

TIMING SYSTEM AND BEAM STABILITY OF THE L-BAND LINAC AT ISIR, OSAKA UNIVERSITY

S. Kashiwagi^{1,A)}, G. Isoyama^{A)}, R. Kato^{A)}, K. Kobayashi^{A)}, C. Okamoto^{A)}, S. Suemine^{A)}, T. Yamamoto^{A)},
T. Asaka^{B)}, Y. Kawashima^{B)}

^{A)} The Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University
8-1 Mihogaoka, Ibaraki, Osaka, Japan 567-0047

^{B)} Japan Synchrotron Radiation Research Institute
1-1-1 Kouto, Mikazuki-cho, Sayo-gun, Hyogo, Japan 679-5198

Abstract

The L-band linac of the timing system, klystron modulator and control system were upgrade in order to stabilize the accelerator system and improve the quality of application experiments such as FEL and pulse radiolysis. The timing system of the L-band linac is required to generate the stable and extreme small jitter trigger signal. In the timing system, a master oscillator generates 1300MHz reference signal with an atomic accuracy of a rubidium time-base and the synchronizer consists of standard NIM modules. In this conference, we introduce the timing system of the L-band linac and the preliminary results of beam stability measurement.

阪大産研Lバンドライナックタイミングシステムとビーム安定性

1. はじめに

産研Lバンドライナックでは、高強度電子ビームを用いた遠赤外領域のFEL及びSASEの原理検証実験、ナノ秒からサブピコ秒時間領域での高速物理化学反応研究を目的とするパルスラジオリシス実験など、様々なビーム利用実験が行われている^[1, 2]。一昨年度より、Lバンド加速器で生成される電子ビームの高品質化および高安定化を目的とした加速器の改修が行われている。これまでに、クライストロン及びそのパルスモジュレーター、サブハーモニックバンチャー(SHB)用RF源、冷却水システム、電磁石電源など加速器を安定化するための主要機器の更新を完了した。また加速器の制御面についても、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を導入し、加速器システム全体の高度化および信頼性の向上をはかった^[3]。

今回の改修では、加速器を安定に動作させるために大変重要な役割を果たすタイミングシステムにおいて、旧システムを一掃し、新たなシステムを導入した。産研Lバンド加速器のタイミングシステムの場合、各加速器コンポーネントとビーム利用実験系への時間精度の高いタイミング信号およびリファレンスの高周波(RF)信号を供給する必要がある。新たなタイミングシステムでは、ルビジウムタイムベースを使用し安定な加速器基準信号(1300MHz)を発生させ、その基準信号からRFコンポーネントやレーザーシステムなどで必要な分周RF信号およびクロック信号を作り出すことを行っている。そして、各実験系へのタイミング信号の分配には、市販

のデジタルディレイとNIM規格のロジックモジュールを組み合わせて使用し、高精度でかつ自由度が高いタイミングシステムの構築を行った。

今年度より、改修後の加速器試験運転と予備的なビーム利用実験が開始されている。試験運転ではビームの安定度等を測定し新タイミングシステムとの関連性などについて調査を行っている。

2. 産研Lバンドライナック

Lバンド加速器の構成とビーム発生モードについて簡単に説明する。Lバンドライナック入射部は100kV直流型熱電子銃、3台のサブハーモニックバンチャー(2台が108MHz、1台が216MHz)、プリバンチャー、バンチャー、長さ3mのLバンド主加速管で構成されている。1台のLバンドクライストロンより出力された最大30MWのRFパワーは、ハイパワー分配器を用いて、プリバンチャー、バンチャー、加速管へと供給される。電子ビームを安定にバンチ圧縮し加速するためには、これらの入射部の加速器コンポーネントへ供給される108MHz、216MHzのRF信号、さらには電子銃のグリッドに供給されるトリガーパルスの相対的な位相・時間ジッターをできる限り小さく抑える必要がある。

表1: ビーム発生モード

発生モード	SHB運転	パルス長	バンチ間隔
シングルバンチ	有	~20ps	-
過渡モード	無	5/8 ns	0.77 ns
マルチバンチ1	無	< 8 μs	0.77 ns
マルチバンチ2	有	< 8 μs	9.2 ns

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

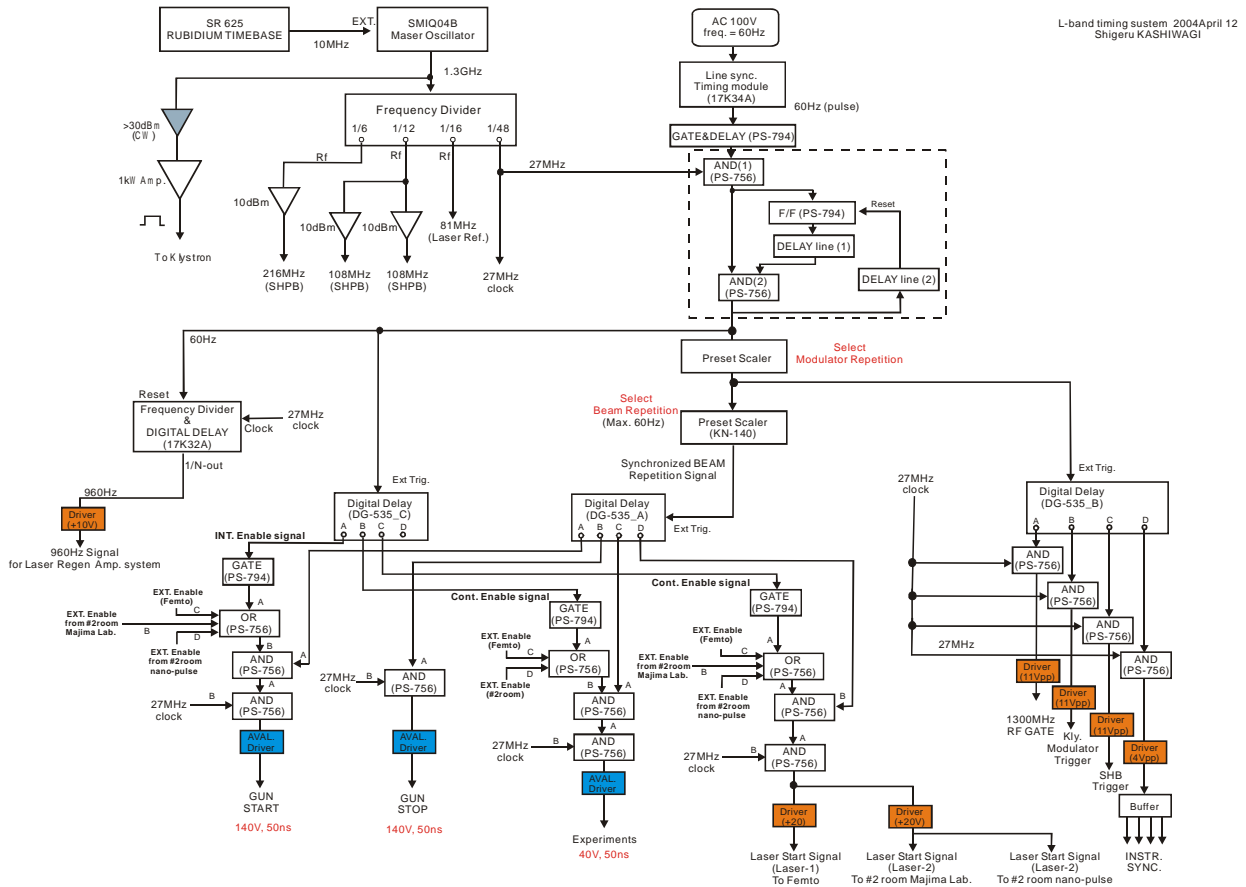


図 1 Lバンドライナックのタイミングシステム構成

電子ビーム発生モードを表 1 に示す。電子銃のグリッドに供給するパルス幅や SHB によるビーム圧縮の有無により、発生する電子ビームのパルス長およびビームパルス内の副バンチ間隔を変化させることが可能である。

3. タイミングシステム

タイミングシステムの全体構成を図1に示す。先に述べたように、ルビジウムタイムベースを用いて、絶対時間精度の高い基準信号を生成し、それを分周して加速器RFコンポーネントなどに分配する構成となっている。ビームとRF（クライストロン電源）の繰り返しを決める基準タイミング信号は、分周信号の1つである27MHzクロック信号と電源同期した60Hz 信号の同期をとる事により作り出される。この同期回路は、特別に製作したものではなく標準的なNIMモジュールにより構成されている（図1中央の点線内）。この60Hz繰り返し信号と1300MHz基準RF信号間の同期精度は標準偏差で約5psである。実際の運転でビームとRFパルスの繰り返しは、2台のプリセットスケラを使って独立に上記の同期回路出力の60Hz信号より決められる。クライストロン電源やSHBアンプへのトリガー信号は、この同期信号をデジタルディレイ(DG535:Stanford Research)を使い遅延時間を調整し分配される（図1右下）。

電子銃に送るトリガー信号とレーザーシステムや各利用実験に供給するトリガーは、InternalモードとExternalモードの2つのモードでの運転が可能である。Internalモードでは、加速器制御側で決めた繰り返しで連続的（最大60Hz）に電子ビームを発生する。また、同時に利用実験の測定系へのトリガーパルスやレーザーシステムへのパルスも連続的に出力される。Externalモードでは、各利用実験側からEnable信号を加速器制御側へ供給し、ロジック回路（Phillips 756:Quad Majority Logic Unit）を用いることで、利用実験側から電子ビームのON・OFFや実験測定系とレーザー用トリガーの出力をそれぞれ独立にコントロールする事ができる。また、これらの電子銃用、実験測定系用、レーザー用トリガーパルスの時間遅延は、DG535 とロジックモジュールを組み合わせる事により、加速器基準クロックである27MHzの1周期ステップ（37ns）で高精度に調整する事ができる。これまでに、ミリ秒オーダーの大きな遅延をかけた場合でも、遅延時間無しの場合の同期精度（約5ps）を維持できる事を確認した。タイミングシステムの最終段では、高精度に同期のとれたトリガー信号を、実際に電子銃や各実験側で必要とするレベルまでパルスを増幅する必要がある。産研Lバンド加速器で使用している電子銃の場合、140V、50nsのトリガーパルスが必要である。現在、末峰が

製作したアバランシェタイプのパルスアンプを用いて、時間ジッターの極めて小さいタイミング信号を電子銃グリッドに供給している。このアバランシェアンプ自身の持つ時間ジッターは、広帯域オシロスコープ (hp54121A, 54120B) で測定した結果、測定限界と同程度の約1ps()であった。また、この140Vパルスの立ち上がり時間は約1.6nsであった。その他の10~40V程度のレベルを必要とするトリガーパルスの場合も、末峰により製作されたアバランシェタイプおよびトランジスターアンプを使用している。これらのアンプについてもアンプ自身の持つ時間ジッターを測定し、約1psという良い結果が得られている。20V出力のアバランシェタイプアンプに関しては、パルス立ち上がり時間が約500psと大変高速である。実験系に分配されるトリガーで高い精度が必要な場合(ストリークカメラのトリガーなど)は上記の制御側からの高精度なトリガーパルスを直接使用し、その他の光学装置(シャッター、Xeランプなど)のトリガーについてはピコ秒の時間精度は必要ないため、各利用実験側でデジタルディレイを途中に入れ、計算機制御によりタイミング調整を行っている。

4. ビーム安定度測定

Lバンド加速器で生成される電子ビームの強度やエネルギーの安定度などを測定し、タイミングシステムとの関係などについて調べた。まず、加速管出口でコアモニターを用いて電荷量の測定を行った。図2に、過渡モードとシングルバンチ運転の場合のビーム強度揺らぎを示す。過渡モードよりもシングルバンチ運転の場合の方がビーム強度の揺らぎが大きい事が分かる。過渡モード運転では、3台のSHBは使わずにプリバンチャー、バンチャーでバンチ圧縮をするが、シングルバンチ生成の場合には3台のSHBとプリバンチャー、バンチャーを使いバンチ圧縮を行う。両者の加速管出口でのビーム電荷量揺らぎの差は、パルス毎のSHBによるバンチング条件(RF位相や振幅)の僅かな違いが原因の一つとして考えられる。低レベルRFでは、加速管に供給される1300MHzRFとその分周信号であるSHB用の216MHzと108MHzRFの相対的な時間ジッターは2ps以下であり、また電子銃トリガーとRF間の時間・位相揺らぎもタイミングシステムの同期精度(~5ps)程度と小さい。SHBアンプやクライストロンでの、増幅度の揺らぎから位相揺らぎ(周波数変調)などが生じている事も考えられる。シングルバンチ運転で、高速リアルサンプリングオシロを使いビーム電荷量、SHB(108MHz)と加速管ロードでのRF波形を直接観測したが、電荷量と2つのRF位相の間にははっきりとした相関はなかった。次に、ビーム位置モニターを使いビーム重心エネルギーを測定し、加速管出口でのビーム電荷量との関係を見た(図3: 5000

パルス=約50分間)。図3から、加速管出口のビーム強度が変化した場合、エネルギーも同時に変化している事が分かる(4500パルス付近)。以上の事から、ビーム安定度にはRFの位相揺らぎよりも振幅揺らぎが大きく影響していると思われる。今後引き続き、タイミングシステムを含めた加速器システム、冷却水や室温などの環境条件とビーム安定性の関係について詳しく調査を行う。

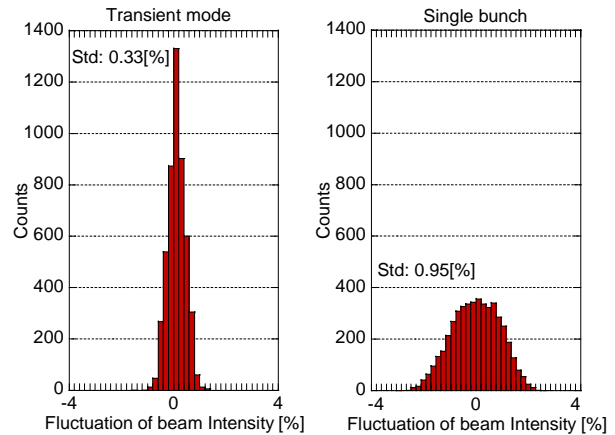


図2 加速管下流でのビーム強度揺らぎ。左: 過渡モード運転、右; シングルバンチ運転(5000パルス)

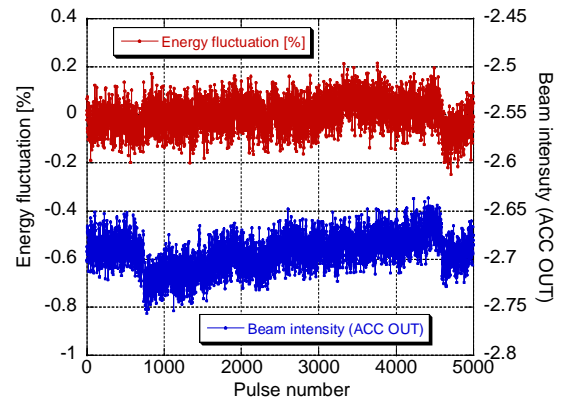


図3 ビームエネルギーと電荷量の時間変化(シングルバンチ運転)

謝辞

高輝度光科学研究センターの花木博文先生には、タイミングシステム更新にあたりご協力頂きました。阪大産研の古澤先生、関先生をはじめとするLバンド加速器共同利用の方々には、利用実験系へのタイミング信号分配に関して貴重なコメントや助言を頂きました。皆様に深く感謝致します。

参考文献

- [1] R. Kato et al., Nucl. Instrum. & Methods A483 (2002) 46-50
- [2] 古澤孝弘 他、Proc. of the 27th Linear Accelerator Meeting in Japan, Kyoto, Aug. 1-9, 2002 pp.225 (7P-37)
- [3] 加藤龍好 他、Proc. of the 28th Linear Accelerator Meeting in Japan, Ibaraki, 2003 pp.51-53 (WD-5)