
* 「2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2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、軸対称を含む2次元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断面データ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）。

なお、本書で紹介の解析事例は、説明のために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 -----	8
第3章 自動メッシュのデータの作り方 -----	12
第4章 構造データの作り方 -----	13
第5章 「解析データ」処理プログラム -----	20
第6章 「計算」プログラム -----	52
第7章 「後処理」プログラム -----	63
第8章 軸対称体の計算例 -----	77
[参考文献] -----	84

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、本書ソフトでは図1-1に示す四角形8節点のアイソパラメトリック2次要素を使用します。同図で節点2、4、6、8は各辺の midpoint にあり、中間節点と呼ばれます。各辺は直線でも曲線（円弧）でも構いません。ガウス積分点は図の9点を使用します。なお、同図では平面問題として全体座標をXY座標で示していますが、軸対称問題ではRZ座標となります（以下同様）。

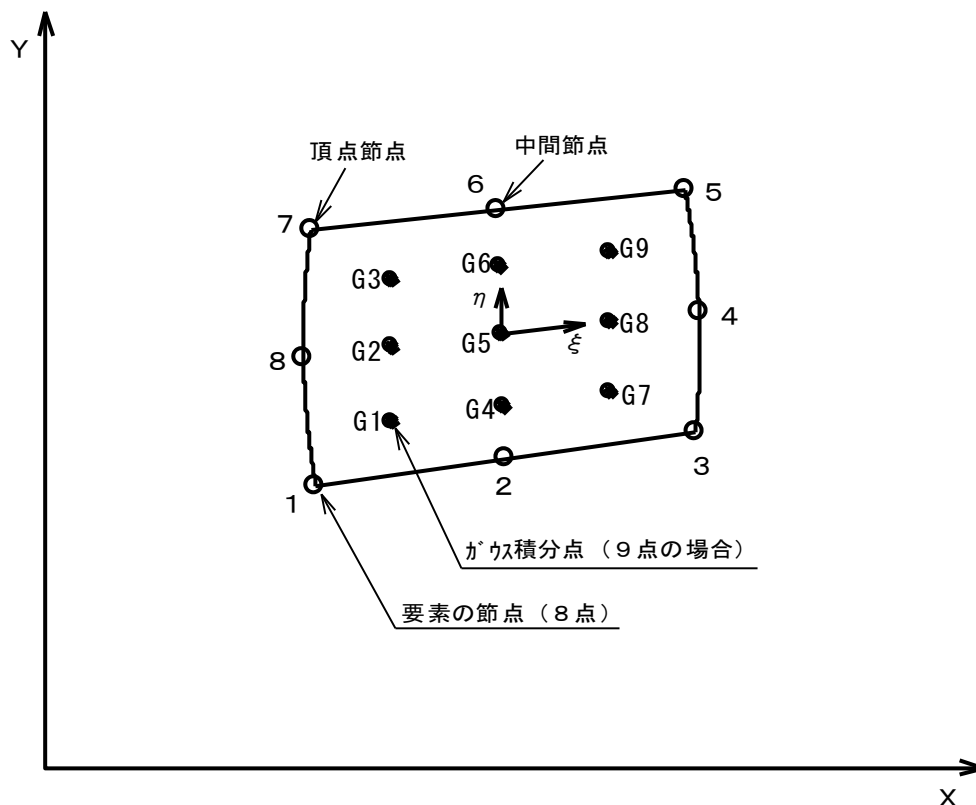


図1-1 四角形8節点要素

アイソパラメトリック2次要素は、三角形や四角形の1次要素（頂点のみに節点を持つ要素）に比べ、はるかに少ない要素数で精度良く計算できます。

注) ①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れる要素のことです。ここで、内挿関数とは後述の形状関数と同じです。

②ガウス積分点の数は、2次元の四角形要素の場合、1軸当りの積分点数の2乗となります。上記では1軸当りの積分点数は3ですが、同積分点数を2にして四角形要素の積分点を4点にすることも可能です。しかし、四角形要素の積分点を9点から4点に減らすと、計算時間が若干短くなっても、計算精度が低下します。

それ故、9点を採用しています。

図1-1に示す無次元化された局所座標 ξ, η を用いて、8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、8節点の変数値と形状関数の合成式により表わされます。

$$\begin{aligned}
 \text{[形状関数]} \quad N_1 &= -(1-\xi)(1-\eta)(1+\xi+\eta)/4 \\
 N_2 &= (1-\xi^2)(1-\eta)/2 \\
 N_3 &= (1+\xi)(1-\eta)(\xi-\eta-1)/4 \\
 N_4 &= (1+\xi)(1-\eta^2)/2 \\
 N_5 &= (1+\xi)(1+\eta)(\xi+\eta-1)/4 \\
 N_6 &= (1-\xi^2)(1+\eta)/2 \\
 N_7 &= (1-\xi)(1+\eta)(-\xi+\eta-1)/4 \\
 N_8 &= (1-\xi)(1-\eta^2)/2
 \end{aligned}$$

以上 (1-1)

ただし、 ξ, η の変域は、それぞれ-1～1

[要素内の変数値] 局所座標 (ξ, η) における値

$$H = \sum_{i=1}^8 N_i H_i \quad (1-2)$$

ただし、 H_i は節点における変数値

1.2 要素積分

ガウス積分による要素積分は次式で表わされます。

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

ただし、 $F(\)$ ：任意関数

dV ：積分体積

n ：1軸当たりのガウス積分点数

W_i, W_j ：ガウス積分点の位置 (ξ, η) における重み係数

ξ, η ：要素の無次元化された局所座標

h ：平面問題の場合は要素の厚さ、軸対称問題の場合は $2\pi R$

$|J|$ ：ヤコビアンマトリックスの行列式の値

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial X}{\partial \xi} & \frac{\partial Y}{\partial \xi} \\ \frac{\partial X}{\partial \eta} & \frac{\partial Y}{\partial \eta} \end{bmatrix} = \sum_{i=1}^8 \begin{bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial \xi} X_i & \frac{\partial N_i}{\partial \xi} Y_i \\ \frac{\partial N_i}{\partial \eta} X_i & \frac{\partial N_i}{\partial \eta} Y_i \end{bmatrix} \quad (1-4)$$

本書のプログラムでは、1軸当たりのガウス積分点数 n として3を採用しており、その際のガウス積分点の位置と重み係数を表1-1に示します。

表1-1 ガウス積分点の位置と重み係数

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

1.3 辺積分

前節では1つの要素全体の積分計算式を示しましたが、境界条件に関して要素の辺積分を行なうことがあります。図1-2に要素辺の説明図を示します。同図のように、辺は3節点で構成され、やはり辺に沿って無次元の局所座標 ξ を取ります。その局所座標 ξ を用いて、下記のように形状関数を定義します。そして、辺上の任意位置の変数値が、3節点の変数値と形状関数の合成式により表わされます。

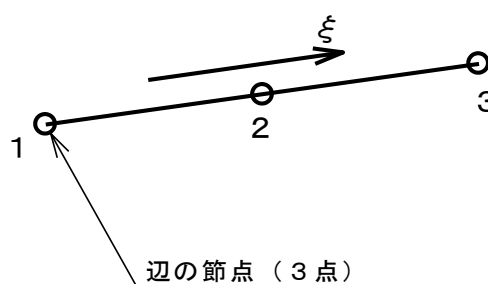


図1-2 要素の辺

$$\begin{aligned}
 \text{[辺の形状関数]} \quad L_1 &= -\xi (1-\xi)/2 \\
 L_2 &= (1-\xi) (1+\xi) \\
 L_3 &= \xi (1+\xi)/2
 \end{aligned}
 \qquad \text{以上 (1-5)}$$

ただし、 ξ の変域は-1～1

[辺上の変数値] 局所座標 ξ における値

$$H = \sum_{i=1}^3 N_i H_i \qquad (1-6)$$

ただし、 H_i は節点における変数値

そして、ガウス積分による辺積分は次式で表わされます。下記で積分長さとして dX 、 dY を使用しているのは、2次元構造強度解析においては辺に沿った積分長さをを用いずに済むからです。

$$\int F(X, Y) h \, dX = \sum_{i=1}^n F(\xi) W_i h |J_x| \, d\xi \qquad (1-7)$$

$$\int F(X, Y) h \, dY = \sum_{i=1}^n F(\xi) W_i h |J_y| \, d\xi \qquad (1-8)$$

ただし、 W_i : ガウス積分点の位置 ξ における重み係数。

積分点の位置と重み係数は表1-1参照。

$$|J_x| = \sum_{j=1}^3 \frac{\partial L_j}{\partial \xi} X_j \quad (1-9)$$

$$|J_y| = \sum_{j=1}^3 \frac{\partial L_j}{\partial \xi} Y_j \quad (1-10)$$

その他の記号は1.2節と同じ。

1.4 2次元熱伝導の有限要素法解析

2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、軸対称体は含まず、また発熱項は省略しています。

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial Y^2} \right) \quad (1-11)$$

ただし、T：温度、t：時間、X,Y：各座標値

λ ：熱伝導率、 ρ ：密度、 c ：比熱

(1-11)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。

$$[K_e] \{T_e\} + [C_e] \frac{\partial \{T_e\}}{\partial t} = \{F_e\} \quad (1-12)$$

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。

$$[K_e] = \int \lambda \left(\frac{\partial [N]^T}{\partial X} \frac{\partial [N]}{\partial X} + \frac{\partial [N]^T}{\partial Y} \frac{\partial [N]}{\partial Y} \right) dV \quad (1-13)$$

$$[C_e] = \int \rho c [N]^T [N] dV \quad (1-14)$$

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

(1-13)式、(1-14)式を局所座標 ξ, η によって表わすと、それぞれ以下ようになります。

$$[K_e] = \int \lambda \left(\frac{\partial [N]^T}{\partial X} \frac{\partial [N]}{\partial X} + \frac{\partial [N]^T}{\partial Y} \frac{\partial [N]}{\partial Y} \right) h |J| d\xi d\eta \quad (1-15)$$

$$[C_e] = \int \rho c [N]^T [N] h |J| d\xi d\eta \quad (1-16)$$

ただし、 h ：平面問題の場合は要素の厚さ、軸対称問題の場合は $2\pi R$

$|J|$ ：ヤコビアンマトリックスJの行列式の値。Jは(1-4)式による。

全要素について(1-12)式を合わせると、全体の方程式は次の形となります。

$$[K]\{T\} + [C] \frac{\partial \{T\}}{\partial t} = \{F\} \quad (1-17)$$

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、(1-17)式左辺の第2項を0とおいて、次式が得られます。

$$[K]\{T\} = \{F\} \quad (1-18)$$

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、(1-17)式は次のように書き表わされます。

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

ここで、台形則により、

$$\{T\} - \{T_b\} = \Delta t \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \{T\}}{\partial t} + \frac{\partial \{T_b\}}{\partial t} \right) \quad (1-20)$$

$$\therefore \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \{T\}}{\partial t} + \frac{\partial \{T_b\}}{\partial t} \right) = \frac{\{T\} - \{T_b\}}{\Delta t} \quad (1-21)$$

(1-21)式を(1-19)式に代入すると次式が得られます。

$$[K] \frac{1}{2}(\{T\} + \{T_b\}) + [C] \frac{\{T\} - \{T_b\}}{\Delta t} = \{F\} \quad (1-22)$$

$$\therefore \left([K] + [C] \frac{2}{\Delta t} \right) \{T\} = 2\{F\} - \left([K] - [C] \frac{2}{\Delta t} \right) \{T_b\} \quad (1-23)$$

(1-23)式の右辺は、すべて既知項であり、(1-18)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(1-18)式を解くことにより、非定常問題では(1-23)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。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。

1.5 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1-3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。

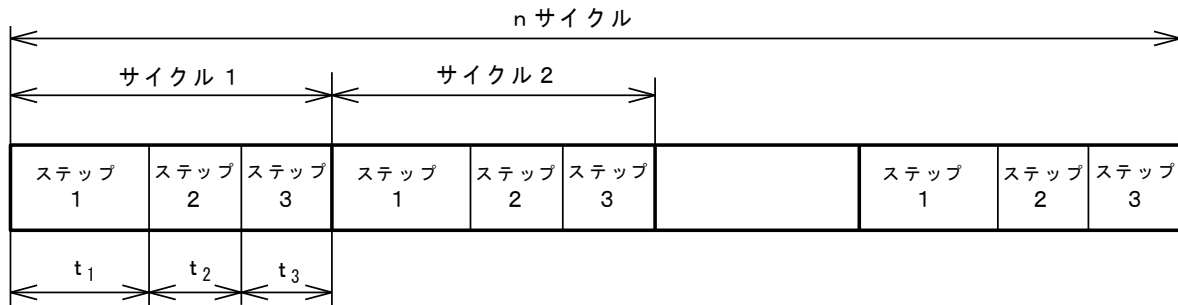


図1-3 境界条件の複数ステップとサイクルの関係（ステップ数3の例）

1.6 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1-4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。

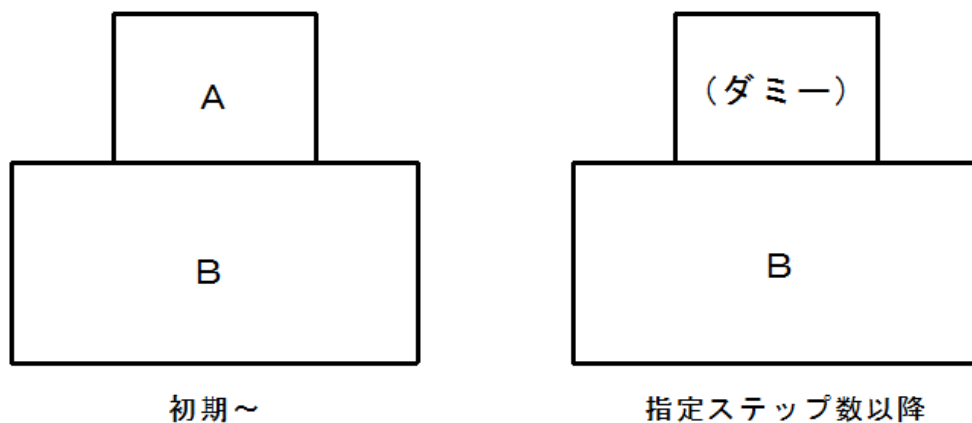


図1-4 部分構造ダミー化の略図

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 2 D

表2-1に本ソフトの解析機能を示します。同表のように、2次元または軸対称体の2種類の問題タイプに対応し、それぞれ定常および非定常の解析が可能です。

表2-1 「T h e r m 2 D」 解析機能

問題タイプ	内容	定常解析	非定常解析
1) 2次元	2次元で熱伝導するもの	○	○
2) 軸対称体	軸対称に熱伝導するもの	○	○

注) ○印：対応

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断面データ」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。ただし、問題タイプの変更は、「解析データ」のサブメニュー「データ入力・修正」で実施します。また、「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。

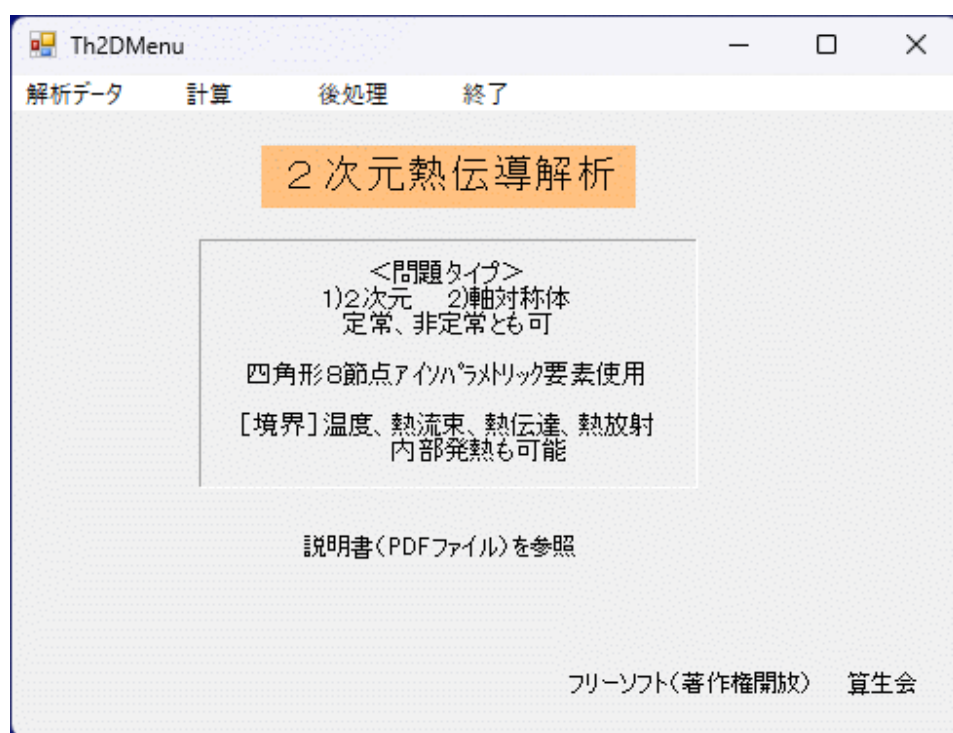


図2-1 「T h e r m 2 D」 ソフトのメニュー画面

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Th2DMenu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」と「結果データファイル」の2種類を使用しています。ただし、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。

表2-2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Th2DDat1とTh2DDat2は、各種データを画面入力するためのものです。特にTh2DDat2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。

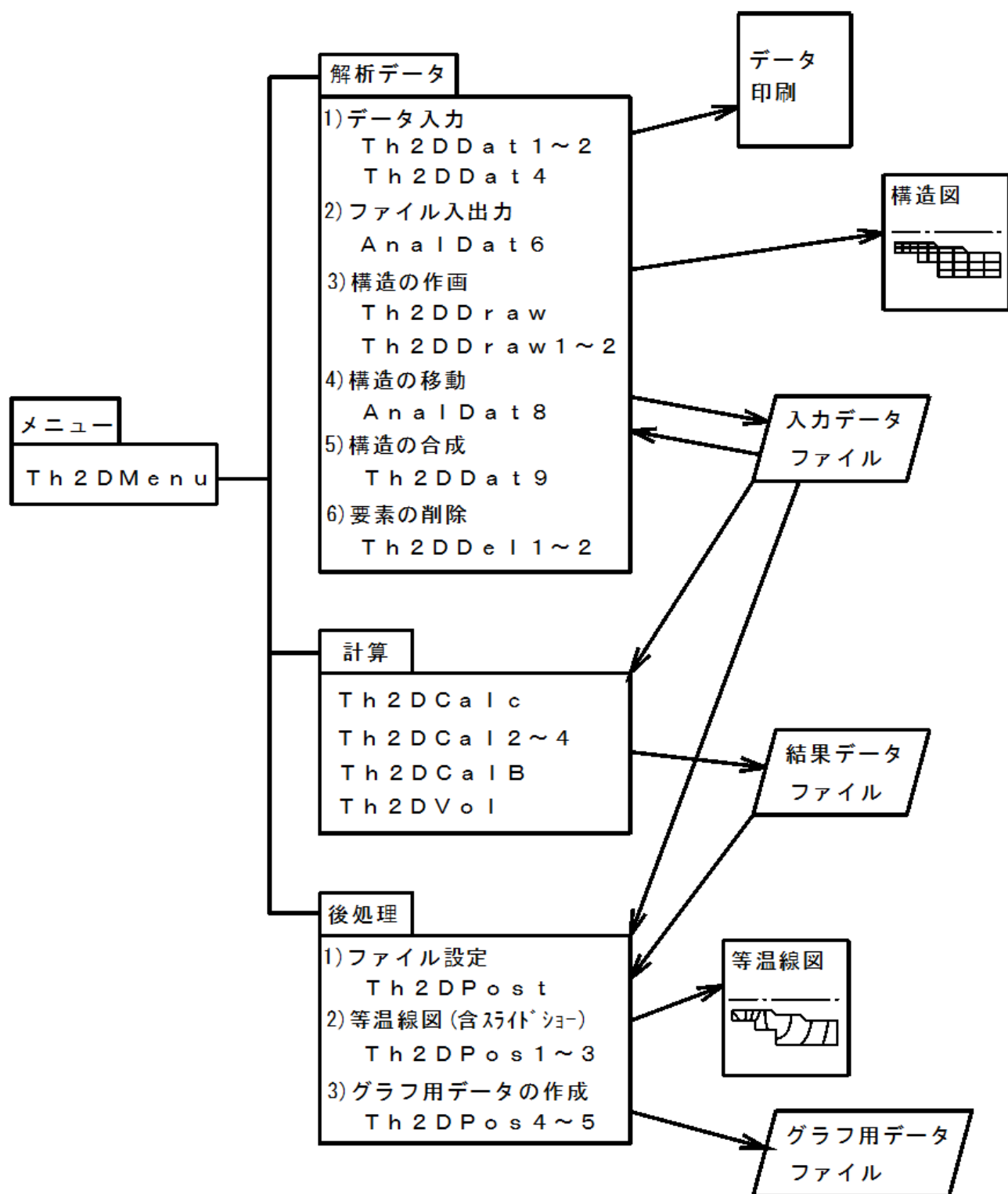


図2-2 「Therm2D」ソフトのプログラム構成

表2-2 「Therm2D」ソフトのファイルリスト

[全般]

ファイル名	内 容
Th2DCom.vb	共通変数の宣言とサブルーチンの定義
Th2DMenu.vb	メニューの提示・選択

[解析データ]

ファイル名	内 容
Th2DDat1.vb	データ仕様の入力
Th2DDat2.vb	各データの入力
Th2DDat4.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
Th2DDat9.vb	構造の合成
Th2DDraw.vb	構造の作画
Th2DDraw1.vb	構造図でデータ入力項目の選択
Th2DDraw2.vb	構造図でデータの入力
Th2DDel1.vb	要素の削除数の入力と削除の実行
Th2DDel2.vb	要素削除の要素指定

[計算]

ファイル名	内 容
Th2DCalc.vb	計算に使用するファイルの設定
Th2DCal2.vb	非定常計算の条件入力
Th2DCal3.vb	解析計算の実行(計算時間優先)
Th2DCal4.vb	解析計算の実行(メモリー使用量優先)
Th2DCalB.vb	解析計算のバッチ処理
Th2DVol.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
Th2DPost.vb	後処理に使用するファイルの設定
Th2DPos1.vb	等温線図の仕様設定
Th2DPos2.vb	等温線図の作画実行
Th2DPos3.vb	等温線図スライドショーの実行
Th2DPos4.vb	グラフ用データの仕様設定
Th2DPos5.vb	グラフ用データの作成

第3章 自動メッシュのデータの作り方

本章は「FEM断面データ」ソフトに属するものですが、参考のため、重複して説明します。

自動メッシュでは、最初に断面形状の元データを作成します。元データとは、形状を規定するデータのことです。この元データは、断面内のXy座標で設定します。座標軸の向きは、X軸が右方向、Y軸が上方向となる一般座標系です。また、軸対称体の場合は、R、Z軸をX、Y軸に当てはめます。

断面形状は外形と穴によって規定され、元データはそれらを構成する各線分によって表わします。本ソフトでは、各線分は直線線分か円弧線分の2種類を使用します。また、円弧線分は半円以下に限定しており、それ以上の円弧や全円は、2つの円弧線分に分割します。直線線分は両端の2点で、円弧線分は片方の端点、中間点、他方の端点の計3点で定義します。ただし、円弧の中間点は、円弧のある側を示す目的なので、中央点でなくても構いません。

具体例として、図3-1の例で説明します。同図は軸対称体形状のためr z座標となっており、z軸方向に縦長の形をしています。そして、①～⑫の12個の直線線分によって全形状が表わされます。各線分は両端の点で規定され、たとえば線分①は点1と点2で定義します。線分や点の番号は任意に付番できますが、欠番があってはなりません。なお、外形線分の定義点（円弧の中間点を除く）は、自動メッシュ生成の際、優先的に節点として選択されます。それ故、外形の特定の点を境界条件節点にしたい場合は、同点を線分定義点とし、1つの線分を複数線分に分けても構いません。

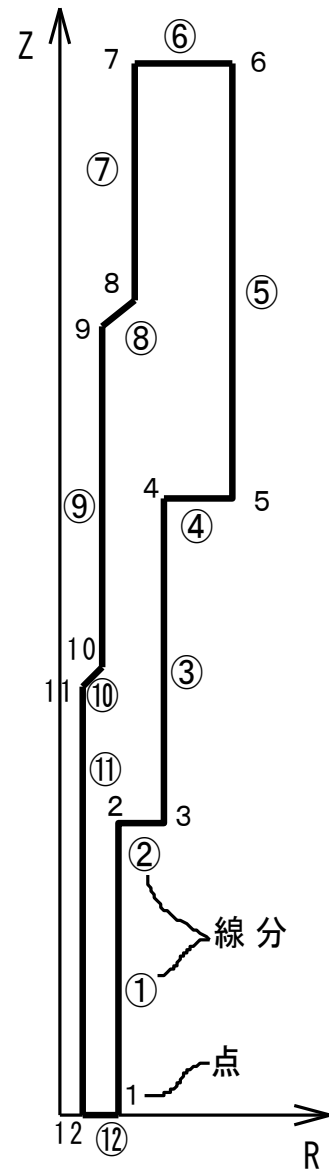


図3-1 線分による形状定義例

〔備考〕①自動メッシュによらず、人手で要素分割を行なって次節の構造データを作成することもできます。

②複雑な断面形状で自動メッシュではうまく行かないことがあれば、適宜メッシュデータを修正するか、断面を複数に分割してメッシュ生成してください。

第4章 構造データの作り方

一般には前節の自動メッシュを利用しますので、人手で構造データを作成することはまれと思われます。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、大半が「FEM断面データ」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、境界条件等の設定についても説明します。

構造データは2次元と軸対称体の各問題タイプで若干異なりますが、基本的な所は同じです。従って、共通な形で説明し、タイプにより異なる所は補足説明します。

使用する要素は前掲の図1-1に示す四角形8節点アイソパラメトリック要素です。なお、ガウス積分点数は9ですが、データ上では1軸当りの3となります。

以降では、図4-1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。

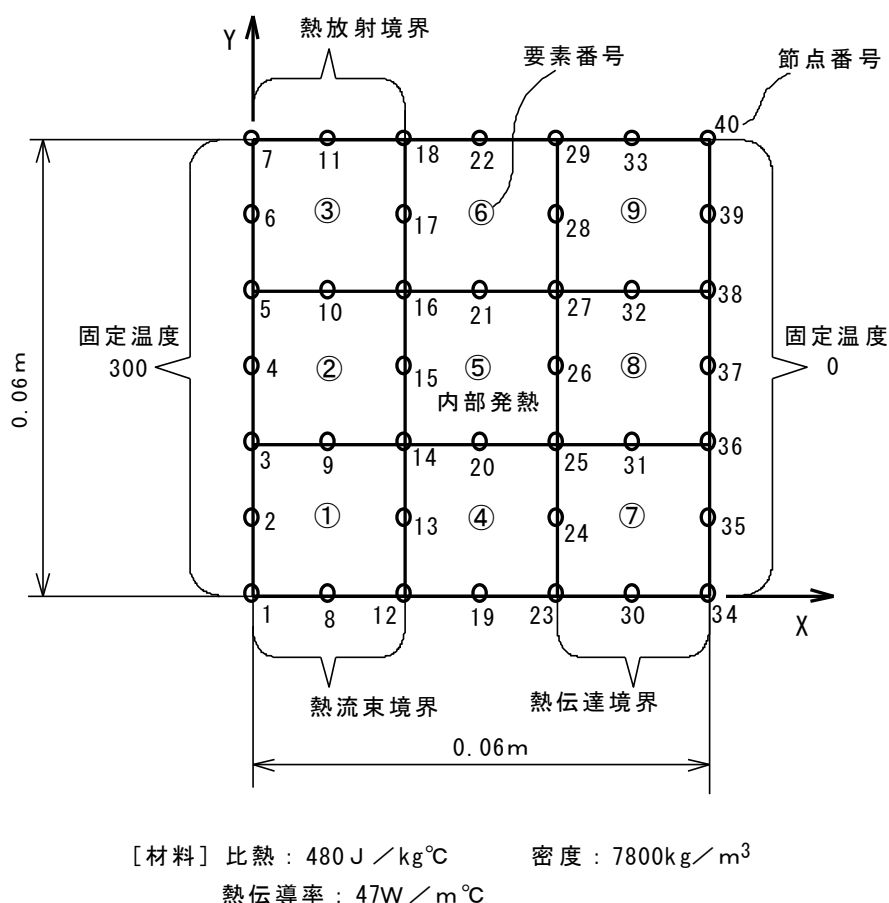


図4-1 テスト用構造モデル

1) 先ず構造を平面図に描きます。

平面図には、座標軸も明記します。座標軸は、図4-2、4-3のように問題タイプにより異なります。

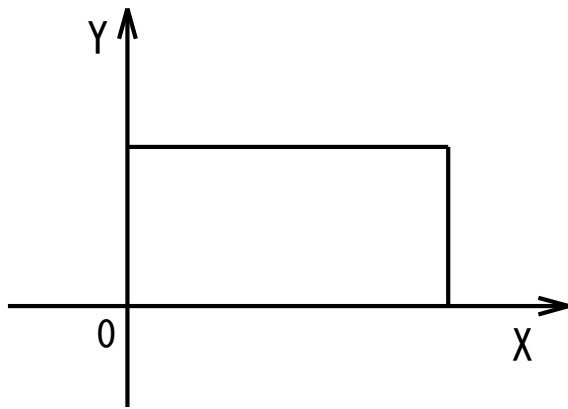


図4-2 2次元の平面図

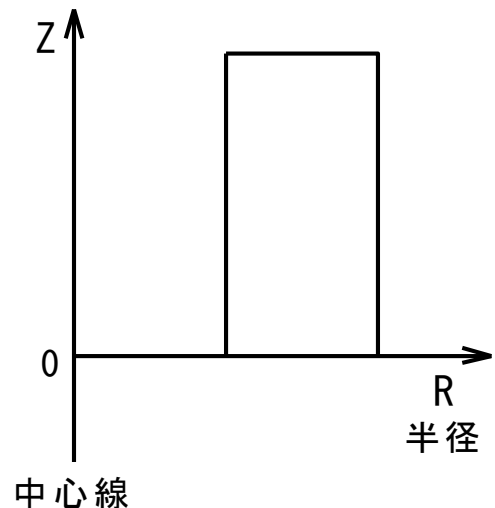


図4-3 軸対称体の平面図

2) 自動メッシュの場合は、「FEM断面データ」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、構造を四角形要素に分割し、各要素に所定の節点を設けます。

- ① 構造すべてを適当な大きさの四角形に分割します。四角形の辺は直線でも曲線（円弧）でも構いません。また、形状は三角形であって、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。四角形の大きさは、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。自動メッシュでない場合、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。
- ② 当然のことながら、1つの要素は同一材料でなければなりません。

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。

節点番号は、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。そうすれば、バンド幅を最小にできます。

なお、本ソフトでは解析計算実行時に、節点順序の改良を実施してバンド幅を低減する処理を行なっています。従って、上記の節点順序の入力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。

すべての四角形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、「FEM断面データ」ソフトに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4-1に、その説明図を図4-4に示します。

表4-1 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
f) 熱放射グループ	グループ内の構造面間で熱放射するもの

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]

$$\text{流出熱量 } q = \alpha (T - T_c) \quad (4-1)$$

ただし、 α : 熱伝達率 (係数) T_c : 外部温度

[熱放射境界の式] 非定常解析のみ

$$\begin{aligned} \text{流出熱量 } q &= \varepsilon \sigma F (T^4 - T_r^4) \\ &= C_r (T^4 - T_r^4) \end{aligned} \quad (4-2)$$

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

C_r : 放射係数、本ソフトでデータ入力

$$C_r = \varepsilon \sigma F \quad (4-3)$$

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。

[熱放射グループの式] 非定常解析のみ

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

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

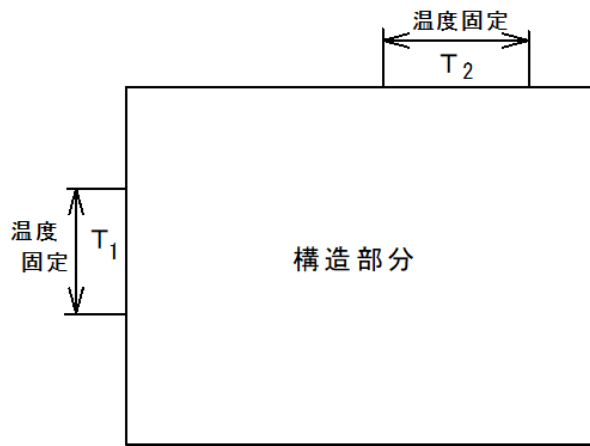
本式の T_1 および T_2 の単位は絶対温度 K を使用します。そのため、モデル全体を絶対温度 K で統一する必要があります。

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。

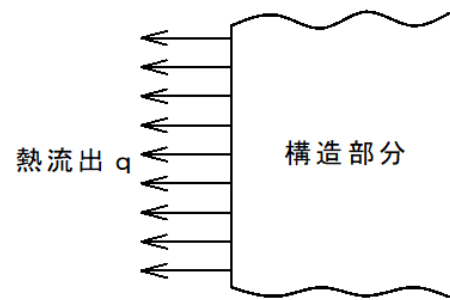
[非定常解析の多ステップ設定]

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。

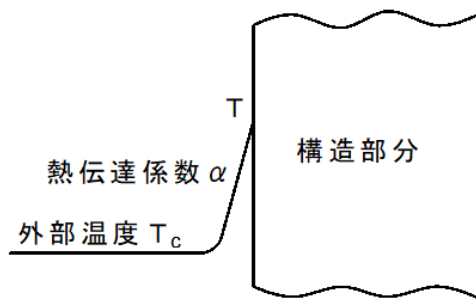
注）各ステップで異なる境界種類への変更はできません。もし異なる境界種類の切り替えを行ないたい場合は、最初の境界条件で計算した結果を初期値に読み込んで、異なる境界条件で別途計算してください。ただし、温度固定境界と熱伝達境界との切り替えは、温度固定に対して非常に大きな熱伝達係数を与える代用手段により、熱伝達境界で統一できます。



a) 温度固定境界



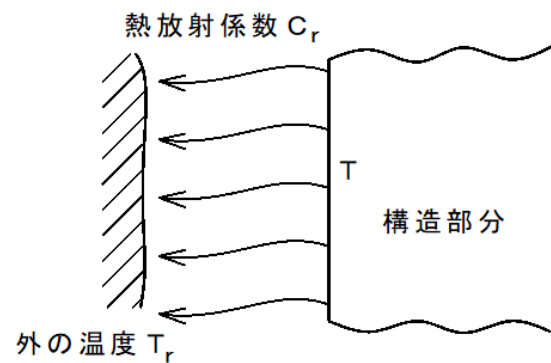
b) 熱流束境界



[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

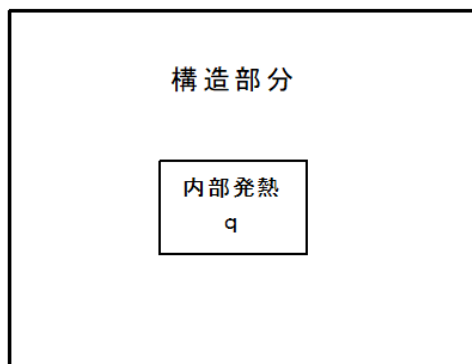


温度単位は絶対温度K

[流出熱量]

単位時間、単位面積当り
 $q = C_r (T^4 - T_r^4)$

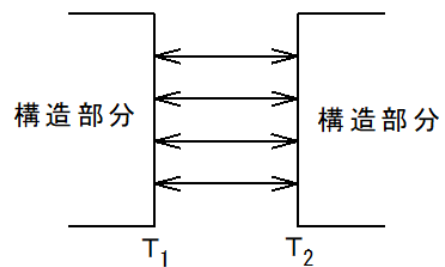
d) 熱放射境界



[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4-4 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4-2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4-2 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。

10) 構造モデルの移動

本ソフトでは、一旦作成した構造モデルを、原点回りに回転したり、X、Y軸方向に平行移動することができます。従って、最初はなるべく座標軸に平行でわかりやすい外形位置でモデルを作成し、その後で本来の位置に移動させたり、次項の構造の合成に利用すると便利です。

11) 構造の合成

本ソフトでは1つの構造モデルに別の構造モデルを合成して、新たな構造モデルを生成することができます。また、この操作を繰り返して、いくつでも構造モデルを合成することができます。

[構造の合成方法]

- ①2つの構造を組合せます。
- ②片方の構造をベース構造、他方を追加構造と呼びます。
- ③ベース構造の要素および節点はそのまま保持されます。
- ④2つの構造で同一の座標位置の節点どうしを重ね合わせます。

◇節点どうしを重ね合わせたときに、要素が正しく接続されるように配慮しておく必要があります。

◇合成の際に、追加構造を平行・回転移動させることも可能です。

⑤追加構造の要素番号と節点番号は、ソフト内で自動的に付番し直します。

上記の合成方法で、最も問題になるのは④の節点座標位置です。図4-5に構造の合成の説明図を示します。同図で、構造1と構造2を合わせて、右側の合成構造を生成するものとします。その際、構造1と構造2の結合境界では、節点数および寸法が同一でなくてはなりません。もし自動メッシュにより構造1や構造2を生成する場合は、結合境界で要素どうしが正しく接続されるようにメッシュ数等を設定しておきます。もし自動メッシュだけではうまく行かないときは、後で結合境界の要素について人手で調整する必要があります。

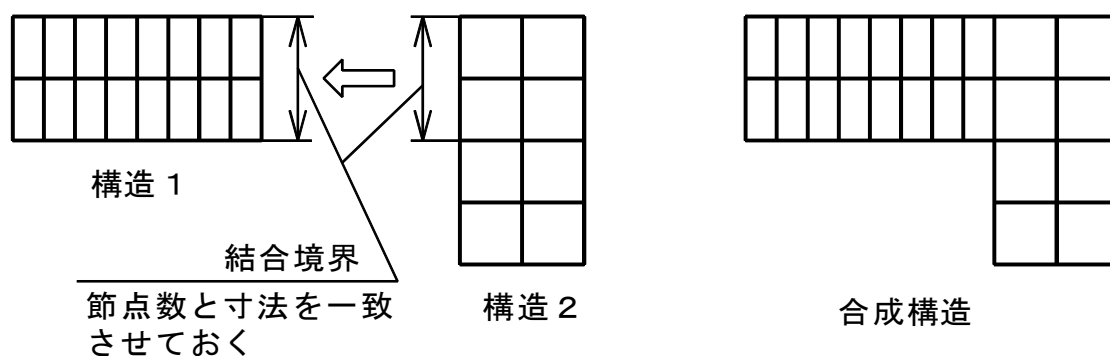


図4-5 構造の合成の説明図

第5章 「解析データ」処理プログラム

5.1 サブメニュー画面

「メニュー」プログラムにおける「解析データ」のサブメニュー選択画面を図5-1に示します。同図に示すように、12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。

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。

◇「FEM断面データK」ソフトによる本解析用データファイルを読み込みます。

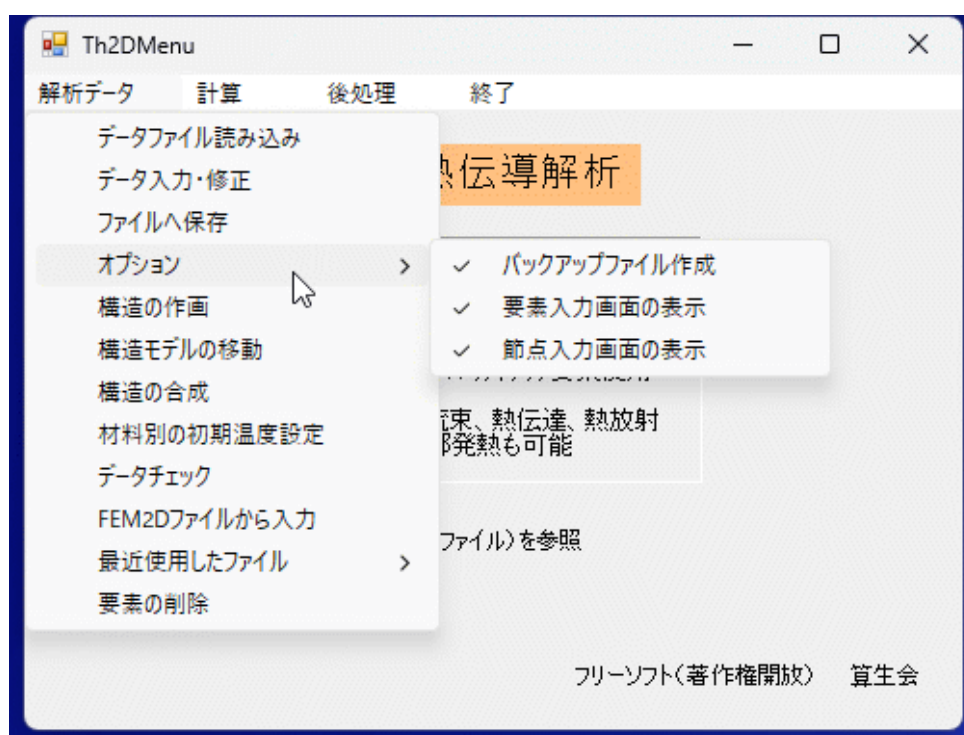


図5-1 「解析データ」サブメニュー画面

5.2 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。

5.3 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5-2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5-2では図4-1の例題を取り上げており、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問題のタイプは、2次元なら2、軸対称体なら4を入力します。
- ③節点数～材料データ数、および熱流束境界の辺の数～熱放射グループ数は、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。
- ◇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。
- ④初期値データは、非定常解析の場合に必要です。
- ⑤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。
- ⑥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。

Th2DDat1

データを入力してください。

タイトル

問題のタイプ(2次元=2、軸対称体=4)

節点数 要素数 材料データ数

温度固定節点数 熱流束境界の辺の数

熱伝達境界の辺の数 熱放射境界の辺の数

内部発熱の要素数 熱放射グループの数

境界条件のステップ数 初期値データ(なし=0、有り=1)

(定常解析ではステップ数は1)

熱放射がある場合、
温度単位は絶対
温度Kで統一

図5-2 データ仕様入力画面

5.4 要素データ入力画面（オプションで省略可能）

図5-3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から節点順8までは、各要素の節点番号8個を、必ず頂点節点を最初に、かつ左回りの順に（節点の入力順に辺を進んだ時いつも左側に要素があるように）入力します。

例）図5-4の入力順は、1、4、6、7、8、5、3、2（どの頂点が先頭でも可）

- 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。

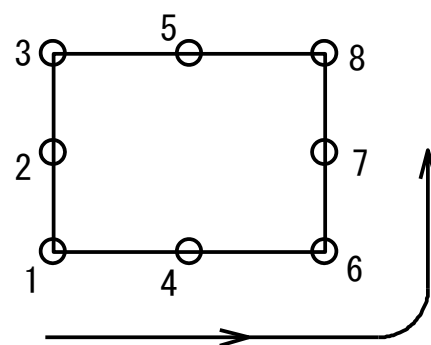


図5-4 要素の節点番号の入力順序（左周り）

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	節点順 6
1	1	1	8	12	13	14	9
2	1	3	9	14	15	16	1
3	1	5	10	16	17	18	1
4	1	12	19	23	24	25	2
5	1	14	20	25	26	27	2
6	1	16	21	27	28	29	2
7	1	23	30	34	35	36	3
8	1	25	31	36	37	38	3
9	1	27	32	38	39	40	3
*							

図5-3 要素データ入力画面

5.5 節点データ入力画面（オプションで省略可能）

図5-5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。
- ②四角形要素辺の中間節点は、辺が直線ならば、後で「中間節点自動計算」を実施でき

るので、本画面では入力しなくても構いません。ただし、辺が円弧等の曲線の場合は、直線辺の「中間節点自動計算」の後で、本画面で中間節点座標を最後に入力します。

- ③「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。

- ④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。

節点番号	X座標	Y座標
1	0	0
2	0	.01
3	0	.02
4	0	.03
5	0	.04
6	0	.05
7	0	.06
8	.01	0
9	.01	.02
10	.01	.04
11	.01	.06
12	.02	0
13	.02	.01
14	.02	.02
15	.02	.03

図5-5 節点データ入力画面

5.6 材料物性区分数の入力画面

図5-6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。

5.7 ステップ時間の入力画面

図5-7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。

Th2DDat2

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5-6 材料物性区分数の入力画面

Th2DDat2

ステップ時間の入力

境界条件の各ステップ時間を入力してください。

	番号	ステップ時間
▶	1	4
	2	6
*		

設定 戻る コピー 貼り付け 取り消し

図5-7 ステップ時間の入力画面

5.8 温度固定節点データ入力画面

本入力は、温度固定境界がある場合（温度固定節点数が1以上）にのみ実施します。

図5-8、図5-9に温度固定節点データ入力画面を示します。図5-8はステップ数が1の場合、図5-9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。

固定番号	節点番号	温度1
1	1	300
2	2	300
3	3	300
4	4	300
5	5	300
6	6	300
7	7	300
8	34	0
9	35	0
10	36	0
11	37	0
12	38	0
13	39	0
14	40	0

図5-8 温度固定節点データ入力画面（ステップ数1の場合）

Th2DDat2

温度固定境界の入力 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	300	200
	2	2	300	200
	3	3	300	200
	4	4	300	200
	5	5	300	200
	6	6	300	200
	7	7	300	200
	8	34	0	0
	9	35	0	0
	10	36	0	0
	11	37	0	0
	12	38	0	0
	13	39	0	0
	14	40	0	0
*				

設定 戻る 一括コピー コピー 貼り付け 取消し

図5-9 温度固定節点データ入力画面（ステップ数2の場合）

5.9 熱流束データ入力画面

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

図5-10に熱流束データ入力画面を示します。

- ①熱流束境界の辺の数の分だけ番号が表示されているので、それぞれ辺の節点番号3個とステップ数分の熱流束値を入力します。
 - ◇辺の節点番号3個は必ず要素を左側に見る順序で入力します（図5-4に示した要素の節点番号入力順序と同様）。
 - ◇熱流束値は、単位面積当りの熱流量で、要素から熱が流出する向きを正とします。
- ②辺節点1 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、辺の節点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。

Th2DDat2

熱流束境界の入力 辺節点1に-1を入力すると、その行を削除・前詰めします。

[熱流束]単位面積当たり垂直方向熱量(流出が正) [辺の節点順]要素を左側に見る順序

番号	辺節点1	辺節点2	辺節点3	熱流束1
▶ 1	1	8	12	100000
*				

設定 戻る 一括コピー コピー 貼り付け 取り消し

図5-10 熱流束データ入力画面

5.10 熱伝達データ入力画面

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

図5-11に熱伝達データ入力画面を示します。

- ①熱伝達境界の辺の数の分だけ番号が表示されているので、それぞれ辺の節点番号3個とステップ数分の伝達係数・外部温度を入力します。
 - ◇辺の節点番号3個は必ず要素を左側に見る順序で入力します（図5-4に示した要素の節点番号入力順序と同様）。
 - ◇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辺節点1 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、辺の節点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。

Th2DDat2

熱伝達境界の入力 辺節点1に-1を入力すると、その行を削除・前詰めします。

[辺の節点順]要素を左側に見る順序

	番号	辺節点1	辺節点2	辺節点3	伝達係数1	外部温度1
▶	1	23	30	34	1000	0
*						

設定 戻る 一括コピー コピー 貼り付け 取り消し

図5-11 熱伝達データ入力画面

5.11 熱放射データ入力画面

本入力は、熱放射境界がある場合（熱放射境界の辺の数が1以上）にのみ実施します。
図5-12に熱放射データ入力画面を示します。

- ①熱放射境界の辺の数の分だけ番号が表示されているので、それぞれ辺の節点番号3個とステップ数分の放射係数・外の温度を入力します。
 - ◇辺の節点番号3個は必ず要素を左側に見る順序で入力します（図5-4に示した要素の節点番号入力順序と同様）。
 - ◇放射係数は(4-3)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。
- 注）本モデルで熱放射境界の効果はないですが、説明のために入れました。
- ②辺節点1 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、辺の節点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。

Th2DDat2

熱放射境界の入力 辺節点1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 [辺の節点順]要素を左側に見る順序

番号	辺節点1	辺節点2	辺節点3	放射係数1	外の温度1
▶ 1	18	11	7	5E-08	0
*					

設定 戻る 一括コピー コピー 貼り付け 取り消し

図5-12 熱放射データ入力画面

5.12 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5-13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。

内部発熱データの入力

要素番号に-1を入力すると、その行を削除・前詰めします。

発熱率は、単位体積当たりの値を入力してください。

番号	要素番号	発熱率1
▶ 1	5	1E+07
*		

設定 戻る 一括コピー コピー 貼り付け 取り消し

図5-13 内部発熱データ入力画面

5.13 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5-14に示す熱放射グループを取り上げています。同図では、逆コの字形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辺データの入力画面も同様です。

図5-15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、各グループの辺の数を入力します。

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。

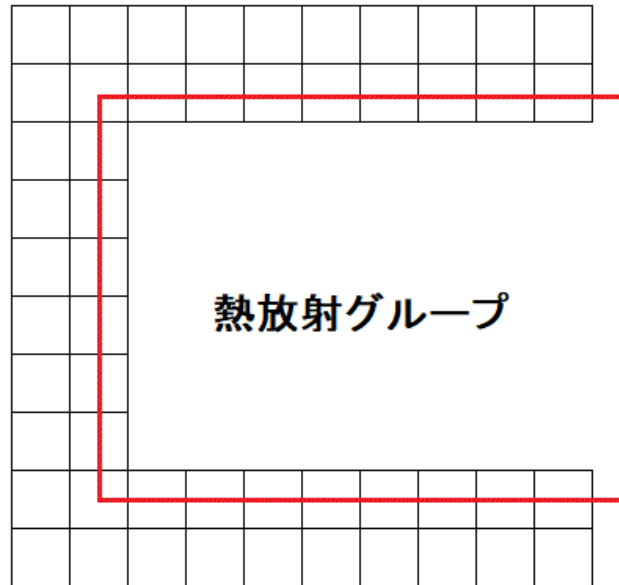


図5-14 熱放射グループの例

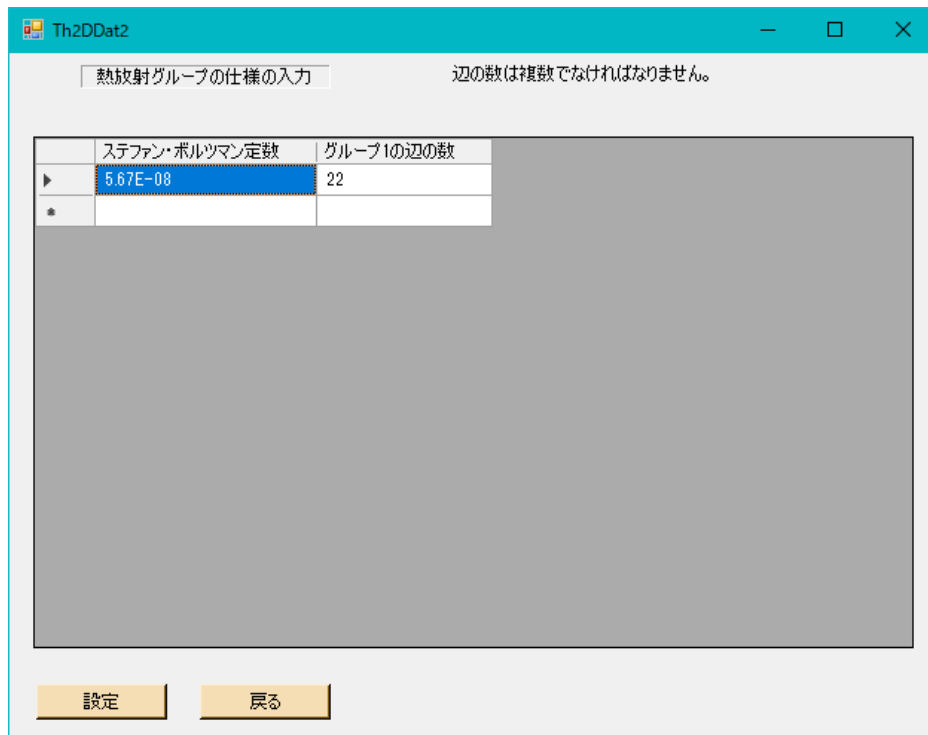


図5-15 熱放射グループ入力画面

5.14 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5-16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5-16で「一括設定」ボタンをクリックします。そうすると、図5-17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5-16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5-18のコモンダイアログ画面となりますので、Therm2D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5-19または図5-20の入力画面が出ます。

図5-19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5-20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5-21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。

◇固定温度節点においては、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。

節点番号	初期温度
1	300
2	300
3	300
4	300
5	300
6	300
7	300
8	0
9	0
10	0
11	0
12	0
13	0
14	0
15	0
16	0

図5-16 初期値データ入力画面

初期温度入力

一括設定の初期温度を入力してください。

100

OK

キャンセル

図5-17 一括設定温度の入力画面

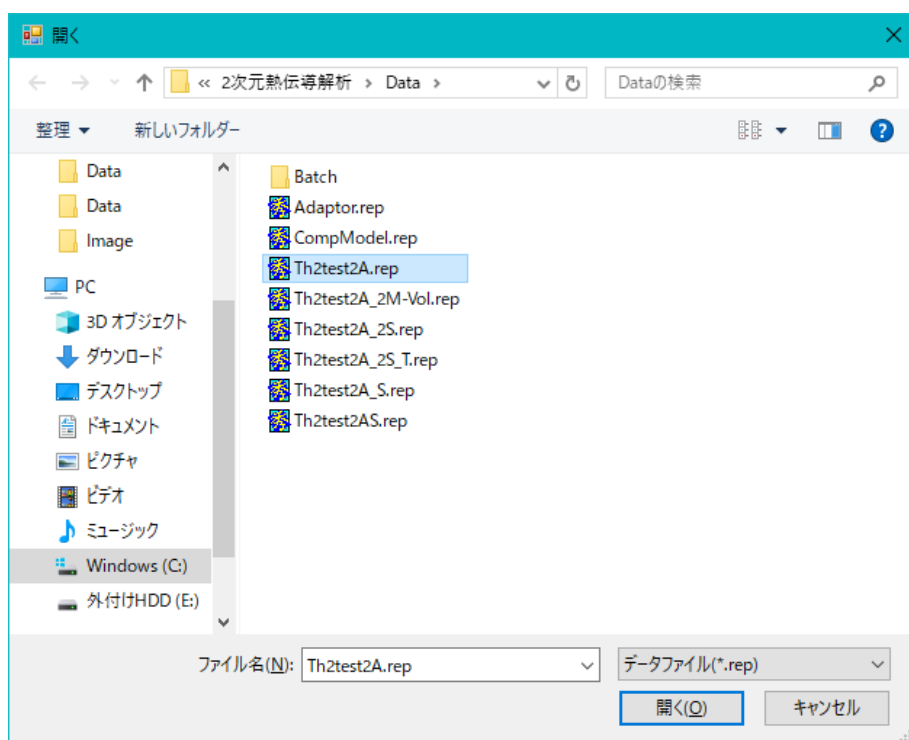


図5-18 Therm2D結果ファイル選択のコモンダイログ画面

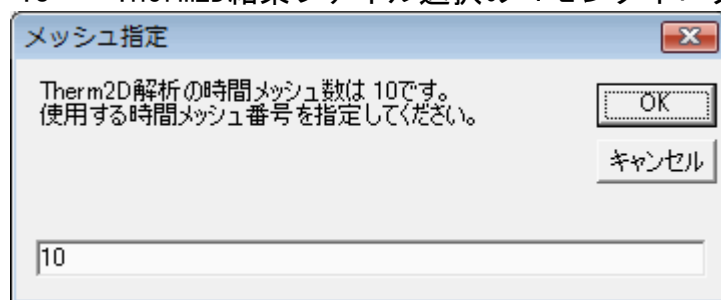


図5-19 非定常温度解析結果の時間メッシュ指定画面（ステップ数1の場合）

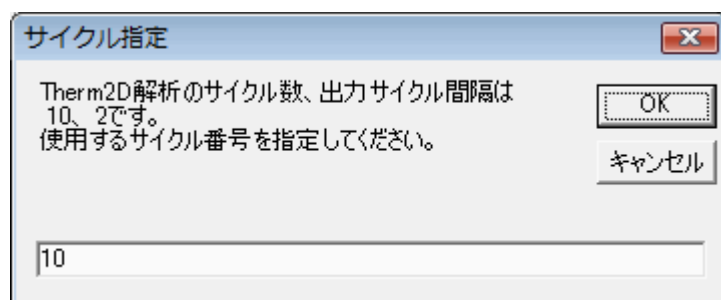


図5-20 非定常温度解析結果のサイクル番号指定画面（ステップ数2以上の場合）

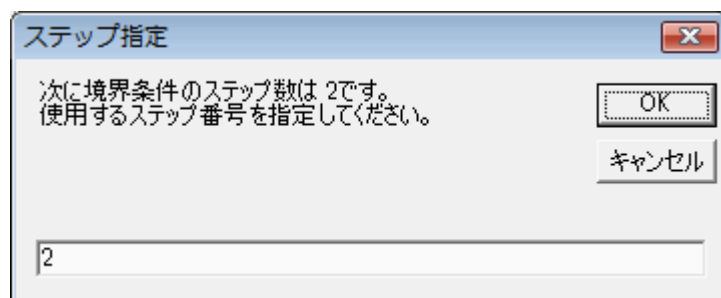


図5-21 非定常温度解析結果のステップ番号指定画面（ステップ数2以上の場合）

5.15 熱放射グループの辺データ入力画面

図5-22に熱放射グループの辺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グループの辺の数の分だけNo. が表示されているので、それぞれ辺の節点番号3個と放射率を入力します。

◇辺の節点番号3個は必ず要素を左側に見る順序で入力します（図5-4に示した要素の節点番号入力順序と同様）。

◇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辺節点1に「-1」を入力すると、その行を削除して前詰めします。

- ③すべての辺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。

辺No.	辺節点1	辺節点2	辺節点3	放射率
1	144	136	128	.8
2	129	137	145	.8
3	160	152	144	.8
4	145	153	161	.8
5	176	168	160	.8
6	161	169	177	.8
7	69	70	71	.8
8	71	72	73	.8
9	73	74	75	.8
10	75	76	77	.8
11	77	78	79	.8
12	79	80	81	.8
13	96	88	69	.8
14	81	89	97	.8
15	112	104	96	.8
16	97	105	113	.8

図5-22 熱放射グループの辺データ入力画面

5.16 材料データ入力画面

図5-23、5-24に材料データ入力画面を示します。図5-23は温度区分数が1の場合、図5-24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5-2のデータ仕様入力画面に戻ります。

The screenshot shows a software window titled "Th2DDat4" with a sub-header "材料データの入力" (Material Data Input). Below the header, there are two input fields: "材料番号 1" (Material No. 1) and "密度(共通)" (Density (Common)) with the value "7800". A table with 5 columns is displayed: "区分番号" (Zone No.), "比熱" (Specific Heat), "熱伝導率" (Thermal Conductivity), and "上限温度" (Upper Temperature). The first row of the table is highlighted in blue and contains the values "1", "480", "47", and "1000". Below the table, there are five buttons: "設定" (Settings), "戻る" (Back), "コピー" (Copy), "貼り付け" (Paste), and "取り消し" (Cancel).

区分番号	比熱	熱伝導率	上限温度
1	480	47	1000
*			

図5-23 材料データ入力画面（温度区分数1）

The screenshot shows the same software window "Th2DDat4" with the same header and input fields. The table now has 3 rows of data. The first row is highlighted in blue and contains the values "1", "500", "50", and "100". The second row contains "2", "400", "40", and "200". The third row contains "3", "300", "30", and "300". The buttons at the bottom are the same as in the previous screenshot.

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	300
*			

図5-24 材料データ入力画面（温度区分数3）

5.17 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。

◇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5-25に入力データファイル例を示します。

```

プログラム名, Therm2D
熱伝導解析テスト (0.06m×0.06m)
問題のタイプ, 2
節点数, 40
要素数, 9
温度固定節点数, 14
材料データ数, 1
境界条件のステップ数, 1
熱流束境界の辺の数, 1
熱伝達境界の辺の数, 1
熱放射境界の辺の数, 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、8節点番号)
1, 1, 1, 8, 12, 13, 14, 9, 3, 2
2, 1, 3, 9, 14, 15, 16, 10, 5, 4
3, 1, 5, 10, 16, 17, 18, 11, 7, 6
4, 1, 12, 19, 23, 24, 25, 20, 14, 13
5, 1, 14, 20, 25, 26, 27, 21, 16, 15
6, 1, 16, 21, 27, 28, 29, 22, 18, 17
7, 1, 23, 30, 34, 35, 36, 31, 25, 24
8, 1, 25, 31, 36, 37, 38, 32, 27, 26
9, 1, 27, 32, 38, 39, 40, 33, 29, 28
節点データ (節点番号、X座標、Y座標)
1, 0, 0
2, 0, .01
3, 0, .02
4, 0, .03
5, 0, .04
6, 0, .05
7, 0, .06
8, .01, 0
9, .01, .02
10, .01, .04
. . . . .
. . . . .
33, .05, .06
34, .06, 0
35, .06, .01
36, .06, .02
37, .06, .03
38, .06, .04
39, .06, .05
40, .06, .06

```

図5-25 (1/2) 入力データファイル例

```

温度固定境界（固定番号、節点番号、各ステップの温度）
1, 1, 300
2, 2, 300
3, 3, 300
4, 4, 300
5, 5, 300
6, 6, 300
7, 7, 300
8, 34, 0
9, 35, 0
10, 36, 0
11, 37, 0
12, 38, 0
13, 39, 0
14, 40, 0
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
熱流束データ（熱流束番号、辺の3節点番号、各ステップの熱流束（単位面積当り））
1, 1, 8, 12, 100000
熱伝達データ（熱伝達番号、辺の3節点番号、各ステップの熱伝達係数・外部温度）
1, 23, 30, 34, 1000, 0
熱放射データ（熱放射番号、辺の3節点番号、各ステップの放射係数・外部温度）
1, 18, 11, 7, 5E-08, 0
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, 5, 1E+07
初期値データ（節点番号、初期温度）
1, 300
2, 300
3, 300
4, 300
5, 300
6, 300
7, 300
8, 0
9, 0
10, 0
. . . . .
. . . . .
36, 0
37, 0
38, 0
39, 0
40, 0

```

図5-25 (2/2) 入力データファイル例

5.18 構造の作画

サブメニューの「構造の作画」を選択すると、構造図が画面に作画されます。図5-26に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本画面の左側に、「番号表示の項目」その他のパラメーターを表示してあります。これらのパラメーターを変更することができます。変更した後は、「再描画」コマンドをクリックすると、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「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。
- ④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。
- ⑤マウスドラッグ矩形により、構造図の一部を拡大できます。

◇マウスドラッグ矩形は、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5-27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（8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。

- ⑥「番号表示の項目」は、「要素番号」、「節点番号」、「材料番号」の内、表示したい項目を重複選択できます。

◇「番号表示の文字サイズ」は任意の値に設定できます。

◇「要素番号」、「節点番号」、「要素番号」をすべて選択して、「再描画」させた部分拡大画面を図5-28に示します。ただし、本画面では、「番号表示の文字サイズ」を12に変更してあります。

- ⑦「条件設定部の表示」は、「温度固定節点（緑色）」、「熱流束・熱伝達・内部発熱部分（赤色）」、「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で表示されます。図5-29に、全項目とも表示した構造図を示します。

- ⑧任意の要素を右クリックすると、図5-30のように当該要素の各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。

- ⑨「データ設定モード」を選択して、任意の要素を右クリックすると図5-31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。

◇図5-31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5-32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5-32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。

- ⑩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。

- ⑪「Ctrlキー+マウス」で矩形ドラッグすると、図5-33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、要素辺、または節点の任意の領域となります。ただし、要素辺は外周の辺（穴の辺を含む）に限定されます。

◇条件項目に必要な要素・辺・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。

◇図5-33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5-34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、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5-34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5-35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。

- ⑫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。

- ⑬本画面を終了するには、「中止」ボタンをクリックします。



図5-26 構造作画の画面例



図5-27 構造作画における拡大領域選択例

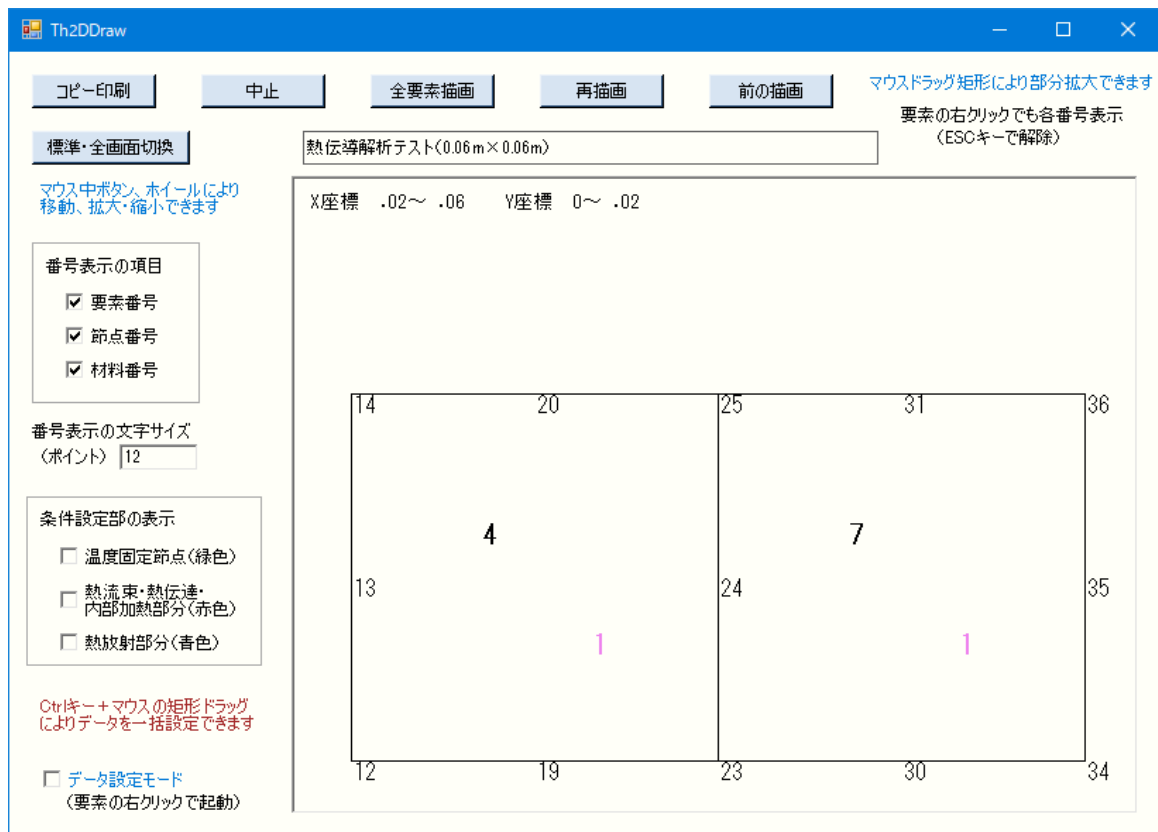


図5-28 構造作画の部分拡大例

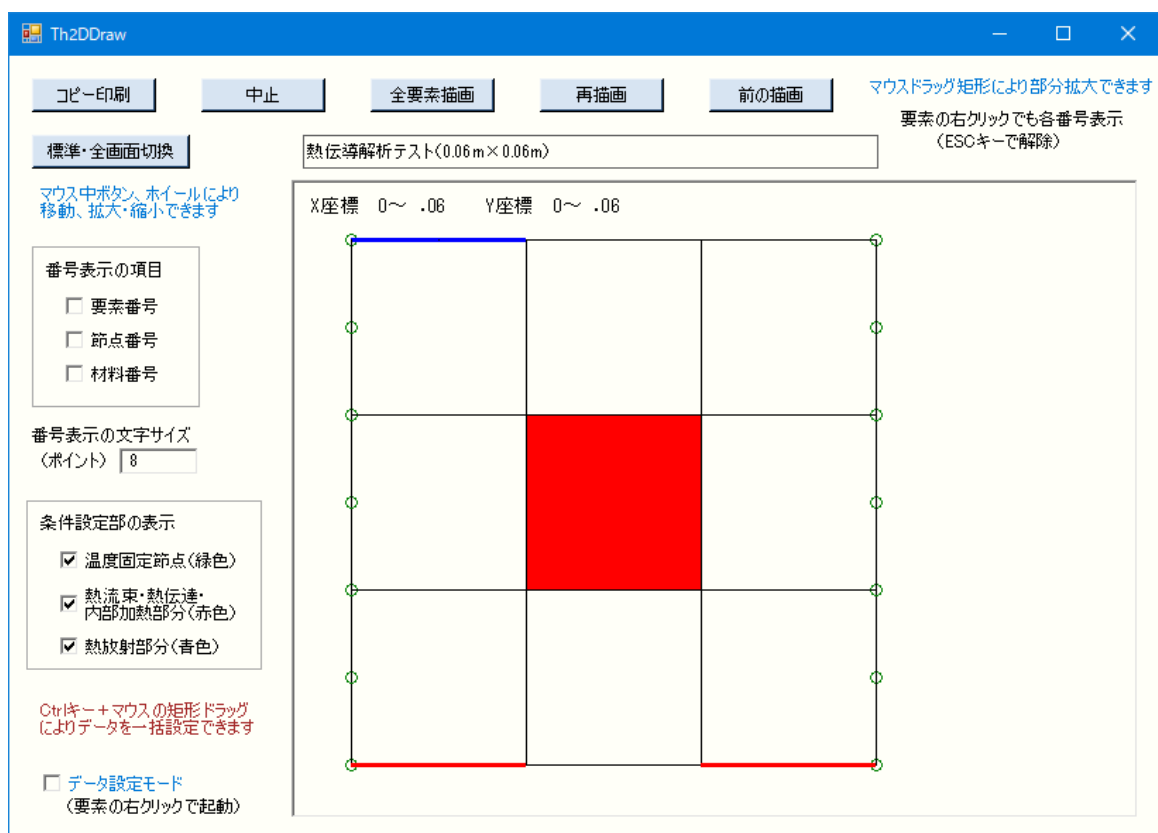


図5-29 構造作画の条件設定部表示有りの画面例

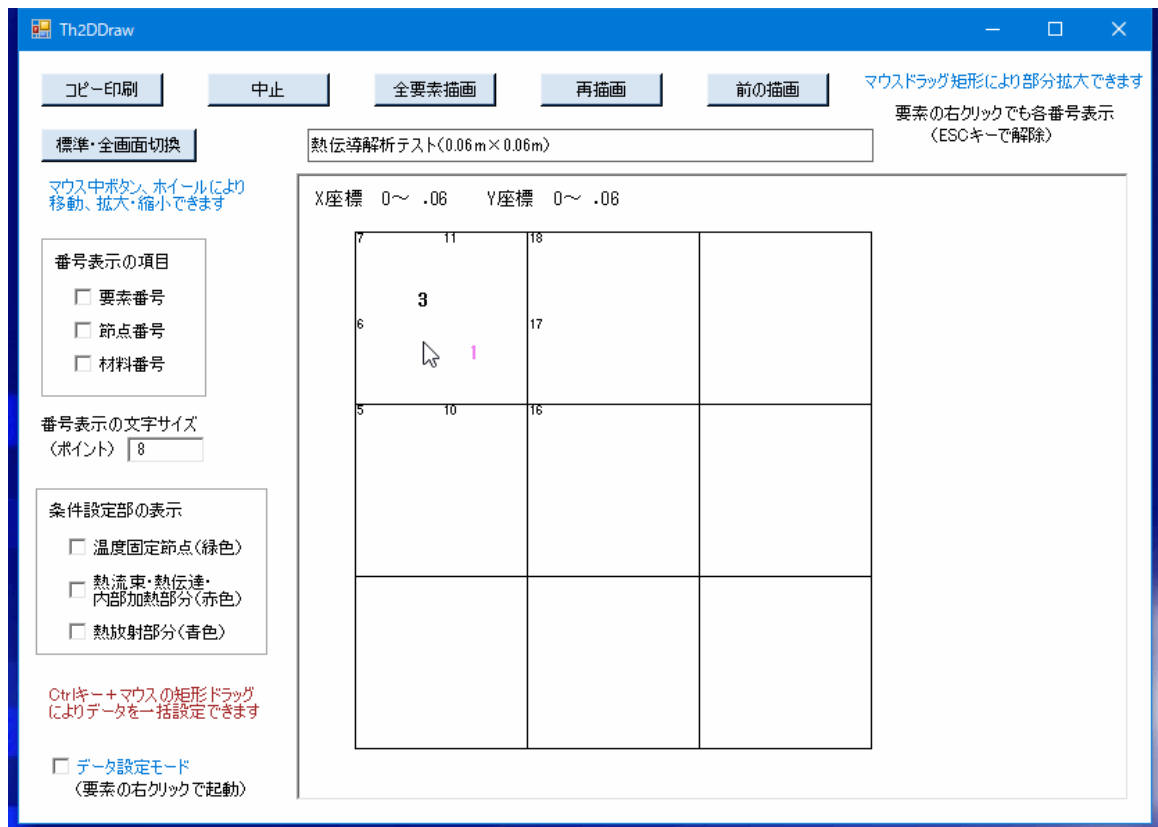


図5-30 構造作画における要素右クリック画面例



図5-31 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

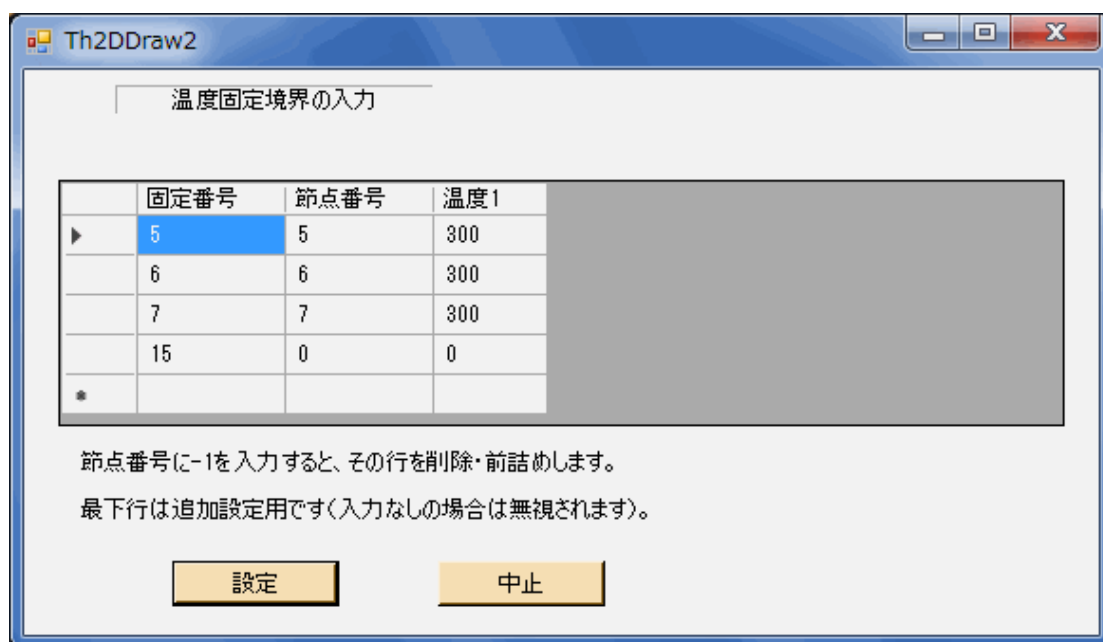


図5-32 構造作画におけるデータ入力画面例（温度固定節点の場合）

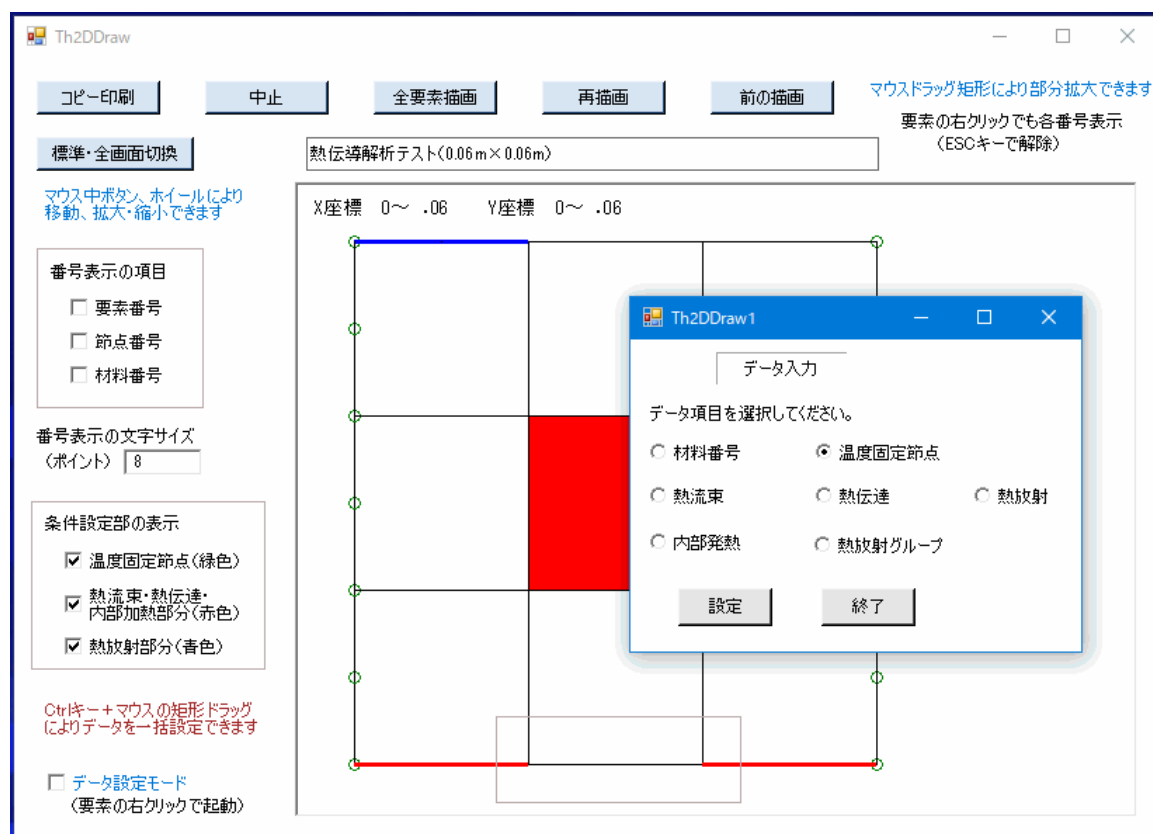


図5-33 構造作画の「Ctrlキー+マウス」ドラッグ矩形によるデータ項目選択画面

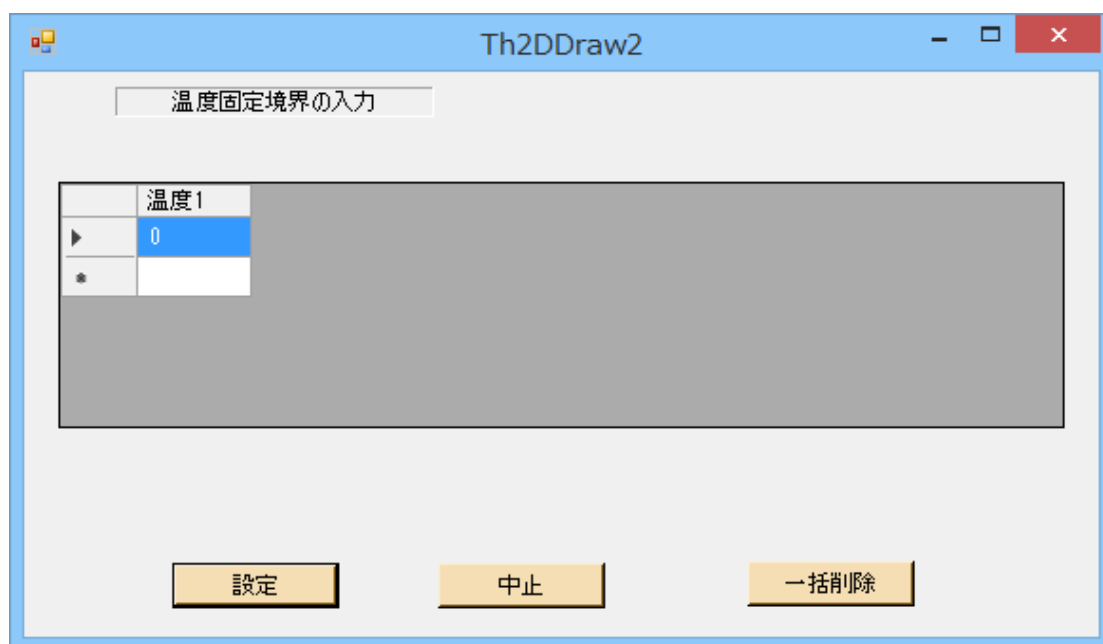


図5-34 構造作画における一括設定データ入力画面例（温度固定節点の場合）

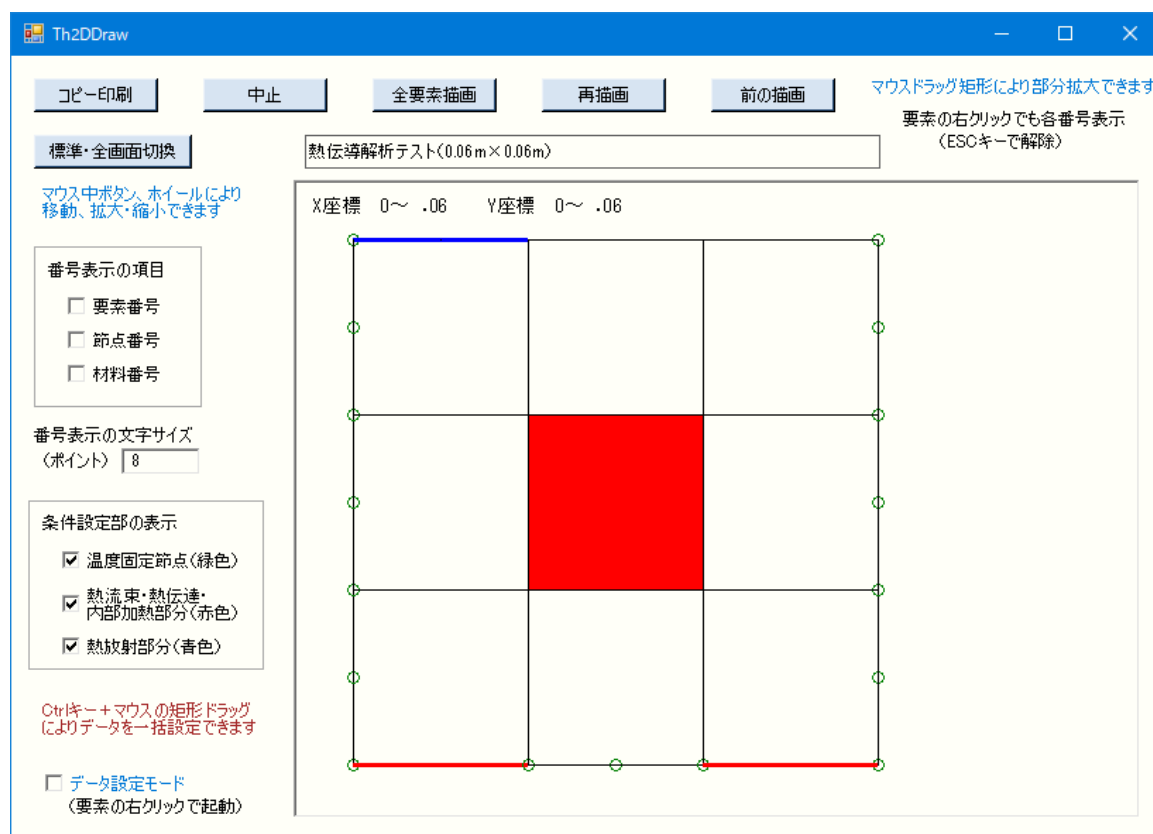


図5-35 一括設定終了後の構造作画の画面例（温度固定節点の場合）

注）下側中央辺に温度固定節点の追加表示

5.19 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5-36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、および原点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、原点回りの回転、次にX, Y軸方向（またはR, 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、繰り返し途中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。

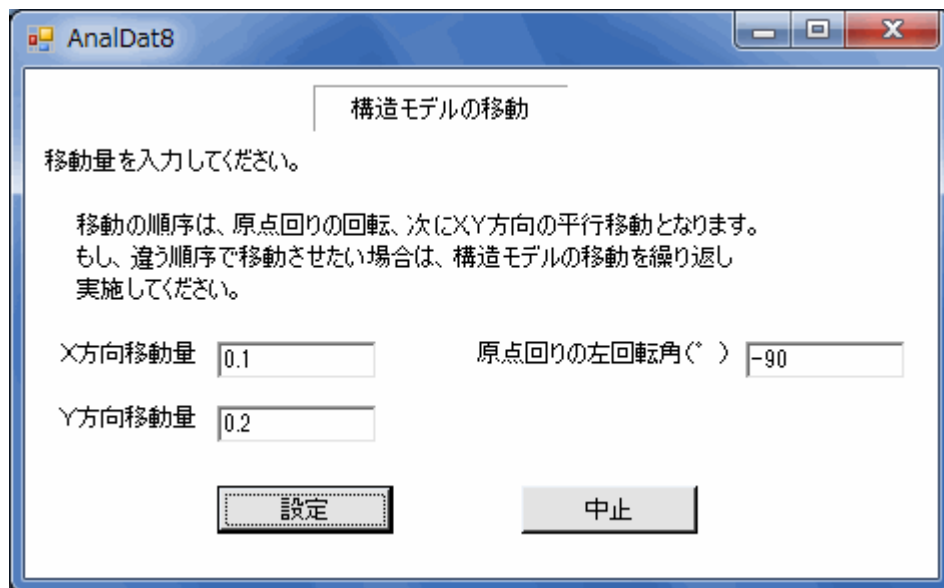


図5-36 構造モデルの移動量入力画面

5.20 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5-37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（入力データファイルに同じ）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（回転なし）」、「結合点 2 個所指定（回転有り）」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 個所指定（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第 1 結合点で行ないます（図5-38参照）。

◇「結合点 2 個所指定（回転有り）」とは、追加構造を平行・回転移動して 2 個所の指定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第1結合点と第2結合点で行ないます（図5-35参照）。
- 2) 図5-37の画面で「作画」ボタンをクリックすると、図5-38のように2つの構造図が作画された画面となります。本画面により、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5-38のように指定節点が赤丸と青丸で表示されます。

- 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5-39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5-37 合成ファイル設定画面（作画前）

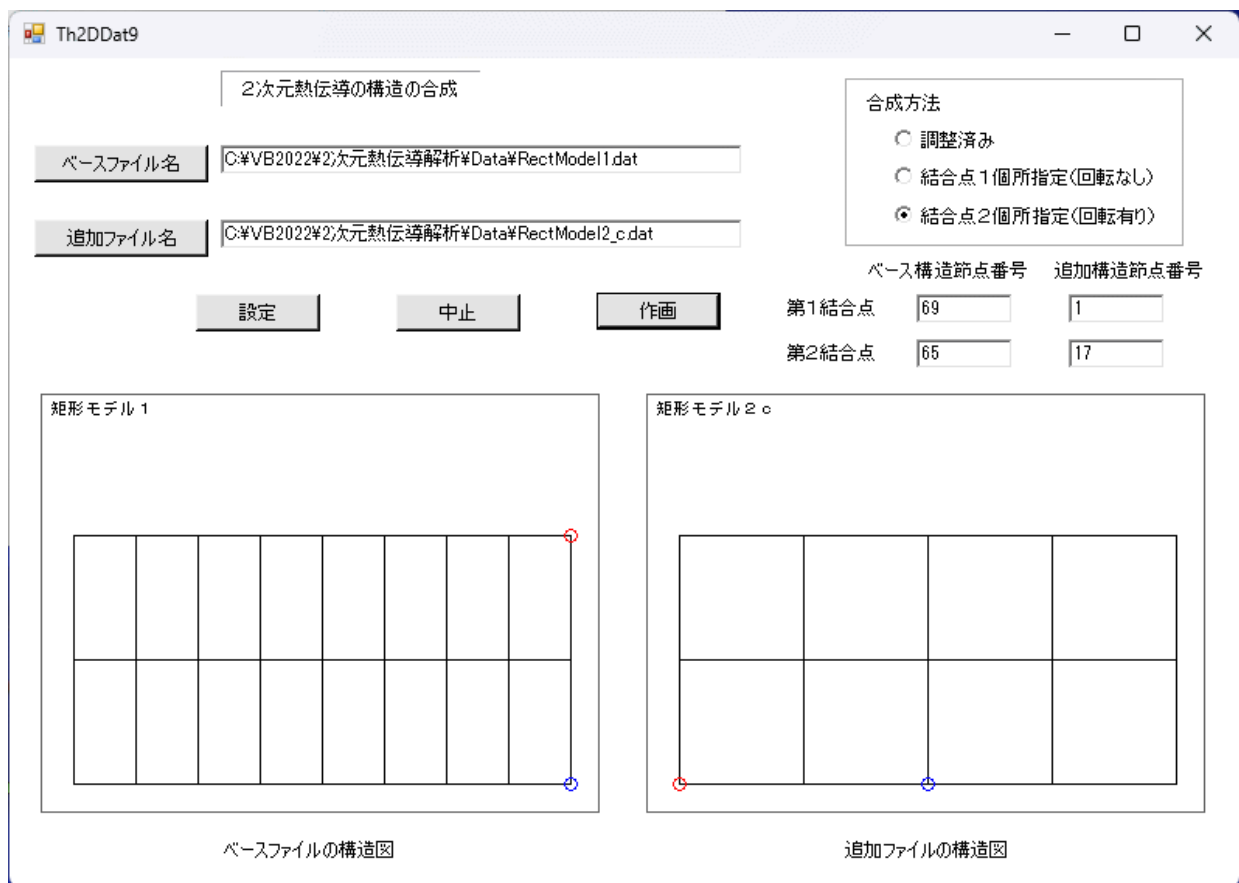


図5-38 合成ファイル設定画面（作画有り）

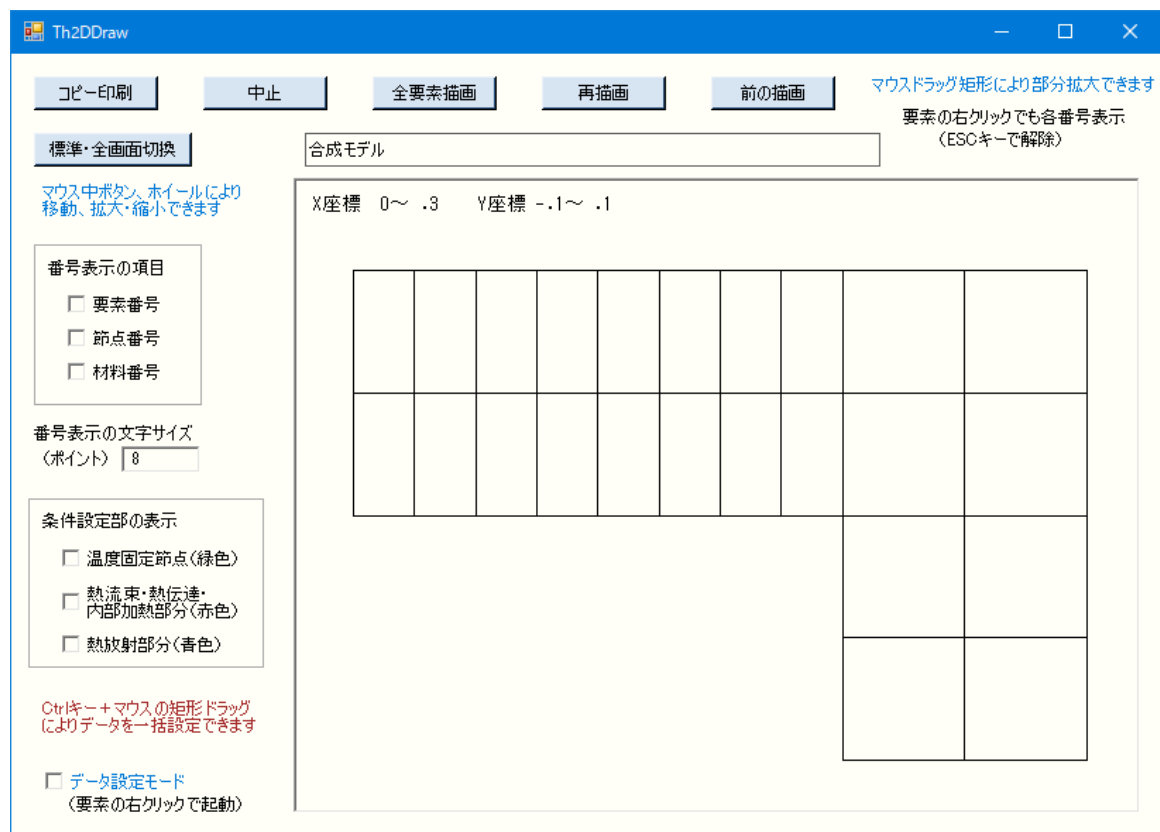


図5-39 合成されたモデルの構造図の画面例

5.21 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5-40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5-41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5-42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。

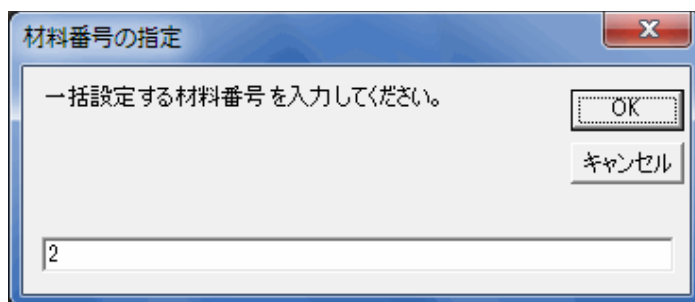


図5-40 材料番号の指定画面

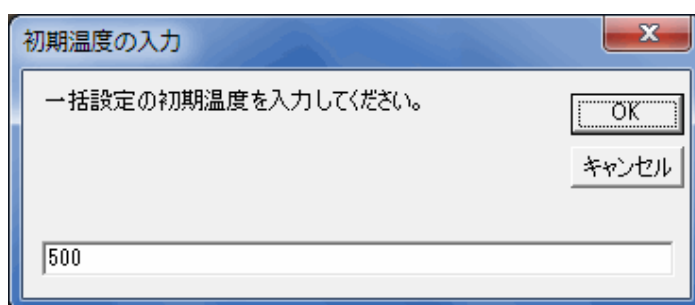


図5-41 初期温度の入力画面

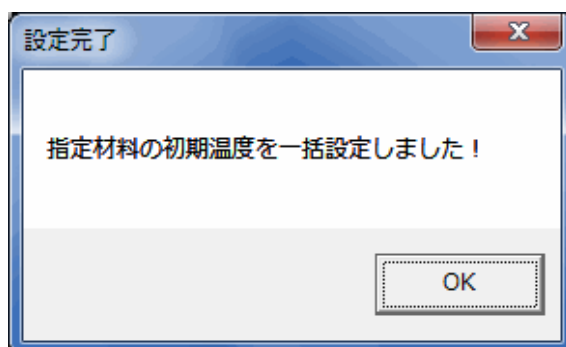


図5-42 材料別の初期温度設定の終了画面

5.22 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。

5.23 FEM2Dファイルから入力

サブメニューの「FEM2Dファイルから入力」を選択すると、「2次元構造解析K」の入力データファイルを読み込んで「2次元熱伝導解析K」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。

5.24 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。

5.25 要素の削除

サブメニューの「要素の削除」を選択すると、図5-43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、図5-44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・辺は、要素削除による番号変更にも自動追随します。

図5-44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。

図5-43 削除要素数の入力画面

Th2DDel2

削除する要素番号の入力

要素番号の範囲は1～ 9

	No.	削除要素番号
	1	4
▶	2	7
*		

設定 戻る

図5-44 削除要素番号の入力画面

第6章 「計算」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「計算」のサブメニュー画面を図6-1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、6.6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6.7節で説明します。

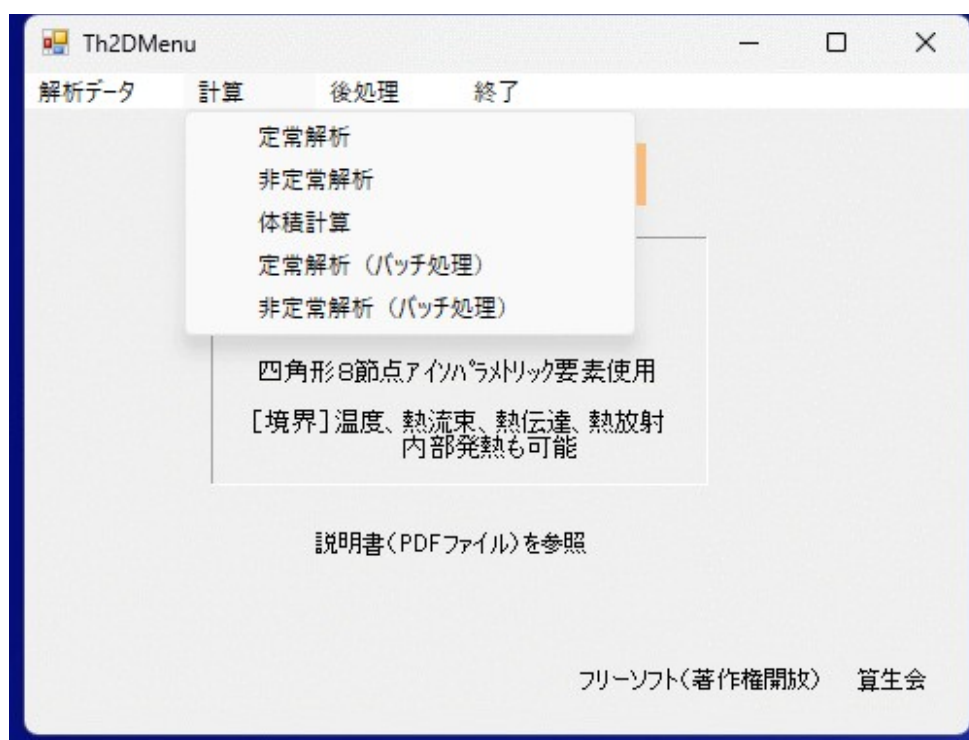


図6-1 「計算」サブメニュー画面

6.2 「計算」ファイル設定

図6-2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、「定常解析」ではすぐに計算が開始され、「非定常解析」では次の条件入力画面に移ります。

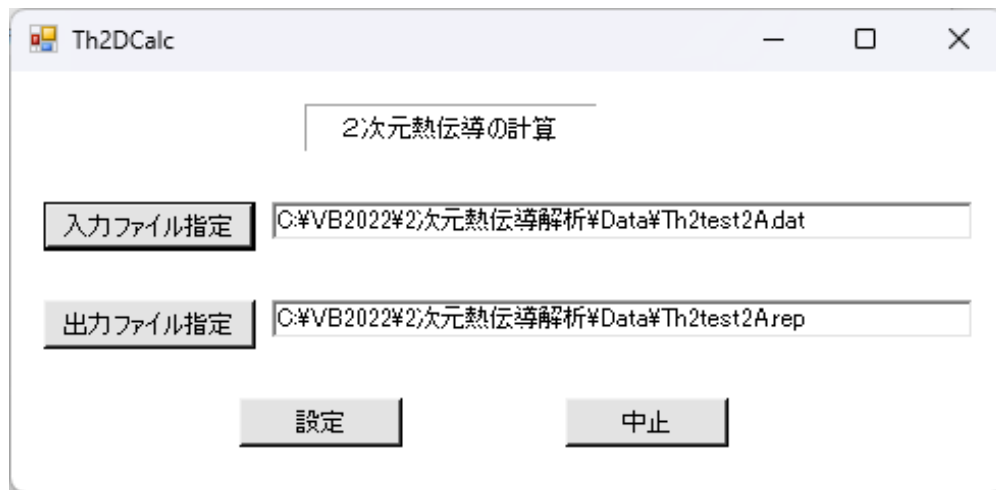


図6-2 「計算」 ファイル設定画面

6.3 非定常計算の条件入力画面

図6-3～5に条件入力画面を示します。図6-3は境界条件のステップ数が1の場合、図6-4はステップ数が2以上の場合、図6-5は複数材料でステップ数2以上の画面です。図6-5ではダミー化する場合の条件を入力できます。

先ず図6-3について説明します。

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、メモリー使用量は約1／3に低減できますが、計算時間が長くなります。

④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。

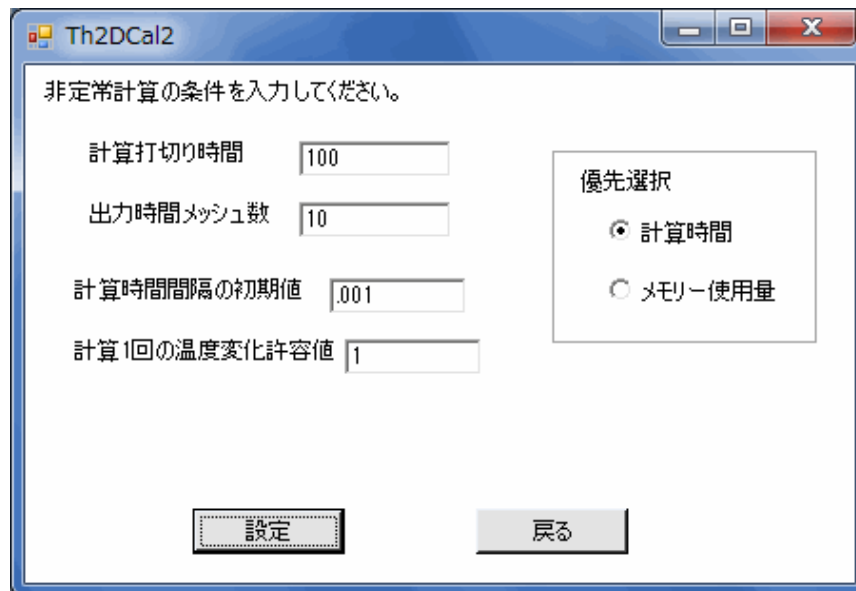


図6-3 非定常計算の条件入力画面（ステップ数1の場合）

次に図6-4では、上記の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。

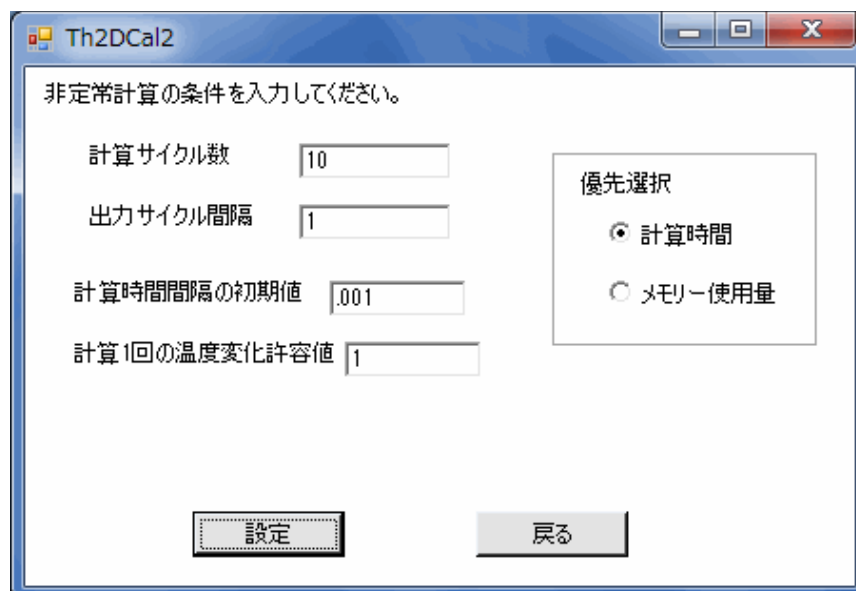


図6-4 非定常計算の条件入力画面（ステップ数2以上の場合）

さらに図6-5では、図6-4に加えてダミー化の条件も表示されます。

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。

The screenshot shows a Windows-style dialog box titled "Th2DCal2". The main text inside says "非定常計算の条件を入力してください。" (Please enter the conditions for non-steady state calculation). There are several input fields and a group box. The input fields are: "計算サイクル数" (Calculation cycles) with value 10, "出力サイクル間隔" (Output cycle interval) with value 1, "計算時間間隔の初期値" (Initial value of calculation time interval) with value .001, "計算1回の温度変化許容値" (Temperature change tolerance per calculation) with value 1, "指定ステップ以降ダミー化の材料番号(0は適用なし)" (Material number for dummyization from specified step) with value 3, and "ダミー化開始ステップ番号(2以上)" (Dummyization start step number) with value 5. A note next to the last field says "ダミー化しない場合は無視" (Ignore if not dummyizing). To the right is a group box titled "優先選択" (Priority selection) with two radio buttons: "計算時間" (Calculation time) and "メモリー使用量" (Memory usage), with the latter being selected. At the bottom are two buttons: "設定" (Settings) and "戻る" (Back).

図6-5 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）

6.4 計算終了

図6-6に計算終了画面を示します。同図では、かかった計算時間も表示され、本例では0s（1s未満）になっています。また、計算確認ダイアログ画面では最低・最高温度も表示されます。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。

6.5 計算結果

上記6.2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6-7～9に結果ファイルへの出力例を示します。図6-7は定常解析の場合、図6-8はステップ数1の非定常解析の場合、図6-9はステップ数2以上の場合です。

まず、図6-7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14と出力されています。
- ②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。
- ③最低・最高温度データとして、それらの値と節点番号が出力されています。
- ④最後に計算時間も出力されます（本例では0s）。

次に、図6-8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。
- ②時間メッシュ1、時間10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時間メッシュ2、時間20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、それらの値、節点番号、時間が出力されています。
- ⑤最後に計算時間も出力されます（本例では0s）。

また、図6-9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。その他は上記の定常解析と同様です。

- 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14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20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、それらの値、節点番号、時間が出力されています。
- ⑤最後に計算時間も出力されます（本例では2s）。

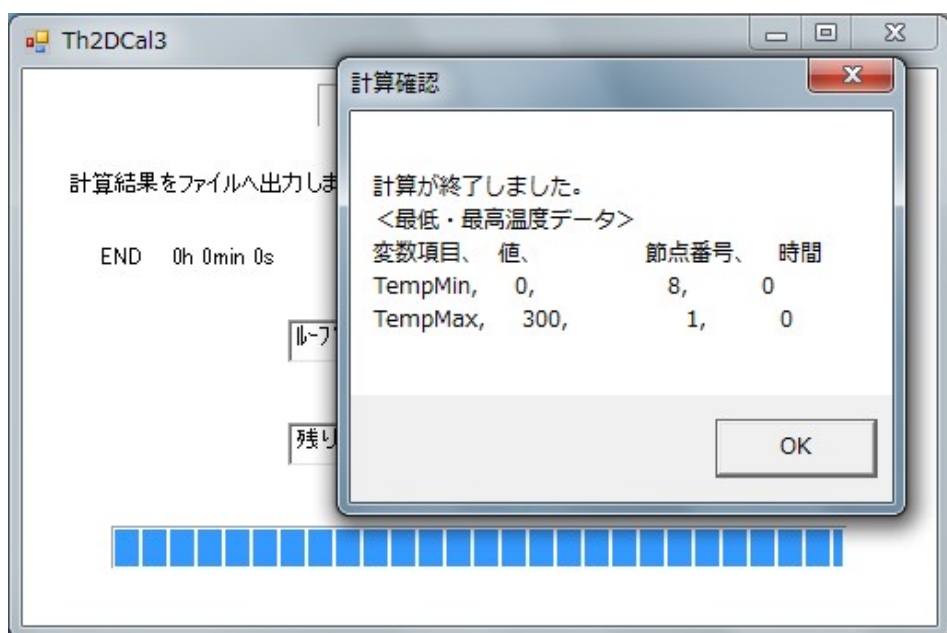


図6-6 計算終了画面

<< 2次元熱伝導解析の計算結果 >>

熱伝導解析テスト (0.06m×0.06m)

[入力データファイル], C:¥VB2022¥2次元熱伝導解析¥Data¥Th2test2B. dat

解析種類 (0:定常、1:非定常), 0

*** 計算結果 ***

バンド幅, 14

<節点番号、温度>

1, 300
2, 300
3, 300
4, 300
5, 300
6, 300
7, 300
8, 235.4
9, 254.19
10, 256.05
11, 255.21
12, 189.72
13, 199.95
14, 208.92
15, 215.54
16, 213.52
17, 209.7
18, 208.87
19, 146.72
20, 163.12
21, 168.13
22, 159.53
23, 94.78
24, 101.67
25, 110.32
26, 115.93
27, 113.57
28, 109.73
29, 108.92
30, 44.22
31, 54.56
32, 56.2
33, 55.22
34, 0
35, 0
36, 0
37, 0
38, 0
39, 0
40, 0

①

②

<最低・最高温度データ>

変数項目、	値、	節点番号
TempMin,	0,	34
TempMax,	300,	1
END	0h 0min 0s	

③

④

図6-7 結果ファイルへの出力例 (定常解析)

```

<< 2次元熱伝導解析の計算結果>>
熱伝導解析テスト (0.06m×0.06m)
[入力データファイル], C:\¥VB2022¥2次元熱伝導解析¥Data¥Th2test2A.dat
解析種類 (0:定常、1:非定常), 1
計算打ち切り時間, 100, 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 ***
バンド幅, 14
<時間メッシュ番号、時間>, 0, 0 ①
<節点番号、温度>
1, 300
2, 300
3, 300
4, 300
. . . . .
. . . . .
<時間メッシュ番号、時間>, 1, 10 ②
<節点番号、温度>
1, 300
2, 300
3, 300
4, 300
5, 300
6, 300
7, 300
8, 145.13
9, 161.79
10, 161.85
. . . . .
. . . . .
31, 1.92
32, 1.82
33, 1.04
34, 0
35, 0
36, 0
37, 0
38, 0
39, 0
40, 0
<時間メッシュ番号、時間>, 2, 20 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, 0, 8, 0
TempMax, 300, 1, 0
END 0h 0min 0s ⑤

```

図6-8 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）

<< 2次元熱伝導解析の計算結果 >>
 熱伝導解析テスト (0.06m×0.06m)
 [入力データファイル], C:\¥VB2022¥2次元熱伝導解析¥Data¥Th2test2A_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 ***

バンド幅, 14

<サイクル番号、ステップ番号、時間>, 0, 0, 0

①

1, 300

2, 300

3, 300

4, 300

.....

.....

<サイクル番号、ステップ番号、時間>, 2, 1, 14

②

<節点番号、温度>

1, 300

2, 300

3, 300

4, 300

5, 300

6, 300

7, 300

8, 144.88

9, 160.47

10, 160.47

.....

.....

31, 3.46

32, 3.36

33, 2.76

34, 0

35, 0

36, 0

37, 0

38, 0

39, 0

40, 0

<サイクル番号、ステップ番号、時間>, 2, 2, 20

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, 0, 8, 0

TempMax, 300, 1, 0

END 0h 0min 2s

⑤

図6-9 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）

6.6 体積計算

サブメニュー「体積計算」をクリックすると、図6-10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。

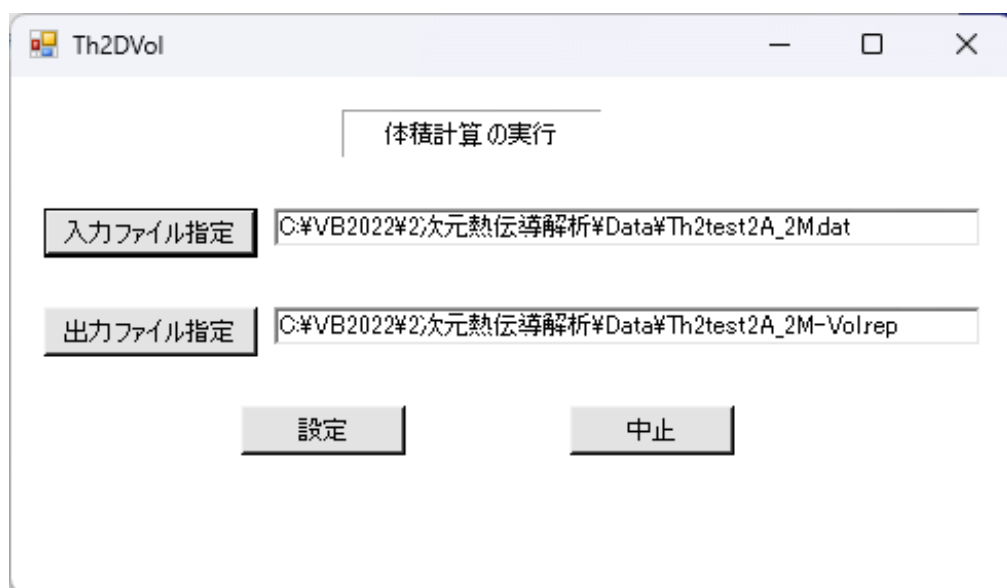


図6-10 体積計算の実行画面

図6-11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。

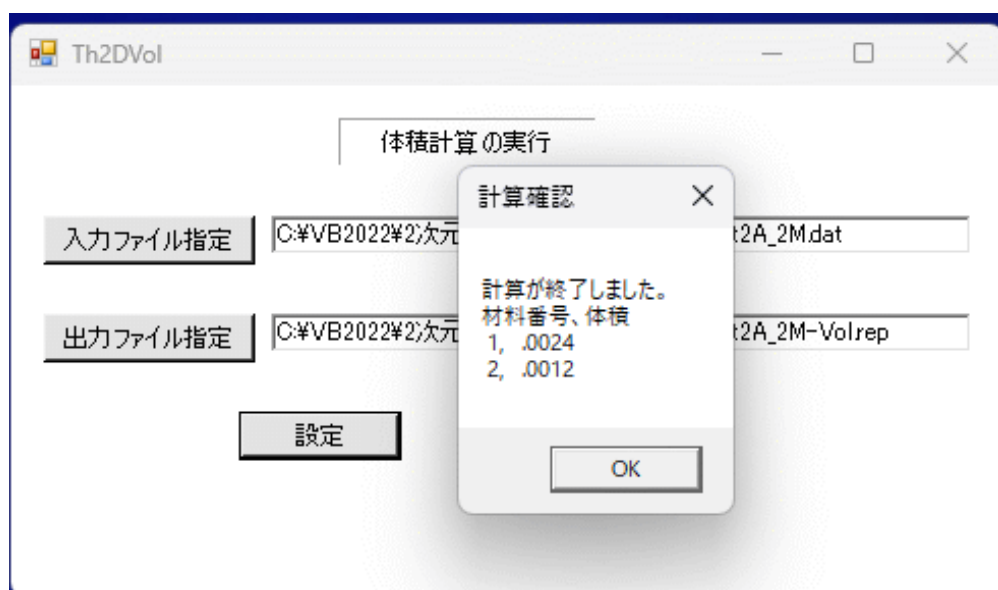


図6-11 体積計算の終了画面

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6-12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次元問題の場合、単位厚さで計算します。

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。

◇軸対称体問題の場合は、重心のR座標が0なので、重心のZ座標のみ出力されます。

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>>
熱伝導解析テスト (0.06m×0.06m)
[入力データファイル] , C:\¥VB2022¥2次元熱伝導解析¥Data¥Th2test2A_2M.dat
-----
材料番号、体積、質量                                ①
1,      .0024,    18.72
2,      .0012,    8.724
合計,    .003599999,    27.444                        ②
重心のX座標、Y座標                                ③
.02953652,    .03
END
```

図6-12 体積計算の結果ファイルへの出力例

6.7 バッチ処理

バッチ処理は1つのディレクトリー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ーを作成し、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6-13の画面に移ります。

①「入力ファイルのディレクトリー指定」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ー名が表示されます。

◇テキストボックスにディレクトリー名（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、定常解析では直ちにバッチ処理が実行されます。また、非定常解析では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6-14の終了画面になります。

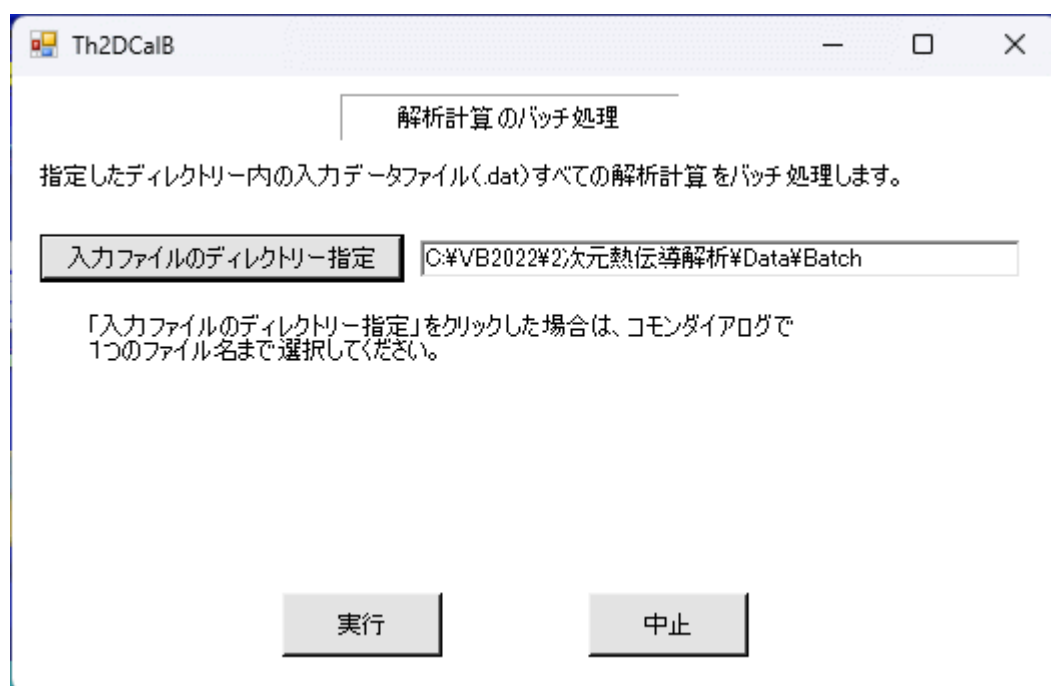


図6-13 バッチ処理の実行画面

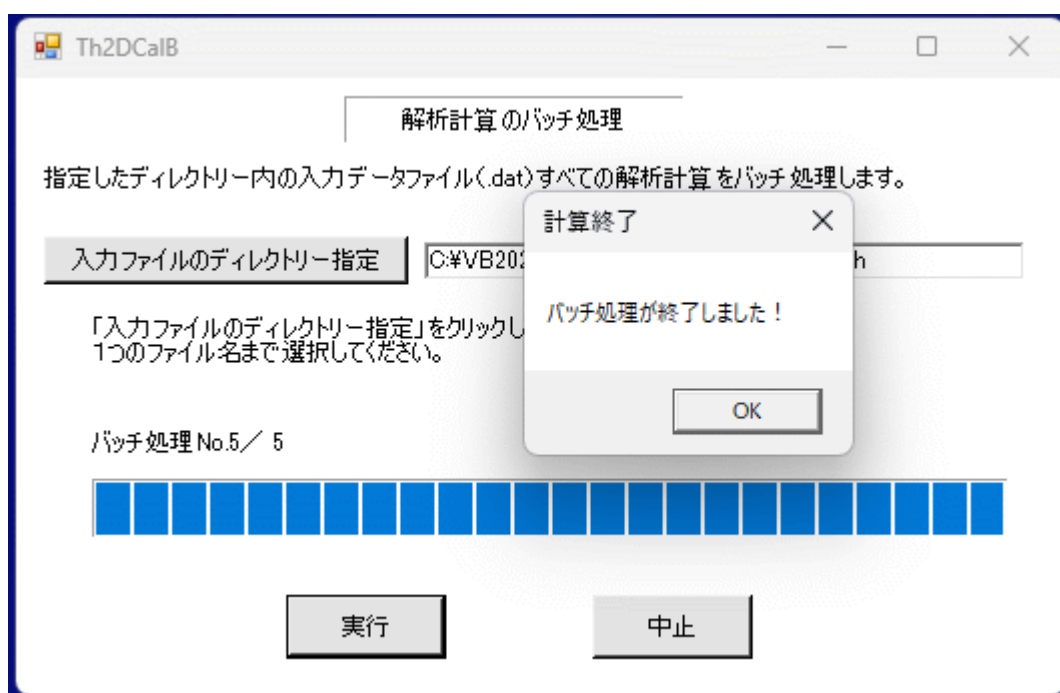


図6-14 バッチ処理の終了画面

第7章 「後処理」プログラム

7.1 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7-1に示します。同図のように、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。

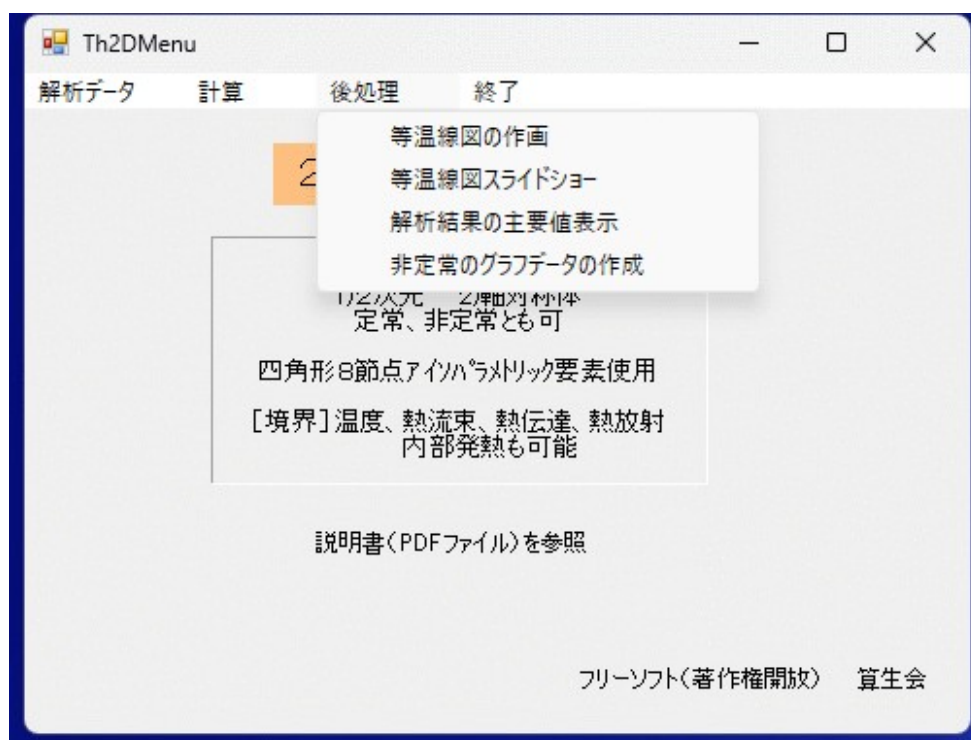


図7-1 「後処理」サブメニュー画面

7.2 使用ファイルの設定

図7-2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、次の画面に写ります。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。

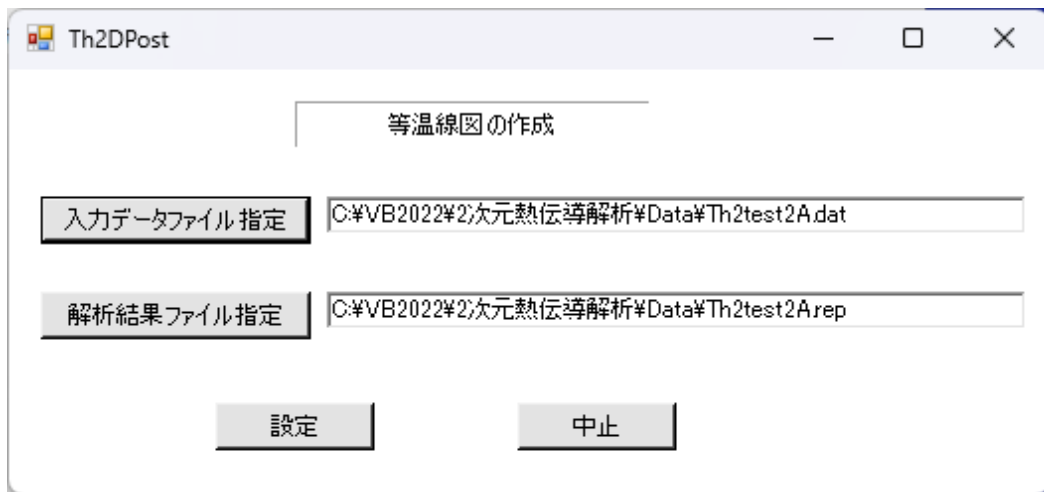


図7-2 使用ファイル設定画面

7.3 等温線図の仕様設定画面

図7-3～5に等温線図の仕様設定画面を示します。図7-3は定常解析の場合、図7-4は境界条件のステップ数1の非定常解析の場合、図7-5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7-4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7-5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。
 - ◇「最大値データ」のボタンをクリックすると、最大値データが表示されます。
- 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7-6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。

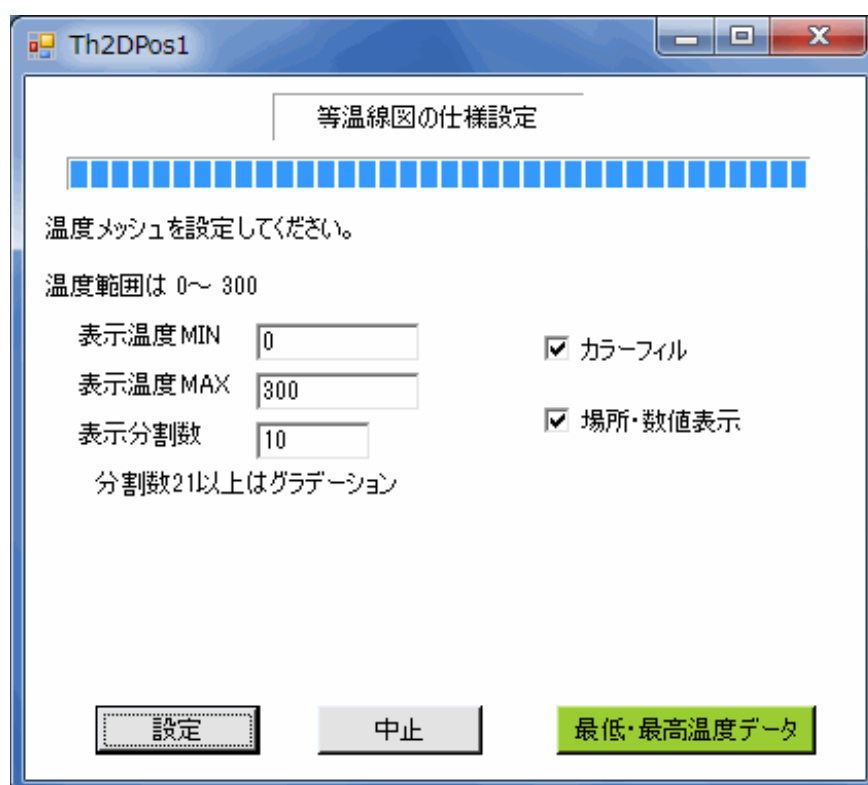


図7-3 等温線図の仕様設定画面（定常解析）

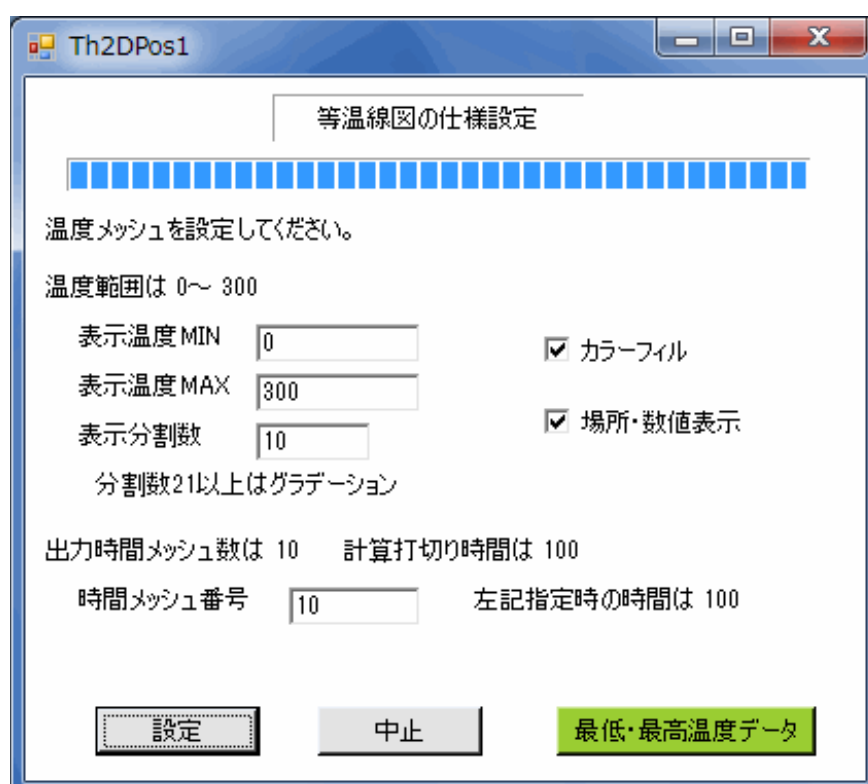


図7-4 等温線図の仕様設定画面（非定常解析、ステップ数1の場合）

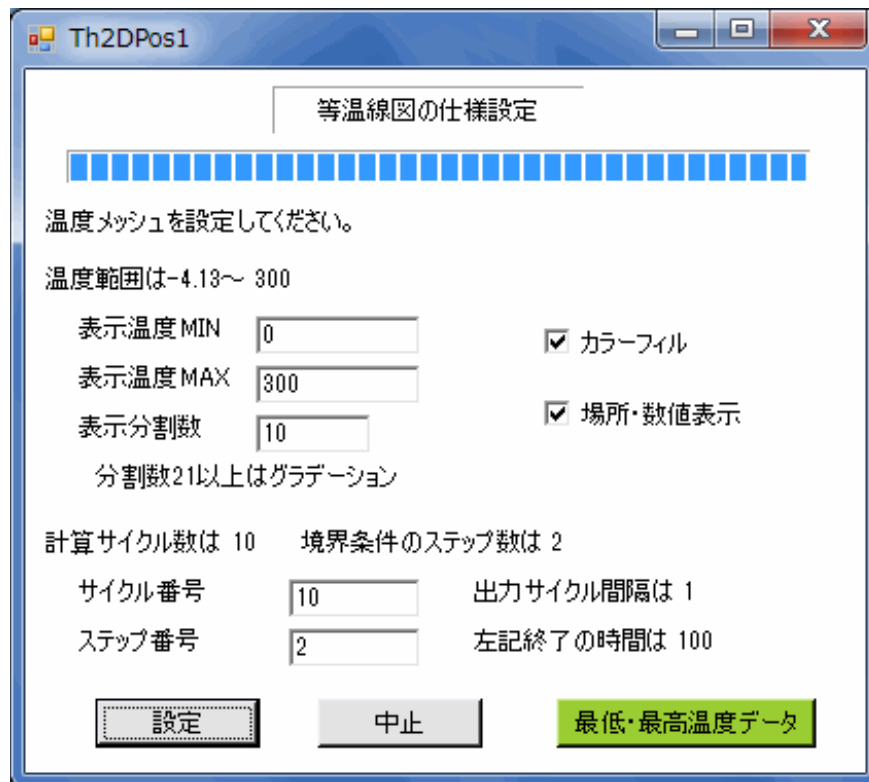


図7-5 等温線図の仕様設定画面（非定常解析、ステップ数2以上の場合）

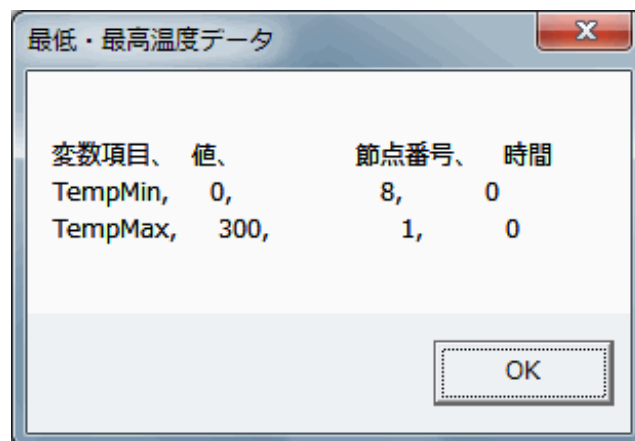


図7-6 最低・最高温度データの表示例（非定常解析の場合）

7.4 等温線図の作画画面

図7-7～10に等温線図の作画画面を示します。図7-7は定常解析の場合、図7-8は境界条件のステップ数1の非定常解析の場合、図7-9はそのグラデーションです。また、図7-10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7-9のグラデーションの場合は、4等分した5つの変数値が示されます。

- ②本画面の左側の「要素辺の表示」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。

◇「要素辺の表示」が「有り」の等温線図を図7-11に示します。同図では、各要素の辺がすべて表示されています。

- ③マウス右クリックで任意の節点を選択すると、図7-12のように同節点の変数値が表示されます。

◇ESCキーを押すと節点選択が解除されます。

- ④「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。

- ⑤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。

- ⑥マウスドラッグ矩形により、等温線図の一部分を拡大できます。操作方法是5.18節の構造図と同じです。

- 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。

◇「通常画面」の作画が印刷されます。

- ⑧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、もし等高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、等高線図を作画することができます。

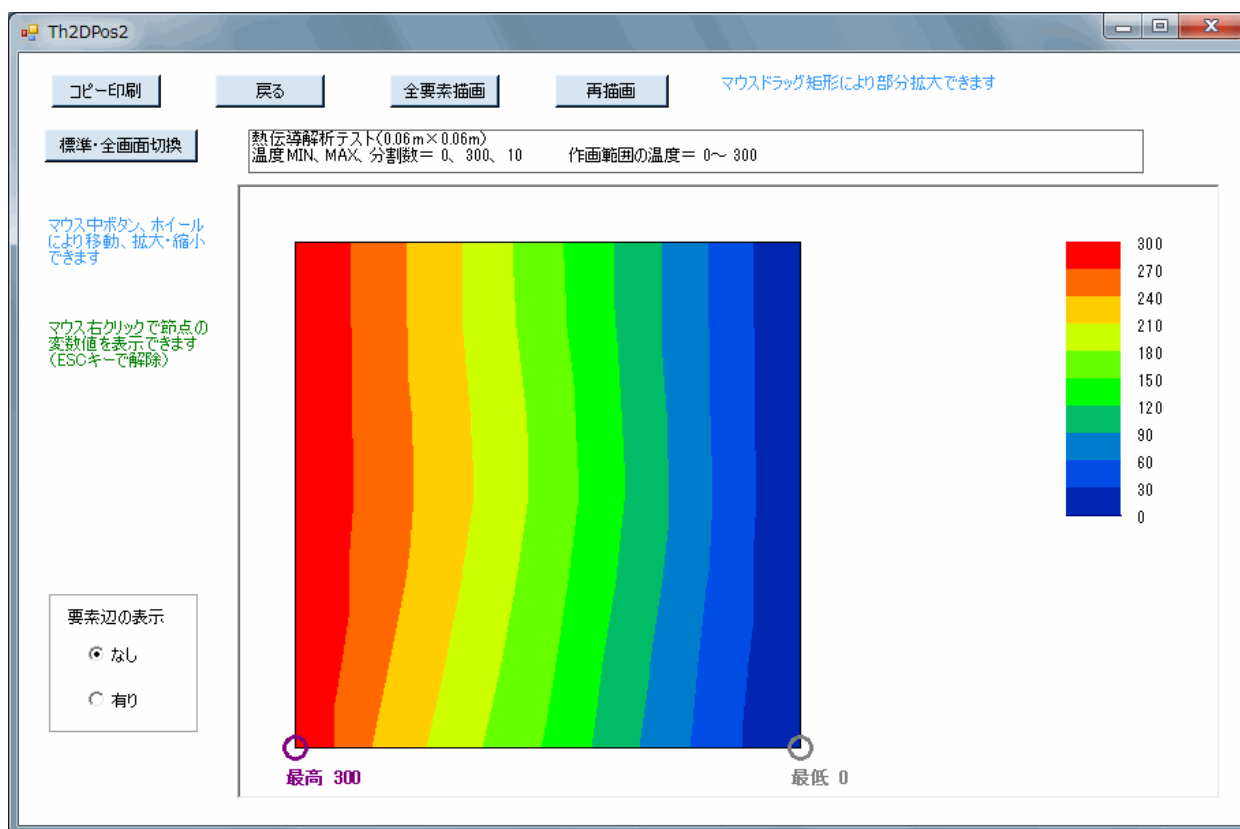


図7-7 等温線図の作画画面（定常解析）

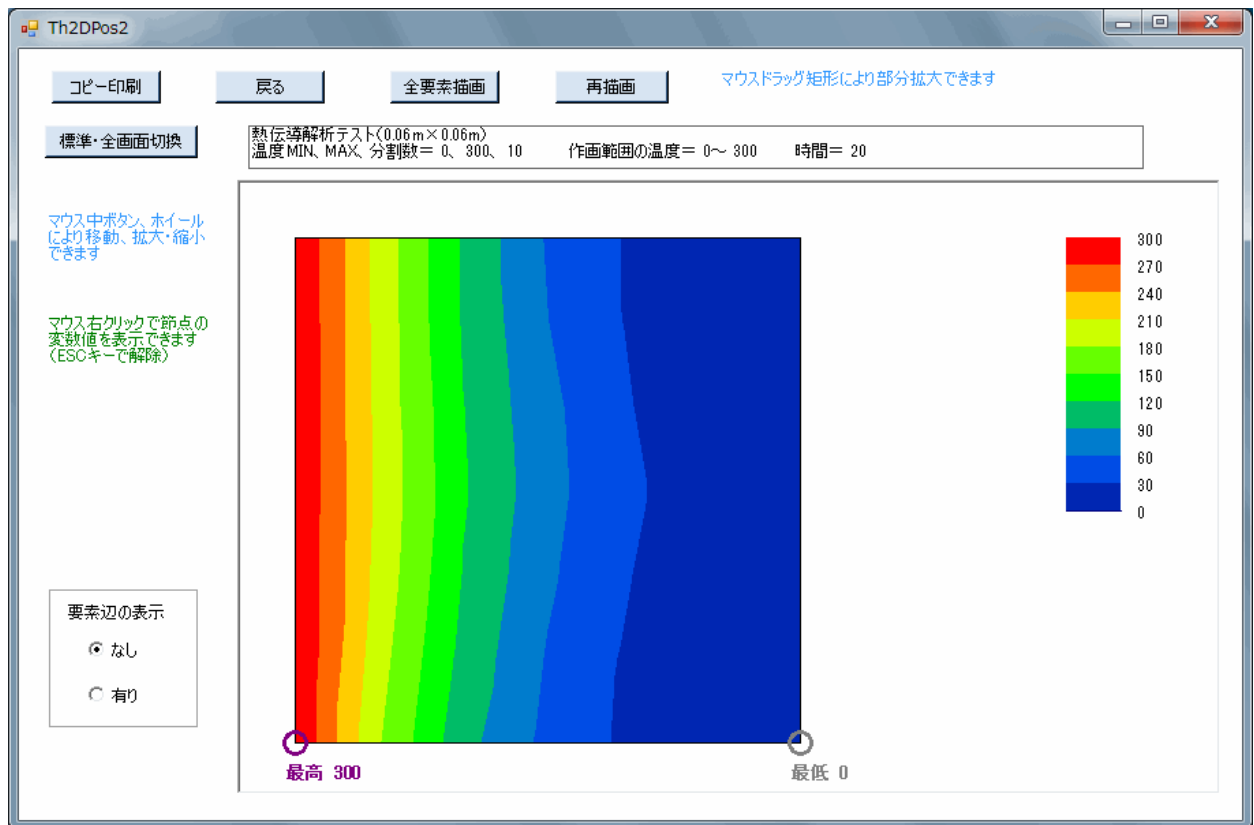


図7-8 等温線図の作画画面（非定常解析、ステップ数1の場合）

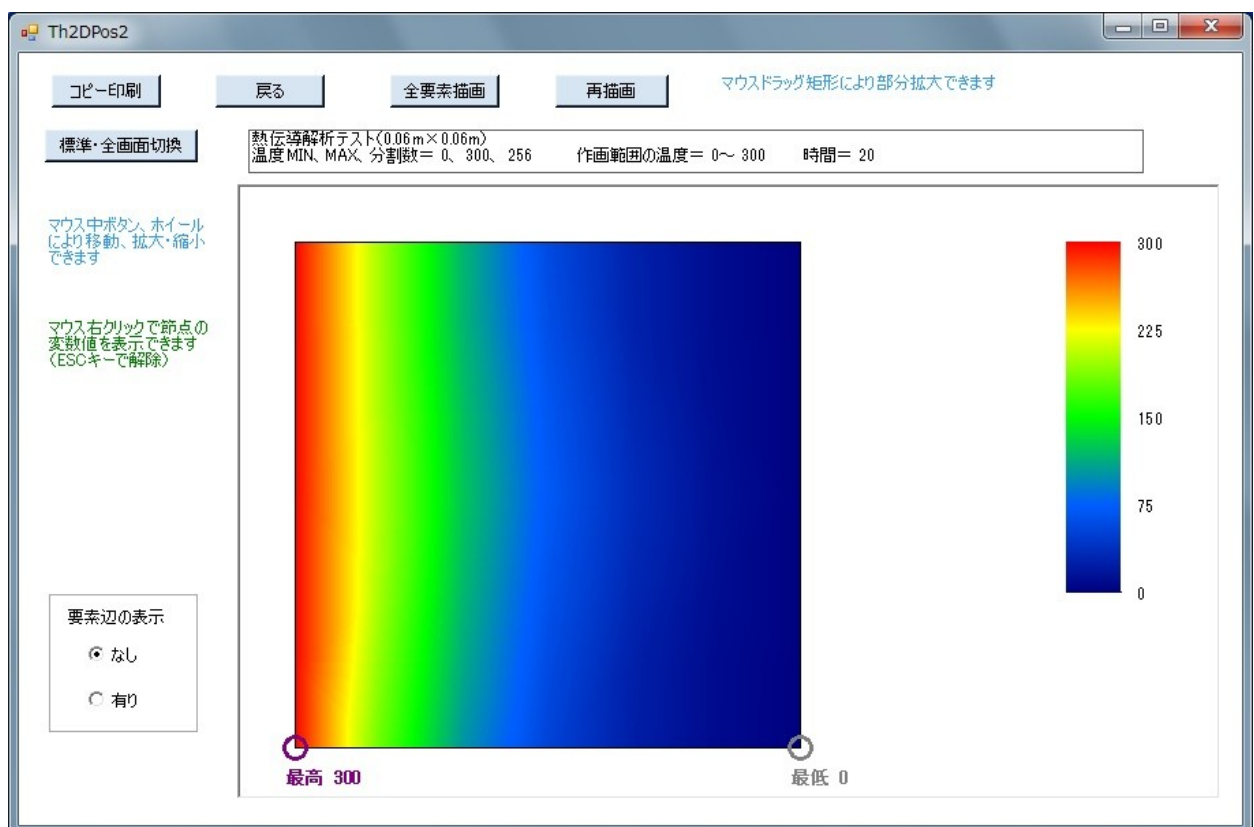


図7-9 等温線図の作画画面（グラデーション、非定常解析、ステップ数1の場合）

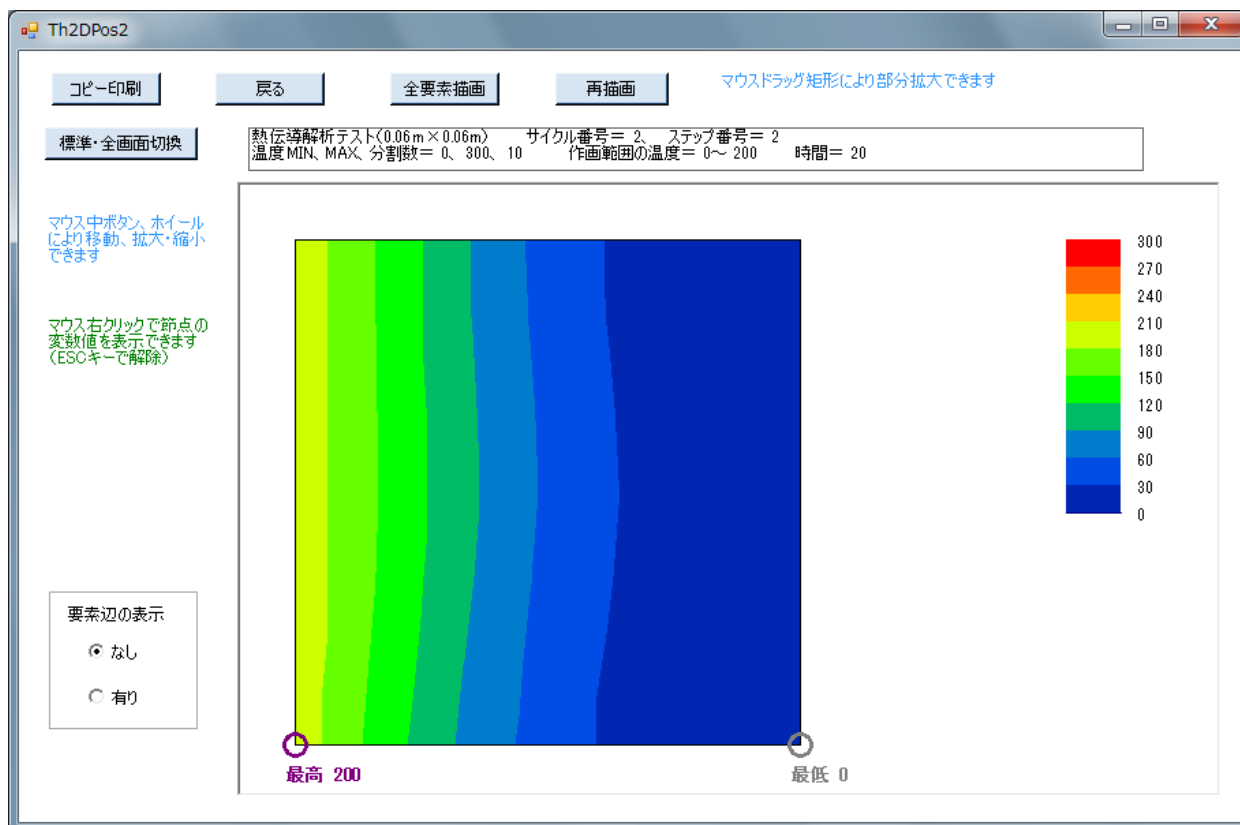


図7-10 等温線図の作画画面（非定常解析、ステップ数2以上の場合）

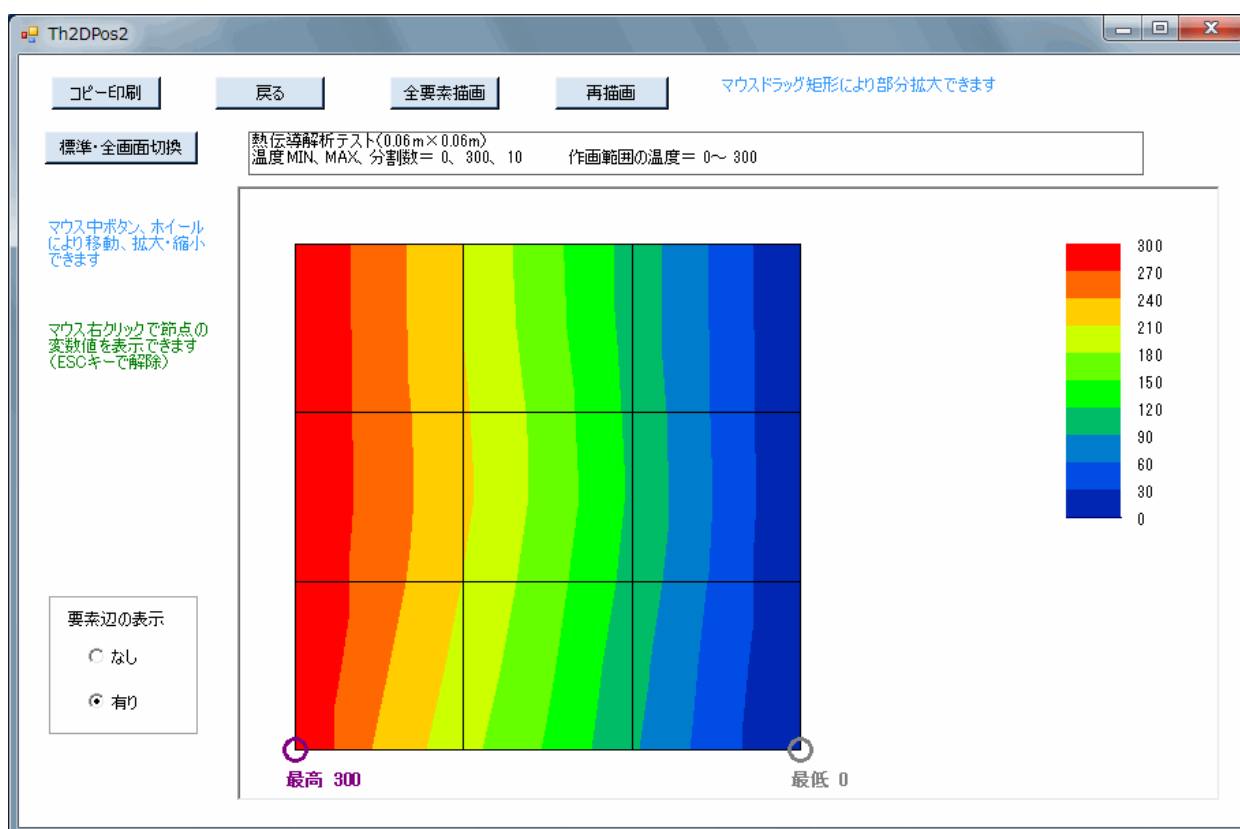


図7-11 等温線図の作画画面（定常解析、要素辺の表示有り）

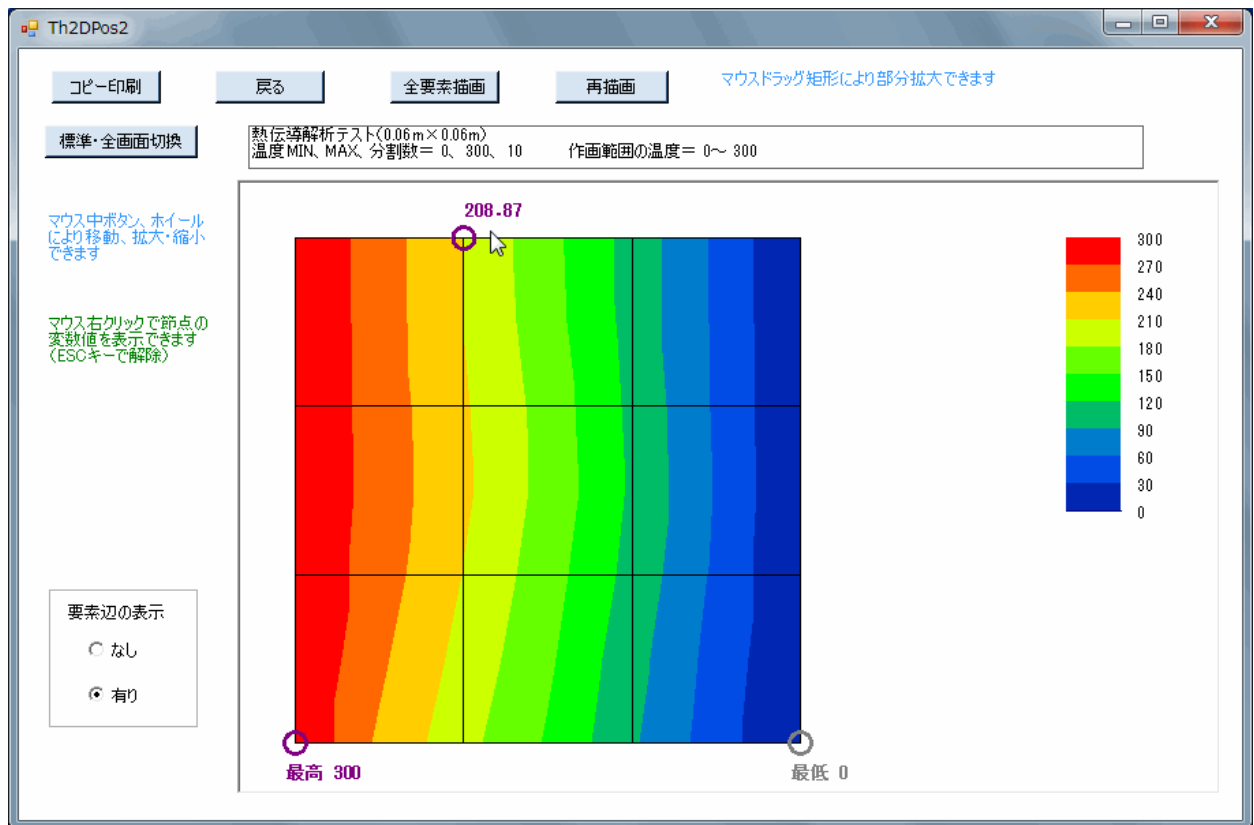


図7-12 等温線図の作画画面（定常解析、マウス右クリックの節点の変数値表示）

7.5 等温線図スライドショーの画面

図7-13に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「要素辺の表示」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。
◇前掲の等温線図と全く同様です。

- ③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5.18節の構造図と同じです。

- ④「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7-14の終了画面となります。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。

- ⑤「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。
- ⑥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。
- ⑦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7-15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。

- ⑧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。
- ⑨ 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、等温線図スライドショーを実行できます。
- ⑩「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。

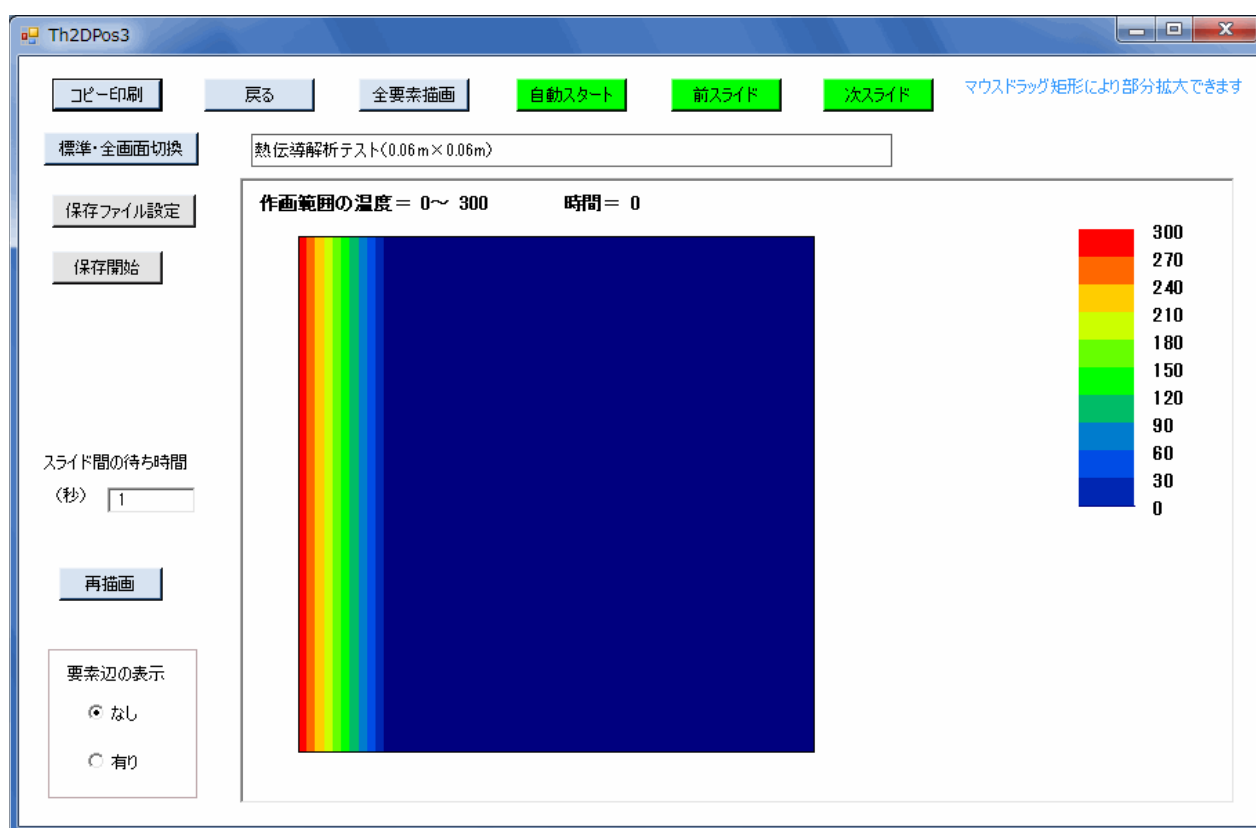


図7-13 等温線図スライドショーの初期画面

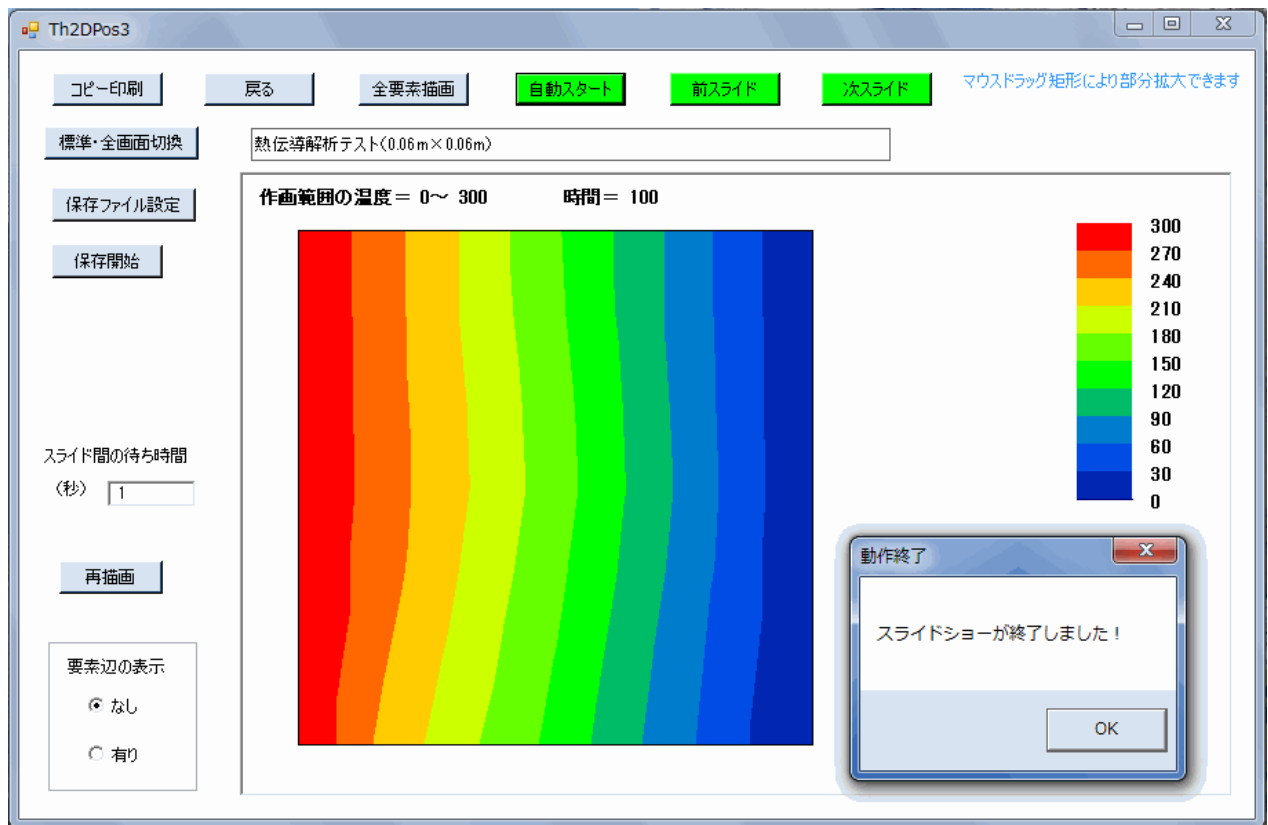


図7-14 等温線図スライドショーの終了画面

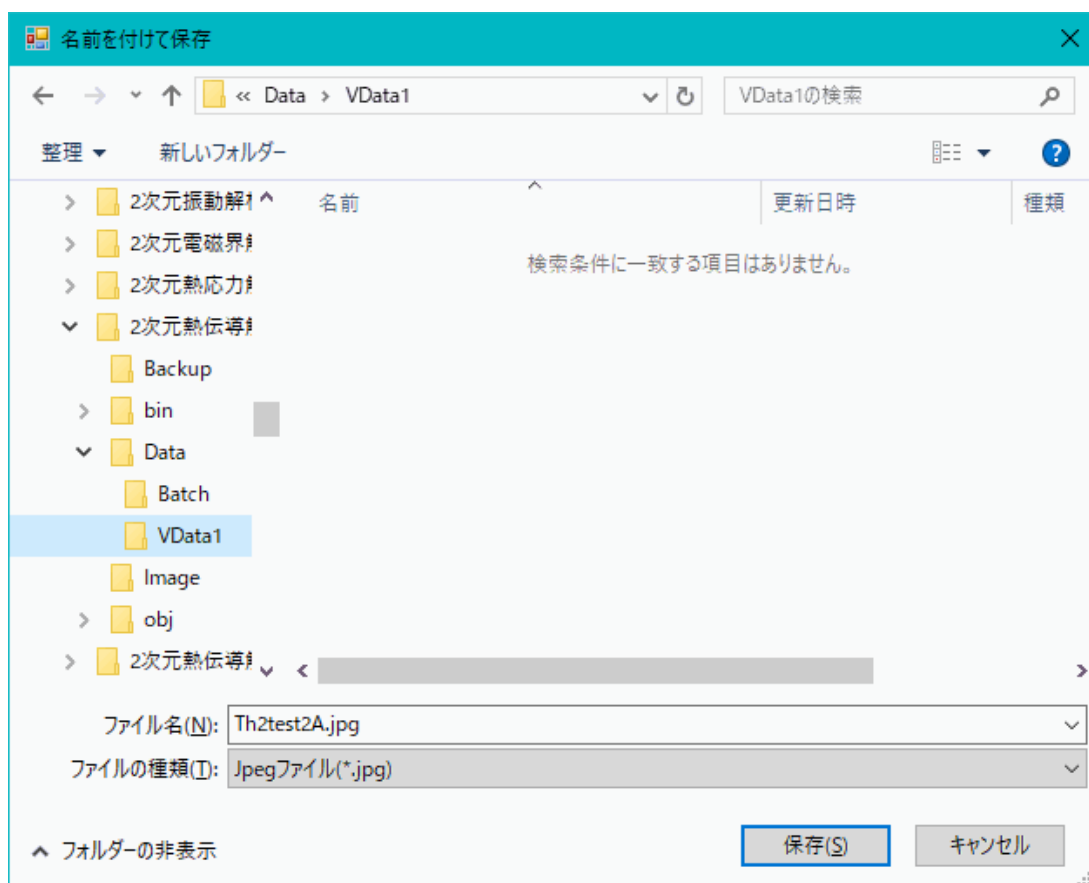


図7-15 ファイル保存コンモンダイアログ画面

7.6 解析結果の主要値表示

図7-16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7-16 解析結果の主要値表示の画面

7.7 非定常のグラフデータの仕様設定画面

図7-17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（拡張子を除去した部分）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。

7.8 グラフ用節点データ入力画面

図7-18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7-19の計算終了確認のダイアログボックスが出ます。

◇図7-20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。

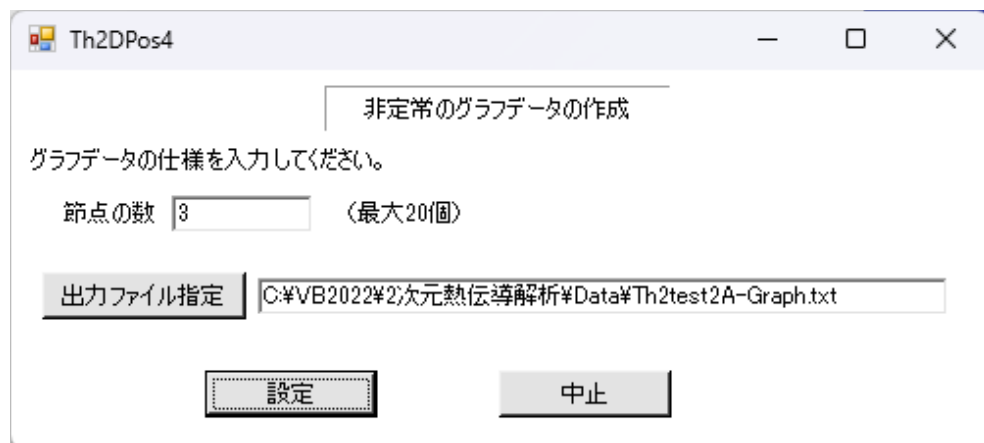


図7-17 非定常のグラフデータの仕様設定画面

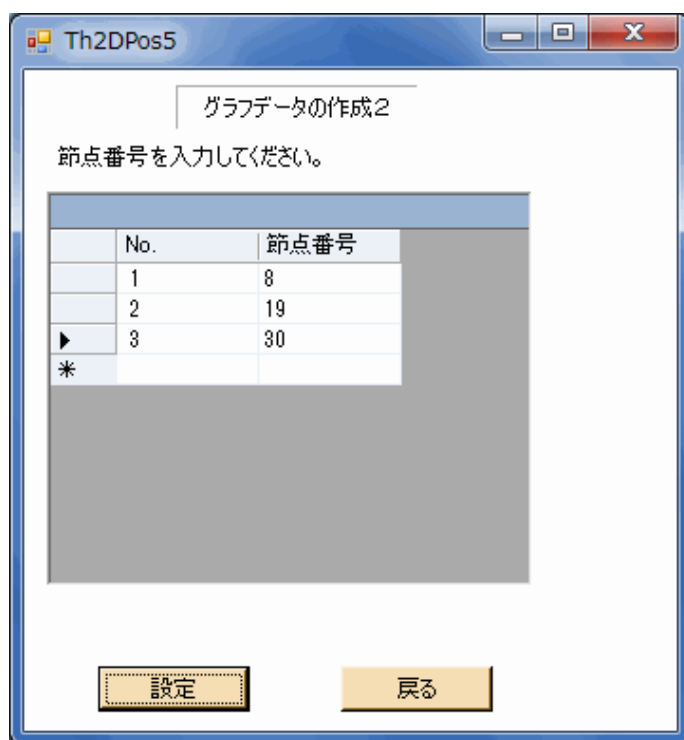


図7-18 グラフ用節点データ入力画面

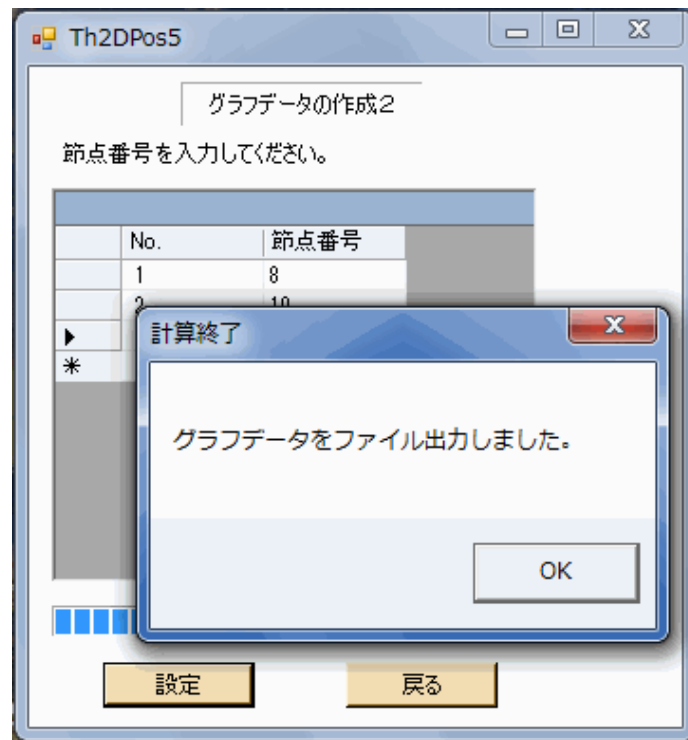


図7-19 グラフデータの計算終了画面

<< 2次元熱伝導解析結果のグラフデータ >>

熱伝導解析テスト (0.06m×0.06m)

[入力データファイル], C:\¥VB2022¥2次元熱伝導解析¥Data¥Th2test2A.dat

[解析結果ファイル], C:\¥VB2022¥2次元熱伝導解析¥Data¥Th2test2A.rep

節点の数, 3

対象変数, 温度

時間、節点8、節点19、節点30

0,	0,	0,	0
10,	145.13,	13.96,	1.04
20,	181.39,	51.51,	7.53
30,	199.52,	79.77,	16.77
40,	210.69,	99.71,	24.54
50,	218.16,	113.71,	30.3
60,	223.32,	123.53,	34.42
70,	226.92,	130.43,	37.32
80,	229.44,	135.27,	39.37
90,	231.21,	138.67,	40.81
100,	232.45,	141.06,	41.82

END

図7-20 グラフデータ例

図7-20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7-21に示します。図7-21は3節点の温度の時系列変化グラフとなっています。

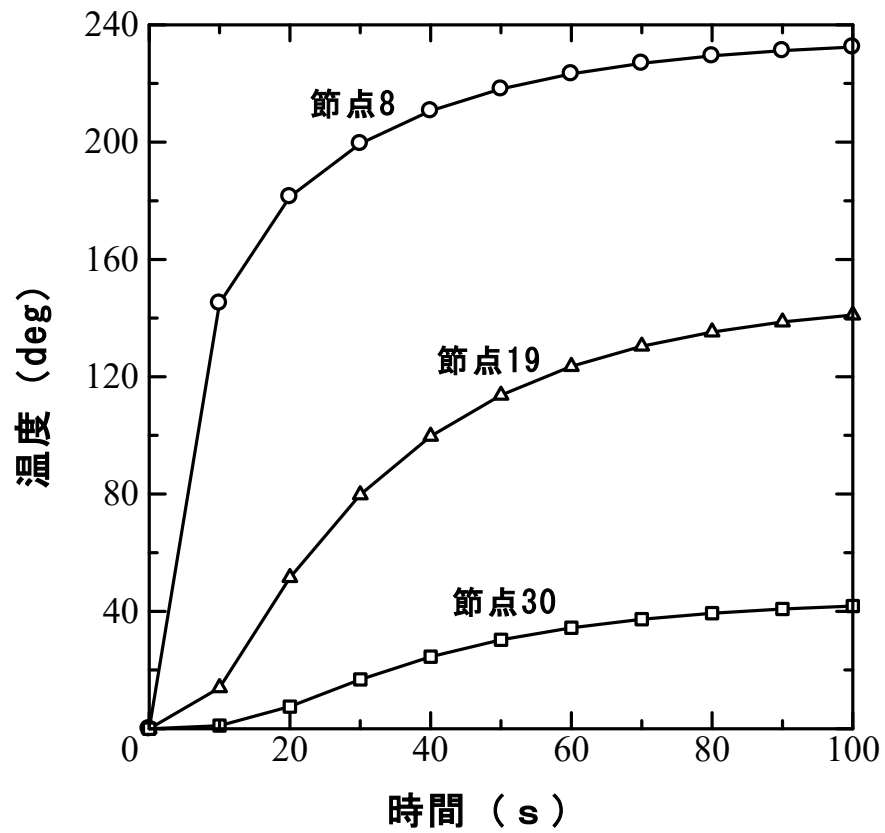


図7-21 グラフ例 注) Plots32 利用

第8章 軸対称体の計算例

熱伝導の場合は、2次元問題でも軸対称体でもデータや計算結果の形態に大きな差はありません。従って、ここでは軸対称体の計算例を紹介します。

8.1 構造モデル

図8-1にモデル図を示します。同図のように、本部品アダプターは最大外径 $\phi 60\text{mm}$ (R30)の円筒部品で、長さ181mmの部分を取り上げています。境界条件は、同図のように、外周部において、両端2箇所が固定温度 300°C 、中間が熱伝達境界（空気層 20°C ）です。本構造モデルで定常解析を行ないます。

8.2 入力データ

図8-2に入力データファイルの内容を示します。

8.3 計算結果データ

図8-3に計算結果データファイルの内容を示します。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バンド幅は17です。
- ②最も低い温度は、節点39における 287.89°C です。
- ③最低・最高温度データとして、それらの値、節点番号が表示されています。
- ④計算時間は0秒台です。

8.4 等温線図

図8-4に等温線図（カラーフィル有り）を示します。なお、本構造モデルはZ軸方向に長い形状をしていますので、画面を有効に使うため、RZ座標を時計回りに 90° 回転させて表示しています。

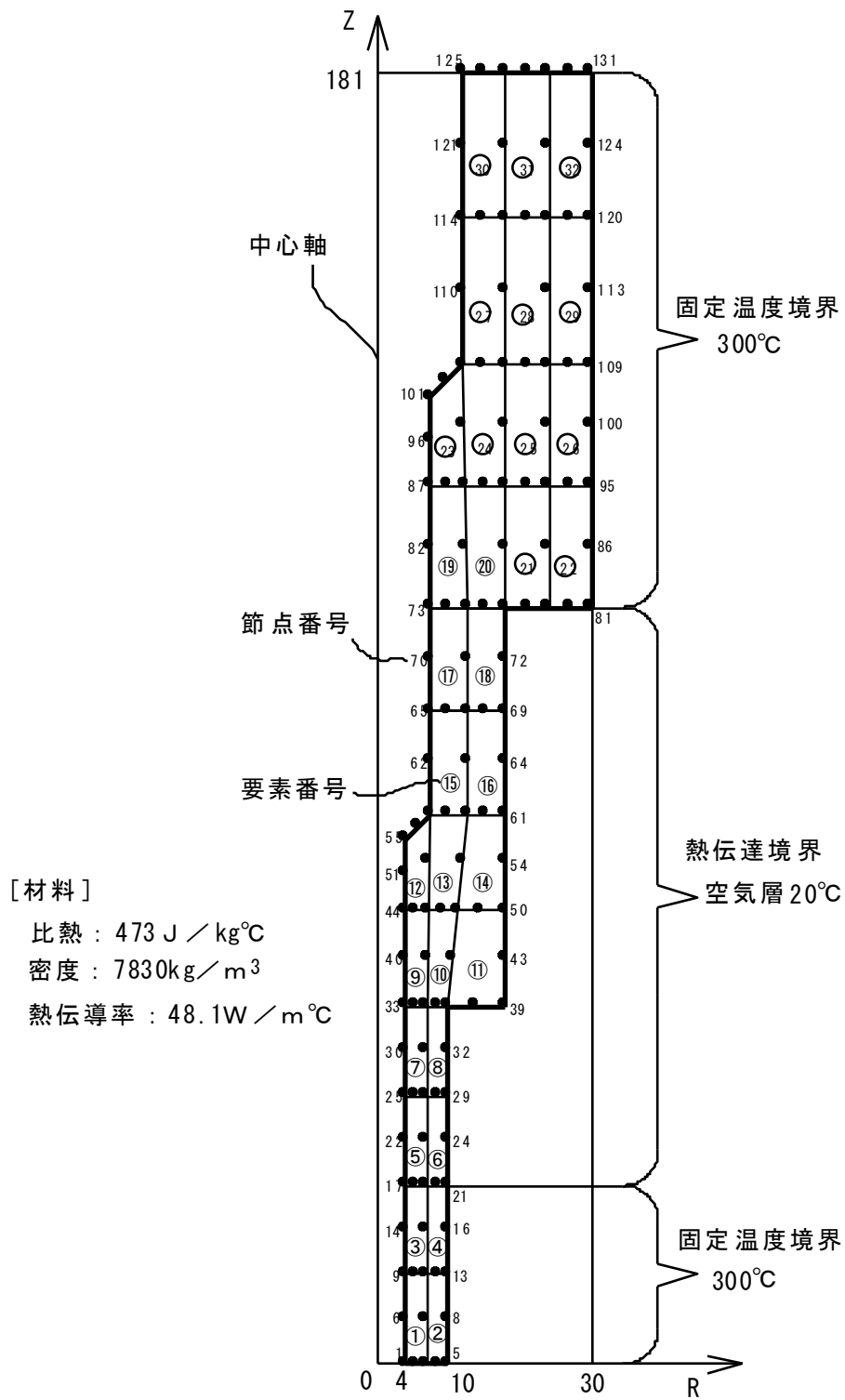


図8-1 アダプターの構造モデル図（軸対称体）

```

プログラム名, Therm2D
アダプターの熱解析用データ
問題のタイプ, 4
節点数, 131
要素数, 32
温度固定節点数, 14
材料データ数, 1
境界条件のステップ数, 1
熱流束境界の辺の数, 0
熱伝達境界の辺の数, 9
熱放射境界の辺の数, 0
内部発熱の要素の数, 0
ガウス積分点数, 3
1 節点当り変数の数, 1
材料データの成分数, 3
初期値データの有無, 0
要素データ (要素番号、材料番号、8節点番号)
1, 1, 1, 2, 3, 7, 11, 10, 9, 6
2, 1, 3, 4, 5, 8, 13, 12, 11, 7
3, 1, 9, 10, 11, 15, 19, 18, 17, 14
4, 1, 11, 12, 13, 16, 21, 20, 19, 15
5, 1, 17, 18, 19, 23, 27, 26, 25, 22
6, 1, 19, 20, 21, 24, 29, 28, 27, 23
7, 1, 25, 26, 27, 31, 35, 34, 33, 30
8, 1, 27, 28, 29, 32, 37, 36, 35, 31
9, 1, 33, 34, 35, 41, 46, 45, 44, 40
10, 1, 35, 36, 37, 42, 48, 47, 46, 41
11, 1, 37, 38, 39, 43, 50, 49, 48, 42
12, 1, 44, 45, 46, 52, 57, 56, 55, 51
13, 1, 46, 47, 48, 53, 59, 58, 57, 52
14, 1, 48, 49, 50, 54, 61, 60, 59, 53
15, 1, 57, 58, 59, 63, 67, 66, 65, 62
16, 1, 59, 60, 61, 64, 69, 68, 67, 63
17, 1, 65, 66, 67, 71, 75, 74, 73, 70
18, 1, 67, 68, 69, 72, 77, 76, 75, 71
19, 1, 73, 74, 75, 83, 89, 88, 87, 82
20, 1, 75, 76, 77, 84, 91, 90, 89, 83
21, 1, 77, 78, 79, 85, 93, 92, 91, 84
22, 1, 79, 80, 81, 86, 95, 94, 93, 85
23, 1, 87, 88, 89, 97, 103, 102, 101, 96
24, 1, 89, 90, 91, 98, 105, 104, 103, 97
25, 1, 91, 92, 93, 99, 107, 106, 105, 98
26, 1, 93, 94, 95, 100, 109, 108, 107, 99
27, 1, 103, 104, 105, 111, 116, 115, 114, 110
28, 1, 105, 106, 107, 112, 118, 117, 116, 111
29, 1, 107, 108, 109, 113, 120, 119, 118, 112
30, 1, 114, 115, 116, 122, 127, 126, 125, 121
31, 1, 116, 117, 118, 123, 129, 128, 127, 122
32, 1, 118, 119, 120, 124, 131, 130, 129, 123
節点データ (節点番号、R座標、Z座標)
1, .004, 0
2, .0055, 0
3, .007, 0
4, .0085, 0

```

図8-2 (1/2)

アダプター熱伝導の入力データファイル

5,	.01,	0			
.....					
.....					
112,	.024,	.15025			
113,	.03,	.15025			
114,	.01275,	.1605			
115,	.015375,	.1605			
116,	.018,	.1605			
117,	.021,	.1605			
118,	.024,	.1605			
119,	.027,	.1605			
120,	.03,	.1605			
121,	.01275,	.17075			
122,	.018,	.17075			
123,	.024,	.17075			
124,	.03,	.17075			
125,	.01275,	.181			
126,	.015375,	.181			
127,	.018,	.181			
128,	.021,	.181			
129,	.024,	.181			
130,	.027,	.181			
131,	.03,	.181			
温度固定境界（固定番号、節点番号、各ステップの温度）					
1,	5,	300			
2,	8,	300			
3,	13,	300			
4,	16,	300			
5,	21,	300			
6,	81,	300			
7,	86,	300			
8,	95,	300			
9,	100,	300			
10,	109,	300			
11,	113,	300			
12,	120,	300			
13,	124,	300			
14,	131,	300			
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, 7830					
区分番号、比熱、熱伝導率、上限温度					
1,	473,	48.1,	1000		
熱伝達データ（熱伝達番号、辺の3節点番号、各ステップの熱伝達係数・外部温度）					
1,	21,	24,	29,	9,	20
2,	29,	32,	37,	9,	20
3,	37,	38,	39,	9,	20
4,	39,	43,	50,	9,	20
5,	50,	54,	61,	9,	20
6,	61,	64,	69,	9,	20
7,	69,	72,	77,	9,	20
8,	77,	78,	79,	9,	20
9,	79,	80,	81,	9,	20

図8-2（2/2）

アダプター熱伝導の入力データファイル

<<2次元熱伝導解析の計算結果>>
 アダプター熱解析用データ
 [入力データファイル], C:\¥VB2022¥2次元熱伝導解析¥Data¥Adaptor.dat
 解析種類 (0:定常、1:非定常), 0

*** 計算結果 ***

バンド幅, 17

<節点番号、温度>

1, 300
 2, 300
 3, 300
 4, 299.99
 5, 300
 6, 299.99
 7, 299.99
 8, 300
 9, 299.95
 10, 299.95
 11, 299.94
 12, 299.98
 13, 300
 14, 299.82
 15, 299.9
 16, 300
 17, 298.75
 18, 298.83
 19, 299
 20, 299.45
 21, 300
 22, 296.01
 23, 295.98
 24, 295.78
 25, 293.13
 26, 293.13
 27, 293.09
 28, 293.1
 29, 293.06
 30, 291.02
 31, 290.97
 32, 290.87
 33, 289.49
 34, 289.44
 35, 289.36
 36, 289.17
 37, 288.94
 38, 288.28
 39, 287.89
 40, 288.81
 41, 288.75
 42, 288.59
 43, 288.2
 44, 288.85

.

①

②

図8-3 (1/2) アダプター熱伝導の計算結果データファイル

```

. . . . .
. . . . .
85, 299.39
86, 300
87, 299.08
88, 299.1
89, 299.16
90, 299.25
91, 299.37
92, 299.5
93, 299.7
94, 299.86
95, 300
96, 299.51
97, 299.64
98, 299.73
99, 299.86
100, 300
101, 299.71
102, 299.77
103, 299.83
104, 299.85
105, 299.88
106, 299.91
107, 299.94
108, 299.97
109, 300
110, 299.95
111, 299.96
112, 299.98
113, 300
114, 299.98
115, 299.98
116, 299.99
117, 299.99
118, 299.99
119, 300
120, 300
121, 299.99
122, 299.99
123, 300
124, 300
125, 300
126, 300
127, 300
128, 300
129, 300
130, 300
131, 300

```

<最低・最高温度データ>

変数項目、	値、	節点番号
TempMin,	287.89,	39
TempMax,	300,	1
END	0h 0min 0s	

③

④

図8-3 (2/2) アダプター熱伝導の計算結果データファイル

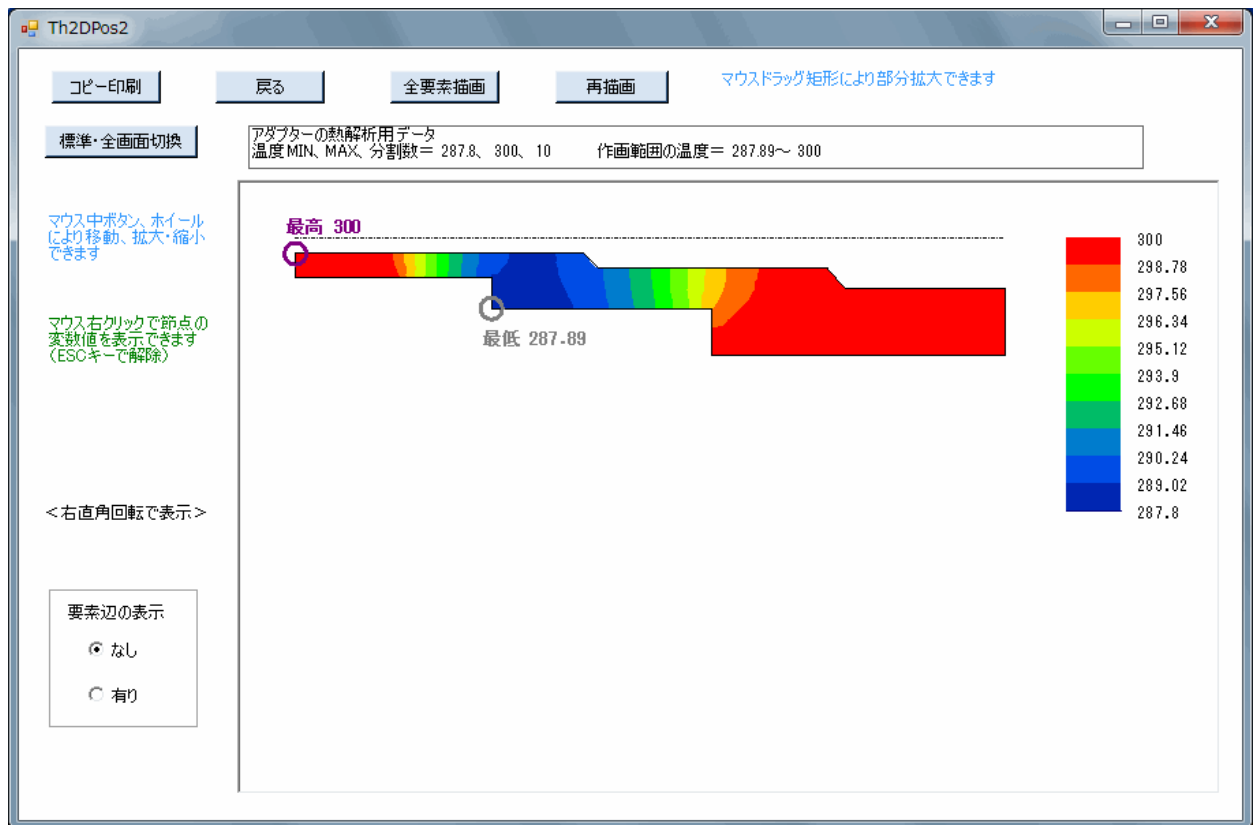


図8-4 アダプターの等温線図

[参考文献]

<A>Visual Basic言語

- A1) 「Visual Basic for Windows プログラミング・パーツ」、河西 朝雄、
(株) ナツメ社、1994
- A2) 「Visual Basic リファレンス・ブック」、相沢 文雄、
(株) ナツメ社、1994
- A3) 「Microsoft Visual Basic プログラミング ガイド」、
マイクロソフト (株)、1997
- A4) 「Visual Basic 応用プログラミング」、林 晴比古、
ソフトバンク (株)、1997
- 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) 「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
- A7) 「実力アップ Visual Basic.NET 基礎編」、川口 輝久、
(株) 技術評論社、2003
- A8) 「Visual Basic 2005 [実践] プログラミングテクニック」、谷尻 かおり、
技術評論社、2007

数値計算・統計解析・グラフィックス

- B1) 「数学公式・数表ハンドブック」、スピアゲル 著、氏家 勝巳 訳、
マグロウヒル 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) 「Visual Basicによる工学計算プログラム」、黒田 英夫、
CQ出版社、2001

<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) 「伝熱学の基礎」第2版、吉田 駿、
オーム社、2019