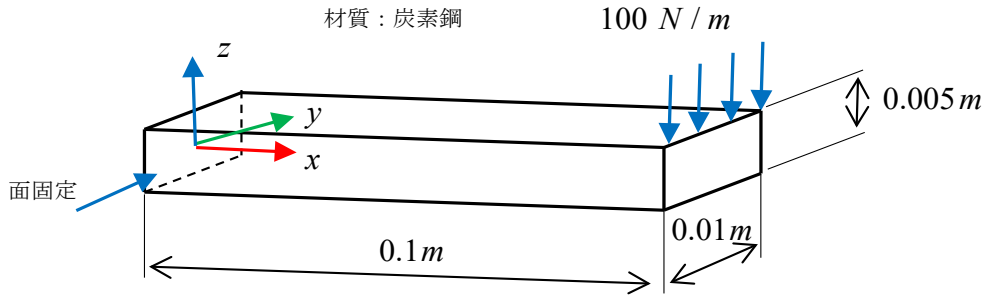


# CAE by ANSYS Workbench 17.2

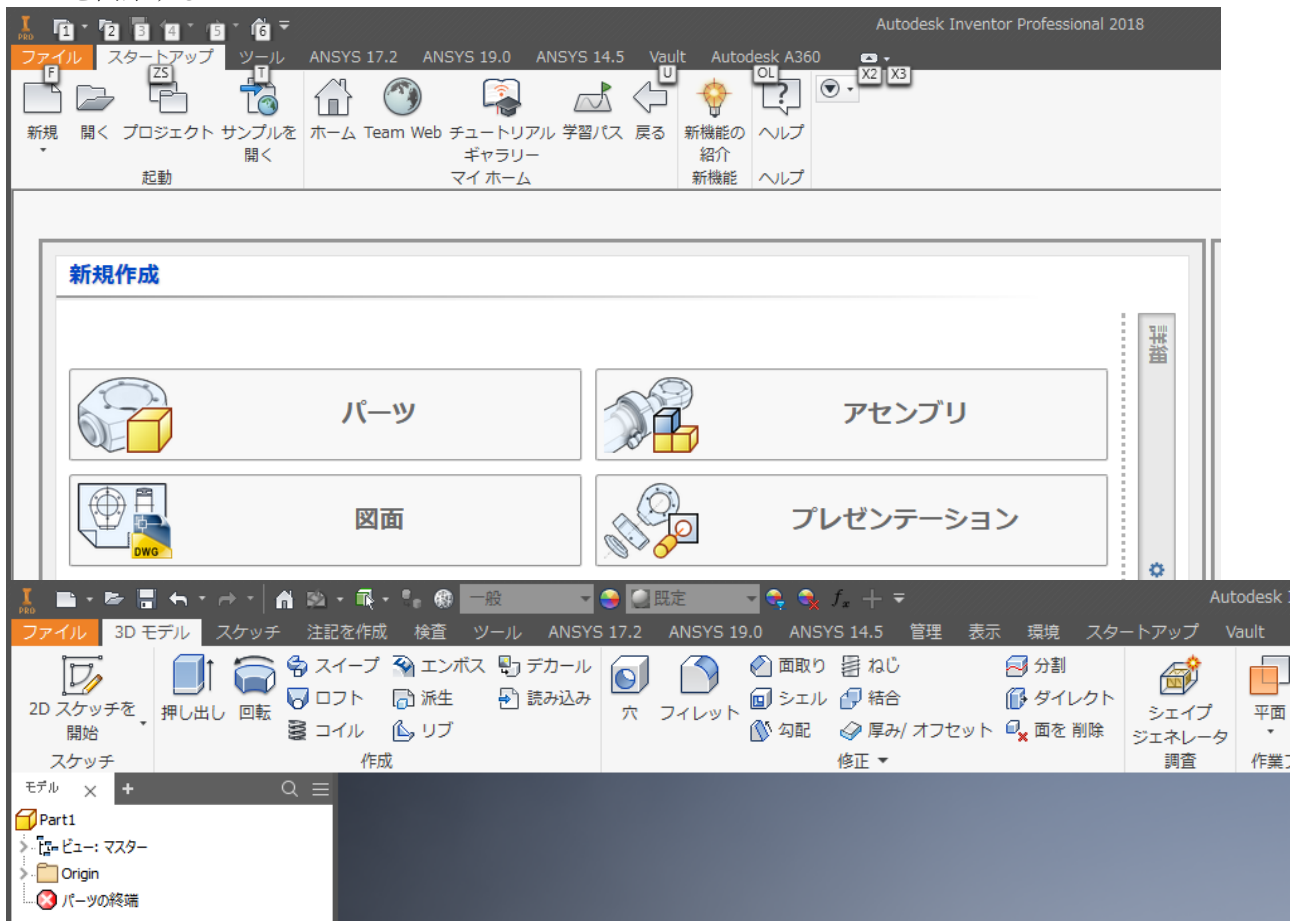
## 1 構造解析 (Structural analysis) : 梁の静力学解析の例



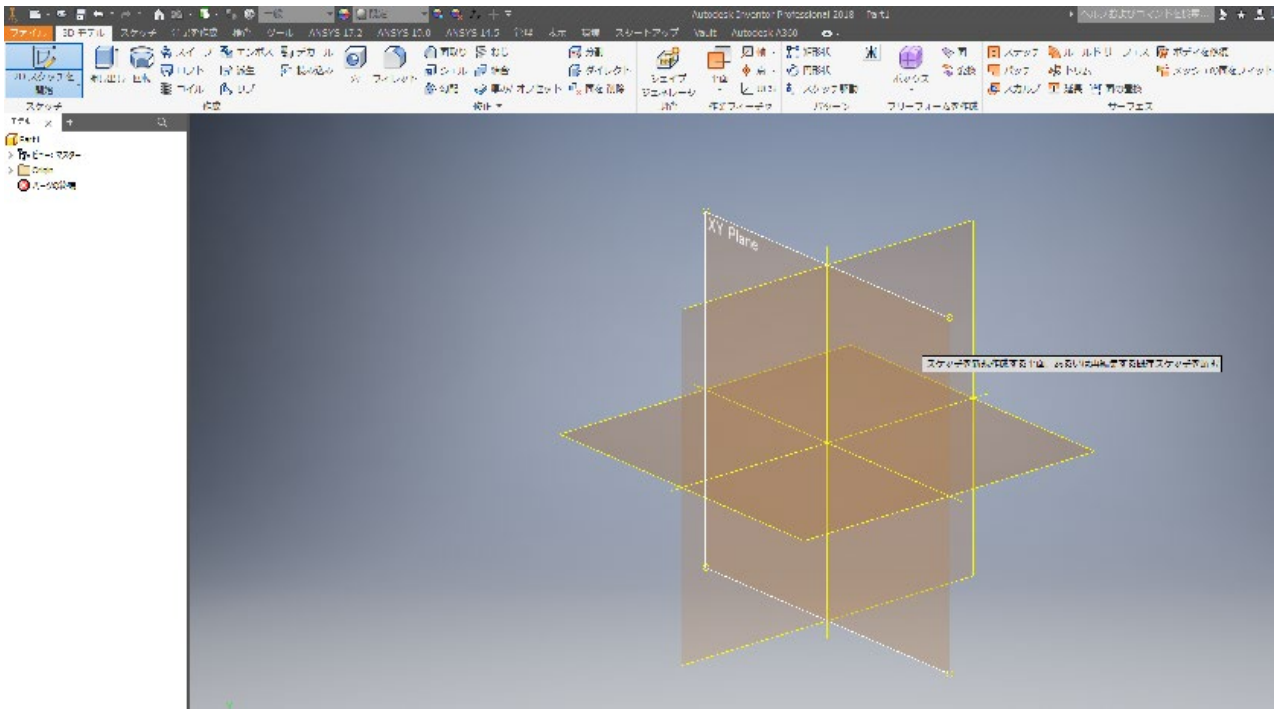
上記の梁の曲げ問題を取り扱う。CAD ソフト (Preprocessor) でモデルを作図し、ANSYS Workbench を呼び出して CAD データを流し込み、構造解析 Window (Solver) で境界条件を設定したあと計算し、計算結果メニュー (Postprocessor) で可視化する。

### 1.1 CAD モデル生成

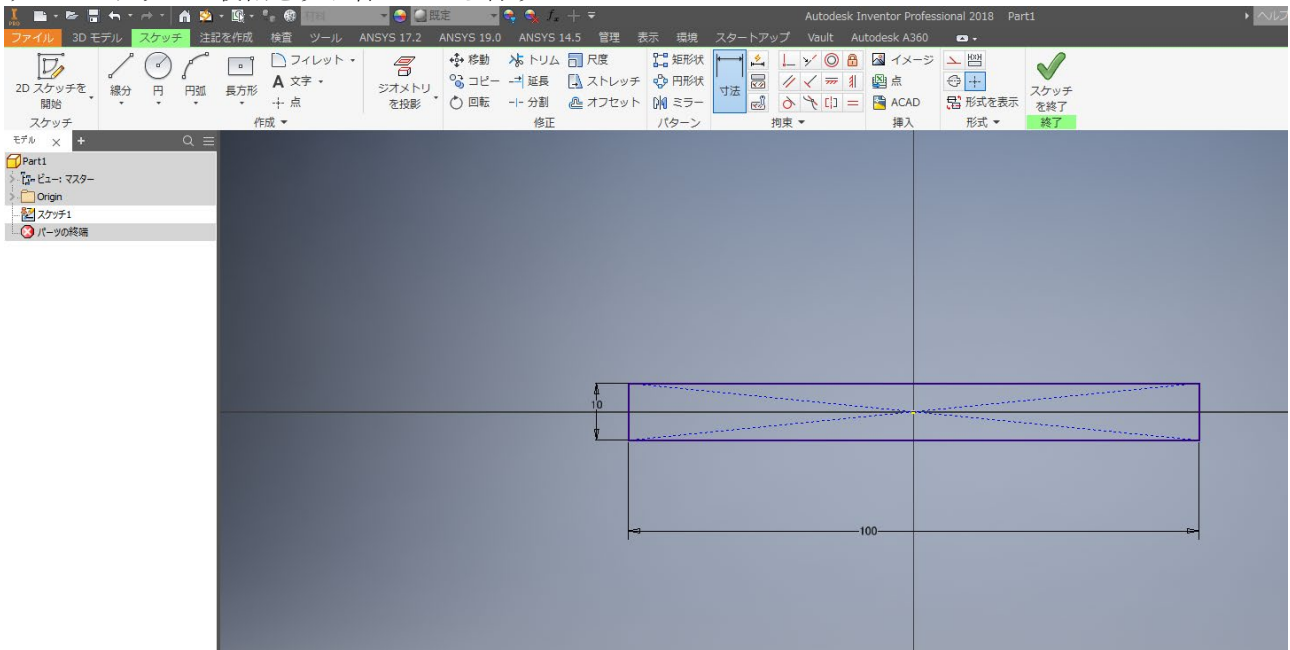
Auto Desk Inventor Professional 2018 を立ち上げ、「スタートアップ」から「新規作成」の「パーツ」を選択し、CAD を開始する。



メニューバーから「2D スケッチを開始」を選択し、画面内の「XY Plane」をクリックする。

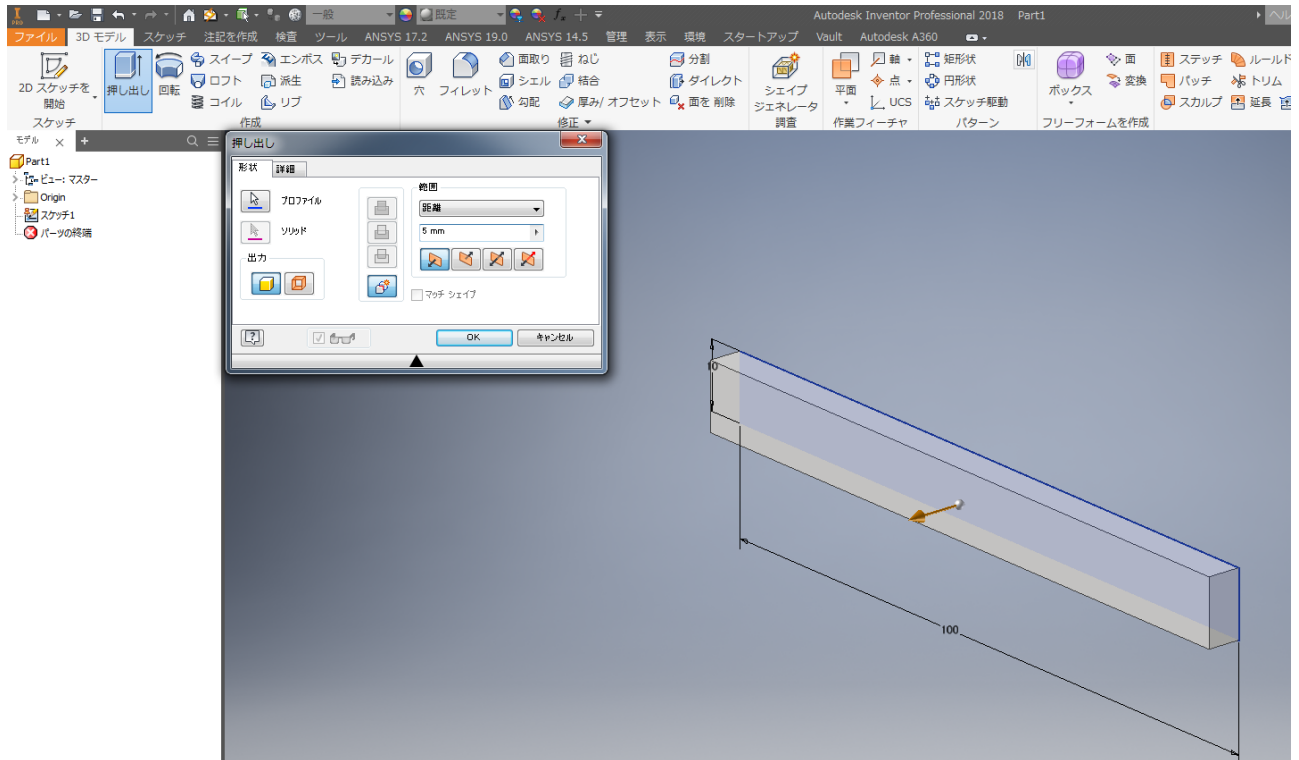


メニューバーから「長方形 (2点中心)」を選択し、画面内でxy平面の原点と頂点をクリックし、「寸法」を選択して長方形の底辺をクリックし、寸法”100”mmを入力、左辺をクリックして寸法”10”mmを入力する（これにより、データタムが物体中心になる。CADで図面を作成するときには、(1)中心線がどこにあるか（参照座標系がどこにあるか）と、(2)作っているものの大きさ、を常に意識する。実際の加工物は、中心線から離れるほど精度は悪くなるので、精度を補償したい部分が基準線になっているはずである。2D図面にするとき中心線を決める製図は、ものづくりをまったく理解できていない設計製図。また、スケール効果により支配的な力学が変わるのでmサイズで設計しているのか、mmサイズで製図しているのかは極めて重要である。ゾウロボットを製図していても、アリロボットを製図していても、画面上のサイズは同じ。同じ足の太さで設計すると失敗する。自重によるたわみ角は長さ按比例するので、大きいものを作るときにはたわまないように長さの0.5乗で太くしなければならない。同じロボットを4倍大きくしたいのなら、脚は2倍太くする）。その後、「スケッチを終了」する。このとき、モデルの大きさは、マウスの真ん中ローラで変更できる。モデルの移動は、画面右の「画面移動 (手の絵)」を選択し、モデルの回転は、「自由オービット (回転の絵)」マウスのクリックの役割を切り替えてから行う。



メニューバーの「押し出し」を選択し、「範囲」の「距離」に”5”mmを入力し、「OK」をクリックして3D化

する。2D モデルが一つしかないため、自動的に作図した長方形が選択されている。

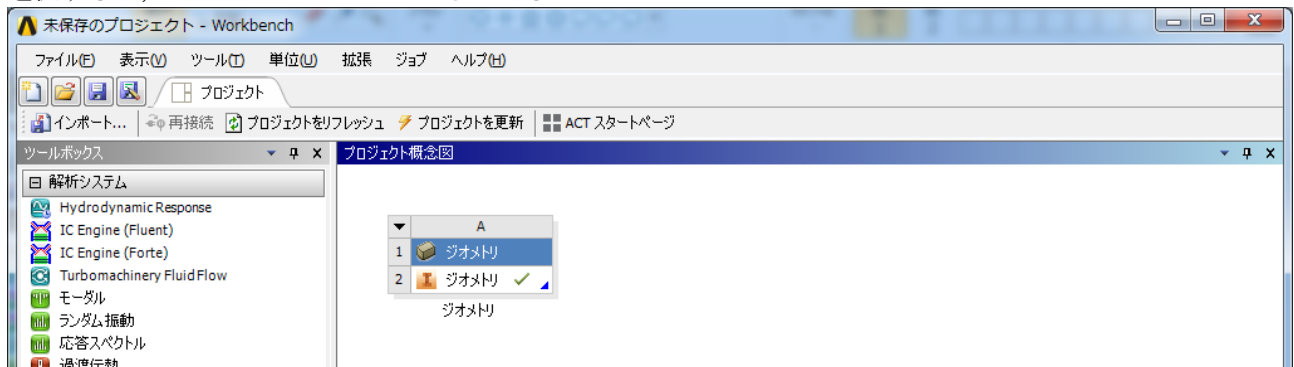


ツールバーの「ファイル」の「保存」より、”cantilever.ipt”として save しておく。

## 1.2 ANSYS による構造解析

### (a) CAD データの読み込みと構造解析の選択

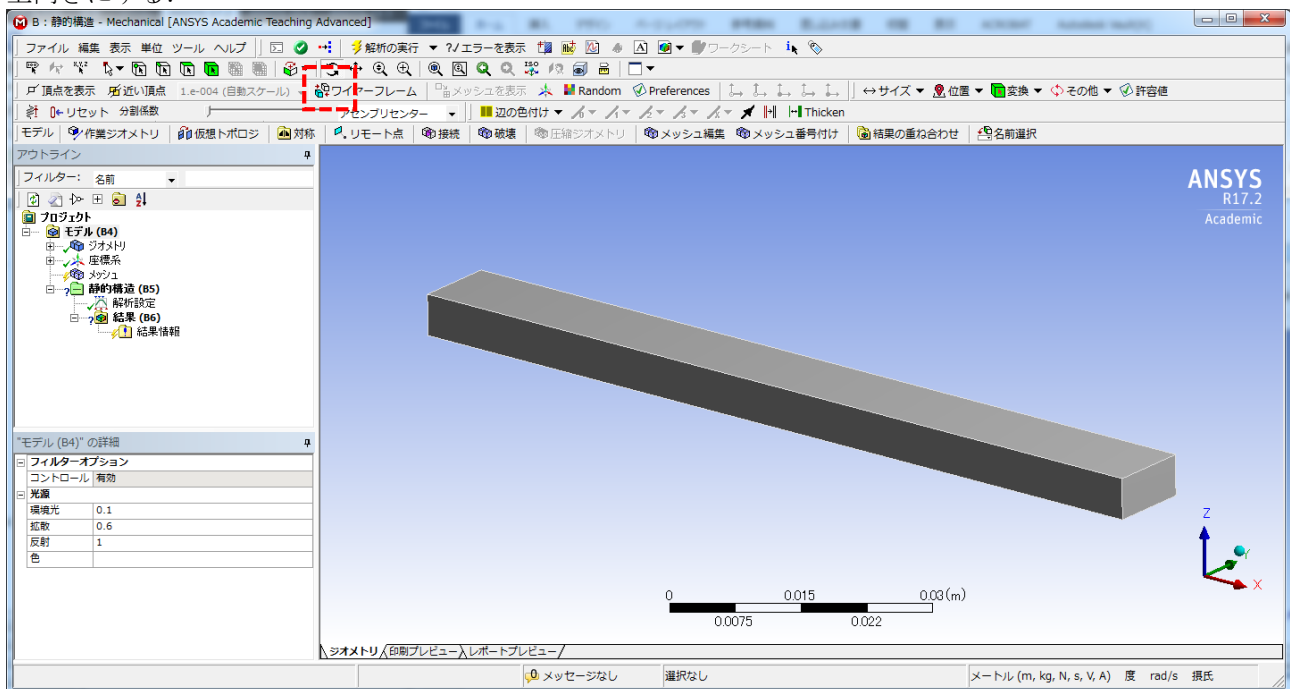
Inventor の上部タグ（ツールバー）から「ANSYS17.2」を選択し、現れたメニューバーから「Workbench」を選択すると、ANSYS Workbench が立ち上がる。



ここで、「ジオメトリV」となっている場合は、この時点で CAD モデルは読み込まれている（「ジオメトリ？」となっている場合には、一度 CAD でモデルをセーブし、データを更新しておくことで読み込まれる）。構造解析を行うために、左のツールボックスの「静的構造」をドラッグし、右の画面の「ジオメトリV」にドロップすると、静的構造 Window がオープンする。「A」 window のジオメトリから、「B」 Window のジオメトリへラインが結合され、データが出力されていることを示している。



次に「モデル」をダブルクリックすると、新たな静的構造 Mechanical アプリが立ち上がり、CAD モデルが表示される。メニューバーの「回転」ボタンをクリックし、画面をドラックしながらモデルを回転させ、z 軸を上向きにする。

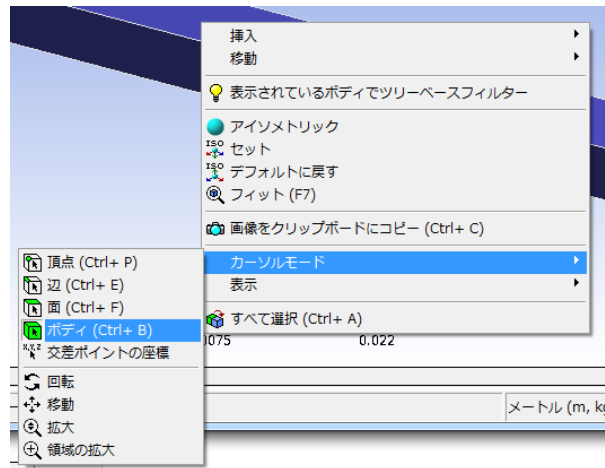


### (b) 物性値の設定

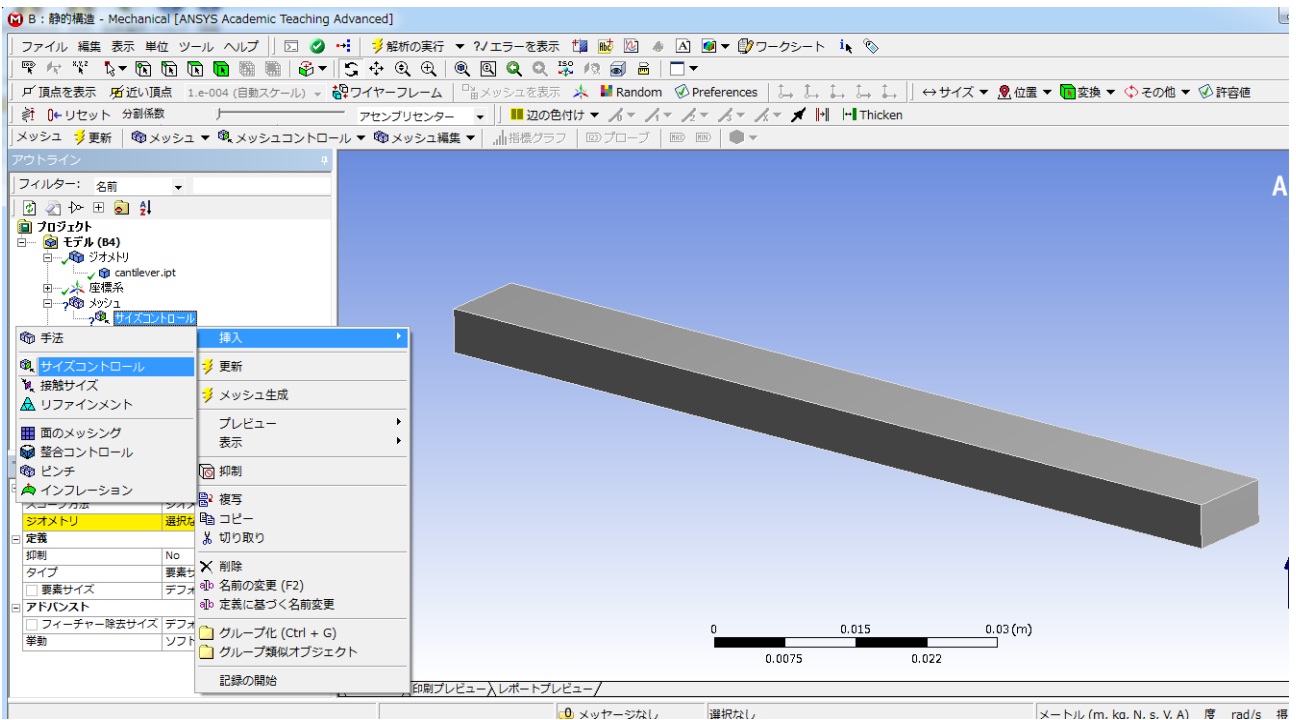
アウトラインのジオメトリを展開し、「cantilever.ipr」をクリックすると、左下に材料が表示され、「構造用鋼」が選択されていることが分かる。プロジェクトの「エンジニアリングデータ」により様々な材料を設定できる。

### (c) メッシュング

アウトラインの「メッシュ」を右クリックし、「挿入」を選択し、「サイズコントロール」をクリックすると、メッシュのサイズを設定できる。画面のモデルのボディを選択し、左下のジオメトリで「適用」する。要素サイズに「0.001」mを入力し、「メッシュ」を右クリックして「メッシュ生成」する。カーソルのモードは、「ボディ」にしておく。

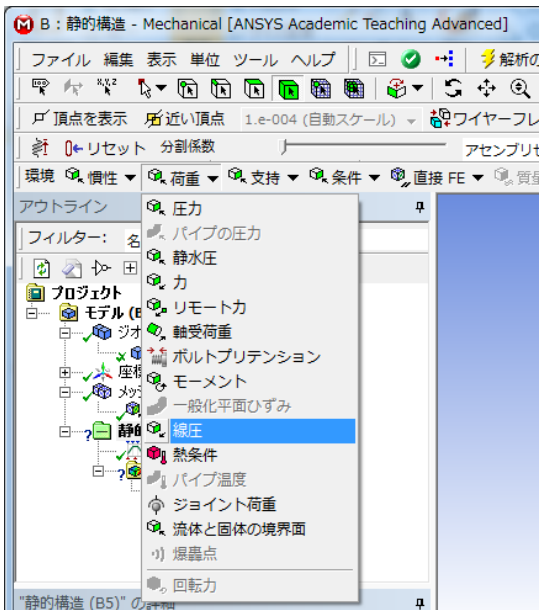


カーソルモードの変更方法

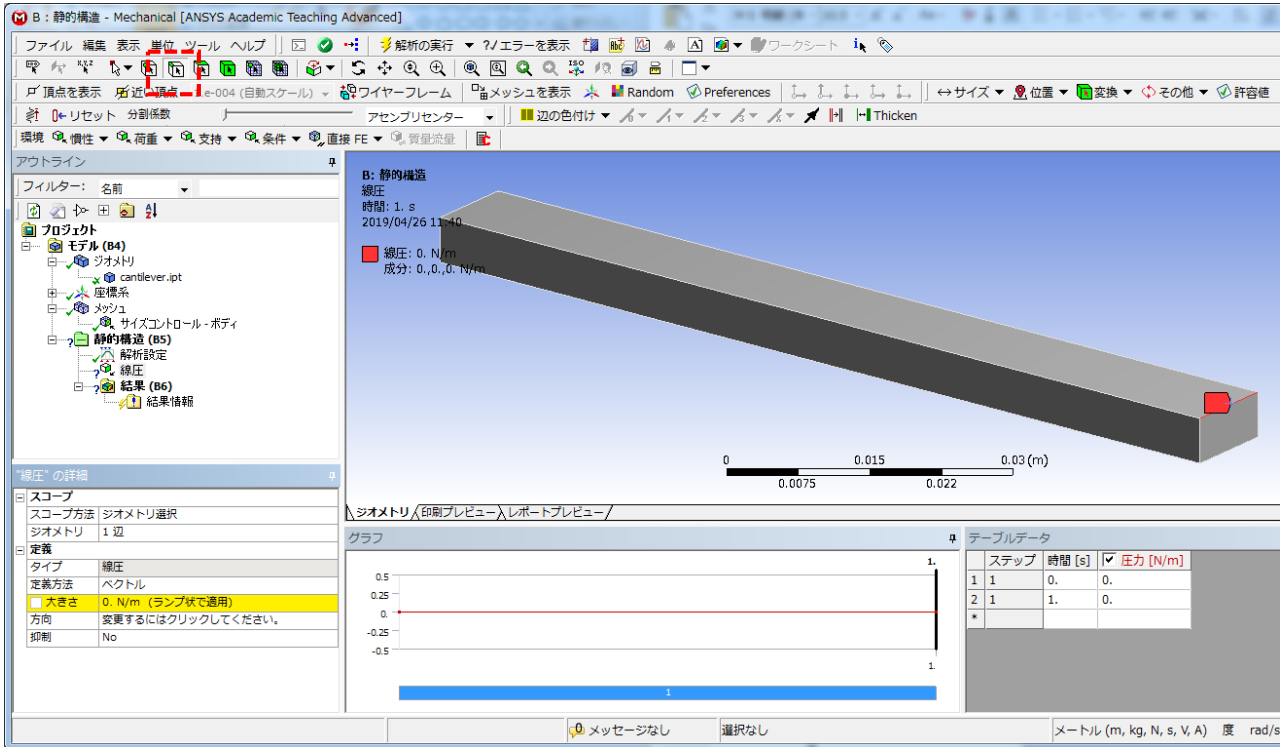


#### (d) 荷重条件の付加

左のアウトラインの「静的荷重 (B5)」をクリックし、上部メニューバー「荷重」を選択し、プルダウンメニューから「線圧」を選ぶ。



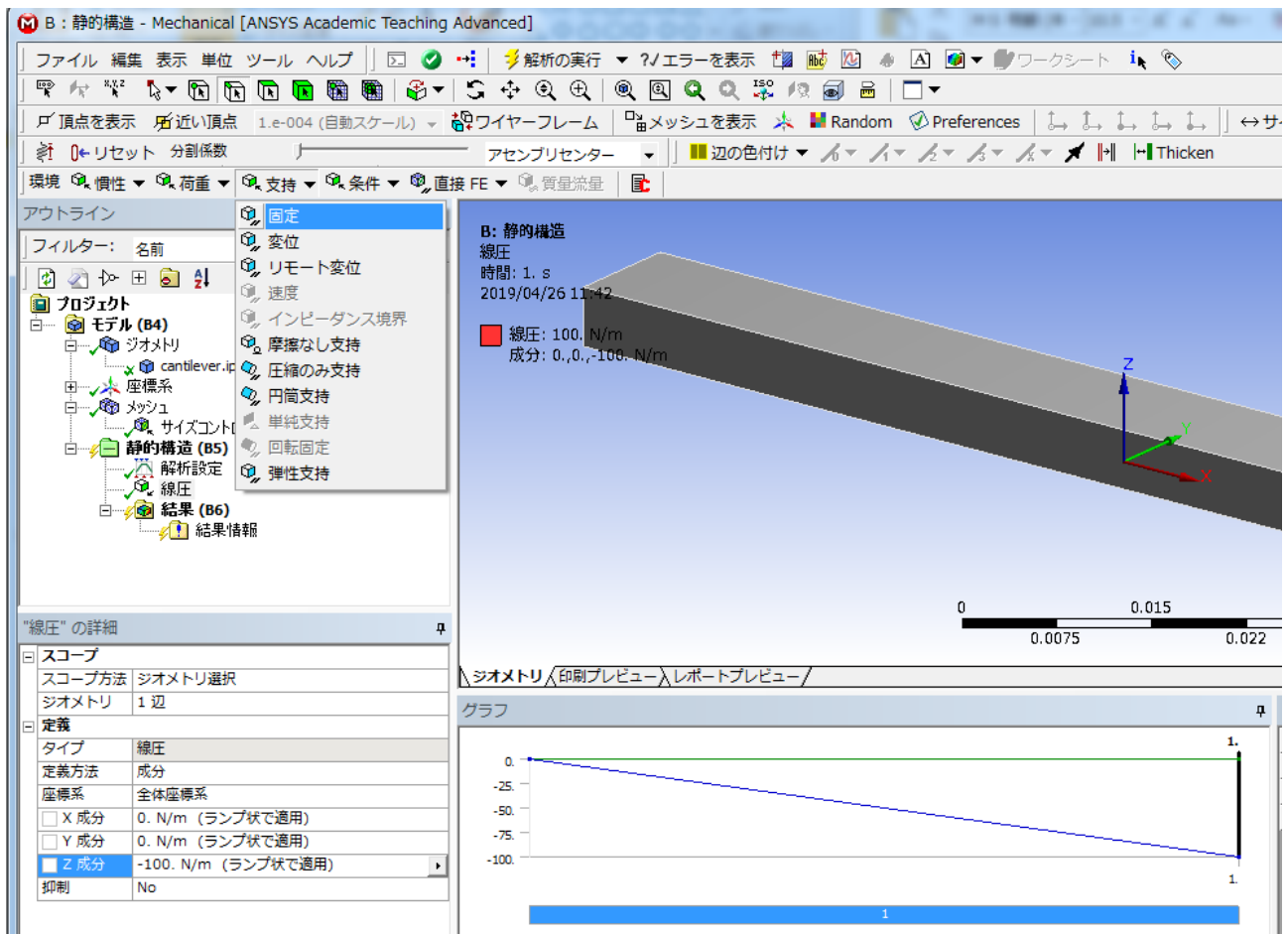
メニューバーの「辺」を選択し、画面中のモデルの右端の辺をクリックし、左下の「適用」をクリックする。



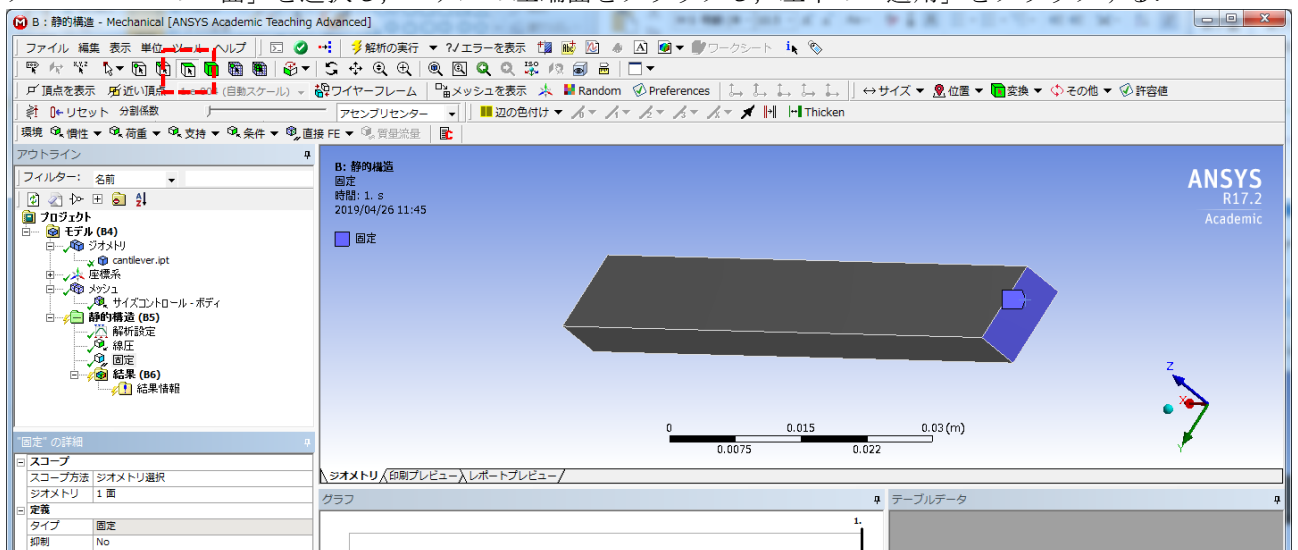
左下の定義方法をプルダウンして「成分」を選択し、z成分に"-100" N/mを入力する。

### (e) 支持条件の付加

メニューバーの「支持」をプルダウンして「固定」を選択する。

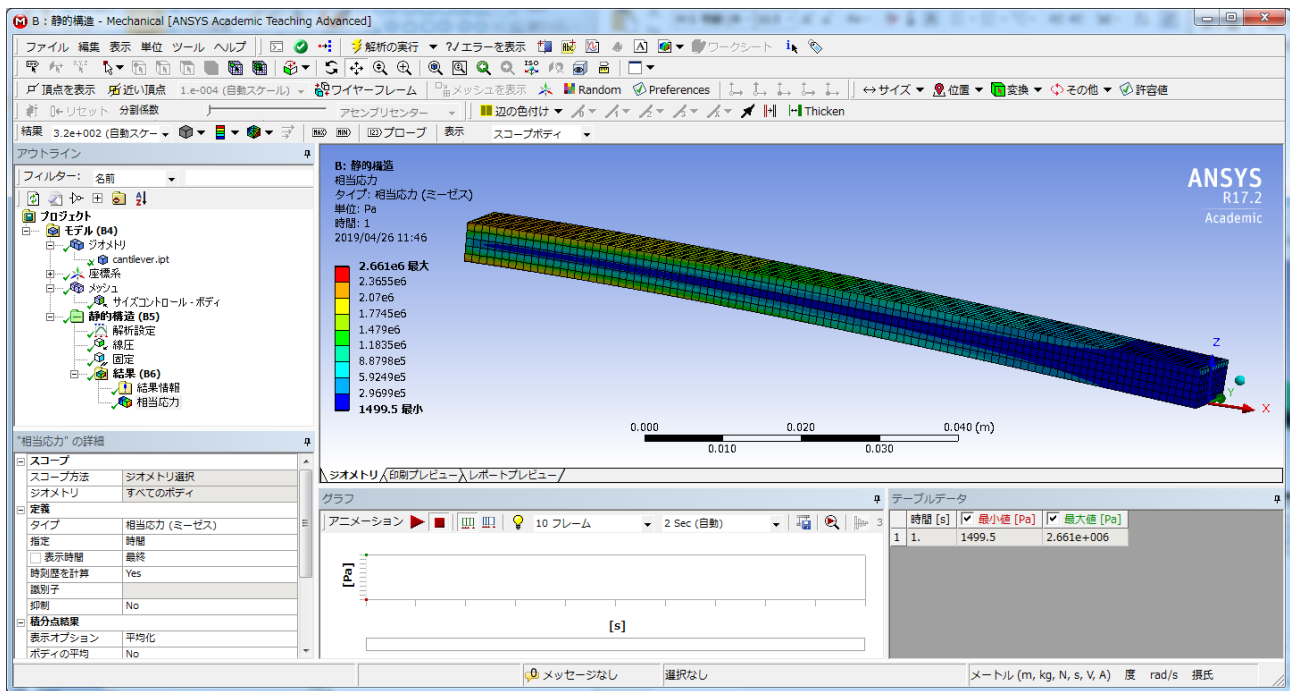


メニューバーの「回転」でモデル裏側の面が見えるようにし、左のアウトラインの「固定」を選択しなおし、メニューバーの「面」を選択し、モデルの左端面をクリックし、左下の「適用」をクリックする。

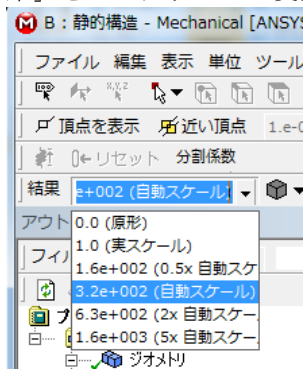


#### (f) 解析結果の表示

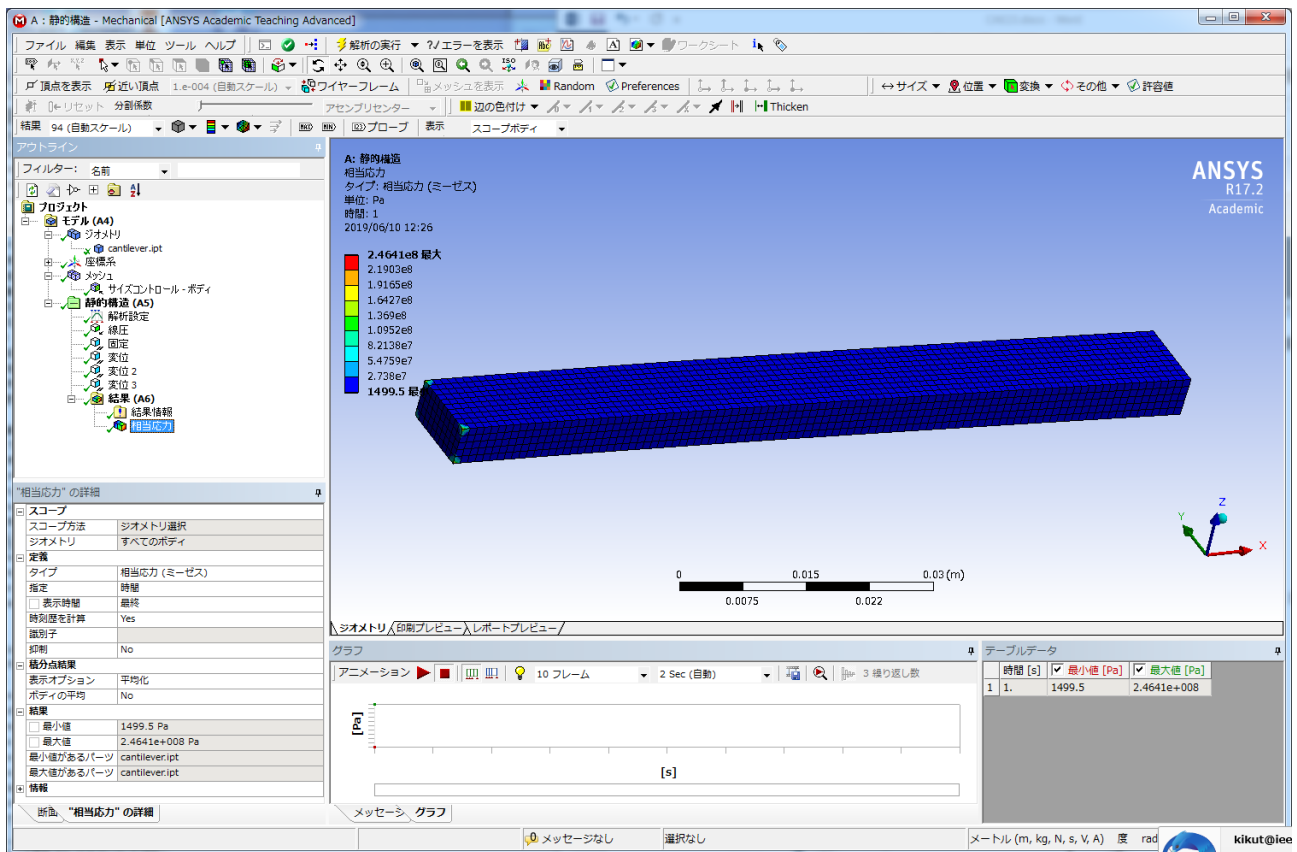
左のアウトラインの「結果 (B6)」を選択し、メニューバーの「応力」をプルダウンし、「相当 (ミーゼス)」を選択し、メニューバーの「解析の実行」をクリックする。ベクトル量である主応力とスカラー量である相当 (ミーゼス) 応力は、勉強しておく。



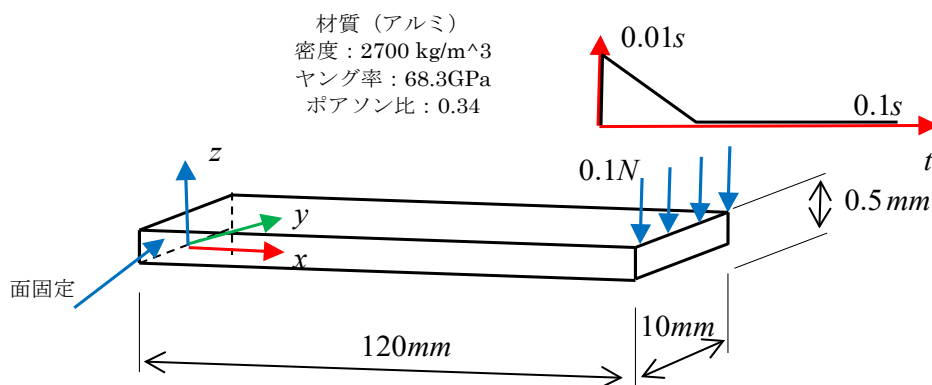
応力が色で示され、変位はデフォルメされて示されている他、歪量なども表示可能である。変位比率は、「結果」をプルダウンして変更できる。



なお、左上のレジェンド（凡例）に最大力が  $2.661 \times 10^6$  (=  $2.661 \times 10^6$  Pa) と示されているが、拘束条件によって大きく変わるので、何を解析したいのかを理解することが重要である。なお、固定面を、4隅の点 (x,y,z 固定, x,z 固定, x, y 固定, x 固定) に変更すると、以下のように応力は  $2.4641 \times 10^8$  となり、100 倍になる。どのような拘束になっているのかを考慮することが重要である。

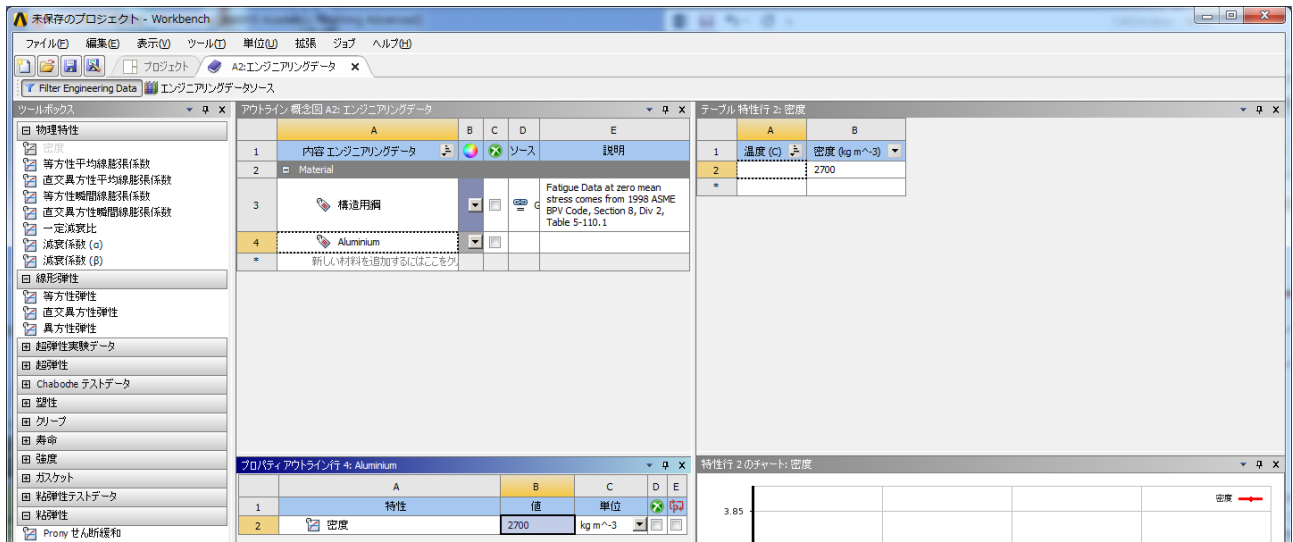


## 2 時刻歴応答解析 (Transient Structural Analysis) : 片持ち梁の例

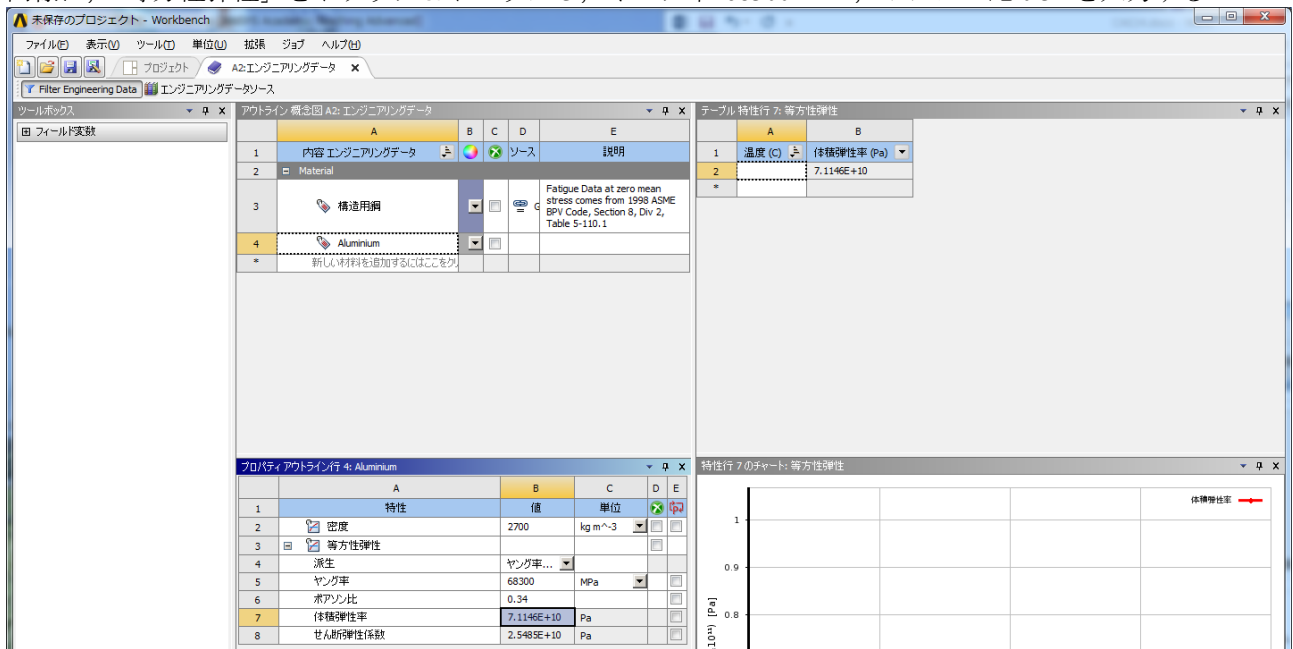


ここでは、アルミ定規の振動を計算する。

Workbench を立ち上げ、ツールボックスから「時刻歴応答構造」をドラックし、プロジェクト概念図にドロップする。「エンジニアリングデータ」をダブルクリックし、内容エンジニアリングデータの 4 項目目に「Aluminium」を登録し、ツールボックスの「密度」を Aluminium にドラック&ドロップし、「 $2700 \text{ kg/m}^3$ 」を入力する。



同様に、「等方性弾性」をドラック&ドロップし、ヤング率”68300”MPa, ポアソン比 0.34 を入力する。



縦弾性係数（ヤング率：Young's modulus,  $E$ ）：ひずみと応力の比例定数。

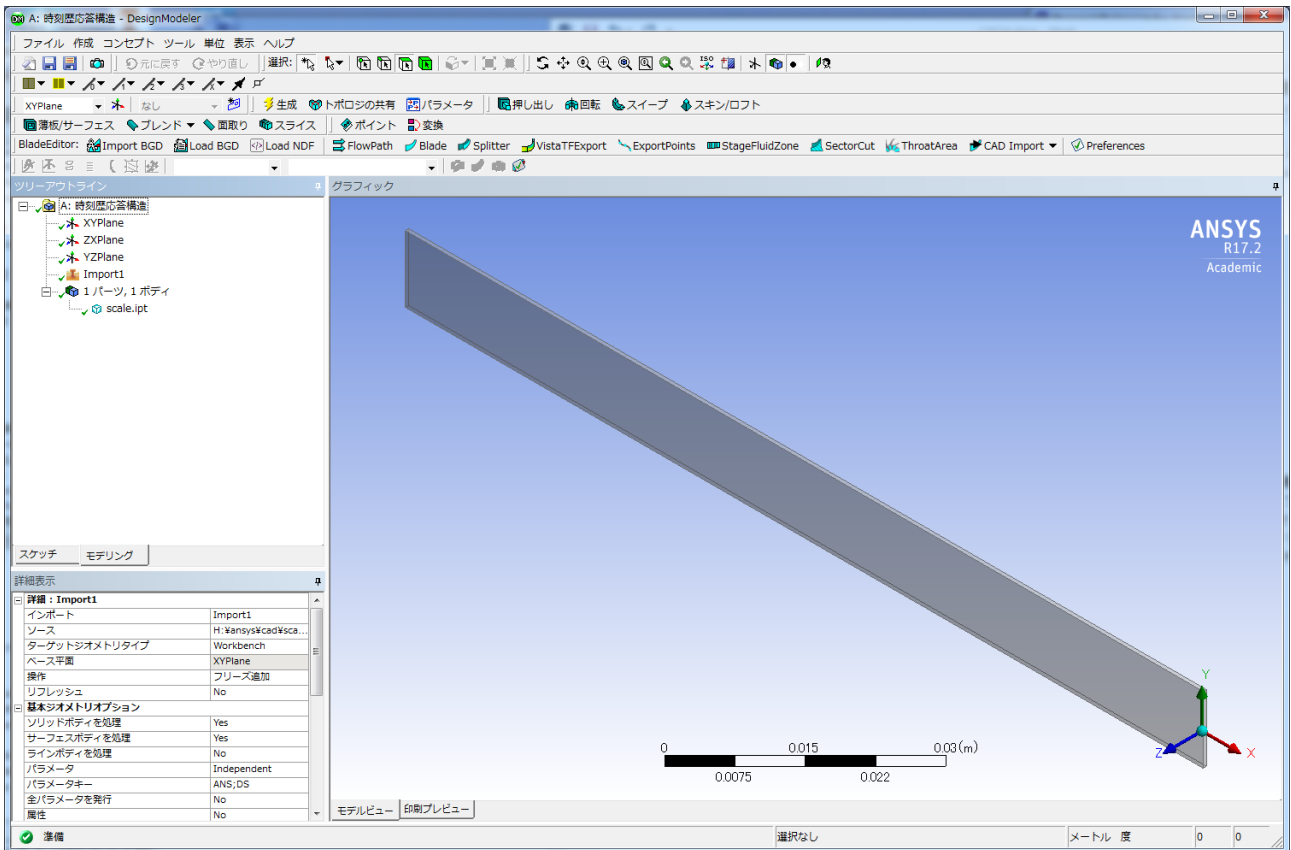
$$\sigma = E \varepsilon$$

$\sigma$  : 応力[Pa],  $\varepsilon$  : 歪[比率]

ポアソン比 (Poisson's ratio,  $\nu$ ) : 応力を与えたときのその方向の歪と, その法線方向の歪の比。

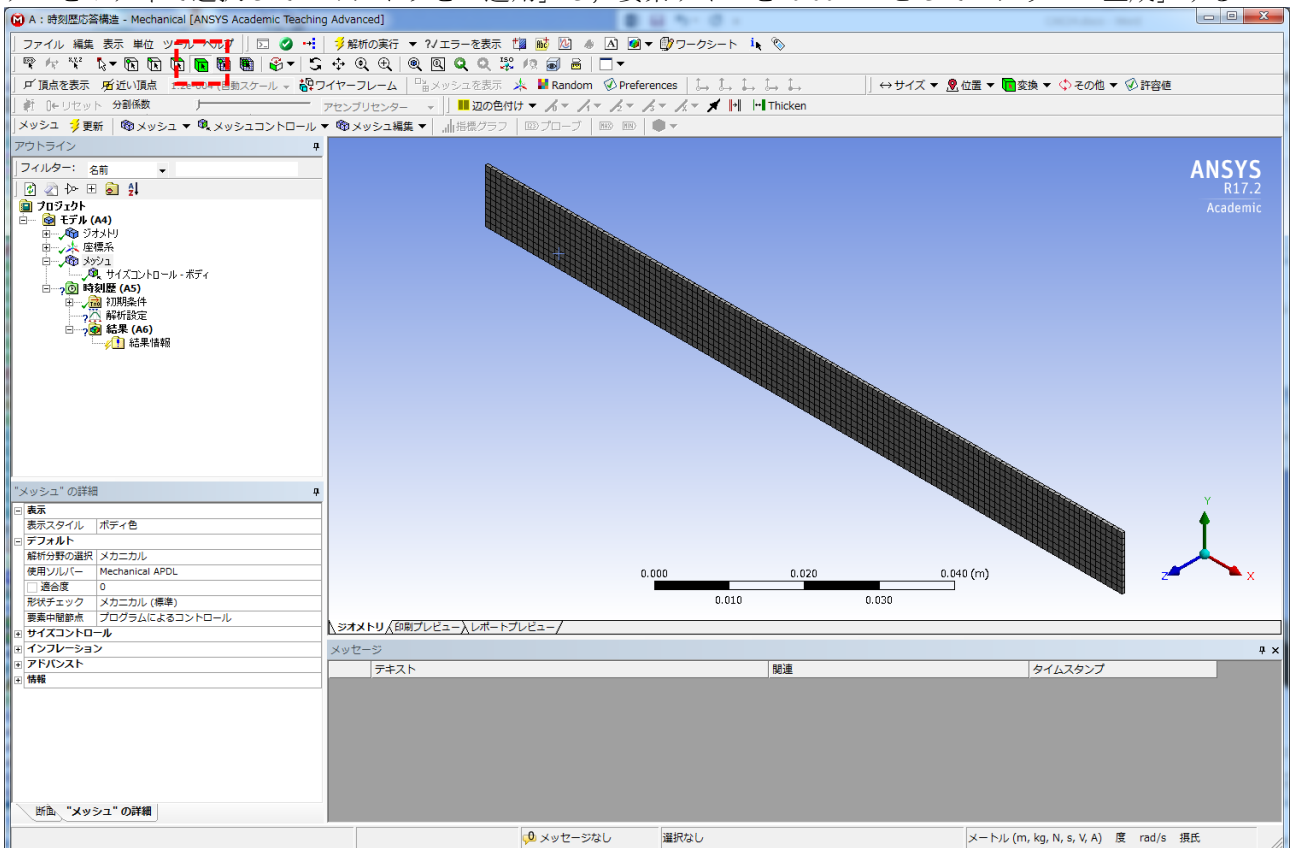
$$\nu = \frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_y}$$

次に、プロジェクトに戻り、「ジオメトリ」を右クリックし、「ジオメトリのインポート」を選択し、CAD モデルファイルを読み込み ("scale.ipt"), 「モデル」を右ダブルクリックし、Designmodeler アプリを起動し、計算モデルを「生成」する。



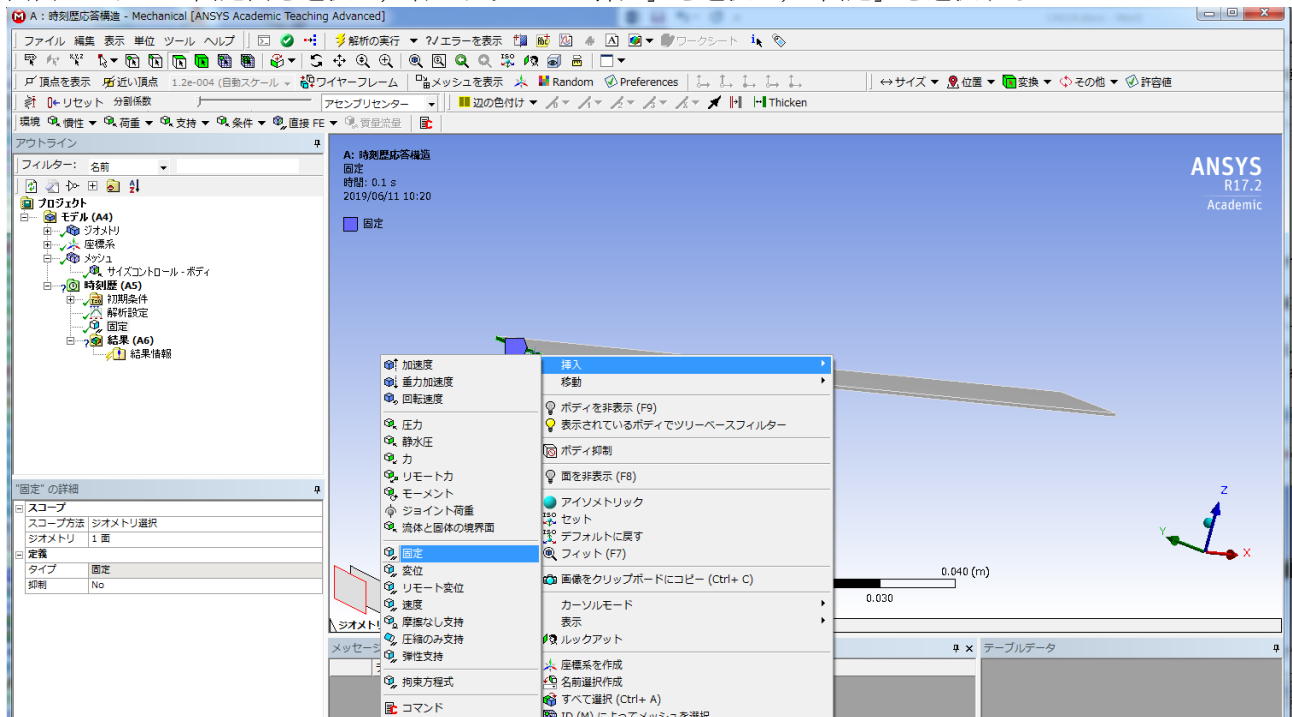
プロジェクトに戻り、モデルをダブルクリックし、Mechanical アプリを起動する。アウトラインのジオメトリを展開してモデル名 (scale.ip) をクリックし、”scale.ip”の詳細え材料の割り当てで登録した「Aluminium」を選択する。

次に、アウトラインの「メッシュ」をクリックして「挿入」で「サイズコントロール」を選択する。画面のモデルをボディで選択してジオメトリを「適用」し、要素サイズを”0.001”mとして「メッシュ生成」する。



アウトラインの「解析設定」を選択し、左下の画面のステップコントロールのステップの終了時間を”0.1”sに、自動時間ステップを”OFF”にし、時間ステップを”0.001”sに設定する。

画面のモデルの固定面を選択し、右クリックで「挿入」を選択し、「固定」を選択する。



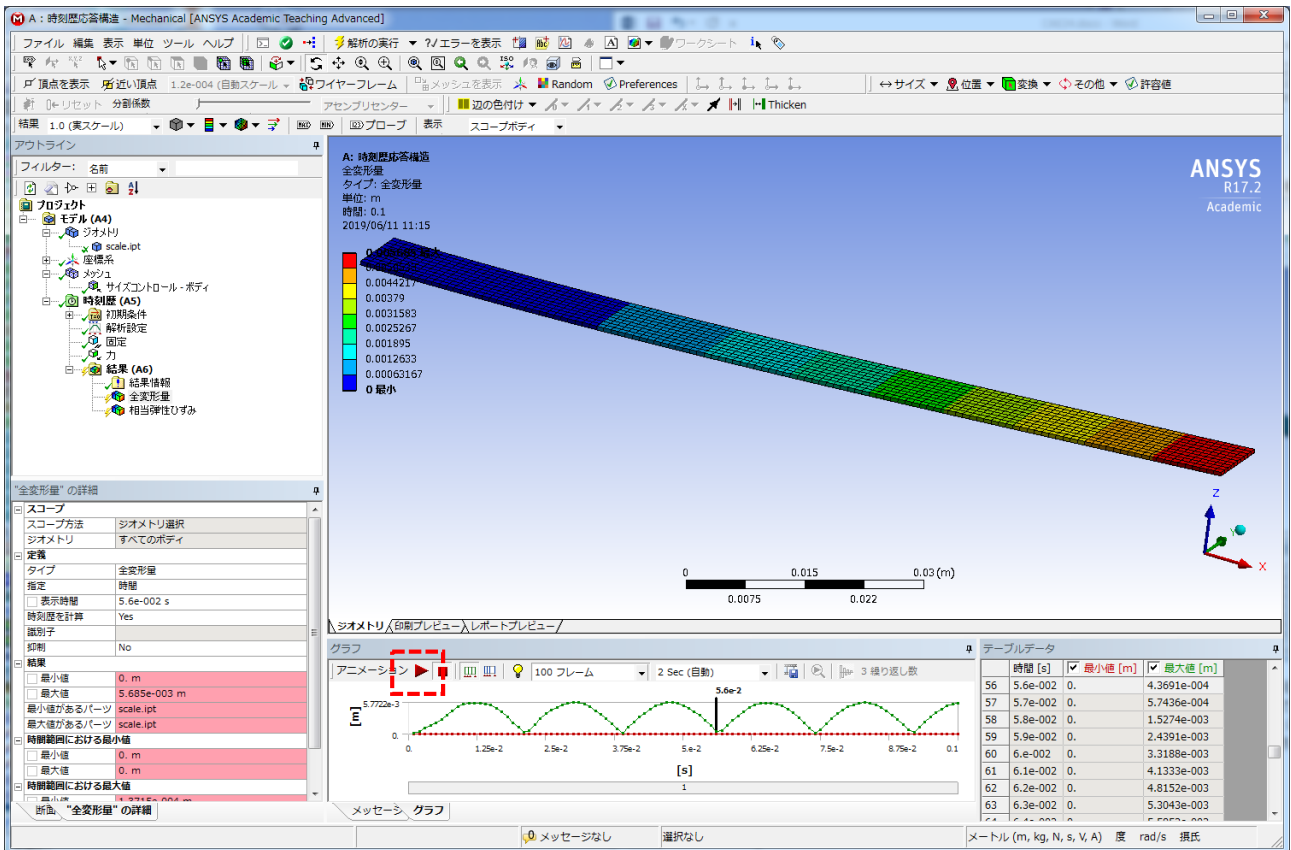
同様に、モデルの右端面を選択し、右クリックで「挿入」を選択し、「力」を選択する。「力」の詳細画面の定義方法を”成分”にし、z 成分で”テーブル形式 (時間)”を選択し (時系列データを設定するため)、画面右下のテーブルデータの 1 行目の z[N/m]に”-0.1”[N/m]を入力する。

また、力を時間の関数として入力することも可能で、この場合は、「テーブル形式 (時間)」ではなく、「関数」を選択し、例えば、”=100\*sin(360\*10\*time)”のように入力する。振幅 100N で、10Hz. time が時間変数で、sin の引数の単位は rad ではなく、deg.

次に、アウトラインの結果をクリックし、ツールの「変形」から「トータル」をクリックして結果に登録する。その後、「解析を実行」する。

#### 可視化：

ツールの結果で「1.0(実スケール)」を選択し、右下のアニメーションを実行すると動画が表示される。



右のフレームを 100 フレームにすると、フレーム数が、時間を 2Sec (自動) にすると表示法を変更できる。なおグラフをみると、一周期  $3.5 \times 10^{-2}$  ( $= 5.6 \times 10^{-2} - 2.1 \times 10^{-2}$ ) 秒となっているので、周波数は約 28.6Hz である。サンプリングタイムを 0.001 秒に設定したので、一周期 28.6 回計算していたことになる。精度的にはずいぶん粗い。目安としては、100 回/周期は計算したい。また、片持ち梁の固有振動数は、以下の式で計算できる。

$$f_n = \frac{\omega_n}{2\pi} = \frac{\lambda_n^2}{2\pi} \sqrt{\frac{EI}{\rho A l^4}} = \frac{\lambda_n^2 t}{2\pi l^2} \sqrt{\frac{E}{12\rho}}$$

$$\text{where } I = \frac{bt^3}{12}, A = bt$$

$\lambda_n$  : 左端固定, 右端自由による拘束条件のときは, 1 次モードにおいて,  $\pi/2$

$l$  : 梁の長さ

$b$  : 梁の幅

$t$  : 梁の厚さ

$A$  : 面積

$I$  : 断面二次モーメント

$E$  : ヤング率

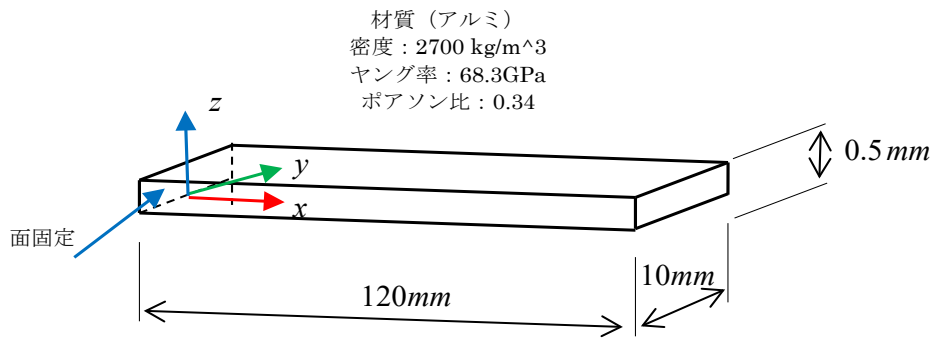
$\rho$  : 密度

$n$  : モード数

これより,  $f_1 = \frac{1.875^2 * 0.0005}{2 * \pi * 0.12^2} \sqrt{\frac{68300}{12 * 2700}} * 10^3 = 28.2...$  となる。ほぼ一致していることが分かる。

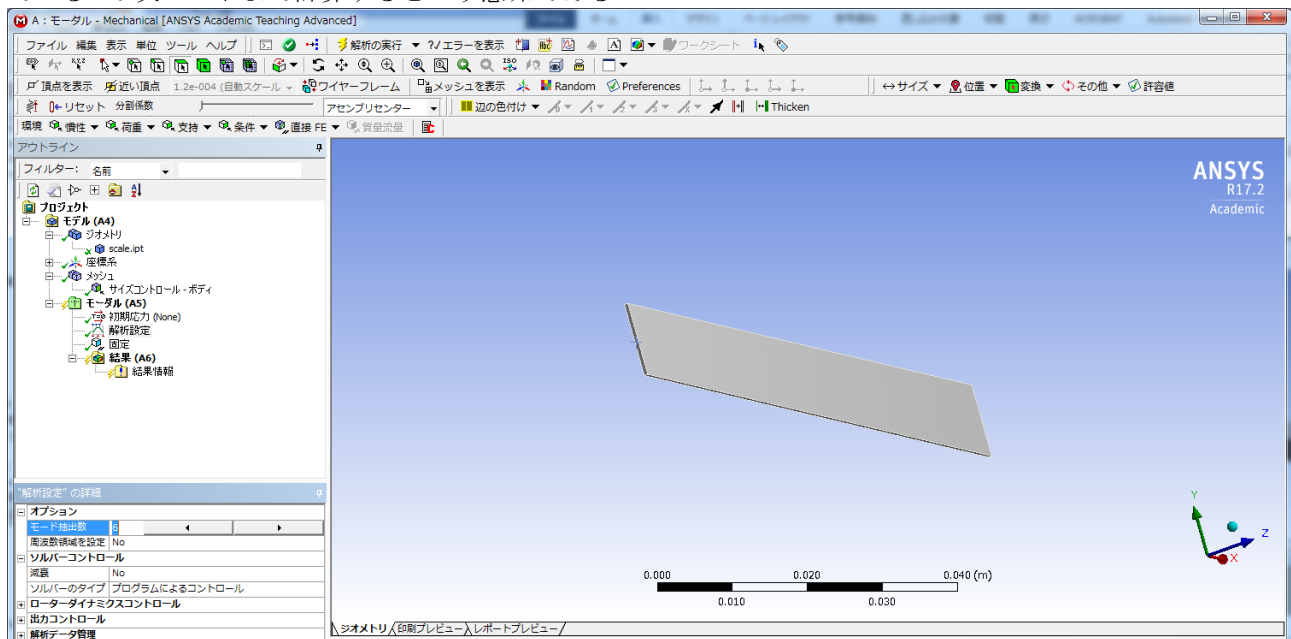
### 3 モード解析 (Mode Analysis) : 片持ち梁の例

#### 3.1 片持ち梁のモード解析の例

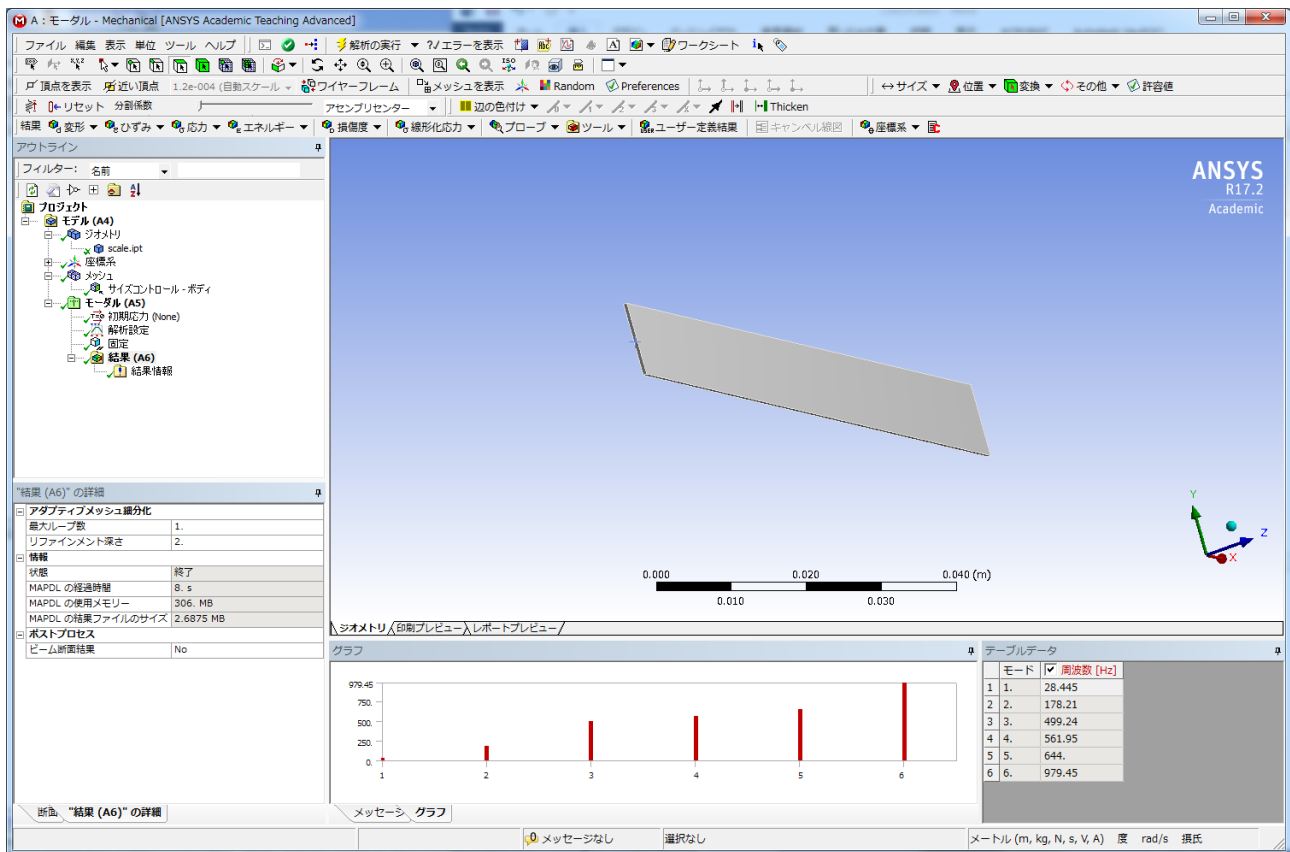


Workbench を立ち上げ、ツールボックスから「モーダル」をドラックし、プロジェクト概念図にドロップする。上記同様エンジニアリングデータに Aluminium を登録する。「ジオメトリ」を右クリックし、「ジオメトリのインポート」を選択、CAD モデルファイル ("scale.ipt") を読み込む。「ジオメトリ」を右クリックし、MesinModeler アプリを立ち上げ、CAD モデルを計算モデルとして「生成」する。プロジェクトに戻り、「モデル」をダブルクリックし、Mechanical アプリを起動する。アウトラインのジオメトリを展開してモデル (scale.ipt) を選択し、"scale.ipt" の材料の割りあてで "Aluminium" を選択する。次に、「メッシュ」をクリックして「挿入」で「サイズコントロール」を選択する。画面のモデルをボディで選択してジオメトリを「適用」し、要素サイズを "0.001" m として「メッシュ生成」する。アウトラインの「モーダル (A5)」をクリックし、画面のモデルの固定面 (梁の根本面) を選択し、右クリックで「挿入」を選択し、「固定」を選択して拘束条件を設定する。

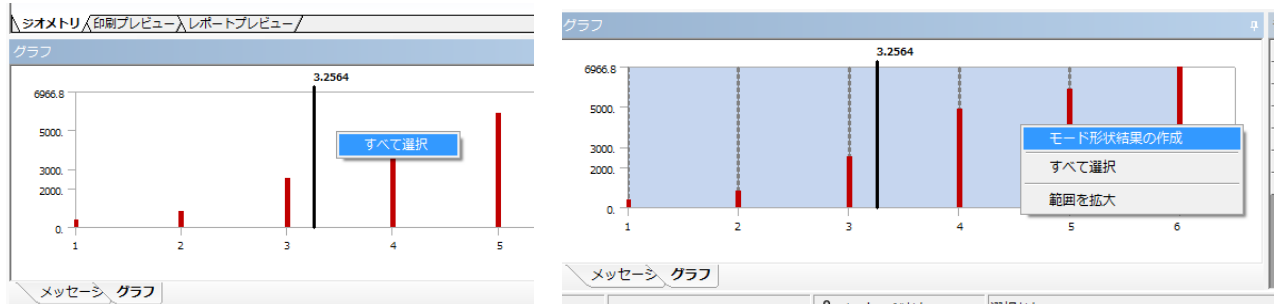
次に、アウトラインの「解析設定」をクリックし、左下のモード抽出数を決定する。デフォルトは 6 になっている。6 次モードまで計算するという意味である。



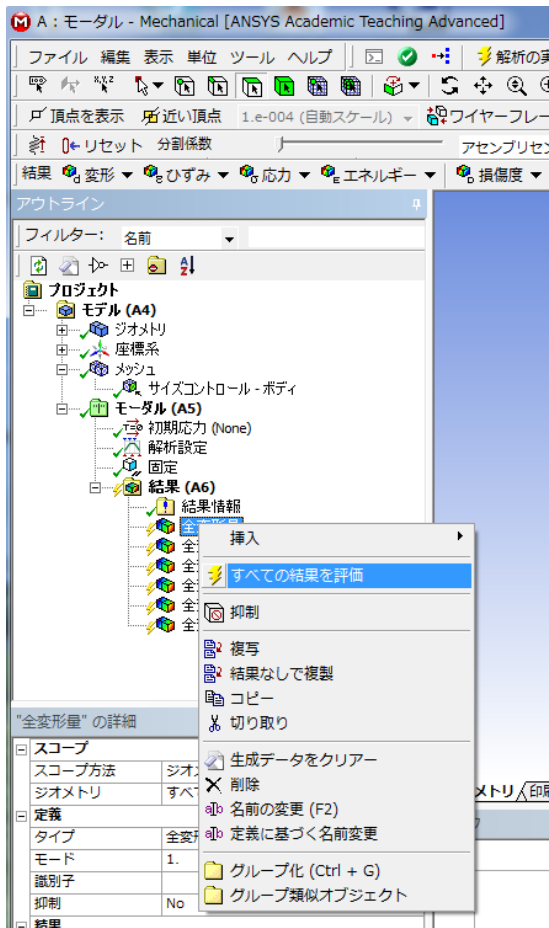
「解析の実行」をクリックし、計算後、アウトラインの「結果 (A6)」 をクリックすると結果が表示され、右下に、1 次モードが 28.445Hz, 2 次モードが 178.21Hz. . . . に存在することが示されている。前述の解析においては、1 次モードを計算していたことが分かる。1Hz 以下の誤差で計算されていることが分かる。



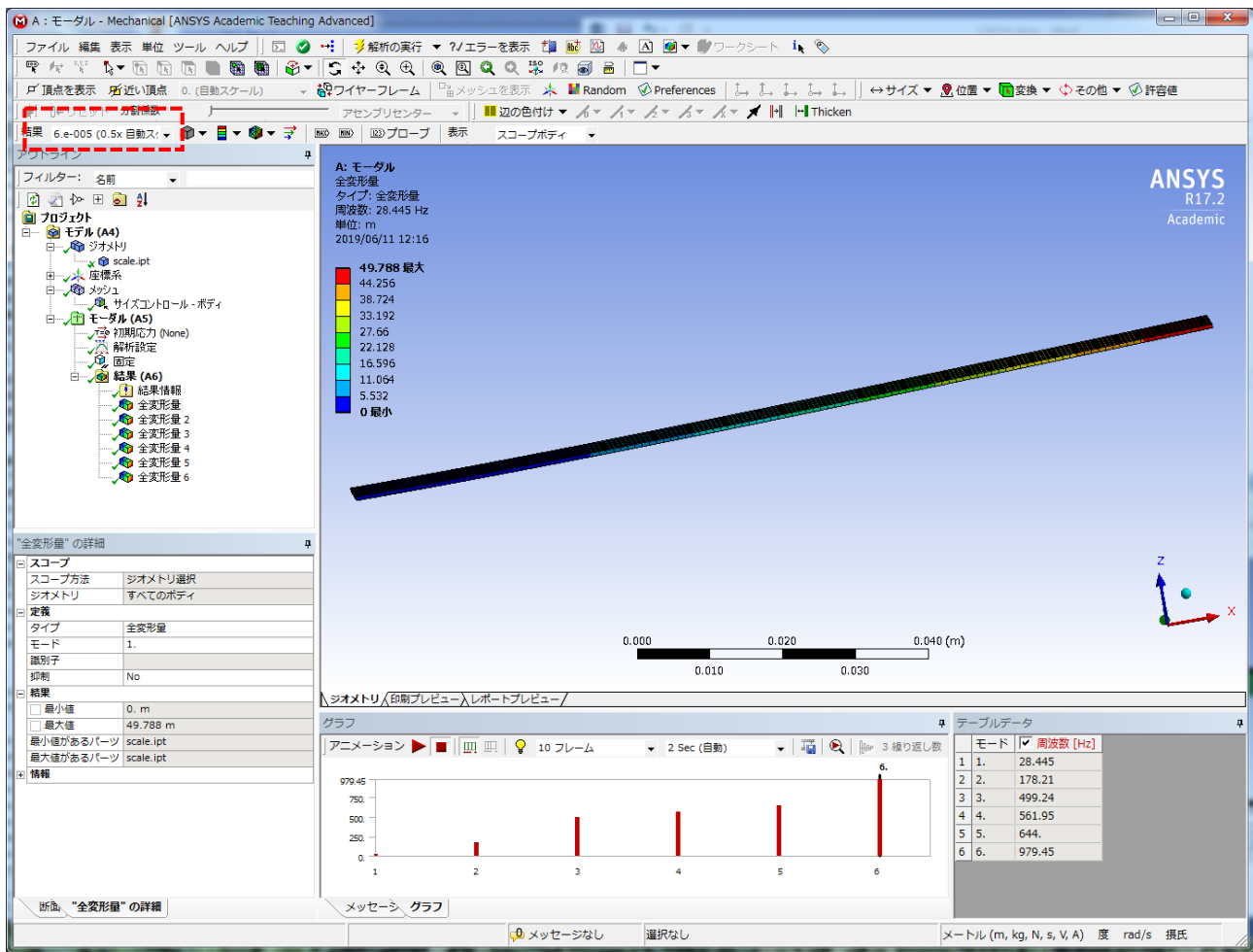
グラフ上において、右クリックし、「すべてを選択」し、同様に右クリックして、「モード形状結果の作成」を実行すると、アウトラインに各モードにおける全変形量が生成される。



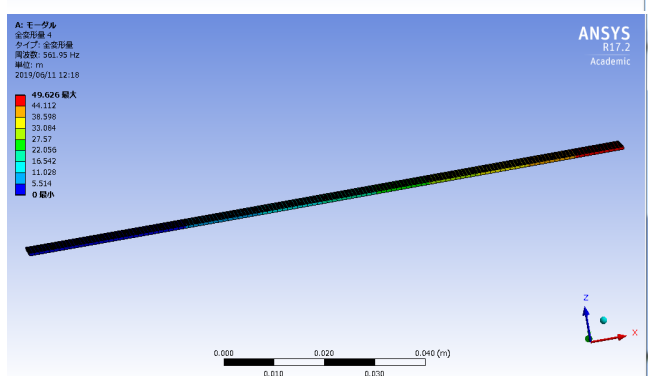
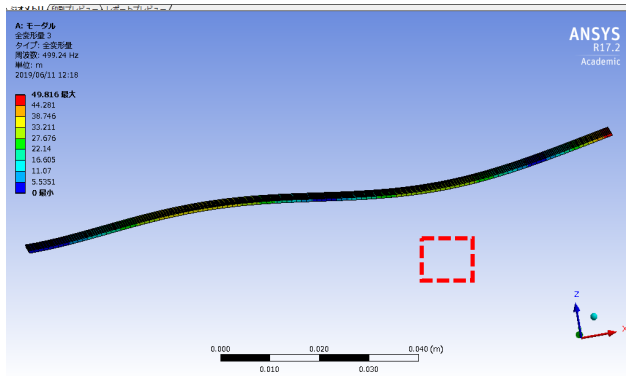
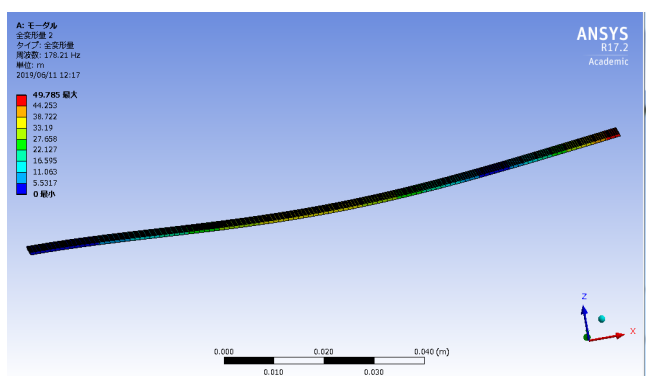
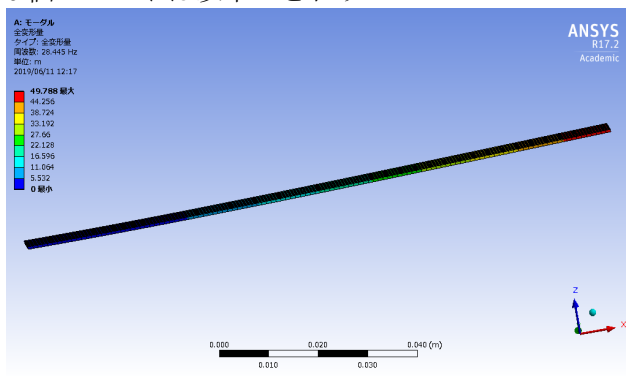
アウトラインの「全変形量」を右クリックし、プルダウンメニューから「すべての結果を評価」を実行する。

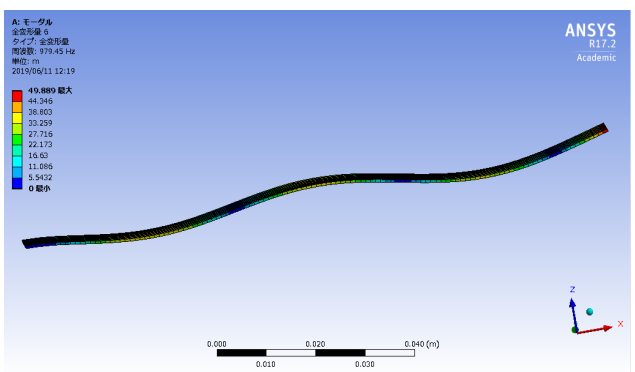
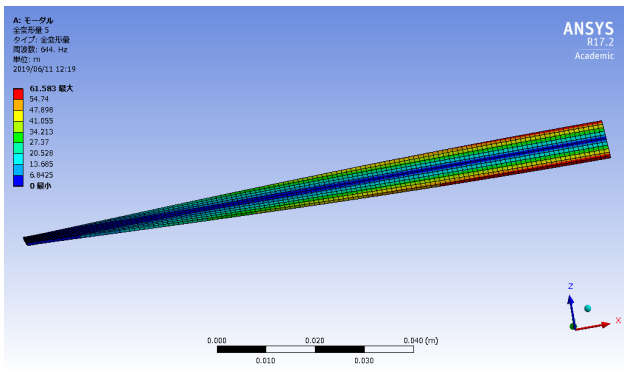


アウトラインの「全変形量」をクリックすると、梁が1次モード（半周期分）で振動している様子が分かる。「アニメーション」で1周期分の動画を見ることが出来る。変位はデフォルトされている。左上の「結果」のプルダウンメニューで変更することが出来る。2次から6次モードもアウトラインの「全変形量2~6」を選択することで確認できる。5次モードはねじれである。これにより、どんな周波数の振動が来れば、どこが壊れやすいかが分かる。一般的には、振動の腹が壊れる。



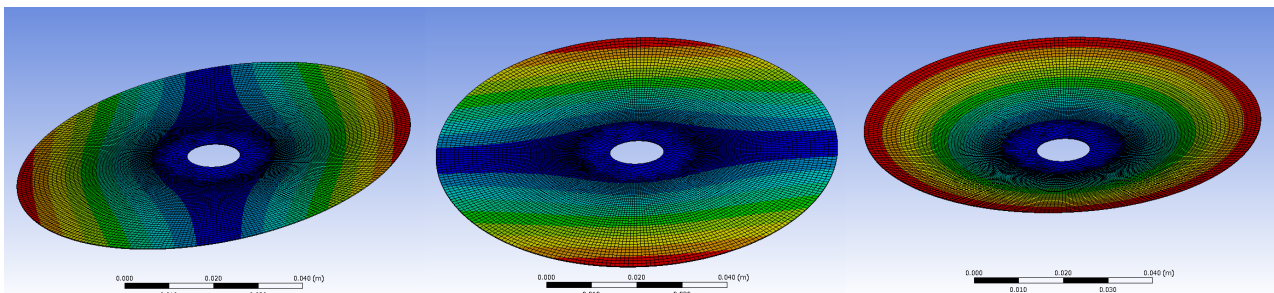
6 個のモードは以下のとおり。



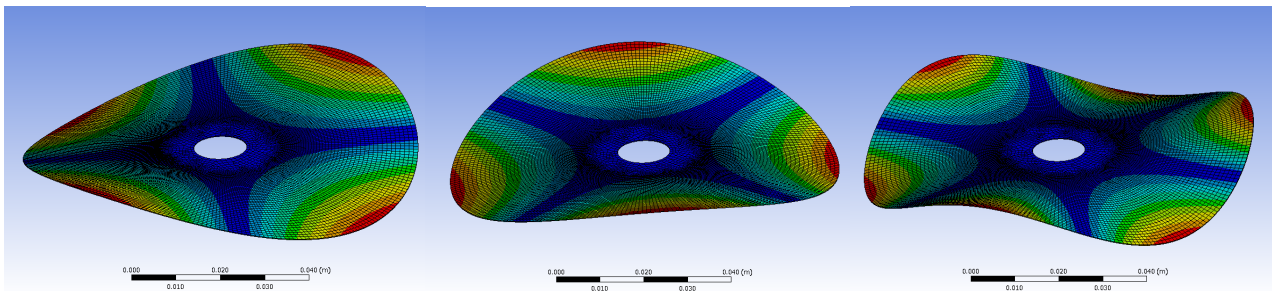


### 3.2 円盤（回転ディスク）のモード解析の例

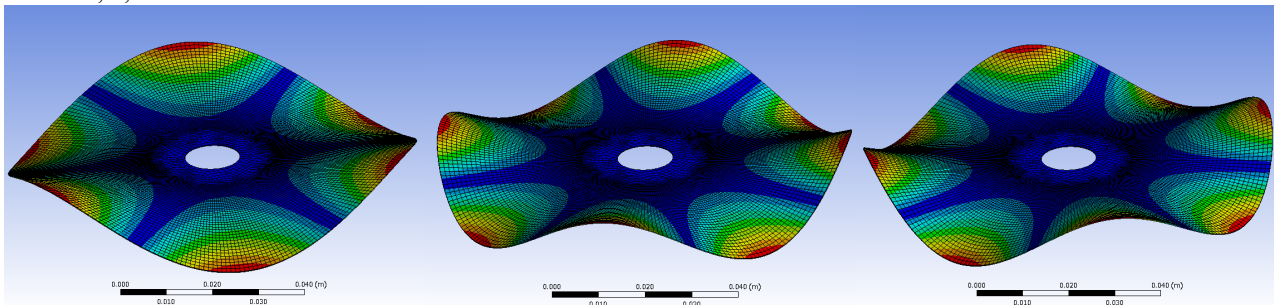
HDDの円盤（3.5インチディスク）をCADで作成し，中心を固定し，モード9までモード解析した結果は以下のとおり．色は変位．赤が変形量大．



Modes 1, 2, and 3



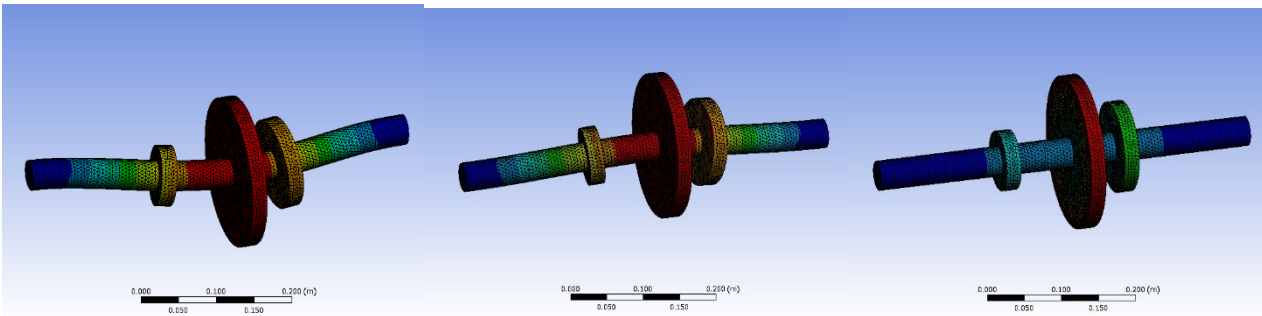
Modes 4, 5, and 6



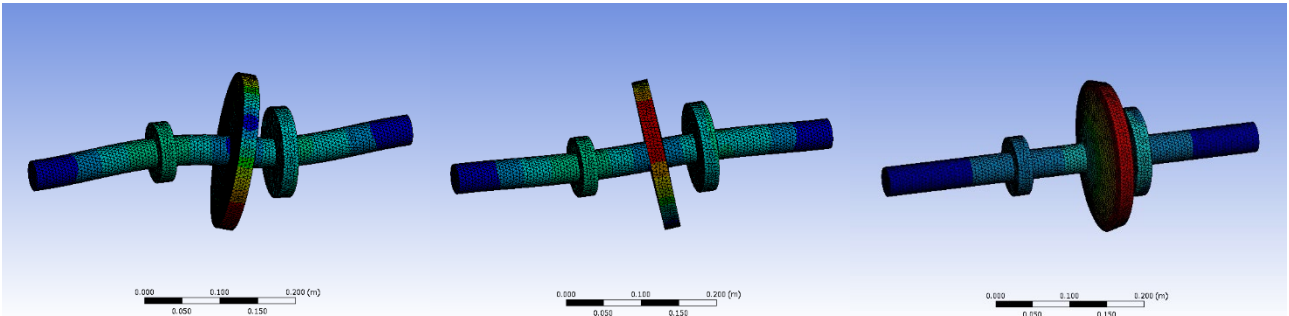
Modes 7, 8, and 9

### 3.3 ギアつきシャフトのモード解析の例

シャフトにギアが三つついた機械部品のモードを6まで解析した結果は以下のとおり．



Modes 1, 2, and 3

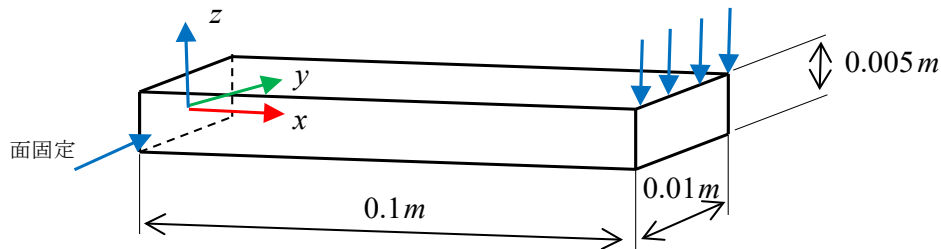


Modes 4, 5, and 6

### 3.4 ギアつきシャフトのモード解析の例

## 4 周波数応答解析 (Frequency Response Analysis) : 片持ち梁の例

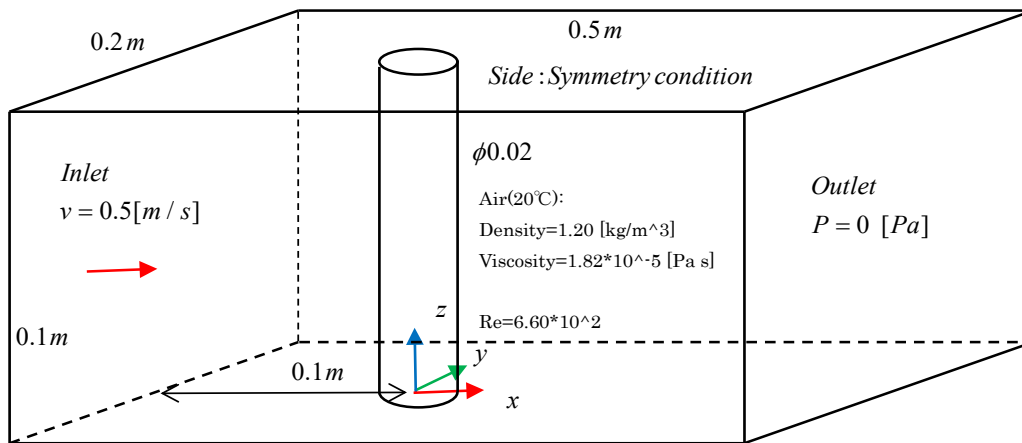
材質: 炭素鋼



## 5 流体解析 (Fluid analysis) : 円柱の周りの流れの例 (定常解析)

CFX は、汎用有限体積法熱流体解析ソフトであり、一般的な流体の流れや熱伝達から、回転機械や多相流、化学反応まで様々な流体力学問題に適用することが出来る。

Fluent は、汎用熱流体解析ソフトであり、流体、乱流、熱伝達、反応のモデリングに必要な各種の物理モデリング機能を備えている。航空機の翼に流れる気流の他、炉内燃焼、気泡塔、石油プラットフォーム、血流、半導体製造、クリーンルーム設計、廃水処理プラントなどの様々な工業用途に適用することが出来る。



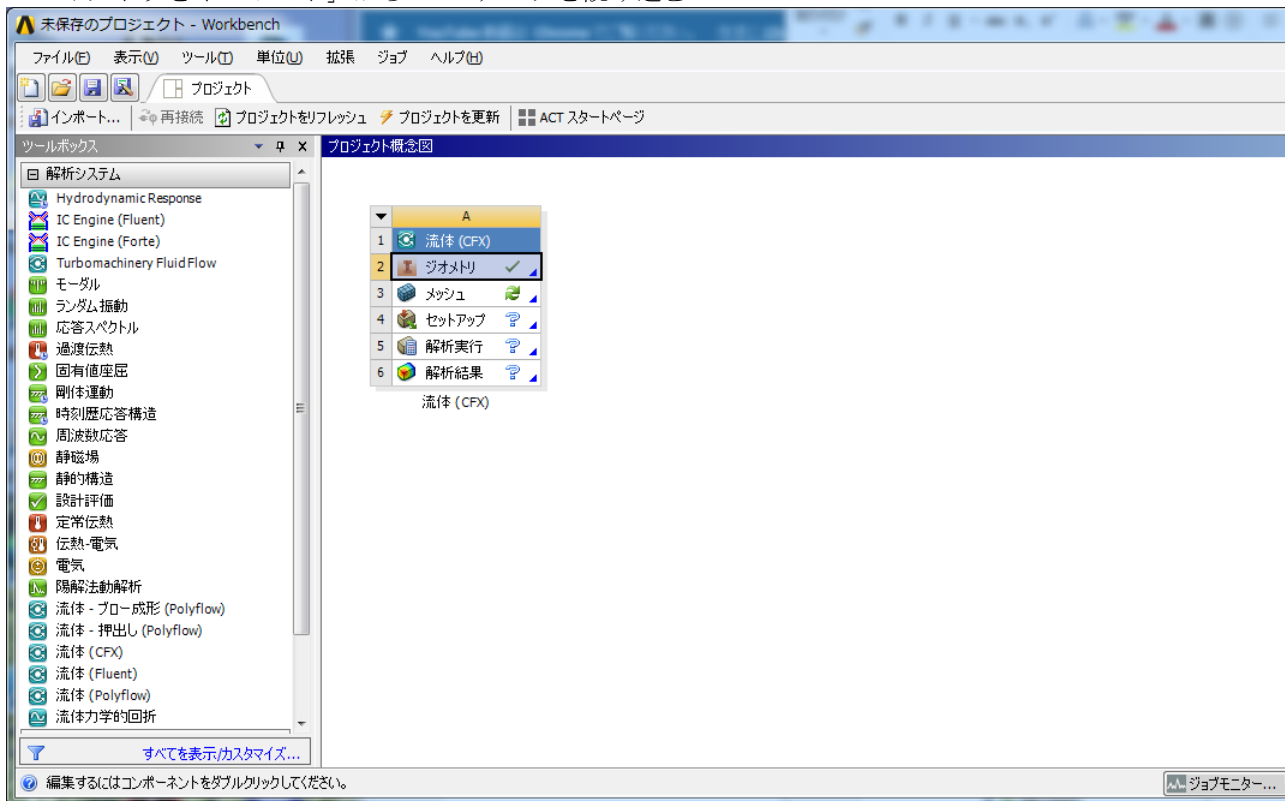
## 5.1 CAD モデル生成

φ2cm、高さ 20cm の円柱モデルを作成し、「Workbench 17.2」を立ち上げる。なお、計算空間は、この場合は、Solid 内部のみ。側面は、面対称（面の法線方向の速度 0）とする（壁面で滑り有条件でもよい）。

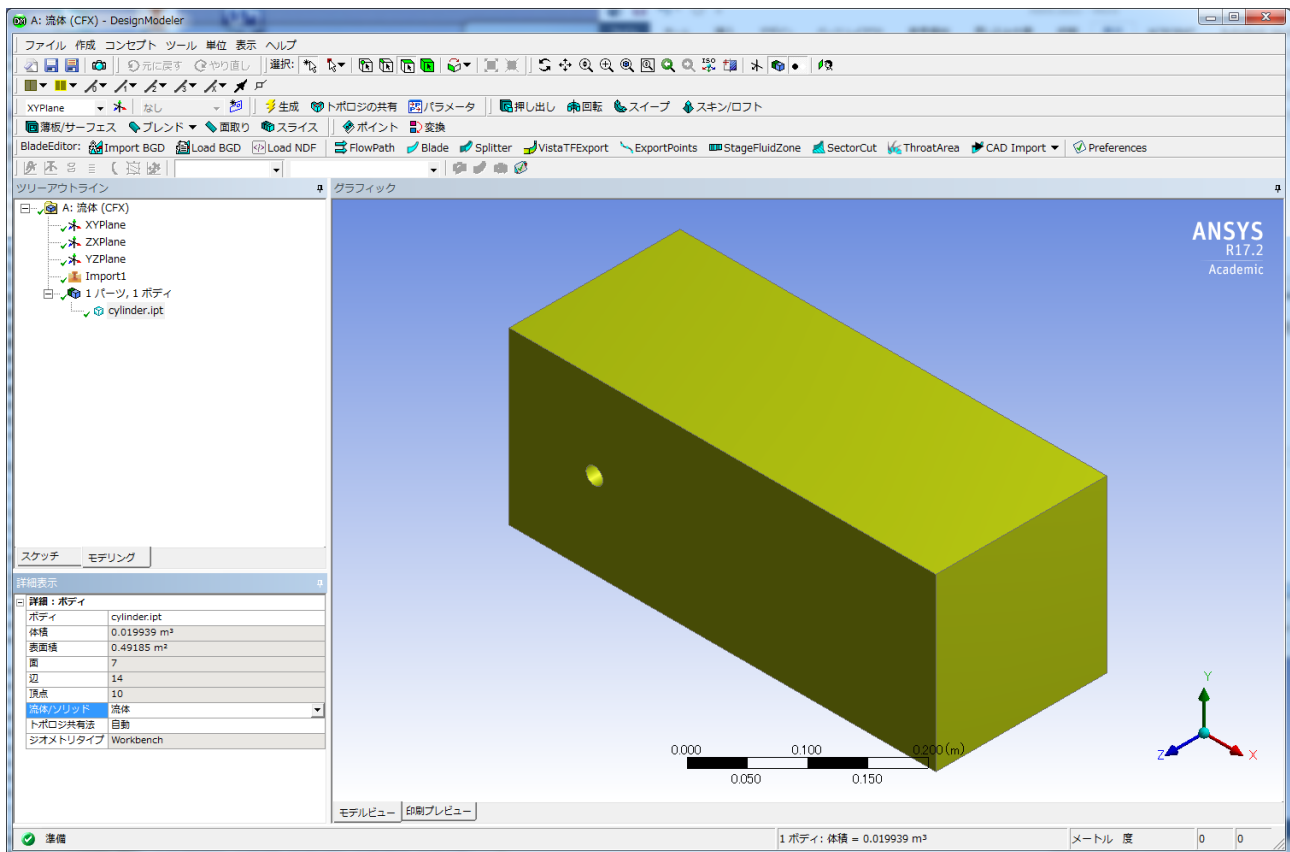
## 5.2 ANSYS (CFX) による流体解析

### (a) Meshing

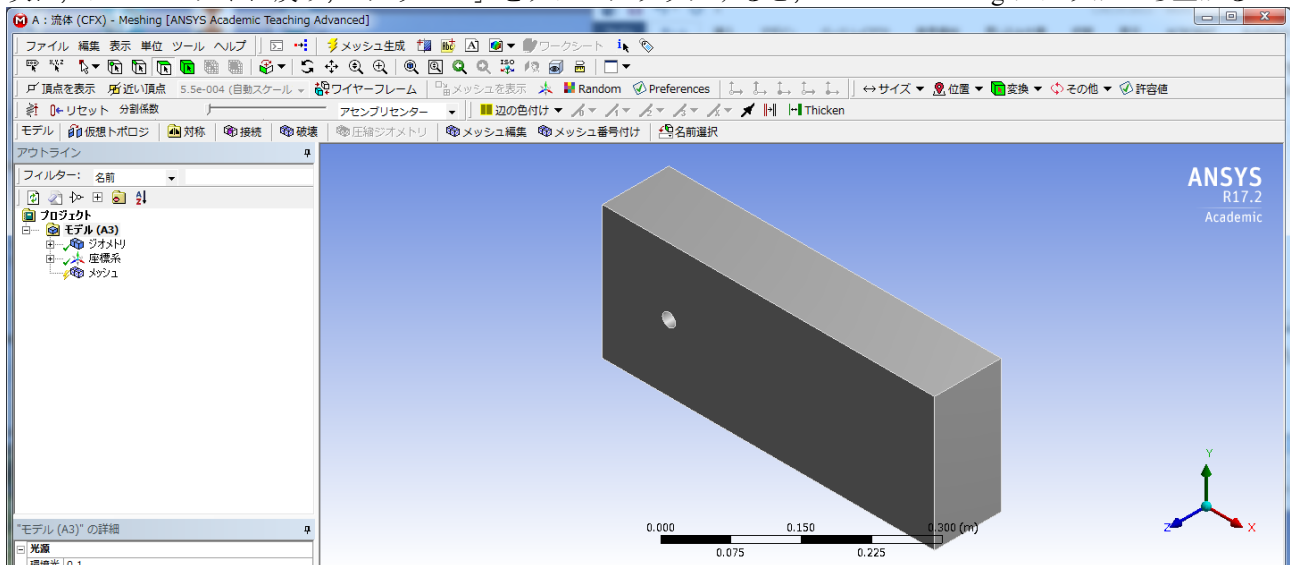
左のツールボックスから「流体 (CFX)」をドラックし、画面流体(CFX)の「ジオメトリ?」を右クリックし、「ジオメトリをインポート」から CAD データを読み込む。



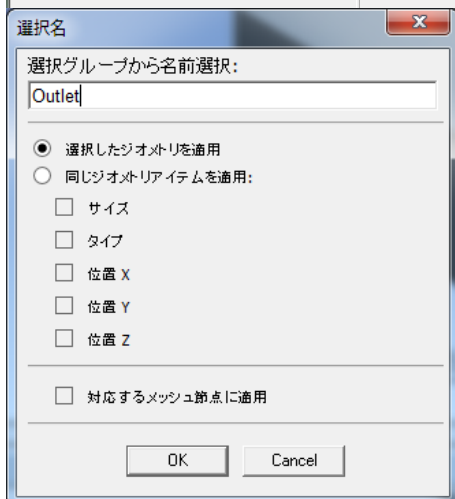
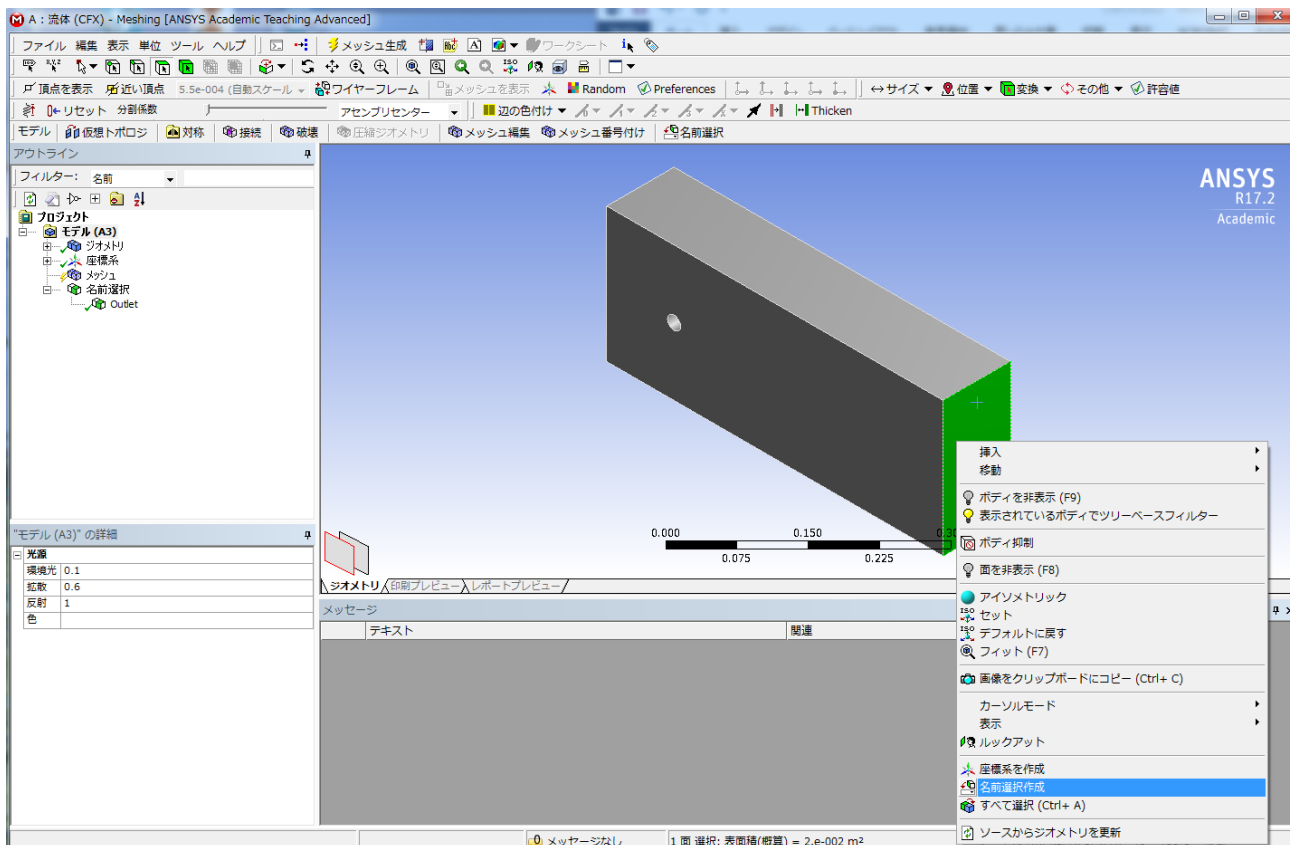
その後、ジオメトリを右クリックしメニューから MesignModeler アプリを立ち上げる。「生成」をクリックして CAD モデルを計算モデルに変換し、ツリーアウトラインの「1 パーツ, 1 ボディ」を展開し、CAD ファイルを選択し、左下の「流体/ソリッド」で「流体」を選択する。



次に、プロジェクトに戻り、「メッシュ」をダブルクリックすると、CFXのMeshingアプリが立ち上がる。

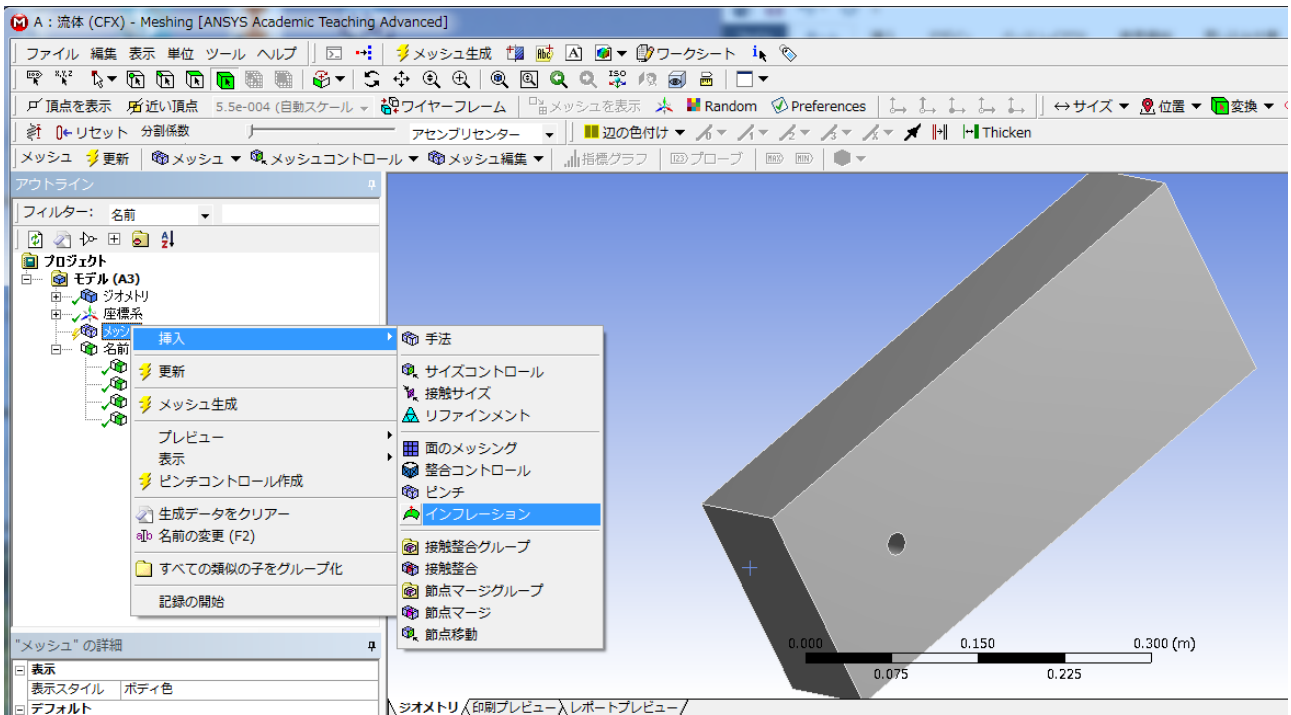


境界条件の名称の設定を行うために、メニューバーの「面」ボタンを選択して、画面モデルの流出面（無限遠）を右クリックし、「名前選択作成」を選択すると、選択面 Window がオープンするので、「Outlet」という名前をつけて「OK」を押す。

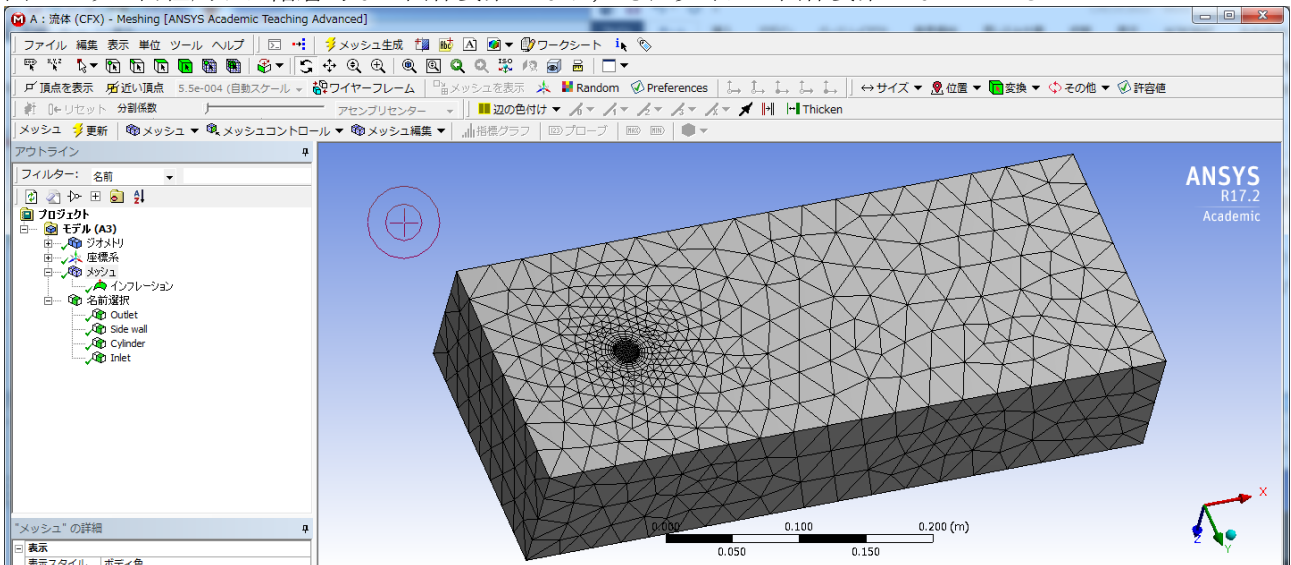


同様に、側面、上下面には”Side wall”，支柱には”cylinder”，流入面には”Inlet”という名前をつけておく。メニューバーの「メッシュ生成」をクリックすると、自動でメッシュが生成される。複数の面を選択したいときにはキーボードの「ctl」を使う。

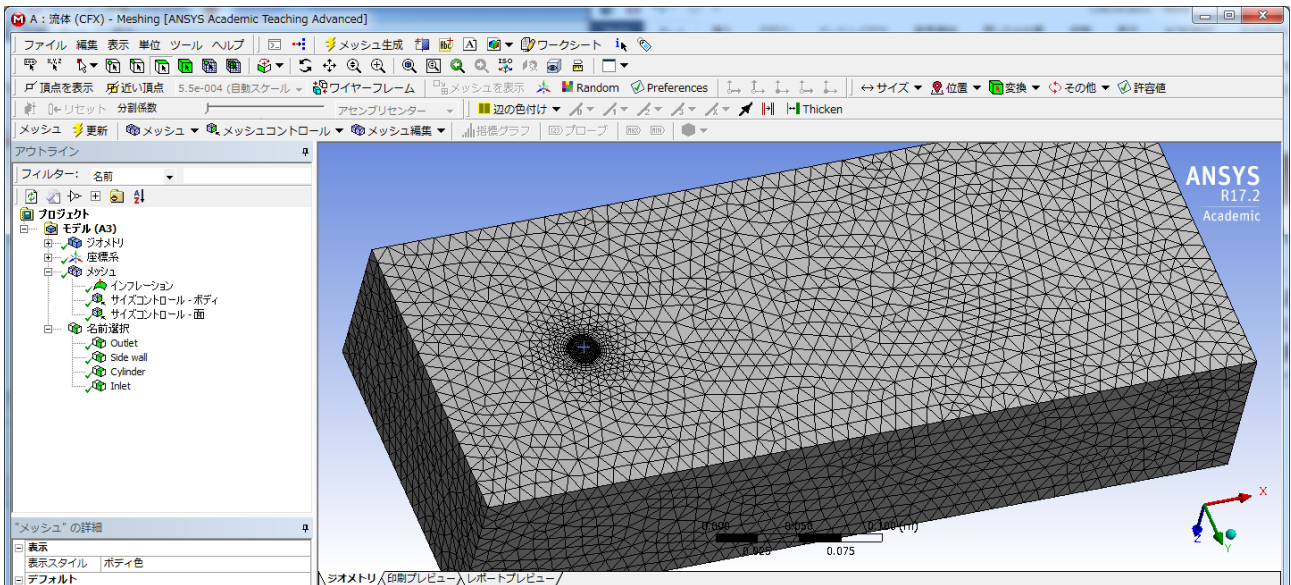
円柱の周りのメッシュは整った形状（uniform）にし、階層的に分割するために、円柱を膨張させるインフレーション機能を使う。左のアウトラインの「メッシュ」を右クリックして「挿入」を選択して、「インフレーション」を選択する。階層はデフォルト5になっている。



メニューバーの「ボディ」ボタンをクリックして画面のモデルを選択し、左下のジオメトリの「選択なし」を選択して「適用」をクリックする。メニューバーの「面」を選択して、画面の円柱内部の面をクリックし、左下の境界の「選択なし」を選択して「適用」をクリックする。階層の数や比率などが設定できる。メニューバーの「メッシュ生成」を選択し、アウトラインの「メッシュ」をクリックしてメッシュを表示させると、図のように円柱周りは階層的な六面体要素になり、それ以外は四面体要素になっている。

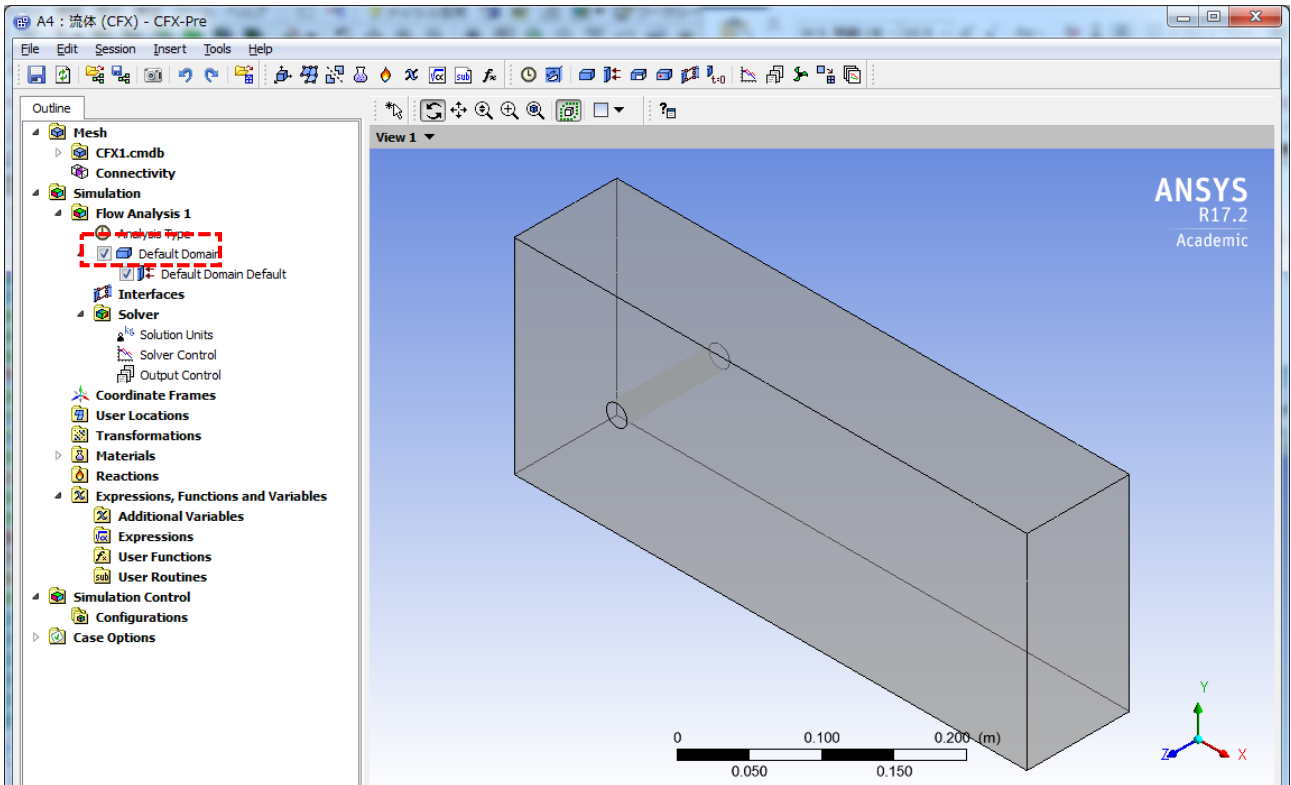


メッシュサイズもコントロール可能である。アウトラインの「メッシュ」を右クリックして「挿入」を選択し、「サイズコントロール」を選択する。画面のモデルのボディを選択してジオメトリを「適用」し、要素サイズの「デフォルト」に $0.01\text{m}$ を入力すると、要素サイズがほぼ $1\text{cm}$ でメッシングされる。さらに、「挿入」の「サイズコントロール」を選択し、モデルの円柱面を選択してジオメトリを「適用」し、要素サイズの「デフォルト」に $0.002\text{m}$ を入力すると、円柱の周りだけが $2\text{mm}$ でメッシングされる。「更新」しておく。

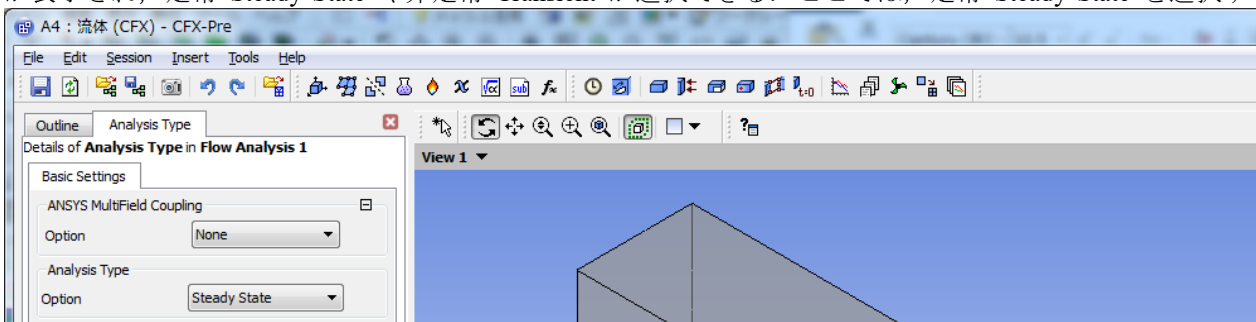


**(b) 物性値の入力**

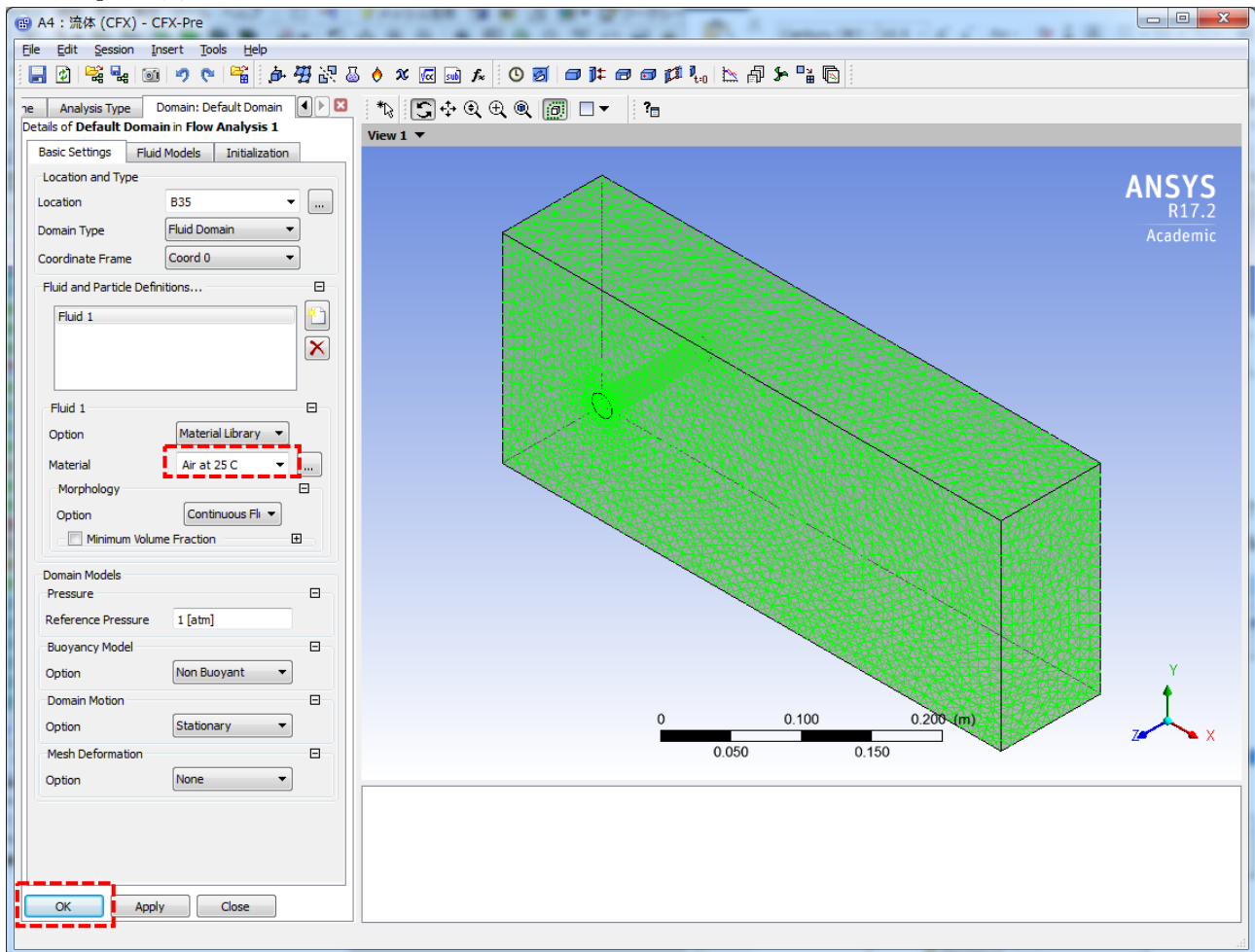
次に、Workbenchに戻り、「メッシュ」を右クリックし、「更新」しておく。その後、「セットアップ」をダブルクリックし、CFX-Preを立ち上げる。



Outlineの「Analysis Type」をダブルクリック (or 右クリックし、「Edit」を選択) すると、Analysis Type タグが表示され、定常”Steady State”や非定常”Transient”が選択できる。ここでは、定常”Steady State”を選択する。

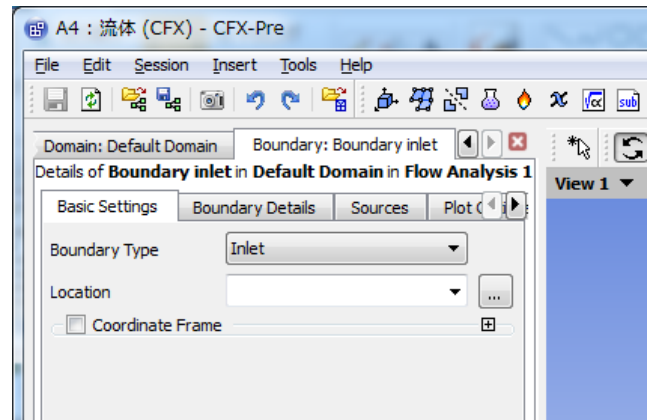
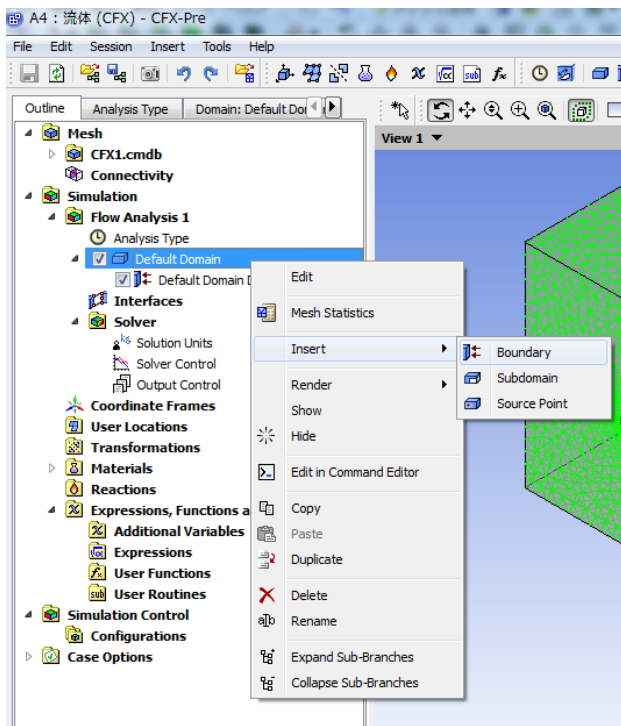


Outline タグに戻り、「Default Domain」をダブルクリックすると、Domain:タグが Outline の右に表示される。Material で「Air at 25°C」を選択する。参照圧力などもここで設定できる。デフォルトは 1atm. その後、左下の「OK」を押す。

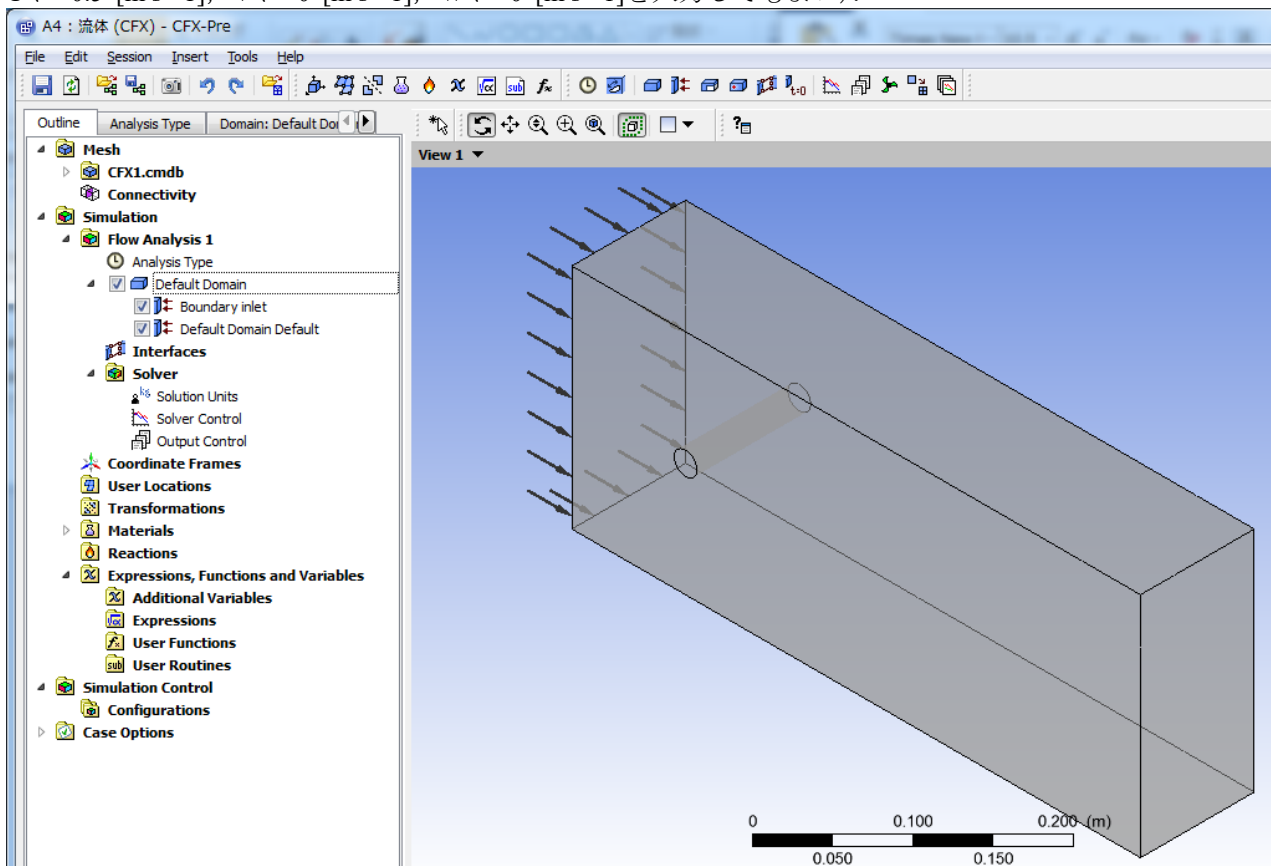


### (c) 境界条件の設定

Outline タグに戻り、「Default Domain」を右クリックし、「Insert」の中の「Boundary」をクリックし、名前を「Boundary inlet」とつけておく。Basic Setting タグがオープンする。



Boundary Type は、流入条件の「Inlet」を選択し、Location では、メッシュングにおいてネーミングしておいた「Inlet」を選択する。次に、タグの「Boundary Details」に切り替え、Mass And Momentum の Option で「Normal Speed」を選択し、 $0.5$  m/s を入力し、左下の「OK」をクリックする（もしくは、Cart. Vel. Components で、U に $0.5$  [m s<sup>-1</sup>], V に $0$  [m s<sup>-1</sup>], W に $0$  [m s<sup>-1</sup>] を入力してもよい）。



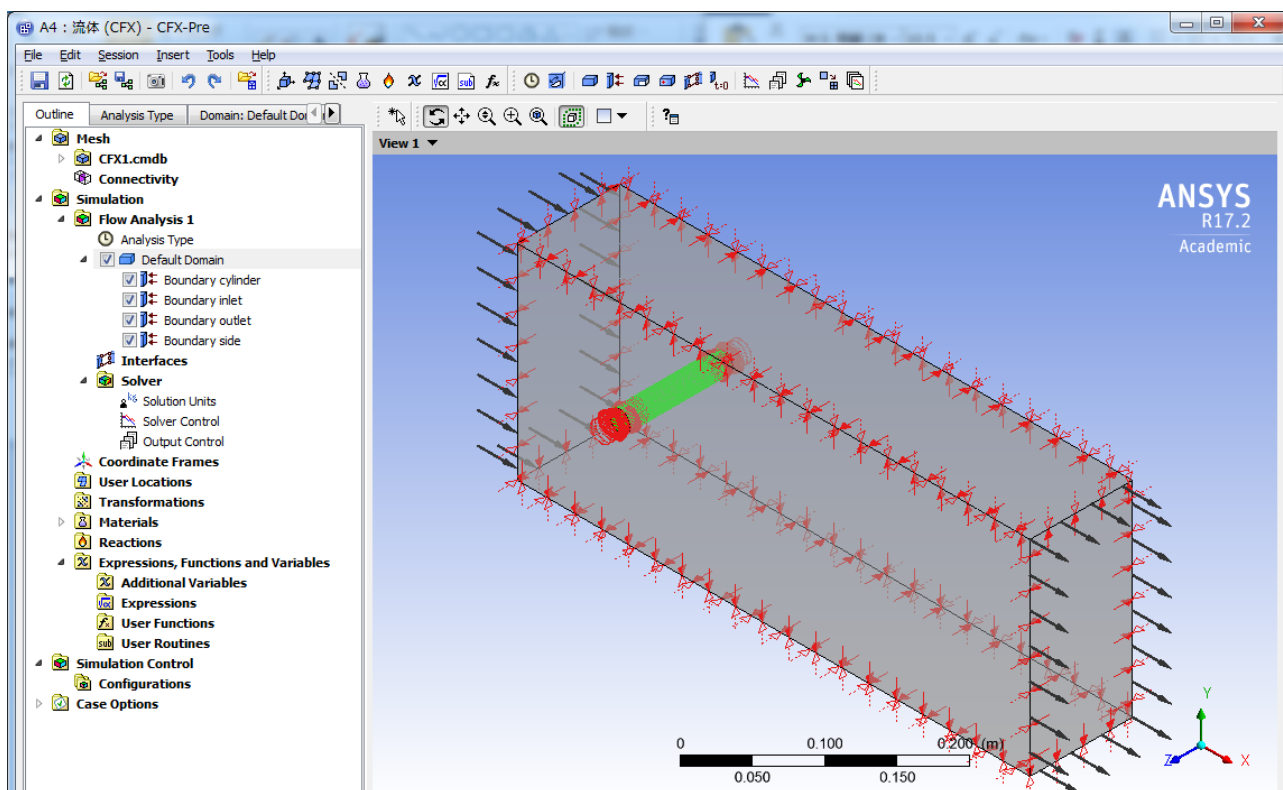
Outline タグに戻り、「Default Domain」を右クリックし、「Insert」の中の「Boundary」をクリックし、名前を「Boundary outlet」とつけると、Basic Setting メニュータグがオープンする。Boundary Type の「Outlet」を選択し、Location で、予めメッシュで名前をつけておいた「Outlet」を選択する。Boundary Details タグに移り、Mass And Momentum の Relative Pressure に、 $0$  Pa を入力し、「OK」をクリックする。Pres. Profile Blend が  $0.05$

の意味は？

→ The value of Pres. Profile Blend is used to blend between the specified pressure profile and a floating pressure profile where only the average is constrained. For a value of zero, the specified pressure is used only to enforce the average pressure. This allows a transverse pressure profile to develop according to upstream influences, which is much less reflective than specifying the pressure profile itself. For some flows, setting only the average pressure does not constrain the flow enough; in this case, a small amount of blending, the default value of 0.05, or 5%, may be appropriate. [https://www.sharcnet.ca/Software/Ansys/15.0.7/en-us/help/cfx\\_mod/i1301138.html](https://www.sharcnet.ca/Software/Ansys/15.0.7/en-us/help/cfx_mod/i1301138.html)

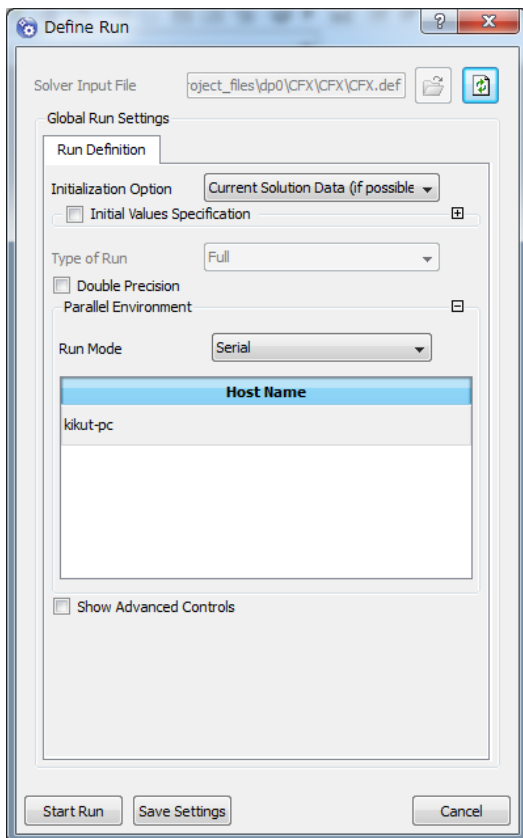
Outline タグに戻り、「Default Domain」を右クリックし、「Insert」の中の「Boundary」をクリックし、名前を「Boundary side」とつけると、Basic Setting メニュータグがオープンする。Boundary Type の「Symmetry」を選択し、Location で予めメッシュで名前をつけておいた「Side wall」を選択し、「OK」する。面対称（法線方向の流速 0）を指定することになる。

Outline タグに戻り、「Default Domain」を右クリックし、「Insert」の中の「Boundary」をクリックし、名前を「Boundary cylinder」とつけると、Basic Setting メニュータグがオープンする。Boundary Type の「Wall」を選択し、Location で予めメッシュで名前をつけておいた「Cylinder」を選択する。Boundary Details タグに移り、Mass And Momentum の「No Slip Wall」を選択し、「OK」をクリックする。

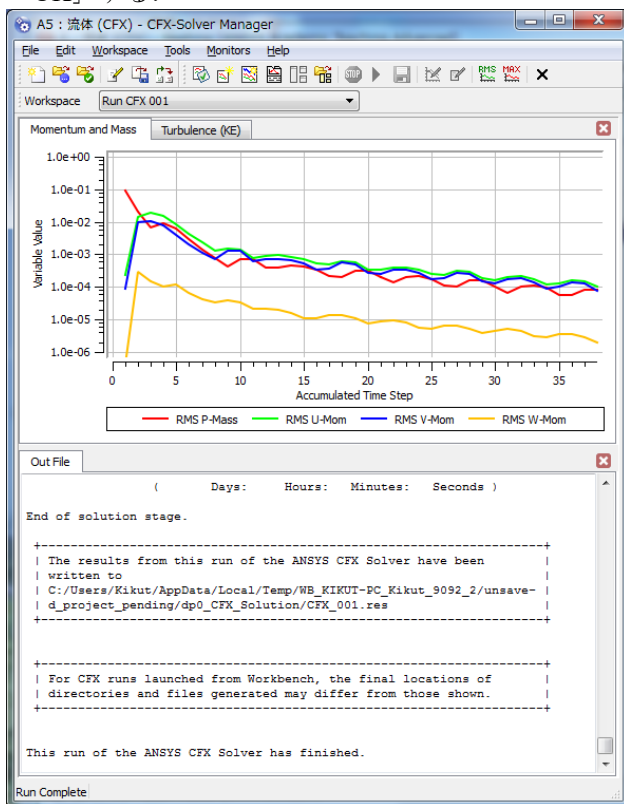


#### (d) 解析の実行

Workbench に戻り、B 項目の「解析実行」をダブルクリックする。Host Name にあるコンピュータ名、例えば、「kikut-pc」を選択し、左下の「Start Run」ボタンで解析を実行する。



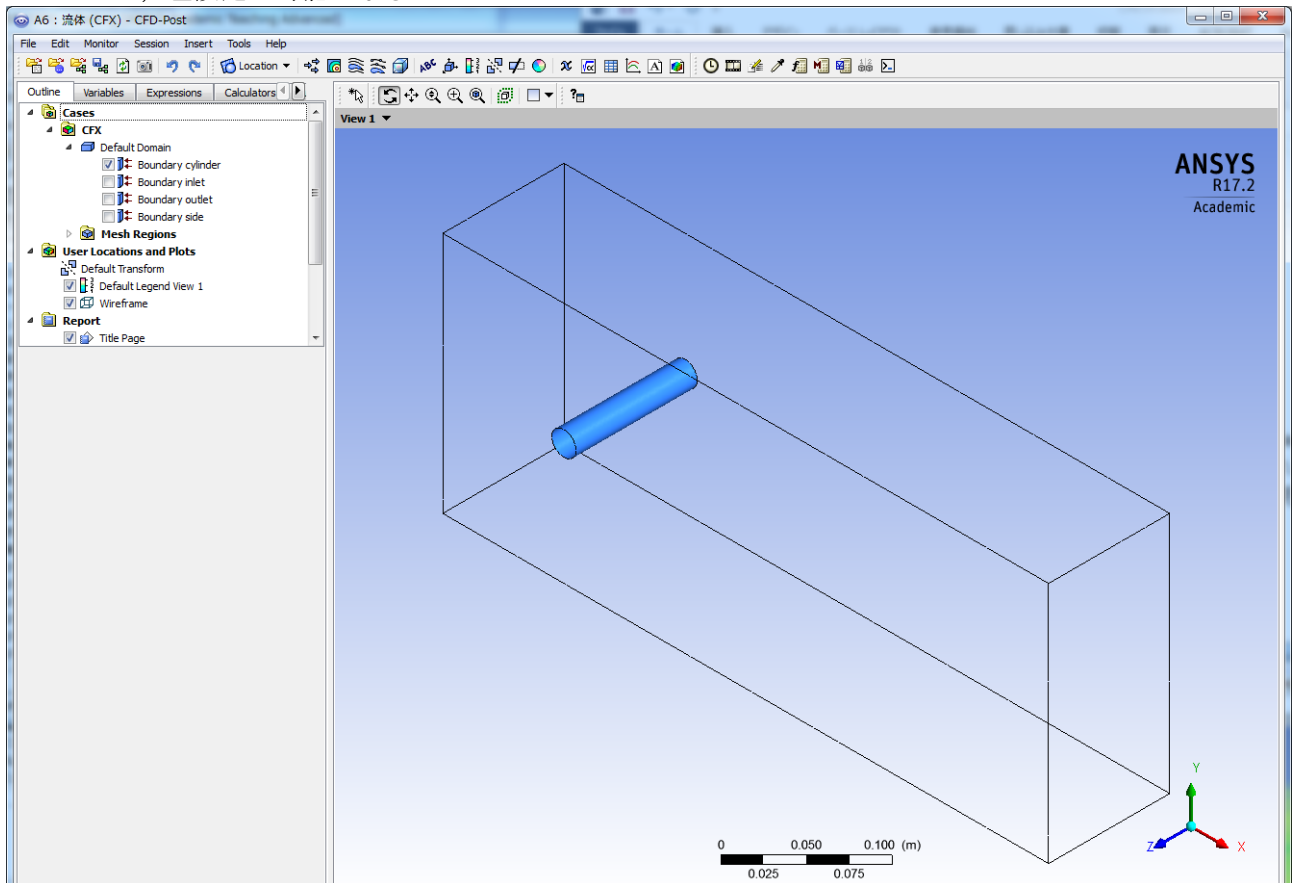
計算が開始され、圧力 P, 速度 U, V, W の誤差が小さくなり、計算が終了した旨のメッセージが出るので、「OK」する。



### (e) 可視化

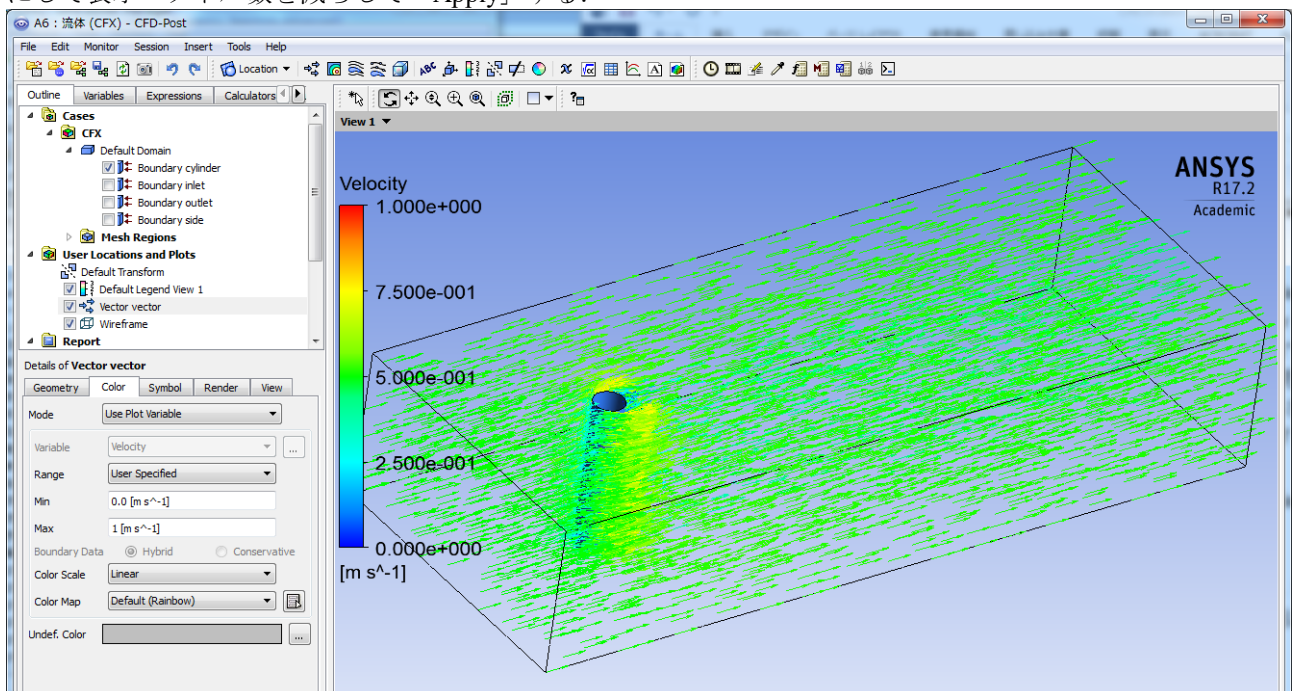
次に、Workbenchに戻り、B項目の「解析結果」をダブルクリックすると、CFD-Postアプリが立ち上がる。左のOutlineの境界、「Boundary cylinder」、「Boundary inlet」、「Boundary outlet」、「Boundary sidewall」をクリックすると、右の画面で色づけされる。これらの境界名をダブルクリックすると、左下にDetails of\*\*\*\*タグが

オープンし、色設定が可能になる。



### 速度ベクトル：

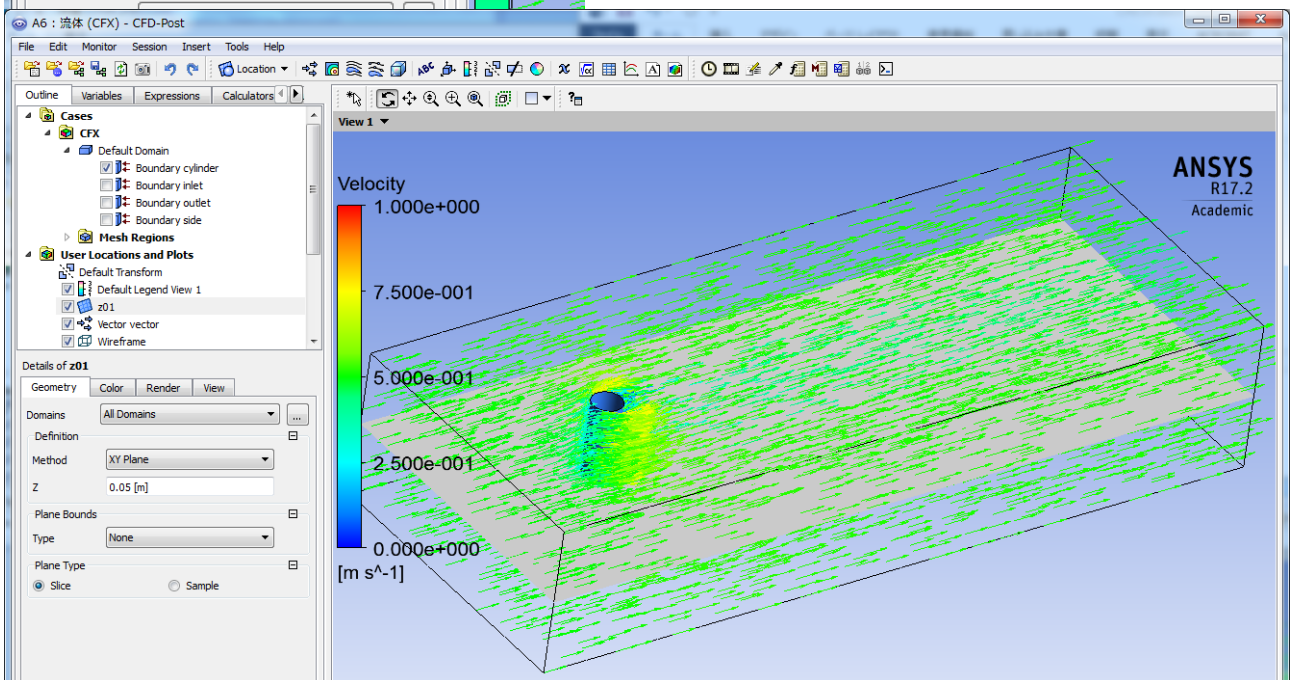
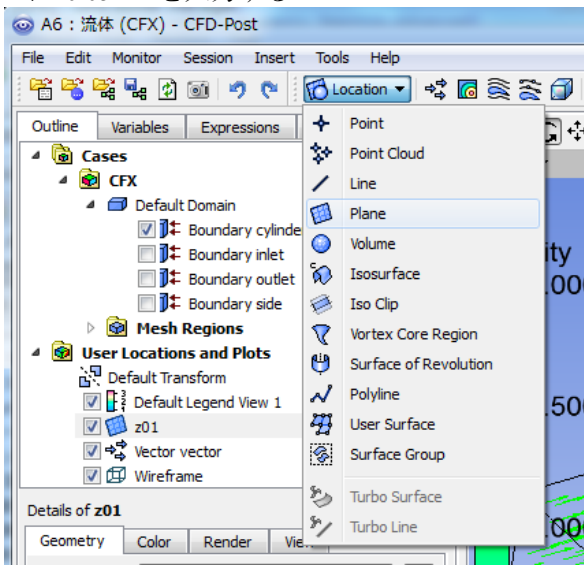
メニューバーの「Vector」ボタンをクリックすると、Insert Vector Window が開かれるので、Name に”Velocity vector”と入力して「OK」すると、左下に Details of Velocity vector タグが現れるので、速度ベクトルを表示したい領域として Geometry タグの Location で”Default Domain”を選択し、Color タグの Min “0.0”m/s, Max “1.0”m/s として表示速度範囲を設定する。また、領域内部を見るために Outline の”Boundary cylinder”以外はオフ（非表示）にしておく。節点のベクトルがすべて表示されているので、Detail of Velocity vector タグの Factor を”4”にして表示ベクトル数を減らして「Apply」する。



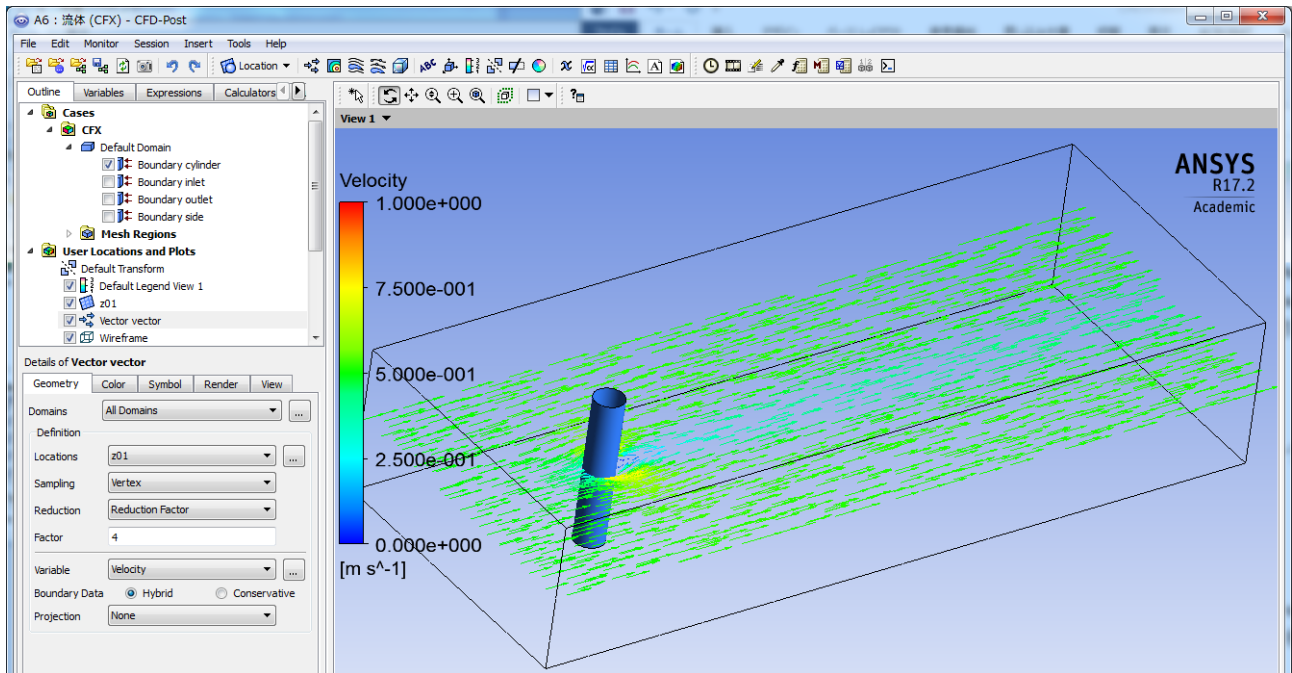
円筒周りの流速が 0.8m/s 程度として黄色く表示されている。Outline の Velocity vector のチェックを外すと、流線は表示されなくなる。

### 任意平面の速度ベクトル:

メニューバーの「Location」を選択し、プルダウンメニューから「Plane」を選択し、名前を「z01」と入力すると、Details of z01 タグが左下に現れる。z=0.05 [m]の XY 平面に表示面を作成するために、Geometry タグの Z に「0.05」 m を入力する。

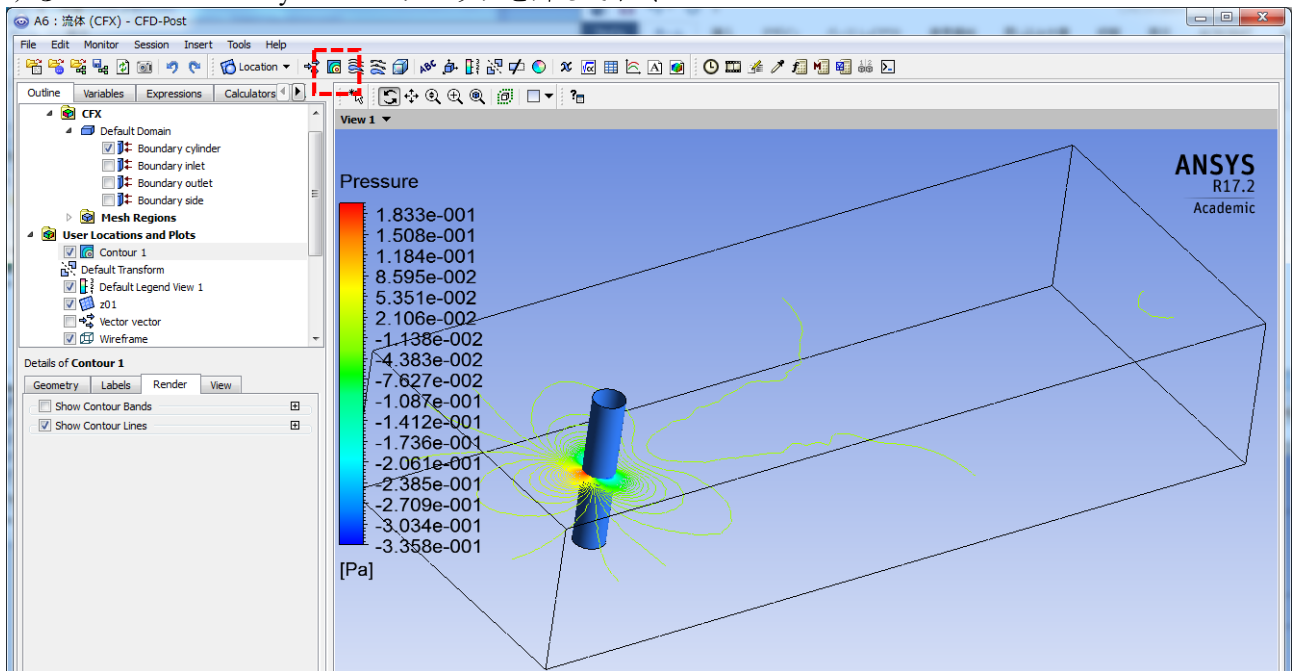


Render タグで、Show Faces のチェックを外し、「Apply」する。Outline の「Velocity vector」をダブルクリックして Details of Velocity vector タグを出し、Geometry タグの Locations で「z01」平面を選択し、「Apply」すると、z=0.05 平面における流速が表示される。上下の面が対称なので z のどの面も同じ流れ場となっているはず。



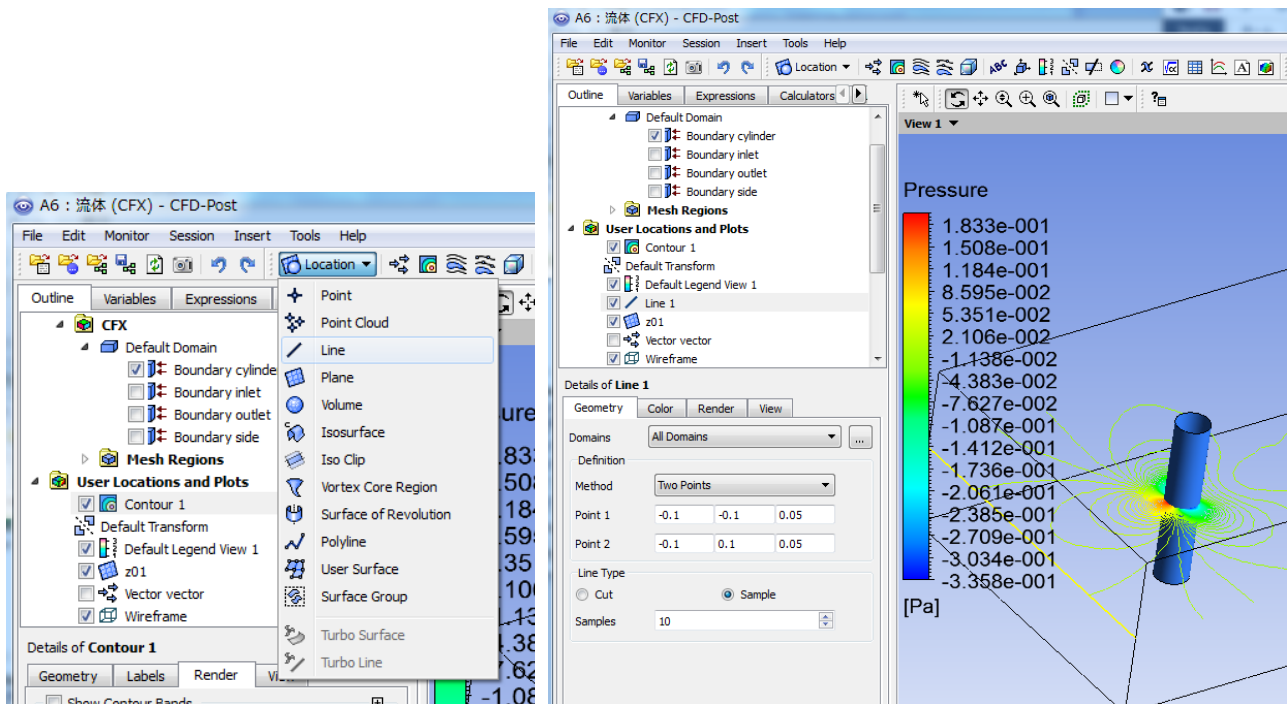
### 任意平面の圧力コンタ :

メニューバーの「contour」をクリックし、「Pressure contour」という名前をつけて「OK」すると、左下に Details of Pressure contour タグが現れる。Details of Pressure contour タグの Locations で「z01」を選択し、# of Contours を「100」に設定して等圧線を 100 本にし、Render タグにおいて Show Contour Bands のチェックを外し、「Apply」する。Outline の velocity vector のチェックを外しておく。

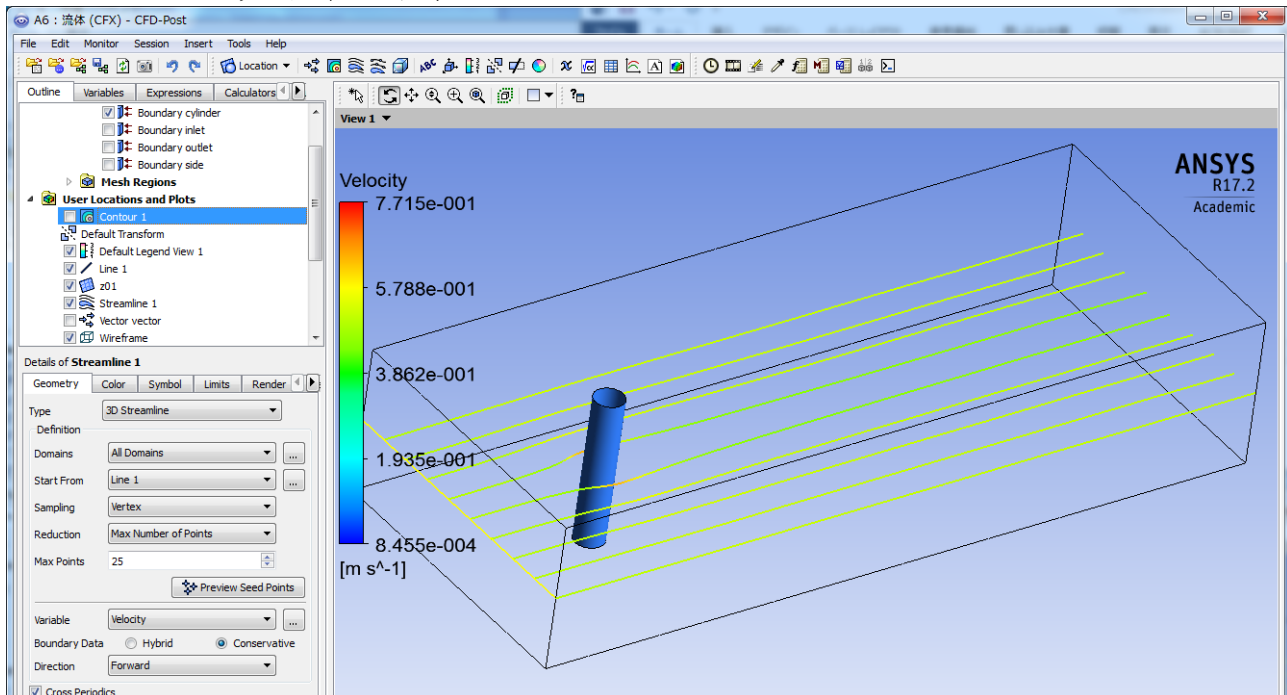


### 流線の表示 :

メニューバーの「Location」で「Line」を選択し、「Line 1」という名前をつけると、Details of Line 1 タグが表示されるので、Point 1 に「-0.1」,「-0.1」,「0.05」, Point 2 に「-0.1」,「0.1」,「0.05」を入力して「Apply」する。

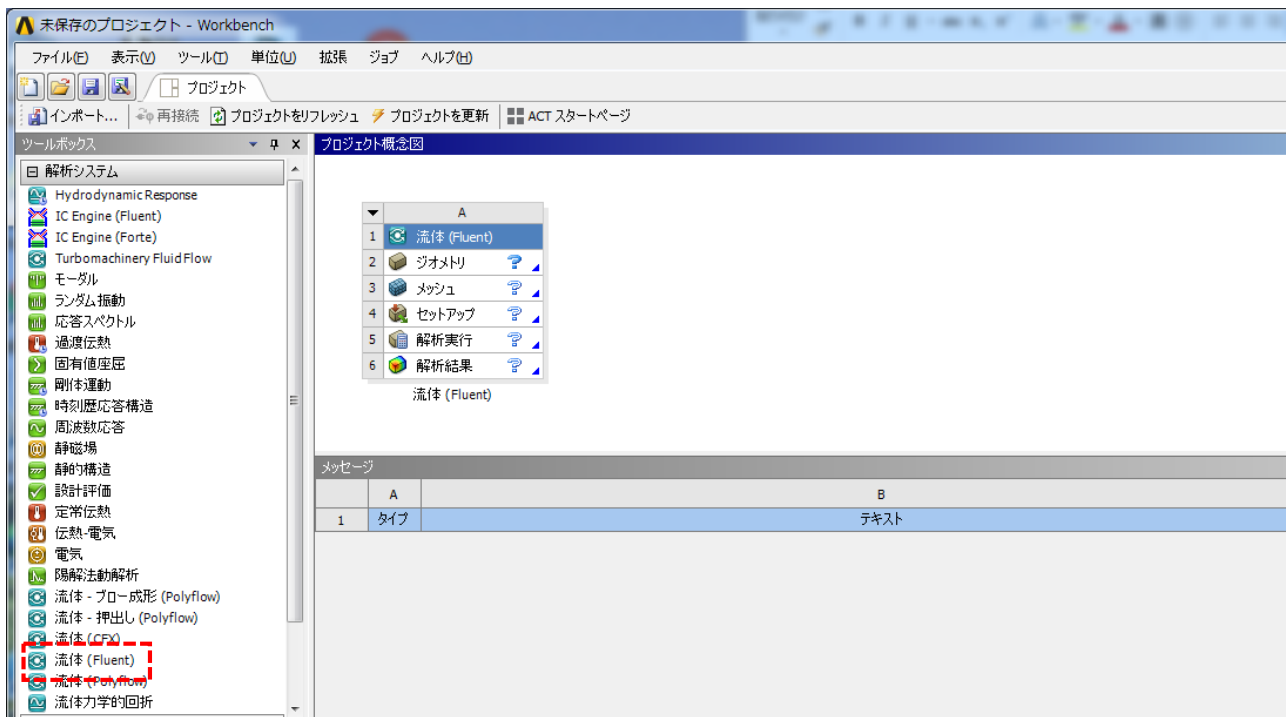


メニューバーの「Streamline」をクリックし、「Streamline 1」という名前をつけて、「OK」すると、左下に Details of Streamline 1 タグが現れるので、Geometry タグの Start From で「Line 1」を選択し、「Apply」する。Outline の Contour 1 のチェックは外しておく。

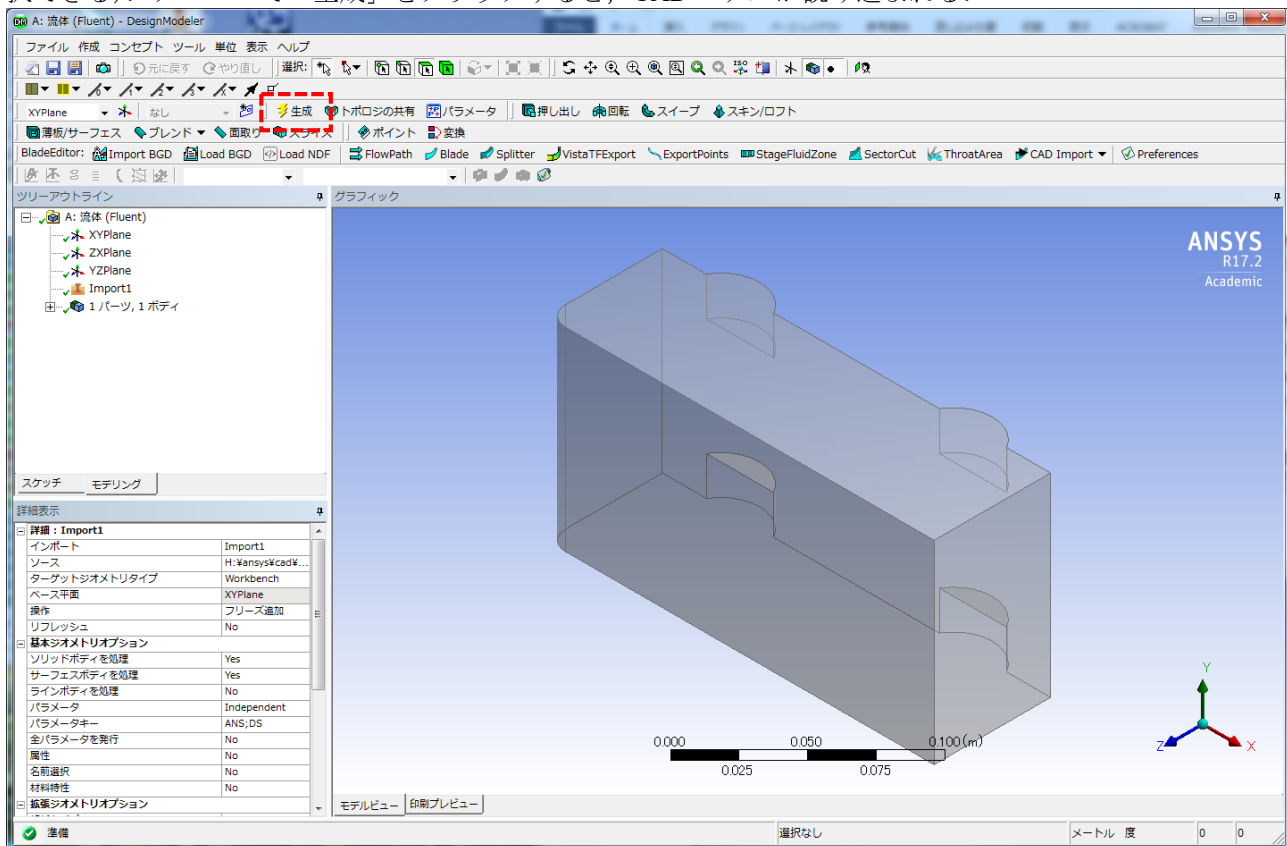


## 6 流体解析 (Fluid analysis) : 3D スキャンした物体周り流れ場の例 (非定常解析)

CFX も Fluent もほぼ同じような解析が出来る。ここでは、Fluent を使って、スキャンした物体の非定常流体解析を行う。Workbench を立ち上げ、画面のプロジェクト概念図に、左のツールボックスの「流体(Fluent)」をドラック & ドロップする。このとき、画面には、四角い破線のボックスに赤い字で (スタンドアロンシステムを作成) と表示される。

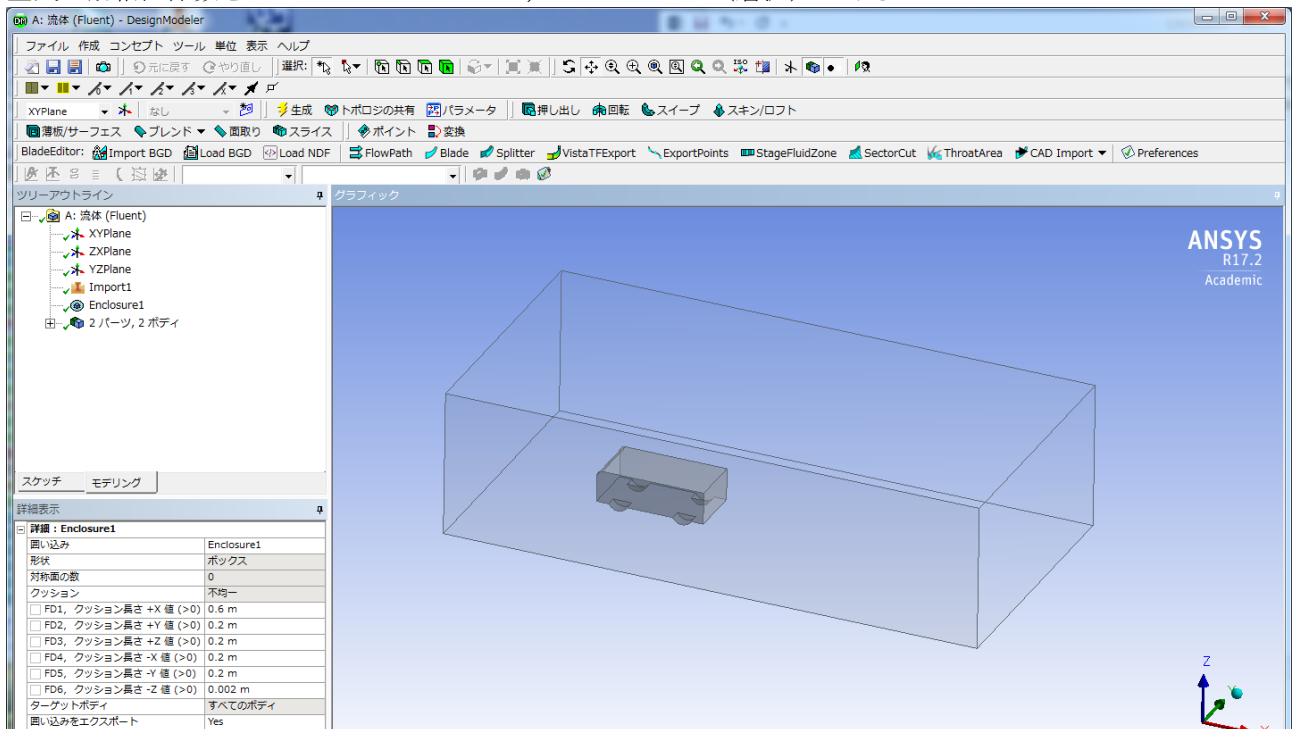


プロジェクト概念図内の流体 (Fluent) の「ジオメトリ?」を右クリックし、「ジオメトリをインポート」の「参照」をクリックし、CAD データを読み込む。過去の履歴から選んでもよい。ここでは、「car.ipt」ファイルを選択した (.stp ファイル, .igs ファイルも OK. .stl は、ソリッドデータにする必要があり、ソフトは、ANSYS SpaceClaim や、Autodesk Mesh Enabler 等)。次に、流体 (Fluent) の「ジオメトリ」を右クリックし、「DesignModeler でジオメトリを編集」を選択すると、DesignModeler が立ち上がる（「SpaceClaim でジオメトリを編集」も選択できる）。メニューで「生成」をクリックすると、CAD モデルが読み込まれる。

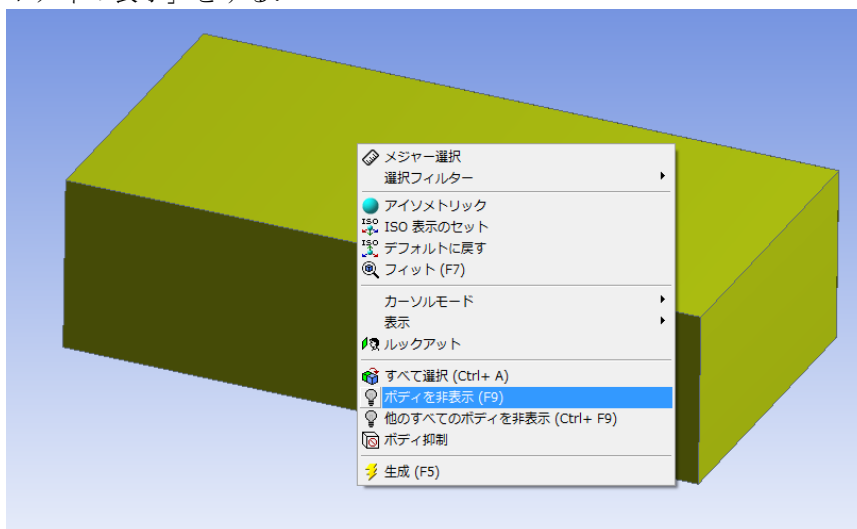


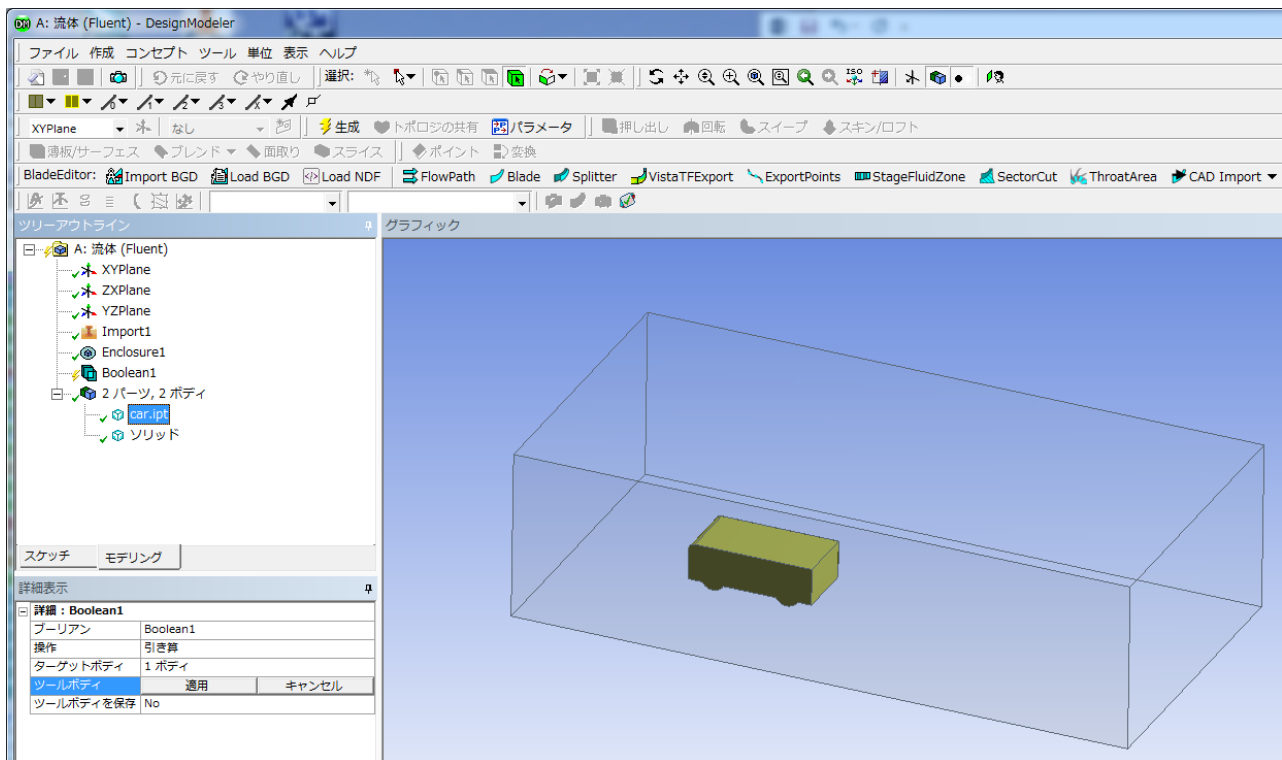
解析空間は、Solid の内部のみであるので、物体の外側に計算空間を作成し、物体をその計算空間からくりぬく必要がある。メニューの「ツール」のプルダウンメニューの「囲い込み」を選択し、左下の Enclosure 1 のクッション長さを”0.6”m, ”0.2”m, ”0.2”m, ”0.2”m, ”0.2”m, ”0.002”m にして風洞のサイズを決定し、メニュー

一の「生成」をクリックすると、モデルの周りに計算空間が構築される。ここでは、走行するミニカーを想定し、解析を行う。タイヤは地面から 2mm 浮いている設定になっている。代表長さ 0.2m, 代表速度 0.05m/s, 空気の動粘性係数を  $1.51 \times 10^{-5} \text{m}^2/\text{s}$  として、 $Re=6.62 \times 10^2$  (層流) である。

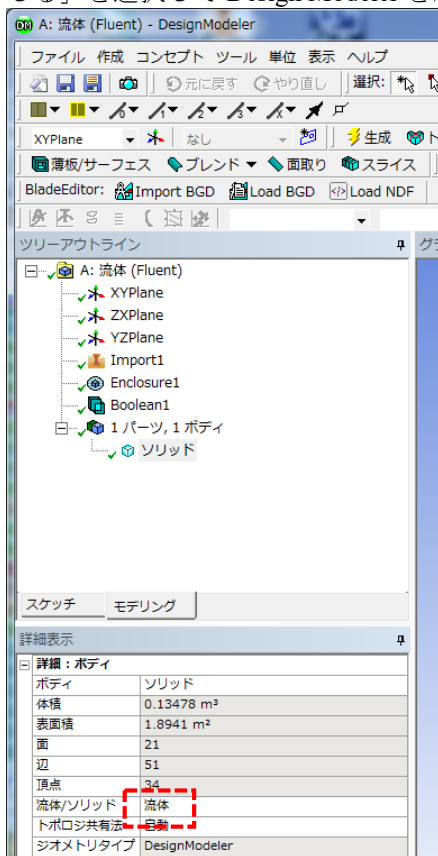


メニューの「作成」のプルダウンメニューから「ブーリアン」を選択する。左下の Boolean1 の操作の「引き算」を選択し、ターゲットボディでツリーアウトラインの「ソリッド」(計算空間)を選択して「適用」し、ツールボディで「car.ipt」(CAD モデル)を選択して「適用」する。(風洞内の CAD モデルは、画面上で右クリックして「ボディの非表示」で計算空間を非表示にすることによりクリックできるようになる)。その後、メニューの「生成」をクリックし、ブーリアン演算を実行する。その後、画面上の右クリックで「すべてのボディの表示」をする。





ツリーアウトラインの「1 パーツ, 1 ボディ」を開き「ソリッド」を選択し、下の画面で流体/ソリッドが”流体”になっていることを確認する。メニューの「ファイル」のプルダウンメニューから「Design Modeler を閉じる」を選択して Design Modeler を終了する。これ以降、Meshing などは、上記同様。

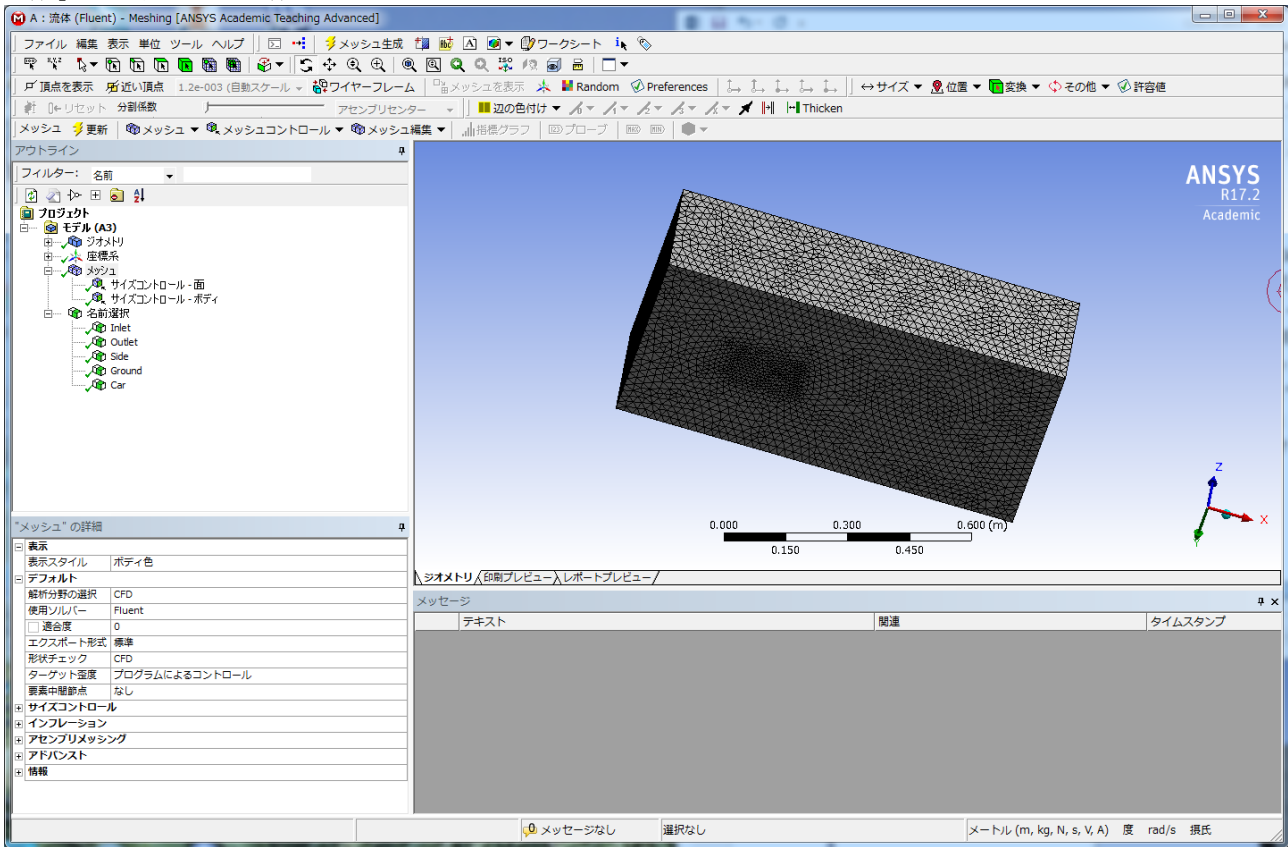


## 6.1 Meshing

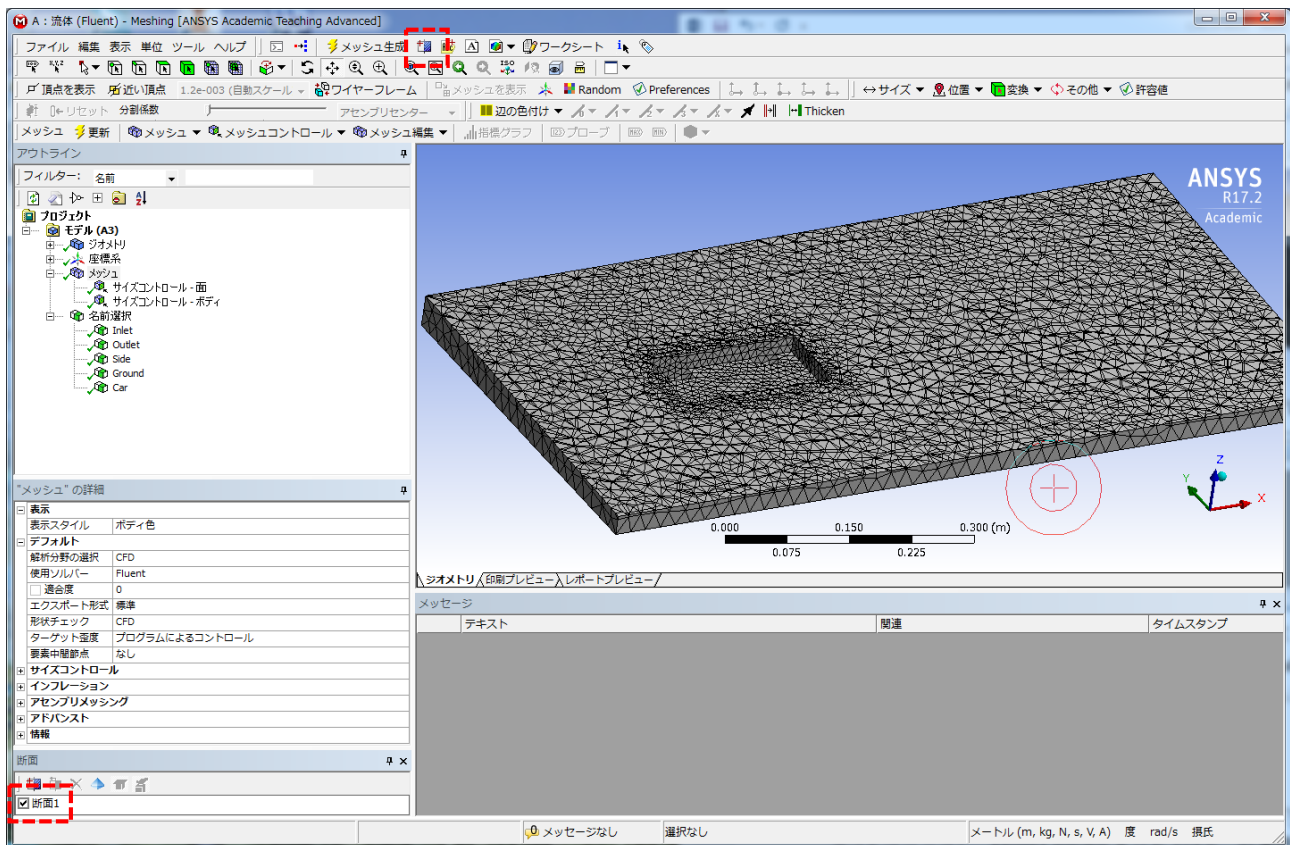
プロジェクトに戻り、「メッシュ」をダブルクリックすると、Meshing が立ち上がるので、上記同様、境界条件を設定する領域に名前をつけて、定義しておく。

流入面に”Inlet”，流出面に”Outlet”，側面に”Side”，地面に”Ground”，車に”Car”と名前をつけておく。車は、

画面で右クリックし、プルダウンメニューから「全てを選択」した（もしくは $ctrl+A$ ）あと、壁面を選択から解除することで選択できる。その後、「メッシュ」-「挿入」-「サイズコントロール」で、スコープの選択方法でプルダウンメニューから「名前の選択」を選択し、名前の選択のプルダウンメニューから「Car」（車の面）を選択、サイズを $0.01\text{m}$ と設定しておく。また、「メッシュ」-「挿入」-「サイズコントロール」で、解析空間全体を選択（画面でボディとして選択）し、サイズを $0.02\text{m}$ と設定しておく。メニューの「メッシュ生成」でメッシュが生成される。

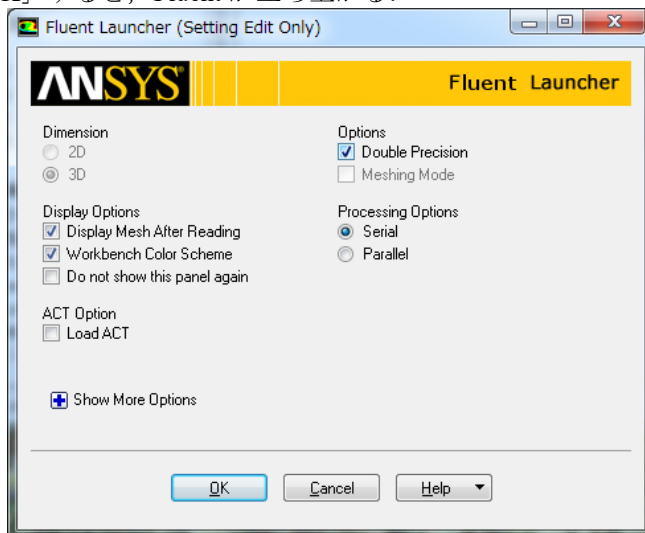


メニューの「新規切断面」をクリックし、画面上で線を引くと、メッシュされたボディが切断され、内部のメッシュの状態を確認することが出来る。左下の断面 Window の「断面 1」のチェックを外すと元に戻る。ANSYS 教育版の上限は、約 51.2 万セルほど。これを超えると、この後解析できない。

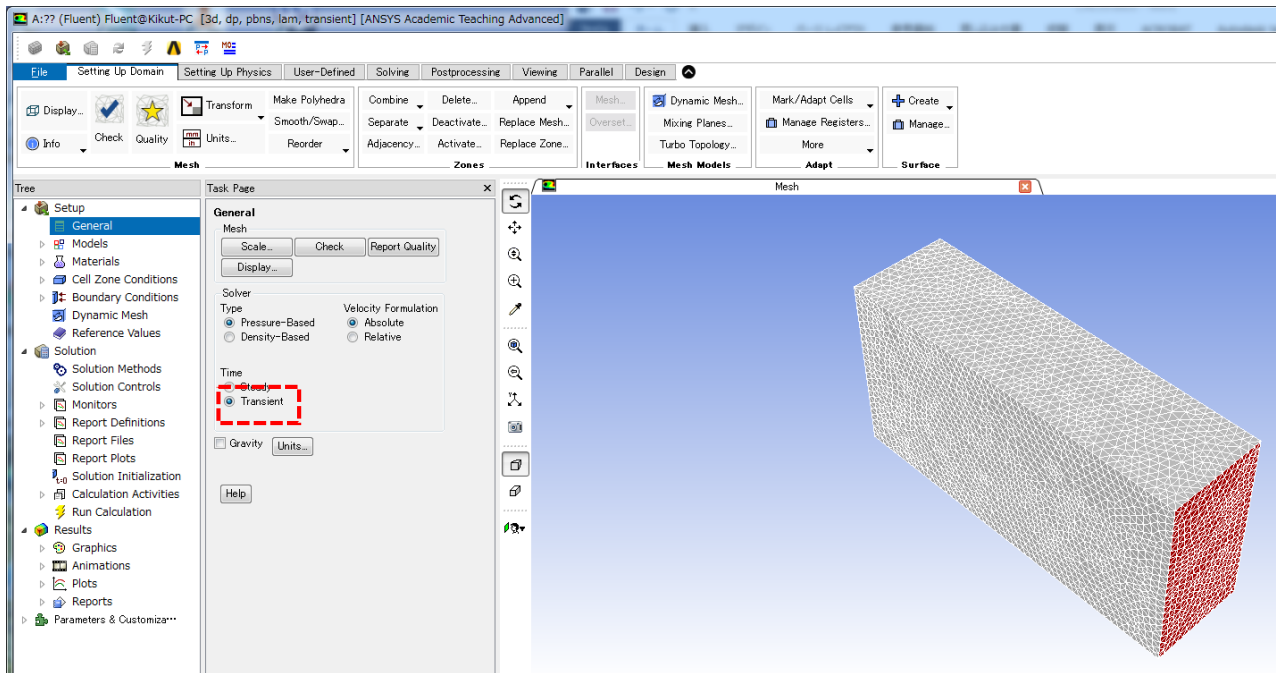


## 6.2 物性値の設定

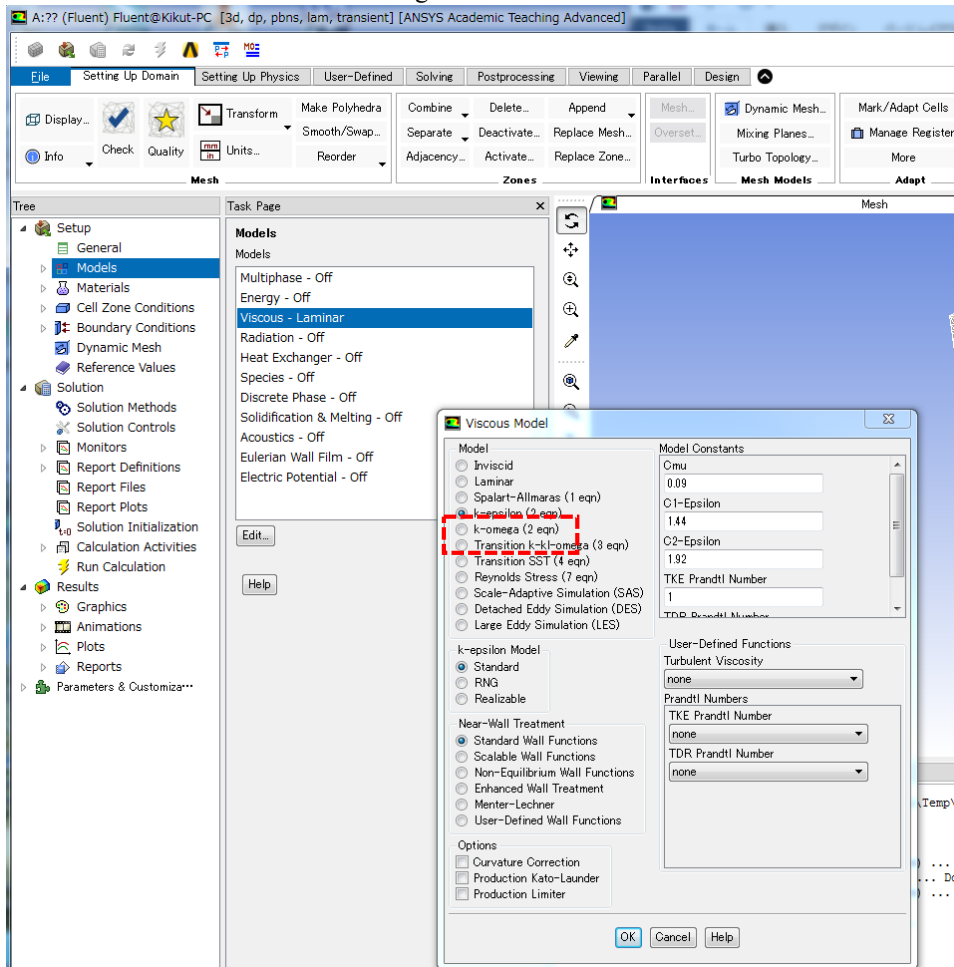
次に、Workbenchに戻り、「メッシュ」を右クリックし、「更新」しておく。その後、「セットアップ」をダブルクリックし、Fluent Launcherを立ち上げる。計算精度を上げる場合には、Double Precisionをチェックする。「OK」すると、Fluentが立ち上がる。



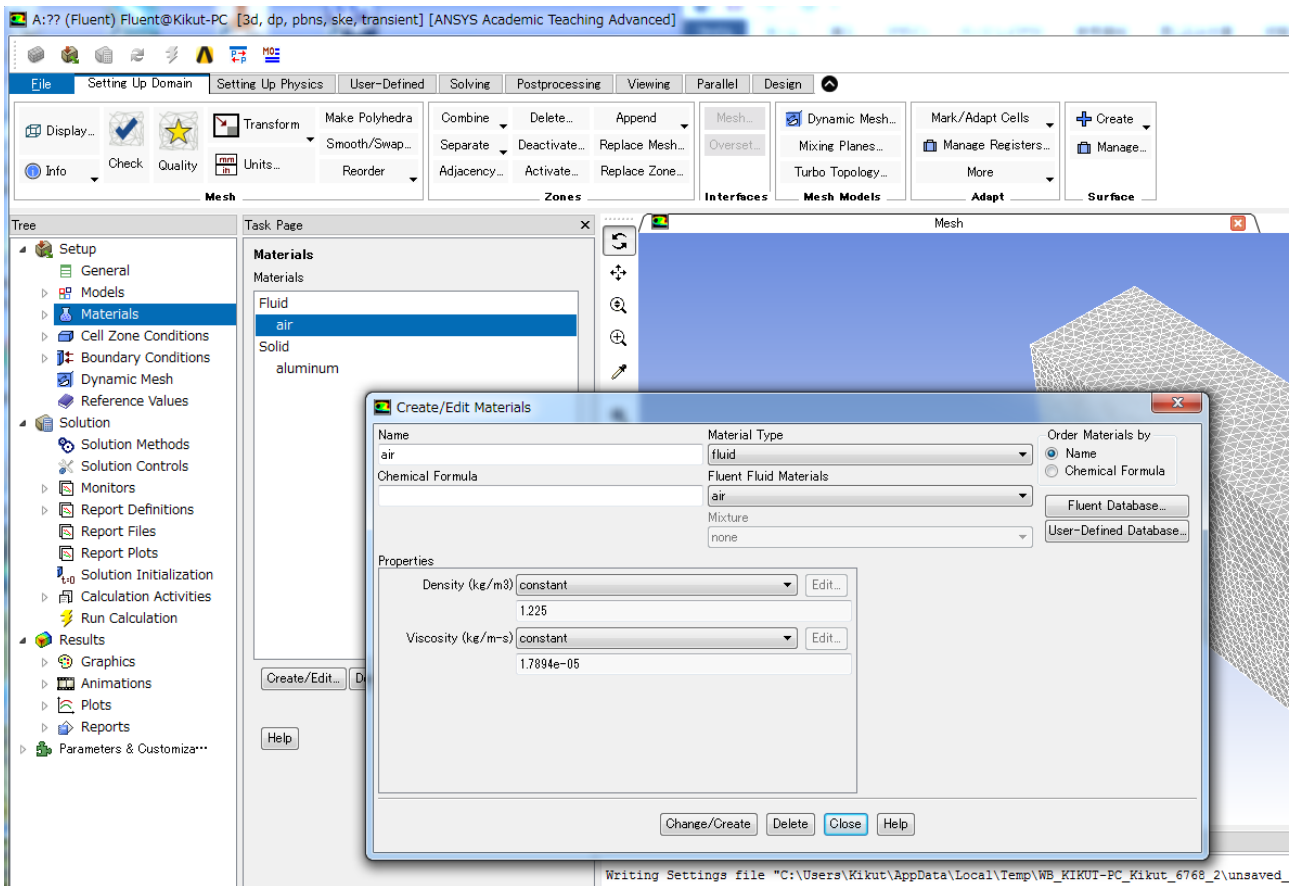
ここで、左のメニューの General で右のメニューの Solver の Type が選択できる。Time は、定常 ("Steady") と非定常 ("Transient") が選択できる。ここでは、"Transient"を選択する。



次に、左のメニューの Models で、右のメニューの Models から粘性流体”Viscous-Laminar”を選択する。Edit で計算スキームが選択できる。ここでは、k-epsilon(2 eqn)を選択し、「OK」する。他にも、Models では、輻射”Radiation”，熱交換”Heat Exchanger”，音響”Acoustics”などが選択できる。



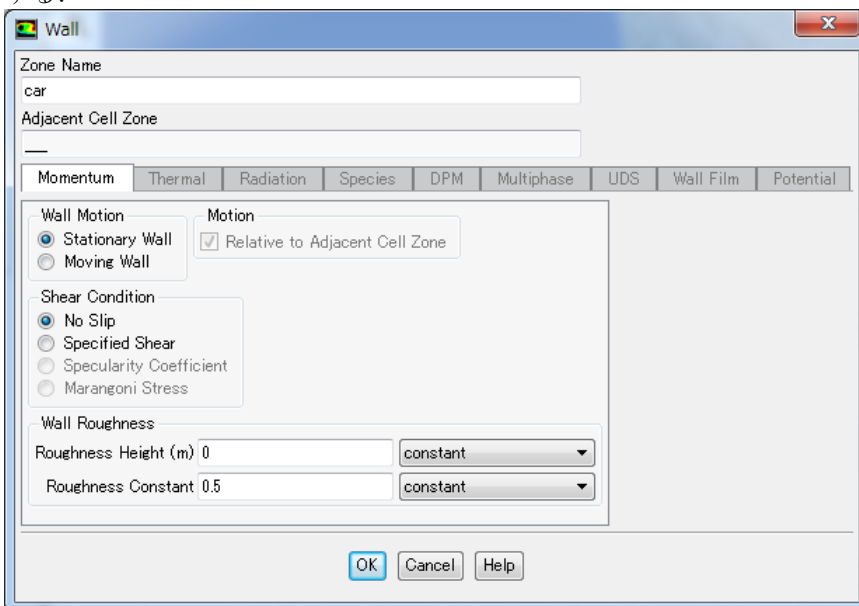
次に、左のメニューの Materials で、右のメニューの Materials から流体-空気”air”を選択し、左下の「Create/Edit」をクリックすると、Create/Edit Materials Window がオープンする。



ここで、右の「Fluent Database...」をクリックすると、Fluent Database Materials Window がオープンするので、水”Water-liquid(h2o<|>)”を選択し、「copy」をクリックすると、Materials-Fluid に water-liquid が追加される。空気”air”の他、様々な液体、気体を選択できる。ここでは、特に変更する必要はない。その後、Fluent Database Materials Window を「close」し、Create/Edit Materials Window の「Change/Create」をクリックし、「Close」する。

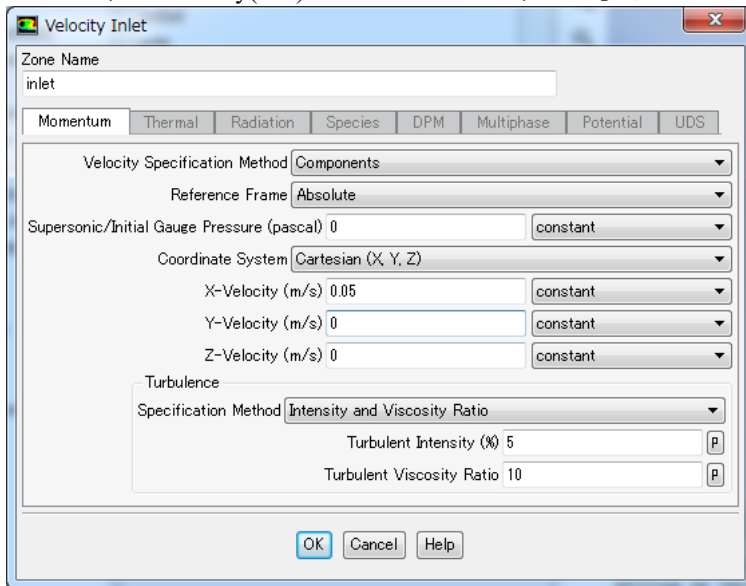
### 6.3 境界条件の設定

左のメニューの Boundary Conditions を選択し、右の Zone の”car”を選択し、Type を”Wall”にする。「Edit...」をクリックすると、Wall Window がオープンするので、Shear Condition の「No Slip」ボタンを選択し、「OK」する。

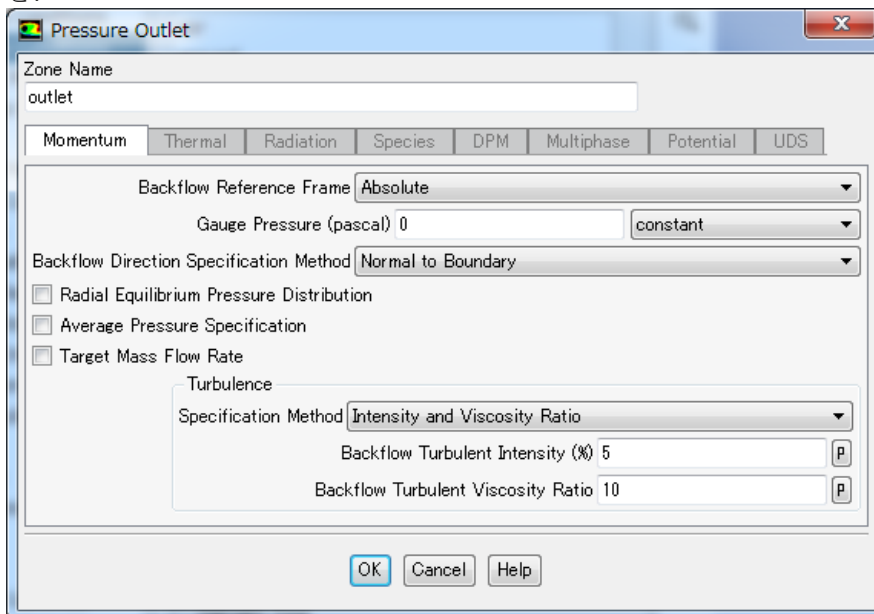


Zone の inlet を選択し、Type を”velocity-inlet”にし、「Edit...」をクリックすると、Velocity Inlet Window がオー

ブンするので、Velocity Specification Method を”Components”にし、X-Velocity(m/s)に”0.05”m/s、Y-Velocity(m/s)に”0”m/s、Z-Velocity(m/s)に”0”m/sを入力し、「OK」する。

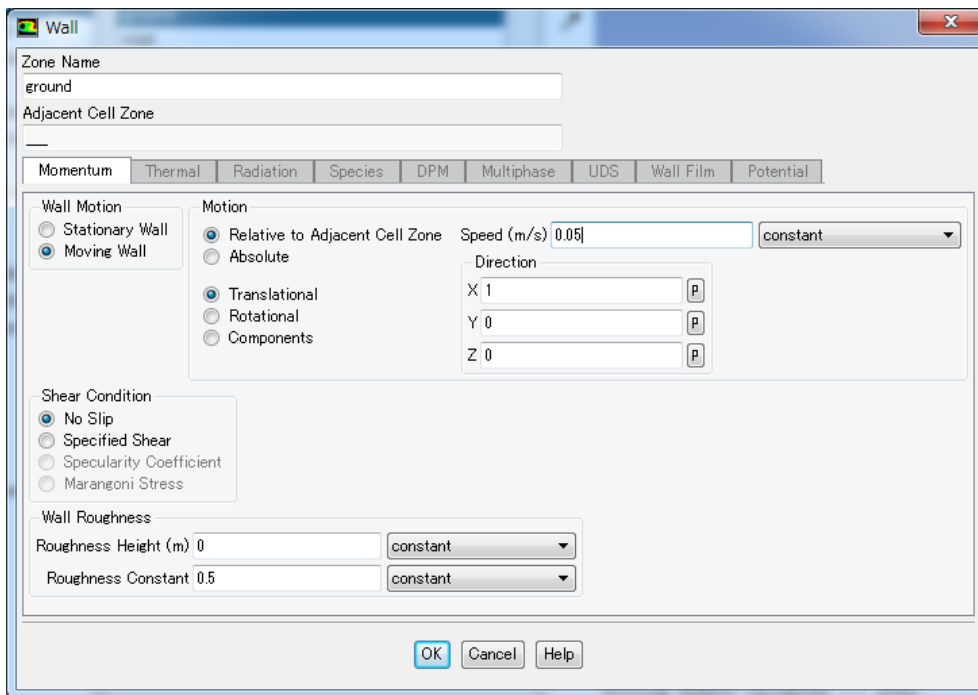


Zone の Outlet を選択し、Type を”pressure-outlet”にし、「Edit...」をクリックすると、Pressure Outlet Window がオープンするので、Gauge Pressure (Pascal)に”0”を入力し、「OK」する。ゲージ圧は、絶対圧力ー大気圧のこと。



An **outlet vent** is considered to be infinitely thin, and the pressure drop through the vent is assumed to be proportional to the dynamic head of the fluid, with an empirically determined loss coefficient which you supply. That is, the pressure drop,  $\Delta P$ , varies with the normal component of velocity through the vent,  $v$ , as follows:  $\Delta P = k_L \frac{1}{2} \rho v^2$

Zone の”Side”を選択し、Type を”symmetry”にする。面对称条件で、面の法線方向の速度のみ 0 という意味。Zone の”Ground”を選択し、Type を”wall”にし、”Edit”で、”Moving Wall”を選択し、Motion で Speed(m/s)に”0.05”を入力し、Direction に X”1”, Y”0”, Z”0”を入力する。Shear Condition は”No Slip”とし、「OK」する。



次に、左のメニューの **Reference Values** を選択し、右の **Compute from** を”inlet”にする。この操作の意味が分からず... 初期値に係わっていると... You can control the reference values that are used in the computation of derived physical quantities and non-dimensional coefficients. These reference values are used only for postprocessing.

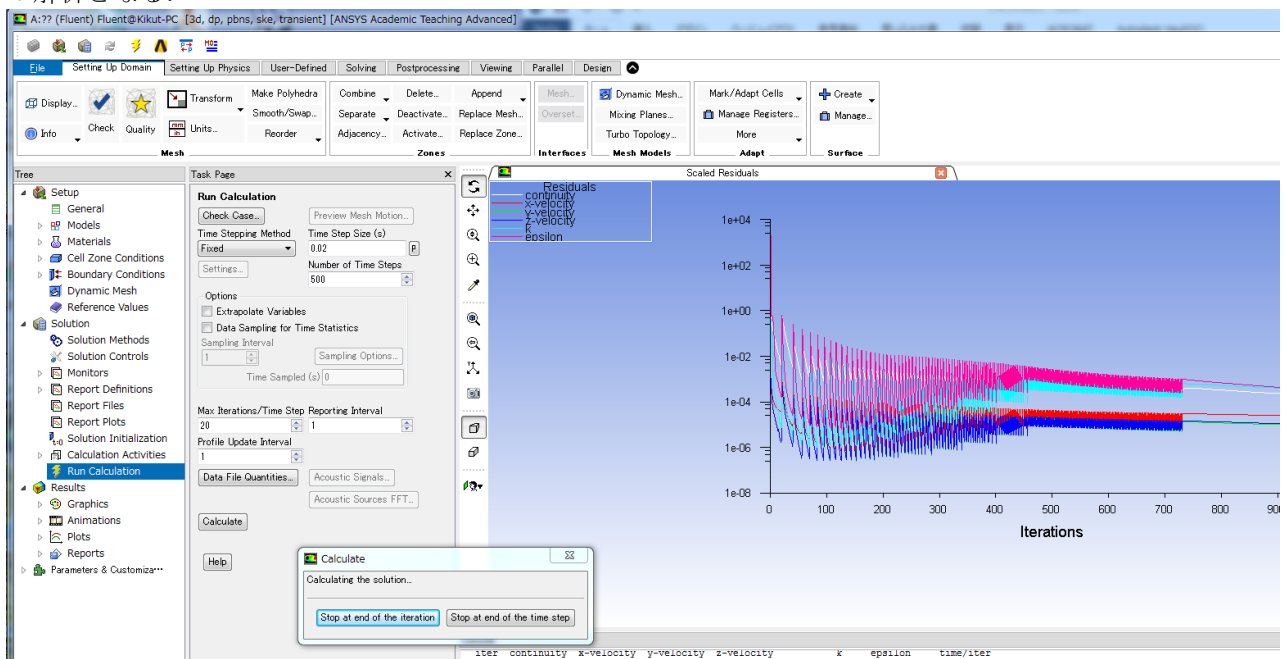
#### 6.4 解析の実行

左のメニューの **Solution Methods** では、計算スキームを変更できる。

左のメニューの **Solution Initialization** を選択し、**Initialization Methods** で”Hybrid Initialization”ボタンを選択し、「initialize」する。計算の初期値として **Inlet** の流速が一樣に全体に流れているように設定する。

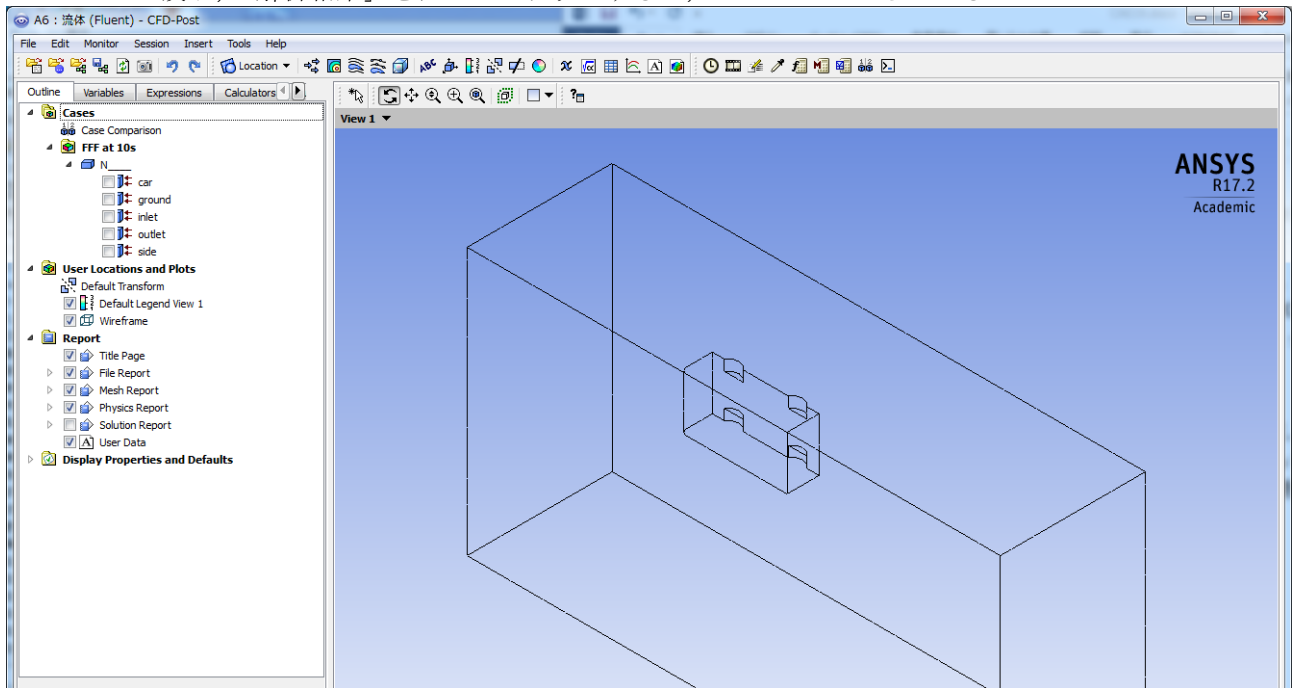
左のメニューの **Calculation Activities** を選択し、**Autosave Every (Time steps)**に”10”を設定し、10step 毎セーブする。動画を作成するときのフレームになる。

左のメニューの **Run Calculation** を選択すると、繰り返し計算数が設定できる。Time Step Size に”0.02” [s]を入力し、Number of Time Steps を”500”にし、Max Iteration/Time Step を”20”にし、「Calculate」すると、計算が開始される。Max Iteration/Time Step は、収束計算の繰り返し数の最大値の設定。0.02 秒×500step で 10 秒間のシミュレーションとなる。車が 0.05m/s で進んでいるので、 $0.05 \times 10 = 0.5\text{m}$  (2.5 車体) の運動における流れ場の解析となる。

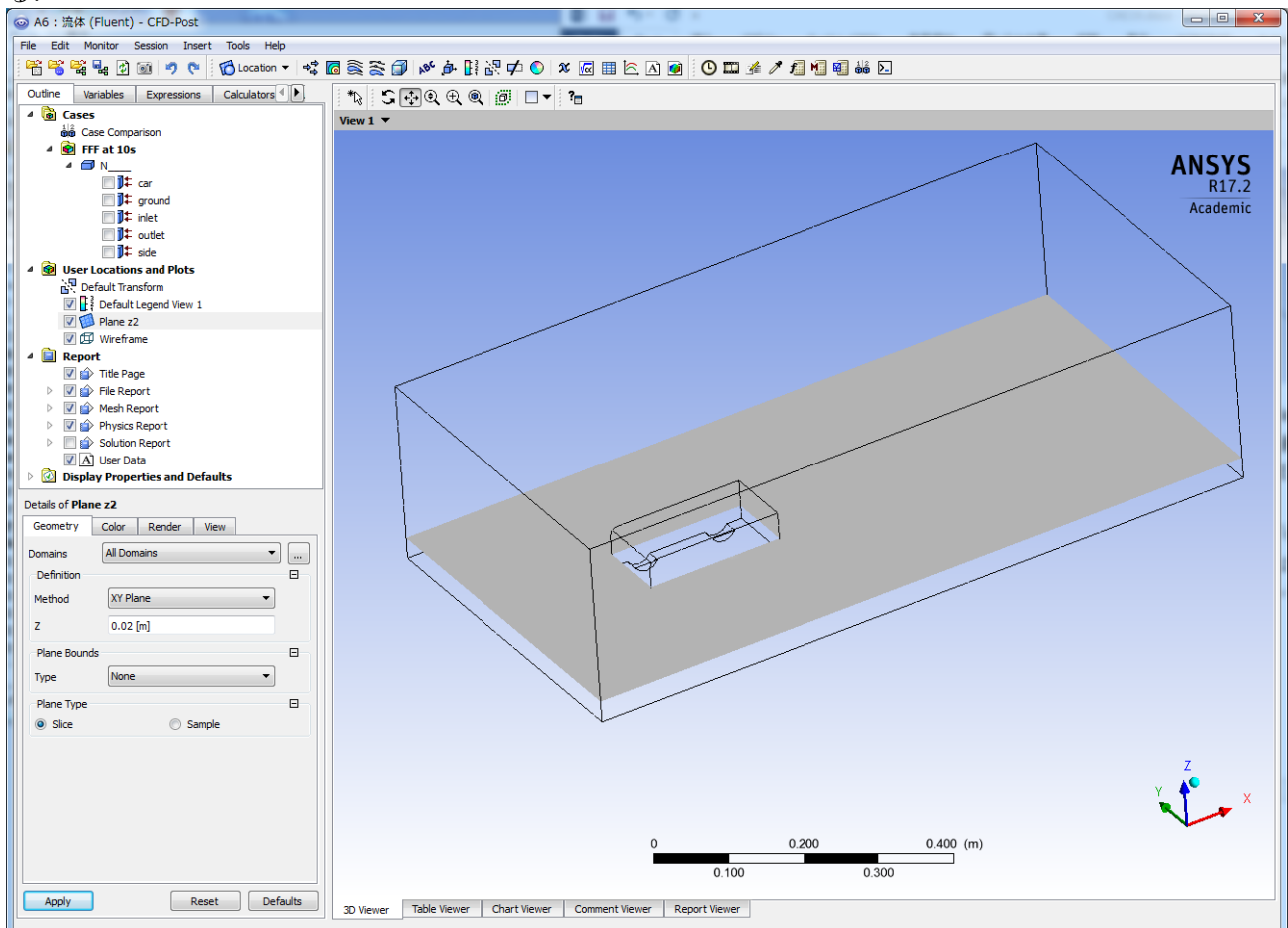


#### 6.5 可視化

Workbenchに戻り、「解析結果」をダブルクリックすると、CFD-Postが立ち上がる。



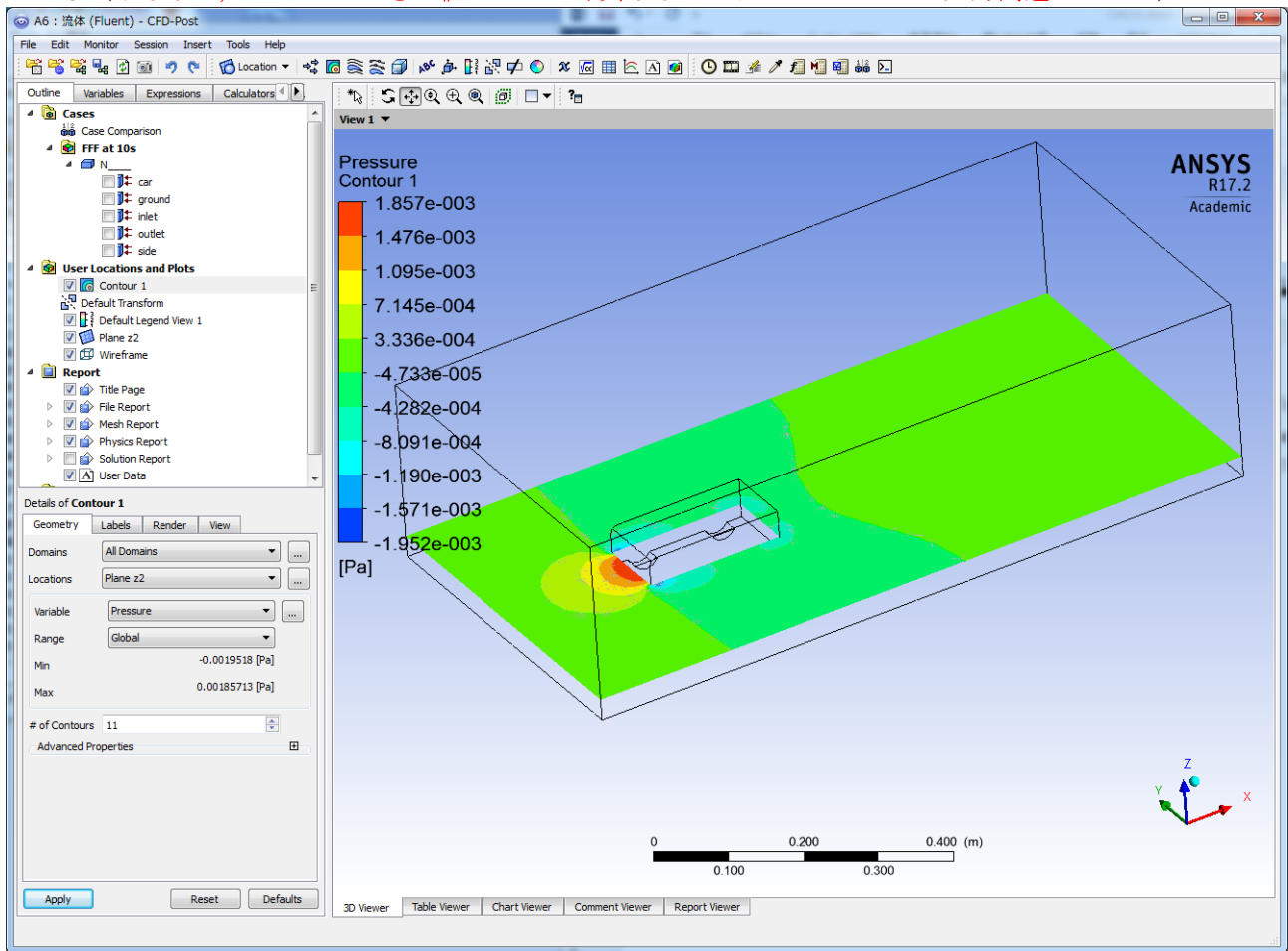
メニューの「Location」のプルダウンメニューで「Plane」を選択し、Nameに「Plane z2」と入力する（z=2平面という意味）。左下のDetails of Plane z2のGeometryタグのMethodで「XY Plane」を選択し、Zに「0.02」[m]を入力し、「Apply」すると、Outlineにz2メニューが追加される。チェックを外すと、画面上の平面は非表示になる。



圧力の表示：

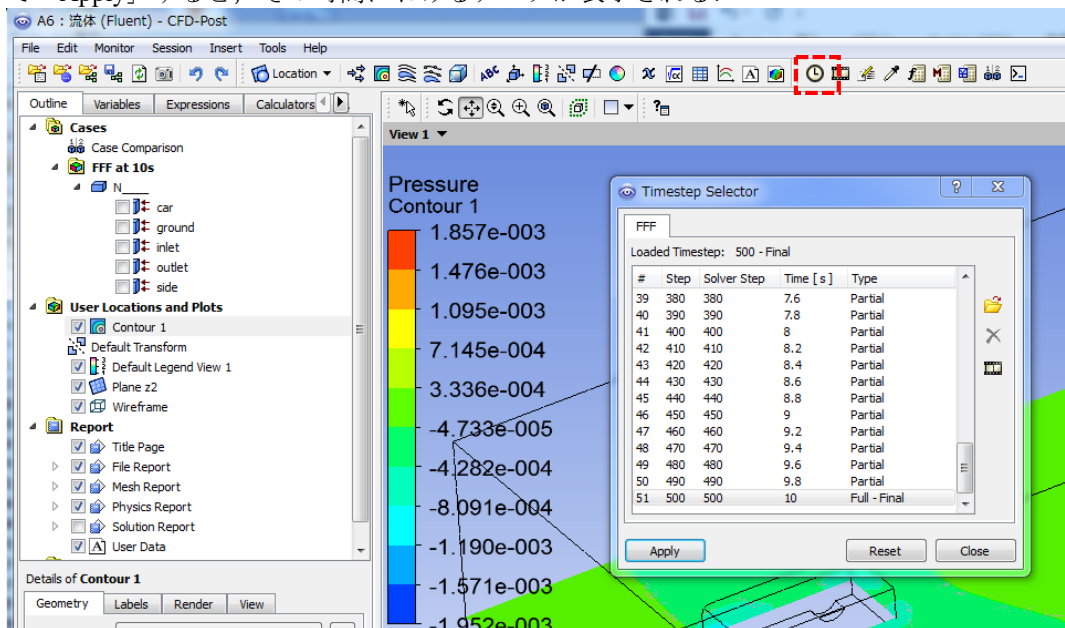
メニューの「Contour」をクリックし、Nameを「Contour 1」と入力し「OK」すると、Details of Contour 1がオー

ブンされる。Details of Contour 1 の Geometry タグの Locations の”Plane z2”を選択し、Variable を”Pressure”にして「Apply」すると、等圧力線図+コンタ図が表示される。最大圧力から最小圧力までを 10 分割して表示している (ちなみに、ver14.2 のときの値とまったく異なるのがおかしい。どこか入力間違えたか?)。



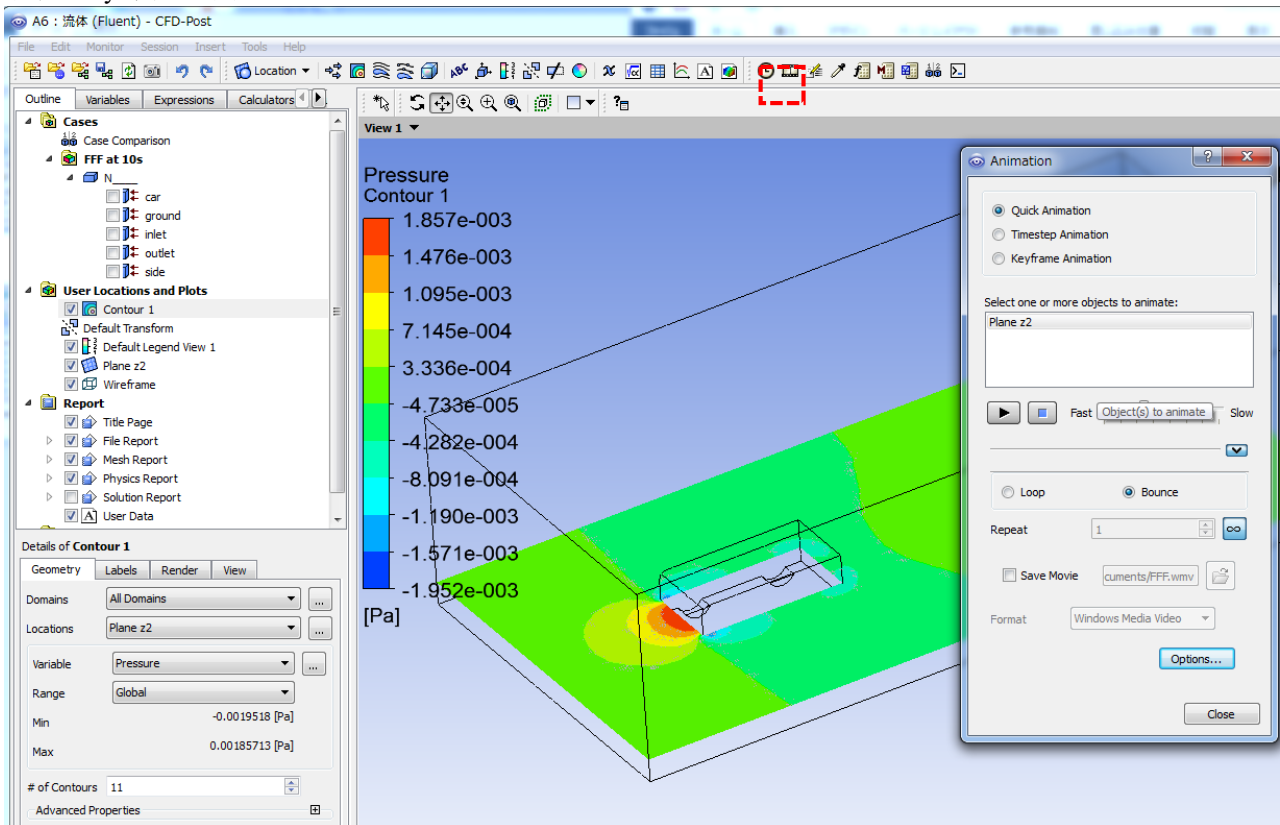
Details of Contour 1 の Range を”User Specified”にすると、圧力の最小値、最大値が入力できる。また、# of Contours で等圧線の本数を指定できる。

メニューの「Timestep Selector」をクリックすると、10Step 毎保存されたデータが表示され、Step 数を選択して「Apply」すると、その時間におけるデータが表示される。



メニューの「Animation」をクリックすると、Animation Window がオープンする。動画として再生可能であり、

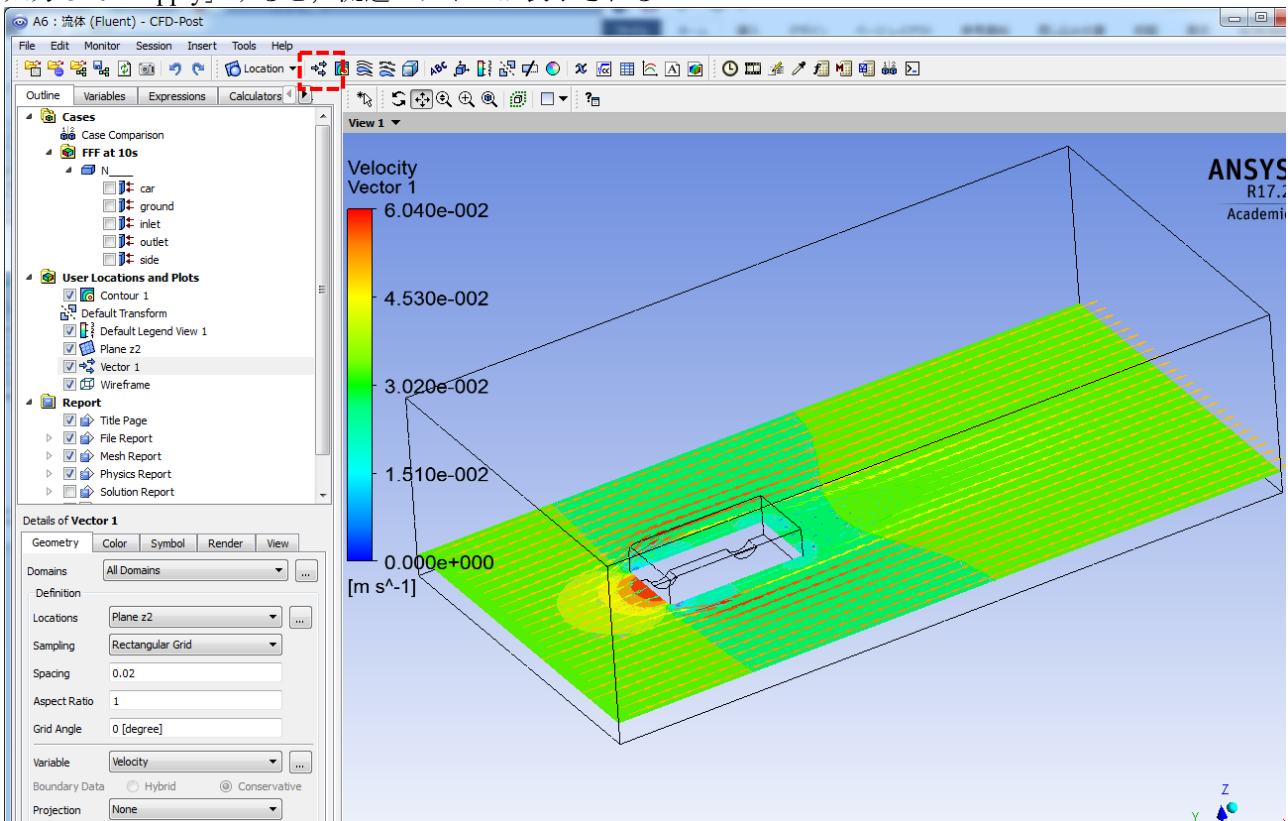
動画ファイルも作成可能である。 ”Timesteps”を選択すると時系列の動画, ”Plane z2”を選択すると z 方向に移動する xy 平面を動画となる。



Outline メニューの Contour 1 のチェックを外し、圧力を非常時にしておく。

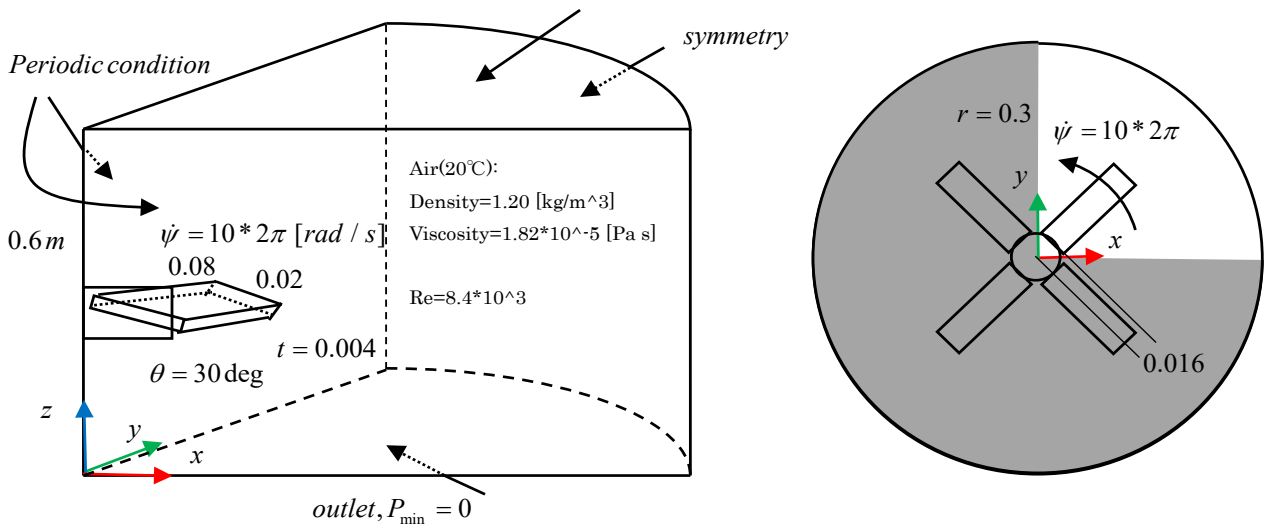
**流速ベクトルの表示：**

メニューの「Vector」をクリックし、Name に”Vector 1”を入力し、「OK」すると、Details of Vector 1 が開くので、Geometry タグの Locations で”Plane z2”を選択、Sampling で”Rectangular Grid”を選択、Spacing に”0.02”を入力して「Apply」すると、流速ベクトルが表示される。



## 7 流体解析 (Fluid analysis) : 回転体の解析の例 1 (軸対称計算)

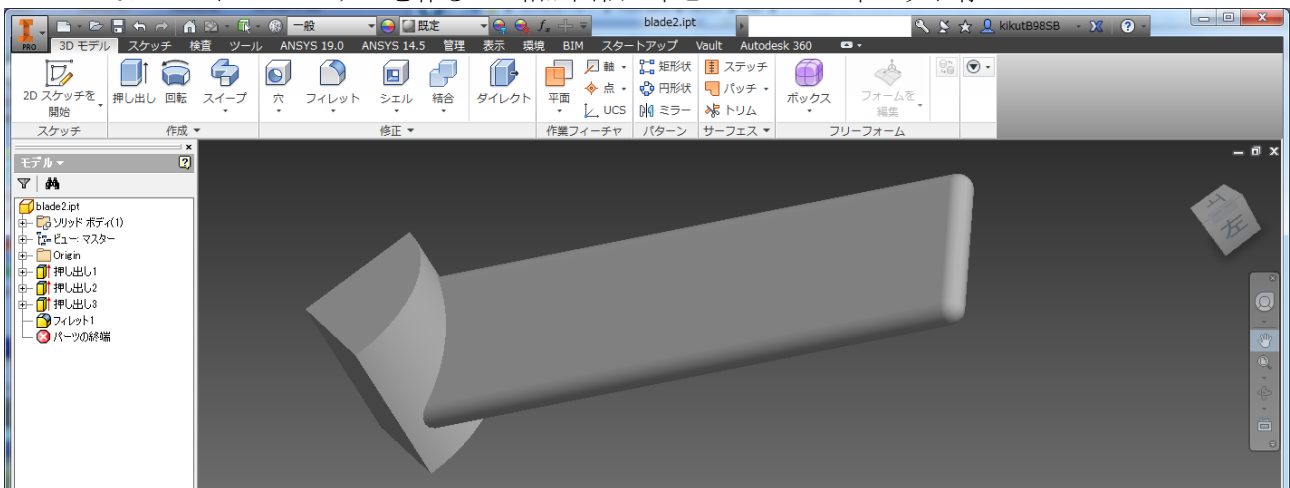
Pressure outlet :  $P_{\min} = 0$



ヘリコプタのブレードの解析を行う。4ペラを想定し、ホバリング、計算空間は軸対称で 1/4。空間座標系でブレードが回っているモデルで計算する (ブレード座標系で、空間が回るようにすると、慣性座標系ではなくなるので、遠心力とコリオリ力を考慮する必要が出てくる)。もう少し本来の現象を捉えた境界条件設定があると思うが、よく分からないのでとりあえず今回はこの設定。

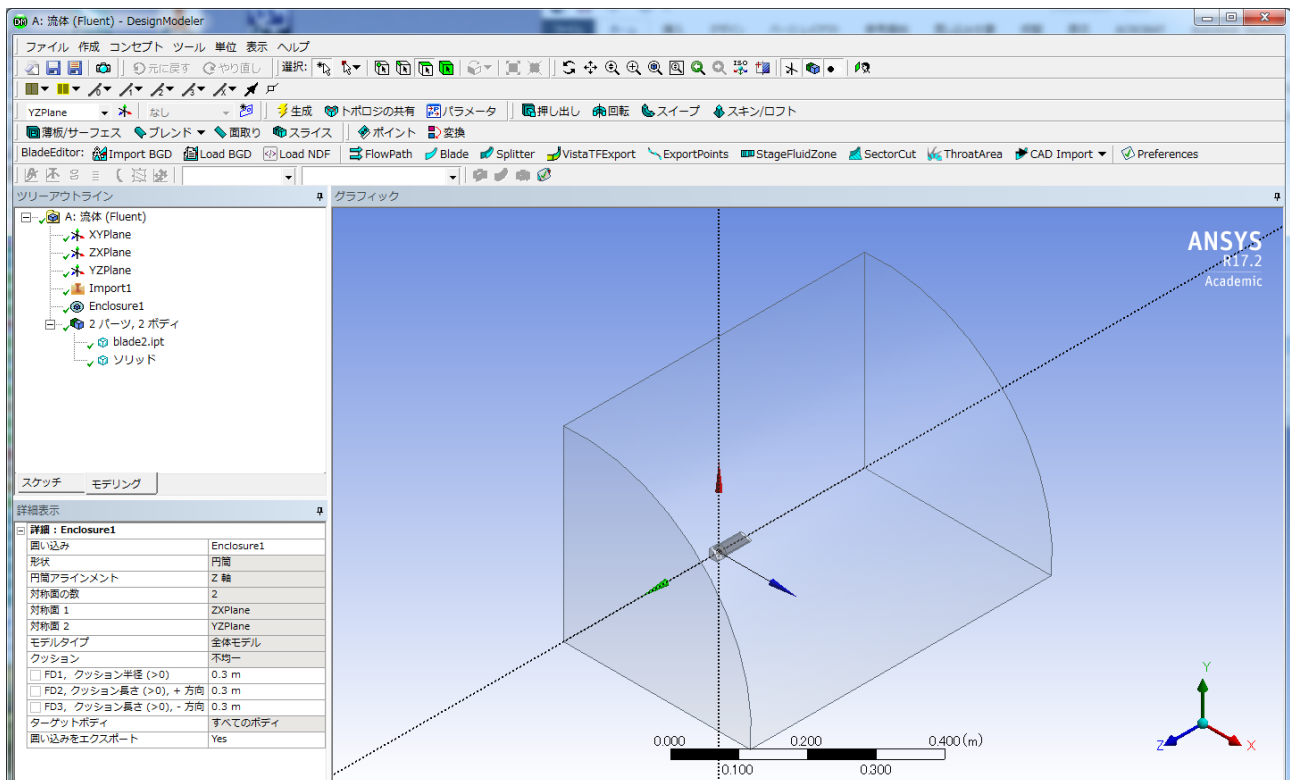
### 7.1 CAD モデル生成

Inventor でブレードの 1/4 モデルを作る。Z 軸が回転の中心。2mm のフィレット有。



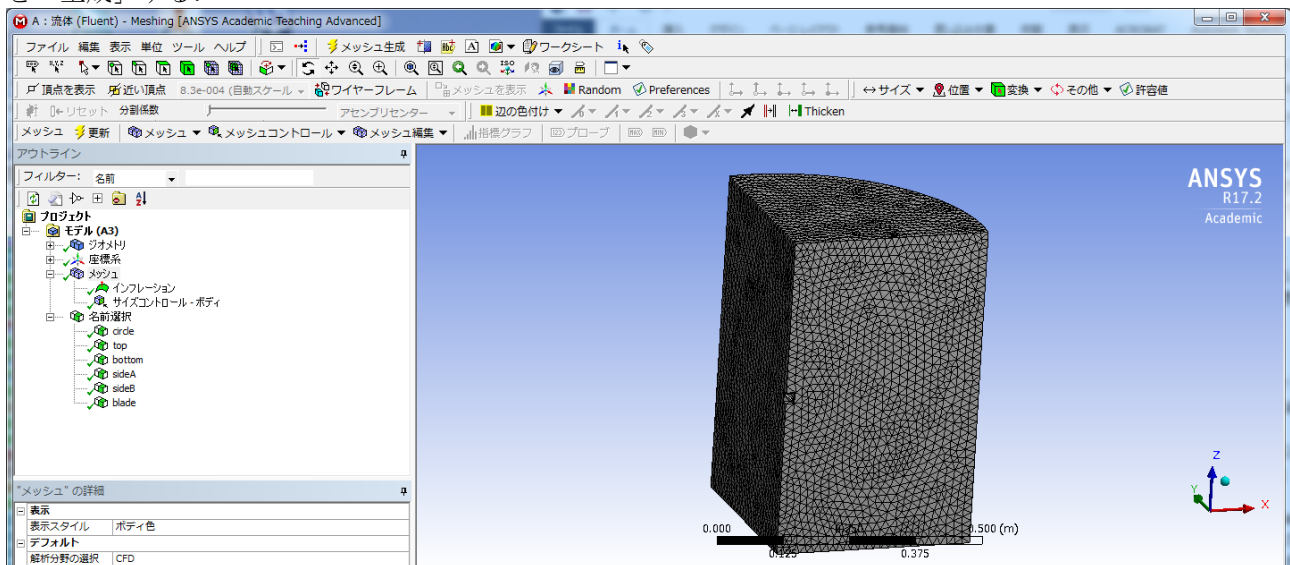
### 7.2 メッシュング

Workbench を立ち上げ、「流体 (Fluent)」をドラッグしてジオメトリにドロップし、Fluent の項目の「ジオメトリ」から、CAD モデルを読み込み、「ジオメトリ」を右クリックし、「DesignModeler でジオメトリを編集」を選択し、DesignModeler アプリを立ち上げる。「生成」を行った後、ツールの「囲い込み」をクリックする。詳細表示の形状のプルダウンメニューで「円筒」を選択し、円筒アライメントを「Z 軸」にし、対称面の数を「2」面にし、対称面 1 でツリーアウトラインの「ZXPlane」を選択し、対称面 2 でツリーアウトラインの「YZPlane」を選択する。これで、境界条件をこの両面を周期境界条件として選択できるようになる。空間は適当に、半径「0.3」m, z 軸+方向「0.3」m, z 軸-方向「0.3」m にして、「生成」する。



メニューの作成で「ブーリアン」を選択し、「引き算」にし、ターゲットボディで計算空間を、ツールボディでブレードを選択して「生成」し、差分した計算空間を作っておく。次に、プロジェクトに戻り、「メッシュ」をダブルクリックして、Meshing アプリを立ち上げ、各境界面に、右クリックの「名前選択作成」で、"sideA", "sideB", "top", "bottom", "circle", "blade"と名づける。Blade 面は選択しにくいので、面を全選択した後、側面を解除して、選択する。

アウトラインのメッシュを右クリックし、「挿入」の「インフレーション」で、ジオメトリはボディで計算空間を選択して「適用」し、境界スコープ方法で「名前選択」をし、境界のプルダウンメニューから"blade"を選択する。同様に、「サイズコントロール」で全体のボディを「適用」し、要素を"0.015"m にして、メッシュを「生成」する。

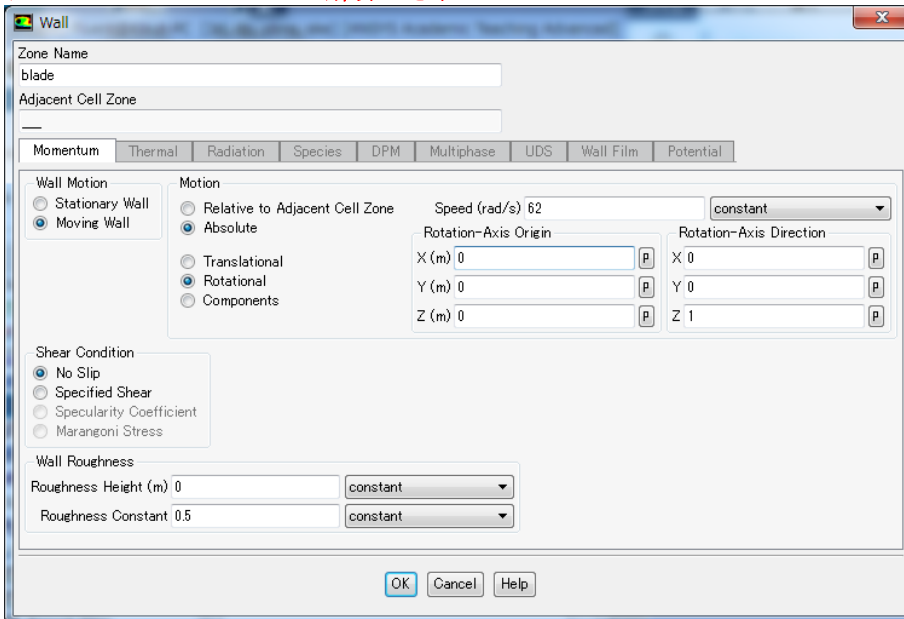


### 7.3 セットアップ：周期境界条件の設定

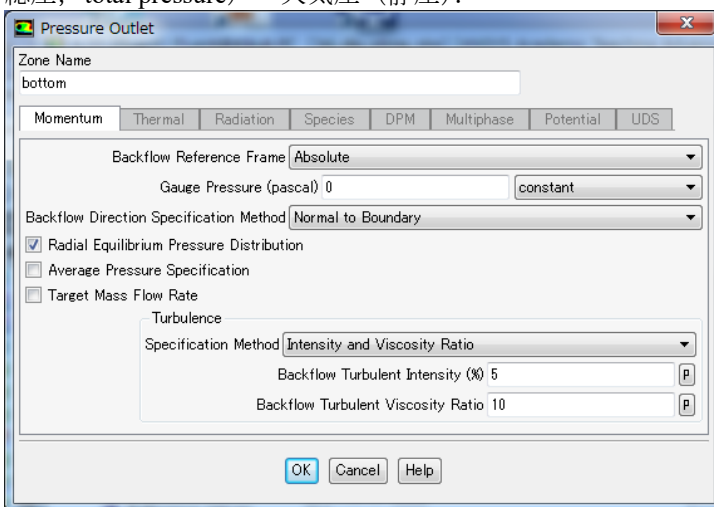
プロジェクトに戻り「メッシュ」を更新し、「セットアップ」をダブルクリックし、"Double precision"で Fluent を立ち上げる。Solution Setup の General で定常"Steady"を選択し、Models は「Viscous-Laminar」を選択し、「Edit」で乱流モデル"K-epsilon(2 eqn)"を選択し、「OK」する。Materials は"air"を選択する。

Boundary Conditions で"side a"を選択し、Type をプルダウンメニューから"Interface"にして「OK」し、名前をつけて「OK」する。同様に、"side b"を選択し、Type を"Interface"にして「OK」し、名前をつけて「OK」する。これで、Mesh Interfaces が選択できるようになる。

”blade”の Type は”Wall”にし， Edit で”Moving wall”を選択し， Motion で”Absolute”， ”Rotational”を選択し， 角速度 Speed(rad/s)を”62”（62rad/s=10rps）に， 回転の原点 Rotation-Axis Origin の X(m)を”0”， Y(m)を”0”， Z(m)を”0”に， 回転軸 Rotation-Axis Direction を X”0”， Y”0”， Z”1”にし， 「OK」する． なお， 壁面粗度（Wall Roughness）に関するパラメータ（乱流モデルにおける表面の粗さに関連する抵抗増加を考慮した係数）が存在するが， ここでは無視する． → **ところが結果を見ると， ブレードが Z 軸回転していない． ブレード壁面に沿った流れになっている． このため解析できず． なぜかはわからないまま．**



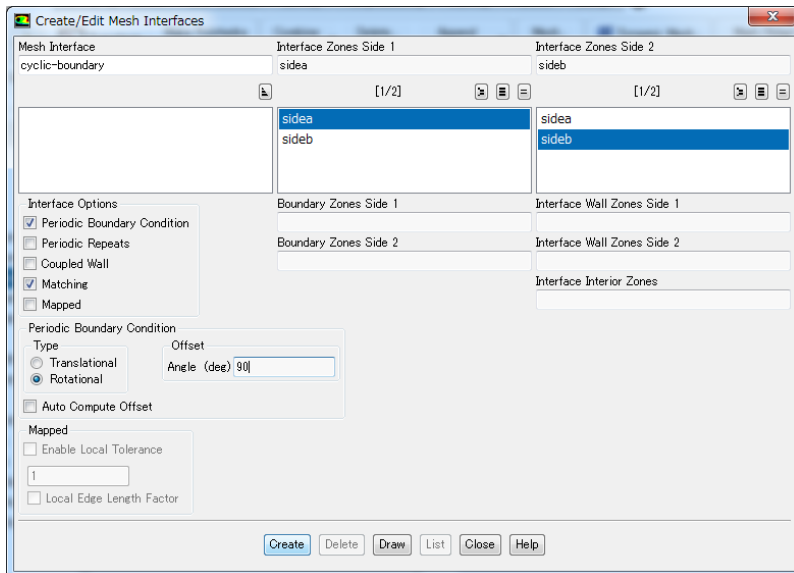
”bottom”の Type は”Pressure-outlet”にし， Edit で， Momentum タグの”Radial Equilibrium Pressure Distribution”をチェックし， ゲージ圧 Gauge Pressure (Pascal)は”0”にして， 「OK」する． ゲージ圧（動圧）＝絶対圧力（全圧， 総圧， total pressure）－大気圧（静圧）．



Circle の Type は”symmetry”（法線方向の流れなし）にし， 「OK」する．

”top”の Type は”Pressure-outlet”にし， Edit で， ”Radial Equilibrium Pressure Distribution”をチェックし， ゲージ圧 Gage Pressure (Pascal)に”0”を入力し， 「OK」する（”pressure-inlet”は， gauge total pressure となっており， 総圧を入力するようになっているため止めた．）．

次に， Mesh Interfaces で「Create/Edit」をクリックし， Mesh Interface に”cyclic-boundary”と名前をつけ， Interface Zone 1 で”side a”を， Interface Zone 2 で”side b”を選択し， Interface Options で， ”Periodic Boundary Condition”と”Matching”を選択する． Matching は， 周期境界面内のメッシュサイズ等が異なるときに， 対応付けをする． Periodic Boundary Condition は， Type で”Rotational”を選択し， Auto Compute Offset のチェックを外し， Angle (deg)に”90”を入力して， 「Create」し， 「Close」する．



なお、"Translational"を選ぶことで、平行な分割領域、Offsetの角度を"180"にすることにより円筒座標系の1/2モデルなどを計算領域として設定することが出来る。

Reference Valuesは、Compute fromで"blade"を選択しておく。

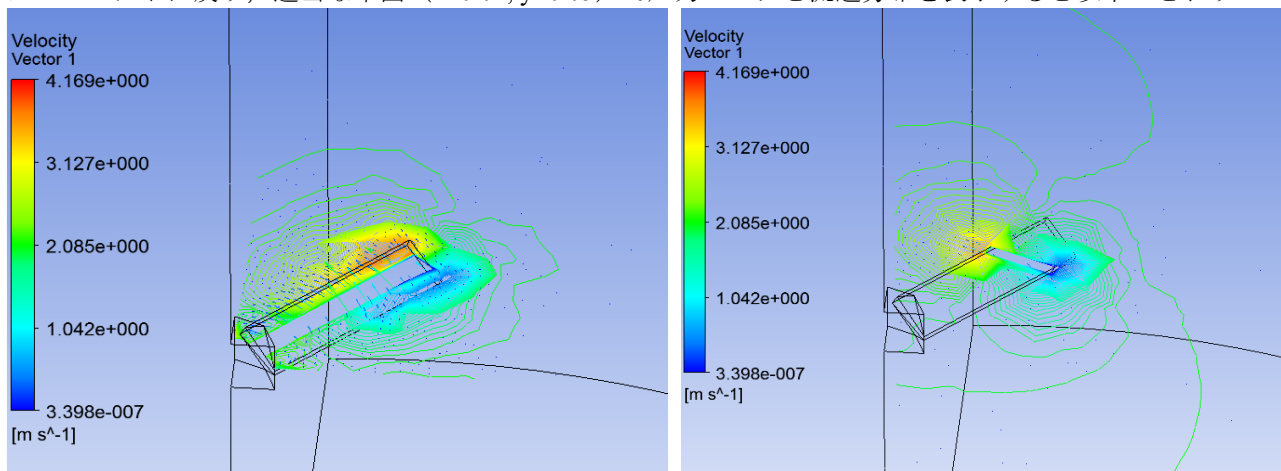
#### 7.4 計算

Solution InitializationでInitialization Methodで"Hybrid Initialization"を選択し、「Initialize」しておく。

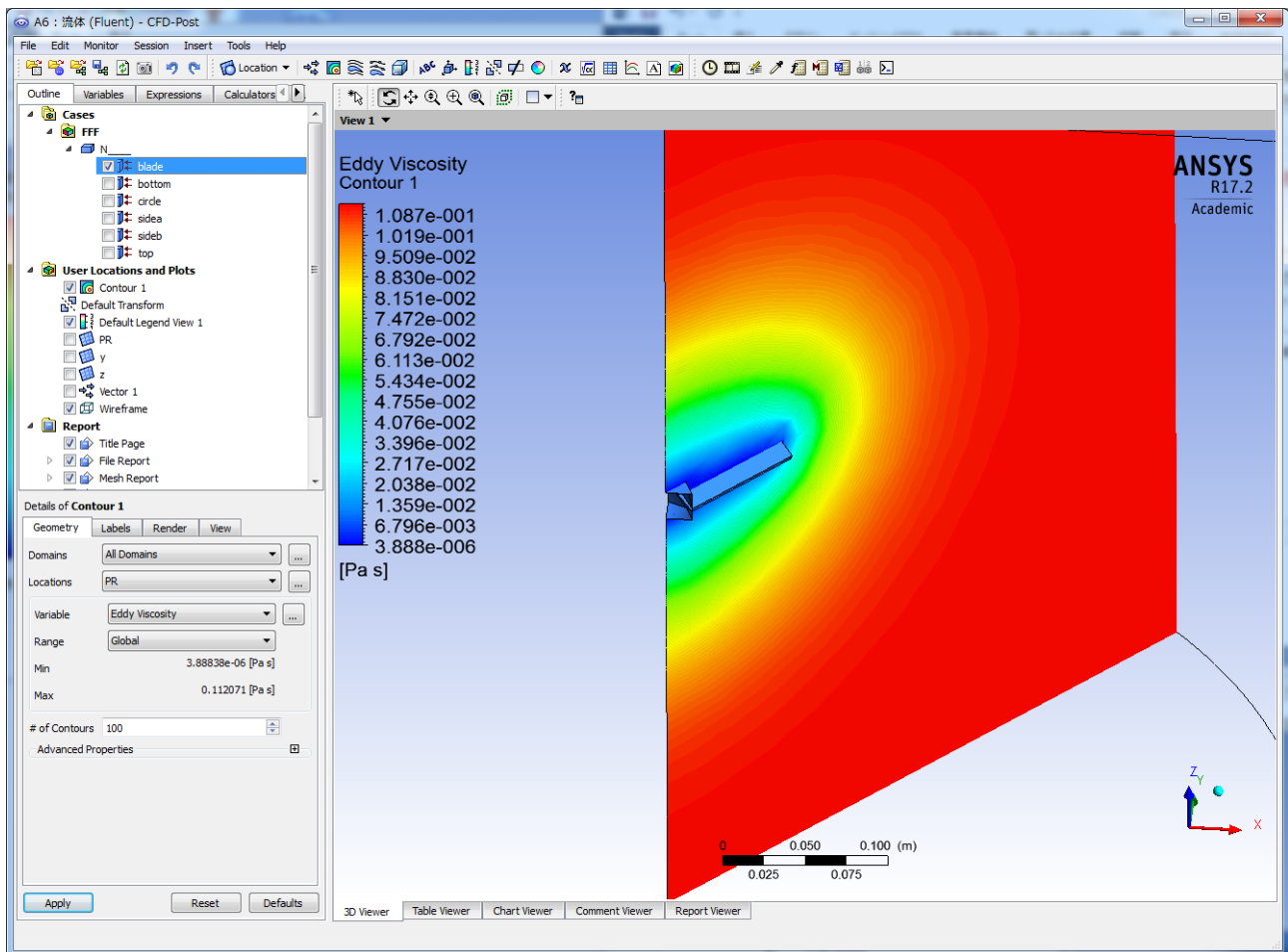
Run CalculationでNumber of Iterationsを"200"にし、Reporting Intervalを"10"、Profile Update Intervalを"10"にして、「Calculate」する。

#### 7.5 可視化

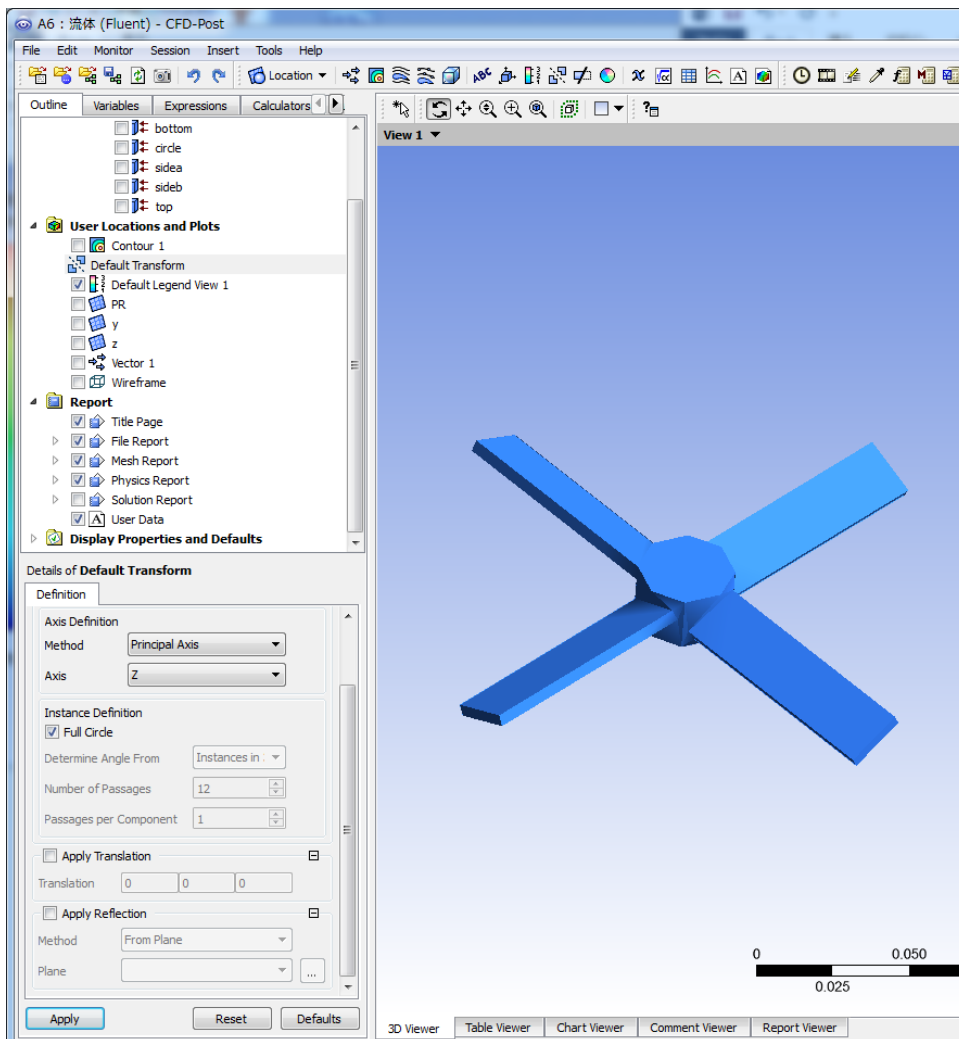
プロジェクトに戻り、適当な平面 ( $z=0.01, y=0.05$ ) で圧力コンタと流速分布を表示すると以下のとおり。



渦度も表示可能である。半径方向の面を設定するために、メニューの「Location」から、"plane"を選択し、適当な名前"RR"をつけ、Methodのプルダウンメニューから点と法線"Point and Normal"を選択し、点として"0", "0", "0"を、Normalとして"1", "-1", "0"を入力して、「OK」する。法線ベクトルは単位ベクトルである必要はない。次に、ContourのGeometryタグのVariableのプルダウンメニューの渦粘性係数"Eddy Viscosity"を選択し、LocationでRR面を選択すると渦度が表示できる。値がおかしいので間違っている...

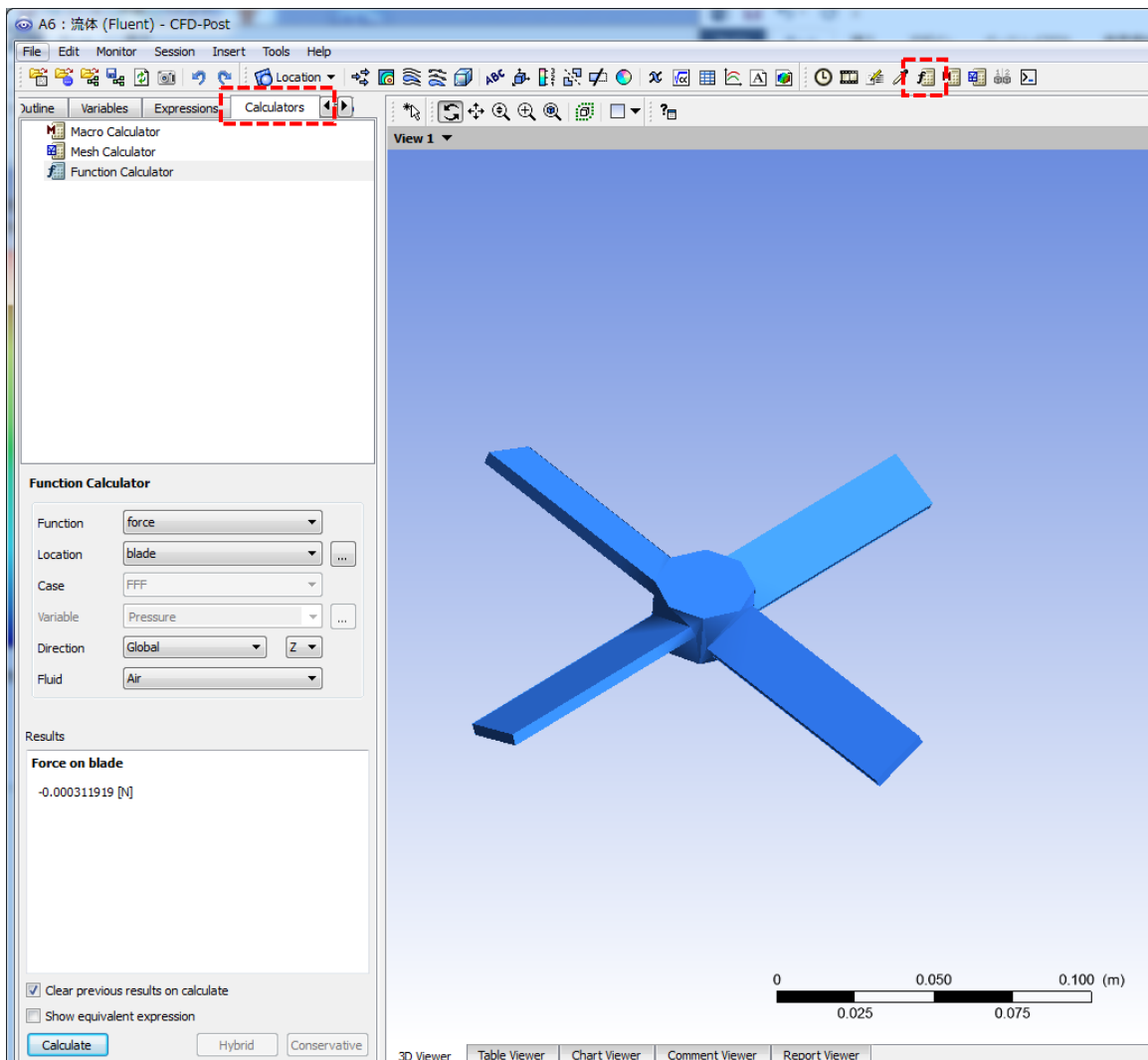


次に、1/4 の計算領域をコピーして全領域として表示する。アウトラインの「Default Transform」をダブルクリックし、左下の Definition タグの Instancing Info From Domain のチェックボタンを外し、Number of Graphical Instances を  $360\text{deg}/90\text{deg}=4$  にする。Apply Rotation をチェックし、Method を "Principal Axis", Axis を "Z" に選択すると、コピーする領域を Z 軸で回転させることができる。Instance Definition の Full Circle をチェックすることで、4 つの領域を生成できる。「Apply」し、アウトラインの Wireframe を外すと、全体のモデルが表示される。



## 7.6 圧力解析

ブレードにかかる圧力を積分して、外力を求める。Function Calculator ボタンを押すと、Calculator のタグが表示される。Function で”Force”を選択し、Location で”blade”を選択し、Direction で”Z”を選択し、Fluid で”Air”を選択し、「Calculate」すると、Force on blade 画面で、”-0.000311919 [N]”と表示される（計算されているのは、1/4 の領域の値）。下向きの風が 0.1m/s で吹き降ろしている(機体が上昇しようとしている)とき、ブレードを秒速 10 回転程度させても揚力が発生しないことが示されている。計算に失敗している。



また、Function の”area”で表面積が計算できる。トルク”Torque”，最大速度，平均速度なども計算できる。

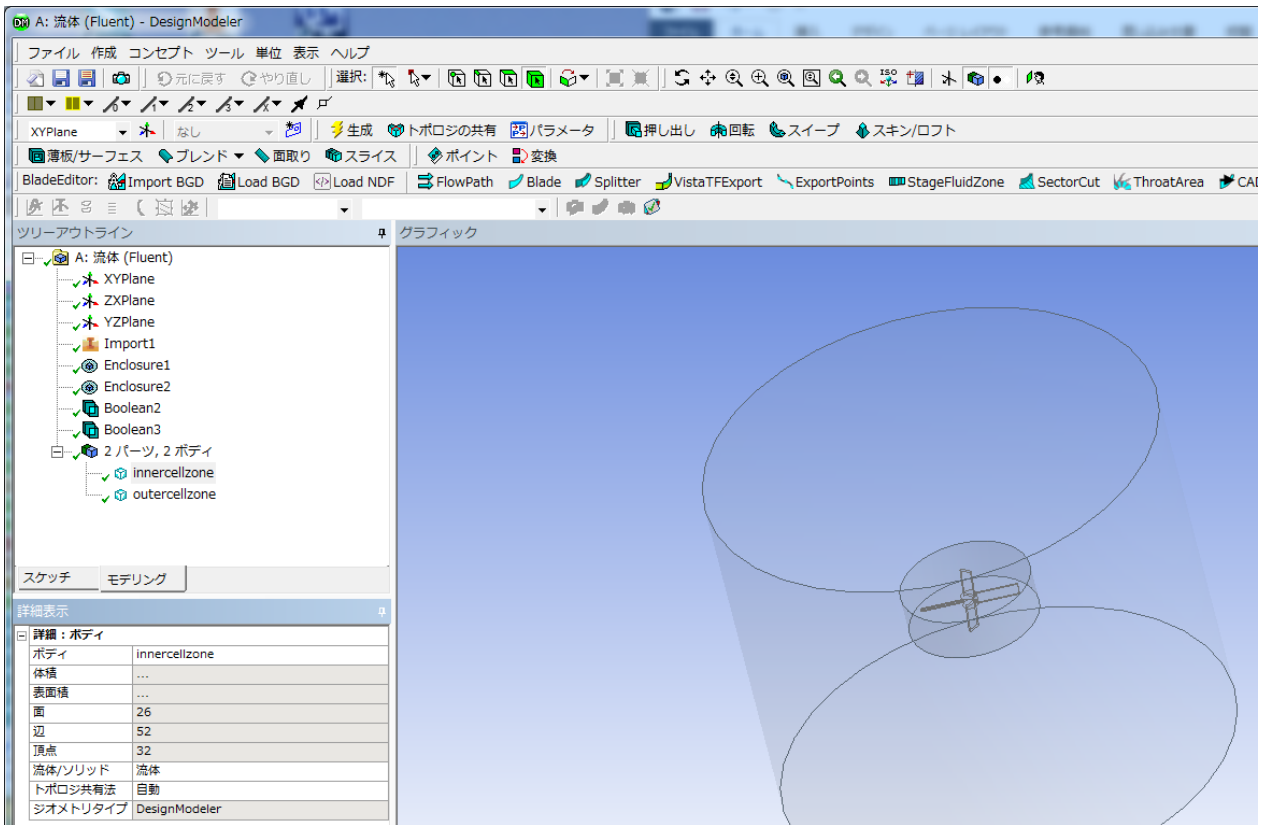
## 8 流体解析 (Fluid analysis) : 回転体の解析の例 2 (Sliding Mesh の例)

回転する計算空間 A (ブレード座標系) と、それを取り囲む回転しない計算空間 B (慣性座標系) をつくり、これらが境界面で接する (重合はさせない) ようにして計算する。定常問題でも非定常で計算することになる。

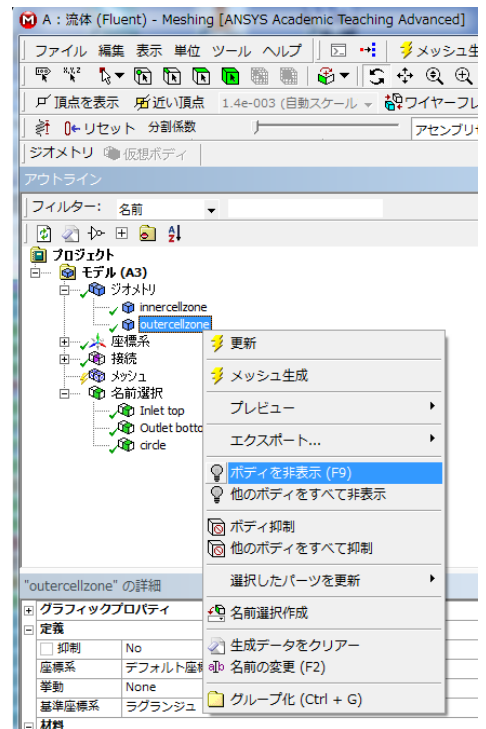
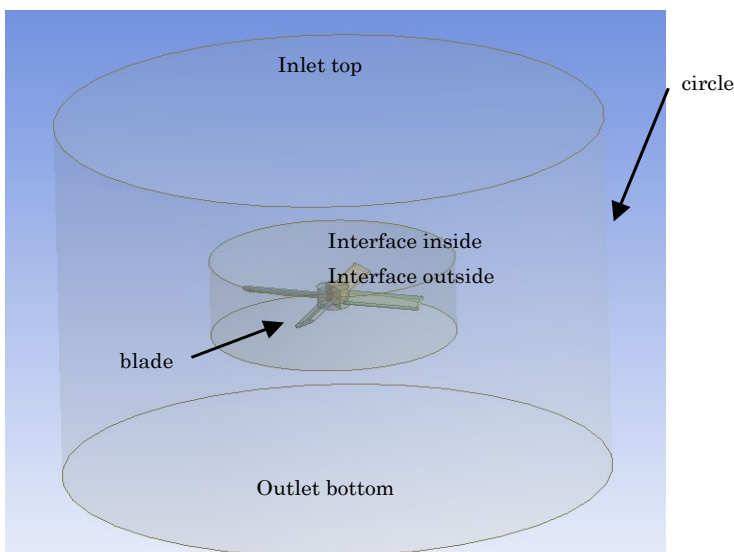
### 8.1 モデル設定

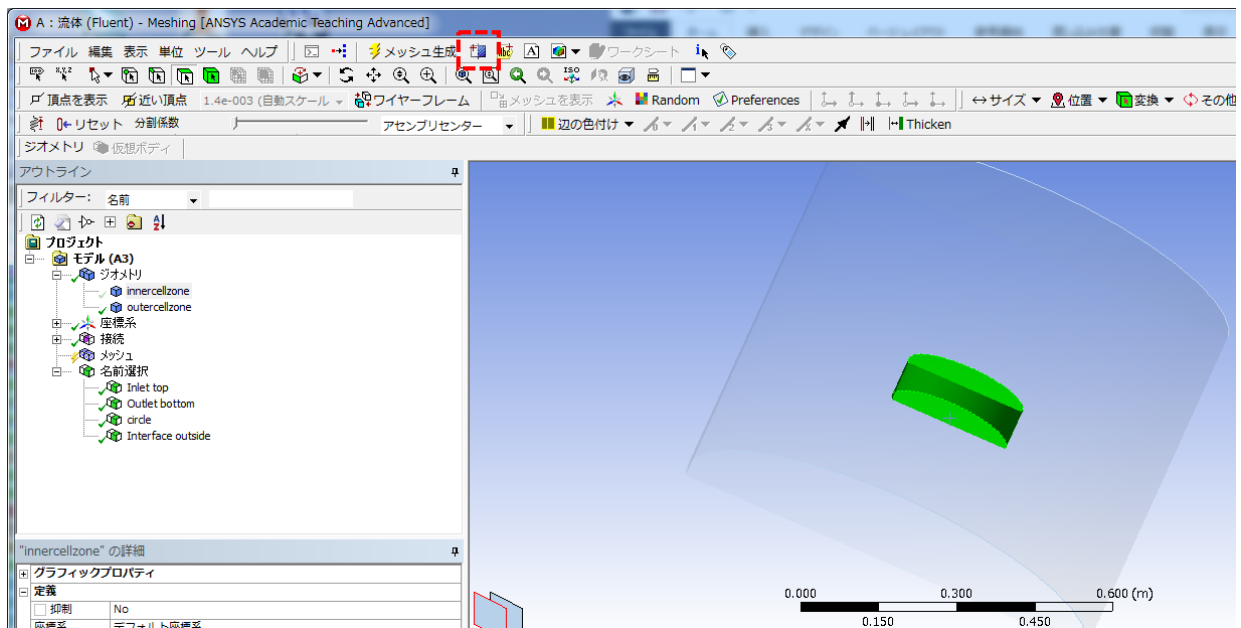
上記モデルをアセンブリし、全体モデルにしてから流体 (Fluent) のジオメトリから読み込む (ブレードにフィレットがついたモデルは自動的にメッシュが細くなるので、セル数に制約がある学生版では計算できなかった)。DesignModeler アプリをジオメトリから呼び出し、「生成」した後、「囲い込み」の形状で”円筒”，円筒アライメントで”Z 軸”を選び、サイズを半径”0.03”m, +方向を”0.03”m, -方向を”0.03”m でスライディングメッシュ領域を「生成」し、さらに、同様に「囲い込み」で”円筒”，”Z 軸”を選び、サイズを”0.3”m, ”0.4”m, ”0.4”m で外側の計算領域を「生成」する。

「作成」の「ブーリアン」で、操作を「引き算」とし、ターゲットボディで外側の計算空間を選択し、ツールボディでスライディングメッシュ領域を選択し、ツールボディを保存を「Yes」にしてスライディングメッシュ領域はそのまま残して、「生成」する。生成された領域は、名前を「ソリッド」から「outercellzone」に変更しておく。もう一度ブーリアンでスライディングメッシュ領域-ブレードを行う。「ブーリアン」で「引き算」を選択しターゲットボディでスライディングメッシュ領域を選択し、ツールボディでブレードを選択する。ツールボディを保存は、”NO”にしてから「生成」する。生成されたブレード領域がくりぬかれたスライディングメッシュ領域は、「innercellzone」と名前をつけておく。これらが以下 cell zone となる。名前を付け替えないと、後のセットアップで認識されない。

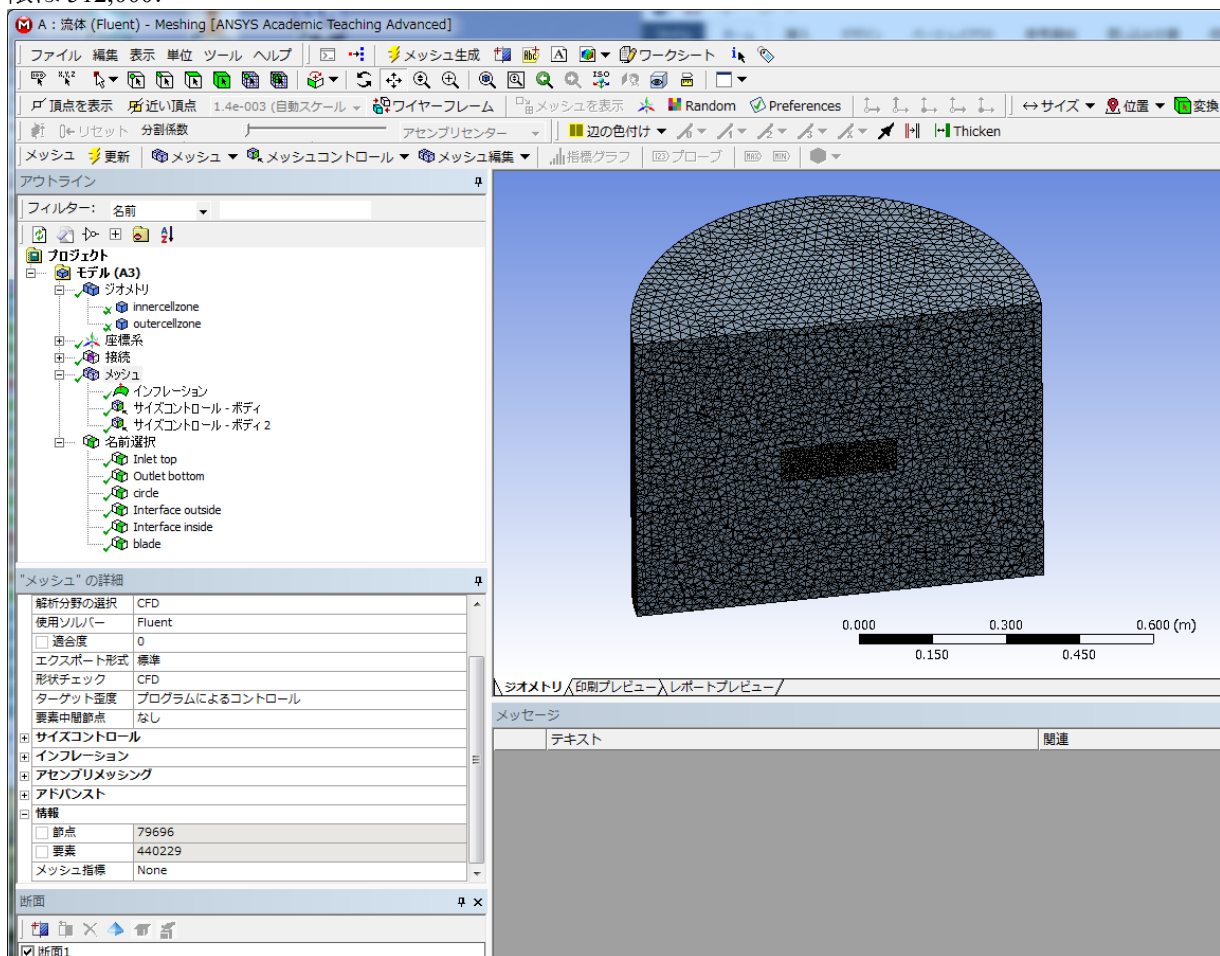


プロジェクトに戻り、「メッシュ」をダブルクリックし、下図のように外側の計算空間の境界面に名前をつけておく。外側の計算領域の境界は、スライディングメッシュ領域を非表示にして名前をつけておく。Interface inside は内側の計算空間の境界面。Interface outside は、外側の計算空間の境界面。ジオメトリで一方のボディを抑制 (suppression)、もしくは、非表示にしながら、「新規断面」で切断しながら境界面の選択を行う (接合面がこれぐらい明確だと自動で行った interface 境界で十分だが、今回は明示的に自分で行うためわざわざ選択して名前をつけた)。





次に、アウトラインの「メッシュ」をクリックし、「メッシュ」の詳細の解析分野の選択で「CFD」を選択する。Bladeの周りには「インフレーション」しておく（ジオメトリでスライディングメッシュ領域を選択し、境界でブレード面を選択する）。内側の計算領域は、メッシュの「サイズコントロール」で要素サイズを「0.01」、外側の領域は、サイズコントロールで、「0.02」にしておく。「メッシュ生成」した後、アウトラインのメッシュをクリックし、情報で「+」をクリックして展開し、要素数を確認すると、**440,229**となっている。学生版の上限は512,000。

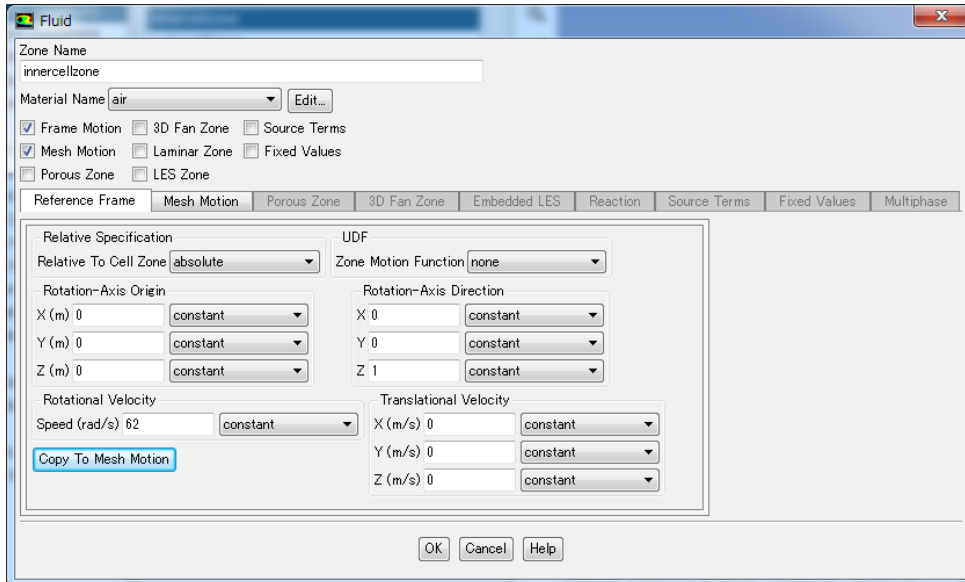


プロジェクトに戻り、メッシュを「更新」し、「セットアップ」をダブルクリックして、「Double precision」で立ち上げる。Generalで、「Transient」を選択する（定常問題を非定常計算する）。Modelsで「Viscous-Laminar」を選択し、「Edit」で「k-epsilon(2 eqn)」を選択、**k-epsilon ModelはStandard**をチェック、**RNG OptionsはStandard**

Wall Functions”をチェックして「OK」する。Material は”air”を選択する。

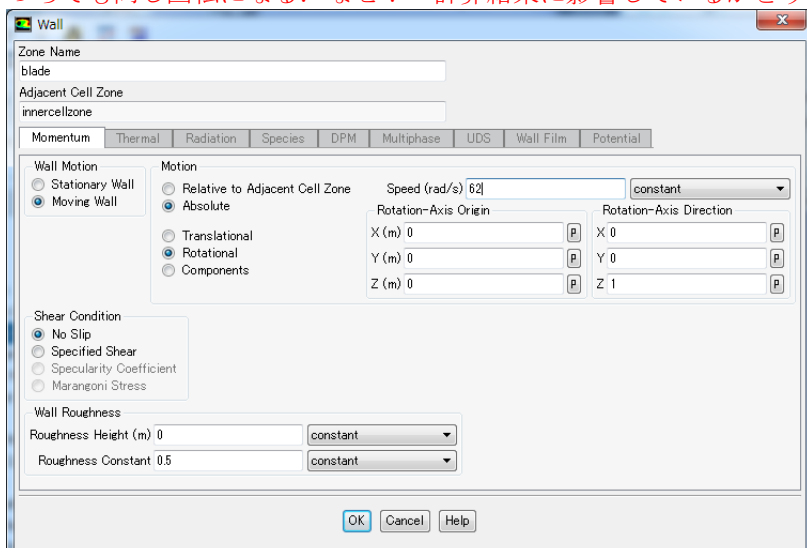
## 8.2 境界条件

Cell Zone Conditions で Zone の”innercellzone”を選択し、「Edit...」をクリックし、Material Name は”air”を選択し、内部計算領域の座標系 **Frame Motion** と内部計算領域のメッシュ **Mesh Motion** をチェックする。Reference Frame タグで、Relative To Cell Zone で”absolute”を選び、Rotation-Axis Origin は X(m), Y(m), Z(m)に”0”, “0”, “0”を入力して回転の原点を決め、Rotation-Axis direction は X, Y, Z に”0”, “0”, “1”を入力して Z 回転、Rotational Velocity の Speed (rad/s)には”62”を入力する。「Copy to Mesh Motion」をクリックして、「OK」する。内部の座標系もメッシュも同じ運動をすることになり、内部座標系から見ると、内部メッシュは回っていないことになる。外部座標系から見ると、回っている。合ってる？→いやおかしい。



”Relative to adjacent cell zone”は、隣接するセルゾーンに対して相対的に移動する場合。

次に、Boundary Conditions において、Blade は wall にし、「Edit」で”Moving Wall”にし、外部から見て回転しているように、Motion は”Absolute”にチェック、”Rotational”をチェック、Z 軸回転で Speed(rad/s)を”62”とし「OK」する（”Stationary Wall”で壁を止めても計算結果では 62rad/s で動いていることになっている。結局どっちでも同じ回転になる。なぜ？ 計算結果に影響しているかどうかはわからず。).



Circle は、”Symmetry”にする。

Inlet top は、”pressure outlet”にし、「Edit」で”Radial Equilibrium Pressure Distribution”をチェックし、ゲージ圧 Gauge pressure は、”0”にする。圧力勾配も 0 になっているはず。

Interface\_inside, Interface\_outside (適当な名前が付けられている) は、Type を”interface”に設定する。

Outlet bottom は、”Pressure outlet”にし、「Edit」で”Radial Equilibrium Pressure Distribution”をチェックし、ゲージ圧”Gauge pressure は 0 にする。圧力勾配も 0 になっているはず。

ANSYS Fluent also provides an option to use a radial equilibrium outlet boundary condition. This option is used to model

the exit flow in turbomachinery flow problems. To turn on this option, enable Radial Equilibrium Pressure Distribution. When this feature is active, the specified gauge pressure applies only to the position of minimum radius (relative to the axis of rotation) at the boundary. The static pressure on the rest of the zone is calculated from the assumption that radial velocity is negligible, so that the pressure gradient is given by

$$\frac{\partial P}{\partial r} = \frac{\rho v_{\theta}^2}{r}$$

where  $r$  is the distance from the axis of rotation and  $v_{\theta}$  is the tangential velocity. Note that this boundary condition can be used even if the rotational velocity is zero. For example, it could be applied to the calculation of the flow through an annulus containing guide vanes.

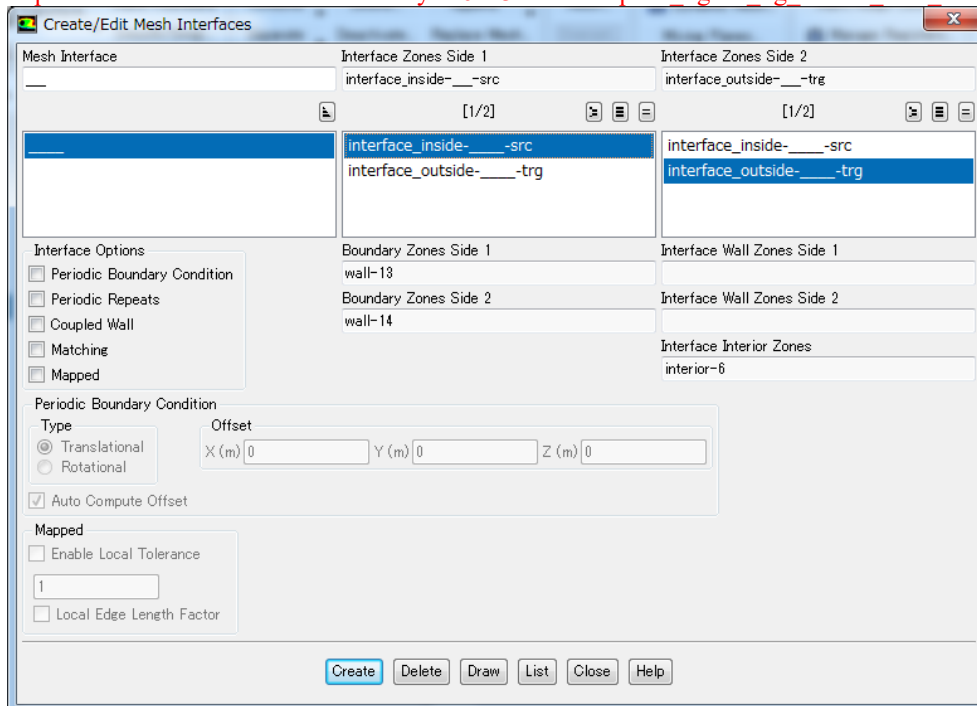
[https://www.sharcnet.ca/Software/Ansys/16.2.3/en-us/help/flu\\_ug/flu\\_ug\\_sec\\_bc\\_poutlet.html](https://www.sharcnet.ca/Software/Ansys/16.2.3/en-us/help/flu_ug/flu_ug_sec_bc_poutlet.html)

次に、Mesh Interface で「Create/Edit」し、Mesh Interface で”interface boundary”と名前をつけ、Interface Zone1 で”interface outside”を選択し、Interface Zone2 で”interface inside”を選択し、Interface Options で、”Matching”を選択し、「Create」する（接合面が明確なので自動的に matching されており、ここではしなくてもよいようだ）。

### Matching

is relevant if only interface interior zones should be created, that is, the interface boundary zones should be empty because the interface zones on both sides are aligned. With the Matching option, even interface zones that are not perfectly aligned are treated as if they would be, however, if the discrepancy between the interface zones on both sides exceeds default thresholds, then warning messages will be displayed. Note that the Matching option is also compatible with periodic boundary conditions. See Matching Option for more information about the recommended uses of this option.

[https://www.sharcnet.ca/Software/Ansys/16.2.3/en-us/help/flu\\_ug/flu\\_ug\\_Create\\_Edit\\_Mesh\\_Interfaces.html](https://www.sharcnet.ca/Software/Ansys/16.2.3/en-us/help/flu_ug/flu_ug_Create_Edit_Mesh_Interfaces.html)



Reference Values は、Compute from で”blade”を選んでおく。

### 8.3 計算条件

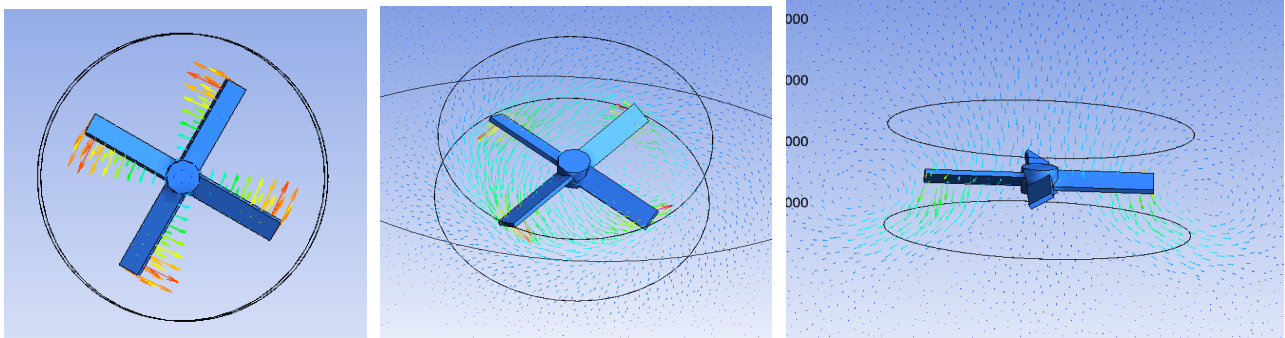
Solution Initialization の Initialization Method で”Standard Initialization”を選び、Compute from で”all-zones”を選択し、Reference Frame は”Absolute”を選択し、Gauge Pressure, X velocity, Y Velocity, Z Velocity が”0”になっていることを確認し、「initialize」する。非定常計算の場合、初期条件によって最終的な定常状態へ遷移するまでの時間が変わる。今回は計算空間の流速を 0、つまり、止まっている状態から計算を開始する。計算開始時はブレードが無限大の加速度で突然トップスピード 62rad/s になることになるので、圧力は非常に大きくなるが、時間の経過と共に定常状態に近づいていく。

Calculation Activities で Autosave Every (Time Steps)を”1”にしておく。

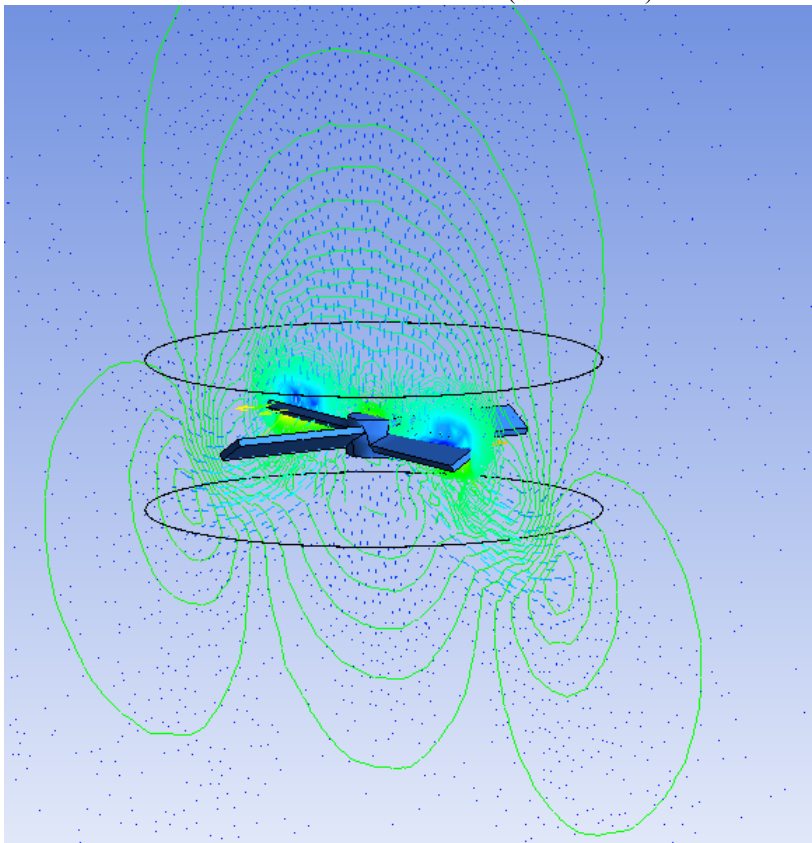
Run Calculation の Time Step Size (s)を”0.001”にし、Number of Time Steps を”1000”にし、Reporting Interval を”1”、Profile Update Interval を”1”にして「calculate」する。62rad/s=>10rps なので、0.001 秒で 3.6° 毎計算することになる（計算途中で reversed flow in \*\*\*の警告が出て、入出力面で流れの逆戻りが発生しているが、流れが遅いのでたぶんしょうがない。誤差が 10^-4 程度のようなので、メッシュも粗いのでこんなもん。理想は 10^-7 ぐらいとのこと）。

#### 8.4 計算結果可視化

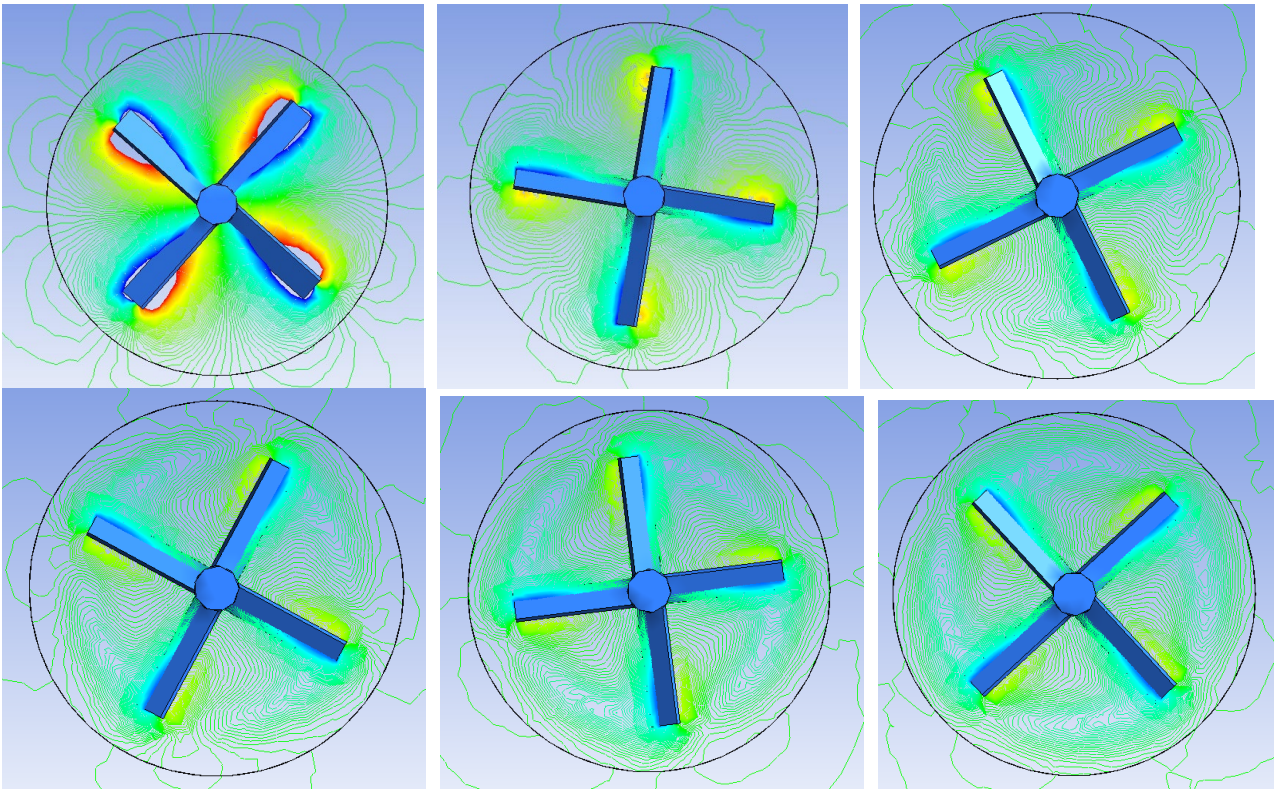
t=0.25 のブレードの速度 (red 7m/s), Z=0.01 面の流速分布, ブレードを通る面の流速ベクトルは以下のとおり. ブレード先端の速度が,  $r\dot{\theta} = 0.1 * 62 = 6.2[m/s]$  で (7m/s ぐらいの色) なのでほぼ一致.



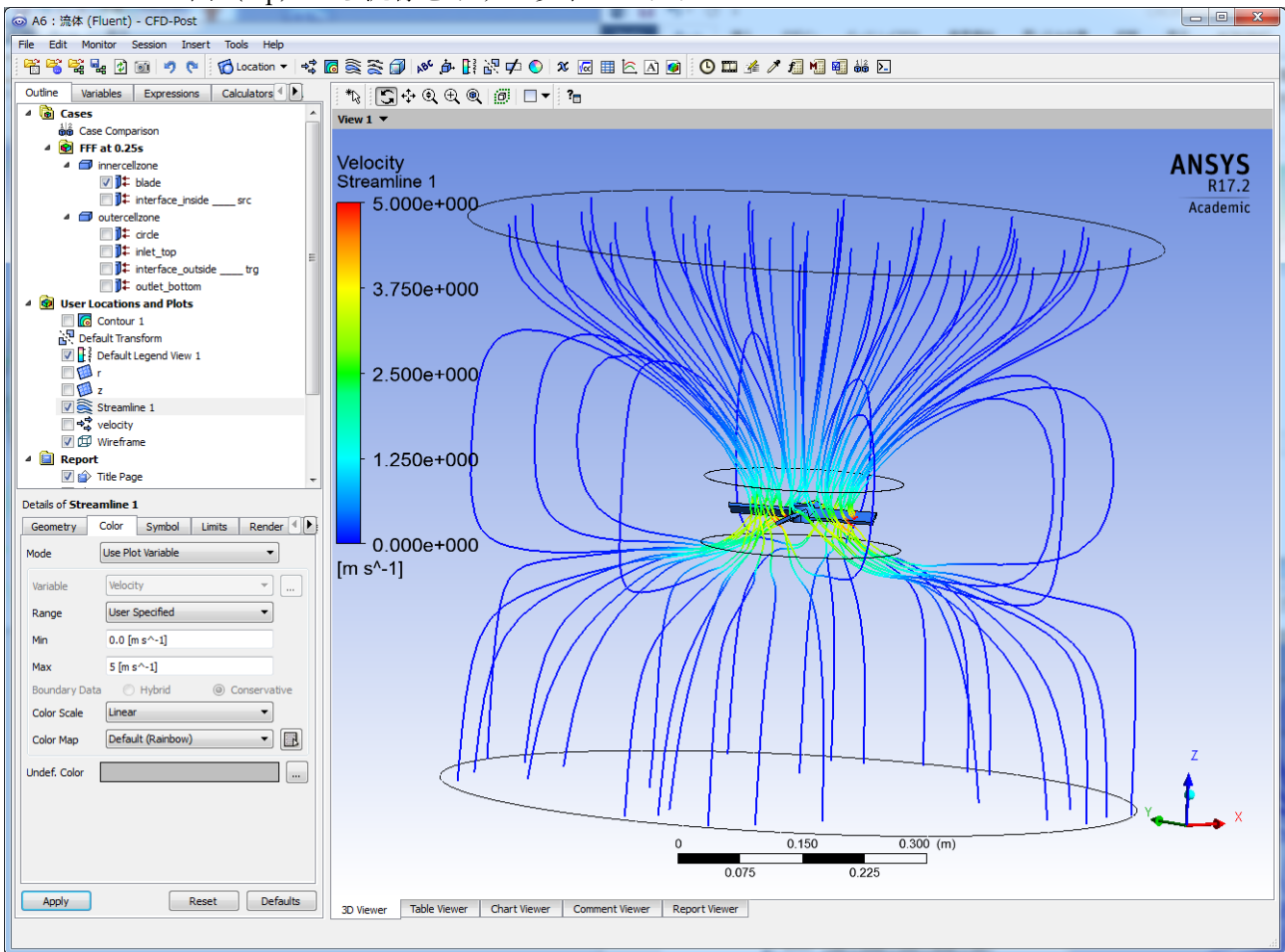
t=0.25 のブレードを通る面の圧力コンタ図(-20 to 20 Pa).



t=0.001 to 0.05 ( $\theta = 0\text{deg}$  to  $180\text{deg}$ , every  $36\text{deg}$ )を示す (-40 to 40 Pa). 時間の変更は, メニューの「Time step selector」を利用する. 回転し始めの時は, 流体が止まっている状態から計算が始まっており, 流体が加速し始めているので圧力の絶対値は大きい (値が設定値を振り切っている). その後, 定常になるはずなので, 回転角度に関わらず同じになる. この状態になるまで計算する (たぶん 10 回転ぐらい). なお, この過渡状態は, 実際の物理現象とは異なり, 数値計算における現象. そもそも最初の状態が力学的に正しい状態ではない.



Streamline で上面 (top) から流線を示すと以下のとおり.

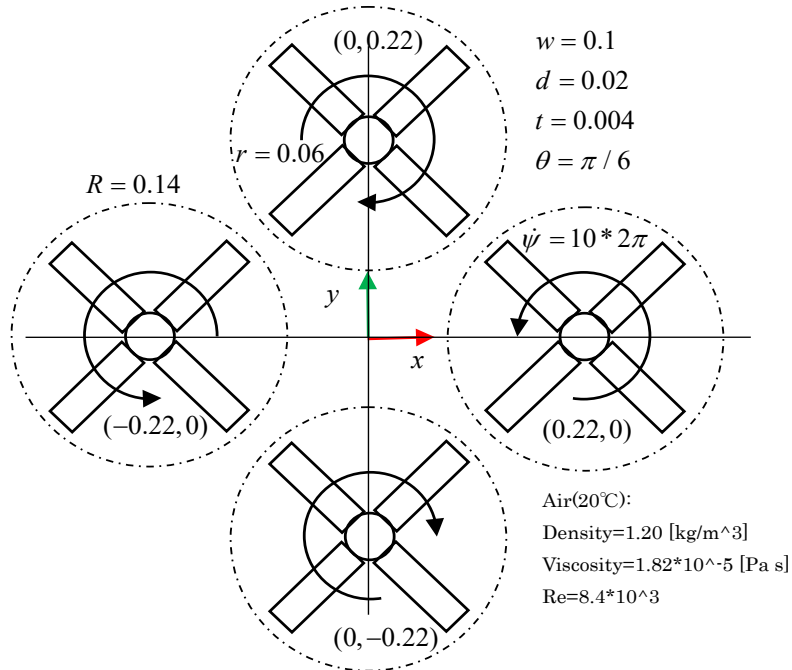


なお、メニューの「Function Calculator」で z 方向の揚力を計算すると 0.100094[N], 体積を計算すると、 $V=3.9 \times 10^{-5}$  なので、ABS の密度  $1500 \text{ kg/m}^3$  として、 $mg=1500 \times 3.9 \times 10^{-5} = 0.0585 \text{ [N]}$ . ということで、ブレード

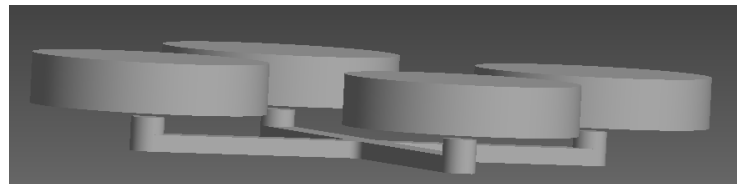
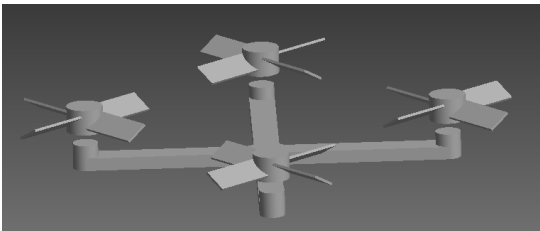
ドだけなら飛ぶ。なお、Function で”Z”軸の”torque”を選択して求めると、 $z=-8.44*10^{-3}$  [Nm]。定常回転しているとすると、モータは 10rps において  $8.4*10^{-3}$ Nm のトルクを出せるモデルを選択する必要があることが分かる。

## 9 流体解析 (Fluid analysis) : 回転体の解析の例 3 (ドローンの例)

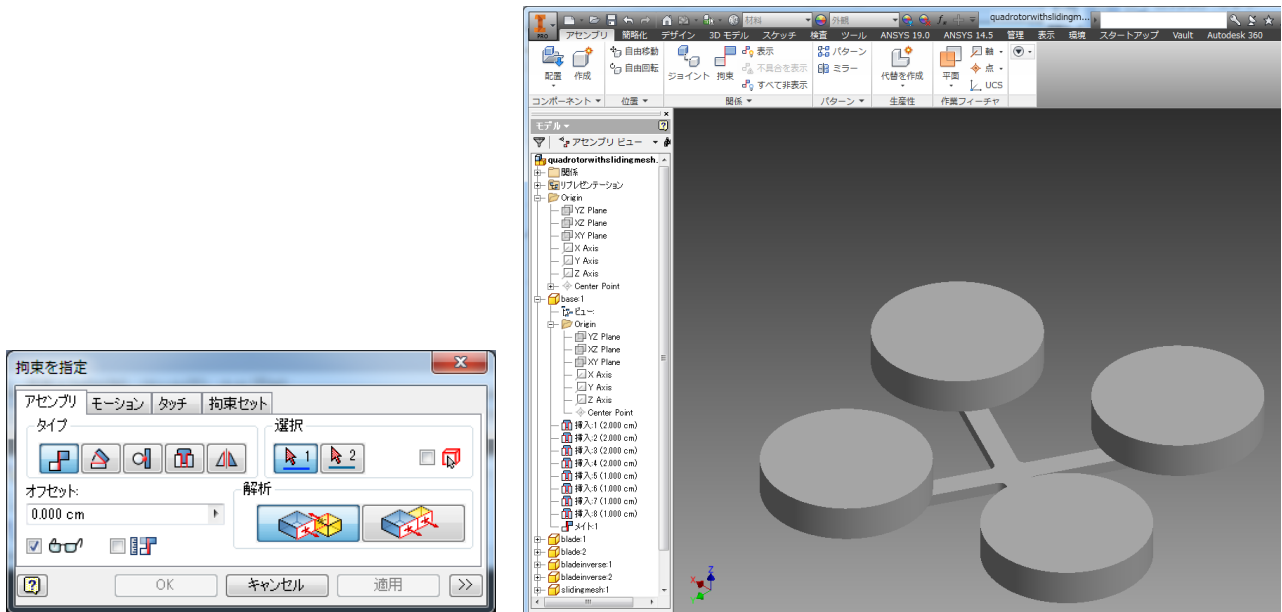
### 9.1 モデル化



Sliding mesh はブレードの数だけつくる。また、囲い込みコマンドでは対応できないため、CAD 側でブレード回りの計算空間もアセンブリ (ベース, ペラ 4, sliding mesh 4=9 モデル) する。全体の計算空間は囲い込みコマンド。左は物理モデル。対角のペラは逆ピッチ。右は sliding mesh の空間をアセンブリした状態。計算空間は本体から少し浮かせてある。

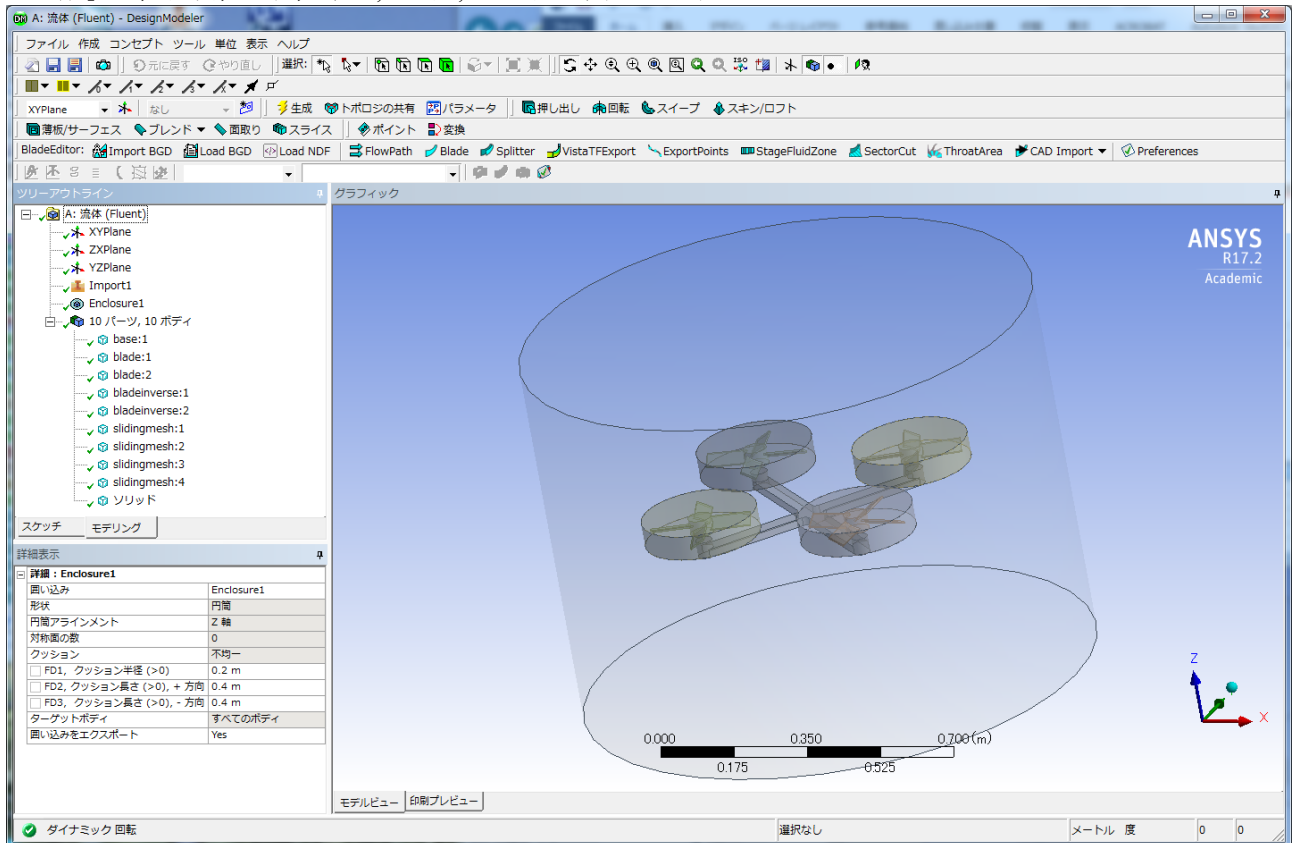


注： アセンブリ時、座標系の原点がずれるので、拘束の「メイト」で Origin の Center Point と、base:1 の Origin の Center Point を選択し、「適用」して、原点合わせをしておく。また、Origin の X Axis と、base:1 の Origin の X Axis を選択して「適用」し、Origin の Z Axis と、base:1 の Origin の Z Axis を選択して「適用」し、Origin の Y Axis と、base:1 の Origin の Y Axis を選択して「適用」し、回転軸合わせをしておく。

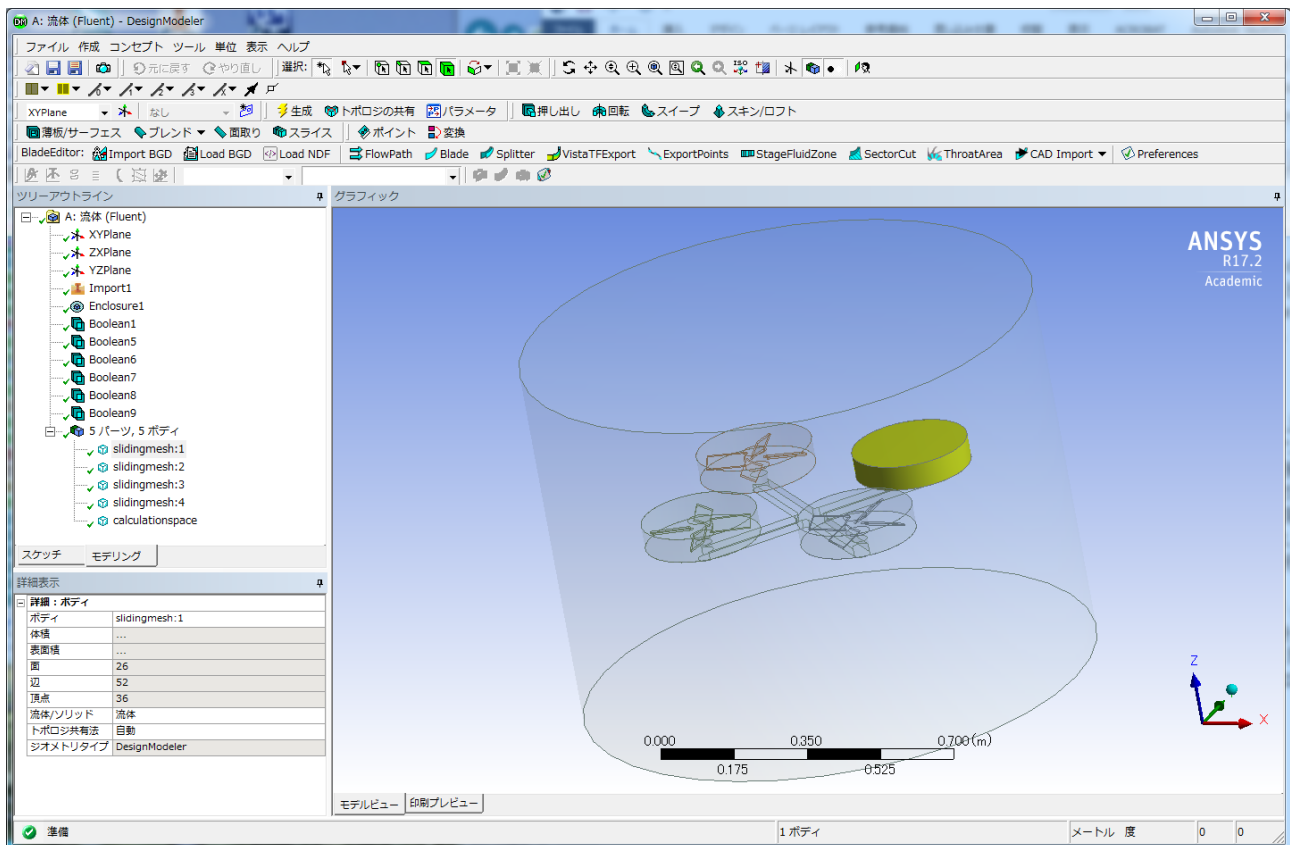


## 9.2 Fluent

Workbench を立ち上げ、Fluent のジオメトリで CAD モデルを読み込み、Designmodeler アプリを立ち上げて「生成」し、円筒、Z 軸、半径、+方向、-方向で囲い込みする。



ブーリアンで計算空間”ソリッド”からクアッドの”base:1”を引き、その後、4つの sliding mesh の空間を残して（ツールボディを保存を Yes にして）引く。計算空間には、”calculation space”と名前をつけておく。次に、各 slidingmesh から blade を引き、右上から反時計回りに”blade 1”, ”blade 2”, ”blade 3”, ”blade 4”と名前をつけておく。最終的に、ひとつの計算空間と、4つの sliding mesh の空間が残る。また、各流体/ソリッドは、プルダウンメニューから”流体”にしておく。



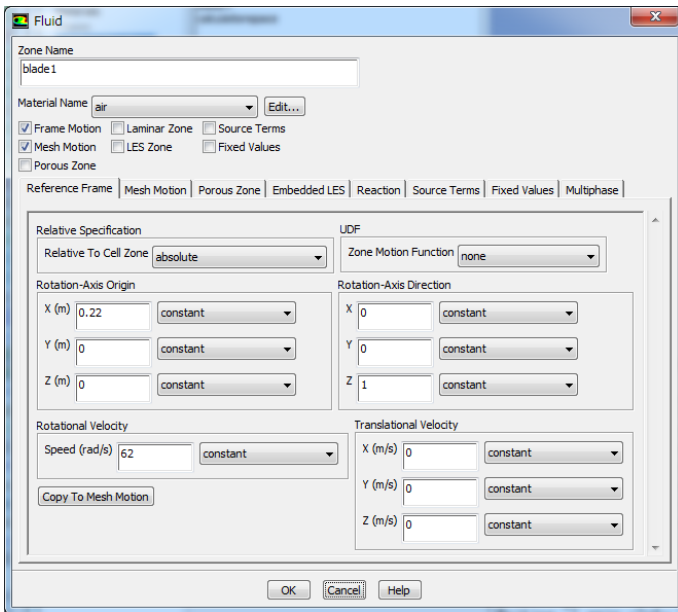
### 9.3 メッシュング

プロジェクトに戻り、メッシュをダブルクリックして、Meshing アプリを立ち上げる。上面に”Inlet”，下面に”Outlet”，側面に”Circle”，ベースに”Base”，ブレードに”blade 1”，”blade 2”，”blade 3”，”blade 4”と名前をつけておく。Sliding mesh の境界面は自動に任せる。アウトラインの接続—接触を見ると，”接触領域”，”接触領域 2”，”接触領域 3”，”接触領域 4”があるので，blade 番号に対応させ，”contact 1”，”contact 2”，”contact 3”，”contact 4”と名前をつけておく。ベース，ブレードの回りは階層 3 でインフレーションしておく。Sliding mesh の内側外側もインフレーションしておく。それ以外は，サイズコントロールで 51.2 万要素以下に制御する。なお，内部の面は，「新規断面」で切りながら（もしくは，画面左下の重複面表示を選びながら）選択する。

### 9.4 境界条件

プロジェクトに戻り，メッシュを「更新」し，セットアップをダブルクリックして，fluent を立ち上げる。General で”transient”，Model で”Viscus-laminar”，”k-e”，Material で”air”を選択し，Cell Zone Conditions で，「Edit」し，”Frame Motion”，”Mesh Motion”をチェックし，blade 1 は，原点(0.22, 0, 0.0)で Z 回転で 62rad/s，blade 2 は，原点(0, 0.22, 0.0)で Z 回転で -62rad/s，blade 3 は，原点(-0.22, 0, 0.0)で Z 回転で 62rad/s，blade 4 は，原点(0, -0.22, 0.0)で Z 回転で -62rad/s にする。

(これ以下略。Ver.14.5 参照)

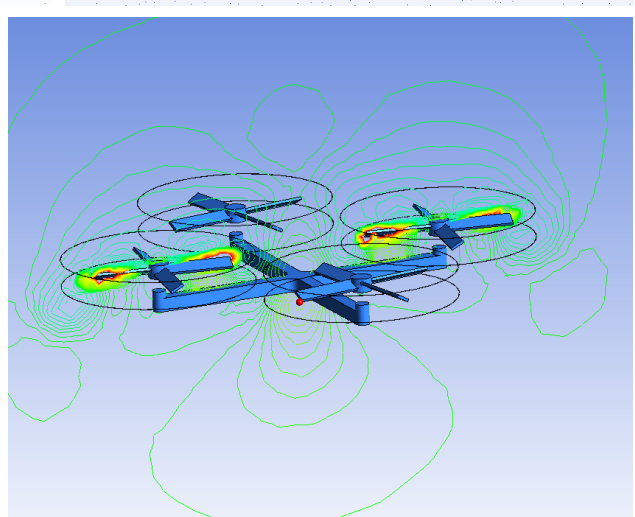
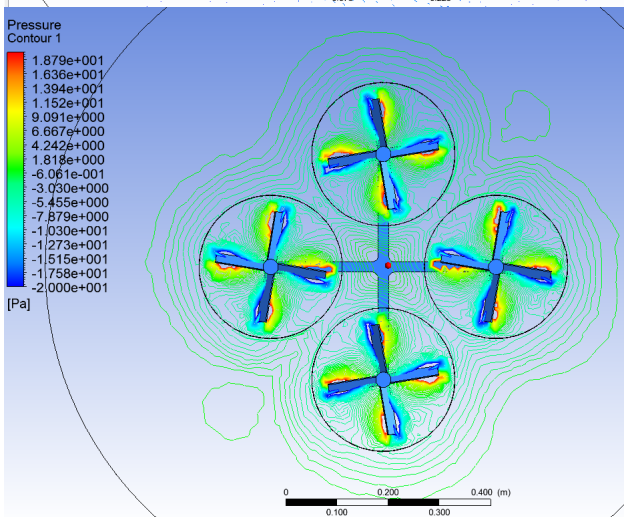
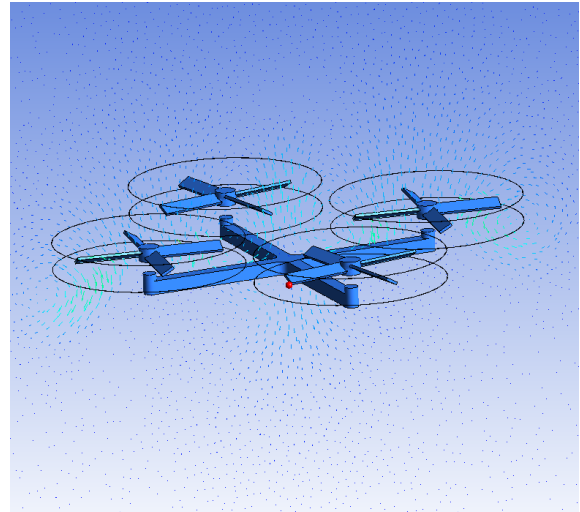
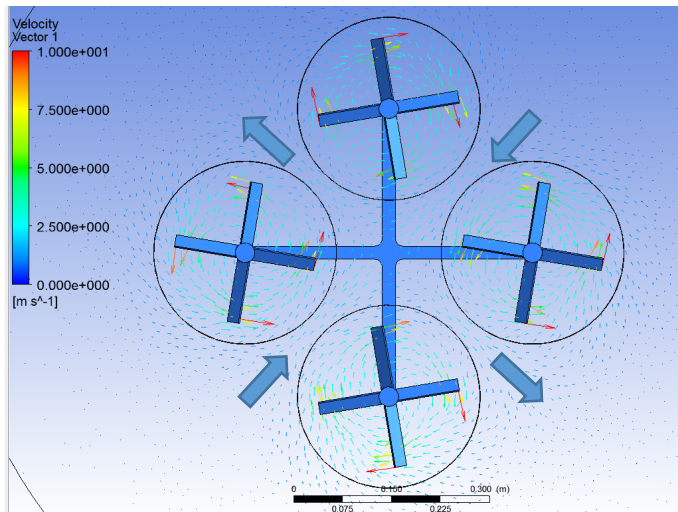


Boundary conditions は、base が”wall”で”stationary wall”，circle が”symmetry”，inlet と outlet は”pressure-outlet”で、”Radial Equilibrium Pressure Distribution”をチェックする。

Solution Initialization は、圧力、流速共に”0”で初期化する。Calculation Activities は、Autosave Every を”1”に、Run Calculation は、Time Step Size を”0.001”に、Number of Time Steps は”100”に、Max Iterations/Time Step は”50”にして「calculate」する。

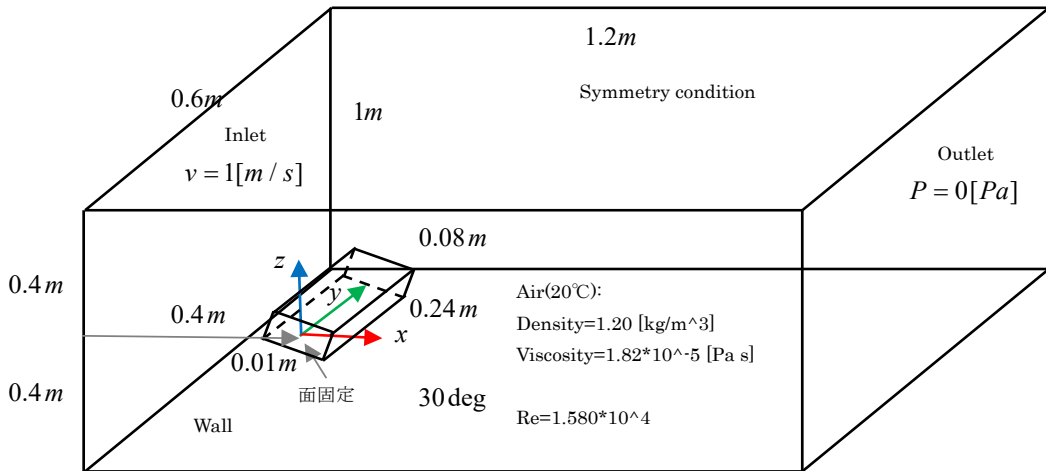
### 9.5 計算結果可視化

$t=0.2$  の流速分布と圧力分布 ( $z=0.06, y=0.06$ ) は以下のとおり。ブレードの側面は噴出し面と吸い込み面があることが分かる (当然ですが...).

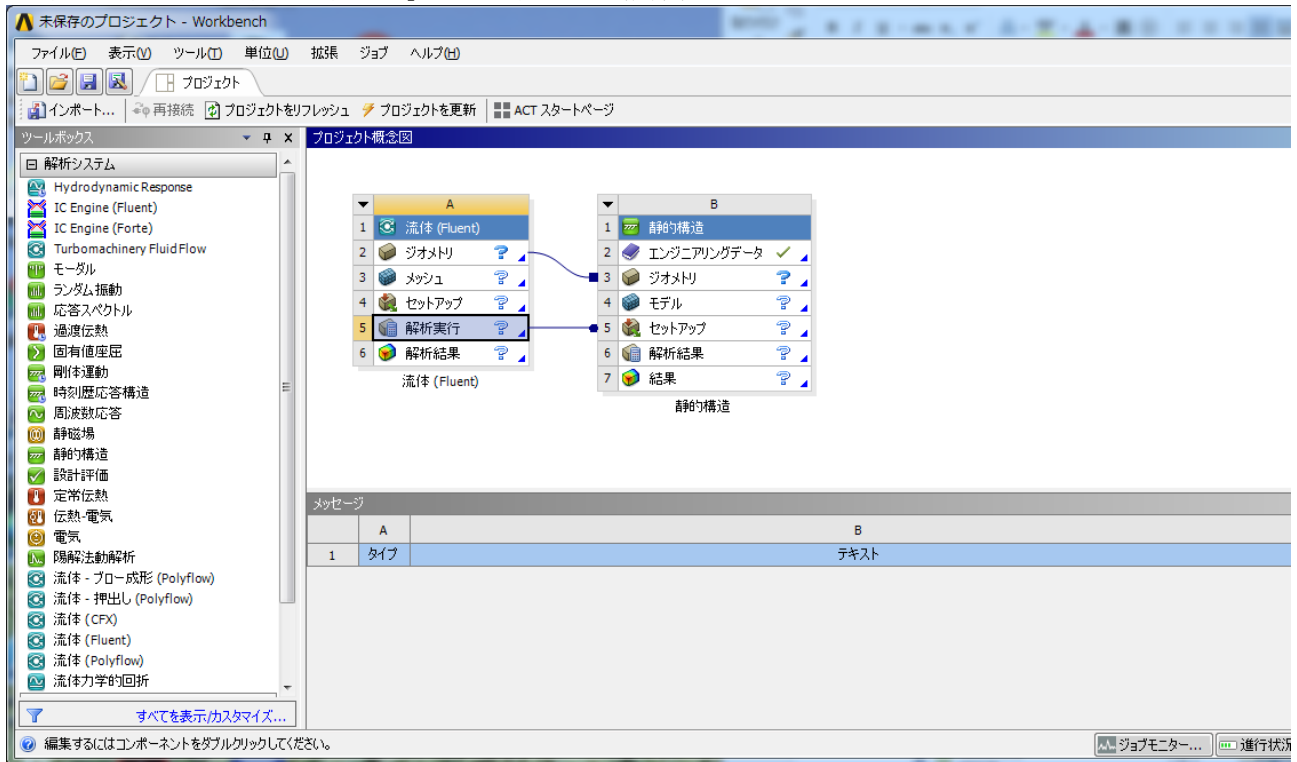


ブレード一枚の揚力は、0.201158 [N], 0.193667 [N], 0.189062 [N], 0.20035 [N]. ブレードとベースの位置関係によるか、精度が粗いのかは分からず. ベースは、-0.0382421 [N]であるので、結局、クアドコプターとしては、0.746Nの揚力が出ていることになる.

## 10 構造流体解析 (Fluid Structure Interaction) : 翼周りの流れ場による翼の変形



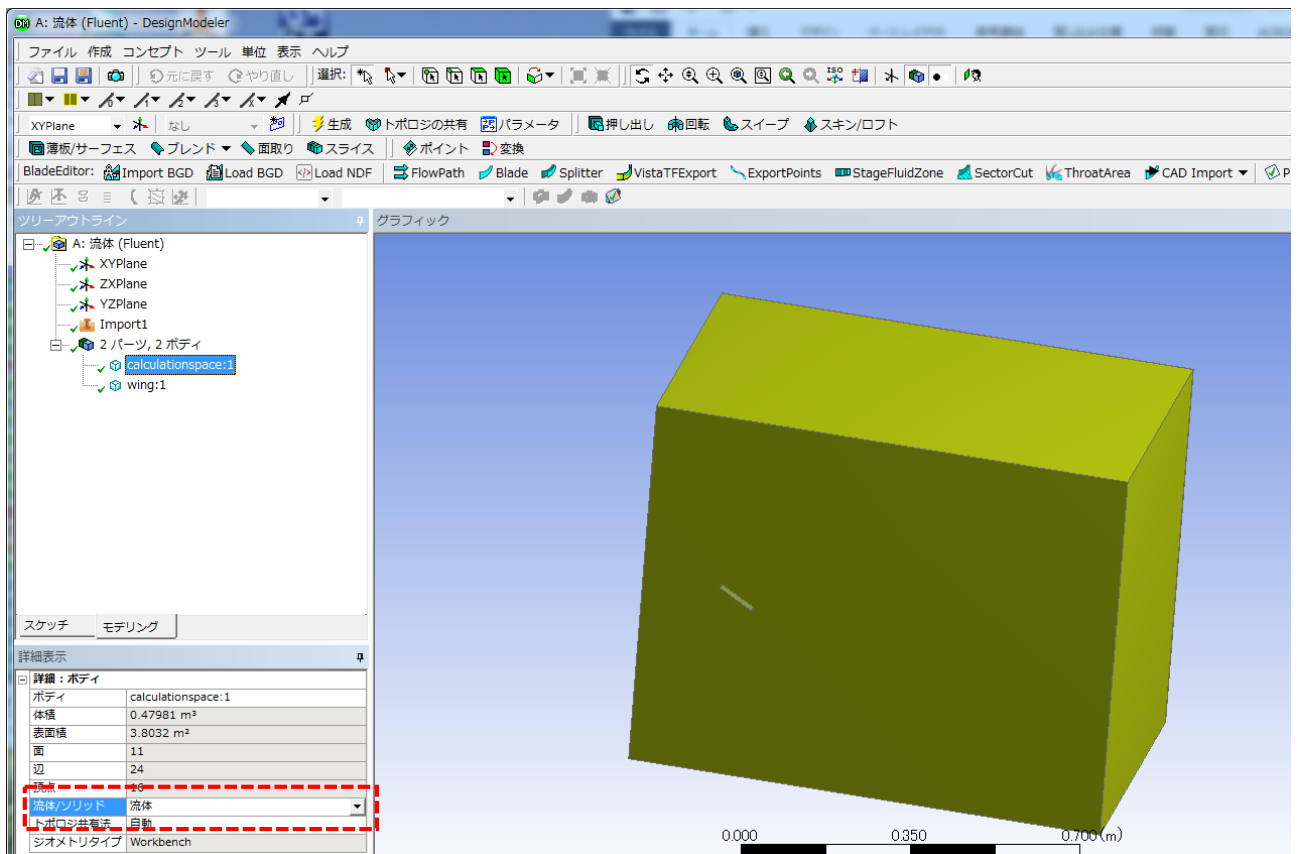
翼周りの流れにより翼が変形する、定常流体計算後に静的構造解析を行う一方向連成解析 (1 way FSI) を行う。CADで上記のモデルを作っておく。計算空間と翼部は部品図として作成し、アセンブリしておく。ツールボックスからプロジェクト概念図へ、「流体(Fluent)」, 「静的構造」をドラック&ドロップする。流体 (Fluent) の項目の「ジオメトリ?」をドラックし、静的構造の項目の「ジオメトリ?」にドロップして結合し、構造と流体の幾何モデルを共通にする。次に、流体 (Fluent) の項目の「解析実行?」をドラックし、静的構造の項目の「セットアップ?」にドロップして結合する。



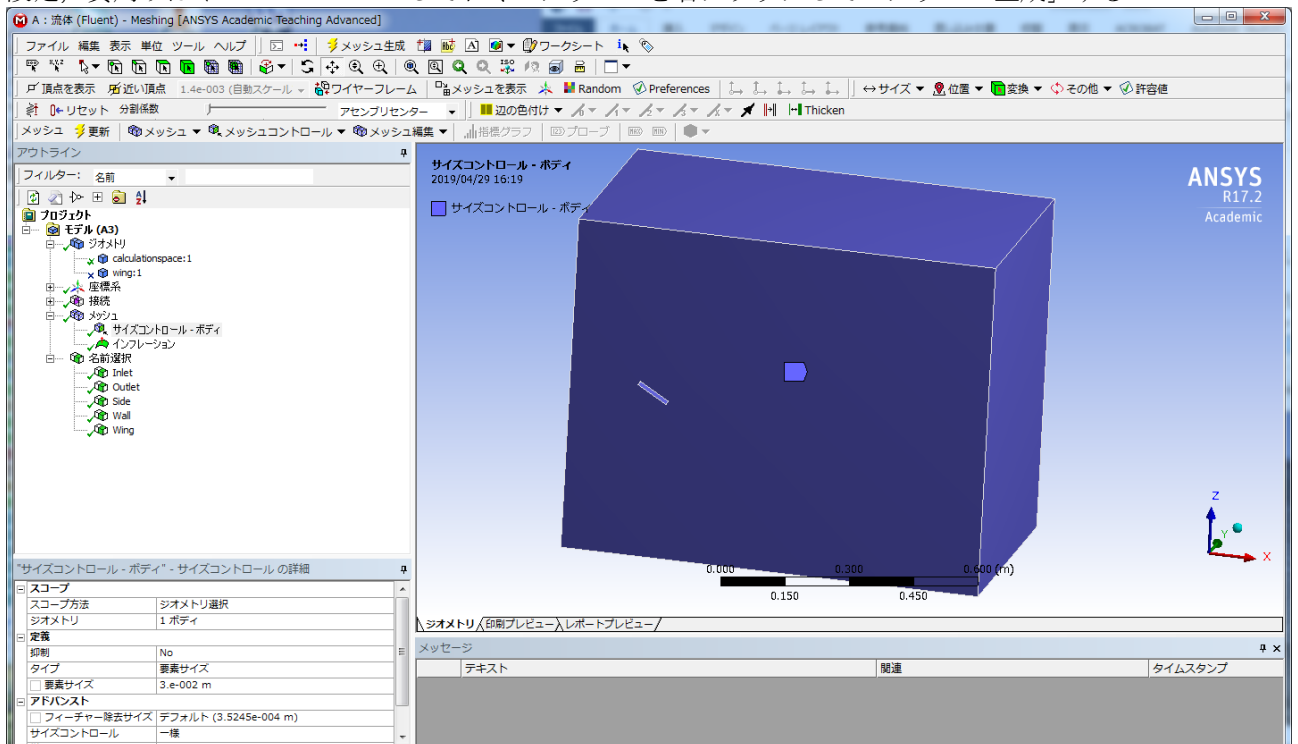
### 10.1 定常流体解析

Fluentによる定常解析を行う。

「ジオメトリ?」を右クリックし、予め流体計算空間と翼構造をアセンブリしておいたファイル (“Assembly1.iam”) を読み込む。「ジオメトリ\*」を右クリックして「DesignModelerでジオメトリを編集」を選択し、Design Modeler アプリを立ち上げ、メニューの「生成」をクリックする。ツリーアウトラインの2パーツ、2ボディを展開し、流体計算空間 (「calculationspace:1」) の「流体/ソリッド」を「流体」にしておく。なお、ここで、計算空間は翼形状がくりぬかれた状態の空間である。



Workbenchに戻り、流体 (Fluent) の項目の「メッシュ」をダブルクリックし、Meshing を立ち上げる。アウトラインのジオメトリを展開し、構造計算部分 (「wing:1」) を「ボディ抑制」しておく。境界条件を設定する面に、名前をつけておく。Ex: inlet, outlet, wall, side, wing  
「メッシュ」の「挿入」で「サイズコントロール」を選択し、計算空間を選択して、要素サイズは「0.03」m に設定、翼周りはインフレーションしておく。メッシュを右クリックして「メッシュ生成」する。

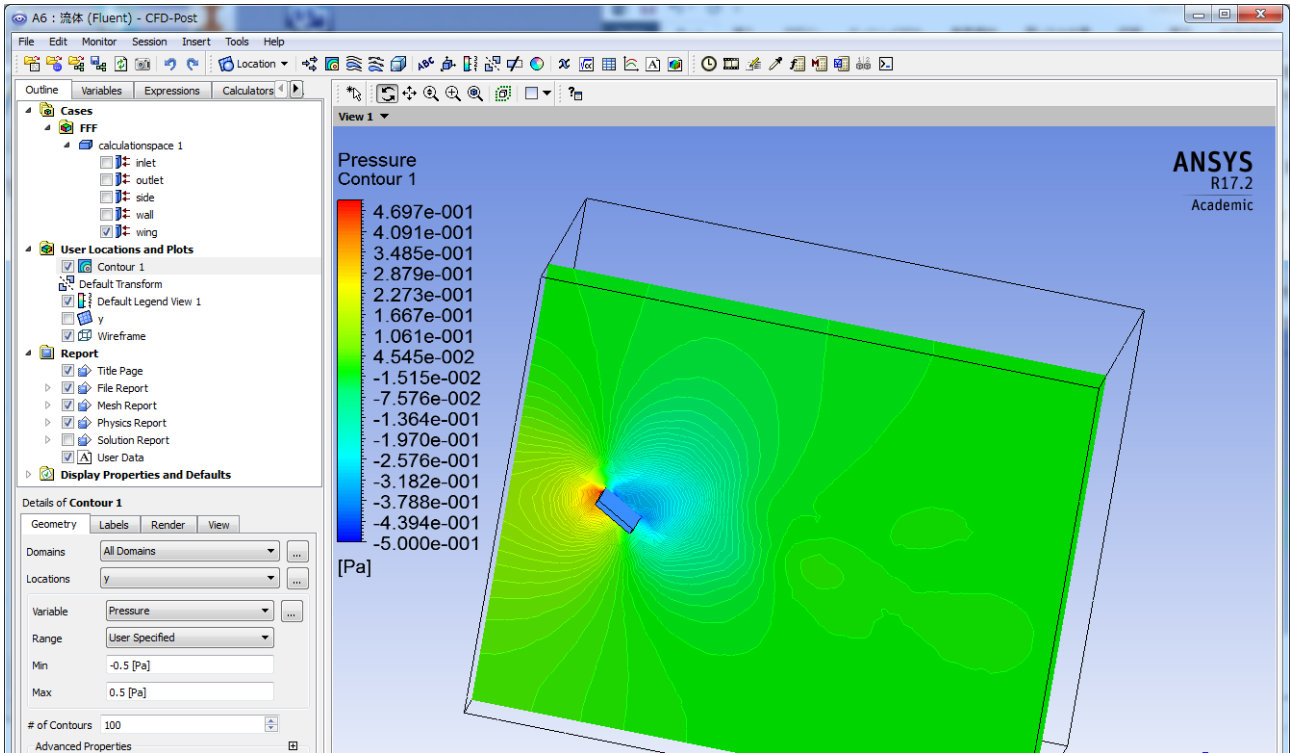


Workbenchに戻り、メッシュを更新し、「セットアップ」をダブルクリックし、「Double Precision」を選択して「OK」し、Fluent を立ち上げる。General で定常「steady」を選択し、Models で Viscous-Laminar を「Edit」して、「k-epsilon(2 eqn)」を選択して「OK」する。Materials は「air」を選択する。  
Boundary Conditions は、inlet を「velocity-inlet」にして「Edit」で「1」m/s, outlet を「pressure-outlet」にして「Edit」で「0」Pa, side は「symmetry」, wall は、「wall」にして「Edit」で「stationary wall」, wing も「wall」にして「Edit」

で”stationary wall”にする。

Solution Initialization で”Hybrid Initialization”で”Initialize”する。Run Calculation で適当に Number of Iteration を”100”にして「Calculate」する。

Workbenchに戻り、「解析結果」をダブルクリックしてCFD-postを立ち上げ、圧力表示すると、例えば、 $y=0.1$ の面において、以下のとおり。



## 10.2 静的構造解析

Workbenchに戻り、静的構造の項目の「エンジニアリングデータ」を右クリックし、「編集」を選択する。新しい材料を登録するために、アウトライン概念図：エンジニアリングデータの A 項目の\*に樹脂材”Resin”と入力する。ツールボックスの物理特性の「密度」をドラックし、「Resin」にドロップ、線形弾性の「等方性弾性」をドラックし、「Resin」にドロップすると、右の Window に「テーブル特性行 \*: \*\*\*」が、下に「プロパティアウトライン行 \*: Resin」がオープンするので、下のプロパティの密度に”900” [kg/m<sup>3</sup>]を、ヤング率に”30,000,000” [Pa]、ポアソン比”0.4”を入力する。右の Window では温度特性などが設定できる。その後、「プロジェクトに戻る」。

未保存のプロジェクト - Workbench

ツールボックス

物理特性

等方性平均線形弾性係数

直交異方性平均線形弾性係数

等方性線形弾性係数

線形弾性

直交異方性弾性

異方性弾性

超弾性実験データ

超弾性

Chaboche テストデータ

塑性

クリープ

寿命

強度

ガスケット

粘弾性テストデータ

粘弾性

形状記憶合金

地盤力学

損傷度

すべてを表示/カスタマイズ...

準備完了

アウトライン 概念図 B2: エンジニアリングデータ

	A	B	C	D	E
1	内容	エンジニアリングデータ		ソース	説明
2		Material			
3		構造用鋼			Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1
4		Resin			
*		新しい材料を追加するにはここをクリックし			

プロパティアウトライン行 \*: Resin

	A	B	C	D	E
1		特性		値	単位
2		密度	900		kg m <sup>-3</sup>
3		等方性弾性			
4		派生		ヤング率と...	
5		ヤング率	30		MPa
6		ポアソン比	0.4		
7		体積弾性率	SE+07		Pa
8		せん断弾性係数	1.071E+07		Pa

テーブル特性行 \*: 等方性弾性

	A	B
1	温度 (C)	体積弾性率 (Pa)
2	*	SE+07

特性行 7 のチャート: 等方性弾性

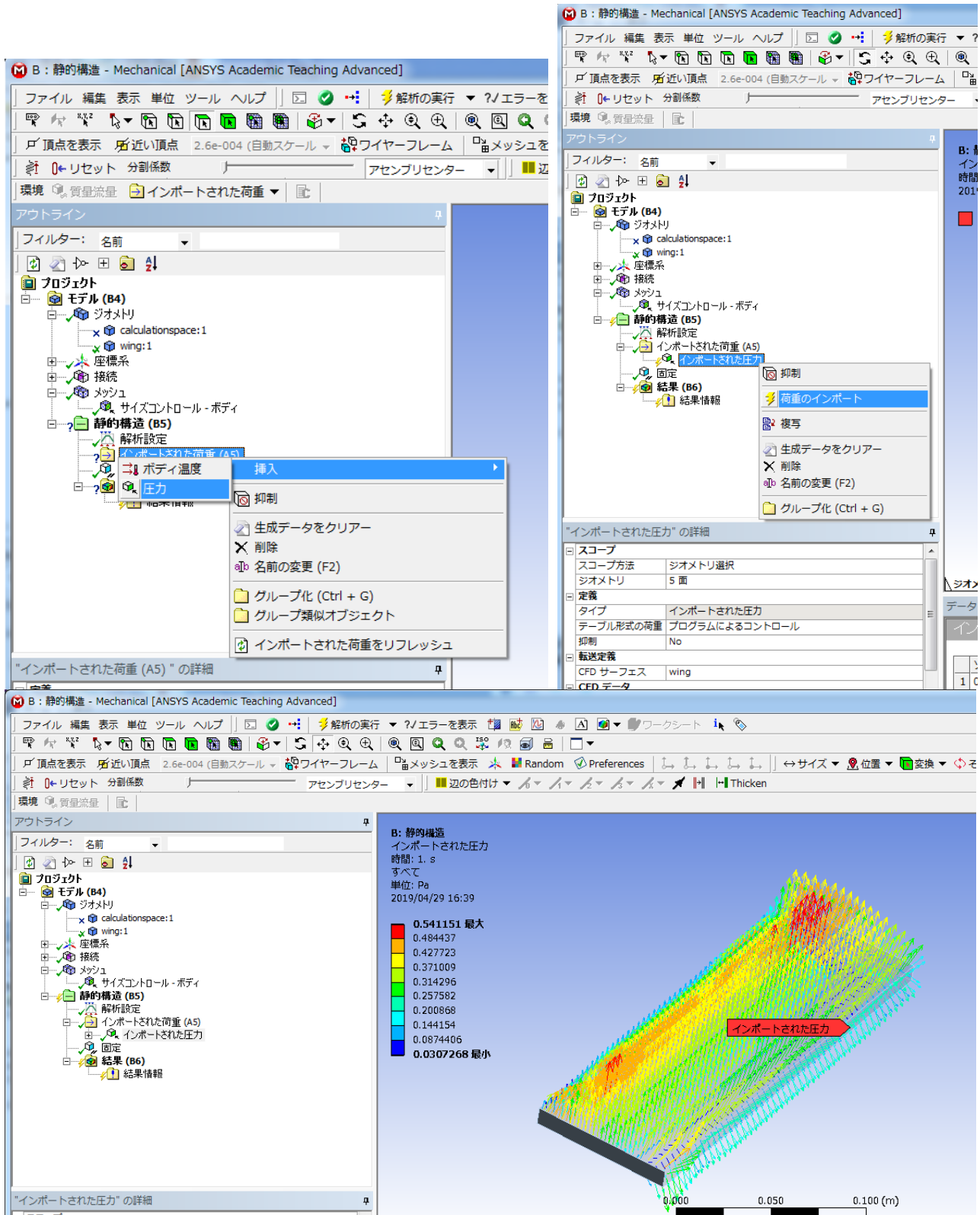
体積弾性率 (-10<sup>7</sup>) [Pa]

温度 [C]

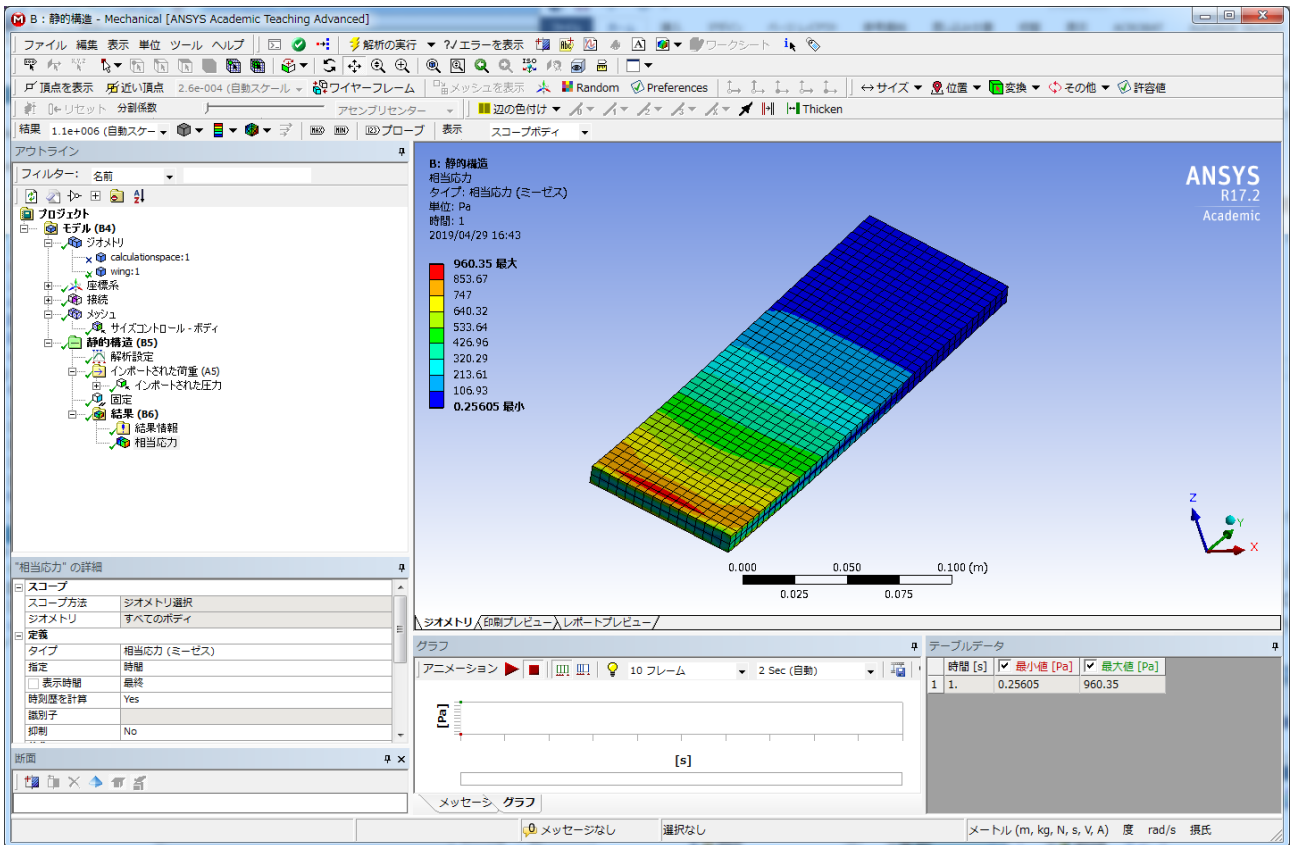
静的構造の「モデル」をダブルクリックして、Mechanical アプリを立ち上げる。アウトラインのジオメトリを展開し、流体計算空間は「ボディ抑制」しておく。メッシュを右クリックして「挿入」から「サイズコントロール」を選択し、翼全体を選択して要素サイズは、上記計算空間で設定した翼周りのサイズ”0.005”mにし、

「メッシュ生成」する。

次に境界条件を設定する。メニューから「支持」から「固定」を選択し、ジオメトリ選択で、翼の端面を選択する。また、アウトラインの「インポートされた荷重 (solution)」を右クリックし、「挿入」を選択して、「圧力」をクリックする。「インポートされた圧力」の詳細のジオメトリで、流体との境界面を選択する。CFD サーフフェイスにおいて、Fluentにおいて定義した”wing”境界を選択する。アウトラインのインポートされた圧力を右クリックし、「荷重のインポート」を選択すると、CFD から送られた圧力分布が表示され、翼先端部が最も圧力が大きいことが示されている。



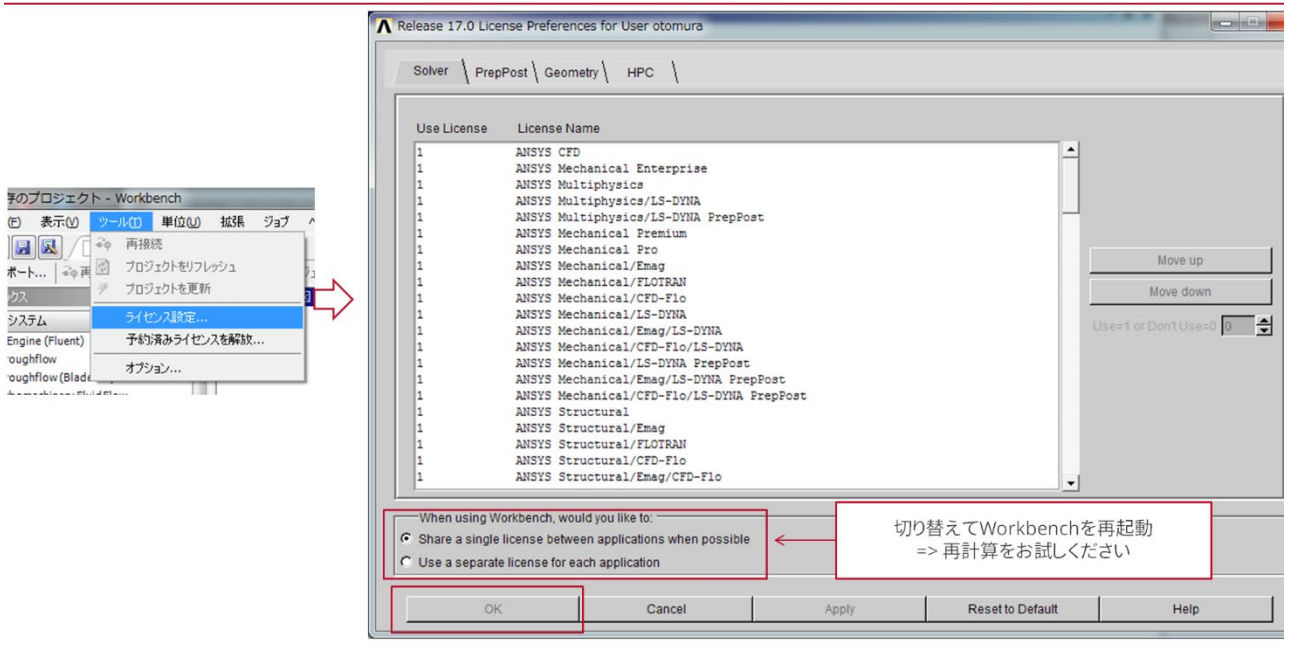
アウトラインの「結果 (B6)」をクリックし、メニューの「応力」から「相当応力 (ミーゼス)」を選択しておく。メニューの「解析の実行」を行う。相当応力の結果は以下のとおり。右は変位を  $10^5$  倍にデフォルメしてある。



## 11 流体構造解析 (Fluid Structure Interaction) : 翼の振動と翼周りの流れ場の例

### 11.1 ライセンス環境設定

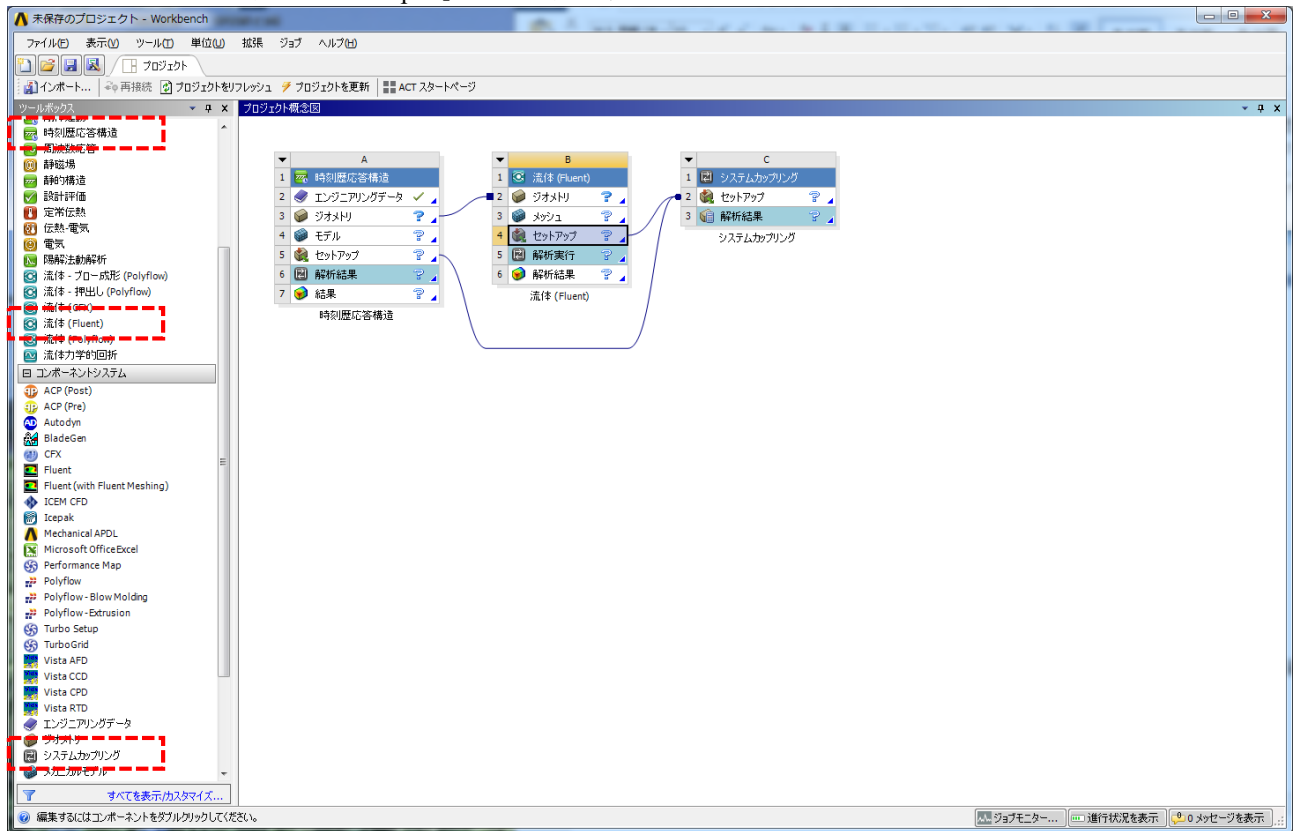
流体と構造の連成解析には、二つのアプリ (時刻歴応答構造+Fluent) を使うことになり、ライセンス (2tasks) が二つ必要になる。大学のライセンス契約は 5tasks\*2 となっており、同時に 10task しか実行できないため、ライセンスをシェアする設定になっている。このライセンスをそれぞれのアプリに対して独立に使う (ひとりで 2task 使う) ために、Workbench を立ち上げ、「ツール」の「ライセンス設定」を選択し、「Use a separate license for each application」のラジオボタンをクリックする。この設定は Workbench を立ち上げなおすと有効になる。



### 11.2 カップリング

双方向から構造と流体の連成解析 (2 way FSI) を行う。CAD で上記のモデルを作っておく。計算空間と翼部は部品図として作成し、アセンブリしておく。

ツールボックスからプロジェクト概念図へ、「時刻歴応答構造」(Transient Structural)、「流体(Fluent)」, コンポーネントシステムの「システムカップリング」をドラック&ドロップする。時刻歴応答構造の項目の「ジオメトリ?」をドラックして結合し、流体 (Fluent) の項目の「ジオメトリ?」にドロップし、構造と流体の幾何モデルを共通にする。時刻歴応答構造の項目の「セットアップ?」をドラックし、システムカップリングの項目の「Setup?」にドロップし、同様に、流体 (Fluent) の項目の「セットアップ?」をドラックし、システムカップリングの項目の「Setup?」にドロップする。



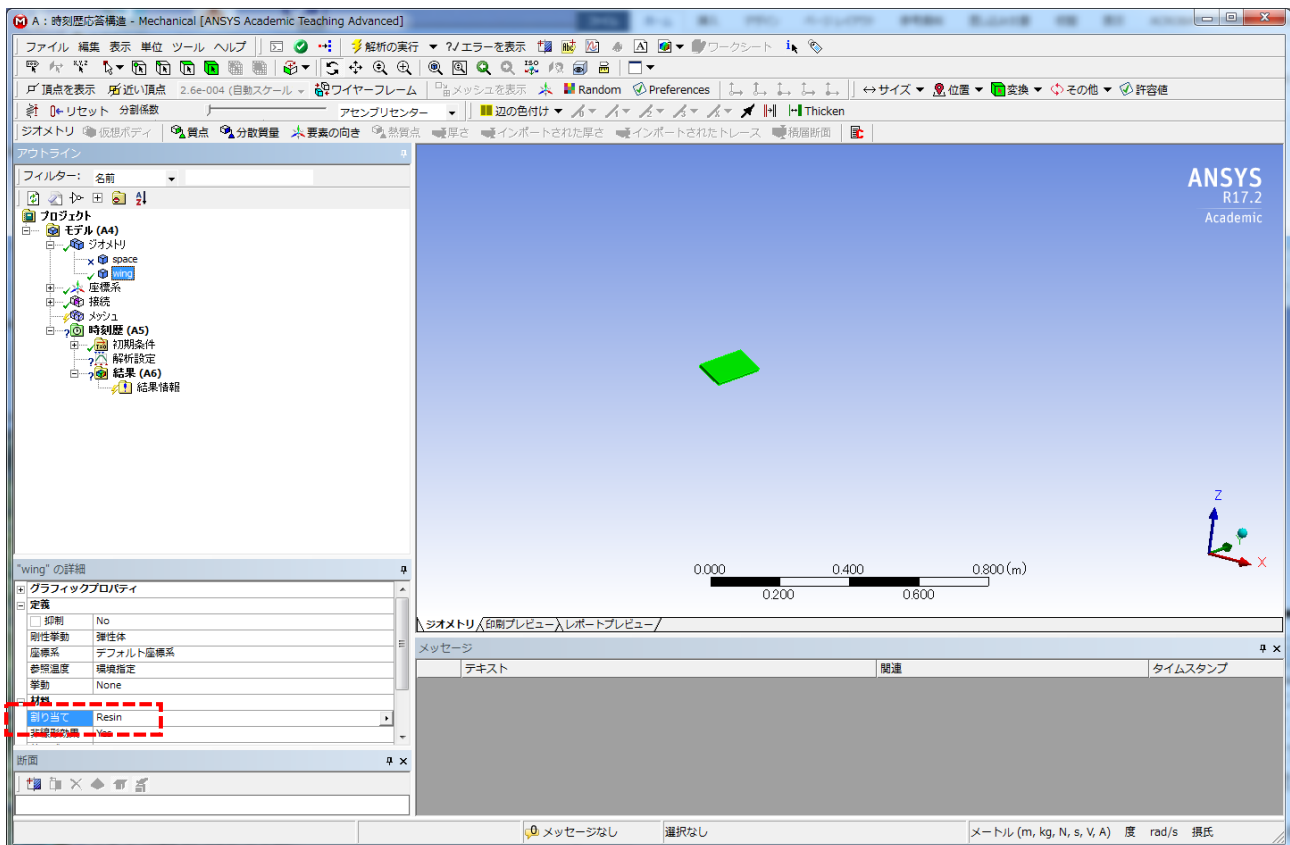
### 11.3 構造解析設定

次に、時刻歴応答構造の項目の「エンジニアリングデータ」を右クリックし、「編集」を選択する。新しい材料を登録するために、アウトライン概念図：エンジニアリングデータの A 項目の\*に樹脂材”Resin”と入力する。ツールボックスの物理特性の「密度」をドラックし、「Resin」にドロップ、線形弾性の「等方性弾性」をドラックし、「Resin」にドロップすると、右の Window に「テーブル特性行 \* : \*\*\*」が、下に「プロパティアウトライン行 \* : Resin」がオープンするので、下のプロパティの密度に”900” [kg/m<sup>3</sup>]を、ヤング率に”30,000,000” [Pa], ポアソン比”0.4”を入力する。その後、「プロジェクトに戻る」。

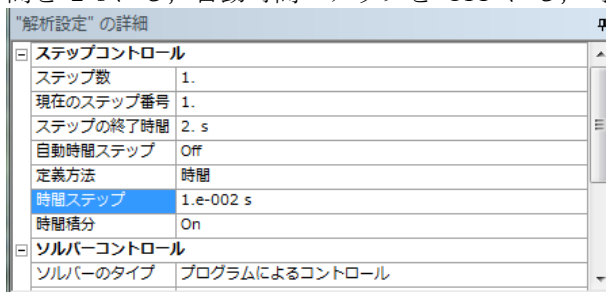
時刻歴応答構造の項目の「ジオメトリ?」を右クリックして「ジオメトリをインポート」を選択し、「参照」から CAD データ (部品がアセンブリされているデータ) を選択する。ここでは、翼構造”Assembly1.iam”を選ぶ。「DesignModeler でジオメトリを編集」を選択して DesignModeler アプリを立ち上げ、「生成」する。ツリーアウトラインの 2 パーツ, 2 ボディの”+”をクリックして展開し、詳細表示で計算空間”calculationspace:1”の詳細表示の流体/ソリッドを”流体”にしておく。CAD のデータは自動的に”ソリッド”になっている。”calculationspace:1”は、名前を”space”に、”wing:1”は”wing”に変更しておく。

プロジェクトに戻り、時刻歴応答構造の項目の「モデル」をダブルクリックすると、Mechanical アプリがオープンするので、アウトラインのジオメトリを展開して「space」を右クリックし、「ボディ抑制」を選択し、非表示にしておく。ボディ抑制により、メッシングなどの計算対象にならなくなる。削除した訳ではない。抑制部は流体計算において利用する。

アウトラインのジオメトリの「wing」をクリックする。左下の”wing”の詳細の、剛性挙動は、”弾性体”を選択し、材料の割り当てでは樹脂材として”Resin”を選択する。



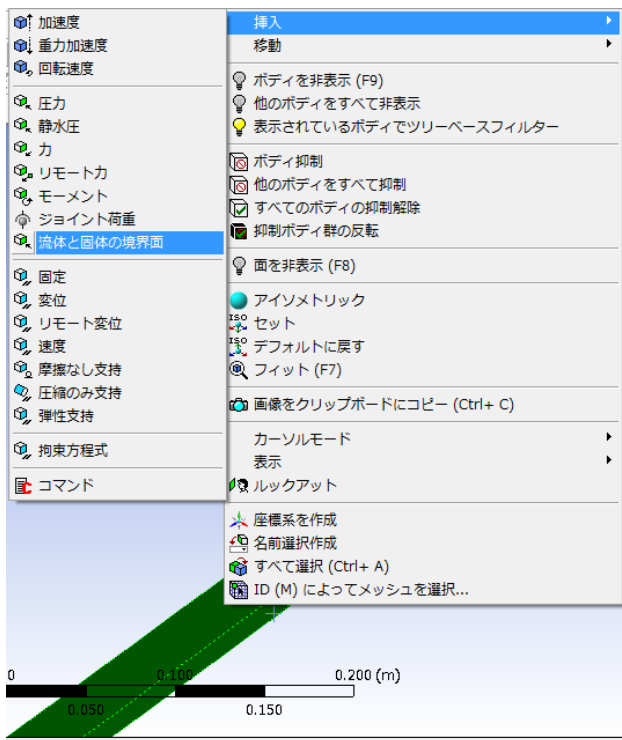
アウトラインの「メッシュ」を右クリックして「挿入」で「サイズコントロール」を挿入する。モデルのボディを選択して「適用」し、要素サイズを”0.005”mに設定する。「メッシュ」を右クリックして「メッシュ生成」する。アウトラインの「解析設定」をクリックする。左下の解析設定の詳細 Window で、ステップの終了時間を”2”sにし、自動時間ステップを”OFF”にし、時間ステップを”0.01”[s]に設定する。



#### 拘束条件の設定：

メニューの「支持」をクリックし、プルダウンメニューから「固定」を選択し、画面のモデルの翼の根本の面を選択し、左の”固定”の詳細のジオメトリを「適用」する。

画面においてモデルの固定面以外の面を全て選択（「Ctrl」を使う）し、右クリックでメニューから「挿入」を選択し、プルダウンメニューから「流体と固体の境界面」を選択する（メニューの「荷重」から「流体と固体の境界面」を選択してもよい）。



プロジェクトに戻り、時刻歴応答構造の項目の「セットアップ」を右クリックし、「更新」する。

#### 11.4 流体解析設定

プロジェクト概念図の流体 (Fluent) の項目の「メッシュ」をダブルクリックし、Meshing を立ち上げる。アウトラインの「ジオメトリ」を展開し、翼モデル「wing」を「ボディ抑制」する。

次に、上記同様、モデルの各面に名前をつけておく。流入面に「Inlet」、圧力が 0 の流出面に「Outlet」、翼が取り付けられている壁面に「Wall」、その他の面に「Side」、翼部分は「DeformableWing」としておく。

「メッシュ」を右クリックし、「挿入」で「サイズコントロール」を選択し、ジオメトリで計算空間を選択し、要素サイズを「0.02」m に設定する (51.2 万要素の上限を超えないようにした)。「メッシュ」の「挿入」の「インフレーション」のジオメトリで計算空間を選択し、名前選択を使って翼周り「DeformableWing」を選択する。さらに、「サイズコントロール」を行い、面として「DeformableWing」を選択し、要素サイズを「0.005」m に設定する。最後に「メッシュ」を右クリックし、「メッシュ生成」する。

プロジェクトに戻り、「メッシュ」を「更新」し、「セットアップ」をダブルクリックすると、Fluent が立ち上がるので、Options で「Double Precision」を選択して「OK」する。

General の画面で非定常 (過渡応答) 「Transient」を選択する。

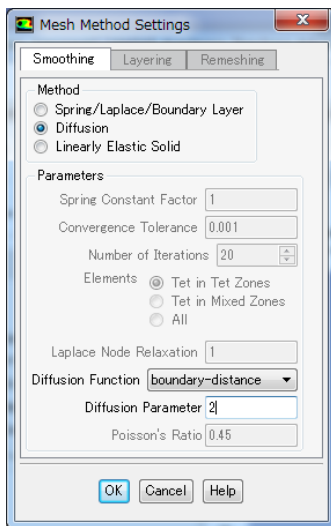
Models の画面で粘性-層流「Viscous - Laminar」を選択する。「Edit」をクリックし、乱流モデル「k-epsilon(2 eqn)」を選択し「OK」する。

Materials の画面で「air」を選択する。

##### 境界条件入力：

メニューの Boundary Conditions の Zone の「inlet」を選択し、「Velocity-inlet」を選択し、「Edit」をクリックして、Velocity Specification Method で「Components」を選択し、X-Velocity(m/s)に「1」m/s、Y-Velocity(m/s)に「0」m/s、Z-Velocity(m/s)に「0」m/s を入力して「OK」する。Zone の「Outlet」を選択して、「pressure-outlet」を選択し、「Edit」をクリックして、Gauge Pressure に「0」Pa を入力して「OK」する。Zone の「Wall」を選択して「Wall」をクリックし、「YES」し、「Edit」で「Moving Wall」を選択し、Motion の「Absolute」をチェックし、Speed(m/s)に「1」m/s を入力して「OK」する。Zone の「Side」を選択して面対称条件「symmetry」をクリックし、「YES」し、「OK」する。Zone の「DeformableWing」をクリックして Type に「wall」を選択し、Edit で「No Slip」を選択する。DeformableWing はこのあと、System Coupling で構造計算の翼と結合する。境界条件で、Type に「Wall」を選択した Zone のみが、System coupling で選択できるようになる。

メニューの Dynamic Mesh を画面で「Dynamic mesh」をチェックする。「Settings」をクリックすると Mesh Method Settings Window がオープンするので、Method で「Diffusion」を選択し、Diffusion Parameter に「2」を入力して「OK」する。



次に、Dynamic Mesh の「Create/Edit」をクリックし、Dynamic Mesh Zone Window で Zone Name の「DeformingWing」を選択し、Type の「System Coupling」を選択し、「Create」をクリックし、「Close」すると、Dynamic Mesh Zones に「deformablewing-System Coupling」が表示される。

Reference Values の Computer from で「inlet」を選択する。Reference Zone で「space」を選択する。

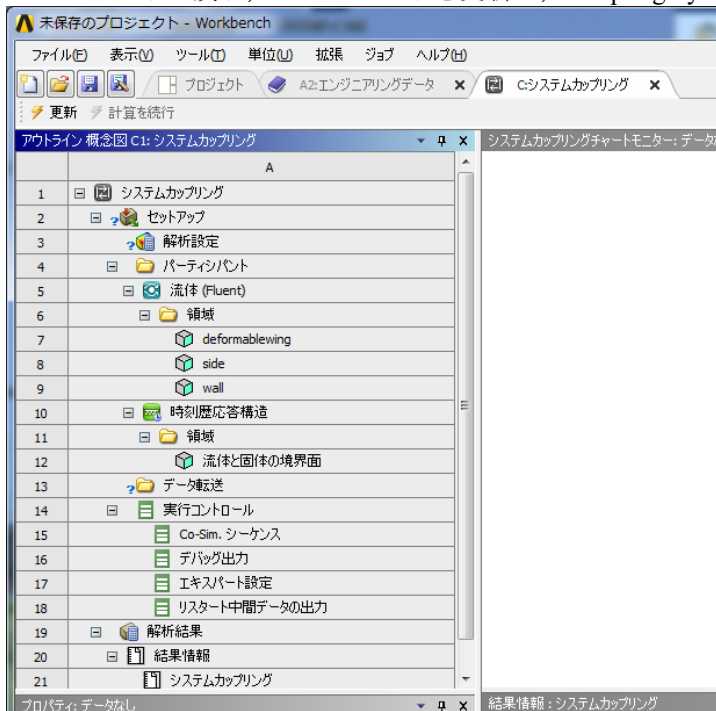
Solution Initialization の Initialization Methods で「Hybrid Initialization」を選択し、「Initialize」する。

Calculation Activities で Autosave Every を「1」にする。

Run Calculation で Time Step Size(s)を「0.01」に、Number of Time Steps を「200」に、Max Iteration/Time Step を「20」に設定する。構造計算が 0.01s 毎で、2 秒間なので、交互に計算させるためにこのように設定する。

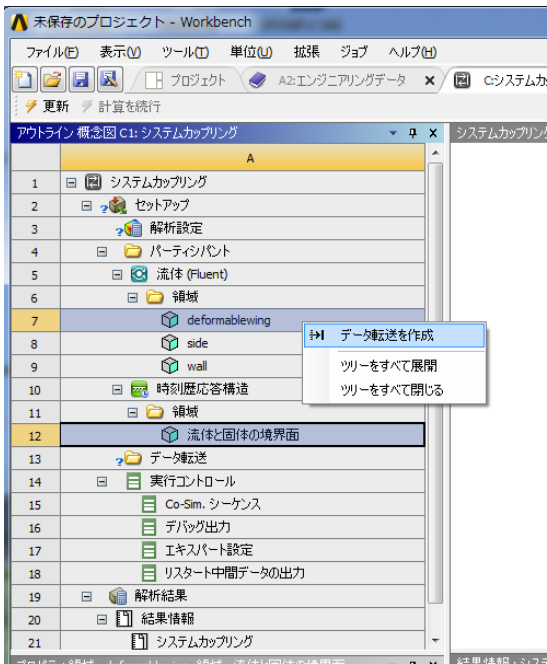
## 11.5 連成解析実行

プロジェクトに戻り、プロジェクトを更新し、Coupling System において「Setup」をダブルクリックする。



アウトライン概念図の「解析設定」を選択し、解析タイプは「時刻歴」(Transient)を選択し、終了時間に「2」を入力し、ステップサイズに「0.01」を入力し、最小反復に「1」、最大反復に「20」を入力する。

アウトライン概念図の「DeformableWing」と「流体と固体の境界面」の両方を選択し、右クリックで「データ転送を作成」を選択する。

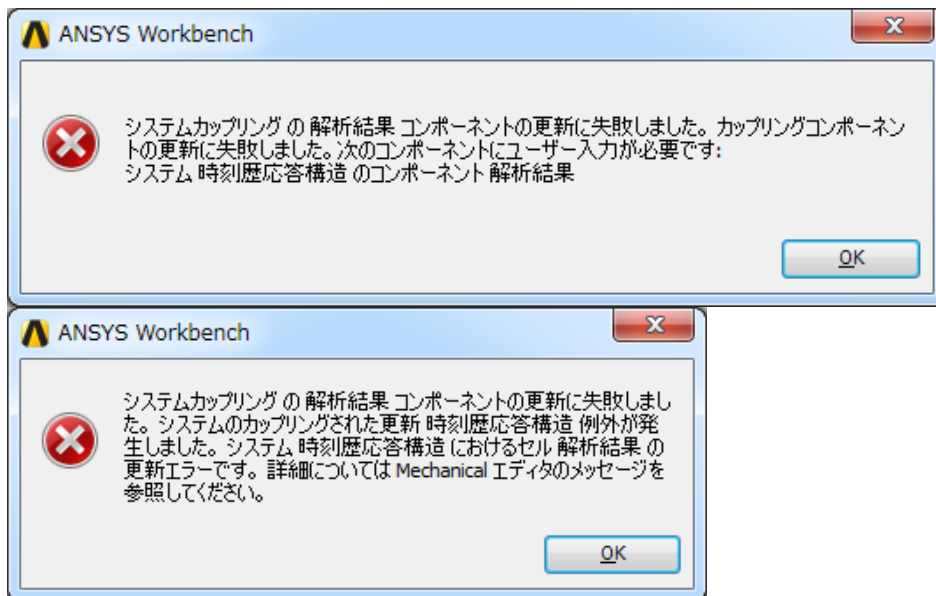


作成された Data Transfer を見ると、時刻歴応答構造から変数として「増分変位」が送られ、流体 (Fluent) が変数として変位「displacement」を受取っているのが分かる。また、Data Transfer 2 を見ると、流体 (Fluent) から変数として力「force」(圧力と面積の積) が送られ、時刻歴応答構造が変数として「力」を受取っているのが分かる。なお、流体の Deformablewing の力は出力できるが、変位を入力できない (ターゲットに変位が表示されない) 現象が起こる場合があるが、一旦プロジェクトに戻り、システムカップリングを削除し、ドラック&ドロップしなおして、結合しなおすと表示されるようになる。原因は分からず。サイバーネット曰く、同じ現象が起こったがこれで回避できた。前のファイルが残っているなどいくつかの原因が考えられるとのこと。



「リスタート中間データの出力」は、出力周期を「ステップ間隔ごとに」、ステップ間隔を”1”にしておく。ここで、「プロジェクトに戻る」で Workbench に戻り、「プロジェクトを更新」し、System Coupling の「解析」を右クリックし、「更新」を実行すると、計算が開始される (System coupling 内で解析を右クリックし「更新」することでも実行できる)。

計算後、以下のエラーメッセージが出る場合には、ライセンスの問題が考えられる。



## 11.6 解析結果の可視化

流体 (Fluent) のコンポーネントの解析結果をダブルクリックすると、

## その他もろもろ

.reversed flow: inletやoutletの境界条件なのに流れが逆流する warning. 少ない or 無い方がいい. Backflowの設定で何とかなる場合も.