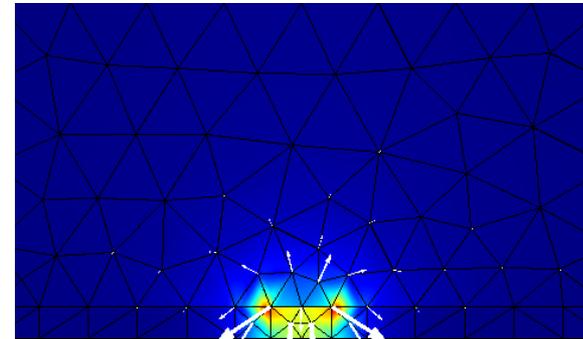
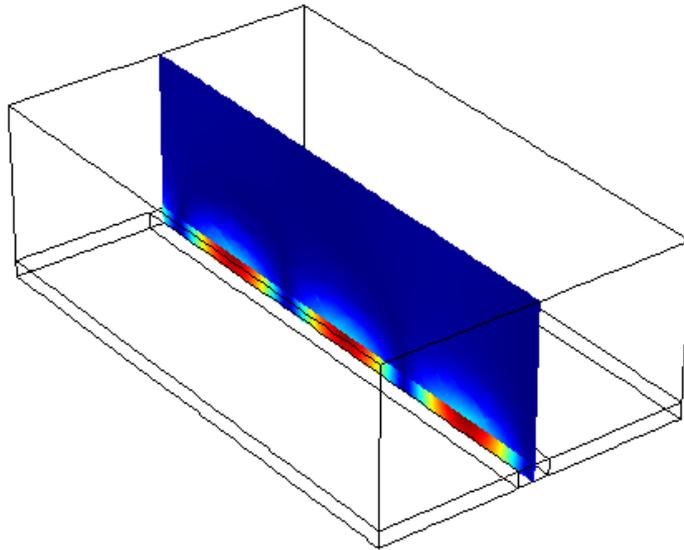


COMSOLによるマクロストリップ線路の解析 ～ 数値ポート ～



平野 拓一

E-mail: takuichi_hirano@yahoo.co.jp

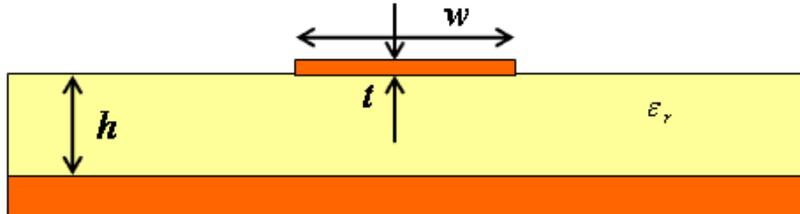
マクロストリップ線路(初期設計)

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)'. 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. The 'ポート 1' (Port 1) component is selected under the '電磁波 (周波数領域) (emw)' (Electromagnetic (Frequency Domain)) physics interface.
- 設定 (Settings):** The central panel shows the configuration for the selected 'ポート 1'. The 'ラベル' (Label) is 'ポート 1'. The '境界選択' (Boundary Selection) is set to 'マニュアル' (Manual), with a list of boundaries (2, 5, 11, 16) that are active. The 'ポート特性' (Port Characteristics) section includes:
 - 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: (Not checked)
 - ポート入力パワー: P_{in} 1[W] W
 - 内部ポート境界でスリット条件をアクティブ: (Not checked)
 - TEM 場として解析: (Not checked)
- グラフィックス (Graphics):** The central-right panel shows a 3D wireframe model of a rectangular structure. The front face is highlighted in blue. The axes are labeled x, y, and z. Dimensions are indicated as 0.02, 0, -0.02, 0.01, and -0.01.
- スタディ追加 (Study Add):** The right panel shows the 'スタディ追加' (Study Add) dialog. The '標準スタディ' (Standard Study) is selected, with sub-steps for '境界モード解析' (Boundary Mode Analysis), '固有周波数' (Eigenfrequencies), '周波数領域' (Frequency Domain), and '周波数領域モーダル' (Frequency Domain Modal). A 'カスタムスタディ' (Custom Study) and '空スタディ' (Empty Study) are also visible.
- メッセージ (Message):** The bottom panel shows a message box with the 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'.

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 on the left shows the model structure. Under "Component 1 (comp1)", the "Port 2" feature is selected and highlighted in blue. Other features include "Global Definitions", "Parameters", "Materials", "Definitions", "Geometry 1", "Materials", "Electromagnetic (Frequency Domain) (emw)", "Wave Equation (Electric Field) 1", "Perfectly Conducting (PEC) 1", "Initial Value 1", "Perfectly Conducting (PEC) 2", "Scattering Boundary Condition 1", "Port 1", and "Port 2".

Settings (設定) - Port 2: The "Port" settings are shown. The label is "ポート 2". The "Boundary Selection" (境界選択) is set to "Manual" (マニュアル). A list of boundaries is shown with checkboxes: 8 (checked), 9 (checked), 14 (checked), and 19 (checked). The "Port Name" (ポート名) is "2". The "Port Type" (ポートタイプ) is "Numerical" (数値). The "Wave Excitation" (波動励起) is "Off" (オフ). There are checkboxes for "Activate split condition at internal port boundaries" (内部ポート境界でスリット条件をアクティブ) and "Solve as TEM field" (TEM 場として解析), both of which are currently unchecked. The "Port Mode Settings" (ポートモード設定) section includes a note: "Numerical ports require boundary mode analysis study steps" (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) and a "Mode Phase" (モード位相) field.

Graphics (グラフィックス): The central 3D view shows a rectangular waveguide with a blue shaded port on the top surface. The dimensions are indicated as 0.02 (width), 0.01 (depth), and 1.0 (height). The coordinate system (x, y, z) is shown at the bottom left.

Study (スタディ追加): The right panel shows the study list. Under "Standard Study" (標準スタディ), the following steps are listed: "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). Under "Custom Study" (カスタムスタディ), there is an "Empty Study" (空スタディ).

Message (メッセージ): The bottom panel shows a message from COMSOL Multiphysics 5.2.1.229: "License expires in 0 days" (ライセンスは0日で失効します) and "Opened file: msl_pec_port.mph" (開かれたファイル: msl_pec_port.mph).

At the bottom of the window, the memory usage is shown as "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)', and 'Studies'. Under 'Component 1', the 'Electromagnetic (Frequency Domain) (emw)' physics interface is active, with 'Scattering Boundary Condition 1' (散乱境界条件 1) selected. The 'Settings' (設定) window for this condition is open, showing the 'Characteristics' (特性) tab. The 'Label' (ラベル) is 'Scattering Boundary Condition 1'. The 'Boundary Selection' (境界選択) section shows 'Manual' (マニュアル) selection with a list of 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 'None' (入射場なし), the 'Scattering Wave Type' (散乱波タイプ) is 'Plane Wave' (平面波), and the 'Order' (オーダー) is '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. The z-axis ranges from -0.02 to 0.02, and the x-axis ranges from -0.01 to 0.01. The 'Study' (スタディ) window on the right shows a 'Standard Study' (標準スタディ) with steps for '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). The 'Message' (メッセージ) window at the bottom indicates the software version (5.2.1.229) and license expiration (30 days).

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

グラフィックス

0.02

0

-0.02

1

1

0

0

0.01

-0.01

y z 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:

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 interface is divided into several main sections:

- Model Builder (モデルビルダ):** Located on the left, it shows a hierarchical tree of the model's components. The "Electromagnetic Waves, Frequency Domain" (電磁波 (周波数領域) (emw)) component is expanded, showing sub-components like "Wave Equation (Electric Field) 1", "Perfectly Conducting Boundary (PEC) 1", "Initial Value 1", "Perfectly Conducting Boundary (PEC) 2", "Scattering Boundary Condition 1", "Port 1", and "Port 2".
- Settings (設定) - Characteristics (特性):** The central panel shows the configuration for the selected "Perfectly Conducting Boundary (PEC) 2". The label is "電気壁 (PEC) 2". The boundary selection is set to "Manual" (マニュアル), and boundary 13 is selected and active. There are sections for "Priority and Inheritance" (優先関係および寄与) and "Equations" (方程式).
- Graphics (グラフィックス):** The right-hand window displays a 3D perspective view of a rectangular cavity. A blue rectangular region on the bottom surface represents the Perfectly Conducting Boundary (PEC) 2. The axes are labeled x, y, and z, with numerical values ranging from -0.01 to 0.02.
- Study (スタディ追加):** On the far right, the "Study" panel shows the simulation steps: "Standard Study" (標準スタディ) with sub-steps for "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" (周波数領域モデル). It also includes "Custom Study" (カスタムスタディ) and "Empty Study" (空スタディ).
- Message Window (メッセージ):** At the bottom, a message window displays a warning: "COMSOL Multiphysics 5.2.1.229. ライセンスは0日で失効します" (License expires in 0 days) and "開かれたファイル: msl_pec_port.mph".

At the bottom center of the interface, the memory usage is indicated as "925 MB | 1077 MB".

2: 解析条件 (境界モード解析)

The screenshot displays the COMSOL Multiphysics software 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). Other steps include "ステップ 2: 境界モード解析 1" and "ステップ 3: 周波数領域".

設定 特性 (Settings Properties): The "境界モード解析" (Boundary Mode Analysis) settings are shown. The label is "境界モード解析". Under "スタディ設定" (Study Settings), the "変換" (Conversion) is set to "実効モード次数" (Effective Mode Order), "ポート名" (Port Name) is "1", "モード解析周波数" (Mode Analysis Frequency) is "0.1 [GHz]", "モード探索方法" (Mode Search Method) is "マニュアル" (Manual), "求めたいモード数" (Number of Modes to Find) is "1", and "指定振動数付近のモードを探索" (Search for modes near specified frequency) is unchecked. Under "フィジックスおよび変数選択" (Physics and Variable Selection), the "電磁波 (周波数領域) (emw)" physics interface is checked and set to "離散化" (Discretized).

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 coordinate system (x, y, z) is visible at the bottom left.

スタディ追加 (Add Study): A list of available studies is shown, including "標準スタディ" (Standard Studies) and "カスタムスタディ" (Custom Studies). The selected study is "境界モード解析" (Boundary Mode Analysis).

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".

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

2: 解析条件 (周波数領域)

The screenshot displays the COMSOL Multiphysics interface for a frequency domain analysis. The main 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):** Shows a tree view of the model components. Under "Study 1" (スタディ 1), "Step 3: Frequency Domain" (ステップ 3: 周波数領域) is selected.
- Settings (設定) - Characteristics (特性):** The "Frequency Domain" (周波数領域) characteristic is active. The label is "周波数領域". The frequency is set to 5 GHz. The unit is GHz. The "Reuse solution from previous step" (前のステップから解を再利用) is set to "Automatic" (自動).
- Physics Selection (フィジクスおよび変数選択):** The "Electromagnetic Waves, Frequency Domain" (電磁波 (周波数領域) (emw)) physics is selected and checked. The "Multi-physics" (マルチフィジクス) checkbox is also checked.
- Graphics (グラフィックス):** A 3D wireframe model of a rectangular waveguide is shown. The dimensions are 0.02 (width), 0.01 (depth), and 1 (height). The coordinate system (x, y, z) is visible.
- Study Add (スタディ追加):** The "Standard Study" (標準スタディ) is expanded, showing "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).
- Message (メッセージ):** A message box at the bottom indicates: "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".

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: 接続電場モード場ノルム (V/m)

矢印 (面上): 接続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 -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: 瞬時的電場ノルム (V/m)

×10³

×10⁻²

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

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 the "Results" tab. The left sidebar shows the "Model Builder" with a tree structure including "Component 1 (comp1)", "Electromagnetic (Frequency Domain) (emw)", "Wave Equation (Electric) 1", "Perfectly Conducting (PEC) 1", "Initial Value 1", "Perfectly Conducting (PEC) 2", "Scattering Boundary Condition 1", "Port 1", "Port 2", "Mesh 1", "Study 1", and "Results". The "Results" folder is expanded, showing "Data Set", "Plot", "Calculation", "S-parameter, S11dB (emw)", "S-parameter, S21dB (emw)", "Propagation Constant", "Table", "Electric Field (emw)", "Cross-sections", "Electric Field (emw)_Mode Numbers", "Export", "Animation 1", and "Report".

The central "Settings" panel is set to "Animation" with the label "アニメーション 1". The subject is "Electric Field (emw)" and the target is "Player". The animation type is "Dynamic Data Expansion" and the frequency type is "Full Harmonic". The number of frames is 25, and the phase shift is 6.0319. The "Playback" section shows "Show All Frames" set to 0.1 and "Repeat" is unchecked.

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: 瞬間的電場ノルム (V/m)" and features a color scale from 0 to 6 (multiplied by $\times 10^3$). The plot shows a rectangular structure with a color gradient representing the field magnitude.

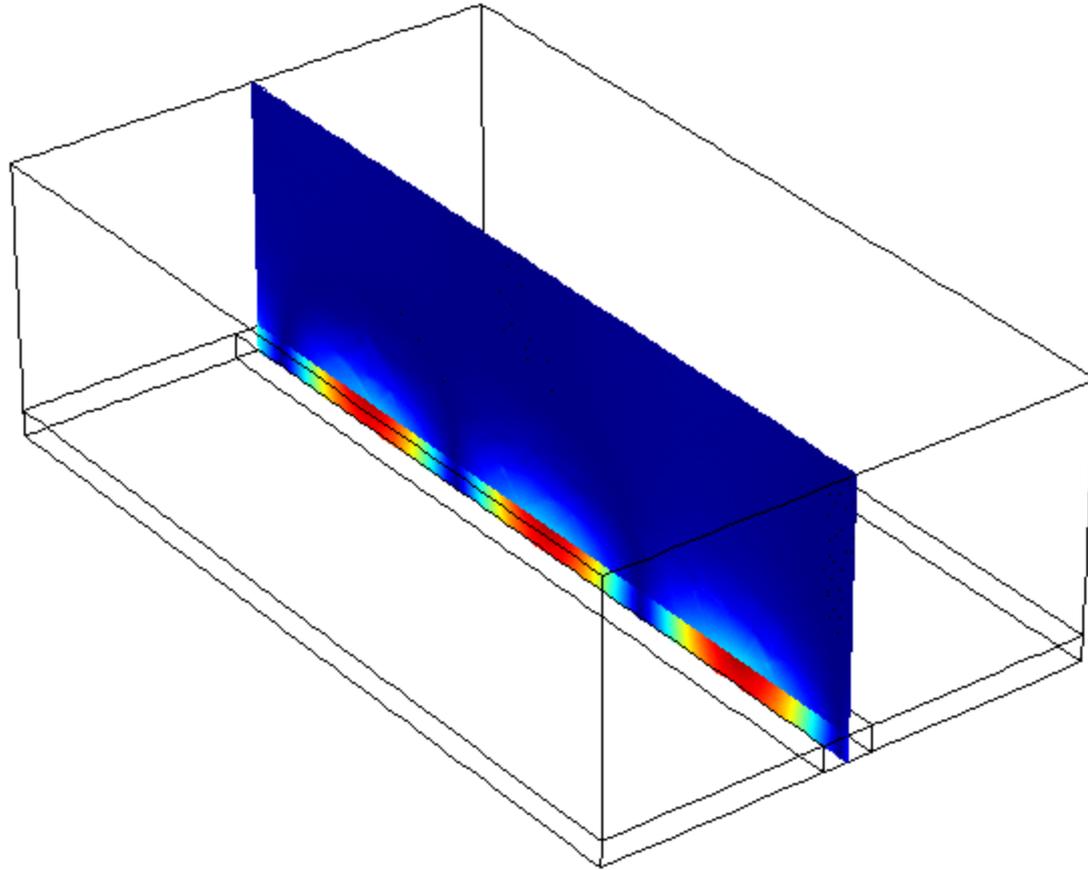
The "Study" panel on the right lists the study steps: "Standard Study", "Boundary Mode Analysis", "Eigenfrequency", "Frequency Domain", "Frequency Domain Mode", "Custom Study", and "Empty Study".

The "Results" table at the bottom shows the following data:

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

The status bar at the bottom indicates "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 'Study 1' containing three steps: 'Boundary Mode Analysis', 'Boundary Mode Analysis 1', and 'Wave Number Domain'. The central settings panel is configured for 'Boundary Mode Analysis' with a port name of '1', a frequency of '5 [GHz]', and a manual search method. The 'Physics' section shows 'Electromagnetic Waves (Wave Number Domain) (emw)' is active. The right graphics window shows a mesh with field vectors and a color scale for the electric field magnitude, with a value of $0.84556 - 0.47203i$ V/m. A callout box points to the results with the text '予期しないモードが...' (Unexpected modes...). The bottom message window displays the following information:

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

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 model named `mssl_pec_port_tem.mph`. The software is in the Japanese language. The main window is divided into several panels:

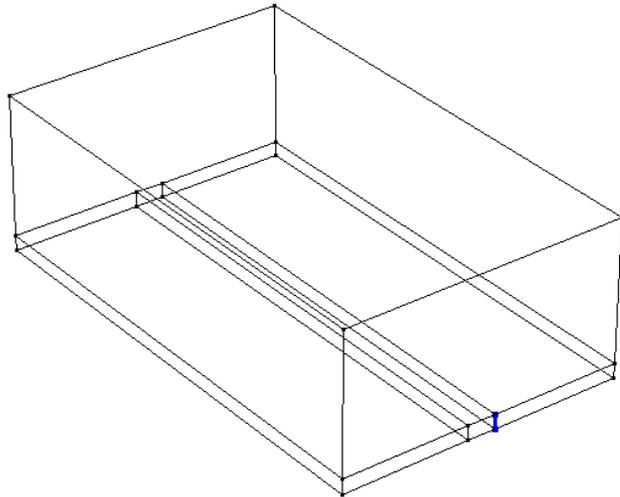
- Model Builder (モデルビルダ):** Shows the hierarchical structure of the model. The selected component is `コンポーネント 1 (comp1)`, which includes a `電磁波 (周波数領域) (emw)` physics interface. Underneath, the `ポート 1` (Port 1) is selected, and the `TEM 場として解析` (Analyze as TEM field) checkbox is checked.
- Settings (設定) - Port (ポート):** The `ラベル` (Label) is set to `ポート 1`. The `境界選択` (Boundary Selection) is set to `マニュアル` (Manual). The `アクティブ` (Active) boundaries are listed as 2, 5, 11, and 16. The `ポート特性` (Port Properties) section shows `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` checkbox is checked.
- Graphics (グラフィックス):** Displays a 3D wireframe model of a rectangular waveguide structure. The dimensions are indicated as 0.02, 0, -0.02, 0, 0.01, and -0.01. The axes are labeled x, y, and z.
- Study (スタディ追加):** Shows the study configuration. The `標準スタディ` (Standard Study) includes `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) includes `空スタディ` (Empty Study).
- Message (メッセージ):** Shows the progress of the calculation, with a progress bar and a table of results.

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

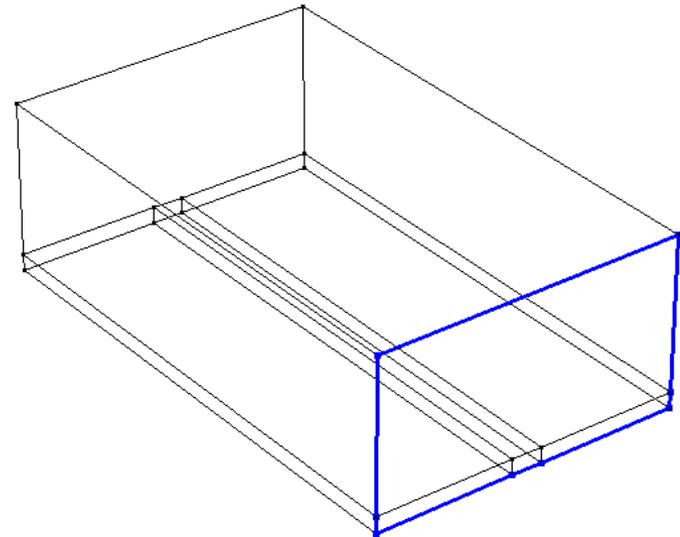
電圧 V

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



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. 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, Mesh, Studies, Results). The 'Settings' panel for 'Port 1' is active, showing 'Global Evaluation 4' as the label and 'Study 1/Solution 1 (sol2)' as the data set. The 'Formula' table lists 'emw.Zmode_1' with unit Ω and description 'TEM mode port (Characteristic Impedance)'. The '3D Plot Group' shows a plot of the electric field magnitude at 'freq(1)=5 GHz' on a cross-section, with a color scale from 0 to 6 $\times 10^3$ V/m. The 'Results' table at the bottom shows the calculated value for the characteristic impedance.

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)

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

1.1 GB | 1.22 GB