

PLA - 89 - 11

7 / 29 / 89

1 GeV リニアック検討資料

1 GeV LINAC DESIGN NOTE

題目 (TITLE) Transit Time Factor

著者 (AUTHOR) 加藤隆夫

概要 (ABSTRACT)

DTL と CCL の軸からはずれている時の transit time factor を SUPERFISH を用いて計算して、理論との比較を行なった。

KEY WORDS:

Ion source, RFQ, DTL, CCL, Magnet, Monitor, Beam Dynamics,
Transport, Vacuum, Cooling
Klystron, Low level rf, High power rf, Modulator
Control, Operation, Radiation, Others

1) transit time factor (TTF) は普通加速軸上にて定義される。

$$V_0 T(0) = \int E_z(Z, 0) \cos(kZ) dZ \quad (1)$$

$$V_0 = \int E_z(Z, 0) dZ = E_0 L \quad (2)$$

$$L = \text{cell length.}$$

軸から離れたところでは

$$V_0 T(r) = \int E_z(Z, r) \cos(kZ) dZ = V_0 T(0) I_0(k_r r) \quad (3)$$

$$I_0(x) = 1 + x^2/4 + x^4/64 + \dots : \text{変形ベッセル関数} \quad (4)$$

$$k_r = \sqrt{k^2 - k_0^2} = 2\pi / (\lambda \beta \gamma) \quad (5)$$

$$k = \omega / V = \omega / C\beta, \quad k_0 = \omega / C \quad (6)$$

(3) より

$$T(r)/T(0) = I_0(k_r r) \quad (7)$$

となり、 I_0 の第二項までとる近似によって beam dynamics の計算が行われている。そこで SUPERFISH により off axis の TTF を計算して、両者を比較してみる。

Fig.1 $T(r)/T(0)$ of 432 MHz DTL, 3 MeV, bore radius = 0.5 cm.
solid = SUPERFISH calculation, dashes = (7) 式。

80 % bore radius (4 mm) の範囲では、(+0.15%, -0.3%) 範囲で両者は一致しているので、beam dynamics 計算の信頼性はあるだろう。 $r = 4$ mm の $T(r)$ は、 $T(0)$ の 5 % 増しになっており、これは加速電場が 5 % 大きい事と等価であるから、大きな差があるといえる。

Fig.2 $T(r)/T(0)$ of 1296 MHz SCL, 150 MeV, bore radius = 1.5 cm.
solid = SUPERFISH calculation, dashes = (7) 式。

SUPERFISH から求めた $T(r)$ の蛇行が有意かどうかはチェックしていない。80 % bore radius (12 mm) の範囲では、-2.4% の範囲で両者は一致している。67 % bore radius (10 mm) の範囲では、-1.0% の範囲で両者は一致している。

2) transverse transit time factor を以下のごとく定義する。

$$V_0 T_r(r) = \int E_r(Z, r) \sin(kZ) dZ = V_0 T(0) I_1(k_r r) k/k_r \quad (8)$$

$$I_1(x) = x/2 + x^3/16 + \dots \text{変形ベッセル関数} \quad (9)$$

$$T_r(r)/T(0) = I_1(k_r r) k/k_r \quad (10)$$

この式に従って rf defocusing が beam dynamics に取り込まれている。

Fig. 3 $T_r(r)/T(0)$ of 432 MHz DTL, 3 MeV, bore radius = 0.5 cm.
solid = SUPERFISH calculation, dashes = (10) 式。

Fig. 4 $T_r(r)/T(0)$ of 1296 MHz SCL, 150 MeV, bore radius = 1.5 cm.
solid = SUPERFISH calculation, dashes = (10) 式。

(10) 式の値に比べて、DTL では 80%, SCL では 70% の小さい値を SUPERFISH 計算で得ているが、理由の検討は今後に残す。T がよい精度で一致するのに、 T_r が大きくずれるのはおかしい？

3) DTL with tapered face angle

ドリフトチューブの端面に角度をつけると、ZTT がより大きくなる事が知られている。実際、432 MHz DTL の 3 MeV と 80 MeV のセルについて計算すると次の結果が得られる。

energy	3 MeV		80 MeV	
	0	10	0	10
T	0.789	0.844	0.718	0.721
Z	110.0	109.7	96.76	97.37
ZTT	68.46	78.09	49.83	50.67
Ep (MV/m)	4.98	7.77	5.06	5.00
gap length	1.31	0.852	10.55	10.34
cell length	5.54	5.54	26.96	26.96

3 MeV の結果をみると、ドリフトチューブの相対する面に角度をつけたので、その間の容量が減少した分を補うように gap length が短くなって T は大きくなり、その反面、表面最大電場が大きくなっている。従って、加速電場の低い使い方の方は、ZTT が大きくなる長所が生かせるが、加速電場が高い場合には、Ep が大きくなる短所が効いてくるとおもわれる。T(r), $T_r(r)$ は、角度をつけると少し悪くなるようだ。

Fig. 5 $T(r)/T(0)$ of 432 MHz DTL, 3 MeV, bore radius = 0.5 cm.
solid = SUPERFISH calculation with face angle of 0° .
dashes = SUPERFISH calculation with face angle of 10° .

Fig. 6 $T_r(r)/T(0)$ of 432 MHz DTL, 3 MeV, bore radius = 0.5 cm.
solid = SUPERFISH calculation with face angle of 0° .
dashes = SUPERFISH calculation with face angle of 10° .

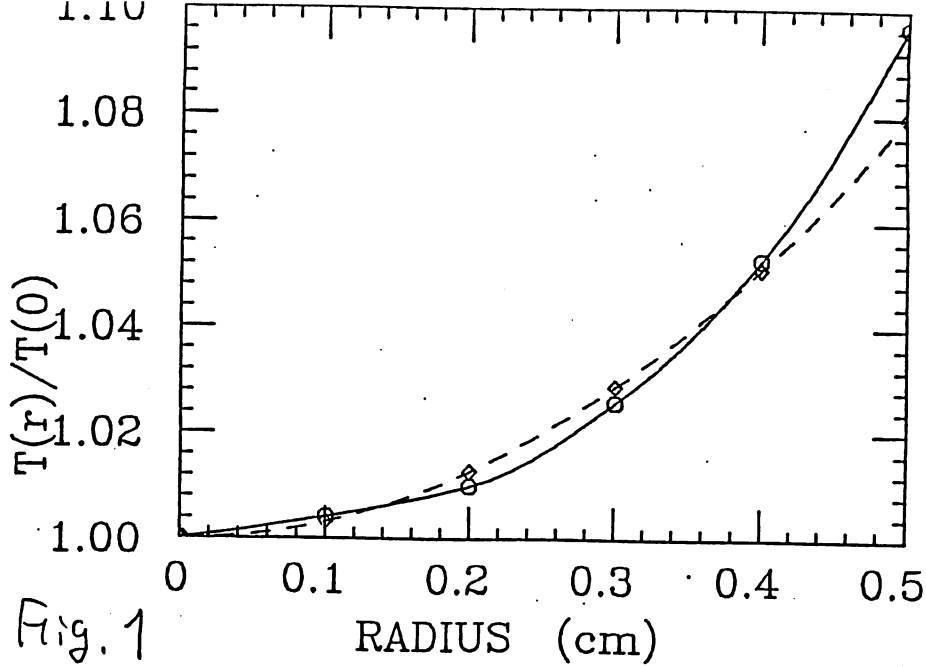


Fig. 1

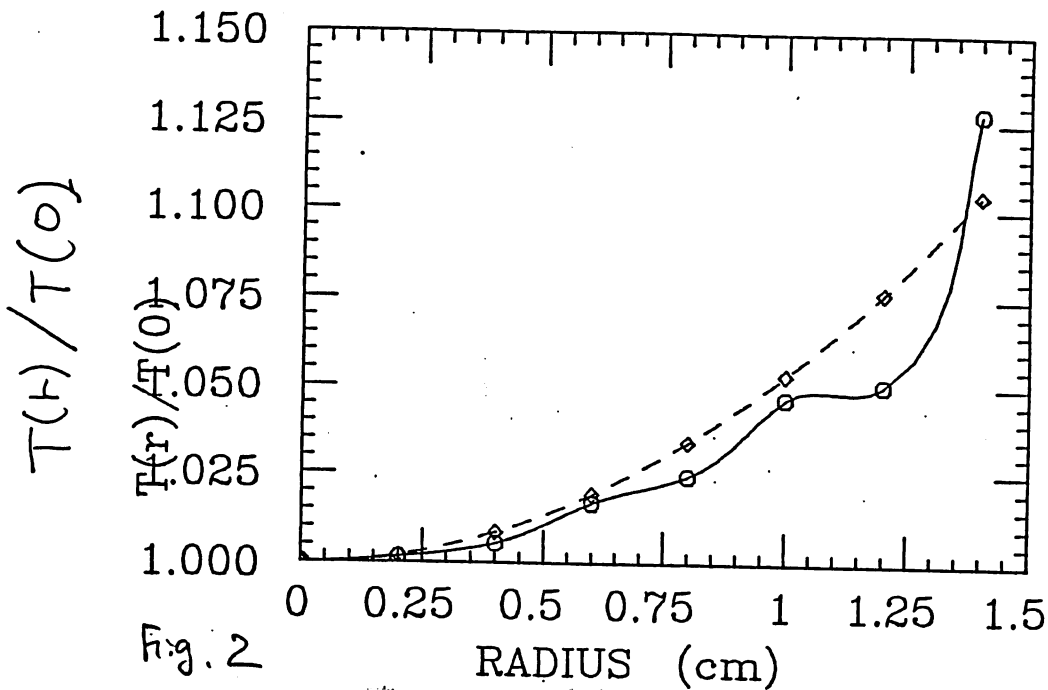


Fig. 2

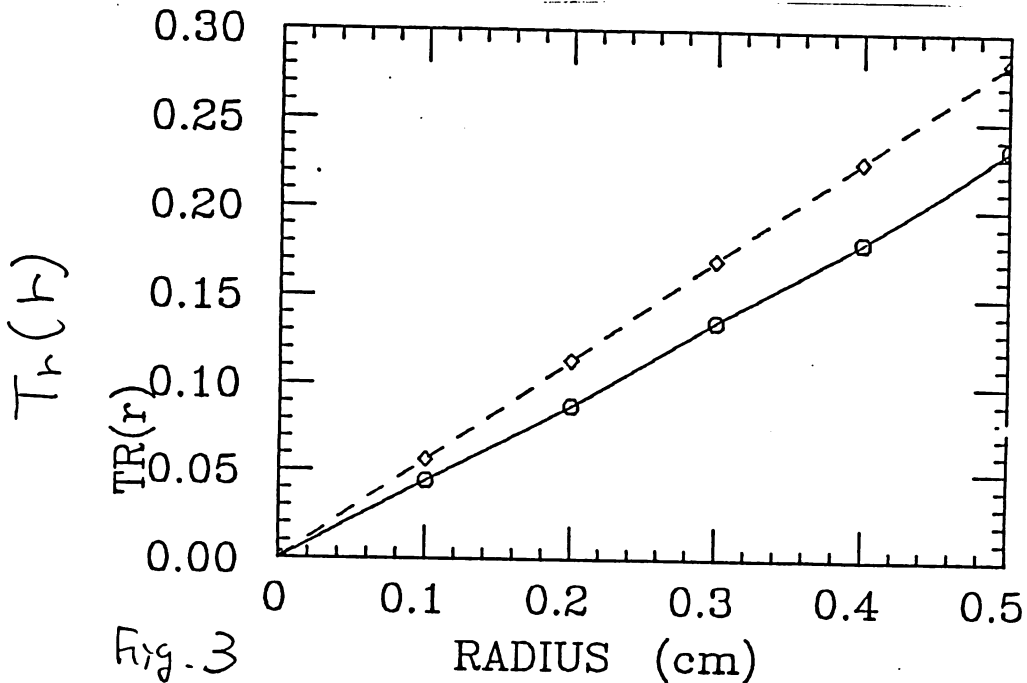
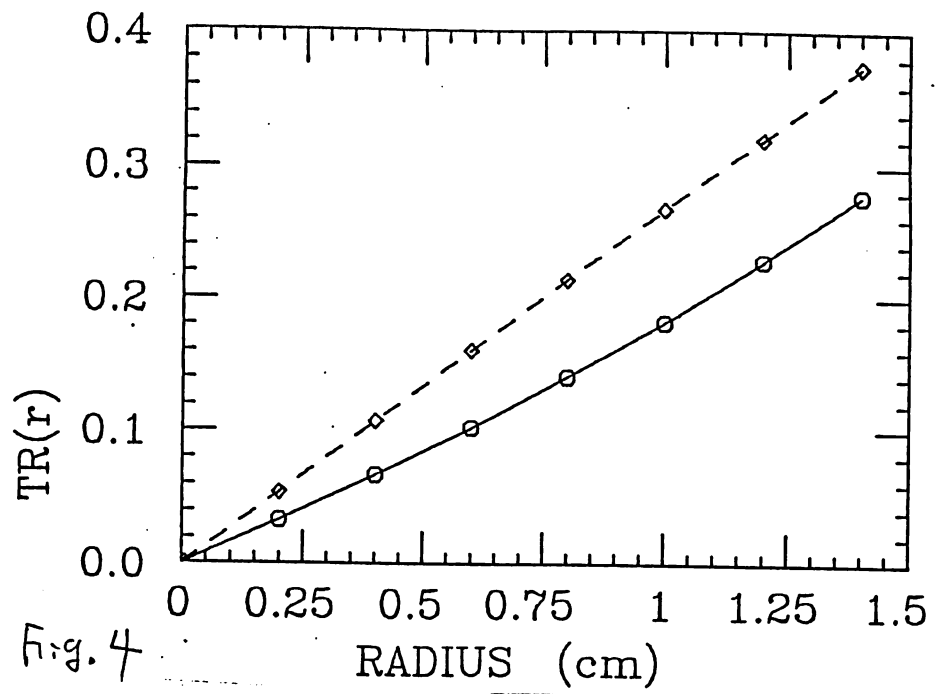


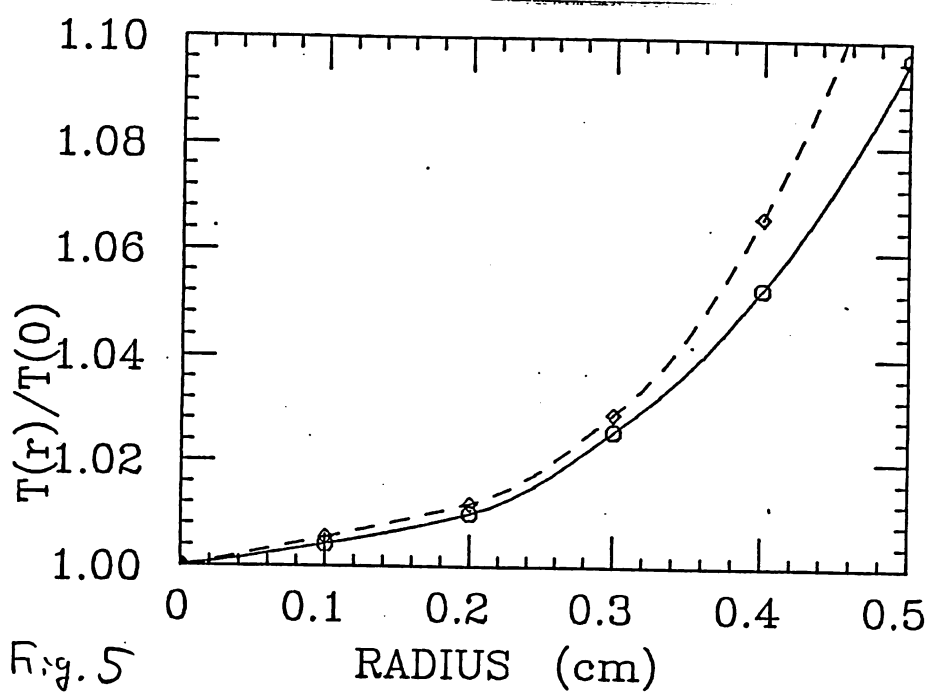
Fig. 3

$T_r(r)$



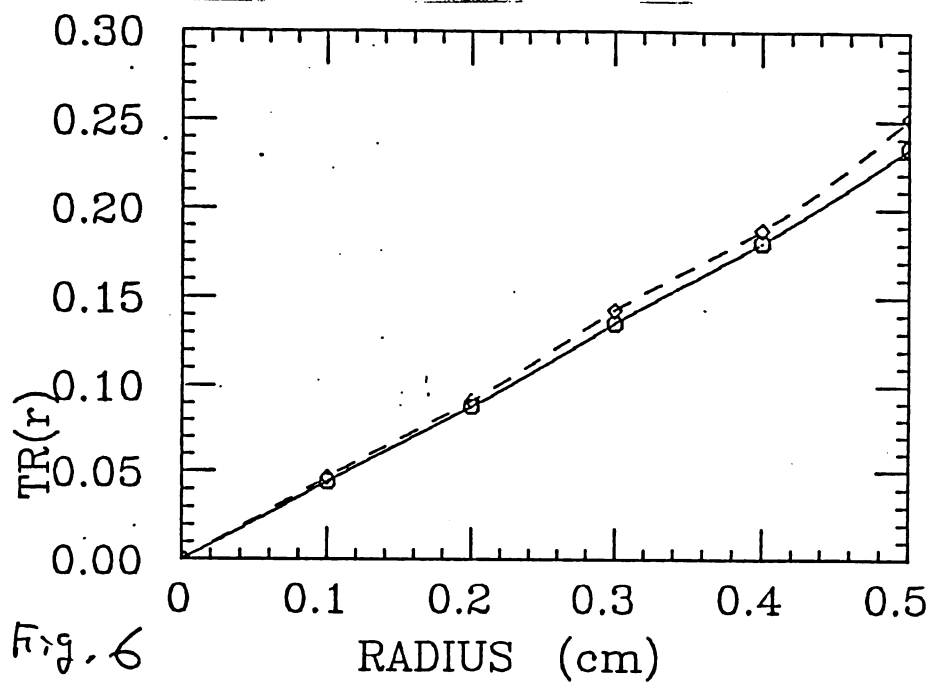
1296 MHz SCL
150 MeV
— Superfish
--- $z'(10)$

Fig. 4



432 MHz DTL
3 MeV
— Superfish $\theta=0^\circ$
--- Superfish $\theta=10^\circ$

Fig. 5



432 MHz DTL
3 MeV
— Superfish $\theta=0^\circ$
--- Superfish $\theta=10^\circ$

Fig. 6