

PRE-INJECTOR OF THE KEKB LINAC AND ITS PERFORMANCE

Ohsawa S., Ogawa Y., Yokota M.*, Kamitani T., Choi J.-Y., Enomoto A., Sato I.

National Laboratory for High Energy Physics (KEK)
1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan

ABSTRACT

The PF linacs are under upgrade to 8 GeV in order to meet requirements of the KEKB-factory project. The pre-injector of the linac has been improved to be able to accelerate high-intensity single-bunch beams. Almost of main elements have been installed except for the first sub-harmonic buncher. Configuration and design values are given. Beam characteristics measured recently are discussed comparing with simulation predictions.

KEKB リニアックの入射部とその性能

1. 始めに

KEKB B-Factory では、リングに入射器から直接入射することになっており、PF リニアックでは現在、そのための増強作業を進めている。今回の最重要課題は、電子ビームをリングに直接入射するために8-GeVまで加速することと、入射時間を現実的な値にするために、陽電子ビームの強度を現在の20倍に増強することである[1]。そこで入射部に求められる課題は、大電流単バンチビーム (~15 nC, ~10ps) の生成と安定な加速である。入射部の改造は1992年から先行してスタートしており、まだ最終的な形にはなっていないが、主要部分は既にPF 2.5-GeV リニアックに設置済みで、現在大電流単バンチの加速試験を行っている[2]。

この論文では、入射部の改造後の現状と試験結果、及びKEKBでの変更点等について報告する。

2. 入射部の構成とKEKBでの変更

KEKBのバンチャ部は、電子銃から取り出した比較的幅(~2 ns)の広いパルス電流を、多段の集群要素(SHB1,2; Prebuncher 1,2; Buncher)で最初はゆっくり集群させ、加速電界の強いバンチャでバンチを最小にし、かつ急速に加速する設計になっている。こうすることにより、大電流でも幅の短い単バンチを得ることができる。また低い周波数のSHB1を採用しているため、電子銃から取り出すビームのパルス幅を設計値より大きくすることも可能で、単バンチの電荷量に余裕のある設計になっている。

現状ではSHBは、476 MHzのSHB2のみであるが、次の冬季保守期間中に、119 MHzのSHB1を追加設置する予定である。このSHBは、シャットダウンした陽電子発

生装置で今年の6月まで使用していたものを再利用する。

KEKBではSHBの周波数が現状と異なるが、これは入射器から入射するビームを、リングの加速周波数と同期させる必要性から生じたものである。リングと入射器の周波数を同期させるためには、それらの間に簡単な整数関係が必要である。リングの加速周波数を現状から大きく変更しない(300 kHz以下)条件で、共通の周波数をさがした結果が、表1である[3]。リングに同期したビームを得るためには、SHBの周波数は次の2条件を満たさなければならない。(1) 共通周波数の整数倍である。(2) リニアックの加速周波数の整数分の1である。これらの条件を満たす周波数は、表1に載せた以外に、5x5倍の259.6 MHzがあるが、既存の装置を最大限再利用する観点から、表1の周波数をSHBに採用した。

表1 入射の周波数とKEKBリングの加速周波数の関係

装置	倍数	周波数 (MHz)
共通周波数	1	10.385
SHB1	11	114.240
SHB2	5x11	571.200
リニアック	5x5x11	2856.000
KEKB リング	7x7	508.887

次にKEKBで変更になるパラメータは、RFのパワーである。これまでは入射部の安定性がより重要であるという観点から、10年来エージング時を除いてクライストロンの出力を~21MWに抑えて使用してきた。新しいクライストロンでは、出力が2倍(41MW)になる。これ

* 現在の所属は核融合科学研究所である。

にもなつて、バンチャと後続の2m加速管2本の加速電界が、パルス圧縮器なしで、それぞれ20MV/mと12MV/mに増加する。

表2 入射部の現状とKEKBでの設計値の変更

	現状	KEKB
電子銃		
カソードアセンブリー	ディスプレイ (EIMAC Y-796)	
加速電圧/幅	200 kV/2 μ s	
グリッドパルス	~300V/1ns	~300V/2ns
規格化エミッタンス	7 π .mm.mrad.	
SHB1		
型式	リエントラント型	
シャントインピーダンス	~1 M Ω	
周波数	(119 MHz)	114.24MHz
SHB2		
型式	リエントラント型	
シャントインピーダンス	~1 M Ω	
周波数	476 MHz	571.20 MHz
Prebuncher 1		
型式	進行波型、2 π /3、定インピーダンス	
周波数	2856 MHz	
空洞数	7	
ディスク孔内径	35.74 mm	
位相速度	0.7 c	
充填時間	12 ns	
シャントインピーダンス	16.0 M Ω /m	
加速電界強度	~0.3 MV/m	
Prebuncher 2		
型式	進行波型、2 π /3、定インピーダンス	
周波数	2856 MHz	
空洞数	5	
ディスク孔内径	36.89 mm	
位相速度	0.7 c	
充填時間	8 ns	
シャントインピーダンス	15.0 M Ω /m	
加速電界強度	~1.5 MV/m	
Buncher		
型式	進行波型、2 π /3、定電界型	
周波数	2856 MHz	
空洞数	6(B部) /29(ノーマル部)	
ディスク孔内径	22.44~19.3 mm	
位相速度	0.77~0.99 /1.0 c	
充填時間	48 ns / ns	
加速電界強度	15 MV/m	20 MV/m
RFパワー	10 MW	20 MW

クライストロン	2856 MHz	
周波数	2856 MHz	
出力パワー	21 (27) MW	41 MW
出力ビーム		
エネルギー	40 MeV	60 MeV
エネルギー幅	0.6 %	0.6 %
バンチ幅	~10 ps	~10 ps
電荷量 (単バンチ)	~10 nC	~15 nC

3. 入射部のビーム特性

3.1 電子銃とエミッション電流

電子銃のアノード位置を変更し、大きなエミッション電流が得られるように微小な改造をした。これによりヒータ電流を上げれば、15Aまでのエミッション電流が安定に得られるようになった。最大電流では、使用範囲が温度制限領域になる。ヒータ電流を更に上げれば、エミッション電流をさらに増やすことも可能である。

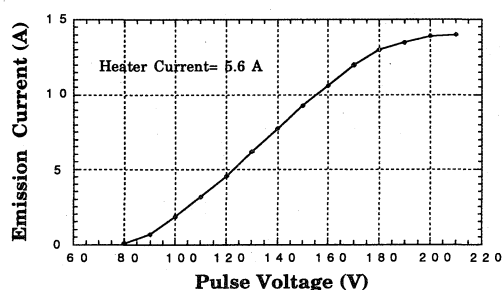


図1. エミッション電流のグリッドパルス電圧特性

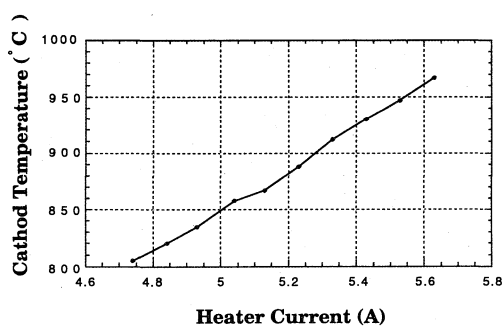


図2. カソード温度のヒータ電流特性

3.2 バンチャのシミュレーションと測定結果

(1) シミュレーション結果

バンチャ部の設計にはシミュレーションコード "PARMELA" を使用した。図3は、現状の構成の場合の1例である。10A/1ns (=10nC) のビームについて計算したもので、SHB (476MHz) の入り口からバンチャ出口までの集群の様子を示している。このときのバンチの半値幅 (FWHM) は8psで、透過率が93%である。

ところで KEKB では、クライストロンの出力が2倍に増大する。これは、バンチャの集群力（電界）が増大し、ビームの空間電荷効果が相対的に減少することを意味する。従ってこの場合には、電荷量が大きくなっても、小さなバンチ幅まで集群できる可能性がある。実際、KEKB の構成で計算したところ、 $10\text{A}/2\text{ns}$ ($=20\text{nC}$) のビームの場合に、バンチ幅が 4ps (FWHM) で、主バンチの透過率が 95% になるという結果が得られている[4]。

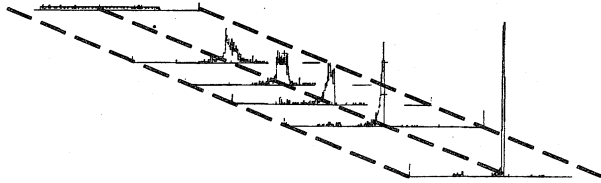


図3. 既設の入射部における集群のシミュレーション： SHB は476MHzのみ、入力ビームは $10\text{A}/1\text{ns}$ ($=10\text{nC}$) である。

(2) 測定結果

以下に単バンチビームの測定結果を示す。SHB は 476MHz のみの場合である。単バンチとはいえ、いずれの場合もサテライトバンチが数%~10%ある状態で測定したものである。バンチ幅は、シミュレーションの予測値よりも常に大きく測定されるが、変化の傾きはほぼ一致している。バンチ幅の測定値が計算値と一致しない原因には、次のようなことが考えられる。(1) RF パワーが設計よりも小さく、バンチャの加速電界が設計値より低い。(2) ストリークカメラの分解能 (2ps) が影響している。(3) バンドパスフィルターを使用していないため、色収差が悪影響を及ぼしている。(4) バンチャ部要素が設計通りに作られていない。詳細はまだ不明。

図5と図6は、 12.9nC のビームをストリークカメラで測定した1例である。図5から主バンチの形状がわかり、図6からサテライトバンチの様子がわかる。

ビームの透過率の測定値 (図7) は、入射部の出口で 90% 以上である。これはシミュレーションと一致する。

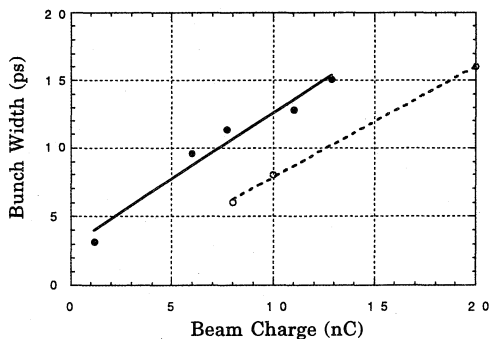


図4. 単バンチのバンチ幅とビーム電荷量： 黒丸が測定点で、白丸が計算値。実線と点線はそれぞれのフィッティングラインを表わす。ストリークカメラの分解能は 2ps である。

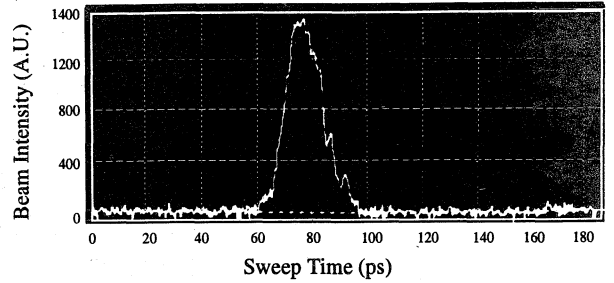


図5. 主バンチのバンチ形状： バンチ幅= 15.1ns (FWHM)、電荷量= 12.9nC 、スリット幅= $30\mu\text{m}$ 、単一ショット

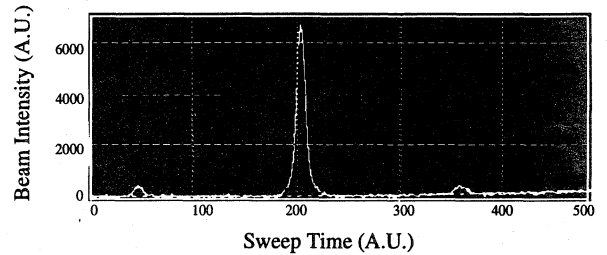


図6. 単バンチの純度： 電荷量= 12.9nC 、スリット幅= $30\mu\text{m}$ 、単一ショット

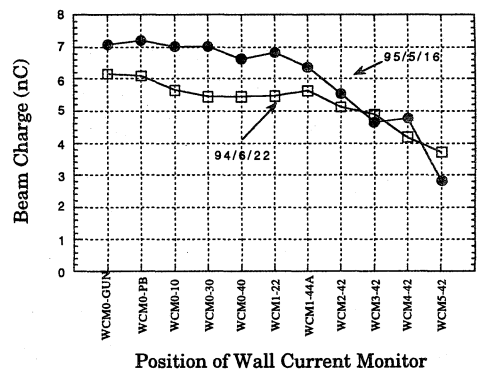


図7. ビームの透過率：WCM0-40が入射部の出口に対応する。

4. 結論と今後の方針

測定したビーム特性は、概ね設計値と一致している。今後は、更に電荷量の多い単バンチビームの生成と加速試験を行うが、現状の構成では単バンチの電荷量が 10nC ではほぼ限界であるので、 119MHz の SHB を追加する。この場合にはバンチ幅が $\sim 20\text{ps}$ まで増加することが予想される。幸い RF パワーにはまだ 30% 程余裕があるので、パワーを増やしてバンチ幅の変化を測定し、KEKB で RF パワーが倍増される前に、バンチャの加速電界を大きくすることが、バンチ幅を短くするのに有効な方法であることを実験的に確認したい。

参考文献

- [1] I. Sato ; Contribution to this meeting
- [2] S. Ohsawa et al, LINAC94, Tsukuba, 1994, p193-195
- [3] T. Urano ; private communication
- [4] J.-Y. Choi et al; Contribution to this meeting