

\*\*\*\*\*

\* 「1次元熱伝導解析K」の紹介 \* [著者] 黒田 英夫

\*\*\*\*\*

## &lt;プログラム開発環境&gt;

OS : Windows 11 . . . .NET Framework 4.8が必要

言語 : Visual Basic 2022 (Visual Studio 2022 Community)

## &lt;プログラムと本書の著作権&gt;

フリーソフトで、著作権を開放します

\*\*\*\*\*

汎用的な1次元熱伝導解析ソフトを提供します。本ソフトは、差分法により、1次元の熱伝導問題を解くものです。1次元熱伝導解析は1方向のみの熱伝導を取り扱うため、基本的な熱伝導問題の検討に適しており、入力データ作成の手間や計算時間も少なく済みます。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ができます。

[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

## &lt;目次&gt;

	ページ
第1章 差分法 -----	2
第2章 プログラムの機能・構成 -----	14
第3章 構造データの作り方 -----	17
第4章 「データ」処理プログラム -----	20
第5章 「計算」プログラム -----	33
第6章 「後処理」プログラム -----	40
第7章 樹脂金型冷却の計算例 -----	53
[参考文献] -----	61

## 第1章 差分法

差分法は、対象を平行なメッシュで有限個の差分要素に分割し、要素毎にその要素変数に関する差分方程式を作成し、それを合わせて全体の方程式として解く解析方法です。以下では、1次元の熱伝導に限定して説明します。

### 1.1 1次元熱伝導モデル

本ソフトで取り扱うモデルを図1-1に示します。同図において、境界1と境界2の間に1次元に熱伝導する複数の層があります。そして、その複数の各層はそれぞれ均等分割して差分方程式を組み立てます。もちろん、複数層でなく単一層であっても構いません。また、同図に示すように、層を構成する材料の物性は、密度は固定で、比熱と熱伝導率は温度区分により変えることができます。さらに、境界条件は、断熱、温度固定、熱伝達、熱流束、熱放射の5種類があります。



- [材料物性] ①密度（固定）  
②比熱（温度区分有り）  
③熱伝導率（温度区分有り）

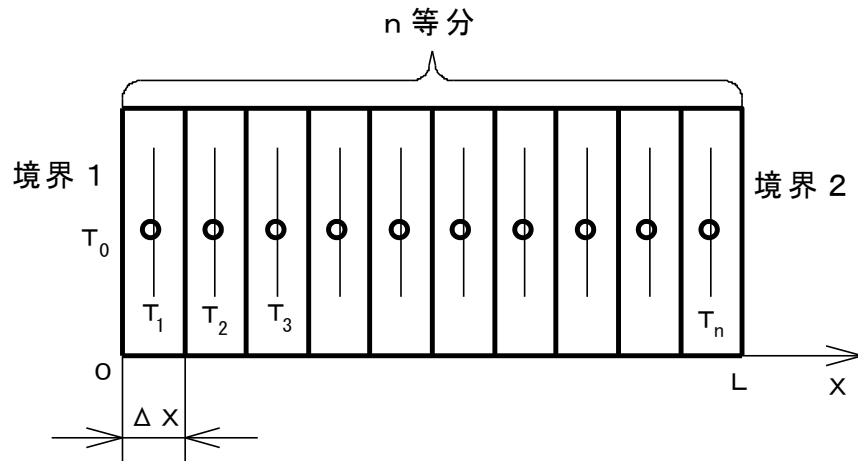
- [境界条件] a)断熱      b)温度固定      c)熱伝達  
d)熱流束      e)熱放射

図1-1 1次元熱伝導のモデル

### 1.2 差分法の基本計算式

上述のように、本ソフトでは複数層の計算が可能ですが、差分法の基本計算式は複数層でも単一層でも同様なので、図1-2の単一層のモデルで説明します。同図において、境界1と境界2の間に1次元に熱伝導する単一層があり、同層は $n$ 等分されています。また、同図と重複しますが、次のように記号を定めます。

- $X$  :  $X$ 座標（熱伝導方向）  
 $\Delta X$  : メッシュ幅  
 $T_i$  : 各メッシュの中心温度 ( $i=1, 2, \dots, n$ )  
 $T_0$  : 境界の表面温度  
 $\rho$  : 密度       $c$  : 比熱       $\lambda$  : 熱伝導率  
 $a$  : 温度伝導率 ( $= \lambda / \rho c$ )



[材料物性]

$\rho$  : 密度       $c$  : 比熱       $\lambda$  : 熱伝導率  
 $a$  : 温度伝導率 ( $= \lambda / \rho c$ )

図1-2 差分法の単一層モデル

さて、1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。

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (1-1)$$

$$\therefore \frac{\partial T}{\partial t} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (1-2)$$

そして、(1-2)式を差分法の式に変形するにあたり、時刻  $t$  の温度が既知で、 $\Delta t$  後の各部温度を計算することとします。なお、以下の式で添え字を次のように規定します。

[添え字規定]

$t$  の時点の変数は  $b$  を添え、 $t + \Delta t$  の時点の変数には何も付けない。

また、定常問題では(1-2)式は次のようになります。

$$a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = 0 \quad (1-2S)$$

(1-2)の支配方程式をクランク・ニコルソン法の差分方程式で表わすと下記のようになります。

注) クランク・ニコルソン法は、(1-2)式の右辺について、時刻  $t$  と  $t + \Delta t$  との平均を取る方法です。他に、時刻  $t$  を採用する前進差分法、時刻  $t + \Delta t$  を採用する後退差分法があります。

<通常メッシュ>

メッシュ  $i$  における差分方程式を示します。

$$\frac{T_i - T_{ib}}{\Delta t} = a \frac{T_{i+1} - 2T_i + T_{i-1}}{2(\Delta X)^2} + a_b \frac{T_{i+1,b} - 2T_{ib} + T_{i-1,b}}{2(\Delta X)^2} \quad (1-3)$$

$$\therefore \frac{a}{2(\Delta X)^2} T_{i+1} - \left\{ \frac{a}{(\Delta X)^2} + \frac{1}{\Delta t} \right\} T_i + \frac{a}{2(\Delta X)^2} T_{i-1} = -\frac{T_{ib}}{\Delta t} + B_b \quad (1-4)$$

$$\text{ただし、} B_b = a_b \frac{T_{i+1,b} - 2T_{ib} + T_{i-1,b}}{2(\Delta X)^2} \quad (1-5)$$

また、定常問題では(1-3)式は次のようになります。

$$\frac{T_{i+1} - 2T_i + T_{i-1}}{(\Delta X)^2} = 0 \quad (1-3S)$$

### <端メッシュ>

左端境界メッシュ1における差分方程式を導出します。なお、右端メッシュnにおける差分方程式は、 $T_1$ 、 $T_2$  のかわりに  $T_n$ 、 $T_{n-1}$  を入れます。

まず、ある時刻において、左端境界メッシュでは次式が成立します。

$$a \frac{\partial^2 T}{\partial X^2} = a \frac{\frac{T_2 - T_1}{\Delta X} - \frac{T_1 - T_0}{\Delta X/2}}{\Delta X} = a \frac{T_2 - 3T_1 + 2T_0}{(\Delta X)^2} \quad (1-6)$$

クランク・ニコルソン法では、(1-6)式の右辺は、時刻  $t$  と時刻  $t + \Delta t$  との平均を取ります。従って、(1-2)式は次の差分方程式となります。

$$\frac{T_1 - T_{1b}}{\Delta t} = a \frac{T_2 - 3T_1 + 2T_0}{2(\Delta X)^2} + a_b \frac{T_{2b} - 3T_{1b} + 2T_{0b}}{2(\Delta X)^2} \quad (1-7)$$

ただし、境界表面温度  $T_0$  は境界条件により異なり、 $T_1$  の関数になることもあります。それ故、(1-7)式は境界条件により、個別に整理し直します（後述）。

また、定常問題では(1-6)式は次のようになります。ただし、 $a$ は境界条件に合わせるために付けておきます。

$$a \frac{T_2 - 3T_1 + 2T_0}{(\Delta X)^2} = 0 \quad (1-7S)$$

## 1.3 境界表面温度

左端の境界1について、各境界種類毎に表面温度の式を示します。

### <断熱境界>

断熱境界では、境界側は何も考慮しなくてよく、表面温度は端メッシュ中心温度と同じになります。

$$T_0 = T_1 \quad (1-8)$$

### <温度固定境界>

温度固定境界では、まさに表面温度が固定値として与えられます。固定温度を  $T_s$  と

すると、

$$T_0 = T_s$$

(1-9)

### ＜熱伝達境界＞

図1-3に熱伝達境界の説明図を示します。  
同図において、 $T_1$  から  $T_0$  への熱移動量  
と  $T_0$  から外部へ流出する熱移動量が等し  
いと置くことにより、次式が得られます。

$$\lambda \frac{T_1 - T_0}{\Delta X / 2} = \alpha (T_0 - T_E) \quad (1-10)$$

ただし、 $\alpha$  : 熱伝達係数

$T_E$  : 外部温度

$$\therefore T_0 = \frac{\alpha T_E + (2\lambda / \Delta X) T_1}{\alpha + 2\lambda / \Delta X} \quad (1-11)$$

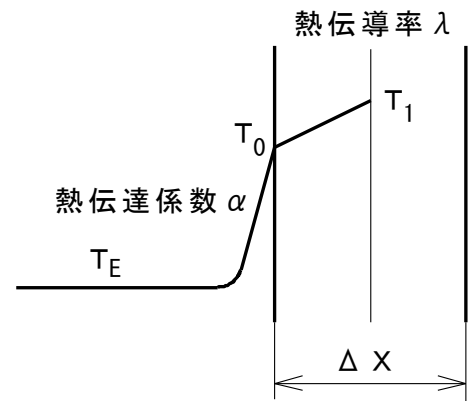


図1-3 熱伝達境界の説明図

### ＜熱流束境界＞

図1-4に熱流束境界の説明図を示し  
ます。同図において、 $T_1$  から  $T_0$  への  
熱移動量と  $T_0$  から外部へ流出する熱  
移動量が等しいと置くことにより、次式  
が得られます。

$$\lambda \frac{T_1 - T_0}{\Delta X / 2} = Q \quad (1-12)$$

ただし、 $Q$  : 流出熱量

$$\therefore T_0 = T_1 - Q \cdot \Delta X / (2\lambda) \quad (1-13)$$

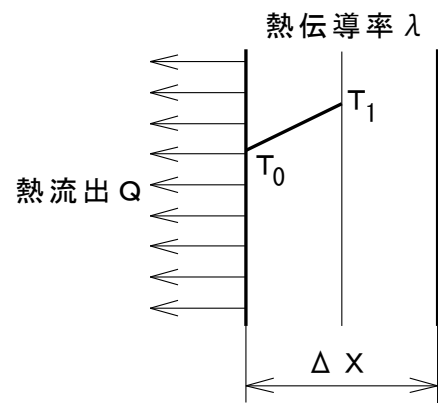
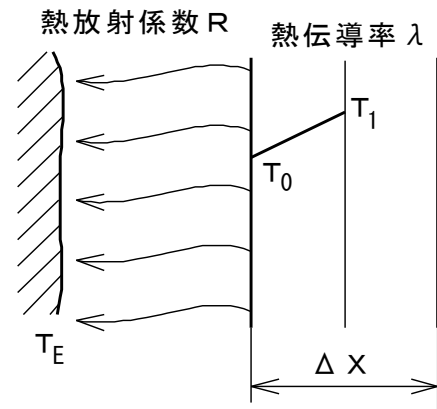


図1-4 熱流束境界の説明図

### <熱放射境界>

図1-5に熱放射境界の説明図を示します。同図において、 $T_1$  から  $T_0$  への熱移動量と  $T_0$  から外部放射源温度  $T_E$  へ流出する熱移動量が等しいと置くことにより、次式が得られます。

$$\lambda \frac{T_1 - T_0}{\Delta X / 2} = R (T_0^4 - T_E^4) \quad (1-14)$$



ただし、 $R$  : 熱放射係数

$$R = \varepsilon \sigma F \quad (1-15)$$

$\varepsilon$  : 放射率

$F$  : 形状係数

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

本式を使用する場合は、温度の単位は絶対温度  $K$  を使用します。

上記の (1-14) 式は、 $T_0$  の 4 次方程式であるので、代数的には解けません。そのため、KH 法最適化手法を利用して、繰返し計算により (1-14) 式の解  $T_0$  を算出します。KH 法については、最適化計算ソフトの説明書を参照してください。

[熱放射量]

単位時間、単位面積当り

$$Q = R (T_0^4 - T_E^4)$$

図1-5 熱放射境界の説明図

## 1.4 左端境界

図1-2のメッシュ1 (中心温度  $T_1$ ) において、境界1の各境界種類に関する差分方程式を示します。

### <断熱境界>

(1-7) 式に (1-8) 式 ( $T_{0b}$  も同じ) を代入すると、

$$\frac{T_1 - T_{1b}}{\Delta t} = a \frac{T_2 - T_1}{2(\Delta X)^2} + a_b \frac{T_{2b} - T_{1b}}{2(\Delta X)^2} \quad (1-16)$$

$$\therefore - \left\{ \frac{a}{2(\Delta X)^2} + \frac{1}{\Delta t} \right\} T_1 + \frac{a}{2(\Delta X)^2} T_2 = - \frac{T_{1b}}{\Delta t} - B_b \quad (1-17)$$

$$\text{ただし、} B_b = a_b \frac{T_{2b} - 2T_{1b}}{2(\Delta X)^2} \quad (1-18)$$

また、定常問題では (1-16) 式は次のようになります。ただし、 $a$  は境界条件に合わせるために付けておきます。

$$a \frac{T_2 - T_1}{(\Delta X)^2} = 0 \quad (1-16S)$$

<温度固定境界> ( $T_s$ : 固定温度)

(1-7) 式に(1-9) 式 ( $T_{0b}$  も同じ) を代入すると、

$$\frac{T_1 - T_{1b}}{\Delta t} = a \frac{T_2 - 3T_1 + 2T_s}{2(\Delta X)^2} + a_b \frac{T_{2b} - 3T_{1b} + 2T_s}{2(\Delta X)^2} \quad (1-19)$$

$$\therefore -\left\{ \frac{3a}{2(\Delta X)^2} + \frac{1}{\Delta t} \right\} T_1 + \frac{a}{2(\Delta X)^2} T_2 = -\frac{T_{1b}}{\Delta t} - B_b \quad (1-20)$$

$$\text{ただし、 } B_b = \frac{2a \cdot T_s + a_b(T_{2b} - 3T_{1b} + 2T_s)}{2(\Delta X)^2} \quad (1-21)$$

また、定常問題では(1-19) 式は次のようになります。ただし、 $a$  は境界条件に合わせるために付けておきます。

$$a \frac{T_2 - 3T_1}{(\Delta X)^2} = -a \frac{2T_s}{(\Delta X)^2} \quad (1-19S)$$

<熱伝達境界> ( $T_E$ : 外部温度、 $\alpha$ : 熱伝達係数)

時刻  $t + \Delta t$  における境界表面温度  $T_{0b}$  は(1-11) 式で得られます。同様に、時刻  $t$  における境界表面度  $T_{0b}$  は次式で表わされます。

$$T_{0b} = \frac{\alpha T_E + (2\lambda_b / \Delta X) T_{1b}}{\alpha + 2\lambda_b / \Delta X} \quad (1-22)$$

(1-7) 式に(1-11) 式を代入すると、

$$\frac{T_1 - T_{1b}}{\Delta t} = a \frac{T_2 - 3T_1 + 2 \frac{\alpha T_E + (2\lambda_b / \Delta X) T_1}{\alpha + 2\lambda_b / \Delta X}}{2(\Delta X)^2} + a_b \frac{T_{2b} - 3T_{1b} + 2T_{0b}}{2(\Delta X)^2} \quad (1-23)$$

$$\therefore -\left\{ \frac{3a}{2(\Delta X)^2} + \frac{1}{\Delta t} - \frac{2a(2\lambda_b / \Delta X)}{2(\Delta X)^2} \right\} T_1 + \frac{a}{2(\Delta X)^2} T_2 = -\frac{T_{1b}}{\Delta t} - B_b \quad (1-24)$$

$$\text{ただし、 } B_b = \frac{2a\alpha T_E}{\alpha + 2\lambda_b / \Delta X} + a_b(T_{2b} - 3T_{1b} + 2T_{0b}) \quad (1-25)$$

また、定常問題では(1-23) 式は次のようになります。ただし、 $a$  は境界条件に合わせるために付けておきます。

$$\therefore -a \left\{ \frac{3}{(\Delta X)^2} - \frac{2(2\lambda_b / \Delta X)}{(\Delta X)^2} \right\} T_1 + \frac{a}{(\Delta X)^2} T_2 = -a \frac{2\alpha T_E}{(\Delta X)^2} \quad (1-23S)$$

<熱流束境界> ( $Q$ : 単位面積当たり流出熱量)

時刻  $t + \Delta t$  における境界表面温度  $T_0$  は(1-13) 式で得られます。同様に、時刻  $t$  における境界表面温度  $T_{0b}$  は次式で表わされます。

$$T_{0b} = T_{1b} - Q \Delta X / (2\lambda_b) \quad (1-26)$$

(1-7) 式に(1-13) 式を代入すると、

$$\frac{T_1 - T_{1b}}{\Delta t} = a \frac{T_2 - 3T_1 + 2(T_1 - Q \Delta X / (2\lambda))}{2(\Delta X)^2} + a_b \frac{T_{2b} - 3T_{1b} + 2T_{0b}}{2(\Delta X)^2} \quad (1-27)$$

$$\therefore -\left\{ \frac{a}{2(\Delta X)^2} + \frac{1}{\Delta t} \right\} T_1 + \frac{a}{2(\Delta X)^2} T_2 = -\frac{T_{1b}}{\Delta t} - B_b \quad (1-28)$$

$$\text{ただし、} B_b = -\frac{Q}{2\rho c \Delta X} + a_b \frac{T_{2b} - 3T_{1b} + 2T_{0b}}{2(\Delta X)^2} \quad (1-29)$$

また、定常問題では(1-27) 式は次のようになります。

$$a \frac{T_2 - T_1}{(\Delta X)^2} = \frac{Q}{\rho c \Delta X} \quad (1-27S)$$

<熱放射境界> ( $T_E$  : 外部放射源温度、 $R$  : 熱放射係数)

時刻  $t + \Delta t$  における境界表面温度  $T_0$  は(1-14) 式について、時刻  $t$  における境界表面温度  $T_{0b}$  は次式について、KH法最適化手法により解きます。

$$\lambda_b \frac{T_{1b} - T_{0b}}{\Delta X / 2} = R (T_{0b}^4 - T_E^4) \quad (1-30)$$

そして  $T_0$ 、 $T_{0b}$  を既知として次式を用います。

$$\frac{T_1 - T_{1b}}{\Delta t} = a \frac{T_2 - 3T_1 + 2T_0}{2(\Delta X)^2} + a_b \frac{T_{2b} - 3T_{1b} + 2T_{0b}}{2(\Delta X)^2} \quad (1-7) \text{ 式再掲}$$

$$\therefore -\left\{ \frac{3a}{2(\Delta X)^2} + \frac{1}{\Delta t} \right\} T_1 + \frac{a}{2(\Delta X)^2} T_2 = -\frac{T_{1b}}{\Delta t} - B_b \quad (1-31)$$

$$\text{ただし、} B_b = \frac{a T_0}{(\Delta X)^2} + \frac{a_b (T_{2b} - 3T_{1b} + 2T_{0b})}{2(\Delta X)^2} \quad (1-32)$$

なお、定常問題では熱放射境界を扱えません。

## 1.5 右端境界

右端境界も前節の左端境界と同様ですが、念のため差分式を示しておきます。図1-2のメッシュ  $n$  (中心温度  $T_n$ ) において、境界2の各境界種類に関する差分方程式を示します。ただし、境界表面温度は、左端境界と同じ記号  $T_0$ 、 $T_{0b}$  を使用します。

<断熱境界>

$$\frac{T_n - T_{nb}}{\Delta t} = a \frac{T_{n-1} - T_n}{2(\Delta X)^2} + a_b \frac{T_{n-1, b} - T_{nb}}{2(\Delta X)^2} \quad (1-33)$$

$$\therefore -\left\{ \frac{a}{2(\Delta X)^2} + \frac{1}{\Delta t} \right\} T_n + \frac{a}{2(\Delta X)^2} T_{n-1} = -\frac{T_{nb}}{\Delta t} - B_b \quad (1-34)$$

$$\text{ただし、} B_b = a_b \frac{T_{n-1, b} - 2T_{nb}}{2(\Delta X)^2} \quad (1-35)$$

また、定常問題では次のようになります。ただし、 $a$  は境界条件に合わせるために付け



ておきます。

$$a \frac{T_{n-1} - T_n}{(\Delta X)^2} = 0 \quad (1-33S)$$

<温度固定境界> ( $T_s$  : 固定温度)

$$\frac{T_n - T_{nb}}{\Delta t} = a \frac{T_{n-1} - 3T_n + 2T_s}{2(\Delta X)^2} + a_b \frac{T_{n-1, b} - 3T_{nb} + 2T_s}{2(\Delta X)^2} \quad (1-36)$$

$$\therefore -\left\{ \frac{3a}{2(\Delta X)^2} + \frac{1}{\Delta t} \right\} T_n + \frac{a}{2(\Delta X)^2} T_{n-1} = -\frac{T_{nb}}{\Delta t} - B_b \quad (1-37)$$

$$\text{ただし、 } B_b = \frac{2a \cdot T_s + a_b (T_{n-1, b} - 3T_{nb} + 2T_s)}{2(\Delta X)^2} \quad (1-38)$$

また、定常問題では次のようになります。ただし、 $a$ は境界条件に合わせるために付けておきます。

$$a \frac{T_{n-1} - 3T_n}{(\Delta X)^2} = -a \frac{2T_s}{(\Delta X)^2} \quad (1-36S)$$

<熱伝達境界> ( $T_E$  : 外部温度、 $\alpha$  : 熱伝達係数)

$$T_0 = \frac{\alpha T_E + (2\lambda / \Delta X) T_n}{\alpha + 2\lambda / \Delta X} \quad (1-39)$$

$$T_{0b} = \frac{\alpha T_E + (2\lambda_b / \Delta X) T_{nb}}{\alpha + 2\lambda_b / \Delta X} \quad (1-40)$$

$$\begin{aligned} \frac{T_n - T_{nb}}{\Delta t} &= a \frac{T_{n-1} - 3T_n + 2T_0}{2(\Delta X)^2} + a_b \frac{T_{n-1, b} - 3T_{nb} + 2T_{0b}}{2(\Delta X)^2} \\ &= a \frac{T_{n-1} - 3T_n + 2 \frac{\alpha T_E + (2\lambda / \Delta X) T_n}{\alpha + 2\lambda / \Delta X}}{2(\Delta X)^2} + a_b \frac{T_{n-1, b} - 3T_{nb} + 2T_{0b}}{2(\Delta X)^2} \end{aligned} \quad (1-41)$$

$$\therefore -\left\{ \frac{3a}{2(\Delta X)^2} + \frac{1}{\Delta t} - \frac{2a(2\lambda / \Delta X)}{\alpha + 2\lambda / \Delta X} \right\} T_n + \frac{a}{2(\Delta X)^2} T_{n-1} = -\frac{T_{nb}}{\Delta t} - B_b \quad (1-42)$$

$$\text{ただし、 } B_b = \frac{2a\alpha T_E}{\alpha + 2\lambda / \Delta X} + a_b (T_{n-1, b} - 3T_{nb} + 2T_{0b}) \quad (1-43)$$

また、定常問題では次のようになります。ただし、 $a$ は境界条件に合わせるために付けておきます。

$$-a \left\{ \frac{3}{(\Delta X)^2} - \frac{2(2\lambda / \Delta X)}{\alpha + 2\lambda / \Delta X} \right\} T_n + \frac{a}{(\Delta X)^2} T_{n-1} = -a \frac{2\alpha T_E}{(\Delta X)^2} \quad (1-41S)$$

<熱流束境界> (Q : 単位面積当たり流出熱量)

$$T_0 = T_n - Q \Delta X / (2 \lambda) \quad (1-44)$$

$$T_{0b} = T_{nb} - Q \Delta X / (2 \lambda_b) \quad (1-45)$$

$$\begin{aligned} \frac{T_n - T_{nb}}{\Delta t} &= a \frac{T_{n-1} - 3T_n + 2T_0}{2(\Delta X)^2} + a_b \frac{T_{n-1, b} - 3T_{nb} + 2T_{0b}}{2(\Delta X)^2} \\ &= a \frac{T_{n-1} - 3T_n + 2(T_n - Q \Delta X / (2 \lambda))}{2(\Delta X)^2} + a_b \frac{T_{n-1, b} - 3T_{nb} + 2T_{0b}}{2(\Delta X)^2} \end{aligned} \quad (1-46)$$

$$\therefore -\left\{ \frac{a}{2(\Delta X)^2} + \frac{1}{\Delta t} \right\} T_n + \frac{a}{2(\Delta X)^2} T_{n-1} = -\frac{T_{nb}}{\Delta t} - B_b \quad (1-47)$$

$$\text{ただし、} B_b = -\frac{Q}{2 \rho c \Delta X} + a_b \frac{T_{n-1, b} - 3T_{nb} + 2T_{0b}}{2(\Delta X)^2} \quad (1-48)$$

また、定常問題では次のようになります。

$$a \frac{T_{n-1} - T_n}{(\Delta X)^2} = \frac{Q}{\rho c \Delta X} \quad (1-46S)$$

<熱放射境界> (T<sub>E</sub> : 外部放射源温度、R : 熱放射係数)

境界表面温度 T<sub>0</sub>、T<sub>0b</sub> は次の式を K-H 法最適化手法により解きます。

$$\lambda \frac{T_n - T_0}{\Delta X / 2} = R (T_0^4 - T_E^4) \quad (1-49)$$

$$\lambda_b \frac{T_{nb} - T_{0b}}{\Delta X / 2} = R (T_{0b}^4 - T_E^4) \quad (1-50)$$

そして T<sub>0</sub>、T<sub>nb</sub> を既知として次式を用います。

$$\frac{T_n - T_{nb}}{\Delta t} = a \frac{T_{n-1} - 3T_n + 2T_0}{2(\Delta X)^2} + a_b \frac{T_{n-1, b} - 3T_{nb} + 2T_{0b}}{2(\Delta X)^2} \quad (1-51)$$

$$\therefore -\left\{ \frac{3a}{2(\Delta X)^2} + \frac{1}{\Delta t} \right\} T_n + \frac{a}{2(\Delta X)^2} T_{n-1} = -\frac{T_{nb}}{\Delta t} - B_b \quad (1-52)$$

$$\text{ただし、} B_b = \frac{a T_0}{(\Delta X)^2} + \frac{a_b (T_{n-1, b} - 3T_{nb} + 2T_{0b})}{2(\Delta X)^2} \quad (1-53)$$

なお、定常問題では熱放射境界を扱えません。

## 1.6 右端層間

複数層の場合は、各層において熱伝導の仕方が変わるので、隣り合う2つの層の間の差分式を導出する必要があります。そこで、図1-6に層間境界の説明図を示します。左側は層1でメッシュ $n$ 、右側は層2でメッシュ1とし、層1のメッシュ $n$ について右端層間の差分式を導出します。

まず、図1-6に示すように層間面の温度を $T_0$ とおくと、層間面で左右のメッシュからの熱の出入りが釣り合うことから次式が得られます。

$$\lambda_1 \frac{T_0 - T_n}{\Delta X_1} = \lambda_2 \frac{T_1 - T_0}{\Delta X_2} \quad (1-54)$$

$$\therefore T_0 = \frac{(\lambda_1 / \Delta X_1) T_n + (\lambda_2 / \Delta X_2) T_1}{\lambda_1 / \Delta X_1 + \lambda_2 / \Delta X_2} \quad (1-55)$$

従って、時刻 $t$ の層間面温度については、変数に添え字 $b$ を付して、次式となります。

$$T_{0b} = \frac{(\lambda_{1b} / \Delta X_1) T_{nb} + (\lambda_{2b} / \Delta X_2) T_{1b}}{\lambda_{1b} / \Delta X_1 + \lambda_{2b} / \Delta X_2} \quad (1-56)$$

そこで、(1-7)式の端メッシュの式において、右端メッシュの式にするため $T_1$ 、 $T_2$ をそれぞれ $T_n$ 、 $T_{n-1}$ に置き換え、さらに(1-55)式を代入すると、次式が得られます。

$$\begin{aligned} \frac{T_n - T_{nb}}{\Delta t} &= a \frac{T_{n-1} - 3T_n + 2T_0}{2(\Delta X_1)^2} + a_b \frac{T_{n-1, b} - 3T_{nb} + 2T_{0b}}{2(\Delta X_1)^2} \\ &= a \frac{T_{n-1} - 3T_n + 2 \frac{(\lambda_1 / \Delta X_1) T_n + (\lambda_2 / \Delta X_2) T_1}{\lambda_1 / \Delta X_1 + \lambda_2 / \Delta X_2}}{2(\Delta X_1)^2} + a_b \frac{T_{n-1, b} - 3T_{nb} + 2T_{0b}}{2(\Delta X_1)^2} \end{aligned} \quad (1-57)$$

$$\begin{aligned} \therefore & - \left\{ \frac{3a}{2(\Delta X_1)^2} + \frac{1}{\Delta t} - \frac{2a(\lambda_1 / \Delta X_1)}{\lambda_1 / \Delta X_1 + \lambda_2 / \Delta X_2} \right\} T_n + \frac{a}{2(\Delta X_1)^2} T_{n-1} + \frac{2a(\lambda_2 / \Delta X_2)}{\lambda_1 / \Delta X_1 + \lambda_2 / \Delta X_2} T_1 \\ &= -\frac{T_{nb}}{\Delta t} - B_b \end{aligned} \quad (1-58)$$

$$\text{ただし、} B_b = a_b \frac{T_{n-1, b} - 3T_{nb} + 2T_{0b}}{2(\Delta X_1)^2} \quad (1-59)$$

また、定常問題では(1-57)式は次のようになります。ただし、 $a$ は境界条件に合わせるために付けておきます。

$$a \frac{T_{n-1} - \left( 3 - 2 \frac{(\lambda_1 / \Delta X_1)}{\lambda_1 / \Delta X_1 + \lambda_2 / \Delta X_2} \right) T_n + 2 \frac{(\lambda_2 / \Delta X_2) T_1}{\lambda_1 / \Delta X_1 + \lambda_2 / \Delta X_2}}{\Delta X_1^2} = 0 \quad (1-57S)$$

層1

層2

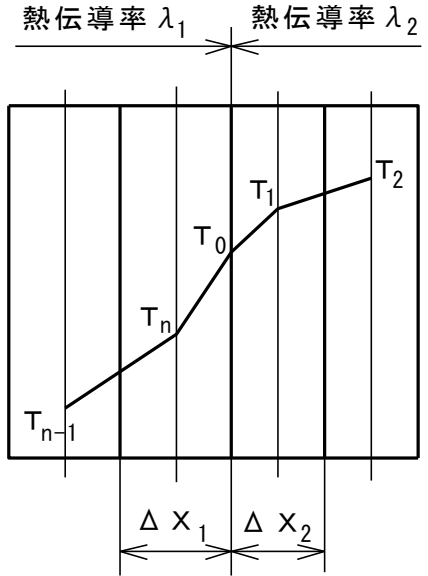


図1-6 層間境界の説明図

## 1.7 左端層間

同様に、図1-6の右側層2の開始メッシュ1について左端層間の差分式を導出します。層間面の温度は同様に $T_0$ とくと、前節と同じく、(1-55)式、(1-56)式が成立します。そこで、(1-55)式を(1-7)式に代入すると、次式が得られます。

$$\frac{T_1 - T_{1b}}{\Delta t} = a \frac{T_2 - 3T_1 + 2 \frac{(\lambda_1 / \Delta X_1) T_n + (\lambda_2 / \Delta X_2) T_1}{\lambda_1 / \Delta X_1 + \lambda_2 / \Delta X_2}}{2(\Delta X_2)^2} + a_b \frac{T_{2b} - 3T_{1b} + 2T_{0b}}{2(\Delta X_2)^2} \quad (1-60)$$

$$\begin{aligned} \therefore - \left\{ \frac{3a}{2(\Delta X_2)^2} + \frac{1}{\Delta t} - \frac{2a(\lambda_2 / \Delta X_2)}{2(\Delta X_2)^2} \right\} T_1 + \frac{a}{2(\Delta X_2)^2} T_2 + \frac{2a(\lambda_1 / \Delta X_1)}{\lambda_1 / \Delta X_1 + \lambda_2 / \Delta X_2} T_n \\ = -\frac{T_{1b}}{\Delta t} - B_b \end{aligned} \quad (1-61)$$

$$\text{ただし、} B_b = a_b \frac{T_{2b} - 3T_{1b} + 2T_{0b}}{2(\Delta X_2)^2} \quad (1-62)$$

また、定常問題では(1-60)式は次のようになります。ただし、 $a$ は境界条件に合わせるために付けておきます。

$$a \frac{T_2 - \left( 3 - 2 \frac{(\lambda_2 / \Delta X_2)}{\lambda_1 / \Delta X_1 + \lambda_2 / \Delta X_2} \right) T_1 + 2 \frac{(\lambda_1 / \Delta X_1) T_n}{\lambda_1 / \Delta X_1 + \lambda_2 / \Delta X_2}}{(\Delta X_2)^2} = 0 \quad (1-60S)$$

## 1.8 全体の差分方程式

以上で導出してきた各メッシュの差分式を、全メッシュについて合わせると全体の差分方程式が次式の形で得られます。

$$[K]\{T\} = \{F\} \quad (1-63)$$

ただし、 $[K]$ ：全体の熱伝導差分マトリックス

$\{T\}$ ：全メッシュ点の温度ベクトル

$\{F\}$ ：全体の右辺ベクトル

微小時間間隔 $\Delta t$ を設定すれば、行列 $[K]$ と右辺ベクトル $\{F\}$ はすべて既知となるので、(1-63)式を解いて温度ベクトル $\{T\}$ を求めることができます。その際、行列 $[K]$ はバンド幅3のいわゆるバンドマトリックス形となり、バンドマトリックスの解法により方程式を解くことができます。バンド幅が3となることは、各メッシュの差分式で、その両隣のメッシュの温度しか関係しないことから容易にわかります。

## 1.9 微小時間間隔 $\Delta t$ の設定方法

上記の差分方程式において、微小時間間隔 $\Delta t$ 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、 $\Delta t$ も大きな値に設定できます。

本ソフトでは、 $\Delta t$ として、計算開始のステップだけはユーザー入力値を使用しますが、2回目以降の計算ステップでは各メッシュの温度変化量が許容値以下になるように自動設定しています。

また、次式による $\Delta t$ の上限制約を選択することも可能です。もし発散を生じるときは、 $\Delta t$ の上限制約により防止できます。

$$\Delta t \leq \frac{\Delta X^2}{a} \quad (1-64)$$

#### 1.10 複数ステップとサイクルの関係

本ソフトでは、両端の境界条件について、単一だけでなく、複数のステップで切替変更することができます。その切替変更は、異種の境界でも構いません。

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1-7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。

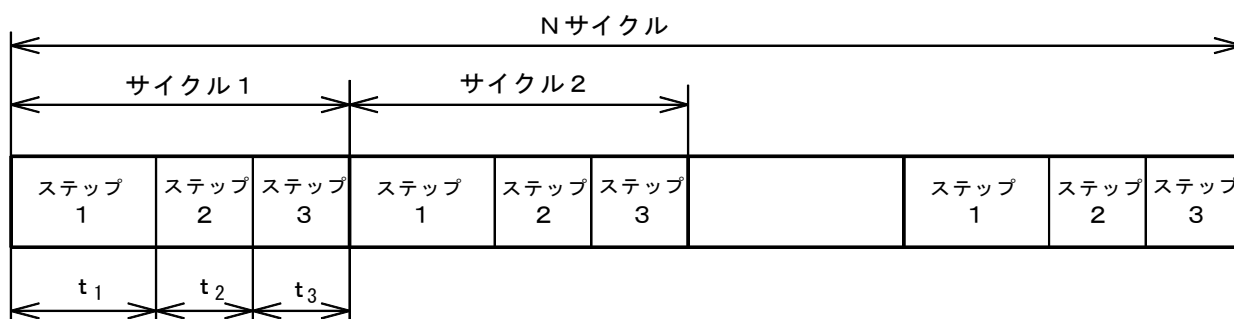


図1-7 境界条件の複数ステップとサイクルの関係（ステップ数3の例）

## 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 1 D

本ソフトは両端に境界を有する1次元の熱伝導解析を行なうもので、定常および非定常の解析が可能です。

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「データ」、「計算」、「後処理」、「終了」の4つです。「データ」メニューでは入力データを作成し、「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を作画します。そして、ソフトを終了させる際は、「終了」をクリックします。

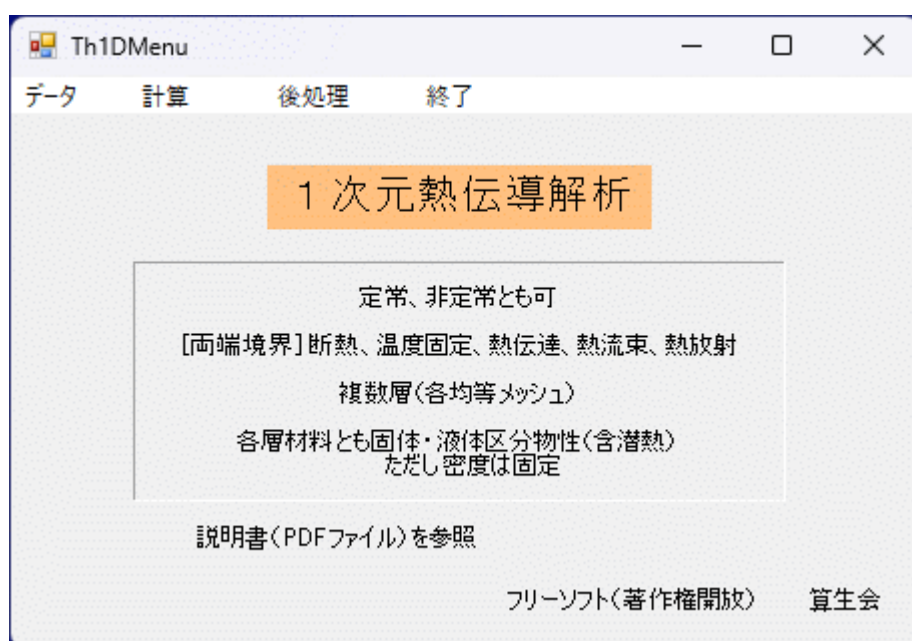


図2-1 「T h e r m 1 D」ソフトのメニュー画面

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Th1DMenuモジュール\*で制御し、その下に「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。

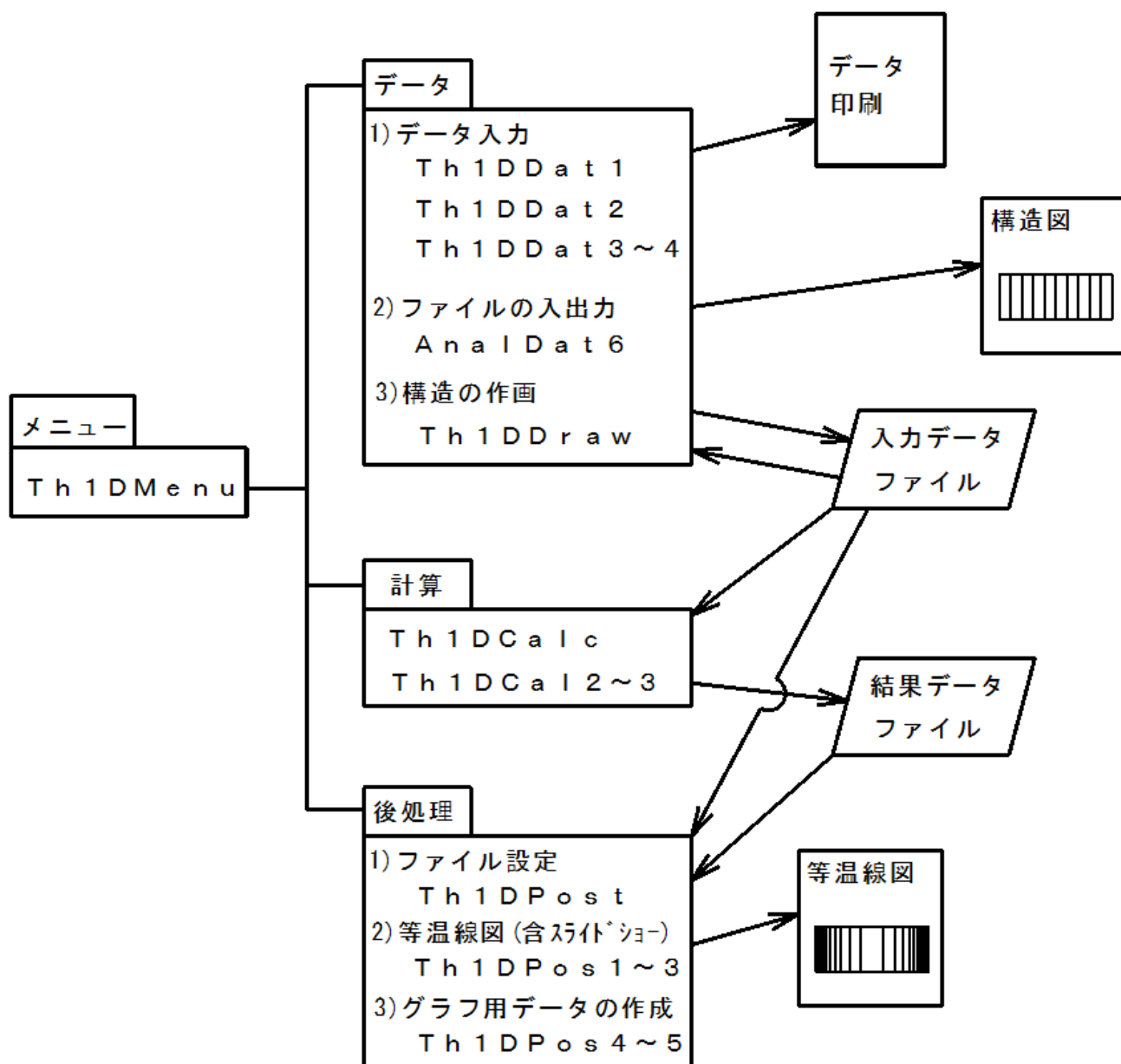


図2-2 「Therm1D」ソフトのプログラム構成

表2-1に本ソフトのファイルリストを示します。同表で、〔データ〕のTh1DDat1～Th1DDat4は、各種データを画面入力するためのものです。特に、Th1DDat2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 「Therm1D」ソフトのファイルリスト

〔全般〕

ファイル名	内 容
Th1DCom. vb	共通変数の宣言とサブルーチンの定義
Th1DMenu. vb	メニューの提示・選択

〔データ〕

ファイル名	内 容
Th1DDat1. vb	データ仕様の入力
Th1DDat2. vb	各データの入力
Th1DDat3. vb	個別の初期値データの入力
Th1DDat4. vb	材料データの入力
AnalDat6. vb	データファイルの入出力
Th1DDraw. vb	構造の作画

〔計算〕

ファイル名	内 容
Th1DCalc. vb	計算に使用するファイルの設定
Th1DCal2. vb	計算実行の条件入力
Th1DCal3. vb	解析計算の実行

〔後処理〕

ファイル名	内 容
Th1DPost. vb	後処理に使用するファイルの設定
Th1DPos1. vb	等温線図の仕様設定
Th1DPos2. vb	等温線図の作画実行
Th1DPos3. vb	等温線図スライドショーの実行
Th1DPos4. vb	グラフ用データの仕様設定
Th1DPos5. vb	グラフ用データの作成



### 第3章 構造データの作り方

1次元構造ですので、構造データは容易に作成できます。一般的な構造モデルは、図1-1に示した通りです。以降では、図3-1に示す簡単なテストモデルを例に取り、構造データ作成について説明します。



〔材料物性〕 密度： $900\text{kg}/\text{m}^3$

温度範囲 (°C)	～ 150	～ 160	～ 250
比熱 (J / kg°C)	2400	11300	3000
熱伝導率 (W / m°C)	0.24	0.195	0.15

〔境界 1〕 温度固定

固定温度  $100^\circ\text{C}$

〔境界 2〕 熱伝達

外部温度  $50^\circ\text{C}$ 、熱伝達係数  $500\text{W}/\text{m}^2\text{°C}$

〔初期温度〕  $200^\circ\text{C}$  一様

図3-1 1次元熱伝導のテストモデル

1) 先ず熱伝導対象について、層の数と寸法を決めます。

層の数は、通常は材料種類毎に区分けした数としますが、同一材料部分でも細かなメッシュと粗いメッシュとに分けたい場合にはその分だけ増やせばよいです。図3-1の場合は、単一層を示しています。

また、層の寸法は1次元方向の長さのみ決めればよいです。ただし、層全体の幅（1次元方向とは直角方向）も作画用に入力します。

2) 各層のメッシュ数を決めます。

差分メッシュは、各層毎に均等分割です。従って、各層毎にメッシュ数を決めればよいです。メッシュ数は多いほど計算精度が向上しますので、必要に応じたメッシュ数を設定します。

### 3) 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。

図3-1の例では、温度区分を3段階にしていますが、150～160℃の比熱が非常に大きくなっているのは、固液相変化の潜熱を入れたためです。

注) 多段階は非定常解析でのみ可能です。定常解析では多段階はエラーとなります。

### 4) 両端の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を表3-1に示します。各境界の詳細は、第1章の1.3節を参照してください。

注) 両端境界と直角方向の幅両側は、熱の出入りがなく、断熱境界と同じです。

表3-1 境界条件一覧

境界種類	内 容
a) 断熱	熱の出入りなし
b) 温度固定	一定温度となるもの
c) 熱伝達	外部の一定温度体と熱伝達するもの
d) 熱流束	一定の熱量が流出入するもの
e) 熱放射	外部放射源との間で熱放射するもの

注) 熱放射は非定常解析でのみ可能です。

また、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。

注) 多ステップは非定常解析でのみ可能です。定常解析では多ステップはエラーとなります。

#### [境界条件の多ステップ設定]

両端境界において、境界条件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、両端で共通です。

注) 各ステップで異なる境界種類へ変更することもできます。

さらに、温度の初期値を結果データファイルから読み込んで設定し、境界条件を任意に変更することも可能です。

### 5) データの単位系

本ソフトでは、データの単位系は何でもよいですが、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。ただし、温度の単位は、

熱放射境界を用いる場合はすべて絶対温度Kを使用しなければなりません。熱放射境界を用いない場合は、°Cで構いません。

表3-2 S I 単位系

データ項目	単位	データ項目	単位
長さ	m	比熱	J / kg deg
熱量	J	密度	kg / m <sup>3</sup>
熱流束	W / m <sup>2</sup>	熱伝導率	W / m deg
熱伝達係数	W / m <sup>2</sup> deg		

注) deg : °CまたはK (熱放射境界の場合は必須)

## 第4章 「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「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、6つ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」→「バックアップファイル作成」にチェックを入れると、データ読み込み時にバックアップファイル（.bak）が自動作成されます。チェックを外すと作成されなくなります。

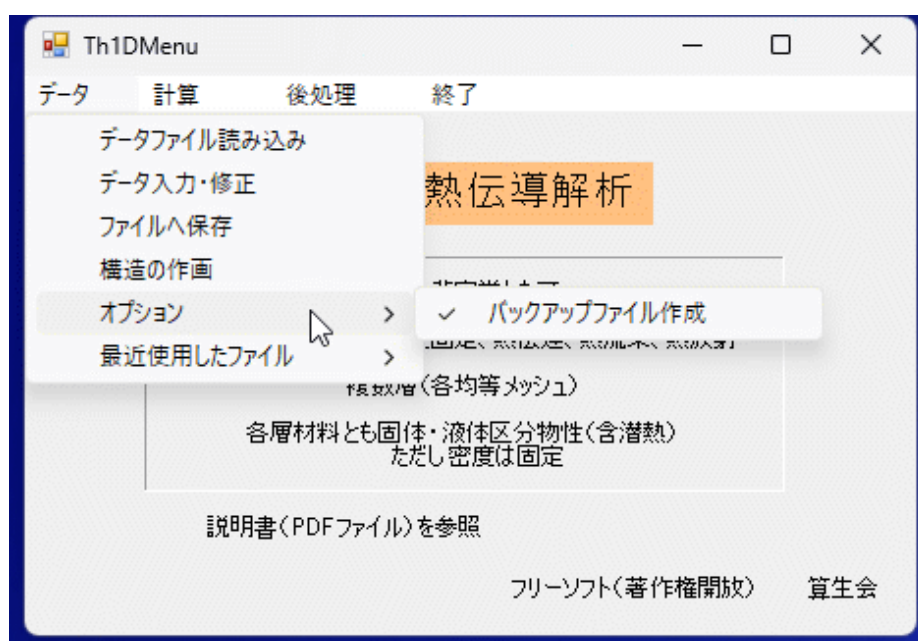


図4-1 「データ」サブメニュー画面

### 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。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、任意の題名を入力します。
- ②層の数、材料データの数、各構造モデルに応じて入力します。なお、層の数と材料の数は全く別個ですので、1つの材料を複数の層で使用しても構いません。
- ③伝熱体の幅（作画用）は、構造図を作画するために使用するもので、画面に作画する際の寸法バランスを考慮して、構造全長に対する長さを入力します。
- ④境界条件のステップ数を任意に設定できます。このステップ数は両端境界に共通で、

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、さらに両端境界の数値をステップ数分設定できます。

- ⑤初期値の入力方法は、「なし」、「各層で一括」、「各点個別」、「結果ファイル読み込み」のいずれかを選択します。
- a. 定常解析では「なし」とします。もし初期値を設定してあっても無視されます。他方、非定常解析では初期値の設定が必須です。
  - b. 初期温度が各層それぞれ一様である場合は、「各層で一括」を選択して1回の初期値入力でメッシュ点全部の初期温度を設定できます。
  - c. 初期温度が各層それぞれ一様でない場合は、「各点個別」を選択して、各メッシュ点毎に初期値を入力します。
  - d. 計算済みの結果を初期値に設定する場合は、「結果ファイル読み込み」を選択します。「結果ファイル読み込み」によりファイル読み込みが実行されると、その後は自動的に「各点個別」に移行します。
  - e. 既存データファイルの初期値が読み込まれた場合は、「各点個別」選択が初期表示されます。
- ⑥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。
- ⑦各データ入力終了すると、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 層データ入力画面

図4-3に層データ入力画面を示します。

- 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層の長さでメッシュ数を入力します。
  - ◇層の長さをメッシュ数で割った値が、1つの差分要素の長さとなります。
  - ◇1つの差分要素の長さは、各構造モデルに応じて、大きくなりすぎないようにし

ます。鉄のように熱伝導の良いものは、差分要素の長さを大きくできますが、プラスチックのように熱伝導の悪いものは要素長さを小さくする必要があります。

- 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。

- ④すべての層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材料物性区分数の入力画面に移ります。

図4-3 層データ入力画面

#### 4.5 材料物性区分数の入力画面

図4-4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。

◇定常解析の場合は、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。

#### 4.6 ステップ時間の入力画面

図4-5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。

The screenshot shows a window titled 'Th1DDat2' with a subtitle '材料の物性区分数の入力' (Input of material property region numbers). It contains a table with two columns: '材料番号' (Material Number) and '物性区分数' (Property Region Number). The first row has '1' in the first column and '3' in the second. Below the table is a large gray area. At the bottom are five buttons: '設定' (Settings), '戻る' (Back), 'コピー' (Copy), '貼り付け' (Paste), and '取り消し' (Cancel).

材料番号	物性区分数
1	3
*	

図4-4 材料物性区分数の入力画面

The screenshot shows a window titled 'Th1DDat2' with a subtitle 'ステップ時間の入力' (Input of step time). Below the subtitle is the instruction '境界条件の各ステップ時間を入力してください。' (Please input the step time for each boundary condition). It contains a table with two columns: '番号' (Number) and 'ステップ時間' (Step Time). The first three rows have '1', '2', and '3' in the first column and '6', '4', and '5' in the second. Below the table is a large gray area. At the bottom are five buttons: '設定' (Settings), '戻る' (Back), 'コピー' (Copy), '貼り付け' (Paste), and '取り消し' (Cancel).

番号	ステップ時間
1	6
2	4
3	5
*	

図4-5 ステップ時間の入力画面

#### 4.7 左端境界のデータ入力画面

図4-6、4-7に左端境界のデータ入力画面を示します。図4-6はステップ数が1の場合、図4-7はステップ数が3の場合です。

①ステップ番号の順に境界条件を入力します。

◇境界種類は、次の5種類から対応の番号0～4を入力します。

0：断熱、          1：温度固定、      2：熱伝達、  
3：熱流束、      4：熱放射

◇データ1，2には、各境界種類に応じて下記のデータを入力します。ただし、データが1個だけの場合は、データ2は無視されます。

〔断熱〕なし          〔温度固定〕温度          〔熱伝達〕外部温度、熱伝達率  
〔熱流束〕流出熱量      〔熱放射〕外の温度、放射係数

②ステップ数が2以上の場合、各ステップ番号における境界種類が異なっても構いません。

③すべての左端境界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4-6 左端境界のデータ入力画面（ステップ数1の場合）



境界1のデータ入力

[境界種類] 0:断熱、1:温度固定、2:熱伝達、3:熱流束、4:熱放射  
 <各データ> [断熱] なし [温度固定] 温度 [熱伝達] 外部温度、熱伝達率  
 [熱流束] 流出熱量 [熱放射] 外の温度、放射係数

	ステップ番号	境界種類	データ1	データ2
▶	1	1	100	0
	2	1	50	0
	3	2	80	300
*				

設定 戻る コピー 貼り付け 取り消し

図4-7 左端境界条件データ入力画面（ステップ数3の場合）

#### 4.8 右端境界のデータ入力画面

図4-8に左端境界のデータ入力画面を示します。本図はステップ数が1の場合で、他は4.7節と全く同様です。

境界2のデータ入力

[境界種類] 0:断熱、1:温度固定、2:熱伝達、3:熱流束、4:熱放射  
 <各データ> [断熱] なし [温度固定] 温度 [熱伝達] 外部温度、熱伝達率  
 [熱流束] 流出熱量 [熱放射] 外の温度、放射係数

	ステップ番号	境界種類	データ1	データ2
▶	1	2	50	500
*				

設定 戻る コピー 貼り付け 取り消し

図4-8 右端境界のデータ入力画面（ステップ数1の場合）

#### 4.9 初期値データ入力画面

本入力は、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。

##### 1) 「各層で一括」の場合

図4-9に一括設定の初期値データ入力画面を示します。

①一括設定する初期温度を入力します。

②初期温度を入力し終ったなら、「設定」ボタンをクリックして3)の「各点個別」に移行します。

層の番号	初期温度
1	200

図4-9 初期値データの一括入力画面

##### 2) 「結果ファイル読み込み」の場合

図4-10のコモンダイアログ画面となりますので、Therm1D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4-11または図4-12の入力画面が出ます。

図4-11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4-12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4-13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。

結果ファイルにより初期値が設定された後は、次項の「各点個別」に移行します。

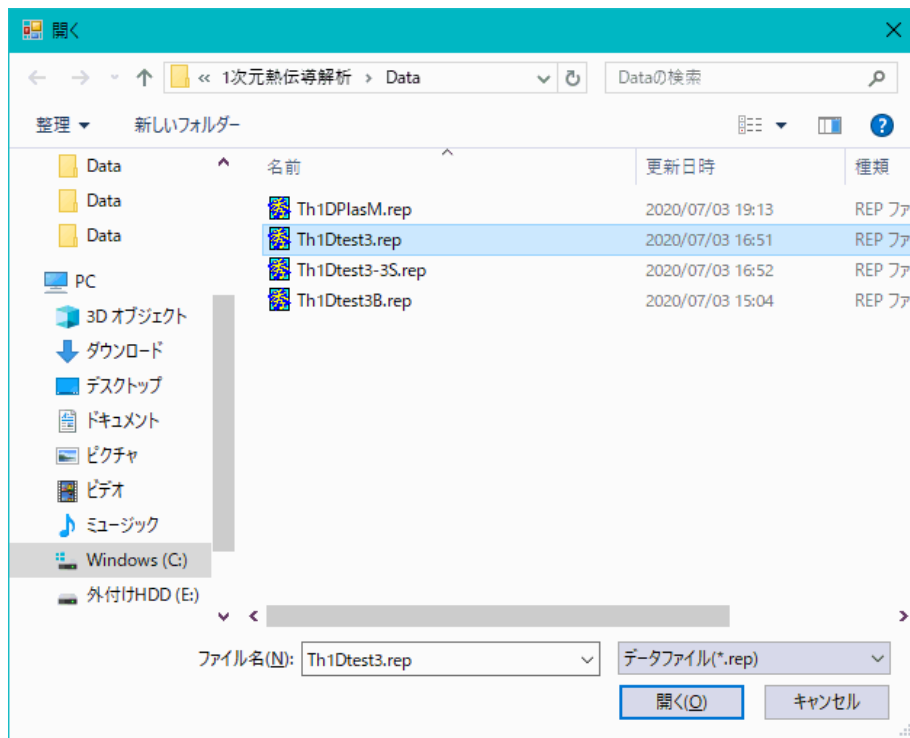


図4-10 Therm1D結果ファイル選択のコモンダイログ画面

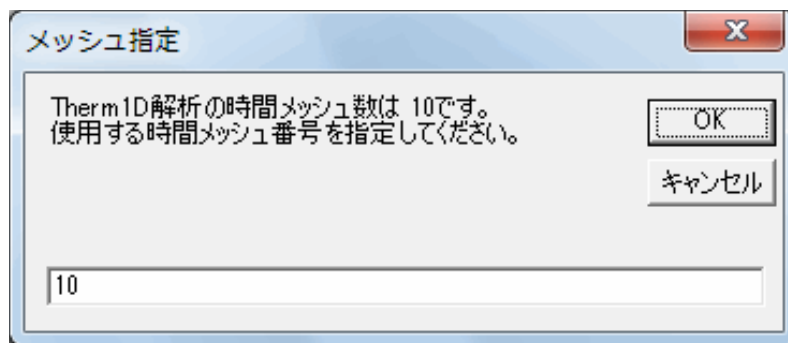


図4-11 解析結果の時間メッシュ指定画面（ステップ数1の場合）

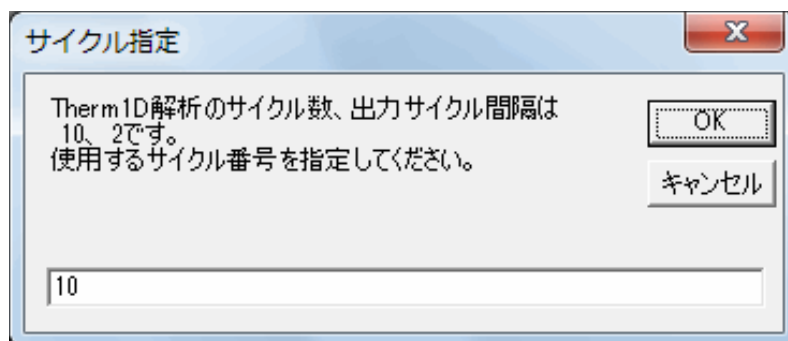


図4-12 解析結果のサイクル番号指定画面（ステップ数2以上の場合）

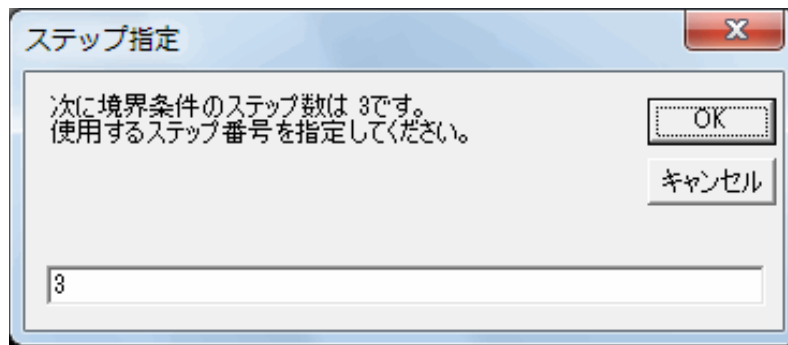


図4-13 解析結果のステップ番号指定画面（ステップ数2以上の場合）

### 3) 「各点個別」の場合

図4-14に個別設定の初期値データ入力画面を示します。

- ①本画面では層毎に各メッシュ点毎の初期温度を入力します。
- ②「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。
- ③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。層の数が複数の場合は、順次、次の層番号のデータ入力画面に移ります。すべての層番号について終了すると、次の材料データ入力画面に移ります。

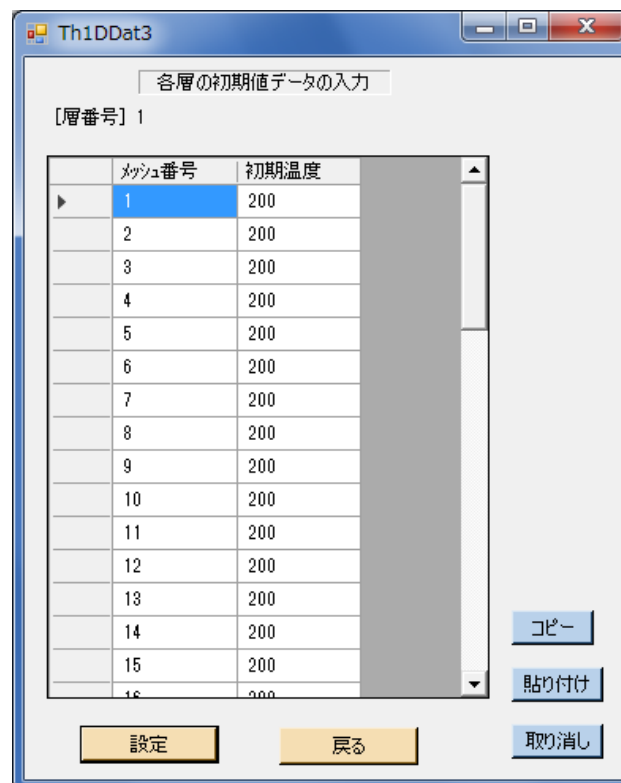


図4-14 初期値データの個別入力画面

## 4. 10 材料データ入力画面

図4-15に材料データ入力画面を示します。

- 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「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。

区分番号	比熱	熱伝導率	上限温度
1	2400	.24	150
2	11300	.195	160
3	3000	.15	250
*			

図4-15 材料データ入力画面

#### 4.11 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4-16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。

```

プログラム名, Therm1D
1次元熱伝導解析テスト
層の数, 1
材料データ数, 1
境界条件のステップ数, 1
伝熱体の幅（作画用）, .0025
初期値データの有無, 1
各層の形状データ（層番号、材料番号、長さ、分割メッシュ数）
    1,    1,    .01,    50
各材料の物性区分数（材料番号、区分数）
    1,    3
各材料の物性データ
材料番号, 1
    密度, 900
    区分番号、比熱、熱伝導率、上限温度
        1,    2400,    .24,    150
        2,    11300,    .195,    160
        3,    3000,    .15,    250
両端境界のデータ
境界番号, 1
    ステップ番号、境界種類（0:断熱、1:温度固定、2:熱伝達、3:熱流束、4:熱放射）、各データ
    1,    1,    100,    0
境界番号, 2
    ステップ番号、境界種類（0:断熱、1:温度固定、2:熱伝達、3:熱流束、4:熱放射）、各データ
    1,    2,    50,    500
初期温度データ（メッシュ番号、温度）
層番号, 1
    1,    200
    2,    200
    3,    200
    4,    200
    5,    200
    . . . . .
    . . . . .
    46,    200
    47,    200
    48,    200
    49,    200
    50,    200

```

図4-16 入力データファイル例

#### 4.12 構造の作画

サブメニューの「構造の作画」を選択すると、要素分割した構造図が画面に作画されます。図4-17に構造作画の画面例を示します。

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本画面左側のテキストボックスで、作画の層番号を指定できます。

◇層番号を入力してから、「再描画」ボタンをクリックすると、指定した層だけの構造図が作画されます。

注) 本例の場合は層の数が1つだけですので、層番号の指定は関係ありません。

◇指定した層の構造図を作画した後、再び全層を作画させるには、「全層作画」ボタンをクリックします。

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。



図4-17 構造作画の画面例

#### 4.13 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。



## 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。同図のように定常解析と非定常解析の2つのサブメニューがあります。いずれかをクリックすると、次の「計算」ファイル設定画面に移ります。

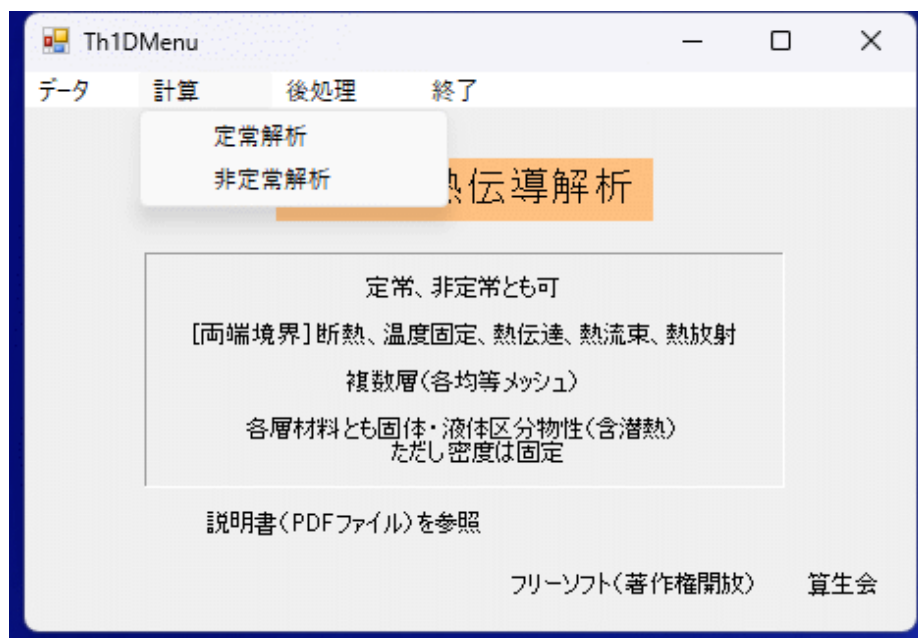


図5-1 「計算」サブメニュー画面

### 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、「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。

### 5.3 非定常計算の条件入力画面

図5-3、図5-4に条件入力画面を示します。図5-3は境界条件のステップ数が1の場合、図5-4はステップ数が2以上の場合の画面です。先ず図5-3について説明します。

①先ず、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。

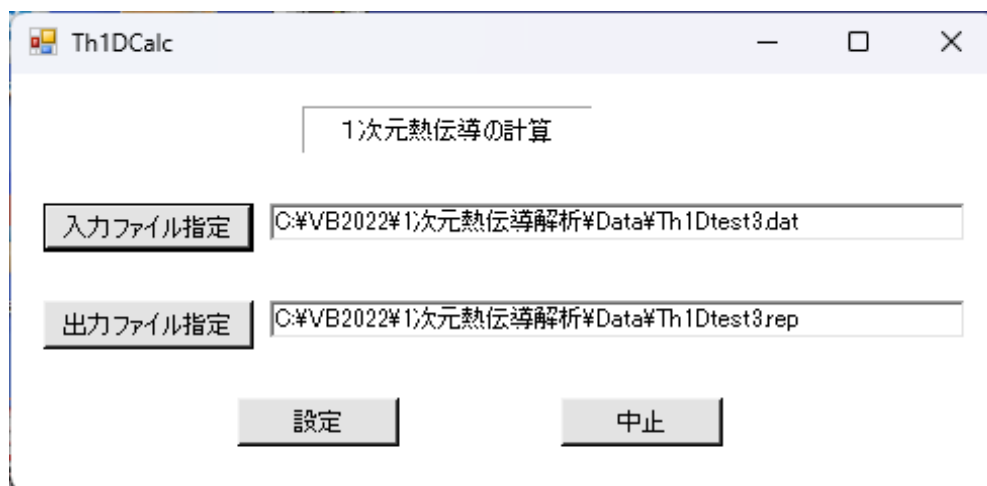


図5-2 「計算」 ファイル設定画面

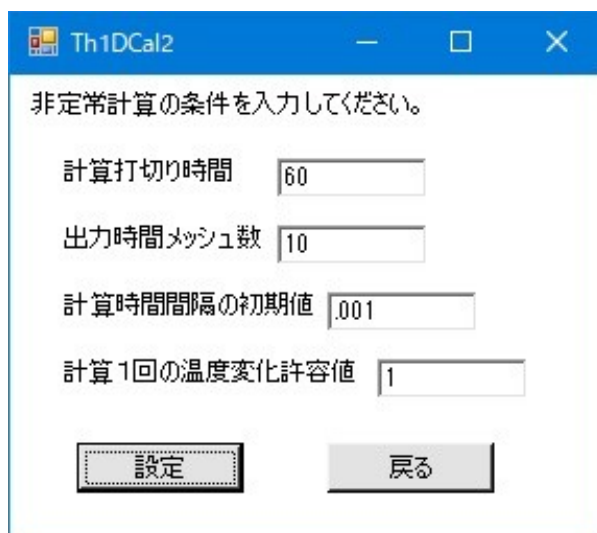


図5-3 非定常計算の条件入力画面（ステップ数1の場合）

他方の図5-4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5-4 非定常計算の条件入力画面（ステップ数2以上の場合）

#### 5.4 計算終了

図5-5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ますが、本例では0sとなっており、1s未満で終了しています。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。

変数項目、値、	層番号、メッシュ番号、時間
TempMin, 70.74,	1, R, 60
TempMax, 200,	1, 1, 0

図5-5 計算終了画面

## 5.5 計算結果

上記5.1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5-6～8に結果ファイルへの出力例を示します。図5-6は定常解析の場合、図5-7はステップ数1の非定常解析の場合、図5-8はステップ数2以上の場合です。

先ず、図5-6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境界 1 側（本例では温度固定）の表面温度が100と出力されています。
- ②各層の順番に出力されます。
- ③全メッシュ点の番号と温度が出力されています。
- ④境界 2 側（本例では熱伝達境界）の表面温度が52.29と出力されています。
- ⑤最低・最高温度データとして、それらの値、層番号、メッシュ番号が出力されています。
- ⑥最後に計算時間も出力されます（本例では0s）。

次に、図5-7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計算時間間隔の初期値0.001と、計算 1 回の温度変化許容値1が出力されています。
- ②各出力メッシュ毎に、時間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。
- ③時間メッシュ1、時間10において、境界および全メッシュ点について温度が出力されています。
- ④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。
- ⑤最低・最高温度データとして、それらの値、層番号、メッシュ番号、時間が出力されています。
- ⑥最後に計算時間も出力されます（本例では0s）。

また、図5-8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21において、境界 1 側、各層、境界 2 側の順に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25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、層番号、メッシュ番号、時間が出力されています。
- ⑤最後に計算時間も出力されています（本例では3s）。

<< 1次元熱伝導解析の計算結果>>

1次元熱伝導解析テスト

[入力データファイル], C:\¥VB2022¥1次元熱伝導解析¥Data¥Th1Dtest3B. dat

解析種類 (0: 定常、1: 非定常), 0

<境界番号、表面温度>, 1, 100

①

<層番号>, 1

②

(メッシュ番号、温度)

③

1, 99.52  
2, 98.57  
3, 97.61  
4, 96.66  
5, 95.71  
6, 94.75  
7, 93.8  
8, 92.84  
9, 91.89  
10, 90.94  
11, 89.98  
12, 89.03  
13, 88.07  
14, 87.12  
15, 86.16

. . . . .  
. . . . .

36, 66.13  
37, 65.17  
38, 64.22  
39, 63.26  
40, 62.31  
41, 61.35  
42, 60.4  
43, 59.45  
44, 58.49  
45, 57.54  
46, 56.58  
47, 55.63  
48, 54.68  
49, 53.72  
50, 52.77

<境界番号、表面温度>, 2, 52.29

④

<最低・最高温度データ>

⑤

注) メッシュ番号の記号 L: 層左端、R: 層右端

変数項目、 値、 層番号、メッシュ番号

TempMin, 52.29,

1,

R

TempMax, 100,

1,

L

END 0h 0min 0s

⑥

図5-6 結果ファイルへの出力例 (定常解析)

```

<< 1次元熱伝導解析の計算結果>>
1次元熱伝導解析テスト
[入力データファイル], C:\¥VB2022¥1次元熱伝導解析¥Data¥Th1Dtest3. dat
解析種類 (0:定常、1:非定常), 1
計算打ち切り時間, 60, 出力時間メッシュ数, 6
計算時間間隔の初期値, .001, 計算1回の温度変化許容値, 1 ①
-----
<時間メッシュ番号、時間>, 0, 0 ②
<境界番号、表面温度>, 1, 100
<層番号>, 1
(メッシュ番号、温度)
1, 200
2, 200
3, 200
. . . . .
. . . . .
48, 200
49, 200
50, 200
<境界番号、表面温度>, 2, 162.5
-----
<時間メッシュ番号、時間>, 1, 10 ③
<境界番号、表面温度>, 1, 100
<層番号>, 1
(メッシュ番号、温度)
1, 107.84
2, 123.4
3, 138.63
4, 153.32
5, 163.78
. . . . .
. . . . .
47, 157.24
48, 141.03
49, 123.79
50, 105.52
<境界番号、表面温度>, 2, 95.95
-----
<時間メッシュ番号、時間>, 2, 20 ④
. . . . .
. . . . .
<最低・最高温度データ> ⑤
注) メッシュ番号の記号 L: 層左端、R: 層右端
変数項目、 値、 層番号、メッシュ番号、 時間
TempMin, 70.74, 1, R, 60
TempMax, 200, 1, 1, 0
END 0h 0min 0s ⑥

```

図5-7 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）

```

<< 1次元熱伝導解析の計算結果>>
1次元熱伝導解析テスト（境界3ステップ）
[入力データファイル] , C:\¥VB2022¥1次元熱伝導解析¥Data¥Th1Dtest3-3S. 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, 3
計算時間間隔の初期値, .001, 計算1回の温度変化許容値, 1
-----
<サイクル番号、ステップ番号、時間>, 0, 0, 0 ①
<境界番号、表面温度>, 1, 100
<層番号>, 1
(メッシュ番号、温度)
1, 200
2, 200
3, 200
. . . . .
. . . . .
48, 200
49, 200
50, 200
<境界番号、表面温度>, 2, 162.5
-----
<サイクル番号、ステップ番号、時間>, 2, 1, 21 ②
<境界番号、表面温度>, 1, 100
<層番号>, 1
(メッシュ番号、温度)
1, 104.98
2, 114.91
3, 124.74
4, 134.41
. . . . .
. . . . .
47, 142.21
48, 128.22
49, 113.31
50, 97.58
<境界番号、表面温度>, 2, 89.37
-----
<サイクル番号、ステップ番号、時間>, 2, 2, 25 ③
. . . . .
. . . . .
<最低・最高温度データ> ④
注) メッシュ番号の記号 L: 層左端、R: 層右端
変数項目、 値、 層番号、メッシュ番号、 時間
TempMin, 50, 1, L, 25
TempMax, 200, 1, 1, 0
END 0h 0min 3s ⑤

```

図5-8 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）

## 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、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。

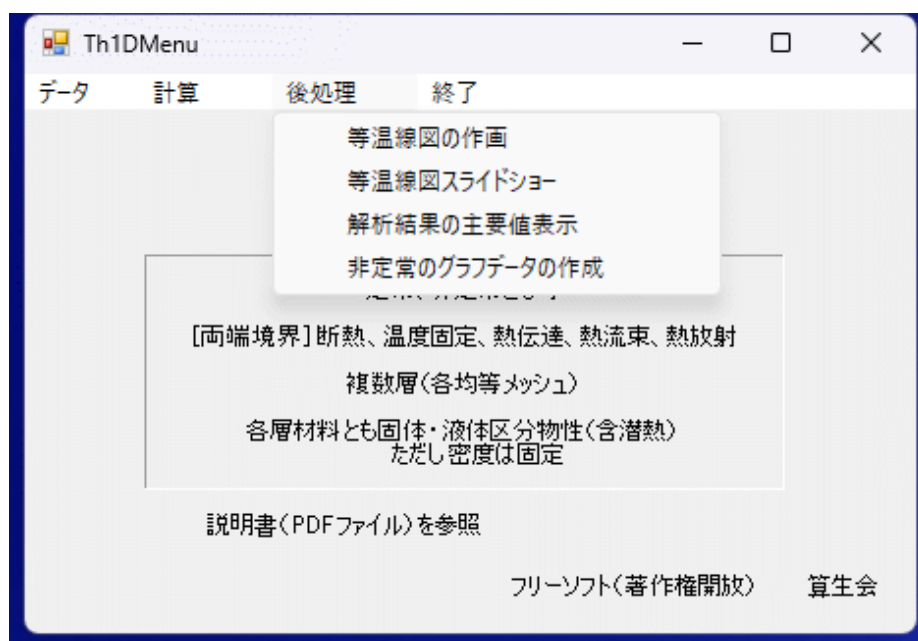


図6-1 「後処理」サブメニュー画面

### 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。



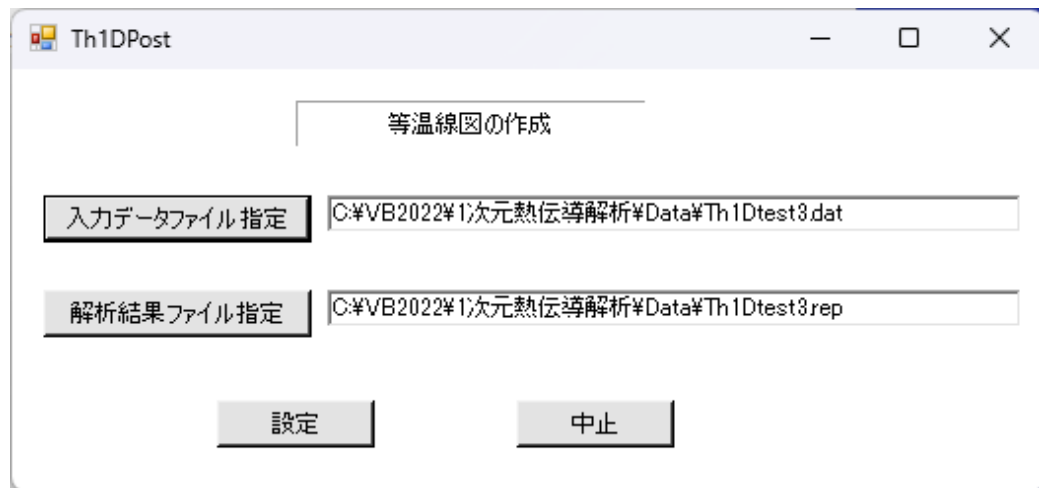
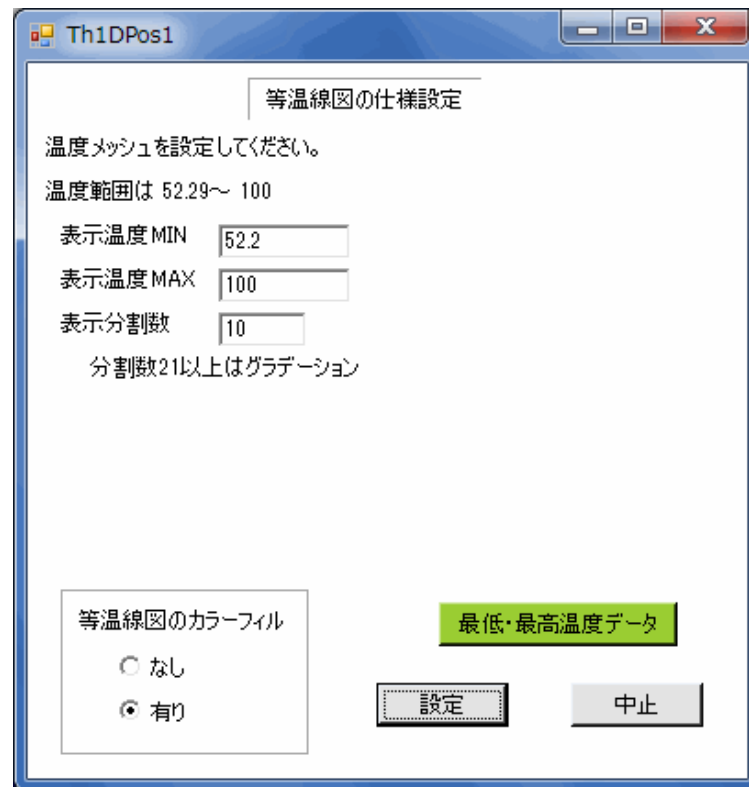


図6-2 使用ファイル設定画面

### 6.3 等温線図の仕様設定画面

図6-3～6に等温線図の仕様設定画面を示します。図6-3は「等温線図の作画」で定常解析の場合、図6-4は同じく境界条件のステップ数1の非定常解析の場合（複数層）、図6-5は同じくステップ数2以上の非定常解析の場合、図6-6は「等温線図スライドショー」の場合です。これらの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以上にすると、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128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また、図6-4のように層の数が複数の場合は、画面表示する層番号の範囲も入力します。通常は全層範囲となることが多いので、要素番号に0を入れれば全層指定としています。
- ③図6-4では、さらに出力する時間メッシュ番号も入力します。
  - ◇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。
  - ◇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、等温線図のカラーフィルについて、なしか有りかを選択します。
  - ◇カラーフィル有りの場合は、各等温線の間が色塗りされ、全面カラー図となります。デフォルトではカラーフィル有りとしています。
  - ◇グラデーションの場合は、カラーフィル有無の選択には無関係です。
- 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6-7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。



Th1DPos1

等温線図の仕様設定

温度メッシュを設定してください。  
温度範囲は 52.29 ~ 100

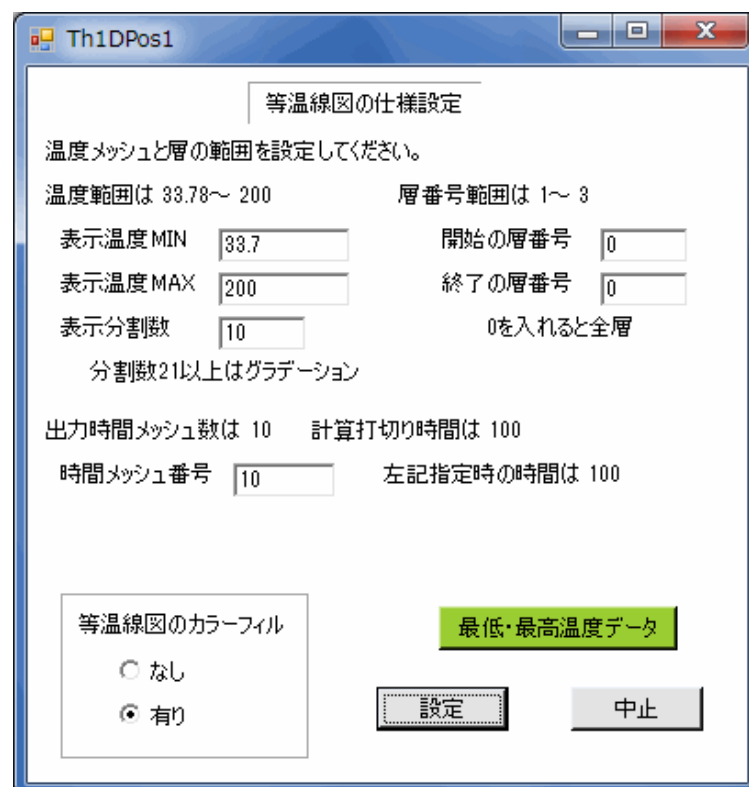
表示温度 MIN 52.2  
表示温度 MAX 100  
表示分割数 10  
分割数21以上はグラデーション

等温線図のカラーフィル  
☐ なし  
☒ 有り

最低・最高温度データ

設定 中止

図6-3 等温線図の仕様設定画面（定常解析）



Th1DPos1

等温線図の仕様設定

温度メッシュと層の範囲を設定してください。  
温度範囲は 33.78 ~ 200 層番号範囲は 1 ~ 3

表示温度 MIN 33.7 開始の層番号 0  
表示温度 MAX 200 終了の層番号 0  
表示分割数 10 0を入れると全層  
分割数21以上はグラデーション

出力時間メッシュ数は 10 計算打ち切り時間は 100  
時間メッシュ番号 10 左記指定時の時間は 100

等温線図のカラーフィル  
☐ なし  
☒ 有り

最低・最高温度データ

設定 中止

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、複数層）

Th1DPos1

等温線図の仕様設定

温度メッシュを設定してください。

温度範囲は 50～ 200

表示温度 MIN 50

表示温度 MAX 200

表示分割数 10

分割数21以上はグラデーション

計算サイクル数は 10 境界条件のステップ数は 3

サイクル番号 10 出力サイクル間隔は 2

ステップ番号 3 左記終了の時間は 150

等温線図のカラーフィル

☐ なし

☒ 有り

最低・最高温度データ

設定 中止

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）

Th1DPos1

等温線図の仕様設定

温度メッシュを設定してください。

温度範囲は 70.74～ 200

表示温度 MIN 70.7

表示温度 MAX 200

表示分割数 10

分割数21以上はグラデーション

等温線図のカラーフィル

☐ なし

☒ 有り

最低・最高温度データ

設定 中止

図6-6 等温線図の仕様設定画面（非定常解析、スライドショーの場合）

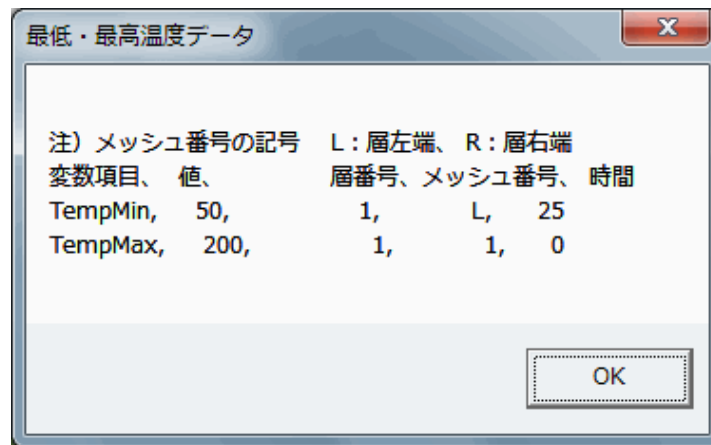


図6-7 最低・最高温度データの表示例（非定常解析の場合）

#### 6.4 等温線図の作画画面

図6-8～11に等温線図の作画画面を示します。図6-8は定常解析の場合、図6-9は境界条件のステップ数1の非定常解析の場合、図6-10はそのグラデーションです。また、図6-11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それらの図のように、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6-10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「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。
- ③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。
- ④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。
- ⑤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。

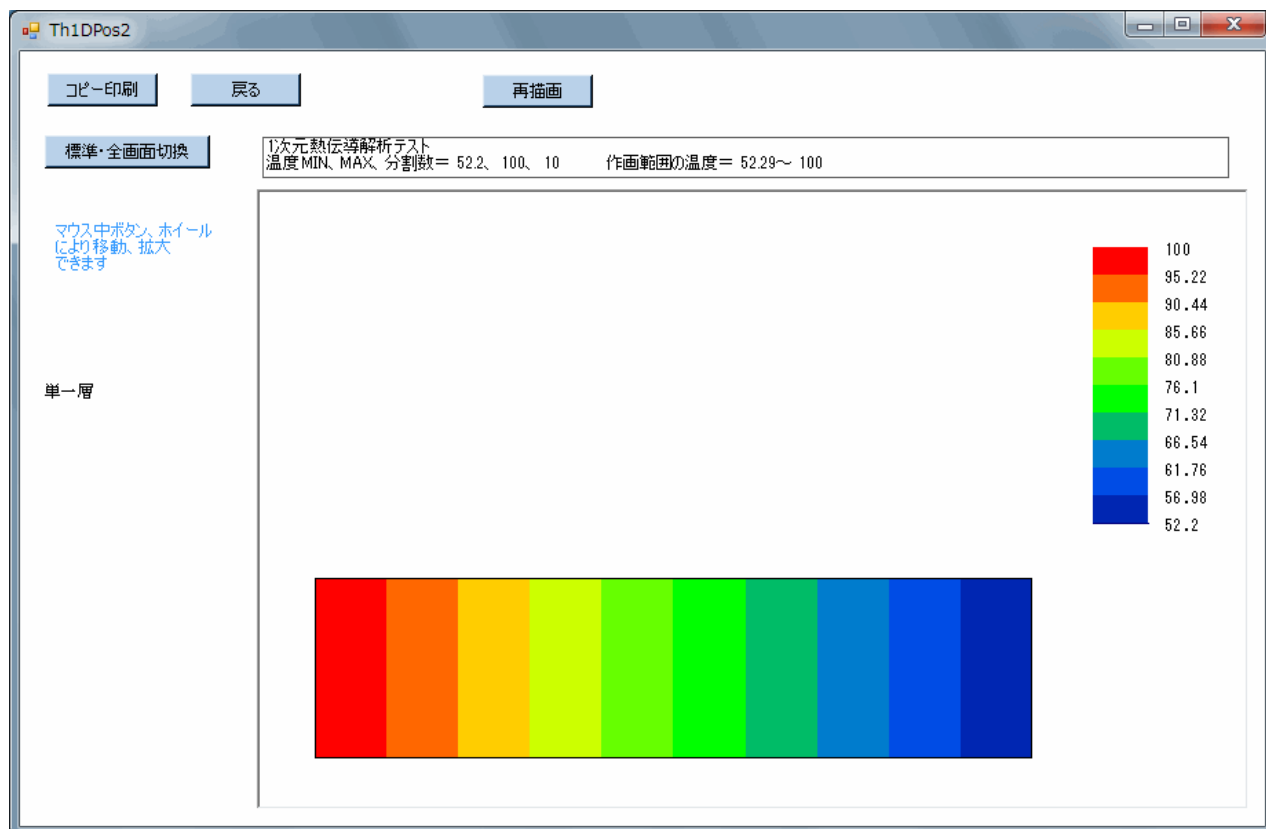


図6-8 等温線図の作画画面（定常解析）

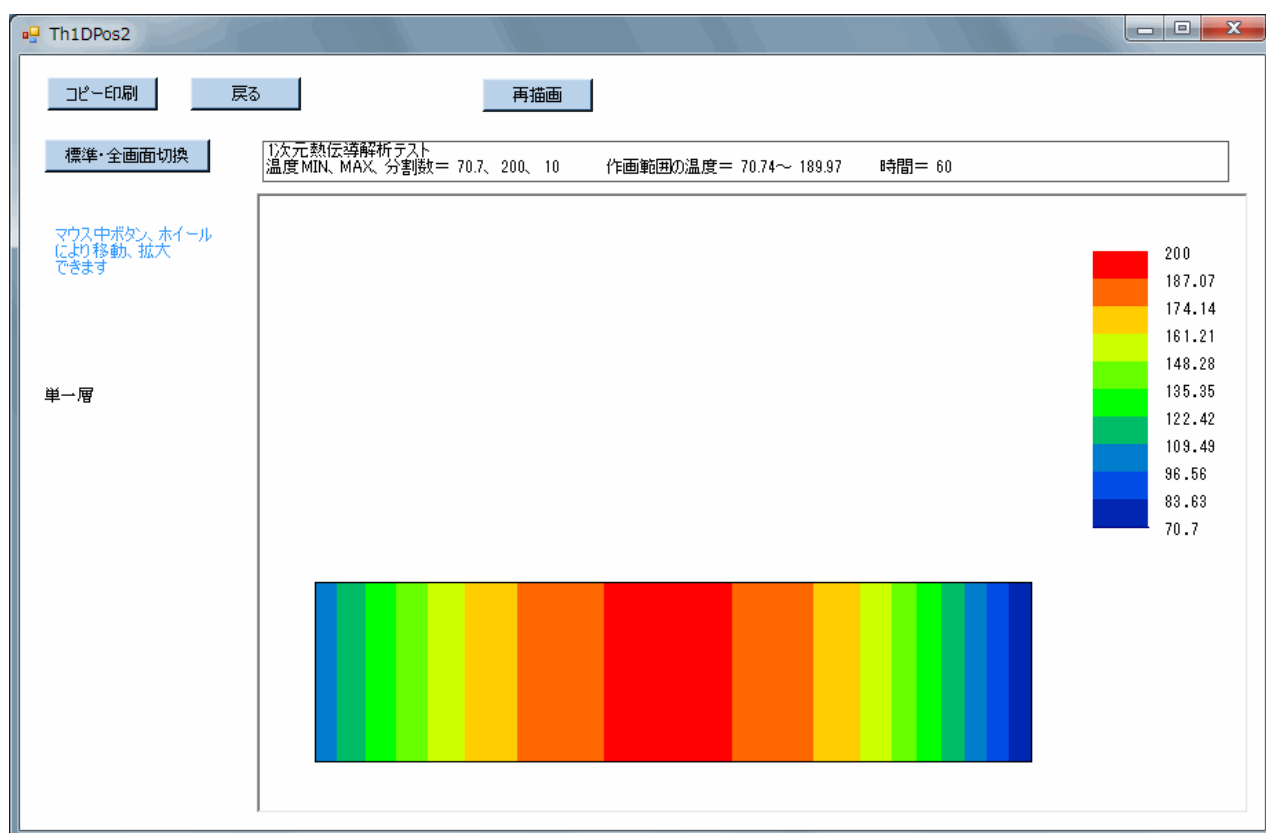


図6-9 等温線図の作画画面（非定常解析、ステップ数1の場合）

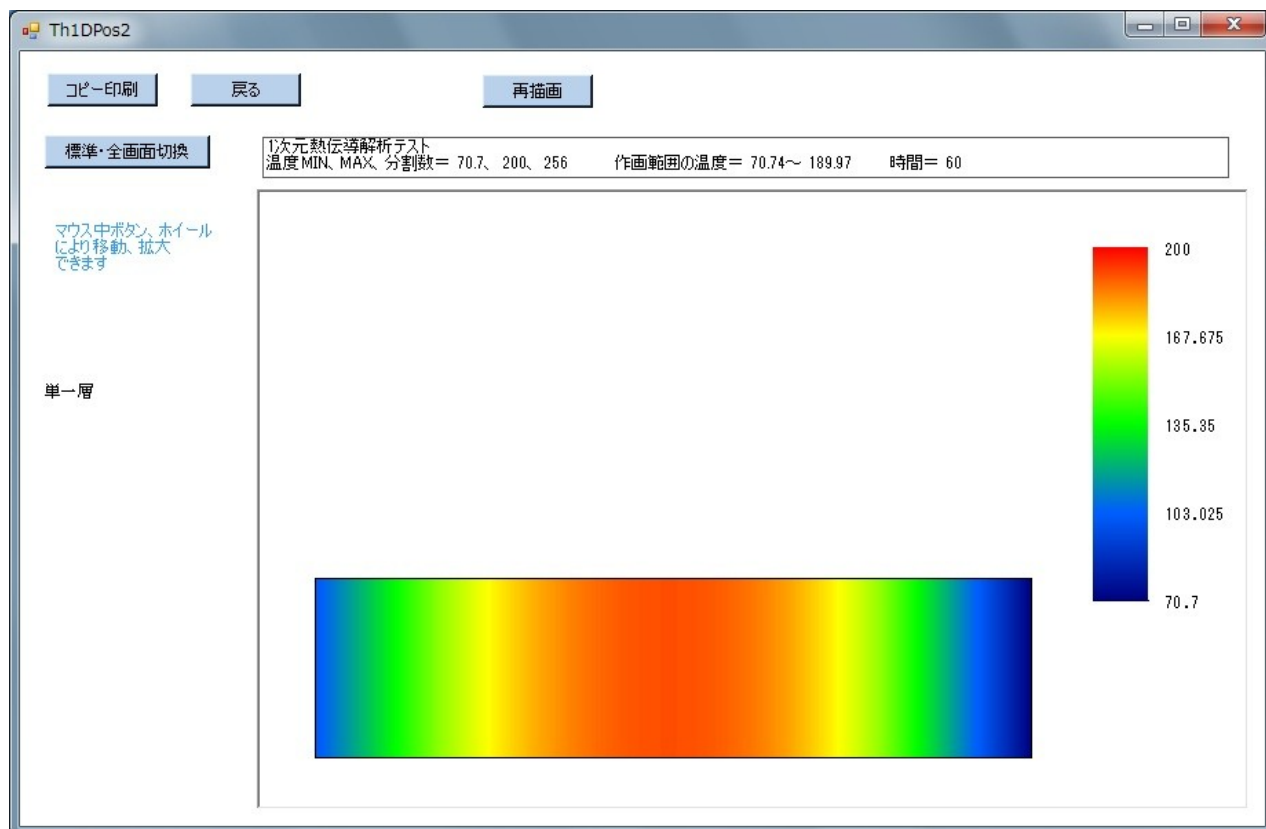


図6-10 等温線図の作画画面（グラデーション、非定常解析、ステップ数1の場合）

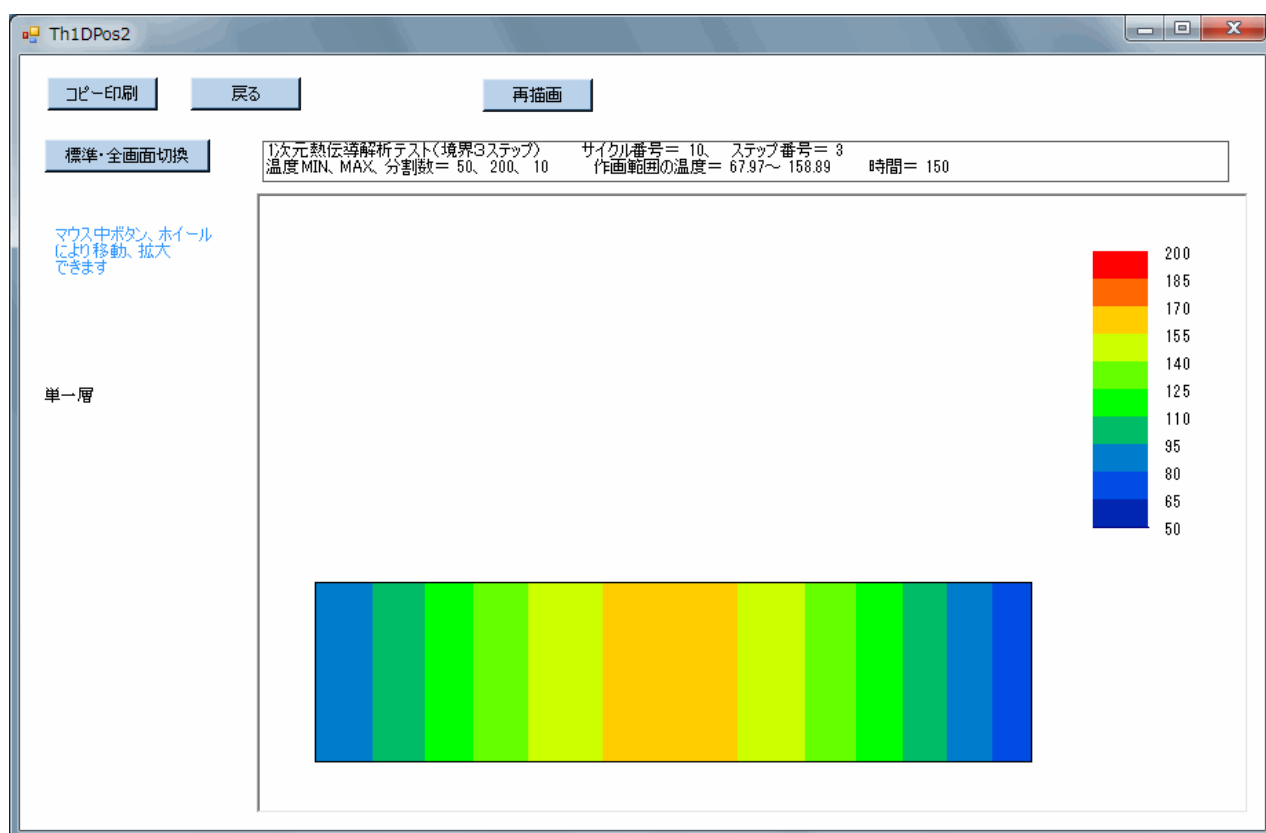


図6-11 等温線図の作画画面（非定常解析、ステップ数2以上の場合）

## 6.5 等温線図スライドショーの画面

図6-12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「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6-13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。

- ③「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。

- 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。

- ⑤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。

- ⑥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6-14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。

- ⑦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。

- 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。

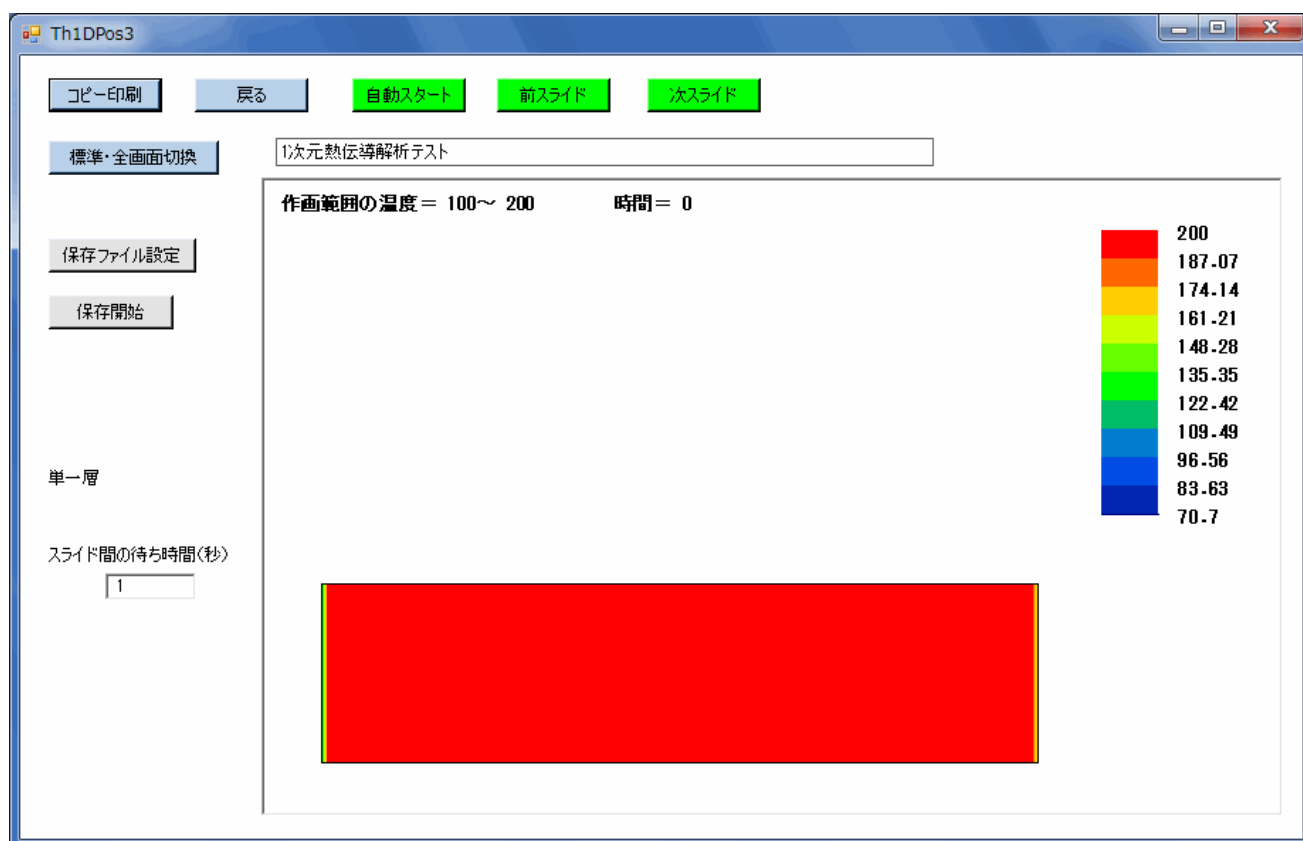


図6-12 等温線図スライドショーの初期画面

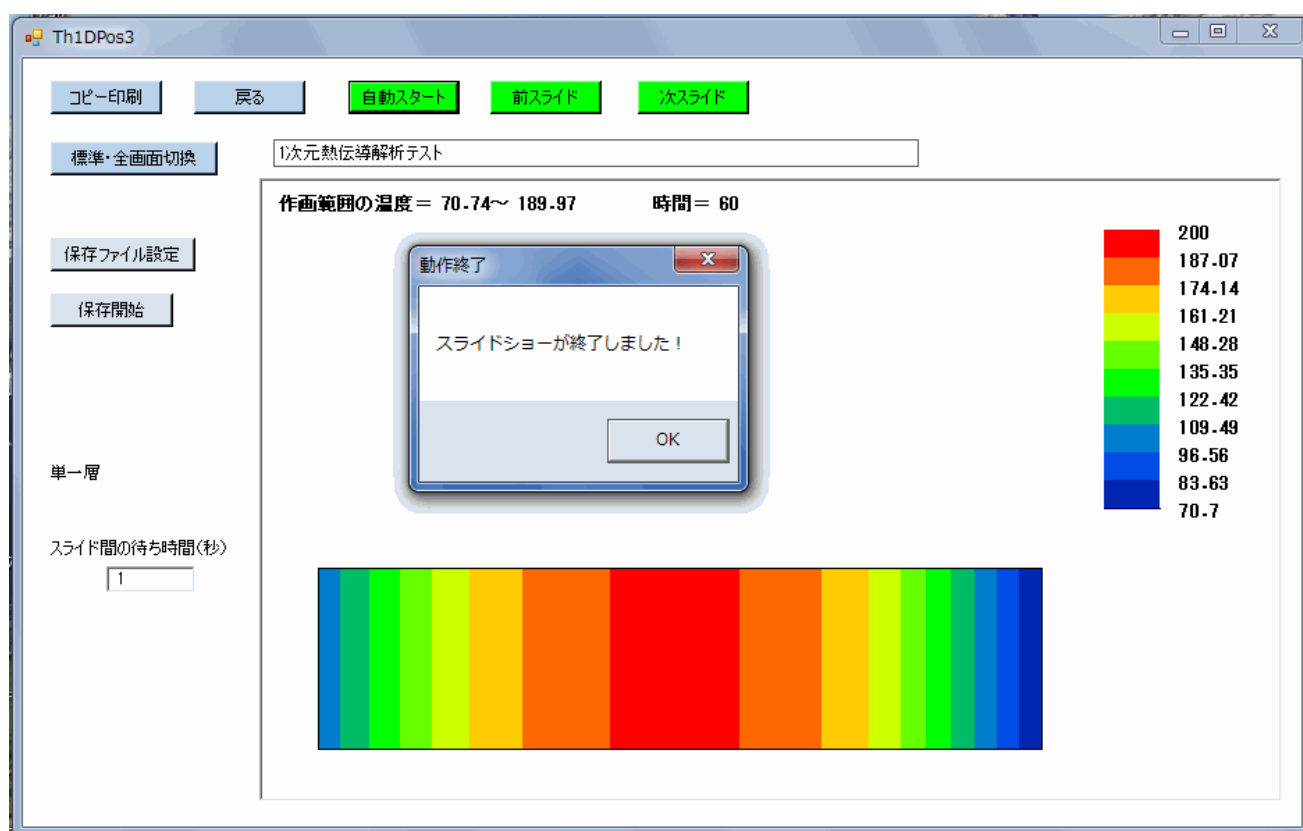


図6-13 等温線図スライドショーの終了画面



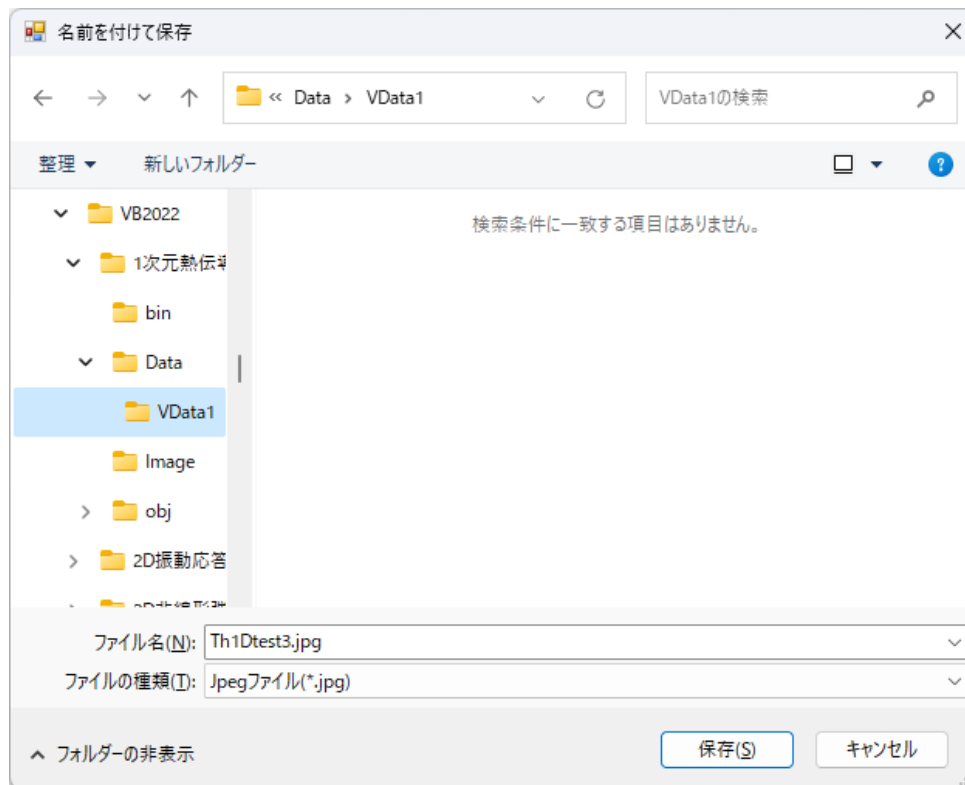


図6-14 ファイル保存コンモンダイアログ画面

## 6.6 解析結果の主要値表示

図6-15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。

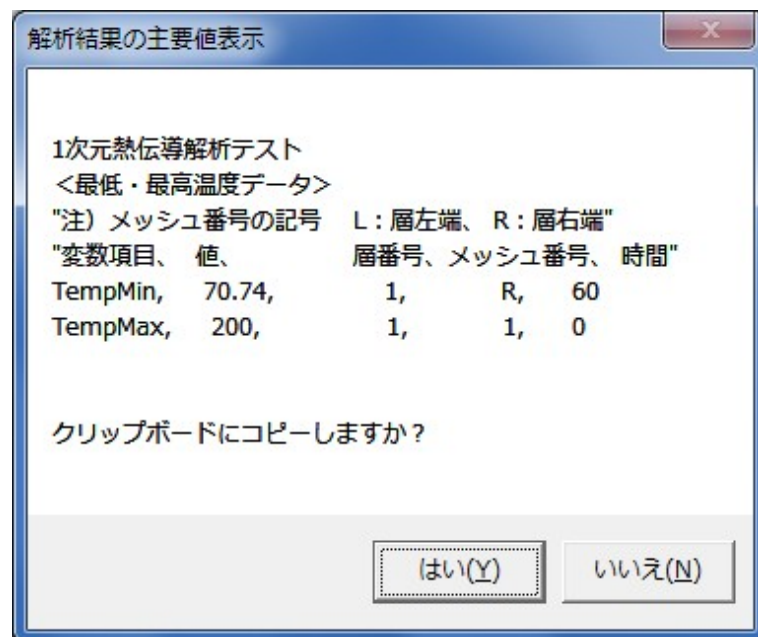


図6-15 解析結果の主要値表示の画面

## 6.7 非定常のグラフデータの仕様設定画面

図6-16に非定常のグラフデータの仕様設定画面を示します。

①点の数を入力します。本例では点の数は3になっています。

◇1つのグラフにはそれほど多くの点のグラフを重複作画できませんので、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、次のグラフ用点データ入力画面に移ります。

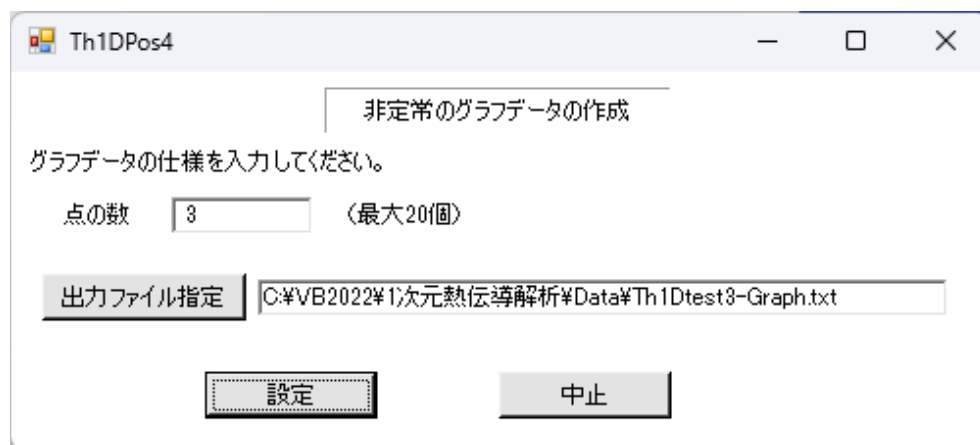


図6-16 非定常のグラフデータの仕様設定画面

## 6.8 グラフ用点データ入力画面

図6-17に グラフ用節点データ入力画面を示します。

①点の数だけNo.が表示されているので、それぞれ層番号とメッシュ番号を入力します。

◇メッシュ番号で0は層始点となります。また、最終層で999は境界表面となります。

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6-18の計算終了確認のダイアログボックスが出ます。

◇図6-19にグラフデータ例を示します。同図のように、3つの点の温度について、全時系列データが出力されています。

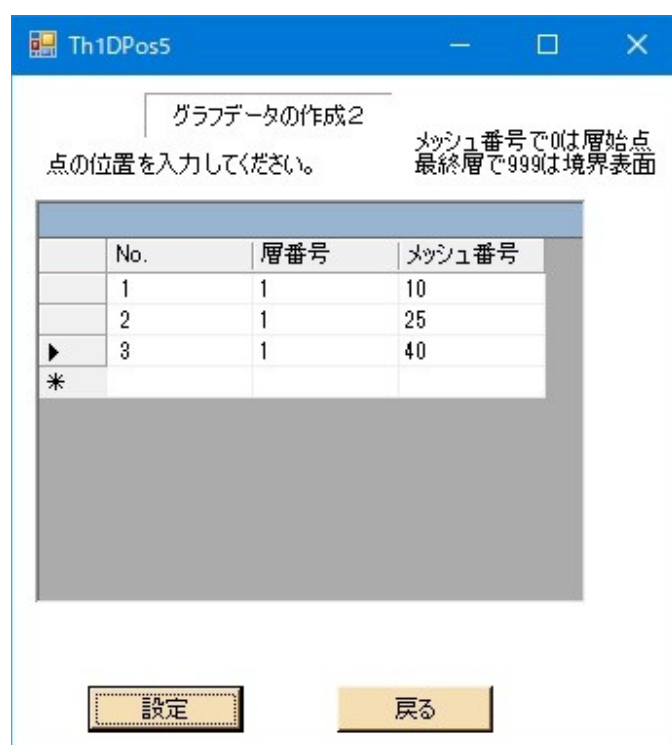


図6-17 グラフ用点データ入力画面

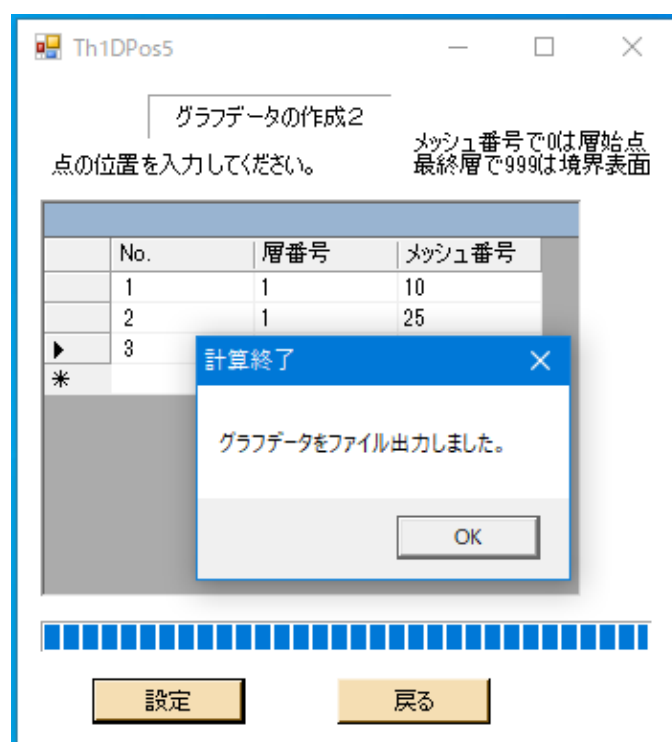


図6-18 グラフデータの計算終了画面

# << 1次元熱伝導解析結果のグラフデータ >>

## 1次元熱伝導解析テスト

[入力データファイル], C:\¥VB2022¥1次元熱伝導解析¥Data¥Th1Dtest3. dat

[解析結果ファイル], C:\¥VB2022¥1次元熱伝導解析¥Data¥Th1Dtest3. rep

点の数, 3

対象変数, 温度

時間、層1-10、層1-25、層1-40

0, 200, 200, 200

10, 193.38, 200, 196.72

20, 181.29, 199.85, 186.33

30, 172.54, 198.89, 176.05

40, 166.08, 196.77, 167.44

50, 161.08, 193.69, 160.02

60, 157.12, 189.97, 153.53

END

図6-19 グラフデータ例

図6-19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6-20に示します。図6-20は3点の温度の時系列変化グラフとなっています。

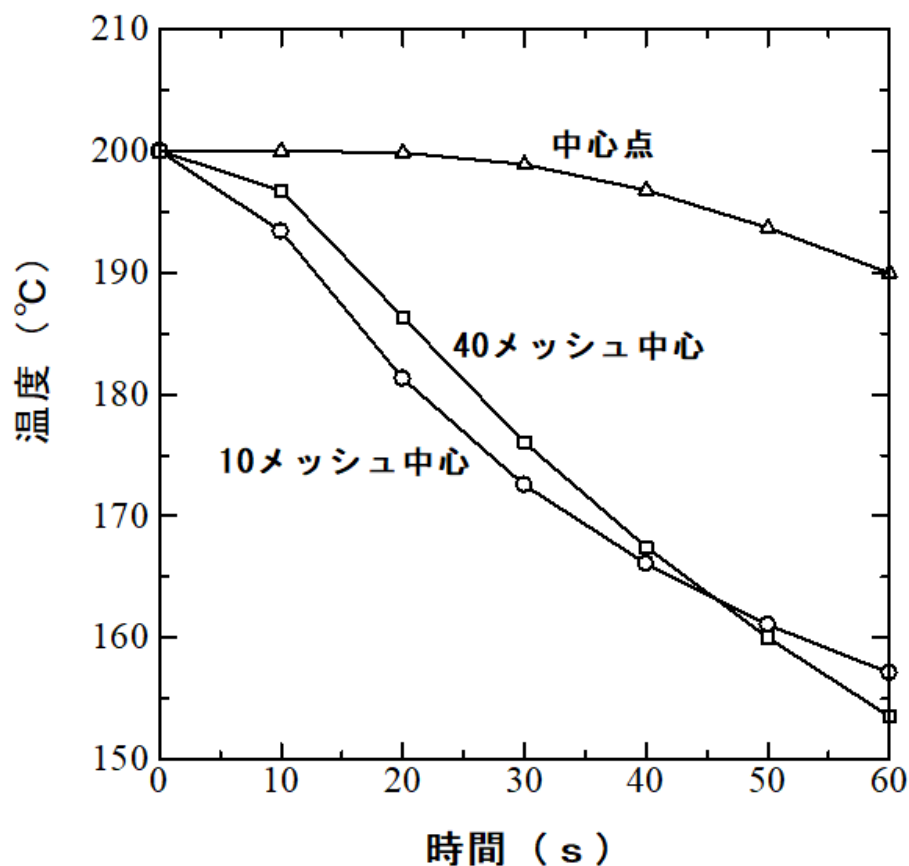


図6-20 グラフ例 注) Plots32 利用

## 第7章 樹脂金型冷却の計算例

プラスチック成形において金型内で高温の樹脂を冷却する問題を取り上げ、1次元熱伝導解析の計算例を紹介します。

### 7.1 構造モデル

図7-1にモデル図を示します。同図のように、対象構造は3つの層から成り、中央が樹脂層で、その両側が金型の層になっています。樹脂層の長さは0.02m、金型層の長さはいずれも0.01mです。それらの材料物性は同図に示す通りで、各層別々の材料で構成されています。また、両端の境界は同じ熱伝達条件となっています。そして、初期温度は樹脂層が200℃、金型層が両方とも50℃です。

さらに、同図のように、層の分割メッシュ数は、樹脂層が50、金型層がそれぞれ5とします。



[材料物性]

1) 樹脂層

密度：900kg/m<sup>3</sup>

温度範囲 (°C)	～150	～160	～250
比熱 (J/kg°C)	2400	11300	3000
熱伝導率 (W/m°C)	0.24	0.195	0.15

2) 金型1

密度：7850kg/m<sup>3</sup>

比熱：480 J/kg°C

熱伝導率：51W/m°C

3) 金型2

密度：7800kg/m<sup>3</sup>

比熱：460 J/kg°C

熱伝導率：15W/m°C

[境界条件] 境界1、境界2とも同じ

外部温度：20℃

熱伝達係数：1000W/m<sup>2</sup>°C

[初期温度]

樹脂層：200℃

金型1：50℃

金型2：50℃

図7-1 樹脂金型冷却の構造モデル

### 7.2 入力データ

図7-2に入力データファイルの内容を示します。

```

プログラム名, Therm1D
樹脂金型冷却解析
層の数, 3
材料データ数, 3
境界条件のステップ数, 1
伝熱体の幅（作画用）, .01
初期値データの有無, 1
各層の形状データ（層番号、材料番号、長さ、分割メッシュ数）
  1, 2, .01, 5
  2, 1, .02, 50
  3, 3, .01, 5
各材料の物性区分数（材料番号、区分数）
  1, 3
  2, 1
  3, 1
各材料の物性データ
材料番号, 1
  密度, 900
  区分番号、比熱、熱伝導率、上限温度
    1, 2400, .24, 150
    2, 11300, .195, 160
    3, 3000, .15, 250
材料番号, 2
  密度, 7850
  区分番号、比熱、熱伝導率、上限温度
    1, 480, 51, 500
材料番号, 3
  密度, 7800
  区分番号、比熱、熱伝導率、上限温度
    1, 460, 15, 500
両端境界のデータ
境界番号, 1
  ステップ番号、境界種類（0:断熱、1:温度固定、2:熱伝達、3:熱流束、4:熱放射）、
  各データ
    1, 2, 20, 1000
境界番号, 2
  ステップ番号、境界種類（0:断熱、1:温度固定、2:熱伝達、3:熱流束、4:熱放射）、
  各データ
    1, 2, 20, 1000

```

図7-2（1/2） 樹脂金型冷却の入力データファイル

初期温度データ（メッシュ番号、温度）

層番号, 1

1, 50

2, 50

3, 50

4, 50

5, 50

層番号, 2

1, 200

2, 200

3, 200

4, 200

5, 200

6, 200

7, 200

. . . . .

. . . . .

44, 200

45, 200

46, 200

47, 200

48, 200

49, 200

50, 200

層番号, 3

1, 50

2, 50

3, 50

4, 50

5, 50

図7-2 (2/2)

樹脂金型冷却の入力データファイル

### 7.3 計算結果データ

図7-3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計算打ち切り時間100、出力時間メッシュ数10で計算しています。
- ②初期値が以下に出力されています。
- ③境界 1 の表面温度は49. 42です。
- ④層1の温度が以下に出力されています。
- ⑤層1では初期温度はすべて50となっています。
  
- ⑥層2の温度が以下に出力されています。
- ⑦層2では初期温度はすべて200となっています。
- ⑧層3の温度が以下に出力されています。
- ⑨層3の初期温度はすべて50となっています。
- ⑩境界 2 の表面温度は48. 12で、上記の境界 1 よりやや低いです。
  
- ⑪層間温度が以下に出力されています。層1・2の間の方が層2・3の間よりも約5だけ低くなっています。
- ⑫途中出力は省略し、最終の時間100の結果が以下に出力されています。
- ⑬境界 1 の表面温度は33. 85で、初期値より15. 7低下しています。
- ⑭層1の温度が以下に出力されています。各メッシュ点の温度は34. 12～35. 96で初期の50より15前後低下しています。
- ⑮層2の温度が以下に出力されています。メッシュ点の温度は44. 1～199. 25です。
  
- ⑯層3の温度が以下に出力されています。各メッシュ点の温度は34. 69～40. 96で、上記層1に比べて最高温度が5高くなっています。
- ⑰境界 2 の表面温度は33. 78で、上記層1とほぼ同じです。
- ⑱層間温度が以下に出力されています。層1・2の間の方が層2・3の間よりも約5だけ低いのは、初期値の場合と同じです。
- ⑲最低・最高温度データが出力されています。最低温度は層3の右端（境界表面）における33. 78で、時間は100です。
- ⑳所要計算時間は0 s でした。



```

<< 1次元熱伝導解析の計算結果>>
樹脂金型冷却解析
[入力データファイル], C:\¥VB2022¥1次元熱伝導解析¥Data¥Th1DPlasM. 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
-----
<時間メッシュ番号、時間>, 0, 0
<境界番号、表面温度>, 1, 49.42
<層番号>, 1
(メッシュ番号、温度)
1, 50
2, 50
3, 50
4, 50
5, 50
<層番号>, 2
(メッシュ番号、温度)
1, 200
2, 200
. . . . .
. . . . .
49, 200
50, 200
<層番号>, 3
(メッシュ番号、温度)
1, 50
2, 50
3, 50
4, 50
5, 50
<境界番号、表面温度>, 2, 48.12
<層間温度>
層 1・2, 52.17
層 2・3, 57.14
. . . . .
. . . . .

```

図7-3 (1/3) 樹脂金型冷却の計算結果データファイル

<時間メッシュ番号、時間>,	10,	100	⑫
<境界番号、表面温度>,	1,	33.85	⑬
<層番号>,	1		⑭
(メッシュ番号、温度)			
1,	34.12		
2,	34.63		
3,	35.11		
4,	35.55		
5,	35.96		
<層番号>,	2		⑮
(メッシュ番号、温度)			
1,	44.1		
2,	59.78		
3,	75.13		
4,	90.03		
5,	104.42		
6,	118.2		
7,	131.34		
8,	143.81		
9,	155.6		
10,	163.63		
11,	170.49		
12,	176.3		
13,	181.18		
14,	185.23		
15,	188.54		
16,	191.22		
17,	193.35		
18,	195.02		
19,	196.31		
20,	197.29		
21,	198.02		
22,	198.54		
23,	198.9		
24,	199.13		
25,	199.24		
26,	199.25		
27,	199.16		
28,	198.95		
29,	198.61		
30,	198.11		

図7-3 (2/3) 樹脂金型冷却の計算結果データファイル

31,	197.42			
32,	196.5			
33,	195.27			
34,	193.68			
35,	191.65			
36,	189.09			
37,	185.91			
38,	182.03			
39,	177.35			
40,	171.79			
41,	165.28			
42,	157.68			
43,	146.47			
44,	134.51			
45,	121.85			
46,	108.46			
47,	94.41			
48,	79.81			
49,	64.78			
50,	49.4			
<層番号>, 3				①⑥
(メッシュ番号、温度)				
1,	40.96			
2,	39.57			
3,	38.06			
4,	36.43			
5,	34.69			
<境界番号、表面温度>, 2, 33.78				①⑦
<層間温度>				①⑧
層 1・2, 36.15				
層 2・3, 41.58				
-----				
<最低・最高温度データ>				①⑨
注) メッシュ番号の記号 L: 層左端、R: 層右端				
変数項目、 値、 層番号、メッシュ番号、 時間				
TempMin,	33.78,	3,	R,	100
TempMax,	200,	2,	1,	0
END	0h 0min 0s			②⑩

図7-3 (3/3) 樹脂金型冷却の計算結果データファイル

## 7.4 等温線図

図7-4に等温線図を示します。本図は、温度30～200を10等分した等温線図です。

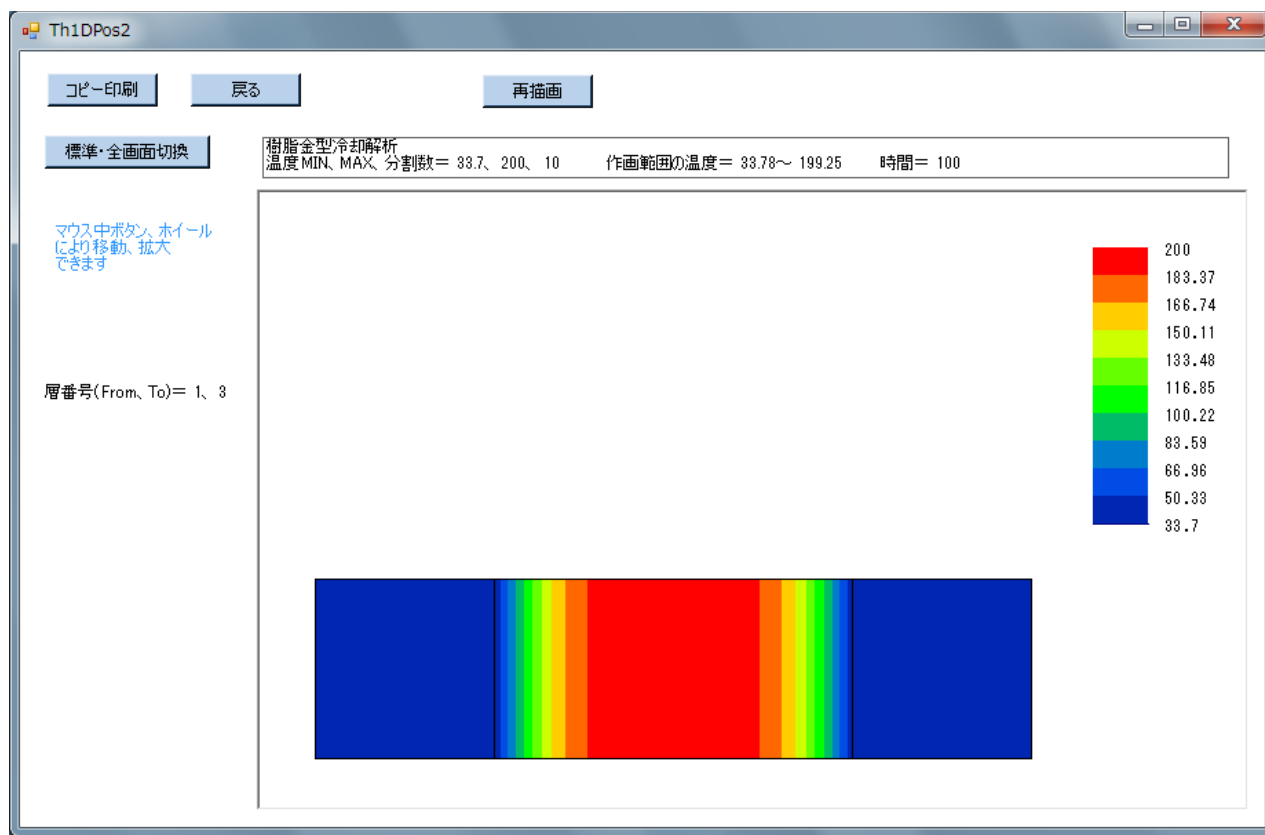


図7-4 樹脂金型冷却の等温線図

[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ック」、谷尻 かおり、  
技術評論社、2007

<B> 数値計算・統計解析・グラフィックス

- B1) 「数値計算プログラム BASIC」、J. ハイムン 編、大矢 建正 訳、  
(株) マグロウヒル好学社、1982
- B2) 「応用・BASIC (数値解析とその手法)」、対馬 勝英 他、  
(株) パワー社、1981
- B3) 「パソコン BASIC 数値計算Ⅱ」、町田 東一 他、  
東海大学出版会、1984
- B4) 「数学公式・数表ハンドブック」、スピーゲル 著、氏家 勝巳 訳、  
マグロウヒル ブック (株)、1984
- B5) 「数値解析とその応用」、名取 亮、  
コロナ社、1992
- B6) 「線形計算」、名取 亮、  
朝倉書店、1993
- B7) 「Visual Basicによる工学計算プログラム」、黒田 英夫、  
CQ出版社、2001
- B8) 「Visual Basicによる数値解析プログラム」、黒田 英夫、  
CQ出版社、2002

<C> 有限要素法・差分法・工学一般

- C1) 「コンピュータ 伝熱・凝固解析入門」、大中 逸雄、  
丸善 (株)、1985
- C2) 「Fundamentals of Computer Modeling for Polymer Processing」、  
Charles L. Tucker III、Hanser Publishers、1989