

電総研リニアックの現状と 500 MeVリニアック計画

電総研 冨増多喜夫

電総研リニアックの現状についてはクライストロンの効率向上によるエネルギーアップ、電子エネルギーとビームプロフィールとの関係、500 MeVリニアックについては使用する加速管の設計パラメータ、電子リニアックの構成、効率50%以上の高効率クライストロンを使用する low running cost machine としての計画について述べる。

1. 電総研リニアックの現状

電総研リニアックは1963年に設置されたが、当時の最高エネルギーは25 MeVであり、1968年には真空の向上によって33 MeVまで向上していた。最近クライストロンの効率を35%から50%まで向上させることにより最高エネルギーは40 MeVに達するようになった。電源設備などは25 MeVリニアック設置当時のままである。図1に40 MeVリニアックの構成図を、図2に電子エネルギーと電流との関係を示す。図3は各年代における電子エネルギースペクトルで、特に幅の狭いものを示した訳ではない。

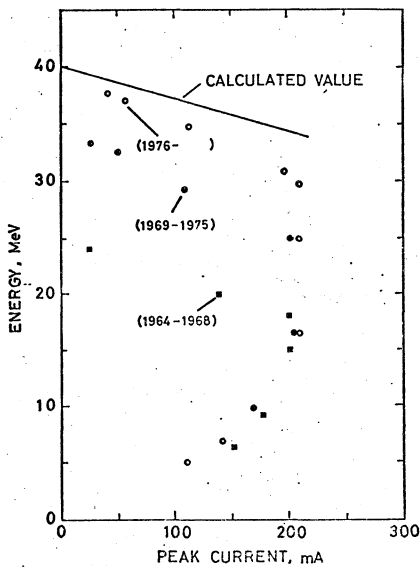


図2 電子エネルギーと電流との関係

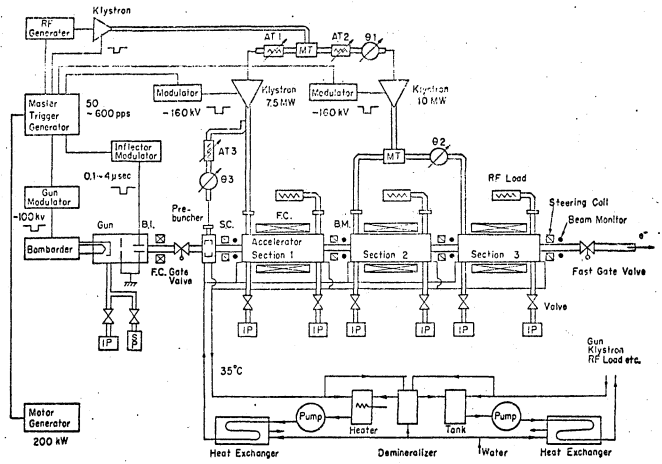
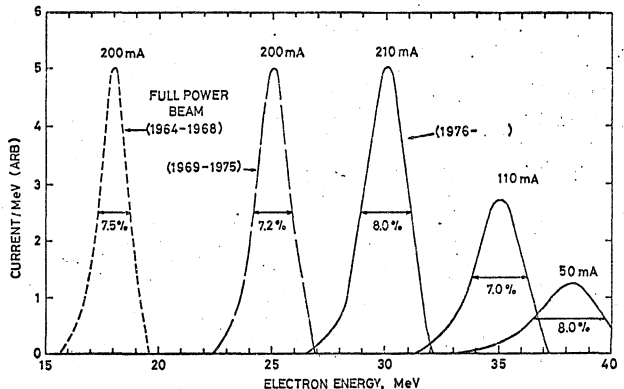


図1 40 MeV電総研リニアックの構成図

図3 電子エネルギースペクトル



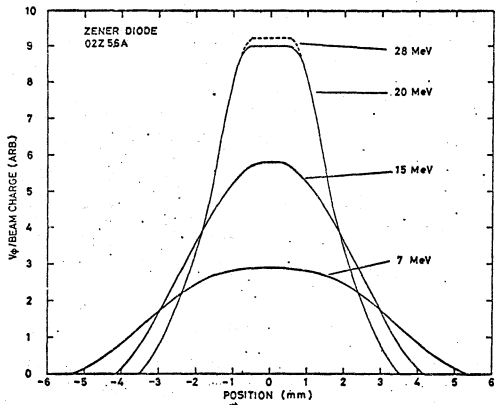


図4 電子ビームプロフィール

図4はツエナーダイオードを用いて測定した電子ビームプロフィールで、¹⁾低エネルギーになる程ビームスポットが大きくなっている。加速電流は20~28 MeVで~100 mA, 15 MeVで~60 mA, 7 MeVで~40 mAであった。20 MeV以上に加速するときは図1に示す3本の加速管がすべて加速の状態にあるときで、20 MeV, 28 MeVにおけるプロフィールは富士山型で、きれいに揃っている。15 MeV, 7 MeVとなるにしたがい第2, 第3の加速管での減速の割合が増し、減速時のビーム発散によりビーム径は広がっていく傾向がある。

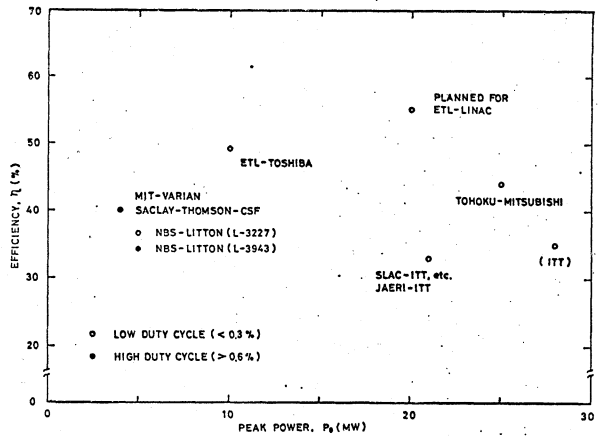


図5 市販クライストロンの尖頭出力と効率

図5は市販のクライストロンの尖頭出力と効率を示している。大部分のクライストロンの効率は30%台で、これを50%台に向上させることによって電力消費を従来の60%に押えることが可能である。特にクライストロンを数本以上使用するリニアックでは効率向上による省エネルギー効果は極めて大きい。電総研の500 MeVリニアック計画では効率55%の20 MWクライストロンを10本使用する予定で、この場合で1時間当り600 kWhの節電となる。このような経済的観点からも、また直線加速器(?)的視野からもクライストロンの効率向上は十分に研究に値する。

2. 500 MeV電総研リニアック計画

500 MeVリニアック計画は、1971年12月に決定された電総研の筑波学園都市への移転計画の一つとして進められている。1972年7月の概算要求以来すでに5年を経過しているが、1979年度には約3000 m²の建屋と最高エネルギー500 MeV, 出力100 kWの電子リニアックが建設される計画になっている。500 MeVリニアックの研究目標、構成の一次案、等については1976年3月の調査報告²⁾に示されているが、SOR, π中間子, 等の発生と利用, 大強度放射線による放射線損傷, 等の研究に使用される。

図6に世界の主な電子リニアックと計画中の500 MeVリニアックの性能を示す。MITやSaclayのように多数の加速管による

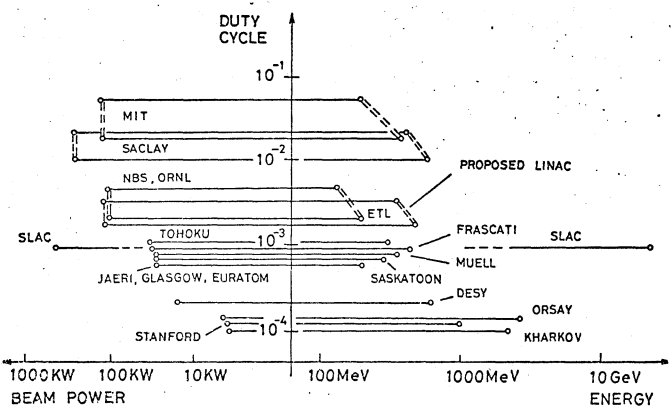


図6 世界の主な電子リニアックと計画中の電総研リニアックの性能

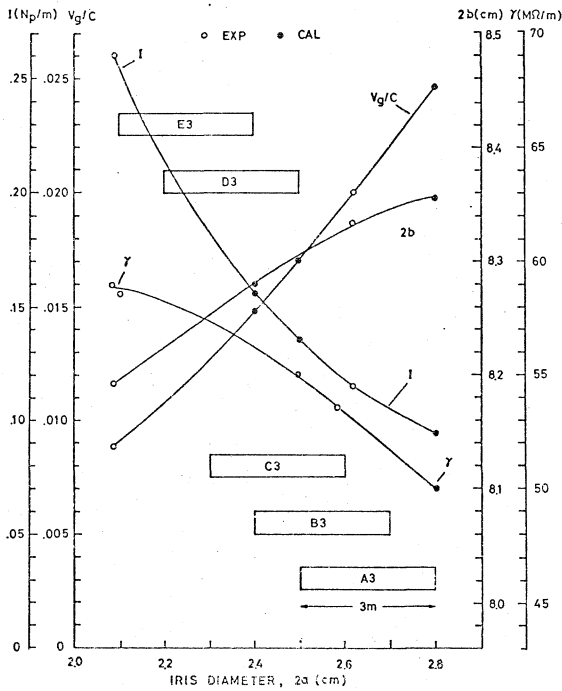


図7 加速管の各種パラメータ

Accelerating Sections

Frequency	2856 MHz at 40° C			
Mode	2π/3			
Type	constant gradient			
	B2	B3	C3	D3
Length (m)	1.892	2.945	2.945	2.945
Shunt impedance (MA/m)	53.3	54.2	55.6	56.9
Voltage attenuation constant (neper/m)	0.120	0.129	0.148	0.171
Filling time (μsec)	0.33	0.55	0.63	0.73

表1 使用する加速管のパラメータ

Total length	76 m			
Type of accelerating sections	constant gradient (S-band)			
	B2	B3	C3	D3
Number of accelerating sections	4	4	6	6
Input peak rf power (MW)	8 (6)	8	8	8
Input average rf power (kW)	12.5	12.5	12.5	12.5
Beam pulse width	5 ns ~ 4 μs			
Pulse repetition rate	less than 600 pps			
Number of klystrons	10			
Maximum peak rf power per klystron at a duty cycle of 0.00125	20 MW			
Average rf power per klystron	25 kW			
Maximum duty cycle	0.003 at 8 MW			
Efficiency	more than 50 %			
Total unloaded beam energy	503 MeV (at 0 A)			
Total loaded beam energy	366 MeV (at 0.24 A)			
Loaded beam energy at the medium energy section	97.5 MeV (at 0.4 A)			
Loaded beam energy at the low energy section	39.1 MeV (at 0.4 A)			

multisection beam blow up (BBU) を避けるため I_p をかなり低くおさえ、デューティサイクルを大きくとることにより、ビーム出力 ($I_p \times$ duty cycle) を大きくする

表2 500 MeV リニアックのパラメータ

場合もある。計画中のリニアックでは、 I_p を大きくとるため Q-magnet 集束による BBU 防止もおこなうが、図7に示すような B, C, D の3種類の定勾配型加速管 (長さ3m, 入射窓のみ2m) 20本を図8に示すように配列し、巨視的にみれば全体の20本の加速管が step-wise の定勾配型を構成するようにしている。図7中の実測値は参考文献3), 4), 5), 6) から引用した。表1に加速管の各種パラメータを示す。

クライストロンとしては効率55%の20MWクライストロン (平均出力25kW) のクライストロンを10本使用し、1本の加速管で2本のクライストロンにマイクロ波を供給する。

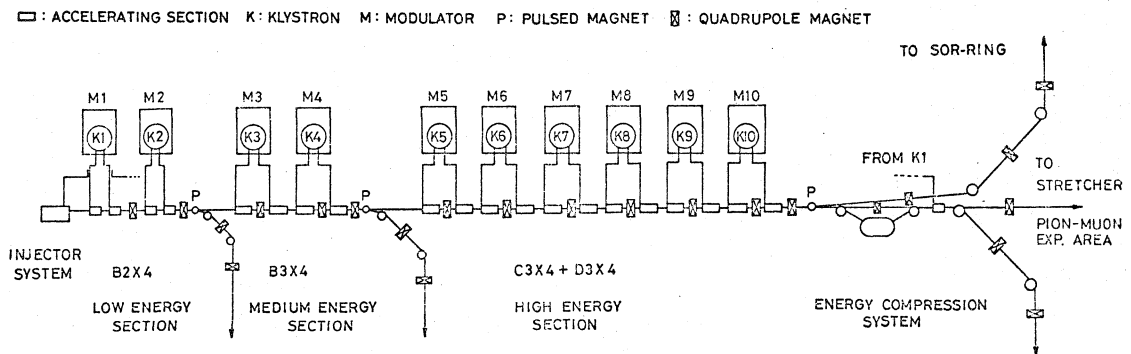


図8 500 MeV リニアックの構成図

表2は500 MeVリニアックの主なパラメータを示す。表1, 2の各種パラメータから計算された設計上での加速エネルギーとビーム電流との関係のうちデューティサイクルが0.15%の場合を図9に示した。

500 MeVリニアックからの電子ビームはSOK-ringへの入射, π 中間子の発生の外, beam stretcherによるビームの高デューティサイクル化を計画している。この外, レーザーコンプトン散乱による単色X線, パルス中性子等による各種断面積の絶対測定, 放射線損傷, 放射線化学, 放射化分析, 短寿命RI製造, 等に関する研究が研究目標として予定されている。

この加速器は放射線遮蔽を容易にするため東北大理ニアックと同じように地下に設置される計画で, 現在基本設計が終了している。建屋設計の特徴としては1)省エネルギーのためクライストロン室の中央近くに電源室を接近させたこと, 2)地下加速室, 実験室には地上の建屋の使用済み空調排気を通すようにすること, 3)建設コストを下げるため重コンクリートの代りに鉄鉱石を使用すること, などがあげられる。

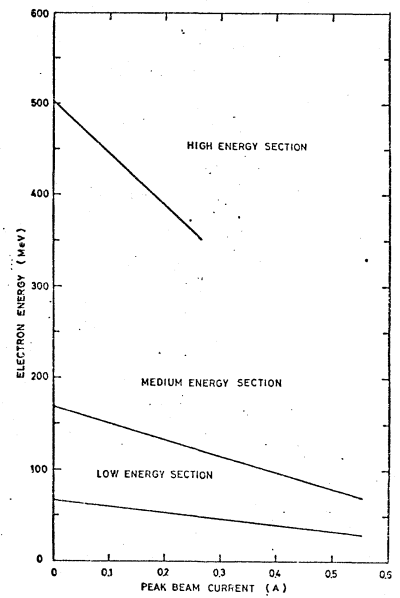


図9 電子エネルギーと電流との関係

参考文献

- 1) T. Tomimasu, T. Yamazaki and T. Mikado, RSI, 48, 312 (1977)
- 2) 高エネルギー大出力電子リニアックに関する調査報告, 51年3月, 電子技術総合研究所
- 3) Y. Torizuka, Y. Kojima and S. Urasawa, Oyo Butsuri, 37, 690 (1968)
- 4) H. Takekoshi (ed), Design, Construction and Operation of JAERI-Linac, JAERI 1238 (1975)
- 5) K. B. Neal (ed), The Stanford Two-Mile Accelerator (W.A. Benjamin, Inc. New York, 1968)
- 6) J. Haimson, IEEE Trans. Nucl. Sci., NS-12, 499 (1965)