

骨強度評価ソフトウェア

# MECHANICAL FINDER

*version 13*

エクステンデッド・エディション

スタンダード・エディション

## 機能説明書



株) 計算力学研究センター

## ◎ 目次

第1章 はじめに.....	4
1. 1 マニュアルの表記方法.....	5
1. 2 MECHANICAL FINDER の特徴.....	6
1. 3 稼働環境.....	7
1. 4 動作試験.....	7
1. 5 バージョンアップ履歴.....	8
第2章 概要.....	20
2. 1 各機能の概要.....	21
2. 2 プロジェクトについて.....	23
2. 3 起動方法.....	24
2. 4 最初の起動後の設定.....	25
第3章 メインメニュー.....	26
3. 1 プルダウンメニュー（ファイル）.....	27
3. 2 処理ボタン.....	28
3. 3 プロセスバー.....	29
第4章 CT 範囲.....	30
第5章 ROI 抽出・ファントム設定.....	31
5. 1 2次元ROI処理・3次元ROI処理・AI処理について.....	32
5. 1. 1 ROI抽出領域について.....	34
5. 2 ファントム設定について.....	36
5. 3 ROI作業の操作.....	37
5. 3. 1 2次元ROI操作例1（形状指定）.....	39
5. 3. 2 2次元ROI操作例2（編集および特殊）.....	42
5. 3. 3 3次元ROI操作例（ピック指定による切削例）.....	50
5. 3. 4 3次元ROI操作例（透過矩形範囲指定例）.....	52
5. 3. 5 3次元ROI操作例（簡易操作による分離例）.....	54
5. 3. 6 3次元ROI操作例（工具による切削例）.....	57
5. 3. 7 AI処理操作例.....	61
5. 3. 8 ショートカットキーについて.....	64
5. 4 画像処理等について.....	66
第6章 メッシュ生成.....	69
6. 1 メッシュ形状・インポート形状について.....	70
6. 2 メッシュ形状について.....	71
6. 3 補間処理タイプについて.....	72
6. 4 インポート処理操作例（EE）.....	74
6. 5 インポート用形状生成について（EE）.....	79
6. 6 メッシュ・インポートの基本（EE）.....	81
第7章 解析メッシュ条件.....	83
7. 1 材料種別とは.....	84
7. 2 特殊材料とは.....	85
7. 3 特殊材料範囲の操作方法（EE）.....	88
第8章 材料特性.....	92
8. 1 材料特性について.....	93
8. 2 画像計測の操作方法.....	96
8. 3 特殊材料の材料特性設定方法.....	99
第9章 荷重拘束条件.....	102

9. 1 参照設定について.....	103
9. 2 荷重タイプ・拘束方向・初速について.....	104
9. 3 荷重方向について.....	107
第10章 解析.....	109
10. 1 ソルバーの解析オプション.....	110
10. 2 計算条件.....	111
10. 3 時間内分割.....	113
10. 3. 1 出力間隔について.....	114
10. 4 時間毎荷重.....	116
10. 5 入出力制御.....	118
10. 6 解析終了時のメッセージ.....	119
第11章 表示機能.....	122
11. 1 CT 範囲の表示.....	124
11. 2 ROI・ファントムの表示.....	125
11. 3 メッシュの表示.....	126
11. 4 解析材料の表示.....	127
11. 5 荷重拘束条件の表示.....	128
11. 6 解析結果の表示.....	129
第12章 「出力」機能.....	130
12. 1 特殊用途向けの外形状出力 (EE).....	131
12. 2 ROI 抽出の外形状出力.....	134
12. 3 メッシュの外形状出力.....	136
12. 4 解析メッシュの外形状出力.....	137
12. 5 外形状出力の違いについて.....	138
第13章 「グラフ」機能.....	142
13. 1 ビューワーウィンドウについて.....	143
第14章 ツール.....	144
14. 1 画像データ構築ツール.....	145
14. 2 プロジェクトテキスト出力ツール.....	150
14. 3 不均質材料 (骨部) 編集ツール.....	151
14. 4 均質材料データベースツール.....	153
14. 5 バッチ (メッシュ&解析) 処理プログラム.....	154
14. 6 リモートバッチ (解析) 処理プログラム.....	156
14. 6. 1 クライアント側プログラム.....	157
14. 6. 2 サーバー側プログラム.....	159
14. 6. 3 サーバー側インストール.....	160
14. 7 プロジェクト管理ツール.....	162
14. 8 オptionalライセンスインストールツール.....	163
第15章 IMP ユーティリティ (EE).....	164
15. 1 IMP ユーティリティの起動.....	165
15. 2 STL 形式ファイルへの変換.....	166
15. 3 IMP ユーティリティ内、膨張処理の使い方について.....	167
15. 4 IMP ユーティリティ内、自動リサイズについて.....	168
付録1 留意事項.....	169
付録1. 1 GUI 操作について.....	170
付録1. 2 ウィンドウボタンについて.....	171
付録1. 3 キャッシュサイズについて.....	172
付録1. 4 実作業ウィンドウ「取消」時の警告について.....	173

付録2 処理フロー.....	174
付録3 材料特性.....	175
付録3. 1 不均質材料の材料特性について.....	175
付録3. 2 トラス要素の材料特性の定義方法.....	180
付録3. 3 トラス要素に材料特性が割り当てられる仕組み.....	183
付録4 ソルバー理論.....	184
付録4. 1 解析種類.....	185
付録4. 1. 1 弾性解析.....	186
付録4. 1. 2 非線形解析.....	187
付録4. 2 有限要素法による応力解析の定式化.....	190
付録4. 3 平衡方程式の解法.....	192
付録4. 4 使用要素.....	193
付録4. 5 ひび割れ処理.....	195
付録4. 6 非線形解法.....	197
付録4. 7 接触処理.....	199
付録4. 8 動解析モデルにおける減衰の指定について.....	203
付録5 F A Q.....	205
付録5. 1 DICOM データ・画像ファイルについて.....	206
付録5. 2 ROI・ファントムについて.....	208
付録5. 3 メッシュ生成について.....	210
付録5. 4 解析メッシュ条件・材料特性について.....	211
付録5. 5 解析について.....	214
付録6 エディション間の比較.....	216
付録7 サポート.....	218

## 第1章 はじめに

このたびは骨強度評価ソフトウェア「**MECHANICAL FINDER**」をご利用頂きまして誠にありがとうございます。本製品は骨全体を3次元構造物としてとらえ、これに有限要素法による構造解析を適用することで骨強度を評価するソフトウェアです。

評価指標には仮想的な荷重拘束条件から得られる応力・歪み分布を用いており、骨強度を巨視的かつ客観的に把握することができます。

また、強度評価に必要な形状データ、ならびに材料特性のすべてをCT画像のみによっていますので簡便、迅速な、かつ再現性の高い評価結果の収録を実現しています。

さらに、本製品は骨強度評価の分野で多くの労力と経験が必要であるとされてきたメッシュ生成や荷重拘束条件設定、ならびに結果の可視化などを自動化し、これらの作業に必要な労力を大幅に削減するとともに骨強度評価に携わる皆様方に共通した評価環境を提供いたします。

従来の骨評価が2次元密度分布評価であったのに対し、本製品は3次元応力分布評価であり、新しい骨の評価方法としてもその応用範囲は広く、多くの皆様方にご利用いただけるものと考えております。

御利用の皆様方には貴重な御意見、御要望を賜りますよう宜しくお願い申し上げます。

## 1. 1 マニュアルの表記方法

### 表記方法

#### 操作

マウスドラッグ	マウスのボタンを押したまま範囲指定をして、ボタンを離す作業のことを表記しています。
クリック ピック	マウスボタンを押して離す作業のことを表記しています
ダブルクリック	クリックを2回行う操作をダブルクリックと表記しています。
プルダウン	マウスボタンを押してメニューを表示させ、マウスを押した状態で対象とする処理が記述されているところまでマウスを動かし処理の選択を行う操作をプルダウン...選択と表記しています。プルダウンの中には一度ボタンをクリックした状態で処理の選択が可能であるものもあります。
スライダー	設定マウスボタンによりスライダーを押したままの状態ですらに動かすことで数値決定する操作をスライダー...設定と表記しています。

#### 略語

S/W	ソフトウェアの略語として使用しています。
本 S/W	MECHANICAL FINDER の略語として使用しています。
ROI	関心領域（解析領域）の略語として使用しています。
(EE)	Extended Edition に関する説明であることを表します。
(SE)	Standard Edition に関する説明であることを表します。

## 1. 2 MECHANICAL FINDER の特徴

骨強度評価ソフトウェア『MECHANICAL FINDER version13』は以下の優れた特徴を有しています。

### (1) CT データから直接形状抽出

CT 原画像データ上で直接解析対象となる領域をなぞる、あるいは閾値処理をほどこして半自動的に関心領域を抽出することで、忠実な骨形状抽出が可能です。

### (2) オートメッシュジェネレータの搭載

複雑な骨形状を精度良くモデル化するため、四面体メッシュを基本に骨表面にはシェル構造メッシュを配置するなど、骨形状に特化したメッシュ生成を行います。

また、任意なインプラント等の挿入を仮定した解析が可能で、複雑なメッシュ生成処理も容易に行えます。

### (3) 解析条件設定の充実

材料特性の抽出においては、ヤング率などの材料特性をメッシュ位置に対応する CT 値から個々に算出し、これに該当するメッシュの材料特性として割り当てることで、評価結果の高い再現性を確保しています。

骨部においては、ファントム使用におけるCT撮影装置とのキャリブレーション機能も搭載し、かつ材料特性定義はユーザー定義による変換式のデータ追加を行えるなど、非常に優れた材料特性設定機能を用意しております。

またインポート部においては材料データベースより主要な材料（チタン・レジン等）を選択でき、ユーザー固有の材料にもツールにより追加変更が行えるようになっております。

大腿骨においては、複雑な操作になりがちな荷重・拘束条件設定を容易に行うことができます。

### (4) 骨強度評価用解析ソルバー の搭載

骨構造を考慮した力学モデルの採用で高精度の評価結果を提供します。

弾性解析だけではなく非線形解析も用意しており、破壊挙動の把握が行えるようになっております。

### (5) ユーザー様、御要望への対応

弊社開発のソフトウェアであるため、ユーザー様の有用なご要望にはバージョンアップ時の機能反映を重要項目としており、年々実践的なソフトウェアへと成長していると自負いたしております。

### (6) 柔軟な操作手順

CT 画像から解析結果表示までの一連処理はプロジェクト管理されており、処理途中の保存や再計算処理が柔軟に行えるようになっており、解析条件に対する解析結果への影響等を容易に把握する事ができます。

### (7) 多彩な可視化表示

各処理における表示は、OpenGL に対応した多彩な可視化処理が備わっております。

## 1. 3 稼働環境

### ・ハードウェア環境

OS	日本語／英語 Windows 8.1                      64 ビット 日本語／英語 Windows 10                      64 ビット 日本語／英語 Windows 11
プロセッサ	推奨 Intel 64 準拠 マルチコア Intel Core i7、Intel Xeon
メモリ	推奨 Standard Edition : 8GB 以上、Extended Edition : 16GB 以上 ※メモリサイズにより取扱い可能なデータサイズ（解析要素数）が異なります。 また、スワップ領域の設定によっても取扱い可能なデータサイズの最大値が異なります。
スワップスペース	利用するデータや環境に応じて変更してください。 確認方法： 1. スタート/設定/コントロールパネル 2. システムアイコン 3. パフォーマンスの仮想メモリ

### ・ハードウェア・レンダリング

グラフィックス	・推奨 NVIDIA 系、AMD 系グラフィックカード、Intel Iris Graphics ・推奨サイズ 1280 x 1024 以上 ・OpenGL 対応 (OpenGL 対応グラフィックスボード)
---------	---

### ・ネットワーク環境

TCP/IP	ライセンス設定： ・フローティング・ライセンスをご利用の場合 ライセンス・サーバーの設定のために TCP/IP プロトコルが必要です。 ・エクステンデッドエディションをご利用の場合 エクステンデッドエディションは TCP/IP プロトコルが必須です。
--------	---

## 1. 4 動作試験

本 S/W は、本書に記載している機能について、サンプルの DICOM データを用いた動作試験を実施し正常に動作することを確認しております。



## 1. 5 バージョンアップ履歴

### ・バージョン 13 (24/05/31)

- 1) 「ROI 抽出・ファントム」部
  - ・ AI 機能による自動抽出後の描画処理を高速化しました。(SE,EE)
- 2) 「メッシュ生成」部
  - ・ fTetWild メッシャー使用時でも、節点生成位置指定の機能を有効にしました。fTetWild では、指定位置の最寄りに生成された節点を指定位置に移動するため、要素形状のアスペクト比が悪くなる可能性があります。(EE)
  - ・ 内部メッシュ画面でメッシャー(ANSYS ICEM CFD/fTetWild)の選択ができるようになりました。(EE)
  - ・ メッシュ生成画面でメッシャー(fTetWild/MF mesher)の選択ができるようになりました。(SE)
  - ・ 「外形メッシュ」画面で、インポート形状の CT 断面表示画面にアキシャル/コロンアル/サジタル方向のスライス表示を追加しました。(EE)
- 3) 「解析メッシュ条件」部
  - ・ 節点分離や接触要素で節点が分離される際、トラス要素の構成節点が分離側の材料に属する場合は、トラス要素の構成節点も分離された節点番号に振り替えるようにしました。旧バージョンで作成されたプロジェクトのトラス要素節点でも分離側かどうかを考慮したい場合は、トラス要素を再設定する必要があります。(EE)
  - ・ トラス要素の構成節点を座標値で指定できるようにしました。(EE)
- 4) 「材料特性」部
  - ・ 密度からヤング率や降伏応力へ換算する組み込み換算式から「南澤(1981)」を外し、新しく「Suzuki(2020) Callus」を追加しました。換算式の詳細につきましては、機能説明書の「付録 3. 1 不均質材料の材料特性について」をご参照ください。(SE,EE)
  - ・ シェル要素の材料特性を CT 値ではなく密度値で設定するように変更しました。それに伴い、CT 値から密度値の換算機能を追加しました。シェル要素の材料特性を CT 値で指定していた旧バージョンのプロジェクト材料特性を再設定する必要があります。ご注意ください。(SE,EE)
  - ・ トラス要素の張力の倍率を設定できるようにしました。(EE)
- 5) 「解析」部
  - ・ 接触解析を行う際、摩擦力の算出に用いる接触反力の減衰を考慮することで、接触状態の収束が摩擦力によって悪化するのを防止できるようにしました。摩擦係数減衰係数は解析画面の詳細パラメータから設定できます。(EE)
  - ・ 「ソルバーV1」を廃止しました。(SE,EE)
- 6) 「表示」「グラフ」部
  - ・ 「荷重条件」画面で荷重条件の表示/非表示をグループ毎に設定できるようにしました。(SE,EE)
  - ・ 「データ処理・可視化」画面の処理を高速化しました。(EE)
  - ・ 「データ処理・可視化」画面にトラス張力の表示を追加しました。張力の大きさに応じて色付けして表示できます。(EE)
  - ・ 「要素破壊図」画面で塑性要素、圧壊要素の色を任意に変えられるようにしました。(SE,EE)
  - ・ 「材料モデル・STL 表示」画面で解析後のモデルを STL ファイルとして出力可能になりました。(SE,EE)
  - ・ 「グラフ」画面で Y 軸に変位/荷重/接触反力/外部拘束力/トラス張力を選択した時、従来の大きさの他に X、Y、Z 成分のいずれかを選択してグラフを生成できるようにしました。(SE,EE)
- 7) 「ツール」部
  - ・ 「不均質材料編集ツール」で、密度から各物性値への換算式のパラメータを定義できるようにしました。定義した換算式は材料特性画面で骨材料のユーザー換算式で選択することができます。(SE,EE)
  - ・ 「リモートバッチ(解析)処理プログラム」で、複数のサーバーに接続を切り替えて解析処理を実行させられるようにしました。(SE,EE)
- 8) その他
  - ・ 「メッシュ生成」「解析メッシュ条件」「荷重拘束条件」の軸設定画面の「2 点指定法」で、座標値を入力して軸を設定できるようにしました。(SE,EE)
  - ・ 「メッシュ生成」「荷重拘束条件」の画面で回転中心を変更できるようにしました。(SE,EE)
  - ・ 解析設定値情報の材料特性画面に接触要素とトラス要素の情報を記載するようにしました。(EE)
  - ・ UI の表記を一部修正しました。(SE,EE)
  - ・ その他、軽微な不具合を修正しました。(SE,EE)

### ・バージョン 12 (22/08/31)

- 1) 「ROI 抽出・ファントム」部
  - ・ 「エフェクト処理」の機能を廃止しました。(SE,EE)
  - ・ AI 機能を利用した骨自動セグメンテーション機能を実装しました。(SE,EE)
- 2) 「メッシュ生成」部
  - ・ メッシュ生成処理に組み込みプログラム「fTetWild」と外部ソフトウェア「ANSYS ICEM CFD」を選択できるようにしました。「ANSYS ICEM CFD」を利用するためには別途 ANSYS 製品のインストールが必要となります。旧バージョンで使用している「ANSYS ICEM CFD」は引き続きご使用いただけます。(EE)

- 3) 「表示」「グラフ」部
  - ・ 解析結果の表示画面に「接触圧力・接触面積」と「相対変位」の計算、出力、コンター図表示機能を追加しました。接触要素を使用した解析において利用できます。(SE,EE)
  - ・ スライスコンター機能で設定したスライス情報をファイル入出力できるようにしました。これにより、他の画面のスライスコンター機能でも同じスライス情報を読み込み利用できるようになります。(SE,EE)
- 4) その他
  - ・ 接触要素で用いる名称「マスター面」「スレーブ面」を「プライマリ面」「セカンダリ面」に変更しました。その他、UI の表記を一部修正しました。(SE,EE)
  - ・ DICOM setting 画面に「座標系」オプションを追加しました。「DICOM 座標」を選択することで、DICOM データの「画像位置」を原点座標に設定できます。旧バージョンで作成したプロジェクトと座標系が変わりますので、旧バージョンと同じ座標系を使用したい場合は「旧バージョン互換」を選択してください。(SE,EE)
  - ・ メインメニューの横幅を広げました。マウスを用いてメインメニューの位置を変えたい場合は、タイトルバーの「MF」の部分をドラッグしてください。(SE,EE)
  - ・ Windows 11 に対応しました。(SE,EE)
  - ・ その他、軽微な不具合を修正しました。(SE,EE)

#### ・バージョン 11.0 (20/05/07)

- 1) 「ROI 抽出・ファントム」部
  - ・ 2D ROI 画面及び 3D ROI 画面でショートカットキーを使用可能にしました。使用できるショートカットキーは「5. 3. 8 ショートカットキーについて」をご参照ください。(SE,EE)
- 2) 「メッシュ生成」部
  - ・ 外形メッシュ画面のインポート設定において、形状をインポートしても初期座標を記憶しておくようにしました。これにより、インポート形状を解除して再度インポートした場合でも、材料特性画面の「CT 参照」で不均質材料を割り当てられるようになります。(EE)
  - ・ 内部メッシュ画面の内部メッシュ生成設定から「自動サイズ」の選択肢を削除しました。(EE)
- 3) 「解析メッシュ条件」部
  - ・ 接触要素設定時の節点分離処理を改善しました。(EE)
- 4) 「材料特性」部
  - ・ トラス要素をグループ化して定義、設定できるようにしました。(EE)
  - ・ 摩擦係数に 1 より大きい数値を設定できるようにしました。(EE)
- 5) 「荷重拘束条件」部
  - ・ 荷重条件の設定可能数条件を 9999 に増やしました。また条件ごとに名前を設定できるようにしました。(SE,EE)
  - ・ 接触要素のスレーブ節点を拘束節点に設定した場合、「確定」ボタンを押した際に警告メッセージを表示するようにしました。(EE)
  - ・ 節点に設定する強制変位に対し、X、Y、Z 方向成分ごとに自由度を設定できるようにしました。一部の成分のみ自由な強制変位を設定できるようになります。(SE,EE)
- 6) 「解析」部
  - ・ 出力ステップ間隔が 1 より大きい時、ソルバー V2 による解析が 1 ステップで終了すると解析結果が出力されない問題を修正しました。(SE,EE)
- 7) 「表示」「グラフ」部
  - ・ 解析データ抽出の集約タイプ「平均値」の計算方法を体積重み付け平均に変更しました。従来の計算方法は集約タイプ「相加平均値」となります。(SE,EE)
  - ・ 線形解析時、コンター図及び解析データ抽出における引張応力強度比、圧縮応力強度比の表示上の上限値がこれまで 100%であったのを上限無しに変更しました。これにより、破壊に至らない荷重値の検討を行いやすくなります。(SE,EE)
  - ・ コンター図、材料特性コンター図、解析データ抽出、材料特性データ抽出、ベクトル図において、スライス設定の保存、読み込みを行う機能を追加しました。(SE,EE)
  - ・ グラフ画面のデータ値抽出機能において単位換算が効いていない問題を修正しました。(SE,EE)
- 8) その他
  - ・ 「CT 範囲」「ROI・ファントム」「メッシュ生成」「解析メッシュ条件」「材料特性」「荷重拘束条件」「解析」の各画面で「取消」ボタンを押した際に確認用のダイアログを表示するようにしました。(SE,EE)
  - ・ 初期値設定「材料特性・解析処理」の「材料特性グループ」において、次の初期値を変更しました。「密度値 200mg/cm3 以下を弾性要素とする」をオフにしました。圧壊ひずみを 10000 にしました。初期値設定は以前のバージョンから引き継がれますので、インストール後は必ず初期値設定をご確認ください。(SE,EE)
  - ・ その他、UI を変更しました。(SE,EE)

#### ・バージョン 10.0 (18/08/31)

- 1) 「ROI 抽出・ファントム」部
  - ・ ROI 作業でマウス操作した時の座標と実際に処理される画素位置との微小なずれを修正しました。(SE,EE)
  - ・ ROI 作業の抽出処理において、スライスを切り替えて同じ点をピックアップすると処理されない問題を修正しました。

- (SE,EE)
  - ・ CT 原画像において、表示される画像と ROI の線が画像の端に近づくにつれ最大半ピクセル分ずれて表示されるのを修正しました。(SE,EE)
- 2) 「解析メッシュ条件」部
    - ・ 接触要素の「マスター面」として定義した面を、別の接触要素の「スレーブ面」として設定できるようにしました。これにより、3 つ以上の材料を相互に接触させて解析できます。(EE)
    - ・ 回転中心を変更できるようにしました。(SE,EE)
  - 3) 「解析」部
    - ・ 接触解析の判定を並列化し、処理速度を向上しました。(EE)
    - ・ 接触条件を考慮した幾何学的非線形解析において異常終了が出にくいようにソルバーを改善しました。(EE)
    - ・ ソルバー V2 による材料非線形解析で Newton-Raphson 法による収束計算が可能になりました。解析画面の材料非線形計算方法において、「サブステップ」の代わりに「収束計算」を選択してください。(SE,EE)
    - ・ ソルバー V2 による材料非線形解析で、除荷した時に要素の状態が塑性から弾性に戻ることを考慮するようにしました。(SE,EE)
  - 4) 「表示」「グラフ」部
    - ・ 「最大せん断応力」「最大せん断ひずみ」をコンター図、解析データ抽出、グラフで表示できるようにしました。(SE,EE)
    - ・ 表示画面やグラフ画面で、円柱形や任意形状でデータ抽出できるようにしました。(SE,EE)
    - ・ グラフ機能で変位や外部拘束力等の節点データの総量をグラフ化できるようにしました。既存の平均/最大/最小値も要素データに変換せず節点データのまま計算するように変更したため、前バージョンと異なる値になりますのでご注意ください。(SE,EE)
    - ・ 解析ステップを切り替えてもデータ抽出要素・節点の情報が維持されるようにしました。(SE,EE)
    - ・ 外形図、モデル図等のサーフェスの不透明度を 0.01 刻みで設定できるようにしました。(SE,EE)
    - ・ 結果表示時、コンター図等で「他の可視化を非表示」にした時にメッシュと変形図の表示を変えないようにしました。(SE,EE)
    - ・ シェードコンターとソリッドコンターのカラーマップ調整を共通化しました。(SE,EE)
    - ・ 材料モデル・STL 表示時に解析ステップが変わると、表示が初期化される不具合を修正しました。(EE)
  - 5) その他
    - ・ 入力フィールドでエンターキーを押さなくてもフォーカスが外れたら確定するようにしました。(SE,EE)
    - ・ 解析結果のステップなど一部を除き、スライドバーをマウスで動かしている途中でも連動して処理を行うようにしました。(SE,EE)
    - ・ CT 画像のコントラスト表示をより見やすくしました。(SE,EE)
    - ・ カラーマップのパターンを変更しました。(SE,EE)
    - ・ IMP ユーティリティで作成する球体などの形状をより細かく作れるようにしました。(EE)
    - ・ その他、UI を変更しました。(SE,EE)
- ・バージョン 9.0 (17/05/22)
- 1) 「ROI 抽出・ファントム」部
    - ・ 2D ROI 画面で、マウスホイールの回転でスライスを移動できるようにしました。(SE,EE)
    - ・ 2D ROI 画面で、スライス番号をスライス方向ごとに保持するようにしました。(SE,EE)
    - ・ 2D ROI 画面で、追加/削除/抽出モードの選択によってマウスアイコンを変更するようにしました。(SE,EE)
    - ・ 2D ROI 画面の「自動リサイズ」を初期状態で OFF にしました。(SE,EE)
    - ・ 3D ROI 画面に、簡易的な操作で骨領域同士を分離する機能を追加しました。大腿骨と臼蓋など、関節間を分離するための手作業を減らすことができます。(SE,EE)
  - 2) 「メッシュ生成」部
    - ・ メッシュ生成を行わなくても外形メッシュを STL 出力できるようにしました。外形メッシュ生成後、「バッチ処理で行う」にチェックを入れて「了解」ボタンを押してください。(SE,EE)
  - 3) 「解析メッシュ条件」部
    - ・ 外形メッシュに合わせてメッシュを自動振り分けする機能を追加しました。メッシュ生成後の部分メッシュの数が膨大になるケースでも、材料振り分けの手間が軽減されます。(EE)
  - 4) 「荷重拘束」部
    - ・ 並進荷重方向を、指定した 2 節点を結ぶ方向に固定できるようにしました。この設定では、解析中に節点間の相対位置が変わると荷重方向も追従します。(SE,EE)
  - 5) 「解析」部
    - ・ 出力間隔を、従来のステップ間隔に加えて時間(秒)間隔で指定できるようにしました。(SE,EE)
  - 6) その他
    - ・ メニューのプロジェクト名が表示されるエリアをクリックするとファイルリスト情報を表示するようにしました。これにより、プロジェクト名が長くてエリアに表示されない場合でも確認することができます。また、エリアにマウスを置いておくと、ツールチップでプロジェクト名が一定時間表示されます。(SE,EE)
    - ・ プロジェクトに名前を付けて保存する際、現在開いているプロジェクト名を初期表示するようにしました。(SE,EE)
    - ・ IMP ユーティリティで、形状データのローカル座標系の Z 軸を基本軸に合わせることができるようになりました。こ

- れにより、IMP データのインポート後に基本軸周りの回転が可能になります。(EE)
- ・ 幾つかの 3 次元表示画面で、モデルの回転中心を任意に指定する機能を追加しました。(SE,EE)
- ・ その他不具合を修正しました。

#### ・バージョン 8.0 (16/02/29)

- 1) 「ROI 抽出・ファントム」部
  - ・ CT 原画像の CT 値の最大値－最小値の範囲が広い場合、グレースケール画像にすることで CT 値の変化が画像に現れにくくなることを防ぐため、コントラスト設定の最大値－最小値を元にグレースケール画像を作るようにしました。(SE,EE)
- 2) 「メッシュ生成」部
  - ・ 生成した外部メッシュをインポート部に移し、移動回転できるようにしました。これにより、外部メッシュの位置を変更したい場合に、一度 STL ファイルに出力する必要がなくなります。(EE)
  - ・ 外部メッシュ上の任意の位置に節点を作れるようになりました。(EE)
- 3) 「解析メッシュ条件」部
  - ・ ひずみ－張力の関係を持つトラス要素を設定できるようになりました。(EE)
  - ・ 接触要素の設定で隣り合うマスター面を定義できるようになりました。(EE)
- 4) 「材料特性」部
  - ・ 構造減衰係数を材料特性画面から設定できるようにしました。(SE,EE)
- 5) 「荷重拘束」部
  - ・ 荷重条件として面圧を設定できるようになりました。(SE,EE)
- 6) 「解析」部
  - ・ 要素破壊が生じてから結果を出力する設定ができるようになりました。(SE,EE)
- 7) 「表示」部
  - ・ ベクトル表示で「トラス張力」を表示できるようになりました。(EE)
- 8) その他
  - ・ 接触要素のスレーブ節点がマスター面の端に達してもエラーが出ず解析を続行させるように変更しました。(EE)
  - ・ 大腿骨軸設定に頸部軸を追加しました。(SE,EE)
  - ・ 解析データの抽出において、骨軸に沿って抽出領域を設定できるようになりました。(SE,EE)
  - ・ イメージ出力に png 形式を追加しました。(SE,EE)
  - ・ 初期値設定の一部を下記の通り変更しました。
    - ・ 3D キャッシュサイズを「128MB」に変更 (SE,EE)
    - ・ メッシュ基準サイズを「2mm」に変更 (SE,EE)
    - ・ 内部メッシング設定を「手動サイズ指定」に変更し、最大サイズを「4mm」、最小サイズを「2mm」に変更 (EE)
    - ・ 構造減衰係数を「0」に変更 (SE,EE)
    - ・ 解析種別を「直接法 (マルチコア対応)」に、解析使用コア数を「0 (自動設定)」に変更 (SE,EE)

#### ・バージョン 7.0 (14/01/06)

- 1) 「ROI 抽出・ファントム」部
  - ・ 2D-ROI で任意の太さの線で ROI 操作を行えるようになりました。またその際に中塗りを同時に行えるようになりました。
  - ・ 「戻る」操作を 10 回まで行えるように上限回数が増えました。
  - ・ 初期状態から CT 値グラフを描画しておくようにしました。
  - ・ ファントム設定において、ファントム機種 (QRM-BDC、B-MAS200) 撮影画像からの自動抽出機能の操作性が向上しました。
- 2) 「材料特性」部
  - ・ 骨を撮影位置から移動しても不均質材料を割り当てられるようになりました。
  - ・ 骨材料、他材料、ゴム材料をそれぞれ 10 まで割り当てられるようになりました。
  - ・ 材料特性画面呼び出し時、すでに設定されている荷重拘束条件や解析条件を消さずに残すようになりました。
- 3) 「メッシュ生成」部
  - ・ 骨軸設定において、大腿骨軸指定法の機能を改善しました。
- 4) 「解析メッシュ条件」部
  - ・ 骨軸設定において、大腿骨軸指定法の機能を改善しました。
  - ・ シェル要素の初期状態を未使用設定にしました。
- 5) 「荷重拘束」部
  - ・ 荷重拘束条件画面呼び出し時、すでに設定されている解析条件を消さずに残すようになりました。

- ・骨軸設定において、大腿骨軸指定法の機能を改善しました。

## ・バージョン 6.2 (12/10/01)

### 1) 「入力データ」部

- ・可逆 JPEG 形式で保存された圧縮ファイル形式の DICOM データに対応いたしました。(ただし一部形式を除きます)

### 2) 「ROI 抽出・ファントム」部

- ・ファントム設定において、ファントム機種 (QRM-BDC, B-MAS200) 撮影画像からの自動抽出機能を搭載いたしました。
- ・3D-ROI での透過矩形による抽出・削除が行えるようになりました。

### 3) 「メッシュ生成」部

- ・メッシュ生成時に部位・部品毎に個別にメッシュサイズを指定できる「個別調整サイズ指定」モードを追加しました。(EE)
- ・メッシュ生成時に高速化処理 (マルチコア対応) ができるようになりました。(EE)
- ・メッシュ生成時に「形状再現性」とアスペクト比」の対比スケールを指定できるようになりました。(EE)
- ・外形メッシュにおいて、詳細形状を描写できる等値面作成を同画面でできるようになりました。(EE)
- ・DICOM とは関連の無いインポート形状のみでメッシュ生成する時の画面上の正規化を行なうように改良しました。(EE)

### 4) 「解析メッシュ条件」部

- ・ソリッド要素の材料グループの分類分け作業方法の操作性を良くしました。(EE)

### 5) 「材料特性」部

- ・接触要素において摩擦係数 (0.0 ~ 1.0) を設定できるようになりました。(ソルバー V 2 のみ) (EE)

### 6) 「荷重拘束」部

- ・1 荷重グループに付き 10 方向までの副荷重方向を設定できるようになりました。
- ・同モデルにおいて解析結果変位による移動量を初期形状に反映させる事ができるようになりました。
- ・自動設定を骨軸による自動設定に変更しました。大腿骨骨幹途中までの形状でも自動設定できるようになりました。
- ・本メニューでも骨軸設定を行なえるようになりました。また骨軸に部位種別 (大腿骨・椎骨) での設定を追加しました。

### 7) 「解析」部

- ・各種方法によるソルバーの飛躍的な高速化処理を充実させました。(SE,EE)
  1. 直接法 (旧スパースマトリックス法)・・・旧シングルコア対応に加え、マルチコア対応の処理を選択できるようになりました。
  2. 反復法 (CG 法)・・・旧 CPU 動作対応に加え、GPGPU (NVIDIA チップ搭載) 対応の処理を選択できるようになりました。
- ・解析結果の歪み・応力状態を引き継いで、新たな解析条件で解析処理継続を行なうことができるようになりました。
- ・荷重拘束部で設定された荷重(副荷重を含めて)を時系列ごとに変更することができるようになりました。
- ・ソルバー V 2 において、接触要素での摩擦解析を行えるようになりました。(EE)
- ・解析処理において、破壊要素数による打ち切り条件を設定できるようにしました。
- ・ソルバー V 2 において、弾性状態 (幾何学的非線形を考慮しない、材料非線形を考慮しない、静解析) 時での時系列荷重を設定できるように変更しました。

### 8) 「表示機能」部

- ・解析結果表示 (材料別モデル表示) において、STL 形状を合成表示できるようになりました。
- ・ビューワー設定内のアニメーション機能において、フレーム番号の順序を変更できるようにしました。

### 9) 「ツール」部

- ・パッチ解析処理プログラムにおいて、プロジェクト処理の終了毎に音で知らせるように変更しました。
- ・プロジェクトテキストツールにおいて、垂直応力・せん断応力の数値を出力するように変更しました。
- ・ダウンロードプログラム【unsupported tools】である各種バージョン・インターフェースプログラムにおいて、NASTRAN 出力時に静解析用・動解析用の選択フラグを追加しました。

### 10) その他修正

- ・メモリ使用量の省力化を行ないました。(特にメッシュ生成部・材料特性部)
- ・各所にて操作性向上の為、パラメータ設定方法を変更しました。
- ・共通ユーザーインターフェースのサイズを少し小さくしました。
- ・解析などのパラメータの一覧表示機能を追加しました。(プロジェクト毎の比較チェック用)



## ・バージョン 6.1 (11/01/07)

- 0) 共通
  - ・下位エディションであるリミテッドエディションを廃止しました。
- 1) 「入力データ」部
  - ・DICOM 入力指定時に、3次元構築の優先項目（自動・画像位置・スライス位置・スライス厚）を選択できるようにしました。
  - ・プロジェクト内の DICOM データファイル(\*.ctm)を圧縮形式に変更しました。可逆圧縮ですので画質の劣化は無く、今までのご使用とあまり変わらない応答でリアルタイム圧縮伸張処理を実現しています。圧縮後のファイルサイズは、約 55%~60%ぐらいの大きさとなります。
- 2) 「ROI 抽出・ファントム」部
  - ・表示上の画像を char 単位に変更しました。但し内部的には short 単位で保持しています。
  - ・ROI 抽出の 3 次元 ROI 機能において、ROI グループ間で移動やコピー機能が行えるようになりました。(EE)
  - ・ファントム使用時における設定方法を容易にできるように機能追加いたしました。
- 3) 「メッシュ生成」部
  - ・メッシュ生成をツール部の『パッチ(メッシュ&解析)処理プログラム』で行えるように変更しました。
  - ・インポート形状をインポート番号ごとに可視・不可視できるようにしました。(EE)
  - ・インポート中心にした CT 画像 2 次元表示で、インプラント配置設定が行えるようになりました。(EE)
- 4) 「解析メッシュ条件」部
  - ・SE でのメッシュ生成後の要素に「骨材料」「他材料」「ゴム材料」「未使用材料」の材料割り当てが行えるようになりました。(SE)
  - ・骨軸設定を別プロジェクトから参照できるようにしました。
  - ・接触要素の範囲を「隣接範囲の要素増加量」で領域拡張作業ができるようにしました。(EE)
  - ・接触条件にできる条件を緩和しました。節点分離・ギャップ要素が未設定の節点に対して「マスター設定とスレーブ設定を兼ねることはいできない」という条件だけとなります。(EE)
  - ・ギャップ要素設定を、ソルバーV1（点間ギャップ）とソルバーV2（面間ギャップ）での両対応設定に変更しました。(EE)
- 5) 「材料特性」部
  - ・材料に超弾性要素である「ゴム材料」を割り当てられるようになりました。
  - ・スタンダードエディションにおいて、骨材料の他に他材料、ゴム材料、未使用材料を種類ずつ設定できるようになりました。ただし材料境界はメッシュャーに依存します。(SE)
  - ・不均質材料において、CT 値から密度値への変換時に下限を設定できるようになりました。(初期値：下限設定 OFF)
  - ・不均質材料で、密度値からヤング率への変換時に上下限値を設定できるようになりました。
- 6) 「荷重拘束」部
  - ・離散グループ毎に初速を設定できるようになりました。これにより、物体同士を衝突させるような解析が行なえるようになります。(EE)
  - ・大腿骨荷重範囲設定の簡便化を行いました。(大腿骨骨軸設定を利用して行う)
  - ・拘束設定において、初期において全拘束(X, Y, Z,  $\theta_x$ ,  $\theta_y$ ,  $\theta_z$  方向)に設定するように変更しました。
  - ・荷重方向を 3 軸モード(A,B,T)で極軸指定する機能を追加しました。これにより荷重方向の制御が容易になりました。
  - ・荷重範囲での範囲を隣接範囲による増減が行なえる「設定範囲を増減」機能を追加しました。
  - ・自動設定で位置合わせした情報を保存できるようにしました。
  - ・自動設定で位置合わせした後に荷重設定・拘束設定共に確定済みにするように変更しました。
- 7) 「解析」部
  - ・新開発した解析プログラム ソルバーV2 を搭載しました。ソルバーV1 も引き続き使用できます。ソルバーV2 は以下の機能アップ点を持っています。
    1. 動解析処理の追加・・・今までの静解析に加えて動解析も行えるようになりました。
    2. 大変形解析の追加・・・今までの微小変形理論に加えて大変形解析も行えるようになりました。  
それに伴い、超弾性要素であるゴム材料が効いております。
    3. 塑性相対ひずみの出力が行なえます。
  - ・解析結果である「荷重・反力」の出力の見直し、「荷重」「接触反力」「外部拘束力」の3種として出力するようになりました。
  - ・解法種別である CG 法(反復法)においてもスパースマトリクス(直接法)のように解析使用メモリ量を入力するように変更しました。
- 8) 「表示機能」部
  - ・コンター表示などにおける材料選択で、材料(骨材料・他材料・ゴム材料)毎に不可視・可視が選択できるようにしました。
  - ・マウス操作による拡大縮小や回転などの操作を行えます。( +Shift キー：拡大縮小 +Ctrl キー：移動 +Alt キー：回転)
  - ・計測機能におけるピック点座標保存機能を追加しました。データ形式は「データ抽出」の形式と共用できるようになっています。
  - ・解析ステップ毎の荷重値を「ラベル表示」機能で表示できるようにしました。
  - ・「データ抽出」で数値範囲（最小・最大値間）で抽出できるようになりました。
  - ・グラフ機能で数値範囲（最小・最大値間）で抽出できるようになりました。
  - ・「コンター図」「材料特性コンター図」表示内でソリッドコンターによる表示ができるようになりました。
  - ・表示ビューワーのトップに、自動的に連番名でイメージ出力できるボタンを付加しました。
  - ・「ボリューム図」の表示方法を変更しました。
- 9) 「ツール」部
  - ・画像データ構築ツールにて、TIFF 2 バイト画像データを読み込めるようにしました。TIFF 2 バイト画像の階調を損なわずに取り込むことが出来るようになります。
  - ・「プロジェクト管理」機能を新たに追加しました。プロジェクト管理と個人情報消去などが行えるようになっています。
- 10) その他修正
  - ・パッチ処理用一時ディレクトリを任意設定できるように変更しました。
  - ・『パッチ(メッシュ&解析)処理プログラム』実行中に新たにプロジェクトを投入できるように変更しました。
  - ・『パッチ(メッシュ&解析)処理プログラム』実行中の中止処理では、フォアグラウンド処理と同じく、途中まで解析できているものは正常終了にするようにしました。

- ・ヘルプの機能説明書以外に、操作手順を記述したチュートリアル（基本編・応用編）を作成しました。
- ・メニューからツール群を起動できるようにしました。
- ・応力単位 GPa を追加しました。
- ・各所にて操作性向上の為、パラメータ設定方法を変更しました。

## ・バージョン 6.0 (08/10/01)

### 0) 共通

- ・オプション>プロジェクト表示において、非線形解析中のプロジェクトでも解析ステップが進捗している場合には、解析結果を表示できるようにしました。
- ・オプション>プロジェクト表示において、他のプロジェクトファイルへ読み替えが行えるようになりました。これによって、可視化設定値を維持したまま他のプロジェクトを観察する事ができます。
- ・機能説明書 (PDF) をメインメニュー内から起動できるようにしました。

### 1) 「入力データ」部

- ・DICOM 入力指定時に、ディレクトリ内および DICOM ファイルの画像および情報を表示できるように変更しました。また、DICOM 読み込み時の範囲指定が行えるようになりました。さらに、いくつかの読み込めなかった DICOM データへの対応を行いました。

### 2) 「ROI 抽出」部

- ・設定できる ROI グループを 5 個から 7 個へ増加させました。

### 3) 「メッシュ生成」部

- ・インポートの置換モードに、インポート済み座標で置換が行えるモードを追加しました。
- ・設定できるインポートグループを 5 個から 7 個へ増加させました。

### 4) 「解析メッシュ条件」部

- ・異なる材料間のギャップ要素を定義できるようにしました。
- ・異なる材料間の接触定義を定義できるようにしました。
- ・異なる材料間の節点分離を定義できるようにしました。

### 5) 「材料特性」部

- ・ポアソン比選択を増やしました。
- ・不均質材料において、CT 値から密度値への変換時に上限を設定できるようになりました。これにより、アーティファクト発生画像における材料特性数値の変換誤差を低減する事ができます。

### 6) 「荷重拘束」部

- ・荷重拘束で設定できるグループ数を 10 個から 20 個へ増加させました。
- ・強制変位による荷重条件が追加されました。
- ・材料グループごとに表示・非表示が行えるようになり、内部節点指定が行えるようになりました。
- ・自動設定で他プロジェクト合成作業にフィッティング機能を搭載。
- ・荷重および拘束設定時の範囲面積を表示するようにしました。

### 7) 「解析」部

- ・ギャップ要素・接触問題に対応するようにソルバーを変更しました。
- ・強制変位に対応するためにソルバーを変更しました。
- ・非線形解析時において解析途中の中止作業でもステップが進捗している場合には正常終了とするようにしました。
- ・解析結果データに荷重（拘束部は反力）も出力できるように追加しました。

### 8) 「表示機能」部

- ・データ抽出において、数値指定による抽出が行えるようになりました。
- ・データ抽出時にグループリスト参照によるグループ別出力を行えるようにしました。
- ・データ抽出時に抽出要素の体積を付加するように変更しました。
- ・コンター表示のデータ抽出モードにおいて、抽出個数の文字表示が行えるようになりました。
- ・ビューワー内の前景色と背景色の一括変更が行えるようになりました。
- ・材料のグループ選択に「～以外」を追加しました。
- ・ビューワー内の回転角度を指定できるようにしました。
- ・材料のグループ毎に異なる色分けができるようにしました。
- ・計測機能で連続ピックによる距離計算を追加しました。

### 9) 「グラフ・計測機能」部

- ・計測機能をグラフ機能から、材料特性後の全ての表示機能内で動作するように変更しました。

### 10) ツール部

- ・IMPユーティリティで形状の膨張収縮処理や合成処理が行えるようになりました。

### 11) その他修正

- ・各種幾何変換時の座標を入出力できるようにしました。
- ・ユーザーインターフェースのスイッチ機能および文字表示を簡素化し、レスポンスを良くしました。
- ・表示機能・出力機能を、ロード方法を変更することにより、メモリ省力化を行いました。
- ・3次元アニメーションファイルである GFA ファイル保存時に可視化されていない形状が保存される不具合を修正しました。
- ・IMPユーティリティで倍率変更時の指標サイズが連動しない不具合を修正しました。
- ・「ROI・ファントム」のファントム時、「材料特性」の CT 画像時で、画像を直接ファイルから読むように変更しました。（メモリ節約のため）

### 12) 機能変更点

- ・均質データベースに登録済みの金属種の圧壊ひずみ値を 100,000  $\mu$  ストレインに変更しました。
- ・解析時の「弾性骨折線予測」解析を選択から外し、「弾性解析」「非線形骨折線予測」の 2 種類に変更しました。
- ・解析時の破壊基準の見直しをしました。

## ・バージョン 5.2 (07/07/07)

- 0) 共通
- ・ 64 ビット OS である「Windows XP x64」に対応しました。
  - ・ 32 ビット最新 OS である「Windows Vista」に対応しました。
- 1) 「入力データ」部
- ・ DICOM データ取り込み時に、撮影装置および撮影状態の情報を取得するようにしました。  
また、読み込めなかった DICOM データへの対応を行いました。
- 2) 「ROI 抽出」部
- ・ 擬似カラーマップによる表示が行えるようになりました。
  - ・ ROI グループ毎に設定したしきい値を保存できるようにしました。
  - ・ ROI 抽出において、3 次元処理である『エフェクト処理』を追加しました。
- 3) 「メッシュ生成」部
- ・ 骨軸設定をメッシュ生成時にも設定できるようになりました。インポート配置基準としてこの骨軸を参照処理できます。
  - ・ インポート配置において、配置決定後の修正をインポートグループおよびサブグループ単位で行うことができるようになりました。
  - ・ インポート配置において、CT データとの重ね合わせ表示が行えるようになりました。これにより、骨構造の安定した場所にインポート形状を配置しやすくなります。
  - ・ 極小なモデルに対応するため、メッシュ生成時の最小メッシュサイズを 0.0001mm に変更しました。
- 4) 「解析メッシュ条件」部
- ・ 骨材料および他材料の区分けにおいて、独立した離散形状を未使用材料に設定する機能を追加しました。
- 5) 「材料特性」部
- ・ 部位毎に降伏基準(ミーゼスあるいはドラスカー・ブラッガー)・圧壊ひずみ値を設定できるようになりました。
  - ・ 提唱者による降伏応力計算で 200mg/cm<sup>3</sup> 以下の弾性要素有無フラグを選択できるようになりました。
  - ・ 材料特性設定後に以前のプロセス (例えばメッシュ生成等) から設定しなおした際、材料特性設定値が残るように変更しました。(但しグループ 1 の項目のみ)
- 6) 「荷重拘束」部
- ・ CT ボリュームデータのスライス表示および等値面表示が行えるようになりました。荷重拘束条件設定時に、解析外 CT 内状態を把握できるようになります。
- 7) 「解析」部
- ・ 各種材料特性変更に伴い解析処理ルーチンを変更しました。
- 8) 「表示機能」部
- ・ コンター等で使用するカラーマップの種類を増加し、逆階調も行えるように変更しました。
  - ・ CT 表示の表示色を、複数のグレー・カラーマップから選択できるようになりました。
  - ・ 「解析結果の表示」の軽量版をオプションメニューに追加しました。
  - ・ 「解析結果の表示」にベクトル表示機能を追加しました。
  - ・ 動画 (ムービー) 保存において、AVI フォーマット時にかざりフレームレート (FPS) を自由に設定できるようにしました。
  - ・ 3 次元アニメーションファイルである GFA フォーマットを保存できるようになりました。フリーのプレーヤーを実行することで、本 SW をインストールしていない PC でも回転拡大やアニメーション再生等ができるようになりました。
  - ・ 「データ抽出」機能に、数値による抽出モードを追加しました。
  - ・ ビューワー設定内の「イメージ出力」において、GIF 形式の替わりに BMP 形式で出力するようにしました。
  - ・ コンター図等において、選択部位毎にカラーマップのマッチングを行うかどうかの指定ができるようになりました。
  - ・ 「変形図」の変形倍率の上限を 1000 倍までに変更しました。また、変形倍率変化をアニメーション表示ができるようになりました。
  - ・ 「コンター図」において、データ抽出表面コンターに範囲指定によるデータ抽出が行えるようになりました。
  - ・ 「解析結果の表示」において、同座標で CT ボリュームデータのスライス表示および等値面表示が行えるようになりました。
  - ・ 動画および静止画保存時の目安として、ビューワーのサイズを表示するようにしました。
  - ・ オプションメニューにおいて外形形状出力やグラフ機能なども選択できるようにしました。
- 9) 「出力機能」部
- ・ 「特殊用途向け形状出力」機能を追加しました。(主に骨梁構造用に用意)
  - ・ 「ROI 抽出の外形形状出力」の一部不具合を修正しました。
- 10) 「グラフ・計測機能」部
- ・ 非常に要素の多い解析データにおいて、総体積および総面積の誤差を解消しました。
- 11) ツール部
- ・ 不均質材料編集ツールにおいて修正モードを変更しました。
  - ・ 均質材料データベースにおいて、材料特性の降伏基準・圧壊ひずみ値の項目を追加しました。
- 12) その他修正
- ・ 応力・密度・力・モーメント単位の変更が行えるようになりました。ほとんどの入力時および表示時に変更が可能で、初期単位も設定できます。
  - ・ STL 形式を元として回転中心や中心軸を定めた、IMP 形式 (独自フォーマット) を作成できる機能を追加しました。これにより非対称インポート形状の挿入と配置が容易になります。
  - ・ いくつかのプログラム処理において、省メモリ化および高速化を行いました。
  - ・ 画面操作上のアイコンを全体的に小さくしました。

## ・バージョン 5.1 (06/06/10)

- 1) 「入力データ」部
- ・ DICOM データ取り込み時に、既存のフィルター処理に加え、データ削減を行う機能が追加されました。  
また、スライス位置の無い DICOM データへの対応を行いました。
- 2) 「ROI 抽出」部



- ・画像処理モードによる ROI 抽出作業が行えるようになりました。
  - ・ピクセル単位の中塗り・雑音除去機能が加わりました。
  - ・閾値指定時にリアルタイム閾値表示が行えるようになりました。
  - ・簡易切除機能に、部位指定による削除機能が加わりました。
  - 3次元上にて、領域拡大法による削除・抽出機能が行えます。
  - ・収縮・膨張処理を高速化しました。
- 3) 「荷重拘束」部
    - ・自動設定 (別プロジェクトから参照) において、幾何変換方法の変更を行いました。
    - ・自動設定 (別プロジェクトから参照) において、投影精度アップを行いました。
  - 4) 「解析」部
    - ・信頼性アップのためプログラムの変更を行いました。
  - 5) 「表示機能」部
    - ・3D ビューワー画面において、バウンディングボックスによる幾何変換が行えるようになりました。
    - ・データ抽出機能を拡充し、特定領域の抽出も行えるようになりました。
    - ・3D オブジェクト表示時において、キャッシュメモリ使用量を調整できるようになりました。
    - ・テンソル表示において、ソリッド表面におけるテンソル図表示が行えるようになりました。
  - 6) 「出力機能」部
    - ・「ROI 抽出の外形状出力」において、境界域の形状を閉空間形状にする機能を追加しました。また、その際の形状作成ルーチンの変更を行いました。
  - 7) 「グラフ計測機能」部
    - ・材料特性・解析結果を用いて、グラフ描画を行えるグラフ機能を追加しました。また、グラフ描画データはファイル出力する事ができ、表計算ソフト等で読み込み可能です。
    - ・メッシュ形状を用いて、長さ・角度・面積等が測れる計測機能を追加しました。
  - 8) その他
    - ・長時間使用において、画面が汚れるという不具合を修正しました。
    - ・幾つかのプログラムにおいて、メモリ効率を良くするように変更しました。
    - ・STL データ読み込みの不具合を修正しました。
    - ・ツールである「バッチ解析処理プログラム」「リモートバッチ解析処理プログラム」安定性をアップしました。
    - ・不均質材料時のヤング率が極小値になる不具合を修正しました。
    - ・2GB を超える応力結果ファイルの読み込み不具合を修正しました。
    - ・メッシュ生成時の不要単独グループ発生を無くすようにプログラムを修正しました。

## ・バージョン 5.0 (05/08/20)

- 1) 「入力データ」部
  - ・DICOM データ取り込み時に、メディアンフィルターを行う機能が追加されました。
  - 撮影データに雑音が多い場合に使用することによって、品質の良い画像データが得られます。
  - ・複数枚からなる画像ファイル (BMP あるいは JPEG フォーマット) から、MF プロジェクトファイルを生成するツール (下記参照) が用意されています。
  - カラー情報 [RGB] は、グレースケールの濃度値として変換されます。
- 2) 「ROI 抽出」部
  - ・透過モードによる複数枚スライスの ROI 抽出作業が行えるようになりました。
  - ・ROI 作業の形状指定に、任意形状・矩形形状のほか指示形状が加わりました。
  - ・3次元ビューワー上で、簡易切除機能が追加されました。
  - 用意された形状 (パイプや半球) を任意配置して実行することにより、ROI 値を変更する機能です。
  - 例えば、パイプ形状を使用すると、穴あけ作業を行ったように ROI 値が変更されます。
  - ・最大5つの ROI 番号により、抽出する骨部を分ける事が可能です。
  - 例えば、(大腿骨と骨盤) あるいは (椎骨毎) 等に分ける事により、ROI 作業の向上とメッシュ生成時の作業が行いやすくなります。
  - ・ROI 抽出完了で、外形状出力機能。
  - ROI 終了時に等値面処理による外形状出力 (STL・DXF フォーマット) が行えます。
  - ROI 抽出データをピクセル単位にまで正確な形状として出力を行いたい場合に有効です。
  - また、ジャギー解消のための各種補間処理も備わっております。
- 3) 「メッシュ生成」部
  - ・インポート等の形状 (STL データ) をインポートする事が出来ます。
  - CT からの外側形状を配置しながら、インポート形状を任意位置 (回転・拡張) に埋め込むことが出来ます。
  - また、骨部・インポート部の解析メッシュサイズの調整や、エッジ処理なども個別に行えます。
  - メッシュ生成では、通常 CAE で行われているような複雑難解なメッシュ境界設定操作や境界条件等を与える必要がなく、容易なパラメータと操作によってインポート埋入のような複雑な解析メッシュを生成する事が出来ます。
- 4) 「解析メッシュ」部
  - ・複数の解析メッシュを個々に取捨選択とグループ分けが行えます。
  - 複数部位あるいはインポート埋入を行った後でメッシュ生成しますと、部位・インポート間と重複箇所をグループ指定する必要があります。(骨材料 n 番・インポート材料 n 番...)
  - このグループ分けをすることにより、材料特性設定時に骨部であれば CT からの材料定数を与えることができ、インポート部であれば材料データベースより均質材料を与える事ができます。
  - また、骨部・インポート部の各グループ毎に異なる材料定数を与えることができますので、部位毎に材料定数を変えたい場合や、インポートの材質が異なる場合に有効となります。
  - ・骨軸を5個まで指定し、設定保存することができるようになりました。
  - 骨軸は自由に指定することができ、荷重設定あるいはコンター表示において、この骨軸を元にして方向を指定することが可能です。
  - 設定条件あるいは操作感の向上に役立てる事ができます。
  - ・全体座標位置を変更する事ができます。

バージョン 3.5 までは撮影時の座標が全てにおいて基準座標となっていました。バージョン 5.0 からはその座標方向を変更する事ができるようになりました。

例えば、椎骨の上下を Z 軸に合わせたり、骨軸の方向を X 軸にするとした事ができるようになり、荷重設定時の操作感向上あるいはモデルに対しての回転荷重を実現できるようになりました。

5) 「材料特性」部

- 不均質材料（骨部）の換算式にユーザー固有の変換曲線を与えることが可能になりました。  
バージョン 3.5 までの Keyak 氏・Carter 氏等の変換式に加え、バージョン 5.0 ではユーザー独自に設定された変換曲線を適用する事が可能です。  
変換曲線作成を行えるツール（下記参照）も用意しております。
- インポート形状等の骨部以外の材料特性をデータベースから参照し、設定する事が可能です。  
チタンあるいはステンレスあるいはレジン等... 材料名で材料特性を与える事ができます。  
それら材料データベースの作成を行えるツール（下記参照）も用意しております。（基本材料 10 種類登録済み）

6) 「荷重拘束」部

- バージョン 3.5 における並進荷重に加え、回転荷重を行えるようになりました。  
但し、回転荷重はシェル形状の 1 点指定によって実現可能です。
- 荷重範囲で面積一定荷重と個別荷重が行えるようになりました。  
面積一定荷重は、荷重範囲において面積当たりの荷重を同じくして荷重節点に割り振ることが可能です。  
個別荷重は荷重範囲内で、節点毎に重み付けを自由に変更する事ができ、2 点ピック指定により自動配分する機能も有します。  
また、面積一定荷重と個別荷重は併用することが可能です。

7) 「解析」部

- 信頼性アップのためプログラムの変更を行いました。
- バッチ解析処理あるいはリモートバッチ解析処理機能が行えるようになりました。（ツール・下記参照）  
時間の掛かる解析処理を分散化させることにより、時間の有効利用が行えます。
- スパースマトリックス法の使用メモリ量を入力できるようになりました。
- 塑性から圧壊への最小主ひずみ値を指定できるようになりました。

8) 「表示機能」部

- CT データのボリューム表示機能を拡充しました。
- 骨軸表示機能が追加されました。（骨軸設定時のみ）
- コンター図表示に、カッティングコンター表示が追加されました。  
スライスした片側のオブジェクト全体を表示する機能です。
- コンター図表示のスライスあるいはカッティングコンター時に、骨軸周りでスライス・カッティングが行えるようになりました。
- 骨折図において、全シェル要素のクラック重ね表示が行えます。  
また、圧縮破壊において、塑性状態と圧壊状態を分けて表示する事が可能です。

9) 「ツール一覧」

- 画像データ構築ツール  
一般的な画像フォーマットである BMP あるいは JPEG フォーマットの画像ファイルを、MF プロジェクトファイルとして構築を行うツールです。
- プロジェクトテキスト出力ツール  
プロジェクトファイルを指定することにより、外形メッシュ形状データデータをテキスト（アスキー形式）ファイルとして出力することが出来ます。データ変換等を用いて 2 次利用された場合に有効です。
- 不均質材料（骨部）編集ツール  
密度値に対するヤング率・降伏応力値・臨界応力値等のそれぞれの変換曲線を追加編集する事が可能です。  
バージョン 3.5 までで用意されていた Keyak 氏や Carter 氏の変換曲線ではなく、ユーザーオリジナルの変換曲線を適用されたい場合に、その変換曲線を追加編集する事により本 SW 上の材料特性として適用する事ができます。
- 均質材料データベースツール  
インポート形状等で使用する材料データベースを構築するツールです。  
既にチタンやステンレス等の主な材料は登録されており、新たに追加する事も可能です。
- バッチ解析処理プログラム  
複数のプロジェクトファイルを、バッチ処理によって解析と後処理を一括して行う機能です。  
時間の掛かる解析処理を一括処理することが出来ますので、PC あるいは時間の有効利用が行えます。  
また、簡易なスケジューリング機能も備わっております。
- リモートバッチ解析処理プログラム  
複数のプロジェクトファイルを、LAN に繋がった他 PC で解析と後処理を一括して行う機能です。  
上記（バッチ解析処理プログラム）のリモート処理版になります。  
リモートで解析を行っている間に、他の MF プロジェクトの処理が行えますので、効率よく作業されたい場合に有効です。

・バージョン 3.5 (03/09/10)

1) 「メッシュ生成」部

- オプション機能として、汎用メッシャープログラムである『ICEM CFD/TETRA』を使用してのメッシュ生成を行えるようになりました。  
現在搭載の内部メッシャーに比べメッシュ生成時間の短縮が図れます。但し、メッシュ生成前の外側形状は、若干変更される可能性があります。（Windows 版（PC）のみ）
- 外側メッシュ生成の基準サイズの最小値を 1mm から 0.5mm へ変更しました。

2) 「ファントム設定」部

- ファントム設定において、「CT 情報」部で抽出領域と同じ領域に対してのみファントム設定していたものを、全領域に対してファントム設定するように変更しました。これは部位領域だけで抽出した場合に撮影されたファントムが表示されない場合があったための処置です。

3) 「荷重拘束条件」部

- 自動設定において、大腿骨左部位の転倒パターン計算で正しく計算されない場合があり、プログラムを修正しました。

4) 「ソルバー」部

- ・スパースマトリックス法を使用時において、不必要なメモリ確保を行わないようにプログラムを修正しました。
- 5) 表示部
- ・各 3 次元表示画面において、フレーム制御によるアニメーション編集・再生機能をとり入れました。
  - ・前回のバージョンアップ機能の Movie 出力機能と合わせることににより、ダイナミックな表現が可能になりました。
  - ・変形図倍率を最大 5 倍から 50 倍まで指定できるように変更しました。
  - ・外形線表示に点線表示を加えました。
  - ・プローブ表示に、領域範囲の統計を表示できるようにしました。
- 6) その他
- ・ヘルプに Keller 氏の論文情報を記述しました。
  - ・リミテッドエディション使用時に、メインメニュー内の「別プロジェクト表示」→「メッシュ」機能が正しく働かない問題を修正しました。
  - ・いくつかの機能で省メモリ化を行いました。
  - ・いくつかのバグ修正を行いました。

### ・バージョン 3.4 (03/05/20 )

- 1) 「CT 情報」部
- ・CT ボリュームデータの適用範囲がスライス軸 (Z 軸) 方向だけであったのを、X・Y・Z 軸方向すべてに対して範囲指定できるようにしました。(両部位が撮影されたものに対して、片側部位だけを範囲指定することにより、ROI 抽出作業が容易になります。)
- 2) 「ROI 抽出」部
- ・二値化処理に使用される「しきい値」設定を、min,max 値による範囲指定による設定も行えるようにしました。
  - ・ROI 作業の追加・削除等で使用する、指定形状を現在の「任意形状」「矩形形状」に領域拡大による「指定形状」を加えました。
- 3) 「メッシュ生成」部
- ・外形メッシュ生成における前処理として、補間処理モードを追加しました。(スライス間隔の大きいデータや、メッシュサイズを小さくした時に起こるスライス間のジャギー形状を発生しにくくすることができます。この補間処理では元データである ROI データ値を維持したまま行う補間処理ですので、いたずらに ROI データ値が変更されることはありません。)
- 4) 「ファントム設定」部
- ・ファントム設定をした後で、「ROI 抽出」「メッシュ生成」まで処理をもどって行った場合でも、ファントム設定を保持するようにしました。但し、「CT 情報」まで処理を戻って行った場合には保持しません。ファントム設定を有効にするために、再度『ファントム設定』で ON にする必要があります。
- 5) 「荷重拘束条件」部
- ・骨軸指定を「使用しない」「自動設定」「2 点ピック」「3 点ピック」「6 点ピック」から選択設定できるようにしました。また、設定された骨軸はプロジェクト保存されるようにしました。
  - ・荷重拘束の設定において、別プロジェクトを参照し位置合わせを行った後、設定を反映させる機能を追加しました。
  - ・荷重拘束において、荷重範囲あるいは拘束範囲が領域表示するようにしました。
- 6) 表示部
- ・各表示画面において、Movie ファイル (AVI,MPEG) に出力する機能を追加しました。表示画像が変化 (表示が変化の時やマウスで動作させた時など) した時に、1 フレーム (1/30 秒) 毎格納される機能です。
  - ・ボリューム (CT や ROI データ) のスライス表示において、スライス位置座標を表示するようにしました。
- 7) その他
- ・プロジェクト内の一部ファイルフォーマット (拡張子が、「mesh」「geom」「forc」「prop」「cond」のファイル) を大幅に変更し、入出力のレスポンス向上を行いました。
  - ・いくつかのバグ修正をしました。

### ・バージョン 3.3 (02/12/01)

- 1) 「ファントム設定」部
- ・ファントム設定において、コントラスト設定による表示を行えるようにしました。(低コントラストの ROD を設定するのに有効です。)
- 2) 「材料特性」部
- ・『指定矩形領域ヒストグラム』を『任意形状領域ヒストグラム』へ変更しました。(領域ヒストグラムの指定の自由度がアップしました。それに伴い、領域指定されると即時にグラフ表示されるようにインターフェースを変更しました。)
  - ・材料計算のヤング率・降伏応力計算式に「keller」を追加しました。
  - ・材料計算であるサンプリング位置を『要素中心 11 点』で求めていたものを、『要素内 17 点』から求めるようにして精度アップを図った。
  - ・材料特性の確定時において、プロジェクト書き込み処理を高速化しました。
- 3) 「荷重拘束条件」部
- ・荷重設定時の骨軸指定に 3 点ピックによる骨軸設定が行えるようにしました。
- 4) 「解析」部
- ・ソルバー計算の速度アップを行いました。
  - ・直接法である「SKYLINE 法」を同じ直接法である「スパースマトリックス法」に変更し、大幅な速度アップを行いました。(但し、小規模解析向け)
  - ・解析要素に「ひずみエネルギー密度」が計算結果として出力されるようになりました。
- 5) 表示部
- ・解析結果において、要素破壊により自由度になった節点データ (変位) を参照しないように変更しました。
  - ・スカラー選択において、内部計算により『応力強度比』を選択できるように追加しました。(応力強度比は、引張クラック観察の「第一クラックに対する応力強度比」と塑性観察の「塑性に対する応力強度比」の 2 種類を用意しました)

- 6) その他
  - ・いくつかのバグ修正と操作変更を行いました。

#### ・バージョン 3.2 (02/06/20)

- 1) 「ROI 抽出」部
  - ・原画像の表示をコントラストによる表示を行えるようにしました。  
(低コントラストの原画像の ROI 抽出処理に有効です。)
  - ・閾値による初期化時に、同時に中埋め実行する機能を追加しました。  
(骨幹部の中埋め作業が、容易になりました。)
  - ・雑音除去・連結の適合範囲の数値指定を行えるようにしました。
- 2) 「ファントム設定」部
  - ・ROD のサンプリングの取捨選択を、グラフ指定とリスト指定の 2 通りの方法にて行えるようにしました。
  - ・サンプリングの取捨選択は最低 2 サンプリングあればグラフ計算できるようにしました。  
(不要 ROD 値を無視することが、できるようになりました。)
- 3) 「材料特性」部
  - ・原画像スライス表示を 3 種類に増加しました。  
(全画素ヒストグラム (全 ROI 領域)・指定短形領域ヒストグラム・指定直線スキャングラフの 3 種類のグラフ描画が可能になりました。)
  - ・シェル要素における材料特性の計算方法を 3 種類の方法から選択できるようになりました。  
(皮質骨 CT 値から計算 (既存)・隣接ソリッド値から計算・皮質骨 CT 値と隣接ソリッド値の高値から計算の 3 種類を用意。)
- 4) 「荷重拘束条件」部
  - ・荷重設定において、引張り荷重に適した表示が行える機能を追加しました。
  - ・簡易骨軸表示における荷重方向設定の機能が追加されました。
  - ・荷重範囲の設定における節点ピックの使いやすさを向上しました。
- 5) 「解析」部
  - ・解析ルーチンの最適化を行いました。
- 6) 表示部
  - ・「ROI 表示」のタイトル表示 (2×2、3×3、4×4、5×5) 時に、ROI 抽出エリアを黄線によって表示することになりました。
  - ・「コンター表示」[材料特性コンター図]において、指定値により抽出されたセル形状の表面コンター表示を行う『データ抽出表面コンター』機能を追加しました。
  - ・「データ抽出」群において、抽出されたソリッド・シェル情報を指定ファイル CSV フォーマットで追加書き込みができる機能を追加しました。(EXCEL 等の表計算ソフト上で数値を表示することが可能です。)
- 7) その他
  - ・いくつかのバグを修正しました。

#### ・バージョン 3.1 (01/07/30)

- 1) メッシュ外側形状の STL・DXF フォーマットのファイル出力機能を追加しました。
- 2) 製品ラインナップとして、リミテッドエディション (機能限定版) を追加しました。
- 3) CT 情報の表示を 3D 表示に変更しました。
- 4) ビューワー画面上部に、「回転」「拡大縮小」等のよく使用する機能を配置しました。
- 5) 材料特性でユーザー定義による換算式を適用することが可能になりました。
- 6) 初期値設定の「材料特性・解析処理」にて、「規定の設定にセット」する機能を追加しました。
- 7) 解析時に「解法種別」項目を追加しました。
- 8) バグフィックス
  - ・SGI 版で外部プロセス処理時の不具合を修正しました。
  - ・荷重拘束の自動設定機能の不具合を修正しました。

#### ・バージョン 3.0 (01/04/09)

- 1) ファントム使用時に CT 値・密度値の換算式を生成し、適用する機能を追加しました。
- 2) 荷重拘束で大腿骨部位における自動設定機能を追加しました。
- 3) バグフィックス

#### ・バージョン 2.0 (01/02/06)

- 1) バージョン 1.0 を大幅に見直し、新たな設計上で開発を行いました。
- 2) リリースに合わせ、PC 版も製品ラインナップとして追加しました。

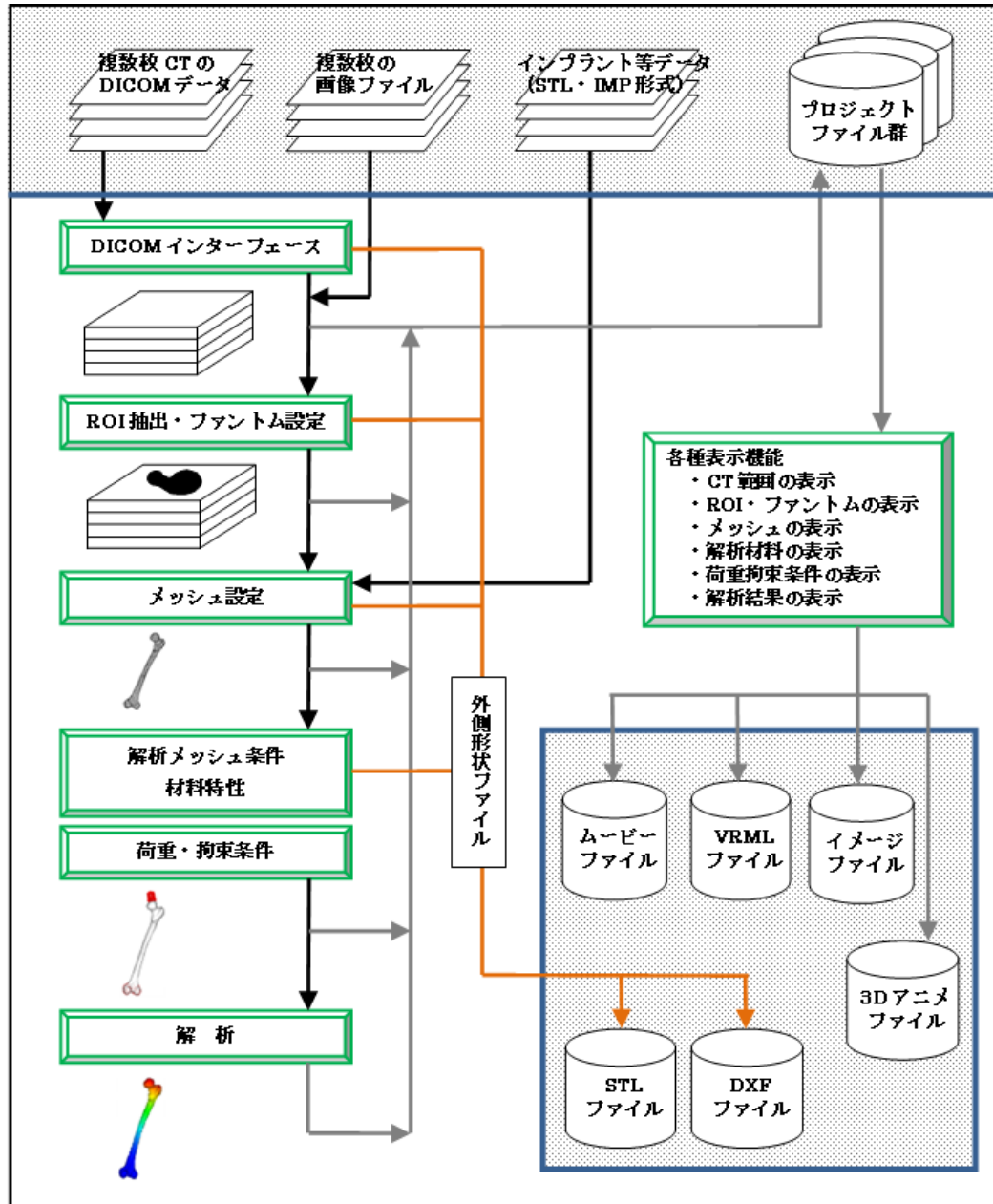
#### ・バージョン 1.0 (99/12)

- 1) 骨強度評価ソフトウェア「MECHANICAL FINDER」として開発しました。(SGI 版のみ)

## 第2章 概要

本S/Wは、複数枚のDICOMデータから3次元骨強度解析を行うS/Wです。

下記にその処理プロセスを記します。



## 2. 1 各機能の概要

### ・機能構成

本 S/W は『メインメニュー』からの操作により、

- ・『DICOM インターフェース』（新規プロジェクトを選択）
- ・『CT 範囲』
- ・『ROI・ファントム』
- ・『メッシュ生成』
- ・『解析メッシュ条件』
- ・『材料特性』
- ・『荷重拘束条件』
- ・『解析』
- ・『外側形状のファイル出力機能』
- ・『各種表示機能』
- ・『グラフ機能』等...

を動作させることができるよう作成されております。

### ・メインメニュー

本 S/W のメイン画面です。[ファイル]、[オプション] の各メニュー項目処理、および『CT 範囲』、『ROI 抽出』、『メッシュ生成』…等の呼出しなどを行います。

### ・DICOM インターフェース

[ファイル] → [新規プロジェクト] を選択することにより、X 線 CT 撮影装置により撮影された複数枚からなる DICOM データを本 S/W 形式ファイルへ変換します。

また、ツール群の（画像データ構築ツール）を使用することにより、画像ファイル（BMP・JPEG）からの本 S/W プロジェクトファイルへの変換も行えます。

### ・CT 範囲

CT ボリュームの有効範囲を制限することにより、後のプロセスの操作負荷を軽減することができます。

### ・ROI・ファントム

CT 原画像データから解析対象となる部分（骨）を抽出します。抽出された情報は解析対象となる部分：真、解析対象外の部分：偽により表現した二値化データとして保存されます。

また、ファントム設定を行うことにより、材料特性設定時に CT データ・密度値とのキャリブレーションが行えます。

### ・メッシュ生成

インプラント挿入した形状（EE）や ROI 抽出した CT データに対し 3 次元メッシュを自動生成します。

### ・解析メッシュ条件

解析材料設定・骨軸設定・解析座標の設定が行えるようになっています。

### ・材料特性

ヤング率や降伏応力値等の材料を設定します。

- **荷重拘束条件**

荷重・拘束条件などを設定します。

- **解析**

設定された条件で解析を行いその結果を表示します。

- **外側形状のファイル出力機能**

メッシュ生成された形状の外側形状（シェル要素）部分を STL フォーマット、DXF フォーマットとしてファイル出力することができます。『ROI 抽出時の外形状出力』と『外形メッシュの外形状出力』と『解析メッシュの外形状出力』の3つのプロセスで出力機能を用意しています。

- **各種表示機能**

各機能プロセスに合った表示機能を備えています。表示画面を画像ファイルや動画ファイルとして保存する事も可能です。また、アニメーション表示や VRML 出力も備えています。

- **グラフ機能**

材料特性・解析結果を用いてのグラフ描画が行えます。

## 2. 2 プロジェクトについて

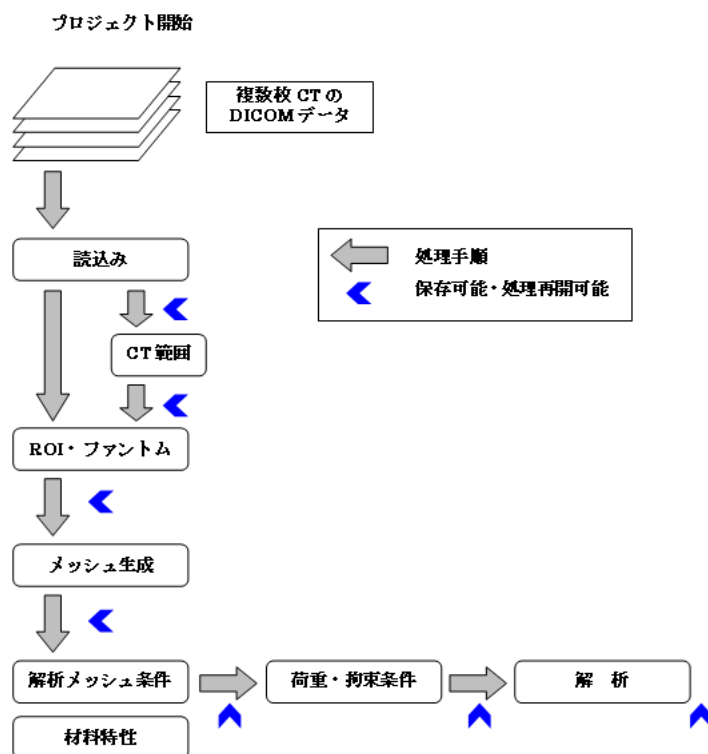
### ・プロジェクトの概念

本 S/W では1 解析ケースを”プロジェクト”と呼びます。同一の CT 画像を用いた場合においても、『CT 範囲』、『ROI・ファントム』、『メッシュ生成』、『解析メッシュ条件』、『材料特性』、『荷重拘束条件』、『解析』の設定値が異なれば別プロジェクトとなります。

過去に実施した解析を読み込んで別の条件を設定して解析を行った場合は保存方法に注意してください。

### ・保存と処理再開

本 S/W では以下に示すタイミングでデータの保存が可能です。また同様のタイミングで処理の再開が可能です。



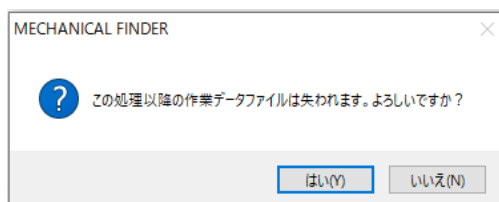
### ・プロジェクトの再処理

進行したプロジェクトの内容を変更して再処理する場合、そのタイミングの状態以降のプロジェクトの内容が破棄されます。例えば、『メッシュ生成』迄進行しているプロジェクトに対して『ROI・ファントム』を行うと、『ROI・ファントム』後に『メッシュ生成』を改めて行わなければなりません。

下記ダイアログが表示された場合は、作業中のプロジェクトのデータファイルが破棄されます。

新規プロジェクト（プロジェクトが未保存の場合）では、その進行中のプロジェクトについて、選択したタイミング以降のファイルが破棄されます。

既存プロジェクト（プロジェクトが保存済みの場合）では、プロジェクトは作業ディレクトリ上にコピーされていますので、その作業ディレクトリ上のプロジェクトについては選択したタイミング以降のファイルが破棄されますが、元のプロジェクトは一切破棄されることはありません。





## 2. 3 起動方法

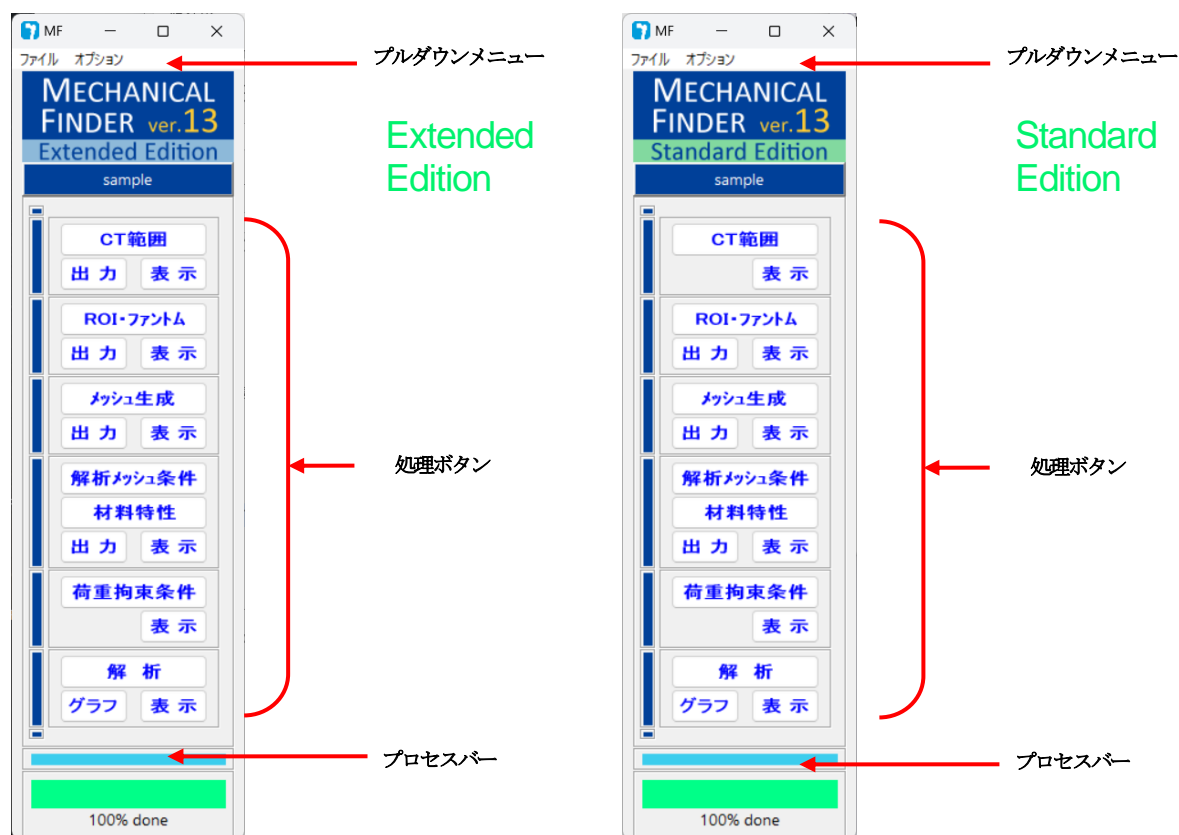
起動内容	起動方法
MECHANICAL FINDER 本体起動	<p>スタートメニューから以下のプログラムを選択してください。</p> <p>「スタート」 ↓ 「すべてのアプリ」 (Windows 10/11 を除く) ↓ 「MECHANICAL FINDER V13 EE x64」 ↓ 「MECHANICAL FINDER V13 EE」</p>
ヘルプ	<p>スタートメニューから以下のプログラムを選択してください。</p> <p>「スタート」 ↓ 「すべてのアプリ」 (Windows 10/11 を除く) ↓ 「MECHANICAL FINDER V13 EE x64」 ↓ 「ヘルプ」 (Windows 10/11 を除く) ↓ 「機能説明書」 (「チュートリアル基本」、「チュートリアル応用」)</p> <p>※ あるいは本体メニューより選択可</p>
ツール群	<p>スタートメニューから以下のプログラムを選択してください。</p> <p>「スタート」 ↓ 「すべてのアプリ」 (Windows 10/11 を除く) ↓ 「MECHANICAL FINDER V13 EE」 ↓ 「ツール」 から希望のツールプログラムを選択。</p> <p>※ あるいは本体メニューより選択可</p>

## 2. 4 最初の起動後の設定

インストール後の最初の起動時には、起動環境等が初期設定値になっているため、ユーザーに合った環境等に変更する必要があります。メニューから「オプション」→「初期値設定」→「アプリケーション全般」を選択し、ユーザーに合った環境に設定してください。

### 第3章 メインメニュー

この章ではメインメニューの使い方について項目毎に説明します。  
本SWで行うすべての操作はメイン画面を起点に始めます。  
ここではメイン画面で行うことができる操作について説明します。



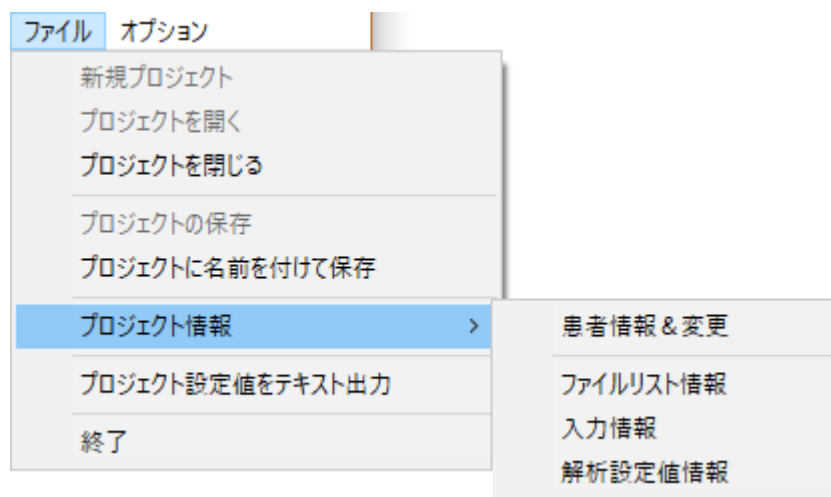
プルダウンメニュー	ファイルの読み込み、保存や各種設定を行います。
処理ボタン	解析までの手順に従い各処理を行います。 処理ボタンは大きさで機能分けしています。 ・大きなボタン…パラメータ設定（実作業）を行う ・小さなボタン…実作業の確認表示や出力を行う
プロセスバー	処理経過を表示します。

### 3. 1 プルダウンメニュー（ファイル）

プルダウンメニューのファイル項目の構成は以下の通りです。



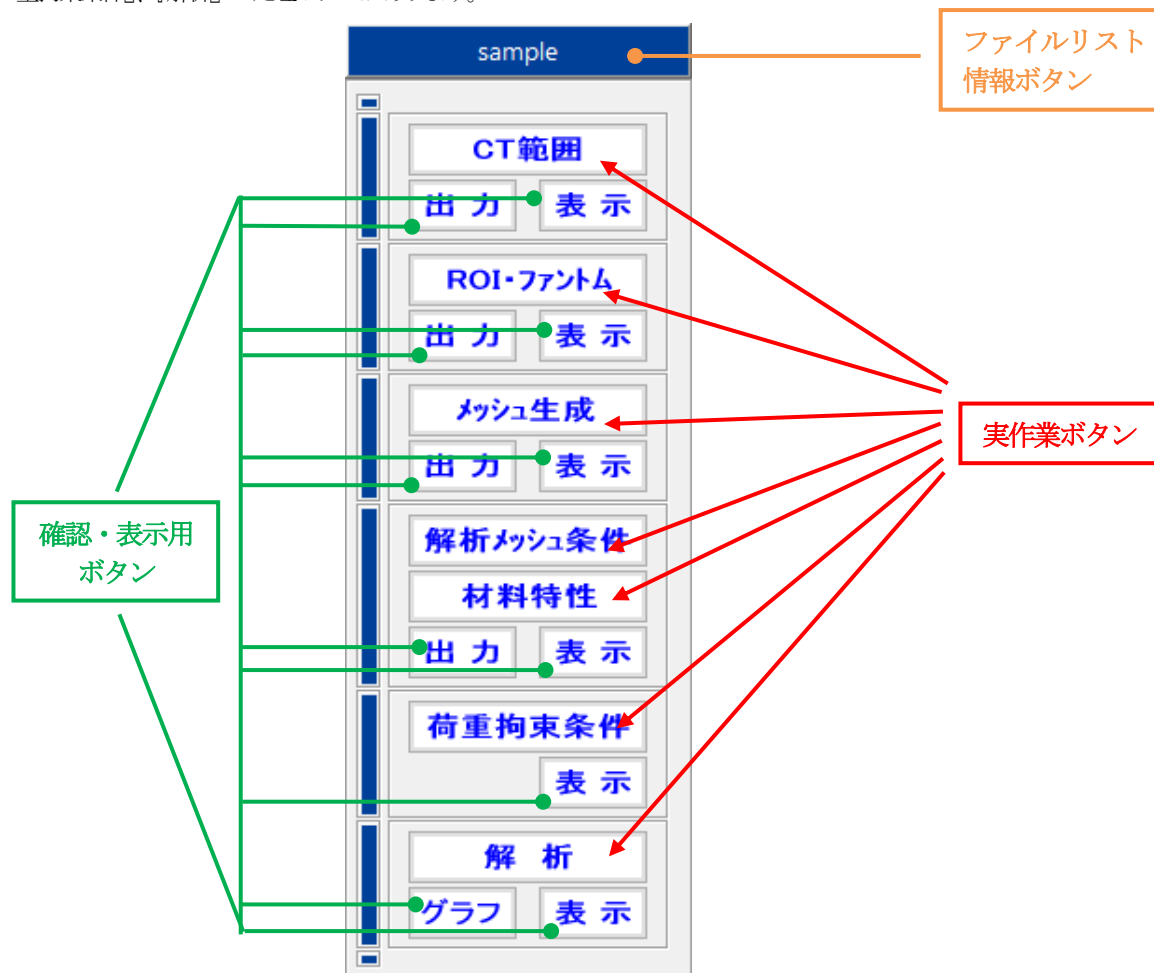
メニュー項目	内 容
新規プロジェクト	DICOM ファイル群を読み込み、プロジェクトを新規作成します。
プロジェクトを開く	既存のプロジェクトを開き、内部展開します。
プロジェクトを閉じる	現在開いているプロジェクトを閉じます。
プロジェクトの保存	プロジェクトを同名保存します。
プロジェクトに名前を付けて保存	プロジェクトを別名保存します。
プロジェクト情報	現在開いているプロジェクトの各種情報を表示します。
プロジェクト設定値をテキスト出力	プロジェクトの設定値をテキストファイルに出力します。
終了	本 S/W を終了します。



メニュー項目	内 容
患者情報 & 変更	DICOM データからの患者情報の表示と変更が行えます。
ファイルリスト情報	現在開いているプロジェクトのファイル構成を表示します。
入力情報	現在開いているプロジェクトの入力情報を表示します。
解析設定値情報	現在開いているプロジェクトのユーザーが設定した情報を表示します。

### 3. 2 処理ボタン

メイン画面メニューバーの下に『CT 範囲』、『ROI・ファントム』、『メッシュ生成』、『解析メッシュ条件』、『材料特性』、『荷重拘束条件』、『解析』の処理ボタンがあります。



処理手順は、上から下への順になっており、各処理を開始するには対応するボタンをクリックします。

解析のための実作業を行うのは、『CT 範囲』、『ROI・ファントム』、『メッシュ生成』、『解析メッシュ条件』、『材料特性』、『荷重拘束条件』、『解析』の大きなボタンであり、各ボタン配下の『表示』、『出力』、『グラフ』は、確認あるいは結果表示や出力機能です。

ボタン左部のラインは処理の進行状態を表わします。

未処理の状態は黒色ライン、処理済みの状態は青色ライン、処理途中の状態は黄色ラインで表されます。

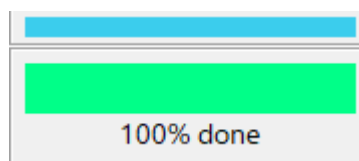
未処理の状態の処理ボタンはクリックできません。

一番上部のボタンには、現在読み込まれているプロジェクト名が表示されます。

ボタンを押すと、プロジェクトのファイルリスト情報が表示されます。

新規プロジェクト時には「project : 未設定」になります。

### 3. 3 プロセスバー



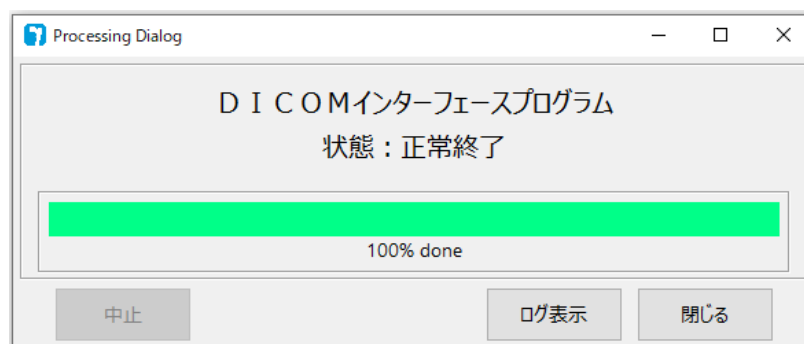
プロセスバーには、2種類存在します。

上部プロセスバー（水色部）は、内部プロセスの処理経過を表示し、下部プロセスバー（緑色部）は、外部プロセスの処理経過を表示します。

外部プロセスバーは、

- ・DICOM インターフェースプログラム
- ・内部メッシングプログラム
- ・解析処理プログラム

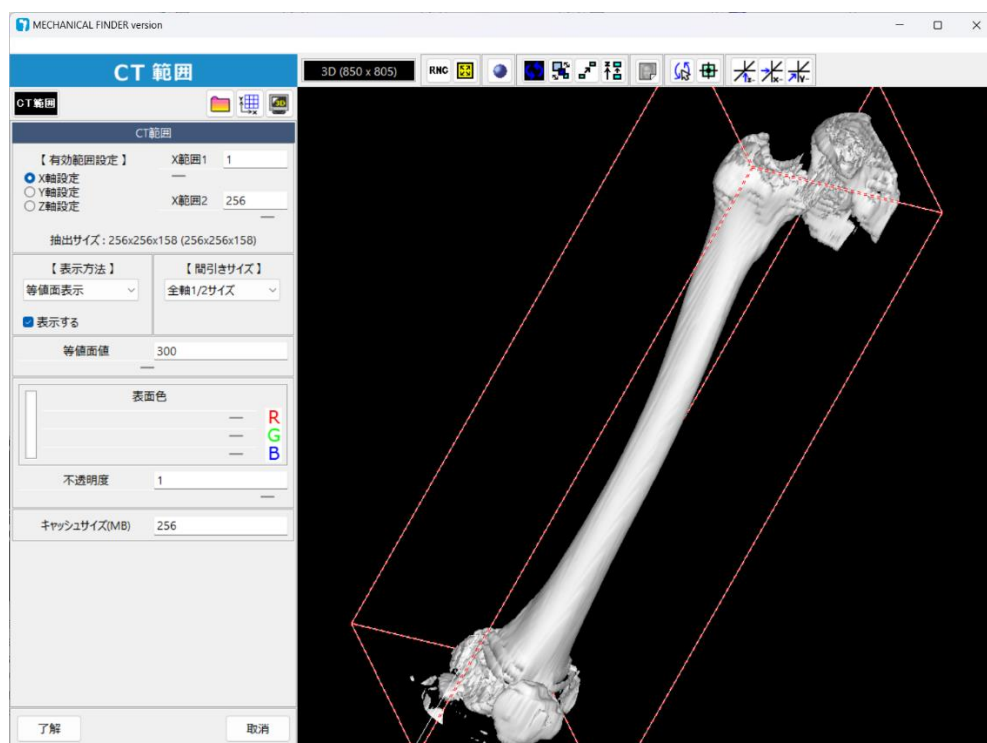
時に起動され、下記のようなダイアログと連動します。



## 第4章 CT 範囲

『CT 範囲』では、読み込まれた同シリーズの DICOM データの内、形状抽出処理に使用するボリューム範囲 (解析対象範囲) を指定することができます。(例えば下図のように左右大腿骨が撮影されたものを左大腿骨の範囲だけにするなど) 範囲外ボリュームを除外することにより、各処理のレスポンスが良くなり、操作手順も減少できます。

又、CT スライスを 3 次元的に表示するため、DICOM データの確認に有効です。



項目名	内 容
<b>CT 範囲</b>	CT 範囲の設定
	データ情報
	外形図
	ビューワー設定

## 第5章 ROI抽出・ファントム設定

『ROI抽出』（2次元ROI処理・3次元ROI処理・AI処理）ではCT原画像のデータから解析対象となる部分（骨部）を二値化データ抽出することを目的として作業します。

二値化データとは解析対象となる部分：真、解析対象外の部分：偽により表現したデータです。

『ROI抽出』機能は少々複雑な構成になっておりますので、[『5. 1 2次元ROI処理・3次元ROI処理・AI処理について』](#)にまず目を通されることをお勧めします。

エクステンデッドエディションでは、複数のROIグループを設定することができます。

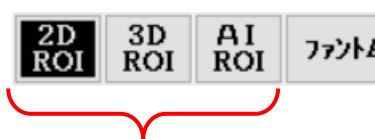
また、骨量ファントムなどと同時撮影されたCT原画像の場合には、『ファントム機能』を使用することにより、CT原画像濃度値と骨密度値との正確なキャリブレーションを行うことができますようになります。



項目名	内 容	
	2次元ROI処理	<b>【 共有作業 】</b> <a href="#">詳細は 5. 1 ^</a>
	3次元ROI処理	
	AI処理	
 (オプション)	ファントム設定	
	データ情報	
 	ビューワー設定	



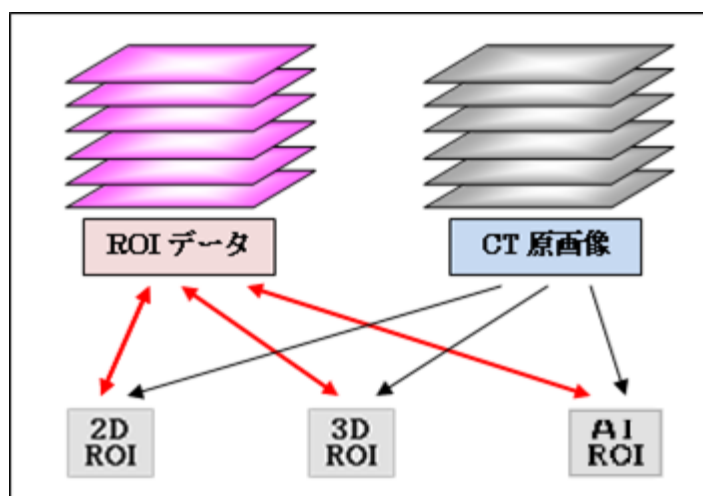
## 5. 1 2次元ROI処理・3次元ROI処理・AI処理について



ROI抽出作業を行う上図3つの機能（2次元ROI処理・3次元ROI処理・AI処理）は、それぞれ必ず設定する機能ではなく、必要な機能の場合ごとに切り替えて使用するという方法をとります。

これら3つの機能は、「CT原画像」と「ROIデータ」を共有しているため、1つの機能で変更された「ROIデータ」は、他の2つの機能にも反映されます。

### 【イメージ図】



各機能は以下のような特徴をもちます。

機 能	特 徴
2次元ROI処理（2D ROI）	ROI抽出の基本となる機能です。 アキシャル・コロナル・サジタル方向から見た2次元画像を写し、骨部の抽出作業をします。 細かな描写修正を行うのに適しています。
3次元ROI処理（3D ROI）	部位を一塊にして、抽出・削除を3次元画像で確認・実行します。 例えば左右部位がある場合に、片方の部位だけを一気に抽出・削除することができます。（但し、部位とは繋がっている一塊を示します） また、工具を使用した切削・穴あけを行うことができるモードも有ります。
AI処理（AI ROI）	深層学習を利用して骨形状抽出を補助することを目的とした機能です。 学習データを持っている骨形状の自動抽出が可能であり、現在は「大腿骨」「大腿骨＋骨盤」「椎体」の3種類に対応しています。 <b>NVIDIA製の対応するGPU</b> を搭載しているPCでは、CPUを用いるより高速に処理することができます。GPUの対応状況は更新されますので、ご不明の場合は技術サポートへお問い合わせください。 <b>AI処理による自動抽出を実行後は、必ず2D ROI処理や3D ROI処理で確認を行ってください。</b> 使用している深層学習モデルにつきましては「付録5. 2 ROI・ファントムについて」の「Q3.『AI ROI』機能の詳細を知りたい」もご参照ください。

ROI 抽出（2 次元 ROI 処理・3 次元 ROI 処理・AI 処理）作業は、CT 原画像のデータから解析対象となる部分（骨部）を抽出する作業です。この部位（骨部）を抽出するには以下の手順で行うのが効率的です。

I. 全 CT 原画像領域（全スライス）に対して、解析対象となる部位（骨部）がまんべんなく抽出できる閾値パラメータ指定を行い適用します。
II. 解析対象外の部位が存在する場合は、解析対象外部位を削除するか、解析対象部位を抽出します。
III. 2 次元 ROI 処理で、CT 原画像をマウス操作等により、骨部の修正を全スライスに対して行います。

上記手順を行う際のメニュー対応を以下に記します。

プロセス	2 次元 ROI 処理 (2D ROI)	3 次元 ROI 処理 (3D ROI)	AI 処理
I	CT 原画像の閾値指定による 全スライス初期化		深層学習を利用した 自動抽出により、 プロセス I と II を実行
	2 次元画像処理を用いて閾値指定に よる全スライス初期化		
II		3 次元表示上で指定部位の 抽出・削除を行う	
III	CT 原画像上のマウス操作で 細かな関心領域の描写修正を行う		

上記プロセス I・II・IIIにおける操作は、適用できる機能（2 次元 ROI 処理・3 次元 ROI 処理・AI 処理）のどれを使用して  
も良く、撮影条件や解析対象あるいはユーザーの使用感等にあった機能を選択し使用ください。

## 5. 1. 1 ROI抽出領域について

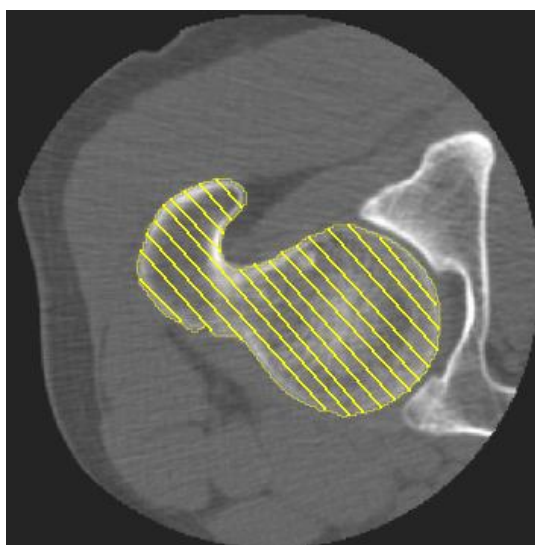
### 1. 一般的な方法

ROI抽出（2次元ROI処理・3次元ROI処理・AI処理）作業は、CT原画像のデータから解析対象となる部分（骨部）を抽出する作業です。

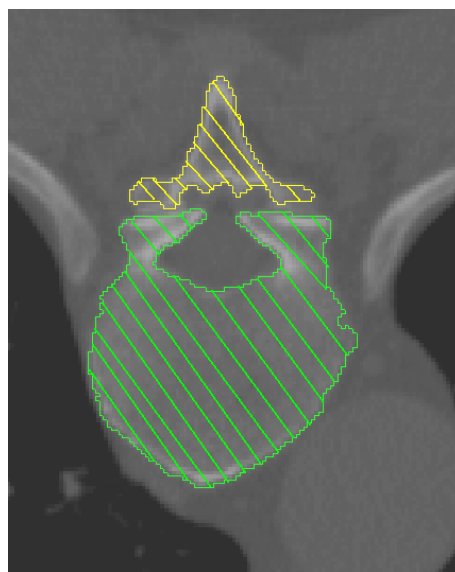
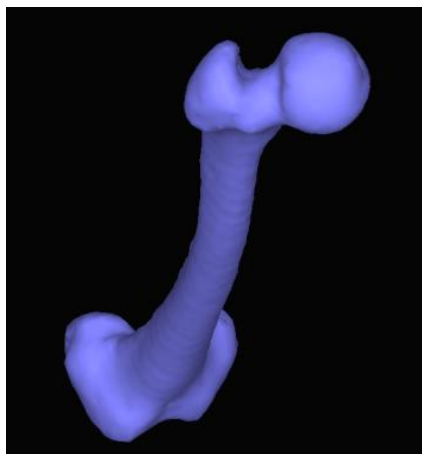
この時抽出する骨部とは、本SWでは【皮質骨+海綿骨】を含めた骨全体のことを言います。

一般的に、通常の作業では下図左のようなROI領域を抽出します。

ただし、下図右の椎骨のように複数の骨にまたがって解析を行いたい場合には、骨間を軟骨として別番号でROI抽出するか、メッシュ生成時にインポート処理を行い何らかの形状で接続することが必要になります。（EE）

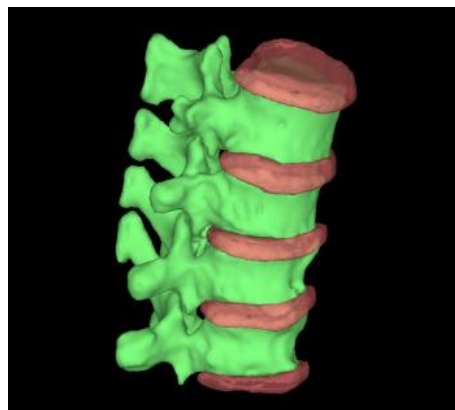


大腿骨のみ解析対象



椎骨複数を含めて解析対象（EE）

- ・隣接骨ではROI番号を分けている
- ・椎間円板も別ROI番号としている



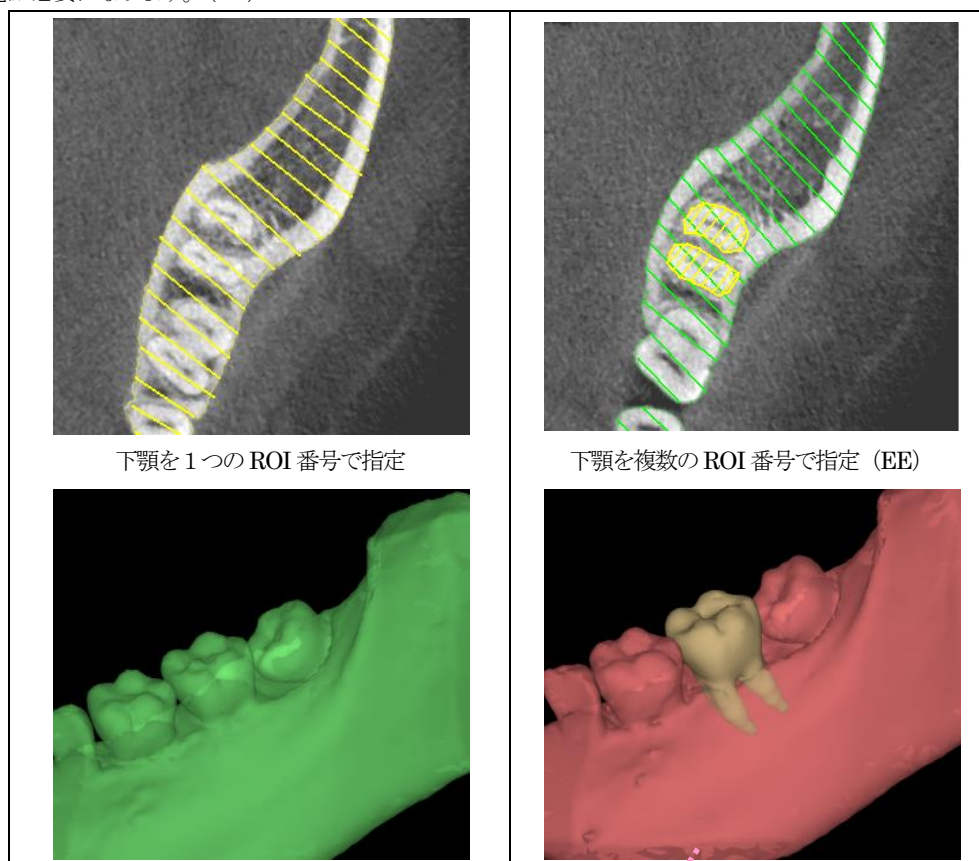
次ページでは、少し異なったROI抽出の方法を示しています。

## 2. 少し特殊な方法

本 S/W では一般的に、ROI 抽出する骨部とは【皮質骨+海綿骨】を含めた骨全体のことを言いますが、骨質などによって内部の ROI 番号を分ける場合もあります。

下図左の場合は前ページの一般的な方法で、下顎を歯牙も含めて同じ ROI 番号で指定した方法です。この場合、解析するメッシュは、歯牙を含めた下顎全体を一つのメッシュ形状として表されます。

一方、下図右は、下顎と歯牙を ROI 番号で分けて指定した方法です。この場合、解析されたメッシュおよび材料特性は下顎と歯牙でグループ分けすることができるようになります。このような指定を行う場合には、ROI 番号の重複個所の設定に注意が必要になります。(EE)



(サジタル方向から見た図)



### 【 ROI 指定方法 】

- ・歯牙埋入部 (赤色個所) は2つの ROI 番号が重複指定されている

## 5. 2 ファントム設定について

以下の全条件を満たす場合、ファントム設定を適用することによって材料特性がより正確に設定されます。



- (1) XCT 撮影時にファントムが撮影されている。
- (2) ファントムの各 ROD 濃度値 ( $\text{mg}/\text{cm}^3$ ) が既知である。
- (3) 材料特性を不均質材料として設定するつもりである。

### ※注意点

ファントム設定は、初期値ではファントムを適用しない仕様になっています。

### 5. 3 ROI 作業の操作

ROI 作業のアイコン機能に対する実操作例を手順通りに示しております。ご参考ください。



メニュー	操作ボタン画面	詳細
2 次元 ROI 処理		<a href="#">『5. 3. 1 2次元ROI 操作例1 (形状指定)』へ</a>
2 次元 ROI 処理		<a href="#">『5. 3. 2 2次元ROI 操作例2 (編集および特殊)』へ</a>
3 次元 ROI 処理	<div>3次元ROI処理モード</div> <ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="radio"/> マウスピック指定による範囲選択</li> <li><input type="radio"/> マウสดラッグによる透過矩形範囲</li> <li><input type="radio"/> 簡易操作による分離</li> <li><input type="radio"/> 工具使用による範囲選択</li> </ul>	<a href="#">5. 3. 3 3次元ROI 操作例 (ピック指定による切削例)</a>
3 次元 ROI 処理	<div>3次元ROI処理モード</div> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="radio"/> マウスピック指定による範囲選択</li> <li><input checked="" type="radio"/> マウสดラッグによる透過矩形範囲</li> <li><input type="radio"/> 簡易操作による分離</li> <li><input type="radio"/> 工具使用による範囲選択</li> </ul>	<a href="#">5. 3. 4 3次元ROI 操作例 (透過矩形範囲指定例)</a>
3 次元 ROI 処理	<div>3次元ROI処理モード</div> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="radio"/> マウスピック指定による範囲選択</li> <li><input type="radio"/> マウสดラッグによる透過矩形範囲</li> <li><input checked="" type="radio"/> 簡易操作による分離</li> <li><input type="radio"/> 工具使用による範囲選択</li> </ul>	<a href="#">5. 3. 5 3次元ROI 操作例 (簡易操作による分離例)</a>
3 次元 ROI 処理	<div>3次元ROI処理モード</div> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="radio"/> マウスピック指定による範囲選択</li> <li><input type="radio"/> マウสดラッグによる透過矩形範囲</li> <li><input type="radio"/> 簡易操作による分離</li> <li><input checked="" type="radio"/> 工具使用による範囲選択</li> </ul>	<a href="#">5. 3. 6 3次元ROI 操作例 (工具による切削例)</a>

<p>AI 処理</p>		<p><a href="#">『5. 3. 7 AI 処理操作例』</a></p>
--------------	---	---



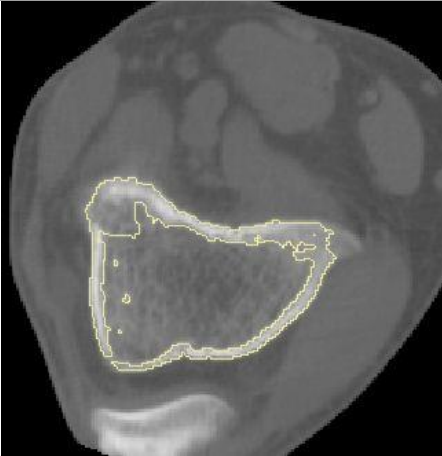
### 5. 3. 1 2次元ROI操作例1 (形状指定)



ROI 抽出時の [形状指定] ボタンの操作を示します。

以下の例では [データ選択] で (原画像)、[編集] で (追加) が選択されているものとします。

#### 任意形状モード

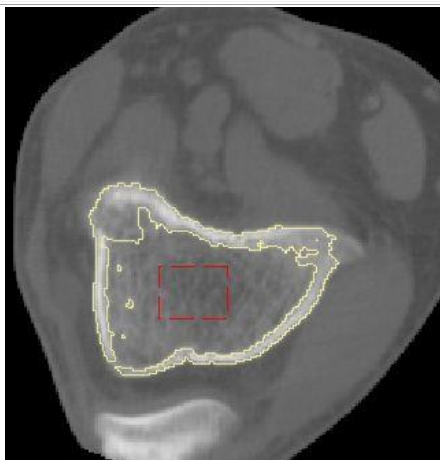
	ボタンを押し、任意形状モードにします。
	
上のように必要な個所をマウス右ドラッグによって指定します。	
	
すると形状内が追加されました。	



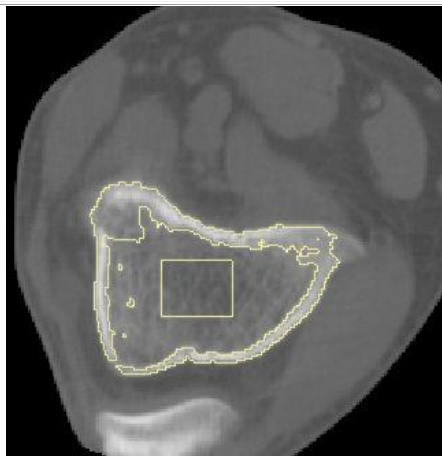
## 矩形形状モード



ボタンを押し、矩形形状モードにします。



上のように必要な箇所をマウス右ドラッグによって指定します。



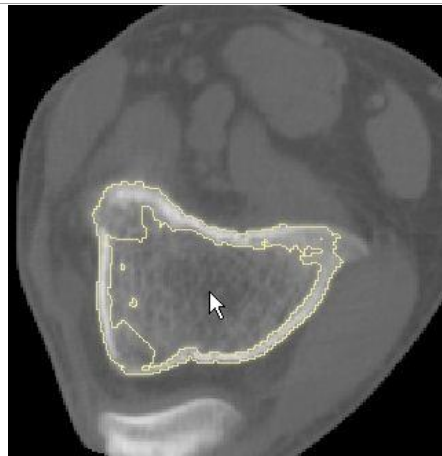
すると形状内が追加されました。

## 指示形状モード

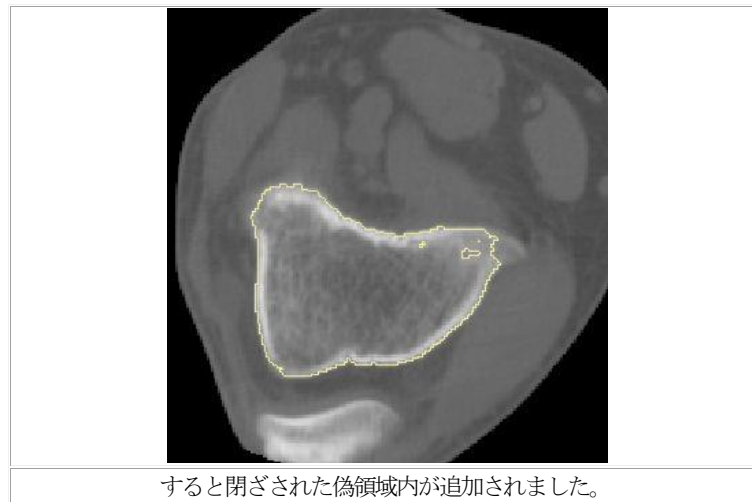
右ピックにより指定した形状（境界までの形状）に対して処理します。



ボタンを押し、指示形状モードにします。



指示形状（ここでは閉ざされた偽領域）を右ピックにより、指定します。



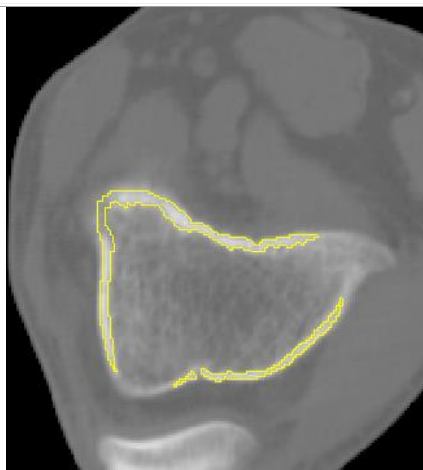
## 任意線モード



ボタンを押し、任意形状モードにします。



上のように必要な箇所をマウス右ドラッグによって線を引きます



すると線を引いた箇所が ROI に追加されました。

線太さ 2

線の太さを変えたい場合はボタン右の < > で変更してください。

### 5. 3. 2 2次元ROI操作例2（編集および特殊）



ROI 抽出時の「編集」「特殊」項目の

ボタンの操作を示します。

以下の例では「データ選択」で（原画像

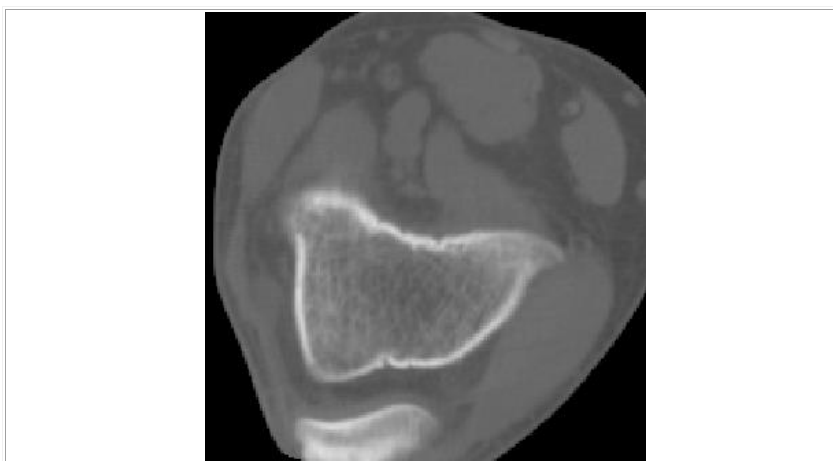


「形状指定」で（任意形状



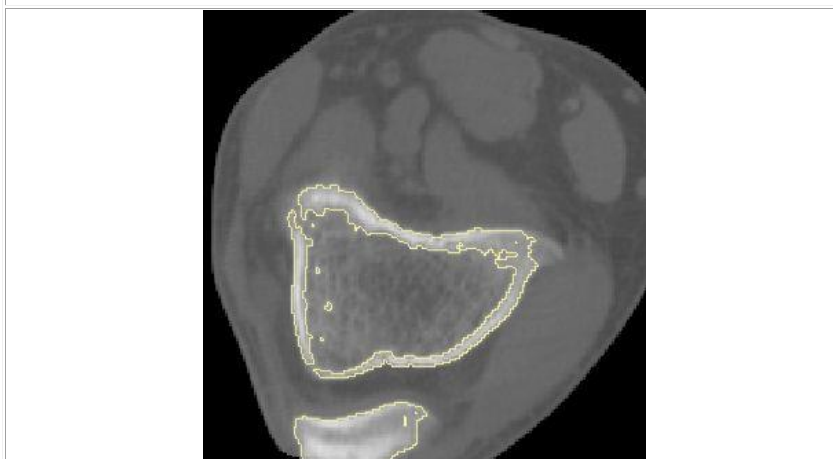
）が選択されているものとします。

#### 指定閾値による二値化



上のような原画像に対して指定閾値を入力し、初期化を行うと下のような抽出が行われます。

指定閾値の設定は、「グラフ描画」を行い表示ヒストグラムにより試行してください。

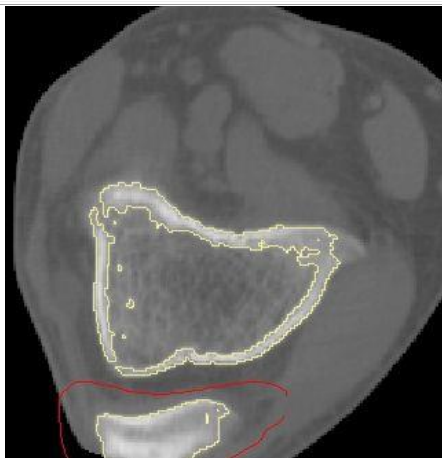


参考ページ：チュートリアル基本『2.3 ROI 抽出（閾値による自動抽出）』

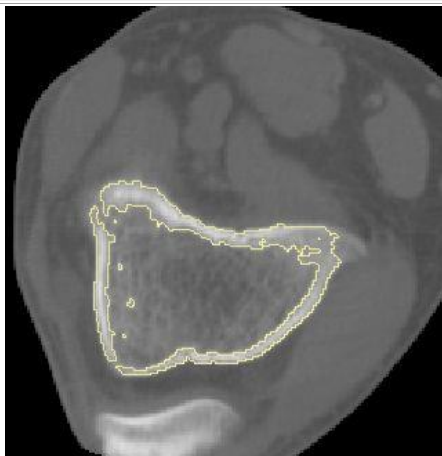
## 削除モード



ボタンを押し、削除モードにします。



上のように不要な個所をマウス右ドラッグによって囲みます。

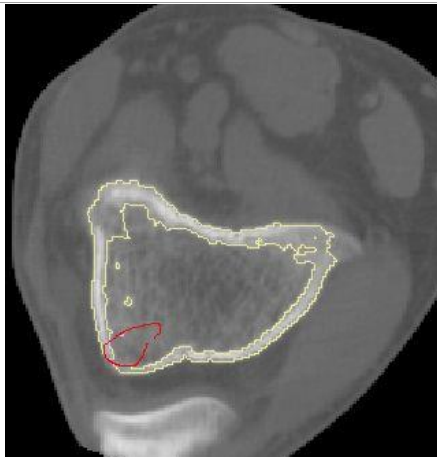


すると、囲まれた個所が削除されます。

## 追加モード



ボタンを押し、追加モードにします。



上のように必要な箇所をマウス右ドラッグによって囲みます。

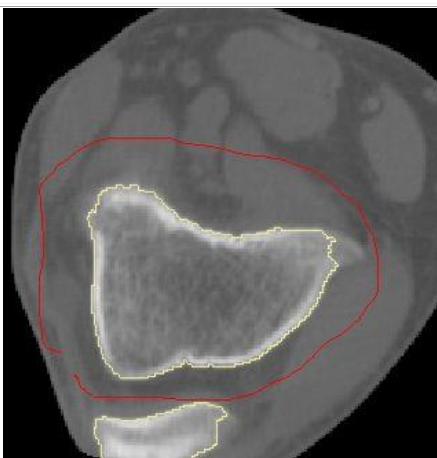


すると、囲まれた個所が追加されます。

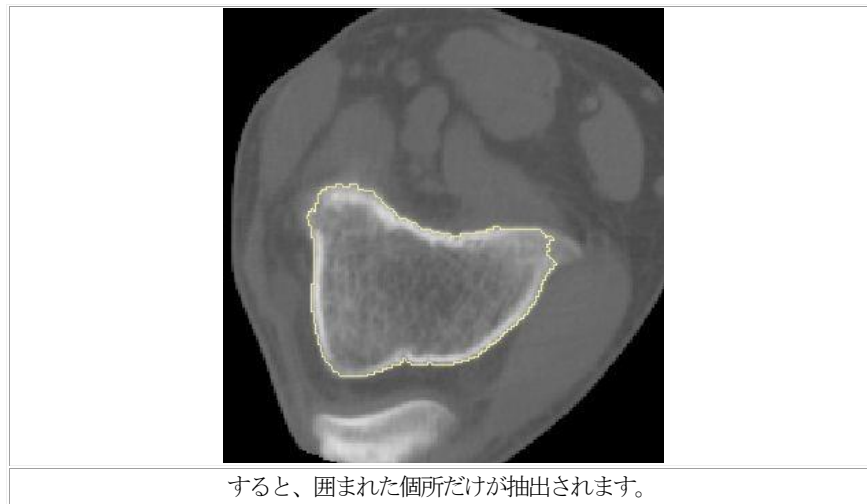
## 抽出モード



ボタンを押し、抽出モードにします。





上のように抽出したい箇所をマウス右ドラッグによって囲みます。




すると、囲まれた個所だけが抽出されます。

#### 変換モード (EE)

ROI 3 ^ v

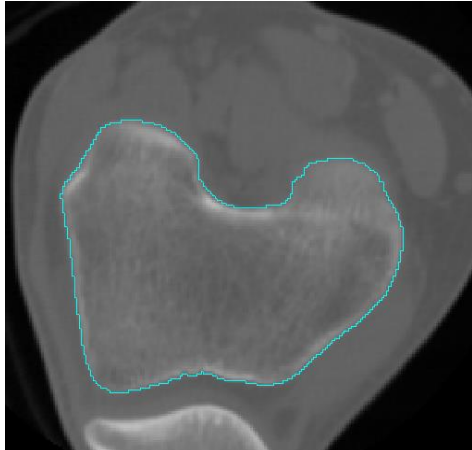
形状指定を指示形状にしてから、変換モードボタンを選択します。そして、変換したいROI グループを選択します。



上のように ROI グループ変更したい個所をマウス右ピックによって指定します。  
 その際、ROI グループは指定するグループと同じ ROI グループを選択しておきます。  
 (上記の場合には、黄色である ROI グループ 1 を選択しています)

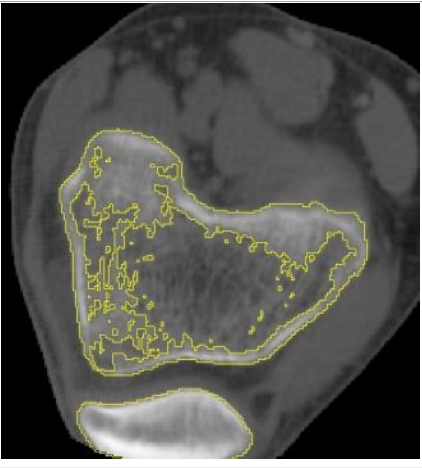

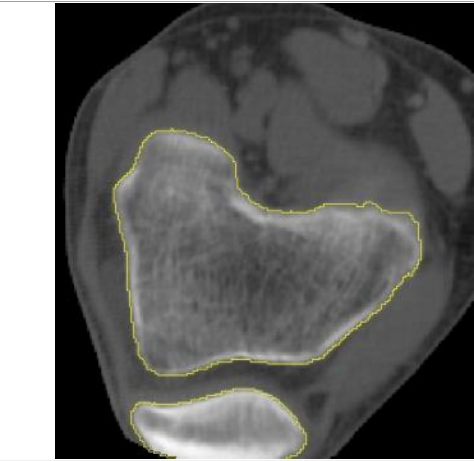

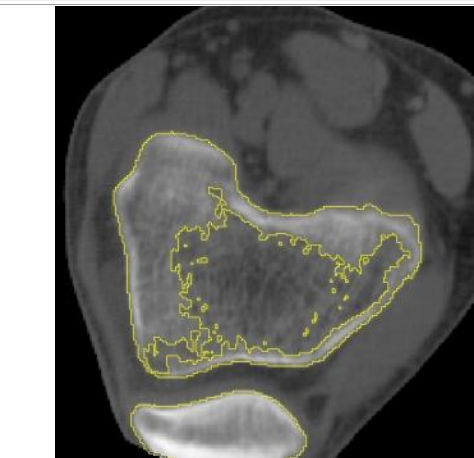
ROIグループ ☒

1
2
3
4
5
6
7

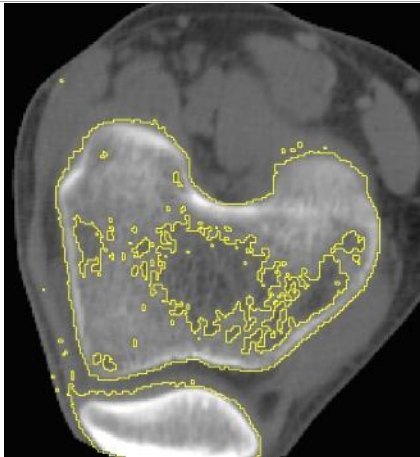

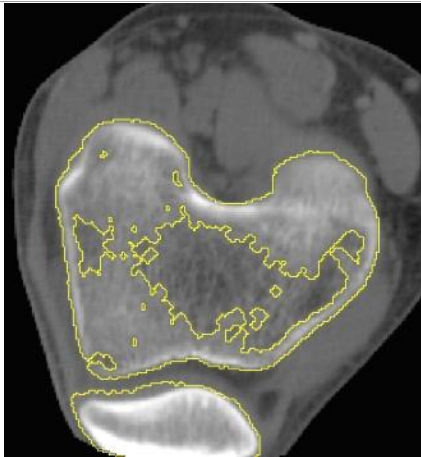

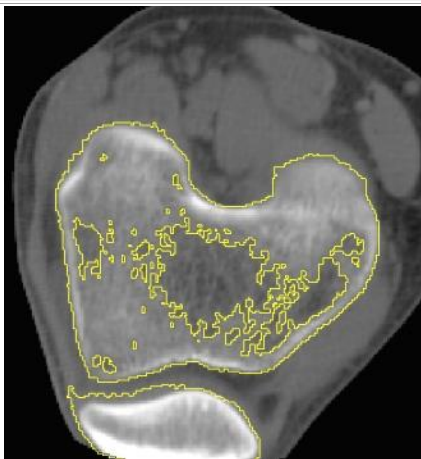


すると指定 ROI グループ 1 (黄色) から、変換したい ROI グループ 3 (水色) へと  
 ROI グループが変換されました。

## 中塗り（ピクセル中塗り）

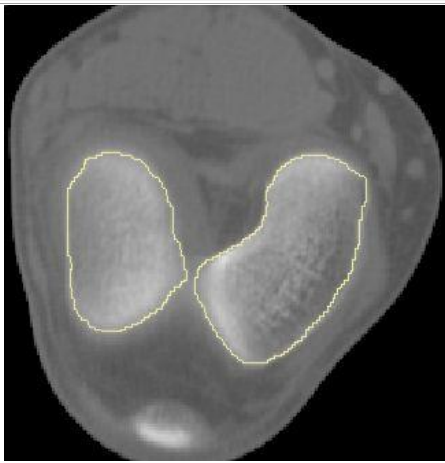

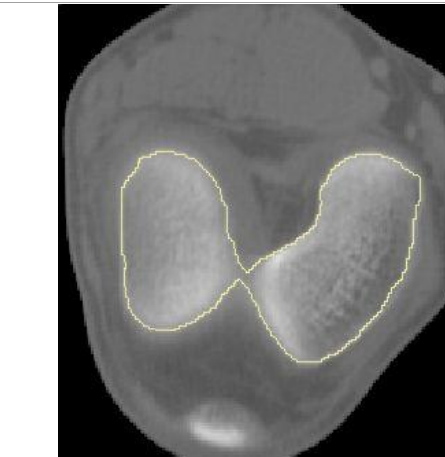
		<p>(元画像)</p>
	<p>元画像に対して、このボタンを押すと下図のように穴のある個所を中塗りします。</p>	
		
	<p>元画像に対して、このボタンを押すと下図のようにピクセル範囲以下の穴のある個所を中塗りします。（ピクセル範囲 1000）</p>	
		

雑音除去（ピクセル雑音除去）

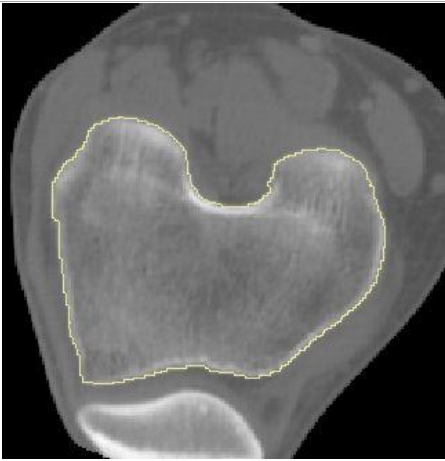

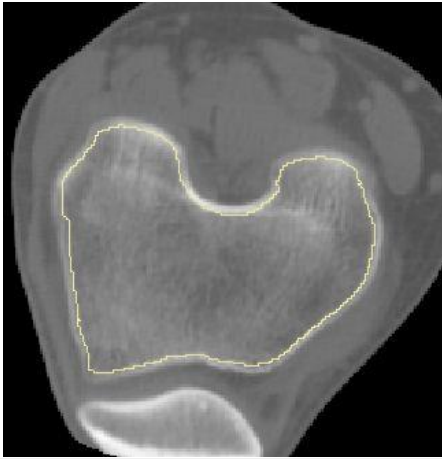

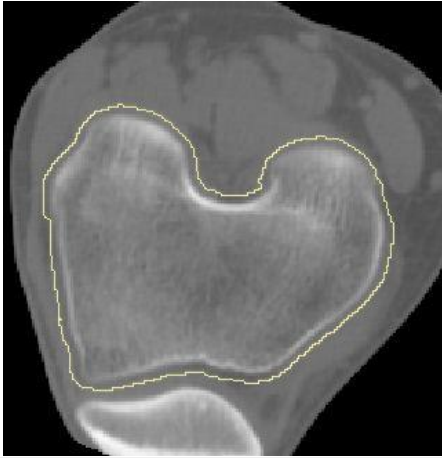
		(元画像)
	元画像に対して、このボタンを押すと下図のように雑音を除去します。(効果領域 2) ※雑音以外の箇所も“なまって”処理されます。	
		
	元画像に対して、このボタンを押すと下図のようにピクセル範囲以下の雑音を除去します。(ピクセル範囲 10) ※“なまって”処理されることはありません。	
		



## 連結

		(元画像)
	元画像に対して、このボタンを押すと下図のように近い距離にある部分を連結します。 ※その他箇所も“なまって”処理されます。	
		

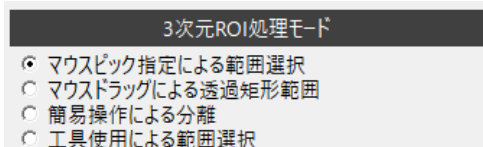
収縮・膨張

 <p>(元画像)</p>	
	元画像に対して、このボタンを押すと下図のように全体的に収縮します。 ※その他箇所も“なまって”処理されます。
	
	元画像に対して、このボタンを押すと下図のように全体的に膨張します。 ※その他箇所も“なまって”処理されます。
	

### 5. 3. 3 3次元ROI操作例（ピック指定による切削例）

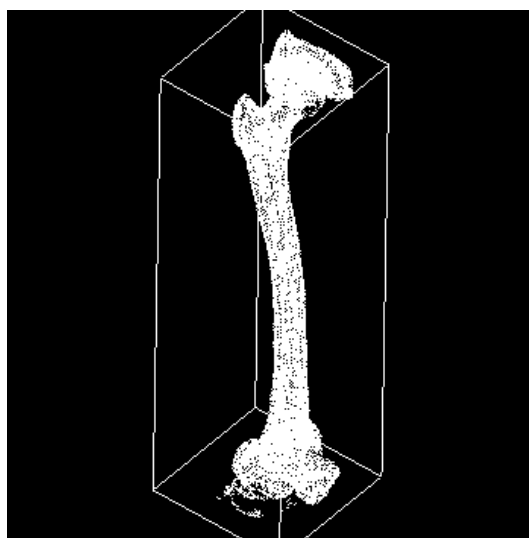
『ピック指定による範囲選択』では、3次元的に連結されているグループ（部位）を指定し、抽出および切削を行う事ができます。

以下の例では、閾値処理で二値化を行った後に、膝蓋骨の削除を行うものとします。

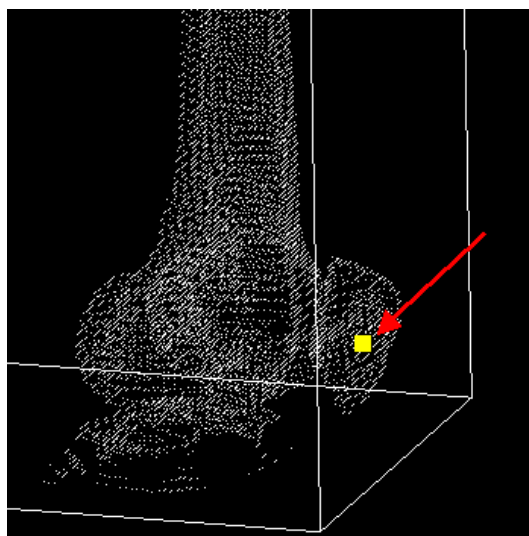


ROI領域の再描画

1. 『3D ROI』メニューを選択します。
2. 膝蓋骨の切削を行いますので、モードは「マウスピック指定による範囲選択」を選択します。
3. 「ROI 領域の再描画」ボタンで ROI 抽出領域を表示します。

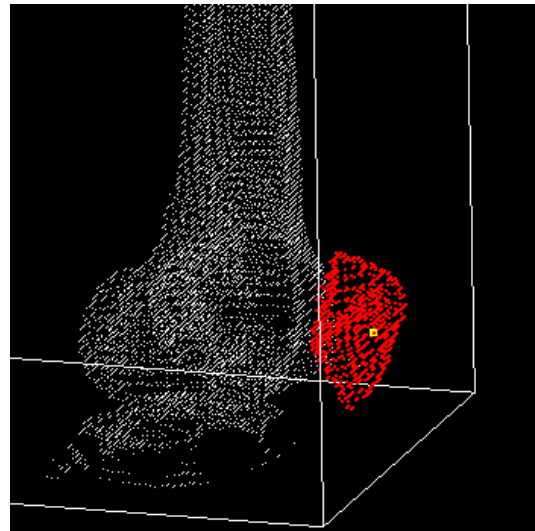


4. マウス右ピックによって、膝蓋骨を選択します。



プレビューに追加

5. マウス右ピックの位置が良ければ、「プレビューに追加」ボタンを押します。



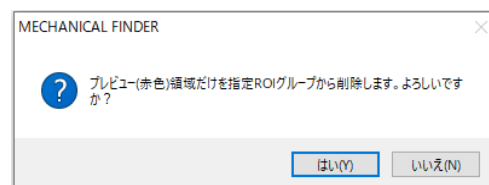
#### 【プレビュー領域の処理方法】

- ☐ 指定ROIから抽出する
- ☒ 指定ROIから削除する
- ☐ 指定ROIから目的ROIへ移動する
- ☐ 指定ROIから目的ROIへ追加コピーする
- ☐ ※目的ROIから削除する

処理方法を実行する

6. 範囲指定されていれば、左図モードがアクティブになりますので、削除（切削）を行う為に、削除モードにします。

7. 切削を行うために左図ボタンを押します。

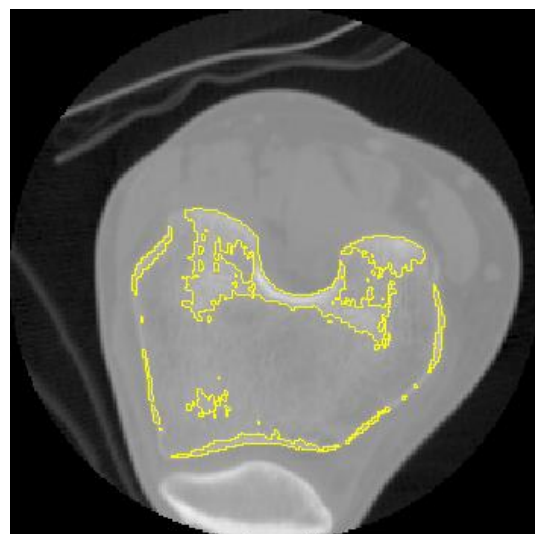


8. ダイアログ選択が表示されますので、良ければ「はい」を選択します。

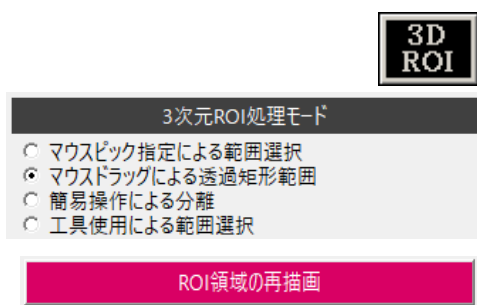
**削除（切削）を行うと、すぐにROI抽出データに反映されます。**



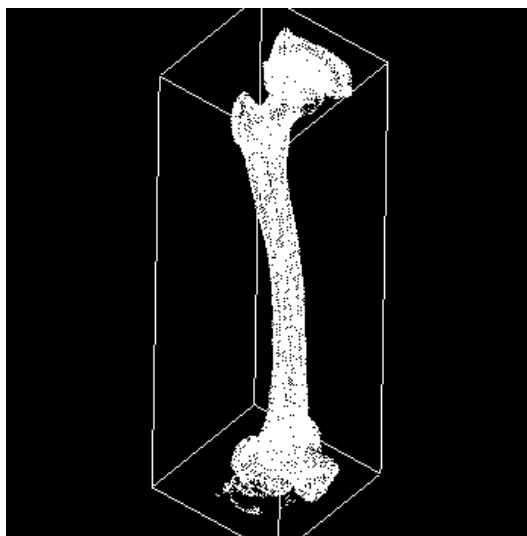
9. 『2D ROI』ボタンで、切削された個所を確認すると、以下のように反映されています。（膝蓋骨のROI領域が削除されています）



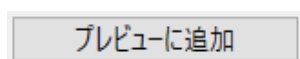
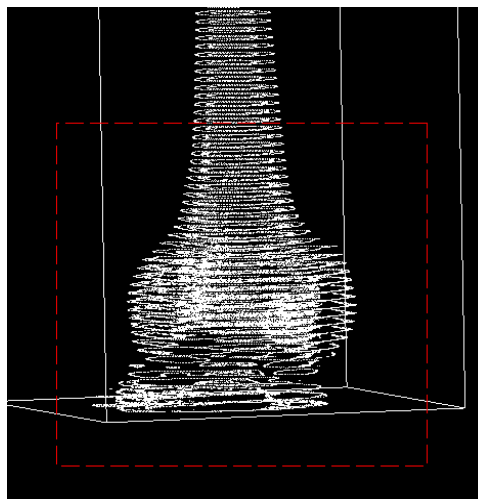
#### 5. 3. 4 3次元ROI操作例（透過矩形範囲指定例）



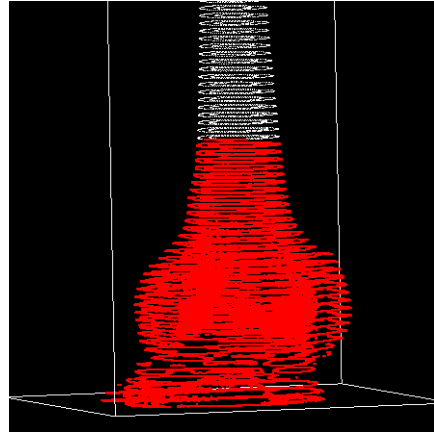
1. 『3D ROI』メニューを選択します。
2. 膝蓋骨の切削を行いますので、モードは「マウスドラッグによる透過矩形範囲」を選択します。
3. 「ROI 領域の再描画」ボタンで ROI 抽出領域を表示します。



4. マウス右ドラッグによって、大腿骨遠位端を矩形選択します。



5. 選択範囲が良ければ、「プレビューに追加」ボタンを押します。



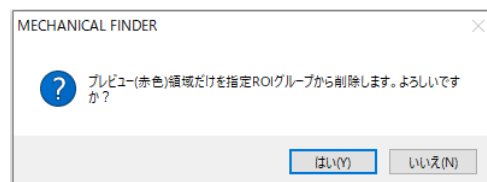
#### 【プレビュー領域の処理方法】

- ☐ 指定ROIから抽出する
- ☒ 指定ROIから削除する
- ☐ 指定ROIから目的ROIへ移動する
- ☐ 指定ROIから目的ROIへ追加コピーする
- ☐ ※目的ROIから削除する

処理方法を実行する

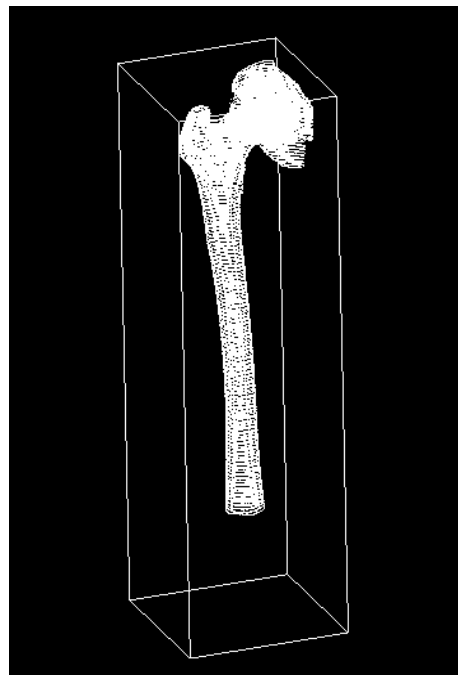
6. 範囲指定されていれば、左図モードがアクティブになりますので、削除（切削）を行う為に、削除モードにします。

7. 切削を行うために左図ボタンを押します。

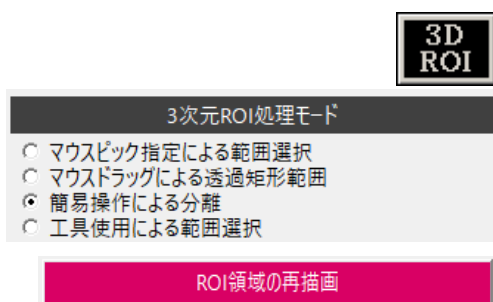


8. ダイアログ選択が表示されますので、良ければ「はい」を選択します。

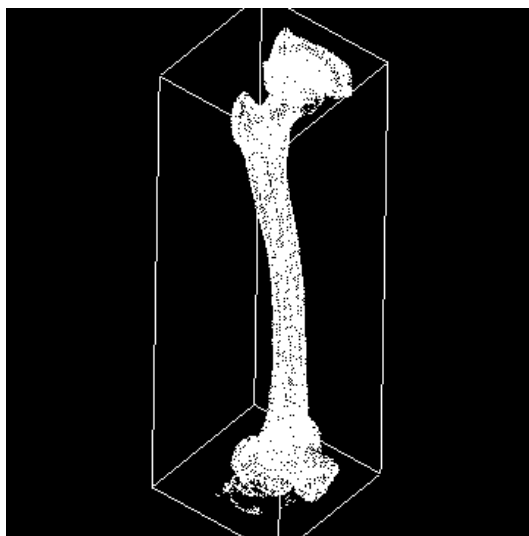
**削除（切削）を行うと、すぐにROI抽出データに反映されます。**



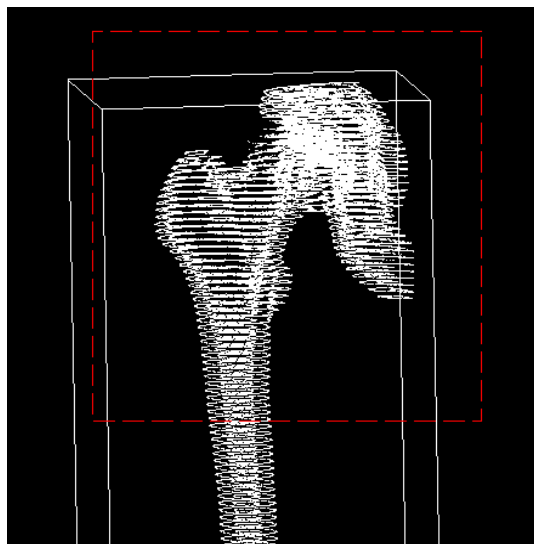
### 5. 3. 5 3次元ROI操作例（簡易操作による分離例）



1. 『3D ROI』メニューを選択します。
2. 大腿骨頭と臼蓋の分離を行いますので、モードは「簡易操作による分離」を選択します。
3. 「ROI 領域の再描画」ボタンで ROI 抽出領域を表示します。

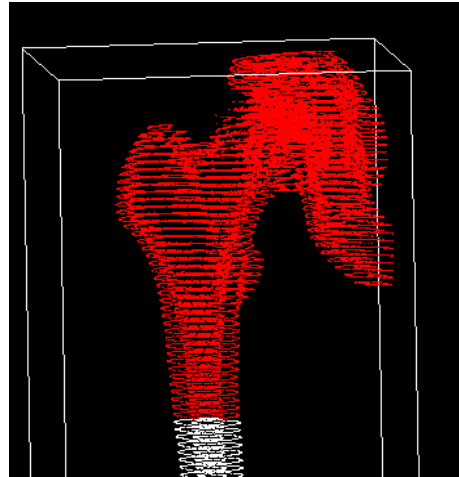


4. マウス右ドラッグによって、大腿骨近位部を矩形選択します。

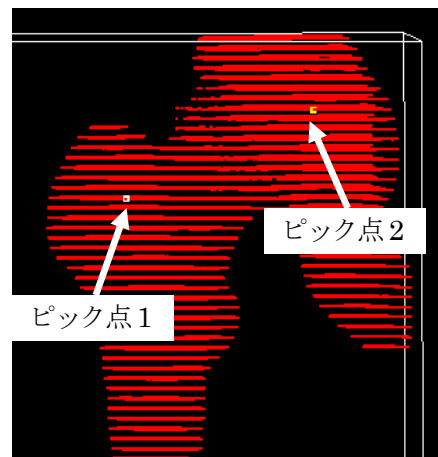


プレビューに追加

5. 選択範囲が良ければ、「プレビューに追加」ボタンを押します。

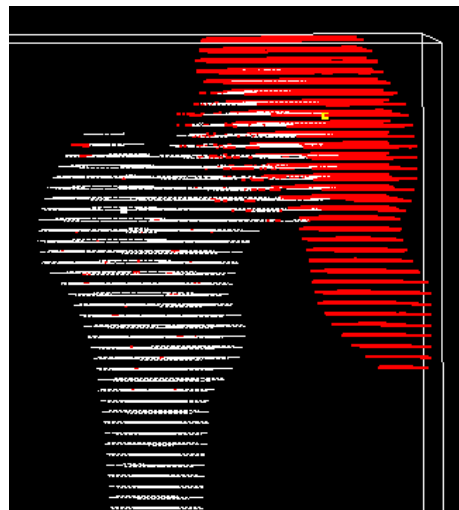


6. ROIに残したい分離元の部位と、ROIから削除したい部位をマウス右クリックします。



プレビューを分離

7. 「プレビューを分離」ボタンを押します。





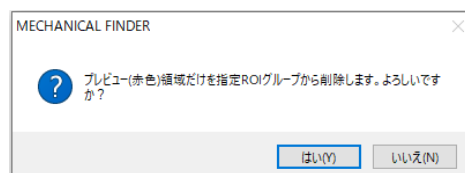
【プレビュー領域の処理方法】

- ☐ 指定ROIから抽出する
- ☒ 指定ROIから削除する
- ☐ 指定ROIから目的ROIへ移動する
- ☐ 指定ROIから目的ROIへ追加コピーする
- ☐ ※目的ROIから削除する

処理方法を実行する

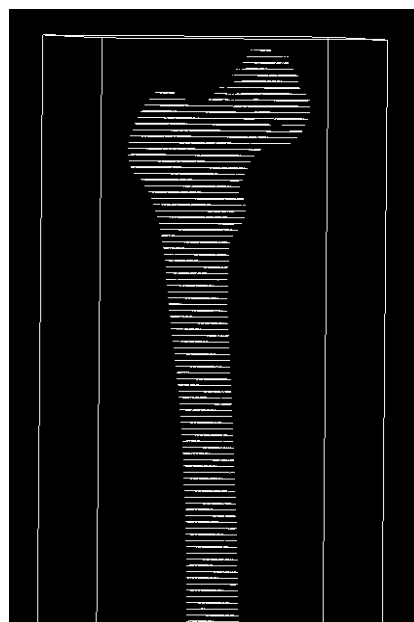
8. 内部で計算した後、分離したい部位がプレビューに残りますので、削除を行う為に、削除モードにします。

9. 左図ボタンを押して分離したい部位を ROI から削除します。



10. ダイアログ選択が表示されますので、良ければ「はい」を選択します。

削除（切削）を行うと、すぐに ROI 抽出データに反映されます。

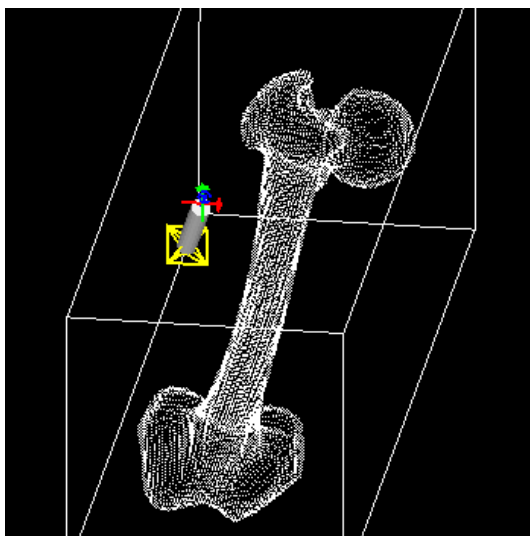


### 5. 3. 6 3次元ROI操作例（工具による切削例）

『ROI編集』にてある程度のROI抽出作業を終えてから『工具使用による範囲選択』を行ってその箇所を切削します。  
以下の例では、大腿骨の骨頭部にパイプ形状の穴あけを行うものとします。



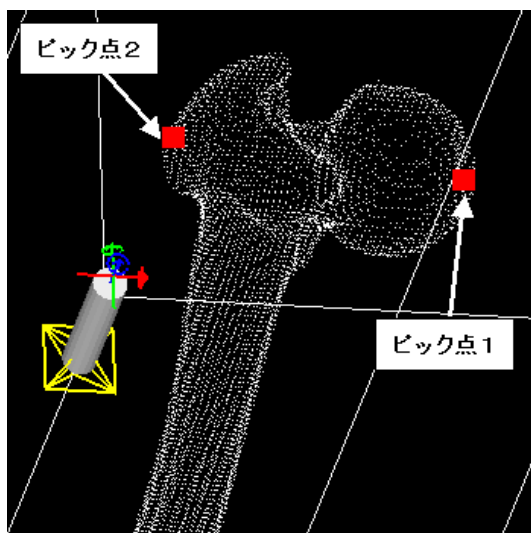
1. 『3D ROI』メニューを選択します。
2. 工具による切削を行いますので、モードは「工具使用による範囲選択」を選択します。
3. 「ROI領域の再描画」ボタンでROI抽出領域を表示します。



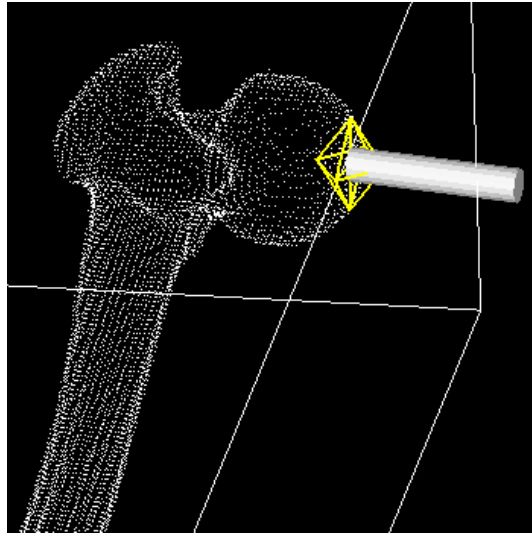
4. 工具は初期状態であるパイプ形状をそのままの大きさで使用するものとします。
5. 左図ボタンで選択します。



6. 左図ボタンで2点ピック処理による配置にします。そして下図のようにマウス右クリックで2点指定します。



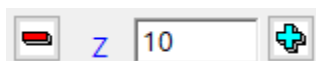
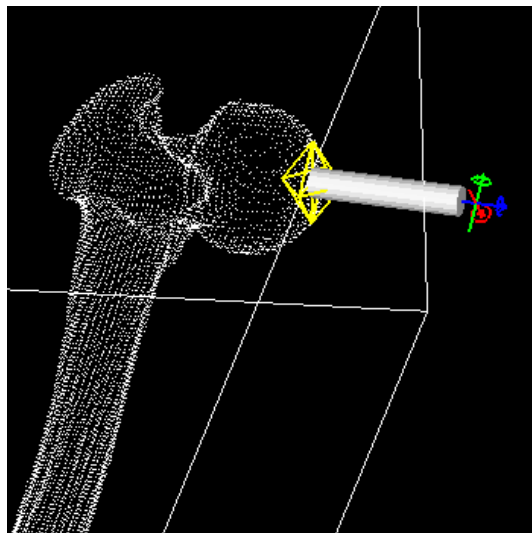
すると、下図のように切削工具が配置されます。



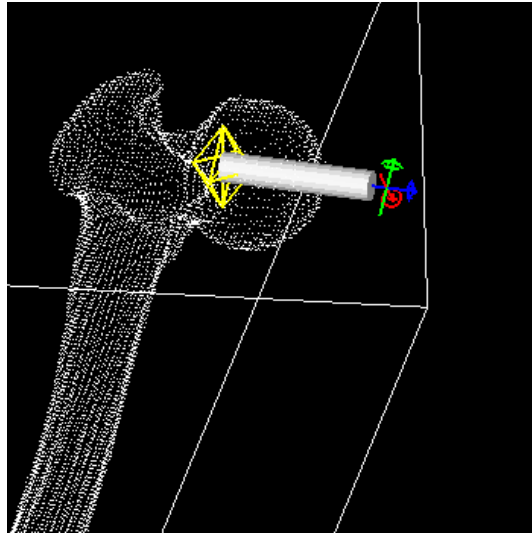
7. 左図ボタンのように移動処理に変更します。



8. そしてローカル座標による移動を選択します。すると、下図のように切削工具に方向を示す軸が表示されます。



9. 青矢印 (Z 方向) に 30mm 程切削を行うため、左図のマイナスボタンを 3 回押して切削工具を移動します。

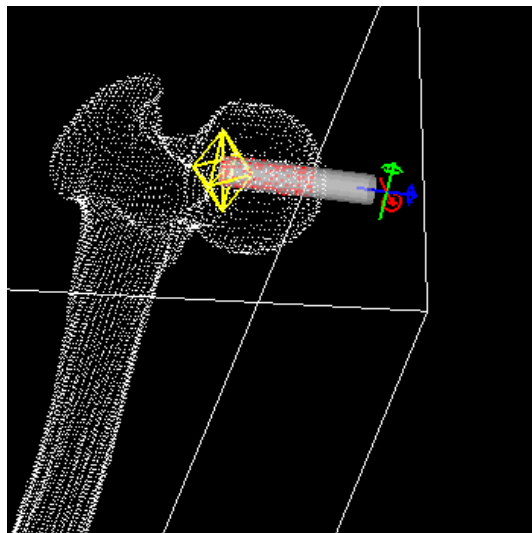


操作手順	1. 工具選択・位置合わせ
工具の選	1. 工具選択・位置合わせ
	2. プレビュー・実行処理

プレビューに追加

1 0. メニューを「2. プレビュー・実行処理」に変更します。

1 1. 切削工具の配置が良ければ、「プレビューに追加」ボタンを押します。



1 2. 追加個所がある場合には、同じ手順を繰り返します。

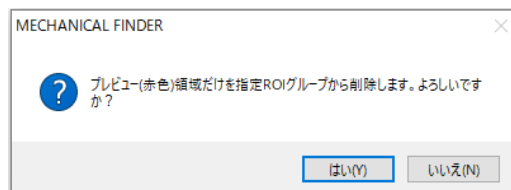
1 3. 範囲指定されていれば、左図モードがアクティブになりますので、削除 (切削) を行う為に、削除モードにします。

【プレビュー領域の処理方法】

- ☐ 指定ROIから抽出する
- ☒ 指定ROIから削除する
- ☐ 指定ROIから目的ROIへ移動する
- ☐ 指定ROIから目的ROIへ追加コピーする
- ☐ ※目的ROIから削除する

処理方法を実行する

1 4. 削除 (切削) を行うために左図ボタンを押します。



1 5. ダイアログ選択が表示されますので、良ければ「はい」を選択します。

切削を行うと、すぐに ROI 抽出データに反映されます。



- 1 6. 『2D ROI』 ボタンで、切削された個所を確認すると、以下のように反映されています。



### 5. 3. 7 AI 処理操作例

『AI 処理』では、深層学習を利用して特定の骨形状の ROI 抽出を行います。NVIDIA 製の対応する GPU を使用することで高速に処理することができます。現在は大腿骨の抽出処理のみ利用可能となっております。使用している深層学習モデルにつきましては「付録 5. 2 ROI・ファントムについて」の「Q3.『AI ROI』機能の詳細を知りたい」もご参照ください。以下の例では、下肢撮影データを使用して大腿骨形状の抽出までを行っています。



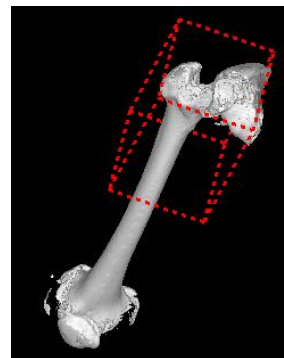
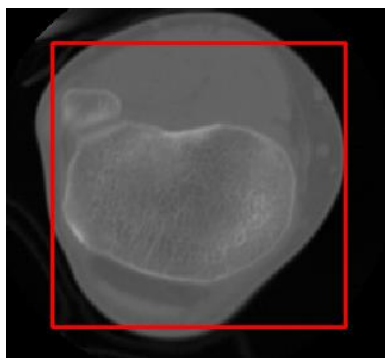
1. 『AI ROI』メニューを選択します。



2. 「ステップ 1」が選ばれていることを確認ください。

3. 「部位選択」から抽出したい部位を、「使用 GPU 番号」から処理に使用する GPU を選択します。

4. AI 処理の範囲を「有効範囲設定」から指定します。  
指定した範囲は画面右に 2D 画像、3D モデルに赤枠として表示されます。



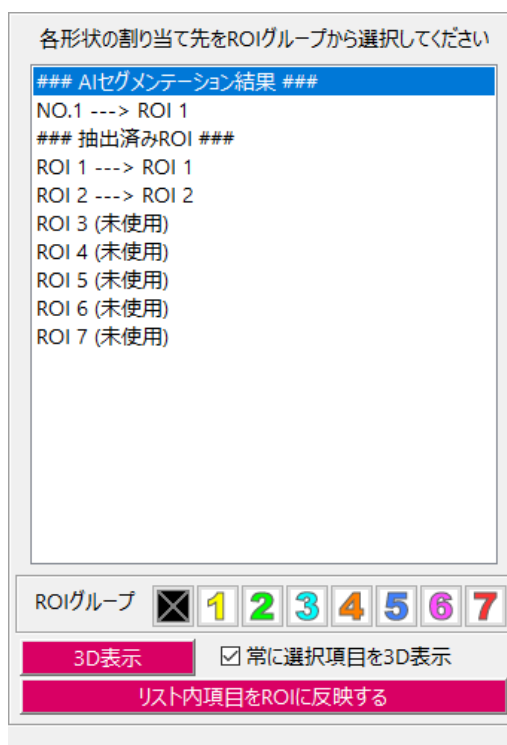
5. 「AI セグメンテーション実行」ボタンを押すと AI 処理を実行しますので、進捗が 100%になるまで待ちます。処理範囲や CPU 選択時は時間がかかりますのでご注意ください。

100%に達したら「閉じる」ボタンを押します。

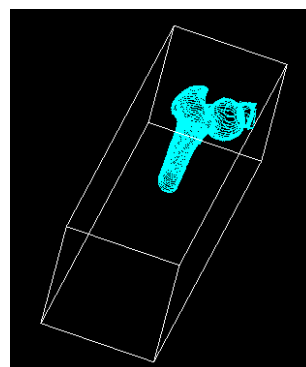
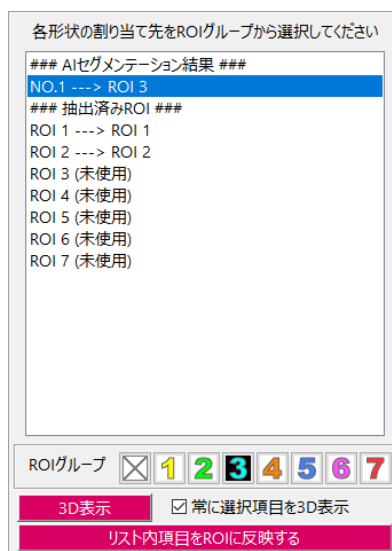


7. 「ステップ 2」を選択します。

リスト中、「AI セグメンテーション結果」の下には AI 処理により抽出された ROI が、「抽出済み ROI」には現在 ROI グループに割り当てられている ROI が表示されます。



8. 「AI セグメンテーション結果」の「No.1」を選択すると、画面右に AI 処理された骨領域が表示されます。リストの下「ROI グループ」より、現在未使用となっている「3」を選択すると、抽出領域が ROI グループ 3 の色である水色で表示されます。



リスト内項目をROIに反映する

9. 「リスト内項目を ROI に反映する」 ボタンを押すと、リストの設定が抽出済み ROI グループに反映されます。リスト内の「抽出済み ROI」の「ROI 3」の内容が変わっていることを確認してください。

```

### AIセグメンテーション結果 ###
NO.1 ---> ROI 3
### 抽出済みROI ###
ROI 1 ---> ROI 1
ROI 2 ---> ROI 2
ROI 3 ---> ROI 3
ROI 4 (未使用)
ROI 5 (未使用)
ROI 6 (未使用)
ROI 7 (未使用)

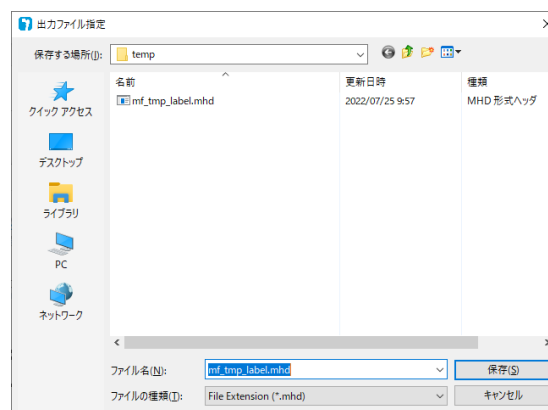
```



10. AI 処理の結果は外部ファイルに出力しておくことができます。出力したファイルを読み込むことで、再度時間をかけて AI 処理を実行することなく、ROI グループへの振り分けをやり直すことができます。  
そのためにまず「表示設定」を選択します。

ファイル書き込み実行

11. 「ファイル書き込み実行」ボタンで抽出結果ファイル（.mhd、.raw の 2 ファイル）を出力します。



ファイル読み込み実行

12. 「ファイル読み込み実行」ボタンで、保存しておいた抽出結果ファイル（.mhd、.raw の 2 ファイル）を読み込みます。自動的に「ステップ 2」の画面へ切り替わります。  
AI 処理結果の書き込み・読み込みは必要に応じて行ってください。

13. このあとは、『2D ROI』や『3D ROI』作業を使用して抽出領域を調整してください。



### 5. 3. 8 ショートカットキーについて






『2次元 ROI』『3次元 ROI』画面では、ショートカットキーを用いて、抽出方法やスライス番号、カメラの方向等を切り替えることができます。

ショートカットキー操作は「Ctrl キー+所定のキー」の同時押しで実行されます。『ROI・ファントム』画面左上の「ショートカットキー」を押せば、各ショートカットの内容を確認することができます。








ショートカットキー		ショートカットキー	
カメラ全初期化	Ctrl+R	カメラ全初期化	Ctrl+R
アキシャル	Ctrl+Q	Z+方向から表示	Ctrl+5
コロナル	Ctrl+W	Z-方向から表示	Ctrl+6
サジタル	Ctrl+E	X+方向から表示	Ctrl+7
1スライス戻る	Ctrl+B	X-方向から表示	Ctrl+8
	Ctrl+Left	Y+方向から表示	Ctrl+9
1スライス進める	Ctrl+F	Y-方向から表示	Ctrl+0
	Ctrl+Right		
任意形状	Ctrl+1		
矩形形状	Ctrl+2		
指示形状	Ctrl+3		
任意線	Ctrl+4		
追加モード	Ctrl+A		
削除モード	Ctrl+D		
やり直し	Ctrl+Z		
中塗り	Ctrl+X		

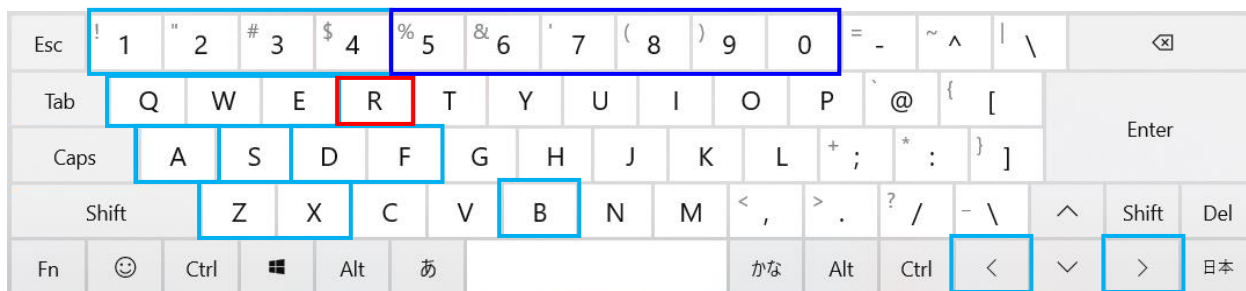
#### ・2次元 ROI

内容	ショートカットキー	対応するアイコン
カメラ全初期化	Ctrl + R	
アキシャル	Ctrl + Q	
コロナル	Ctrl + W	
サジタル	Ctrl + E	
1 スライス戻る	Ctrl + B Ctrl + ←	
1 スライス進める	Ctrl + F Ctrl + →	
任意形状	Ctrl + 1	
矩形形状	Ctrl + 2	
指示形状	Ctrl + 3	

任意線	Ctrl + 4	
追加モード	Ctrl + A	
削除モード	Ctrl + D	
やり直し	Ctrl + Z	
中塗り	Ctrl + X	

・ 3次元 ROI

	ショートカットキー	対応するアイコン
カメラ全初期化	Ctrl + R	
Z+方向から表示	Ctrl + 5	
Z-方向から表示	Ctrl + 6	
X+方向から表示	Ctrl + 7	
X-方向から表示	Ctrl + 8	
Y+方向から表示	Ctrl + 9	
Y-方向から表示	Ctrl + 0	



赤：共通 水色：2次元 ROI 青：3次元 ROI

## 5. 4 画像処理等について

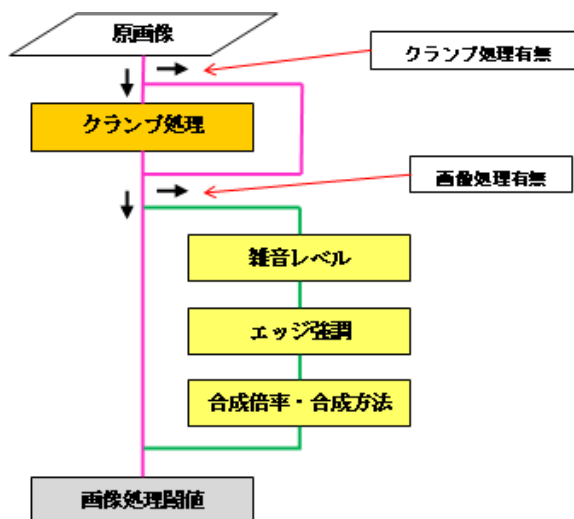
画像処理には、2次元ROI処理で使用する画像処理と、エフェクト処理で使用する画像処理があります。基本的には類似しておりますが、画像処理手順の違いや2次元で行うか3次元で行うかの違い等があります。

※MECHANICAL FINDER バージョン 12 でエフェクト処理の機能は廃止しました。

### 1) 「2次元ROI処理」の画像処理

「2次元ROI処理」の画像処理は、下図のようなプロセスを通してCT原画像を処理します。

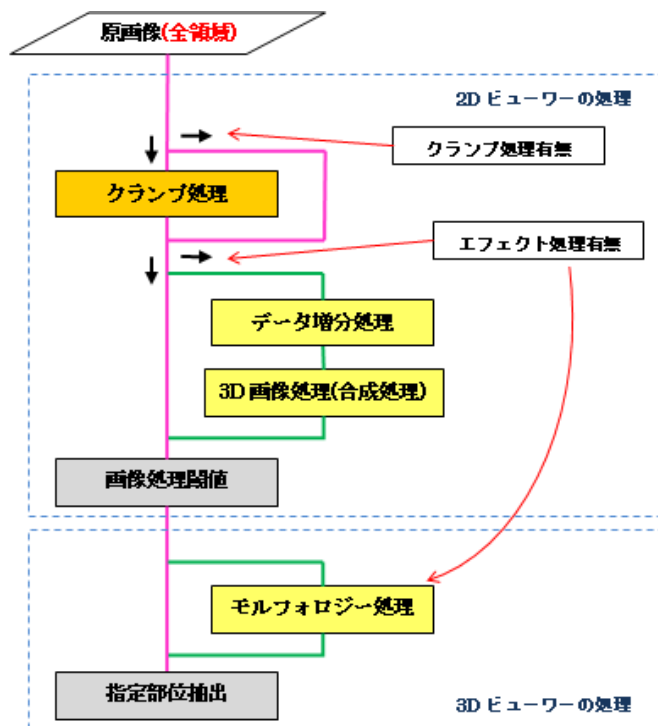
処理計算は1枚スライス単位に対して行われ、透過原画像表示でスライスを繰り返し処理することが可能です。



### 2) 「エフェクト処理」の画像処理

「エフェクト処理」の画像処理は、下図のようなプロセスを通してCT原画像を処理します。

処理計算は全スライス（ボクセル）単位で行われ、3次元構成で計算されます。



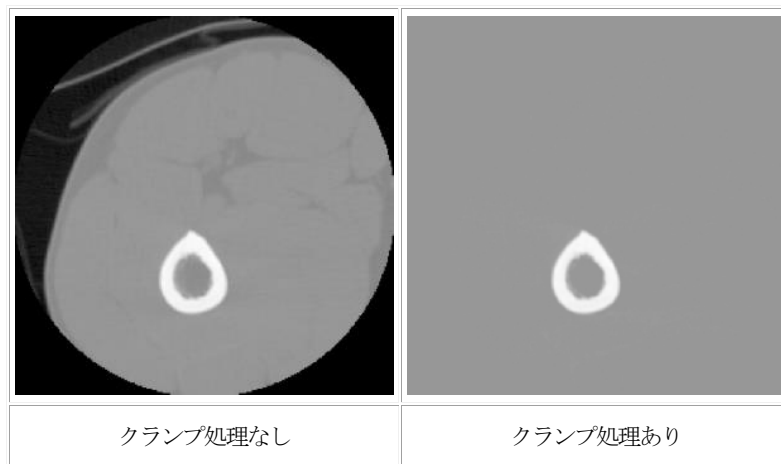
#### ・クランプ処理内容

クランプ処理とは、CT 原画像の最小値・最大値を制限する機能です。

指定範囲（％）の制限を設定する事により、関心領域帯域だけの画像として処理する事ができます。

範囲最小値以下の濃度値は全て範囲最小値に、範囲最大値以上の濃度値は全て範囲最大値に制限する処理を行います。

下図では、CT 原画像に対するクランプ処理の適用有無を表示しています。（コントラスト表示なし）



#### ・雑音レベル

雑音レベル処理は、主にエッジ強調処理による雑音の強調を抑制するために使用します。

エッジ強調の設定が強いほど、雑音が大きく加味され増幅する傾向があるため、エッジ強調の設定値と合わせて最適な設定値を選択する必要があります。

#### ・エッジ強調

エッジ強調処理は、CT 原画像における勾配の大き（濃度値変化が大きい）個所を強調する処理を行います。

軟部組織と骨部の境のような個所を強調することが可能になるため、画像処理閾値で切り分けることが容易になります。

ただし、同時に雑音も拾いやすくなるため、「雑音レベル」「クランプ処理」等と組み合わせて雑音が少なく且つ骨部抽出が容易な設定値を見出す必要があります。

#### ・合成倍率・合成方法

エッジ強調した画像の、原画像との合成倍率を指定することができます。

合成倍率の数値を上げるとより強調された状態になります。

また、原画像との合成の方法（昇勾配・降勾配・昇降勾配）を選択することができます。

#### ・データ増分処理

エフェクト処理による 3 次元画像処理を行う際に問題となるのが、原画像のピクセル間とスライス間との距離ギャップ差が大きい事です。3 次元画像処理でこの距離ギャップ差を緩和するためにスライス枚数の増分を行うのがこの処理となります。スライス数を最大で 4 倍ほどにまで増分する事により 3 D 画像処理結果が良好になります。

またこの処理は多大な占有容量が必要になるため、すべてディスク領域で処理されるようになっており、いたずらにメモリ使用量を増やす事にはなりません。

#### ・3 D 画像処理・(合成処理)

これは、上記（雑音レベル）（エッジ強調）（合成倍率・合成方法）手順と酷似しており、2 次元画像処理ではなく 3 次元データとして扱っている 3 次元画像処理を一連の手順で適用しています。

- **モルフォロジー処理**

これは、エフェクト処理の3次元ビューワーにおける部位抽出の際の計算として処理します。

3次元構成するにあたり、単なる領域拡大法による抽出では、部位間が僅かに触れているといった状態でもそれら部位を同一部位として処理してしまいます。3次元モルフォロジー処理は、収縮・膨張により、部位間を分離しやすくするために行う処理です。

- **画像処理閾値**

画像処理後の閾値を指定します。

この時の閾値は、画像処理後の数値に対する値であり、原画像のCT濃度値とは異なります。

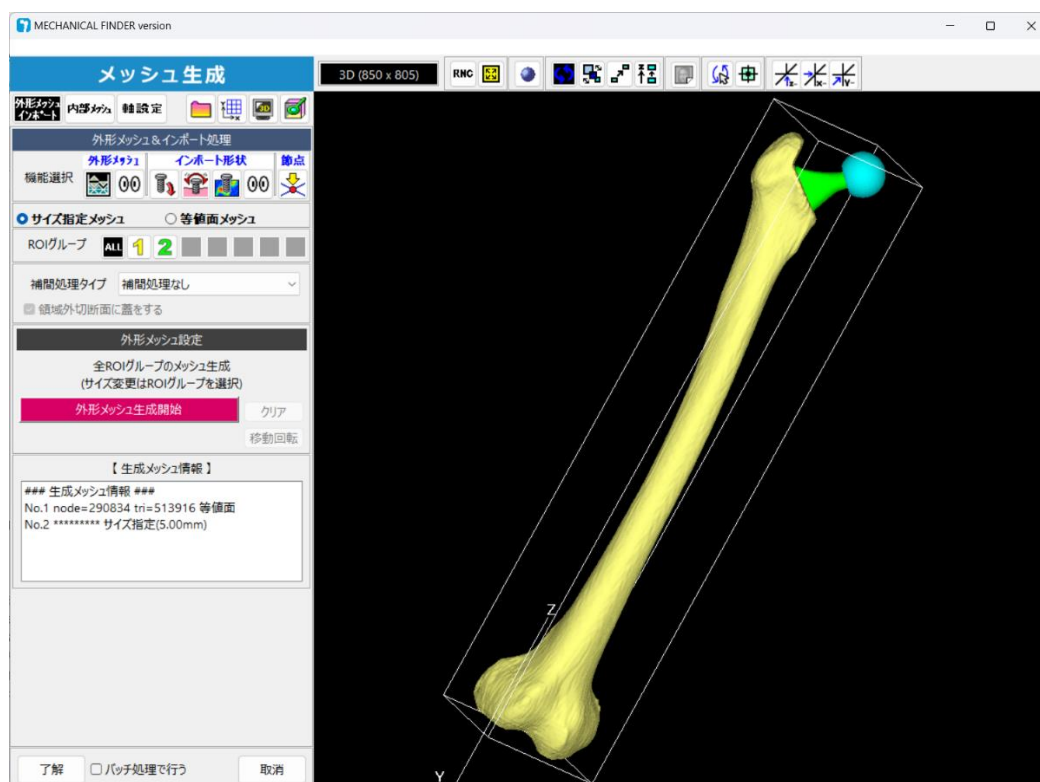
## 第6章 メッシュ生成

本 S/W のメッシュ生成の工程では、

- (1) 外形メッシュを生成
- (2) インポート形状部の挿入と位置合わせ（インポート形状の挿入が必要であるとき）（EE）
- (3) 内部メッシュ生成

の順によりメッシュ形状の生成を行います。

各設定後に「了解」を押すと、内部メッシュ生成プログラムが実行されます。



項目名	内 容
<div>外形メッシュ インポート</div> <div>or</div> <div>外形メッシュ</div>	外形メッシュ・インポート設定
内部メッシュ	内部メッシュ設定 (EE)
軸設定	軸設定
	データ情報
	外形図
	ビューワー設定
	ボリューム図

## 6. 1 メッシュ形状・インポート形状について

メッシュ形状およびインポート形状について以下に記述しております。

メニュー	詳細
<a href="#">6. 2 メッシュ形状について</a>	本S/Wの解析要素の種類や性質について記述しています。
<a href="#">6. 3 補間処理タイプについて</a>	外形メッシュ生成時の補間処理のアルゴリズムを記述しています。
<a href="#">6. 4 インポート処理操作例</a>	実際に、大腿骨にステム（インプラント）を挿入する作業を、逐次手順として操作説明しています。
<a href="#">6. 5 インポート用形状生成について</a>	インポート形状利用方法やインポート形状の作成方法等を記述しています。
<a href="#">6. 6 メッシュ・インポートの基本</a>	インポート方法の基本的な約束事を記述しています。 インポートを行う際には、必ず目を通してください。

## 6. 2 メッシュ形状について

『第6章 メッシュ生成』では、1) CT 原画像に ROI 抽出を施し二値化したデータ、2) インプラント形状などの幾何形状データを入力データとして、それに対し3次元メッシュを自動生成します。

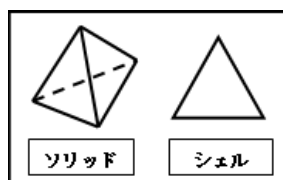
### ・生成要素

本 S/W で生成する基本的な要素はソリッド要素とシェル要素の2要素です。

(但し、ギャップ要素や接触要素定義なども行えます。詳細は『第7章 解析メッシュ条件』を参照ください。)

シェル要素は、『解析メッシュ条件』にて使用有無が決定されます。

ソリッド	四面体要素です。	詳細は『付録4. 4 使用要素』へ
シェル	サーフェスに生成する薄板三角形要素です。	



### ・留意点

#### (1) メッシュ生成可能形状

中空形状のデータに関して、内面と外面の距離が極端に短い(肉厚が薄い)場合に、満足なメッシュ形状を生成することができません。この場合は等値面から外形形状を作成してください。

#### (2) アルゴリズム特性

本 S/W のメッシュ生成機能は曲面構築に適するアルゴリズムであるため、平面構築を対象とすることは推奨しません。

#### (3) メッシュサイズとスライス、ピクセル幅との関係

スライス、ピクセル幅の精度により二値化画像が凹凸をもっていれば、それに対し生成するメッシュも凹凸を反映します。特に CT 撮影時のスライスピッチを大きくとられたものは、その傾向が高くなります。

#### (4) メッシュ数の増大

メッシュ数の増大は、以下の要因によるところが大きく影響します。下記項目を考慮の上、設定を行ってください。

- 1) 形状の複雑さ…複雑な形状であるほど、メッシュ数が増える傾向があります。
- 2) 「内部メッシュ設定」の「最小サイズ」が小さいほど、メッシュ数が増える傾向があります。



### 6. 3 補間処理タイプについて

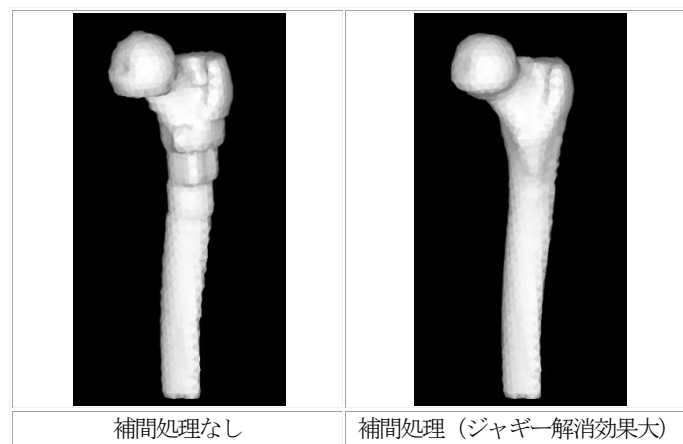
『外形メッシュ設定』内の補間処理タイプは、次の3種類から選択できるようになっています。

- ・補間処理なし
- ・補間処理（ジャギー解消効果小）
- ・補間処理（ジャギー解消効果大）

この処理を行う事により、スライス間隔の大きい DICOM データやメッシュ基準サイズを小さくした場合に起こる外形メッシュのジャギー（ぎざぎざ）を解消することができます。

#### 効果例

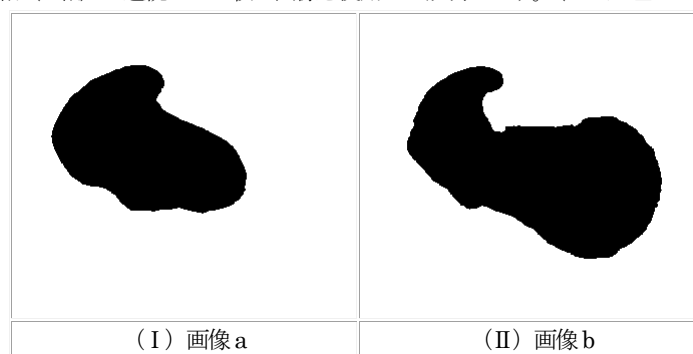
サンプルデータの一部分において、作想的にスライス間隔を大きくし、4mm メッシュで外形メッシュを生成した結果を表示しています。



#### 内部処理ルーチン

補間処理に使用するルーチンは、参照データである ROI データを基にして新たな ROI データを生成するようになっています。このルーチンは、基データを加工せずに新たなデータの情報量を増やす処理により実現していますので、基データの数値がいたずらに変更されることはありません。

例として、あるスライス軸（Z 軸）の連続した 2 枚の画像を使用して説明します。（この処理は全スライス分適用されます）



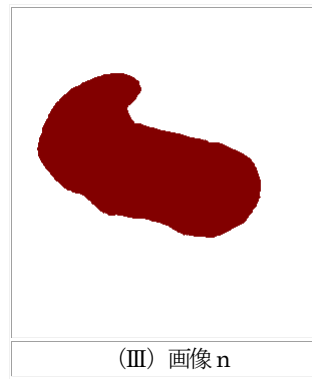
上図の画像 a と画像 b は連続したスライスに存在するとします。

#### 1) 補間処理なし

この処理では、基データである画像 a と画像 b は、そのままのデータとして渡されます。

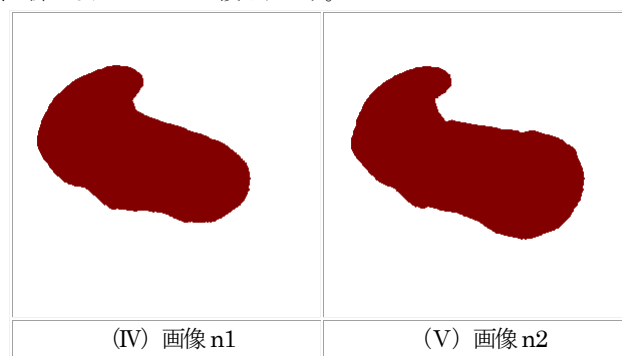
#### 2) 補間処理（ジャギー効果小）

この処理では、基データである画像 a と画像 b から、下図のような画像 n を計算から求め、画像 a ・画像 n ・画像 b という順で新たなデータとして渡されます。



### 3) 補間処理 (ジャギー効果大)

この処理では、基データである画像 a と画像 b から、下図のような画像 n1 と画像 n2 を計算から求め、画像 a ・ 画像 n1 ・ 画像 n2 ・ 画像 b という順で新たなデータとして渡されます。



### ※注意点

この処理によって外形メッシュ形状の向上が図れますが、この効果により撮影時のスライス間隔を大きくしても良いというわけではありません。

これは、材料特性を CT 画像から求める場合には、スライス間隔を大きくすることによって、材料特性の数値信頼性の低下が起こるからです。

## 6. 4 インポート処理操作例 (EE)

『外形メッシュ設定』にて外形メッシュ設定を終えてから『インポート設定』を行います。

以下の例では、大腿骨の骨頭部にステムの挿入を行うものとします。

(骨頭部は、ROI 抽出の簡易切削で削除済みです)

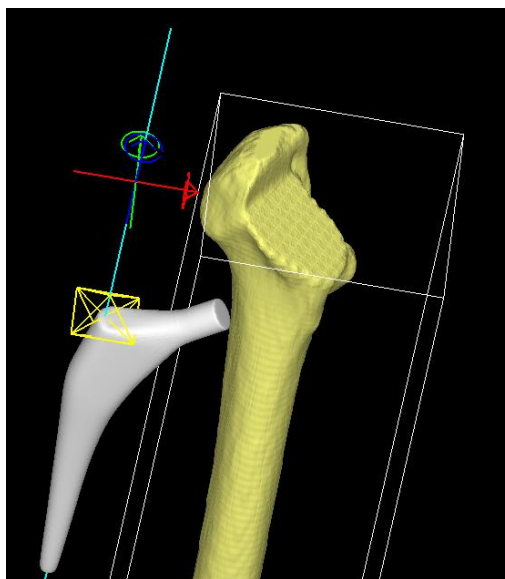


1. インポートメニューを選択します。

2. インポート部の一番左のアイコン (インポート読み込み) を選択します。

3. 今回は拡張機能であるIMP形式のステムを読み込みます。  
・IMP形式を選択  
・ファイルを指定します。

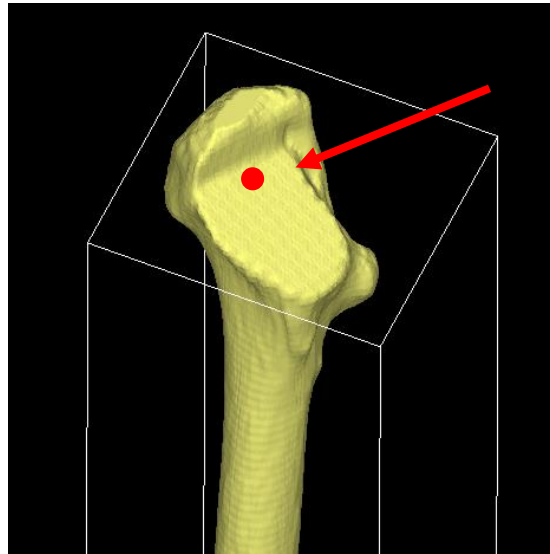
4. すると下記のようにステムが現れます。



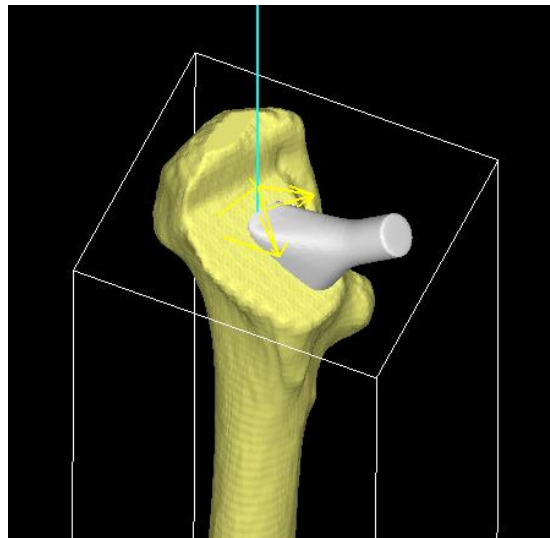
5. インポート位置設定にメニュー変更します。



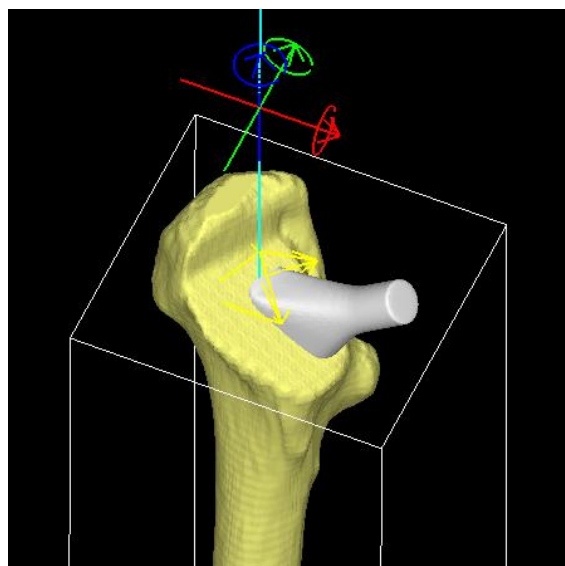
6. 移動処理・ピック点座標設定に変更して、そして下図の部分のマウス右クリックして移動させます。

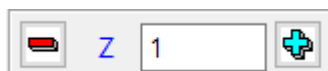


7. すると、下図のようにインプラントが配置されます。

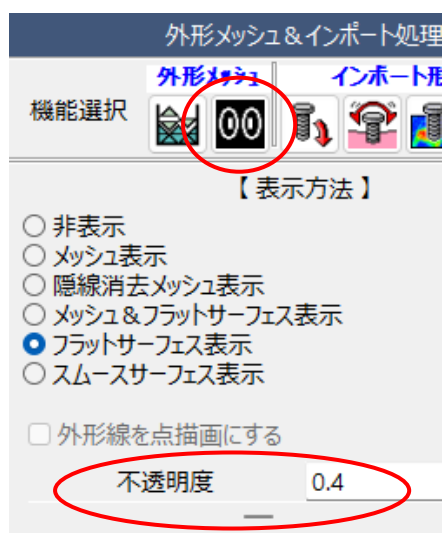
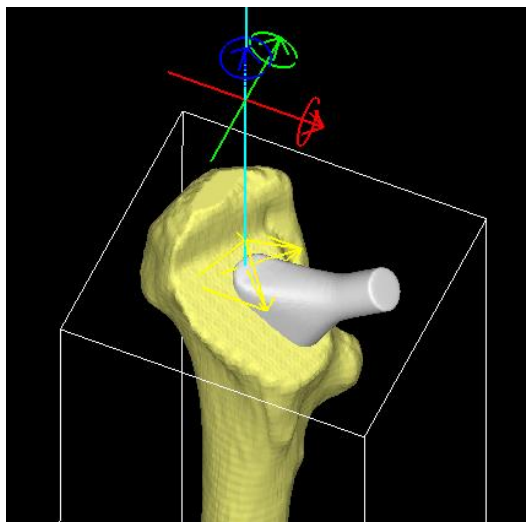


8. ローカル座標による移動を選択します。すると、下図のようにインプラントに方向を示す軸が表示されます。

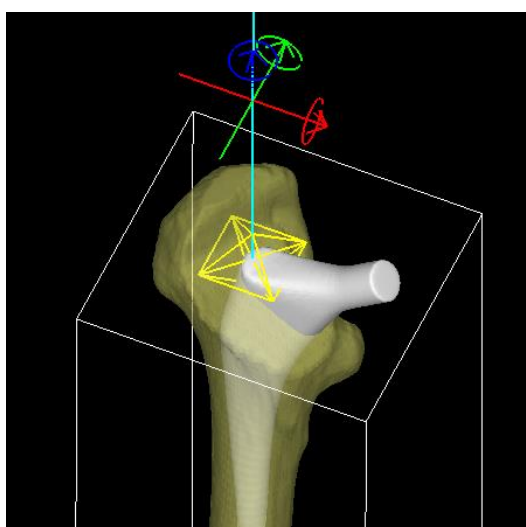




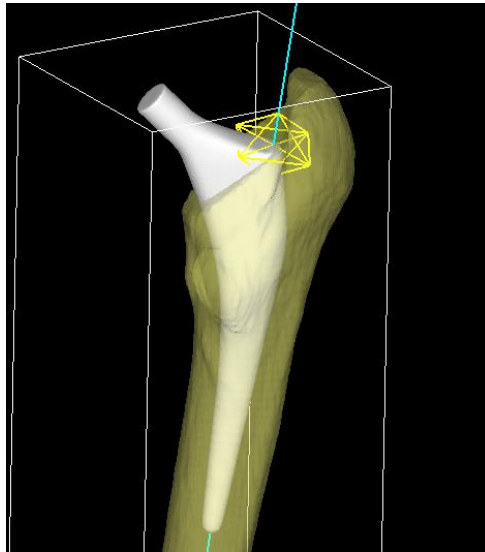
9. 青矢印 (Z 方向) に移動を行うため、左図のマイナスボタンを何回か押してインプラントを移動します。(単位はmm)



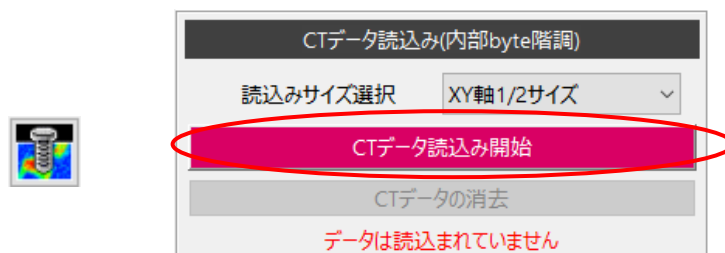
10. 外形メッシュが不透明で中が良く解からないときには、外形メッシュ部の不透明度を下げて透過させます。



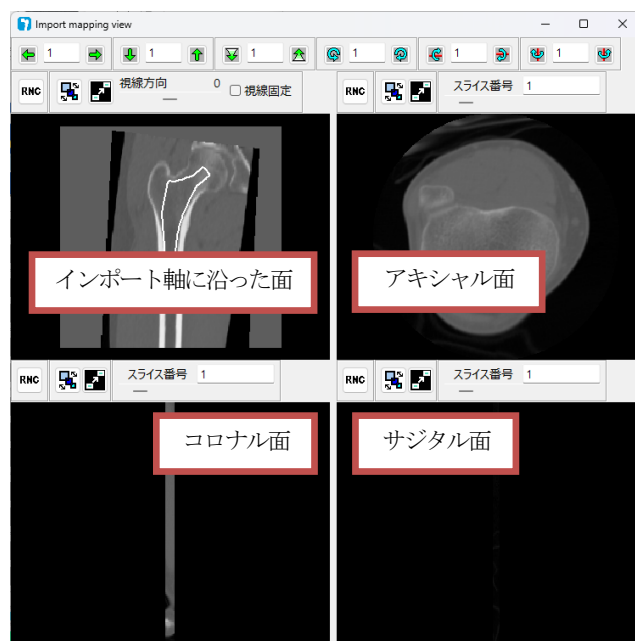
11. そして、移動・回転・拡大縮小で微調整を行いながら丁度良い位置に配置します。



- 1 2. このまま 3D モードで位置合わせをすることもできますが、ここでは 2D モードで CT 原画像の骨密度状態を把握しながら位置合わせする方法を行います。
- 1 3. 2D モードで位置合わせを行いたい場合には、左図アイコンであるインポート形状の CT 断面表示に切り替えます。



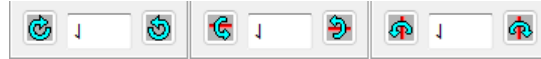
『CTデータ読み込み開始』ボタンを押すと、以下のように 2D ビューが現れ、CT 原画像のインポート軸に沿った面、及びアキシャル／ coronal／サジタル面と、インポート形状断面が表示されます。



14. この2D ビューでインポート形状の配置を行ってみてください。下図のメニューで位置合わせをするようになっています。



上図矢印の組は、それぞれ「左右移動」「上下移動」「手前奥移動」

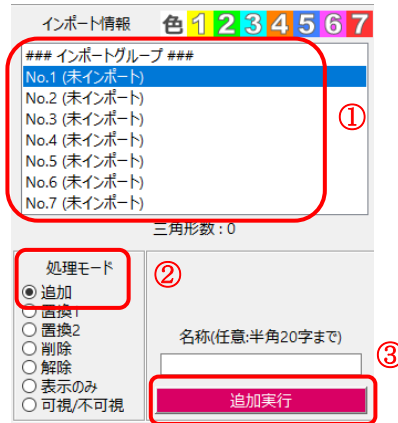


上図矢印の組は、それぞれ「左右回転」「前後回転」「基本軸回転」  
いろいろと試して位置合わせを行ってください。

15. このような方法を駆使して、インポート形状を希望の位置・回転状態に配します。

16. インポートを確定するには、以下のように行います。

- ①リストからインポート番号を選択します。
- ②処理モードを『追加』にします。
- ③『追加実行』ボタンを押します。



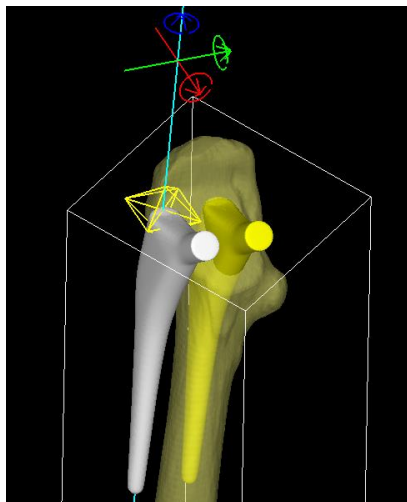
インポート番号 1 つのグループには、20個までサブグループを登録することができます。(計 7x20=140 形状分)

2回連続で『追加』ボタンを押すと同じ形状が2個追加されます。

御注意ください。

17. 同じ形状を位置を変えて設定したい場合には、あらためてインポート形状を読み込み直す必要はありません。

現在の位置から、移動・回転・拡張をして続けて処理してください。



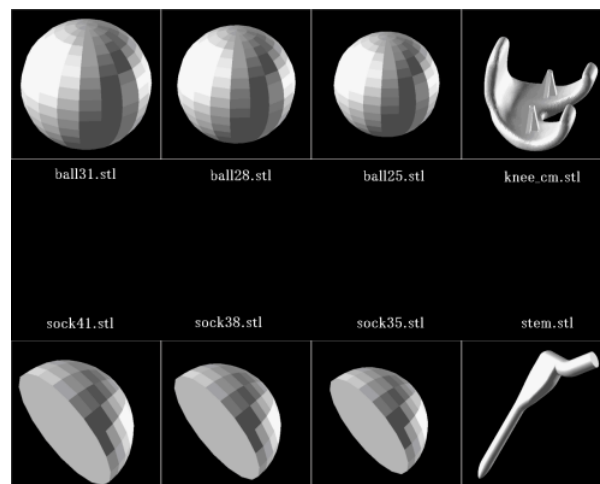
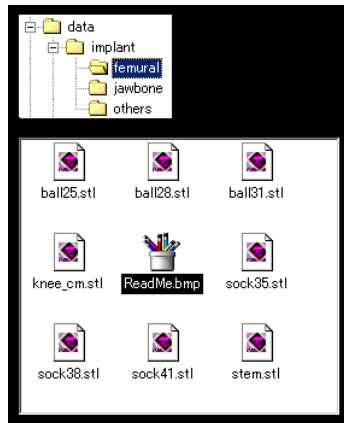
## 6. 5 インポート用形状生成について (EE)

### 1) 本 S/W にあるインポート形状

本 S/W は、以下の個所に「大腿骨用 (femural)」「顎インプラント用 (jawbone)」「その他 (others)」というカテゴリでインポート形状 (STL 形式と IMP 形式) を用意しています。

内容は個々のディレクトリ内の『ReadMe.bmp』を開く事によって確認できます。

ただし、これらデータはサンプル用程度のものしか用意されておりません。

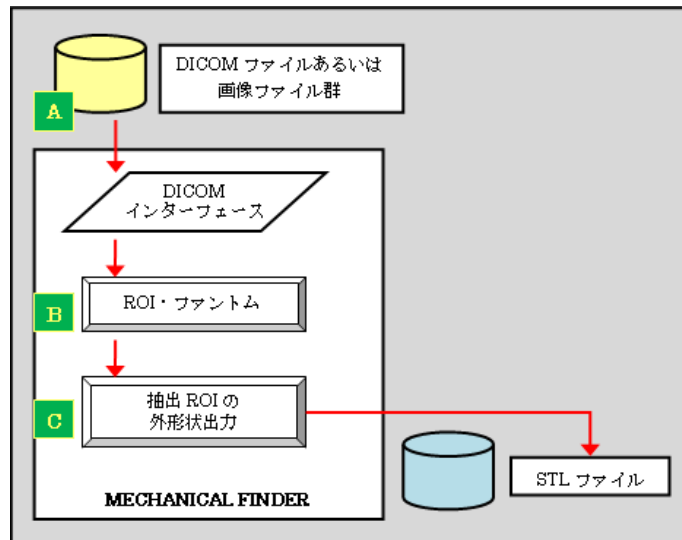


### 2) インポート形状の作成方法

形状作成には以下の方法が考えられます。

(I) 本 S/W 上で作成する。



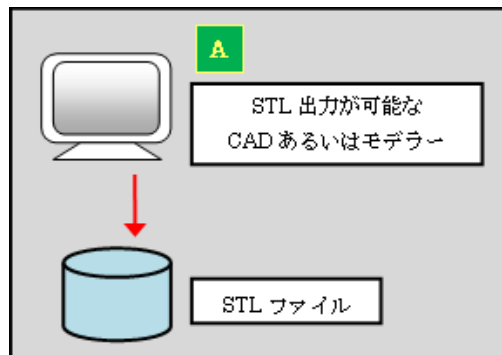


生成手順。

- A. インポート形状が撮影されている DICOM データを用意する。(BMP、JPEG、TIFF でも可)
- B. 本 S/W 上で ROI 抽出し、その形状を抽出する。
- C. 『第 12 章 「出力」機能』(上記例では、『12.2 ROI 抽出の外形状出力』) を選択し、形状生成した後、STL データとしてファイル保存する。

以上で、インポート処理が行える形状を作成できます。

(II) CAD あるいはモデラー上で作成する。



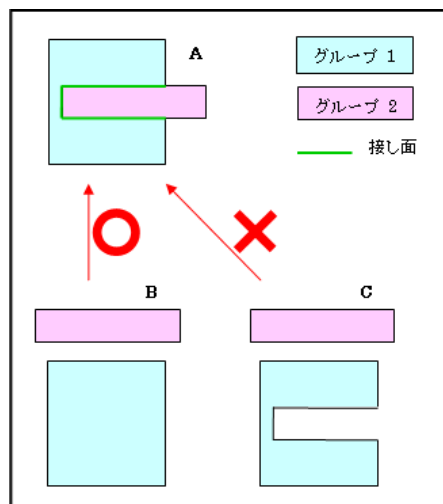
生成手順。

- A. **STL 出力が可能な** CAD ソフトあるいはモデラーソフト上で作成する。

## 6. 6 メッシュ・インポートの基本 (EE)

複数 ROI や複数インポートなどのグループが存在するメッシュ生成を行う場合には、以下の基本条件に従ってください。  
この条件から離れると、『解析メッシュ条件』における操作量の増大やメッシュの抜けが起こる場合があります。

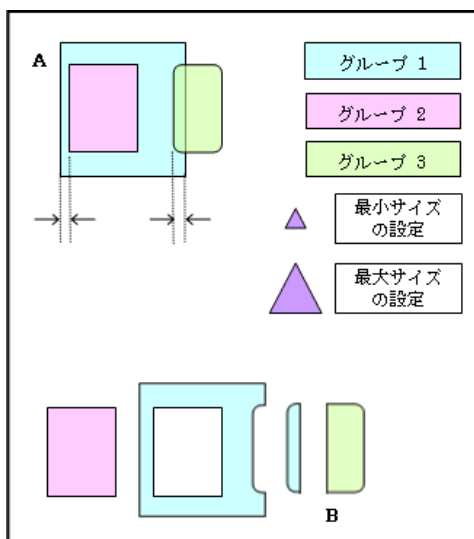
### 1) 挿入作業におけるグループ間の設定方法



上図 (A) のような挿入を仮定してメッシュ生成を行う場合には、上図 (B) のように挿入される「グループ 1」の切削を行わないでください。

上図 (C) のように切削を行うと、「接し面」の定義が曖昧になり、内部メッシュ生成が正常に行われなくなる可能性があります。

### 2) 近接しているグループ間面



上図 (A) のようなグループ間で非常に近接している面がある場合、内部メッシュ生成で正常にメッシュ切りが行えない事があります。

これは、内部メッシュ生成の特性として、上図 (A) は上図 (B) のようなグループに分けてメッシュ切りをすると仮定していただければ理解しやすいかと思われます。(グループ分けしても接合面は共有節点となります)

上図 (B) のメッシュ切りを仮定した場合、「内部メッシュ設定」の『最小サイズ』よりも小さいために、正常にメッシュ

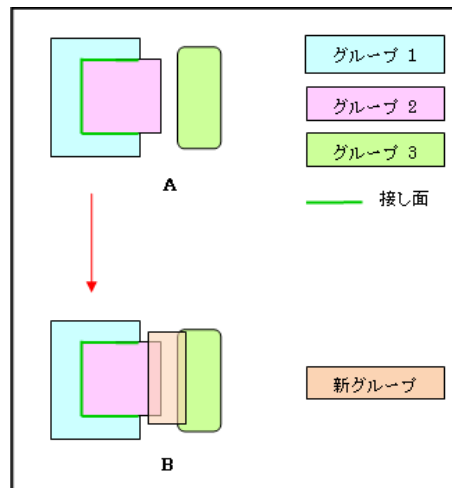
切りできない可能性が生じます。

これらの問題が起こったときには、

- 1) メッシュの構成を変えてみる
- 2) 最小サイズを小さくする

の解決策がありますが、2) の場合にはメッシュ数の増大をまねきますので、注意が必要です。

### 3) 共有されていないグループの存在



例外を除き、上図 (A) の「グループ 3」のように完全に離れているようなグループ設定を行なわないでください。

これは、内部メッシュの生成ができて、解析対象としてこのようなモデル構成は許していないからです。

「グループ 3」が必要であれば、上図 (B) のように ROI あるいはインポート処理によって接続する必要があります。

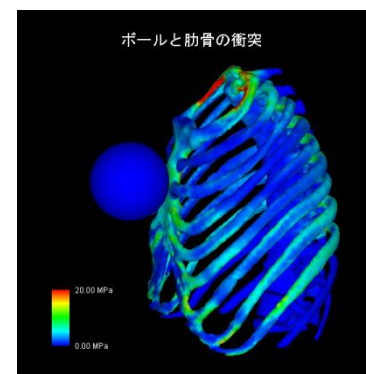
(例えば大腿骨と脛骨だけを抽出しても上図 (A) のようになってしまいますので、間に軟骨等を模擬した緩衝材を設定する必要があります)

また、非常に細かい形状や複雑形状をメッシュ生成した際に、材料種別を設定する時にも、同様な完全に離れているグループができることがあります。その際には、離散グループを未使用材料とする必要があります。

但し、以下のような場合には上図 (A) を許可しています。

- ・特殊材料の接触要素において離散面間を (プライマリ・セカンダリ面) として定義する。また、荷重タイプを並進荷重から強制変位に変更する
- ・荷重拘束設定で初速定義を与える。

例えば、右図のようなボールが肋骨に当たるような解析の場合、ボールと肋骨間は離れており、ボールに初速を与えて計算しています。

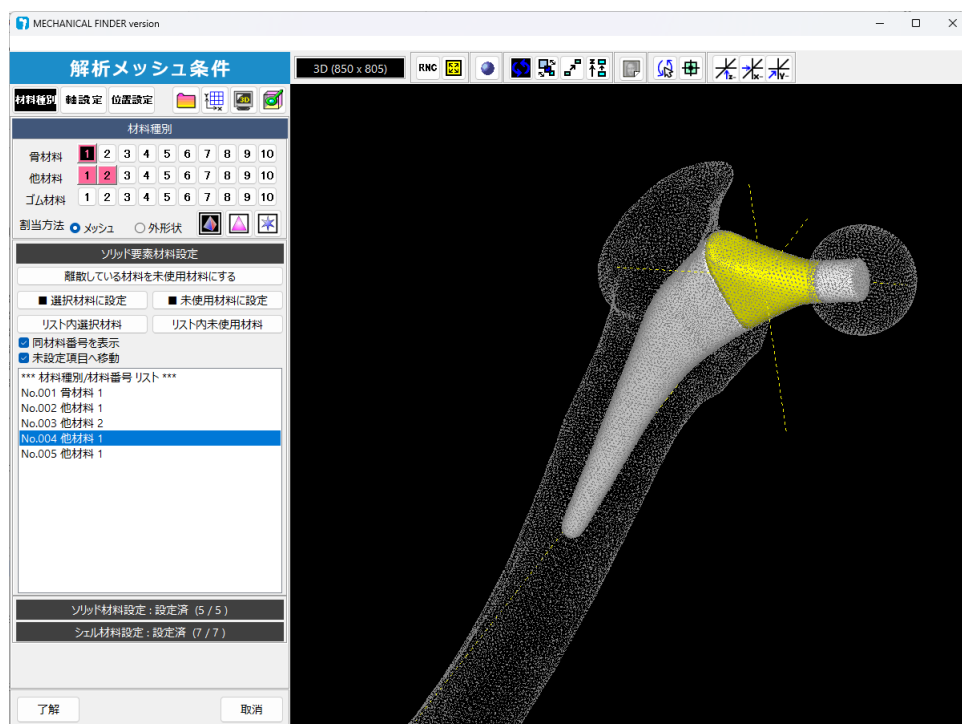


## 第7章 解析メッシュ条件

この章では、解析を行うためのメッシュ状態を各種設定します。

以下の項目を設定します。

- ・材料種別（ソリッド要素・シェル要素・特殊材料）の設定
- ・骨軸設定
- ・位置設定



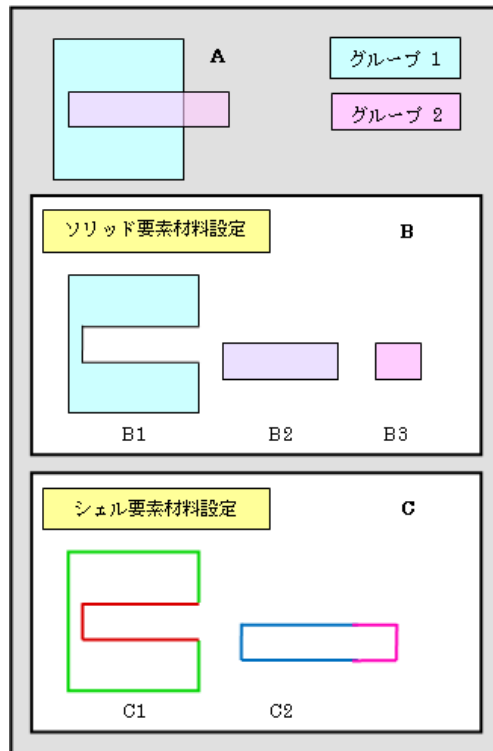
項目名	内 容
<b>材料種別</b>	材料種別設定
<b>軸設定</b>	軸設定
<b>位置設定</b>	位置設定
	データ情報
	外形図
	ビューワー設定
	ボリューム図

## 7. 1 材料種別とは

材料種別とは、メッシュ生成が終了した後に、複数の分かれたメッシュに対してどの材料に割り当てるかを分類指定する処理になります。

その際、その材料の割り当てによるシェル要素の使用有無や、特殊材料（節点分離・ギャップ要素・接触要素）設定も行う事ができるようになっています。

以下に一例を挙げて説明します。



### 【 説 明 】

- ・上図 (A) のように「グループ 1」に「グループ 2」が挿入された状態でメッシュ生成が完了していると仮定します。
- ・「解析メッシュ条件」の『ソリッド要素材料設定』では、上図 (B) のように 3 つのグループがどの材料であるかを設定する必要があります。

（接し面が近い場合や複雑に絡んだ面がある場合には、沢山の材料指定が必要な場合もあります）

- ・仮に、上図 (B1) と (B2, B3) の 2 つの異なる材料として『ソリッド要素材料設定』を行った場合、『シェル要素材料設定』の項目は以下ようになります。

C1) 「どこにも接しない緑線」と「C2 に接する赤線」のシェル要素有無の設定が必要です。

C2) 「どこにも接しない紫線」と「C1 に接する青線」のシェル要素有無の設定が必要です。

これは、『ソリッド要素材料設定』で行った材料のグループ分け（骨材料 1～5、他材料 1～5）をどのように行ったかで変化します。

- ・上記シェル要素の範囲にて、特殊材料の設定を行う事ができます。

※『ソリッド要素材料設定』ではどの材料に割り当てるかだけでなく、解析メッシュとして使用しないといった設定も可能です。

※『ゴム材料』にはシェル要素を設定することができません。

## 7. 2 特殊材料とは

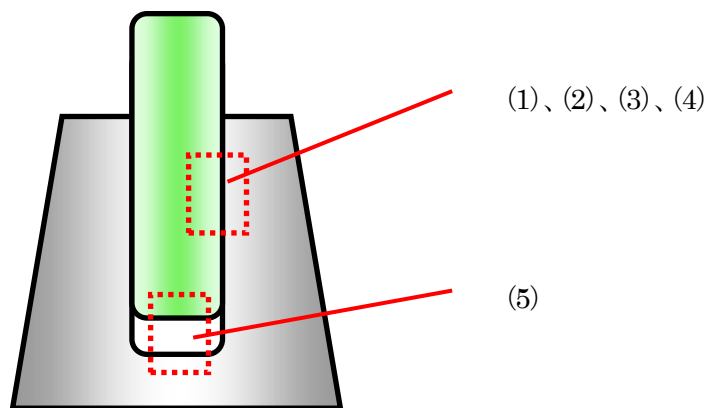
本 S/W の特殊材料とは、

- ・節点分離
- ・ギャップ要素
- ・接触要素（単点拘束を含む）
- ・トラス要素

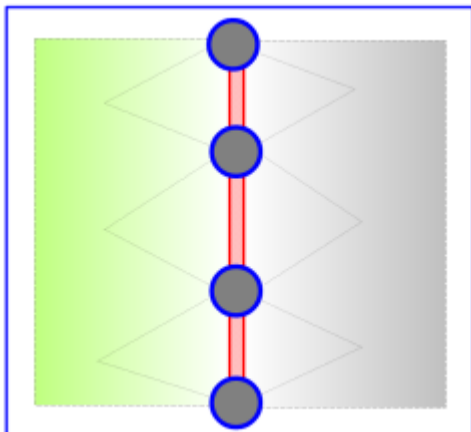
のことを言い、主に材料（骨材料・他材料）間の状態設定となります。

例として、下図のようなメッシュ形状があり、灰色の材料と緑色の材料に分けられているとします。（材料種別設定済み）  
その材料間の境界面の一部を拡大して、これら特殊材料について説明します。

サンプル形状

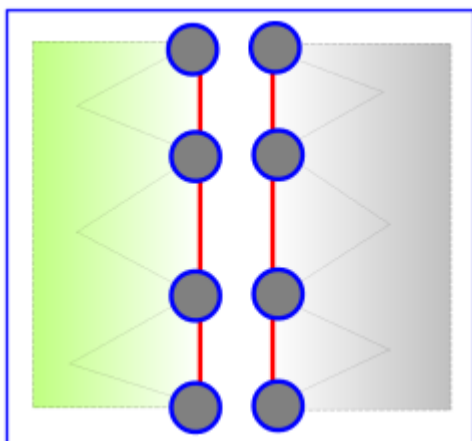


(1) 特殊材料を使用しない場合



特殊材料を使用しない場合には、材料間は節点で共有されておりますので、材料間は密着状態で分離することはありません。

## (2) 節点分離

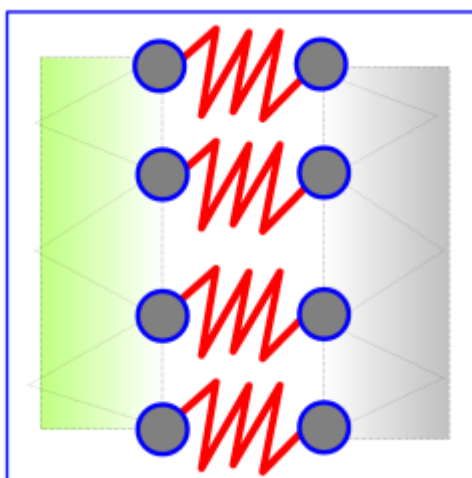


節点分離とは、指定された領域の共有節点を分離することを言います。(節点間距離は0.0mm)

この図の場合、解析によって、右から左に力が伝播する事は無く、左から右への力の伝播もありません。解析結果で変形図を表示しても互いに力の伝播が無いことを確認することができます。

※ 以降に記述する接触要素使用時以外に、離散した要素および節点がある場合には、正常に解析できないことがあります。節点分離使用時には、そういった完全に独立するような要素および節点を作成されないよう御注意ください。

## (3) ギャップ要素



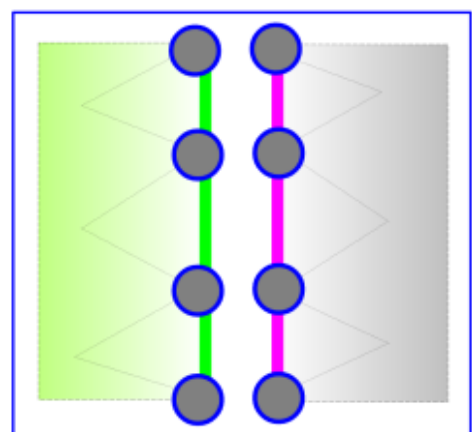
ギャップ要素とは、圧縮方向に力を伝播できるバネ要素です。摩擦力を考慮することはできません。

(節点間距離は0.0mm) 詳細は『付録4. 4 使用要素』へ

本S/Wのギャップ要素は、非常に時間の掛かる接触要素を用いた解析の代替手法として作られました。

接触要素の補完的な位置付けとお考えください。

## (4) 接触要素の設定



接触要素とは、指定された領域の接触状態を解析できるものです。左図のような構造であるため、圧縮方向にだけ力を伝播できます。指定する領域とは、

- ・プライマリ側領域 (赤) …接触される側
- ・セカンダリ側領域 (緑) …接触する側

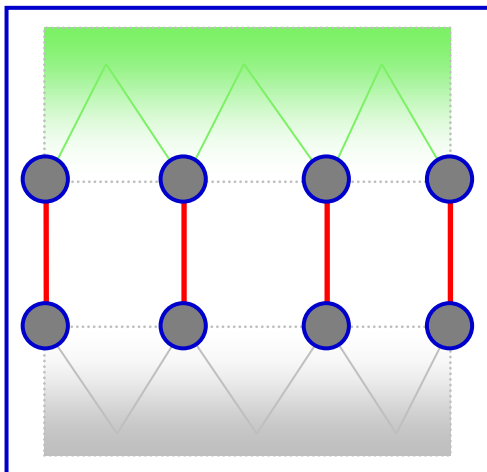
の2つの領域を指定して、1つの接触要素グループとします。

解析を安定に行うために、柔らかい材料をセカンダリ側に、硬い材料をプライマリ側に設定することをお勧めします。

本S/Wにおいて、接触要素の設定時にプライマリ側とセカンダリ側の節点が共有されている場合には、節点分離を行い、その節点を自動的に単点拘束という状態にしています。単点拘束とは解析時の初期ループ時のみ、互いに接続(拘束)された節点ペアであるとして設定解析する事を言います。

※ 接触要素を使用時の解析は、非常に時間が掛かる可能性があります。特に破壊が始まると長く時間が掛かり、数十倍に及ぶ可能性があります。

#### (5) トラス要素の設定



トラス要素とは、離れた節点間を結ぶ線要素です。

トラス要素にはひずみと張力の関係を定義することができますので、例えば圧縮方向には抵抗を持たず、引張方向のみ抵抗（張力）を発生させることができます。

節点はピン構造になっており、回転に対しては自由です。また曲げ抵抗は発生しません。

※ ひずみー張力の関係は非線形に定義できます。解析中にひずみー張力の傾きが変わると、急に抵抗力が変化することでモデルに強い応力が発生すること可能性があります。解析を安定して解くために、荷重ステップを小さくするなど、急激な応力の発生を抑えるよう解析条件を検討してください。



### 7. 3 特殊材料範囲の操作方法 (EE)

特殊材料の範囲の指定には、解析要素内部の材料間境界の指定を行う必要があるため、

1. 基準となる材料種別と番号を選択する。
2. 材料番号内で設定したい接し面（シェル用と同じ選択方法）を選択する。
3. 任意領域を、選択あるいはマウス操作により設定する。

という手順で行います。

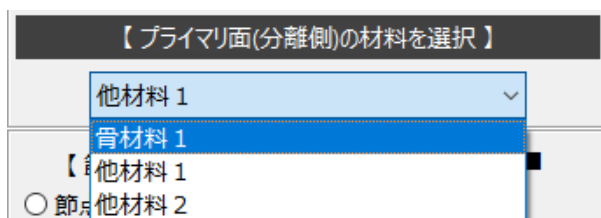
ここでは、サンプルデータ（プロジェクト名：sample）を使用して、特殊材料の範囲を指定する方法を説明いたします。

（特殊材料の範囲操作は、節点分離・ギャップ要素・接触要素《プライマリ側・セカンダリ側》のどれでも同操作になります）

1. 基準となる材料種別と番号を選択する。

まず、どの材料の面に特殊材料を設定するかを選択します。

選択は、骨材料・他材料の番号を選択する事で行います。（下図は骨材料番号1を選択しているとする）

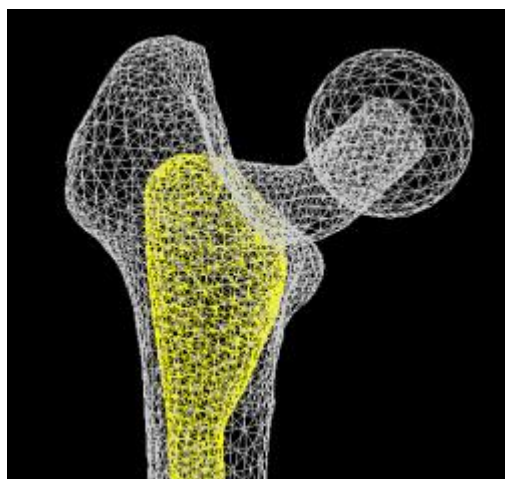


ここでの注意点として、異なる材料番号が接している境界面は、選択方法が2つあるということになります。

たとえば、下図の黄色領域の境界面は、

- ・骨材料番号1[大腿骨] と 他材料番号1[ステム] が接した面の 骨材料番号1側の境界面。（骨材料番号1を選択）
- ・骨材料番号1[大腿骨] と 他材料番号1[ステム] が接した面の 他材料番号1側の境界面。（他材料番号1を選択）

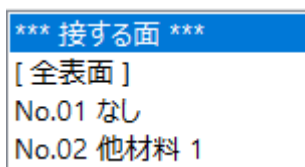
の選択方法があるということです。節点分離やギャップ要素時では片側（節点分離側）だけを指定するため、どちらを指定しても変わりはありませんが、接触要素時にはプライマリ側とセカンダリ側を指定しますので、どちらの境界面を指定しているかを把握しておく必要があります。



2. 材料番号内で設定したい接し面を選択する。（1で骨材料番号1が選択されたものとする）

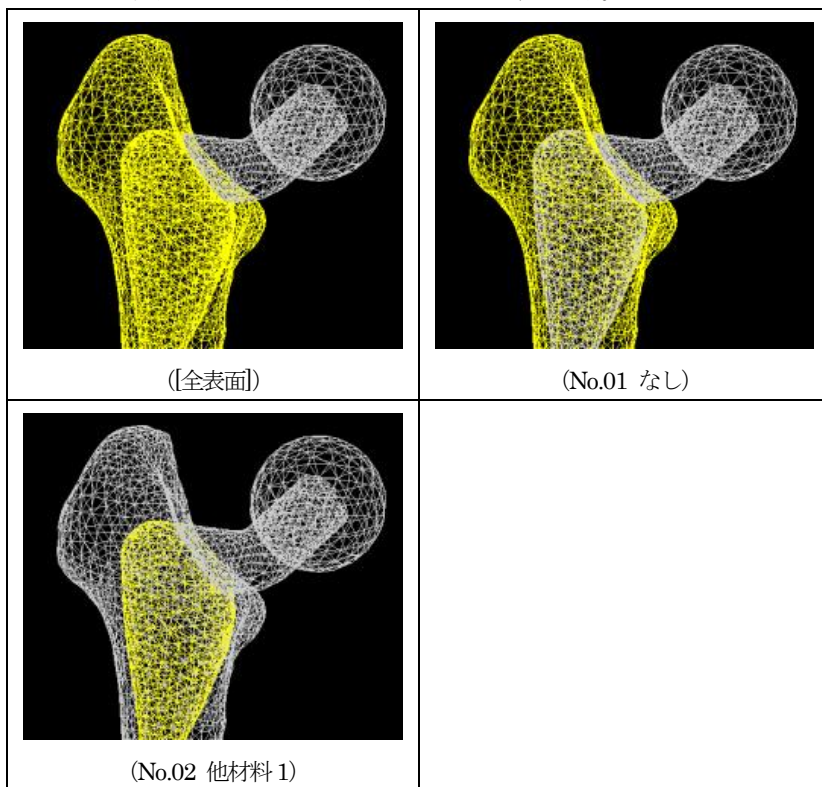
選択された材料番号において、特殊材料領域を選択することになりますが、その領域が材料内部の境界面であったりすると、指定する事が難しくなります。

そこでここでは、指定材料番号内の面を接する面ごとにグループ分けして、指定動作に反応する領域を選択できるようにしています。

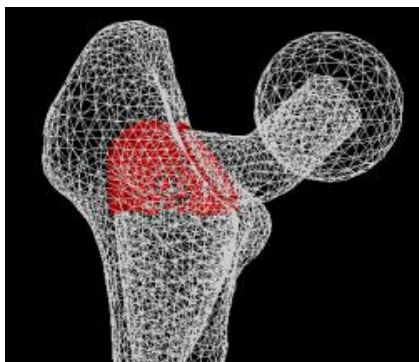


例はサンプルの場合のグループ分けです。

リスト内から接する面を選択する事で以下の表示に変化します。



この黄色領域が指定に対応する領域であり、他の灰色の面は選択されていない状態です。  
これを使用することで、簡単に以下のような赤領域の指定ができるようになります。

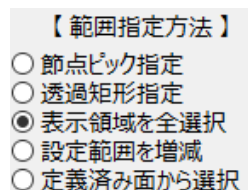


マウスなどを使つての指定方法は次の項目で説明します。

ここでは、リスト内から「No.02 他材料 1」を選択してください。

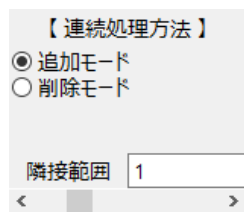
3. 任意領域を、選択あるいはマウス操作により設定する。

希望の領域を選択するために以下のメニューが用意されています。

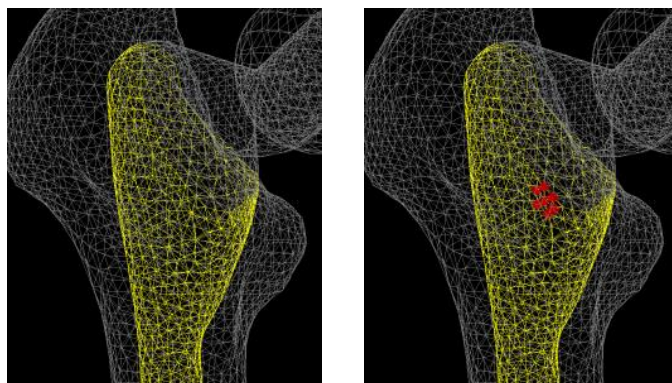


#### ・節点ピック指定

表示形状を直接マウス右クリックする度に追加あるいは削除します。



「隣接範囲」の数値を変更する事により、クリックされた頂点からの影響範囲を変化させる事ができます。その際、追加あるいは削除されるのは、2で選択されて黄色表示されている領域のみです。ですので、黄色表示されている領域が内部面だけである場合、このピック作業で形状の外側を無視して内部面上で追加や削除が行えるようになっています。トラス要素の設定時には隣接要素は0で固定となります。

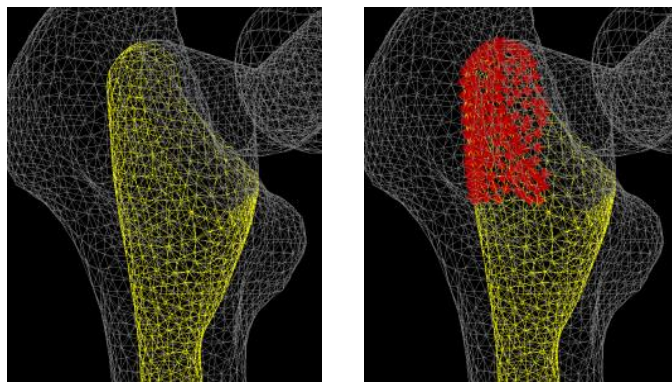


(右ピックした場所が選択される)

#### ・透過矩形指定

表示形状をマウス右ドラッグにより範囲指定し、「選択範囲を追加」「選択範囲へ置換」「選択範囲を削除」 ボタンを押すことにより追加あるいは置換あるいは削除を行うことができる方法です。

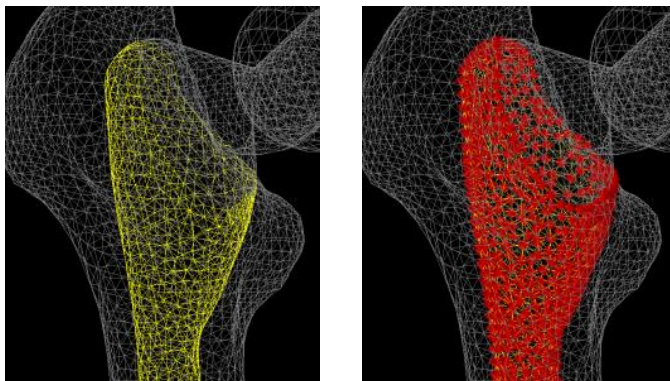
透過範囲は範囲内(奥)遠方にまで影響しますが、その際に影響するのは、2で選択されて黄色表示されている領域のみです。



(マウス右ドラッグした矩形範囲が選択される)

### ・表示領域全選択

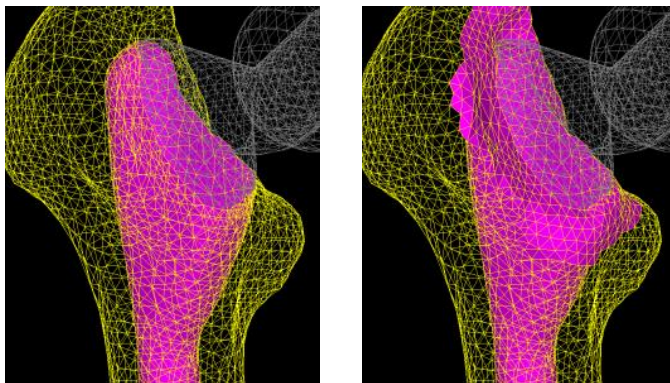
「選択領域を追加」「選択領域へ置換」「選択領域を削除」ボタンを押すことにより、2で選択されて黄色表示されている全領域を、追加あるいは置換あるいは削除を行うことができる方法です。



(黄色範囲の全領域が選択される)

### ・設定範囲の増減

「設定範囲を増やす」「設定範囲を減らす」ボタンを押すことにより、現在設定されている範囲をボタンを押すたびに1要素領域分増減させることができます。接触面を少しだけ広げたい場合に便利な方法です。(膨張・収縮は黄色の範囲内でのみ有効です)

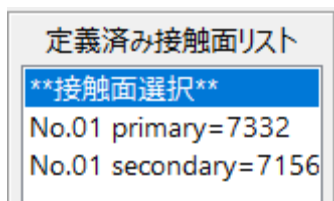


(「設定範囲を増やす」を複数回実行させた選択範囲)

### ・定義済み面から選択

接触要素の面を設定する場合のみ利用できる機能です。「定義済み接触面リスト」から、既に定義している接触要素のプライマリ面かセカンダリ面を選択することで、同一の接触面を設定することができます。これにより、同じ面が複数の面と相互に接触するような接触条件を定義することができます。

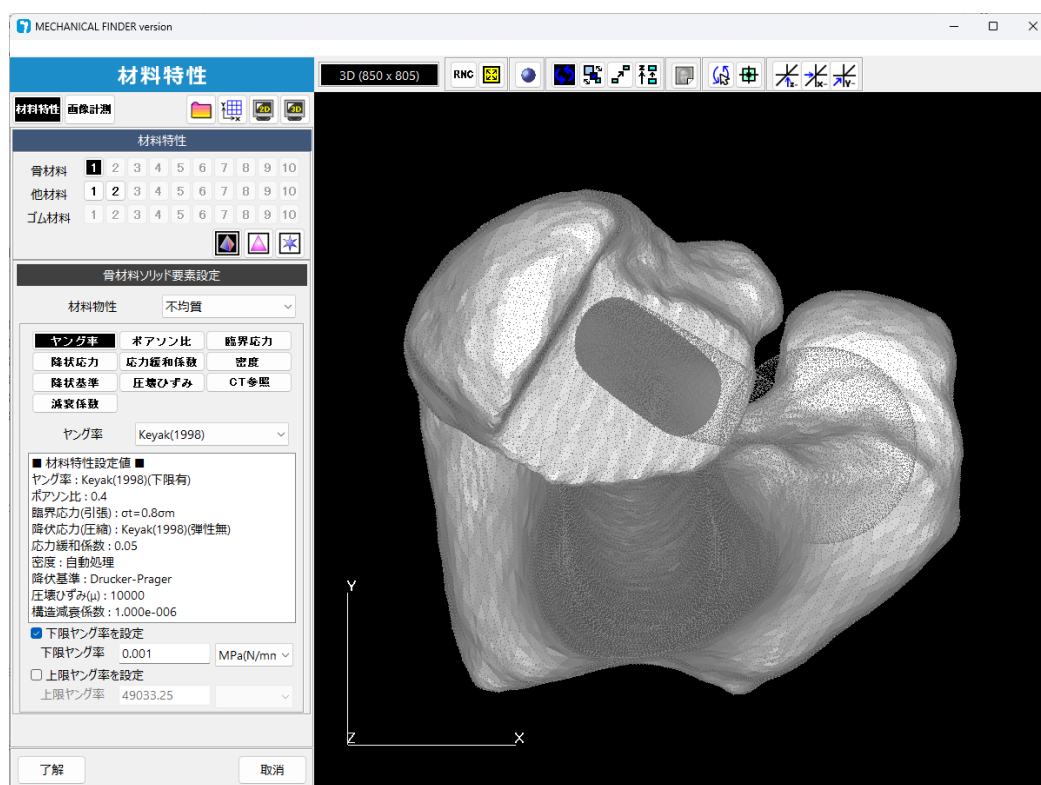
リストの「No.xx」は特殊材料の番号を、「primary / secondary」は定義されているのがプライマリ面かセカンダリ面かを、数字は面の数を表しています。



## 第8章 材料特性

この章では、メッシュ要素に材料特性を与えます。

また、メッシュ構成（ソリッド・シェル構成およびシェル厚）の設定も行います。



項目名	内 容
<b>材料特性</b>	材料特性設定
<b>画像計測</b>	画像計測
	データ情報
	外形図
	ビューワー設定



## 8. 1 材料特性について

各材料特性の定義済みの設定項目については『[付録3. 1 不均質材料の材料特性について](#)』をご参照ください。

### ・ヤング率

ヤング率の設定方法をプルダウンの中から選択します。

ヤング率	▼
	ユーザー換算式
	Keyak(1998)
	Carter(1977)
	Keller(1994) Vertebrae
	Keller(1994) Combined
	Suzuki(2020) Callus

ユーザー換算式	各要素に対してユーザー登録された換算式を適用します。
Keyak (1998)	各要素に対して Keyak 氏の提唱する計算式により設定します。
Carter (1977)	各要素に対して Carter 氏の提唱する計算式により設定します。
Keller (1994) Vertebrae	各要素に対して Keller 氏の提唱する椎体用の計算式により設定します。
Keller (1994) Combined	各要素に対して Keller 氏の提唱する複合骨用の計算式により設定します。
Suzuki (2020) Callus	各要素に対して Suzuki 氏の提唱する仮骨用の計算式により設定します。

<input type="checkbox"/> 下限ヤング率を設定	
下限ヤング率	14.709975 ▼
<input type="checkbox"/> 上限ヤング率を設定	
上限ヤング率	49033.25 ▼

エクステンデッドエディションでは、ヤング率への換算において下限・上限の制限を行う事ができます。

### ・ポアソン比

ポアソン比の設定方法をプルダウンの中から選択します。

ポアソン比	▼
	ユーザー換算式
	0.49
	0.45
	0.4
	0.35
	0.3
	0.25
	0.2
	0.15
	0.1
	0.05
	0.0
	南澤(1981)

ユーザー換算式	各要素に対してユーザー登録された換算式を適用します。
0.49 ~ 0.0	全要素に対して選択数値で設定します。
南澤 (1981)	各要素に対して南澤氏の提唱する計算式により設定します。

### ・臨界応力

臨界応力の計算式をプルダウンの中から選択します。

臨界応力(引張)	▼
	ユーザー換算式
	$\sigma_t = 1.0\sigma_m$
	$\sigma_t = 0.9\sigma_m$
	$\sigma_t = 0.8\sigma_m$
	$\sigma_t = 0.7\sigma_m$
	$\sigma_t = 0.6\sigma_m$
	$\sigma_t = 0.5\sigma_m$
	$\sigma_t = 0.4\sigma_m$
	$\sigma_t = 0.3\sigma_m$
	$\sigma_t = 0.2\sigma_m$
	$\sigma_t = 0.1\sigma_m$

各要素に対して選択した計算式により設定されます。

## ・降伏応力

降伏応力の設定方法をプルダウンの中から選択します。

降伏応力(圧縮)	Keyak(1998) ▼
	ユーザー換算式
	Keyak(1998)
	Carter(1977)
	Keller(1994) Vertebrae
	Keller(1994) Combined
	Suzuki(2020) Callus

ユーザー換算式	各要素に対してユーザー登録された換算式を適用します。
Keyak (1998)	各要素に対して Keyak 氏の提唱する計算式により設定します。
Carter (1977)	各要素に対して Carter 氏の提唱する計算式により設定します。
Keller (1994) Vertebrae	各要素に対して Keller 氏の提唱する椎体用の計算式により設定します。
Keller (1994) Combined	各要素に対して Keller 氏の提唱する複合骨用の計算式により設定します。
Suzuki (2020) Callus	各要素に対して Suzuki 氏の提唱する仮骨用の計算式により設定します。

☐ 密度値200mg/cm3以下を弾性要素とする

降伏応力には上記トグルもあり（初期では OFF 状態）、密度値 200mg/cm3 以下を弾性要素とするかを選択できます。

## ・応力緩和係数

応力緩和係数の設定値をプルダウンの中から選択します。

応力緩和係数	0.05 ▼
	ユーザー換算式
	0.1
	0.05
	完全弾塑性

ユーザー換算式	各要素に対してユーザー登録された換算式を適用します。
0.1	0.1 を設定します。（「付録3材料特性」参照。）
0.05	0.05 を設定します。（「付録3材料特性」参照。）
完全弾塑性	ゼロに近い値（ $1.0 \times 10^{-20}$ ）が設定されます。

## ・密度

密度への換算式をプルダウンの中から選択します。

密度	自動処理 ▼
	自動処理
	ユーザー定義

自動処理	<p>密度は自動的に各要素に対して CT 値から計算されます。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ <u>ファントム未設定時</u> …標準検量線用の換算式を適用します。</li> <li>・ <u>ファントム設定時</u> ……ファントムの換算式を適用します。</li> </ul>
ユーザー定義	<p>ユーザー定義の換算式を適用します。 選択すると下記の設定項目が表示されます。</p> <div> <p>密度 = CT値[H.U.] * a + b</p> <p>密度単位 <span>mg/cm3 ▼</span></p> <p>a値 <input type="text" value="0.945"/></p> <p>b値 <input type="text" value="0"/></p> <p>CT内の換算後密度値 0 - 1686</p> </div> <p>「定数 a」「定数 b」による換算式を適用します。</p>

☐ 下限密度値を設定  
 下限密度値 0.03

☐ 上限密度値を設定  
 上限密度値 2

密度への換算において、密度値の下限・上限の制限を行う事ができます。(初期値では 上限値下限値ともに OFF)  
 上限値では、主にアーティファクト画像による密度値変換による誤差の増大を抑制するために使用します。

#### ・CT 参照

密度を計算する CT 画像の参照位置を、骨材料の現在の座標位置にするか、移動回転したインポート形状位置にするかを設定します。

骨材料の位置が CT 画像中の位置から移動回転されている場合は、ここでインポート位置を選択してください。

CT値参照位置 メッシュ位置

メッシュ位置  
インポート位置

初期処理	骨材料の現在の座標を使って CT 画像を参照します。
インポート位置	<p>骨材料の現在の座標が、元の位置から移動回転されたものとします。          元の位置を計算するために、移動回転したインポート形状を下記リストより選択します。</p> <div> <p>インポート形状リスト</p> <p>ステム 人工骨頭</p> </div>

#### ・減衰係数

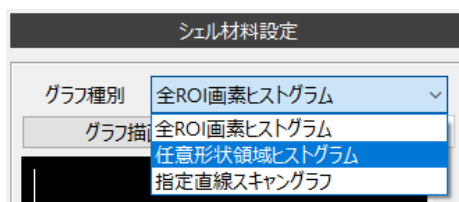
構造減衰係数 0

動解析を行う場合に使用する構造減衰係数の値を入力します。



## 8. 2 画像計測の操作方法

シェル材料設定では、描画したグラフを観察して、『皮質骨 CT 値』および『シェルの厚さ (mm)』を設定することになります。グラフ描画方法は、下図の3種類のグラフ種別が選択できるようになっています。

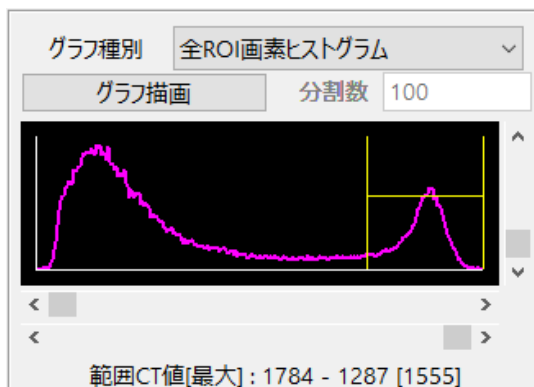


3種類のグラフ描画の操作方法を記します。

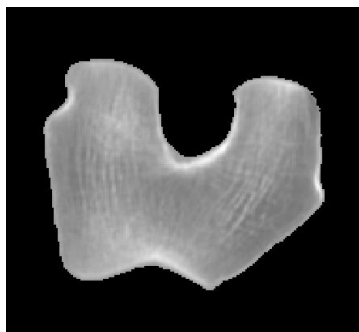
### ①全ROI画素ヒストグラム

このグラフは、ROI 抽出作業で抽出された部位の CT 値をヒストグラムとして表示します。ROI 抽出された全スライスにおける CT 値の頻度がグラフとして表示されます。

- 1) グラフ種別で「全 ROI 画素ヒストグラム」を選択します
- 2) 「グラフ描画」ボタンを押します。
- 3) 統計ヒストグラムが表示されます。



- 4) グラフ上を左ドラッグすることで、ドラッグ間の CT 値の最小値と最大値、あるいはその範囲内の最大ピーク CT 値の数値表示がなされます。
  - 5) 「数値をストックする」ボタンを押して数値をストックします。
- \* このグラフを選択しますと、ビューワー内の表示が切り換わり、ROI 抽出部内の CT 原画像表示になります。  
表示スライスに ROI 抽出部が無い場合は表示ビューワーに何も表示されませんので、スライス番号を変更してください。ROI 抽出部内の CT 原画像だけが表示されていることを確認することができます。

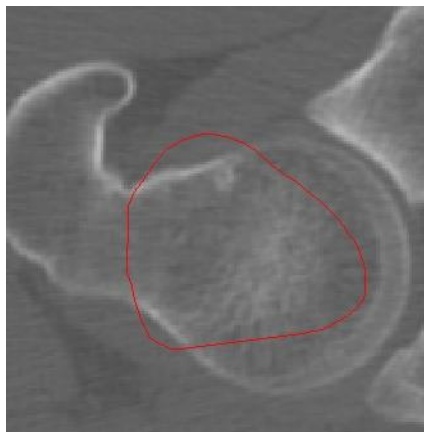


## ②任意形状領域ヒストグラム

このグラフは、ビューワーに表示されている CT 原画像スライスで領域を指定することにより、その領域のヒストグラムを表示します。

表示スライス上で指定した領域の、CT 値の頻度がグラフとして表示されます。

- 1) グラフ種別で「任意形状領域ヒストグラム」を選択します。
- 2) ビューワー上で右ドラッグを行い、領域を指定します。



- 3) 統計しグラフ表示されます。

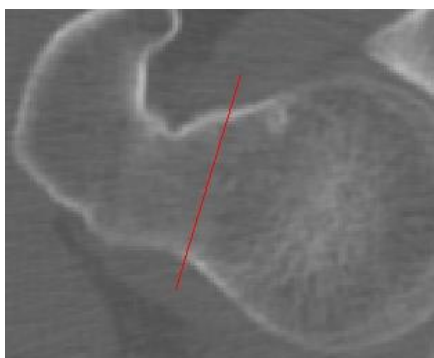


- 4) グラフ上を左ドラッグすることで、ドラッグ間の CT 値の最小値と最大値、あるいはその範囲内の最大ピーク CT 値の数値表示がなされます。
- 5) 「数値をストックする」ボタンを押して数値をストックします。

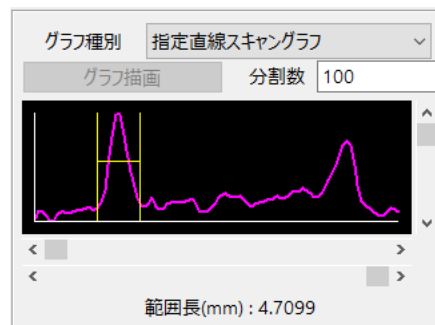
## ③指定直線スキャングラフ

このグラフは、ビューワーに表示されている CT 原画像スライス内で直線を指定することにより、その直線上の濃度値をグラフ表示します。

- 1) グラフ種別で「指定直線スキャングラフ」を選択します。
- 2) ビューワー上で右ドラッグを行い、直線を指定します。



3) 直線の濃度値がグラフ表示されます。




4) グラフ上を左ドラッグすることで、ドラッグ間の距離が数値表示されます。

5) 「数値をストックする」ボタンを押して数値をストックします。

\*) 直線のサンプリングをする濃度値は、「分割数」を増やすことで細分化できます。

### 8. 3 特殊材料の材料特性設定方法

特殊材料ボタンで特殊材料の材料特性を設定する画面に切り替わります。ここではギャップ要素、接触要素、トラス要素の材料特性を設定できます。

材料特性

骨材料	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
他材料	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ゴム材料	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10





特殊材料設定

### ギャップ・接触・トラス要素 リスト ###




No.01	接触要素 摩擦係数/緩和係数=(0.00 1.00)
No.02	トラス要素 張力=ALL(HJ Kim,2009)

### ① ギャップ要素

ギャップ要素のパラメータは自動的に設定されます。

材料特性

骨材料	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
他材料	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ゴム材料	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

特殊材料設定

### ギャップ・接触・トラス要素 リスト ###

No.01 ギャップ要素

選択項目のパラメータを変更する

※ ギャップ要素のパラメータは自動的に設定されます

ギャップ要素の パラメータ設定方法	<div> <div>【ソルバーV2】使用時</div> <ul style="list-style-type: none"> <li>・バネ剛性・・・内部で自動的に決定されます。</li> <li>・せん断バネ係数・・・0 固定となります。</li> </ul> </div>
----------------------	---

## ②接触要素

リストから接触要素を選択すると、「摩擦係数」「緩和係数」を設定できます。

材料特性

骨材料

12345678910

他材料

12345678910

ゴム材料

12345678910

特殊材料設定

### ギャップ・接触・トラス要素 リスト ###

No.01 接触要素 摩擦係数/緩和係数=(0.50 1.00)

摩擦係数

0.5

緩和係数

1

選択項目のパラメータを変更する

接触要素の  
パラメータ設定方法

以下のパラメータを持ちます。

- ・摩擦係数…動／静摩擦係数として、0 以上 1 以下の数値を入力します。
- ・緩和係数…計算の安定性のためのパラメータです。摩擦を導入することで計算が収束しにくい場合は 1 よりも大きい数値を入力します。

詳しくは『[付録 4. 7 接触処理](#)』の摩擦モデルの説明をご参照ください。

### ③トラス要素

リストからトラス要素を選択すると、「トラス要素の張力」を設定できます。

材料特性

骨材料

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

他材料

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

ゴム材料

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

特殊材料設定

### ギャップ・接触・トラス要素 リスト ###

No.01 接触要素 摩擦係数/緩和係数=(0.00 1.00)

No.02 トラス要素 張力=ALL(HJ Kim,2009)

トラス要素グループ

脊椎靱帯

トラス要素の張力

ALL(HJ Kim,2009)

トラス張力の倍率

1

選択項目のパラメータを変更する

定義ファイル再読み込み

#### トラス要素の パラメータ設定方法

以下のパラメータを持ちます。

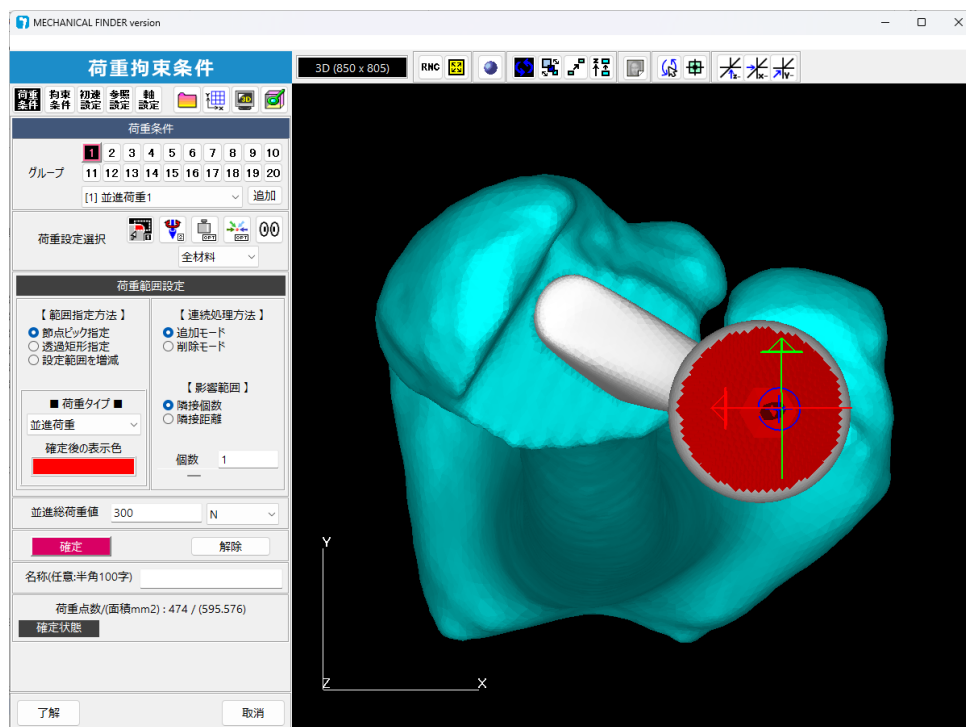
- ・トラス要素グループ…定義済みのトラス要素グループを選択します。
- ・トラス要素の張力…トラス要素グループ内で定義されている「ひずみー張力テーブル」を選択します。
- ・トラス張力の倍率…トラス要素の張力に対する倍率を設定します。

「ひずみー張力テーブル」の定義方法については『[付録3. 2 トラス要素の材料特性の定義方法](#)』をご参照ください。

※一つのトラス要素グループに対して、一つの「ひずみー張力テーブル」の定義を割り当てます。その際、【トラス張力の倍率÷グループ内のトラス要素の総数】が掛けられた張力が各トラスに割り当てられることになります。『[付録3. 3 トラス要素に材料特性が割り当てられる仕組み](#)』もご参照ください。

## 第9章 荷重拘束条件

この章では、荷重条件・拘束条件・初速設定（オプション）を設定します。



項目名	内 容
<b>荷重条件</b>	荷重条件設定
<b>拘束条件</b>	拘束条件設定
<b>初速設定</b>	初速条件設定
<b>参照設定</b>	荷重拘束条件の参照設定
<b>軸設定</b>	軸設定
	データ情報
	外形図
	ビューワー設定
	ボリューム図

## 9. 1 参照設定について

参照設定は、荷重拘束条件を自動設定したり、他のプロジェクトの条件を読み込んで現在のプロジェクトに反映させる機能です。主に「荷重拘束条件の再現」や「荷重拘束設定作業の簡略化」を目的としております。

参照設定には下記の3つの方法が用意されています。

それぞれについて適用可能な条件と適用事例を記します。

### 荷重拘束（パターン計算 [大腿骨モデルのみ]）

#### 条件

- ・部位が大腿骨であること。
- ・「大腿骨指定法」で骨軸が設定されていること。

#### 適用事例

- ・多数の被験者データに対して同一の荷重拘束条件を与えて処理を行いたい場合。
- ・複雑な転倒などの状態を再現したい場合。

### 荷重拘束（別プロジェクトからの参照）

#### 条件

- ・近似的な荷重拘束を設定したプロジェクトがあること。

#### 適用事例

- ・治癒経過状態（同一人物）の比較を行いたい場合。
- ・多数の被験者データに対して同一の荷重拘束条件を与えて処理を行いたい場合。

### モデル座標（変形後座標を初期座標とする）

#### 条件

- ・同じ接点数、要素数で解析済みのモデルが存在すること。

#### 適用事例

- ・前回の解析結果を引き継いで解析を行いたい場合。



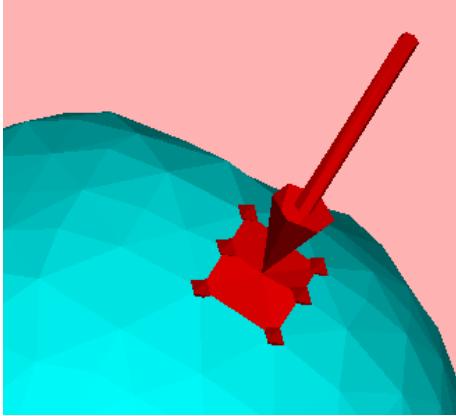
## 9. 2 荷重タイプ・拘束方向・初速について

荷重タイプの3タイプ（並進荷重・回転荷重・強制変位・面圧）の違いと、拘束方向（ $X, Y, Z, \theta_x, \theta_y, \theta_z$ ）の種類、及び初速について説明します。希望の解析条件として最適な設定を選択してください。

### 1) 荷重タイプ

#### ・並進荷重

並進荷重とは、直進方向（矢印方向）からの荷重になります。



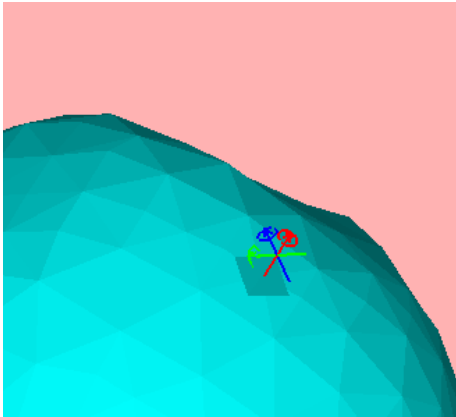
（荷重確定時、赤色で示される）

並進荷重を掛けたい領域の節点を選択することで範囲決定されます。（上図では7点選択されている）

例えば上図に対し、「並進総荷重値」に **70kgf** を設定すると、重み設定が無い場合は1節点当り **10kgf** の並進荷重が掛かるように設定されます。

#### ・回転荷重

回転荷重とは、シェル要素上の1点に対して与えられる、軸方向のねじりの荷重になります。



（荷重確定時、水色で示される）

回転荷重を掛けたい領域の節点1点のみを指定することで範囲決定されます。（上図例）

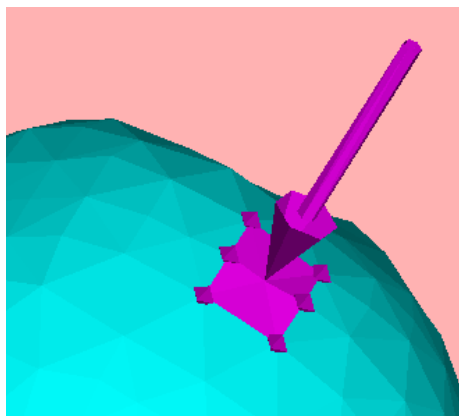
例えば上図に対し、 $\theta_x$ （赤矢印）・ $\theta_y$ （緑矢印）・ $\theta_z$ （青矢印）の回転荷重値（ $N \cdot mm$   $kgf \cdot mm$ ）を設定します。

回転荷重時は、併せて並進荷重も指定する事ができます。

シェル要素に垂直な軸回りの回転荷重は無効となりますのでご注意ください。

## ・強制変位

強制変位とは、直進方向（矢印方向）からの変位量（mm）になります。



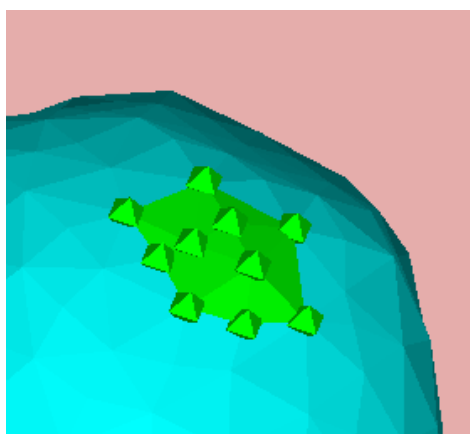
（荷重確定時、紫色で示される）

強制変位を与えたい領域の節点を選択することで範囲決定します。（上図では7点選択されている）

例えば上図に対し、「強制変位値（mm）」に3mmを設定すると、全節点7点が等価に3mm変位するという条件で解析を行います。

## ・面圧

面圧とは、面に垂直な方向にかかる荷重になります。



（荷重確定時、緑色で示される）

面圧を掛けたい領域の節点を選択することで範囲決定されます。（上図例）

例えば上図に対し、「面圧値」に10MPaを設定すると、それぞれの節点が受け持つ面積に応じて等圧になるよう節点にかかる力が計算され、面に垂直方向の荷重条件で解析を行います。

## 2) 拘束方向

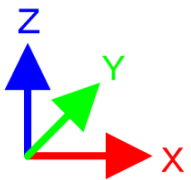
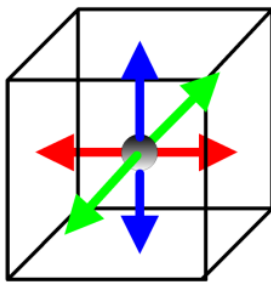
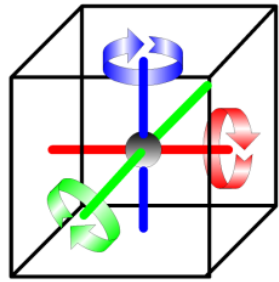
拘束方向は、X、Y、Z、 $\theta_x$ 、 $\theta_y$ 、 $\theta_z$ の6つの方向から、拘束したい方向を選択するようにします。

その拘束方向とは、

（X、Y、Z方向）……各軸方向の直進の動きに対する拘束を設定します。

（ $\theta_x$ 、 $\theta_y$ 、 $\theta_z$ 方向）…各軸周りの回転の動きに対する拘束を設定します。

となり、チェックした方向が拘束されるようになっています。

	拘束方向 X, Y, Z	拘束方向 $\theta_x, \theta_y, \theta_z$
<p>全体座標（物理座標）の方向が下図のような方向である場合。</p> 		



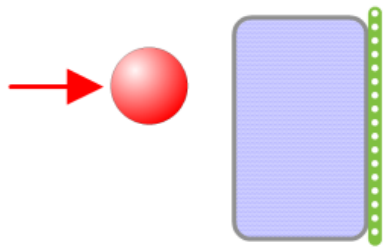

### 3) 初速

初速は、節点共有されているクラスタ（グループ）単位で与えることができます。

任意のクラスタに対し、初速の方向（X、Y、Z）と大きさを与えることで設定できます。

また初速設定を行った場合は、「荷重条件」と「拘束条件」を設定しなくても解析することができます。

（※初速未設定時は、「荷重条件」「拘束条件」は必須です）

<p>  拘束条件   初速 </p>	
	<p>・参考1 【クラスタに初速を与えて固定された別のクラスタにぶつける例】</p> <p>左図の条件では、「荷重条件」は設定していません。 ただし、当たる箇所には『接触要素』の設定が必要になります。</p>
	<p>・参考2 【クラスタ同士を初速を与えてぶつける例】</p> <p>左図の条件では、「荷重条件」「拘束条件」は設定していません。 ただし、当たる箇所には『接触要素』の設定が必要になります。</p>

### 9. 3 荷重方向について

荷重方向について説明します。

荷重方向の設定方法は「XYZ 方向指定」「極座標(設定軸)指定」「極座標(3 軸)指定」「2 節点間方向指定」から選びます。

#### ・XYZ 方向指定

単位ベクトルの X 軸、Y 軸、Z 軸成分を指定して方向を設定します。

荷重方向設定1	荷重方向設定2
<b>【荷重方向の指定】</b> <input checked="" type="radio"/> XYZ方向指定 <input type="radio"/> 極座標(設定軸)指定 <input type="radio"/> 極座標(3軸)指定 <input type="radio"/> 2節点間方向指定 (方向を単位ベクトルで指定します)  <input type="button" value="法線方向へ設定"/> <input type="checkbox"/> 引張り荷重表示	X方向 <input type="text" value="0.000"/> Y方向 <input type="text" value="0.000"/> Z方向 <input type="text" value="1.000"/> <input type="button" value="XYZ方向をセット"/>

#### ・極座標(設定軸)指定

設定済みの軸を選択し、軸に対して角度を指定することで方向を設定します。

荷重方向設定1	荷重方向設定2
<b>【荷重方向の指定】</b> <input type="radio"/> XYZ方向指定 <input checked="" type="radio"/> 極座標(設定軸)指定 <input type="radio"/> 極座標(3軸)指定 <input type="radio"/> 2節点間方向指定  <div>1 2 3 4 5</div> <div>基準極座標</div> <div><input type="button" value="軸方向へ設定"/> <input type="button" value="逆"/></div> <div><input type="button" value="法線方向へ設定"/></div> <input type="checkbox"/> 引張り荷重表示	$\alpha$ 角度 <input type="text" value="20.000"/> < <input type="button" value=""/> <input type="button" value=""/> > $\beta$ 角度 <input type="text" value="-180.000"/> < <input type="button" value=""/> <input type="button" value=""/> >

#### ・極座標(3 軸)指定

画面に表示されている赤緑青の座標軸に対して角度を指定することで方向を設定します。

荷重方向設定1	荷重方向設定2
<b>【荷重方向の指定】</b> <input type="radio"/> XYZ方向指定 <input type="radio"/> 極座標(設定軸)指定 <input checked="" type="radio"/> 極座標(3軸)指定 <input type="radio"/> 2節点間方向指定  <div>1 2 3 4 5</div> <div>基準極座標</div> <div><input type="button" value="軸方向へ設定"/> <input type="button" value="逆"/></div> <div><input type="button" value="法線方向へ設定"/></div> <input type="checkbox"/> 引張り荷重表示	<div>A <input type="text" value="10"/> <input type="button" value="-"/> <input type="button" value="+"/></div> <div>B <input type="text" value="10"/> <input type="button" value="-"/> <input type="button" value="+"/></div> <div>T <input type="text" value="10"/> <input type="button" value="-"/> <input type="button" value="+"/></div>

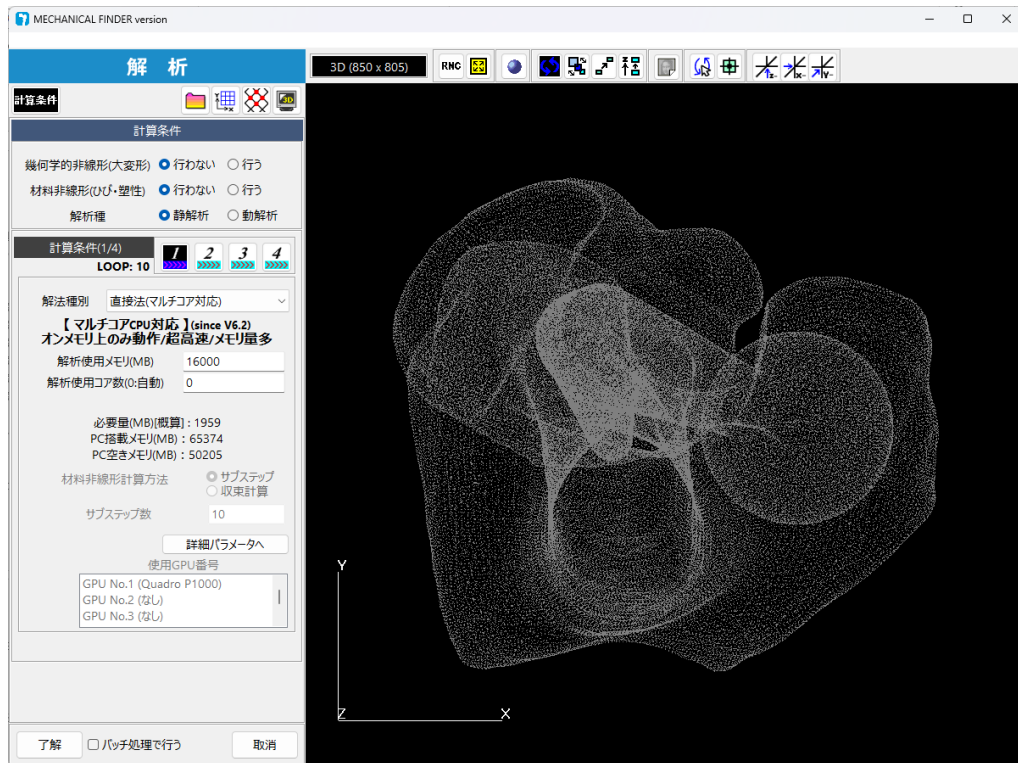
・2節点間方向指定

節点を2点指定し、2節点を結ぶ方向を荷重方向として設定します。解析中の節点の変位に荷重方向が追随します。

荷重方向設定1	荷重方向設定2
<p>【荷重方向の指定】</p> <p> <input type="radio"/> XYZ方向指定  <input type="radio"/> 極座標(設定軸)指定  <input type="radio"/> 極座標(3軸)指定  <input checked="" type="radio"/> 2節点間方向指定 </p> <p>(解析中の節点移動に伴い方向が変わります)</p> <p><input type="checkbox"/> 引張り荷重表示</p>	<p>始点番号 <input type="text" value="77072"/></p> <p>終点番号 <input type="text" value="80049"/></p> <p> <input type="button" value="方向指定を設定"/>  <input type="button" value="方向指定を解除"/> </p>

## 第10章 解析

設定されたメッシュ形状・材料特性・荷重拘束条件で解析を行います。  
計算条件を設定した後、「了解」を押すと解析処理が実行されます。



項目名	内 容
<b>計算条件</b>	計算条件設定
	データ情報
	外形図
	節点拘束図
	ビューワー設定

## 10. 1 ソルバーの解析オプション

本 S/W のソルバーは次の解析オプションを持っています。

計算条件		
幾何学的非線形(大変形)	<input checked="" type="radio"/> 行わない	<input type="radio"/> 行う
材料非線形(ひび・塑性)	<input checked="" type="radio"/> 行わない	<input type="radio"/> 行う
解析種	<input checked="" type="radio"/> 静解析	<input type="radio"/> 動解析

### ・幾何学的非線形 (大変形)

『行わない』を選択・・・微小変形理論に基づく解析を行います。

『行う』を選択・・・大変形を考慮し精度の高い解析を行います。解析に要する時間は長くなります。

### ・材料非線形 (ひび・塑性)

『行わない』を選択・・・圧縮破壊 (塑性・圧壊) および引張破壊を考慮しません。

『行う』を選択・・・圧縮破壊および引張破壊を考慮します。

### ・解析種

『静解析』を選択・・・静的な荷重条件による解析を行います。

『動解析』を選択・・・慣性を考慮した解析を行います。

MECHANICAL FINDER Version13 より、前バージョンまでのソルバーV1 は使用できませんのでご注意ください。

# 10. 2 計算条件

ここでは、計算条件の設定方法について説明します。



項目名	内 容
解法種別	解析時に使用する解法種別を選択します。 解析結果は、いずれの方法でもほぼ違いはありません。 処理方法の違いについては『付録5. 5 解析について』を参照してください。 ・直接法（マルチコア対応） ・直接法（シングルコア） ・反復法（CG 法） ・反復法（CG 法・GPU 対応）
計算パラメータ	・ <u>解析使用メモリ（MB）</u> ……………解析に用いることを許す最大メモリ。単位はメガバイトとなります。下部の「推奨量」や「必要量」を参考に入力してください。 ・ <u>解析使用コア数</u> ……………直接法（マルチコア対応）での並列数を指定します。



	<ul style="list-style-type: none"> <li>・<u>材料非線形計算方法</u>……………要素破壊後の計算方法を選択します。「サブステップ」を選択した場合はステップ荷重をサブステップに分割して計算し、「収束計算」を選択した場合は Newton-Raphson 法により不平衡力の収束計算を行います。</li> <li>・<u>サブステップ数</u>……………要素破壊後の荷重刻み数を入力します。</li> <li>・<u>塑性・破壊判定回数</u>……………要素破壊後の Newton-Raphson 法による繰り返し計算回数を入力します。</li> </ul>
前処理種類	<p>CG 法の前処理方法を選択します。</p> <p>前処理は、CG 法の計算性能に影響します。解析に時間がかかる、解析できないといった場合に前処理を変更すると改善する可能性があります。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・なし……………前処理を行いません。</li> <li>・不完全コレスキー分解……………前処理として不完全コレスキー分解を行います。</li> <li>・対角項膨張処理+LU 分解……………剛性行列の対角項が正になるように膨らませた後、LU 分解を行います。</li> <li>・対角項膨張処理+不完全コレスキー分解……………剛性行列の対角項が正になるように膨らませた後、不完全コレスキー分解を行います。</li> </ul>
Drucker-Prager 降伏基準の $\alpha$ 値	<p>静水圧効果を考慮した Drucker-Prager 降伏基準において、多軸圧縮下の材料硬化に関する係数です。この値が大きくなるほど、多軸圧縮下では材料が降伏しにくくなります。</p> <p>0 の時は静水圧効果を考慮せず、Von-Mises 降伏基準と等しくなります。</p>
収束許容誤差	非線形解析において、不釣合力の並進成分・回転成分の収束判定誤差を入力します
不平衡力収束計算回数	<ul style="list-style-type: none"> <li>・『不平衡力収束計算回数の自動割り当て』が OFF 時に有効であり、1 荷重ステップで不平衡力を収束させる反復計算回数の上限を入力します。</li> </ul> <p>接触面及びギャップ要素を定義したモデルを解析した場合、不平衡力が収束しにくくなるため、この数値には大きい値を設定することをお奨めします（計算時間は増大します）。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・『不平衡力収束計算回数の自動割り当て』が ON 時には以下のように設定されます。</li> </ul> <p>非線形骨折線予測解析且つ接触面及びギャップ要素が定義されていない場合に、本項目値は 1 に設定され、そうでない場合には初期本項目値が割り当てられます。</p>
接触判定回数	<p>1 荷重ステップにおいて接触状態が変わらなくなるまで繰り返し計算する回数の上限を入力します。</p> <p>接触面が広い（含まれる節点が多い）ほど接触状態が収束しにくくなるため、この数値には大きい値を設定することをお奨めします（計算時間は増大します）。</p>
摩擦力減速係数	1 より小さくすると、摩擦力の計算に用いる接触反力に含まれる前ステップの接触反力の割合が大きくなります。摩擦力のステップ間の変化が抑えられ、接触状態が収束しやすくなります。
バッチ処理にて解析を行う	<p>OFF の場合は即時に解析処理が行われます。</p> <p>ON の場合は、</p> <p><a href="#">『14. 5 バッチ解析処理プログラム』</a></p> <p><a href="#">『14. 6 リモートバッチ解析処理プログラム』</a></p> <p>を使用して、本プロジェクト終了後でも一括して解析処理を行うことができます。</p> <p>その際は本 S/W を起動する必要はございません。</p>

# 10.3 時間内分割

ここでは、時間内分割の設定方法について説明します。

計算条件

幾何学的非線形(大変形) ☒ 行わない ☐ 行う  
材料非線形(びび・塑性) ☐ 行わない ☒ 行う  
解析種 ☒ 静解析 ☐ 動解析

時間内分割(2/4)

1
2
3
4

LOOP: 10

解析総時間 - (固定 0.0s - 1.0s)

区間数 10

区間数を適用

No.01 t=0.100 div=1  
No.02 t=0.200 div=1  
No.03 t=0.300 div=1  
No.04 t=0.400 div=1  
No.05 t=0.500 div=1  
No.06 t=0.600 div=1  
No.07 t=0.700 div=1  
No.08 t=0.800 div=1  
No.09 t=0.900 div=1  
No.10 t=1.000 div=1

区間時間 0.100 LOOP:10

区間内分割 1 区間内分割全適用

選択項目値変更

時間条件を適用する

出力間隔 2 step OUT:5

解析総時間(s) 0.05000 s

区間数 10

解析総時間と区間数を適用

No.01 t=0.00500 div=1  
No.02 t=0.01000 div=1  
No.03 t=0.01500 div=1  
No.04 t=0.02000 div=1  
No.05 t=0.02500 div=1  
No.06 t=0.03000 div=1  
No.07 t=0.03500 div=1  
No.08 t=0.04000 div=1  
No.09 t=0.04500 div=1  
No.10 t=0.05000 div=1

区間時間 0.00500 LOOP:10

区間内分割 1 区間内分割全適用

選択項目値変更

時間条件を適用する

出力間隔 2 step OUT:5

静解析選択時

動解析選択時

項目名	内 容
時間条件設定	<p>ここでは非線形の時間条件を設定します。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・<u>解析総時間 (s)</u> …動解析を行う総時間を入力します。動解析選択時のみ入力可能になります。</li> <li>・<u>区間数</u> …計算時間内で荷重を変更するポイント数を設定します。 ポイント数は1～10で、全荷重グループに対して共通項目です。 「区間数を適用」ボタンにより、反映されます。</li> <li>・<u>選択区間時間・区間内分割</u> …リストから項目を選択すると、その項目に数値が反映されます。 区間時間と区間内分割数を変更でき、「選択項目値変更」ボタンでリストに反映されます。 「区間内分割全適用」ボタンを押すと、入力された区間内分割数が、全区間に対して反映されます。</li> <li>・<u>時間条件を適用する</u> …設定された時間条件リストを荷重グループに設定します。</li> <li>・<u>出力間隔</u> …解析結果のファイル出力間隔を、ステップ/秒で設定します。ステップ間隔と秒間隔は単位リストを選択して切り替えます。</li> </ul>

※ ステップ数表示は以下のようになります。

TOTAL : 区間ごとの分割数と区間内分割により求められた総ステップ数

OUT : TOTAL 数に出力間隔を考慮した実出力ステップ数

※ 「時間条件を適用する」 ボタンを押すことで反映されます。

荷重値は区間ごとに線形に荷重されるように設定されます。

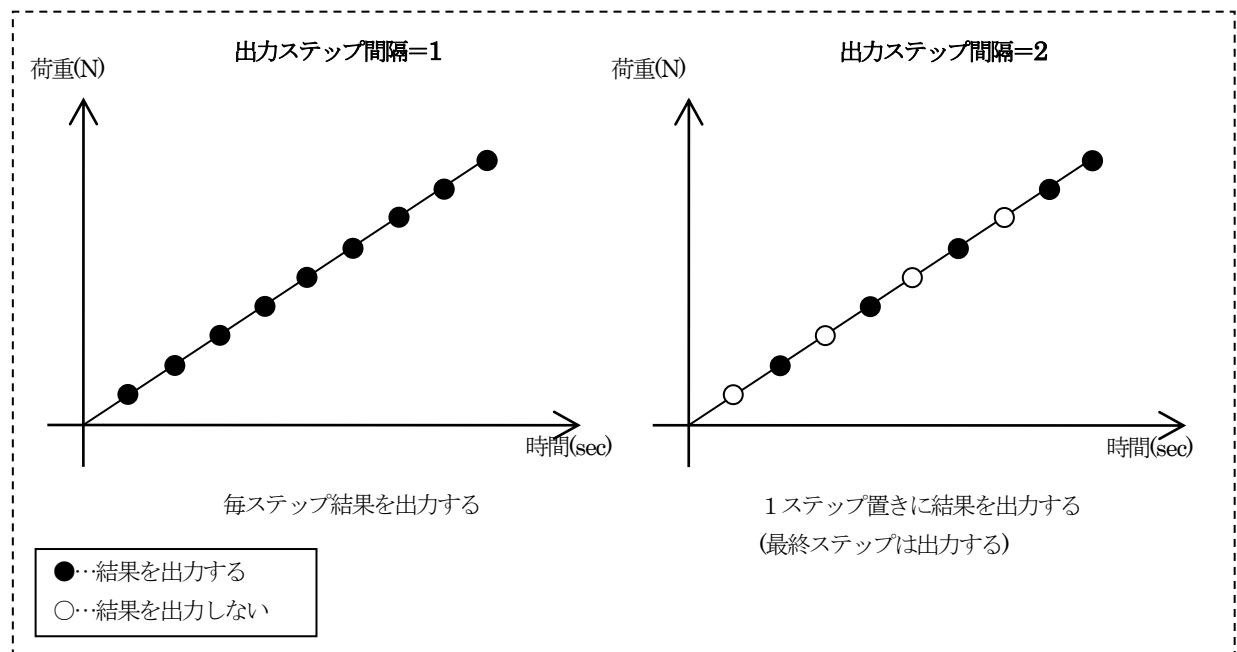
反映されていると OUT 項目は黒色、未反映である場合には OUT 項目はオレンジ色で表示されます。

### 10.3.1 出力間隔について

解析結果を出力するステップの指定は、「出力ステップ間隔」と「出力時間間隔」のいずれかで設定します。以下に概要を説明します。

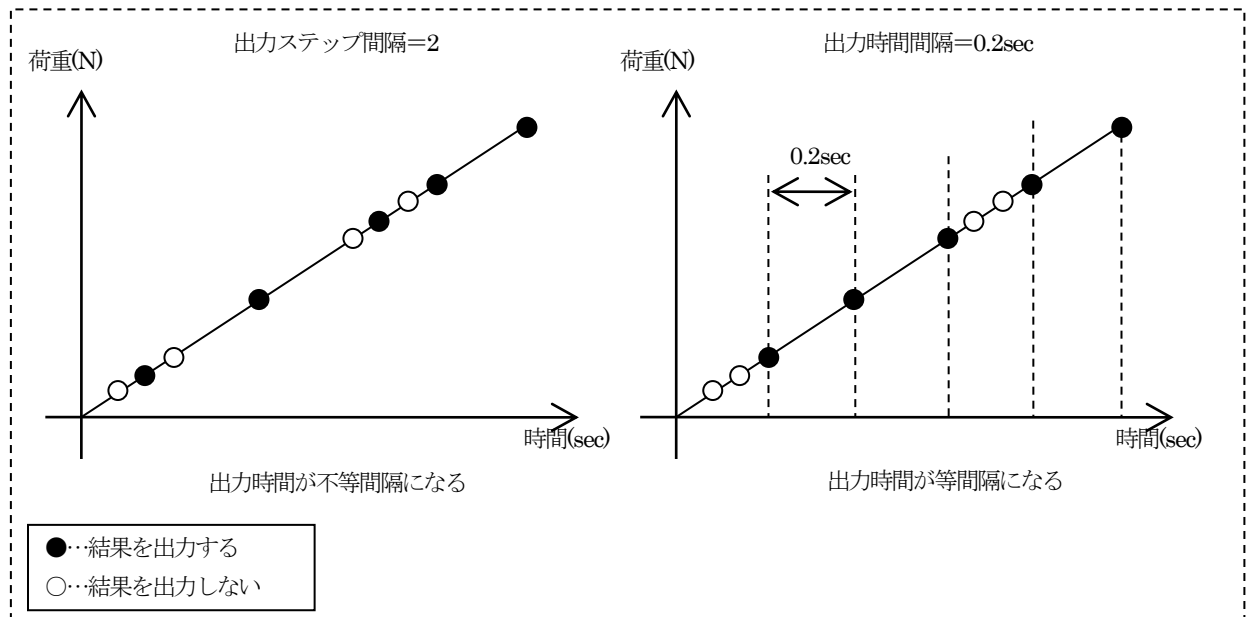
#### ○出力ステップ間隔を指定した場合

出力間隔に「step」を選択した場合、指定したステップ間隔ごとに出力します。出力ステップ間隔が「1」の場合は毎ステップ、「2」の場合は1ステップ間隔をあけて結果を出力します。ただし、指定内容によらず解析の最終ステップは必ず出力されます。



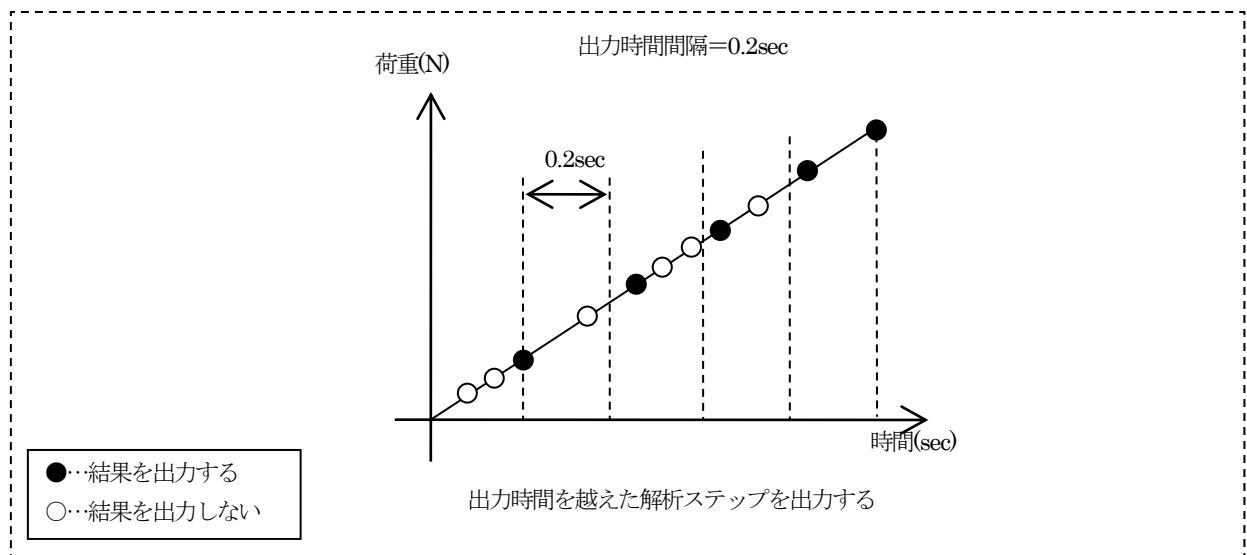
### ○出力時間間隔を指定して等間隔に出力する

複数区間に複数区間内分割を指定している場合、解析ステップが不等間隔になることがあります。この場合、出力間隔に「sec」を選択し、出力時間間隔を指定することで出力を等間隔にすることができます。



### ○出力時間間隔と解析ステップ時間が一致しない場合の出力

出力時間と解析ステップが一致しない場合は、各出力時間をはじめに越えた解析ステップを出力します。この場合、出力時間が等間隔になる保証はありません。



# 10. 4 時間毎荷重

ここでは、時間毎荷重の設定方法について説明します。  
荷重値を区間数で等分割するのではなく、時間ごとに非線形に荷重をかけたい場合はここで非線形荷重を設定してください。

計算条件

幾何学的非線形(大変形)
☒ 行わない
☐ 行う

材料非線形(ひび・塑性)
☐ 行わない
☒ 行う

解析種
☒ 静解析
☐ 動解析

時間毎荷重(3/4)

LOOP: 10

1
2
3
4

グループ

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20

[1] 並進荷重1

線形荷重に変更

選択区間:0(0.000s)

並進荷重

最大並進荷重値
300
N
変更

区間並進荷重値
0
N
変更

荷重No.
基準荷重
変更

単位X方向 : -0.04725

単位Y方向 : -0.01472

単位Z方向 : -0.99877

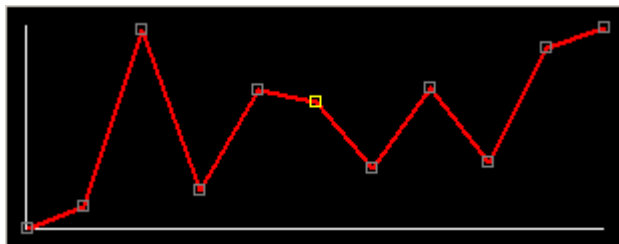
このグループの時間荷重条件を適用する

項目名	内 容
グループ	荷重を変更する荷重グループを選択します。 複数の荷重グループが設定されている場合は、各荷重グループごとに設定してください。
時間荷重値設定	<p>初期値では線形に荷重されています。</p> <p>表示グラフ上で区間を選択し、マウス左ドラッグにより荷重値変更を行えます。</p> <p>又、表示グラフ上でピックアップした区間を数値入力によって変更できます。</p> <p><b>(※1)</b></p> <p>荷重値は、「並進荷重」「回転荷重」毎に設定する事ができ、並進荷重の場合、「最大並進荷重値」の数値を変更し「変更」ボタンを押すことで、指定荷重グループの最大並進荷重値を変更することができます。区間並進荷重値も同様の処理で行います。</p> <p>変更した荷重値を指定荷重グループに反映するには、「このグループの時間荷重条件を適用</p>

	する」ボタンを押してください。
荷重 No.	<p>選択した区間の荷重方向を変更したい場合はここで選択します。</p> <p>ただし、荷重条件設定時に荷重方向の追加設定を行なっている必要があります。荷重方向の追加設定の追加No. がここに表示されますので、任意の荷重方向を選択してください。</p>

※「このグループの時間荷重条件を適用する」を押さないと時間荷重値が反映されません。ご注意ください。  
又、複数の荷重グループが設定されている場合は、他のグループに対しても同様に設定を行って下さい。

※1. バージョン 6.1 から前ステップより小さな荷重を与えることができるようになりました。



10.5 入出力制御

ここでは、入出力制御の設定方法について説明します。  
非線形骨折線予測解析の際に破壊要素数を終了条件に加えたり、前回の解析結果から応力状態を引き継ぐことができます。

計算条件

幾何学的非線形(大変形)☒ 行わない ☐ 行う

材料非線形(ひび・塑性)☐ 行わない ☒ 行う

解析種☒ 静解析 ☐ 動解析

入出力制御(4/4)

LOOP: 10

1234

☐ 前回の解析結果を継承して解析する

**継承開始不可能プロジェクトです**

☐ 解析後は継承可能プロジェクトとする

☒ 破壊要素数を終了条件に加える(0=未処理)

	シェル	ソリッド
ひび割れ要素数	1	0
塑性した要素数	0	0
圧壊した要素数	0	0

☐ 要素破壊後から結果を出力する  
(最終ステップは必ず出力されます)

項目名	内 容
解析結果の継承	バージョン 6.2 より、以前の解析結果から応力状態を引き継ぐことができるようになりました。次の 2 段階に分けて解析を行うことができます。 1. まず、『解析結果後は継承可能プロジェクトとする』にチェックを入れてから解析してください。 2. 次に、荷重拘束条件や解析条件を変更した後、『以前の解析結果を継承して解析する』にチェックを入れてから解析してください。1 で解析した結果の応力状態をモデルの初期状態として持たせたまま、次の解析を行います。
破壊要素数を終了条件に加える	非線形骨折線予測解析を行う際、「ここまで破壊が進んだら解析を終了する」という条件を与えることができます。 シェル要素、ソリッド要素それぞれについて、「ひび割れ」「塑性」「圧壊」状態の要素数を条件として入力してください (0 は条件なしとして設定されます)。解析中にいずれかの条件を満たした時、解析はその時点で終了します。
要素破壊後から結果を出力する	オンにすると、出力ステップ間隔の設定によらず、材料非線形解析において要素の塑性、引張破壊が生じるまで結果を出力しません。ただし要素破壊の状態によらず最終ステップは必ず出力されます。

## 10.6 解析終了時のメッセージ

解析が終わると、プログレスバーウィンドウの状態が「正常終了」か「異常終了」に変わります。



解析が異常終了した場合は、原因として考えられるコードおよびメッセージが表示されますので、以下のコード表を参考に解析条件を変更するなどして対処してください。

また解析が正常終了した場合にも、下記コード付きで表示されることがありますので、ご参考ください。

コード	メッセージ (異常終了 / 正常終了)	説明
code:2	code:2 入力データエラー	ソルバープログラムの入力ファイルのデータ形式が不正である場合か、拘束条件に設定されている節点が接触要素のセカンダリ節点としてプライマリ面に拘束された場合に表示されます。 接触要素の条件をご確認ください。
code:3	code:3 要素形状が解析に適しません	要素の形状が悪く解析することができない場合に表示されます。 メッシュサイズを変更するなどして再度メッシュ作成から行ってください。



code:4	code:4 拘束条件が不安定です	初期ステップ、一回目の反復計算で連立一次方程式を解けなかった場合に表示されます。 モデルが完全に拘束されていないか、独立して浮いている要素が存在する可能性があります。
	code:4	スパースマトリックス法（直接法）使用時に、解析途中で計算できなくなると表示されます。 要素破壊によって局部的に剛性が 0 に近くなると表示されることがあります。 それまでの解析結果は正しく評価できます。
code:5	code:5 メモリ不足により実行できません	解析に必要なメモリが不足している場合に表示されます。 「解析使用メモリ(MB)」の設定値が少ない可能性があります。スパースマトリックス法を選択している場合には、PC 搭載メモリに対してこの設定値に大きすぎる値を設定している可能性があります。 上記以外の原因でこのエラーが発生した場合、メッシュサイズを大きくして解析モデルの要素数を減らして再度モデルを作成するか、ご使用のコンピュータのメモリを増設する必要があります。
	code:5 メモリ不足により中断しました	接触解析を行っている場合、解析途中にメモリが不足すると表示されます。 それまでの解析結果は正しく評価できますが、「解析使用メモリ(MB)」を少し増やすことで先まで解析を続けることができます。
code:6	code:6 初期で完全破断しました	初期ステップで破壊が発生し、それ以上計算できなくなった場合に表示されます。 トータル荷重を小さくするか、区間数、区間内分割数を調整して 1 ステップ当たりの荷重値が小さくなるように条件を再設定してください。
code:7	code:7 初期で解析不能になりました	破壊が起きずに初期ステップで計算できなくなった場合に表示されます。 接触要素、ギャップ要素の特殊材料を使用している場合にこのエラーが発生する可能性があります。 ギャップ要素のばね剛性を小さくしたり、1 ステップ当たりの荷重値が小さくなるように条件を設定することでエラーを回避できる可能性があります。
code8	code8 CG法で解が得られませんでした	未使用
	code8	CG 法（反復法）使用時に、解析途中で計算できなくなると表示されます。 要素破壊によって局部的に剛性が 0 に近くなると表示されることがあります。 それまでの解析結果は正しく評価できます。
code9	code9 非線形の繰返し計算が未収束でした	ソルバー V2 で大変形解析や材料非線形解析を行う際、初期ステップで繰返し計算中に不釣り合い力が収束しない場合に表示されます。 荷重ステップを小さくすると解消されることがあります。

	code9	<p>ソルバーV2で大変形解析や材料非線形解析を行う際、解析途中で繰り返し計算中に不釣り合い力が収束しない場合に表示されます。</p> <p>それまでの解析結果は正しく評価できますが、荷重ステップを小さくすると先まで解析できることがあります。</p>
code:100	code:100 中止ボタンにより強制終了しました	強制的に「中止」ボタンによる解析中止を行った際、解析結果が1ステップも出力されていない場合に表示されます。
	code:100 中止までの途中結果です	強制的に「中止」ボタンによる解析中止を行った際、解析結果が1ステップでも出力されている場合に表示されます。

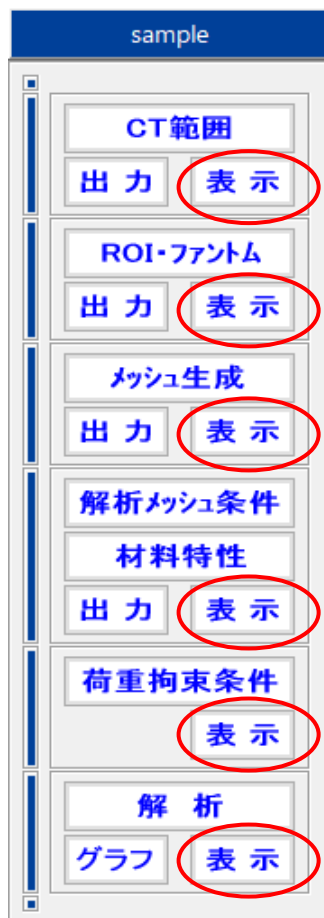
## 第11章 表示機能

この章ではメインメニューの表示機能について説明します。表示機能には、

- (1) メインメニューの『表示』アイコンを使用する方法（現在作業中のプロジェクト内容のみを表示する）
  - (2) オプションメニューから選択する方法（保存されているプロジェクトおよび現在作業中プロジェクトを表示する）
- の2通りの方法があります。

### (1) メインメニューの『表示』アイコンを使用する方法

この方法は、下図メニュー内『表示』ボタンにより表示機能を起動する方法です。

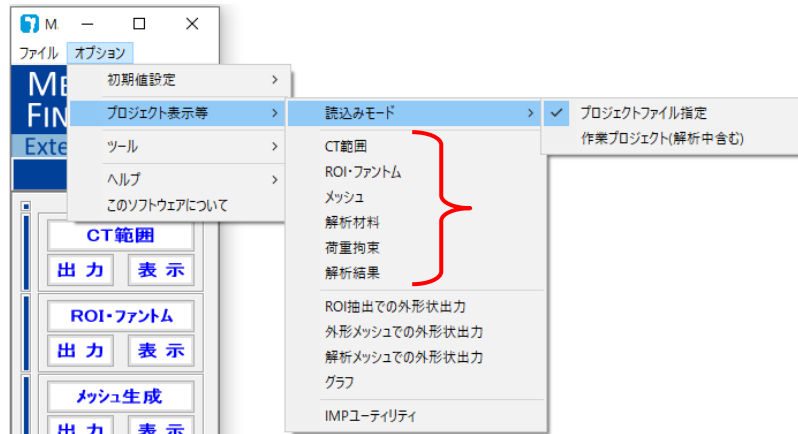


#### 【特徴】

- ・現在開かれている作業中のプロジェクトを表示することができます。
- ・未進行のプロセスの『表示』機能は使用できません。  
(例えば、『材料特性』の設定まで済んでいるプロジェクトの『荷重拘束条件』の表示は行えません)
- ・『表示』を選択すると現在作業中のプロジェクトの他作業は行えなくなります。  
(表示を閉じる事によって作業できるようになります)

## (2) オプションメニューから選択する方法

この方法は、オプションメニューより表示機能を起動する方法です。



### 【特徴】

- ・既に保存されているプロジェクトの他、現在作業中のプロジェクトも表示することができます。
- ・保存されているプロジェクトの表示を行う場合は、プロジェクトを開く必要はありません。
- ・プロジェクトの表示機能だけの場合、(1)の方法のようにプロジェクトを開いて作業ディレクトリにコピーする工程が無い場合、すばやく見ることができます。
- ・未進行のプロセスの『表示』機能は使用できません。  
ただし、読み込みモードを『作業プロジェクト (解析中含む)』に選択することで、非線形解析途中で解析結果が1ステップ以上出力されている場合は、解析の途中経過を表示することができます。
- ・表示画面を複数起動することができます。複数プロジェクトの表示や、同一プロジェクトの異なる方法での表示などが可能です。

### 【読み込みモード】

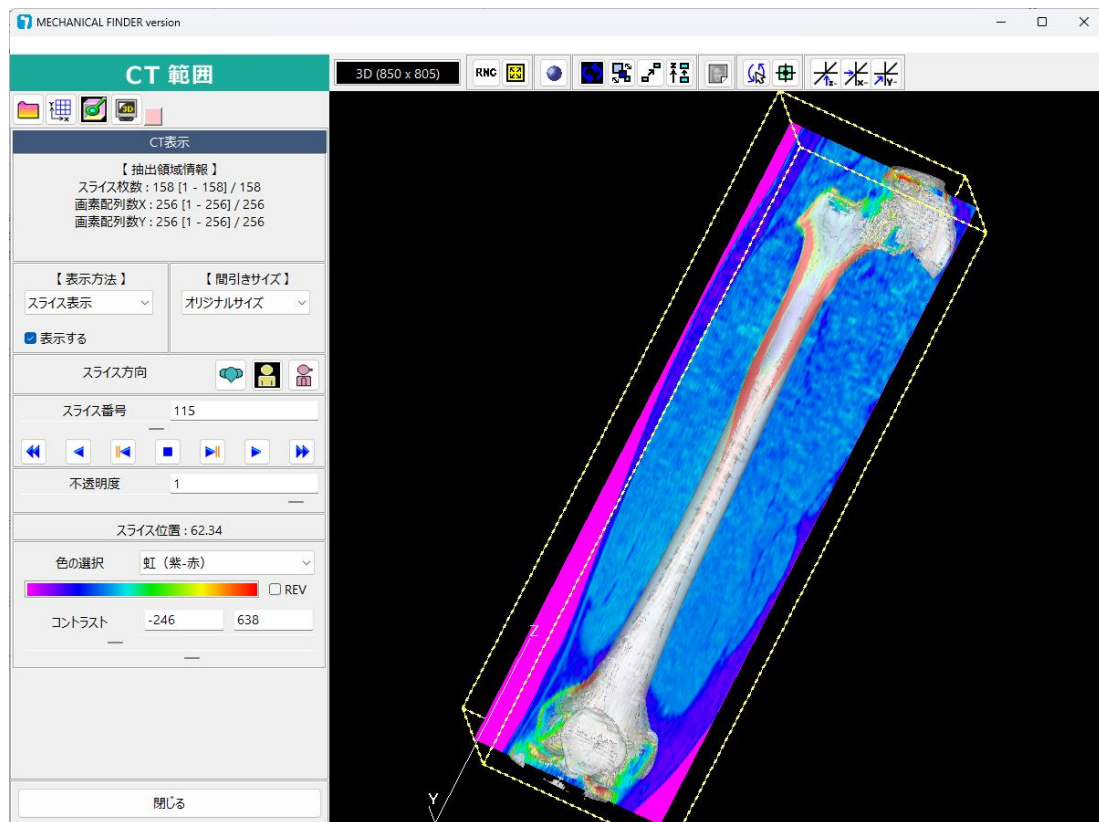
- ・プロジェクトファイル指定 《初期設定モード》  
…表示機能を選択するとファイルブラウザが開きますので、任意のプロジェクトを指定します。
- ・作業プロジェクト (解析中含む)  
…表示機能を選択すると、自動的に現在作業中のプロジェクトが選択されます。  
(プロジェクトは開かれている必要があります。)

### 【表示可能な状態】

プロジェクト処理過程	読み込みモード	
	プロジェクトファイル指定	作業プロジェクト(解析中含む)
1. 『CT 範囲』 完了済	『CT 範囲』 表示可能	『CT 範囲』 表示可能
2. 『ROI・ファントム』 完了済	『ROI・ファントム』 表示可能	『ROI・ファントム』 表示可能
3. 『メッシュ生成』 完了済	『メッシュ』 表示可能	『メッシュ』 表示可能
4. 『解析メッシュ条件』 『材料特性』 完了済	『解析材料』 表示可能	『解析材料』 表示可能
5. 『荷重拘束条件』 完了済	『荷重拘束条件』 表示可能	『荷重拘束条件』 表示可能
6. 『解析』 完了済	『解析結果』 表示可能	『解析結果』 表示可能
7. 『解析』 で非線形解析を解析中で、 1 ステップ以上解析経過している時	表示不可能	『解析結果』 表示可能

## 1 1. 1 CT 範囲の表示

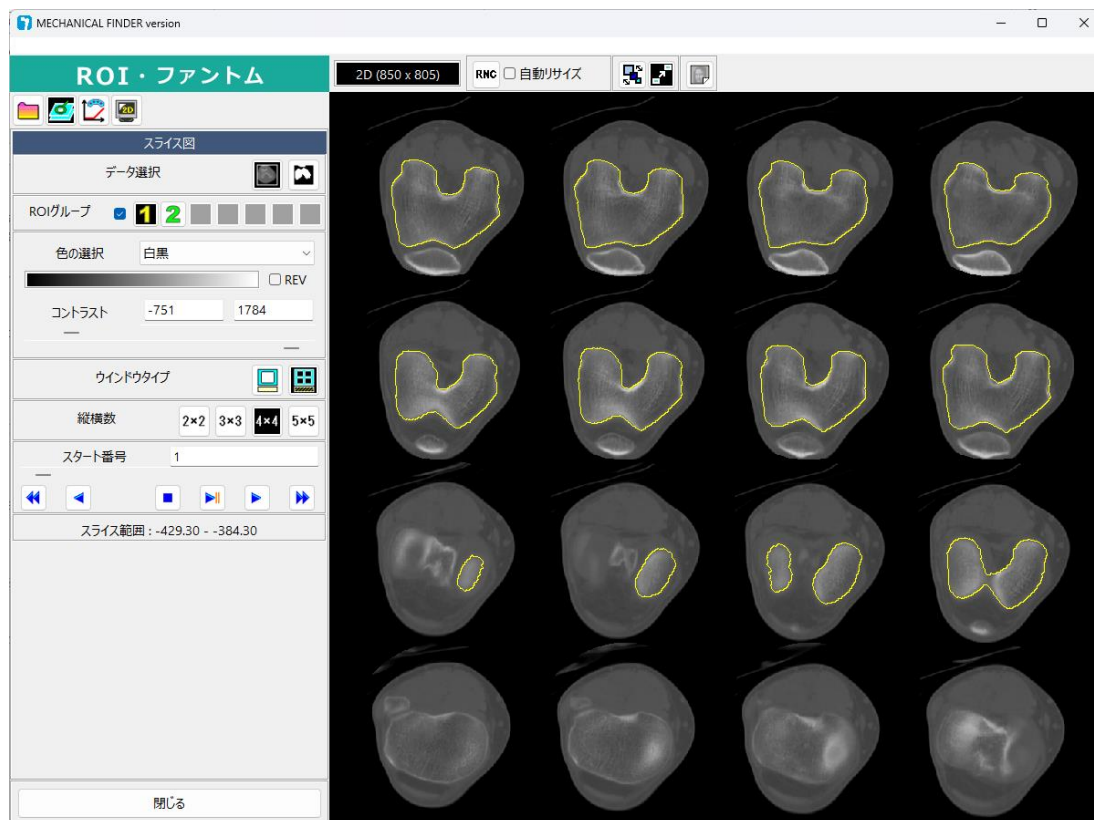
DICOM インターフェースにより読み込まれた CT 原画像の表示を行います。



アイコン	内 容
	データ情報
	外形図
	ボリューム図
	ビューワー設定
	ポスト制御機能

## 11.2 ROI・ファントムの表示

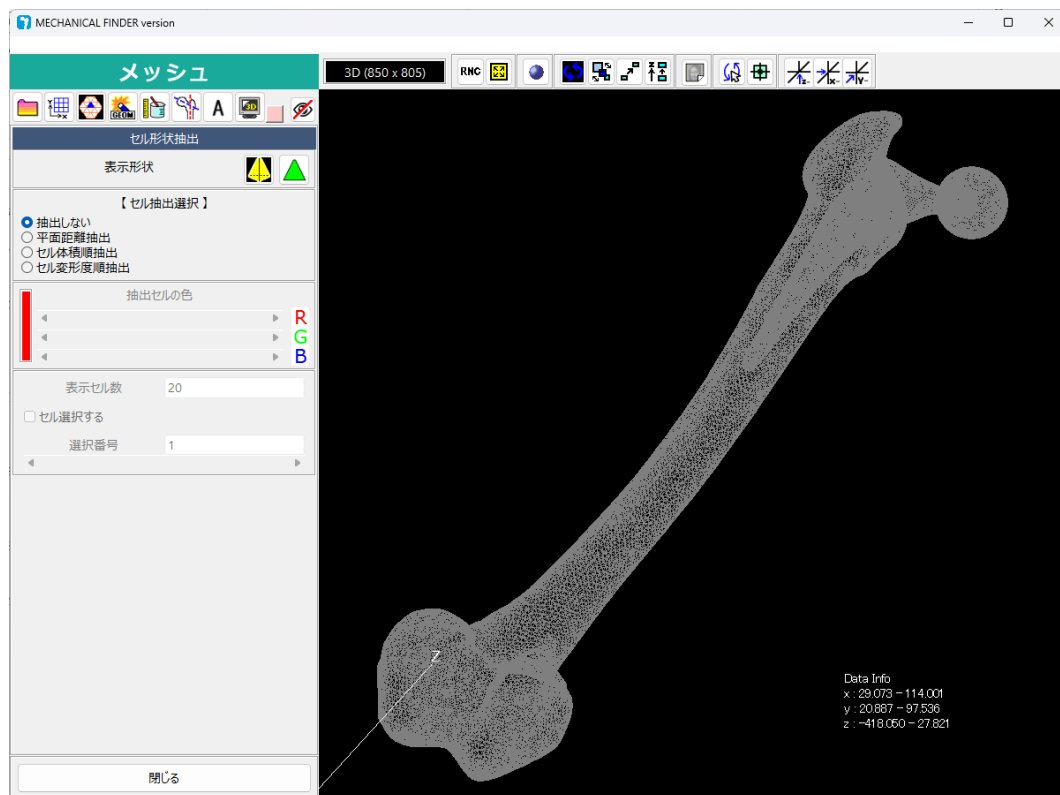
『ROI抽出』処理により、二値化された画像の表示を行います。  
同時に、CT原画像との合成表示も行えます。



アイコン	内 容
	データ情報
	スライス図
	ファントム図
	ビューワー設定

### 1 1. 3 メッシュの表示

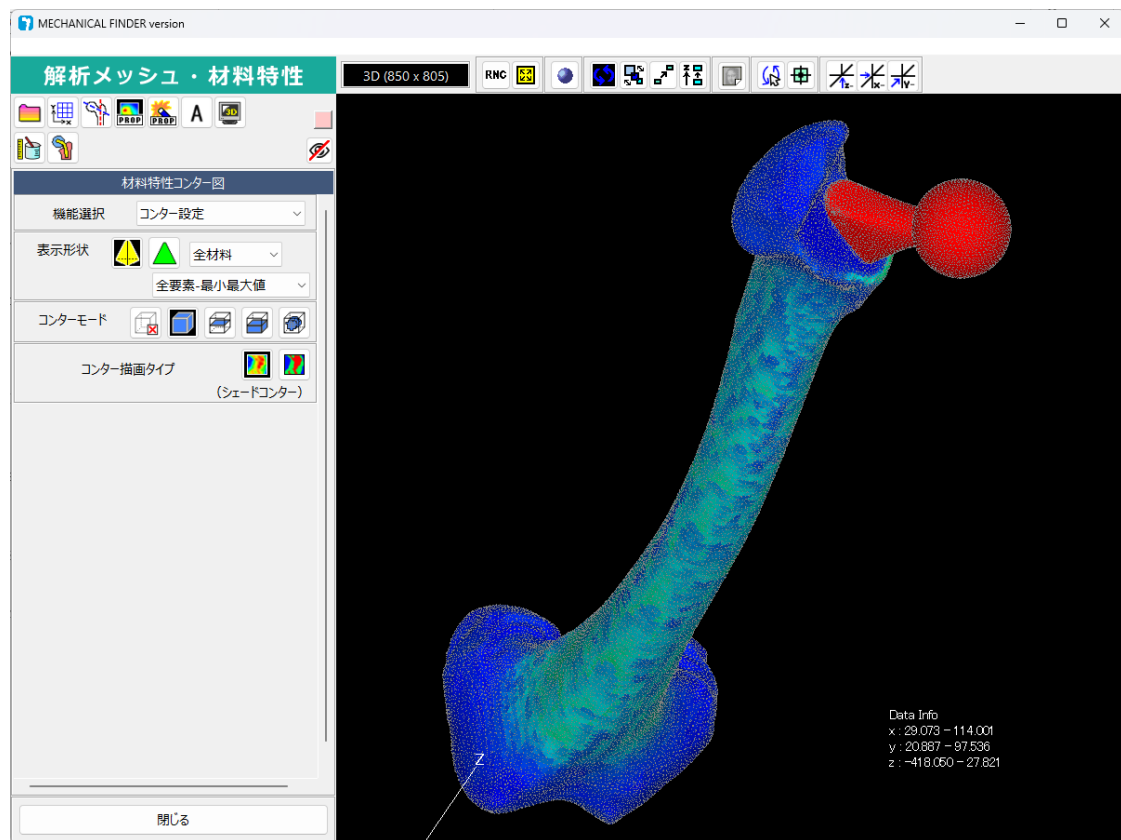
『メッシュ生成』処理により生成されたメッシュ形状を表示します。



アイコン	内 容
	データ情報
	外形図
	セル形状抽出
	データ抽出
	計測
	設定軸表示
	ラベル表示
	ビューワー設定
	ポスト制御機能

## 1 1. 4 解析材料の表示

『解析メッシュ条件』、『材料特性』処理により設定された材料特性を表示します。

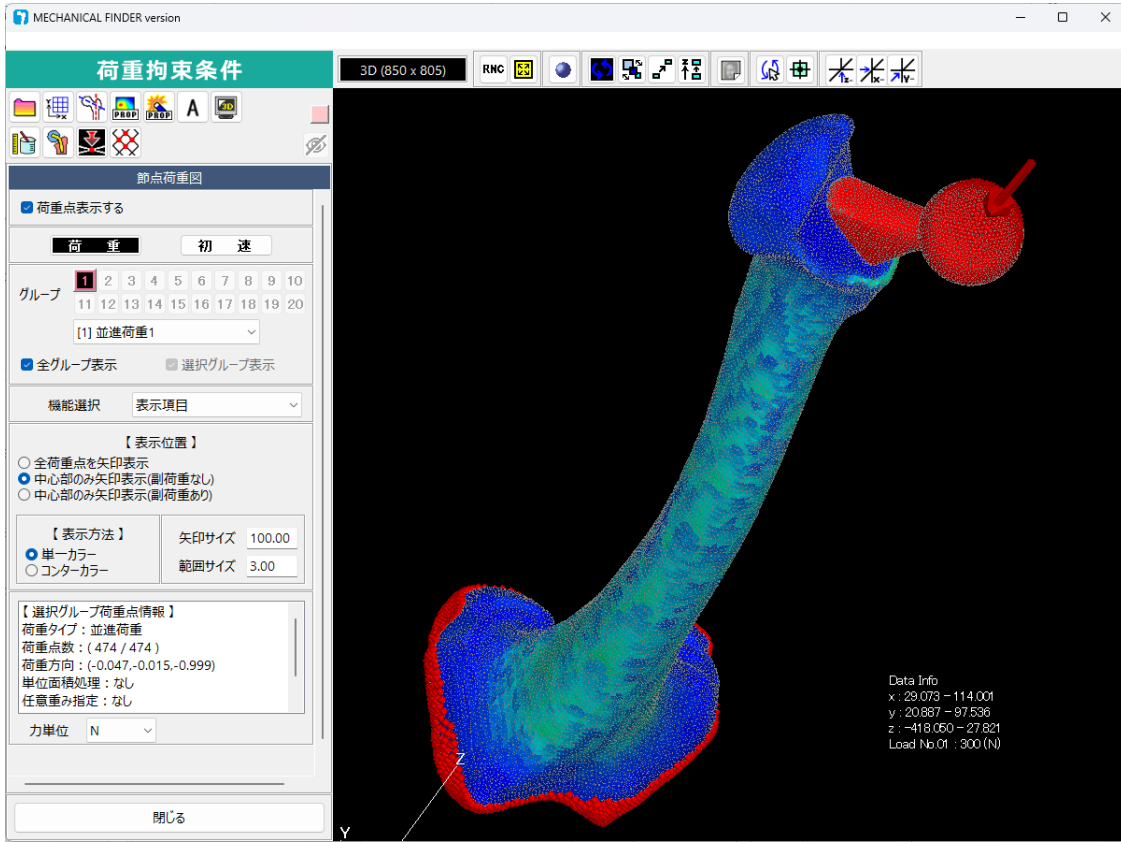


アイコン	内 容	アイコン	内 容
	データ情報		材料別モデル表示
	外形図		データ抽出
	設定軸表示		ラベル表示
	材料特性コンター図		ビューワー設定
	計測		ポスト制御機能



# 1 1. 5 荷重拘束条件の表示

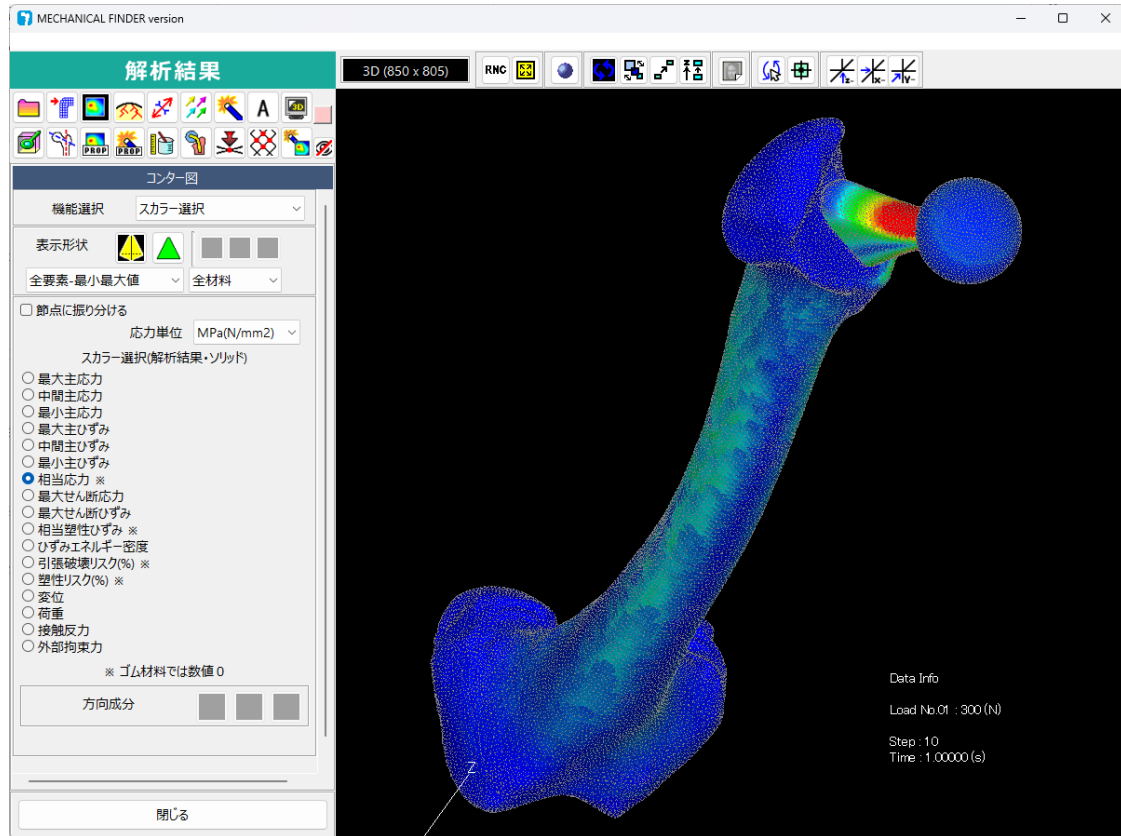
『荷重拘束条件』処理により設定された解析条件を表示します。



アイコン	内 容	アイコン	内 容
	データ情報		材料別モデル表示
	外形図		ラベル表示
	設定軸表示		ビューワー設定
	材料特性コンター図		節点荷重図
	データ抽出		節点拘束図
	計測		ポスト制御機能

# 1 1. 6 解析結果の表示

『解析』処理により、計算された解析結果を表示します。  
 又、『材料特性』『荷重拘束条件』処理により設定された解析条件も表示することが可能です。



アイコン	内 容	アイコン	内 容	アイコン	内 容
	データ情報		ボリューム図		ポスト制御機能
	変形図		設定軸表示		
	コンター図		材料特性コンター図		
	破壊要素図		データ抽出		
	テンソル図		計測		
	ベクトル図		材料別モデル表示		
	データ抽出		節点荷重図		
	ラベル表示		節点拘束図		
	ビューワー設定		データ処理・可視化		

## 第12章 「出力」機能

この章では外形状のファイル出力機能について説明します。

生成されたメッシュ形状の外形状を STL、DXF ファイルフォーマットに出力することができます。

出力形状は以下の出力過程によって異なります。

1. [『12.1 特殊用途向けの外形状出力』](#) (EE)

「CT範囲」作業後に選択することができます。

これは他の外形状出力とは異なり、主に微細な骨梁構造を解析対象とするために用意されたものです。

ここで抽出された形状を『メッシュ生成』時にインポートするために使用します。

2. [『12.2 ROI抽出の外形状出力』](#)

「ROI抽出」作業後に選択することができます。外形状はROI ボリュームデータから生成されます。

3. [『12.3 メッシュの外形状出力』](#)

「メッシュ生成」作業後に選択することができます。外形状はアスペクト比率の良い三角形生成ルーチンにより生成されます。インポート部は読み込まれた形状をそのまま使用します。

4. [『12.4 解析メッシュの外形状出力』](#)

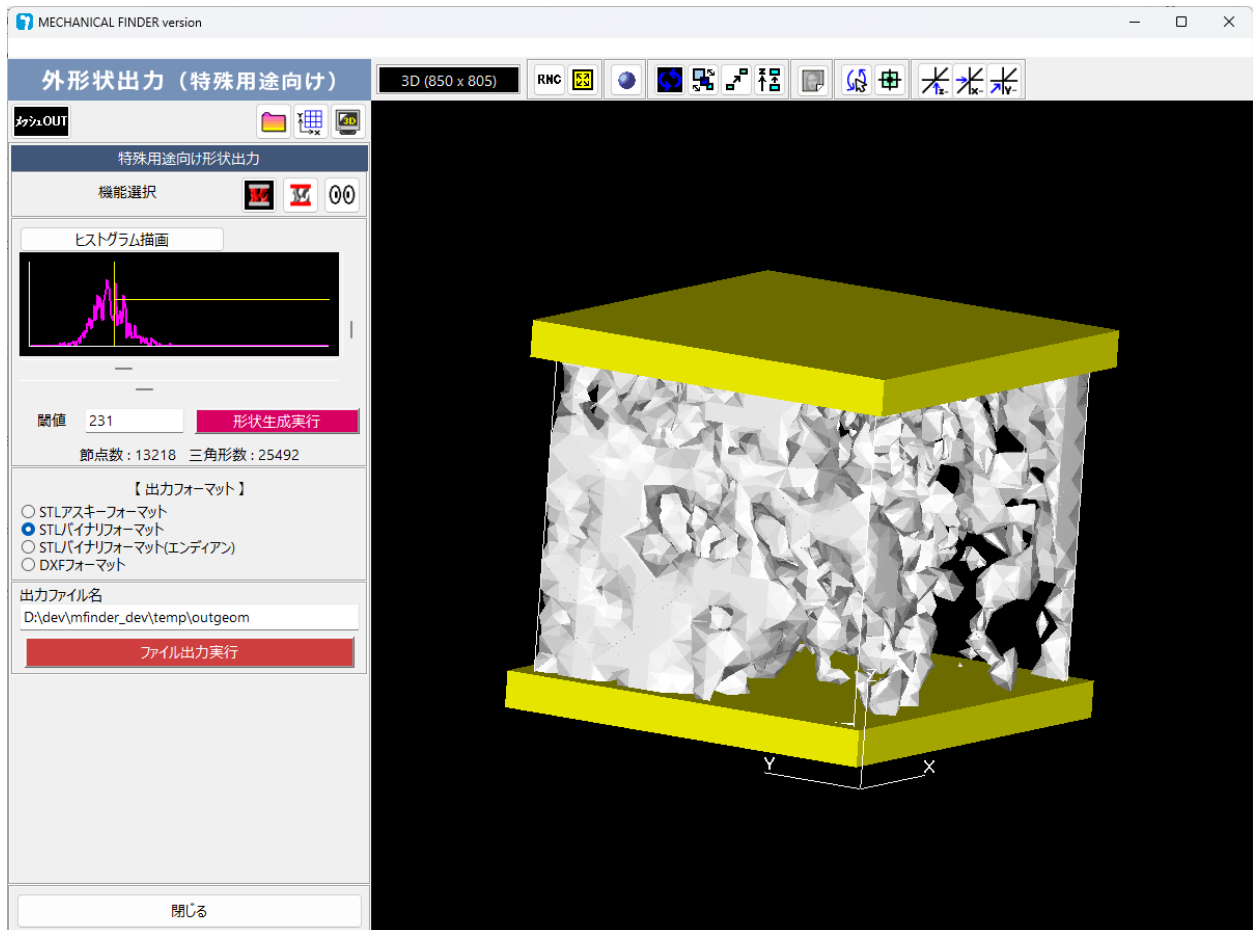
「解析メッシュ条件」作業後に選択することができます。条件付けされたメッシュ生成後のデータを、グループ毎あるいは複数グループで出力することができます。

## 1 2. 1 特殊用途向けの外形状出力 (EE)

エクステンデッドエディションでは、CT範囲作業後に特殊用途向けの外形状出力が行えます。

主に微細な骨梁構造を解析対象とするために用意されたものであり、骨梁部の形状作成のほか荷重拘束を設定するための圧縮版形状の作成を行います。

微細で複雑な骨梁構造は表現するための要素数が増大するため、「CT範囲」設定で解析領域を小さく抽出する必要があります。次ページを参照して操作を行ってください。

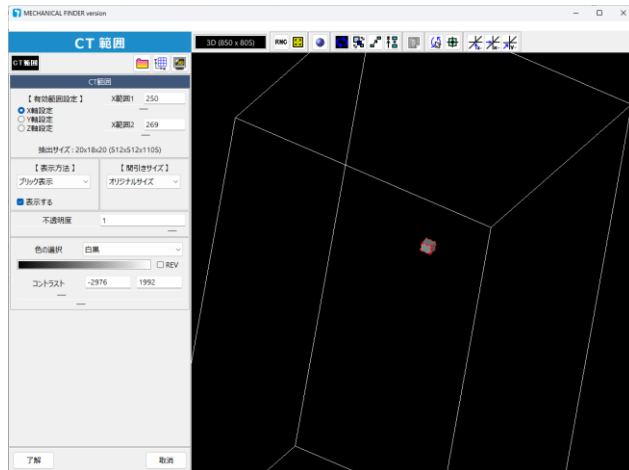


## 骨梁構造を解析対象とする場合の操作手順

微細で複雑な骨梁構造を解析対象とする場合、通常の本 S/W の使い方とは若干異なる方法で解析することを推奨します。要点を記述した操作手順をご説明します。

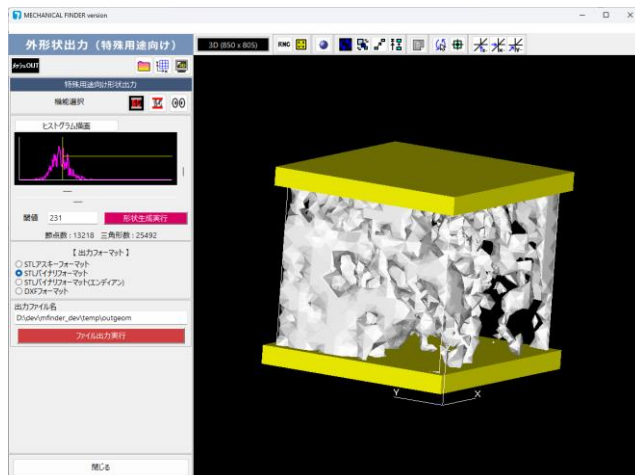
1. 『CT 範囲』にて、骨梁領域を範囲設定して決定します。

複雑形状の骨梁では、あまり大きな範囲を指定すると最終的な要素数が解析できないほど多くなる事がありますので、ご注意ください。

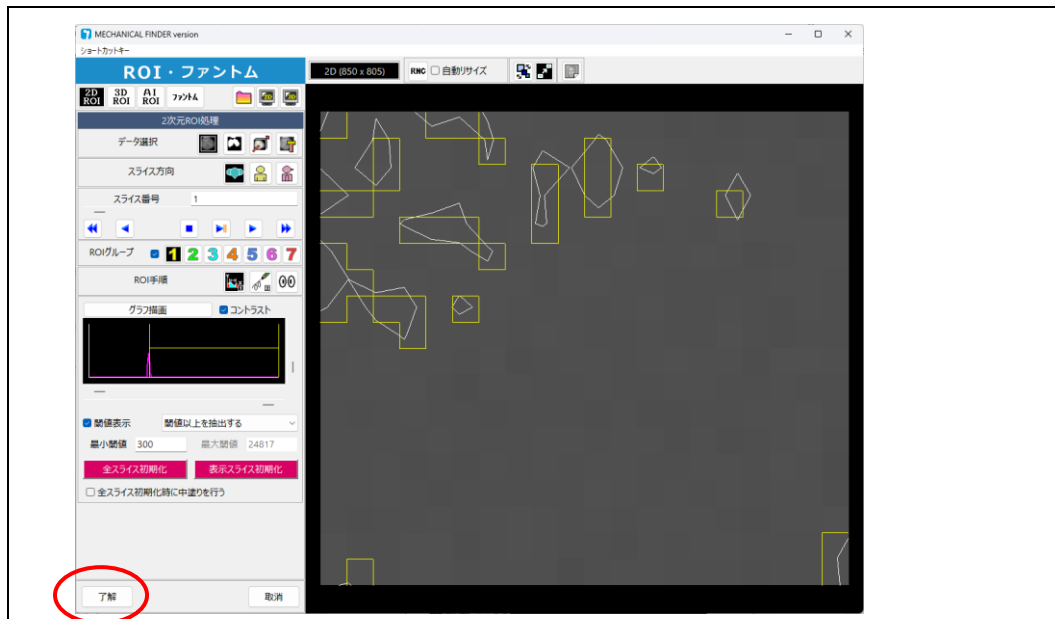


2. 『特殊用途向けの外形状出力』にて、骨梁構造の形状を作成し、STL形式で出力します。

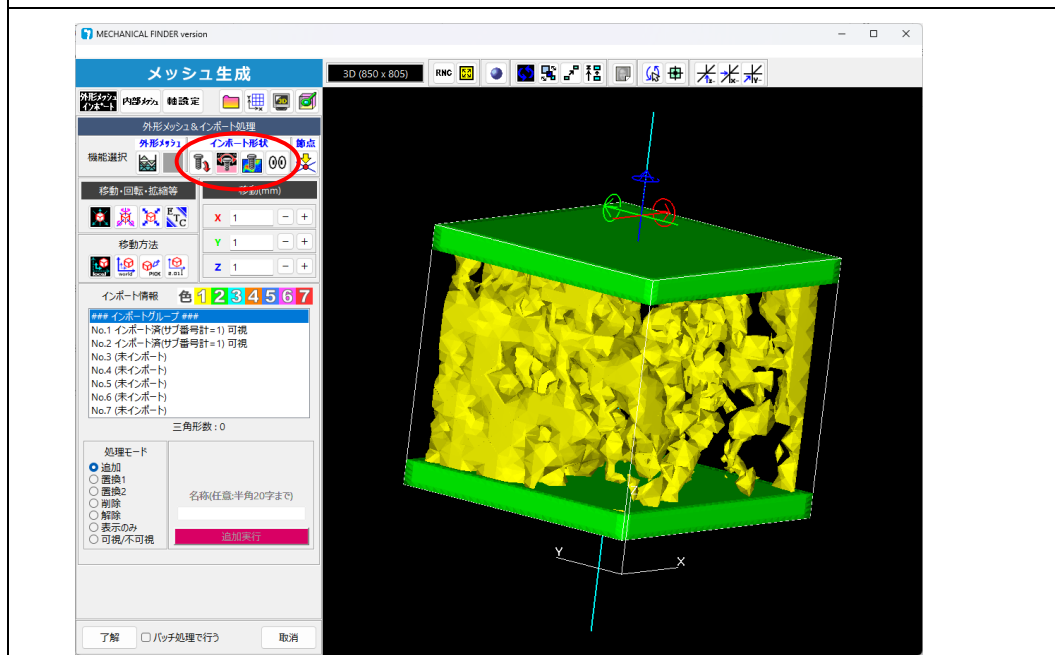
その際、圧縮板も必要であれば同時に作成して、同様に STL 形式で出力します。



3. 『第5章 ROI抽出・ファントム設定』におけるROI作業は不要であるため、ファントム設定が必要であればファントム設定だけを行い、「了解」ボタンで完了させます。



4. 『第6章 メッシュ生成』では、外形メッシュを使用せずに、インポート処理にて骨梁形状と圧縮版形状を読み込みます。



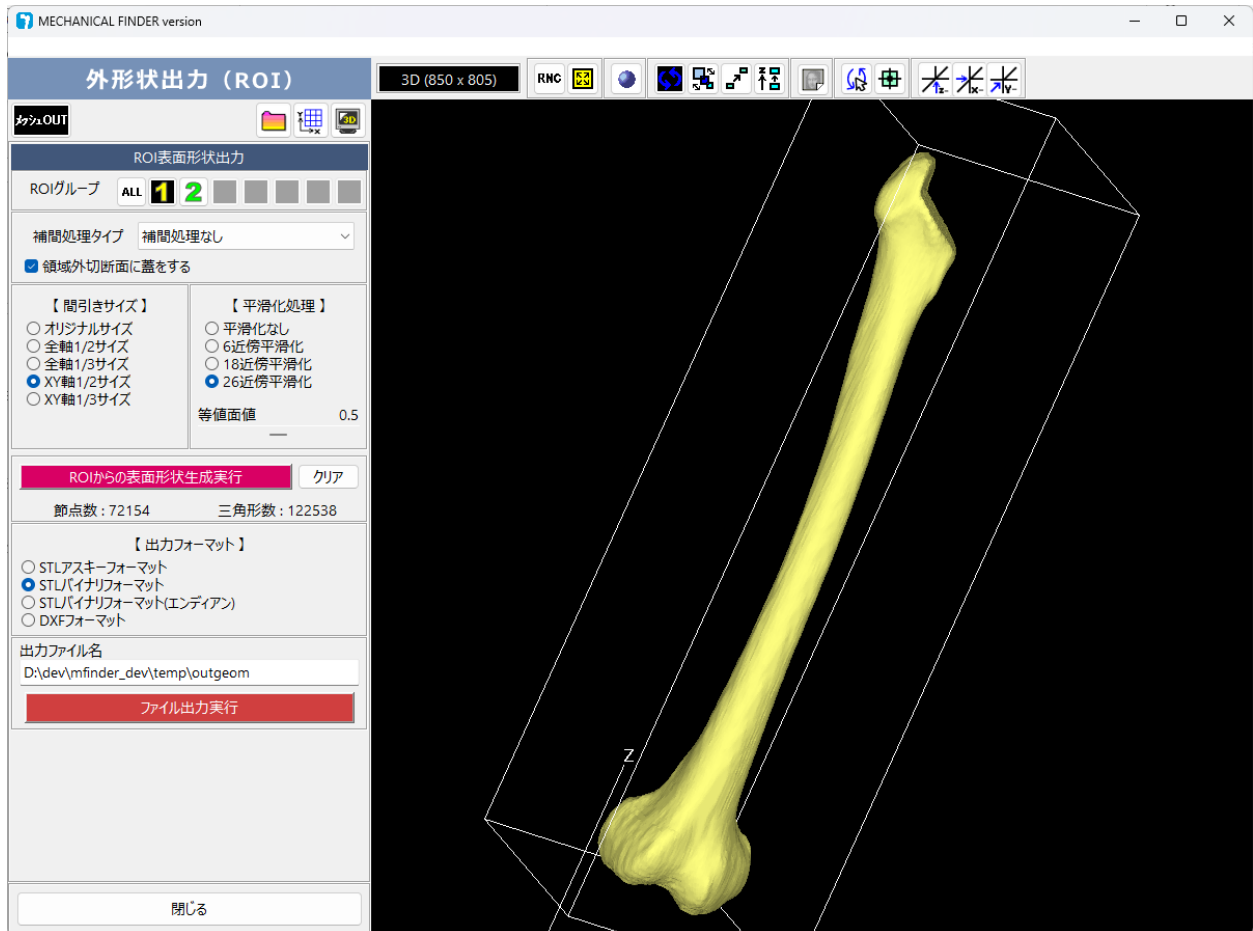
5. あとの処理に関しては、通常の本 S/W の使い方と同じです。

※ 複雑な骨梁形状では、同じ要素数の解析よりも、メッシュ生成や解析処理に時間が掛かります。

## 12.2 ROI抽出の外形状出力

ROI 抽出作業後に外形状出力が行えます。

外形状は、ROI ボリュームデータから生成します。



## 平滑化処理について

「ROI 抽出の外形状出力」には、データを滑らかにする平滑化処理があります。

ROI 抽出データをそのまま使用して等値面処理を行うと、ピクセル単位の真偽がジャギー（ぎざぎざ）となって表われますが、平滑化処理によりこのジャギーを抑えることができます。

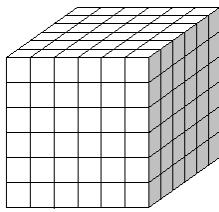
平滑化処理には、以下のタイプがあります。

- ・平滑化なし
- ・6 近傍平滑化
- ・18 近傍平滑化
- ・26 近傍平滑化

「平滑化なし」以外は、この処理内において ROI 抽出データ値を変更して処理しますので、生成形状は元データと若干異なる可能性があります。

（※データ変更は「ROI 抽出の外形状出力」においてのみです。プロジェクトファイルや他メニュープロセスに影響を与えることはありません。）

- ・ 平滑化の内部処理

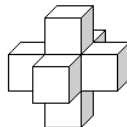


ROI 抽出データは、上図のように XYZ 方向のボクセルデータとして保持しています。各要素には真（1）あるいは偽（0）のデータが与えられています。

### 1) 平滑化なし

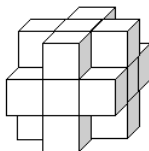
平滑化なしでは、入力データをそのまま取り扱い、等値面処理されます。

### 2) 6 近傍平滑化



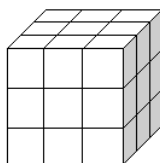
ある要素の数値には、周りの 6 個の要素の平均値が与えられます。与えられる数値は 0.0～1.0 の浮動少数となります。この処理を全要素に対して行い、等値面処理されます。

### 3) 18 近傍平滑化



ある要素の数値には、周りの 18 個の要素の平均値が与えられます。与えられる数値は 0.0～1.0 浮動少数となります。この処理を全要素に対して行い、等値面処理されます。

### 4) 26 近傍平滑化



ある要素の数値には、周りの 26 個の要素の平均値が与えられます。与えられる数値は 0.0～1.0 浮動少数となります。この処理を全要素に対して行い、等値面処理されます。



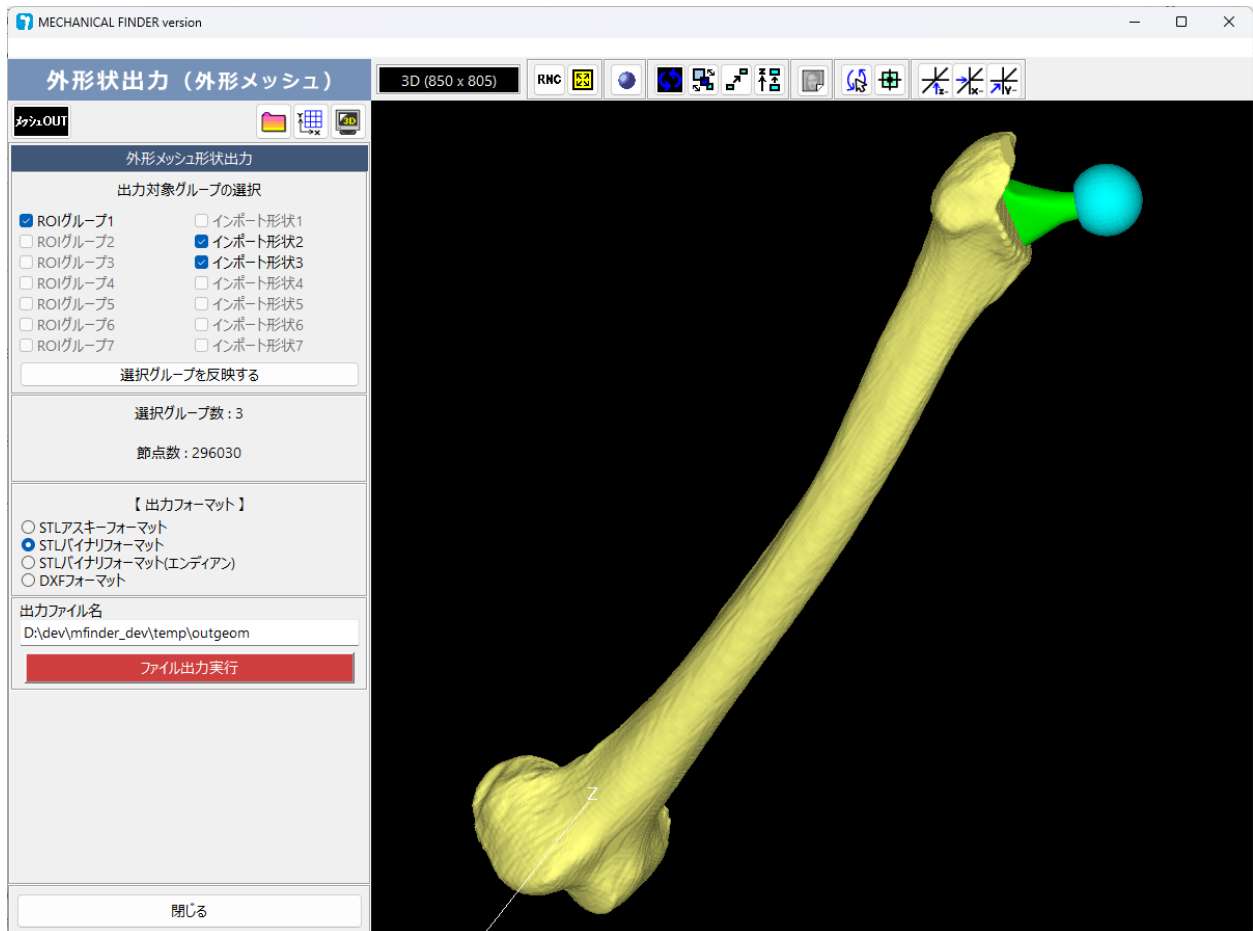
## 1 2. 3 メッシュの外形状出力

外形メッシュ生成後に外形状出力が行えます。

生成された外形メッシュおよびインポート形状をそのままファイル出力します。

ここで出力される外形状は、内部メッシュ生成前の状態と同じ形状になります。

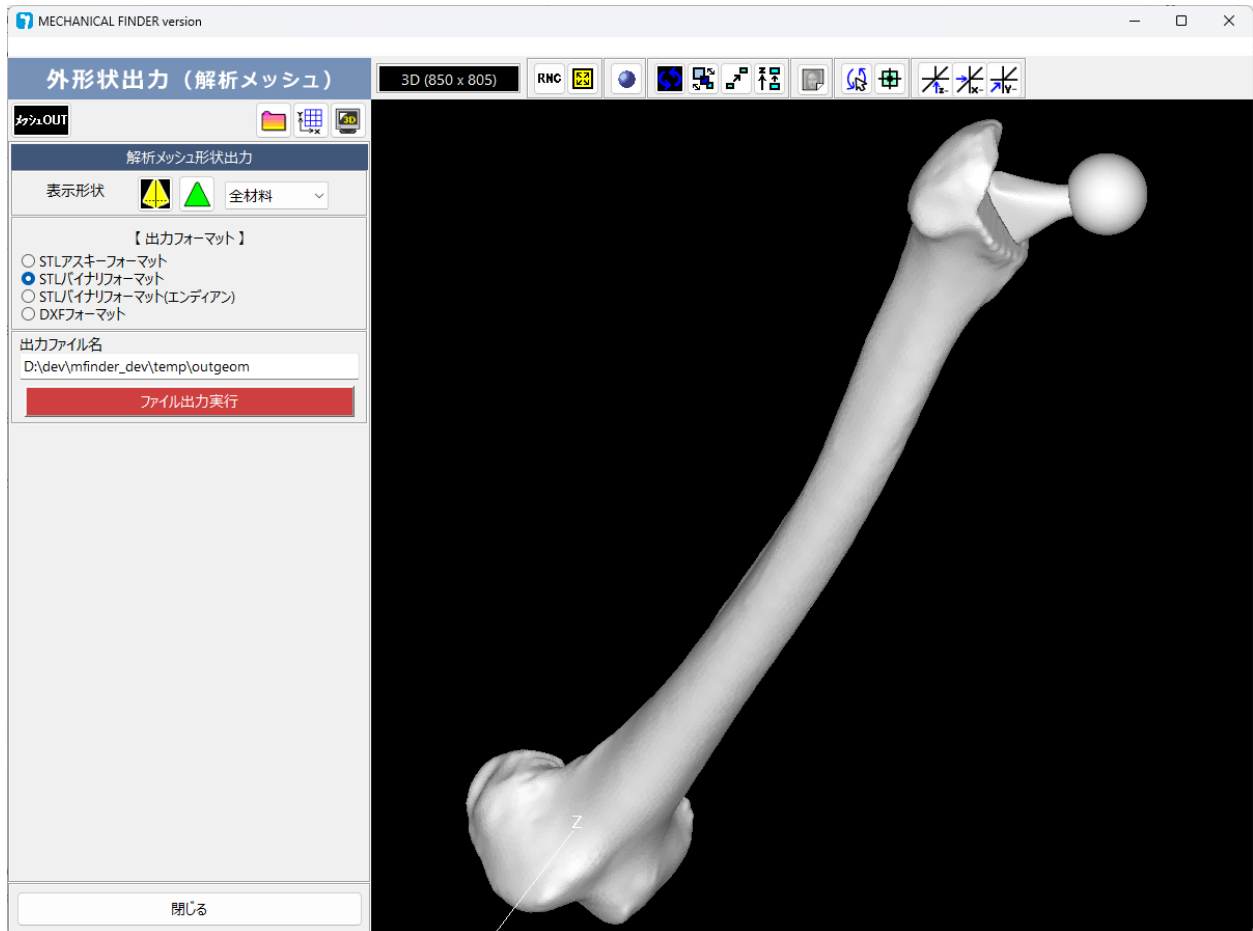
内部メッシュ生成後の外形状を出力したい場合は、『[1 2. 4 解析メッシュの外形状出力](#)』で外形状出力を行ってください。



## 12.4 解析メッシュの外形状出力

内部メッシュ生成後に外形状出力が行えます。

生成されたメッシュの外形状をファイル出力します。



## 1 2. 5 外形形状出力の違いについて

外形形状出力には、

- 1) [特殊用途向けの外形形状出力](#)
- 2) [ROI 抽出の外形形状出力](#)
- 3) [メッシュの外形形状出力](#)
- 4) [解析メッシュの外形形状出力](#)

があります。

それぞれ、同じように **STL・DXF** ファイルに出力することを目的としていますが、データ量あるいは生成形状やその手法も大きく異なっています。



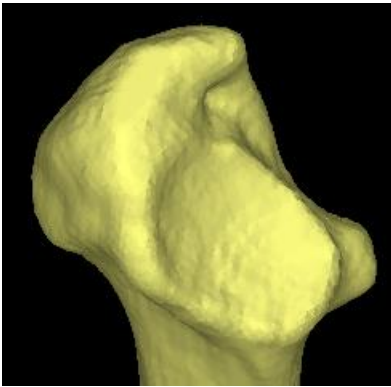
以下にその違いとサンプルを記します。

但し、「特殊用途向けの外形形状出力」は特殊な用途使用のためサンプル等の説明は省きますが、基本的な手法は「ROI 抽出の外形形状出力」とよく似た手法をとっており、等値面処理を生成手法としております。

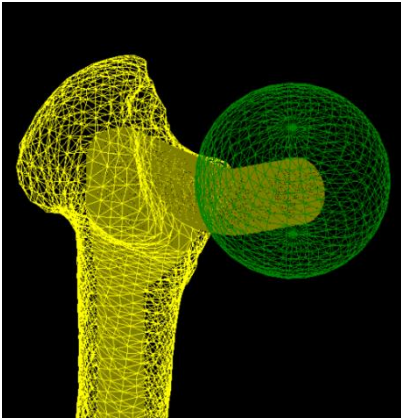
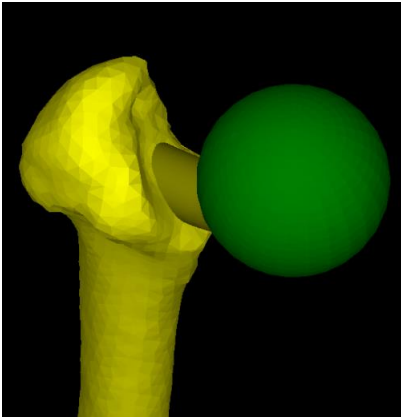
	ROI 抽出の外形形状出力	外形メッシュの外形形状出力	解析メッシュの外形形状出力
生成される三角形	<ul style="list-style-type: none"> <li>非常に多くなる</li> </ul> ROI 抽出データのボクセル格子を元とするために三角形数が多くなります。	<ul style="list-style-type: none"> <li>多くならない</li> </ul> 基準メッシュサイズを元として生成するために、三角形数は多くなりません。 ただしインポート部は読み込まれた <b>STL</b> データの形状をそのまま使用します。	<ul style="list-style-type: none"> <li>多くならない</li> </ul> 基準メッシュサイズを元として生成するために、三角形数は多くなりません。
生成手法	<ul style="list-style-type: none"> <li>等値面処理</li> </ul> マーチンキューブ法による等値面処理を行います。	<ul style="list-style-type: none"> <li>数値解析に適用できるメッシング処理</li> </ul> 数値解析を行うことを前提としたメッシュ分割を行います。	<ul style="list-style-type: none"> <li>数値解析に適用できるメッシング処理</li> </ul> 数値解析を行うことを前提としたメッシュ分割を行います。
生成される三角形の形	<ul style="list-style-type: none"> <li>不均質な形状</li> </ul> 生成三角形は、大きさやアスペクト比で均一ではありません。点あるいは線のような三角形が生成される可能性があります。	<ul style="list-style-type: none"> <li>均質な形状</li> </ul> 生成三角形は、大きさにばらつきが少なく、アスペクト比が良い三角形が生成されます。 ただしインポート部は読み込まれた <b>STL</b> データの形状をそのまま使用します。	<ul style="list-style-type: none"> <li>均質な形状</li> </ul> 生成三角形は、大きさにばらつきが少なく、アスペクト比が良い三角形が生成されます。
インポート使用時の形状	<ul style="list-style-type: none"> <li>インポート部は出力しない</li> </ul> インポート処理よりも前のプロセスのため、インポート部は出力しません。	<ul style="list-style-type: none"> <li>ROI 部とインポート部は個別の形状が組み合わされる</li> </ul> 整合性を取る前のプロセスのため、互いにオーバーラップした面が存在する可能性があります。	<ul style="list-style-type: none"> <li>ROI 部とインポート部は整合性が取れている</li> </ul> 解析メッシュを基準としているため互いにオーバーラップした面は存在しません。

例) サンプルデータの各処理


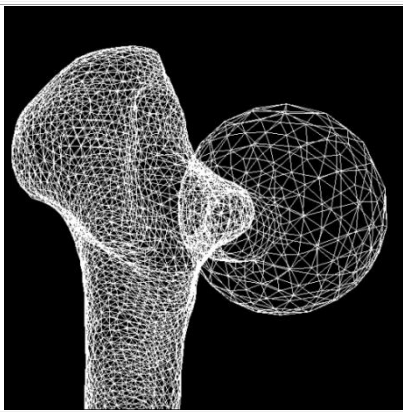
『ROI 抽出の外形状出力』

	
<ul style="list-style-type: none"><li>・補間処理なし</li><li>・1/2 サイズ</li><li>・平滑化なし</li></ul>	節点数 50,064 三角形数 100,124
	
<ul style="list-style-type: none"><li>・補間処理なし</li><li>・1/2 サイズ</li><li>・26 近傍平滑化</li></ul>	節点数 48,320 三角形数 83,002
	
<ul style="list-style-type: none"><li>・補間処理なし(ジャギー解消効果大)</li><li>・1/2 サイズ</li><li>・26 近傍平滑化</li></ul>	節点数 95,068 三角形数 164,186

『外形メッシュの外形状出力』

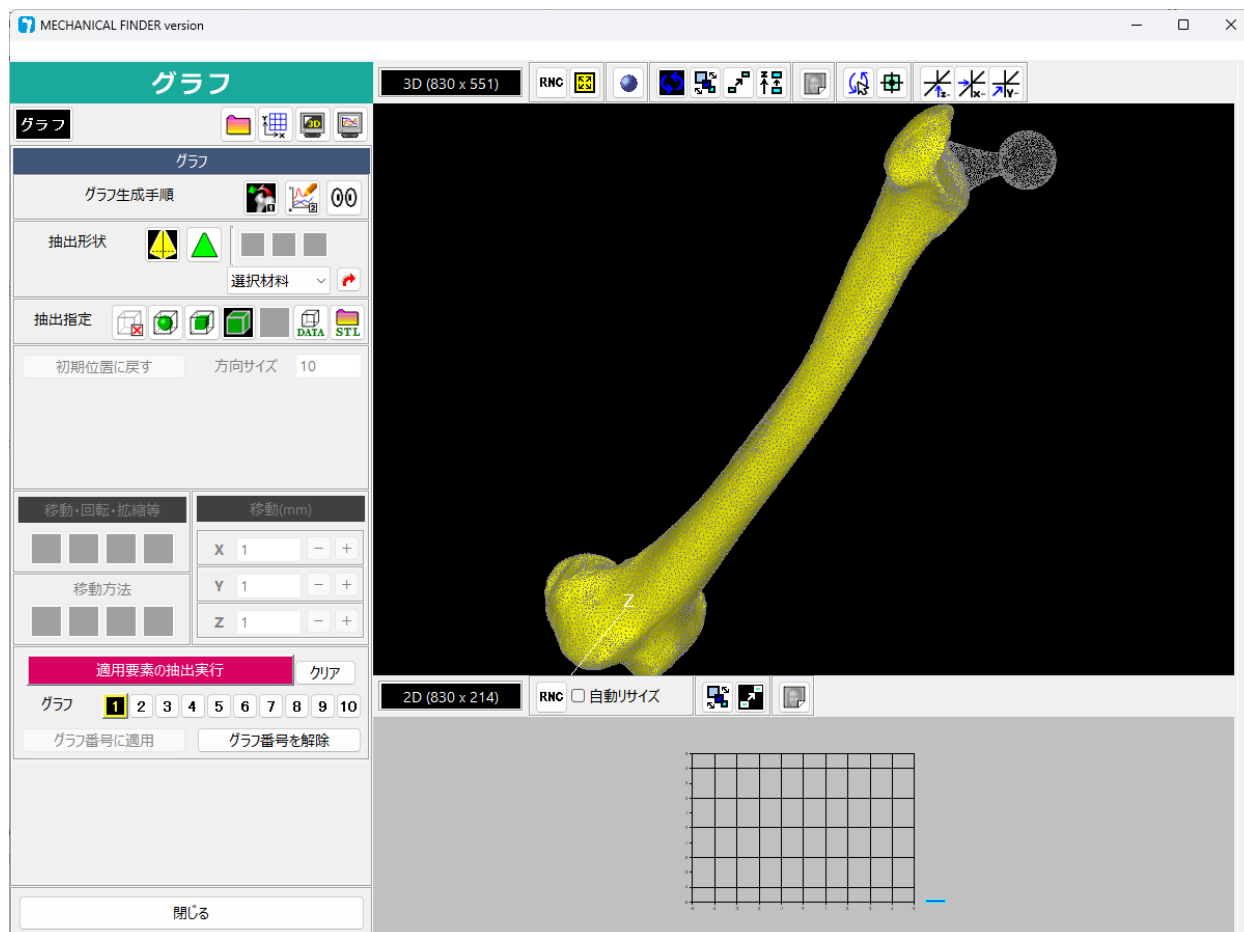
	
	
『メッシュ生成』のメッシュ基準 サイズを 3mm として処理	
節点数	26, 283
三角形数	53, 472

『解析メッシュの外形状出力』

						
						
『内部メッシュ生成』のメッシュ基準サイズを最大 12mm、最小 4mm として処理		<table><tr><td>節点数</td><td>19, 133</td></tr><tr><td>三角形数</td><td>12, 674</td></tr></table>	節点数	19, 133	三角形数	12, 674
節点数	19, 133					
三角形数	12, 674					

## 第13章 「グラフ」機能

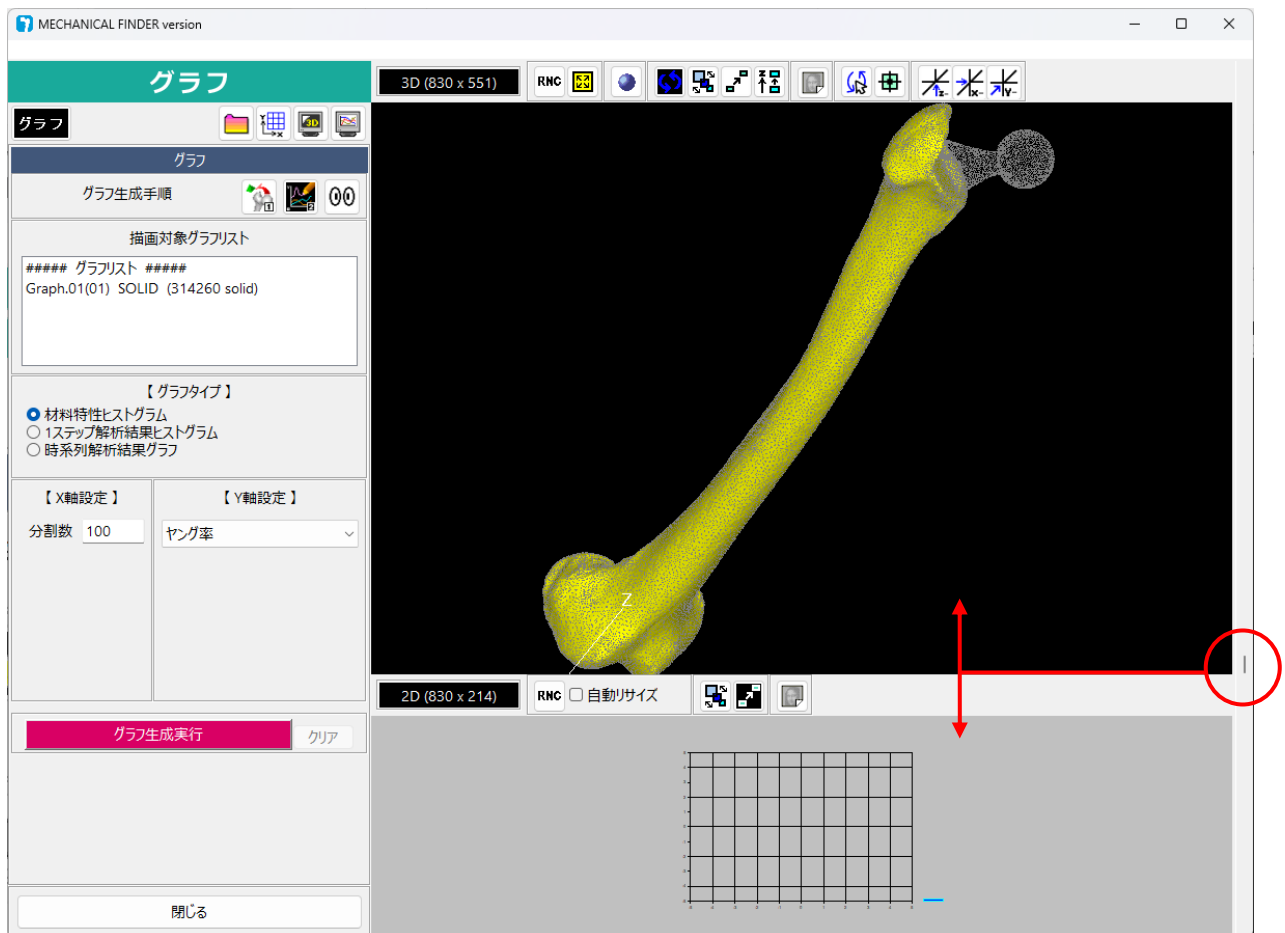
材料特性および解析結果を使用したグラフ描画が行えます。



### 1 3. 1 ビューワーウィンドウについて

「グラフ」機能のビューワー領域は、上下に表示が分割されています。

下図のように右スライダーを上下する事によって、分割割合を変更する事ができます。





## 第14章 ツール

本 S/W には、以下のツールが用意されています。

これらのツールは、スタートメニューの「スタート」→「プログラム」→「MECHANICAL FINDER」→「ツール」から起動することができます。

項目名	内 容
<a href="#"><u>14. 1 画像データ構築ツール</u></a>	BMP や JPEG の画像ファイルから本 S/W のプロジェクトファイルを生成して出力します。
<a href="#"><u>14. 2 プロジェクトテキスト出力ツール</u></a>	本 S/W プロジェクトファイルの内容を ASCII (テキスト) 形式ファイルとして出力します。
<a href="#"><u>14. 3 不均質材料 (骨部) 編集ツール</u></a>	密度値に対するヤング率・降伏応力値・臨界応力値等の変換曲線を追加編集する事が可能です。
<a href="#"><u>14. 4 均質材料データベースツール</u></a>	均質材料のヤング率・降伏応力値・臨界応力値等を材料別に追加編集する事が可能です。
<a href="#"><u>14. 5 バッチ解析&amp;バッチメッシュ生成処理プログラム</u></a>	バッチ処理によって、複数のプロジェクトファイルのメッシュ生成・解析と後処理を一括して行う機能です。 簡易なスケジューリング機能も備わっています。
<a href="#"><u>14. 6 リモートバッチ解析処理プログラム</u></a>	上記 (バッチ解析&バッチメッシュ生成処理プログラム) のリモート処理版になります。 ただしメッシュ生成は行えません。 リモートで解析を行っている間に他のプロジェクト処理が行えますので、効率よく作業されたい場合に有効です。
<a href="#"><u>14. 7 プロジェクト管理ツール</u></a>	プロジェクト名の変更やコピー・移動、患者情報の削除・編集等が行えます。 プロジェクトファイルは1プロジェクトあたり最大 14 ファイル存在しますが、一括して処理することができます。
<a href="#"><u>14. 8 オptionalライセンスインストールツール</u></a>	本 S/W の Optional ライセンスの登録・内容表示をします。

## 1 4. 1 画像データ構築ツール

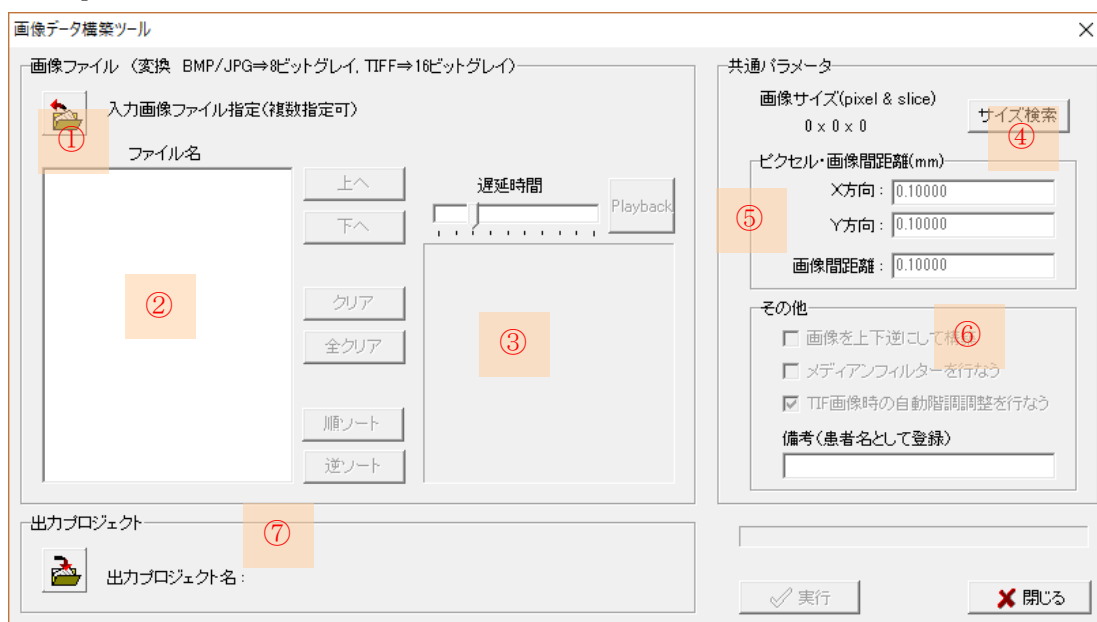
このツールは、複数枚からなる画像ファイルから本 S/W のプロジェクトファイルを生成します。対応する画像フォーマットは以下の通りです。

- 1) BMP フォーマット (カラーでも可。変換後は 8 ビット階調のグレースケールになります。)
- 2) JPEG フォーマット (カラーでも可。変換後は 8 ビット階調のグレースケールになります。)
- 3) TIFF フォーマット (16 ビット出力されたもの。変換後は 16 ビット階調のグレースケールになります。)

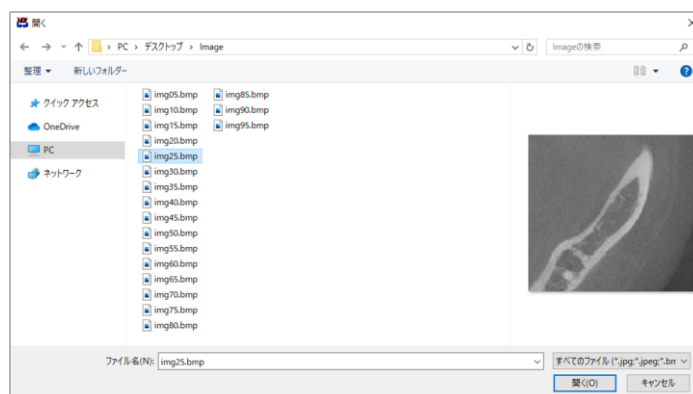
このツールを使用して作成されたプロジェクトファイルには以下の制限があります。

- ・変換後の X および Y 方向のピクセル数は、最小サイズの画像ファイルに合わせます。
- ・画像ファイル間のスライス位置は、指定した「画像間距離」による等間隔スライスとして計算されます。
- ・変換後の濃度値は 0～255 の 256 段階グレースケールとなります。(TIFF を除く)

### 【使用方法】

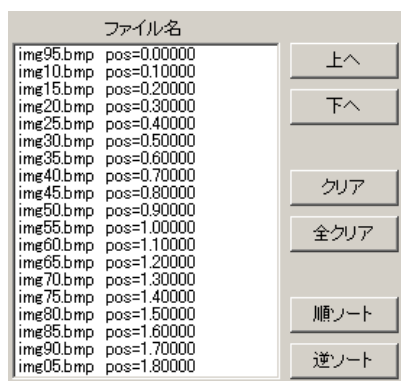


I. ①の「入力画像ファイル指定」ボタンを押すと、下図のファイル選択ウィンドウが開きます。



画像の入っているディレクトリを選択して、そのディレクトリ内の画像ファイルを指定します。  
シフトキーを併用することで、複数のファイルを一度に指定することができます。

II. ②のファイルリスト領域に指定されたファイルが追加されます。



画像が複数のディレクトリに分かれている時は、(I) の操作を複数回行ってください。

リストに追加された時点では、ファイルは規則性が無い状態で並んでいます。

3次元構築を行うには連続したファイル並びである必要がありますので、ここではファイルリスト内の画像ファイルを正しい並びにする作業を行います。

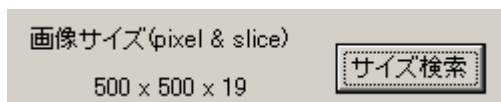
ファイル名が昇順あるいは降順に並んでいる場合は、「順ソート」ボタンあるいは「逆ソート」ボタンによりファイル並びを変えてください。そうではない場合は、ファイルリスト内をクリックして「上へ」ボタンや「下へ」ボタンを押すことによりファイル並びを換えることができます。不要なファイルがある場合は、ファイルリスト内をクリックして「クリア」ボタンを押します。全て削除したい場合は「全クリア」ボタンを押します。

※ 通常、撮影スライス画像が下から上へファイル名が昇順に並んでいる時には、「順ソート」ボタンでファイル並びを換える事により、正しく3次元構築されます。

III. ③の領域は、ファイルリストでクリックされた画像ファイルや、「アニメ」ボタンによる連続した画像ファイルを確認するための画像描画領域です。



IV. ④の「サイズ検索」ボタンにより、3次元構築後のボリュームサイズを確認する事ができます。



通常、各画像ファイルは縦横同サイズであると思われますが、各画像のサイズが異なっている場合は、一番小さな画像サイズに合わせられます。上記例では最終的なボリュームサイズは500 x 500 x 19 のサイズになります。

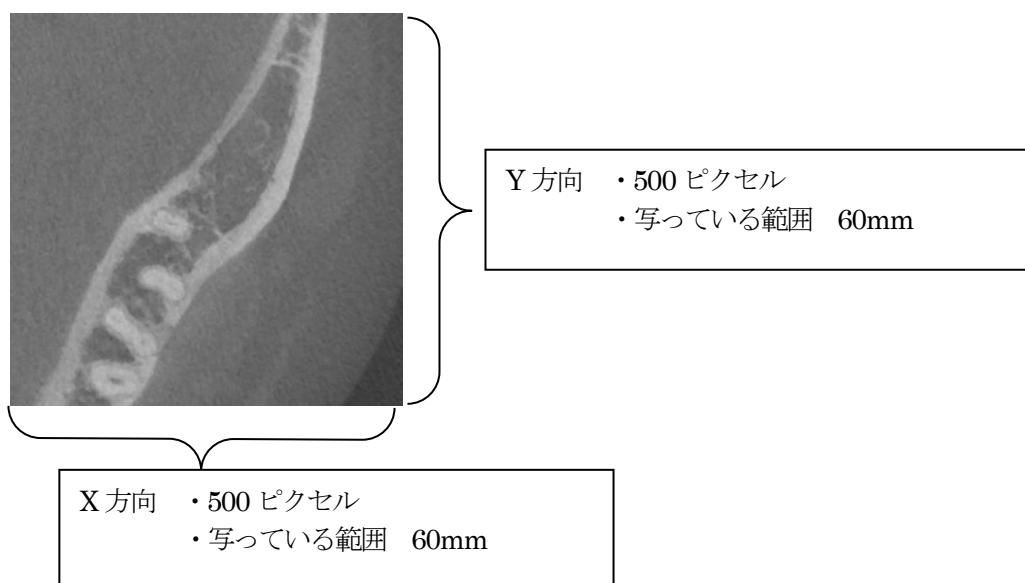
- V. ⑤では、ボリュームの実寸法を指定します。この数値により3次元構築した時の大きさが決定されます。この領域の設定パラメータは以下のとおりです。

ピクセル・画像間距離(mm)

X方向:	<input type="text" value="0.10000"/>
Y方向:	<input type="text" value="0.10000"/>
画像間距離:	<input type="text" value="0.10000"/>

「X方向」「Y方向」は画像の寸法から求め、「画像間距離」は画像間の寸法を設定します。

例えば、ある画像が以下のような場合、



この場合、X方向およびY方向パラメータであるピクセル間距離は、以下の計算式により求められます。

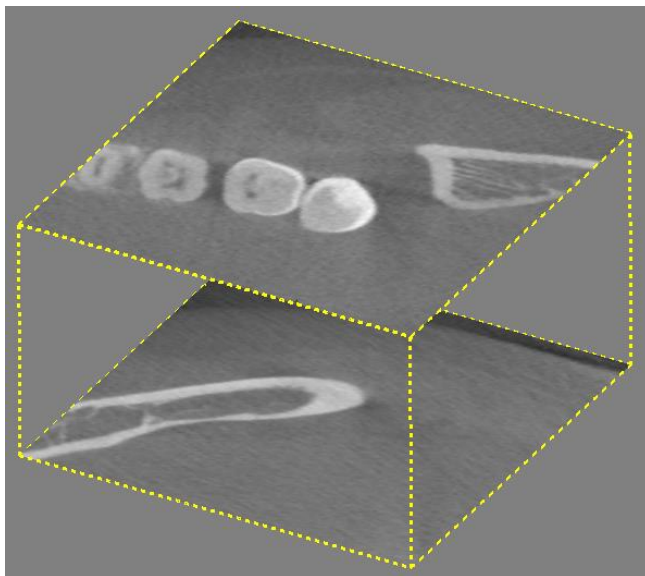
$$\text{X方向・Y方向のピクセル間距離} = \text{範囲長[mm]} \div (\text{ピクセル数} - 1)$$

従いまして例の設定値は0.12024...となります。

一方、画像間距離には、隣接する画像間の距離を記入します。

この『画像データ構築ツール』では等間隔で撮影された画像ファイルにのみ対応します。

(不等間隔撮影されたものは正しく変換されません)



- ・全画像枚数 19 枚
- ・最下層画像から最上層画像  
までの距離 36mm

この場合、画像間距離を入力しますので、以下の計算式により求められます。

$$\text{画像間距離} = \text{全画像の範囲長[mm]} \div (\text{画像枚数} - 1)$$

従いまして例の設定値は **2.0** となります。

ピクセル・画像間距離(mm)

X方向:

Y方向:

画像間距離:

(前ページの画像例では、上の数値をパラメータとして入力します)

VI. ⑥ではフィルタリング処理などの設定が行えます。

その他

☐ 画像を上下逆にして構築

☐ メディアンフィルターを行なう

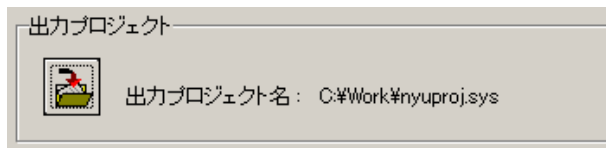
☒ TIF画像時の自動諧調調整を行なう

備考(患者名として登録)

3次元構築した時に逆像になっている場合は、「画像を上下逆にして構築」を ON にします。また、雑音の多い画像では、「メディアンフィルターを行なう」を ON にすることで雑音を低減できます。

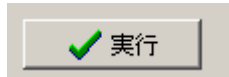
※ 本ツール上で3次元構築した時に左右逆像や上下逆像になる可能性があります。  
本体メニューの『CT範囲』で3次元表示を行い、逆像になっていないかどうかを  
必ずご確認ください。

VII. 上記設定で、プロジェクトファイルとして保存するファイル名を、⑦のボタンを押して指定します。



実行ボタンを押すことで、指定プロジェクトファイル名に変換処理されます。

(画像枚数により時間が掛かる事が有ります)



VIII. 終了です。「閉じる」ボタンで本ツールを終了してください。

## 1 4. 2 プロジェクトテキスト出力ツール

このツールでは、プロジェクトファイルの内容を ASCII（テキスト）形式ファイルとして出力することができます。2 次利用や解析条件の確認をされる場合等に使用します。



項目名	内 容
入力プロジェクト	プロジェクトファイルを指定します。 指定すると、出力可能な項目のみ操作できるようになります。
テキスト出力項目	出力したい項目にチェックすることで出力対象となります。 拡張子は自動付加されます。
出力ステップ	出力したい解析結果のステップ数を指定します。出力されるのは指定したステップのみです。存在するステップ数より大きい値が指定された場合は最終ステップが出力されます。
出力ファイル	出力するファイル名を指定します。
実行	「プロジェクトファイルからテキスト出力を実行する」ボタンを押すことで、ファイル出力されます。
閉じる	本ツールを終了します。

1 4. 3 不均質材料（骨部）編集ツール

このツールでは、材料特性で不均質材料を選択した時の「密度－材料要素」の換算式を作成することができます。

項目名	内 容
換算式シリーズ名	<p>材料特性（ヤング率・降伏応力値・臨界応力値・ポアソン比・応力緩和係数）の換算式をまとめて、換算式シリーズ名として命名します。</p> <p>全ての材料特性について定義する必要はありません。</p> <p>換算式シリーズ名は既に幾つか登録されており、改変することはできません。</p> <ul style="list-style-type: none"><li>・新規シリーズ登録</li></ul> <p>新たに換算式シリーズ名として登録する名前を設定します。ボタンを押すと下図が表示されます。</p> <div><p>シリーズ登録</p><p>新規シリーズ名 <input type="text"/></p><p>登録ファイル名 <input type="text"/></p><p>OK キャンセル</p></div> <p>シリーズ名とファイル名を入力して登録します。</p> <ul style="list-style-type: none"><li>・選択シリーズ削除</li></ul>



	選択された換算式シリーズを削除します。
グラフ等	<p>指定シリーズ名の「選択項目」で選択された材料要素の換算式が表示されます。</p> <p>自動範囲表示 … 換算式の最大最小をグラフ領域に自動的に合わせます。</p> <p>X 軸・Y 軸範囲 … 「自動範囲表示」が OFF の時に手動でグラフ範囲を入力できます。</p> <p>非破壊部は表示しない … 降伏応力・臨界応力の非破壊部分はグラフ領域に表示しません。</p> <p>X 軸・Y 軸単位 … グラフ表示の基本単位を選択できます。この数値は、「編集作業領域」で行う数値と同一単位になります。</p>
選択項目	<p>追加編集や表示を行いたい材料特性を選択します。</p> <p>定義済みの材料特性は赤色で示されます。</p> <p>作業中で反映されていない項目は、背景黒色・文字赤色で示されます。</p>
編集作業領域	<p>指定シリーズ名の「選択項目」で選択された材料特性を追加・修正・削除する領域です。</p> <p>入力タイプ「値入力」と「式入力」の選択に応じて手順が変わります。</p> <p>「値入力」タイプでは、密度値と材料特性のペアを入力して換算式を離散値で設定します。</p> <p>手順は以下の通りです。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 密度値と選択された材料特性の数値を入力し「リスト項目に追加」ボタンを押すことで、換算リストに追加されます。</li> <li>2) 換算リスト内の項目を削除したい場合は、換算リストで項目を指定した後、「リスト項目から削除」ボタンを押してください。</li> <li>3) 換算リスト内の項目を修正したい場合は、換算リストで項目を指定した後、数値を修正して「リスト項目を変更」ボタンを押してください。</li> <li>4) 他のシリーズの換算式を参照して換算リストに反映させたい場合は、「参照置換」ボタンを押して希望のシリーズ名を選択してください。</li> <li>5) 降伏応力や臨界応力を非破壊領域（1.0e20MPa）に設定したい場合は、「非破壊数値」ボタンを押してください。</li> <li>6) 換算リストで作成された換算式を反映するには、「編集項目を全て反映する」ボタンを押してください。その際、換算リスト内に項目が無い場合は、その材料要素の換算式は登録がキャンセルされます。</li> </ol> <p>「式入力」タイプでは、<math>F(D)=a \cdot D^b + C</math> (<math>D_{min} &lt; D</math>) の形で表される換算式のパラメータを設定します。</p> <p>手順は以下の通りです。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) <math>D_{min}</math>、<math>a</math>、<math>b</math>、<math>c</math> のパラメータ不等号を入力し「式を追加」ボタンを押すことで、式パラメータリストに追加されます。</li> <li>2) 式パラメータリスト内の項目を削除したい場合は、リストで項目を指定した後、「選択項目を削除」ボタンを押してください。</li> <li>3) 式パラメータリスト内の項目を修正したい場合は、リストで項目を指定した後、パラメータを修正して「選択項目を変更」ボタンを押してください。</li> <li>4) 式パラメータリストで作成された換算式を反映するには、「編集内容を反映する」ボタンを押してください。</li> </ol>
閉じる	本ツールを終了します。

1 4. 4 均質材料データベースツール

このツールでは、「材料特性」で均質材料を選択した時の材料の定義（ヤング率・降伏応力等）を追加・修正することができます。

均質材料データベースツール

登録済み均質材料データベース

1:チタン合金  
2:純チタン  
3:一般鋼  
4:ステンレス鋼  
5:純アルミニウム  
6:ジュラルミン  
7:コンクリート  
8:プラスチック  
9:レジン(湿潤)  
10:レジン(乾燥)

登録済み材料: 10

材料データ名: チタン合金

ポアソン比: 0.28

ヤング率: 111100 kgf/mm2 (基準)

密度値: 4.43E-0006 kg/mm3 (基準)

臨界応力値: 91.7 kgf/mm2 (基準)

降伏応力値: 84.1 kgf/mm2 (基準)

応力緩和係数: 0.1

降伏基準: Von-Mises

圧壊ひずみ: 1E0005  $\mu$

追加

削除

変更

情報: 基本材料データ(変更不可)

開じる

項目名	内 容
登録済み均質材料データベース	既に登録済みの材料がこのリストに表示されます。 「材料データ名」ごとに管理されているため、同名の「材料データ名」は追加できません。 また、既に登録されている「基本材料データ」は改変することができません。
操作方法	新規登録方法 ・「材料データ名」から「圧壊ひずみ」までを入力した後、「追加」ボタンを押すことで新規登録します。 同名の材料データ名は登録できません。 削除方法 ・「登録済み均質材料データベース」から削除したい材料を選択し、「削除」ボタンを押すことで削除されます。 「基本材料データ」は削除できません。 変更方法 ・「登録済み均質材料データベース」から変更したい材料を選択し、登録内容を修正した後「変更」ボタンを押すことで登録内容が変更されます。 「基本材料データ」は変更できません。
閉じる	本ツールを終了します。

1 4. 5 バッチ（メッシュ&解析）処理プログラム

このツールでは、メッシュ生成時および解析時において「バッチ処理にて解析を行う」を ON にしたプロジェクトファイルを一括して処理することができます。

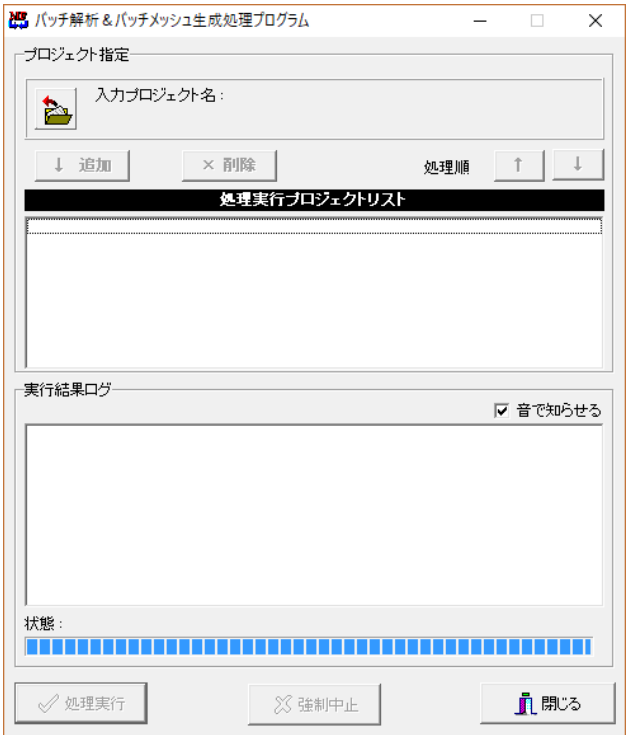
一括処理するプロジェクトファイルは複数指定することができ、処理順番を任意に指定することができます。

メッシュ生成処理のプロジェクト・解析処理のプロジェクトはリスト内に混在させても構いません。

また、処理中でも新たなプロジェクトを投入することができます。

時間の掛かるメッシュ生成、解析処理を一括処理するため、PC の遊休時に使用することで、効率よくプロジェクトの作業を進めることができます。

※このツールの使用時は、『MECHANICAL FINDER』本体を起動している必要はありません。



項目名	内 容
入力プロジェクトの設定	手順は以下の通りです。 1) 「入力プロジェクト」ボタンを押し、ファイルブラウザを使用してプロジェクトファイルを指定します。 解析可能なプロジェクトの場合は『追加』ボタンを押せる状態になります。 2) 「追加」ボタンを押して、「解析実行プロジェクトファイル」に追加します。 3) 上記手順を繰り返して、バッチ処理させたいプロジェクトファイルをリストに加えていきます。 4) 不要なプロジェクトファイルは、リスト内からクリックで選択して「削除」ボタンを押すことで削除します。 5) 解析するプロジェクトの順番を変更したい場合は、リスト内からクリックで選択して「↑」「↓」ボタンを押してください。
処理実行	上記手順で、バッチ処理を行うプロジェクトの設定が済みましたら、「処理実行」ボタンで実行します。 実行している経過は、「実行結果ログ」に表示されます。

強制中止	<p>バッチ処理を停止する場合は「強制中止」ボタンを押してください。</p> <p>「強制中止」を行うと、現在実行中のプロジェクトとその後のプロジェクトの処理がキャンセルされます。</p>
閉じる	<p>本ツールを終了します。</p> <p>実行中プロジェクトが存在する場合は、そのプロジェクトの処理をキャンセルするかどうかを聞いてきます。</p> <p>※実行中あるいは処理待ちのプロジェクトの処理を継続処理したい場合、本ツールを終了しないようご注意ください。</p>

※このツールは、以下の手順を繰り返します。

- 1) プロジェクトファイルを読み込み、メッシュ生成処理あるいは解析処理を実行します。
- 2) 正常終了時は、元のプロジェクトファイルを書き換えます。
- 3) 異常終了時は、元のプロジェクトファイルを書き換えません。
- 4) 次のプロジェクトがあれば、1) へ戻って処理を行います。

## 1 4. 6 リモートバッチ（解析）処理プログラム

このツールでは、解析時に「バッチ処理で行う」を ON にしたプロジェクトファイルを、リモート端末上で一括して解析処理することができます。

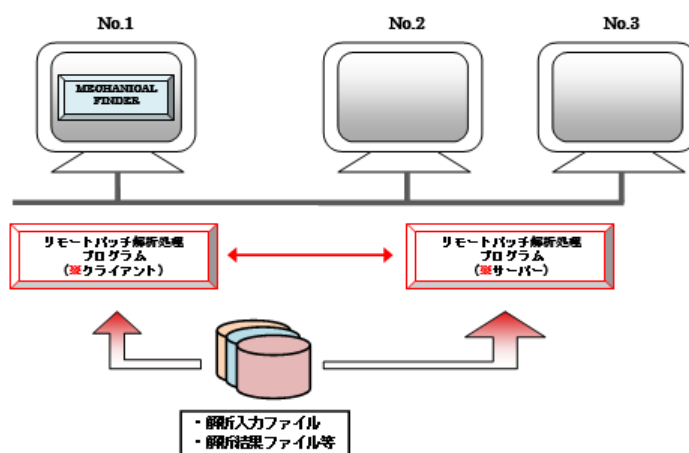
一括処理するプロジェクトファイルは複数指定することができ、処理順番を任意に指定することが可能です。

時間の掛かる解析処理を本体 PC ではなくリモート PC にて一括処理できますので、本体 PC で『MECHANICAL FINDER』の作業を行っている間にリモート PC 側で解析処理を行うことができ、効率よくプロジェクトファイルを作成できるようになります。

また、CPU 速度が速いリモート PC を利用できる利点もあります。

※ このツールの使用時は、『MECHANICAL FINDER』本体を起動している必要はありません。

### 【 実行イメージ図 】



### 【 イメージ図説明 】

- ・ 本 SW のライセンスを受けている PC -----NO.1
- ・ 解析したい LAN 上の PC（ライセンス不要） -----NO.2、NO.3

### 【 操作方法 】

- 1) NO.2、NO.3 で『リモートバッチ(解析)処理プログラム』（サーバー）を起動します。
- 2) NO.1 で『リモートバッチ(解析)処理プログラム』（クライアント）を起動し、NO.2 に接続します。
- 3) NO.1 で解析したいプロジェクト群を登録・実行します。
- 4) 【自動処理】 NO.1 のプロジェクト群が NO.2 に送信されます。
- 5) 【自動処理】 受取ったプロジェクト群は、NO.2 上で順次解析されます。
- 6) 【自動処理】 NO.2 で正常終了したプロジェクトは NO.1 に送信され、更新されます。

### 【 NO.3 でも解析を実行する場合 】

- 7) NO.1 で NO.2 への接続を切断し、NO.3 に接続します。
- 8) NO.1 で解析したいプロジェクト群を登録・実行します。
- 9) 【自動処理】 NO.1 のプロジェクト群が NO.3 に送信されます。
- 10) 【自動処理】 受取ったプロジェクト群は、NO.3 上で順次解析されます。
- 11) 【自動処理】 NO.3 で正常終了したプロジェクトは NO.1 に送信され、更新されます。
- 12) 解析が全て終了すれば、クライアント・サーバー側の本ツールを終了します。

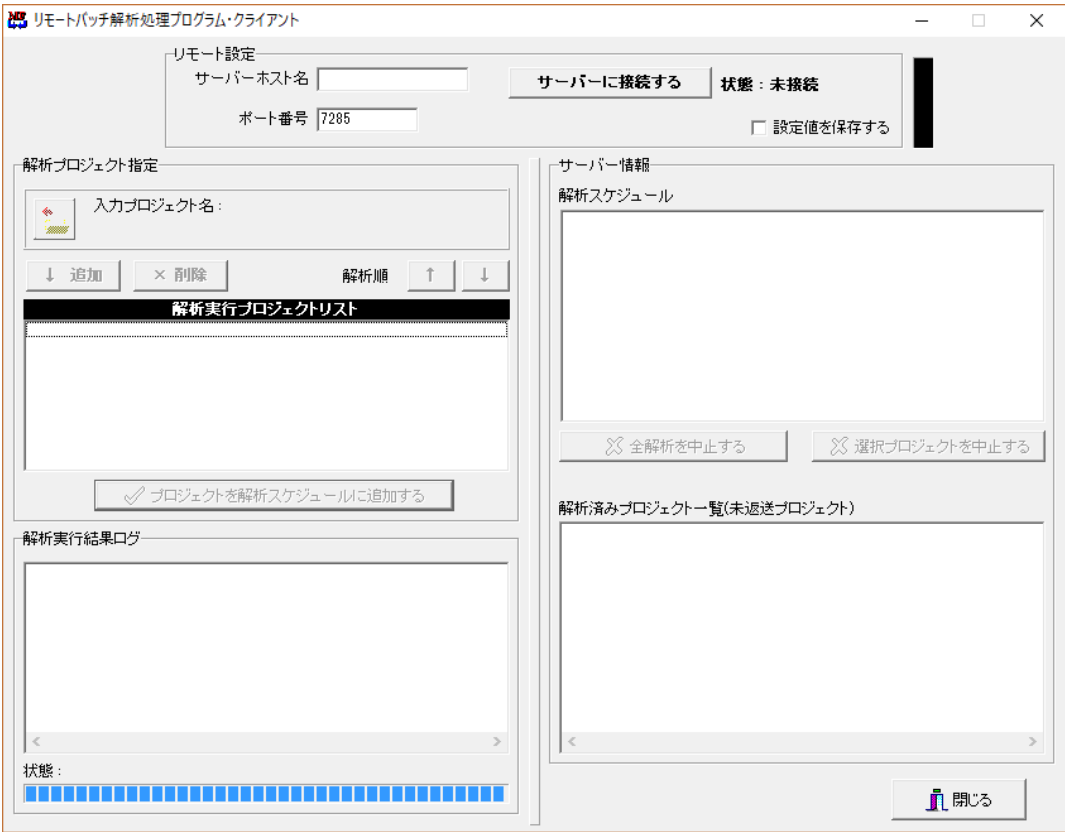
### 1 4 . 6 . 1 クライアント側プログラム

このツールは、『リモートバッチ解析処理プログラム』のクライアント側プログラムです。  
本 S/W のライセンスを受けた PC 上で動作します。

解析時に「バッチ処理にて解析を行う」を ON にしたプロジェクトファイルを、リモート端末上で一括して解析処理することができます。  
一括処理するプロジェクトファイルは複数指定することができ、処理順番を任意に指定することが可能です。

本ツールを利用する時は、サーバー側（リモート）のプログラムを起動する必要があります。  
サーバー側のインストール及び使用法については、[『1 4 . 6 . 2 サーバー側プログラム』](#)、[『1 4 . 6 . 3 サーバー側インストール』](#)をご参照ください。

※このツールの使用時は、『MECHANICAL FINDER』本体を起動している必要はありません。



項目名	内 容
リモート設定	サーバー側の設定を指定します。 サーバーホスト名 … IP アドレスあるいはホスト名を指定します。 ポート番号 … サーバー側で指定したポート番号（デフォルトは 7285）を指定します。 サーバーに接続する … 上記設定でサーバー側に接続します。 サーバーから切断する … サーバーに接続すると、「サーバーに接続する」ボタンが「サーバーから切断する」ボタンに変わり、クリックすると接続したサーバーから切断します。

	<p>設定値を保存する … チェックして終了すると、次回起動時に上記設定を初期値とします。</p> <p>※解析処理を行うには、まず上記設定でサーバー側に接続する必要があります。</p>
入力プロジェクトの設定	<p>手順。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 「入力プロジェクト」 ボタンを押し、ファイルブラウザーを使用してプロジェクトファイルを指定します。 解析可能なプロジェクトの場合は「追加」 ボタンを押せる状態になります。</li> <li>2) 「追加」 ボタンを押して、「解析実行プロジェクトリスト」 に追加します。</li> <li>3) 上記手順を繰り返して、バッチ処理させたいプロジェクトファイルをリストに加えていきます。</li> <li>4) 不要なプロジェクトファイルは、リスト内からクリックで選択して『削除』 ボタンを押すことで削除されます。</li> <li>5) 解析するプロジェクトの順番を変更したい場合は、リスト内からクリックで選択して「↑」「↓」 ボタンを押してください。</li> <li>6) 上記手順で設定が済みましたら、「サーバーの解析スケジュールに追加する」 ボタンで実行します。</li> </ol> <p>登録情報は、「サーバー情報」にて逐次表示されます。</p>
解析実行結果ログ	解析中の状態と、解析結果後の状態を表示します。
サーバー情報	<p>「解析スケジュール」には、解析中あるいは解析待ちのスケジュール情報が表示されます。</p> <p>「本クライアントの全解析を中止する」は、本クライアントから送った解析スケジュールあるいは解析中プロジェクトを全て強制終了します。</p> <p>「解析済みプロジェクト一覧」には、解析終了後の未返送プロジェクトが表示されます。</p>
閉じる	<p>本ツールを終了します。</p> <p>本クライアントからサーバーに送信したプロジェクトは、本クライアントを閉じたりサーバーから切断していると、解析終了後に受信することができずストックされます。</p>

## 1 4 . 6 . 2 サーバー側プログラム

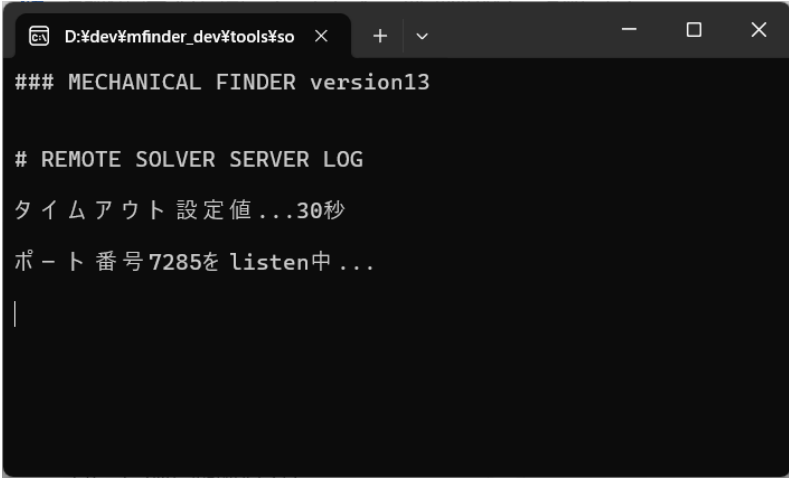
このツールは、『リモートバッチ解析処理プログラム』のサーバー側プログラムです。  
本SWのライセンスは必要ありませんが、クライアント側には必要です。

最大5クライアント（PC）からのバッチ解析を受け付けることができます。  
ただし、解析処理は1プロジェクトずつ行います。

### 【 起動や手順 】

1. スタートメニューより『MECHANICAL FINDER V13 リモートサーバー』→『リモートバッチ解析処理プログラム（サーバー）』を選択します。

2. すると、以下のような画面が現れます。



```
### MECHANICAL FINDER version13

# REMOTE SOLVER SERVER LOG

タイムアウト設定値...30秒

ポート番号7285をlisten中...

|
```

3. 後はクライアント側からの命令によって自動的に解析処理が行われます。  
終了する場合は、右上のxボタンで閉じてください。

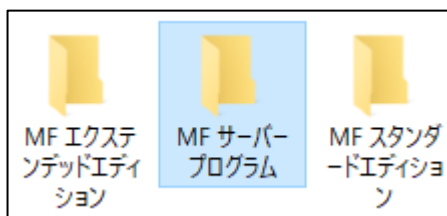
起動時のポート番号を変更したい場合は、『設定ファイル』をメニューから選択します。  
エディタ上で数値を変更して保存すると、以降起動時にポート番号は変更されます。



### 1 4. 6. 3 サーバー側インストール

本ツールは、以下の手順でインストールを行います。

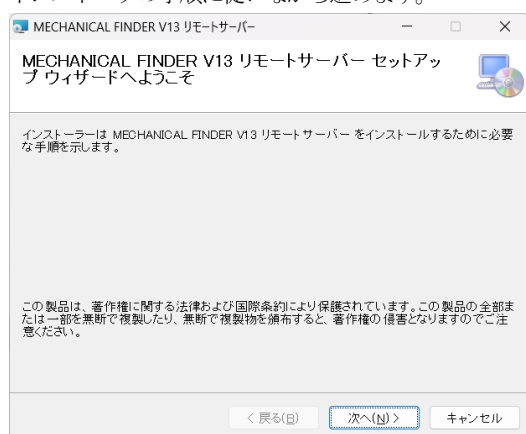
- (1) 提供された USB メモリスティック内の「インストーラ」フォルダの中の、『MF13 サーバープログラム』を開きます。



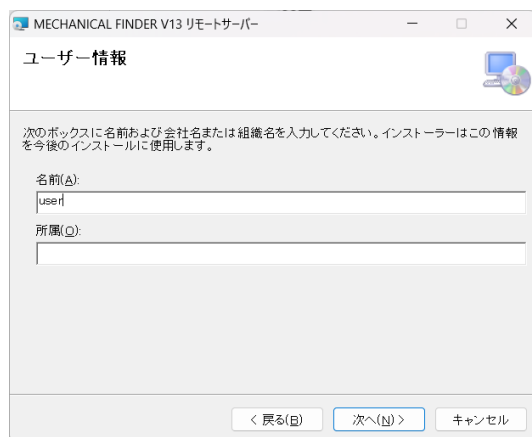
- (2) その中の [setup.exe] を実行します。



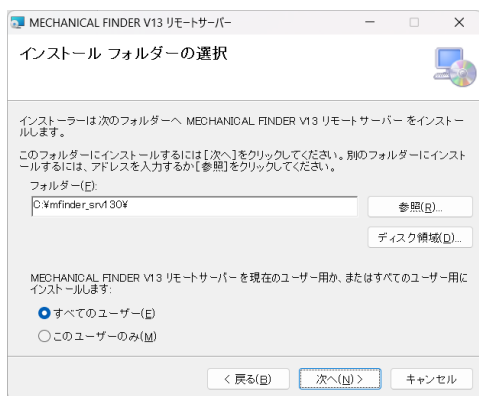
- (3) インストーラの手順に従いながら進めます。



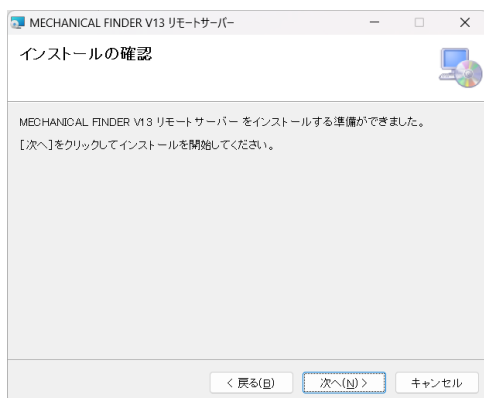
インストール作業の開始です。



「ユーザー名」と「所属」を入力します（初期設定のままでも問題ございません）。

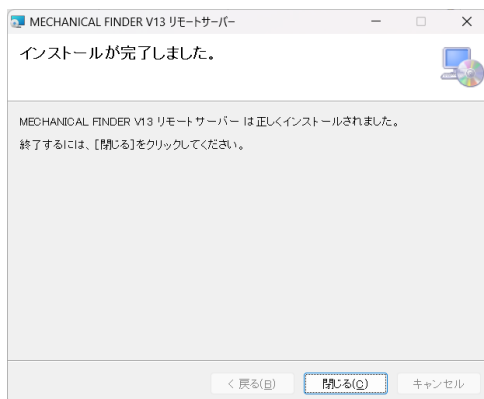


インストール先ディレクトリを選択します。



確認情報。

ディスクへコピーされます。



終了です。

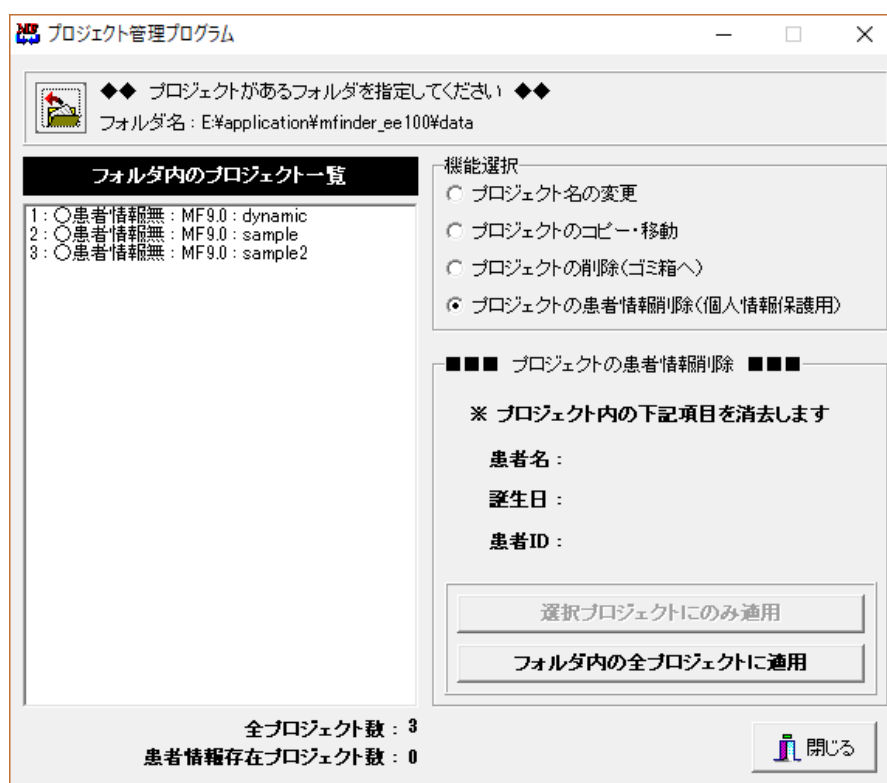
## 1 4. 7 プロジェクト管理ツール

このツールは、本SWのプロジェクトファイル（1プロジェクト当たり最大14ファイル）に対して、以下の操作

- ・プロジェクト名の変更
- ・プロジェクトのコピー・移動
- ・プロジェクトの削除（ゴミ箱へ）
- ・プロジェクトの患者情報削除（個人情報保護用）

をプロジェクト単位で行うことができます。

※このツールの「プロジェクトの患者情報削除」機能は、プロジェクト内の患者情報である〈患者名〉〈誕生日〉〈識別番号〉を消去します。消去すると、プロジェクトからは上記情報を得ることができなくなります。



### 【 操作手順 】

1. プロジェクトのあるディレクトリを選択します。
2. プロジェクト一覧にそのディレクトリ内のプロジェクトが表示されます。
3. 行いたい処理（変更・コピー・削除・患者情報削除など）を機能選択で選びます。
4. 対象プロジェクトをプロジェクト一覧から選択します。
5. 項目入力や適用ボタンで操作を行い、処理を実行します。

#### 1 4. 8 オプションライセンスインストールツール

このツールは、本 S/W のオプションライセンスの登録を行います。  
インストール時の他、言語を日本語と英語で切り替える際にも使用します。

オプションライセンスインストールツール

ライセンス情報と環境設定

提供された「ProductID」を入力してください

\_\_\_\_ - \_\_\_\_ - \_\_\_\_ - \_\_\_\_

ライセンスタイプ：エクステンデッドエディション  
ライセンスが登録されています

環境設定情報

インストールフォルダ： E:\application\mfinder\_ee100  
環境設定フォルダ： E:\application\mfinder\_ee100

言語選択  
☒ 日本語 ☐ English

環境設定を保存する

✓ 適用

閉じる

## 第15章 IMP ユーティリティ (EE)

この章では、拡張機能である (IMP 形式ファイル) を作成するユーティリティについて説明します。

エクステンデッドエディションにおいて、IMP ユーティリティで作成する IMP 形式ファイルは、[『第6章 メッシュ生成』](#)にてインポート形状として挿入することができます。

IMP 形式ファイルは、汎用フォーマットである STL 形式と準互換性を持ち、インポート位置の設定作業において STL 形式ファイルよりも使いやすくなるように機能拡張することができます。

### ・インポート処理の問題点

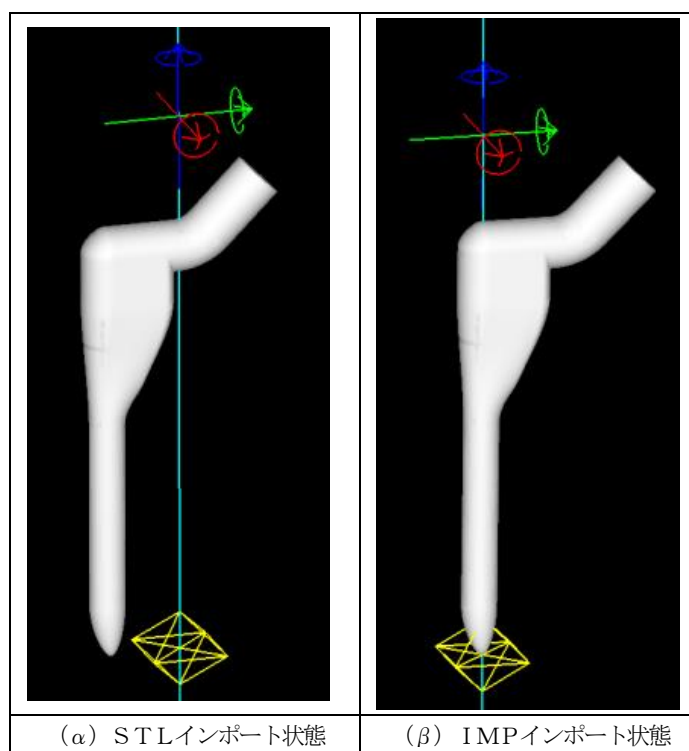
[『第6章 メッシュ生成』](#)において STL 形式の形状を使用するにあたり、以下のような問題があります。

下図 (α) のステム形状のように線対称 (回転体) ではない形状をインポートし、位置設定しようとする、回転中心がステム軸と合わないため、骨内部に配置するのに多大な労力を要します。

そこで、STL 形式と準互換性を保ちつつ、回転軸および指標等を任意指定できる独自フォーマット IMP 形式を用意しました。これを用いることで、このような非対称形状をインポートした際にも、以前より格段に配置しやすくなります。

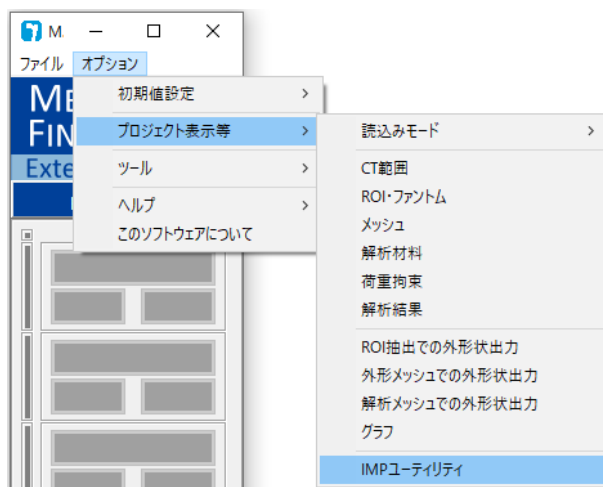
IMP 形式とは、STL 形状はそのまま回転中心や指標位置を記した形式となっています。(下図 (β))

また、準互換性がありますので、IMP 形式から STL 形式への変換は、拡張子を変更するだけでほとんどのソフトウェアにおいて対応可能となります。(但し、準互換性があるのは STL バイナリ形式のみとなります)



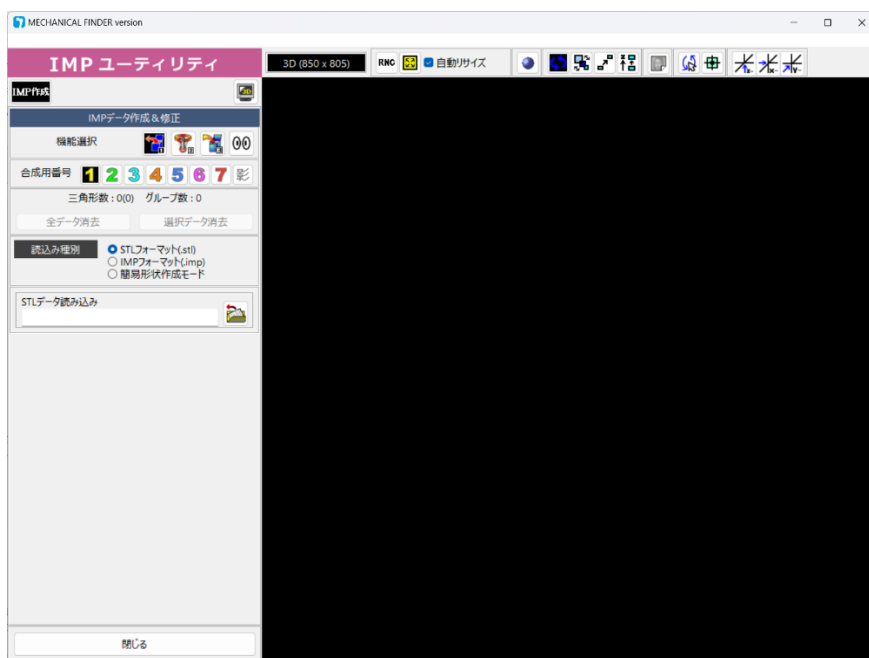
## 15.1 IMP ユーティリティの起動



IMP ユーティリティは、本 S/W が起動している状態であれば、以下のようにオプションメニューからいつでも起動する事ができます。



起動すると、下図のような画面が立ち上がります。

次ページ以降の操作方法をご参照ください。



項目名	内 容
	<a href="#">詳細は 15.2 へ</a>
	ビューワー設定

## 1 5. 2 STL 形式ファイルへの変換

生成された **IMP** 形式ファイルは、**STL** 形式ファイルと準互換があります。

この **IMP** 形式ファイルを **STL** 形式ファイルへ変換するには、拡張子を変更するだけで行えます。

変更前のファイル名	変更後のファイル名
abcdefg.imp	abcdefg.stl

**Windows** のファイルエクスプローラー等を使用して、上記のように拡張子を「imp」から「stl」へファイル名を変更する事で、ほとんどのアプリケーションで取り扱うことができるようになります。

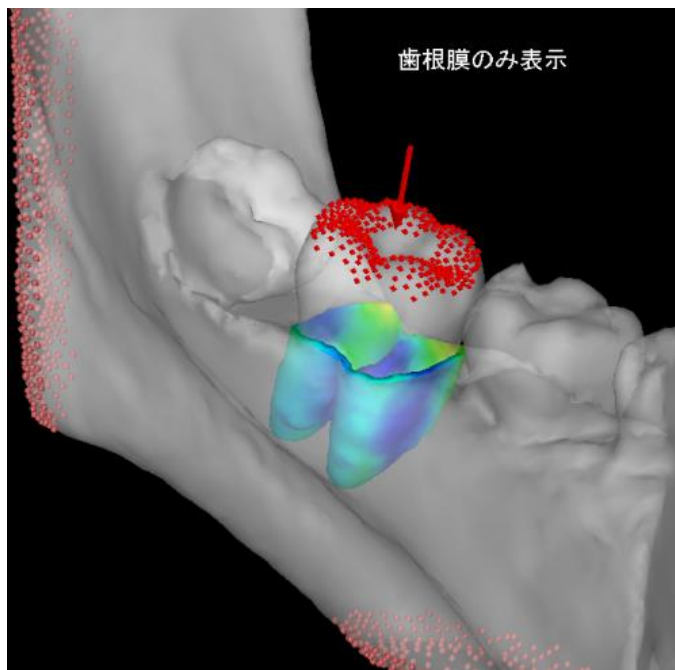
ただし、この場合の **STL** 形式ファイルはバイナリ形式であり、アスキー形式しか取り扱えないアプリケーションでは読み込むことはできません。ご使用のアプリケーションが、バイナリ形式の **STL** ファイルが取り扱えることをご確認ください。

### 15.3 IMP ユーティリティ内、膨張処理の使い方について

IMP ユーティリティ内に、位置調整として膨張処理があります。

これは形状を一定の厚みで膨らませたり縮ませたりすることができる機能です。

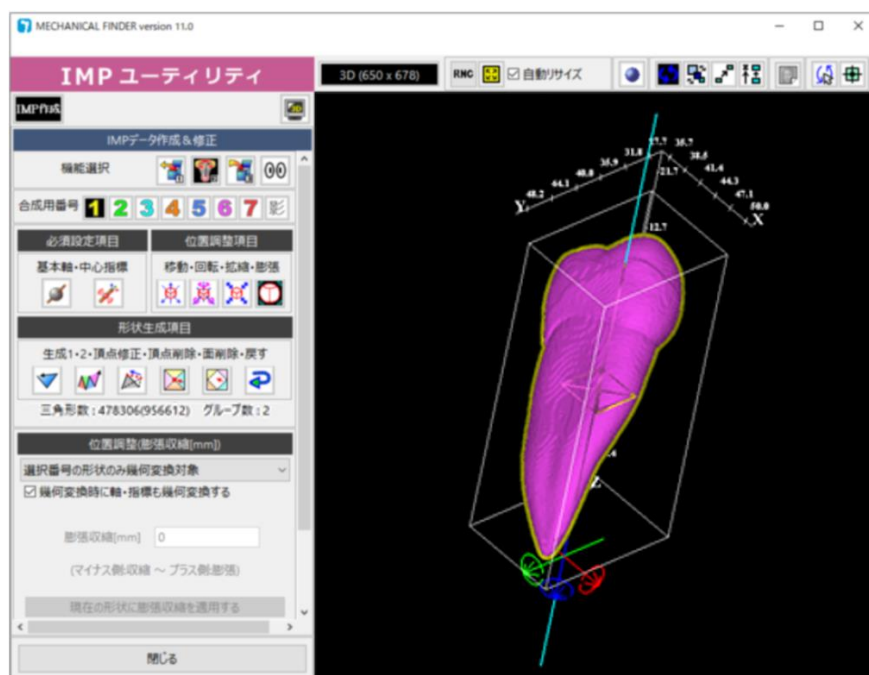
これを使用することで、下記のような薄い形状を作ることができますようになります。



(厚さ 0.5mm の歯根膜部)

これは、下図のようにIMPユーティリティにて、オリジナル形状と膨張させた形状の2つをIMP形式ファイルとして出力し、それをメッシュ生成時の「外形メッシュ・インポート設定」で読込んで処理しているものです。

膨張形状はオリジナルサイズより大きくなっているため、解析メッシュ条件の「材料種別」の設定にて、表面に現れている不要なメッシュ領域部分（膨張させた領域の内、歯根膜ではない部分）を未使用材料とすることが必要です。

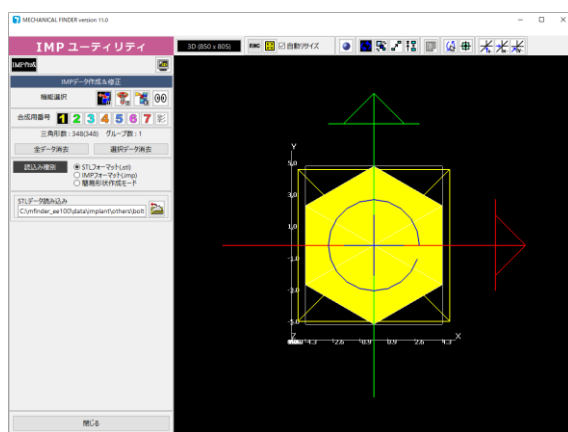




#### 1 5. 4 IMP ユーティリティ内、自動リサイズについて

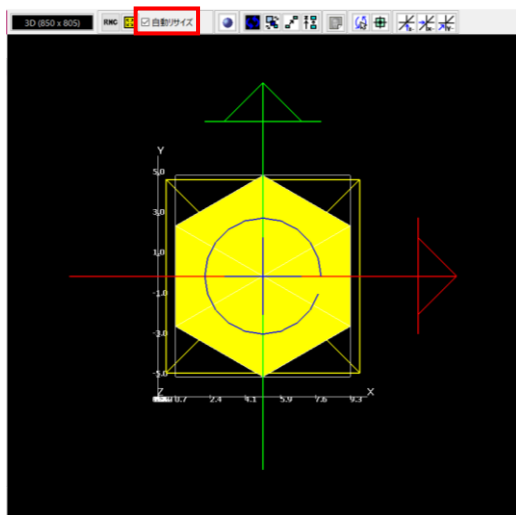
IMP ユーティリティのデフォルト状態では、STL 形状の差し替え時や、形状の平行移動時等に、カメラの位置が自動で正規化されます。

これを避けたい場合には、画面右上の「画面リサイズ」のチェックを外してください。

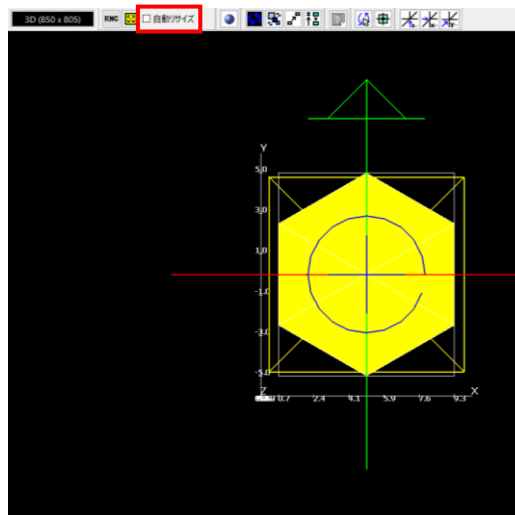


x 方向へ平行移動

自動リサイズ ON



自動リサイズ OFF



## 付録1 留意事項

本 SW 使用の際の留意事項を述べます。

[『付録5 FAQ』](#) もご参照ください。

### ・プロジェクト

本 SW において過去に解析を実施した結果はプロジェクト単位で管理されています。

#### 1. プロジェクトファイル群について

プロジェクトファイルは最大 15 個のファイルから構成されています。

別ディレクトリへの移動やバックアップ時は、これらファイル群をまとめて操作してください。

「[14. 7 プロジェクト管理ツール](#)」もご利用ください。

#### 2. プロジェクト保存

解析モデルや解析条件を変更し、変更前のデータを残しておきたい場合は、変更したプロジェクトを別名保存してください。

### ・解析

1. 非線形解析時、時間軸に対する荷重値の減少は設定できますが、一度圧壊やひび割れが生じた要素が元に戻ることはありません。ただし塑性状態の要素は、荷重値の減少によって弾性状態に戻ることがあります。また疲労破壊は考慮しません。

2. 解法種別が直接法の場合、CG 法に比べて一時的にディスク使用量とメモリ使用量が大きくなります。

また、直接法では＜直接法（マルチコア対応）＞が、反復法では＜反復法（CG 法・GPU 対応）＞がより高速に処理できますが、どちらもメモリが不足すると使用できません。その場合は＜直接法（シングルコア）＞、＜反復法（CG 法）＞をお使い下さい。

詳しくは 「[付録5. 5 解析について](#)」の Q2 を参照下さい。

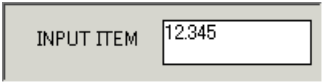
### ・表示

1. 表示ビューワーの機能である「ムービー出力」は、録画を始めると表示画面のリフレッシュが行われる度に「メモリ」あるいは「ディスク」内に画像を貯め込みます。

録画を停止しない限り処理が続けられ、最終的にはシステムが停止する可能性があります。録画停止を忘れないようお願いいたします。

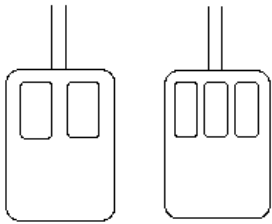
付録1. 1 GUI操作について

(1) 入力フィールド



本 S/W のユーザーインターフェース内の入力フィールド（数値・文字）は、エンターキーを押すか、フォーカスが外れた時に確定します。

(2) 表示ビューワーのマウス操作

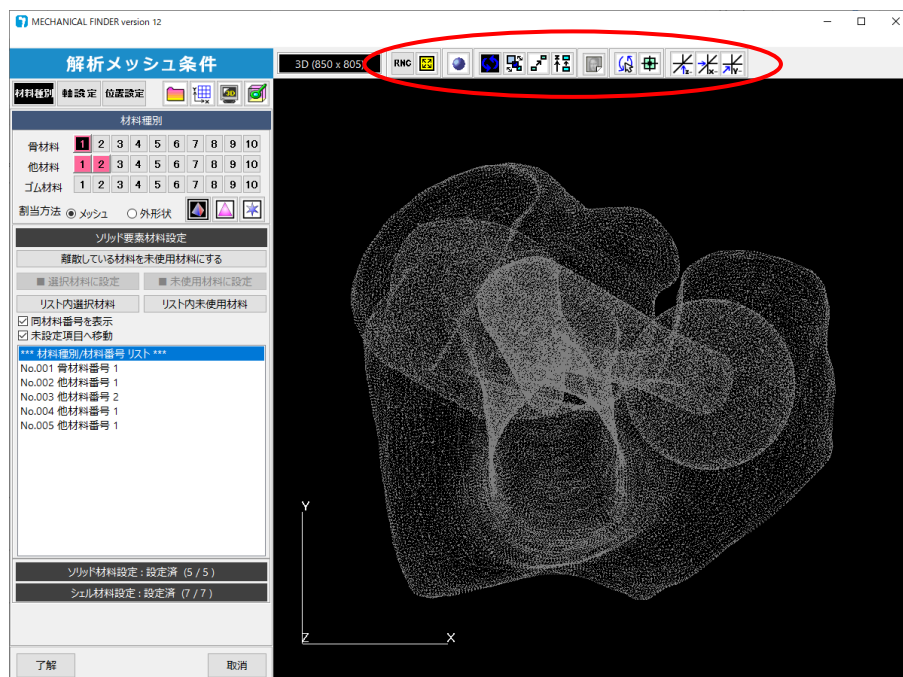



2 ボタンマウス 3 ボタンマウス

マウスボタン	動 作
マウス左ボタン	指定モードの動作。（初期値は回転） 「ビューワー設定」の左マウス動作参照のこと ・+Alt ……回転 ・+Ctrl ……移動 ・+SHIFT…拡大・縮小
マウス中ボタン (3 ボタンマウス対応)	・回転 ・+Ctrl ……移動 ・+SHIFT…拡大・縮小
マウス右ボタン	オブジェクトに対して局所的に指定する際に使用します。 『ROI 抽出』の二値化処理。 『ファントム設定』の ROD 位置の指定時。 『材料特性』のシェル要素用の各種グラフ描画時。 『荷重拘束条件』の荷重・拘束の範囲指定時、あるいは軸設定時。 「コンター表示」の任意面スライス位置の指定時。 「データ抽出」の節点・セル要素の指定時。

## 付録1. 2 ウィンドウボタンについて

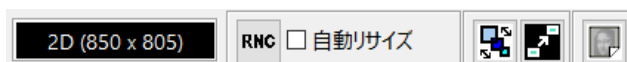
各設定ウィンドウにおいて、ビューワー上部によく使用される機能を配置しています。



各画面「ビューワー設定」 パラメータにはこのボタンと同様の機能が存在します。


下図のように、2次元表示用と3次元表示用とではメニュー構成が若干異なります。

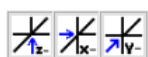
### ・2次元表示用



### ・3次元表示用



3次元表示用のは、バウンディングボックスの使用有無を切り替えるボタンであり、回転・拡大縮小・移動時にバウンディングボックス（外形枠）で幾何変換を行うことが可能です。モデルが大きくて回転・拡大縮小・移動が重い場合にご利用ください。



は視点切り替えボタンであり、クリックごとに+/-方向が切り替わります。



は、押す度にイメージ出力を連続的に行うことができる機能です。

ビューワー設定「イメージ出力」にて、パラメータを指定することにより、連続して出力されるファイル名が決まります。



は回転中心を設定、リセットする機能です。左のボタンを押した後にモデル上を右クリックした場所が回転中心となり、右のボタンを押すと回転中心がモデル中心にリセットされます。

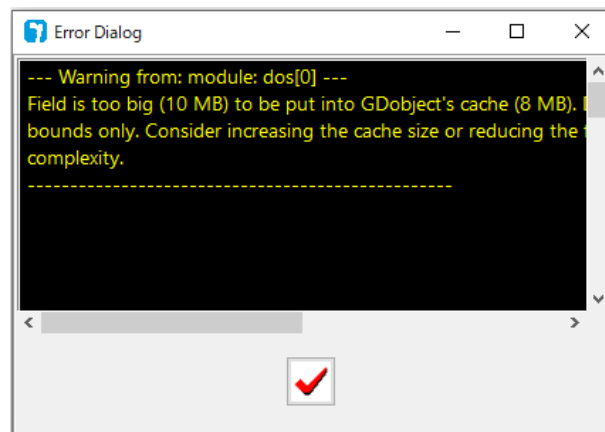
## 付録1. 3 キャッシュサイズについて

キャッシュサイズとは、レンダリング表示の際に使用するメモリサイズを表します。

このキャッシュサイズの初期値は『アプリケーション全般』で設定することができ、インストール直後は256MBに設定されています。

このキャッシュサイズ設定値を超えるような大きなオブジェクトをレンダリング表示すると、キャッシュを使用しないため表示速度が非常に遅くなり、回転・拡大縮小等の操作レスポンスに影響が出ます。

キャッシュサイズを超えると、下図の警告ウィンドウが表示されます。



上図警告内容は、キャッシュサイズを8MBに設定していたときに、オブジェクト表示に10MB以上のキャッシュサイズが必要である事を示しています。

ただし、必要キャッシュサイズは表示手法（メッシュ表示・フラットサーフェス表示）等によっても変化します。

### ※対処方法

#### ・頻繁に起こる場合には...

『アプリケーション全般』でキャッシュサイズを大きく設定する必要があります。

#### ・一時的に起こる場合には...

そのウィンドウパラメータ内に、その表示機能にだけ適用するキャッシュサイズ設定項目が用意されています。

(下図参照)

そのパラメータ項目の数値を大きく変更する事で、キャッシュサイズ内で表示が可能になります。

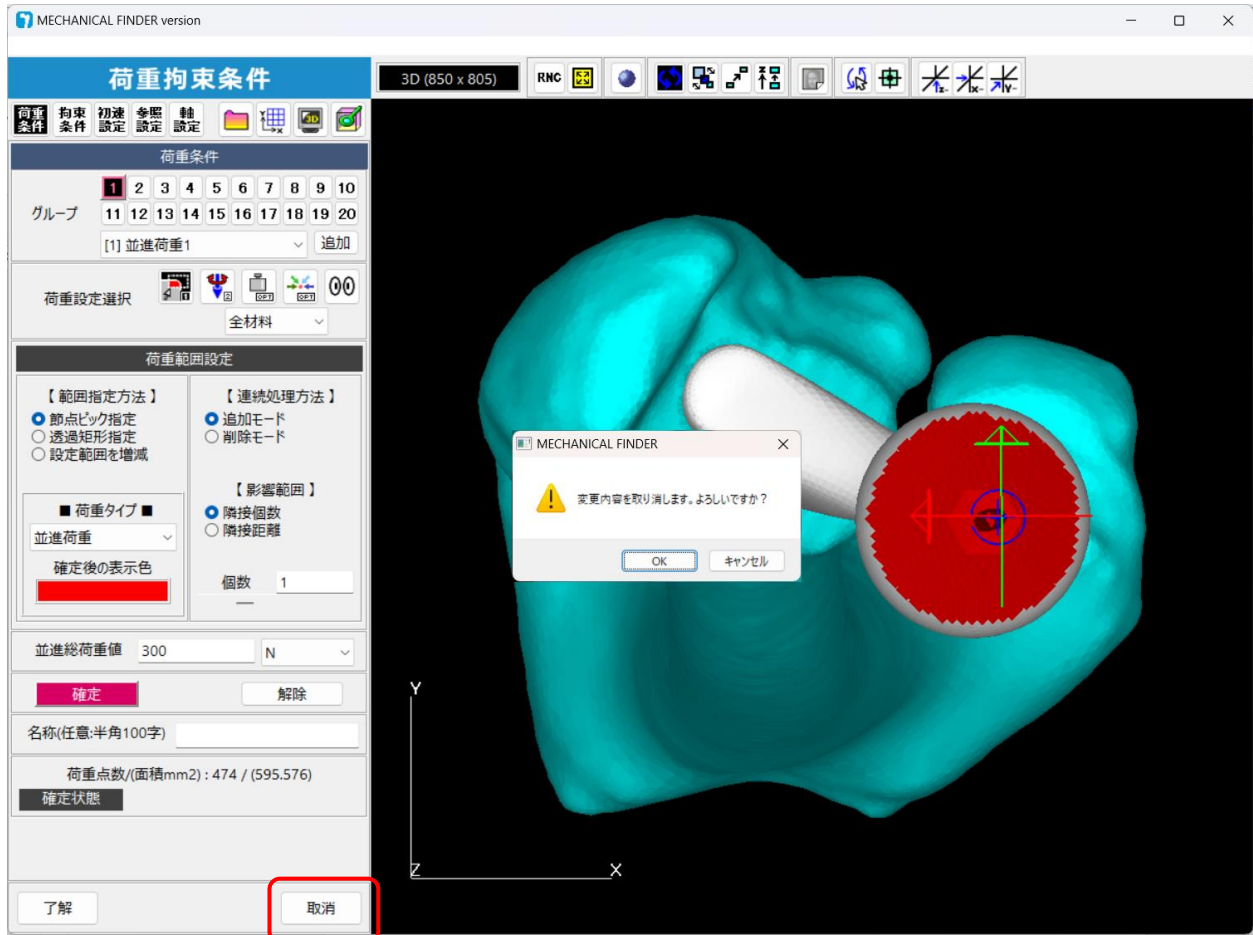
キャッシュサイズ(MB)	512
--------------	-----

#### 付録1. 4 実作業ウィンドウ「取消」時の警告について

実作業ウィンドウの「取消」を押したとき、警告ダイアログが表示されます。

「OK」を押すと、そのままウィンドウが閉じます。ウィンドウを開いていた間の編集内容は消えてしまいますのでご注意ください（前回、「了解」を押したときの内容まで戻ってしまいます）。

「キャンセル」を押すとウィンドウは閉じず、編集を続行することができます。



## 付録2 処理フロー

ここでは本 S/W の処理フローについて述べます。

### ・一般的な場合の処理フロー

本 S/W の一般的な処理フローを以下に示します。

- 1) 新規プロジェクトを開き、DICOM ファイルを読み込む。(『[3. 1 「新規プロジェクト」](#)』参照。)
- 2) ROI 抽出やファントム設定をする。(『[第5章 ROI 抽出・ファントム設定](#)』参照。)
- 3) メッシュを生成する。(『[第6章 メッシュ生成](#)』参照。)
- 4) 解析メッシュ条件を設定する。(『[第7章 解析メッシュ条件](#)』参照。)
- 5) 材料特性を設定する。(『[第8章 材料特性](#)』参照。)
- 6) 荷重拘束条件を設定する。(『[第9章 荷重拘束条件](#)』参照。)
- 7) 解析する。(『[第10章 解析](#)』参照。)
- 8) 解析結果を表示・検討する。(『[第11章 表示機能](#)』参照。)

※上記 (1) ～ (8) までの一連の処理を一度に行う必要はありません。途中の処理まで終了した段階でプロジェクトを保存し、その続きを次の機会に行うこともできます。

(本章「完了していないプロジェクトを途中から再開する場合の処理フロー」参照。)

### ・完了していないプロジェクトを途中から再開する場合の処理フロー

処理が最後まで完了していないプロジェクトを途中から再開する場合の処理フローを以下に示します。

- 1) 途中から再開したい既存のプロジェクトを開く。(『[3. 1 「プロジェクトを開く」](#)』参照。)
- 2) 完了していない処理から再開する。(本章「一般的な場合の処理フロー」参照。)
- 3) プロセスが進捗しているので、プロジェクト保存を行う。(『[3. 1 「プロジェクトの保存」](#)』参照。)

### ・モデル・条件を変更して解析する場合の処理フロー

あるプロジェクトのモデルや解析条件を変更して再度解析したい場合の処理フローを以下に示します。

- 1) モデル・条件を変更したいプロジェクトを開く。(『[3. 1 「プロジェクトを開く」](#)』参照。)
- 2) 変更前のプロジェクトを残したい場合は、プロジェクトを新規名で保存する。  
(『[3. 1 「プロジェクトに名前を付けて保存」](#)』参照。)
- 3) 変更したい部分の処理からやり直す。(本章「一般的な場合の処理フロー」参照。)
- 4) プロセスが進捗しているので、プロジェクト保存を行う。(『[3. 1 「プロジェクトの保存」](#)』参照。)

## 付録3 材料特性

### 付録3. 1 不均質材料の材料特性について

『第8章 材料特性』内、不均質材料設定について詳しく説明します。

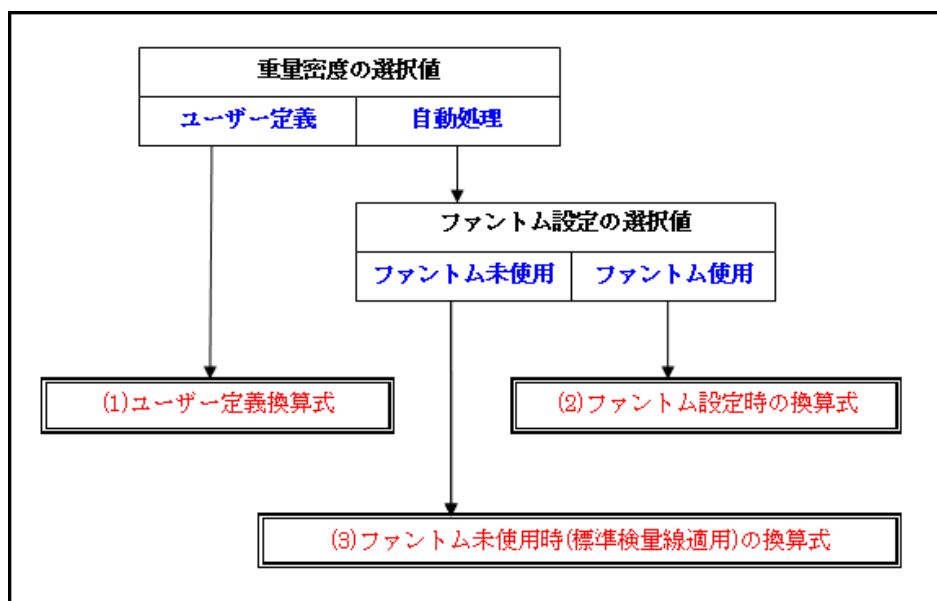
本 S/W では、材料特性の物性値は骨の密度値を基準に設定しています。ここでは密度計算の方法および各物性値の設定内容を説明します。

#### ・密度

密度は、ROI 領域内における CT 値から換算式により求められます。

密度換算式は、密度が「ユーザー定義」か「自動処理」あるいはファントム設定 (※) されているかどうかで決定されます。

下記のようなフローにより決定されます。



#### (1) ユーザー定義換算式

「ユーザー定義」を行った場合、以下の換算式が求められます。

換算式

$$\text{密度 [mg/cm}^3\text{]} = \text{CT 値 [H.U.]} * a + b$$

「a」「b」はユーザーが任意で入力したパラメータ値

もし密度 [mg/cm<sup>3</sup>] が 0.0 以下であれば、密度 [mg/cm<sup>3</sup>] を 0.0 にします。

#### (2) ファントム設定時の換算式

「自動設定」時に『ファントム設定』を行った場合、以下の換算式が求められます。

換算式

$$\text{密度 [mg/cm}^3\text{]} = \text{CT 値 [H.U.]} * a + b$$

もし密度 [mg/cm<sup>3</sup>] が 0.0 以下であれば、密度 [mg/cm<sup>3</sup>] を 0.0 にします。

(a および b は『ファントム設定』により求められた数値)



### (3) ファントム未使用時（標準検量線適用）の換算式

「自動設定」時に『ファントム設定』を行わなかった場合、標準検量線により以下の換算式を適用します。

換算式

$$\text{密度 [g/cm}^3\text{]} = (\text{CT 値 [H.U.]} + 1.4246) \times 0.001 / 1.0580 : (\text{CT 値} > -1)$$

$$\text{密度 [g/cm}^3\text{]} = 0.0 : (\text{CT 値} \leq -1)$$

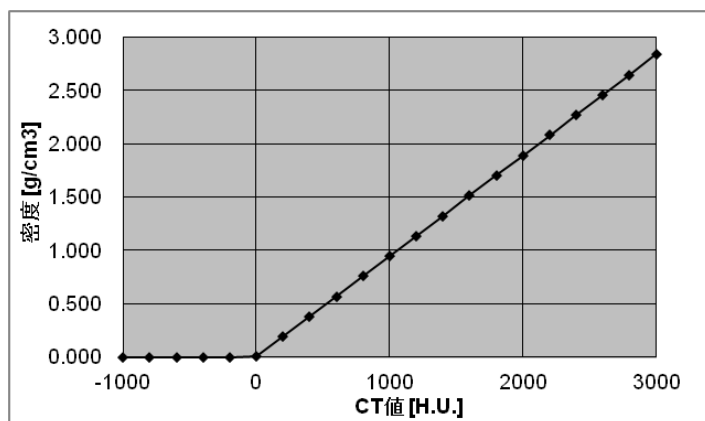


図 1：CT 値から密度換算の検量線

注 1) CT 値は Hounsfield Unit であることが前提です。

注 2) CT スキャナの X 線管電圧が 125 [kV<sub>p</sub>] であると仮定しています。

### ※ポアソン比から応力緩和係数の設定について

ポアソン比・ヤング率・降伏応力値・引張り方向臨界応力値・応力緩和係数は、各種変換式を使用することができます。

これらは、提供されている換算式（下記参照）を使用することも、ユーザー独自の換算式を使用することもできます。

ユーザー独自の換算式は、[『1 4. 3 不均質材料（骨部）編集ツール』](#)で記述しているツールを使用することで作成できます。

#### ・ポアソン比

ユーザー換算式に加え、「0.49」～「0.0」の固定値、または南澤氏による方法で設定します。

表 1：南澤氏による設定

密度[g/cm³]	ポアソン比
$1.8 \leq \rho$	0.22
$0.2 < \rho < 1.8$	0.15
$\rho \leq 0.2$	0.49

#### ・ヤング率

ユーザー換算式に加え、Keyak 氏、Carter 氏、Keller 氏、Suzuki 氏の論文に基づいた各設定方法の中から選びます。

表 1 : Keyak 氏に基づいた設定

密度[g/cm <sup>3</sup> ]	ヤング率関係式[MPa]
$\rho = 0$	$E = 0.001$
$0 < \rho \leq 0.27$	$E = 33900 \rho^{2.20}$
$0.27 < \rho < 0.6$	$E = 5,307 \rho + 469$
$0.6 \leq \rho$	$E = 10.200 \rho^{2.01}$

表 2 : Carter 氏に基づいた設定

密度[g/cm <sup>3</sup> ]	ヤング率関係式[MPa]
$\rho = 0$	$E = 0.001$
$0 < \rho$	$E = 3790 \varepsilon^{0.06} \rho^3$

 $\varepsilon = 0.01$ 

表 3 : Keller 氏 (Vertebrae) に基づいた設定

密度[g/cm <sup>3</sup> ]	ヤング率関係式[MPa]
$\rho = 0$	$E = 0.001$
$0 < \rho$	$E = 1890 \rho^{1.92}$

表 4 : Keller 氏 (Combined) に基づいた設定

密度[g/cm <sup>3</sup> ]	ヤング率関係式[MPa]
$\rho = 0$	$E = 0.001$
$0 < \rho$	$E = 10500 \rho^{2.57}$

表 5 : Suzuki 氏 (Callus) に基づいた設定

密度[g/cm <sup>3</sup> ]	ヤング率関係式[MPa]
$\rho = 0$	$E = 0.001$
$0 < \rho$	$E = 0.2391 e^{8.00 \rho}$

#### ・降伏応力計算

ユーザー換算式に加え、Keyak 氏、Carter 氏、Keller 氏、Suzuki 氏の論文に基づいた各設定方法の中から選びます。

表 1 : Keyak 氏に基づいた設定

密度[g/cm <sup>3</sup> ]	降伏応力[MPa]
$\rho \leq 0.2$	$\sigma_y = 1.0 \times 10^{20}$
$0.2 < \rho < 0.317$	$\sigma_y = 137 \rho^{1.88}$
$0.317 \leq \rho$	$\sigma_y = 114 \rho^{1.72}$

密度[g/cm <sup>3</sup> ]	降伏応力[MPa]
$\rho < 0.317$	$\sigma_y = 137 \rho^{1.88}$
$0.317 \leq \rho$	$\sigma_y = 114 \rho^{1.72}$

弾性要素無しの場合

表 2 : Carter 氏に基づいた設定

密度[g/cm <sup>3</sup> ]	降伏応力[MPa]
$\rho \leq 0.2$	$\sigma_y = 1.0 \times 10^{20}$
$0.2 < \rho$	$\sigma_y = 68 \varepsilon^{0.06} \rho^2$

$\varepsilon = 0.01$

密度[g/cm <sup>3</sup> ]	降伏応力[MPa]
$\rho$	$\sigma_y = 68 \varepsilon^{0.06} \rho^2$

$\varepsilon = 0.01$

弾性要素無しの場合

表 3 : Keller 氏 (Vertebrae) に基づいた設定

密度[g/cm <sup>3</sup> ]	降伏応力[MPa]
$\rho \leq 0.2$	$\sigma_y = 1.0 \times 10^{20}$
$0.2 < \rho$	$\sigma_y = 284 \rho^{2.27}$

密度[g/cm <sup>3</sup> ]	降伏応力[MPa]
$\rho$	$\sigma_y = 284 \rho^{2.27}$

弾性要素無しの場合

表 4 : Keller 氏 (All) に基づいた設定

密度[g/cm <sup>3</sup> ]	降伏応力[MPa]
$\rho \leq 0.2$	$\sigma_y = 1.0 \times 10^{20}$
$0.2 < \rho$	$\sigma_y = 117 \rho^{1.93}$

密度[g/cm <sup>3</sup> ]	降伏応力[MPa]
$\rho$	$\sigma_y = 117 \rho^{1.93}$

弾性要素無しの場合

表 5 : Suzuki 氏 (Callus) に基づいた設定

密度[g/cm <sup>3</sup> ]	降伏応力[MPa]
$\rho \leq 0.2$	$\sigma_y = 1.0 \times 10^{20}$
$0.2 < \rho$	$\sigma_y = 30.49 \rho^{2.41}$

密度[g/cm <sup>3</sup> ]	降伏応力[MPa]
$\rho$	$\sigma_y = 30.49 \rho^{2.41}$

弾性要素無しの場合

・引張り方向臨界応力

ユーザー換算式に加え、降伏応力値から求める下記計算式から選択します。

引張方向臨界応力[MPa]
$\sigma_t = 1.0 \sigma_y$
$\sigma_t = 0.9 \sigma_y$
$\sigma_t = 0.8 \sigma_y$
$\sigma_t = 0.7 \sigma_y$
$\sigma_t = 0.6 \sigma_y$
$\sigma_t = 0.5 \sigma_y$
$\sigma_t = 0.4 \sigma_y$
$\sigma_t = 0.3 \sigma_y$
$\sigma_t = 0.2 \sigma_y$
$\sigma_t = 0.1 \sigma_y$

・応力緩和係数

ユーザー換算式に加え、適用定数を次の中から選択します。

応力緩和係数
0.1
0.05
$1 \times 10^{-20}$ (完全弾塑性)

・参考文献

- [1] Joyce H.Keyak, Stephen A.Rossi, Kimberly A.Jones, Harry B.Skinner,“Prediction of femoral fracture load using automated finite element modeling,” Journal of Biomechanics 31, pp.125-133,1998.
- [2] Dennis R.Carter, Wilson C.Hayes,“The Compressive Behavior of Bone as a Two-Phase Porous Structure,” the journal of bone and joint surgery, 59A No.7, October, pp.954-962, 1977.
- [3] Keller TS, “Predicting the compressive mechanical behavior of bone.” J Bimech. 1994 Sep;27 (9) : 1159-68.
- [4] T. Suzuki, “Biomechanics of callus in the bone healing process, determined by specimen-specific finite element analysis.” Bone 132 (2020) 115212.

## 付録3. 2 トラス要素の材料特性の定義方法

トラス要素の材料特性は、「ひずみ」と「張力」の関係を与えることで定義します。定義ファイルは、本 S/W のインストールフォルダの下、**"data\props\truss"** フォルダに用意されています。

### • "pgroup.prp" ファイル

「ひずみー張力テーブル」がグループ毎に分類され定義されています。

本 S/W のインストール時には、7 種類の靱帯の材料特性として「ひずみー張力テーブル」が 1 グループに定義されています。これは "pgroup.prp" ファイルより確認できます。内容は下記の通りです。

```
#
# 線要素張力の力学的性質曲線
#
DATABASE-GROUP      1
#
# Group 1 脊椎靱帯 (Spinal Ligaments)
#
GROUP-NAME 脊椎靱帯
GROUP-PROPERTIES 7
#
# (張力名)
# (ファイル名)
ALL (HJ Kim, 2009)
ALL (HJ Kim, 2009). dat
PLL (HJ Kim, 2009)
PLL (HJ Kim, 2009). dat
LF (HJ Kim, 2009)
LF (HJ Kim, 2009). dat
TL (HJ Kim, 2009)
TL (HJ Kim, 2009). dat
CL (HJ Kim, 2009)
CL (HJ Kim, 2009). dat
ISL (HJ Kim, 2009)
ISL (HJ Kim, 2009). dat
SSL (HJ Kim, 2009)
SSL (HJ Kim, 2009). dat
#
```

"#" から始まる行…コメント行です。任意に記述することができ、無視されます。

"DATABASE-GROUP" から始まる行…定義されている「ひずみー張力テーブル」のグループの総数です。

"GROUP-NAME" から始まる行…これ以降に定義されている「ひずみー張力テーブル」のグループ名です。

"GROUP-PROPERTIES" から始まる行…これ以降に定義されている「ひずみー張力テーブル」の数です。

"GROUP-PROPERTIES" より下の行… 「ひずみー張力テーブルの名前」と「定義ファイル名」の組を交互に記述します。組の数は" GROUP-PROPERTIES "で定義されている数と一致します。**最後の「定義ファイル名」の後は必ず空行かコメント行としてください。**

"GROUP-NAME"から「ひずみー張力テーブルの名前」と「定義ファイル名」の組までの行は、グループ総数だけ繰り返し記述されます。

### ・「ひずみ-張力テーブル」定義ファイル

個々の「ひずみ-張力テーブル」の内容は、"pgroup.prp" で名前が記述されている定義ファイルに書かれています。  
初期に定義されている " ALL (HJ Kim, 2009) " の内容は下記の通りです。

```
# strain(non-dimensional) tension(N)
TENSION-VALUE 4
-1 0
0 0
0.12 59.6
1 1180.7
#
```

"#" から始まる行…コメント行です。任意に記述することができ、無視されます。

" TENSION-VALUE " から始まる行…「ひずみ」と「張力」の関係の数です。

" TENSION-VALUE " より下の行…「ひずみ」と「張力」の関係を、空白で区切って並べています。単位は、「ひずみ」は無次元、「張力」はニュートン (N) となります。**最終行は必ず空行かコメント行としてください。**

### ・「ひずみ-張力テーブル」の定義を追加する方法

#### ○既存のグループに追加する場合

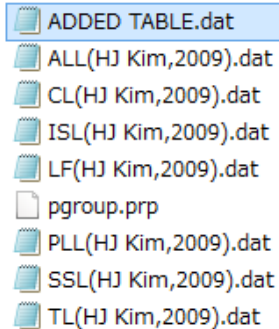
① "pgroup.prp" ファイル内、追加したいグループの " GROUP-PROPERTIES " 行の末尾の数字を一つ増やしてください。

```
#
GROUP-NAME 脊椎靱帯
GROUP-PROPERTIES 8
#
```

② " pgroup.prp " ファイル内、追加したいグループの「ひずみ-張力テーブルの名前」と「定義ファイル名」の行の後ろに、それぞれ追加する名前とファイル名の行を追加してください。ここでは例として "ADDED TABLE" という名前で作成していますが、分かりやすい名称をつけてください。**グループの最後行の次は空行かコメント行としてください。**

```
SSL (HJ Kim, 2009). dat
ADDED TABLE
ADDED TABLE. dat
#
```

③ " pgroup.prp " ファイルと同じ場所に、②で追加した「定義ファイル名」と同名のファイルを作成してください。「定義ファイル名」にフォルダを含むパス名を記載した場合、同名フォルダを作成してその下に定義ファイルを置くこともできます。



- ④ 「定義ファイル名」を編集して、「ひずみ」と「張力」の関係を定義してください。内容は既存の定義ファイルが参考になります。必ず、" TENSION-VALUE " の行の末尾の数字と、「ひずみ」「張力」の関係を定義した行の数が一致するように記述してください。最終行は必ず空行かコメント行としてください。

```
# strain(non-dimensional) tension(N)
TENSION-VALUE 4
-1 0
0 0
0.1 30.0
1 1000.0
#
```

以上です。

本 S/W を再起動するか、材料特性画面で「トラス要素定義ファイルの再読み込み」ボタンを押すことで、追加した定義が反映されます。

#### ○新規グループを作成して追加する場合

- ① "pgroup.prp" ファイル内、追加したいグループの "DATABASE-GROUP" 行の末尾の数字を一つ増やしてください。

```

:
#
DATABASE-GROUP 2
#
:
```

- ② "pgroup.prp" ファイルの最終行に" GROUP-NAME"行と" GROUP-PROPERTIES"行を追加してください。グループ名は任意ですが、中に定義されるデータの種類の分かりやすい名前を付けることを推奨します。" GROUP-PROPERTIES"行には、この後に追加する「ひずみー張力テーブル」の数を記述してください。

```

:
#
GROUP-NAME ADD-GROUP-NAME
GROUP-PROPERTIES 1
#
:
```

- ③ ②で追加した行の次の行に、新たに追加したいひずみー張力テーブルの「名前」と「定義ファイル名」の行を追加してください。ここでは例として "ADDED TABLE" という名前で作成していますが、分かりやすい名称をつけてください。グループの最後行の次は空行かコメント行としてください。

```

:
ADDED TABLE
ADDED TABLE.dat
#
:
```

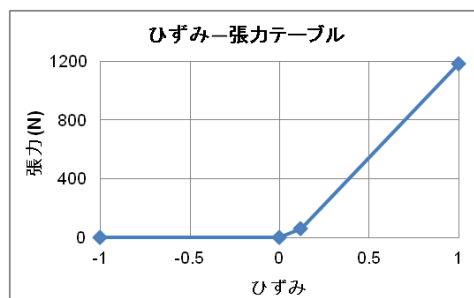
- ④ これ以降は、前ページ「既存のグループに追加する場合」の③、④の手順と同じです。

### 付録3. 3 トラス要素に材料特性が割り当てられる仕組み

トラス要素には、「ひずみー張力テーブル」で定義された材料特性が割り当てられます。この際、一つのトラス要素グループに複数のトラス要素が含まれている場合には注意が必要です。

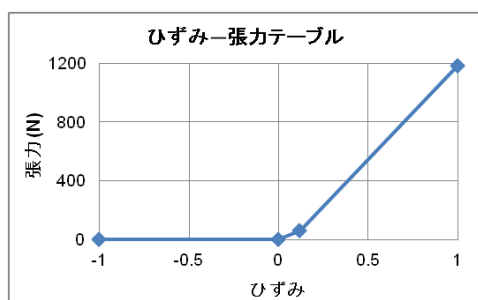
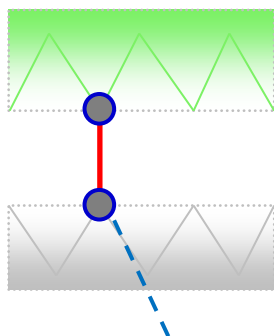
トラス要素に材料特性がどのように割り当てられるのか、以下にご説明いたします。

次のグラフの「ひずみー張力テーブル」が定義されているとします。

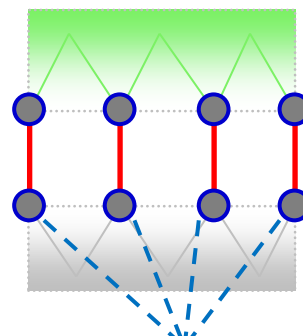


このテーブルを、1本のトラス要素が定義されているグループAに設定した場合と、4本のトラス要素が定義されているグループBに設定した場合、実際に各トラス要素に割り当てられる「ひずみー張力」の関係は次のようになります。

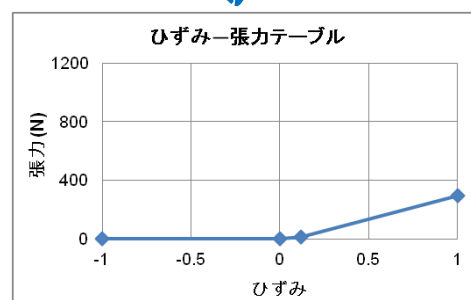
A) 1本のトラス要素が定義されたグループ



B) 4本のトラス要素が定義されたグループ



トラス要素4本なので、  
張力が4分の1



グループ全体として、元に定義されていた「ひずみー張力テーブル」の特性を持つように割り当てられますので、異なる靱帯のトラス要素を同じグループには含めないようにしてください。

また、「ひずみー張力テーブル」で定義した張力を同じグループの複数のトラス要素に設定されたい場合、トラス要素の本数と同じ数値を「トラス張力の倍率」に設定してください。元の張力に「トラス張力の倍率」が掛けられた張力が各トラス要素に割り当てられます。



## 付録4 ソルバー理論

本 S/W に搭載しているソルバー理論について述べます。

<a href="#">付録4. 1 解析種類</a>	解析種類（弾性解析・弾性骨折線予測解析・非線形骨折線予測解析）による破壊処理の違いや、各処理の流れを記述しています。
<a href="#">付録4. 2 有限要素法による 応力解析の定式化</a>	有限要素法の処理手順について述べています。
<a href="#">付録4. 3 平衡方程式の解法</a>	平衡方程式の解法について簡潔に述べています。
<a href="#">付録4. 4 使用要素</a>	本 S/W で扱っている要素タイプとその構成について述べています。
<a href="#">付録4. 5 ひび割れ処理</a>	引張り破壊における内部処理について要素タイプごとに述べています。
<a href="#">付録4. 6 非線形解法</a>	非線形骨折線予測解析の内部処理について述べています。
<a href="#">付録4. 7 接触処理</a>	特殊材料である接触要素組み込み時の処理について述べています。

## 付録4. 1 解析種類

本 S/W のソルバーが持っている解析オプションは下記の通りです。

### ・幾何学的非線形（大変形）

『行わない』を選択・・・微小変形理論に基づく解析を行います。

『行う』を選択・・・大変形を考慮し精度の高い解析を行います。解析に要する時間は長くなります。

### ・材料非線形（ひび・塑性）

『行わない』を選択・・・圧縮破壊（塑性・圧壊）および引張破壊を考慮しません。

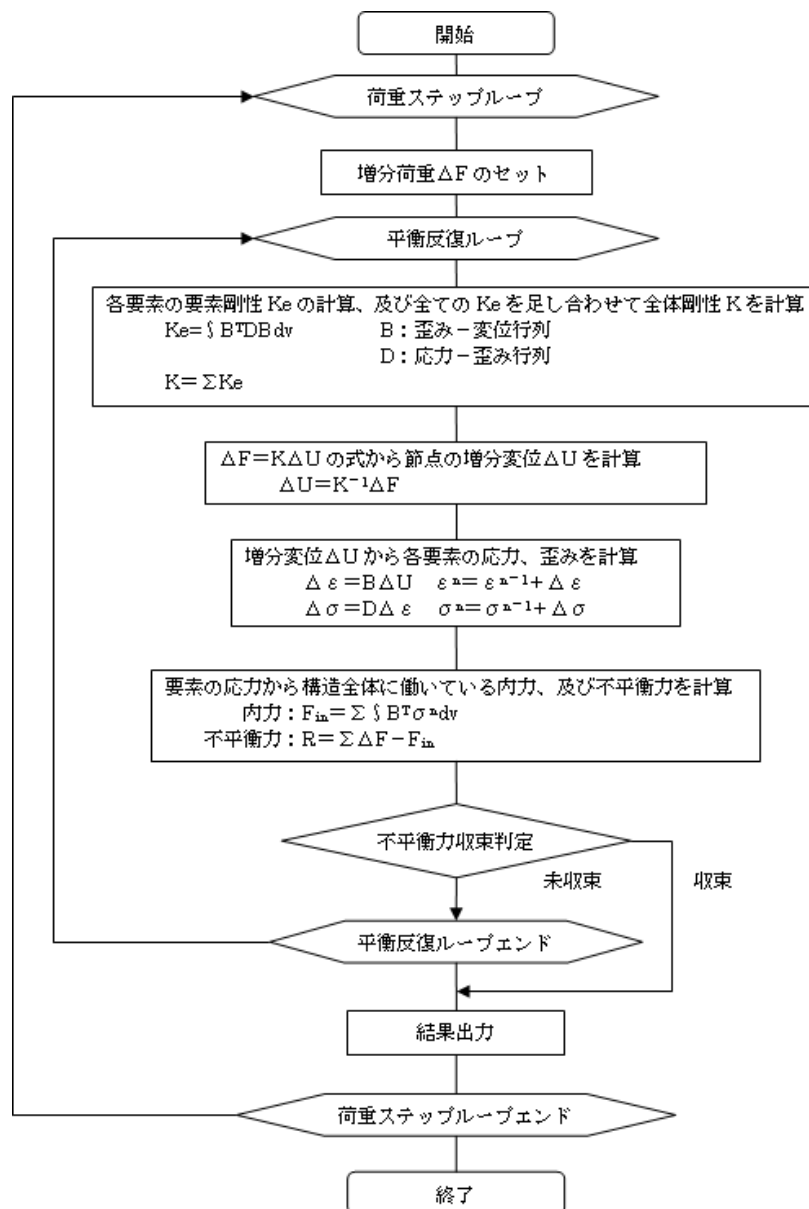
『行う』を選択・・・圧縮破壊および引張破壊を考慮します。

### ・解析種

『静解析』を選択・・・静的な荷重条件による解析を行います。

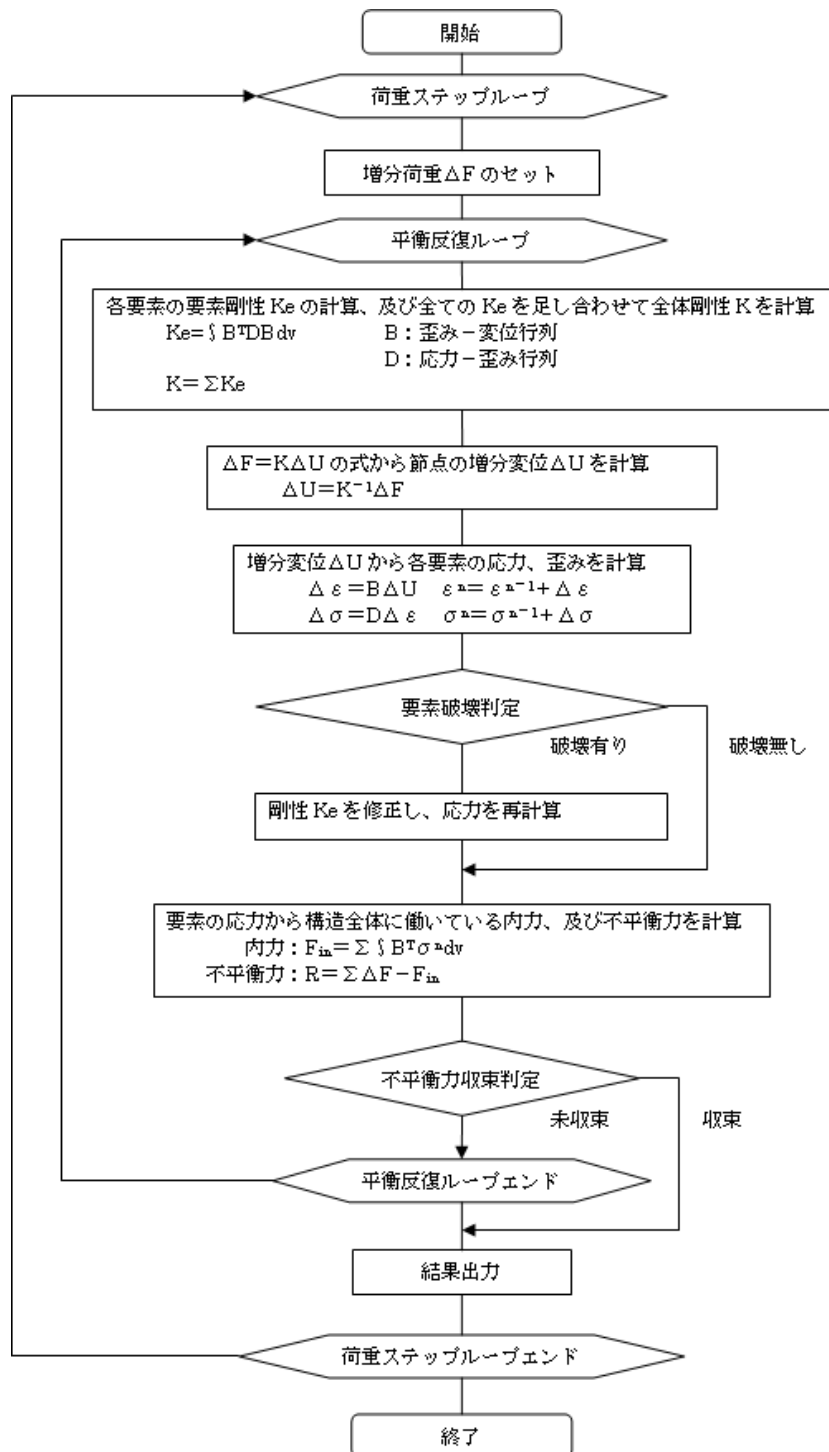
『動解析』を選択・・・慣性を考慮した解析を行います。

付録4. 1. 1 弾性解析

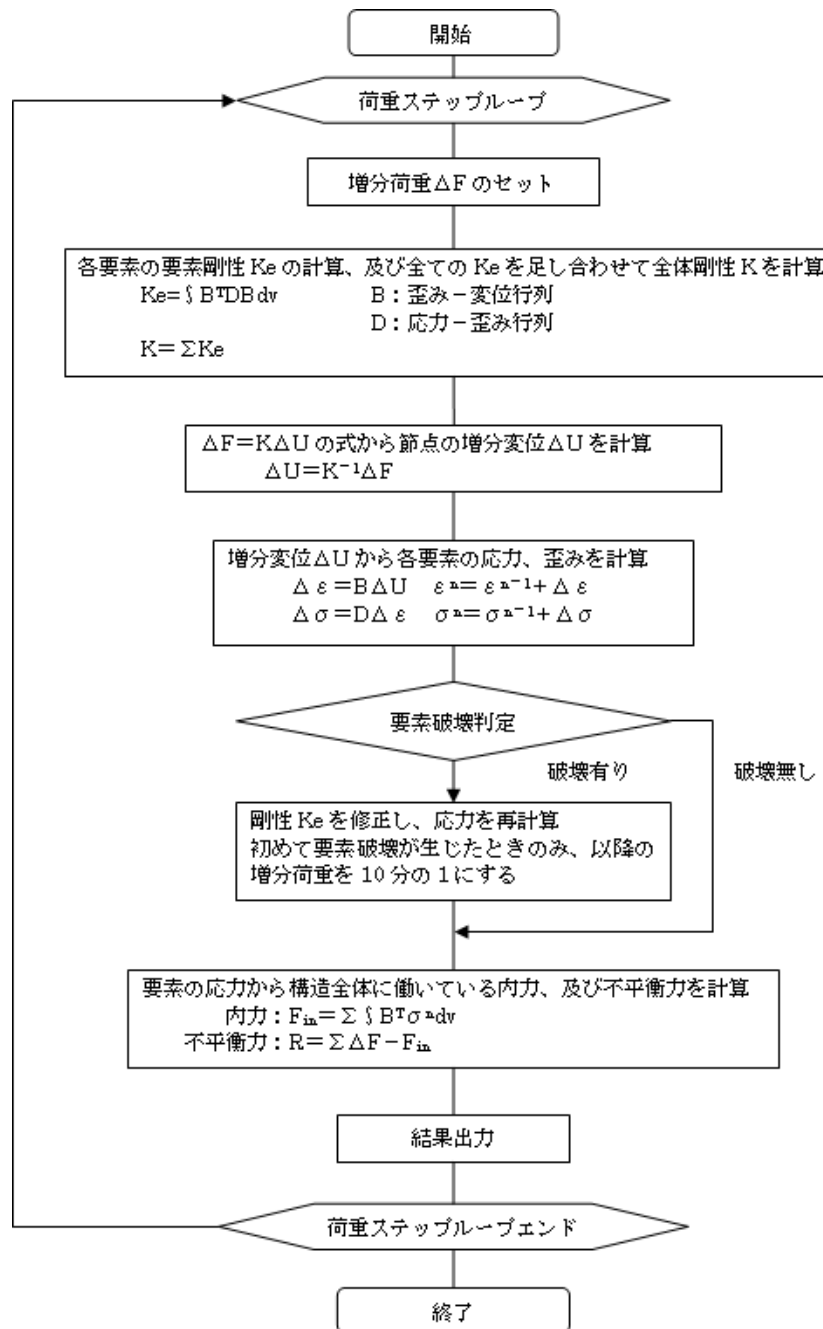


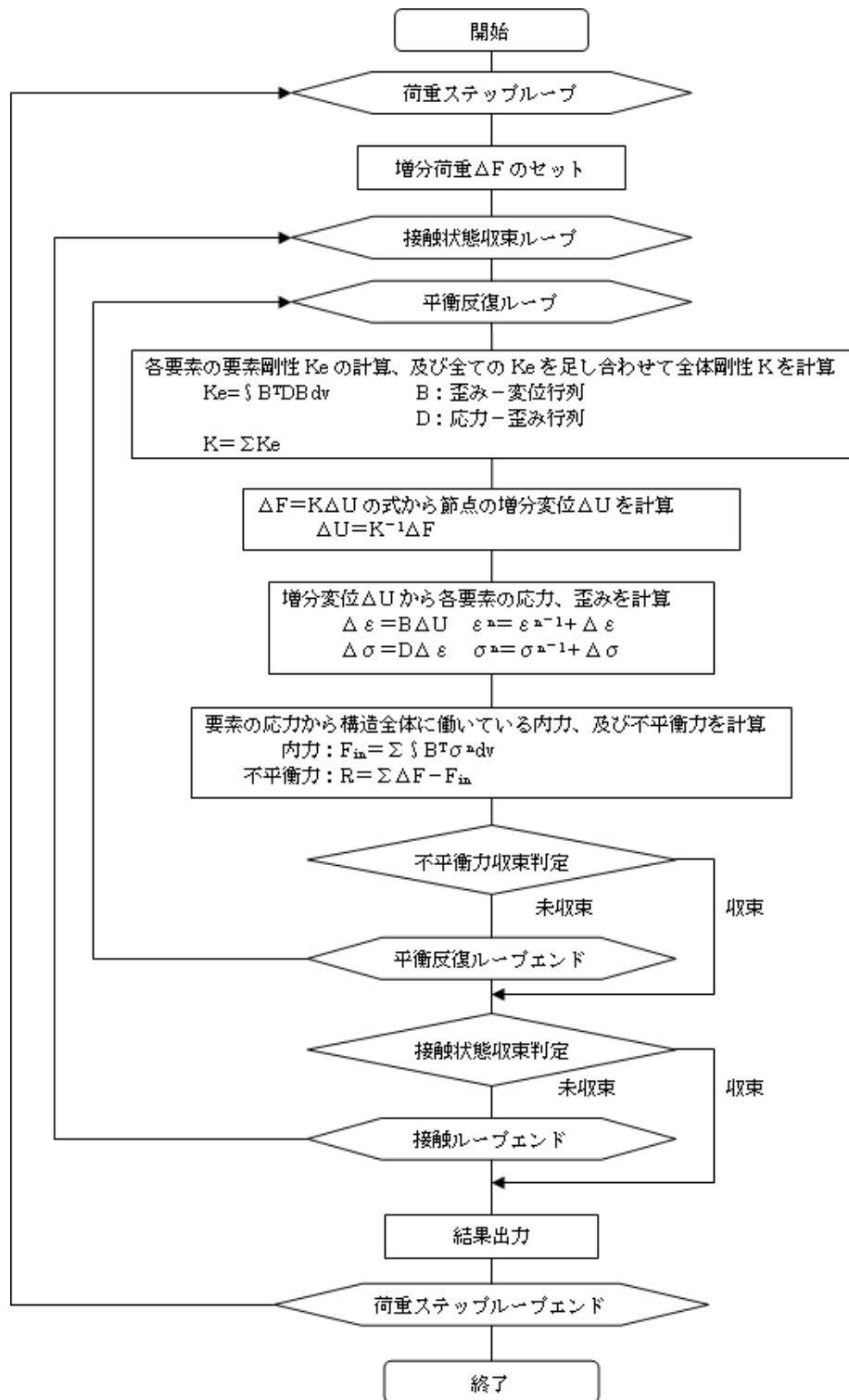
## 付録4. 1. 2 非線形解析

○材料非線形解析 (収束計算選択時)



○材料非線形解析 (サブステップ選択時)





## 付録4. 2 有限要素法による応力解析の定式化

仮想仕事の原理に基づいた定式化の概略を示します。

基礎方程式

- (1) 仮想仕事の原理
- (2) 変位－歪み関係式
- (3) 応力－歪み関係式

仮想仕事の原理は次のように表わすことができます。

$$\int_V \{\boldsymbol{\sigma}\}^T \{\boldsymbol{\epsilon}\} dV - \int_V \delta \{\mathbf{u}\}^T \{\mathbf{P}\} dV - \int_S \delta \{\mathbf{u}\}^T \{\mathbf{P}\} dS = 0 \quad (2.1)$$

但し、 $\{\boldsymbol{\sigma}\}$  は応力、 $\{\boldsymbol{\epsilon}\}$  は歪み、 $\{\mathbf{u}\}$  は変位、 $\{\mathbf{P}\}$  は物体力、 $\{\mathbf{P}\}$  は表面力ベクトルです。

変位－歪み関係は

$$\{\boldsymbol{\epsilon}\} = [\mathbf{A}] \{\mathbf{u}\} \quad (2.2)$$

であり、応力－歪み関係は

$$\{\boldsymbol{\sigma}\} = [\mathbf{D}] \{\boldsymbol{\epsilon}\} \quad (2.3)$$

と表わすことができます。但し、 $\{\boldsymbol{\epsilon}\}$ 、 $\{\boldsymbol{\epsilon}\}$  はそれぞれ全歪み、弾性歪みであり、 $[\mathbf{D}]$  は弾性行列です。

要素内の任意点の変位は節点の変位を用いて補間できるものとし、補間関数を $[\mathbf{N}]$ 、節点変位を $\{\mathbf{d}\}$ とすると変位は次式で表わすことができます。

$$\{\mathbf{u}\} = [\mathbf{N}] \{\mathbf{d}\} \quad (2.4)$$

要素内の歪みは節点変位により

$$\{\boldsymbol{\epsilon}\} = [\mathbf{A}] [\mathbf{N}] \{\mathbf{d}\} = [\mathbf{B}] \{\mathbf{d}\} \quad (2.5)$$

と書けます。ここで $[\mathbf{B}]$ を歪み－変位行列と呼びます。

式 (2.1) に式 (2.3) ～ (2.5) を代入し整理すると次式が得られます。

$$\int_V [\mathbf{B}]^T [\mathbf{D}] [\mathbf{B}] dV \{\mathbf{d}\} = \int_S [\mathbf{N}]^T \{\mathbf{P}_s\} dS + \int_V [\mathbf{N}]^T \{\mathbf{P}_v\} dV \quad (2.6)$$

式 (2.6) は要素の力の釣り合い方程式であり、次のように書くことができます。

$$[\mathbf{K}] \{\mathbf{d}\} = \{\mathbf{f}_s\} + \{\mathbf{f}_v\} \quad (2.7)$$

ここに

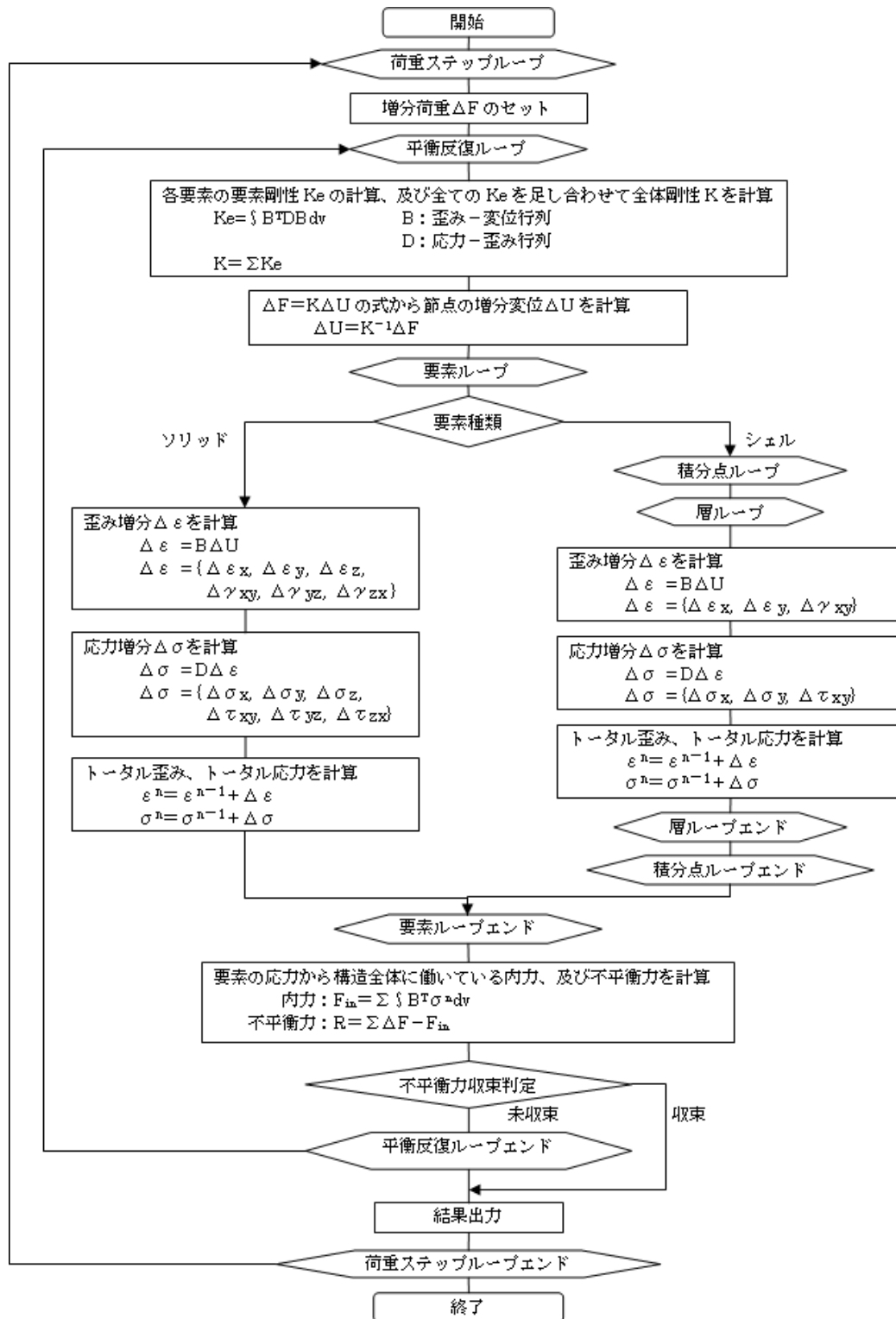
$$[\mathbf{K}] = \int_V [\mathbf{B}]^T [\mathbf{D}] [\mathbf{B}] dV \quad (2.8)$$

$$\{\mathbf{f}_s\} = \int_S [\mathbf{N}]^T \{\mathbf{P}_s\} dS \quad (2.9)$$

$$\{f_v\} = [v_e [N]^T \{P_v\} dv \quad (2.10)$$

式 (2.7) を要素全体について組み立てて構造全体の平衡方程式が作られます。

有限要素法処理手順の  
フローチャート





### 付録4. 3 平衡方程式の解法

構造全体の平衡方程式は変位が既知の部分と未知の部分とに分ける事ができます。

式 (3.1) 中の添字は f が未知の、s が既知の自由度に対応しています。

$$\begin{bmatrix} \mathbf{K}_{ff} & \mathbf{K}_{fs} \\ \mathbf{K}_{sf} & \mathbf{K}_{ss} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \mathbf{d}_f \\ \mathbf{d}_s \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \mathbf{P}_f \\ \mathbf{P}_s \end{Bmatrix} \quad (3.1)$$

$\mathbf{P}_f$  : 与えられた荷重

$\mathbf{P}_s$  : 未知の反力

$\mathbf{d}_f$  : 未知の変位

$\mathbf{d}_s$  : 既知の変位

計算手順は次のように行われます。

$$\mathbf{K}_{ff} \mathbf{d}_f + \mathbf{K}_{fs} \mathbf{d}_s = \mathbf{P}_f \quad (3.2)$$

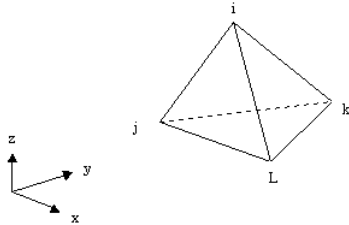
$$\mathbf{d}_f = \mathbf{K}_{ff}^{-1} (\mathbf{P}_f - \mathbf{K}_{fs} \mathbf{d}_s) \quad (3.3)$$

式 (3.3) より未知変位  $\mathbf{d}_f$  が求められますが、行列  $\mathbf{K}_{ff}$  の逆行列を求めるのは計算効率が悪い為、対称行列である事を利用して高速に解く方法の一つである LU 分解を用います。

## 付録4. 4 使用要素

【 4 節点ソリッド要素 】 【 3 節点シェル要素 】 【 ギャップ要素 】 について記述します。

### ・4 節点ソリッド要素



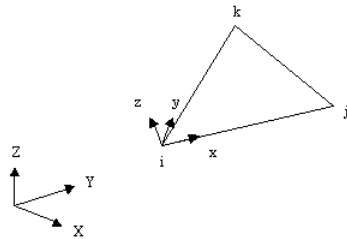
変位自由度 :  $U_x, U_y, U_z$

応力成分 :  $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}$

歪み成分 :  $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z, \gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{zx}$

応力と歪みは全体座標系 6 成分で表示されます。要素内の歪みは一定となります。

### ・3 節点シェル要素



変位自由度 :  $U_x, U_y, U_z, \theta_x, \theta_y, \theta_z$

応力成分 :  $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$

歪み成分 :  $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \gamma_{xy}$

#### (1) 積層シェル

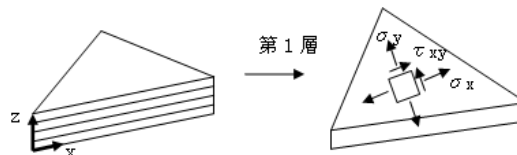
ひび割れや降伏を考慮すると板厚方向の応力分布は線形分布にはなりません。このため板厚方向を層に分割し、各層毎に応力、歪みを求めています。

#### (2) 面外方向軸回り剛性

シェル要素の節点変位自由度は、要素座標系で考えると  $U_x, U_y, U_z, \theta_x, \theta_y$  の 5 自由度です。

要素毎に垂直な軸回りのねじり自由度  $\theta_z$  は、ねじり剛性が曲げ剛性に比べ極端に大きい為、考慮していません。しかし、シェル要素が 3 次元な構造になると全体座標系における変位自由度は 6 成分となります。

この為、シェル要素が同一面内に複数接続されている節点の面外方向回転自由度に仮想剛性を与えて処理をしています。



## ・ギャップ要素

ギャップ要素とは、節点間に定義されるバネ特性を持つ1次元要素です。

ギャップ要素が圧縮するように両節点に変位すると、それぞれの節点に圧縮長さとバネ剛性に応じた反力が生じます。これにより、擬似的に節点間の接触解析を行うことができます。

ギャップ要素の引張方向の変位に対して反力は生じません。

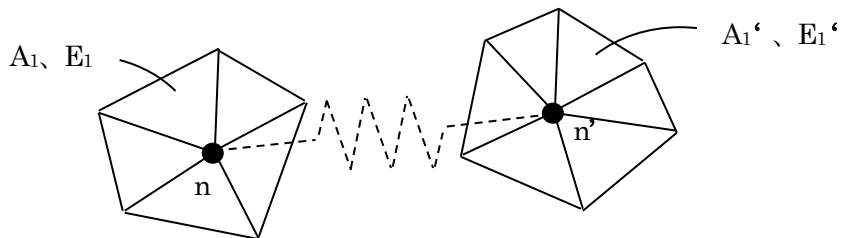
バネ剛性係数は、ギャップ要素の構成節点の周りの要素から算出します。算出方法は次の通りです。

節点  $n$  と  $n'$  がギャップ要素の構成節点になっているとします。それぞれの節点には、それを構成節点とする要素  $e_1 \sim e_5$  と  $e_1' \sim e_6'$  があります。

各要素の接触面の面積をそれぞれ  $A_1 \sim A_5$  と  $A_1' \sim A_6'$  とし、またヤング率を  $E_1 \sim E_5$  と  $E_1' \sim E_6'$  とした時、このギャップ要素のバネ剛性  $E_G$  は以下の式より求めます。

$$E_G = 0.5 \times (\Sigma EA / 3 + \Sigma E'A' / 3) / L$$

(節点の支配面積に要素剛性の和を掛けて平均を取った値)



ここで、 $L$ には要素長さのスケールに関するパラメータを入れます。ギャップ要素のバネ剛性が大きくなると、解析時の不平衡力の収束性が悪くなりますが、接触する節点間の食込み量が小さくなります。不平衡力を収束させつつ食込み量を小さくするように、 $L$ によってバネ剛性の大きさを調整することになります。 $L$ は自動的に決定されます。

## 付録4. 5 ひび割れ処理

弾性骨折線予測解析におけるひび割れ処理について説明します。

### ・ソリッド要素

#### (1) クラック無しの場合

Dマトリックス	等方性とします。
ひび割れ判定方法	$\sigma_1$ と $f_t$ を比較して、 $\sigma_1 > f_t$ になったとき 1 方向クラック発生とします。

$\sigma_1$  第1主応力

$f_t$  引張強度

#### (2) 1 方向クラック

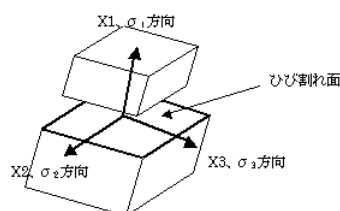
Dマトリックス	1 軸方向の剛性0の直交異方性とします。
---------	----------------------

$$[D] = [Q]^T [D_{123}] [Q]$$

$$[D_{123}] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ X & Y & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & X & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & G' & 0 & 0 & 0 \\ \text{SYM} & & & G & 0 & 0 \\ & & & & G' & 0 \end{bmatrix} \quad \begin{aligned} X &= E / (1 - \nu^2) \\ Y &= \nu E / (1 - \nu^2) \\ G &= E / 2 (1 + \nu) \quad G' = 0.25 G \end{aligned}$$

$$[Q]^T = \begin{bmatrix} L_1^2 & L_2^2 & L_3^2 & 2L_1L_2 & 2L_2L_3 & 2L_3L_1 \\ m_1^2 & m_2^2 & m_3^2 & 2m_1m_2 & 2m_2m_3 & 2m_3m_1 \\ n_1^2 & n_2^2 & n_3^2 & 2n_1n_2 & 2n_2n_3 & 2n_3n_1 \\ L_1m_1 & L_2m_2 & L_3m_3 & L_1m_2+L_2m_1 & L_2m_3+L_3m_2 & L_3m_1+L_1m_3 \\ m_1n_1 & m_2n_2 & m_3n_3 & m_1n_2+m_2n_1 & m_2n_3+m_3n_2 & m_3n_1+m_1n_3 \\ n_1L_1 & n_2L_2 & n_3L_3 & n_1L_2+n_2L_1 & n_2L_3+n_3L_2 & n_3L_1+n_1L_3 \end{bmatrix}$$

$L_1, m_1, n_1$ : X1 軸の方向余弦  
 $L_2, m_2, n_2$ : X2 軸の方向余弦  
 $L_3, m_3, n_3$ : X3 軸の方向余弦



#### (3) 2, 3 方向クラック

2 方向、3 方向クラックは生じません。

### ・シェル要素

#### (1) クラック無しの場合

Dマトリックス	等方性とします。
ひび割れ判定方法	$\sigma_1$ と $f_t$ を比較して、 $\sigma_1 > f_t$ になったとき 1 方向クラック発生とします。

$\sigma_1$  第1主応力

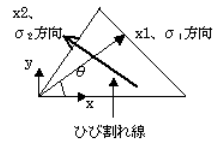
$f_t$  引張強度

#### (2) 1 方向クラックの場合

Dマトリックス 1 軸方向の剛性 0 の直交異方性とします。

$$[D] = [T\sigma]^{-1} [D_{12}] [T\varepsilon]$$

$$[D_{12}] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & E & 0 \\ \text{SYM} & 0 & G' \end{bmatrix} \quad \begin{array}{l} E : \text{ヤング率} \\ G' : 0.25 G \\ G = E / 2 (1 + \nu) \end{array}$$



$$[T\sigma] = \begin{bmatrix} L^2 & m^2 & 2Lm \\ m^2 & L^2 & -2Lm \\ -Lm & Lm & (L^2 - m^2) \end{bmatrix} \quad [T\varepsilon] = \begin{bmatrix} L^2 & m^2 & Lm \\ m^2 & L^2 & -Lm \\ -2Lm & 2Lm & (L^2 - m^2) \end{bmatrix}$$

$$L = \cos \theta, m = \sin \theta$$

$\theta$  : 要素座標系 x 軸と x1 軸のなす角度

(3) 2 方向クラックの場合

2 方向は生じません。

## 付録4. 6 非線形解法

骨の力学挙動としては、引張領域のぜい性破壊（ひび割れ）と圧縮領域の延性破壊（圧縮降伏、圧壊）が考えられます。このような材料非線形性を扱う方法として、荷重を分割して増分させる荷重増分法があります。増分区間内では弾性計算と考える事ができます。

増分法の表示は、

$$[K] \{\Delta d\} = \{\Delta f_s\} + \{\Delta f_v\} \cdots (3.1)$$

と求められ、

ここに

$$[K] = \int_{ve} [B]^T [D] [B] dv$$

$$\{\Delta f_s\} = \int_{se} [N]^T \{\Delta P_s\} ds$$

$$\{\Delta f_v\} = \int_{ve} [N]^T \{\Delta P_v\} dv$$

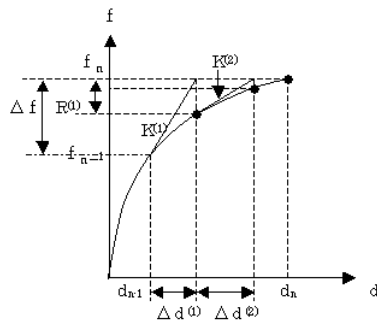


図 3.1 Newton-Raphson iteration scheme

1step 前の状態  $n-1$  では平衡条件を満たしているものとします。

$\Delta f$  の増分荷重に対して、増分開始点で算定した剛性  $K^{(1)}$  により第 1 近似を求めます。

$$d^{(1)}_{n+1} = d_n + \Delta d^{(1)}$$

$$\varepsilon^{(1)}_{n+1} = \varepsilon_n + \Delta \varepsilon^{(1)}$$

$$\sigma^{(1)}_{n+1} = \sigma_n + \Delta \sigma^{(1)}$$

ここで、不平衡力  $R^{(1)}$  を次式より求めます。

$$R^{(1)} = \Sigma \Delta f - \Sigma \int_{elem} [B]^T \sigma^{(1)}_{n+1} dv$$

この不平衡力を次の反復の荷重として不平衡力が充分小さくなるまで繰り返し反復します。

収束判定は次のようになります。

$$\begin{aligned} (1) \quad & \text{solid} \\ & \frac{\|R^{(i)}\|_{n+1}}{\|\Sigma \Delta f\|} < \varepsilon \quad // \quad // : \text{ユークリッドノルム} \end{aligned}$$

$$(2) \quad \text{solid+shell 混在}$$

並進成分

$$\frac{\|R(i)f\|}{n+1} < \varepsilon$$

$R(i)f$  : 不平衡力の並進成分  
 $\Delta f$  : 増分荷重の並進成分

回転成分

$$\frac{\|R(i)m\|}{n+1} < \varepsilon$$

$R(i)m$  : 不平衡力の回転成分  
 $\Delta f$  : 増分荷重の回転成分

## 付録4. 7 接触処理

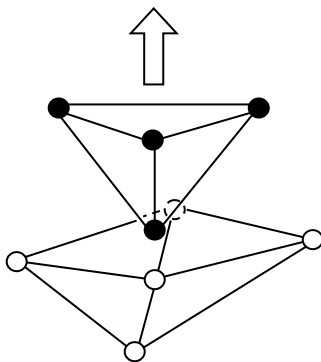
向かい合う要素面が接触面（プライマリ／セカンダリ）として定義されると、セカンダリ節点とプライマリ面との間で接触判定が行われます。この時、セカンダリ節点は以下の4つの状態を取ります。

- 1) 非接触状態
- 2) 点接触状態
- 3) 線接触状態
- 4) 面接触状態

2)～4)の状態では、セカンダリ節点の幾つかの自由度がプライマリ節点に拘束されます。

### (1)非接触

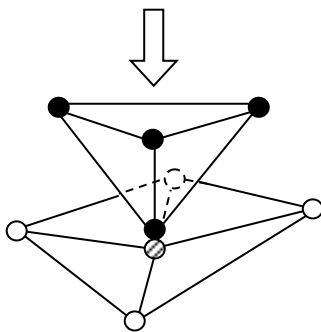
セカンダリ節点がプライマリ面を貫いていない場合、或いはセカンダリ節点の拘束力がプライマリ面から離れる方向を向いている場合、非接触と判定されます。セカンダリ節点とプライマリ面とは干渉し合いません。



### (2)点接触

セカンダリ節点がプライマリ節点に押し付けられる場合、点接触と判定されます。

この時、セカンダリ節点の各自由度はプライマリ節点の同自由度に拘束されます（単点拘束）。

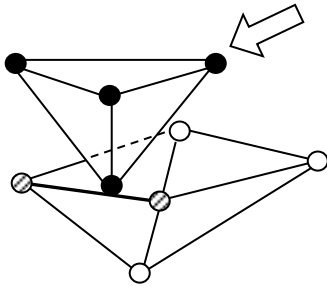




### (3)線接触

セカンダリ節点がプライマリの節点同士を結ぶ線上を滑る場合、線接触と判定されます。

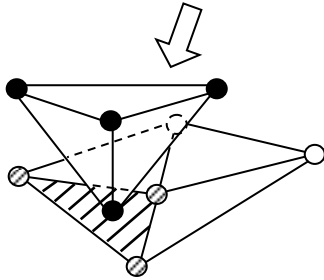
この時、セカンダリ節点の2自由度（線外方向）が、セカンダリ節点の他1自由度及び線両端のプライマリ節点の自由度に拘束されます。



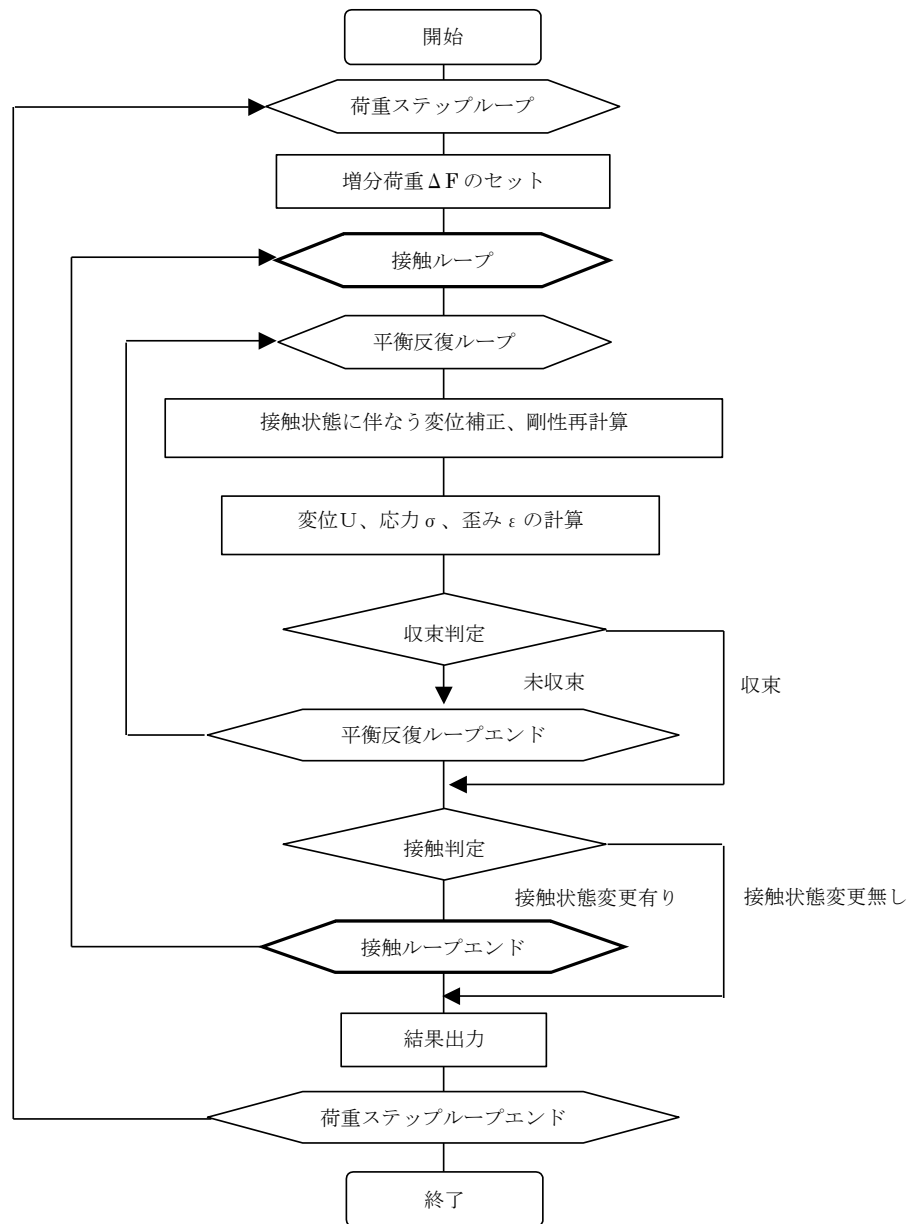
### (4)面接触

セカンダリ節点がプライマリ面上を滑る場合、面接触と判定されます。

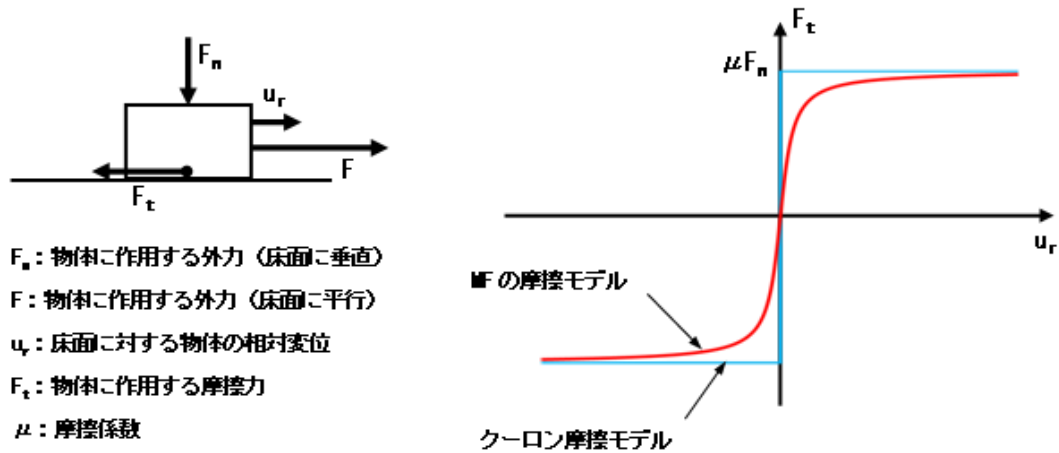
この時、セカンダリ節点の1自由度（面外方向）が、セカンダリ節点の他2自由度及び面を構成するプライマリ節点の自由度に拘束されます。



接触面が定義されたモデルの解析では、平衡反復ループの外に接触ループが入ります。不平衡力の収束を判定した後、接触面の位置関係により接触判定を行います。



接触面では摩擦を考慮することができます。  
摩擦は次のようなモデルで表されます。



左上図のように外力  $F$  を作用させた場合の  $u_r$  と  $F_t$  の関係を右上のグラフに示します。

(1) クーロン摩擦モデル

$F \leq \mu F_n$  の間は、物体は動かず (即ち  $u_r = 0$ )、 $F$  と同じ大きさの摩擦力  $F_t$  が作用します。 $F > \mu F_n$  となったところで物体は動きますが、その時物体に作用する摩擦力は  $u_r$  によらず一定で  $F_t = \mu F_n$  となります。

(2) MF の摩擦モデル

クーロン摩擦モデルを採用すると収束解を得にくい為、MF では右上図の赤線のようなモデルを採用しています。この曲線 は以下の関数で表されます。

$$F_t = \mu F_n \frac{2}{\pi} \arctan \frac{u_r}{u_{r0}}$$

$u_{r0}$  の大きさによって曲線の形は決まりますが、 $u_{r0}$  が小さいほど MF の摩擦モデルはクーロン摩擦モデルに近付きます。 $u_{r0}$  はプログラム内で、計算が収束可能な値に自動設定されています。計算が収束しにくい場合は、デフォルトの  $u_{r0}$  に緩和係数  $\alpha$  をかけ、 $u_{r0}$  を大きくすることで収束性を改善できます。

## 付録4. 8 動解析モデルにおける減衰の指定について

動解析では構造減衰係数を用いて計算します。ここでは構造減衰係数の指定方法について説明します。

- (1) 質量  $m$ 、ばね定数  $k$ 、粘性減衰係数  $b$  から構成される 1 自由度系を考えます。この系の運動方程式は以下の通りです。

$$m\ddot{u} + b\dot{u} + ku = f$$

この系の減衰特性は以下の減衰比（臨界減衰係数に対する減衰係数の比）で決まります。

$$\zeta = \frac{b}{b_{cr}} = \frac{b}{2\sqrt{mk}}$$

$\zeta$  : 減衰比、 $b_{cr}$  : 臨界減衰係数

- (2) 多自由度系の運動方程式は以下の通りです。

$$[M]\{\ddot{u}\} + [B]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{F\} \quad - ①$$

$\{F\}$  がなければ自由振動となります。簡単の為  $\{F\} = \{0\}$  とおき、自由振動で考えます。その解は初期条件から決まり、複数の振動モードの重ね合わせとなります。

- (3) ①式をモード分解します。①式に

$$\{u\} = \sum_{i=1}^N \xi_i \{\phi_i\} = [\phi]\{\xi\} \quad - ②$$

$\{\phi_i\}$  : モードベクトル

$[\phi] : [\{\phi_1\} \quad \{\phi_2\} \quad \cdots \quad \{\phi_N\}]$

$$\{\xi\} : \begin{pmatrix} \xi_1 \\ \xi_2 \\ \vdots \\ \xi_N \end{pmatrix}$$

を代入し、左から  $[\phi]^T$  をかけると

$$[\phi]^T [M] [\phi] \{\xi\} + [\phi]^T [B] [\phi] \{\xi\} + [\phi]^T [K] [\phi] \{\xi\} = \{0\}$$

ここで

$$[\phi]^T [M] [\phi] = \begin{bmatrix} m_1 & \square & \square & \square \\ \square & m_2 & \square & \square \\ \square & \square & \ddots & \square \\ \square & \square & \square & m_N \end{bmatrix}$$

と対角化されます（ $[\phi]^T [B] [\phi]$ ,  $[\phi]^T [K] [\phi]$  も同様）ので、運動方程式はモード分解され

$$m_i \ddot{\xi}_i + b_i \dot{\xi}_i + k_i \xi_i = 0$$

となります。これを解いて  $\xi_i$  を②に代入すれば、振動モードを重ねあわせた形で①の自由振動解が得られます。

- (4) MECHANICAL FINDER の減衰モデルでは  $[B] = C_K [K]$  としていますので、各モードの減衰比は

$$\zeta_i = \frac{b_i}{2\sqrt{m_i k_i}} = \frac{C_K k_i}{2\sqrt{m_i k_i}} = \frac{C_K}{2} \sqrt{\frac{k_i}{m_i}} = \frac{C_K}{2} \omega_i$$

となり、減衰比は各振動モードの固有角振動数に比例します。すなわち、各モードベクトルの重ね合わせで得られるところの  $\{u\}$  において、固有角振動数の大きいモードほど早く減衰することになります。

- (5) 減衰の指定方法

支配的な振動モード（ $\xi_i$  の大きいモード、通常は  $i=1$ ）で、意図する減衰比になるよう  $C_K$  を決めます。すなわち

$$\zeta_i = \frac{C_K}{2} \omega_i$$

より

$$C_K = \frac{2\zeta_i}{\omega_i}$$

$\zeta_i$  : 意図する減衰比,  $\omega_i$  : 支配的な振動モードの固有角振動数

(6) 減衰無し（構造減衰係数=0）とした場合、接触処理などにより生じる高調波の振動を抑える為、最小限の減衰がデフォルトで作用するようにしています。すなわち

$$\omega_{i,max} = \left( \frac{\pi}{l} \sqrt{\frac{E}{\rho}} \right)_{max}$$

$\omega_{i,max}$  : 要素の固有角振動数の最大値

$l$  : 要素サイズ

$E$  : 要素のヤング率

$\rho$  : 要素の密度

より、このモードで  $\zeta_i = 1$  となるよう、以下のようにデフォルトの  $C_K$  を決めています。

$$C_K = \frac{2 \cdot \zeta_i}{\omega_i} = \frac{2 \cdot 1}{\omega_{i,max}}$$

## 付録5 F A Q

この章では、本 S/W である『MECHANICAL FINDER』の各処理毎の FAQ を記述します。

## 付録5. 1 DICOM データ・画像ファイルについて

### Q1. 読み込める DICOM データの種類は？

A1. 下記の DICOM 形式が入力画像として適します。

- 1) X線 CT 装置による画像。(MRI 装置でも可)
- 2) グレースケール出力されたもの。(ネガは不適当)
- 3) 非圧縮画像として格納されたもの。
- 4) 1 スライスを 1 ファイルとして格納されたもの。
- 5) ハンスフィールド単位 (Hounsfield Unit) として出力されたもの。

ただし、材料特性設定時に CT 値を参照しない場合は、MRI 装置のデータやネガグレースケール、ハンスフィールド単位でないデータでも構いません。

本インターフェースは、同じディレクトリ内にある同じシリーズインスタンス UID (tag=0x0020, 0x000e) のファイルを自動的に収集し、スキャン位置順に読み込みます。

ゆえに、CT 撮影時に異なる撮影データを同じシリーズインスタンス UID として同じディレクトリに格納した場合は、正常に処理できません。

その場合は、格納ディレクトリを分けるか、異なるシリーズインスタンス UID として格納してください。

### Q2. 画像ファイル (BMP・JPEG・TIFF) の値は、どのように変換されますか？

A2. 下記のように調整されます。

(BMP・JPEG・TIFF16 ビット階調ではない場合)

- ・カラー画像は、グレースケール画像に変換されます。
- ・大きさ(縦横ピクセル数)が異なる画像に関しては、一番小さい画像サイズに調整します。
- ・積み重ね方向(Z軸方向)は、等間隔に積み重ねられます。
- ・数値範囲は、0 から 255 までの 256 階調として変換されます。

(TIFF16 ビット階調の場合)

- ・大きさ(縦横ピクセル数)が異なる画像に関しては、一番小さい画像サイズに調整します。
- ・積み重ね方向(Z軸方向)は、等間隔に積み重ねられます。
- ・数値範囲は、16 ビット階調のまま変換されます。

### Q3. アーティファクトが発生している画像の弊害は？

A3. 下記の弊害が考えられます。

- ・ROI 抽出時の操作が多くなり、形状抽出が行いにくくなる。
- ・材料特性設定において不均質材料選択をすると、アーティファクト部が硬い材料に設定される。対策については [『付録5. 4 解析メッシュ条件・材料特性について』](#)をご参照ください。

### Q4. ガントリチルトにより傾斜している DICOM データの弊害は？

A4. 本 SW では、3次元化する際にガントリチルト角度による再計算3次元化は行っておりません。

ゆえに、3次元化した際にはガントリチルト角度分だけ形状が変形する事になります。

ガントリチルト角度が無い DICOM データをご使用ください。

また、ガントリチルト角度がある DICOM データは、DICOM 変換時に情報表示するようになっております。

Q5. 医用 CT と歯科用 CT の違いによる注意点とは？

A5. 医用 CT と歯科用 CT の大きな違いは、一般的に、出力濃度値がハンスフィールド単位 (Hounsfield Unit) で出力されているかどうかとなります。

歯科用 CT の出力濃度値はハンスフィールド単位でないものがほとんどであるため、材料特性設定時に CT 値を参照して材料特性を決める不均質材料設定を行っても、材料特性が正しく求まりません。

歯科用 CT で撮影したデータを元に不均質材料による解析を行う場合は、撮影時に骨量ファントムのような指標となるものを撮影し、「ROI・ファントム」メニューでキャリブレーション設定を行っていただく必要があります。



## 付録5. 2 ROI・ファントムについて

### Q1. 骨のどの部分を抽出すれば良いのでしょうか？

- A1. 解析を行いたい部位の皮質骨・海綿骨・骨梁を含めた骨全体を抽出するようにします。

[『5. 1. 1 ROI抽出領域について』](#)を参照ください。

また、本S/Wで解析するには、形状の全ての要素が繋がっている必要があります。

従いまして、解析メッシュとして最終的に離散形状データが出ないようにしてください。

ただし、強制変位や初速による接触解析を行う場合はこの限りではありません。

### Q2. ファントム設定はすべきなのでしょうか？

- A2. [『付録3 材料特性』](#)にあるように、ファントム設定を行わない場合は、撮影されたCT装置のX線管電圧は125 [kVp] であると仮定して密度計算を行います。

従いまして、撮影されたCT装置のX線管電圧の値が異なっている場合は、密度計算値も異なります。

またX線管電圧以外でも、

- 1) 撮影したCT撮影装置をDICOMファイルにする際にデータ変更（再構成）が行われている場合。
- 2) CT撮影装置の劣化が認められるとき。
- 3) ボルト等の金属が同時に撮影されている場合。
- 4) ハンスフィールド単位で出力されない歯科用CTで撮影されている場合。

等でもDICOMデータ濃度値が異なる可能性があり、密度計算が正確にならない場合があります。

したがってファントムを同時に撮影できる環境であれば、ファントム設定していただく方が、より正確な材料設定を行えることになります。

また、ファントムが撮影されていない条件でも密度値をコントロールしたい場合に、ファントム設定を使用していただくことも可能です。（例えば、皮質骨をXXXmg/cm<sup>3</sup>、海綿骨をXXXmg/cm<sup>3</sup>というように決めてキャリブレーションを行います）

#### 【ファントムとは】

骨塩定量ファントム・骨量ファントムと呼ばれている装置であり、装置内にはRODと呼ばれるハイドロキシアパタイト相当の物が複数配置されており、それぞれのRODは密度が異なります。

X線吸収量が骨部構成に近い物質であるハイドロキシアパタイト相当であること・既知の密度値であること・複数の密度値を用意していることにより、CT画像からの骨部密度計算が正確に求めることができます。

### Q3. 『AI ROI』機能の詳細を知りたい。

- A3. 『AI ROI』機能では深層学習を用いた骨の自動抽出を行います。大腿骨／椎骨のセグメンテーションには下記論文にリンクが示されているモデルを使用しております。論文にご使用の際はこちらの引用をお願いします。

#### ○大腿骨セグメンテーション

Uemura, K., Otake, Y., Takao, M. et al. Development of an open-source measurement system to assess the areal bone mineral density of the proximal femur from clinical CT images. Arch Osteoporos.(2022).

<https://doi.org/10.1007/s11657-022-01063-3>

#### ○椎骨セグメンテーション

Payer, C. et al. Coarse to Fine Vertebrae Localization and Segmentation with SpatialConfiguration-Net and U-Net. Proceedings of the 15th International Joint Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications; 2020 Feb 27-29. Valletta, Malta. VISAPP; 2020. Volume 5:124-133.

<https://doi.org/10.5220/0008975201240133>

Uemura, K. et al. Development of a system to assess the two- and three-dimensional bone mineral density of the lumbar vertebrae from clinical quantitative CT images. Arch Osteoporos. (2023).  
<https://doi.org/10.1007/s11657-023-01216-y>

Cheng, Z. et al. Fully Automatic Vertebra Segmentation for Spine and Pelvis Alignment Analysis in a Large-scale CT Database. Proceedings of Biological Imaging and Medical AI; 2020 May 10. JSMBE; 2020. Abstract no.7.  
[http://biomedimg.umin.jp/2ndMAI\\_proceedings\\_v2.pdf](http://biomedimg.umin.jp/2ndMAI_proceedings_v2.pdf)

## 付録5. 3 メッシュ生成について

### Q1. メッシュ形状が良くないのですが。

A1. 原因はいくつか考えられます。

#### ●外形メッシュ上の要因

- ①『[外形メッシュ](#)』において、「外形メッシュサイズ」の数値が大きすぎると、形状の良いメッシュは生成されません。外形メッシュは内部メッシュ生成前の参照形状として使用するものであり、実際の内部メッシュ数は、『[内部メッシュ設定](#)』の「メッシュ基準サイズ」(fTetWild)や「最小サイズ」(ANSYS ICEM CFD)に依存します。従いまして、「外形メッシュサイズ」の数値には、正しい形状になるような数値を設定するように心がけてください。
- ②『[外形メッシュ](#)』のアルゴリズムは曲面構築を前提としている為、平面的な形状には適しません。「外形メッシュサイズ」を小さく設定しても良くならない可能性があります。その際には、「等値面メッシュ」で外形を作ることによって形状が良くなる場合がございますので、参考にしてみてください。
- ③DICOM で撮影されたスライス間距離が大きいと、『[外形メッシュ生成](#)』でメッシュを生成してもスライス間の段差(ジャギー)が現われてメッシュ形状が良くならない場合があります。そのような場合は、『[外形メッシュ生成](#)』内の補間処理を適用してください。スライス間の段差が解消されることがあります。

#### ●内部メッシュ上の要因

- ①『[内部メッシュ設定](#)』内のパラメータ「メッシュ基準サイズ」(fTetWild)や「最小サイズ」(ANSYS ICEM CFD)の数値が大きすぎる可能性があります。少しずつ数値を下げて、適当な内部メッシュ数と形状になるように調整してください。
- ②インポート形状が角(エッジ)を持っている形状の場合、『[内部メッシュ設定](#)』のパラメータ「形状のエッジを維持する」トグルを ON にする必要があります(ANSYS ICEM CFD)。OFF のままですと内部メッシュ生成後の形状は角のとれた丸い形状になる可能性が有ります。

### Q2. メッシュ生成のアルゴリズムは何ですか？

A2. 使用するエディション、設定によって異なります。

#### (1)Standard Edition の場合

外形メッシュをベースとして Advancing Front 法を用いてソリッド要素を生成します。外側形状を保持します。

#### (2)Extended Edition の場合

初期値設定より以下のメッシャーのいずれかを選択します。

##### ○fTetWild (※)

Delaunay 法を用いてソリッド要素を生成します。外側形状を保持せず、内部メッシュの生成に応じて更新します。(※)

Yixin Hu, Teseo Schneider, Bolun Wang, Denis Zorin, and Daniele Panozzo. 2020. Fast tetrahedral meshing in the wild. ACM Trans. Graph. 39, 4, Article 117 (July 2020), 18 pages.

##### ○ANSYS ICEM CFD

Octree 法を用いてソリッド要素を生成します。外側形状を保持せず、内部メッシュの生成に応じて更新します。

### Q3. インプラントを挿入したメッシュ生成で、メッシュが生成されない箇所が発生するのですが。

A3. 外形メッシュやインポートグループにおいて、各面が近接している場合に起こります。

対応方法として以下の方法が考えられます。

- ・『[内部メッシュ設定](#)』の「メッシュ基準サイズ」(fTetWild)や「最小サイズ」(ANSYS ICEM CFD)を小さくします。
- ・インポート形状の挿入時、挿入する部位に挿入形状の切削を行わないようにします。
- ・インポート形状は簡素な形状のものにします。

『[6. 6 メッシュ・インポートの基本](#)』を参考にしてください。

## 付録5. 4 解析メッシュ条件・材料特性について

Q1. シェル要素の厚さ (mm) は、上層・中層・下層のシェル要素間のどの厚さを示すのですか？

A1. シェル要素の厚さ (mm) とは、上層から下層までの厚さを示しています。例えば設定値が 0.5mm であれば、上層と中層までは 0.25mm・中層と下層までは 0.25mm となり、上層から下層までが 0.5mm ということになります。

Q2. シェル要素をソリッド要素表面に貼り付ける構造のメリットとは？

A2. 主に2つの利点があります。

①皮質骨を模擬するため

たとえば、大腿骨の骨頭部のように非常に薄い皮質骨で覆われている骨の場合、この皮質骨をソリッド形状で表現するには膨大な数の小さなメッシュ要素が必要であり、解析が非常に困難になります。かといって、この皮質骨の材料特性を加味せず解析を行いますと、実際の大腿骨強度よりも低い強度で解析することとなり、問題があります。そこで、ソリッド表面にシェル要素を貼り付け、シェル要素に皮質骨材料を与えて皮質骨を模擬することで強度を保つようにします。

②ソリッド表面の応力走査や骨折線方向を解かりやすく把握するため

たとえば、ソリッド要素表面に非常に薄い (0.1mm など) シェル要素を貼り付け、シェル要素の材料として隣接ソリッド要素と同じ材料を割り当てると、強度的にはほとんど変わらない解析要素が出来上がります。それを解析し結果を表示しますと、要素表面の応力方向の表示 (テンソル表示) や骨折線方向と進行が非常にわかりやすく表示されるようになります。この解析結果はシェル要素で求められた数値をそのまま表示していますので、ソリッド要素から補間処理によって表面を求めた場合に比べ、正確かつなまりの少ない解析結果となります。

Q3. ヤング率とは？

A3. 横軸をひずみ、縦軸を応力として XY グラフを描いた時の傾斜 (比例定数) をヤング率と定義します。ヤング率が大きい (傾斜がきつい) 程硬い材料を表わし、ヤング率が小さい (傾斜がゆるやかな) 程軟らかい材料を表わします。(式  $\sigma = E \varepsilon$  における  $E$  をヤング率と定義します。)

Q4. ポアソン比とは？

A4. 引張荷重あるいは圧縮荷重時における横ひずみと縦ひずみの比を表わします。

例えば、x 方向に荷重を掛けた場合、

$$v_{xy} = - (e_y / e_x)$$

$$v_{xz} = - (e_z / e_x)$$

の  $v_{xy}$ 、 $v_{xz}$  をポアソン比と定義します。等方性の場合は、 $v_{xy} = v_{xz}$  です。

Q5. 降伏応力とは？

A5. 圧縮方向の応力において、弾性限度となる応力値です。

(引張方向に関しては、初期値では降伏応力に達する前にひび割れが発生するように臨界応力 (後述) を設定しています。よって本 S/W では、引張方向に関しては降伏応力を考慮しません。) 圧縮方向への荷重時に、相当応力値がこの降伏応力値を超えた場合、その要素は塑性状態に入ります。

Q6. 臨界応力とは？

- A6. 引張方向の応力において、ひび割れ限度となる応力値です。  
引張方向への荷重時に、主応力が臨界応力値を超えた場合にクラック（ひび割れ）が発生します。  
本 S/W では最大主応力が臨界応力を超えた場合にクラック発生と定義し、クラック方向は主応力の方向に対して垂直となります。

Q7. 応力緩和係数とは？

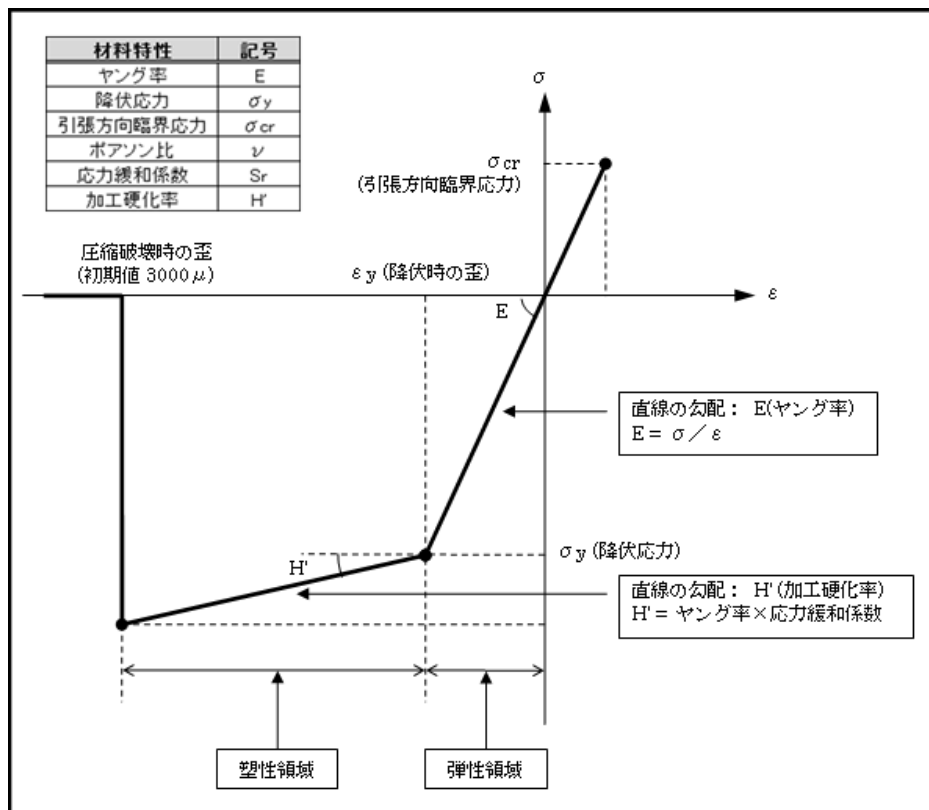
- A7. 「加工硬化率」と呼ばれる数値を求めるために使用します。  
横軸をひずみ、縦軸を応力として XY グラフを描いた時に、ヤング率は一定の傾きの直線（一次方程式）で表されますが、要素が圧縮方向の荷重によって塑性状態に入ると、ヤング率と呼ばずに「加工硬化率」と呼ばれ下記の計算式で計算されるようになります。  
「加工硬化率 (HO')」＝ヤング率×応力緩和係数

Q8. 降伏基準とは？

- A8. 多軸応力下における材料の降伏状態を規定する基準の事を言い、以下の特徴があります。
- ・Von-Mises（ミーゼス・モデル）（※他材料の初期値）  
延性材料を使用したモデルに対して一般的に使用されています。
  - ・Drucker-Prager（ドラッカー・プラッター・モデル）（※骨材料の初期値）  
脆性材料を使用したモデルに対して使用されます。

Q9. 圧壊ひずみとは？

- A8. 塑性状態から圧縮破壊にいたるときの最小主ひずみの基準数値であり、塑性状態の要素の最小主ひずみがこの数値を超えた場合（言い換えれば圧縮方向に指定値のひずみが発生した時）に、圧縮破壊（圧壊）となります。



- Q10. アーティファクト画像において不均質材料設定を行うと、密度値・ヤング率等が非常に高くなってしまいます。対処方法は無いでしょうか？
- A10. アーティファクト画像の発生部は、DICOM データの数値が非常に高くなります。そのまま不均質材料として密度の換算式を用いると、本来の数値とは大きく異なる密度値やヤング率等が割り当てられてしまいます。対処方法として、[『8.1 材料特性について』](#)の「密度」の項目で「密度の上限を設定する」をONにして骨密度の上限となる密度値を入力する事により、密度値が非常に高く設定されるといった弊害を軽減することができます。

## 付録5. 5 解析について

### Q1. 使用されている解析手法は？

A1. 有限要素法の変位法を使用しております。

(市販されている有限要素法汎用プログラムのほとんどが、変位法を使用しております。)

また、本 S/W では次に示す解析手法をご使用いただけます。

- |            |   |   |
|------------|---|---|
| 材料非線形解析の考慮 | : | ひび割れ、塑性を考慮するか否かを選択できます。   |
| 大変形解析の考慮   | : | 幾何学的非線形を考慮するか否かを選択できます。<br>モデルが大きく変形する、あるいは回転する場合は、これを考慮することでより現実に近い結果が得られます。 |
| 動解析の考慮     | : | 慣性を考慮するか否かを選択できます。<br>瞬間的な衝撃荷重を再現する場合、これを考慮することでより現実に近い結果が得られます。              |

### Q2. 解法種別の違いとは？

A2. 解析時の方程式を解く方法に直接法を用いるか反復法 (CG 法) を用いるかの違いになります。さらに、直接法では、PARDISO か、アウトコアにも対応したソルバーから選択し、反復法では CPU で計算するソルバーか、GPU を利用するソルバーから選択できます。求まる結果は十分な精度で同じになりますが、直接法の方が収束しやすいため完全破断時の判定ステップに差が出る場合があります。

モデルに対する性能比較は以下のようになります。

- |                   |   |   |
|-------------------|---|---|
| 直接法 (マルチコア対応)     | : | メモリ使用量が多い。PARDISO の利用。<br><直接法 (アウトコア対応) > よりも高速に処理します。   |
| 直接法 (シングルコア)      | : | メモリ使用量が多い。<直接法 (マルチコア対応) > で必要メモリを確保できない場合、こちらを使用して下さい。   |
| 反復法 (CG 法)        | : | メモリ使用量が少ない。比較的大きなモデル時に使用して下さい。  |
| 反復法 (CG 法・GPU 対応) | : | メモリ使用量が少ない。NVIDIA 製 GPU を搭載している場合、こちらを使用すると<反復法 (CG 法) > よりも高速に処理します※。<br>※搭載している GPU の性能や、解析内容の収束のしやすさによります。<br>※計算できるモデルの大きさは GPU のメモリによります |

参考までに、sample.sys、sample2.sys、dynamic.sys を解析した時の計算時間の比較を示します。

計算環境： Windows XP 32bit  
Intel Core2 Quad Q9650 3.0GHz  
NVIDIA GeForce GTX 580

解析種別	sample.sys	sample2.sys	dynamic
直接法 (マルチコア対応) 1 コア	317.7 s	17.4 s	79.6 s
直接法 (マルチコア対応) 4 コア	228.2 s	12.0 s	54.8 s
直接法 (シングルコア)	661.4 s	24.0 s	100.9 s
反復法 (CG 法)	1392.5 s	124.1 s	207.1 s
反復法 (CG 法・GPU 対応)	269.2 s	12.6 s	60.1 s

### Q3. 「コンター図」「スカラー選択」内にある「相当応力」とは MISES 相当応力のことでしょうか？

A3. 本 S/W の相当応力は、材料特性設定時の降伏基準により決定されます。

- ・降伏基準に「Von-Mises」を選択した材料は、MISES モデル相当応力。
- ・降伏基準に「Drucker Pragger」を選択した材料は、「Drucker Pragger」モデル相当応力。

Q4. 破壊について詳しく知りたいのですが

- A4. シェル要素あるいはソリッド要素の破壊種別には「引張破壊」と「圧縮破壊」があり、[『11. 6 解析結果の表示』](#)の「破壊要素図」にて状態が表示できます。引張破壊と圧縮破壊については以降をご参照ください。

Q5. 引張破壊について詳しく知りたいのですが

- A5. 「破壊要素図」では、クラック（ひび割れ）として表示されます。シェル要素上では、方向をもつ線として表示され、ソリッド要素では方向をもつ平面として表示されます。  
（クラックに関しては、「付録5. 4 材料特性・ファントム設定について Q4. 臨界応力とは？」を参照して下さい。）

Q6. 圧縮破壊について詳しく知りたいのですが

- A6. 「破壊要素図」では、要素粋が線画として表示されます。  
シェル要素では三角形の面画として、ソリッド要素では三角錐の線画として表示されます。塑性時に黄色、圧壊時は赤色として表示されます。圧縮破壊は、塑性状態において最小主ひずみが材料特性の圧壊ひずみ数値（初期値 10000）を超えた場合（言い換えれば圧縮方向に圧壊ひずみ以上のひずみが発生した時）に、圧縮破壊（圧壊）となります。

Q7. 「コンター図」「スカラー選択」内にある「引張破壊リスク (%)」「降伏リスク (%)」について詳しく知りたいのですが

- A7. 「引張破壊リスク (%)」は、要素にクラック（ひび割れ）が発生している場合には 100%を、そうでない場合は、最大主応力×100／臨界応力値で計算された値であり、引張破壊に達するまでの割合 (%) を表わします。  
「降伏リスク (%)」は、要素が塑性あるいは圧壊が発生している場合には 100%を、そうでない場合は相当応力×100／降伏応力値で計算された値であり、塑性に達するまでの割合 (%) を表わします。  
本 S/W では不均質材料（骨部）の解析処理を主としているため、破壊にいたる応力数値は要素毎に異なります。その様な場合において、破壊に至る数値を要素によらない一律の基準として表現しているのがこれらの項目です。

（注意）材料非線形解析では、1つの要素は1つの破壊状態しか持つことができません。このため、例えば「引張破壊が起こった後、降伏リスクが 100%に達した」場合には、降伏リスクが 100%を超えることがありますが、この場合の 100%を超えた数値には意味がありません。

一方、材料線形解析（破壊を考慮しない解析）における 100%を超えた引張破壊／降伏リスクは、「要素破壊に至らない荷重値」を検討する際に有用です。

Q8. 解析が途中で止まるがありますが、これは骨が骨折したという理解でよろしいですか？

- A8. 荷重ステップ途中における解析の停止は、モデルの形状や材料特性が解析に適さなくなることで起き、「骨折」とは無関係です。  
本 S/W では、「骨折」という状態を明確に定義してはおりません。  
解析することによって、要素個々の引張破壊・圧縮破壊の情報（個数・個所・状態など）は保持しておりますので、これを「骨折」という状態を判断する際の目安にしてください。（表示機能上では「骨折図」をご参考ください）



## 付録6 エディション間の比較

本SWには、目的に応じて以下の2つのエディションが存在します。

- ・スタンダードエディション

単骨を対象とする有限要素法解析を目的としたエディションです。

- ・エクステンデッドエディション

インプラント等を仮想挿入した有限要素法解析を目的としたエディションです。

これらエディション間の違いについては、以下の表をご参照ください。

MECHANICAL FINDER version13 エディション別機能一覧		
項 目	スタンダード・エディション	エクステンデッド・エディション
<b>【 入力ファイル 】</b>		
DICOM形式	○	○
BMP・JPEG・TIFF 形式からの構築	○	○
<b>【 ROI等 】</b>		
2D-ROI抽出・3D-ROI抽出・エフェクト処理	○ (1グループのみ)	◎ (最大7グループまで)
骨量ファントム設定 (材料特性計算用)	○	○
<b>【 メッシュ生成 】</b>		
メッシュ生成	○ (単骨のみ対応)	◎ (インプラント等の重複状態でのメッシュ生成可能)
異なる部位間にまたがるメッシュ生成	×	○
部位ごとのメッシュサイズ変更	×	○
インプラント等の挿入	×	○
マルチコアメッシング	×	○
<b>【 解析材料 】</b>		
骨部に特化した材料特性(不均質材料)	○	○
不均質材料特性を持つ骨部の姿勢変更	×	○
一般部材の材料特性(均質材料)	○ (メッシュ形状依存)	◎
ゴム材料の材料特性(均質材料・大変形用)	○ (メッシュ形状依存)	◎
ひずみー張力の関係をもつトラス材料	×	○
<b>【 荷重拘束 】</b>		
荷重拘束条件・強制変位条件	○	○
初速設定(動解析用)	×	○
<b>【 解析 (有限要素法解析) 】</b>		
解析 (弾性解析・材料非線形解析)	○	○
接触解析	×	○
動解析	○ (初速設定なし)	◎
大変形解析	○ (メッシュ形状依存)	◎
<b>【 外形状出力 】</b>		

外形状出力 (STL・DXF 形式)	○	○
<b>【 表示機能 】</b>		
解析結果表示(コンター・変形図など)	○	○
データ抽出機能 (形状・材料・解析結果)	○	○
イメージ出力 (BMP・JPEG・TIFF 形式)	○	○
ムービー出力 (AVI・MPEG 形式)	○	○
3次元アニメーション出力(GFA 形式)	○	○
<b>【 グラフ・計測機能 】</b>		
グラフ描画機能	○	○
計測機能	○	○
<b>【 ツール 】</b>		
画像ファイル(bmp、jpg、tiff)からの入力	○	○
プロジェクト情報のテキスト出力	○	○
バッチ(メッシュ&解析)解析処理プログラム	○	○
リモートバッチ解析処理プログラム	○	○

## 付録7 サポート

### **MECHANICAL FINDER** に関するお問い合わせ



株式会社 計算力学研究センター

製品概要および保守など

[support@mechanical-finder.com](mailto:support@mechanical-finder.com)

技術的な内容について

[tech@mechanical-finder.com](mailto:tech@mechanical-finder.com)