

# Design of the SHB system for the B-factory at KEK

M. Yamamoto, H. Iwata, and \*S. Ohsawa

Ishikawajima-harima Heavy Industries Co, Ltd  
\* National Laboratory for High Energy Physics

## ABSTRACT

As the phase 3 of TRISTAN, an Asymmetric B-factory is now under active discussion. This factory is considered to consist of the PF 2.5 GeV linac, TRISTAN AR, 3.5 GeV electron and 8 GeV positron storage rings. In this plan, it is requested to inject  $e^-/e^+$  beams in every 5 bucket (9.84 ns) of AR with an accumulation rate of more than 100 mA/min. In order to meet the requirement, we investigated the possibility of using long pulse beams modulated with 101.6 MHz by an SHB system described below. The results of the simulation using the beam tracing program "PARMELA" indicate that the required beams will be obtained by utilizing an SHB system which consist of a deflector, a scraper and an SHB.

## Bファクトリー用SHBシステムの検討

### 1. はじめに

KEKでは、トリスタンのフェーズ3として現在Bファクトリーの検討が進められている。現在の検討案では既存のPF 2.5 GeVリニアックとトリスタンARを用い、新規に8 GeV電子リング(HER)と3.5 GeV陽電子リング(LER)を建設することが考えられている。Bファクトリーは精密実験であるので、ルミノシティを上げるために、これらのリング(HER、LER)の全周にわたって5バケット毎に電子と陽電子を蓄積し、平均電流を上げようとしている。従って、蓄積されている電荷量が現在のものと比べて著しく多くなるために、各リングにビームを蓄積するのに要する入射時間が問題となり、この計画を実現するためには入射時間を十分短くすることが不可欠である。

リニアックのビームに対する具体的な要求は、次の2点である。

①ARに $e^-/e^+$ ビームを入射したときの蓄積率がともに100 mA/min以上であること。

②ARには5バケット毎に蓄積すること。このときのビーム間隔は、9.84 nsとなる。

しかし、現状の2 ns陽電子ビームでは蓄積率がたかだか10 mA/min程度しかないために、陽電子ビームを増強することが必要となった。その増強の一環として、電荷量の多い長パルスビームを用いることにした。そして、②の要求を満たすように長パルスビームをSHBで変調するシステムを考えて検討を行い、十分要求を満たすビームが得られる見通しを得た。

### 2. SHBに要求される性能とビーム仕様

長パルスビームに変調をかけ、②の要求を満たすようにするためには、Fig. 1のようなビーム形状にすることが必要である。

マイクロパルス間隔9.84 nsは、トリスタンARの5バケット毎に陽電子を入射するためである。またマイクロパルス幅は、トリスタンARのバケット幅1.96 ns (1/508 MHz) よりも狭くなくてはならない。一方、マイクロパルス幅が狭くなり過ぎてピーク電流が極端に増大すると、ウエークフィールドによる不安定性が生じることがある。そのため極端にパルス幅の狭いマイクロパルスは避けたい。マイクロパルスの平均電流とその幅は、PFリングに陽電子を供給しているセミロングパルス(40 ns, 3 A)と同等のビームローディング及びピーク電流になるよう、それぞれ200 ns・0.6 Aとした。パルス間暗電流1%以下は、衝突実験側からの要求である。

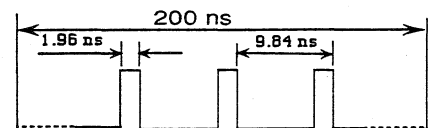


Fig. 1 ビームのパルス形状

Table 1 ビームの仕様

マイクロパルス幅	200 ns
マイクロパルス平均電流	0.6 A
マイクロパルス間隔	9.84 ns
マイクロパルス幅	< 1.96 ns
暗電流	< 1%

### 3. 解析方法

解析は、粒子軌道解析コードPARMELAを用いて行った。PARMELAは、個々の粒子の運動を微小時間毎に解いており、空間電荷効果も考慮されている。本計算に用いたPARMELAは、パソコン(PC-9801)で実行したため、メモリの関係から粒子数は500個と制限された。

本検討でのPARMELAのシミュレーションは、まず電子銃からのビームを適当に仮定した。そして、プレ

バンチャーまでのパラメーター（ディフレクター電場と長さ、スクレーパーサイズ、SHB電圧、ドリフトスペース距離、集束磁場）を変えたときのビームの振る舞いを計算した。計算結果として、ビームエネルギー・電流・サイズ・エミッタンス・パルス形状等が出力される。

#### 4. 解析結果

解析の結果、Fig. 2のシステムを形成すると、仕様通りのビームが得られる事がわかった。

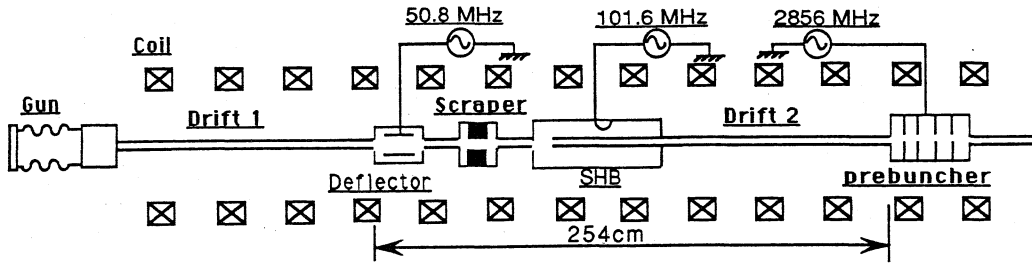


Fig.2 システム構成図

Table 2 構成機器と仕様を満たすためのパラメータ

Element	Size	Field
Gun		160kV, 2A
Drift Space 1	230cm	
RF Deflector (50.8MHz)	17cm	2kV/cm
Scraper	1.5cm (aperture)	
SHB (101.6MHz)	3cm (gap)	50kV
Drift Space 2	200cm	
Focus Coil		270Gauss
Prebuncher (2856MHz)		

Fig. 2のシステムを構成した場合、シミュレーションの結果は以下ようになる。

電子銃から出射された2 A (160 kV) の電子ビームは、ディフレクターにより横方向に運動量を与えられる。この横方向運動量により電子ビームサイズは増大し、それと共にエミッタンスも約10倍になる (Table 3)。ビームサイズの増大した電子ビームは、スクレーパーにより削られ、パルス幅約5 nsの9.84 ns間隔に並んだ、平均電流0.6 Aの電子ビームが形成される。この時エミッタンスの大きな部分が削られるために、エミッタンスは改善される。この後、この5 nsのパルス幅のビームはSHBで進行方向に速度変調を受け、ドリフトスペースを進む間に1.96 ns以下に圧縮される (Fig. 3)。

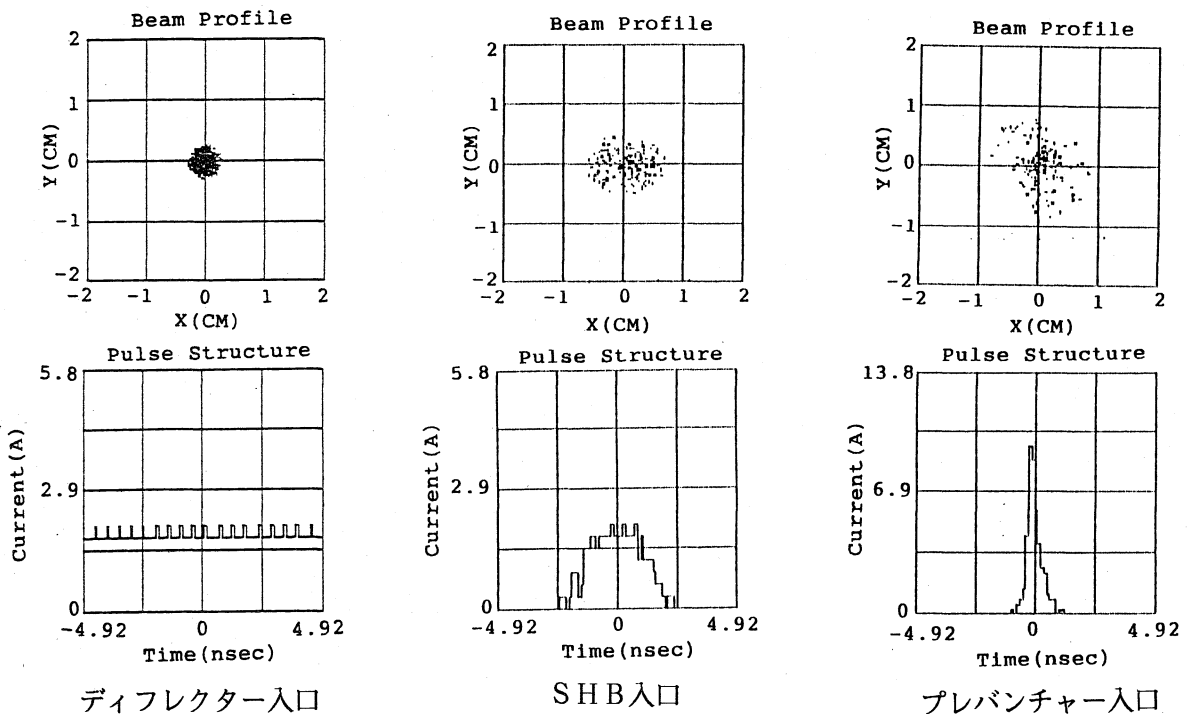


Fig.3 ビームプロファイルとパルス形状

Table 3 規格化エミッタンス (rms) とビーム電流

	$\epsilon_x$ ( $\pi$ -cm·mrad)	$\epsilon_y$ ( $\pi$ -cm·mrad)	$\epsilon_z$ (deg·KeV)	Current (A)
RF Deflector input	1.0	1.0	5.8	2.0
RF Deflector output	10.5	1.0	72.5	2.0
SHB input	4.2	1.1	5.2	0.6
Prebuncher input	6.4	8.3	111.0	0.6

次に、Fig. 2に示した各構成機器の概略を述べる

(1) 電子銃

電子銃は、現在KEKで使用(160 kV)のものを考えた。この電子銃は、ビーム電流を10 A以上出射することができるため、スクレーパーでビームの不必要な部分を積極的にロスさせるシステムでも十分対応ができる。今回の検討では、電子銃から2 Aのビームを出射し、スクレーパーで1.4 A削り最終的に0.6 Aとするシステムとした。

(2) ディフレクター

ディフレクターでは、弱い電場で大きな横方向運動量を与えたい。そのためにディフレクターの長さが重要となる。この長さは次の理由により、サイクロトロン振動(575 MHz)の1/2周期の間に進む距離(17 cm)と決めた。①スクレーパーでロスさせないで後段で加速する電子に与えるディフレクター電場の影響を少なくさせるためには、短い方がよい。②ディフレクターの長さが長いほど横方向運動量が大いわけではなく、サイクロトロン振動の1/2周期の時間ビームが進んだときに最大横方向運動量をうける。このときの電子の運動をFig. 4に示す。この図から、ディフレクター通過後の電子がサイクロトロン振動により回転している様子がわかる。

ディフレクター電場は、スクレーパー幅が1.5 cmのとき、ビームの透過率が約1/3になるように2 kV/cmとした。

ディフレクターのRFの位相が1周期進む間に、電子の横方向運動量は2回ゼロとなるところがある。よって、RF周波数はマイクロパルスの繰り返し周波数の1/2である50.8 MHzにすればよい。

(3) スクレーパー

ディフレクターにより横方向に変調を受けたビームは、スクレーパーにより変調の大きい位相部分が削り取られる。Fig. 4のようにX方向にディフレクターの電場がかかる場合、Y方向が電子の変位の最大点となる。またこの最大点になるときのZ方向の位置は、ディフレクターの入口からサイクロトロン振動の3/4周期の時間にビームが進む場所である。そのため、スクレーパーはその場所に設置し、Y方向のアップチャーを制限するようにする。

スクレーパー通過後のビームサイズは、ほぼスクレーパーと同程度になる。そのため後段の機器のアップチャーを考慮し、スクレーパーの全幅を1.5 cmとした。

(4) SHBとドリフトスペース

スクレーパーを通過したビームのパルス幅は約5 nsであるため、SHBでパルス幅を1.96 ns以下にする必要がある。SHBのギャップ間電圧は、焦点距離を短くするために現在使用中のもの(40 kV)より少し高めの50 kVとした。そのときの焦点距離は約300 cmであるが、焦点ではビームのバンチが進み過ぎて、パルス幅が極端に狭くなる。そのためSHB後のプレバンチャーまでのドリフトスペースは、焦点距離より短くする必要があり、シミュレーションの結果200 cm程度が最適である。

(5) コイル

集束磁場は、現在使用されている磁場と同程度 $B_z = 270$  (Gauss)として計算を行った。

5. 考察

シミュレーションの結果、仕様に合うパルス形状をした十分な電流のビームを得ることができる見通しがついた。ただし、Fig. 2構成ではエミッタンスが数倍程度悪化してしまう。これは簡単のためディフレクターを1個で考えたからで、ディフレクターを2個にしてスクレーパーの両サイドに配置し、横方向の運動量を打ち消しあうようにすれば、この問題は解決するはずである。また今回の計算では、各機器のパラメーターの最適化はまだ行っていない。今後さらに計算を進め、各機器の最適パラメーターを決定すると共に、他のシステムの検討も同時に行いたい。また今回の計算はパソコンで実行した為、粒子数が500個と制限されており精度が落ちる。今後計算精度を上げるため、大型計算機等により計算を進める必要がある。

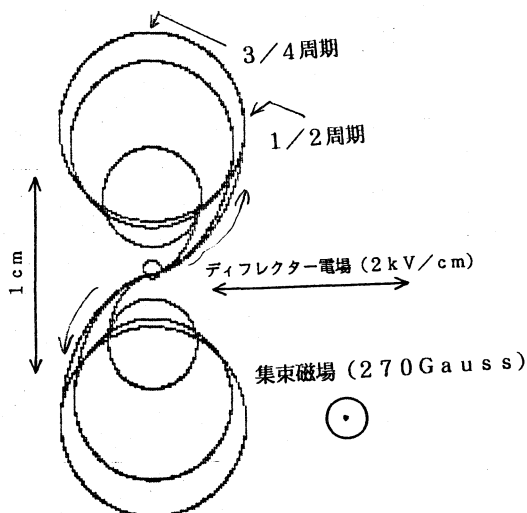


Fig. 4 電子の軌道  
位相を30°づつ変化させて  
180°分を図示(X-Y平面)