

阪大・産研・電子ライナックの現状

田川 精一¹、加藤 龍好、楊 金峰、山本 保、菅田 義英、古澤 孝弘、柏木 茂、
木村 徳雄、吉田 陽一、磯山 悟朗
大阪大学産業科学研究所
〒567-0047 大阪府茨木市美穂ヶ丘8-1

概要

平成14年度はこれまで電子ライナックを維持管理してきた放射線実験所が、新たに加速器量子ビーム実験室として再スタートした最初の年であると共に、ナノテクノロジー研究をより推進するために、電子ライナックの高性能化や新たな電子ライナックの設置が行われた年となった。本稿では平成14年度に行われた共同利用の状況、保守状況、これまで共同利用に供してきたLバンドライナックの改良点、また、新たに設置が認められた、レーザーフォトカソードRFガンを備えたSバンドライナックについて概要を述べる。

1. はじめに

阪大・産研では平成14年度に新たに産業科学ナノテクノロジーセンターが設置された。これに伴い、放射線実験所が廃止され、放射線実験所が有していたLバンド、Sバンドの2台の電子ライナック（以下ではライナック）も他の装置と同様、産研附属産業科学ナノテクノロジーセンター加速器量子ビーム実験室の装置となり、加速器量子ビーム実験室員により運転、保守・管理されている。ライナックを用いた研究に関しては、これまでの歴史的な経緯も踏まえ、テーマを加速器量子ビーム実験室内だけに限らず、これ以外からも受け入れ、共同利用を行うこととし、その実質的な世話を加速器量子ビーム実験室員が行っている^[1]。

ライナックを用いた研究、特に電子ビームに誘起される反応に関する研究は、電子線を使った極微プロセスを研究する上で非常に重要である。このため平成14年度はナノテクノロジー関連の研究をより一層発展させる目的で、ライナックの改良や新しいライナックの設置が認められ、ライナックの高性能化が行われた。このため、平成14年度は電子ライナックを用いた共同利用は前半で終了し、その後は装置の建設に伴う作業を行った。

以下ではライナックの現状報告と、Lバンドライナックにおける改造の概要、新たに設置されたレーザーフォトカソードRFガンを備えたSバンドライナックについて紹介する。

2. 電子ライナックの利用状況・保守

2.1 Lバンドライナックの利用状況

平成14年度におけるLバンドライナックの運転、保守の状況に関し、月別、モード別に表したものを図1に示す。Lバンドライナックは単バンチモード（FEL発振実験のためのマルチバンチモードを含む）、過度モード、定常モードの3種類の運転モードで利用可能であるが、平成14年度は定常モードでの利用はなかった。前期は18の一般共同利用課題と7つの特別共同利用が採択され、保守作業の20シフトを含む117シフトが配分された。後期は次節で述べる改修工事のため、利用が10月のみに制限され、使用可能なモードも過度モードのみとなった。工事作業と並行しての利用となるため新規の利用は募集せず、限られた条件下で利用可能な13の一般共同利用課題と1つの特別共同利用が採択され、保守作業の6シフトを含む19シフトが配分された。1年間の運転日数は110日、通算の運転時間はおよそ1500時間程度であった。

Sバンドライナックについては、11月まで運転を行い、装置の故障、実験時間の制約等で実際に運転した時間は約250時間であり、すべて陽電子関連実験に利用された。

2.2 保守および故障の状況

Lバンドライナックについて、平成14年度は定期的な保守作業を月に2日程度行い、夏季には長期の保守を行った。長期の保守期間中には、ライナック全体の整備点検と劣化した電子銃陰極の交換と立ち上げ作業を行った。故障としては、落雷による瞬時停電のため、5 MWクライストロンに電力を供給しているAVRシステムが停止したことと、電磁石電流

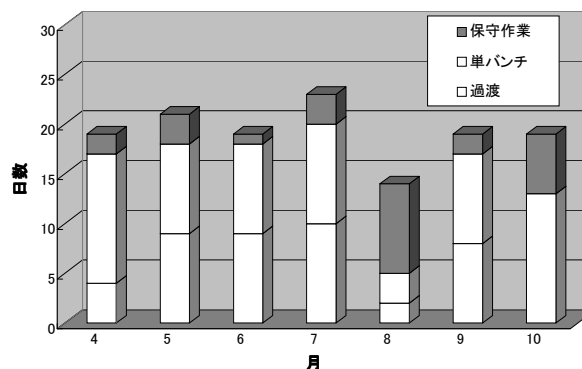


図1 平成14年度Lバンドライナック月別運転日数

¹ E-mail: tagawa@sanken.osaka-u.ac.jp

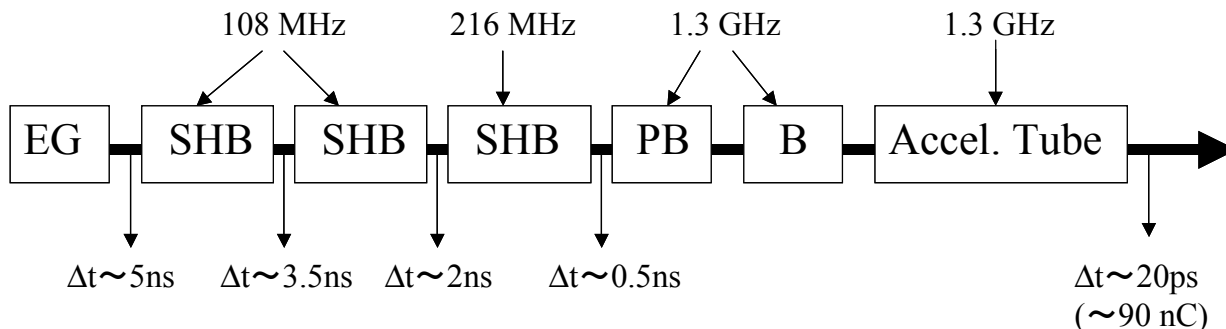


図2 Lバンドライナックのブロック図

の閾値を読み取っているIC回路が不調になり、照射室の選択ができなくなったことなどが挙げられる。いずれも、1~2日で復旧し、共同利用のためのマシンタイムに大きな影響は無かった。

Sバンドライナックにおいては、RF出力の減少がみられ、不良箇所を探した結果、クライストロンにRFを供給するクライストロンパルサー内のモジュレーターの部品である4極管(4PR1000A)が原因であることがわかった。これの予備品がなかったためKEKからお借りし実験を再開した。

3. Lバンド電子ライナックの高性能化

産業科学ナノテクノロジーセンターにおけるナノテクノロジー関連の研究を推進するために、Lバンドライナックを改修する予算が認められ、高性能化のための改造が行われた。Lバンドライナックのブロック図を図2に示す。改造の主な目的は、フェムト秒の時間領域で起きる超高速現象を解明するためにライナックの動作を高度に安定化し、高い精度で再現することである。そのため、これまで用いていた20 MWと5 MWの2台のクライストロン装置を廃し、新たに導入された30 MWクライストロンと高安定なパルスモジュレータにRF源を1本化した。これに伴い、RF電力伝送路に、パンチャー系(PB, B)へRF電力を分岐・制御するための電力分割器と可変減衰器を追加した。また、これまでサブハーモニックパンチャー(SHB)は、電源から供給されるRF電力のパルス長が短いため、空洞内の加速電場が安定な領域で使用することができなかったため、このSHB電源を長パルス電力が供給できるものに更新した。さらに、これらRF電力を受ける加速空洞に温度安定度 ± 0.03 という高安定な冷却水を供給できる新しい冷却水システムを導入した。また、これら更新機器を統括制御するために、産業分野で実績のあるプログラマブル・ロジック・コントローラ(PLC)を主体とした計算機制御システムの一部を導入した。また電磁石電源類やプリパンチャー系の可変減衰器と位相器、計算機制御システムと同じPLCをベースにしたライナック施設の安全系インターロックシステムなどを更新した。

4. レーザーフォトカソードRF電子銃を用いたSバンド電子ライナック

4.1 概要

パルスラジオリシスにおける時間分解能の向上と利用実験の拡大を目指してレーザーフォトカソードRF電子銃と新しいSバンドライナックを導入した。クライストロンはこれまでと同じPV3035(三菱電機)で、RF電力伝送路も一部従来のSバンドライナックと共用しており、運転はこれまで陽電子発生用に利用されてきたSバンドライナックと、利用時に切り替えて行う。新たに設置したSバンドライナックを図3に示す。

レーザーフォトカソードRF電子銃から発生した低エミッタンス電子線パルスをRF電子銃下流に設置されたライナックのRF位相を調整することによってエネルギーモジュレーション化し、最後に磁気パルス圧縮法を用いてフェムト秒までパルス圧縮する。本装置では、従来のL-バンドライナックを比べ、本システムでは電子線パルス長が数十フェムト秒までに圧縮でき、低エミッタンスのため高輝度になるため、高S/N光吸収分光の実現が期待できる。またパルスラジオリシスの性能向上のために、電子線パルスの発生、加速および圧縮を高精度で制御する必要がある。このため高速PLCを用いた制御システムを導入した。また、冷却水システムとクライストロンシステムを安定化するための改善も行った。

4.2 電子銃部

電子銃には住友重機械製のBNL-GunVIタイプのレーザーフォトカソードを用いている。この加速空洞はS-バンドの1.6セルと採用され、電子発生用のフォトカソードの材質は無酸素銅である。フォトカソードの光源としては、全固体ピコ秒レーザーを用いた。本RF電子銃では、レーザー入射角度 70° の入射ポートが取り付けられているが、レーザー光をそのままに入射するとカソード面でのレーザー光形状が楕円になり、発生した電子ビームの形状も楕円

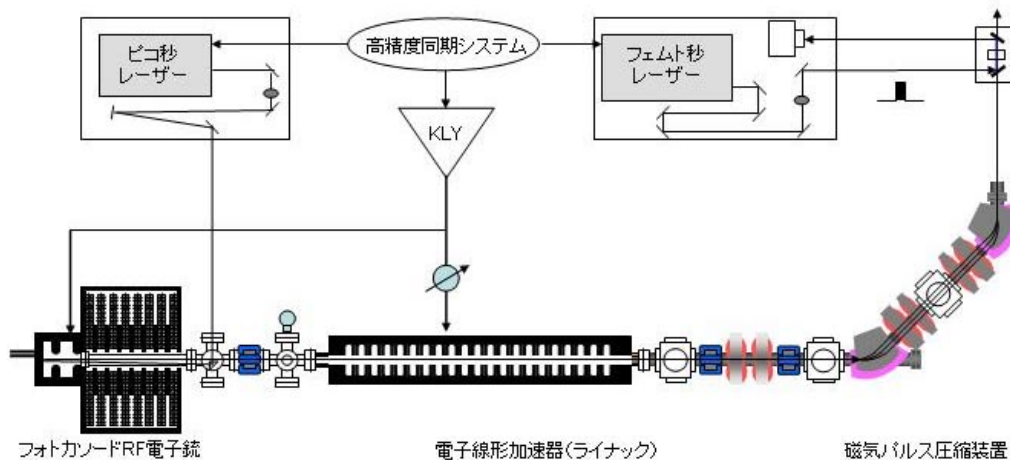


図3 レーザーフォトカソードRF電子銃を用いたフェムト秒ライナックとパルスラジオリシス

になり、エミッタンス増大の原因になる。そのエミッタンス増大を避けるために、本システムではRF電子銃下流の真空チェンバーに光反射用のプリズムを設置し、図3に示すようなカソード面に対して垂直のレーザー照射方法を採用した。

4.3 加速管部

加速管は三菱重工製の長さ2 mのS-バンド進行波型を採用した。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25 MWと10 MWであり、RFパルス幅は4 μ sとなっている。運転繰り返しは10 Hzである。電子加速エネルギーは最大20 MeVである。RFの位相調整は、ハイパワーRF伝送ラインに取り付けたフェーズシフターを用いて行う。そのRF位相調整により電子パルスがエネルギーモジュレーション化される。電子ビームを安定化させるためには、クライストロンのRF出力を安定化させる必要がある。そのため、本クライストロンのパルス電源には、PFNを10段にし、充電電源を安定化させることにより出力パルス電圧の安定度を0.2 %以内に抑えた。

4.4 パルス圧縮部

電子パルス圧縮は、45°偏向磁石2台と四極電磁石4台と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(図3)。これまで磁気パルス圧縮法を用いてL-バンドライナックから発生した電子パルス圧縮実験を行った結果では、-バンドライナッ

クから発生したエネルギー19.1 MeV、規格化エミッタンス100 mm-mrad、パルス幅6.6 psの電子パルスを850 fsが得られているが^[2]、本システムでは、レーザーフォトカソードRF電子銃を利用しているため、L-バンドライナックに比べてビームのエミッタンスが1/100まで改善でき、シミュレーション結果からは電子パルスの圧縮を数十フェムト秒まで可能であることが示された。

5. まとめ

平成14年度はLバンドライナックの高性能化が認められ、冷却水や電源部等が高性能のものに更新された。これによりパルス安定度が改善され、データの収集に大きく寄与するものと期待される。また、新たにレーザーフォトカソードRFガンを備えたSバンドライナックも設置され、これまで以上の超高速反応過程も研究できる環境となった。これらを用いた本格的な研究は本年度から行われる予定であり、多くの成果が得られるものと期待される。

参考文献

- [1] Y. Yoshida, et al., “阪大産研Lバンド及びSバンドライナックの現状”, Proceedings of the 27th Linear Accelerator Meeting in Japan, Kyoto, Aug. 7-9, 2002.
- [2] T. Kozawa, Y. Mizutani, K. Yokoyama, S. Okuda, Y. Yoshida and S. Tagawa, “Measurement of Far-Infrared Subpicosecond Coherent Radiation for Pulse Radiolysis”, Nucl. Instrum. Meth., A429 (1999) 471-475.