
* 「3次元流れ熱伝導解析K」の紹介 * [著者] 黒田 英夫

<プログラム開発環境>

OS : Windows 11NET Framework 4.8が必要

言語 : Visual Basic 2022 (Visual Studio 2022 Community)

<プログラムと本書の著作権>

フリーソフトで、著作権を開放します

汎用的な3次元流れ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、流れと熱伝導を連成して解くものです。解析対象は、流路と壁から成ります。流体は非圧縮で粘性有り、非ニュートン流体を含みます。また、定常解析、非定常解析とも可能です。

1. 粘性流れ解析は、樹脂・水・空気等で層流域の流れに適しており、ナビア・ストークス方程式を解くものです。流れ解析の安定化のため、独自手法（節点の速度勾配平均化）とPSPG (Pressure Stabilizing/Petrov-Galerkin) 法を適用しています。非ニュートン流も可能です。
2. 熱伝導解析は、流体と壁を合わせた全体構造で実施します。流体部分は、流れによる熱の移動を含みます。
3. 入力データの自動メッシュについては、別途、算生会の「FEM立体データK」ソフトが必要です。
4. 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。
5. 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 -----	5
第3章 構造データの作り方 -----	9
第4章 「解析データ」処理プログラム -----	14
第5章 「計算」プログラム -----	45
第6章 「後処理」プログラム -----	58
第7章 複数流路構造の計算例 -----	73
[補足] 中心穴なし軸回転体の注意事項 -----	80
[参考文献] -----	81

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

アイソパラメトリック要素とは、要素の幾何形状と変量が同一の内挿関数で表わされる要素のことです。図1-1のように各辺に中間節点のある要素は2次要素と呼ばれ、中間節点のない1次要素に比べ、はるかに少ない要素数で精度良く計算できます。図1-1に示す無次元化された局所座標 ξ η ζ を用いて、20節点の形状関数が下記のように定義されます。⁴⁾そして、要素内の任意位置の変数値が、20節点の変数値と形状関数の合成式により表わされます。

[形状関数]

$$M_1 = (1-\xi)(1-\eta)(1+\zeta)(-\xi-\eta+\zeta-2)/8$$

$$M_2 = (1-\xi^2)(1-\eta)(1+\zeta)/4$$

$$M_3 = (1+\xi)(1-\eta)(1+\zeta)(\xi-\eta+\zeta-2)/8$$

$$M_4 = (1+\xi)(1-\eta^2)(1+\zeta)/4$$

$$M_5 = (1+\xi)(1+\eta)(1+\zeta)(\xi+\eta+\zeta-2)/8$$

$$M_6 = (1-\xi^2)(1+\eta)(1+\zeta)/4$$

$$M_7 = (1-\xi)(1+\eta)(1+\zeta)(-\xi+\eta+\zeta-2)/8$$

$$M_8 = (1-\xi)(1-\eta^2)(1+\zeta)/4$$

$$M_9 = (1-\xi)(1-\eta)(1-\zeta^2)/4$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

以上(1-1)

[要素内の変数値] 局所座標(ξ , η , ζ)における値

20

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

$i=1$

ただし、 H_i は節点における変数値

1.2 粘度の式

粘度は一定または粘度式を使用します。粘度式は次の4種類から選択して使用します。これらの式で①～③は非ニュートン流の場合で、④はニュートン流の場合です。そして、各有限要素の対象位置毎に、剪断速度（非ニュートン流）と温度に対応した粘度を算出して、流れ計算に用います。ただし、下記式の記号は次のように定めます。

μ : 粘度、 T : 温度、 GD : 剪断速度、 $A0 \sim A5$: 係数
EXP : 指数 (eのべき乗)、 LGT : 常用対数 (底が10)、 LOG : 自然対数

① パワーローの式

$$\mu = A0 \cdot EXP(A1 \cdot T) \cdot GD^{A2} \quad (1-3)$$

② 常用対数2次式

$$LGT(\mu) = A0 + A1 \cdot LGT(GD) + A2 \cdot T + A3 \cdot \{LGT(GD)\}^2 \\ + A4 \cdot LGT(GD) \cdot T + A5 \cdot T^2 \quad (1-4)$$

③ 自然対数2次式

$$LOG(\mu) = A0 + A1 \cdot LOG(GD) + A2 \cdot T + A3 \cdot \{LOG(GD)\}^2 \\ + A4 \cdot LOG(GD) \cdot T + A5 \cdot T^2 \quad (1-5)$$

④ 2次式

$$\mu = A0 + A1 \cdot T + A2 \cdot T^2 \quad (1-6)$$

ここで、 GD は次式により求められます。

$$GD = \sqrt{\left(\frac{\partial v}{\partial X} + \frac{\partial u}{\partial Y}\right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial Y} + \frac{\partial v}{\partial Z}\right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial Z} + \frac{\partial w}{\partial X}\right)^2} \quad (1-7)$$

1.3 補足

- 1) 本プログラムの流れ解析において圧力は正か0のみとし、計算途中で負圧が生じた場合は0に置換しています。負圧を取り扱わない理由は、負圧によって生じる空隙が考慮されていないからです。
- 2) 流路が複数の場合、各流体は別材料にします。
◇同一物性の材料でも別の材料番号を付番するという意味です。
- 3) 計算が収束するまで繰返し計算を行いません。1回の繰返し計算は、先ず流れ計算を流路毎に実施します。その後、全要素を用いて熱伝導計算を実施します。
- 4) 有限要素マトリックスは、流れ行列が非対称となるため、全体の熱伝導行列も非対称になります。

第2章 プログラムの機能・構成

[VBプロジェクト名] FlowTherm3D

本ソフトでは非圧縮流体の3次元流れ熱伝導解析を行ないます。表2-1に本ソフトの解析機能を示します。同表のように、定常および非定常の解析が可能です。

表2-1 「FlowTherm3D」解析機能

解析種別		流体種別	
定常	非定常	ニュートン流	非ニュートン流
○	○	○	○

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立体データ」ソフトにより作成した解析データファイルを使用します。「計算」メニューでは解析計算を実行し、「後処理」メニューでは計算結果の図を作画します。そして、ソフトを終了させる際は、「終了」をクリックします。なお、「計算」メニューには体積計算の補助機能もあります。

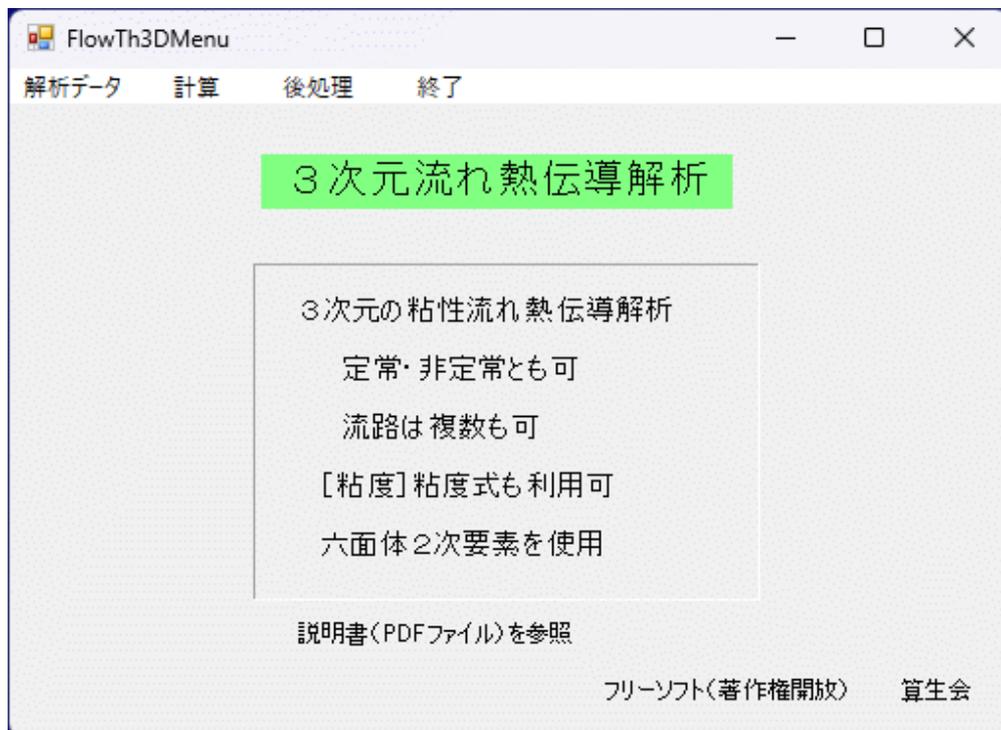


図2-1 「FlowTherm3D」ソフトのメニュー画面

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FL3DMenuモジュール*で制御し、その下に「解析データ」、「計算」、「後処理」の3つのプログラム群に分かれています。

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

データファイルは、「入力データファイル」、「結果データファイル」の2種類を使用しています。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FlowTh3DDat1~4は、各種データを画面入力するためのものです。特に、FlowTh3DDat2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。

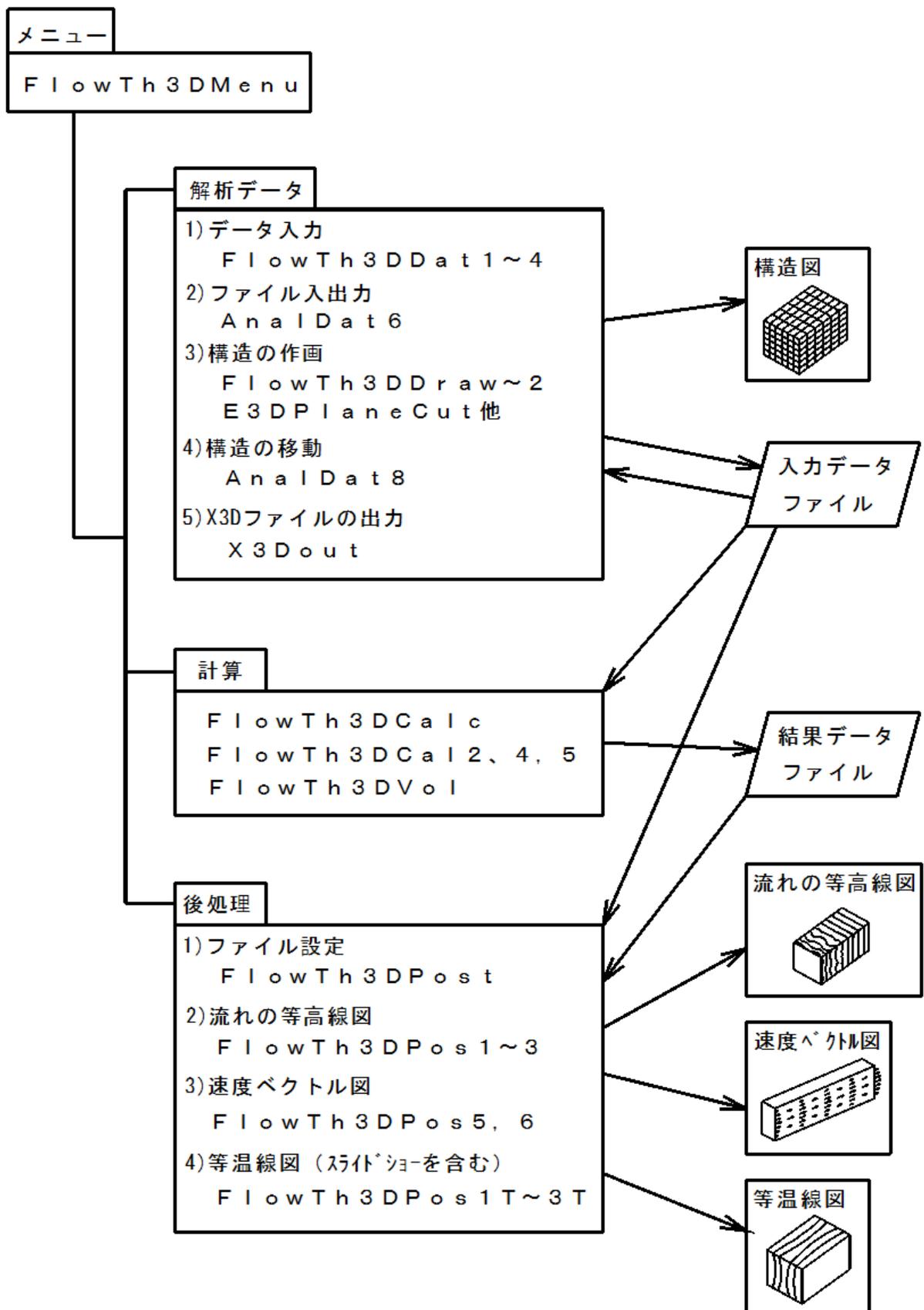


図2-2 「FlowTherm3D」ソフトのプログラム構成

表2-2 「FlowTherm3D」ソフトのファイルリスト

[全般]

ファイル名	内容
FlowTh3DCom.vb	共通変数の宣言とサブルーチンの定義
FlowTh3DMenu.vb	メニューの提示・選択

[解析データ]

ファイル名	内容
FlowTh3DDat1.vb	データ仕様の入力
FlowTh3DDat1a.vb	材料データの入力
FlowTh3DDat2.vb	各データの入力
FlowTh3DDat3～3a.vb	境界面の一括設定
FlowTh3DDat4.vb	解析結果を初期値に設定
AnalDat6.vb	データファイルの入出力
AnalDat8.vb	構造の移動
FlowTh3DDDraw～2.vb	構造の作画と構造図でのデータ入力
E3DPlaneCut.vb	3次元構造の面切断の設定（各3次元図に共通）
MouseShift.vb	マウス回転操作の説明（各3次元図に共通）
X3Dout.vb	X3Dファイルの出力

[計算]

ファイル名	内容
FlowTh3DCalc.vb	計算に使用するファイルの設定
FlowTh3DCal2.vb	計算条件の指定
FlowTh3DCal4.vb	解析計算の実行(バンドマトリックス法)
FlowTh3DVol.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
FlowTh3DPost.vb	後処理に使用するファイルの設定
FlowTh3DPos1.vb	流れの等高線図作画の変数の指定
FlowTh3DPos1T.vb	等温線図の仕様設定
FlowTh3DPos2.vb	流れの等高線図の仕様設定
FlowTh3DPos2T.vb	等温線図の作画実行
FlowTh3DPos3.vb	流れの等高線図の作画実行
FlowTh3DPos3T.vb	等温線図スライドショーの作画実行
FlowTh3DPos5.vb	解析結果の非定常メッシュ指定
FlowTh3DPos6.vb	速度ベクトル図の作画実行

第3章 構造データの作り方

一般には自動メッシュを利用しますので、人手で構造データ全体を作成することは少ないと思われます。しかし、自動メッシュだけでは不十分の場合に、人手でデータ修正する必要があり、構造データについてよく理解しておかねばなりません。ここでは自動メッシュを前提としながら、構造データの作成方法の要点を説明します。

構造データはすべて3次元のXYZ座標を用います。使用する要素は図1-1で示した六面体20節点のアイソパラメトリック要素です。本要素のガウス積分点は27点ですが、入力データの積分点数は1軸当りの3となります（構造全体で一括）。六面体内の積分点位置をすべて図示するのはわかりにくくなるので、要素の局所座標の ξ η 面における積分点位置を図3-1に示します。 ξ ζ 面や η ζ 面でも同様です。面での積分点数は、1軸当り積分点数の2乗の9点です。

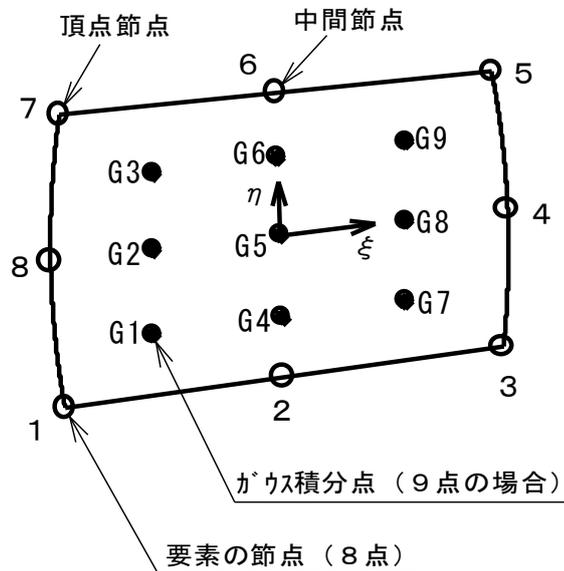


図3-1 要素の1面の積分点位置 (ξ η 座標面)

以降では、図3-2に示すテスト用構造モデルを例に取り、構造データ作成の手順に沿って説明します。本モデルは、中央に正方形流路があり、全体としては直方体形状になっています。同図では、直方体の各寸法と分割数も示しています。壁と流路はそれぞれメッシュ分割し、後で合成して全体構造とします。また、各部は別々の材料番号を設定します。

◇複数の流路に対しては、それぞれ別の材料番号を設定します。

1) 先ず構造を略図に描きます。

略図は図3-2のような斜視図がわかりやすいです。また、略図は、寸法等も記入できるよう、十分な大きさのものとしします。略図には座標軸も明記します。

2) 構造を六面体形要素に分割する仕方を決めます。

構造すべてを適当な大きさの六面体に分割するため、各寸法の分割数を決めます。これは、「FEM断面データ」ソフトや「FEM立体データ」ソフトの仕様に従ったものでなければなりません。構造が複雑な場合は、いくつかの部分に分けて、後で「構造の合成」により組合せていきます。

六面体の面は四角形で、その辺（稜線）は直線でも曲線（円弧）でも構いません。また、面の形状は、三角形であっても、その三角形のいずれかの辺の midpoint に頂点節点を設けるような変則の四角形も使用できます。

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

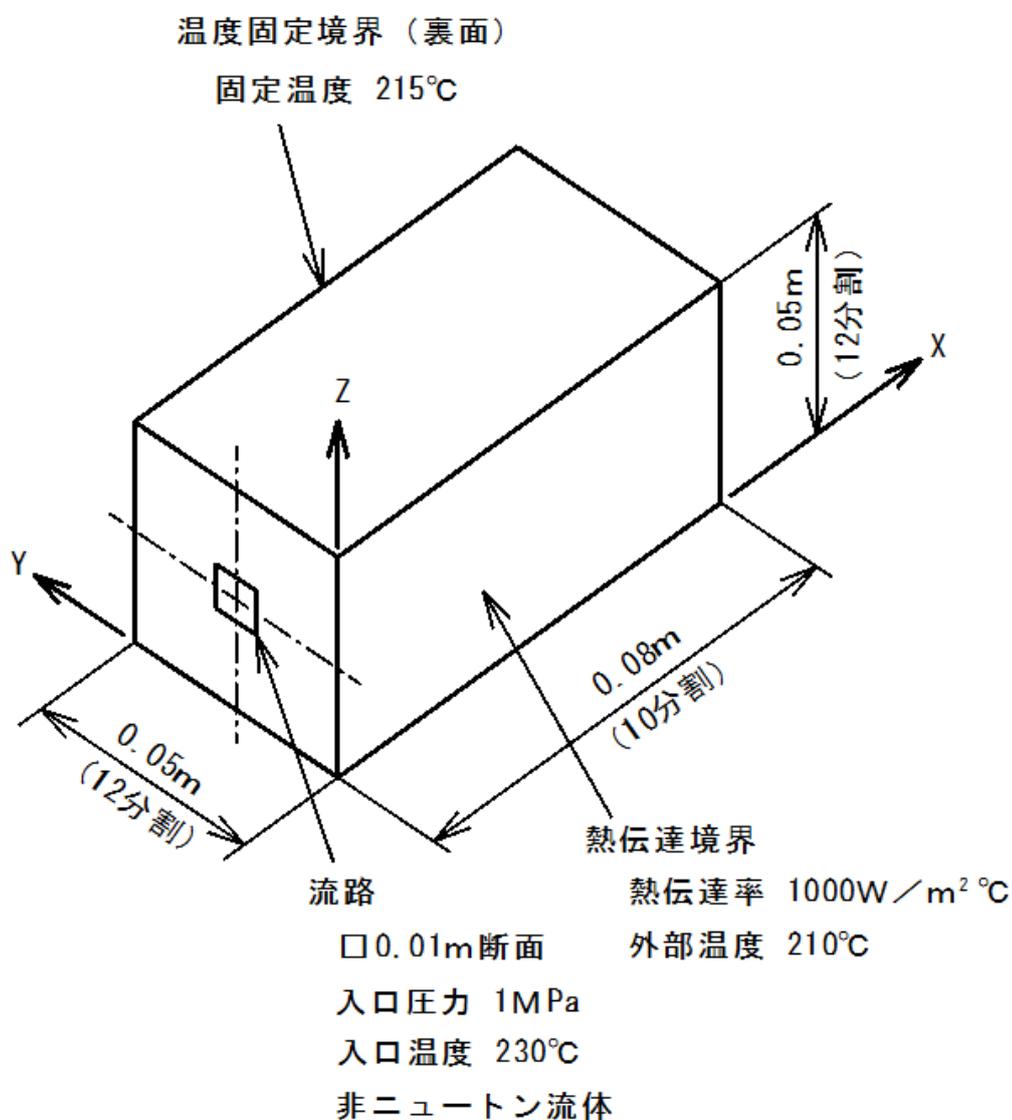


図3-2 テスト用構造モデル

3) 自動メッシュにより、要素分割と同時に、要素に節点が設けられ、節点番号および座標

が設定されます。

◇各六面体要素について、各頂点および各辺の midpoint に節点が設けられます。すなわち、1要素につき20個の節点となります。

◇要素番号は1番から欠番なしに付番されます。

◇節点番号も1番から欠番なしに付番されます。

注) 節点番号の付け方により FEM 行列のバンド幅に差が生じますが、「FEM 立体データ」ソフトで解析用データに変換する際に、バンド幅を低減できます。

4) 人手により、節点座標を変更することもできます。

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

5) 境界条件を決めます。

表3-1に境界条件の種類を示します。

表3-1 境界条件の種類

<流路の部分>

境界名称	内容
速度固定	流入口・流出口の各節点で速度指定 (圧力固定の方が望ましい)
圧力固定	流入口・流出口で圧力を指定 (壁面は自動設定有り)

<壁の部分>

境界名称	内容
熱流束	一定の熱量が流出入するもの
熱伝達	外部の一定温度体と熱伝達するもの
熱放射	外部放射源との間で熱放射するもの (非定常解析のみ)
内部発熱	物体内部で一定熱量を発熱するもの

注) 境界条件を設定しなければ、断熱境界となります。

<流路・壁で共通>

境界名称	内容
温度固定	一定温度となるもの

注) 要素内部の節点も設定可能。

《流路について》

境界条件は、座標3方向の速度と圧力を固定するものです。通常は、流入口の圧力を一定値で与え、流出口の圧力を0に固定します。流入口で速度分布を与えることもできますが、入口の圧力を一定にしないと、入口で圧力変動が生じます。

また、流入口の温度を一定値で与えます。その際、流入口境界だけでなく、入口要素の内部節点にも同じ値を適宜設定すると、流入部の温度が安定します。

注) これは、流入口を1つの境界辺で処理することによる振動をカバーするものです。

流路の壁面では、熱に関する境界条件を設定できません。流路の壁面温度は、流路と壁に共通の温度となるので、そのまま流路・壁の両方へ熱伝導されるからです。

＜流路壁面の自動設定＞

本ソフトでは、壁面の自動設定を採用することができます。自動設定を採用した場合は、下記の条件を満たす要素面は壁面と判定し、座標3方向の速度はすべて0となります。従って、下記の条件により壁面と判定されては困る場合は、すべての壁面について要素面の速度固定（座標3方向とも0）を行ない、壁面の自動設定を不採用にしてください。

[要素面を壁面と自動判定する条件]

面の四角形8節点要素について、次の2条件の両方を満たすこと。

- ① 8節点とも、0以外の速度固定がないこと。
- ② 8節点の内、圧力固定されていない節点があること。

注) 3次元の流れ熱伝導解析では、節点数が多くなり非常に計算時間がかかります。従って、対称構造では、流路の中心軸断面で分割し、1/2の部分や1/4の部分でモデル化すると、計算時間を大幅に短縮できます。そのように1/2や1/4の部分構造を使用した場合は、中心軸断面で断面直角方向の速度を0に固定する必要があります。その際、同断面は強制的に非壁面に設定することにより、壁面の自動設定を採用できます。

6) 定常解析の初期条件

通常、定常解析の初期条件を入力データとして設定する必要はありません。解析計算の際、各流路の初期温度を一括設定できます。

注) 粘度一定で計算する場合は、温度に影響されません。ただし、粘度式を使用する場合は、初期温度を適切に設定する必要があります。

7) 非定常解析の初期条件

非定常解析の場合は、初期条件が必要です。流れ計算では、速度・圧力の初期値を0以外で勝手に与えると、解が収束しない恐れがあります。従って、速度・圧力とも

0以外の初期値は、ある程度釣り合っている必要があります。また、速度か圧力のどちらかに0以外の初期値を与える際は、圧力で与える方が安定します。

また、温度の初期値は、各材料について、解析実行時に均一設定することも可能です。

8) データの単位系

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

表3-2 S I 単位系

データ項目	単位
時間	s
長さ	m
密度	kg/m ³
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

データ項目	単位
速度	m/s
加速度	m/s ²
剪断速度	/s
圧力	Pa (= N/m ²)
粘度	Pa·s

注) deg : °CまたはK (熱放射境界の場合は必須)

第4章 「解析データ」処理プログラム

4.1 サブメニュー画面

「メニュー」プログラムにおける「解析データ」のサブメニュー選択画面を図4-1に示します。同図に示すように、11個のサブメニューがあります。全く新たにデータを作成する場合は「データ入力・修正」を選択しますが、既存ファイルを修正して新たなファイルを作成する場合は先に「ファイル読み込み」を行ないます。

◇「FEM立体データ」ソフトによる本解析用データファイルを読み込めます。

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

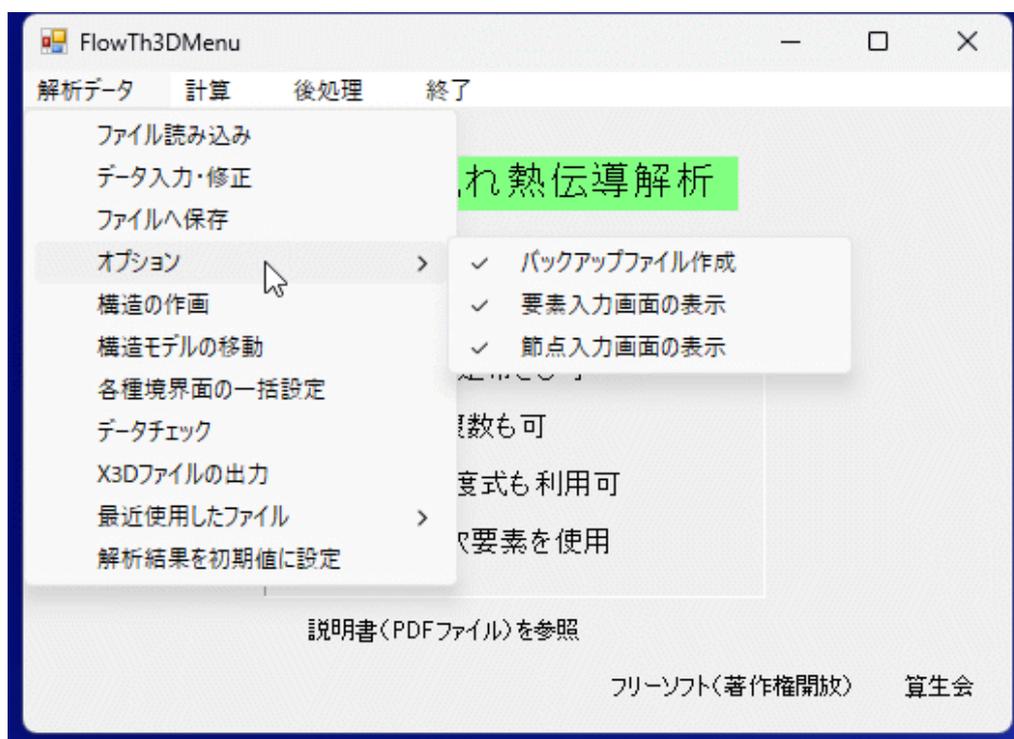


図4-1 「解析データ」サブメニュー画面

4.2 ファイル読み込み

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

4.3 データ入力・修正

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

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

①タイトルは、任意の題名を入力できます。

- ②節点数～速度・圧力固定の面の数は、各構造モデルに応じた数を入力します。
ただし、計算時に「壁面の自動設定」を採用する場合は、壁面についての速度固定（各座標軸方向の速度を0に固定）を省略でき、流出入口だけ速度・圧力固定すれば済みます。
- ◇「壁面の自動設定」の可能な条件は、第3章の5)を参照してください。
 - ◇速度・圧力固定の境界については、節点毎に設定できます。それ故、速度・圧力を固定する節点について節点の個数を入力できます。しかし、要素の1つの面で全節点を同一値に固定する場合は、面の8節点を個別に固定しなくても、面全体でまとめて設定でき、その方が後の入力操作が楽です。その際は、速度・圧力固定する面について面の個数を入力します。
 - ◇不適切な速度固定を行なうと、圧力が負になるような問題が生じますので、速度分布を与えるよりも流出入口の圧力を与える方をお勧めします。その際、通常は流出口の圧力を0とします。なお、上記のように圧力のみ与えて計算する場合、所定の流量に合わせるには試行錯誤で圧力を変更する必要があります。
 - ◇非定常解析の流出入口は、計算の収束性の点から、なるべく速度でなく圧力固定にしてください。
- ③温度固定の節点数と面の数は、流路・壁で共通です。
- ④熱放射境界は、非定常解析でのみ有効です。
- 注) 定常解析では、熱放射境界のデータがあっても無視されます。
- ⑤物体力の有無について、区分番号を入力します。物体力とは重力を意味します。
- ◇物体力がほとんど影響しない場合が多いですが、物体力が影響する場合には物体力有りを指定してください。
- ⑥非定常解析の場合、速度・圧力の初期値の有無（0:なし、1:有り）を入力します。
- ◇初期値をすべて0にする場合は、初期値無しでも構いません。
- ⑦非定常解析の場合、温度の初期値の有無（0:なし、1:有り）を入力します。
- ◇温度の初期値を設定した場合、定常解析にも適用されます。
 - ◇初期値が均一温度のときは、計算実行時に設定できますので、初期値無しでも構いません。
- ⑧本画面の「設定」ボタンをクリックすると、次の材料データ入力画面に移ります。
- ⑨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。

FlowTh3DDat1

データを入力してください。

タイトル

節点数 要素数 材料データ数

速度・圧力固定の節点数

速度・圧力固定の面の数 非定常解析の流出入口は、速度でなく圧力固定にしてください。壁面は速度・圧力を固定しなくても、計算時に自動設定できます。

温度固定の節点数 (非等温の場合) 温度固定の面の数

熱流束境界の面の数 (壁外郭面) 熱伝達境界の面の数 (壁外郭面)

熱放射境界の面の数 (壁外郭面) 内部加熱の要素数 (壁内部)

物体力の有無(0:なし、1:有り)

速度・圧力の初期値の有無(0:なし、1:有り) 温度の初期値の有無(0:なし、1:有り)

図4-2 データ仕様入力画面

4.4 材料データ入力画面

図4-3に材料データ入力画面を示します。

- ①各材料番号について、区分番号、密度、比熱、熱伝導率、基準粘度、粘度式番号を入力します。
 - ◇本例では、表3-2のS 1 単位系を使用しています（温度の単位は℃）。
 - ◇区分番号は、流路は0、壁は1を入力します。
- ②粘度式番号を入力した場合は、粘度式の各係数を入力します。
 - ◇粘度式番号0では、各係数の値は無視されます。
- 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すべての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て次の要素データ入力画面に移ります。

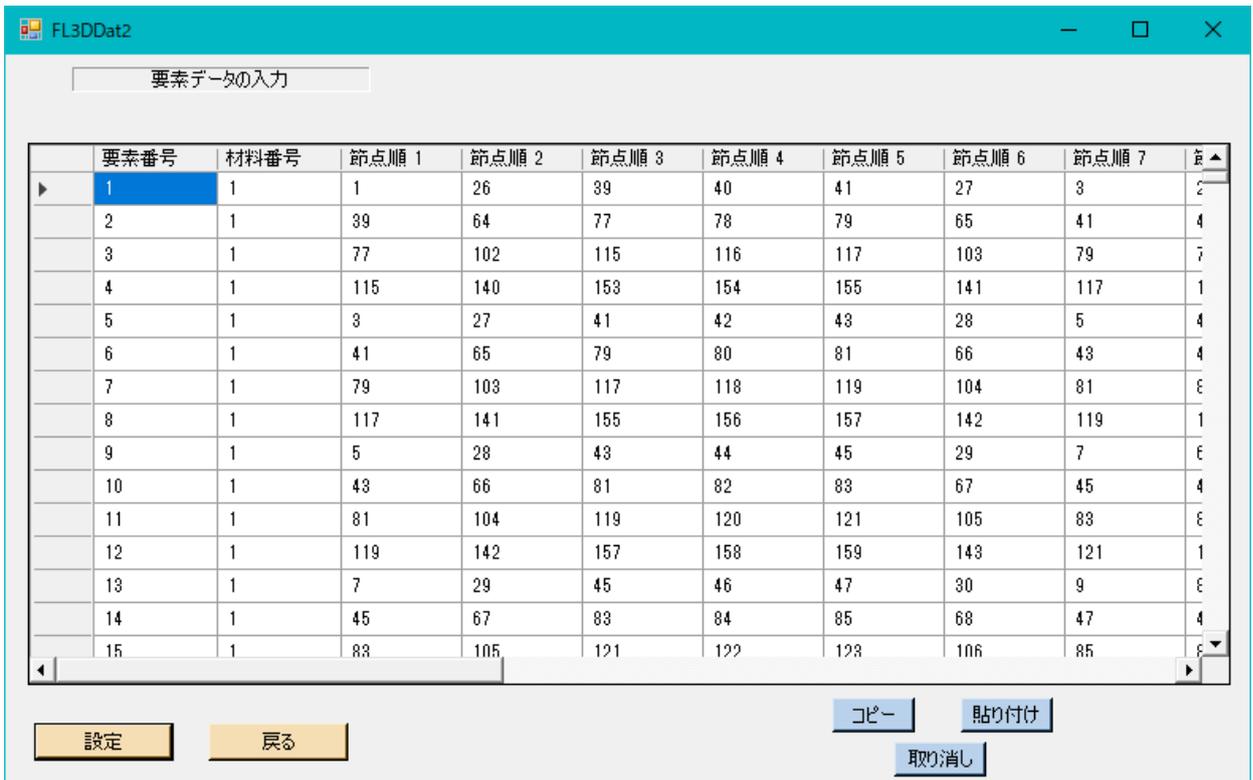


図4-4 要素データ入力画面

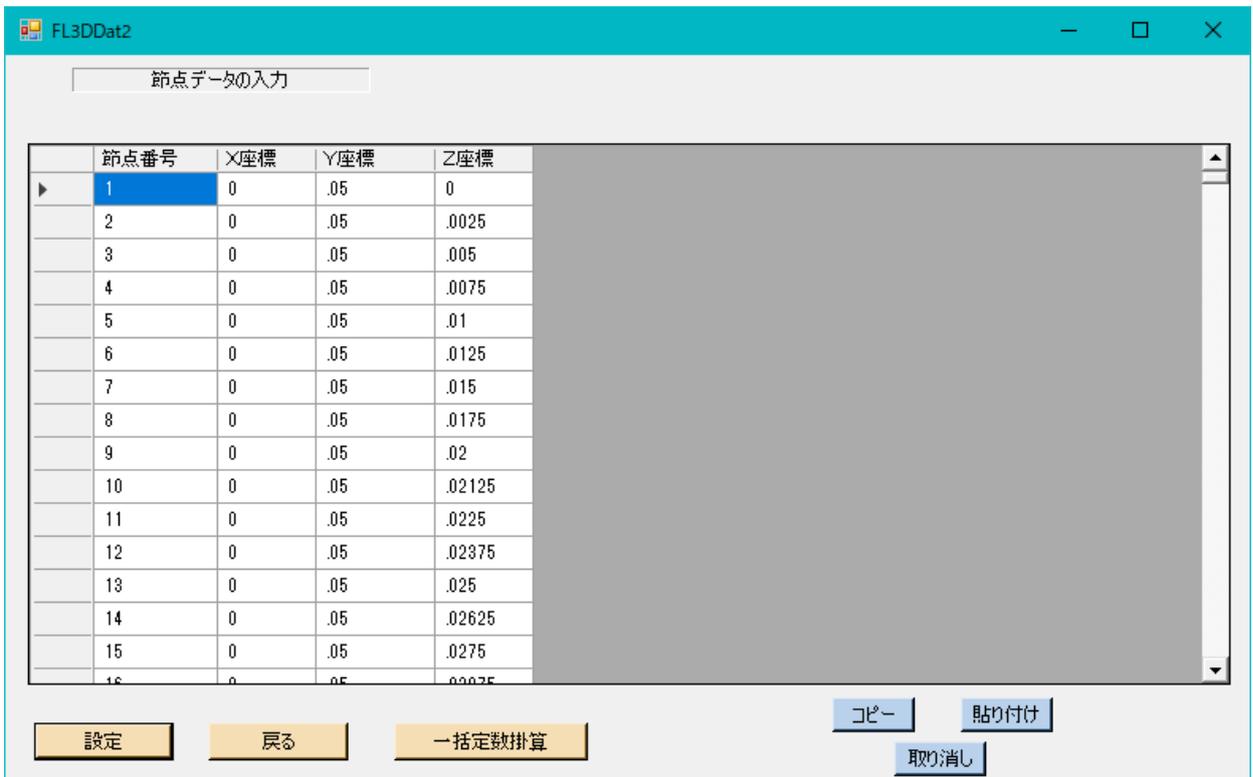


図4-5 節点データ入力画面

4.7 速度・圧力固定の節点データ入力画面

本入力は、速度・圧力固定の節点数が1以上の場合にのみ実施します。図4-6に速度・圧力固定の節点データ入力画面を示します。ただし、本画面は説明のために作成したもの

で、テスト用構造モデルには次節の面データの方を使用します。

- ①速度・圧力固定の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固定条件を入力します。
- ②固定条件は、座標3方向速度U、V、Wと圧力Pについて入力します。
◇各変数について、拘束の欄に、固定しない場合は0、固定する場合は1を入力し、固定する場合は、値の欄に固定値を入力します。
- ④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。
- ⑤1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。
- ⑥すべての速度・圧力固定の節点データを入力し終わったなら、「設定」ボタンをクリックして次の画面に移ります。



図4-6 速度・圧力固定の節点データ入力画面

4.8 速度・圧力固定の面データ入力画面

本入力は、速度・圧力固定の面の数が1以上の場合にのみ実施します。図4-7に速度・圧力固定の面データ入力画面を示します。

- ①速度・圧力固定の面数の分だけ固定番号が表示されているので、それぞれ要素番号、面番号と固定条件を入力します。
◇面番号は、要素内の1~6の面番号で、要素の節点番号順との関係は図1-1に示す通りです。この面番号は、構造の作画画面で表示して確認できます。
- ②固定条件は、座標3方向速度U、V、Wと圧力Pについて入力します。

- ◇各変数について、拘束の欄に、固定しない場合は0、固定する場合は1を入力し、固定する場合は、値の欄に固定値を入力します。
 - ◇本モデル例では、流入側の圧力を1000000Pa、流出側の圧力を0に設定しています。
 - ◇強制的に非壁面に設定する場合は、拘束の欄に上記の1の代わりに-1を入力します。強制非壁面は0以外の速度固定がなくても壁面にはしないという指定です。これは、対称流れの解析において、1/2や1/4の部分構造を使用する場合に、対称断面で断面直角方向の速度を0に固定する必要があるために用いるものです。強制非壁面に設定しておけば、壁面の自動設定を採用した場合でも、壁面にはなりません。
 - ◇通常、面で0以外の速度で一様になることはありませんので、0以外の速度の固定はほとんど実施されないと思います。流速を生じさせるためには、圧力を与える方が無難です。
 - ◇計算時に「壁面の自動設定」を採用しない場合は、すべての壁面について、面の座標3方向速度を0に設定してください。
- ③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。
 - ④1つの固定番号のデータを他の固定番号範囲へコピーしたい場合は、「一括コピー」ボタンをクリックして、まとめて実施できます。ただし、要素番号はコピーされません。
 - ⑤すべての速度・圧力固定の面データを入力し終ったなら、「設定」ボタンをクリックして次の画面に移ります。

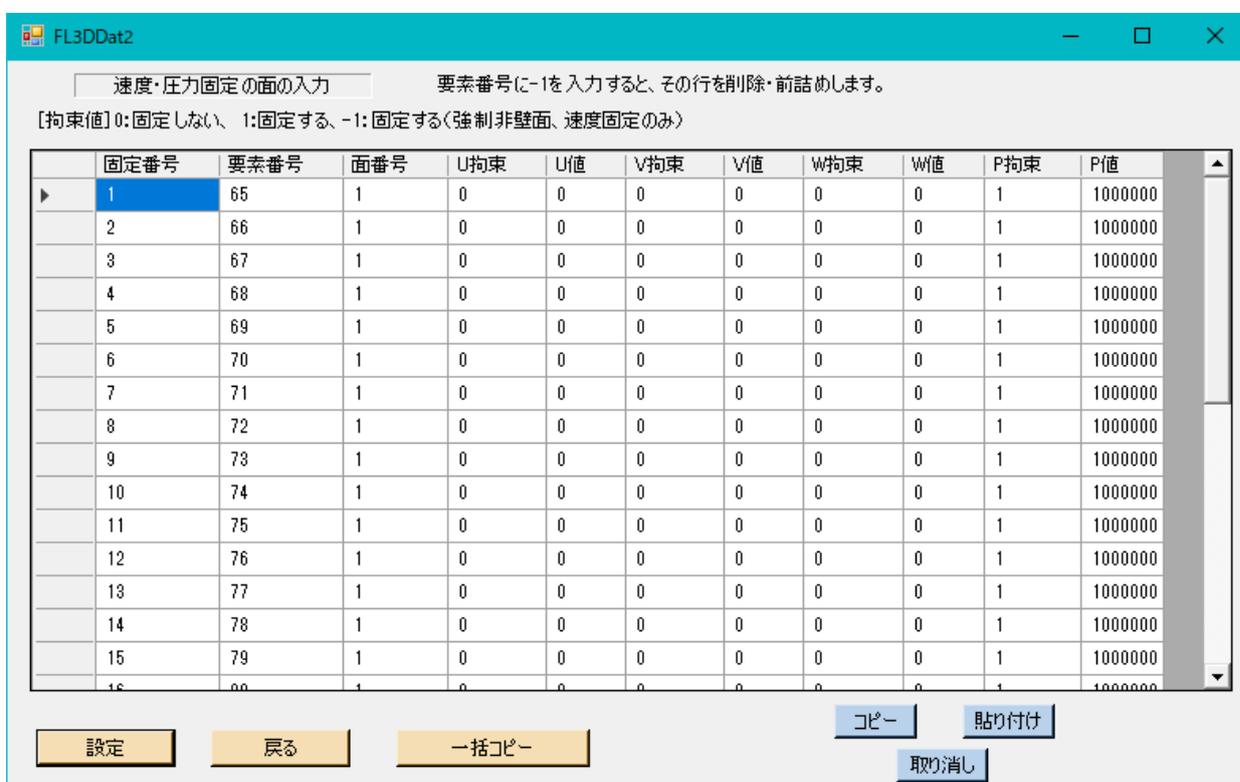


図4-7 速度・圧力固定の面データ入力画面

4.9 温度固定の節点データ入力画面

本入力は、温度固定の節点数が1以上の場合にのみ実施します。図4-8に温度固定の節点データ入力画面を示します。ただし、本画面は説明のために作成したもので、テスト用構造モデルには次節の面データの方を使用します。

- ①温度固定の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温度を入力します。
- 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すべての温度固定の節点データを入力し終わったなら、「設定」ボタンをクリックして、次の画面に移ります。

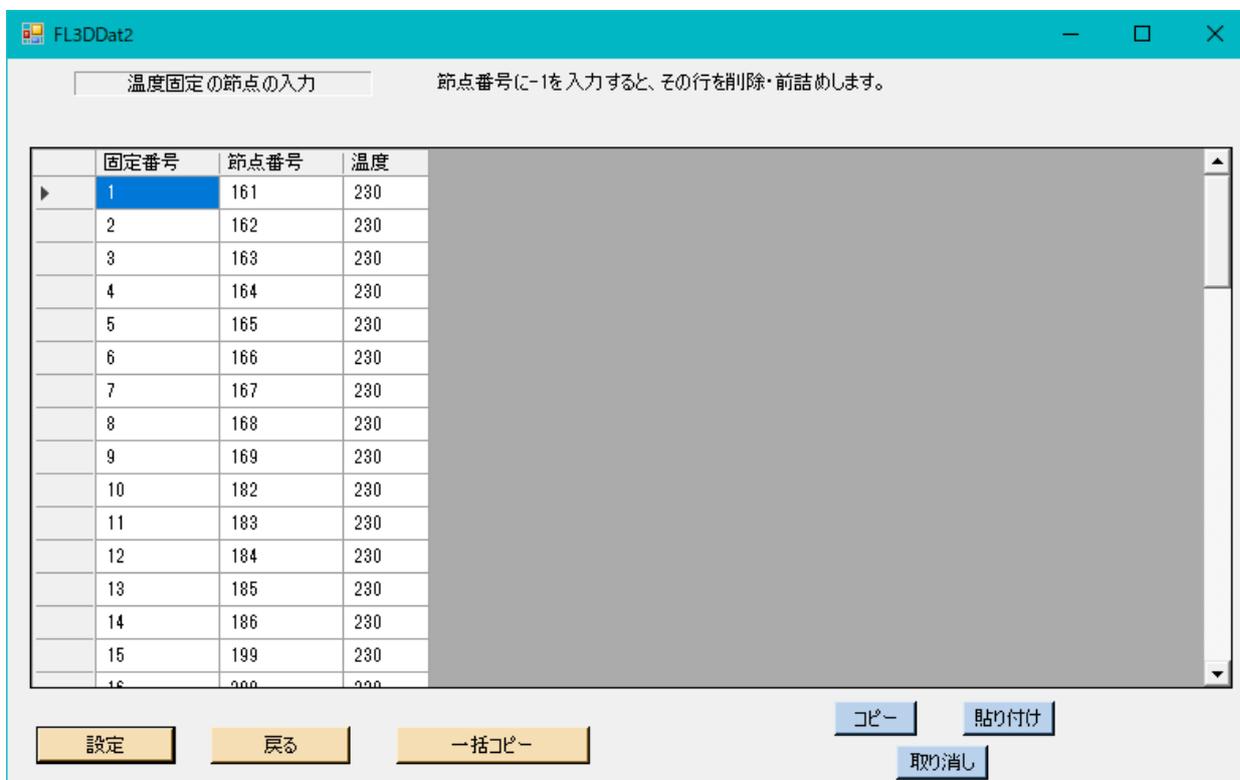


図4-8 温度固定の節点データ入力画面

4.10 温度固定の面データ入力画面

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

- ①温度固定の面数の分だけ固定番号が表示されているので、それぞれ要素番号、面番号と固定温度を入力します。
◇面番号は、要素内の1~6の面番号で、要素の節点番号順との関係は図1-1に示す通りです。この面番号は、構造の作画画面で表示して確認できます。
- ②要素番号に「-1」を入力すると、その行を削除して前詰めします。

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

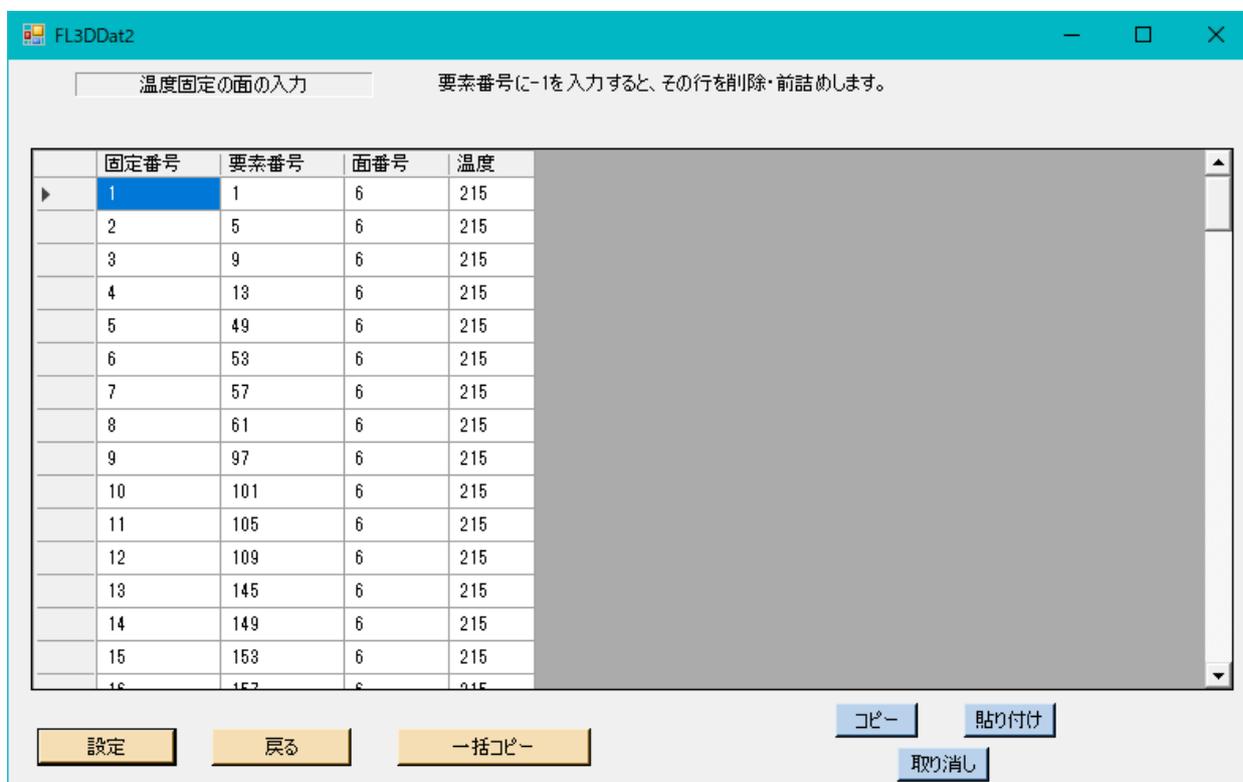


図4-9 温度固定の面データ入力画面

4.11 熱流束データ入力画面

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

図4-10に熱流束データ入力画面を示します。

- ① 熱流束境界の面の数の分だけ番号が表示されているので、それぞれ要素番号、面番号、熱流束値を入力します。
 - ◇面番号は、要素内の1～6の面番号で、要素の節点番号順との関係は図1-1に示す通りです。この面番号は、構造の作画画面で表示して確認できます。
 - ◇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 要素番号に「-1」を入力すると、その行を削除して前詰めします。
- ③ 1つの番号のデータを他の番号範囲へコピーしたい場合は、「一括コピー」ボタンをクリックして、まとめて実施できます。ただし、要素番号はコピーされません。
- ④ すべての熱流束データを入力し終わったなら、「設定」ボタンをクリックして次の画面に移ります。

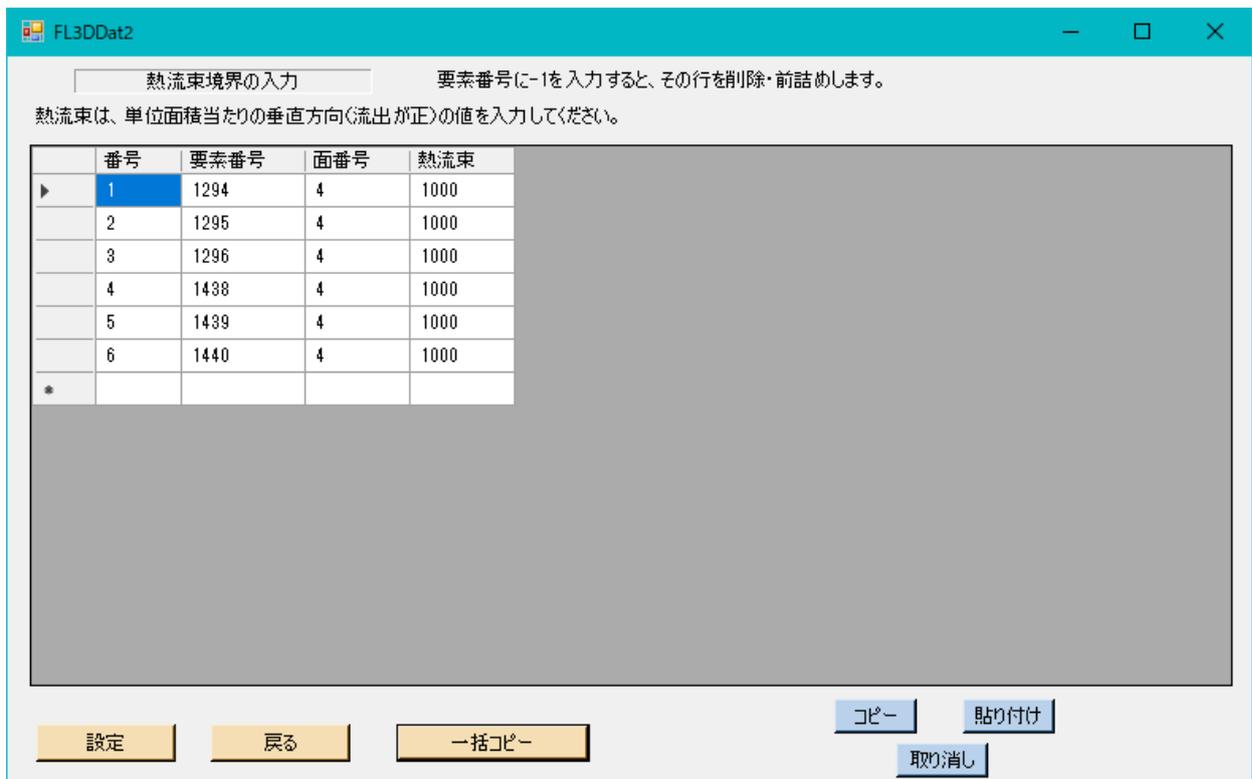


図4-10 熱流束データ入力画面

4.12 熱伝達データ入力画面

本入力は、熱伝達境界がある場合（熱伝達境界の面の数が1以上）にのみ実施します。
図4-11に熱伝達データ入力画面を示します。

- ①熱伝達境界の面の数の分だけ番号が表示されているので、それぞれ要素番号、面番号、ステップ数分の伝達係数・外部温度を入力します。
 - ◇面番号は、六面体要素では1～6の面番号で、要素の節点番号順との関係は図1-1に示す通りです。この面番号は、構造の作画画面で表示して確認できます。
 - ◇伝達係数は単位面積、単位時間、単位温度差当たりの熱流量です。
- ②要素番号に「-1」を入力すると、その行を削除して前詰めします。
- ③1つの番号のデータを他の番号範囲へコピーしたい場合は、「一括コピー」ボタンをクリックして、まとめて実施できます。ただし、要素番号はコピーされません。
- ④すべての熱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。



図4-11 熱伝達データ入力画面

4.13 熱放射データ入力画面

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

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



図4-12 熱放射データ入力画面

4.14 内部発熱データ入力画面

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

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

◇発熱率は、単位体積当たりの発熱量です。S I 単位は W/m^3 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わったなら、「設定」ボタンをクリックして次の画面に移ります。

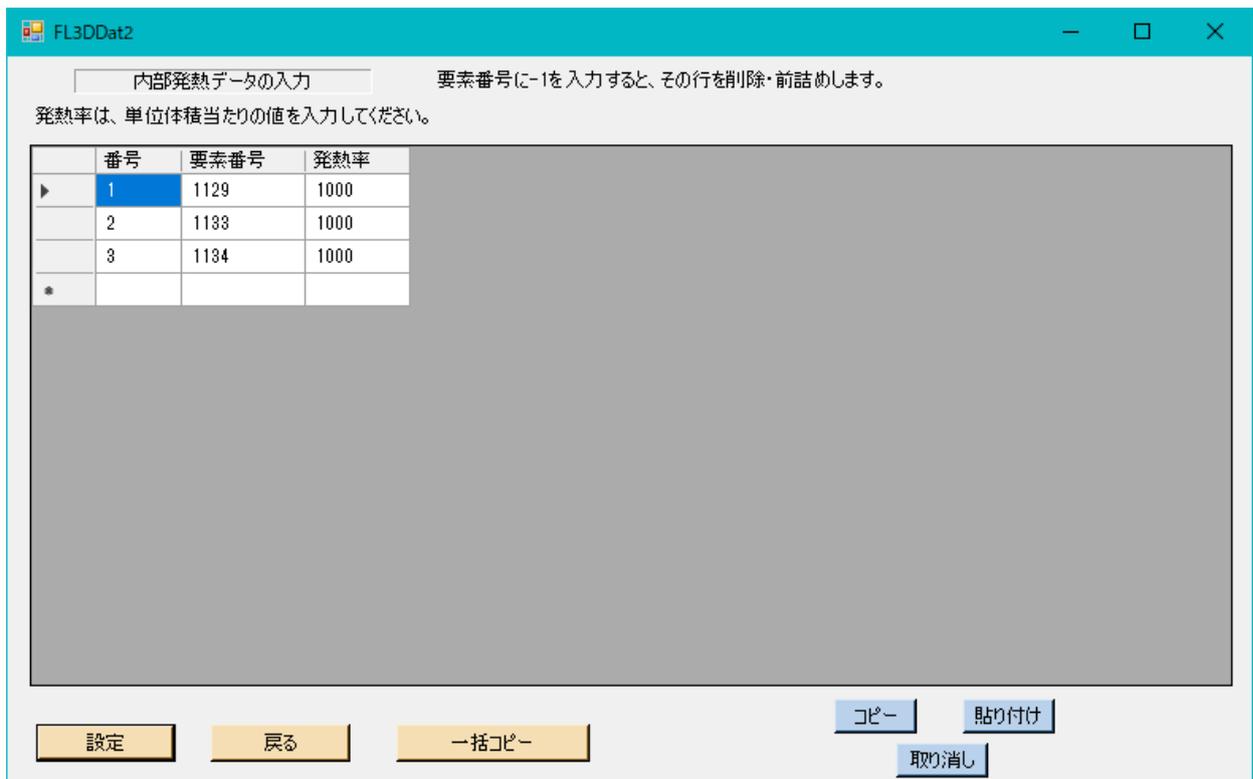


図4-13 内部発熱データ入力画面

4.15 物体力データ入力画面（全流路に共通）

本入力は、物体力有りを指定した場合にのみ実施します。図4-14に物体力データ入力画面を示します。

①各座標軸方向の加速度を入力します。

◇物体力は、質量×加速度で計算されます。物体力は重力を意味しますので、重力の加速度を入力します。

◇物体力の方向が1つの座標軸方向と一致している場合は、その座標軸方向のみ入力します。そうでない場合は、各座標軸方向の成分を入力します。

②すべての物体力データを入力し終わったなら、「設定」ボタンをクリックして、次の画面に移ります。

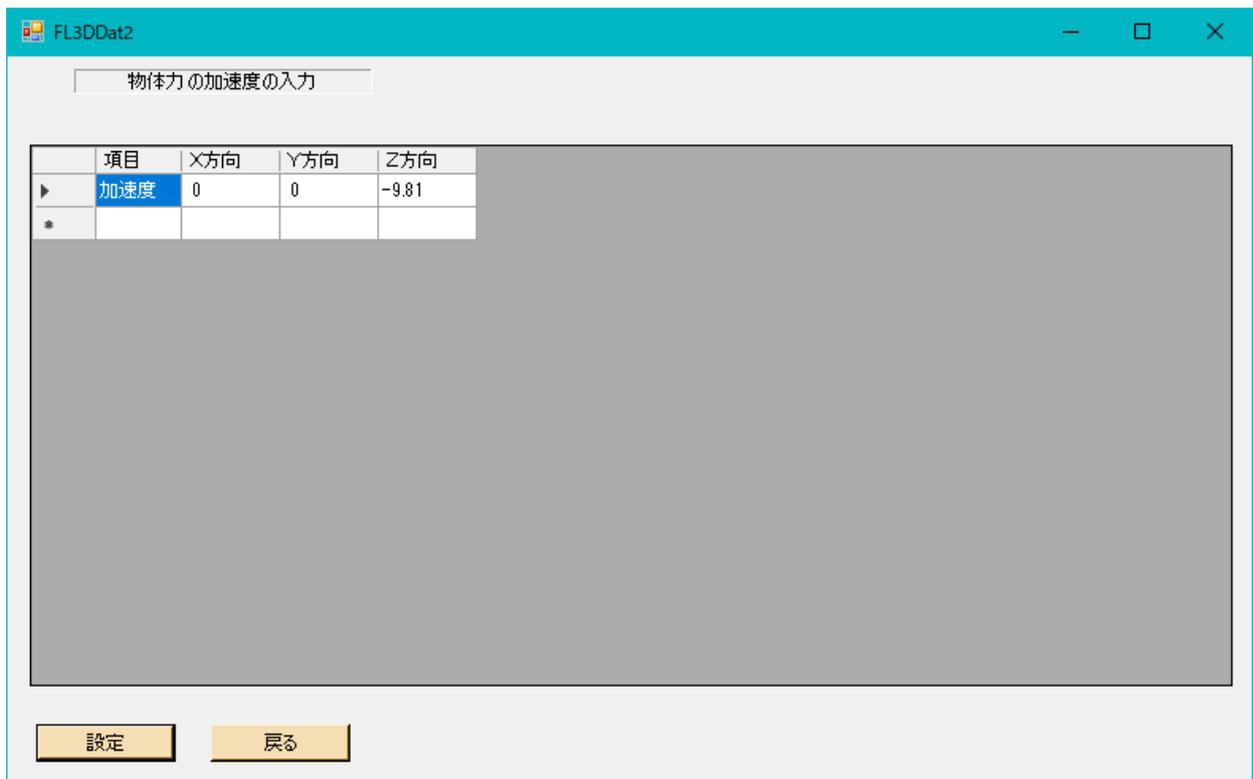


図4-14 物体力データ入力画面

4.16 速度・圧力の初期値データ入力画面

本入力は、速度・圧力の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なとなりますが、入力データにおいては、定常・非定常の区別はありません。図4-15に速度・圧力の初期値データ入力画面を示します。

- ①全節点について、速度・圧力の初期値を入力します。
 - ◇速度・圧力固定節点においては、速度・圧力の初期値は固定の値に自動設定されます。
- ②1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。
- ③すべての速度・圧力の初期値データを入力し終わったなら、「設定」ボタンをクリックして、次の画面に移ります。

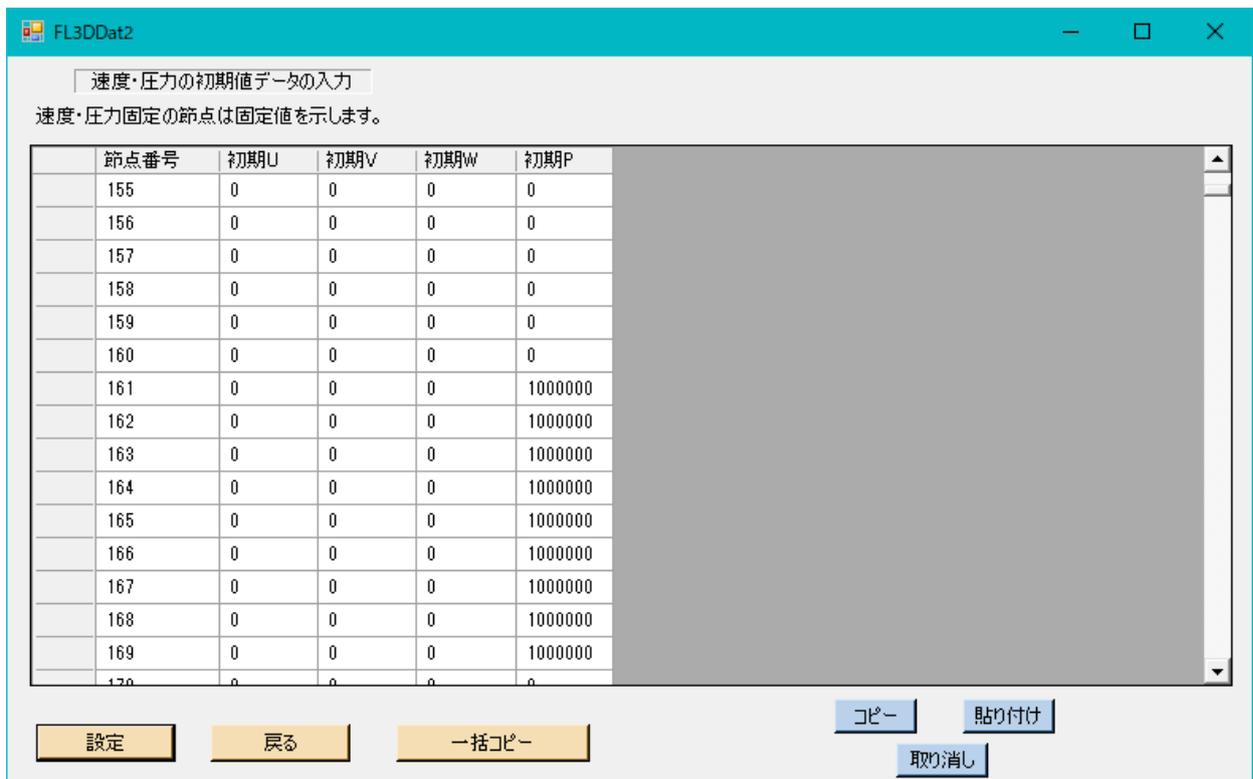


図4-15 速度・圧力の初期値データ入力画面

4.17 温度の初期値データ入力画面

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

①全節点について、初期温度を入力します。

◇全節点で同一温度を設定する場合は、図4-16で「一括設定」ボタンをクリックします。そうすると、図4-17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4-16で「ファイル読み込み」ボタンをクリックします。それ以降は、速度・圧力の初期値データ設定画面と同じです。

◇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「材料別一括設定」ボタンをクリックすると、材料番号と温度を入力して一括設定できます。

③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、図4-2のデータ仕様入力画面に戻ります。



図4-16 温度の初期値データ入力画面

4.18 ファイルへの保存

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

図4-17に入力データファイル例を示します。

◇ 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, FlowTherm3D
3次元流れ熱伝導テスト
節点数, 6981
要素数, 1440
材料データ数, 2
速度・圧力固定の節点数, 0
速度・圧力固定の面の数, 32
温度固定節点数, 0
温度固定の面の数, 136
熱流束境界の面の数, 0
熱伝達境界の面の数, 120
熱放射境界の面の数, 0
内部発熱の要素の数, 0
物体力の有無 (0:なし、1:有り), 0
速度・圧力の初期値データの有無, 1
温度の初期値データの有無, 1
ガウス積分点数, 3
1節点当りの変数の数, 4
要素データ (要素番号、材料番号、20節点番号)
1, 1, 1, 26, 39, 40, 41, 27, 3, 2, 482, 495
   496, 483, 651, 676, 689, 690, 691, 677, 653, 652
2, 1, 39, 64, 77, 78, 79, 65, 41, 40, 495, 508
   509, 496, 689, 714, 727, 728, 729, 715, 691, 690
3, 1, 77, 102, 115, 116, 117, 103, 79, 78, 508, 521
   522, 509, 727, 752, 765, 766, 767, 753, 729, 728
4, 1, 115, 140, 153, 154, 155, 141, 117, 116, 521, 534
   535, 522, 765, 790, 803, 804, 805, 791, 767, 766
5, 1, 3, 27, 41, 42, 43, 28, 5, 4, 483, 496
   497, 484, 653, 677, 691, 692, 693, 678, 655, 654
. . . . .
1436, 1, 6289, 6304, 6327, 6328, 6329, 6305, 6291, 6290, 6485, 6498
   6499, 6486, 6939, 6954, 6977, 6978, 6979, 6955, 6941, 6940
1437, 1, 6177, 6191, 6215, 6216, 6217, 6192, 6179, 6178, 6447, 6460
   6461, 6448, 6827, 6841, 6865, 6866, 6867, 6842, 6829, 6828
1438, 1, 6215, 6229, 6253, 6254, 6255, 6230, 6217, 6216, 6460, 6473
   6474, 6461, 6865, 6879, 6903, 6904, 6905, 6880, 6867, 6866
1439, 1, 6253, 6267, 6291, 6292, 6293, 6268, 6255, 6254, 6473, 6486
   6487, 6474, 6903, 6917, 6941, 6942, 6943, 6918, 6905, 6904
1440, 1, 6291, 6305, 6329, 6330, 6331, 6306, 6293, 6292, 6486, 6499
   6500, 6487, 6941, 6955, 6979, 6980, 6981, 6956, 6943, 6942
節点データ (節点番号、X座標、Y座標、Z座標)
1, 0, .05, 0
2, 0, .05, .0025
3, 0, .05, .005
4, 0, .05, .0075
5, 0, .05, .01
. . . . .
6977, .08, 0, .04
6978, .08, 0, .0425
6979, .08, 0, .045
6980, .08, 0, .0475
6981, .08, 0, .05

```

図4-17 (1/2) 入力データファイル例

材料データ (材料番号、区分(0:流体 1:壁)、密度、比熱、熱伝導率、粘度 (基準)、粘度式の種類)

```

1, 1, 7800, 480, 47, 0, 0
2, 0, 950, 2340, .143, 717, 3
(3) LOG(η)=A0+A1*LOG(GD)+A2*Temp+A3*(LOG(GD)^2)+A4*LOG(GD)*Temp+A5*(Temp^2)
A0、A1、A2、A3、A4、A5=
23.9, -.7324, -.1021, -.01877, .001553, .0001566

```

速度・圧力固定の面のデータ

(面固定番号、要素番号、面番号、U拘束、U値、V拘束、V値、W拘束、W値、P拘束、P値)

```

1, 65, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1000000
2, 66, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1000000
3, 67, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1000000
4, 68, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1000000

```

```

29, 1373, 2, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0
30, 1374, 2, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0
31, 1375, 2, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0
32, 1376, 2, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0

```

温度固定の面のデータ (面固定番号、要素番号、面番号、温度)

```

1, 1, 6, 215
2, 5, 6, 215
3, 9, 6, 215

```

```

134, 78, 1, 230
135, 79, 1, 230
136, 80, 1, 230

```

熱伝達データ (熱伝達番号、要素番号、面番号、熱伝達係数、外部温度)

```

1, 36, 5, 1000, 210
2, 40, 5, 1000, 210
3, 44, 5, 1000, 210

```

```

118, 1432, 5, 1000, 210
119, 1436, 5, 1000, 210
120, 1440, 5, 1000, 210

```

節点番号、初期速度U、初期速度V、初期速度W、初期圧力P

```

1, 0, 0, 0, 0
2, 0, 0, 0, 0
3, 0, 0, 0, 0

```

```

6979, 0, 0, 0, 0
6980, 0, 0, 0, 0
6981, 0, 0, 0, 0

```

節点番号、初期温度T

```

1, 215
2, 215
3, 215

```

```

6979, 220
6980, 220
6981, 220

```

図4-17 (2/2) 入力データファイル例

4.19 構造の作画

サブメニューの「構造の作画」を選択すると、全体構造の透視図が画面に作画されます。図4-18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) 本画面の上側と左側に、作画の種々のパラメーターを表示してあり、それらを変更することができます。変更した後は、「再描画」ボタンをクリックすると、新しいパラメーター条件による作画画面に変更されます。
- 2) パラメーターの「視点とモデルの距離倍率」は、透視変換の度合を調整するもので、小さくすると中心投影に近づき、大きくすると平行投影に近づきます。
- 3) 「視点の高さ倍率」は、透視の視点の高さを調整するもので、小さくすると視点が下がり、大きくすると上がります。
- 4) 「番号表示の項目」は、「要素番号」、「節点番号」、「面番号」を選択できます。
 - ◇上記のいずれかの番号表示を選択した場合に、「番号表示の文字サイズ」が有効になります。
 - ◇なお、面番号は()付きの数字で作画されます(後掲の図4-22参照)。
 - 注) 要素番号は、隠れて見えないことがあります。
- 5) 以上のパラメーターを変更した後、最初の状態に戻すには、「標準条件に設定」ボタンをクリックします。
- 6) 「壁の表示」は、「有り」の場合は全体構造、「なし」の場合は流路のみを示します。
 - ◇図4-19は流路のみの画面です。
- 7) 「Shift+マウス」により構造を回転することができます。
 - ◇構造図の任意の場所で、Shiftキーとマウス左ボタンを押したまま、回転したい方向へマウスを移動させ、そこでマウスボタンを離します。そうしますと、回転が実行されます。
 - ◇図4-20にマウスの操作方向と回転方向の関係を示します。同図のように、スクリーンの場所により、Z軸回り、X軸回りの各回転、または構造中心回りの旋回が実施されます。
 - ◇構造図の「説明」ボタンをクリックすると、図4-20と同じ説明図が表示されます。
- 8) 「ホーム」ボタンをクリックすると、初期の回転位置に戻ります。
- 9) 「要素の指定番号」は、作画する要素1個を指定したい場合に要素番号を入力します。
 - ◇要素を指定しない場合は0を入力します。
- 10) 「標準・全画面切替」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。
- 11) 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。
- 12) 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。
 - ◇マウスドラッグは、拡大したい部分の左上隅にマウスを移動し、そこでマウスの左

ボタンを押し、その左ボタンを押した状態で拡大部分の右下隅までマウスを移動させ、そこで左ボタンを離します。そうしますと、図4-21のようにマウストラッグ範囲の矩形が表示され、コモンダイアログで「選択領域を拡大しますか？」と問うてきます。そこで、「はい」を選択すると、選択領域が拡大されて表示されます。

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

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

◇図4-21の選択領域を拡大した後、番号表示の項目をすべて選択して「再描画」した画面を図4-22に示します。

13) 「条件設定部の表示」は、「速度・圧力固定部分（緑色）」、「温度計算条件部分（赤色）」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4-21では「速度・圧力固定部分（緑色）」が表示されています。

14) 任意の要素面を右クリックすると、当該要素面の要素番号・節点番号・面番号が表示されます。

◇ESCキーを押すと上記の番号表示が解除されます。

15) 「データ設定モード」を選択して、任意の要素面を右クリックすると図4-23のようにデータ項目選択画面が出て、境界条件のデータ入力・変更を実施できます。

◇図4-23の画面でいずれかのデータ項目を選択し、「設定」ボタンをクリックすると図4-24のデータ入力画面に移ります。同図は速度・圧力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、表の最下行にデータを追加できるようになっています。図4-24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。

16) 「Ctrlキー+マウス」で矩形ドラッグすると、図4-25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、条件項目により要素面、または節点の任意の領域となります。ただし、要素面は外周の面（穴の面を含む）に限定されます。

◇条件項目に必要な面・節点を選択されていない場合は、エラーメッセージが出ます。なお、面と節点は隠面に属するものは対象外となります。

◇図4-25の画面でいずれかのデータ項目を選択し、「設定」ボタンをクリックすると図4-26のデータ入力画面に移ります。同図は熱流束境界データの入力画面ですが、他のデータ項目でも同様です。同図でのデータ入力は、一括設定のために番号等の表示が省略されている以外は、前述の「データ入力・修正」サブメニュー以降の各データ入力画面と同様です。ただし、「一括削除」ボタンが追加されています。図4-26で「設定」ボタンをクリックすると、データが一括設定され、図4-27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。

◇図4-28に温度固定節点のデータ入力画面を示します。通常の表形式での入力の他に、「要素節点温度一括」ボタンにより要素内の節点温度を一括設定できます。これは、流入口の温度を安定させる場合に使用します。

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

◇さかのぼれる描画の数は最大8つです。

◇回転操作があっても無視され、初期の回転位置で描画されます。

18) 「面切断設定」ボタンをクリックすると、図4-29の面切断設定の画面に移り、面切断の仕方を設定できます。この面切断とは、座標軸に直角な平面で構造を切断し、2分割されたいずれかの構造図を描くものです。図4-29の画面では次のように操作します。

a) 座標軸としてX、Y、Zのいずれかを選択し、その座標値と許容誤差を入力します。

b) さらに、その平面の正側か負側かを選択します。

c) 「設定」ボタンをクリックすると面分割された構造部分が選択されて、構造図に戻ります。

19) 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。

20) 本画面を終了するには、「中止」ボタンをクリックします。

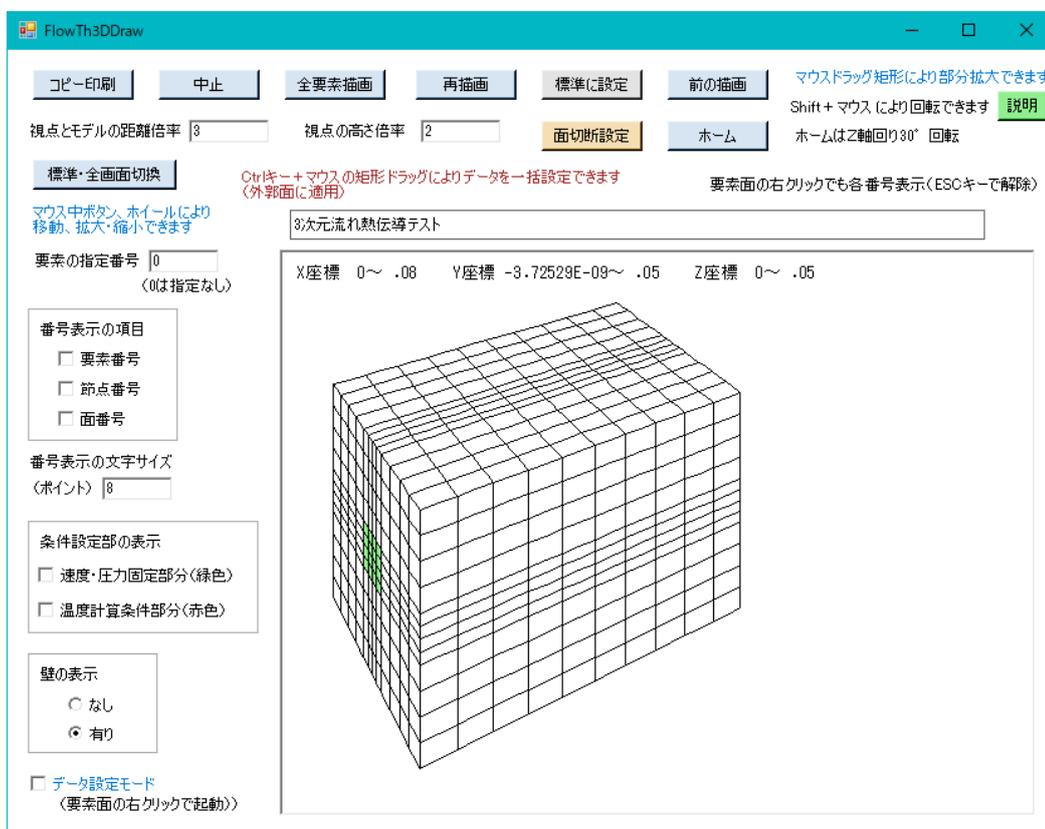


図4-18 構造作画の画面例

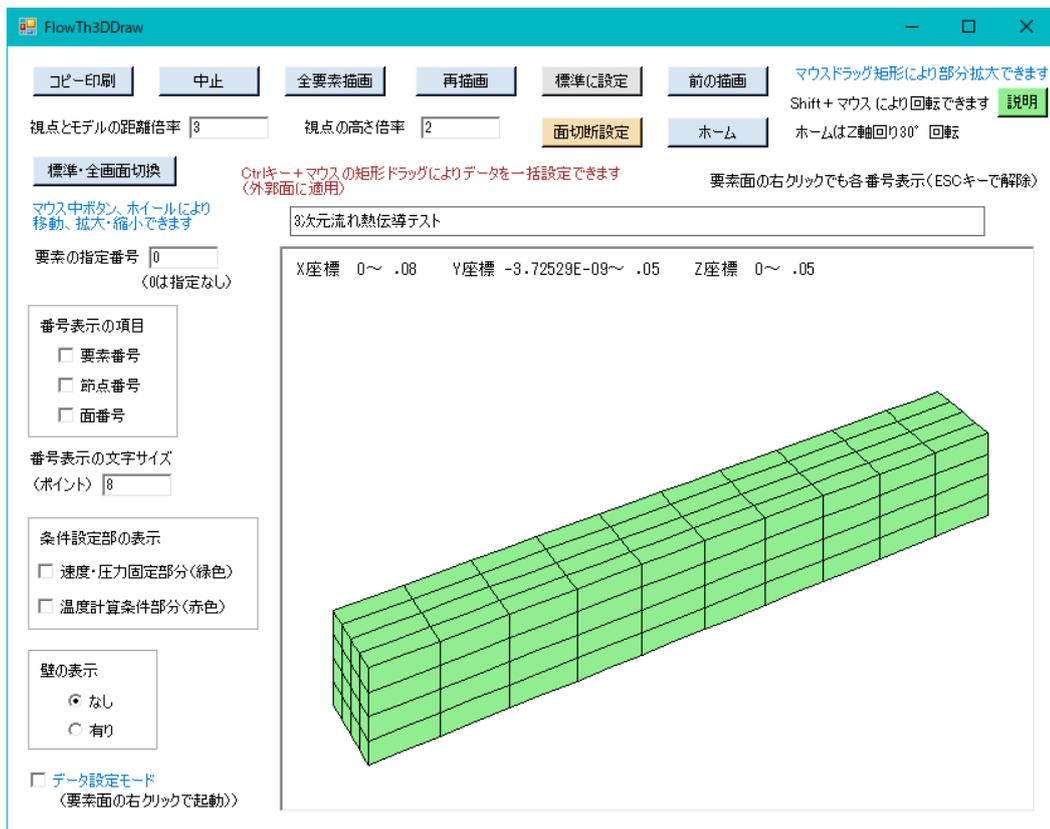


図4-19 流路のみの構造作画の画面例（壁面の表示なし）

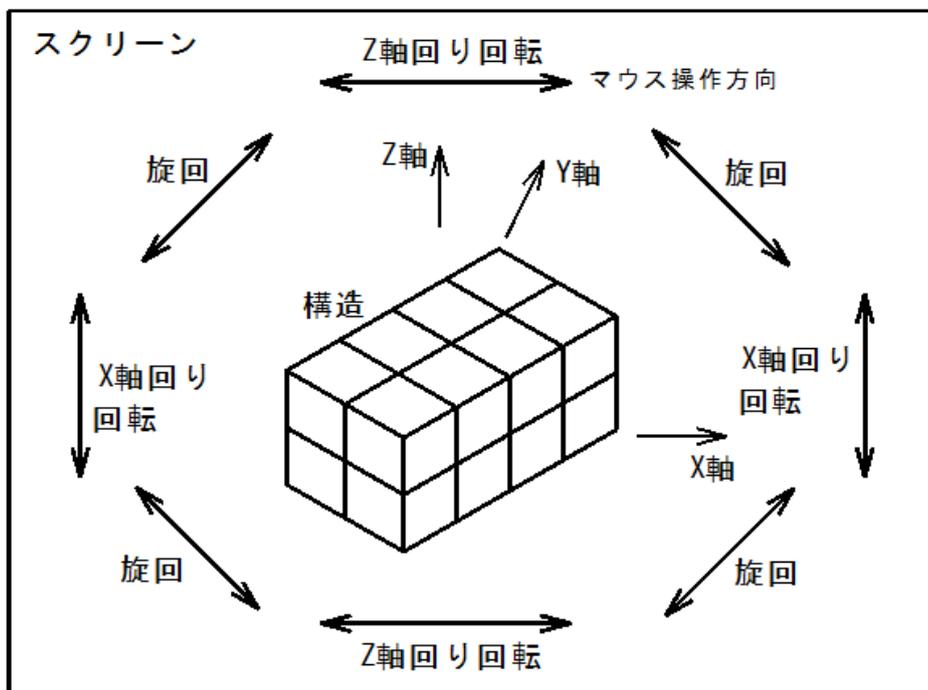


図4-20 マウスの移動方向と回転方向との関係（Shiftキー併用）

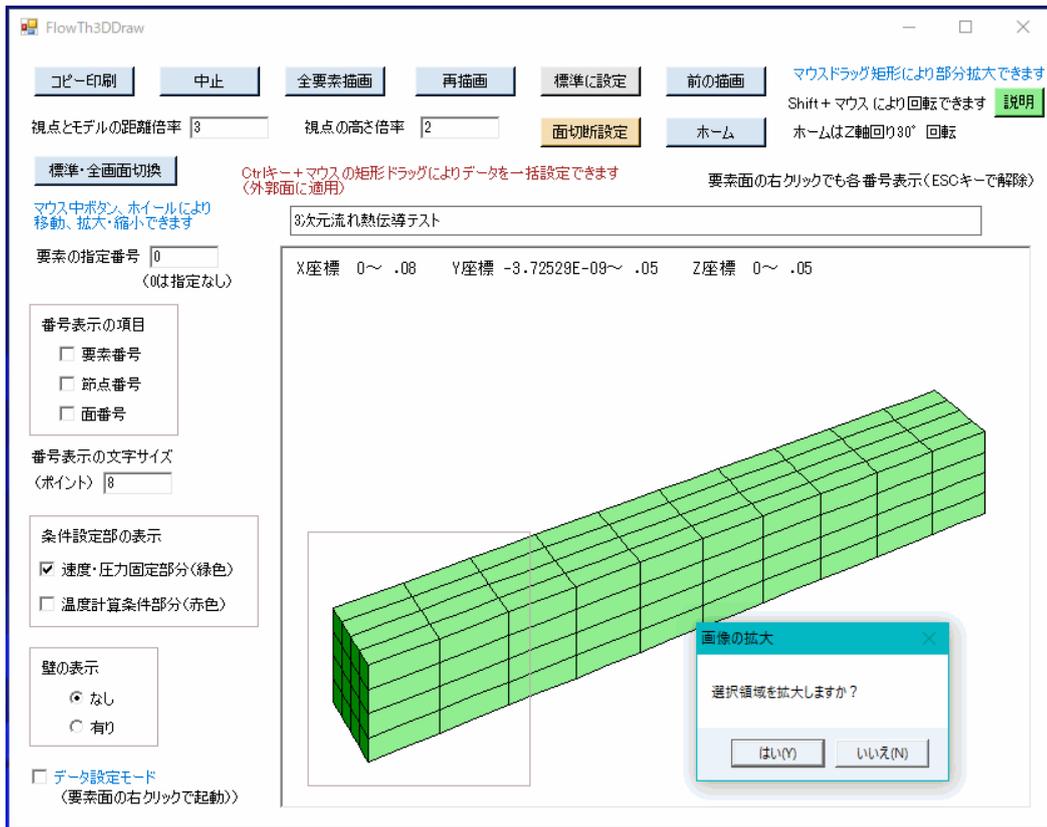


図4-21 構造作画における拡大領域選択例

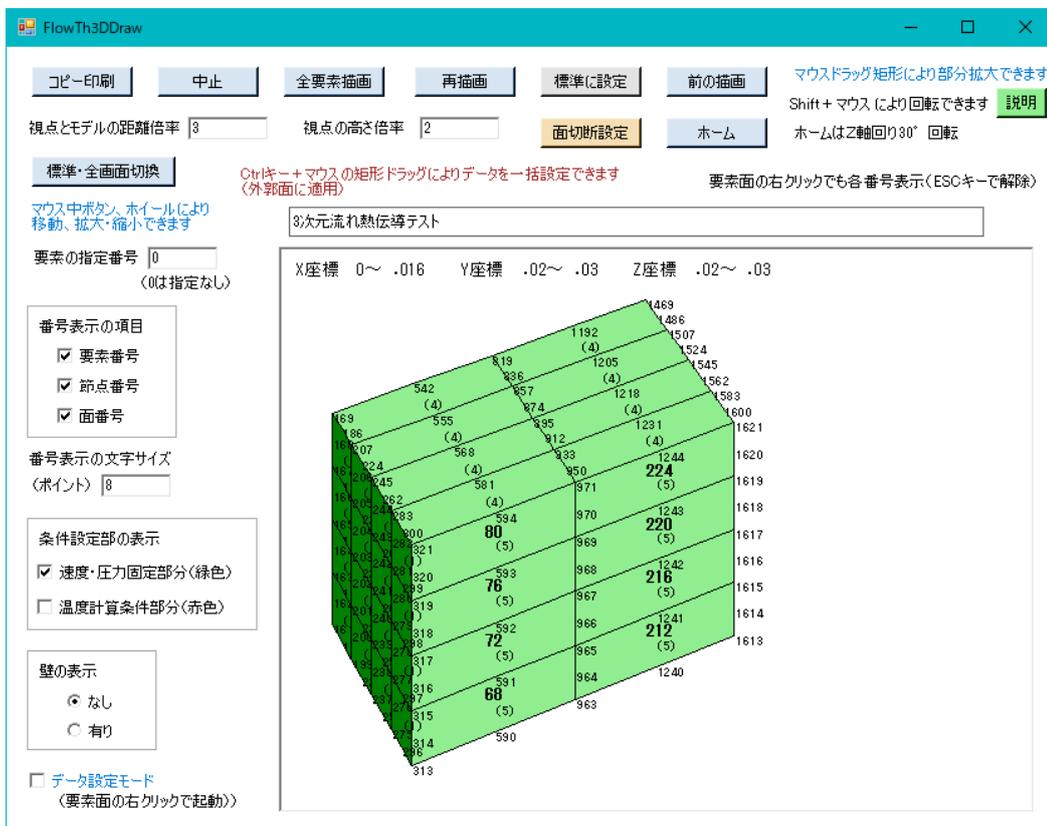


図4-22 構造作画の番号表示有りの部分拡大例

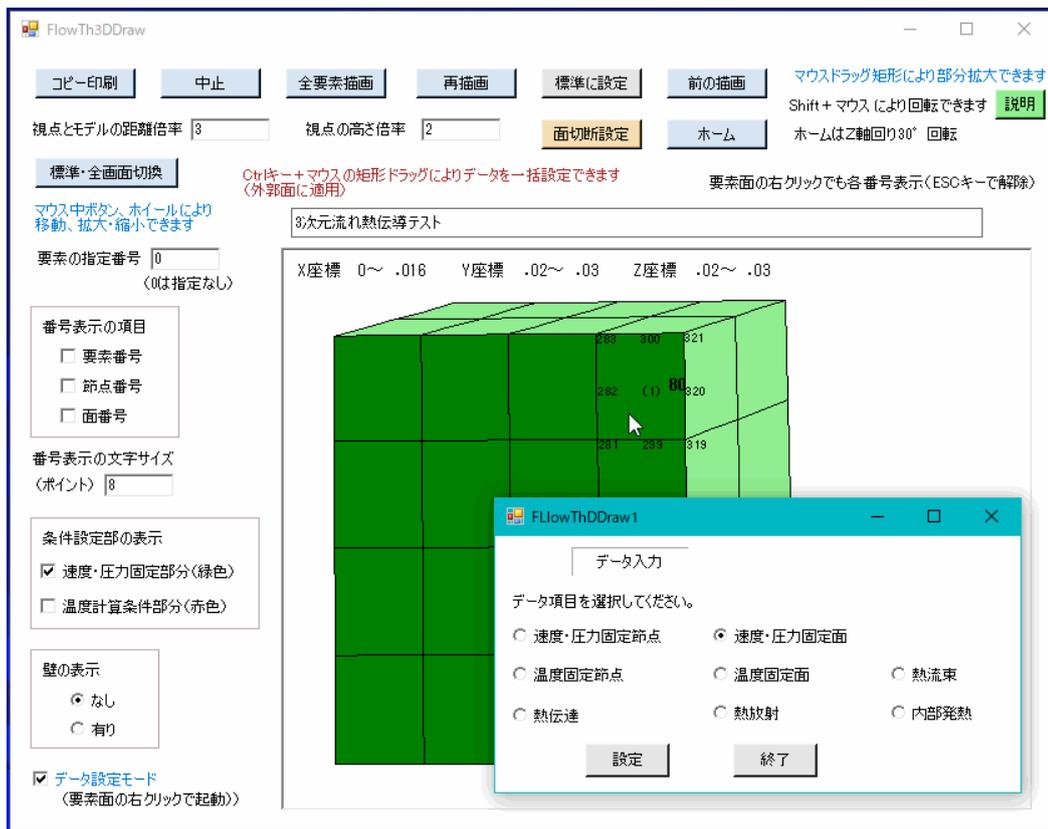


図4-23 構造作画のデータ設定モードにおけるデータ項目選択画面

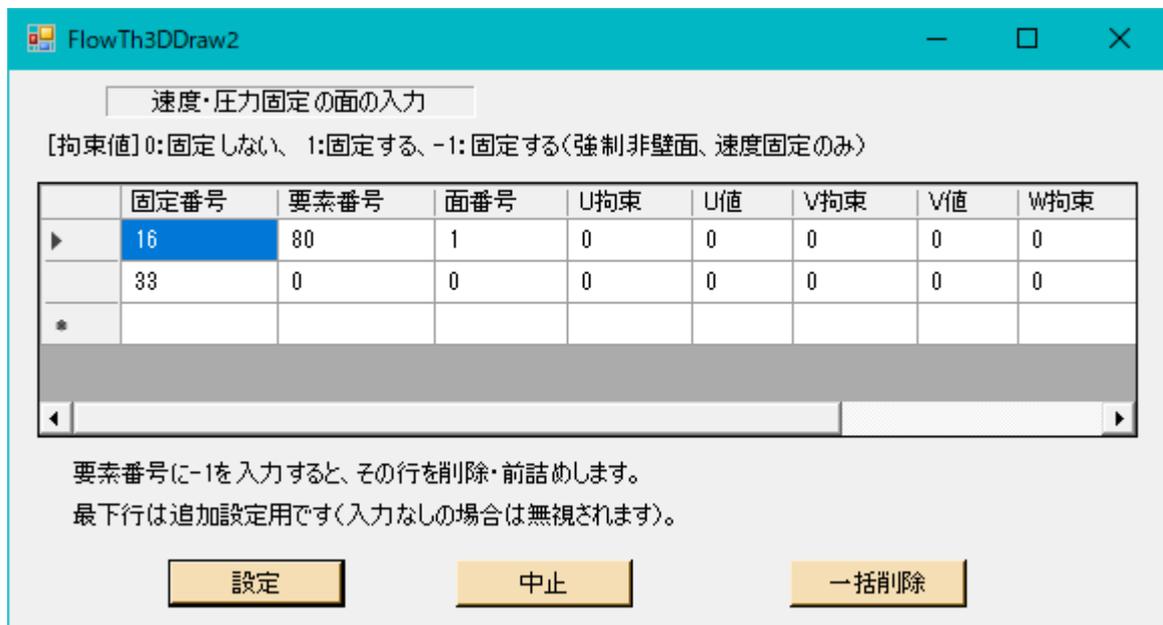


図4-24 構造作画におけるデータ入力画面例（速度・圧力固定の面の場合）

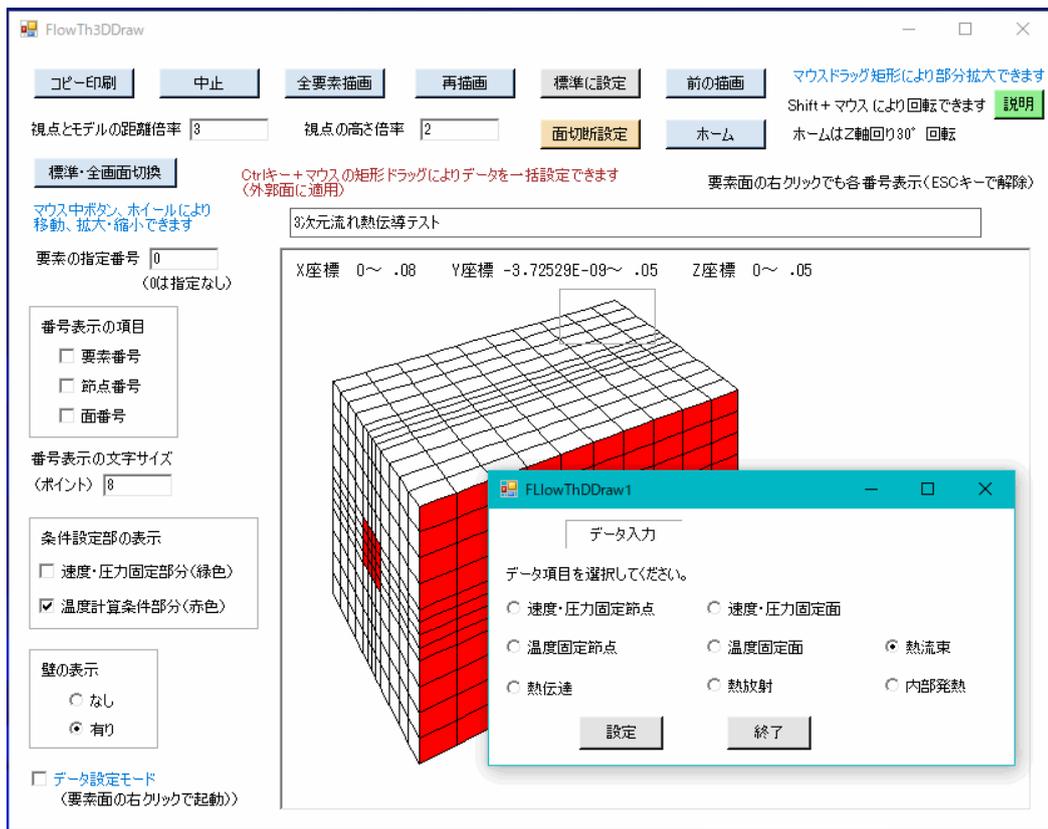


図4-25 構造作画の「Ctrlキー+マウス」ドラッグ矩形によるデータ項目選択画面

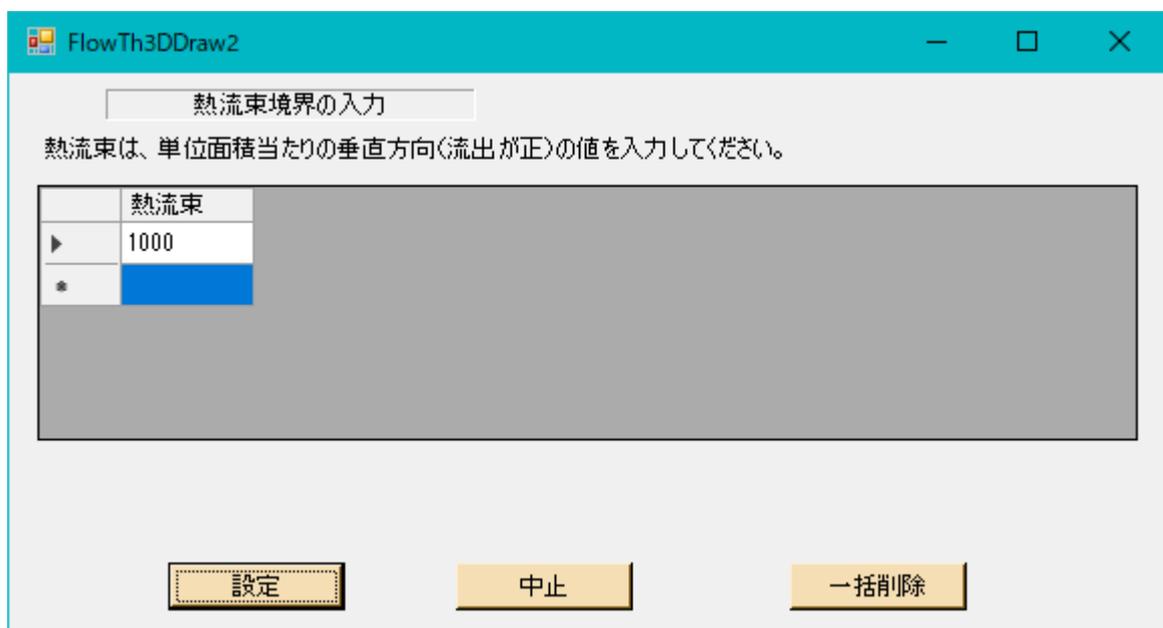


図4-26 構造作画における一括設定データ入力画面例
(熱流束境界の場合)

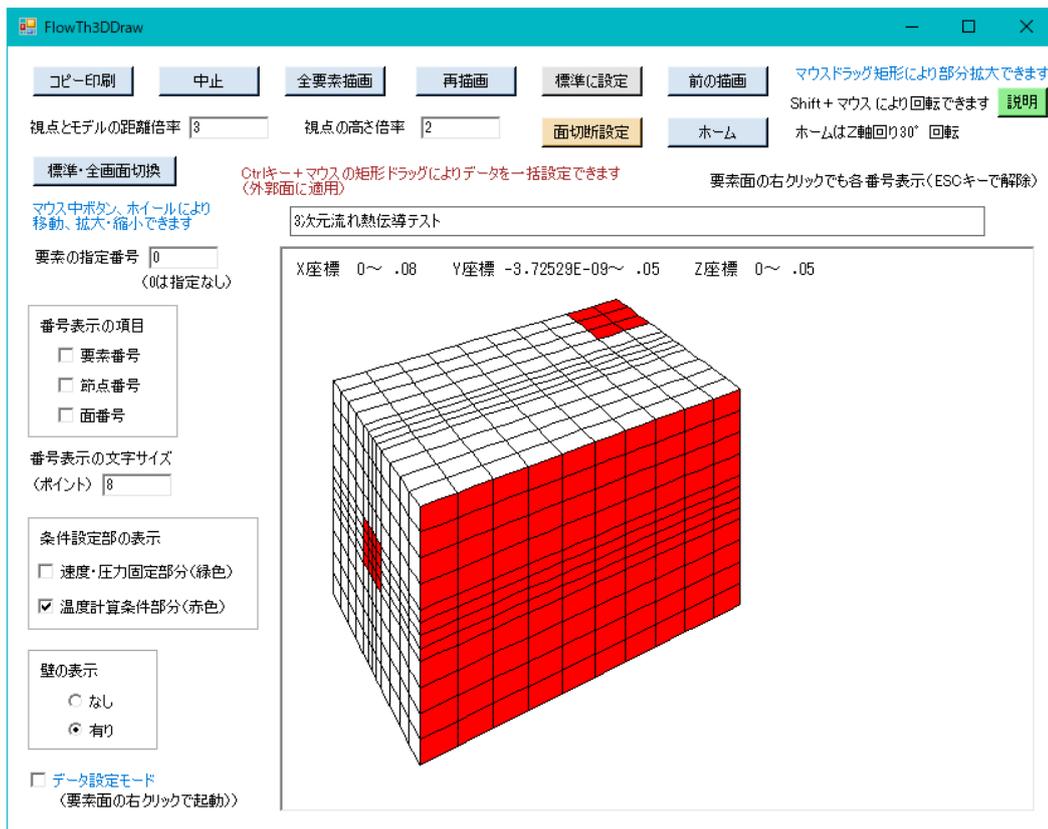


図4-27 一括設定終了後の構造作画の画面例（熱流束境界の場合）
注）右上部に熱流束面の追加表示（赤色）

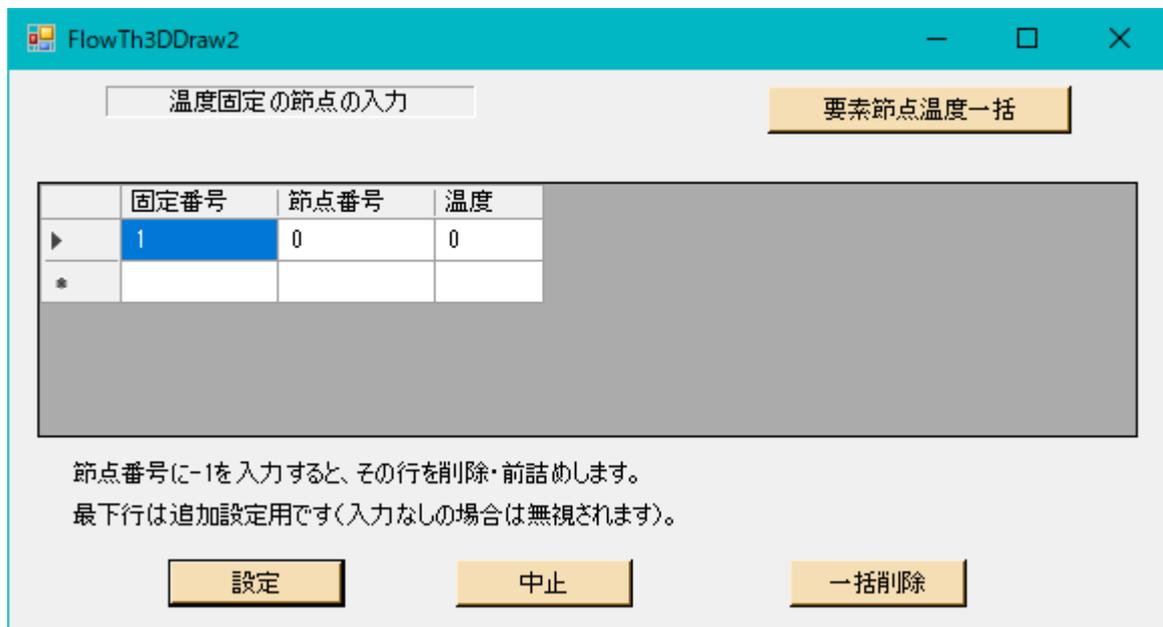


図4-28 構造作画におけるデータ入力画面例（温度固定節点の場合）



図4-29 面切断設定の画面

4.20 構造モデルの移動

サブメニューの「構造モデルの移動」を選択すると、図4-30の移動量入力画面となります。同画面で、平行移動の各座標軸方向の移動量、および回転移動の各座標軸回りの回転角を入力します。同図に示すように、移動の順序は、Z軸回りの回転、Y軸回りの回転、X軸回りの回転、最後にX, Y, Z軸方向の平行移動となります。もし、違う順序で移動させた場合は、「構造モデルの移動」を繰り返し実施することにより可能です。その際は、各繰り返し毎の生成データをファイルへ保存する必要はなく、最終の生成データのみをファイル保存すればよいです。

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

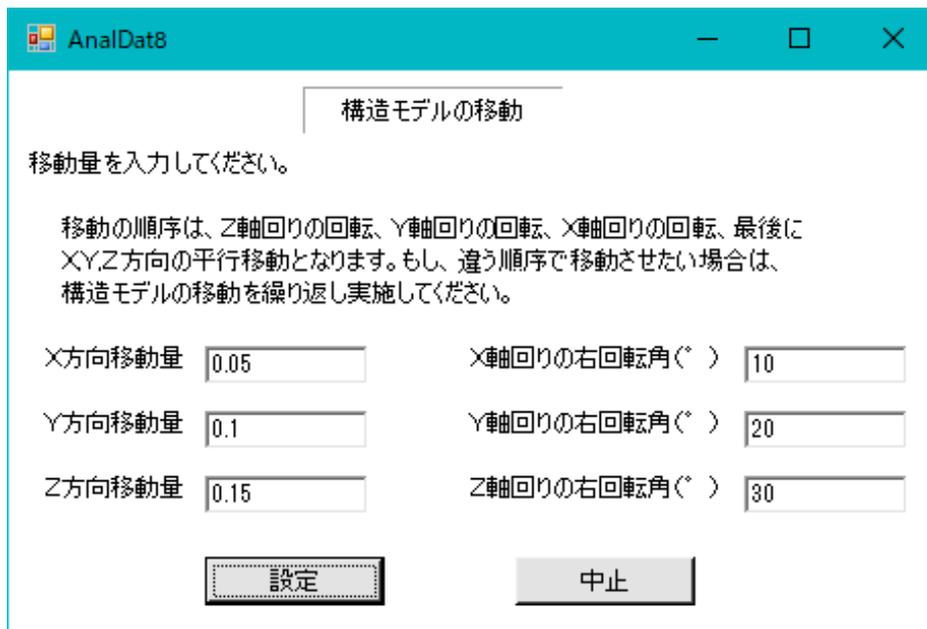


図4-30 構造モデルの移動量入力画面

4.21 各種境界面の一括設定

サブメニューの「各種境界面の一括設定」を選択すると、図4-31の一括設定の変数値入力画面となります。

- ①まず、境界種別として速度・圧力固定、温度固定、熱流束のいずれかを選択します。
- ②次に、その境界の変数値を入力します。
 - ◇速度・圧力固定の変数値については、4.8節の固定条件と同じです。
- ③本画面の「設定」ボタンをクリックすると、次の境界面一括設定画面に移ります。

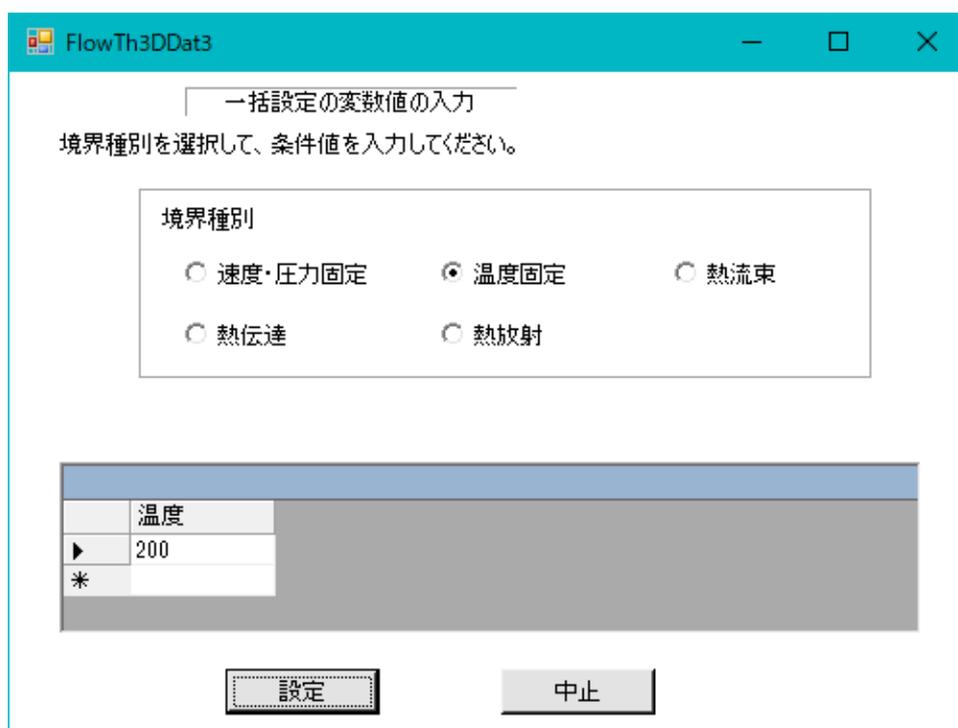


図4-31 一括設定の変数値の入力画面

図4-32の境界面一括設定画面について説明します。ここで、境界面は要素の外部面が対象で、面の全節点が指定条件に当てはまるすべての外部面に対して上記指定種類の境界面を一括設定できるものです。

- ①X座標範囲、Y座標範囲、Z座標範囲、円筒面範囲について、条件設定したい任意のものをチェック選択します。
- ②X座標範囲、Y座標範囲、Z座標範囲をチェック選択した場合は、各座標の下限と上限を入力します。
◇座標の下限と上限は、コンピュータ誤差等を見込んだ余裕を見て設定します。
- ③円筒面範囲をチェック選択した場合は、同画面で円筒面定義式を1つ選択します。
そして、円筒面定義式における中心座標A、B、および半径Rの下限、上限を入力します。
◇Rの下限と上限は、コンピュータ誤差等を見込んだ余裕を見て設定します。
- ④本画面の「設定」ボタンをクリックすると、一括設定の計算が実行されます。計算が終了すると、計算終了確認ボックスが出て、入力データファイルへの保存を問うてきますので、ここで「はい」を選択すると、書き出し用のデータファイル設定画面となり、データファイルを出力できます。また、「いいえ」を選んでも、後でサブメニュー「ファイルへ保存」により、同様にファイル出力できます。

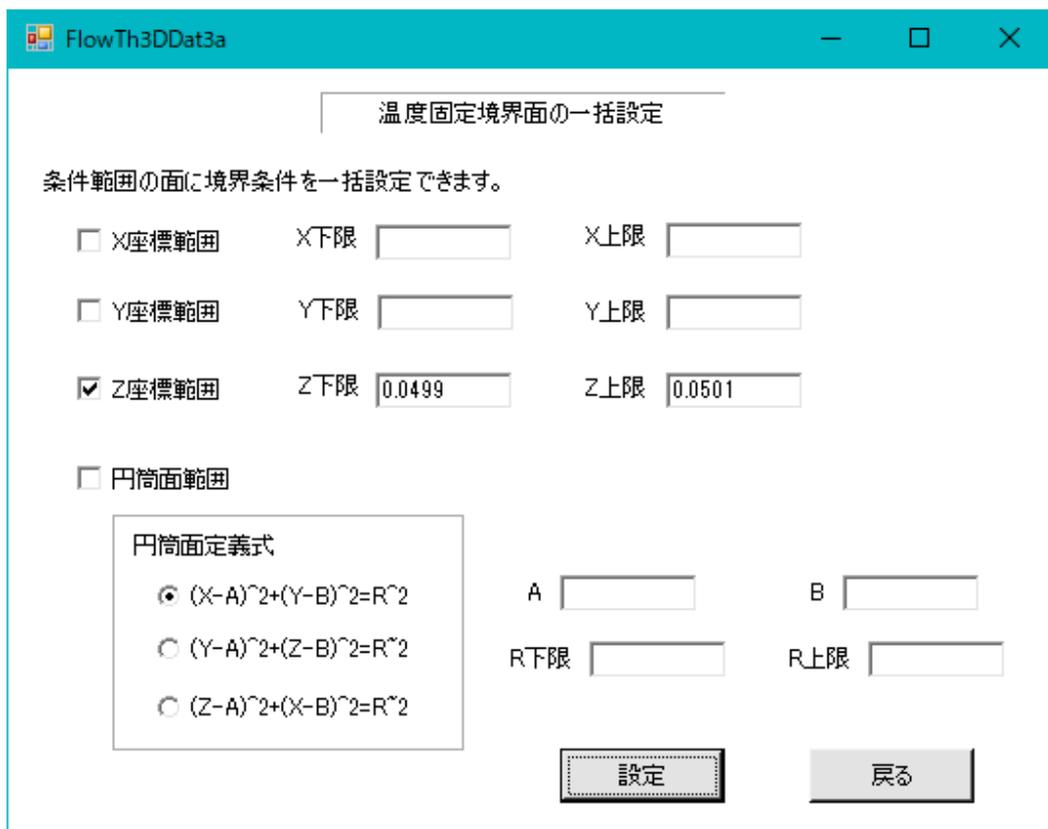


図4-32 境界面の一括設定画面

4.22 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、解析の計算開始時にデータチェックが自動実行されます。

4.23 X3Dファイルの出力

サブメニューの「X3Dファイルの出力」を選択すると、図4-33のファイル設定画面となります。同画面で、「入力ファイル指定」ボタンをクリックすると、コマンドダイアログで入力データファイルを選定できます。そして、再びファイル設定画面に戻ると、「入力ファイル指定」のテキストボックスには選定済み入力ファイル名が、また「出力ファイル指定」の方には入力ファイル名の拡張子を「.x3d」に変更したファイル名が表示されます。もし、他のファイル名に変更したい場合は、テキストボックスで修正できます。

本画面で「設定」ボタンをクリックすると、X3Dファイルが出力されます。

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

2) 出力したX3DファイルはX3Dプレーヤーで閲覧できます。

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

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

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

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

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

①Blenderを起動し、初期オブジェクト(Cube)を削除してください。

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

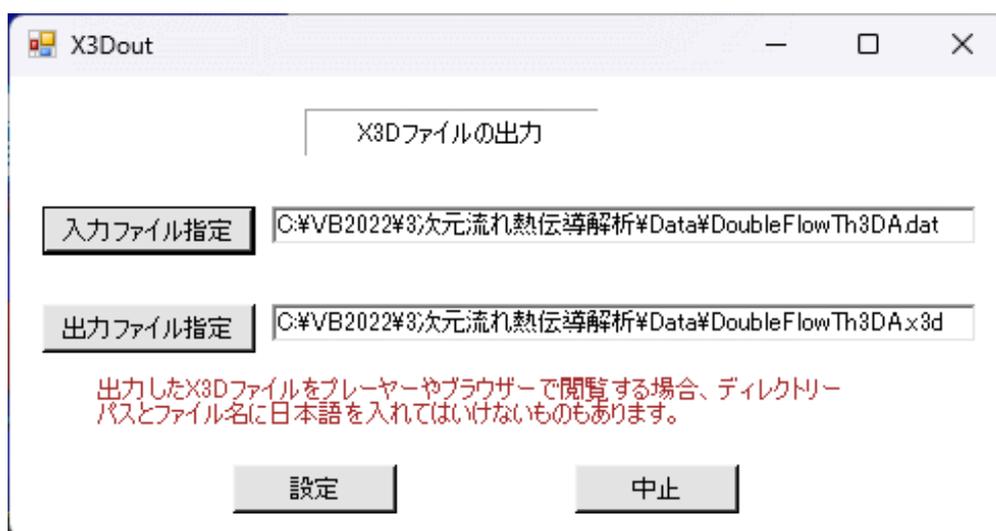


図4-33 X3Dファイル出力のファイル設定画面

4.24 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。

4.25 解析結果を初期値に設定

1) サブメニューの「解析結果を初期値に設定」を選択すると、図4-34の結果ファイル設定画面となります。

① 同画面で、解析結果ファイルを設定します。ただし、操作中データとは、構成が全く同一でなければなりません。

◇解析結果ファイルは、定常解析でも非定常解析でも適用できます。

② 解析の最終結果が初期値に設定されます。

2) 本画面の「設定」ボタンをクリックすると、解析結果が初期値に設定されます。

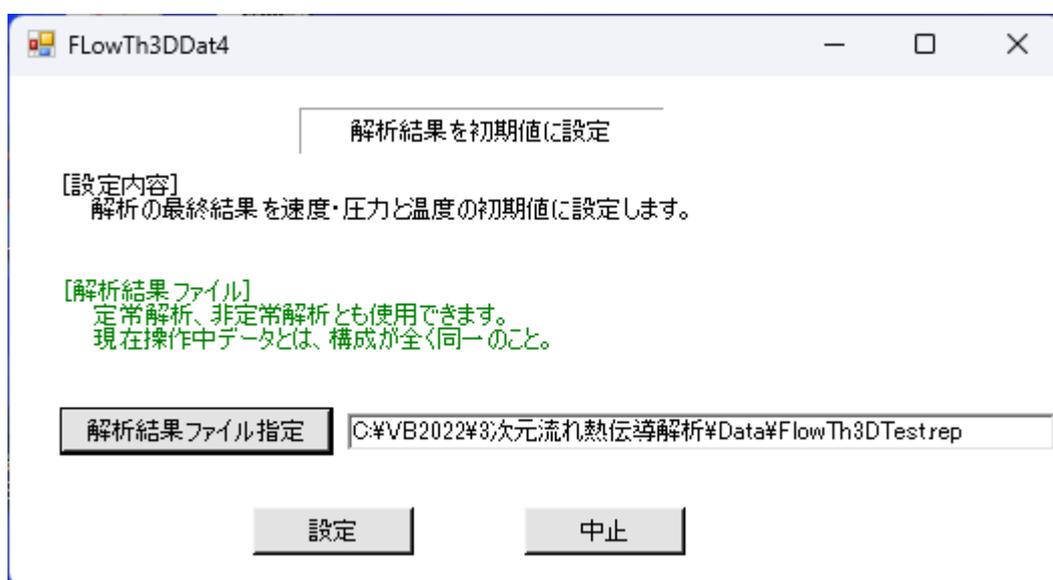


図4-34 「解析結果を初期値に設定」の結果ファイル設定画面

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。同図に示すように、3個のサブメニューがあります。「定常解析」、「非定常解析」の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。また、「体積計算」は補助機能であり、5.6節で説明します。

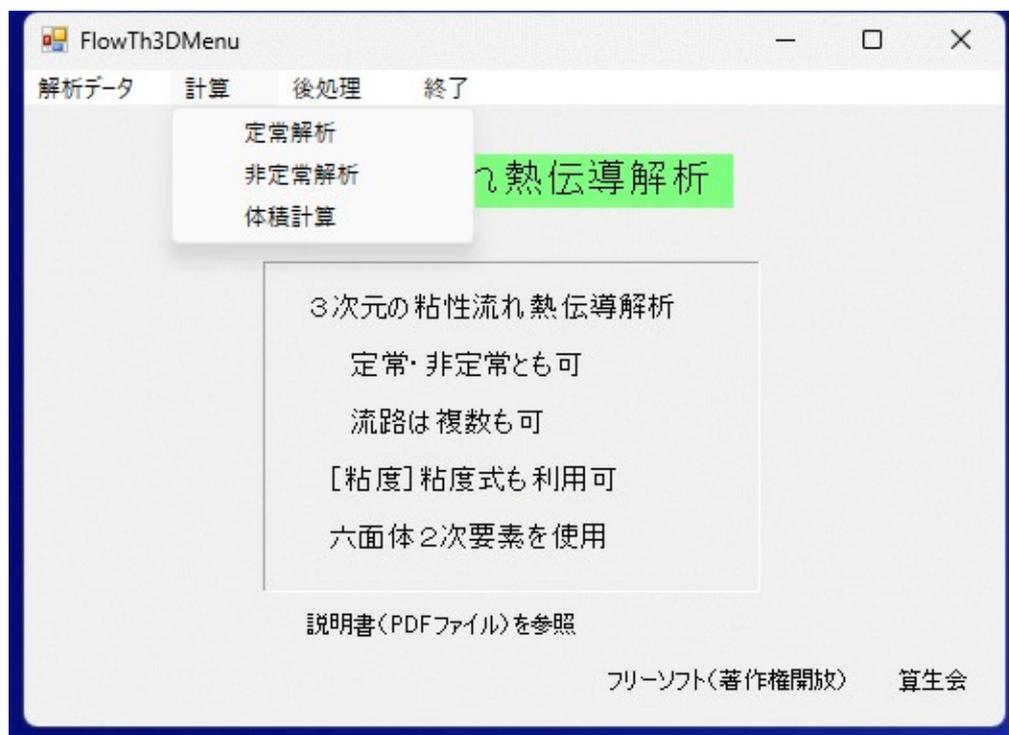


図5-1 「計算」サブメニュー画面

5.2 「計算」ファイル設定

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

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

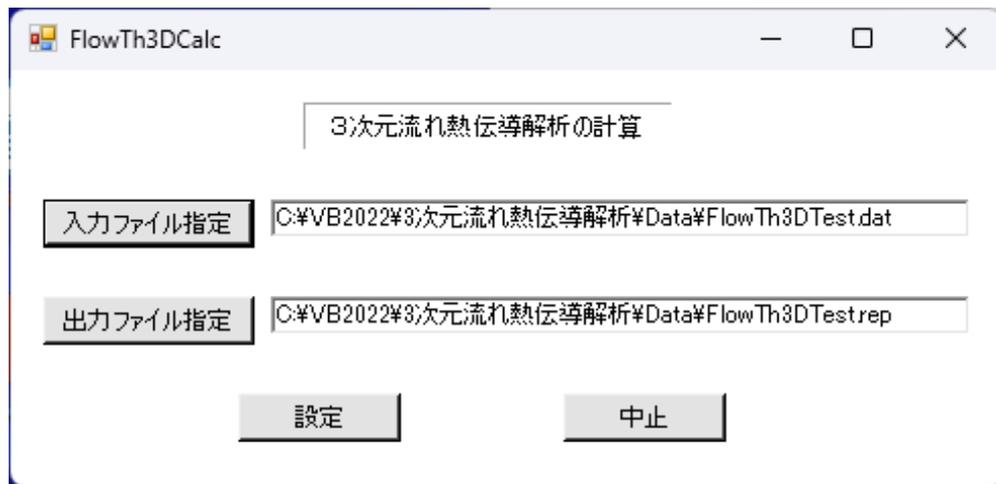


図5-2 「計算」ファイル設定画面

5.3 計算条件入力画面

図5-3と図3-4に計算条件入力画面を示します。図5-3は定常解析の場合、図5-4は非定常解析の場合です。先ず、図5-3の定常解析の画面について説明します。

- ①先ず、一括の材料別の初期温度を必要に応じて入力します。
 - ◇入力データファイルに初期温度が入っている場合は、本画面での入力は不要です。
- ②次に流体種別で、「ニュートン流」か「非ニュートン流」かを選択します。
 - ◇「ニュートン流」は、剪断速度による粘度変化がありません。他方、「非ニュートン流」は、剪断速度による粘度式計算が実施されます。
- ③次に、壁面の自動設定について、「採用」か「不採用」を選択します。
 - ◇壁面の自動設定の可能な条件は、第3章の7)を参照してください。
- ④対流項は、「なし」か「有り」を選択します。
 - ◇一般の流れでは対流項「有り」です。流速が遅いクリープ流れの場合は対流項「なし」を選択でき、計算時間を大幅に短縮できます。
- ⑤最大繰り返し計算回数は、収束のための繰り返し計算の最大回数を設定するものです。デフォルトは15になっています。
 - ◇5未満を入力しても、5回に自動修正して計算します。
- ⑥収束基準誤差率は、上記の繰り返し計算を終了させるための誤差基準です。この誤差率とは、各回の繰り返し計算において、全節点の各方向速度の最大変化量をそれらの最大速度で割ったものです。収束基準誤差率はデフォルトで0.005になっています。
 - ◇収束しない場合は、収束基準誤差率を0.01などに増やしてください。
- ⑦安定化 τ_P の追加係数は、PSPG法のパラメーターに掛ける追加係数です。
 - ◇デフォルトは0.01です。通常はそのままですが、ケースに応じた収束性向上の必要があれば、適宜変更してください。
- ⑧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。

<備考>

- 1) ソルバーは、定常解析と非定常解析とも、バンドマトリックス法（自動分割計算）を

採用しています。本ソフトの独自機能により、FEM行列が必要に応じて自動分割されます。それにより、大規模構造のメモリー不足を解決できます。

◇スカイライン法は、バンドマトリックス法より計算速度がずっと遅いため、採用していません。

2) 反復法は非収束になるため、採用していません。

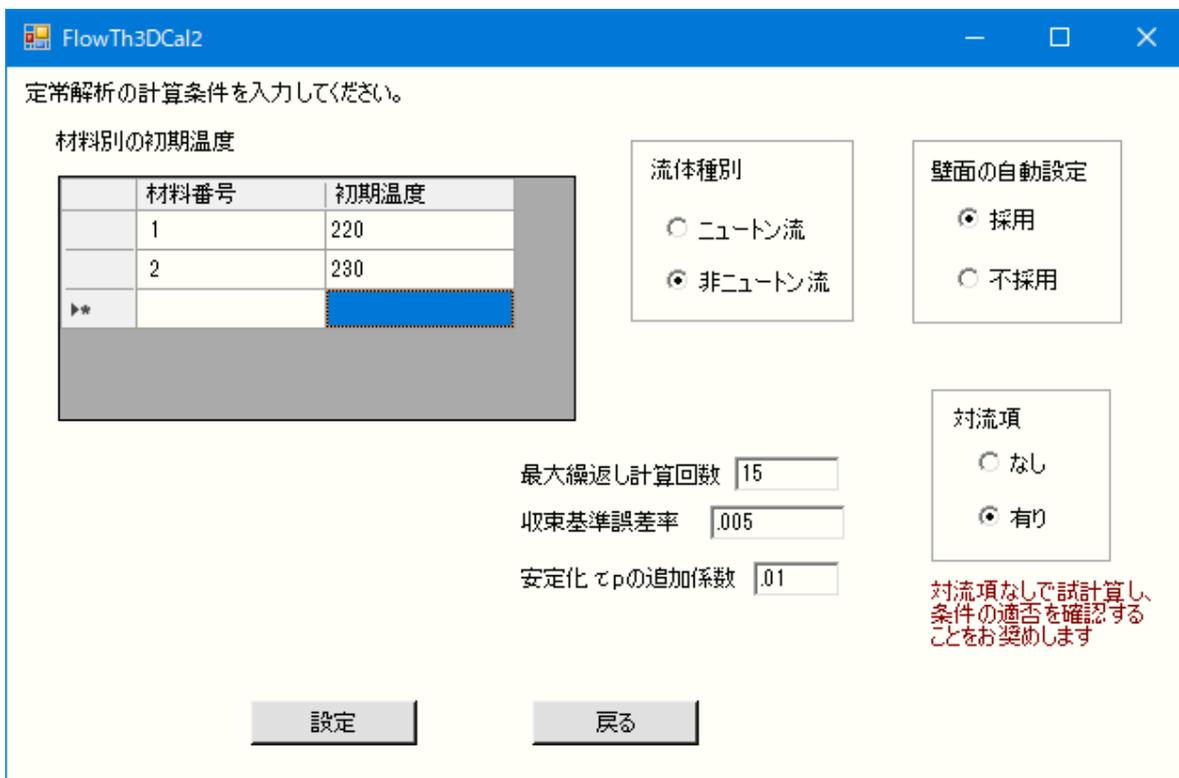


図5-3 計算条件入力画面（定常解析）

次に図5-4の非定常解析の画面で、定常解析と異なる部分について説明します。

① 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、流れ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回当たりの速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、小さ目の値を入れておきます。この値が大きいと計算が発散する恐れがありますので注意してください。

◇計算1回当たりの速度変化許容値は、各時間ステップにおいて許容する速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速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。

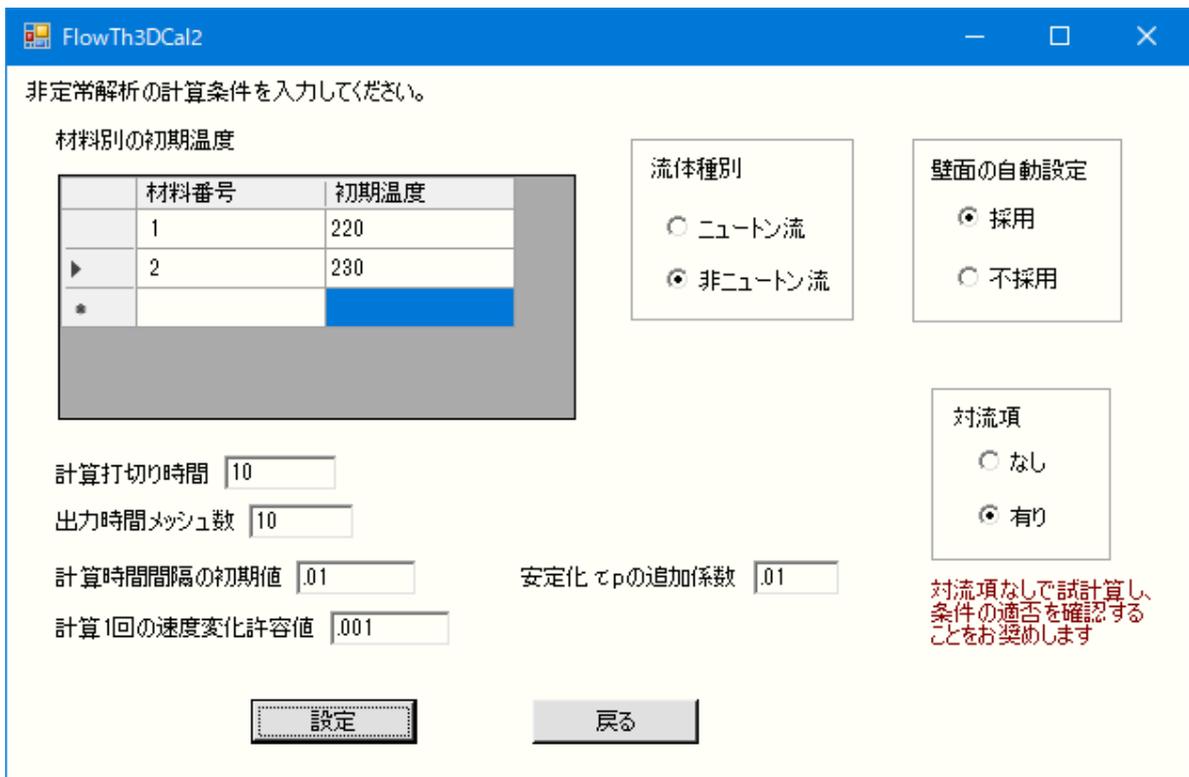


図5-4 計算条件入力画面（非定常解析）

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（本例では1分40s）と空きメモリー容量も表示されます。また、計算確認ダイアログ画面では、繰り返し計算回数も表示されます。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。

◇図5-5は定常解析の場合で、非定常解析の場合は表示が少し異なります。

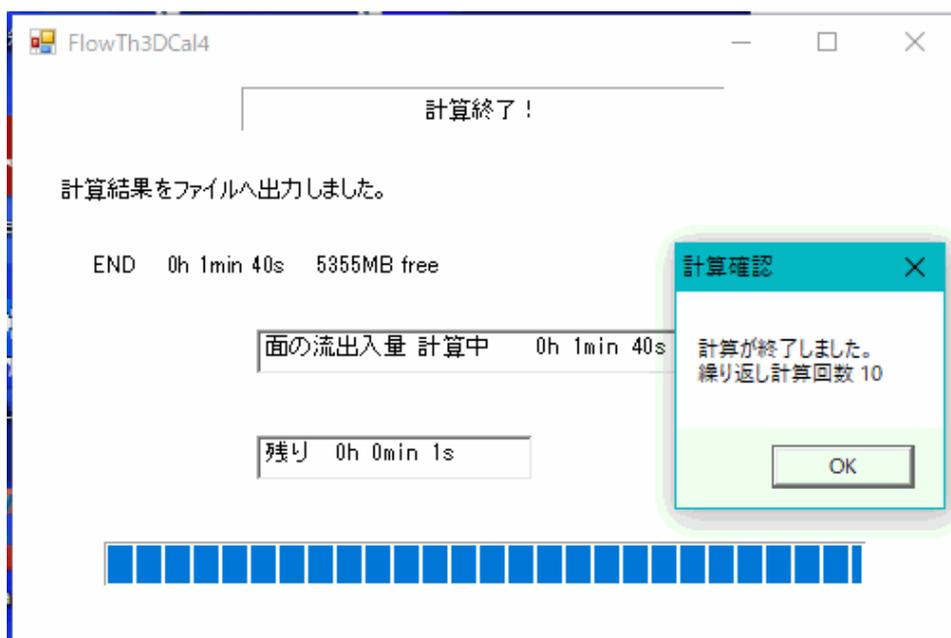


図5-5 計算終了画面

5.5 計算結果

上記5.2節で指定した出力ファイルに計算結果が書き出されます。図5-6と図5-7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は非定常解析の場合です。図5-6の定常解析の場合について、同図の○印を付した数字の部分に補足説明します。

- ①材料の一括初期温度が材料別に出力されています。
- ②バンドマトリクス法の場合、FEM行列分割数が出力されます。
◇本例のように分割数が1は分割なしの意味です。
- ③計算結果の()内にソルバ種類が出力されています。
- ④計算マトリクスの変数個数Max、バンド幅Max、保存インデックス数Maxが、それぞれ6981、1381、3812941と出力されています。
◇Maxと付記されているのは、複数流路や温度計算を通じて最大のものを示すためです。
- ⑤計算繰り返し回数が10と出力されています。
- ⑥流路番号が出力され、以下はその流路の解析結果です。
◇複数の流路の場合、各流路毎に出力されます。
- ⑦最大速度誤差が8.626444E-05m/sとなっています。ここで、最大速度誤差とは、繰り返し最終回における全節点の各方向速度の最大変化量です。
- ⑧速度・圧力の出力では、各節点について、速度U、速度V、Wおよび圧力が出力されています。
- ⑨最大値データとして、速度・圧力の各変数について最大値、節点番号が出力されています。
- ⑩温度の出力では、構造の全節点について温度が出力されています。
- ⑪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。
- ⑫要素面の流出入量の出力では、流出入のある各要素面について、要素番号、面番号、面積、流出量、平均流速、平均温度が出力されています。
◇流出量と平均流速は流出の向きを正としています。
- ⑬流入側合計の面積、流量、平均流速、平均温度が出力されています。流量と平均流速が負になっているのは、流出の向きを正としているからです。
- ⑭流出側合計の面積、流量、平均流速、平均温度が出力されています。
- ⑮最後にコンピューター計算時間（本例では1min40s）と空きメモリー容量も出力されます。

また、図5-7の非定常解析の場合について、同図の○印を付した数字の部分に補足説明します。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1において、一式の計算結果が出力されています。
◇速度・圧力の出力、温度の出力、要素辺の流出入量の出力があります。ただし、最大値データは後掲の全時間において出力されます。

- ③時間メッシュ2、時間2以下、同様に計算結果の温度が出力されます。
- ④最大値データが出力されています。
- ⑤コンピューター計算時間（本例では4min21s）と空きメモリー容量も出力されます。
- ⑥最後に、最終前の計算時間間隔が出力されています。

<< 3次元流れ熱伝導解析の計算結果 >>
 3次元流れ熱伝導テスト
 [入力データファイル], C:\¥VB2022¥3次元流れ熱伝導解析¥Data¥FlowTh3DTest.dat
 解析種類 (0:定常、1:非定常), 0
 非ニュートン流
 材料の一括初期温度
 材料 1, 220
 材料 2, 230
 壁面の自動設定有
 対流項有り
 最大繰り返し計算回数, 15
 収束基準誤差率, .005
 安定化 τ_p の追加係数, .01

 FEM行列分割数, 1

 *** 計算結果 (バンドマトリックス法) ***
 計算マトリックスの変数個数Max、バンド幅max、保存インデックス数Max
 6981, 1381, 3812941
 計算繰り返し回数, 10

 流路番号, 1
 最大速度誤差, 8.626444E-05
 ** 速度・圧力の出力 **
 <節点番号、速度U、速度V、速度W、圧力>

161,	0,	0,	0,	1000000
162,	0,	0,	0,	1000000
163,	0,	0,	0,	1000000
164,	0,	0,	0,	1000000
165,	0,	0,	0,	1000000
.....				
.....				
183,	.01361637,	-5.556685E-05,	4.115524E-05,	1000000
184,	.01794591,	-8.997962E-05,	1.067732E-10,	1000000
185,	.01361636,	-5.556683E-05,	-4.115509E-05,	1000000
.....				
.....				
6819,	0,	0,	0,	0
6820,	0,	0,	0,	0
6821,	0,	0,	0,	0

<最大値データ>
 注) 絶対値の最大。
 変数項目、 最大値、 節点番号
 速度U, .0333787, 6741
 速度V, .000181833, 579
 速度W, .0001759829, 565
 圧力, 1000000, 161

図5-6 (1/2) 結果ファイルへの出力例 (定常解析)

```

** 温度の出力 **
<節点番号、流路番号、温度>
1, 0, 215
2, 0, 215
3, 0, 215
4, 0, 215
5, 0, 215
. . . . .
6977, 0, 212.92
6978, 0, 212.92
6979, 0, 212.92
6980, 0, 212.92
6981, 0, 212.92
<最低・最高温度データ>
変数項目、 値、 節点番号
TempMin, 212.92, 6957
TempMax, 230.97, 578
-----
** 要素面の流出入量の出力 **
* 流路番号 *, 1
<要素番号、面番号、面積、流出量、平均流速、平均温度>
65, 1, 6.250002E-06, -4.567509E-08, -.007308012, 230
66, 1, 6.250003E-06, -9.385695E-08, -.01501711, 230
67, 1, 6.250003E-06, -9.382649E-08, -.01501223, 230
68, 1, 6.250007E-06, -4.562612E-08, -.007300172, 230
69, 1, 6.249998E-06, -9.383871E-08, -.0150142, 230
. . . . .
1372, 2, 6.250002E-06, 8.911972E-08, .01425915, 227.6353
1373, 2, 6.249998E-06, 3.95627E-08, .006330034, 224.598
1374, 2, 6.249998E-06, 8.998849E-08, .01439816, 227.7319
1375, 2, 6.249998E-06, 8.962058E-08, .0143393, 227.7088
1376, 2, 6.250002E-06, 3.884608E-08, .006215371, 224.3847
[流入側合計] 面積、流量、平均流速、平均温度
.0001, -1.637263E-06, -.01637263, 230
[流出側合計] 面積、流量、平均流速、平均温度
.0001, 1.624431E-06, .01624431, 228.5672
END 0h 1min 40s 5355MB free

```

図5-6 (2/2) 結果ファイルへの出力例 (定常解析)

<< 3次元流れ熱伝導解析の計算結果 >>

3次元流れ熱伝導テスト

[入力データファイル], C:\¥VB2022¥3次元流れ熱伝導解析¥Data¥FlowTh3DTest. dat

解析種類 (0:定常、1:非定常), 1

計算打ち切り時間, 10, 出力時間メッシュ数, 10

計算時間間隔の初期値, .01

計算1回の速度変化許容値, .001

非ニュートン流

材料の一括初期温度

材料 1, 220

材料 2, 230

壁面の自動設定有

対流項有り

安定化 τ_p の追加係数, .01

F E M行列分割数, 1

*** 計算結果 (バンドマトリックス法) ***

計算マトリックスの変数個数Max、バンド幅max、保存インデックス数Max

6981, 1381, 3812941

<時間メッシュ番号、時間>, 0, 0

①

流路番号, 1

** 速度・圧力の出力 **

<節点番号、速度U、速度V、速度W、圧力>

161, 0, 0, 0, 1000000

162, 0, 0, 0, 1000000

163, 0, 0, 0, 1000000

164, 0, 0, 0, 1000000

.....

.....

6818, 0, 0, 0, 0

6819, 0, 0, 0, 0

6820, 0, 0, 0, 0

6821, 0, 0, 0, 0

** 温度の出力 **

<節点番号、流路番号、温度>

1, 0, 215

2, 0, 215

3, 0, 215

4, 0, 215

.....

.....

6978, 0, 220

6979, 0, 220

6980, 0, 220

6981, 0, 220

<時間メッシュ番号、時間>, 1, 1

②

流路番号, 1

** 速度・圧力の出力 **

<節点番号、速度U、速度V、速度W、圧力>

161,	0,	0,	0,	1000000
162,	0,	0,	0,	1000000
163,	0,	0,	0,	1000000
164,	0,	0,	0,	1000000
165,	0,	0,	0,	1000000
.....				
.....				
183,	.01826266,	1.359175E-05,	-3.078724E-05,	1000000
184,	.02323991,	1.864864E-05,	-9.232507E-05,	1000000
185,	.01738618,	2.111449E-05,	-8.046132E-05,	1000000
.....				
.....				
6817,	0,	0,	0,	0
6818,	0,	0,	0,	0
6819,	0,	0,	0,	0
6820,	0,	0,	0,	0
6821,	0,	0,	0,	0

** 温度の出力 **

<節点番号、流路番号、温度>

1,	0,	215
2,	0,	215
3,	0,	215
4,	0,	215
5,	0,	215
.....		
.....		
26,	0,	219.65
27,	0,	219.65
28,	0,	219.65
.....		
.....		
6977,	0,	219.91
6978,	0,	219.91
6979,	0,	219.91
6980,	0,	219.91
6981,	0,	219.91

図5-7 (2/3) 結果ファイルへの出力例 (非定常解析)

```

** 要素面の流出入量の出力 **
* 流路番号 *, 1
<要素番号、面番号、面積、流出量、平均流速、平均温度>
65, 1, 6.250002E-06, -6.181313E-08, -.009890098, 230
66, 1, 6.250003E-06, -1.218135E-07, -.01949016, 230
67, 1, 6.250003E-06, -1.196614E-07, -.01914581, 230
. . . . .
. . . . .
1374, 2, 6.249998E-06, 1.119331E-07, .0179093, 229.8734
1375, 2, 6.249998E-06, 1.095979E-07, .01753567, 229.8381
1376, 2, 6.250002E-06, 5.029095E-08, .008046549, 228.6323
[流入側合計] 面積、流量、平均流速、平均温度
.0001, -2.030563E-06, -.02030563, 230
[流出側合計] 面積、流量、平均流速、平均温度
.0001, 2.023965E-06, .02023965, 229.9292
-----
<時間メッシュ番号、時間>, 2, 2 ③
-----
. . . . .
. . . . .
-----
<時間メッシュ番号、時間>, 10, 10
-----
. . . . .
. . . . .
-----
<最大値データ> ④
注) 絶対値の最大。
-----
流路番号, 1
変数項目、 最大値、 節点番号、 時間
速度U, .0382356, 891, 1
速度V, .0001820337, 579, 9
速度W, -.0001820463, 567, 9
圧力, 1000000, 161, 0
-----
<最低・最高温度データ>
変数項目、 値、 節点番号、 時間
TempMin, 215, 1, 0
TempMax, 231.44, 6685, 10
END 0h 4min 21s 5243MB free ⑤
最終前の計算時間間隔, 1 ⑥

```

図5-7 (3/3) 結果ファイルへの出力例 (粘性有り、非定常解析)

5.6 体積計算

サブメニュー「体積計算」をクリックすると、図5-8の画面に移ります。

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

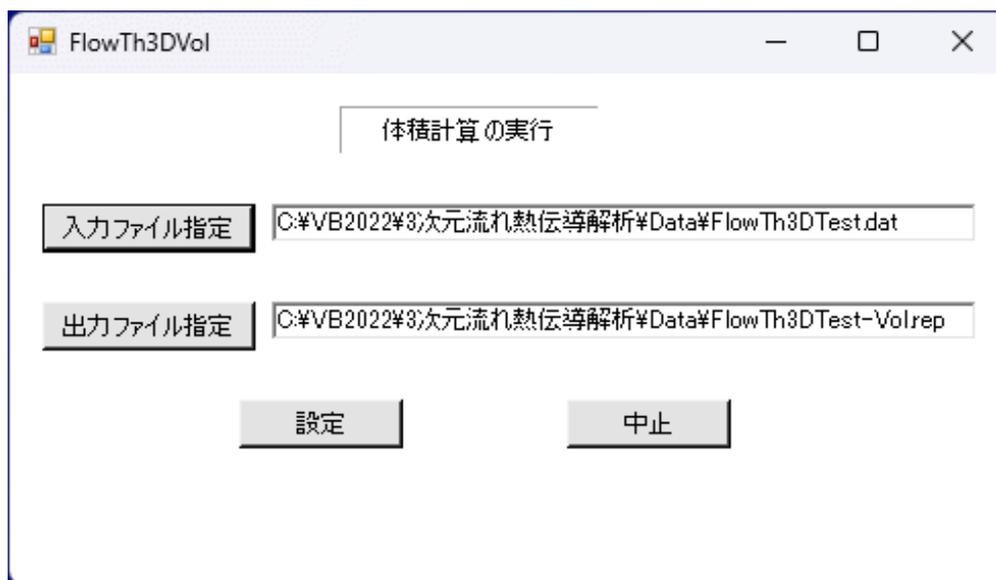


図5-8 体積計算の実行画面

図5-9に計算終了画面を示します。同図のように、各材料の体積が表示されます。

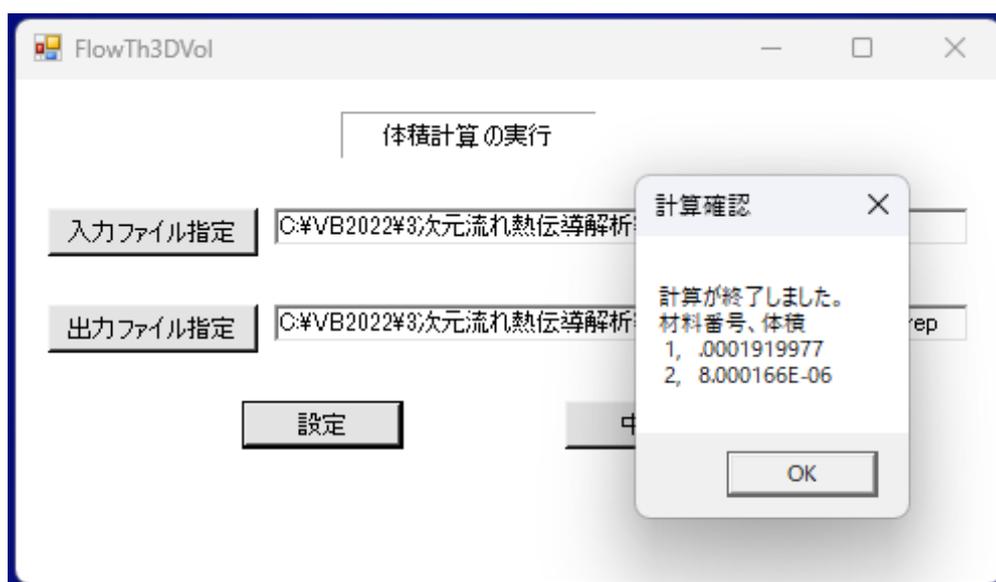


図5-9 体積計算の終了画面

さらに、上記の「出力ファイル指定」のファイルに計算結果が出力されます。図5-10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重心の座標が出力されています。

```
<<体積の計算結果>>
3次元流れ熱伝導テスト
[入力データファイル] , C:¥VB2022¥3次元流れ熱伝導解析¥Data¥FlowTh3DTest.dat
-----
材料番号、体積、質量                                ①
 1,      .0001919977,      1.497582
 2,      8.000166E-06,      .007600158
合計,      .0001999978,      1.505182
重心のX座標、Y座標、Z座標                            ②
 .04000047,      .02500037,      .02500037
END
```

図5-10 体積計算の結果ファイルへの出力例

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個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、スライドショーは非定常解析についてのみ実施可能です。

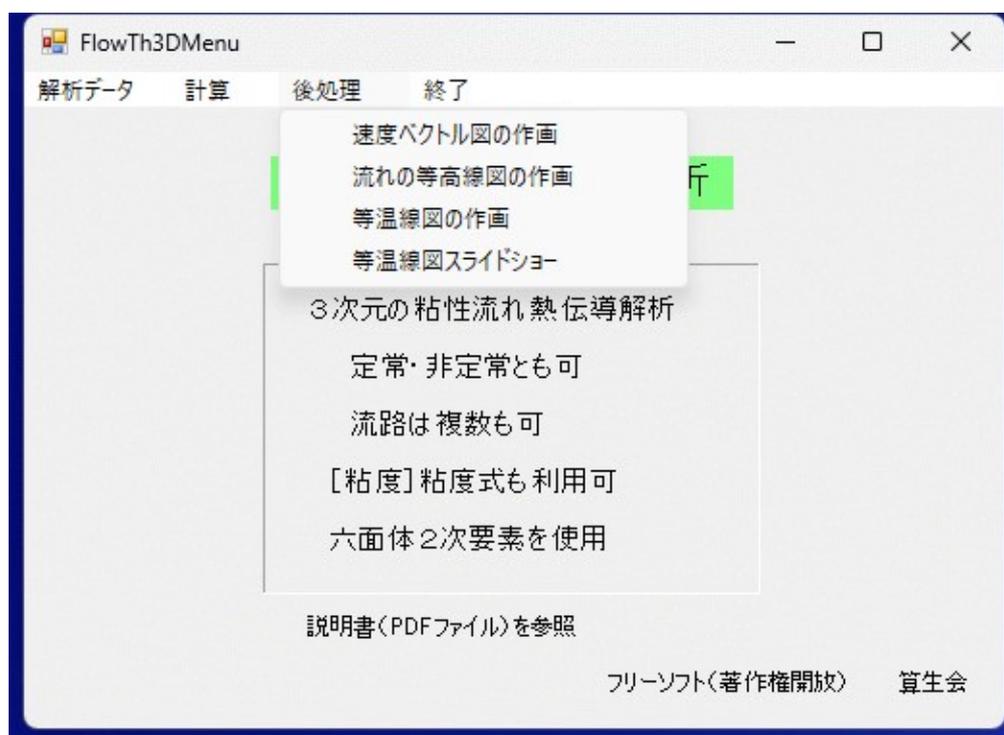


図6-1 「後処理」サブメニュー画面

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「速度ベクトル図の作画」になっていますが、各サブメニューにより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」コマンドをクリックすると、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します。

本画面で、「設定」ボタンをクリックすると、次の画面に移ります。

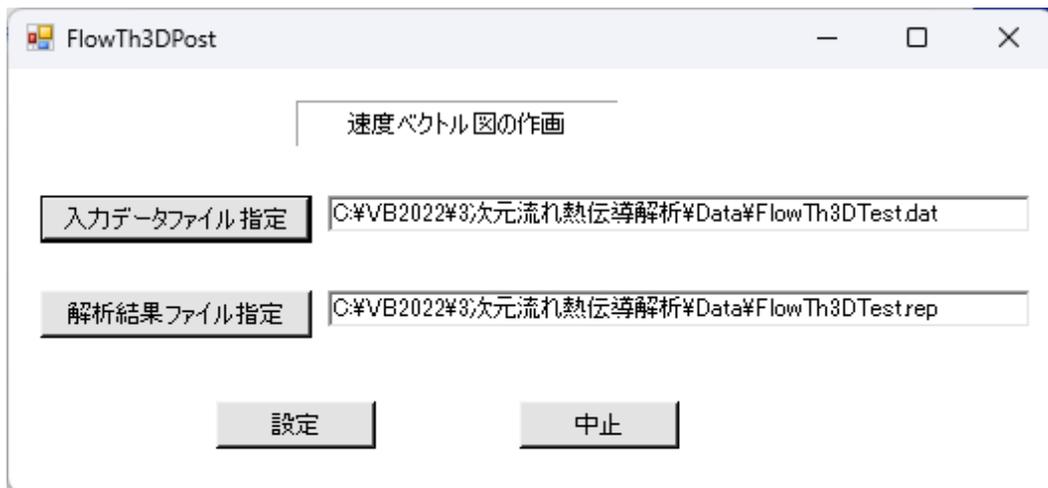


図6-2 使用ファイル設定画面

6.3 速度ベクトル図の非定常メッシュ指定画面

図6-3に速度ベクトル図の非定常メッシュ指定画面を示します。本画面は定常解析結果に対しては表示されません。

- ①出力する時間メッシュ番号を入力します。ここで、時間メッシュ番号を入力後、Returnキーを押すと、その下側に相当時間が表示されます。
- ②本画面で「設定」ボタンをクリックすると、次の画面に映ります。

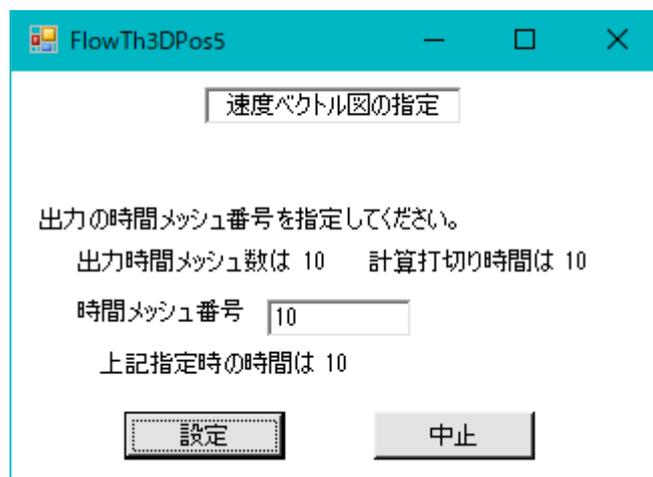


図6-3 非定常解析メッシュ指定画面

6.4 速度ベクトル図の作画画面

図6-4に速度ベクトル図の作画画面を示します。同図は、本画面に移った状態のもので、作画のパラメータは標準条件になっています。

- ①同画面のように、各節点における速度ベクトルが青色で表示されています。
- ②本画面の左側に、「ベクトルの長さ係数」、「ベクトルの矢印長さ係数」、「ベクトル線の幅」の3つのパラメータを表示してあります。それらのパラメータを変更することができます。変更した後は、「再描画」ボタンをクリックすると、新しいパラメータ条件による作画画面に変更されます。

◇「ベクトルの長さ係数」と「矢印長さ係数」の標準値は1にしてあります。実際に作画させてみて適当な値を再設定できます。

◇「ベクトル線の幅」は1~3が可能で、初期値は2にしてあります。

③「流路の番号」は、複数の流路がある場合に流路番号を指定して作画できます。

④本画面の上側に表示されている作画パラメーター、マウสดラッグによる部分拡大、回転操作等は、構造図の作画と同じです。

◇ただし、番号表示はありません。他方、「共通辺の表示」が追加になっています。

◇「共通辺の表示」は、「有り」か「なし」を選択できます。共通辺とは、要素どうしが共有する辺のことです。

図6-4のように標準条件では共通辺の表示「有り」です。要素の区分線を表示したくないときは、表通辺の表示を「なし」にしてください。

◇外側表面で背後にある隠面は、モデルを適当に回転させることにより、画面表示できます。

◇六面体要素どうしが接する共通面は、全要素描画では隠面となりますが、「標準モード」でマウสดラッグ矩形によりどちらかの要素だけを領域選択すれば、画面表示できます。

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

⑤外側の壁面では速度が0のため速度ベクトルが作画されません。流路内部の速度ベクトル図を表示するには、後述の「部分拡大モード」でマウสดラッグ矩形により対象の領域を選択して、再描画させてください。その際、視点の高さ倍率や座標軸回りの回転度数の作画パラメーターを適宜調整してください。

◇図6-5にテスト用構造モデルの中心断面における速度ベクトル図を示します。

⑥マウス右クリックで任意の節点を選択すると、同節点の速度ベクトル値が表示されます。

◇本機能を使用中は、描画保存がありません（描画のさかのぼりが無効）。

◇ESCキーを押すと節点選択が解除されます。

⑦「標準・全画面切替」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。

⑧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。

⑨マウสดラッグ矩形により、速度ベクトル図の一部分を拡大できます。操作方法は4.19節の構造図と同じです。

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。

◇回転操作があっても無視され、初期の回転位置で描画されます。

- ⑪「面切断設定」ボタンをクリックすると、面切断設定の画面に移り、面切断の仕方を設定できます。操作方法は構造図の作画と同じです。
- 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。
- ◇非定常解析の場合は「戻る」ボタンになります。

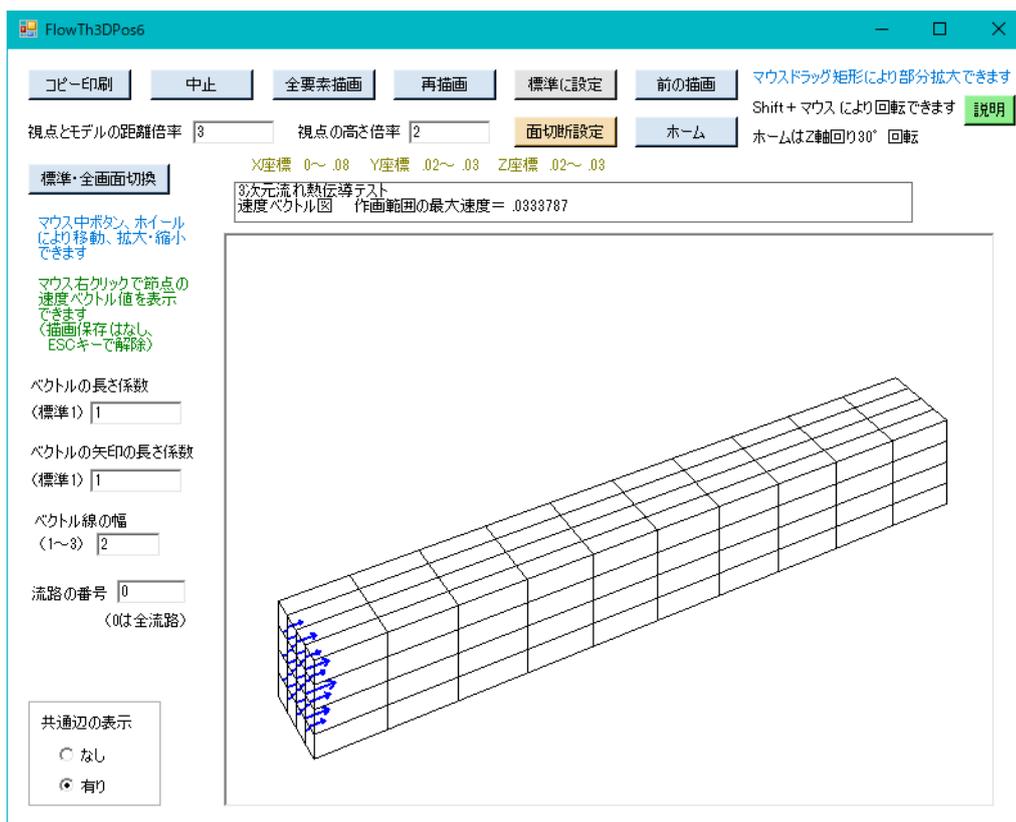


図6-4 速度ベクトル図の作画画面（初期状態）

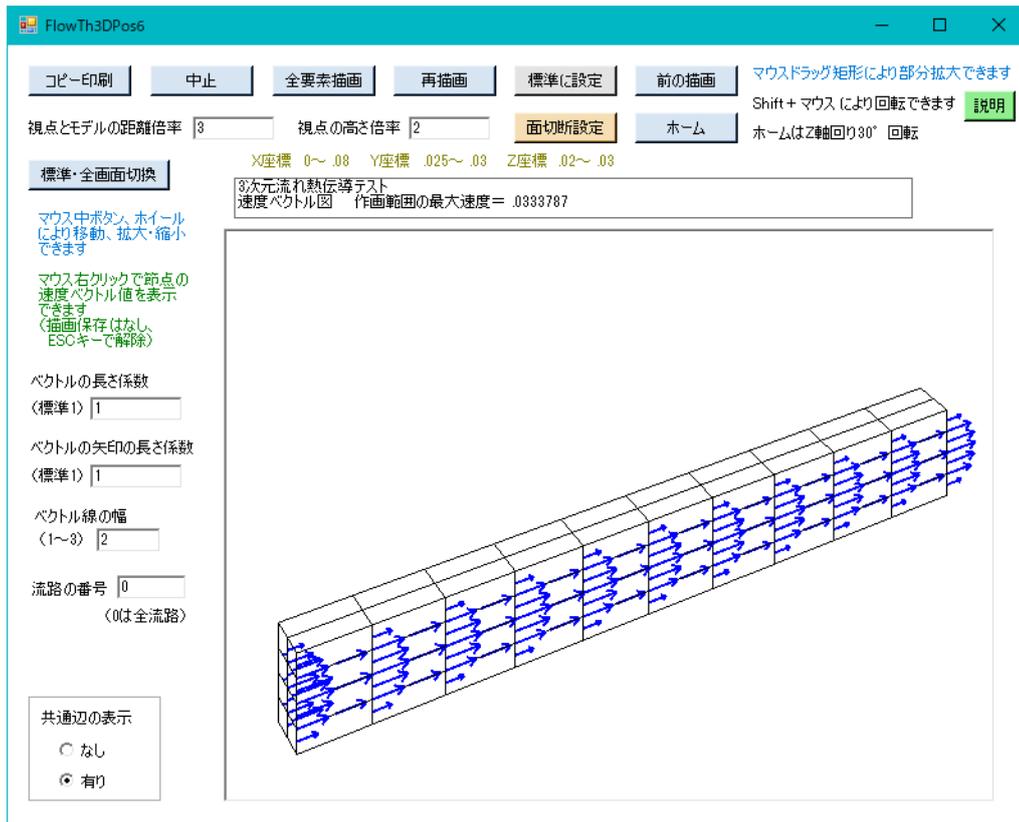


図6-5 速度ベクトル図の作画画面（中心断面）

6.5 流れの等高線の指定画面

図6-6に流れの等高線指定画面を示します。

①本画面で、作画したい変数項目を選択します。

◇「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。

図6-7に最大値データの表示例を示します。

②本画面で、「設定」ボタンをクリックすると、次の仕様設定画面に移ります。



図6-6 流れの等高線指定画面

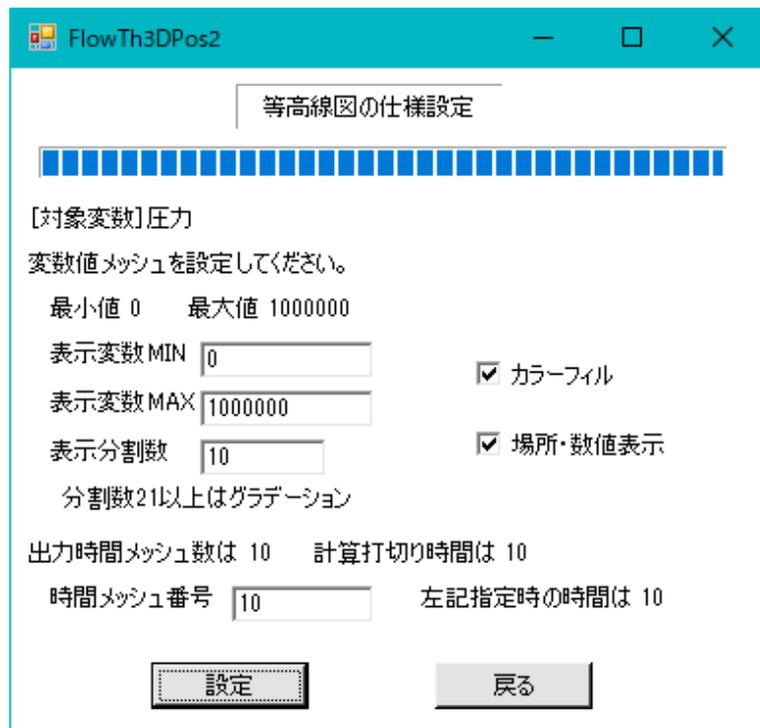


図6-8 流れの等高線図の仕様設定画面

6.7 流れの等高線図の作画画面

図6-9～11に流れの等高線図の作画画面を示します。図6-9は圧力の等高線図、図6-10はそのグラデーション、図6-11は全速の等高線図（中心断面）で共通辺の表示有りです。

①画面には等高線がカラー表示され、右欄には各等高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等分の5つの変数値が示されます。

②「流路の番号」は、複数の流路がある場合に流路番号を指定して作画できます。

③本画面左側の「共通辺の表示」は、「なし」か「有り」を選択できます。選択した後に「再描画」ボタンをクリックします。

◇「共通辺の表示」を「有り」にした全速の等高線図を図6-11に示します。

④本画面の上側に表示されている作画パラメーター、マウストラッグによる部分拡大、回転操作等は、構造図の作画と同じです。

◇ただし、本画面では必ず隠面処理を行ない、また番号表示はありません。

◇外側表面で背後にある隠面は、モデルを適当に回転させることにより、画面表示できます。

◇六面体要素どうしが接する共通面は、全要素描画では隠面となりますが、「標準モード」でマウストラッグ矩形によりどちらかの要素だけを領域選択すれば、画面表示できます。

⑤マウス右クリックで任意の節点を選択すると、同節点の変数値が表示されます。

◇本機能を使用中は、描画保存がありません（描画のさかのぼりが無効）。

◇ESCキーを押すと節点選択が解除されます。

⑥「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。

- ⑦ 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。
- ⑧ マウスドラッグ矩形により、等高線図の一部分を拡大できます。操作方法は4.19節の構造図と同じです。
- ⑨ 繰り返して描画を実施した場合、「前の描画」ボタンをクリックすると1つずつ前の描画にさかのぼることができます。
 - ◇ さかのぼれる描画の数は最大8つです。
 - ◇ 回転操作があっても無視され、初期の回転位置で描画されます。
- ⑩ 「面切断設定」ボタンをクリックすると、面切断設定の画面に移り、面切断の仕方を設定できます。操作方法は構造図の作画と同じです。
- ⑪ 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。
- ⑫ 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。

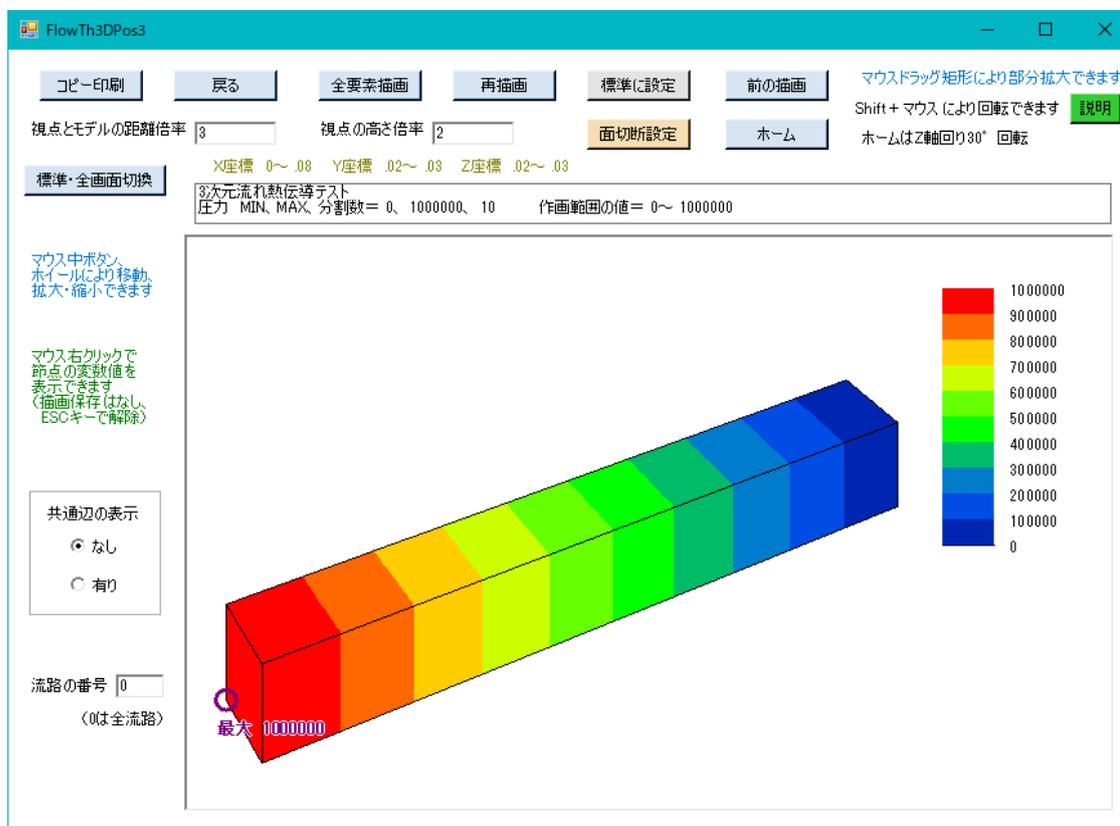


図6-9 流れの等高線図の作画画面（圧力）

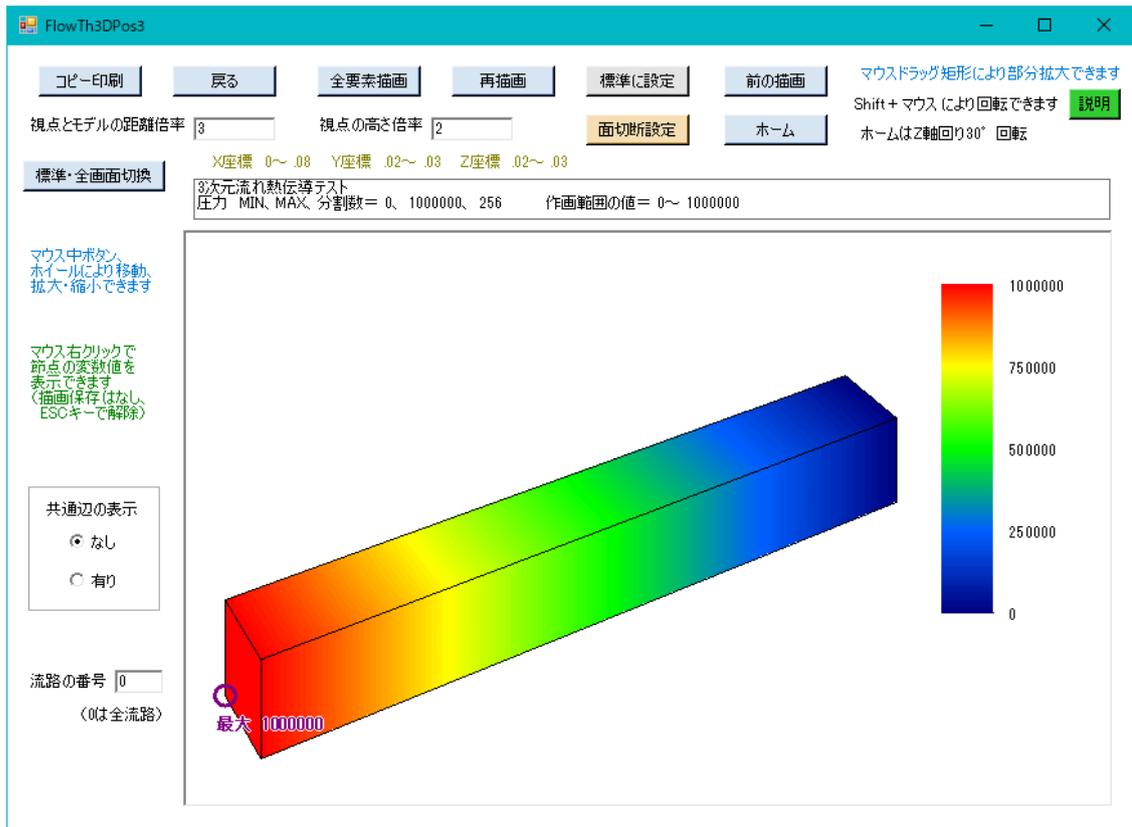


図6-10 流れの等高線図の作画画面（グラデーション、圧力）

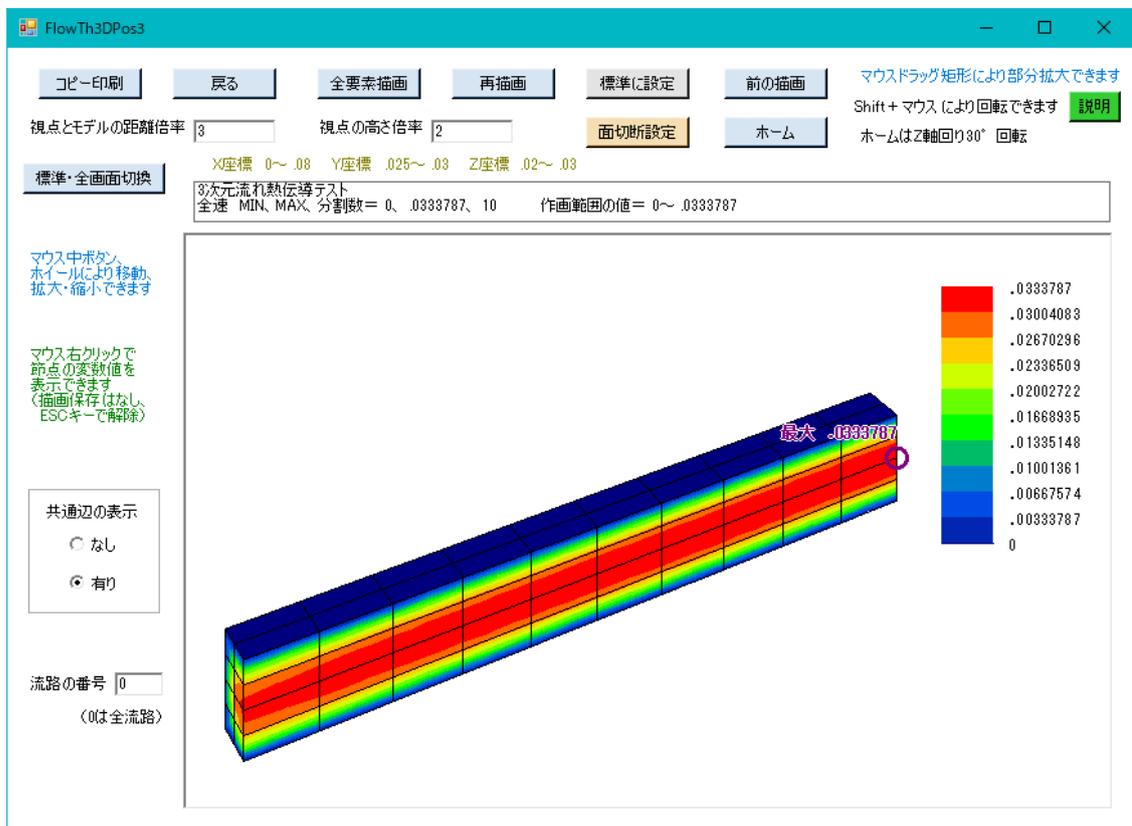


図6-11 流れの等高線図の作画画面（共通辺の表示有り、全速）

6.8 等温線図の仕様設定画面

図6-12に等温線図の仕様設定画面を示します。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。

- ④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6-13に最低・最高温度データの表示例を示します。

- ⑥本画面で、「設定」ボタンをクリックすると、次の等温線図作画画面に移ります。

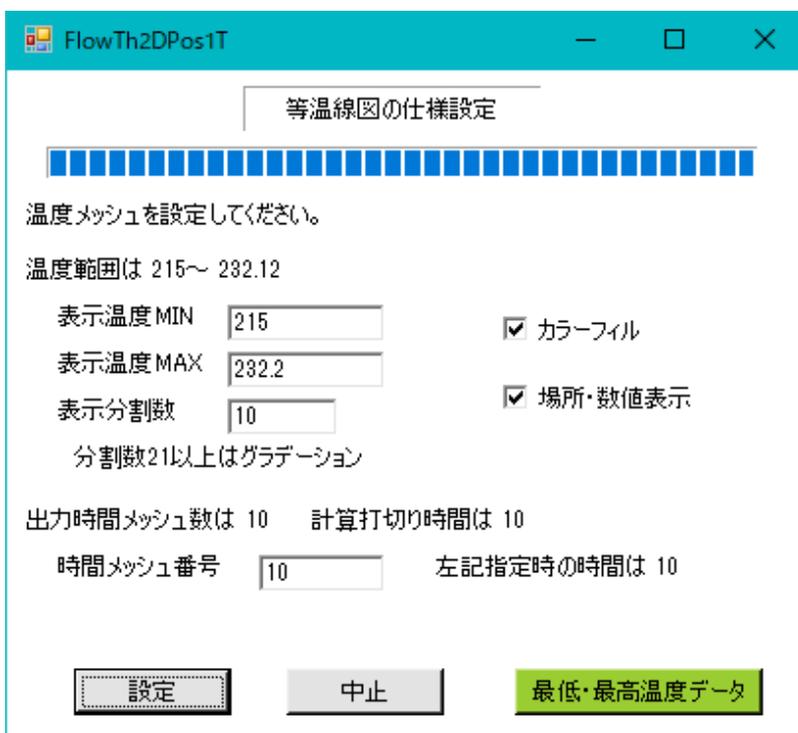


図6-12 等温線図の仕様設定画面

変数項目、	値、	節点番号、	時間
TempMin,	215,	1,	0
TempMax,	232.12,	2785,	10

図6-13 最低・最高温度データの表示例

6.9 等温線図の作画画面

図6-14、15に等温線図の作画画面を示します。図6-14は全体構造の場合、図6-15は流路部分の場合です。

- 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。
 - ◇グラデーションの場合は、4等分の5つの変数値が示されます。
- ②「材料の指定番号」は、作画したい材料だけを指定するものです。図6-15は流路の材料番号2を指定して作画しています。
- ③本画面の左側の「共通辺の表示」は、「なし」か「有り」を選択できます。選択した後に「再描画」ボタンをクリックします。
- ④本画面の上側に表示されている作画パラメーター、マウสดラッグによる部分拡大、回転操作等は、構造図の作画と同じです。
 - ◇外側表面で背後にある隠面は、モデルを適当に回転させることにより、画面表示できます。
 - ◇六面体要素どうしが接する共通面は、全要素描画では隠面となりますが、「標準モード」でマウสดラッグ矩形によりどちらかの要素だけを領域選択すれば、画面表示できます。
- ⑤マウス右クリックで任意の節点を選択すると、同節点の変数値が表示されます。
 - ◇本機能を使用中は、描画保存がありません（描画のさかのぼりが無効）。
 - ◇ESCキーを押すと節点選択が解除されます。
- ⑥「標準・全画面切替」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。
- ⑦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。
- ⑧マウสดラッグ矩形により、等温線図の一部分を拡大できます。操作方法は4.17節の構造図と同じです。
- ⑨繰り返して描画を実施した場合、「前の描画」ボタンをクリックすると1つずつ前の描画にさかのぼることができます。

◇さかのぼれる描画の数は最大8つです。

◇回転操作があっても無視され、初期の回転位置で描画されます。

⑩「面切断設定」ボタンをクリックすると、面切断設定の画面に移り、面切断の仕方を設定できます。操作方法は構造図の作画と同じです。

⑪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。

⑫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。

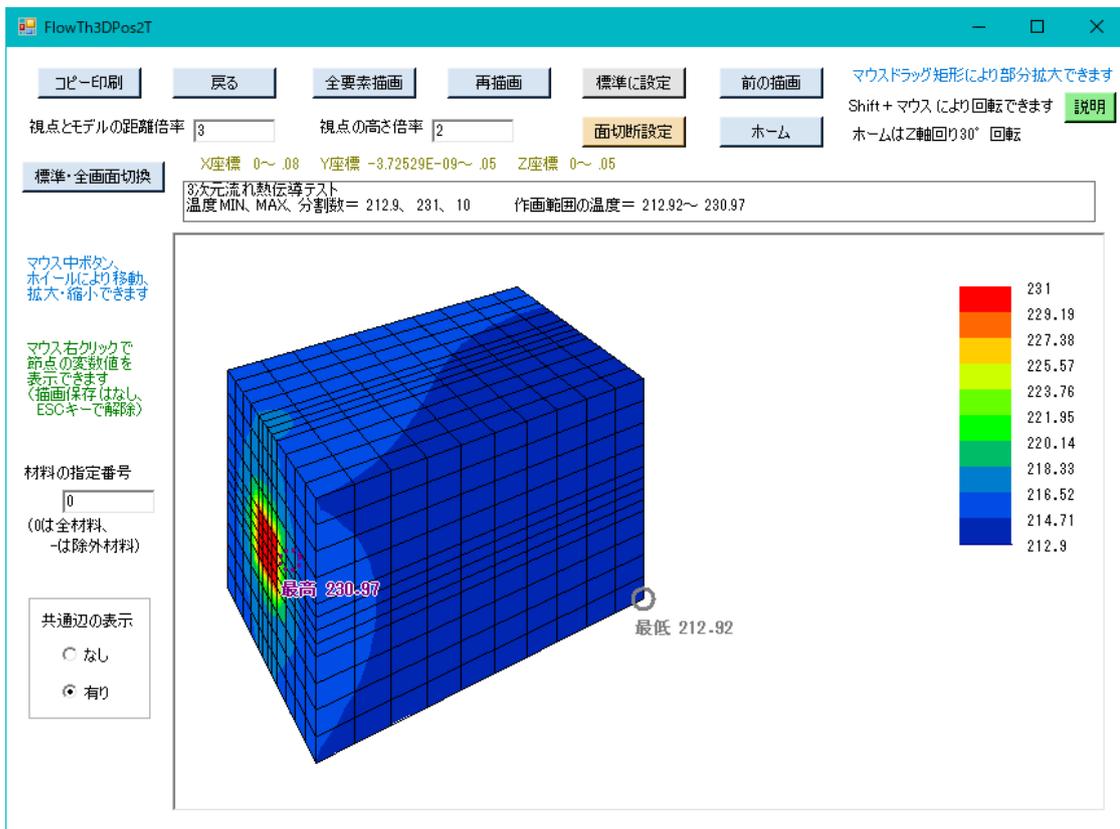


図6-14 等温線図の作画画面（全体構造）

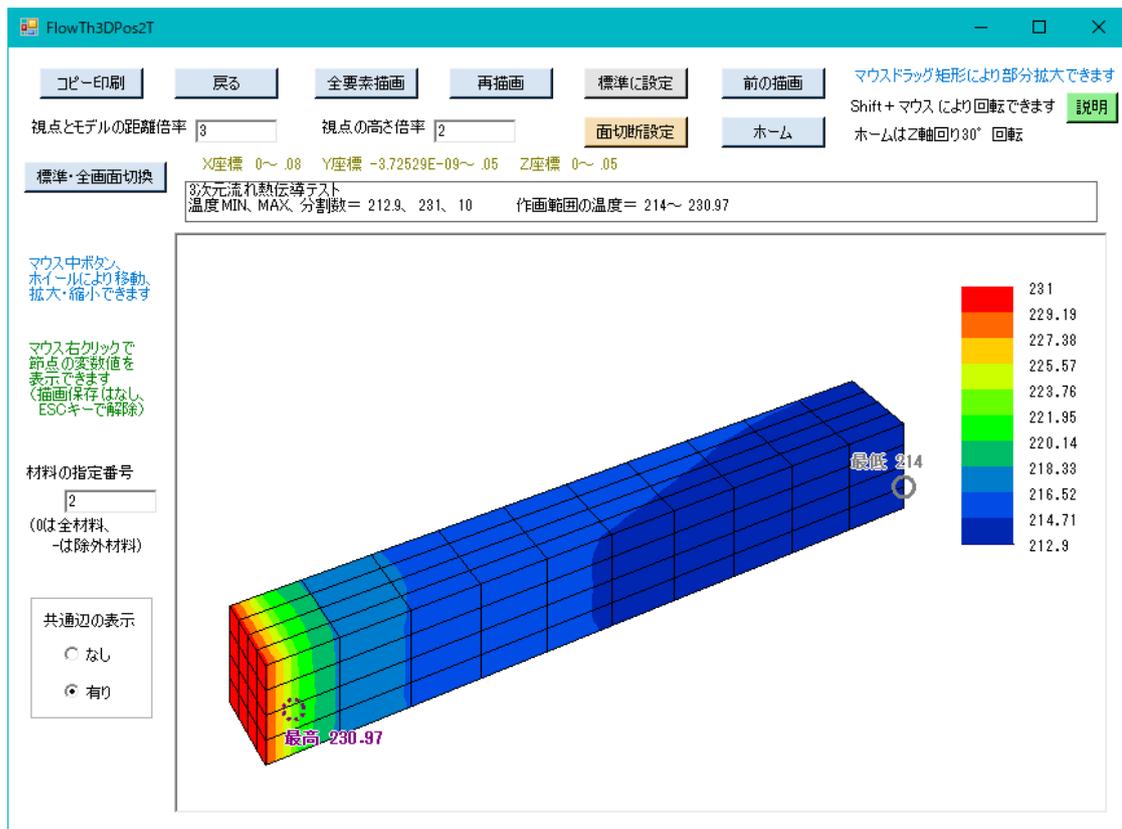


図6-15 等温線図の作画画面（流路部分）

6.10 等温線図スライドショーの画面

図6-16に等温線図スライドショーの初期画面を示します。ただし、材料番号を指定して流路部分の画面になっています。

- ①「スライド間の待ち時間」は、自動スライドの場合に、各スライド間の待ち時間を秒数で設定するものです。待ち時間を調整する必要がある場合は、適宜変更してください。
◇デフォルトの待ち時間は1秒となっています。
- ②本画面の左側の「共通辺の表示」は、「なし」か「有り」を選択できます。選択した後に「再描画」ボタンをクリックします。
- ③本画面の作画パラメーター、マウสดラッグによる部分拡大、回転操作等は、6.9節の等温線図と同様です。
- ④「面切断設定」ボタンをクリックすると、面切断設定の画面に移り、面切断の仕方を設定できます。操作方法は構造図の作画と同じです。
- ⑤「自動スタート」ボタンをクリックすると、自動スライドとなり、スライドショーが実演されます。
◇スライドショーが終了すると、図6-17の画面となります。同画面の終了確認ダイアログの「OK」ボタンをクリックすると自動スライドの完了となります。
- ⑥「次スライド」ボタンまたは「前スライド」ボタンをクリックすると、次または前の時間メッシュの等温線図が作画されます。
- ⑦本画面で「コピー印刷」ボタンをクリックすると、プリンターで画面コピーを印刷できます。

- ⑧等温線図スライドを一括ファイル保存できます。まず、「保存ファイル設定」ボタンをクリックすると、図6-18のファイル保存コマンドialog画面が表示されます。同画面で任意のディレクトリーにjpgファイル名を設定してください。
- ◇上記の設定ファイル名は初期の等温線図に適用され、それ以降はベースファイル名に「_0001～」が順に自動付加されたファイル名になります。
- ⑨次に、「保存開始」ボタンをクリックすると、ファイル保存が実行されます。
- ⑩本画面を終了するには、「戻る」ボタンをクリックして、仕様設定画面に戻ります。また、もし等温線図の出来栄えに不満があれば、「戻る」ボタンで仕様設定画面に戻って仕様変更し、再度、等温線図を作画することができます。
- ⑪「標準・全画面切換」ボタンをクリックすると、標準画面と全画面を切り換えることができます。また、画面Formの右下コーナー等をマウスドラッグすることにより、標準画面と全画面の間で自由に拡大・縮小できます。

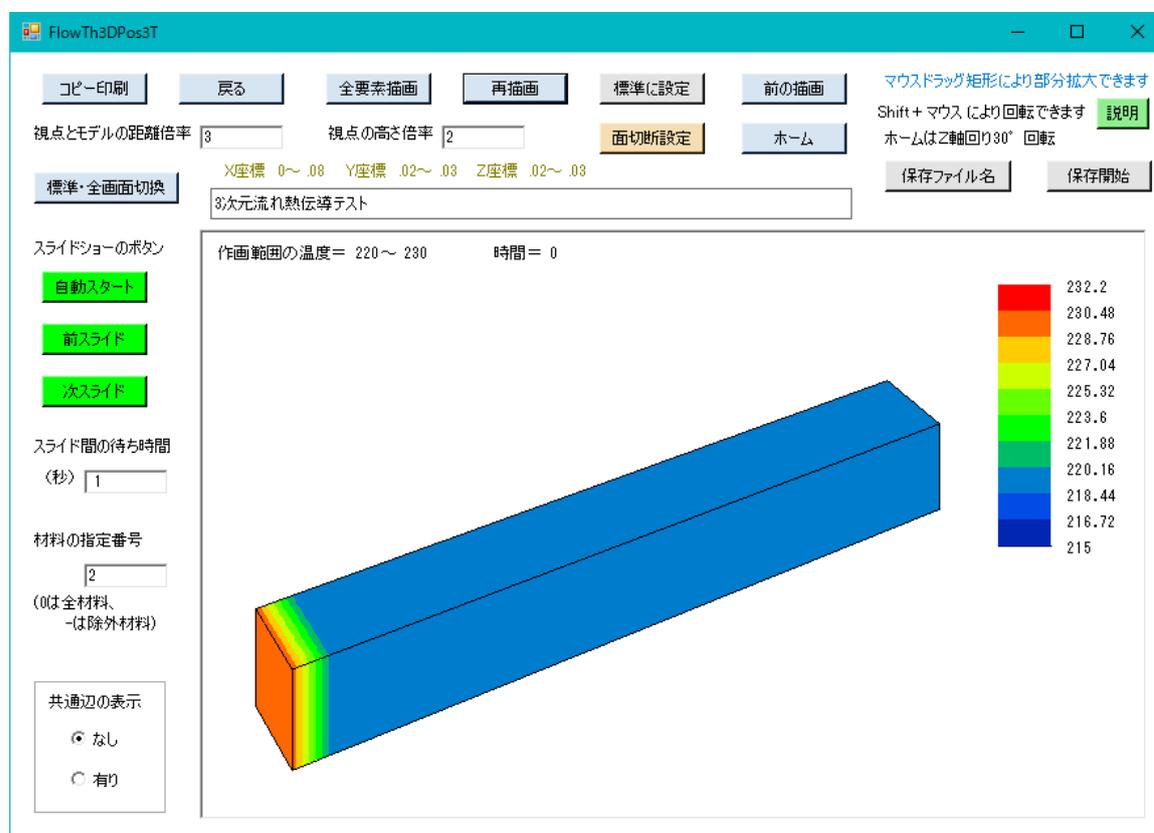


図6-16 等温線図スライドショーの初期画面

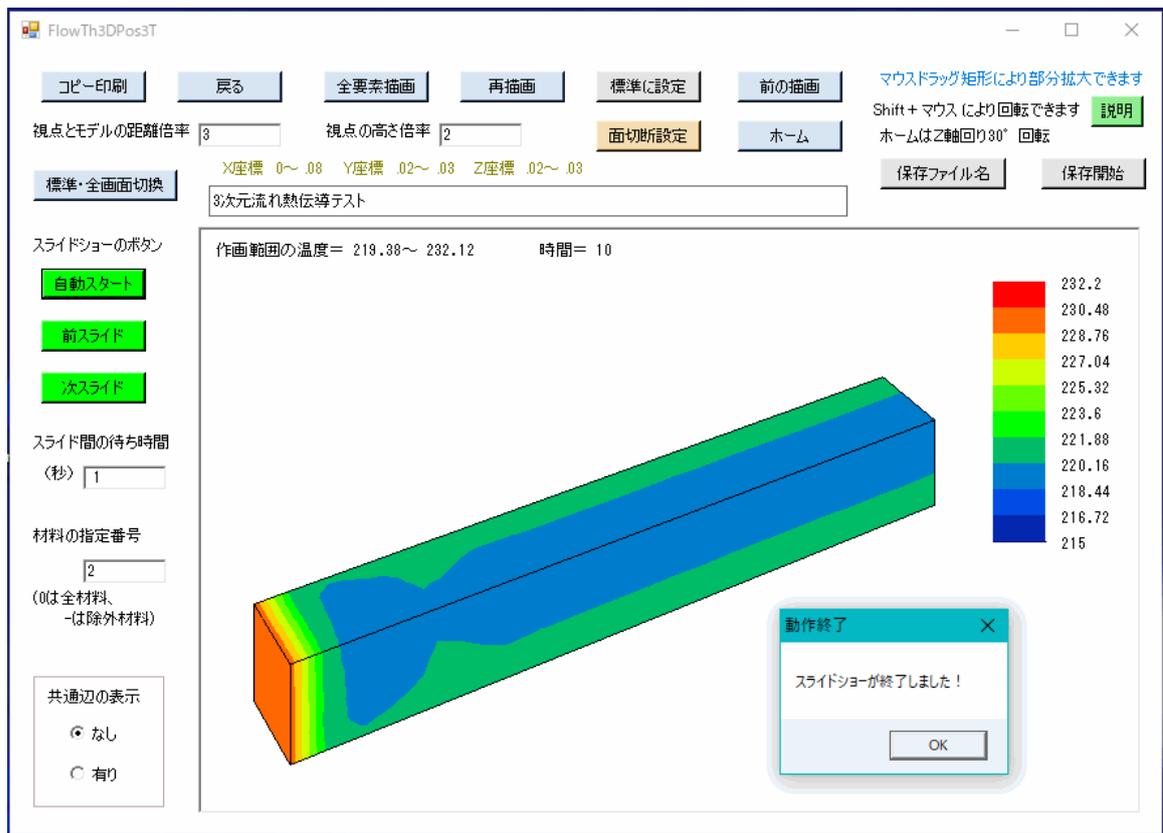


図6-17 等温線図スライドショーの終了画面

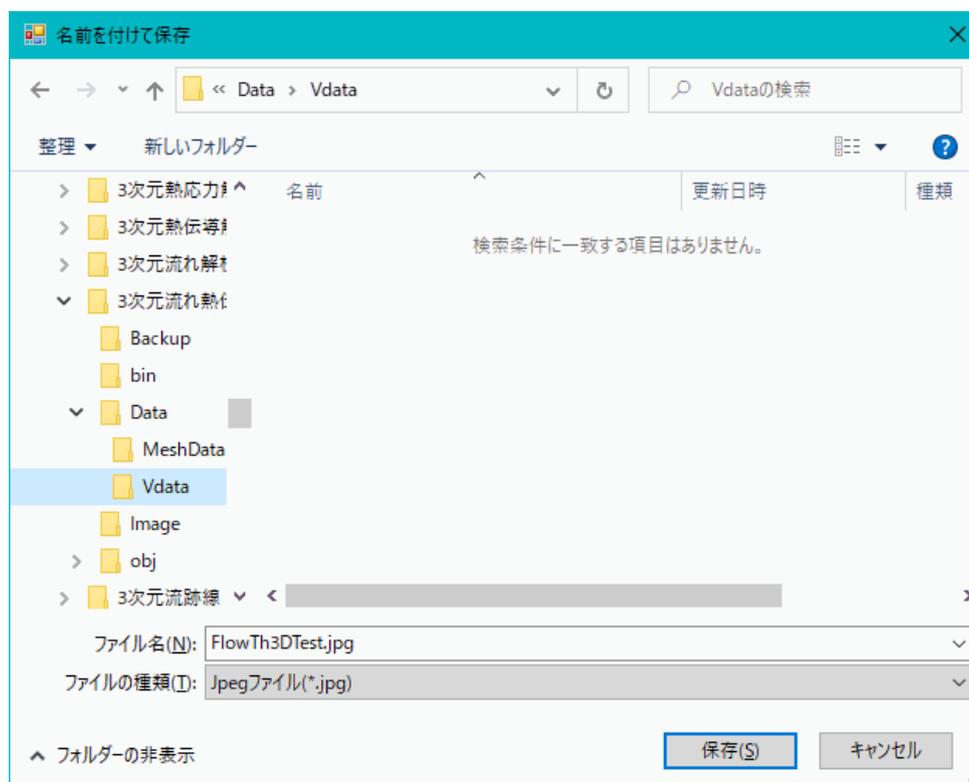


図6-18 ファイル保存コンマンドialog画面

第7章 複数流路構造の計算例

7.1 構造モデル

図7-1に構造モデル図を示します。同図のように、80°Cの高温側流路と20°Cの低温側流路のある構造です。本モデルで定常解析を実施しました。

注) 本モデルは要素数5120、節点数23273です。

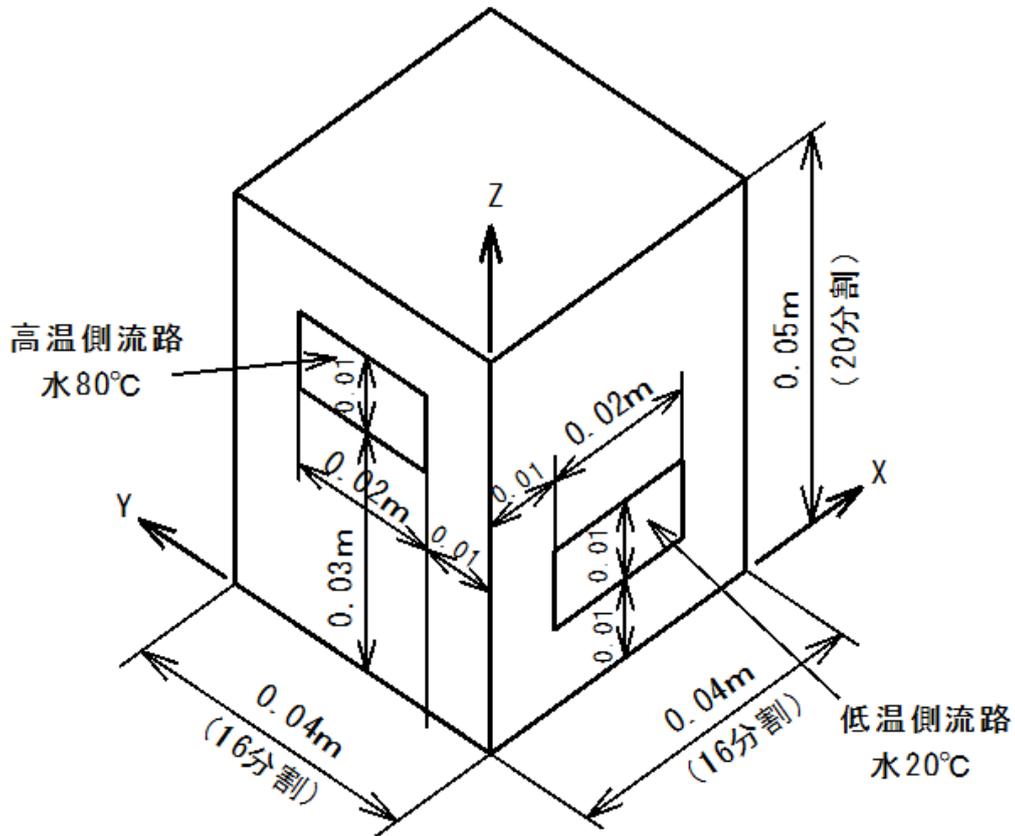


図7-1 複数流路構造モデル

7.2 解析結果

ソルバーはバンドマトリックス法を選択しました。図7-2に結果ファイル出力を示します。計算時間は18min38sでした。

```

<< 3次元流れ熱伝導解析の計算結果 >>
ダブル流れ熱伝導モデル
[入力データファイル], C:\¥VB2022¥3次元流れ熱伝導解析¥Data¥DoubleFlowTh3D3. dat
解析種類 (0:定常、1:非定常), 0
ニュートン流
材料の一括初期温度
材料 1, 20
材料 2, 80
材料 3, 20
壁面の自動設定有
対流項有り
最大繰り返し計算回数, 15
収束基準誤差率, .005
安定化  $\tau_p$  の追加係数, .01
-----
FEM行列分割数, 1
-----
*** 計算結果 (バンドマトリックス法) ***
計算マトリックスの変数個数Max、バンド幅max、保存インデックス数Max
    23273,    5111,    52239531
計算繰り返し回数, 4
-----
流路番号, 1
最大速度誤差, 9.223068E-12
** 速度・圧力の出力 **
<節点番号、速度U、速度V、速度W、圧力>
13473, 0, 0, 0, .5
13474, 0, 0, 0, .5
13475, 0, 0, 0, .5
13476, 0, 0, 0, .5
13477, 0, 0, 0, .5
. . . . .
. . . . .
14303, .1126533, -2.16814E-13, 3.486526E-13, .5
14304, .1547499, 1.39419E-13, 7.447034E-14, .5
14305, .172728, -1.65093E-13, 9.322411E-14, .5
. . . . .
. . . . .
18775, 0, 0, 0, 0
18776, 0, 0, 0, 0
18777, 0, 0, 0, 0
<最大値データ>
注) 絶対値の最大。
変数項目、 最大値、 節点番号
速度U, .4008407, 15725
速度V, -2.475642E-10, 14564
速度W, 2.22368E-10, 15360
圧力, .5, 13473
-----

```

図7-2 (1/3) 結果ファイルへの出力

```

流路番号, 2
最大速度誤差, 4.468973E-13
** 速度・圧力の出力 **
<節点番号、速度U、速度V、速度W、圧力>
4689, 0, 0, 0, .5
4690, 0, 0, 0, .484375
4691, 0, 0, 0, .46875
4692, 0, 0, 0, .453125
4693, 0, 0, 0, .4375
. . . . .
. . . . .
5407, 1.847912E-12, .03991211, 8.24606E-13, .5
5408, -2.148506E-12, .03991211, -3.699369E-13, .46875
5409, 5.112203E-15, .03991211, -2.353224E-13, .4375
. . . . .
. . . . .
9607, 0, 0, 0, .03124997
9608, 0, 0, 0, .01562499
9609, 0, 0, 0, 0
<最大値データ>
注) 絶対値の最大。
変数項目、 最大値、 節点番号
速度U, 2.597708E-12, 5422
速度V, .1420144, 7133
速度W, 2.454002E-12, 5859
圧力, .5, 4689
-----
** 温度の出力 **
<節点番号、流路番号、温度>
1, 0, 38.48
2, 0, 38.51
3, 0, 38.62
4, 0, 38.79
5, 0, 39.01
. . . . .
. . . . .
23269, 0, 66.79
23270, 0, 66.68
23271, 0, 66.6
23272, 0, 66.56
23273, 0, 66.54
<最低・最高温度データ>
変数項目、 値、 節点番号
TempMin, 19.67, 8090
TempMax, 80.75, 14388
-----

```

図7-2 (2/3) 結果ファイルへの出力

```

** 要素面の流出入量の出力 **
* 流路番号 *, 1
<要素番号、面番号、面積、流出量、平均流速、平均温度>
2603, 1, 6.249998E-06, -3.721459E-07, -.05954337, 80
2604, 1, 6.250003E-06, -7.616234E-07, -.1218597, 80
2605, 1, 6.250003E-06, -7.616233E-07, -.1218597, 80.00001
.....
5074, 2, 6.250005E-06, 7.616239E-07, .1218597, 79.2742
5075, 2, 6.250005E-06, 7.616238E-07, .1218597, 79.26474
5076, 2, 6.249996E-06, 3.721457E-07, .05954335, 77.88378
[流入側合計] 面積、流量、平均流速、平均温度
.0002, -4.023944E-05, -.2011972, 79.99998
[流出側合計] 面積、流量、平均流速、平均温度
.0002, 4.023944E-05, .2011972, 79.58833
* 流路番号 *, 2
<要素番号、面番号、面積、流出量、平均流速、平均温度>
45, 1, 6.250003E-06, -1.318483E-07, -.02109572, 20
46, 1, 6.25E-06, -2.698366E-07, -.04317386, 20
47, 1, 6.250003E-06, -2.698367E-07, -.04317386, 20
.....
2516, 2, 6.249998E-06, 2.698364E-07, .04317385, 21.92767
2517, 2, 6.25E-06, 2.698366E-07, .04317385, 22.01319
2518, 2, 6.249998E-06, 1.318481E-07, .02109571, 26.77004
[流入側合計] 面積、流量、平均流速、平均温度
.0002, -1.425649E-05, -.07128242, 20
[流出側合計] 面積、流量、平均流速、平均温度
.0002, 1.425649E-05, .07128242, 20.99268
END 0h 18min 38s 3999MB free

```

図7-2 (3/3) 結果ファイルへの出力

7.3 結果図

図7-3に2流路の速度ベクトル図、図7-4に2流路の圧力の等高線図を示します。また、図7-5に構造全体の等温線図、図7-6に高温側流路の等温線図、図7-7に低温側流路の等温線図を示します。

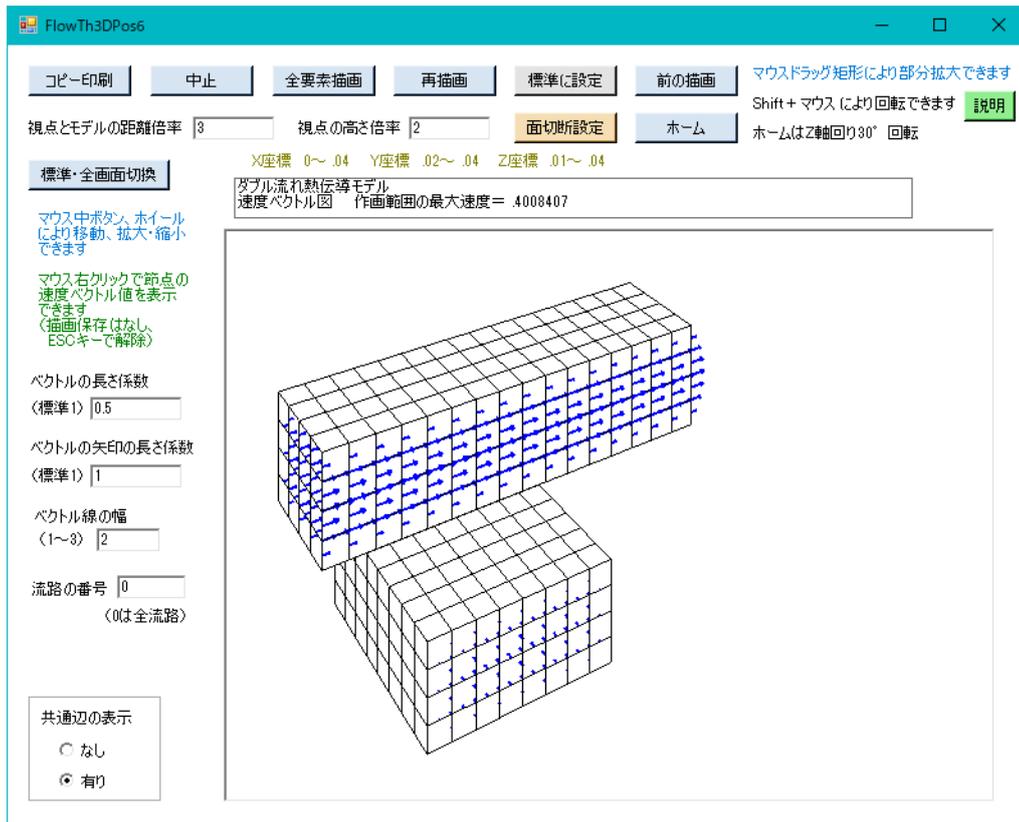


図7-3 2流路の速度ベクトル図

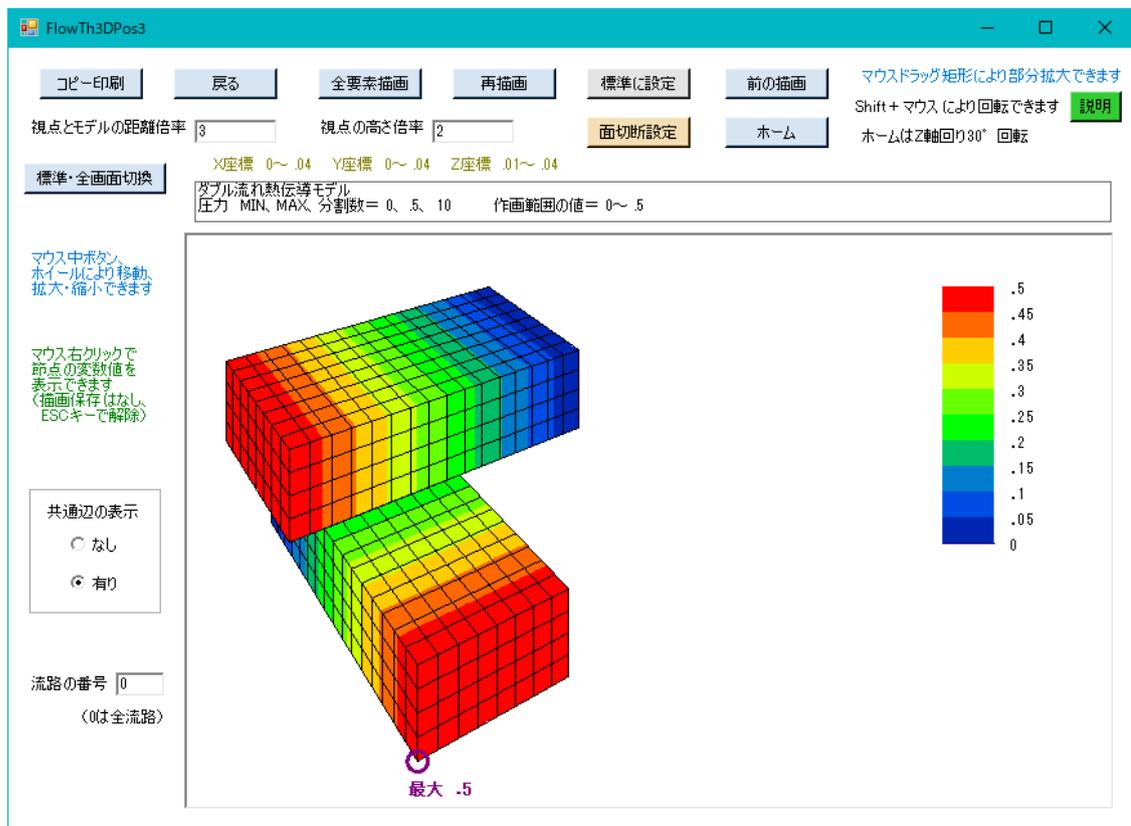


図7-4 2流路の圧力の等高線図

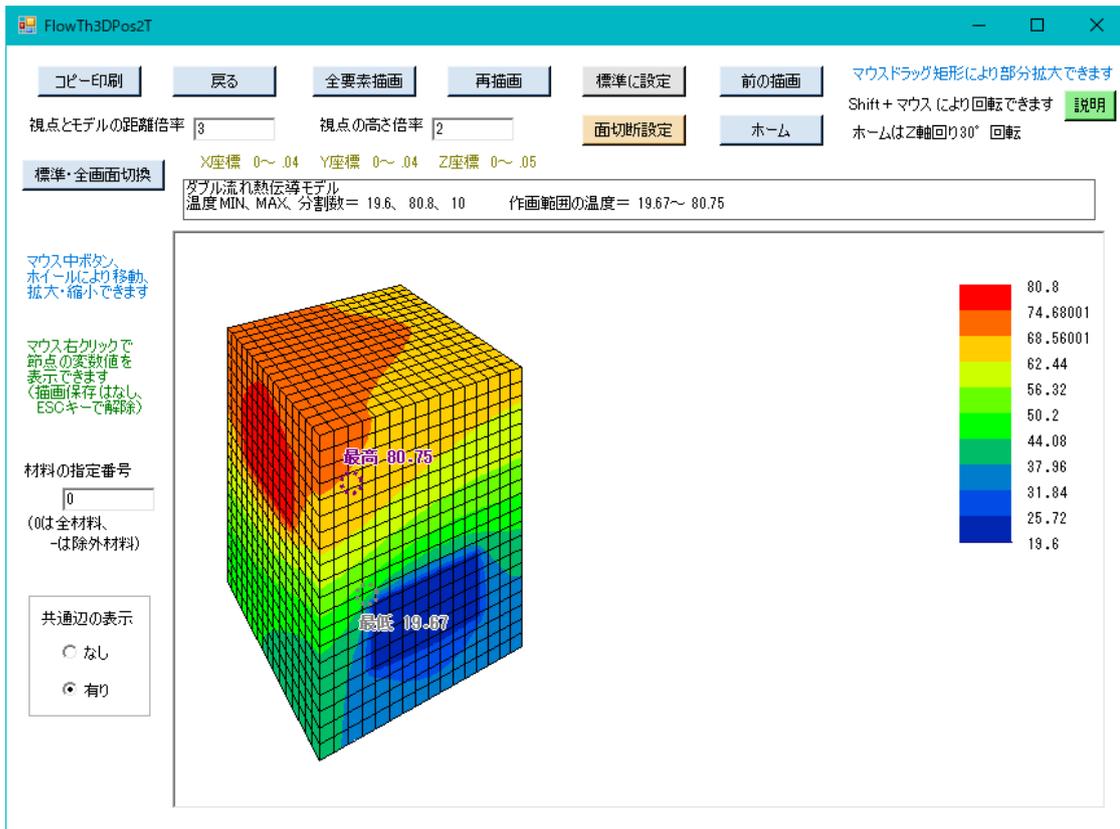


図7-5 全体構造の等温線図

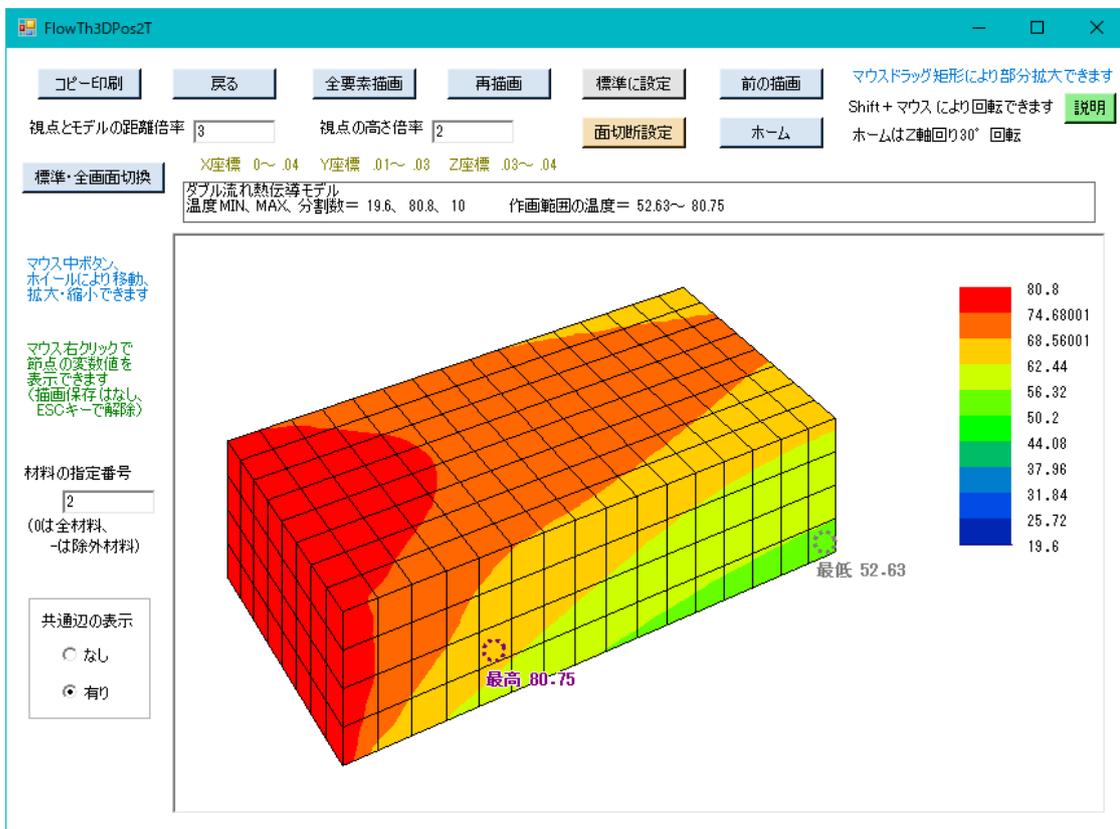


図7-6 高温側流路の等温線図

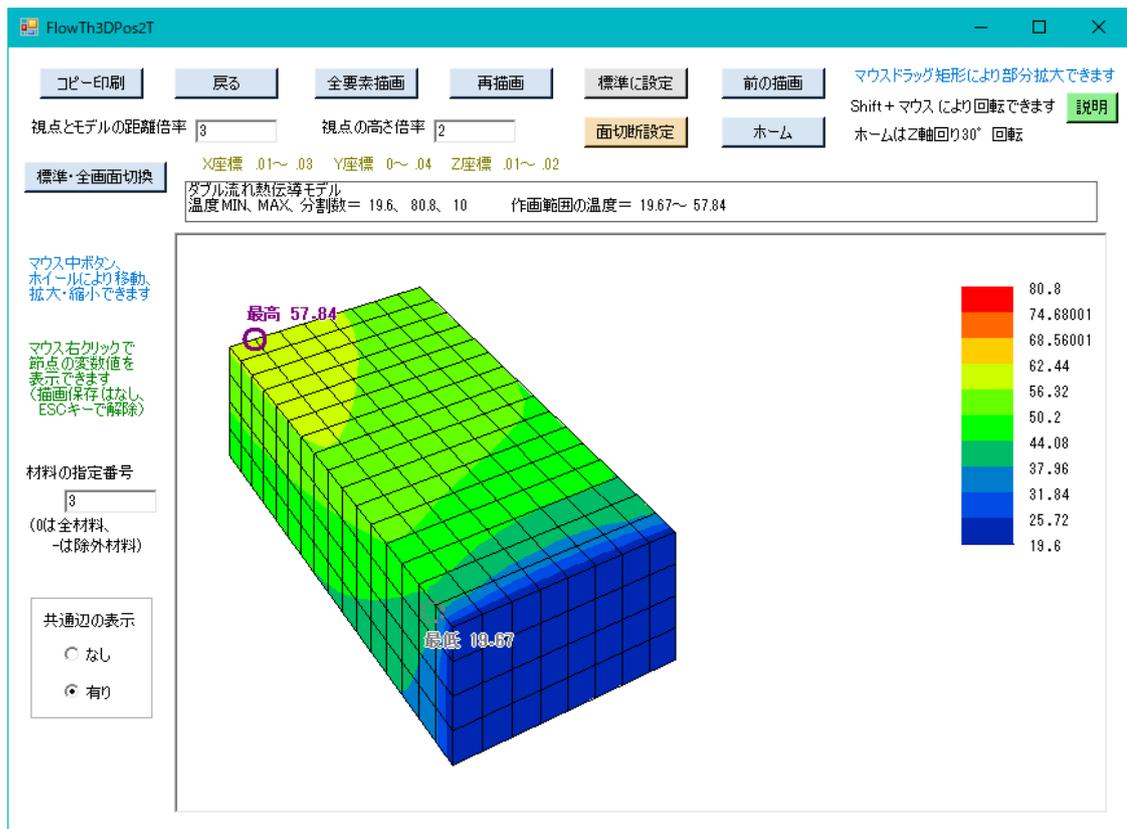
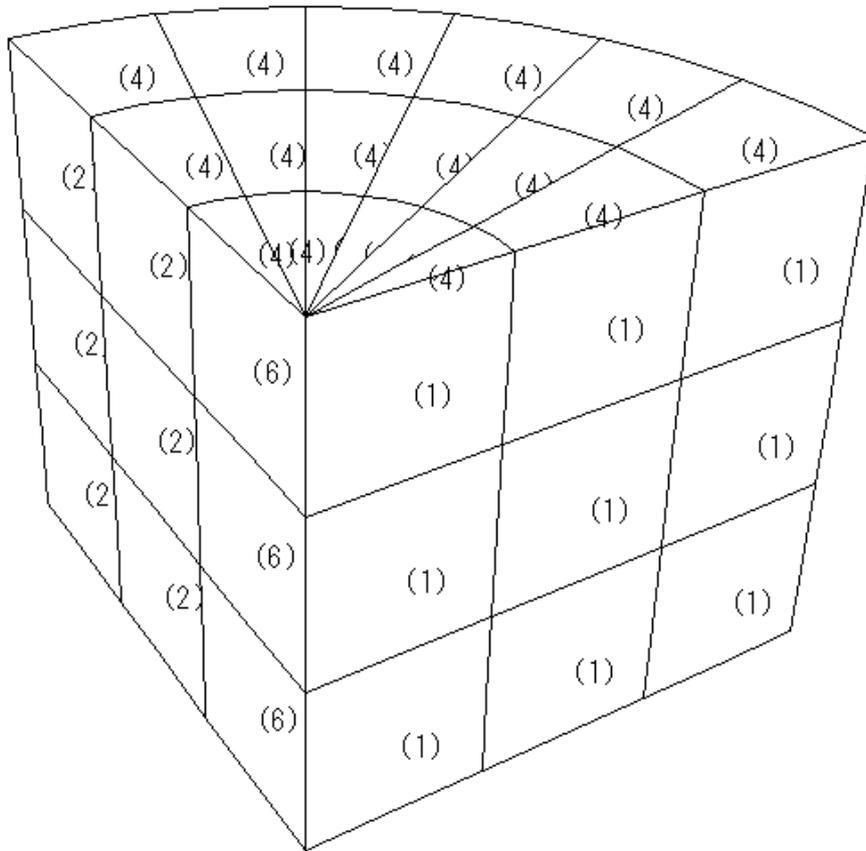


図7-7 低温側流路の等温線図

[補足] 中心穴なし軸回転体の注意事項（六面体要素の場合）

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

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



注) ()内は面番号

付図 中心穴なし軸回転体の構造図例（1/4軸回転体）

[参考文献]

<A> BASIC言語

- A1) 「Microsoft Visual Basic プログラミング ガイド」、
マイクロソフト (株)、1997
- A2) 「実力アップ Visual Basic.NET 基礎編」、川口 輝久、
(株) 技術評論社、2003
- A3) 「Visual Basic 応用プログラミング」、林 晴比古、
ソフトバンク (株)、1997
- A4) 「Visual Basic for Windows プログラミング・パーツ」、河西 朝雄、
(株) ナツメ社、1994
- A5) 「かんたんプログラミング Visual Basic.NET 応用編」、田中 亨、
(株) オーム社、2002
- A6) 「Visual Basic リファレンス・ブック」、相沢 文雄、
(株) ナツメ社、1994
- A7) 「プログラミング Visual Basic.Net Vol.2 活用編」、Francesco Balena、
(株) ドキュメントシステム 訳、日経BPソフトプレス、2002
- A8) 「Visual Basic 2005 [実践]プログラミングテクニック」、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、
マグローヒル ブック (株)、1984
- B2) 「数値解析とその応用」、名取 亮、
コロナ社、1992
- B3) 「Visual Basicによる工学計算プログラム」、黒田 英夫、
CQ出版社、2001
- B4) 「Visual Basicによる数値解析プログラム」、黒田 英夫、
CQ出版社、2002
- B5) 「コンピュータグラフィックス講義」、青木 由直、
コロナ社、2000
- B6) 「線形計算」、名取 亮、
朝倉書店、1993
- B7) 「新数値計算」、福井 義成 他、
共立出版 (株)、2001
- B8) 「Web用3D-CG言語 X3D XML版」、赤間 世紀、
工学社、2007
- B9) 「Blender 3DCG パーフェクトバイブル2013」、近藤 一貴、
(株) 晋遊舎、2013
- B10) 「基礎からのFreeCAD」、坪田 遼、
工学社、2016

<C> 有限要素法・差分法・工学一般

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

- 丸善（株）、1981
- C3) 「マイコンによる有限要素解析」、戸川 隼人、
（株）培風館、1982
- C4) 「流れと熱伝導の有限要素法入門」、矢川 元基、
（株）培風館、1983
- C5) 「有限要素法による熱応力・クリープ・熱伝導解析」、矢川 元基 他、
（株）サイエンス社、1987
- C6) 「Fundamentals of Computer Modeling for Polymer Processing」、
Charles L. Tucker III、Hanser Publishers、1989
- C7) 機械工学便覧A5「流体工学」、日本機械学会編、
日本機械学会、1986
- C8) 「流体解析への有限要素法の応用」、J. J. Connor 他、奥村 敏恵 監訳、
サイエンス社、1981
- C9) 「Visual Basicによる3次元熱伝導解析プログラム」、黒田 英夫、
CQ出版社、2003
- C10) 「続・有限要素法による流れのシミュレーション」、
日本計算工学会流れの有限要素法研究員会編、シュプリンガー・ジャパン、2008
- C11) 「流体・構造連成問題における有限要素と安定化手法の相互関係に関する研究」、澤田 有弘、
東京大学大学院 新領域創成科学研究科 環境学専攻 人間人工環境コース 修士論文、2003
- C12) 「The Finite Element Method in Electromagnetics」、Jianming Jin
John Wiley & Sons、2002
- C13) 「基本からわかる有限要素法」、邵 長城、
森北出版（株）、2008
- C14) 「流体力学 非圧縮性流体の流れ学」、中山 司、
森北出版（株）、2015