

PrePoMax 2.3.0 マニュアル

著者： Jakub Michalski、Ihor Rokach、Matej Borovinšek

発行日： 2025 年 4 月 3 日

目次

1	PrePoMax とは？(What is PrePoMax)	3
2	現在利用可能な解析機能(Currently available analysis features).....	3
3	ワークフロー・一般オプション(Workflow, general options)	5
• 3.1	ファイルメニュー(File Menu)	8
• 3.2	編集メニュー(Edit Menu)	9
• 3.3	表示メニュー(View Menu)	10
• 3.4	ツールメニュー(Tools Menu)	12
• 3.5	ヘルプメニュー(Help Menu)	14
4	ジオメトリとメッシュのオプション(Geometry and mesh options).....	15
• 4.1	ジオメトリメニュー(Geometry Menu)	15
• 4.2	メッシュメニュー(Mesh Menu)	16
5	FE モデルオプション(FE Model options)	20
• 5.1	モデルメニュー(Model Menu)	20
• 5.2	プロパティメニュー(Property Menu)	24
○ 5.2.1	ライブラリ(Libraries)	25
○ 5.2.2	ライブラリ材料セクション(Library materials section)	25
○ 5.2.3	FE モデル材料セクション(FE model materials section)	25
○ 5.2.4	材料ライブラリの使い方(Using the material library).....	26
○ 5.2.5	ユーザー間での材料データの共有(Exchanging material data between users) 27	
• 5.3	インタラクションメニュー(Interaction Menu)	29
• 5.4	振幅メニュー(Amplitude menu)	33
• 5.5	初期条件メニュー(Initial Condition Menu)	34
• 5.6	ステップメニュー(Step Menu)	35
○ 5.6.1	ステップ(Step)	37
○ 5.6.2	履歴出力(History Output)	42
○ 5.6.3	フィールド出力(Field Output)	43
○ 5.6.4	境界条件(Boundary condition)	45
○ 5.6.5	荷重(Load).....	46
○ 5.6.6	定義済みフィールド(Defined Field)	52
• 5.7	解析メニュー(Analysis Menu)	53
6	結果オプション(Results option)	53
• 6.1	結果メニュー(Results Menu)	54

1 PrePoMax とは？

PrePoMax は、オープンソースの有限要素解析 (FEA) ソルバーである CalculiX CrunchiX 向けのオープンソースのプリ・ポストプロセッサです。PrePoMax はスロベニアのマリボル大学の Matej Borovinšek 博士によって開発されています。現在の安定バージョンは 2.3.0 です。開発版のソースコードは GitLab で公開されています。PrePoMax は非常にユーザーフレンドリーな GUI を提供しており、CalculiX ソルバーが持つ多くの機能をサポートしています。以下のウェブサイトからダウンロードできます：

<https://prepomax.fs.um.si/> ユーザーフォーラムはこちら：<https://prepomax.discourse.group/>

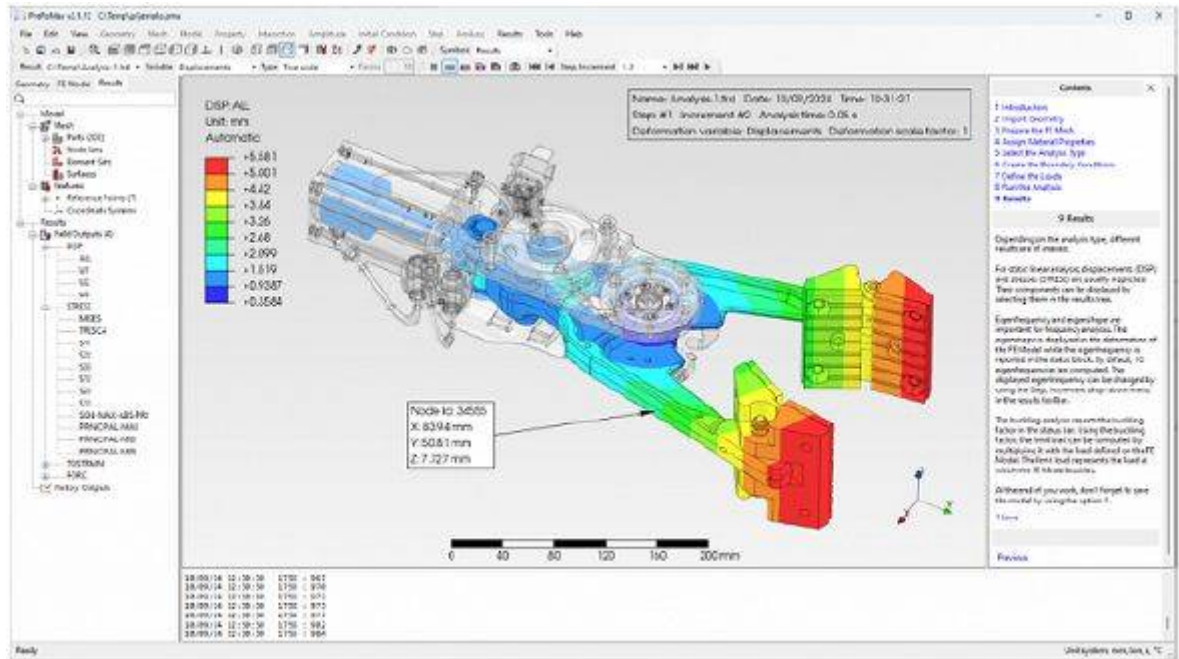


図 1：PrePoMax ユーザーインターフェース

2 現在利用可能な解析機能 (Currently available analysis features)

解析ステップの種類 (Analysis step types)：

- 静解析 (Static)
- 固有振動数抽出 (Natural frequency extraction)
- 定常状態動解析 (Steady state dynamics) (システムが平衡状態にあるときの動的な応答を解析する手法です。定常状態とは、システムが平衡を保ち、時間によって変化しない状態を指します。一方、動的状態とは、現在の状態がそれまでの時間変化に依存する状態です。定常状態動解析では、システムが平衡に達した後の動的な挙動を分析します。)
- モーダル動解析 (Modal dynamics) (モーダルダイナミクスは、構造物が外力に対してどのように応答するかを予測する際に、固有モードを用いて応答を近似します。)
- 動解析 (Dynamic) (陰解法・陽解法) (implicit and explicit)
- 線形座屈解析 (Linear buckling)
- 熱伝導解析 (Heat transfer)
- 非連成温度-変位解析 (Uncoupled temperature-displacement)
- 連成温度-変位解析 (Coupled temperature-displacement)
- スリップ摩耗解析 (Slip wear) (Archard モデルに基づく)

有限要素タイプ (Finite element types)：

(次ページに続く)

2 現在利用可能な解析機能 (Currently available analysis features) (続き)

有限要素タイプ(Finite element types) :

- ソリッド四面体(Solid tetrahedrons)、六面体(hexahedrons)、ピラミッド(pyramids) (潰れたウェッジ/六面体の形式) ((in the form of collapsed wedges/hexahedrons)、ウェッジ/五面体(wedges/pentahedrons) (1次・2次) (first and second order)
- シェル三角形または四角形(Shell triangles or quadrilaterals) (1次・2次)
- メンブレン三角形または四角形(Membrane triangles) (1次・2次)
- 平面応力三角形または四角形(Plane stress triangles or quadrilaterals) (1次・2次)
- 平面ひずみ三角形または四角形(Plane strain triangles or quadrilaterals) (1次・2次)
- 軸対称三角形または四角形(Axisymmetric triangles or quadrilaterals) (1次・2次)
- 1ノード質量要素(One-node mass elements)
(点質量および分布質量セクションとして利用可能)

材料モデル(Material models) (等方性、温度依存性オプションあり) :

- 線形弾性(Linear elasticity)
- 塑性(Plasticity)
- 熱的特性(Thermal)
- スリップ摩耗(Slip wear)

拘束条件(Constraints) :

- 点ばね(Point spring)
- 面ばね(Surface spring)
- 剛体(Rigid body)
- タイ (Tie)
- 圧縮のみ拘束(Compression-only constraint)

インタラクション(相互作用) (Interactions) :

- 接触(Contact)
 - 摩擦(Friction)
 - ギャップ熱伝導(Gap conductance)

初期条件および定義済みフィールド(Initial conditions and defined fields) :

- 温度 (初期条件および定義済みフィールド) Temperature (initial condition and defined field)
- 速度 (初期条件) (Velocity (initial condition))
- 角速度 (初期条件) (Angular velocity (initial condition))

境界条件(BC) :

- 固定(Fixed)
- 変位/回転(Displacement/Rotation)
- サブモデル(Submodel)
- 温度(Temperature)

荷重(Loads) :

- 集中荷重(Concentrated force)
- モーメント (Moment)
- 均一圧力(Uniform pressure)
- 静水圧(Hydrostatic pressure)

2 現在利用可能な解析機能 (Currently available analysis features) (続き)

荷重(Loads) (続き) :

- インポート圧力(Imported pressure)
- 面トラクション(Surface traction)
- インポート面トラクション(Imported surface traction)
- 法線シェルエッジ荷重(Normal shell edge load)
- 重力(Gravity)
- 遠心荷重(Centrifugal load)
- 初期張力 (プリテンション) (Pre-tension)
- 集中フラックス(Concentrated flux)
- 面フラックス(Surface flux)
- 体積フラックス(Body flux)
- 対流フィルム(Convective film)
- 放射(Radiation)

3 ワークフロー・一般オプション(Workflow,general options)

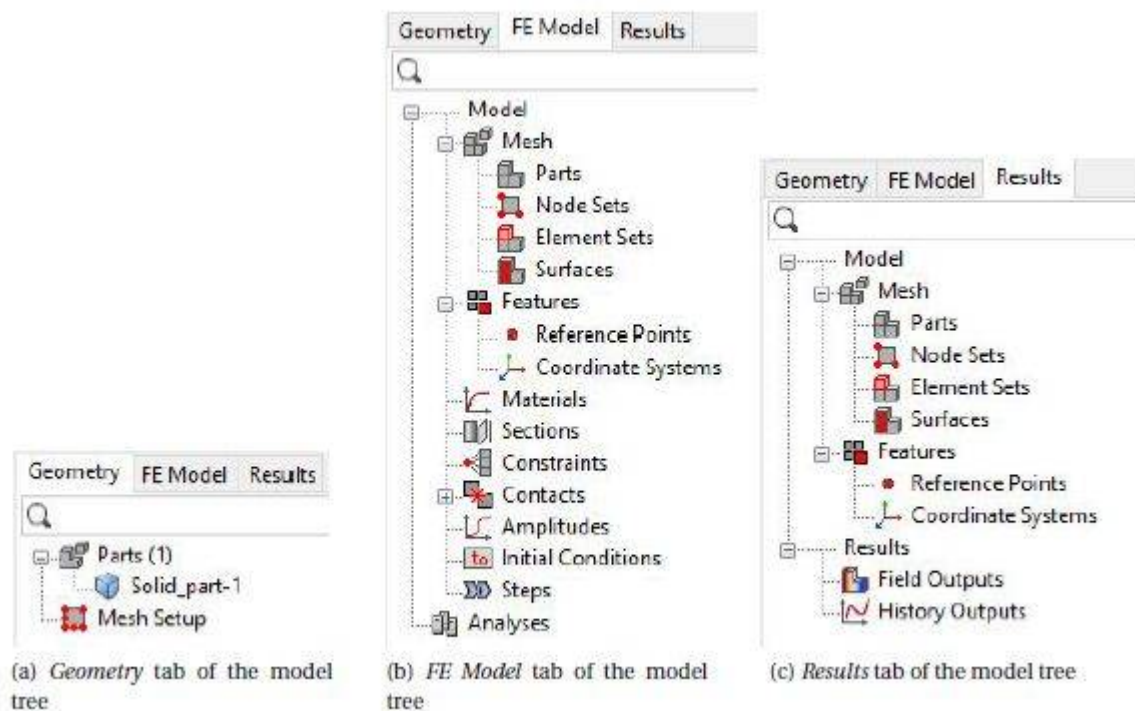


図 2 : PrePoMax の 3 つのタブ

- (a) モデルツリーのジオメトリタブ
- (b) モデルツリーの FE モデルタブ
- (c) モデルツリーの結果タブ

PrePoMax では、モデルツリーの 3 つのタブがこのソフトウェアのワークフローを規定しています：

1. ジオメトリ (Geometry) — ジオメトリの編集とメッシュ生成 (図 2a)
2. FE モデル (FE Model) — 解析設定 (プリプロセッシング) (図 2b)
3. 結果 (Results) — ポストプロセッシング (図 2c)

各タブは、上部ツールバーの対応するメニューも有効化します。

PrePoMax で作業する際に従うべき一般的な手順は以下のとおりです：

1. 新しいモデルを作成し（ファイル → 新規）、モデル空間と単位系を選択します。
2. 解析用の CAD/STL ジオメトリまたはメッシュをインポートします（ファイル → インポート）。
2D 解析の場合、パーツは XY 平面上に完全に配置された面としてインポートする必要があります。
また、軸対称解析の場合、パーツを表す面は Y 軸の右側に配置されている必要があります。パーツ名の横に表示される黄色い三角形（白い感嘆符付き）は、ジオメトリに潜在的な問題があることを示しており、さらなる調査と修正が必要な場合があります（PrePoMax にインポートする前に CAD ソフトウェアで対応してください）。
3. CAD および STL ジオメトリの場合、メッシュ設定を準備し（メッシュ → メッシュ設定アイテム → 作成）、メッシュを生成します（メッシュ → メッシュ作成）。設定アイテムなしでメッシュを生成することも可能で、その場合はデフォルト設定が使用されます。
4. メッシュが正常に作成されたら、モデルツリーの FE モデル部分に進みます。
5. 解析用の材料を定義します（材料 → 作成）。適切な材料挙動を追加します：弾性、密度（モーダル解析の実行または重力・遠心荷重の使用時）、塑性（永久変形を考慮する場合）、熱的特性またはスリップ摩擦。
6. 先ほど定義した材料で新しいセクションを作成します（セクション → 作成）。セクションタイプは、ソリッド（3D または 2D ソリッド要素使用時）、シェル（シェル要素使用時）、またはメンブレン（メンブレン要素使用時）から選択できます。シェル、メンブレン、または平面応力/ひずみ要素を使用する場合は、厚さも指定する必要があります。セクションを割り当てるパーツを選択します。
7. 新しい解析ステップを作成します。ほとんどの場合、デフォルトのステップ設定で十分です。
8. （任意）拘束条件を作成し（拘束 → 作成）、接触を定義し（接触コンテナを展開 → 面相互作用 → 作成 → 接触ペア → 作成）、初期条件（初期条件 → 作成）、定義済みフィールド（定義済みフィールド → 作成）、および/または振幅（振幅 → 作成）を設定します。
9. 境界条件（BC → 作成）と荷重（荷重 → 作成）を定義します。いくつかの種類があり、異なる方法でモデルに適用できます（後述）。
10. 解析を実行し（Analysis-1 → 実行）、完了したら結果を表示します（Analysis-1 → 結果）。各種後処理オプションについては後で説明します。

PrePoMax では、ノードセットや要素セット、およびサーフェスを使用して作業することができます。これらは境界条件、荷重、拘束、接触を作成する前に定義しておき、選択した機能の定義内で参照することができます。ただし、通常はセット/サーフェスを先に作成せずに機能を追加の方が好まれます。その場合、機能ウィンドウ内の選択ツールを使って、機能の種類に応じてジオメトリまたはメッシュに基づいてエンティティ(entities)を選択できます。

PrePoMax での主な作業方法は 2 つあります。メニュー（メニューバーおよび上部ツールバー）から利用可能なオプションを使用する方法と、モデルツリーから選択する方法です。

より高度なオプションの一部はメニューバーからのみアクセスできます。

PrePoMax のビュー操作(View controls in PrePoMax) :

- ズーム(zoom) : マウススクロール(mouse scroll)
- モデルの回転(rotate model) : マウス中ボタンまたはキーボードの矢印キー
- パン(Pan) (モデルの移動) : Shift + マウス中ボタン

マウス中ボタンをパーツ上の任意の場所で押すと、その位置が画面の中央に移動し、回転の中心として設定されます。

選択には左マウスボタンを使用します (マウスをドラッグして選択ボックスを使用する場合、ボックス内に完全に収まっているアイテムのみが選択されます)。選択時に Shift キーを押しながら操作するとエンティティが追加され、Ctrl キーを押しながら操作すると削除されます。

3つのメインタブそれぞれの上部に検索バーがあります。ジオメトリ、FE モデル、結果のツリーをフィルタリングするのに使用できます。

単位を使用する入力フィールドでは単位変換がサポートされています。値を入力し、表示されているデフォルト単位を編集して (例 : MPa を GPa に変更)、Enter キーを押すと変換が行われます。

PrePoMax はデフォルト単位で値を表示します。

障害が発生した場合 (PrePoMax が突然閉じた場合)、クラッシュ回復ファイルを使用して前のセッションを復元するかどうかをユーザーに確認します。

PrePoMax.com ファイルを使用すると、コマンドウィンドウから PrePoMax の名前を呼び出すだけで簡単に使用できます (作業ディレクトリが PrePoMax ディレクトリと異なる場合はディレクトリも指定)。

現在サポートされているコマンドラインオプションは以下のとおりです :

- **-f, --file** — 開くまたはインポートするファイル名
- **-g, --showGui** — Yes (デフォルト) または No — グラフィカルインターフェースを表示するかどうか。No オプションは再生成にのみ使用可能
- **-o, --overwrite** — Yes または No (デフォルト) — 再生成後に .pmx ファイルを上書きするかどうか
- **-p, --parameters** — .pmx パラメータを上書き。パラメータ a を上書きするには [a=1.2] を使用。パラメータ a と b を上書きするには引用符とセミコロンを使用 ["a=1.2; b=31.4"]
- **-r, --regenerate** — 再生成に使用する .pmx ファイル名 (自動化の一形態 — .pmx ファイルの履歴にあるすべてのコマンドを再実行)。再生成用の作業ディレクトリ **-w** を定義できます。作業ディレクトリが定義されていない場合は現在のディレクトリが使用されます。再生成中に必要なすべてのファイル (ジオメトリ、メッシュ) は作業ディレクトリに配置する必要があります。同じ名前で新しいファイルと入れ替えることで、シミュレーションに使用するジオメトリを変更できます
- **-u, --unitSystem** — インポート時に使用する単位系 [M_KG_S_C | MM_TON_S_C | M_TON_S_C | IN_LB_S_F | UNIT_LESS]
- **-w, --workDirectory** — 作業ディレクトリとして使用するディレクトリパス
- **-x, --exitAfterRegeneration** — Yes (デフォルト) または No — 再生成後に PrePoMax を終了するかどうか
- **--help** — コマンド一覧のヘルプ画面を表示
- **--version** — バージョン情報を表示

PrePoMax は、GUI のプリプロセッシングではまだ実装されていない一部の機能 (感度解析や状態変数 (SDV) を含むシミュレーション) を持つ解析のポストプロセッシングをサポートしています。

3.1 ファイルメニュー(File Menu)

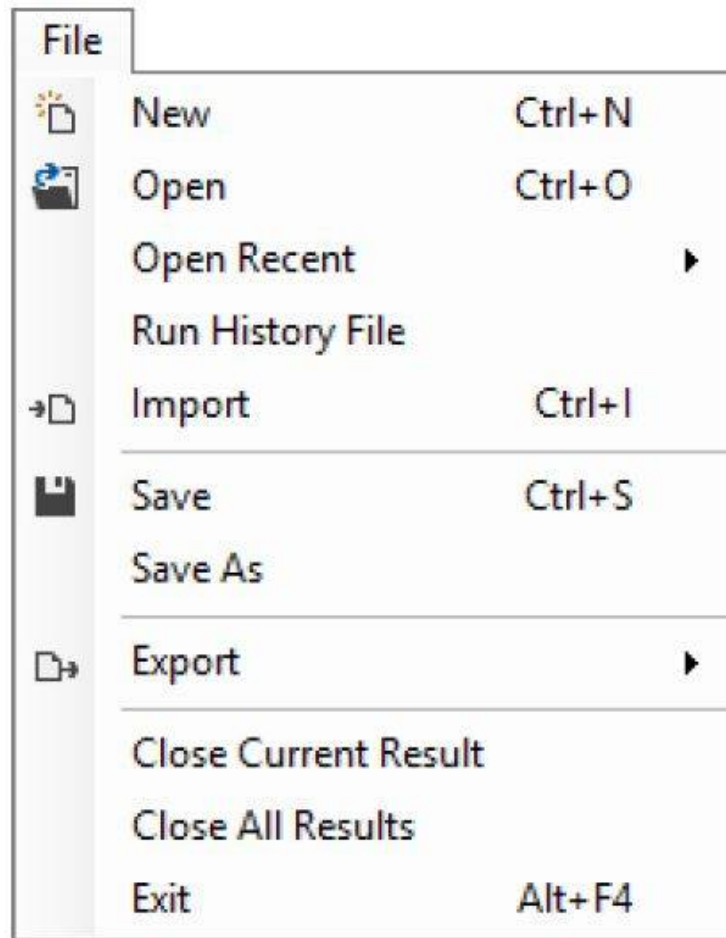


図3：ファイルメニュー

ファイルメニュー(File Menu) (図3) には以下のオプションがあります：

新規(New) (Ctrl + N) — 新しいモデルを作成します。モデル空間は 3D、2D 平面応力(2D Plane Stress)、2D 平面ひずみ(2D Plane Strain)、または 2D 軸対称(2D Axisymmetric)から選択できます。

以下の単位系が利用可能です。

(単位系を選択すると派生単位が表示されます)：

- 無単位(Unitless)
- m、kg、s、° C — 標準 SI 単位
- mm、ton、s、° C — 機械工学で一般的な単位系
- m、ton、s、° C
- in、lbf·s²/in、s、° F — ヤード・ポンド単位

開く(Open) (Ctrl + O) — 以前に作成したモデル (.pmx)、履歴 (.pmh)、CalculiX 結果 (.frd)、または OpenFOAM ファイル (.foam) を開きます。

最近使ったファイルを開く(Open Recent) — 最近使用したモデルを開くか、最近使ったファイルの一覧を消去します。

履歴ファイルを実行(Run History File) — PrePoMax コマンド履歴ファイルを実行します。

インポート(Import) (Ctrl + I) — 以下のいずれかの形式で保存された CAD ジオメトリ、メッシュ、またはモデルをインポートします：

- STEP：.stp および.step (ほとんどの場合に推奨)
- IGES：.igs および.iges
- B-rep：.brep
- ステレオリソグラフィ(Stereolithography)：.stl

3.1 ファイルメニュー(Flie Menu) (続き)

インポート(Inport) (続き) のファイル形式：

- Universal : .unv
- Netgen : .vol
- Abaqus/CalculiX 入力ファイル : .inp
- Mmg メッシュ : .mesh

保存(Save) (Ctrl + S) — 現在のモデルの変更を保存します。

名前を付けて保存(Save As) — 指定した名前で.pmx ファイルとしてモデルを保存します。

エクスポート(Export) — 以下のいずれかの形式でパーツ/モデルをエクスポートします：

- STEP : .stp
- B-rep : .brep
- ステレオリソグラフィ : .stl
- CalculiX 入力ファイル : .inp
- Abaqus 入力ファイル (実験的) : .inp
- Mmg メッシュ : .mesh
- 変形後メッシュ : .inp (現在の変形スケールファクターを適用。シェル要素を使用した解析で出力が 3D に設定されている場合はソリッド要素をエクスポート)
- 変形後ビジュアライゼーション : .stl (現在の変形スケールファクターを適用)

現在の結果を閉じる(Close Current Results) — モデルツリーのポストプロセッシング部分から現在表示されている結果を閉じます (結果なしで pmx モデルを保存するとファイルサイズが縮小されます)。

すべての結果を閉じる(Close All Results) — モデルツリーのポストプロセッシング部分からすべての結果を閉じます (結果なしで pmx モデルを保存するとファイルサイズが縮小されます)。

終了(Exit) (Ctrl + F4) — PrePoMax を閉じます (先にモデルを保存するかどうかをユーザーに確認します)。

3.2 編集メニュー(Edit Menu)

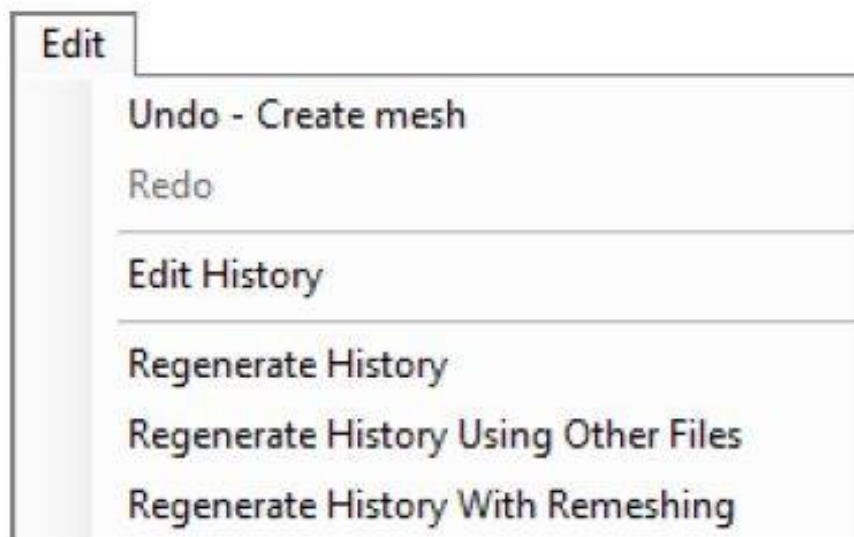


図 4：編集メニュー

編集メニュー(Edit Menu) (図 4) には以下のオプションがあります：

元に戻す(Undo) — 直前の操作を元に戻します。

やり直し(Redo) — 元に戻した操作をやり直します。

3.2 編集メニュー(Edit Menu) (続き)

履歴の編集(Edit History) — 履歴エディタを開き、実行した操作の履歴を確認したり、行の最初の列を選択して Delete キーを押すことで選択したコマンドエントリを削除したりすることができます。

「すべてクリア」ボタンを使用して履歴全体を削除したり、並べ替えたりすることも可能です。

コマンドのドラッグ&ドロップもサポートされています。履歴を変更すると「再生成」機能に影響するため、慎重に使用してください。非常に長い履歴をクリアすることで、PrePoMax の応答性が向上する場合があります。履歴は新しいコマンドが追加されるたびに（つまりモデルに機能が追加されるたびに）

ファイルに保存されます。履歴はファイルから開いたり、ファイルに保存したりすることもできます。

履歴の再生成(Regenerate History) — すべてまたは FE モデルのみを再生成します。

（モデルコマンドのみ — 解析およびポストプロセッシングのコマンドは再生成されません）。

他のファイルを使用して履歴を再生成(Regenerate History Using Other Files) — モデルのジオメトリを別のファイルの類似したものと入れ替えた後、すべてまたは FE モデルのみを再生成します。

これにより、モデルを再定義する必要がなくなります。

リメッシュして履歴を再生成(Regenerate History With Remeshing) — メッシュベースの選択で定義されたノードセット、要素セット、サーフェスデータをすべて保持したまま、モデルをリメッシュした後ですべてまたは FE モデルのみを再生成します

ジオメトリベースの選択を再定義せずにモデルをリメッシュできます。

3.3 表示メニュー(View Menu)

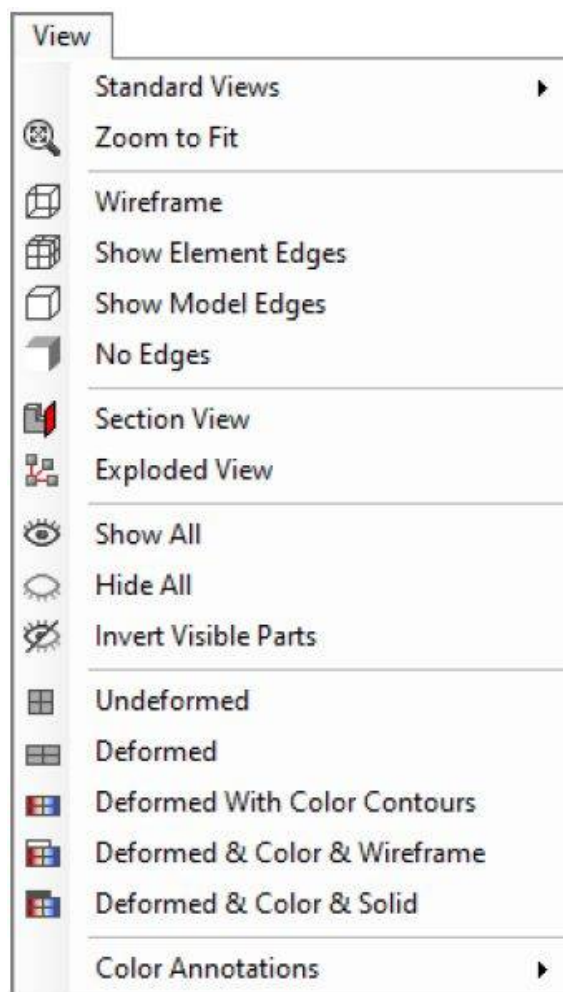


図 5：表示メニュー

表示メニュー(View Menu) (図 5) には以下のオプションがあります：

標準ビュー(Standard Views) — 事前定義されたビューの 1 つを適用します：(次ページに続く)

3.3 表示メニュー(View Menu) (続き)

標準ビューの種類(Standard Views) :

- 前面または背面(Front or Back)
- 上面または底面(Top or Bottom)
- 左面または右面(Left or Right)
- 法線(Normal)
- 垂直(Vertical)
- アイソメトリック(Isometric)

ウィンドウに合わせてズーム(Zoom to Fit) — モデルがウィンドウ内に収まるようにズームします。

ワイヤーフレーム(Wireframe) — モデルのエッジのみを表示するビューを適用します。

要素エッジを表示(Show Element Edges) — 有限要素のエッジとともにモデルを表示するビューを適用します。

モデルエッジを表示(Show Model Edges) — モデルとその特徴エッジを表示するビューを適用します。

エッジなし(No Edges) — エッジなしでモデルを表示するビューを適用します。

断面ビュー(Section View) — 点と法線で定義された平面を使ってモデルを切断するか、断面ビューを無効にします

(このオプションはポストプロセッシングでも使用可能)。

注意：ジオメトリタブで断面ビューを使用すると、ソリッドパーツも中空に見えます。

分解ビュー(Exploded View) — アセンブリパーツを分解図で表示します。2つの方法が利用可能です：

- デフォルト(Default)：分解方向、拡大率、スケールファクター
- 中心点(Center point)：X/Y/Z座標、分解方向、拡大率、スケールファクター

すべて表示(Show All) — モデルのすべてのパーツを表示（再表示）します。

すべて非表示(Hide All) — モデルのすべてのパーツを非表示にします。

表示パーツを反転(Invert Visible Parts) — パーツの表示/非表示を反転します。

変形前(Undeformed) — 結果で変形前のモデルを表示します。

変形後(Deformed) — 結果で変形後のモデルを表示します。

変形後+カラーコンター(Deformed With Color Contours) — 結果でコンタープロット付きの変形後モデルを表示します。

変形後+カラー+ワイヤーフレーム(Deformed & Color & Wireframe) — 結果でコンタープロット付きの変形後モデルと、変形前モデルのワイヤーフレーム表示を合わせて表示します。

変形後+カラー+ソリッド(Deformed & Color & Solid) — 結果でコンタープロット付きの変形後モデルと、変形前モデルのソリッド表示を合わせて表示します。

カラーアノテーション(Color Annotations) — 面の向き、パーツ、材料、セクション、セクション厚さ、すべてのシンボル、参照点、拘束条件、接触ペア、初期条件、境界条件、荷重、定義済みフィールドなど、さまざまな基準に基づいてモデルのアイテムを色分けして区別します。



図6：ファイルおよび表示ツールバー

ファイルメニューと表示メニューの選択オプションは、図6に示すツールバーから直接アクセスできます。このツールバーには、後述するクエリとアノテーション用の2つのボタンも含まれています。

3.4 ツールメニュー(Tools Menu)

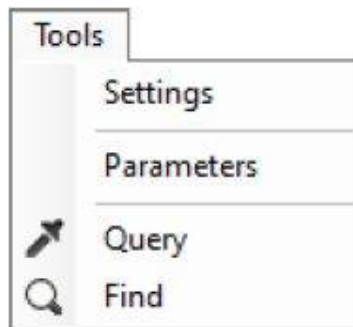


図 7：ツールメニュー

ツールメニュー(Tools Menu) (図 7) には以下のオプションがあります：

設定(Settings) — 以下に示すいずれかのタブのすべての設定をデフォルトにリセットするには、空白部分を右クリックして「すべてリセット」を選択します。

- **一般(General)**
 - 最後のファイルを開く、最後のファイル名 (Open last file, Last file name)
 - .pmx ファイルに結果を保存 (Save results in .pmx files)
 - .pmx ファイルの圧縮：圧縮なし、最速、最適 (No compression, Fastest, Optimal)
 - デフォルト単位系 (Default unit system)
 - CAD のインポート (Import CAD) → 周期的面の分割 (Split periodic faces)、結果面の数
 - メッシュのインポート (Import mesh) → エッジ角度 (Edge angle)
 - 結果を開く (Open results) → 履歴ポストプロセッシングを実行
- **グラフィックス(Graphics)**
 - 背景：タイプ、上部の色、下部の色 (Background: Type, Top color, Bottom color)
 - ジオメトリ (Geometry)：CAD たわみ (CAD deflection)
 - ライティング (Lighting)：環境成分 (Ambient component)、拡散成分 (Diffuse component)
 - スムージング (Smoothing)：ポイントスムージング、ラインスムージング
 - ウィジェット (Widgets)：座標系の表示、スケールウィジェットの表示
- **デフォルトカラー(Default Colors)**
 - 面の向き：前面の色、背面の色 (Face orientation: Front face color, Back face color)
 - 一般 (General)
- **アノテーション(Annotations)**
 - デザイン：背景タイプ、境界矩形の描画、数値フォーマット、有効数字の桁数
 - エッジ/サーフェスアノテーション：エッジ/サーフェス ID の表示、エッジ/サーフェスタイプの表示、エッジ/サーフェストポロジーの表示、エッジ/サーフェスサイズの表示、最大値の表示、最小値の表示、合計値の表示、平均値の表示
 - ノードアノテーション (Node annotation)：ノード ID の表示、座標の表示
 - パーツアノテーション (Part annotation)：パーツ名の表示、パーツ ID の表示、パーツタイプの表示、要素数の表示、ノード数の表示
- **メッシュ作成(Meshing)** — メッシュ作成のデフォルト設定
 - 領域タイプ (Region type)
 - メッシュサイズ (Mesh size)：メッシュサイズの定義、最大要素係数、最小要素係数、グレーディング、エッジあたりの要素数、曲率あたりの要素数、ハウズドルフ係数
 - メッシュ最適化 (Mesh optimization)：2D 最適化ステップ数、3D 最適化ステップ数

3.4 ツールメニュー(Tools Menu) (続き)

- **メッシュ作成(Meshing) (続き)**
 - メッシュタイプ(Mesh type) : 2 次要素、ジオメトリ上の中間節点、四角形主体メッシュ
 - メッシュ操作 : 複合メッシュの分割、複合パーツの統合、モデルエッジの保持
- **プリプロセッシング(Pre-processing)**
 - カラーバー(Color Bar) : 背景タイプ、境界矩形の描画
 - 選択(Selection) : デフォルトジオメトリ選択モード、主/副/マウスハイライトカラー
 - シンボル(Symbols) : 拘束条件/初期条件/境界条件/荷重/定義済みフィールドの色、シンボルサイズ、ノードシンボルサイズ、シンボリエッジの描画
- **CalculiX**
 - CalculiX : 作業ディレクトリ、.pmx フォルダを作業ディレクトリとして使用、実行ファイル、デフォルトソルバー
 - 並列化(Parallelization) : プロセッサ数(Number of processors)、環境変数
 - 実験的(Experimental) : ピラミッド要素の変換先 (潰れたウェッジ/潰れた六面体)
- **ポストプロセッシング(Post-processing)**
 - 変形前モデル(Undeformed model) : 変形前モデルの描画 (なし/ワイヤーフレーム/ソリッド)
 - 変形前モデルの色(Undeformed model color)
 - 限界値(Limit values) : 最小値位置の表示 (はい/いいえ) (Show min value location: Yes/No)
 - 最大値位置の表示 (はい/いいえ) (Show max value location: Yes/No)
 - 履歴出力(History output) : 履歴出力の最大エントリ数(Max history output entries)
- **凡例(Legend)**
 - カラースペクトル設定(Color spectrum settings)
 - ・カラースペクトルタイプ (クールウォーム、レインボー、デサチュレートレインボー、ウォーム、クール、シビジス、ビリディス、プラズマ、ブラックボディ、インフェルノ、キンドルマン、グレースケール)
 - ・輝度(Brightness)
 - ・色の反転 (はい/いいえ) (Reverse colors: Yes/No)
 - ・離散色数 (2~24 の範囲) (Number of discrete colors - in the range of 2-24)
 - カラースペクトル値(Color spectrum values)
 - ・数値フォーマット (指数/一般) (Number format: Scientific/General)
 - ・有効数字の桁数 (2~8 の範囲) (Number of significant digits - in the range of 2-8)
 - ・最小/最大リミットタイプ (自動/手動) (Min/Max limit type: Automatic/Manual)
 - デザイン(Design)
 - ・背景タイプ (なし/白) (Background type: None/White)
 - ・境界矩形の描画 (はい/いいえ) (Draw a border rectangle: Yes/No)
- **ステータスブロック(Status Block)**
 - デザイン(Design)
 - ・ステータスブロックの表示 (はい/いいえ) (Status block visibility: Yes/No)
 - ・背景タイプ (なし/白) (Background type: None/White)
 - ・境界矩形の描画 (オン/オフ) (Draw a border rectangle: On/Off)

パラメータ(Parameters)

- 名前(Name) 値/式(Value/Equation)

3.4 ツールメニュー(Tools Menu) (続き)

パラメータ(Parameters) (続き) :

- 評価結果(Evaluates to)

クエリ(Query) :

- 頂点(Vertex)/ノード — 頂点/ノード ID、座標(coordinates)、およびこのノードで現在表示されているフィールド出力の値を確認します (結果タブ内)
- ファセット/要素(Facet/Element) — ファセット/要素 ID を確認します
- エッジ(Edge) — エッジ ID、タイプ、長さ、およびこのエッジに沿った現在表示されているフィールド出力の最大値、最小値、合計値を確認します (結果タブ内)
- サーフェス — サーフェス ID、タイプ、エッジ/頂点の数、要素/ノードの数、面積、および現在表示されているフィールド出力の最大値、最小値、合計値を確認します (結果タブ内)
- パーツ — パーツ情報 (名前、ID、タイプ、ファセット/頂点の数、要素/ノードの数) を確認します
- アセンブリ(Assembly) — パーツ数、ファセット/頂点の数、要素/ノードの数を確認します
- バウンディングボックスサイズ — モデルのバウンディングボックスのサイズを確認します
- 距離(Distance) — 2つのノード間の距離を測定します
- 角度(Angle) — 3点を使用して角度を測定します
- 円(Circle) — 選択した3点を通る円の半径を測定します

検索(Find) :

- アイテムタイプ: 頂点(Vertex)/ノード、ファセット(Facet)/要素、エッジ、サーフェス、パーツ
- データ(Data): アノテーションの追加(Add annotation)、アイテム ID(Item id)

現在、クエリメニューを使用して作成されたほとんどのアノテーションは、PrePoMax ウィンドウ下部のメッセージエリアだけでなく、モデルに付加されたラベルの形で出力を表示します。右クリックすると「編集」(表示内容を手動変更)、「リセット」、「削除」のオプションが表示されます。この方法でアノテーションをさらに調整できる設定メニューにもアクセスできます。クエリウィンドウ下部の「クリア」ボタンをクリックすると、すべての表示アノテーションが削除されます (異なるタイプのアノテーションを同時に複数表示することも可能です)。ファイルおよび表示ツールバー (図 6) には「アノテーション削除」ボタンもあります。その隣には「クエリ」ボタンがあり、ツール → クエリのショートカットです。

また、アノテーションは.pmx ファイルに保存されます。

検索ツールは、指定された ID を持つジオメトリおよびメッシュエンティティを見つけて (ハイライト表示して) 検索するために使用できます。ソルバーによって問題があると報告されたノードや要素を探す場合に便利です。

無単位パラメータを定義し、参照点、材料、セクション、拘束条件、荷重、境界条件の定義における式で 사용할ことができます。式を追加するには、入力フィールドをイコール記号(=)で始め、フィールドから単位を削除します。式はオープンソースの Ncalc ライブラリを使用しているため、そのライブラリの関数がサポートされています。

3.5 ヘルプメニュー(Help Menu)

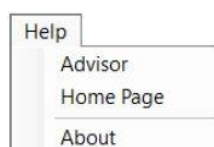


図 8: ヘルプメニュー

ヘルプメニュー(Help Menu) (図 8) には以下のオプションがあります: (次ページに続く)

3.5 ヘルプメニュー(Help Menu) (続き)

アドバイザー(Advisor) — PrePoMax で解析を設定する主な手順をユーザーに案内するインタラクティブなヘルパーを開きます。

ホームページ — デフォルトブラウザで PrePoMax のウェブサイトを開きます。

バージョン情報 — タイトルカードを表示します。

4 ジオメトリとメッシュのオプション(Geometry and mesh options)

モデルツリーのジオメトリタブには、「パーツ」と「メッシュ設定」という 2 つのメインコンテナがあります。最初のコンテナにはモデル内のすべてのパーツが格納されており、パーツを右クリックすると以下のオプションが利用できます：

編集(Edit) — パーツの名前と色を編集できます (パーツをダブルクリックしてもアクセス可能)。

クエリ(Query) — クエリツールを有効にします。

エッジメッシュのプレビュー(Preview Edge Mesh) — 生成されるメッシュのノードを表す点を表示します (これにより、メッシュを生成する前にメッシュのサイズが十分かどうかを確認できます)。

メッシュ作成(Create Mesh) — メッシャーを起動し、パーツの有限要素メッシュを作成します。

ジオメトリを結果にコピー(Copy Geometry to Results) — ポストプロセッシングでジオメトリパーツを表示できるようにします。

非表示/表示/これだけ表示(Hide/Show/Show Only) — 選択したパーツの表示/非表示オプション。

スペースバーを使用してパーツやその他のオブジェクトの表示/非表示を切り替えることもできます。

色の設定/色のリセット/透明度の設定(Set Color/Reset Color/Set Transparency) — パーツの色と透明度を設定します。

削除>Delete) — 選択したパーツを削除します。

4.1 ジオメトリメニュー(Geometry Menu)

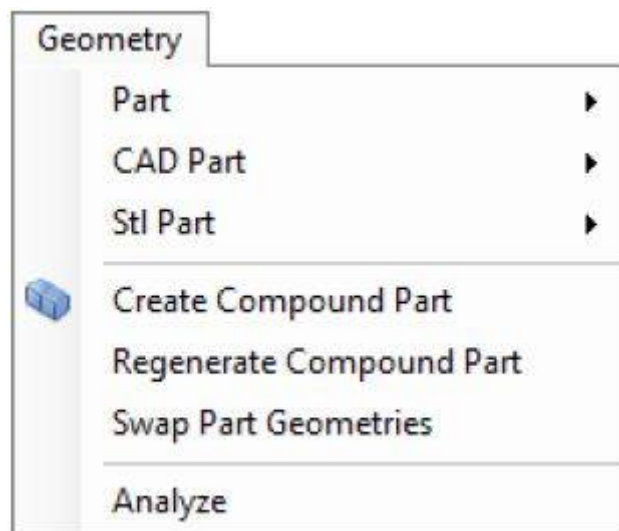


図 9：ジオメトリメニュー

ジオメトリメニュー(Geometry Menu) (図 9) には以下のオプションがあります：

パーツ(Part) — 一般的なパーツジオメトリオプション(general part geometry options)：

- 編集(Edit)：名前(Name)、パーツタイプ(Part type)、メッシュ(Mesh)、外観(Appearance)
- 変換(Transform)：
 - スケール(Scale)

4.1 ジオメトリメニュー(Geometry Menu) (続き)

パーツ(Part) (続き) :

- ジオメトリを結果にコピー(Copy Geometry to Results)
- 非表示/表示/これだけ表示(Hide/Show/Show Only)
- 色の設定/色のリセット/透明度の設定(Set Color/Reset Color/Set Transparency)
- 削除(Delete)

CAD パーツ(CAD Part) — CAD パーツのジオメトリオプション :

- 面法線の反転(Flip Face Normal) — シェル面の向きを反転します
- 2点を使用して面を分割(Split a Face Using Two Points) — 選択した2点への投影によって面を分割します
- フィーチャー除去(Defeature) — 選択した面を置き換えることでフィレット、面取り、穴、彫刻などのフィーチャーを除去する OpenCascade のデフィーチャリング機能を使用します。
ツールを使用するたびに、古いジオメトリが新しいものに置き換えられます

STL パーツ(Stl Part) — STL パーツのジオメトリオプション :

- 角度でモデルエッジを検索(Find Model Edges by Angle) — 指定した角度基準に合致するモデル(フィーチャー) エッジを検索します
- パーツ面法線の反転(Flip Part Face Normals) — サーフェスの向きを反転します
- パーツのスムージング(Smooth Part) — STL パーツにスムージングを適用します
- パーツ面の削除(Delete Part Faces) — 選択した面を削除します

複合パーツの作成(Create Compound Part) — 2つ以上のパーツを1つのパーツ(ボディ)に統合します。

複合パーツの再生成(Regenerate Compound Part) — 複合パーツを再生成します。

パーツジオメトリの入れ替え(Swap Part Geometries) — 2つのパーツ間でジオメトリを入れ替えます。

解析(Analyze) — 以下の項目についてジオメトリをチェックします :

- 指定値より短いエッジ(Edges shorter than [specified value])
- 指定値より近いエッジ(Edges closer than [specified value])
- 指定値より小さい面(Faces smaller than [specified value])
- 指定値の角度を持つ頂点(Vertices with angle [specified value])

4.2 メッシュメニュー(Mesh Menu)



図 10 : メッシュメニュー

メッシュメニュー(Mesh Menu) (図 10) には以下のオプションがあります :

メッシュ設定アイテム(Mesh Setup Item) :

作成(Create)、編集(Edit)、複製(Duplicate)、削除(Delete) — メッシュャーの設定

エッジメッシュのプレビュー(Preview Edge Mesh)

メッシュ作成(Create Mesh)

作成できるメッシュ設定アイテムは以下のとおりです :

(次ページに続く)

4.2 メッシュメニュー(Mesh Menu) (続き)

メッシュパラメータ(Meshing parameters) — グローバルメッシュ設定：

- データ(Data)：
 - 名前(Name)
 - メッシュ設定(Mesh settings)：基本(Basic)/詳細(Advanced)
 - 領域(Region)
- メッシュサイズ(Mesh size)：
 - メッシュサイズの定義(Mesh size definition)：絶対値(Absolute)/相対値(Relative)
 - 最大要素サイズ(Max element size)（絶対値の場合）または最大要素係数（相対値の場合）
 - 最小要素サイズ(Min element size)（絶対値の場合）または最小要素係数（相対値の場合）
 - グレーディング(Grading)：0 = 均一メッシュ、1 = 積極的なローカルグレーディング
 - エッジあたりの要素数(Elements of edge) — ジオメトリのエッジあたりの要素数
 - 曲率あたりの要素数(Elements per curvature) — 曲率半径あたりの要素数
- メッシュ最適化(Mesh optimization)：
 - 2D 最適化ステップ数(Optimize steps 2D) — 2D メッシュに使用する最適化ステップ数
 - 3D 最適化ステップ数(Optimize steps 3D) — 3D メッシュに使用する最適化ステップ数
- メッシュタイプ(Mesh type)：
 - 2次要素(Second order)：はい/いいえ
 - ジオメトリ上の中間節点(Midside nodes on geometry) — 中間節点をジオメトリ上に投影：はい/いいえ
 - 四角形主体メッシュ(Quad-dominated mesh)：はい/いいえ（シェルおよび 2D パーツのみ）
- メッシュ操作(Mesh operations)：
 - 複合メッシュの分割(Split compound)：はい/いいえ（複合パーツのメッシュを非連結なパーツメッシュに分割）
 - 複合パーツの統合(Merge compound)：はい/いいえ（複合パーツのメッシュを単一のメッシュパーツに統合）

メッシュ細密化(Mesh Refinement) — ローカルメッシュ細密化の設定：

- 名前(Name)
- 領域(Region)
- 要素サイズ(Element size)

シェル(Shell)Gmsh：

- 名前(Name)
- 領域(Region)
- 2D メッシュアルゴリズム：MeshAdapt、自動、初期メッシュのみ、Delaunay、Frontal-Delaunay、四角形向け Frontal-Delaunay、平行四辺形パッキング、準構造四角形
- 再結合アルゴリズム：なし、シンプル、ブロッサム、シンプルフル四角形、ブロッサムフル四角形
- 3 辺面(3-sided faces)の Transfinite：はい(Yes)/いいえ(No)
- 4 辺面(4-sided faces)の Transfinite：はい(Yes)/いいえ(No)
- メッシュ最適化(Mesh optimization)（1次要素）：なし、Laplace 2D、Relocate 2D、準構造四角形

シェルメッシュの厚み付け(Thickn Shell Mesh) — 準構造四角形 2D アルゴリズムに基づく押し出しメッシュの作成に使用できます（押し出しメッシュ機能ではサポートされていないアルゴリズム）：

- 名前(Name)

(次ページに続く)

4.2 メッシュメニュー(Mesh Menu) (続き)

シェルメッシュの厚み付け(Thickn Shell Mesh) (続き) :

- 領域(Region)
- 厚さ(Thickness)
- レイヤー数(Number of layers)
- オフセット(Offset)
- モデルエッジの保持 : はい/いいえ(Keep model edges: Yes/No)

四面体 Gmsh(Tetrahedral Gmsh) :

- 名前(Name)
- 領域(Region)
- 2D メッシュアルゴリズム : MeshAdapt、自動、初期メッシュのみ、Delaunay、Frontal-Delaunay、四角形向け Frontal-Delaunay、平行四辺形パッキング、準構造四角形
- 3D メッシュアルゴリズム : Delaunay、初期メッシュのみ、Frontal、MMG3D、R-tree、HXT
- 3 辺面(3-sided faces)の Transfinite : はい(Yes)/いいえ(No)
- 4 辺面(4-sided faces)の Transfinite : はい(Yes)/いいえ(No)
- メッシュ最適化(Mesh optimization) :
 - 1 次要素(First order elements) : なし(None)、Gmsh、Netgen、Relocate 3D
 - 2 次要素(Second order elements) : なし(None)、高次(High order)、高次弾性(High order elastic)、高次高速曲線化(High order fast curving)
 - ピラミッドの実験的設定 : 再結合アルゴリズム : なし、シンプル、ブロッサム、シンプルフル四角形、ブロッサムフル四角形

トランスフィニットメッシュ(Transfinite Mesh) : (四角形(2D)や六面体(3D)の要素で構成されます)

- 名前(Name)
- 領域(Region)
- 再結合(Recombine) : はい(Yes)/いいえ(No)
- ピラミッドの実験的設定 : ピラミッド要素の許可 : いいえ/はい

押し出しメッシュ(Extrude Mesh) — 選択したベース面に作成されたサーフェスメッシュ (プレビュー可能) を、自動検出された方向 (ピンク色の矢印で表示) に押し出します :

- 名前(Name)
- 領域(Region)
- 2D メッシュアルゴリズム : MeshAdapt、自動、初期メッシュのみ、Delaunay、Frontal-Delaunay、四角形向け Frontal-Delaunay、平行四辺形パッキング、準構造四角形
- 再結合アルゴリズム : なし、シンプル、ブロッサム、シンプルフル四角形、ブロッサムフル四角形
- 再結合最小品質
- 3 辺面(3-sided faces)の Transfinite : はい(Yes)/いいえ(No)
- 4 辺面(4-sided faces)の Transfinite : はい(Yes)/いいえ(No)
- フィーチャー方向の要素サイズ :
 - 定義方法 : スケールファクター、要素数、マルチレイヤー
 - スケールファクター/要素数/相対レイヤーサイズ、レイヤーあたりの要素数

スイープメッシュ(Sweep Mesh) — 選択したベース面に作成されたサーフェスメッシュ (プレビュー可能)、自動検出された方向 (ピンク色の矢印で表示) に沿って側面を通りターゲットサーフェスまでスイープします :

(次ページに続く)

4.2 メッシュメニュー(Mesh Menu) (続き)

スイープメッシュ(Sweep Mesh) (続き) :

- 名前(Name)
- 領域(Region)
- 2D メッシュアルゴリズム : MeshAdapt、自動、初期メッシュのみ、Delaunay、Frontal-Delaunay、四角形向け Frontal-Delaunay、平行四辺形パッキング、準構造四角形
- 再結合アルゴリズム : なし、シンプル、ブロッサム、シンプルフル四角形、ブロッサムフル四角形
- 再結合最小品質
- 3 辺面(3-sided faces)の Transfinite : はい(Yes)/いいえ(No)
- 4 辺面(4-sided faces)の Transfinite : はい(Yes)/いいえ(No)
- メッシュ最適化(Mesh optimization):1 次要素(First order) : なし(None)、Laplace 2D、Relocate 2D、準構造四角形(Quasi-structured quad)
- メッシュスムージング(Mesh smoothing) :
 - レイヤースムージングステップ数(Layer smooth steps)
 - グローバルスムージングステップ数(Global smooth steps)

回転メッシュ(Revolve Mesh) — 選択したベース面に作成されたサーフェスメッシュ (プレビュー可能) を、自動検出された方向 (二重矢印のピンク色矢印で表示) に回転させます :

- 名前(Name)
- 領域(Region)
- 2D メッシュアルゴリズム : MeshAdapt、自動、初期メッシュのみ、Delaunay、Frontal-Delaunay、四角形向け Frontal-Delaunay、平行四辺形パッキング、準構造四角形
- 再結合アルゴリズム : なし、シンプル、ブロッサム、シンプルフル四角形、ブロッサムフル四角形
- 再結合最小品質
- 3 辺面(3-sided faces)の Transfinite : はい(Yes)/いいえ(No)
- 4 辺面(4-sided faces)の Transfinite : はい(Yes)/いいえ(No)
- フィーチャー方向の要素サイズ :
 - 定義方法 : スケールファクター、要素数、マルチレイヤー
 - スケールファクター / 要素数 / 相対レイヤーサイズ、レイヤーあたりの要素数

相対メッシュサイズ指定は、アセンブリの選択したパーツのみをより密なメッシュにする必要があり、かつそれらのパーツのサイズが異なるため単一の絶対値設定では対応が難しい場合のために導入されました。相対設定を使用することで、そのような場合でもすべてのパーツに均等に密なメッシュを作成できます。メッシュ細密化オプションはローカルメッシュ制御に使用できます。サーフェス、エッジ、または頂点を選択してローカルメッシュサイズを指定できます。メッシュ細密化はメッシュ生成前にプレビューできます。

六面体メッシュは 3 種類の Gmsh メッシュタイプ (Transfinite(超限)、Extruded(押し出し)、Revolved(回転)) を使用して作成できます。以下のルールが適用されます :

六面体メッシュはデフォルトでは生成されません。常に再結合 (三角形から四角形への変換) が必要です。押し出し(Extruded)および回転(Revolved)メッシュでは、より構造的なメッシュを得るために Transfinite アルゴリズムを使用できます。押し出し(Extruded)および回転(Revolved)メッシュは複合パーツには適用できないため、ボリューム分割の代わりにベース面分割を使用する必要があります。それらのベース面パッチは、例えばサーフェス角度選択モードを使用してすべて一度に選択する必要があります。

4.2 メッシュメニュー(Mesh menu) (続き)

- 押し出し(Extruded)および回転(Revolved)メッシュで Transfinite アルゴリズムを使用するには、3 辺または 4 辺を持つ面が必要です。
- トランスフィニット(Transfinite)メッシュは複合パーツに適用できるため、ボリウム分割を推奨します。
- トランスフィニット(Transfinite)メッシュには 5 面または 6 面を持つボリウムが必要です。それらの面はそれぞれ 3 辺または 4 辺を持つ必要があります。
- スイープ(Sweep)メッシュは複数のソースサーフェスを受け付けますが、ターゲットサーフェスは 1 つのみです。すべての側面は 4 辺でなければなりません。側面が複数の 4 辺サーフェスに分割されてソースサーフェスからレイヤーを形成する場合、他のすべての側面も同じ位置で分割され、すべての側面に同じ数のレイヤーを作成する必要があります。単一の継ぎ目を持つ周期的側面(軸方向に単一エッジを持つ円柱)は、2 つの 4 辺サーフェスを形成するためにさらに少なくとも 1 回分割する必要があります。

以下の YouTube チュートリアルが PrePoMax の Gmsh メッシュを解説しています：

- [PrePoMax & CalculiX - 高度なメッシュ作成入門](#)
- [PrePoMax & CalculiX - Transfinite シェルメッシュ](#)
- [PrePoMax & CalculiX - Transfinite ボリウムメッシュ](#)
- [PrePoMax & CalculiX - 押し出しメッシュ](#)
- [PrePoMax & CalculiX - 回転メッシュ](#)

5 FE モデルオプション(FE Model options)

FE モデルタブに切り替えると、モデル、プロパティ、インタラクション、振幅、初期条件、ステップ、解析の各メニューが有効になります。これらを使用してさまざまな FEM 機能を定義できます。同じ機能はモデルツリーを使用して作成することもできます。

5.1 モデルメニュー(Model menu)

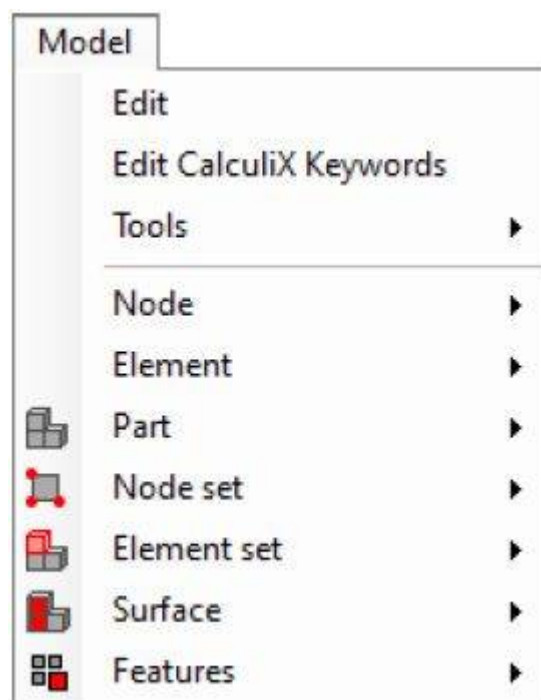


図 11：モデルメニュー

モデルメニュー(Model menu) (図 11) には以下のオプションがあります：編集(Edit) (次ページに続く)

5.1 モデルメニュー(Model menu) (続き)

編集(Edit) :

- 名前(Name)
- モデル空間(Model space) :
 - 3D モデルの場合 : 3D
 - 2D モデルの場合 : 2D 平面応力(plane stress)、2D 平面ひずみ(plane strain)、または 2D 軸対称(axisymmetric)
- モデルタイプ(Model type) :
 - 一般モデル(General model)
 - サブモデル(Submodel) : グローバルな解析結果 (.frd ファイル) を利用します
 - スリップ摩耗モデル(Slip wear model) :
 - 結果(Results) : すべて/スリップ摩耗ステップ/スリップ摩耗ステップの最終インクリメント/最終スリップ摩耗ステップの最終インクリメント
 - サイクル数 — スリップ摩耗サイクル数
 - サイクルインクリメント — スリップ摩耗サイクルのインクリメント
 - 摩耗スミージングステップ数 — スリップ摩耗スミージングステップ数
 - BDM リメッシュ(BDM remeshing) : オン/オフ — 各摩耗サイクル後の表面摩耗変位による境界変位法を用いたリメッシュの有効化。すべての剛体運動を防止するために固定モデル領域を定義するには境界変位ステップを使用する必要があります
- 絶対零度(Absolute zero) — 放射に使用する絶対零度温度の値
- ステファン・ボルツマン定数(Stefan-Boltzmann const)-放射に使用する Stefan-Boltzmann 定数の値
- 万有引力定数(Gravitational const) — ニュートンの万有引力定数の値

CalculiX キーワードの編集 — 現在 PrePoMax でサポートされていない CalculiX キーワードを追加できるキーワードエディタ。

ツール(Tools) :

- 角度によるモデルエッジの検索 (インポートされたメッシュ内の角度に基づくフィーチャーエッジの検索)
- 境界層の作成(Create Boundary Layer) — サーフェス上に角柱状の境界層を作成します (ボルト初期張力荷重を含む解析で使用)。層の厚さを指定でき、プレビューオプションも利用可能
- 要素のリメッシュ(Remesh Elements) — 指定した最大/最小要素サイズおよび境界近似の最大ハウスドルフ距離を使用して選択したシェル領域をリメッシュします (全方向サイズ 1 のオブジェクトには 0.01 が適切)
- シェルメッシュの厚み付け(Thicken Shell Mesh) — シェルメッシュの厚み付け機能へのアクセス。メッシュ設定アイテムとしても利用可能
- サーフェスを使用してパーツメッシュを分割 — 分割サーフェス (シェルメッシュ) を使用して選択したベースパーツ領域 (ボリュームメッシュ) を一致する 2 領域メッシュに分割できます。CAD ジオメトリがない場合や高速なメッシュ分割が必要な場合などに有用
- ファイルからノード座標を更新 — ノード ID に基づいて.inp ファイルからノードメッシュ座標を更新します。線形座屈解析のスケール済みモード形状 (変形メッシュとして.inp ファイルにエクスポート済み) に基づいて非線形座屈解析に不完全性を導入するために使用できます

ノード(Node) :

- すべてを再番号付け(Renumber All)

(次ページに続く)

5.1 モデルメニュー(Model menu) (続き)

ノード(Node) (続き) :

- すべてを再番号付け(Renumber All) :
開始ノード ID(Start node id)
- 一致ノードの統合(Merge Coincident Nodes) :
 - 許容差(Tolerance)
 - 保持するノード(Node to keep) (小さい ID/大きい ID)

要素(Elemente) :

- すべてを再番号付け(Renumber All) : 開始要素 ID(Start elemente id)
- 要素品質(Element Quality) — Gmsh の要素品質指標を使用し、指定した基準に基づいてセットを作成できます
 - 品質指標(Quality metric) : minDetJac (最小ヤコビアン行列式)、maxDetJac (最大ヤコビアン行列式)、minSJ (最小スケール済みヤコビアン)、minSICN (最小符号付き逆条件数)、minSIGE (符号付き逆勾配誤差)、gamma (内接球と外接球の半径比)、innerRadius (内半径)、outerRadius (外半径)、minIsotropy (最小等方性指標)、angleShape (角度形状指標)、minEdge (最小直線エッジ長)、maxEdge (最大直線エッジ長)、volume (要素体積)
 - ハイライト基準(Highlight criteria) : 小さい(Smaller)/大きい(Lager)
 - ハイライト上限(Highlight limit)
 - 最小値(Minimum)/最大値(Maximum)/平均値(Average)/標準偏差(Standard deviation)

パーツ(Part) :

- 編集(Edit) : 名前(Name)、パーツタイプ(Part type)、メッシュ(Mesh)、要素タイプ(Elmemnte type) (変更可能。軸対称モデルの場合、CalculiX が軸対称+平面応力混合モデルをサポートしているため平面応力要素も選択可能)、外観
- 変換(Transform) : 平行移動(Translate)、スケール(Scale)、回転(Rotate)
- 統合(Merge) — メッシュを変更せずに複数の別々のパーツの要素を 1 つの共通パーツに割り当てます
- 非表示(Hide)、表示>Show)、これだけ表示>Show only)
- 色の設定(Set color)/色のリセット(Reset color)/透明度の設定(Set Transparency)
- 削除>Delete)

ノードセット(Node set) :

- 作成(Create)
- 編集(Edit) : 名前(Name)、ノード数(Number of node)、重心(Center of gravity)、バウンディングボックス中心(Bounding box center)
- 複製(Duplicate)
- 削除>Delete)

要素セット(Elemente set) :

- 作成(Create)
- 編集(Edit) : 名前(Name)、要素数(Number of elements)
- 複製(Duplicate)
- パーツに変換(Convert to Part) — この方法で作成されたパーツを削除することで、選択した要素をモデルから削除できます

(次ページに続く)

5.1 モデルメニュー(Model menu) (続き)

要素セット(Element set) (続き) :

- 削除>Delete)

サーフェス(Surface) :

- 作成(Create)
- 編集(Edit) : 名前(Name)、サーフェスタイプ(Surface type)、領域タイプ(Region type)
- 複製(Duplicate)
- 削除>Delete)

フィーチャー(Features) :

- 参照点(Reference point) :
 - 作成(Create)
 - 編集(Edit)
 - 複製(Duplicate)
 - 非表示(Hide)/表示>Show)/これだけ表示>Show only)
 - 削除>Delete)
- 座標系(Coordinate System) :
 - 作成(Create)
 - 編集(Edit)
 - 複製(Duplicate)
 - 非表示(Hide)/表示>Show)/これだけ表示>Show only)
 - 削除>Delete)

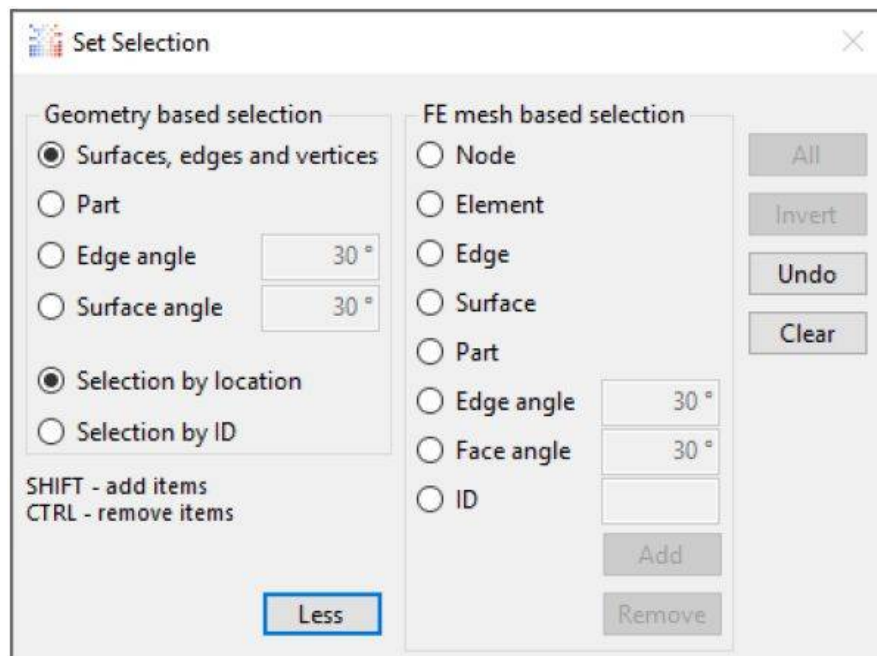


図 12 : セット選択ウィンドウ

セットとサーフェスを作成する際に、セット選択ウィンドウが開きます (図 12)。セットとサーフェスは、以下で説明する特定の FEM 機能を定義するために使用されるノード/要素および要素面の名前付きグループです。ジオメトリベースの選択はフィーチャの点でより制限がありますが、モデルをリメッシュしても定義が失われません。FE メッシュベースの選択はより多くのオプションを提供しますが、モデルをリメッシュするとメッシュが変更されるため選択の定義が無効になります。

5.1 モデルメニュー(Model menu) (続き)

2つの選択方法が利用可能です — 位置による選択とIDによる選択です。1つ目はユーザーの選択位置(点または領域)に基づいています。選択を再作成する必要がある場合(リメッシュ、再生成)に備えて位置データが保存されます。選択が再作成される場合、位置データを使用して再度選択が作成されます。2つ目はユーザーの選択位置を使用して基礎となるジオメトリのジオメトリIDを取得し、IDのみを保存します。選択を再作成する必要がある場合、ジオメトリIDが直接再使用されます。リメッシュや再生成などの標準的な使用では、これら2つの方法は同等です。ただし、リメッシュまたは再生成前にジオメトリが変更される場合(「他のファイルを使用して再生成」または「パーツジオメトリの入れ替え」)、選択結果が変わる可能性があります。トポロジー(頂点、エッジ、面の番号付け)が変わらず、ジオメトリ(寸法)のみが変わる場合、IDベースの選択は常に同じ頂点、エッジ、パーツの面を選択しますが、位置ベースの方法ではそうならない場合があります。IDベースの方法は参照点や座標系の作成にも使用できます。2点または3点を選択する必要がある場合(「2点間」および「円の中心」選択方法)は、Shiftキーを使用する必要があります。

セット/サーフェス作成のFEメッシュベース選択モードで負の面角度を使用すると、単一の要素面を選択できます。

サーフェスは要素タイプまたはノードタイプにすることができます。既存のノードセットから作成することもできます。

参照点(Reference points)は以下のいずれかの方法で作成できます。

- 座標(Coordinates)
- 点上(On point) (上記のセット選択ウィンドウを使用)
- 2点間(Between 2 points)
- 3点による円の中心(Circle Center by 3 points)
- 重心(Center of gravity)
- バウンディングボックス中心(Bounding box center)

ユーザーは参照点の色を変更したり、名前を非表示にしたりすることもできます。

座標系(直交座標系および円筒座標系)は、境界条件と荷重の定義(グローバル座標系の代わりにローカル座標系の方向に作用するように)およびポストプロセッシング(結果の変換)で使用するために作成できます。このようなローカル(ユーザー)座標系を作成するには、3点(中心点、第1軸方向の点、1-2平面上の点)を指定する必要があります。各点の定義には以下の選択方法が使用できます

- 座標(Coordinates)
- 点上(On point) (上記のセット選択ウィンドウを使用)
- 2点間(Between 2 points)
- 3点による円の中心。(Circle center by 3 points)

5.2 プロパティメニュー(Property Menu)

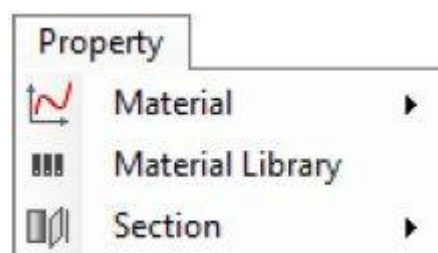


図 13: プロパティメニュー

(次ページに続く)

5.2 プロパティメニュー(Property Menu) (続き)

プロパティメニュー(Property Menu) (図 13) には以下のオプションがあります：

材料(Material)：

- 作成(Create)
- 編集(Edit)
- 複製(Duplicate)
- .inp からインポート (Import from inp)
- .inp にエクスポート (Export to inp)
- 削除>Delete)

材料ライブラリ (Material Library) — いくつかの材料が PrePoMax に組み込まれており、ユーザーが新しい材料をライブラリに追加することもできます。

セクション(Section)：

- 作成(Create)
- 編集(Edit)
- 複製(Duplicate)
- 削除>Delete)

材料ライブラリエディタ (図 14) は、PrePoMax のベースディレクトリにある materials.lib ファイルに保存されている材料ライブラリへのアクセスを提供します。ライブラリファイルはテキストベースのファイルで、Notepad++などの.txt エディタを使用して編集できます。すべての材料データは mm、ton、s、° C 単位系を使用して保存されていることが前提となっています。ただし、ライブラリファイルは JSON シリアライゼーションを使用して材料オブジェクトから直接作成されるため、そのままでは読みにくく、この方法での直接編集は推奨されません。ライブラリは PrePoMax 組み込みの材料エディタを使用して編集することを推奨します。

5.2.1 ライブラリ (Libraries)

材料ライブラリエディタ上部の「ライブラリ」セクションを使用して、複数の材料ライブラリを管理できます。

5.2.2 ライブラリ材料セクション (Library materials section)

材料ライブラリのアイテムはカテゴリと材料で構成されています。カテゴリは材料をより小さな管理しやすいグループに整理するために使用されます。「Add category」ボタンを使用して既存のカテゴリ内に新しいカテゴリを作成でき、「Delete」ボタンを使用してライブラリから削除できます。ライブラリ内の各アイテムは、下部のテキストフィールドと「名前変更」ボタンを使用して名前を変更できます。ライブラリに変更を加えた場合は、「Save」ボタンを使用して保存する必要があります。1つのカテゴリ内のすべての材料は固有の名前を持つ必要があります。

5.2.3 FE モデル材料セクション (FE model materials section)

モデル材料のセクションには、FE モデルから材料を削除するための「Delete」ボタンのみがあります。モデル内のすべての材料は固有の名前を持つ必要があります。

5.2.4 材料ライブラリの使い方 (Using material library)

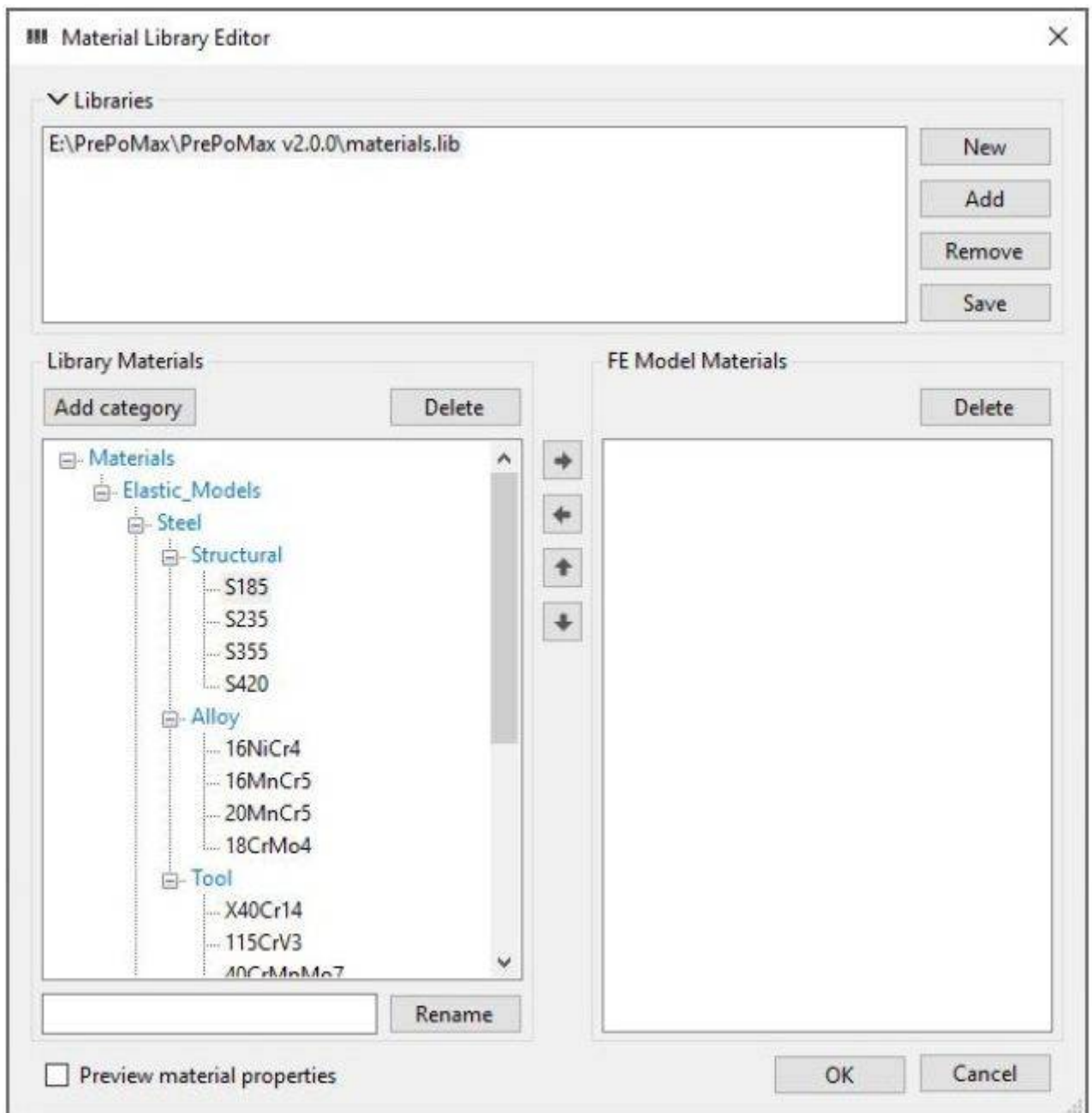


図 14：材料ライブラリ

FE モデルで既存の材料を使用するには、まずライブラリ材料セクションで材料を選択する必要があります。右矢印ボタンを使用して、選択したライブラリ材料をモデル材料にコピーできます。

ユーザー材料を材料ライブラリに追加するには、まず材料エディタを使用して材料を作成する必要があります。次に材料ライブラリエディタ（図 14）を使用して、ユーザー材料をライブラリに追加できます。材料ライブラリエディタでは、まず目的のカテゴリを選択または作成してから、左矢印ボタンを使用してユーザー材料をライブラリにコピーします。材料がライブラリに追加されたら、将来の使用のために変更を保存する必要があります。

5.2.5 ユーザー間での材料データの共有(Exchanging material data between users)

材料ライブラリ内のすべての材料データは、materials.lib ファイルを置き換えることで入れ替えることができます。この方法で材料ライブラリ全体を別のユーザーに送ることができます。

ただし、ライブラリファイルを置き換えると、受け取ったユーザーが行ったすべての変更も削除されます。特定の材料のみを別のユーザーと共有する場合は、PrePoMax モデルの.pmx ファイルを使用する必要があります。送信側のユーザーは、選択したユーザー材料を含む簡単な（ただし空でない）モデルを作成します。このファイルを受け取ったユーザーはモデルファイルを開き、材料ライブラリエディタ（図 14）を使用してファイルからユーザー材料を自分の材料ライブラリに追加します。材料ライブラリエディタの下部には、選択した材料のプロパティプレビューを有効にするチェックボックスがあります。

材料ライブラリの使用方法是次の動画で紹介されています：PrePoMax & CalculiX - Material Library
PrePoMax 1.3.0 以降、FE モデル間またはコンピューター間で材料モデルを転送する 2 つの新しい方法が追加されました。1 つ目は材料ライブラリファイルを使用した転送、2 つ目は CalculiX/Abaqus の.inp ファイルを使用した材料モデルのインポート/エクスポートです。

材料ライブラリ (Material libraries)： PrePoMax は組み込みの材料ライブラリエディタ（図 14）を使用して複数の材料ライブラリの編集をサポートしています。追加された「ライブラリ」グループボックスには、開いているライブラリファイルのリストと以下の操作ボタンが含まれています：

- **新規(New)** — 新しい空の材料ライブラリファイルを作成します
- **追加(Add)** — 既存の材料ライブラリファイルを開いているライブラリのリストに追加します
- **削除(Remove)** — 選択した開いているライブラリをリストから削除します
(材料ライブラリファイルは削除されません)
- **保存(Save)** — 選択した材料ライブラリの変更（ファイル名末尾のアスタリスクで示される）を材料ライブラリファイルに保存します

元の FE モデルから対象の FE モデルに材料モデルを転送するには、組み込みのデフォルト材料ライブラリを使用するか、新しい材料ライブラリを作成します。元の FE モデルの材料モデルを FE モデルからライブラリにコピーするには、まず開いているライブラリのリストでライブラリを選択し、次に FE モデル材料グループボックスで材料モデルを選択し、最後に左矢印ボタンを押します。その後、更新されたライブラリを保存する必要があります。

保存された材料モデルをライブラリから対象の FE モデルにコピーするには、まず対象の FE モデルを開きます。次に材料ライブラリエディタを開き、開いている材料ライブラリのリストで適切な材料ライブラリを追加または選択します。最後に、ライブラリ内の材料モデルを選択し、右矢印ボタンを押して FE モデルにコピーします。

元のコンピューターから対象のコンピューターに材料モデルを転送する場合も同じ手順に従います。

ただし、材料モデルをライブラリファイルに保存した後、ライブラリファイルを元のコンピューターから対象のコンピューターに送信する必要があります。

この方法は単位を認識しているため、異なる単位系を使用している FE モデル間で材料モデルを転送しても、すべての材料パラメータが適切に変換されます。

CalculiX/Abaqus .inp ファイル： プロパティ → 材料メニューに追加のメニュー項目が追加されました：

- **inp からインポート** — 選択した.inp ファイルからすべての材料をインポートします
(次ページに続く)

5.2.5 ユーザー間での材料データの共有(Exchanging material data between users) (続き)

- **.inp にエクスポート** — FE モデルから材料を選択し、新しい.inp ファイルに保存する選択ウィンドウを開きます。

FE モデル間またはコンピューター間での材料モデルの転送は、「材料ライブラリ」の段落で説明した手順と同じです。この方法は単位を認識しないため、異なる単位系を使用する FE モデル間で材料モデルを転送しても材料プロパティは変換されません。

新しい材料を作成する際に、以下のプロパティを定義できます：

- **密度(Density)**
- **スリップ摩耗(Slip wear)**
 - 硬さ(Hardness)
 - 摩耗係数(Wear coefficient)
- **弾性(Elasticity)**
 - ヤング率(Young's modulus)
 - ポアソン比(Poisson's ratio)
- **塑性(Plasticity)：**
 - 硬化(Hardening)
 - 等方性(Isotropic)
 - 移動硬化(Kinematic)
 - 複合(Combined)
 - データ点(Data Points) (降伏応力と塑性ひずみの関係)
- **熱的特性(Thermal properties)：**
 - 熱膨張(thermal expansion)
 - 熱膨張係数(thermal expansion coefficient)
 - 基準温度(Zero temperature)
 - 熱伝導率(Thermal conductivity)
 - 比熱(Specific heat)

矢印ボタンを使用して、選択したプロパティを新しい材料定義に追加します。

材料名の指定、説明の記載、温度依存性の設定（温度依存データ点を使用）も可能です。

以下のセクションタイプ(Section types)が利用可能です：

ソリッドセクション(Solid Section)：

- 名前(Name) — セクション名を指定します
- 材料(Material) — セクションの材料を選択します
- 厚さ(Thickness) — 平面応力/ひずみパーツの厚さを指定します（2D モデルのみ）
- 領域(Region) — セクションを割り当てる領域を選択します

(次ページに続く)

5.2 プロパティメニュー(Property Menu) (続き)

シェルセクション(Shell Section) :

- 名前(Name) — セクション名を指定します
- 材料(Material) — セクションの材料を選択します
- 厚さ(Thickness) — シェルの厚さを定義します
- オフセット(Offset) — シェル中立面のオフセットを設定します (シェル厚さを単位とします)
- 領域(Region) — セクションを割り当てる領域を選択します

メンブレン (膜) セクション(Membrane Section) :

- 名前(Name) — セクション名を指定します
- 材料(Material) — セクションの材料を選択します
- 厚さ(Thickness) — メンブレンの厚さを定義します
- オフセット(Offset) — メンブレン中立面のオフセットを設定します (メンブレン厚さを単位とします)
- 領域(Region) — セクションを割り当てる領域を選択します

点質量(Point Mass) :

- 名前(Name) — セクション名を指定します
- 質量(Mass) — 選択した各ノードに適用する質量を入力します
- 領域(Region) — セクションを割り当てる領域を選択します

分布質量(Distributed Mass) :

- 名前(Name) — セクション名を指定します
- 質量(Mass) — 選択した領域に分布させる総質量を入力します
- 領域(Region) — セクションを割り当てる領域を選択します

5.3 インタラクションメニュー (相互作用) (Interaction Menu)

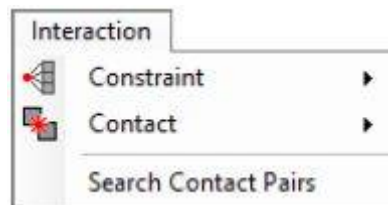


図 15 : インタラクションメニュー

インタラクションメニュー(Interaction Menu) (図 15) には以下のオプションがあります :

拘束条件(Constraint) :

- 作成(Create)
- 編集(Edit)
- 複製(Duplicate)
- マスター/スレーブの入れ替え(Swap Master/Slave)
- マスター/スレーブによる統合(Merge by Master/Slave)
- 非表示(Hide)
- 表示(Show)
- 削除>Delete)

5.3 インタラクションメニュー(Interaction Menu) (続き)

接触(Contact) :

- 面相互作用(Surface Interaction)
 - 作成(Create)
 - 編集(Edit)
 - 複製(Duplicate)
 - 削除>Delete)
- 接触ペア(Contact Pair)
 - 作成(Create)
 - 編集(Edit)
 - 複製(Duplicate)
 - マスター/スレーブの入れ替え(Swap Master/Slave)
 - マスター/スレーブによる統合(Merge by Master/Slave)
 - 非表示(Hide)
 - 表示>Show)
 - 削除>Delete)

接触ペアの検索(Search Contact Pairs)

利用可能な拘束条件には以下が含まれます :

点ばね(Point spring) :

- 名前(Name)
- 領域(Region)
- 剛性(Stiffness)
 - K1 (X 方向のノードあたりの剛性)
 - K2 (Y 方向のノードあたりの剛性)
 - K3 (Z 方向のノードあたりの剛性)
- 色(Color)

面ばね(Surface spring) :

- 名前(Name)
- 領域(Region)
- 面積あたりの剛性(Stiffness per area) : いいえ/はい(No/Yes)
- 剛性(Stiffness)
 - K1 (X 方向の剛性)
 - K2 (Y 方向の剛性)
 - K3 (Z 方向の剛性)
- 色(Color)

圧縮のみ(Compression only) :

- 名前(Name)
- 領域(Region)
- ギャップクリアランス(Gap clearance)
- ばね剛性(Spring stiffness)

5.3 インタラクションメニュー(Interaction Menu) (続き)

圧縮のみ(Compression only) (続き) :

- 引張力(Tensile force)
- オフセット(Offset)
- 非線形(Nonlinear) : いいえ/はい(No/Yes)
- 色(Color)

剛体(Rigid body) :

- 名前(Name)
- 参照点(Reference point)
- 領域(Region)
- 色(Color)

タイ(Tie) :

- 名前(Name)
- 位置許容差(Position tolerance) — タイ拘束にスレーブノードが含まれるマスターサーフェスからの最大距離 (デフォルト : 典型的な要素サイズの 2.5%)
- 調整(Adjust) — マスターサーフェスへのスレーブノードの投影
- マスター領域(Master region)
- スレーブ領域(Slave region)
- マスターサーフェスの色(Master surface color)
- スレーブサーフェスの色(Slave surface color)

圧縮のみ拘束は内部的に、*EQUATION を介して他の有限要素に接続された GAP 要素を使用します。オフセットパラメータにより、結果の視覚化を改善するために GAP 要素のグラウンドノードをモデルから離れた位置にオフセットできます。結果では、GAP 要素は 1 つのパーツに統合されます。**重要：** 圧縮のみ拘束を使用する場合は、幾何学的非線形性 (NLGEOM) を有効にする必要があります。有効にしない場合、圧縮のみサポートは割り当てられた剛性の 1/2 になり、面ばねサポートとして機能します。

「非線形」オプションを Yes に設定すると、入力ファイルにダミーの非線形材料を追加することでこの線形化を回避することもできます。

剛体拘束は参照点が必要です。選択したノードの動きを参照点の動きに拘束するためです。選択した領域を無限剛体 (非変形) として定義するために使用されます。例えば、製造ツールのモデリング時によく使用されます。また、モデルにモーメントやリモート荷重を適用する方法としても使用できます。

剛体拘束は、ソリッドパーツのサーフェスにトルクを適用する唯一の方法です (ソリッド要素のノードには回転自由度がないため)。

タイ拘束は接着/溶接接触のように機能します。

2 つのサーフェスを解析中に離れたり相対移動したりできないように永続的に接続します。

タイ拘束は、異なるメッシュを持つパーツを接続するためによく使用されます。

接触はタイ拘束よりも複雑な 2 つのサーフェス間の相互作用です。接触しているサーフェス間の力の伝達を可能にします。ただし、接触は高度に非線形な現象であり、収束問題を引き起こす可能性があるため、慎重な使用が必要です。接触を定義する際は、まず面相互作用を作成する必要があります。3 つのオプションが利用可能です：**サーフェス挙動(Surface behavior)** — 法線接触方向の接触挙動 (圧力-すきま関係) :

5.3 インタラクションメニュー (続き) (次ページに続く)

サーフェス挙動(Surface behavior) :

- ハード(Hard)
- 線形(Linear)
- 指数(Exponential)
- 表形式(Tabular)
- タイド(Tied)

摩擦(Friction) — 接線方向の挙動 :

- 摩擦係数(Friction coefficient)
- スティックスロープ(Stick slope)

ギャップ熱伝導(Gap conductance) — 接触界面を通じた熱伝導 :

- 定数(Constant)
- 表形式(Tabular) — 圧力と温度に依存

面相互作用が作成されたら、接触ペアを定義できます。オプションは以下のとおりです :

- **名前(Name)**
- **面相互作用(Surface interaction)**
- **方法(Method) :**
 - ノード対サーフェス(Node to surface) — ノード対面のペナルティ定式化を使用します
 - サーフェス対サーフェス(Surface to surface) — 面对面のペナルティ定式化を使用します
 - モルタル(Mortar) — ラグランジュ乗数を用いた定式化を使用します。一般的により精度が高いですが、求解に時間がかかり収束問題が発生する場合があります
 - 質量なし(Massless) — 陽解法動解析内で完全硬接触のモデリングに使用します
- **スモールスライディング(微小滑り) (Small sliding)**— ノード対サーフェス方法選択時に利用可能
- **調整(Adjust)** — マスターサーフェスへのスレーブノードの投影
- **調整サイズ(Adjustment size)** — スレーブノードがマスターサーフェスに投影される距離
- **マスター領域(Master Area) / スレーブ領域(Slave Region)**
- **マスターサーフェスの色(Master Surface Color) / スレーブサーフェスの色(Slave Surface Color)**

接触の使用方法是以下の動画で紹介されています : PrePoMax & CalculiX - GUI Contact および PrePoMax (CalculiX FEA) - Tutorial 10 - Hertz contact

5.3 インタクションメニュー(Interaction Menu) (続き)

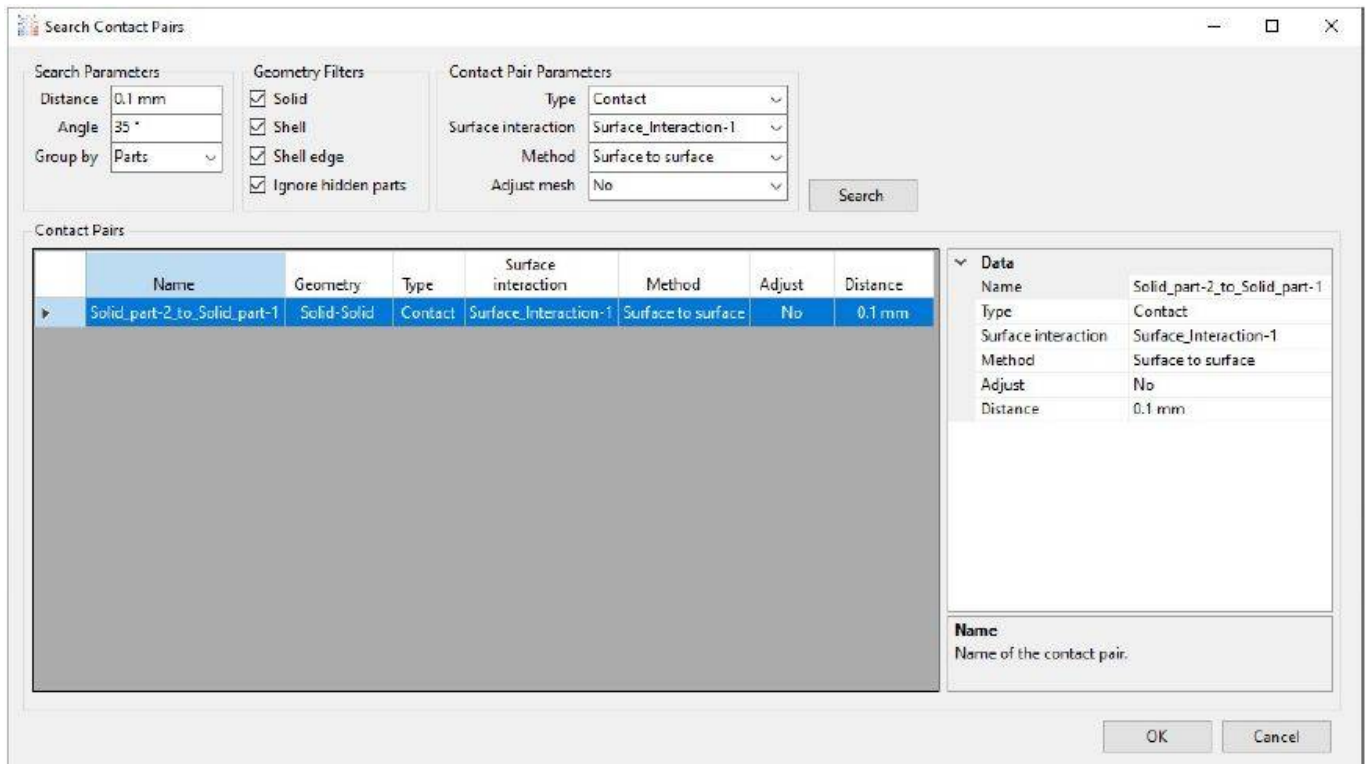


図 16：接触ペア検索ツール

図 16 に入力例とともに示された接触ペア検索ツール(Search Contact Pairs)を使用すると、接触ペア(Contact Pairs)とタイ拘束(Tie constraints)を自動的に作成できます。

「検索」ボタンをクリックすると、以下の基準を満たすサーフェスペアを検索します：

- ペア間の距離が指定距離以下であること
- ペア間の角度が指定角度以下であること

これらの基準に加えて、ペアをパーツ別にグループ化するかどうかなを選択できます。検索を実行する前に、インタクションのタイプ（接触またはタイ）を変更し、事前に作成した接触プロパティ定義を指定し、接触のタイプ（サーフェス対サーフェスまたはノード対サーフェス）を選択できます。

接触とタイの両方の作成において、調整の有効/無効を設定できます。検索後も、ツール右側のデータウィンドウを使用して上記の設定（位置許容差やペアの名前を含む）を変更できます。また、接触ペアウィンドウでペアを右クリックするとマスターとスレーブのサーフェスを入れ替えるオプションが表示されます。複数のペアが選択されると、マスター/スレーブによる統合オプションも利用可能になります。ペアを選択して Delete キーを押すと、リストから削除して作成を防止できます。

5.4 振幅メニュー(Amplitude Menu)

振幅(Amplitude)メニュー（図 17）には以下のオプションがあります：

- 作成(Create)
- 編集(Edit)
- 複製(Duplicate)
- 削除>Delete)

以下の振幅タイプと設定が利用可能です：

（次ページに続く）

5.4 振幅メニュー(Amplitude Menu) (続き)

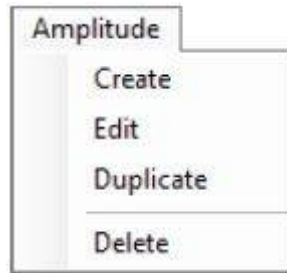


図 17：振幅メニュー

表形式(Tabular) — 時間/周波数と振幅値のデータ点を指定するために使用できます：

- プロパティ(Properties)：名前、時間スパン（ステップ時間/総時間）、時間シフト、振幅シフト
- データ点(Data Point) — 時間/周波数と振幅のペア形式の表形式データ

5.5 初期条件メニュー(Initial Condition Menu)

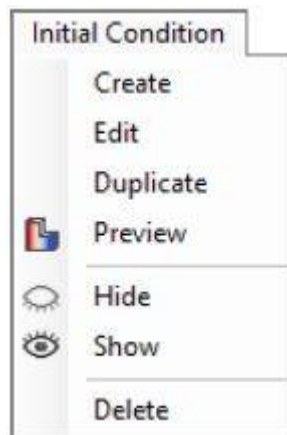


図 18：初期条件メニュー

初期条件メニュー(Initial Condition Menu) (図 18) には以下のオプションがあります：

- 作成(Create)
- 編集(Edit)
- 複製(Duplicate)
- プレビュー(Preview)
- 非表示(Hide)
- 表示>Show)
- 削除>Delete)

以下の初期条件タイプと設定が利用可能です：

(次ページに続く)

5.5 初期条件メニュー(Initial Condition Menu) (続き)

温度(Temperature) — 熱解析または熱-機械連成解析の開始時の温度を指定するために使用できます：

- 名前(Name)
- 領域(Region)
- 温度(Temperature)
- 色(Color)

速度(Velocity) — 動解析の開始時の速度を指定するために使用できます：

- 名前(Name)
- 領域(Region)
- 速度成分(Velocity components)
 - V1 (X 軸方向の速度)
 - V2 (Y 軸方向の速度)
 - V3 (Z 軸方向の速度)
- 大きさ(Magnitude) — 合成速度 (速度成分を指定すると自動的に計算されます)
- 色(Color)

角速度(Angular velocity) — 動解析の開始時の角速度を指定するために使用できます：

- 名前(Name)
 - 領域(Region)
 - 回転中心座標(Rotation axis components)
 - X (軸点の X 座標)
 - Y (軸点の Y 座標)
 - Z (軸点の Z 座標)
 - 回転軸成分(Rotation axis components)：
 - N1 (第 1 軸方向の軸成分)
 - N2 (第 2 軸方向の軸成分)
 - N3 (第 3 軸方向の軸成分)
 - 大きさ(Magnitude) — 点と方向で定義された軸周りの角速度の値
 - 色(Color)
-

5.6 ステップメニュー(Step Menu)

ステップメニュー(Step Menu) (図 19) には以下のオプションがあります：

ステップ(Step)：

- 作成(Create)
- 編集(Edit)
- コントロールの編集(Edit Controls) — 高度なソルバーコントロール (*CONTROLS キーワード) を変更できるステップコントロールエディタを開きます。利用可能なコントロール：リセット、時間インクリメント、フィールド、接触。これらの設定は最後の手段としてのみ、かつその意味を完全に理解した上で変更してください。

(次ページに続く)

5.6 ステップメニュー(Step Menu) (続き)



図 19：ステップメニュー

ステップ(Step) (続き)：

- 複製(Duplicate)
- 削除>Delete)

履歴出力(History Output)：

- 作成(Create)
- 編集(Edit)
- 複製(Duplicate)
- 伝播(Propagate) — 定義を後続のステップに伝播します
- 削除>Delete)

フィールド出力(Field Output)：

- 作成(Create)
- 編集(Edit)
- 複製(Duplicate)
- 伝播(Propagate) — 定義を後続のステップに伝播します
- 削除>Delete)

BC (境界条件)：

- 作成(Create)
- 編集(Edit)
- 複製(Duplicate)
- 伝播(Propagate) — 定義を後続のステップに伝播します
- 非表示(Hide)
- 表示>Show)
- 削除>Delete)

荷重(Load)：

- 作成(Create)
- 編集(Edit)
- 複製(Duplicate)
- プレビュー(Preview) — 結果タブでコンタープロットとして圧力荷重をプレビューするために使用できます。特に静水圧やインポート圧力荷重に便利です

(次ページに続く)

5.6 ステップメニュー(Step Menu) (続き)

荷重(Load) (続き) :

- 伝播(Propagate) — 定義を後続のステップに伝播します
- 非表示(Hide)
- 表示>Show)
- 削除>Delete)

定義済みフィールド(Defined Field) :

- 作成(Create)
- 編集(Edit)
- 複製(Duplicate)
- 伝播(Propagate) — 定義を後続のステップに伝播します
- プレビュー(Preview) — 結果タブでコンタープロットとして定義済み温度フィールドをプレビューするために使用できます。特に結果 (.frd) ファイルから定義されたフィールドに便利です
- 削除>Delete)

5.6.1 ステップ(Step)

PrePoMax で利用可能なステップタイプとそのオプションは以下のとおりです :

静解析ステップ(Static step) :

- 名前(Name)
- ソルバー(Solver) : デフォルト、PaStiX、Pardiso、Spooles、反復スケーリング、反復 Cholesky
- Nlgeom : オン/オフ (幾何学的非線形性 — 大変形および大変位の有効/無効)
- インクリメント(Incrementation) : デフォルト/自動/直接(Default/Automatic/Direct)
(以下のインクリメントオプションは自動インクリメント用)
- 最大インクリメント数(Max increments) — ステップ内の最大インクリメント数
- 時間周期(Time period) — ステップの時間周期
- 初期時間インクリメント(Initial time increment) — ステップ内の時間インクリメントの初期値
- 最小時間インクリメント(Min time increment) — 許容される最小時間インクリメント
- 最大時間インクリメント(Max time increment) — 許容される最大時間インクリメント
- 出力頻度(Output frequency) — N 番目のインクリメントの結果のみを保存することを示す整数 N

スリップ摩耗ステップ(Slip wear step) :

- 名前(Name)
- ソルバー(Solver) : デフォルト、PaStiX、Pardiso、Spooles、反復スケーリング、反復 Cholesky
- Nlgeom : オン/オフ (幾何学的非線形性 — 大変形および大変位の有効/無効)
- インクリメント(Incrementation) : デフォルト/自動/直接(Default/Automatic/Direct)
(以下のオプションは自動インクリメント用)
- 最大インクリメント数(Max increments) — ステップ内の最大インクリメント数
- 時間周期(Time period) — ステップの時間周期
- 初期時間インクリメント(Initial time increment) — ステップ内の時間インクリメントの初期値

(次ページに続く)

5.6.1 ステップ(Step) (続き)

スリップ摩耗ステップ(Slip wear step) (続き) :

- 最小時間インクリメント (Min time increment) — 許容される最小時間インクリメント
- 最大時間インクリメント (Max time increment) — 許容される最大時間インクリメント
- 出力頻度 (Output frequency) — N 番目のインクリメントの結果のみを保存することを示す整数 N

境界変位ステップ(Boundary displacement step) :

- 名前 (Name)
- 出力頻度 (Output frequency) — N 番目のインクリメントの結果のみを保存することを示す整数 N

周波数ステップ(Frequency step) :

- 名前 (Name)
- ソルバー : デフォルト、PaStiX、Pardiso、Spooles、反復スケーリング、反復 Cholesky
- 摂動 (Perturbation) : オン/オフ (オンに設定すると、前の静解析ステップからの予荷重を含めることができます)
- ストレージ (Storage) : はい/いいえ — 固有値、固有モード、質量行列、剛性行列をバイナリ形式で jobname.eig ファイルに保存し、定常状態動解析またはモーダル動解析ステップで使します
- 振動数の数 (Number of frequencies) — 計算する固有振動数の数
- 振動数下限 (Lower frequency bound) — 振動数範囲の下限
- 振動数上限 (Upper frequency bound) — 振動数範囲の上限
- 出力頻度 (Output frequency) — N 番目のインクリメントの結果のみを保存することを示す整数 N

座屈ステップ(Buckle step) :

- 名前 (Name)
- ソルバー (Solver) : デフォルト、PaStiX、Pardiso、Spooles、反復スケーリング、反復 Cholesky
- 摂動 (Perturbation) : オン/オフ (オンに設定すると、前の静解析ステップからの予荷重を含めることができます)
- 座屈係数の数 (Num of buckling factors) — 求める座屈係数の数 (デフォルト : 1)
- 精度 (Accuracy) — 求める精度 (デフォルト : 0.01)
- 出力頻度 (Output frequency) — N 番目のインクリメントの結果のみを保存することを示す整数 N

モーダル動解析ステップ(Modal dynamics step) :

- 名前 (Name)
- ソルバー : デフォルト、PaStiX、Pardiso、Spooles、反復スケーリング、反復 Cholesky
- 摂動 (Perturbation) : オン/オフ (オンに設定すると、前の静解析ステップからの予荷重を含めることができます)
- 定常状態 (Steady state) : オン/オフ (定常状態に達するまでモーダル動解析計算を継続するために使えます)
- 減衰タイプ (Damping type)
 - なし (Off)
 - 定数 (Constant) : 減衰比 (Damping ratio)

(次ページに続く)

5.6.1 ステップ(Step) (続き)

モーダル動解析ステップ(Modal dynamics step) (続き) :

- 直接(Direct) : 減衰比 (テーブル : 最低モード、最高モード、減衰比)
- レイリー(Rayleigh) : アルファ、ベータ
- 最大インクリメント数(Max increments) — ステップ内の最大インクリメント数
- 初期時間インクリメント(Initial time increment) — ステップ内の時間インクリメントの初期値
- 時間周期(Time period) — ステップの時間周期 (定常状態がオフの場合) または相対誤差 — 解が定常状態とみなされるための相対誤差(Relative error) (定常状態がオンの場合)
- 出力頻度(Output frequency) — N 番目のインクリメントの結果のみを保存することを示す整数 N

定常状態動解析ステップ(Steady state dynamics step) :

- 名前(Name)
- ソルバー(Solver) : デフォルト、PaStiX、Pardiso、Spooles、反復スケーリング、反復 Cholesky
- 摂動(Perturbation) : オン/オフ (オンに設定すると、前の静解析ステップからの予荷重を含めることができます)
- 調和(Harmonic) : はい/いいえ (調和周期荷重と非調和周期荷重を切り替えます)
- 振動数下限(Lower frequency bound) — 振動数範囲の下限
- 振動数上限(Upper frequency bound) — 振動数範囲の上限
- データ点数(Number of data points) — 振動数範囲内のデータ点数
- バイアス(Bias) — 振動数範囲内のデータ点の分布バイアス (等間隔の場合は 1)
- 減衰タイプ(Damping type) :
 - なし(Off)
 - 定数(Constant) (減衰比)
 - 直接(Direct) (減衰比テーブル : 最低モード、最高モード、減衰比)
 - レイリー(Rayleigh) (アルファ、ベータ)
- 出力頻度(Output frequency) — N 番目のインクリメントの結果のみを保存することを示す整数 N

動解析ステップ(Dynamic step) :

- 名前(Name)
- ソルバー(Solver) : デフォルト、PaStiX、Pardiso、Spooles、反復スケーリング、反復 Cholesky
- Nlgeom : オン/オフ (幾何学的非線形性 — 大変形および大变位の有効/無効)
- アルファ — 数値減衰量 (-1/3 から 0 の間)
- 解法手順 :
 - 陰解法/陰解法 — 陰解法構造および陰解法流体計算 (現在未サポート)
 - 陰解法/陽解法 — 陰解法構造および陽解法流体計算 (現在未サポート)
 - 陽解法/陰解法 — 陽解法構造および陰解法流体計算 (現在未サポート)
 - 陽解法/陽解法 — 陽解法構造および陽解法流体計算 (現在未サポート)

(次ページに続く)

5.6.1 ステップ(Step) (続き)

動解析ステップ(Dynamic step) (続き) :

- 相対から絶対(Relative to absolute) : オン/オフ (前のステップの座標系が回転系に付随していて、現在の動解析ステップの座標系を絶対座標系にする必要がある場合に有効にします)
- 減衰タイプ(Damping type)
 - なし(Off)
 - レイリー(Rayleigh) (アルファ、ベータ)
- インクリメンテーション (Incrementation) : デフォルト/自動/直接(Default/Automatic/Direct)
(以下のインクリメントオプションは自動インクリメント用)
- 最大インクリメント数(Max increments) : ステップ内での最大増分 (インクリメント) 数
- 時間周期(Time period) : ステップの継続時間
- 初期時間インクリメント(Initial time increment) : ステップ開始時の初期時間増分値
- 最小時間インクリメント(Min time increment) (陽解法動解析でマススケーリングを使用する場合は目的の最小時間インクリメントに設定) : 許容される最小の時間増分。陽解法動的解析において質量スケーリング (mass scaling) を使用する場合は、希望する最小値を設定する必要があります
- 最大時間インクリメント(Max time increment) : 許容される最大の時間増分
- 出力頻度(Output frequency) — N 番目のインクリメントの結果のみを保存することを示す整数 N

熱伝導解析ステップ(Heat transfer step) :

- 名前(Name)
- ソルバー(Solver) : デフォルト、PaStiX、Pardiso、Spooles、反復スケーリング、反復 Cholesky
- 定常状態(Steady state) : はい/いいえ — 定常状態解析と過渡解析の切り替え
- インクリメント(Incrementation) : デフォルト/自動/直接(Default/Automatic/Direct)
(以下のオプションは「自動」設定時のものです)
- 最大インクリメント数(Max increments) (ステップ内での最大増分回数)
- 時間周期(Time period) (ステップの合計時間)
- 初期時間インクリメント(Initial time increment) (ステップ開始時の初期時間増分値)
- 最小時間インクリメント(Min time increment) (許容される最小の時間増分)
- 最大時間インクリメント(Max time increment) (許容される最大の時間増分)
- 出力頻度(Output frequency) — N 番目のインクリメントの結果のみを保存することを示す整数 N

非連成温度-変位ステップ(Uncoupled temperature-displacement step) :

- 名前(Name)
- ソルバー(Solver) : デフォルト、PaStiX、Pardiso、Spooles、反復スケーリング、反復 Cholesky
- Nlgeom : オン/オフ (幾何学的非線形性 — 大変形および大变位の有効/無効)
- 定常状態(Steady state) : はい/いいえ — 定常状態解析と過渡解析の切り替え
- インクリメント(Incrementation) : デフォルト/自動/直接(Default/Automatic/Direct)
(以下のオプションは「自動」設定時のものです)
- 最大インクリメント数(Max increments) (ステップ内での最大増分回数)
- 時間周期(Time period) (ステップの合計時間)
- 初期時間インクリメント(Initial time increment) (ステップ開始時の初期時間増分値)
- 最小時間インクリメント(Min time increment) (許容される最小の時間増分)

(次ページに続く)

5.6.1 ステップ(Step) (続き)

非連成温度-変位ステップ(Uncoupled temperature-displacement step) (続き) :

- 最大時間インクリメント(Max time increment) — 許容される最大時間インクリメント
- 出力頻度(Output frequency) — N 番目のインクリメントの結果のみを保存することを示す整数 N

連成温度-変位ステップ(Coupled temperature-displacement step) :

- 名前(Name)
- ソルバー(Solver) : デフォルト、PaStiX、Pardiso、Spooles、反復スケーリング、反復 Cholesky
- NIgeom : オン/オフ (幾何学的非線形性 — 大変形および大变位の有効/無効)
- 定常状態(Steady state) : はい/いいえ — 定常状態解析と過渡解析の切り替え
- インクリメント(Incrementation) : デフォルト/自動/直接(Default/Automatic/Direct)

(以下のオプションは「自動」設定時のものです)

- 最大インクリメント数(Max increments) (ステップ内での最大増分回数)
- 時間周期(Time period) (ステップの合計時間)
- 初期時間インクリメント(Initial time increment) (ステップ開始時の初期時間増分値)
- 最小時間インクリメント(Min time increment) (許容される最小の時間増分)
- 最大時間インクリメント(Max increments) (許容される最大の時間増分)
- 出力頻度(Output frequency) N 番目のインクリメントの結果のみを保存することを示す整数 N

デフォルトのインクリメントと振幅を使用する際は注意が必要です — インクリメントは振幅データ点の広がり範囲を考慮して自動的に調整されません。時間周期、初期および最大時間インクリメントを適切に変更する必要があります。

スリップ摩耗ステップ(The slip wear step)と境界変位ステップ(The boundary displacement step)

(スリップ摩耗ステップを追加した後にのみ利用可能) は標準的な CalculiX 解析手順ではないため、追加の説明が必要です。これらは Archard モデル[1]に基づいており、接触面間の進行する滑り摩耗を推定するために使用できます。この線形モデルは摩耗プロセスによって除去される材料の体積を予測します。モデルは複数の摩耗サイクル中の接触面のジオメトリ変化を無視するため、マルチステップ数値解析手法を使用して摩耗パラメータをより正確に決定できます。Archard の摩耗モデルは乾燥条件での金属間の摩耗実験結果に基づいて開発されました。通常、モデルは以下のように記述されます :

$$V = k \cdot (F/H) \cdot s \cdots \cdots (1)$$

ここで : V = 摩耗体積、 k = 無次元摩耗係数、 F = 法線接触荷重、 H = 摩耗面の硬さ、 s = 滑り距離
各摩耗サイクルの摩耗深さを計算するマルチステップ数値解析手法で使用するために、この式を以下の形式に書き直す必要があります[2] :

$$h_i = k \int (k/H) \cdot p_i \cdot ds \cdots \cdots (2)$$

ここで : h_i = i 番目の摩耗サイクルで蓄積された摩耗深さ、 p_i = 法線接触圧力

複数の摩耗サイクル後の摩耗深さは、すべての単一サイクルの摩耗深さの合計によって計算されます。PrePoMax における滑り摩耗解析の実装はモデルジオメトリ、境界条件、荷重に関して汎用的であり、以下の仮定が含まれています :

- パーツ間の連続的な摩耗プロセスは、繰り返しの摩耗サイクルに離散化できます

(次ページに続く)

5.6.1 ステップ(Step) (続き)

スリップ摩耗解析の仮定 (続き) :

- 摩耗は接触ペアの軟らかい方の面にのみ発生します
- 1 回の摩耗サイクル中は接触面のジオメトリは変化しません
- 無次元摩耗係数は摩耗プロセス全体を通じて一定のままです

これらの仮定に基づいて、まず単一の摩耗ステップの有限要素モデルが準備されます。モデルは時間経過に伴う接触条件の変化を正確に捉える必要があるため、非線形時間依存解析が必要です。摩耗の計算は解析の完了後に開始されます。摩耗パラメータのすべての計算は、摩耗サイクル中に接触しているスレーブ面の有限要素ノードで行われます。ノードの圧力とすべり量は接触圧力・すべりフィールドから計算されます。次に、式(2)と接触ノードの材料特性を使用してノードの摩耗深さが計算されます。

1 回の摩耗サイクルの処理は、摩耗によって定義される接触面ジオメトリの変化（ノード摩耗変位）の計算で完了します。単一サイクルの摩耗変位は、スカラーのノード摩耗深さ値にノード面法線を乗じることで計算されます。1 サイクルの摩耗変位は前の摩耗サイクルの摩耗変位に加算されます。

累積摩耗変位は次の摩耗サイクルのモデル準備時に考慮されます。モデルの初期有限要素メッシュは、モデル境界条件を考慮した累積ノード摩耗変位によって更新されます。摩耗変位成分が計算されるノード自由度にゼロ境界条件が規定されている場合、その摩耗変位成分はゼロに設定されます。これにより対称摩耗モデルの解析が可能になります。この手順は最終摩耗サイクル数に達するまで繰り返されます。

参考文献(References) :

1. J. F. Archard and W. Hirst, "The wear of metals under unlubricated conditions", Proc. R. Soc. London. Ser. A. Math. Phys. Sci., vol. 236, no. 1206, 1956.
2. X. Shen, L. Cao, and R. Li, "Numerical simulation of sliding wear based on Archard model", in 2010 International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering, MACE2010, 2010.

5.6.2 履歴出力(History Output)

履歴出力はポストプロセッシングで X-Y プロットを生成するために使用されます。利用可能なオプション :

ノード出力(Node Output) :

- 名前(Name)
- 出力変数(Variables to output)
 - RF (反力) (reaction forces)
 - U (変位) (displacements)
 - V (速度) (velocities)
 - NT (温度) (temperatures)
 - RFL (外部集中熱源) (external concentrated heat sources)
- 合計(Totals) : はい/のみ/いいえ — 外力に適用されるパラメータ。セット内のすべてのノードの合計値の出力を有効にします
- グローバル(Global) : はい/いいえ — 結果をグローバル座標系またはローカル座標系のどちらで保存するか
- 領域(Region) — 履歴出力を作成する領域

要素出力(Variables To Output)

(次ページに続く)

5.6.2 履歴出力(History Output) (続き)

要素出力(Element To Output) :

- 名前(Name)
- 出力変数(Variables to output)
 - S (真応力/Cauchy 応力) ((Cauchy) stress)
 - E (全 Lagrange ひずみまたは全 Euler ひずみ) (total Lagrangian strain or total Eulerian strain)
 - ME (機械的 Lagrange ひずみまたは機械的 Euler ひずみ) (mechanical Lagrangian strain or mechanical Eulerian strain)
 - PEEQ (相当塑性ひずみ) (equivalent plastic strain)
 - HFL (熱流束) (heat flux)
 - ENER (エネルギー密度) (energy density)
 - ELSE (内部エネルギー) (internal energy)
 - ELKE (運動エネルギー) (kinetic energy)
 - EVOL (体積) (volume)
 - EBHE (加熱量) (heating power)
 - SDV (内部状態変数) (internal state variables)
- 合計(Totals) : はい/のみ/いいえ — 全要素変数 (ELSE、EVOL) に適用されるパラメータ。
セット内のすべての要素の合計値の出力を有効にします
- グローバル(Global) : はい/いいえ — 結果をグローバル座標系またはローカル座標系のどちらで保存するか
- 領域(Region) — 履歴出力を作成する領域

接触出力(Contact Output) :

- 名前(Name)
- 出力変数(Variables to output)
 - CDIS (相対接触変位) (relative contact displacements)
 - CSTR (接触応力) (contact stresses)
 - CELS (接触エネルギー) (contact energy)
 - CNUM (接触要素の総数) (total number of contact elements)
 - CF (スレーブ面の総接触力) (total contact forces on slave surface)
- 合計(Totals) : はい/のみ/いいえ — エネルギー (CELS) に適用されます
- 接触ペア(Contact pair) — 履歴出力を作成する接触ペア

注意:デフォルトでは履歴出力は作成されません。

5.6.3 フィールド出力(Field Output)

フィールド出力はコンタープロットの作成に使用されます。利用可能なオプション :

ノード出力(Node Output) :

- 名前(Name)
- 最終反復(Last iterations) : オン/オフ — デフォルトで無効。オンにすると、最後のインクリメントのすべての反復の結果が ResultsForLastIterations.frd という名前の別ファイルに保存されます。
発散する解析のデバッグに役立ちます
- 接触要素(Contact elements) : 真/偽 — デフォルトで無効。オンにすると、接触要素が.cel 拡張子のファイルに保存され、結果に表示されます
- 出力変数(Variables to output)
 - RF (反力) (reaction forces)
 - U (変位) (displacements)

5.6.3 フィールド出力(Field Output) (続き)

ノード出力(Node Output) (続き) の出力変数：

- PU — 変位の大きさと位相(displacements magnitude and phase)
- V — 速度(velocities)
- NT — 温度(temperatures)
- PNT — 温度の大きさと位相(temperatures magnitude and phase)
- RFL — 外部集中熱源(external concentrated heat sources)
- グローバル：はい/いいえ — 結果をグローバル座標系またはローカル座標系のどちらで保存するか

要素出力(Element Output)：

- 名前(Name)
- 最終反復(Last iterations)：オン/オフ — デフォルトで無効。オンにすると最後のインクリメントのすべての反復の結果が ResultsForLastIterations.frd という名前の別ファイルに保存されます
- 接触要素(Contact elements)：真/偽 — デフォルトで無効。オンにすると接触要素が.cel 拡張子のファイルに保存され結果に表示されます
- 出力(Output) (2D/3D)：
 - デフォルト(Default) — シェル要素の結果は展開された 3D 形式で表示され、平面応力/ひずみおよび軸対称要素の結果は元の 2D 形式で表示されます
 - 2D — すべての種類の 2D 要素の結果が元の 2D 形式で表示されます
 - 3D — すべての種類の 2D 要素の結果が展開された 3D 形式で表示されます
- 出力変数(Variables to output)
 - S (応力) (stresses)
 - PHS (応力の大きさと位相) (stresses magnitude and phase)
 - E (全ひずみ) (total strains)
 - ME (機械的ひずみ) (mechanical strains)
 - PEEQ (相当塑性ひずみ) (equivalent plastic strain)
 - ENER (エネルギー密度) (energy density)
 - HFL (熱流束) (heat flux)
 - ERR (応力計算の外挿誤差推定量 ※ERR と ZZS は相互排他的)
 - HER (熱計算の外挿誤差推定量 ※HER と ZZS は相互排他的)
 - ZZS (Zienkiewicz-Zhu 改良応力 ※ZZS と ERR は相互排他的)
 - SDV (内部状態変数) (internal state variables)
- グローバル：はい/いいえ — 結果をグローバル座標系またはローカル座標系のどちらで保存するか

接触出力(Contact Output)：

- 名前(Name)
- 最終反復(Last iterations)：オン/オフ — デフォルトで無効。オンにすると最後のインクリメントのすべての反復の結果が ResultsForLastIterations.frd という名前の別ファイルに保存されます
- 出力変数(Variables to output)
 - CDIS (相対接触変位) (relative contact displacements)
 - CSTR (接触応力) (contact stresses)
 - PCON (振動数計算の接触状態) (contact states for frequency calculations)

補足:モデルに追加された各新しいステップには、デフォルトのフィールド出力が作成されます。

5.6.4 境界条件(BC)

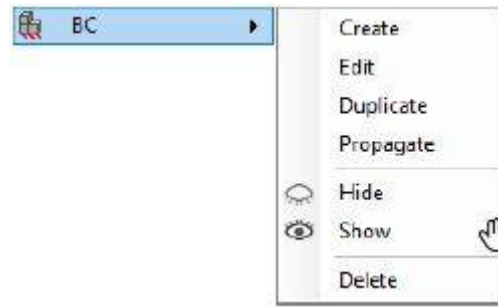


図 20：境界条件サブメニュー

境界条件 (BC) サブメニュー (図 20) には以下のオプションがあります：

- 作成(Create)
- 編集(Edit)
- 複製(Duplicate)
- 伝播(Propagate)
- 非表示/表示(Hide/Show)
- 削除>Delete)

利用可能な境界条件タイプと設定は以下のとおりです：

固定(Fixed)：

- 名前(Name)
- 領域(Region)
- 色(Color)

変位/回転(Displacement/Rotation)：

- 名前(Name)
- 領域(Region)
- 自由度 (DOF)：
 - U1 — X 軸方向の並進
 - U2 — Y 軸方向の並進
 - U3 — Z 軸方向の並進
 - UR1 — X 軸周りの回転
 - UR2 — Y 軸周りの回転
 - UR3 — Z 軸周りの回転
- 振幅(Amplitude)
- 座標系(Coordinate system) — グローバルまたはユーザー定義
- 色(Color)

サブモデル(Submodel)

(次ページに続く)

5.6.4 境界条件(BC) (続き)

サブモデル(Submodel) (続き) :

- 名前(Name)
- ステップ番号(Step number) — 変位を読み取るグローバルモデルのステップ番号
- 領域(Region)
- 自由度 (DOF)
 - U1 (X 軸方向の並進)
 - U2 (Y 軸方向の並進)
 - U3 (Z 軸方向の並進)
 - UR1 (X 軸周りの回転)
 - UR2 (Y 軸周りの回転)
 - UR3 (Z 軸周りの回転)
- 色(Color)

温度(Temperature) :

- 名前(Name)
- 領域(Region)
- 大きさ(Magnitude)
- 振幅(Amplitude)
- 色(Color)

固定境界条件は利用可能なすべての自由度 (DOF) を拘束します。変位/回転境界条件では個々の DOF を選択できます。各 DOF に対して以下のオプションが利用可能です：

- **拘束なし(Unconstrained)** — この DOF に境界条件を課しません
- **固定(Fixed)** — 前のステップからの変形を固定するか、前のステップがない場合はゼロに設定します
- **値(Value)** (長さ単位/角度単位) — 変位の規定値
(並進 DOF には現在の長さ単位、回転 DOF にはラジアン)

固定オプションと値オプションは同じ境界条件内の各 DOF に同時に使用できないことに注意してください。サブモデル境界条件の場合、各 DOF には「拘束なし」と「グローバルモデルから」の2つのオプションがあります。

5.6.5 荷重(Load)

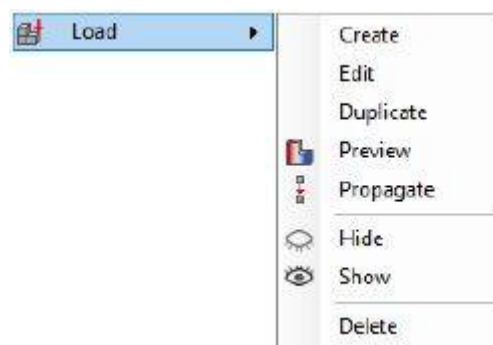


図 21：荷重サブメニュー

(次ページに続く)

5.6.5 荷重(Load) (続き)

荷重サブメニュー(Load Sub Menu) (図 21) には以下のオプションがあります：

- 作成(Create)
- 編集(Edit)
- 複製(Duplicate)
- プレビュー(Preview)
- 伝播(Propagate)
- 非表示/表示(Hide/Show)
- 削除>Delete)

荷重のタイプとそのオプションは以下のとおりです(The types of loads and their options are listed below)：

集中荷重(Concentrated force)：

- 名前(Name)
- 領域(Region)
- 力の成分(Force components) — ノードあたりの集中力の成分：
 - F1 (X 軸方向の力)
 - F2 (Y 軸方向の力)
 - F3 (Z 軸方向の力)
- 大きさ(Magnitude) — 合成力 (力の成分を指定すると自動的に計算されます)
- 位相(Phase) — 力の位相 (定常状態動解析のみ)
- 振幅(Amplitude)
- 座標系(Coordinate system) — グローバルまたはユーザー定義
- 色(Color)

モーメント(Moment)：

- 名前(Name)
- 領域(Region)
- モーメント成分(Moment components) — ノードあたりのモーメントの成分：
 - M1 (X 軸周りのモーメント)
 - M2 (Y 軸周りのモーメント)
 - M3 (Z 軸周りのモーメント)
- 大きさ(Magnitude) — 合成モーメント (モーメントの成分を指定すると自動的に計算されます)
- 位相(Phase) — モーメントの位相 (定常状態動解析のみ)
- 振幅(Amplitude)
- 色(Color)

均一圧力(Uniform pressure)：

- 名前(Name)
- 領域(Region)

(次ページに続く)

5.6.5 荷重(Load) (続き)

均一圧力(Uniform pressure) (続き) :

- 大きさ(Magnitude) — 圧力荷重の値
- 位相(Phase) — 圧力の位相 (定常状態動解析のみ)
- 振幅(Amplitude)
- 色(Color)

静水圧(Hydrostatic pressure) :

- 名前(Name)
- 領域(Region)
- 第 1 点の座標(First point coordinates) (選択または座標の直接入力) :
 - X
 - Y
 - Z
- 第 1 点の圧力大きさ(First point magnitude) — 第 1 点での圧力の大きさ
- 第 2 点の座標(Second point coordinates) (選択または座標の直接入力) :
 - X
 - Y
 - Z
- 第 2 点の圧力大きさ(Second point pressure magnitude) — 第 2 点での圧力の大きさ
- 圧力変化方向(Pressure change direction) (2 点の選択または方向成分で指定) :
 - N1 (第 1 軸方向の方向成分)
 - N2 (第 2 軸方向の方向成分)
 - N3 (第 3 軸方向の方向成分)
- 位相(Phase) — 圧力の位相 (定常状態動解析のみ)
- カットオフ(Cutoff) : なし/正のカットオフ/負のカットオフ — 正のカットオフはすべての正の圧力値を 0 に設定し、負のカットオフはすべての負の圧力値を 0 に設定します
- 振幅(Amplitude)
- 色(Color)

インポート圧力(Imported pressure) :

- 名前(Name)
- 領域(Region)
- ファイルからインポート — 圧力結果をインポートする OpenFOAM (.foam) ファイル
- 補間方法(Interpolator) : 最近接ノードまたは最近接点 — 最近接ノード法はソースメッシュの最近接ノードの値を使用し、最近接点法は最近接 3 つのノード値を補間します
- 大きさ係数(Magnitude factor) — 圧力大きさのスケールファクター
- 位相(Phase) — 圧力の位相 (定常状態動解析のみ)
- スケールファクター(Scale factor) — インポートジオメトリのスケールファクター
- 振幅(Amplitude)
- 色(Color)

面トラクション(Surface traction) :

(次ページに続く)

5.6.5 荷重(Load) (続き)

面トラクション(Surface traction) (続き) :

- 名前(Name)
- 領域(Region)
- 力の成分(Force components) :
 - F1 (X 軸方向の力)
 - F2 (Y 軸方向の力)
 - F3 (Z 軸方向の力)
- 大きさ(Magnitude) — 合成力 (力の成分を指定すると自動的に計算されます)
- 位相(Phase) — 面トラクションの位相 (定常状態動解析のみ)
- 振幅(Amplitude)
- 座標系(Coordinate system) — グローバルまたはユーザー定義
- 色(Color)

インポート面トラクション(Imported surface traction) :

- 名前(Name)
- 領域(Region)
- ファイルからインポート — 面トラクション結果をインポートするファイル
- 補間方法(Interpolator) : 最近接点、ガウス、Shepard — 補間タイプ
- 補間半径(Interpolator radius) — 補間カーネル半径 (ガウスおよび Shepard 補間方法のみ適用)
- 大きさ係数(Magnitude factor) — 面トラクション大きさのスケールファクター
- 位相(Phase) — 面トラクションの位相 (定常状態動解析のみ)
- スケールファクター(Scale factor) — インポート座標のスケールファクター
- 振幅(Amplitude)
- 座標系(Coordinate system) — グローバルまたはユーザー定義
- 色(Color)

法線シェルエッジ荷重(Normal shell edge load) :

- 名前(Name)
- 領域(Region)
- 大きさ(Magnitude) — シェルエッジ荷重の値
- 位相(Phase) — エッジ荷重の位相 (定常状態動解析のみ)
- 振幅(Amplitude)
- 色(Color)

重力(Gravity) :

- 名前(Name)
- 領域(Region)
- 重力加速度の成分(Gravity components) :
 - F1 (X 軸方向の重力加速度)
 - F2 (Y 軸方向の重力加速度)
 - F3 (Z 軸方向の重力加速度)

(次ページに続く)

5.6.5 荷重(Load) (続き)

重力(Gravity) (続き) :

- 大きさ(Magnitude) — 合成加速度 (力の成分を指定すると自動的に計算されます)
- 位相(Phase) — 重力荷重の位相 (定常状態動解析のみ)
- 振幅(Amplitude)
- 色(Color)

遠心荷重(Centrifugal load) :

- 名前(Name)
- 領域(Region)
- 回転中心座標(Rotation center coordinates) (選択または座標の直接入力) :
 - X
 - Y
 - Z
- 回転軸成分(Rotation axis components) :
 - N1 (X 軸方向の軸成分)
 - N2 (Y 軸方向の軸成分)
 - N3 (Z 軸方向の軸成分)
- 大きさ(Magnitude) — 点と方向で定義された軸周りの回転速度
- 位相(Phase) — 回転速度の位相 (定常状態動解析のみ)
- 振幅(Amplitude)
- 色(Color)

初期張力 (プリテンション) (Pre-tension) :

- 名前(Name)
- タイプ : 力/変位(Type: Force/Displacement)
- 領域(Region)
- 自動計算(Auto compute) : はい/いいえ — プリテンション方向の自動計算
- 大きさ(Magnitude) — プリテンション荷重の力または変位の大きさ
- 振幅(Amplitude)
- 色(Color)

集中フラックス(Concentrated flux) :

- 名前(Name)
- フラックスを追加(Add flux) : はい/いいえ — 以前に定義されたフラックスにフラックスを追加します
- 領域(Region)
- フラックス(Flux) — ノードあたりのフラックスの値
- 振幅(Amplitude)
- 色(Color)

面フラックス(Surface flux) :

- 名前(Name)
- 領域(Region)

(次ページに続く)

5.6.5 荷重(Load) (続き)

面フラックス(Surface flux) (続き) :

- 単位面積あたりのフラックス(Flux per area)
- 振幅(Amplitude)
- 色(Color)

体積フラックス(Body flux) :

- 名前(Name)
- 領域(Region)
- 単位体積あたりのフラックス(Flux per area)
- 振幅(Amplitude)
- 色(Color)

対流フィルム(Convective film) :

- 名前(Name)
- 領域(Region)
- シンク温度(Sink temperature)
- フィルム係数(Film coefficient)
- シンク振幅(Sink amplitude) — シンク温度の振幅
- 係数振幅(Coefficient amplitude) — フィルム係数の振幅
- 色(Color)

放射(Radiation) :

- 名前(Name)
- 空洞放射(Cavity radiation) : はい/いいえ — 選択したサーフェスを空洞内の放射に属させるオプション (このオプションを Yes に設定する場合は空洞名を指定する必要があります)
- 領域(Region)
- シンク温度(Sink temperature)
- 放射率(Emissivity) — サーフェスの放射率。黒体放射は 1 で表されます
- シンク振幅(Sink amplitude) — シンク温度の振幅
- 放射率振幅(Emissivity amplitude) — 放射率の振幅
- 色(Color)

集中荷重(Concentrated force)は、選択した領域に属する各ノードに指定された力を適用します。そのため、この荷重をサーフェスに適用すると、そのサーフェス上の各ノードに指定された力が作用することになり、通常これは望ましくありません。サーフェスに力を適用するには面トラクション荷重(Surface traction)を使用する必要があります。

静水圧(Hydrostatic pressure)は、座標が指定された 2 点での圧力の大きさと圧力増加方向

(2 点の選択またはベクトル成分の直接入力で指定) を使用して定義されます。このツールは静水圧だけでなく、流体の存在に関係しない一般的な線形分布荷重 (三角形または台形) の定義にも使用できます。

インポート圧力は、OpenFOAM CFD シミュレーションの圧力結果を構造解析の荷重として使用します。

ASCII およびバイナリ形式の OpenFOAM 結果の両方がサポートされています。.foam 拡張子のファイルが必要です。

(次ページに続く)

5.6.5 荷重(Load) (続き)

このタイプの荷重には、foam 拡張子のファイルが必要です。これは OpenFOAM 結果のフォルダにアクセスするための空の (ダミー) ファイルです。OpenFOAM 解析に並列処理を使用した場合は、CFD シミュレーション後に reconstructPar コマンドを使用して各プロセッサの結果を統合する必要があります。CFD 解析でを使用したものと同じジオメトリファイルをインポートする必要はありませんが、ジオメトリは 3D 空間内の同じ位置にあり、OpenFOAM で使用したものと同じ長さ単位を使用する必要があります。OpenFOAM の結果の圧力が動圧 (圧力を密度で割ったもの) として与えられる場合があるため、単位に注意が必要です。スケールファクターでこれを補正できます。

プレビューオプションにより、インポートされた圧力荷重が正しく定義されているかを確認できます。

面トラクション荷重は内部的に、選択したサーフェス上の各ノードに集中力を適用します。

それらの値の合計が荷重定義ウィンドウで指定した総大きさになります。

複数のサーフェスが選択された場合、各サーフェスに作用する荷重の合計が荷重定義ウィンドウで指定した値になります。

インポート面トラクションは以下のデータ構造を含む.txt ファイルから読み込みます: X Y Z Fx Fy Fz (XYZ は点の座標、Fx Fy Fz は面力の成分で単位は[力/面積])。コメント行 (列タイトルなど) は#で始める必要があります。

重力荷重は名称にかかわらず、任意の並進加速度 (制動による減速や車両の加速など) を構造に適用するために使用できます。

プリテンションは特別な考慮が必要な荷重タイプです。定義前に境界層を作成する必要があります。

実際の荷重をモデルに適用する解析の第 2 ステップでは、プリテンション荷重を無効にする必要があります。これは変位タイプのプリテンション設定を「固定」に変更することで行えます。

拘束条件、接触ペア、ステップ、境界条件、荷重などのアイテムは、定義を完全に削除せずに有効/無効を切り替えることができます。メニューバーの下にはシンボルのドロップダウンリストがあり、シンボルの表示方法 (なし、モデル、ステップ 1...) を選択できます。

5.6.6 定義済みフィールド(Defined Field)

定義済みフィールドはノードに定義済みの値を規定するために使用されます。定義済みフィールドのタイプとそのオプションは以下のとおりです:

温度(Temperature) — 静解析ステップの温度フィールドを指定するために使用できます:

- 名前(Name)
- 温度の定義方法: 値による (Define temperature: By value)
 - 領域(Region)
 - 温度(Temperature)
- 温度の定義方法: ファイルから (Define temperature: From file):
 - 結果ファイル (.frd)

(次ページに続く)

5.6.6 定義済みフィールド(Defined Field) (続き)

- ステップ番号(Step number)
 - 色(Color)
-

5.7 解析メニュー(Analysis Menu)

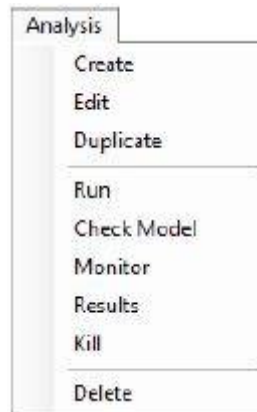


図 22：解析メニュー

解析メニュー(Analysis Menu) (図 22) には以下のオプションがあります：

- 作成(Create)
 - 編集(Edit) — 名前、追加の CalculiX 引数、互換モード（定常状態動解析の一部の問題を解消する Pool の CalculiX 実行ファイルとの使用を目的とします）へのアクセスを提供します
 - 複製(Duplicate)
 - 実行(Run) — 解析を実行します
 - モデルチェック(Check Model) — 入力チェックを実行します。計算は行われません
 - モニター(Monitor) — ソルバーメッセージを表示するウィンドウを開きます
 - 結果(Results) — 完了した解析の結果を開きます
 - 強制終了(Kill) — 解析が完了する前に停止します
 - 削除>Delete)
-

6 結果オプション(Results options)

結果ツリーは以下のコンテナで構成されています：

メッシュ(Mesh)：

- パーツ(Part)
- ノードセット(Node sets)
- 要素セット(Element sets)

(次ページに続く)

6 結果オプション(Results options) (続き)

メッシュ (続き) :

- サーフェス(Surface)

フィーチャー(Features) :

- 参照点(Reference points) — プリプロセッシングと同じ方法で作成できます
- 座標系(Coordinate systems) — プリプロセッシングと同じ方法で作成でき、結果の変換に使用できます

結果(Results) :

- フィールド出力(Field outputs)
- 履歴出力(History outputs)

6.1 結果メニュー(Results Menu)

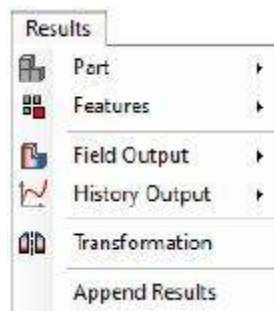


図 23 : 結果メニュー

結果メニュー(Results Menu) (図 23) には以下のオプションがあります :

パーツ(Part) :

- 編集(Edit)
- 統合(Merge)
- 非表示/表示/これだけ表示(Hide/Show/Show Only)
- 色の設定/色のリセット/透明度の設定(Set Color/Reset Color/Set Transparency)
- カラーコンターをオフ(Color Contours off) — 選択したパーツのみカラーコンターを無効にします (disables color contours only for selected parts)
- カラーコンターをオン(Color Contours on)
- 削除>Delete)

フィーチャー(Features) :

- 参照点(Reference points) :
 - 作成(Create)
 - 編集(Edit)
 - 複製(Duplicate)
 - 非表示/表示/これだけ表示(Hide/Show/Show Only)
 - 削除>Delete)
- 座標系(Coordinate Systems) :
 - 作成(Create)
 - 編集(Edit)

(次ページに続く)

6.1 結果メニュー(Results Menu) (続き)

座標系(Coordinate Systems) (続き) :

- 複製(Duplicate)
- 非表示/表示/これだけ表示(Hide/Show/Show Only)
- 削除>Delete)

フィールド出力(Field Output) :

- 作成(Create) :
 - リミット(Limit) — 以下のコンタープロットを作成します : RATIO (出力を指定リミットで割った値) および SAFETY FACTOR (指定リミットを出力で割った値)
 - プロパティ : 名前、フィールド名、成分名、リミット基準 (パーツ/要素セット)
 - リミット値 — パーツとリミットの対応表
 - エンベロープ(Envelope) — 選択した出力の MAX、MIN、AVERAGE コンタープロットを作成します (すべてのフレームから値を取得)
 - プロパティ : 名前、フィールド名、成分名
 - 式(Equation) — 既存の出力に指定した式を評価して新しいフィールド出力を作成します。Ncalc ライブラリの関数をサポートし、既存の出力は[フィールド名.成分名]で指定します
 - プロパティ : 名前、式、ユーザー定義単位
 - 座標系変換(Coordinate System Transform) — 選択したフィールドをユーザー定義の座標系に変換します
 - プロパティ (Properties) : 名前(Name)、フィールド名(Field name)、座標系(Coordinate system)
- 編集(Edit)
- 削除>Delete) — 選択したフィールド出力を削除してファイルサイズを縮小できます

履歴出力(History Output) :

- 作成(Create) :
 - フィールド出力から(From Field Output) :
 - 名前(Name)
 - 領域(Region)
 - フィールド名(Field name)
 - 成分(Components)
 - ステップ ID(Step id)
 - ノード座標(Node coordinates) (履歴出力にノード座標を含めるかどうか)
 - フィルター1/フィルター2(Filter 1/Filter 2) (タイプ : なし/最小/最大/合計/平均、戻り値 : 列/行) — フィルターはペアで使用できます。単一のフィルターは履歴出力 (一般的に時間対選択ノード値の行列) を受け取り、行または列を返します。
例えば、最大フィルターが選択され戻り値タイプが「列」の場合、フィルターは履歴出力行列の最大値を検索し、その最大値が存在する列を返します。
これにより、最大値が決定されたノードの時間履歴全体が報告されます
 - 履歴出力から式で(From History Output by Equation) :
 - 名前(Name)
 - 式(Equation) — 既存の出力に指定した式を評価して新しい履歴出力を作成します。Ncalc ライブラリの関数をサポートし、既存の出力は[履歴出力名.フィールド名.成分名]で指定します

6.1 結果メニュー(Results Menu) (続き)

履歴出力(History Output) (続き) :

- ユーザー定義単位(User defined unit)
- フィルター1/フィルター2(Filter 1/Filter 2) : タイプ (なし/最小/最大/合計/平均)、戻り値 (列/行)
- 編集(Edit)
- エクスポート(Exports) — 選択した履歴出力を CSV ファイルにエクスポートします :
 - ファイル名(File name)
 - 履歴出力(History outputs)
 - 区切り文字(Delimiter) (カンマ、セミコロン、コロン)
- 削除>Delete)

変換(Transformation) — 視覚化目的で結果にミラーまたはパターンを適用できます

(ウィンドウのアクティブ部分に変換を追加するには→ボタンを使用します) :

- 対称性(Symmetry) — 対称点を選択する必要があります :
 - 名前(Name)
 - X
 - Y
 - Z
- パターン(Pattern) :
 - 線形(Linear) :
 - 名前(Name)
 - アイテム数(Number of items)
 - 開始点(Start point)
 - 終了点(End point)
 - 円形(Circular) :
 - 名前(Name)
 - アイテム数(Number of items)
 - 角度(Angle)
 - 第1軸点(First axis point)
 - 第2軸点(Second axis point)

結果の追加(Append Results) — 別の.frd ファイルから結果を追加します

結果ツリーで複数のパーツを選択して右クリックすると、単一の結果パーツを作成する「パーツの統合」オプションが有効になります。



図 24 : 結果ツールバー — パート 1



図 25 : 結果ツールバー — パート 2

選択したポストプロセッシングオプションは結果ツールバー (図 24~25) のショートカットとしても利用できます。これらのオプションには以下が含まれます : (次ページに続く)

6.1 結果メニュー(Results Menu) (続き)

図 24～25 の結果ツールバーの各要素：

- a. **結果(Results)** — 結果 (.frd) ファイル選択のドロップダウンリスト。複数の結果を同時に開くことができます
- b. **変数(Variable)** (変形の視覚化に使用する変数)：変位、力、サーフェス法線、摩耗深さ、メッシュ変形、変位 & 変形 & 深さ
- c. **タイプ(Type)** (変形スケールタイプ)：変形前、実スケール、自動、自動×0.25、自動×0.5、自動×2、自動×5、ユーザー定義
- d. **係数(Factor)** — ユーザー定義タイプの変形係数
- e. **複素数(Complex)** (定常状態動解析からの複素数結果の形式)：実数、虚数、大きさ、位相、角度、最大、最大時の角度、最小、最小時の角度
- f. **角度(Angle)** — 角度タイプの角度
- g. **変形前(Undeformed)**
- h. **変形後(Deformed)**
- i. **カラーコンター付き変形後(Deformed with color contours)**
- j. **変形前ワイヤーフレームモデルを表示(Show undeformed wireframe model)**
- k. **変形前ソリッドモデルを表示(Show undeformed solid model)**
- l. **変換(Transformation)**
- m. **最初のインクリメント(First increment)**
- n. **前のインクリメント(Previous increment)**
- o. **インクリメントのドロップダウンリスト(Drop-down list of increments)**
- p. **次のインクリメント(Next increment)**
- q. **最後のインクリメント(Last increment)**
- r. **アニメーション(Animate)**

結果のアニメーション設定がいくつかあります。それらは図 26 に示されています。

(次ページに続く)

6.1 結果メニュー(Results Menu) (続き)

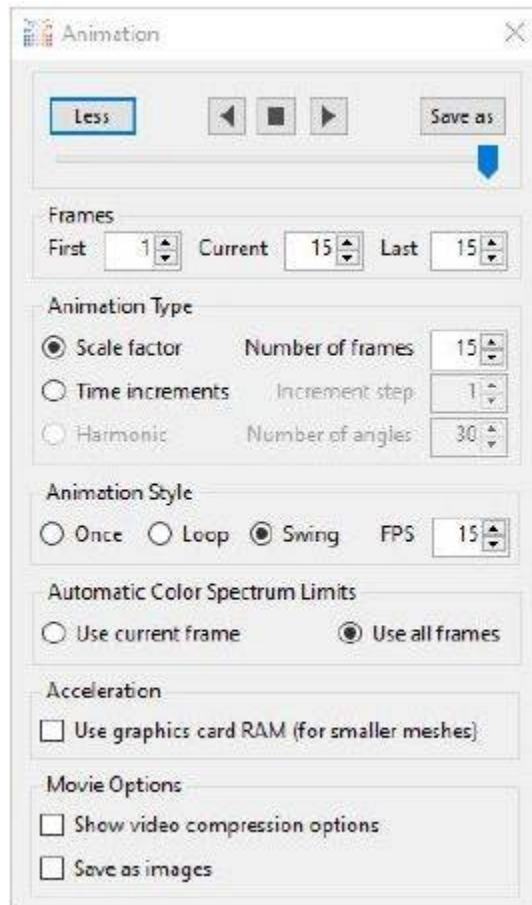


図 26：アニメーションウィンドウ

アニメーションウィンドウには以下の設定があります：

フレーム(Frames)： 最初(first)、現在(Current)、最後(Last)のフレーム番号を指定します

アニメーションタイプ(Animation Type)：

- スケールファクター(Scale factor) — フレーム数を指定します
- 時間インクリメント(Time increments) — インクリメントステップを指定します
- 調和(Harmonic) — 角度数を指定します

アニメーションスタイル(Animation Style)：

- 1 回のみ(Once)、ループ(Loop)、スイング(Swing)
- FPS (フレーム毎秒) の設定

自動カラースペクトルリミット(Automatic Color Spectrum Limits)：

- 現在のフレームを使用(Use current frame)
- 全フレームを使用(Use all frame)

加速(Acceration)：

- グラフィックカード RAM を使用 (小さいメッシュ向け)
(Use graphics card RAM (for smaller meshes))

動画オプション(Movie Options)：

- 動画圧縮オプションを表示(Show video compression options)
- 画像として保存(Save images)