

Present Status of the 500-MeV Electron Linac and the 600-MeV Storage Ring
at Electrotechnical Laboratory (ETL)

T. Tomimasu, T. Noguchi, S. Sugiyama, T. Yamazaki, T. Mikado and M. Chiwaki
Electrotechnical Laboratory
Sakura, Niihari, Ibaraki, 305 Japan

Abstract

A 500-MeV high-efficiency electron linac has been constructed in six months and operated since Dec. 1980 at ETL in Tsukuba for the generation of high intensity photons and pions and for injection to a 600-MeV storage ring and a 150-MeV beam stretcher. The main features of this linac are low cost - high efficiency, medium duty and high power beam acceleration, and economical beam sharing. The beam current of 220 mA is obtained at 300-MeV and will soon increase up to the designed peak current of 250 mA (average 250 μ A).

A 600-MeV electron storage ring has been constructed in parallel with the linac in ten months at a cost of 200 M yen and operated since Oct. 1981. The circumference is 31.45 m. The lattice order is $O/2B_dQ_fQ_dQ_fB_dO/2$. The maximum stored current is 140 mA at present and $1/e$ lifetime is 1.5 hours. The useful spectral range of synchrotron-radiation from the ring lies between 10 and 1000 A.

1. はじめに

電子技術総合研究所は独自の設計により高効率大出力で多目的利用方式の500 MeV電子リニアックを1980年4月より6ヶ月で完成し、同年12月にビーム加速に成功した。¹⁾

シンクロトロン放射光を作り出す600 MeV電子蓄積リングは約2億と10ヶ月で完成し、昨年10月に電子蓄積に成功した。当所では大強度放射線標準、パイオン、ミュオンなどの計測技術の研究を中心にパイオンによるガン照射技術、シンクロトロン放射光による物性研究、超LSI技術などの研究開発を進めていく予定である。図1にリニアックとリング（リングのみ直径は2倍）の構成図と各実験室、ビームラインにおける研究テーマを示す。

2. 500 MeV電子リニアック

この電子リニアックはデューティサイクル0.24%、出力の点では目標100 KW (400 MeV-250 μ A)と世界有数のものである。Beam Blow up (BBU)を抑えこんで大電流と効率良く加速し利用しようというもので、表1の大出力電子リニアックの性能表²⁾に電総研リニアックの特徴が示されている。他の3ヶ所と異なり高効率、大電流大電力加速に特徴がある。()内に現在達成値を示す。

加速器の全長は77mで、地下6m長さ約100mの加速器室に設置されている。

1) 電総研リニアックの特徴

- a) 定勾配ディスク孔径型加速管とその配列方法
- b) 開発した高効率クライストロンの使用 (最高50%)
- c) 電子ビームの間引き振り分け方式の考案 (同時4ヶ所ビーム使用)

等の特徴があり、a)は高エネルギー研のPF入射器にも採用されている。これらのことは別報に詳しい。¹⁾

3. リニアックの稼働状況

1) 加速管の真空

加速管の排気には80 l/secのスプッターイオンポンプが加速管1本に1台の割合で設置されている。

RESEARCH PROGRAM AT ETL LINAC & RING

LINAC

LOW ENERGY EXP. ROOM ABSORBED DOSE STANDARD FOR e^- & BREMS.

MEDIUM ENERGY EXP. ROOM 150 MeV BEAM STRETCHER & SMALL RING

HIGH ENERGY EXP. ROOM INNER-SHELL IONIZATION BY 350-450 MeV e^- SHIELDING TECHNOLOGY

PION EXP. ROOM ABSORBED DOSE STANDARD FOR PIONS
150 MeV/c - 0.15 str PION CHANNEL

RING

BEAM LINE NO. 1 BEAM DYNAMICS
NO. 2 LIGHT STANDARD
NO. 3 SOFT X-RAY STANDARD, SURFACE PHYSICS
NO. 4 SIGHT-SEEING
NO. 5 SUPER LSI LITHOGRAPHY
NO. 6 CURRENT MONITOR
NO. 7 CURRENT MONITOR

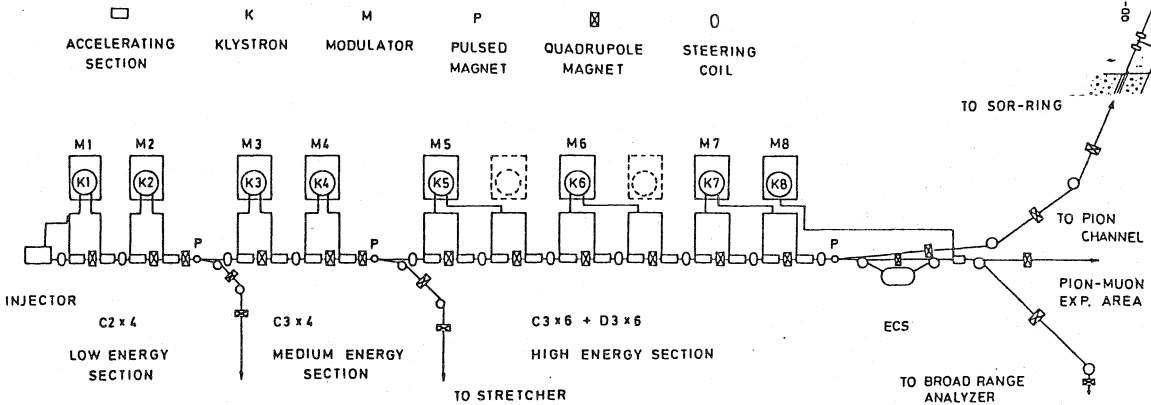


図1 リニアックとリング(リングのみ寸法は2倍)の構成図と実験室. ビームラインの研究テーマ

	ALS	Bates	IKO	ETL
場所	サックレー原子力研究所	マサチューセッツ工大	アムステルダム	筑波電研
加速エネルギー	640MeV(250 MeV)	430MeV(220 MeV)	500MeV(250 MeV)	400MeV
平均ビーム電流	230 μ A	230 μ A	200 μ A	250 μ A
平均ビーム出力	150kW	100kW	100kW	100kW
ピーク電流	30mA for 1% duty	13mA	4mA	250mA (220 mA at 300 MeV)
パルス巾	10 μ sec (20 μ sec)	15 μ sec	50 μ sec	4 μ sec
くりかえし	1KHz for 1% duty (2KHz for 2% duty)	5KHz	2KHz for 1MW (av) 1KHz for 2MW (av) 0.5KHz for 4MW (av)	0.6KHz
duty cycle	1%(2%)	18%(58%)	25%(10%)	0.24%
周波数	S band	S band	S band	S band
ピーク入力	60MW	40MW	72MW	25MW
クライストロン	TV2013 (トムソン社) $\times 10$	VA938D (パリアン社) $\times 10$	VA938D \times	E3776 (東芝) $\times 10$ ($\times 7$)
長さ	185m	180m	200m	76m
現状	運転中(1968年建設)	1977年試運転開始 recirculation方式に改造中 (750MeV, duty 70%の予定)	建設中	運転中 (1980年建設)

表1 大電流-大出力電子リニアックの性能表²⁾

MAX. ENERGY	630 MeV
INJ. ENERGY	300 MeV
BENDING RADIUS	2000 mm
AVERAGE RADIUS	5000 mm
LATTICE ORDER	O/2DDDFDFDDO/2
TOTAL WEIGHT	50.8 + 2.9 TON
BETATRON OSC.FREQ.	$\nu_x \approx 2.25$ $\nu_z = 1.25$
RF FREQ.	162MHz
RF VOLTAGE	20 kV
ENERGY LOSS/TURN	7.0 keV

RF Power 1.5 kW at 600 MeV
100 mA

表2 リングの主なパラメータ

真空度は非常に良好で $5 \times 10^{-7} \sim 1 \times 10^{-8}$ Pa 程度。1980年12月にビーム加速を始めてから1年半経過した現在においてはアウトガスは更に少なくなり、ビーム損失がほとんどないためイオンポンプの半数を止めたままビームを加速している。また、この1年半の間では震度(震度4)の影響は全く認められていない。

2) 加速管の温度制御

火を入れてから僅か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 に近い温度にもっていけるのは熱源に 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。

3) 日常運転 — ワンマン運転を実施

電子リニアックへの電力はRF系と電子銃電源の一部を除いてすべて1200 KW MG から供給される。今のところはコンピュータ制御は一切行なっていないが、準備、運転、後始末と一人で十分である。但し、保守は主として岡部計測が行なっている。この8月にHPのシンセサイザーをRF源に使用できるようになったので火を入れて30分でビーム加速が可能。加速後約半時間は入射器の集束・偏向系を多少制御する位で何時間でも安定に動いている。加速電流の安定度は $\pm 1\%$ 位で、モニターの針がある電流値を指したまま動かない状態のときもある。後始末は数分で終る。

4. 600 MeV 電子蓄積リング

リニアックで加速した電子をリングに入射し蓄積するというのが1971年12月の筑波移転決定以来の一貫した設計方針であったが、蓄積リングの建設費約2億円と電子リニアックの更新費9億8千万円でまかなったため、リニアックの加速エネルギーを低くし、リングに入射後さらに加速する方式に変更した。当初の設計³⁾と比べてリニアックの高エネルギー部のクライストロンセットが3台に減ったのはこのためである。

電総研蓄積リングの特徴としては

1) 電子リニアックで入射・蓄積後加速する低コスト型

2) 偏向電磁石は平行磁極($\kappa=0$)で 11.7° のエッジフォーカス。コイルの設計は省エネルギー型などがある。リニアックで加速された300 MeV、100 mA程度のパルス電子ビームのうち0.64秒毎に1パルスと先端部のパルス偏向コイルによって間引き振り分けでリング側に導かれる。電磁石配列の位置精度は垂直方向は0.3 mm以下、水平方向は0.5 mm程度である。試しにQF電磁石の γ を0.5 mm上下しても蓄積電流に少しも影響を与えなかった。表2には電子蓄積リングの主なパラメータが示されている。

5. 蓄積リングの稼働状況

現在のところ130~200°C程度のベキキングを6時間おこなった後5時間で 3×10^{-7} Torr (4×10^{-9} Pa) を得ている。7月末に使用者側のミスで光ビームダクト側からリングに大気が流入したが、立直りは早く翌日には100 mAの電流を蓄積できた。真空が最も悪い箇所はQ電磁石部であるが、蓄積電流とQ電磁石部の真空度および蓄積電流の寿命($1/e$ 寿命)との関係を図2に示す。8月中旬では $1/e$ 寿命は130 mAで約2時間、最大蓄積電流は140 mAである。100 mA蓄積時のQ電磁石部の真空度は 1×10^{-9} Torr程度となる。図3に過去10ヶ月の蓄積電流の上昇カーブと主要因を示した。

1) RF加速系

共振空洞はブランジャー部での発熱が大きく、2kW以上長時間使用は困難である。1.5kW程度で600 MeV、100 mA蓄積できるから良いものの空洞の温度制御から改良していく必要がある。RF電源系は10kWまで余裕があり、800 MeVまでエネルギーを上げて也十分に余裕がある。

2) 入射ビーム位置モニタ

セプタム電磁石の入口は8mm x 16mm、蓄積リングの入口は9mmφと小さいので入射ビームの位置と方向の制御は難しい。電総研ではビームコースに遷移放射光(transition radiation)も利用したビーム位置モニタを2台設置してビームの位置と方向を制御し、入射効率を上げている。

3) 入射ビーム電流モニタ

セプタム電磁石の磁極間(半径~2600mm)を通り貫けた電流量をモニタするのに電総研型カウンタを用いている。これは全吸収型電離箱で、入射した高エネルギーX線・電子線の全エネルギーを測定できる。リングへ電子を入射するときには通り貫ける電子がリング入口の9mmφの周りにどうしても衝突して高エネルギーX線を発生する。このX線をカウンタでモニタしてやると入射ビーム量をモニタすることができる。今までの経験では蓄積電流の上昇率とこのモニタ量との相関は高く、ビーム輸送路、セプタム電流の調整などに活用している。

4) 蓄積電流モニタ

蓄積電流の決定は1電子によるシンクロトロン光と光電子増倍管で測定して行なわれた。電流量を減らす方法は色々あるようだが、電総研ではキッカー電流を少しづつ流して回転している電子の軌道を揺らす方法をとっている。この方法で数分間で10ステップ位の電子数減少にともなうシンクロトロン光の減少の観測に成功している。これで校正されたモニタによって数百mAまでも測定可能になっているが、詳細は別報に譲りたい。4)

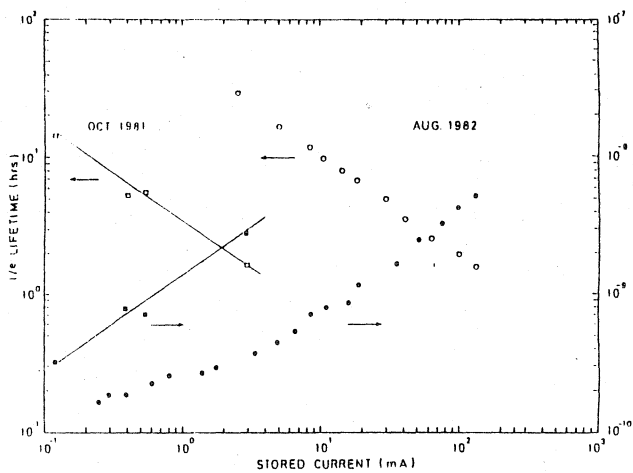


図2 蓄積電流とQ電磁石部の真空度および電積電流の寿命

1) 富増, IEEE Trans. Nucl. Sci., NS-28, No.3, 3523 (1981)
 2) 塚田, JAERI-memo 9303 (1981), 3) 富増, Bull. Electrotechnical Lab. 42, 68 (1978) 4) 野口他, 第29回応用物理学関係連合講演会予稿集 p.22

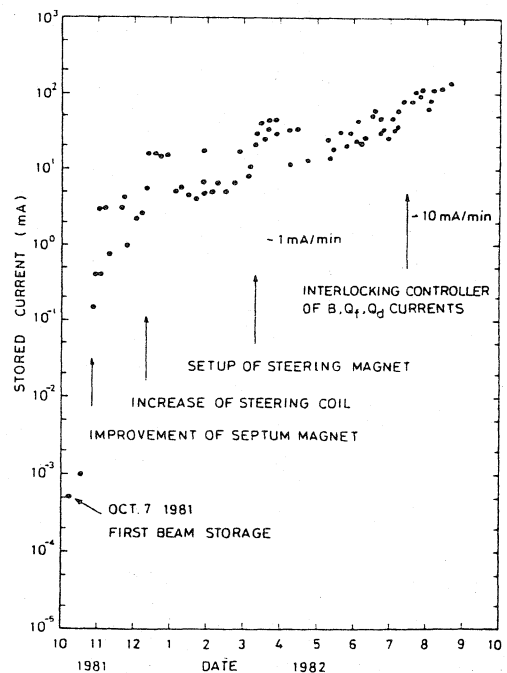


図3 蓄積電流の上昇とその主要因