

PRESET STATUS AND UPGRADE OF THE L-BAND LINAC AT ISIR, OSAKA UNIVERSITY

Goro Isoyama¹⁾, Ryukou Kato, Shigeru Kashiwagi, Tetsuya Igo, Yutaka Morio, Tamotsu Yamamoto, Shoji Suemine
Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University
8-1 Mihogastract, Ibaraki, Osaka 567-0047, Japan

Abstract (英語)

The 40 MeV, L-band electron linac at the Institute of Scientific and Industrial Research (ISIR), Osaka University was operated for 2,340 hours in the fiscal year 2006 with a few troubles resulting in shutdown of 13 days in total. The most serious problems in operation and maintenance of the linac were the thyratron used in the klystron modulator for its short lifetime and unstable operation, and discharge in the high-voltage tank for the klystron. Some efforts were made to cope with the problems but they have not been completely solved yet. In order to improve performance of the linac, the timing system was upgraded, a wire scanner beam monitor was newly introduced, an RF cavity for the sub-harmonic buncher system is being developed, the transistor amplifier for driving the klystron was renewed, and a novel method for stabilizing the amplitude and the phase of the RF power in the pulse is being developed.

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、ナノ秒からサブピコ秒に至る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18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18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。定常モードと多バンチモードは、現在立上げ調整中である。今年度は、23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120シフトが配分されたが、次節で述べるクライストロン・パルストランスの絶縁破壊のため、5月の連休明け12シフトの利用運転を中止した。また夏期の保守作業時に、クライストロンモジュレーター電源内のインバータ高圧電源の高周波トランスで絶縁破壊が発生し、1シフトの利用運転が中止となった。後期は保守作業の18シフトを含む118シフトが配分された。平成18年度の通算運転日数は194日で、通算運転時間は約2,340時間である。

■ 過渡 □ 定常 ■ マルチバンチ □ 単バンチ

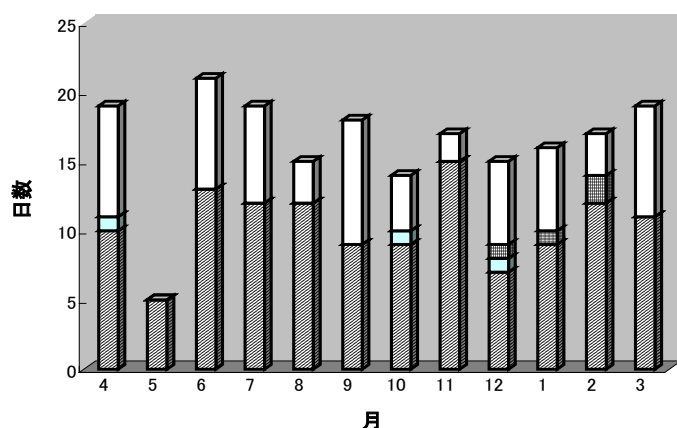


図1 平成18年度Lバンドライナック月別運転日数

3. 保守および故障の状況

これまでLバンド電子ライナックの保守上、最も

¹⁾ E-mail: isoyama@sanken.osaka-u.ac.jp

問題となった事項はクライストロンモジュレーター電源で使用するサイラトロンの寿命が短いこととその動作不安定、及びクライストロン用高圧パルストランスの絶縁破壊である。電源メーカーが採用したサイラトロンCX1573C (e2v) は1号機が1年7ヶ月(改造工事時期のため、実働はHV ON時間で約700時間程度)、2号機が11ヶ月、3号機が6ヶ月で動作不良あるいは使用不能で交換した。調査の結果、この型式はピーク電圧とピーク電流は必要な性能を満たしているが、最大平均電流が必要性能の半分程度であることが判明した。そのため、平成18年3月にサイラトロンを、より高い平均電流に耐えられるCX1528に変更した。しかしながらその結果、サイラトロン動作が不安定になり、1日に数回サイラトロンの導通が切れなくなる回復異常が発生した。6月に詳細な試験を行った結果、インバータ充電電源内部の高周波トランス内のインダクタンスが大きすぎるのが原因と判明したが、すぐに改造に入ることが出来ないため、夏期停止期間までの間、トリガー回路調整により充電開始時間を遅らせることで、安定な運転を継続できるように対処した。

また、平成18年4月の連休直前にはクライストロン・パルストランスで放電による絶縁破壊が起き、修理のための部材調達やトランスの2次巻き線の巻き直し作業で、仮復旧に連休明けから3週間を要した。損傷したパルストランスの写真を図2に示す。仮復旧時には抜本的な放電対策を取る時間的な余裕が無かったため、同型のトランスを手配した。一方それと並行して放電対策の検討を行った。対策を取った新しいトランスは1次巻き線を太くして電場の集中を防いだうえ、1次巻線と2次巻線の絶縁基板にボイドレスFRPを採用した。この更新は夏期停止期間中に行い、同時にインバータ高圧電源内部の高周波トランス内のインダクタンスを減らす作業を行った。しかし、この作業の後、インバータ高圧電源の高周波トランスで絶縁破壊が発生し、高圧電源が使用出来なくなった。緊急対応として高エネルギー加速器研究機構からインバータ高圧電源を借用



図2 パルストランスの損傷状況。2次巻線用FRP基板上に複数の放電痕が認められ、2次巻き線も外側へ膨らみ、カーボンも付着した。

して共同利用を継続した。

後期のマシンタイムが始まる10月の第1週に修理が完了したインバータ高圧電源への交換と復旧作業をおこなった。作業終了後の試験運転でノーマルモード(パルス長4 μs)では問題が発生しなかったが、長パルスモード(8 μs)時に、クライストロン・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)内で放電を観測した。この分圧器は、使用しているモジュレータの2次側最大電圧295 kVを十分超える350 kV仕様の分圧器である。

その後の試験運転で得られたクライストロン電圧の長時間安定度は、2時間余りの運転時間でのパルス間の最大電圧の相対変動が $\sigma=0.027\%$ と極めて安定していることが確認できた。また、これ以降サイラトロン回復異常はほとんど観測されなくなった。

平成19年5月にクライストロン・パルストランスタンク内の分圧器を耐圧の高い400 kVのものに交換した。長パルスモードで運転試験を行ったところ、今度は分圧器ではなく放電対策を施した高圧パルストランスで放電した。このことから、パルストランス内部の部品に問題があるのではなく、何らかの原因で異常に高い電圧が発生して最も耐圧の低い部分で放電したものと考えられる。当面の対策として、放電により重要な部品が破損しないよう高圧パルストランスタンク内に放電電極を設けて、異常な高圧が発生した時にはそこで放電するようにした。小規模な放電は放電電極でしばしば起きているが、現在までに運転に支障の出るような現象は起きていない。

4. ライナックの性能向上と開発研究

4.1 タイミングシステムの高精度化

Lバンドライナックの運転と実験に各種の時間信号を供給するタイミングシステムの同期精度を向上させるために、同期回路を更新した。これまで、Phillips社のANDモジュール(PS-756)と他のNIMモ

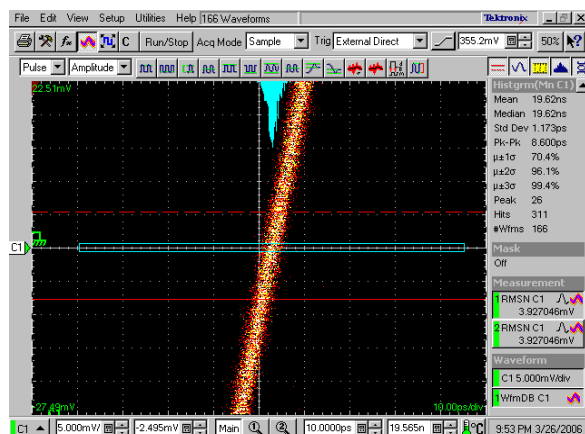


図3 高速のGaAs-RFスイッチを用いた同期回路のジッター測定。入力信号のジッター $\sigma=1.03\text{ps}$ に対し、RFスイッチの出力は $\sigma=1.17\text{ps}$ 。

ジュールと組み合わせて同期回路を形成し、27 MHzのクロック信号から任意の時刻で1パルスを取り出しタイミング信号を作っていた。このタイミングシステムでは、1300 MHz RFと電子銃のトリガーパルスとの同期精度は約5.8 psであった。今回、AND回路に高速のGaAs-RFスイッチ (MiniCircuit社 ZASW-2-50DR) を使い27 MHzのクロックパルスからタイミング信号を切出す事で同期精度を約2 ps以下まで向上させる事ができた。このスイッチを用いた同期回路のジッター測定の例を図3に示す。入力信号のジッター $\sigma = 1.03\text{ps}$ に対し、RFスイッチの出力は $\sigma = 1.17\text{ps}$ であり、この同期回路自身のジッターは $\sigma = 0.55\text{ps}$ と見積もられる。

4.2 ワイヤスキャナーモニターの導入

これまで、Lバンド電子ライナックでビームサイズを測定する装置としてアルミナ蛍光版を用いたビームプロファイルモニターを使用している。今回、KEK-ATFで開発されたワイヤスキャナーをモデルに、より低いエネルギーの電子ビームのサイズを精度よく測定できるワイヤスキャナーモニターの開発を行い、Qスキャン用の四極電磁石とともにビーム輸送系直線部に設置した。図4にその写真を示す。45度傾いたステンレスのパイプとその付近が設置したワイヤスキャナーである。平成18年10月に蛍光板モニターの像のにじみを蛍光板の厚さを変えて測定する実験を韓国のポーハン加速器研究所から2名の研究者を迎えて行った。

4.3 SHB空洞開発

ライナックの大規模改修によりSHBシステムを利用しない過渡モードでは、朝の立ち上げからユーザーポートに安定なビームを供給できるまでの時間はほぼ1時間程度となった。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空洞の温度が安定するまでにかかる時間であり、その要因としてはSHB空洞に用いられている材質とその冷却構造にあると考えられている。この空洞は4分の1波長同軸型のRF共振器であり、中心導体付根付近で

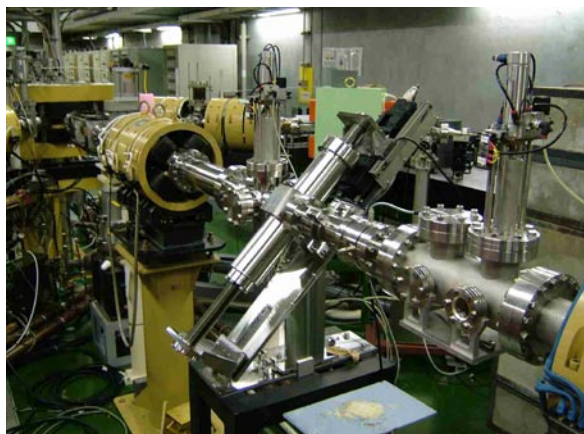


図4 新設したワイヤスキャナーモニター

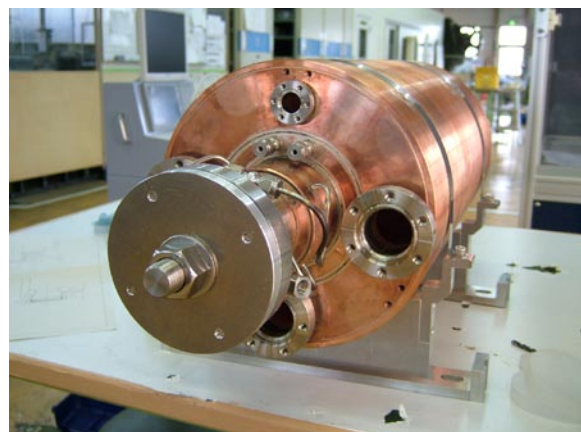


図5 開発中の新216MHzSHB空洞。

表面損失が大きく発熱が最も大きい、そこから最も離れた空洞の外側にロウ付けした銅パイプに冷却水を流して冷却する。また、材質にはステンレスと銅を爆着したクラッド材が使用されているので熱伝導が小さい。そのため、熱平衡に達するまでに時間がかかるし、材料の裏表面での熱膨張係数の違いに起因する形状変形が存在し、RFを入力し始めてから一定時間後に大きく周波数の変わる点が存在する。

このような状況を改善するために、KEKの入射器で使用されているSHB空洞を参考にして、同軸構造の中心導体とその付根の部分に冷却水を循環させることで、発熱の大きな箇所を直接冷却できる構造を持った純銅製のSHB空洞を新たに開発している。

4.4 RFパワーアンプの更新

Lバンド電子ライナックの加速用1.3 GHz高周波は、周波数シンセサイザーで発生した基準信号をトランジスタアンプで200 Wから1 kW程度に増幅した後、クライストロンを駆動して最大30 MWのRFパワーを発生する。従来使用してきたトランジスタアンプはC級動作で、出力パワーが十分に立ち上がるのに数 μs の時間がかかると共にRFの位相もパルス内で連続的に変化するので、加速電子ビームのパルスがRFパルス長と同程度の定常モードや多バンチモードで問題になる。そこで、このトランジスタアンプを最大出力200 WのAB級動作のトランジスタアンプに更新した。

4.5 加速RFパワーの振幅と位相の制御

定常モードと多バンチモードの立ち上げの一環として、可変減衰器と移相器を用いるフィードフォワード法により加速用RFパワーの振幅と位相を一定に保つ研究を進めている。現在のところ長パルスモードで8 μs の時間範囲でパワーを1%以下、位相を1度以下の変動に抑えることに成功している。

5. まとめ

昨年度は故障停止があつたが運転時間は例年より増えた。ライナックの高度化も精力的に進めている。