

COMSOL Multiphysics® Ver.5.3 専門モジュールイントロダクション

# 波動光学モジュール

光学的に大規模な構造における電磁波伝搬の  
シミュレーション用

製品説明

<https://www.comsol.jp/wave-optics-module>

計測エンジニアリングシステム株式会社

東京都千代田区内神田 1-9-5 井門内神田ビル 5F

2017 6.9

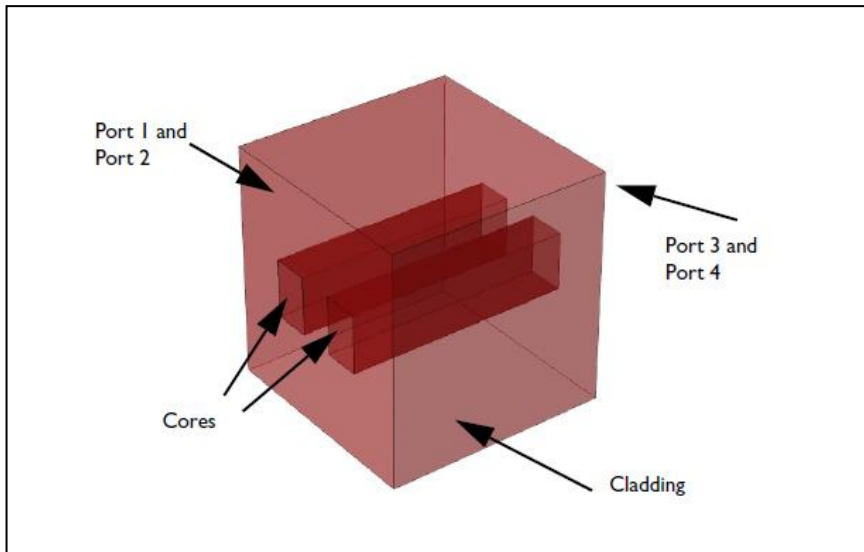
## 1. 専門モジュールイントロダクションの目的

COMSOL Multiphysics®の各専門モジュールにおける基本的な問題を取り上げ、検討したい分野で操作手順をすぐに試することができるようにすることが目的です。

COMSOL Multiphysics®トライアル版を受領後、本書の内容をトレースすることでトライアル期間を有効につかうことができるでしょう。

## 2. チュートリアル

### 方向性カップラー



注意： この例題を実行する際の前提として、ファイルメニュー：環境設定：一般で「表示精度を出力」を5桁に設定のこと。仮に8桁にすると、固有値が(1)(2)といったものが付かずに詳細な数値表示になる。

出典：INTRODUCTION TO Wave Optics Module p.24 以降

### モデルウィザード

1. デスクトップのCOMSOLアイコンをダブルクリックします。ソフトウェアが起動すると画面にモデルウィザードを使う（COMSOLモデルを新規作成）かブランクモデルを使う（手動でCOMSOLモデルを新規作成）かを選択する画面が表示されます。ここではモデルウィザードを選択します。COMSOLがすでに起動している場合にはファイルメニューで新規を選択後にモデルウィザードを選択します。



2. 空間次元を選択ウィンドウで3Dをクリックします。

3. フィジックスを選択ツリーで光学を展開し波動光学の下で、電磁波（ビームエンベロープ）(ewbe)をダブルクリックします。すると、追加フィジックス選択リストに表示されます。別の方法として、電磁波（ビームエンベロープ）(ewbe)を選択し、追加ボタンを押す方法があります。

4. スタディをクリックします。

5. プリセットスタディの下のスタディツリーで境界モード解析を選択します。
6. 完了をクリックします。

### グローバル定義—パラメータ

1. ホームツールバーで、パラメータをクリックします。
2. パラメータの設定ウィンドウで以下を入力します。

パラメータ		
名前	式	値
wl	1.15[um]	1.15E-6 m
f0	c_const/wl	2.6069E14 1/s
a	3[um]	3E-6 m
d	3[um]	3E-6 m
len	2.1[mm]	0.0021 m
width	6*a	1.8E-5 m
height	4*a	1.2E-5 m
ncl	3.47	3.47
dn	0.005	0.005
nco	ncl+dn	3.475

### ジオメトリ 1

#### ブロック 1

1. ジオメトリツールバーで、「ブロック」をクリックします。
2. ブロックの設定ウィンドウに行き、サイズセクションで

幅	len
深さ	width
高さ	height

3. 位置セクションで、ベースを中心とします。
4. 「選択対象作成」をクリックします。

#### ブロック 2

1. ジオメトリツールバーで、「ブロック」をクリックします。
2. 設定ウィンドウで、サイズセクションに以下を入力します。

幅	len
深さ	a
高さ	a

3. 位置セクションで、ベースを中心とします。
4. y に -d を入力します。

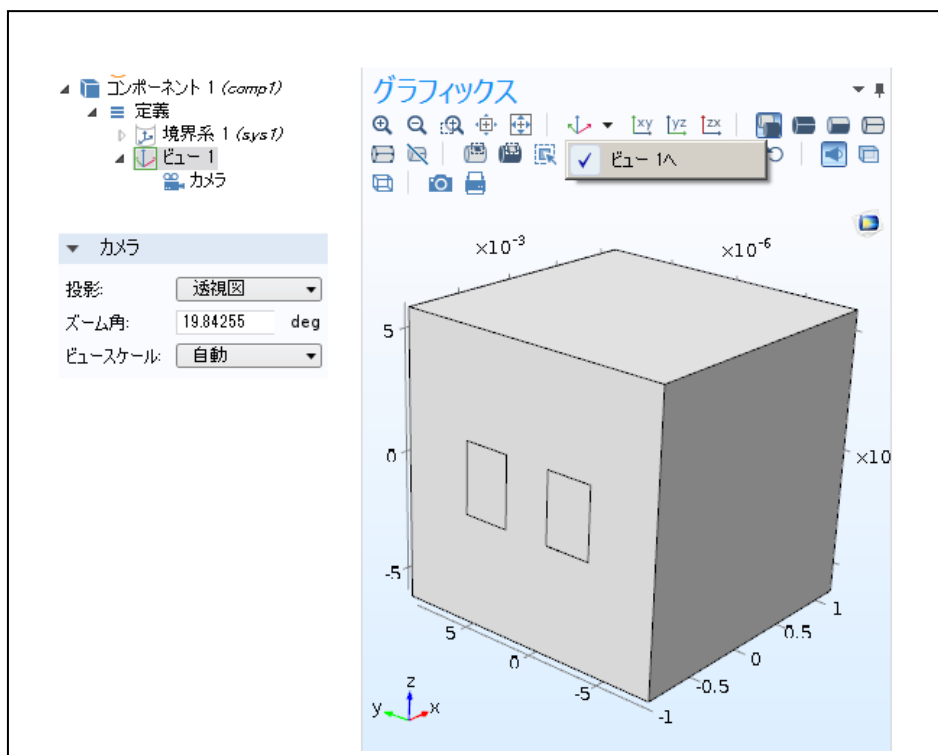
5. 「選択対象作成」をクリックします。

ブロック 3

1. ブロック 2 を右クリックし、複製を選択します。
2. 設定ウィンドウに行き、位置セクションで  $y$  に  $d$  を入力します。
3. 「全オブジェクト作成」をクリックします。

## 定義

1. モデルビルダで、コンポーネント 1 : 定義 : ビュー 1 を展開し、カメラをクリックします。
2. 設定ウィンドウで、カメラセクションに行き、ビュースケールリストから自動を選択します。
3. グラフィックスツールバーで、「ビュー 1 へ行く」



## 材料

材料 1

1. 材料ツールバーで、「ブランク材料」をクリックします。
2. 材料コンテンツセクションで、次の設定をします。

屈折率、実部	ncl
屈折率、虚部	0.0

## 材料 2

1. 材料ツールバーで、「ブランク材料」をクリックします。
2. 設定ウィンドウにき、ラベルに **Implanted GaAs core** を設定します。
3. ドメイン 2、3 のみを選択します。(Waveguide core のみを選択します。)
4. 材料コンテンツで、下記の設定をします。

屈折率、実部	nco
屈折率、虚部	0.0

## 電磁波、ビーム包絡

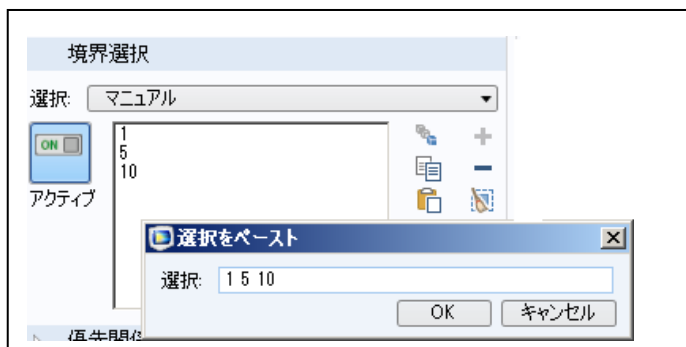
1. 電磁波 (ビームエンベロープ) をクリックします。
2. 設定ウィンドウの「波動ベクトル」セクションで「方向」リストで、「単方向」を選択します。
3.  $k_1$  の x 成分に **ewbe.beta\_1** を入力します。

注：この設定によって、最低次の導波路モードの波数ベクトルを指定しています。この設定で、電場の位相は完全に最低次数のモードと整合がとれますが、励起された高次モードとは若干ずれています。

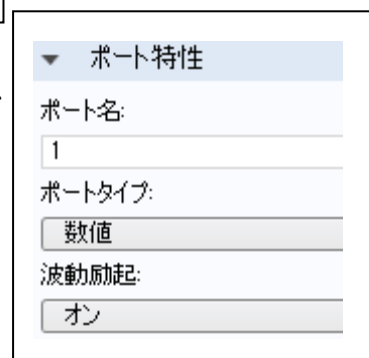
## ポート 1

入力境界で波を励起し、出力境界で波を吸収するために、各境界毎に数値ポートを使います。最初の 2 個のポートで波を励起します。各数値モードでは境界モード解析スタディステップでの計算が行われます。境界モード解析は固有値計算が行われ、そのポートに対応するモード場と伝播定数が計算されます。

1. フィジックスツールバーで、「境界」をクリックし、「ポート」を選択します。
2. 境界 1,5,10 を選択します。



3. 設定ウィンドウに行き、「ポート特性」セクションで、「ポートタイプ」リストで、数値を選択します。
4. 「波動励起」リストで、「オン」を選択します。



### ポート 2

1. ポート 1 を右クリックし、「複製」を選択します。

### ポート 3

1. フィジックツールバーで、「境界」をクリックし、「ポート」を選択します。
2. 境界 16-18 を選択します。
3. 設定ウィンドウに行き、「ポート特性」セクションで、「ポートタイプ」リストで、「数値」を選択します。

### ポート 4

1. ポート 3 を右クリックし、「複製」を選択します。

### メッシュ

#### フリーメッシュ三角形 1

1. メッシュツールバーで、「境界」をクリックし、「フリーメッシュ三角形」を選択します。
2. 境界 1,5,10 のみを選択します。

#### サイズ 1

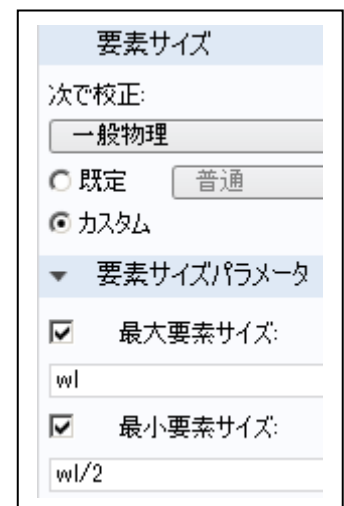
1. フリーメッシュ三角形 1 を右クリックし、サイズを選択します。
2. 要素サイズセクションに行き、カスタムにチェックを入れます。
3. 要素サイズパラメタセクションで、最大要素サイズにチェックを入れ、 $wl$ (ダブリューエル)を入力します。
4. 最小要素サイズにチェックを入れ、 $wl/2$  を入力します。

注：ビーム包絡を使う場合には、最大要素サイズは1波長あれば十分です。

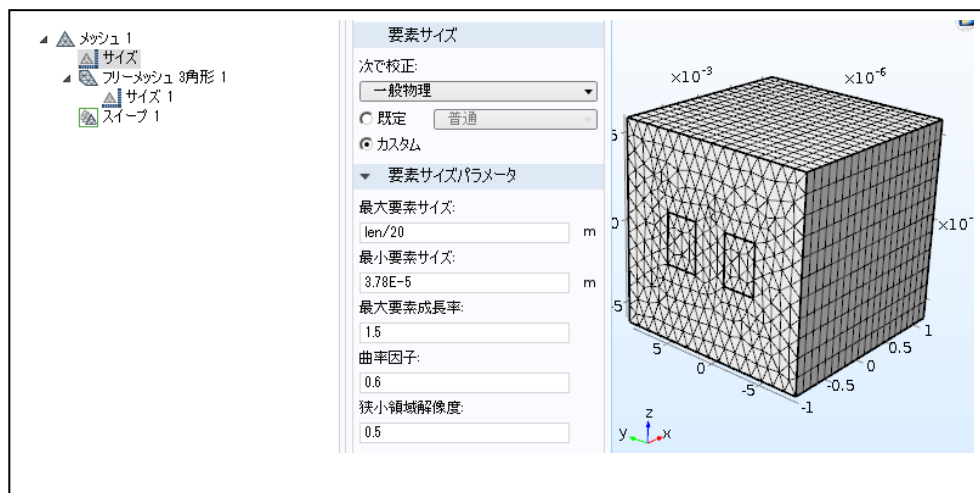
#### スweep 1

1. メッシュツールバーで、「スweep」をクリックします。

#### サイズ



1. メッシュ 1 の下の、サイズをクリックします。
2. 設定ウィンドウで、要素サイズセクションに行き、カスタムにチェックを入れます。
3. 最大要素サイズにチェックを入れ、 $len/20$  を入力します。
4. 「全て作成」をクリックします。



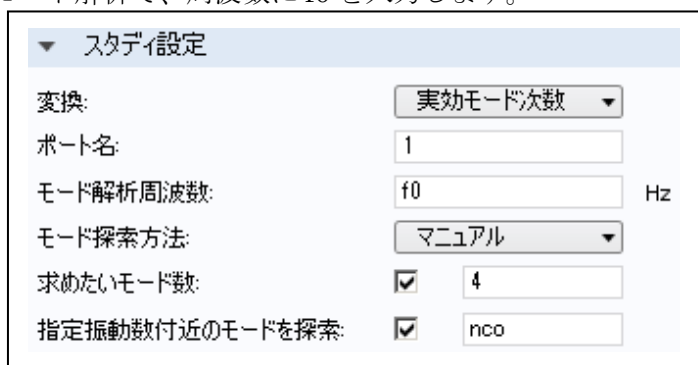
### スタディ 1

1. スタディ 1 をクリックします。
2. 設定ウィンドウで、「デフォルトプロットを生成」のチェックを外します。

### ステップ 1：境界モード解析

ここでは4つの低次モードを計算します。最初の二つのモードは対称です。導波路の断面が正方形で有る場合にはz方向に偏向するモードと、y方向に偏向するモードがあります。3番目と4番目のモードは、z方向に偏向するモードと、y方向に偏向するモードがあります。

1. スタディ 1、ステップ 1:境界モード解析をクリックします。
2. 設定ウィンドウで、求めたいモード数にチェックを入れ、4を入力します。これは最低次のモードを4個見つけることを意味します。
3. 指定振動数付近のモードを探索にチェックを入れ、 $nco$ を入力します。これは導波路のコアの屈折率に近い実効モード次数をもつモードを探索することを意味しています。
4. モード解析で、周波数に  $f0$  を入力します。



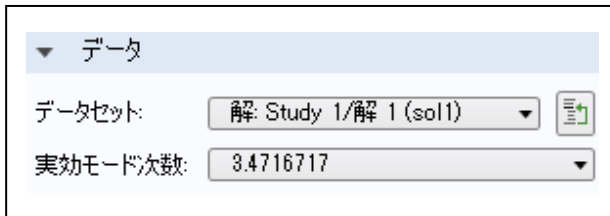


5. 境界モード解析ステップのみを計算するために、ステップ 1:境界モード解析を右クリックし、「選択ステップを計算」を選択します。

### 結果

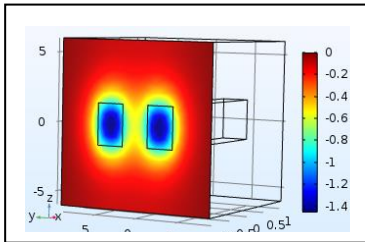
#### 3Dプロットグループ 1

1. ホームツールバーで、「表示グループの追加」をクリックし、「3Dプロットグループ」を選択します。
2. 3Dプロットグループツールバーで、「サーフェス」を選択します。
3. 設定ウィンドウで、式に  $ewbe.tEbm1z$  を入力します。
4. 3Dプロットグループ 1 をクリックします。
5. 設定ウィンドウで、データセクションに行き、実効モード次数で最大のものを選択します。3.4717(2)を選びます。



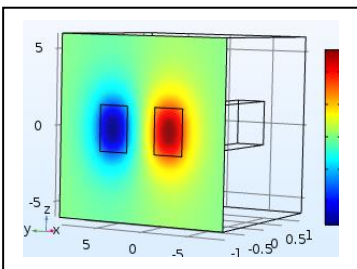
注：以後、3.4714(2)といった表現が出ます。これはファイルメニュー：環境設定：一般で出力表示精度がデフォルトで5桁になっていることが原因です。桁数をあげておけば詳細の数値を確認できます。

6. 「plot」をクリックします。z方向に偏向する対称モードが表示されます。

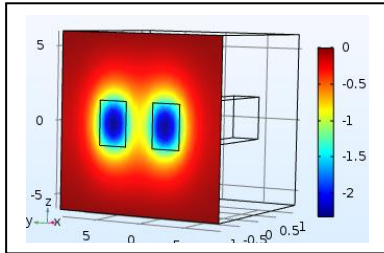


7. 有効モード次数から、3.4714(2)を選択します。

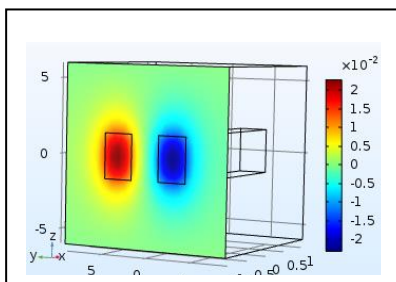
8. 「plot」をクリックします。z方向に偏向する反対称モードが表示されます。



9. 3Dプロットグループ1の面1をクリックします。
10. `ewbe.tEbm1y` を入力します。
11. 3Dプロットグループ1をクリックします。
12. 3.4717(1)をクリックします。
13. 「plot」をクリックします。y方向に偏向する対称モードが表示されます。



14. 3.4714(1)をクリックします。
15. 「plot」をクリックします。y方向に偏向する反対称モードが表示されます。

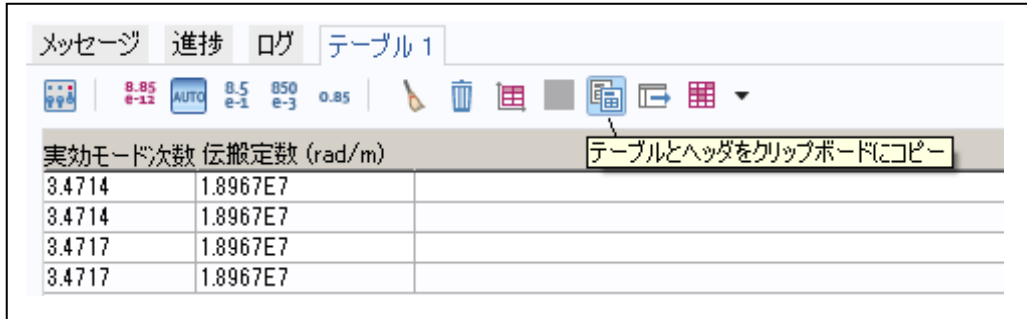


### 計算値

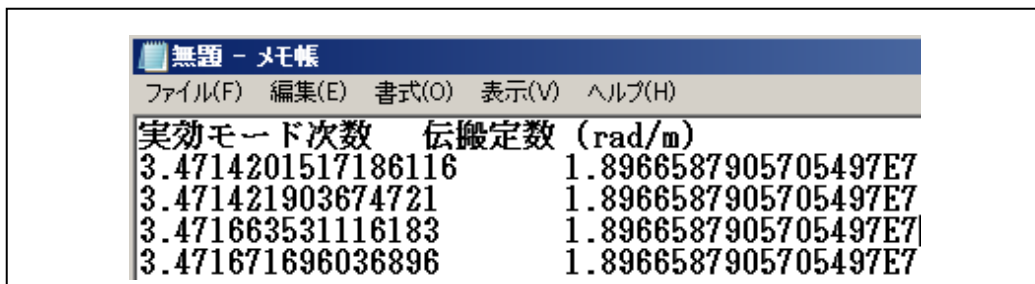
1. 結果ツールバーで、「グローバル評価」をクリックします。
2. 設定ウィンドウで、`ewbe.beta_1` を入力します。ポート1における伝播定数です。
3. 「=評価」をクリックします。
4. テーブルウィンドウで、「フル精度」をクリックします。

実効モード	フル精度	定数 (rad/m)
3.4714	1.8967E7	
3.4714	1.8967E7	
3.4717	1.8967E7	
3.4717	1.8967E7	

5. テーブルウィンドウで、「テーブルとヘッダーをクリップボードにコピー」をクリックします。



6. メモ帳にペーストします。(あるいは適当なエディタ)



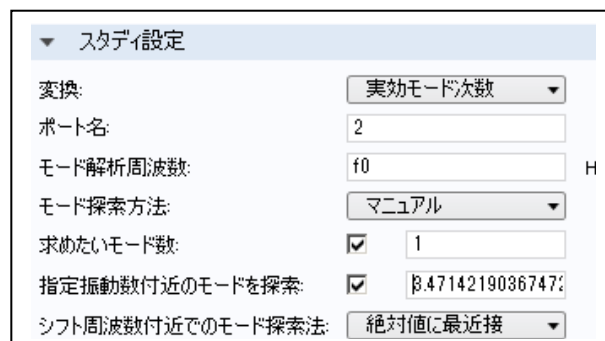
## スタディ 1

ステップ 1 : 境界モード解析

1. スタディ 1 の下のステップ 1:境界モード解析をクリックします。
2. 設定ウィンドウに行き、求めたいモード数を 1 にします。
3. 指定振動数付近のモードを探索に、3.471671696036896 を入力します。  
(先ほどペーストしたエディタの数値をコピー&ペーストしてもよい)

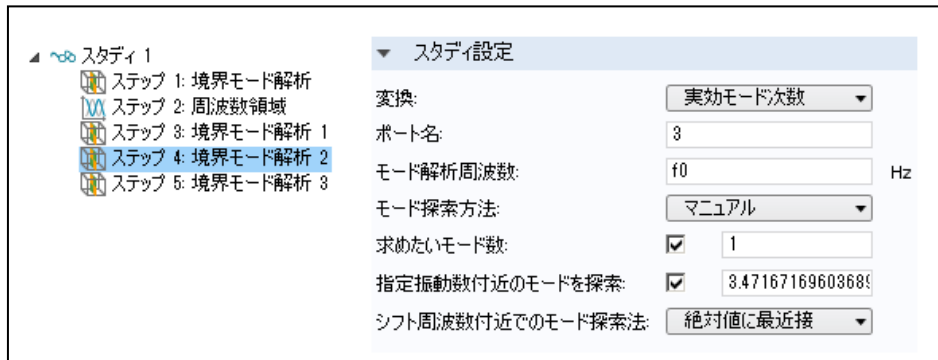
ステップ 3 : 境界モード解析 1

1. ステップ 1 : 境界モード解析を右クリックし、複製を選択します。
2. 設定ウィンドウに行き、指定振動数付近のモードを探索に、3.471421903674721 を入力します。
3. ポート名を 2 にします。



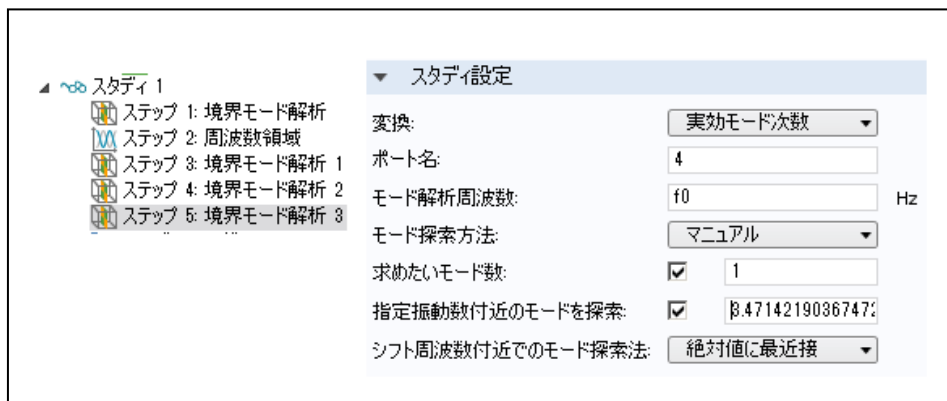
## ステップ 4. 境界モード解析 2

1. ステップ 1 : 境界モード解析と、ステップ 3 : 境界モード解析 1 の両方を選択します。
2. ステップ 1 : 境界モード解析を右クリックし、複製を選択します。
3. ステップ 4 : 境界モード解析 2 をクリックし、ポート名を 3 にします。



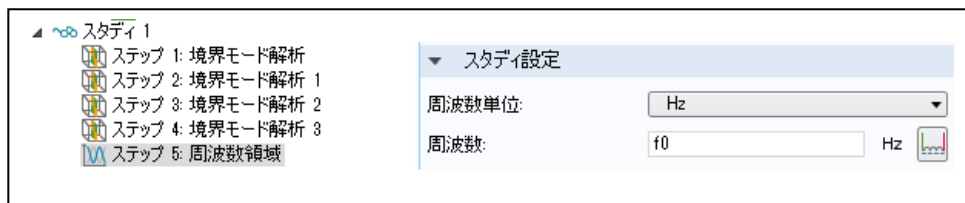
## ステップ 5 : 境界モード解析 3

1. ステップ 5 : 境界モード解析 3 をクリックします。
2. 設定ウィンドウで、ポート名を 4 にします。



## ステップ 2 : 周波数領域

1. スタディ 1 : ステップ 2 : 周波数領域をクリックします。
2. 設定ウィンドウで、周波数に  $f_0$  を入力します。
3. ステップ 2 : 周波数領域をマウスでドラッグして、ステップ 4 : 境界モード解析 3 の下に移動させます。

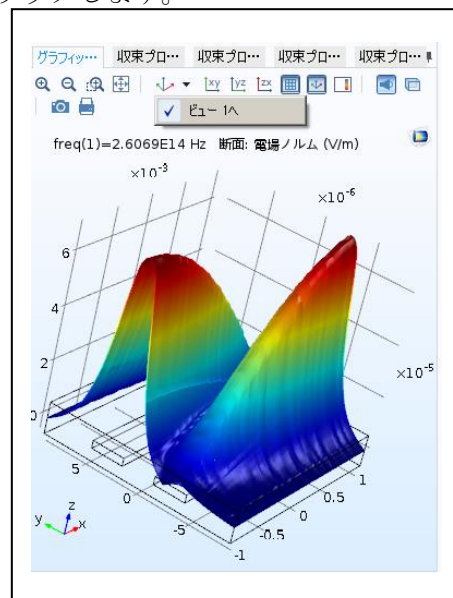


4. スタディ 1 を右クリックし、「計算=」をクリックします。

**結果**

## 3Dプロットグループ1

1. 3Dプロットグループ1の下の方1を右クリックし、削除を選択し、Yesをクリックします。
2. 3Dプロットグループ1ツールバーから「断面」をクリックします。
3. 設定ウィンドウで、xy面を選択します。
4. 平面数に1を入れます。
5. 断面1を右クリックし、変形を選択します。
6. 設定ウィンドウで、z方向の変位に、`ewbe.normE`を入力します。
7. 「plot」をクリックします。
8. グラフィックスウィンドウで、「ビュー1」へ行く。
9. 「画面にわたってズーム」をクリックします。

**電磁波 (ビームエンベロープ)**

## ポート2

1. 電磁波、ビーム包絡で、ポート2を選びます。
2. 設定ウィンドウで、位相を  $\pi$  にします。

## スタディ1

1. ホームツールバーで、「計算=」をクリックします。

**結果**

他の導波路が励起されている様子が分かります。

