

はじめに

Ansys は有限要素法 (FEM : Finite Element Method) を用いた CAE (Computer Aided Engineering) を目的とするプログラミングを中心とした汎用解析ソフトである。つまり本来は有限要素法等の概念やアルゴリズムを理解しなければ中々扱えない代物であるが、Ansys Workbench (以下 AW) はそのような詳しい知識無しでも構造解析を行うことを可能とする GUI (Graphical User Interface) である (もちろん解析の背景に存在する仕組みを知っている方がエラーの原因究明, 本質的な理解に役立つので好ましいが…)。本稿は Ansys の本質的な理論である有限要素法については極力触れず, ロボットの設計という目的から逆算して裏門から堂々と工業設計・構造解析に入門することを目指す初心者向けマニュアルである。

Ansys Student と完全版との相異点について

2023 年現在, 菊池研では完全版 Ansys のライセンスを使用することが出来ない。しかし学生である間は Ansys Student (以下 AS) を使用することが可能である。無料でインストールすることが出来て, 完全版と全く同じ解析ツールを備えている為研究において解析を行うには十分な性能を備えるソフトである。しかし, いくつかのデメリットを含んでいる為注意が必要である。まず学生用ライセンスであることから, 1 年ごとに再インストールをしなければならない。次に, 解析を行う際に生成可能な要素 (Cell) 数と節点 (Node) 数に制約が存在する。正規版ではともに無制限に生成することが可能であるが, AS ではそれぞれ 512000 個ずつ生成可能である。また, Ansys の特徴として連成解析 (Coupled analysis) が可能であることがあげられる。構造や流体, 伝熱などの異なる場の相互作用を解析することであり, それぞれの場についてソルバ (Solver) が割り当てられるのだが, AS では 1 つのソルバについて 1 つのライセンスを必要とする。例えば蝶ロボットを構造解析で設計したものに対して流体解析を行う為には 2 つのライセンスが必要である。最後にそして何よりも, AS ライセンスで行った解析をそのまま論文等に掲載して発表することは出来ない。必ず正規版 Ansys で解析した結果を用いなければならない。しかし菊池研の学生が正規版 Ansys に触れる手段は今のところ皆無であるため, 解析結果を発表する際には (表立っては言えないものの) 工夫が必要である。

Workout1: 一様梁の静的構造解析と AW 基本操作

以下のように両端をそれぞれ固定支持と移動支持とした一様な矩形断面梁の上面に等しい力を加えた時の静的構造解析 (State Structure Analysis) を行う。

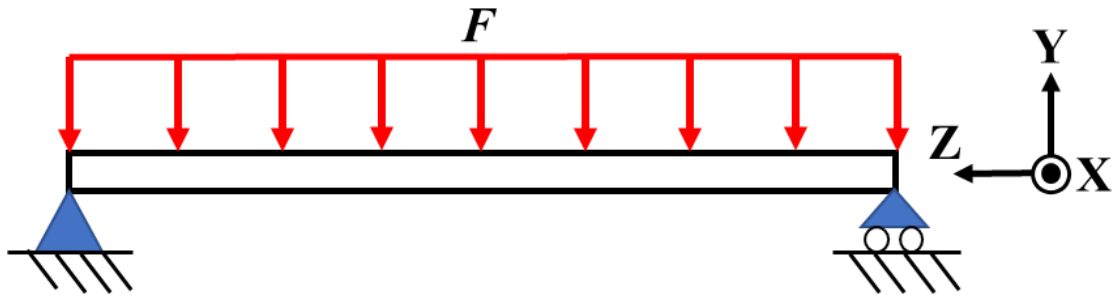


Fig. 1 Simple beam attached by a movable support and a hinged support, which the force affects on its top surface

図 1 のように解析対象である力学問題について予めモデル化を行い、どのような解析を実施するのか理解しておくことで後々無駄な解析を行う時間と労力を削減することが出来る。モデル化が為されたらいよいよ解析に移るために **AW** を起動する。立ち上げると図 2 のようなプロジェクトウィンドウ (以下 **PW**) の画面が現れる。

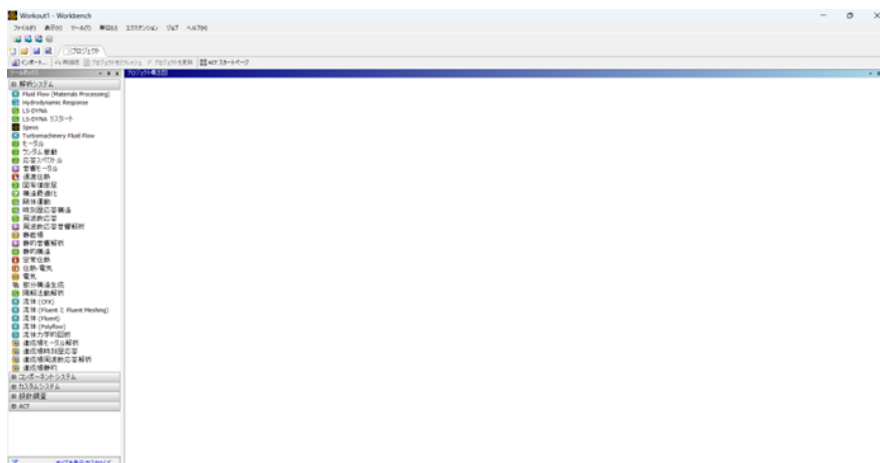


Fig. 2 Project window

画面が立ち上がった時に真っ先にすべきことは解析に用いる**単位系 (Unit system)**の確認である (図 3). 特に OpenFOAM 組は paraview の仕様上単位系やオーダを変更することが多いので注意する. 左上の単位から確認する.



Fig. 3 Check the unit system

単位系を確認したら続いて**解析システムの選定**を行う. ツールボックスから行いたい解析に**適当な解析ソルバ**を選択し, まっさらな**プロジェクト概念図**ウィンドウへとドラッグする (図 4). 今回は静的構造解析を行うので**静的構造**ソルバを選択した.

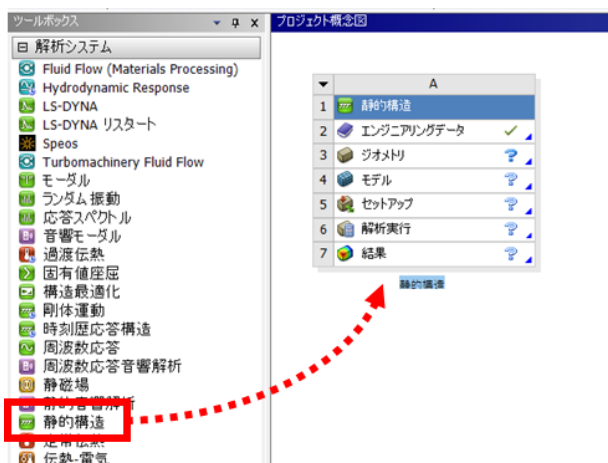


Fig. 4 Put the SSA solver into the project concept window

ソルバが定義されると, 7つの階層構造を持つ項目から成る様子が見て取れる. この7つの項目が解析を完了するまでに設定が必要なプロセスであり, 今 1 番目の静的構造システムを使用すると決定したので, 続いて 2 番目の**エンジニアリングデータ (以下 ED)**の設定を行う. この 7 段階のプロセスは一つ上のプロセスが完了 (緑のチェックマークが表示される) しなければ次に進むことが出来ない, 若しくは更新しなければならない. ソルバが定義

された時点で ED にはチェックが付けられている為、すぐに次のプロセスへと進むことも可能であるが、これはデフォルトとして**構造用鋼**の**材料特性**が定義されている為である（図 5）。今回の解析ではこの構造用鋼をそのまま材料として用いるが、任意の材料を定義するためにはその材料のデータシートをネット上などから拝借してきて、材料名と特性を手打ちで入力して定義する必要がある（図 6）。

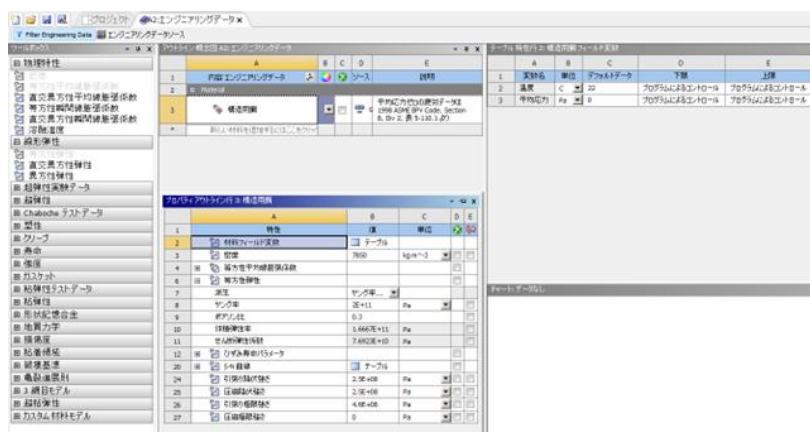


Fig. 5 Material characteristics of Mechanical steel

1. 材料名の定義



2. 欲しい特性をドラッグして値を入力

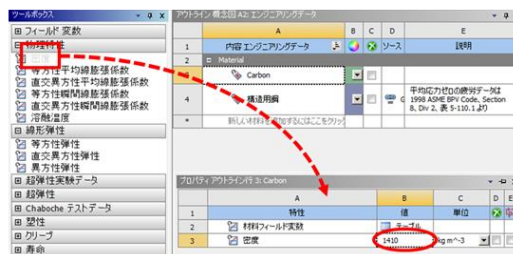


Fig. 6 Defining optional materials

材料特性の定義が済めば PW に戻り、続いて**ジオメトリ (Geometry)** の設定を行う。ジオメトリとは**解析対象となる形状データ**のことであり、Ansys に備わるデザインツール、**Discovery** や **SpaceClaim, DesignModeler** を用いる、若しくは **Autodesk Inventor** などの CAD ソフトで作製する方法があり、ロボの学生は解析だけでなく製作まで行う為、後者がより一般的である。ここで留意すべきこととして、**最初に定義したモデルの条件を常に念頭に置きそれに沿った製作を行うことが重要**である。また、3D プリンタや CNC で用いる形式ファイルである **STL 形式は対応しておらず、IGES, STEP, Parasolid 形式**を用いるところである。これは STL 形式が中身の充填されていないサーフェイスモデルであり、ソリッドモデルではないことに起因する。今回は Inventor 上で製作した梁を IGES 形式でジオメトリとして与える。

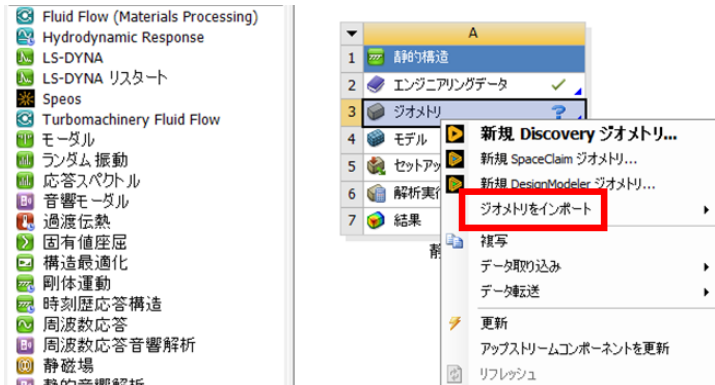


Fig. 7 Import geometry

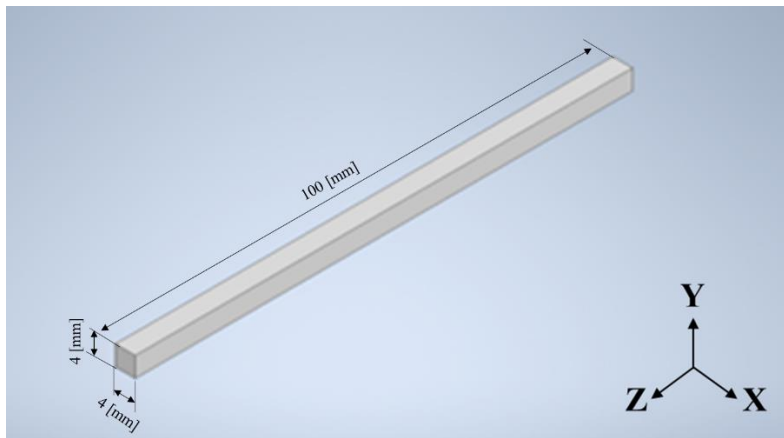


Fig. 8 Simple beam model

ジオメトリをインポートすると、図 9 のようにモデルを更新するように促されるのでこれをダブルクリックで更新する。

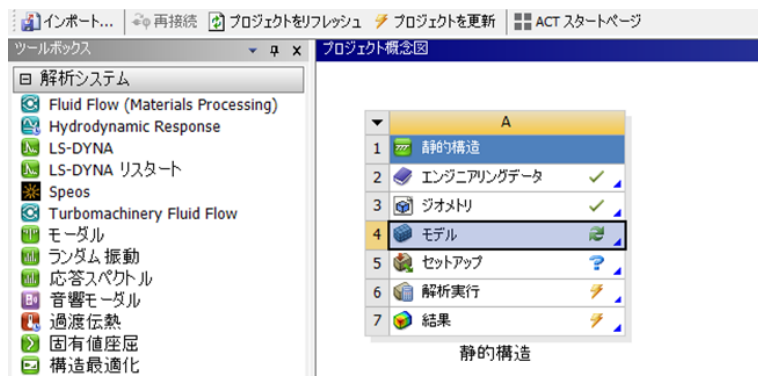


Fig. 9 Update the model

すると図 10 のように **Ansys Mechanical** (以下 **AM**) がジオメトリを反映した状態で自動的に立ち上がるのでここからはこちらで作業を行う。

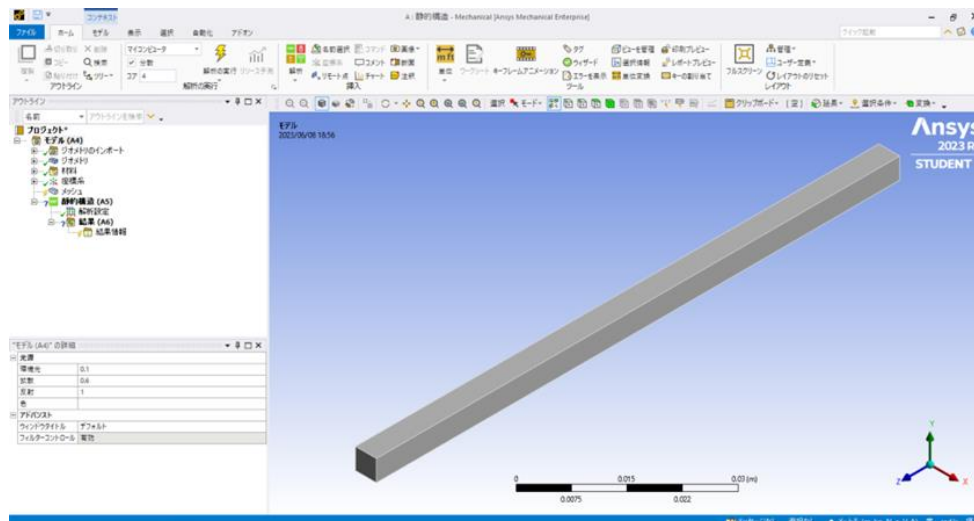


Fig. 10 Ansys Mechanical with the model geometry

AM が立ち上がったらず今まで行った設定がしっかりと反映されているかどうか確認を行う必要がある。こちらも PW と同じく最下段の解析に至るまでにプロセスを完了して全ての項目について緑のチェックマークにする。ここまで行ったことは材料の設定とジオメトリのインポートであるから、ジオメトリに材料がしっかりと割り振られているか確認する必要がある。今回は 1 ジオメトリと 1 材料しか定義していないため、自動的にモデルの材料として構造用鋼が割り振られている (図 11)。しかし材料を複数定義した場合、またはモデルを複数のモデルのアセンブリによって製作した場合、各ジオメトリを個別に選択して異なる材料を与えることが出来る (図 12)。



Fig. 11 Mechanical steel is adapted to the geometry

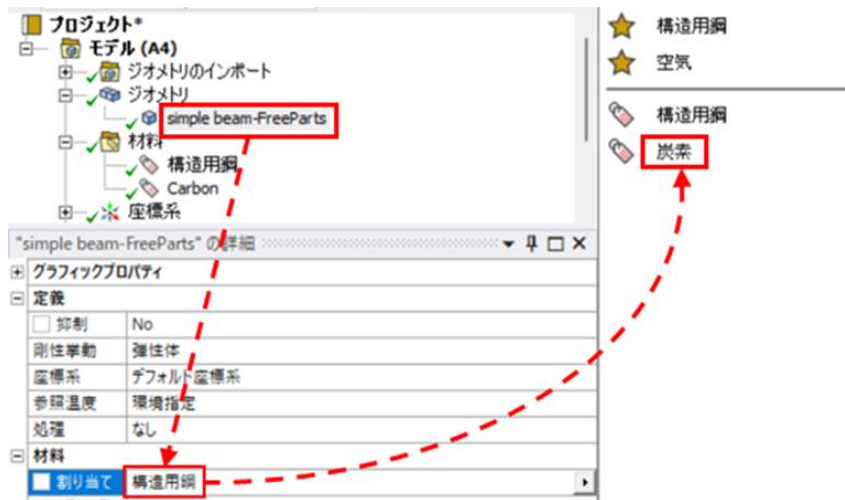


Fig. 12 Put another material into the geometry

設定の確認が終わればメッシュ (Mesh) の設定を行う。AS の制約と求められる精度，計算時間，形状のアスペクト比などを考慮しながらメッシュの要素サイズを設定して更新する (図 13, 14)。

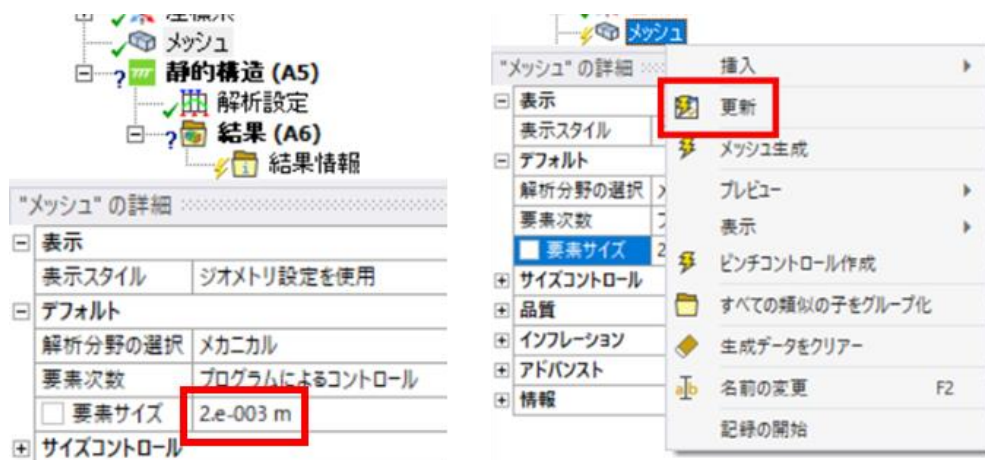


Fig. 13 Input mesh size and update

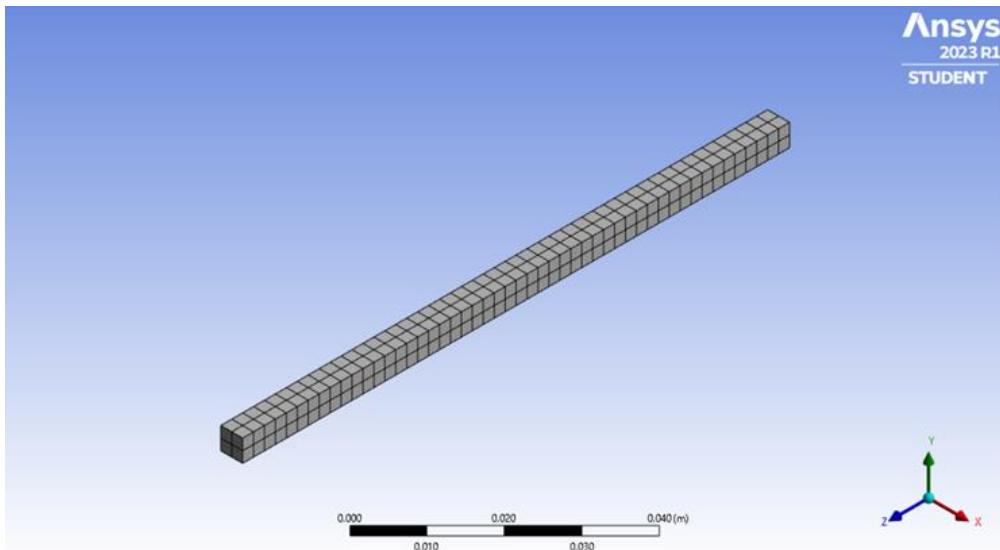


Fig. 14 Mesh constructed model

次に境界条件（Boundary condition）を設定する。静的構造解析を解くには幾何学的境界条件と力学的境界条件を設定する必要がある。まず幾何学的境界条件は、一般には拘束や固定条件とも呼ばれ、今回は両端の固定・移動支持がこれにあたる。固定支持は静的構造の解析設定を右クリックし、挿入から固定を選択する。そして固定支持にしたい1辺を選択しジオメトリを適用する（図 15）。移動支持についても同様に挿入から変位を選び、移動支持とする1辺を選択し適用する。なお移動支持についてはモデルの Z 方向にのみ移動してほしいため、座標系の成分の内 X と Y 成分をフリーから定数 0 へと変更する（図 16, 17）。

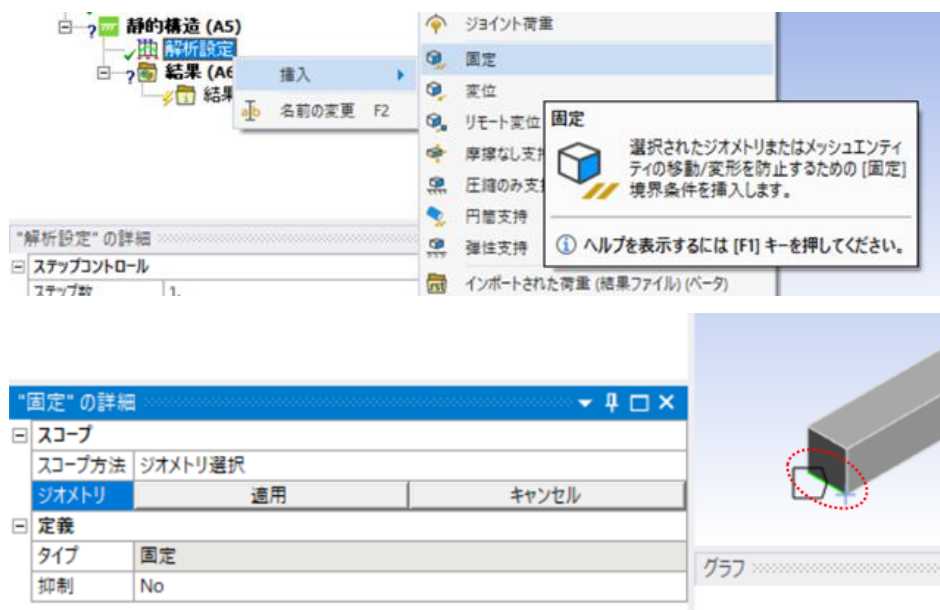


Fig. 15 Hinged support

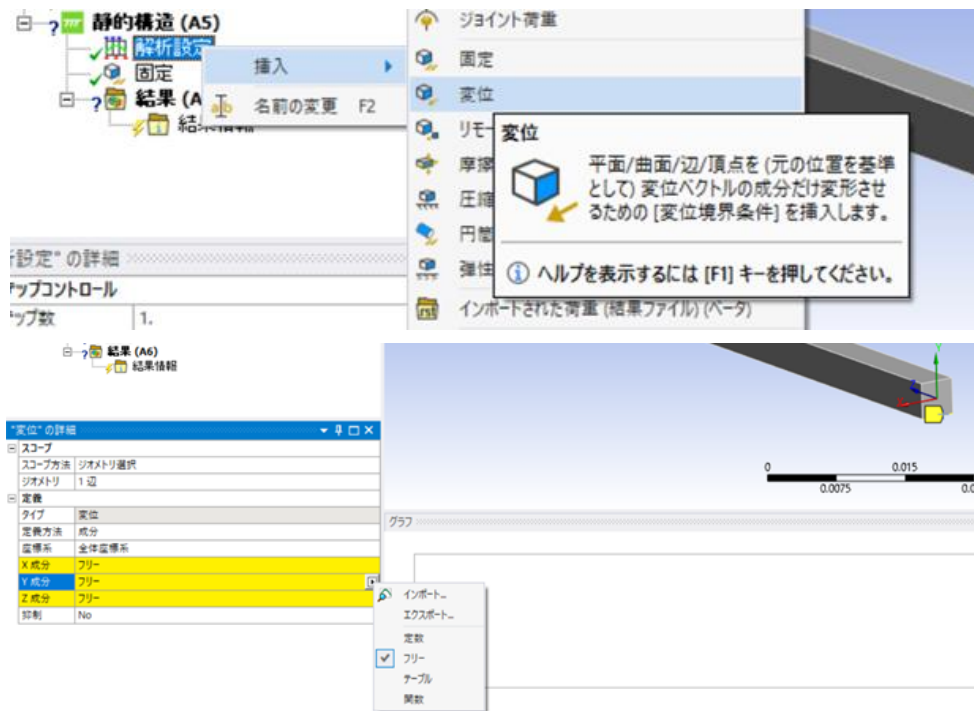


Fig. 16 Movable support

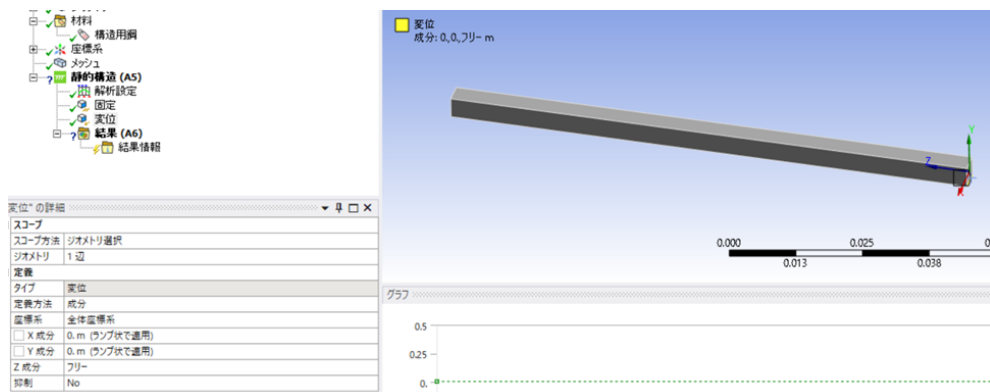


Fig. 17 Restrict the movement of X and Y axis

続いて力学的境界条件は**荷重負荷条件**であり、つまり今回の解析では面への**作用力**の設定がこれにあたる。解析設定、挿入から力を選択、ジオメトリ上の力作用面を選択し適用する。大きさからカベクトルの大きさを入力設定する。力は選択面に対して法線方向に対してのみ作用し、この時点では面に対して上向きに働く為、方向から現れた左右の矢印から方向を下向きに反転させる（図 18, 19, 20）。

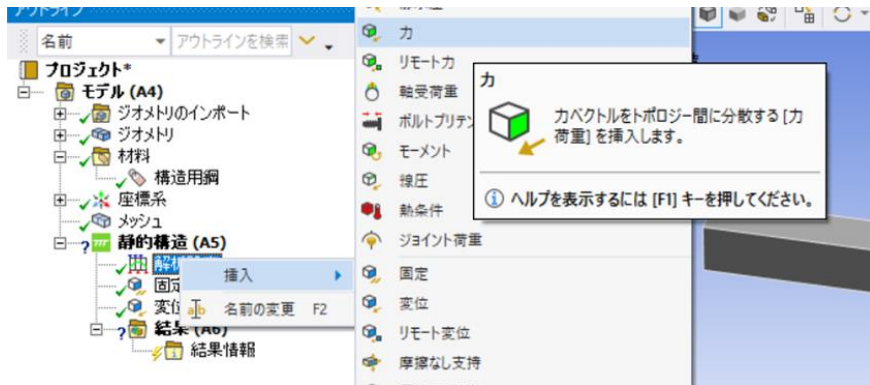


Fig. 18 Force

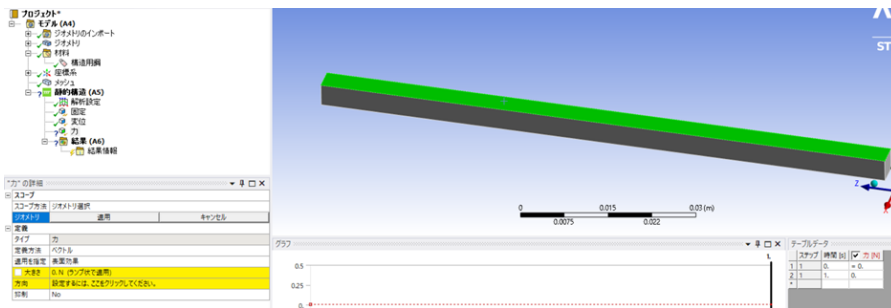


Fig. 19 Force agency surface

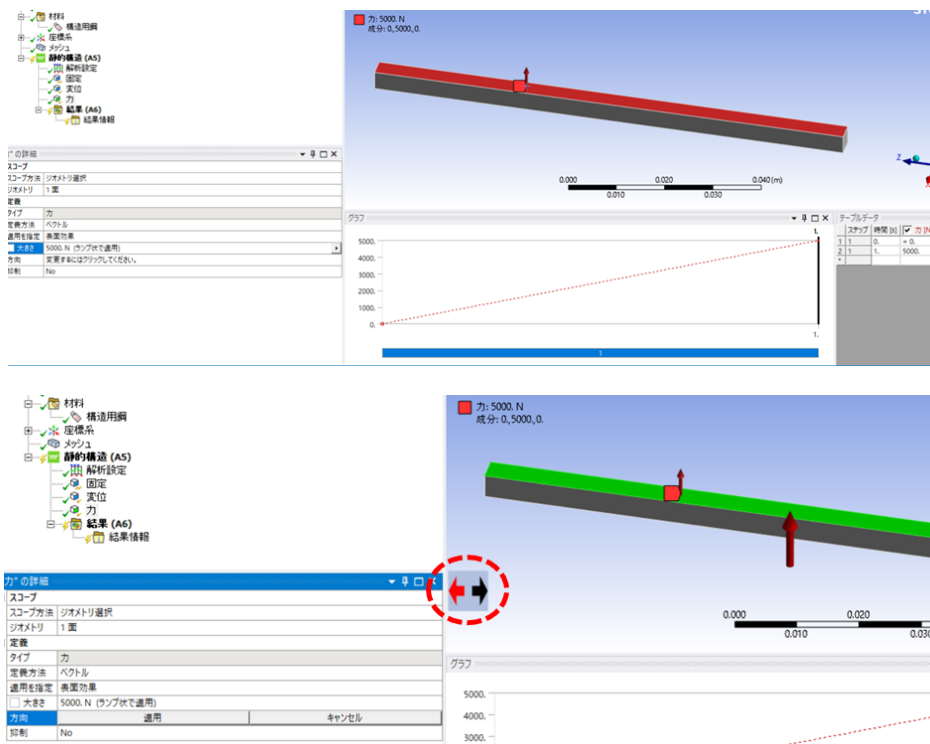


Fig. 20 Force size and orientation

最後に出力したい**結果の種類**を選択する。結果、挿入から**変位 (Displacement)** を選択し、Y 方向変位が欲しいのでトータルではなく**方向**を選択し、定義から方向として Y 軸を指定する (図 21)。

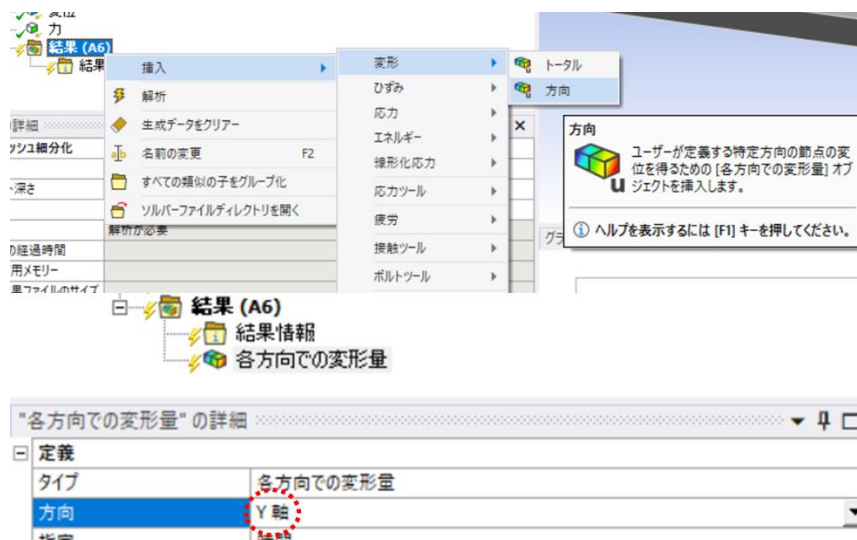


Fig. 21 Deformation result settings

また同様に**相当応力 (Equivalent force)** を挿入する。相当応力 (ミーゼス応力) は**引張・圧縮の区別を付け**ないで単純な変位を観測する際に有用である。区別を付ける際は**主応力結果**を出力するとよい。

ここで**アダプティブメッシュ**の生成設定を行う。アダプティブメッシュとは解析結果に基づきメッシュの細分化を行う手法であり、はじめ適当に設定したメッシュサイズが自動的に修正され解析精度が向上するというものである。今回は相当応力、挿入から**収束 (Convergence)** を選択して、**収束基準**を 1%、結果、**アダプティブメッシュ細分化**から**最大ループ数 3**とする。これにより**1 回目の解析結果**に対して**応力が 1%以上変化しない**という制約のもと、はじめの計算を含めて**3 回**までメッシュ細分化と再解析が繰り返されるよう設定された (図 22, 23, 24)。ここまでの設定が終了したら結果以上の項目に全てチェックマークが付けられていることを確認して解析を実行する (図 25)。



Fig. 22 Equivalent (von-Mises) Stress

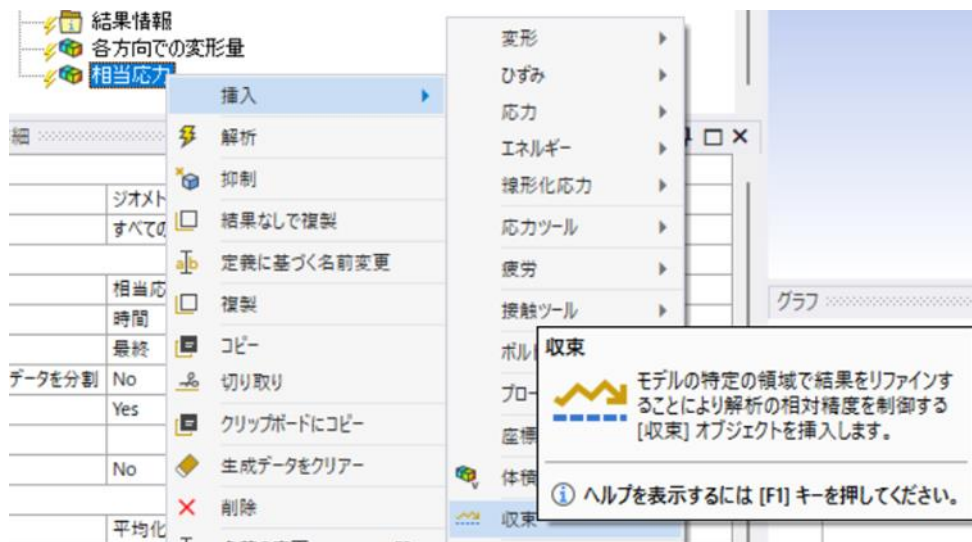


Fig. 23 Convergence



Fig. 24 Convergence low and max refinement

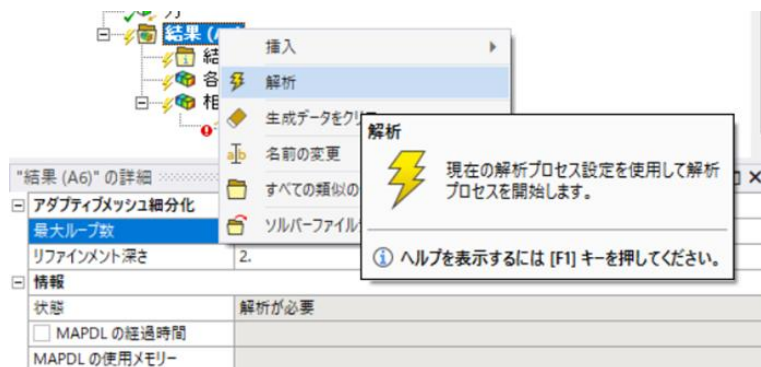


Fig. 25 Run

今回は簡単な解析なので長くても数十秒で解析が終了する。このときエラーや警告等があれば AM 右下付近にメッセージが表示されるので逐次確認する。Ansys Student 使いの我々にとっては「ライセンスの制約以上の計算量がされているので強制終了した」との旨のメッセージが頻出であるので表示されたらメッシュ分割を見直し調整する。問題なく解析が終了すれば結果以下の項目についてもチェックマークがつくので解析結果を確認する。図 26, 27 にそれぞれ変位と相当応力の結果を示す。

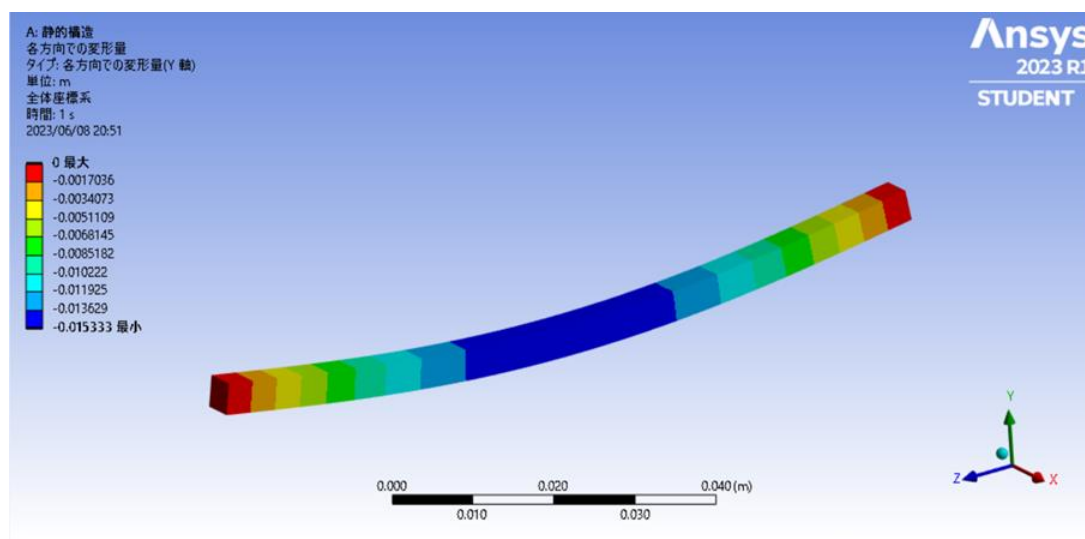


Fig. 26 Displacement

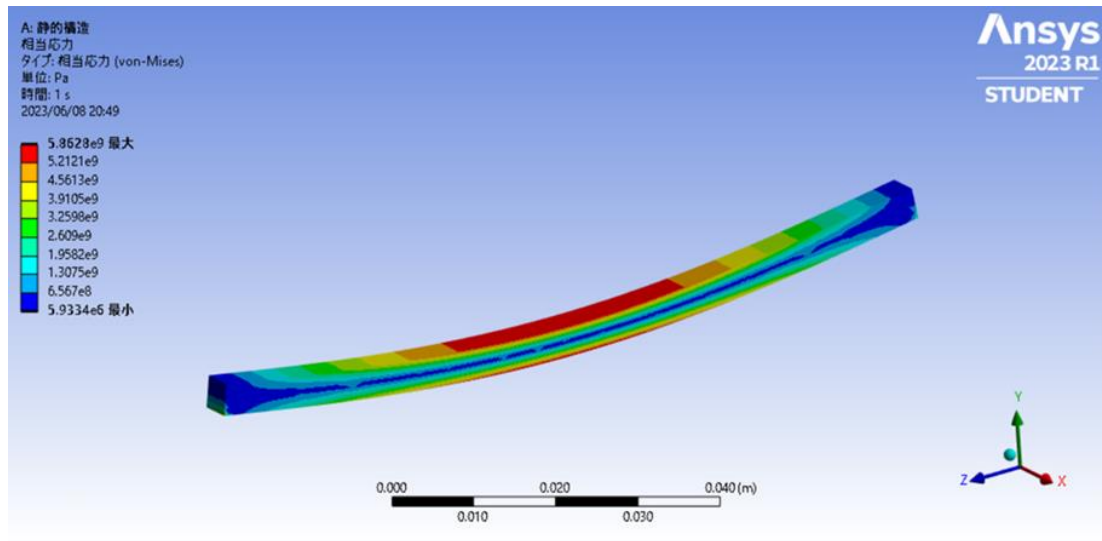


Fig. 27 Equivalent stress

メッシュ格子は上部リボンの結果，表示の**辺**から表示・非表示を変更できる（図 28）.



Fig. 28 Mesh visualization

また，**原形ワイヤフレームの表示**より元の梁の形状が黒実線で表示される（図 29）.

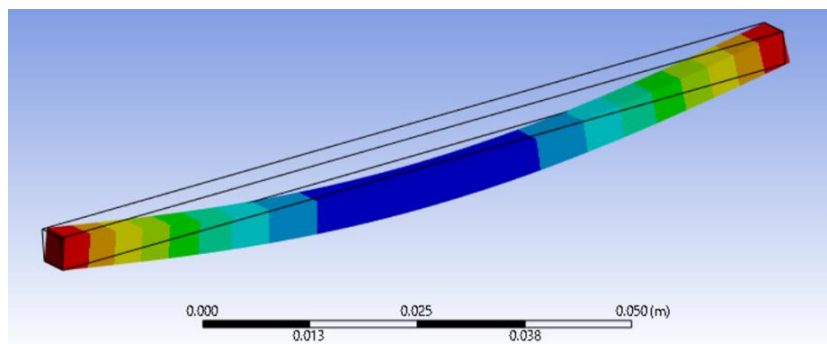


Fig. 29 Before and after

図 30 のワークシートより収束の結果を見ると、相当応力が 1%以下に収まる範囲で解析が 2 回行われたことが見て取れる。最初に設定されたメッシュ数 200 に対して 3967 まで細分化されており、この様子は結果表示から視覚的にも捉えられる (図 31)。

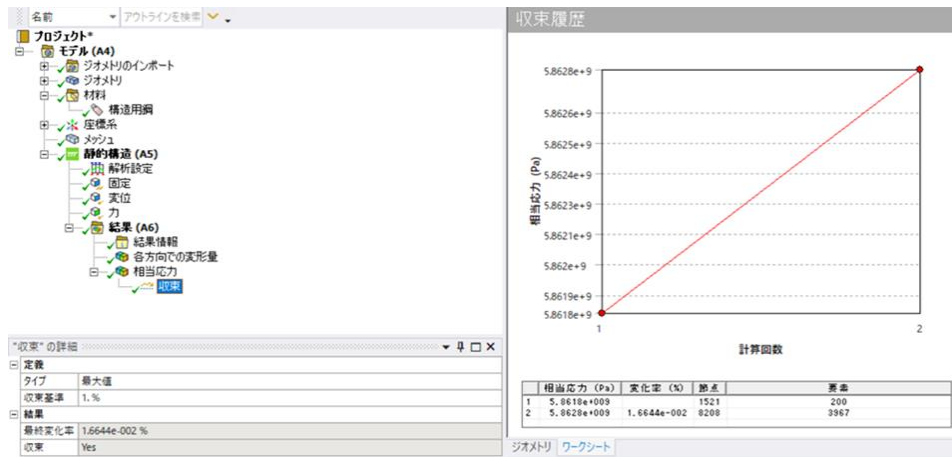


Fig. 30 Convergence result

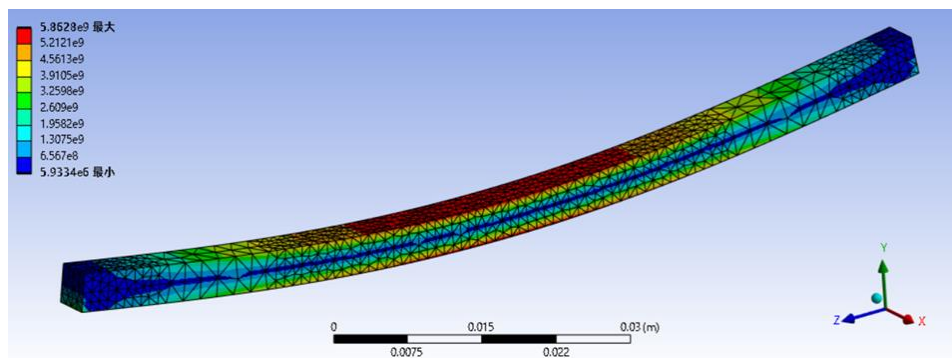


Fig. 31 Adaptive mesh

また結果、表示の**最大値・最小値**を押すと変位と相当応力の最大値、最小値を持つ要素の位置が、**プローブ**より任意の要素について変位、相当応力の値が得られる (図 32)。なお、今回の変位結果は元の形状を基準に負の値で出力されている為、変位が小さいほど大きいとされている。プローブはラベルで選択し **Delete** キーで削除出来る (図 33)。

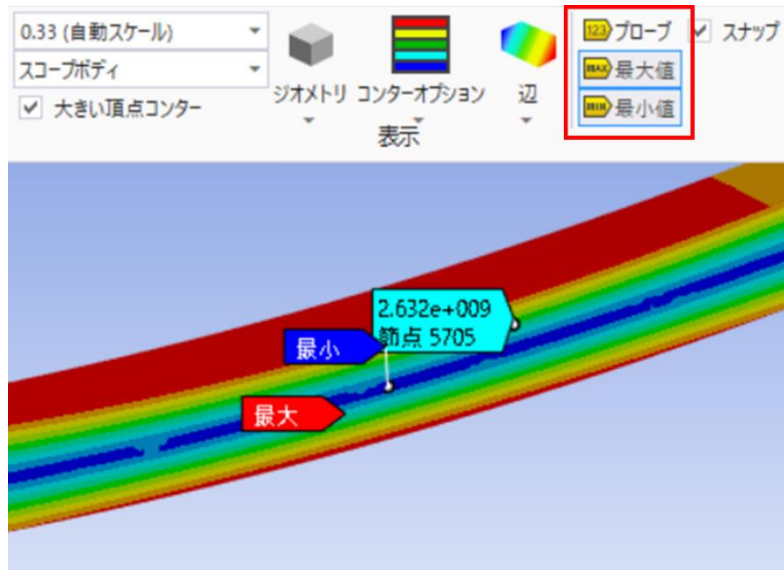


Fig. 32 Max and minimum position of equivalent stress

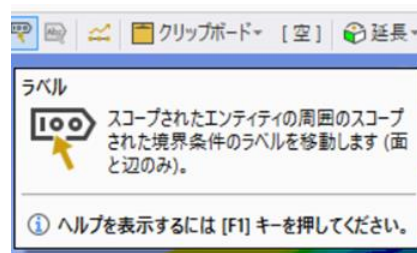


Fig. 33 Label

解析結果は下部リボンのグラフよりアニメーションとして動画化・保存することが可能である (図 34)。

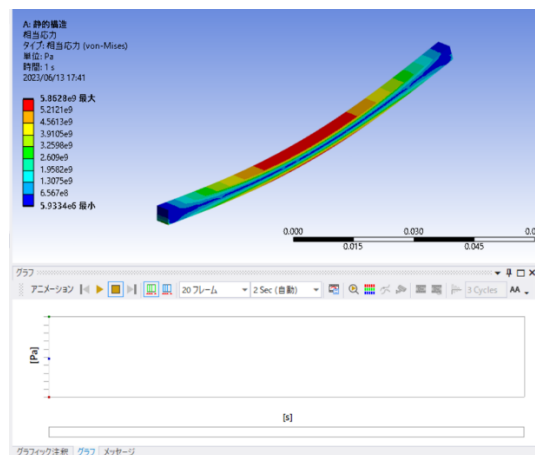


Fig. 34 Animation