

# SIMULATION OF POSITRON FOCUSING SYSTEM FOR SPring-8 LINAC

A. Mizuno, H. Yoshikawa, S. Suzuki, K. Yanagida, T. Hori, K. Tamezane, and H. Yokomizo  
 JAERI-RIKEN SPring-8 project team  
 Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, 319-11, JAPAN

## ABSTRACT

In order to design an electron/positron converter for the SPring-8 LINAC, we developed a new simulation code, and also constructed a test apparatus of the converter. This code is composed of a Monte Carlo simulation code 'EGS4' for positron generator, and our beam tracking code for positron focusing system. In this session, we present the results of the simulation of the test apparatus, and the relation between the characteristic of positron beam, and parameters of the focusing system.

## SPring-8 線型加速器の陽電子集束システムシミュレーション

### 1. はじめに

SPring-8では、ストレージリングに於けるビーム寿命の確保のため陽電子による運転を予定している。陽電子は、線型加速器内のコンバーターにより生成する計画である。コンバーターはタングステンターゲットと陽電子集束システムよりなっており、ビームエネルギーが250 MeVの場所に設置する。陽電子への変換効率を0.1%内外と見積もって、陽電子ビーム電流をパルス幅10nsecのときに10mAと予定している。コンバーター部の発注は来年度となる予定である。

陽電子への変換効率を最適化し、設計に生かすため、今回、コンバーター部のシミュレーションコードを作成した。また、このコードを、コンバーター部設計のために原研東海に設置している陽電子発生R&D装置に適用し、集束システムの最適化を試みた。本発表では、コードの概要、及びシミュレーション結果について述べる。

### 2. 陽電子発生R&D装置

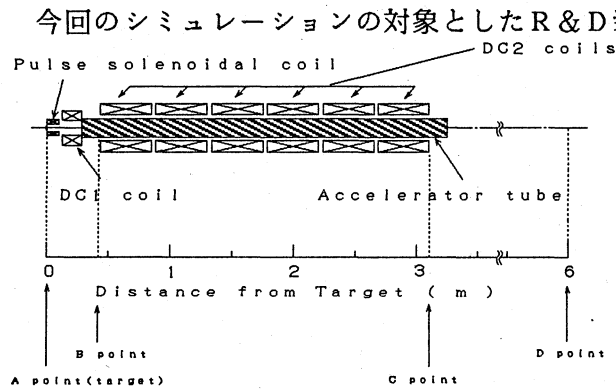


図1 陽電子発生R&D装置概念図

この装置の加速管では、陽電子ビームを約50 MeVまで加速することができる。

### 3. シミュレーションコードの概要

コンバーター部のシミュレーションコードは2つに分かれる。前半は、電磁カスケードシミュレーションコードEGS4<sup>1)</sup>によるターゲットでの陽電子生成についてのシミュレーションであり、後半は、我々の作成したビームトラッキングコードによる集束システムについてのシミュレーションである。ここでは、ビームトラッキングコードの概要を主に述べる。

今回のシミュレーションの対象としたR&D装置の概念図を図1に示す。この装置は原研リニアックに併設したもので、120 MeVに加速した電子ビームをタングステンターゲットに入射し、生成された陽電子を、1つのパルスソレノイドコイル、7つのDCソレノイドコイル(DC1×1, DC2×6)、および加速管からなる集束系によって収集するものである。得られた陽電子は、ターゲットから約6mのところにある分析電磁石、及びファラデーカップにより観測できるようになっている。これらのコイルによる磁場を図2に示す。図の磁場はシミュレーション用に計算したものであるが、ほぼ、R&D装置の設計上の定格値に等しい値である。また、

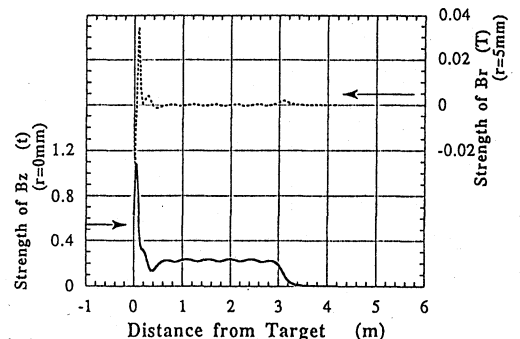


図2 Strength of magnetic field along the axis of solenoidal coils

EGS 4では、モンテカルロ法により、陽電子1つ1つのターゲット出口でのエネルギー、及び出射角度が算出される。ビームトラッキングコードでは、この結果を読み込んでトラッキングを行う。トラッキングは、マクスウェル方程式を4次精度のルンゲクッタ法で解くことによっている。このとき、集束システムの磁場は、トラッキングの各々の点で計算している。これは、集束システムの最適化のために、様々な磁場形状での計算を行い易くするためである。磁場の算出は、実際のコイルが存在する位置に円筒電流が流れていると仮定し、楕円関数を $r$ の9乗まで展開することにより代数的に求めている。図2は、この手法で計算したものであり、都合上、中心軸からの距離 $r$ が一定の位置で計算しているが、実際のシミュレーションではビームの軌道に従って $r$ も変化していく。加速管の部分は、軸方向に定常的な電場が存在すると仮定して計算した。これは、後に述べるように、集束システムで捕獲できる陽電子のエネルギーが10 MeV内外、あるいはそれ以上であり、速度は加速管内の位相速度と等しいと考えたためである。シミュレーションは、図1で(A point)より始まり、(D point)で終了する。また、陽電子が中心軸から17mm以上はなれた場合にも、シミュレーションを終了する。これらを、ベクトル演算プロセッサにより、複数の陽電子について同時にトラッキングしている。

計算機は、EGS 4には原研情報システムセンターのM760を、ビームトラッキングコードにはVP2600を用いた。

#### 4. シミュレーションの結果

EGS 4では、表1の条件のもとでシミュレーションを実行した。このとき生成された陽電子の、ターゲットからの出射角度別のエネルギースペクトルを図3に示す。入射電子ビームのエネルギーが120 MeVと250 MeVのときの結果であるが、いずれも10~20 MeVあたりにピークがあることがわかる。しかし、出射角度の小さな陽電子は、ほぼ一様に分布している。なお、この計算では、出射角度 $18^\circ$ 以上の陽電子、およびエネルギー50 MeV以上の陽電子は無視している。

次に、図4にビームトラッキングコードの結果(図1のD Pointでのエネルギースペクトル)を示す。この図においてのENERGYとは、ターゲット表面での陽電子エネルギーである。この計算は、図3の、120 MeVの結果をトラッキングコードに読み込んで行ったものである。集束システムにおいては、ソレノイドコイルの磁場強度は図2のとおりであり、加速管でのエネルギーゲインは50 MeVである。図より、10 MeV付近に収率のピークがあることがわかる。このピークより低いエネルギーを持つ陽電子は、B point(図1)までに1回以上回転しているが、高いエネルギーの陽電子は1回転していない。このときの、ターゲットへの入射電子数に対する、D pointでの捕獲陽電子の割合(変換効率)は、0.12%

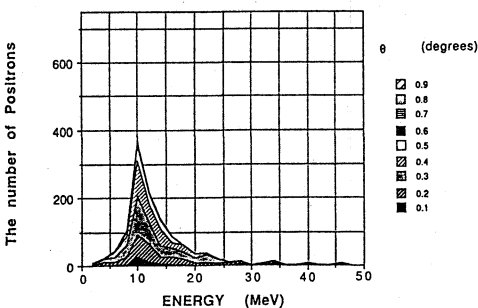


図4 Energy spectrum of positrons

表1 Conditions for EGS4 calculation

Injected electron energy	120 and 250MeV
Injected beam radius	1.0mm
Injection angle	0
( We assume that emittance is equal to 0. )	
The number of injected electrons	1,026,000 (120MeV) 432,000 (250MeV)
Profile of injected electron	Gaussian distribution
Target	Tungsten
Figure	Circular plate
Radius	1.0mm
Thickness	6.0mm
(Radiation length=3.5mm)	

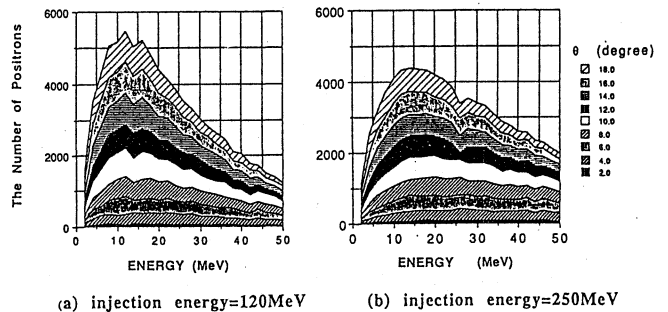


図3 Energy spectrum of generated positrons at the surface of tungsten target (Results of EGS4 simulation)

である。ただし、この数字が、ライナック終端で得られるわけではない。図3において、ピーク $\pm 5$  MeVの範囲のエネルギーを持つ陽電子のみに着目すると、変換効率は0.086%になる。集束システムを最適化するために、コイルの磁場強度と、加速管内での加速エネルギーを様々な変えた場合の変換効率を、図3をもとに計算した。

図5に磁場強度に対する変換効率を示す。ここで、Bfieldとは、磁場強度を図2の値で規格化したものであり、例えばBfield=2のときは図2の2倍の値となっている。(normal)で示されるものはD pointでの変換効率であり、(Peak $\pm 5$ MeV)で示されるものは、その範囲のエネルギーを持つ陽電子だけを考えた場

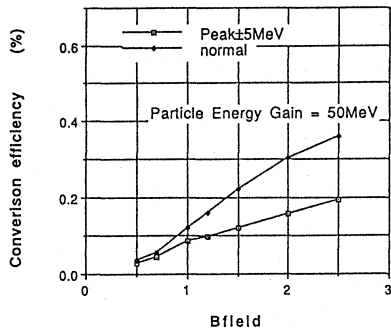


図5 Conversion efficiency as function of Bfield

最適な値があることがわかる。また、Bfield=2 の場合には全体での変換効率は明らかに良くなっているが、1つ1つのピークについてみると変換効率が大幅に改善されたとはいえないことがわかる。

加速しないほうが変換効率が良いというのは意外な結果である。しかし、加速されたために集束システム内での陽電子の回転回数が変わり、その結果、集束システム出口 (C point) での陽電子の運動方向が変わることを考えると理解できる。いわば、このときの運動方向が、それ以後の軌道の初期条件となり得るものである。Bfield=2の場合のエネルギースペクトル内の2つのピークは、第1のピーク (低エネルギー側) がB pointまでに2回転したときのもの、第2のピークは1回転したときのものに対応している。

図7 (a) に以上の結果の内の最良の場合のエネルギースペクトルを示す。このときのBfieldは2で、加速管でのエネルギーゲインは20 MeV、変換効率は第2ピーク±5 MeVの陽電子で計算した場合0.23%である。図7 (b) に、入射電子ビームのエネルギーが250 MeVの場合のエネルギースペクトルを示す。パラメーターは図7 (a) と同じであり、変換効率は0.53%となる。

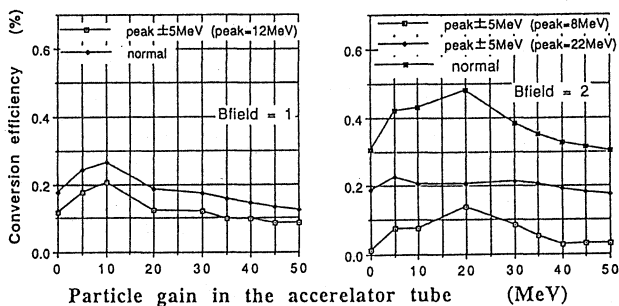


図6 Conversion efficiency as function of the particle gain

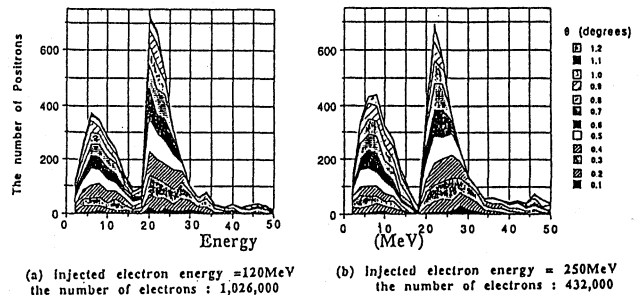


図7 Energy spectrum of positrons in optimum cases  
particle energy gain is 20MeV, Bfield is 2.

## 5. まとめ

Spring-8線型加速器の電子/陽電子コンバーター部の設計のため、今回、シミュレーションコードを作成した。また、これを、原研東海に設置している陽電子発生R&D装置に適用し、特に、集束システムについて最適化を試みた。この結果、集束システムの磁場強度が強いほど変換効率が上がること、加速管内での加速エネルギーには最適値があること、この最適値は集束システム内での陽電子の回転回数と密接に関連していることなどがわかった。

今回のシミュレーションの範囲内では、加速管でのエネルギーゲインが20 MeVのときに最良の結果 (入射電子エネルギー120 MeVのときに変換効率0.23%) が得られたが、これは、集束システム自体の構成によって変わるはずである。

現在、陽電子R&D装置の実験の方が遅れているので、今後は実験に力をいれ、シミュレーション結果と比較検討することを考えている。また、その結果を踏まえ、コンバーター部の発注に向けてパラメータを絞っていく予定である。

## 6. 参考文献

- 1) Walter R. Nelson, Hideo Hirayama and David W.O. Rogers, "THE EGS4 CODE SYSTEM", SLAC-Report-265, 1985