

ピコ秒・短パルス用線形加速器の製作

東京大学工学部 田畑米穂 田中右郎 田川精一
 三菱電機 岡田武夫 藤田勉太 上島勇 菊地宏 小林仁

1. 短パルス用線形加速器 ML-35L 形の概要

昭和52年、東京大学工学部殿に納入された線形電子加速装置 ML-35L 形は、原子化学研究のための SHORT PULSE BEAM の発生と、原子炉「弥生」の PULSE 運転用 INJECTOR を目的として製作されたものである。SHORT PULSE BEAM においては、S-BAND 線形加速器として、BUNCH 中 20ps 電荷量 1nC と、世界の線形加速器の特筆すべき性能を有するものである。

本加速器は、便宜上大別して2種類の BEAM MODE を有している。すなわち、定常 (STEADY STATE) モードと、SHORT PULSE BEAM を得る過渡 (TRANSIENT) モードである。

前者は $0.1\mu s \sim 4.5\mu s$ 中の BEAM を得るもので、過渡モードは次に示す種類の BEAM の総称である。

- (1) SINGLE FINE STRUCTURE ; MICRO 波の1表長のみには BEAM を集群させ 20ps 中の BEAM を取り出すもの。
 - (2) 1/6 RF BEAM ; 加速 MICRO 波の6表長毎に BEAM を集群加速する。
 - (3) 10 ns BEAM ; BEAM 中 10 ns とする BEAM
- 以下これらの BEAM 性能を得る ML-35L 形線形電子加速器について述べる。

2. ML-35L 形加速器の仕様・性能

定常モード

項目	仕様値	実測値
ビームエネルギー	35 MeV (0 mA)	38 MeV
	25 MeV (200 mA)	26.8 MeV
ビーム電流	200 mA (25 MeV)	230 mA
パルス巾	0.1, 0.5, 1.0, 4.5 μs	0.1, 0.6, 1.1, 4.5 μs
繰返し数	10 ~ 200 pps	7 ~ 200 pps
制御トリガ	単発トリガ、外部トリガ 可能	

過渡モード

項目	仕様値	実測値
10 ns ビーム		
ビーム電流	2 A	2 A
パルス巾	10 ns	11 ns
ビーム径	4 mm ϕ (80%)	4 x 3 mm ϕ
パンチ巾	20 ps	< 18 ps
電流安定度	$\pm 3\%$ / 5 min $\pm 6\%$ / 60 min	$\pm 1.5\%$ / 5 min $\pm 3\%$ / 60 min
1/6 RF ビーム		
電荷量	1 nC 以上 (FINE STRUCTURE)	1 nC
パルス巾	10 ns	10 ns
SINGLE ビーム		
電荷量	300 pC 以上	1 nC

単品	項目	性能
クライストロン	形名	PV 2012L
	中心周波数	> 856 MHz
	尖頭 RF 出力	6.5 MW
パルス変調器	出力パルス電圧	15 kV
	“電流	1200 A
	パルス巾(半値)	8.5 μs
	“ (平均部)	5.5 μs ($\pm 1\%$)
	出力安定度	$\pm 0.2\%$ (30分)

3. ML-35L 形線形加速器の構成

図1に本加速器の構成を示す。第1加速管の MICRO 波は、その $1/10$ が PRE-BUNCHER に供給され、全加速系で 37 MeV (最大) に加速される。特に入射系を詳細に表わしたのが図2である。SHORT PULSE BEAM 発生的心臓部となっている。

4. SHORT PULSE BEAM の発生機構

SINGLE FINE と $1/6$ RF BEAM は SUB HARMONIC BUNCHER (SHB) を動作させて得られる。SINGLE の場合 2ns 中の電子銃 EMISSION が SHB の 476 MHz RF で変調を受け、DRIFT SPACE の後で密度変調となり、476 MHz の 60° に圧縮される。PRE-BUNCHER (PB) は 2856 MHz で初振され、更に BEAM を集群加速する。2856 MHz の $60\sim 100^\circ$ に圧縮された加速管に入射し、高エネルギーに加速される。

$1/6$ RF の場合は EMISSION が 10ns 中であるため 2.1ns 毎に FINE STRUCTURE BEAM が得られる。

10ns BEAM は SHB を動作させている。

(1) 電子銃 : 電子銃は三極管であるが、最少 2ns の PULSE を G-C 間に印加させるため、G-C 信号を同軸構造として特に製作した。(図3) 同軸は 50Ω であり、CABLE と電子銃の接続は TAPER 形の COUPLER としている。この構造上 GRID に対して CATHODE 電位を負に振り込むことにより EMISSION が発生する。

(2) SUB-HARMONIC BUNCHER : 同軸 RE-ENTRANT 形空洞であり図4に示す。変調 GAP は RF 電界を印加した場合、90 KeV の BEAM の変調の様子を計算したのが図5である。この計算は空間電荷を考慮したものである。図6に DRIFT SPACE 通過前後の BEAM 特性を示す。変調 BEAM の ENERGY は、結局平均化され、結果として DRIFT SPACE $1.2\lambda_0$ が採用された。BEAM BUNCH の様子を 476 MHz と 2856 MHz の位相で表わしたのが図7である。

(3) PRE-BUNCHER : SHB で $\delta 50ps$ 内に BUNCH された BEAM を更に BUNCH させるため RF 電界加速による集群を行う。6 空洞の進行波形加速管で 2856 MHz RF 600 KW (尖頭値) で初振される。

図8に BEAM BUNCH の計算値、図9に入出力 BEAM 位相特性を示す。

(4) CATHODE PULSER : PULSE 中 2ns、電圧 1KV 以上の出力を得るため、PULSE GEN. とし岩通製 PG-10P ($\tau = 130ps$) を用い、増幅管には板極管 7211 を採用した。7 段増幅後、2ns/10ns 中にするため分岐回路の反射を用いて CUT している。図10に出力 PULSE を、図11に電子銃 EMISSION 出力波形を示す。

(5) 同期回路 : 短 PULSE の EMISSION を 476 MHz の決った位相に入射させるもので、水晶原発振器 119 MHz から位相決定 TRIG を PG-10P に送っている。JITTER は 20ps 程度と推測される。

5. BEAM 加速 DATA

この様に製作された加速器は、据付前に三菱の工場において入射部の BEAM CHECK が行われ、心臓部を把握した上で、東大殿に据付調整が行われた。この結果、定常・過渡モードは初期の仕様値を十分満足し、更に調整の結果、期待を上回る成果を収め、東大殿による検収を完了した。

図12~15に定常モードの BEAM 性能、図16~20に過渡モードの BEAM 性能を示す。SINGLE FINE

ではBUNCH中 20 ps 以下, 電荷量 1 nC を得, 安定性, 再現性も仕様を満足するものとなっている。
 長期の計画に従うこの大きなPROJECTの機種として, 線形加速器の完成まで御尽力いただいた関係
 各部門の方々に, 深く謝意を表する次第である。

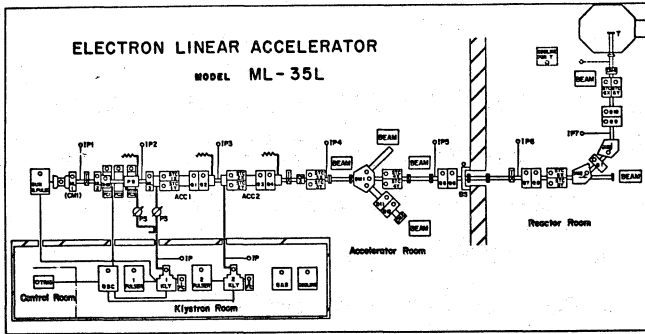


図1. ML-35L形線形加速器構成

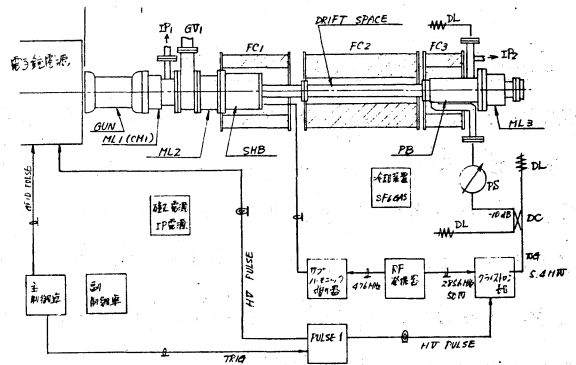


図2. ML-35L形線形加速器入射系

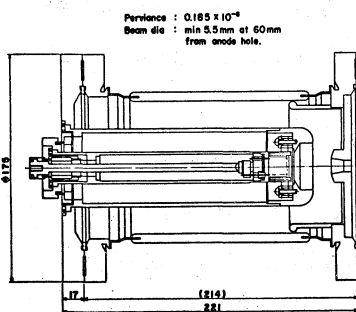


図3. ELECTRON GUN (SHORT PULSE)

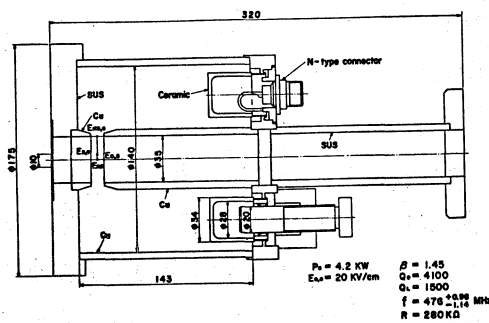


図4. 476 MHz Subharmonic Buncher

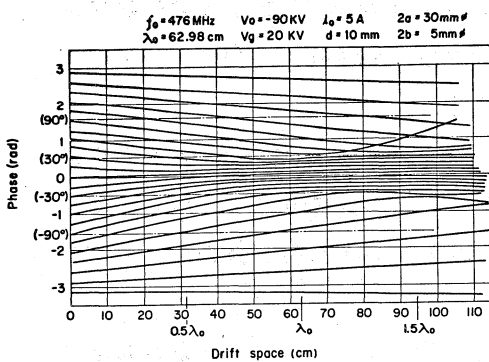


図5. Phase modulation of injected beam to SHB

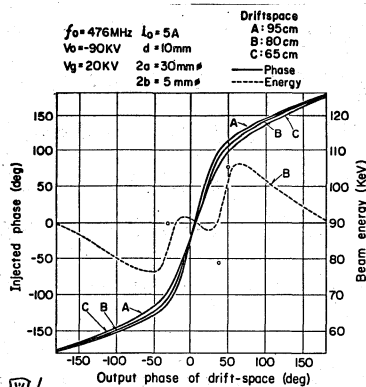


図6. Phase-energy characteristics in SHB

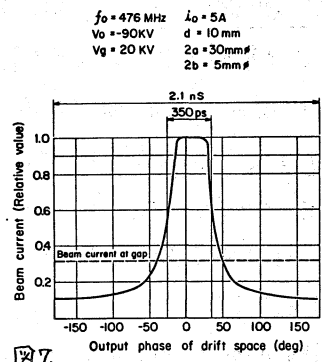


図7. Phase-current characteristics in SHB

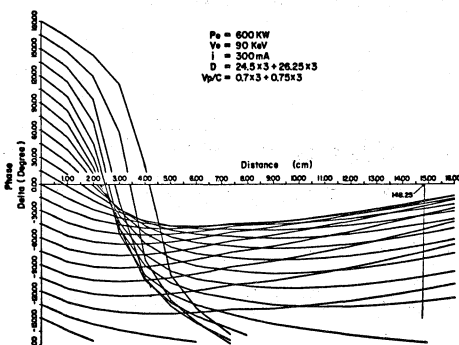


図8. Phase Characteristics in Prebuncher

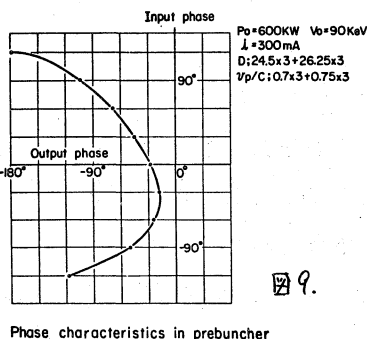


図9. Phase characteristics in prebuncher



図10. CATHODE PULSER
出力波形

H: 1 ns/div
V: 100 V/div



図11. SHORT PULSE
EMISSION

H: 1 ns/div
V: 0.4 A/div
HV = 70 kV, Vias 350 V

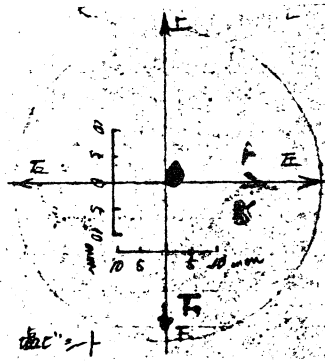


図12. 定常モード
BEAM SPOT

4.5 μs BEAM
200 mA

STROBO II の位置

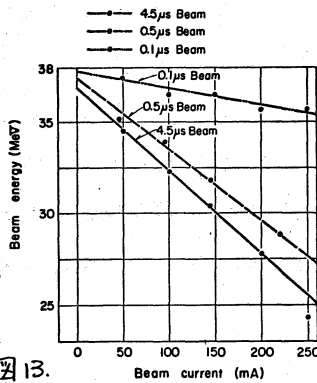


図13. ML-35L Linac beam loading characteristics

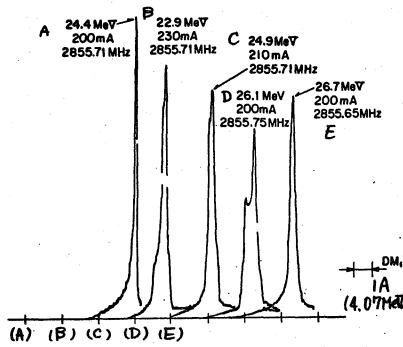


図14. 4.5 μs Beam energy spectrum

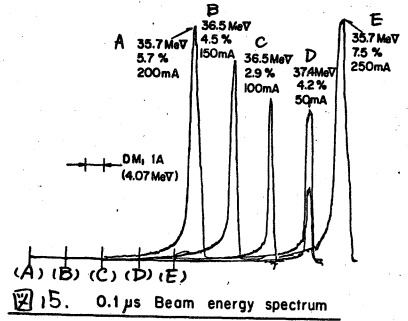


図15. 0.1 μs Beam energy spectrum

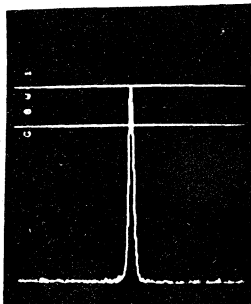


図16 SINGLE FINE
出力 BEAM

ストリ-7カメラ
810 pC (リテラ付なし)
BUNCH 20ps x F

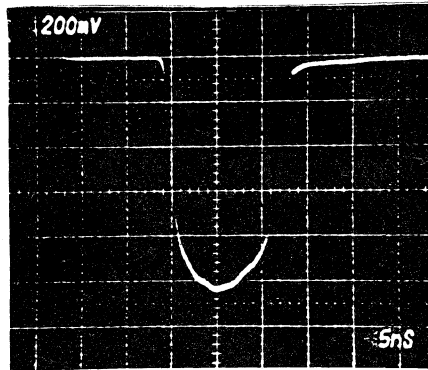


図19 10ns BEAM

H: 5 ns/div
V: 400 mA/div

STROBO II の位置



図17. 2ns BEAM
微細構造

SHB OFF

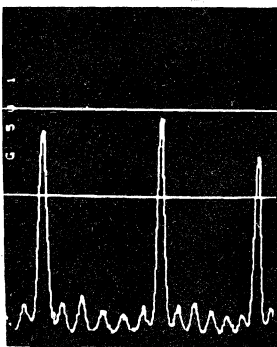


図18 1/6 RF
BEAM

ストリ-7カメラ
1.2 nC

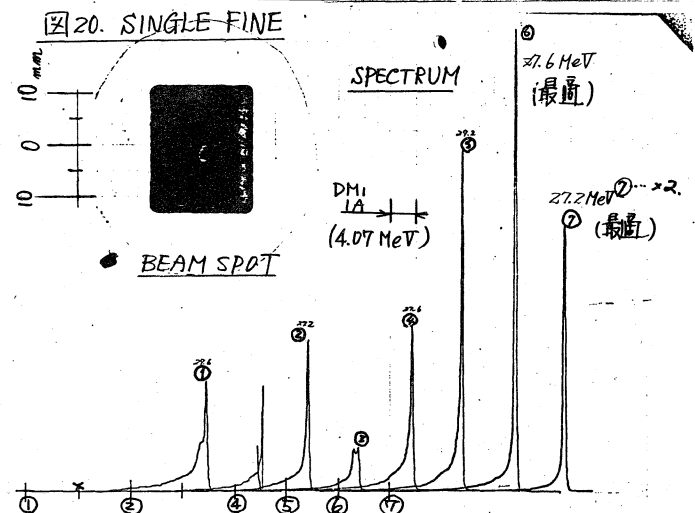


図20. SINGLE FINE

SPECTRUM

DM1
1A
(4.07 MeV)

27.6 MeV
(最直)

27.2 MeV
(最直)