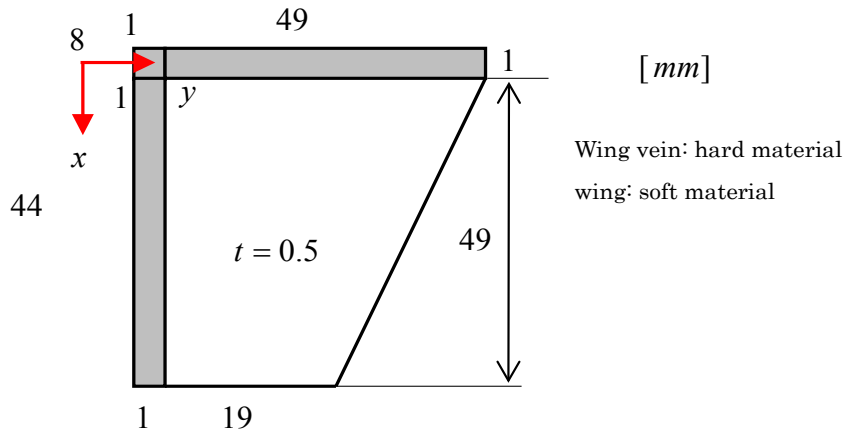


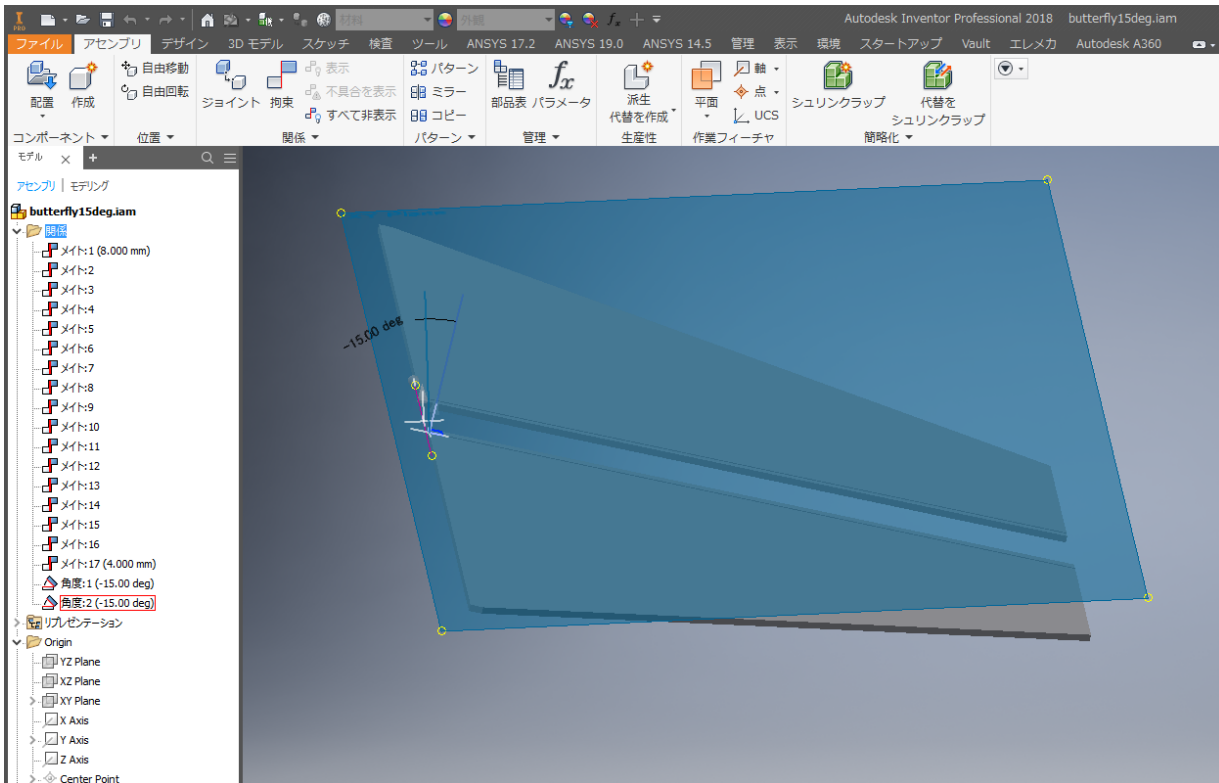
FSI Simulation by ANSYS

流体構造連成問題として、蝶座標系において、1m/s で飛行し、10Hz で振幅 45° ではばたいている蝶の翅の運動を計算する。蝶の体はここではなし。蝶座標系でレベルフライトしていると仮定。重力を考慮しないので落ちない。

1 モデル化



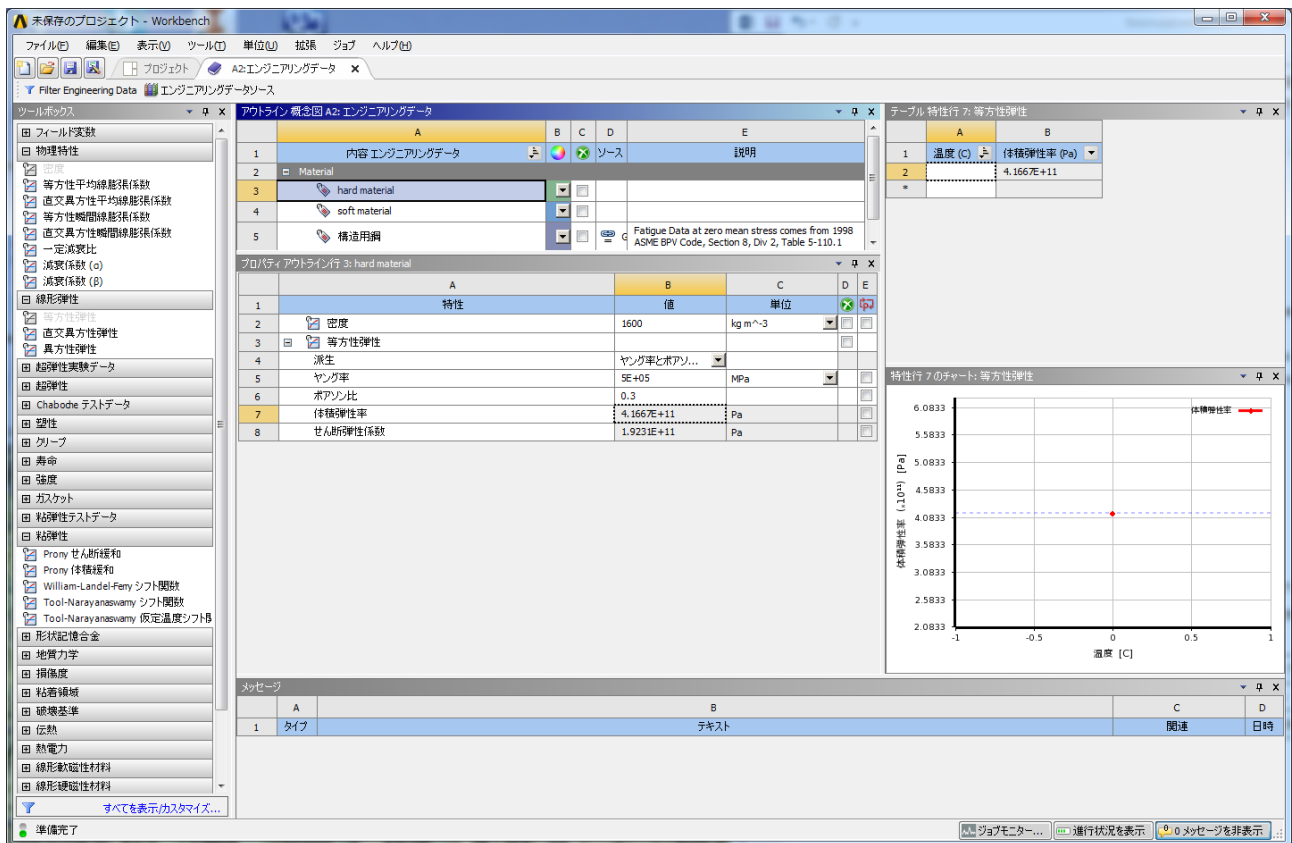
アセンブリしたモデルの座標系は、Inventor のメイトによって原点を拘束し、角度設定により迎角を 15deg に拘束しておく。



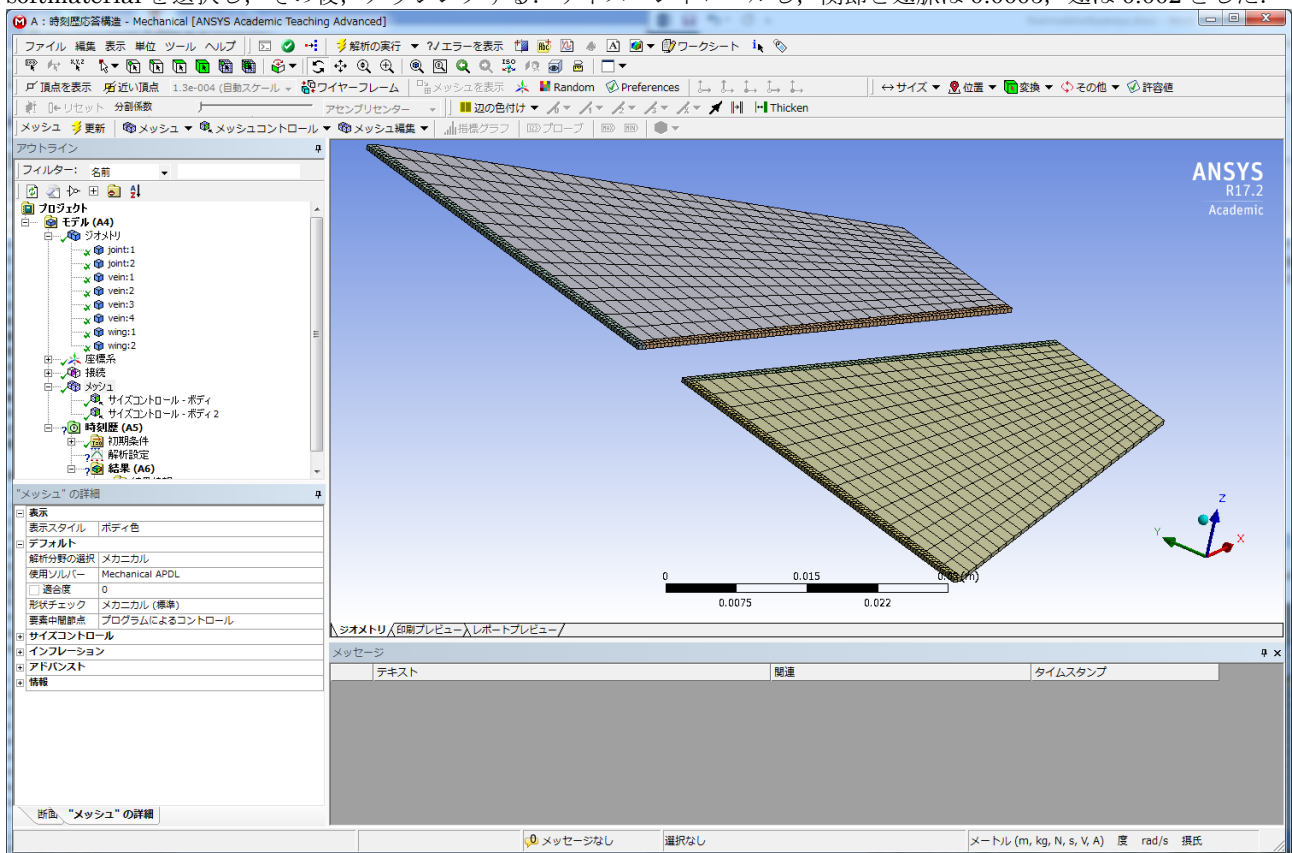
2 時系列応答解析

Workbench17.2 を立ち上げ、ツールボックスの「時刻歴応答構造」をプロジェクト概念図にドラック&ドロップし、「エンジニアリングデータ」をダブルクリックして、翅脈の材料と、翅の材料を登録する。ここでは、以下とした。

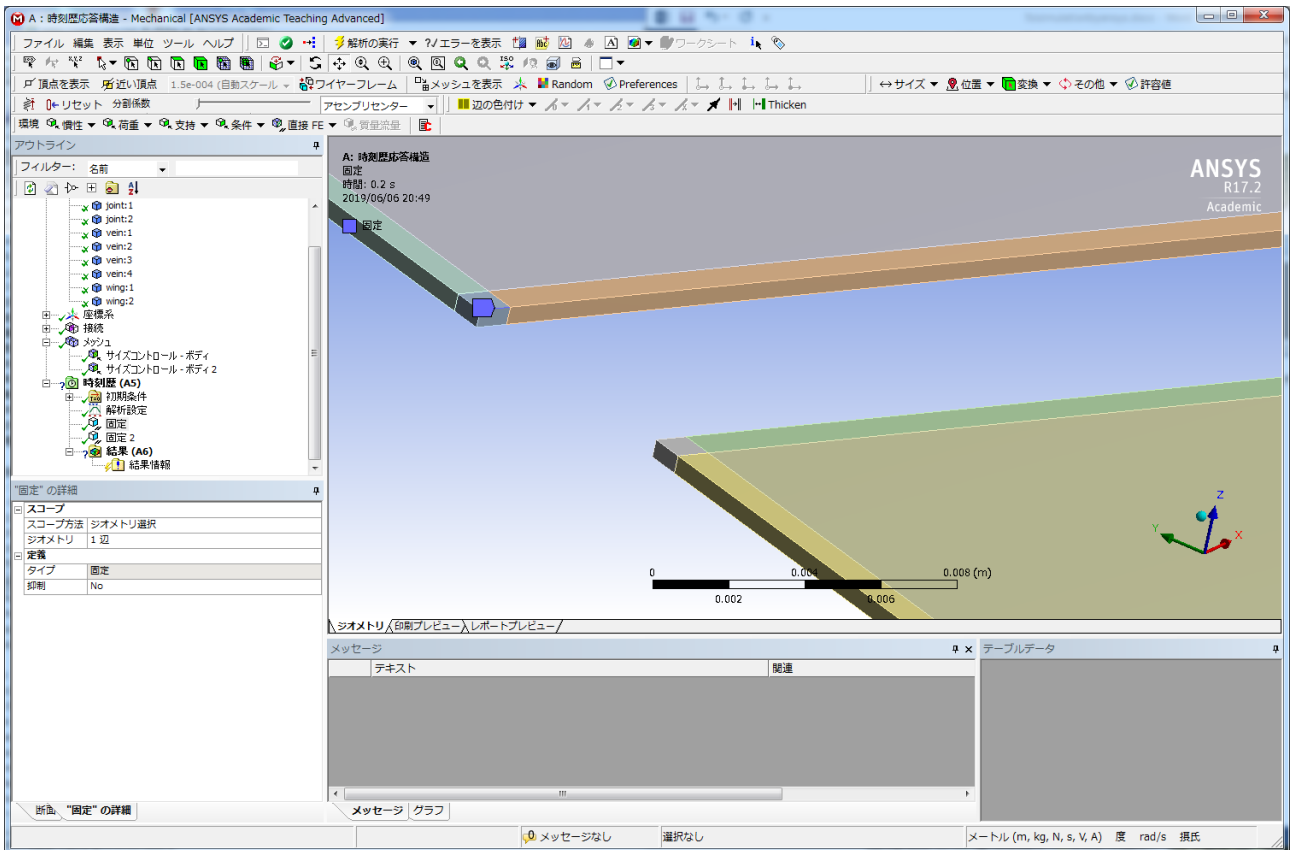
	材料名	密度[kg/m ³]	ヤング率[MPa]	ポアソン比
ボディ, 翅	Soft material	900	100	0.45
翅脈 (カーボン)	Hard material	1600	500,000	0.3 ?



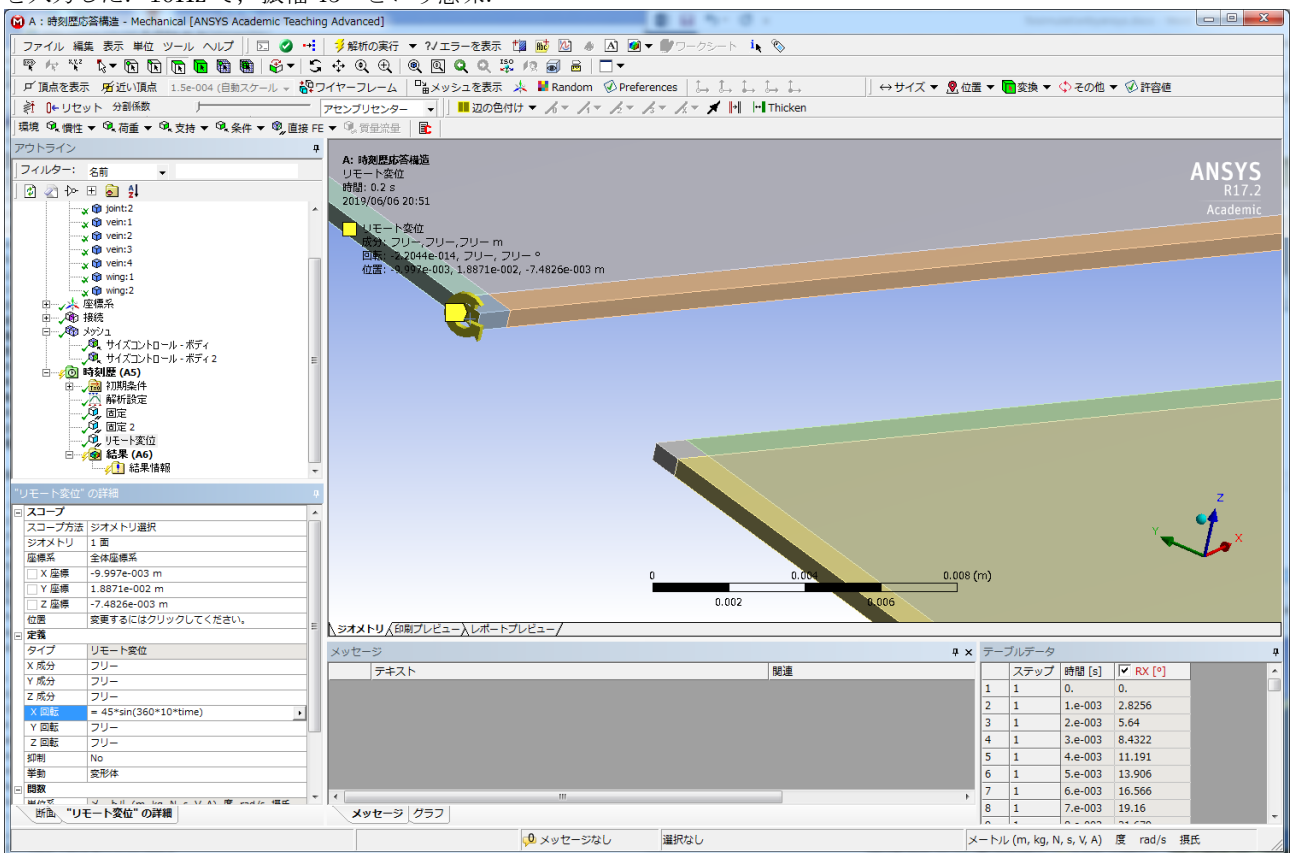
次に、ジオメトリから CAD モデルをインポートし、Mesignmodeler で「生成」する。プロジェクトに戻り、「モデル」をダブルクリックし、アウトラインのジオメトリを展開し、材料の割り当てで関節と翅脈は hardmaterial を、翅は softmaterial を選択し、その後、メッシングする。サイズコントロールし、関節と翅脈は 0.0005、翅は 0.002 とした。



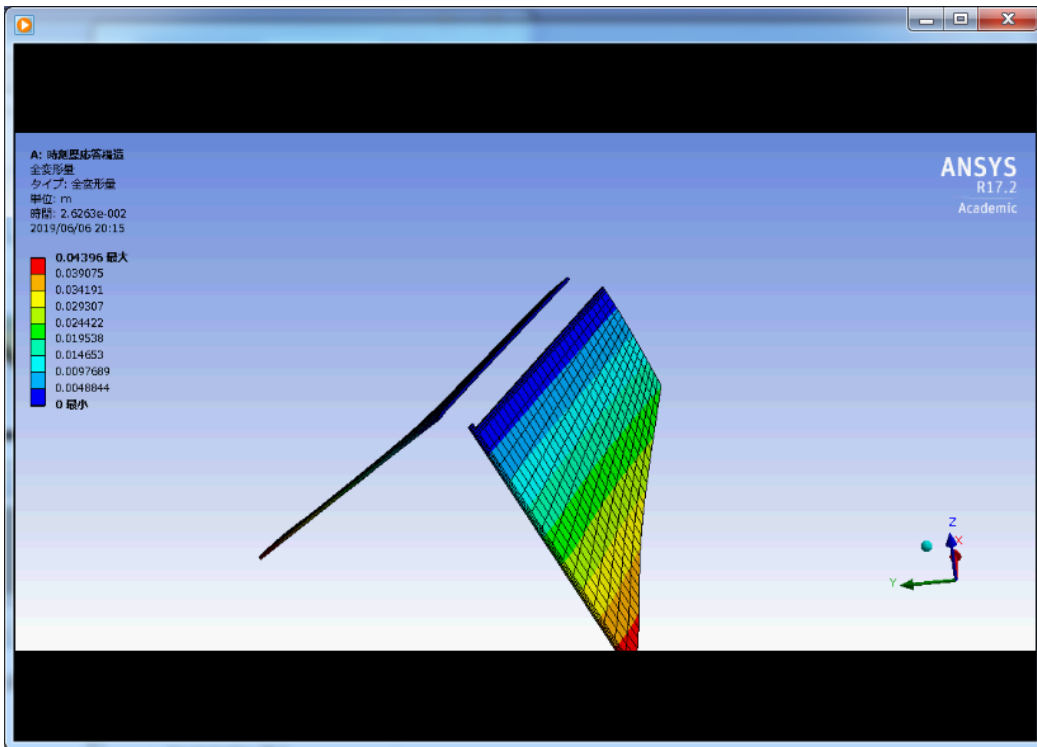
アウトラインの「解析設定」をクリックし、時間は 0.1 秒 (ひとはばたき)、自動時間ステップは off, 時間ステップは 0.001s とする。拘束条件は、左右関節の根本を線固定とした。



次に支持で、リモート変位を設定し、左右関節部の前面 (yz 平面) に関数として、 $45 \cdot \sin(360 \cdot 10 \cdot \text{time})$ を入力した。10Hz で、振幅 45° という意味。



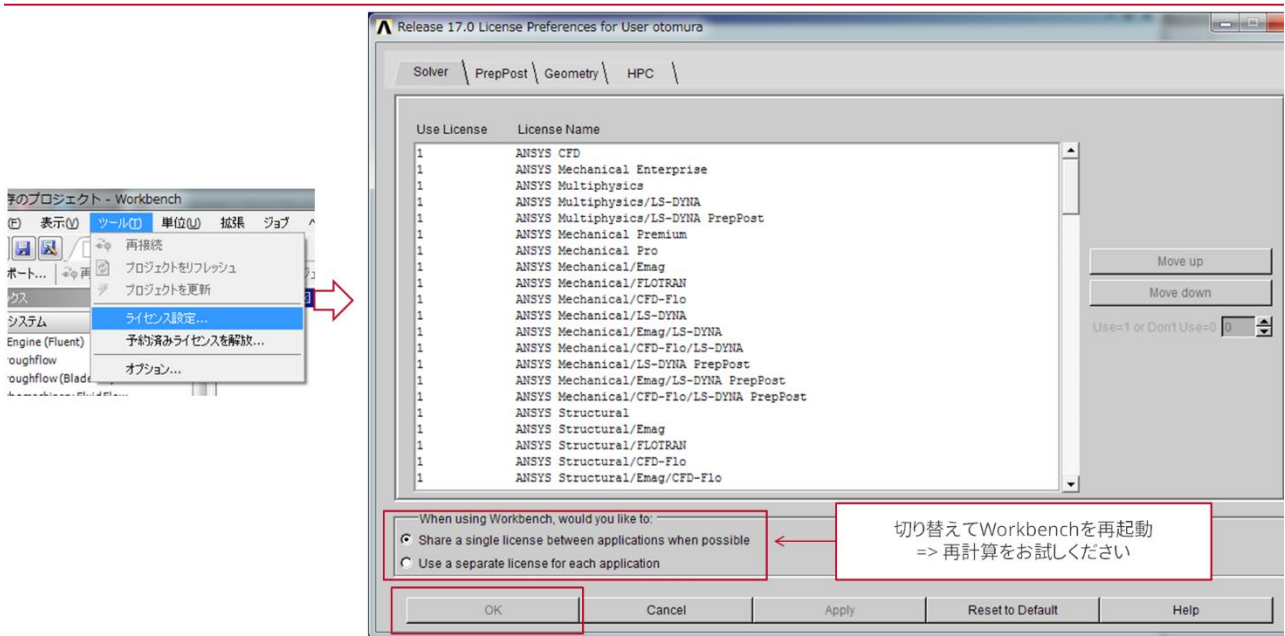
アウトラインの結果をクリックし、ツールから変形、トータルを選択し、解析を実行する。



3 流体構造連成解析

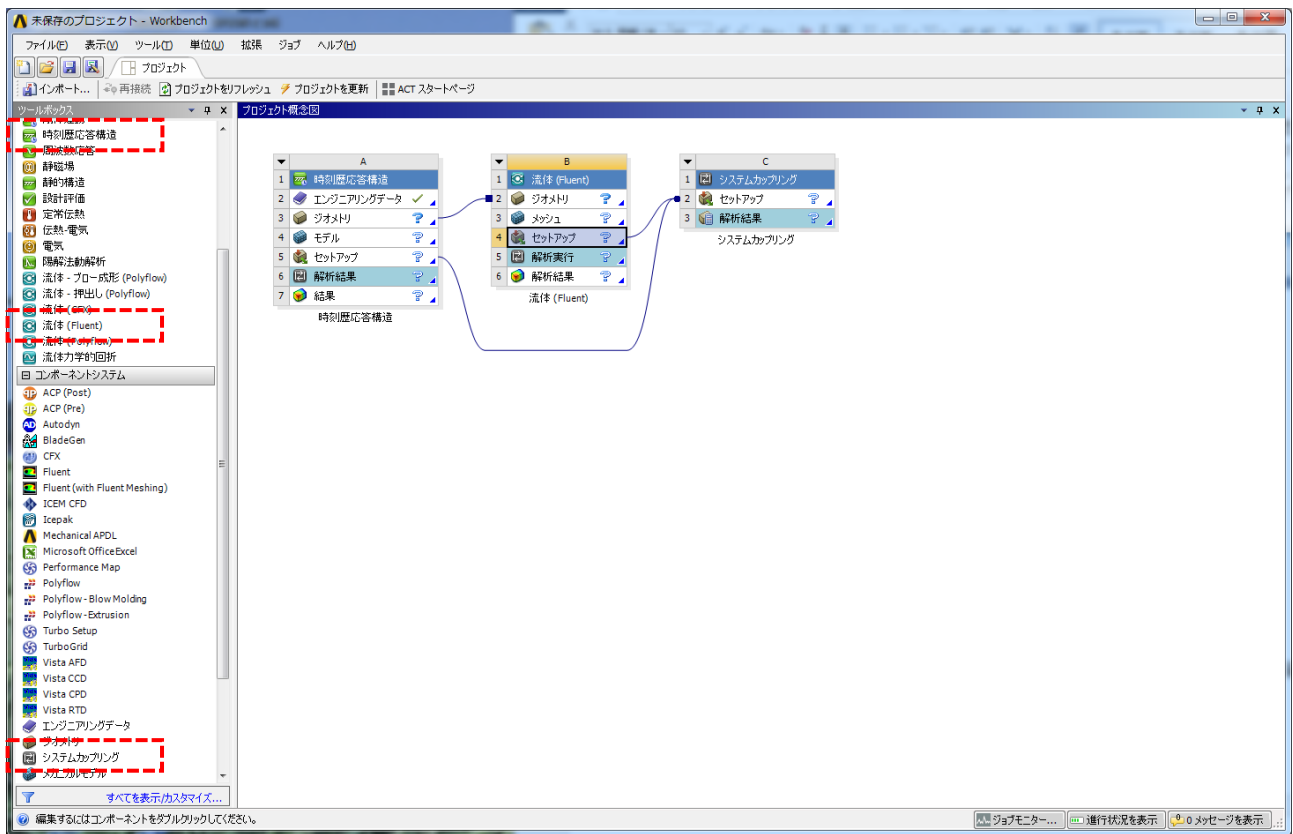
3.1 ライセンス環境設定

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。



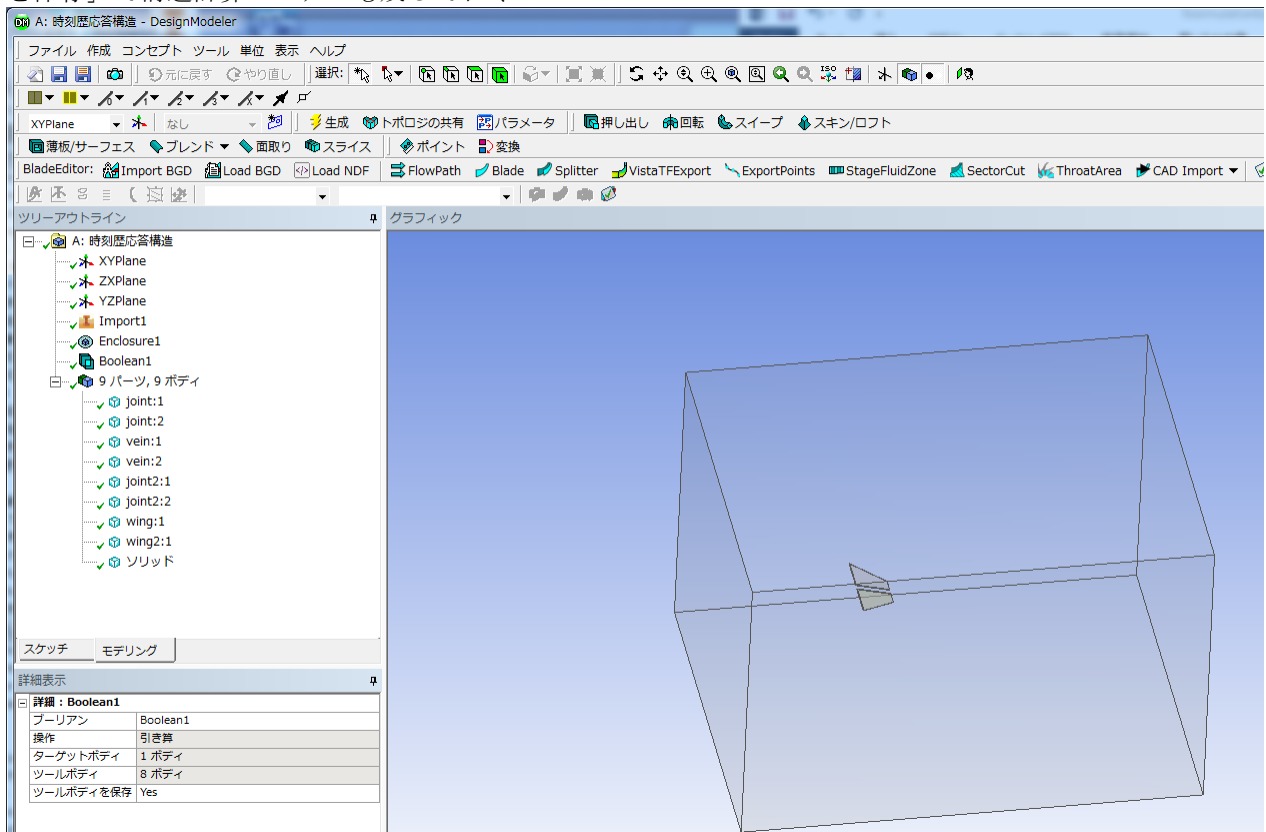
3.2 カップリング

構造と流体の連成解析（2 way FSI）を行う。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。

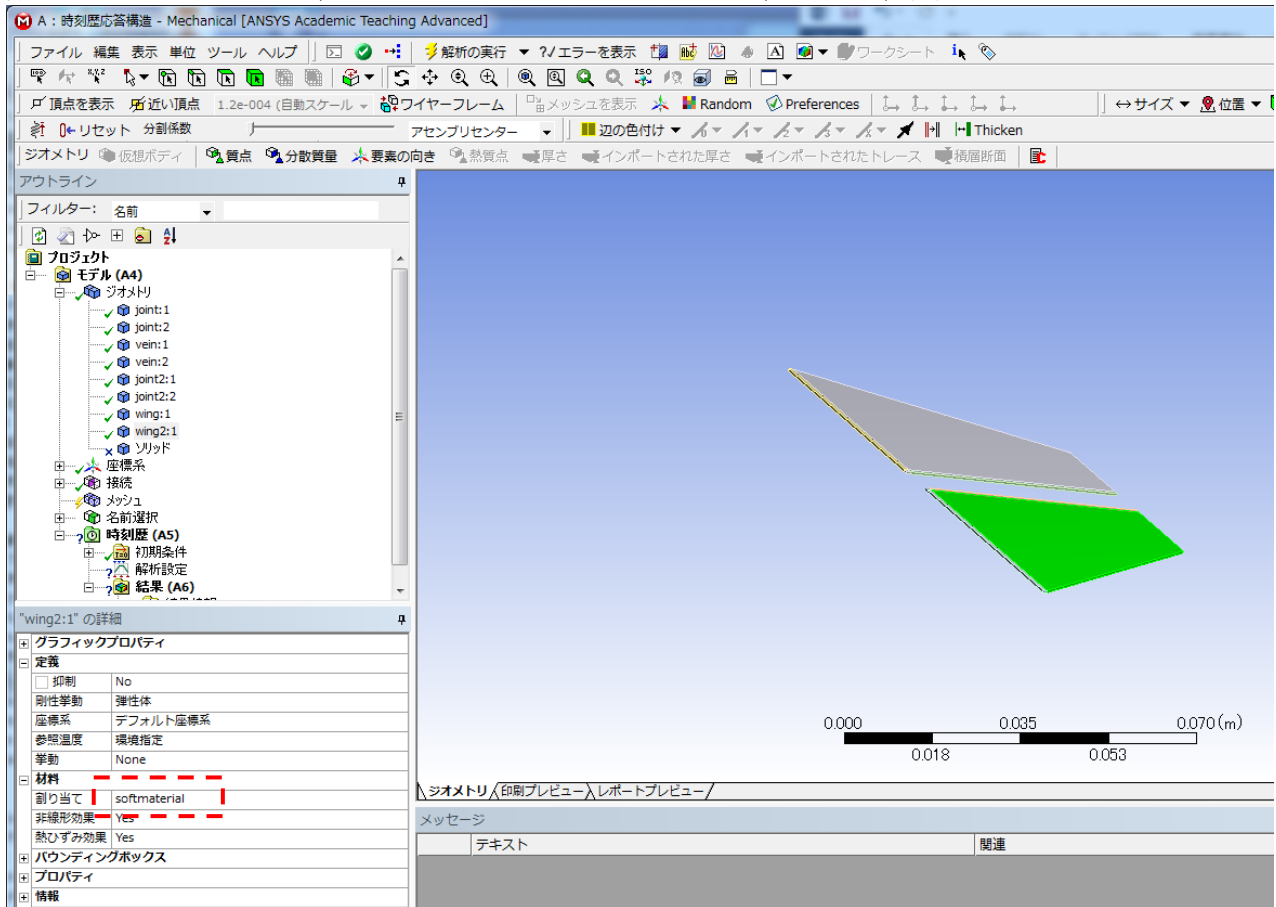


1.1 構造解析設定

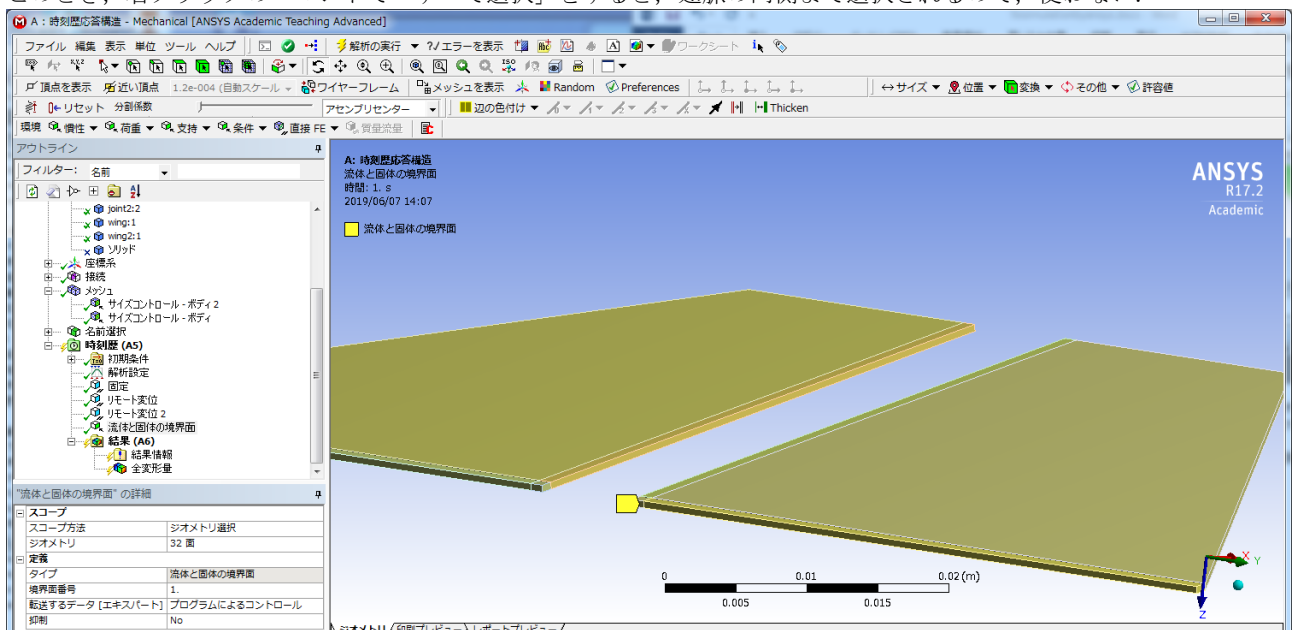
上記同様、時刻歴応答構造において「エンジニアリングデータ」を編集し、softmaterial と hardmaterial 材料を登録しておく。次にジオメトリで CAD データを読み込み、ジオメトリの右クリックで Designmodeler アプリを立ち上げ、「生成」する。ツールの囲い込みで、適当なサイズの計算空間を確保する。無限縁とする翅の後ろは長めにする。本来代表長さの 30 倍の空間を確保するのが一般的であるが、ノード数の制約上学生版では小さめにする。作成のブーリアンで計算空間から CAD モデルを引き算しておく。このとき、「ツールボディを保存」で構造計算のモデルも残しておく。



プロジェクトに戻り、モデルをダブルクリックし、Mechanical アプリを立ち上げる。
 アウトラインのジオメトリを展開し、計算空間（ソリッド）を「ボディ抑制」しておく。これで CAD モデルのみ構造計算される。各パーツを選択し、softmaterial と hardmaterial の選択を、上記同様、材料の割り当てで行う。



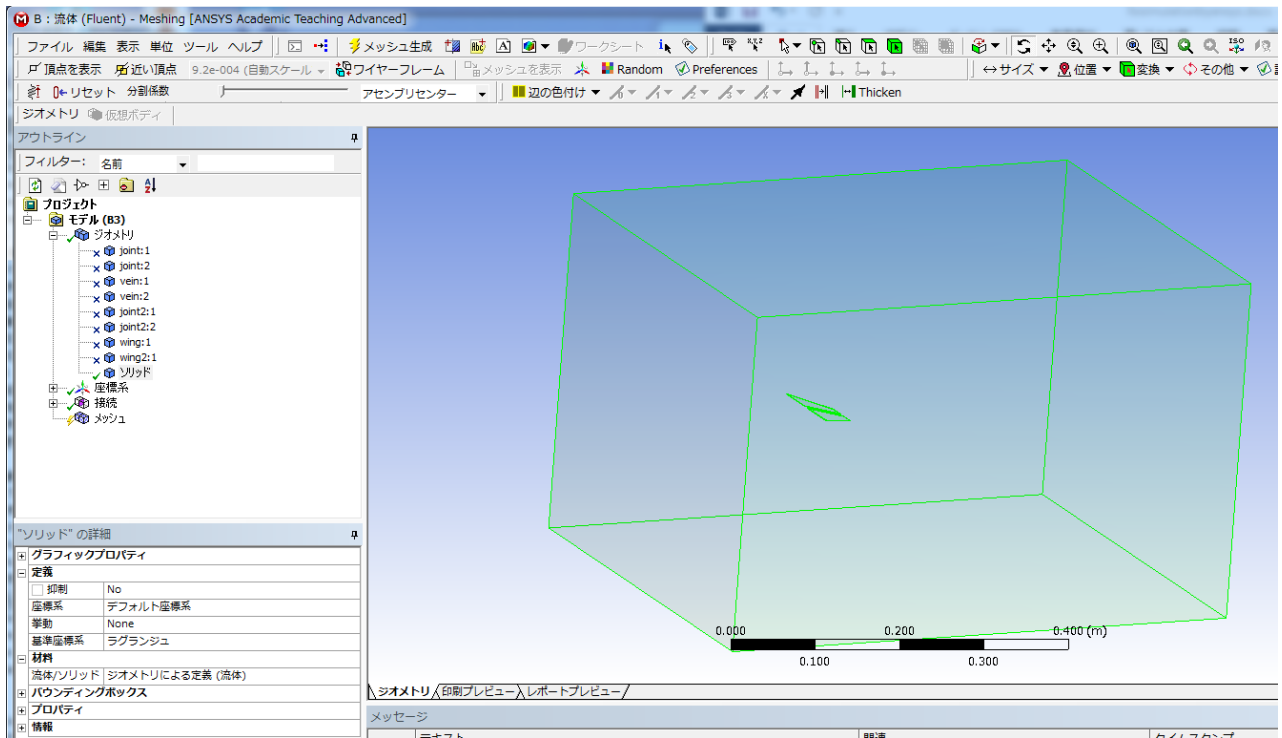
次に、上記同様、メッシングを行う。挿入のサイズコントロールで適切なメッシュサイズにする。
 次に、解析設定で、ステップの最終時間を 0.2s (2 はばたき) にし、自動ステップは off、時間ステップは 0.001s にする。拘束も上記同様適切に行う。
 次に、流体とのインタラクションのために、「荷重」の「流体と個体の境界面」を選択し、翅境界面をすべて選択すること。このとき、右クリックのコマンドで「すべて選択」をすと、翅脈の内側まで選択されるので、使わない。



結果に変形のトータルを組み込む。
 プロジェクトに戻り、セットアップを更新する。

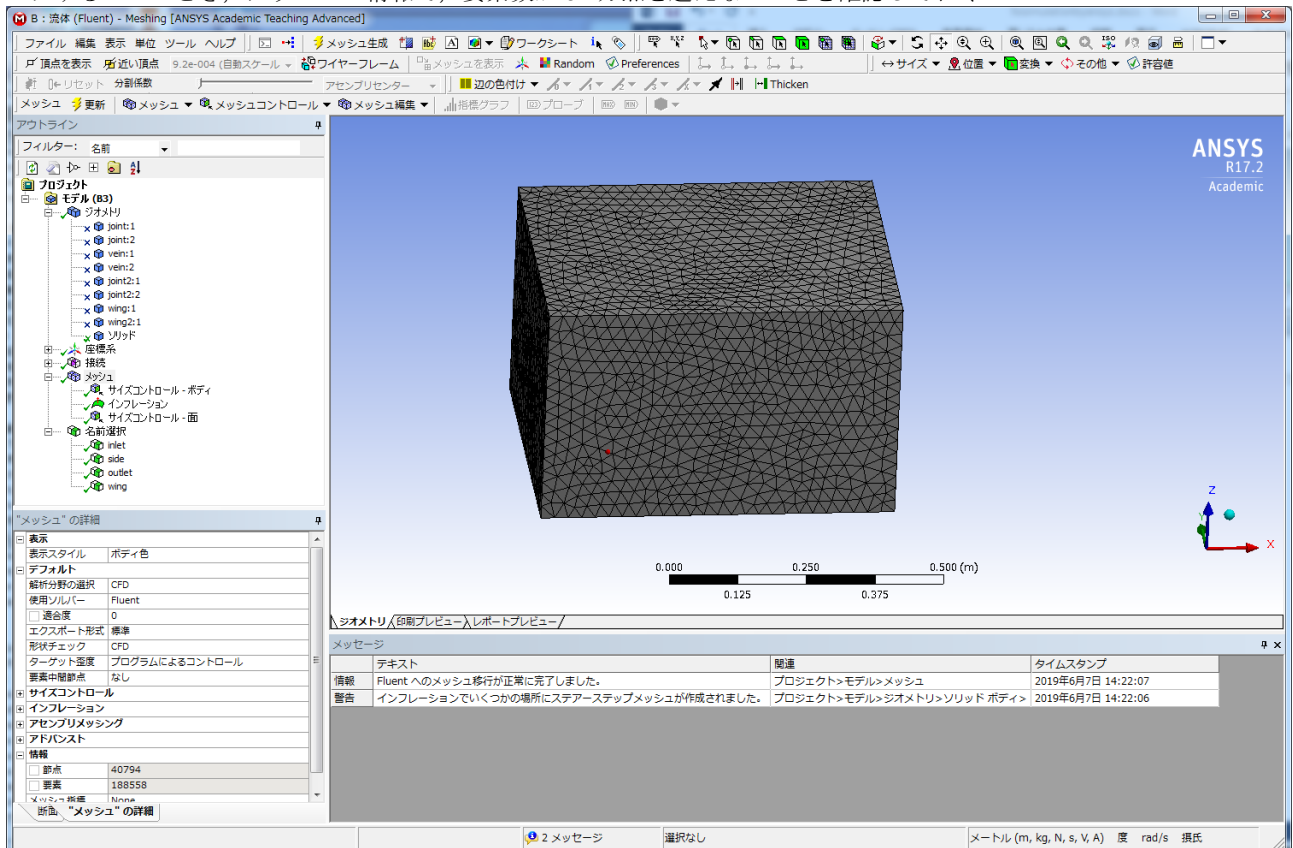
1.2 流体解析設定

Fluent のモデルをダブルクリックし、Meshing アプリを立ち上げる。ジオメトリを展開し、流体計算空間（ソリッド）以外を「ボディ抑制」して、計算対象を確定する。このとき、ソリッドの材料の流体/ソリッドが「ジオメトリによる定義（流体）」になっていることを確認する。

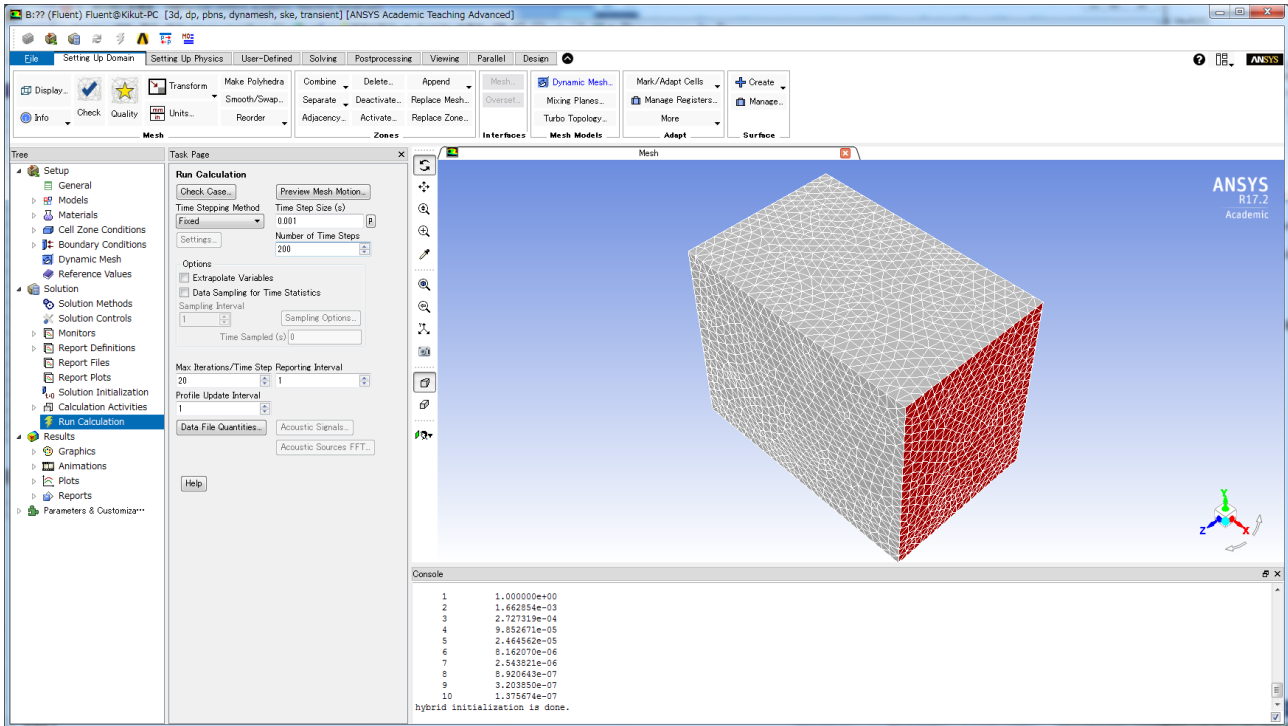


次に、境界面に“inlet”，“outlet”，“side”，“wing”の名前をつけておく。

次に、計算空間全体をサイズコントロールし、翅周りは5層でインフレーションし、翅もサイズコントロールしてメッシュングする。このとき、メッシュの情報で、要素数が51万点を越えないことを確認しておく。



プロジェクトに戻り、セットアップをダブルクリックし、Fluent を立ち上げる。Tree の General で「transient」を選択し、Models で「Viscous-Laminar」を Edit し、「k-epsilon」を選択して「OK」する。
 Material は「air」を選択する。Boundary Conditions で inlet で「velocity-inlet」を Edit して 1m/s を入力する。Outlet は、outlet を選択して圧力を 0 にする。Side は symmetry を選択する。Wing は wall を選択する。
 Tree の Dynamic mesh で Task Page の Dynamic Mesh をチェックし、「Create/Edit」をクリックして、Dynamic Mesh Zones 運動をオープンし、wing を選択して、System Coupling をチェックし、「Create」する。
 Tree の Reference Values の Task Page の Compute from で inlet を選択する。
 Tree の Solution Initialization で Task Page の Hybrid Initialization を選択し「initialize」する。
 Tree の Calculation Activities で Autosave Every(Time Steps)を 1 にし、
 Tree の Run Calculation の Time Step Size(s) を 0.001 にし、Number of Steps を 200 にする。これは、構造計算の値にあわせる。



1.3 システムカップリング

プロジェクトに戻り、システムカップリングのセットアップをダブルクリックする。
 解析設定において、解析タイプを時刻歴にし、終了時間に 0.2s、ステップコントロールに 0.001s を入力する。
 次に、流体の領域の「wing」と、時刻歴応答構造の「流体と個体の境界面」を選択し、右クリックで「データ転送を作成」を行い、Data Transfer (流体の圧力を構造に送る)、Data Transfer2 (構造の位置の境界条件を流体に送る) を作成する。このとき、どちらか一方しか出来なかった場合には、一度プロジェクトに戻り、System Coupling を削除し、再度ドラック&ドロップで結合をやり直してから、データ転送の作成を行う。これで大体このトラブルは回避できる。サイバーネット曰く、以前行ったファイルが残っていて、悪影響を与えているのではないかとのこと。
 その後解析を実行する。
 この後の作業は、ライセンスの関係上菊池のパソコンでは残念ながらできない。

アウトライン 概念図 C1: システムカップリング

A	
1	システムカップリング
2	セットアップ
3	解析設定
4	パーティシパント
5	流体 (Fluent)
6	領域
7	deformablewing
8	wall
9	時刻歴応答構造
10	領域
11	流体と固体の境界面
12	データ転送
13	Data Transfer
14	Data Transfer 2
15	実行コントロール
16	Co-Sim. シーケンス
17	デバッグ出力
18	エキスパート設定
19	リスタート中間データの出力
20	解析結果

プロパティ DataTransfer : Data Transfer 2

	A	B
1	特性	値
2	ソース	
3	パーティシパント	時刻歴応答構造
4	領域	流体と固体の境界面
5	変数	増分変位
6	ターゲット	
7	パーティシパント	流体 (Fluent)
8	領域	deformablewing
9	変数	displacement
10	データ転送コントロール	
11	転送時機	反復の開始
12	不足緩和係数	1
13	RMS 収束ターゲット	0.01