

## ACCELERATION CHARACTERISTIC OF POSITRON GENERATOR LINAC

I. SATO, K. MATSUMOTO, A. ENOMOTO, T. OHGOE, H. KAKIHARA, S. ANAMI  
S. FUKUDA, T. SHIDARA, Y. SAITO, H. HANAKI, N. MATSUDA, H. HONMA  
K. NAKAO, K. NAKAHARA, T. URANO, I. ABE, Y. OHTAKE, A. ASAMI  
T. OHSAWA, Y. OGAWA AND J. TANAKA  
K. MIYATA,\* N. KANEKO,\*\* N. TERABAYASHI\*\*\* AND H. TANAKA\*\*\*\*

National Laboratory for High Energy Physics

\* Energy Laboratory, Hitachi Ltd.

\*\* Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co.Ltd.

\*\*\* Mitsubishi Heavy Industries Ltd.

\*\*\*\* Fujitsu Laboratories Ltd.

### Abstract

Positron generator linac construction started three years ago and completed in this April. This accelerator consists of a 230 MeV electron linac, a 260 MeV positron linac and a beam transfer system. The two linacs are composed of a 150 KV triode gun, a prebuncher, a buncher of 1.5 m long, five accelerator guides of 2 m long, nine accelerator guides of 4 m long, six microwave power sources of 25 MW and waveguide components. In the test operation of July 25, an electron beam current of 1.7 A with a pulse width of 10 nS struck a Ta target of 6.2 mm thickness, the generative positrons are instantly focussed by the pulsed magnetic fields of 1.4 T and are accelerated by the 4 m accelerator guide with the focussing coils of magnetic fields of 0.2 T, and a positron beam current of 2.3 mA is successfully obtained at the end of the linac.

The paper reports a part of acceleration characteristics of the positron generator linac and the progress of a positron beam acceleration.

### § 1 序

1)

陽電子発生用リニアックは、トリストラン・リングに陽電子ビームを供給するための専用加速器であり、短パルス<sup>2)</sup>(パルス巾2 nS以下)大電流(10 A以上)の電子ビームを約200 MeVに加速し、金属標的に照射し、そこで発生した陽電子ビームを強い集束磁場で集め、10 mA以上のビーム電流を約250 MeVのエネルギーに加速する目的で、設計されたものである。この加速器は、3年間の建設計画で1982年4月に着工した。1985年4月12日から加速器の総合調整に入ったが、その途上で、金属標的の下流に位置する4 m加速管1本に異常放電現象が発生した。放電現象が低減する兆候が見られなかったため、この加速ユニットの動作を停止した状態で、加速器の試運転を開始した。4月18日の長パルス電子ビームの加速実験では、57 mAの電子ビームを約340 MeVのエネルギーに加速出来た。その後、不調だった加速管を修理するために取り外し、2ヶ月後の7月初旬に修理が完了したので、再び組み込んで、7月の中旬に試運転を再開した。この間に、電子ビームによるビーム軌道のシュミレーション実験を数回行った。7月25日の短パルスビーム加速実験では、パルス巾10 nS、

電流約1.7Aの電子ビームを、金属標的に衝突させ、約2.3mAの陽電子ビーム電流を加速することが出来た。この時の電子と陽電子の変換効率は、約0.14%であった。

## §2 陽電子発生用リニアックのエネルギー利得特性

この加速器は、電子加速部と陽電子加速部に大別され、双方共に3台の加速ユニット(P1~P6)で構成されている。加速ユニットの基本構造は、4m加速管2本にクライストロン1本からの出力電力を2分割して供給する形態になっている。

加速ユニット(P1)は、2分割した一方のマイクロ波電力を、更に2分割し1.5mバンチャー加速管と2m加速管1本に供給している。

電子加速部は、クライストロンから出力されるマイクロ波電力が、加速ユニットの各加速管(12MW×2)に供給された場合に、パルス巾1.5nS、ビーム電流20Aの電子ビームを約200MeVに、加速出来る様に設計されている。

短パルスビームのエネルギー利得特性は、(1)と(2)で表わされる。

$$E_e = 50.1 * \sqrt{P} - 1.42 * i * t \quad (\text{MeV}) \quad (1)$$

$$E_p = 53.4 * \sqrt{P} - 1.59 * i * t \quad (\text{MeV}) \quad (2)$$

電子加速部(E<sub>e</sub>)と陽電子加速部(E<sub>p</sub>)に違いがあるのは、加速ユニット(P1)にバンチャーが付属しているためである。<sup>3)</sup>

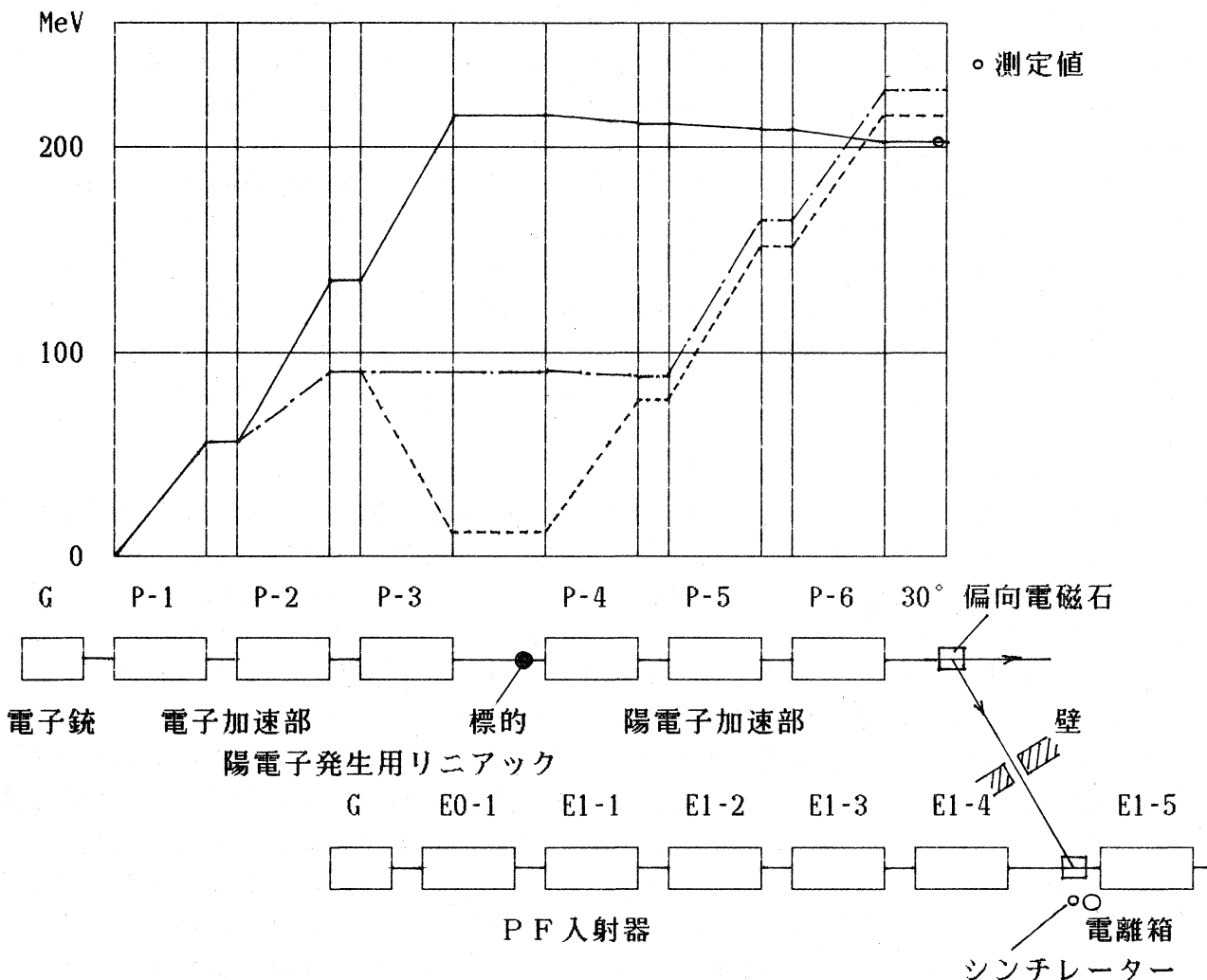


図1 陽電子発生用リニアックの配置図

ここで、 $P$  (MW) は、各加速ユニットのクライストロンから加速管に供給されるマイクロ波電力、 $i$  (A) はビーム電流値、 $t$  (nS) はビーム電流のパルス巾を表わしている。加速管の電力充満時間を  $T$  とすると、この式が成り立つ条件は、 $t \ll T$  の場合である。クライストロンと加速管の立体回路の電力損失は、各加速ユニットによって多少違いがあるが、約 8% 程度である。

図 1 の実線は、加速ユニット P 1 ~ P 3 で加速し、P 4 ~ P 6 をスタンバイした場合の陽電子発生用リニアックのエネルギー利得を示してある。このエネルギー利得は、短パルスの電子ビームのエネルギーを、リニアックの終端に設置した 30 度偏向電磁石で、測定したものである。クライストロンの出力電力は、パルサー電源の PFN 印加電圧を基準に測定したマイクロ波電力を参照した。<sup>4)</sup>

エネルギー利得は、加速実験時にクライストロン電源の PFN 電圧を記録し、電力値を校正し、これに対応する加速ユニットのエネルギー利得を、実際のビーム電流負荷を含めて (1) の式を使って計算したものである。設計値と実験値は、非常に良く一致した。

### § 3 陽電子ビーム加速ドキュメント

約 200 MeV に加速した電子ビームを、約 2 放射長の金属標的に衝突させた場合、加速可能な陽電子数は、衝突電子数の約 1000 分の 1 である。<sup>5)</sup> 従って、陽電子ビーム電流は非常に微弱で、電流測定には困難が予想された。特に発生する大多数の陽電子は低エネルギーであり、而も大立体角に放射する。そこで、前以って、素性の明らかな電子ビームを使って、ソレノイドコイルの集束状態と 2 極磁場成分を検証することが、重要であると考え、これを試みることにした。図 1 に点線で示されている様に、電子加速部の 3 台の加速ユニットを加速と減速を組み合わせて、10 MeV の電子ビームを設定しようとした。しかし、このビーム集束条件が、本来のビーム輸送状態<sup>6)</sup>から余りにもかけ離れているために、電子ビームが広がり、その存在確認に手古摺り、時間的な制約から、この試みは断念した。そこで、加速ユニット (P 5) 以降を予測される陽電子加速状態に設定し、その集束条件を予め検証することを試みた。この検証は、図 1 に破線で示されている様に、約 90 MeV のエネルギーの電子ビームで行なった。これは陽電子ビーム加速を観測する手掛かりに、非常に有効であった。

最初に、加速ユニット P 4, P 5, P 6 を電子加速位相にして、パルス巾 10 nS, ビーム電流 1 A の電子ビームを金属標的に衝突させたら、金属標的から約 6 m 下流のプロファイル・モニター (PM7) にビーム光が観測されたが、その下流のプロファイル・モニターには、ビーム光が観測されなかった。金属標的直後のソレノイドコイルを励磁すると、PM7 モニターのビーム光が明るくなるのが観測された。次ぎに、加速ユニット P 4, P 5, P 6 のマイクロ波位相を 180° 変え、陽電子加速位相にして、同様の観測を行なった。しかし、どのプロファイル・モニターにも、陽電子ビームの痕跡を見いだす事が出来なかった。そこで、PM7 で観測されたビーム光は、標的枠に当たって、すり抜けて来たビームによる可能性もあり、電子ビームが金属標的に正確に衝突していない疑いが生れた。

次ぎの日に、金属標的のアライメント行ない、電子ビームを約 214 MeV のエネルギーに加速して、重金属 (タンタル) の標的に衝突させ、そこで発生した 5 ~ 15 MeV の陽電子ビームを強力なソレノイド磁場 (1.4 T) で集束して、約 236 MeV のエネルギーに加速することを目標として、加速器パラメーターが設定された。

加速ユニットP4, P5, P6を電子加速位相にして, パルス巾10nS, ビーム電流0.9Aの電子ビームを厚さ6.2mmのタンタルに衝突させたが, どのプロファイル・モニターにも, ビーム光の痕跡は認められなかった。次に, 加速ユニットP4の中央に壁電流モニターを設置し, 電子ビーム電流の観測を試みた。このモニターは, S/N比が良く微小電流の測定が可能となった。そこで, 加速ユニットP4のマイクロ波位相を180°変えると電子ビーム電流は減少した。しかし, 陽電子ビームは観測されなかった。この測定点では, 陽電子のエネルギー利得が約36MeVであり, 金属標的を突き抜けた電子ビーム電流が, 陽電子ビーム電流を見掛け上で打ち消している可能性もあるので, ビーム電流をもっと高エネルギー側で測定することにした。そこで, 壁電流モニターを加速ユニットP5の中間点に移動し, 加速ユニットP4, P5の加速, 減速を行いながら, 電子ビーム電流を測定した結果, ついに, 極性の異なるビーム電流を観測する事が出来た。写真1には, 壁電流モニターで最初に測定された陽電子ビーム電流波形を提示した。金属標的の照射電子電流が約1.65Aに対して, 陽電子ビーム電流は, 約0.43mAであった。

測定点での陽電子の加速エネルギーは, クライストロン出力電力値から約112MeVと推定された。

#### §4 陽電子ビーム電流の増強

最初に陽電子ビーム電流が測定された後, 金属標的の直後に設置されたパルスソレノイドコイルの励磁電流や, その下流に位置する直流集束コイルの励磁電流を変えても, 又, その下流の集束電磁石やステアリングのパラメーターを変えても, 一向に壁電流モニターで観測されるビーム電流が増強する気配はなかった。

ビームの中心軸に対して, パルスソレノイドコイルの中心軸が傾いて設置されている可能性もあるので, 壁電流モニターの電子ビーム電

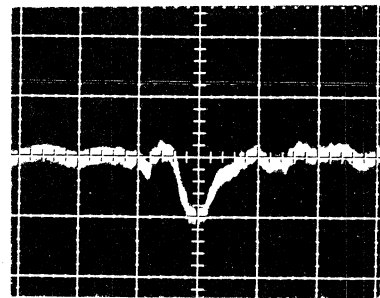
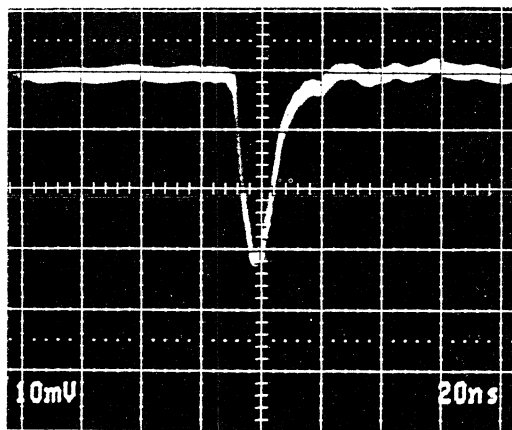


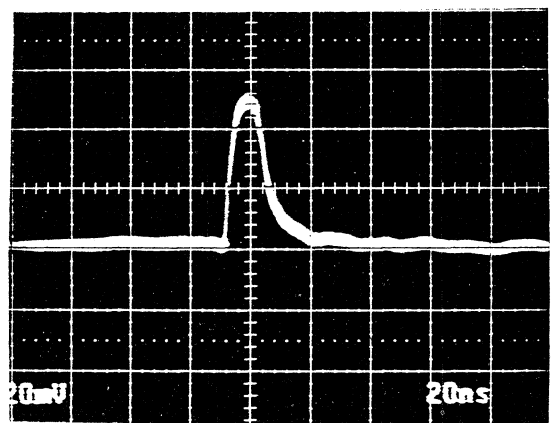
写真1 最初に観測された陽電子ビーム電流波形



陽電子ビーム電流波形

垂直軸 10mV/DIV (0.71mA/DIV)

水平軸 20nS/DIV



電子ビーム電流波形

垂直軸 20mV/DIV (1.42mA/DIV)

水平軸 20nS/DIV

写真2 壁電流モニターで測定した陽電子ビーム電流波形と電子ビーム電流波形

流が最大になる様に、金属標的の直前に設置したX-Yステアリング電流を大きく変えてみた。その結果、電子ビーム電流が約2.5倍に増加した。そこで、金属標的の直前に設置したステアリング電流の極性を変え、陽電子加速部のマイクロ波位相を $180^\circ$ 変えると、陽電子ビーム電流は約6倍増加して観測された。写真2には、陽電子加速部のマイクロ波位相を加速位相と減速位相にした時、壁電流モニターで観測された陽電子ビーム電流波形（左）と電子ビーム電流波形（右）を掲載した。

金属標的（6.2mm, 8.2mm, 10.3mm）の厚さを変えて陽電子ビーム電流の変化を測定し8.2mmの金属標的が最適であった。しかし、その差は僅か（10%以内）であった。

壁電流モニターで測定した、陽電子加速部の陽電子ビーム電流の通過状態を図2に示す。又、金属標的の下流のどのプロファイル・モニターにも、微弱ではあるがビーム光を観測出来た。

### §5 陽電子ビームの実証

壁電流モニターは、ビーム電流値とその極性の判定は出来るが、加速粒子のエネルギー測定、及びその電荷の判別は、偏向電磁石によって、その粒子の運動量と極性を測定する以外に、簡単な方法はない。これは、壁電流モニターによる陽電子ビーム電流の検証方法に、疑惑が残る部分を明かにする意味でも非常に重要である。そこで、ビーム輸送用偏向電磁

石で、陽電子ビームと電子ビームを個別に曲げて、ビーム粒子の概算エネルギーと電荷の弁別を行なった。測定の配置概略は図1に示してあるが、粒子の検出はPF入射器に設置したシンチレーションカウンターと電離箱で行なった。測定結果を図3に示す。

陽電子ビームと電子ビームのエネルギー分布を比較すると、図3から明らかな様に、陽電子ビームが電子ビームより約20MeV高くなっている。この理由について、現在検討中である。

- 1) I. Sato, et al., Proc. 5th Symp. Accel. Sci. and Tech., KEK (1984) 65
- 2) Y. Ohtake, et al., This meeting
- 3) A. Asami, et al., Proc. 5th Symp. Accel. Sci. and Tech., KEK (1984) 71
- 4) S. Anami, This meeting
- 5) I. Sato, TRISTAN Design Report 1 June (1977) 325
- 6) A. Enomoto, et al., Proc. 8th linac meeting, INS Tokyo Univ., (1983) 38

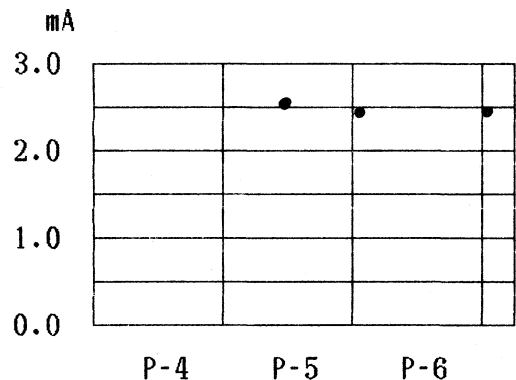


図2 陽電子加速部の陽電子ビーム電流の通過状態

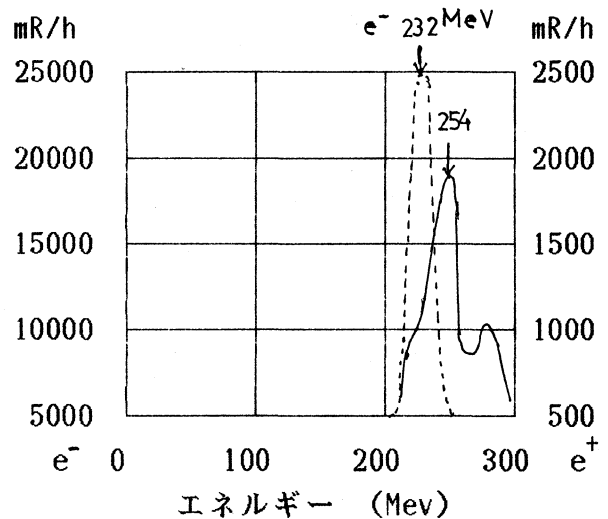


図3 放射線モニターで測定した陽電子ビーム（実線）と電子ビーム（点線）のそれぞれの線量とそのエネルギー分布