

Yoshiharu Torizuka

Laboratory of Nuclear Science, Tohoku University

ABSTRACT

We discuss on the development of 100% duty factor electron accelerators, the project of recirculation of pulsed linac, the plans of colliding beams with electron linear accelerators, and the r.f. system of TRISTAN in KEK.

電子ライナックは、原子核・素粒子の研究に、あるいは強力な放射線を利用する目的で開発され、進歩してきた。電子ライナックが加速するのはパルスビームで、その特徴を生かし、パルス中性子源による中性子回折、ナノ秒あるいはピコ秒パルスビームによる新領域の分光学的研究等が発展した。一方、原子核・素粒子の研究においてはパルスビームは欠点とされており、電子ライナックにおいてはビームのマクロな束時間と表わすデューティ・ファクターは0.1%程度で非常に低く、原子核・素粒子実験で普通に行われる重要な同時計数法が殆んど不可能であった。それにもかかわらず電子ライナックには優れた特徴があり、原子核・素粒子の分野で画期的な成果をあげている。

今日までに世界各地に設置された原子核・素粒子研究を主目的とした電子ライナックを表1にまとめた。本格的な電子ライナックは1950年代にスタンフォード大学に1GeVの

表 1 世界の原子核 素粒子研究用電子ライナック

第一世代 (数 μ A 0.01%DC)		第二世代 (数10 μ A 0.1%DC)		第三今 (\sim 100 μ A 数%DC)		第四世代 (\sim 100 μ A 100%DC)	
1950		1960		1970		1980	
Stanford	1.2GeV	東北大学	300MeV	MIT	420MeV	Stanford } Darmstadt }	リサイクルトロン (超伝導)
Orsay	1.5GeV	Mainz	350MeV	IKO (Amsterdam)		Illinois	マイクロトロン (超伝導)
		Saskatchewan	250MeV		500MeV	NBS-LOSALAMOS	リサイクルトロン (室温)
		NBS	150MeV			Mainz	マイクロトロン (室温)
		Glasgow	150MeV			Montreal	
		Darmstadt	60MeV			MIT	
		Saclay	600MeV			Lund	速い繰返しのパルスライナック + ストレッチャー
		SLAC	20GeV			Saclay	
						Frascati	
						Saskatoon	
						Virginia	
						東北大学	
名工試 (12MeV)	大放研 (15MeV)	電総研 (35MeV)	原研 (190MeV)	電総研 (500MeV)			
	核研 (6MeV)	京大原子炉 (25MeV)	北大 (45MeV)	高工研 (2.5 GeV)			
	東北大 (300MeV)		東大原研 (35MeV)	阪大産研 (30MeV)			

ものが建設されて以来で、研究成果が大いにあがり、それが刺激となり、60年代には世界的な電子ライナックブームが起った。東北大学300 MeV電子ライナックもその中の一つである。表1からわかるように、電子ライナックの進歩はデューティ・ファクターに現われており、それに平均電流が比例している。今日の関心は100%デューティ・ファクターの電子加速器に集っており、80年代は再びブームを迎えようとしている。

ここでは先づ100%デューティ・ファクターの電子加速器について述べ、次にパルスライナックのリサーキュレーションの問題点、次の衝突型加速器のリニアコライダー、日本で計画しているトリスタンEの高周波加速部について述べる。

1. 100%デューティ・ファクター電子加速器

新しい原子核物理学の発展には、1~2 GeVの100%デューティ・ファクターの電子加速器が有効であると考えられている。そこで先づ1 GeVの室温の連続波(CW)ライナックを設計すると次のようになる。加速器に供給できる高周波電力の上限は冷却可能な熱負荷から決定され、1 m当り大体40 kWとされておりその場合の加速エネルギーは1 MeV/m程度であろう。従って主なパラメーターは表2のようになる。

表 2 1 GeV CWライナックの諸パラメーター

加速エネルギー	1 MeV/m
加速周波数	2856 MHz (Sバンド)
高周波入力	40 kW/m
加速管全長	1000 m
所要電力	100 MW (年間 ~100億円)

表2のような加速器は、建設費および維持費から考えて実現不可能であると言わなければならない。そこで超伝導ライナックが取りあげられたが(1)加速し得るエネルギーの上限が2 MeV/mと予想より低い(2)超伝導体固有の問題点がある等から超伝導ライナックの見通しは明るくない状況である。

そこで再び常温のCWライナックに戻りビームをn回リサーキュレーションしてライナックの規模を1/nにするのが図1のマイクロトロン(リサイクルトロン)である。それに対して、従来のパルスライナックにストレッチャーリングを設置してパルスビームを入射し、次のパルスまでの間にゆくりビームを引き出し100%デューティ・ファクターを得るのが図2のパルスビーム・ストレッチャーである。これ等の方法による各国の1 GeV以

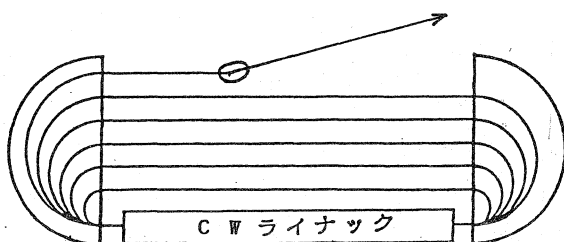


図 1
マイクロトロン (リサイクルトロン)

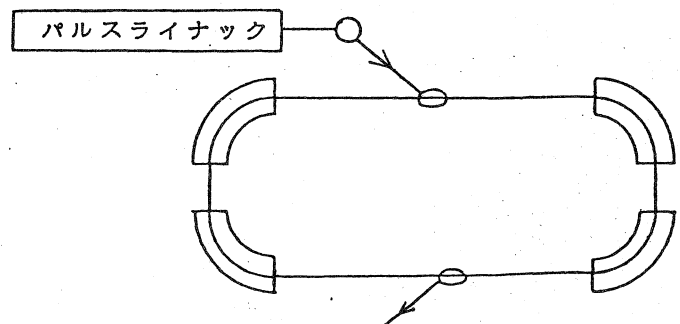


図 2 ストレッチャー

上の計画をとりあげたのが表3である。

表 3 各国の1 GeV以上の100%ブーテ、ファクター電子加速器計画

機 関	エネルギー (GeV)	電流 (μA)	方 法
東北大学 (日)	1.5	100	ストレッチャー
バージニア大学 (米)	2	300	ストレッチャー
アルゴンヌ国立研 (米)	2	300	マイクロトロン
M I T (米)	2	300	マイクロトロン
マインツ (西独)	1.25	100	マイクロトロン
フラスカッティ (伊)	1.1	100	ストレッチャー
サックレー泉研 (仏)	1.5 ~ 2		ストレッチャー

2. パルスライナックのリサーキュレーション

CWライナックに比較してパルスライナックはビーム負荷が大きいので、リサーキュレーションによってエネルギーを2倍、3倍にすることは相当にむずかしい。そのことをMITの計画している400 MeVの10 μ secのパルスビームを例にして説明する。

3. リニアークライダー

e^+e^- の衝突実験は素粒子研究の本命と見なされており、ますます高いエネルギーを狙っている。CERNのLEP計画は70~100 GeVで、衝突リングの全周は30 kmとなりその規模は限界に達している。そこで提案されているのが、リニアークライダーで、ノボスビルスクのVLEPP計画は左右のそれぞれの長さが3 kmのライナックにより300 x 300 GeVの正面衝突を行う。一方、スタンフォードの計画では、ライナックで e^+e^- を同時に加速し、お口にあるリング状電磁石により50 x 50 GeVの一回衝突を行う。これ等の計画の特徴は、ライナックの単位長あたりの加速エネルギーを極限まであげることとビームのエミッタンスをよくしてミクロンの大きさにビームを絞ることである。

4. トリスタンIの高周波加速部

高工研のトリスタンI計画は30 x 30 GeVの衝突型加速器で、それを表4で外国の例と比較する。表4からわかるようにトリスタンの高周波加速部は、実はエネルギー449 MeVの全長360 mの室温CWライナックに相当している。この種の1 GeVライナックについては既に表2に示したが、加速エネルギー、加速周波数の相違を考慮すれば両者のパラメータはよく対応していることがわかる。トリスタン計画がこの通りに実現すれば、ライナックの進歩に大きな貢献をするであろう。

表 4 世界の e^+e^- 衝突リング

名 称 (所在地)	PETRA (西独 ハンブルグ)	PEP (米国 スタンフォード)	TRISTAN (日本・筑波)	LEP (スイス ジュネーブ)
運転開始 (年)	1978	1980	~1985	~1988
実用最高エネルギー (GeV)	19	18	30	86
シンクロトロン放射損失 (MV)	59	56	368	1370
貯蔵電流 I (mA)	10×2	10×2	15×2	8×2
全周の長さ L (km)	2.30	2.20	2.71	30.6
加速周波数 f (MHz)	500	353	500	353
ピーク高周波電圧 V_c (MV)	105	72	449	1950
加速空洞長 L_g (m)	96	51	360	1629
及び L_g/L (%)	(4.2%)	(2.3%)	(13%)	(5.3%)
高周波電力 (MW)	4.8	6	29	96
クライストロン数 (本)	8	12	25	96