

PLA - 90 - 43

7 / 6 / 90

1 GeV リニアック検討資料

1 GeV LINAC DESIGN NOTE

題目 (TITLE) チューナー部同軸空洞の TEM モードと加速モードの
結合について

著者 (AUTHOR) 影山達也

概要 (ABSTRACT)

円筒空洞側面に設けられたチューナー・ポートとそこに挿入されるチューナー・プランジャーによって構成される同軸空洞中の TEM モードと加速モードとの間の電磁氣的結合について MAFIA を使って調べてみた。チューナー・プランジャーがポートに対して傾いて形状の対称性を破った場合、加速モードと TEM モードが電磁氣的に結合し、その結合の様子は、プランジャー先端部がチューナー・ポート開口部に接触する場合と、しない場合とでは、大きく異なることがわかった。

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

チューナー部同軸空洞の TEM モードと加速モードの結合について

1990年7月6日 影山達也

円筒型空洞側面に設けられたチューナー・ポートとチューナー・プランジャーによって、そこには図1に示されているような同軸空洞が形成される。その同軸空洞中の TEMモードと円筒空洞中の加速モードの間の結合について MAFIA を使って調べてみた。以下、その結果について報告する。

下記の3つのケースについて調べてみた。

- 1) 円筒空洞側面において、円筒空洞の軸方向に関して鏡面对称になるようにチューナーを設けた場合。
- 2) 上記1) においてチューナー・プランジャーがポートに対して1) の鏡面对称性を破るように傾いて、その先端部がポート開口部のふちに接触した場合。
- 3) 上記2) と同じようにチューナー・プランジャーがポートに対して1) の鏡面对称性を破るように傾いてはいるが、その先端部はポート開口部のふちに接触していない場合。

それぞれの場合についての3次元メッシュ形状を図2に示す。円筒空洞形状は、内径460ミリ、長さ240ミリで、加速モード TM_{010} モードの周波数は約500MHzである。チューナーについては、ポート内径140ミリ、プランジャー外径80ミリとした。上記2) と3) の場合、プランジャーの傾きによる非対称性の効果をどのようにメッシュ形状として表すかについては、図2に示してあるようにチューナー先端部に突起をつけた単純なモデルを使うことにした。解析方法としては、Slaterの教科書に載っているチューニング曲線を調べるやり方、即ち、同軸空洞部終端のショート面の位置を変えて円筒空洞と同軸空洞で構成される連成空洞の周波数変化を調べる方法を使った。

上記1)、2)、及び3)のそれぞれのケースについて、MAFIAの計算で得られたチューニング曲線のグラフを図3に示す。空洞内壁のポート開口部から同軸空洞終端のショート面までの距離 d をグラフの縦軸に、共鳴周波数を自由空間での波長に換算したものを横軸にとって計算データをプロットした。

まず、ケース1)の場合、その空洞形状の対称性から、同軸空洞のTEMモードと円筒空洞のTM₀₁₀モードは電磁氣的に結合し得ない。グラフ中、波長60cm(周波数500MHz)で縦軸に平行な直線が加速モードに、傾き1/4の直線が同軸空洞中のTEMモードに対応している。TEMモードの直線の傾きが1/4であることは、チューナー部の同軸空洞が $\lambda/4$ 共鳴器となっていることを示している。グラフ中において、TEMモードの直線と縦軸の交点が $\lambda/4$ 共鳴器の電氣的にオープンな面の位置を示している。その面の位置は空洞内壁のポート開口部より約2.5cm空洞側に入ったところである。

次に、ケース2)の場合、グラフよりTEMモードの直線の傾きが1/2になっていることがわかる。これは、チューナー・プランジャー先端部がポート開口部のふちに接触しているために、同軸空洞がTEMモードに対して $\lambda/2$ 共鳴器になっていることを示している。縦軸とTEMモードの直線の交点の位置から、 $\lambda/2$ 共鳴器のショート面(detuned short)はポート開口部より空洞の内側に約10cm入ったところであることがわかる。一方、円筒空洞と同軸空洞の共鳴周波数が一致するあたり($d=20\text{cm}$)では、チューニング曲線が互いに反発するような振る舞いを見せている。これは、チューナー・プランジャーの先端部がポート開口部のふちに接触したために、加速モードとTEMモードの間に磁氣的結合が生じたことを示している。もっと一般的な言い方をすれば、2つのモードの間に相互作用が生じたために固有値(周波数)の縮退(ケース1)のグラフ中の2つのチューニング曲線の交点に対応する)が解けたということである。互いに磁氣的に結合した加速モードとチューナー部のTEMモードの電磁場の様子を図4に示した。

最後に、ケース3)について見てみよう。この場合のチューニング曲線の様子はケース1)の場合に似ており、チューナー部同軸空洞はTEMモードに対して $\lambda/4$ 共鳴器になっている。そして、その $\lambda/4$ 共鳴器の電氣的にオープンな面はポート開口部より約3cm空洞内側に入ったところである。この距離のスケールはチューナー部同軸空洞の外径と内径の差の寸法に近い。これについては今後さらに調べて行く予定である。また、グラフ中ではわかりづらいが、ケース3)の場合も鏡面对称性が破れたことによって加速モードとTEMモードが結合している。そのときの電磁場の様子を図5に示す。図5において、加速モードとTEMモードの間の結合の様子を見てみると、ケース3)の場合の2

つのモードの間の結合は磁氣的ではなく、電氣的なものであることがわかる。

以上の解析結果をまとめると、

チューナー・プランジャーがポートに対して傾いた場合、加速モードとチューナー部同軸空洞のTEMモードが電磁氣的に結合すること。

チューナー・プランジャーの傾きが大きく、その先端部がチューナー・ポート開口部に接触した場合、チューナー部同軸空洞はTEMモードに対して $\lambda/2$ 共鳴器となり、加速モードとTEMモードは磁氣的に結合すること。

チューナー・プランジャーの傾きが小さく、その先端部がチューナー・ポート開口部に接触はしていない場合、チューナー部同軸空洞はTEMモードに対して $\lambda/4$ 共鳴器となり、加速モードとTEMモードは電氣的に結合すること。

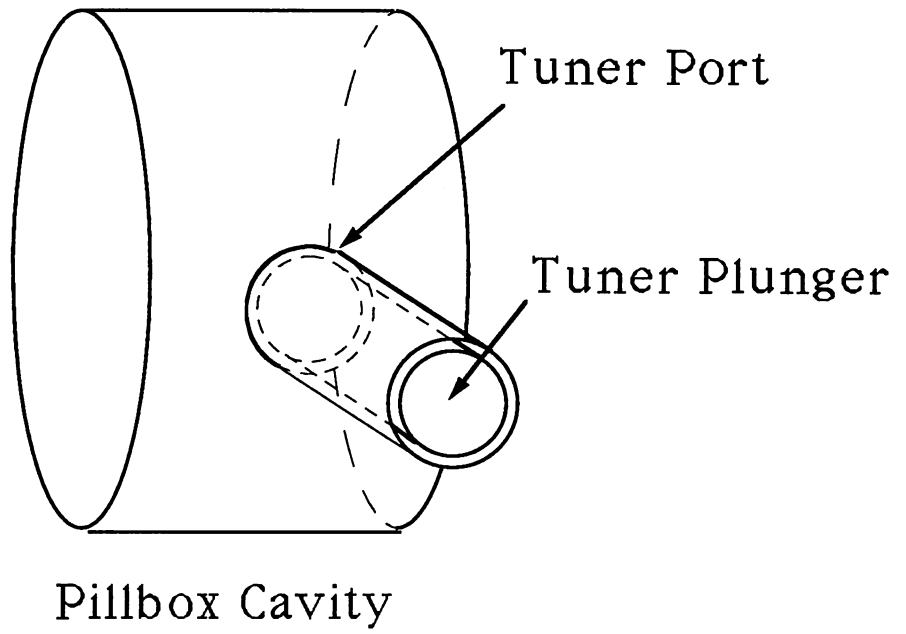
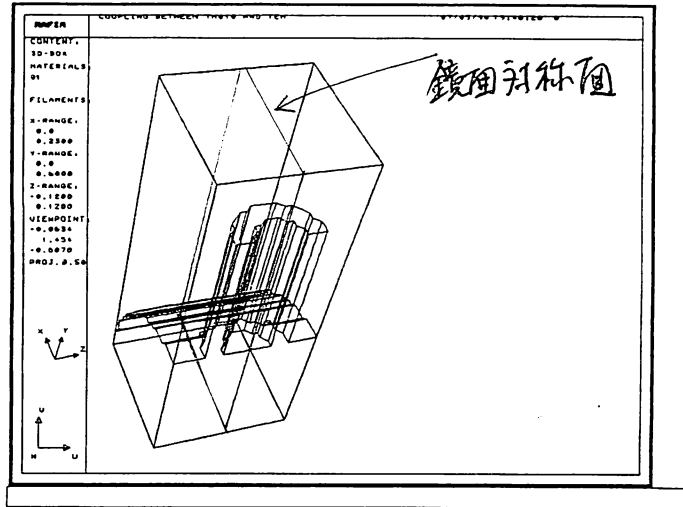


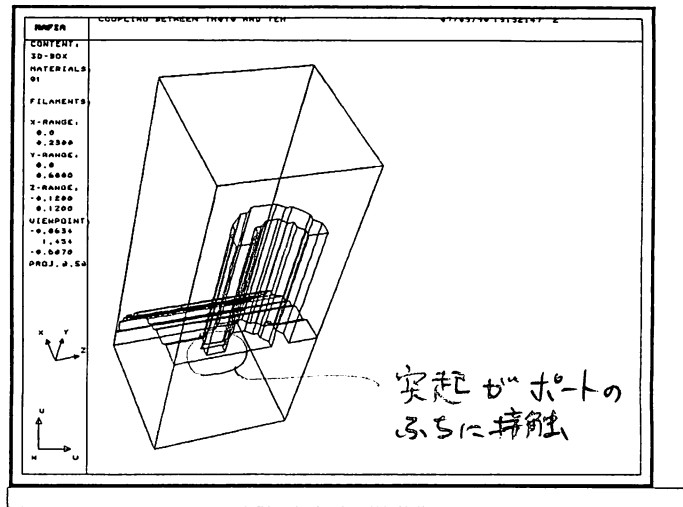
Fig. 1

图 1

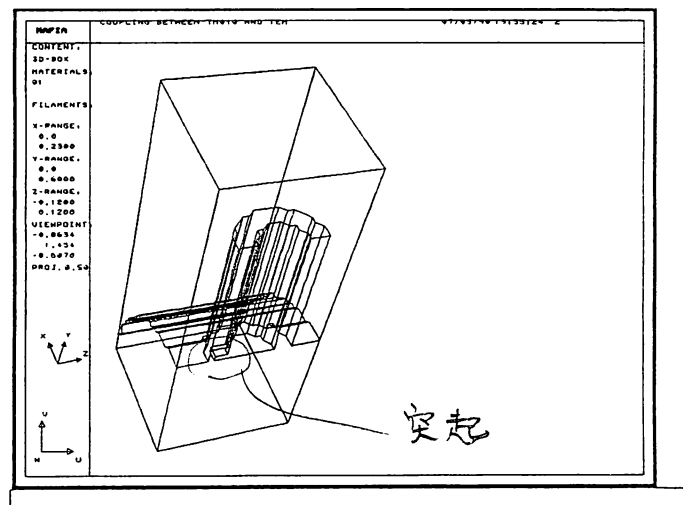
(Case 1)

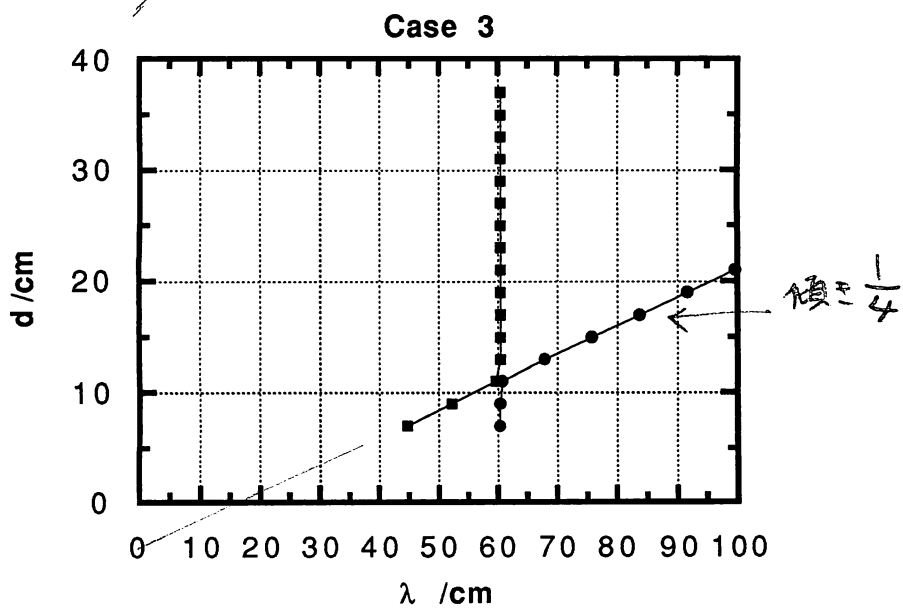
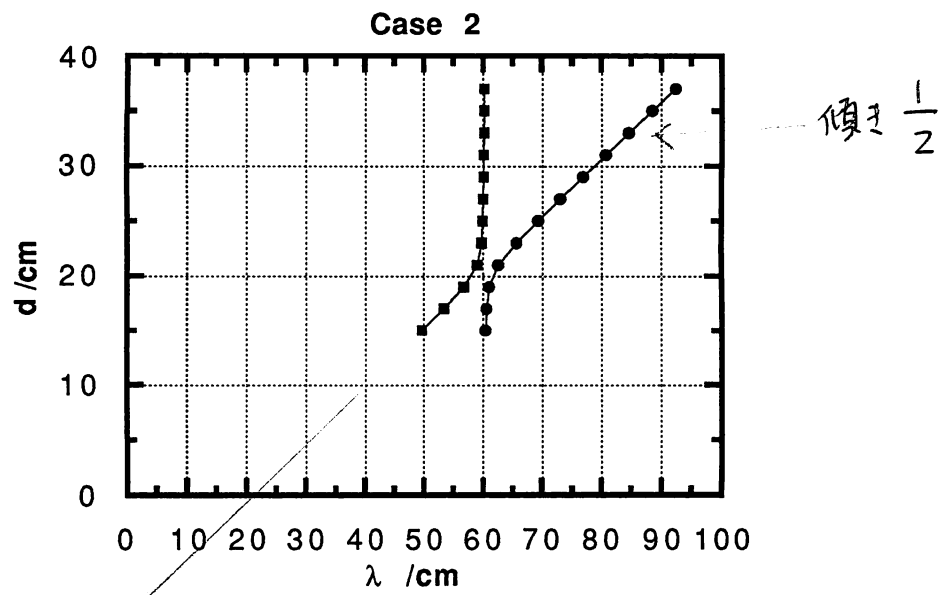
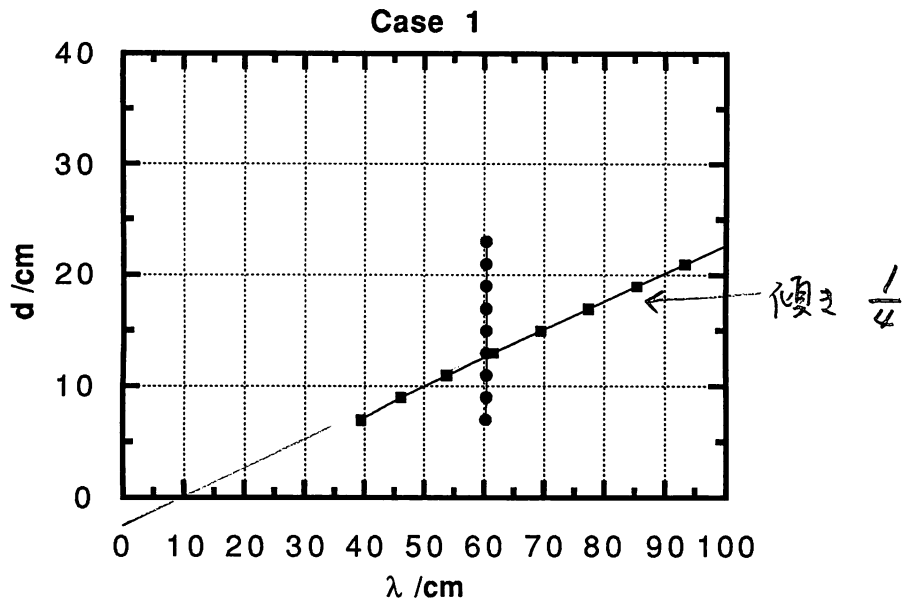


(Case 2)



(Case 3)





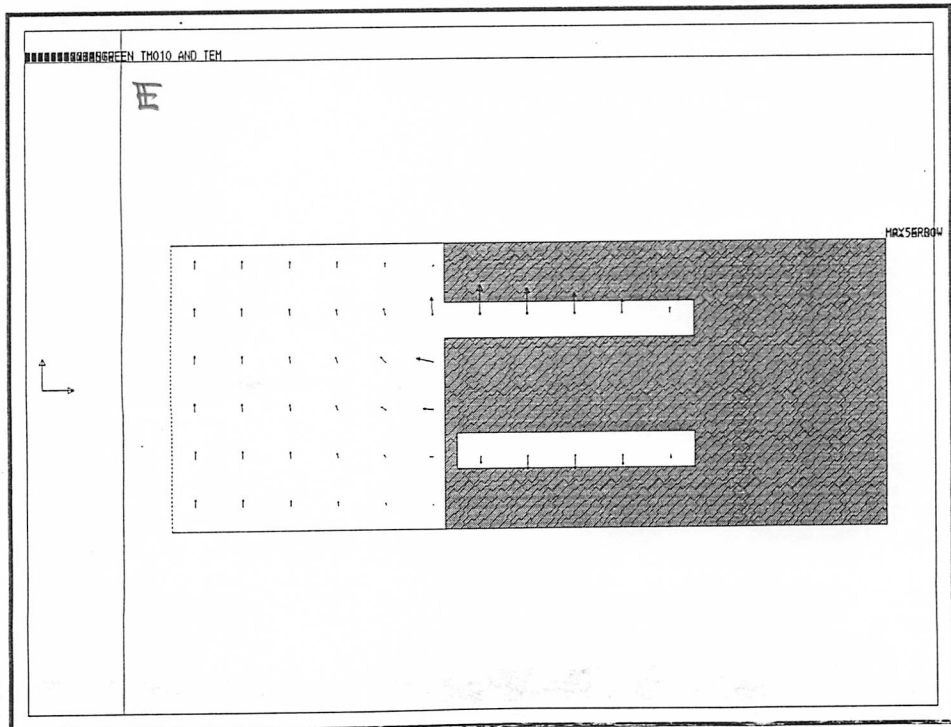
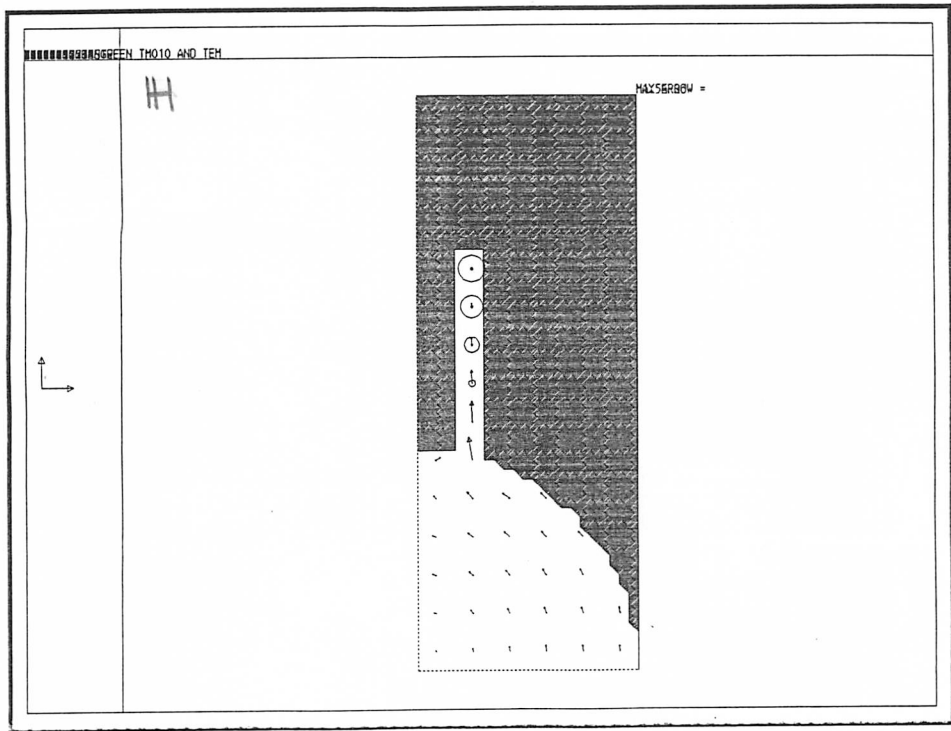


图 4

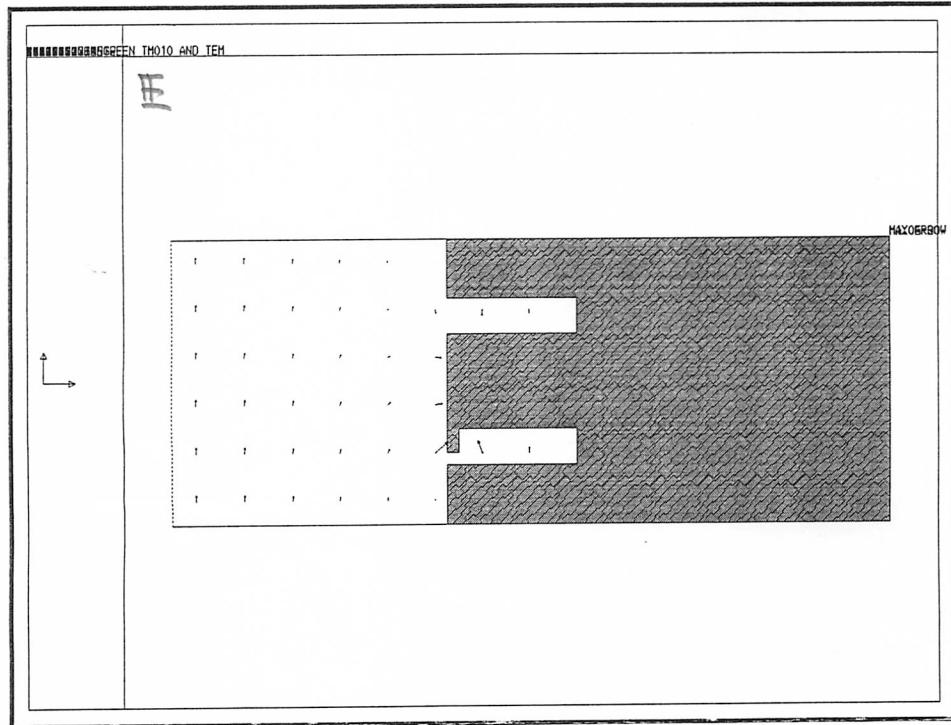
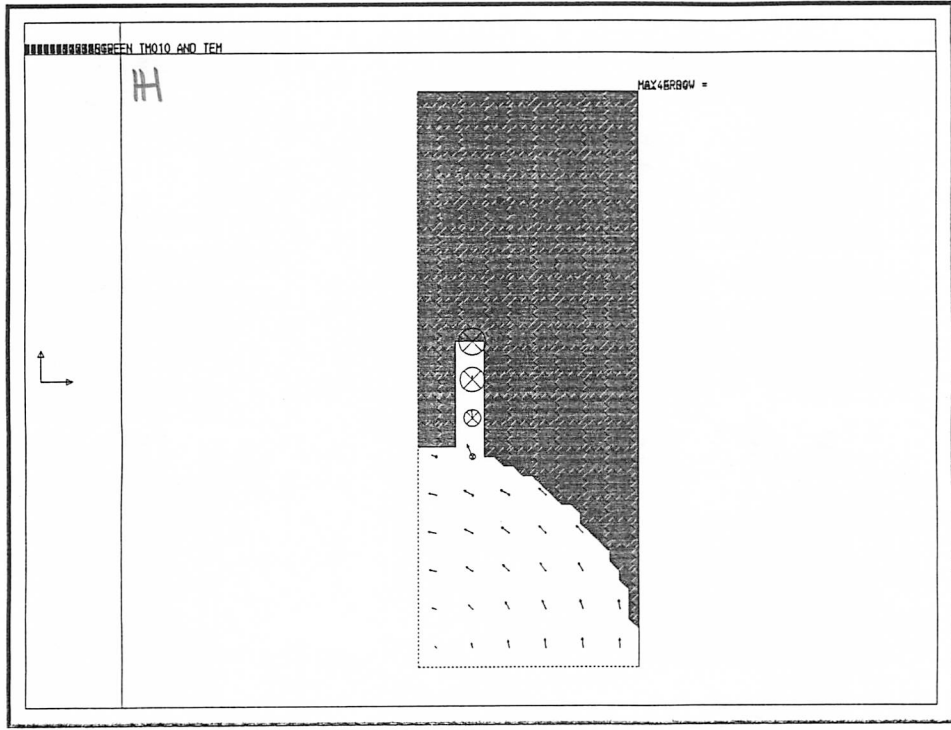


图 5