

UPGRADE OF THE ISIR L-BAND LINAC AT OSAKA UNIVERSITY AND STABILIZATION OF THE ELECTRON BEAM

R.Kato^{1,A)}, S.Kashiwagi^{A)}, T.Yamamoto^{A)}, S.Suemine^{A)}, G.Isoyama^{A)}

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

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

Abstract

The L-band electron linac at the Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University has been extensively remodeled to realize high operational stability and reproducibility for advanced studies in beam science and technology. Almost all the peripheral components are replaced with new ones. The modification of the linac has been completed and commissioning is now in progress. In this paper, we will report performance and characteristics of the linac after modification.

阪大産研Lバンドライナックの改造とビーム安定化

1. はじめに

大阪大学産業科学研究所（以下、阪大産研）のLバンド電子ライナックは、2002年11月から2003年3月にかけてクライストロン及びクライストロン用モジュレータ電源、サブハーモニックバンチャー用RF源、冷却水装置、電磁石電源など、加速器を安定化させるための機器更新とが行なわれた[1][2]。これらの機器更新と合わせて、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[3]。その後、機器のエイジングと制御系のデバックを経て2003年10月から試験運転に入った。12月にはデータロギングシステムが導入され、問題点の解決に役立っている。2004年4月までに大きな問題点はほぼ解決のめどが立ったので、6月から実験系まで含めたビームの利用試験運転を開始した。本研究では、改造の概要とこれまでにを行った試験運転中のビームの安定性について報告する。

2. Lバンドライナックの性能

2.1 ライナックの概要

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、過度モード、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 μ 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のクライストロンシステムで発生したマイクロ波が分割供給される。従来、Lバンドライナックのクライストロンシステムでは、最大出力が5MW(Toshiba, E3775A)と20MW(Thomson CSF, TV-2022A)の2本のクライストロンを使用していた。改造後のシステムでは最大出力30MWのクライストロン(Thales, TV-2022E)1本から供給され、パワー分割器によりバンチャー・プリバンチャー系(5MW)と主加速管系(25MW)に分配される。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 μ s)を使用するため、最大加速電圧は37MeVに抑えられる。

2.2 クライストロンの安定度

モジュレータの高圧源はIGBTを2段2並列に用いた高周波インバータ電源であり、設定電圧近傍で充電パルス幅を変えることでより安定度の高い充電を可能にしている。パルス出力の最大電圧は25kVで、最大繰返しは60ppsである。これを用いて充電されるPFNは総数16段で、自己修復型コンデンサーを使用している。Normalモードでは前半の10段のみを、Long Pulseモードでは全16段を使用し、4 μ sと8 μ sのパルス幅を実現する。この段数切換えとインダクタンス調整は機器のタッチパネルと計算機による遠隔制御の両方から可能である。PFNはサイラトロン(e2v, CX1573C)によりスイッチされる。パルストランスは1:24の昇圧比で、最大295kV、275Aでクライストロンをドライブする。クライストロン電圧のパルス毎の出力安定度は、充電電圧のモニター位置を

¹ E-mail: kato@sanken.osaka-u.ac.jp

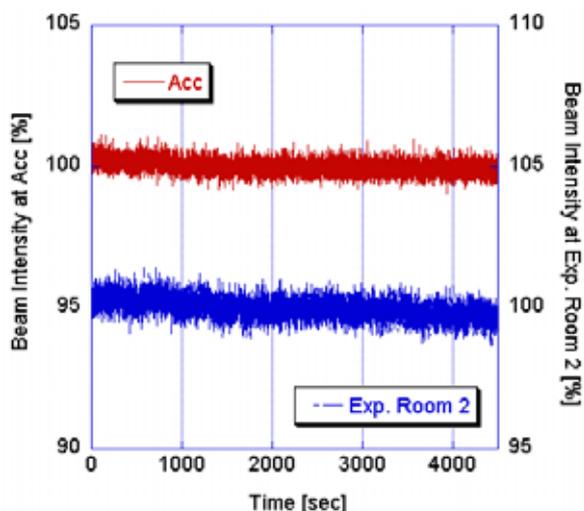


図 1 : 過度モードビーム電流の時間変動
(上 : 加速管出口、下 : 第 2 照射室)

見直すことで、仕様値であった0.1% (peak - peak) が達成された。パルス電圧の平坦度も仕様値の0.2% (peak - peak) はすでに満足されているが、これを0.1%以下にするために回路変更と調整を行っている。試験的には、スナバー回路のコンデンサ容量の見直しにより、フラットトップ5.5 μ sで0.1%の平坦度が確認できた。

2.3 トリガータイミングの安定性

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[4]。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、1.3

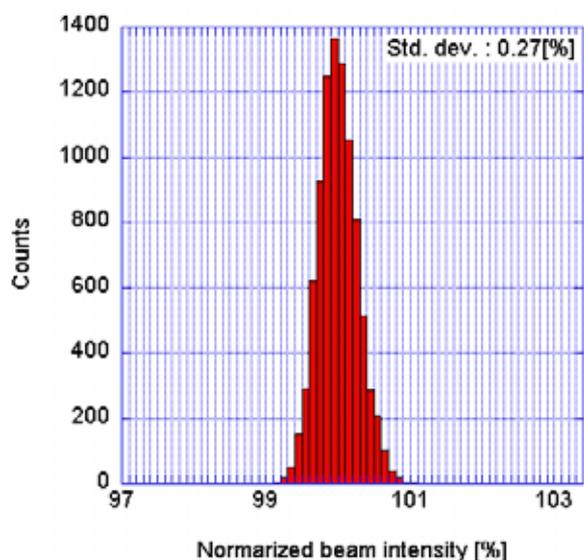


図 2 : 過度モードビーム電流の時間安定性
(加速管出口)

GHz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。このシステムは今回の改造の中でも開発要素が大きい箇所であったため、ライナックの試験運転は旧来のシステムで行い、それと並行して開発を行ってきた。しかし、旧システムに問題が生じたため、4月以降は新しいタイミングシステムに移行した。

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。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。サイクロトンのジッターは約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。

3 . ビーム安定性

3.1 過度モード

過度モードは、Lバンドライナックではユーザー利用の際に最もよく使用される運転モードの一つである。このモードではSHBシステムは使用されず、プリバンチャー、バンチャー、主加速管のみが励振される。改造後のシステムではこの3台の加速管は同じクライストロンにより駆動されるので、基準と

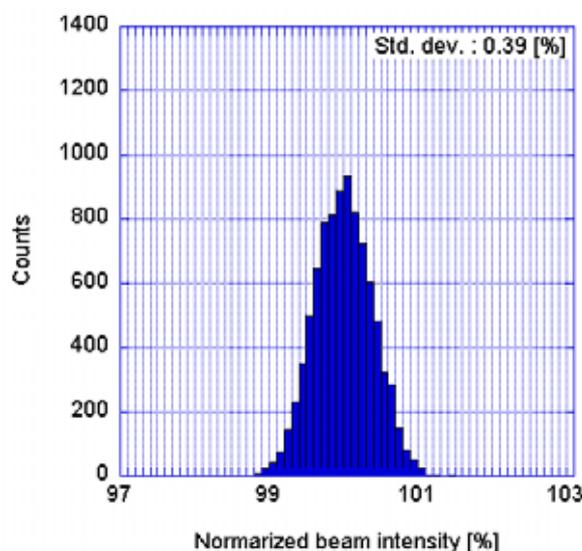


図 3 : 過度モードビーム電流の時間安定性
(第 2 照射室ビームポート)

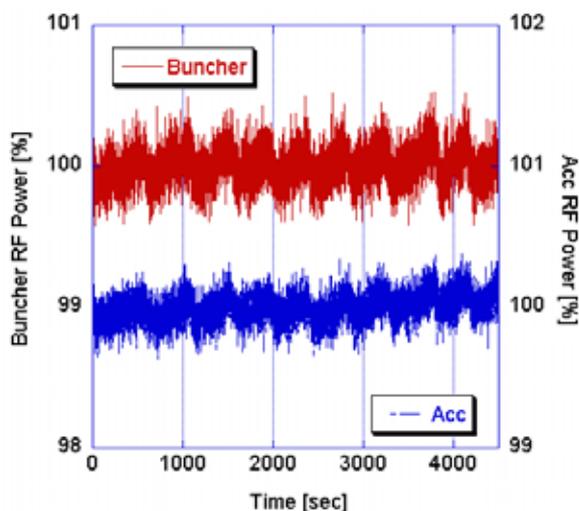


図4：過度モード時のRF出力変動
(上：バンチャー加速管、下：主加速管)

なるRF信号が1.3GHzのみとなり、位相ジッターの影響は無視しえるようになる。結果的に、短周期的なビームの安定性は、クライストロンRF出力の振幅変動に強く依存すると考えられる。長周期的なビームの安定性には、これ以外に電子銃のカソード温度のドリフト、冷却水温度や空調温度の周期変動が関わってくる。

3.2 過度モード電子ビームの安定性

図1に示すのは過度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)と第2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。図2、図3に示すのは、この9,000点の時間変動のデータから得られたビーム電流ごとの頻度分布である。加速管出口でのビーム電流の標準偏差は0.27%で、第2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、第2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、加速管出口でのビーム電流変動の原因としては、電子銃から出てくるビーム電流の変動と、RFの出力変動に起因するバンチャー加速管内での集群位相の変動が考えられる。

3.3 RF出力の安定性

ビーム変動の主たる要因として考えられるのは1.3GHz RFの変動である。RFの変動としては位相変動と出力変動が考えられるが、先に述べたように過度モードでは位相変動の影響はほとんど無視できる。そこで、ビーム電流変動と同時にRF出力の時間変動を測定した(図4)。測定点はバンチャー加速管のダミーロード側と主加速管のダミーロード側である。各々平均値を100%として規格化した。この図から得られるRF出力の時間変動は標準偏差でバンチャーが0.14%、主加速管が0.11%であった。両者の時間変動が同じような傾向を示している理由としては、1台のクライストロン出力を分割していることが考えられる。細部の違いは、バンチャー系伝送路にある可変減衰器の安定性や両加速管の温調制御が独立していることなどが原因と推測できる。

現実問題として、先に示したビーム電流やビームエネルギーの変動が、このRFの出力変動で説明し得るのかどうか、また電子銃から出てくるビーム電流の安定性がどの程度なのか、測定と検討を行っている。

4. まとめ

阪大産研のLバンドライナックは、今回の改造により、ビーム電流やビームエネルギーの安定度は格段に向上した。現在は、10月からの共同利用再開を目指して利用試験運転を行いながら、過度モード以外の運転モードについても、調整と安定性の評価を進めている。今後は、以前行っていたARモデルを用いた変動要因解析を適用できるように、冷却水や室温などの環境変数の同時測定系を再構築する予定である。

参考文献

- [1] G. Isoyama, et al., "Remodelling of the L-band Linac at ISIR, Osaka University", Proceedings of the 27th Linear Accelerator Meeting in Japan, Kyoto, Aug. 7-9, 2002, pp.115-117.
- [2] 加藤龍好, et al., "阪大産研Lバンドライナックの改造と性能評価", Proceedings of the 28th Linear Accelerator Meeting in Japan, Tokai, Jul. 30 - Aug. 1, 2003, pp.51-53.
- [3] 加藤龍好, et al., "FL-net上に構築されたPLCベースの加速器制御システム", Proceedings of the 28th Linear Accelerator Meeting in Japan, Tokai, Jul. 30 - Aug. 1, 2003, pp.461-463.
- [4] 柏木茂, et al., "阪大産研Lバンド電子ライナックのタイミングシステム", Proceedings of the 28th Linear Accelerator Meeting in Japan, Tokai, Jul. 30 - Aug. 1, 2003, pp.458-460.