

PRESENT STATUS AND UPGRADE OF THE L-BAND LINAC IN 2010 AT ISIR, OSAKA UNIVERSITY

Goro Isoyama^{#A)}, Ryukou Kato^{A)}, Shigeru Kashiwagi^{B)}, Yoshikazu Terasawa^{B)}, Naoya Sugimoto^{B)}, Shen Jie^{B)},
Sho Hirata^{B)}, Masateru Fujimoto^{B)}, Akira Tokuchi^{B)}, Shoji Suemine^{B)}

^{A)} Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University
8-1 Mihogaoka, Ibaraki, Osaka, 567-0047

^{B)} Research Center for Electron Photon Science, Tohoku University
1-2-1 Mikamine, Taihaku-ku, Sendai, Miyagi, 982-0826

Abstract

We report the present status and the upgrade of the 40 MeV, L-band electron linac at the Research Laboratory for Quantum Beam Science, attached to the Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University. The linac was operated as usual for 204 days in the fiscal year 2009. The major trouble is discharge in the RF power transmission line from the klystron to the linac. Effects of the trouble to users experiments were minimal because the machine time was compensated for with shutdown days for maintenance. We report the present status of development of a laser-photocathode L-band RF gun and of speed-up of the phase and the amplitude control of the RF power.

阪大産研 L バンド電子ライナックの現状と性能向上 (2010 年)

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附属量子ビーム科学研究施設（平成 21 年 4 月 1 日研究所の改組のより発足）が所有する 3 台の電子ライナックの 1 台であり、熱陰極電子銃と、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（SHB）システム、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 40MeV 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 21 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 21 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、ナノ秒パルスラジオリシス用の運転モードであり最も利用頻度が高い。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。今年度は、24 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 118 シフトが、後期は保守作業の 21 シフトを含む 119 シフトが分配された。保守運転を含む平成 21 年度の運転日数は 204 日であり、運転時間実績は約 2,600 時間である

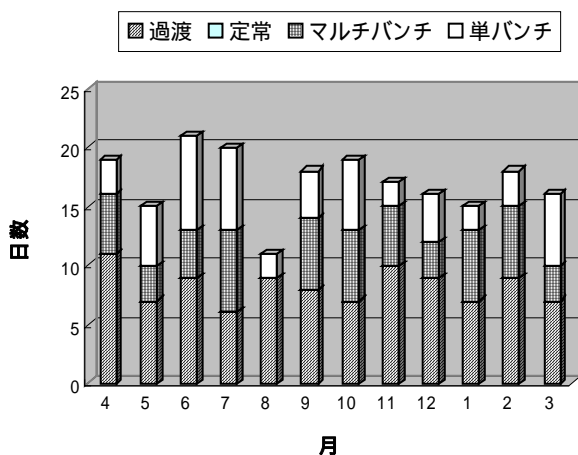


図 1 平成 21 年度 L バンドライナック月別運転日数

3. 保守及び故障の状況

これまで問題が多発していたクライストロンモジュレーターの高電圧・大電流スイッチングシステムは、昨年度サイラトロンを e2v 社製の CX-1528 から L3 communications 社製の L-4888B に変更して以来、きわめて安定に動作している。この 1 年間、サイラトロンが原因のトラブルは 1 度も観測されなかった。

6 月に SHB 用 RF パワーアンプ 2 号機

isoyama@sanken.osaka-u.ac.jp

(108MHz) の出力低下が顕著になった。この RF パワーアンプはトランジスタのプレアンプと 2 段の真空管アンプよりなるが、後段の真空管 (RCA7214) の寿命であると考えられたので新品と交換したところ正常に復帰した。

8 月の保守運転中に冷却水ポンプとエアコンプレッサーが突然停止した。調査の結果、動力盤の制御電源用ブレーカの故障であることが判明し、新品と交換して復旧した。9 月にも別系統の制御電源用ブレーカが同様に故障したので交換・復旧した。

10 月の保守日に SHB 用 RF パワーアンプ 3 号機 (216 MHz) の点検整備中に、後段真空管の入力インピーダンス整合用スタブのハンダ付が外れているのを発見したので、これを補修した。また 10 月末のライナックの立ち上げ調整中に偏向電磁石電源が電磁石の初期化プログラム(消磁プロセス)から復帰できない症状が見られた。制御系の故障ではなく、被制御機器の問題であることが分かったので、この電源を予備電源に交換して運転を通常通り開始した。翌日の昼休みを利用して、製造会社の技術者が故障した電源を現場で検査した後、翌週の保守日に制御基盤上のロジック IC を交換して正常に復した。

12 月末にはクライストロン室のエアコンが動作不能になったが、予備のエアコンを使用してライナックの運転を継続した。故障の原因はモーターとファンを繋ぐドライブベルトが経年劣化により切れたものである。同時期に導入した発生装置室のエアコン 3 台のベルトも点検したところ、何時破損してもおかしくない状態であったため、これら 4 台のエアコンのドライブベルト全てを交換した。

また、昨年度予備品として購入した e2v 社製のサイラトロン (CX-2411) の保証期限が迫ってきたので、この動作確認のために年末の作業でサイラトロンを交換した。同時にモジュール内の PFN 回路を組み換え、パルストランスタンク内の放電球調整部を更新した。PFN 回路は一時期、インダクタンス可変の 16 段 (Normal モード 10 段、Long pulse モード 16 段) に対して、固定のインダクタンス回路を持つ回路を前後に 2 段ずつ追加し、全 20 段 (Normal モード 10 段、Long pulse モード 20 段) に



図 2 SF6 の放電による分解化合物が堆積した導波管方向性結合器内部

変更していた。その後、この配置で問題が発生したため、後半部分を切り離し、固定 2 段、可変 14 段の全 16 段 (Normal モード 10 段、Long pulse モード 16 段) で運転してきた。この状態では固定 2 段のインピーダンスを変えることができないので、クライストロンへ供給するパルス電圧の平坦部を調整する時の自由度が制限される。クライストロンを交換する時にインピーダンスマッチングを取りにくいなどの問題が考えられることから、全 16 段を再びインダクタンス可変の回路に戻す作業を行った。この結果、Normal モードのパルス幅はこれまでよりも若干短くなるが、現在は定常モードの利用が無いことから問題はないと考える。

パルストランスや分圧モニターに過度の高電圧がかかり放電によりこれらが破壊することを防ぐ目的で放電球を導入した。これまでは効果を確認するための仮組込の状態であったが、今回、これを油中から取り出さなくてもギャップ間隔が調整できるように取り付け方法を変更した。

1 月に入り、Long pulse モード時のビーム変動が無視できないレベルになった。特にパルス後半での変動が大きいことから放電が原因ではないかと疑った。立体回路各部での RF 波形のモニターから放電箇所がバンチャー系ラインで起きている可能性が高いと考え、その一部を分解して目視で異常の有無を確認した。その結果、図 2 に示すように導波管内に多量の SF6 ガスの放電堆積物を確認したため、製造会社に放電箇所の特定制と復旧作業を依頼した。翌週の保守日 1 日とそれ以降 2 日間のマシンタイムを中止して復旧作業にあたった。中止した 2 日間のマシンタイムは後の保守日で補償した。作業はバンチャー系と主加速系のパワー分配用ハイブリッドからバンチャー系の可変減衰器までの区間をすべて取り外して分解するところから始めた。分解清掃を行うことで、放電堆積物を取り除き、今回のトラブルの原因となった放電箇所が、バンチャー系からプレバンチャー系へパワーを分配するための導波管方向性結合器にあることが判明した。この方向性結合器は、並行する 2 本の導波管に仕切り用金属板を挟んで束ねた構造を持ち、この金属板にパワー結合用の穴が開いている。電気的な接触を取るために金属板と導波管の間に銅の編組線を挟んでいるが、パワー増大による発熱でこの編組線が燃え落ちて断線したことが原因であることが判明した。仮の措置として、以前使用していた古い導波管結合器に交換すると同時に、バンチャー系ラインへの入力 RF パワーを押さえるためにパワー分配比率の低いハイブリッドに交換して運転を再開した。故障した導波管方向性結合器は、高 RF パワーに耐える構造に改造して、3 月末に元のシステムに戻し復旧した。

1 昨年引き続いてきた主加速管の冷却水路から大気側への水漏れは現在止まっている。年度末にこの漏れ箇所を補修するための作業を計画していたが、少なからぬリスクを伴う作業であるため、再度水漏れが起きて運転継続が困難になった時点で行うことにした。また長期的に見たときには、いずれク

ラックが成長し、現行の加速管が使用できなくなるときが来ると考えられるため、加速管の新規製作を検討している。

4. ライナックの性能向上と開発研究

4.1 Lバンド RF 電子銃

長期的的視野に立ち、電子ビーム利用研究とLバンド電子ライナックの高度化を図るために、大強度かつ高品質(大電荷量・低エミッタンス)電子ビーム生成が可能なLバンドRF電子銃の研究開発を開始した。この研究開発はKEKの加速器科学総合支援事業「大学等連携支援事業」のもとでKEK、広島大学と共同で行っている。

我々の目的は、この研究開発に参画することで、LバンドRF電子銃開発のノウハウを蓄積し、それを利用して阪大産研のLバンド電子ライナックに導入可能なLバンドRF電子銃空洞の設計および製作を行うことである。これまで図3に示すように、アルミ製の試験空洞を製作することでRF電子銃空洞の内形状と共振周波数および電場分布の関係を明らかにするとともに、ショート板の位置を改良した同軸導波管結合器を製作し、その特性測定の結果から、新たに製作する同軸導波管結合器の形状を最適化した。また、KEKの超伝導加速器試験施設(STF)でのビーム加速実験に用いるLバンドRF電子銃は、日米共同開発の一環で米国フェルミ国立研究所(FNAL)において製作されているが、我々自身でFNAL製のLバンドRF電子銃空洞の最終周波数調整および電磁場分布調整を行った。この研究で得られた知見と熱解析の結果をもとに現在阪大産研用のLバンドRF電子銃空洞の製作に取り掛かっている。

4.2 RFパルスの位相・振幅制御

Lバンド電子ライナック利用の一つはテラヘルツ

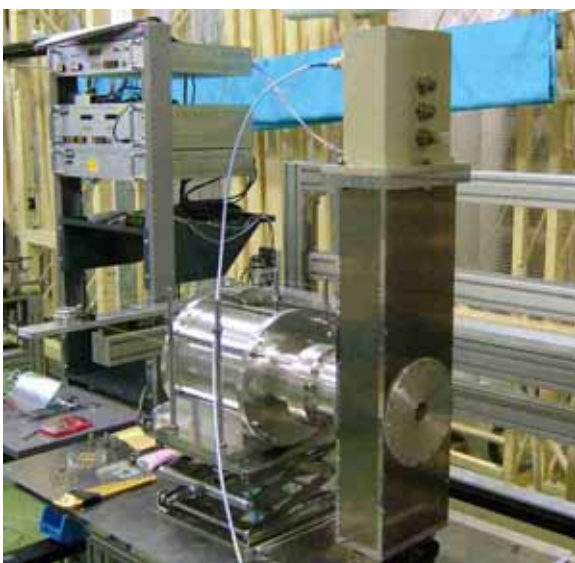


図3 LバンドRF電子銃のRF空洞と同軸型入力結合器の低レベル試験

領域の自由電子レーザーの開発である。FEL用のエネルギーが揃った長パルス多バンチビームを発生するためにフィードフォワード法によりRFパルスの位相と振幅を制御している。現在利用している変調システムは、位相と振幅を個別の素子で変化させる。次の段階として時間応答性の良いIQ変調器を用いる位相・振幅の同時制御システムを開発中である。IQ変調器は、90度位相の異なる2つのRFを各々振幅変調した後合成する事により、RFの位相振幅同時変調を可能にするものである。しかし、実際には0度成分(I成分)と90度成分(Q成分)のRF間で完全な独立性が保たれておらず何らかの補正が必要である。IポートとQポートを制御する電圧信号に対する応答特性を事前に測定して、その各ポートの特性をもとに一次近似補正を加える。更に位相と振幅を繰り返し制御することにより、最終的に位相・振幅の目標値からのずれを0.4度、0.4%まで小さくすることに成功した。次に、Lバンドライナックに供給するRFパルスの位相・振幅変調をIQ変調器のみで行った。図4に加速管入力部で測定した、補正ありと補正無しのRFの位相と振幅波形を示す。補正を加えた平坦部に僅かに細かな変動が見られるが、同時変調により、位相が約1度、振幅を0.6~1.5%まで平坦化することができた。この変調システムを用いて、補正しない場合に約5%(FWHM)あるマルチバンチ電子ビームのエネルギー拡がりを約2.3%に低減する事に成功した。

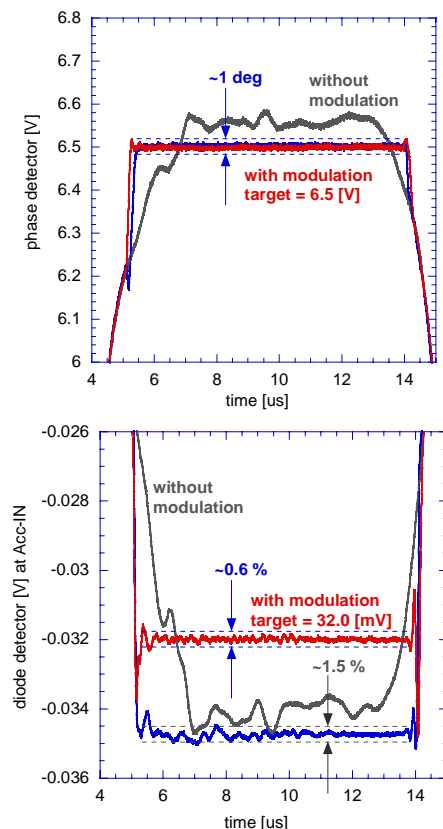


図4 IQモジュレーターによるRFパワーの位相と振幅の早い制御