

PLA - 89 - 2

7 / 5 / 89

1 GeV リニアック検討資料

1 GeV LINAC DESIGN NOTE

題目 (TITLE) Calculation of E.M.Fields of RFQ with MAFIA

著者 (AUTHOR) T. Kato

概要 (ABSTRACT)

MAFIAを用いてRFQの電磁場を計算する方法を示し、形状の異なる3タイプのベインについて、電磁場の比較を行なった。

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

MAFIA による RFQ の電場計算

890614 加藤

RFQ は軸対称でないので計算しにくい形であるが、なにを調べるかによっては工夫の余地がある。例えば、電場の分布が見たい場合には、外壁の小さい状態を計算しても結果はほぼ正しい。

$$E_r = -\frac{XV}{2} r \cos 2\psi - \frac{kAV}{2} I_1(kr) \cos kz$$

$$E_\psi = \frac{XV}{2} r \sin 2\psi$$

$$E_z = \frac{kAV}{2} I_0(kr) \sin kz$$

$$A = \frac{m^2 - 1}{m^2 I_0(ka) + I_0(mka)}$$

$$X = 1 - A I_0(ka)$$

$$k = \frac{2\pi}{\beta\lambda}$$

RFQの電極付近の電磁場を表す上記の式の中には周波数が含まれていない事がわかる。波数ベクトルに含まれる波長は粒子速度 (β) が変化すると考えれば良いのである。この結論は、電磁場の式を静電ポテンシャルから導いているのであるから、自明でもある。電極の端部は、上の近似が悪くなるので、周波数の影響が現われる。実際

Data from "QEZmafiaDATA" 4997 vs 640

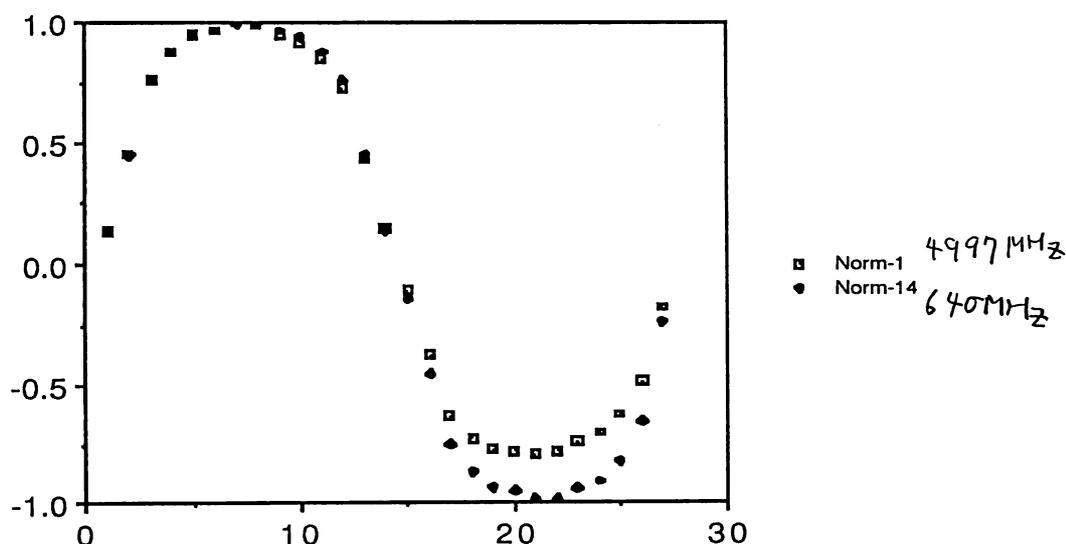


図1 周波数4997MHzと640MHzの時の軸上の加速電場の比較

にMAFIAの計算によって確かめてみよう。

図1に示したのは、RFQのユニットセルの加速電場を示している。四角の周波数は5000 MHz、菱形は640 MHzである。外壁を $r=1\text{cm}$ から $r=7\text{cm}$ に変えた計算結果である。図の右側部分はベインのカット部なので、周波数の影響が表われている。左部分は、対称面でつながっているため、殆ど差は見られない。図2に示したのは、 45° の線に沿って、 E_x をプロットしたものであり、中心部では両者に特に

Data from "ExMafiaData" 640 vs 4997

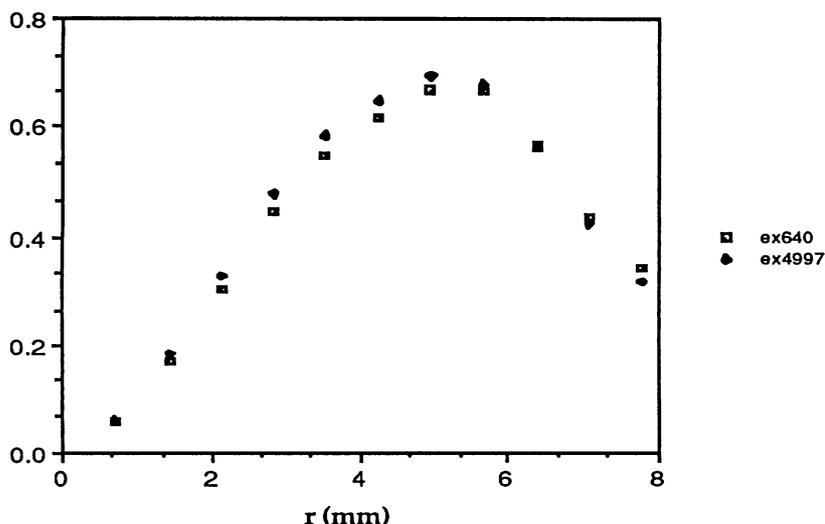


図2 周波数4997MHzと640MHzの時の E_x の比較

差があるとはいえない。

2 cm角で長手方向が6 cmの電極を考える。x y方向のメッシュ間隔を0.2 mm、z方向を1 mmとすれば $100 \times 100 \times 60 = 60$ 万のメッシュが必要となる。約一箇月かかってMAFIAのメッシュの拡張とそれに伴うグラフィックの整備を行なった結果、現在45万メッシュの計算(5個のモード)が70分で可能である。以前はこれだけの計算には計算時間で約350分かかり、経過時間としては、その7倍以上の43時間がかかる予定であった。この進歩は計算センターの石川、浜田、八代そして河邊氏の尽力によるものである。

現在、modulationのあるベインは、0.2 mmのメッシュで簡単に近似可能であり(200 MHzの時)、更に細かいメッシュも必要ならば可能である。

3種類の電極の形について計算を行なった。

A) 理論に忠実な形

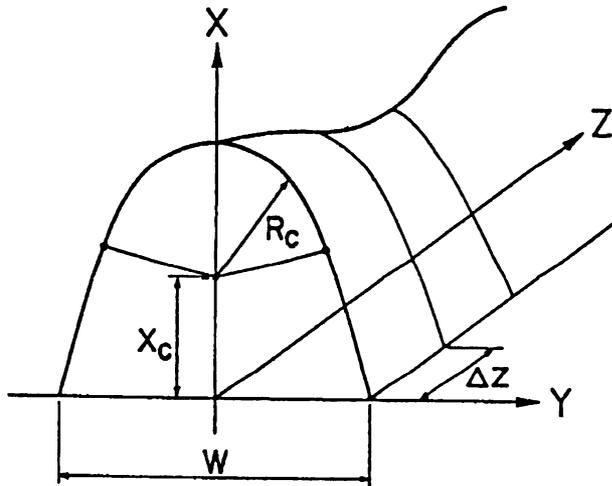
ユニットセルの中で横方向の電極半径が変化する。円弧部分と電極端面は接線で接続する。これはKEK 750 keV RFQのユニットセルを借用した。周波数201 MHz, $a=4.2$ mm, $m=1.74$ のセルである。 $r=2$ cmの位置の電極の半幅は12 mmである。

B) 一定の半径、電極端面の角度を一定に保つ。従って、円弧部と電極端面は、滑らかにつながらない。使用する横方向の半径は(A)タイプの最大と最小半径の幾何平均とした。端面の角度は 20° として、 $r=2$ cmの電極幅を10 mmとした。この変更は、円弧部分

を増やす為である。

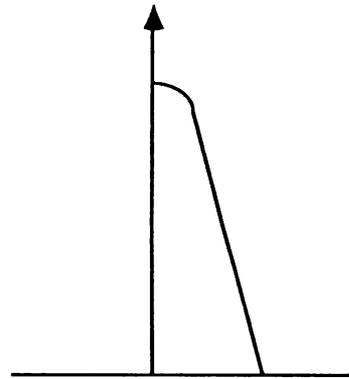
C) 横方向の半径を一定にして、端面が円弧に接するようにした。これは(B)タイプを改良した形である。

図の中は、(A)=QRM8, (B)=QRM9, (C)=QRM10、又は簡略化して、M8,M9,M10などと記している。

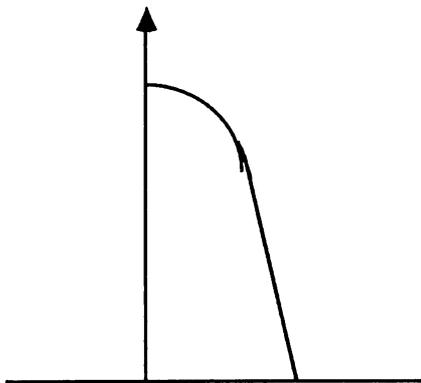


Geometry of the vane pole.

(A) R_c varies with transverse cut plane.



(B) R_c keeps constant.



(c) type. R_c keeps constant.

Fig.1-Fig.9 から次の考察が生まれる。

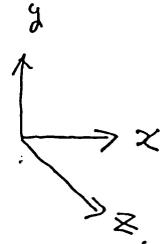
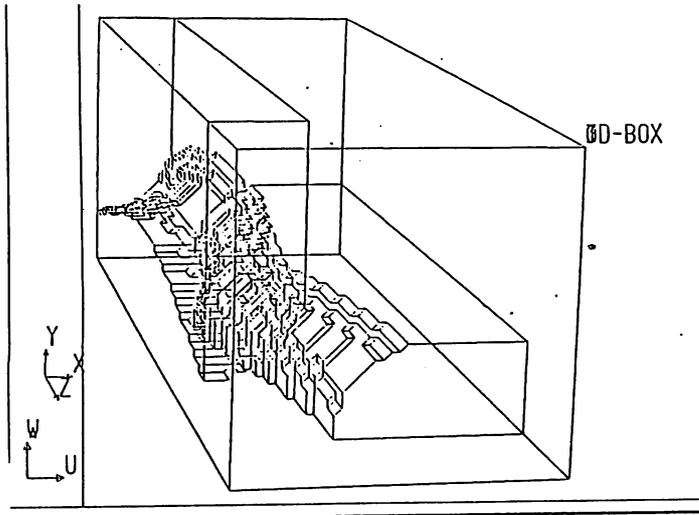
電場の変化が大きいのでビームの加速に影響がでると予測できる。

Fig.7 から $r=2*1.414$ を越えると E_z に変化が生じる。これは縦方向のエミッタンスの増加をもたらす。 $r=4.24$ mm まではPARMTEQ で加速可能と判断するので、ここでは、(A)タイプが優れているといえる。電極が対称な配置となる部分($z=13$)では収束力の分布は合格点であろう。しいてあげれば、電極端面と円弧が接しない構造は円弧部分が少なくなるので少し不利である。

電極が非対称の部分($z=1$, Fig.1-4)では、(B)タイプの不利は歴然としている。(A)では、 y 方向の電極半径は 4.9 mm に対し、 x 方向は 6.5 mm と大きくなっている。即ち、電極が中心軸から離れた割合だけ、半径が大きくなっているのである。(A)と(B)の優劣を論じるには、更に多くの比較が必要と考えるので、本稿の範囲を越える。

Fig.10 から近似理論式とMAFIAの結果はほぼ一致しているといえるが、計算の誤差評価をしてからでないとはっきりした結論は出ない。

計算の概略と出力サンプル

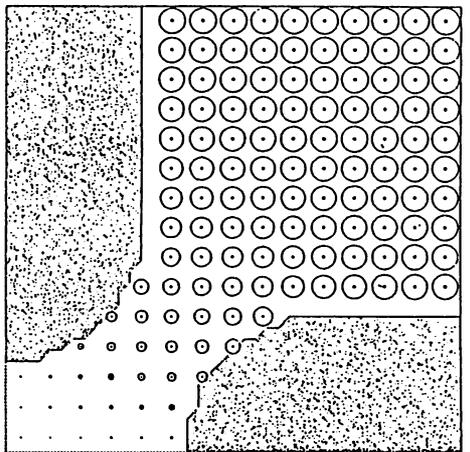
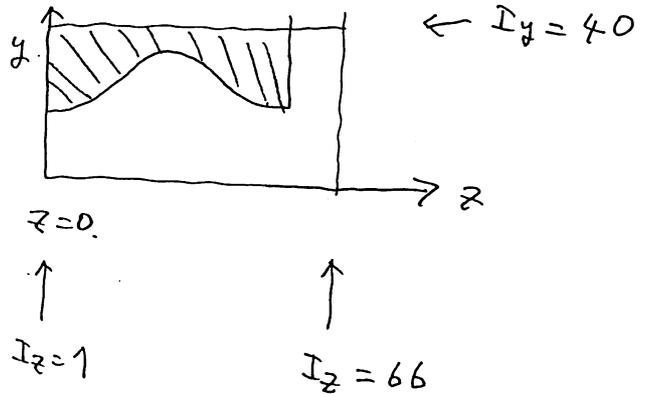


RFQの $\frac{1}{4}$ λ 入力, $r_{12} = 1 \text{ cm}$.

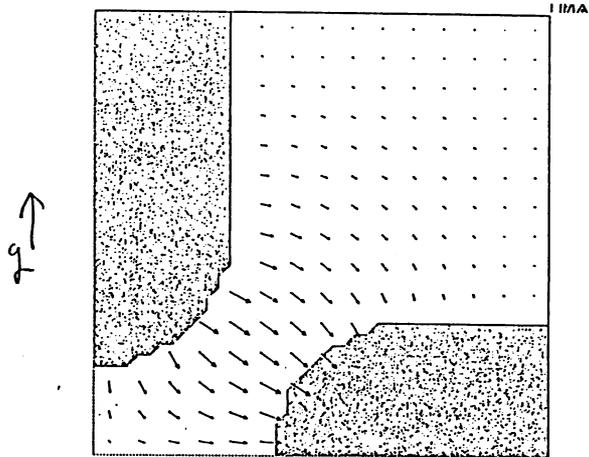
modulator $m=2$, $r=2m \sim 4m$,

$z=0$ は $\frac{1}{2}$ λ 対称面
unit cell を計算する。

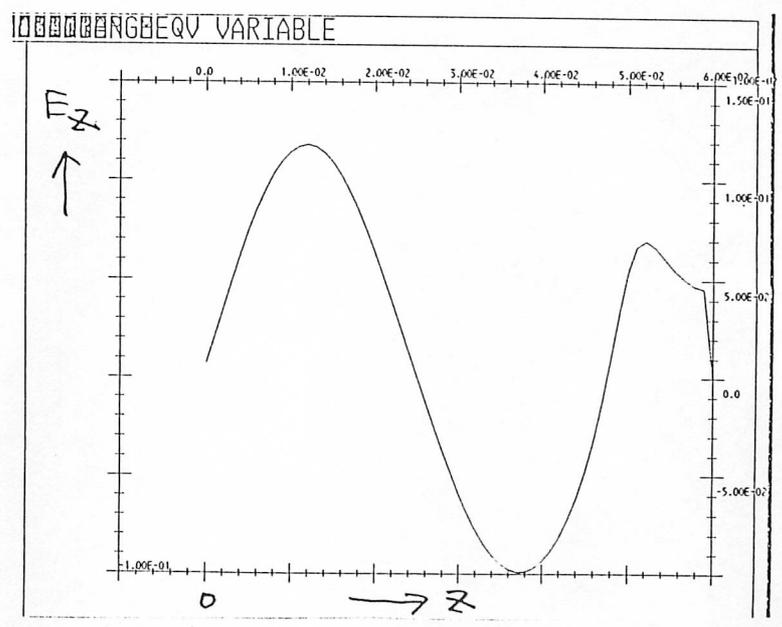
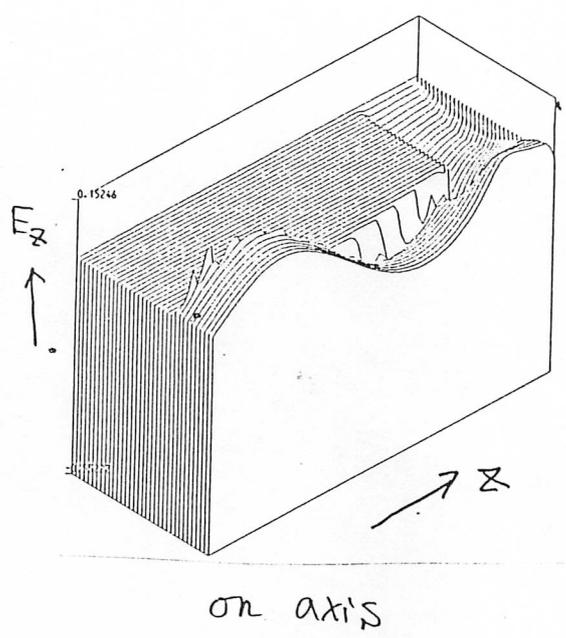
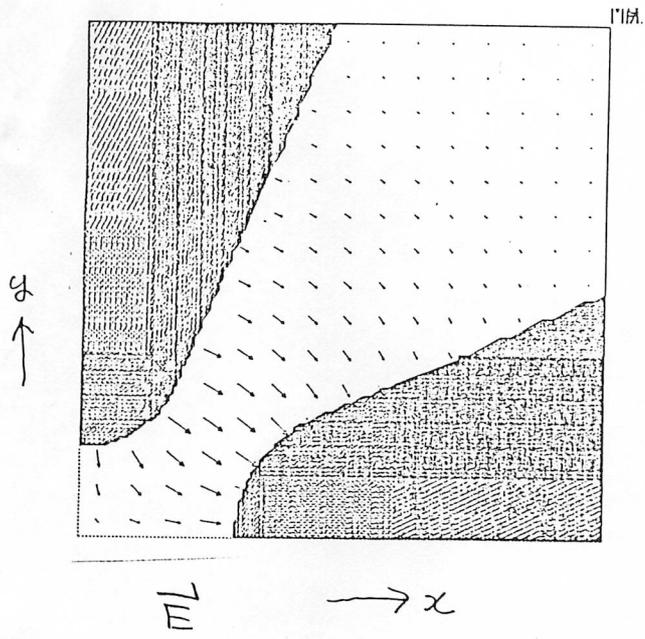
mesh = (40 x 40 x 66)



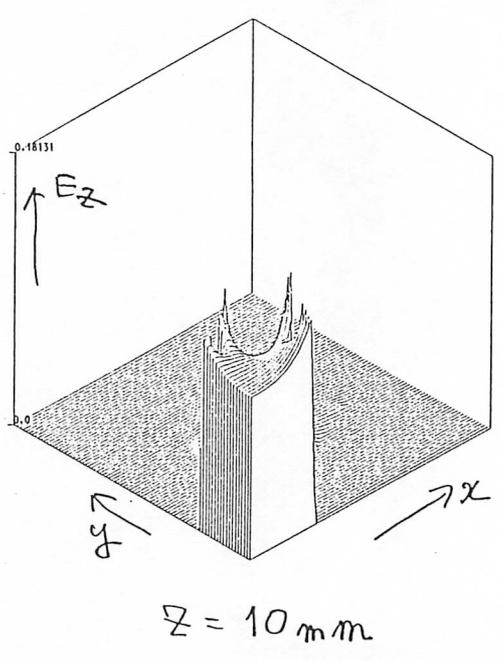
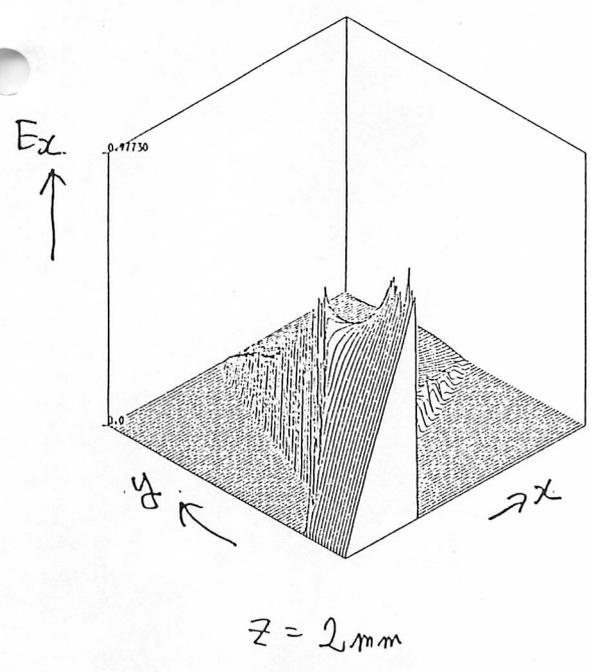
$I_z = 2, B_z$

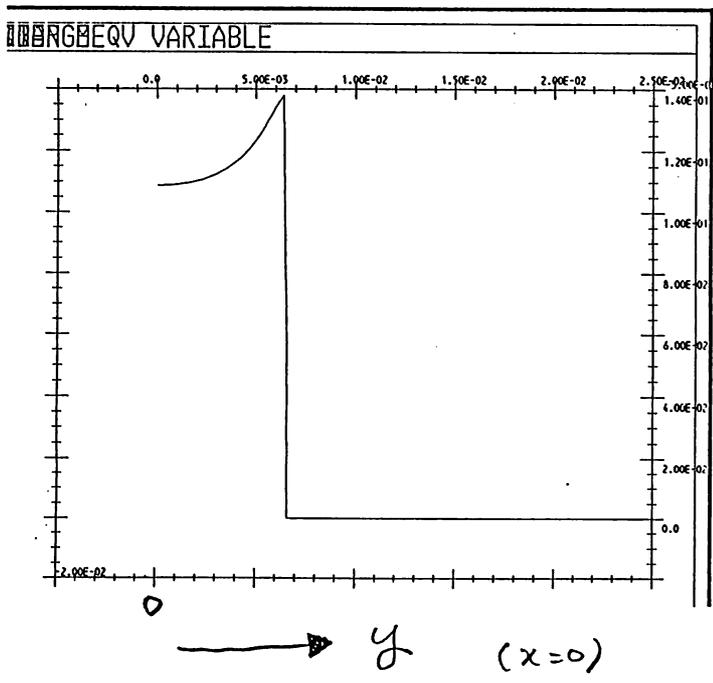
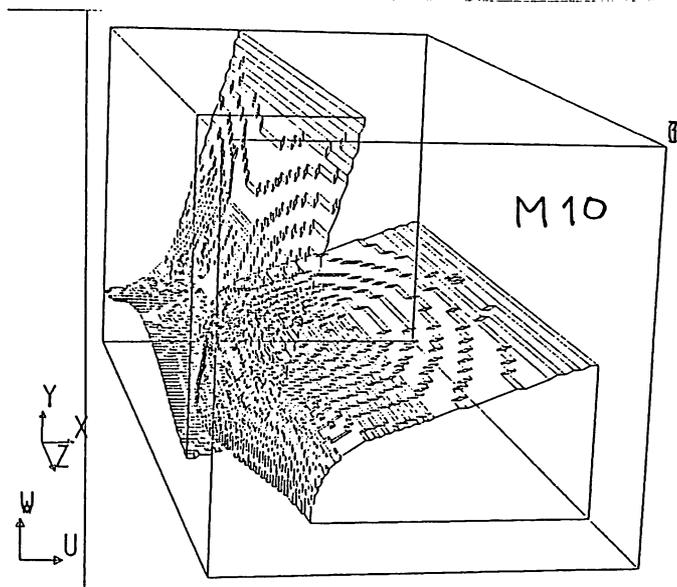
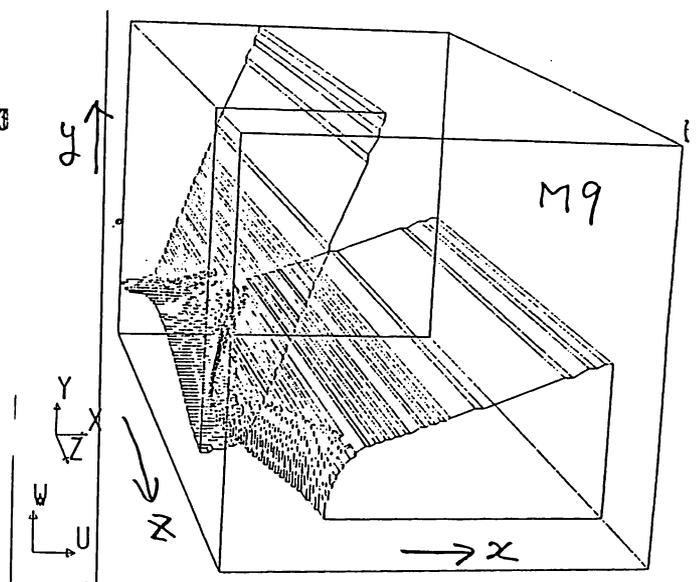
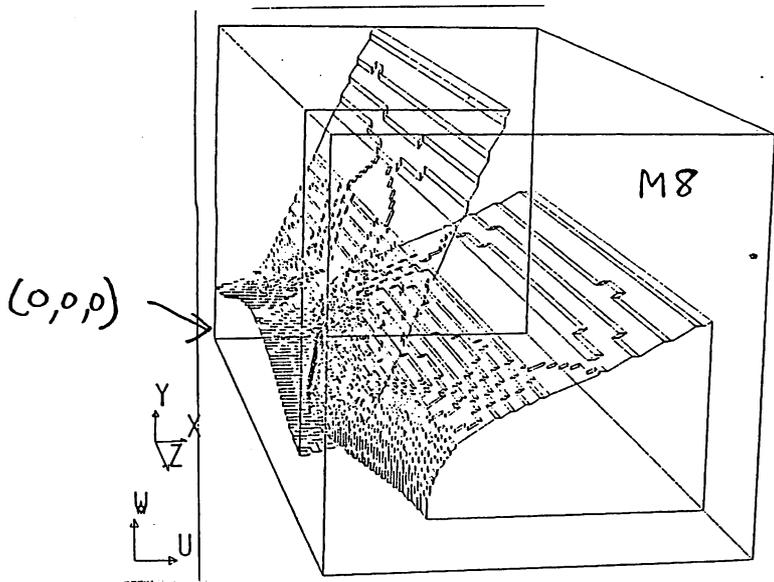


$I_z = 2, E_x$

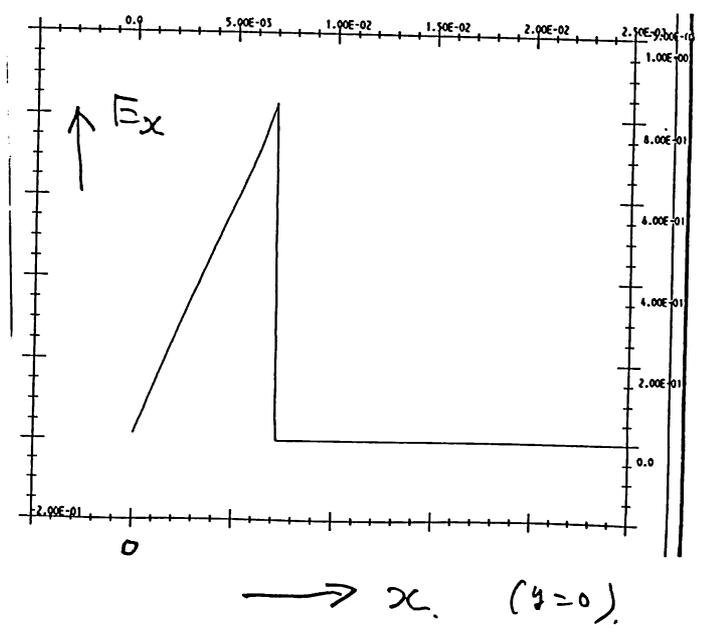


on axis
 $x=y=0$





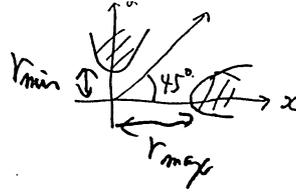
at $z = 16 \text{ mm}$



$z = 40 \text{ mm}$

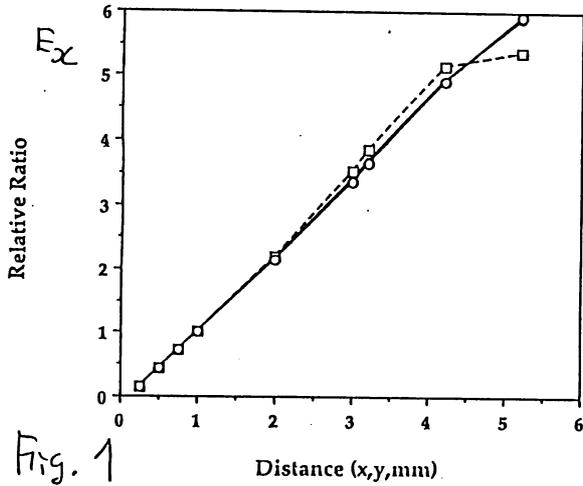
$$\begin{cases} z=1 \\ x=y \end{cases} \quad y = \min, \quad x = \max$$

$$z = z_{\text{min}}, \quad E_z = 0$$



$$r_{\min} = 4.3 \text{ mm}$$

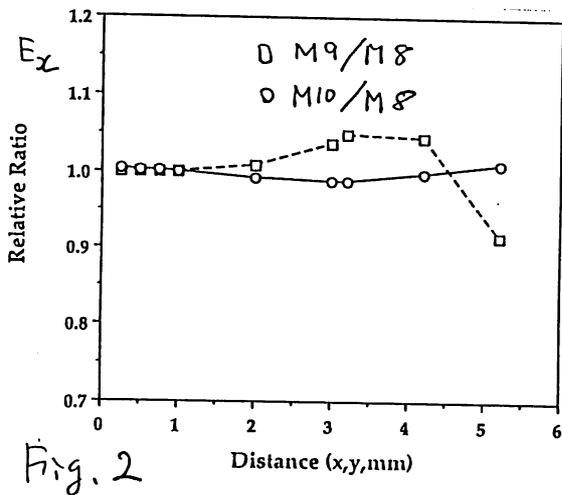
$$r_{\max} = 7.5 \text{ mm}$$



比較のためは 夫々の cavity の E_x を $x=y=1\text{mm}$ の値で規格化して、

Fig. 1

• 45° の向, $x=1\text{m}, y=1\text{m}$ を Distance 1mm とする。



上の図から、 \sqrt{z} の値に 2
M9, M10 を規格化したもの

Fig. 2

E_y は 712 の同様の図 2枚

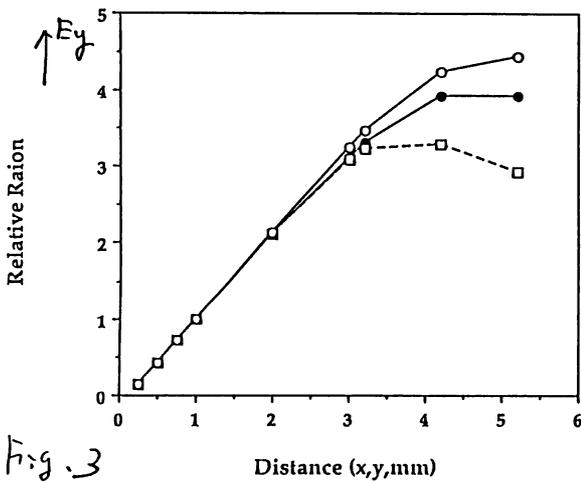


Fig. 3

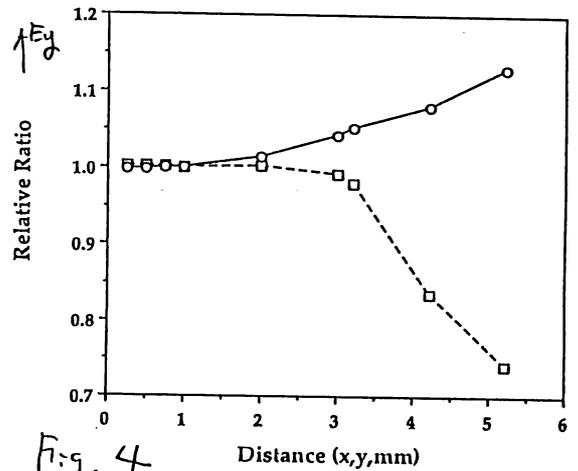
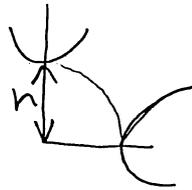


Fig. 4

$Z = 13$ $z=12$

$r_z = r_x$

$E_z = \max$



vane 12 対応 2" 及び

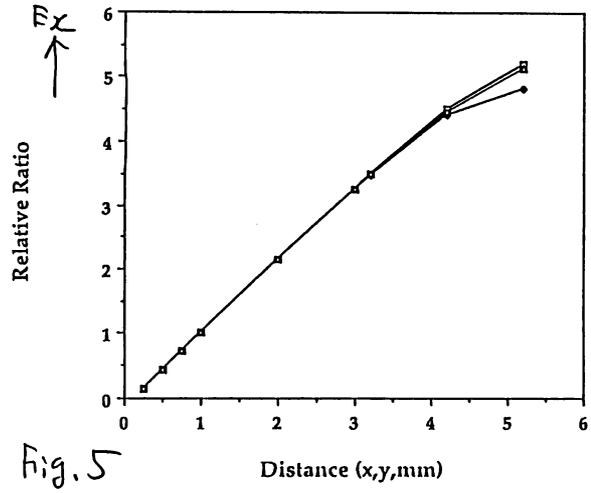


Fig. 5

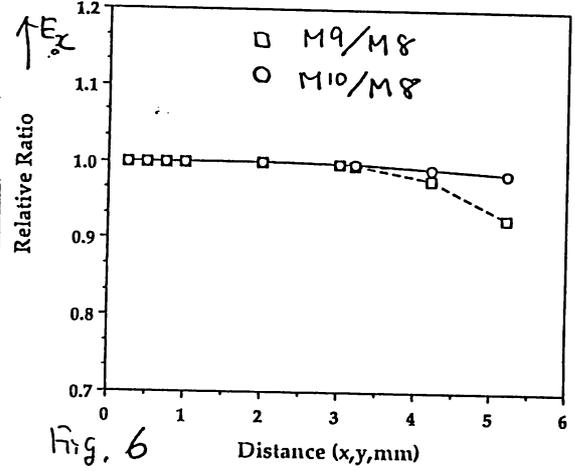


Fig. 6

$x=y=1\text{mm}$ の E_z 規格化

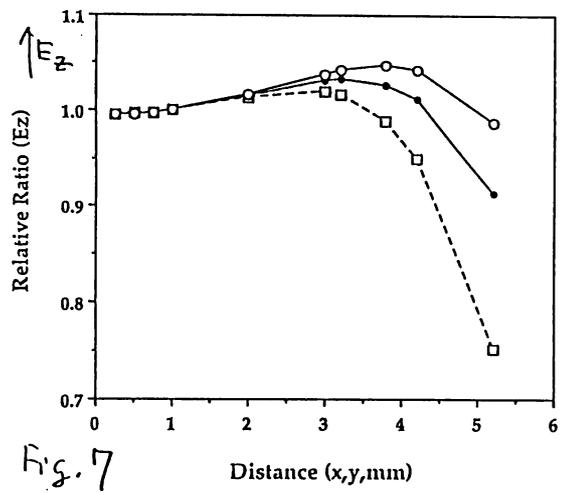


Fig. 7

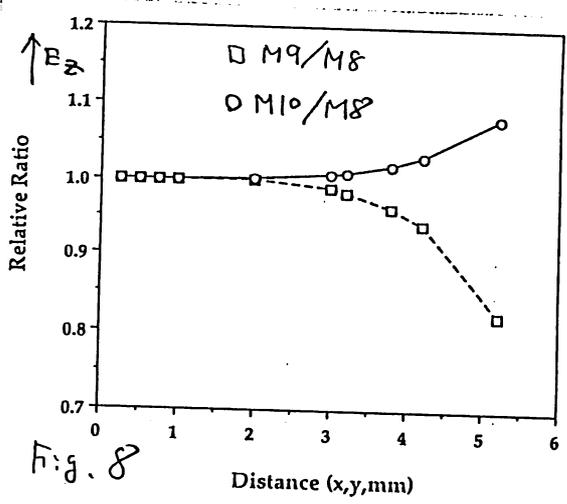


Fig. 8

$x=y=1\text{mm}$ の $E_z z'$ 規格化

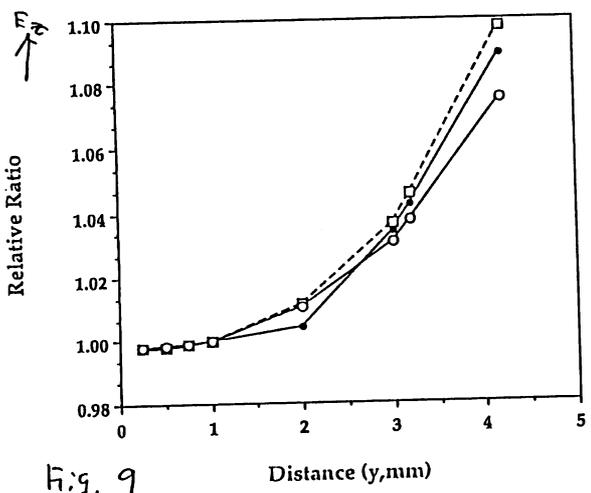


Fig. 9

$(y=1\text{mm}, z=0)$ の $E_z z'$ 規格化

$Z = 13$ の
 $r \cong 6\text{mm}$

$\frac{6}{\sqrt{2}} = 4.24$

↑
 x or y の 値

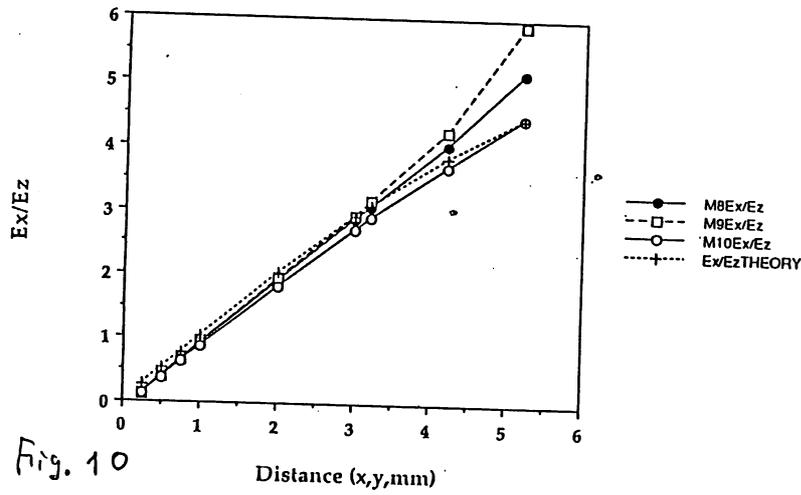


Fig. 10

夫の空洞に於て E_x/E_z を計算したもの。

場所 $z=13$ (r_0 の位置), $x=y$ にとり。

図に示した E_x/E_z THEORY は, 2.1 の式より計算したものである, 絶対値の比較ができる。

従, 2 としては,

1) 理論式の近似に由来する項と

2) MAFIA の誤差に由来する

2 項になる。