

基本的なSUPERFISHの使い方

夏井 拓也

平成 19 年 5 月 9 日

1 SUPERFISH とは？

SUPERFISH とは 2 次元電磁場共振モード解析コードである．特に軸対称構造を計算でき，加速器の設計などによく用いられる．

2 次元電磁場計算の周波数領域解析を行え，その特徴は三角メッシュの差分法を用いている (らしい?) ことである．計算できるのは，軸対称構造の TM_0 モードである．

2 円筒型共振器の計算

2.1 TM_{010} モードの計算

では，もっとも簡単な計算例として円筒型共振器の計算を行う (円筒型共振器は pillbox cavity ともいうらしい)．円筒型共振器の共振モードの解析解はよく知られていて，電磁気学の教科書にも載っている．例として，共振器の空洞の寸法は半径 1m，幅 1m の図 1 に示すような空洞を考える．

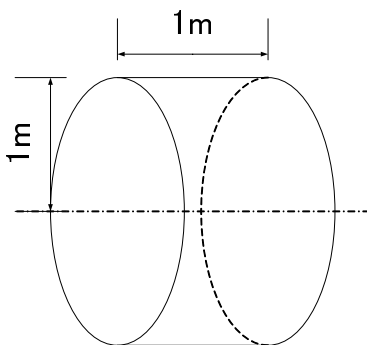


図 1: 円筒導波管

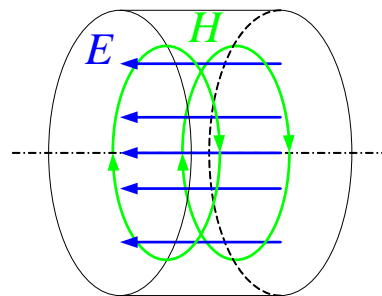


図 2: TM_{010} モードの電場 E と磁場 H

まず， TM モードの中でも，もっと低い共振周波数を持つ TM_{010} モードについて計算してみよう． TM_{010} モードの電磁場は図 2 のように分布する．では，まずこれを計算するためのファイルを以下に示す．

```

Pill Box
$reg kprob=1, dx=2.0, kprob=1,
  xdri=50.0, ydri=99.0,
  nbsup=1, nbslo=0, nbslf=1, nbsrt=1,
  freq=114.0, kmethod=1, beta=1.000000$
$po x=0.0, y=0.0 $
$po x=0.0, y=100.0 $
$po x=100.0, y=100.0 $
$po x=100.0, y=0.0 $
$po x=0.0, y=0.0 $

```

このファイルを計算した結果は、図3のようになる。赤線が電気力線である。

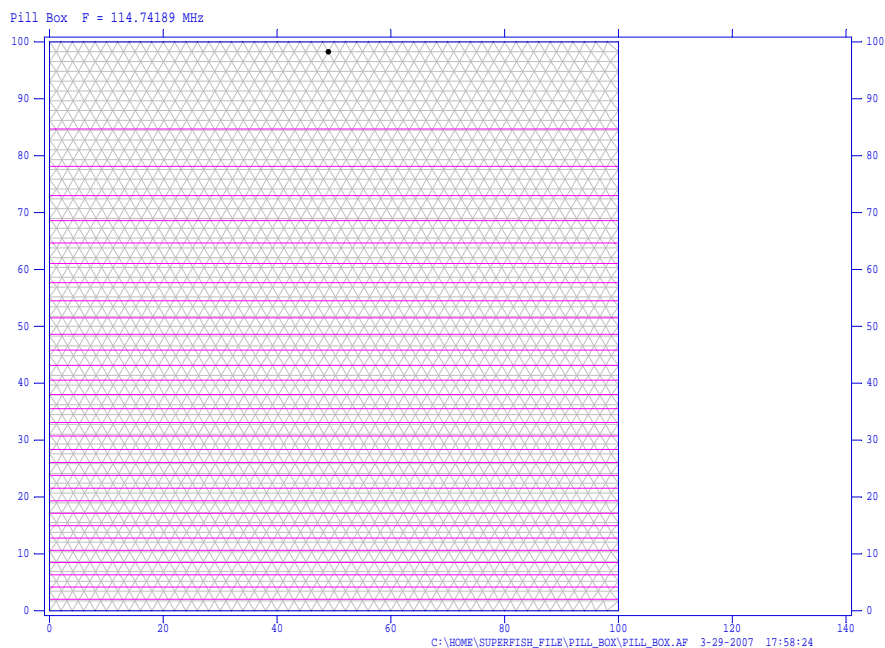


図3: 円筒型共振器 TM010 モードの SUPERFISH 計算結果

では、このファイルの説明をしていく。ちなみに SUPERFISH の長さの単位は cm である。まず、1 行目の Pill Box はファイルのタイトルをつけているだけで、好きな名前を付ければよい。2 行目から 5 行目まではいろいろとおまじないを書いている。この部分を少し説明すると、 $dx=2.0$ の部分はメッシュサイズを決めている。 $xdri=50.0$ 、 $ydri=99.0$ の部分はドライビングポイントといって磁場が最大になる付近の座標を指定する（ここを変な座標にしてしまうと計算時間が長くなったり、場合によっては正しく計算できなくなる）。また、 $freq=114.0$ は周波数の近似値をあたえる。これは、ある程度予想して値を決めるしかない。もちろん真の周波数に近い値を入れると計算時間が短くなる。

さて、6 行目からさきは計算する空洞の形状を決めていっている。見てわかるとおり、座標を指定して、領域を一周しているだけである。このように、座標を指定していくとその点を直線で結んだ領域を計算できる。

2.2 境界条件の指定 (TM₀₁₁ モードの計算)

次に先ほどの空洞の TM₀₁₁ モードを計算してみる。じつは、空洞の形状は変わらないので先のファイルの freq とドライビングポイントを変えてやるだけで計算できる。

しかし、境界条件を工夫し対称性を利用して計算領域を半分にする事ができる。TM₀₁₁ モードの電磁場の概念図を図 4 にしめす。TM₀₁₁ モードの特徴としては、左右対称の電磁場分布になっていて、その中

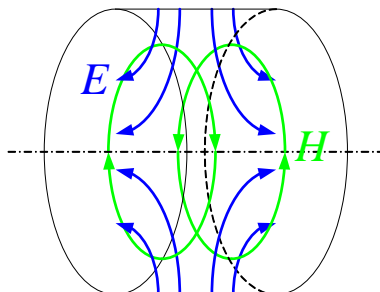


図 4: 円筒型共振器 TM₀₁₁ モード

心では磁場が 0 になっていることである。この対称性を利用して、計算領域を半分にする事ができる。では、これを計算するためのファイルを以下に示す。

```
Pill Box
$reg kprob=1, dx=2.0, kprob=1,
  xdri=1.0, ydri=99.0,
  nbsup=1, nbslo=0, nbslf=1, nbsrt=0,
  freq=100.0, kmethod=1, beta=1.000000$
$po x=0.0, y=0.0 $
$po x=0.0, y=100.0 $
$po x=50.0, y=100.0 $
$po x=50.0, y=0.0 $
$po x=0.0, y=0.0 $
```

この計算結果を図 5 に示す。

計算領域が半分になっているのがわかる。では、このファイルのなかの境界条件の設計に関する部分を説明する。

境界条件を設定しているのは、4 行目の nbsup=1, nbslo=0, nbslf=1, nbsrt=0 の部分である。nbsup が上側, nbslo が下側, nbslf が左側, nbsrt が右側の境界条件を決めていて、1 がエリクトリックショート, 0 がマグネティックショートを表している。エリクトリックショートとはノイマン条件ともよばれ、電場が境界にたいして垂直になるときに使う条件である。いま、左側の壁と上側の壁は金属であるので、境界条件はエリクトリックショートである。また、マグネティックショートとはディレクレ条件とも呼ばれ、磁場が 0 になるところでの境界に用いる。いま、下側の境界は軸上になっていてこの部分には TM モードでは磁場が立たないのでマグネティックショートである。また、左側は磁場が 0 であるという条件を課したいので、ここもマグネティックショートである。

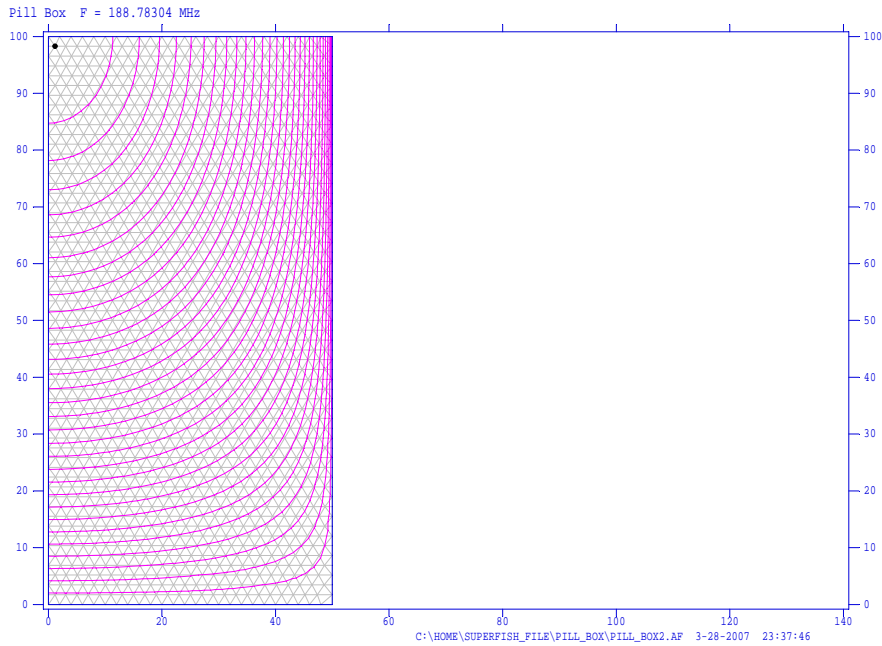


図 5: 円筒型共振器 TM011 モードの SUPERFISH 計算結果

3 曲線境界を持った形状の計算

次に、曲線の構造を持ったより現実の加速空洞に近い形状を計算してみよう。SUPERFISH では円弧を指定できる。その例を以下に示す。

```
PI_mode.af
$reg kprob=1, dx=0.020000, xdri=0.750000, ydri=1.386000,
  nbsup=1, nbslo=0, nbslf=0, nbsrt=0,
  freq=9400.000000, kmethod=1, beta=0.940651
$
$po x=0.000000, y=0.000000 $
$po x=0.000000, y=0.400000 $
$po nt=2, r=0.075000, theta=0, x0=0.000000, y0=0.475000 $
$po x=0.075000, y=0.725000 $
$po nt=2, r=0.675000, theta=90, x0=0.750000, y0=0.725000 $
$po nt=2, r=0.675000, theta=0, x0=0.750000, y0=0.725000 $
$po x=1.425000, y=0.475000 $
$po nt=2, r=0.075000, theta=270, x0=1.500000, y0=0.475000 $
$po x=1.500000, y=0.000000 $
$po x=0.000000, y=0.000000 $
```

このファイルの計算結果は、図 6 のようになる。ファイルの中で円弧を設定しているのは、

`$po nt=2, r=R, theta= θ , x0=X, y0=Y`

の部分である。円弧の中心を (X, Y) で指定し、その半径を R で表す。そして、円弧の範囲は前回指定した

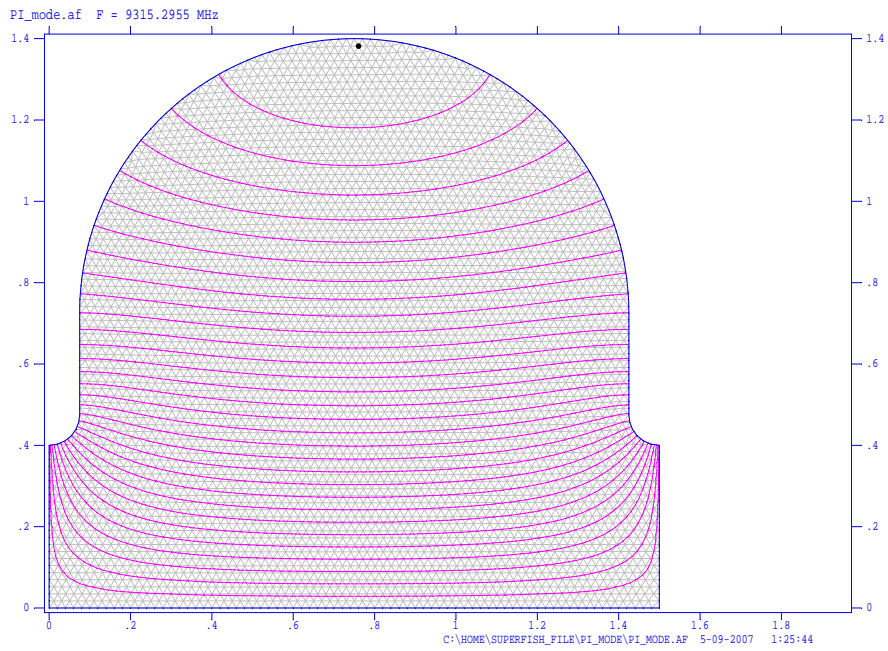


図 6: 曲線を含んだ形状の空洞の計算結果

点から θ の角度までである．この角度 θ というのは，ベクトル $(1,0)$ との角度であって，円弧の角度ではない．図 7 にこの関係を示す．

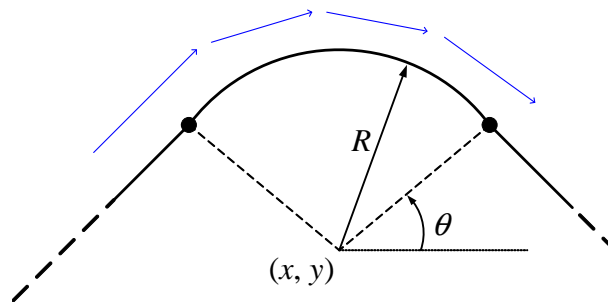


図 7: SUPERFISH の円弧の指定方法