

ENERGY SPECTRUM OF HIGH CURRENT ELECTRON BEAM OF THE POSITRON GENERATOR LINAC AT KEK

Yujiro OGAWA, Tetsuo SHIDARA, Hitoshi KOBAYASHI, and Yuji OTAKE
Photon Factory, National Laboratory for High Energy Physics(KEK)

and

Genichi HORIKOSHI

Tsukuba College of Technology

ABSTRACT

Energy spectrum of high current electron beam of the positron generator linac at KEK has been measured by an energy analyzing system at the positron target. An electron peak current of 10 A with a beam width of 2 ns is accelerated to 250 MeV at the target. We observed the bunch structure of the energy spectrum and identified each peak as a corresponding bunch of the beam by a strip-line type bunch monitor. We have found that (1) the energy spread of each bunch is different, (2) and the energy difference between bunches is not identical, which is not simply explained by a calculation of transient beam loading. The results have been compared with a numerical analysis of beam dynamics.

KEK陽電子発生装置における一次電子ビームのエネルギースペクトル

§ 1 序

KEK陽電子発生装置における一次電子ビームは、尖頭電流 10 A、パルス幅 2 ns の大電流短パルスであり、陽電子変換ターゲット前で 250 MeVまで加速される。加速周波数が 2856 MHzであるため、バンチ数は5~6個におよぶ。このような数バンチにわたる大電流短パルスビームの特性を調べることは、将来のTeV領域リニアコライダーを想定する上で極めて重要な問題の一つであると考えられているが、これまで系統的に調べられた例は少ない。KEK陽電子発生装置では、今回初めて、ターゲット前に設置されたエネルギー解析システムを用いて数バンチの大電流短パルス電子ビームのエネルギースペクトルを測定した。いくつかの興味ある結果が得られたので、報告する。

§ 2 測定系の概要

KEK陽電子発生装置の陽電子変換ターゲット前までのレイアウトは図1のようになっている。電子銃からは、エネルギー150 kV、尖頭電流10 A、パルス幅4.2 nsの電子ビームが発生する。変調周波数119 MHz（加速周波数の24分の1）のSHB(Sub-Harmonic Buncher) と約3 mのドリフトスペースを経てパルス幅2 nsに圧縮された尖頭電流約20 Aの電子ビームは、周波数2856 MHzのプレバンチャー、バンチャーを通り、加速周波数2856 MHzの加速管に入り、ターゲット前まで250 MeVに加速される。ターゲット直前に、エネルギー解析用偏向電磁石、プロファイルモニター、壁電流モニター、スリット²⁾、ストリップライン型バンチモニター³⁾などからなるエネルギー解析システム（図2）があり、これを用いて一次電子ビームのエネルギースペクトルを測定する。測定は、エネルギーの測定分解能をスリット幅1 mmによって決め（約0.15%）、加速位相をパラメータとして、それぞれの場合について偏向電磁石の電流を変えてエネルギースペクトルを測るという手順で行なった。得られたエネルギースペクトルにはバンチ構造が見られたが、各バンチの同定は、ストリップライン型バンチモニターによって行なった。また、過渡的なビーム負荷の効果を実験的に求めるために、パルス幅のやや長いセミ長パルスビーム（40 ns）を加速しエネルギーとビームのタイミングの関係を測定した。

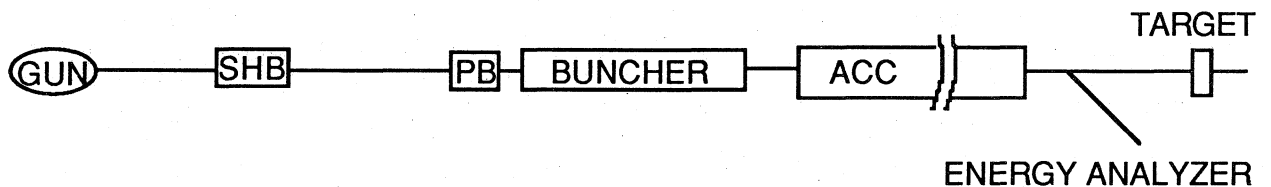


図1 KEK陽電子発生装置電子加速部のレイアウト

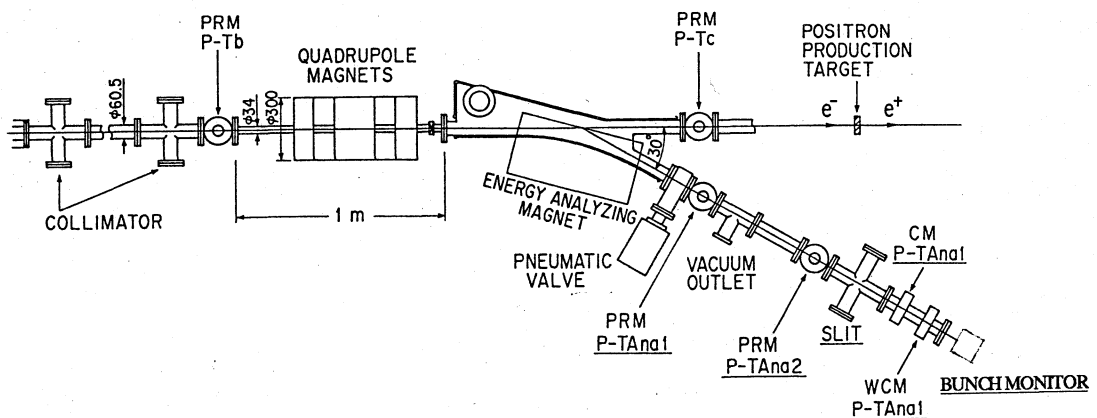


図2 エネルギー解析システム

§ 3 測定結果

図3に、加速位相をパラメータとしたエネルギースペクトルを示す。加速位相は、ほぼ最適と思われる位相に対する相対位相で表わした。エネルギースペクトルにはピークが幾つか見られるが、各ピークはそれぞれのバンチに対応していることがわかった。これから、各バンチのエネルギー幅がそれぞれ異なるだけでなく、加速位相を変えてもバンチの時間的な順序とエネルギーの大小関係は変わらないが、エネルギー間隔は必ずしも一定ではないことがわかる。また、図3から、バンチ毎のエネルギーの加速位相に対する依存性を求めると、図4の様になる。図4では、楕円形の長軸の長さによってバンチ毎のエネルギー幅も表現してある。この図から、バンチ毎のエネルギーが加速位相に対して余弦的に変化する様子がわかるが、バンチ毎に加速位相の最適値が同じ値ではなく、最大約 3° 異なっているのが注目される。一方、セミ長パルスビームの加速実験から、過渡的ビーム負荷について図5のようなエネルギーとビーム波形の関係を求め、単位電荷当たりのビーム負荷量を推定した結果、約 $0.2\%/nC$ となった。

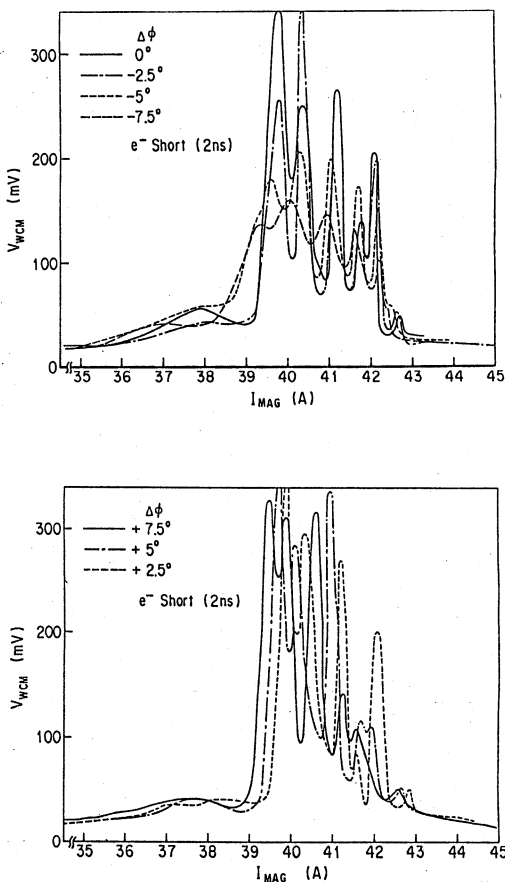


図3 エネルギースペクトル

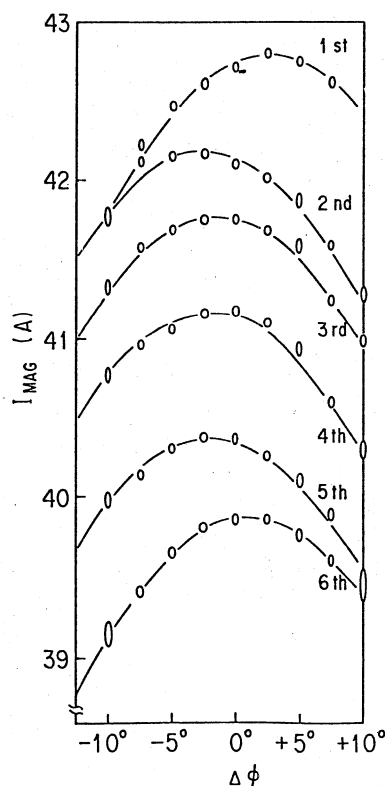


図4 バンチ毎のエネルギーの加速位相依存性

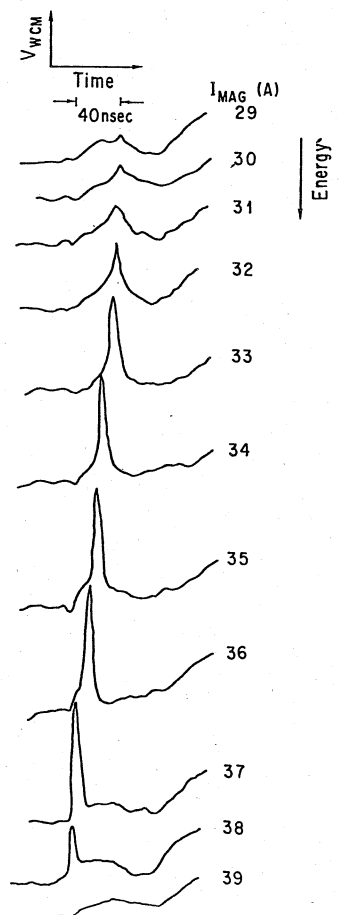
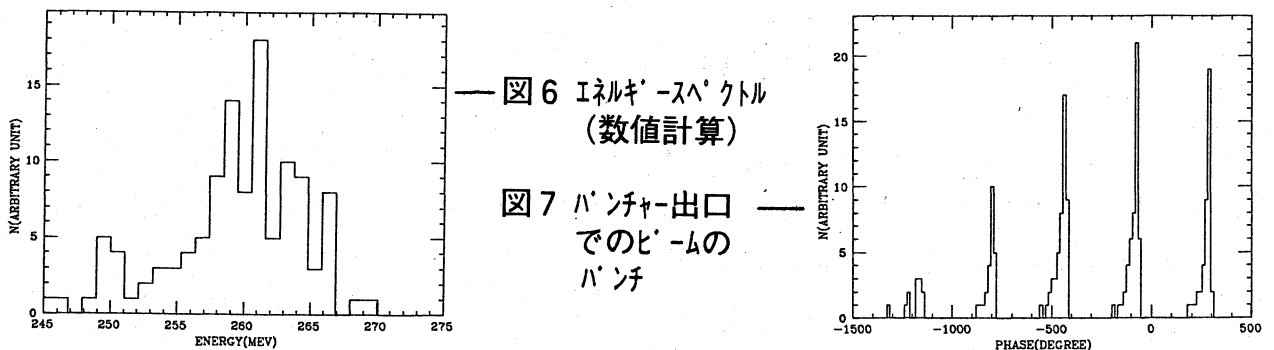


図5 セミ長パルスビームによる過渡的ビーム負荷の見積

§ 4 数値計算

上の測定結果を概略説明するために、ディスクモデルによる一次元の空間電荷効果を取り入れた数値計算を行なった。計算は、実際の加速パラメータとほぼ同じ条件の下で、電子銃(150 kV)から出た尖頭電流10 A、パルス幅4.2 nsの電子ビームを進行方向に対し240枚のディスクに分けて、各ディスクの運動を、SHB(50 kV)、プレバンチャー、バンチャー、加速管の各部分で追跡し、パルス幅の圧縮、バンチの形成、エネルギースペクトルなどについて調べた。ビーム負荷については、加速管部についてのみ上で実験的に求めた値を過渡応答効果として取り入れた。計算の結果、ターゲット前250 MeVでのエネルギースペクトルとして最適加速位相に対し、図6が得られた。図6は、概略測定結果(図3)を説明するものであるが、細部においては一致していない。特に、測定された全体としてのエネルギースペクトルの広がり、計算にとり入れた過渡的なビーム負荷の効果よりは約2倍大きい。一方、バンチャーの出口でのビームのバンチの様子を図7に示す。バンチ間隔は、計算精度の範囲で 360° となっているので、図4に示されたようなバンチ毎の最適加速位相の違いを説明するものではない。



§ 5 結論及び議論

数バンチの大電流短パルス電子ビームのエネルギースペクトルを測定した結果、バンチ構造が見られたが、単純な過渡的なビーム負荷の効果を取り入れた計算で概略説明されるものの、バンチ間のエネルギー差の違い、全エネルギー幅の大きさなど計算値と異なるものがある。また、図4に示されたようなバンチ毎の最適加速位相の違いは、一次元ディスクモデルでは計算精度の範囲内では説明されない。その他、幾つか興味ある結果が得られたが、単純なモデル計算に合わないことから、縦方向のウェーク場の効果が既に現われている可能性も考えられる。今後さらに詳しい測定を行なう予定である。

参考文献

- 1) M.Yokota et al., "Improvement of Electron Gun for Positron Generator Linac", presented at this meeting.
- 2) K.Kakihara et al., "Energy Slit System for PF 2.5 GeV Linac", presented at this meeting.
- 3) Y.Otake et al., in preparation.