

Present Status and Upgrade of the L-band Linac at ISIR, Osaka University

Goro Isoyama, Ryukou Kato, Shigeru Kashiwagi, Yutaka Morio,
Yoshikazu Terasawa, Kenichiro Furuhashi, Shoji Suemine
Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University
8-1 Mihogaoka, Ibaraki Osaka, 567-0047

Abstract

The 40 MeV, L-band electron linac at the Institute of Scientific and Industrial Research (ISIR), Osaka University was operated for 2,240 hours in the fiscal year 2007 with a few troubles. The most serious problems in operation and maintenance of the linac were discharge in the high-voltage tank for the klystron and leakage of cooling water at the accelerating tube. The former one has been almost solved but only a makeshift remedy has been taken against the latter problem. In order to improve performance of the linac, the timing system is being upgraded and three RF cavities for the sub-harmonic buncher system have been completely renewed for higher operational stability and replaced with the old ones.

阪大産研Lバンド電子ライナックの現状と性能向上

1. はじめに

Lバンド電子ライナックは、大阪大学産業科学研究所属産業科学ナノテクノロジーセンターの加速器量子ビーム実験室が所有する3台の電子ライナックの1台であり、周波数が108 MHzのRF空洞2台と216 MHzの空洞1台からなるサブハーモニックバンチャーシステムと、周波数1.3 GHzのプレバンチャー、バンチャー、長さ3 mの加速管から構成され、電子ビームの最大加速エネルギーが40 MeVで電荷量が最高記録で91 nCの大強度単バンチ電子ビームを加速することが出来る。ライナックは、昭和53年（1978年）に完成して以来、大阪大学の共同利用に供されており、マイクロ秒からナノ秒、サブピコ秒に至る広い時間領域のパルスラジオリシスによる放射線化学の研究や赤外自由電子レーザーの開発研究などの研究に利用されている。平成14年（2002年）に大規模な改修を行い、運転の再現性と安定性が格段に向上した。

Lバンド電子ライナックの平成19年度の運転と保守及び故障の状況、性能向上と開発研究の現状を報告する。

2. 運転状況

平成19年度のLバンドライナック運転日数を、月別、モード別に図1に示す。過渡モードは、最も利用頻度が高く、ナノ秒パルスラジオリシス用の運転モードであり、単バンチモードは、サブピコ秒パルスラジオリシスやSASEの発生実験、マシンスタディーなどに使用される。マルチバンチモードは、FEL用の運転モードで、定常モードはビーム強度が必要な照射実験用運転モードである。昨年度まで利用できなかった定常モードと多バンチモードの立上げが本年度完了した。今年度は、22件の研究課題が共同利用に採択された。前期は保守作業の18シフト（日）を含む119シフトが、後期は保守作業の36シフトを含む119シフトが分配された。後期の保守日としては例年の倍の日数を確保しているが、これは後述するサブハーモニックバンチャー（SHB）空洞の更新作業に充てられた。保守運転を含む平成19年度の運転日数は195日であり、運転時間実績は2,240時間である。

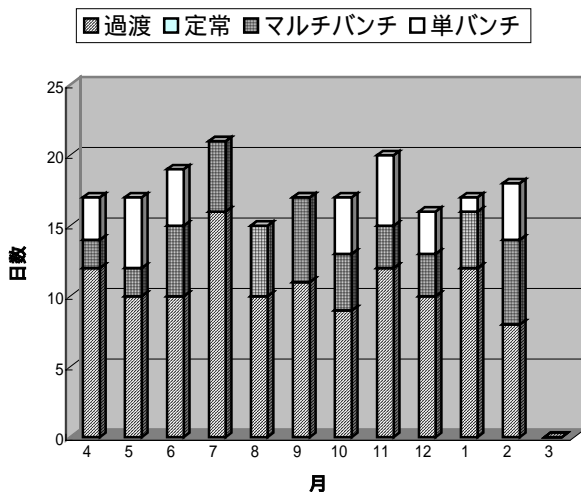


図1 平成19年度Lバンドライナック月別運転日数

3. 保守及び故障の情况

昨年度問題となったクライストロン・パルストランスでの放電とそれによる絶縁破壊の問題を解決するために、放電対策として1次巻線に太い銅線を採用して電場の集中を防いだうえ、1次と2次巻線用の機械的支持板に放電による破壊が起こりにくいポイドレスのFRPを使用した新しいトランスに交換した。通常モードの試験運転では放電が起きなかったが、長パルスモードで、パルストランスタンク内の2次側電圧モニター用の分圧器（Stanganes, CVD-350）で放電が観測された。この分圧器の耐電圧は

350 kVで、2次側の最高電圧295kVは十分仕様の範囲内である。5月の連休前の保守日に、この分圧器を耐圧が400 kVの分圧器 (CVD-400) に交換して試験をしたところ同様の放電が起きた。このことから、パルストランスタンク内でごく短い時間であろうと思われるが、定格を上回る高い異常電圧が発生すると推測された。異常な高電圧が発生する原因が不明であるので、対症療法としてタンク内に放電ギャップを設置した。放電ギャップ間隔を調整して異常電圧が発生したときには機器の放電が起きる前に放電ギャップで放電させる。その結果、たとえ放電が起きても機器に損傷を与えることなく、油中に放電パワーを逃がすことが出来るようになり、問題が解決した。

5月後半に加速管の冷却水が大気側へ漏れているのが見つかった。当初1マシンタイムあたりの漏れ量は300 cc以下、夜間停止中の漏れ量は2cc程度であったが、その後漏れ量が1桁近く増大した。水漏れは、溶接により固定された厚さ9mmのステンレスカバー内側で起きているので、場所を特定してシーラ剤などで水漏れを止めることが出来ない。漏れ量を低減するため、必要な流量を確保しながら加速管にかかる水圧を下げるように冷却水バルブを調整した。10月にファイバースコープカメラを用いて漏れ箇所を探したところ、水漏れは銅とステンレスのロー付け部の2箇所で見つかった。しかしステンレスカバーが加速管全体の荷重の半分を担っていることから、現場での修理作業はかなり困難である。バルブ調整後の水漏れは少量で落ちていることから推移を観察することにした。現在は1マシンタイムあたりの漏れ量は1000 cc以下であり、3ヶ月に1度冷却水を補充することで対応している。

7月に入りクライストロン電圧の変動が大きくなると共にクライストロンモジュレータ電源のサイラトロンが自然放電するようになったため、このサイラトロンを予備の新品と交換した。この作業の後、モジュレータ電源のパルスフォーミングネットワーク (PFN) の1段で可変インダクタンスの位置読み出しが出来なくなった。調査の結果、位置読出し用エンコーダのコネクタが緩んでいるのが見つかり、問題が解決した。前述のサイラトロン交換作業時にコネクタが緩んだものと考えられる。

8月にはクライストロンモジュレータに安定化交流電力を供給しているAVRが過電流アラームで停止した。昨年度設置したAVRのバイパス回路を用いて利用運転を継続した。故障の原因はAVRに使用している半導体スイッチIGBTの破損である。IGBT破損の原因を調査したところ、モジュレータ起動時のHVブレーカー投入直後の突入電流がわずかな時間ではあるがIGBTの定格電流値を超えることが判明した。IGBTを交換してAVRの修理は完了したが、同じ故障が再発する可能性があるため、製造業者側と対応策を協議している。

9月に真空用ゲートバルブに使用する圧搾空気用エアコンプレッサーが停止したため、圧空系圧

力低下のインターロックが動作してライナックが停止した。調査の結果、受電設備からエヤコンプレッサーへの電力供給が停止していることが判明し、別の小型コンプレッサーを使用してライナックの運転を再開した。引き続きこの原因を調査している最中、LバンドライナックとSバンドライナックで共用している1次冷却水ポンプが原因不明で停止し、しばらくの間動力盤のスイッチが入らなくなる現象がしばしば観測された。これらすべての原因が動力盤内のマグネットリレーの老朽化による故障であることが判明したため、定期的に使用しているリレー類をすべて新品に交換した。これによりコンプレッサー側の問題も解決した。

2月にウォームアップ中にサイラトロン回復異常が発生し、リザーバ電圧を調整してもスイッチ動作ができない状態になったため、これを予備品と交換した。その後、サイラトロン用トリガーアンプが故障していることも判明した。製造業者による原因調査の結果、アンプ回路に使用している6個6並列のFETの1個が故障していることが分かった。FETがすぐに入手できなかったことと、回路上5並列でも運転に支障がないため、故障した1個を回路から切り離して運転を再開した。

これらのトラブル以外にも、これまで高頻度で発生しているヘルムホルツ電源HC-PS-S1とHC-PS-S16と計算機制御系との通信エラーへの対策として電源の通信ボードを交換したが、通信エラーは無くならず依然として原因は解明されていない。またサブハーモニックバンチャー用RF電源の前段増幅用真空管 (RCA7651) の出力が低下したため7月 (SHPB 3号機) と12月 (SHPB 2号機) に予備の新品に交換した。

4. ライナックの性能向上と開発研究

4.1. 計算機制御可能なプリセットスケーラの開発

Lバンド電子ライナックの運転と実験に使用する多種多様なタイミング信号を発生する高精度タイミングシステムは、平成14年度の大規模改修に際して新たに開発した装置で、基本的に周波数シンセサイザーやデジタル遅延時間装置、NIMの論理モジュールなど市販機器を組み合わせた装置である。タイミング装置の大部分はGPIBインターフェースやPLCのデジタル入出力を使い計算機制御システムに組み込まれている。電子ビームの繰り返し周波数を設定するカイズワークス社のプリセットスケーラモジュール (KN-140) は、計算機インターフェースを持たない機器である。クライストロンモジュレータの長短パルスモードを切り替える時や、ビームプロファイルモニターを挿入・引上げる時にRFパルスやビームの繰返しを替える必要があるが、その際オペレータが手動で切り替えている。この操作を誤ると機器を破損する可能性がある。タイミングシステムの計算機制御化を進め、ヒューマンエラーを低減させるために、計算機制御可能なプリセットスケーラの開発を行った。

新しいプリセットスケーラの回路部分は従来のカイワークス社製と同じ物であるが、プリセット計数値やON/OFFスイッチなどの操作部分をリレー回路に置き換えてUSBインターフェースを用いて計算機に接続する。図2に新たに開発したプリセットスケーラを示す。計算機制御システムの制御ソフトウェアもこのプリセットスケーラの制御を包含するように改造、拡張した。これまで個別の動作試験を行ってきたが、近日中に制御用ソフトウェアを入れ換えて日常的に使用できるようにする。

4.2. SHB空洞開発

SHBシステムを利用しない過渡モードでは、朝に加速器システムを立上げてからユーザーポートに安

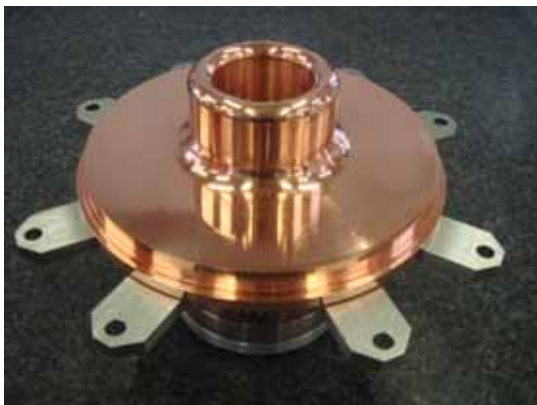


図2 3分割された108MHzSHB空洞。(上)内導体と上流側端盤、(中)上流側端盤、(下)外導体。

定なビームを供給して実験を開始するまでの時間は1時間程度である。他方、SHBシステムを利用する単バンチモードでは、ビームが安定して実験を開始するまでに4時間以上必要である。この主たる原因はSHB空洞の問題である。SHB空洞は4分の1波長同軸共振器構造を持つが、銅とステンレス鋼のクラッド板で作られている。同軸構造の外導体外側のステンレス鋼に水冷用のパイプを巻いて全体の温度を一定に保つ。SHB空洞にRFパワーを投入した時に主に発熱する部分と水冷部分とが離れているので冷却はクラッド板の熱伝導に頼ることと、冷却水に直接接している部分がステンレス鋼で熱伝導率が小さいことにより、立上げ後に温度が定常状態に達するまでの時間が長い。温度が変化すると熱膨張と収縮により空洞の大きさが変わり、共振周波数変動する。

このような状況を改善するために、昨年度KEKの電子陽電子ライナックの入射器で使用されているSHB空洞を参考にして、肉厚の無酸素銅のみで空洞を作製し、発熱が最も大きい同軸構造の内導体とその付根の部分に冷却水を循環させることで、発熱部分を直接水で冷却できる構造を持った216MHzSHB空洞1台をKEKの大学等連携支援事業により開発した。この開発と製作で得た知見を活かして引続き108MHz SHB空洞2台を製作した。

新たに開発した3台のSHB空洞はこれまでと同様1/4波長共振器空洞であるが、材質を肉厚の無酸素銅にしたために熱的な安定性を確保している。また図3に見えるように、この空洞は3分割構造を持つが、共振周波数を測定して最終的な寸法を決めて全て銀ロウ付けで溶接をした。真空中への水漏れ事故を起こさないように、冷却水経路の銀ロウ付け溶接を真空側で行わない構造を採用した。全部を溶接した結果、無負荷Q値が増大したが、それによるビーム負荷の増大を低減するため、RFフィリング時間を短縮するために、RFパワーの入力結合器に従来よりも大きい結合度を採用した。これら3台のRF空洞の特性を測定した後に、図4に示すようにハイパワー試験をした。2008年3月に1ヶ月間の運転停止期間を設けてSHB用RF空洞の交換作業を行い予定した期間で成功裏に完了した。2008年4月に約1ヶ月間とならし運転をして5月からSHBの使用を再開した。



図3 108MHzSHB空洞2号機のハイパワー試験。