

A. Enomoto and I. Sato  
National Laboratory for High Energy Physics

ABSTRACT

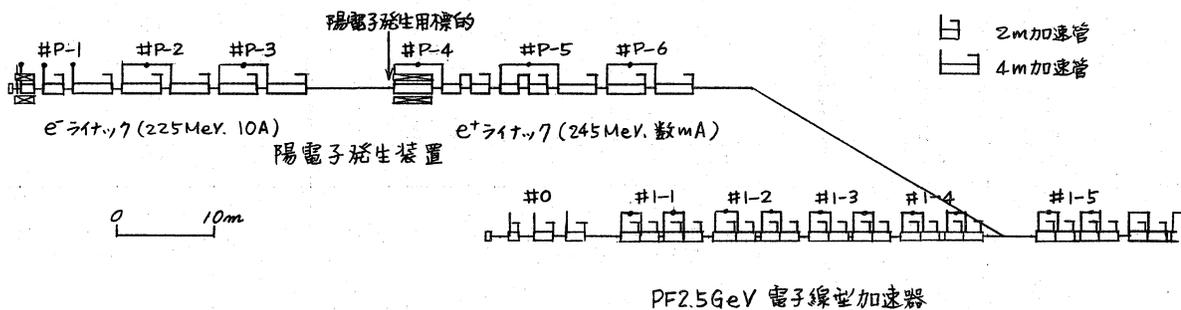
Beam transport system for the positron generator has been designed. The positron generator consists of a 225 MeV high current (10A) electron linac and a 245 MeV positron linac. Space charge effect is important at the former part. At the latter part, positron yield depends on the focusing system which is a phase-space transformer between the low energy large transverse momentum beam emitted by the radiator and the high energy small transverse momentum beam transmitted by the quadrupole magnet system. 30° bending and focusing system after the linac is achromatic and also used as a bunching system for the debunched positron beam.

1. はじめに

現在PF 2.5 GeV 電子線型加速器に併設中の陽電子発生装置は昭和59年度に完成の予定である。別論文に全体の詳細が述べられるので、本稿ではビーム輸送系の特徴と問題点及び基本設計について記述する。

第1図に、加速管及びビーム輸送系の概略を示す。陽電子発生用の標的より前は、パルス幅 1 nsec、尖頭電流 10 A、繰り返し 50 pps、エネルギー 225 MeV の電子線型加速器である。目標では標的から発生する陽電子の 1/1000 程度を後半の集束系で集め、約 245 MeV まで加速して現在の 2.5 GeV 電子加速器につなぐ予定である。

前半の電子加速部のビーム輸送系の特徴は、ビーム尖頭電流が大きいための電子が光速に近くバンテャー以前では空間電荷による発散が大きいこと、又ビームエミッタンスも  $p\varepsilon \sim 2 \times 10^2$  (MeV/c·cm) と、尖頭電流が数 10 mA の通常の電子線型加速器の 10 倍程度大きい。後半の陽電子加速部のビーム輸送系はできる限り多くの陽電子を効率良く捕獲し輸送しなければならない。そのため、陽電子発生用標的の直後は大きな立体角の陽電子ビームを平行ビームに変換して後の輸送系につなぐ整合部が必要である。この整合部は運動量アクセプタンスも大きいことが望ましい。その後の輸送系のアクセプタンスもできる限り大きくとる必要がある。

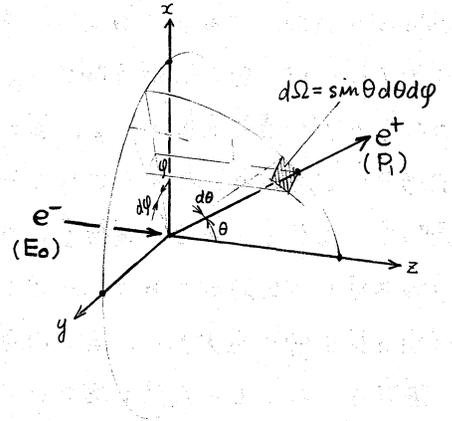


第1図 陽電子発生装置の概要(トンネル内)

## 2. 陽電子のイミッタンスと収量

入射エネルギー  $E_0$  の1個の電子をある標的に当てたとき、運動量  $P \sim P + dP$  の陽電子が  $\theta$  方向の単位立体角  $d\Omega$  に発生する確率を  $\frac{d^2n}{dP d\Omega}(E_0, P, \theta)$  とする。運動量  $P_1 \sim P_1 + \Delta P$  の陽電子の収量は、概略次式で見積ることができる。

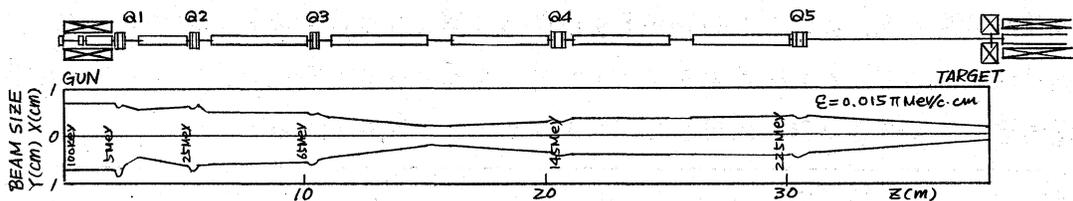
$$\frac{n}{\Delta P} \approx 0.5 \pi \left( \frac{P_1}{P_1} \right)^2 \left( \frac{d^2n}{dP d\Omega}(E_0, P_1, \theta=0^\circ) \right)$$



ここで、 $P_1$  は陽電子の運動量の垂直方向の成分の最大値で、ビーム輸送系のアクセプタンス  $\mathcal{U}$  と標的上でのビーム半径  $r_b$  から  $\mathcal{U} = \pi P_1 r_b$  の関係を用いて得られる。例として、 $\mathcal{U} = 0.15 \pi \text{ MeV/c} \cdot \text{cm}$ 、 $r_b = 0.3 \text{ cm}$  とすると  $P_1 = 0.5 \text{ MeV/c}$  である。(1) 式に実験値を入れて収量を見積る。 $P_1 = 5 \text{ MeV/c}$ 、 $\left( \frac{d^2n}{dP d\Omega} \right) = 4 \times 10^{-2} (\text{MeV/c} \cdot \text{str})$  とすると、 $\frac{n}{\Delta P} \approx 6 \times 10^{-4} (\text{1/MeV/c})$  程度の収量になる。このとき、陽電子の速度差によるデバランチは空間を  $50 \text{ cm}$  走り、後  $10 \text{ MeV/m}$  の加速を受けるとして、 $\Delta P = 1 \text{ MeV/c}$  で  $\sim 4^\circ$ 、 $\Delta P = 5 \text{ MeV/c}$  で  $\sim 11^\circ$ 、 $\Delta P = 10 \text{ MeV/c}$  で  $\sim 14^\circ$  である。

## 3. 電子加速部のビーム輸送系

$v \ll c$ 、即ち電子銃からバンテチャーまでの大電流ビームの集束には空間電荷による発散を抑えるための Brillouin flow の磁場が必要である： $B_z = \frac{0.369}{r_b} \sqrt{\frac{I}{\gamma^2 - 1}}$  (Gauss) ( $I$ : ビーム電流(A),  $r_b$ : ビーム半径(cm),  $\gamma = (m_0 + V)/m_0$ ,  $m_0 = 0.511 \text{ MeV}$ ,  $V$ : ビーム電圧)  $V = 100 \text{ kV}$ ,  $I = 15 \text{ A}$ ,  $r_b = 0.7 \text{ cm}$  とすると  $B_z \approx 250 \text{ Gauss}$  である。電子のエネルギーが小さいところで大きなイミッタンスのビームを輸送するときにも、ソレノイドによるビーム進行方向の磁場  $B_z$  が有効で、輸送系のアクセプタンスを  $\mathcal{U}$  としたいとき、 $B_z = \frac{6.67 \mathcal{U}}{\pi a^2}$  (kG) ( $\mathcal{U}$ :  $\text{MeV/c} \cdot \text{cm}$ ,  $a$ :  $\text{cm}$ ) である。 $\mathcal{U} = 0.015 \pi \text{ MeV/c} \cdot \text{cm}$ 、 $a = 0.7 \text{ cm}$  とすると  $B_z = 0.2 \text{ (kG)}$  である。エネルギーが大きくなれば、四極電磁石によるビーム輸送が効果的である。トリプレットを使用するとき、輸送系のアクセプタンスは  $\mathcal{U} = \frac{\pi a^2 (dP/dz)}{\ln(P_2/P_1)}$  である ( $a$ : ビーム半径 cm,  $dP/dz$ : ビーム加速利得  $\text{MeV/c/cm}$ ,  $P_1$ : トリプレットのビーム運動量,  $P_2$ : 次のトリプレットのビーム運動量  $\text{MeV/c}$ )。  $a = 0.7 \text{ cm}$ ,  $dP/dz = 10 \text{ MeV/c/cm}$ ,  $\mathcal{U} = 0.015 \pi \text{ MeV/c} \cdot \text{cm}$  とすると  $P_2/P_1 \leq 26.2$  である。

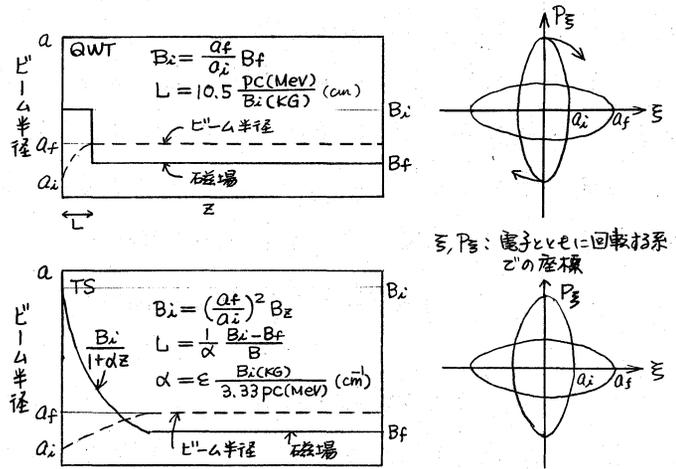


オ2図 陽電子発生装置電子加速部集束系の配置とビーム径

## 4. 陽電子加速部のビーム輸送系

オ2節に示した様に、同じアクセプタンスで陽電子の捕獲量を増すには標的上でのビーム径を小さくし、 $P_1$  即ち陽電子放出の立体角を大きくとらねばならない。そして、標的の直後これを平行ビーム (径が大きく、分散角が小さい) に変換してビーム輸送系に整合させる。この方法として現在他の加速器で使用されているのが (1) quarter wave transformer (QWT) と (2) tapered

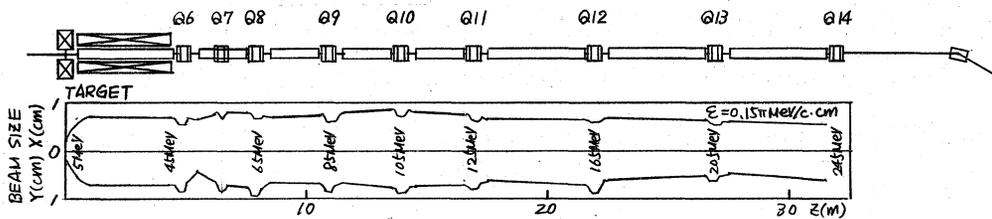
solenoid (TS) である。QWT はオ3図に示す様に  $(\xi - P_{\xi})$  位相空間でのビームの分布を  $1/4$  波長回転させる。長さ  $L$  の磁場  $B_z$  で何波長回転するかはビームの運動量に依存するので、運動量に対する帯域が狭いのが弱点である。一方 TS は磁場を漸近的に減少させ、全ての運動量の陽電子に対しビーム径を徐々に大きくしていくため、運動量の帯域が広い。しかし、非常に大きな初期磁場が必要である。因みに TS を採用した SLAC では、



オ3図 QWTとTSによる陽電子ビームの集束、位相空間に於けるビームスペースの変換

$B_z = 18.2 \text{ KG}$ 、 $B_f = 2.4 \text{ KG}$  とし全体で約  $1 \text{ MW}$  の大電力を消費している！本稿の場合、この部分で使用可能な電力は電源入力で  $170 \text{ KVA}$  である。陽電子輸送系のアクセプタンスを  $U = 0.15 \pi \text{ MeV/c cm}$  ビーム半径を  $0.7 \text{ cm}$  とすると  $B_f = 2 \text{ KG}$ 。次に標的上のビーム半径を  $0.3 \text{ cm}$  とすると、QWT では、 $B_z = 4.7 \text{ KG}$ 、 $L = 11.2 \text{ cm}$  の磁場、TS では  $B_z = 10.9 \text{ KG}$ 、 $\alpha = 6.5 \times 10^{-2}$  ( $\epsilon = 0.1$ ,  $pc = 5 \text{ MeV}$ )、 $L = 68 \text{ cm}$  の磁場が必要である。現在まだ検討中であるが、コイルを大きくして電力損失を少なくし、又集束に工夫をすることにより、SLAC よりや性能を落とす程度で消費電力設計ができそうである。

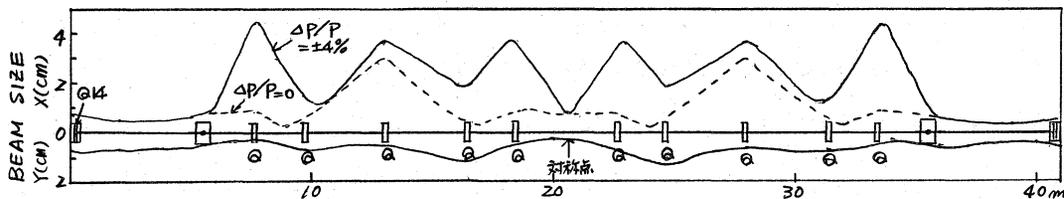
四極電磁石による集束はビームエミッタンスが大きいのでトリプレットが望ましい。3節と同様に、 $U = 0.15 \pi \text{ MeV/c cm}$ 、 $a = 0.7 \text{ cm}$ 、 $\frac{dP}{dz} = 10 \text{ MeV/c/m}$  とすると  $P_2/P_1 \leq 1.4$  である。



オ4図 陽電子発生装置陽電子加速部集束系の配置

### 5. 偏向電磁石系

陽電子発生装置と現在の PF 2.5 GeV 電子線型加速器をつなぐ部分で、 $\Delta P/P = \pm 2\%$  という大きな運動量幅を持つビームを輸送するアクロマチック系であると同時に、デバンテした陽電子ビームを運動量による軌道の差を利用してバンチさせるよう考慮してある。



オ5図 30°偏向系の配置とビーム径

### 参考文献

R. B. NEAL The STANFORD TWO-MILE ACCELERATOR, chap. 16