

Transverse Wake Field Characteristics of the KEK Positron Generator Linac

Y. Ogawa, T. Shidara, *M. Takao and A. Asami

KEK, National Laboratory for High Energy Physics

Tsukuba, Ibaraki 305, Japan

*Japan Atomic Energy Research Institute

Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-11, Japan

Abstract

Transverse wake field characteristics of a high-intensity, multi-bunched beam was investigated in detail at the primary electron section of the KEK positron generator linac. The transverse shifts of each bunch caused by a transverse instability were observed at the end of the section. The results are in agreement with a numerical calculation based on a multibunch version of P. B. Wilson's two particle model. The wake potential for our cavity was calculated using TBCI-code.

KEK陽電子発生装置の横方向ウェーク場特性

1. 序

大強度のビームをマルチバンチ（数バンチ）で加速することは、将来のリニアコライダーにおいては、RF電力の効率的な利用という観点から必須の課題であると考えられている。然るに、数バンチの大強度ビームは加速管内で、バンチ間に極めて強いウェーク相互作用を引き起こす。その結果、縦方向ウェーク場によって大きなエネルギーの広がりが生じ、横方向ウェーク場によってビームが蹴られエミッタンスが増大し、衝突のルミノシティが減ってしまう。このようなウェーク場の影響については、理論的解析、打開策の提案などがいくつかなされているが、マルチバンチビームに関する系統的な実験はほとんど行なわれていない。KEKでは、これまで陽電子発生装置の一次電子ビームを用いてウェーク場特性¹⁾を調べてきた。ここでは、横方向ウェーク場の特性についての実験と数値解析結果を報告する。縦方向ウェーク場については、別稿（4-12p）を参照されたい。

2. 実験の構成

図1にKEK陽電子発生装置の一次電子ビーム加速部の構成を示す。電子銃から尖頭電流10A、パルス幅4.2nsの電子ビームが出て、周波数119MHzのサブハーモニックバンチャー（ドリフトスペース3m）によって2nsに圧縮され、さらに2856MHzのバンチャー部で6つのバンチに集群され、6本の加速管で250MeVまで加速される。陽電子発生用ターゲット直前のエネルギー解析装置によれば全エネルギー幅は、約9%である。

横方向ウェーク場の効果をみるためには、最初の加速管入口で中心軸からビームを横方向に

ずらし、加速後の各バンチの横方向の運動を観測しなければならない。幸い、縦方向ウエーク場のためにバンチ毎にエネルギーが異なるので、加速後にビームを曲げてスクリーンモニタで各バンチの横方向（鉛直方向）の運動を別々に観察することが可能である。実験では、最初の加速管入口直前の偏向磁石ST-1によってビーム入射位置を変え、陽電子発生用ターゲット直前のエネルギー解析装置のスクリーンモニタPRMAをみてバンチ毎の横方向運動を調べた。前回の報告では、最後のバンチの運動のみに注目して簡単な解析を行なったが、今回は全バンチの横方向運動を観察／解析した。

3. 結果及び考察

加速管入口でのズレを2mmとしたときの、横方向ウエーク場による各バンチの横方向運動の様子をPRMAで観察した結果を図2に示す。この図では、左側が高エネルギーに対応している。この結果を説明するために、P. B. Wilsonの2粒子モデル²⁾を拡張した多粒子モデル (Rigid Macroparticle Model) によって、各バンチの横方向運動を解析した。運動方程式³⁾はつぎのようになる。

$$\frac{d}{ds} \left(\gamma(s) \frac{dx_n}{ds} \right) + \gamma(s) k_n^2 x_n = r_0 \sum_{i=1}^{n-1} N_i W_{n-i+1} x_i \quad (n=1, N)$$

ここで、 s はリニアックに沿っての距離、 x_n は n 番目のバンチの横方向変位、 k_n はベータトロン振動の波数、 $\gamma(s)$ はエネルギーローレンツ因子、 r_0 は古典電子半径、 N_i は i 番目のバンチの粒子数、 N はバンチ数、 W_i は i 番目のバンチの位置における横ウエークポテンシャルを表す。計算の仮定としては、一定の加速ゲイン； $\gamma(s) = \gamma_0 + gs$ (γ_0 は最初のエネルギー、 g は単位長さあたりのエネルギーゲイン)、ベータトロン波数はすべて同じ； $k_n = k$ とする。必要なパラメータを表1に示す。ここで、横ウエークポテンシャルは表2のキャビティパラメータに基づき、TBCIコード⁴⁾によってガウシアンビームについて計算したものである。尚、我々のキャビティは擬定勾配型なので、図3に示す代表的な2種類の2a寸法に対応する横ウエークポテンシャル波形の平均値を運動方程式の数値計算に用いた。(TBCIでは定インピーダンスで計算した)

Runge-Kutta法で行なった運動方程式の数値積分の結果、バンチ毎のビーム軌道が求められ、実験と良い一致を示した。図4は、エネルギー解析装置のスクリーンモニタでのビームプロファイルを計算から再現したもので、図2の観測結果に対応している。

本実験と解析により大電流マルチバンチビームの横ウエーク場特性が定量的かつ系統的に解明された。その結果は、将来のリニアコライダーやKEKで計画中のB-Factory用入射器（陽電子発生）などで必要とされる大電流マルチバンチビーム加速器の設計に重要な指針を与えるものと考えられる。今後の課題として、さらに高いエネルギーまでの長距離加速が可能か、実験／計算の両面で検討を重ねる予定である。

文献

- 1) Y. Ogawa, T. Shidara, and A. Asami, Phys. Rev. D43, 258 (1991).
- 2) P. B. Wilson, SLAC-PUB-4547, SLAC/AP-66, 1989.
- 3) T. Suzuki, AIP, 156, 480 (1987).
- 4) T. Weiland, IEEE Trans. NS-30: no.4,1 (1983).

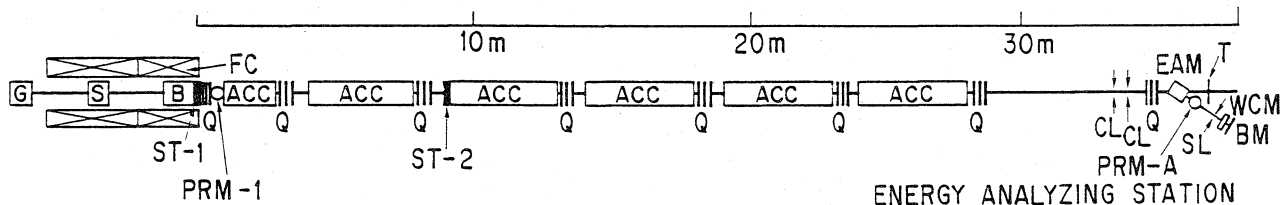


図1 KEK陽電子発生装置一次電子ビーム加速部。G: 電子銃、S: SHB、B: プレバンチャー、バンチャー、ACC: 加速管、FC: 集束コイル、Q: 四重極電磁石、ST: 偏向電磁石、EAM: エネルギー解析用電磁石、PRM: プロファイルモニタ、CL: コリメータ、SL: スリット、WCM: 壁電流モニタ、BM: バンチモニタ、T: 陽電子発生用標的。

2 mm

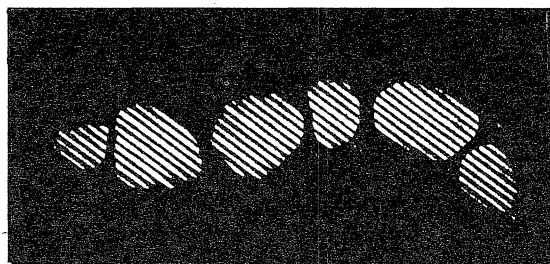


図2 エネルギー解析装置のプロファイルモニタ PRM-Aで観測したビーム。垂直方向が横方向変位に対応し、水平方向がエネルギーに対応している（左が高エネルギー側）。バンチ構造が見える。加速管入口で2mmのズレを与えた。

Initial Energy	γ_0	23 (12 MeV)
Energy Gain	g	22 /m (11 MeV/m)
Length of Acc.	L	22 m
Initial Position	$x_n(0)$	2 mm
Initial Angle	$dx_n(0)/ds$	0
Betatron Wave Number	k	$2\pi/27$ /m
No. of Particles in the n-th Bunch	N_1	6.2×10^9
	N_2	3.7×10^{10}
	N_3	4.4×10^{10}
	N_4	5.6×10^{10}
	N_5	2.5×10^{10}
	N_6	2.5×10^{10}
Total No. of Bunches	N	6
Transverse Wake Function	W_1	0 1/m ³
	W_2	8.9×10^4
	W_3	-4.5×10^4
	W_4	1.3×10^5
	W_5	-1.8×10^5
	W_6	1.3×10^5

表1 運動方程式用各種パラメータ

Type of Structure	quasi-constant gradient travelling wave $2\pi/3$ mode
Operating Frequency	2856 MHz
Length of Acc. Cavity	2 m / 4 m
No. of Cavities	54 / 110
Cavity Inner Diameter, 2b	82 - 83 mm
Iris Aperture Diameter, 2a	20 - 26 mm
Disk Thickness	5 mm

表2 キャビティパラメータ

2 mm

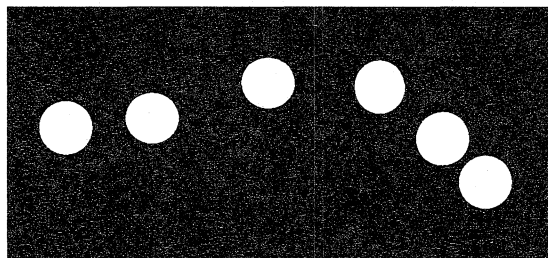
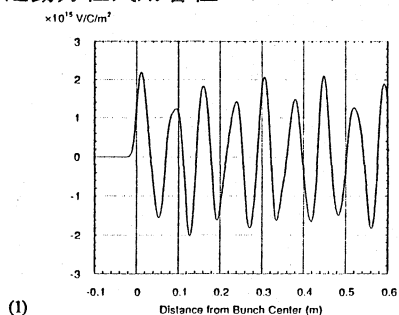
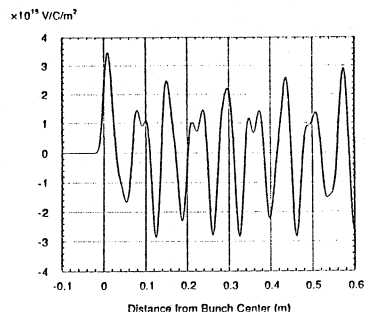


図4 計算によって再構成したPRM-Aでのビームプロファイル。条件は、図2と同じ。



(1)



(2)

図3 TBCIによるウェークポテンシャル。(1)2a=26mm (2)2a=20mm。バンチの長さは7.5mmとした。