

POSITRON SOURCE FOR JLC(II)

H. Ida,*S. Uno,*J. Urakawa,*S. Kawabata,*T. Sumiyoshi,
*Y. Takeuchi,*A. Miyamoto,*M. Yoshioka

Engineering Research Center, NKK Corporation
1-1 Minamiwatarida, Kawasaki-ku, Kawasaki-shi, 210 Japan

*KEK, National Laboratory for High Energy Physics
1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305 Japan

ABSTRACT

A simulation program has been developed in order to design an intense positron source for the JLC. By using this program, design of the JLC positron source has been carried out in order to optimise positron yield. The results of the calculations are presented.

J L C の陽電子源(II)

1.はじめに

KEKにおいて研究開発が進められているリニアコライダー、JLC(Japan Linear Collider)では、図1に示すような大強度陽電子源の開発が必要不可欠である。そのために、電磁カスケードシャワーモンテカルロ計算コード EGS4¹⁾を用いたシミュレーションコードの開発が進められてきた²⁾。現在、シミュレーションコードを用いて陽電子源の各構成要素のパラメータについて最適化を行っている。ここでは、JLC用大強度陽電子源の設計の現状を述べる。

2. 陽電子源について

陽電子源はその機能により a) 入射電子を陽電子に変換するターゲット部、b) 発生した陽電子を効率良く収集する集束部及び c) 収集した陽電子を加速する加速部に大別される。

リニアコライダーの場合、集束部にはエネルギーアクセプタンスが大きな Adiabatic Deviceを使用する。加速部では、空間電荷効果によるビームの拡がりを抑えるために、高加速電界で加速され、プレダンピングリングあるいはダンピングリングに導かれる³⁾。これらのリングのアクセプタンス内により多くの陽電子を入射できるシステムを設計することが最適化の目標となる。

3. シミュレーション手法

ターゲット部における電磁カスケードシャワーのシミュレーションには、EGS4コードを用いて、ターゲット出口における陽電子の位置、運動量を求める。集束部及び加速部では、ルンゲクッタ法を用いて、発生した陽電子の挙動をシミュレートしている。集束部では、Adiabatic Deviceによる磁場⁴⁾

$$B_z = \frac{B_0}{1 + \mu z}, \quad B_r = -\frac{r}{2} \frac{dB_z}{dz} + \frac{r^3}{16} \frac{d^3 B_z}{dz^3}$$

を与え、陽電子は運動方程式 $dp/dt = q v \times B$ に従う。加速部は、travelling wave, disk-loaded waveguide型で、周波数は 2856MHzである。加速電界は、

$$E_x = E_y = 0, \quad E_z(t) = E_0 \sin(\omega t - kz + \phi)$$

として、陽電子の飛行時間を考慮したシミュレーションを行っている。

4. シミュレーション結果

JLC陽電子源の設計の出発点として表1に示すSLACのSLC陽電子源のパラメータを参考として用いた。固体金属ターゲットでは熱的な問題から入射電子ビーム強度が制限される。SLCの運転実績等から固体金属ターゲットが衝撃的応力によって破壊されない範囲で電子ビームの強度を仮定し、SLCと同等な入射電子ビームの拡がり $\sigma=0.8\text{mm}$ を仮定すると、JLCの陽電子源で必要となる normalized yield は $0.2 e^+/e^- \text{GeV}$ となる。これは、SLC陽電子源の normalized yield の 3～4 倍の値である⁵⁾。ここで、normalized yield はプレダンピングリングのアクセプタンス内に入る陽電子の数を入射電子数で割り、更に入射電子のエネルギー[GeV]で割ったものである。ここで行ったシミュレーションでは、入射電子ビームのエネルギーとしてSLCでの値 33GeVを採用しているため、必要となる生成効率は 33GeV入射電子1個あたり 6.6となる。

表1のパラメータに対するシミュレーション結果を表2の設計ベースの欄に示す。ターゲット出口で入射電子1個あたり66個の陽電子が発生するが、加速管出口に到達するものは5.2個である。このうち、プレダンピングリングのアクセプタンス $\gamma\epsilon=3 \times 10^{-3} \text{rad}\cdot\text{m}$ 、 $\Delta E/E=\pm 1\%$ 内に入っている陽電子は1.8個である。この値は、必要となる生成効率を大きく下廻っており、パラメータの最適化が必要となった。

最適化の方向として、a) 入射電子ビームの拡がりを大きくし、加速管のアイリス径を大きくする、b) 加速時の位相を最適化する、c) 集束部の磁場を大きくする等を検討した。現時点で得られた最適な陽電子源のパラメータ及びシミュレーション結果をそれぞれ表1及び表2に示す。加速部出口でプレダンピングリングのアクセプタンス内に入った陽電子は2.4個に増加した。このシミュレーションでは、入射電子ビームの拡がりを $\sigma=0.8\text{mm}$ から 1.2mm に大きくしたため、熱的な負荷が $(0.8)^2/(1.2)^2=1/2.25$ に減少する。つまり、入射電子ビーム強度を2.25倍とすることが可能となり、6.6個の目標に対して5.4個の生成効率が得られたことと等価である。

更に生成効率を増加させるためのアイデアとして、a) ターゲットを 1mm 程度のワイヤ形状にする、b) 加速部において低電界、逆位相で運転することがSLACのR. Millerらから提案されている⁴⁾。これらのシミュレーションを行うには、プログラムの変更及び新たなプログラムの導入が必要であり、現在まで詳細な解析には至っておらず、今後の課題である。異なるアプローチとしては、プレダンピングリングのアクセプタンスを大きくすることが考えられる。最適化されたパラメータに於ける、プレダンピングリングのエミッタンスカットの変化による生成効率の変化を図2に示す。例えば、エミッタンスカットを $\gamma\epsilon=6 \times 10^{-3} \text{rad}\cdot\text{m}$ とすると、生成効率は2.4から4.4と約2倍に増加し、入射電子ビーム強度を大きくできることを考えると、目標生成効率を上廻ることが予想される。

参考文献

- 1)W. R. Nelson et al., SLAC-265, (1985)
- 2)竹内康紀 他、POSITRON SOURCE FOR JLC、第14回ライナック研究会
- 3)浦川順治、リニアコライダー、OHO'90
- 4)竹内康紀、陽電子発生、OHO'90
- 5)M. James et al., SLAC-PUB-5215 (1990)

表1 陽電子源のパラメータ

| | 設計ベース | 最適値 |
|-------------|-----------------------|-----------------------|
| ターゲット部 | | |
| 材質 | タングステン | タングステン |
| 形状(ディスクの厚さ) | 6放射長=21mm | 6放射長=21mm |
| 入射電子エネルギー | 33GeV | 33GeV |
| 入射電子ビームの拡がり | $\sigma=0.8\text{mm}$ | $\sigma=1.2\text{mm}$ |
| 集束部 | | |
| ピーク磁束密度 | 6.8 T | 8.0 T |
| 長さ | 10cm | 10cm |
| 加速部 | | |
| 電界強度 | 50MV/m (15MV/m) | 50MV/m (15MV/m) |
| 長さ | 1.5m (3.0m) | 1.5m (3.0m) |
| ビームホールの直径 | 1.8cm | 2.6cm |
| ソレノイド磁場 | 0.5 T | 0.8 T |
| 初期位相 | 90° | 90° [120MeV以降-10°シフト] |

()内の値は低電界部

表2 シミュレーション結果

| 位置 | 陽電子数 (入射電子1個あたり) | |
|------------|------------------|------|
| | 設計ベース | 最適値 |
| ターゲット部出口 | 65.9 | 65.9 |
| 加速部出口 | 5.2 | 15.3 |
| エミッタンスカット後 | 2.8 | 3.1 |
| モーメントムカット後 | 1.8 | 2.4 |

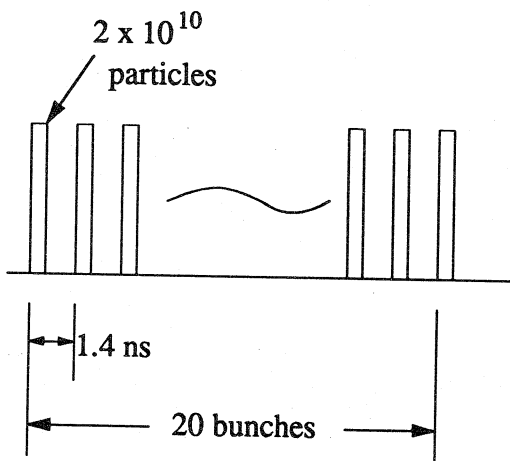


図1 JLCのバンチ構造
(重心系エネルギー1TeVの場合)

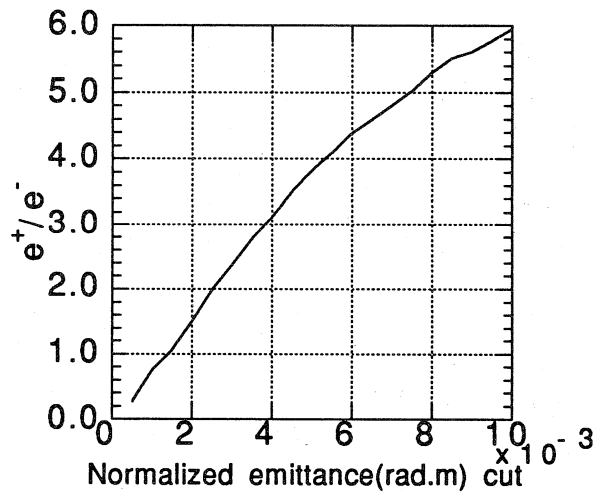


図2 エミッタンスカットの変化による
生成効率の変化