

Takio Tomimasu

Electrotechnical Laboratory

ABSTRACT

A 500-MeV high efficiency electron linac has been constructed and the first accelerated beam was obtained on December 22, 1980 at ETL in Tsukuba. The linac is used for the generation of high intensity photons and pions and for the electron injection to a 600-MeV ETL storage ring and a 150 MeV-ETL beam stretcher. The linac consists of an injector with a triode type electron gun and an inflector and three kinds of twenty linearly tapered iris type accelerating sections, of which four sections are 2.3 m long and sixteen sections 3 m long. Rf power at a frequency of 2856 MHz is provided by seven 25 MW klystrons with an improved efficiency of about 50 % to save the power consumption to about 70 % of that of the ordinary linac. The maximum beam duty cycle is 0.24 %. To avoid the cumulative beam blow-up and to achieve a reasonable peak current, special attention has been paid to the configuration of twenty linearly tapered iris type accelerating sections whose iris diameter is linearly tapered along the axis and eleven quadrupole doublets and a triplet. The beam acceleration through the total accelerator length has been done without trouble, adjusting the currents of these quadrupole magnets and the phase of the rf power put into each accelerating section. Some steering coils are effective since the accelerating sections of the medium and high energy sections are not covered with a sheet of a high μ metal to reduce terrestrial magnetism. Because of these well settled beam handling system, the beam loss in the accelerating sections is so small that one can walk in the accelerator room at the acceleration of about 300-MeV electrons of 40 mA (average 4 μ A).

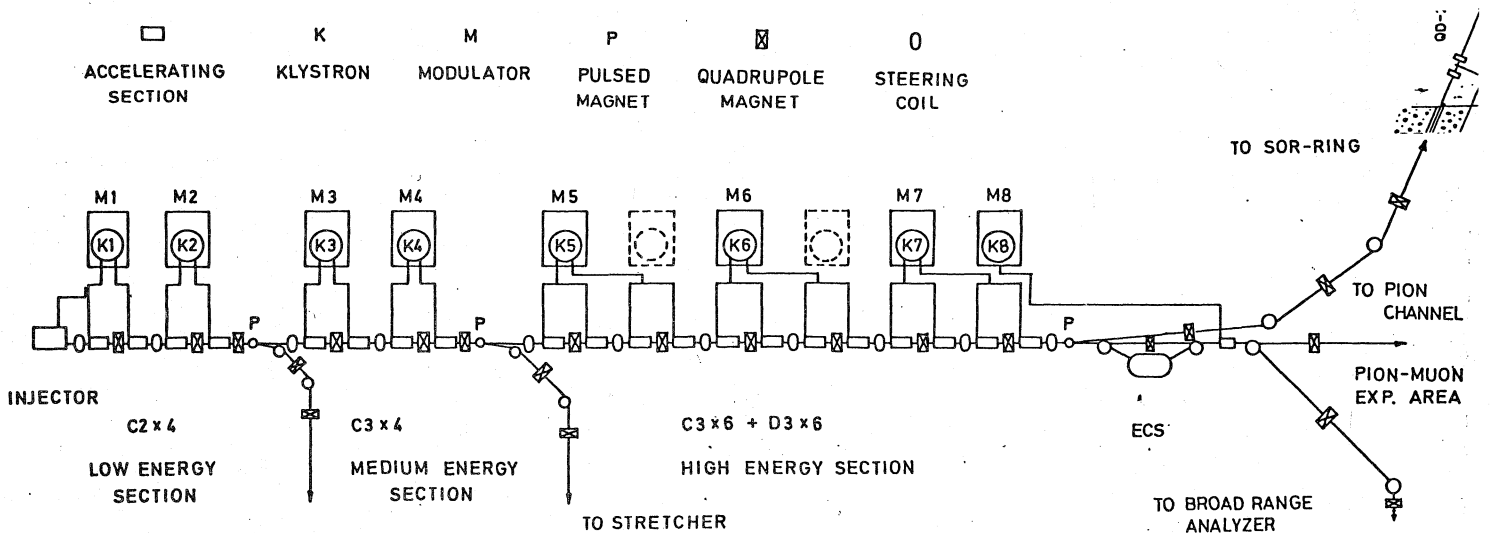


図1 電総研リニアックの構成とビームトランスポート系による各実験室へのビーム分配

電子加速器の高エネルギー化と大出力化が可能になると、パイ中間子によるガン治療やシンクロトロン放射光による物性研究、超LSI技術、光や放射線の標準など、幅広い研究開発が可能になるが、電総研は波移転決定を機に1972年から高エネルギー大出力電子リニアックと放射光用電子蓄積リングの建設計画を立て建屋と装置の設計を行ってきた。電子リニアックは当所独自の設計により省エネルギー型で多目的高效率利用方式の加速エネルギー500 MeV、出力50 kWのもの、1980年4月から6ヶ月で完成し、12月22日ビーム加速に成功した。その後は11月から始まっていた蓄積リングの建設の方に精力をとられ、月2、3回の慣れ運転しかできなかつたが、1981年5月にリング室と高エネルギー実験室までビームトランスポート系が完成し、この6月から加速ビームをリング室と高エネルギー実験室に送りこめるようになった。リニアックの現状についてはビーム加速成功のときの様子を中心に報告する。

電総研リニアックの規模は図に示すように加速エネルギー、電子ビームパワー、デューティ・サイクルともに本邦最大のものであり、大出力の点では世界有数のものである。加速器の全長は77 mで、地下6 m長さ約100 mの加速器室に設置されている。

電総研リニアックの特徴としては

- (1) 加速管には低コスト生産が可能にように工夫した定勾配ディスク孔径型を3種類(図3)、全部で20本を直線的に配列して電子ビームの横ゆれによる散逸効果を防止し、加速管内での電子ビーム損失を少なくする電総研方式としたこと、¹⁾

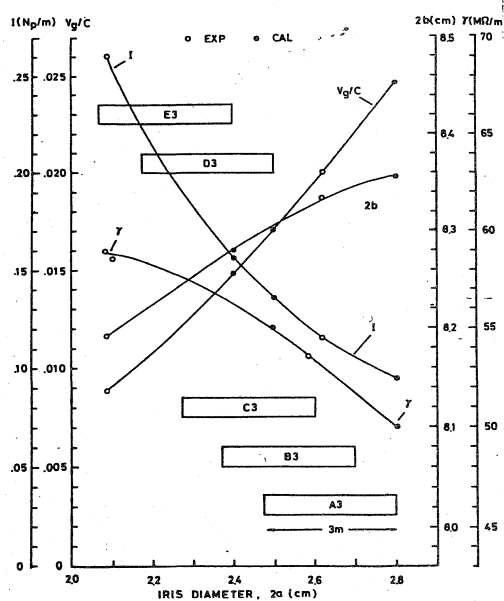


図3. 定勾配ディスク孔径型加速管の各種パラメータ

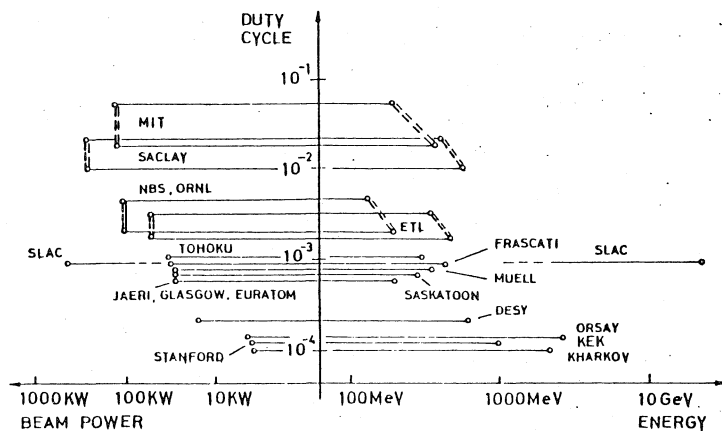


図2. 世界の100 MeV以上の電子リニアックと電総研(ETL)リニアックの性能比較

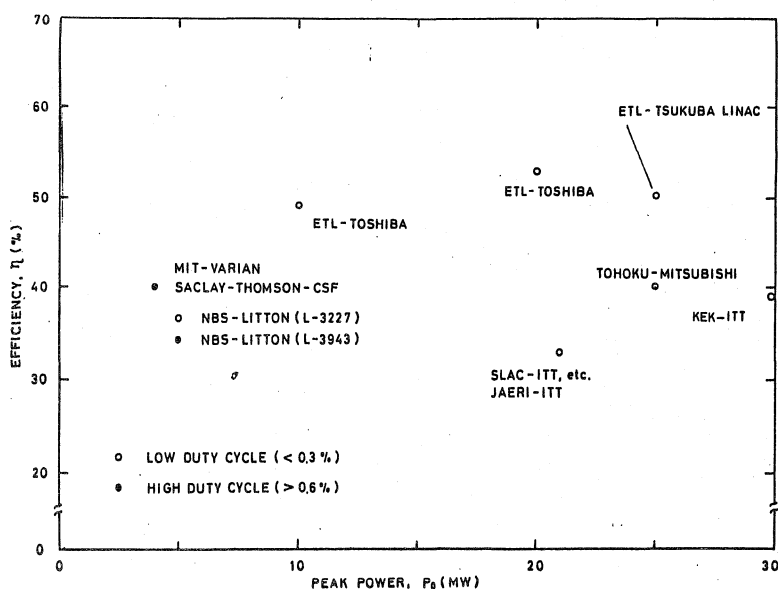


図4. 市販のパルスクライストロンの性能比較

- (2) 加速管にマイクロ波電力を供給する心臓部ともいべきパルスクライストロンにはマイクロ波の発生効率が世界最高の48~54%の高効率のものを開発し(図4),従来の電子リニアックの70%台の消費電力で大電力電子ビームを加速できるようにしたこと,
- (3) 加速器本体の途中から低エネルギー実験室, 中エネルギー実験室, また本体の先端からパイ中間子実験室, 高エネルギー実験室, 蓄積リング室などに電子を取り出す仕組みになっている。とりわけ中空コイルによるパルス偏向によって4実験室へ同時に間引き振り分けができるようにしたため, 1台の加速器で4台分の働きができるようになり電子ビームの多目的高効率利用を可能にしたこと(図5),
- などが大きな特徴である。(3)については別報に詳細な説明がある。

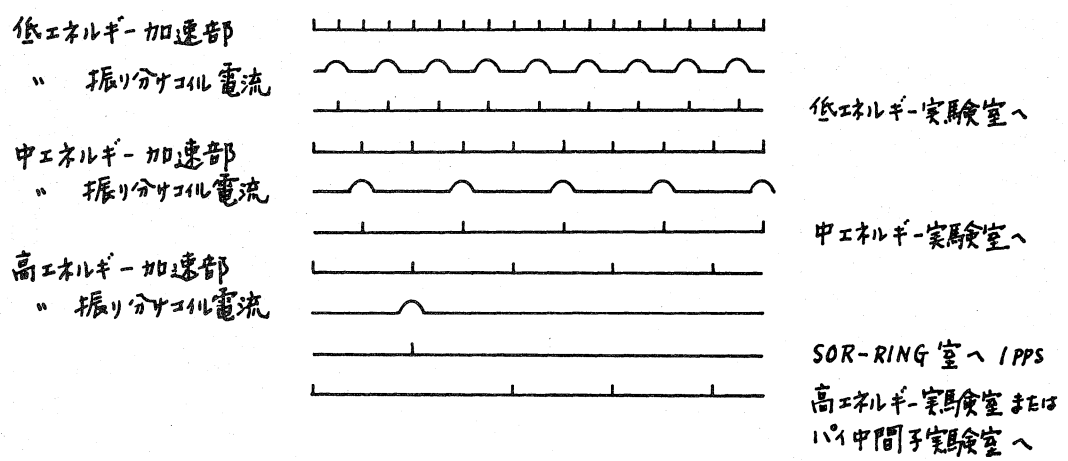


図5 パルス偏向コイルによるパルスビームの振り分け方

Total length	77m		
Type of accelerating sections	2π/3 2856 MHz at 40 ± 0.1°C Linearly tapered iris type		
	C2	C3	D3
No. of accelerating sections	4	10	6
Length (m)	2.3	2.93	2.93
Shunt impedance (MΩ/m)	54.1	54.5	55.6
Voltage attenuation const. (N/m)	0.140	0.148	0.170
Input peak rf power (MW)	12	12 (6)	6
Water flow (l/min)	50	50	50
Water temperature in (°C)	37.2 - 40		
Beam pulse width	5 ns - 4 μs		
Pulse repetition rate	less than 600 pps		
No. of klystrons	8 (1 is for ECS); 10 in future		
Maximum peak rf power	25 MW		
Average rf power	25 kW		
Maximum duty cycle	0.0025 at 10 MW		
Efficiency	more than 50 %		
Total unloaded beam energy	520 MeV at 0 A		
Total loaded beam energy	467 MeV at 0.1 A		
Loaded beam energy at the medium energy section	208 MeV at 0.1 A		
Loaded beam energy at the low energy section	93 MeV at 0.1 A		
Construction, date	March 1980 - Sept. 1980		
First beam, date	Dec. 22, 1980		

これらの特徴はすでに1973年から'74年にかけて考案されたものであり, 長年の研究開発の成果を生かしたものである。)

加速管の真空は非常に良好で 5×10^{-9} Torr ~ 1×10^{-8} Torr 程度, マイクロ波を入れる慣らし運転では, 運転開始後3時間で5MWまで入った。ビーム入射時も真空トラブルは一度もなく入射即加速可能という好結果であった。この理由として三菱電機製の加速管は製作工程の一部に高温処理があるためアウトガスそのものが少ないこと, 加速管据付時の軸合せが円滑に行なわれたので大気にさらされる時間が短かったこと, 加速管据付以前に加速器の天井, クレーンとレール, 蛍光灯, 配線トレイ, 壁, 床などの清掃に努力したこと, 5月中旬にはイオンポンプで排気を始め約8°Cで加速管のガス出しを何回も行なったこと, 8月

表1 電総研リニアックの主なパラメータ

には加速管にマイクロ波を入れて慣らし運転ができたこと、さらに12月22日の使用許可日まで長時間の慣らしをしたこと、などが考えられる。

加速管の配列は最終的には低エネルギー部にC2型を4本、中エネルギー部にC3型を4本、高エネルギー部にC3型を6本とD3型6本を図1のように配列した。Q電磁石と電子ビームの舵取りコイルを交互に加速管の間に配列したのでQ電磁石は加速管2本おきとなったが、ビーム加速の結果は上々で加速途中でのビーム損失は少なく、加速管からの漏洩線量率は低エネルギー部を除いて少なかった。

高真空に保たれた加速管内に高い加速電界を得るには、加速管の共振空洞の寸法を一定に保ち、高い共振Q値(≈ 13000)を保つ必要がある。図6は加速管温度の制御系動作時から安定状態に達するまでの変化と、マイクロ波入力時、ビーム加速時における加速管(冷却水)温度の変化を示す。動作開始から僅か15分でビーム加速可能な $40 \pm 0.2^\circ\text{C}$ に達し、3時間後には $40 \pm 0.05^\circ\text{C}$ になるこのように早く 40°C に近い温度にむけていけるのは熱交換器の熱源に 60°C の温水を使用しているからで、安定度も極めて良好である。

Y on, beam onで、マイクロ波電力は設計値の約70%弱のとき、ビームは約350 MeV, 40 mA (平均電流 $4 \mu\text{A}$) であった。加速管は微小な鋭い温度変化を示すが、 $40^\circ \pm 0.1^\circ\text{C}$ 程度には制御されている。

ビーム加速を始めた12月頃にはまだビームトランスポート系が完成されていなかったため、加速された電子のエネルギーや量を観測するために加速器先端部のビーム取り出し窓近くには幅20 cm x 高さ20 cm x 長さ100 cmのアクリル板で作られた水槽を置き、加速された電子を水槽に撃ち込んだ時に発生するチエレンコフ光をITVで観測しながら、Y phase shifterの調整をおこなった。マイクロ波電力が設計値の約70%弱のときで、チエレンコフ光は80 cm以上に広がっており、実際には一部の電子やX線は1 m長の水槽を貫通し、水槽のアクリル板を透射させている。図7はビーム取り出し窓でのビームスポットを示す。

1) 富増, 電機研究報 42, 68 (1978) 2) 富増, Proceeding of the 2nd Symp. on Accelerator Science and Technology p. 115, IAS, March 1978

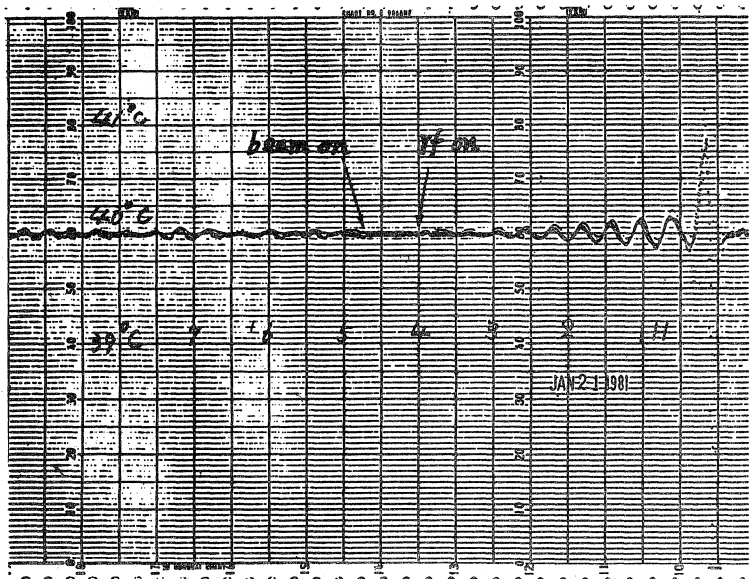


図6 加速管の温度制御

Q_{19.20} H.D = 150

Q_{21.22} H.D = 150

Q_{19.20} H.D = 300

Q_{21.22} H.D = 500

図7 ビームの太さとQ電磁石のH.Dとの関係。90%ビームの太さは黒い部分の約2/3である。2)