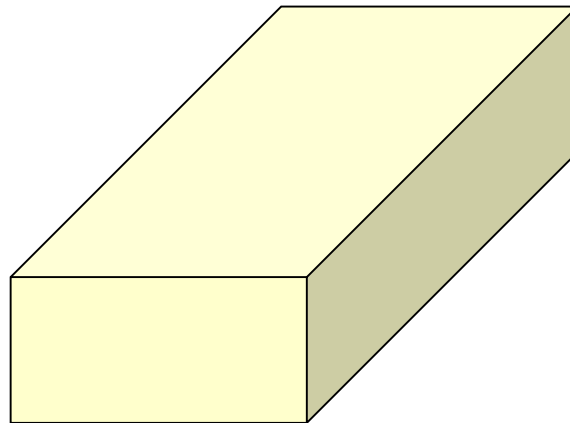
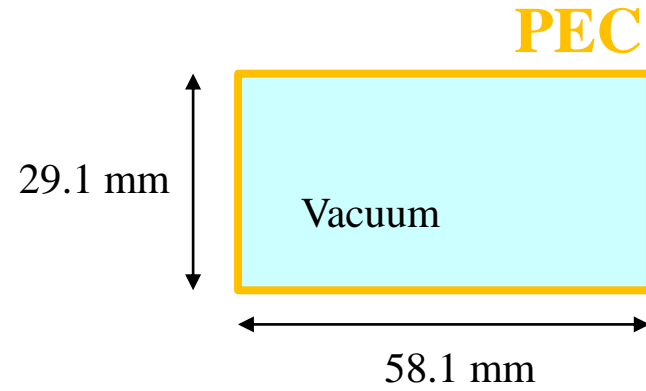
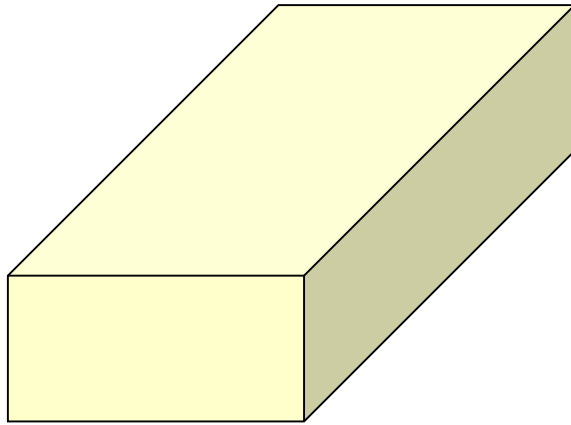


COMSOLによる方形導波管の解析 ～ 数値ポート ～



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 'Model Builder' (モデルビルダ) on the left shows a tree structure with 'Port 1' (ポート1) selected under the 'Wave Electromagnetics' (電磁波) domain. The 'Settings' (設定) pane for 'Port 1' is active, showing the following configuration:

- ラベル: ポート1
- 境界選択: マニュアル (Manual)
- アクティブ: (Active)
- 優先関係および寄与: (Priority and Contribution)
- 方程式: (Equations)
- ポート特性 (Port Characteristics):
 - ポート名: 1
 - ポートタイプ: 数値 (Numerical)
 - 波動励起: オン (On)
 - 印加パワー指定 (Specify Applied Power)
 - 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 (Activate Slit Conditions at Internal Port Boundaries)
 - TEM 場として解析 (Analyze as TEM Field)
- ポートモード設定 (Port Mode Setting):
 - 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 (Numerical ports require boundary mode analysis study steps)
 - モード位相: θ_{in} 0 rad

The 'Graphics' (グラフィックス) window shows a 3D view of a rectangular waveguide with dimensions 0.1 (height), 0.05 (width), and 0.04 (depth). The 'Port 1' is highlighted in blue on the right side. The 'Material' (材料) library on the right lists various materials, and the 'Messages' (メッセージ) window at the bottom shows the simulation results, including the license expiration date and calculation time.

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)

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: 絶対値に最も近い

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

— 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

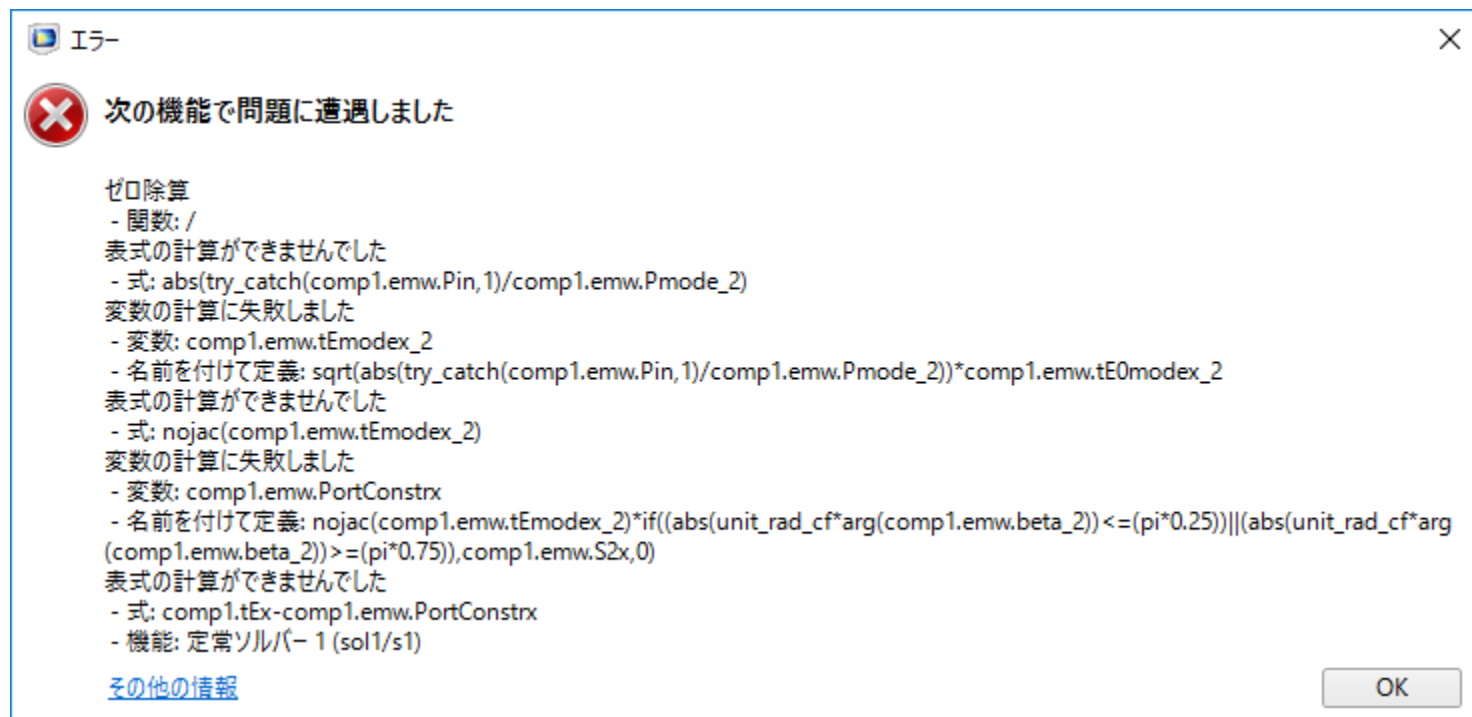
1.35 GB | 1.46 GB

こここの順番が重要。
後で入れ替え可能

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。

3: 境界モード解析の設定(補足)

前のページの「ステディ」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 "電場 (emw)" (Electric Field) study mode.

Model Builder (Left Panel): Shows the hierarchical structure of the model, including global definitions, materials, geometry (RectWG), meshing, and the study steps: Step 1: Boundary Mode Analysis, Step 2: Boundary Mode Analysis, and Step 3: Frequency Domain.

Settings Panel (Middle): Configures the 3D plot of the electric field. The label is "電場 (emw)". The data set is "スタディ 1/解 1 (sol)". The parameter value for frequency is set to 4 GHz. The plot is titled "freq(1)=4 GHz 複数断面: 電場ノルム (V/m)". The plot settings include a view of "自動" (Automatic), with options for "非表示エンティティ表示" (Hidden Entity Display) and "非表示を下位次元にも適用" (Apply to Lower Dimensions). The "エッジをプロット" (Plot Edges) option is checked. The color is set to "黒" (Black) and the coordinate system is "空間 (x, y, z)".

3D Plot (Right): A 3D visualization of the electric field distribution in a rectangular waveguide structure. The color scale ranges from 0.2 to 1.0, with a multiplier of $\times 10^3$ V/m. The plot shows the field intensity concentrated in the center of the waveguide.

Message Window (Bottom): Displays the following information:
計算時間 (スケイリング) を省略
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

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

最後にクリック

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

- 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

ファイルテキストを入力

emw.normEi - 瞬時的電場ノルム

- 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 - 瞬時的電場ノルム
 - 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

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)".

Left Panel (Model Builder): Shows a tree view of the model. The "アニメーション1" (Animation 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 Settings (Center):

- ラベル: アニメーション 1
- シーン: シーン
- サブジェクト: 電場 (emw)
- ターゲット: プレーヤ
- アニメーション編集: シーケンスタイプ: ダイナミックデータ拡張, 周期タイプ: 全調和
- フレーム: フレーム数: 25, フレーム番号: 25
- 位相シフト: 6.0319
- 再生中: 各対象フレーム表示: 0.1

3D Plot (Right): A 3D surface plot showing the electric field magnitude (電場の大きさ) in V/m. The plot is titled "freq(1)=4 GHz" and "複数断面: 瞬間的電場ノルム (V/m)". The color scale ranges from 0.2 to 1.0, with a multiplier of $\times 10^3$. The plot shows a complex, multi-lobed structure with a color gradient from blue (low) to red (high).

Bottom Panel (Message/Log): 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

Annotations:

- A callout box with the text "クリックで再生" (Click to play) points to the play button in the animation player.
- A red circle highlights the "アニメーション1" node in the Model Builder.

System Information: 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. The main window shows a 3D plot of the electric field magnitude (V/m) at 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. The plot shows a complex, multi-lobed structure with varying field intensities.

The left sidebar shows the model hierarchy, including the 'アニメーション' (Animation) folder, which is circled in red. A callout bubble points to this folder with the text 'クリックで保存' (Click to save).

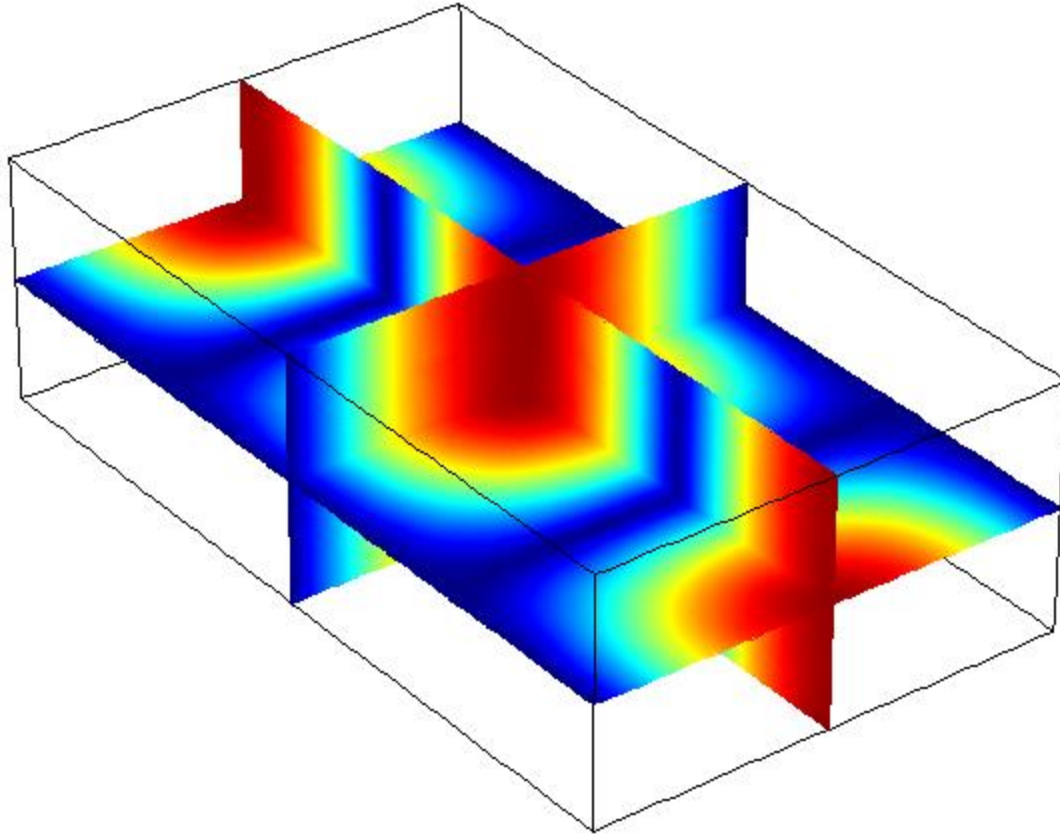
The central 'アニメーション' (Animation) settings panel is visible, showing the following configuration:

- ラベル: アニメーション 2
- シーン: 電場 (emw)
- ターゲット: ファイル
- 出力タイプ: 動画
- フォーマット: GIF
- ファイル名: comsol\rect_wg.gif
- 常に見るファイル名を求め
- ブラウザで開く
- 毎秒当たりのフレーム数: 10
- アニメーション編集: シーンスタイル: ダイナミックデータ拡張, 周期タイプ: 全調和
- フレーム数: 25
- サイズ: マニュアル
- アスペクト比をロック

The right sidebar shows the 'スタディ追加' (Add Study) panel, with '周波数領域' (Frequency Domain) selected. The 'メッセージ' (Messages) panel at the bottom shows the following data:

実効モード次数	伝搬定数 (rad/m)
0.76419	64.065

At the bottom of the interface, the memory usage is shown as 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

- 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: 瞬間的電場ノルム (V/m)

×10³

0.1 0.05 0.02 0 0

0.2 0.4 0.6 0.8 1

Y Z X

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)

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

- 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
 - 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)
 - 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
 - エクスポート
 - レポート

設定 特性

グローバル評価

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

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

1

0.8

スタディ追加

- スタディ追加
- 周波数領域
- 周波数領域モデル
- カスタムスタディ
- 空スタディ

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

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

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 left, the "モデルビルダ" (Model Builder) shows the simulation setup, including a mesh, a study with three steps (boundary mode analysis, boundary mode analysis, and frequency domain), and a solver configuration.

In the center, the "設定" (Settings) pane for "グローバル評価" (Global Evaluation) shows the data set "スタディ1/解保存1 (sol2)" and the real mode order selection set to "全て" (All).

Below the settings, a table lists the propagation constants:

式	単位	説明
emw.beta_1	rad/m	伝搬定数

At the bottom, the "メッセージ" (Messages) pane shows the results of the calculation:

実効モード次数	伝搬定数 (rad/m)
25.780i	54.032i

A callout box titled "【厳密解】" (Exact Solution) contains the following equations:

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

Red arrows point from the numerical results in the Messages pane to the corresponding terms in the equations: 25.780i to β / k and 54.032i to k .

9: モードの電界分布の表示(面の定義)

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

- 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
 - uvw 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
 - uvw 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
 - uvw 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)
 - エクスポート
 - レポート

設定 特性

サーフェス

ラベル: サーフェス 1

データ

データセット: スタディ 1/解保存 1 (sol2)

パラメータ化

x および y 軸: 面パラメーター

選択

選択: マニュアル

アクティブ

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...

スタディ追加

- 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

Port 1の面

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:

マルチフィジックス 求解

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)
25.780i	54.032i

1.51 GB | 1.61 GB

9: モードの電界分布の表示(電界強度)

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

- 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
 - uvw 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
 - uvw 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
 - uvw 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
 - テーブル
 - 電場 (emw)
 - 複数断面
 - サーフェス 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: 25.78i

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

Rainbow

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... 収束プロッ... 収束プロッ...

freq(1)=4 GHz

サーフェス: 接続電気モード場ノルム (V/m)

0.02 0.01 0

0.04

×10⁶

7

6

スタディ追加

- 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

フィルタテキストを入力

- 加熱および損失
- 磁気
- 材料特性
- 機械的
- ポート
 - Sパラメーター
 - Sパラメーター (dB)
 - 接続電気モード場
 - 接続電気モード場
 - 接続磁気モード場
 - 接続磁気モード場
 - emw.beta_1 - 伝搬定数
 - emw.beta_2 - 伝搬定数
 - emw.normtEmode_1 - 接続電気モード場ノルム
 - emw.normtEmode_2 - 接続電気モード場ノルム
 - emw.normtHmode_1 - 接続磁気モード場ノルム
 - emw.normtHmode_2 - 接続磁気モード場ノルム
 - emw.VSWR_1 - VSWR
- emw.freq - 周波数
- emw.iomega - 複素角振動数

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

右クリックで無効

1.51 GB | 1.64 GB

9: モードの電界分布の表示(電界ベクトル)

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

- Model Builder (モデルビルダ):** Shows the simulation steps and results. The "Fields" (電場) result is selected under the "emw" (Electromagnetic Waves) node.
- Settings (設定) Panel:** Configured for a "Vector Plot" (矢印(面上)) of the electric field. The data set is "Surface 1" (サーフェス1) and the active mode order is 25.78i. The plot type is set to "Vector" (矢印) with a scale factor of $2.50788E-10$.
- Plot Area:** Displays a 2D vector plot of the electric field distribution on a surface. The plot is titled "freq(1)=4 GHz" and "Surface: Connected Electrical Mode Field" (サーフェス: 接続電気モード場). The field is represented by a color map and vector arrows.
- Filter Text Input Dialog (フィルタテキストを入力):** A dialog box is open, showing a list of field variables. The selected variable is "emw.tEmodex_1,...,emw.tEmodez_1 - 接続電気モード場". Other variables include magnetic field components (tHmodex, tHmodez).

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 (E-field) in a waveguide structure, overlaid with a triangular mesh. 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 view button in the graphics toolbar.

The left sidebar shows the "モデルビルダ" (Model Builder) with a tree structure of 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 highlighted.

The "設定" (Settings) panel for "メッシュ" (Mesh) is visible, 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 (未チェック)
- 基準: 論理式
- 式: 1
- 要素縮小 (展開)
- スタイルを継承 (展開)

The "グラフィックス" (Graphics) toolbar shows the "xz" view button selected. 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" (Messages) 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 interface, the memory usage is displayed 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

0.1 0.04 0 0

z x y

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

$$\gamma = j\beta = j(\text{Re}[\beta] + j \text{Im}[\beta])$$

$$= j \text{Re}[\beta] - \text{Im}[\beta]$$

$$= \underbrace{-\text{Im}[\beta]}_{=\alpha} + j \underbrace{\text{Re}[\beta]}_{=\beta}$$

【厳密解】

$f = 0.1 * 10^9;$

$\omega = 2 * \pi * f;$

$\epsilon_0 = 8.854 * 10^{-12};$

$\mu_0 = 4 * \pi * 10^{-7};$

$\sigma = 0.1;$

$\lambda = c / f;$

$k_0 = \omega * \sqrt{\mu_0 * \epsilon_0};$

$k = \omega * \sqrt{\mu_0 * (\epsilon_0 + \frac{\sigma}{I * \omega})};$

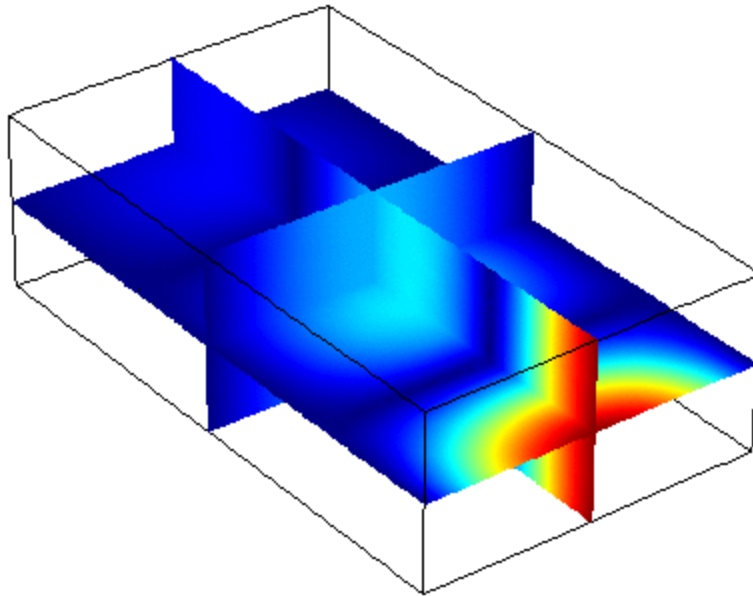
$\beta = \sqrt{k^2 - kc[1, 0]^2}$

0.730588 - 54.0365 i

β / k_0

0.348593 - 25.7829 i

1.54 GB | 1.68 GB



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) settings.

Model Builder (モデルビルダ): The left sidebar shows the model hierarchy. The "RectWG (comp1)" component is expanded, showing the "Ports" (ポート) sub-component. The "Study" (スタディ) section is also expanded, showing three steps: "Step 1: Boundary Mode Analysis 1", "Step 2: Boundary Mode Analysis 2", and "Step 3: Wave Number Domain".

Settings (設定) - Boundary Mode Analysis:

- 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: 6
 - 単位: [Dropdown]
 - 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
- 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イス: 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

Graphics (グラフィックス): The main window shows a 3D plot of the instantaneous electric field magnitude (瞬間的電場ノルム) in V/m. The plot is titled "freq(1)=4 GHz" and "複数断面: 瞬間的電場ノルム (V/m)". The color scale ranges from 0 to 7, with a multiplier of $\times 10^6$. The plot shows a rectangular waveguide structure with a central slot, and the electric field is concentrated in the slot and the surrounding regions.

Study (スタディ追加): The right sidebar shows the study configuration. It includes "Standard Study" (標準スタディ) with "Boundary Mode Analysis" (境界モード解析), "Eigen Frequency" (固有周波数), "Wave Number Domain" (周波数領域), and "Wave Number Domain Model" (周波数領域モーダル). It also includes "Custom Study" (カスタムスタディ) and "Empty Study" (空スタディ).

Message (メッセージ): The bottom status bar shows the message "1.15 GB | 1.27 GB".

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

グラフィックス

freq(1)=4 GHz

複数断面: 瞬間的電場ノルム (V/m)

0.1

0.04

0

Y Z X

【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

1.17 GB | 1.28 GB

11: 多モードのポート (TE10)

The screenshot displays the COMSOL Multiphysics interface for a simulation titled "rect_wg_port_num_multimode.mph". The software is in the "電場 (emw)" (Electromagnetic Waves) physics interface.

Model Tree (Left): Shows the hierarchy of the model, including "RectWG (comp1)", "電磁波 (周波数領域) (emw)", and "ポート 1" (Port 1).

Settings Panel (Middle): Configures the "ポート 1" (Port 1) data set. The "実効モード次数" (Effective Mode Order) is set to "25.78i". The formula is "emw.normtEmode_1" and the unit is "V/m".

Plot Window (Right): Displays a 2D plot of the electric field magnitude (V/m) on the cross-section of the waveguide. The plot is titled "freq(1)=4 GHz" and shows a color-coded field distribution with a mesh overlay. The color scale ranges from 0.5 to 4.0 $\times 10^9$ V/m.

Message Table (Bottom): Shows the results of the simulation for different modes. The table has two columns: "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)
-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)

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
 - 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

