンプの位置が変わることから、グリッドパルサーが動作していない状態で電子が引き出されていることが推測された。熱変形によりカソードーグリッド間が接触し、グリッドエミッションが出ている可能性が考えられたので、再びカソード交換を行った。

しかし、真空立ち上げ後、再び高電圧を印加していくと同じ現象が現れた。真空度が悪化し始める高電圧値は高い側にシフトしていたが、本質的な変化は見られなかった。これにより、カソード個体の問題ではなく、電子銃システムの他の箇所に問題のあることが推測された。試しにヒーター電流を定格値に、印加電圧を 50 kV に上げてしばらく様子を見ることにした。最初、真空度は通常よりも一桁程度悪化した状態だった。しかし、30 分程度経過したあたりから真空度が改善し始め、そこから 10 分程度で通常の真空度に戻っていた。それ以降は通常通りのオペレーションが可能となった。この現象はその後も 2~3 週間毎に現れ、1 時間程度で終息している。

冷却水装置関係

昨年度末に見つかった主加速管の精密温調系配管の水漏れ補修を年度当初に行った。この水漏れは主加速管の冷却水流量を調整するために加速管の上流側に設けられたボールバルブにピンホールが開いたことに起因している。このボールバルブは 2 年前に新品に交換されたものであった。そのため、当初はこのバルブが不良品であった可能性が考えられた。しかし取り外したバルブの内面を観察すると、水を仕切るボール状弁体の端部が前回交換時と同様に破損しており、その対面の壁側が彫り込まれたように深くえぐれて、これが表面に達していた。主加速管では弁体を 45 度程度回転させて流量を絞り込んでいるが、このとき弁体の端部と壁面にかなりの圧力がかかっていると考えられる。今回は強度を考えてステンレス製のボールバルブに交換したが、再び同じ問題が起きる可能性がある。主加速管のように水圧、流量ともに負荷の大きな冷却水装置では、流量調整用には別の形状のバルブを採用したほうが良いと考えられる。この作業に合わせて、昨年末の作業で交換できなかったフロースイッチと末端の古い冷却水バルブの交換も行った。

これ以外には、8 月の保守日にクライストロン室に設置されている冷却装置の熱交換器交換工事を、9 月の保守日に CT3 系のフィルターの交換を行った。

その他の機器トラブル

その他の機器では、11 月に発生装置室のエアコンのファンベルトが切れたため、交換を行った。ベルトが切れてから交換するまでの数日間、エアコン無しでの運転となったが、単バンチモードの運転でビームが不安定になる現象が起きている。マスターオシレータの周波数を微調整することで回復するが、時間が経つとまた状態が変化して、ビーム強度が落ちている。エアコン修理後はこの現象が見られなくなったため、発生装置室内の温度変化の影響が考えられる。

また年明けには、RF 系の低電力移相器が故障した。パルスモータへの入力パルスを受け付けない、現在位置表示がおかしくなる等の症状であった。入力パルスの問題は制御回路上の IC のいくつかが壊れていたことによるもので、これは 2 年前の故障とまったく同じ症状である。現在位置表示については多回転絶対値エンコーダのバックアップバッテリーの消耗が原因であったが、このエンコーダ後継機種がないことから修理が進んでいない。現在エンコーダの他メーカーへの交換や、移相器そのものの置き換えを検討している。

2-1-3 ライナックの性能向上と開発研究

サブハーモニックバンチャー用高周波源の半導体化

サブハーモニックバンチャーシステムを用いた単バンチ電子ビーム、マルチバンチ電子ビームの安定化のために、平成 22 年度から平成 24 年度にかけて 3 台の半導体パルス増幅器が導入された。本来であれば昨年度から 3 台すべてが半導体増幅器で置き換えられる予定であったが、導入当初から続く様々な不具合により、これが遅れていた。

特に昨年度は 216 MHz 高周波パルス増幅器の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



図4 新たなサブハーモニックバンチャー用高周波源となる 3 台の半導体パルス増幅器。奥の 2 台が 108MHz 空洞用、手前側が 216MHz 空洞用。

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。工場での試験では原因が究明できなかったため、納入済みの 108MHz 高周波パルス増幅器の各 FET ユニット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継続した。今年度になって、ライナックのシャットダウン後に電源ブレーカーを落とし忘れた時、FET ユニットの温度が 50 度まで上昇し、その後 40~50 度の間で変動しているのが観測された。通常シャットダウン後は冷却水装置が停止するため、冷却水の流量不足アラームで FET アンプへの電源供給は停止するはずであった。ところが、実際にはこの保護機能は生かされておらず、FET 側の温度保護回路(50 度で供給停止、40 度で解除)のみが動作していた。故障した 216MHz 増幅器では冷却水流量不足アラーム機能が停止されていた上に、この温度保護回路が実装されていなかった。故障後に引き取られていた 216MHz 増幅器は FET 基板を再製作したうえで、2 月末に納入された(図4)。また、これを機会に残りの 2 台にも冷却水流量不足アラームを追加し、その他の保護ロジックの動作条件と安全措置の見直しを行った。

晴れて 3 台のサブハーモニック用高周波半導体パルス増幅器が揃ったことで、今後単バンチモード、マルチバンチモードの高安定なビーム利用が期待される。