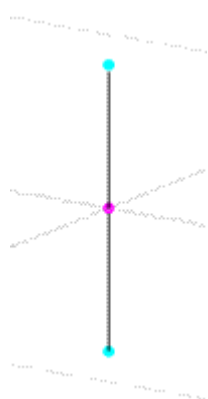


## SINGULA ベンチマーク計算

SINGULA はモーメント法を用いた 3 次元高周波電磁界解析ソフトウェアであり、グラフィカルユーザーインターフェイス (GUI) を用いて、モデル形状の作成、物理特性の設定、及び解析と結果の表示を行っている。ここでは、主に IEEE で発表されている問題を中心にして、いくつかのベンチマーク計算を示している。

- 1 半径 0.22mm、長さ 11cm のダイポールアンテナ  
データベースファイル      dipole\_SYZ\_100seg\_gap.db  
   dipole\_SYZ\_100seg\_Frill.db  
モデルフォルダー              /Benchmark Examples/Dipole Antenna/

ダイポールアンテナをモデル化し、そのインピーダンスマトリックスを求める。



### モデル形状

2つのセグメントでモデル化し、中央のポイントに給電する。

単位系を mm にする。各ポイントの座標は、上から

0,0,55

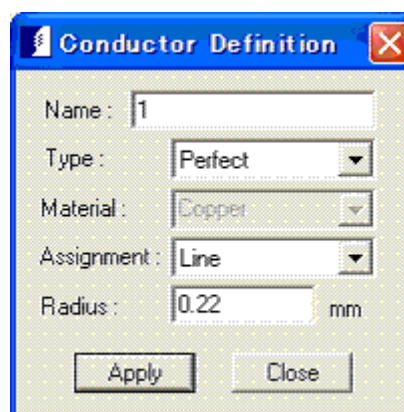
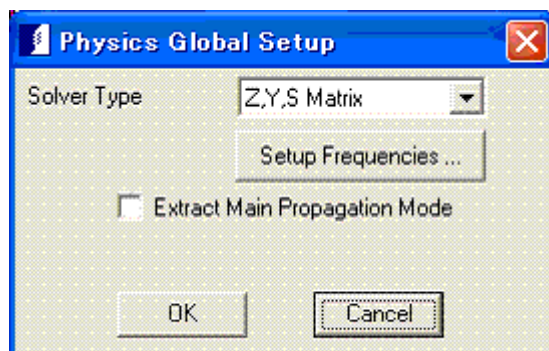
0,0,0

0,0,-55

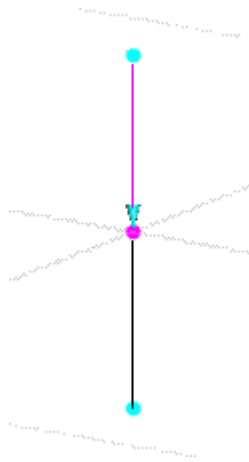
となる。

ソルバタイプを Z,Y,S Matrix にする。  
また、Setup Frequencies にて、周波数を 540 MHz  
から 5400 MHz まで 41 個の周波数で計算するよ  
うに設定する。

アンテナ部をコンダクタとして定義する。  
完全導体として、半径 0.22mm のラインと  
する。



## ソースの設定



デルタギャップ電位を、中央のポイントに給電する。

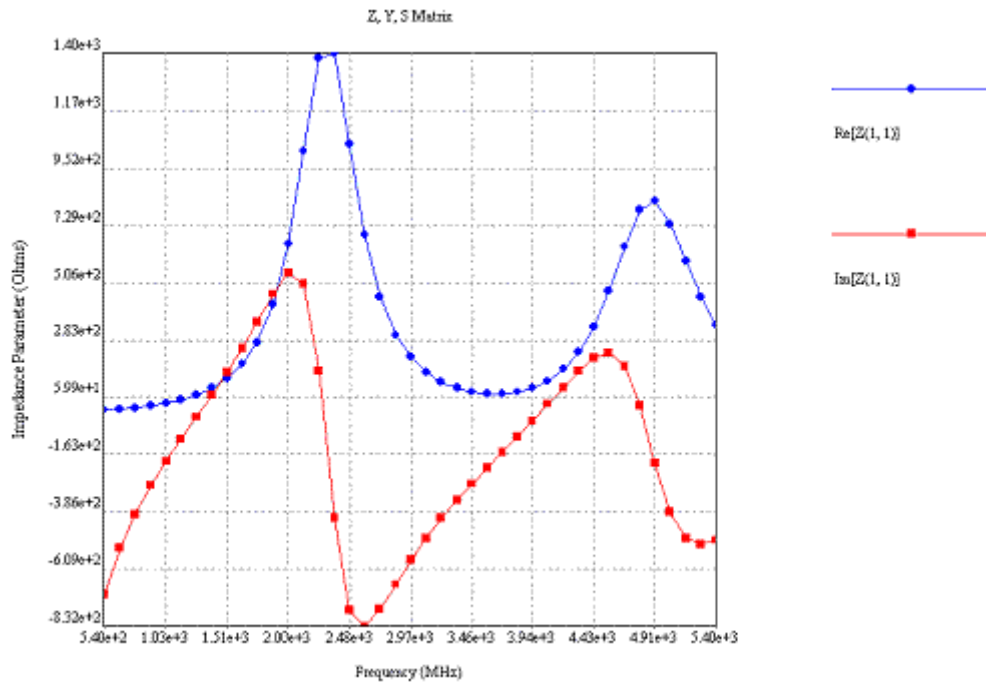
Physics > Delta Voltage > Assign を選択する。セグメントと給電するポイントを指定し、電位の大きさ 1 V と位相 0 を入力する。設定すると左図のように表示される。

求解に必要なメッシュは、アンテナのセグメント上に、1D の要素を作成する。

Solution > 1D Elements > Automatic All を選択し、作成する大体の要素数 100 を入力する。自動的に 100 個の 1D 要素が作成される。

Solution > Solve ... を選択すると、求解が始まる。終了すると、Analysis > Z,Y,S Matrix を選択して、各種マトリックスを表示することができる。

## インピーダンスマトリックス (Z Matrix)



## 2 モノポールアンテナ

データベースファイル

quarterMonopole\_DeltaGap\_rad[1GHz].dbs 給電線は直線、デルタギャップ給電

quarterMonopole\_Frill\_rad[1GHz].dbs 給電線は直線、磁気フリル給電

quarterMonopole\_strip\_rad[1GHz].dbs 給電線は板、ライン電位給電

quarterMonopole\_Cylinder\_rad[1GHz].dbs 給電線は円筒、ライン電位給電

quarterMonopole\_CoaxialWG\_rad[1GHz].dbs 給電線は同軸円筒、導波管

モデルフォルダー

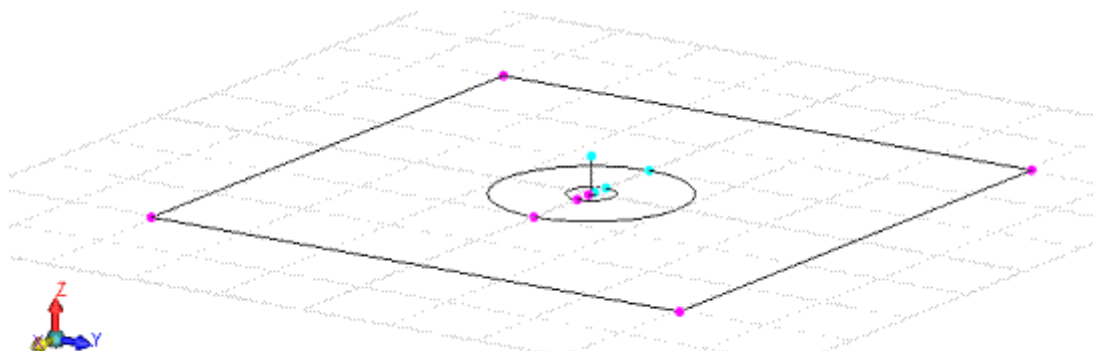
/Benchmark Examples/Monopole Antenna/

有限の 1.22 m の矩形グラウンド面を持つ周波数 1 GHz の 1/4 波長モノポールアンテナを、給電線モデル及びソースを変えてフィールド計算する。

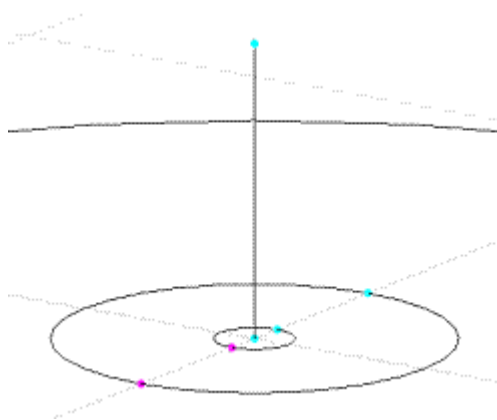
モデル形状

高さ 0.075 m のアンテナをセグメントでモデル化する。グラウンド面は矩形（一辺 1.22 m）のサーフェスでモデル化するが、アンテナ近傍でメッシュを変えるために、半径 0.01, 0.05, 0.2 m の円形のサーフェスも設ける。

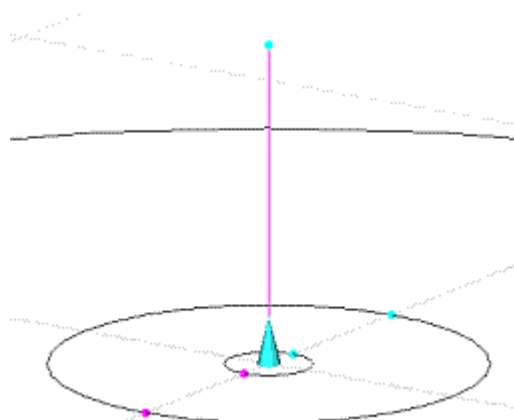
モデルは、12 ポイント、8 セグメント、4 サーフェスからなる。



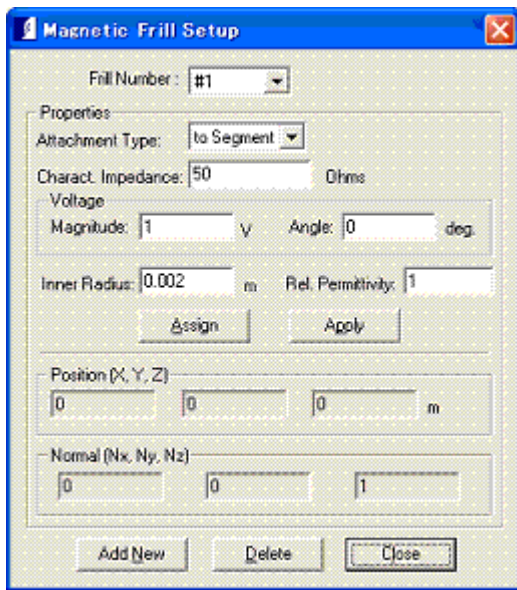
直線セグメントでモデル化したモノポールアンテナ



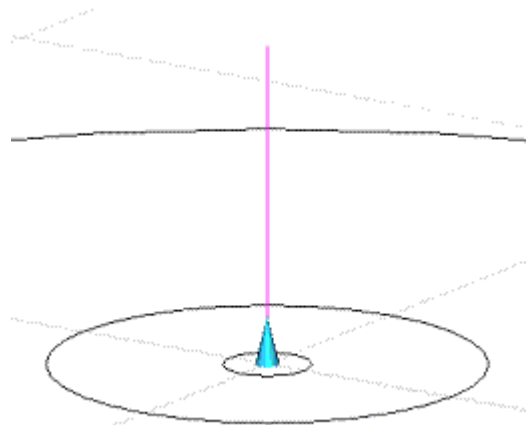
アンテナ（拡大図）



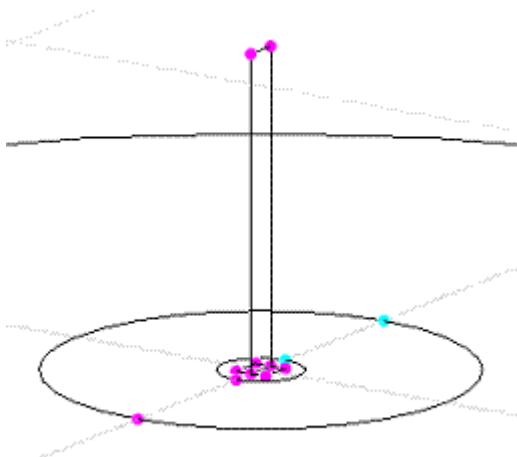
デルタギャップ電位



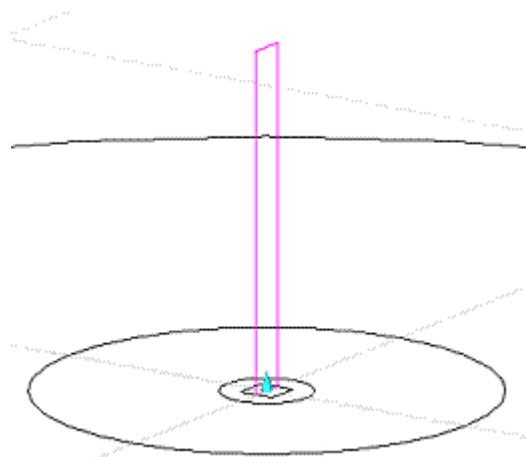
磁気フリル設定



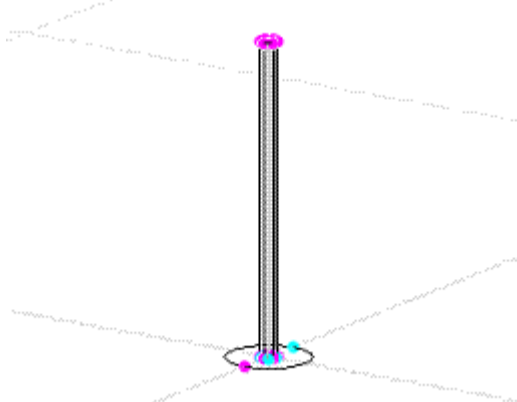
上図の磁気フリル給電は、セグメントに対して、その長さに比べて小さい半径 0.002 m の円周上で、デルタ電位を与えている。



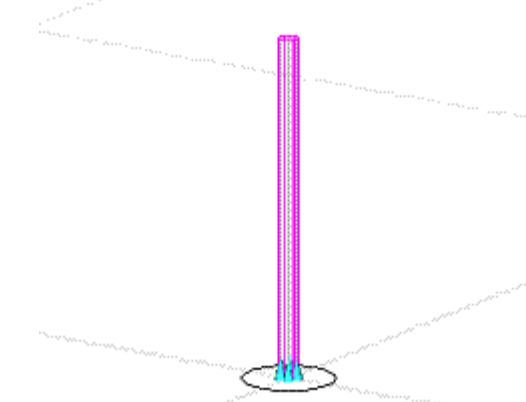
ストリップ (板) モデル



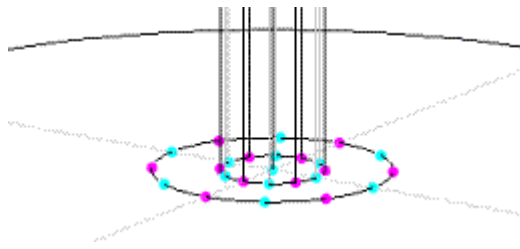
ラインギャップ電位給電



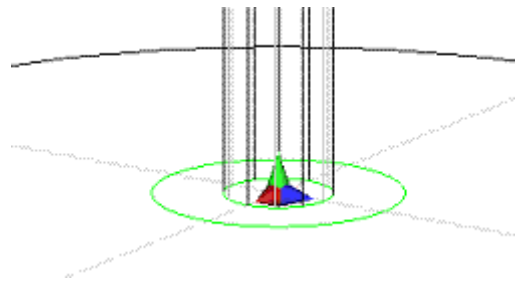
円筒モデル



円周上でライン電位を給電

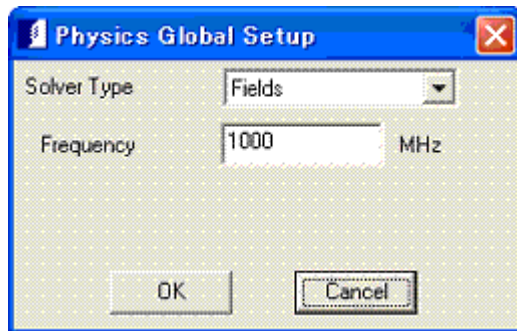


同軸円筒モデル



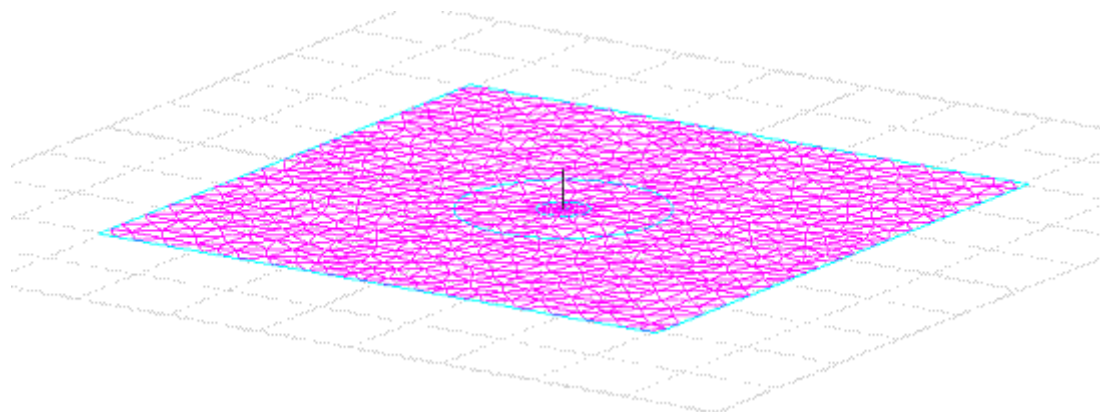
導波管による給電

同軸タイプの導波管により給電する。赤色は電場、青色は磁場、緑色は導波管の方向を示している。



ソルバータイプをフィールド計算にセットし、周波数を 1 GHz に設定する。

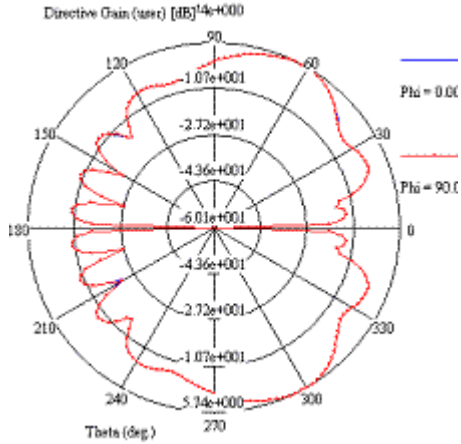
コンダクタとして、アンテナのセグメントを完全導体、グラウンドのサーフェスも完全導体と定義する。アンテナを 1D 要素、グラウンドを 2D 3 角形要素でメッシュ分割した。要素数はそれぞれ 20 と 1363 である。



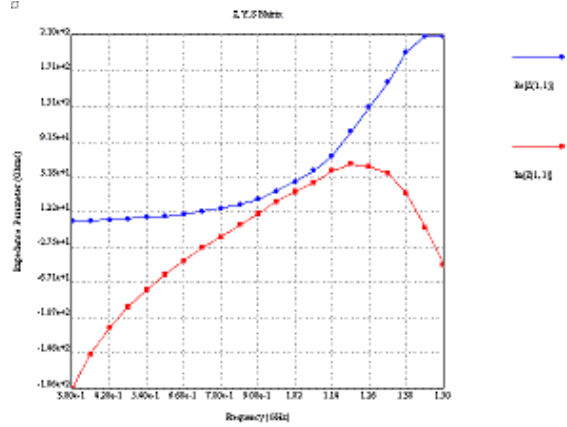
メッシュ分割図 (2D 3 角形要素)  
(給電線は直線、デルタギャップ給電)

Solution > Solve ... で求解する。計算が終了すると、Analysis > Far-zone Field Properties ... メニューを選択して、そのダイアログから指向性ゲインなどを表示できる。同様に、ソルバータイプを Z,Y,S Matrixn にセットし、周波数を 300 から 1500 MHz までの 21 ステップに設定し、求解してそのインピーダンスマトリックスを表示する。

給電線は直線、デルタギャップ給電

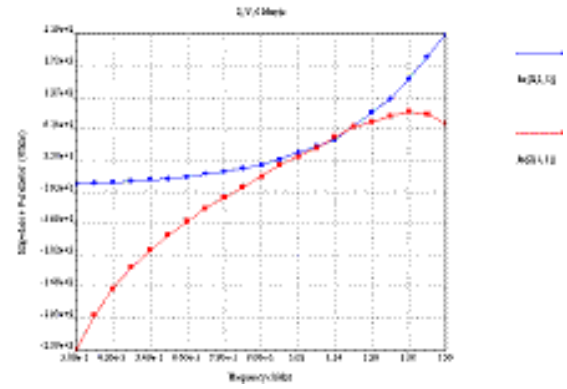
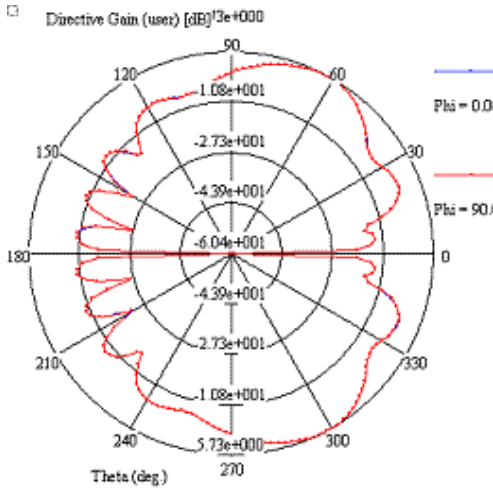


指向性ゲイン

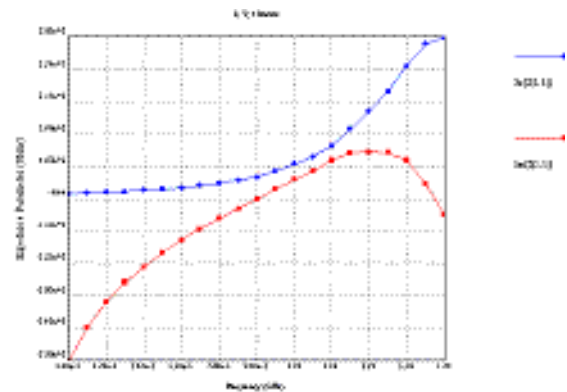
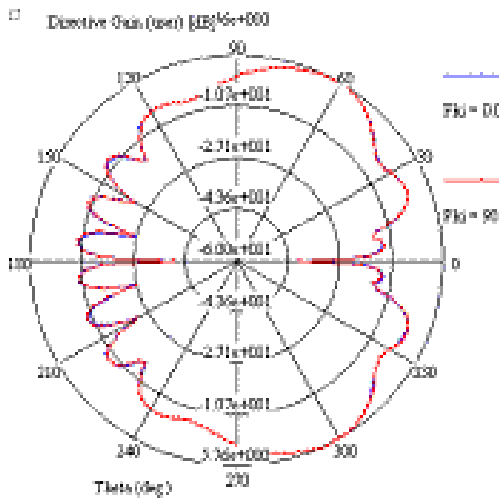


インピーダンスマトリクス  
実部(青)と虚部(赤)

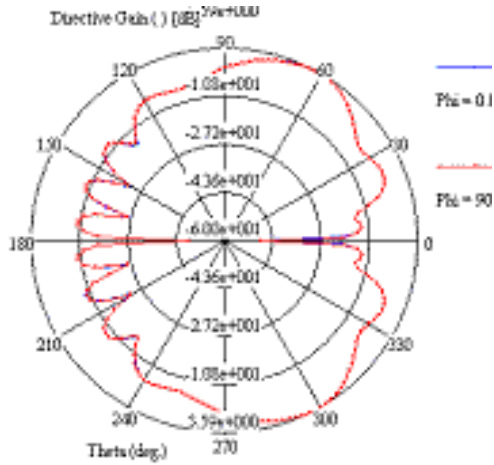
給電線は直線、磁気フリル給電



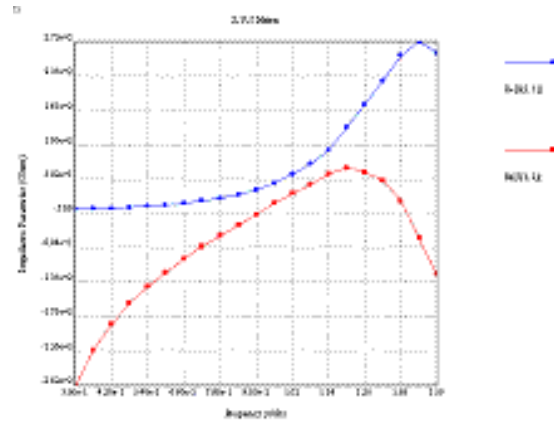
給電線は板、ラインギャップ電位給電



給電線は円筒、ラインギャップ電位給電

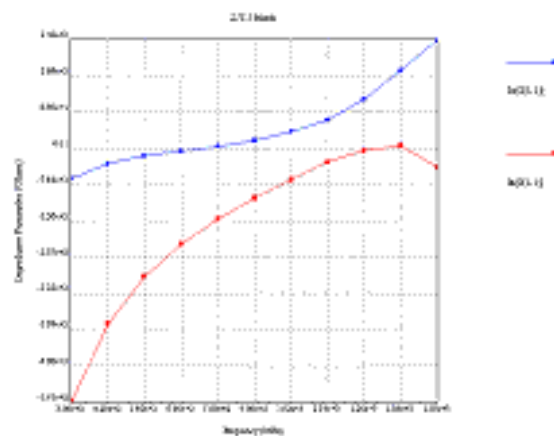
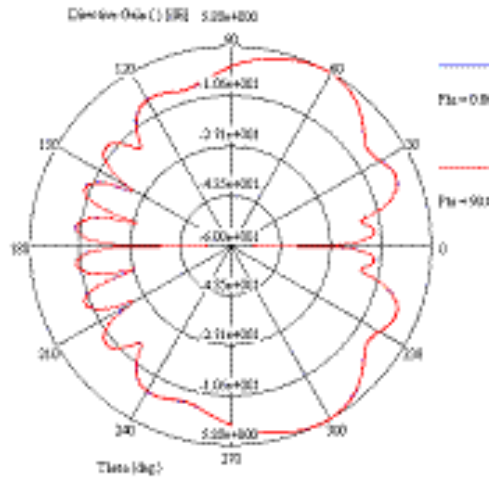


指向性ゲイン



インピーダンスマトリックス  
実部 (青) と虚部 (赤)

給電線は同軸円筒、導波管ソース



### 3 有限の矩形グラウンド面付きのシングルスロットアンテナ

データベースファイル

SlotAnt\_radGap\_5.4waveL.dbs

デルタギャップ電位ソース

SlotAnt\_FrillGap\_5.4waveL.dbs

磁気フリルソース

モデルフォルダー

/Benchmark Examples/Single Slot Antenna/

スロットアンテナは導体板に長さ  $L$ 、幅  $W$  ( $L \gg W$ ) の切り込みを入れ、それをアンテナとしたものである。スロットの幅に高周波電源を接続すると、電界と磁界を生じる。電界はスロットの両端で 0 となるため、 $L = \lambda/2$  となる電界の定在波を生じるとスロットが共振する。ここで  $\lambda$  は波長で、シングルはスロットがひとつ。



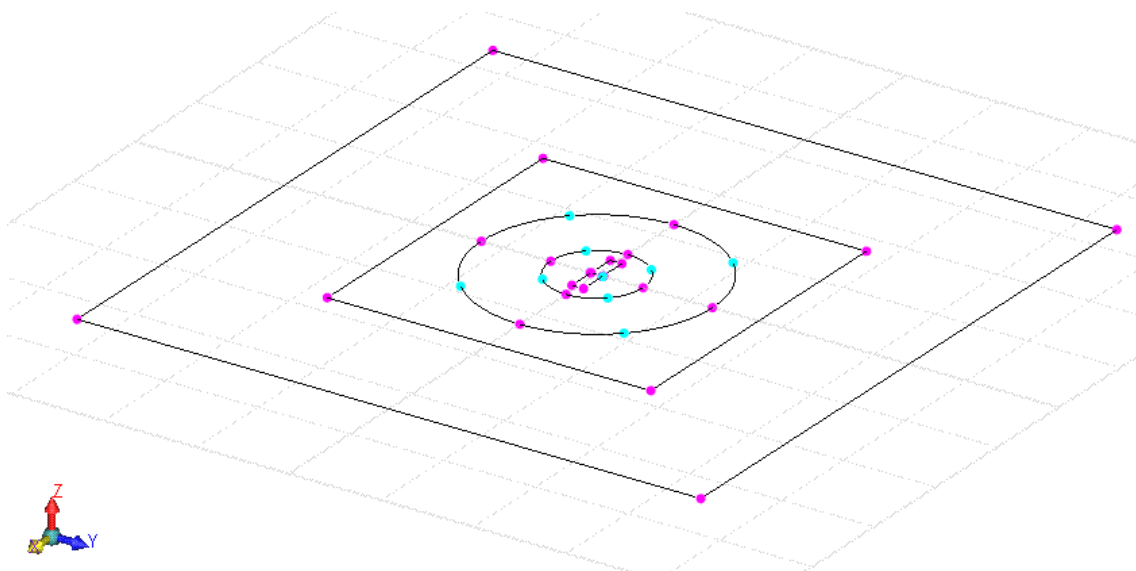
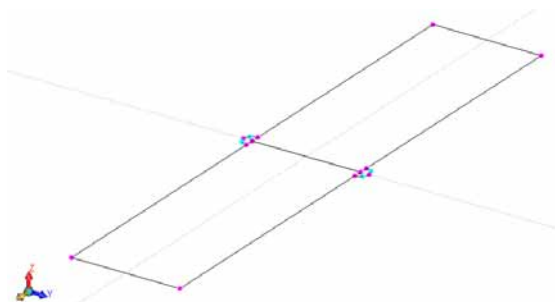
周波数  $f = 300 \text{ MHz} = 300 \times 10^6 \text{ Hz}$  , 波長  $\lambda = c/f = 2.998 \times 10^8 / 3.0 \times 10^8 = 1 \text{ m}$  、  
 モデルでスロットの大きさは、X方向  $L=0.5 \text{ m}$ 、Y方向  $W=0.1 \text{ m}$  、  
 導体板の大きさは、波長の 5.4 倍を用いて、一辺  $5.4 \text{ m}$  である。

モデル形状

スロット形状

ポイント 40  
 セグメント 31  
 サーフェス 8

サーフェスはスロット2、その他6。  
 スロットの中央に給電用のセグメントを設ける。



コンダクタの設定

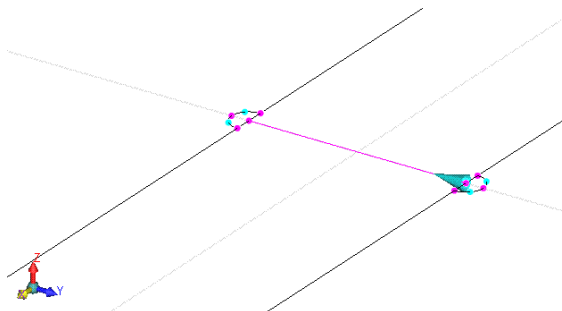
スロットを除いて、すべてのサーフェスを完全導体にする。  
 スロット中央のセグメントを完全導体にする。半径  $0.001 \text{ m}$

デルタギャップ電位ソース

給電

デルタ電位ソース 電位  $1 \text{ V}$ 、位相  $0 \text{ 度}$

磁気フリルソース 電位  $1 \text{ V}$ 、位相  $0 \text{ 度}$   
 内半径  $0.001 \text{ m}$





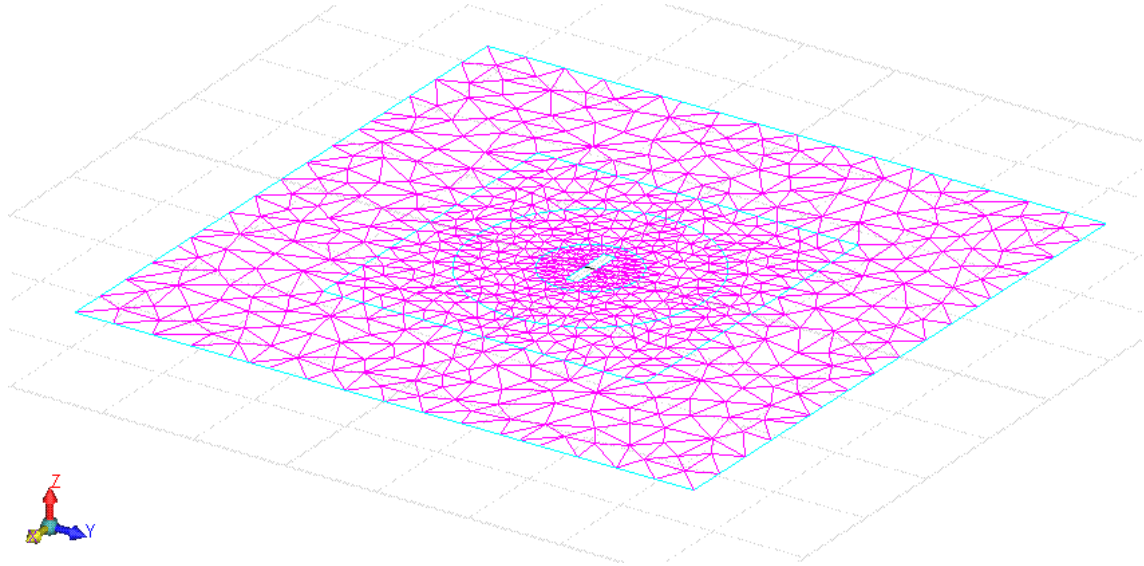
メッシュ

2D 要素 1532

1D 要素 4

導体表面を 2D 要素でメッシュ分割する。

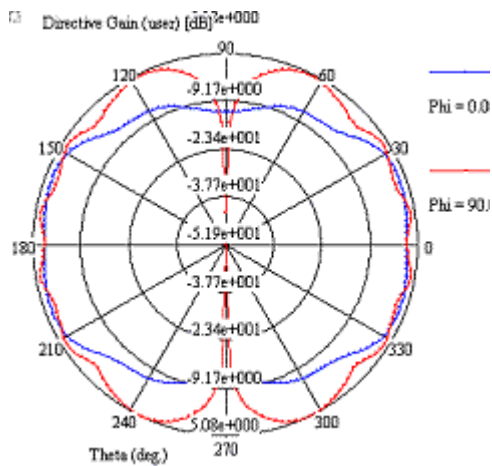
スロットは導体ではない。



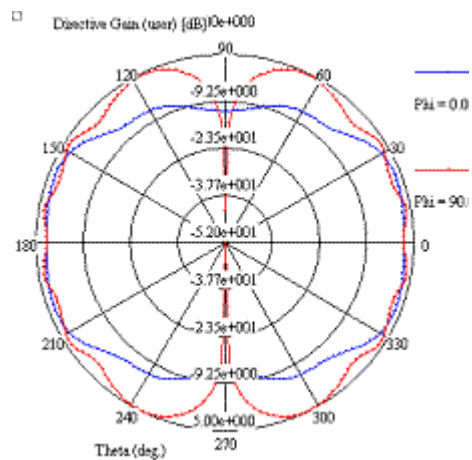
計算結果

指向性利得  $\phi=0$  (青),  $\phi=90$  (赤)

指向性利得



デルタギャップ電位ソース



磁気フリルソース

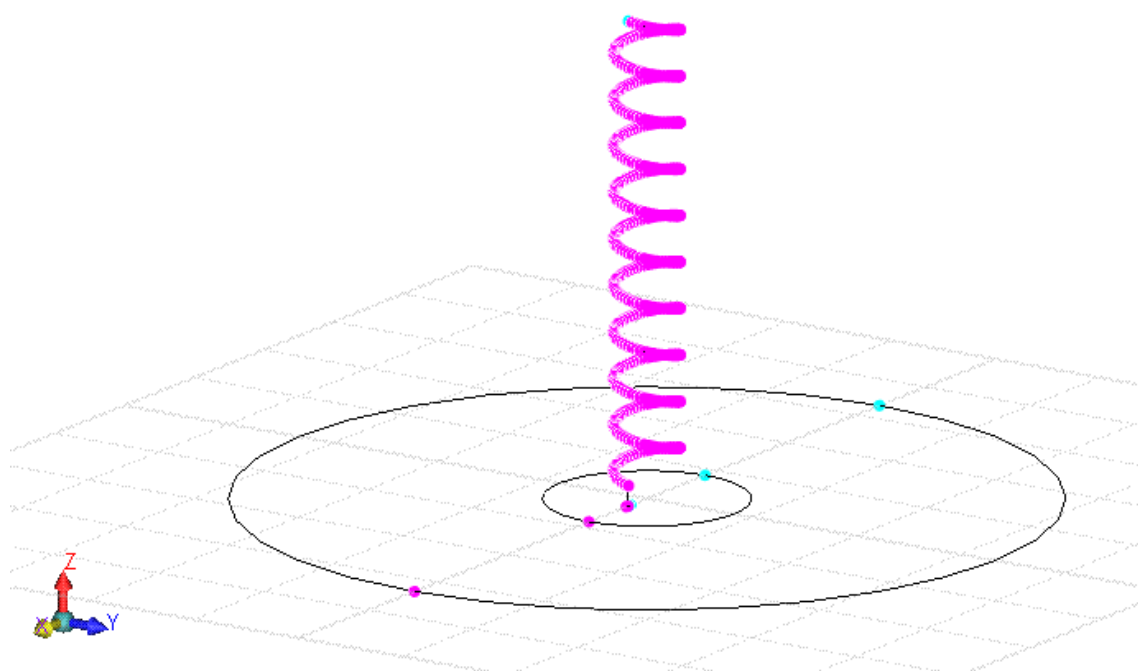
#### 4 有限の円形グラウンド面付きのヘリカルアンテナ

データベースファイル helix\_ReflectionPlate.dbs

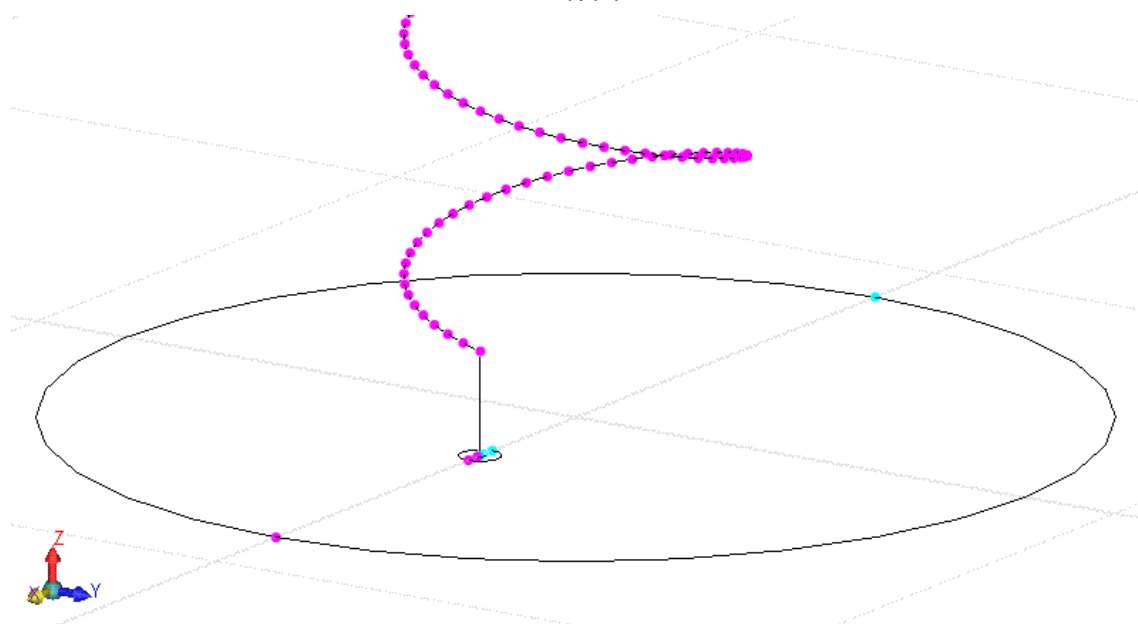
モデルフォルダー /Benchmark Examples/Helix Antenna/

ヘリカル径  $D = 0.318$  m, ピッチ  $P = 0.23064$  m, 巻き数  $N = 10$  である。また、円形導体板は半径 2 m である。また、周波数  $f = 300$  MHz =  $300e6$  Hz, 波長  $\lambda = c/f = 2.998e8 / 3.0e8 = 1$  m である。

## 形状



全体図



アンテナ取り付け部

ポイント 510

セグメント 505

サーフェス 4

コンダクタ

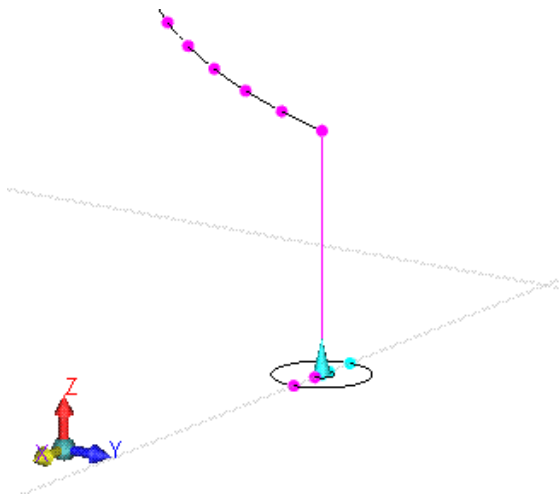
ヘリカルアンテナのセグメントを完全導体とする。半径 0.001 m。

円形グラウンド面のサーフェスを完全導体とする。

ヘリカルアンテナは、Twist Point コマンド  
で形状を作成できる。

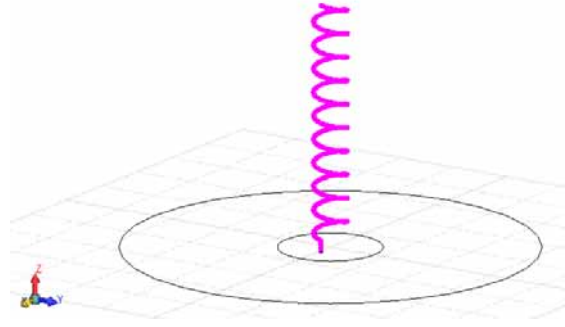
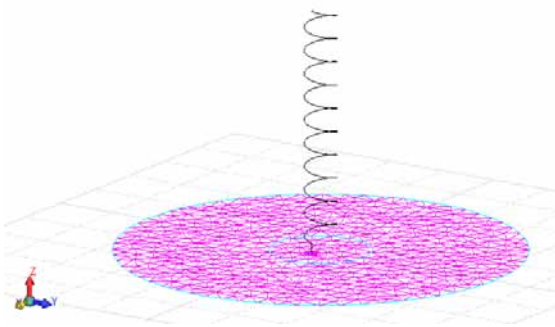
### 給電

アンテナ取り付け部のセグメントに、デルタギャップ電位ソース 電位 1 V, 位相 0 度を与える。

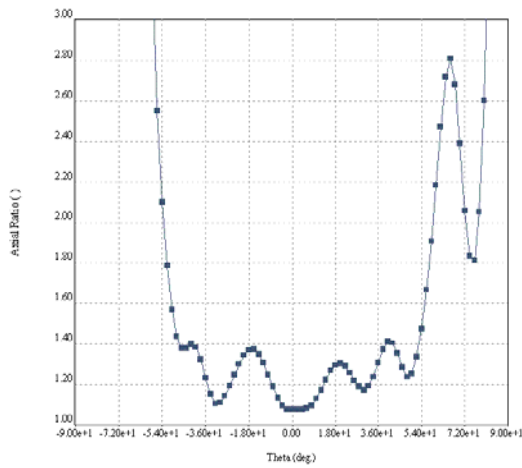


### メッシュ

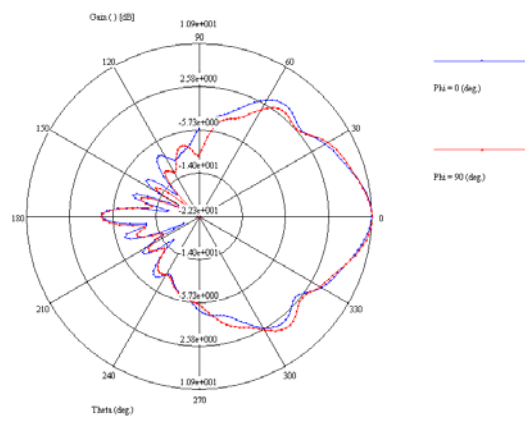
導体のグラウンド面を 2D 要素でメッシュ分割する。 2D 要素 1122  
ヘリカルアンテナ部を 1D 要素でメッシュ分割する。 1D 要素 505



### 計算結果



軸比



電力利得

## 5 L型プローブアンテナ

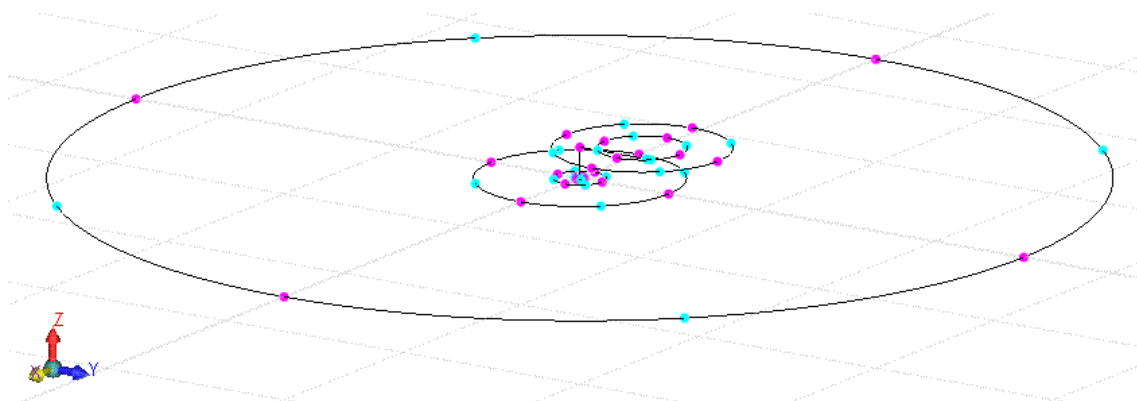
データベースファイル

IEEEAP01Jan\_p19\_LprobeAnt\_rad.dbs

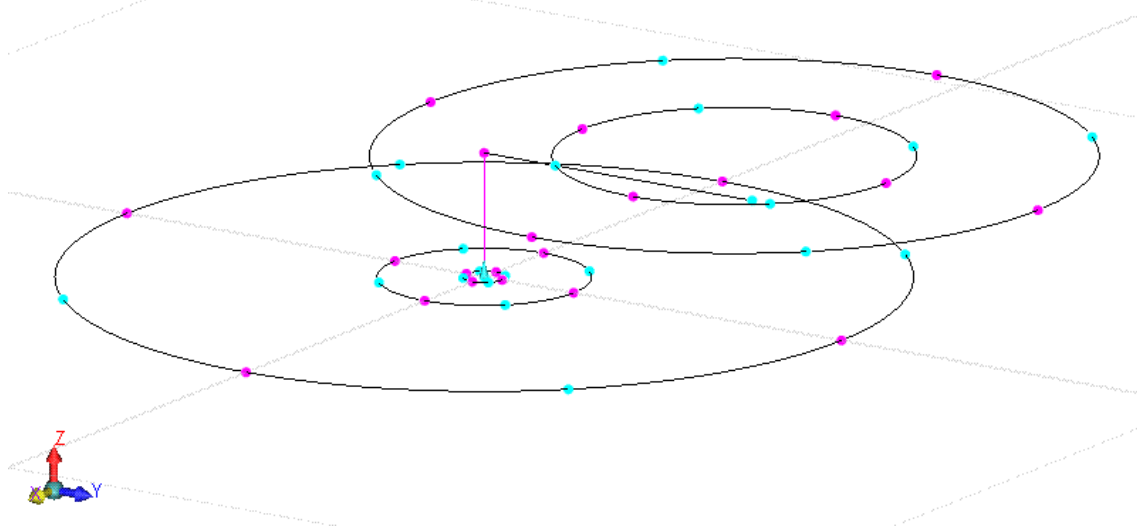
モデルフォルダー

/Benchmark Examples/L-probe Antenna/

L型プローブはZ方向高さ 6 mm, Y方向長さ 15 mm である。上 2 mm のところに半径 17 mm の円形の反射板を設置する。取り付け部のグラウンド面を半径 100 mm の円板でモデル化する。計算周波数  $f$  は 3500 MHz である。



全体図



取り付け部 (デルタギャップ電位ソースも表示)

ポイント 51

セグメント 26

サーフェス 6

### コンダクタ

L型プローブのセグメントを完全導体とする (半径 0.5 mm )。

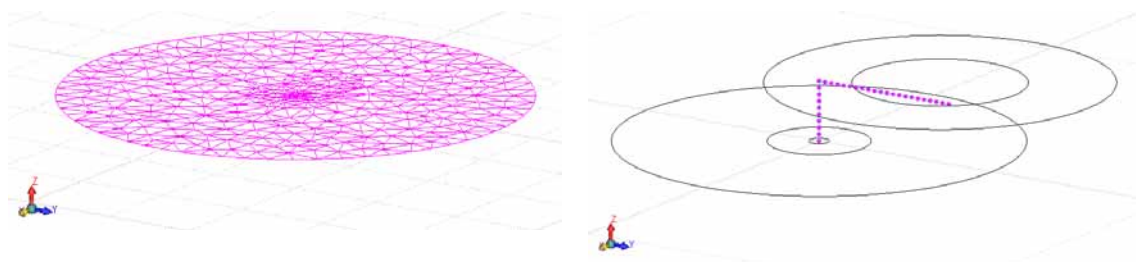
円形グラウンド面、及び上方の小円板のサーフェスを完全導体とする。

## 給電

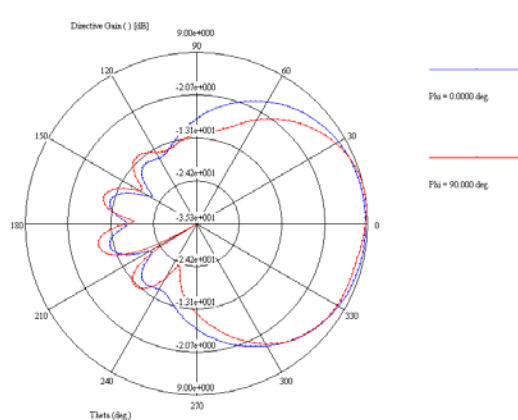
グラウンド面との取り付け部セグメントに、デルタ電位ソース 電位 1 V, 位相 0 度を与える。

## メッシュ

円形グラウンド面、及び上方の小円板を 2D 要素でメッシュ分割する。 2D 要素 770  
L 型プローブを 1D 要素でメッシュ分割する。 1D 要素 30



## 計算結果



指向性ゲイン [dB]

## 6 ワイヤ分岐アンテナ

データベースファイル

IEEEAP94Feb\_p282\_WireJunct.dbs

モデルフォルダー

/Benchmark Examples/Wire-junction Antenna/

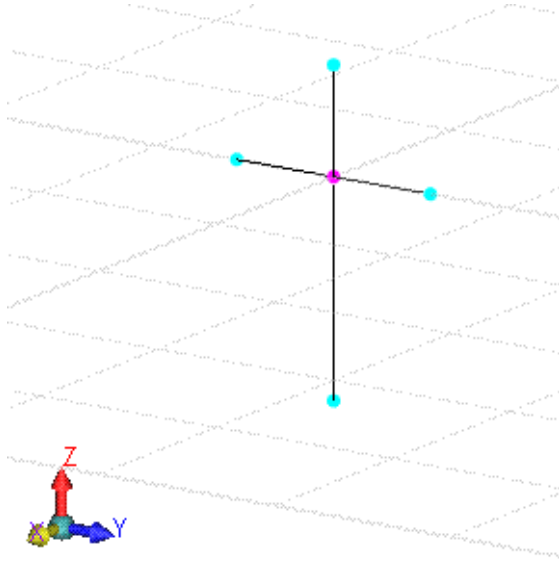
線状の十字分岐アンテナである。アンテナは水平方向は左右に 0.11 m、鉛直方向は上に 0.11 m、下に 0.22 m の長さを持つ。

ソースは入射平面波で、周波数  $f$  は 300 MHz である。伝播方向は -X 方向、入射する電場はそれに鉛直方向である。

## コンダクタ

完全導体 ライン 半径 0.0022 m

形状



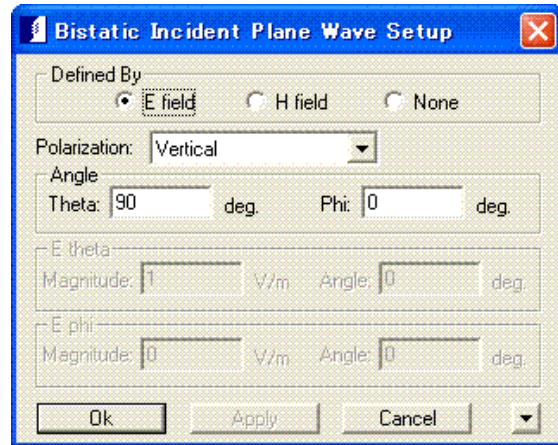
ポイント 5

セグメント 4

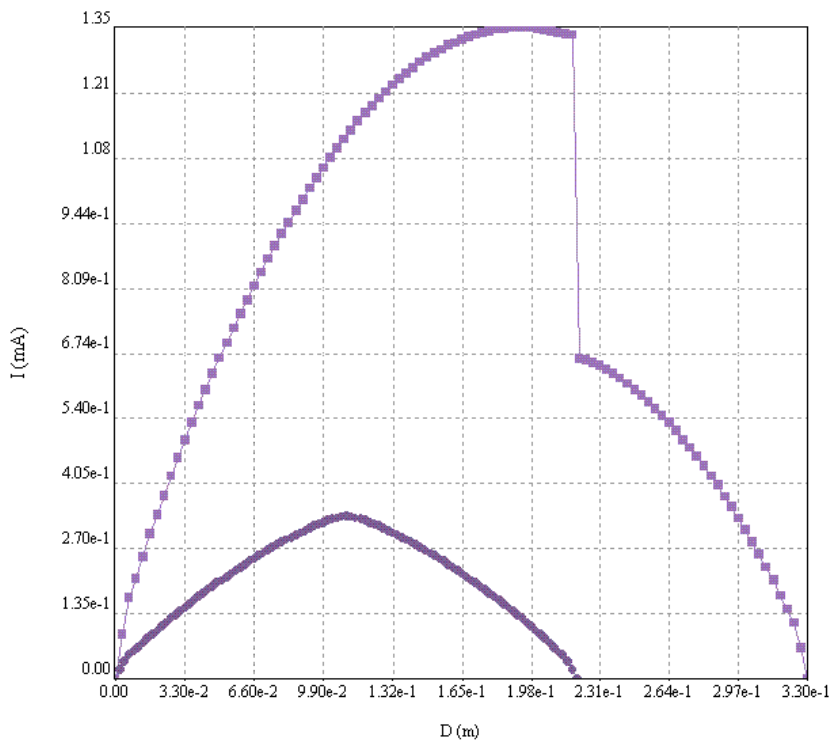
計算結果

Analysis > Field Results で近接場の電磁場を表示できる。ここでは、ワイヤに流れる電流をグラフ図で表示する。

ソース



電界の偏波を Vertical を選択する。波動は正規化される。波動の入射角を  $\theta=90$ ,  $\phi=0$  で指定する。



ワイヤの電流分布 || (mA)  
上側は+Z 方向のワイヤ、下側は+Y 方向のワイヤ

## 7 WR90 ホーンアンテナ

データベースファイル

WR90\_horn\_deltaGap.db

WR90\_horn\_Frill.db

WR90\_horn\_coaxialFeed.db

WR90\_horn\_CoveredAperture\_deltaGap.db

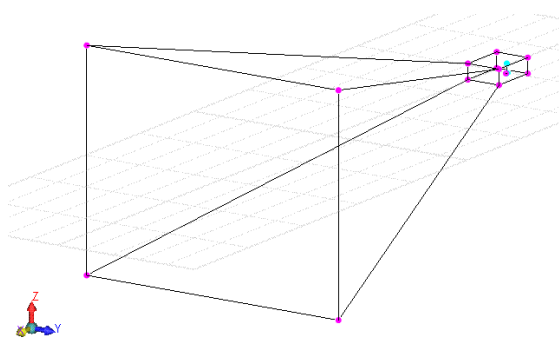
モデルフォルダー

/Benchmark Examples/WR90 horn Antenna/

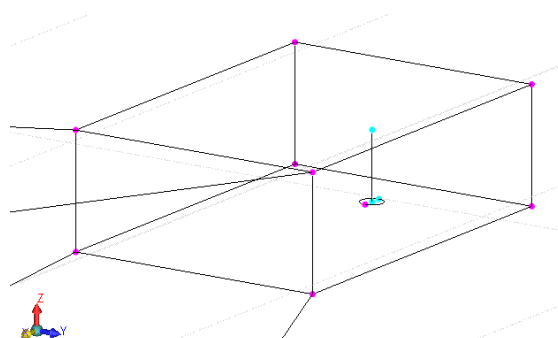
ピラミッド型の方角導波管を用いたホーンアンテナの指向性利得を求める。ソースはデルタギャップ、磁気フリル、同軸給電（導波管）を考慮する。デルタギャップで開口部カバー付きのモデルも考える。周波数は 9300 MHz である。

形状

ポイント 16 , セグメント 22, サーフエス 10 (デルタギャップソースのモデル)



全体図



給電部

コンダクタ

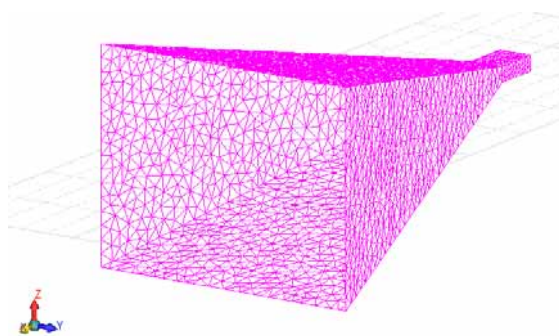
導波管サーフェスを完全導体とする。

給電部のセグメント（半径 0.2 mm）を完全導体とする。

メッシュ

2D 要素 3534

1D 要素 10



導波管のコンダクタサーフェスを 2D 要素で、給電部のコンダクタセグメントを 1D 要素でメッシュ分割する。

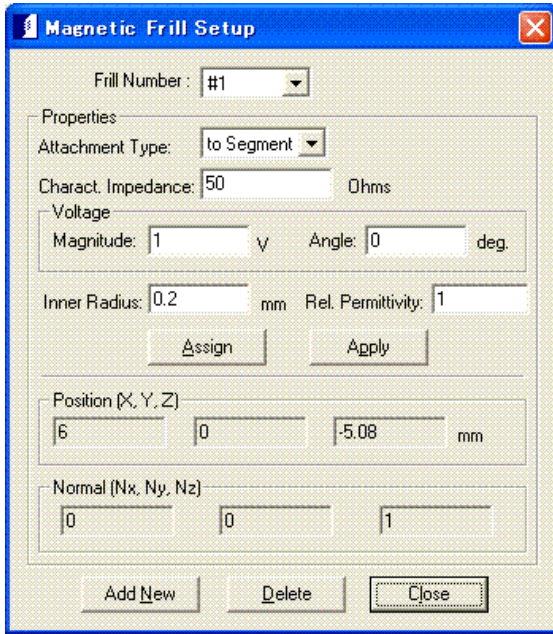


給電

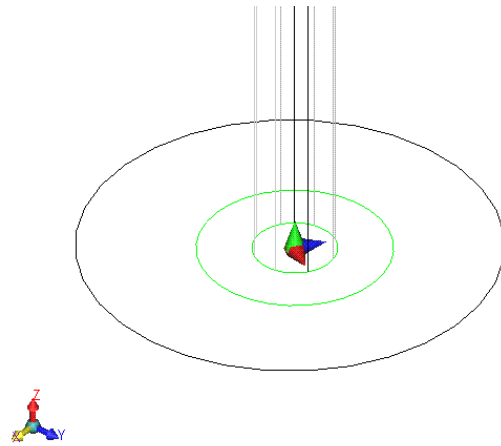
デルタ電位ソース 電界 1 V, 位相 0 度

磁気フリルソース セグメント 内径 0.2 mm 電位 1 V, 0 度、特性インピーダンス 50 Ohms

同軸給電 (導波管) 導波管ソース タイプ Coaxial 電位 1 V, 0 度



磁気フリルソース

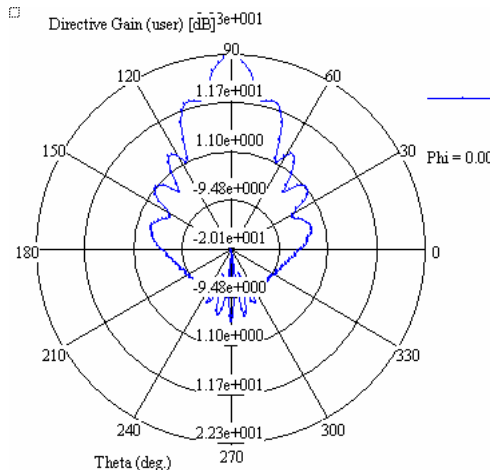


導波管ソース

同軸タイプ (内径 0.2, 外径 0.46 mm)  
赤の円錐は電界方向、青は磁界方向を表す。

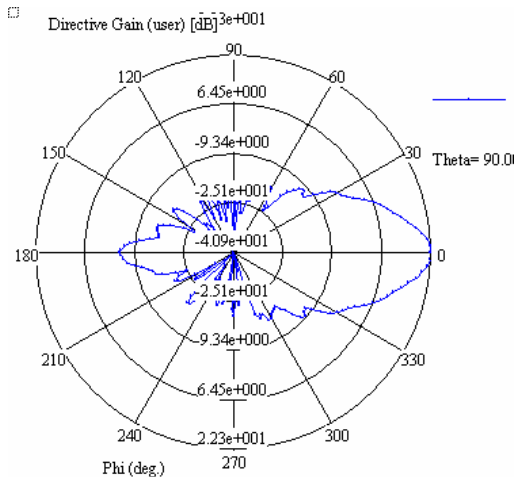
計算結果

デルタギャップ電位ソース



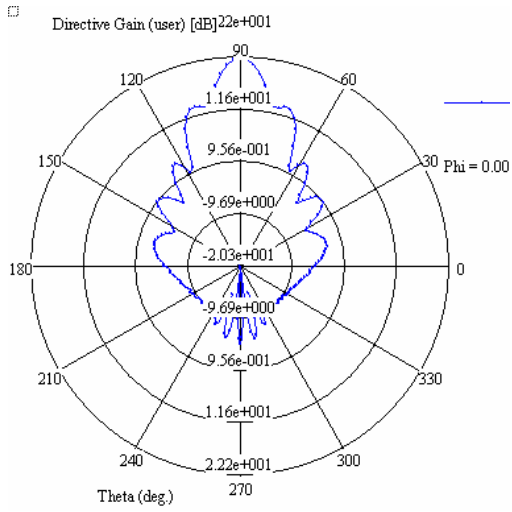
指向性利得 (dB) = 0 度

デルタギャップ電位ソース



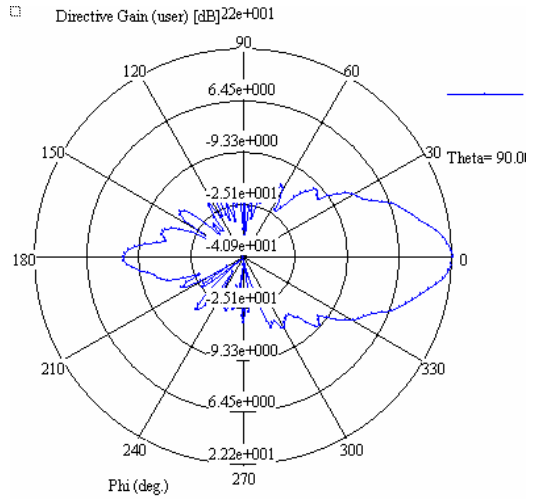
指向性利得 (dB) = 90 度

### 磁気フリルソース



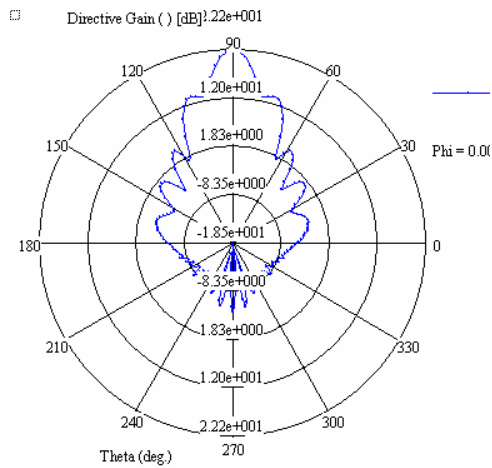
指向性利得(dB) =0 度

### 磁気フリルソース

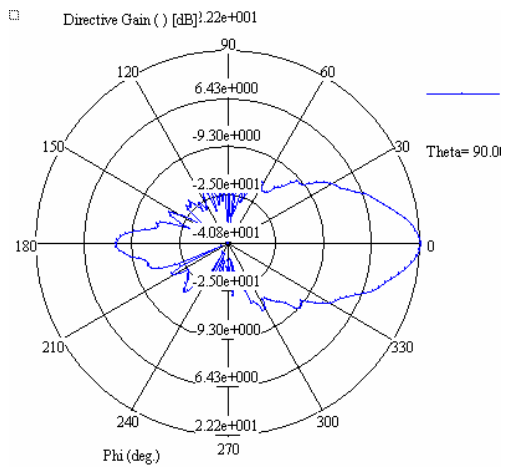


指向性利得(dB) =90 度

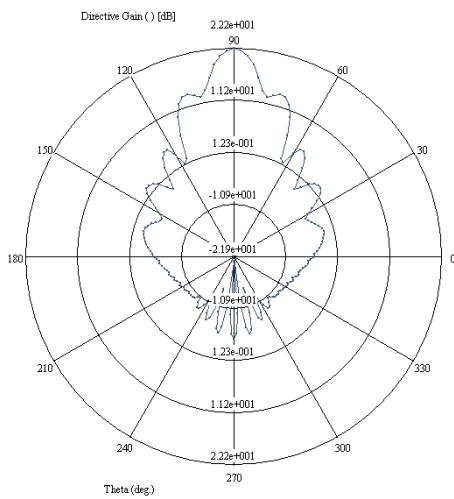
### 同軸導波管ソース



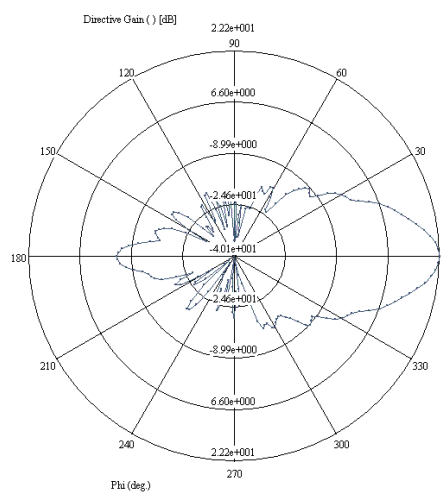
### 同軸導波管ソース



### 開口部カバー付きのデルタ電位ソース



### 開口部カバー付きのデルタ電位ソース



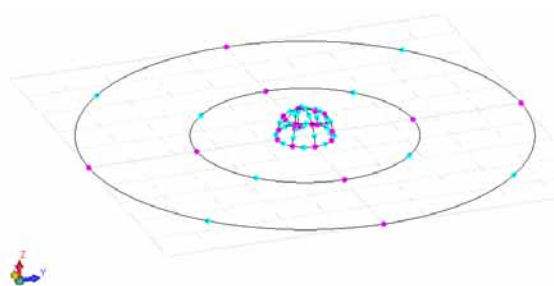
## 8 半球の誘電体共振アンテナ

データベース IEEEAP94July\_p960\_DR\_largeDisk\_SYZ[1.6\_2.2GHz].dbs  
ファイル IEEEAP94July\_p960\_DR\_SYZ\_smallDisk\_StripFed.dbs  
IEEEAP94July\_p960\_DR\_largeDisk\_SYZ[1.6\_2.2GHz]\_coaxialFed.dbs  
モデル /Benchmark Examples/Hemispherical Dielectric Resonator Antenna/  
フォルダー

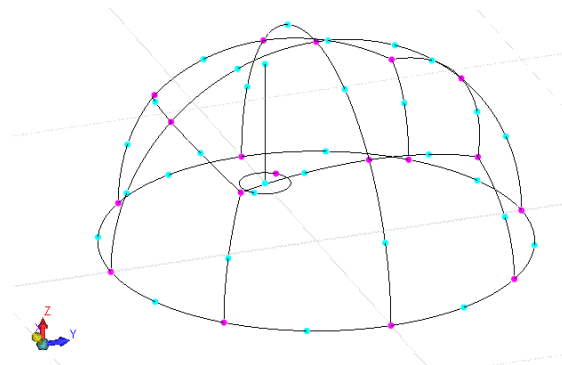
誘電体共振アンテナのSYZマトリックスを計算する。計算周波数は1600 MHz から 2200 MHz までの 30 ステップである。誘電体を取り付けるグラウンド面の大きさにより、largeDisk (半径 200 mm) と smallDisk (半径 100 mm) のモデル化をしている。半球の誘電体は半径 25.4 mm で、その複素比誘電率は (8.9、-0.03382) である。

形状

ポイント 65, セグメント 38, サーフェス 16, ボリューム 1



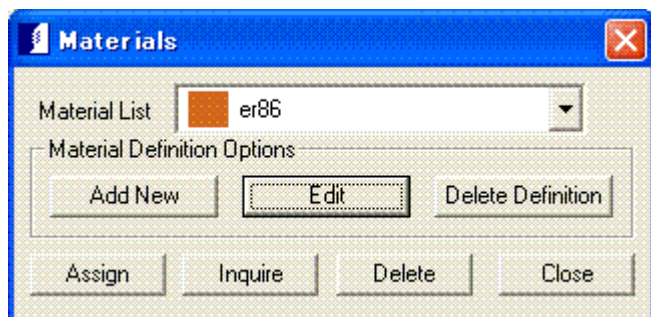
全体図



誘電体と給電部

誘電体のボリュームに材料を設定する。

Physics > Material Table を選択する。Add New ボタンをクリックして、新しい材料 er86 を登録する。名前と色で区別し、その複素比誘電率をセットする。



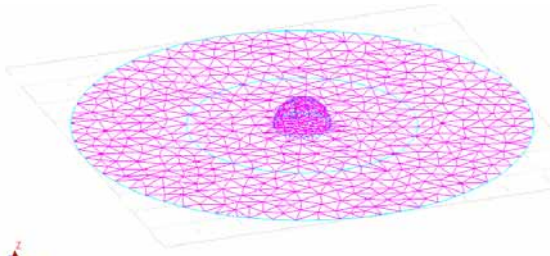
Assign ボタンをクリックして、この材料を設定する誘電体のボリュームを選択する。

コンダクタ

グラウンド面のサーフェスを完全導体とする。

給電部 ラインセグメントを完全導体とする。(半径 0.75 mm)

## メッシュ



## 計算結果

デルタギャップ電位給電、大きいグラウンド面

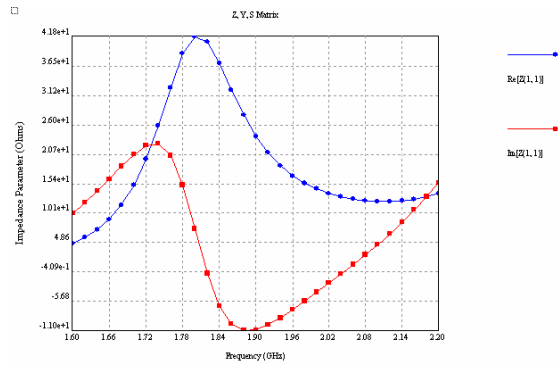
右図で、インピーダンス ( ) の実部 (青) と虚部 (赤) を表示している。

2D 要素 1350

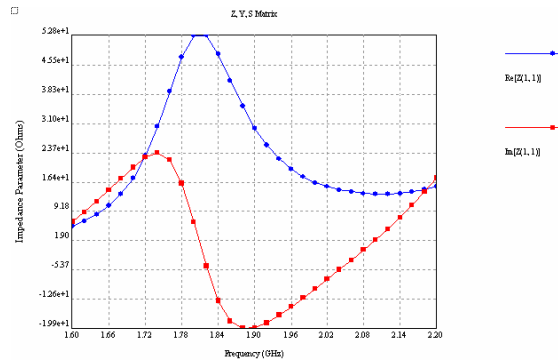
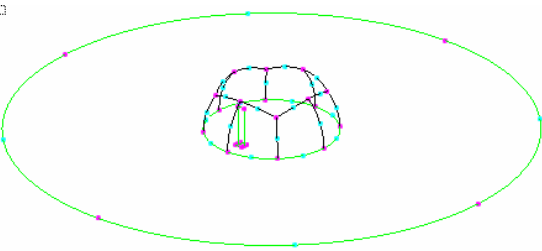
1D 要素 10

グラウンド面及び誘電体表面を 2D 要素でメッシュ分割する。

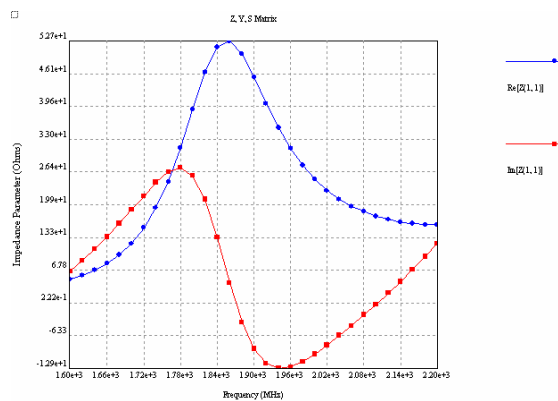
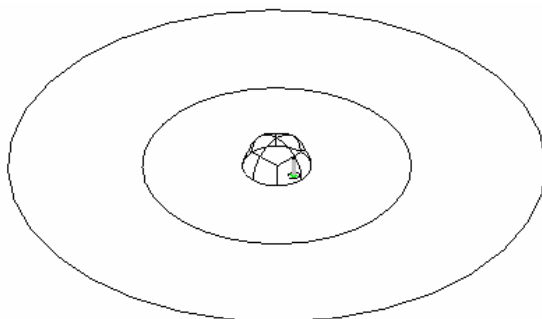
給電部のセグメントを 1D 要素で分割する。



## ストリップ給電、小さいグラウンド面



## 同軸給電 (導波管ソース) 大きいグラウンド面



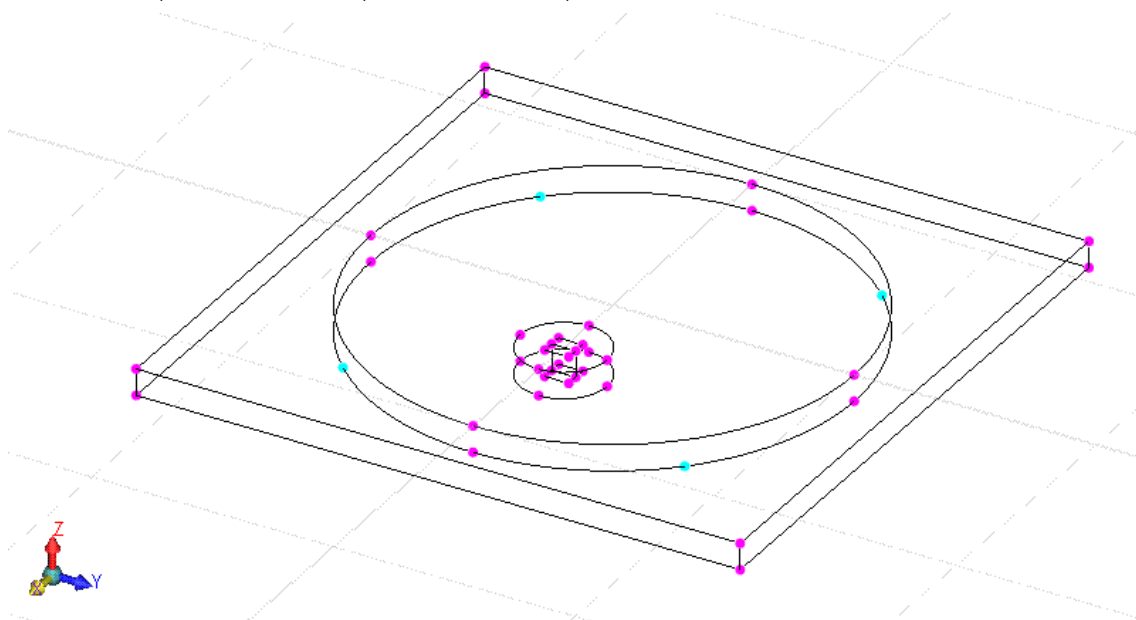
## 9 円形パッチアンテナ (円形マイクロストリップアンテナ)

データベース	IEEEAP91Dec_p1691_diskPatchAnt_SYZ_Ystrip_square50mm.dbs
ファイル	IEEEAP91Dec_p1691_diskPatchAnt_SYZ_Xstrip_square50mm.dbs IEEEAP91Dec_p1691_diskPatchAnt_SYZ_CylFed.dbs IEEEAP91Dec_p1691_diskPatchAnt_SYZ_CoaxFed.dbs IEEEAP91Dec_p1691_diskPatchAnt_TwoWireFed_rad[2.7GHz].dbs
モデルフォルダー	/Benchmark Examples/Disk Patch Antenna/

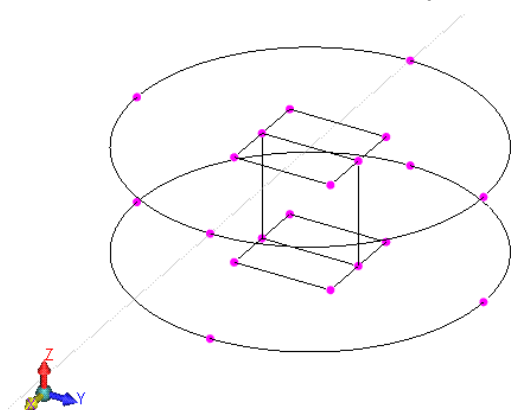
パッチアンテナの特性パラメータを計算する。一辺 50 mm の誘電体上面に半径 20 mm の円形導体板を設置する。下面はすべて導体とする。誘電体の板厚は 2.1844 mm とする。

形状

ポイント 40, セグメント 44, サーフェス 15, ボリューム 1



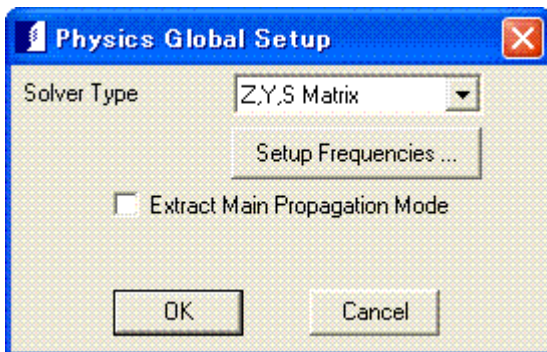
全体図 (Y方向ストリップ給電モデル)



Y方向ストリップ給電部

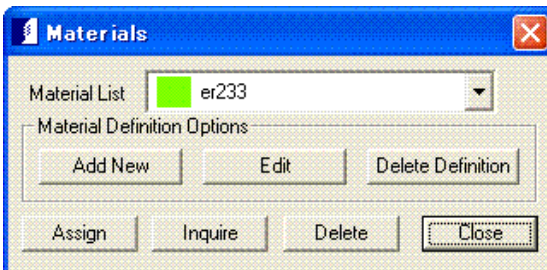
給電をモデル化するために、誘電体の上下面を結ぶ導体のストリップを設ける。

Y方向ストリップは幅 2 mm、高さ 2.1844 mm とする。円中心から X 方向に 7 mm 偏心して設置する。



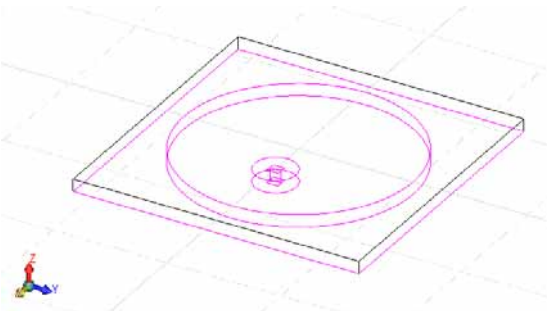
#### 物理グローバル設定

ソルバータイプを Z,Y,S Matrix にセットし、Setup Frequencies ボタンをクリックして、計算周波数を 2000 MHz から 3000 MHz の 40 ステップと設定する。



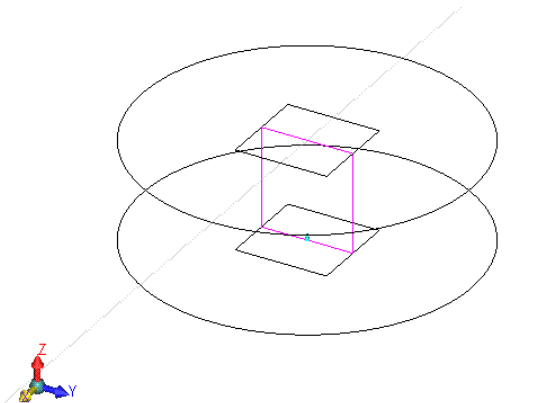
#### 材料設定

誘電体のボリュームに、材料 er233 をセットする。複素比誘電率は(2.33, -0.002796)である。



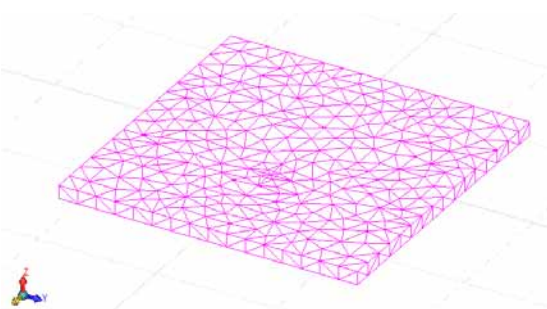
#### コンダクタ設定

上面の円形部、下面全体、及び給電部の Y 方向ストリップのサーフェスを、完全導体のサーフェスとして定義する。



#### ソース設定

給電部の Y 方向ストリップの下部セグメントに、大きさ 1 V、位相 0 度のライン電位を設定する。



導体のサーフェス及び誘電体の表面サーフェスを 2D 要素でメッシュ分割する。

2D 要素 1222

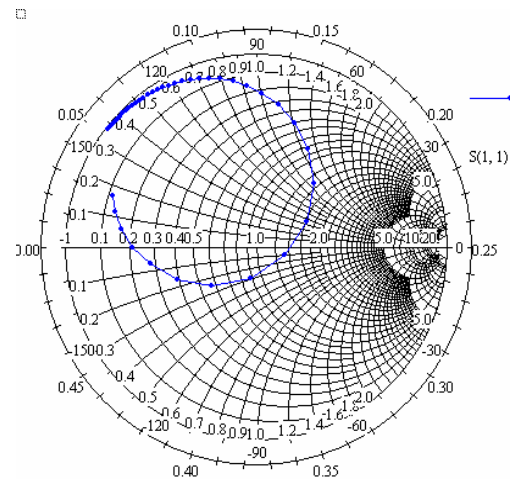
Solution > Solve を選択して求解をスタートする。



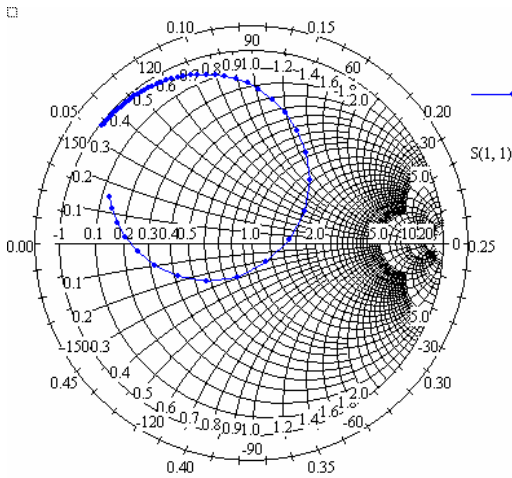
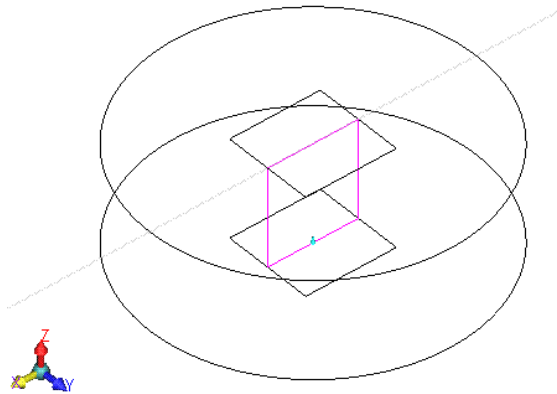
## 計算結果

### Y 方向ストリップによるライン電位給電

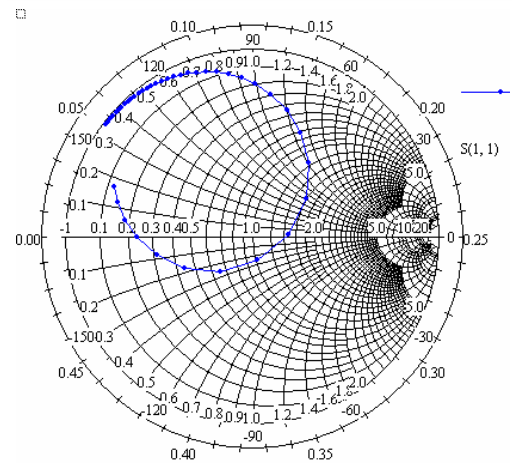
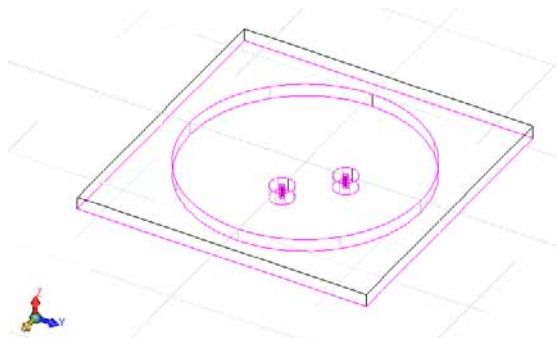
Analysis > Z,Y,S Matrix を選択して、散乱マトリックスのスミスチャートを表示する。ここで 50 の特性インピーダンスで正規化している。



### X 方向ストリップによるライン電位給電



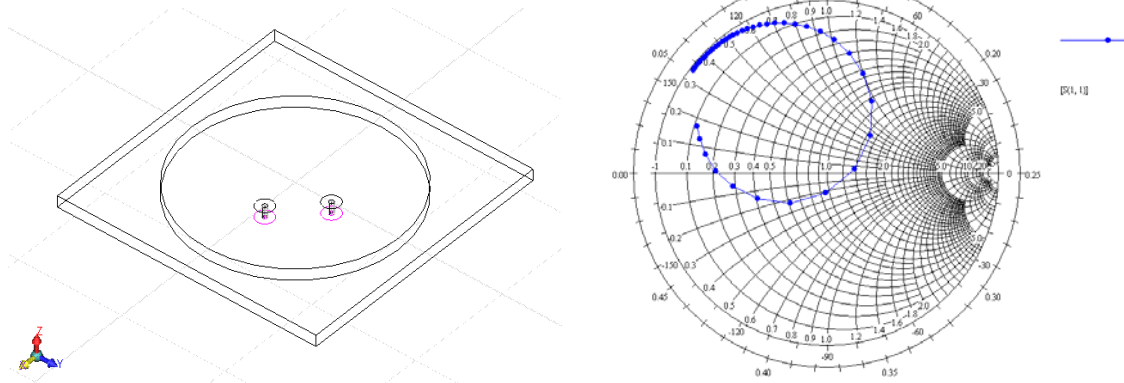
### 円筒導体によるライン電位給電



2つの円筒導体を設定する。その内、X軸上の円筒に対して、下部のセグメントにライン電位給電する。



## 同軸円筒による給電

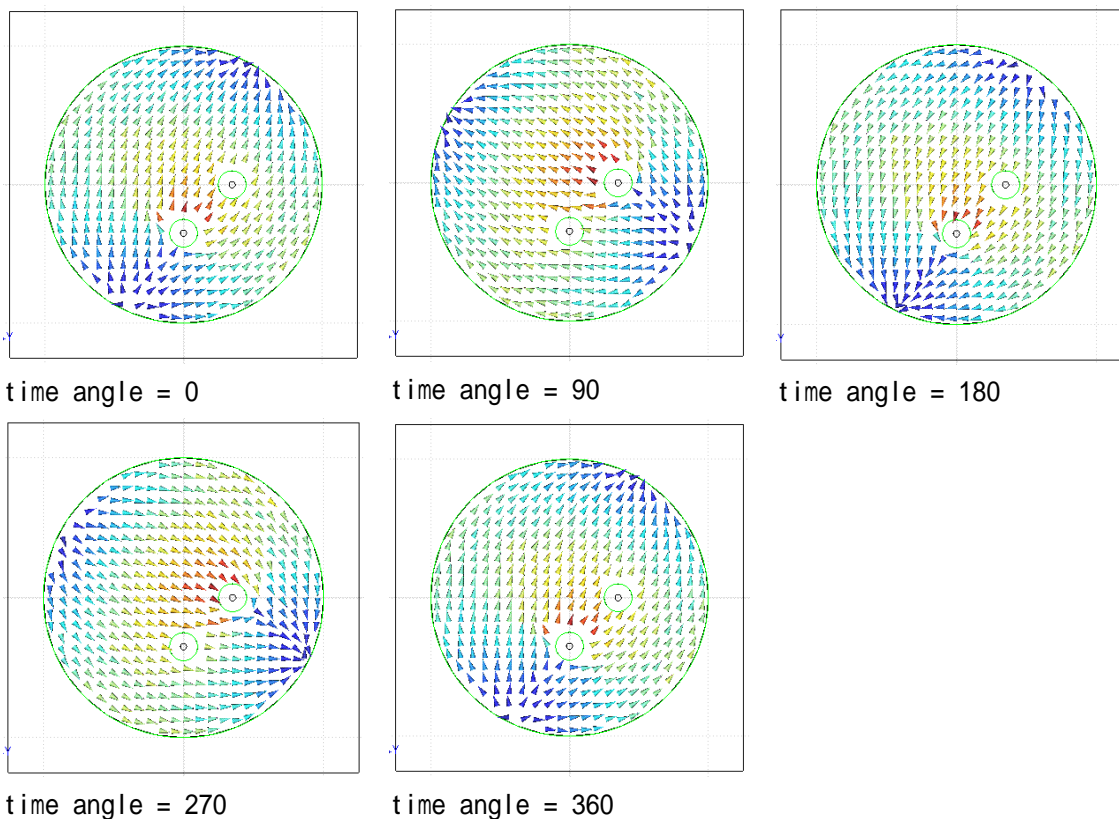


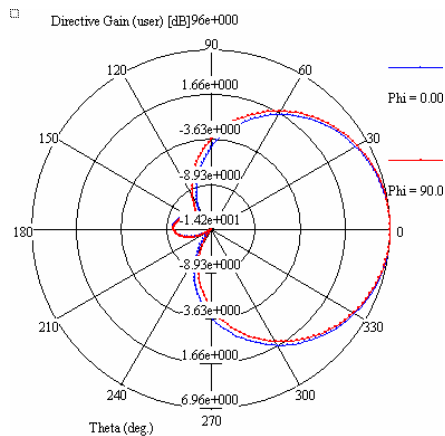
2つの円筒導体（半径0.45 mm）を設定する。これを除いた導体のサーフェスも設定する。給電は円筒下部に導波管ソースを設定する。導波管タイプはCoaxialで、外半径1.6079 mm、内半径0.45 mmである。従って、導波管に比誘電率2.33をセットする。

## フィールド計算

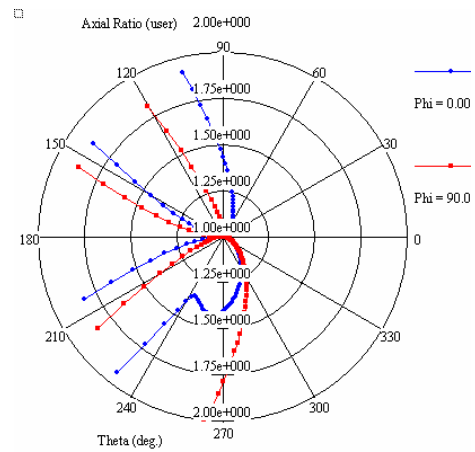
周波数2700 MHzで、フィールド計算を行う。給電はデルタギャップ電位を、誘電体の上下面を結合する2つの導体セグメントに与える。

次の図は円形マイクロストリップ上の電流密度の矢線図である。これから、アンテナが円偏波であることがわかる。





指向性利得 (dB)



軸比

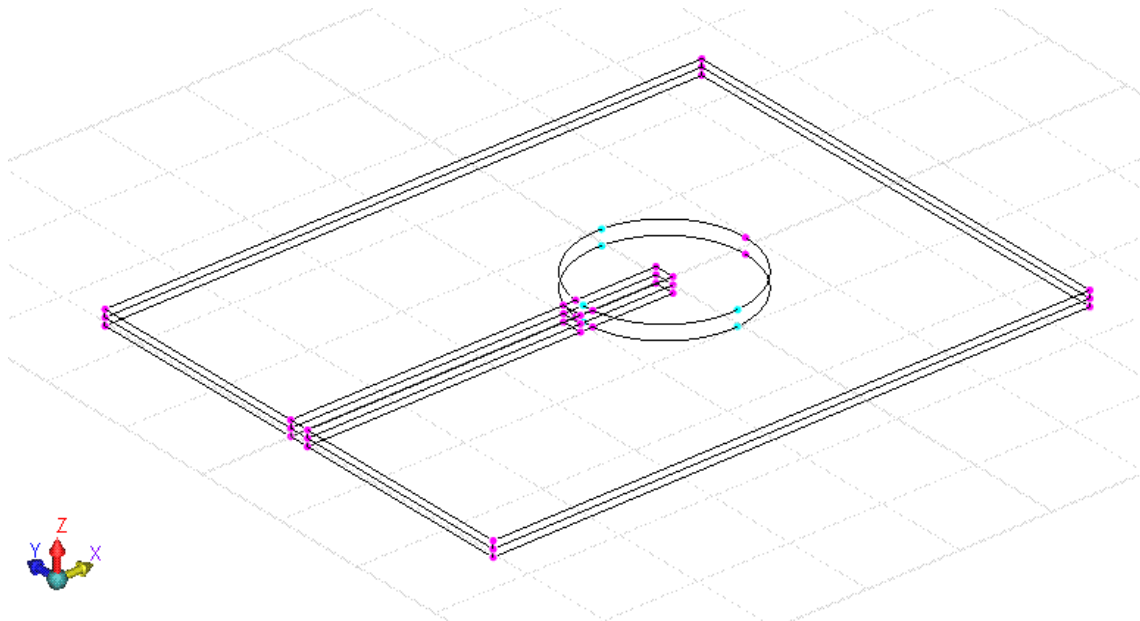
### 1 0 給電線と円形パッチアンテナ

データベース IEEEP89Aug\_p949\_CoupledFedCircularPatchAnt\_SYZ[2.8\_3.15GHz].  
 ファイル dbs  
 モデル /Benchmark Examples/Coupled\_fed Circular Patch Antenna/  
 フォルダー

給電線付きのパッチアンテナの特性パラメータを計算する。

形状

ポイント 42, セグメント 58, サーフェス 25, ボリューム 2



全体図

誘電体の大きさは X 方向 129 mm、Y 方向 100 mm、板厚 3.18 mm である。板厚方向に 2 層に分割して、板厚中心にマイクロストリップの給電線を付ける。

#### 物理グローバル設定

ソルバータイプを Z,Y,S Matrix にセットし、Setup Frequencies ボタンをクリックして、計算周波数を 2800 MHz から 3150 MHz の 7 ステップ (50 MHz 刻み) と設定する。

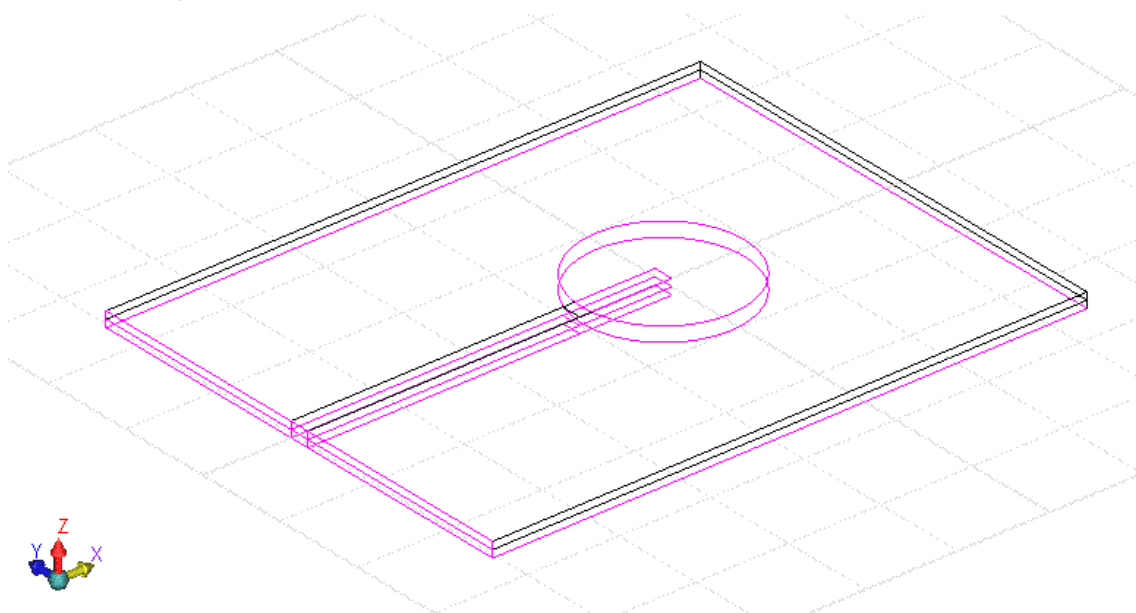
#### 材料特性

誘電体の材料として、名前 Dielectric 4 を誘電体のボリューム 2 個に設定する。  
比誘電率は 2.66 である。

#### コンダクタ設定

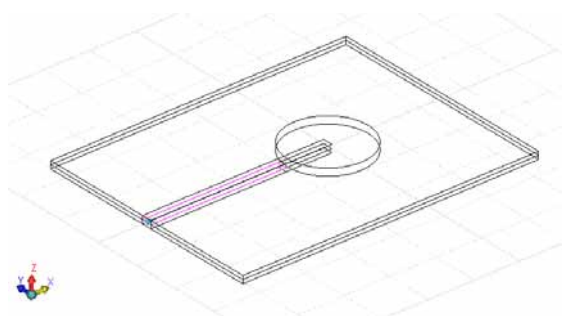
導体のサーフェスを完全導体として設定する。

導体サーフェスは、誘電体上面の円形パッチ、誘電体下面全体、及び誘電体中央面の給電線部分である。

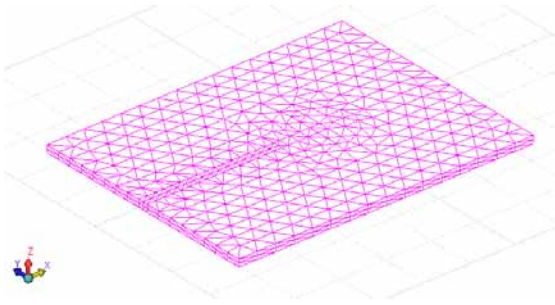


コンダクタのサーフェス (ピンクのセグメントで囲まれたサーフェス)

#### 給電



板厚中心のマイクロストリップ線のサーフェスから、端部セグメントにライン電位ギャップソースを給電する。



導体のサーフェス及び誘電体の表面サーフェスを 2D 要素でメッシュ分割する。

2D 要素 1677

### 計算結果

Analysis > Z,Y,S Matrix を選択して、散乱マトリックスのスミスチャートと、直交プロットを表示する。

