

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

最適化モジュール

工学設計の最適化と改善

製品説明

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

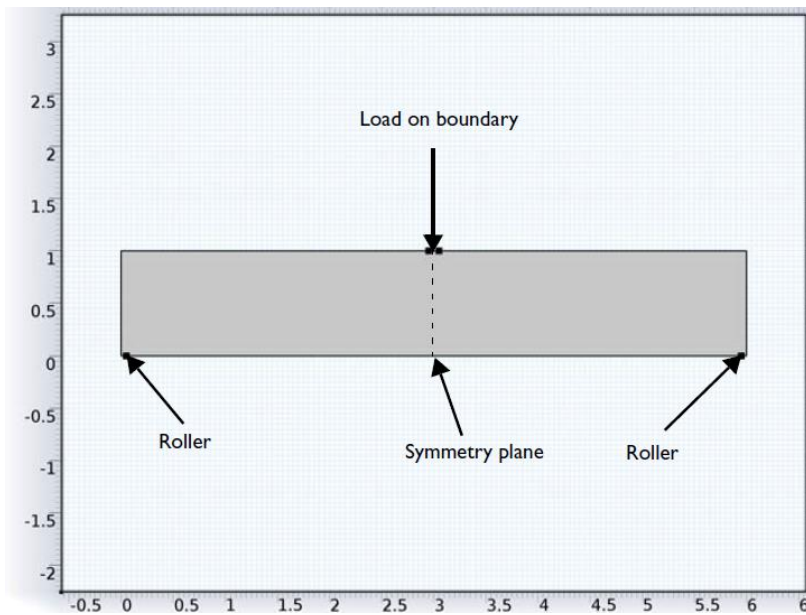
1. 専門モジュールイントロダクションの目的

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

本モデルは、トポロジー最適化計算の典型的な例題になります。下記図に示すように、長方形ビームの両端がローラーに乗せて、上から外力を印加する時に、構造の剛性が最大になることを最適化目標とする場合の、領域内の最適な材料分布を計算します。また、下記モデルは左右対称になっていますので、解析する時に左半分を用いて計算します。



手順

新規モデルを作成

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。



モデルウィザード

1. モデルウィザードの「空間次元を選択」ウィンドウで「2D」をクリックします。
2. 「フィジックスを選択」ツリーで「構造力学」を展開し、「固体力学 (solid)」を選択します。
3. 「追加」ボタンをクリックします。
4. 「フィジックスを選択」ツリーで「数学」「最適化および感度」を展開し、「最適化 (opt)」を選択します。
5. 「追加」ボタンをクリックします。
6. 「スタディ」ボタンをクリックします。
7. 標準スタディツリーから「定常」を選択します。
8. 「完了」ボタンをクリックします。

グローバル定義

パラメータ定義

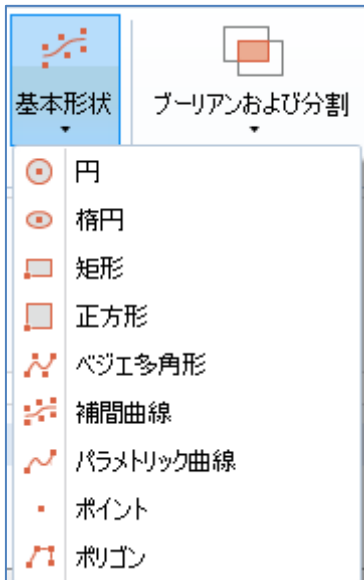
1. ホームツールバーの「パラメータ」ボタンをクリックします。
2. パラメータの設定ウィンドウに、以下を入力します：

▼ パラメーター		
名前	式	値
a	3	3
b	1	1
h0	0.05	0.05
hmax	0.025	0.025
p	5	5
q	0.25	0.25
gamma	0.5	0.5
domainArea	a*b	3
Ws0	1	1

ジオメトリ

矩形 1 (r1)

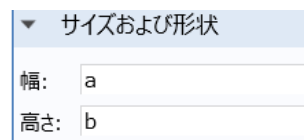
1. 「ジオメトリ」 ツールバーの「基本形状」をクリックし「矩形」を選択します。



2. 「矩形 1」 の設定ウィンドウの、「サイズおよび形状」セクションに行って：

幅テキストフィールドに、「a」を入れます。

高さテキストフィールドに、「b」を入れます。



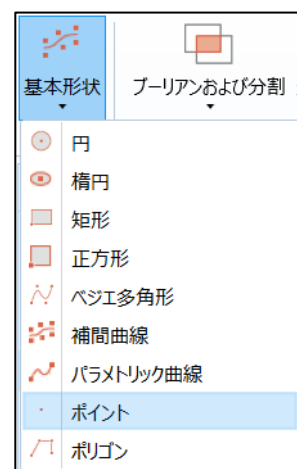
3. 「選択対象を作成」 ボタンをクリックします。

ポイント 1 (pt1)

4. ジオメトリツールバーの「基本形状」をクリックし

「ポイント」を選択します。

5. 「ポイント 1」 の設定ウィンドウの、「ポイント」セクションに行って、x テキストフィールドに「0.1」を入れます。



シ

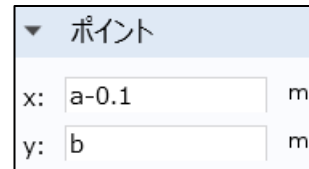
ポイント 2 (pt2)

1. ジオメトリツールバーの「基本形状」をクリックし、「ポイント」を選択します。
2. 「ポイント 2」の設定ウィンドウの、「ポイント」セクションに行って：

x テキストフィールドに「a-0.1」を入れます。

y テキストフィールドに「b」を入れます。

3. 「選択対象を作成」ボタンをクリックします。



材料を追加

次に Structural steel をドメイン材料として設定します。

1. ホームツールバーの「材料を追加」をクリックします。



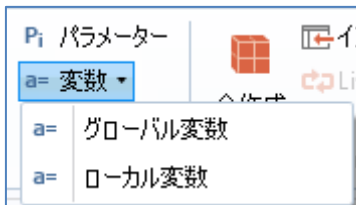
2. 「材料を追加」ウインドウのツリーから、「標準」中の「Structural steel」を選択し、「コンポーネントに追加」ボタンをクリックします。



定義

変数 1

1. ホームツールバーの「変数」をクリックし、「ローカル変数」を選択します。



2. 変数の設定ウインドウの、「変数」セクションへ行きます。
3. テーブルに以下の設定を入れます。

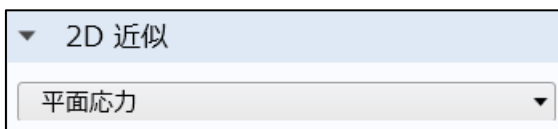
▼ 変数			
名前	式	単位	説明
E_SIMP	mat1.Enu.E*rho_design ^p	Pa	Penalized Young's modulus

実際の画面では、最適化計算用の材料分布コントロール変数「rho_design」はまだ未定義なので、定義した変数「E_SIMP」の式はオレンジ色になっています。

以下で、物理の定義に入ります。

固体力学(solid)

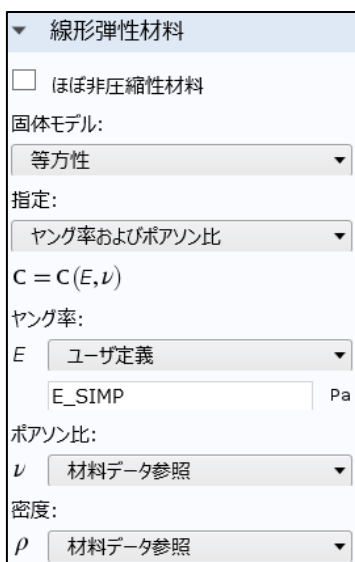
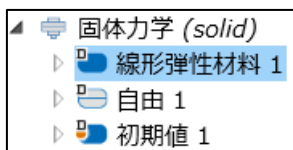
1. モデルビルダツリー中の「コンポーネント 1」の下での「固体力学」ノードをクリックします。
2. 「固体力学」の設定ウインドウに、「2D 近似」セクション中の選択リストから「平面応力」を選択します。



線形弾性材料 1

ここで最適化計算のために修正したヤング率を設定します。

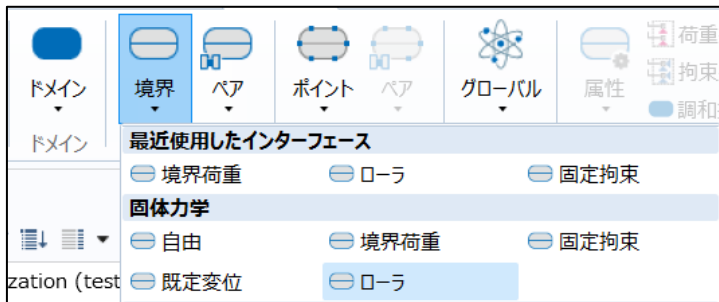
1. モデルビルダツリー中の「固体力学」ノード下の「線形弾性材料 1」をクリックします。
2. 「線形弾性材料 1」の設定ウインドウの「線形弾性材料」セクションへ行きます。
3. ヤング率 E の選択リストから「ユーザ定義」を選択し、「E_SIMP」を入れます。



ローラ 1

ローラ条件を利用して対称境界を表します。もし構造力学モジュールをお持ちの場合には、「対称性」条件を利用できます。

1. 「フィジックス」ツールバー下の境界をクリックし、「ローラ」を選択します。



2. 境界 6 を選択します。



ローラ 2

ビームの左下にもう一つのローラ条件を追加します。

1. 「フィジックス」ツールバー下の境界をクリックし、「ローラ」を選択します。
2. 境界 2 を選択します。



境界荷重 1

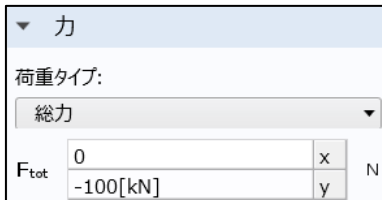
本例は線形問題であり、印加外力の大きさは最適トポロジーに影響しません。

1. 「フィジックス」ツールバー下の境界をクリックし、「境界荷重」を選択します。
2. 境界 5 を選択します。



3. 境界荷重の設定ウインドウの「力」セクションに行って：

- 「荷重タイプ」選択リストから「総力」を選択します。
- 総力ベクトル「 F_{tot} 」の y 方向に「-100[kN]」を入れます。

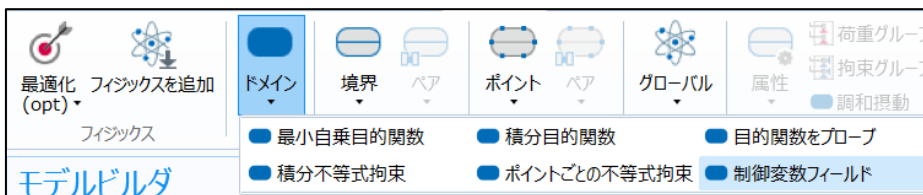


最適化 (opt)

以下に最適化インターフェースを利用して制御変数フィールド、

制御変数フィールド 1

1. モデルビルダツリーのコンポーネント 1 下の「最適化(opt)」をクリックします。
2. 「フィジックス」ツールバーの「ドメイン」をクリックし、「制御変数フィールド」を選択します。



3. ドメイン 1 を選択します。

4. 「制御変数フィールド 1」ノードの設定ウインドウに、「制御変数」セクションへ行きます：

- 制御変数名テキストフィールドに「rho_design」を入れます。
- 初期値テキストフィールドに「gamma」を入れます。

5. 「離散化」セクションへ行って、「要素次数」リストから「線形」を選択します。

▼ 制御変数

制御変数名:
rho_design

初期値:
gamma

▷ 制御変数スケーリング

▼ 離散化

形状関数タイプ:
ラグランジュ

要素次数:
1次

座標系:
空間

複素変数を分割する際の値タイプ:
実数

制御変数範囲 1

1. 最適化(opt)インターフェース下の「制御変数フィールド1」ノードを右クリックし、「制御変数範囲」を選択します。
2. 「制御変数範囲1」の設定ウインドウの「範囲」セクションに行きます。
 - 「下限」テキストフィールドに「 $1e-9^{(1/p)}$ 」を入れます。
 - 「上限」テキストフィールドに「1」を入れます。

制御変数範囲

ラベル: Control Variable Bounds 1

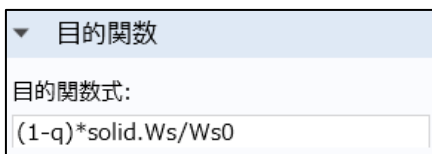
▼ 範囲

下限
1e-9^(1/p)

上限
1

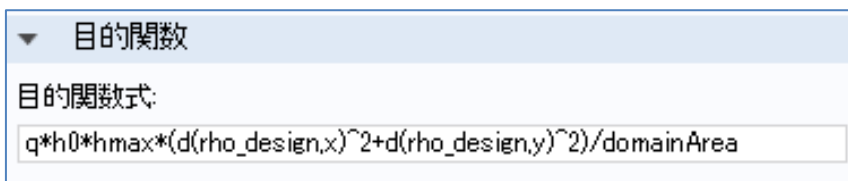
積分目的関数 1

1. 「フィジックス」ツールバーの「ドメイン」をクリックし、「積分目的関数」を選択します。
2. ドメイン 1 のみ選択します。
3. 「積分目的関数 1」ノードの設定ウインドウに、「目的関数」セクションへ行きます。
4. 「目的関数式」テキストフィールドに「 $(1-q)*solid.Ws/Ws0$ 」を入れます。



積分目的関数 2

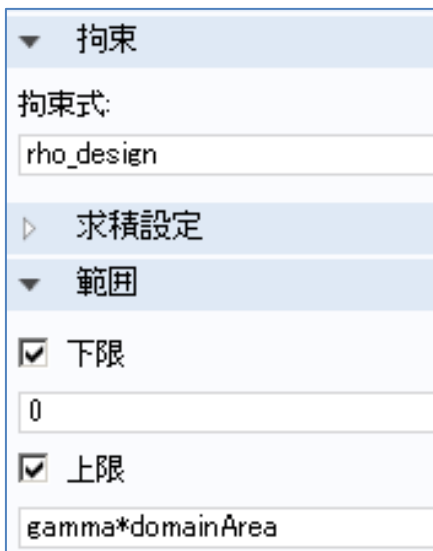
1. フィジックスツールバーの「ドメイン」をクリックし、「積分目的関数」を選択します。
2. ドメイン 1 のみ選択します。
3. 「積分目的関数 1」ノードの設定ウインドウに、「目的関数」セクションへ行きます。
4. 目的関数式テキストフィールドに「 $q*h0*hmax*(d(rho_design,x)^2+d(rho_design,y)^2)/domainArea$ 」を入れます。



積分不等式拘束 1

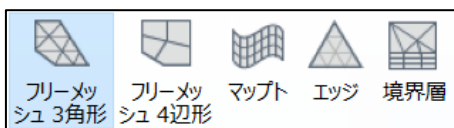
1. 「フィジックス」ツールバーの「ドメイン」をクリックし、「積分不等式拘束」を選択します。
2. ドメイン 1 のみ選択します。

- 「積分不等式拘束 1」ノードの設定ウインドウに、「拘束」セクションへ行きます。「拘束式」テキストフィールドに「rho_design」を入れます。
- 「範囲」セクションに行って、「上限」テキストフィールドに「gamma*domainArea」を入れます。



メッシュ 1

- 「メッシュ」ツールバーから「フリーメッシュ 3 角形」をクリックします。



サイズ

- モデルビルダの「メッシュ 1」ノード下の「サイズ」をクリックします。
- 「サイズ」ノードの設定ウインドウの「要素サイズ」セクションに行って、「カスタム」ボタンをクリックします。
- 「要素サイズパラメーター」セクションに行って、「最大要素サイズ」テキストフィールドに「hmax」を入れます。

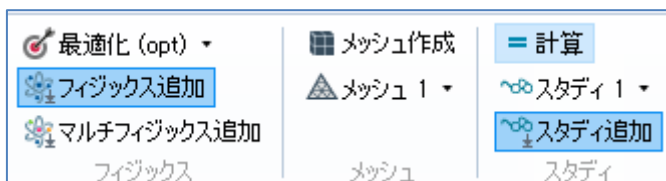
要素サイズ	
次で校正:	
一般物理 ▼	
<input type="radio"/> 既定	普通 ▼
<input checked="" type="radio"/> カスタム	
▼ 要素サイズパラメータ	
最大要素サイズ:	
hmax	m
最小要素サイズ:	
9E-4	m
最大要素成長率:	
1.3	
曲率因子:	
0.3	
狭小領域解像度:	
1	

4. 「全作成」ボタンをクリックします。

スタディ 1

まずは定常計算をします。

1. ホームツールバーの「計算」ボタンをクリックします。



結果

鏡面データセットを利用してビーム全体の結果を表示します。

データセット

1. 「結果」 ツールバーの「その他のデータセット」をクリックし、「鏡面コピー 2D」を選択します。



2. 「鏡面コピー 2D 1」 の設定ウィンドウの「軸データ」 セクションに行って：

- ポイント 1 の行に、X を「a」 に設定します。
- ポイント 2 の行に、X を「a」 に設定します。
- ポイント 2 の行に、Y を「b」 に設定します。

▼ 軸データ

軸エントリ法: 2点 ▼

	X:	Y:	
ポイント 1:	a	0	m
ポイント 2:	a	b	m

応力(solid)

1. モデルビルダの結果ノード下の「応力(solid)」をクリックします。
2. 2Dプロットグループの設定ウインドウの「データ」セクションに行って、「データセット」選択リストから「鏡面コピー 2D 1」を選択します。
3. 2Dプロットグループ設定ウインドウの「プロット」をクリックします。

2Dプロットグループ

プロット

ラベル: 応力 (solid)

▼ データ

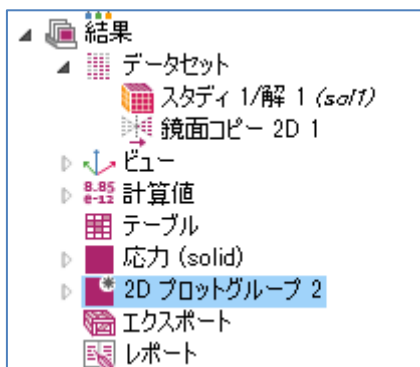
データセット: 鏡面コピー 2D 1 ▼

▶ タイトル



2Dプロットグループ2

1. モデルビルダの結果ノードの下にある「2Dプロットグループ2」をクリックします。

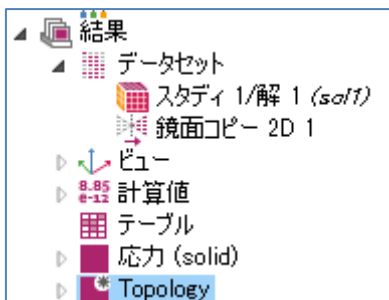


- 「2Dプロットグループ2」ノード設定ウインドウの「データ」セクションに行って、「データセット」選択リストから「鏡面コピー 2D 1」を選択します。
- 「2Dプロットグループ2」ノードをクリックし、キーボードのF2を押します。
- リネームダイアログボックスの「新規ラベル」テキストフィールドに「Topology」を入れて、OKをクリックします。



Topology

- モデルビルダの結果ノード下の「Topology」ノードを展開し、「サーフェス 1」をクリックします。



- 「サーフェス 1」の設定ウインドウの「式」セクションに行って、「式」テキストフィールドに「E_SIMP」を入れます。



- Topology ツールバーの「プロット」をクリックします。

計算値

1. モデルビルダの結果ノード下の「計算値」ノードを展開し、「目的関数値」をクリックします。
2. グローバル評価設定ウインドウの「評価」をクリックします。

結果は右下のテーブルウインドウに表示され、64.7に近い値になります。

グローバル定義

パラメータ

1. モデルビルダ中の「グローバル定義」ノード下の「パラメータ」をクリックします。
2. 設定ウインドウの「パラメータ」セクションに行きます。
3. Ws_0 の式を 64.7 に変更します。

gamma	0.5	0.5
domainA...	a*b	3
Ws0	64.7	64.7

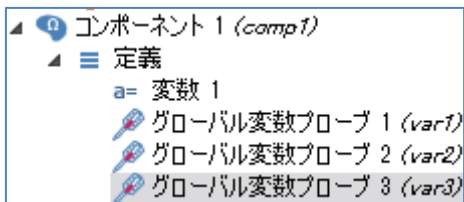
定義

1. 「定義」ツールバーの「プローブ」をクリックし、「グローバル変数プローブ」を選択します。



2. 「グローバル変数プローブ 1」設定ウインドウの「式」セクションに行き、「式」テキストフィールドに「 $\text{opt.iobj1}/(1-q)$ 」を入れます。
3. 「説明」チェックボックスにチェックを入れます。
4. 関連のテキストフィールドに「Normalized strain energy」を入れます。

5. 上記 1-4 の手順を繰り返して、式「 $\text{opt.iobj2}/q$ 」と説明「Gradient penalty」のプロープ及び、式「 $\text{opt.iconstr1}/(\text{gamma}*\text{domainArea})$ 」と説明「Mass utilization」のプロープを追加します。

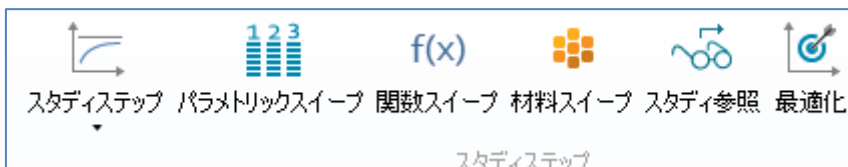


スタディ 1

最適化スタディステップを追加します。

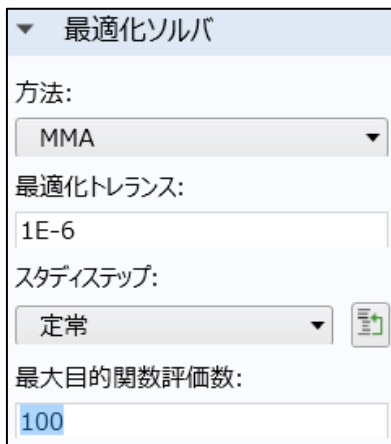
最適化

1. 「スタディ」ツールバーの「最適化」をクリックします。

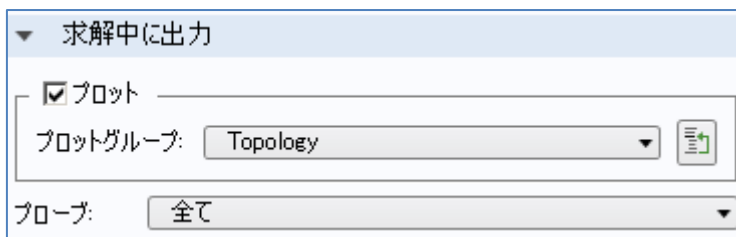


2. 「最適化」の設定ウインドウの「最適化ソルバ」セクションに行きます。

- 「メソッド」選択リストから「MMA」を選択します。
- 「モデル評価の最大数」テキストフィールドに「100」を入れます。

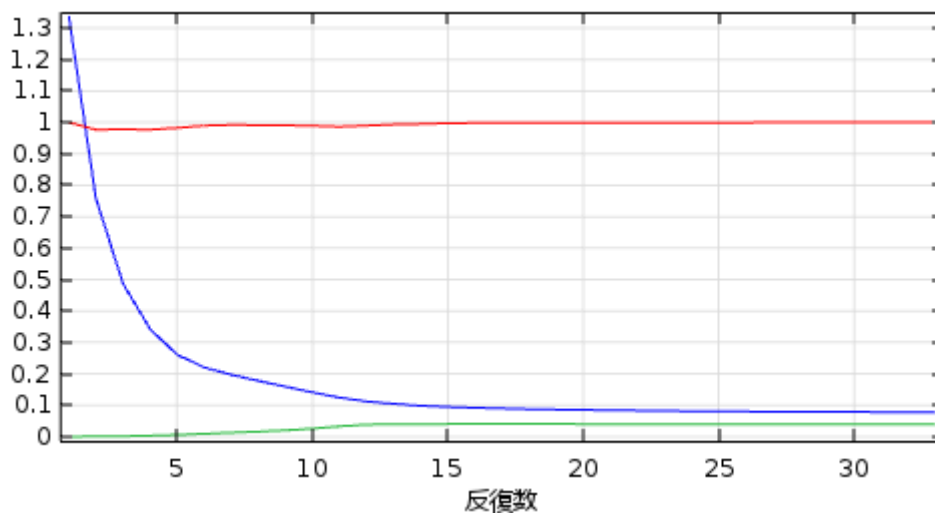


- 「求解中に出力」セクションに行きます。
 - 「プロット」チェックボックスにチェックを入れます。
 - 「プロットグループ」選択リストから「Topology」を選択します。

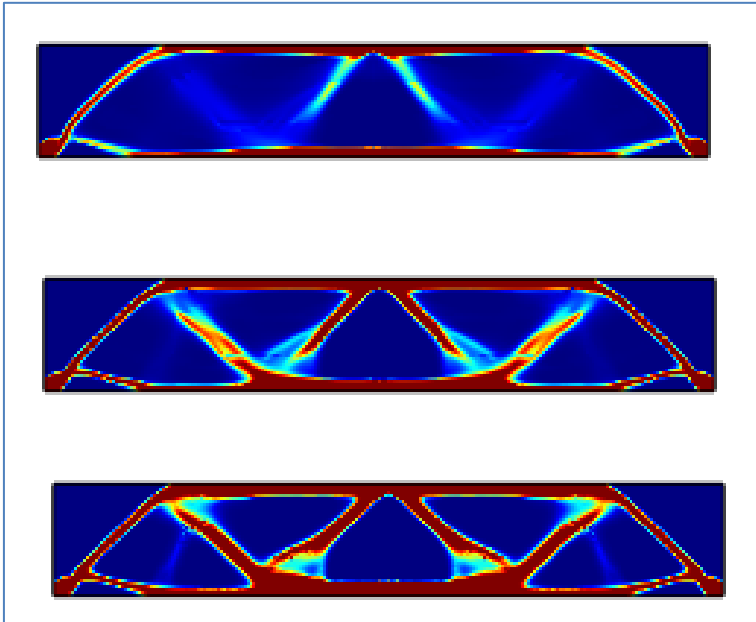


- 「ホーム」ツールバーの「計算」をクリックします。

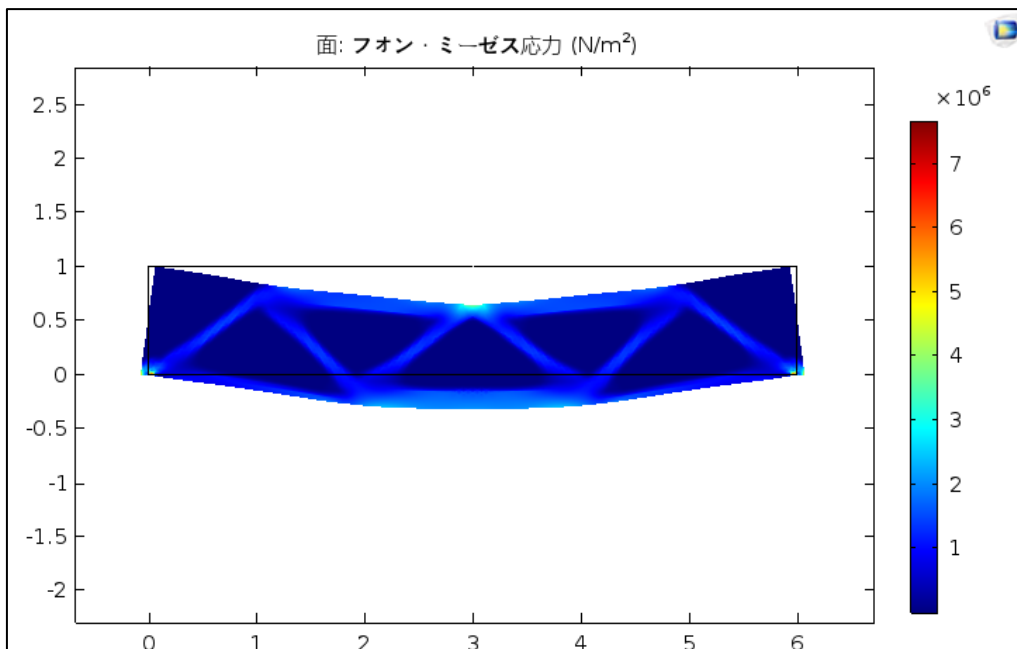
プローブの出力の様子



解の途中経過



最終結果



以上

<ノート>

<ノート>