

# PF 2.5-GeV Linac Injection System Upgrade ( I )

S. Ohsawa, A. Enomoto, H. Kobayashi, S. Anami, I. Sato, and A. Asami

National Laboratory for High Energy Physics (KEK)

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

## ABSTRACT

An asymmetric B-Factor is now being planned as one of the future projects at KEK. A requirement on the PF 2.5-GeV linac is to produce a 600-MeV, 10-ns positron beam which is stronger than the present 1-ns beam by a factor of more than 20. In the present design the location of the convertor target is assumed at the four-fifths point of the linac, that is at 2 GeV. It is essentially important to confirm how much primary electron beams can be accelerated to the target. In order to make high current beam acceleration experiments, it has decided to upgrade the PF 2.5-GeV linac injection system. A conception design is presented with a result of the 1-A, 10-ns acceleration experiment.

## PF 2.5-GeV リニアック入射部の改造 ( I )

### 1. はじめに

KEKのトリスタン実験は、エネルギーフロンティアをめざしたPhase Iの実験を既に終了し、現在は多数のイベントを集積するPhase IIの実験に入っている。このPhase IIの実験も数年後には終了する予定で、その後はPhase IIIとしてBファクトリーを建設し、CP Violation等の精密実験をすることを現在真剣に検討している<sup>1)</sup>。Bファクトリーリングは高ルミノシティであるため、この計画の実現のためには、陽電子ビームを現状の20倍以上にする陽電子源の大幅な増強が不可欠である。現在検討中の案では、PF 2.5-GeV リニアックの2GeV付近に陽電子発生用ターゲットを置き、そこで発生した 10 nsの陽電子ビームを600 MeVまで加速した後、後続のCooling Ringに供給する<sup>2)</sup>。この案では、一次電子のエネルギーとパルス幅を陽電子発生装置のそれぞれ8倍と10倍にすることにより、その分の陽電子ビームの増強を見込んでおり、ターゲットまで加速される一次電子ビームが、陽電子発生装置 (~10A) と遜色ないことを期待している。しかしターゲットの位置が遠くなった場合に、PFリニアックで大電流の加速が何Aまで可能であるかは、必ずしも明確でない。また加速できてもターゲット上に小さなビームサイズに集束できないと、陽電子ビーム増強に有効に寄与しない。一次電子は最終的にはターゲットに照射され陽電子に変換されるので、一次電子ビームの質は問われないように思われがちであるが、陽電子を効率良く集束して収量を上げるのにターゲット上でのビームサイズを小さくすることが重要であるために、一次電子ビームの質が問題になる。

そこで、PF 2.5-GeV リニアックではどの程度の大電流ビーム (10 ns) まで加速可能であるかと、その時のビームの質がどうなるかを試験することにし、そのために必要な入射部 (35MeV)の改造を行なうことになった。以下では、KEKのBファクトリーの概要と1 A . 10 ns ビームの加速試験結果および入射部の改造の基本構想について述べる。

### 2. Bファクトリー計画の概要

KEKのBファクトリーは、非対称エネルギーの電子 (8GeV) と陽電子 (3.5GeV) を衝突させる独立な2個の衝突リングと、その入射器から成る。現在検討中の案<sup>2)</sup>では、PF 2.5-GeV リニアックの2GeV付近にターゲットを置き、600 MeV, 10 nsの陽電子ビームを後続のCooling Ringで冷却すると同時に、パルス幅を2 nsまで圧縮し、さらに後続のRapid Cycle Synchrotron で3.5GeVまで加速した後、主リングである衝

突リングに入射する。一方電子ビームの方は、600 MeVのリニアック単バンチをECSでエネルギー幅を圧縮した後に別のRapid Cycle Synchrotronで8GeVまで加速し、もう一方の衝突リングに入射する。Bファクトリーリングは高ルミノシティを実現するために、蓄積電流を大きくしており入射も頻繁になる。入射時毎に電子と陽電子のモードを切り替えるのでは時間の損失になるので、電子と陽電子の同時入射を考えている。これもリニアックに課せられた課題の一つである。

### 3. 1 A・10 ns ビームの加速試験とその結果

Bファクトリーでは、大電流の一次電子ビームを必要とするが、現状の入射部システムでは、電子銃のパービアンスが低く設定されていることと、バンチャ系の設計が100 keVになっているために、2 A程度のビームしか入射部から供給することができない。幸いにしてBファクトリーで必要な一次電子は、下限が10 ns・1 Aであるので、入射部の改造の前にまず1 Aの加速試験をして様子を見ることにした。

試験に先立ち、まず電子銃のカソード（酸化物塗布型）を新品に変え、グリッドパルサーも50Ω負荷で600V出力できる強力なものに交換した。この状態は空間電荷制限状態になっており、電子銃のエミッション電流は100kVの高圧で決定されている。実験は、入射部のクライストロン出力を通常の運転と同じ状態で始めたが、途中からビームの加速効率を改善するために、他のクライストロンと同レベルまで高圧を上げた。この時パワーは約1.5倍になった。以下の事柄は、パワー増加後にトランスポートを調整して得た結果である。尚、トランスポートは、ビーム電流が増えるように調整した。調整する必要があったのは、低エネルギー部分が主であった。

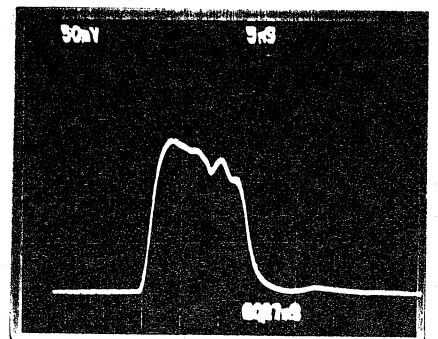
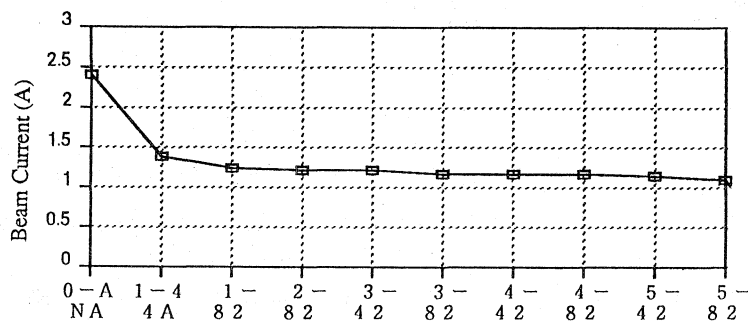


図1 入射部出口(35MeV)から第五セクター終端(2.5GeV)までのビームピーク電流変化

図2 第五セクター終端でのチェレンコフ光のPhoto Diode出力、5 ns/div

- (1) PF 2.5-GeV リニアックの終端まで、図1、図2に示したビームが加速された。
- (2) 図2のビームは、パルス幅は電子銃出口と同じであるが、パルスの頂点が平でなく、一部分欠落している。この主な部分は、第2セクター中央で失われている。このことは、各部でのビーム電流波形とロスモニターの両方で確認した。
- (3) ビームは、第2と第4セクターの中央で位置がずれていた。両者のずれは、スクリーンモニターの中心から上に2.5mm程であった。(このことは実験終了後に気づいた。)
- (4) ステアリングコイルの電流を変えると、リニアックの終端で観測したビーム波形が欠け始めるが、パルスの後部ほど欠落が大きい。この傾向はステアリングコイルの位置によらない。ただし、低エネルギー側ほどステアリングコイルの電流変化に敏感である。また、ステアリングコイルでビームを偏向する方向にビームサイズが大きくなる。
- (5) プレバンチャ上流のステアリングコイルの電流を変えた場合には、ビーム電流波形に振動が現われる。この周期は3 ns弱で安定しており、現われるとリニアックの終端まで残る。一方、バンチャより下流側のステアリングコイルの場合には、このような顕著な構造は見られず、パルスの後部から始まる欠落は滑らかであるように見える。
- (6) ビームパルス波形は安定しており、パルス後部の欠けた状態も含めて、いずれの場合もパルス毎の顕著な変動は見られない。

(7) リニアックの終端で、ビームの中心エネルギーは 2.26 GeV で、エネルギー幅が 6.2 % であった。この値は、ビームを 13 ns、1.1 A とした時の理論値 6.8 % と良く一致する。

以上の測定と観測から、横ウエーク場の影響について、いくつかの事柄が予想されるが、断定するにはさらに詳しい測定と定量的な議論が必要であるので、ここでは予想について述べることは差し控えたい。

#### 4. 入射部改造の基本構想

今回の入射部改造の目的は、前にも述べたように、PF 2.5-GeV リニアックでどの程度の大電流ビーム (10 ns) まで加速可能であるかと、その時のビームの質がどうなるかを試験することにある。試験をするためとは言え、入射部改造は良質の大電流ビーム加速を目標にすることは言うまでもない。しかし、試験結果は、場合によっては、加速器の全体構成にも影響しかねないので、早急に結果を得ることもまた重要な要素である。したがって、今回の改造は、技術開発要素の高いものは避け、中庸を得たものにせざるを得ないであろう。

1 A、10 ns ビームの加速試験から明らかになったように、低エネルギー部のトランスポートは特に重要で、横ウエーク場の影響を協力避けるために、ビームを加速管の中心を通すことが本質的である。入射部はビームのエネルギーが低くて、容易に横方向に偏向され易い上に、下流側よりも電流が多いので、特に位置の高い精度が要求される。したがって、スクリーンモニターと電流モニターの増設およびトランスポート系の強化が不可欠である。また各構成要素のアライメント精度を確保することも、重要なポイントである。これらのことは、まだビームエネルギーの低い第一セクターの前半にも当てはまる。

一方、縦ウエーク場によるビーム負荷によってビームのエネルギー幅が増大する効果も無視できない。ターゲットまでの距離が長いので、ビームのエネルギー幅が大きいと、ビーム輸送が難しくなるだけでなく、ベータatron波長の差が大きくなり、ターゲット上のビームサイズもそれに応じて大きくなるためである。先に述べた大電流加速実験の場合は、入射部のビーム電流は下流側の約 2 倍で、ビーム負荷は 3 割弱に達している。この時のエネルギー幅は、1 割 5 部と見込まれる。これではビーム電流を増やすと、たちまちパワー不足になる。そこで次のような対策を取ることが考えられる。入射部にはバンチャ系のほかに 2 m のレギュラー加速管が 2 本ある。第一加速管の出口と第二加速管の入口を立体回路で結ぶと 4 m 管相当になる。2 分割にしていた RF パワーを全て結合管に入力すると、パワーを 1.5 倍にしたのと同じことになり、そこでのエネルギー利得が 2 割向上するとともに、ビームのエネルギー幅が 2 割減少する。エネルギー幅を更に改善するには、バンチャ間隔を加速周波数の間隔から位相にして 1 度程づつずらすという方法がある。間隔を変える方法には、電磁石を使う方法と、バンチャ系の加速周波数のみを 10 MHz 程変える二つの方法が考えられる。

一方、電子銃から低エミッタンスの大電流を得るために、電圧 200 kV の電子銃を開発するとともに、これと整合するプレバンチャとバンチャを新たに制作することが必要である。電子銃の電圧を上げるのは、大電流ビームのバンチャ幅を小さくする観点からも必要なことである。ビームをバンチャする課程で、一般にエミッタンスが増大する。これを極力押さえるように、バンチャ系の構造と集束系の強度を決めることが大切である。現在バンチャ系の計算に、"PARMELA" を使用すべく、環境整備を進めている。

入射部の具体的な設計はまだ始まったばかりであるが、1 A、10 ns ビームの加速試験の結果をふまえてこれから必要な作業を進めていき、来年の夏に設置工事を行なう方針である。

#### 5. 謝辞

1 A、10 ns ビームの加速試験は、入射器系の沢山の人達の参加のもとに、三菱電機サービス (株) の協力を得て行なわれたものである。これは多大の労力と時間を要する実験であった。関係者の皆さんに改めて感謝致します。また入射部の改造も、大勢の人達の協力のもとに進めているものである。各部を分担されている皆さんの協力を深く感謝致します。

#### 参考文献

- 1) Accelerator Design of the KEK B-Factory ; B-Factory Accelerator Task Force, February 1991
- 2) K. Satoh ; B-Factory Report, BF-0042, March 29, 1991