

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

# プラズマモジュール

低温、非平衡放電のモデル化ソフトウェア

製品説明

<https://www.comsol.jp/plasma-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

2017.6.7

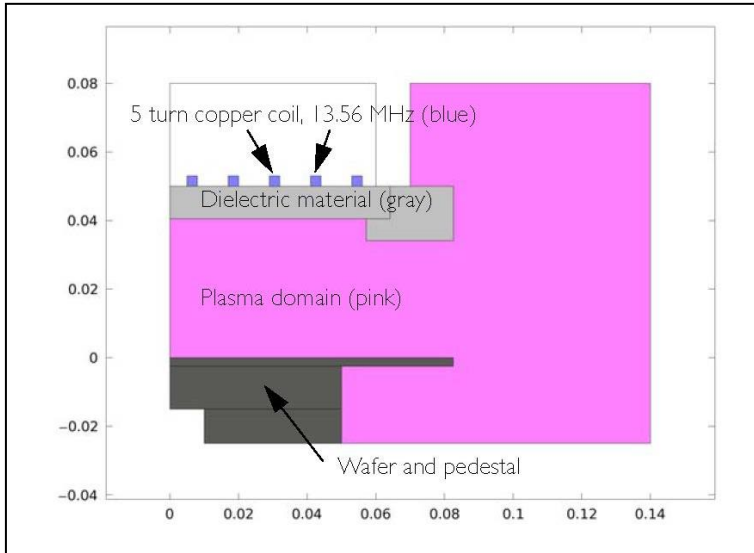
## 1. 専門モジュールイントロダクションの目的

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

### GEC ICP リアクター (アルゴン化学)



出典：INTRODUCTION TO Plasma Module p.22 以降

### 手順

#### 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 2D 軸対称をクリックします。

3. フィジックスを選択ツリーでプラズマを展開し誘導結合プラズマ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、誘導結合プラズマを選択し、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。

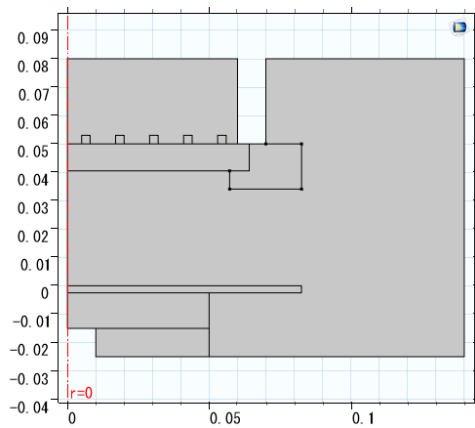
5. 選択されたフィジックス用の標準スタディツリーで周波数過渡を選択します。

6. 完了をクリックします。

## ジオメトリ

1. ホームツールバー上でジオメトリ>インポートボタンをクリックし、設定ウィンドウズで参照ボタンをクリックします。

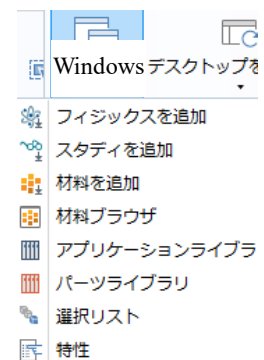
2. アプリケーションライブラリフォルダに¥Plasma\_Module¥Inductively\_Coupled\_Plasmasをブラウズし、argon\_gec\_icp.mphbin を選択して開くボタンをクリックします。インポートボタンをクリックします。



## ジオメトリ区分およびパラメータ

1. 定義ツールバー上で明示的ボタンをクリックします。設定ウィンドウズでラベルに Walls を入力します。

2. ジオメトリックエンティティレベルを境界に変更し、ホームツールバー上でレイアウト>Windows>選択リストを選び、境界番号 6、8、35-38、44、45、および 51-56 を選択し、+ボタンをクリックします。

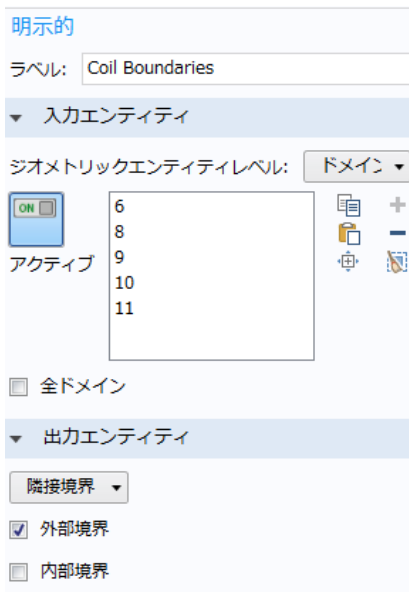


3. 定義ツールバー上で明示的ボタンをクリックします。設定ウィンドウズでラベルに Coils を入力します。

4. ホームツールバー上でレイアウト>Windows>選択リストを選び、ドメイン番号 6 および 8-11 を選択し、+ボタンをクリックします。

5. 定義ツールバー上で明示的ボタンをクリックします。設定ウィンドウズでラベルに Coil Boundaries を入力します。

6. ホームツールバー上でレイアウト>Windows>選択リストを選び、ドメイン番号6 および 8-11 を選択し、+ボタンをクリックします。出力エンティティに隣接境界を選びます。



7. ホームツールバー上で定義>パラメータをクリックします。以下のパラメータを入力します。

パラメータ

▼ パラメータ

| 名前   | 式               | 値              | 説明                        |
|------|-----------------|----------------|---------------------------|
| Psp  | 1500[W]         | 1500 W         | Power input               |
| mueN | 4E24[1/(V*m*s)] | 4E24 1/(V·m·s) | Reduced electron mobility |
| T0   | 300[K]          | 300 K          | Gas temperature           |
| p0   | 0.02[torr]      | 2.6664 Pa      | Gas pressure              |

## プラズマ

プラズマノードをクリックし、設定ウィンドウのプラズマ特性>換算電子輸送特性使用にチェックを入れます。ドメイン選択にドメイン番号3を選択します。

### 電子衝突断面積

1. フィジックスツールバー>グローバルをクリックし、断面インポートを選択します。
2. 設定ウィンドウで参照ボタンをクリックし、アプリケーションライブラリフォルダに¥Plasma\_Module¥Inductively\_Coupled\_Plasmas をブラウズし、Ar\_xsecs.txt を選択し、「開く」ボタンをクリックします。

### 化学反応

1. フィジックスツールバー>ドメインをクリックし、重化学種輸送>反応を選択します。
2. 設定ウィンドウで式に  $\text{Ars}+\text{Ars}=\text{e}+\text{Ar}+\text{Ar}+$  を入力し、反応タイプを非可逆にして順反応速度定数  $k^f$  に 3.734E8 を設定します。
3. フィジックスツールバー>ドメインをクリックし、重化学種輸送>反応を選択します。
4. 反応の設定ウィンドウで式に  $\text{Ars}+\text{Ar}=\text{Ar}+\text{Ar}$  を入力し、反応タイプを非可逆にして順反応速度定数  $k^f$  に 1807 を設定します。

### 化学種

1. Species : Ar ノード をクリックし、設定ウィンドウで「質量拘束を参照」にチェックを入れます。
2. Species : Ar+ ノード をクリックし、設定ウィンドウで「電気的中性拘束による初期値」にチェックを入れます。

### 初期値

1. 誘導結合プラズマ>初期値 1 をクリックし、初期電子密度に 1E15[1/m<sup>3</sup>]、初期平均電子エネルギーに 5[V] を設定します。

### プラズマモデル

1. プラズマモデル 1 ノード をクリックします。
2. 設定ウィンドウのモデル入力のセクションで温度に T0 及び絶対圧に p0 を設定します。換算電子移動度  $\mu_e N_n$  に mueN を設定します。

### 表面反応

1. フィジックスツールバー>境界をクリックし、重化学種輸送>表面反応を選択します。
2. 表面反応の設定ウィンドウで境界選択を Walls にして、式に  $\text{Ar}+=\text{Ar}$  を入力します。
3. フィジックスツールバー>境界をクリックし、重化学種輸送>表面反応を選択します。
4. 表面反応の設定ウィンドウで境界選択を Walls にして、式に  $\text{Ars}=\text{Ar}$  を入力します。

### 境界条件

1. 壁: フィジックスツールバー>境界をクリックし、ドリフト拡散>壁を選択して設定ウィンドウで境界選択を Walls にします。
2. 反射係数に 0.2 を入力します。
3. 接地: フィジックスツールバー>境界をクリックし、静電場>接地を選択して設定ウィンドウで境界選択を Walls にします。

## 磁場

1. 磁場ノードをクリックします。
2. 設定ウィンドウでドメイン 3-6 および 8-1 2 を設定します。

### コイルグループドメイン

1. フィジックスツールバー>ドメインをクリックし、磁場>コイルを選択します。
2. 設定ウィンドウでドメイン選択を Coils に変更し、コイルグループにチェックを入れます。コイル励振をパワーにして Psp を入力します。

## 材料

1. 材料ノードを右クリックし、ブランク材料を選択します。
2. 設定ウィンドウでドメインを Coils に選択し、以下パラメータを設定します。

▼ 材料コンテンツ

| 特性     | 名前      | 値   | 単位  | 特性グループ |
|--------|---------|-----|-----|--------|
| ✓ 導電率  | sigma   | 6E7 | S/m | 基本     |
| ✓ 比誘電率 | epsi... | 1   | 1   | 基本     |
| ✓ 比透磁率 | mur     | 1   | 1   | 基本     |

3. 材料ノードを右クリックし、ブランク材料を選択します。
4. 設定ウィンドウでドメインに 5 を設定し、以下パラメータを設定します。

▼ 材料コンテンツ

| 特性     | 名前      | 値 | 単位  | 特性グループ |
|--------|---------|---|-----|--------|
| ✓ 導電率  | sigma   | 0 | S/m | 基本     |
| ✓ 比誘電率 | epsi... | 1 | 1   | 基本     |
| ✓ 比透磁率 | mur     | 1 | 1   | 基本     |

5. 材料ノードを右クリックし、ブランク材料を選択します。
6. 設定ウィンドウでドメインに 4 と 12 を設定し、以下パラメータを設定します。

▼ 材料コンテンツ

| 特性      | 名前       | 値   | 単位  | 特性グループ |
|---------|----------|-----|-----|--------|
| ✓ 電気導電率 | sigma    | 0   | S/m | 基本     |
| ✓ 比誘電率  | epsil... | 4.2 | 1   | 基本     |
| ✓ 比透磁率  | mur      | 1   | 1   | 基本     |

## メッシュ

1. メッシュ 1 をクリックし、設定ウィンドウで要素サイズをより細かいにします。
2. メッシュ 1 ノードを右クリックし、その他の操作>エッジを選択して、設定ウィンドウで境界 6、8、44、45、および 54 を選択します。
3. エッジ 1 ノードを右クリックし、サイズを選択します。設定ウィンドウで要素サイズのセクションでカスタムにチェックを入れ、最大要素サイズに 0.001 を設定します。
4. メッシュ 1 ノードを右クリックし、フリーメッシュ 3 角形を選択し、設定ウィンドウでジオメトリックエンティティレベルをドメインにし、ドメイン 3 を選択します。
5. フリーメッシュ 3 角形 1 ノードを右クリックし、サイズを選択します。設定ウィンドウで要素サイズのセクションで既定タイプを「さらに細かい」にします。
6. メッシュ 1 ノードを右クリックし、境界層を選択し、設定ウィンドウでジオメトリックエンティティレベルをドメインにし、ドメイン 3 を選択します。
7. 境界層 1 >境界層特性ノードをクリックし、境界選択を Walls にし、境界レイヤ数に 5、境界層ストレッチング因子に 1.4 を設定します。
8. メッシュ 1 ノードを右クリックし、マップトを選択します。
9. 設定ウィンドウでジオメトリックエンティティレベルをドメインにし、選択を Coils にします。
10. マップト 1 ノードを右クリックし、分布を選択します。設定ウィンドウで境界選択を Coil Boundaries にします。分布特性を既定分布タイプに変更し、分割数に 25、要素比に 20 を設定します。次は、分布法を等比数列にし、対称分布にチェックを入れます。
11. メッシュ 1 ノードを右クリックし、フリーメッシュ 3 角形を選択します。
12. 全作成ボタンをクリックします。

## スタディ 1

1. スタディ 1 ノードを展開し、ステップ：周波数過渡をクリックします。設定ウィンドウで次ページの図の通りに設定します。
2. スタディ 1 ノードを右クリックし、計算を実行します。



周波数過渡

計算 解を更新

ラベル: 周波数過渡

▼ スタディ設定

時間単位: s

時間:  $0 \cdot 10^{\{\text{range}(-8,5/20,-3)\}}$  s

相対トレランス:  0.001

周波数: 13.56E6

範囲

入力法: 値の数

スタート: -8

停止: -3

値の数: 21

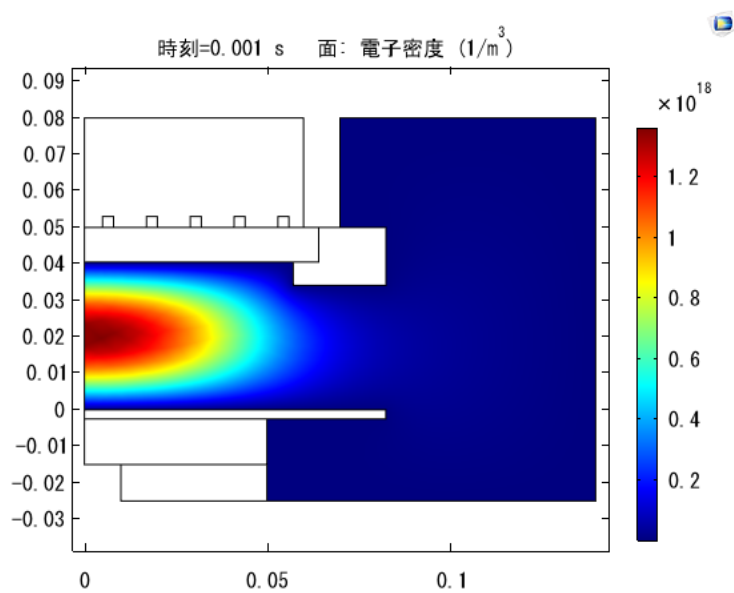
全ての値に適用する関数: exp10

置換 追加 キャンセル

結果

電場

1. 結果 : 電子密度 (icp)をクリックします。



以上

<ノート>