

## LINAC FOR POSITRON GENERATOR

I. Sato, J. Tanaka, A. Asami, K. Nakahara, S. Anami, S. Fukuda, H. Matsumoto,  
A. Enomoto, T. Shidara, Y. Saito, T. Urano, T. Ohsawa, H. Hanaki, I. Abe,  
H. Honma, U. Otake, K. Nakao, K. Takeda, Y. Kimura  
National Laboratory for High Energy Physics  
Y. Iino and K. Inoue  
Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.

### ABSTRACT

This linac is designed as an executive accelerator for generating positron beam. It consists of the two linac types. The one is for accelerating of electron beam of high current and a short period pulse. The another is for accelerating of the positron beam. The later have a strong lens system for focusing the divergent positron beam. The dispersive beam in longitudinal direction is able to be bunched by use of two bend magnets in special beam transport line between the positron linac and the PF injector. The paper gives the outlines of each section in the linac.

1 序 陽電子発生用電子リニアックは、現在高エネルギー物理学研究所に建設が進められている30 GeV陽電子-電子衝突型加速リング<sup>1)</sup>(トリスタンリング)に効果的な陽電子ビームを迅速に供給する目的で計画された加速器であり、昭和57年度に着工し昭和59年度に完成する予定である。この加速器は、現在稼働中であるPF 2.5 GeV入射器電子リニアックの上流側に設置され、強い陽電子ビームを発生させるための大電流電子ビームを加速する200 MeV電子リニアックと、発生した陽電子ビームの有効利用を高める広帯域集束系を附属した陽電子リニアックで構成される。又、この加速器で加速される陽電子ビームは、加速位相空間に於ける広がりが大きいため、これを圧縮するための特殊なビーム輸送路を通り入射器に送られる。入射器に送られるビームは第1セクター中間点でPFライナックと合流する。陽電子ビームはこのライナックで2.5 GeVに加速され、30 GeV衝突リングの前段加速器である8 GeV蓄積リングに輸送され入射する。加速器全体配置についてはFIG 1を参照されたし。

陽電子発生用リニアックの特徴は、蓄積リングの指定される加速高周波バケットにリニアックのビームを繰り返し入射する必要性から、リニアックの加速マイクロ波とビームと蓄積リング加速高周波が蓄積リングを廻るビームの回転周期を基準にして或る時間間隔を採り同期関係にしなければならぬ。従って各々の加速器の加速周波数の不安定や、電子ビームを発生させるトリガー装置のジッター等は、加速器全体の性能を左右する重要な要素になる。陽電子発生用リニアックの主要パラメータは表-1に示す如くである。

2 陽電子発生 陽電子ビームは、大電流の電子ビームを加速し重い金属標的に当てた時に発生する。即ち電子が原子核に直接、又は近傍を通る際に制動を受けて放射するガンマ線が原子核と相互作用して一對の電子-陽電子を創成する。これらの電子対が再び上記のプロセスで原子核と連続的に相互作用すると1回の反応確率は小さくとも低エネルギーの陽電子発生数は

多くなる。例えば、電子ビームの入射エネルギーを220 MeVとして最適条件の厚さの標的に当てた場合の電子1個に対する陽電子数は、ビーム輸送可能な位相空間を下記の如く仮定すると、即ち、進行方向の運動量を5~15 M eV/cとし横方向の運動量を0.5 MeV/cとすると、 $2.4 \times 10^{-3}$ 個を期待出来る。<sup>2,3)</sup> 電子ビームを1 mm

Table 1 Characteristic parameter of positron linac

	Electron linac	Positron linac
Energy	> 200 MeV	> 200 MeV
Current	10-20 A	10-20 mA
Pulse width	< 2 ns	< 2 ns
Energy spread	< 10 %	< 5 %
Repetition	50 cps	50 cps
Particle number	$2.4 E+11$	$2.4 E+08$
Operation freq.	2856 MHz	2856 MHz
Acceleration mode	2/3 PI	2/3 PI
Accelerator tube	4m x 5 2m x 1	4m x 4 2m x 4
Buncher tube	1.5m x 1	
Klystron number	3	3
RF power/klystron	25 MW	25 MW
Gun voltage	100 kV	
Radial phase space	10 PI x E-03 cm MeV/c	
Acceptable energy		5-15 MeV
Admittance		0.15 PI cm MeV/c

中に絞ったとしても、5 MeV/cの陽電子ビームのエミタンスは $10\pi \text{ cm} \cdot \text{mrad}$ となるので、 $30\pi \text{ cm} \cdot \text{mrad}$ のアドミッタンスを持つビーム輸送系を基本としている。特に陽電子発生標的附近の集束系は強力なソレノイドコイルが主体となるので、陽電子ビームは、その運動量の違いによって進行方向へ広がる。即ち、フェイズスリップを起す。これは、陽電子ビームのエネルギー広がりを増長させる。この対策としては、陽電子リアックとPF入射器を接合するビーム輸送路中の2つの偏向電磁石と集束用4極電磁石等を使って陽電子ビームをバンチさせる事を企画している。

### 3 リニアックの配列

リニアックを収納する建屋は、全長が約100mの無窓2階建てである。1階は巾5m x 高さ4mの断面で床面が地下3mの地下トンネルでリニアック本体を収納する。2階は断面が巾9m x 高さ4.5mで、トンネル天井から1.5m厚のコンクリートシールドを床とする回廊であり、クライストロン電源やビーム輸送系電磁石電源を収納する。

この建屋はPF入射器の電子銃室横に建設中で昭和59年3月には完成する予定である。このリニアックのビームラインは、PF入射器のビームラインと1.5メートルの間隔を置いて平行に設定され、PF入射器の第1セクターの中間奥で合流する。リニアックの配列は、電子銃、プレバンチャー、加速ユニット#1~加速ユニット#3、陽電子変換装置、加速ユニット#4~加速ユニット#6、ビーム輸送路の順序で形成され、加速ユニット#1には、バンチャー加速管が含まれる。各加速ユニットは各マイクロ波源と一対となって居り、クライストロンからのマイクロ波電力は立体回路によって2階の回廊から地下トンネルの加速管に輸送される。各々の加速ユニットは、マイクロ波電力の分配、集束電磁石の配列等を考慮して、4m加速管と2m加速管を併用する構成になっている。陽電子変換標的は、標的に発生する陽電子ビームが横方向に広がらない様に強力なソレノイドコイルで集束し、かつ迅速に加速してビームのエミタンスを減少するために、加速管の直前に配置される。陽電子発生用リニアック全体の配列はF1図2に、各々のユニット配列はF1図3に、ユニット構造の代表例はF1図4にそれぞれ示してある。

4 リニアックのエネルギー利得 極短パルス電子ビーム中で大電流の電子ビームを進行波型加速管で加速する時、加速管内を伝播するマイクロ波の群速度がビームの速度に比較して無視出来る程に小さい場合に於ける加速ビームのエネルギー利得は、断熱状態にある各加速空洞内の蓄積エネルギーからのみ供給されると考えられる。単位長さ当りの蓄積エネルギーを  $U$ 、マイクロ波電力流を  $P$ 、電力流の進行方向の変化を  $dP/dz$ 、電力流の速度を  $v_g$ 、単位長さ当りのシャント抵抗を  $r_0$ 、単位長さ当りの電界を  $E$ 、単位長さ当りの加速粒子の電荷量を  $q$  とすると、エネルギー保存則から時間と場所の変化に関する次の連続の方程式が成り立つ。一方

$$P = v_g \cdot U \text{ と } r_0 = E^2 / (dP/dz) \text{ 並びに, } \frac{dU}{dt} + \frac{dP}{dz} + qE = 0 \quad (1)$$

$Q = \omega U / (dP/dz)$  の関係式より、計測可能な量で (1) を表わすと、過渡状態に於ける電力流の方程式 (2) が得られる。この式に基づいて、4m加速管と2m加速管に12MWと6MWのマイクロ波を供給した時の電子リニアックの大電流ビーム加速に於ける各バンチのエネルギー利得を計算し、その結果をF1G5に示してある。

$$\frac{1}{v_g} \frac{dP}{dt} + \frac{\omega}{v_g Q} P + q \sqrt{\frac{\omega P}{v_g Q}} r_0 = 0 \quad (2)$$

5 バンチング輸送路 横方向の運動量が違う陽電子ビームを強かに集束する結果として生じたデバンチングは次の要領で解消される。即ち、陽電子リニアックの最終加速ユニットのマイクロ波位相を最大加速位相より適当な位相量を進める事によってバンチビーム内の先頭粒子と終尾粒子との間で線形のエネルギー分布を与え、先頭粒子のエネルギーを高くする。ビームを最初の偏向電磁石で分散させ、各4極電磁石でベータatron振動をさせる。この場合の中心軌道を最低エネルギー即ち終尾粒子に作る様に定めてやると、高いエネルギーの先頭粒子は振動の大きいベータatron振動するので次第に遅れて来て2個目の偏向電磁石を通りPF入射器のビームラインと合流する所で最もバンチするようにビーム輸送路の各パラメーターを選ばば良い。

この輸送路では、水平方向のベータatron振動を垂直方向のベータatron振動より十分に大きく取る必要性から、4極電磁石が大きくなる欠点が生ずる。4)

6 マイクロ波源 加速ユニットに供給するマイクロ波源はPF入射器に使用されている装置と同じものが用意される。電子リニアックに3台、陽電子リニアックに3台、合計6台使用される。陽電子リニアックの加速ビームとマイクロ波との関係は、PFリニアックのそれとまったく同じであり、電子リニアックの加速ビームとマイクロ波の位相は前者と(80°ずれた状態となる。陽電子発生数は、エネルギーとビーム電流との積にも比例するので、特に電子リニアックには大出力のクライストロンを使用することが望ましい。基本設計では、加速管の入口で有初電力が24MWに作る様に、平均25MW出力のクライストロン使用を対称としている。6台のクライストロンに供給される入力マイクロ波は、PF入射器のマスターオシレーターから出力される連続波の高周波(476MHz)を6逓倍した信号をグースタークライストロンで増幅したものをを用いる。マイクロ波の4m加速管に充滿する時間は約1μsで2m加速管の約2倍であるが、陽電子リニアックのビームパルス中は通常2ms程度であるので、クライスト

ロン・モジュレーター電源のパルス中はPFと同様、2.5  $\mu$ sである。マイクロ波源の詳細パラメーターは表-2に示す。

### 7 電子銃 陽電子発生

用リアックの重要な要素の一つに大電流を発生する電子銃が上げられる。しかも電子銃は、前述の如く、蓄積リングの加速高周波の指定されたバケットと約20 ms毎に同期し、且、リアックのマスター高周波と同期した時刻に、電子ビームを放射する性能を有する。

ものである。特に電子ビームのパルス幅が2ms以下に抑えられる条件で電流立ち上がりの早い電子銃の開発と、それを駆動する早い上がりでジッターの少ない電子回路の製作とテストを行っている。

### 8 トリガー回路と制御

陽電子リアックと蓄積リングの同期トリガーについては、PF光源リングを廻る電子ビームの回転周波数に同期したタイミングでPF入射器の電子銃から電子ビームを放射する実験に成功しているため、問題は余り残っていないと思われる。陽電子リアックの全体制御は、副制御室に置かれた制御計算機を通じて、PF入射器の主制御室から行われる。又、蓄積リングとの必要データの交換は、それぞれの制御室に附属する端末を通じ、計算機処理によって行われる。5)

TABLE 2 THE MAIN PARAMETERS OF THE RF SYSTEM

KLYSTRON NAME	MELCO PV 3030
KLYSTRON NUMBERS	6
PEAK POWER PER KLYSTRON	30 MW (MAX)
RF PULSE LENGTH	1.8 MIC.S
RF REPETITION RATE	50 PPS
MODULATOR NUMBER	6
PEAK VOLTAGE OF MODULATOR	270 KV (MAX)
PEAK CURRENT OF MODULATOR	300 A
PEAK POW OF MODULATOR	81 MW (MAX)
SUB-BOOSTER KLYSTRON	TH2436P×2
PEAK POWER OF SUB-BOOSTER	10 KW PARA

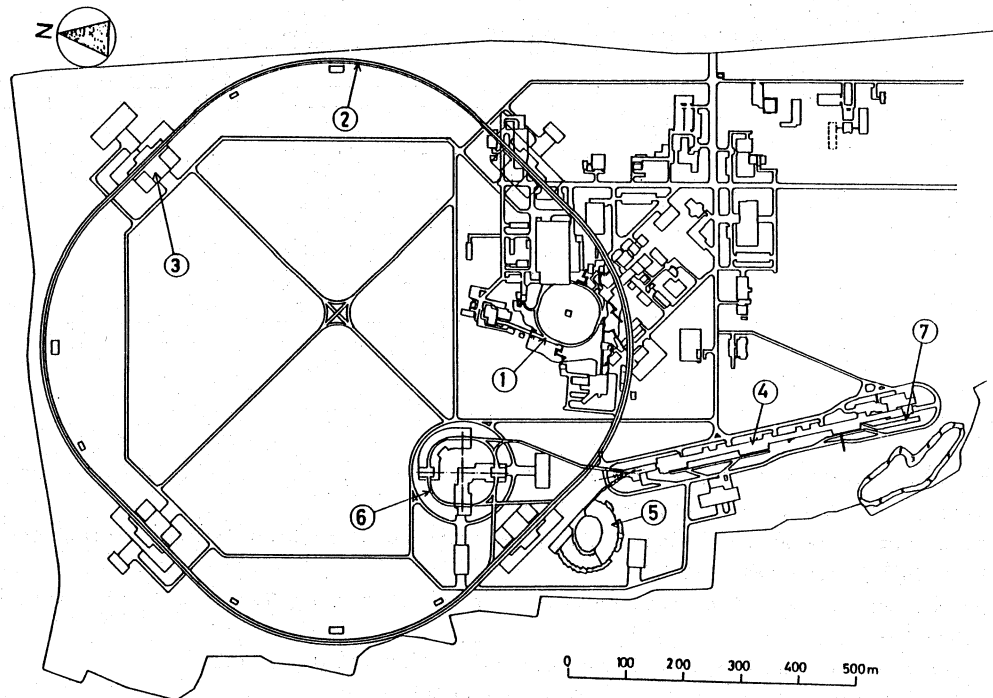


Fig. 1 Layout of TRISTAN and KEK Facilities.

- (1) 12 GeV P.S. (2) TRISTAN Ring (3) TRISTAN Exp. AREA
- (4) 2.5 GeV Electron Linac (5) Storage Ring for Photon Factory
- (6)  $e^{\pm}$  Accumulator Ring (7) 0.2 GeV Linac for  $e^+$  Generation

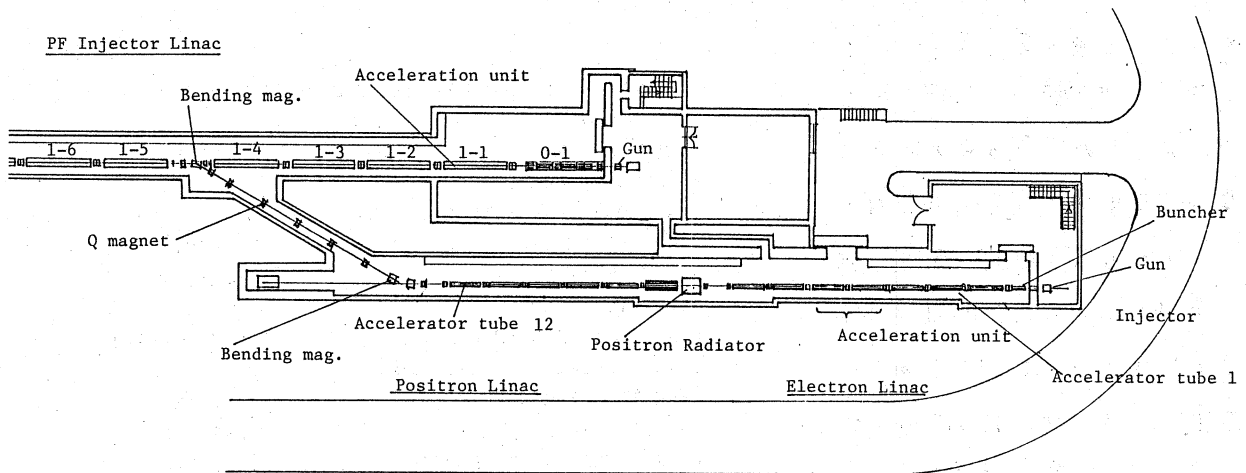


Fig.2 Layout of 0.2 GeV Linac for e<sup>-</sup> Generation

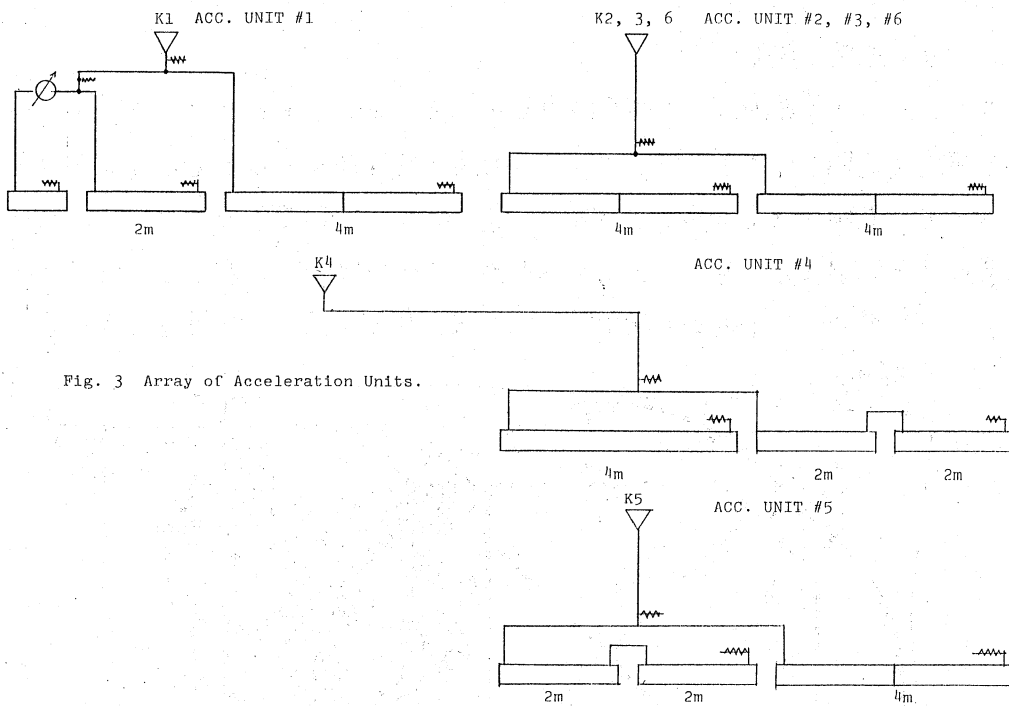
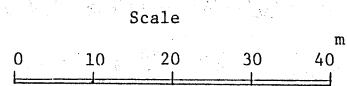


Fig. 3 Array of Acceleration Units.

- 1) T. Nishikawa: The TRISTAN-KEK Future Project, Pro. XX Int. Conf. on High-Energy Physics, Madison, Wisc., AIP. Conf. Proc. 68, 859 (1980)  
Y. Kumura, TRISTAN the Japanese Electron-Proton Cooling Beam Project, Proc. 11th Int. Conf. on High-Energy Accelerator CERN
- 2) H. Brechna, et al. The Positron source from the Stanford Two Mile Accelerator, BERN JAN p.545-583
- 3) I. Sato: Positron generator linac, p.123-125 KEK82-14 Jan. 1983.
- 4) Private communication of I. Sato and A. Enomoto
- 5) Private communication of K. Urano, et al.

陽電子加速ユニット

FIG. 4 Acceleration unit structure.

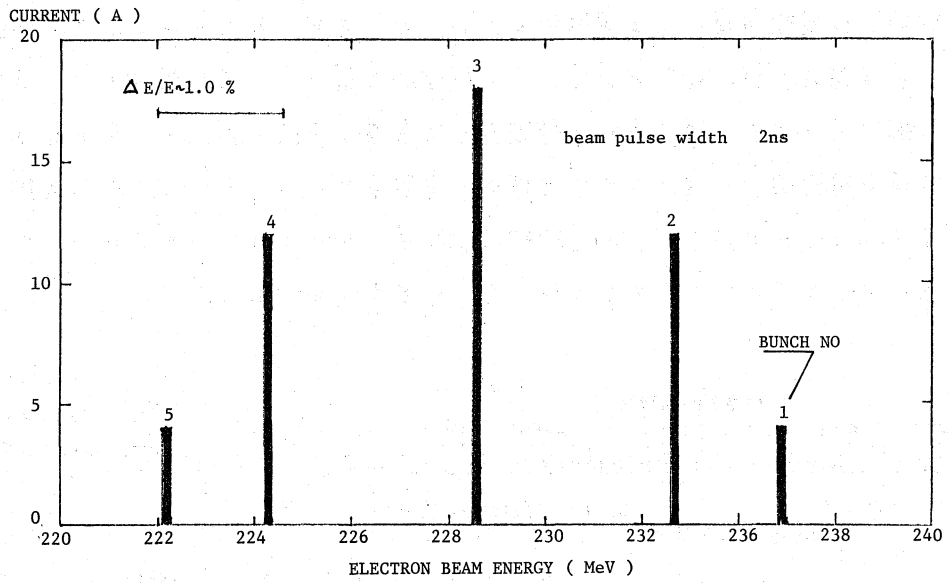
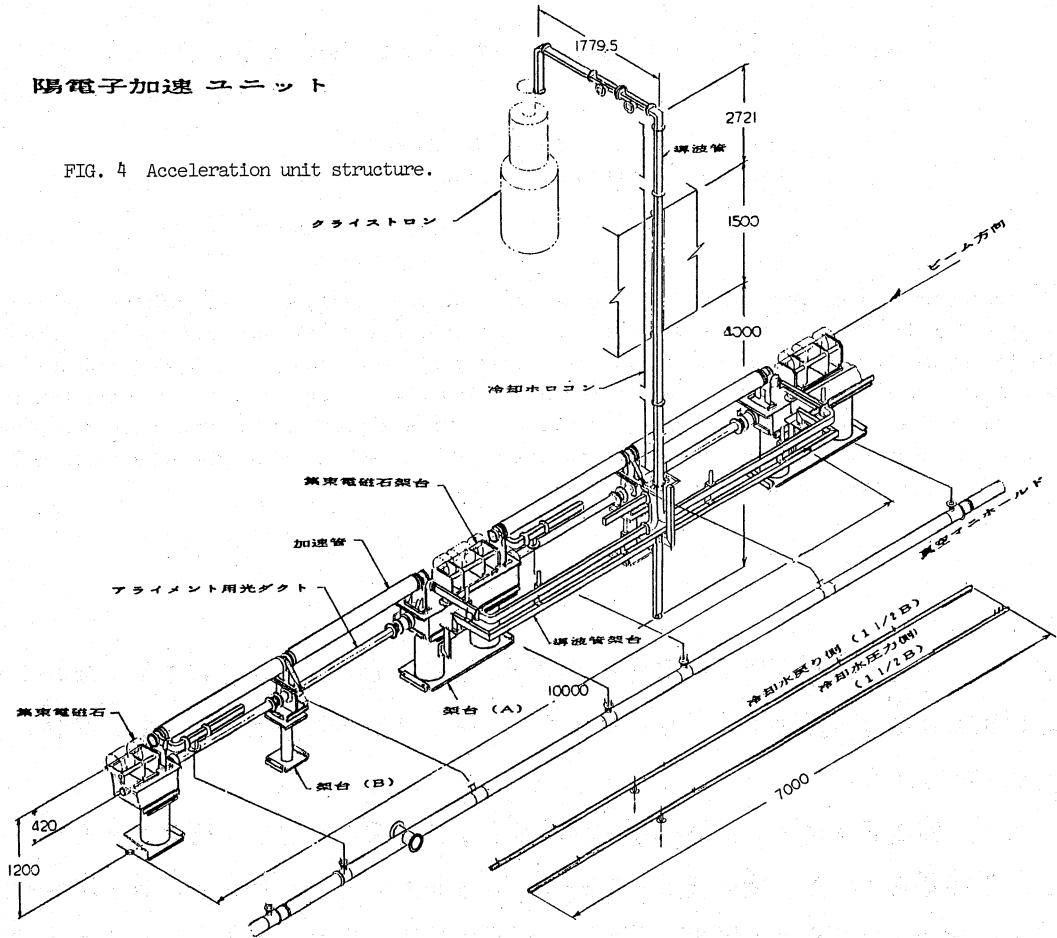


FIG.5 Energy gain in the electron linac with heavy beam loading.