

## PRESENT STATUS OF THE ELECTRON LINACS IN ISIR, OSAKA UNIVERSITY

G.Isoyama<sup>1,A)</sup>, R.Kato<sup>A)</sup>, S.Kashiwagi<sup>A)</sup>, J.Yang<sup>A)</sup>, T. Kondo, T.Yamamoto<sup>A)</sup>, Y.Honda<sup>A)</sup>, N.Kimura<sup>A)</sup>, T.Kozawa<sup>A)</sup>,  
S.Seki<sup>A)</sup>, A.Saeki<sup>A)</sup>, Y.Yoshida<sup>A)</sup>, S.Tagawa<sup>A)</sup>, S.Suemine<sup>B)</sup>

<sup>A)</sup>The Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University

8-1 Mihogaoka, Ibaraki, Osaka, 567-0047

<sup>B)</sup>Unicon System Co. Ltd.

6-4-28 Misaki, Suminoe-ku, Osaka, 559-0013

### Abstract

The great improvement of L-band linac and the installation of a new RF-gun related S-band linac were started in 2002 fiscal year. So far the test operation of these linacs and conditioning of electron beams have been carried out. These processes were almost achieved in the first half of 2004 FY and the proposal relating to the several changes in linacs was authorized in the sense of radiation hazard. The collaboration was restarted from the second half of 2004 FY. RF-gun related S-band linac was started operation and very short electron pulse less than 100 fs was achieved after conditioning of the beam. The application of this beam for a new pulse radiolysis was also started.

## 阪大産研における電子ライナックの現状

### 1. はじめに

平成14年度後期に開始したLバンドライナックの大規模改修とRF電子銃ライナックの建設に引き続き、これらの加速器の改良、電子ビームの調整や性能テストを行なってきた。平成16年前期には、これらの加速器の立上げ調整は完了し、加速器の使用に必要な放射性同位元素等の使用にかかわる変更申請が認められた後、施設検査にも合格して、加速器の利用を開始した。Lバンド電子ライナックの共同利用を後期から再開した。一方、フォトカソード付Sバンドライナックに関しても、立ち上げ調整を行い、超短パルスビームの生成を試みた。また、従来から利用してきているSバンドライナックについても、立ち上げ調整を行った。

以下ではLバンドライナックに関する共同利用状況、保守状況及び作業経過と装置の現状、及び2台のSバンドライナックの現状について報告する。

### 2. 共同利用状況・保守状況

図1は、平成16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。4月、5月は試験運転とビーム調整、6月から9月は主だったユーザーに利用してもらいながらシステム全体の最終調整を行う利用試験運転で、10月から3月が共同利用運転である。後期から再開された共同利用では、22の研究課題が採択され、保守作業の15シフトを含む116シフトが配分された。今年度の利用運転日数は利用試験運転57日、共同利用運転99日であり、保守運転までを含めた通算の運転日数は181日、年間を通しての運転時間は1900時間余りであった。

また、1月～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3日間行われた。運転モードの変更は、過渡モードから過渡モード、過渡モードからマルチバンチモード、マルチバンチモードから過渡モードであった。過渡モードに変更する場合は30分程度で次のユーザーに引き渡すことができた。他方、マルチバンチモードに変更する場合には、サブハーモニックバンチャー空洞の温度が定常状態に落ち着くために3時間程度必要であることから、マシンタイムを効率良く運用するためには、空洞のウォームアップを工夫する必要があることが確認された。

Lバンドライナック改造後の不具合の中で、原因が解明されていなかったクライストロン出力の変動は、その要因が主発振器ユニットにあることがつきとめられた。新たに開発されたタイミングシステムを年度当初に導入したことで、この問題点は解決された。他の機器では、5月に

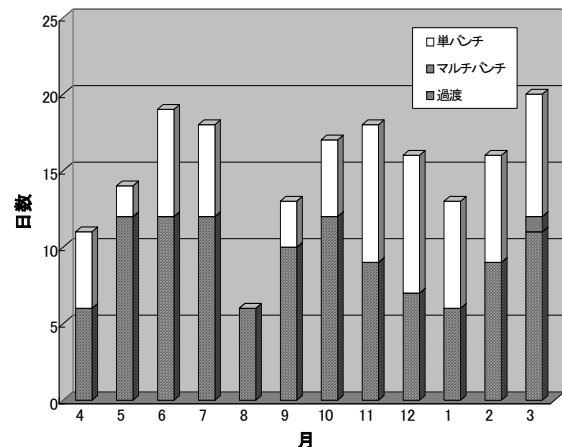


図1 平成16年度Lバンドライナック月別運転日数

<sup>1</sup> E-mail: isoyama@sanken.osaka-u.ac.jp

制御系のデータベース・サーバーのプログラムに不具合が見つかり対応が取られた。6月にクライストロン・モジュレータ電源のサイラトロン動作が不安定になり、調査したところグリッドケーブルが一部焦げているのが見つかった。冷却用FANの風量不足と考えられたため、仮設の補助FANを設置して運用している。7月に入ってサイラトロンが動作できなくなったため、予備品と交換した。10月に電子銃高圧電源に用いているAVR電源 (Behlman BL1350) が故障したため、一時的に既存の機器の組み合わせによる代替運転を行った。幸い予算手当てが認められたため、1月にはより安定度の高い電源 (Elgar CW801P) に更新することができた。また、12月には冷却水装置の冷媒漏れが起こり冷媒補充と原因調査が行われた。1日では故障箇所を特定することができなかったため、毎週冷媒補充を行いながらマシンタイムを継続した。年始の長期保守の期間に徹底的な調査を行い、漏れ箇所の特定と修理をおこなった。1月には発生装置室の空調装置が故障し、およそ3週間に渡って全館空調のみで運転となった。2月に制御基盤を交換して復旧した。これ以外の機器では、サブハーモニックバンチャー用RF源で、2号機のFAN異状による停止が1回あり、3号機では11月の真空管交換以降、RF出力の変動が観測されるようになった。FAN異状は、ブローFAN内部に製造時の束線バンドの切れ端が挟まったことが原因であった。3号機の出力変動は、様々な試験の結果、真空管側ではなく、駆動電源側にその要因のある可能が出てきたため、開発メーカーに調査を依頼している。サブハーモニックバンチャー用RF源全体での真空管交換は計7回行われた。

### 3. Lバンド電子ライナックの現状

Lバンドライナックでは、熱陰極電子銃 (Eimac, YU-156) から取り出された電子ビームが、サブハーモニックバンチャー (SHB) システムと、プリバンチャー、バンチャーを通過した後、3mの主加速管で最大エネルギー40MeVまで加速される。この電子銃から供給される電子ビームのパルス長とSHBシステムの動作状況に応じて、過渡モード、定常モード、単バンチモード、マルチバンチモードの4種類の運転モードが存在する。SHBシステムは108MHz空洞2台と216MHz空洞1台の計3台の定在波型RF空洞で構成され、それぞれ独立の真空管RFアンプ (RCA7651 + RCA7214) により励振される。出力は各々20kWで、最大パルス長は100 $\mu$ sである。プリバンチャー、バンチャー、主加速管は加速周波数1.3GHzの進行波型で、最大パルス出力30MWのクライストロン (Thales, TV-2022E) システムで発生したマイクロ波がバンチャー・プリバンチャー系 (5MW) と主加速管系 (25MW) に分割供給される。これに伴い無負荷の加速電圧は最大37MeVから40MeVに増大した。ただし、FEL発振実験用のマルチバンチモードでは、クライストロンシステムの長パルスモード (25MW, 8 $\mu$ s) を使用するため、最大加速電圧は37MeVに抑えられる。

平成16年度はライナック改造後のビーム調整と並行して開発を進めてきたタイミングシステムの導入を行った。

新しいタイミングシステムは、スタンダードなNIMモジュールやデジタルディレイを組み合わせて用いる事で、自由度が高くかつ高精度のシステムを安価に実現している。また、RF発振器のタイムベースにルビジウム原子時計を用いることで、1.3GHzの基準RF信号を極めて安定に発生させ、システム全体の安定化を図っている。旧システムでは、54MHzの発振器からの信号を2分周して、27MHzをつくり、RF系とレーザーの同期のための基準信号としていた。この1周期である36nsがタイミング遅延の単位であった。旧システムでは回路上の問題から、電子銃とクライストロンとの間にタイミング遅延1digit分 (36ns) のジッターが存在していた (実際の測定では1~3digit分のジッターが観測された)。過度モードでは、バンチ間のエネルギー差を補正するために、フィリングタイムの途中で電子ビームを入射していたため、このジッターはそのままエネルギージッターとなっていたが、新システムではこれがなくなった。サイラトロンジッターは約1nsであり、我々が実測したクライストロン電圧波形と電子銃トリガーとの間のジッターもほぼ同程度であった。また1.3GHzの基準RF信号と電子銃トリガーとの間の時間ジッターはおおよそ5ps程度、分周された各RF信号と1.3GHz基準RF信号との位相ジッターは2ps程度であった。

図2に示すのは過渡モードでのビーム電流の時間変動である。測定は加速管出口 (図中上) と照射室ビームポート (図中下) のコアモニターで行った。サンプリングは0.5秒に1回で、測定時間は4,500秒である。それぞれ平均値を100%として規格化してある。加速管出口でのビーム電流の標準偏差は0.27%で、照射室ビームポートのそれは0.39%であった。基本的に加速管出口でビーム電流を観測したときには、ビームエネルギーの変動による影響はほとんど無視できると考えられる。他方、照射室ビームポートで観測した場合、ビーム輸送系の分散があるため、エネルギー変動の影響が出てくる。したがって、この

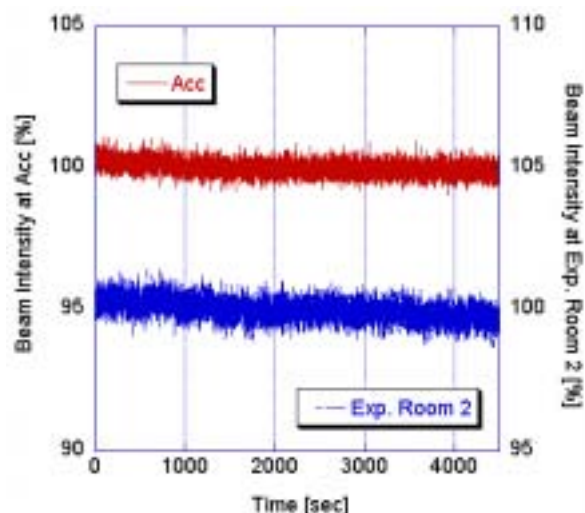


図2 過渡モードビーム電流の時間変動  
(上: 加速管出口, 下: 照射室)

0.27%と0.39%の差はビームエネルギーの変動に起因すると推測できる。また、図2にはビーム電流の時間ドリフトがみられることから、この影響を評価すると10分間当たりのドリフトは加速管出口で0.04%、照射室ビームポートで0.08%となった。これを取り除いた正味のビーム電流変動は各々0.25%と0.34%となる。照射室ビームポートでみると、全変動は±1%以内に入っており、ライナック改造前と比較してビーム電流変動幅は10分の1に減じられたことになる。単バンチモードについても同様の測定が行われ、ビーム電流変動幅は10分の1に減じられたことが確認された。ただし、単バンチモードでは10分間当たりのドリフトは加速管出口、FELビームポートともに0.8%と、過渡モードに比べて1桁大きく、正味のビーム電流変動も各々0.4%、1.0%と過渡モードの1.5～3倍となっていることから、サブハーモニックバンチャー周りにまだ改善の余地があると考えられる。

## 4. Sバンド電子ライナックの現状

### 4.1 Sバンドライナック

Sバンドライナックは現在2種類あるが、従来からの3本の加速管を使用する、代表的電子エネルギーが100 MeV の電子ライナックは、主として陽電子に関連する実験で利用されている。前年度では新たにRF電子銃付電子ライナックの設置に伴い、主なSバンドライナックの電源をライナック棟B2からB1へ移設した。これに伴いRF伝送系の延長や信号ケーブルの敷設等も付随して行われた。平成16年度は装置の立ち上げを行い、PFNの再調整、インターロックの取り直し等、装置の調整を主に行った。また、調整中に発生した問題点の改良を行った。特に問題となったのは新規に設置したRF導波管の放電であり、この対処に多くの時間が割かれ、ライナックを用いて陽電子の利用実験を行うまでには至らなかった。一方、クライストロンも1本真空劣化のためRFパワーが取れなくなり交換した。

### 4.2 フォトカソードRF電子銃付Sバンドライナック

レーザーフォトカソードRF電子銃付Sバンドライナックの構成を図3に示す。平成16年度には本装置を用いて世界最短98フェムト秒電子パルスの発生に成功した。更に、フェムト秒やアト秒の時間領域内の反応機構を解明するために、フェムト秒時間分解能のパルスラジオリシスの開発を行った。

フェムト秒・アト秒時間分解能を実現するためには、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。このため、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開発し、パルスラジオリシス時間分解能の向上に成功した。

さらに、パルスラジオリシスの時間分解能をアト秒に向上するために、レーザー分析光パルスを使わずに、フォトカソード上にレーザーを2箇所照射することで、1台のライナックでツインライナックを実現する、ダブルデッカー型加速器を開発し、世界初めて1台の加速器で上下2つのフェムト秒パルス電子線の発生にも成功した。

## 5. まとめ

Lバンド電子ライナックに関しては、多くの問題点が改善され、高品質ビームを安定にユーザーに供給できるようになり、共同利用も開始することができた。今後は単バンチビームをより安定に生成させるためのSHBの改良や、ユーザーによる加速器の運転をより簡便に行うためのソフトウェアの整備等を行っていく予定である。RF電子銃付ライナックでは、世界最短の電子パルス生成に成功した。今後はこの電子ビームを用いて、反応初期過程の研究を更に進めていく予定である。一方で、これまでのSバンドライナックを用いた陽電子生成の実験に関しても、交替で行っていく予定である。

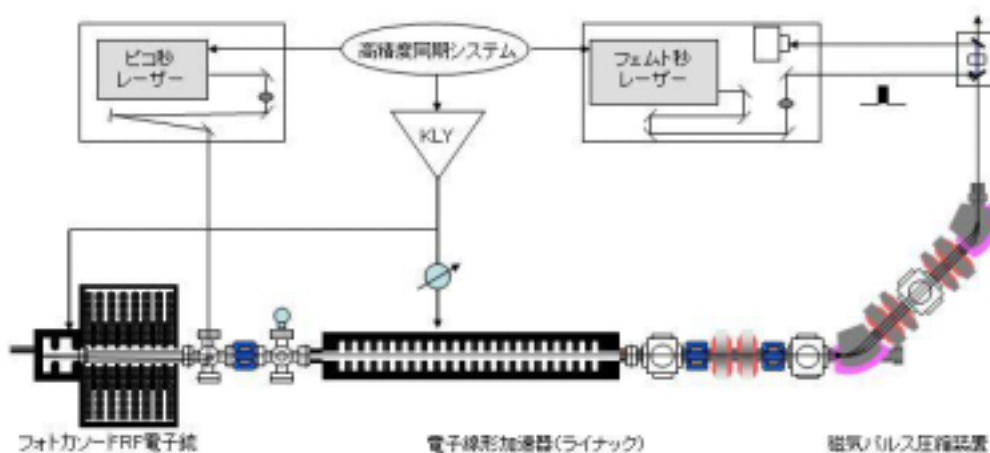


図3 SバンドフォトカソードRF電子銃ライナック