

20-P12

## UPGRADE OF THE PF 2.5-GEV ELECTRON LINAC AND THE POSITRON GENERATOR REGARDING KEKB

A. ENOMOTO, T. OOGOE, S. OHSAWA, Y. OGAWA, K. KAKIHARA, T. KAMITANI,  
H. HANAKI, S. YAMAGUCHI, M. YOKOTA and I. SATO  
National Laboratory for High Energy Physics (KEK)  
Oho 1-1, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305, Japan

## ABSTRACT

The B-physics project at KEK (KEKB) has started this fiscal year. The PF 2.5-GeV linac will be extensively reformed to an 8-GeV injector for the KEKB 8-GeV electron  $\times$  3.5-GeV positron collider rings. The main subjects for the linac upgrade are substantial increases of the acceleration energy as well as the positron intensity. This paper describes the basic plan of the linac re-formation.

## KEKB のための PF 2.5-GeV 電子線形加速器及び陽電子発生装置の改造

## 1. はじめに

KEKのBファクトリー計画が今年1994年(平成6年)度から始まり、KEKBと呼ぶことになった。PF 2.5-GeVライナックと陽電子発生装置が、それぞれ、1978年から4年計画と1982年から3年計画で建設されて以来、10年ぶりのの大きな計画である。

今回の計画は5年である。2.5 GeVの加速エネルギーを8 GeVにし、又、陽電子発生を $\sim$ 4 GeVで行うことによって、その強度を大幅に増強するための改造である。

入射器系では、数年前より、陽電子増強、入射部改造、高周波源 R&D、高電界加速試験などの改造/R&Dや検討会を重ね、この計画に備えて準備を進めてきたが、1993年に、入射器8 GeV増強案を固め、概算要求を行った。その後、エネルギー増強の方法やスケジュール等について更に検討を加え、「入射器のエネルギー増強」[1]としてまとめた。これにもとづく各部の基本設計については、3月のワークショップで報告された。

入射器系は、高周波源、加速ユニット、運転管理、制御の4つのグループで構成されているが、この報告は、加速ユニット全般についての設計とR&Dを報告する。個々の構成要素については本研究会等の別の報告[2]-[12]で詳しく報告される。

## 2. KEKB 入射ビーム仕様

KEK入射器のビームパラメータ、RFパラメータ、加速ユニットのパラメータ[13]は表1の通りである。

## 1) エネルギー

加速ユニットは入射部1台を除き実数57である。加速利得は高周波増幅するユニットで平均160 MeV/unitである。加速ユニットを全部稼働し、加速高周波のクレストに乗せて無負荷フル加速すると約9 GeVとなる。

表1・KEKB入射器設計パラメータ

[ビームパラメータ]			
ビームエネルギー	(入射電子)	8.0	GeV
	(入射陽電子)	3.5	GeV
	(陽電子生成用一次電子)	3.7	GeV
パルス幅			シングルバンチ
バンチ		$\leq 10$	ps
電荷量	(入射電子)	$\geq 8 \times 10^9$	(1.28 nC)
	(入射陽電子)	$\geq 4 \times 10^9$	(0.64 nC)
	(陽電子生成用一次電子)	$\geq 6 \times 10^{10}$	(10.0 nC)
パルス繰り返し		50	pps
入射ビームエミッタンス(x)		$\leq 1.2 \times 10^6$	$\pi$ m.rad
	(y)	$\leq 1.2 \times 10^6$	$\pi$ m.rad
エネルギー幅		$\leq \pm 0.25\%$	
[RFパラメータ]			
最大出力		46	MW
平均出力		41	MW
平坦幅		4.0	$\mu$ s
[加速ユニットパラメータ]			
加速ユニット数		57(+1 Inj)	
陽電子標的前の加速ユニット		26	
スタンバイ及びエネルギー調整ユニット		4+2	
加速ユニット長さ		9.6	m
加速管長さ		2.0	m
パルス増幅器エネルギー増倍率		1.8	
平均加速利得		160 MeV/unit	
(入射部及び陽電子第1ユニット)		50 MeV/unit	

8 GeVから超過する13%は、エネルギー調整、故障補償(スタンバイユニット)等に必要な分である。因みにSLCでは、無負荷のフル加速エネルギー(57 GeV)と出力エネルギー(47 GeV)の差は約20%であるが、これはエネルギー調整、故障補償の他に、BNSダンピングのため約20度前後クレストからずらして加速する(約6%エネルギー減)ためである。BNSダンピングは大電流シング

ルバンチビームの短距離ウェークによる頭尾不安定を押さえるために有効な方策である。KEKB 入射器の場合にも、陽電子生成用の大電流電子ビームを加速する際には有効となるかもしれない。(8 GeV の入射ビームは電荷が一桁小さい。)

2) 加速粒子数及びビームのエミッタンス

加速粒子数はビームの性質 (エミッタンス) と切り離しては考えられない。

電子の加速粒子数：陽電子生成用標的まで、約 4 GeV 加速される一次電子ビームの質が問題になる。検討 [12] による縦方向及び横方向ウェークの影響は以下の通りである。KEKB 入射器の加速電界 20 MV/m、バンチ幅 10 ps、バンチ当たりの電荷が 10 nC を 4 GeV までバートロン波長 40 m で加速するとき、縦方向ウェークによるエネルギー広がり ( $2\sigma/E$ ) が、2.4% (on crest), 0.9% (off crest 7deg) 生じ、バンチの平均エネルギーは 3% (on crest), 4% (off crest) 下がる。又、横方向ウェークによる BBU をさげ、標的でのビーム半径 0.6 mm を得るには、加速管軸からのビーム変位を 0.5 mm 以内に制御せねばならない。電荷が 20 nC になると、ビーム負荷はほぼ比例して変わるが、初期のビーム位置は 0.2 mm、加速管のアライメントは 0.4 mm より十分小さくする必要があり、特にビーム位置モニターの働きが重要になる。バンチを RF のクレストに乗せて加速する場合、エネルギー幅を 0.5% 以下にするには、単純に計算して、バンチ幅を 11 ps 以下にする必要があるが、ウェークの影響を考えると、大電流加速の場合は、これ以上バンチ幅を小さくするのは得策でないといえる。

陽電子の加速粒子数：PF 陽電子発生装置の電子/陽電子変換率は 1.8%  $e^+/e^-$  GeV である [14]。この変換率は現在の 2.5 GeV 陽電子ビームに対して得られる典型的な値である。この変換率によると、一次電子ビームが 3.7 GeV、10 nC のとき、0.67 nC の陽電子が得られる見込み

である。問題は、陽電子発生装置を含め入射器が安定して働き、特別な調整なしに、この陽電子ビームの電流値が維持できるかどうかである。

かつて測定された 2.5 GeV ビームのエミッタンスは電子  $0.3 \times 10^6 \pi \text{mm} \cdot \text{rad}$ 、陽電子  $1.0 \times 10^6 \pi \text{mm} \cdot \text{rad}$  である [15]。最近大電流シングルバンチビームのエミッタンスが入射部で測定され始めたが、規格化エミッタンスで  $70 \pi \text{mm} \cdot \text{mrad}$  程度である。入射部以後のエミッタンス増加については PF 入射器ではまだ詳しく調べられていない。陽電子ビームのエミッタンスは陽電子発生装置のアクセプタンスで決まる。

リニアコライダに要求されるビームと比較することはできないが、KEKB 入射器が SLC と異なる点は、ダンピングリングを使用しない点である。入射部からより質の良いビームを出し、エミッタンスを増加させないで加速することが KEKB 入射器の独自の課題である。

3. 加速ユニットのレイアウトと改造

1) ギャラリー部：全てのユニットで高周波源の電力 2 倍化、50 MW 級クライストロンへの置き換えが行われる他、入射部と陽電子発生部を除く全てのユニットにパルス増幅器を追加するための改造が行われる。又、併せて真空系の強化が行われる [8]。現在の陽電子発生装置、及び陽電子発生装置が移動する第 2 セクターでは高周波源を含めてユニットの配置が変わる。

2) トンネル部：図 1 に新旧加速ユニットのレイアウト及び移動、新設、改造をまとめた。

入射部を含む最初の 4 ユニットのビーム輸送系 [2], [6] を強化した不規則ユニットである。入射部は 0-1 を移動、その後の 3 ユニットの、新規 1 台製作及び陽電子発生装置 P-2、P-3 を移動する。入射部、P-2、P-3 は従来と加速方向を逆にするための改造、又、P-2、P-3 の 4 m 加速管は 2 m 管にするための改造を行う。

最初の 4 ユニットの後～陽電子標的までの間は、輸送系

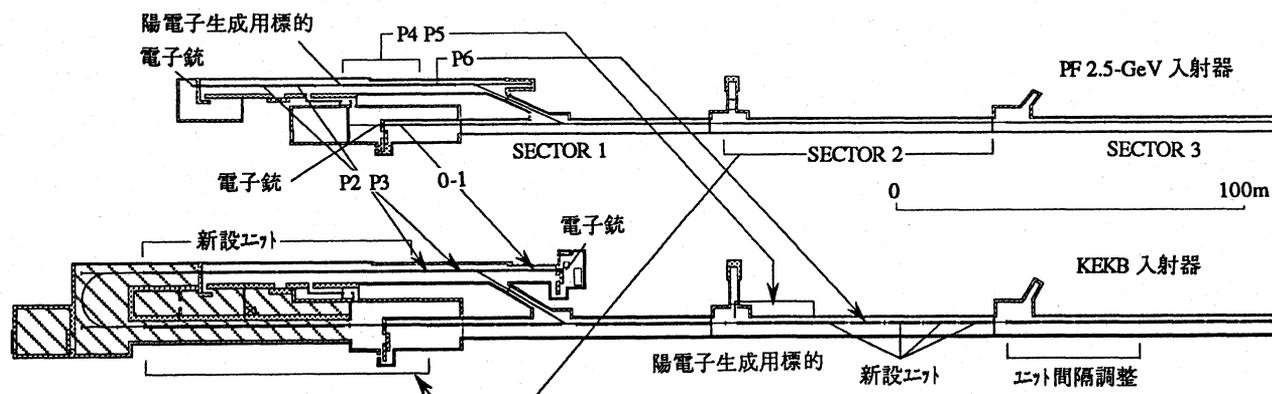


図 1・PF 2.5-GeV 入射器 (上) から KEKB 入射器 (下) への改造図 (加速器トンネル) : 斜線部がエネルギー増強のための建物増築部である。矢印は加速ユニットの移動を示す。陽電子発生装置は第 2 セクターに移動する。

も規則的で1ユニット1台の4極電磁石（トリプレット又はダブルレット）で集束する。ストリップライン型ビーム位置モニターを全ての4極電磁石の位置に置き、又初期調整用としてビームスクリーンを多用する予定である。

陽電子発生装置を含む第2セクターは輸送系が不規則なところで、標準加速ユニット8台+セクター間ビームスイッチャードのスペースに7ユニットを収める。

第3、第4、第5セクターは第3セクター前半4ユニットで4極電磁石設置のための間隔調整を行う以外は、トンネル内加速ユニットに大きな変更はない。

入射器エンドのスイッチャードでは、KEKBリングへの入射路が全く新しく設計、建設される。

#### 4. 加速ユニットのコンポーネントのR&D

入射部(0-1)は92年度大電流加速用に増強されたが、昨年度476 MHzのSHBを入れ、今年からシングルバンチ加速テストを開始した。現在のところ6 nCでバンチ幅10 ps、規格化エミッタンス $67 \pi \text{mm.mrad} (x)$ 、 $73 \pi \text{mm}$ を得ている[4],[11]。KEKBでは、入射タイミングを厳密(RFバケットから $\pm 30 \text{ ps}$ )に合わせる必要があり、入射器とリングで共通のマスターオシレータ（現在 $10.385.. (=2856/275) \text{ MHz}$ で進んでいる）を持つことになっている。KEKB入射器のSHBは、これを基にした2段のSHB及び2856 MHzのバンチャー系で大電流シングルバンチをつくることになるだろう。

加速管はPF 2.5 GeV入射器で用いられてきた2 m加速管を用い、4 m加速管は2 m加速管に改造する。KEKB入射器では加速管内の加速電界が20 MV/mを越え、従来経験しない加速管耐圧が要求される。そこで、4-8ユニットの1本の2 m管にレゾナントリングを付け、27.6 MV/mで加速実験を行った[7]。陽電子発生装置では加速管が強力な磁場の中に浸かり、特に放電が問題になるが、その対策が重要な課題の一つである。

高周波パルス増幅器として、92年11月、4.6ユニットに最初のSLED[16]を設置し、運転を続け、93年12月以来、48 MW、 $3.5 \mu\text{s}$ のクライストロン出力で、約180 MeV/unitの加速利得を得ている[9]。これをベースに、生産方法などの検討の上、PF仕様のSLED量産用プロトタイプを完成し、4.5ユニットに設置した。これは、PF入射器2 m管に合わせた空洞結合定数を持ち、精密な周波数調整装置やソレノイドによる空洞離調機構などを加えたものである。現在エージングが進行中である。この秋から更に4台を加え、6ユニットによる加速試験を開始する予定である。このような加速ユニットの大電力化に対し、真空強化の検討も進められている[8]。

SLED使用の検討と平行して、共振器としてTE620モードのレゾナントリングを用いた、進行波型のパルス増幅器の開発・試験も行われている[3],[10]。

#### 5. 今後の予定

来年度は、入射部、陽電子発生装置の移動や改造、建物増設などが予定されている。陽電子発生装置は建物増築のため使用できなくなり、夏のシャットダウン後はPFへの入射運転は入射は電子ビームに切り替えられる。第2セクターは大幅な改造になり、綿密な準備、計画が今年度の大きな仕事となっている。

#### 参考文献

[1] 「入射器のエネルギー増強」平成5年12月25日、高エネルギー物理学研究所、佐藤勇、内部資料。

- 本研究会関連報告 -

[2] T. Kamitani et al., DESIGN OF BEAM TRANSPORT SYSTEM OF KEKB INJECTOR LINAC.

[3] S. Yamaguchi et al., DEVELOPMENT OF RECIRCULATING RF PULSE COMPRESSION SYSTEM (II).

[4] M. Yokota et al., HIGH INTENSITY SINGLE BUNCH BEAM FOR KEKB AND ITS CHARACTERISTICS.

- 17th International Linac Conference, Tsukuba, August 21-26, 1994 関連報告 -

[5] A. Enomoto et al., RE-FORMATION OF THE PF 2.5-GEV LINAC TO 8 GEV.

[6] T. Kamitani et al., DESIGN OF THE BEAM TRANSPORT SYSTEM OF THE KEK B-FACTORY INJECTOR LINAC.

[7] T. Oogoe et al., HIGH-GRADIENT ACCELERATION TEST USING RESONANT RING.

[8] K. Kakiyama et al., PRESSURE DISTRIBUTION ANALYSIS OF THE VACUUM SYSTEM FOR THE KEK B-FACTORY INJECTOR LINAC

[9] H. Hanaki et al., USE OF SLEDS FOR HIGH GRADIENT ACCELERATION.

[10] S. Yamaguchi et al., DEVELOPMENT OF RF PULSE COMPRESSOR USING TRAVELING-WAVE RESONATOR.

[11] S. Ohsawa et al., HIGH INTENSITY SINGLE-BUNCH BEAM OF THE KEK/PF 2.5-GEV LINAC.

[12] Y. Ogawa et al., WAKE-FIELD ISSUES ON THE KEK B-FACTORY INJECTOR LINAC.

- その他の文献 -

[13] ライナック技術検討会報告、94-Feb-16、内部資料。

[14] A. Enomoto et al., "Performance of the Upgraded Positron Generator at KEK", The third EPAC, Berlin, Germany, March 24-28, 1992, p524-526.

[15] S. Ohsawa and T. Mitsuhashi, "Present Status of Positron Beam Production and Injection into the PF Ring", Journal of the Japanese Society for Synchrotron Radiation Research, Vol.2, No.4, 1989, p23-31.

[16] H. Matsumoto et al., High power test of a SLED system with dual side-wall coupling irises for linear colliders, N.I.M. A33(1993)1-11.