

PRESENT STATUS OF THE ELECTRON LINACS IN ISIR, OSAKA UNIVERSITY

R. Kato¹, Y. Honda, J. Yang, Kashiwagi, T. Kozawa, S. Seki, A. Saeki, N. Kimura,
T. Kondo, T. Yamamoto, S. Suemine, Y. Yoshida, G. Isoyama, S. Tagawa, T. Majima
Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University
8-1 Mihogaoka, Ibaraki, Osaka, 567-0047

Abstract

Nanoscience and Nanotechnology Center, attached to the Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University, was founded in 2002 for developing Bottom-up Nanotechnology, Top-down Nanotechnology, and their Industrial Application. The Radiation Laboratory attached to the center, are conducting management, operation, and maintenance of the 40 MeV L-band electron linac, the 150 MeV S-band electron linac and the 40 MeV laser photocathode RF-gun linac. The L-band linac restarted the joint-use from the latter half of 2004 fiscal year after its large-scale upgrade, and 2005 fiscal year became first full-year use after the upgrade. From 2006 fiscal year, in addition to the L-band linac, the S-band linac and the RF-gun linac also began the joint-use in the Osaka University. We report on the present status of three linacs in 2005 fiscal year..

阪大産研における電子ライナックの現状

1. はじめに

大阪大学産業科学研究所附属産業科学ナノテクノロジーセンターは原子・分子を積み上げ材料を創成するボトムアップナノテクノロジーと、材料を極限まで削りナノデバイスを作製するトップダウンナノテクノロジーの両方の立場から総合的にナノテクノロジーを推進するための研究センターである。このセンターに附属する加速器量子ビーム実験室は、極限ナノ加工技術開発であるトップダウンナノテクノロジーを強力に推進するために設置され、量子ビームと総称される電子線やX線、レーザー、陽電子ビームなどを用いたナノファブリケーションや、ナノ空間・フェムト秒に至る極短時間領域での反応解析、ナノテクノロジーに必要な不可欠な高輝度・高安定の新しい量子ビームの開発研究を行っている。

加速器量子ビーム実験室では、従来から共同利用に供されてきたLバンド電子ライナック[1]と、低速陽電子発生用に利用されてきたSバンド電子ライナックの2台を保有してきた。平成14年度に時間分解量子ビームナノ加工解析システム、平成15年度には強力極短時間パルス放射線発生装置の予算が認められ、超短電子線パルスによるナノ空間反応の研究のために、従来から世界最高性能を有していたサブピコ秒パルスラジオリシス装置の更なる拡充と、その超短電子線パルスの発生源となるLバンド電子ライナックの安定化のための大規模改修、陽電子ビームによるナノ空孔測定などのための測定系の整備が行われた。さらにLバンドライナックを用いたサブピコ秒領域でのパルスラジオリシス研究を補足し、世界最高時間分解能のフェムト秒パルスラジオリシス

研究を目指すためにレーザーフォトカソードRF電子銃ライナック(Sバンド)[2]が新設された。

平成18年度からはこれまでのLバンド電子ライナックに加えて2台のSバンド電子ライナックも共同利用を開始した。本稿では平成17年度のLバンド電子ライナックと、2台のSバンド電子ライナックの現状について報告する。

2. Lバンド電子ライナック

2.1 Lバンドライナックの運転状況

Lバンド電子ライナックは大規模改修後、平成16年度の後期から共同利用を再開しており、平成17年度は改修工事後初めての通年での運転となった。図1は平成17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。平成17年度の共同利用では、22の研究課題が採択された。前期は保守作業の18シフトを含む118シフト、後期は保守作業の16シフトを含む118シフトが配分された。この中で将来的なマシンタイムの有効利用を検討するために、3月には異なるユーザー同士で1日のマシンタイムを共有する試験が計2日間行われた。昨年度、保守運転を含む運転日数は205日であり、運転時間実績は2,330時間余りであった。近年の年間運転時間の推移を図2に示す。昨年度から通年での運転となったことから、ほぼ改修前の運転時間に復帰している。ピーク時に比べて運転時間が多少減少しているのは、ライナックの運転状態の再現性が高くなったことから、過渡モードではエネルギースペクトル調整が必要なくなり、運転時間の利用効率

¹ E-mail: kato@sanken.osaka-u.ac.jp

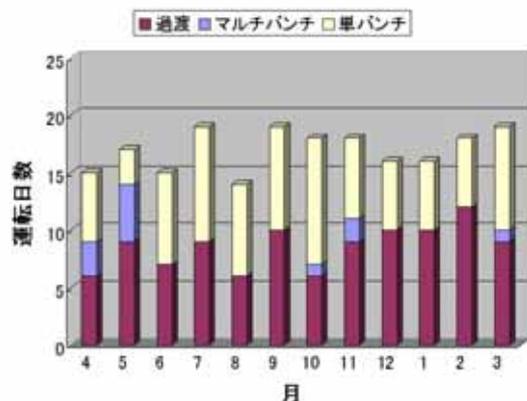


図1: Lバンド電子ライナック月別運転日数

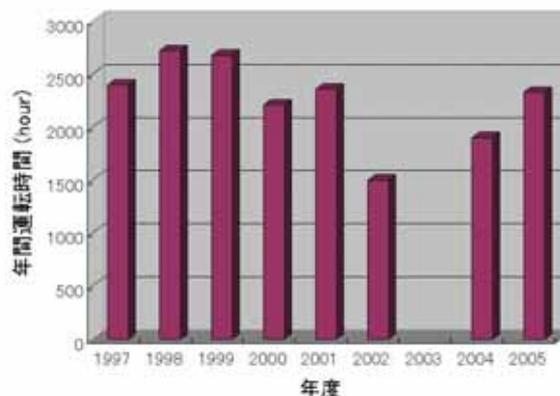


図2: Lバンド電子ライナック年間運転時間の推移

が高くなったためと考えられる。

2.2 Lバンドライナックの維持・改良の状況

平成17年度のもっとも大きなトラブルは冷却水装置の冷媒ガスのもれとクライストロン・モジュレータのサイラトロン動作の不安定・短寿命であった。

8月の保守期間に熱交換器の薬剤洗浄を行ったが、そのときの試験運転で却水装置の制御PLCのロジックに不具合が見つかりこれが修正された。10月のマシンタイム中には冷却水装置の温度制御が設定値から外れているのが発見された。原因が制水弁のベローズから冷媒ガスの洩れであったため、一時的に冷媒ガスを補充しながら運転し、根本的な対策をとるまでこの制水弁をバイパスする処置が取られた。この制水弁は12月末の作業で対策済の物に更新された。また1~2ヶ月に一回程度、冷却水装置が内部インターロックで停止する不具合があり、2月にコンプレッサの制御基板交換を行った。これ以降、冷却水装置は安定に動作を継続できるようになった。

クライストロン・モジュレータでは、5月にサイラトロンCX1573Cの動作が不安定になったため、これを予備品と交換した。11月に再びサイラトロン動作が不安定になり、最終的にはヒーター断線（接触不良）であることが判明した。これまでのサイラトロン・トラブルの多さからサイラトロンの型式変更を検討しており、同型の予備サイラトロンを用意していなかったため、一時的に5月に取り外したサイラトロンに戻して翌日からの運転を継続した。しかし、このサイラトロンも動作が不安定であったため、翌週、モジュレータの製造会社から取り付けや使用条件等で互換性のあるサイラトロンCX1171を借り受け、マシンタイムを継続することとなった。3月には問題となっていたサイラトロンCX1573Cを、より高い平均電流に耐えられるCX1528に更新した。ところがこの交換によりサイラトロン動作が変化し、逆電圧が高くなった。また依然1日に数回のサイラトロン回復異常アラームによる停止が続いた。4月に

入り回路定数の変更を行い、逆電圧を低減させたが、このアラームによる停止はなくなり、6月に原因特定のための試験を行った。その結果、PFNへの充電を行っているインバータ電源の出力高圧ユニットに使用されているコンデンサ容量が多すぎて、放電後もそこに蓄えられた電荷がサイラトロンに流れ込み次の充電開始までに導通が切れない状態になることが判明した。一時的な対策として、充電開始時間を遅らせて、安定な運転を継続できるようにしたが、根本的な対策は夏季停止中に行われる予定である。

装置の改良としては、8月にモジュレータのPFN回路の改造を行い、クライストロン電圧パルスの平坦度として8マイクロ秒に渡って0.12%という値が実現され、建設当初の目標値がほぼ達成された。

また10月、クライストロン・モジュレータの入力ラインにAVRが導入され、これまでマシンタイム時には1日あたり5%あった200V系の電圧変動が、0.4%に抑えられるようになった。

また、モニター系の改良として、プロファイルモニター画像とQスキャンによるエミッタンス測定装置の自動化と、KEKの大学等連携支援事業によりワイヤースキャナーモニター[3]の導入が行われた。

3. 150MeV Sバンド電子ライナック

150MeV Sバンド電子ライナックは低速陽電子発生のための装置として利用されてきた。RF電子銃ライナックと装置の一部を共有しているため、その設置工事に合わせて、クライストロン装置の移設と部分改造が行われた。しかし、その後いくつかのトラブルが発生し、それらの問題解決を行っている。

マシントラブルの項目は、直流電源電圧の出力異常、度重なる直流電源内速断ヒューズの破損、導波管の蝸付け部からのリーク、導波管内での放電等であった。直流電源に関するトラブルの原因は電圧制御系のフィードバック回路に乗るノイズが原因であることがわかったため、接地系の配線のし直し、電

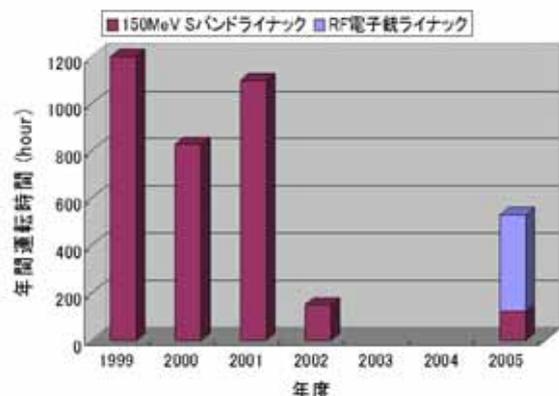


図3：Sバンド電子ライナック、RF電子銃ライナックの年間運転時間の推移

源内ノイズ除去フィルターの改良や時定数の変更などを行うことで、ヒューズが切れることはなくなり、安定に運転を行えるようになった。しかしまだノイズに対して十分ではないため、今後全体の接地回路を改良する必要がある。また、導波管のリークの問題では前年度同様接着剤を用いて対応し、放電に関しては徐々に電圧を上げながら運転を行って対処した。本年度の主な利用は、新たに設置した陽電子発生用モデレーターを使った実験であり、総運転時間は約123時間であった。図3に近年の運転時間の推移を示す。

4. フォトカソードRF電子銃ライナック

4.1 ライナックの構成と運転状況

フェムト秒電子ライナックは、SバンドのレーザーフォトカソードRF電子銃、加速管、磁気パルス圧縮器から構成されている。レーザーフォトカソードRF電子銃は1.6セルBNL-Gun IVタイプであり、光カソードとして無酸素銅が用いられている。光カソードの光源としては、全固体Nd:YLFピコ秒レーザーを用いた。ビーム輸送中、空間電荷効果によるエミッタンスの増大を補正するために、電子銃出口にソレノイド磁石を設置した。

電子ビームの加速は、長さ2mのSバンド進行波型加速管を用いて行っている。この加速管はカソード表面から1.2mの位置に設置された。加速管とRF電子銃には、同一クライストロンから2分配されたRFがそれぞれ供給される。加速管とRF電子銃に供給されるRFピークパワーはそれぞれ25MWと10MWであり、RFパルス幅は4 μ sで、運転繰り返しは10Hzである。

電子パルス圧縮は、2台の45°偏向磁石と4台の四極電磁石から構成された磁気パルス圧縮システムを用いて行われている。平成17年に、ライナックでの電子パルスの非線形エネルギー変調と四極電磁石の磁場分布の最適化により磁気パルス圧縮における高

次効果影響の補正に成功し、98フェムト秒電子パルスの発生に成功した。平成17年度の運転期間は5ヶ月で、総運転時間は約407時間であった。

4.2 フェムト秒パルスラジオリシスの開発

フェムト秒パルスラジオリシスを実現するためには、フェムト秒電子パルスとフェムト秒分析光パルスが必要であるほか、サンプル中での光と電子が通過する速度の違いによる時間分解能の劣化の防止が必要である。

このサンプル中での時間分解能の劣化を抑えるために、電子線パルスと光パルスを屈折率に応じて角度をつけてサンプルに入射する等価速度分光法を考案し、この手法を用いたフェムト秒パルスラジオリシスの開発を行っている。その際に、磁気パルス圧縮器で電子線パルスの波面を光パルスと同じになるように調整する必要がある。昨年度は、ライナックでの電子パルスのエネルギー変調と磁気パルス圧縮器での磁場分布の調整により電子線パルスの波面に角度をつけ、等価速度分光法によるパルスラジオリシスの時間分解能の向上と吸収強度の増大を実験的に確認した。今年度は、フェムト秒ストリークカメラを利用した電子線パルスの波面角度の測定法を開発し、電子線パルスの波面の精密制御を行う。

4.3 ダブルデッカー電子ビーム加速器の開発

パルスラジオリシスの時間分解能をサブフェムト秒・アト秒に向上するためには、さらに電子パルスと分析光パルスの時間ジッターを低減しなければならない。この目的のためには、レーザー分析光パルスを使用せずに、同一のRFにより加速された2つの電子線パルスを用いて、その一方を分析光源として用いるほうが良い。阪大産研では1台のライナックでツインライナックの機能を実現するダブルデッカー電子ビーム加速器を提案し、これを用いた次世代パルスラジオリシスの開発を行っている。

本研究では、約1mmずれたカソード面に時間的に離れた2つのレーザーパルスを照射し、2つの電子ビームを発生させた。その後、この2つの電子ビームを加速し、磁気パルス圧縮装置を用いて、フェムト秒領域まで圧縮し、世界初めてダブルデッカーフェムト秒電子ビーム加速器の開発に成功した。圧縮された一番目の電子パルスを光に変換して分析光パルスとして利用し、励起パルスとしては、次の電子パルスを利用する。ダブル電子パルスは同じレーザーパルスから生成されるため、分析パルスと励起パルスの時間ジッターが最小限に抑えられる。

参考文献

- [1] 加藤龍好、他、“阪大産研Lバンド電子ライナックの現状と改良”、本学会発表、WP74。
- [2] 楊金峰、他、“阪大産研フォトカソードRF電子銃ライナックの現状”、本学会発表、WO15。
- [3] 柏木茂、他、“低エネルギー・大電荷量電子ビーム用ワイヤースキャナーの開発”、本学会発表、TP30。