

STATUS REPORT ON THE ISIR ELECTRON LINACS IN OSAKA UNIVERSITY

G.Isoyama^{1,A)}, R.Kato^{A)}, S.Kashiwagi^{A)}, J.Yang^{A)}, T.Yamamoto^{A)}, Y.Honda^{A)}, N.Kimura^{A)}, T.Kozawa^{A)}, S.Seki^{A)},
A.Saeki^{A)}, Y.Yoshida^{A)}, S.Tagawa^{A)}, S.Suemine^{B)}

^{A)}The Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University

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

^{B)}Unicon System Co. Ltd.

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

Abstract

The improvement of the two electron linacs of ISIR in Osaka University were performed in '02 FY and a new S-band linac with laser-driven RF-gun was equipped at the time. In the last FY, the performance tests were carried out for the individual new equipments and as a whole system, relating to the L-band electron linac and the new S-band electron linac. The current performances for these linacs are reported.

阪大・産研・電子ライナックの現状

1. はじめに

阪大産研では平成14年度に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、ライナックに関連する組織の改組が行われ、装置に関しても、Lバンド、Sバンド電子ライナックが改良され、更にフォトカソード付きRF電子銃を備えたSバンドライナックが設置された。

Lバンドライナックに関しては、高品質でかつ極めて安定な電子ビームを各ビーム利用実験に供給するため、クライストロン及びクライストロン・モジュレータ、サブハーモニック・バンチャー用RF源、冷却水システム、電磁石電源など、加速器を安定化させるための機器更新が行なわれ、プログラマブル・ロジック・コントローラー (PLC) とパーソナル・コンピュータ (PC) を主体とした計算機制御システムが導入された。これによりユーザーによる加速器の運転も将来可能となる事が期待される。また、これらの更新された機器を安定に精度よく動作させるため、及びユーザーの幅広い要求にこたえるためにタイミング・システムの更新も行われた^[1]。

Sバンドライナックは、これまで主として低速陽電子ビーム生成に利用されてきた。前述したように、今回新たにフォトカソード・RF電子銃付きSバンド電子ライナック (以下、RF電子銃ライナックと呼ぶ) の設置が認められ、これを従来のSバンドライナックと併置する作業が行われた。RF電源としてはRF電子銃ライナック用に1台分設置することになったが、スペースの問題等から、新たに1台設置せずに、従来使用してきたRF電源の1台を更新することにした。またRF電子銃ライナックを利用したパルスラジオリシス実験では、レーザーが必要となるため、従来Sバンドライナック用RF電源系 (クライストロン、モジュレーター等) が設置してあった、地下2

階の加速器室に隣接する部屋をレーザー用の部屋とし、RF電源系を地下1階の部屋に移設した。現在の電子ライナックの設置場所を図1に示す。

以下ではLバンドライナックの作業経過と現状、及び新たに設置されたRF電子銃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の現状

平成14年度末までに主要な機器の納入設置が終了し、旧制御系を用いて試験運転が行われた。平成15年度は5月に老朽化した配線類を撤去し、6~7月で新しい制御系の構築を行った。8~9月で初期試験運転と制御ソフトウェアの修正を行い、10月から本格的な試験運転を開始した。12月には制御系のデータベース・システムが稼動を開始し、機器の不具合の発見に利用されている。この試験運転中に発見された深刻な不具合はバンチャー系立体回路での放電とクライストロン出力の異常変動である。前者は、運転中にRF波形モニターで放電が確認され、エージングを行っても状態が改善しないことから、立体回路を分解して放電箇所を特定した。バンチャー系立体回路内の2台の90度ツイスト、プリバンチャー用方向性結合器、バンチャー位相器に放電痕が確認され、ツイストとプリバンチャー用方向性結合器には放電対策が施され、バンチャー位相器は今回の夏期シャットダウン中に更新作業を行う予定である。後者は、クライストロン電圧や入力RFには変動が見られないにもかかわらず、RF出力波形が小さな放電の場合のように変動するものである。この現象は無負荷 (加速管を切り離してダミーロードに接続した) 状態でも確認され、負荷側を接続すると一桁以上この変動が大きくなる。源信箇所特定のために、数ヶ月に及ぶ検証試験を行ってきたが、

¹ E-mail: isoyama@sanken.osaka-u.ac.jp

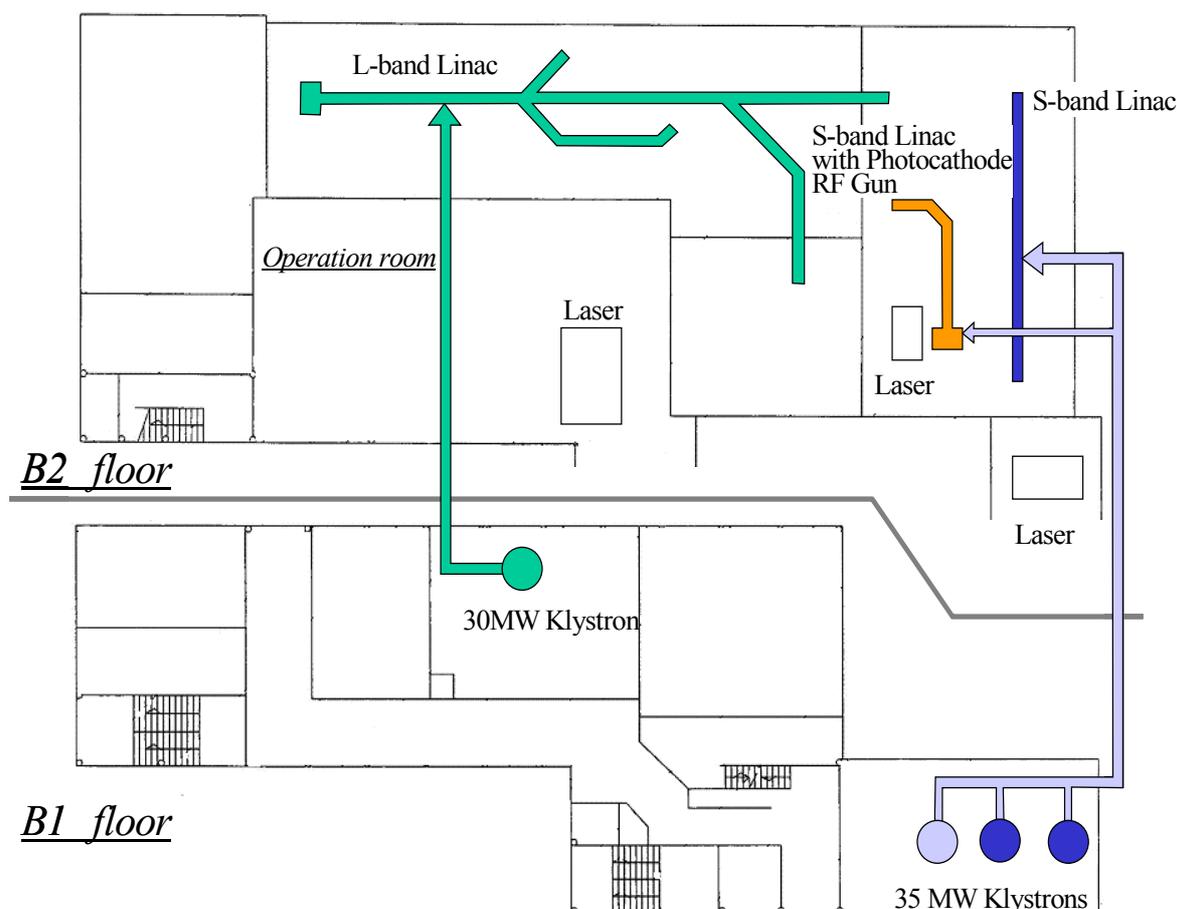


図1 阪大産研における電子ライナック配置図

最終的には新しいタイミング系の試験のときに、旧システムの主発振器とその逡倍回路ユニットが原因であることが特定された。また、この新しいタイミング系を導入したことにより、クライストロンのRF出力パルスと電子ビームとの間のジッターはこれまでの100nsから数nsまで減じられ電子ビームのエネルギー変動は格段に安定化した。当初目標としたクライストロン・モジュレータのパルス毎の出力変動0.1%は、充電電圧のモニター回路の見直しにより、ほぼ達成された。パルス内の電圧変動は試験的な回路で、Long Pulseモード8 μ s内の5.5 μ sで0.1%を実現した。常にその値を実現するには回路の配置等の再検討が必要である。現在は10月からの共同利用運転再開を目指して、ビーム調整を進めながら、実験グループと利用系まで含めた試験運転を行い、残された不具合の解決と性能評価を行っている。

3. フォトカソード・RF電子銃付Sバンド電子ライナック

本ライナックではフェムト秒からアト秒を目指した電子線パルスを発生させることを目的としており、

RF電源系や冷却システムの高精度化、高安定化が必要となる。このため、クライストロンのパルス電源には、PFNを10段に採用し、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。RF電子銃とライナックの温度安定化については、高精度冷却装置を導入した。加速空洞の温度制御を0.1%以内に抑えた。

本ライナックの主たる用途である、パルスラジオリシスは^[2]、量子ビーム誘起による初期反応や超高速現象の解明にとって最も重要な手段の一つである。現在、パルスラジオリシスの時間分解能がサブピコ秒領域までに到達しており、放射線初期過程に関する重要な知見が得られている。現在はフェムト秒領域の反応の時間情報からナノ空間における反応活性種の位置情報を得るために、フェムト秒時間分解能を有するパルスラジオリシスの開発が行われている。

本ライナックを用いるシステムでは、低エミッタンス電子ビームの発生には、1.6セルの加速空洞で構成された最先端SバンドフォトカソードRF電子銃が採用されている。電子発生用の光カソードの材質は無酸素銅が用いられている。光カソードの光源としては、全固体ピコ秒レーザーを用いた。本レー

ザーは、モードロックNd:YLF発振器、再生増幅器と波長変換器により構成される。発振器の周波数は、電子線発生と加速用の2856MHzRFを1/36に分周した79.3MHzRFと位相ロックされている。再生増幅器から出力エネルギー3mJまで増幅された光パルスは、非線形結晶によって4倍波(262nm)を発生し、カソードに照射される。RF電子銃から発生した電子ビームのエネルギー(4MeV)が低いいため、ビーム輸送中空荷効果によるエミッタンスの増大を生じる。これに対しては、電子銃出口にソレノイド磁石を取り付けられ、ソレノイド磁場強度を最適化し、空間電荷効果によるエミッタンスの増大を補正している。

電子ビーム加速用のライナックは、長さ2mのS-バンド進行波型ライナックを採用している。ライナックと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。ライナックと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、運転繰り返しは10Hzである。ライナックのRF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によって行う。ライナックでは、電子ビームを加速するとともに、RF位相調整により電子パルスがエネルギー変調される。

フェムト秒電子パルス発生には、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いる。すなわち、ライナックでエネルギー変調された電子パルスが磁気パルス圧縮システムを通過させることによってエネルギー違い電子の軌道長の差を利用してパルスを圧縮する。磁気パルス圧縮法によって圧縮されたパルスの幅は、入力ビームのエミッタンスとエネルギー分散に依存している。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、ビームのエミッタンスが1 mm-mradまで到達でき、シミュレーションにより本システムでは電子パルスの圧縮は数十フェムト秒まで可能である。

フェムト秒パルスラジオリシスの分析光としては、チタンサファイアレーザーから発生したフェムト秒光パルスを用いている。このレーザーは、チタンサファイアレーザー発振器、パルスセレクタと再生増幅器から構成されている。発振器の周波数は、RF電子銃用レーザーと同様に電子線加速用の2856MHzのRFを1/36に分周した79.3MHzRFと高精度で

同期されている。また、再生増幅器の下流側にOPOを取り付け、出力パルス波長が可変となっており、異なった波長での過渡吸収の測定が可能となる。電子線パルスとレーザーパルス間の時間ジッターによる時間分解能の劣化に対しては、従来開発したフェムト秒ストリークカメラを用いた時間ジッター補正法を取り込んだ。

平成15年度は、S-バンドレーザーフォトカソードRF電子銃ライナック、パルスラジオリシス用のフェムト秒レーザーシステム、電子ビーム測定系を構築し、動作確認を行った。また、フェムト秒ストリークカメラを用いた電子パルスとレーザー光パルス間の時間ジッター補正法、斜め入射法の検討を行った。シミュレーションを用いて、電子線パルス長(時間幅)をより縮小するためのパラメータサーベイも行っているところである。

4. まとめ

Lバンド電子ライナックに関しては、主要部分の機器更新が行われ、平成15年度はこれらの調整や装置全体としての不安定個所の特定や故障の修復に多くの時間が費やされた。現在ではこれらの不安定要因もほぼ取り除かれ、10月からの共同利用開始に向け、準備を行っているところである。一方、Sバンド電子ライナックについては、RF電子銃付ライナックが新たに設置され、これに伴う電源の移設や立ち上げを中心に作業を行った。現在では変更承認申請も承認され、本格的実験を開始するところまで来ている。今後は陽電子の実験とパルスラジオリシスの実験とを、交替で行う予定である。

参考文献

- [1]加藤龍好他, "阪大産研Lバンドライナックの改造と性能評価", Proceedings of 28th Linear Accelerator Meeting in Japan, Tokai, Jul.30-Aug.1, 2003.
- [2]楊金峰他, "フォトカソードRF電子銃を用いたフェムト秒電子パルスの発生とパルスラジオリシス", Proceedings of 28th Linear Accelerator Meeting in Japan, Tokai, Jul.30-Aug.1, 2003.