
* 「3次元熱伝導解析K」の紹介 * [著者] 黒田 英夫

<プログラム開発環境>

OS : Windows 11NET Framework 4.8が必要

言語 : Visual Basic 2022 (Visual Studio 2022 Community)

<プログラムと本書の著作権>

フリーソフトで、著作権を開放します

汎用的な3次元熱伝導解析ソフトを提供します。このソフトは、有限要素法により、3次元構造の熱伝導問題を解くものです。入力データの自動メッシュについては、別途、算生会の「FEM立体データK」ソフトが必要です。また、非定常解析の初期温度データとして、実施済みの結果データファイルを利用することもできます。

非定常解析では複数ステップも設定でき、複数ステップを任意サイクル数計算できます。また、複数材料で複数ステップの場合、ある材料部分を毎サイクル初めに更新し、指定のステップ数以降はその部分をダミー化することができます（鍛造金型他に対応）。

本ソフトのFEM方程式計算では、ソルバーとしてスカイライン法および反復法*の2種類を組み込んでおり、各ソルバーの特質に応じて使い分けできます。さらに、各ソルバーにおいて、計算速度かメモリー使用量かの優先選択も可能です。

注）*I C C G (Incomplete Cholesky Conjugate Gradient) 法。

なお、本書で使用説明のための解析事例は有限要素数の少ないものを取り上げていますので、実用に当たっては必要に応じて要素数を増やしてください。

[備考] 本書の解析事例の計算時間は、下記仕様のパソコンによります。

CPU : 3GHz (64bit、4コア) RAM : 16GB

<目次>

ページ

第1章 有限要素法	2
第2章 プログラムの機能・構成	9
第3章 構造データの作り方	12
第4章 「解析データ」処理プログラム	18
第5章 「計算」プログラム	56
第6章 「後処理」プログラム	69
第7章 計算事例	84
[補足] 中心穴なし軸回転体の注意事項	89
[参考文献]	90

第1章 有限要素法

有限要素法は、対象を有限個の要素に分割し、要素毎にその節点変数に関する方程式を作成し、それを合わせて要素全体の方程式として解く解析方法です。ここでは、有限要素法の計算方法について概説します。詳細は、添付ソフトおよび参考文献を参照してください。

1.1 使用要素

有限要素法では、種々の形状・節点の要素が使用されていますが、本ソフトでは図1-1の六面体2次要素（20節点）を使用します。同図のように、面(1)～(6)の六面で、頂点節点と中間節点とがあります。各面は平面でも曲面でも構いません。曲面の場合は、辺の3節点が直線上でなく、曲線上の点となります。図1-1の節点の番号は、ちょうど六面体要素を定義する順番に付番しています。この要素定義の節点順序は非常に重要で、必ずこの順序を厳守しなければなりません。

また、面の番号は、六面体要素の定義に必要なはありませんが、変数固定・非固定の境界条件や流束の境界条件を設定する際に使用します。すなわち、六面体要素を定義する節点順序に対して、正しい面番号で境界条件を設定する必要があります。

注) 節点番号はまちまちであってもよく、六面体要素を定義する際に図1-1の節点に付した番号の順序に本来の節点番号を入力するという意味です。また、節点番号、面番号とも構造図画面で表示することができます。

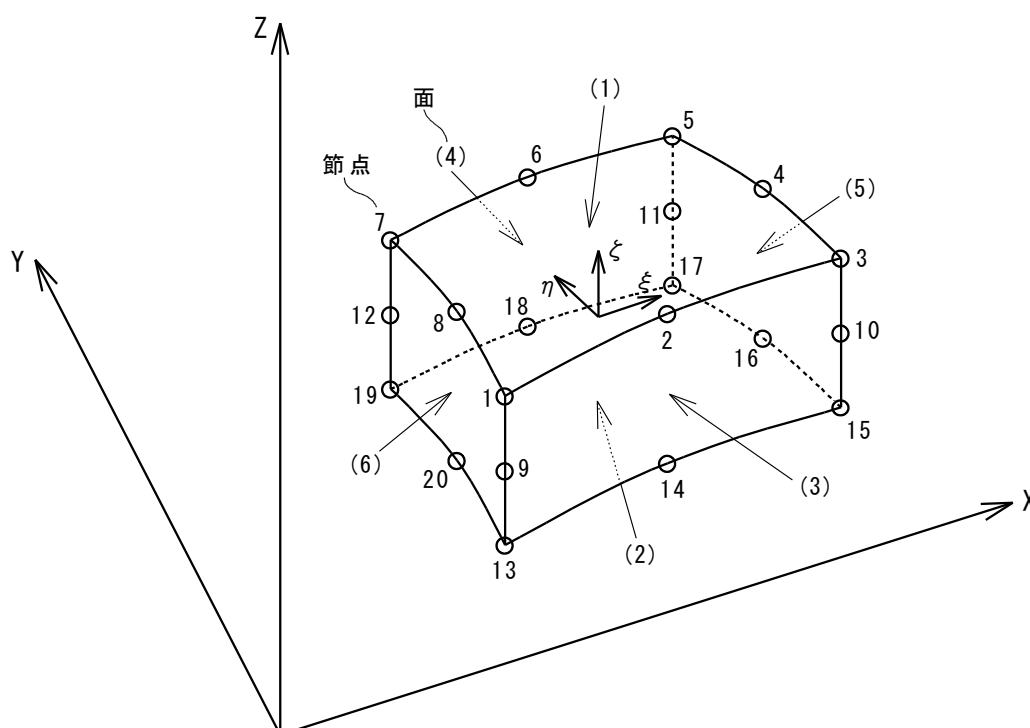


図1-1 六面体2次要素

図1-1のように、全体座標系を右手系のXYZで表わします。そして、六面体要素の中央部に要素の無次元化座標 ξ η ζ を示します。本座標を使用して、各要素の積分を行ないます。その際、本ソフトでのガウス積分点は1軸当り3点を使用し、その3乗の27点が1要素当りの積分点数となります。

本ソフトでは、六面体2次要素をアイソパラメトリック要素として使用します。アイソパラメトリック要素とは、要素の幾何形状と変量が同一の内挿関数で表わされる要素のことです。図1-1のように各辺に中間節点のある要素は2次要素と呼ばれ、中間節点のない1次要素に比べ、はるかに少ない要素数で精度良く計算できます。図1-1に示す無次元化された局所座標 ξ η ζ を用いて、20節点の形状関数が下記のように定義されます。そして、要素内の任意位置の変数値が、20節点の変数値と形状関数の合成式により表わされます。

[形状関数]

$$N_1 = (1-\xi)(1-\eta)(1+\zeta)(-\xi-\eta+\zeta-2)/8$$

$$N_2 = (1-\xi^2)(1-\eta)(1+\zeta)/4$$

$$N_3 = (1+\xi)(1-\eta)(1+\zeta)(\xi-\eta+\zeta-2)/8$$

$$N_4 = (1+\xi)(1-\eta^2)(1+\zeta)/4$$

$$N_5 = (1+\xi)(1+\eta)(1+\zeta)(\xi+\eta+\zeta-2)/8$$

$$N_6 = (1-\xi^2)(1+\eta)(1+\zeta)/4$$

$$N_7 = (1-\xi)(1+\eta)(1+\zeta)(-\xi+\eta+\zeta-2)/8$$

$$N_8 = (1-\xi)(1-\eta^2)(1+\zeta)/4$$

$$N_9 = (1-\xi)(1-\eta)(1-\zeta^2)/4$$

$$N_{10} = (1+\xi)(1-\eta)(1-\zeta^2)/4$$

$$N_{11} = (1+\xi)(1+\eta)(1-\zeta^2)/4$$

$$N_{12} = (1-\xi)(1+\eta)(1-\zeta^2)/4$$

$$N_{13} = (1-\xi)(1-\eta)(1-\zeta)(-\xi-\eta-\zeta-2)/8$$

$$N_{14} = (1-\xi^2)(1-\eta)(1-\zeta)/4$$

$$N_{15} = (1+\xi)(1-\eta)(1-\zeta)(\xi-\eta-\zeta-2)/8$$

$$N_{16} = (1+\xi)(1-\eta^2)(1-\zeta)/4$$

$$N_{17} = (1+\xi)(1+\eta)(1-\zeta)(\xi+\eta-\zeta-2)/8$$

$$N_{18} = (1-\xi^2)(1+\eta)(1-\zeta)/4$$

$$N_{19} = (1-\xi)(1+\eta)(1-\zeta)(-\xi+\eta-\zeta-2)/8$$

$$N_{20} = (1-\xi)(1-\eta^2)(1-\zeta)/4$$

以上(1-1)

[要素内の変数値] 局所座標(ξ , η , ζ)における値

$$H = \sum_{i=1}^{20} N_i H_i \quad (1-2)$$

ただし、 H_i は節点における変数値

1.2 要素の積分

1) 体積積分

有限要素法では、一般に要素の積分はガウス・ルジャンドルの数値積分（略してガウス積分と呼ぶ）によって行ないます。3次元のガウス積分による要素の体積積分は次式で表わされます。

$$\int F(X, Y, Z) dV = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n F(\xi, \eta, \zeta) W_i W_j W_k |J| d\xi d\eta d\zeta \quad (1-3)$$

ただし、 $F(\)$ ：任意関数

X, Y, Z ：全体座標

ξ, η, ζ ：要素の無次元化された局所座標（各変化範囲は-1～1）

n ：1軸当りのガウス積分点数

W_i, W_j, W_k ：ガウス積分点の位置 (ξ, η, ζ) における重み係数

$|J|$ ：ヤコビアンマトリックスの行列式の値

$$J = \begin{pmatrix} \frac{\partial X}{\partial \xi} & \frac{\partial Y}{\partial \xi} & \frac{\partial Z}{\partial \xi} \\ \frac{\partial X}{\partial \eta} & \frac{\partial Y}{\partial \eta} & \frac{\partial Z}{\partial \eta} \\ \frac{\partial X}{\partial \zeta} & \frac{\partial Y}{\partial \zeta} & \frac{\partial Z}{\partial \zeta} \end{pmatrix} = \sum_{i=1}^{20} \begin{pmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial \xi} X_i & \frac{\partial N_i}{\partial \xi} Y_i & \frac{\partial N_i}{\partial \xi} Z_i \\ \frac{\partial N_i}{\partial \eta} X_i & \frac{\partial N_i}{\partial \eta} Y_i & \frac{\partial N_i}{\partial \eta} Z_i \\ \frac{\partial N_i}{\partial \zeta} X_i & \frac{\partial N_i}{\partial \zeta} Y_i & \frac{\partial N_i}{\partial \zeta} Z_i \end{pmatrix} \quad (1-4)$$

$$\begin{aligned} \therefore |J| &= \frac{\partial X}{\partial \xi} \left(\frac{\partial Y}{\partial \eta} \frac{\partial Z}{\partial \zeta} - \frac{\partial Z}{\partial \eta} \frac{\partial Y}{\partial \zeta} \right) + \frac{\partial Y}{\partial \xi} \left(\frac{\partial Z}{\partial \eta} \frac{\partial X}{\partial \zeta} - \frac{\partial X}{\partial \eta} \frac{\partial Z}{\partial \zeta} \right) \\ &+ \frac{\partial Z}{\partial \xi} \left(\frac{\partial X}{\partial \eta} \frac{\partial Y}{\partial \zeta} - \frac{\partial Y}{\partial \eta} \frac{\partial X}{\partial \zeta} \right) \end{aligned} \quad (1-5)$$

また、ヤコビアンマトリックスの逆行列は次式で表わされます。

$$J^{-1} = \frac{1}{|J|} \begin{pmatrix} \frac{\partial Y}{\partial \eta} \frac{\partial Z}{\partial \zeta} - \frac{\partial Z}{\partial \eta} \frac{\partial Y}{\partial \zeta} & \frac{\partial Z}{\partial \xi} \frac{\partial Y}{\partial \zeta} - \frac{\partial Y}{\partial \xi} \frac{\partial Z}{\partial \zeta} & \frac{\partial Y}{\partial \xi} \frac{\partial Z}{\partial \eta} - \frac{\partial Z}{\partial \xi} \frac{\partial Y}{\partial \eta} \\ \frac{\partial Z}{\partial \eta} \frac{\partial X}{\partial \zeta} - \frac{\partial X}{\partial \eta} \frac{\partial Z}{\partial \zeta} & \frac{\partial X}{\partial \xi} \frac{\partial Z}{\partial \zeta} - \frac{\partial Z}{\partial \xi} \frac{\partial X}{\partial \zeta} & \frac{\partial Z}{\partial \xi} \frac{\partial X}{\partial \eta} - \frac{\partial X}{\partial \xi} \frac{\partial Z}{\partial \eta} \\ \frac{\partial X}{\partial \eta} \frac{\partial Y}{\partial \zeta} - \frac{\partial Y}{\partial \eta} \frac{\partial X}{\partial \zeta} & \frac{\partial Y}{\partial \xi} \frac{\partial X}{\partial \zeta} - \frac{\partial X}{\partial \xi} \frac{\partial Y}{\partial \zeta} & \frac{\partial X}{\partial \xi} \frac{\partial Y}{\partial \eta} - \frac{\partial Y}{\partial \xi} \frac{\partial X}{\partial \eta} \end{pmatrix} \quad (1-6)$$

1軸当りのガウス積分点数 n が3の場合について、ガウス積分点の位置と重み係数を

表1-1に示しておきます。

表1-1 ガウス積分点の位置と重み係数

1 軸当りの積分点数 n	位置 (各 ξ, η, ζ)	重み係数
3	0.77459667	0.55555556
	0	0.88888889
	-0.77459667	0.55555556

2) 面積積分

次に六面体要素の面積積分について説明します。面積積分は、流束境界（熱流束、熱伝達、熱放射）の場合に必要なになります。その境界条件においては、境界の面について面積積分を行ないます。図1-1に示した六面体要素の各面の面積積分の式は以下のようになります。ただし、各式の各偏微分項の計算は、面の8節点を用いて、(1-4)式のヤコビアンマトリックスと同様に計算します。

[面(1)、(2)] 面(1)では $\zeta=1$ 、面(2)では $\zeta=-1$

$$dA = \left[\left(\frac{\partial Y}{\partial \xi} \frac{\partial Z}{\partial \eta} - \frac{\partial Z}{\partial \xi} \frac{\partial Y}{\partial \eta} \right)^2 + \left(\frac{\partial Z}{\partial \xi} \frac{\partial X}{\partial \eta} - \frac{\partial X}{\partial \xi} \frac{\partial Z}{\partial \eta} \right)^2 + \left(\frac{\partial X}{\partial \xi} \frac{\partial Y}{\partial \eta} - \frac{\partial Y}{\partial \xi} \frac{\partial X}{\partial \eta} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \times d\xi d\eta \quad (1-7)$$

[面(3)、(4)] 面(3)では $\eta=-1$ 、面(4)では $\eta=1$

$$dA = \left[\left(\frac{\partial Y}{\partial \xi} \frac{\partial Z}{\partial \xi} - \frac{\partial Z}{\partial \xi} \frac{\partial Y}{\partial \xi} \right)^2 + \left(\frac{\partial Z}{\partial \xi} \frac{\partial X}{\partial \xi} - \frac{\partial X}{\partial \xi} \frac{\partial Z}{\partial \xi} \right)^2 + \left(\frac{\partial X}{\partial \xi} \frac{\partial Y}{\partial \xi} - \frac{\partial Y}{\partial \xi} \frac{\partial X}{\partial \xi} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \times d\xi d\zeta \quad (1-8)$$

[面(5)、(6)] 面(5)では $\xi=1$ 、面(6)では $\xi=-1$

$$dA = \left[\left(\frac{\partial Y}{\partial \eta} \frac{\partial Z}{\partial \xi} - \frac{\partial Z}{\partial \eta} \frac{\partial Y}{\partial \xi} \right)^2 + \left(\frac{\partial Z}{\partial \eta} \frac{\partial X}{\partial \xi} - \frac{\partial X}{\partial \eta} \frac{\partial Z}{\partial \xi} \right)^2 + \left(\frac{\partial X}{\partial \eta} \frac{\partial Y}{\partial \xi} - \frac{\partial Y}{\partial \eta} \frac{\partial X}{\partial \xi} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \times d\eta d\zeta \quad (1-9)$$

1.3 3次元熱伝導の有限要素法解析

3次元の非定常熱伝導問題の支配方程式は、次式で表わされます。ただし、発熱項は省略しています。

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial Y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial Z^2} \right) \quad (1-10)$$

ただし、T：温度、t：時間、X, Y, Z：各座標値

λ ：熱伝導率、 ρ ：密度、 c ：比熱

(1-10) 式を有限要素法で定式化すると、要素の方程式は次式で表わされます。

$$[K_e]\{T_e\} + [C_e] \frac{\partial \{T_e\}}{\partial t} = \{F_e\} \quad (1-11)$$

ただし、 $[K_e]$ ：要素の熱伝導マトリックス

$\{T_e\}$ ：要素節点の温度ベクトル

$[C_e]$ ：要素の熱容量マトリックス

$\{F_e\}$ ：右辺ベクトル。境界条件で決まる。

$$[K_e] = \int \lambda \left(\frac{\partial [N]^T}{\partial X} \frac{\partial [N]}{\partial X} + \frac{\partial [N]^T}{\partial Y} \frac{\partial [N]}{\partial Y} + \frac{\partial [N]^T}{\partial Z} \frac{\partial [N]}{\partial Z} \right) dV \quad (1-12)$$

$$[C_e] = \int \rho c [N]^T [N] dV \quad (1-13)$$

ただし、 $[N]$ ：形状関数の行ベクトル

右上付き文字Tは転置を意味する（以下同じ）。

dV ：積分体積

全要素について(1-11)式を合わせると、全体の方程式は次の形となります。

$$[K]\{T\} + [C] \frac{\partial \{T\}}{\partial t} = \{F\} \quad (1-14)$$

ただし、 $[K]$ ：全体の熱伝導マトリックス

$\{T\}$ ：全節点の温度ベクトル

$[C]$ ：全体の熱容量マトリックス

$\{F\}$ ：全体の右辺ベクトル

定常問題の場合は、(1-14)式左辺の第2項を0とおいて、次式が得られます。

$$[K]\{T\} = \{F\} \quad (1-15)$$

非定常の場合は、ある時刻 t における温度 $\{T_b\}$ が既知で、微小時間 Δt 後の温度 $\{T\}$ を求めるとすれば、(1-14)式は次のように書き表わされます。

$$[K] \frac{1}{2}(\{T\} + \{T_b\}) + [C] \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \{T\}}{\partial t} + \frac{\partial \{T_b\}}{\partial t} \right) = \{F\} \quad (1-16)$$

ここで、台形則により、

$$\{T\} - \{T_b\} = \Delta t \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \{T\}}{\partial t} + \frac{\partial \{T_b\}}{\partial t} \right) \quad (1-17)$$

$$\therefore \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \{T\}}{\partial t} + \frac{\partial \{T_b\}}{\partial t} \right) = \frac{\{T\} - \{T_b\}}{\Delta t} \quad (1-18)$$

(1-18)式を(1-16)式に代入すると次式が得られます。

$$[K] \frac{1}{2}(\{T\} + \{T_b\}) + [C] \frac{\{T\} - \{T_b\}}{\Delta t} = \{F\} \quad (1-19)$$

$$\therefore \left([K] + [C] \frac{2}{\Delta t} \right) \{T\} = 2\{F\} - \left([K] - [C] \frac{2}{\Delta t} \right) \{T_b\} \quad (1-20)$$

(1-20) 式の右辺は、すべて既知項であり、(1-15) 式と同様に 1 次方程式となります。これらの方程式の左辺係数行列はいわゆるバンドマトリックス形となります。

従って、定常問題では(1-15) 式を解くことにより、非定常問題では(1-20) 式を解くことにより所定時間毎に、各部の節点温度 $\{T\}$ を算出できます。方程式は、大規模 FEM に対応できる ICCG (Incomplete Cholesky Conjugate Gradient) 法により解きます。

なお、上記の微小時間間隔 Δt の取り方は重要で、温度変化が激しい初期段階では小さな値に設定して、計算時の発散を防ぐ必要があります。温度変化が緩慢になれば、 Δt も大きな値に設定できます。本ソフトでは、一番最初の計算ステップを除いて、 Δt の大きさは、計算時に温度変化状況を調べて自動設定します。

1.4 複数ステップとサイクルの関係

本ソフトの非定常解析では、単一の境界条件だけでなく、複数のステップで境界条件を変更することができます。また、その複数ステップを多サイクル繰返すこともできます。ステップ数およびサイクル数は任意に設定できます。それらの関係を図1-2に示します。同図は、ステップ数3の例で、各ステップの時間が t_1 、 t_2 、 t_3 です。そして、そのステップ数3を1サイクルとして、 n サイクル数繰返します。なお、このサイクル数 n は計算時に指定します。

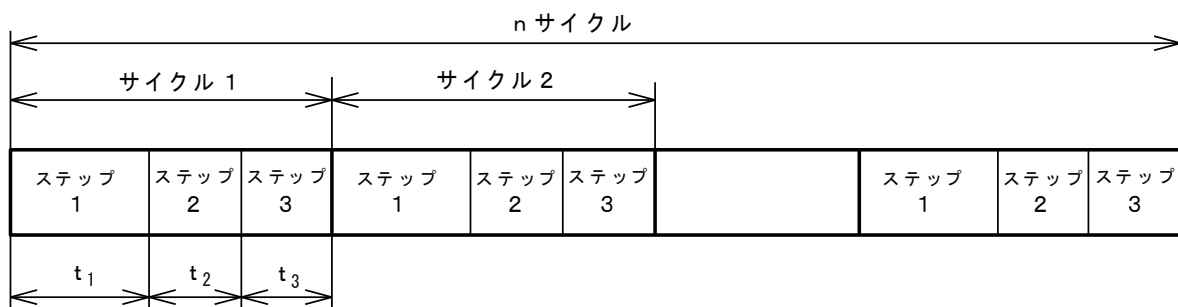


図1-2 境界条件の複数ステップとサイクルの関係（ステップ数3の例）

1.5 複数ステップにおける部分構造ダミー化

非定常の複数ステップの場合、指定のステップ数以降は材料部分をダミー化し、毎サイクル初めにその部分を初期温度設定することができます。図1-3にその説明図を示します。同図において、サイクル開始時に材料部分Aと別の材料部分Bが存在し、指定ステップ以降は部分Aがダミーになります。そして、複数ステップを多サイクル行なう際、各サイクルの初めに部分Aを初期状態に更新します。たとえば、部分Aを鍛造部、部分Bを金型とし、部分Aの鍛造部だけ毎サイクル入れ換えることに相当します。

注) ダミー化は熱容量 (密度×比熱) を微小にすることにより計算処理します。

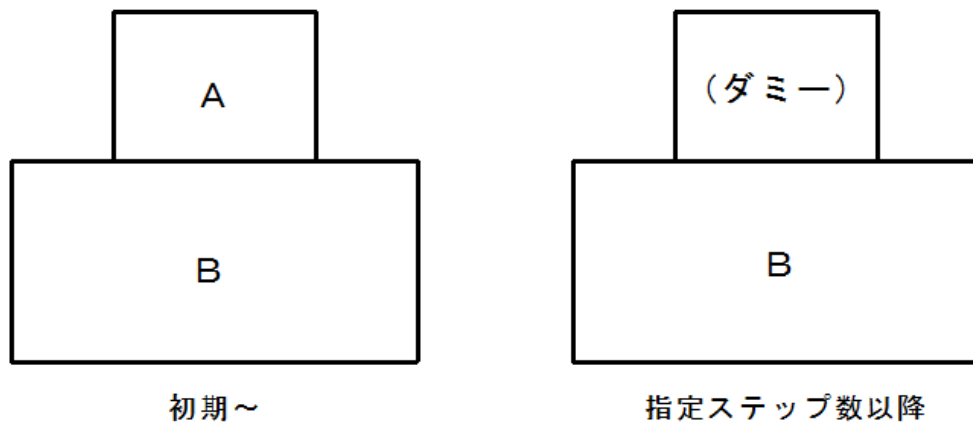


図1-3 部分構造ダミー化の略図

第2章 プログラムの機能・構成

[VBプロジェクト名] T h e r m 3 D

本ソフトでは3次元構造の定常および非定常の熱伝導解析を行ないます。

注) 定常解析は問題ありませんが、節点数が多い構造の非定常解析では計算時間が非常に長くなることがあります。非定常解析の場合は、あらかじめ短い経過時間で計算時間の様子を見るのが賢明です。

本ソフトの立ち上げ画面は図2-1のメニュー画面です。同図のように、基本メニューは「解析データ」、「計算」、「後処理」、「終了」の4つです。「解析データ」メニューでは、別途「FEM立体データ」ソフトにより作成した解析データファイルを使用します。「計算」メニューでは解析計算を実行し、「後処理」メニューでは計算結果の図の作画、および非定常のグラフ用データの作成を実施します。そして、ソフトを終了させる際は、「終了」をクリックします。なお、「計算」メニューには体積計算の補助機能もあります。

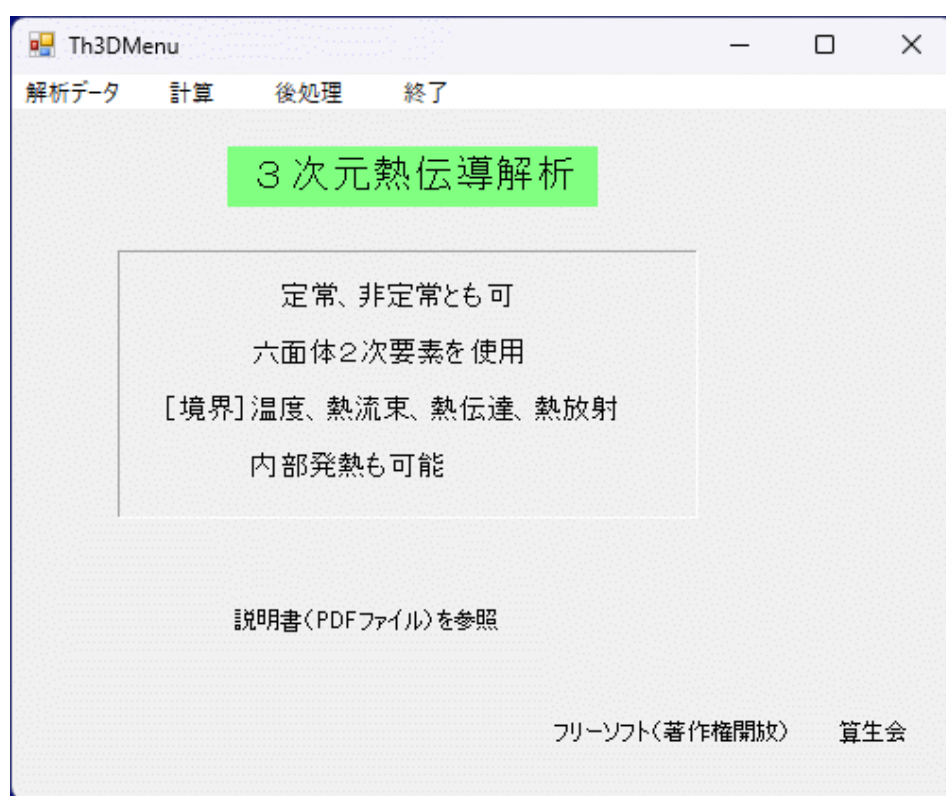


図2-1 「T h e r m 3 D」ソフトのメニュー画面

次に、図2-2にプログラム構成を示します。同図のように、全体を「メニュー」のTh3DMenuモジュール*で制御し、その下に「解析データ」、「計算」、「後処理」の3つのプログラム群に分かれています。

注) *モジュール名や各フォーム名は、ファイル名と名前を一致させてあります。

データファイルは、「入力データファイル」、「結果データファイル」の2種類を使用しています。また、本図には示していませんが、いくつかのプログラム部分で一時記憶ファイル（ファイル拡張子「.tmp」）も使用しています。これらデータファイルはいずれもテキスト

ト形式であり、エディターや表計算ソフトで閲覧・印刷することができます。

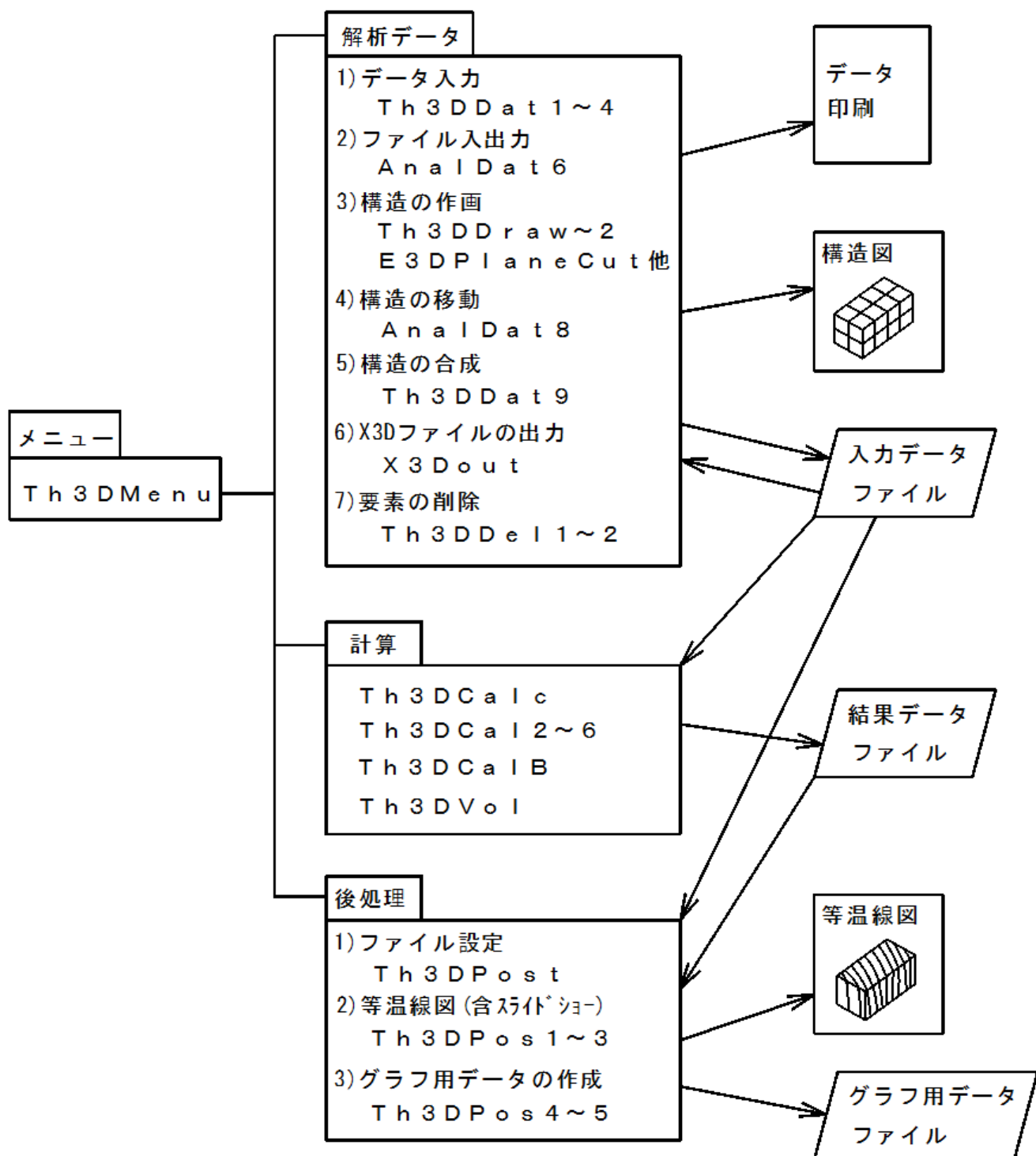


図2-2 「Therm3D」ソフトのプログラム構成

表2-1に本ソフトのファイルリストを示します。同表で、〔解析データ〕のTh3DDat1~4は、各種データを画面入力するためのものです。特に、Th3DDat2では1つのフォームモジュールで、複数種類のデータをグリッド切替えにより入力できるようにしています。

表2-1 「Therm3D」ソフトのファイルリスト

[全般]

ファイル名	内 容
Th3DCom. vb	共通変数の宣言とサブルーチンの定義
Th3DMenu. vb	メニューの提示・選択

[解析データ]

ファイル名	内 容
Th3DDat1. vb	データ仕様の入力
Th3DDat2. vb	各データの入力
Th3DDat3. vb	境界一括設定の熱条件値の入力
Th3DDat3a. vb	境界面の一括設定
Th3DDat4. vb	材料データの入力
AnalDat6. vb	データファイルの入出力
AnalDat8. vb	構造の移動
Th3DDat9. vb	構造の合成
Th3DDDraw. vb	構造の作画
Th3DDDraw1. vb	構造図でデータ入力項目の選択
Th3DDDraw2. vb	構造図でデータの入力
E3DPlaneCut. vb	3次元構造の面切断の設定（各3次元図に共通）
MouseShift. vb	マウス回転操作の説明（各3次元図に共通）
X3Dout. vb	X3Dファイルの出力
Th3DDe11. vb	要素の削除数の入力と削除の実行
Th3DDe12. vb	要素削除の要素指定

[計算]

ファイル名	内 容
Th3DCalc. vb	計算に使用するファイルの設定
Th3DCal2. vb	非定常計算の条件入力
Th3DCal3. vb	解析計算の実行（反復法、計算時間優先）
Th3DCal4. vb	解析計算の実行（スカイライン法、計算時間優先）
Th3DCal5. vb	解析計算の実行（反復法、メモリー使用量優先）
Th3DCal6. vb	解析計算の実行（スカイライン法、メモリー使用量優先）
Th3DCalB. vb	バッチ処理の実行
Th3DVol. vb	体積計算のファイル設定と実行

[後処理]

ファイル名	内 容
Th3DPost. vb	後処理に使用するファイルの設定
Th3DPos1. vb	等高線図の仕様設定
Th3DPos2. vb	等高線図の作画実行
Th3DPos3. vb	等高線図スライドショーの実行
Th3DPos4. vb	グラフ用データの仕様設定
Th3DPos5. vb	グラフ用データの作成

第3章 構造データの作り方

一般には自動メッシュを利用しますので、人手で構造データ全体を作成することは少ないと思われます。しかし、構造データについてよく理解しておく必要があります。有限要素のメッシュデータについては、「FEM立体データ」と同じなので、ここでは補足説明を主体に説明します。また、境界条件等についても説明します。

構造データはすべて3次元のXYZ座標を用います。使用する要素は図1-1で示した六面体2次要素、あるいは図1-2で示した四面体2次要素です。四面体2次要素のメッシュは、フリーソフトNetgenによるので、以下では六面体2次要素を主体に説明します。

六面体2次要素のガウス積分点は27点ですが、入力データの積分点数は1軸当りの3となります（構造全体で一括）。六面体内の積分点位置をすべて図示するのはわかりにくくなるので、要素の局所座標の ξ η 面における積分点位置を図3-1に示します。 ξ ξ 面や η ξ 面でも同様です。面での積分点数は、1軸当り積分点数の2乗の9点です。

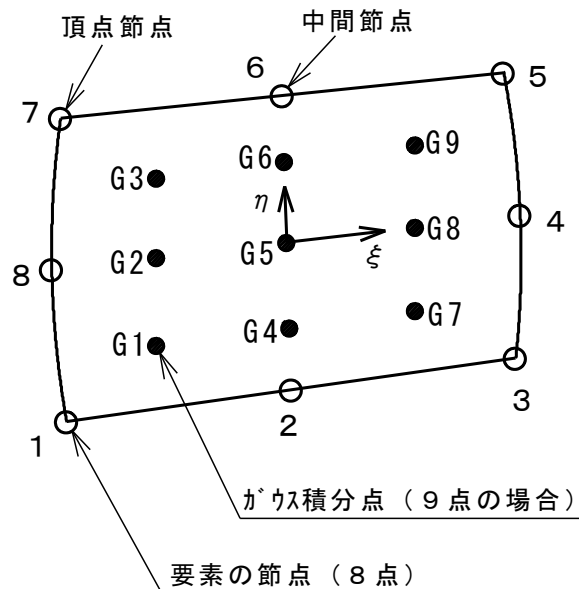


図3-1 要素の1面の積分点位置（ ξ η 座標面）

以降では、図3-2に示すテスト用構造モデルを例に取り、構造データ作成の手順に沿って説明します。本モデルは熱放射境界を使用するため、温度単位は絶対温度Kで統一します。

1) 先ず構造を略図に描きます。

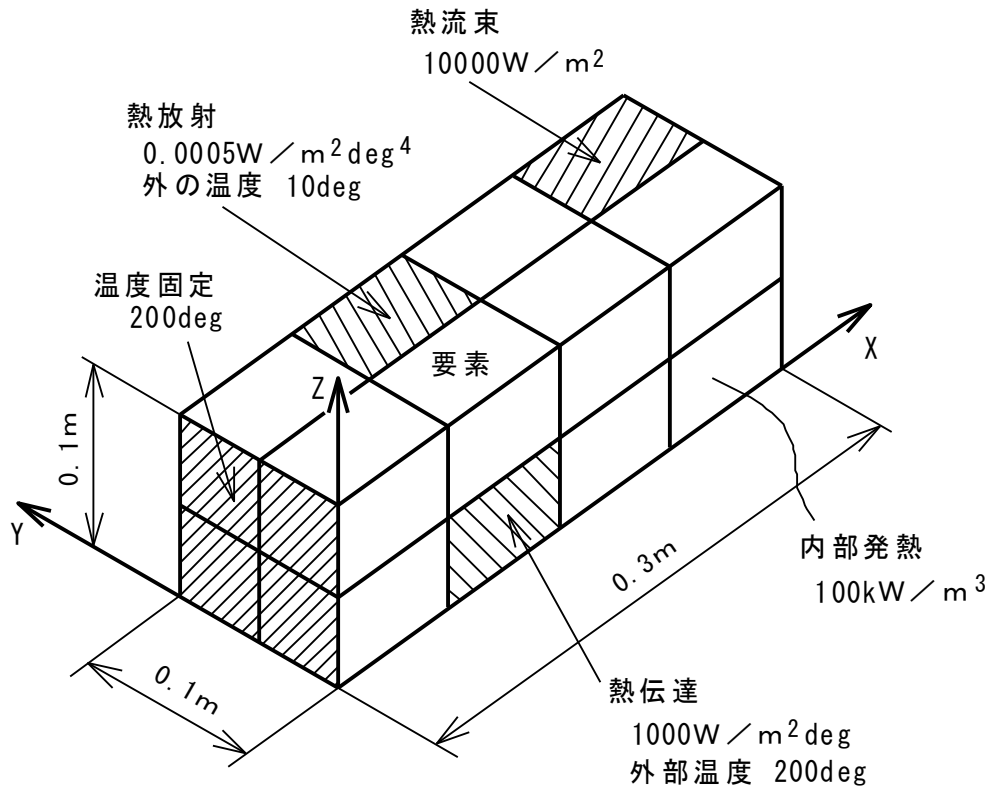
略図は図3-2のような斜視図がわかりやすいです。略図には座標軸も明記します。

2) 自動メッシュの場合は、「FEM立体データ」ソフトにより、要素や節点を自動生成します。自動メッシュでない場合は、構造を六面体形要素に分割します。

① 構造すべてを適当な大きさの六面体に分割します。六面体の面は四角形で、その辺（稜線）は直線でも曲線（円弧）でも構いません。また、面の形状は、三角形であっても、その三角形のいずれかの辺の midpoint に頂点節点を設けるような変則の四角形も

使用できます。

- ②六面体の大きさは、問題により異なり、全体の一部だけを細かくすることもあります。要素分割の際、各要素の頂点などの節点座標が計算しやすいように、なるべく座標軸に平行に分割します。



[材料] 比熱 : $480 \text{ J} / \text{kg} \cdot \text{deg}$ 密度 : $7800 \text{ kg} / \text{m}^3$
熱伝導率 : $47 \text{ W} / \text{m} \cdot \text{deg}$
[初期温度] 100 deg

図3-2 テスト用構造モデル

- 3) 自動メッシュでない場合、全要素に番号を付けます。

要素番号は1番から欠番なしに付けなければなりません。要素番号の順番はどのようにしても問題ありませんが、規則正しく付番した方がわかりやすいです。

- 4) 自動メッシュでない場合、全節点に番号を付けます。

節点番号は1番から欠番なしに付けなければなりません。節点番号の順番はどのようにしても問題ありませんが、規則正しく付番した方がわかりやすいです。FEM行列のバンド幅を小さくするには、規則正しく、短い構造形状（すなわち要素の少ない）方向に入力するのがコツです。

なお、本ソフトで標準のICCG法ソルバーの場合、バンド幅は問題ありません。また、スカイライン法を選択した場合でも、自動的に節点順序の改良処理を行ない

バンド幅を低減しており、節点番号の順番について特に注意しなくて構いません。

5) 自動メッシュでない場合、節点座標を算出しておきます。

すべての六面体要素の頂点節点の座標を求めておきます。要素の辺が直線の場合、中間節点座標は、自動計算機能があるので求めておかなくても構いません。なお、要素の辺が円弧等の場合、節点座標の算出に表計算ソフトを利用すると便利です。

6) 材料物性データを用意します。

材料物性は、密度、比熱、熱伝導率の3つですが、比熱、熱伝導率は温度区分で多段階にデータを設定できます。ただし、1つの区間の温度範囲幅は、後述の計算条件の「計算1回当たりの温度変化許容値」に対して、十分大きく（約10倍以上）しておく必要があります。

定常解析を行なう場合は、温度区分は1区分しか採用できません。もし、多区分にしたい場合は、熱伝導時間を十分長くして非定常解析を実施してください。

7) 境界条件を決めます。

本ソフトに組み込んである境界条件（含内部発熱）を表3-1に、その説明図を図3-3に示します。

表3-1 境界条件一覧

境界名称	内容
a) 温度固定境界	一定温度となるもの
b) 熱流束境界	一定の熱量が流出入するもの
c) 熱伝達境界	外部の一定温度体と熱伝達するもの
d) 熱放射境界	外部放射源との間で熱放射するもの
e) 内部発熱	物体内部で一定熱量を発熱するもの

注) 境界条件を設定しなければ、断熱境界となります。

〔熱伝達境界の式〕

$$\text{流出熱量 } q = \alpha (T - T_c) \quad (3-1)$$

ただし、 α : 熱伝達率 (係数) T_c : 外部温度

〔熱放射境界の式〕

$$\text{流出熱量 } q = \varepsilon \sigma F (T^4 - T_r^4) \quad (3-2)$$

ただし、 ε : 放射率

σ : ステファン・ボルツマン定数 ($5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$)

F : 形状係数 T_r : 外部放射源温度

本式の T および T_r の単位は絶対温度 K を使用します。そのため、モデル全体を絶対温度 K で統一する必要があります。

注) 本ソフトでは、下記の放射係数をデータ入力します。

$$\text{放射係数 } C_r = \varepsilon \sigma F \quad (3-3)$$

[熱放射グループの式] 非定常解析のみ

$$\text{交換熱量 } q = C_g \sigma (T_1^4 - T_2^4) \quad (3-4)$$

ただし、 C_g ：放射率、形状係数を含む全体係数。解析計算で算出。

σ ：ステファン・ボルツマン定数 ($5.67 \times 10^{-8} \text{W/m}^2 \text{K}^4$)

T_1 、 T_2 ：構造 2 面の温度

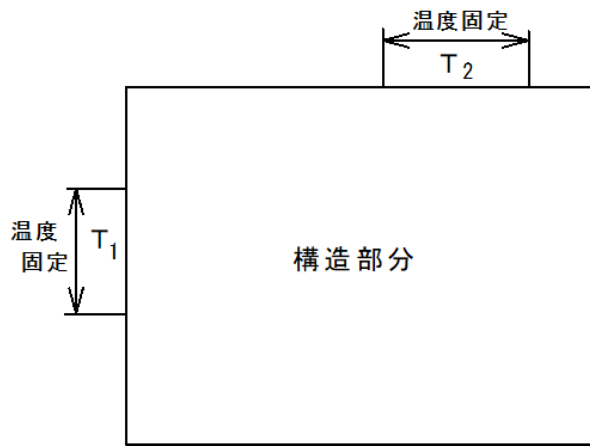
本式の T_1 および T_2 の単位は絶対温度 K を使用します。そのため、モデル全体を絶対温度 K で統一する必要があります。

非定常解析の場合には、下記のように境界条件を多ステップに設定し、多ステップ×多サイクルの解析を行なうことができます。ただし、熱放射グループについてはステップはありません。

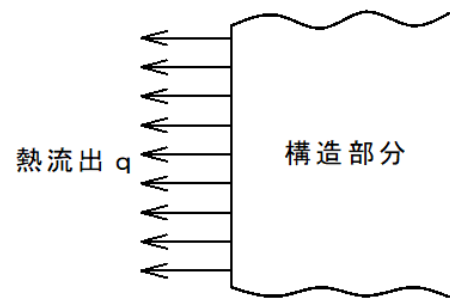
[非定常解析の多ステップ設定]

同じ要素境界において、各条件値を時間的に多ステップに設定できます。そのステップ数および各ステップ時間は、すべての境界条件で共通です。その際、1つのステップで該当の境界条件を停止する（オン・オフ切り替え等）には、温度固定境界以外は、所定の条件値を0にすることにより可能です。また、温度固定境界においては、-999以下の温度設定をすることによりオフ（断熱境界）にできます。

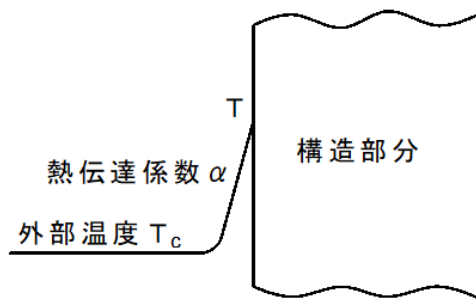
注）各ステップで異なる境界種類への変更はできません。もし異なる境界種類の切り替えを行ないたい場合は、最初の境界条件で計算した結果を初期値に読み込んで、異なる境界条件で別途計算してください。ただし、温度固定境界と熱伝達境界との切り替えは、温度固定に対して非常に大きな熱伝達係数を与える代用手段により、熱伝達境界で統一できます。



a) 温度固定境界



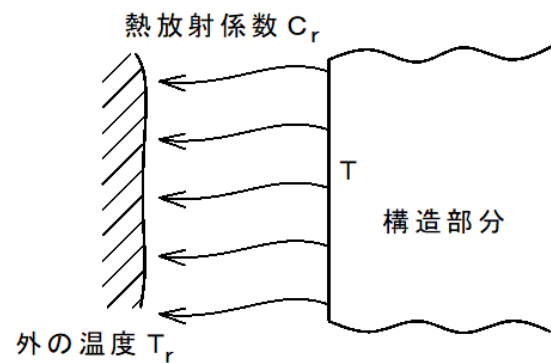
b) 熱流束境界



[流出熱量]

単位時間、単位面積当り
 $q = \alpha (T - T_c)$

c) 熱伝達境界

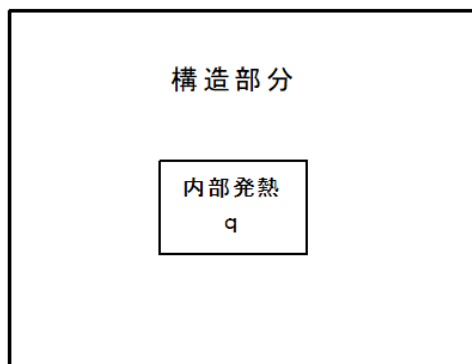


温度単位は絶対温度K

[流出熱量]

単位時間、単位面積当り
 $q = C_r (T^4 - T_r^4)$

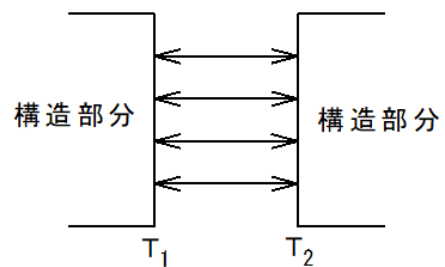
d) 熱放射境界



[発熱量]

単位時間、単位体積当り q

e) 内部発熱



温度単位は絶対温度K

[交換熱量]

単位時間、単位面積当り
 $q = C_g \sigma (T_1^4 - T_2^4)$

f) 熱放射グループ

図3-3 境界条件の説明図

8) データの単位系

本ソフトでは、データの単位系は何でも使用できますが、入力データ全体の単位系は統一しておかねばなりません。表3-2にS I 単位系を示しておきます。

◇温度の単位は、上記のように熱放射境界を入れる場合は絶対温度Kを使用しなければなりません。熱放射境界を入れない場合は℃を使用できます。

◇時間単位をs以外にする場合は、 $W = J / s$ をその時間単位に換算します。

表3-2 S I 単位系

データ項目	単位
時間	s
長さ	m
熱量	J
密度	kg/m ³

データ項目	単位
比熱	J/kg deg
熱伝導率	W/m deg
熱流束	W/m ²
熱伝達係数	W/m ² deg

注) deg : °CまたはK (熱放射境界の場合は必須)

9) 要素の追加変更

作成済の入力データファイルに対して、要素を追加変更する場合は次の点に注意しなければなりません。

- ①要素番号は欠番なしに増加させます。
- ②節点番号も欠番なしに増加させます。
- ③データの修正は、先ず要素数と節点数を正確に修正します。

第4章 「解析データ」処理プログラム

4.1 サブメニュー画面

「メニュー」プログラムにおける「解析データ」のサブメニュー選択画面を図4-1に示します。同図に示すように、15個のサブメニューがあります。全く新たにデータを作成する場合は「データ入力・修正」を選択しますが、既存ファイルを修正して新たなファイルを作成する場合は先に「ファイル読み込み」を行ないます。

◇「FEM立体データK」ソフトによる本解析用データファイルを読み込めます。

また、「オプション」では、3つの項目についてチェックの有無により採否を選択できます。「バックアップファイル作成」は、データ読み込み時にバックアップファイル（.bak）を自動作成するものです。

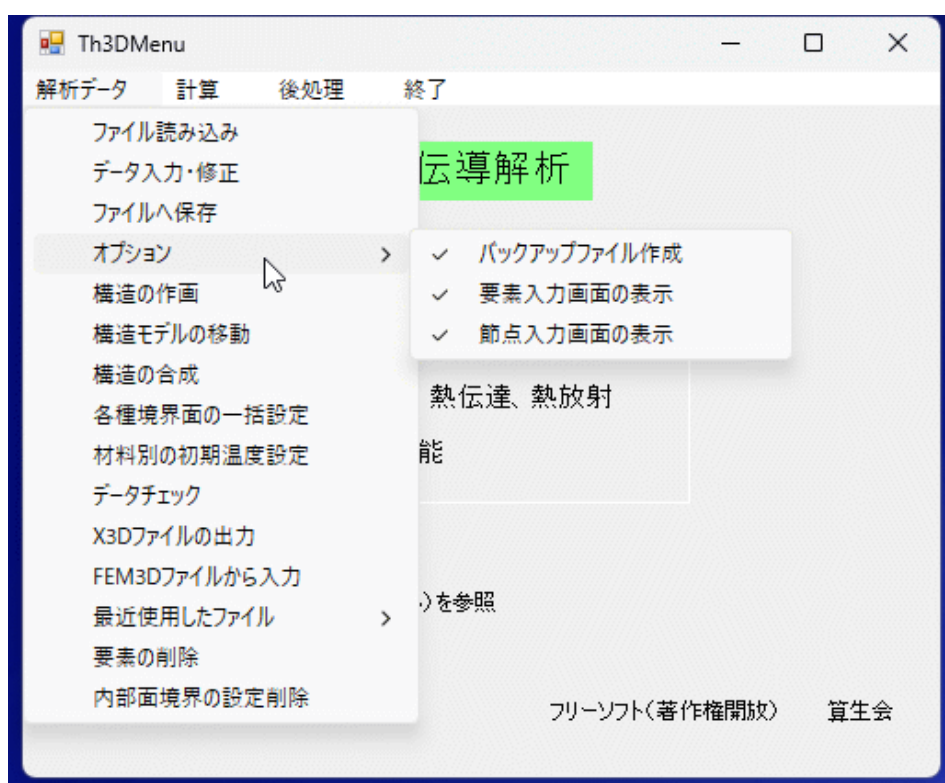


図4-1 「解析データ」サブメニュー画面

4.2 ファイル読み込み

サブメニューの「ファイル読み込み」を選択すると、コモンダイアログでファイルを開く画面となり、入力データファイルを選定して読み込みます。なお、入力データファイルのデフォルトの拡張子は、「.dat」です。

4.3 データ入力・修正

サブメニューの「データ入力・修正」を選択すると、図4-2のデータ仕様入力画面となります。なお、境界条件等のデータ入力・修正は、構造図の画面でも実施できます。

図4-2では図3-2のテスト用構造モデルを取り上げており、以降も同じです。本画面の入力について、以下に補足説明します。

- ①タイトルは、任意の題名を入力できます。
- ②節点数～材料データ数、および温度固定節点数～熱放射グループの数は、各構造モデルに応じた数を入力します。
 - ◇境界条件のステップ数は、非定常解析の場合に2以上の数を設定できます。このステップ数は各境界条件に共通で、ステップ数を2以上にすると、後の画面で各ステップの時間を設定し、さらに各境界条件の数値をステップ数分設定できます。
 - ◇温度固定境界については、温度固定節点数を入力して節点毎に温度を固定できます。しかし、要素の1つの面で同じ温度に固定する場合は、面の8節点を個別に温度設定しなくても、面全体でまとめて設定できます。その際は、温度を固定する面の個数を温度固定境界の面の数として入力します。
 - ◇熱放射は、非定常解析でのみ可能です。
- 注) 熱放射のデータがある場合は、定常解析を実施できません。
- ③初期値データは、非定常解析の場合に必要です。
- ④本画面の「設定」ボタンをクリックすると、各データの入力画面に移ります。
- ⑤各データ入力が終了すると、本画面に戻るので、そこで「すべて確定」ボタンをクリックすると入力データが確定します。

図4-2 データ仕様入力画面

4.4 要素データ入力画面（オプションで省略可能）

図4-3に要素データ入力画面を示します。自動メッシュだけで済む場合は変更不要です。

- ①材料番号は、材料データ数に応じた番号を入力します。
- ②節点順1から順に各要素の全節点番号（六面体では20個、四面体では10個）個を、必ず頂点節点を最初に、かつ図1-1または図1-2の節点番号の順に入力します。
- ③「コピー」、「貼り付け」ボタンにより、通常のクリップボード利用ができます。

これは以降の画面でも同様です。

◇「取り消し」ボタンを押すと直前の貼り付けを取り消せます。

◇表計算ソフトからコピーすることも可能です。

- ④すべての要素データを入力し終ったなら、「設定」ボタンをクリックして次の節点データ入力画面に移ります。

要素番号	材料番号	節点順 1	節点順 2	節点順 3	節点順 4	節点順 5
1	1	1	6	9	10	11
2	1	3	7	11	12	13
3	1	9	14	17	18	19
4	1	11	15	19	20	21
5	1	31	36	39	40	41
6	1	33	37	41	42	43
7	1	39	44	47	48	49
8	1	41	45	49	50	51
9	1	61	66	69	70	71
10	1	63	67	71	72	73
11	1	69	74	77	78	79
12	1	71	75	79	80	81
13	1	91	96	99	100	101
14	1	93	97	101	102	103
15	1	99	104	107	108	109

図4-3 要素データ入力画面

4.5 節点データ入力画面（オプションで省略可能）

図4-4に節点データ入力画面を示します。自動メッシュだけで済む場合は変更不要です。

- ①各節点の座標を入力します。

- ②「一括定数掛算」ボタンをクリックして定数値を入力し、全座標に一括掛算することができます。

◇本機能により、座標値の単位を変更したり、構造を拡大・縮小したりできます。

- ③すべての節点データを入力し終ったなら、「設定」ボタンをクリックして次の画面に移ります。

4.6 材料物性区分数の入力画面

図4-5に材料物性区分数の入力画面を示します。

- ①各材料毎に物性区分数を入力します。

◇物性区分数は、温度区分によって材料物性値を変える場合の区分数です。材料物性値を変えない場合は、材料区分数を1とします。

◇定常解析を行なう場合は、材料区分数は1でなければなりません。

- ②物性区分数を入力し終ったなら、「設定」ボタンをクリックして次の画面に移ります。

Th3DDat2

節点データの入力

節点番号	X座標	Y座標	Z座標
1	0	.1	0
2	0	.1	.025
3	0	.1	.05
4	0	.1	.075
5	0	.1	.1
6	0	.075	0
7	0	.075	.05
8	0	.075	.1
9	0	.05	0
10	0	.05	.025
11	0	.05	.05
12	0	.05	.075
13	0	.05	.1
14	0	.025	0
15	0	.025	.05
16	0	.025	.1

設定 戻る 一括定数掛算

コピー 貼り付け

取り消し

図4-4 節点データ入力画面

Th3DDat2

材料の物性区分数の入力

定常解析では物性区分数は必ず1にしてください。

材料番号	物性区分数
1	1
*	

設定 戻る

図4-5 材料物性区分数の入力画面

4.7 ステップ時間の入力画面

図4-6にステップ時間の入力画面を示します。本画面は、境界条件のステップ数が2以上の場合に表示されます。

- ①各ステップの時間を入力します。なお、全ステップを1サイクルとして、それを何サイクル行なうかは、解析計算実行時に設定できます。
- ②すべてのステップ時間を入力し終ったなら、「設定」ボタンをクリックして次の画面に移ります。

番号	ステップ時間
1	40
2	60
*	

図4-6 ステップ時間の入力画面

4.8 温度固定節点データ入力画面

本入力は、温度固定節点数が1以上の場合にのみ実施します。図4-7、図4-8に温度固定節点データ入力画面を示します。図4-7はステップ数が1の場合、図4-8はステップ数が2の場合（以下の各データ入力画面でも同様）です。

- ①温度固定節点数の分だけ固定番号が表示されているので、それぞれ節点番号とステップ数分の温度を入力します。
◇温度を-999以下に設定すると、オフ（断熱境界）になります。
- ②節点番号に「-1」を入力すると、その行を削除して前詰めします。
- ③1つの固定番号のデータを他の固定番号範囲へコピーしたい場合は、「一括コピー」ボタンをクリックして、まとめて実施できます。ただし、節点番号はコピーされません。
- ④すべての温度固定節点データを入力し終ったなら、「設定」ボタンをクリックして次の画面に移ります。

Th3DDat2

温度固定節点の入力 節点番号に-1を入力すると、その行を削除・前詰めします。
 温度を-999以下にするとオフ(断熱境界)になります。

	固定番号	節点番号	温度1
▶	1	1	200
	2	2	200
	3	3	200
	4	4	200
	5	5	200
	6	6	200
	7	7	200
	8	8	200
	9	9	200
	10	10	200
	11	11	200
	12	12	200
	13	13	200
	14	14	200
	15	15	200
	16	16	200

設定 戻る 一括コピー コピー 貼り付け 取り消し

図4-7 温度固定節点データ入力画面（ステップ数1の場合）

Th3DDat2

温度固定節点の入力 節点番号に-1を入力すると、その行を削除・前詰めします。
 温度を-999以下にするとオフ(断熱境界)になります。

	固定番号	節点番号	温度1	温度2
▶	1	1	200	150
	2	2	200	150
	3	3	200	150
	4	4	200	150
	5	5	200	150
	6	6	200	150
	7	7	200	150
	8	8	200	150
	9	9	200	150
	10	10	200	150
	11	11	200	150
	12	12	200	150
	13	13	200	150
	14	14	200	150
	15	15	200	150
	16	16	200	150

設定 戻る 一括コピー コピー 貼り付け 取り消し

図4-8 温度固定節点データ入力画面（ステップ数2の場合）

4.9 温度固定境界の面データ入力画面

本入力、温度固定境界の面の数が1以上の場合にのみ実施します。図4-9に温度固定境界の面データ入力画面を示します。

- ①温度固定境界の面の数の分だけ固定番号が表示されているので、それぞれ要素番号、面番号、ステップ数分の温度を入力します。

◇面番号は、六面体要素では1～6の面番号で、要素の節点番号順との関係は図1-1に示す通りです。同様に四面体要素では1～4の面番号で、要素の節点番号順との関係は図1-2に示す通りです。この面番号は、構造の作画画面で表示して確認できます。

◇温度を-999以下に設定すると、オフ（断熱境界）になります。

- ②要素番号に「-1」を入力すると、その行を削除して前詰めします。
- ③1つの固定番号のデータを他の固定番号範囲へコピーしたい場合は、「一括コピー」ボタンをクリックして、まとめて実施できます。ただし、要素番号はコピーされません。
- ④すべての温度固定境界の面データを入力し終ったなら、「設定」ボタンをクリックして次の画面に移ります。



図4-9 温度固定境界の面データ入力画面

4.10 熱流束データ入力画面

本入力は、熱流束境界がある場合（熱流束境界の面の数が1以上）にのみ実施します。

図4-10に熱流束データ入力画面を示します。

- ①熱流束境界の面の数の分だけ番号が表示されているので、それぞれ要素番号、面番号、ステップ数分の熱流束値を入力します。

◇面番号は、六面体要素では1～6の面番号で、要素の節点番号順との関係は図1-1に示す通りです。同様に四面体要素では1～4の面番号で、要素の節点番号順との関係は図1-2に示す通りです。この面番号は、構造の作画画面で表示して確認できます。

- ②要素番号に「-1」を入力すると、その行を削除して前詰めします。

- ③ 1つの番号のデータを他の番号範囲へコピーしたい場合は、「一括コピー」ボタンをクリックして、まとめて実施できます。ただし、要素番号はコピーされません。
- ④すべての熱流束データを入力し終ったなら、「設定」ボタンをクリックして次の画面に移ります。

番号	要素番号	面番号	熱流束1
▶ 1	14	4	10000
*			

図4-10 熱流束データ入力画面

4.11 熱伝達データ入力画面

本入力は、熱伝達境界がある場合（熱伝達境界の面の数が1以上）にのみ実施します。

図4-11に熱伝達データ入力画面を示します。

- ①熱伝達境界の面の数の分だけ番号が表示されているので、それぞれ要素番号、面番号、ステップ数分の伝達係数・外部温度を入力します。

◇面番号は、六面体要素では1～6の面番号で、要素の節点番号順との関係は図1-1に示す通りです。同様に四面体要素では1～4の面番号で、要素の節点番号順との関係は図1-2に示す通りです。この面番号は、構造の作画画面で表示して確認できます。

◇伝達係数は単位面積、単位時間、単位温度差当たりの熱流量です。

- ②要素番号に「-1」を入力すると、その行を削除して前詰めします。
- ③ 1つの番号のデータを他の番号範囲へコピーしたい場合は、「一括コピー」ボタンをクリックして、まとめて実施できます。ただし、要素番号はコピーされません。
- ④すべての熱伝達データを入力し終ったなら、「設定」ボタンをクリックして次の画面に移ります。

熱伝達境界の入力 要素番号に-1を入力すると、その行を削除・前詰めします。

番号	要素番号	面番号	伝達係数1	外部温度1
1	7	5	1000	200
*				

設定 戻る 一括コピー コピー 貼り付け 取り消し

図4-11 熱伝達データ入力画面

4.12 熱放射データ入力画面

本入力、熱放射境界がある場合（熱放射境界の面の数が1以上）にのみ実施します。
図4-12に熱放射データ入力画面を示します。

- ①熱放射境界の面の数の分だけ番号が表示されているので、要素番号、面番号、ステップ数分の放射係数・外の温度を入力します。
 - ◇面番号は、六面体要素では1～6の面番号で、要素の節点番号順との関係は図1-1に示す通りです。同様に四面体要素では1～4の面番号で、要素の節点番号順との関係は図1-2に示す通りです。この面番号は、構造の作画画面で表示して確認できます。
 - ◇放射係数は(3-3)式で表わされる係数 C_r 値です。
 - ◇外の温度は外の放射源温度のことです。
- ②要素番号に「-1」を入力すると、その行を削除して前詰めします。
- ③1つの番号のデータを他の番号範囲へコピーしたい場合は、「一括コピー」ボタンをクリックして、まとめて実施できます。ただし、要素番号はコピーされません。
- ④すべての熱放射データを入力し終ったなら、「設定」ボタンをクリックして次の画面に移ります。

Th3DDat2

熱放射境界の入力 要素番号に-1を入力すると、その行を削除・前詰めします。

熱放射係数 = ステファンボルツマン定数 × 放射率 × 形状係数

番号	要素番号	面番号	放射係数1	外の温度1
▶ 1	6	4	.0005	10
*				

設定 戻る 一括コピー コピー 貼り付け 取り消し

図4-12 熱放射データ入力画面

4.13 内部発熱データ入力画面

本入力、内部発熱データがある場合（内部発熱の要素数が1以上）にのみ実施します。
図4-13に内部発熱データ入力画面を示します。

- ①内部発熱の要素数の分だけ番号が表示されているので、それぞれ要素番号とステップ数分の発熱率を入力します。

◇発熱率は、単位体積当たりの発熱量です。S I 単位はW/m³です。

- ②要素番号に「-1」を入力すると、その行を削除して前詰めします。
- ③1つの番号のデータを他の番号範囲へコピーしたい場合は、「一括コピー」ボタンをクリックして、まとめて実施できます。ただし、要素番号はコピーされません。
- ④すべての内部発熱データを入力し終ったなら、「設定」ボタンをクリックして次の画面に移ります。

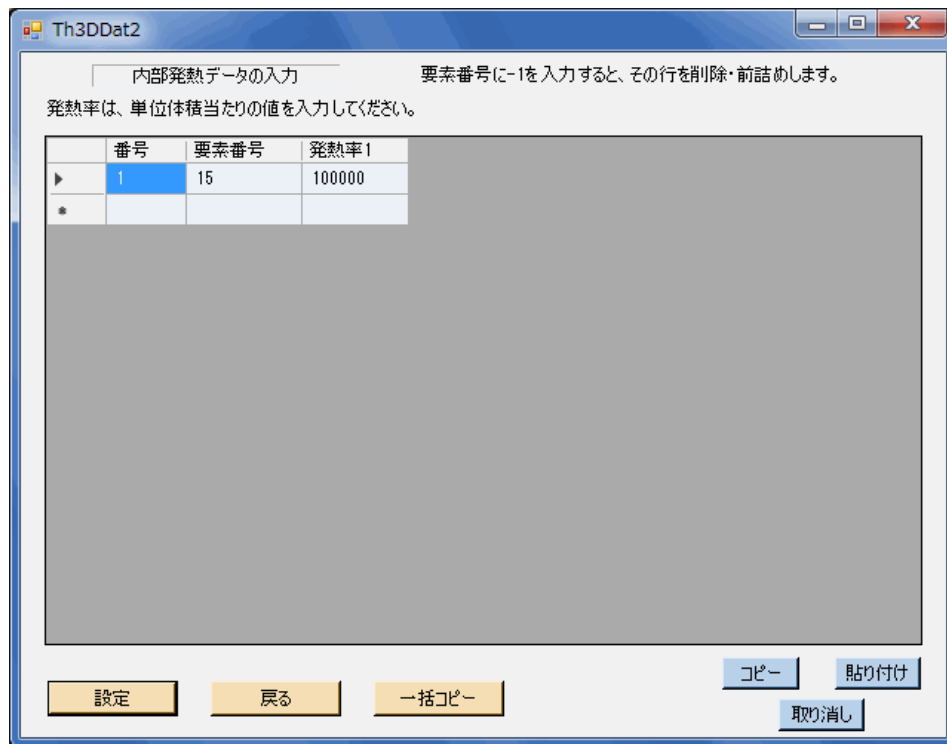


図4-13 内部発熱データ入力画面

4.14 熱放射グループ入力画面

本入力、熱放射グループがある場合（熱放射グループの数が1以上）にのみ実施します。本例では、図4-14に示す熱放射グループを取り上げています。同図では、窪んだ構造の内側全面が放射グループに入っています。後掲の熱放射グループの面データの入力画面も同様です。

図4-15に熱放射グループ入力画面を示します。

①ステファン・ボルツマン定数を入力します。

◇グループが複数あっても、ステファン・ボルツマン定数は共通です。

②次に、各グループの面の数を入力します。

注）本例ではグループ数は1つだけです。

③すべての熱放射グループを入力し終ったなら、「設定」ボタンをクリックして次の画面に移ります。

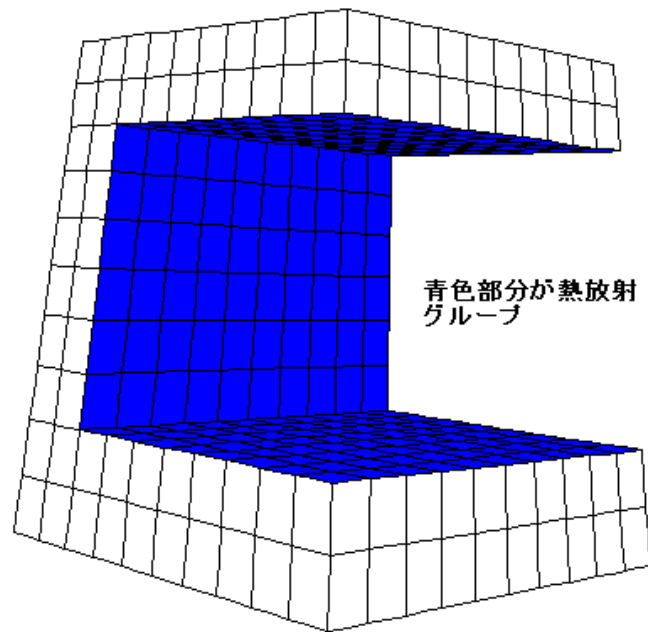


図4-14 熱放射グループの例

	ステファン・ボルツマン定数	グループ1の面の数
▶	5.67E-08	220
*		

図4-15 熱放射グループ入力画面

4.15 初期値データ入力画面

本入力、初期値データがある場合にのみ実施します。初期値は非定常解析の場合に必要となりますが、入力データにおいては、定常・非定常の区別はありません。図4-16に初期値データ入力画面を示します。

①全節点について、初期温度を入力します。

◇全節点で同一温度を設定する場合は、図4-16で「一括設定」ボタンをクリックし

ます。そうすると、図4-15の一括設定温度の入力画面となりますので、一律の温度を入力し、「OK」ボタンをクリックします。

◇実施済みの結果データを利用する場合は、図4-16で「ファイル読み込み」ボタンをクリックします。そうすると、図4-18のコモンダイアログ画面となりますので、Therm3D結果データファイルを選定して開きます。もし非定常解析の結果データであれば、図4-19または図4-20の入力画面が出ます。

図4-19は境界条件のステップ数1の解析結果に対応するもので、同画面で採用する時間メッシュ番号を入力して「OK」ボタンをクリックします。

他方、図4-20はステップ数2以上の解析結果に対応するもので、同画面で採用するサイクル番号を入力して「OK」ボタンをクリックします。そうすると図4-21の入力画面となるので、同画面で採用するステップ番号を入力して「OK」ボタンをクリックします。

◇温度固定の節点（固定温度境界の面の節点を含む）においては、初期温度は固定温度に自動設定されます。

②すべての初期値データを入力し終ったなら、「設定」ボタンをクリックして次の画面に移ります。

図4-16 初期値データ入力画面

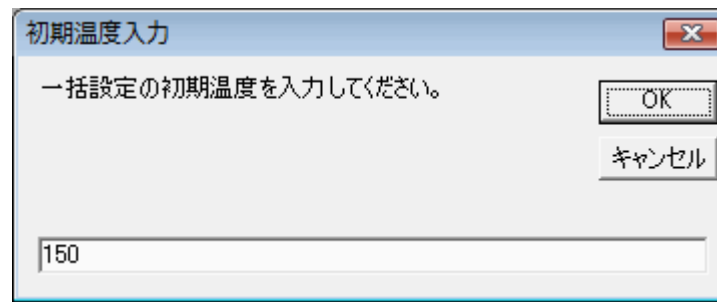


図4-17 一括設定温度の入力画面

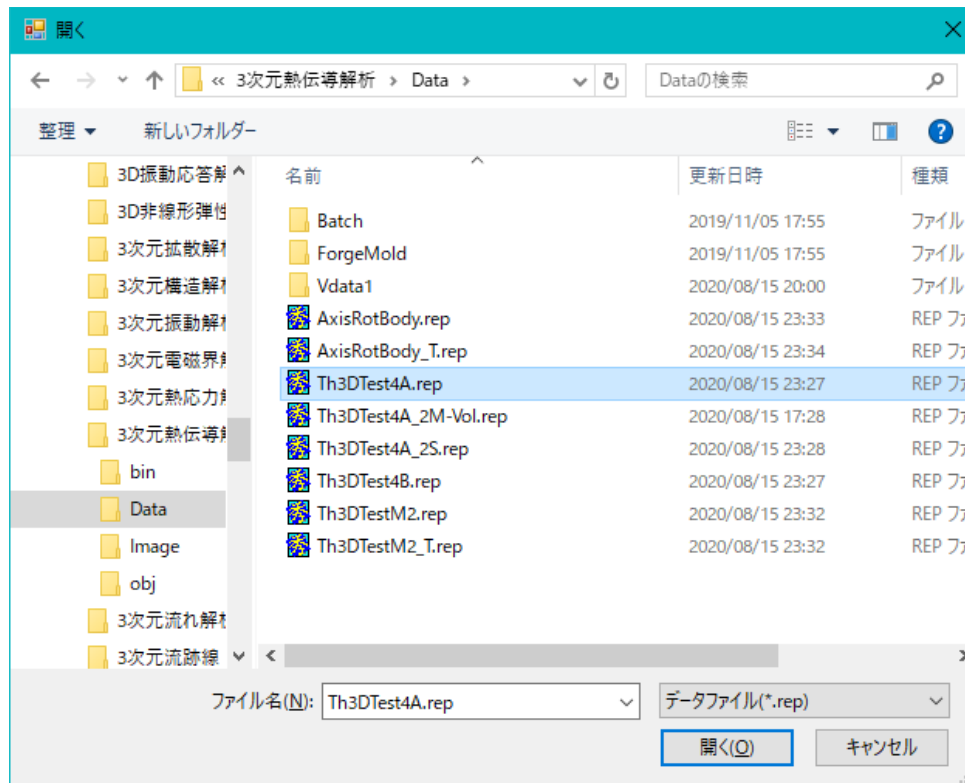


図4-18 Therm3D結果ファイル選択のコモンダイアログ画面

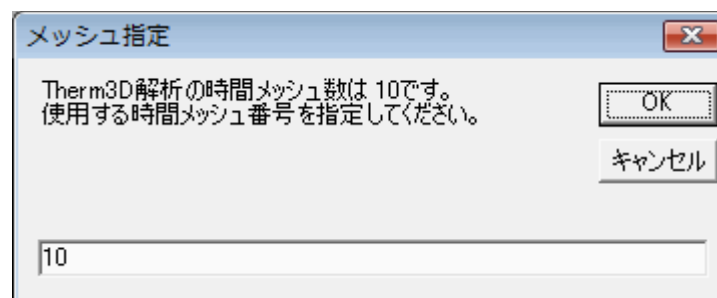


図4-19 非定常温度解析結果の時間メッシュ指定画面（ステップ数1の場合）

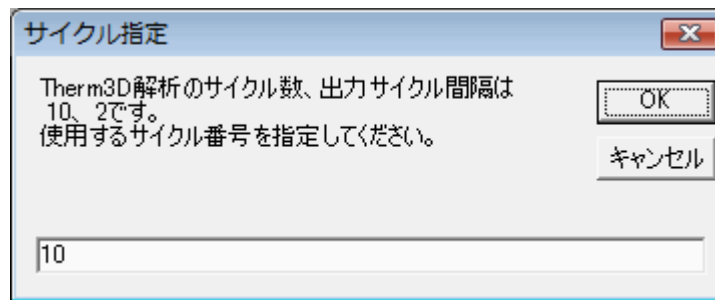


図4-20 非定常温度解析結果のサイクル番号指定画面（ステップ数2以上の場合）

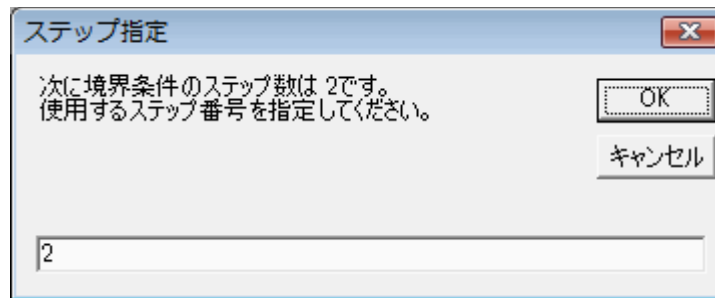


図4-21 非定常温度解析結果のステップ番号指定画面（ステップ数2以上の場合）

4.16 熱放射グループの面データ入力画面

図4-22に熱放射グループの面データ入力画面を示します。本画面は各グループ毎に表示されます。

- ①グループの面の数の分だけNo. が表示されているので、それぞれ要素番号、面番号、放射率を入力します。
 - ◇面番号は、六面体要素の1～6の面番号で、要素の節点番号順との関係は図1-1に示す通りです。この面番号は、構造の作画画面で表示して確認できます。
 - ◇放射率は黒体に対する比率です。
 - ◇形態係数は解析計算の中で算出されます。
- ②要素番号に「-1」を入力すると、その行を削除して前詰めします。
- ③すべての面データを入力し終ったなら、「設定」ボタンをクリックして次の画面に移ります。

Th3DDat5

熱放射グループ 1 の入力

要素番号に-1を入力すると、その行を削除・前詰めします。

[面番号]要素内の面番号

	面No.	要素番号	面番号	放射率
▶	1	22	4	.8
	2	26	4	.8
	3	30	4	.8
	4	34	4	.8
	5	38	4	.8
	6	42	4	.8
	7	46	4	.8
	8	50	4	.8
	9	74	4	.8
	10	78	4	.8
	11	82	4	.8
	12	86	4	.8
	13	90	4	.8
	14	94	4	.8
	15	98	4	.8
	16	102	4	.8

設定 戻る

コピー 貼り付け

取り消し

図4-22 熱放射グループの面データ入力画面

4.17 材料データ入力画面

図4-23、24に材料データ入力画面を示します。図4-23は温度区分数が1の場合、図4-24は温度区分数が3の場合です。

①密度は、温度区分によらない共通の値を入力します。

②各区分番号毎に、比熱、熱伝導率、上限温度を入力します。

◇上限温度は、その温度区分の上限となる温度です。1区分しかない場合を含め、最大の区分番号における上限温度は計算範囲より余分に高い温度を設定しておきます。

③表データについては、「コピー」、「貼り付け」ボタンにより、通常のクリップボード利用ができます。

◇「取り消し」ボタンを押すと直前の貼り付けを取り消せます。

④材料データを入力し終ったなら、「設定」ボタンをクリックします。材料の数が複数の場合は、順次、次の材料番号のデータ入力画面に移ります。すべての材料番号について終了すると、図4-2のデータ仕様入力画面に戻ります。

Th3DDat4

材料データの入力

材料番号 1 密度(共通) 7800

	区分番号	比熱	熱伝導率	上限温度
▶	1	480	47	1000
*				

設定 戻る コピー 貼り付け 取り消し

図4-23 材料データ入力画面（温度区分数1）

Th3DDat4

材料データの入力

材料番号 1 密度(共通) 7800

	区分番号	比熱	熱伝導率	上限温度
▶	1	500	50	100
	2	400	40	200
	3	300	30	400
*				

設定 戻る コピー 貼り付け 取り消し

図4-24 材料データ入力画面（温度区分数3）

4.18 ファイルへの保存

サブメニューの「ファイルへの保存」を選択すると、コモンダイアログでファイルを保存する画面となり、入力データファイルを設定すると、データが書き出されます。新たなファイル名を入力すると新ファイルが作成されます。先に入力データファイルを読み込んである場合に、同ファイルを選定すると上書きとなります。

図4-25に入力データファイル例を示します。

◇保存ファイルの文字コードはUTF-8です。

◇1行内の複数データは、「,」（コンマ）で区切られます。

図4-25の○印を付した数字の部分について補足説明します。

- ①「要素種類（0:六面体、1:四面体）」は0で、六面体2次要素になっています。
- ②本行以降に、ガウス積分点数、1節点当りの変数の数、材料データの成分数が自動出力されています。

```

プログラム名, Therm3D
要素種類 (0:六面体、1:四面体) , 0
3次元熱伝導テストモデル (□0.1m×0.3m長)
節点数, 141
要素数, 16
材料データ数, 1
境界条件のステップ数, 1
温度固定節点数, 21
温度固定境界の面の数, 0
熱流束境界の面の数, 1
熱伝達境界の面の数, 1
熱放射境界の面の数, 1
内部発熱の要素の数, 1
熱放射グループの数, 0
ガウス積分点数, 3
1節点当りの変数の数, 1
材料データの成分数, 3
初期値データの有無, 1
要素データ (要素番号、材料番号、20節点番号)
1, 1, 1, 6, 9, 10, 11, 7, 3, 2, 22, 25
   26, 23, 31, 36, 39, 40, 41, 37, 33, 32
2, 1, 3, 7, 11, 12, 13, 8, 5, 4, 23, 26
   27, 24, 33, 37, 41, 42, 43, 38, 35, 34
3, 1, 9, 14, 17, 18, 19, 15, 11, 10, 25, 28
   29, 26, 39, 44, 47, 48, 49, 45, 41, 40
. . . . .
. . . . .
14, 1, 93, 97, 101, 102, 103, 98, 95, 94, 113, 116
    117, 114, 123, 127, 131, 132, 133, 128, 125, 124
15, 1, 99, 104, 107, 108, 109, 105, 101, 100, 115, 118
    119, 116, 129, 134, 137, 138, 139, 135, 131, 130
16, 1, 101, 105, 109, 110, 111, 106, 103, 102, 116, 119
    120, 117, 131, 135, 139, 140, 141, 136, 133, 132
節点データ (節点番号、X座標、Y座標、Z座標)
1, 0, .1, 0
2, 0, .1, .025
3, 0, .1, .05
4, 0, .1, .075
5, 0, .1, .1
6, 0, .075, 0
7, 0, .075, .05
8, 0, .075, .1
9, 0, .05, 0
10, 0, .05, .025
. . . . .
. . . . .
135, .3, .025, .05
136, .3, .025, .1
137, .3, 0, 0
138, .3, 0, .025
139, .3, 0, .05
140, .3, 0, .075
141, .3, 0, .1

```

図4-25 (1/2) 入力データファイル例

```

各材料の物性区分数（材料番号、区分数）
1, 1
各材料の物性データ
材料番号, 1
密度, 7800
区分番号、比熱、熱伝導率、上限温度
1, 480, 47, 1000
温度固定節点データ（節点固定番号、節点番号、各ステップの温度）
1, 1, 200
2, 2, 200
3, 3, 200
4, 4, 200
5, 5, 200
. . . . .
. . . . .
17, 17, 200
18, 18, 200
19, 19, 200
20, 20, 200
21, 21, 200
熱流束データ（熱流束番号、要素番号、面番号、各ステップの熱流束（単位面積当り））
1, 14, 4, 10000
熱伝達データ（熱伝達番号、要素番号、面番号、各ステップの熱伝達係数・外部温度）
1, 7, 5, 1000, 200
熱放射データ（熱放射番号、要素番号、面番号、各ステップの放射係数・外部温度）
1, 6, 4, .0005, 10
内部発熱データ（内部発熱番号、要素番号、各ステップの内部発熱率）
1, 15, 100000
初期値データ（節点番号、初期温度）
1, 200
2, 200
3, 200
4, 200
5, 200
. . . . .
. . . . .
17, 200
18, 200
19, 200
20, 200
21, 200
22, 100
23, 100
24, 100
25, 100
26, 100
27, 100
28, 100
29, 100
. . . . .
. . . . .
137, 100
138, 100
139, 100
140, 100
141, 100

```

図4-25 (2/2) 入力データファイル例

4.19 構造の作画

サブメニューの「構造の作画」を選択すると、全体構造の透視図が画面に作画されます。図4-26に本例題の構造作画の画面例を示します。同図は、本画面に移った状態のもので、作画のパラメーターは標準条件になっています。

- 1) 複数材料の場合は、材料別に色分けして表示されます。
- 2) 本画面の上側と左側に、作画の種々のパラメーターを表示してあり、それらを変更することができます。変更した後は、「再描画」ボタンをクリックすると、新しいパラメーター条件による作画画面に変更されます。
- 3) パラメーターの「視点とモデルの距離倍率」は、透視変換の度合を調整するもので、小さくすると中心投影に近づき、大きくすると平行投影に近づきます。
- 4) 「視点の高さ倍率」は、透視の視点の高さを調整するもので、小さくすると視点が下がり、大きくすると上がります。

- 5) 「番号表示の項目」は、「要素番号」、「節点番号」、「面番号」を重複選択できます。
◇上記のいずれかの番号表示を選択した場合に、「番号表示の文字サイズ」が有効になります。

◇面番号は()付きの数字で作画されます(後掲の図4-29参照)。

注) 要素番号は、隠面処理有りの場合、隠れて見えないことがあります。

- 6) 以上のパラメーターを変更した後、最初の状態に戻すには、「標準条件に設定」ボタンをクリックします。

- 7) 「Shift+マウス」により構造を回転することができます。

◇構造図の任意の場所で、Shiftキーとマウス左ボタンを押したまま、回転したい方向へマウスを移動させ、そこでマウスボタンを離します。そうしますと、回転が実行されます。

◇図4-27にマウスの操作方向と回転方向の関係を示します。同図のように、スクリーンの場所により、Z軸回り、X軸回りの各回転、または構造中心回りの旋回が実施されます。

◇構造図の「説明」ボタンをクリックすると、図4-27と同じ説明図が表示されます。

- 8) 「ホーム」ボタンをクリックすると、初期の回転位置に戻ります。

- 9) 「材料の指定番号」は、作画する材料を選択したい場合に材料番号を入力します。

◇全材料を指定する場合は0を入力します。

◇「-」付きで材料番号を入力すると、その材料だけ除外して作画します。

◇一旦、ある材料番号で作画した後、他の材料番号を選択した場合は、「再描画」ボタンではなく、「全要素描画」ボタンをクリックします。

- 10) 「要素の指定番号」は、作画する要素1個を指定したい場合に要素番号を入力します。

◇要素を指定しない場合は0を入力します。

- 11) 「標準・全画面切換」ボタンをクリックすると、標準画面と全画面を切り換えることができます。また、画面Formの右下コーナー等をマウスドラッグすることにより、標準画面と全画面の間で自由に拡大・縮小できます。

- 12) マウス中ボタン、ホイールにより移動、拡大・縮小を行なうことができます。中ボタン

を押したまま動かせば図形を移動できます。また、ホイールの回転により拡大・縮小ができます。

- 13) マウスドラッグ矩形により、構造図の一部分を拡大できます。

◇マウスドラッグは、拡大したい部分の左上隅にマウスを移動し、そこでマウスの左ボタンを押し、その左ボタンを押した状態で拡大部分の右下隅までマウスを移動させ、そこで左ボタンを離します。そうしますと、図4-28のようにマウスドラッグ範囲の矩形が表示され、コモンダイアログで「選択領域を拡大しますか？」と問うてきます。そこで、「はい」を選択すると、選択領域が拡大されて表示されます。

◇上記の選択領域に関しては、要素全体（全節点）が選択領域に入っている要素だけがすべて拡大の対象となります。

◇拡大操作を行なった後、元の全体構造図に戻りたい場合は、「全要素描画」ボタンをクリックします。

◇図4-28の選択領域を拡大した後、番号表示の項目をすべて選択して「再描画」した画面を図4-29に示します。

- 14) 「条件設定部の表示」は、「温度固定部分（緑色）」、「熱流束・熱伝達・内部加熱ぶぶん（あかい）」、「熱放射部分（青色）」の内、表示したい項目を重複選択できます。

◇選択した項目がカラー表示されます。図4-30に、全項目とも表示した構造図を示します。

◇内部発熱の要素については、同要素の六面とも赤色で表示されます。ただし、構造内側にある内部発熱の要素は、部分拡大で同要素の面を外郭に持ってこないと赤色表示されません。

- 15) 任意の要素面を右クリックすると、図4-31のように当該要素面の要素番号・節点番号・面番号が表示されます。

◇ESCキーを押すと上記の番号表示が解除されます。

- 16) 「データ設定モード」を選択して、任意の要素面を右クリックすると図4-32のようにデータ項目選択画面が出て、境界条件等のデータ入力・変更を実施できます。ただし、「材料番号」と「内部発熱」は要素に対するデータ設定となります。

◇図4-32の画面でいずれかのデータ項目を選択し、「設定」ボタンをクリックすると図4-33のデータ入力画面に移ります。同図は温度固定節点データの入力画面ですが、他のデータ項目でも同様です。同図でのデータ入力は、前述の「データ入力・修正」サブメニュー以降の各データ入力画面と同様です。なお、「材料番号」以外の本画面では、表の最下行にデータを追加できるようになっています。図4-33で「設定」ボタンをクリックすると、データ変更が実施されます。

- 17) 繰り返して描画を実施した場合、「前の描画」ボタンをクリックすると1つずつ前の描画にさかのぼることができます。

◇さかのぼれる描画の数は最大8つです。

◇回転操作があっても無視され、初期の回転位置で描画されます。

- 18) 「面切断設定」ボタンをクリックすると、図4-34の面切断設定の画面に移り、面切断の仕方を設定できます。この面切断とは、座標軸に直角な平面で構造を切断し、2分割さ

れたいずれかの構造図を描くものです。図4-34の画面では次のように操作します。

- a) 座標軸としてX、Y、Zのいずれかを選択し、その座標値と許容誤差を入力します。
- b) さらに、その平面の正側か負側かを選択します。
- c) 「設定」ボタンをクリックすると面分割された構造部分が選択されて、構造図に戻ります。

19) 「Ctrlキー+マウス」で矩形ドラッグすると、図4-35のようにデータ項目選択画面が出て、境界条件等のデータを一括設定できます。矩形の囲む必要範囲は、条件項目により有限要素、要素面、または節点の任意の領域となります。ただし、要素面は外周の面（穴の面を含む）に限定されます。

◇条件項目に必要な要素・面・節点を選択されていない場合は、エラーメッセージが出ます。なお、要素は隠面を含む要素全体が矩形領域に入っていなければ選択されません。他方、面と節点は隠面に属するものは対象外となります。

◇図4-35の画面でいずれかのデータ項目を選択し、「設定」ボタンをクリックすると図4-36のデータ入力画面に移ります。同図は温度固定面データの入力画面ですが、他のデータ項目でも同様です。同図でのデータ入力は、一括設定のために番号等の表示が省略されている以外は、前述の「データ入力・修正」サブメニュー以降の各データ入力画面と同様です。ただし、「一括削除」ボタンが追加されています。

図4-36で「設定」ボタンをクリックすると、データが一括設定され、図4-37のように構造画面に反映されます。また、「一括削除」ボタンをクリックすると、既存のデータが一括して削除されます。

20) 本画面で「コピー印刷」ボタンをクリックすると、プリンターで画面コピーを印刷できます。

◇「通常画面」の作画が印刷されます。

21) 本画面を終了するには、「中止」ボタンをクリックします。

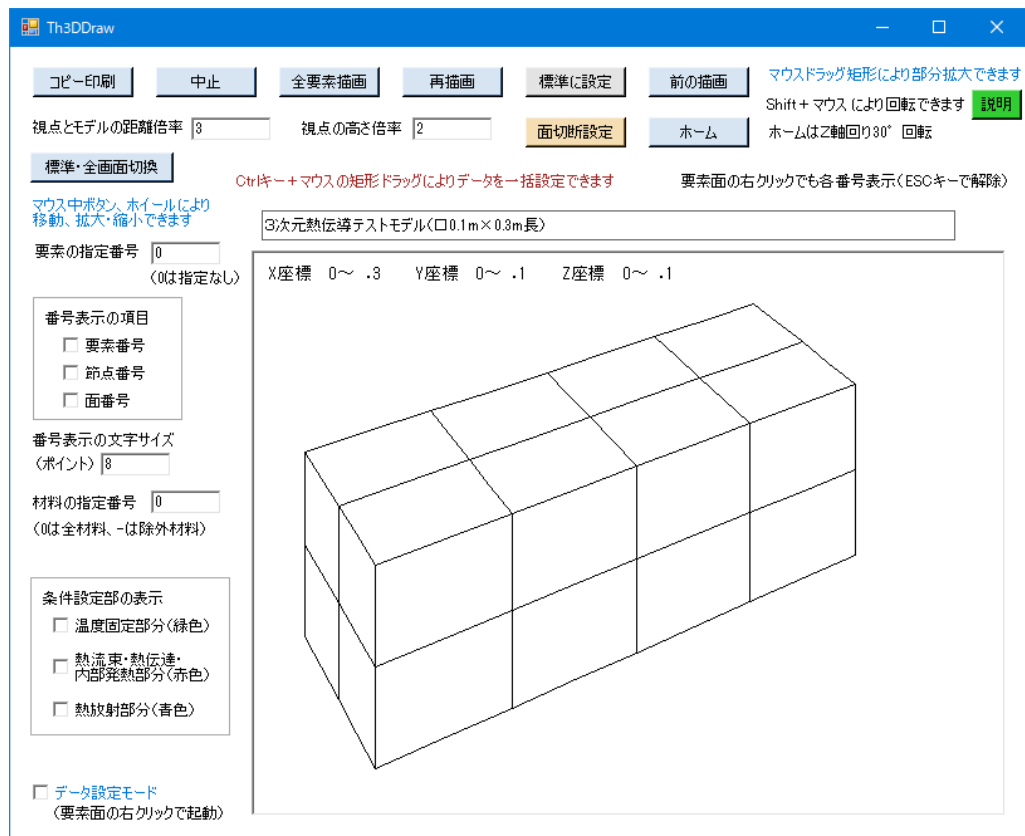


図4-26 構造作画の画面例

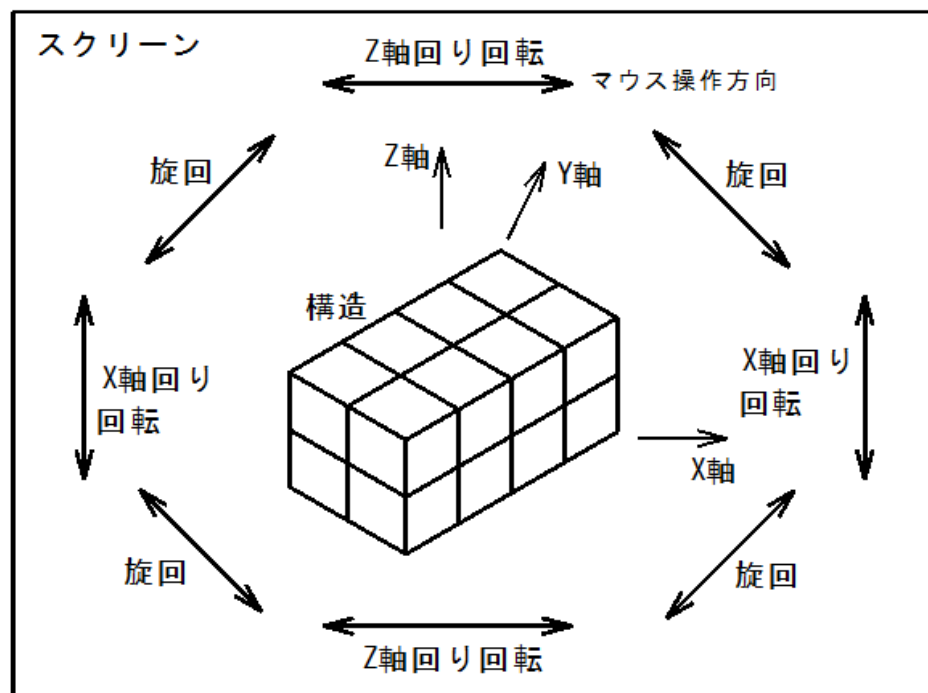


図4-27 マウスの移動方向と回転方向との関係 (Shiftキー併用)

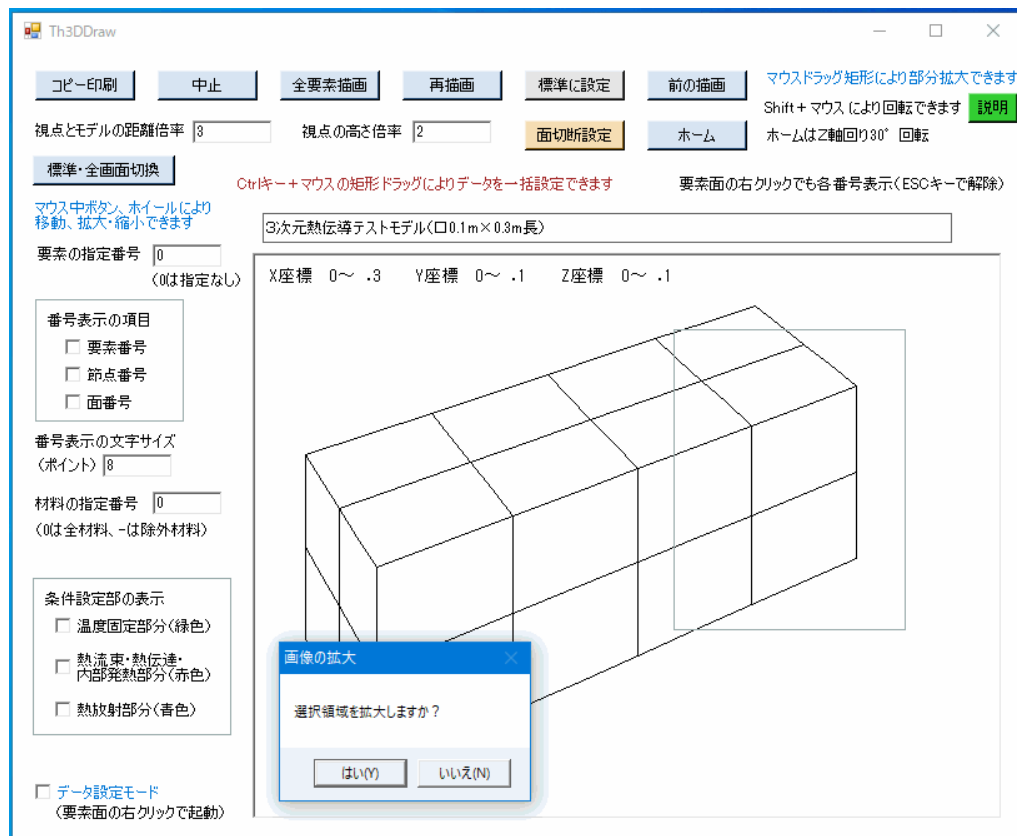


図4-28 構造作画における拡大領域選択例

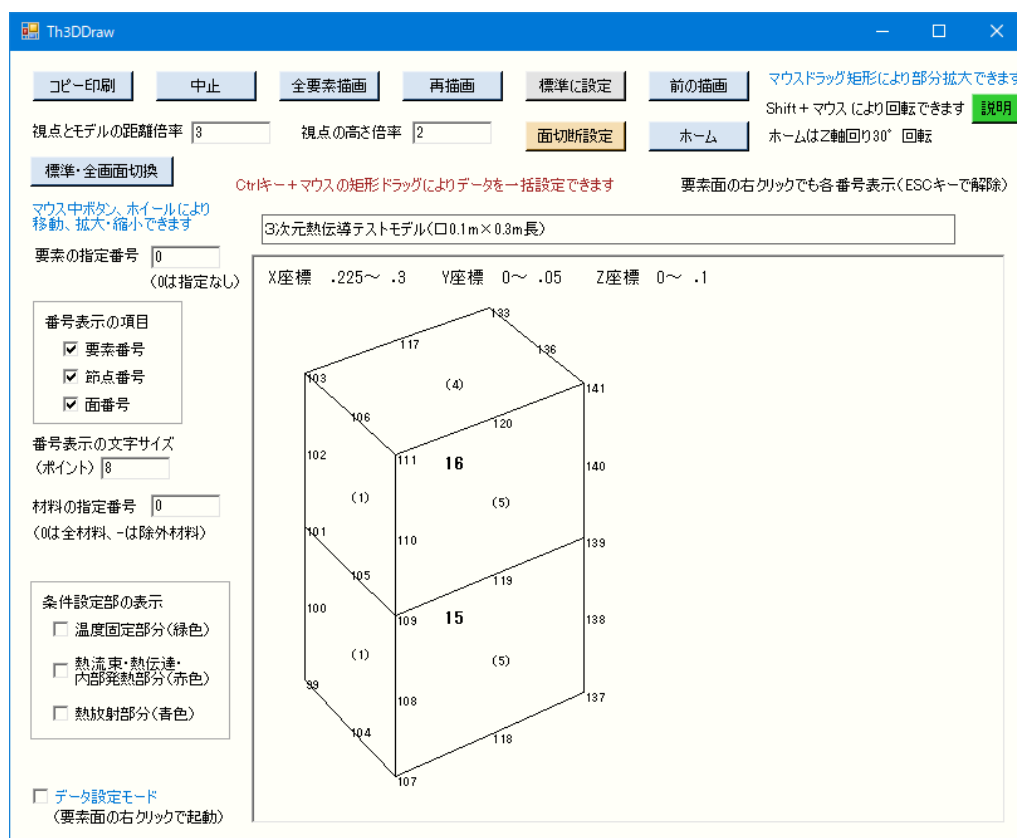


図4-29 構造作画の番号表示有りの部分拡大例

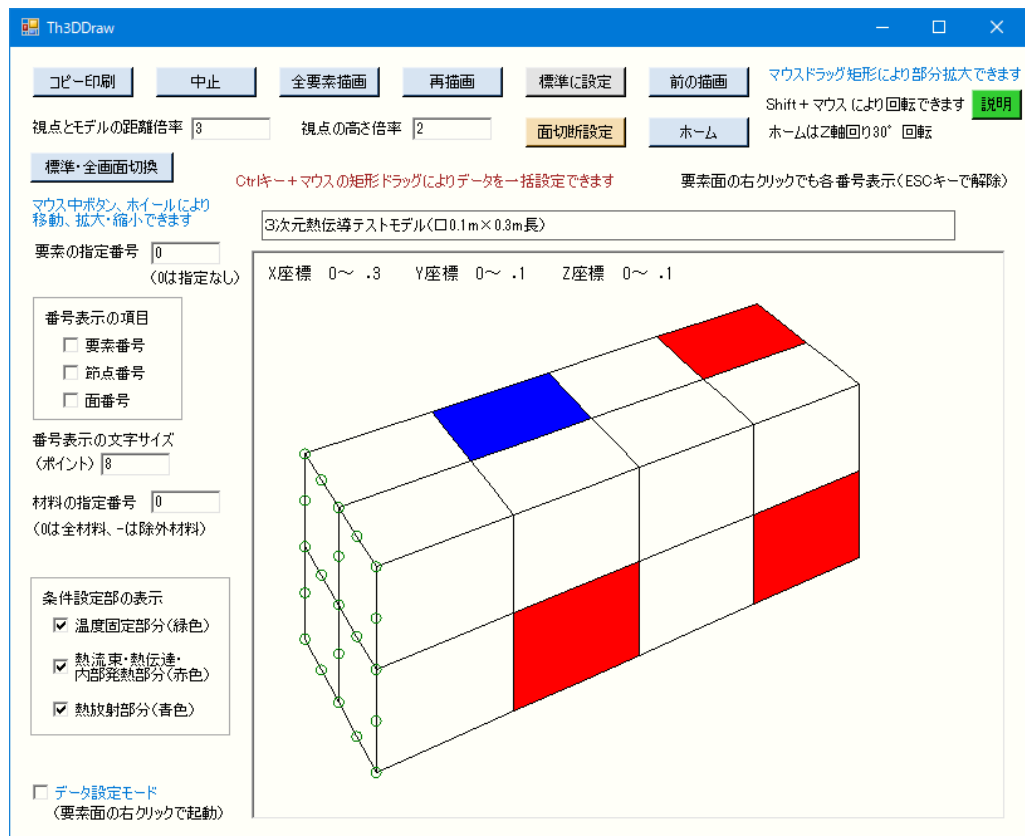


図4-30 構造作画の条件設定部の表示有りの画面例

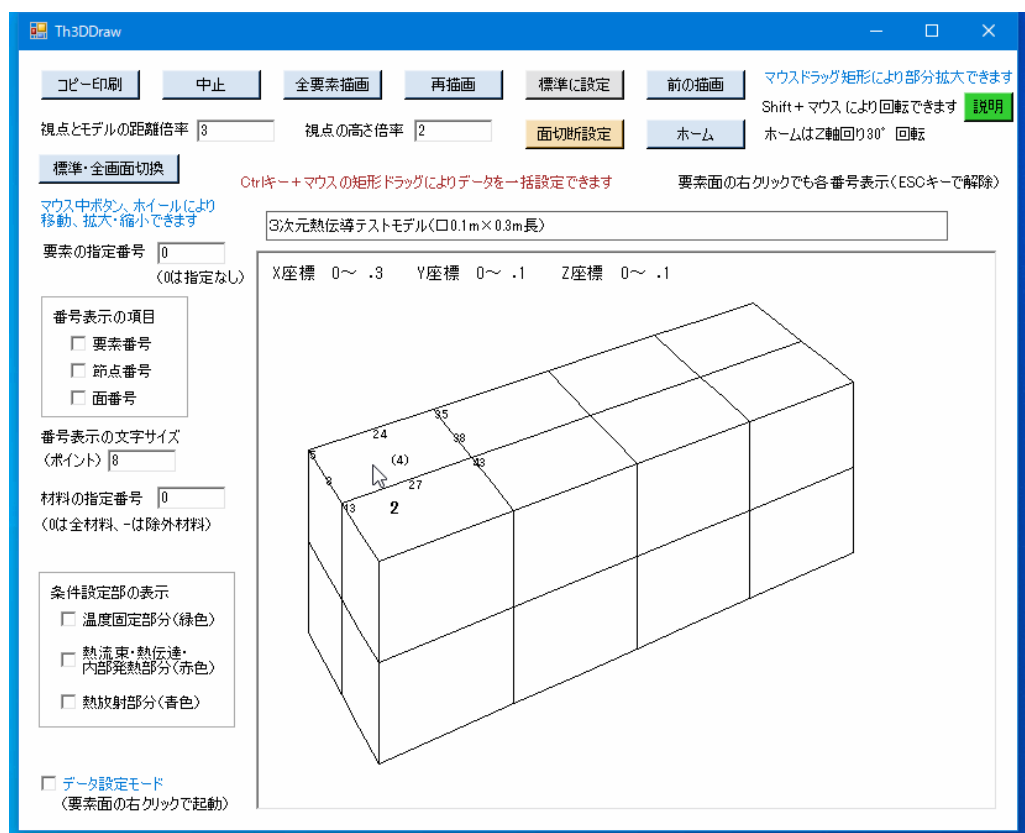


図4-31 構造作画における要素面の右クリック画面例

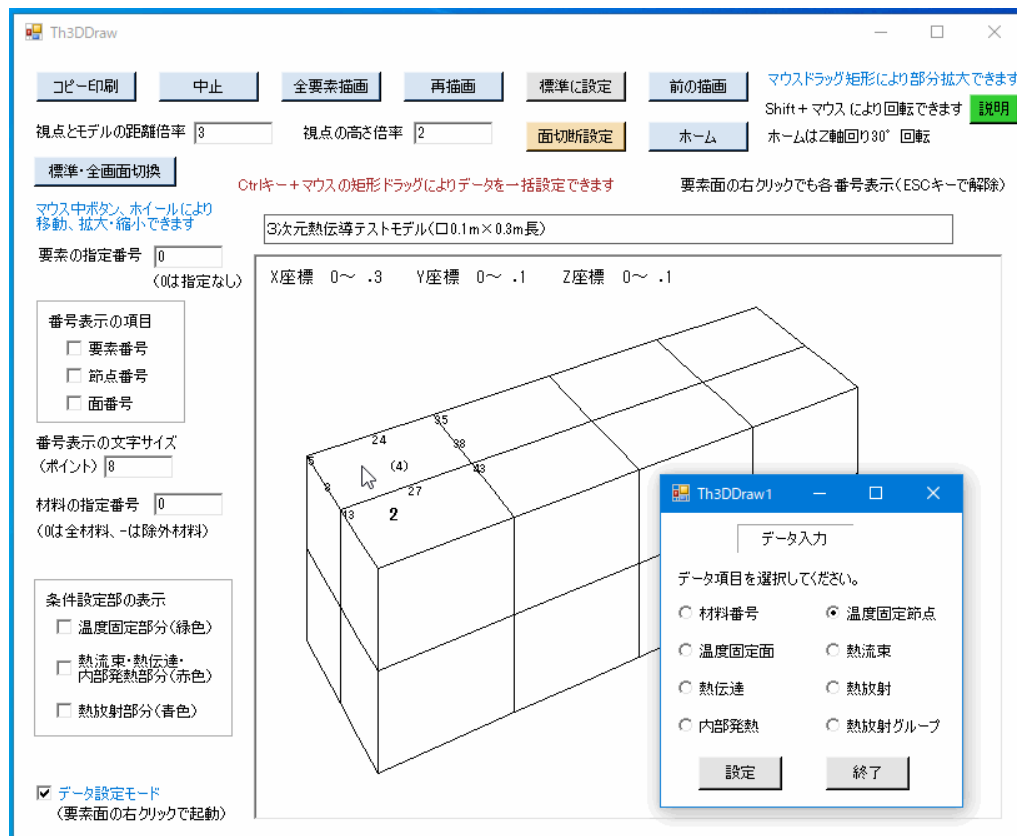


図4-32 構造作画のデータ設定モードにおけるデータ項目選択画面

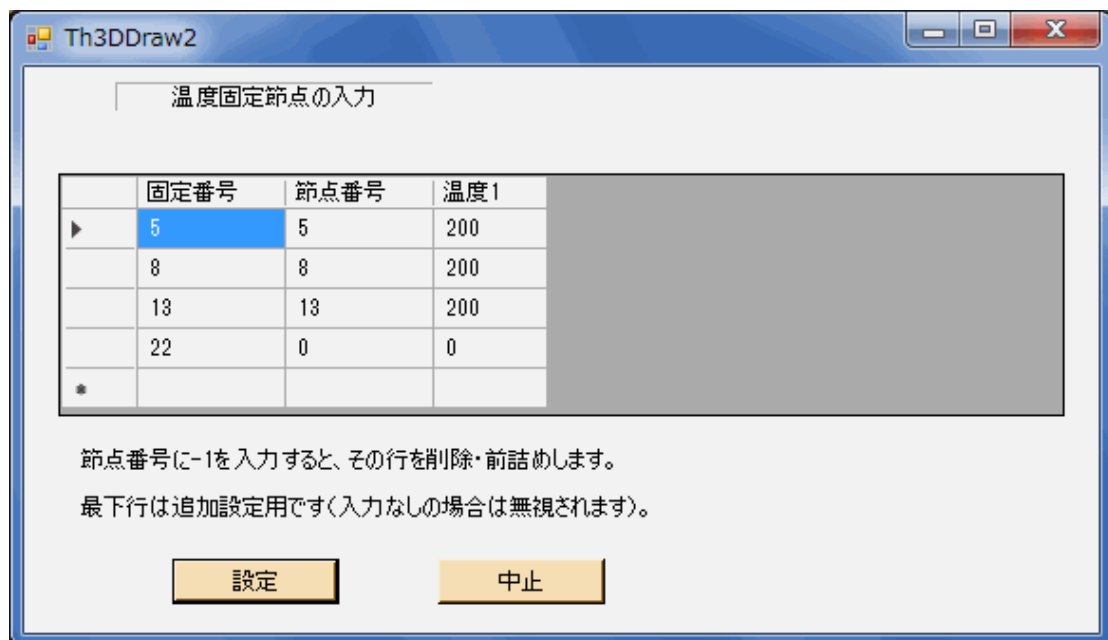


図4-33 構造作画におけるデータ入力画面例（温度固定節点の場合）

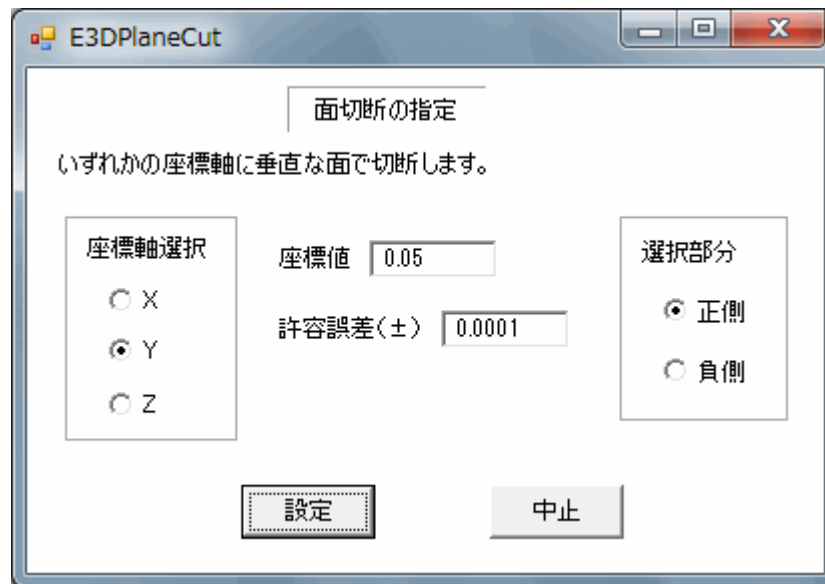


図4-34 面切断設定の画面

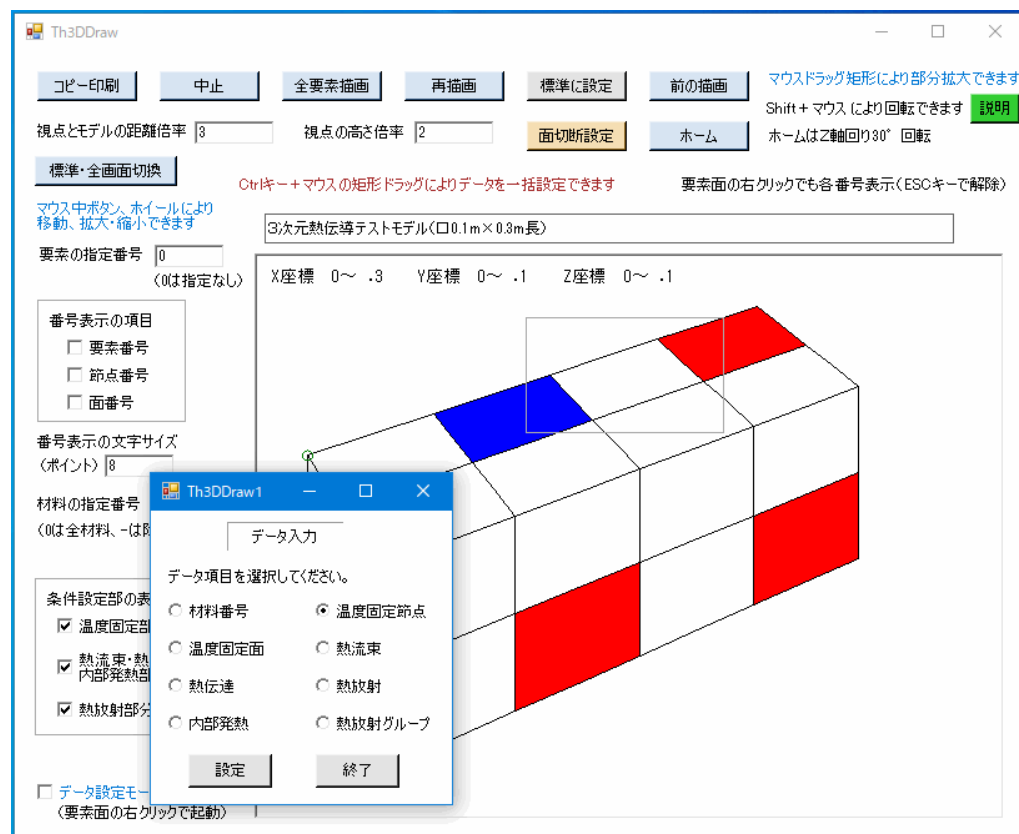


図4-35 構造作画の「Ctrlキー+マウス」ドラッグ矩形によるデータ項目選択画面



図4-36 構造作画における一括設定データ入力画面例（温度固定面の場合）

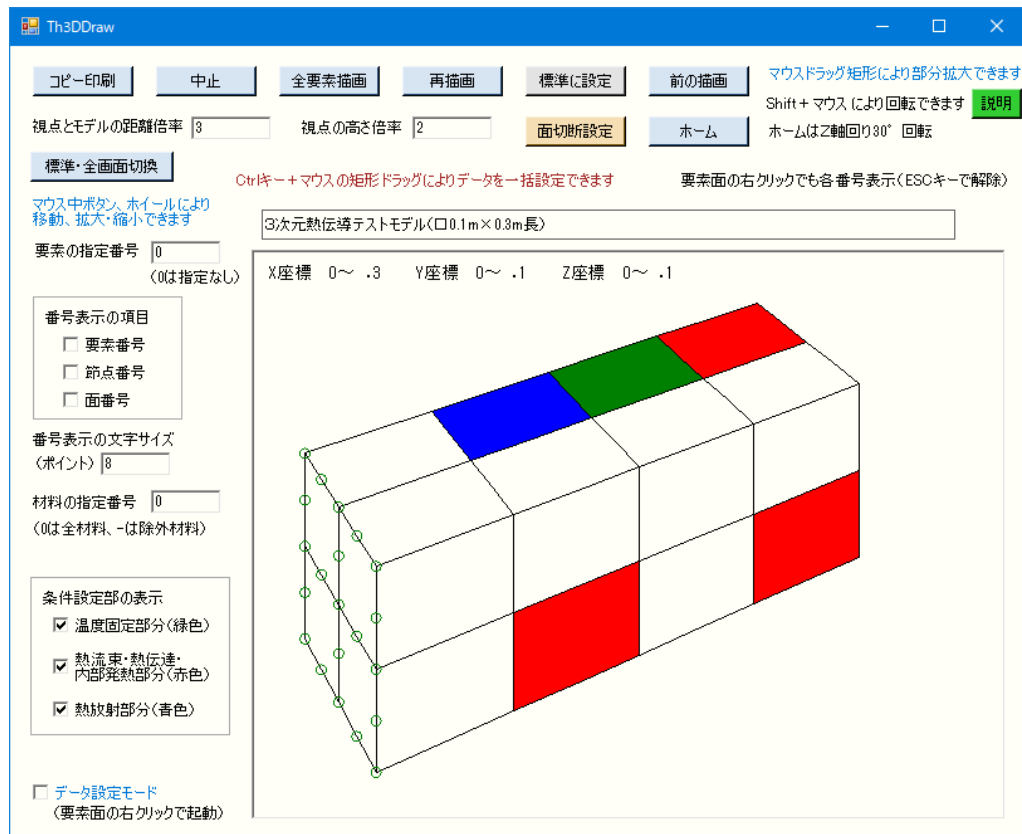


図4-37 一括設定終了後の構造作画の画面例（温度固定面の場合、緑色面追加）

4.20 構造モデルの移動

サブメニューの「構造モデルの移動」を選択すると、図4-38の移動量入力画面となります。同画面で、平行移動の各座標軸方向の移動量、および回転移動の各座標軸回りの回転角を入力します。同図に示すように、移動の順序は、Z軸回りの回転、Y軸回りの回転、X軸回りの回転、最後にX, Y, Z軸方向の平行移動となります。もし、違う順序で移動させたい場合は、「構造モデルの移動」を繰り返し実施することにより可能です。その際は、各繰り返し毎の生成データをファイルへ保存する必要はなく、最終の生成データのみをファイル保存すればよいです。

本画面の「設定」ボタンをクリックすると、移動計算が実行されます。計算が終了すると、計算終了確認ボックスが出て、入力データファイルへの保存を問うてきますので、ここで「はい」を選択すると、書き出し用のデータファイル設定画面となり、移動されたモデルのデータファイルを出力できます。また、「いいえ」を選んでも、後でサブメニュー「ファイルへ保存」により、同様にファイル出力できます。

図4-38 構造モデルの移動量入力画面

4.21 構造の合成

1) サブメニューの「構造の合成」を選択すると、図4-39の合成ファイル設定画面となります。

- ① 同画面で、ベースファイルと追加ファイルを設定します。「ベースファイル名」ボタン、または「追加ファイル名」ボタンをクリックすると、コモンダイアログでファイルを開く画面となり、それぞれの構造データファイルを選定して読み込みます。
- ② 合成方法として、「調整済み」、「結合点1個所指定（平行移動）」のいずれかを選択します。

◇「調整済み」とは、結合する境界について、ベース構造と追加構造とで座標値を含めて同じに設定済みということです（節点番号は別）。

◇「結合点1箇所指定（回転なし）」とは、追加構造を平行移動して指定の節点どうしで結合するということです。節点の指定は結合方法の下部に表示される結合点で行ないます（図4-40参照）。

- 2) 図4-39の画面で「作画」ボタンをクリックすると、図4-40のように2つの構造図が作画された画面となります。本作画により、合成する構造が間違っていないか確かめることができます。

◇結合点を指定した場合は、図4-40のように指定節点が赤丸で表示されます。

- 3) 本画面の「設定」ボタンをクリックすると、合成計算が実行されます。計算が終了すると、計算終了確認ボックスが出て、入力データファイルへの保存を問うてきますので、ここで「はい」を選択すると、書き出し用のデータファイル設定画面となり、合成されたモデルのデータファイルを出力できます。また、「いいえ」を選んでも、後でサブメニュー「ファイルへ保存」により、同様にファイル出力できます。

◇構造が合成されたデータでは、ベース構造の要素番号や節点番号は保持されますが、追加構造の要素番号や節点番号は自動変更されます。

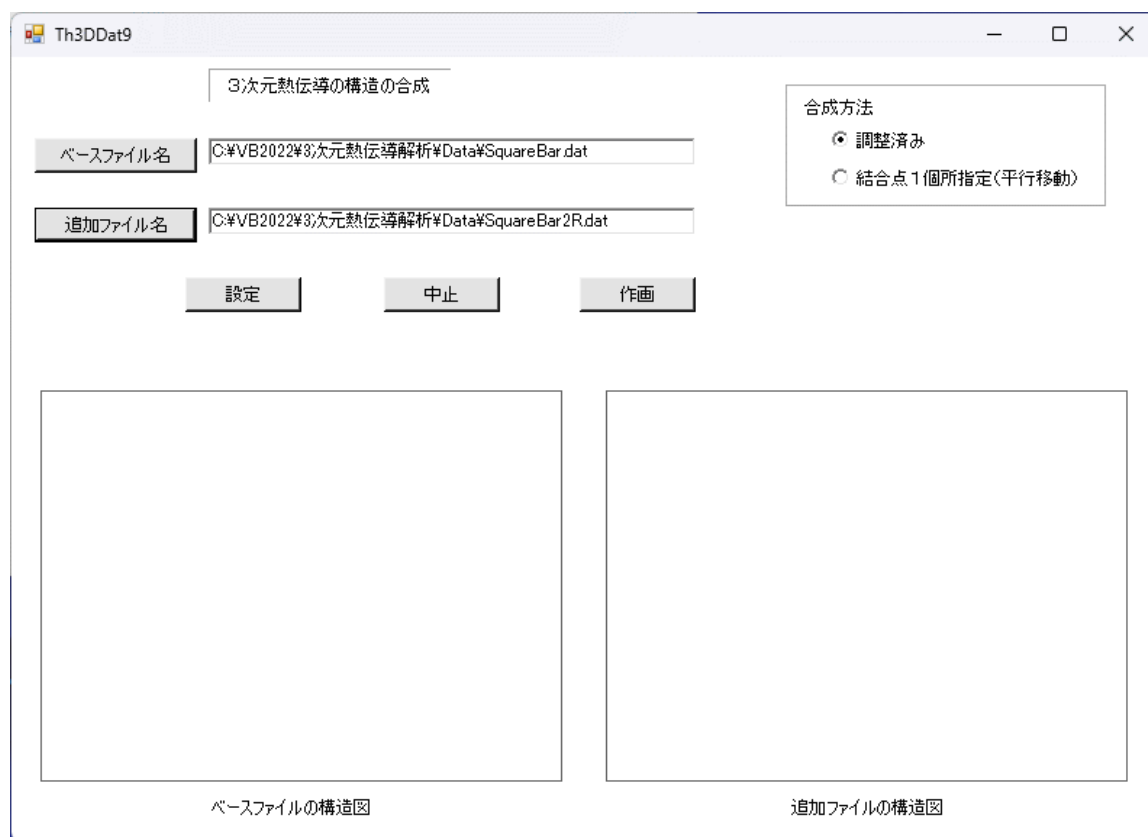


図4-39 合成ファイル設定画面（作画前）

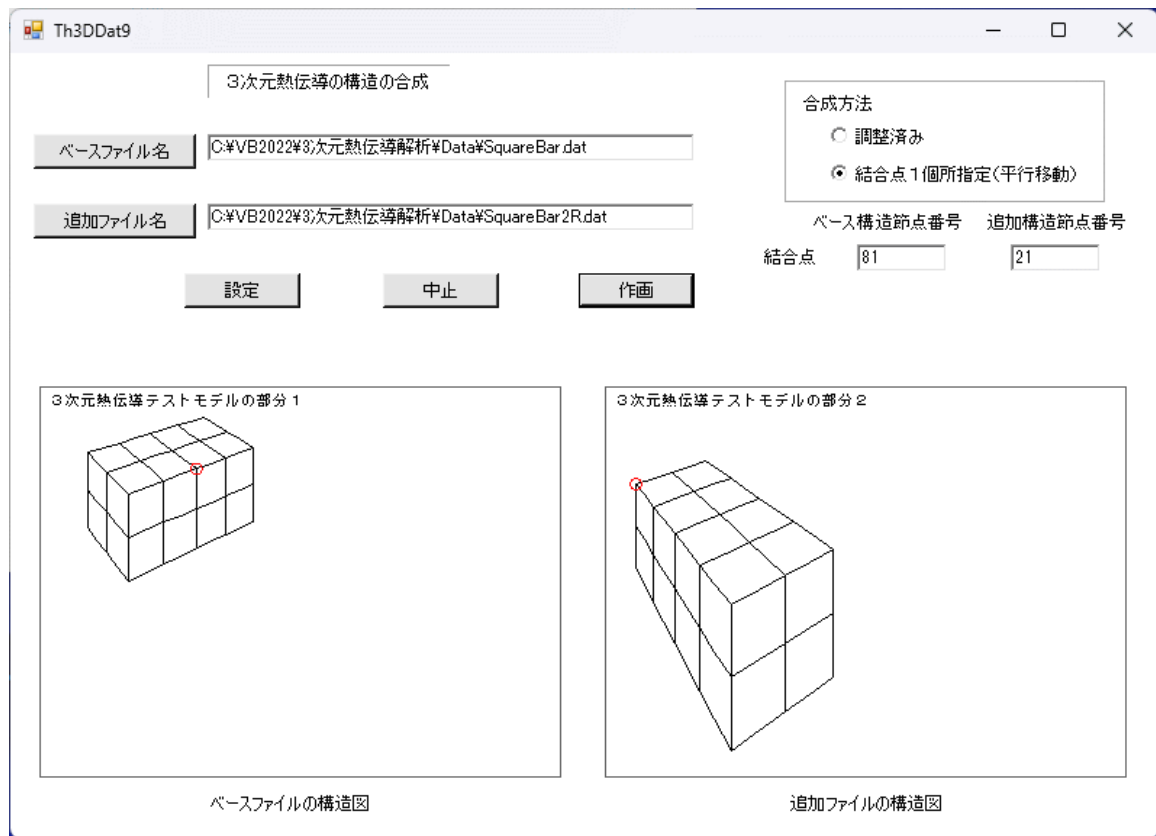


図4-40 合成ファイル設定画面（作画有り）

図4-41に構造が合成されたモデルの構造図の画面例を示します。

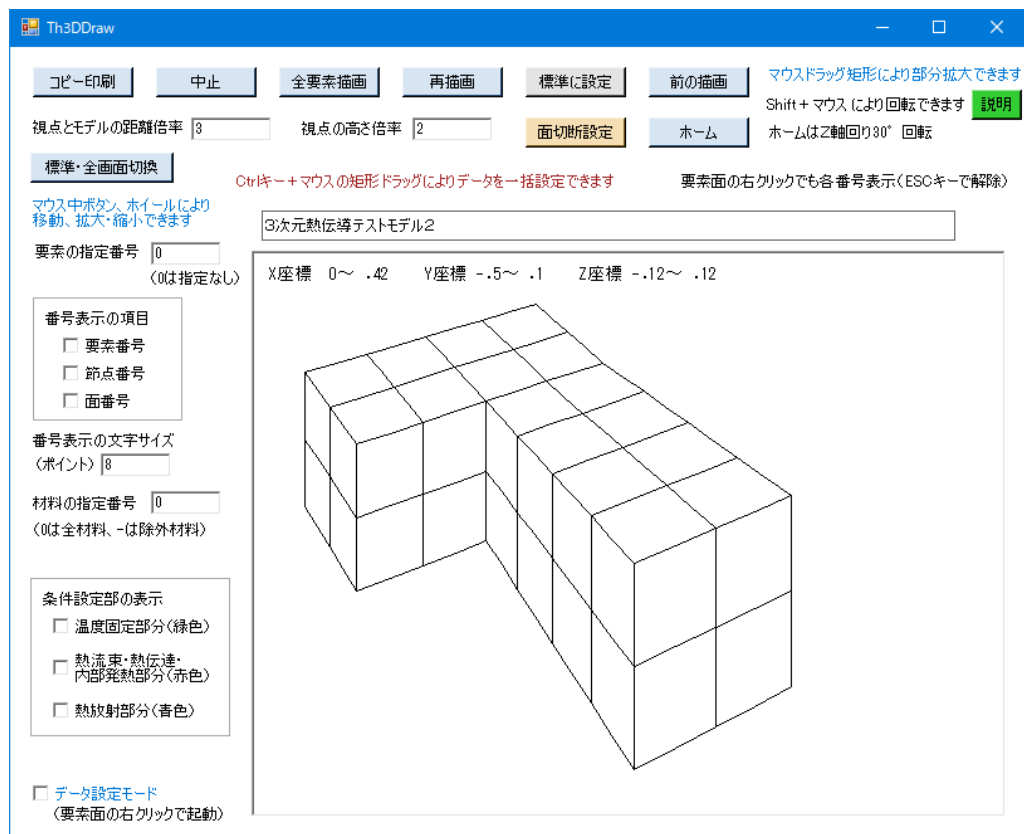


図4-41 合成されたモデルの構造図の画面例

4.22 各種境界面の一括設定

サブメニューの「各種境界面の一括設定」を選択すると、図4-42の熱条件値入力画面となります。

- ①まず、境界種別として温度固定、熱流束、熱伝達、熱放射、熱放射グループのいずれかを選択します。
- ②次に、その境界の熱条件値を入力します。
 - ◇ステップ数が2以上の場合は、各ステップの熱条件値を入力します。
 - ◇熱放射グループの場合は条件値の入力が不要です。その場合、既存グループがあればその最大番号グループに追加、既存グループがなければ新設のグループ1に一括設定します。
- ③本画面の「設定」ボタンをクリックすると、次の境界面一括設定画面に移ります。

図4-42 一括設定の熱条件値の入力画面

図4-43の境界面一括設定画面について説明します。ここで、境界面は要素の外部面が対象で、面の全節点が指定条件に当てはまるすべての外部面に対して上記指定種類の境界面を一括設定できるものです。

- ①X座標範囲、Y座標範囲、Z座標範囲、円筒面範囲について、条件設定したい任意のものをチェック選択します。
- ②X座標範囲、Y座標範囲、Z座標範囲をチェック選択した場合は、各座標の下限と上限を入力します。
 - ◇座標の下限と上限は、コンピューター誤差等を見込んだ余裕を見て設定します。
- ③円筒面範囲をチェック選択した場合は、同画面で円筒面定義式を1つ選択します。
 - そして、円筒面定義式における中心座標A、B、および半径Rの下限、上限を入力します。

◇Rの下限と上限は、コンピューター誤差等を見込んだ余裕を見て設定します。

- ④本画面の「設定」ボタンをクリックすると、一括設定の計算が実行されます。計算が終了すると、計算終了確認ボックスが出て、入力データファイルへの保存を問うてきますので、ここで「はい」を選択すると、書き出し用のデータファイル設定画面となり、データファイルを出力できます。また、「いいえ」を選んでも、後でサブメニュー「ファイルへ保存」により、同様にファイル出力できます。

Th3DDat3a

熱伝達境界面の一括設定

条件範囲の面に表面分布荷重を一括設定できます。

☐ X座標範囲 X下限 X上限

☐ Y座標範囲 Y下限 Y上限

☒ Z座標範囲 Z下限 Z上限

☒ 円筒面範囲

円筒面定義式

☒ $(X-A)^2+(Y-B)^2=R^2$ A B

☐ $(Y-A)^2+(Z-B)^2=R^2$ R下限 R上限

☐ $(Z-A)^2+(X-B)^2=R^2$

図4-43 境界面の一括設定画面

4.23 材料別の初期温度設定

サブメニューの「材料別の初期温度設定」を選択すると、図4-44の材料番号の入力画面となりますので、一括設定する材料番号を入力して「OK」ボタンをクリックします。そうすると、図4-45の初期温度の入力画面となりますので、初期温度を入力して「OK」ボタンをクリックします。そうすると指定した材料番号の初期温度が一括設定されて、図4-46の確認画面が表示され、「OK」ボタンをクリックすると終了します。

◇異なる材料間の節点については、後からの初期温度設定が優先されます。

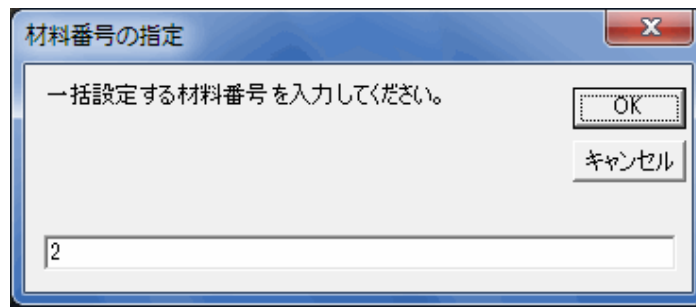


図4-44 材料番号の指定画面

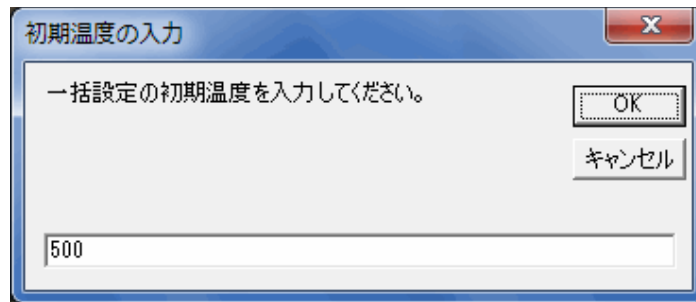


図4-45 初期温度の入力画面

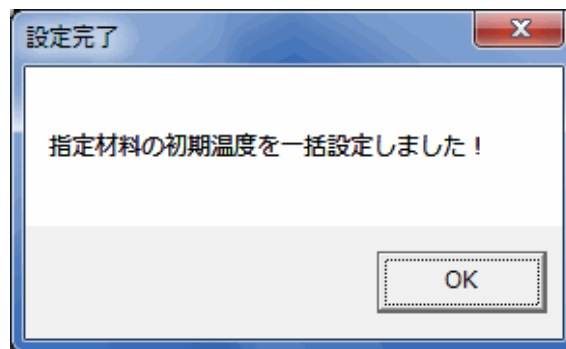


図4-46 材料別の初期温度設定の終了画面

4.24 データチェック

サブメニューの「データチェック」を選択すると、入力済みデータについてエラーのチェックを行なうことができます。エラーが見つかった場合は、画面にエラー内容が表示されます。ただし、検出可能なエラーは簡単な入力ミスに相当するものだけで、すべてのエラーをチェックできるわけではありません。

なお、熱伝導解析の計算開始時にデータチェックが自動実行されます。

4.25 X3Dファイルの出力

サブメニューの「X3Dファイルの出力」を選択すると、図4-47のファイル設定画面となります。同画面で、「入力ファイル指定」ボタンをクリックすると、コモンダイアログで入力データファイルを選定できます。そして、再びファイル設定画面に戻ると、「入力ファイル指定」のテキストボックスには選定済み入力ファイル名が、また「出力ファイル指定」の方には入力ファイル名の拡張子を「.x3d」に変更したファイル名が表示されます。もし、他のファイル名に変更したい場合は、テキストボックスで修正できます。

本画面で「設定」ボタンをクリックすると、X3Dファイルが出力されます。

1) サーフェスモデルのデータが出力されます。その際、有限要素の面は三角形に再分割されます。

2) 出力したX3DファイルはX3Dプレーヤーで閲覧できます。

◇X3DファイルをX3Dプレーヤーで閲覧する場合、ディレクトリーパスとファイル名に日本語を入れてはいけないものもあります。

◇無料のX3Dプレーヤー例としてOctaga Playerがあり、下記URLで入手できます。

<https://www.octagavs.com/>

3) X3Dファイルは、ファイル変換ソフトにより一般の3次元CAD用に変換できます。

4) X3Dファイルは、無料の3次元CGソフトBlenderで使用できます。その場合は次のようにしてください。

①Blenderを起動し、初期オブジェクト(Cube)を削除してください。

②「File」→「Import」でX3Dを選択し、X3Dファイルを読み込んでください。

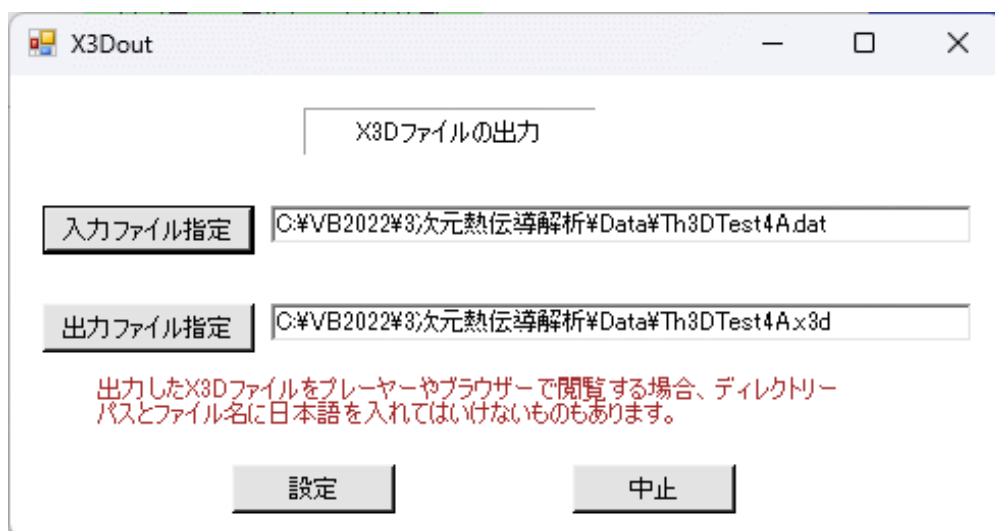


図4-47 X3Dファイル出力のファイル設定画面

4.26 FEM3Dファイルから入力

サブメニューの「FEM3Dファイルから入力」を選択すると、「3次元構造解析」の入力データファイルを読み込んで「3次元熱伝導解析」用にデータ変換します。その後、データ修正やファイル保存が可能です。本データを保存する場合の表示ファイル名は、デフォルトでベース名（拡張子を削除した部分）の後に「T」が付加されたものとなります。もちろん、他のファイル名に変更して構いません。

4.27 最近使用したファイルの選択

サブメニュー「最近使用したファイル」のポップアップで、ファイルリストから選択できます。

注) 新版ソフトでファイルが使用されないとリスト表示されません。

4.28 要素の削除

サブメニューの「要素の削除」を選択すると、図4-48の削除要素数入力画面となります。

- ①本画面で、削除要素数を入力します。
- ②本画面の「設定」ボタンをクリックすると、次の削除要素番号入力画面に移ります。
- ③削除要素番号の入力画面が終了すると、本画面に戻るなので、そこで「すべて確定」ボタンをクリックすると、要素の削除が実行されます。

◇境界条件の節点・面は、要素削除による番号変更にも自動追従します。

図4-49の削除要素番号入力画面について補足説明します。

- ①削除要素数の分だけ、削除要素番号を入力します。
- ②すべての削除要素番号を入力し終わったら、「設定」ボタンをクリックして削除要素数入力画面に戻ります。

The screenshot shows a Windows-style dialog box titled "Th3DDel1". Inside, the text "要素削除データを入力してください。" (Please input element deletion data.) is at the top. Below it is a label "削除要素数" (Delete element count) followed by a text input field containing the number "2". At the bottom, there are three buttons: "設定" (Settings), "中止" (Cancel), and "すべて確定" (All OK).

図4-48 削除要素数の入力画面

The screenshot shows a Windows-style dialog box titled "Th3DDel2". Inside, there is a tab labeled "削除する要素番号の入力" (Input of element numbers to be deleted). Below the tab, the text "要素番号の範囲は1～ 16" (Element number range is 1 to 16) is displayed. A table is shown with two columns: "No." and "削除要素番号" (Delete element number). The table has two rows of data: No. 1 with value 12, and No. 2 with value 16. Below the table is a row with a right-pointing triangle icon and an asterisk (*). At the bottom, there are two buttons: "設定" (Settings) and "戻る" (Back).

No.	削除要素番号
1	12
2	16

図4-49 削除要素番号の入力画面

4.29 内部面境界の設定解除

サブメニューの「内部面境界の設定解除」を選択すると、間違って設定した内部面境界を削除できます。

◇3次元構造では内部面に境界が設定されても確認しにくいため、本機能でチェックしてください。該当する境界の有無に応じて結果メッセージが出ます。

第5章 「計算」プログラム

5.1 サブメニュー画面

「メニュー」プログラムにおける「計算」のサブメニュー画面を図5-1に示します。同図のように5個のサブメニューがあります。「定常解析」、「非定常解析」をクリックすると、次の「計算」ファイル設定画面に移ります。「体積計算」は補助機能であり、5.6節で説明します。「定常解析（バッチ処理）」、「非定常解析（バッチ処理）」は5.7節で説明します。

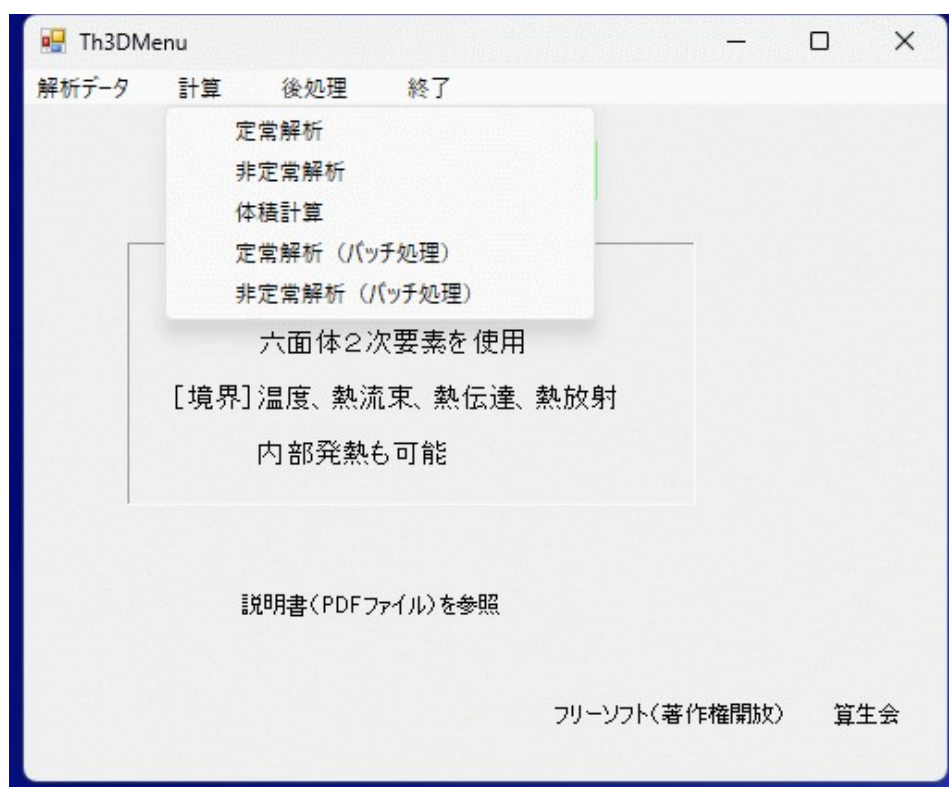


図5-1 「計算」サブメニュー画面

5.2 「計算」ファイル設定

図5-2に「計算」ファイル設定画面を示します。同画面で、「入力ファイル指定」ボタンをクリックすると、コモンダイアログで入力データファイルを選定できます。そして、再び「計算」ファイル設定画面に戻ると、「入力ファイル指定」のテキストボックスには選定済み入力ファイル名が、また「出力ファイル指定」の方には入力ファイル名の拡張子を「.rep」に変更したファイル名が表示されます。もし、他のファイル名に変更したい場合は、テキストボックスで修正できます。

本画面で「設定」ボタンをクリックすると、データチェックの自動実行の後、次の計算条件入力画面に移ります。

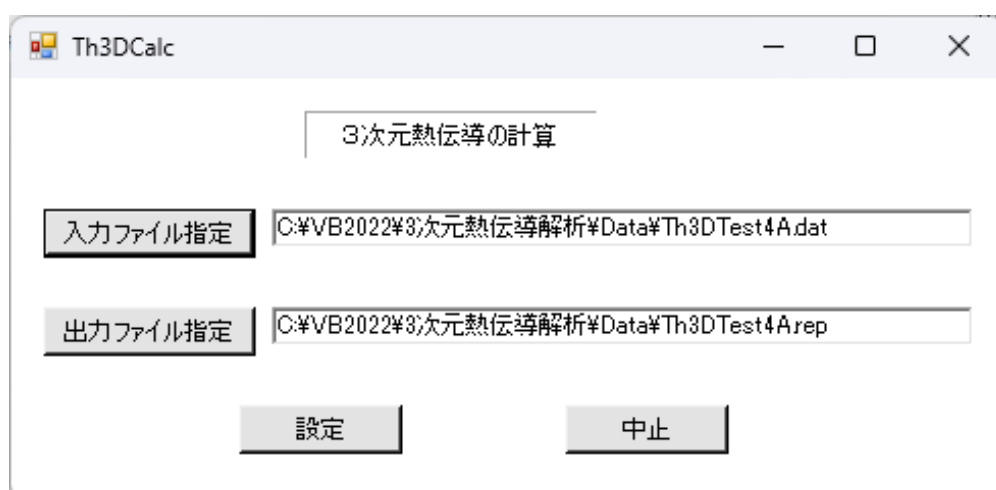


図5-2 「計算」 ファイル設定画面

5.3 計算条件入力画面

図5-3に定常解析の計算条件入力画面を示します。

- ①ソルバー選択として、スカイライン法か反復法を選択します。

◇反復法は、スカイライン法よりもメモリー使用量を低減できます。特に大規模構造や軸回転体の場合は、メモリー使用量を大幅に低減でき、計算時間も大きく削減できますので、反復法を使用してください。

- ②本画面で「設定」ボタンをクリックすると、計算が開始されます。

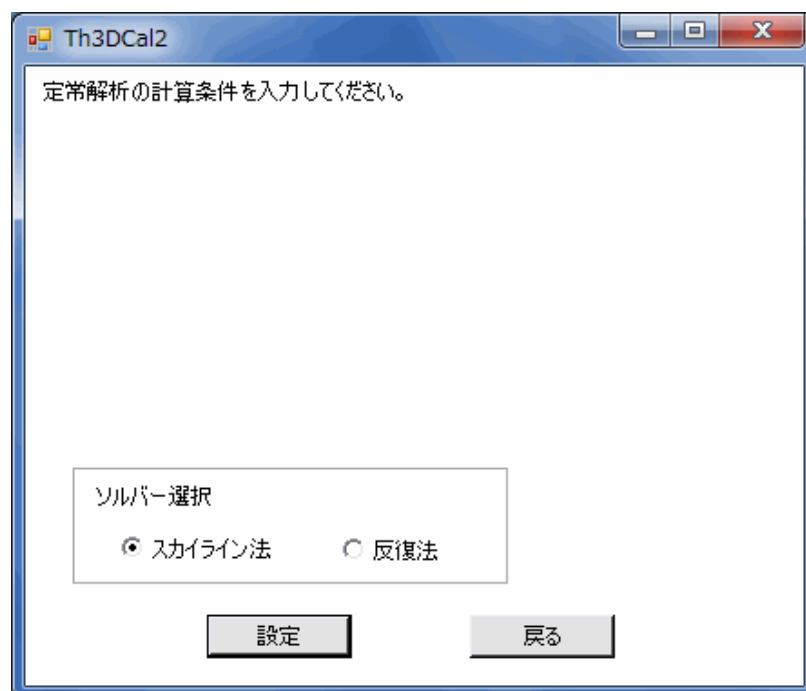


図5-3 定常解析の計算条件入力画面

次に、図5-4に非定常解析で ステップ数が1の場合の計算条件入力画面を示します。

- ①最初に、計算打ち切り時間と出力時間メッシュ数を入力します。

◇計算打ち切り時間は、熱伝導の経過時間上限を意味し、本時間まで計算を実行し

ます。もし計算打ち切り時間がはっきりわからなければ、少し短めで任意の時間を設定し、計算結果を見て再計算すればよいです。

◇出力時間メッシュ数は、計算打ち切り時間を何分割して結果出力を行なうかの値です。本メッシュ間隔毎に、その時点の計算結果をファイル出力します。

②次に、計算時間間隔の初期値と計算1回当たりの温度変化許容値を入力します。

◇計算時間間隔の初期値とは、最初に計算試行する経過時間長さのことで、かなり小さ目の値を入れておきます。

◇計算1回当たりの温度変化許容値は、各時間ステップにおいて許容する温度変化量の上限值です。各時間ステップにおける各節点の温度変化量が本許容値を超えないように、各ステップの時間を自動設定しています。

③さらに、優先選択として計算時間かメモリー使用量を選択します。

◇メモリー使用量を選択すると、計算時間の選択に比べて、メモリー使用量は1/3～1/4に低減できますが、計算時間が長くなります。

④そして、ソルバー選択として、スカイライン法か反復法を選択します。

◇反復法は、スカイライン法よりもメモリー使用量を低減できます。特に大規模構造や軸回転体の場合は、メモリー使用量を大幅に低減でき、計算時間も大きく削減できますので、反復法を使用してください。

⑤本画面で「設定」ボタンをクリックすると、計算が開始されます。

図5-4 非定常解析の計算条件入力画面（ステップ数1の場合）

次に、図5-5に非定常解析でステップ数が1以上の場合の計算条件入力画面を示します。上記ステップ数1の場合の①の替わりに計算サイクル数と出力サイクル間隔を入力します。それ以外は上記と同じです。

◇計算サイクル数は、境界条件の全ステップを1サイクルとして、何サイクル計算

するかの回数です。

◇出力サイクル間隔は、計算結果をファイル出力するサイクル間隔のことで、出力サイクルにおいては各ステップの終了時の結果が出力されます。また、最終サイクルについては、出力サイクル間隔と一致していなくても、自動的に出力されます。

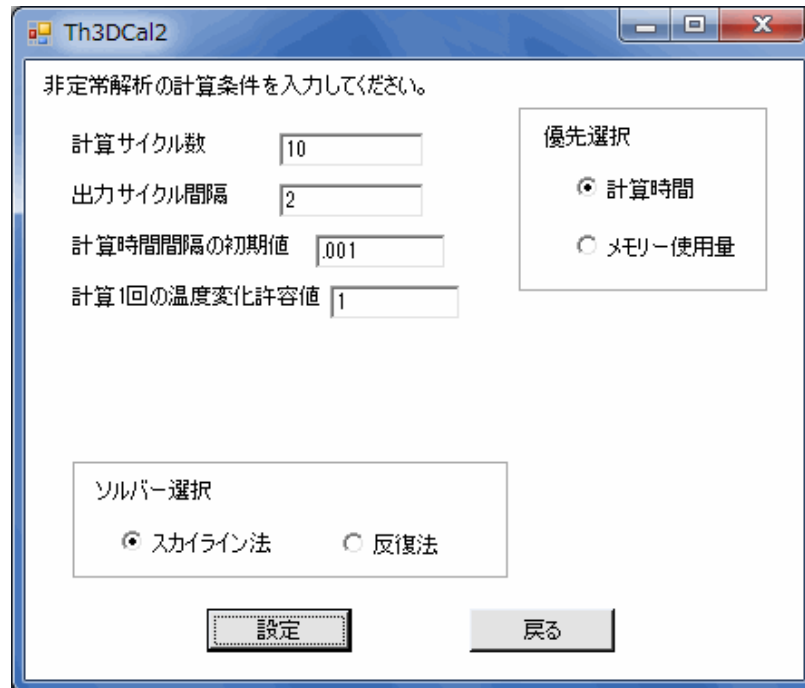


図5-5 非定常解析の計算条件入力画面（ステップ数2以上の場合）

さらに図5-6複数材料でステップ数2以上の場合の計算条件入力画面を示します。図5-6では、図5-5に加えてダミー化の条件也表示されます。

①ダミー化する部分を材料番号で指定します。

◇ダミー化しない場合は、0のままとし、以下は無視されます。

◇材料番号は1つしか指定できません。

②次にダミー化開始のステップ番号を入力します。。

◇非定常計算時に毎サイクルの初めにダミー化部分が初期温度でセットされ、本指定のサイクル番号以降でダミー化処理されます。

③ダミー化採用の場合は、優先選択はメモリー使用量になります。これは、本画面で選択しなくても、計算時に自動処理されます。

Th3DCal2

非定常解析の計算条件を入力してください。

計算サイクル数

出力サイクル間隔

計算時間間隔の初期値

計算1回の温度変化許容値

指定ステップ以降ダミー化の材料番号(0は適用なし)

ダミー化開始ステップ番号(2以上) ダミー化しない場合は無視

優先選択

☒ 計算時間

☐ メモリ使用量

ソルバー選択

☐ スカイライン法

☒ 反復法

図5-6 非定常計算の条件入力画面（複数材料でステップ数2以上の場合）

5.4 計算終了

図5-7に計算終了画面、図5-8に計算確認ダイアログ画面を示します。図5-7では、かかった計算時間（本例では2s）と空きメモリ容量も表示されます。また、図5-8の計算確認ダイアログ画面では、最低・最高温度データも表示されます。本画面で「OK」ボタンをクリックすると、立ち上げ時のメニュー画面に戻ります。

Th3DCal6

計算終了！

計算結果をファイルへ出力しました。

END 0h 0min 2s 5129MB free

時間 1000 炉内終了 0h 0min 2s

残り 0h 0min 1s

Progress bar: 20 blue segments

図5-7 計算終了画面



図5-8 計算確認ダイアログ画面

5.5 計算結果

上記5.2節で指定した出力ファイルに計算結果が書き出されます。図5-9～11に結果ファイルへの出力例を示します。図5-9は定常解析の場合、図5-10はステップ数1の非定常解析の場合、図5-11はステップ数2以上の場合です。

先ず、図5-9の定常解析の場合について、同図で○印を付した数字の部分について補足説明します。

- ①バンド幅が41と出力されています。
- ②保存行列のインデックス数が4091と出力されています。このインデックス数は、FEM行列（ハーフバンド）の1次元配列の要素数を意味します。そのメモリー使用量は、インデックス数に8バイトを掛けたものです。
- ③全節点について、節点番号と定常時の温度が出力されています。
- ④最低・最高温度データとして、それらの温度、節点番号が出力されています。
- ⑤最後に計算時間（本例では0s）と空きメモリー容量も出力されます。

次に、図5-10の非定常解析（ステップ数1）の場合について、同図で○印を付した数字の部分について補足説明します。その他は上記の定常解析と同様です。

- ①主行列が4個なので、②のインデックス数4091の1次元配列を4個使用します。
- ③各時間メッシュ毎に、メッシュ番号と時間が示された後、その時点の計算結果が出力されます。時間メッシュ番号0、時間0は初期を意味します。
- ④時間メッシュ1、時間100において、全節点について節点番号と温度が出力されています。
- ⑤時間メッシュ2、時間200以下、同様に計算結果の温度が出力されます。
- ⑥最低・最高温度データとして、それらの温度、節点番号、時間が出力されています。

また、図5-11の非定常解析（ステップ数2以上）の場合について、同図で○印を付した数字の部分について補足説明します。その他は図5-10と同様です。

- ①各出力サイクルの各ステップ毎（終了時点）に、サイクル番号、ステップ番号、時間が示された後、その時点の計算結果が出力されます。サイクル番号0、ステップ番号0、時間0は初期を意味します。
- ②サイクル番号2、ステップ番号1、時間140において、全節点について節点番号と温度が出力されています。
- ③サイクル番号2、ステップ番号2、時間200以下、同様に計算結果の温度が出力されます。
- ④最低・最高温度データとして、それらの温度、節点番号、時間が出力されています。

<< 3次元熱伝導解析の計算結果>>

3次元熱伝導テストモデル (□0.1m×0.3m長)

[入力データファイル], C:\¥VB2022¥3次元熱伝導解析¥Data¥Th3DTest4B.dat

解析種類 (0:定常、1:非定常), 0

*** 計算結果 (スカイライン法、主行列 1 個) ***

バンド幅, 41

保存配列のインデックス数, 409

<節点番号、温度>

1, 200

2, 200

3, 200

4, 200

5, 200

6, 200

7, 200

8, 200

9, 200

10, 200

11, 200

12, 200

13, 200

14, 200

.....

.....

127, 190.72

128, 184.13

129, 193.55

130, 193.15

131, 191.75

132, 189.92

133, 187.44

134, 194.51

135, 192.78

136, 190.75

137, 194.68

138, 194.49

139, 193.38

140, 191.66

141, 191.56

<最低・最高温度データ>

変数項目、 値、 節点番号

TempMin, 183.32, 125

TempMax, 200, 1

END 0h 0min 0s 5459MB free

図5-9 結果ファイルへの出力例 (定常解析)

```

<< 3次元熱伝導解析の計算結果>>
3次元熱伝導テストモデル (□0.1m×0.3m長)
[入力データファイル], C:\¥VB2022¥3次元熱伝導解析¥Data¥Th3DTest4A.dat
解析種類 (0:定常、1:非定常), 1
計算打ち切り時間, 1000, 出力時間メッシュ数, 10
計算時間間隔の初期値, .001, 計算1回の温度変化許容値, 1

*** 計算結果 (スカイライン法、主行列4個) *** ①
バンド幅, 41
保存配列のインデックス数, 4091 ②
-----
<時間メッシュ番号、時間>, 0, 0 ③
<節点番号、温度>
. . . . .
. . . . .
<時間メッシュ番号、時間>, 1, 100 ④
<節点番号、温度>
1, 200
2, 200
3, 200
4, 200
5, 200
6, 200
7, 200
8, 200
9, 200
10, 200
11, 200
. . . . .
. . . . .
127, 98.94
128, 92.77
129, 101.21
130, 100.86
131, 99.8
132, 98.45
133, 95.8
134, 101.25
135, 100.31
136, 99.25
137, 101.94
138, 102.28
139, 101.25
140, 99.36
141, 99.76
<時間メッシュ番号、時間>, 2, 200 ⑤
<節点番号、温度>
. . . . .
. . . . .
-----
<最低・最高温度データ> ⑥
変数項目、 値、 節点番号、 時間
TempMin, 83.16, 54, 100
TempMax, 200, 1, 0
END 0h 0min 1s 5465MB free

```

図5-10 結果ファイルへの出力例（非定常解析、ステップ数1の場合）


```

<< 3次元熱伝導解析の計算結果>>
3次元熱伝導テストモデル（□0.1m×0.3m長）・・・ステップ数 2
[入力データファイル]，C:\¥VB2022¥3次元熱伝導解析¥Data¥Th3DTest4A_2S.dat
解析種類（0:定常、1:非定常），1
計算サイクル数，10,出力サイクル間隔，2
境界条件のステップ数，2
計算時間間隔の初期値，.001,計算1回の温度変化許容値，1
-----
*** 計算結果（スカイライン法、主行列4個） ***
バンド幅，41
保存配列のインデックス数，4091
-----
<サイクル番号、ステップ番号、時間>， 0, 0, 0                                ①
<節点番号、温度>
. . . . .
. . . . .
<サイクル番号、ステップ番号、時間>， 2, 1, 140                                ②
<節点番号、温度>
1, 200
2, 200
3, 200
4, 200
5, 200
6, 200
7, 200
8, 200
9, 200
10, 200
. . . . .
. . . . .
127, 99.29
128, 93.95
129, 100.84
130, 100.57
131, 99.86
132, 98.98
133, 96.51
134, 100.66
135, 100.09
136, 99.49
137, 101.31
138, 101.73
139, 100.94
140, 99.34
141, 99.85
<サイクル番号、ステップ番号、時間>， 2, 2, 200                                ③
<節点番号、温度>
. . . . .
. . . . .
-----
<最低・最高温度データ>                                                    ④
変数項目、 値、 節点番号、 時間
TempMin, 85.13, 54, 140
TempMax, 200, 1, 0
END 0h 0min 6s 5473MB free

```

図5-11 結果ファイルへの出力例（非定常解析、ステップ数2以上の場合）

5.6 体積計算

サブメニュー「体積計算」をクリックすると、図5-12の画面に移ります。同図ではテスト用構造モデルで材料を2種類に変更したデータを使用しています。

- ①「入力ファイル指定」ボタンをクリックすると、コモンダイアログで入力データファイルを選定できます。そして、本画面に戻ると、「入力ファイル指定」のテキストボックスには選定済み入力ファイル名が、また「出力ファイル指定」の方にはベース名に「-Vol」が加わった名前が付き、拡張子を「.rep」に変更したファイル名が表示されます。また、テキストボックス他のファイル名に変更も可能です。
- ②本画面で「設定」ボタンをクリックすると、計算が実行されます。

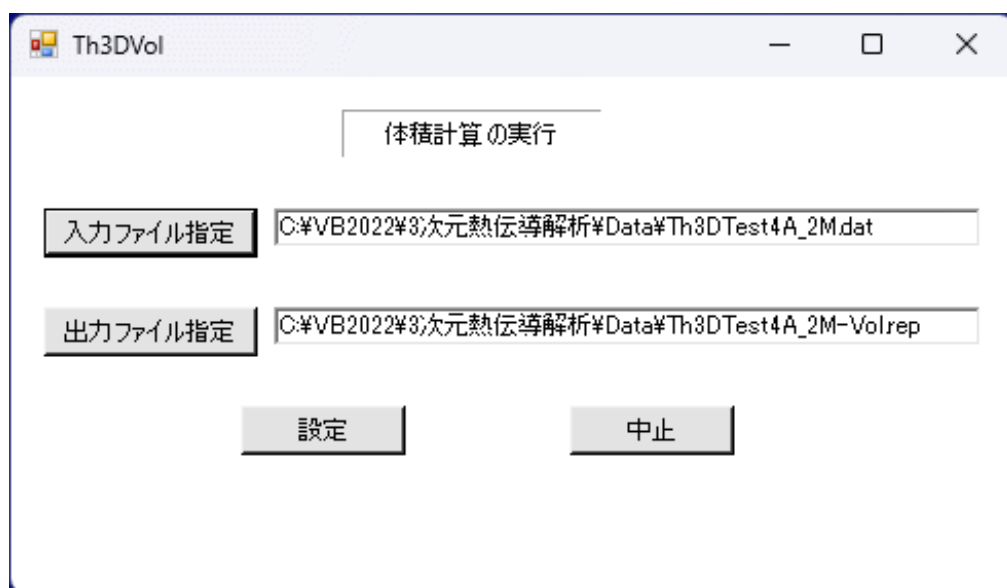


図5-12 体積計算の実行画面

図5-13に計算終了画面を示します。同図のように、材料番号毎に体積が表示されます。

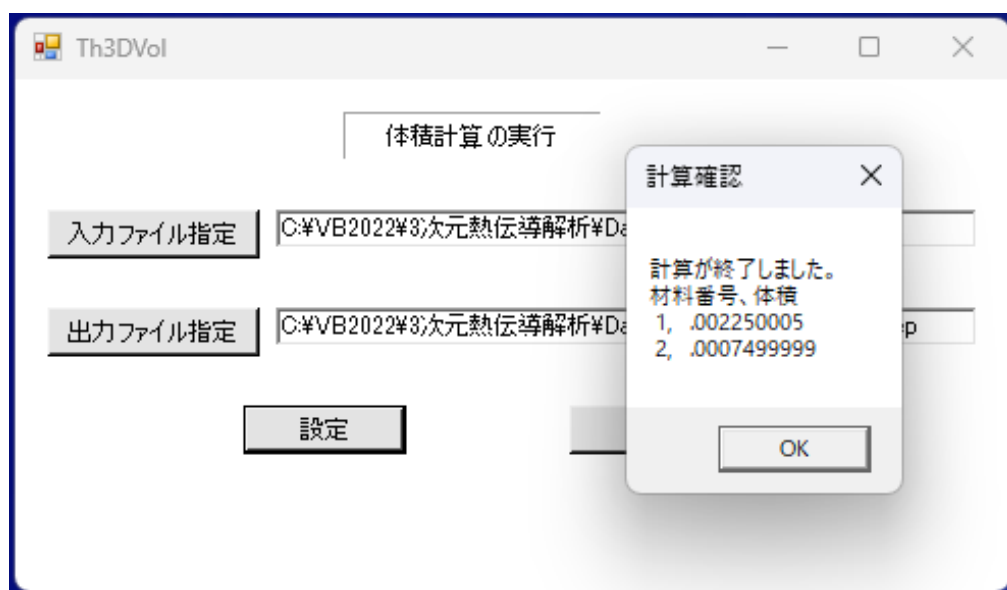


図5-13 体積計算の終了画面

さらに、上記の「出力ファイル指定」のファイルに計算結果が出力されます。図5-14に計算結果例を示します。同図で○印を付した数字の部分について補足説明します。

①材料番号、体積、質量が出力されています。

②材料数が2以上の場合のみ、合計が出力されます。

③重心の座標が出力されています。

注) 対称構造の部分だけを取り上げた構造データでは、対称を考慮せずに計算します。

<<体積の計算結果>>		
3次元熱伝導テストモデル (□0.1m×0.3m長) . . . 2材料		
[入力データファイル] , C:¥VB2022¥3次元熱伝導解析¥Data¥Th3DTest4A_2M.dat		

材料番号、体積、質量		①
1, .002250005, 17.55004		
2, .000749999, 5.4		
合計, .003000005, 22.95004		②
重心のX座標、Y座標、Z座標		③
.1522057, .04999988, .04999991		
END		

図5-14 体積計算の結果ファイルへの出力例

5.7 バッチ処理

バッチ処理は1つのディレクトリに入っている入力データファイル(.dat)について、順次すべての解析計算を行なうものです。従って、あらかじめバッチ処理用のディレクトリを作成し、対象の入力データファイル一式を入れておかねばなりません。

◇入力データファイルの拡張子は「.dat」に限定されます。また、計算結果データファイルの拡張子はすべて「.rep」になります。

サブメニュー「定常解析 (バッチ処理)」、「非定常解析 (バッチ処理)」をクリックすると、図5-15の画面に移ります。

①「入力ファイルのディレクトリ指定」ボタンをクリックすると、コモンダイアログ入力データファイルを1つ選定できます。そして、本画面に戻ると、テキストボックスにそのディレクトリ名が表示されます。

◇テキストボックスにディレクトリ名 (フルパス) を直接入力しても構いません。

②本画面で「実行」ボタンをクリックすると、計算条件入力画面に移るので、そこで計算条件を設定します。その計算条件設定は最初の1ケースだけで、後のケースは同じ計算条件になります。

◇非定常解析で、計算条件の異なるケースは実行できませんので注意してください。

③バッチ処理が完了すると、図5-16の終了画面になります。

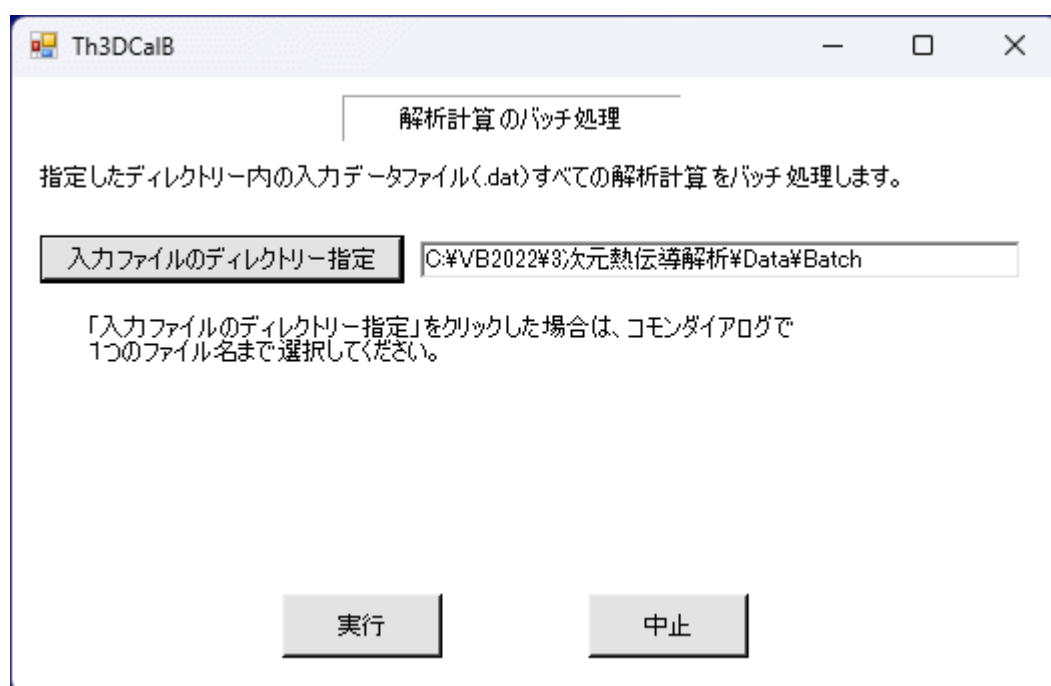


図5-15 バッチ処理の実行画面

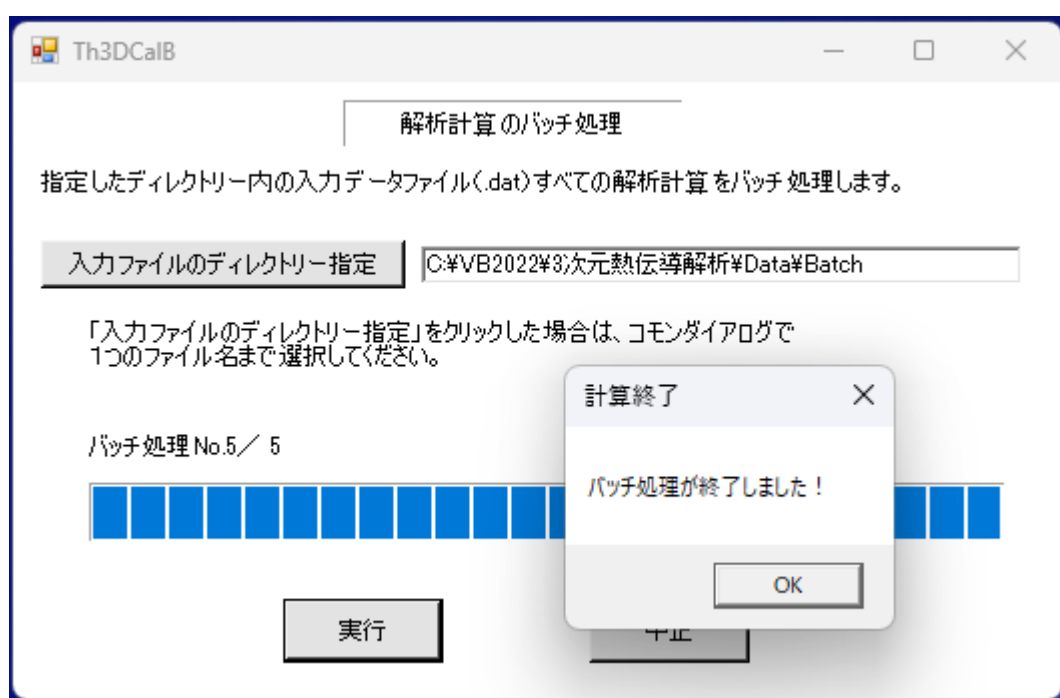


図5-16 バッチ処理の終了画面

第6章 「後処理」プログラム

6.1 サブメニュー画面

「メニュー」プログラムにおける「後処理」のサブメニュー画面を図6-1に示します。同図のように、「等温線図の作画」、「等温線図スライドショー」、「解析結果の主要値表示」の4つのサブメニューがあります。いずれのサブメニューをクリックしても次の使用ファイル設定画面となります。ただし、「等温線図スライドショー」および「非定常のグラフデータの作成」は非定常解析結果についてのみ実施可能です。

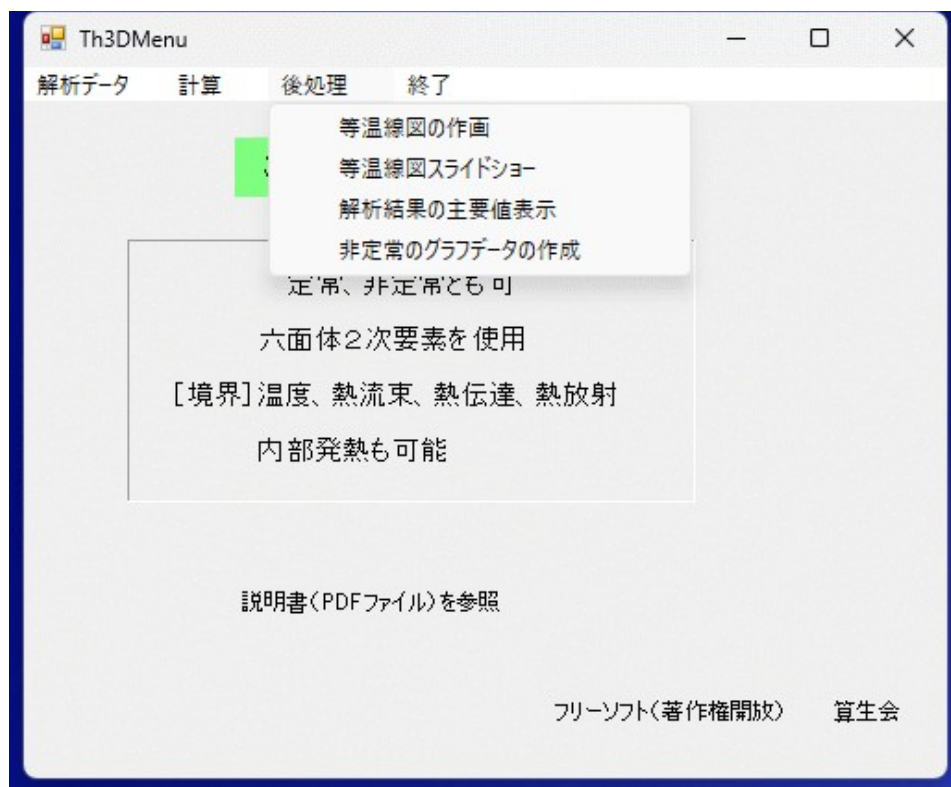


図6-1 「後処理」サブメニュー画面

6.2 使用ファイルの設定

図6-2に使用ファイル設定画面を示します。同画面で、表題が「等温線図の作成」になっていますが、他のサブメニューの場合は表題が入れ替わります。

本画面で、「入力データファイル指定」ボタンをクリックすると、コモンダイアログで入力データファイルを選定できます。そして、再び使用ファイル設定画面に戻ると、「入力データファイル指定」のテキストボックスには選定済み入力ファイル名が、また「解析結果ファイル指定」の方には入力ファイル名の拡張子を「.rep」に変更したファイル名が表示されます。もし、結果データファイル名が他の名前であった場合は、テキストボックスで修正できます。

本画面で、「設定」ボタンをクリックすると、次の画面に移ります。また、解析結果の主要値表示の場合は、すぐに表示が実行されます。

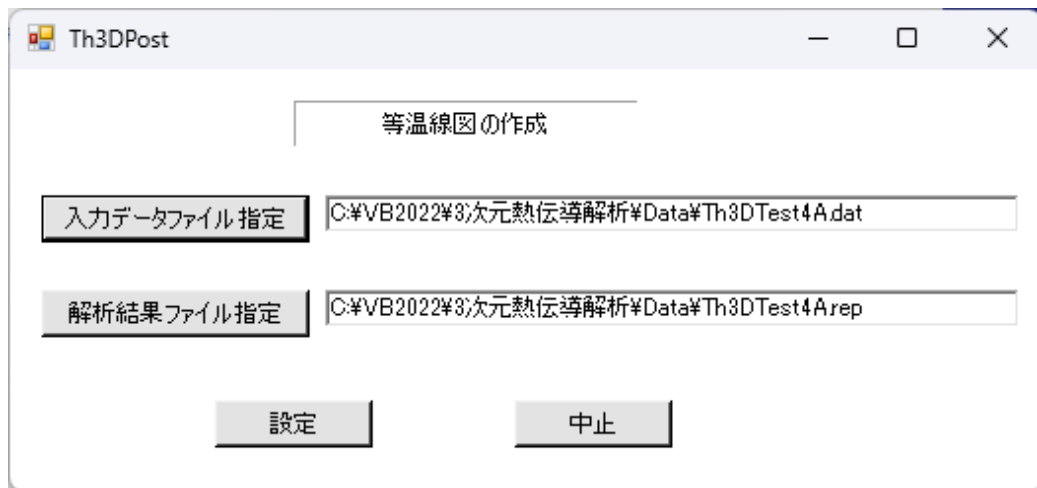


図6-2 使用ファイル設定画面

6.3 等温線図の仕様設定画面

図6-3～5に等温線図の仕様設定画面を示します。図6-3は定常解析の場合、図6-4は境界条件のステップ数1の非定常解析の場合、図6-5はステップ数2以上の非定常解析の場合です。本画面の入力について、以下に補足説明します。

- ①まず、等温線の表示MIN、MAX、分割数を入力します。その際、入力の便のため、解析結果データの温度範囲を画面表示しています。
 - ◇分割数を21以上とすると、自動的にグラデーションとなります。グラデーションはカラー256階調で作画されます。なお、グラデーションの作画は処理時間が1桁増加しますので注意してください。
- ②図6-4のステップ数1の非定常解析の場合は、さらに出力する時間メッシュ番号も入力します。ここで、時間メッシュ番号を入力後、Returnキーを押すと、その右側に相当時間が表示されます。
- ③他方、図6-5のステップ数2以上の非定常解析の場合は、出力するサイクル番号とステップ番号を入力します。ここで、サイクル番号やステップ番号を入力後、Returnキーを押すと、ステップ番号入力部の右側に相当時間が表示されます。
- ④また、チェックボックスで「カラーフィル」、「場所・数値表示」を指定できます。ただし、スライドショーの場合は「場所・数値表示」がありません。
 - ◇初期設定では両者とも指定されています。
 - ◇「カラーフィル」を指定すると、各等温線の間が色塗りされ、全面カラー図となります。なお、グラデーションの場合は無条件でカラーフィルになります。
 - ◇「場所・数値表示」を指定すると、温度の最低と最高の場所・数値が等温線図に表示されます。
- ⑤本画面で、「最低・最高温度データ」のボタンをクリックすると、最低・最高温度データが表示されます。
 - ◇図6-6に最低・最高温度データの表示例を示します。
- ⑥本画面で、「設定」ボタンをクリックすると、次の等温線図作画画面に移ります。

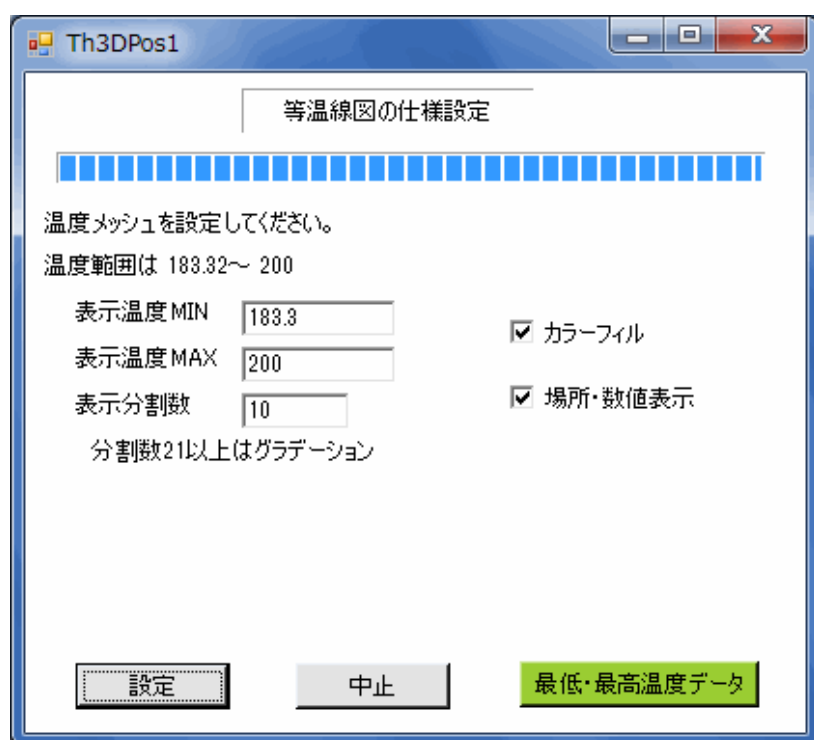


図6-3 等温線図の仕様設定画面（定常解析）

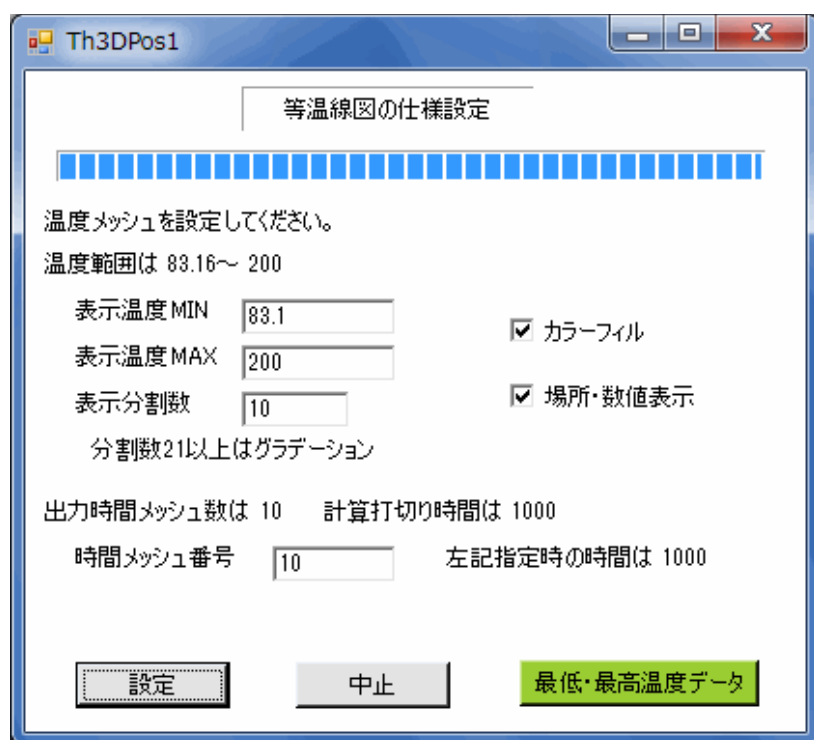


図6-4 等温線図の仕様設定画面（非定常解析、ステップ数1の場合）

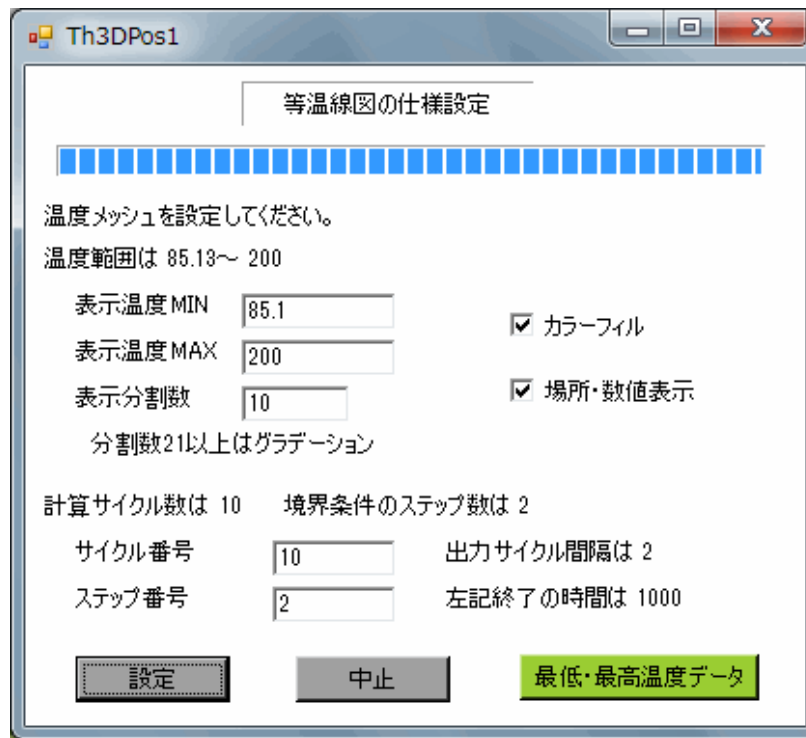


図6-5 等温線図の仕様設定画面（非定常解析、ステップ数2以上の場合）



図6-6 最低・最高温度データの表示例（非定常解析の場合）

6.4 等温線図の作画画面

図6-7～10に等温線図の作画画面を示します。図6-7は定常解析の場合、図6-8は境界条件のステップ数1の非定常解析の場合、図6-9はそのグラデーションです。また、図6-10はステップ数2以上の非定常解析の場合で、右最上部にサイクル番号とステップ番号が表示されます。

- ①画面には等温線がカラー表示され、右欄には各等温線における変数値も明示してあります。

◇図6-9のグラデーションの場合は、4等分の5つの変数値が示されます。

- ②本画面の左側の「共通辺の表示」は、「なし」か「有り」を選択できます。選択した後に「再描画」ボタンをクリックします。

◇「共通辺の表示」が「有り」の等温線図を図6-11に示します。同図では、各要素

の共通辺が表示されています。

- ③本画面の上側に表示されている作画パラメーター、マウสดラッグによる部分拡大、回転操作等は、構造図の作画と同じです。
 - ◇ただし、本画面では必ず隠面処理を行ない、また番号表示はありません。
 - ◇外側表面で背後にある隠面は、モデルを適当に回転させることにより、画面表示できます。
 - ◇六面体要素どうしが接する共通面は、全要素描画では隠面となりますが、「標準モード」でマウสดラッグ矩形によりどちらかの要素だけを領域選択すれば、画面表示できます。
 - ◇等温線図の「説明」ボタンをクリックすると、マウスによる回転操作（Shiftキー併用）の説明図が表示されます。
- ④マウス右クリックで任意の節点を選択すると、図6-12のように同節点の変数値が表示されます。
 - ◇本機能を使用中は、描画保存がありません（描画のさかのぼりが無効）。
 - ◇ESCキーを押すと節点選択が解除されます。
- ⑤「標準・全画面切換」ボタンをクリックすると、標準画面と全画面を切り換えることができます。また、画面Formの右下コーナー等をマウสดラッグすることにより、標準画面と全画面の間で自由に拡大・縮小できます。
- ⑥マウス中ボタン、ホイールにより移動、拡大・縮小を行なうことができます。中ボタンを押したまま動かせば図形を移動できます。また、ホイールの回転により拡大・縮小ができます。
- ⑦マウสดラッグ矩形により、等温線図の一部を拡大できます。操作方法は4.19節の構造図と同じです。
- ⑧繰り返して描画を実施した場合、「前の描画」ボタンをクリックすると1つずつ前の描画にさかのぼることができます。
 - ◇さかのぼれる描画の数は最大8つです。
 - ◇回転操作があっても無視され、初期の回転位置で描画されます。
- ⑨「面切断設定」ボタンをクリックすると、面切断設定の画面に移り、面切断の仕方を設定できます。操作方法は構造図の作画と同じです。
- ⑩本画面で「コピー印刷」ボタンをクリックすると、プリンターで画面コピーを印刷できます。
 - ◇「通常画面」の作画が印刷されます。
- ⑪本画面を終了するには、「戻る」ボタンをクリックして、仕様設定画面に戻ります。また、もし等温線図の出来栄えに不満があれば、「戻る」ボタンで仕様設定画面に戻って仕様変更し、再度、等温線図を作画することができます。

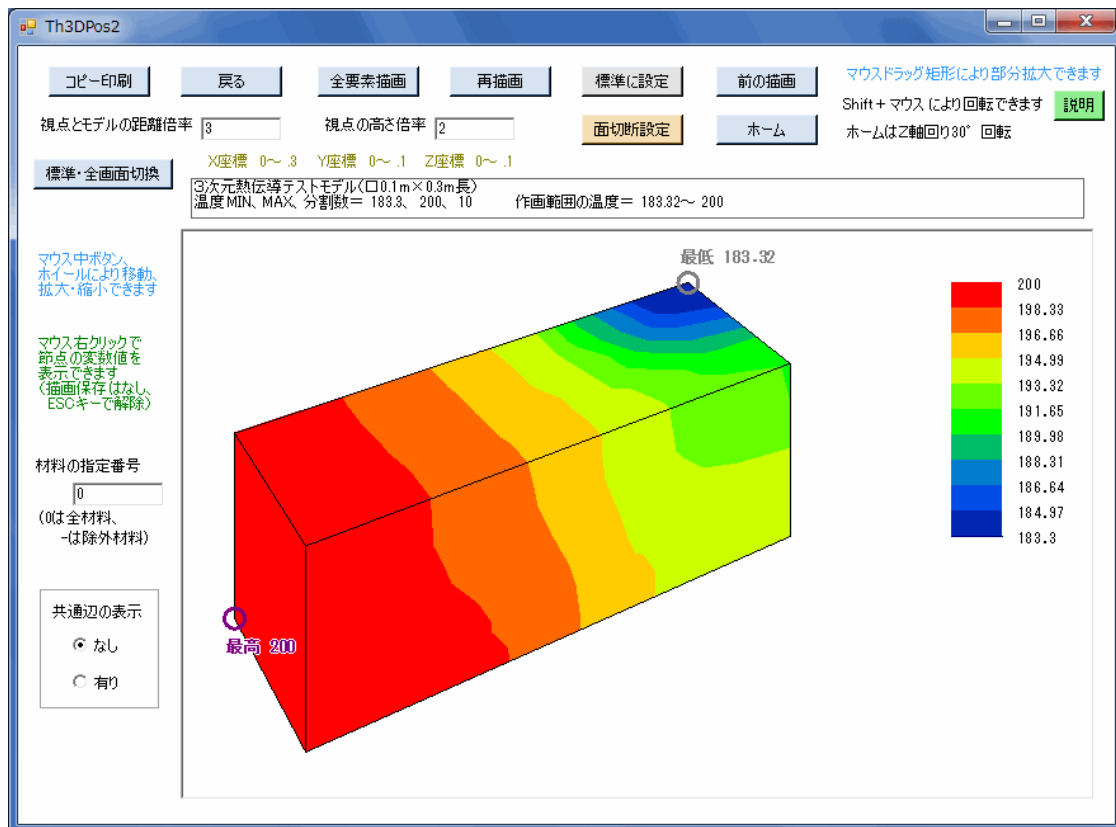


図6-7 等温線図の作画画面（定常解析）

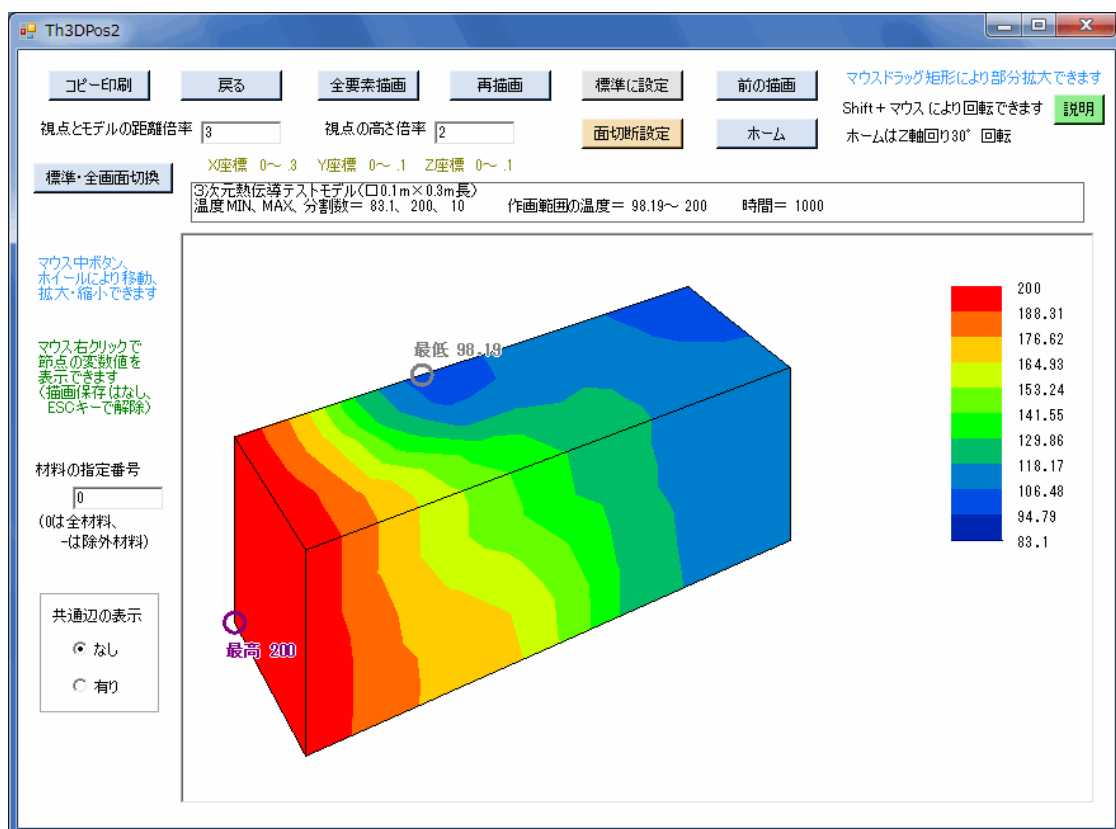


図6-8 等温線図の作画画面（非定常解析、ステップ数1の場合）

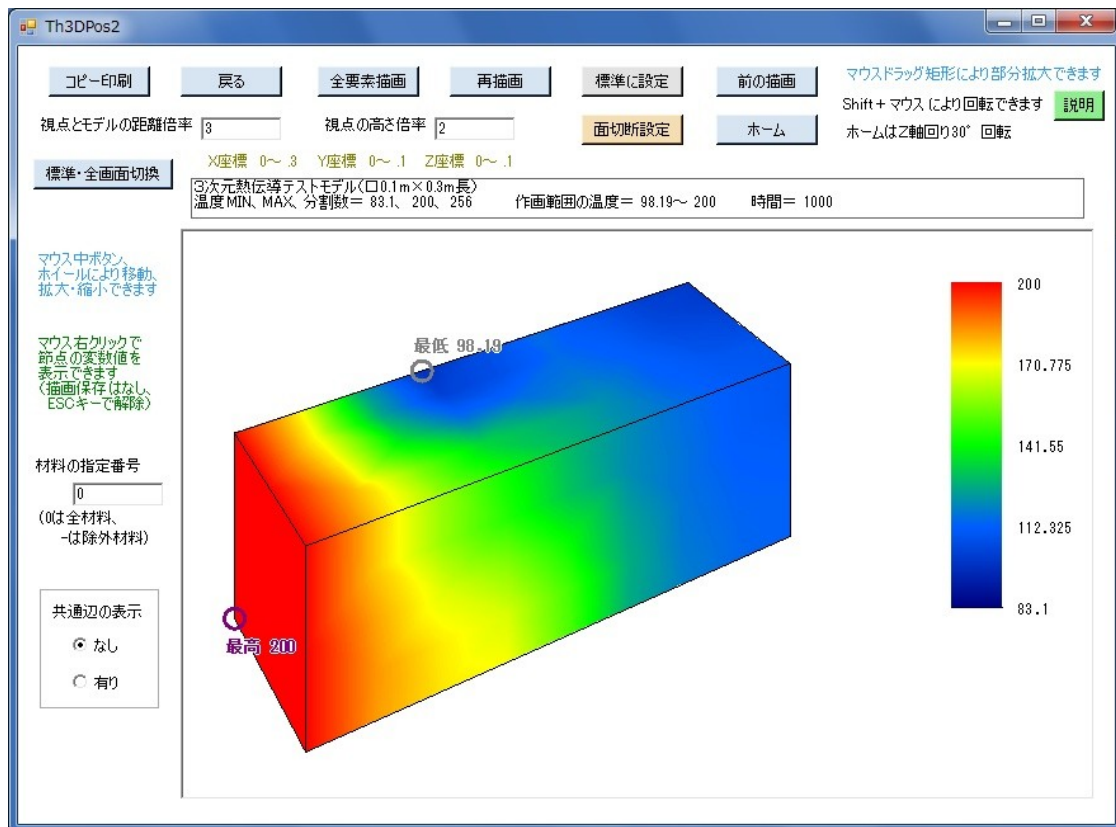


図6-9 等温線図の作画画面（グラデーション、非定常解析、ステップ数1の場合）

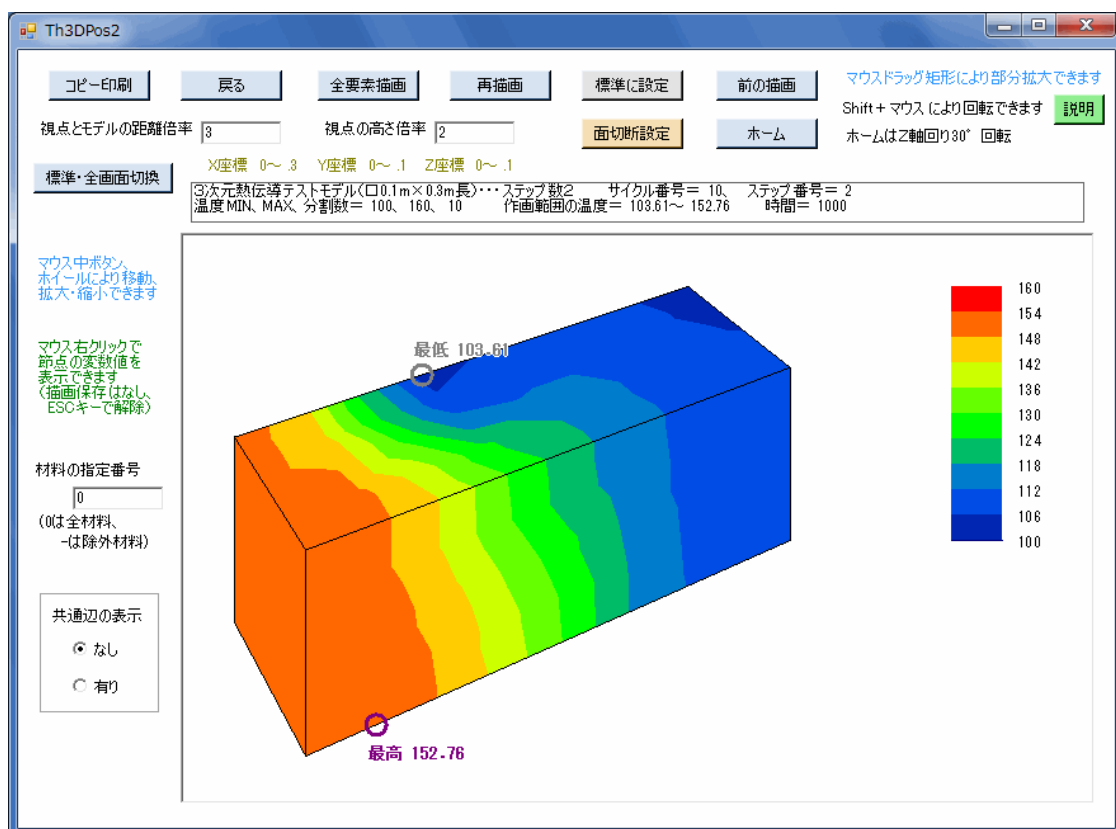


図6-10 等温線図の作画画面（非定常解析、ステップ数2以上の場合）

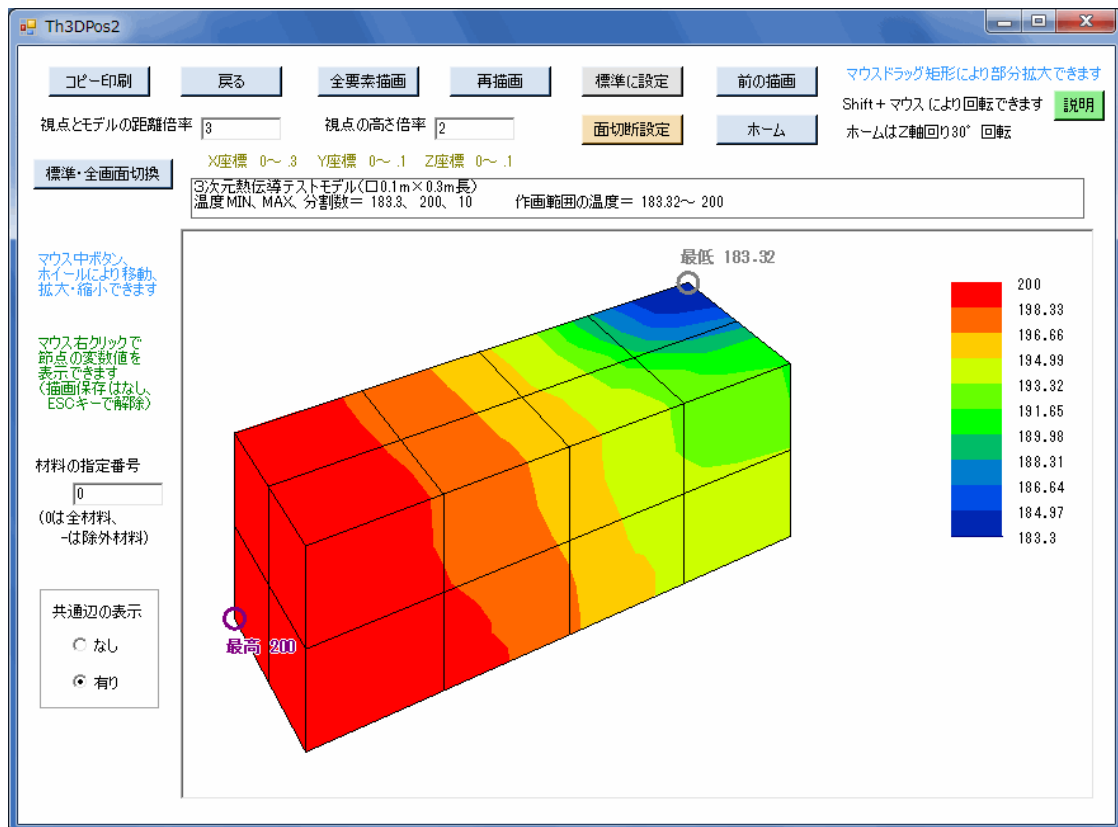


図6-11 等温線図の作画画面（共通辺の表示有り、定常解析）

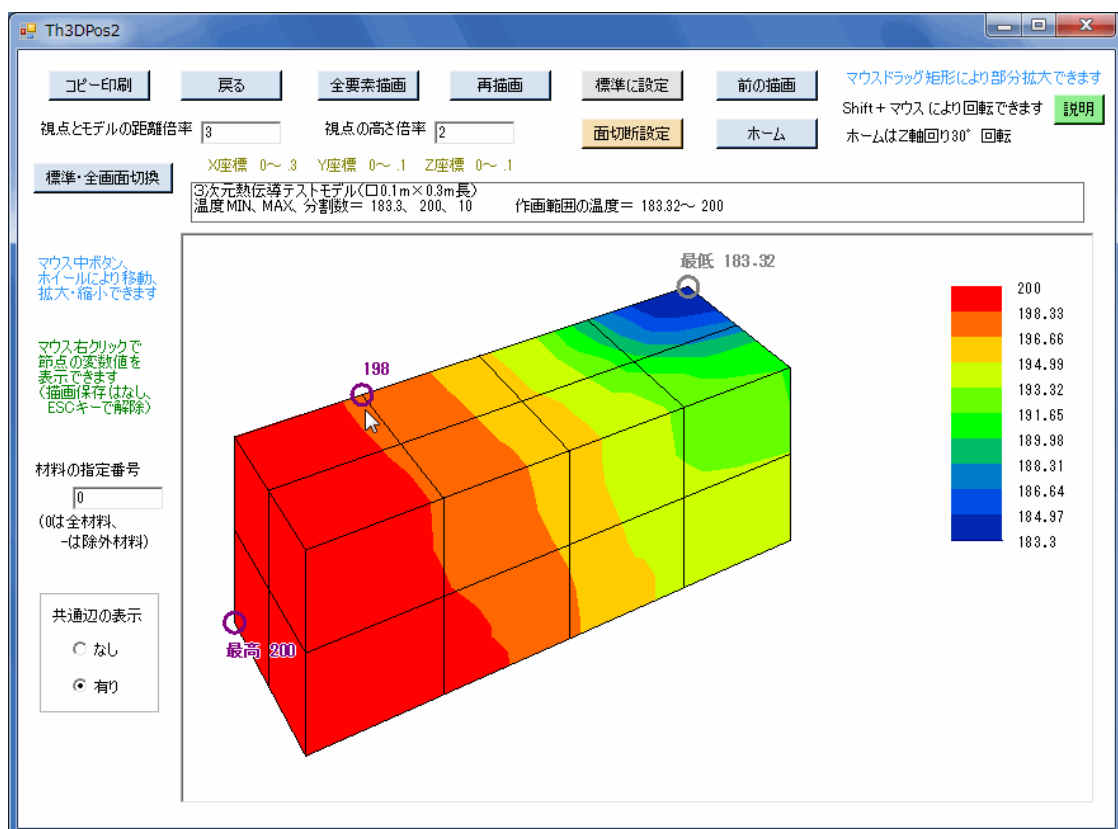


図6-12 等温線図の作画画面（定常解析、マウス右クリックの節点の変数値表示）

6.5 等温線図スライドショーの画面

図6-13に等温線図スライドショーの初期画面を示します。

- ①「スライド間の待ち時間」は、自動スライドの場合に、各スライド間の待ち時間を秒数で設定するものです。待ち時間を調整する必要がある場合は、適宜変更してください。

◇デフォルトの待ち時間は1秒となっています。

- ②本画面の左側の「共通辺の表示」は、「なし」か「有り」を選択できます。選択した後に「再描画」ボタンをクリックします。

- ③本画面の作画パラメーター、マウスドラッグによる部分拡大、回転操作等は、6.4節の等温線図と同様です。

◇等温線図の「説明」ボタンをクリックすると、マウスによる回転操作（Shiftキー併用）の説明図が表示されます。

- ④「面切断設定」ボタンをクリックすると、面切断設定の画面に移り、面切断の仕方を設定できます。操作方法是構造図の作画と同じです。

- ⑤「自動スタート」ボタンをクリックすると、自動スライドとなり、スライドショーが実演されます。

◇スライドショーが終了すると、図6-14の画面となります。同画面の終了確認ダイアログの「OK」ボタンをクリックすると自動スライドの完了となります。

- ⑥「次スライド」ボタンまたは「前スライド」ボタンをクリックすると、次または前の時間メッシュの等温線図が作画されます。

- ⑦本画面で「コピー印刷」ボタンをクリックすると、プリンターで画面コピーを印刷できます。

- ⑧等温線図スライドを一括ファイル保存できます。まず、「保存ファイル設定」ボタンをクリックすると、図6-15のファイル保存コモンダイアログ画面が表示されます。

同画面で任意のディレクトリーにjpgファイル名を設定してください。

◇上記の設定ファイル名は初期の等温線図に適用され、それ以降はベースファイル名に「_0001～」が順に自動付加されたファイル名になります。

- ⑨次に、「保存開始」ボタンをクリックすると、ファイル保存が実行されます。

- ⑩本画面を終了するには、「戻る」ボタンをクリックして、仕様設定画面に戻ります。

また、もし等温線図の出来栄えに不満があれば、「戻る」ボタンで仕様設定画面に戻って仕様変更し、再度、等温線図を作画することができます。

- ⑪「標準・全画面切換」ボタンをクリックすると、標準画面と全画面を切り換えることができます。また、画面Formの右下コーナー等をマウスドラッグすることにより、標準画面と全画面の間で自由に拡大・縮小できます。

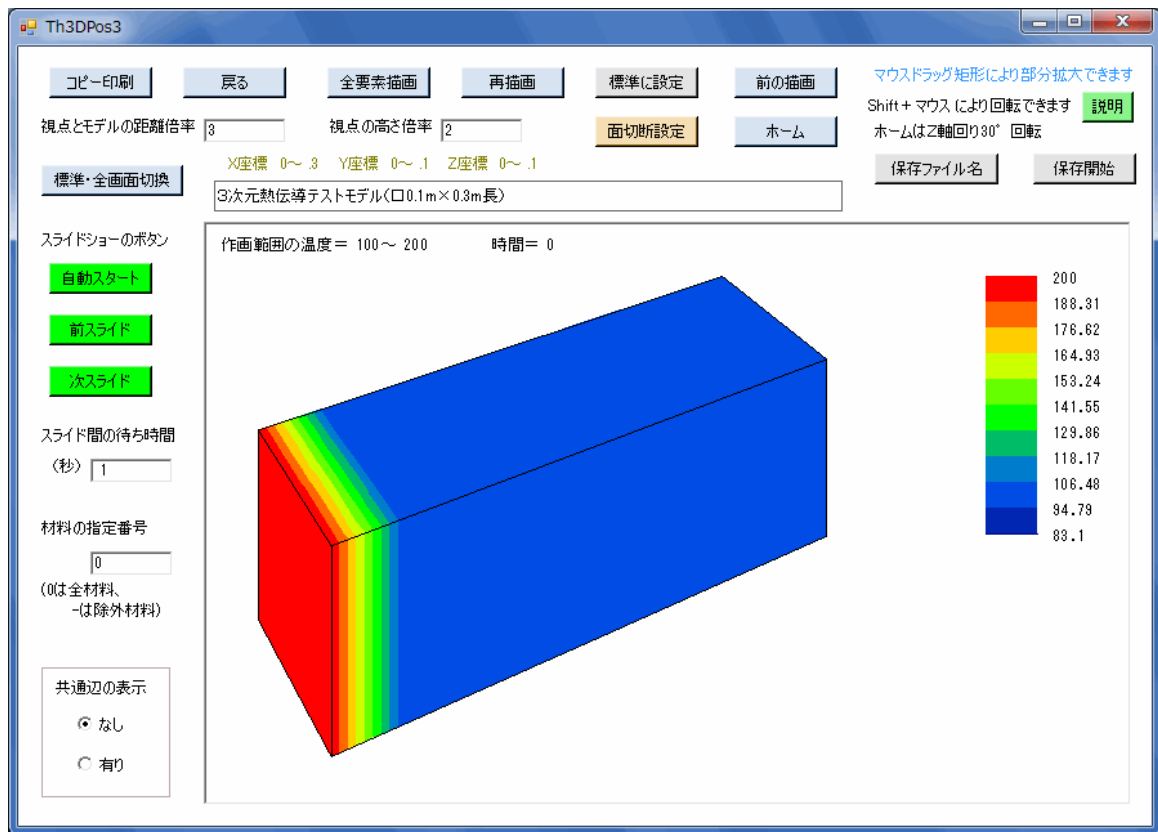


図6-13 等温線図スライドショーの初期画面

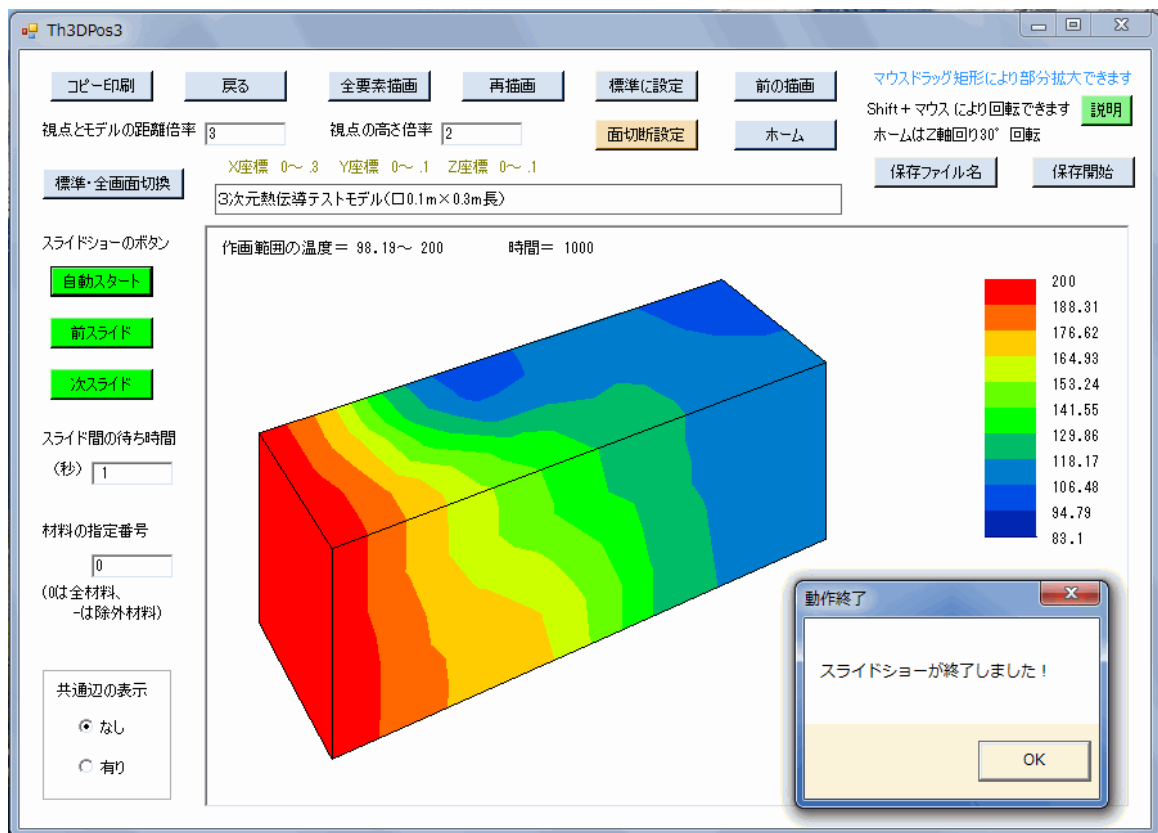


図6-14 等温線図スライドショーの終了画面

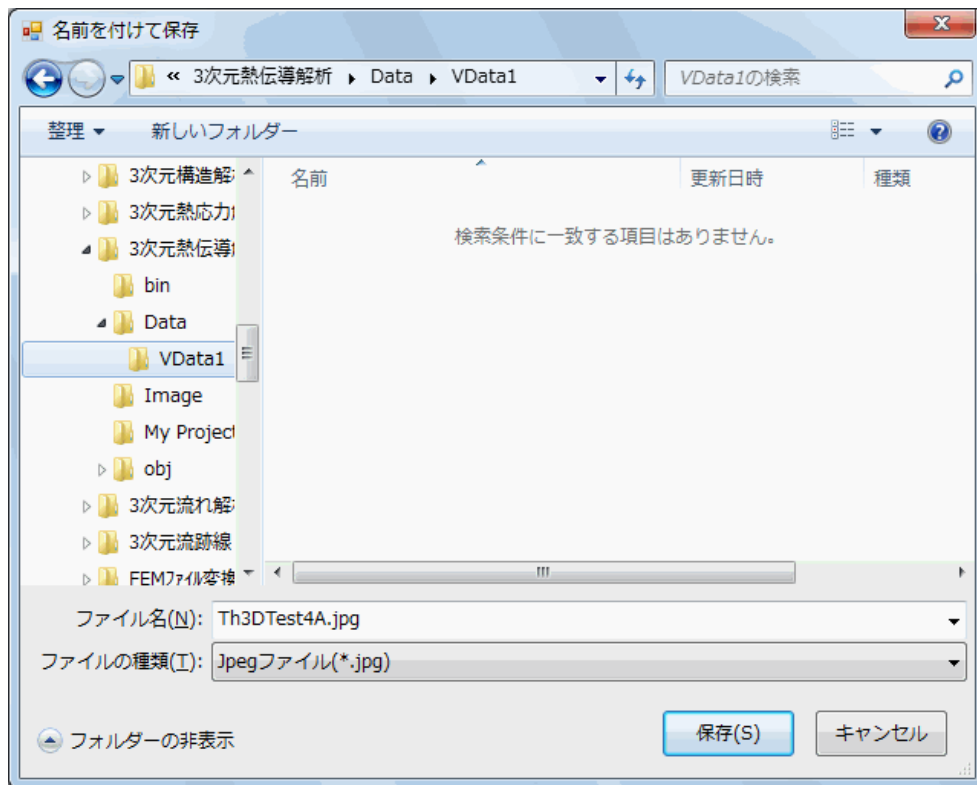


図6-15 ファイル保存コモンダイアログ画面

6.6 解析結果の主要値表示

図6-16に主要値表示の画面を示します。主要値データをクリップボードにコピーするかどうかは、「はい」または「いいえ」をクリックします。その後は立ち上げ時のメニュー画面に戻ります。

◇クリップボードにコピーされたデータは、他のソフトで貼り付け利用できます。

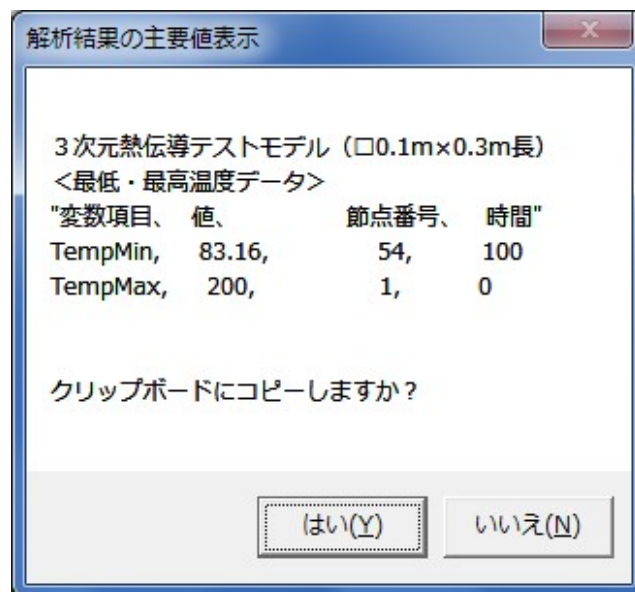


図6-16 解析結果の主要値表示の画面

6.7 非定常のグラフデータの仕様設定画面

図6-17に非定常のグラフデータの仕様設定画面を示します。

①節点の数を入力します。本例では節点の数は3になっています。

◇1つのグラフにはそれほど多くの節点のグラフを重複作画できませんので、節点の数は最大20までとしています。

②さらに、出力ファイルを設定します。

◇本画面に移ったとき、デフォルトで、入力データファイルのベース名（拡張子を除いた部分）に「-Graph」が加わった名前が付き、拡張子を「.txt」を変更したファイル名が表示されます。もし、他のファイル名に変更したい場合は、テキストボックスで修正します。

◇「出力ファイル指定」ボタンをクリックすると、コモンダイアログで出力ファイルを設定できます。

③本画面で、「設定」ボタンをクリックすると、次のグラフ用節点データ入力画面に移ります。

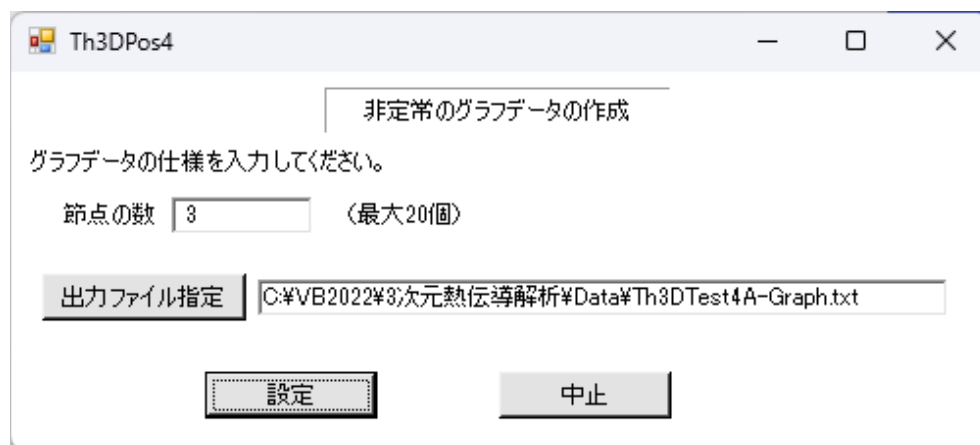


図6-17 非定常のグラフデータの仕様設定画面

6.8 グラフ用節点データ入力画面

図6-18に グラフ用節点データ入力画面を示します。

①節点の数だけNo. が表示されているので、それぞれ節点番号を入力します。

②本画面で、「設定」ボタンをクリックすると、直ちにグラフデータ作成の計算が開始されます。そして、計算が終了すると、図6-19の計算終了確認のダイアログボックスが出ます。

◇図6-20にグラフデータ例を示します。同図のように、3つの節点の温度について、全時系列データが出力されています。

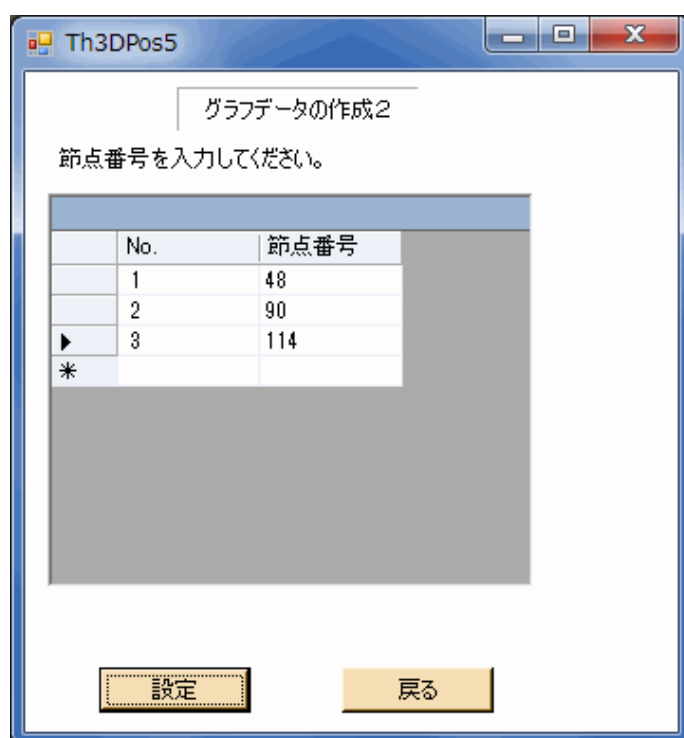


図6-18 グラフ用節点データ入力画面

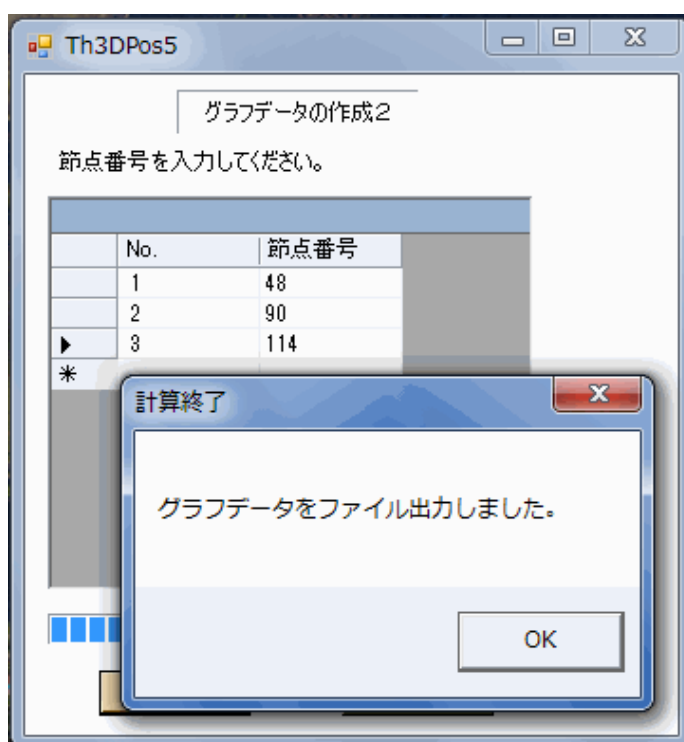


図6-19 グラフデータの計算終了画面

```

<< 3次元熱伝導解析結果のグラフデータ >>
3次元熱伝導テストモデル (□0.1m×0.3m長)
[入力データファイル], C:\VB2022\3次元熱伝導解析\Data\Th3DTest4A.dat
[解析結果ファイル], C:\VB2022\3次元熱伝導解析\Data\Th3DTest4A.rep
節点の数, 3
対象変数, 温度
時間、節点48、節点90、節点114
0,    100,    100,    100
100,   136.89,   100.87,   92.73
200,   151.92,   102.49,   91.52
300,   159.65,   105.16,   91.41
400,   164.19,   108.07,   92.06
500,   167.06,   110.82,   93.26
600,   168.97,   113.29,   94.82
700,   170.31,   115.48,   96.59
800,   171.28,   117.43,   98.46
900,   172.01,   119.19,  100.35
1000,  172.58,   120.79,  102.21
END

```

図6-20 グラフデータ例

図6-20のグラフデータを使用して、グラフ作画ソフトで作成したグラフ例を図6-21に示します。図6-21は3節点の温度の時系列変化グラフとなっています。

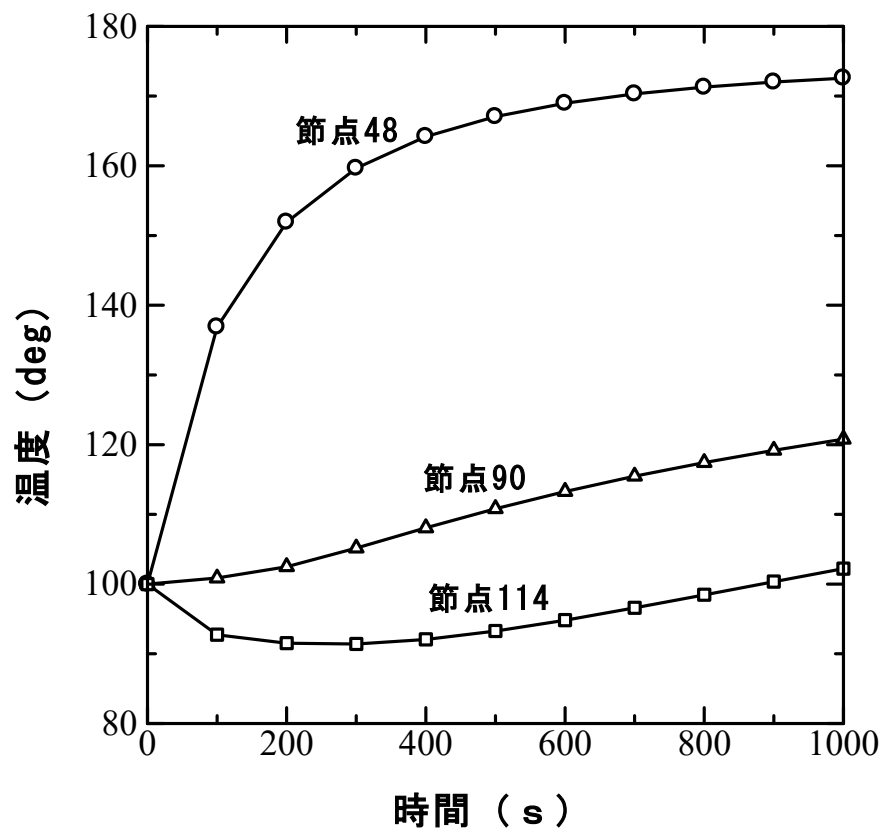


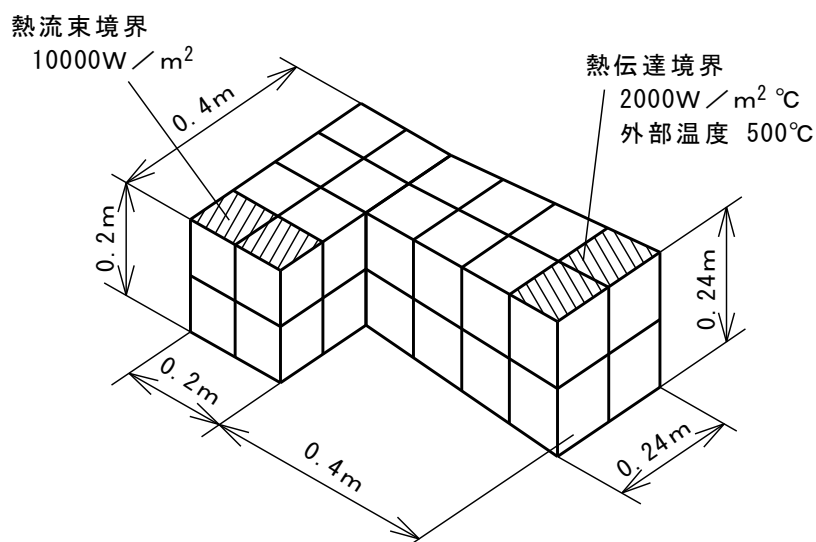
図6-21 グラフ例 注) Plots32 利用

第7章 計算事例

7.1 合成構造モデルの熱伝導解析

図7-1に構造モデル図を示します。同図は図4-42の構造図と同じモデルです。本モデルの定常解析の結果を図7-2に、非定常解析の結果を図7-3に、それぞれ等温線図で示します。なお、計算時間（スカイライン法）は定常解析が0s、非定常解析が5sでした。

注）本モデルは要素数32、節点数261です。



[材料] 比熱 : $480 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$ 密度 : 7800 kg/m^3
熱伝導率 : $47 \text{ W/m}^\circ\text{C}$
[初期温度] 100°C

図7-1 合成構造モデル

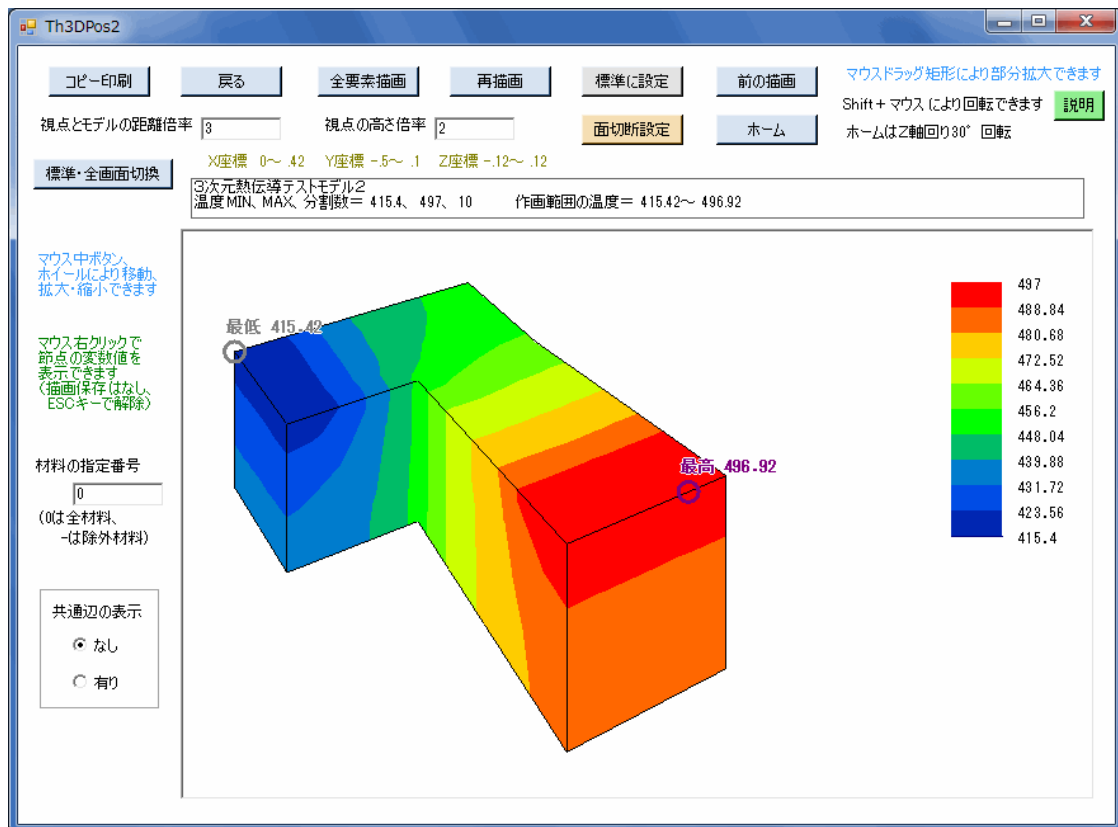


図7-2 合成構造モデルの等温線図（定常解析）

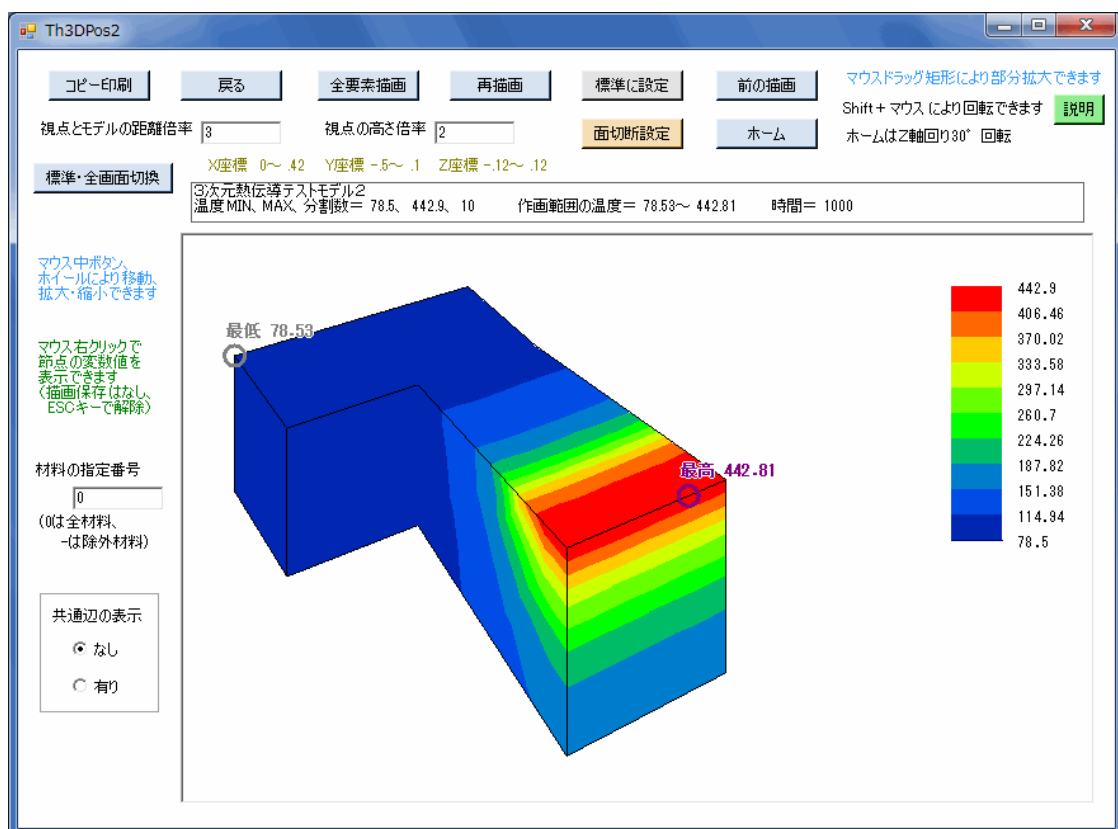


図7-3 合成構造モデルの等温線図（非定常解析）

7.2 軸回転体の熱伝導解析

図7-4に構造モデル略図、また図7-5に1/4部分拡大の構造図を示します。本モデルの定常解析の結果を図7-6に、非定常解析の結果を図7-7に、それぞれ等温線図で示します。なお、計算時間（反復法）は定常解析が0s、非定常解析が13sでした。

注）本モデルは要素数352、節点数1920です。

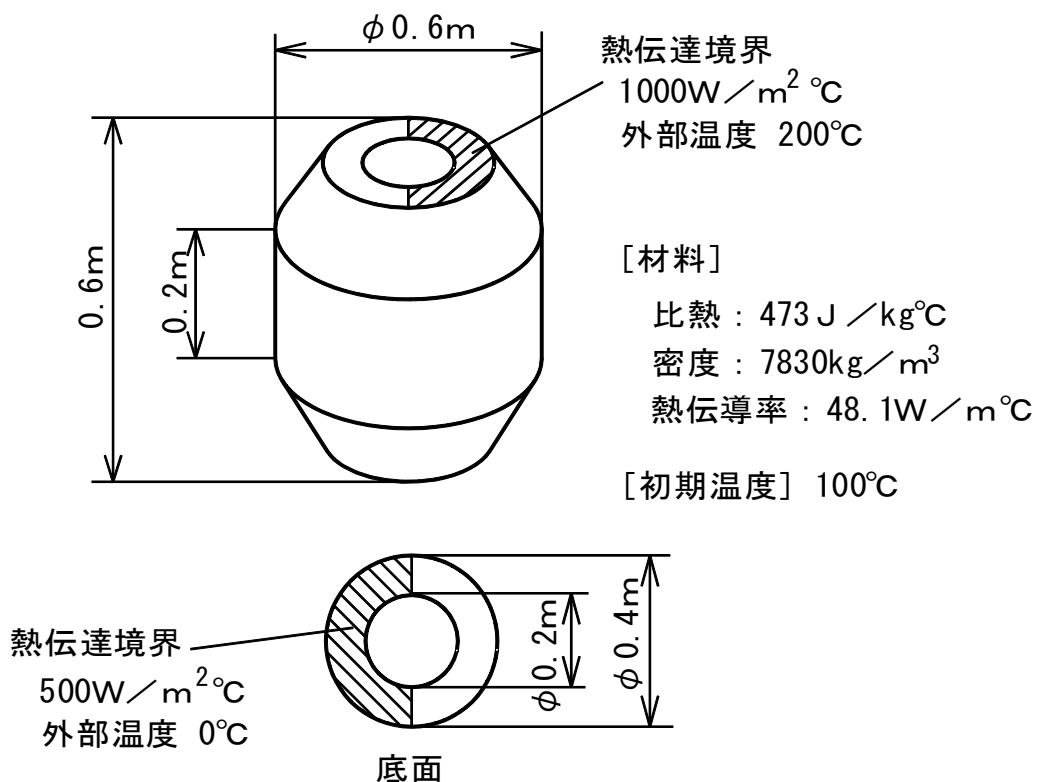


図7-4 軸回転体の構造モデル略図

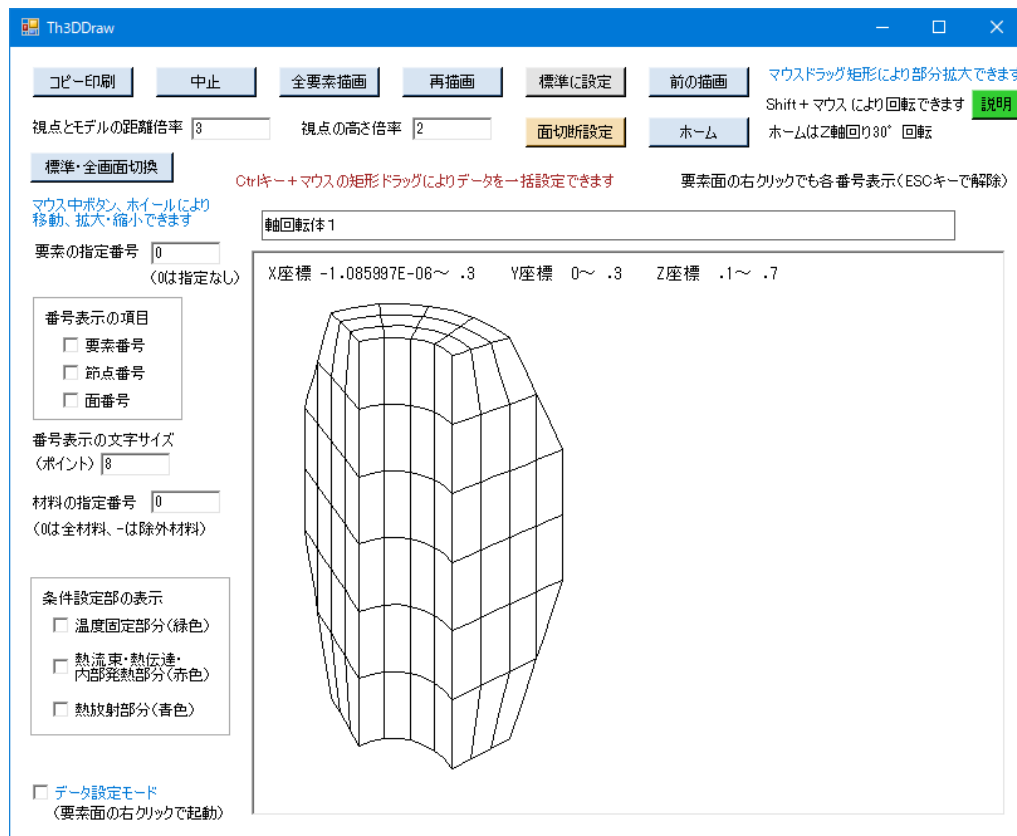


図7-5 軸回転体の1/4部分拡大の構造図

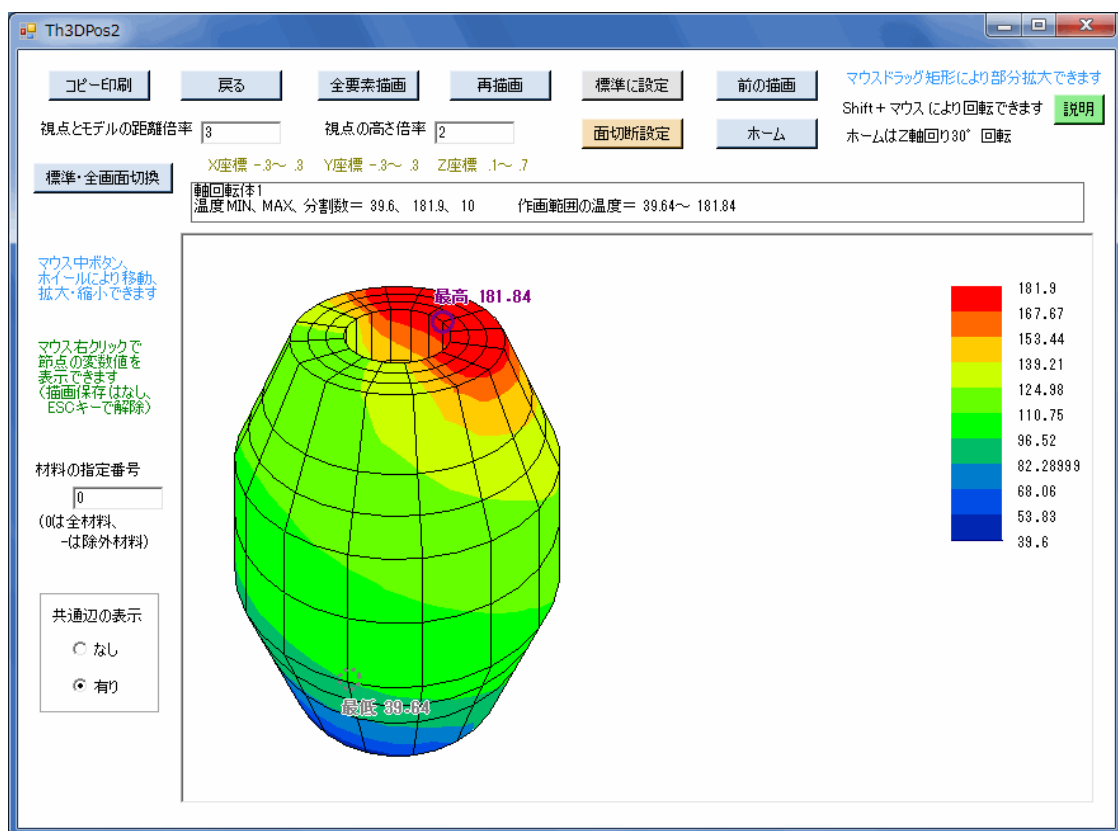


図7-6 軸回転体の等温線図 (定常解析、共通辺表示有り)

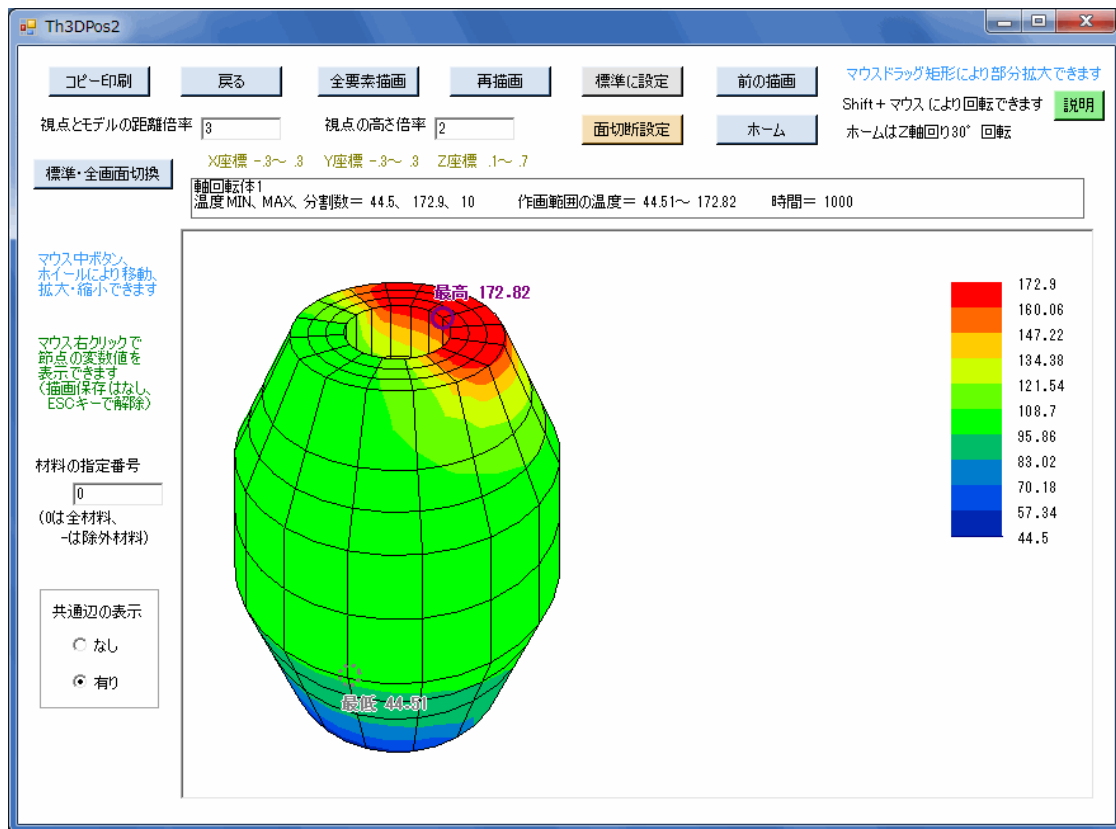
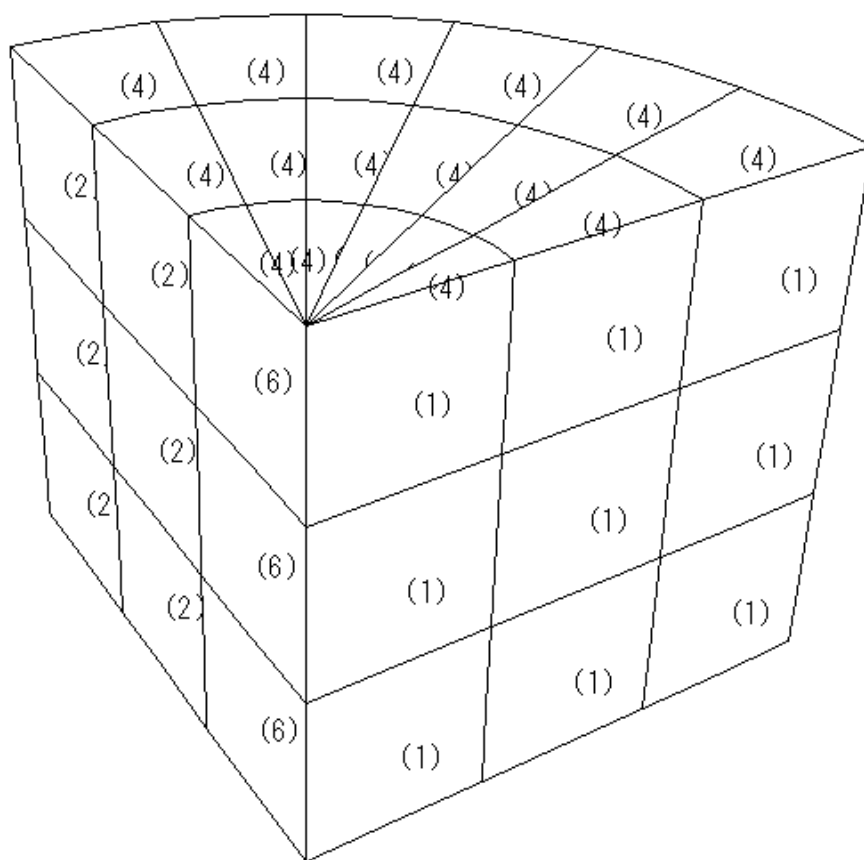


図7-7 軸回転体の等温線図（非定常解析、共通辺表示有り）

[補足] 中心穴なし軸回転体の注意事項（六面体要素の場合）

回転終了位置において、最内側だけ面番号が異なります。解析の条件設定で面番号を指定する場合には、間違わないように、必ず面番号を確かめるようにしてください。これは、6面体20節点の要素を設定する際、最内側の要素は本来5面しかないため、2要素ずつのペアで6面となるように特殊な処理を行なっているためです。

参考として、1/4 j 軸回転体の面番号の例を下図に示します。同図では、回転終了位置の面番号は、最内側だけが6で、他はすべて2になっています。



注) ()内は面番号

付図 中心穴なし軸回転体の構造図例（1/4軸回転体）

[参考文献]

<A> BASIC言語

- A1) 「Microsoft Visual Basic プログラミング ガイド」、
マイクロソフト (株)、1997
- A2) 「実力アップ Visual Basic.NET 基礎編」、川口 輝久、
(株) 技術評論社、2003
- A3) 「Visual Basic 応用プログラミング」、林 晴比古、
ソフトバンク (株)、1997
- A4) 「Visual Basic for Windows プログラミング・パーツ」、河西 朝雄、
(株) ナツメ社、1994
- A5) 「かんたんプログラミング Visual Basic.NET 応用編」、田中 亨、
(株) オーム社、2002
- A6) 「Visual Basic リファレンス・ブック」、相沢 文雄、
(株) ナツメ社、1994
- A7) 「プログラミング Visual Basic.Net Vol.2 活用編」、Francesco Balena、
(株) ドキュメントシステム 訳、日経BPソフトプレス、2002
- A8) 「Visual Basic 2005 [実践]プログラミングテクニク」、谷尻 かおり、
技術評論社、2007

 数値計算・グラフィックス

- B1) 「数学公式・数表ハンドブック」、スpeerゲル 著、氏家 勝巳 訳、
マグローヒル ブック (株)、1984
- B2) 「数値解析とその応用」、名取 亮、
コロナ社、1992
- B3) 「線形計算」、名取 亮、
朝倉書店、1993
- B4) 「コンピュータグラフィックス講義」、青木 由直、
コロナ社、2000
- B5) 「新数値計算」、福井 義成 他、
共立出版 (株)、2001
- B6) 「Visual Basicによる工学計算プログラム」、黒田 英夫、
CQ出版社、2001
- B7) 「Visual Basicによる数値解析プログラム」、黒田 英夫、
CQ出版社、2002
- B8) 「Web用3D-CG言語 X3D XML版」、赤間 世紀、
工学社、2007
- B9) 「Blender 3DCG パーフェクトバイブル2013」、近藤 一貴、
(株) 晋遊舎、2013
- B10) 「基礎からのFreeCAD」、坪田 遼、
工学社、2016

<C> 有限要素法・差分法・工学一般

- C1) 「マトリックス有限要素法」、O.C.Zienkiewicz 他、吉識 雅夫 監訳、
(株) 培風館、1970
- C2) 「有限要素プログラミング」、E.Hinton 他、川井 忠彦 監訳、

- 丸善（株）、1981
- C3) 「マイコンによる有限要素解析」、戸川 隼人、
（株）培風館、1982
- C4) 「流れと熱伝導の有限要素法入門」、矢川 元基、
（株）培風館、1983
- C5) 「有限要素法による熱応力・クリープ・熱伝導解析」、矢川 元基 他、
（株）サイエンス社、1987
- C6) 「Fundamentals of Computer Modeling for Polymer Processing」、
Charles L. Tucker III、Hanser Publishers、1989
- C7) 「The Finite Element Method (Linear Static and Dynamic Finite Element
Analysis)」、Thomas J.R. Hughes、Dover Publications、2000
- C8) 「The Finite Element Method in Electromagnetics」、Jianming Jin
John Wiley & Sons、2002
- C9) 「Visual Basicによる3次元熱伝導解析プログラム」、黒田 英夫、
CQ出版社、2003
- C10) 「基本からわかる有限要素法」、邵 長城、
森北出版（株）、2008
- C11) 「伝熱学の基礎」第2版、吉田 駿、
オーム社、2019