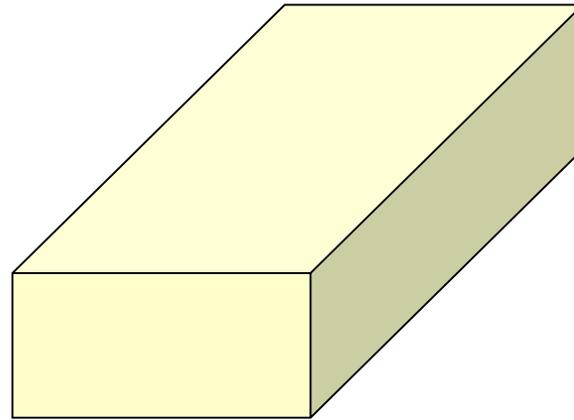
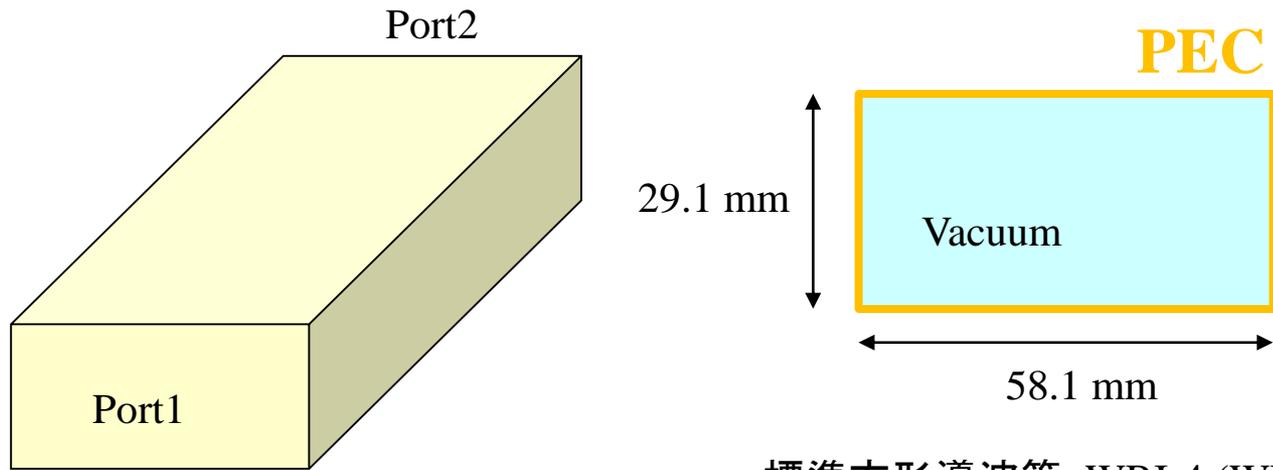


# COMSOLによる方形導波管の解析 ～ 矩形ポート ～



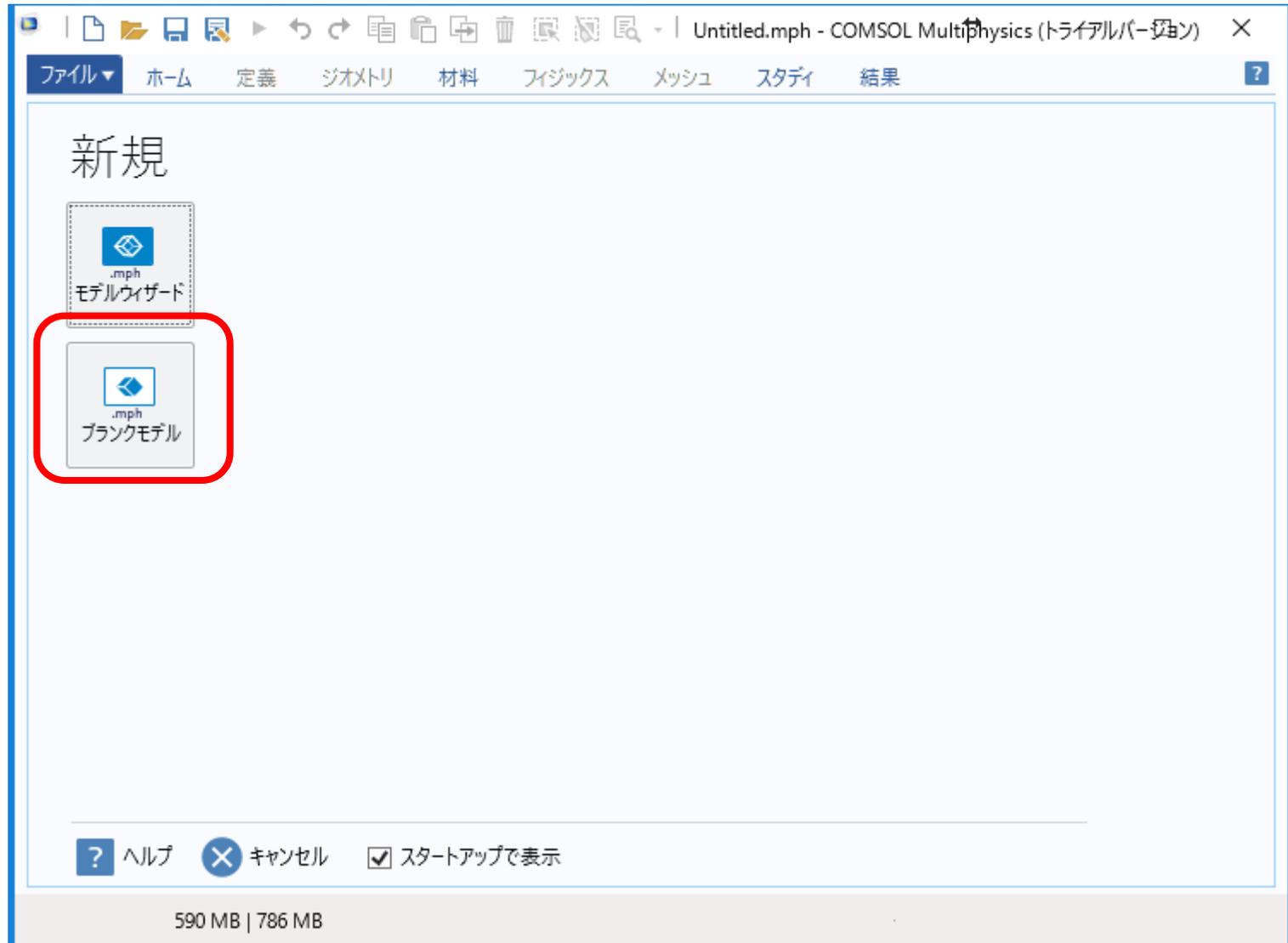
平野 拓一

E-mail: [takuichi\\_hirano@yahoo.co.jp](mailto:takuichi_hirano@yahoo.co.jp)

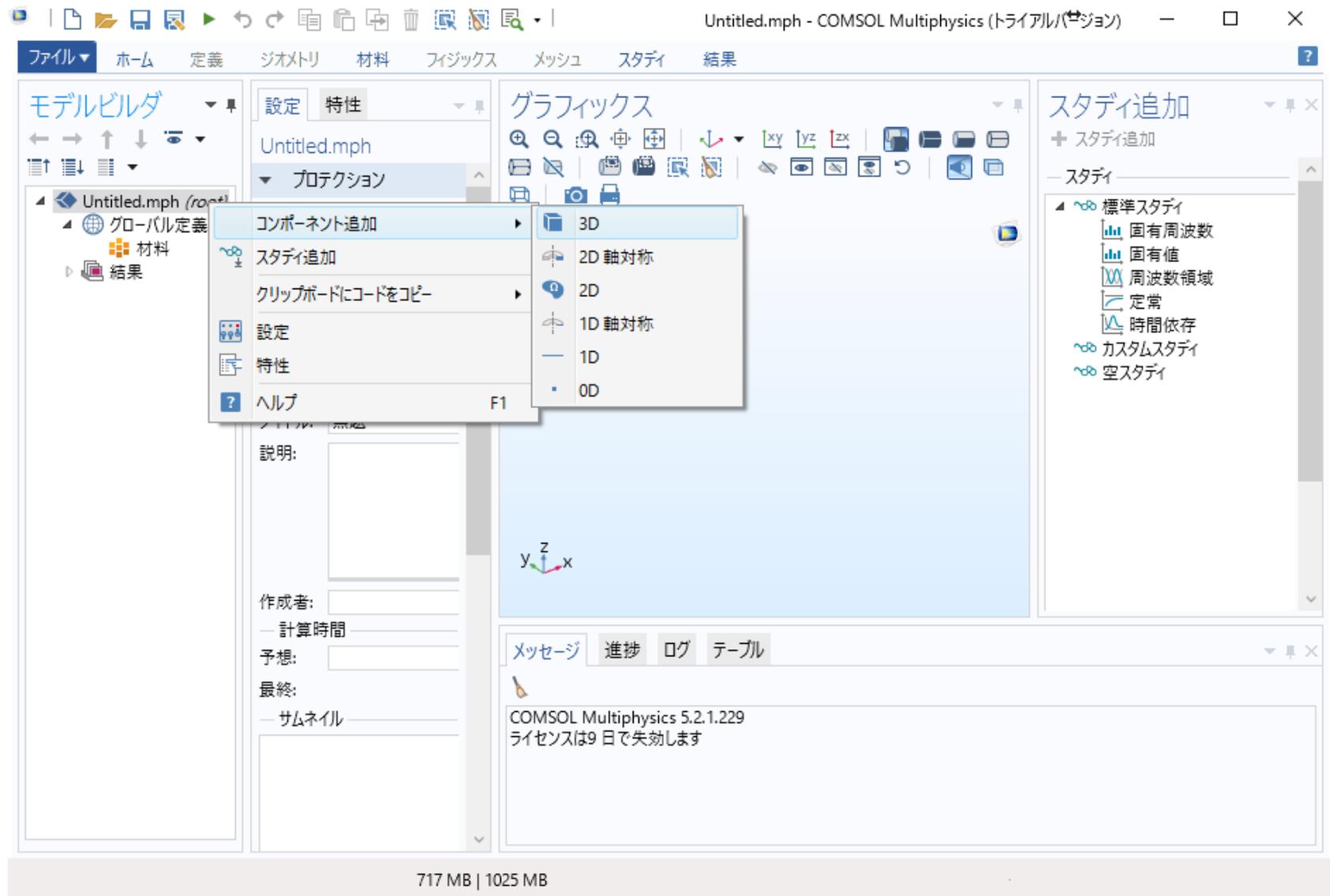


標準方形導波管: WRI-4 (WRJ-4)

# 1: COMSOLを起動したら



# 2: モデルの作成の準備



# 2:モデルの作成の準備

モデルビルダ

- Untitled.mph (root)
  - グローバル定義
  - 材料
  - コンポーネント 1 (comp1)
    - 定義
    - ジオメトリ 1
      - 一体化モデルで完成 (完了)
      - 材料
      - メッシュ 1
    - 結果

追加された

設定 特性

ジオメトリ

全作成

ラベル: ジオメトリ1

単位

単位変更時に値を

長さ単位: m

角度単位: 度

詳細

ジオメトリ表現: CAD カーネル

デフォルト修復トレランス: 自動

自動再構築

グラフィックス

スタディ追加

+ スタディ追加

— スタディ —

- 標準スタディ
  - 固有周波数
  - 固有値
  - 周波数領域
  - 定常
  - 時間依存
  - カスタムスタディ
  - 空スタディ

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9日で失効します

742 MB | 1006 MB

# 3: 変数の定義(パラメータ化)

The screenshot displays the COMSOL Multiphysics interface for a file named 'rect\_wg.mph'. The 'Global Definitions' (グローバル定義) section is active, and a context menu is open over the 'Parameters' (パラメーター) option. The menu items are:

- パラメーター
- 変数
- 関数
- 荷重グループ
- 拘束グループ
- ジオメトリパーツ
- パーツをメッシュ
- タイプでグループ
- ヘルプ F1

The 'Messages' (メッセージ) window at the bottom displays the following text:

```
COMSOL Multiphysics 5.2.1.229  
ライセンスは9日で失効します  
開かれたファイル: rect_wg.mph
```

At the bottom of the interface, the memory usage is shown as 786 MB | 1029 MB.

# 3: 変数の定義(パラメータ化)

The screenshot displays the COMSOL Multiphysics software interface for a model named 'rect\_wg.mph'. The interface is divided into several panels:

- モデルビルダ (Model Builder):** Shows the model hierarchy on the left, including 'rect\_wg.mph (root)', 'グローバル定義 (Global Definitions)', 'パラメーター (Parameters)', '材料 (Materials)', 'コンポーネント 1 (comp1) (Component 1)', '定義 (Definitions)', '境界系 1 (sys1) (Boundary System 1)', 'ヒュー 1 (Hue 1)', 'ジオメトリ 1 (Geometry 1)', '材料 (Material)', 'メッシュ 1 (Mesh 1)', and '結果 (Results)'.
- 設定 (Settings):** The 'パラメーター (Parameters)' section is active, showing a table of defined parameters:

名前 (Name)	式 (Expression)	値 (Value)
wg_a	58.1 [mm]	0.0581 m
wg_b	29.1 [mm]	0.0291 m
wg_len	100 [mm]	0.1 m

- グラフィックス (Graphics):** A central area for visualizing the model, currently showing a 3D coordinate system (x, y, z).
- スタディ追加 (Study Add):** A panel on the right for adding and configuring studies. It lists '標準スタディ (Standard Studies)' such as '固有周波数 (Eigenfrequency)', '固有値 (Eigenvalue)', '周波数領域 (Frequency Domain)', '定常 (Stationary)', and '時間依存 (Time Dependent)', along with 'カスタムスタディ (Custom Studies)' and '空スタディ (Empty Study)'. Below this, there are buttons for 'フィジクス (Physics)' and '求解 (Solve)'.
- メッセージ (Messages):** A panel at the bottom right showing system messages. The current message states: 'COMSOL Multiphysics 5.2.1.229 ライセンスは9日で失効します 開かれたファイル: rect\_wg.mph'.

At the bottom of the interface, the memory usage is indicated as '793 MB | 988 MB'.

# 4: 導波管のための直方体の作成

The screenshot displays the COMSOL Multiphysics interface for creating a rectangular waveguide. The main window is titled "rect\_wg.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 structure. The "Geometries" (ジオメトリ) folder is expanded, showing the "RectWG (blk1)" object selected.

**Properties Panel (設定 特性):** Configures the "RectWG" object. Key settings include:

- Block (ブロック):** "Select object" (選択対象を作成) and "Create all objects" (全オブジェクト作成).
- Label (ラベル):** "RectWG".
- Object Type (オブジェクトタイプ):** "Solid" (ソリッド).
- Size and Shape (サイズおよび形状):** Width (wg\_a), Length (wg\_len), and Height (wg\_b) are defined in meters (m).
- Position (位置):** Base is "Corner" (コーナー), with x, y, and z coordinates set to 0 m.
- Coordinate System (座標軸):** Axis type is "z-axis" (z軸).
- Rotation Angle (回転角):** Set to 0 degrees.

**Graphics Window (グラフィックス):** Displays a 3D perspective view of the rectangular waveguide. The dimensions are labeled as 0.1 m (height), 0.05 m (width), and 0.04 m (length). The coordinate system (x, y, z) is shown at the bottom left.

**Study (スタディ追加):** The "Standard Study" (標準スタディ) is selected, which includes "Eigenfrequency" (固有周波数), "Eigenvalue" (固有値), "Eigenfrequency Domain" (周波数領域), "Stationary" (定常), "Time-dependent" (時間依存), "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):** Displays a warning message: "COMSOL Multiphysics 5.2.1.229. License expires in 9 days. File opened: rect\_wg.mph".

At the bottom of the interface, the memory usage is shown as "821 MB | 1015 MB".

# 5: 材料定数の定義と割り当て

The screenshot displays the COMSOL Multiphysics software interface for a model named 'rect\_wg.mph'. The main window is divided into several panels:

- モデルビルダ (Model Builder):** Shows the hierarchical structure of the model. Under 'ジオメトリ 1' (Geometry 1), the 'RectWG (blk1)' object is selected. A context menu is open over this object, with '材料追加' (Add Material) highlighted.
- 設定 (Settings):** The '特性' (Properties) tab is active, showing the '材料' (Material) section. A table with columns '材料' (Material) and '選択' (Select) is visible but currently empty.
- グラフィックス (Graphics):** Displays a 3D perspective view of a rectangular block. The dimensions are labeled as 0.1 (height), 0.05 (width), and 0.04 (depth). The coordinate system (x, y, z) is shown at the bottom left.
- スタディ追加 (Study):** Shows the '標準スタディ' (Standard Study) configuration, including '固有周波数' (Eigenfrequency), '固有値' (Eigenvalue), '周波数領域' (Frequency Domain), '定常' (Stationary), '時間依存' (Time Dependent), 'カスタムスタディ' (Custom Study), and '空スタディ' (Empty Study).
- メッセージ (Messages):** A log window at the bottom shows the following text:  
COMSOL Multiphysics 5.2.1.229  
ライセンスは9日で失効します  
開かれたファイル: rect\_wg.mph  
保存されたファイル: rect\_wg.mph  
完成ジオメトリは1つのドメイン, 6境界, 12エッジ, 8頂点をもちます

At the bottom of the interface, the memory usage is indicated as 831 MB | 1020 MB.

# 5: 材料定数の定義と割り当て

The screenshot displays the COMSOL Multiphysics software interface for a file named 'rect\_wg.mph'. The main window is divided into several panels:

- Model Builder (モデルビルダ):** Shows a hierarchical tree of the model. Under 'Component 1 (comp1)', 'Geometry 1' contains a 'RectWG (blk1)' object. The 'Materials' section shows 'Air (mat1)' assigned to the block.
- Settings (設定) - Properties (特性):** The 'Material' section is active, showing the label 'Air'. Below it, 'Geometric Entity Selection' shows 'Domain 1' selected. The 'Active' checkbox is checked.
- Graphics (グラフィックス):** Displays a 3D view of a rectangular block with dimensions 0.1 (height), 0.05 (width), and 0.04 (depth). The axes are labeled x, y, and z.
- Material Addition (材料追加):** A panel on the right showing a list of materials. 'Air' is highlighted under the 'Standard' category.
- Message (メッセージ):** A panel at the bottom showing system messages: 'COMSOL Multiphysics 5.2.1.229', 'License expires in 9 days', and 'Completed geometry consists of 1 domain, 6 boundaries, 12 edges, and 8 vertices'.

At the bottom of the window, the memory usage is indicated as 870 MB | 1062 MB.

# 6: 解析したい物理現象を指定

The screenshot displays the COMSOL Multiphysics software interface. The main window title is "rect\_wg.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):** Shows a tree view of the model structure. The selected component is "RectWG (comp1)".
- 設定 (Settings):** Shows the "特性" (Properties) tab for the component. The label is "RectWG" and the name is "comp1".
- グラフィックス (Graphics):** Displays a 3D model of a rectangular block with dimensions 0.1 (height), 0.05 (width), and 0.04 (depth). The axes are labeled x, y, and z.
- 材料追加 (Material Addition):** Shows a list of materials. The "AC/DC" material is selected.
- メッセージ (Messages):** Displays a message box with the following text:  
COMSOL Multiphysics 5.2.1.229  
ライセンスは9日で失効します  
開かれたファイル: rect\_wg.mph  
保存されたファイル: rect\_wg.mph

The "Physics" menu is open, showing the following options:

- フィジックス追加 (Add Physics)
- マルチフィジックス追加 (Add Multiphysics)
- メッシュ追加 (Add Mesh)
- クリップボードにコードをコピー (Copy Code to Clipboard)
- 削除 (Delete) - Del
- リネーム (Rename) - F2
- 設定 (Settings)
- 特性 (Properties)
- ヘルプ (Help) - F1

The status bar at the bottom indicates "790 MB | 999 MB".

# 6: 解析したい物理現象を指定

The screenshot displays the COMSOL Multiphysics software interface for a file named 'rect\_wg.mph'. The 'Model Builder' on the left shows a tree structure with '電磁波 (周波数領域) (emw)' selected. The 'Physics' settings for this component are shown in the center, with '全ドメイン' (All domains) selected. The '3D Graphics' window on the right shows a 3D model of a rectangular waveguide with dimensions 0.1, 0.05, and 0.04. The 'Physics' list on the far right includes '電磁波 (周波数領域) (emw)', which is highlighted. The 'Message' window at the bottom shows the software version and license information.

869 MB | 1048 MB

# 7: ポート(励振)の設定

The screenshot shows the COMSOL Multiphysics interface for a model named 'rect\_wg.mph'. The 'Model Builder' (モデルビルダ) on the left shows a tree structure with 'RectWG (comp1)' selected. A context menu is open over the '電磁波 (周波数領域)' (Electromagnetic Waves (Frequency Domain)) node, with 'ポート' (Ports) highlighted. The 'Settings' (設定) window for '電磁波 (周波数領域)' is open, showing 'ラベル: 電磁波 (周波数領域)' and '名前: emw'. The 'Domain Selection' (ドメイン選択) is set to '全ドメイン' (All Domains). The 'Graphics' (グラフィックス) window shows a 3D view of a rectangular waveguide structure with dimensions 0.05, 0.04, and 0.02. The 'Physics' (フィジックス) window on the right lists various physics interfaces, with '電磁波 (周波数領域) (emw)' selected. The 'Message' (メッセージ) window at the bottom shows a warning about the license expiration.

824 MB | 1001 MB

# 7: ポート(励振)の設定

rect\_wg.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.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)
      - 波動方程式 (電場) 1
      - 電気壁 (PEC) 1
      - 初期値 1
      - ポート1
    - メッシュ1
    - スタディ1
    - 結果

### 設定 特性

ポート

ラベル: ポート1

### 境界選択

選択: マニュアル

2

アクティブ

優先関係および寄与

方程式

### ポート特性

ポート名: 1

ポートタイプ: 矩形

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

### ポートモード設定

モードタイプ: TE

モード数: 10

モード位相:  $\theta_{in}$  0 rad

### グラフィックス

0.1

0.05

0.04

0.02

0 0

y z x

### フィジックス追加 材料追加

+ コンポーネントに追加

+ 選択に追加

探索

最近使用したインターフェース

- AC/DC
- 音響
- 化学種輸送
- 電気化学
- 流体流れ
- 伝熱
- 光学
- プラズマ
- 高周波
- 伝送線路 (tl)
- 電磁波 (周波数領域) (emw)
- 電磁波 (時間発展) (temw)
- 電磁波 (陽的時間発展) (ewte)
- 半導体
- 構造力学
- 数学

### 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9日で失効します  
開かれたファイル: rect\_wg.mph  
保存されたファイル: rect\_wg.mph

904 MB | 1065 MB

# 7: ポート(励振)の設定

The screenshot displays the COMSOL Multiphysics interface for a model named 'rect\_wg.mph'. The 'Model Builder' on the left shows a tree structure with 'Port 2' selected under the 'Electromagnetic Waves, Frequency Domain' physics interface. The 'Settings' pane for 'Port 2' is open, showing the following configuration:

- ラベル: ポート 2
- 境界選択: マニュアル
- アクティブ:  ON
- 優先関係および寄与: (expanded)
- 方程式: (expanded)
- ポート特性:
  - ポート名: 2
  - ポートタイプ: 矩形
  - 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
- ポートモード設定:
  - モードタイプ: TE
  - モード数: 10
  - モード位相:  $\theta_{in}$  0 rad

The 'Graphics' window shows a 3D view of the waveguide structure with a blue rectangular port highlighted on the top surface. An arrow points from the 'ON' checkbox in the settings to this port. The 'Physics' list on the right includes 'AC/DC', 'Acoustics', 'Chemical Transport', 'Electromagnetic Waves, Frequency Domain (emw)', 'Fluid Flow', 'Heat Transfer', 'Optics', 'Plasma', 'High Frequency', 'Transmission Lines (tl)', 'Electromagnetic Waves, Frequency Domain (emw)', 'Electromagnetic Waves, Time Domain (temw)', 'Electromagnetic Waves, Coupled Time Domain (ewtw)', 'Semiconductors', 'Structural Mechanics', and 'Mathematics'.

At the bottom of the window, a message box states: 'COMSOL Multiphysics 5.2.1.229 ライセンスは9日で失効します 開かれたファイル: rect\_wg.mph 保存されたファイル: rect\_wg.mph'.

# 8: 電気壁(PEC)の設定

The screenshot displays the COMSOL Multiphysics interface for a rectangular waveguide model. The main window is titled "rect\_wg.mph - COMSOL Multiphysics (トライアルバージョン)".

**Model Builder (モデルビルダ):** The tree on the left shows the model structure. Under "Electromagnetic (Frequency Domain) (emw)", the "Perfect Electric Conductor (PEC) 1" is selected.

**Settings (設定) - PEC Properties:**

- Label: 電気壁 (PEC) 1
- Boundary Selection (境界選択): Set to "All boundaries" (全境界).
- Selection (選択): A list of boundaries (1-6) with boundary 1 selected and marked as active (ON).
- Priority and Coupling (優先関係および寄与): Section for defining priority and coupling.
- Equation (方程式): Section for defining the governing equations.

**Graphics (グラフィックス):** A 3D visualization of the rectangular waveguide. The dimensions are shown as 0.1 (height), 0.05 (width), and 0.04 (depth). The axes are labeled x, y, and z.

**Physics List (フィジクス追加):** A list of physics interfaces is shown on the right. The selected physics include:

- AC/DC
- 音響
- 化学種輸送
- 電気化学
- 流体流れ
- 伝熱
- 光学
- プラズマ
- 高周波
- 伝送線路 (tl)
- 電磁波 (周波数領域) (emw)
- 電磁波 (時間発展) (temw)
- 電磁波 (陽的時間発展) (ewte)
- 半導体
- 構造力学
- 数学

**Message (メッセージ):** A message window at the bottom shows the following text:

```
COMSOL Multiphysics 5.2.1.229
ライセンスは9日で失効します
開かれたファイル: rect_wg.mph
保存されたファイル: rect_wg.mph
```

897 MB | 1043 MB

デフォルトでは、オブジェクトの周囲境界は電気壁(PEC)になっており、明示的に後から指定したポートなどはその設定が優先される。

# 9: スタディ(解析条件)の設定

The screenshot displays the COMSOL Multiphysics interface for a study named 'rect\_wg.mph'. The 'Study' tab is active, showing the 'Study Settings' section. A callout bubble with the text 'クリックで解析' (Click to solve) points to the 'Compute' button in the 'Frequency Domain' section. The 'Study Settings' section includes: 'Frequency Unit: GHz', 'Frequency: 4 GHz', 'Parameter values to load: Browse... File Read', and 'Reuse solution from previous step: Automatic'. Below this, the 'Physics and Variable Selection' section shows 'Electromagnetic Waves, Frequency Domain (emw)' selected. The 'Results' section shows 'Multi-physics' selected. The 'Model Builder' on the left shows the study hierarchy: 'Study 2' > 'Step 1: Frequency Domain'. The 'Graphics' window shows a 3D model of a rectangular waveguide with dimensions 0.1, 0.05, and 0.04. The 'Physics' window on the right shows the 'Standard Study' configuration with 'Boundary Mode Analysis', 'Eigenfrequency', 'Frequency Domain', and 'Frequency Domain Modal' selected. The 'Message' window at the bottom shows the license information and file names.

# 10: 励振ポートの指定

rect\_wg.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.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)
        - 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 2
      - 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
    - 結果
      - データセット
      - 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

ポート

ラベル: ポート 1

境界選択

選択: マニュアル

2

アクティブ

優先関係および寄与

方程式

ポート特性

ポート名: 1

ポートタイプ: 矩形

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] W

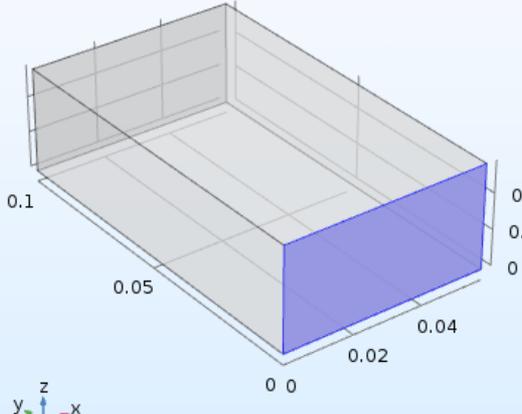
内部ポート境界でスリット条件をアクティブ

ポートモード設定

モードタイプ: TE

モード数:

グラフィックス 収束プロット 1



フィジックス スタディ... 材料追...

+ 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ェース

フィジックス	求解
電磁波 (周波数領域...)	<input checked="" type="checkbox"/>

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

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9日で失効します  
 開かれたファイル: rect\_wg.mph  
 保存されたファイル: rect\_wg.mph  
 求解の自由度数: 17596  
 計算時間 (スタディ 2): 5 秒

999 MB | 1143 MB

# 11: 結果の表示

rect\_wg.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.mph (root)
  - グローバル定義
    - P1 パラメーター
    - 材料
  - RectWG (comp1)
    - 定義
    - ジオメトリ 1
      - RectWG (blk1)
      - 一体化モデルで完成 (fin)
    - 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
    - 結果
      - データセット
      - 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

カラーリング: カラーテーブル

グラフィックス 収束プロット 1

freq(1)=4 GHz 複数断面: 瞬時的電場ノルム (V/m)

$\times 10^3$

1 0.8 0.6 0.4 0.2

0.05 0.02 0 0

z y x

ここで表示する物理量を選択

この設定でいろいろな結果出力。他の例を参照。

フィジックス スタディ... 材料追...

+ 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ェ

フィジックス 求解

電磁波 (周波数領域...

- 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

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9日で失効します  
 開かれたファイル: rect\_wg.mph  
 求解の自由度数: 17596  
 計算時間 (スタディ 1): 5秒

991 MB | 1164 MB