

1 GeV リニアックの試み (3)

加藤隆夫

1. はじめに

周波数1200 MHz の side coupled cavity linac (SCL) を想定して幾つかの問題点を考える。ここでは beam dynamics について考えるので、以前に作った計算 code (PROMOD) に改良を加えて、新たに PROEND を作り、simulation に使用した。

2. 計算 code (PROEND) の特長

1 GeV linac は 200 個近くの sub-tank から構成されるが、この sub-tank に含まれる数十個の加速セルの長さを、sub-tank 内で一定にするのか (constant β structure)、または $\beta\lambda$ に従って変化させるのか (variable β structure) という問題は加速タンクの製法にとっても、経費の点から考えても大きな問題である。PROEND においては、両者の structure を計算出来るようにした。

二個の sub-tank の間には Q-magnet が入るが、その距離は自由に設定するか、又は、 tank 間の位相合わせが自動的に出来るように $\beta\lambda/2$ の整数倍に設定出来るようにした。後者は tank と tank を bridge coupler でつなぐ為の用意である。

transverse matching と phase slip in the tank を考えると、SCL の初めの部分の長さは後の tank に比べて短いほうがよい可能性がある。そこで最初の N 個の tank の長さを別途指定できるようにした。

focusing system は doublet を使用している。

最後に計算結果の表示法に (x vs. cell) 等を追加した。 x のかわりに (y, R, ϕ = phase, W = energy, $R = \sqrt{x^2 + y^2}$) を選ぶ事が出来る。

まとめると

1. constant β structure or variable β structure,
2. distance between sub-tanks is multiple of $\beta\lambda/2$,
3. short tanks in the beginning part of the SCL,
4. doublet focusing system,
5. representation of variation (x, y, R, ϕ , W VS. cell) in SCL.

3. SUPERFISH による 1200 MHz cavity の計算結果

Fig.1 Z and ZII vs. energy.

Fig.2 Transit time factor (TTF) vs. energy.

Fig.3 Diameter vs. energy.

Fig.4 Q value vs. energy.
beam hole の半径は 15 mm とした。

4. SCL structure の概略

Fig.5 に SCL (150 MeV - 1000 MeV) の構成を示す。

short tank ----- focusing period は約 1.85 m.

long tank ----- focusing period は約 2.60 m.

ほとんどの計算では、最初の 12 tanks が short tank である。

tank 間の距離は およそ 70 cm 以上になるように設定した。

その場合入力の設定値を

1 - 12 tank の後ろでは $11 \times \beta \lambda / 2$ 、

それ以降の tank では $7 \times \beta \lambda / 2$ とすると、

計算結果では例えば

1 - 12 tank の後ろでは $11 \times \beta \lambda / 2$ 、

13 - 175 tank $9 \times \beta \lambda / 2$ 、

175 - 199 tank $7 \times \beta \lambda / 2$

となった。これは負の長さが計算される場合には自動的に長さを伸ばす為である。

sub-tank のセル数は、最初の 12 tanks が 20 セル、その後ろでは、30 - 20 セルに変化している。

focusing system は 15 cm Q-magnet + 15 cm drift space + 15 cm Q-magnet とした。

Table 1 に設計例を示す。constant β structure と variable β structure を示してある。

5. Effects of short tanks

SCL の入射部分を short tank にすれば、transverse acceptance は大きくなり、longitudinal acceptance は小さくなる事が予想出来る。

Fig.6 Relative acceptances vs. number of short tank.

Fig.7 Transverse acceptance vs. number of short tank.

これらの計算は $E = 3 \text{ MV/m}$, $\phi_{in} = -30$, const. β structure で行ない、Q-magnet の強さは第一タンクの後で一定にした。

6. constant β structure vs. variable β structure

longitudinal acceptance は、tank 内で phase slip が起こり安定位相の絶対値が大きくなる const. β structure の方が大きくなる。その様子を Fig.8 - 10 に示す。Fig.11 - 12 に両者における longitudinal oscillation の様子を示す。

SCL の長さ、セル数、タンク数、RF power の比較は Table 1 に示してある。const. β structure の平均位相が -30° に近い事から予想されることではあるが、両者の差は小さいといってよいかもしれない。

transverse acceptance には差を生じない。

Table 1 の結果は、付録の図に示してある。

7. transverse acceptance

12 short tank を持つ const. β structure の transverse acceptance を Fig.13 に示す。Fig.14 - 16 に $x-x'$ acceptance, Fig.17, 18 に tank 内の x - motion を示す。

参考文献

1. 加藤隆夫、" 1 GeV リニアックの試み", ASN 259, October 1986.
2. 加藤隆夫、" 1 GeV リニアックの試み (2)", ASN 265, February 1987.

Table 1 Design of 1200 MHz SCL linac.

	constant β structure		variable β structure	
	3.0	4.0	3.0	4.0
E_a (MV/m)	3.0	4.0	3.0	4.0
TANK LENGTH (M)	408.3	310.2	396.0	297.4
WHOLE LENGTH (m)	572.5	434.8	553.4	416.1
TANK NUMBER	199	152	193	146
CELL NUMBER	4414	3354	4270	3206
RF POWER (MW)	63.6	86.0	61.6	82.2
ϕ_1 (degree)	-41.8	-45.6	-30	-30
ϕ_2 (degree)	-52.6	-58.2	-30	-30
average ϕ (deg)	-31.7	-32.3	-30	-30

注 1. SCL の最初の 12 tanks は short tank.

注 2. WHOLE LENGTH は Q - magnet section を含むので、変わりうる。

注 3. RF power は、shunt impedance Z を 1/1.3 倍して計算している。

注 4. ϕ_1 は short tank 内の最小 stable phase.

注 5. ϕ_2 は long tank 内の最小 stable phase.

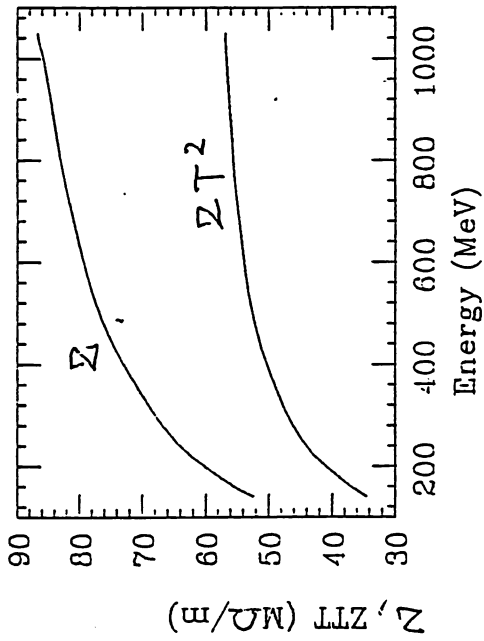


Fig. 1 Z and ZT2 vs. energy.

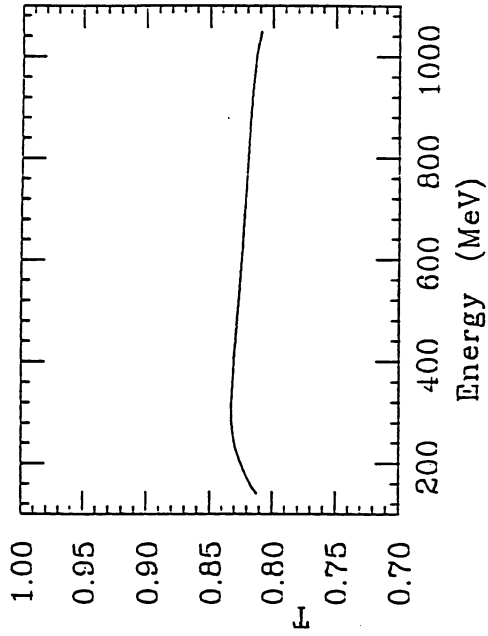


Fig. 2 Transit time factor (TTF) vs. energy.

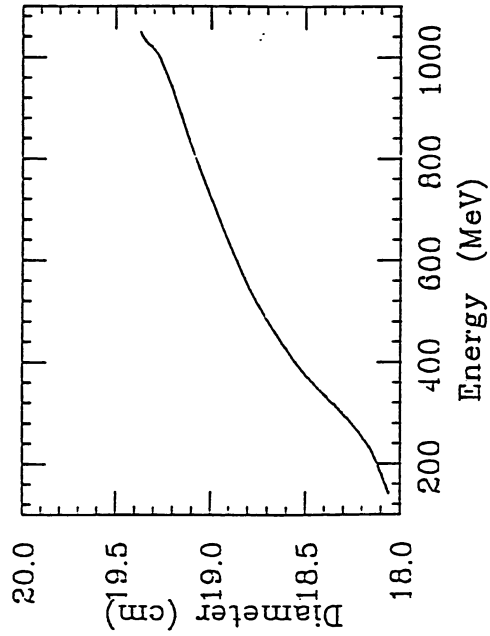


Fig. 3 Diameter vs. energy.

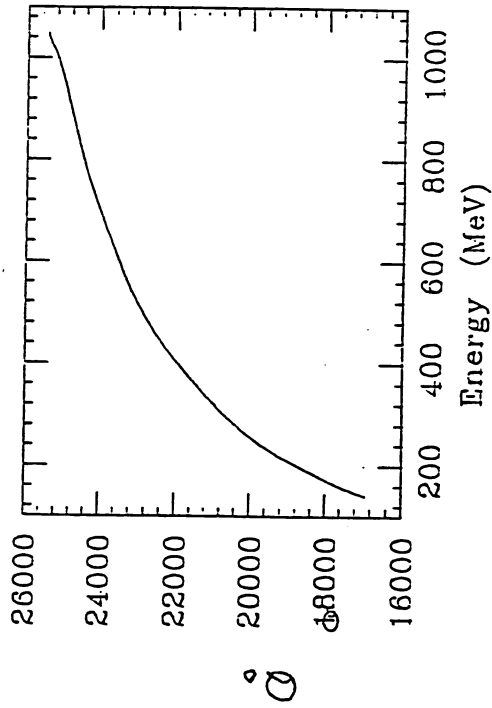


Fig. 4 Q value vs. energy.

1200 MHz SCL

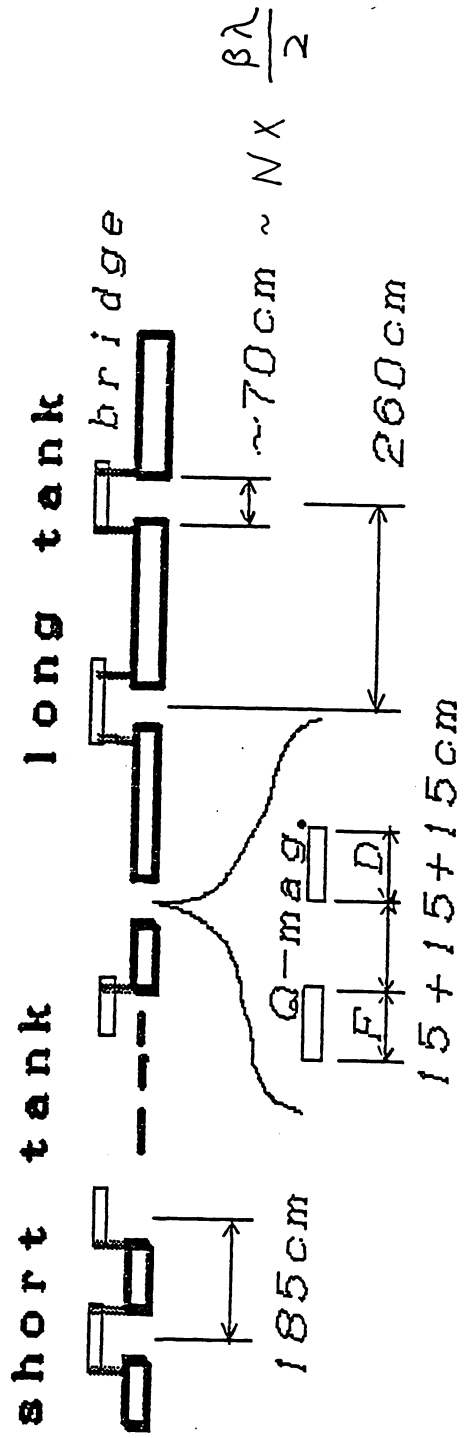


Fig.5 Structure of 1200 MHz SCL.

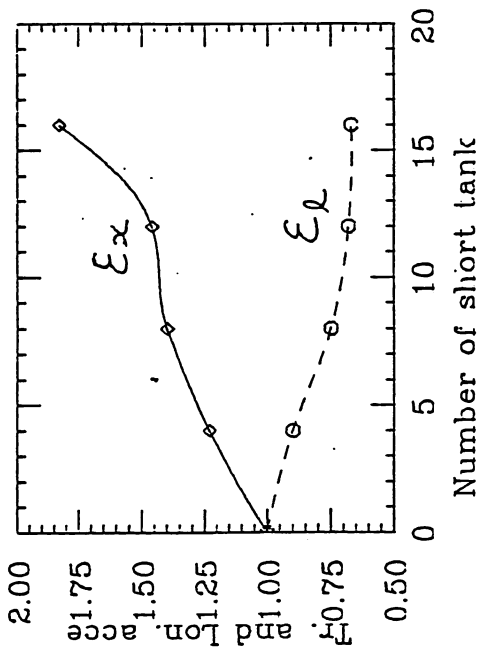


Fig. 6 Relative acceptances (transverse and longitudinal) vs. number of short tank.

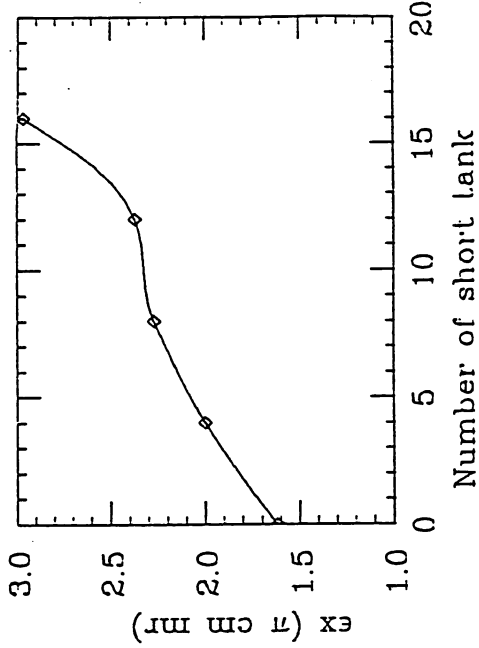


Fig. 7 Transverse acceptance vs. number of short tank.

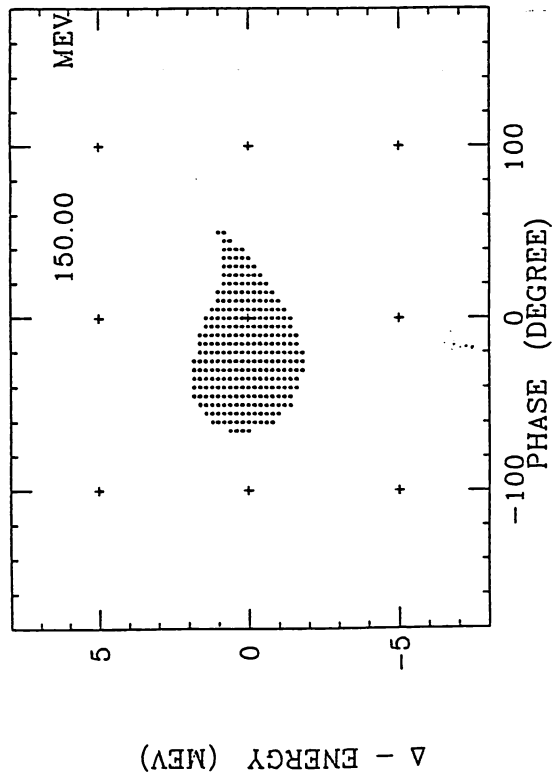


Fig. 8 Longitudinal acceptance in the constant β structure. $E = 3$ MV/m. 12 short tanks.

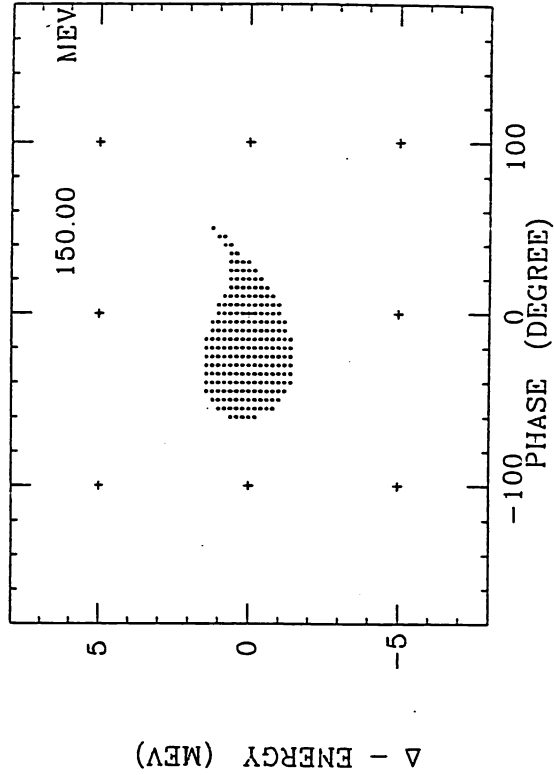


Fig. 9 Longitudinal acceptance in the variable β structure. $E = 3$ MV/m. 12 short tanks.

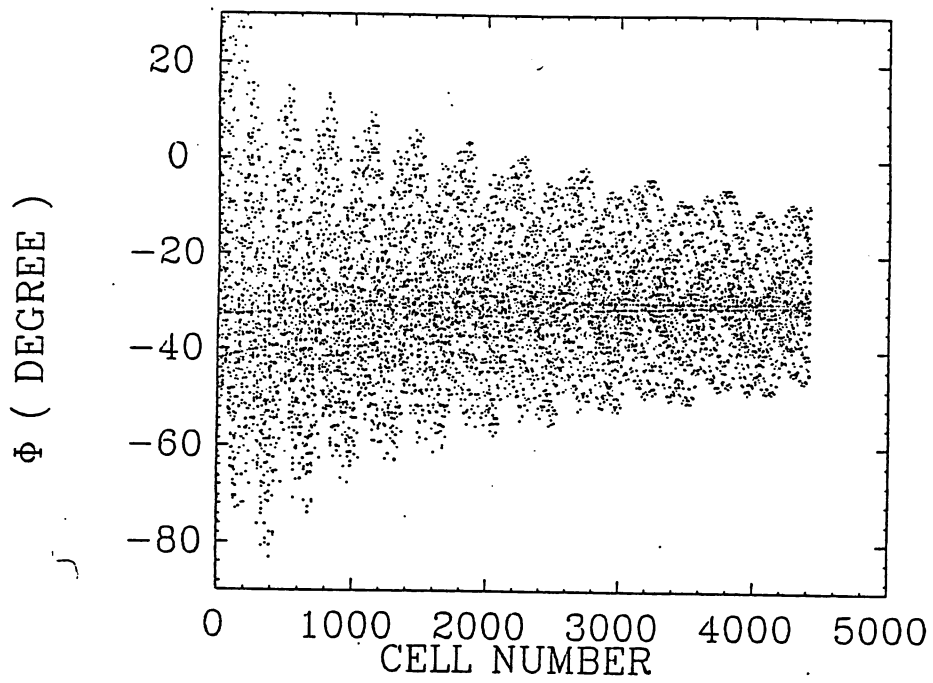


Fig.11 Longitudinal oscillation in the constant β structure.

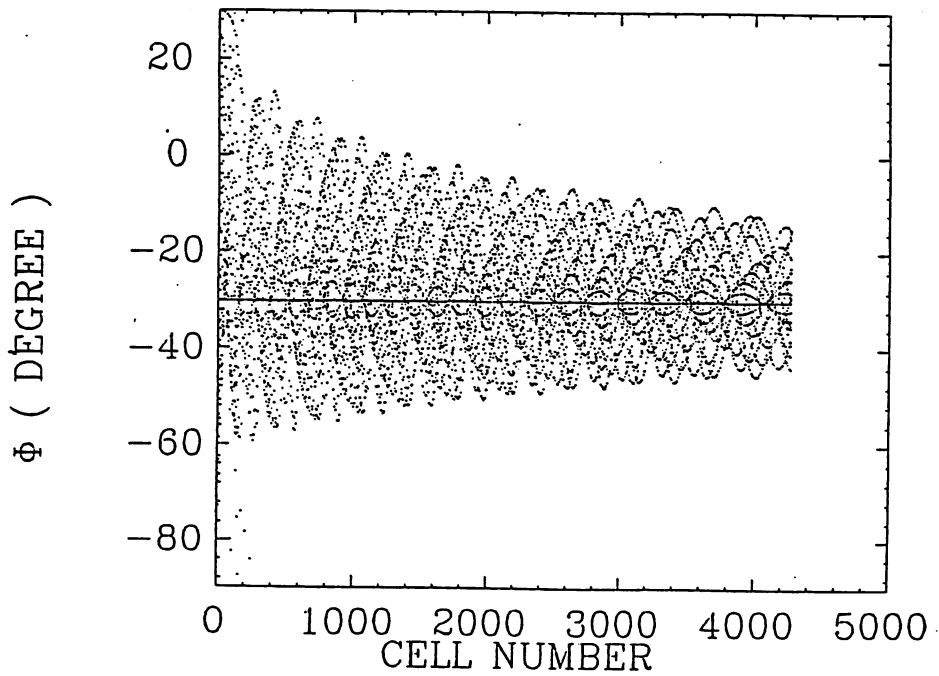


Fig.12 Longitudinal oscillation in the variable β structure.

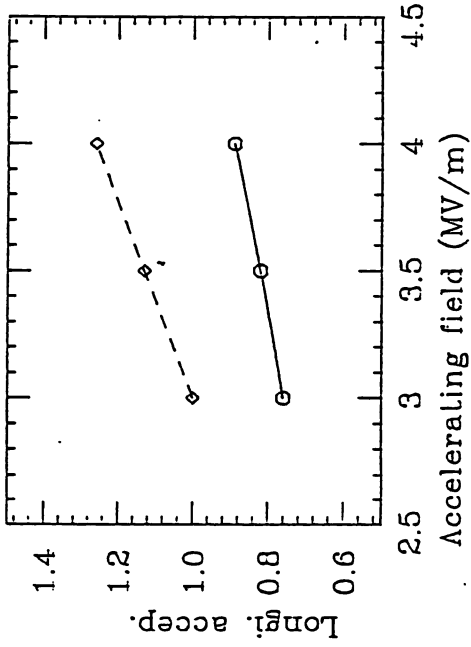


Fig.10 Relative longitudinal acceptance vs. accelerating field.

dashed line --- const. β
 solid line --- variable β

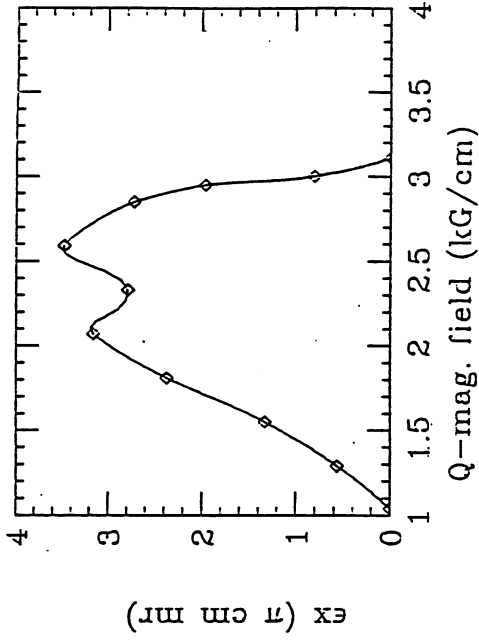


Fig.13 Transverse acceptance vs. first Q-magnetic field.

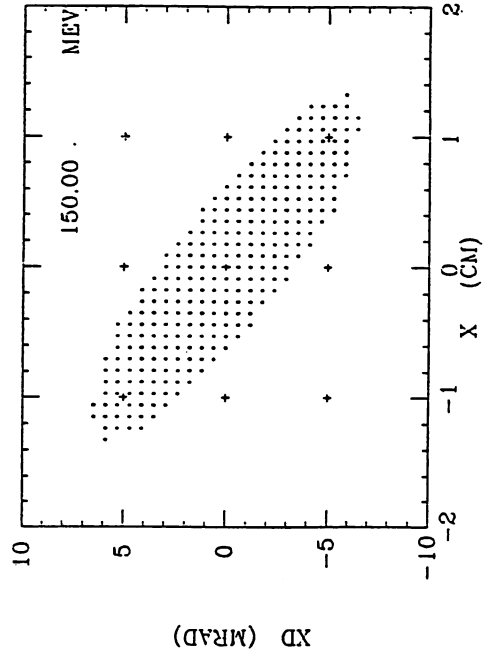


Fig.14 x - x' acceptance.

H = 1.81 G/cm.
 12 short tanks.

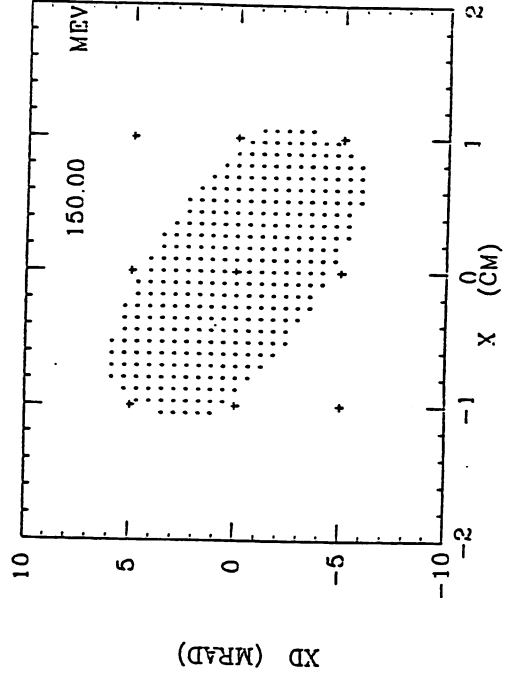


Fig.15 x - x' acceptance.

H = 2.33 G/cm.
 12 short tanks.

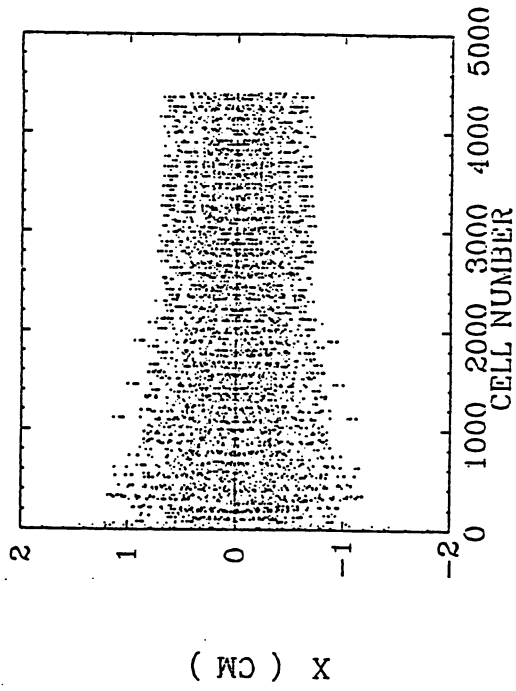


Fig.17 x motion in the SCL.
 $H = 1.81 \text{ G/cm}$.

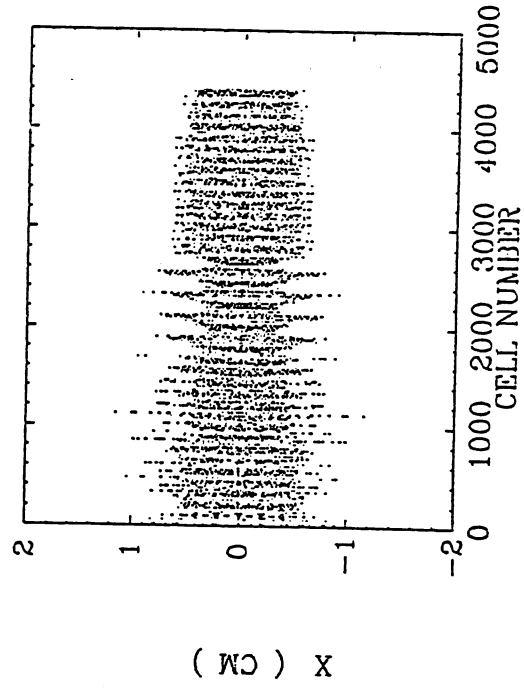


Fig.18 x motion in the SCL.
 $H = 2.85 \text{ G/cm}$.

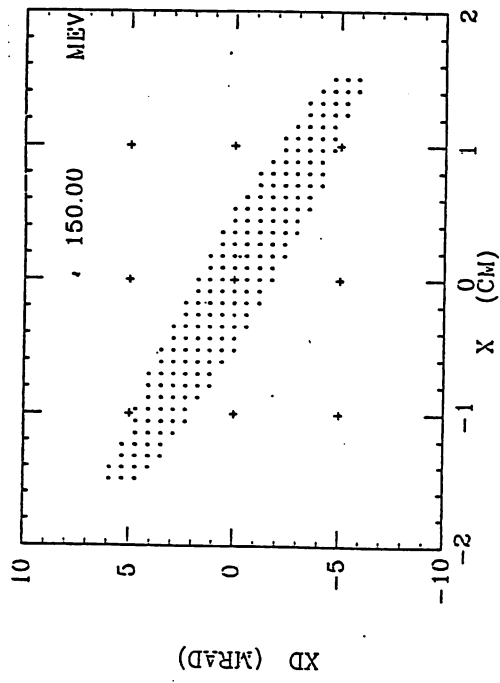


Fig.16 x - x' acceptance.
 $H = 2.33 \text{ G/cm}$.
 0 short tanks.

付録

constant β structure (◇印) と variable β structure (○印) の比較 (Table 1 と同じ)。

