

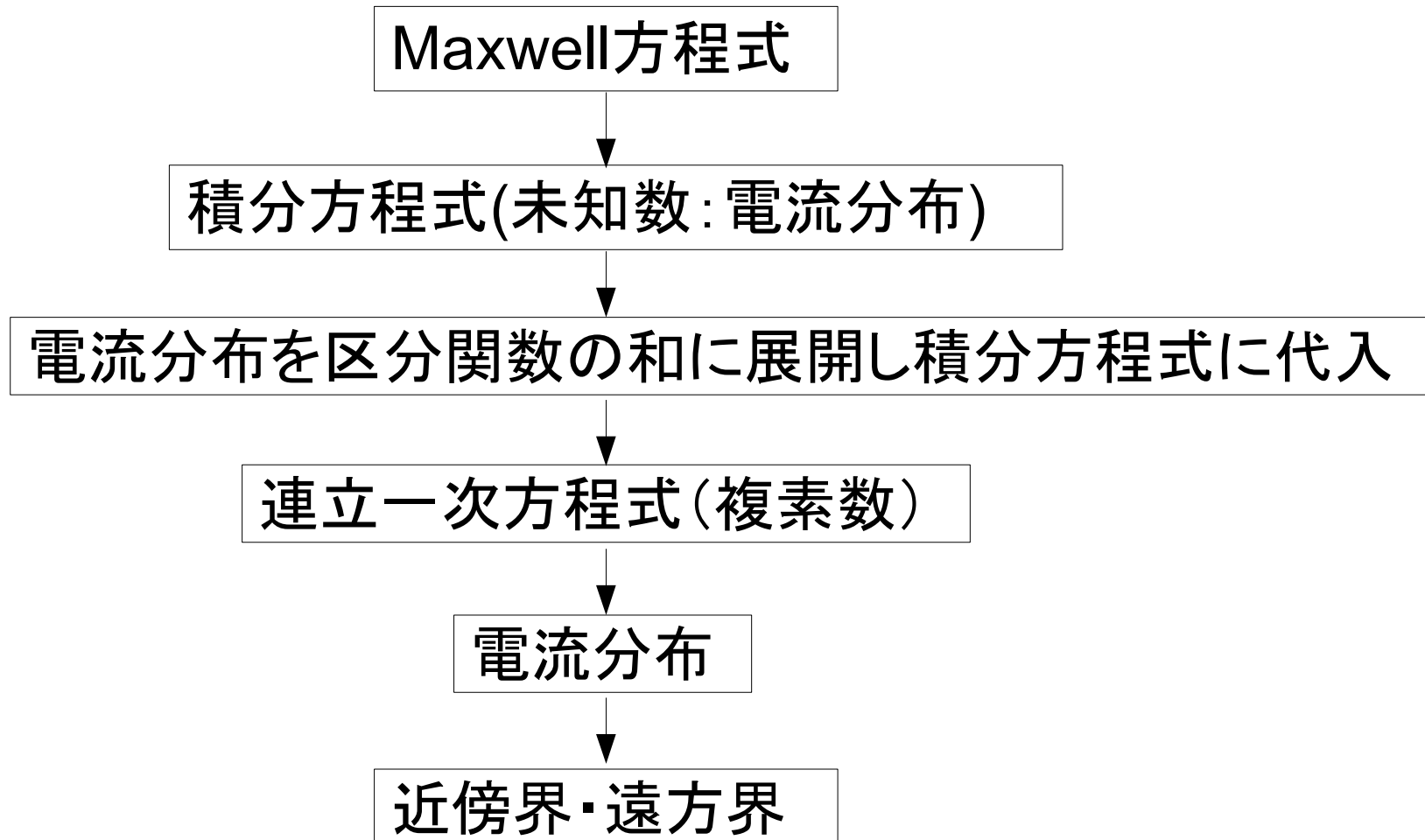
EEMセミナー

EEM-MOM(モーメント法)

株式会社EEM

1. モーメント法

電磁界を厳密に数値計算する手法の一つ



モーメント法の意味:

- ・電流分布を区分関数で展開することに由来する
- ・積分方程式法または境界要素法とも呼ばれる

長所:

- ・線状アンテナを極めて効率よく計算することができる
(→このために計算機的能力が低い初期に最も普及した)
- ・形状の自由度が非常に高い
- ・計算のパラメータがないので使いやすい

短所:

- ・線分形状で表わされないもの(面、物体、誘電体)では未知数の数が急激に増えて計算時間が増える

EEM-MOMの計算対象:

- ・線状または面状の「完全導体」に限定される
- ・誘電体については上の「短所」の通りであり、通常はFDTD法が適している(→EEM-FDM参考)

計算時間:

要素数の3乗に比例する

- ・連立一次方程式の求解が大部分を占める

必要メモリー:

要素数の2乗に比例する

- ・連立一次方程式の行列が大部分を占める
- ・複素数であるから単精度で8バイト、対称行列であるから全体の半分ですむ

→必要メモリー=4N²バイト (N:要素数)

- ・現在のPCでの要素数の上限は20000程度=1.6GB

計算対象の上限:

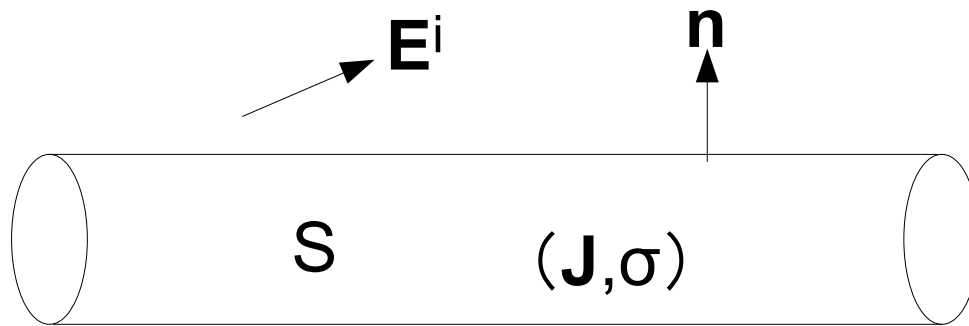
- ・要素の長さは波長の1/10が標準的
 - ・線状では長さ 2000 λ まで
 - ・面状では広さ 10 λ X 10 λ まで(=100 * 100 * 2)
- これから上限周波数が決まる。下限周波数はない。

計算モデル: 電界の分解、境界条件、細線近似

完全導体に既知の電界 \mathbf{E}^i が印加され、その表面 S 上に電流 \mathbf{J} と電荷 σ が生じるとする。

その電流と電荷により発生する電界を \mathbf{E}^s とする。

全電界は $\mathbf{E} = \mathbf{E}^i + \mathbf{E}^s$ となり、 S 上での境界条件は $\mathbf{n} \times (\mathbf{E}^i + \mathbf{E}^s) = \mathbf{0}$ となる。(\mathbf{n} : 法線ベクトル)



有限の太さを持った線分

↓ 細線近似



太さを持たない線分

$$\mathbf{n} \times \mathbf{E}^s = -\mathbf{n} \times \mathbf{E}^i \quad (\text{on } S)$$

$$\mathbf{E}^s = -j\omega \mathbf{A} - \nabla \Phi$$

$$\mathbf{A} = \mu \iint_S \mathbf{J} \frac{e^{-jkR}}{4\pi R} dS$$

$$\Phi = \frac{1}{\epsilon} \iint_S \sigma \frac{e^{-jkR}}{4\pi R} dS$$

$$\sigma = \frac{-1}{j\omega} \nabla \cdot \mathbf{J} \quad (\text{連続の式})$$

$$-E_l^i = -j\omega A_l - \frac{\partial \Phi}{\partial l} \quad (\text{on } S)$$

$$\mathbf{A} = \mu \int_{axis} \mathbf{I}(l) \frac{e^{-jkR}}{4\pi R} dl$$

$$\Phi = \frac{1}{\epsilon} \int_{axis} \sigma(l) \frac{e^{-jkR}}{4\pi R} dl$$

$$\sigma = \frac{-1}{j\omega} \frac{dI}{dl}$$

A: ベクトルポテンシャル
Φ: スカラーポテンシャル
ε: 誘電率
μ: 透磁率

離散化：

線分を多数の要素で分割する。

各要素の始点に“-”、終点に“+”の記号をつける。

前頁の式をm番目の要素の中心で離散化すると以下の式を得る。

$$-E_l^i(m) = -j\omega A_l(m) - \frac{\Phi(m^+) - \Phi(m^-)}{\Delta l_m}$$

$$A(m) = \mu \sum_n I(n) \int_{\Delta l_n} \frac{e^{-jkR}}{4\pi R} dl$$

$$\Phi(m^+) = \frac{1}{\epsilon} \sum_n \sigma(n^+) \int_{\Delta l_n^+} \frac{e^{-jkR}}{4\pi R} dl$$

$$\sigma(n^+) = \frac{-1}{j\omega} \frac{I(n+1) - I(n)}{\Delta l_n^+}$$



第一式の両辺に Δl_n をかけて

$$\Psi(n, m) \equiv \frac{1}{\Delta l_n} \int_{\Delta l_n} \frac{e^{-jkR_m}}{4\pi R_m} dl$$

と定義すると次式を得る。

$$\begin{aligned} -E_l^i(m) \Delta l_m &= -j\omega\mu \sum_n I(n) (\Delta l_m \cdot \Delta l_n) \Psi(n, m) \\ + \frac{1}{j\omega\epsilon} \sum_n & [\{I(n+1) - I(n)\} \Psi(n^+, m^+) - \{I(n) - I(n-1)\} \Psi(n^-, m^-)] \\ &= -j\omega\mu \sum_n I(n) (\Delta l_m \cdot \Delta l_n) \Psi(n, m) \\ + \frac{1}{j\omega\epsilon} \sum_n & I(n) [\{\Psi(n^-, m^+) - \Psi(n^+, m^+)\} - \{\Psi(n^-, m^-) - \Psi(n^+, m^-)\}] \end{aligned}$$

N個の未知数 $I(n)$ に関するN個の式であるから、行列表示を
すると以下のようなになる。 Z をインピーダンス行列と呼ぶ。

$$\sum_{n=1}^N Z(m, n) I(n) = V(m) \quad (m=1 \dots N)$$

$$V(m) = E_l^i(m) \Delta l_m$$

$$Z(m, n) = \frac{-jZ}{k} [\{\Psi(n^+, m^+) - \Psi(n^+, m^-) - \Psi(n^-, m^+) + \Psi(n^-, m^-)\} - k^2(\Delta l_m \cdot \Delta l_n) \Psi(n, m)]$$

$$k \equiv \omega \sqrt{\epsilon \mu} \quad (\text{波数})$$

$$Z \equiv \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \quad (\text{波動インピーダンス})$$

行列要素の計算

$m \neq n$ のときは

$$\Psi(n, m) = \frac{e^{-jkR_{mn}}}{4\pi R_{mn}}$$

とする。ここで R_{mn} は要素 m の中心と要素 n の中心との距離。

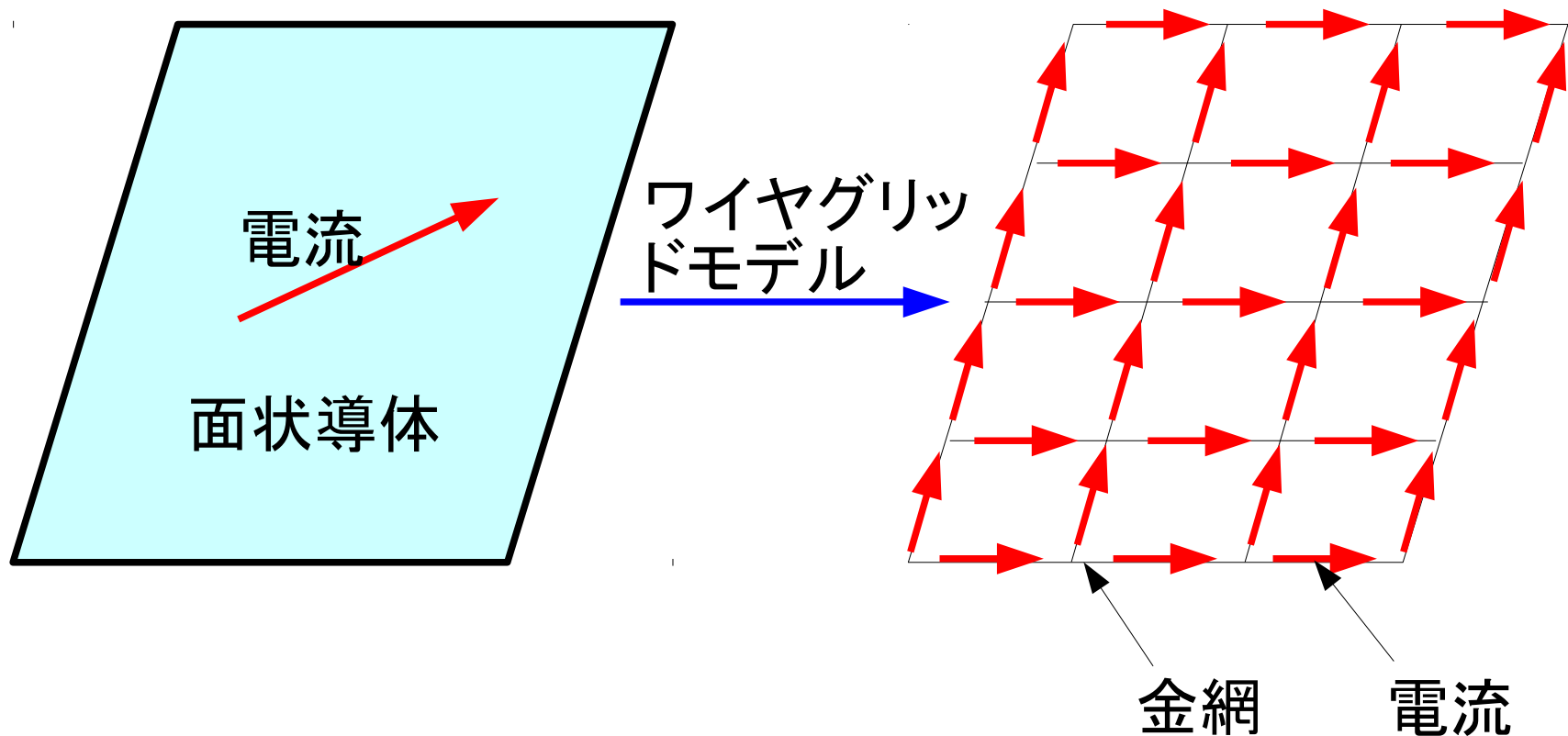
m^+, n^+ 等についても同様。

これからインピーダンス行列は対称($Z(m, n) = Z(n, m)$)になる。
 $m = n$ のときは $R_{mn} = 0$ となり上の式は発散するので、細線近似を解除し、以下のように計算する(境界要素法の定石)。

$$\begin{aligned} \Psi(n, n) &= \frac{1}{\Delta l_n} \int_{n^-}^{n^+} \frac{1}{4\pi R_n} dl = \frac{1}{4\pi \Delta l_n} \int_{-\frac{\Delta l_n}{2}}^{+\frac{\Delta l_n}{2}} \frac{1}{\sqrt{l^2 + a_n^2}} dl \\ &= \frac{1}{2\pi \Delta l_n} \log \left\{ \frac{\Delta l_n}{2a_n} + \sqrt{\left(\frac{\Delta l_n}{2a_n}\right)^2 + 1} \right\} \quad (a_n: \text{要素}n\text{の半径}) \end{aligned}$$

ワイヤグリッドモデル

面状導体については以下のようなワイヤグリッドモデルを考えると、線分上の計算方法をそのまま使用することができる。



連立一次方程式

以上で得られた連立一次方程式を解くと、線分上の電流分布が得られる。

連立一次方程式の解法としては以下の2通りを考える。
行列要素、解、右辺ベクトルはすべて複素数である。

(1)修正コレスキー法(直接法)
計算時間は要素数だけで決まる。
四則演算は $N^3/3$ 回。

(2)共役勾配法(反復法)
反復計算であるから、計算時間は収束状況で変わる。
反復回数が $N/6$ 以下のとき(1)より計算時間が短くなる。
収束状況は計算モデルで決まる。

入射電磁界

連立一次方程式の右辺ベクトルは入射電磁界により与えられる。

そのモデルとして以下の2通りを考える。

(1)給電点

アンテナをモデル化したものである。導線上の1点に給電電圧を与える。

$$V(m) = \begin{cases} V_i & m \in \text{給電点 } i \\ 0 & \text{それ以外} \end{cases}$$

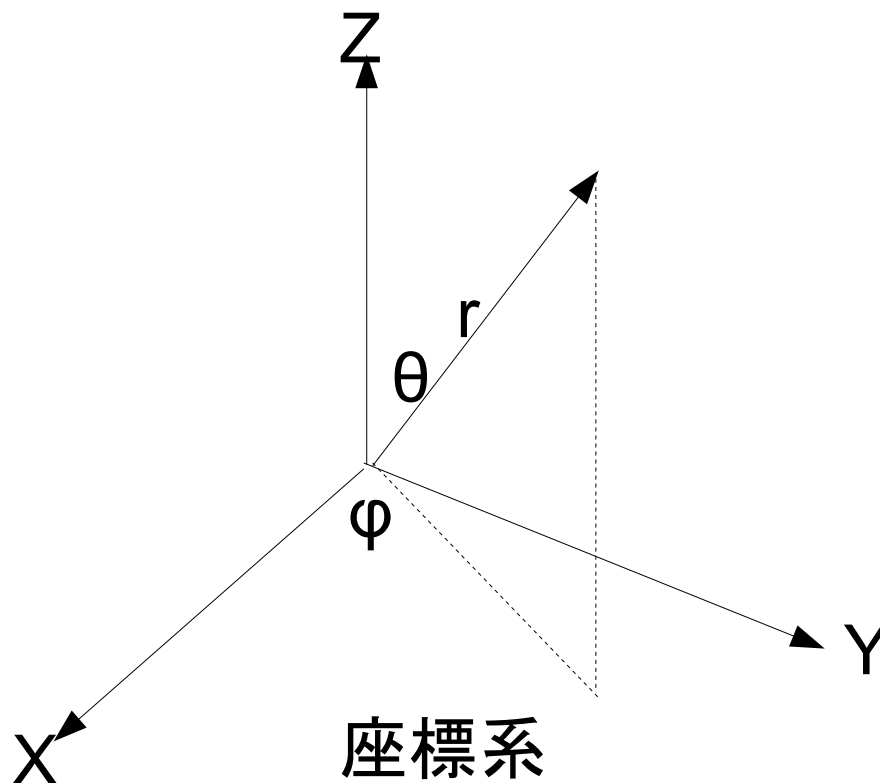
(2)平面波入射

外部から平面波が入射するモデルである。

原点から見た入射方向を (r, θ, φ) とすると、入射電磁界は次式で与えられる($\hat{\cdot}$: 単位ベクトル)。

$$\mathbf{E}^i(\mathbf{r}) = \begin{cases} -\hat{\theta}^i \exp(jk \mathbf{r} \cdot \hat{r}^i) & (\text{垂直偏波}) \\ +\hat{\phi}^i \exp(jk \mathbf{r} \cdot \hat{r}^i) & (\text{水平偏波}) \end{cases}$$

$$\mathbf{H}^i(\mathbf{r}) = -\frac{1}{Z} \hat{r}^i \times \mathbf{E}^i(\mathbf{r})$$



近傍界の計算

線状電流波源の作る近傍電磁界は次式で計算される。

$$\mathbf{E}^s(\mathbf{r}) = \frac{jZ}{k} \left\{ \nabla \int I(l) \frac{\partial G(\mathbf{r}, \mathbf{l})}{\partial l} dl - k^2 \int I(l) \hat{l} G(\mathbf{r}, \mathbf{l}) dl \right\}$$

$$\mathbf{H}^s(\mathbf{r}) = \nabla \times \int I(l) \hat{l} G(\mathbf{r}, \mathbf{l}) dl$$

$$G(\mathbf{r}, \mathbf{l}) = \frac{e^{-jkR}}{4\pi R} \quad (R = |\mathbf{r} - \mathbf{l}|)$$

平面波入射のときはこれに入射電磁界を加えたものが全電磁界となる。

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) = \mathbf{E}^s(\mathbf{r}) + \mathbf{E}^i(\mathbf{r})$$

$$\mathbf{H}(\mathbf{r}) = \mathbf{H}^s(\mathbf{r}) + \mathbf{H}^i(\mathbf{r})$$

遠方界の計算

線状電流波源の作る遠方電磁界は次式で計算される。

$$E_{\theta}(r, \theta, \phi) = \frac{-jk e^{-jkr}}{4\pi r} F_{\theta}(\theta, \phi)$$

$$E_{\phi}(r, \theta, \phi) = \frac{-jk e^{-jkr}}{4\pi r} F_{\phi}(\theta, \phi)$$

$$F_{\theta}(\theta, \phi) = Z \sum_{n=1}^N I(n) \Delta l_n (\hat{l}_n \cdot \hat{\theta}) \exp(jk \mathbf{l}_n \cdot \hat{r})$$

$$F_{\phi}(\theta, \phi) = Z \sum_{n=1}^N I(n) \Delta l_n (\hat{l}_n \cdot \hat{\phi}) \exp(jk \mathbf{l}_n \cdot \hat{r})$$

アンテナ特性

(1)入カインピーダンス

給電点の要素番号を m_0 とすると、入カインピーダンスは次式で計算される。

$$Z_{in} = R_{in} + jX_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}} \quad (V_{in} = V(m_0), I_{in} = I(m_0))$$

給電線の特徴インピーダンスを Z_0 とすると、反射係数、VSWR、反射損失は次式で計算される。

$$\Gamma = \frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0}$$

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}$$

$$\text{反射損} = 20 \log_{10} |\Gamma| \quad [dB]$$

(2)利得

遠方界より、電力利得 g_p 、指向性利得 g_d 、放射効率 η が次式で計算される。

$$\begin{aligned} g_p(\theta, \phi) &= \frac{1}{P_{in}} \frac{4\pi r^2}{2Z} \left\{ |E_\theta(r, \theta, \phi)|^2 + |E_\phi(r, \theta, \phi)|^2 \right\} \\ &= \frac{k^2}{8\pi Z P_{in}} \left\{ |F_\theta(\theta, \phi)|^2 + |F_\phi(\theta, \phi)|^2 \right\} \end{aligned}$$

$$g_d(\theta, \phi) = \frac{1}{\eta} g_p(\theta, \phi)$$

$$\eta = \frac{1}{4\pi} \int_0^{2\pi} d\phi \int_0^\pi \sin\theta d\theta g_p(\theta, \phi)$$

ここで P_{in} は給電電力である(n は給電点に関する和)。

$$P_{in} = \sum_n \frac{1}{2} \operatorname{Re}(V_{in}(n) I_{in}^*(n))$$

散乱特性

平面波入射のとき、次式で散乱断面積が計算される。

$$\begin{aligned}\sigma(\theta, \phi) &= \frac{4\pi r^2}{(E^i)^2} \left\{ |E_\theta(r, \theta, \phi)|^2 + |E_\phi(r, \theta, \phi)|^2 \right\} \\ &= \frac{k^2}{4\pi (E^i)^2} \left\{ |F_\theta(\theta, \phi)|^2 + |F_\phi(\theta, \phi)|^2 \right\}\end{aligned}$$

前方、後方、全散乱断面積は次式で計算される。

$$\begin{aligned}\sigma_F &= \sigma(\pi - \theta^i, \pi + \phi^i) \\ \sigma_B &= \sigma(\theta^i, \phi^i) \quad (\text{レダ断面積, RCS}) \\ \sigma_T &= \frac{1}{4\pi} \int_0^{2\pi} d\phi \int_0^\pi \sin\theta d\theta \sigma(\theta, \phi)\end{aligned}$$

2. 操作法

各処理

図形表示関係の操作

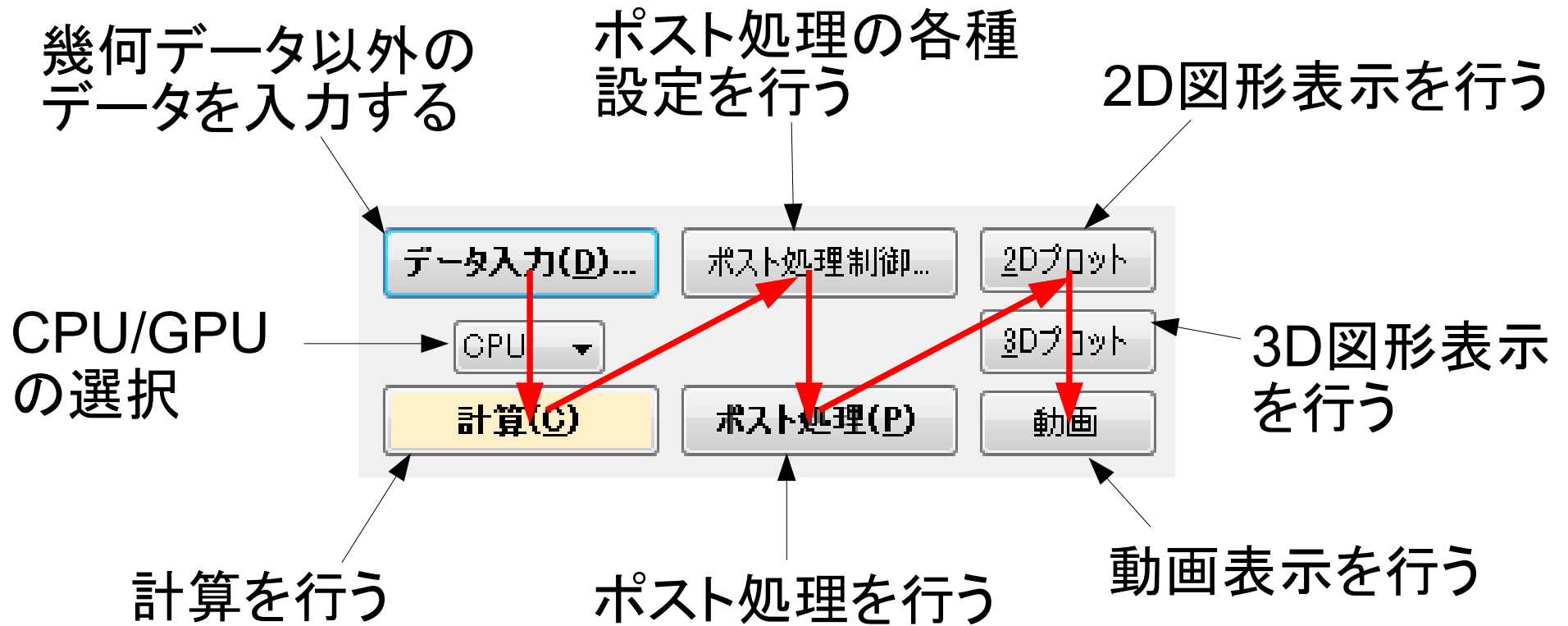
The screenshot shows the EEM-MOM software interface. The window title is "EEM-MOM". The menu bar includes "ファイル(E)", "ツール(I)", "結果確認(G)", "ヘルプ(H)", and "Language". The main toolbar contains buttons for "データ入力(D)...", "ポスト処理制御...", "2Dプロット", "プロット", "線分割", "現在のユニット", "診断", "プロット3D", "コピー", and "ヘルプ". Below the toolbar are buttons for "CPU", "3Dプロット", "計算(C)", "ポスト処理(P)", and "動画". The central area displays "要素数=1". On the left, there are controls for "追加", "挿入", "削除", "ユニット番号 1/1", and a "コメント" field. The "ユニット形状" section has radio buttons for "線分" (selected), "四角形", and "直方体". The "ユニット座標系" section has radio buttons for "XYZ座標" (selected), "円筒座標", and "極座標". There are input fields for "点1の座標", "点2の座標", "点3の座標", and "点4の座標", each with X, Y, and Z coordinates. The "給電点" section has input fields for "電圧[V]" and "位相[度]". The "負荷" section has input fields for "R[Ω]", "L[Henry]", and "C[Farad]". The "導線半径" section has an input field for "1 [mm]". The "平行移動" section has input fields for "X[mm]", "Y[mm]", and "Z[mm]". The "ユニット数" section shows a summary: "線分=1", "四角形=0", "直方体=0", "合計=1", "給電点=0", and "負荷=0". A 3D coordinate system with X, Y, and Z axes is shown at the bottom right. Annotations with arrows point to various parts of the interface: "幾何データ入力部" points to the unit shape and coordinate sections; "図形表示部" points to the central plot area; "ユニット数の統計" points to the unit count summary.

幾何データ入力部

図形表示部

ユニット数の統計

処理手順



→ 処理の順序

幾何データ入力部

- 線分:
- ・点1~2の座標
 - ・分割数1-2
- 四角形:
- ・点1~4の座標
 - ・分割数1-2, 1-4
- 直方体:
- ・点1~2の座標
 - ・分割数X, Y, Z

XYZ座標: X, Y, Z
 円筒座標: R, ϕ , Z
 極座標: R, θ , ϕ

The screenshot shows a software interface for entering geometric data. At the top, there are buttons for '追加' (Add), '挿入' (Insert), and '削除' (Delete), along with a 'ユニット番号' (Unit Number) field set to '1 / 1'. Below these are navigation buttons: 'K', '<', '□', '>', and '>|'. The main area is divided into several sections:

- コメント** (Comment): A text input field labeled 'テスト'.
- ユニット形状** (Unit Shape): Radio buttons for '線分' (Line), '四角形' (Square), and '直方体' (Rectangular prism).
- ユニット座標系** (Unit Coordinate System): Radio buttons for 'XYZ座標' (XYZ), '円筒座標' (Cylindrical), and '極座標' (Polar).
- 点1の座標** (Point 1 Coordinates): Input fields for X[mm] (0), Y[mm] (0), and Z[mm] (-25).
- 点2の座標** (Point 2 Coordinates): Input fields for X[mm] (0), Y[mm] (0), and Z[mm] (25).
- 点3の座標** (Point 3 Coordinates): Input fields for X[mm] (0), Y[mm] (0), and Z[mm] (0).
- 点4の座標** (Point 4 Coordinates): Input fields for X[mm] (0), Y[mm] (0), and Z[mm] (0).
- 分割数** (Division Count): A table with rows for '1-2' and '1-4', each with a value of '1'.
- 給電点** (Power Point): A checked checkbox, with input fields for '電圧[V]' (1) and '位相[度]' (0).
- 負荷** (Load): An unchecked checkbox, with input fields for 'R[Ω]' (0), 'L[Henry]' (0), and 'C[Farad]' (0).
- 導線半径** (Wire Radius): An unchecked checkbox, with an input field for '1 [mm]'.
- 平行移動** (Parallel Shift): An unchecked checkbox, with input fields for 'X[mm]' (0), 'Y[mm]' (0), and 'Z[mm]' (0).
- ユニット数** (Unit Count): A summary box showing: '線分=1', '四角形=0', '直方体=0', '合計=1', '給電点=1', and '負荷=0'.

現在のユニット番号と総ユニット数

表示・編集するユニット番号の変更

給電ユニットのとき使用

負荷ユニット (R,L,C)のとき使用

入力済のユニットの情報

ユニットとは:

幾何データの入力単位。計算対象を複数のユニットに分解して入力する。

[追加]:最後のユニットの後に新しいユニットを追加する

[挿入]:現在のユニットの前に新しいユニットを挿入する

[削除]:現在のユニットを削除する

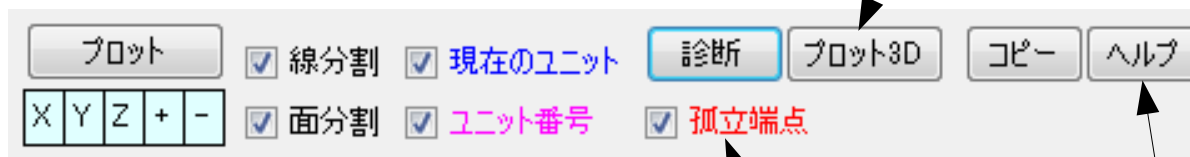
[追加]、[挿入]したときは現在のユニットのコピーが表示されているのでそれを編集する

注意:

- ・ユニットの入力順は計算結果には影響ない
- ・[分割数]、[導線半径]を指定しないときは[データ入力]ウィンドウで指定した値が設定される
- ・[コメント]を入力すると各ユニットの意味がわかりやすくなる

図形表示部

形状を別ウィンドウで3D表示する



WHIP
要素数=962

詳しい使い方は[ヘルプ]参考

[孤立端点]をONにして[診断]をクリックすると、孤立した端点が赤丸で表示される:
一部のデータ入力ミスが防げる

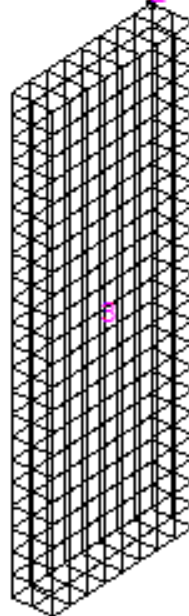
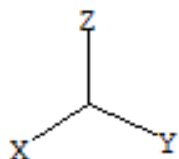
ユニット番号

色について:

赤: 給電ユニット
緑: 負荷ユニット
青: 現在のユニット
黒: それ以外

線状ユニット
[線分割]をONにすると要素分割が表示される

面状ユニット
[面分割]をONにすると要素分割が表示される



データ入力ウィンドウ 幾何データ以外のデータを入力する

データ入力

タイトル DIPOLE ANTENNA

周波数

開始周波数[Hz] 3.0e9

終了周波数[Hz] 3.0e9

注 分割数 0

平面波入射

入射方向 θ [度] 90

入射方向 ϕ [度] 0

偏波方向

垂直

水平

右旋円偏波

左旋円偏波

注

その他

グラウンド板 注

導線半径

導線半径[mm] 0.1

導線半径/要素長 0.2

分割数/波長 25

計算方法

修正コレスキー法/LU法 注

共役勾配法

最大反復回数 3000

収束判定条件 1.0e-5

経過出力間隔 100

OK キャンセル

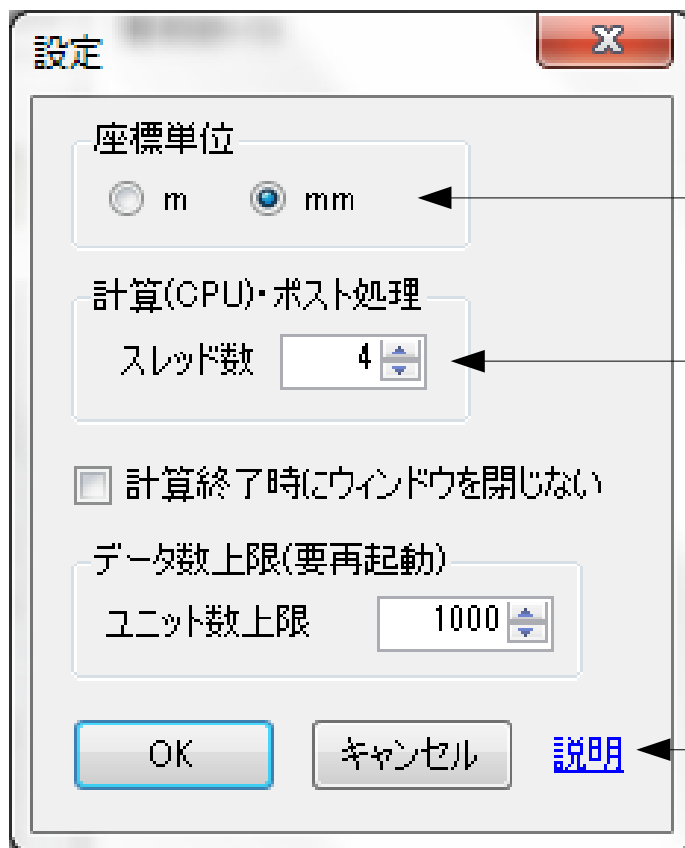
グラウンド板は $Z=0$ 面の完全導体である

導線半径を指定しない
ユニットにはこの値が
使用される

分割数を指定しない
ユニットにはこの値が
使用される

通常は[修正コレス
キー法]でよい

[ツール]→[設定]メニュー



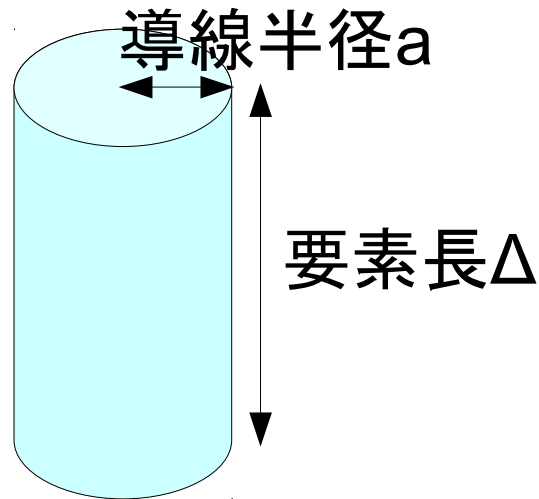
入力に便利な方を選択する

CPUで計算するときとポスト処理
のスレッド数を指定する
通常CPUのコア数を入力する

詳しくは[説明]参考

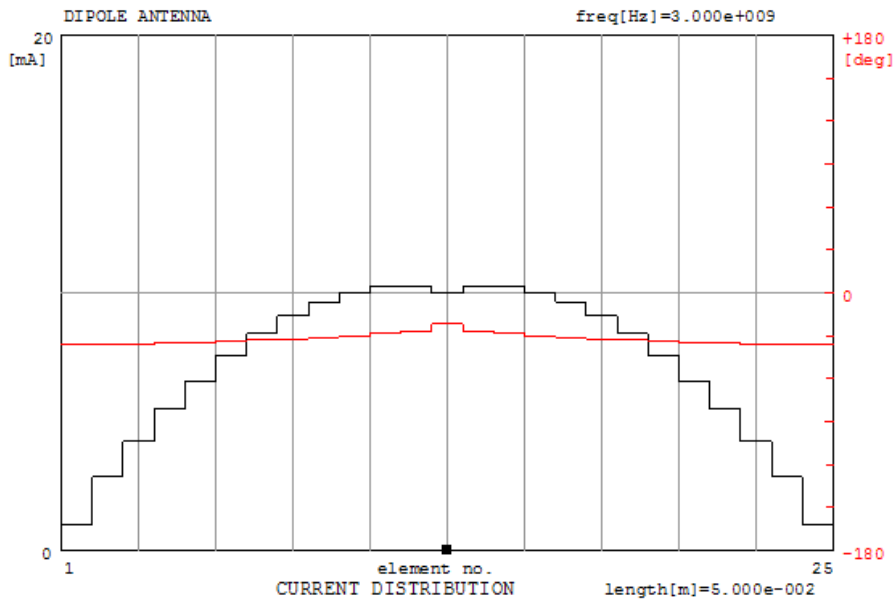
データ入力上の注意

- (1) **導線半径**は要素長の1/3以下とする： $a < \Delta/3$
(モーメント法特有の唯一の注意事項、細線近似によるもの)
この条件を満たさないと計算結果は正しくない
- (2) **要素長**は $\lambda/10$ 以下とする： $\Delta < \lambda/10$
この条件を満たさないと計算精度が落ちる

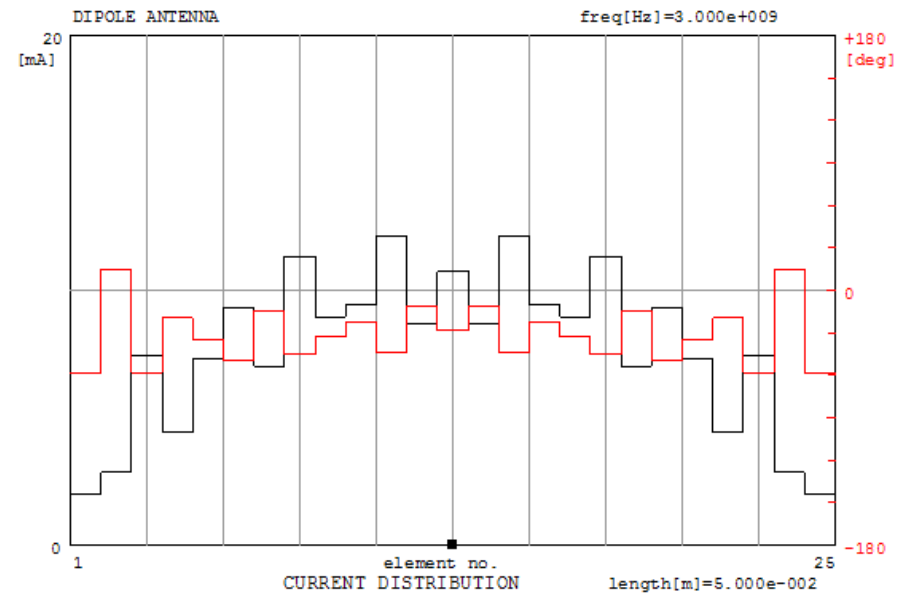


要素とは?:
ユニットを分割したもの、電
流分布をサンプリングする
単位、セグメントとも呼ぶ

導線半径について



導線半径が適切なケース
 $a=0.5\text{mm}$, $\Delta=2\text{mm}$ ($a = \Delta/4$)

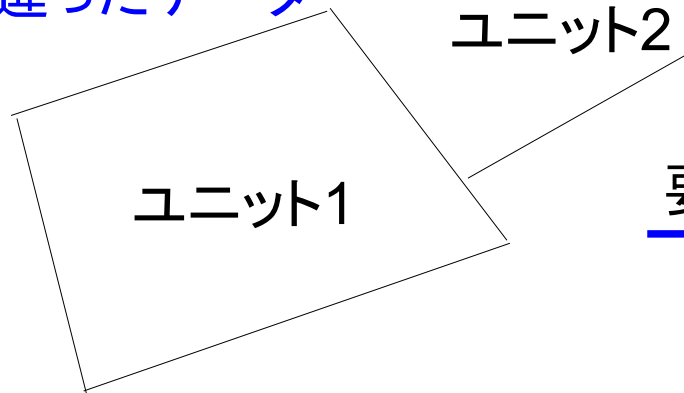


導線半径が不適切なケース
 $a=1.5\text{mm}$, $\Delta=2\text{mm}$ ($a = 3\Delta/4$)
電流の振幅と位相に非物理的な振動が現れ、計算結果は正しくない

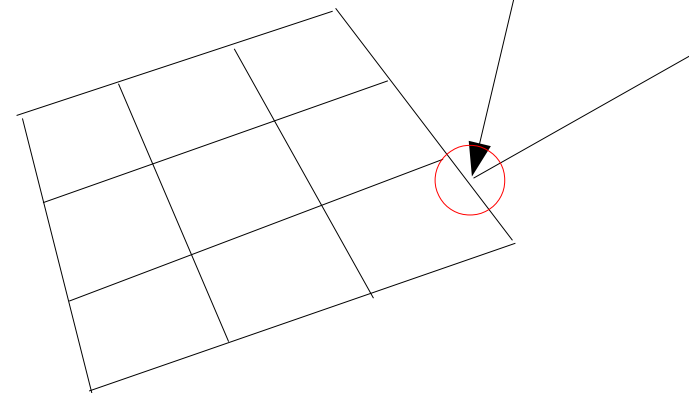
幾何データ作成上の注意

二つのユニットを接続するときは、適切なワイヤグリッドが作成されるように注意する

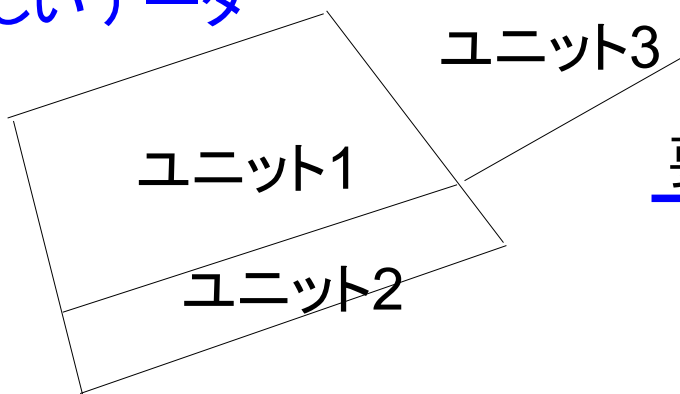
間違ったデータ



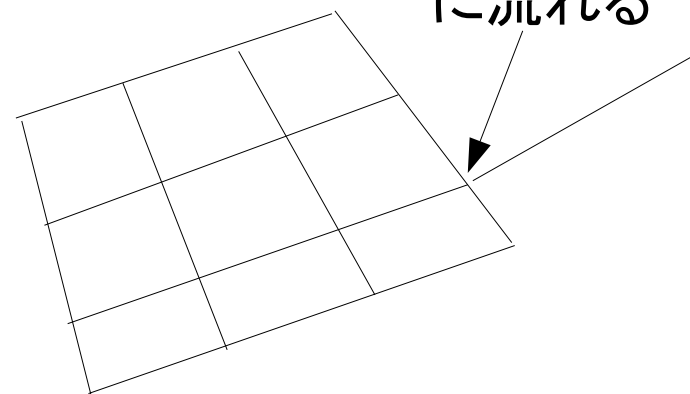
要素分割



正しいデータ



要素分割



計算

[計算]をクリックすると計算が開始され、ウィンドウに以下のような計算経過が表示される(それぞれの意味は取扱説明書参考)。

```
<<<  EEM-MOM Ver.2.2  >>>
CPU : threads          = 4
solver                 : cholesky
title                  : DIPOLE ANTENNA
ground                 : none
no. of units           = 1 + 0 = 1
no. of feeds           = 1
no. of loads           = 0
no. of plane waves    = 0
no. of elements        = 13
no. of open ends       = 2
memory size [MB]       = 1
no. of freq.s          = 1
input impedance
  feed no. = 1
    freq[Hz]      Rin[ohm]  Xin[ohm]  Gin[mS]  Bin[mS]
    3.000e+009    80.935    36.327    10.284   -4.616
<<<  NORMAL END  >>>
cpu time      [sec]
  part-1 =    0.015
  part-2 =    0.000
-----
  total  =    0.015
```

計算時間の一例

()内はCPU1コアとの速度比

ハードウェア	共役勾配法 (反復法)	修正コレスキー 法(直接法)	LU法 (直接法)
CPU1コア	86.7秒(1.0)	303.5秒(1.0)	未使用
CPU2コア	51.7秒(1.7)	159.9秒(1.9)	未使用
CPU4コア	27.6秒(3.1)	83.1秒(3.7)	未使用
GPU	5.5秒(15.8)	未対応	68.4秒(4.4)

計算条件:

- ・要素数=9408
- ・CPU : Intel Core i5 750 3.0GHz
- ・GPU : NVIDIA GeForce GTX460

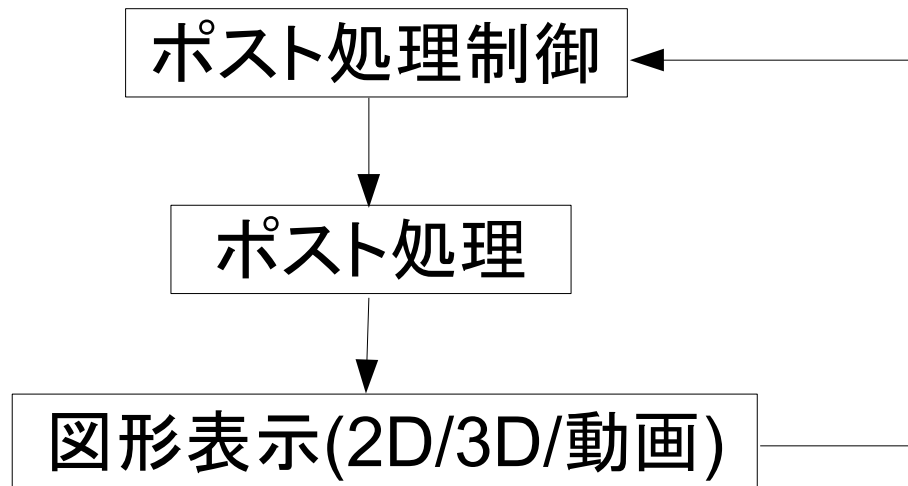
備考:

- ・[修正コレスキー法/LU法]を選択すると、CPUでは前者、GPUでは後者が選択される

ポスト処理

計算が終了すると計算結果がsol.outファイルに出力される。
このファイルを処理することにより各種の図形出力を行うことができる。

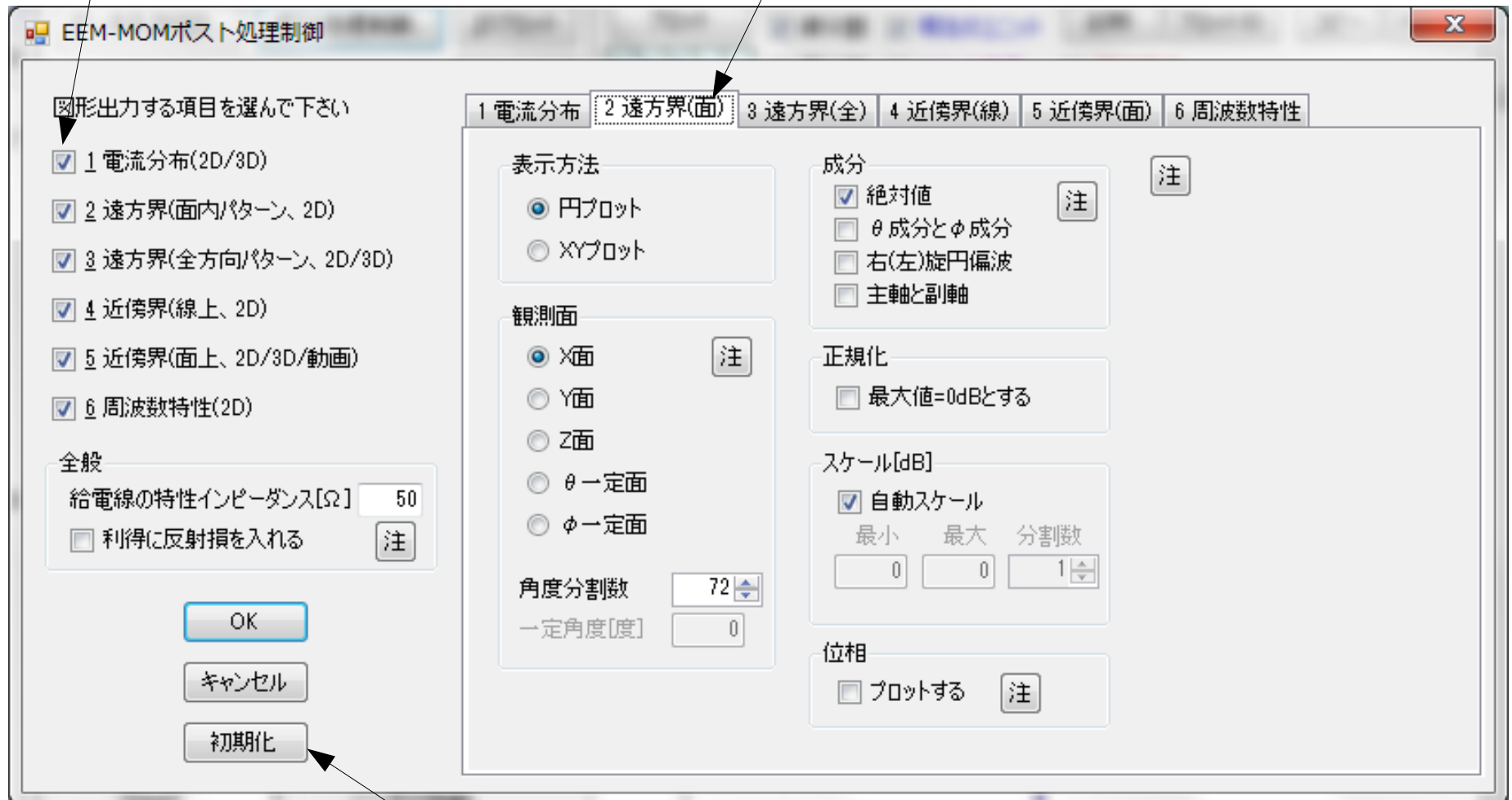
ポスト処理は設定を変えて繰り返し行うことができる。



ポスト処理制御

対応するタブで詳細を設定する

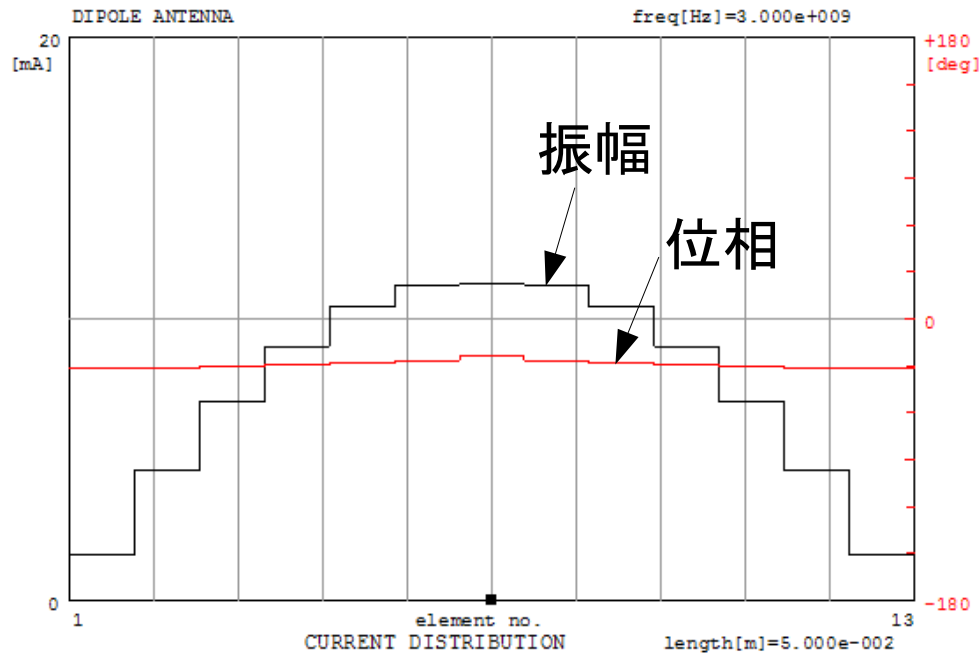
図形出力する項目をONにする



すべての設定を初期化するとき

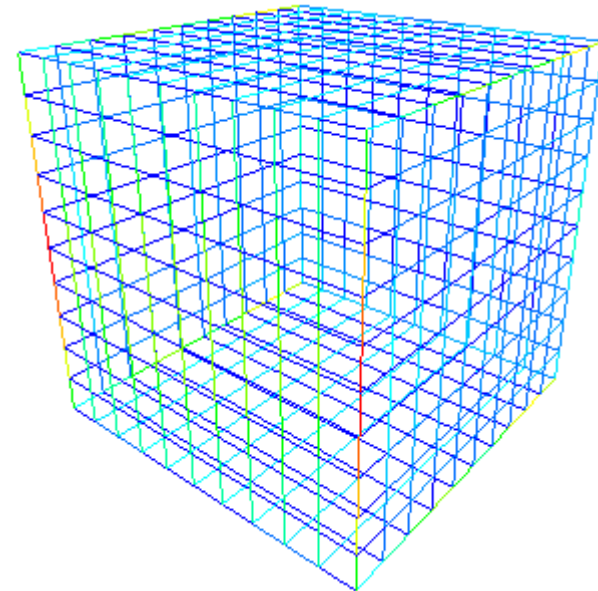
図形出力例

(1)電流分布



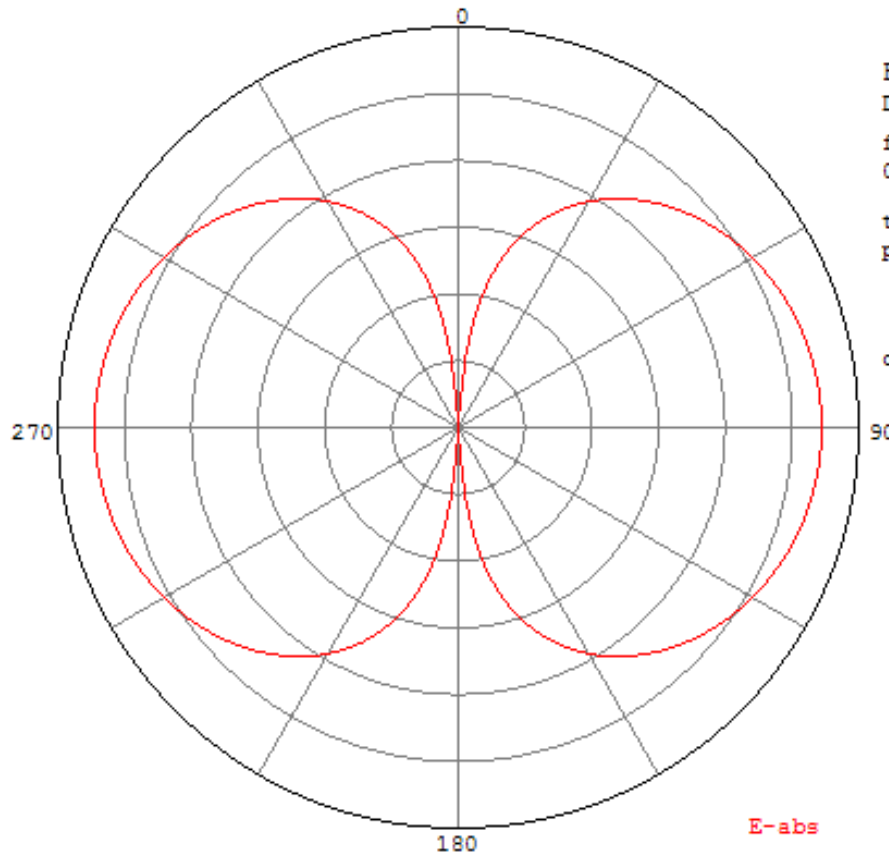
→ 要素番号

2D表示：
主に線状ユニットで使用



3D表示：
主に面状ユニットで使用

(2)遠方界、面内パターン



FAR FIELD PATTERN
DIPOLE ANTENNA

freq[Hz]=3.000e+009
0dB=isotropic

theta-plane
phi[deg]=90.0

outer[dB]=5.0
center[dB]=-25.0
div[dB]=5.0

0dBの定義
面の情報

スケール

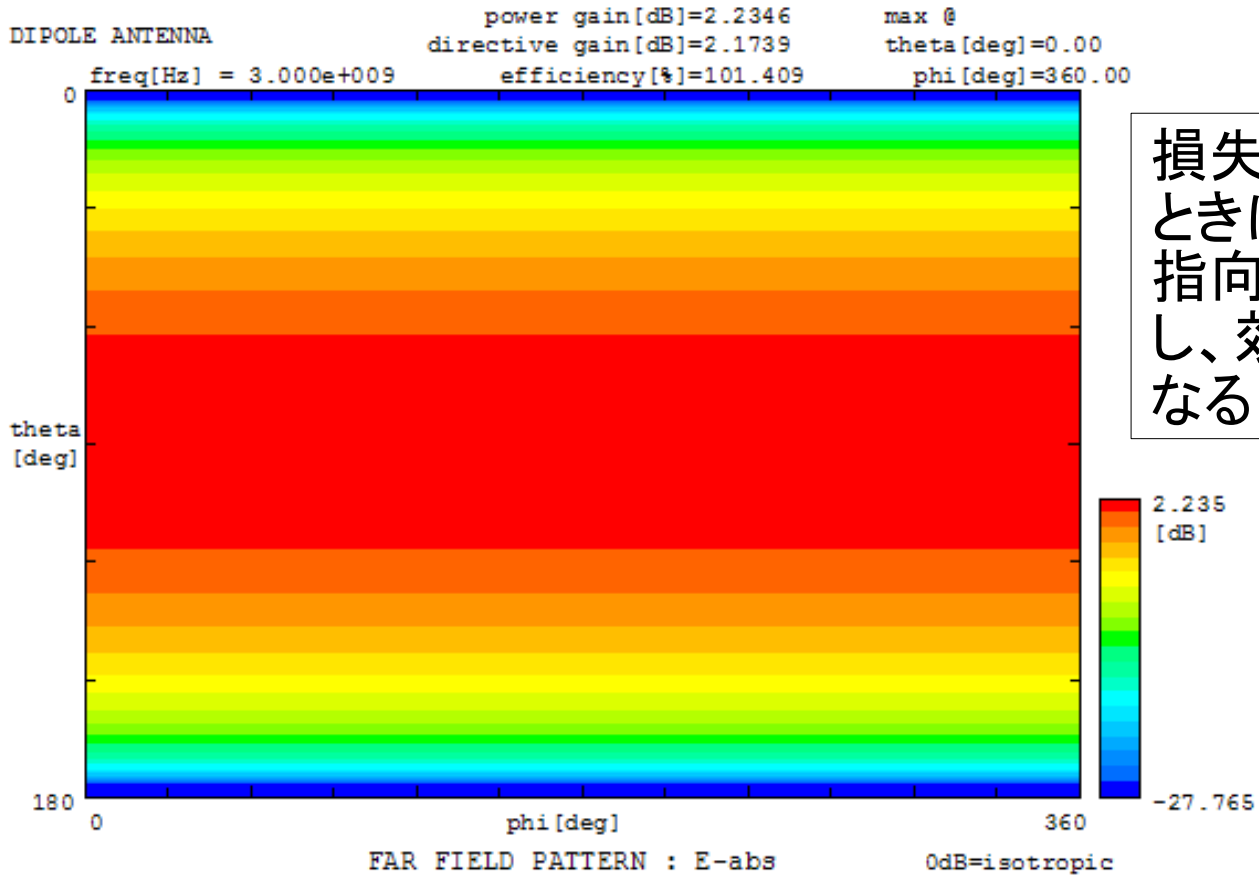
E-abs
max[dB] @ [deg] HPBW[deg]
2.235 270.000 77.414

最大値とその方向、3dB幅

(3)遠方界、全方向パターン

電力利得
指向性利得
効率

最大方向(θ 、 φ)



損失(抵抗)がないときは、電力利得と指向性利得は一致し、効率は100%になる

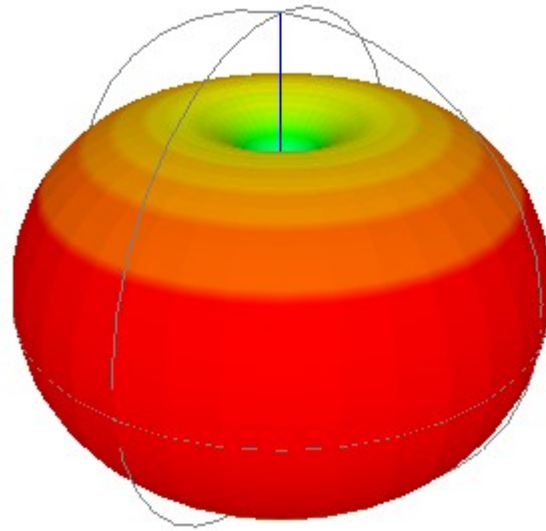
$\theta=0\sim 180$ 度



$\varphi=0\sim 360$ 度



0dBの定義



遠方界全方向パターンの3D表示

3D表示の使い方(詳しくは取扱説明書付録参考)

マウสดラッグ: 回転

キーボードz/Shift-z: 拡大/縮小

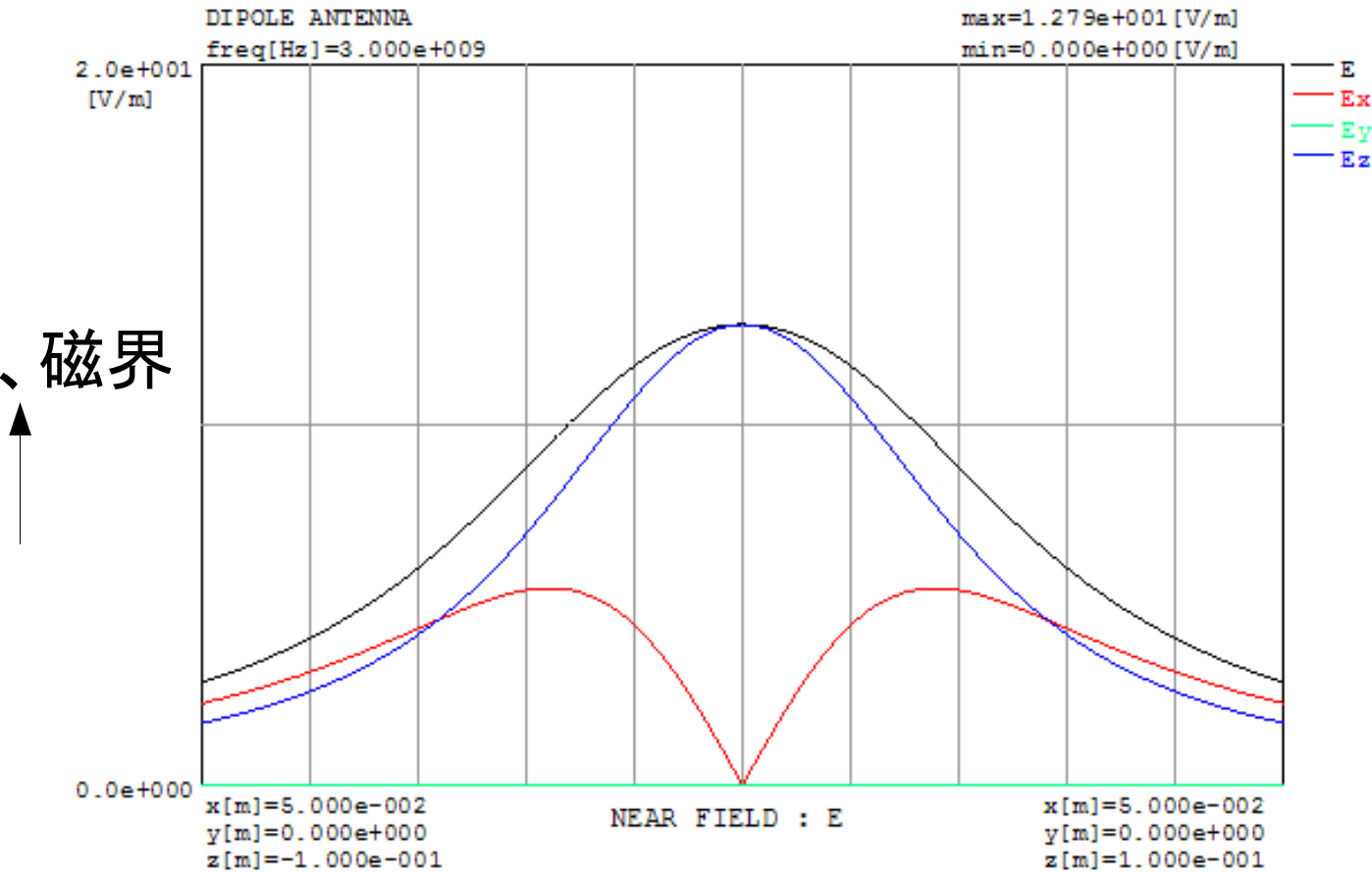
キーボードn/p: 次の頁/前の頁(複数頁のとき)

(4)近傍界、線上分布

任意の2点を結ぶ線分上の電磁界分布

最大値・最小値

電界、磁界



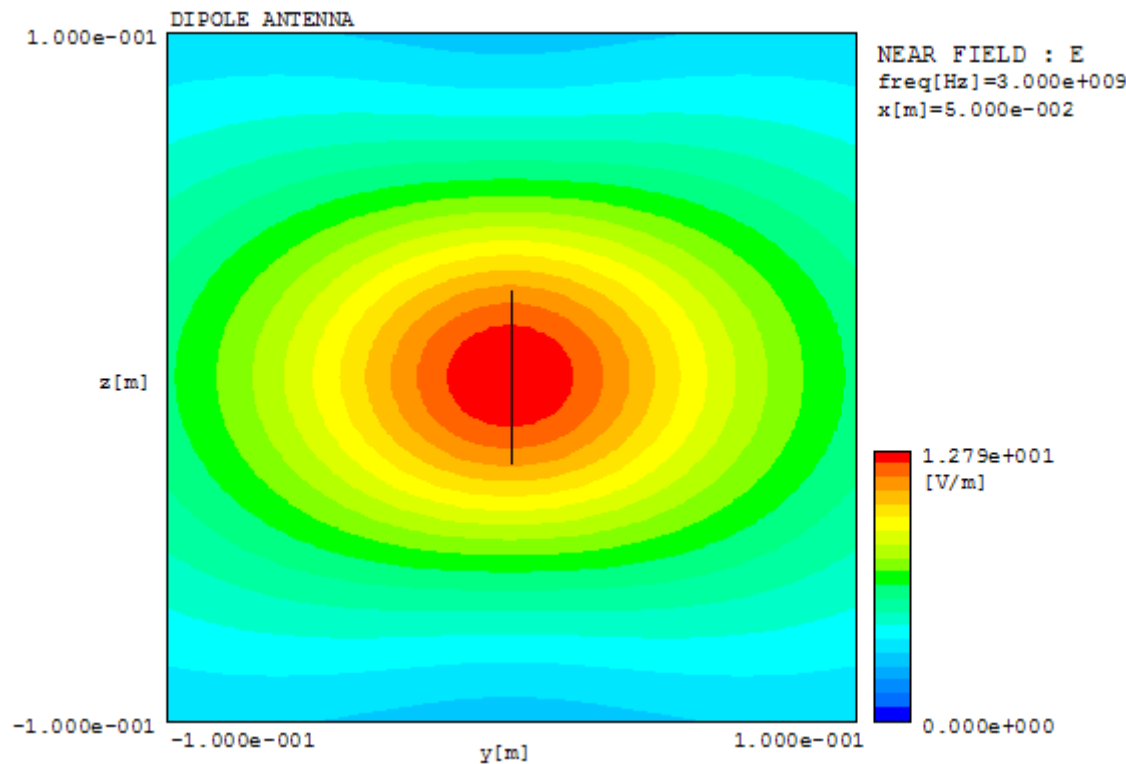
始点座標

線分

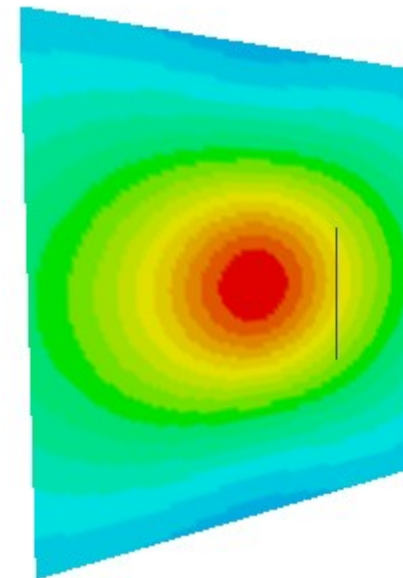
終点座標

(5)近傍界、面上分布

X面/Y面/Z面の長方形領域での電磁界分布

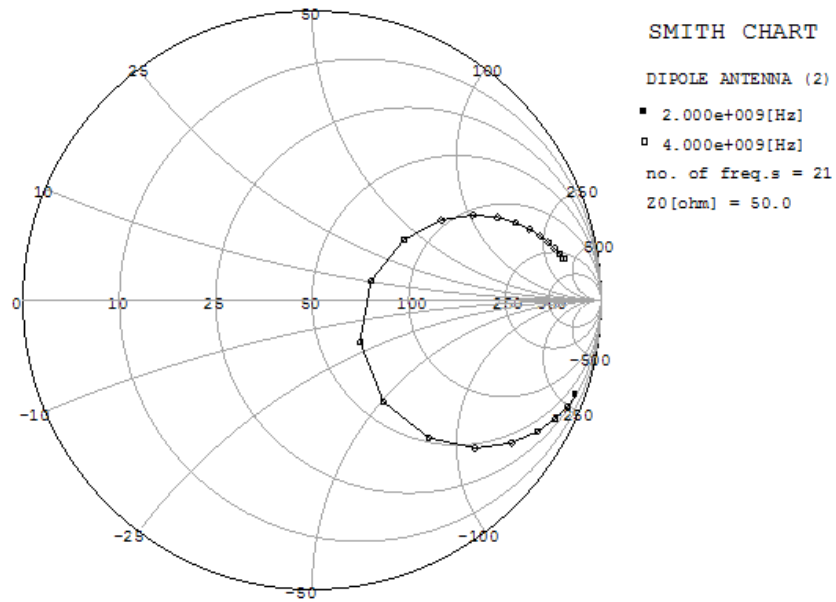


2D表示

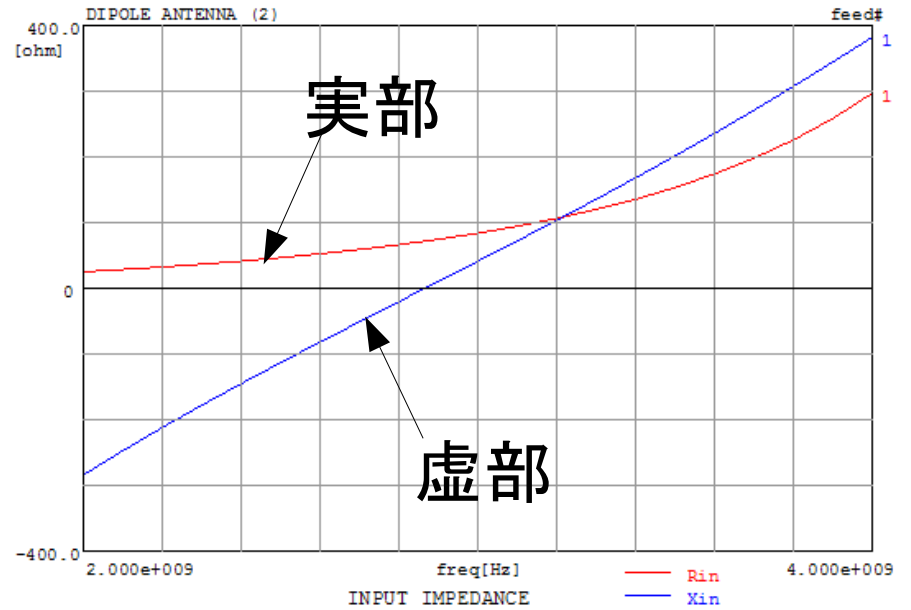


3D表示

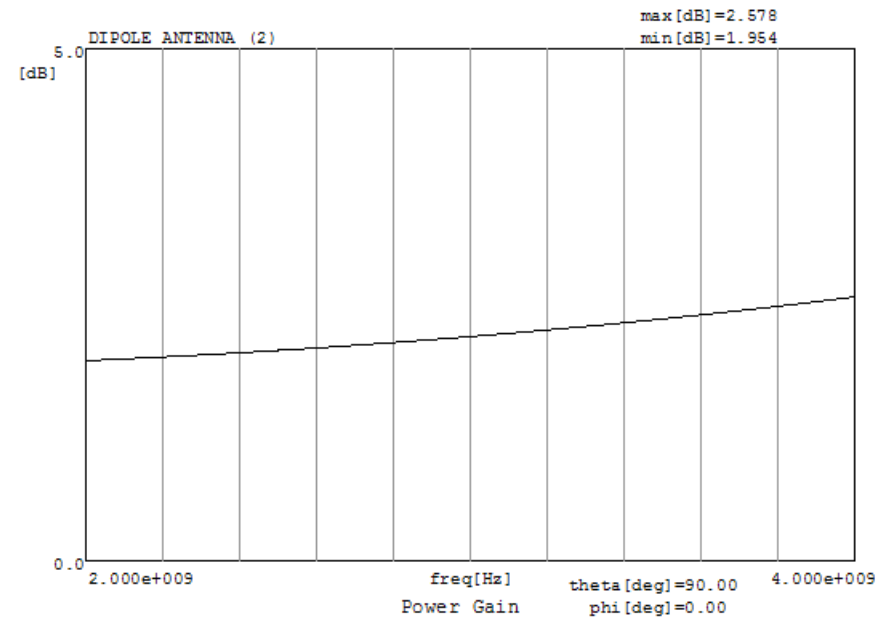
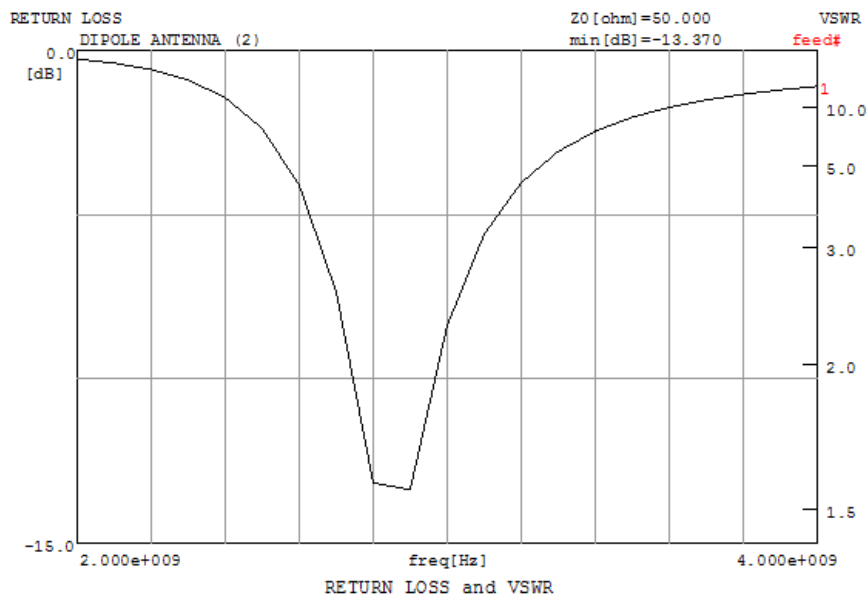
(6)周波数特性



スミスチャート



入力インピーダンス



反射損失(左)とVSWR(右)
(給電線の特性インピーダンスを
指定する)

利得
(方向(θ 、 ϕ)を指定する)

3. 計算例

EEM-MOMホームページで説明

EEM-MOMドキュメント(理論説明書、取扱説明書)
<http://www.e-em.co.jp/document.htm>

EEM-MOMホームページ(詳細な技術情報)
http://www.e-em.co.jp/mom/eem_mom.htm