

## CONSTRUCTION STATUS OF THE KEKB INJECTOR LINAC

A.Enomoto and Electron/Positron Injector Linac Group

High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305 Japan

## Abstract

The KEK/PF 2.5-GeV electron/positron linac is presently under reconstruction for the KEK B-factory project (KEKB). The third financial year has passed and upgrading of the existing 40 units was completed. This report describes the reconstruction status of existing linac, its beam test, and the construction status of expanded linac.

## KEKB 入射器建設状況

## 1. 建設の概要

KEK/PF 2.5-GeV 電子陽電子線形加速器 (以下ライナック) は、1994 年度から 5 年計画始まった B ファクトリ加速器 (KEKB) 建設で、そのエネルギーを 3.2 倍の 8GeV、陽電子の強度を従来の約 20 倍の 0.64nC/バンチに増強し、「KEKB 入射器」として生まれ変わろうとしている [1]。当然のことながら従来通り「PF 入射器」の役目も果たす。又、旧トリスタン蓄積リング (AR) は高輝度放射光利用に供する方向で検討が進んでおり、その入射器としても使用される予定である。一方、PF/AR 放射光、トリスタン入射の合間を利用して行われていた低速陽電子利用運転は 1996 年末で終了し、旧テストライナックを専用ライナックとして利用する方向での再開を考えている。

KEKB 入射器は建設第 4 年度 (1997 (H9) 年度) に入った。昨年 12 月から今年 9 月までの 9 か月間は長期シャットダウン工事中で、昨年度末までに、旧 2.5-GeV ライナック 40 ユニットの改造を基本的に完了した。その主な内容としては、高周波源の増強、入射部及び陽電子発生装置の移設・改造、ビーム輸送系の強化、モニタ、ビーム制御系の改造・強化などがあげられる。

改造の完了した既設部は、本年 1997 年 5 月の連休明けから、昨年度増強した加速ユニットを中心に高周波コンディショニングを始め、6 月 30 日から 2 週間、ビーム加速試運転を行った。

入射器のエネルギー増強は、既設ライナックに新規 17 ユニットの増設して達成する。このための増設建屋が今年度 1 月に竣工した。加速管 [2]、立体回路部品 [2]、高周波源関係の部品の製造も順調に進み、本年度から増設ライナックの建設に入った。増設部の建設と試運転は、本年度中に完了する予定である。

## 2. 既設 2.5-GeV ライナックの改造

## 2-1 大電力高周波源

高周波源の増強ではモジュレータの電力を 2 倍化し、従来の 30MW クライストロンに代えて、寸法に互換性があり、最大 50MW (4 $\mu$ s, 50pps) を出力するクライストロンを KEK で開発した。更に高周波パルス圧縮器 (SLED) を使い、ピーク電力を増幅した。これにより、1 ユニット当たりの平均加速利得は PF ライナックの 62.5MeV から 160MeV に 2.56 倍増強される。

高周波源の増強工事はモジュレータの電力 2 倍化が先行して行われ、つづいて大電力クライストロンと SLED の設置が進められた。初年度 94 年度までに 5、95 年度 7、96 年度夏、冬にそれぞれ 12 と 14、合計 38 の加速ユニットで大電力クライストロンと SLED が設置された。

入射部と陽電子発生装置のある 2 つのユニット #C7、#21 では大電力クライストロンだけが設置された。陽電子標的直後の #21 ユニットでは、陽電子ビームのデバンチを抑制し、かつ速やかにエミッタンスを減少させることが重要であり、可能な限り高電界にすることが望ましい。一方、このユニットでは、加速管が 5kG の強い磁場中で使用され、放電対策が必要である。これら両方の要求を満たすため、#21 ユニットでは SLED を使用せず、高周波パルス幅を 1 $\mu$ s に縮め、同じクライストロンで最大出力 60MW 以上を供給することにした。

## 2-2 サブブースタ

SLED の使用に伴いクライストロンドライブ系が更新された。従来は、モジュレータ電力を最大限活用する観点から、クライストロン高圧パルスよりドライブ高周波パルスのパルス幅を長くしていたが、KEKB 入射器では、出来る限りフラットで位相の揃った高周波だけ出力するため、ドライブ高周波の方を短くして、これで出力高周波のパルス幅を決めるようにした。

又、従来は 8 本のクライストロンを中間部に設置された 2 本のサブブースタクライストロンでドライブしてい

た。これに対し KEKB 入射器では、サブブースタ電源を増強し上流側の 1 本のクライストロンでドライブするように変更した。これは、ビームと加速高周波のタイミングをできるだけ揃えて、加速管に高周波パルスを充填する無駄をなくし、SLED による高周波の圧縮効率を上げるためである。出力の大きなサブブースタクライストロンは適当な市販品がなかったため KEK で設計開発したが、順調に稼働を始めた。

### 2-3 低電力高周波系及び高周波制御系

KEKB では従来と異なり、同期を正確にとるためリングと共通のマスタオシレータを持つことになった。10.38545MHz を基準周波数  $f_0$  として、ライナック加速周波数として 2856MHz ( $275f_0$ )、サブハーモニックバンチャ用として 114.24MHz ( $11f_0$ ) 及び 571.20MHz ( $55f_0$ )、リング加速周波数として 508.887MHz ( $49f_0$ ) が、571.20MHz のマスタオシレータから生成される。昨年末までに製作が完了し、信号純度が高く、各周波数間のジッタの少ない信号源が完成した。この 2856MHz を用いたビーム加速試験においても、エネルギーの安定した加速ができることを確認した。

高周波源の改造に伴い、高周波制御系の増強も進められている。KEKB 入射器では SLED 使用に伴い、従来の一桁以上のピーク電力を加速管に供給する。クライストロンへの反射対策や SLED 運転のための位相反転タイミングの精度の良い設定など、新たな制御が必要となった。又、KEKB リングへの入射ビームは、エネルギー幅、変動、ジッタなどに従来にない厳しい制限がある。エネルギーの標準偏差は従来約半分の 0.125%、リング高周波とビームのジッタは  $\pm 30\text{ps}$  以内等である。従って、KEB 入射器では高周波系の監視システムを強化することにした。新しい高周波制御・監視システムにはシーケンサ及び VXI が用いられる。既存部のモジュレータ制御は、当面従来の制御系を併用するが、増設部ではシーケンサに更新される。高周波監視システムは既存部に於ける試験が進み、増設部を含む全セクタに展開中である。

### 2-4 入射部移設と「仮入射部」の設置

ライナック本体の改造として、先ず第 1 にバンチャを含む入射部の移設がある。旧 2.5GeV ライナックの入射部は KEKB 入射器の最上流部に移設された。その後には、今秋からの PF リング入射のために、旧陽電子ライナックで用いていた入射部のプリバンチャ、バンチャ部を流用した「仮入射部」(KEKB 入射器が完成し入射が軌道にのり、PF 入射もできるようになるまで使用する)を設置した。高周波源としては #C7 ユニットの一部分を分配する。又、KEKB 入射器増設部と既設部の結合を容易にし、結合後もしばらく両者を併用するため、電子銃をビームラインからはずし、90 度偏向電磁石で電子銃ビームをビームラインに入射する改造を行った[3]。

### 2-5 陽電子発生装置及びビーム輸送系

陽電子発生装置は #21 ユニットに移設され、加速管は 4m 管 2 本から、1m 管 2 本と 2m 管 2 本に変更された。1996 年度末までに発生装置後のビーム輸送系も整備されてきた。昨 1996 年末、始めて新しい陽電子発生装置の試運転を行った。この時点ではまだ既設部改造途中であったが、約 500MeV、3.6nC/pulse の一次電子ビームに対し、ライナック終端まで 22pC/pulse を輸送した。このときの陽電子収率は 1.2 $e^+$ / $e^-$ GeV で、KEKB 入射器の仕様値 1.6 $e^+$ / $e^-$ GeV に近く、改造途中の最初の値としては評価できるものと考えている。

## 3. 高周波コンディショニング

### 3-1 旧 2.5GeV ライナック

1996 年度末までに 2.5GeV ライナック 40 ユニット改造を基本的に完了し、5 月 13 日から 6 月 30 日までの 7 週間全ユニットの高周波コンディショニングに入った。コンディショニングは、最初、SLED を離調した状態で最大出力まで加速管に高周波を投入し、クライストロン入力調整、モジュレータ波形調整を行う。次に一旦出力を下げ、SLED を同調させて再び最大電力までコンディショニングを行う。途中 2、3 回 SLED の周波数微調整を行う。SLED 離調状態で行うコンディショニング初期に、SLED 本体及び一部の導波管が新品のため、マルチパクタリングにより大量のガスが出るが、その後は従来約 2 倍の電力まで比較的容易にコンディショニングが進んだ。しかし、SLED を同調すると最大ピーク電力で 6 倍近い 250MW の電力が SLED から出力されることになり、加速管からの放電が多発した。

昨年夏までにエネルギー増強されていた 24 のユニットについては、既に高周波コンディショニングが進んでいたため、SLAC-SLED の入った #46 ユニット、加速管からの放電の多い #55 ユニットを除き、最初の 3 週間で最大電力まで高周波が投入された。年度末に新しく設置した 14 ユニットについては 6 月 30 日までに KEKB での平均使用値 41MW に達したが、まだ、最大電力 46MW までのコンディショニングが完了していないユニットもある。尚、現在のところ、コンディショニングは計算機による自動コンディショニングではなく、中央制御室からオペレータが判断しながら行っている。

### 3-2 新製加速管

KEKB 入射器増設のために製造した、新製加速管は現在のところ、移設した陽電子発生ユニット #21 のみに使用している。先に述べたように、このユニットには SLED を用いず、パルス幅を 1 $\mu\text{s}$  に縮めて 60MW を供給した。5kG の磁場中で加速管を使用するため、高周波電力と磁場値の 0 最大値までの組み合わせによるコンディショニングを行った。

これとは別に、新規製造した加速管の大電力特性を調べるために、1本の加速管に定格の4倍であるクライストロン1本分の出力を投入する試験も行ったが、放電耐力は十分であることが確かめられた[4]。

### 3-3 大電力運転状態の経験

大電力クライストロンとSLEDの使用により、加速電界は8MeV/mから21MeV/mに増強された。2.5GeVライナック建設当初は加速管に高周波を投入した状態で加速器トンネルに入室した時期もあったが、現在は、加速管からの電界放出電子により放射線レベルが高くなり、入室は不可能である。又、この電界放出電子により、ビームプロフィール監視用スクリーン(Desmarquest, AF995R)が明るく輝きすぎ、ビームが見にくいといった現象が出てきた。又、高周波源の大電力化により、ギャラリでのノイズが増え、測定器のトリガーが誤動作したりする現象も出ている。

## 4. KEKB 電子銃及び仮入射部のビーム試験

### 4-1 コミッシュニングの方針

KEKB 入射器の部分的な試運転が6月から開始された。今回のライナック試運転は新しい方針で行うことになった。その第1は、KEKBの入射器とリングの合同のコミッシュニングチーム(現在、各々5名ずつ)で運転することである。これはKEKBにおける積分ルミノシティの達成には両者の連絡を緊密にして入射率を高めることが重要だと判断されたからである。第2は加速器のデータベースを確立して、入射器・リング双方の計算機から軌道をモデリングしたり、磁場値を設定できるようにしたことである。これによって、入射器から入射路、リングに至る加速器全体を一体として軌道管理できるようになる。又、今回の試運転期間中、コミッシュニンググループのメンバー10名と支援メンバーが毎朝8:45から15分余りミーティングをもって毎日の報告とその日の方針を議論する試みを行った。

### 4-2 KEKB 入射器電子銃試験

増設部では秋までビーム加速試験ができないが、6月9日からは、移設したKEKB入射器電子銃のビーム試験を行った。これはソレノイドによる電子銃からバンチャまでをまっすぐに電子銃ビームを輸送する目的で行った。その結果、電子銃から若干の角度をもってソレノイド中に入射されていることが軌道の検討からわかった。秋のビーム加速試運転までには、電子銃の組立精度の改善、ステアリングの追加等により修正する事にした。

### 4-3 「仮入射部」によるビーム加速試験

6月30日から2週間、「仮入射部」からビーム加速試験を行った。主な目的は秋からのPF入射に備えて入射ビ

ームを確立することである。エネルギー増強により、既設部のエネルギーは約6GeVになり、2.5GeVのビームを出すためには、スタンバイユニットを含めても、既設部の半数の加速ユニットである20台で十分となった。

試運転でのクライストロン運転値は、今回の高周波コンディショニングの結果をふまえて、若干低めに設定した。次に、SLEDを離調し、1 $\mu$ sの長パルスビームで入射部調整、ビームタイミング・位相調整を行った。その後、入射ビームである2nsビームに切り替え、細かい調整を行い、最終的に約500pC/pulseの電子銃電流に対し300pC/pulseをライナック終端まで導いた。仮入射部はサブハーモニックバンチャを含まないので、このビーム透過率は十分なものである。初期のビーム調整は3~4日で順調に進み、その後、エネルギー測定、SLEDによるエネルギー増倍率の測定、モニタ試験及びエミッタンス測定等を行った。2セクタエンドに設置したビームアナライザ系で加速エネルギーを測定したところ、上記のクライストロン平均出力41MWに対して、KEKB入射器の仕様値である160MeV/unitが達成され、SLEDによる増幅率も十分であることがわかった。

### 4-4 ワイヤスキャナの試験

ビーム調整が順調に進み、非破壊型ビームプロフィールモニタとしてワイヤスキャナの試験を行った。S/Nをいかに良くするかが最大の課題であり、シンチレータとフォトマルのセッティングを様々に変えて実験を行った。エネルギーは約2.7GeVと1.5GeVで測定し、いずれのエネルギーにおいても、ビーム調整を十分行いビーム損失を少なくすれば、良いS/Nがとれることがわかり、実用化に向けたプロトタイプ製作に入るようになった。

## 5. まとめ及び今後

KEKB入射器の建設が順調に進み、既設部の改造を完了した。部分的なビーム試験が始まり、エネルギーがほぼ仕様値であることが確かめられた。

増設部の建設が今年度でほぼ完了し、来年3月末既設ライナックと結合される。来年5~6月、いよいよ、KEKB入射器の総合コミッシュニングが行われ、10月からのKEKBコミッシュニングに備える予定である。

### 参考文献

- [1] A. Enomoto, Proceedings of the Linac96, 26-30 August 1996, Geneve, pp.633-637.
- [2] M. Igarashi, et al., 本研究会.
- [3] S. Ohsawa, et al., 本研究会.
- [4] S. Yamaguchi, et al., 本研究会.