

9. リバースエンジニアリングー機構解析

1. 実験目的

機械を分解して動作のメカニズムを確認し 3DCAD を用いて動作を再生することはリバースエンジニアリングの重要な技術のひとつである。ここではエンジンのクランク機構を例に 3DCAD の機構解析機能を学ぶ。この作業を通して現代の 3DCAD によるデザインとシミュレーションの概要を理解することを本実験の目的とする。

2. エンジンのクランク機構

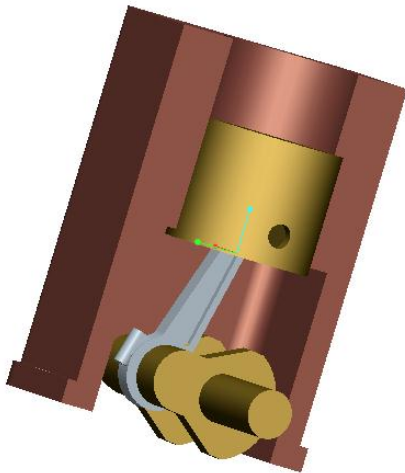


図 1 完成図

図 1 に今回作成するクランク機構の完成図を示す。クランク機構は上下運動を回転運動に変換する機構である。シリンダブロック、クランク、コネクティングロッド、ピストン、エンドキャップの 5 つの部品からなる。見やすくするためにシリンダブロックは中央部で分割してある。本実験ではこれらの部品は既に用意されたものをウェブよりダウンロードし、組み立て（この作業をアSEMBル(assemble)と呼ぶ）と機構解析を実施する。

3. 準備

機構解析を実施する前に以下の準備をする。

3.1 部品のダウンロード

計算力学研究室のホームページにアクセスする。

<http://www.cml-seikei.com>

「授業関連」のタグをクリックし、「システムデザイン実験 I」を再びクリックする。「PROE_ENGINE.zip」をクリックし、ファイル（すべての部品が圧縮されている）を自分のフォルダーに一度保存する。保存されたファイルをダブルクリックすると解凍される。

3.2 PRO/E の立ち上げ



以下の手順で pro/E を立ち上げ環境を整える。

- ・ PC のスタートメニューより PRO/E を選びクリックして立ち上げる。
- ・ メニューよりファイル→ワーキングディレクトリを設定を選び、ダウンロードした部品があるフォルダを指定する。

4. アセンブリ作業

「ファイル」メニューより「新規」を選びクリックする。メニュー（図 2）が出るのでアセンブリをクリックし名前に「Engine」と入力した後、「OK」をクリックする。

4.1 Base Block の読み込み

画面右側にあるアセンブリアイコン をクリックし、メニューより **base_block.prt** を選び「開く」をクリックする。ウィンドウには読み込まれた base block が表示される（図 3）。最初の部品は空間に固定する必要があるので、画面上側の拘束の指定ウィンドウで**固定**を選ぶ（デフォルトは自動）。部品は十分に拘束されたことを示す黄色になる。確認したら画面右上の緑色の**終了**ボタン をクリックする。

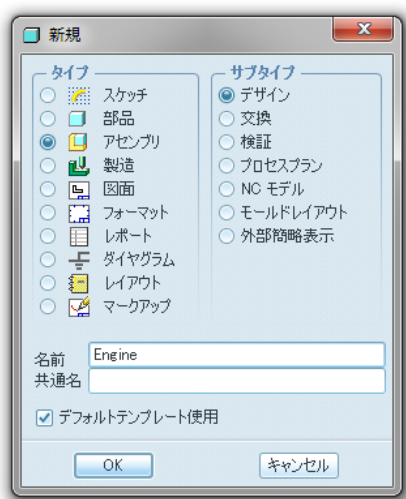


図 2 新規メニュー

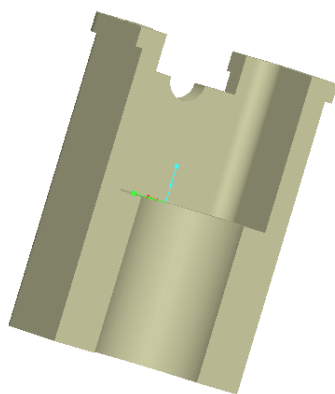


図 3 base_block

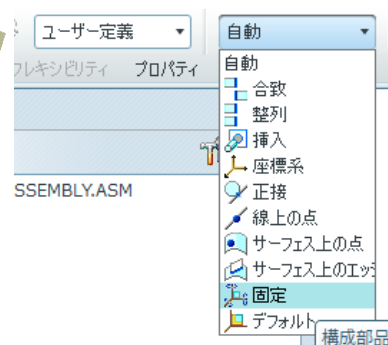



図 4 拘束（固定）の指定

4.2 crank_shaft の組み込み

画面右側にあるアセンブリアイコン を再びクリックし、メニューより **crank_shaft.prt** を選び「開く」をクリックする。マウスの中ボタン（またはホイール）を押しながらマウスをドラッグすると部品を回転させることができる。Base block と並んで base block が表示されていることを確認する（図 5）。

クランクシャフトのように回転する部品は pro/E では「ピン」として拘束する。画面左上の拘束定義ウィンドウより「ピン」を選ぶ（図 6）。続いてクランクシャフトの回転軸(A-6)とシリンダブロックのクランクシャフトのための半円の軸 (A-4) をクリックするとこれらの軸が一致するよう部品が移動する（図 7）。次にクランクシャフトの **FRONT** 平面とアセ

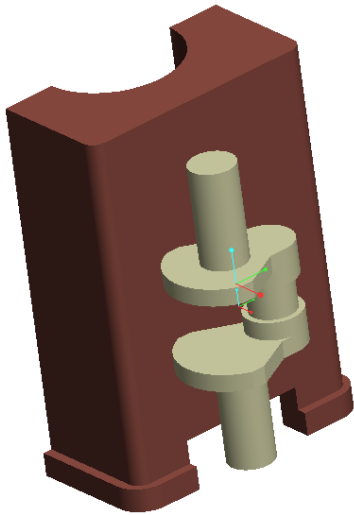


図5 クランクシャフト(手前)

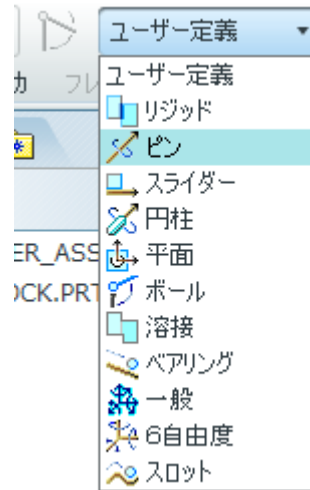


図6 ピン拘束の指定

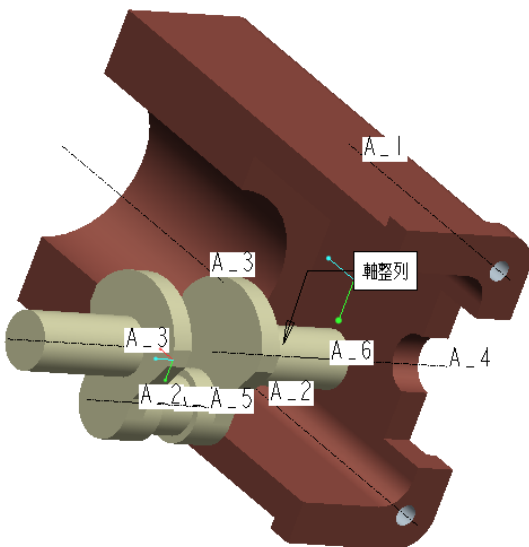


図7 軸位置の指定

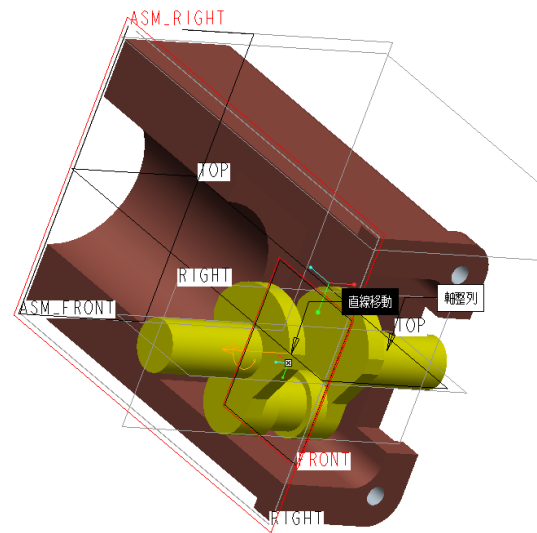




図8 面位置を指定


ンブリの **ASM_RIGHT** 平面をクリックすると二つの平面は一致する(図8)。回転軸と部品の平面の位置をしてされるとピン支持の拘束は終了である。部品は拘束が終了したことを

示す黄色となるのを確認して画面右上の緑色の「終了」ボタン  をクリックする。


正しくピン拘束されている場合は次の手順でクランクを回転させることができる。画面

上部の「構成部品をドラッグ」ボタン  をクリックする。続いてクランクの適当な位置をクリックしドラッグ位置を指定する。そのままマウスを動かすとクランクは回転する。「閉じる」ボタンをクリックするとドラッグは終了する。回転しない場合は拘束がピン支持になっているか確認する。

4.3 connecting rodの組み込み

画面右側にあるアセンブリアイコンをクリックし、**connecting_rod.prt**を選び「開く」をクリックする。Connecting rodはクランクとピストンを結ぶ部品であり、ここではcrank shaftにピン支持で取り付ける。

拘束定義ウィンドウより「ピン支持」を選ぶ。次に読み込んだ**connecting rod**の**A-7軸**と**crank shaft**の**A-1軸**をクリックすると二つの軸が一致するように部品が移動する。続いて**connecting rod**の**TOP**平面と**crank shaft**の**FRONT**面をクリックする。

二つの面が一致してconnecting rodはピン拘束が終了したことを示す黄色になるので画面右上の緑色の「終了」ボタンをクリックする。connecting rodがシリンダー内になくても現時点では気にする必要はない(図9)。

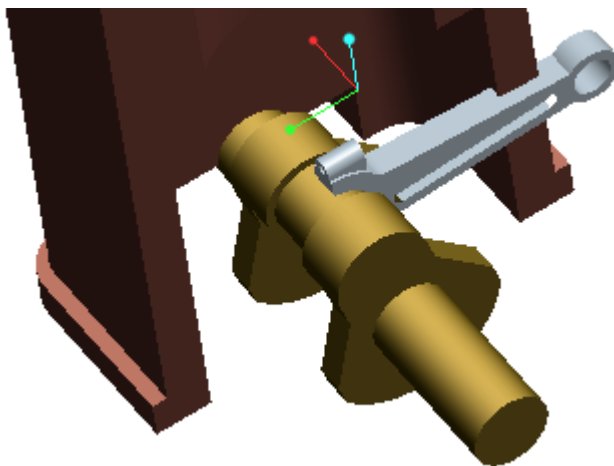


図9 connecting rodの軸位置の指定

なお、二つの面が一致しなかった場合は、画面左上の「配置」タブをクリックし、面と面の距離を指定する「オフセット」が一致となっているか確認する(図10)。

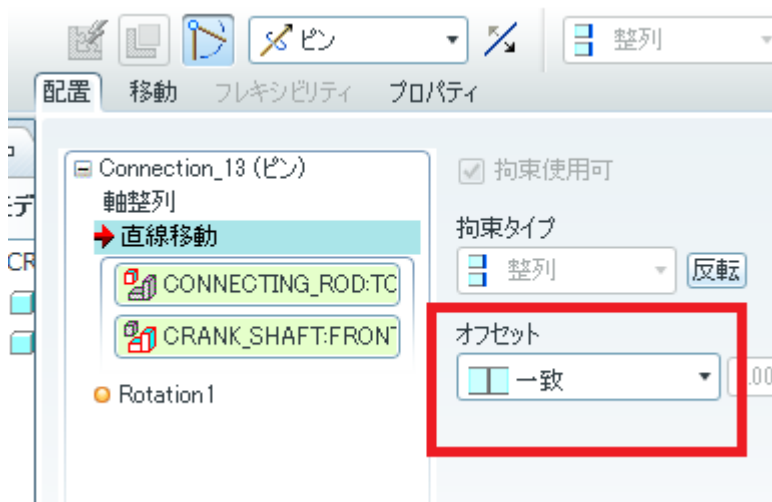



図10 クランク軸の面位置を指定

ここでも「構成部品をドラッグ」ボタンをクリックし、組み込んだ部品が動くことを確認する。

4.4 piston の組み込み

画面右側にあるアセンブリアイコンを再びクリックし、メニューより **piston.prt** を選び「開く」をクリックする。ピストンはシリンダー内部を上下に移動する。このような運動には pro/E では円柱拘束を適用する。拘束定義ウィンドウより「円柱」を選び(図 11)、ピストン外側の曲面とシリンダー内側の曲面をクリックする (図 12)。ピストンはシリンダーと円柱の軸が一致するように移動する (図 13)。ここで、ピストンの上下が逆向きに配置された場合には「挿入拘束を反転」をクリックして上下を反転させる (図 11 の①)。

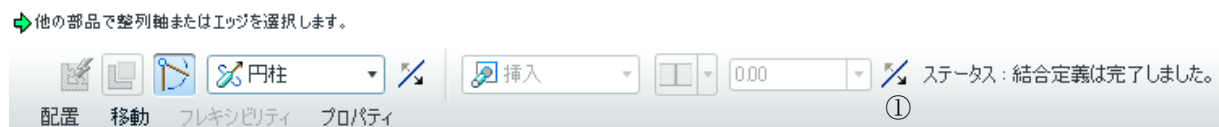


図 11 円柱拘束の指定

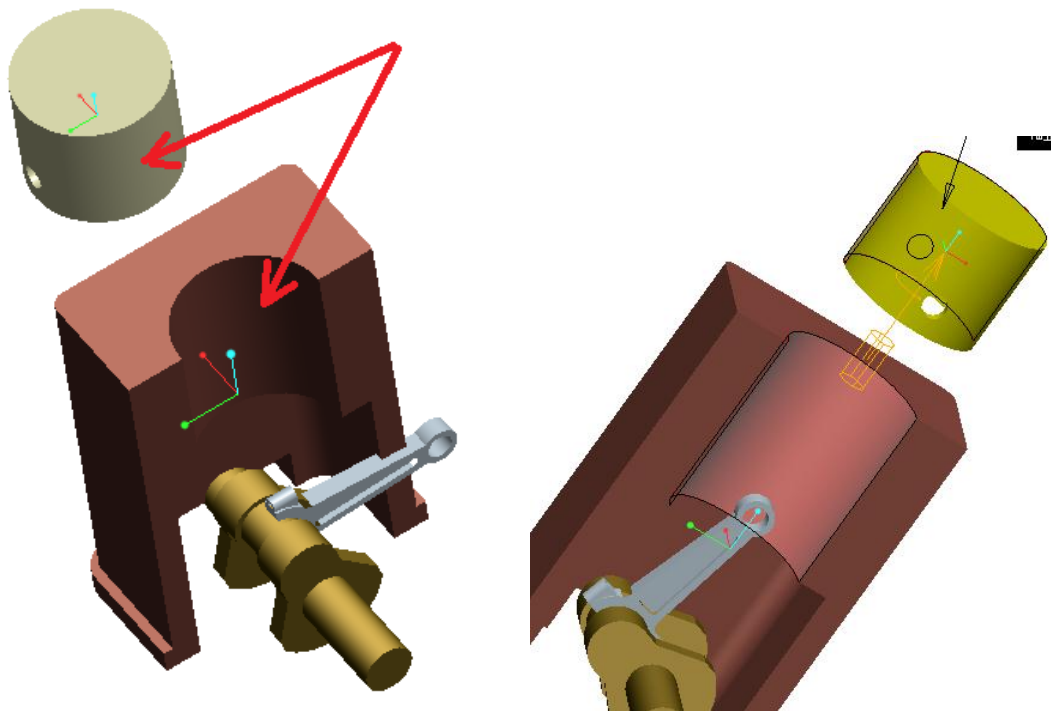




図 12 クランク軸の面位置を指定

図 13 クランク軸の面位置を指定

円柱拘束はこの操作で確定するのでピストンは黄色で表示される。ここでさらに connecting rod のピン穴とピストンのピン穴を揃えるため次のように拘束を加える。

画面左上の「配置」タブをクリックし、「新しいセット」をクリックする（図 14）。これで新しい拘束が追加できるようになるので connecting rod の A_1 軸と piston の穴の A-2 軸をクリックする。Piston は二つの軸がそろそろよう移動する(図 15)移動を確認したら画面右上の緑色の「終了」ボタン  をクリックする。

「構成部品をドラッグ」ボタン  をクリックし、組み込んだ部品が動くことをここでも確認しておこう。確認したらメニューの「ファイル」から「保存」を選び保存する。

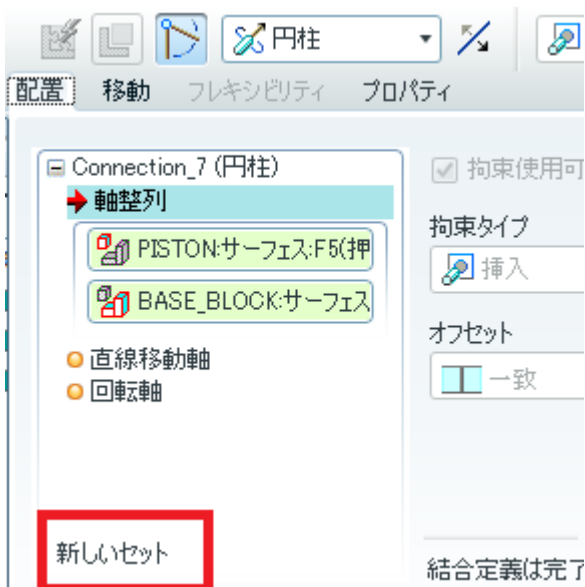


図 14 クランク軸の面位置を指定

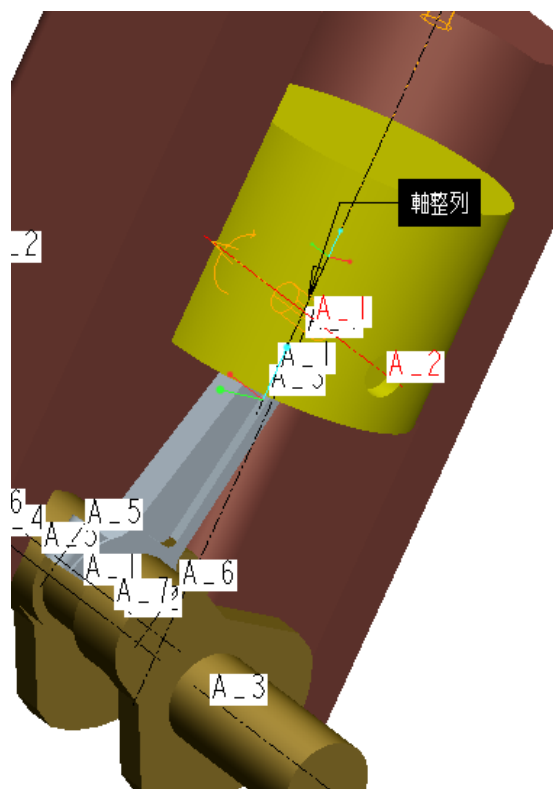




図 15 クランク軸の面位置を指定

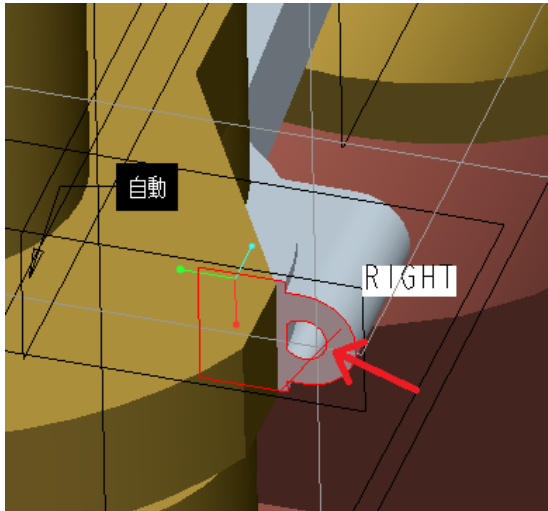
4.5 end cap の組み込み

画面右側にあるアセンブリアイコン  を再びクリックし、メニューより **end_cap.prt** を選び「開く」をクリックし、end_cap.prt を選択する。

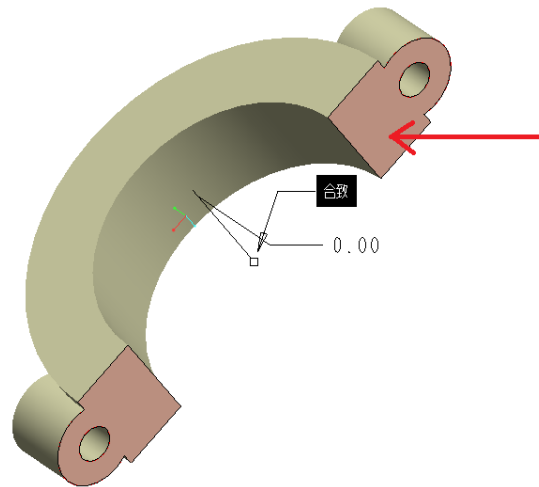
はじめに connecting rod の底面（図 16(a)）と end cap の底面（図 16(b)）をクリックすると二つの面が一致するように end cap が移動する。

次に、画面左上の「配置」タブをクリックし、「新規拘束」（図 17）を選び connecting rod の TOP 面と end cap の FRONT 面をクリックする。二つの面は一致する。もし自動的に一致しなければ配置タブの中のオフセットが「一致」または「0」になっていることを確認する（図 18）。

再び、画面画面左上の「配置」タブをクリックし、「新規拘束」を選び、connecting rod の FRONT 面と end cap の RIGHT 面をクリックする。ふたつの面が一致したのを確認したら画面右上の緑色の「終了」ボタン  をクリックする。



(a) connecting rod 側の面



(b) end cap 側の面

図 16 合致する面の指定

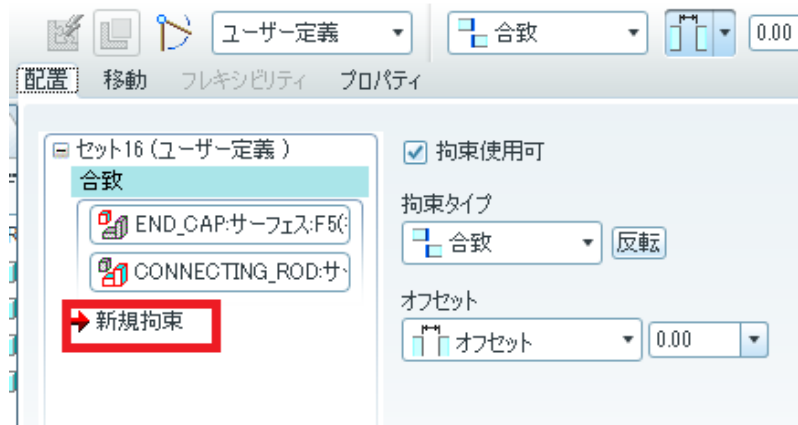


図 17 拘束の追加



図 18 オフセットの「一致」

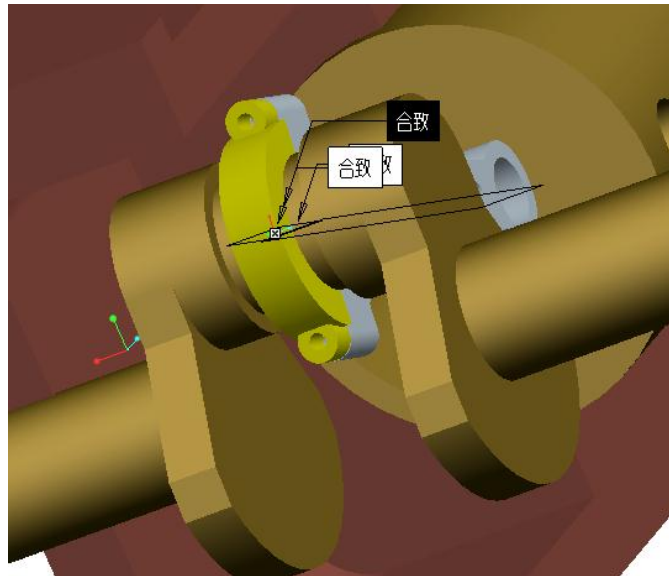




図 19 connecting rod に固定された end cap

以上でアセンブリは終了である。メニューの「ファイル」から「保存」を選び保存する。


5. 機構解析

メニューの「アプリケーション」を選び、「メカニズム」をクリックする。Pro/E のアイコン等はメカニズムシミュレーション用に変更される。

5.1 初期位置の設定

「構成部品をドラッグ」ボタン  をクリックする。ダイアログボックスが現れるので「スナップショット」をクリック（図 20 の①部）するとダイアログボックスが拡張する。次に拡張されたダイアログボックスの「拘束」タブをクリックする（図 20 の②部）。現れたアイコンの中より「二つのエンティティを整列」アイコン  をクリックする（図 20 の③部）。続けて crank shaft の RIGHT 面と piston の RIGHT 面をクリックする。二つの面が一致するように部品が再配置され、ピストンが最上部の位置となる。初期状態によっては最下部となることがある。これはボタンが押された時の部品の位置関係により、移動が少ない方が選択される。最下部に配置された場合もそのまま作業を続けて良い。

次にカメラのアイコンをクリックすると（図 20 の④部）初期状態としてその位置が記録される。

ダイアログボックスにある「ポイントドラッグ」ボタン  をクリックすると部品を動かすことができる。まず、「平面-平面整列」のチェックをクリックしてチェックを外して

からクランクシャフトの適当な点をクリックしてドラッグする点を指定する。そのままマウスをドラッグするとピストンが動くので、ピストンを最上部から少し下ろしてみよう。続けて「スナップショット」タブをクリックした後に snapshot1 という文字をダブルクリックするとピストンは初期位置（最上部）に戻ることがわかる。以上で初期配置の設定と記録が終了したので「閉じる」ボタンを押してダイアログを閉じる。

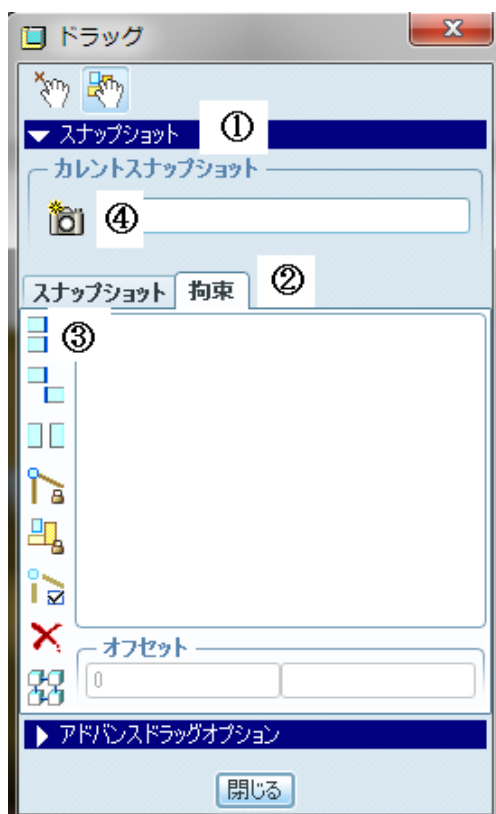


図 20 初期位置の設定

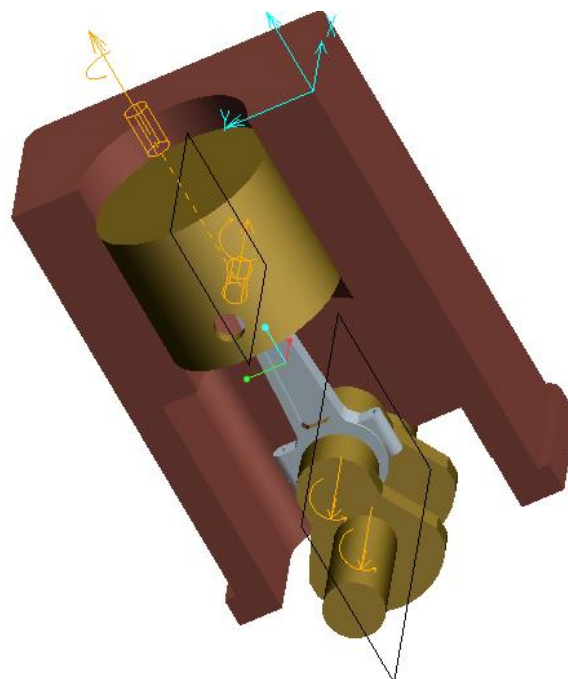




図 21 初期位置に配置された各部品

5.2 サーボモータの設定

クランク軸を回すためのサーボモータを設置する。画面右側の「サーボモータ」アイコン  をクリックするとモータ設定のためのダイアログボックスが現れる。また、部品にはモータを設置できる機構部が黄色い矢印で示されるのでクランクシャフトの回転軸上にある矢印 (Connecton3axis_1) をクリックする。次にダイアログボックスの「プロファイル」タブをクリックする。「仕様」は「速度」、マグニチュードは「一定」を選び A には「360」と入力する。この指定によってモータは一定速度 360 deg/s で回転する。これらの設定ができれば「OK」ボタンを押してダイアログボックスを閉じる。



5.3 解析の実行


画面右側の「メカニズム解析」アイコンをクリックするとダイアログボックスが現れる。「タイプ」をデフォルトの「位置」から「ダイナミック」に変更する。「解析時間」は「1」とする(1秒を指定)。フレーム率は「40」とする(大きい値にするとアニメーション再生が重くなる)。

ダイアログボックスの「プロファイル」タブをクリックする。「仕様」は「速度」、マグニチュードは「一定」を選びAには「360」と入力する。この指定によってモータは一定速度 360 deg/s で動作することになる。次に「モーター」タブをクリックし、設定したモーター(デフォルト名 ServoMotor1)が組み込まれていることを確認する。最後に「実行」ボタンを押すと解析が実行されクランク軸が一回りして止まる。

「OK」ボタンをクリックしてダイアログボックスを閉じる。



5.4 動画の再生



「プレイバック」アイコンをクリックする。ダイアログボックスが現れるので再びダイアログボックスにあるアイコンをクリックする。

アニメーションダイアログボックスが現れるので「再生」アイコンをクリックする。速度スライダーを動かすことにより再生速度を調整することができる。また、「イメージ取り込み」ボタンをクリックするとファイルにアニメーションを保存できる。保存ファイル名や解像度、フレームレートも設定できる。

アニメーションを再生したら「閉じる」ボタンを押してダイアログボックスを閉じる。

5.5 グラフの作成

画面右側の「メジャー」アイコンをクリックする。メジャー結果ダイアログボックスが現れるので「新規メジャーの作成」アイコンをクリックする(図 22)。メジャーの定義ダイアログボックスが現れるのでメジャー(グラフにする測定値)にする対象をクリックする。ここではクランクの回転軸(Connection_3.axis_1)をクリックして「ポイントまたは運動軸」ボックスに Connection_3.axis_1 と記入される(図 23)。確認したら「OK」ボタンを押す再びメジャー結果ダイアログボックスに戻る。

ダイアログボックスの中により。メジャーとして measure1 (図 24 ①部)、結果セットとして AnalysisDefinition1 (図 24 ②部)をクリックしハイライト状態にする。続いてボックス内左上にあるグラフ化アイコン (図 24 ③部)をクリックすると図 25 のようなグラフが作成される。グラフ内にある「グラフダイアログをフォーマット」アイコンを

クリックするとデータの曲線やマーカーの色、大きさ、座標軸のスケール間隔や軸のタイトルなどを編集できるので試してみよう。また、グラフをエクセルのイメージで出力したい場合はグラフの左上にある「ファイル」をクリックし指定に従う。

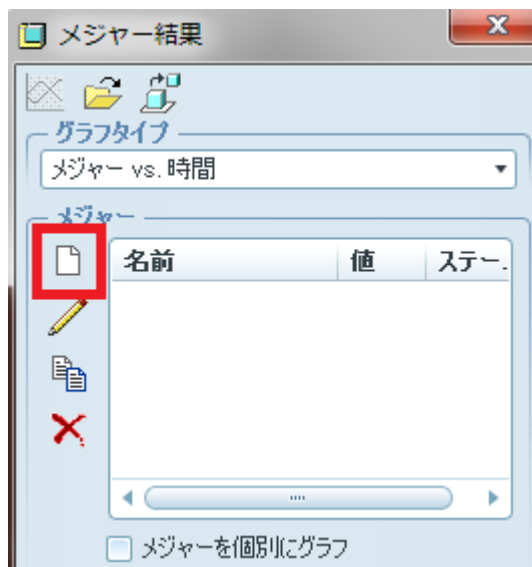


図 22 新規メジャーの作成

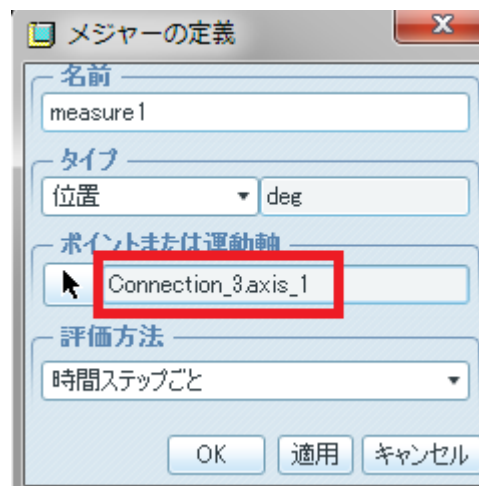


図 23 定義されたメジャーの確認

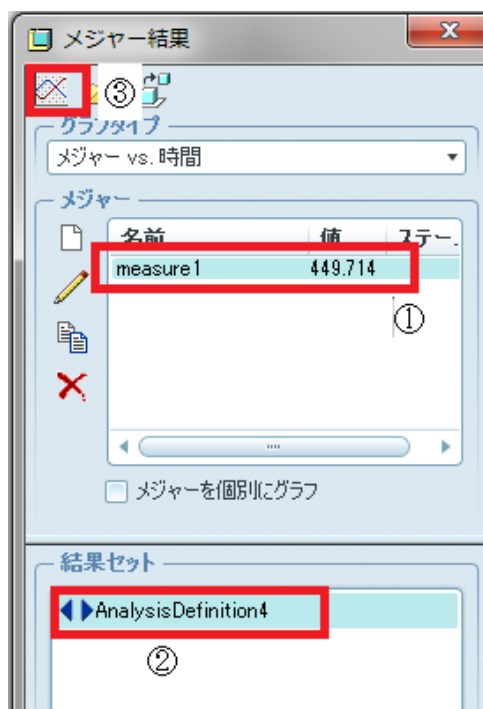


図 24 メジャーと結果セットの指定

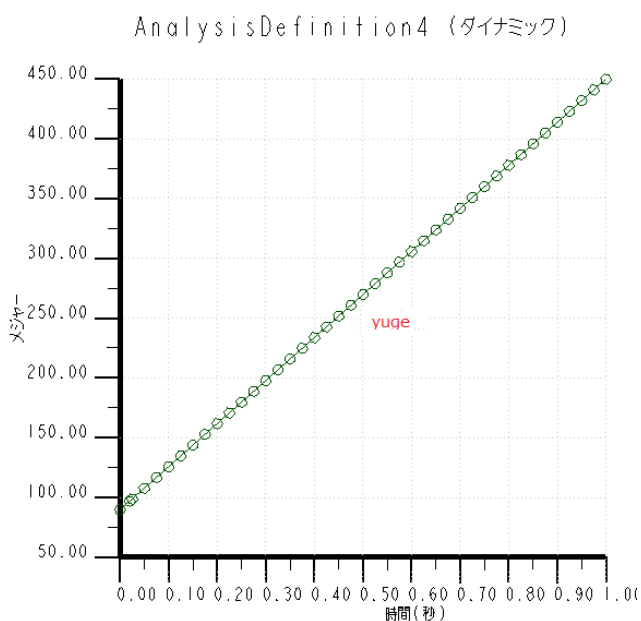




図 25 メジャーと結果セットの指定

5.6 グラフの追加

さらにグラフを追加する。メジャー結果ダイアログボックスで再び「新規メジャーの作

成」アイコンをクリックする（図 22）。次にメジャーとしてピストン頭部中央にある点（PNT0）をクリックする。タイプは「位置」、座標系は「WCS」（World Coordinate System: 全体座標系の略）、コンポーネントは「z-コンポーネント」、評価方法は「時間ステップごと」を選び「OK」ボタンをクリックする（図 26）。図 24 のメジャー結果ダイアログボックスに戻るので、メジャーとして新たに追加した「measure2」、結果セットは「Analysis Definition 1」を選択してハイライト状態にした後、ボックス内左上にあるグラフ化アイコンをクリックすると新たなグラフが作成される（図 27）。

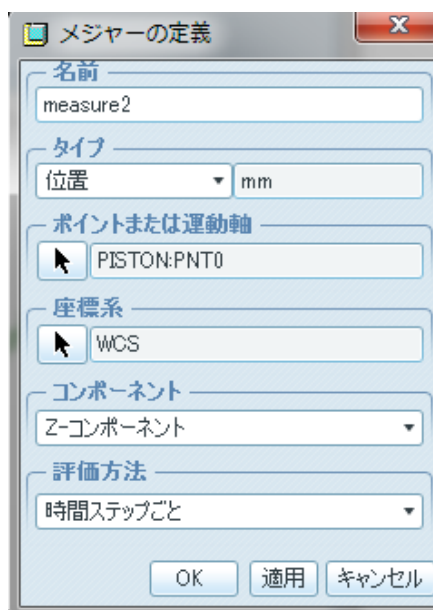


図 26 メジャーの追加

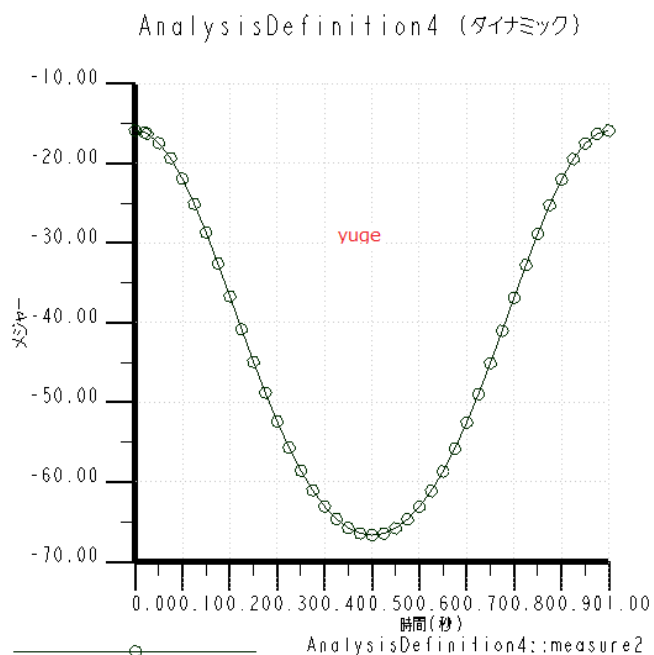


図 27 追加されたグラフ

6. 課題

- 1) ピストン上の点 PNT0 の z 方向の速度と時間の関係をグラフにしてください。また、z-方向の位置と時間の関係も同一のグラフ上にマークや線の種類を変えて描きなさい（マニュアルにはないので試行すること）。作成した同一グラフはレポートに添付すること。
- 2) 1) で作成したグラフの妥当性について考察しなさい。
- 3) クランク軸のピストンと反対側の一部が大きくなっているのはなぜか説明しなさい。
- 4) 世界の主要な 3DCAD にはどのようなものがあり、どのような特徴があるのか調べなさい。