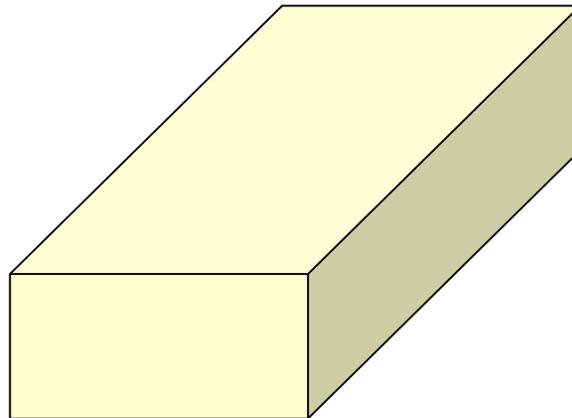
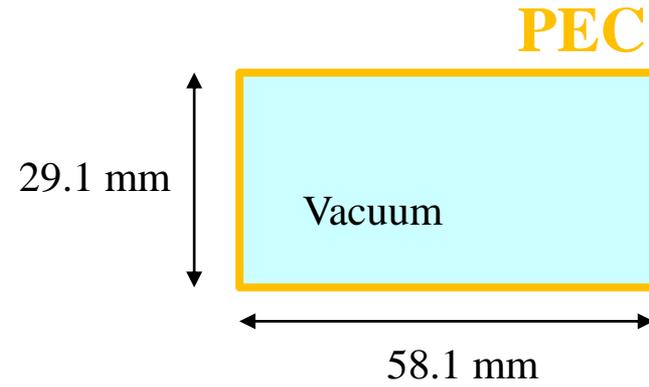
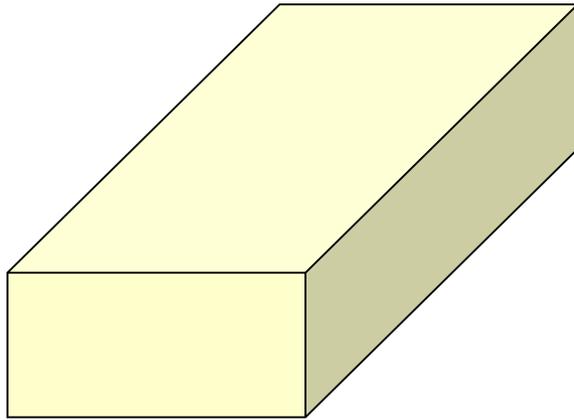


COMSOLによる方形導波管の解析 ～ 数値ポート ～



平野 拓一

E-mail: takuichi_hirano@yahoo.co.jp



標準方形導波管: WRI-4 (WRJ-4)

1: モデル化とポートの設定

The screenshot displays the COMSOL Multiphysics interface for a model named 'rect_wg_port_num.mph'. The left sidebar shows the 'Model Builder' tree with the following structure:

- rect_wg_port_num.mph (root)
 - グローバル定義
 - π パラメーター
 - 材料
 - RectWG (comp1)
 - 定義
 - ジオメトリ 1
 - 材料
 - 電磁波 (周波数領域) (emw)
 - 波動方程式 (電場) 1
 - 電気壁 (PEC) 1
 - 初期値 1
 - ポート 1
 - ポート 2
 - メッシュ 1
 - スタディ 1
 - ステップ 1: 周波数領域
 - ソルバー-コンフィギュレーション
 - 解 1 (sol1)
 - 結果
 - データセット
 - 計算値
 - テーブル
 - 電場 (emw)
 - 1D プロットグループ 1
 - エクスポート
 - レポート

The central 'Settings' pane for 'Port 1' is configured as follows:

- ラベル: ポート 1
- 境界選択: 2 (Manual selection)
- アクティブ:
- 優先関係および寄与: (Expanded)
- 方程式: (Expanded)
- ポート特性
 - ポート名: 1
 - ポートタイプ: 数値
 - 波動励起: オン
 - 印加パワー指定
 - ポート入力パワー: P_{in} 1 [W]
 - 内部ポート境界でスリット条件をアクティブ
 - TEM 場として解析
- ポートモード設定
 - 数値ポートは境界モード解析スタディステップを必要とします
 - モード位相: θ_{in} 0 rad

The 3D view shows a rectangular waveguide with dimensions 0.1 (height), 0.05 (width), and 0.04 (depth). The right sidebar shows the 'Material Library' with various material categories like '最近使用した材料', '材料ライブラリ', '標準', 'AC/DC', 'バッテリーと燃料電池', '生体伝熱', '平衡放電', '液体と気体', 'MEMS', '非線形磁気', '光学', 'ピエゾ電気', 'ピエゾ抵抗', '半導体', '熱電気', and 'ユーザー定義ライブラリ'.

The bottom status bar indicates '985 MB | 1140 MB'.

2: 境界モード解析の設定

rect_wg_port_num.mph - COMSOL Multiphysics (トライアルバージョン)

ファイル ホーム 定義 ジオメトリ 材料 フィジックス メッシュ スタディ 結果

モデルビルダ

- rect_wg_port_num.mph (root)
 - グローバル定義
 - パラメーター
 - 材料
 - RectWG (comp1)
 - 定義
 - ジオメトリ1
 - 材料
 - 電磁波 (周波数領域) (emw)
 - メッシュ1
 - スタディ1
 - ステップ1: 境界モード解析1
 - ステップ2: 境界モード解析2
 - ステップ3: 周波数領域
 - ソルバー・コンフィギュレーション
 - 結果
 - データセット
 - ビュー
 - 計算値
 - テーブル
 - 電場 (emw)
 - エクスポート
 - レポート

設定 特性

境界モード解析

計算 解更新

ラベル: 境界モード解析1

スタディ設定

変換: 実効モード次数

ポート名: 1

モード解析周波数: 0.1 [GHz] Hz

モード探索方法: マニュアル

求めたいモード数: 1

単位: [GHz]

指定振動数付近のモードを探索: 1

シフト周波数付近でのモード探索法: 絶対値に最も

フィジックスおよび変数選択

スタディステップに関するフィジックスツリーおよび変数を修正

フィジックスインターフェース 計 離散化

電磁波 (周波数領域) (emw) フィジックス設定

マルチフィジックス 計算対象

属変数値

メッシュ選択

スタディ拡張

グラフィックス 収束プロ... 収束プロ... 収束プロ...

スタディ追加

+ スタディ追加

— スタディ

モード解析

周波数

数領域

数領域モード

スタディ

低い周波数からモード探索する
ようなので、十分低い周波数
(適当)を設定するとよい。

0.1

0.05

0.02

0.04

0 0 0

y z x

— スタディ中のフィジックスインター:

フィジックス 求解

メッセージ 進捗 ログ テーブル 2

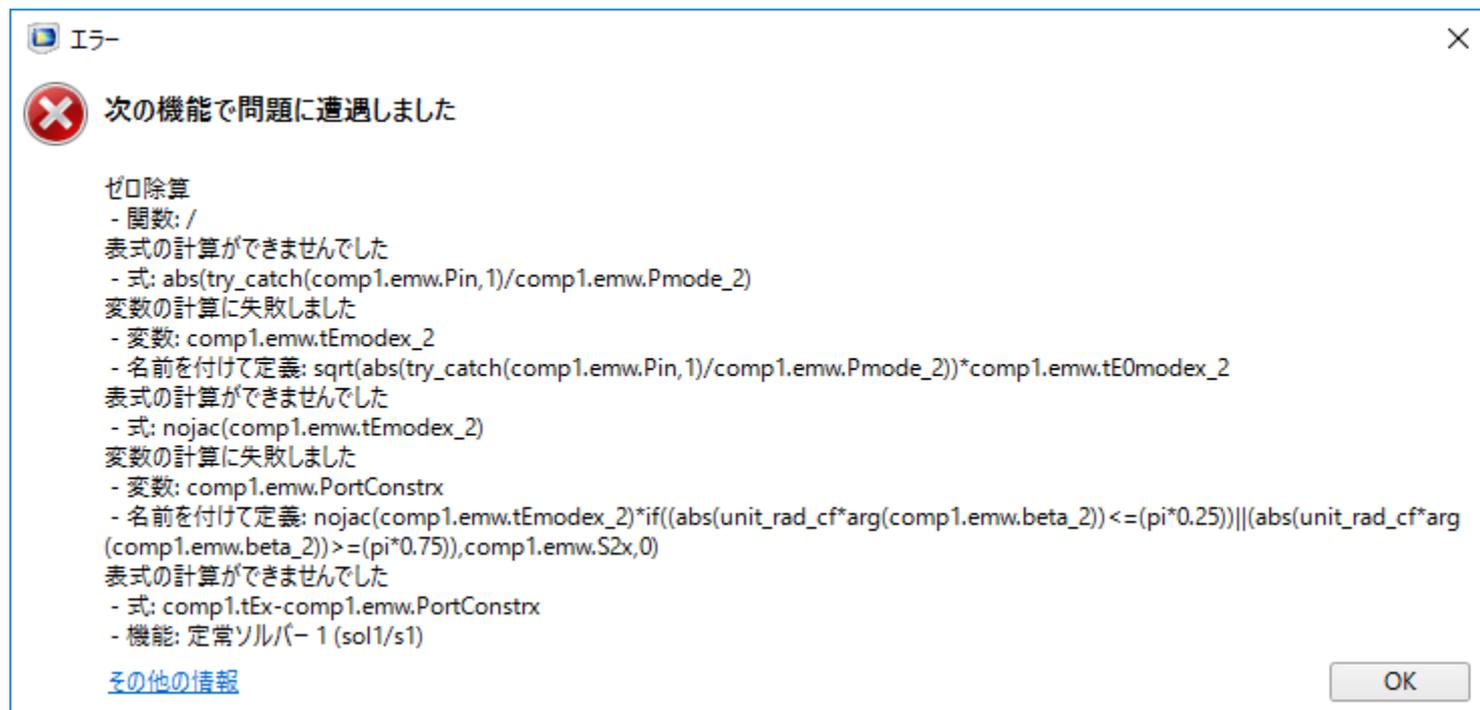
計算時間 (ステップ1): 8秒
コンパクト化した履歴。
保存されたファイル rect_wg_port_num.mph
保存されたファイル rect_wg_port_num.mph
求解の自由度数: 387
求解の自由度数: 387
求解の自由度数: 17596
計算時間 (スタディ1): 8秒

1.35 GB | 1.46 GB

この順番が重要。
後で入れ替え可能

3: 境界モード解析の設定(補足)

前のページの「スタディ」の順番や設定がうまくいっていないとこのようなエラーが出る。その場合は一度ステディを消してやり直すとよい。また、このモデルではポートが2つあるので境界モード解析も2つ行う必要がある。その場合、最初の「境界モード解析」を右クリックして「複製」を行うとよい。



4: 解析完了すると電界分布が表示される

The screenshot displays the COMSOL Multiphysics interface for a simulation titled "rect_wg_port_num.mph". The software is in the "Results" tab, showing the electric field distribution (電場) for a waveguide structure. The plot is a 3D surface plot with a color scale ranging from 0.2 to 1.0 (multiplied by $\times 10^3$ V/m). The plot shows the electric field intensity across the waveguide cross-section and length.

The interface includes several panels:

- Model Builder (モデルビルダ):** Shows the hierarchy of the model, including the geometry (RectWG), material properties, and the study (Study 1) with three steps: boundary mode analysis, boundary mode analysis, and frequency domain.
- Settings (設定):** Configures the 3D plot group, including the data set (Study 1/Solution 1), parameter values (frequency = 4 GHz), and plot options like "Edges to Plot" (エッジをプロット).
- Graphics (グラフィックス):** Provides tools for viewing and interacting with the 3D plot.
- Study (スタディ):** Lists the study steps and allows for adding or removing physics interfaces.
- Message (メッセージ):** Displays the solution progress and completion status, including the number of degrees of freedom (DOF) and the computation time (8 seconds).

At the bottom of the window, the memory usage is shown as 1.36 GB | 1.46 GB.

5: 瞬時電界の表示(1)

rect_wg_port_num.mph - COMSOL Multiphysics (トライアルバージョン)

ファイル ホーム 定義 ジオメトリ 材料 フィジックス メッシュ スタディ 結果 電場 (emw)

モデルビルダ

- rect_wg_port_num.mph (root)
 - グローバル定義
 - パラメーター
 - 材料
 - RectWG (comp1)
 - 定義
 - ジオメトリ1
 - 材料
 - 電磁波 (周波数領域) (emw)
 - メッシュ1
 - スタディ1
 - ステップ1: 境界モード解析1
 - ステップ2: 境界モード解析2
 - ステップ3: 周波数領域
 - ソルバーコンフィギュレーション
 - 結果
 - データセット
 - ビュー
 - 計算値
 - テーブル
 - 電場 (emw)
 - 複数断面
 - エクスポート
 - レポート

設定 特性

複数断面

プロット

ラベル: 複数断面

データ

データセット: 親参照

式

式: emw.normEi

単位: V/m

説明: 瞬時の電場ノルム

タイトル

複数断面データ

- x 平面

入力法: 平面数

平面: 1

- y 平面

入力法: 平面数

平面: 1

- z 平面

入力法: 平面数

平面: 1

グラフィックス 収束プロッ... 収束プロッ... 収束プロッ...

freq(1)=4 GHz 複数断面: 電場ノルム (V/m)

×10³

1

スタディ追加

- スタディ追加
- 標準スタディ
 - 境界モード解析
 - 固有周波数
 - 周波数領域
 - 周波数領域モーダル
- カスタムスタディ
- 空スタディ

ファイルテキストを入力

emw.normEi - 瞬時の電場ノルム

- モデル
 - RectWG
 - 定義
 - 電磁波 (周波数領域)
 - 電流および電荷
 - 電気
 - 電気変位場
 - 背景電場
 - 電場
 - emw.Ex - 電場, x 成分
 - emw.Ey - 電場, y 成分
 - emw.Ez - 電場, z 成分
 - 分極
 - emw.normD - 電気変位場ノルム
 - emw.normEi - 瞬時の電場ノルム
 - emw.normE - 電場ノルム
 - emw.normP - 分極ノルム
 - エネルギーおよびパワー
 - グローバル

ダブルクリック, またはエンターキーを押して選択表現を追加

計算時間 (スタディ1): 8 秒

1.36 GB | 1.47 GB

5: 瞬時電界の表示(2)

rect_wg_port_num.mph - COMSOL Multiphysics (トライアルバージョン)

ファイル ホーム 定義 ジオメトリ 材料 フィジックス メッシュ スタディ 結果 電場 (emw)

モデルビルダ

- rect_wg_port_num.mph (root)
 - グローバル定義
 - パラメーター
 - 材料
 - RectWG (comp1)
 - 定義
 - ジオメトリ1
 - 材料
 - 電磁波 (周波数領域) (emw)
 - メッシュ1
 - スタディ1
 - ステップ1: 境界モード解析1
 - ステップ2: 境界モード解析2
 - ステップ3: 周波数領域
 - ソルバーコンフィギュレーション
 - 結果
 - データセット
 - ビュー
 - 計算値
 - テーブル
 - 電場 (emw)
 - 複数断面
 - エクスポート
 - レポート

設定 特性

複数断面

プロット

ラベル: 複数断面

データ

データセット: 親参照

式

式: emw.normEi

単位: V/m

説明: 瞬時的電場ノルム

タイトル

複数面データ

- x平面
 - 入力法: 平面数
 - 平面: 1
- y平面
 - 入力法: 平面数
 - 平面: 1
- z平面
 - 入力法: 平面数
 - 平面: 1

グラフィックス 収束プロット... 収束プロット... 収束プロット...

freq(1)=4 GHz
複数断面: 瞬時的電場ノルム (V/m)

×10³

1
0.8
0.6
0.4
0.2

0.1
0.05
0.02
0 0

z
y x

スタディ追加

+ スタディ追加

- スタディ

- 標準スタディ
 - 境界モード解析
 - 固有周波数
 - 周波数領域
 - 周波数領域モーダル
 - カスタムスタディ
 - 空スタディ

- スタディ中のフィジックスインター:

フィジックス 求解

メッセージ 進捗 ログ テーブル 2

コンパクト化した履歴。
保存されたファイル rect_wg_port_num.mph
保存されたファイル rect_wg_port_num.mph
求解の自由度数: 387
求解の自由度数: 387
求解の自由度数: 17596
計算時間 (スタディ1): 8秒

1.37 GB | 1.47 GB

6: アニメーション(プレーヤー)

The screenshot displays the COMSOL Multiphysics interface for an animation player. The main window is titled "rect_wg_port_num.mph - COMSOL Multiphysics (トライアルバージョン)".

Model Builder (モデルビルダ): The left sidebar shows a tree view of the model. The "Animation 1" (アニメーション1) node is highlighted with a red circle and a callout arrow pointing to the "再生" (Play) button in the animation player.

Animation Player (アニメーション): The central panel shows the "再生" (Play) button with a callout bubble containing the text "クリックで再生" (Click to play). Below it, the "再生中" (Playing) section is active, showing "各対象フレーム表示: 0.1" (Show frames for each object: 0.1) and a "繰り返し" (Repeat) checkbox.

3D Plot: The right side of the interface shows a 3D plot of the electric field magnitude (電場の大きさ) for a frequency of 4 GHz. The plot is a 3D surface plot with a color scale from 0.2 to 1.0 (multiplied by $\times 10^3$). The axes are labeled x, y, and z.

Message Window (メッセージ): The bottom right panel shows a table of results for the "実効モード次数" (Effective mode order) and "伝搬定数 (rad/m)" (Propagation constant (rad/m)).

実効モード次数	伝搬定数 (rad/m)
0.76419	64.065

Other UI Elements: The top menu bar includes "ファイル" (File), "ホーム" (Home), "定義" (Definitions), "ジオメトリ" (Geometry), "材料" (Materials), "フィジックス" (Physics), "メッシュ" (Mesh), "スタディ" (Study), and "結果" (Results). The right sidebar contains "スタディ追加" (Add Study) and "スタディ中のフィジックスインター" (Physics interfaces in study).

1.51 GB | 1.64 GB

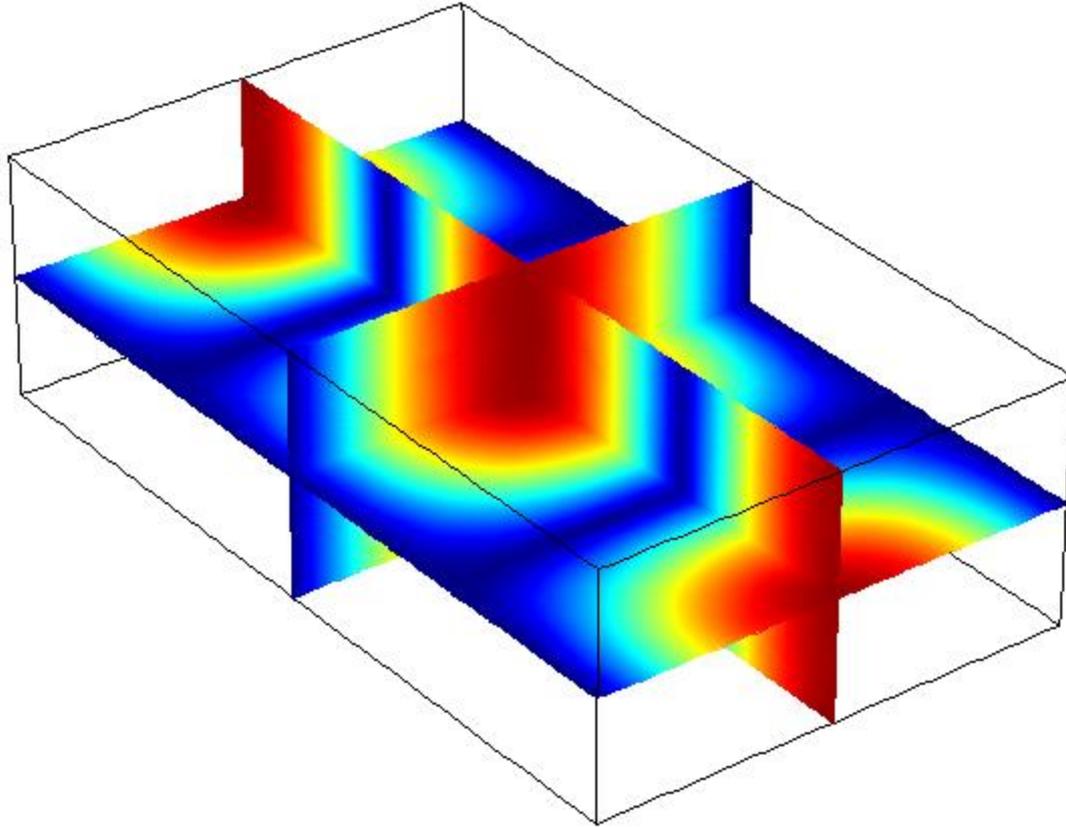
6: アニメーション (ファイル保存)

The screenshot displays the COMSOL Multiphysics interface for a simulation titled "rect_wg_port_num.mph". The main window is divided into several panels:

- Model Builder (モデルビルダ):** Shows the simulation hierarchy. Under "Study 1", "Animation 2" is selected and circled in red. A callout bubble points to it with the text "クリックで保存" (Click to save).
- Settings (設定) - Animation (アニメーション):** The "File" (ファイル) target is selected. The output type is "Animation" (動画) and the format is "GIF". The file name is "msol\rect_wg.gif". The frame rate is set to 10 frames per second. The animation style is "Dynamic data expansion" (ダイナミックデータ拡張) and the period type is "Full" (全調和).
- 3D Plot:** Displays the electric field magnitude (瞬間的電場ノルム) in V/m. The plot is a 3D surface plot of a rectangular waveguide structure. The color scale ranges from 0.2 to 1.0, with a multiplier of $\times 10^3$. The frequency is set to $\text{freq}(1)=4 \text{ GHz}$.
- Study (スタディ追加):** Shows the study configuration. The "Physics" (電磁波 (周波数...)) and "Solve" (求解) buttons are visible.
- Message (メッセージ) - Table 2:** Displays the results of the simulation. The table shows the real mode order and the propagation constant (rad/m).

実効モード次数	伝搬定数 (rad/m)
0.76419	64.065

1.57 GB | 1.68 GB



7: Sパラメータ(テーブル)

rect_wg_port_num.mph - COMSOL Multiphysics (トライアルバージョン)

ファイル ホーム 定義 ジオメトリ 材料 フィジックス メッシュ スタディ 結果

モデルビルダ

- 波動方程式 (電場) 1
- 電気壁 (PEC) 1
- 初期値 1
- ポート 1
- ポート 2
- メッシュ 1
- スタディ 1
 - ステップ 1: 境界モード解析 1
 - ステップ 2: 境界モード解析 2
 - ステップ 3: 周波数領域
- ソルバーコンフィギュレーション
 - 解 1 (sol1)
 - 方程式をコンパイル: 境界
 - u,v,w 従属変数 1
 - 固有値ソルバー 1
 - 解保存 1 (sol2)
 - 方程式をコンパイル: 境界
 - u,v,w 従属変数 2
 - 固有値ソルバー 2
 - 解保存 2 (sol3)
 - 方程式をコンパイル: 周波
 - u,v,w 従属変数 3
 - 定常ソルバー 1

- 結果
- データセット
- ビュー
- 計算値
 - グローバル評価 1
 - グローバル評価 2
- テーブル
- 電場 (emw)
- エクスポート
- レポート

設定 特性

グローバル評価

評価

ラベル: グローバル評価 1

データ

データセット: スタディ 1/解 1 (sol1)

パラメータ選択 (freq): 全て

式

式	単位	説明
emw.S11dB	dB	Sパラメータ (c
emw.S21dB	dB	Sパラメータ (c

式:

説明:

データシリーズ演算

演算: なし

最後にクリック

フィルタテキストを入力

- emw.zref - 参照インピーダンス
- emw.beta_1 - 伝搬定数
- emw.S21dB - Sパラメータ (dB), 21成分
- emw.S11dB - Sパラメータ (dB), 11成分
- モデル
 - RectWG
 - 定義
 - 電磁波 (周波数領域)
 - エネルギーおよびパワー
 - グローバル
 - ポート
 - Sパラメータ
 - Sパラメータ (dB)
 - emw.S11dB - Sパラメータ (dB), 11成分
 - emw.S21dB - Sパラメータ (dB), 21成分
 - emw.beta_1 - 伝搬定数
 - emw.beta_2 - 伝搬定数
 - emw.VSWR_1 - VSWR
 - emw.freq - 周波数
 - emw.omega - 角振動数

ダブルクリック, またはエンターキーを押して選択表現を追加

7: Sパラメータ(テーブル)

rect_wg_port_num.mph - COMSOL Multiphysics (トライアルバージョン)

ファイル ホーム 定義 ジオメトリ 材料 フィジックス メッシュ スタディ 結果

モデルビルダ

- 電磁波 (周波数領域) (emw)
 - 波動方程式 (電場) 1
 - 電気壁 (PEC) 1
 - 初期値 1
 - ポート 1
 - ポート 2
- メッシュ 1
- スタディ 1
 - ステップ 1: 境界モード解析 1
 - ステップ 2: 境界モード解析 2
 - ステップ 3: 周波数領域
- ソルバーコンフィギュレーション
 - 解 1 (sol1)
 - 方程式をコンパイル: 境界
 - u,v,w 従属変数 1
 - 固有値ソルバー 1
 - 解保存 1 (sol2)
 - 方程式をコンパイル: 境界
 - u,v,w 従属変数 2
 - 固有値ソルバー 2
 - 解保存 2 (sol3)
 - 方程式をコンパイル: 周波
 - u,v,w 従属変数 3
 - 定常ソルバー 1
- 結果
 - データセット
 - ビュー
 - 計算値
 - グローバル評価 1
 - テーブル
 - 電場 (emw)
 - 複数断面
 - エクスポート

設定 特性

グローバル評価

ラベル: グローバル評価 1

データ

データセット: スタディ 1/解 1 (sol1)

パラメーター選択 (freq): 全て

式

式	単位	説明
emw.S11dB	dB	Sパラメーター (dB), 11 成分
emw.S21dB	dB	Sパラメーター (dB), 21 成分

グラフィックス 収束プロッ... 収束プロッ... 収束プロッ...

freq(1)=4 GHz
複数断面: 瞬時的電場ノルム (V/m)

×10³

0.1 0.05 0.02 0 0

1 0.8 0.6 0.4 0.2

スタディ追加

- 周波数領域
- 周波数領域モーダル
- カスタムスタディ
- 空スタディ

スタディ中のフィジックスインター:

フィジックス 求解

電磁波 (周波数...

スタディにおけるマルチフィジックス:

マルチフィジックス 求解

メッセージ 進捗 ログ テーブル 4

freq (GHz)	Sパラメーター (dB), 11 成分 (dB)	Sパラメーター (dB), 21 成分 (dB)
4.0000	-90.139	-7.1695E-7

データシリーズ演算

演算: なし

1.53 GB | 1.66 GB

8: 伝搬定数など(テーブル)

The screenshot shows the COMSOL Multiphysics interface for a waveguide model. The model builder on the left shows a mesh and three study steps: boundary mode analysis, boundary mode analysis, and frequency domain. The settings panel in the center shows a global evaluation with a label 'グローバル評価 2' and a data set 'スタディ 1/解保存 1 (sol2)'. The plot area on the right shows a 3D surface plot of the electric field magnitude at 4 GHz. A dialog box titled 'フィルタテキストを入力' is open, showing a list of variables and parameters, with 'emw.beta_1 - 伝搬定数' highlighted.

式	単位	説明
emw.beta_1	rad/m	伝搬定数

フィルタテキストを入力

- emw.zref - 参照インピーダンス
- emw.beta_1 - 伝搬定数
- emw.S21dB - Sパラメーター (dB), 21 成分
- emw.S11dB - Sパラメーター (dB), 11 成分
- モデル
 - RectWG
 - 定義
 - 電磁波 (周波数領域)
 - エネルギーおよびパワー
 - グローバル
 - ポート
 - Sパラメーター
 - Sパラメーター (dB)
 - emw.beta_1 - 伝搬定数
 - emw.beta_2 - 伝搬定数
 - emw.VSWR_1 - VSWR
 - emw.freq - 周波数
 - emw.iomega - 複素角振動数
 - emw.omega - 角振動数
 - グローバル定義

8: 伝搬定数など(テーブル)

The screenshot shows the COMSOL Multiphysics interface for a waveguide simulation. The main window displays a 3D plot of the electric field norm (instantaneous) in V/m, with a color scale from 0 to 1 (multiplied by 10³). The plot is titled "freq(1)=4 GHz" and "複数断面: 瞬間の電場ノルム (V/m)".

On the right side, a table titled "テーブル 1" (Table 1) displays the results of the propagation constant calculation. The table has two columns: "実効モード次数" (Effective mode number) and "伝搬定数 (rad/m)" (Propagation constant (rad/m)).

実効モード次数	伝搬定数 (rad/m)
25.780i	54.032i

Below the table, a "データシリーズ演算" (Data series calculation) section shows the calculation result as "なし" (None).

A callout box on the right contains the following text:

【厳密解】

$$f = 0.1 * 10^9;$$
$$\omega = 2 * \pi * f;$$
$$\lambda = c / f;$$
$$k = 2 * \pi / \lambda;$$
$$\beta = \sqrt{k^2 - kc[1, 0]^2}$$

Red arrows point from the callout box to the corresponding values in the table: $0. + 54.0315 i$ for the propagation constant and $0. + 25.7803 i$ for the effective mode number.

9: モードの電界分布の表示(面の定義)

The screenshot shows the COMSOL Multiphysics interface for a model named 'rect_wg_port_num.mph'. The 'Model Builder' on the left shows a hierarchy: Mesh 1 > Study 1 > Step 1: Boundary Mode Analysis 1 > Solver Configuration > Solution 1 (sol1) > Port 1 > Surface 1. The 'Settings' pane for 'Surface 1' is active, showing 'Label: サーフェス 1', 'Data Set: スタディ 1/解保存 1 (sol2)', and 'Parameterization: xおよびy 軸: 面パラメーター'. The 'Selection' section shows 'Manual' selection with a list containing '2'. The 'Graphics' window displays a 3D view of a rectangular waveguide with a blue face labeled 'Port 1の面'. The 'Study' pane on the right shows 'Study 1' with 'Wave Number Domain' and 'Custom Study' selected. The 'Messages' window at the bottom shows a table of results for 'Table 1'.

実効モード次数	伝搬定数 (rad/m)
25.780i	54.032i

1.51 GB | 1.61 GB

9: モードの電界分布の表示(電界ベクトル) No. 18

The screenshot displays the COMSOL Multiphysics interface for a waveguide simulation. The **Model Builder** on the left shows the hierarchy: **電場 (emw)** > **表面** > **矢印 (面上) 1**. The **Properties** window for **矢印 (面上)** is open, showing the following settings:

- データセット:** サーフェス 1
- 実効モード次数:** 25.78i
- 式:**
 - x 成分: `emw.tEmodex_1`
 - y 成分: `emw.tEmodey_1`
 - z 成分: `emw.tEmodez_1`
- 説明:** 接続電気モード場
- タイプ:** 矢印
- 長さ:** 比例
- 矢印ベース:** テイル
- スケール因子:** `2.50788E-10`
- 配置:** 均一
- 矢印数:** 150
- カラー:** 白

The **Graphics** window shows a 2D plot of the electric field vector distribution on the waveguide surface. The plot is titled **freq(1)=4 GHz** and **表面: 接続電気モード場**. The **Filter Text** dialog box is open, showing the search results for the expression `emw.tEmodex_1,...,emw.tEmodez_1 - 接続電気モード場. The results list includes the following entries:`

- emw.tEmodex_1,...,emw.tEmodez_1 - 接続電気モード場
- emw.tEmodex_2,...,emw.tEmodez_2 - 接続電気モード場
- emw.tHmodex_1,...,emw.tHmodez_1 - 接続磁気モード場
- emw.tHmodex_2,...,emw.tHmodez_2 - 接続磁気モード場

Arrows indicate the relationship between the field components in the Properties window and the search results in the Filter Text dialog. A note at the bottom of the dialog box states: **ダブルクリック, またはエンターキーを押して選択表現を追加**.

1.54 GB | 1.65 GB

9: モードの電界分布の表示(メッシュ追加)

The screenshot displays the COMSOL Multiphysics interface for a simulation titled "rect_wg_port_num.mph". The main window shows a 3D plot of the electric field distribution in a waveguide structure, with a mesh overlaid. The plot is titled "freq(1)=4 GHz" and "サーフェス: 縦線電界モード電場 (V/m)". A color scale on the right indicates field intensity from 1 to 7, with a multiplier of $\times 10^6$. A callout box with the text "クリックでxz面" points to the xz-plane button in the graphics toolbar.

The left sidebar shows the "モデルビルダ" (Model Builder) with a tree view of the simulation steps and results. The "結果" (Results) folder is expanded, showing "データセット" (Data Sets) and "電場 (emw)" (Electric Field). The "電場 (emw)" folder is selected, and the "メッシュ 1" (Mesh 1) is visible in the tree.

The "設定" (Settings) panel for "メッシュ" (Mesh) is open, showing the following configuration:

- ラベル: メッシュ 1
- データ: データセット: スタディ 1/解 1 (sol1)
- パラメーター値 (freq (GHz)): 4
- レベル: サーフェス
- 要素タイプ: 全て
- カラー: 要素色: なし
- ワイヤフレームカラー: 黒
- 要素フィルタ: フィルタ有効化: 基準: 論理式 式: 1
- 要素縮小: スタイルを継承:

The "グラフィックス" (Graphics) toolbar shows the "xz" plane button highlighted. The "スタディ追加" (Study) panel on the right shows the study configuration, including "周波数領域" (Frequency Domain) and "周波数領域モード" (Frequency Domain Mode). The "メッセージ" (Message) window at the bottom shows the following data:

実効モード次数	伝搬定数 (rad/m)
25.780i	54.032i

At the bottom of the window, the memory usage is shown as "1.54 GB | 1.64 GB".

10: 損失がある導波管

rect_wg_port_num.mph

ファイル ホーム 定義 ジオメトリ 材料 フィジックス メッシュ スタディ 結果 電場 (emw)

モデルビルダ

ステップ 3: 周波数領域

ソルバー-コンフィギュレーション

解 1 (sol1)

方程式をコンパイル: 境界

u,v,w 従属変数 1

固有値ソルバー 1

解保存 1 (sol2)

方程式をコンパイル: 境界

u,v,w 従属変数 2

固有値ソルバー 2

解保存 2 (sol3)

方程式をコンパイル: 周波

u,v,w 従属変数 3

定常ソルバー 1

結果

データセット

解なし

スタディ 1/解 1 (sol1)

スタディ 1/解保存 1 (sol2)

スタディ 1/解保存 2 (sol3)

サーフェス 1

ビュー

計算値

グローバル評価 1

グローバル評価 2

テーブル

電場 (emw)

複数断面

サーフェス 1

矢印 (面上) 1

メッシュ 1

エクスポート

レポート

設定 特性

サーフェス

プロット

ラベル: サーフェス 1

データ

データセット: サーフェス 1

実効モード次数: 0.34859-25.783i

式

式: emw.normtEmode_1

単位: V/m

説明:

接続電気モード場ノルム

タイトル

範囲

カラーリングおよびスタイル

カラーリング: カラーテーブル

カラーテーブル: Rainbow

カラーレジェンド

カラーテーブル反転

カラー範囲同期化

ワイヤフレーム

グラフィックス

複数断面

メッセージ 進捗 ログ テーブル 1

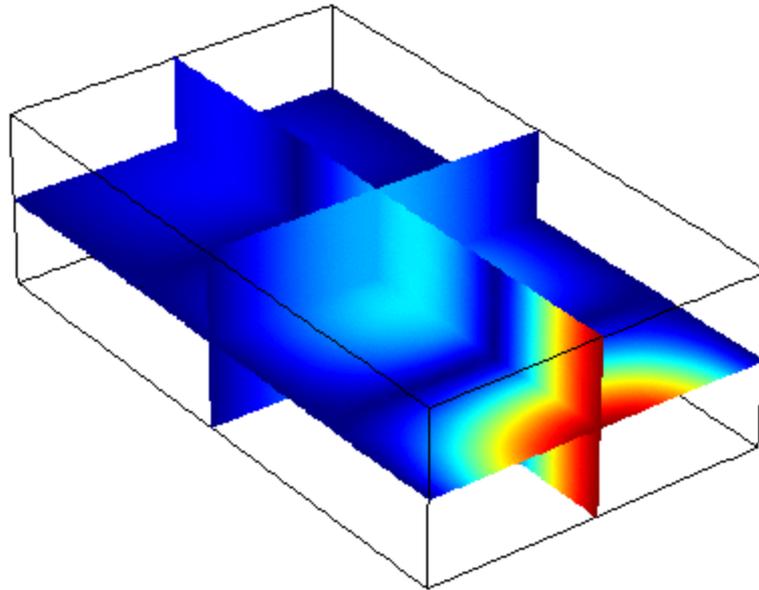
実効モード次数	伝搬定数 (rad/m)
0.34859-25.783i	0.73059-54.037i

$$\begin{aligned} \gamma &= j\beta = j(\text{Re}[\beta] + j\text{Im}[\beta]) \\ &= j\text{Re}[\beta] - \text{Im}[\beta] \\ &= \underbrace{-\text{Im}[\beta]}_{=\alpha} + j\underbrace{\text{Re}[\beta]}_{=\beta} \end{aligned}$$

【厳密解】

$f = 0.1 * 10^9;$
 $\omega = 2 * \pi * f;$
 $\epsilon_0 = 8.854 * 10^{-12};$
 $\mu_0 = 4 * \pi * 10^{-7};$
 $\sigma = 0.1;$
 $\lambda = c / f;$
 $k_0 = \omega * \sqrt{\mu_0 * \epsilon_0};$
 $k = \omega * \sqrt{\mu_0 * (\epsilon_0 + \frac{\sigma}{I * \omega})};$
 $\beta = \sqrt{k^2 - kc[1, 0]^2}$

0.730588 - 54.0365 i
 β / k_0
 0.348593 - 25.7829 i



11: 多モードのポート

The screenshot displays the COMSOL Multiphysics interface for a simulation titled "rect_wg_port_num_multimode.mph". The software is in the "Settings" (設定) tab, specifically the "Boundary Mode Analysis" (境界モード解析) section. The "Study Settings" (スタディ設定) are configured for a "Real Mode Order" (実効モード次数) of 6 at a frequency of 0.1 GHz. The "Physics Selection" (フィジクスおよび変数選択) section shows the "Electromagnetic Waves, Frequency Domain" (電磁波 (周波数領域) (emw)) physics interface is active, with the "Discretization" (離散化) and "Physics Settings" (フィジクス設定) options checked.

The "Graphics" (グラフィックス) window shows a 3D plot of the "Instantaneous Electric Field Norm" (瞬間的電場ノルム) in V/m. The plot is titled "freq(1)=4 GHz" and "Cross-section: Instantaneous Electric Field Norm (V/m)". The field distribution is shown on a rectangular waveguide structure, with a color scale ranging from 0 to 7 $\times 10^6$ V/m. The plot includes a coordinate system (x, y, z) and a color bar on the right.

The "Study" (スタディ) window on the right shows the "Study" (スタディ) list, including "Standard Study" (標準スタディ) and "Custom Study" (カスタムスタディ). The "Standard Study" (標準スタディ) is expanded to show "Boundary Mode Analysis" (境界モード解析), "Eigenfrequency" (固有周波数), "Frequency Domain" (周波数領域), and "Frequency Domain Model" (周波数領域モーダル). The "Custom Study" (カスタムスタディ) is also expanded to show "Empty Study" (空スタディ).

The "Results" (結果) window on the left shows the "Model Builder" (モデルビルダ) tree, which includes the following items:

- rect_wg_port_num_multimode.mph (root)
- Global Definitions (グローバル定義)
- Parameters (Pi パラメーター)
- Materials (材料)
- RectWG (comp1)
- Definitions (定義)
- Geometry (ジオメトリ)
- Materials (材料)
- Electromagnetic Waves (周波数領域) (emw)
- Wave Equation (電場) (1)
- Electric Wall (PEC) (1)
- Initial Value (1)
- Port (1)
- Port (2)
- Mesh (メッシュ) (1)
- Study (スタディ) (1)
- Step 1: Boundary Mode Analysis (1)
- Step 2: Boundary Mode Analysis (2)
- Step 3: Frequency Domain
- Solver Configuration (ソルバーコンフィギュレーション)
- Results (結果)
- Data Set (データセット)
- Plot (ビュー)
- Calculation (計算値)
- Global Evaluation 1 (9.5)
- Global Evaluation 2 (9.5)
- Table (テーブル)
- Electric Field (emw)
- Export (エクスポート)
- Report (レポート)

The "Message" (メッセージ) window at the bottom shows the "Progress" (進捗) bar, which is currently at 0.85. The "Log" (ログ) and "Table" (テーブル) windows are also visible.

The system status bar at the bottom indicates 1.15 GB | 1.27 GB of memory usage.

11: 多モードのポート

rect_wg_port_num_multimode.mph - COMSOL Multiphysics (トライアルバージョン)

ファイル ホーム 定義 ジオメトリ 材料 フィジックス メッシュ スタディ 結果

モデルビルダ

- rect_wg_port_num_multimode.mph
 - グローバル定義
 - パラメーター
 - 材料
 - RectWG (comp1)
 - 定義
 - ジオメトリ1
 - 材料
 - 電磁波 (周波数領域) (emw)
 - 波動方程式 (電場) 1
 - 電気壁 (PEC) 1
 - 初期値 1
 - ポート 1
 - ポート 2
 - メッシュ 1
 - スタディ 1
 - ステップ 1: 境界モード解析 1
 - ステップ 2: 境界モード解析 2
 - ステップ 3: 周波数領域
 - ソルバーコンフィギュレーション
 - 結果
 - データセット
 - ビュー
 - 計算値
 - グローバル評価 1
 - グローバル評価 2
 - テーブル
 - 電場 (emw)
 - 複数断面
 - サーフェス 1
 - 矢印 (面上) 1
 - メッシュ 1
 - エクスポート

設定 特性

グローバル評価

= 評価

ラベル: グローバル評価 2

データ

データセット: スタディ 1/解保存 1 (sol2)

実効モード次数 選択: 全て

式

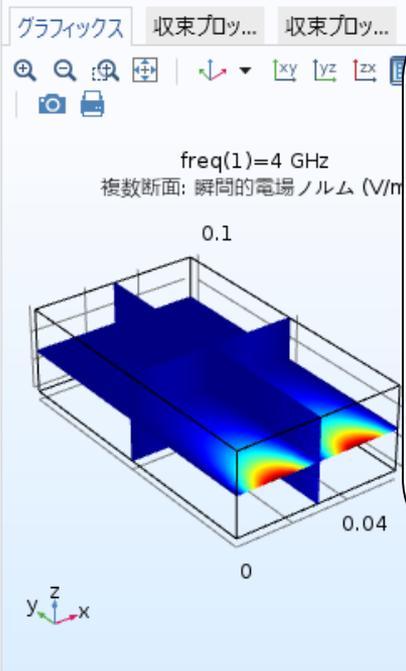
式	単位	説明
emw.beta_1	rad/m	伝搬定数

式:

説明:

データシリーズ演算

演算: なし



【厳密解】

β / k_0

TE10: 25.7803 *i*

TE01: 51.501 *i*

TE20: 51.5897 *i*

β

TE10: 54.0315

TE01: 107.938

TE20: 108.124

メッセージ 進捗 ログ テーブル 1

実効モード次数	伝搬定数 (rad/m)	
-51.594i	-108.13i	TE20
-51.503i	-108.13i	TE01
-25.780i	-108.13i	TE10
25.780i	-108.13i	TE10
51.503i	-108.13i	TE01
51.594i	-108.13i	TE20

11: 多モードのポート (TE10)

The screenshot displays the COMSOL Multiphysics interface for a TE10 mode simulation. The model tree on the left shows the hierarchy: **rect_wg_port_num_multimode.mph** > **電磁波 (周波数領域) (emw)** > **実効モード次数** (set to 25.78i). The settings panel in the middle shows the plot configuration for the **サーフェス 1** data set, with the formula $emw.normtEmode_1$ and units of V/m . The plot window on the right shows a color map of the electric field magnitude on the surface of a rectangular waveguide, with a frequency of $freq(1)=4\text{ GHz}$ and a scale of $\times 10^9$. The plot is overlaid on a triangular mesh. The message table at the bottom lists the real and imaginary parts of the effective mode numbers for various modes.

実効モード次数	伝搬定数 (rad/m)
-51.594i	-108.13i
-51.503i	-108.13i
-25.780i	-108.13i
25.780i	-108.13i
51.503i	-108.13i
51.594i	-108.13i

11: 多モードのポート (TE01)

rect_wg_port_num_multimode.mph - COMSOL Multiphysics (トライアルバージョン)

ファイル ホーム 定義 ジオメトリ 材料 フィジックス メッシュ スタディ 結果 電場 (emw)

モデルビルダ

- rect_wg_port_num_multimode.mph
 - グローバル定義
 - パラメーター
 - 材料
 - RectWG (comp1)
 - 定義
 - ジオメトリ1
 - 材料
 - 電磁波 (周波数領域) (emw)
 - 波動方程式 (電場) 1
 - 電気壁 (PEC) 1
 - 初期値 1
 - ポート 1
 - ポート 2
 - メッシュ 1
 - スタディ 1
 - ステップ 1: 境界モード解析 1
 - ステップ 2: 境界モード解析 2
 - ステップ 3: 周波数領域
 - ソルバーコンフィギュレーション
 - 結果
 - データセット
 - ビュー
 - 計算値
 - グローバル評価 1
 - グローバル評価 2
 - テーブル
 - 電場 (emw)
 - 複数断面
 - サーフェス 1
 - 矢印 (面上) 1
 - メッシュ 1
 - エクスポート

設定 特性

矢印 (面上)
プロット

ラベル: 矢印 (面上) 1

データ

データセット: サーフェス 1

実効モード次数: 51.503i

式

x 成分: emw.tEmodex_1 V/m

y 成分: emw.tEmodey_1 V/m

z 成分: emw.tEmodez_1 V/m

説明: 接線電気モード場

タイトル

カラーリングおよびスタイル

タイプ: 矢印

長さ: 比例

矢印ベース: テイル

スケール因子: 9.60321E-10

グラフィックス

収束プロット... 収束プロット... 収束プロット...

freq(1)=4 GHz

サーフェス: 接線電気モード場 ノルム (V/m)

矢印 (面上): 接線電気モード場 メッシュ

×10⁶

2

1.8

1.6

1.4

1.2

1

0.8

0.6

0.4

0.2

スタディ追加

スタディ追加

スタディ

- 標準スタディ
 - 境界モード解析
 - 固有周波数
 - 周波数領域
 - 周波数領域モーダル
- カスタムスタディ
- 空スタディ

スタディ中のフィジックスインター:

メッセージ 進捗 ログ テーブル 1

実効モード次数	伝搬定数 (rad/m)
-51.594i	-108.13i
-51.503i	-108.13i
-25.780i	-108.13i
25.780i	-108.13i
51.503i	-108.13i
51.594i	-108.13i

1.16 GB | 1.26 GB

11: 多モードのポート (TE20)

rect_wg_port_num_multimode.mph - COMSOL Multiphysics (トライアルバージョン)

ファイル ホーム 定義 ジオメトリ 材料 フィジックス メッシュ スタディ 結果 電場 (emw)

モデルビルダ

- rect_wg_port_num_multimode.mph
 - グローバル定義
 - パラメーター
 - 材料
 - RectWG (comp1)
 - 定義
 - ジオメトリ1
 - 材料
 - 電磁波 (周波数領域) (emw)
 - 波動方程式 (電場) 1
 - 電気壁 (PEC) 1
 - 初期値 1
 - ポート 1
 - ポート 2
 - メッシュ 1
 - スタディ 1
 - ステップ 1: 境界モード解析 1
 - ステップ 2: 境界モード解析 2
 - ステップ 3: 周波数領域
 - ソルバーコンフィギュレーション
 - 結果
 - データセット
 - ビュー
 - 計算値
 - グローバル評価 1
 - グローバル評価 2
 - テーブル
 - 電場 (emw)
 - 複数断面
 - サーフェス 1
 - 矢印 (面上) 1
 - メッシュ 1
 - エクスポート

設定 特性

サーフェス

プロット

ラベル: サーフェス 1

データ

データセット: サーフェス 1

実効モード次数: 51.594i

式

式: emw.normtEmode_1

単位: V/m

説明: 接続電気モード場ノルム

タイトル

範囲

カラーリングおよびスタイル

カラーリング: カラーテーブル

カラーテーブル: Rainbow

カラーレジェンド

カラーテーブル反転

カラー範囲同期化

ワイヤフレーム

グラフィックス

収束プロット... 収束プロット... 収束プロット...

0.02 0.01 0

freq(1)=4 GHz

サーフェス 1: 接続電気モード場ノルム (V/m)

矢印 (面上): 接続電気モード場 メッシュ

×10⁶

1.4

1.2

1

0.8

0.6

0.4

0.2

スタディ追加

スタディ追加

スタディ

- 標準スタディ
 - 境界モード解析
 - 固有周波数
 - 周波数領域
 - 周波数領域モーダル
- カスタムスタディ
- 空スタディ

スタディ中のフィジックスインター:

メッセージ 進捗 ログ テーブル 1

実効モード次数	伝搬定数 (rad/m)
-51.594i	-108.13i
-51.503i	-108.13i
-25.780i	-108.13i
25.780i	-108.13i
51.503i	-108.13i
51.594i	-108.13i

1.16 GB | 1.27 GB

A: ビューの設定

The screenshot displays the COMSOL Multiphysics interface for a test case named 'test.mph'. The 'Model Builder' on the left shows a tree view with 'View 3D 1' selected, containing a 'Camera' object. The 'Settings' pane for the 'Camera' object is visible, showing various parameters such as Projection (Orthographic), Orthographic scale (0.06101), View scale (None), Position (x: wg_a/2, y: -4, z: wg_b/2), Target (x: wg_a/2, y: 0, z: wg_b/2), Up Vector (x: 0, y: 0, z: 1), and Center of Rotation (x: 0.02905, y: 0.05, z: 0.01455). The 'Graphics' pane on the right shows a 3D plot of a mesh with a color gradient, labeled 'freq(1)=4 GHz Surface: 接線電気モード場ノルム (V/m) Arrow Surface: 接線電気モード場 Mesh'. The 'Progress' pane at the bottom right shows a table of results.

実効モード次数	伝搬定数 (rad/m)
-51.594i	-108.13i
-51.503i	-108.13i
-25.780i	-108.13i

997 MB | 1116 MB