

## 阪大産研電子ライナックの現状

田川精一、加藤龍好、柏木茂、楊金峰、古澤孝弘、関修平、佐伯昭紀、山本保、  
末峰昌二、菅田義英、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

阪大産研ではここ数年で、量子ビーム科学研究を行う組織、設備、施設の拡充整備が行われ、量子ビームによる研究を行う環境整備が進んでいる。量子ビーム科学研究部門という研究組織と放射線実験所という研究支援組織で行ってきた量子ビーム科学関連の研究は量子ビーム科学研究部門とナノ量子ビーム科学部門の2研究部門と加速器量子ビーム実験室という支援組織の連携体制で行うこととなった。量子ビーム発生源、量子ビームを用いた測定系、量子ビームを用いた超微細加工設備などの量子ビーム関係の研究設備の充実も進行中である。また、空調、冷却水、クリーンルームなどの研究施設関連の設備の充実も進んだ。

産研における量子ビーム設備の全体像は常設のポスターで紹介するが、本稿では量子ビーム発生源の中の電子ライナック本体に絞って、平成14年度に行われた共同利用の状況、保守状況、平成14年度から15年度にかけて行っているLバンドライナックの改良と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。これらの整備により、量子ビーム科学の研究の飛躍とナノテクノロジー関連研究が更に進展することが期待されている。

### 1. はじめに

阪大産研ではここ数年で、量子ビーム科学研究を行う組織、設備、施設の拡充整備が進み、量子ビームによる研究を行う環境整備が進んでいる。

平成14年度に放射線実験所と高次インターマテリアル研究センターは発展的に解消して、新たに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が設置された。これまで2台の電子ライナックとコバルト60線源などを維持管理してきた研究支援組織の放射線実験所は、産業科学ナノテクノロジーセンターのナノ量子ビーム科学部門(3分野構成)という研究部門となった。加速器の維持管理はナノ量子ビーム科学部門(2分野)と量子ビーム科学研究部門(3分野)の2部門の全職員と他の2研究部門の2分野からの応援を得て、加速器量子ビーム実験室という組織で行うこととなった。

量子ビーム発生源、量子ビームを用いた測定系、量子ビームを用いた超微細加工設備などの量子ビーム関係の研究設備や空調、冷却水、クリーンルームなどの研究施設関連の設備の充実もここ数年で大きく進んだ。量子ビーム発生源としては加速器、電子線露光装置、収束イオンビーム、陽電子源、レーザーなどの整備が進んでいる。特に、加速器ではLバンド電子ライナックの高性能化やRF電子銃を持つSバンド電子ライナックの設置が認められ、前年度から今年度にかけて装置の改良・製作

を行ってきた。

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、ライナックという)は、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加速器量子ビーム実験室の装置となり、現在、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テーマも、ナノテクノロジー(広い意味での)関連研究が主となり、ナノ量子ビーム科学部門、量子ビーム科学研究部門、加速器量子ビーム実験室が中心となって行っている。共同利用も歴史的な経緯も踏まえて行うことになっており、加速器量子ビーム実験室員と連携して行うことになる[1]。

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、Lバンド電子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Lバンド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。Sバンド電子ライナックも現在設置されている部屋に、新たにRFガン付Sバンドライナックを設置する都合上、Lバンド電子ライナックと同様、前半で運転を停止し、後半はクライストロンの移動や新たなライナックの設置作業に入った。

以下では2台の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. 電子ライナックの状況

#### 2.1 Lバンド電子ライナック

Lバンドライナックには電子ビームのパルス幅により、定常モード、過度モード、シングルバンチモードの3つの運転モードがあり、実験に対し適当なモードを選ぶことができるようになっているが、過度モード、シングルバンチモードでの利用が主である。

装置改造前の平成13年度におけるLバンドライナックの年間運転時間は、約2300時間であり、パルスラジオリシスを用いた研究、極超短時間パルスビームの生成、及びFEL等放射光の研究に利用された。ナノ秒からピコ秒にかけてのパルスラジオリシスに関する年間共同利用件数は、32件中、25件有り、主な利用方法となっていた。中でも極超短パルスビーム生成に関しては、磁気パルス圧縮や時間補正システムの導入により、時間分解能がサブピコ秒域でのパルスラジオリシス実験が可能となり、これを用いた放射線化学初期過程に関する実験も行われるようになった。しかし、電子ビームの時間的再現性に限界があり、これ以上の分解能を得るには電子ライナックの性能向上が必要であった。平成14年度には前述した

ように、Lバンドライナックの性能向上のための改造が認められた。このため、平成14年度は前期のみ共同利用が行われ、後期からは装置の改造に着手した。このため、平成14年度に共同利用に供された運転時間は1500時間程度であり、共同利用件数は25件であった。

保守については、定期的な作業を月に2日程度行い、夏季には長期の保守を行ってきた。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個所の交換（電子銃陰極等）と立ち上げ作業を行ってきた。

## 2.2 Sバンド電子ライナック

Sバンドライナックの年間運転時間は、平成13年度は約1100時間であり、平成14年度は後述するように、RF電子銃付Sバンドライナックの設置工事があったこと、及び故障により、約250時間であった。Sバンド電子ライナックは、これまで運転時間の殆どが低速陽電子の発生に利用されてきた。

Sバンド電子ライナックで生成される陽電子ビームは、電子ビームと同様に、パルス幅約 $2\mu s$ 、繰返し $30Hz$ のパルスビームであるが、陽電子ビームの主たる利用が陽電子寿命測定であるため、一度蓄積した後再びパルス化し短パルスビームを得ている。このときの仕様は、時間分解能約 $290 ps$ 、係数率は約1000である。このパルス陽電子ビームを用いて、ポリスチレン誘導体薄膜でのポジトロニウム消滅過程に関する研究や、LB膜の構造評価など、主として高分子材料における自由体積に関する研究に利用されてきている。

保守に関連しては、毎年数箇所の故障が生じているが、Lバンド電子ライナックと違い、共同利用が限られているため、定期的な保守作業は行わずに、故障の都度修理し、実験を行ってきた。

## 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1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

まで用いてきた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、バンチャー系(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バンチャー(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 $\pm 0.03\text{ }^\circ\text{C}$ 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バ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 はじめに

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く。新たに設置したSバンドライナックを図2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

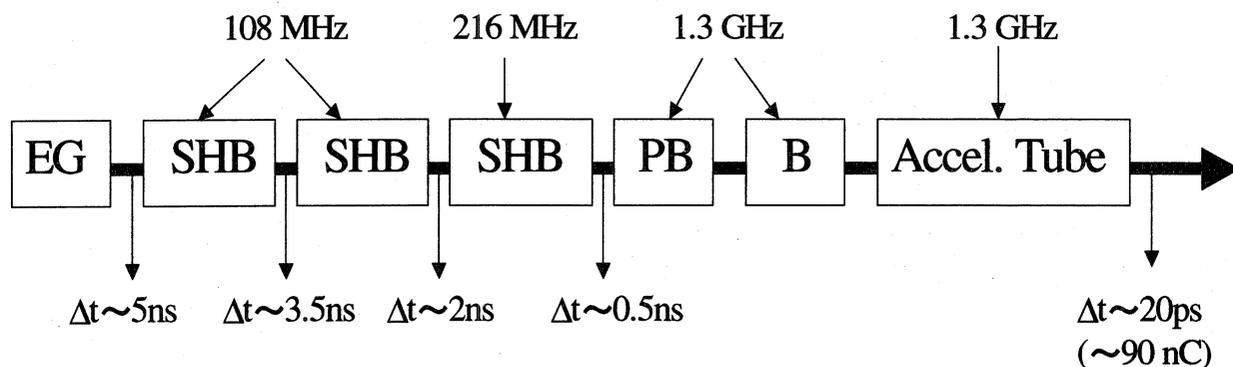


図1 Lバンドライナックのブロック図

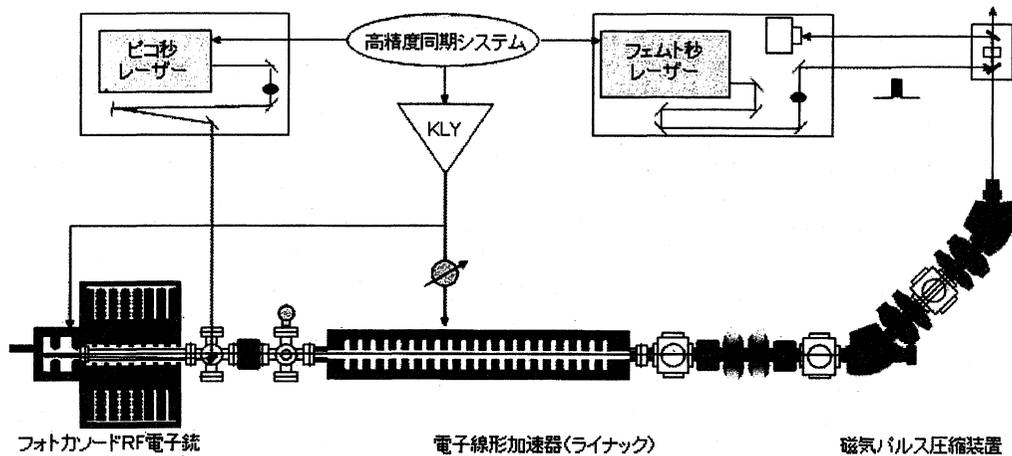


図2 レーザーフォトカソードRF電子銃を用いたフェムト秒ライナックとパルスラジオリシス

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 $70^\circ$ 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2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  $\mu$ 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、 $45^\circ$  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2)。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、 $\pi$ -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。これらを用いた利用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 27<sup>th</sup> 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.