

# 2019創造設計演習

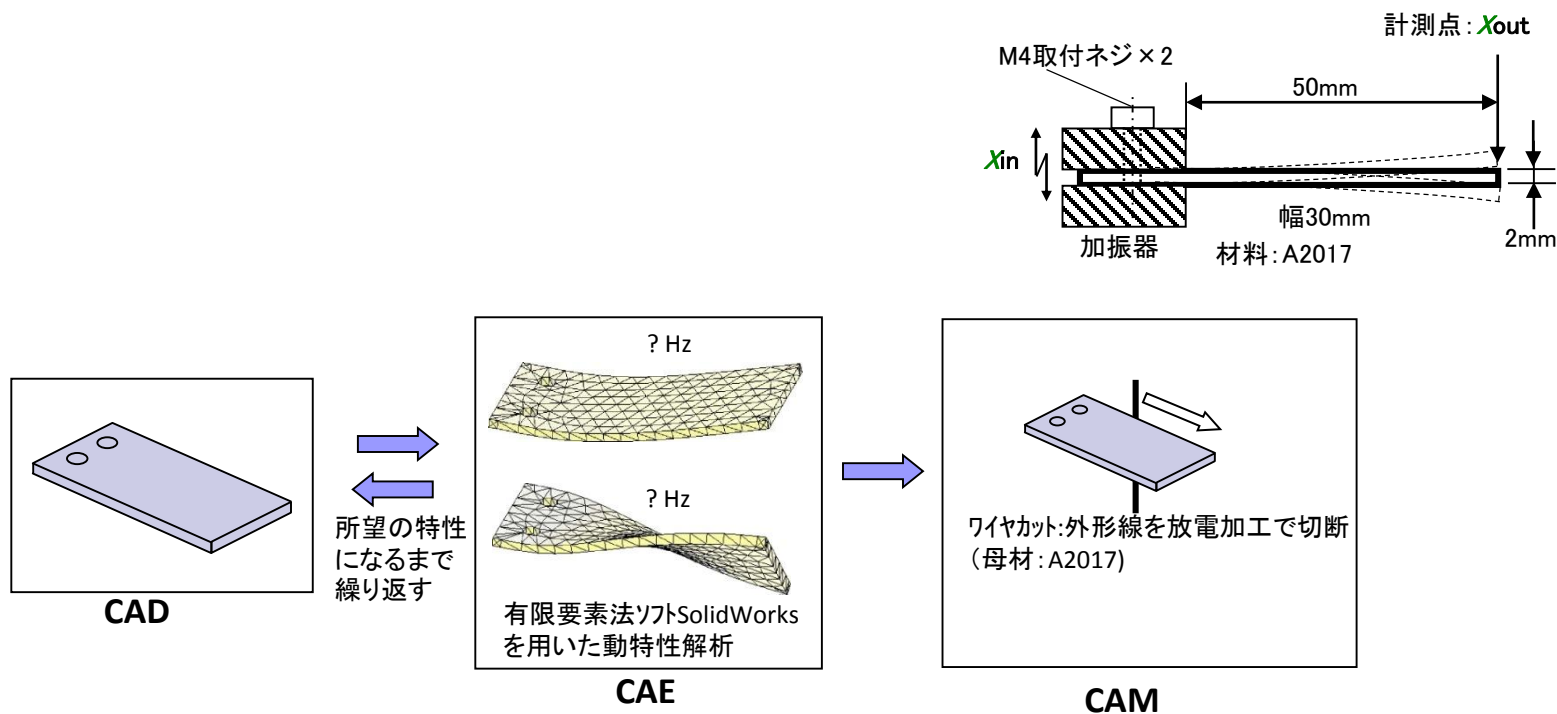
## ～振動設計演習～

担当：波田野

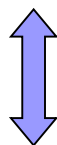
HP :

<http://www.fml.t.u-tokyo.ac.jp/lecture/DE.html>

# 目的「ゆれない片持ち梁の設計」



設計ツールとして有限要素法を使う



設計パラメータの探索・最適化

性能への影響評価

設計ツールとしての正しい使い方

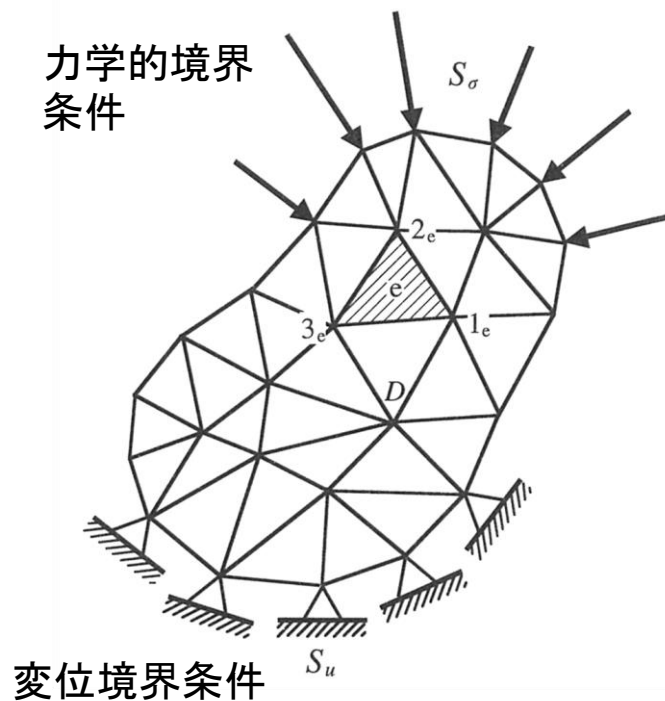
# 3 D-CAD+FEMソフトウェア 「SolidWorks」

- 3次元設計
- 設計検証
  - ▶ **構造解析**
  - ▶ 構造最適化
  - ▶ 疲労解析
  - ▶ 熱伝導解析
  - ▶ 流体解析
  - ▶ モーション解析



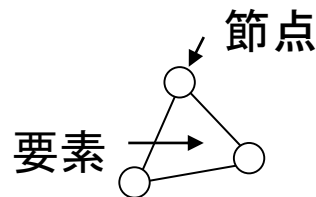
<http://www.solidworks.co.jp/>

# 有限要素法（構造解析）



## 弾性体の変形

与えられた境界条件のもとで、弾性論をベースとした偏微分方程式を解く問題



解析対象を有限の要素に離散化し、隣り合う要素を節点によって結合して近似を行い、未知量を数値計算(マトリックス計算)によって求める手法

$$[K]\{u\} = \{F\}$$

$$[\text{剛性マトリクス}] \cdot \{\text{節点変位ベクトル}\} = \{\text{外力ベクトル}\}$$

詳細原理は講義「有限要素法」

# 動解析

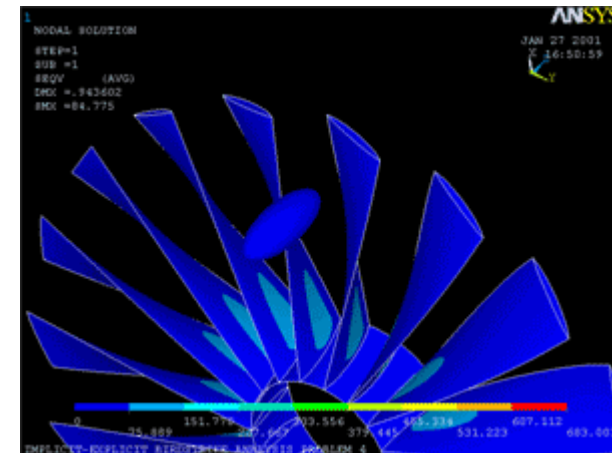
構造の慣性(質量効果)や減衰が重要な役割をもつような  
構造・部品の動的挙動を評価する解析

振動特性

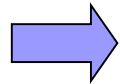
周期的荷重に対する効果

時刻歴荷重の効果

ランダム荷重に対する効果

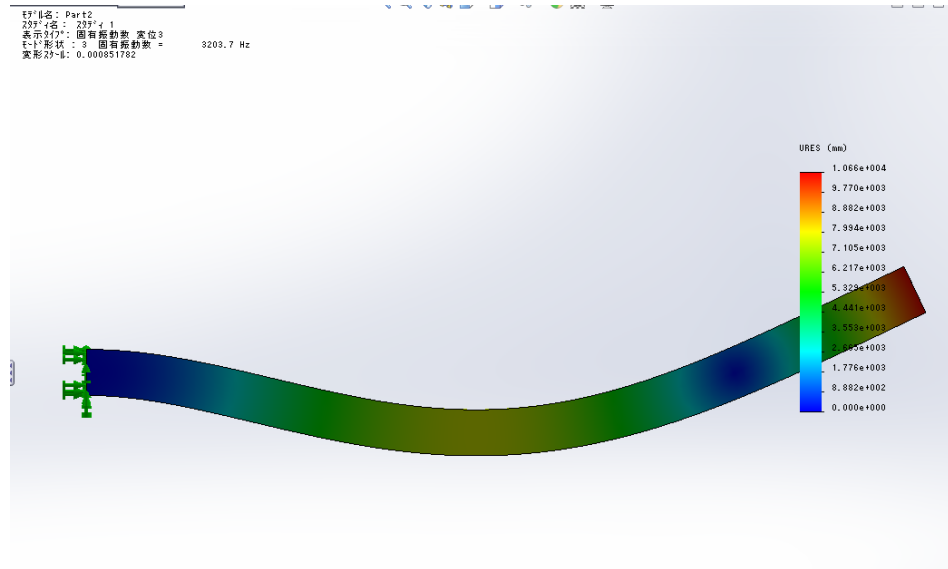


# モード解析（固有値解析）



**構造の振動特性を決定する、全ての動解析タイプの基本となる手法**

- ▶共振周波数(固有振動数)
- ▶モード形状の算出



- ▶共振現象を避ける。特定周波数を避けて振動するようにする設計
- ▶周波数応答(他の動解析を含む)を実施する上での基本指針(解析パラメータなど)を提供

# モード解析（固有値解析）

## 一般化運動方程式

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{F(t)\}$$

[M]：構造質量マトリックス

[u]：変位ベクトル

[C]：構造減衰マトリックス

[K]：構造剛性マトリックス

[F]：荷重ベクトル（外力）

## 自由振動状態と減衰なしを仮定

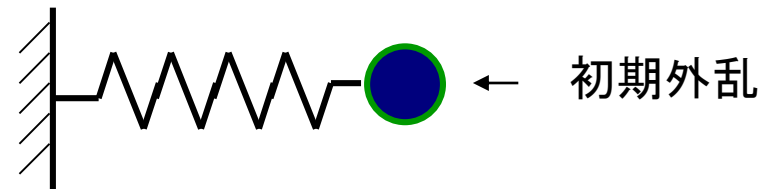
$$[M]\{\ddot{u}\} + [K]\{u\} = \{0\}$$

## 周期的運動を仮定

$$([K] - \omega^2[M])\{u\} = \{0\}$$

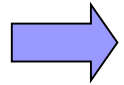
固有値 → 固有振動数  $f_i$

固有ベクトル → 固有モード形状



$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{M}}$$

# 周波数応答解析

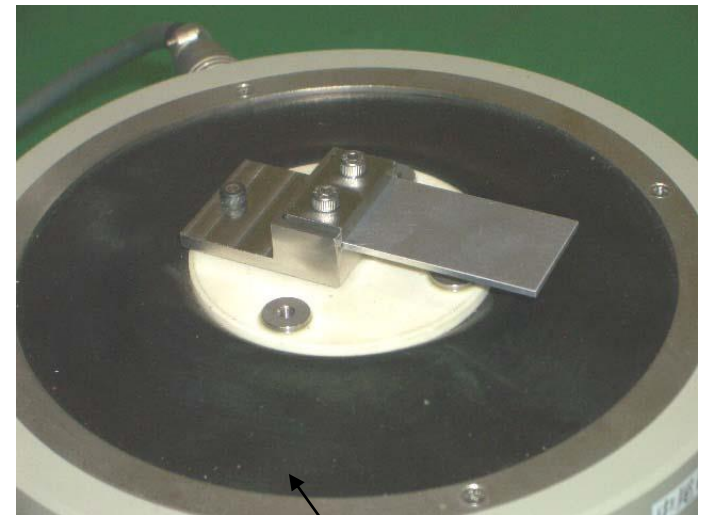


**特定の周波数の周期変動外力(調和関数)に対して、  
構造の応答を決定する手法**

入力： 振幅値と周波数が既知である周期的変動荷重

出力： 各自由度での周期変動変位。一般的に、  
与えた荷重とは位相差をもつ

- ▶異なる周波数での周期変動荷重に対して  
耐えうる構造設計
- ▶構造の共振応答を避けるような設計



加振器



# 周波数応答解析

## 一般化運動方程式

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{F(t)\}$$

$F(t)$  は既知の周波数で周期変動する  
荷重or圧力or強制変位

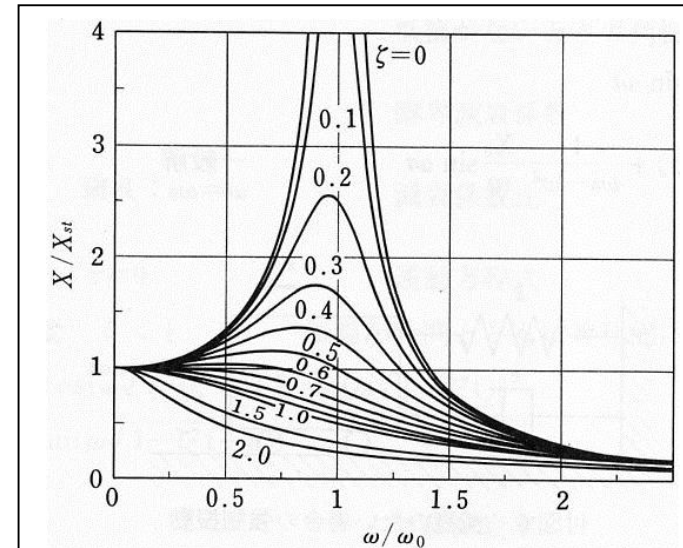
減衰なしの系  $\xi = 0$



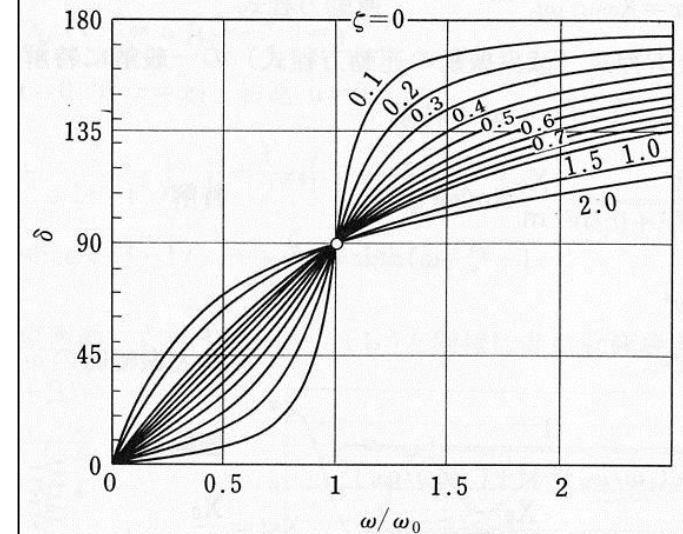
固有振動数  $\omega_0$

最大振幅X は？

$$X_{st} \sin \omega t$$



付図8 振幅倍率曲線



付図9 位相遅れ

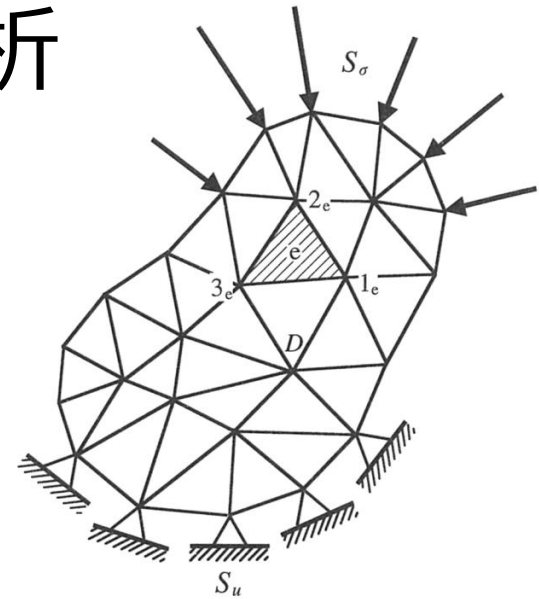
## 1自由度系の共振曲線

# FEMによる静解析・動解析

静解析:  $[K]\{u\} = \{F\}$

モード解析:  $[M]\{\ddot{u}\} + [K]\{u\} = \{0\}$

周波数応答解析:  $[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{F(t)\}$



- $[M]$  (質量マトリクス) → 全体形状を分割した個々の要素の密度から計算
- $[C]$  (減衰マトリクス) → 今回は平板の周波数応答実験データに合わせた減衰率を入力

## 減衰の分類

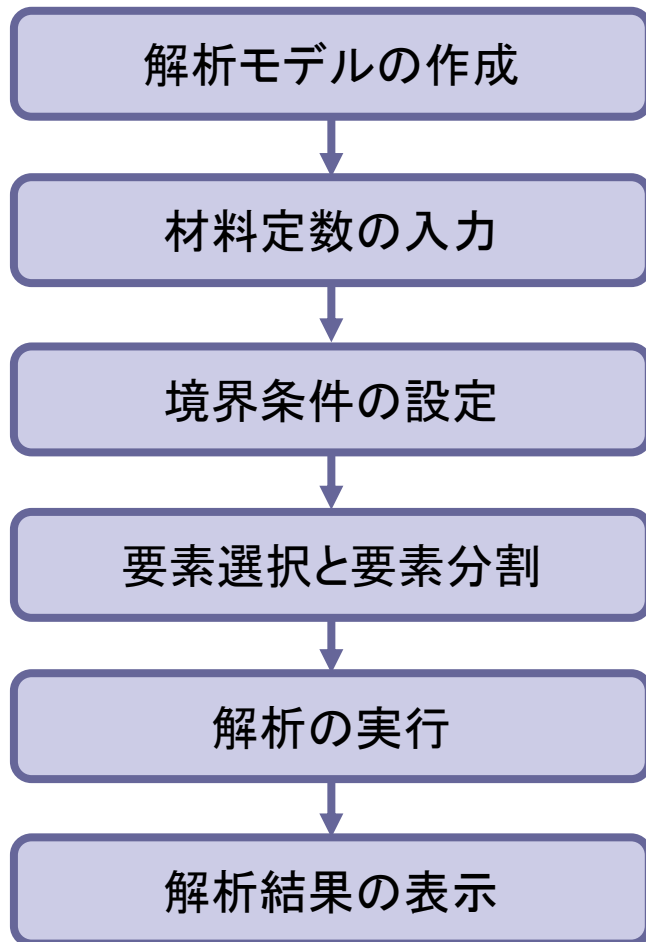
- ▶ 粘性減衰
- ▶ 固体減衰
- ▶ クーロン摩擦減衰

振動エネルギーの消失メカニズムは完全に解明されていない

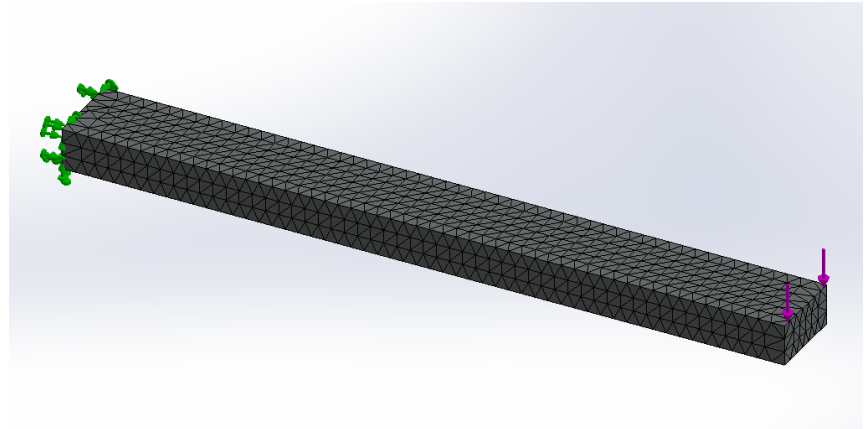
# 本日のタスク

- 課題1：梁の静解析
  - 課題2：平板のモード解析
  - 課題3：平板の周波数応答解析
  - 課題4： $\alpha$ 型・ $\beta$ 型の周波数応答解析
  - 課題5：ユレーヌ選手権
- TAのcheck
- TAのcheck
- レポート

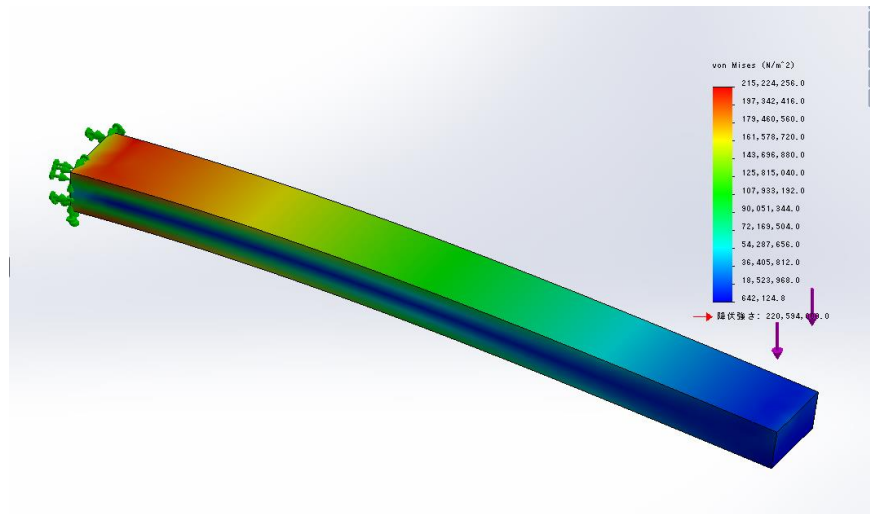
# 解析手順



プリプロセッサ



ポストプロセッサ



# 単位系

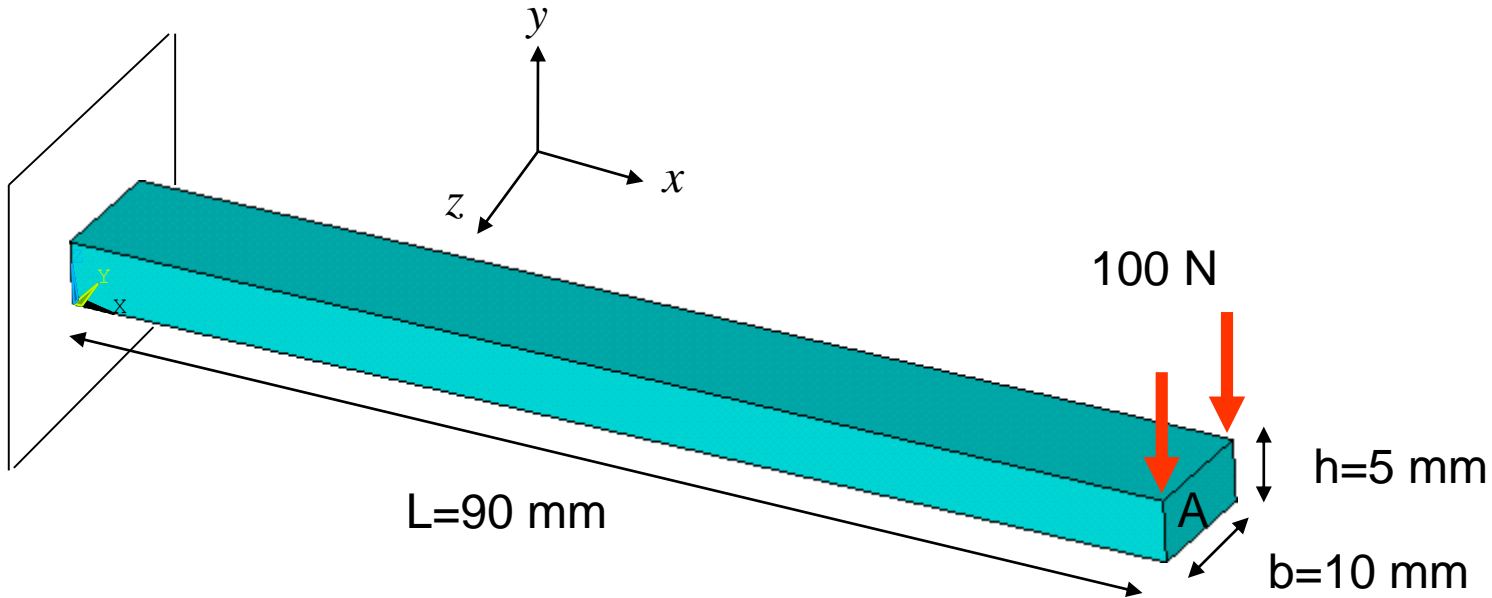
決まった単位系はなく、自分が定める単位系に対して物性値を設定

	SI系		mm-N-sec系		mm-kgf-sec系	
	単位	乗数	単位	乗数	単位	乗数
長さ	M	1	mm	e3	mm	e3
面積	M <sup>2</sup>	1	mm <sup>2</sup>	e6	mm <sup>2</sup>	e6
体積	M <sup>3</sup>	1	mm <sup>3</sup>	e9	mm <sup>3</sup>	e9
速度	M/sec	1	mm/sec	e3	mm/sec	e3
加速度	M/sec <sup>2</sup>	1	mm/sec <sup>2</sup>	e3	mm/sec <sup>2</sup>	e3
角度	rad	1	rad	1	rad	1
角速度	rad/sec	1	rad/sec	1	rad/sec	1
角加速度	rad/sec <sup>2</sup>	1	rad/sec <sup>2</sup>	1	rad/sec <sup>2</sup>	1
質量	kg	1	N*sec <sup>2</sup> /mm	e-3	kgf*sec <sup>2</sup> /mm	1.02E-04
慣性モーメント	kg*M <sup>2</sup>	1	N*mm*sec <sup>2</sup>	e3	kgf*mm*sec <sup>2</sup>	1.02E+02
密度	kg/M <sup>3</sup>	1	N*sec <sup>2</sup> /mm <sup>4</sup>	e-12	kgf*sec <sup>2</sup> /mm <sup>4</sup>	1.02E-13
力	N=kg*M/sec <sup>2</sup>	1	N	1	kgf	0.102
長さ当たりの力	N/M	1	N/mm	e-3	kgf/mm	1.02E-04
モーメント	N*M	1	N*mm	e3	kgf*mm	1.02E+02
圧力	Pa=N/M <sup>2</sup>	1	N/mm <sup>2</sup>	e-6	kgf/mm <sup>2</sup>	1.02E-07
応力	Pa=N/M <sup>2</sup>	1	N/mm <sup>2</sup>	e-6	kgf/mm <sup>2</sup>	1.02E-07
ヤング率	Pa=N/M <sup>2</sup>	1	N/mm <sup>2</sup>	e-6	kgf/mm <sup>2</sup>	1.02E-07
温度	degC	1	degC	1	degC	1
仕事	J=N*M	1	N*mm	e3	kgf*mm	1.02E+02
発熱量	J=N*M	1	N*mm	e3	kgf*mm	1.02E+02
仕事率	W=J/sec	1	N*mm/sec	e3	kgf*mm/sec	1.02E+02

※ mm-N-sec系をここでは使うこととする。

# 課題1：静解析

# 課題1 ～三次元片持ち梁のたわみ解析～



## 課題

FEM解析を行い、たわみの結果と材料力学の式とを比較し、考察せよ。

- ▶要素：四面体要素
- ▶材料(SS400)： ヤング率  $E = 210\text{GPa}$ , ポアソン比  $\nu = 0.28$
- ▶単位系：長さ[mm]・力[N]・応力[MPa]
- ▶境界条件：左端、 $xyz$ 方向変位拘束

# 材料力学 参考資料

表 7 はりの図表

番号	荷重、弾性線、せん断力図 および曲げモーメント図	反力 $R$ および せん断力 $F$	曲げモーメント $M$	たわみ $v$ および傾斜 $i$
1		$R_2 = W$ $F = -W$	$M = -Wx$ $x = l : -$ $ M _{\max} = Wl$	$v = \frac{Wl^3}{3EI} \left( 1 - \frac{3x}{2l} + \frac{x^3}{2l^3} \right)$ $x = 0 : -$ $v_{\max} = \frac{Wl^3}{3EI} = \frac{\sigma l^2}{3Ee}$ $ i _{\max} = \frac{Wl^2}{2EI} = \frac{3}{2l} v_{\max}$



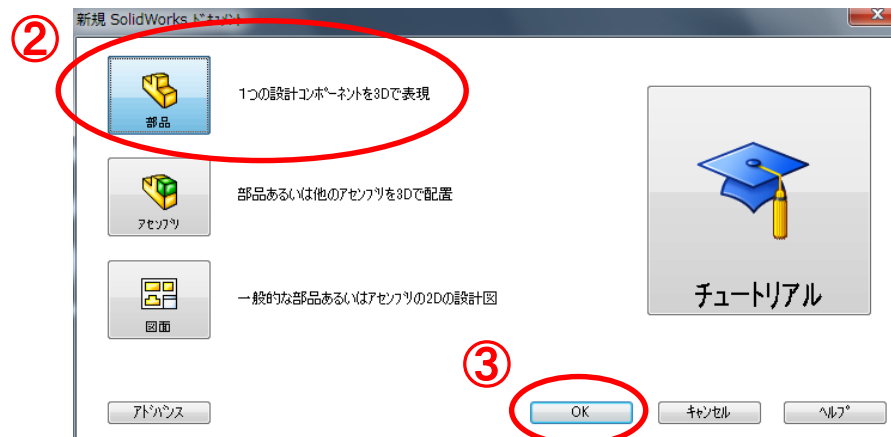
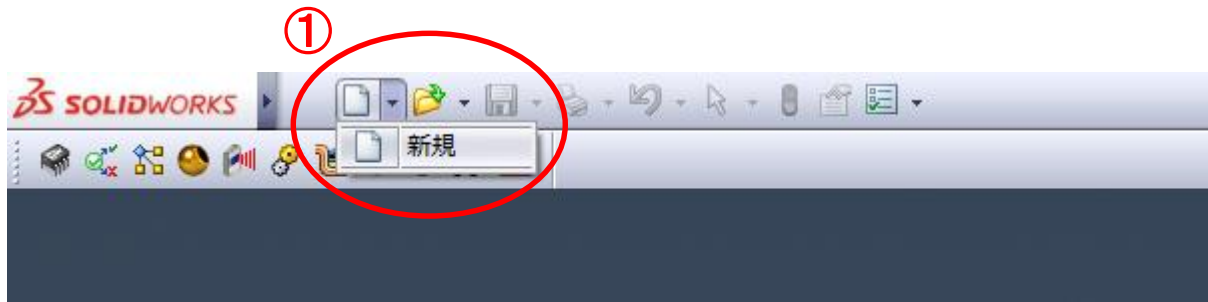
# SolidWorksの立ち上げ

スタート→すべてのプログラム→ SolidWorks 2015

→ SolidWorks 2015 x64 Edition

(必要に応じて)

①新規→②&③「1つの設計コンポーネントを3Dで表現」でOK→「mm, g, 秒」単位系を選択



# 矩形断面のスケッチ

⑤ スケッチを終了

②

①

③

④

①スケッチ(x-y平面の選択)→②矩形コーナーの選択  
→③矩形タイプの選択→④寸法を確定→⑤スケッチ終了

パラメータ	
x	0.00
y	0.00
x	0.00
y	5.00
x	90.00
y	5.00
x	90.00

\*正面

SolidWorks 学生版 - 学究的使用のみ

39.49mm -6.7mm 0mm 未定義 編集: スケッチ1 MMGS



# 一時保存

※以降、各自コンスタントに保存すること

① (指定保存)を選択 → ②フォルダを選択 → ③ 名前を指定して保存

①

②

③

指定保存

「資料ファイル」 > htanaka

検索条件に一致する項目はありません。

ファイル名(N): Part1.SLDPRТ

ファイルの種類(T): 部品 (\*.prt;\*.sldprt)

Description: Add a description

北\* -指定保存

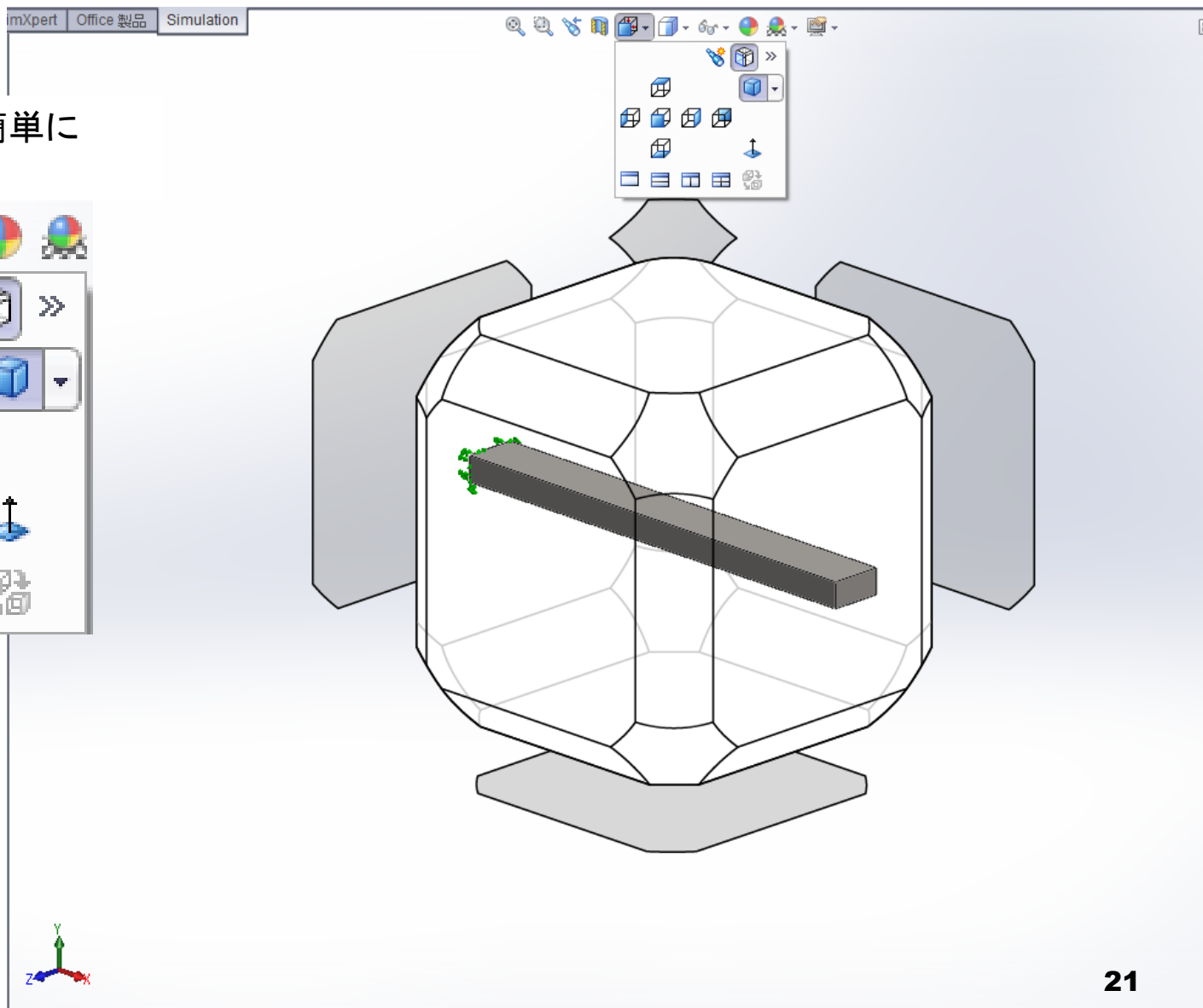
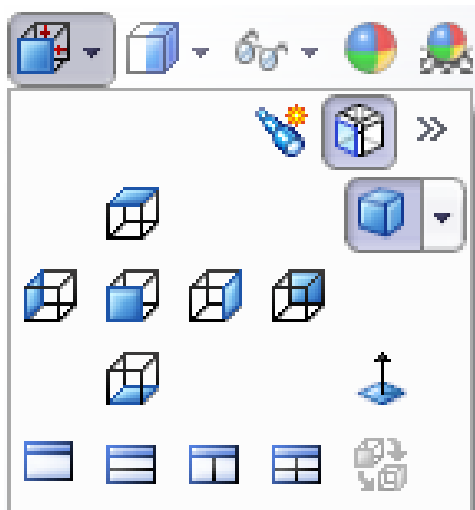
参照...(F)

保存(S) キャンセル

フォルダーの非表示

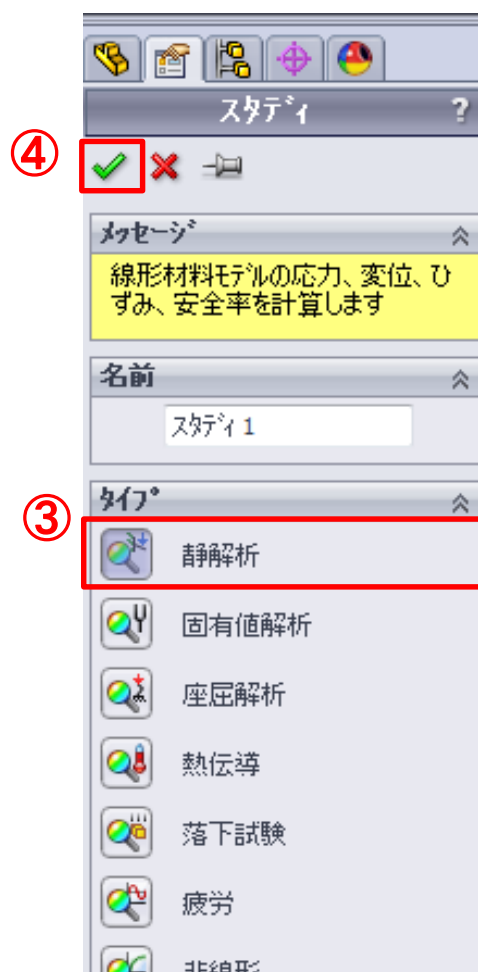
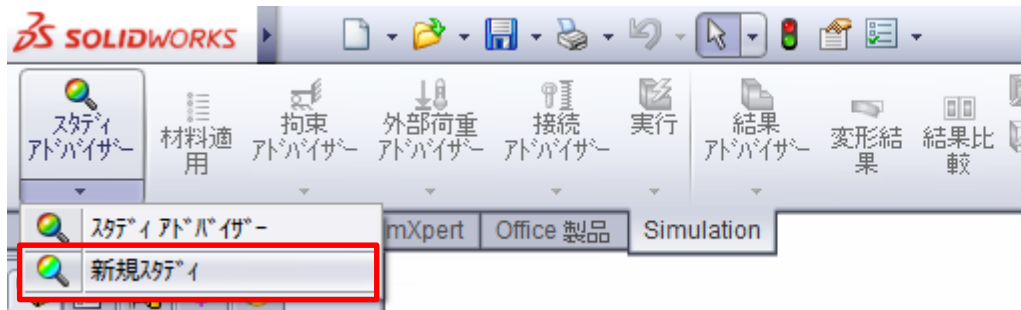
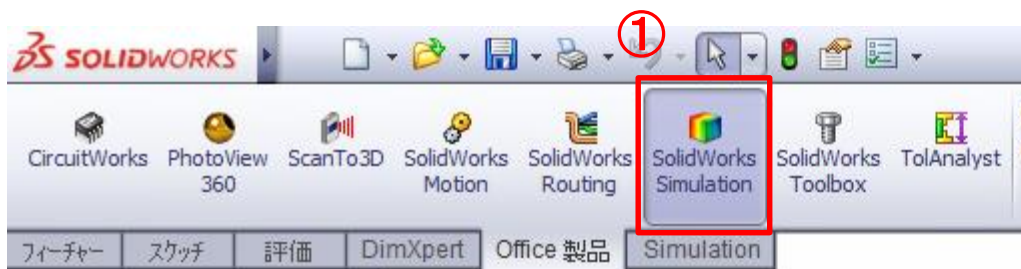
# 「視点の変更について」

以下のアイコンから簡単に  
視点を変更できる。



# 解析準備 1 「静解析」

① Office製品 SolidWorks Simulation → ② スタディアドバイザー/新規スタディ → ③ 静解析を選択 → ④ 「OK」を選択



# 解析準備2 「材料選定」

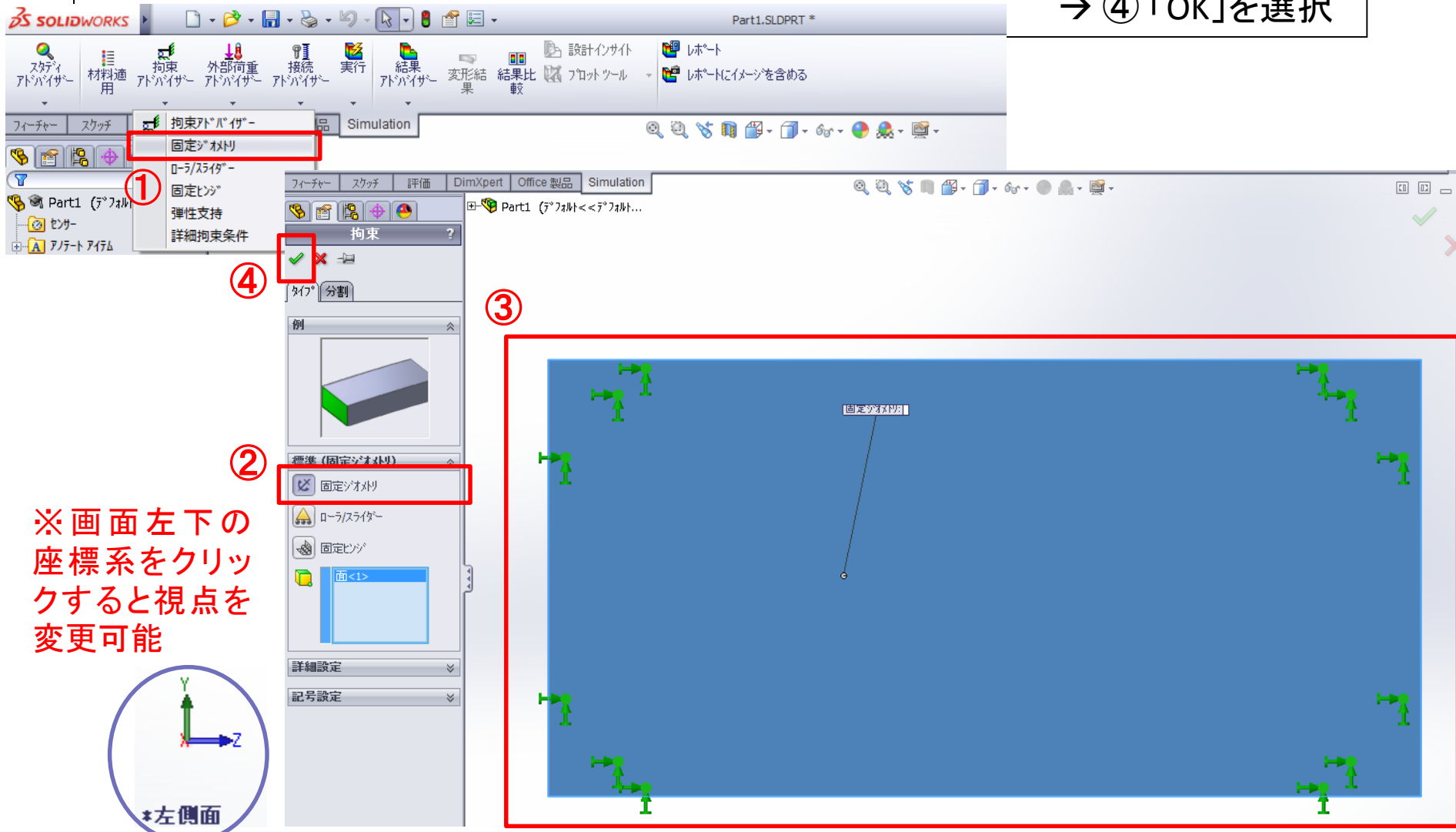
① 材料適用 → ② 炭素鋼(普通)を選択して適用

The screenshot shows the SolidWorks interface with the 'Material' dialog box open. The 'Material' list on the left contains various materials, with '炭素鋼(普通)' (Carbon Steel (General)) highlighted by a red box and a circled '2'. The 'Properties' tab on the right displays the material characteristics for '炭素鋼(普通)'. The 'Material Type' is set to '線形等方性弾性' (Linear isotropic elastic). The 'Unit' is 'SI - N/m<sup>2</sup> (Pa)'. The 'Category' is '鋼鉄' (Steel). The 'Name' is '炭素鋼(普通)'. The 'Default Failure Criterion' is '最大Von-Mises応力' (Maximum Von-Mises stress). The 'Sustainability' is '定義' (Defined).

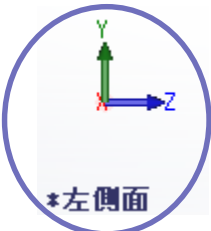
プロパティ	値	単位
弾性係数	2.1 e+011	N/m <sup>2</sup>
ポアソン比	0.28	N/A
せん断弾性係数	7.9 e+010	N/m <sup>2</sup>
密度	7800	kg/m <sup>3</sup>
引張強度	399926000	N/m <sup>2</sup>
Xの圧縮強度		N/m <sup>2</sup>
降伏強度	220594000	N/m <sup>2</sup>
熱膨張率	1.3 e-005	/K
熱伝導率	43	W/(m·K)
比熱	440	J/(kg·K)
材料減衰比		N/A

# 解析準備3 「境界条件：拘束」

- ① 拘束アドバイザー／固定ジオメトリ → ② 固定ジオメトリ → ③ 左側面を選択 → ④ 「OK」を選択





※画面左下の座標系をクリックすると視点を変更可能





# 解析準備4 「境界条件：荷重」

- ①外部荷重アドバイザー／力 → ②「力」を選択 → ③ 自由端エッジを選択 → ④「選択された方向」を選択 → ⑤  を選択し、「100N」と打ち込む → ⑥ 力の方向を決める参照面として手前の面を選択 → ⑦「OK」を選択

① 外部荷重アドバイザー／力  
② 「力」を選択  
③ 自由端エッジを選択  
④ 「選択された方向」を選択  
⑤  を選択し、「100N」と打ち込む  
⑥ 力の方向を決める参照面として手前の面を選択  
⑦ 「OK」を選択

21

# 解析準備5 「メッシュ作成」

① 実行／メッシュ作成 → ② メッシュ密度を選択 → ③ 「OK」を選択

①

②

③

※ひとまずはデフォルトで

メッシュ

メッシュ密度

粗い 細かい

リセット

メッシュ パラメータ

詳細設定

オプション

メッシュ分割せずに設定を保存

解析を実行(処理)

# 解析準備6 「解析実行」

※解析の前に一度、別名保存する。

## ① 実行／実行

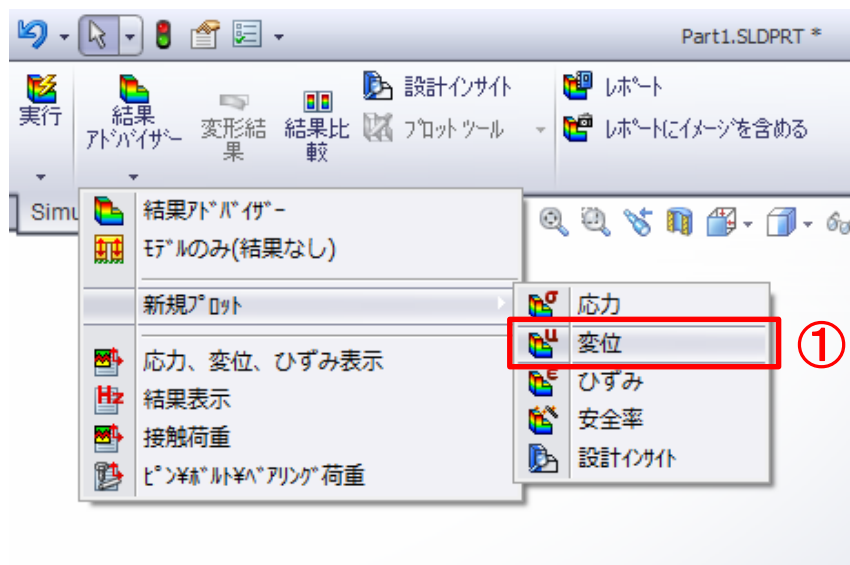
The screenshot shows the CAD software interface during a simulation execution. The '実行' (Execute) button in the top toolbar is highlighted with a red box and a circled '1'. The main window displays a 3D model of a beam with a von Mises stress distribution. A color scale on the right indicates stress values from 642,124.8 to 215,224,256.0 N/m². The model is supported by green fixtures at one end and has downward force arrows at the other. The software interface includes a top toolbar, a left-hand tree view, and a bottom status bar.

von Mises (N/m <sup>2</sup> )
215,224,256.0
197,942,416.0
179,460,560.0
143,696,880.0
161,578,720.0
125,815,040.0
107,939,192.0
90,051,344.0
72,169,504.0
54,287,656.0
36,405,812.0
18,523,968.0
642,124.8

この教育バージョンは、教育の目的以外で使用できません。

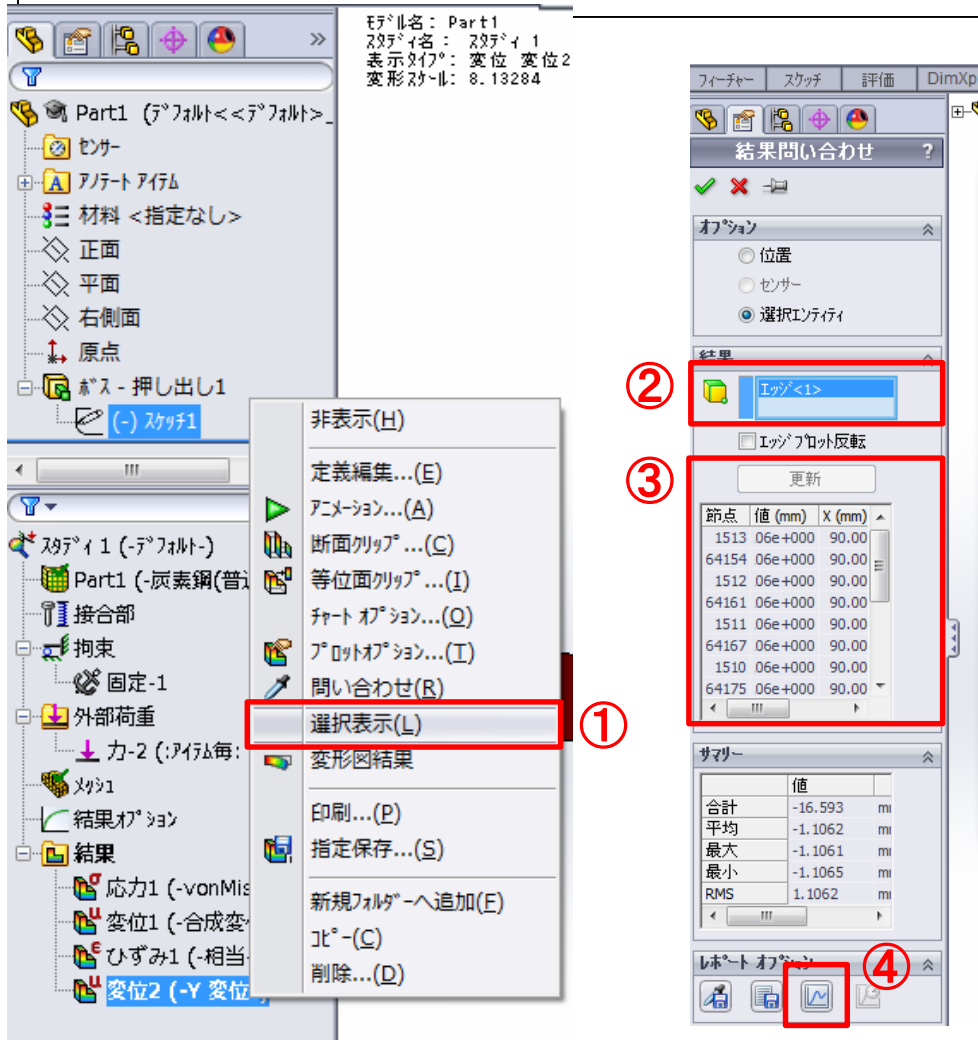
# 解析準備7 「解析結果を見る」

- ① 結果アドバイザー／新規プロット／変位
- ② 「UY:Y方向変位」を選択
- ③ 「OK」を選択



# 解析準備7 「解析結果を見る」

- ① 変位2 (-Y変位)を右クリック／選択表示 → ② 長手方向のエッジを選択  
→ ③「更新」をクリック→ ④「プロット」をクリック



- たわみ曲線を表示できたか？
- 最大のたわみを材料力学の理論値と比較すること。
- csvファイル・pngファイルで保存

# 解析準備7 「解析結果を見る」

同様に固定端部の $\sigma_x$ の分布を表示せよ。  
(単位はMPa(N/mm<sup>2</sup>)表記を選択)

結果問い合わせ

位置  
センサー  
選択ロケティ

結果

イジ<1>

イジ<1>の反転

更新

節点	値 (N/mm <sup>2</sup> (MPa))
11	270.5
10900	188.2
10	79.5
10907	0.5
9	-77.9
10909	-187.7
8	-271.5

サマリー

	値	単位
合計	1.7377	N
平均	0.24824	N
最大	270.53	N
最小	-271.49	N
RMS	181.24	N

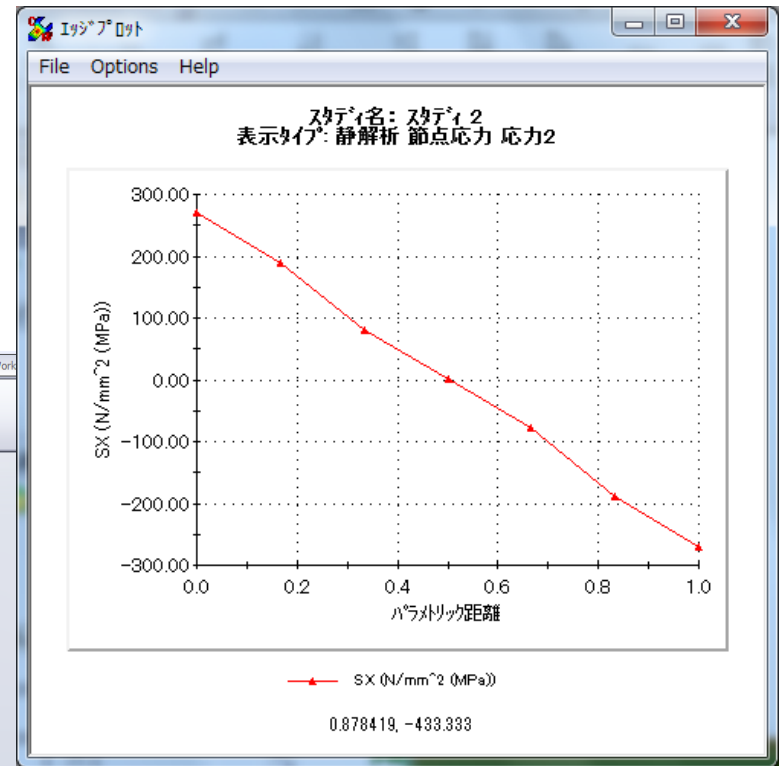
レポートオプション

アノテーション

節点/要素番号表示  
X,Y,Z位置を表示  
値表示

\*正面

この教育バージョンは、教育の目的以外で使用できません。



# 解析結果のチェック

## ▶ 変形形状のチェック

剛体運動・回転運動していないか？

## ▶ オーダーエスティメーション

正しい単位系が入力されているか？

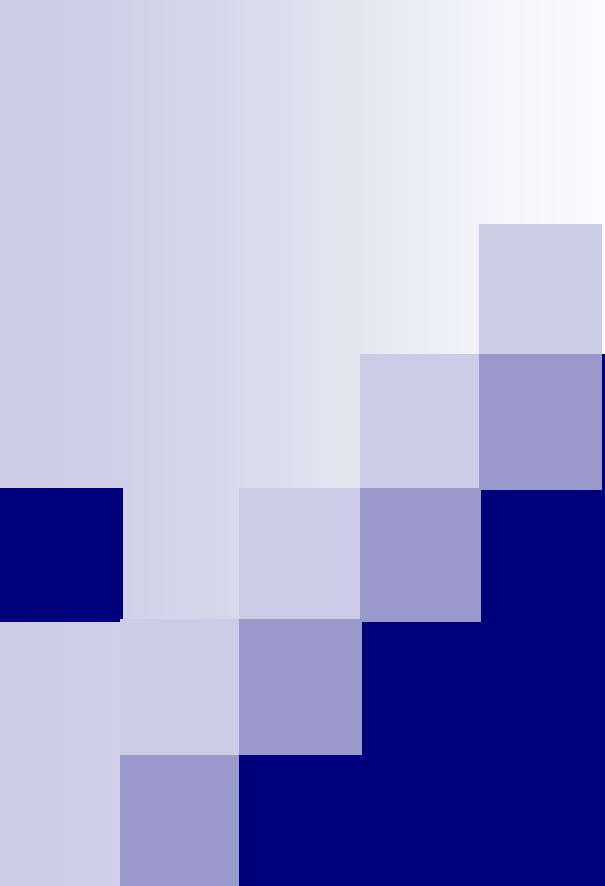
理論解と一致しているか？

## ▶ メッシュの精度

適切な近似がなされているか？

## ▶ 特異点の有無

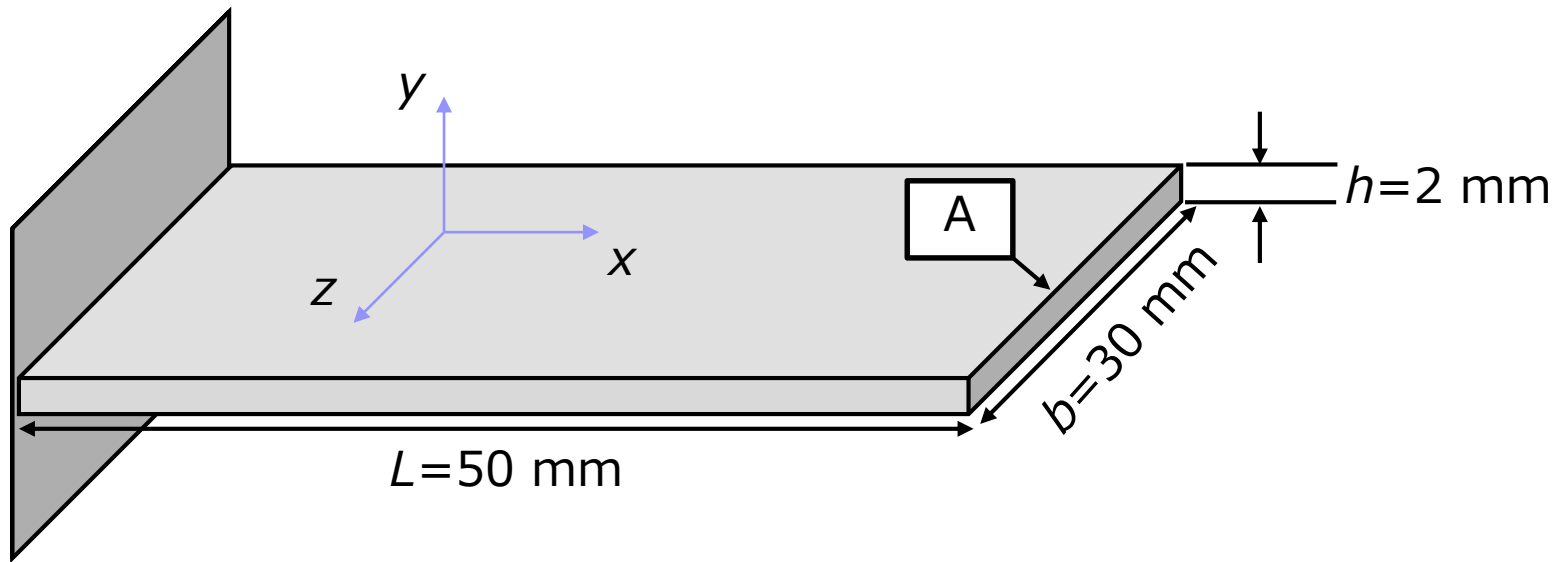
節点が異常値をとっていないか？



# 課題2： 平板のモード解析



## 課題2 平板のモード解析



### 課題

- 1) 1~10次モードのモード形状を求めよ
- 2) 1~10次モードの固有振動数を求めよ
- 3) 「材力の」1~3次モードまでの梁の固有振動数を理論解と比較せよ。

#### 解析条件

要素：四面体要素

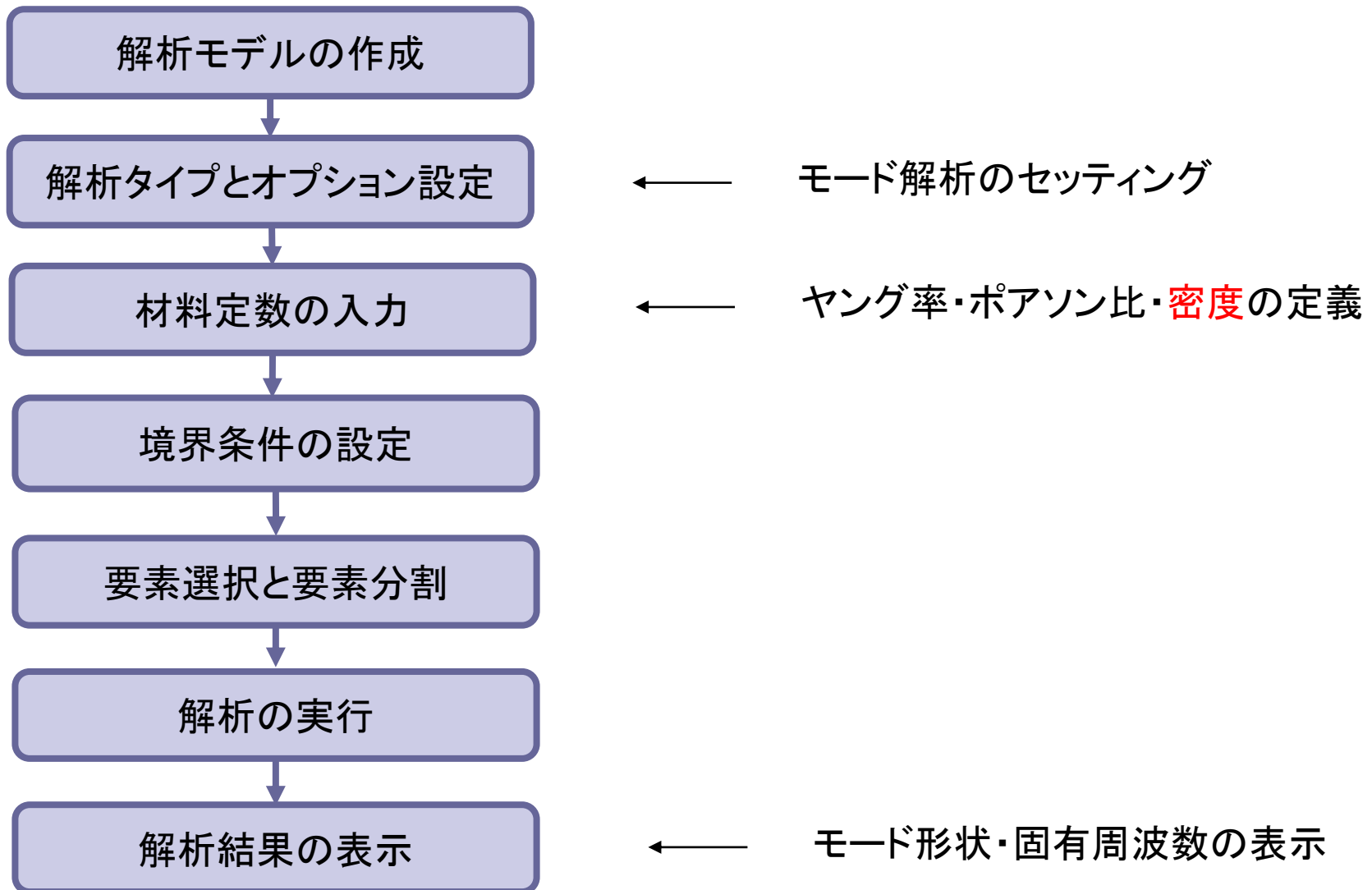
材料：2024合金

(ヤング率 73 GPa、ポアソン比 0.33  
密度  $2800\text{ kg/m}^3$ )

境界条件：画面左端、xyz方向変位拘束

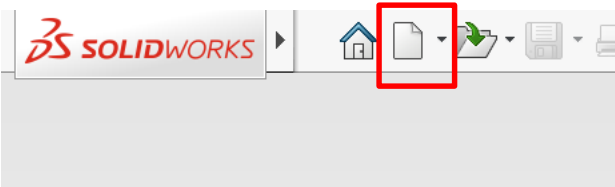
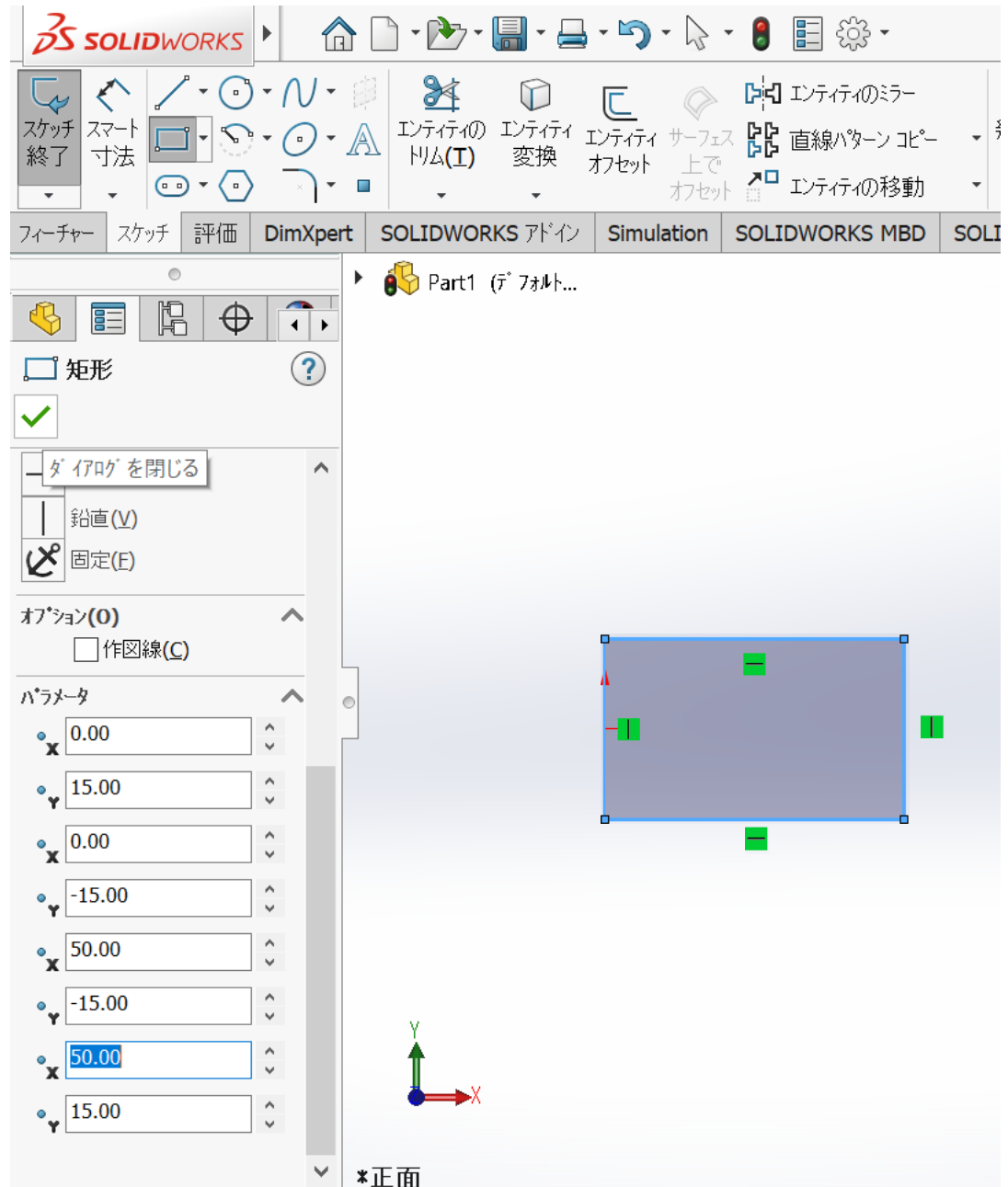
単位系：長さ[mm]・力[N]・応力[MPa]

# モード解析手順



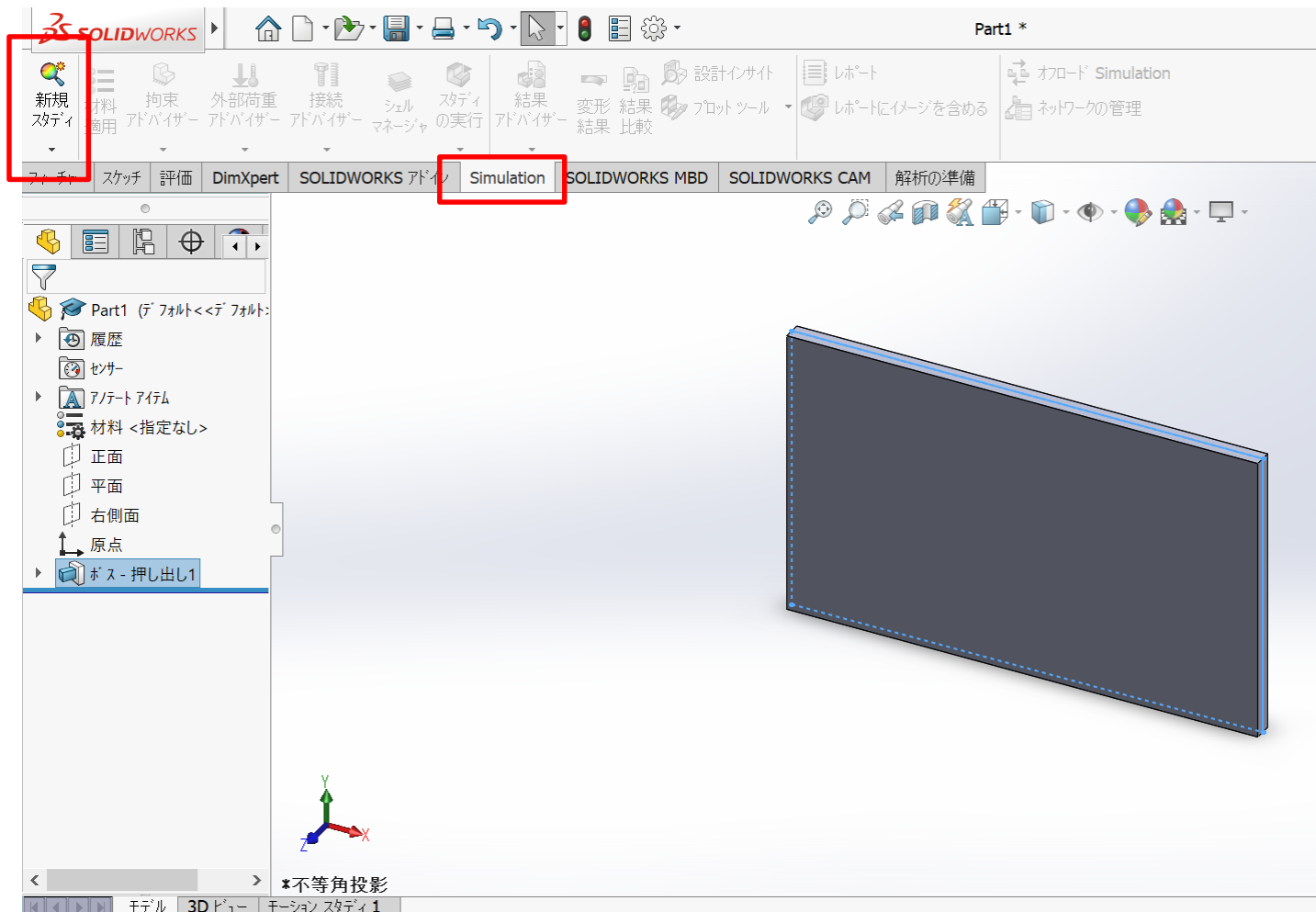
# 形状の作成

新規作成→部品→OK→  
正面を選択→  
30mm×50mmをスケッチ→  
フィーチャーで2mm押し出す



# 解析タイプの設定

Simulationタブ → 新規 → 固有値解析を選択



# 材料の選択

材料適用⇒アルミ合金⇒2024合金⇒適用⇒閉じる

材料

1060-H12 棒 (SS)  
1060-H14  
1060-H16  
1060-H18  
1060-H18 棒 (SS)  
1060-O (SS)  
1100-H12 棒 (SS)  
1100-H16 棒 (SS)  
1100-H26 棒 (SS)  
1100-O 棒 (SS)  
1345 合金  
1350 合金  
201.0-T43 断熱金型鑄造 (SS)  
201.0-T6 断熱金型鑄造 (SS)  
201.0-T7 断熱金型鑄造 (SS)  
2014 合金  
2014-O  
2014-T4  
2014-T6  
2018 合金  
**2024 合金**  
2024 合金 (SN)  
2024-O  
2024-T3

プロパティ テーブル&カーブ 外観 ハッチング ユーザー定義 アプリケーションデータ お気に入り

材料特性  
デフォルト ライブラリの材料を編集することはできません。 先ず材料をユーザー定義ライブラリにコピーしてから編集してください。

モデルタイプ(M): 線形等方性弾性  モデルタイプをライブラリに保存(L)

単位(U): SI - N/m<sup>2</sup> (Pa)

カテゴリ(T): アルミ合金

名前(M): 2024 合金

デフォルト破壊基準(F): 最大 Von-Mises 応力

注記(D):

ソース(O):

Sustainability: 定義

プロパティ	値	単位
弾性係数	7.3e+10	N/m <sup>2</sup>
ポアソン比	0.33	N/A
せん断弾性係数	2.8e+10	N/m <sup>2</sup>
質量密度	2800	kg/m <sup>3</sup>
引張強さ	186126000	N/m <sup>2</sup>
圧縮強さ		N/m <sup>2</sup>
降伏強さ	75829100	N/m <sup>2</sup>
熱膨張率	2.3e-05	/K
熱伝導率	140	W/(m·K)

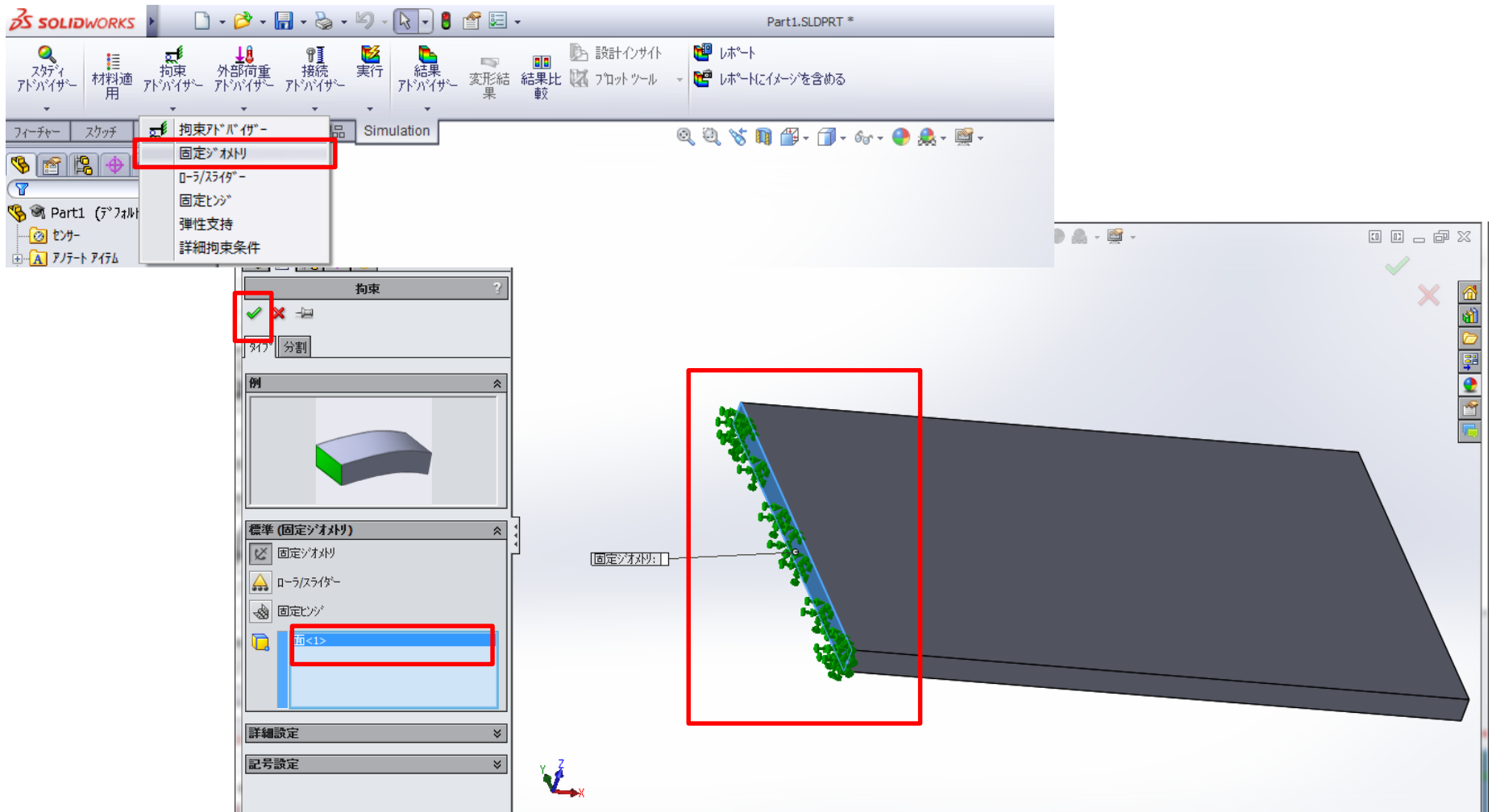
ををクリックし、多くの材料にアクセスできます。  
SOLIDWORKS Materials Web Portal を使用します。

開く...(O) **適用(A)** **閉じる(C)** 保存(S) エディット...(N) ヘルプ(H)

\*不等角投影

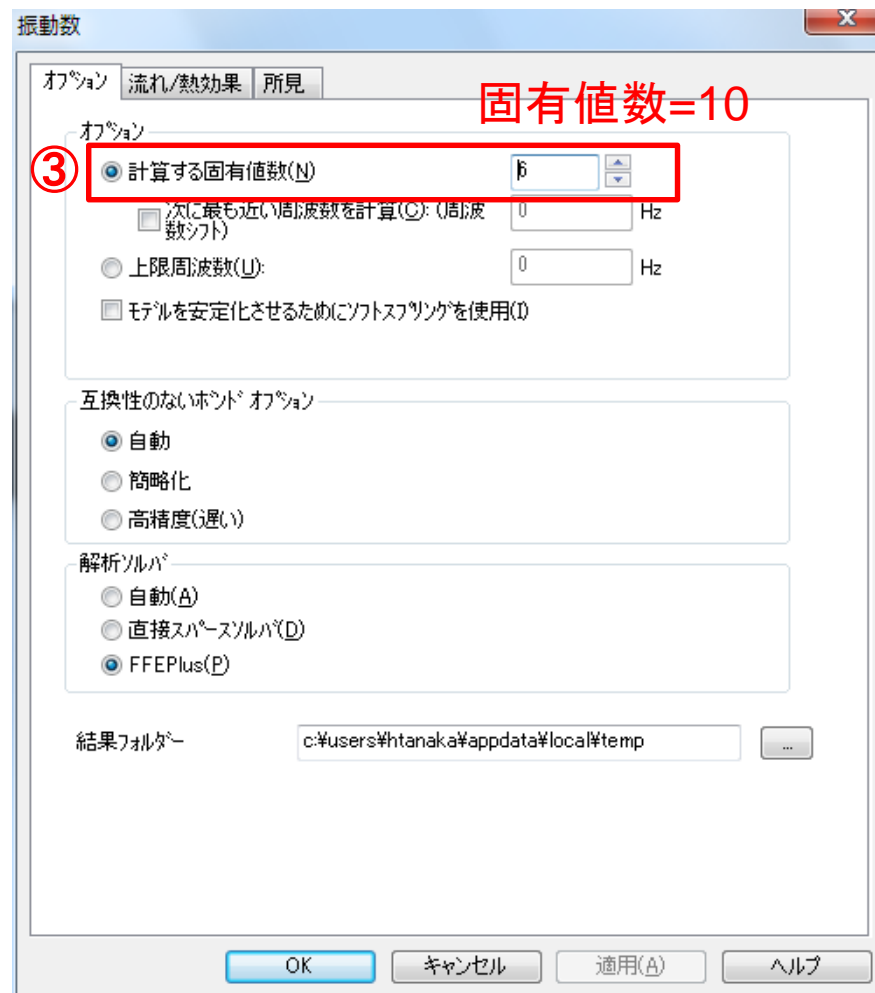
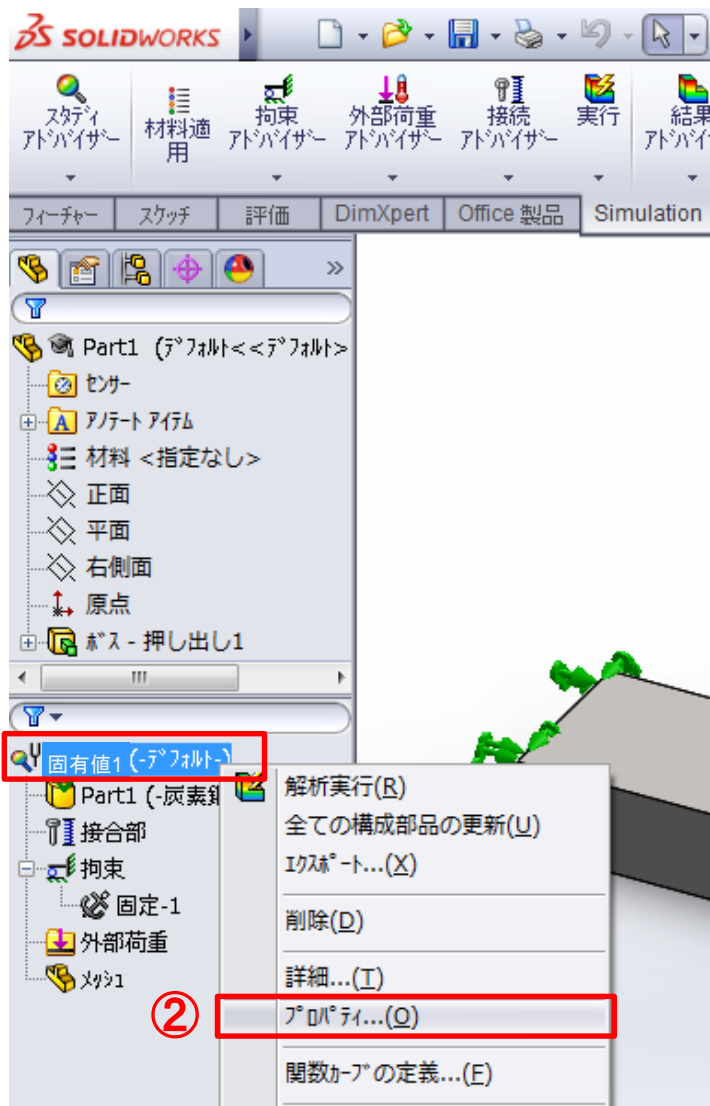
# 境界条件入力

拘束アドバイザー⇒固定ジオメトリ⇒画面左端の面を選択⇒OK



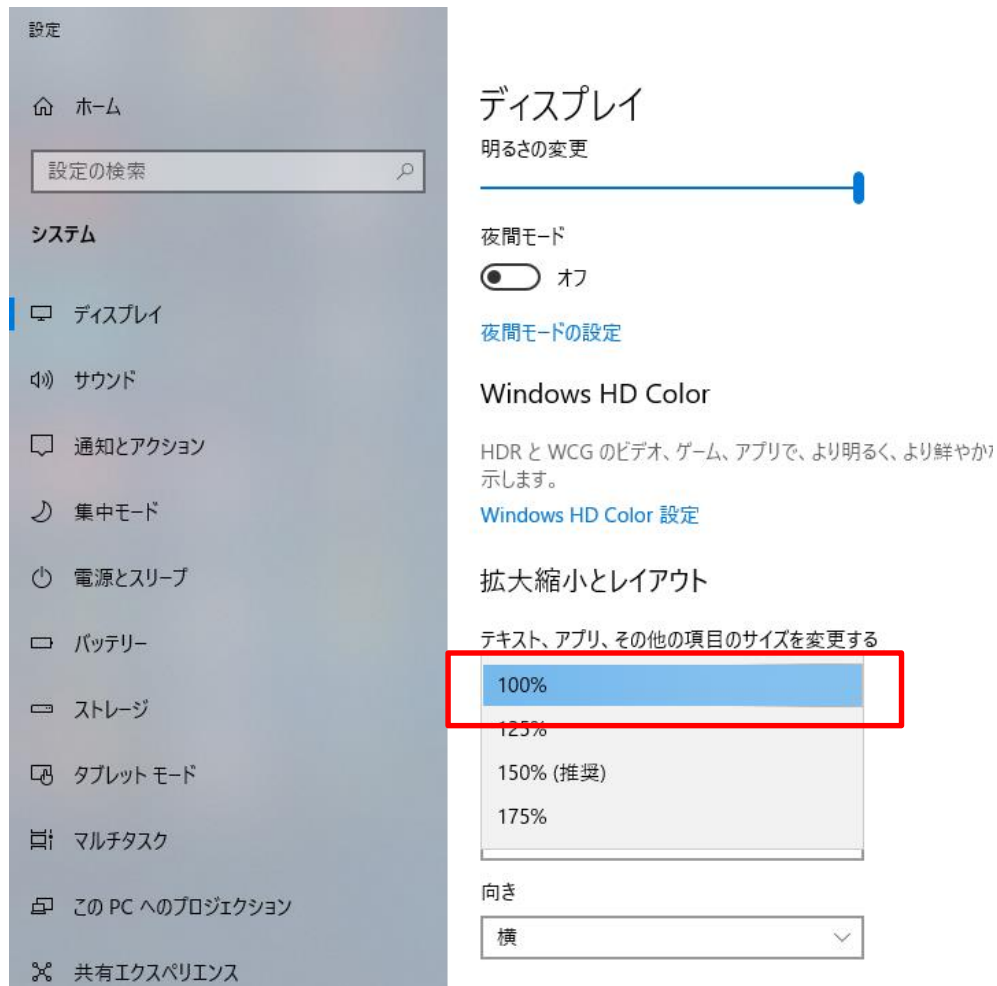
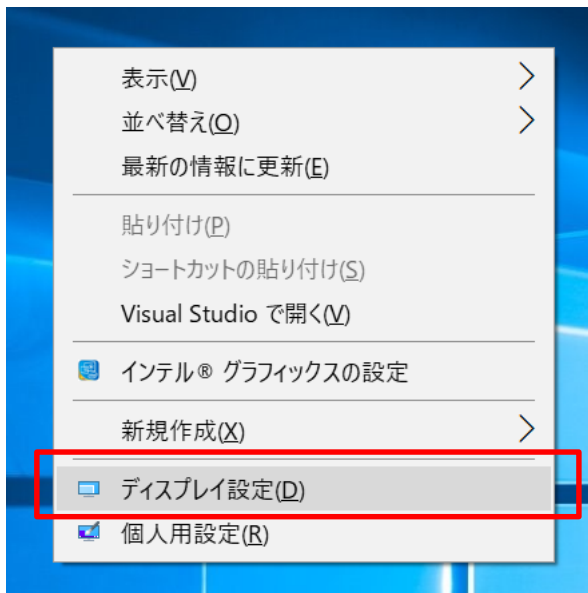
# 境界条件の設定

① 固有値1を右クリック→ ② プロパティ → ③ 「計算する固有値数」を確認



# OKが出ない人

保存してSolidworksを閉じる → デスクトップで右クリック → ディスプレイ設定 → 拡大縮小とレイアウトを100%にする → 再起動（再ログインでOK）





# メッシュ作成

① 実行／メッシュ作成 → ② メッシュ密度を選択 → ③ 「OK」を選択

The screenshot shows the SolidWorks interface with the following elements:

- ①** The 'Mesh' button in the 'Features' tree is highlighted with a red box.
- ②** The 'Mesh' dialog box is open, showing the 'Mesh Density' section with a slider between '粗い' (Coarse) and '細かい' (Fine), and a 'リセット' (Reset) button. This section is highlighted with a red box.
- ③** The 'OK' button (green checkmark) in the dialog box is highlighted with a red box.

The 3D model shows a rectangular block with a mesh applied to its top surface. The mesh is composed of small triangles. The bottom edge of the block is highlighted with green circles.

SOLIDWORKS 教育用製品 (教育用目的でのみ使用可)

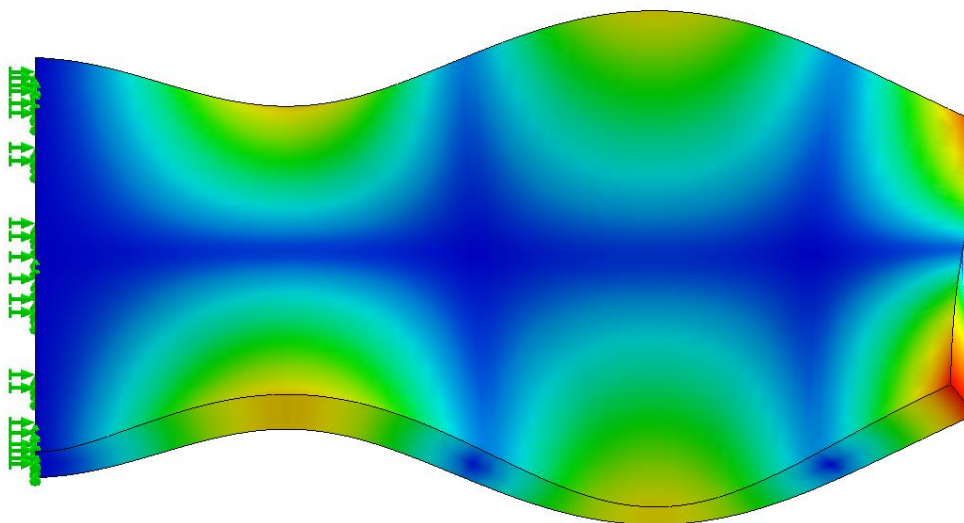
41

# 解析実行

## ① 実行／実行

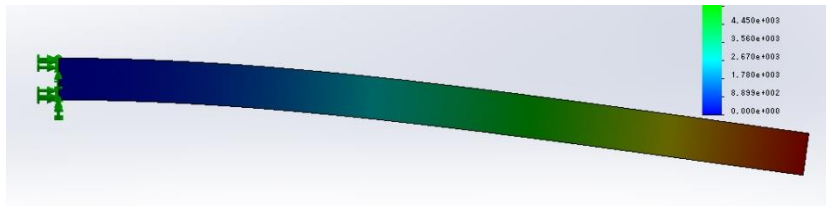


結果例：8次モード(3次のねじり)

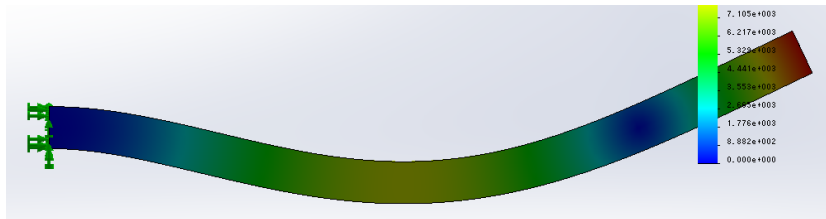


# 解析結果のチェック

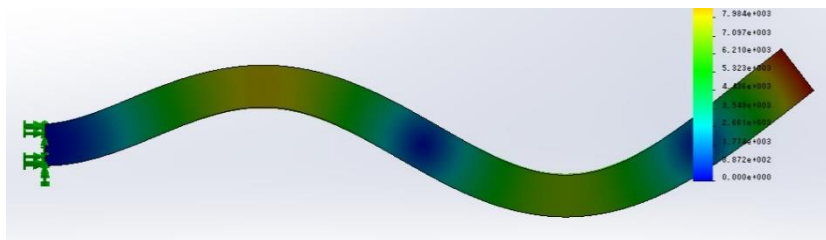
「材力の」1次モード： ??Hz



「材力の」2次モード： ??Hz



「材力の」3次モード： ??Hz



梁の固有周波数の理論解

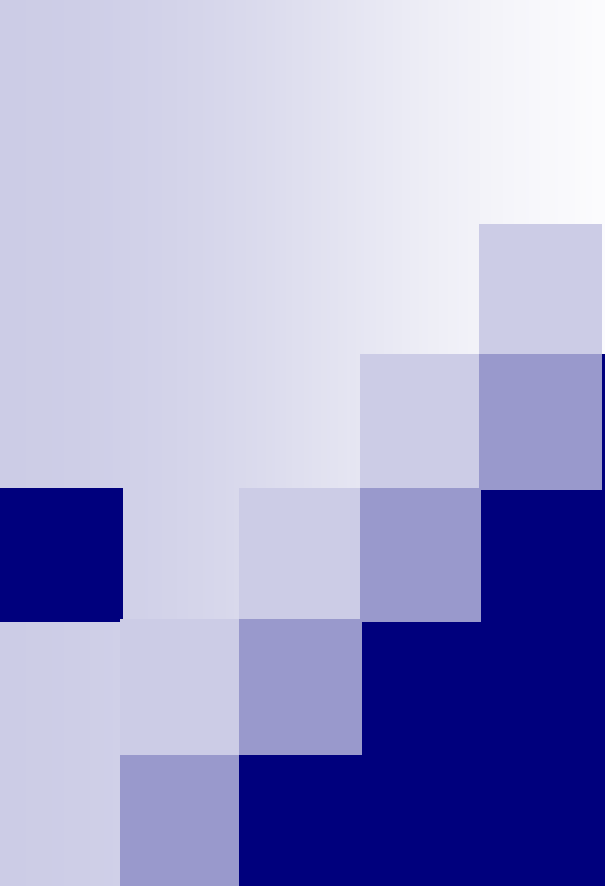
$$f_i = \frac{\lambda_i^2}{2\pi L^2} \sqrt{\frac{EI}{\rho A}}$$

$i$ : 曲げ振動の次数

$$\lambda_1 = 1.875 \quad \lambda_2 = 4.694 \quad \lambda_3 = 7.855$$

$L$ : はりの長さ       $EI$ : 曲げ剛性

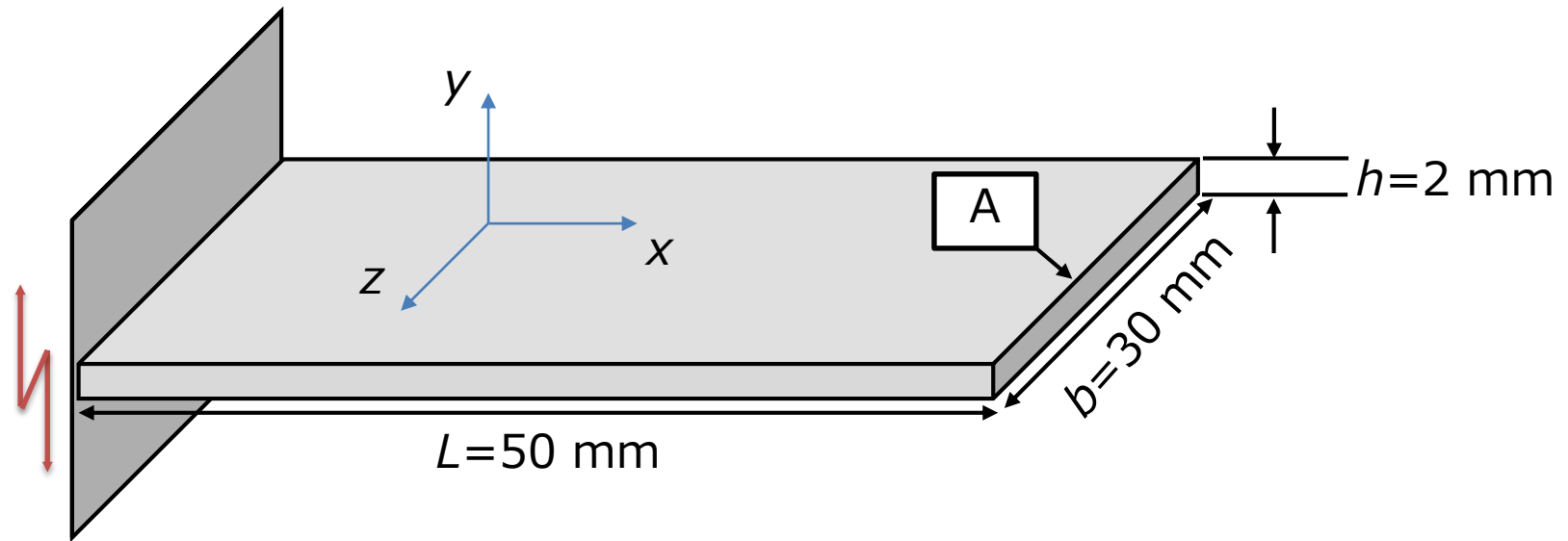
$\rho$ : 密度               $A$ : 断面積



# 課題3：平板の周波 数応答解析

# 規定課題3：平板の周波数応答解析

点Aでの最大振幅に関する周波数応答関数（0-1500Hz）を求め、Excelでグラフにせよ  
また、0-1500Hzの区間でゲインが1から外れた分の積分値を求めよ



振幅 1 mmの周期変動変位

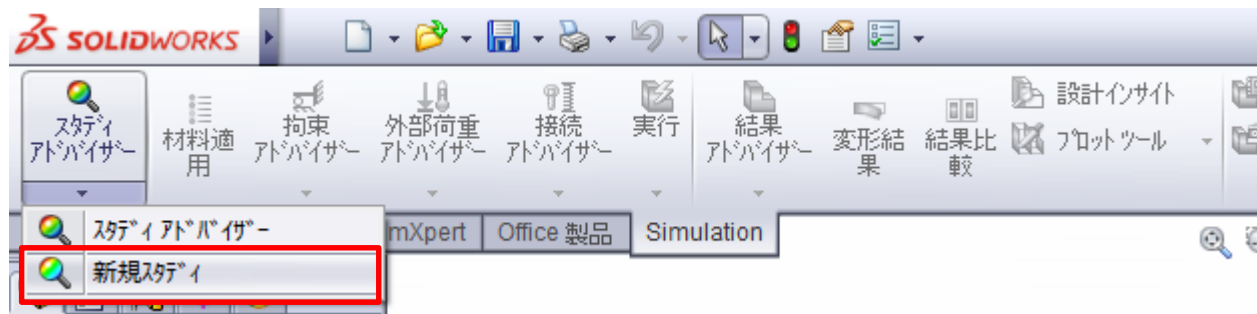
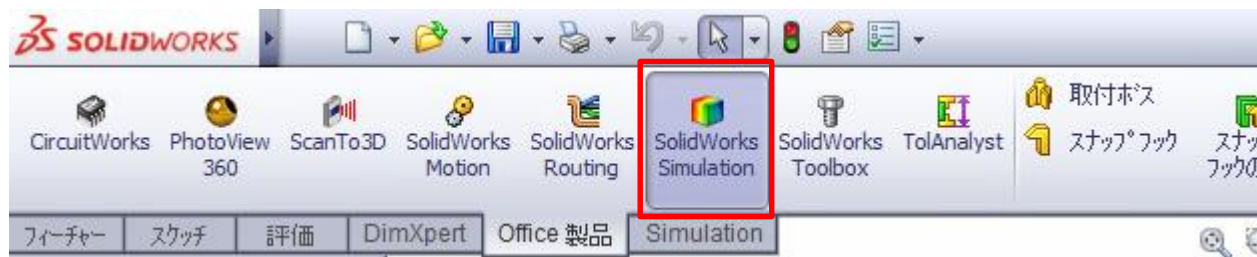
要素：四面体要素

材料：2024合金（ヤング率 73 GPa、ポアソン比 0.33）

境界条件：画面左端、xyz方向変位拘束

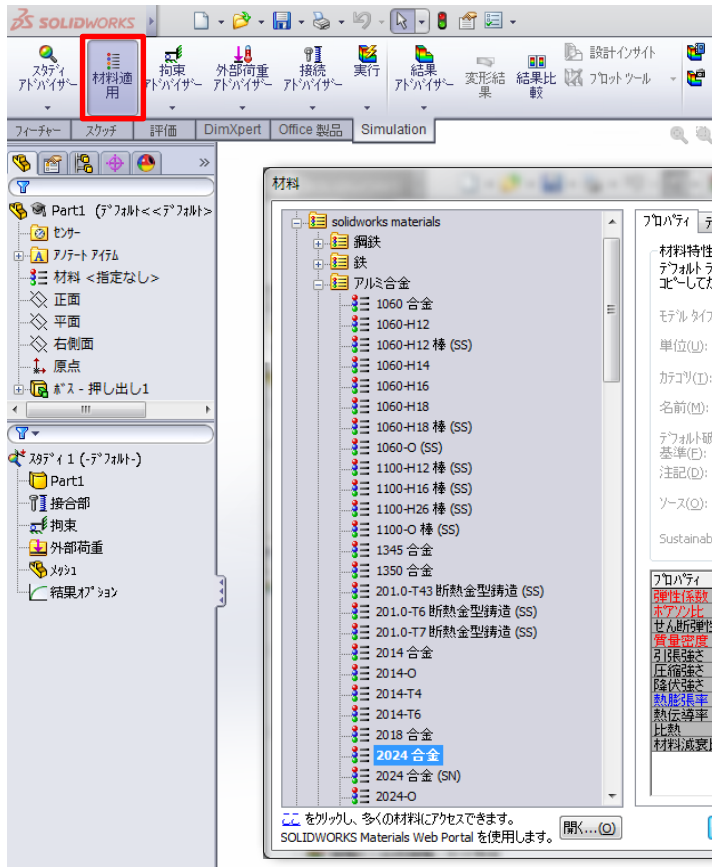
# 規定課題3：ソルバの選択

- Office製品 SolidWorks Simulation
- ⇒スタディアドバイザー/新規スタディ
- ⇒線形動解析を選択
- ⇒調和解析を選択
- ⇒「OK」を選択

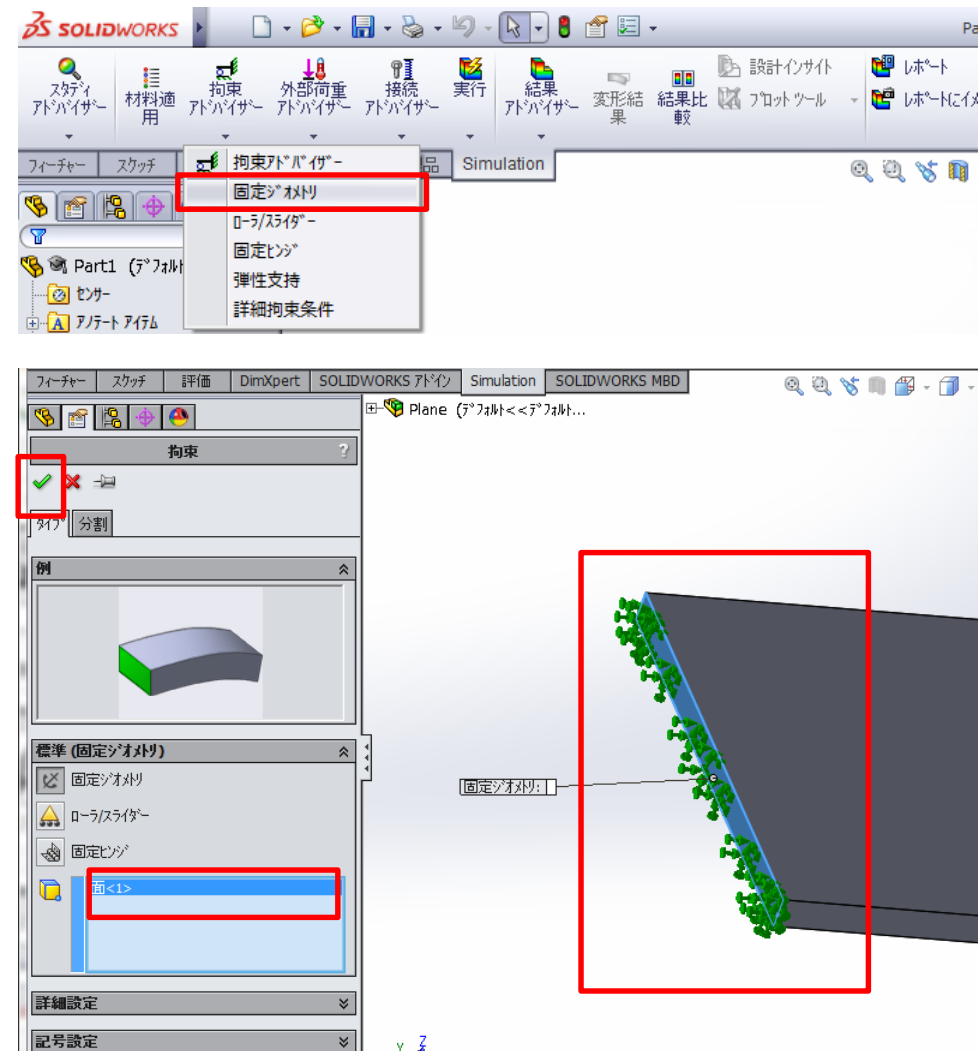


# 規定課題3：材料の選択・拘束

材料適用⇒アルミ合金⇒2024合金




拘束アドバイザー⇒固定ジオメトリ⇒画面左端の面を選択⇒OK



# 規定課題3：外部荷重の設定

外部荷重アドバイザー／力

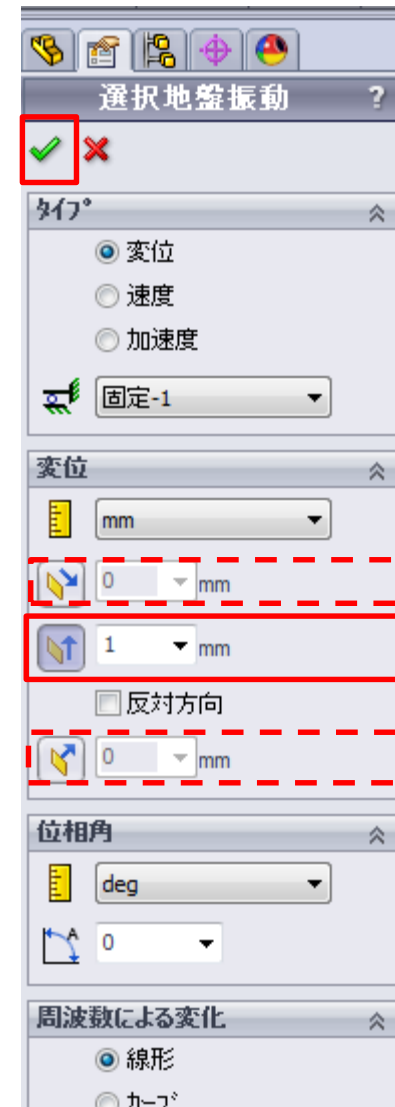
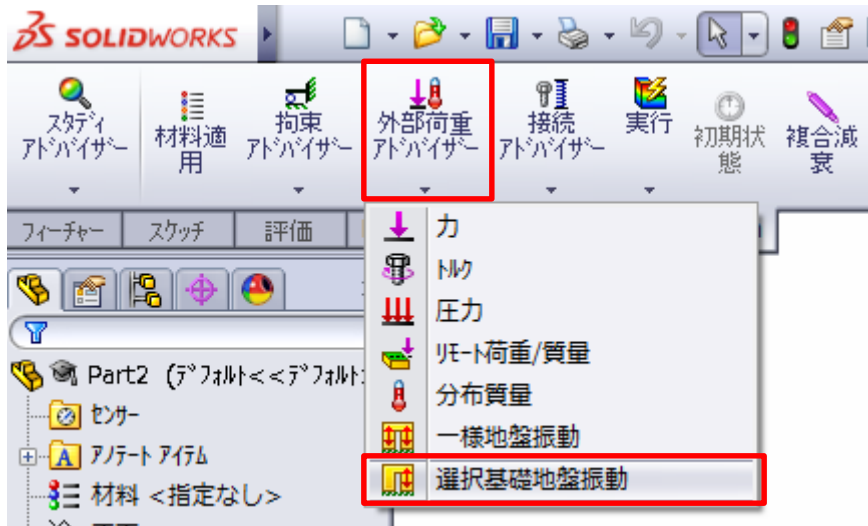
⇒ 「選択基礎地盤振動」を選択

⇒  を選択し、「1mm」と指定

⇒ 「OK」を選択

※ゲインにそのまま読み替えるため1mmとしている

※実際に1mm変位させると許容応力を超える

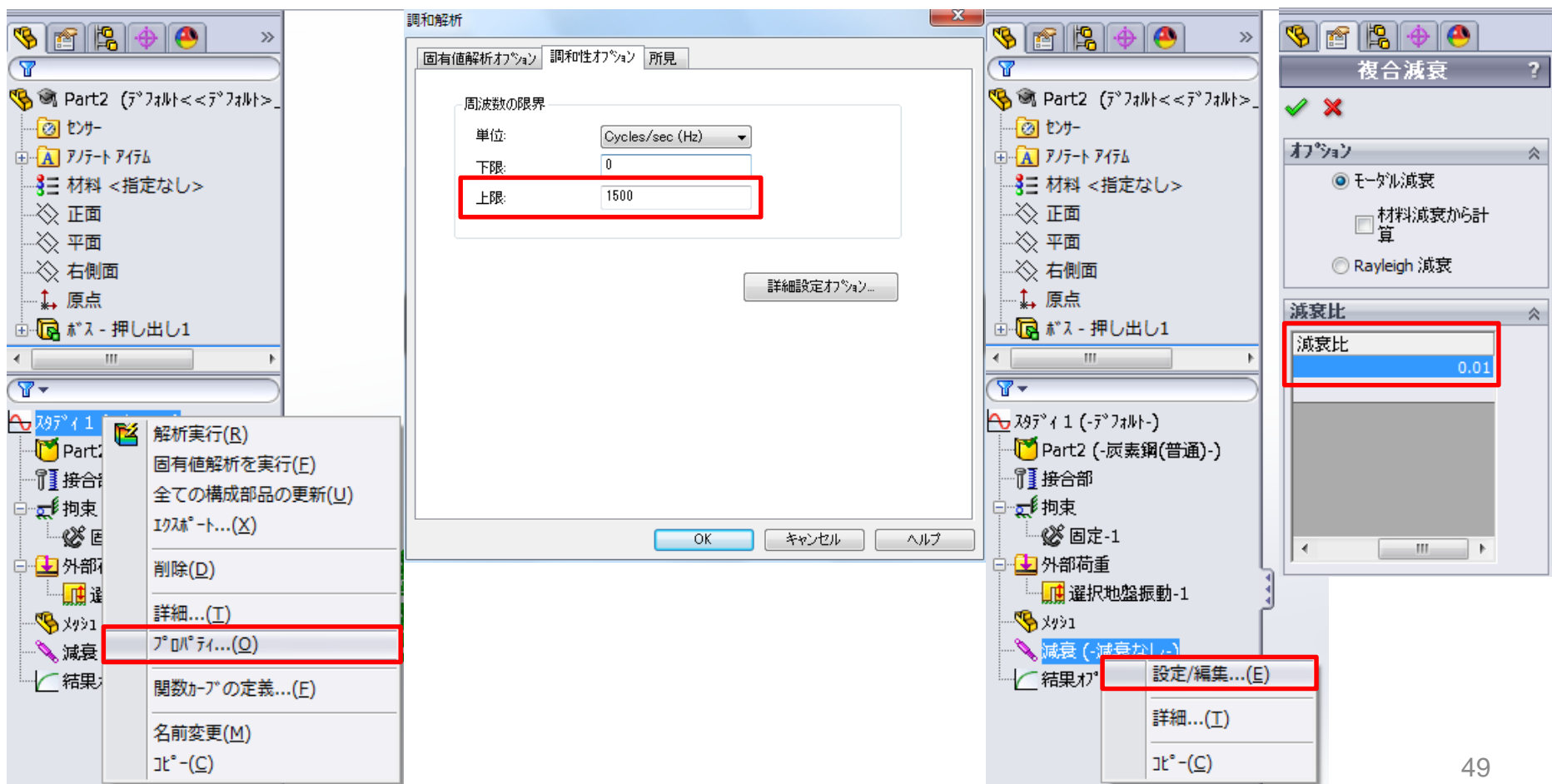


向きは各自  
図で確認



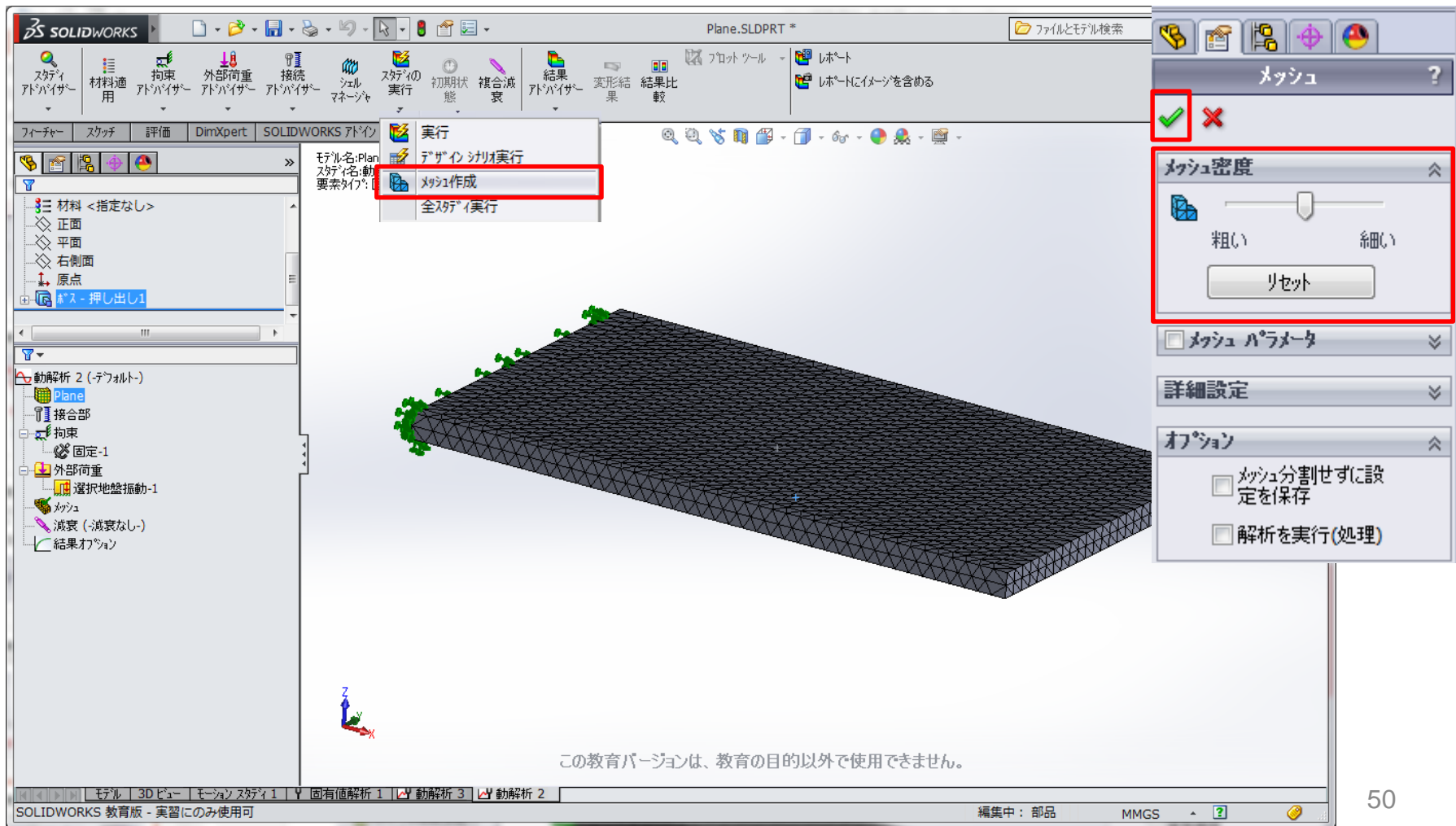
# 規定課題3：ソルバの設定

スタディ1を右クリック⇒プロパティ⇒「調和性オプション」を選択⇒  
上限を「1500Hz」⇒減衰を右クリック⇒「設定／編集」⇒減衰比を「0.01」



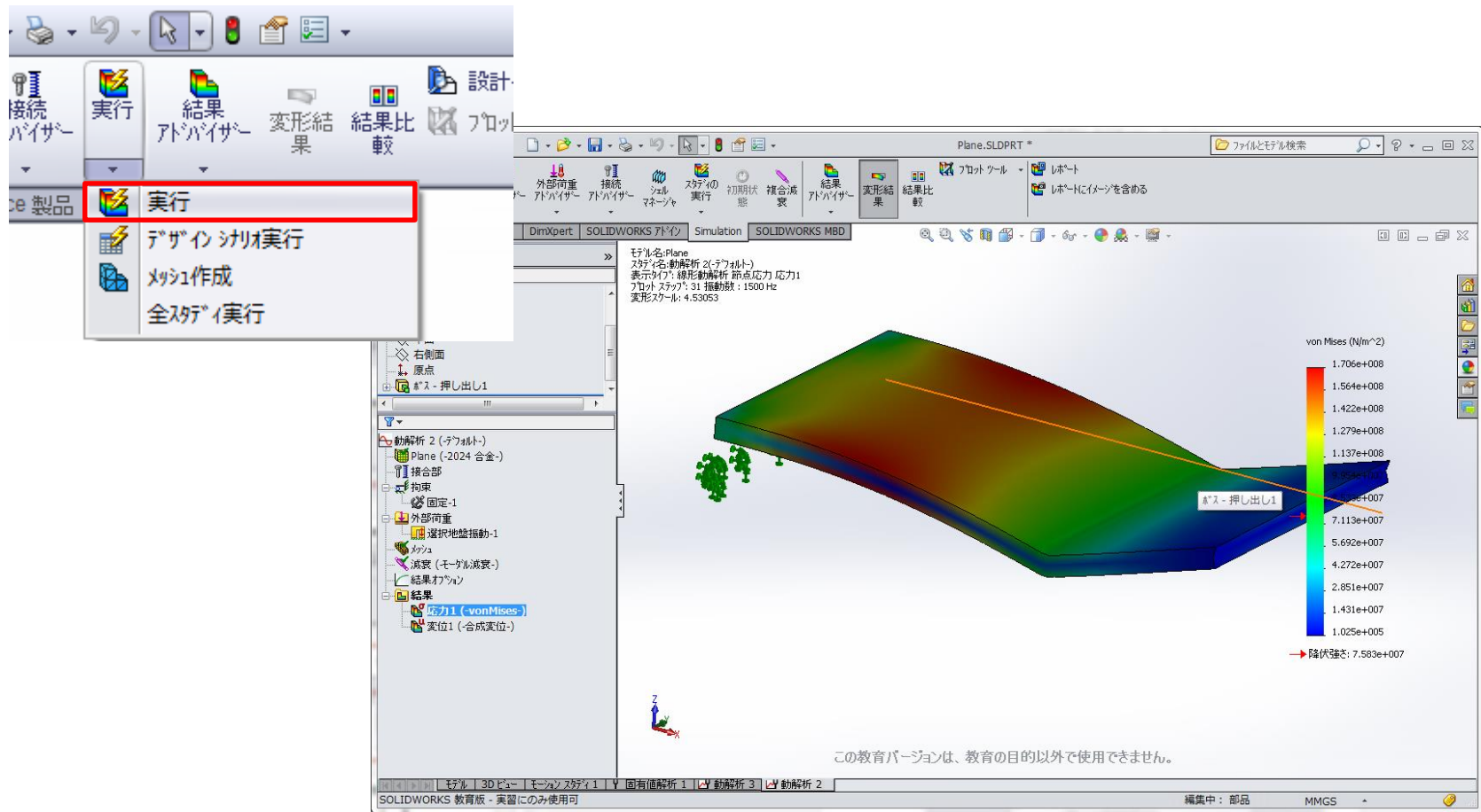
# 規定課題3：メッシュ作成

実行／メッシュ作成⇒メッシュ密度を選択⇒「OK」を選択  
メッシュ密度が細かいほど正確な解析結果になるが解析時間も増大する



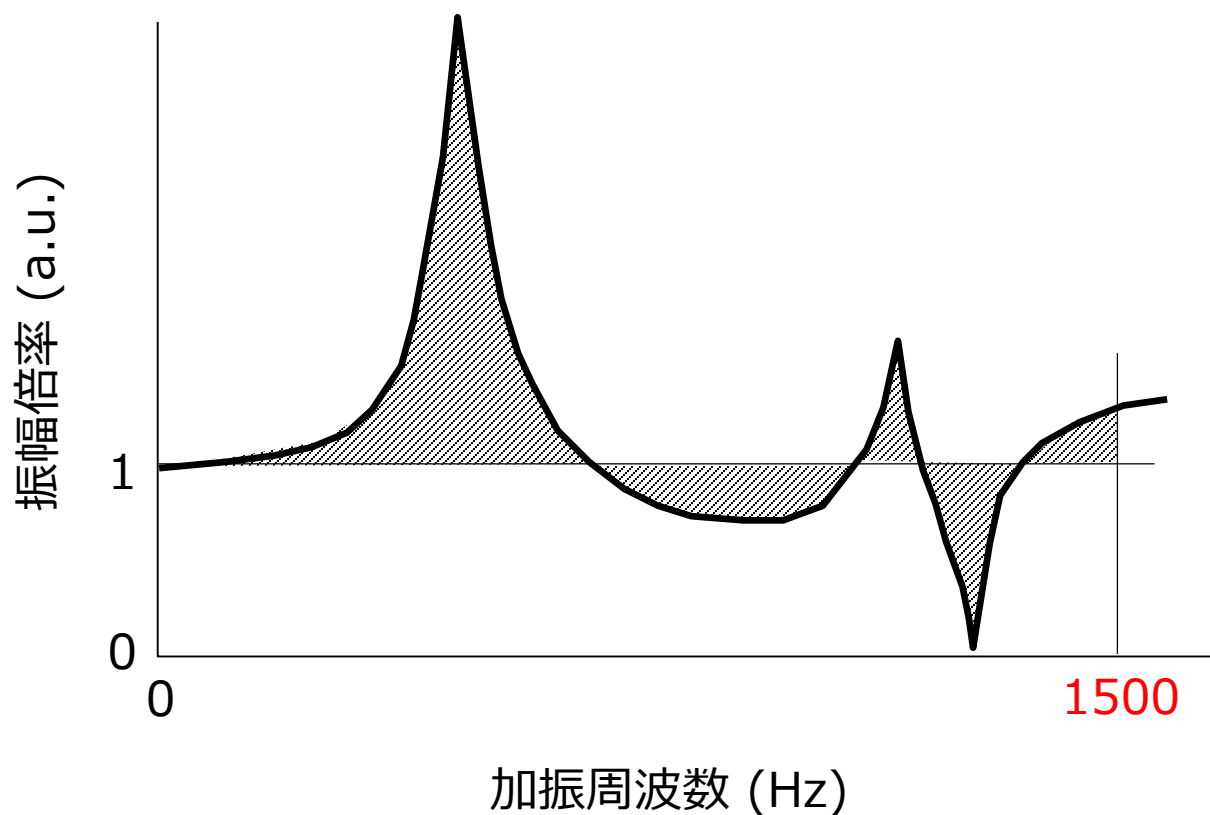
# 規定課題3：解析実行

解析前に別名保存する⇒実行/実行



折れ曲がった形状に表示されるのはマシン依存の問題のようです。  
52,53頁の方法で適切なモード形状を表示させて変形を分析すること。

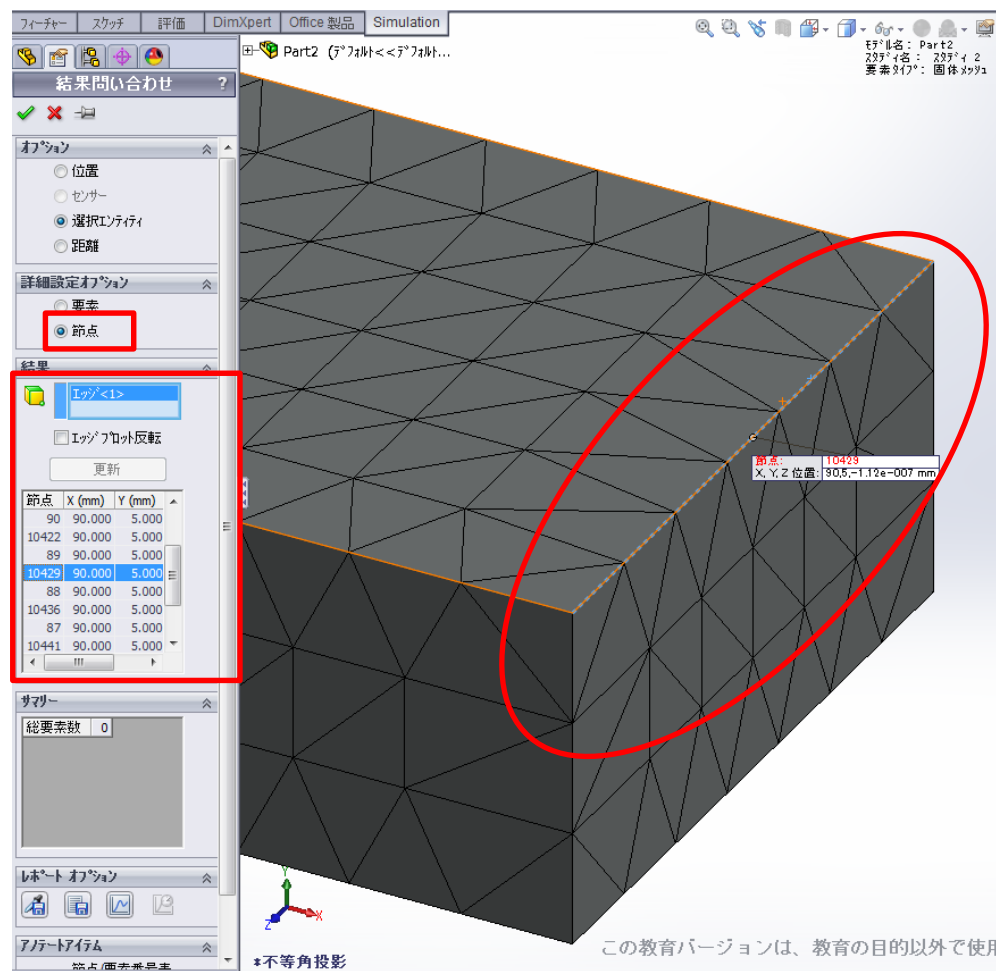
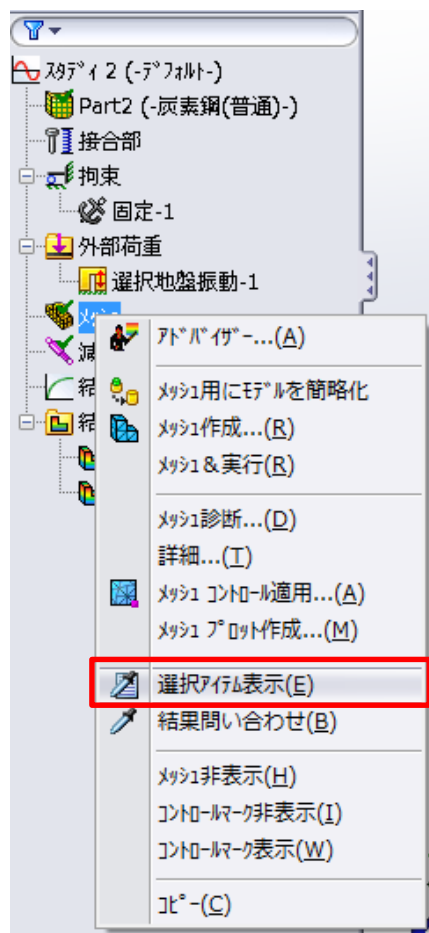
# 規定課題3：解析結果の表示



最終的にExcel上でグラフを得て以下を算出  
**斜線部の積分値/1500 = ゲインが1から外れた分の平均値**

# 規定課題3：節点の選択

メッシュ⇒「メッシュ表示」⇒メッシュ⇒「選択アイテム表示」⇒  
節点を選択⇒A点近傍（右上エッジ部）を選択⇒「更新」⇒  
エッジ中心の節点番号を確認（※モデルによって番号は異なる）



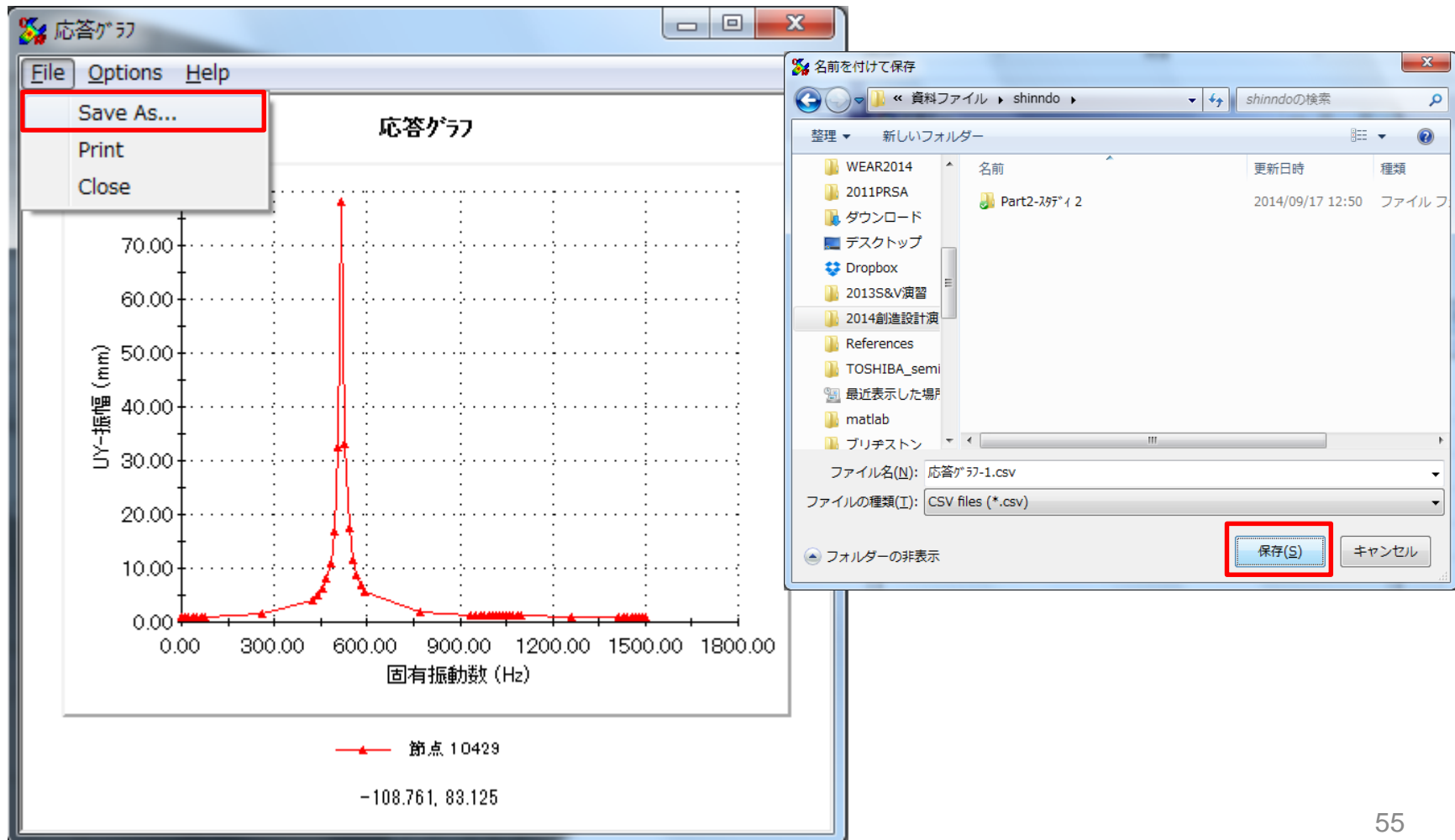
# 規定課題3：周波数応答グラフ

結果 ⇒ 「応答グラフ定義」 ⇒ 先ほど確認したエッジ中心の節点番号を選択 ⇒  
Y軸：「変位」、「UY:Y方向変位」を選択 ⇒ OK

The screenshot displays the SolidWorks interface for defining a response graph. The main window shows a 3D model of a rectangular block with a mesh. The 'Response Graph' (応答グラフ) dialog box is open, and the 'Response' (応答) section is active. The 'All Nodes' (すべての節点) radio button is selected, and the list of nodes includes 10423, 10424, 10425, 10426, 10427, 10428, 10429, 10430, and 10431. Node 10429 is highlighted. The 'Y-axis' (Y軸) is set to 'Displacement' (変位) and 'UY: Y-direction Displacement' (UY: Y方向変位). The 'X-axis' (X軸) is set to 'Inherent Frequency' (固有振動数) and 'Hz'. The 'Options' (オプション) section has 'Amplitude' (振幅) selected. A red box highlights the 'Response Graph Definition' (応答グラフ定義...) option in the left-hand menu.

# 規定課題3：グラフの保存

csv形式で保存すれば、Excelでグラフを作れる



# 規定課題3：Excelの操作1/2

## (i) 区間幅( $\Delta X$ )の計算

	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2	応答グラフ							
3	13:27	水曜日	9月17	2014				
4								
5								
6	X タイトル: 固有振動数 (Hz)							
7	Y タイトル: UY-振幅 (mm)							
8								
9	点	X	Y1 (節点 10429)	$\Delta X$	1からの差の絶対値			
10	1	1.59E-06	1	=B11-B10				
11	2	11.309	1.0007					
12	3	23.16	1.0031					

## (ii) 一区間あたりの1からの差の絶対値を計算

	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2	応答グラフ							
3	13:27	水曜日	9月17	2014				
4								
5								
6	X タイトル: 固有振動数 (Hz)							
7	Y タイトル: UY-振幅 (mm)							
8								
9	点	X	Y1 (節点 10429)	$\Delta X$	1からの差の絶対値			
10	1	1.59E-06	1	1.13E+01	=ABS(1-(C10+C11)/2)			
11	2	11.309	1.0007	1.19E+01				
12	3	23.16	1.0031	1.25E+01				



# 規定課題3：Excelの操作2/2

## (iii) 区間面積の計算

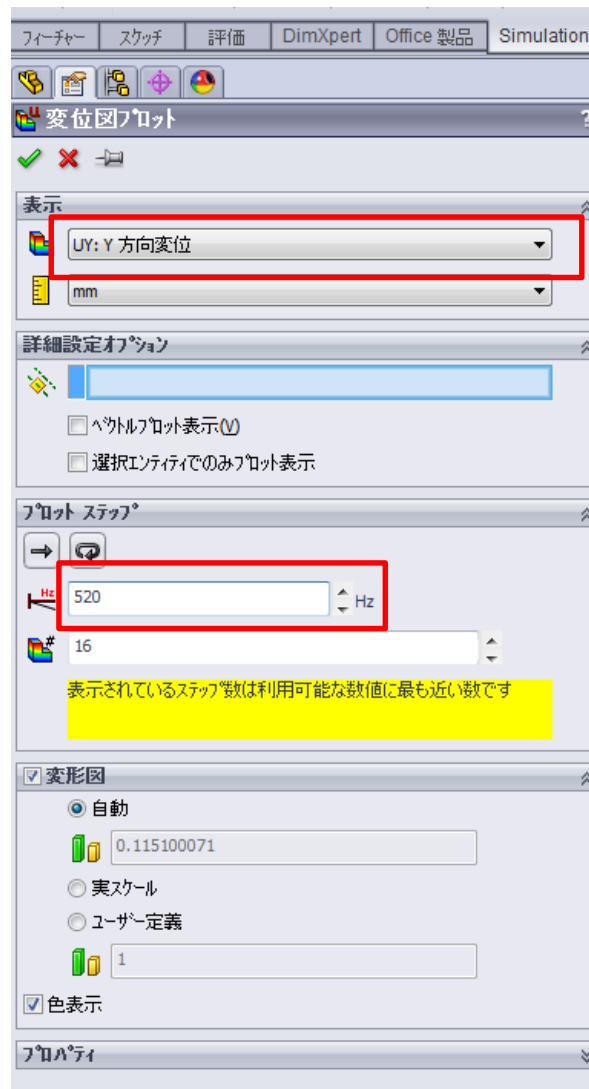
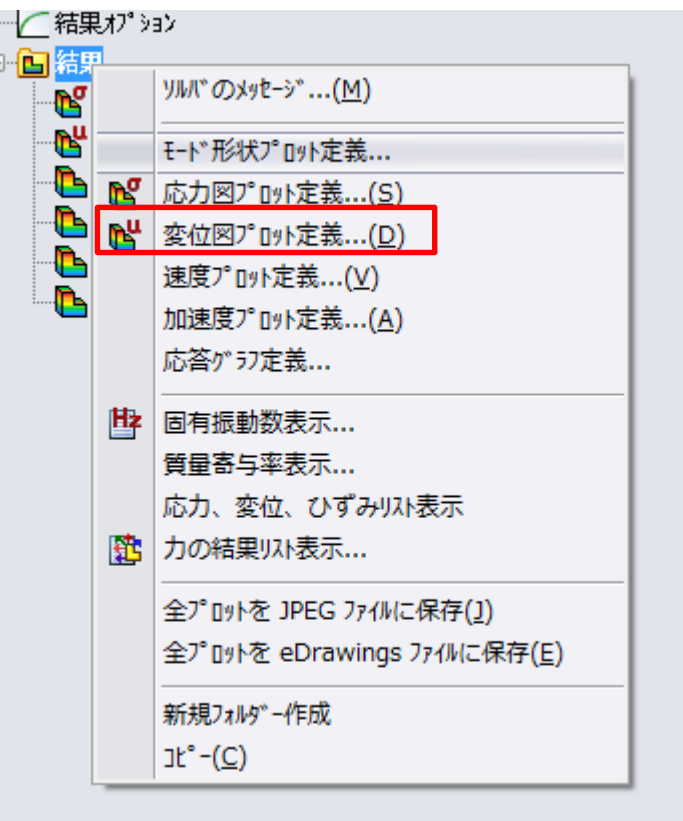
	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2	応答グラフ							
3	13:27	水曜日	9月17	2014				
4								
5								
6	Xタイトル: 固有振動数 (Hz)							
7	Yタイトル: UY-振幅 (mm)							
8								
9	点	X	Y1 (節点 10429)	$\Delta X$	1からの差の絶対値	区間面積	積分	
10	1	1.59E-06	1	1.13E+01	0.00035	=E10*F10		
11	2	11.309	1.0007	1.19E+01	0.0019			
12	3	23.16	1.0031	1.25E+01	0.0052			

## (iv) 区間面積を積分し、1500Hzの平均値を求める

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1									
2	応答グラフ								
3	13:27	水曜日	9月17	2014					
4									
5									
6	Xタイトル: 固有振動数 (Hz)								
7	Yタイトル: UY-振幅 (mm)								
8									
9	点	X	Y1 (節点 10429)	$\Delta X$	1からの差の絶対値	区間面積	積分		
10	1	1.59E-06	1	1.13E+01	0.00035	3.96E-03	=SUM(G10:G54)/1500		
11	2	11.309	1.0007	1.19E+01	0.0019	2.25E-02			
12	3	23.16	1.0031	1.25E+01	0.0052	6.49E-02			
13	4	35.637	1.0073	1.32E+01	0.01055	1.39E-01			

# 規定課題3：特定周波数の変形図

結果⇒変位図プロット定義

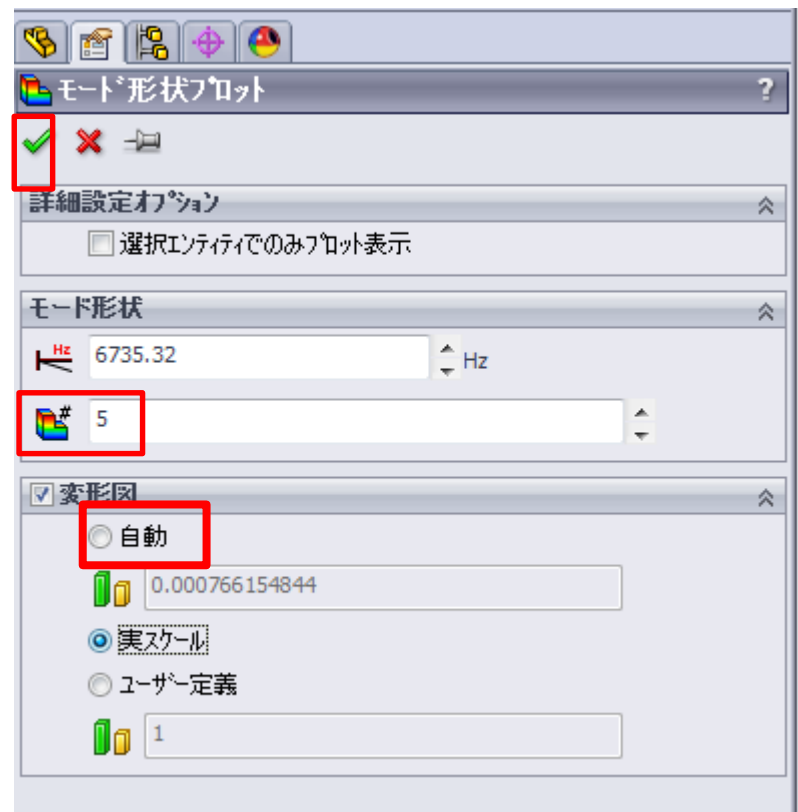
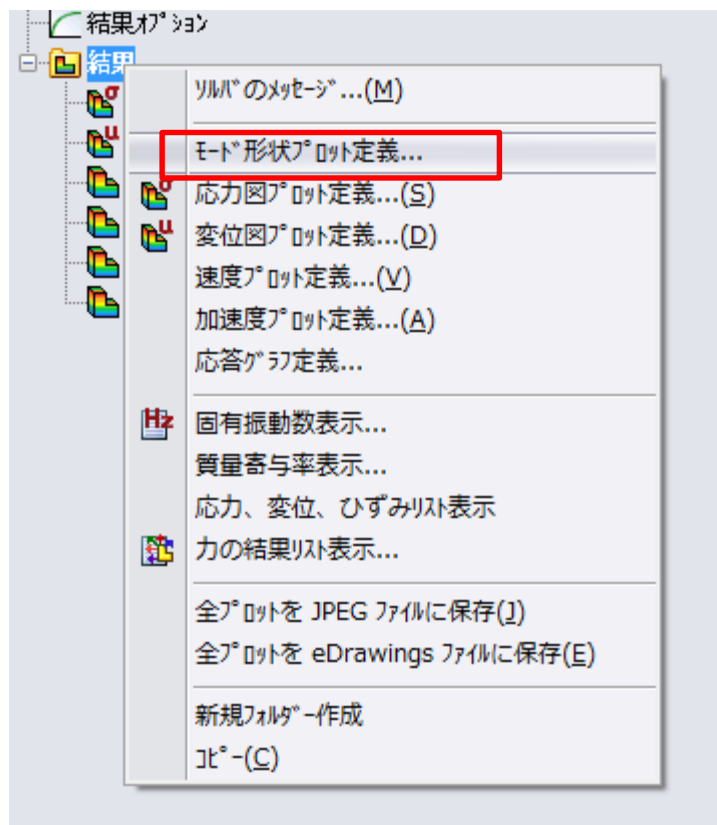


見たい成分を選択  
⇒モード形状を見たい周波数を入力  
⇒自動的に、入力周波数近傍の解析結果が選択される

# 規定課題3：特定モードの変形図

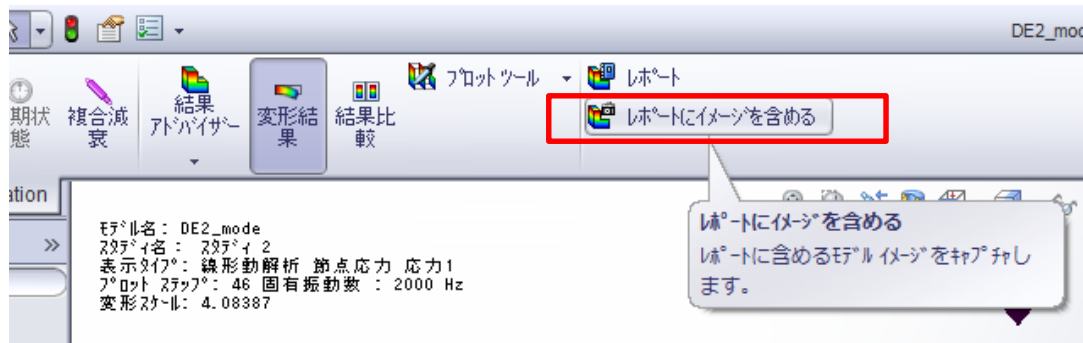
結果⇒モード形状のプロット定義

モード形状を見たいモード数を入力⇒OK

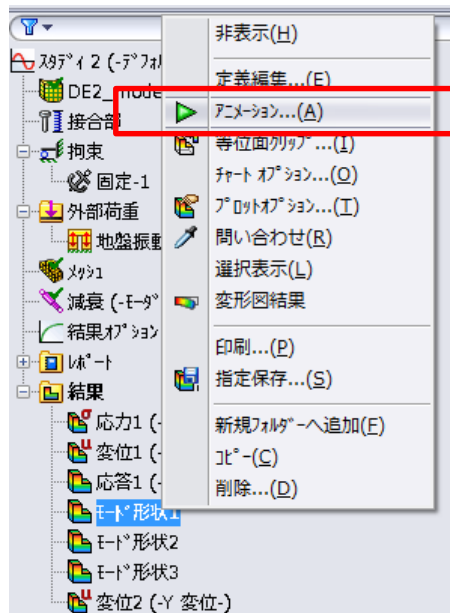


変形図のスケールを自動にチェック  
入力振幅を大きく設定しているため実スケールだと図が発散します

# 規定課題3：アニメーション



レポートにイメージを含める⇒OKボタンを押すと自動的に連番の画像が保存される



モード形状の場合は、アニメーションボタンを押すとムービーを作製できる

AVI出力を選択すれば、保存可能

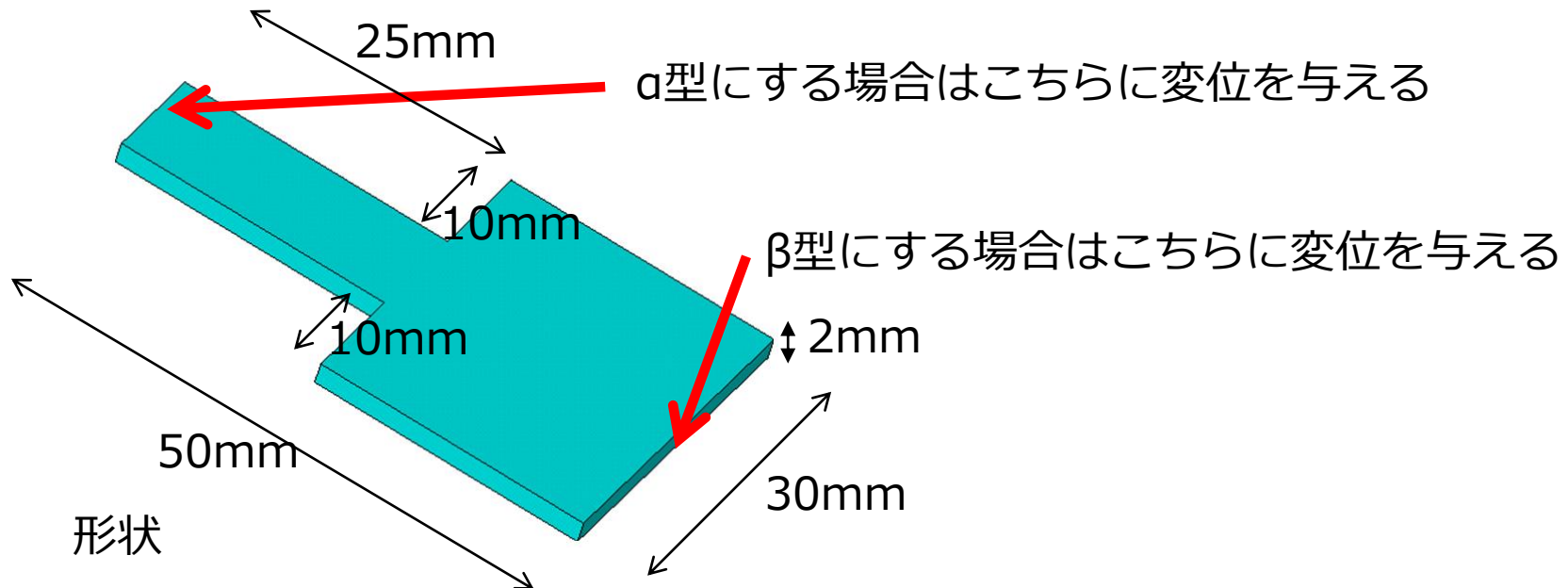
# 課題4： $\alpha$ 型・ $\beta$ 型の 周波数応答解析

# 規定課題4：板の周波数応答解析

## 規定解析課題4： $\alpha$ 型・ $\beta$ 型の周波数応答解析

$\alpha$ 型：先端が太く、根本が細い梁

$\beta$ 型：根本が太く、先端が細い梁



要素：四面体要素

材料：2024合金（ヤング率 73 GPa、ポアソン比 0.33）

境界条件：画面左端、xyz方向変位拘束

# 規定課題4：板の周波数応答解析

- 平板・ $\alpha$ 型・ $\beta$ 型について周波数応答曲線を求めよ。
  - モード形状を周波数領域（0～**1500** Hz）で計算せよ
  - 周波数応答曲線を周波数領域（0～**1500** Hz）で計算せよ
- 平板と $\alpha$ 型・ $\beta$ 型を比較し、ゲイン（ $X_{out}/X_{in}$ ）におけるピークが長波長側にずれるか、短波長側にずれるか調べ、理由を考察せよ。
- 自由課題の周波数領域（0～**1500** Hz）に与える影響を考察せよ



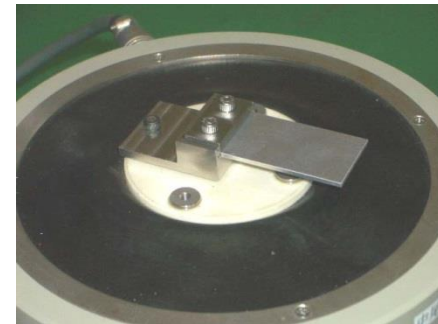
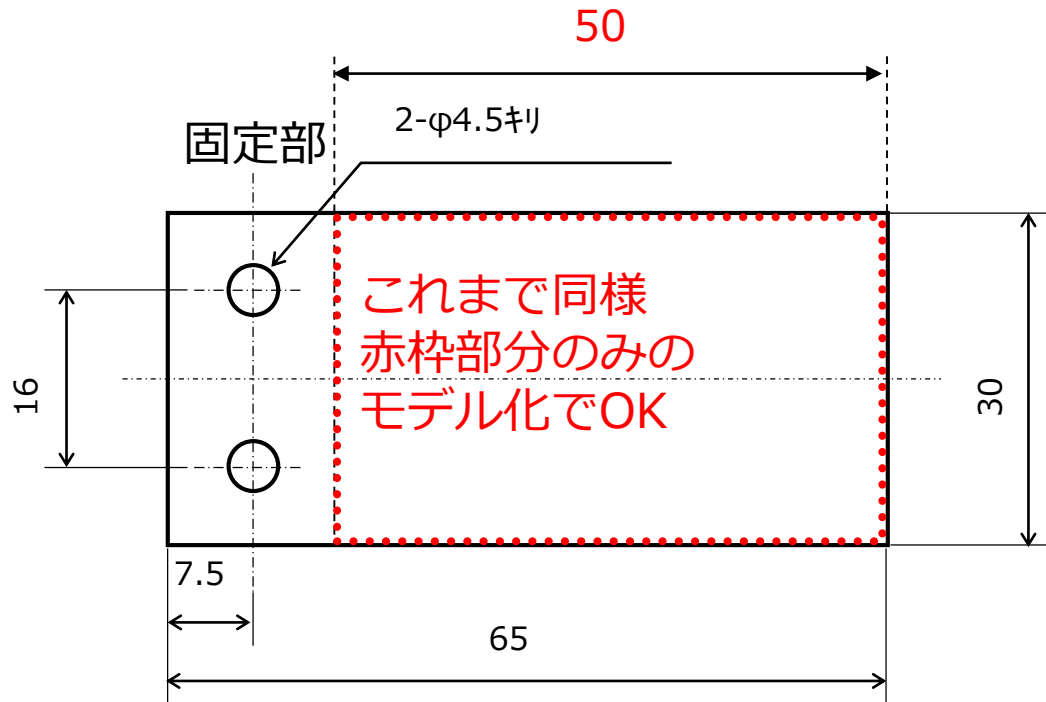
# 課題5： ユレーヌ選手権



# 課題5：ユレーヌ選手権

ジュラルミン材：65×30×2 mm<sup>3</sup>

加工自由範囲：50×30×2 mm<sup>3</sup>



周波数**0~1500** Hzの範囲で、ゲインが1から外れた分の  
平均値が最も小さくなった人が優勝

# レギュレーション

## 制約条件

- 許容される最小の幅は1mmとする。先端にも必ず1mmの幅を残すこと。
- 加工幅は0.35mmと考え（ワイヤ加工はワイヤ径0.25mm）  
溝幅は0.35mm以上にすること。
- ~~中抜き加工を行う場合、あらかじめワイヤを通す穴の直径を2mmとする。加工幅よりはるかに大きいことに注意する。（レーザーならこの制約は無し）~~
- 板厚は一定（2mm）とする。また、加振器固定部は加工できない。モデルに含める必要はない。

## データ提出

- 各自の学籍番号をファイル名とし、  
指定保存→結果をコピーしますか？→「いいえ」で保存する。
- ITC-LMSで上記保存データを提出  
（締切はレポートと同じ）

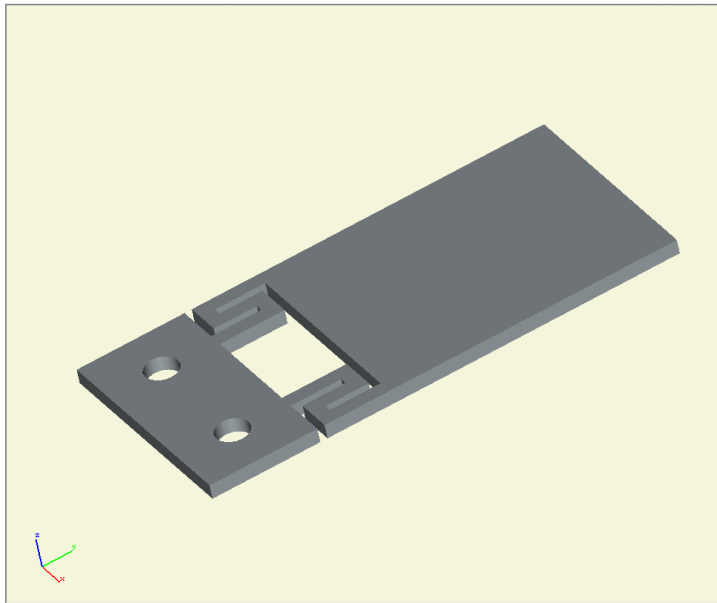
# レポート課題（個人単位）

1. ゲイン1から外れた分の平均値
2. 設計形状：CAD図
3. 設計データ：周波数応答関数、振動モード図
4. 設計方針：どのような作戦でゲインを1に近づけようと考えたか概略を述べよ
5. 課題3・4の結果分析：平板・ $\alpha$ 型・ $\beta$ 型の周波数応答関数を比較し考察せよ
6. 改良設計：更にゲインを1に近づけるにはどのような改良設計が考えられるか
7. 応力評価：実際には壊れにくい製品として設計する必要がある。ここでは、外部負荷（引張、曲げ）を想定した静的構造解析を行い、今回設計した構造の強度を評価せよ。(次スライド参照)
8. 以上の項目に加えて、SolidWorksファイル（前スライド参照）を提出すること

**レポート提出期限 10/18 (金) ITC-LMS**

# 外部負荷による応力評価

以下のような2種類の外力を想定して静的構造解析を行い、各自が設計した構造内部のMises相当応力分布を調べよ。そして、最大応力の発生部位を特定し、最大応力が降伏応力を超過しない許容される外力の最大値を求めよ。

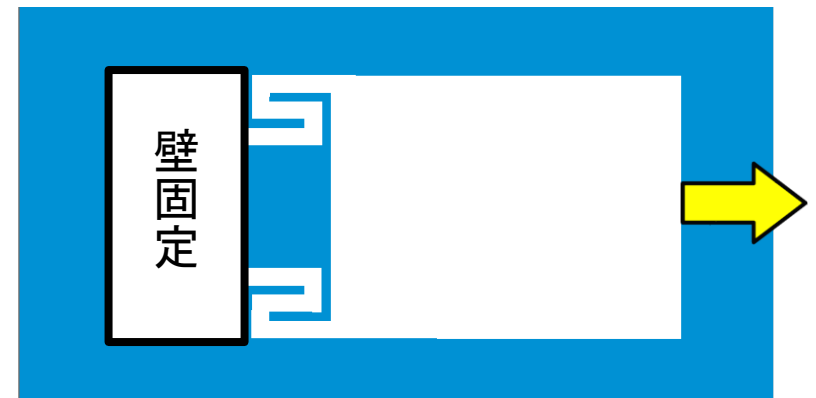


例えばこんな構造の場合

※荷重は右端上側のエッジ部に与える。



(i) 曲げ変形



(ii) 引張変形