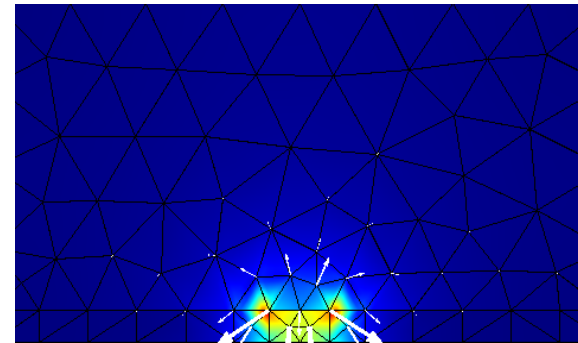
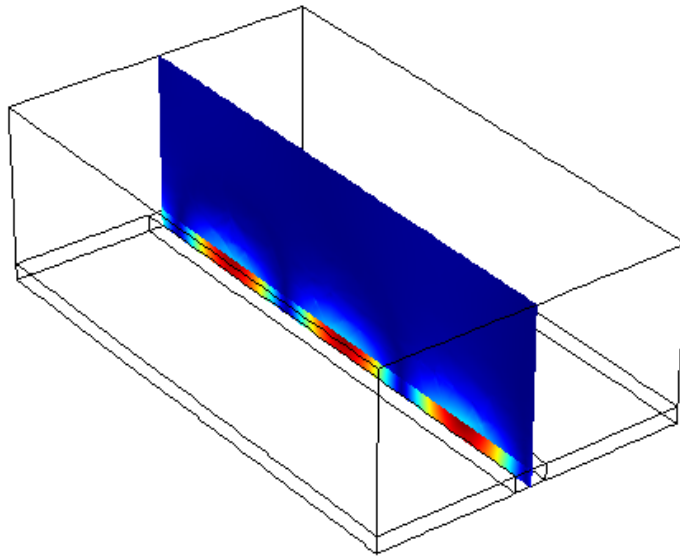


COMSOLによるマクロストリップ線路の解析 ～ 数値ポート ～



平野 拓一

E-mail: takuichi_hirano@yahoo.co.jp

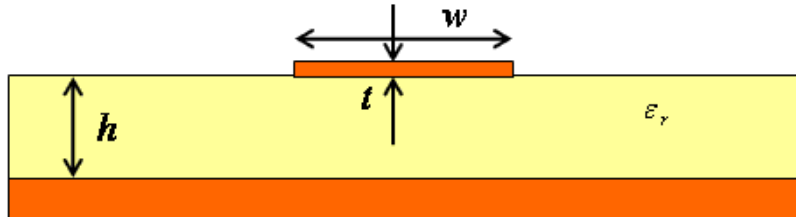
マクロストリップ線路(初期設計)

Microstrip Line

takuichi.net/hobby/edu/em/mw_circuit/transmission_lines/msl/index.html

Microstrip Line

2010.10.30 Takuichi Hirano



Input

Dielectric constant	ϵ_r	<input type="text" value="4.5"/>	
Height of dielectric layer	h	<input type="text" value="1.57"/>	mm
Width of signal line	w	<input type="text" value="3"/>	mm
Thickness of signal line	t	<input type="text" value="0.001"/>	mm

Output

Characteristic impedance	Z_0	<input type="text" value="49.4232532934966"/>	Ohms
Effective relative permittivity	ϵ_{eff}	<input type="text" value="3.3985931520784635"/>	

http://www.takuichi.net/hobby/edu/em/mw_circuit/transmission_lines/msl/

1: モデル化 (Port1)

The screenshot displays the COMSOL Multiphysics software interface for a model named "msl_pec_port.mph". The main window is titled "msl_pec_port.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 the model tree. Under "コンポーネント 1 (comp1)", the "電磁波 (周波数領域) (emw)" physics interface is active. The "ポート 1" (Port 1) feature is selected. The "スタディ 1" (Study 1) section includes "ステップ 1: 境界モード解析" (Step 1: Boundary Mode Analysis), "ステップ 2: 境界モード解析 1" (Step 2: Boundary Mode Analysis 1), and "ステップ 3: 周波数領域" (Step 3: Frequency Domain).

Settings (設定) - Port (ポート): The central panel shows the configuration for "ポート 1". The "境界選択" (Boundary Selection) is set to "マニュアル" (Manual), with boundaries 2, 5, 11, and 16 selected. The "ポート特性" (Port Characteristics) section is expanded, showing "ポート名" (Port Name) as "1", "ポートタイプ" (Port Type) as "数値" (Numerical), and "波動励起" (Wave Excitation) as "オン" (On). The "ポート入力パワー" (Port Input Power) is set to P_{in} with a value of "1[W]".

Graphics (グラフィックス): The central 3D view shows a rectangular waveguide structure. The front face is highlighted in blue. The coordinate system (x, y, z) is visible at the bottom left.

Study (スタディ追加): The right sidebar shows the "スタディ追加" (Add Study) panel. The "標準スタディ" (Standard Study) is selected, with "境界モード解析" (Boundary Mode Analysis) and "周波数領域" (Frequency Domain) chosen. The "カスタムスタディ" (Custom Study) section is also visible.

Message (メッセージ): The bottom panel displays a message: "COMSOL Multiphysics 5.2.1.229 ライセンスは0日で失効します 開かれたファイル: msl_pec_port.mph".

At the bottom of the window, the memory usage is shown as "935 MB | 1102 MB".

1: モデル化 (Port2)

The screenshot displays the COMSOL Multiphysics software interface for modeling a port in a rectangular waveguide. The window title is "msl_pec_port.mph - COMSOL Multiphysics (トライアルバージョン)".

Model Builder (モデルビルダ): The tree view shows the model structure:

- msl_pec_port.mph (root)
 - グローバル定義
 - Pi パラメーター
 - 材料
 - コンポーネント 1 (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
 - 電気壁 (PEC) 2
 - 散乱境界条件 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
 - ステップ 2: 境界モード解析 1
 - 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

Settings (設定) - Port (ポート):

- ラベル: ポート 2
- 境界選択: マニュアル
- アクティブ: 8, 9, 14, 19
- 優先関係および寄与
- 方程式
- ポート特性
 - ポート名: 2
 - ポートタイプ: 数値
 - 波動励起: オフ
 - 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:

Graphics (グラフィックス): A 3D visualization of the rectangular waveguide. The front face is highlighted in blue. The coordinate system (x, y, z) is shown at the bottom left. Dimensions are indicated: 0.02 (width), 0.01 (depth), and 1.0 (height).

Study (スタディ追加): The study list includes:

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

Message (メッセージ): The message pane shows the following text:

```
COMSOL Multiphysics 5.2.1.229  
ライセンスは0日で失効します  
開かれたファイル: msl_pec_port.mph
```

880 MB | 1051 MB

1: モデル化 (散乱境界条件)

The screenshot displays the COMSOL Multiphysics interface for a model named 'msl_pec_port.mph'. The 'Model Builder' (モデルビルダ) on the left shows a tree structure with components like 'Global Definitions', 'Materials', 'Component 1 (comp1)', 'Electromagnetic Waves (Frequency Domain) (emw)', and 'Mesh 1'. The 'Study' (スタディ) section is expanded to show 'Step 1: Boundary Mode Analysis', 'Step 2: Boundary Mode Analysis 1', and 'Step 3: Frequency Domain'. The 'Settings' (設定) window for 'Scattering Boundary Condition 1' (散乱境界条件 1) is open, showing the 'Characteristics' (特性) tab. The 'Boundary Selection' (境界選択) section is set to 'Manual' (マニュアル), with a list of active boundaries: 1, 4, 7, 20, and 21. The 'Coordinate System Selection' (座標系選択) is set to 'Global Coordinate System' (グローバル座標系). The 'Incident Field' (入射場) is set to 'No Incident Field' (入射場なし), and the 'Scattering Wave Type' (散乱波タイプ) is set to 'Plane Wave' (平面波). The 'Order' (オーダー) is set to '1st' (1次). The 'Graphics' (グラフィックス) window shows a 3D view of a rectangular waveguide with a central slot, with axes labeled x, y, and z. The 'Study Addition' (スタディ追加) window on the right shows the study configuration, including 'Standard Study' (標準スタディ) with '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 Modal' (周波数領域モーダル), and 'Custom Study' (カスタムスタディ) with 'Empty Study' (空スタディ). The 'Message' (メッセージ) window at the bottom shows a warning: 'COMSOL Multiphysics 5.2.1.229. License expires in 10 days. Opened file: msl_pec_port.mph'. The system status at the bottom indicates 907 MB | 1063 MB.

1: モデル化 (電気壁1)

msl_pec_port.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

- msl_pec_port.mph (root)
 - グローバル定義
 - パラメーター
 - 材料
 - コンポーネント 1 (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
 - 電気壁 (PEC) 2
 - 散乱境界条件 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
 - ステップ 2: 境界モード解析 1
 - 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

設定 特性

電気壁 (PEC)

ラベル: 電気壁 (PEC) 1

境界選択

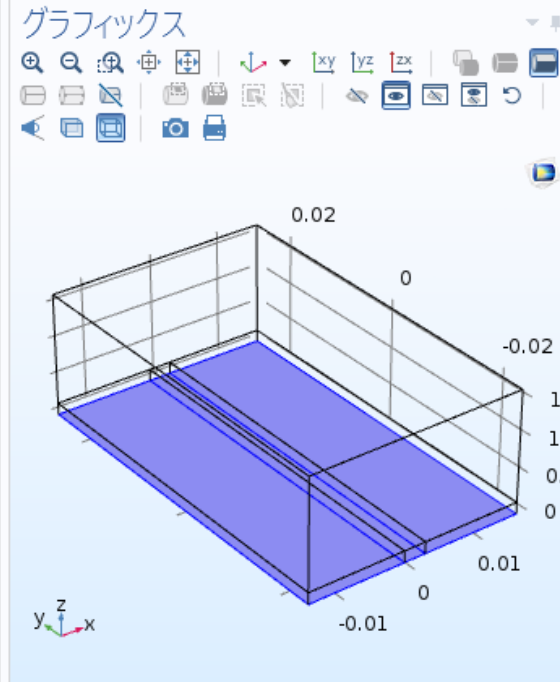
選択: 全境界

アクティブ

- 1 (他から優先使用済)
- 2 (他から優先使用済)
- 3
- 4 (他から優先使用済)
- 5 (他から優先使用済)
- 6 (適用不可)

優先関係および寄与

方程式



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

COMSOL Multiphysics 5.2.1.229
 ライセンスは0日で失効します
 開かれたファイル: msl_pec_port.mph

927 MB | 1083 MB

1: モデル化 (電気壁2)

The screenshot displays the COMSOL Multiphysics software interface for a model named "msl_pec_port.mph". The main window shows a 3D visualization of a rectangular cavity with a blue boundary representing a Perfect Electric Conductor (PEC). The axes are labeled x, y, and z, with numerical values ranging from -0.01 to 0.02.

The interface is divided into several panels:

- モデルビルダ (Model Builder):** Located on the left, it shows a hierarchical tree of the model's components. The "電気壁 (PEC) 2" (PEC 2) component is highlighted in blue.
- 設定 (Settings):** Located in the center, it shows the configuration for the selected "電気壁 (PEC) 2" component. The "境界選択" (Boundary Selection) section is active, showing a manual selection of boundary 13.
- グラフィックス (Graphics):** Located on the right, it displays the 3D model of the cavity with the PEC boundary highlighted in blue.
- スタディ追加 (Study Add):** Located on the far right, it shows the list of studies and physics interfaces. The "標準スタディ" (Standard Study) is selected, and the "周波数領域" (Frequency Domain) and "周波数領域モーダル" (Frequency Domain Modal) physics interfaces are visible.
- メッセージ (Message):** Located at the bottom, it displays a warning message: "COMSOL Multiphysics 5.2.1.229 ライセンスは0日で失効します 開かれたファイル: msl_pec_port.mph" (COMSOL Multiphysics 5.2.1.229 license expires in 0 days. Opened file: msl_pec_port.mph).

The status bar at the bottom indicates the model size: 925 MB | 1077 MB.

2: 解析条件 (境界モード解析)

The screenshot displays the COMSOL Multiphysics interface for a boundary mode analysis. The main window title is "msl_pec_port.mph - COMSOL Multiphysics (トライアルバージョン)".

- モデルビルダ (Model Builder):** Shows a hierarchical tree of the model. The selected study is "ステップ 1: 境界モード解析" (Step 1: Boundary Mode Analysis).
- 設定 (Settings):** The "境界モード解析" (Boundary Mode Analysis) settings are shown. The label is "境界モード解析". The study name is "境界モード解析". The "スタディ設定" (Study Settings) section includes:
 - 変換: 実効モード次数 (Conversion: Effective Mode Order)
 - ポート名: 1 (Port Name: 1)
 - モード解析周波数: 0.1 [GHz] Hz (Mode Analysis Frequency: 0.1 GHz)
 - モード探索方法: マニュアル (Mode Search Method: Manual)
 - 求めたいモード数: 1 (Number of Modes to Find: 1)
 - 単位: (Unit)
 - 指定振動数付近のモードを探索: (Search for modes near specified frequency: unchecked)
 - シフト周波数付近でのモード探索法: 小さな虚部 (Shifted frequency mode search method: Small imaginary part)
- フィジックスおよび変数選択 (Physics and Variable Selection):** A table lists the physics interfaces and their settings:

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)	<input checked="" type="checkbox"/>	フィジックス設定
マルチフィジックス		計算対象
- グラフィックス (Graphics):** A 3D wireframe model of a rectangular cavity is shown. The dimensions are 0.02 (width), 0.01 (depth), and 0 (height). The axes are labeled x, y, and z.
- スタディ追加 (Add Study):** A list of standard studies is shown, including "境界モード解析" (Boundary Mode Analysis), "固有周波数" (Eigenfrequency), "周波数領域" (Frequency Domain), and "周波数領域モーダル" (Frequency Domain Modal).
- メッセージ (Messages):** A message box at the bottom right states: "COMSOL Multiphysics 5.2.1.229 ライセンスは0日で失効します 開かれたファイル: msl_pec_port.mph" (COMSOL Multiphysics 5.2.1.229 license expires in 0 days. Opened file: msl_pec_port.mph).

At the bottom of the window, the memory usage is shown as "926 MB | 1077 MB".

2: 解析条件 (周波数領域)

The screenshot displays the COMSOL Multiphysics interface for a simulation titled "msl_pec_port.mph". The software is in the "Frequency Domain" analysis mode. The left sidebar shows the model tree with the following structure:

- msl_pec_port.mph (root)
 - グローバル定義
 - パラメーター
 - 材料
 - コンポーネント 1 (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
 - 電気壁 (PEC) 2
 - 散乱境界条件 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
 - ステップ 2: 境界モード解析 1
 - 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

The central "Settings" pane is configured for the "Frequency Domain" study:

- ラベル: 周波数領域
- スタディ設定
 - 周波数単位: GHz
 - 周波数: 5 GHz
 - パラメーター値をロード: ブラウズ... ファイル読み込み
 - 前のステップから解を再利用: 自動
- 求解中の結果
- 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
- 従属変数値
- メッシュ選択
- スタディ拡張

The right side of the interface features a "Graphics" window showing a 3D wireframe model of a rectangular waveguide structure. The dimensions are indicated as 0.02 (width), 0 (height), and 0.01 (depth). The coordinate system (x, y, z) is shown at the bottom left of the graphics window.

Below the graphics window is a "Messages" pane with the following text:

COMSOL Multiphysics 5.2.1.229
ライセンスは0日で失効します
開かれたファイル: msl_pec_port.mph

The bottom status bar shows the memory usage: 936 MB | 1090 MB.

3: 結果(モード関数)

msl_pec_port.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)_モード関数

モデルビルダ

- msl_pec_port.mph (root)
 - グローバル定義
 - パラメーター
 - 材料
 - コンポーネント 1 (comp1)
 - スタディ 1
 - 結果
 - データセット
 - ビュー
 - 計算値
 - テーブル
 - 電場 (emw)
 - 電場 (emw)_モード関数
 - 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

3D プロットグループ

プロット

ラベル: 電場 (emw)_モード関数

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: 1.8656-0.13433i

タイトル

プロット設定

ビュー: 自動

非表示エンティティ表示

非表示を下位次元にも適用

エッジをプロット

カラー: 黒

座標系: 空間 (x, y, z)

カラーレジェンド

レジェンド表示

最大/最小値表示

位置: 右

テキスト色: 黒

数字フォーマット

ウィンドウ設定

グラフィックス

実効モード次数=1.8656-0.13433i

サーフェス: 接線電場モード場ノルム (V/m)

矢印 (面上): 接線電場モード場メッシュ

×10⁴

1 0.9 0.8 0.7 0.6 0.5 0.4 0.3 0.2 0.1

z

1.5 1 0.5 0 -0.02

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

COMSOL Multiphysics 5.2.1.229
 ライセンスは0日で失効します
 開かれたファイル: msl_pec_port.mph
 保存されたファイル msl_pec_port.mph
 保存されたファイル msl_pec_port.mph
 保存されたファイル msl_pec_port.mph
 保存されたファイル msl_pec_port.mph

969 MB | 1143 MB

3: 結果(伝搬定数)

msl_pec_port.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

- msl_pec_port.mph (root)
 - グローバル定義
 - パラメーター
 - 材料
 - コンポーネント 1 (comp1)
 - スタディ 1
 - 結果
 - データセット
 - ビュー
 - 計算値
 - S-parameter, S11dB (emw)
 - S-parameter, S21dB (emw)
 - 伝播定数
 - テーブル
 - 電場 (emw)
 - 電場 (emw)_モード関数
 - エクスポート
 - レポート

設定 特性

グローバル評価

ラベル: 伝播定数

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	伝播定数

式:

説明:

データシリーズ演算

演算: なし

グラフィックス

freq(1)=5 GHz
複数断面: 瞬間的電場ノルム (V/m)

×10³

×10⁻²

0.02 0 0.01 -0.02 -0.01

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
 - 周波数領域モード
- 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

8.95 8.5 0.85
e-12 e-1 e-3

実効モード次数	伝播定数 (rad/m)
1.8656-0.13433i	3.9100-0.28154i

$$\beta = \omega \sqrt{\mu_0 (\epsilon_{\text{reff}} \epsilon_0)}$$

$$\epsilon_{\text{reff}} = \frac{\beta^2}{\omega^2 \mu_0 \epsilon_0} \cong 3.48$$

948 MB | 1184 MB

3: 結果(アニメーション)

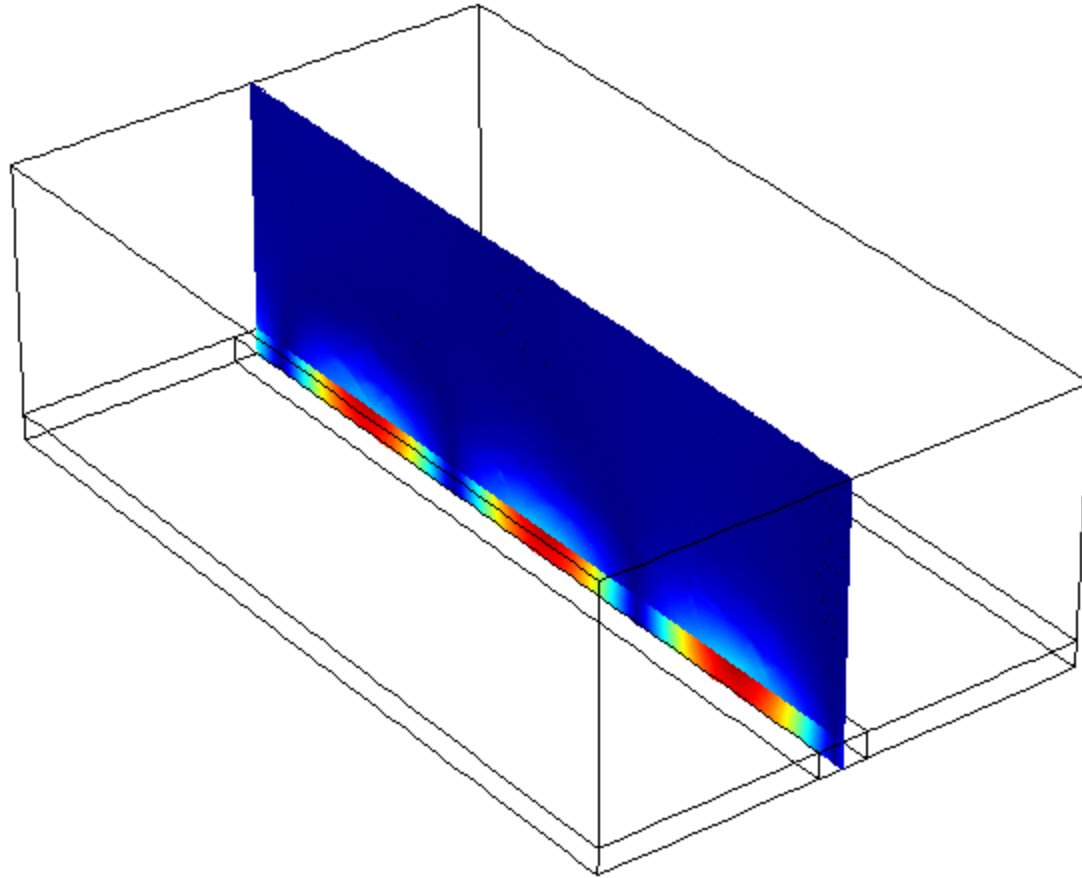
The screenshot displays the COMSOL Multiphysics interface for a simulation titled "msl_pec_port.mph". The software is in its trial version. The main window is divided into several panels:

- Model Builder (モデルビルダ):** Shows the hierarchical structure of the model, including components, materials, physics (Electromagnetic Waves), mesh, studies, and results. The "Animation 1" result is selected.
- Settings (設定) - Animation (アニメーション):** Configures the animation for the electric field (電場) at 5 GHz. It includes options for subject (電場), target (プレーヤ), animation type (ダイナミックデータ拡張), and frame settings (25 frames).
- Graphics (グラフィックス):** Displays a 3D plot of the electric field magnitude (瞬間的電場ノルム) at 5 GHz. The plot shows a color-coded field distribution within a rectangular domain. The color scale ranges from 0 to 6 (multiplied by 10^3 V/m).
- Study (スタディ追加):** Lists the study steps, including boundary mode analysis, frequency analysis, and frequency domain mode analysis.
- Message (メッセージ) - Table 1:** A table showing the relationship between frequency and propagation constant.

freq (GHz)	伝搬定数 (rad/m)
5.0000	115.97-0.043616i

1.07 GB | 1.19 GB

3: 結果(アニメーション)



4: 注意(境界モード解析周波数)

The screenshot displays the COMSOL Multiphysics interface for a boundary mode analysis. The left sidebar shows the model tree with 'ステップ 1: 境界モード解析' selected. The central settings panel is configured for a boundary mode analysis at 5 GHz. The right plot shows the electric field magnitude with a color scale from 0.4 to 1.8 (multiplied by 10³ V/m). The message window at the bottom right contains the following text:

COMSOL Multiphysics 5.2.1.229
ライセンスは30日で失効します
開かれたファイル: aaa.mph
求解の自由度数: 1073
求解の自由度数: 1087
求解の自由度数: 59624
計算時間 (スタディ 1): 22 秒

A callout box points to the message window with the text: 予期しないモードが...

5: 特性インピーダンスを計算する場合(TEM) No. 15

The screenshot displays the COMSOL Multiphysics interface for a waveguide simulation. The model tree on the left shows the hierarchy: **msl_pec_port_tem.mph (root)** > **グローバル定義** > **Pi パラメーター** > **材料** > **コンポーネント 1 (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** > **電気壁 (PEC) 2** > **散乱境界条件 1** > **ポート 1** > **電圧に関する積分ライン** > **電流に関する積分ライン** > **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** > **ステップ 2: 境界モード解析 1** > **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)** > **電場 (emw)_モード関数** > **エクスポート** > **レポート**.

The central settings panel for the **ポート 1** (Port 1) is shown. The **境界選択** (Boundary Selection) section is set to **マニュアル** (Manual), with boundaries 2, 5, 11, and 16 selected. The **ポート特性** (Port Characteristics) section is expanded, showing the **ポート名** (Port Name) as 1, **ポートタイプ** (Port Type) as **数値** (Numerical), and **波動励起** (Wave Excitation) as **オン** (On). The **ポート入力パワー** (Port Input Power) is set to $P_{in} = 1 [W]$. The **TEM 場として解析** (Solve as TEM field) checkbox is checked and highlighted with a red box.

The 3D visualization shows a rectangular waveguide structure with a blue highlighted port. The dimensions are 0.02 (width), 0 (height), and 0.01 (length). The coordinate system (x, y, z) is shown at the bottom left.

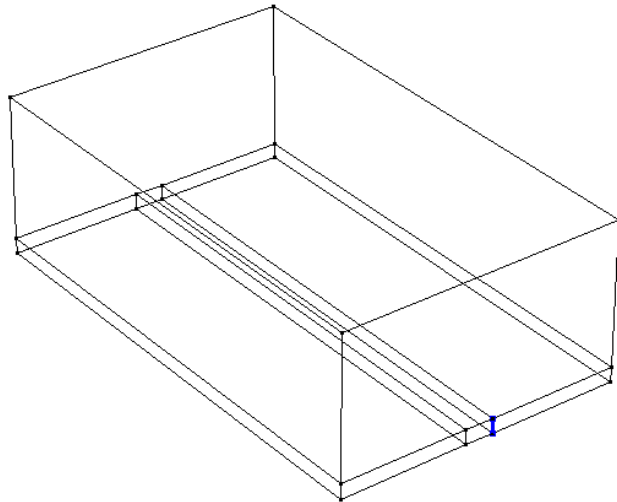
The right panel shows the **スタディ追加** (Add Study) dialog, with the **標準スタディ** (Standard Study) section expanded to show **境界モード解析** (Boundary Mode Analysis), **固有周波数** (Eigenfrequencies), **周波数領域** (Frequency Domain), and **周波数領域モード** (Frequency Domain Mode). The **カスタムスタディ** (Custom Study) section is also expanded to show **空スタディ** (Empty Study).

The bottom status bar shows the memory usage: 1.1 GB | 1.22 GB.

5: 特性インピーダンスを計算する場合(TEM) ^{No. 16}

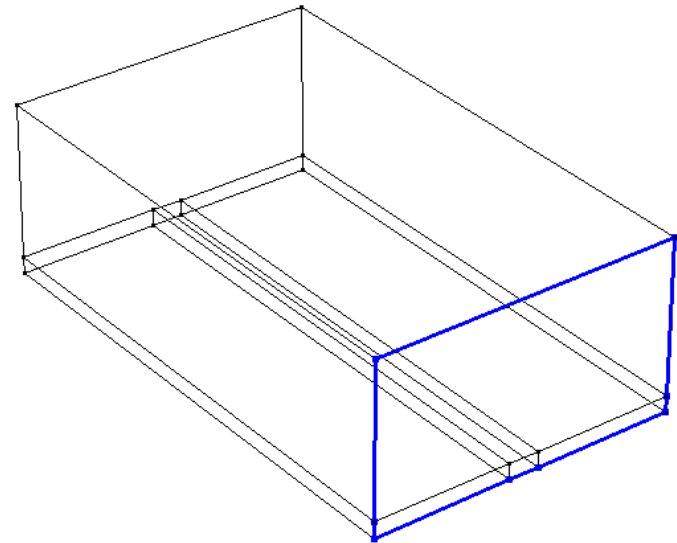
電圧 V

$$V = -\int_{\Gamma_V} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l}$$



電流 I

$$I = \oint_{\Gamma_I} \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l}$$



特性インピーダンス $Z_c = V / I$

5: 特性インピーダンスを計算する場合(TEM) No. 17

The screenshot shows the COMSOL Multiphysics interface for a model named `mssl_pec_port_tem.mph`. The model tree on the left shows the hierarchy: `モデルビルダ` (Model Builder) > `グローバル定義` (Global Definitions) > `コンポーネント 1 (comp1)` > `電磁波 (周波数領域) (emw)` > `ポート 1`. The settings panel for `グローバル評価` (Global Evaluation) is active, showing a label of `グローバル評価 4` and a data set of `スタディ 1/解保存 1 (sol2)`. The plot area on the right shows a 3D model of a rectangular waveguide structure with a color scale for the electric field magnitude (V/m) at `freq(1)=5 GHz`. The filter dialog box at the bottom is open, showing the selection of `emw.Zmode_1 - TEM モードポート (特性インピーダンス)` under the `ポート` (Ports) category.

最後にクリック

式	単位	説明
<code>emw.Zmode_1</code>	Ω	TEM モードポ

フィルタテキストを入力

- `emw.Zmode_1 - TEM モードポート (特性インピーダンス)`
- モデル
 - コンポーネント 1
 - 定義
 - 電磁波 (周波数領域)
 - 境界モード解析
 - `emw.lmode_1 - TEM モードポート (電流)`
 - `emw.Vmode_1 - TEM モードポート (電圧)`
 - `emw.Zmode_1 - TEM モードポート (特性インピーダンス)`
 - エネルギーおよびパワー
 - グローバル
 - ポート
 - `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
 - ソルバー
 - 標準
 - 定数
 - 数学関数

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

1.1 GB | 1.22 GB

5: 特性インピーダンスを計算する場合(TEM) No. 18

The screenshot displays the COMSOL Multiphysics interface for a model named 'msl_pec_port_tem.mph'. The 'Model Builder' on the left shows the hierarchy: Global Definitions (Parameters, Materials), Component 1 (Definitions, Geometry, Materials, Electromagnetic (Frequency Domain) (EMW) - Wave Equation (Electric Field), PEC walls, Initial Values, PEC walls, Scattering Boundary Conditions, Ports - Voltage and Current Coupling Lines, Port 2, Mesh, Studies - Step 1: Boundary Mode Analysis, Step 2: Boundary Mode Analysis 1, Step 3: Frequency Domain, Solver Configuration, Results - Data Sets, Plot, Calculated Values - S-parameters, Propagation Constants, Global Evaluation 4, and Tables.

The 'Settings' panel for 'Global Evaluation 4' is shown, with the label 'グローバル評価 4' and 'データ' set to 'Study 1/Solution 1 (sol2)'. The 'Formula' section contains a table:

式	単位	説明
emw.Zmode_1	Ω	TEM モードポート (特性インピーダンス)

The 'Graphics' window shows a 3D plot of the electric field magnitude at 'freq(1)=5 GHz'. The plot is titled '複数断面: 瞬間の電場ノルム (V/m)' and shows a color scale from 0 to 6 (multiplied by $\times 10^3$). The axes are labeled x, y, and z.

The 'Results' window shows a table with the following data:

実効モード次数	TEM モードポート (特性インピーダンス) (Ω)
1.8656-0.13433i	46.494

The bottom status bar indicates '1.1 GB | 1.22 GB'.