

POSITRON GENERATOR LINAC

I. Sato

Photon Factory,
National Laboratory for High Energy Physics

Abstract

The e^+e^- 30 GeV collider ring in the KEK TRISTAN project is essentially to have a luminosity of over $10^{31} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$. It requires a filling time of about 20 min.

For the above requirement, a positron generator linac is proposed as an exclusive machine for supplying an intense positron beam to the collider. To generate the required positrons, the electron beam intensity must be over 10 amp. with a pulse period of 2 ns.

We are investigating what accelerator structure in the linac is effective for accelerating an intense electron beam with the extremely short pulse period.

This paper reports the basic design parameters of the positron generator linac and some development of accelerator structures.

1 はじめに

陽電子発生用リニアックは、30 GeV 陽電子-電子衝突リングのブスターである蓄積リングの設計仕様を満たすための専用加速器として企画され概算要求されるもので、昭和57年度から建設が始まり昭和59年度に完成予定である。この加速器の特徴は、短パルスで大電流の電子ビームを加速して標的に当て大強度の陽電子を発生させることにある。標的に発生した陽電子ビームは、集束エレクトロンの磁場で集束され、或る程度加速されて、アクリロマテック・ビーム輸送系で、現在の入射器に送り込まれ、2.5 GeVに加速されて入射路を通り、蓄積リングに入射される。蓄積リングを廻る陽電子ビームは、放射光を出して、その軌道振巾が短時間に減衰するので、入射器から次々にビームを入射することが出来る。蓄積された陽電子ビームは、8 GeVに加速されて、30 GeV衝突リングに送り込まれる。¹⁾ 陽電子発生用リニアックの計画時点に於ける基本仕様は、Table 1の如くであり、詳細な仕様や設計については、現在進行中である。

2. 陽電子数

標的に電子ビームを当てた時に発生する陽電子ビームのエネルギーや角度は、多重散乱を全うしているために非常に広く分布している。

利用出来る陽電子数は加速器のビーム輸送系のアクセプタンスに依存する。発生源に於ける陽電子エミッタスの所以は、陽電子の断面積、横方向運動量、進行方向運動量を個別に積分することで得られる。

入射電子数に対する陽電子発生数の比は(1)で与えられる。²⁾

Table 1 Basic parameters at the proposal stage

	electron linac	positron linac
Energy	> 200 MeV	> 100 MeV
Peak beam current (max.)	20 A	20 mA
Beam pulse period	< 2 ns	< 2 ns
Repetition	~ 50 pps	~ 50 pps
Particle number	$2.4 \times 10^{11} e^-/\text{pulse}$	$2.4 \times 10^8 e^+/\text{pulse}$
Operation freq.	2856 MHz	2856 MHz
Accelerating mode	2/3 π mode	2/3 π mode
Accelerator tube length	4m	4m
Accelerator tube numbers	5	2
Klystron number	6	2
RF power per klystron	~ 25 MW	~ 25 MW
Gun voltage	$\geq 100 \text{ kV}$	
Radial phase space	$10\pi \times 10^{-3} \text{ cm} \cdot \text{MeV}/c$	
Energy spread ($\Delta E/E$)	~ 10%	~ 10%
Acceptable energy		5 ~ 15 MeV
Admittance		0.15 $\pi \text{ cm} \cdot \text{MeV}/c$

$$\frac{n}{E_0} = f \int_{P_1}^{P_2} dP \int \left(\frac{dn}{E_0 dP d\Omega} \right) 2\pi \theta d\theta$$

$$\approx f \pi P^2 \left(\frac{dn}{E_0 dP d\Omega} \right) \left(\frac{1}{P_1} - \frac{1}{P_2} \right) \quad (1)$$

ここで、 $f = 0.5$ は4次元で表わされる位相空間に対する補正値、 $(dn/E_0 dP d\Omega)$ は陽電子の 0° 方向に於ける発生確率の測定値、 θ は捕獲可能な横方向の運動量の最大値、 P_1, P_2 は進行方向のビーム輸送可能な運動量の最小値と最大値、 E_0 は標的に当たる電子のエネルギーである。

(1) を使って計算した結果を Fig 1 に示す。

3 加速構造とエネルギー利得

標的から放出される陽電子数は入射エネルギーに比例して増加するので、電子のエネルギー(可能な限り高い方がよい)。クライストロンから供給される電力を一定とし、これを同じ長さの加速管 N 本に、Fig 2 (a), (b) に図示してある様に、直列的と並列的に電力を供給した場合のエネルギー利得を V_S, V_P とするとその比は次の如くなる。

$$\frac{V_S}{V_P} = \frac{1}{\sqrt{N}} \frac{1-e^{-NT}}{1-e^{-T}} \quad (2)$$

ここで T は電界減衰係数で、 e^{-2T} は単位長の加速管の入口と出口の電力比に相当する。加速管製造上の容易さから、1m当りの T の値は、 $T \leq 0.2$ が限度と思われる。仮りに2m加速管を1単位とし、 $N=4$ では $V_S/V_P = 1.21$ となる。Fig 3 は(2)の計算例を示したものである。

短パルスのビーム負荷は過渡現象であり、特に大電流のビーム加速では、加速管の各空洞に蓄積されたエネルギーがビームに移行すると考えられるので、加速管の単位時間当りのエネルギー利得変化は非常に大きい。

過渡現象状態にある定電界型加速管のエネルギー利得は加速管の長さを L 、シャントインピーダンスを r_0 、階段状のビーム電流を i_0 、入力電力を P 、電界減衰率係数を τ 、高周波電力損失係数を Q とすると

$$V = \sqrt{(1-e^{-2\tau})} r_0 i_0 L - \frac{r_0 i_0 L}{2} \left(\frac{\omega}{Q} \right) \left\{ t - \frac{1}{1-e^{-2\tau}} \left\{ t - \left(\frac{Q}{\omega} \right) (1-e^{-\left(\frac{\omega}{Q} \right) t}) \right\} \right\} \quad (3)$$

で与えられる。³⁾ ここで ω は加速角周波数である。Fig 4 は、2m加速管を3本結合して6m管1本とし、これに直接に電力供給する場合と、2m加速管を2本結合して4m管1本とし、この4m管2本に並列に電力供給する場合を表す。Fig 5 は、Fig 4 に示めされた加速構造を加速工

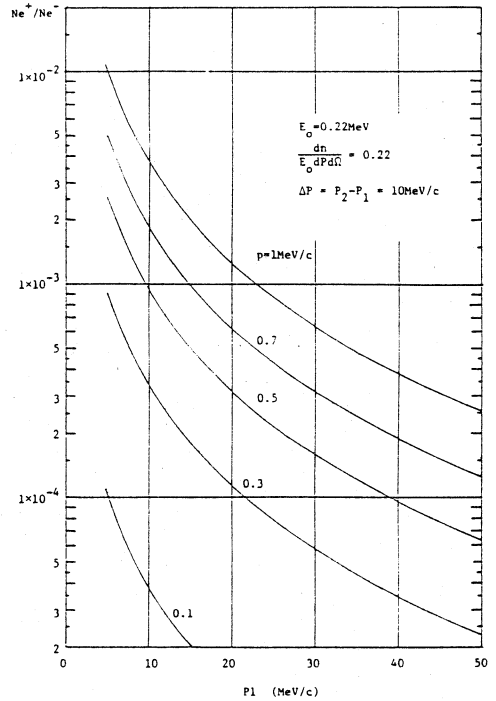


Fig. 1 Calculated yield vs longitudinal momentum of the transmissible positron is given as a function of the transverse momentum.

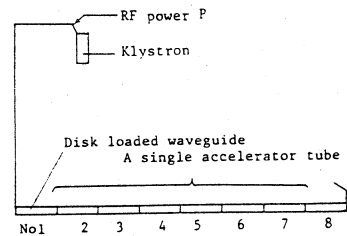


Fig.2(a) Single RF driving system in the unit.

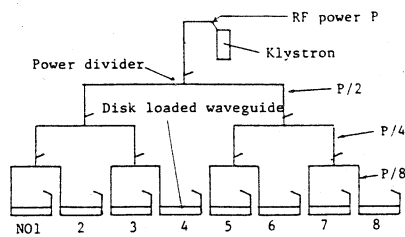


Fig.2(b) Multiple RF driving system in the unit.

ユニットとしたとき、それぞれ3台で得られるエネルギー利得を図示したもので(3)の計算例の一つである。

4 加速管

加速管は現在使用されている2m加速管を基本に2~3本を結合してエネルギー利得の増大化を計る予定であり加速管の結合方法については現在検討中でテスト実験を行って決定する。クライストロンから6m加速管1本に直接電力を供給する加速構造は、電力分配器、大電力移相器を必要としないだけでなく導波管、ダミロードの節約にもなり大巾のコストダウンになる。しかし、加速管の強度接合部の電気的接触、位相シフト、真空等、今後に残された技術的な課題を克服する必要がある。

5 蓄積リング高周波と陽電子ビームとの同期

電子、陽電子ビームは蓄積リングの特定高周波位相空間にのみ常に入射しなければならぬ。特に陽電子発生

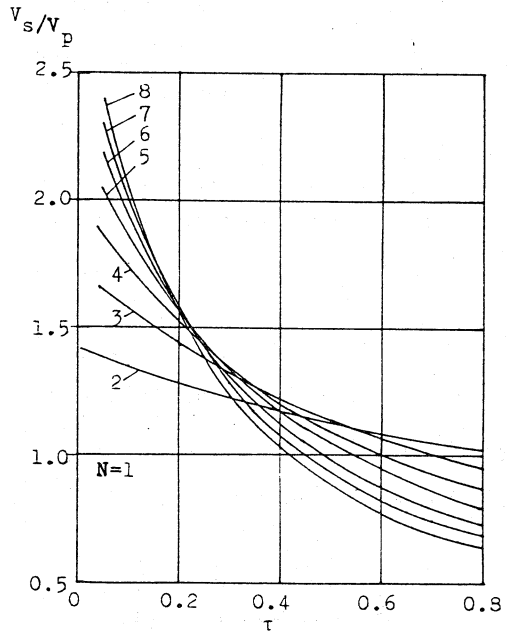


Fig.3 The ratios of the energy gain between a serial driving and a parallel driving.

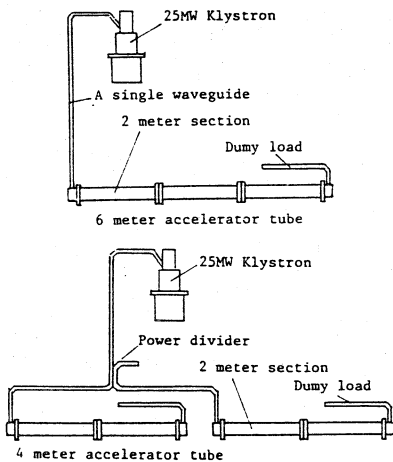


Fig.4 The accelerator tube is formed by jointing together either two or three 2 meter sections.

用の電子リニアックは、大電流電子ビームを加速するので、電子ビームが加速空洞やバンチャー空洞内に誘導するwake波の影響を後続ビームが直接受ける。従って、電子銃から発射される電子ビームは、どのパルスでも、マイクロ波位相と完全同期していれば、陽電子ビームは、パルス毎にエネルギーが変わる事になる。このジッターとエネルギー利得との関連を以下計算中である。

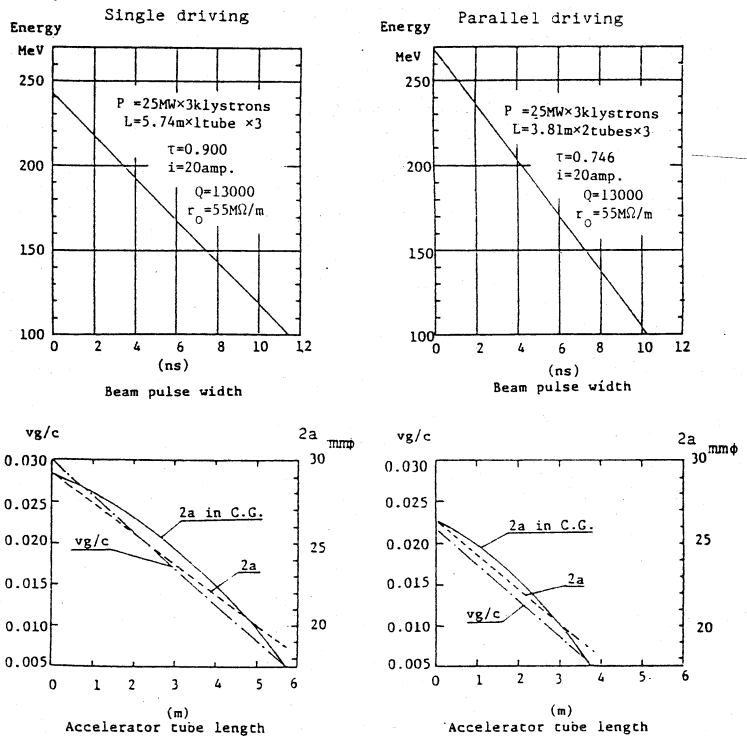


Fig.5 Specific characteristics of the electron linac intense beam loadings in the two types.

Reference

- 1) T. Nishikawa: The TRISTAN-KEK Future Project, Proc. XX Int. Conf. on High Energy Physics, Madison, Wisc., AIP. Conf. Proc. 68: 859 (1980).
Y. Kimura, TRISTAN the Japanese Electron-Proton Colling Beam Project, Proc. 11th Int. Conf. on High-Energy Accelerators, CERN, 144 (1980).
- 2) H. Brechna, et al.: The Positron Souce. in the Stansford Two-Mile Accelerator, BENNJAN, p545-583.
- 3) I. Sato : Transient Phenomena on the Beam Loading in the Accelerator of the Constant Gradient Type; unpublished