

SIMULATION OF BEAM BEHAVIOR WITH PARMELA FOR THE POSITRON GENERATOR INJECTOR

H. Iwata*, Y. Ogawa, S. Ohsawa, S. Fukuda, A. Enomoto, M. Yokota, A. Asami

*Isikawajima-Harima Heavy Industries Co. Ltd

National Laboratory for High Energy Physics

ABSTRACT

The SHB at the KEK e+ LINAC is simulated with the Beam Dynamics Code, PARMELA (by C. BOURAT), which successfully deals with radial beam motion. As a preliminary result of this simulation, optimal parameters of the SHB, beam width (half value) 3nsec, input power 10KW are somewhat roughly obtained. And also the radial oscillation of travelling beam in the uniform magnetic field is found out. Improvements should be made with the calculation method and parameters to be used, in order to make more exact comparison with the actual situation and to obtain better optimal parameters.

計算コード PARMELA による陽電子発生装置入射部の Beam Dynamics

1 はじめに

現在トリスタンARへ陽電子を供給している陽電子発生装置は、電子が陽電子に変換される効率が約0.3%とかなり低い。このため充分な陽電子電流を得るためにSHB (SUB-HARMONIC BUNCHER)を用いて電子ビーム幅を圧縮しピーク電流を増やしている。最近、数回の実験によつてSHBへの入力パワー、電子銃からのビームのバルス幅などのパラメータの最適なくみあわせを選ぶことにより、さらにピーク電流を増やすことが可能であることがわかつた。

今回、ディスクモデルとは違つて2次元のビームダイナミックスを扱うことができるC. BOURATの軌道計算プログラムを用いてSHBの特性のシミュレーションを行つた。

2 計算機シミュレーション

a) 計算方法と結果

今回用いたプログラムは総電荷量を500個の粒子に均等に分布させ各粒子のX, Y, Z, P_x, P_y, P_zについて時間を変数として各粒子間のスペースチャージ効果、外部集束磁場の効果、加速電場を考慮しビームの軌道を計算している。しかし現段階ではビームダク

トによる境界条件は計算に入っていない。シミュレーションはGUNからPB入口までの部分をおこなつた。GUNから入射されるビームはエミッタンス0.01πMeV/c cm (設計値) 平均ビーム半径0.9 cmを仮定し集束磁場はFIG-1とした。SHB入力パワーが6.7 KW, GUN電流値が10 Aの時のシミュレーション結果をFIG-2に示す。次にFIG-2に

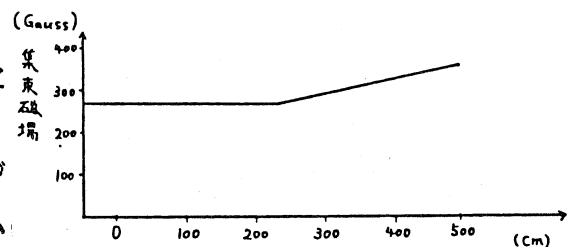
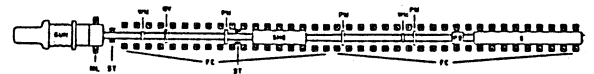


Fig-1

示されるビームの様子について考察する。FIG-3に示されるようにSHBの位相とビームの中心が一致しているためビームの平均エネルギーはまず、ビームの先頭が減速されるため一度減少する。しかし、最終的にはGAIN=0の状態ではビームはSHBを通過し

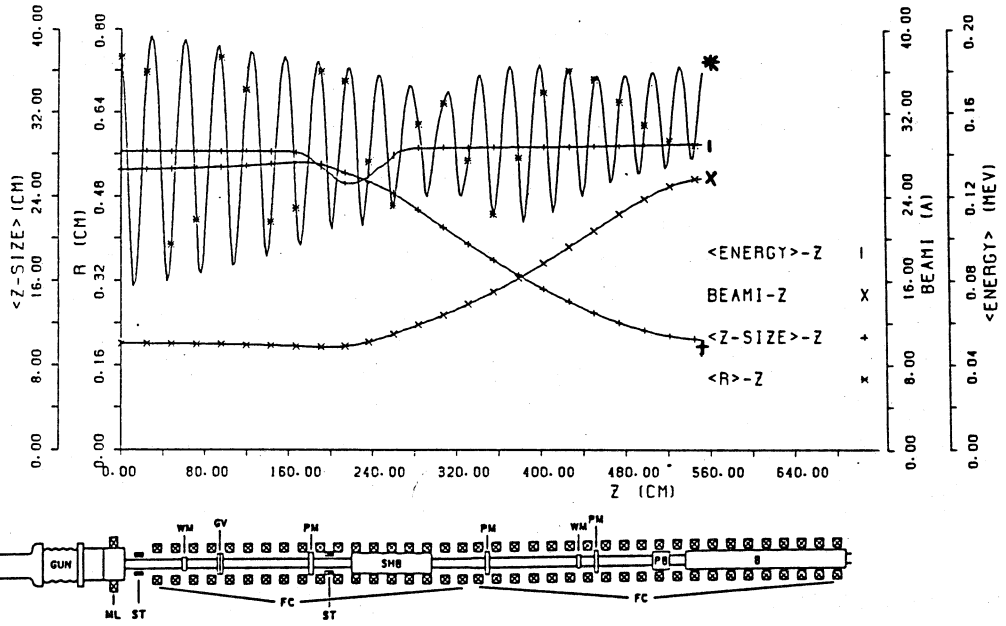


Fig-2

ていく。SHBにより速度変調を受けたビームは、PBの入口までのドリフトスペースを集群しながらすすむ。しかし、SHBの入力パワーによっては、ビームの速度の速い後部が速度の遅い先頭を超越し再びビームは、発散していく。FIG-2からはまだ発散の徴候が見られず、SHB入力パワーが6.7KWではまだ十分に集群していないことが分かる。次にビームの半径方向の動きについて考察する。

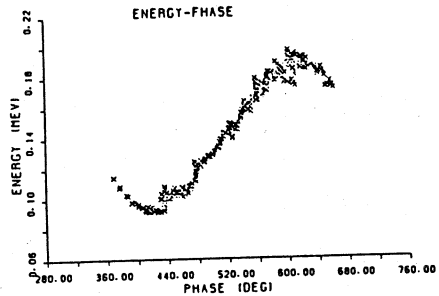


Fig-3

FIG-2よりビームはL=31.5cm進むごとに振動を繰り返していることがわかる。ビームの運動エネルギーがT=0.14Mevの時のβは0.6199である。したがってこの半径方向の振動の周期T1は $T1 = L / \beta c = 1.69 \text{ nsec}$ であることがわかる。一方一様磁場中を運動する電子の螺旋運動の周期は次式で表される。

$$T2 = 2\pi m_0 \gamma / eB$$

すなわち、軸に垂直な方向の運動に無関係にγだけで決まる。これより、270 Gauss (0.027 wb/m²) の磁場中の電子の螺旋運動の周期はT2=1.69nsecであると求められる。したがってT1とT2が、一致することによりFIG-2のビーム半径方向の振動はビームの螺旋運動に基づいていることがわかった。しかしながら多数の電子がばらばらに螺旋運動をしたのでは、集団としてFIG-2のような振動は生じない。FIG-2のような振動を生じさせるためには、少なくともビームの半径を決定している外側に近い電子が同じ位相で螺旋運動を行う必要がある。このことは、スペースチャージの効果によりビームの外側近辺の電子には主に半径方向の正の運動量成分を生じているという事実により説明できる。今FIG-4のようなビーム断面を考えるとABCDに位置する電子はスペースチャージの効果により主に半径方向の正の速度成分を持っている。このビームに進行方向に一様な磁場をかけるとABCDの電子は位相の揃った(つまり先ず半径方向正に向かって)螺旋運動を行う。こうして集団としては、ビームの

半径方向にFIG-2のような振動を生じさせる。

b) 実測値との比較

次のパラメータを設定してシミュレーションした。

入射エネルギー 0.14MeV パルス幅 (半値) 4nsec

電流値 5、7、10A SHB入力パワー 1-7KW

シミュレーション結果をFIG-5に示す。5Aのシミュレーション結果と

実測値がほぼ一致した。しかしWMの絶対値には誤差が含まれているため絶対値に関して必ずしも一致しているとは現段階で結論づける

ことはできない。ただし、10A、7Aのシミュレーション

結果を考慮に入れるとシミュレーションは、ほぼ正しいと言

える。

c) SHB特性のシミュレーション

次にGUNビーム幅及びSHB入力パワーを変数にとり次の

ケース1、2についてシミュレーションを行った。

ケース1 入射エネルギー0.15MeVパルス幅 (半値) 2-8nsec

電流値 10A SHB入力パワー 10.6KW

ケース2 入射エネルギー0.15MeVパルス幅 (半値) 4nsec

電流値 10A SHB入力パワー2-13KW

ケース1のシミュレーション結果をFIG-6、ケース2の

シミュレーション結果をFIG-7に示す。

3. まとめ

今回のシミュレーションではビーム幅 (半値) 3nsec、

SHB入力パワー10KWあたりが最適であると考えられる

しかし、軌道計算プログラムにはビームダクトによる境界条件が考慮されていないこと、シミュレーションに用いたパラ

メータに正確に測定されていないものがあり設計値を用いた

こと、さらに、プレバンチャー、バンチャーにおけるビーム

の振舞いも考慮する必要があるなどの事情から最終的な結論

は、さらに、検討を続ける必要がある。

References

A.Asami et.al., "Injector of the Positron Gene-

tor", Linear Acc.Conf., 1986, SLAC

S.Ohsawa et.al., "BEAM CHARACTERISTICS OF KEK e

INJECTION SYSTEM"

THE 11TH MEETING ON LINEAR ACCELERATORS 99-101

Y.Ogawa et.al., "Electron Gun of KEK e⁺ Linac"

THE 11TH MEETING ON LINEAR ACCELERATORS 66-69

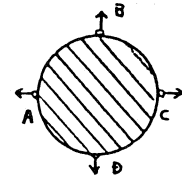


Fig-4

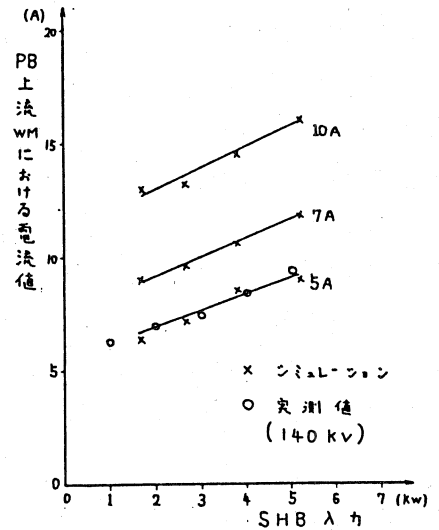


Fig-5

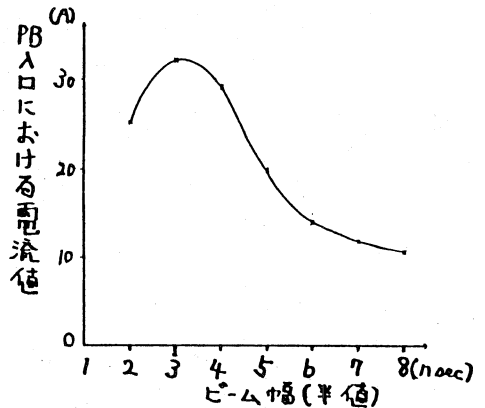


Fig-6

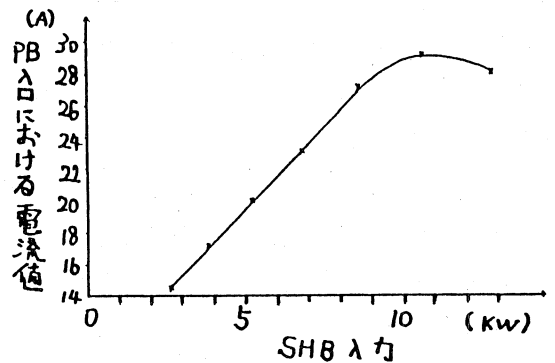


Fig-7