
* 「3次元拡散解析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次元拡散解析ソフトを提供します。このソフトは、有限要素法により、3次元構造の拡散問題を解くもので、非圧縮流体の移流拡散にも対応しています。入力データの自動メッシュについては、別途、算生会の「FEM立体データK」ソフトが必要です。また、また、非定常解析の初期濃度や移流の初期速度・圧力として、実施済みの結果データファイルを利用することもできます。

本ソフトの移流なしのFEM方程式計算では、大規模構造に対応できる高速ソルバー*を組み込んでいます。ただし、同ソルバーで非収束の場合のバックアップとして、バンドマトリックス法ソルバーも選択できるようにしています。他方、移流有りの計算では、スカイライン法を採用しています。

注) *ICCG (Incomplete Cholesky Conjugate Gradient) 法による。

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

[備考] 本書の解析事例の計算時間は、下記仕様のパソコンによります。

CPU : 3GHz (64bit、4コア) RAM : 16GB

<目次>

ページ

第1章 有限要素法	2
第2章 プログラムの機能・構成	10
第3章 構造データの作り方	14
第4章 「解析データ」処理プログラム	21
第5章 「計算」プログラム	62
第6章 「後処理」プログラム	79
第7章 計算事例	94
[補足] 中心穴なし軸回転体の注意事項	99
[参考文献]	100

第1章 有限要素法

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

1.1 使用要素

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

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

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

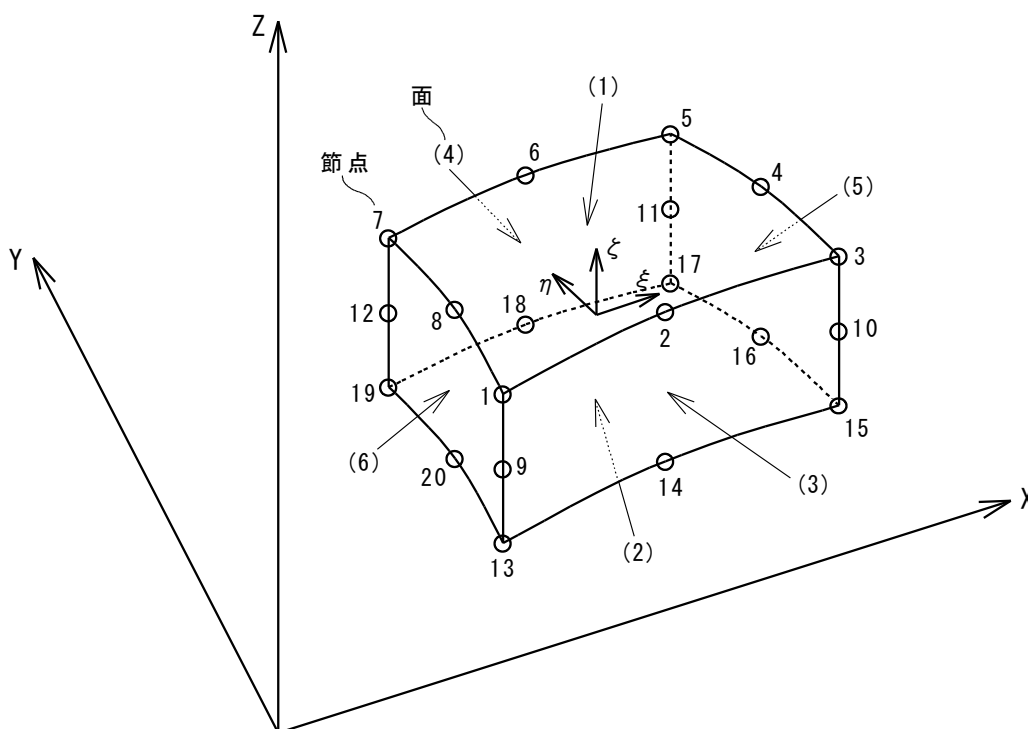


図1-1 六面体2次要素

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

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

[形状関数]

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

以上 (1-1)

[要素内の変数値] 局所座標(ξ , η , ζ)における値

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

ただし、 H_i は節点における変数値

1.2 要素の積分

1) 体積積分

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

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

ただし、 $F()$ ：任意関数

X, Y, Z ：全体座標

ξ, η, ζ ：要素の無次元化された局所座標（各変化範囲は-1～1）

n ：1軸当りのガウス積分点数

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

$|J|$ ：ヤコビアンマトリックスの行列式の値

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

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

また、ヤコビアンマトリックスの逆行列は次式で表わされます。

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

1軸当りのガウス積分点数 n が3の場合について、ガウス積分点の位置と重み係数を表1-1に示しておきます。

表1-1 ガウス積分点の位置と重み係数

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

2) 面積積分

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

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

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

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

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

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

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

1.3 3次元拡散の有限要素法解析（移流なしの場合）

移流なしの場合、3次元の非定常拡散問題の支配方程式は、次式で表わされます。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \left(\frac{\partial^2 C}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial Y^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial Z^2} \right) \quad (1-10)$$

ただし、C：濃度、t：時間、X, Y, Z：各座標値

D：拡散係数

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

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

ただし、 $[K_e]$ ：要素の拡散マトリックス

$\{C_e\}$ ：要素節点の濃度ベクトル

$[G_e]$: 要素の容量マトリックス

$\{F_e\}$: 右辺ベクトル。境界条件で決まる。

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

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

ただし、 $[N]$: 形状関数の行ベクトル

右上付き文字Tは転置を意味する（以下同じ）。

dV : 積分体積

全要素について(1-11)式を合わせると、全体の方程式は次の形となります。

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

ただし、 $[K]$: 全体の拡散マトリックス

$\{C\}$: 全節点の濃度ベクトル

$[G]$: 全体の容量マトリックス

$\{F\}$: 全体の右辺ベクトル

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

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

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

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

ここで、台形則により、

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

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

(1-18)式を(1-16)式に代入すると次式が得られます。

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

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

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

従って、定常問題では(1-15)式を解くことにより、非定常問題では(1-20)式を解くことにより所定時間毎に、各部の節点濃度{C}を算出できます。方程式は、大規模FEMに対応できるICCG (Incomplete Cholesky Conjugate Gradient) 法^{B16)}により解きます。

なお、上記の微小時間間隔 Δt の取り方は重要で、濃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。濃度変化が緩慢になれば、 Δt も大きな値に設定できます。本ソフトでは、一番最初の計算ステップを除いて、 Δt の大きさは、計算時に濃度変化状況を調べて自動設定します。

1.4 3次元拡散の有限要素法解析（移流有りの場合）

移流有りの場合、非圧縮流体の流れと拡散が連成した解析となります。

1.4.1 3次元流れの方程式

3次元の非定常流れ問題は、以下の方程式で表わされます。

[運動量の方程式（ナビア・ストークス方程式）]

X方向の式

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} + \rho \left(u \frac{\partial u}{\partial X} + v \frac{\partial u}{\partial Y} + w \frac{\partial u}{\partial Z} \right) + \frac{\partial p}{\partial X} - \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial Y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial Z^2} \right) - f_x = 0 \quad (1-21)$$

Y方向の式

$$\rho \frac{\partial v}{\partial t} + \rho \left(u \frac{\partial v}{\partial X} + v \frac{\partial v}{\partial Y} + w \frac{\partial v}{\partial Z} \right) + \frac{\partial p}{\partial Y} - \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial Y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial Z^2} \right) - f_y = 0 \quad (1-22)$$

Z方向の式

$$\rho \frac{\partial w}{\partial t} + \rho \left(u \frac{\partial w}{\partial X} + v \frac{\partial w}{\partial Y} + w \frac{\partial w}{\partial Z} \right) + \frac{\partial p}{\partial Z} - \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial Y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial Z^2} \right) - f_z = 0 \quad (1-23)$$

[連続の式]

$$\frac{\partial u}{\partial X} + \frac{\partial v}{\partial Y} + \frac{\partial w}{\partial Z} = 0 \quad (1-24)$$

ただし、 u : X方向速度、 v : Y方向速度、 w : Z方向速度、 p : 圧力

X : X座標、 Y : Y座標、 Z : Z座標、 t : 時間

ρ : 密度、 μ : 粘度

f_x : X方向物体力、 f_y : Y方向物体力、 f_z : Z方向物体力

物体力とは重力を意味し、その各座標軸方向成分を与える。

これらの方程式を用いた有限要素法計算式は、算生会「3次元流れ解析」ソフトの説明書に詳述してあります。

1.4.2 3次元移流拡散の方程式

流れ計算結果の速度・圧力を用いて濃度計算を行ないます。3次元の非定常移流拡散の支配方程式は次式で表わされます。

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial X} + v \frac{\partial C}{\partial Y} + w \frac{\partial C}{\partial Z} = D \left(\frac{\partial^2 C}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial Y^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial Z^2} \right) \quad (1-25)$$

ただし、C：濃度、t：時間、D：拡散係数

速度u、v、wは流れ計算により既知。

従って、有限要素法の積分方程式は次のようになります。

$$\int_{V_e} [N]^T \left[u \frac{\partial C}{\partial X} + v \frac{\partial C}{\partial Y} + w \frac{\partial C}{\partial Z} - D \left(\frac{\partial^2 C}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial Y^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial Z^2} \right) \right] dV = 0 \quad (1-26)$$

ただし、[N]：形状関数の行ベクトル

右上付き文字Tは転置を意味します（以下同じ）。

(1-26) 式の[]内第2項に部分積分の公式を適用し、温度固定境界のために0となる積分項を省略し、正負を整理すると、次式が得られます。

$$\begin{aligned} & \int_{V_e} [N]^T \left(\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial X} + v \frac{\partial C}{\partial Y} + w \frac{\partial C}{\partial Z} \right) dV \\ & + \int_{V_e} D \left(\frac{\partial [N]^T}{\partial X} \frac{\partial C}{\partial X} + \frac{\partial [N]^T}{\partial Y} \frac{\partial C}{\partial Y} + \frac{\partial [N]^T}{\partial Z} \frac{\partial C}{\partial Z} \right) dV = 0 \end{aligned} \quad (1-27)$$

非定常の場合に、ある時刻tにおける速度・圧力変数に添え字bを付し、微小時間Δt後の変数には添え字を付さないことにします。また、両者の平均として添え字mを付します。

先ず、(1-27) 式を時間方向に離散化すると次のようになります。

$$[K_e] \frac{C - C_b}{\Delta t} + [G_e] \frac{1}{2} (C + C_b) = 0 \quad (1-28)$$

ここで、

$$[K_e] = \int_{V_e} [N]^T [N] dV \quad (1-29)$$

$$\begin{aligned} [G_e] = & \int_{V_e} [N]^T \left(u_m \frac{\partial [N]}{\partial X} + v_m \frac{\partial [N]}{\partial Y} + w_m \frac{\partial [N]}{\partial Z} \right) dV \\ & + \int_{V_e} D \left(\frac{\partial [N]^T}{\partial X} \frac{\partial [N]}{\partial X} + \frac{\partial [N]^T}{\partial Y} \frac{\partial [N]}{\partial Y} + \frac{\partial [N]^T}{\partial Z} \frac{\partial [N]}{\partial Z} \right) dV \end{aligned} \quad (1-30)$$

(1-28) 式を整理すると、次のようになります。

$$[K_{eA}]C = F_{eC} \quad (1-31)$$

ここで、

$$[K_{eA}] = \frac{[K_e]}{\Delta t} + \frac{[G_e]}{2} \quad (1-32)$$

$$F_{eC} = \left(\frac{[K_e]}{\Delta t} - \frac{[G_e]}{2} \right) C_b \quad (1-33)$$

後は、1.3節（移流なしの場合）と同様です。ただし、計算時間間隔 Δt の自動設定に関しては、濃度変化の代わりに速度変化を利用します。

1.5 複数ステップとサイクルの関係

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

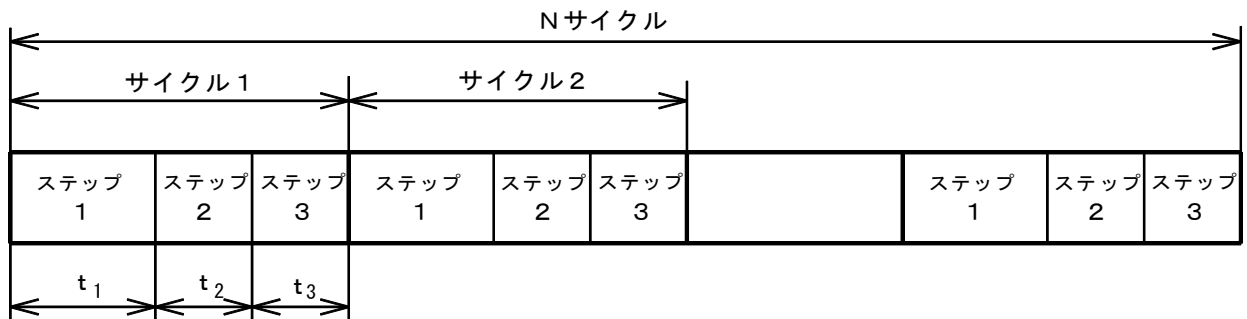


図1-2 境界条件の複数ステップとサイクルの関係（ステップ数3の例）

第2章 プログラムの機能・構成

[VBプロジェクト名] D i f f u s i o n 3 D

表2-1に本ソフトの解析機能を示します。同表のように、移流有無、および定常と非定常の解析が可能です。なお、定常解析は問題ありませんが、節点数が多い構造の非定常解析では計算時間が非常に長くなることがあります。非定常解析の場合は、あらかじめ短い経過時間で計算時間の様子を見るのが賢明です。

表2-1 「D i f f u s i o n 3 D」 解析機能

移流有無		解析種別		移流の流体種別	
移流なし	移流有り	定常	非定常	ニュートン流	非ニュートン流
○	○	○	○	○	○

注) ○印：対応。

非ニュートン流の粘度の式は、パワーロー、常用対数2次式、または自然対数2次式を選択できます。

本ソフトの立ち上げ画面は図2-1のメニュー画面です。同図のように、基本メニューは「解析データ」、「計算」、「後処理」、「終了」の4つです。「解析データ」メニューでは、別途「FEM立体データ」ソフトにより作成した解析データファイルを使用します。「計算」メニューでは解析計算を実行し、「後処理」メニューでは計算結果の図を作画します。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。

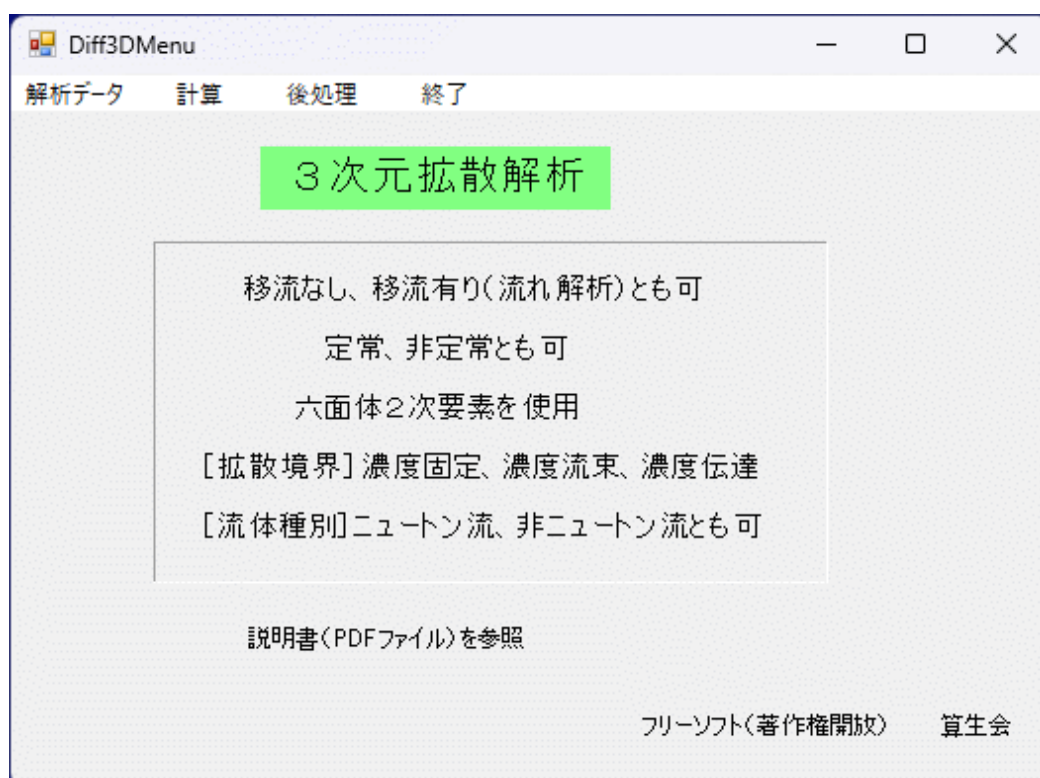


図2-1 「D i f f u s i o n 3 D」 ソフトのメニュー画面

次に、図2-2にプログラム構成を示します。同図のように、全体を「メニュー」の Dif3DMenu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。

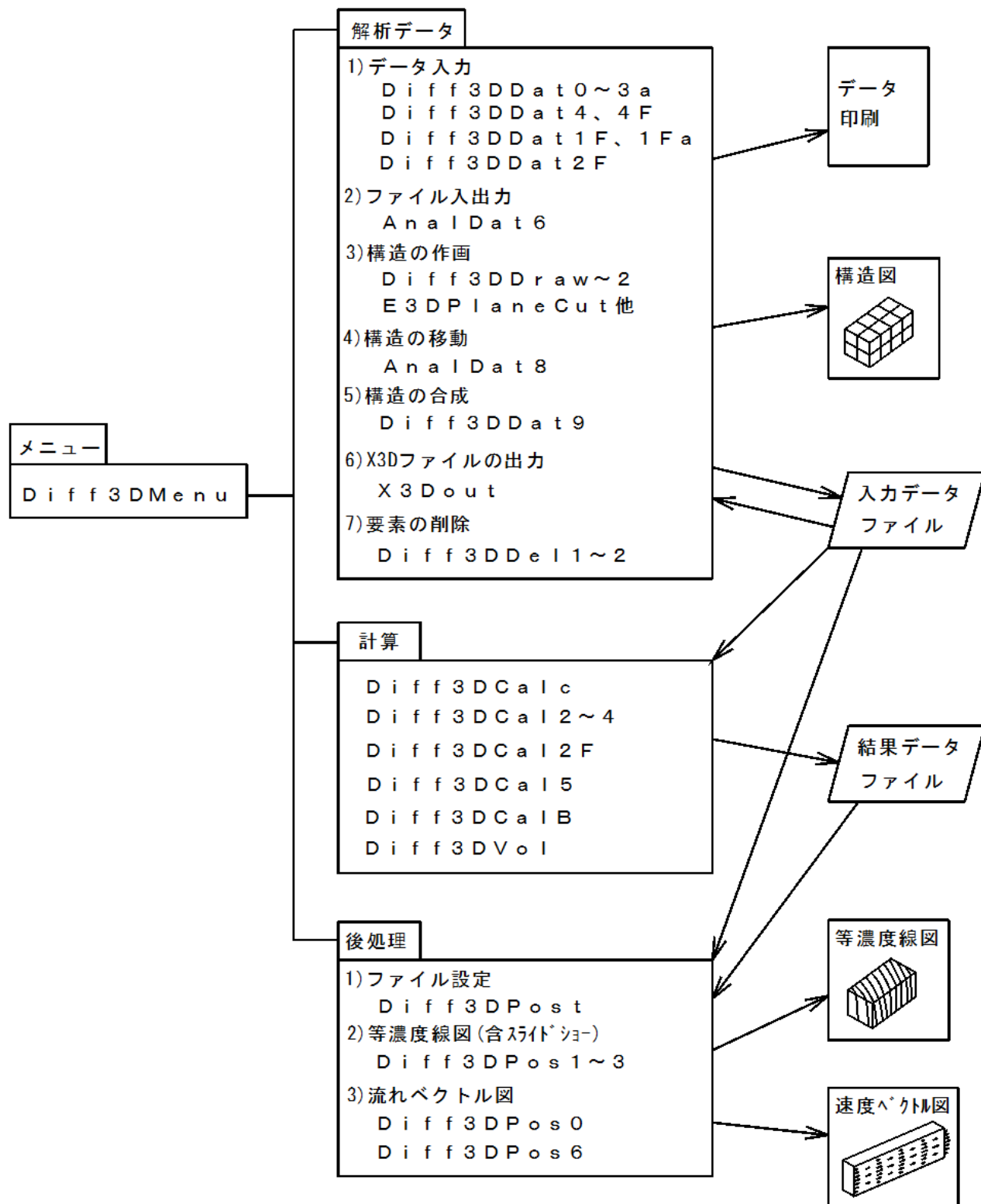


図2-2 「Diffusion3D」ソフトのプログラム構成

データファイルは、「入力データファイル」、「結果データファイル」の2種類を使用しています。また、本図には示していませんが、いくつかのプログラム部分で一時記憶ファイル（ファイル拡張子「.tmp」）も使用しています。これらデータファイルはいずれもテキスト形式であり、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Diff3DDat0～Diff3DDat4Fは、各種データを画面入力するためのものです。特にDiff3DDat2とDiff3DDat2F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2-2 (1/2) 「D i f f u s i o n 3 D」ソフトのファイルリスト

〔全般〕

ファイル名	内 容
Diff3DCom.vb	共通変数の宣言とサブルーチンの定義
Diff3DMenu.vb	メニューの提示・選択

〔解析データ〕

ファイル名	内 容
Diff3DDat0.vb	基本データ仕様の入力
Diff3DDat1.vb	拡散計算のデータ仕様の入力
Diff3DDat1F.vb	流れ計算のデータ仕様の入力
Diff3DDat1Fa.vb	流れ材料データの入力
Diff3DDat2.vb	各データの入力
Diff3DDat2F.vb	流れ各データの入力
Diff3DDat3.vb	境界一括設定の変数値の入力
Diff3DDat3a.vb	境界面の一括設定
Diff3DDat4.vb	材料データの入力
Diff3DDat4F.vb	移流の速度・圧力の読み込み
AnalDat6.vb	データファイルの入出力
AnalDat8.vb	構造の移動
Diff3DDat9.vb	構造の合成
Diff3DDraw.vb	構造の作画
Diff3DDraw1.vb	構造図でデータ入力項目の選択
Diff3DDraw2.vb	構造図でデータの入力
E3DPlaneCut.vb	3次元構造の面切断の設定（各3次元図に共通）
MouseShift.vb	マウス回転操作の説明（各3次元図に共通）
X3Dout.vb	X3Dファイルの出力
Diff3DDe11.vb	要素の削除数の入力と削除の実行
Diff3DDe12.vb	要素削除の要素指定

表2-2 (2/2) 「D i f f u s i o n 3 D」ソフトのファイルリスト

[計算]

ファイル名	内 容
Diff3DCalc.vb	計算に使用するファイルの設定
Diff3DCal2.vb	移流なしの計算条件入力
Diff3DCal2F.vb	移流有りの計算条件入力
Diff3DCal3.vb	移流なしの解析計算の実行（反復法）
Diff3DCal4.vb	移流なしの解析計算の実行（バンドマトリックス法）
Diff3DCal5.vb	移流有りの解析計算の実行（スカイライン法）
Diff3DCalB.vb	解析計算のバッチ処理
Diff3DVol.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
Diff3DPost.vb	後処理に使用するファイルの設定
Diff3DPos0.vb	移流有りの非定常メッシュの設定
Diff3DPos1.vb	等高線図の仕様設定
Diff3DPos2.vb	等高線図の作画実行
Diff3DPos3.vb	等高線図スライドショーの実行
Diff3DPos6.vb	流れ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、構造データについてよく理解しておく必要があります。有限要素のメッシュデータについては、「FEM立体データ」と同じなので、ここでは補足説明を主体に説明します。また、境界条件等についても説明します。

構造データはすべて3次元のXYZ座標を用います。使用する要素は図1-1で示した六面体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。

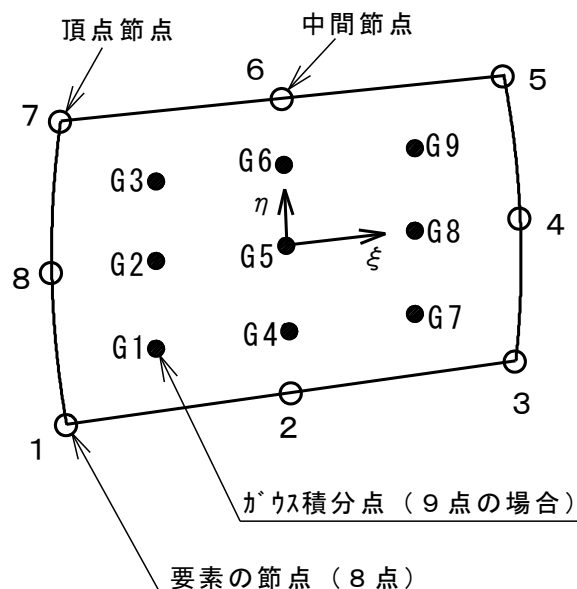


図3-1 要素の1面の積分点位置（ ξ η 座標面）

以降では、図3-2、3-3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。図3-2は移流なし、図3-3は移流有りのモデルです。図3-3では、対称の裏側半分の構造モデルを採用します。

1) 先ず構造を略図に描きます。

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

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

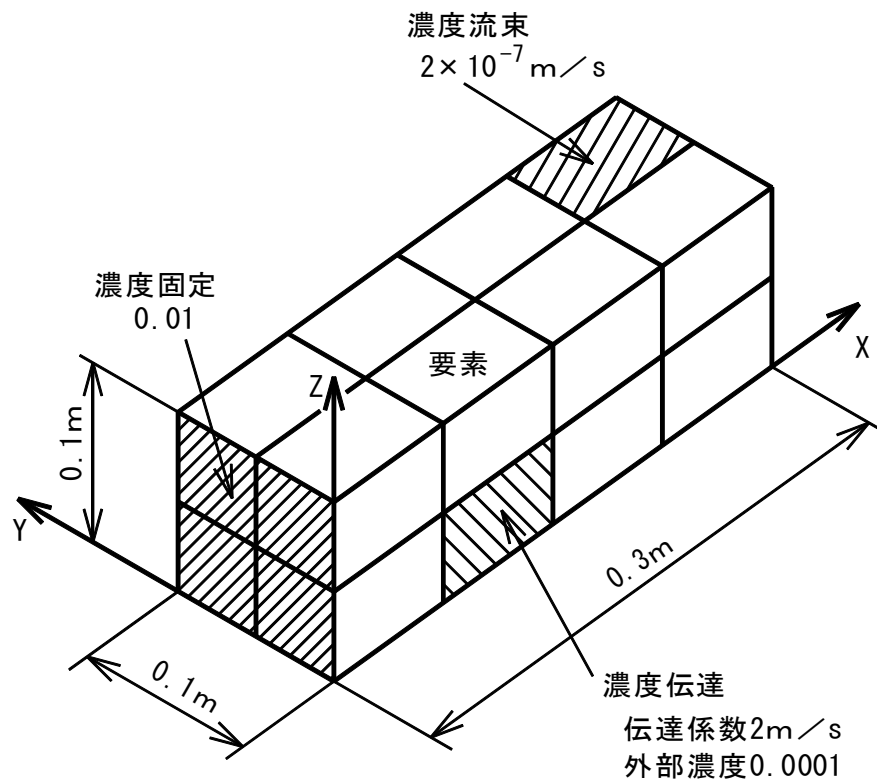
① 構造すべてを適当な大きさの六面体に分割します。六面体の面は四角形で、その辺（稜線）は直線でも曲線（円弧）でも構いません。また、面の形状は、三角形であっても、その三角形のいずれかの辺の midpoint に頂点節点を設けるような変則の四角形も

使用できます。

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

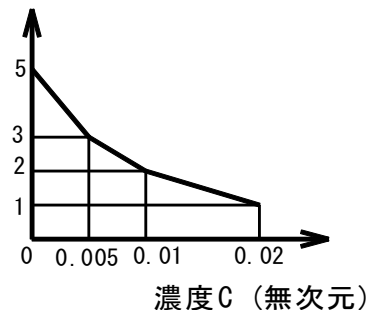
- 3) 自動メッシュでない場合、全要素に番号を付けます。

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



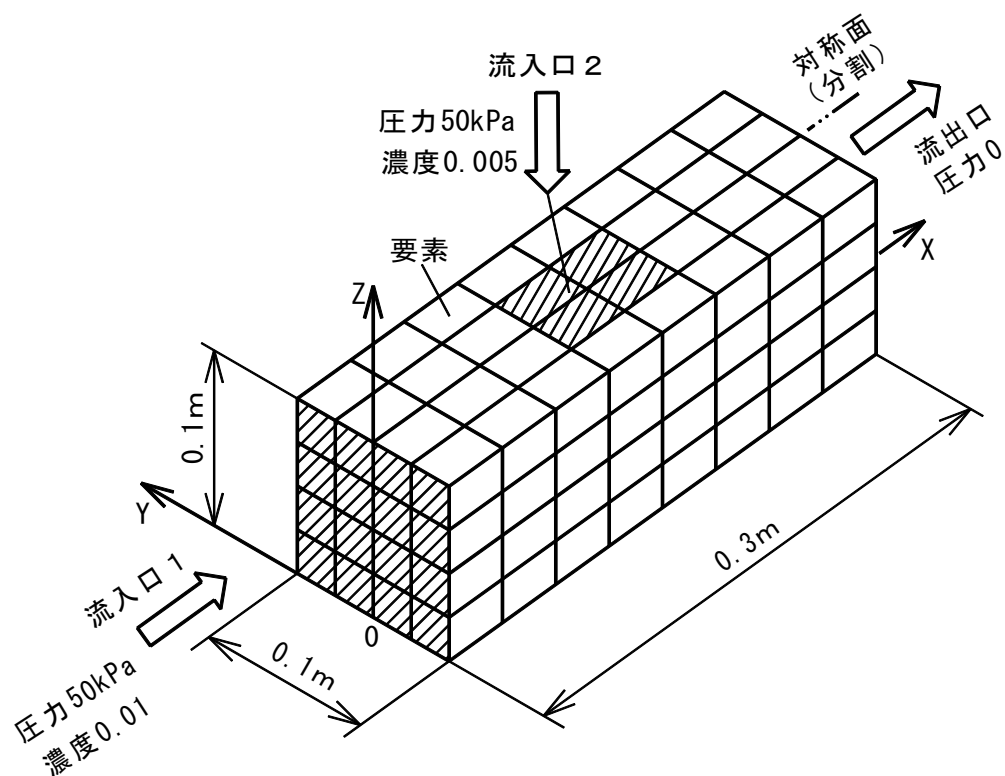
[材料物性]

拡散係数D
($\times 10^{-5} \text{m}^2/\text{s}$)



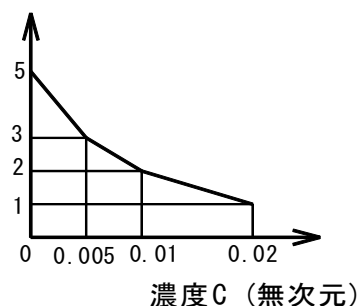
[初期濃度] 0.001 一様

図3-2 移流なしのテスト用構造モデル



[材料物性]

拡散係数 D
($\times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$)



定常解析の拡散係数は一定値 $3 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ とする。

[初期濃度] 0

図3-3 移流有りのテスト用構造モデル

4) 自動メッシュでない場合、全節点に番号を付けます。

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

なお、本ソフトのソルバーの内、反復法（ICCG法）では、バンド幅は問題ありません。また、バンドマトリックス法やスカイライン法を選択した場合でも、自動的に節点順序の改良処理を行ないバンド幅を低減しています。従って、節点番号の順番について特に注意しなくて構いません。

5) 自動メッシュでない場合、節点座標を算出しておきます。

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

6) 材料物性データを用意します。

材料物性は、拡散係数ですが、濃度との関係を図3-2のような折れ線で設定できます。図3-4では、濃度を m 区分とし、各区分の線分を結んだ折れ線としています。ただし、1つの折れ線区間の濃度範囲幅は、後述の計算条件の「計算1回当たりの濃度変化許容値」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。

◇折れ線設定の濃度範囲を外れた場合は、下側は最下限の拡散係数が、上側は最上限の拡散係数が適用されます。

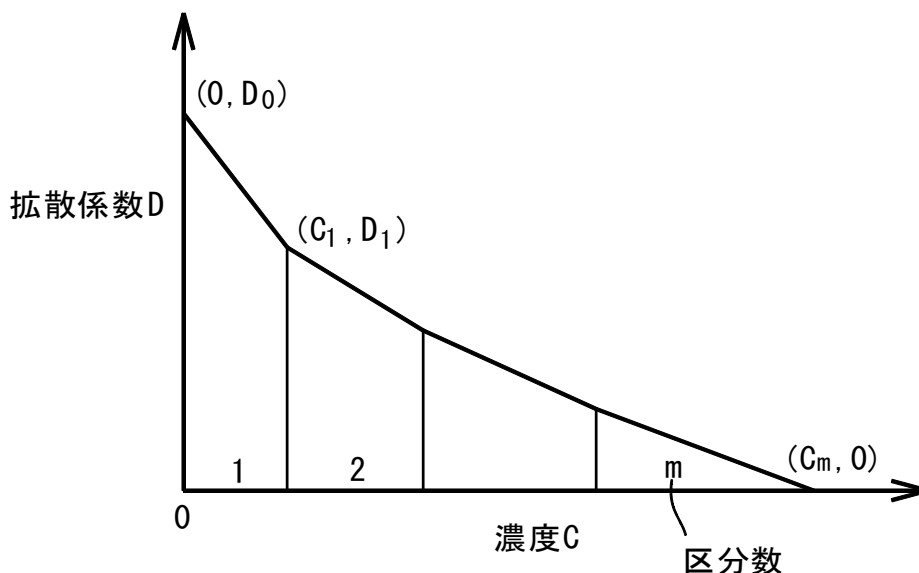


図3-4 濃度区分による拡散係数の与え方

なお、図3-2、3-3の例では、濃度区分数を3にしています。

また、定常解析を行なう場合は、濃度区分数は0しか採用できません。もし、多区分にしたい場合は、拡散時間を十分長くして非定常解析を実施してください。

<移流有りの場合>

移流有りの場合、流体の密度と粘度のデータも必要になります。特に、非ニュートン流では、粘度の式を使用します。詳細は「解析データ」処理プログラムの説明を参照してください。

7) 境界条件を決めます。

本ソフトに組み込んである境界条件を表3-1に示します。なお、非定常解析の場合には、下記のように境界条件を多ステップに設定し、多ステップ×多サイクルの解析を行なうことができます。

〔非定常解析の多ステップ設定〕

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

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

表3-1 境界条件一覧

境界名称	内容
①濃度固定境界	一定濃度となるもの
②濃度流束境界	一定の濃度量が流出入するもの
③濃度伝達境界	外部の一定濃度体と濃度伝達するもの

注）境界条件を設定しなければ、不透過境界となります。

〔濃度伝達境界の式〕

$$\text{流出濃度量 } q = \alpha (C - C_c) \quad (3-1)$$

ただし、 α ：濃度伝達係数 C_c ：外部濃度

＜移流有りの濃度境界条件＞

移流有りの場合は、濃度固定境界のみで、時間的な切り替えはできません（ステップ数1に限定）。

8) 移流ありの場合は、流れ解析の境界条件を決めます。

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、構造への流入口の圧力を一定値で与え、流出口の圧力をに固定します。流入口の各節点について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。

◇低粘度流体（水等）の場合は、必ず入口の圧力を固定してください。入口の速度分布のみを設定すると、流れ計算が収束しないかもしれません。

本ソフトでは、境界条件の設定を、節点単位でも要素面単位でも行なうことができます。圧力を固定する場合は、要素面で一定となりますから、要素面単位で行なう方がずっと容易です。

また、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。

9) 非定常解析の初期条件

非定常解析の場合は、初期条件を設定できます。移流なしでは、初期条件は濃度だけです。

他方、移流ありにおいては、流れ解析の初期条件が重要です。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。

10) 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SI単位系を示しておきます。ただし、濃度はどのように定義するかによって、単位なしの無次元の場合と単位有りの場合があります。

下記に濃度定義の例を示します。

<濃度定義の例>

a) 全密度に対する拡散物質の質量比（無次元）

$$\text{濃度} C = \rho_1 / \rho \quad (3-2)$$

ただし、 ρ_1 : 単位体積中の拡散物質の質量

ρ : 全密度（単位体積の質量に相当）。

単位体積中の媒体の質量を ρ_2 とすると

$$\rho = \rho_1 + \rho_2 \quad (3-3)$$

b) 単位体積中の拡散物質のモル数

単位例は、 mol/m^3

表3-2 S I 単位系

データ項目	単位
時間	s
長さ	m
拡散係数	m^2/s
濃度伝達係数	m/s
速度	m/s
加速度	m/s^2
剪断速度	$/\text{s}$
圧力	Pa ($=\text{N}/\text{m}^2$)
剪断応力	Pa ($=\text{N}/\text{m}^2$)

データ項目	単位
濃度 (比率)	なし
濃度流束	m/s

濃度 (mol)	mol/m^3
濃度流束	$\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$

密度	kg/m^3
粘度	Pa·s

11) 要素の追加変更

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

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

第4章 「解析データ」処理プログラム

4.1 サブメニュー画面

「メニュー」プログラムにおける「解析データ」のサブメニュー選択画面を図4-1に示します。同図に示すように、14個のサブメニューがあります。全く新たにデータを作成する場合は「データ入力・修正」を選択しますが、既存ファイルを修正して新たなファイルを作成する場合は先に「ファイル読み込み」を行ないます。

◇「FEM立体データK」ソフトによる本解析用データファイルを読み込めます。

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

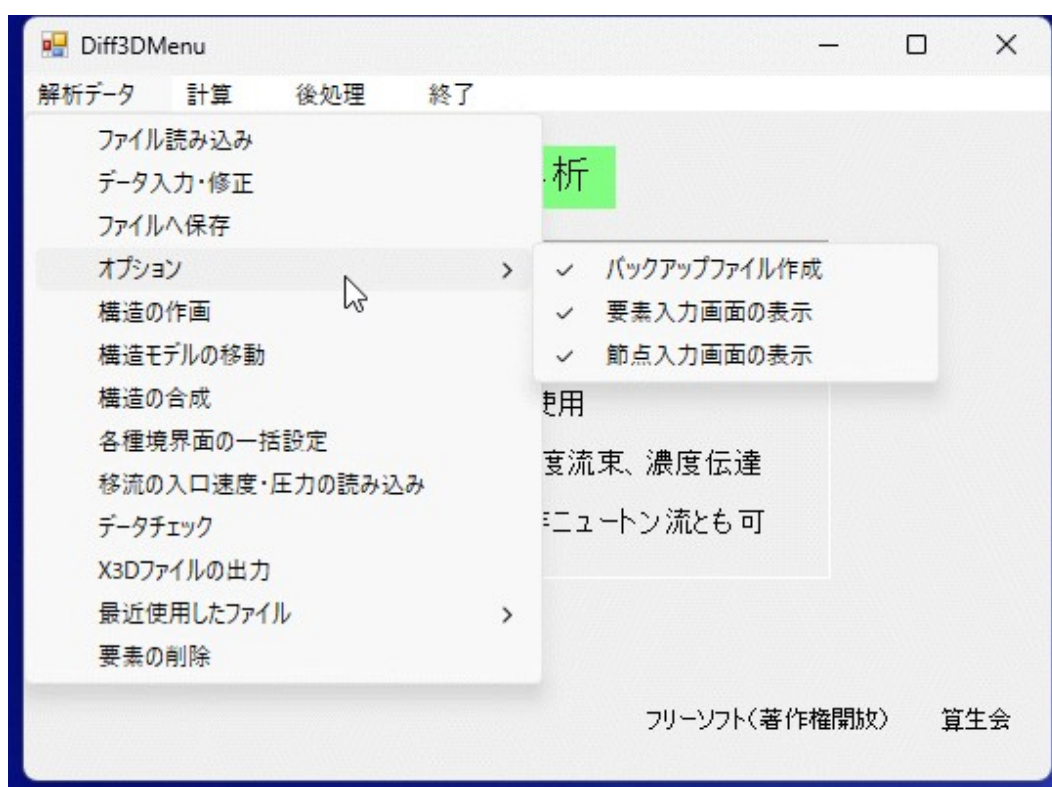


図4-1 「解析データ」サブメニュー画面

4.2 ファイル読み込み

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

4.3 データ入力・修正

サブメニューの「データ入力・修正」を選択すると、図4-2の基本データ仕様入力画面となります。

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

- ①タイトルは、任意の題名を入力できます。
- ②節点数～材料データ数は、各構造モデルに応じた数を入力します。
- ③移流の有無を選択します。有りを選択すると移流拡散解析のデータとなり、流れ解析用データが必要となります。
 ◇移流有りの場合、材料データ数は1に限定されます。
- ④解析種別として、定常解析か非定常解析を選択します。
- ⑤境界条件のステップ数を入力します。
 ◇境界条件のステップ数は、非定常解析の場合に2以上の数を設定できます。このステップ数は各境界条件に共通で、ステップ数を2以上にすると、後の画面で各ステップの時間を設定し、さらに各境界条件の数値をステップ数分設定できます。
 ◇定常解析および移流有りの場合、境界条件のステップ数は1に限定されます。
 ステップ数が1ということは、境界条件の切り替えがないということです。
- ⑥本画面の「設定」ボタンをクリックすると、次の画面に移ります。
- ⑦各データ入力終了すると、本画面に戻るの、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 基本データ仕様入力画面

4.4 拡散計算のデータ仕様入力画面

図4-3に拡散計算のデータ仕様入力画面を示します。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。

- ①濃度固定節点数～濃度伝達境界の面の数は、各構造モデルに応じた数を入力します。
 ◇境界条件のステップ数は、非定常解析の場合に2以上の数を設定できます。このステップ数は各境界条件に共通で、ステップ数を2以上にすると、後の画面で各ステップの時間を設定し、さらに各境界条件の数値をステップ数分設定できます。
- ②濃度の初期値データは、非定常解析の場合に必要です。

③本画面の「設定」ボタンをクリックすると、次の画面に移ります。

The screenshot shows a Windows-style dialog box titled "Diff3DDat1". Inside, there is a text label "拡散計算のデータ仕様を入力してください。" (Please input the data specifications for diffusion calculation). Below this, there are five input fields arranged in two rows. The first row contains "濃度固定節点数" (Concentration fixed node count) with the value "21" and "濃度固定境界の面の数" (Concentration fixed boundary surface count) with the value "0". The second row contains "濃度流束境界の面の数" (Concentration flux boundary surface count) with the value "1" and "濃度伝達境界の面の数" (Concentration transmission boundary surface count) with the value "1". Below these fields is a single input field for "濃度の初期値データ(なし=0、有り=1)" (Concentration initial value data (none=0, present=1)) with the value "1". At the bottom of the dialog, there are two buttons: "設定" (Settings) and "戻る" (Back).

図4-3 拡散計算のデータ仕様入力画面

4.5 要素データ入力画面（オプションで省略可能）

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

- ①材料番号は、材料データ数に応じた番号を入力します。
- ②節点順1から順に各要素の全節点番号（六面体では20個、四面体では10個）を、必ず頂点節点を最初に、かつ図1-1または図1-2の節点番号の順に入力します。
- ③「コピー」、「貼り付け」ボタンにより、通常のクリップボード利用ができます。これは以降の画面でも同様です。
 - ◇「取り消し」ボタンを押すと直前の貼り付けを取り消せます。
 - ◇表計算ソフトからコピーすることも可能です。
- ④すべての要素データを入力し終ったなら、「設定」ボタンをクリックして次の節点データ入力画面に移ります。

4.6 節点データ入力画面（オプションで省略可能）

図4-5に節点データ入力画面を示します。自動メッシュだけで済む場合は変更不要です。

- ①各節点の座標を入力します。
- ②「一括定数掛算」ボタンをクリックして定数値を入力し、全座標に一括掛算することができます。
 - ◇本機能により、座標値の単位を変更したり、構造を拡大・縮小したりできます。
- ③すべての節点データを入力し終ったなら、「設定」ボタンをクリックして次の画面に移ります。

Diff3DDat2

要素データの入力

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

設定 戻る コピー 貼り付け 取り消し

図4-4 要素データ入力画面

Diff3DDat2

節点データの入力

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

設定 戻る 一括定数掛算 コピー 貼り付け 取り消し

図4-5 節点データ入力画面

4.7 材料物性区分数の入力画面

図4-6に材料物性区分数の入力画面を示します。

①各材料毎に物性区分数を入力します。

◇物性区分数は、濃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0とします。

◇定常解析を行なう場合は、材料区分数は0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。

材料番号	物性区分数
1	3
*	

図4-6 材料物性区分数の入力画面

4.8 ステップ時間の入力画面

図4-7にステップ時間の入力画面を示します。本画面は、境界条件のステップ数が2以上の場合に表示されます。

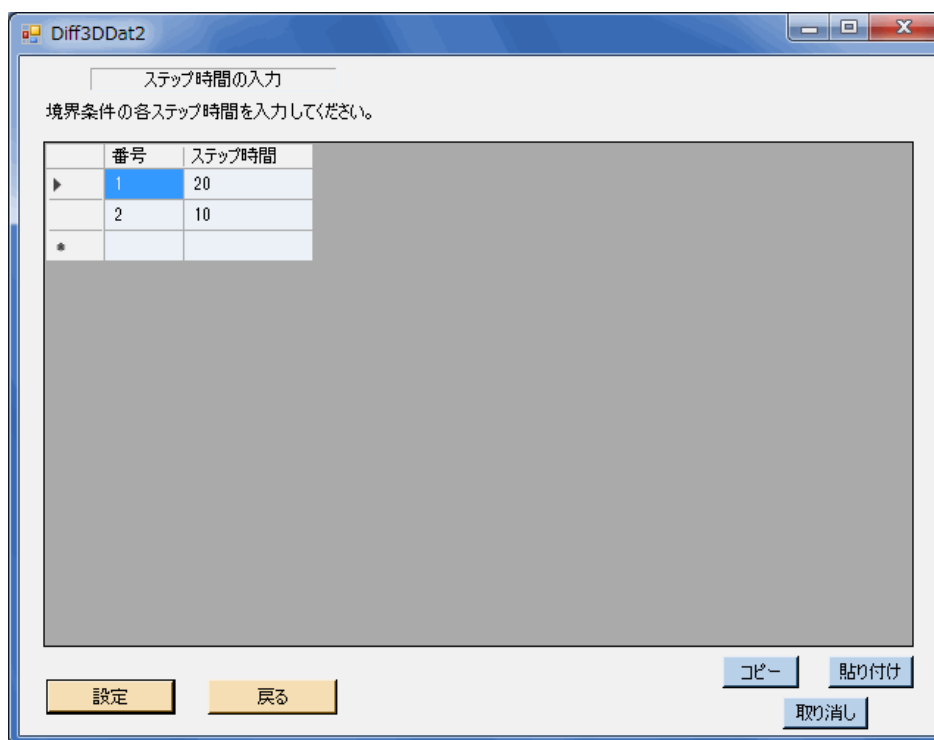
- ①各ステップの時間を入力します。なお、全ステップを1サイクルとして、それを何サイクル行なうかは、解析計算実行時に設定できます。
- ②すべてのステップ時間を入力し終ったなら、「設定」ボタンをクリックして次の画面に移ります。

4.9 濃度固定節点データ入力画面

本入力は、濃度固定節点数が1以上の場合にのみ実施します。図4-8、図4-9に濃度固定節点データ入力画面を示します。図4-8はステップ数が1の場合、図4-9はステップ数が2の場合（以下の各データ入力画面でも同様）です。

- ①濃度固定節点数の分だけ固定番号が表示されているので、それぞれ節点番号とステップ数分の濃度を入力します。
- 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すべての濃度固定節点データを入力し終ったなら、「設定」ボタンをクリックして

次の画面に移ります。



番号	ステップ時間
1	20
2	10
*	

図4-7 ステップ時間の入力画面



固定番号	節点番号	濃度1
1	1	.01
2	2	.01
3	3	.01
4	4	.01
5	5	.01
6	6	.01
7	7	.01
8	8	.01
9	9	.01
10	10	.01
11	11	.01
12	12	.01
13	13	.01
14	14	.01
15	15	.01
16	16	.01

図4-8 濃度固定節点データ入力画面（ステップ数1の場合）

固定番号	節点番号	濃度1	濃度2	
1	1	.01	.005	
2	2	.01	.005	
3	3	.01	.005	
4	4	.01	.005	
5	5	.01	.005	
6	6	.01	.005	
7	7	.01	.005	
8	8	.01	.005	
9	9	.01	.005	
10	10	.01	.005	
11	11	.01	.005	
12	12	.01	.005	
13	13	.01	.005	
14	14	.01	.005	
15	15	.01	.005	
16	16	.01	.005	

図4-9 濃度固定節点データ入力画面（ステップ数2の場合）

4.10 濃度固定境界の面データ入力画面

本入力は、濃度固定境界の面の数が1以上の場合にのみ実施します。図4-10に濃度固定境界の面データ入力画面を示します。

- ①濃度固定境界の面の数の分だけ固定番号が表示されているので、それぞれ要素番号、面番号、ステップ数分の濃度を入力します。
◇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。
- ③1つの固定番号のデータを他の固定番号範囲へコピーしたい場合は、「一括コピー」ボタンをクリックして、まとめて実施できます。ただし、要素番号はコピーされません。
- ④すべての濃度固定境界の面データを入力し終ったなら、「設定」ボタンをクリックして次の画面に移ります。

濃度固定境界面の入力

要素番号に-1を入力すると、その行を削除・前詰めします。

	固定番号	要素番号	面番号	濃度1
▶	1	1	1	.01
	2	2	1	.01
	3	3	1	.01
	4	4	1	.01
*				

設定 戻る 一括コピー コピー 貼り付け 取り消し

図4-10 濃度固定境界の面データ入力画面

4.11 濃度流束データ入力画面

本入力は、濃度流束境界がある場合（濃度流束境界の面の数が1以上）にのみ実施します。
図4-11に濃度流束データ入力画面を示します。

- ①濃度流束境界の面の数の分だけ番号が表示されているので、それぞれ要素番号、面番号、ステップ数分の濃度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。

◇濃度流束値は、単位面積当りの濃度流量で、要素から濃度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。
- 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すべての濃度流束データを入力し終ったなら、「設定」ボタンをクリックして次の画面に移ります。

番号	要素番号	面番号	濃度流束1
1	14	4	2E-07
*			

図4-11 濃度流束データ入力画面

4.12 濃度伝達データ入力画面

本入力は、濃度伝達境界がある場合（濃度伝達境界の面の数が1以上）にのみ実施します。
図4-12に濃度伝達データ入力画面を示します。

- ①濃度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・外部濃度を入力します。
 - ◇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。
 - ◇伝達係数は単位面積、単位時間、単位濃度差当たりの濃度流量です。
- 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すべての濃度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。

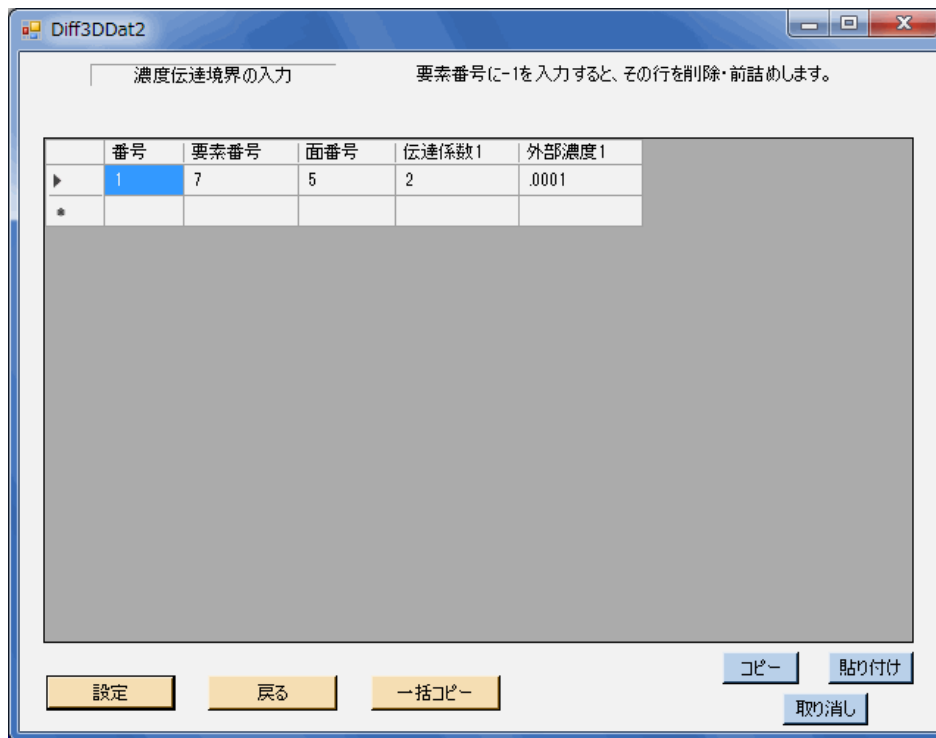


図4-12 濃度伝達データ入力画面

4.13 濃度の初期値データ入力画面

本入力、濃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。図4-13に濃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、初期濃度を入力します。

◇全節点で同一濃度を設定する場合は、図4-13で「一括設定」ボタンをクリックします。そうすると、図4-14の一括設定濃度の入力画面となりますので、一律の濃度を入力し、「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4-13で「ファイル読み込み」ボタンをクリックします。そうすると、図4-15のコモンダイアログ画面となりますので、Diffusion3D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4-16または図4-17の入力画面が出ます。

図4-16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4-17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4-18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。

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

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



図4-13 初期値データ入力画面

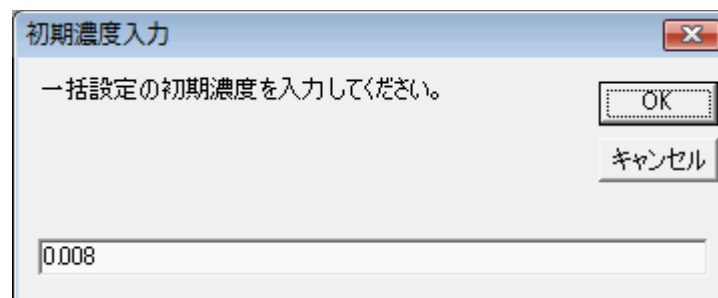


図4-14 一括設定濃度の入力画面

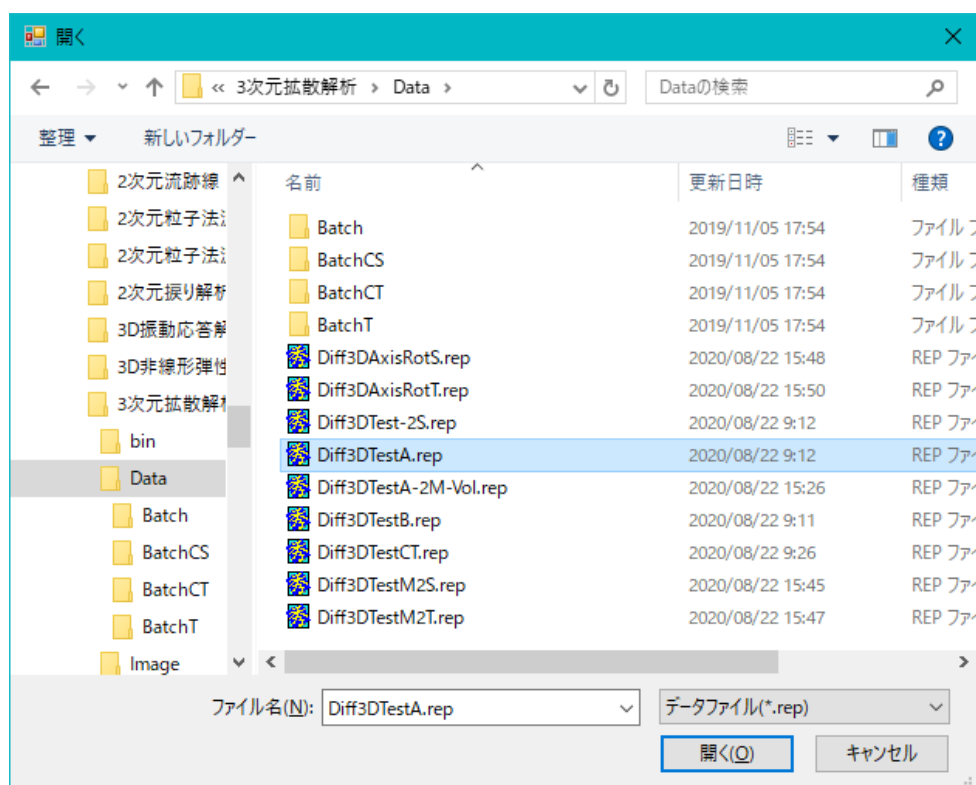


図4-15 Diffusion3D結果ファイル選択のコモンダイアログ画面

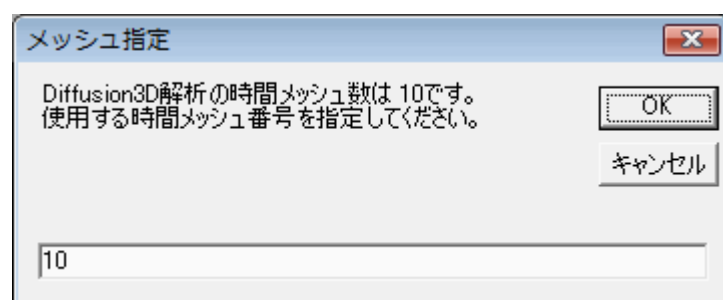


図4-16 非定常拡散解析結果の時間メッシュ指定画面（ステップ数1の場合）

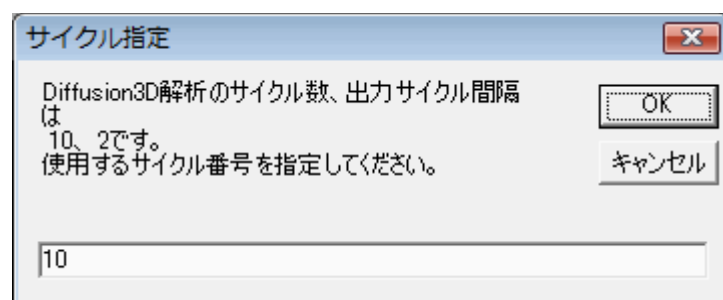


図4-17 非定常拡散解析結果のサイクル番号指定画面（ステップ数2以上の場合）

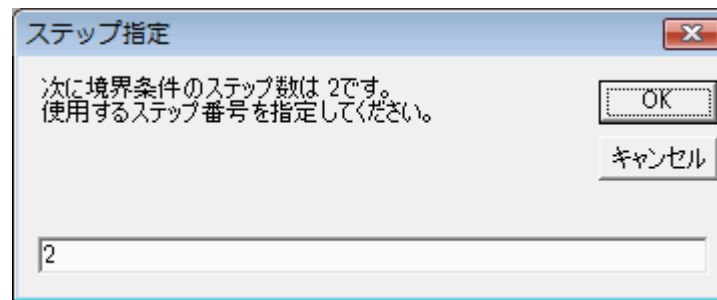


図4-18 非定常拡散解析結果のステップ番号指定画面（ステップ数2以上の場合）

4.14 材料データ入力画面

図4-19に材料データ入力画面を示します。

- ①区分番号の順に、濃度と拡散係数の組を入力します。

◇区分番号0は第1区分の下限です。以降、区分番号は各区分の上限を表わします。

◇物性区分数が0の場合は、任意の濃度と一定の拡散係数を入力します。この場合、任意の濃度は計算に使用しません。

◇入力した濃度の下限を下回る濃度に対しては、下限の拡散係数が適用されます。

同様に、濃度の上限を上回る濃度に対しては、上限の拡散係数が適用されます。

- 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の基本データ仕様入力画面に戻ります。



図4-19 材料データ入力画面

4.15 流れ計算のデータ仕様入力画面

移流有りの場合は、4.4節以降の拡散計算の各データ画面の前に、流れ計算の各データ画面が表示されます。その最初が、図4-20の流れ計算のデータ仕様入力画面です。本図では図3-2の移流有りの例題を取り上げており、以降も同じです。

- ①速度・圧力固定の節点数と速度・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8)を参照してください。

◇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。

- ②一定温度は、粘度式に使用する温度を入力します。粘度式なしの場合は、入力値は無視されます。

- ③粘度式の種類番号は、同画面の下部に表示してあるものから選択します。

- ④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。

- ⑤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。

- ⑥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。

4.16 流れ材料データ入力画面

図4-21に流れ材料データ入力画面を示します。取り扱う流体材料は1種類だけです。

- ①密度、粘度を入力します。

◇本例では、表3-2のS I単位系を使用しています（温度の単位は℃）。

- ②前項で粘度式を指定した場合は、粘度式の各係数を入力します。

- 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画面に移ります。

FL3DDat1F

流れ計算のデータ仕様を入力してください。

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。

一定温度 粘度式番号 1以上で有効

粘度式の種類番号 η : 粘度、Temp: 温度、GD: 剪断速度
LGT: 底が10の対数(常用対数) LOG: 自然対数

0) 粘度式なし
1) $\eta = A0 * \exp(A1 * \text{Temp}) * (\text{GD}^A2)$
2) $\text{LGT}(\eta) = A0 + A1 * \text{LGT}(\text{GD}) + A2 * \text{Temp} + A3 * (\text{LGT}(\text{GD})^2) + A4 * \text{LGT}(\text{GD}) * \text{Temp} + A5 * (\text{Temp}^2)$
3) $\text{LOG}(\eta) = A0 + A1 * \text{LOG}(\text{GD}) + A2 * \text{Temp} + A3 * (\text{LOG}(\text{GD})^2) + A4 * \text{LOG}(\text{GD}) * \text{Temp} + A5 * (\text{Temp}^2)$

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)

図4-20 流れ計算のデータ仕様入力画面

Diff3DDat1Fa

流体の材料データの入力

密度 粘度(基準)

粘度式の係数
3) $\text{LOG}(\mu) = A0 + A1 * \text{LOG}(\text{GD}) + A2 * \text{Temp} + A3 * (\text{LOG}(\text{GD})^2) + A4 * \text{LOG}(\text{GD}) * \text{Temp} + A5 * (\text{Temp}^2)$

	A0	A1	A2	A3	A4	A5
▶	23.9	-7324	-1021	-01877	.001553	.0001566
*						

図4-21 流れ材料データ入力画面

4.17 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4-22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のデータには使用しません。

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。

- 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4-22 速度・圧力固定の節点データ入力画面

4.18 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4-23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50000Pa、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。

4.19 物体力データ入力画面

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4-24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。

Diff3DDat2F

速度・圧力固定の面の入力 要素番号に-1を入力すると、その行を削除・前詰めします。

[拘束値] 0:固定しない、1:固定する、-1: 固定する(強制非壁面、速度固定のみ)

	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	1	1	0	0	0	0	0	0	1	50000
	2	2	1	0	0	0	0	0	0	1	50000
	3	3	1	0	0	0	0	0	0	1	50000
	4	4	1	0	0	0	0	0	0	1	50000
	5	5	1	0	0	0	0	0	0	1	50000
	6	6	1	0	0	0	0	0	0	1	50000
	7	7	1	0	0	0	0	0	0	1	50000
	8	8	1	0	0	0	0	0	0	1	50000
	9	32	4	0	0	0	0	0	0	1	50000
	10	40	4	0	0	0	0	0	0	1	50000
	11	57	2	0	0	0	0	0	0	1	0
	12	58	2	0	0	0	0	0	0	1	0
	13	59	2	0	0	0	0	0	0	1	0
	14	60	2	0	0	0	0	0	0	1	0
	15	61	2	0	0	0	0	0	0	1	0
	16	62	2	0	0	0	0	0	0	1	0

設定 戻る 一括コピー

コピー 貼り付け

取り消し

図4-23 速度・圧力固定の面データ入力画面

Diff3DDat2F

物体力の加速度の入力

	項目	X方向	Y方向	Z方向
▶	加速度	0	0	-9.81
*				

設定 戻る

図4-24 物体力データ入力画面

4.20 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となります。図4-25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。

◇「ファイル読み込み」ボタンについては、4.13節の濃度初期値と全く同様です。
ただし、ステップ数は1のみです。

◇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ったなら、「設定」ボタンをクリックして、図4-3の拡散計算のデータ仕様画面に移ります。

節点番号	初期U	初期V	初期W	初期P
1	0	0	0	50000
2	0	0	0	50000
3	0	0	0	50000
4	0	0	0	50000
5	0	0	0	50000
6	0	0	0	50000
7	0	0	0	50000
8	0	0	0	50000
9	0	0	0	50000
10	0	0	0	50000
11	0	0	0	50000
12	0	0	0	50000
13	0	0	0	50000
14	0	0	0	50000
15	0	0	0	50000
16	0	0	0	50000

図4-25 速度・圧力の初期値データ入力画面

4.21 ファイルへの保存

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

◇保存ファイルの文字コードはUTF-8です。

◇1行内の複数データは、「,」（コンマ）で区切られます。

図4-26、4-27に入力データファイル例を示します。図4-26は移流なしの例題、図4-27は移流有りの例題です。

```

プログラム名, Diffusion3D
要素種類 (0:六面体、1:四面体), 0
3次元拡散テストモデル (□0.1m×0.3m長)
移流の有無, 0
解析種別 (0:定常、1:非定常), 1
境界条件のステップ数, 1
節点数, 141
要素数, 16
材料データ数, 1
濃度固定節点数, 21
濃度固定境界の面の数, 0
濃度流束境界の面の数, 1
濃度伝達境界の面の数, 1
濃度の初期値データの有無, 1
要素データ (要素番号、材料番号、20節点番号)
1, 1, 1, 6, 9, 10, 11, 7, 3, 2, 22, 25
   26, 23, 31, 36, 39, 40, 41, 37, 33, 32
2, 1, 3, 7, 11, 12, 13, 8, 5, 4, 23, 26
   27, 24, 33, 37, 41, 42, 43, 38, 35, 34
3, 1, 9, 14, 17, 18, 19, 15, 11, 10, 25, 28
   29, 26, 39, 44, 47, 48, 49, 45, 41, 40
4, 1, 11, 15, 19, 20, 21, 16, 13, 12, 26, 29
   30, 27, 41, 45, 49, 50, 51, 46, 43, 42
. . . . .
. . . . .
14, 1, 93, 97, 101, 102, 103, 98, 95, 94, 113, 116
   117, 114, 123, 127, 131, 132, 133, 128, 125, 124
15, 1, 99, 104, 107, 108, 109, 105, 101, 100, 115, 118
   119, 116, 129, 134, 137, 138, 139, 135, 131, 130
16, 1, 101, 105, 109, 110, 111, 106, 103, 102, 116, 119
   120, 117, 131, 135, 139, 140, 141, 136, 133, 132
節点データ (節点番号、X座標、Y座標、Z座標)
1, 0, .1, 0
2, 0, .1, .025
3, 0, .1, .05
4, 0, .1, .075
5, 0, .1, .1
6, 0, .075, 0
7, 0, .075, .05
8, 0, .075, .1
. . . . .
. . . . .
135, .3, .025, .05
136, .3, .025, .1
137, .3, 0, 0
138, .3, 0, .025
139, .3, 0, .05
140, .3, 0, .075
141, .3, 0, .1

```

図4-26 (1/2) 入力データファイル例 (移流なし)


```

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
    区分番号、濃度、拡散係数
    0, 0, 5E-05
    1, .05, 3E-05
    2, .1, 2E-05
    3, .2, 1E-05
濃度固定節点データ（節点固定番号、節点番号、各ステップの濃度）
1, 1, .01
2, 2, .01
3, 3, .01
4, 4, .01
5, 5, .01
. . . . .
. . . . .
17, 17, .01
18, 18, .01
19, 19, .01
20, 20, .01
21, 21, .01
濃度流束データ（濃度流束番号、要素番号、面番号、各ステップの濃度流束（単位面積当り））
1, 14, 4, 2E-07
濃度伝達データ（濃度伝達番号、要素番号、面番号、各ステップの濃度伝達係数・外部濃度）
1, 7, 5, 2, .0001
初期値データ（節点番号、初期濃度）
1, .01
2, .01
3, .01
4, .01
5, .01
. . . . .
. . . . .
18, .01
19, .01
20, .01
21, .01
22, .001
23, .001
24, .001
25, .001
26, .001
27, .001
28, .001
29, .001
30, .001
. . . . .
. . . . .
137, .001
138, .001
139, .001
140, .001
141, .001

```

図4-26 (2/2) 入力データファイル例（移流なし）

```

プログラム名, Diffusion3D
要素種類 (0:六面体、1:四面体) , 0
3次元移流拡散テストモデル (□0.1m×0.3m長の対称裏側)
移流の有無, 1
解析種別 (0:定常、1:非定常) , 1
境界条件のステップ数, 1
節点数, 453
要素数, 64
材料データ数, 1
速度・圧力固定の節点数, 0
速度・圧力固定の面の数, 50
粘度式の種類, 3
物体力の有無 (0:なし、1:有り) , 1
速度・圧力の初期値データの有無, 1
濃度固定節点数, 0
濃度固定境界の面の数, 10
濃度流束境界の面の数, 0
濃度伝達境界の面の数, 0
濃度の初期値データの有無, 1
要素データ (要素番号、材料番号、20節点番号)
1, 1, 1, 2, 3, 7, 11, 10, 9, 6, 38, 39
   42, 41, 53, 54, 55, 59, 63, 62, 61, 58
2, 1, 3, 4, 5, 8, 13, 12, 11, 7, 39, 40
   43, 42, 55, 56, 57, 60, 65, 64, 63, 59
3, 1, 9, 10, 11, 15, 19, 18, 17, 14, 41, 42
   45, 44, 61, 62, 63, 67, 71, 70, 69, 66
. . . . .
. . . . .
62, 1, 383, 384, 385, 388, 393, 392, 391, 387, 409, 410
   413, 412, 435, 436, 437, 440, 445, 444, 443, 439
63, 1, 389, 390, 391, 395, 399, 398, 397, 394, 411, 412
   415, 414, 441, 442, 443, 447, 451, 450, 449, 446
64, 1, 391, 392, 393, 396, 401, 400, 399, 395, 412, 413
   416, 415, 443, 444, 445, 448, 453, 452, 451, 447
節点データ (節点番号、X座標、Y座標、Z座標)
1, 0, .05, 0
2, 0, .0375, 0
3, 0, .025, 0
4, 0, .0125, 0
5, 0, 0, 0
6, 0, .05, .0125
7, 0, .025, .0125
8, 0, 0, .0125
. . . . .
. . . . .
445, .3, 0, .075
446, .3, .05, .08750001
447, .3, .025, .08750001
448, .3, 0, .08750001
449, .3, .05, .1
450, .3, .0375, .1
451, .3, .025, .1
452, .3, .0125, .1
453, .3, 0, .1

```

図4-27 (1/3) 入力データファイル例 (移流有り)

```

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, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 50000
2, 2, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 50000
3, 3, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 50000
4, 4, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 50000
5, 5, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 50000
6, 6, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 50000
7, 7, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 50000
8, 8, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 50000
9, 32, 4, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 50000
10, 40, 4, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 50000
. . . . .
43, 50, 5, 0, 0, -1, 0, 0, 0, 0, 0
44, 52, 5, 0, 0, -1, 0, 0, 0, 0, 0
45, 54, 5, 0, 0, -1, 0, 0, 0, 0, 0
46, 56, 5, 0, 0, -1, 0, 0, 0, 0, 0
47, 58, 5, 0, 0, -1, 0, 0, 0, 0, 0
48, 60, 5, 0, 0, -1, 0, 0, 0, 0, 0
49, 62, 5, 0, 0, -1, 0, 0, 0, 0, 0
50, 64, 5, 0, 0, -1, 0, 0, 0, 0, 0
材料データ
密度=, 950
粘度(基準)=, 717
温度=, 230
粘度式
(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
物体力の加速度(X方向、Y方向、Z方向)
0, 0, -9.81
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, 50000
2, 0, 0, 0, 50000
3, 0, 0, 0, 50000
4, 0, 0, 0, 50000
5, 0, 0, 0, 50000
. . . . .
449, 0, 0, 0, 0
450, 0, 0, 0, 0
451, 0, 0, 0, 0
452, 0, 0, 0, 0
453, 0, 0, 0, 0
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
区分番号、濃度、拡散係数
0, 0, 5E-05
1, .05, 3E-05
2, .1, 2E-05
3, .2, 1E-05

```

図4-27 (2/3) 入力データファイル例(移流有り)

濃度固定境界データ（面固定番号、要素番号、面番号、各ステップの濃度）			
1,	1,	1,	.01
2,	2,	1,	.01
3,	3,	1,	.01
4,	4,	1,	.01
5,	5,	1,	.01
6,	6,	1,	.01
7,	7,	1,	.01
8,	8,	1,	.01
9,	32,	4,	.005
10,	40,	4,	.005
初期値データ（節点番号、初期濃度）			
1,	.01		
2,	.01		
3,	.01		
4,	.01		
5,	.01		
.	.	.	.
.	.	.	.
449,	0		
450,	0		
451,	0		
452,	0		
453,	0		

図4-27（3/3） 入力データファイル例（移流有り）

4.22 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4-28に本例題の構造作画の画面例を示します。同図は、本画面に移った状態のもので、作画のパラメーターは標準条件になっています。

- 1) 複数材料の場合は、材料別に色分けして表示されます。
- 2) 本画面の上側と左側に、作画の種々のパラメーターを表示してあり、それらを変更することができます。変更した後は、「再描画」ボタンをクリックすると、新しいパラメーター条件による作画画面に変更されます。
- 3) パラメーターの「視点とモデルの距離倍率」は、透視変換の度合を調整するもので、小さくすると中心投影に近づき、大きくすると平行投影に近づきます。
- 4) 「視点の高さ倍率」は、透視の視点の高さを調整するもので、小さくすると視点が下がり、大きくすると上がります。
- 5) 「番号表示の項目」は、「要素番号」、「節点番号」、「面番号」を重複選択できます。
◇上記のいずれかの番号表示を選択した場合に、「番号表示の文字サイズ」が有効になります。
◇面番号は()付きの数字で作画されます(後掲の図4-31参照)。
注) 要素番号は、隠面処理有りの場合、隠れて見えないことがあります。
- 6) 以上のパラメーターを変更した後、最初の状態に戻すには、「標準条件に設定」ボタンをクリックします。
- 7) 「Shift+マウス」により構造を回転することができます。
◇構造図の任意の場所で、Shiftキーとマウス左ボタンを押したまま、回転したい方向へマウスを移動させ、そこでマウスボタンを離します。そうしますと、回転が実行されます。
◇図4-29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4-29と同じ説明図が表示されます。
- 8) 「ホーム」ボタンをクリックすると、初期の回転位置に戻ります。
- 9) 「材料の指定番号」は、作画する材料を選択したい場合に材料番号を入力します。
◇全材料を指定する場合は0を入力します。
◇「-」付きで材料番号を入力すると、その材料だけ除外して作画します。
◇一旦、ある材料番号で作画した後、他の材料番号を選択した場合は、「再描画」ボタンではなく、「全要素描画」ボタンをクリックします。
- 10) 「要素の指定番号」は、作画する要素1個を指定したい場合に要素番号を入力します。
◇要素を指定しない場合は0を入力します。
- 11) 「標準・全画面切換」ボタンをクリックすると、標準画面と全画面を切り換えることができます。また、画面Formの右下コーナー等をマウスドラッグすることにより、標準画面と全画面の間で自由に拡大・縮小できます。
- 12) マウス中ボタン、ホイールにより移動、拡大・縮小を行なうことができます。中ボタン

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

13) マウスドラッグ矩形により、構造図の一部分を拡大できます。

◇マウスドラッグは、拡大したい部分の左上隅にマウスを移動し、そこでマウスの左ボタンを押し、その左ボタンを押した状態で拡大部分の右下隅までマウスを移動させ、そこで左ボタンを離します。そうしますと、図4-30のようにマウスドラッグ範囲の矩形が表示され、コモンダイアログで「選択領域を拡大しますか？」と問うてきます。そこで、「はい」を選択すると、選択領域が拡大されて表示されます。

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

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

◇図4-30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4-31に示します。

14) 「条件設定部の表示」は、「濃度固定部分（緑色）」、「一般条件部分（赤色）」、「流れ条件境界（茶色）」の内、表示したい項目を重複選択できます。

◇選択した項目がカラー表示されます。図4-32に、前2者を表示した構造図を示します。

15) 任意の要素面を右クリックすると、図4-33のように当該要素面の要素番号・節点番号・面番号が表示されます。

◇ESCキーを押すと上記の番号表示が解除されます。

16) 「データ設定モード」を選択して、任意の要素面を右クリックすると図4-34のようにデータ項目選択画面が出て、境界条件等のデータ入力・変更を実施できます。ただし、「材料番号」は要素に対するデータ設定となります。

◇図4-34において、データ項目「材料番号」は移流なしの場合に表示されます。また、移流有りの場合、「速度・圧力固定節点」と「速度・圧力固定面」の追加表示が出ます。

◇図4-34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4-35のデータ入力画面に移ります。同図は濃度固定節点データの入力画面ですが、他のデータ項目でも同様です。同図でのデータ入力は、前述の「データ入力・修正」サブメニュー以降の各データ入力画面と同様です。なお、「材料番号」以外の本画面では、表の最下行にデータを追加できるようになっています。図4-35で「設定」ボタンをクリックすると、データ変更が実施されます。

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

◇さかのぼれる描画の数は最大8つです。

◇回転操作があっても無視され、初期の回転位置で描画されます。

18) 「面切断設定」ボタンをクリックすると、図4-36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4-36の画面では次のように操作します。

- a) 座標軸としてX、Y、Zのいずれかを選択し、その座標値と許容誤差を入力します。
 - b) さらに、その平面の正側か負側かを選択します。
 - c) 「設定」ボタンをクリックすると面分割された構造部分が選択されて、構造図に戻ります。
- 19) 「Ctrlキー+マウス」で矩形ドラッグすると、図4-37のようにデータ項目選択画面が出て、境界条件等のデータを一括設定できます。矩形の囲む必要範囲は、条件項目により有限要素、要素面、または節点の任意の領域となります。ただし、要素面は外周の面（穴の面を含む）に限定されます。
- ◇図4-37において、データ項目「材料番号」は移流なしの場合に表示されます。また、移流有りの場合、「速度・圧力固定節点」と「速度・圧力固定面」の追加表示が出ます。
 - ◇条件項目に必要な要素・面・節点を選択されていない場合は、エラーメッセージが出ます。なお、要素は隠面を含む要素全体が矩形領域に入っていなければ選択されません。他方、面と節点は隠面に属するものは対象外となります。
 - ◇図4-37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4-38のデータ入力画面に移ります。同図は濃度固定面データの入力画面ですが、他のデータ項目でも同様です。同図でのデータ入力は、一括設定のために番号等の表示が省略されている以外は、前述の「データ入力・修正」サブメニュー以降の各データ入力画面と同様です。ただし、「一括削除」ボタンが追加されています。
- 図4-38で「設定」ボタンをクリックすると、データが一括設定されます。また、「一括削除」ボタンをクリックすると、既存のデータが一括して削除されます。
- 20) 本画面で「コピー印刷」ボタンをクリックすると、プリンターで画面コピーを印刷できます。
- ◇「通常画面」の作画が印刷されます。
- 21) 本画面を終了するには、「中止」ボタンをクリックします。

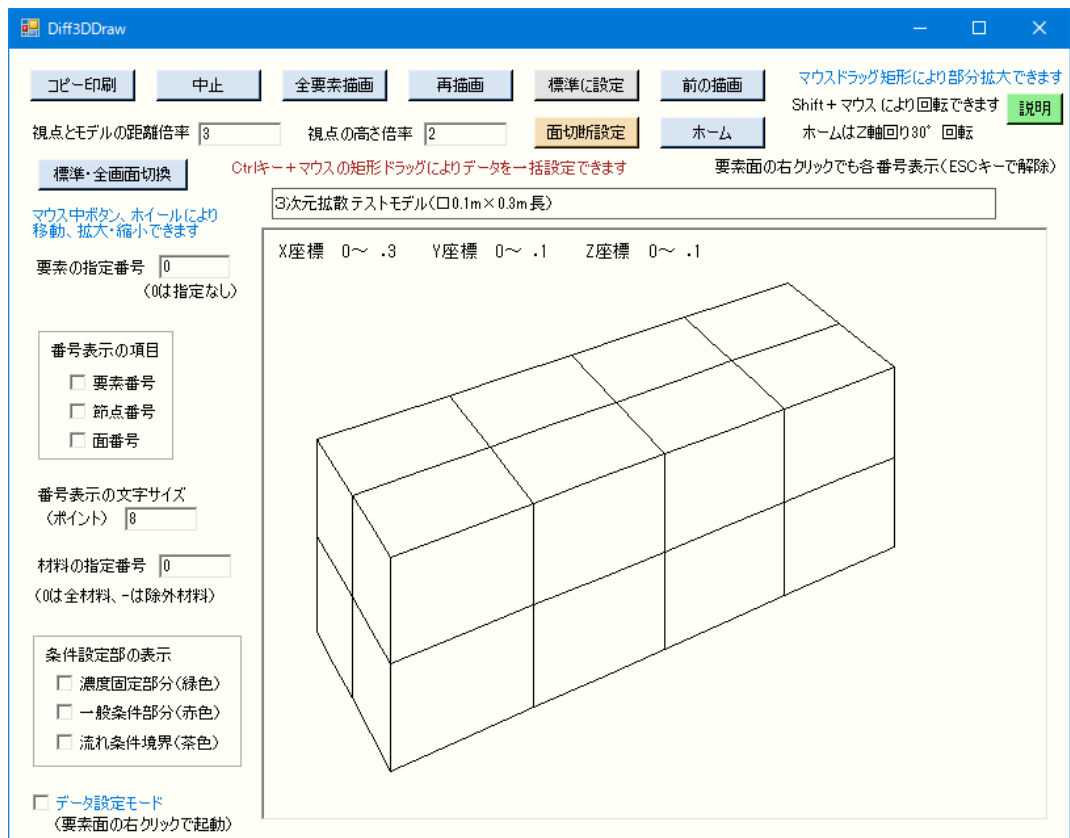


図4-28 構造作画の画面例

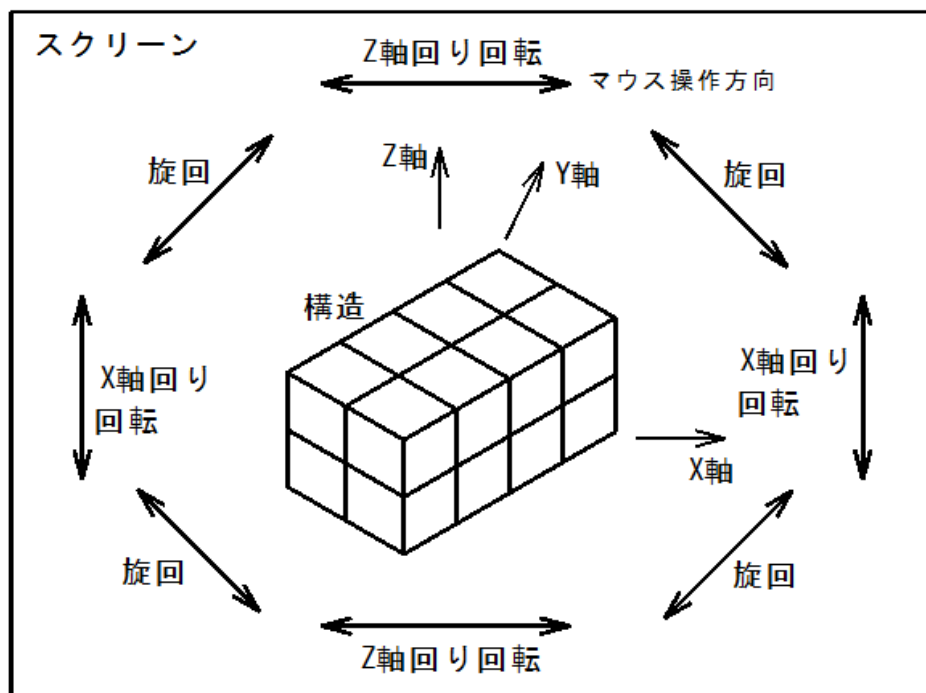


図4-29 マウスの移動方向と回転方向との関係 (Shiftキー併用)

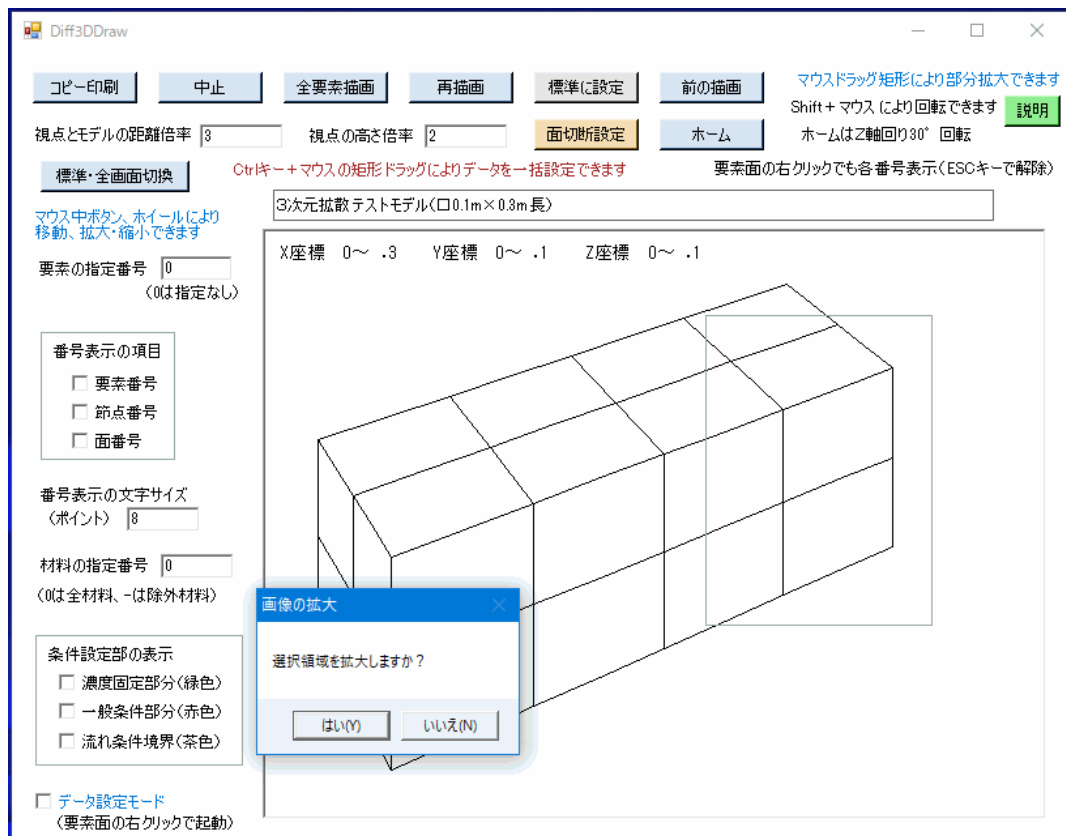


図4-30 構造作画における拡大領域選択例

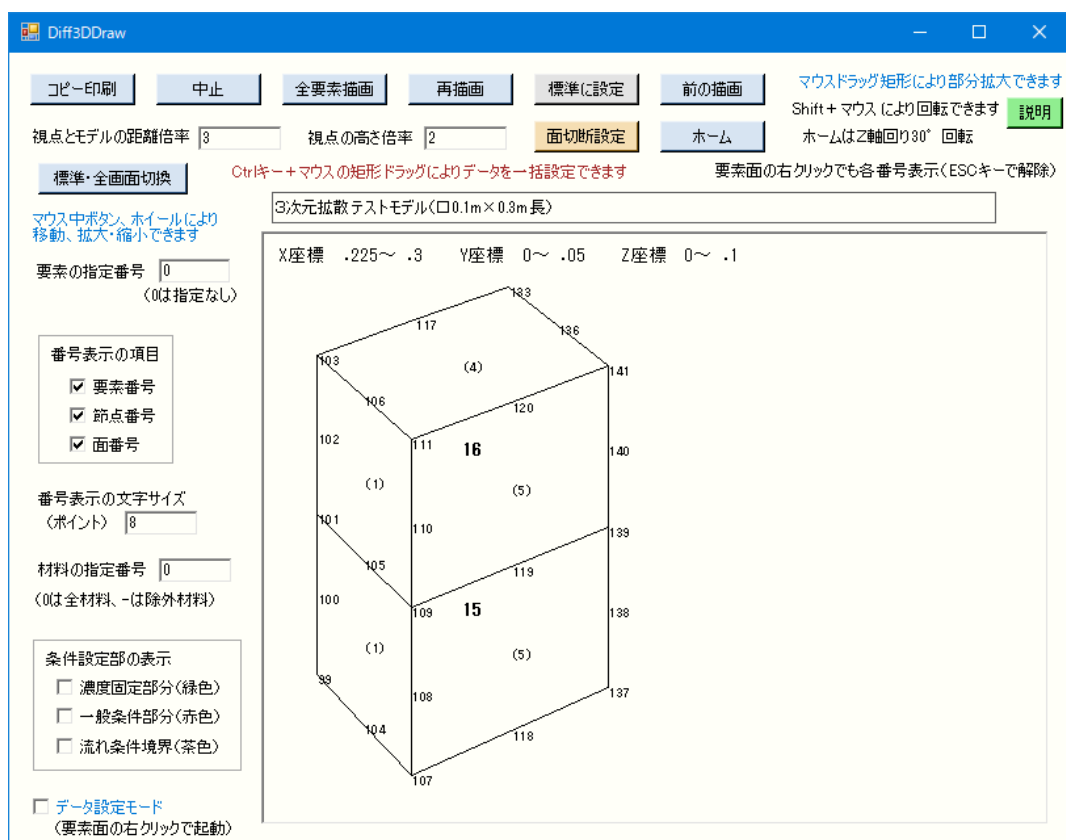


図4-31 構造作画の番号表示有りの部分拡大例

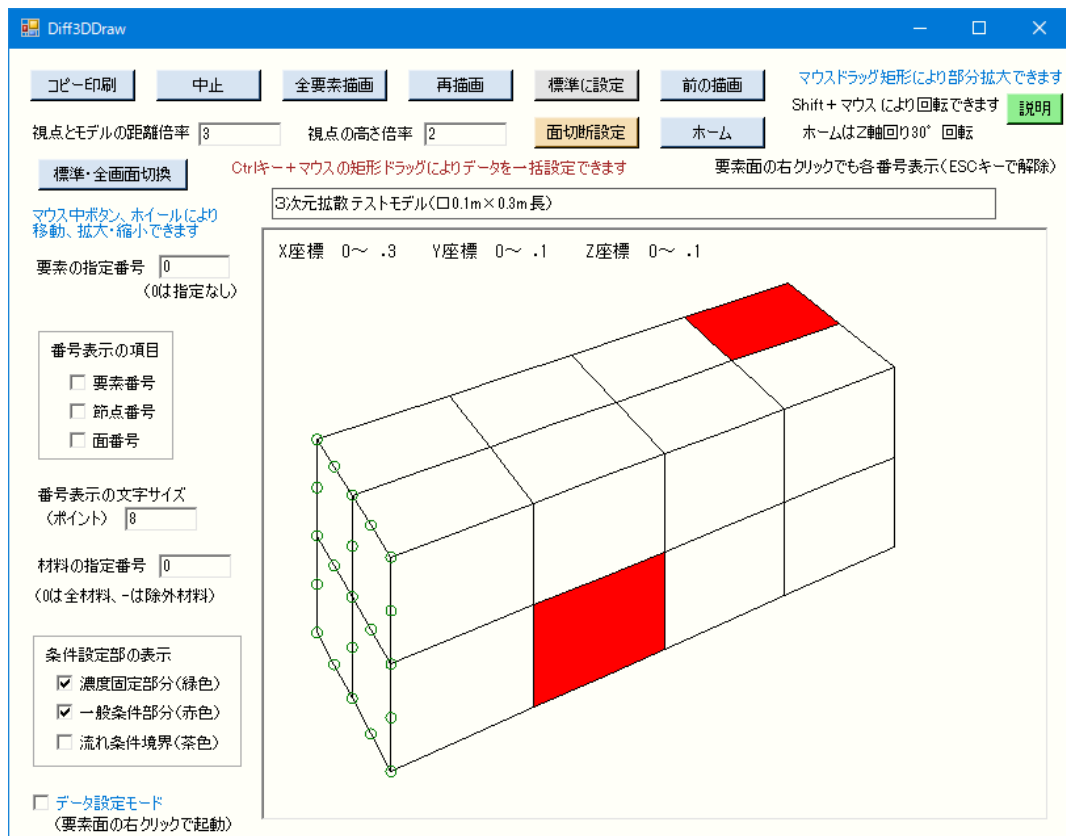


図4-32 構造作画の条件設定部表示有りの画面例

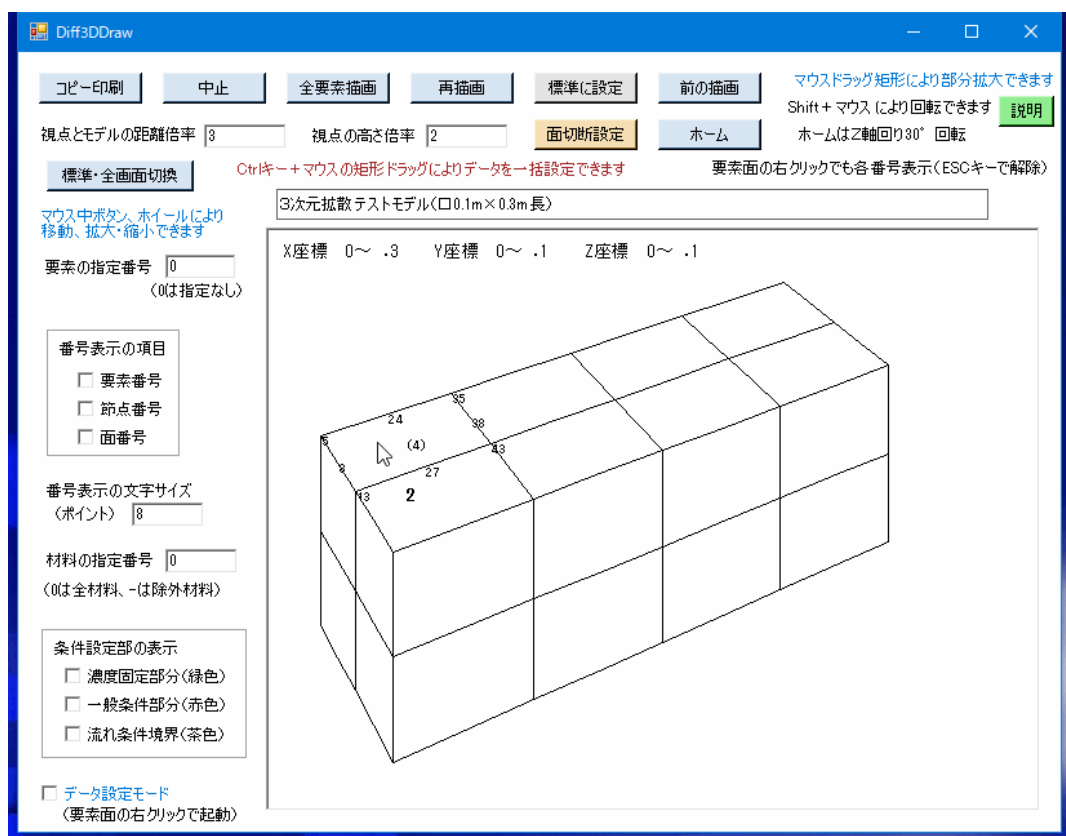


図4-33 構造作画における要素面の右クリック画面例

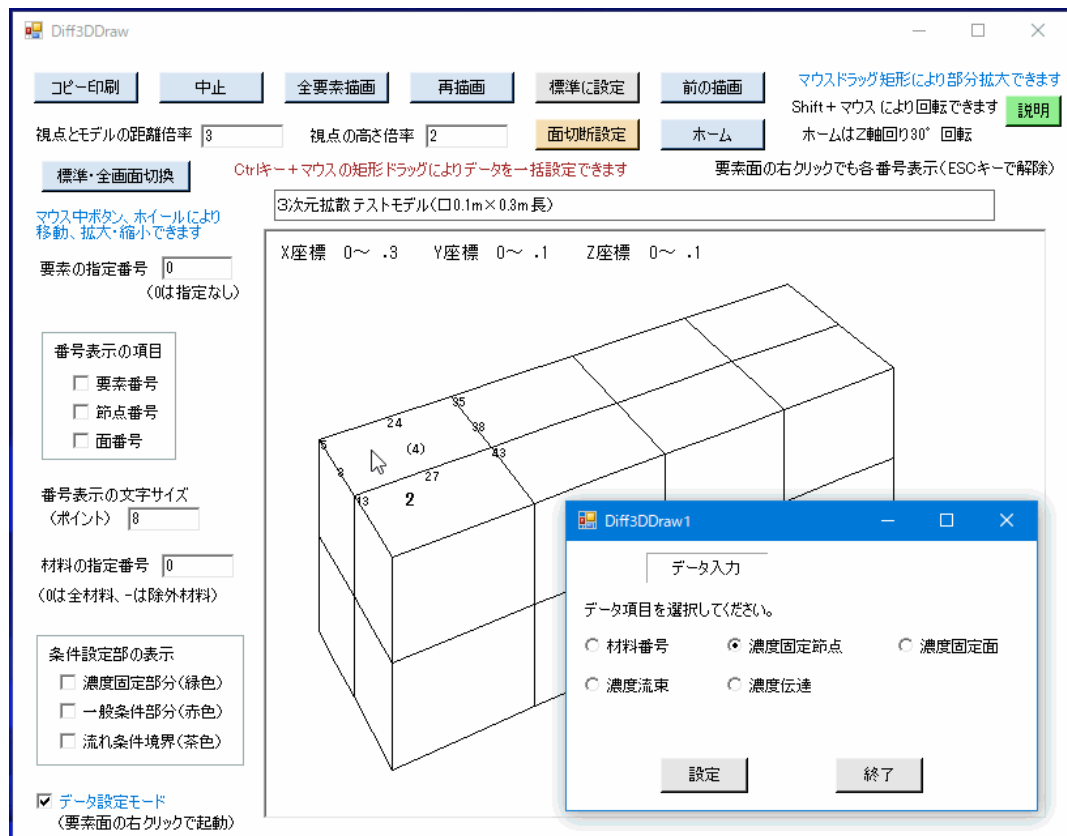


図4-34 構造作画のデータ設定モードにおけるデータ項目選択画面

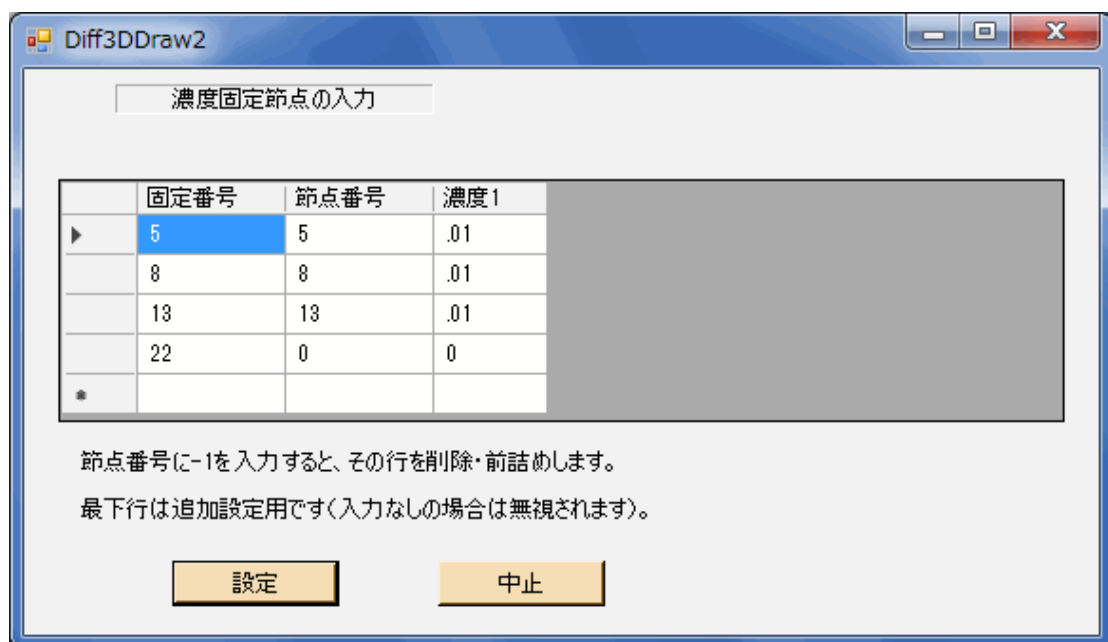


図4-35 構造作画におけるデータ入力画面例 (濃度固定節点の場合)

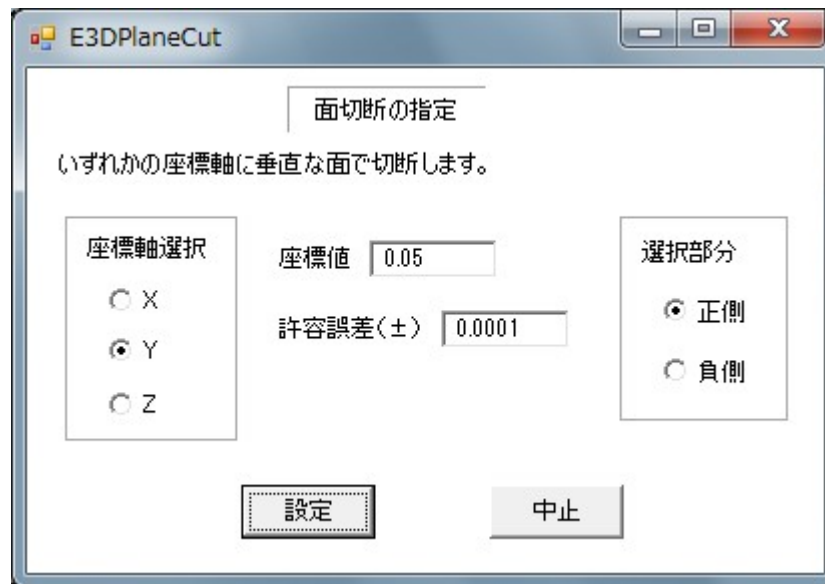


図4-36 面切断設定の画面

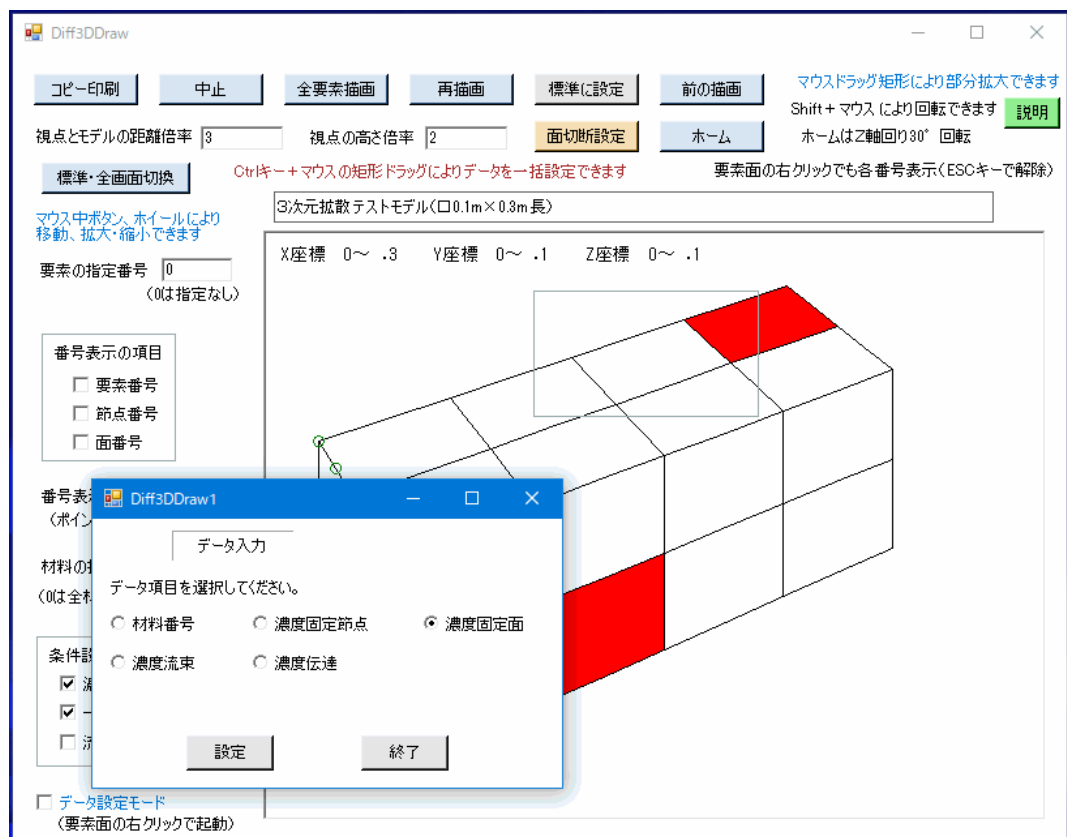


図4-37 構造作画の「Ctrlキー+マウス」ドラッグ矩形によるデータ項目選択画面



図4-38 構造作画における一括設定データ入力画面例（濃度固定面の場合）

4.23 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4-39の移動量入力画面となります。同画面で、平行移動の各座標軸方向の移動量、および回転移動の各座標軸回りの回転角を入力します。同図に示すように、移動の順序は、Z軸回りの回転、Y軸回りの回転、X軸回りの回転、最後にX, Y, Z軸方向の平行移動となります。もし、違う順序で移動させたい場合は、「構造モデルの移動」を繰り返し実施することにより可能です。その際は、各繰り返し毎の生成データをファイルへ保存する必要はなく、最終の生成データのみをファイル保存すればよいです。

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

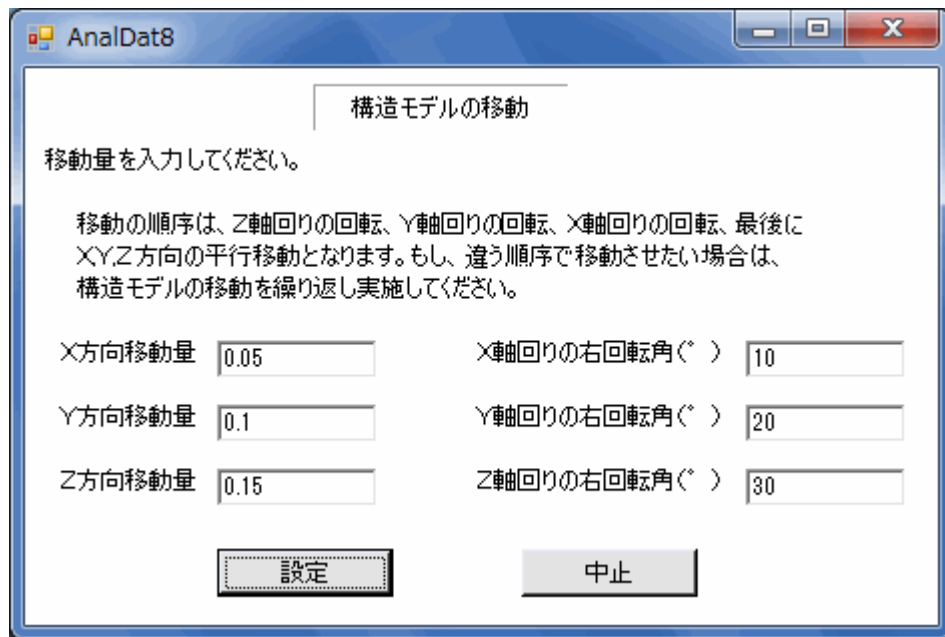


図4-39 構造モデルの移動量入力画面

4.24 構造の合成（六面体要素のみ）

1) サブメニューの「構造の合成」を選択すると、図4-40の合成ファイル設定画面となります。

① 同画面で、ベースファイルと追加ファイルを設定します。「ベースファイル名」ボタン、または「追加ファイル名」ボタンをクリックすると、コモンダイアログでファイルを開く画面となり、それぞれの構造データファイルを選定して読み込みます。

② 合成方法として、「調整済み」、「結合点1個所指定（平行移動）」のいずれかを選択します。

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

◇「結合点1個所指定（回転なし）」とは、追加構造を平行移動して指定の節点どうしで結合するという事です。節点の指定は結合方法の下部に表示される結合点で行ないます（図4-41参照）。

2) 図4-41の画面で「作画」ボタンをクリックすると、図4-41のように2つの構造図が作画された画面となります。本作画により、合成する構造が間違っていないか確かめることができます。

◇結合点を指定した場合は、図4-41のように指定節点が赤丸で表示されます。

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

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

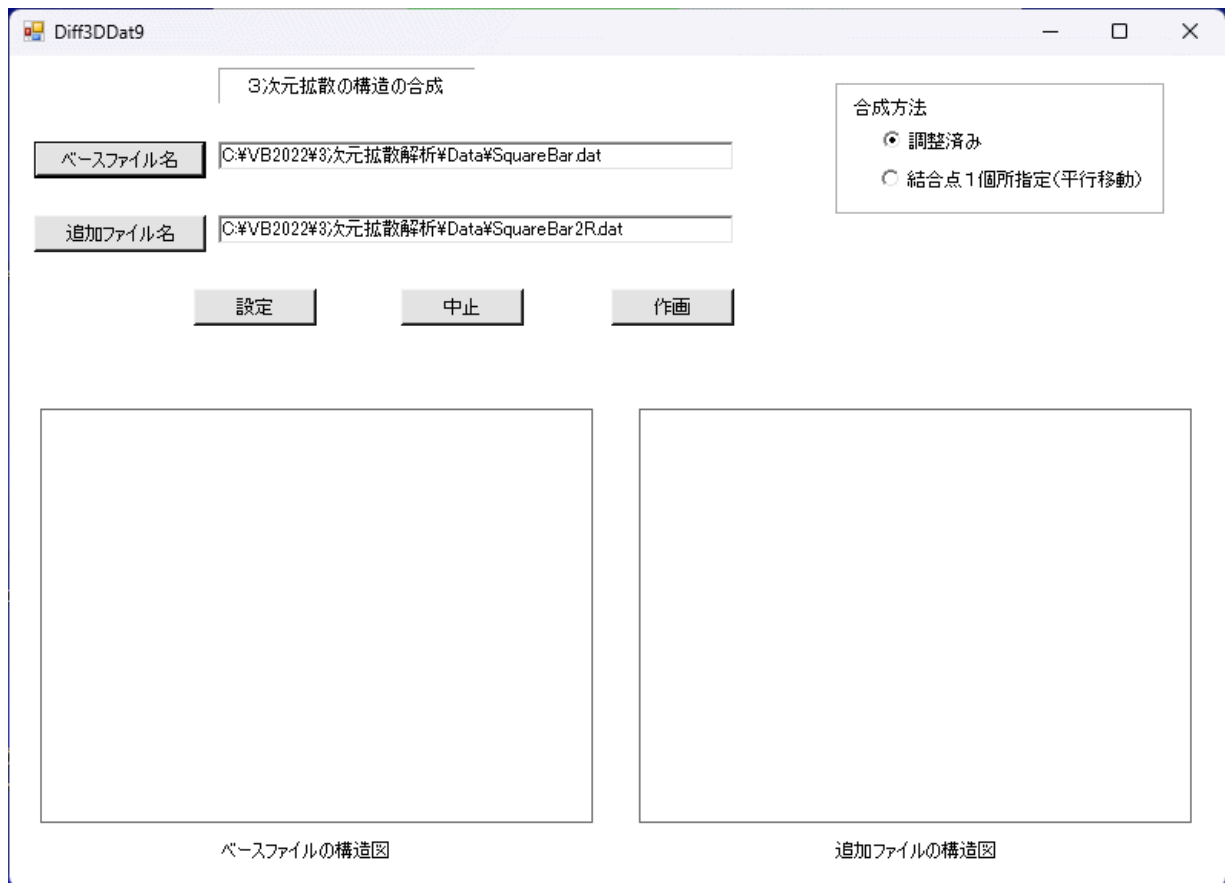


図4-40 合成ファイル設定画面（作画前）

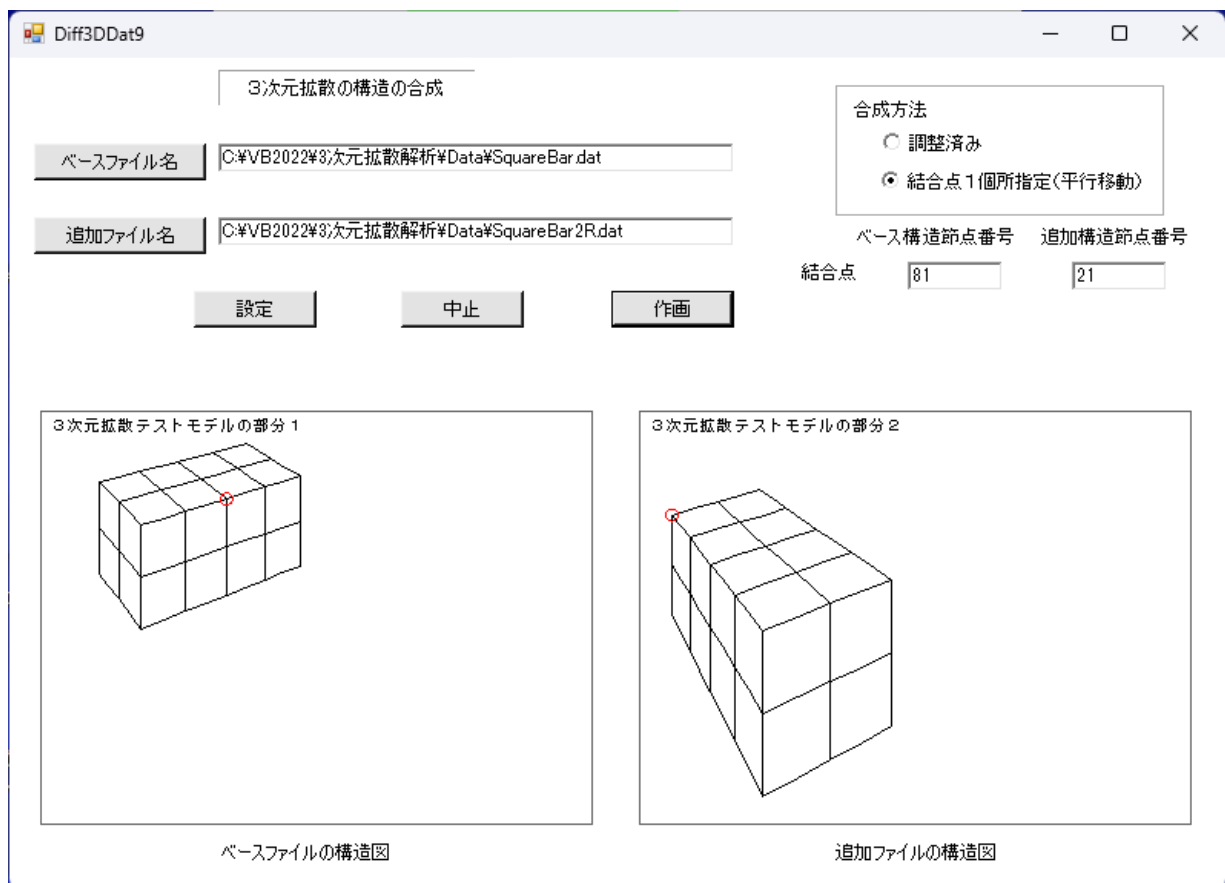


図4-41 合成ファイル設定画面（作画有り）

図4-42に構造が合成されたモデルの構造図の画面例を示します。

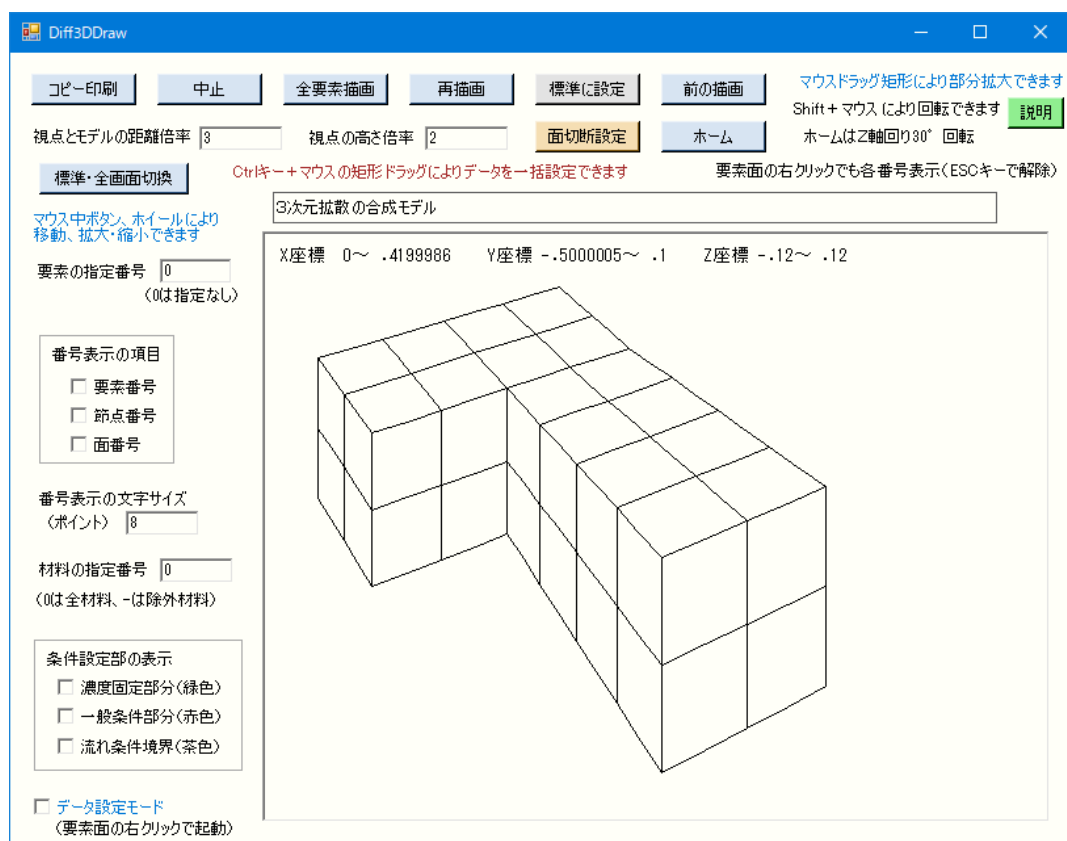


図4-42 合成されたモデルの構造図の画面例

4.25 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4-43の変数値入力画面となります。

- ①まず、境界種別として濃度固定、濃度流束、濃度伝達、速度・圧力固定のいずれかを選択します。

◇速度・圧力固定は、移流有りの場合のみです。

- ②次に、その境界の変数値を入力します。

◇ステップ数が2以上の場合は、濃度固定、濃度流束、濃度伝達では、各ステップの変数値を入力します。

- ③本画面の「設定」ボタンをクリックすると、次の境界面一括設定画面に移ります。

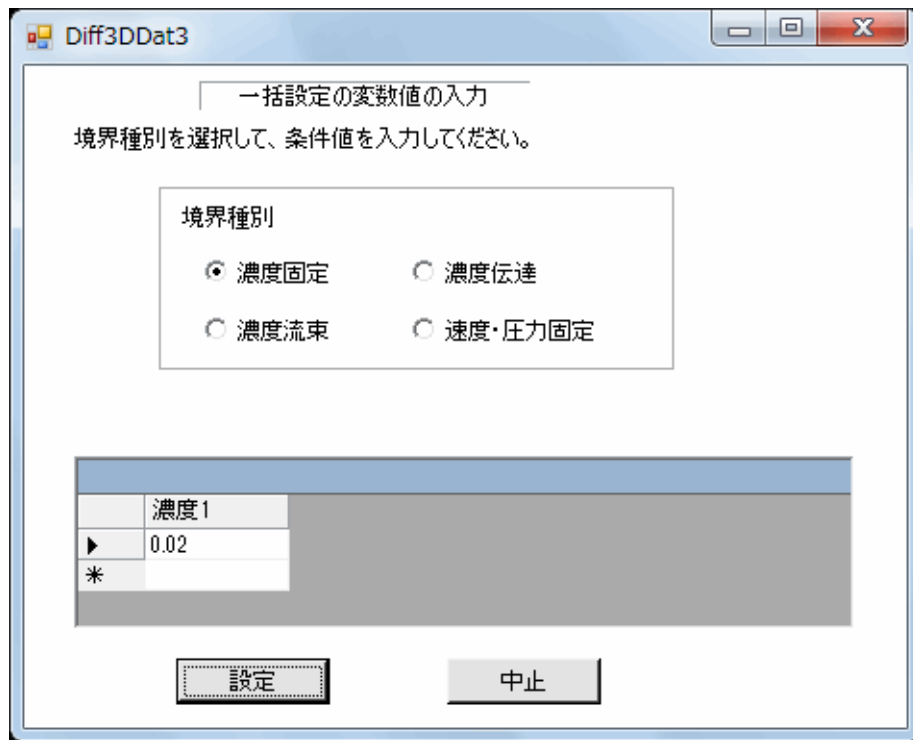


図4-43 一括設定の変数値の入力画面

図4-44の境界面一括設定画面について説明します。ここで、境界面は要素の外部面が対象で、面の全節点が指定条件に当てはまるすべての外部面に対して上記指定種類の境界面を一括設定できるものです。

- ①X座標範囲、Y座標範囲、Z座標範囲、円筒面範囲について、条件設定したい任意のものをチェック選択します。
- ②X座標範囲、Y座標範囲、Z座標範囲をチェック選択した場合は、各座標の下限と上限を入力します。

◇座標の下限と上限は、コンピューター誤差等を見込んだ余裕を見て設定します。

- ③円筒面範囲をチェック選択した場合は、同画面で円筒面定義式を1つ選択します。
そして、円筒面定義式における中心座標A、B、および半径Rの下限、上限を入力します。

◇Rの下限と上限は、コンピューター誤差等を見込んだ余裕を見て設定します。

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

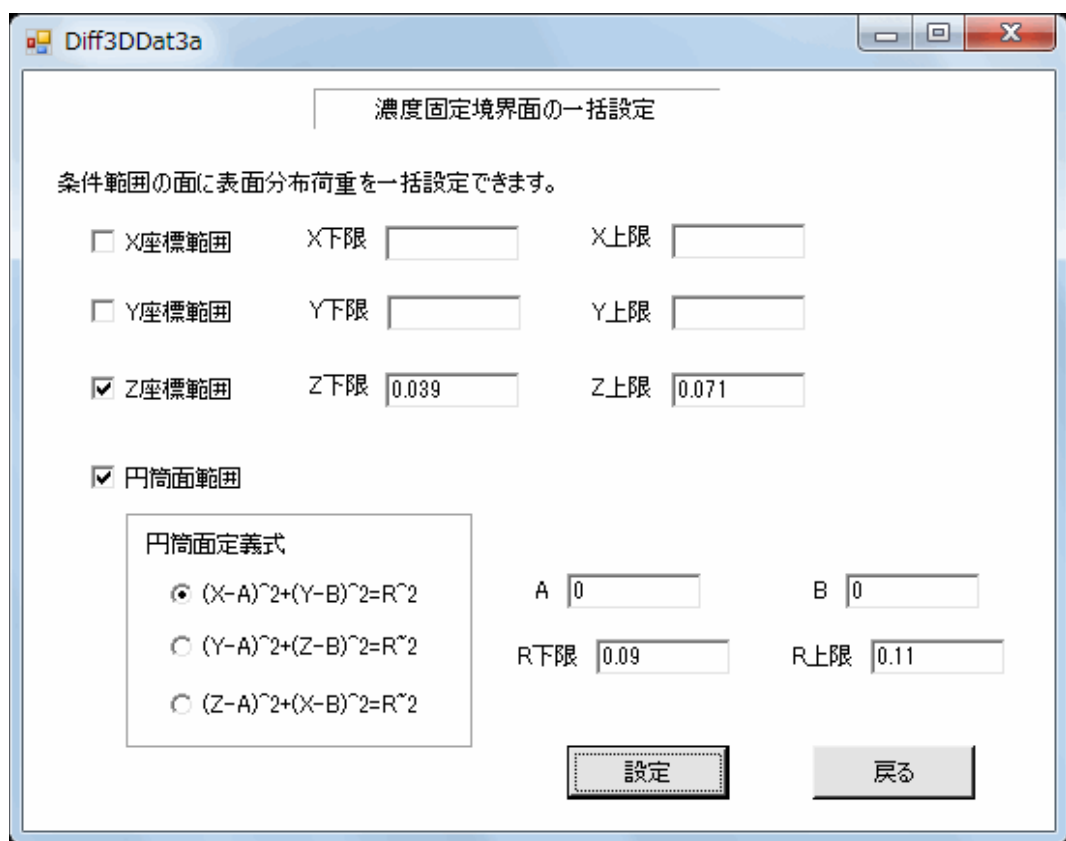


図4-44 境界面の一括設定画面

4.26 移流の入口速度・圧力の読み込み

本機能は、解析結果のファイルから入口の速度・圧力を読み込み、速度・圧力固定の節点データに変換するものです。入口の速度分布を設定することが目的であり、変換後に固定圧力は任意に変更できます。

サブメニューの「移流の入口速度・圧力の読み込み」を選択すると、図4-45のファイル設定画面となります。

- ①本画面に説明文が表示されています。特に入力データファイルについて説明します。
 - ◇入力データファイルは、現在操作中のものと同じでも別のものでも構いません。ただし、入口の節点構成（各節点の番号と面内座標位置）が全く同一であることが必要です。
 - ◇入力データファイル速度・圧力固定境界は、入口のみが正の圧力固定である必要があります。入口以外の圧力固定境界は、圧力が0でなければなりません。
- ②「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、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。
- ③本画面の「設定」ボタンをクリックすると、入口速度・圧力の読み込み処理が実行されます。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。

◇処理された入口速度・圧力は、速度・圧力固定の節点データに追加され、使用された入口の速度・圧力固定面データは削除されます。

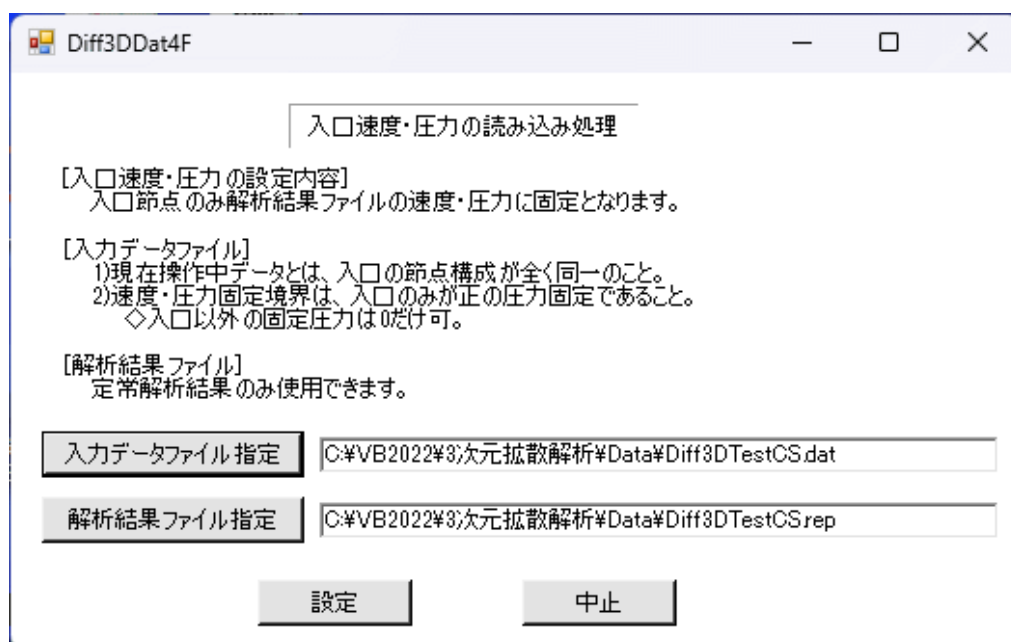


図4-45 入口速度・圧力の読み込みのファイル設定画面

4.27 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、拡散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。

4.28 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4-46のファイル設定画面となります。同画面で、「入力ファイル指定」ボタンをクリックすると、コモンダイアログで入力データファイルを選定できます。そして、再びファイル設定画面に戻ると、「入力ファイル指定」のテキストボックスには選定済み入力ファイル名が、また「出力ファイル指定」の方には入力ファイル名の拡張子を「.x3d」に変更したファイル名が表示されます。もし、他のファイル名に変更したい場合は、テキストボックスで修正できます。

本画面で「設定」ボタンをクリックすると、X3Dファイルが出力されます。

- 1) サーフェスモデルのデータが出力されます。その際、有限要素の面は三角形に再分割されます。
- 2) 出力したX3DファイルはX3Dプレーヤーで閲覧できます。

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

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

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

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

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

①Blenderを起動し、初期オブジェクト(Cube)を削除してください。

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

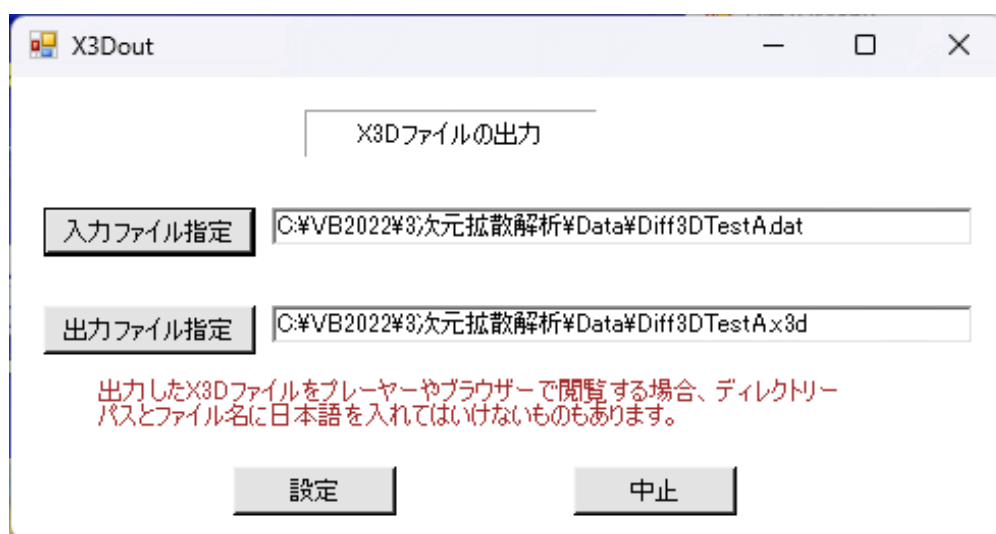


図4-46 X3Dファイル出力のファイル設定画面

4.29 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。

4.30 要素の削除

サブメニューの「要素の削除」を選択すると、図4-47の削除要素数入力画面となります。

①本画面で、削除要素数を入力します。

②本画面の「設定」ボタンをクリックすると、次の削除要素番号入力画面に移ります。

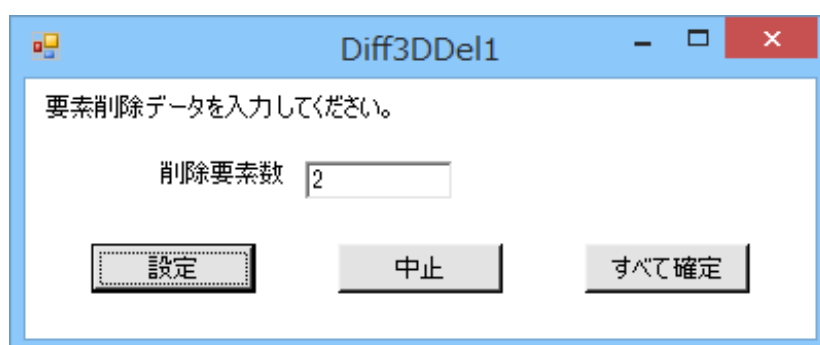
③削除要素番号の入力画面が終了すると、本画面に戻るので、そこで「すべて確定」ボタンをクリックすると、要素の削除が実行されます。

◇境界条件の節点・面は、要素削除による番号変更に自動追従します。

図4-48の削除要素番号入力画面について補足説明します。

①削除要素数の分だけ、削除要素番号を入力します。

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



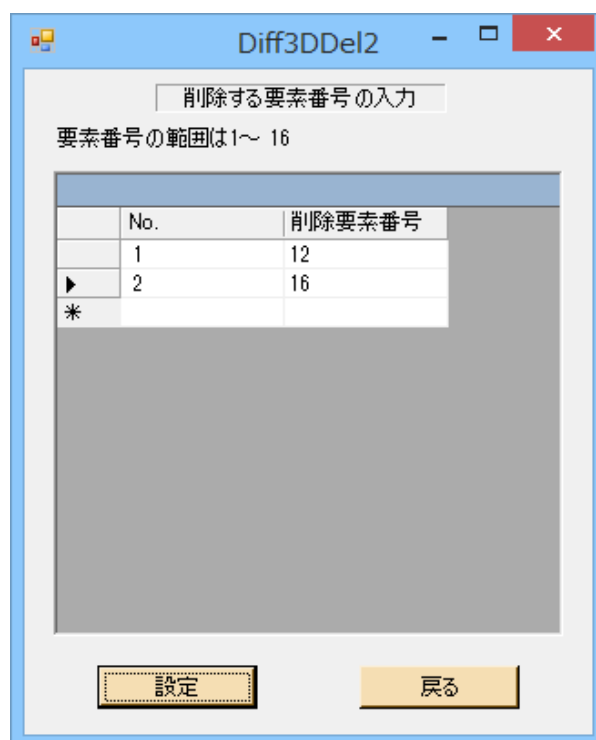
Diff3DDel1

要素削除データを入力してください。

削除要素数 2

設定 中止 すべて確定

図4-47 削除要素数の入力画面



Diff3DDel2

削除する要素番号の入力

要素番号の範囲は1～ 16

No.	削除要素番号
1	12
2	16

＊

設定 戻る

図4-48 削除要素番号の入力画面

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。サブメニューは「解析計算の実行」、「体積計算の実行」、「解析計算のバッチ処理」の3つです。「解析計算の実行」をクリックすると、次の「計算」ファイル設定画面に移ります。「体積計算の実行」は補助機能であり、5.7節で説明します。「解析計算のバッチ処理」は5.8節で説明します。

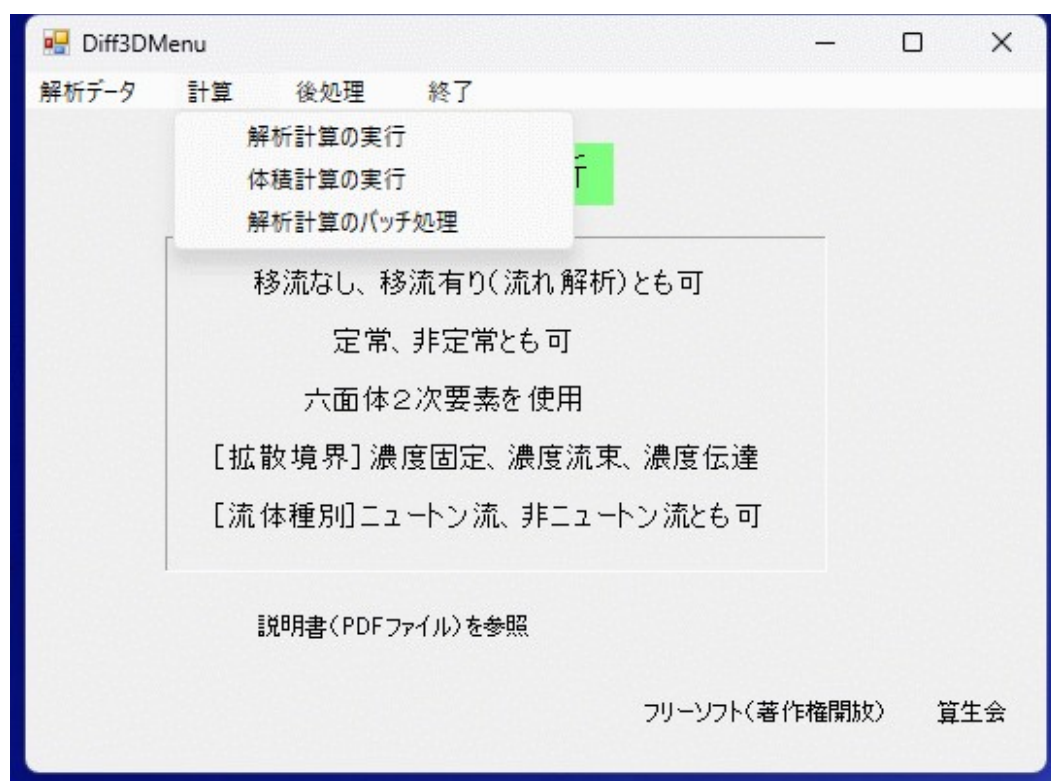


図5-1 「計算」サブメニュー画面

5.2 「計算」ファイル設定

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

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

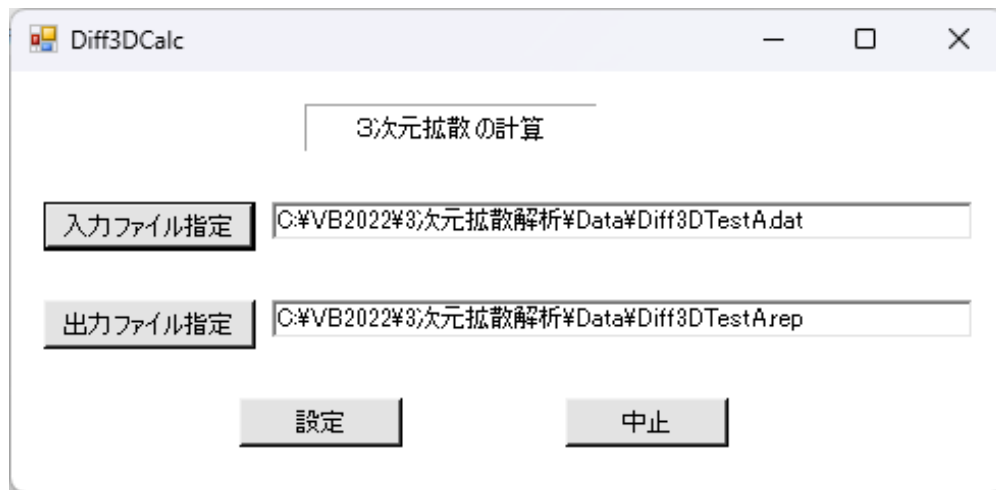


図5-2 「計算」 ファイル設定画面

5.3 計算条件入力画面（移流なしの場合）

図5-3～5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は境界条件のステップ数が1の非定常解析の場合、図5-5はステップ数が2以上の非定常解析の場合です。先ず図5-3について説明します。

- ①ソルバー選択で、「反復法」、「バンドマトリックス法」のいずれかを選択します。
 - ◇反復法で採用している I C C G 法ソルバーは大規模マトリックス対応の高速ソルバーです。しかし、繰り返し計算で収束させる解法のため、まれに F E M 行列がよくない場合に収束しないことがあります。
 - ◇バンドマトリックス法は節点数の約 3 乗で計算時間が増えるため、大規模マトリックスには不向きです。しかし、1 変数ずつ掃き出し計算を行なうので、確実に解を求めることができます。
- ②本画面で「設定」ボタンをクリックすると、計算が開始されます。

次に、図5-4（ステップ数が1の非定常解析の場合）について、異なる部分を説明します。

- ①最初に、計算打ち切り時間と出力時間メッシュ数を入力します。
 - ◇計算打ち切り時間は、拡散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回当たりの濃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回当たりの濃度変化許容値は、各時間ステップにおいて許容する濃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濃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。

さらに、図5-5（ステップ数2以上の非定常解析の場合）について説明します。本画面では、上記の①の替わりに計算サイクル数と出力サイクル間隔を入力します。それ以外は上記と同じです。

◇計算サイクル数は、境界条件の全ステップを1サイクルとして、何サイクル計算するかの回数です。

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

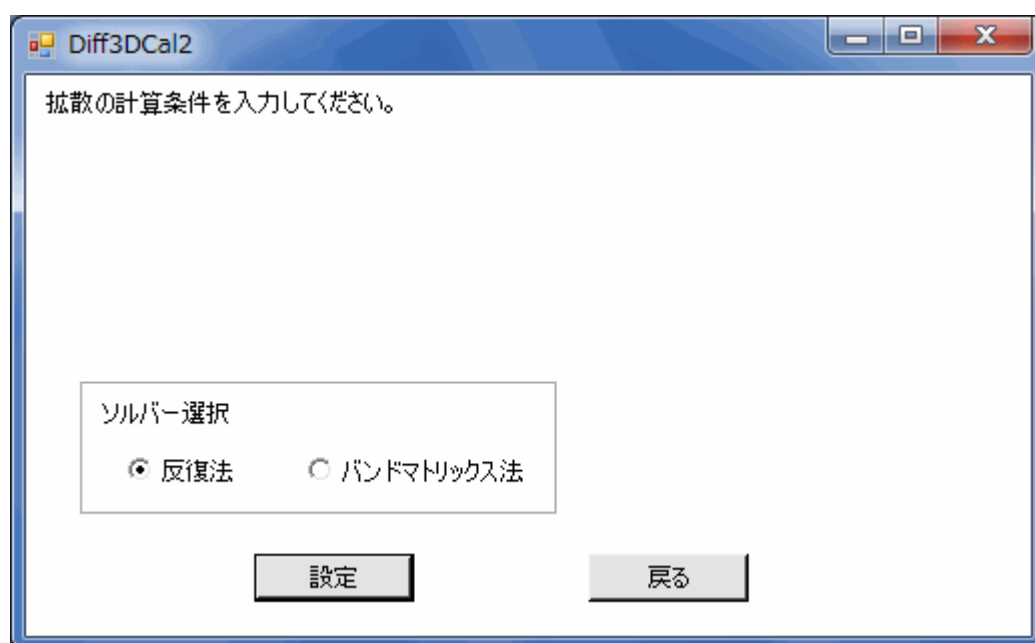


図5-3 定常解析の計算条件入力画面

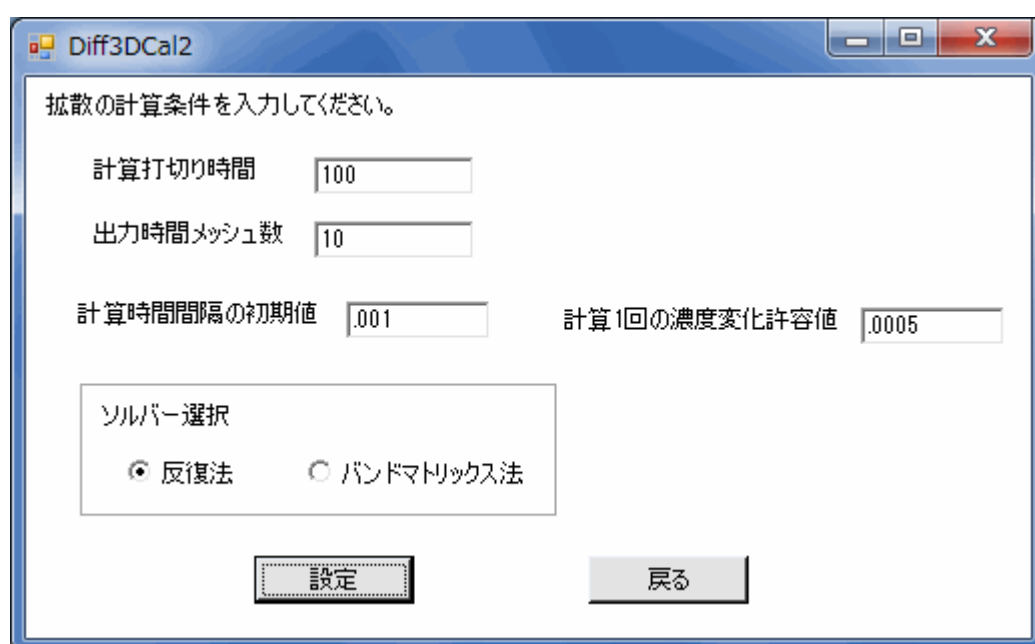


図5-4 非定常解析の計算条件入力画面（ステップ数1の場合）

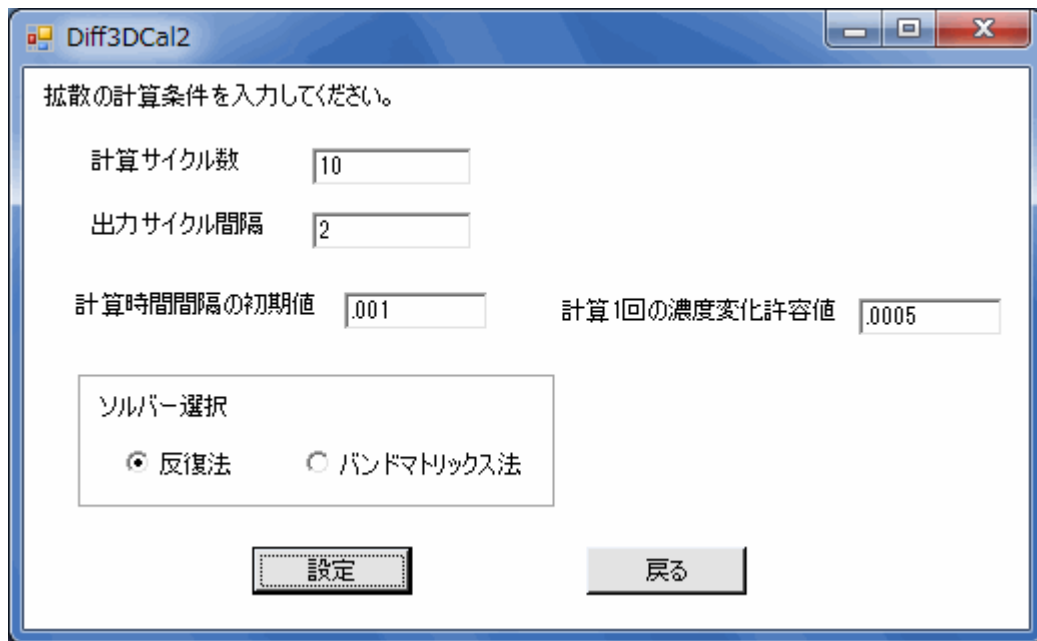


図5-5 非定常解析の計算条件入力画面（ステップ数2以上の場合）

5.4 移流有りの条件入力画面

図5-6～8に条件入力画面を示します。図5-6は定常解析の場合、図5-7は非定常解析の場合、図5-8は入口速度対応の逆解析の場合です。先ず、図5-6の定常解析の画面について説明します。

- ①最初に流体種別で、「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」では、粘度が一定であり、粘度式による粘度計算は実施されません。他方、「非ニュートン流」では、流体の各部で粘度が変化し、粘度式による粘度計算が実施されます。
- ②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8)を参照してください。
- ③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。
- ④最大繰返し計算回数は、収束のための繰返し計算の最大回数を設定するものです。
 デフォルトは20になっています。
 ◇10未満を入力しても、10回に自動修正して計算します。
- ⑤収束基準誤差率は、上記の繰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。
- ⑥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0.005です。通常はそのまま結構ですが、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。
- ⑦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。

注) 移流有りの場合のソルバーは、スカイライン法だけで、選択はありません。

The screenshot shows a window titled "Diff3DCal2F" with a subtitle "定常解析の計算条件を入力してください。" (Please input the calculation conditions for steady-state analysis). The window contains three main sections for selecting conditions:

- 流体種別 (Fluid Type):** Radio buttons for "ニュートン流" (Newtonian flow) and "非ニュートン流" (Non-Newtonian flow). "非ニュートン流" is selected.
- 壁面の自動設定 (Automatic Wall Setting):** Radio buttons for "採用" (Adopt) and "不採用" (Do not adopt). "採用" is selected.
- 対流項 (Convection Term):** Radio buttons for "なし" (None) and "有り" (Yes). "有り" is selected.

Below these sections are three input fields:

- 最大繰返し計算回数 (Maximum number of iterative calculations): 15
- 収束基準誤差率 (Convergence criterion error rate): .005
- 安定化 τ_p の追加係数 (Stabilization τ_p additional coefficient): .005

At the bottom are two buttons: "設定" (Settings) and "戻る" (Back).

図5-6 移流有りの条件入力画面（定常解析の場合）

次に図5-7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非定常解析では、緩和式の種別の選択はありません。

②計算打ち切り時間と出力時間メッシュ数を入力します。

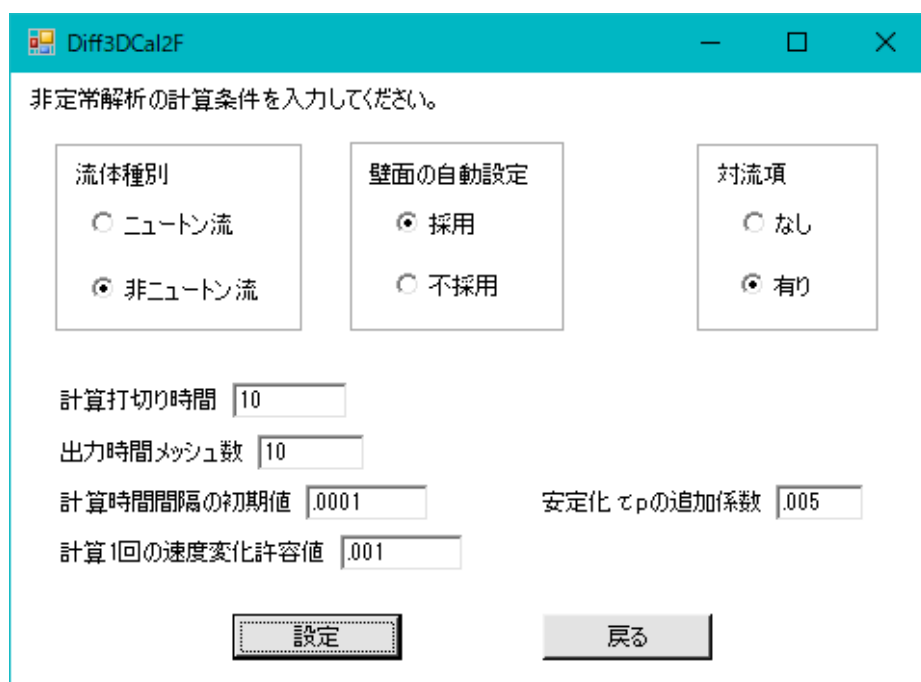
◇計算打ち切り時間は、流れの経過時間上限を意味し、本時間まで計算を実行します。もし計算打ち切り時間がはっきりわからなければ、少し短めで任意の時間を設定し、計算結果を見て再計算すればよいです。

◇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。

③計算時間間隔の初期値、および計算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、かなり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。



Diff3DCal2F

非定常解析の計算条件を入力してください。

流体種別

☐ ニュートン流

☒ 非ニュートン流

壁面の自動設定

☒ 採用

☐ 不採用

対流項

☐ なし

☒ 有り

計算打ち切り時間

出力時間メッシュ数

計算時間間隔の初期値

安定化でpの追加係数

計算1回の速度変化許容値

図5-7 移流有りの条件入力画面（非定常解析の場合）

5.5 計算終了

図5-8に計算終了画面、図5-9に計算確認ダイアログ画面を示します。図5-8ではかかった計算時間（本例では0s）と空きメモリー容量也表示されます。また、図5-9の計算確認ダイアログ画面では、最低・最高濃度データ也表示されます。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5-9の計算確認ダイアログ画面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。また、移流ありの場合は、流れの速度・圧力の最大値データ也表示されます。

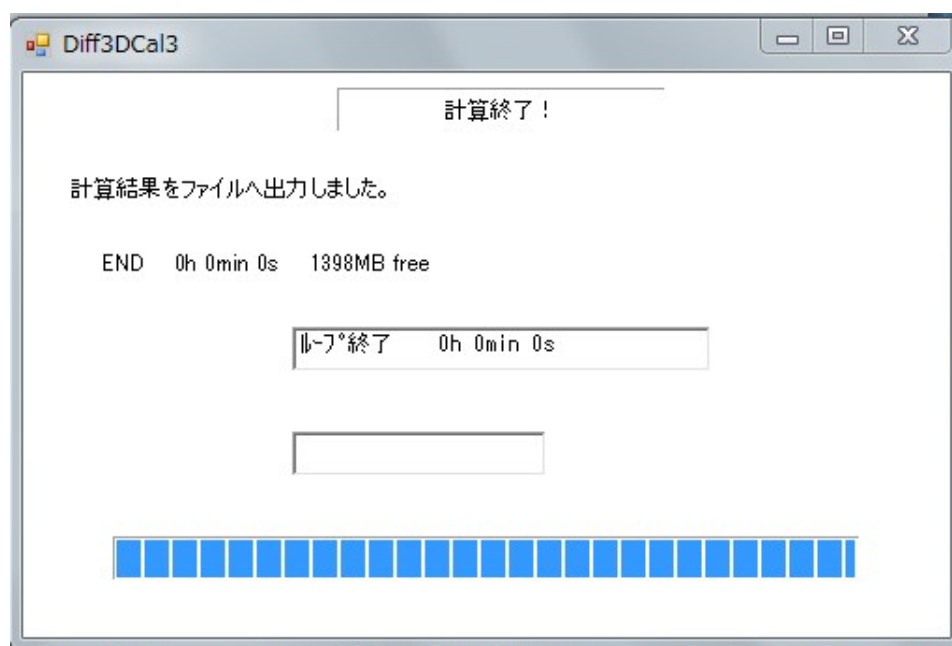


図5-8 計算終了画面

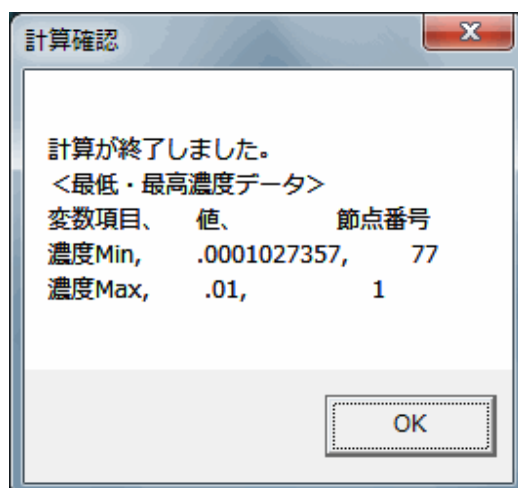


図5-9 計算確認ダイアログ画面

5.6 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5-10～13に結果ファイルへの出力例を示します。図5-10は定常解析の場合、図5-11はステップ数1の非定常解析の場合、図5-12はステップ数2以上の場合、図5-13は移流有りの非定常解析の場合です。

先ず、図5-10の定常解析の場合について、同図で○印を付した数字の部分について補足説明します。

- ①バンド幅が41と出力されています。
- ②保存行列のインデックス数が2445と出力されています。このインデックス数は、FEM行列（ハーフバンド）の要素の内、実際に保存された個数を意味します。
- ③全節点について、節点番号と定常時の濃度が出力されています。
- ④最低・最高濃度データとして、それらの濃度、節点番号が出力されています。
- ⑤最後に計算時間（本例では0s）と空きメモリー容量も出力されます。

次に、図5-11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計算打ち切り時間100sと出力時間メッシュ数10が出力されています。
- ②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。
- ③時間メッシュ1、時間10において、全節点について節点番号と濃度が出力されています。
- ④時間メッシュ2、時間20以下、同様に計算結果の濃度が出力されます。
- ⑤最低・最高濃度データとして、それらの濃度、節点番号、時間が出力されています。
- ⑥最後に計算時間（本例では0s）と空きメモリー容量も出力されます。

また、図5-12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計算サイクル数10と出力サイクル間隔2が出力されています。
- ②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。
- ③サイクル番号2、ステップ番号1、時間50において、全節点について節点番号と濃度が出力されています。
- ④サイクル番号2、ステップ番号2、時間60以下、同様に計算結果の濃度が出力されます。
- ⑤最低・最高濃度データとして、それらの濃度、節点番号、時間が出力されています。
- ⑥最後に計算時間（本例では7s）と空きメモリー容量も出力されます。

さらに、図5-13の移流有りの非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。その他は上記の移流なしの場合と同様です。

- ①計算打ち切り時間10sと出力時間メッシュ数10が出力されています。

- ②以降に計算条件を列挙しています。
- ③流れ計算マトリックスの変数個数（縮減後）、バンド幅、保存インデックス数が、それぞれ1022、323、239108と出力されています。
- ④濃度計算マトリックスの変数個数、バンド幅、保存インデックス数が、それぞれ453、125、43905と出力されています。
- ⑤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。
◇時間メッシュ番号0、時間0の場合は、速度・圧力等の出力のみです。
- ⑥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。
- ⑦速度・圧力等の出力では、各節点について、速度U、V、W、圧力、および濃度が出力されています。
- ⑧剪断速度等の出力では、各節点について、剪断速度、粘度、剪断応力が出力されています。
- ⑨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。
- ⑩流入側合計の面積、流量、平均流速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。
- ⑪流出側合計の面積、流量、平均流速が出力されています。
- ⑫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。
- ⑬最大値データが出力されています。
- ⑭最低・最高濃度データが出力されています。
- ⑮最後に計算時間（本例では26s）と空きメモリー容量も出力されます。

<< 3次元拡散解析の計算結果>>

3次元拡散テストモデル（□0.1m×0.3m長）・・・定常

【入力データファイル】，C:\¥VB2022¥3次元拡散解析¥Data¥Diff3DTestB.dat

解析種類（0:定常、1:非定常），0

*** 計算結果（反復法） ***

バンド幅, 41

保存配列のインデックス数, 2445

<節点番号、濃度>

1, .01
2, .01
3, .01
4, .01
5, .01
6, .01
7, .01
8, .01
9, .01
10, .01
11, .01
12, .01
13, .01
14, .01
15, .01
.
.
.
.
.
.
127, .001906734
128, .001718844
129, .001939751
130, .001927369
131, .001905863
132, .001868335
133, .001816108
134, .00194846
135, .001930356
136, .001872099
137, .001909902
138, .001905601
139, .001872283
140, .001916162
141, .001895584

<最低・最高濃度データ>

変数項目、 値、 節点番号

濃度Min, .0001027357, 77

濃度Max, .01, 1

END 0h 0min 0s 5488MB free

①

②

③

④

⑤

図5-10 結果ファイルへの出力例（定常解析）

```

<< 3次元拡散解析の計算結果>>
3次元拡散テストモデル (□0.1m×0.3m長)
[入力データファイル], C:\¥VB2022¥3次元拡散解析¥Data¥Diff3DTestA.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回の濃度変化許容値, .0005
①

*** 計算結果 (反復法) ***
バンド幅, 41
保存配列のインデックス数, 2445
<時間メッシュ番号、時間>, 0, 0
<節点番号、濃度>
. . . . .
. . . . .
<時間メッシュ番号、時間>, 1, 10
<節点番号、濃度>
1, .01
2, .01
3, .01
4, .01
5, .01
6, .01
7, .01
8, .01
9, .01
10, .01
11, .01
12, .01
. . . . .
. . . . .
127, .0009936905
128, .0009069876
129, .0009958933
130, .0009932043
131, .0009917356
132, .0009831232
133, .0009535513
134, .001005712
135, .001001838
136, .0009815256
137, .0009900663
138, .0009869791
139, .0009794496
140, .001000755
141, .0009922537
<時間メッシュ番号、時間>, 2, 20
<節点番号、濃度>
. . . . .
. . . . .
②
③

<最低・最高濃度データ>
④
変数項目、 値、 節点番号、 時間
濃度Min, 9.994127E-05, 77, 40
濃度Max, .01, 1, 0
END 0h 0min 0s 5533MB free
⑤
⑥

```

図5-11 結果ファイルへの出力例（非定常解析、ステップ数1の場合）


```

<< 3次元拡散解析の計算結果>>
3次元拡散テストモデル (□0.1m×0.3m長) . . . 2ステップ
[入力データファイル], C:\¥VB2022¥3次元拡散解析¥Data¥Diff3DTest-2S.dat
解析種類 (0:定常、1:非定常), 1
計算サイクル数, 10, 出力サイクル間隔, 2
境界条件のステップ数, 2
計算時間間隔の初期値, .001, 計算1回の濃度変化許容値, .0005
-----
*** 計算結果 (反復法) ***
バンド幅, 41
保存配列のインデックス数, 2445
<サイクル番号、ステップ番号、時間>, 0, 0, 0
<節点番号、濃度>
. . . . .
. . . . .
<サイクル番号、ステップ番号、時間>, 2, 1, 50
<節点番号、濃度>
1, .01
2, .01
3, .01
4, .01
5, .01
6, .01
7, .01
8, .01
9, .01
10, .01
11, .01
12, .01
127, .000952889
128, .0008410333
129, .0009754462
130, .0009694842
131, .0009572751
132, .0009356698
133, .0008985242
134, .0009786714
135, .0009686168
136, .0009432532
137, .0009678703
138, .0009663083
139, .0009536758
140, .0009627345
141, .0009568286
. . . . .
. . . . .
<サイクル番号、ステップ番号、時間>, 2, 2, 60
<節点番号、濃度>
. . . . .
. . . . .
-----
<最低・最高濃度データ>
変数項目、 値、 節点番号、 時間
濃度Min, 9.97745E-05, 77, 50
濃度Max, .01, 1, 0
END 0h 0min 7s 5518MB free

```

図5-12 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）

```

<< 3次元拡散解析の計算結果 >>
3次元移流拡散テストモデル (□0.1m×0.3m長の対称裏側)
[入力データファイル], C:\¥VB2022¥3次元拡散解析¥Data¥Diff3DTestCT.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, .0001
計算1回の速度変化許容値, .001
非ニュートン流
壁面の自動設定有
対流項有り
安定化  $\tau_p$  の追加係数, .005

*** 計算結果 (スカイライン法) ***
流れ計算マトリックスの変数個数、バンド幅、保存インデックス数
1022, 323, 239108
濃度計算マトリックスの変数個数、バンド幅、保存インデックス数
453, 125, 43905

<時間メッシュ番号、時間>, 0, 0
** 速度・圧力等の出力 **
<節点番号、速度U、速度V、速度W、圧力、濃度>
1, 0, 0, 0, 50000, .01
2, 0, 0, 0, 50000, .01
3, 0, 0, 0, 50000, .01
4, 0, 0, 0, 50000, .01
5, 0, 0, 0, 50000, .01
. . . . .
. . . . .

<時間メッシュ番号、時間>, 1, 1
** 速度・圧力等の出力 **
<節点番号、速度U、速度V、速度W、圧力、濃度>
1, 0, 0, 0, 50000, .01
2, 0, 0, 0, 50000, .01
3, 0, 0, 0, 50000, .01
4, 0, 0, 0, 50000, .01
5, 0, 0, 0, 50000, .01
6, 0, 0, 0, 50000, .01
7, .004635284, 2.08331E-05, -9.67431E-05, 50000, .01
8, .005639905, 0, -9.266091E-05, 50000, .01
9, 0, 0, 0, 50000, .01
10, .004741597, 1.287314E-05, -.0001500104, 50000, .01
. . . . .
. . . . .
444, .02075353, 5.853291E-05, -.0002959322, 0, 4.823028E-06
445, .02198024, 0, -.0003223037, 0, 2.395291E-06
446, 0, 0, 0, 0, 0
447, .01070105, -6.704569E-06, -.0001719037, 0, 0
448, .01313793, 0, -.0003406384, 0, 1.233311E-05
449, 0, 0, 0, 0, 0
450, 0, 0, 0, 0, 1.589477E-05
451, 0, 0, 0, 0, 3.511024E-05
452, 0, 0, 0, 0, 2.430123E-05
453, 0, 0, 0, 0, 1.397986E-05

```

図5-13 (1/2) 結果ファイルへの出力例 (移流ありの非定常解析の場合)

```

** 剪断速度等の出力 **                                     ⑧
<節点番号、剪断速度、粘度、剪断応力>
1, .0004315078, 6009.757, 2.593257
2, .2637756, 6009.757, 1585.227
3, .4448481, 6009.757, 2673.429
4, .5083366, 6009.757, 3054.98
5, .5270573, 6009.757, 3167.487
6, .2681095, 6009.757, 1611.273
7, .314772, 6009.757, 1891.704
. . . . .
. . . . .
448, .8725993, 6009.757, 5244.11
449, .0009960168, 6009.757, 5.985819
450, .6092841, 6009.757, 3661.65
451, 1.028587, 5946.447, 6116.437
452, 1.174525, 5655.004, 6641.946
453, 1.22254, 5569.111, 6808.459
** 要素面の流出入量の出力 **                               ⑨
<要素番号、面番号、面積、流出量、平均流速>
1, 1, .000625, -1.567244E-06, -.002507591
2, 1, .0006250001, -3.13202E-06, -.005011232
3, 1, .000625, -3.286287E-06, -.005258058
. . . . .
. . . . .
62, 2, .000625, 1.499609E-05, .02399374
63, 2, .000625, 3.61352E-06, .005781632
64, 2, .000625, 7.255708E-06, .01160913
[流入側合計]                                                ⑩
面積, .006875001
流量, -6.495199E-05
平均流速, -.009447562
[流出側合計]                                                ⑪
面積, .005
流量, 6.765871E-05
平均流速, .01353174
-----
<時間メッシュ番号、時間>, 2, 2                               ⑫
. . . . .
. . . . .
-----
<最大値データ>                                              ⑬
注) 絶対値の最大。
変数項目、 最大値、 節点番号、 時間
速度U, .02897015, 358, 10
速度V, .005946515, 239, 1
速度W, -.03413893, 260, 1
圧力, 50417.91, 238, 1
剪断速度, 2.306699, 243, 10
粘度, 6334.264, 191, 10
剪断応力, 10533.72, 243, 10
<最低・最高濃度データ>                                     ⑭
変数項目、 値、 節点番号、 時間
濃度Min, 0, 38, 0
濃度Max, .01, 1, 0
END 0h 0min 26s 4740MB free                                ⑮

```

図5-13 (2/2) 結果ファイルへの出力例（移流ありの非定常解析の場合）

5.7 体積計算

サブメニュー「体積計算」をクリックすると、図5-14の画面に移ります。同図ではテスト用構造モデルで材料を2種類に変更したデータを使用しています。

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

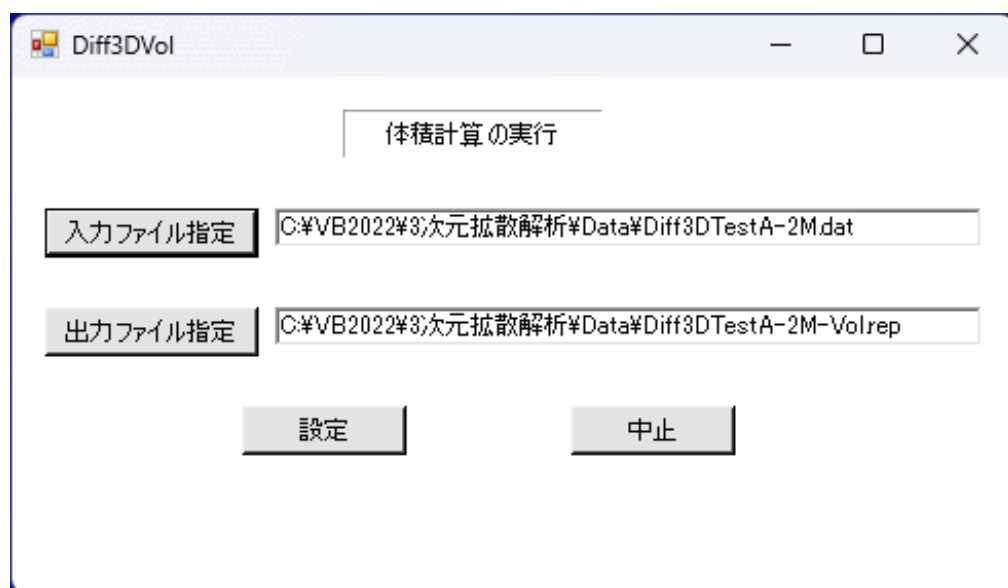


図5-14 体積計算の実行画面

図5-15に計算終了画面を示します。同図のように、材料番号毎に体積が表示されます。



図5-15 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5-16に計算結果例を示します。同図で○印を付した数字の部分について補足説明します。

- ①材料番号、体積、質量が出力されています。
- ②材料数が2以上の場合のみ、合計が出力されます。

<<体積の計算結果>>		
3次元拡散テストモデル（□0.1m×0.3m長）・・・2材料		
[入力データファイル] , C:¥VB2022¥3次元拡散解析¥Data¥Diff3DTestA-2M. dat		

材料番号、体積		①
1, .002250005		
2, .000749999		
合計, .003000005		②
END		

図5-16 体積計算の結果ファイルへの出力例

5.8 バッチ処理

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

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

サブメニュー「解析計算のバッチ処理」をクリックすると、図5-17の画面に移ります。

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

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

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

◇計算条件の異なるケースは実行できませんので注意してください。

- ③バッチ処理が完了すると、図5-18の終了画面になります。

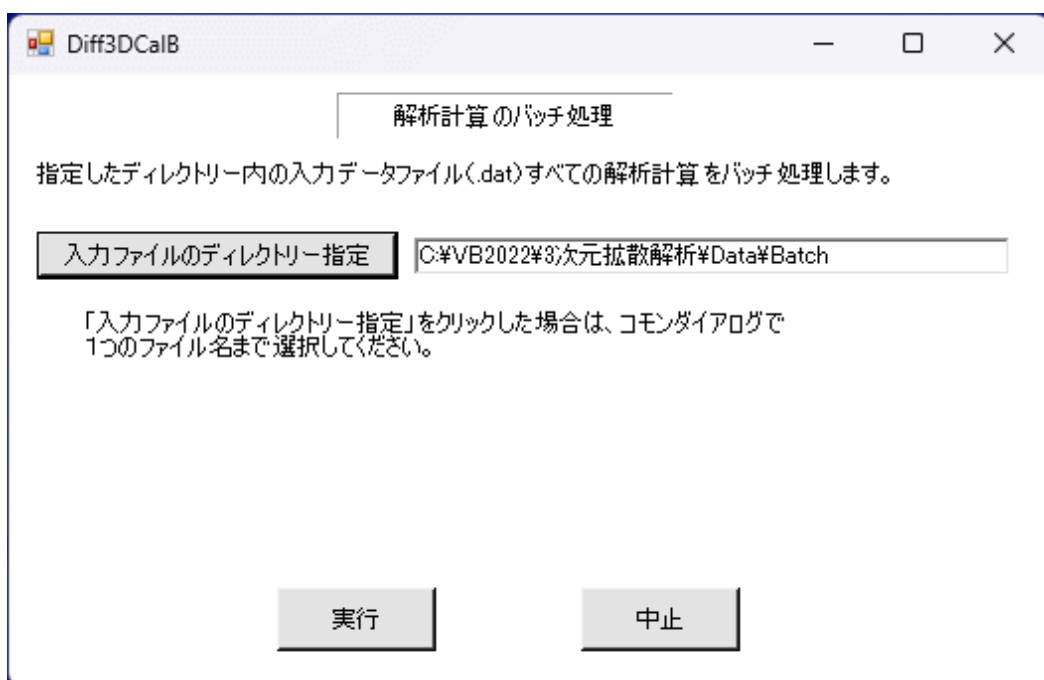


図5-17 バッチ処理の実行画面

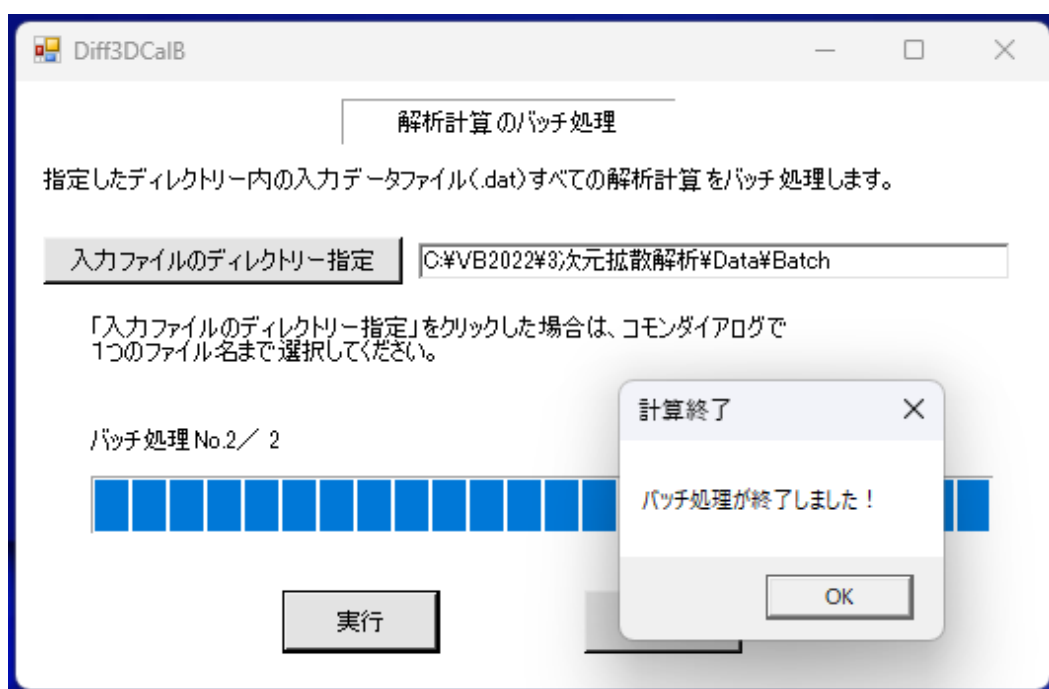


図5-18 バッチ処理の終了画面

第6章 「後処理」プログラム

6.1 サブメニュー画面

「メニュー」プログラムにおける「後処理」のサブメニュー画面を図6-1に示します。同図のように5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、「等濃度線図スライドショー」は非定常解析についてのみ、「流れベクトル図の作画」は移流有りの場合にのみ実施可能です。

「解析結果の端数処理」とは、解析結果ファイルのデータに対して、微小な端数を丸めた実用的な数値に変更してファイル出力するものです。これは必要があれば実施してください。

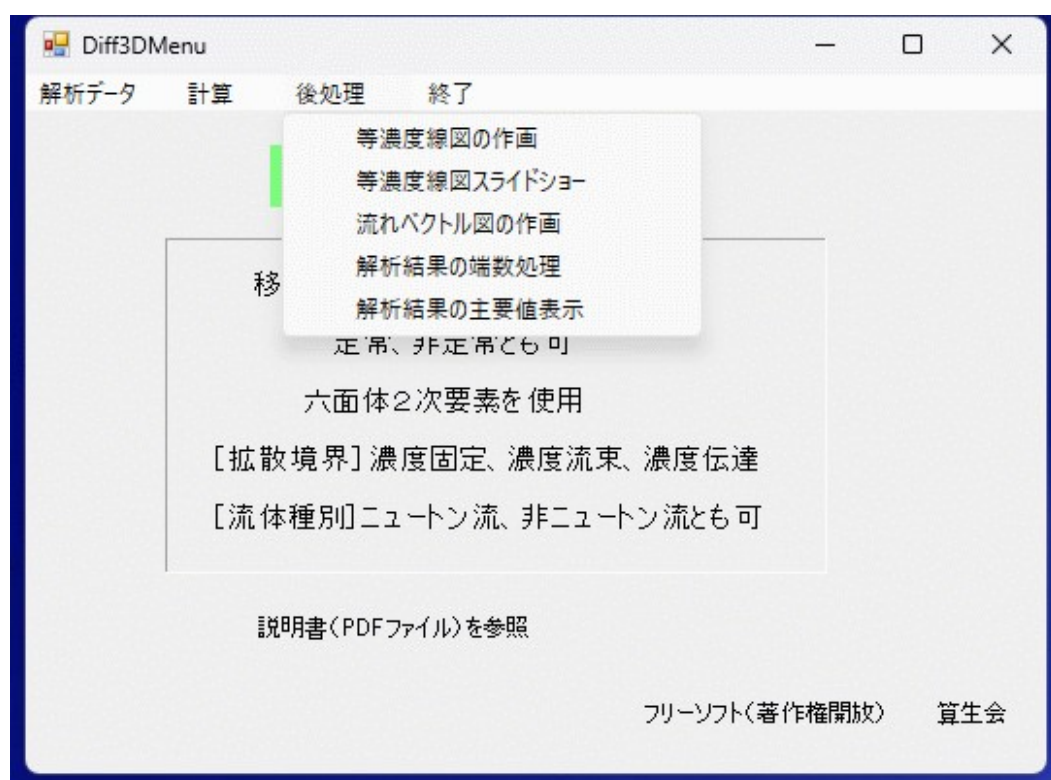


図6-1 「後処理」サブメニュー画面

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「等濃度線図の作成」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。また、解析結果の

端数処理の場合は、コモンダイアログで保存ファイル名を設定した後、端数処理が実行されます。さらに、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。

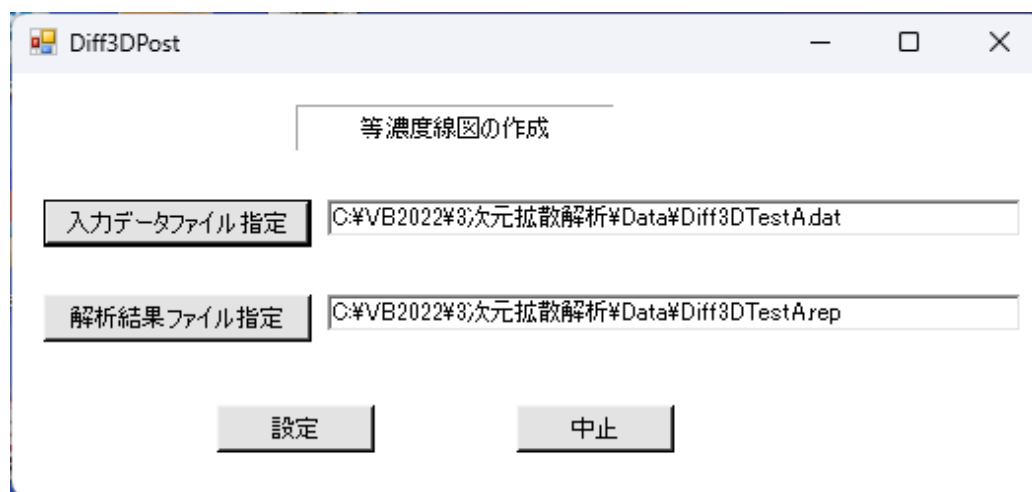


図6-2 使用ファイル設定画面

6.3 等濃度線図の仕様設定画面

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

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

◇図6-6に最低・最高濃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、次の等濃度線図作画画面に移ります。

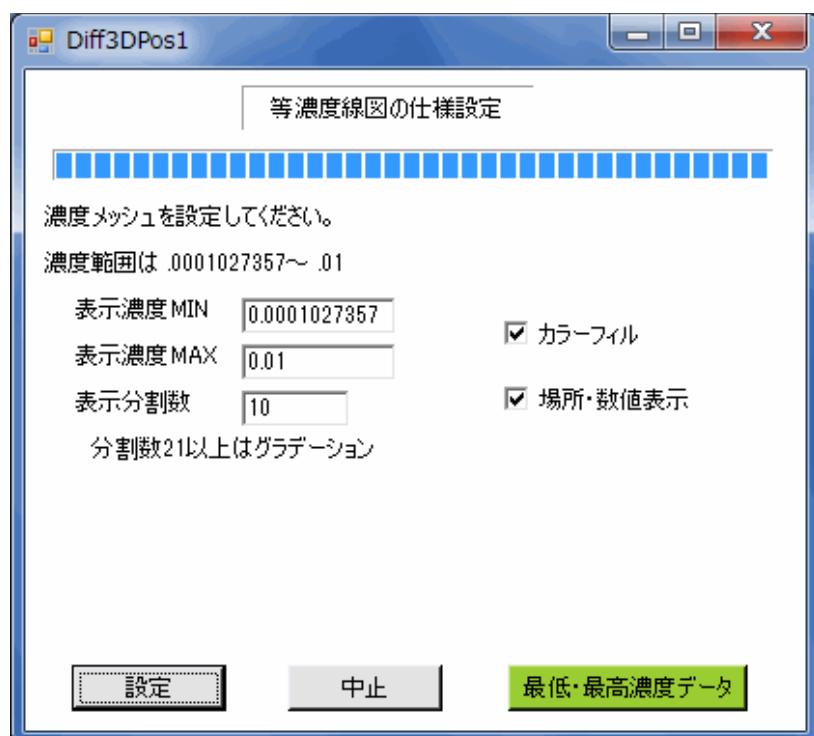


図6-3 等濃度線図の仕様設定画面（定常解析）

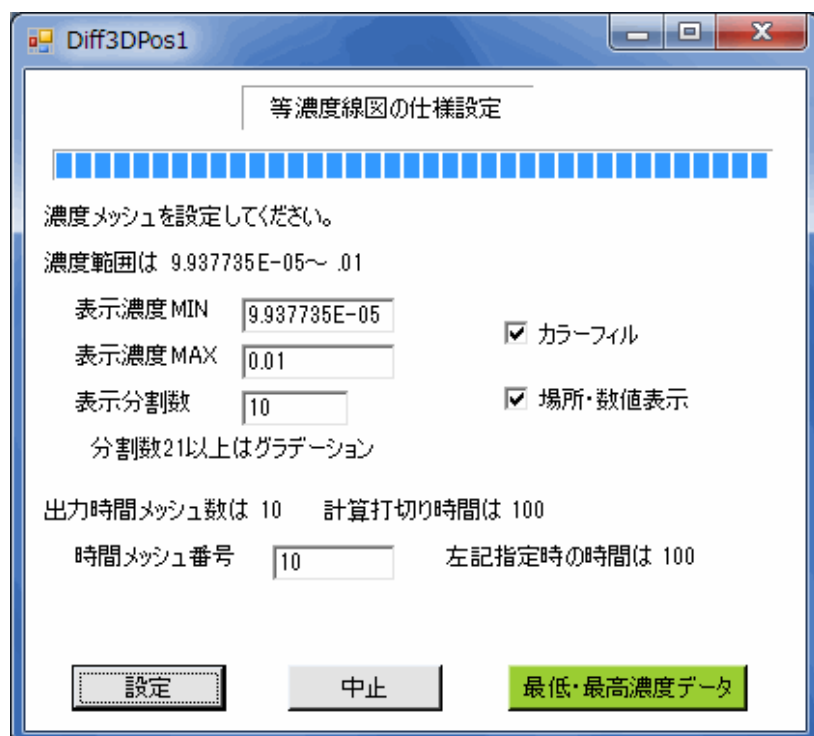


図6-4 等濃度線図の仕様設定画面（非定常解析、ステップ数1の場合）

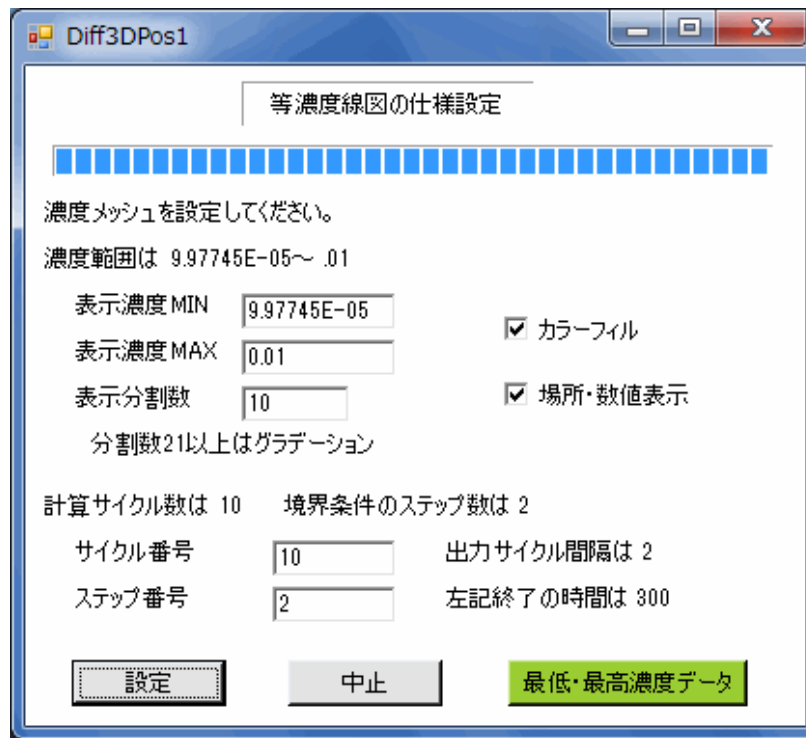


図6-5 等濃度線図の仕様設定画面（非定常解析、ステップ数2以上の場合）

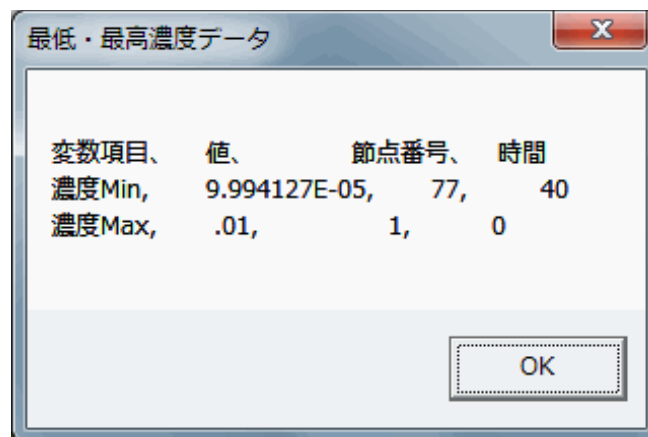


図6-6 最低・最高濃度データの表示例

6.4 等濃度線図の作画画面

図6-7～12に等濃度線図の作画画面を示します。図6-7は定常解析の場合、図6-8は境界条件のステップ数1の非定常解析の場合、図6-9はそのグラデーションです。また、図6-10はステップ数2以上の非定常解析の場合で、右最上部にサイクル番号とステップ番号が表示されます。さらに、図6-11は定常解析で「共通辺の表示」有りの場合の非定常解析の場合です。

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

◇図6-9のグラデーションの場合は、4等分の5つの変数値が示されます。

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

◇「共通辺の表示」が「有り」の等濃度線図を図6-11に示します。同図では、各要素の共通辺が表示されています。

- ③本画面の上側に表示されている作画パラメーター、マウスド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」でマウスドラッグ矩形によりどちらかの要素だけを領域選択すれば、画面表示できます。

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

- ④マウス右クリックで任意の節点を選択すると、図6-12のように同節点の変数値が表示されます。

◇本機能を使用中は、描画保存がありません（描画のさかのぼりが無効）。

◇ESCキーを押すと節点選択が解除されます。

- ⑤「標準・全画面切換」ボタンをクリックすると、標準画面と全画面を切り換えることができます。また、画面Formの右下コーナー等をマウ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。

- ⑥マウス中ボタン、ホイールにより移動、拡大・縮小を行なうことができます。中ボタンを押したまま動かせば図形を移動できます。また、ホイールの回転により拡大・縮小ができます。

- ⑦マウスドラッグ矩形により、等濃度線図の一部分を拡大できます。操作方法は4.22節の構造図と同じです。

- ⑧繰り返して描画を実施した場合、「前の描画」ボタンをクリックすると1つずつ前の描画にさかのぼることができます。

◇さかのぼれる描画の数は最大8つです。

◇回転操作があっても無視され、初期の回転位置で描画されます。

- ⑨「面切断設定」ボタンをクリックすると、面切断設定の画面に移り、面切断の仕方を設定できます。操作方法は構造図の作画と同じです。

- ⑩本画面で「コピー印刷」ボタンをクリックすると、プリンターで画面コピーを印刷できます。

◇「通常画面」の作画が印刷されます。

- ⑪本画面を終了するには、「戻る」ボタンをクリックして、仕様設定画面に戻ります。

また、もし等濃度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、等濃度線図を作画することができます。

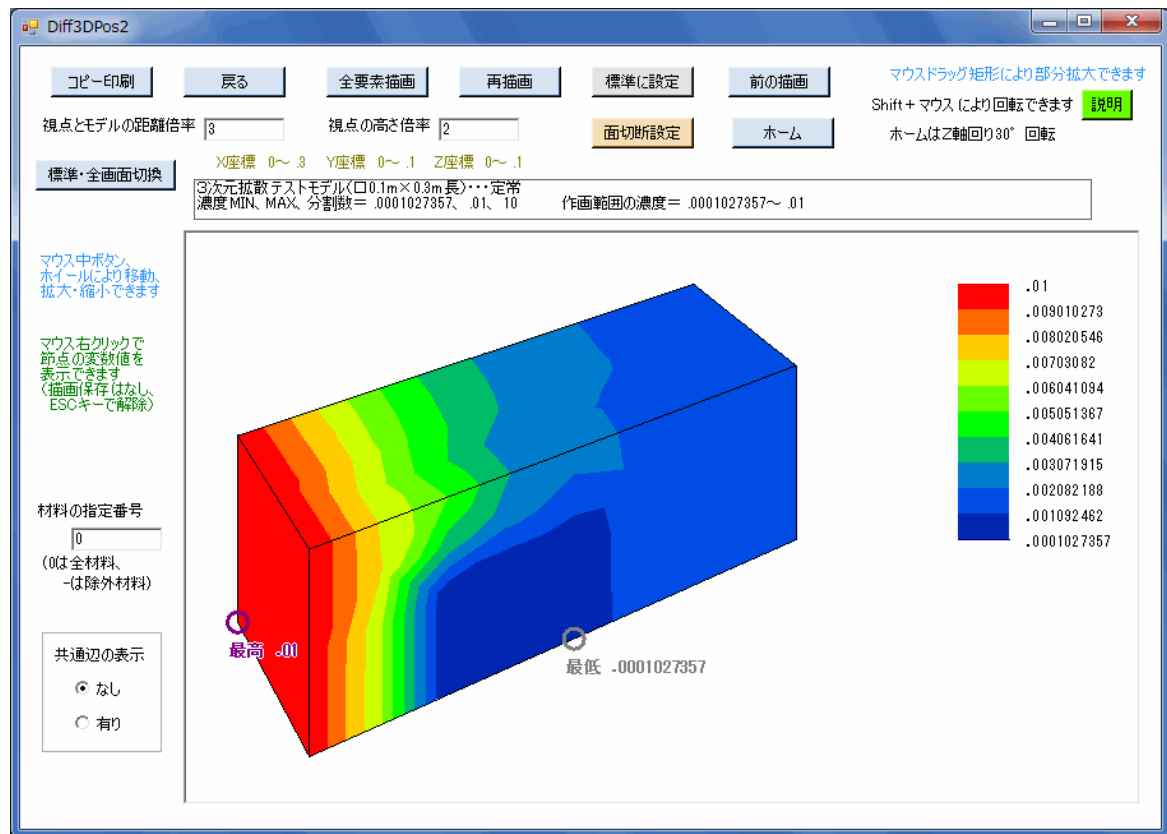


図6-7 等濃度線図の作画画面（定常解析）

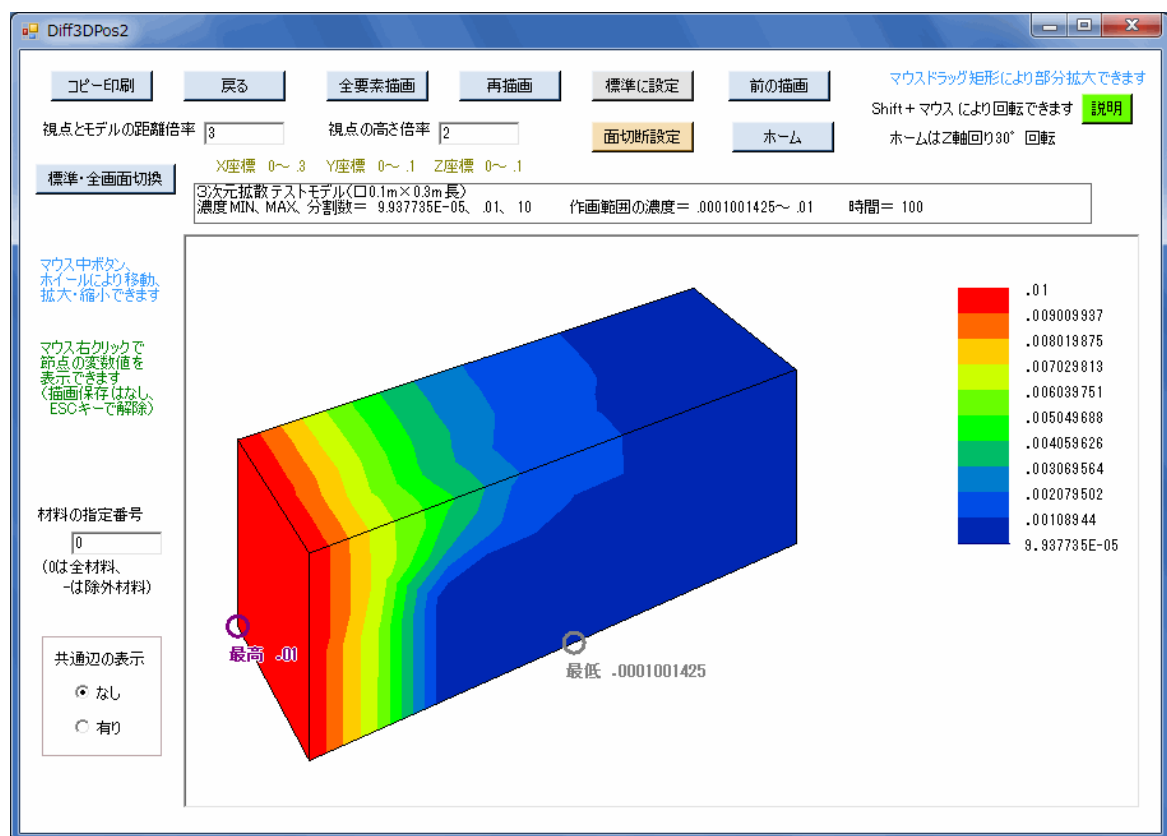


図6-8 等濃度線図の作画画面（非定常解析、ステップ数1の場合）

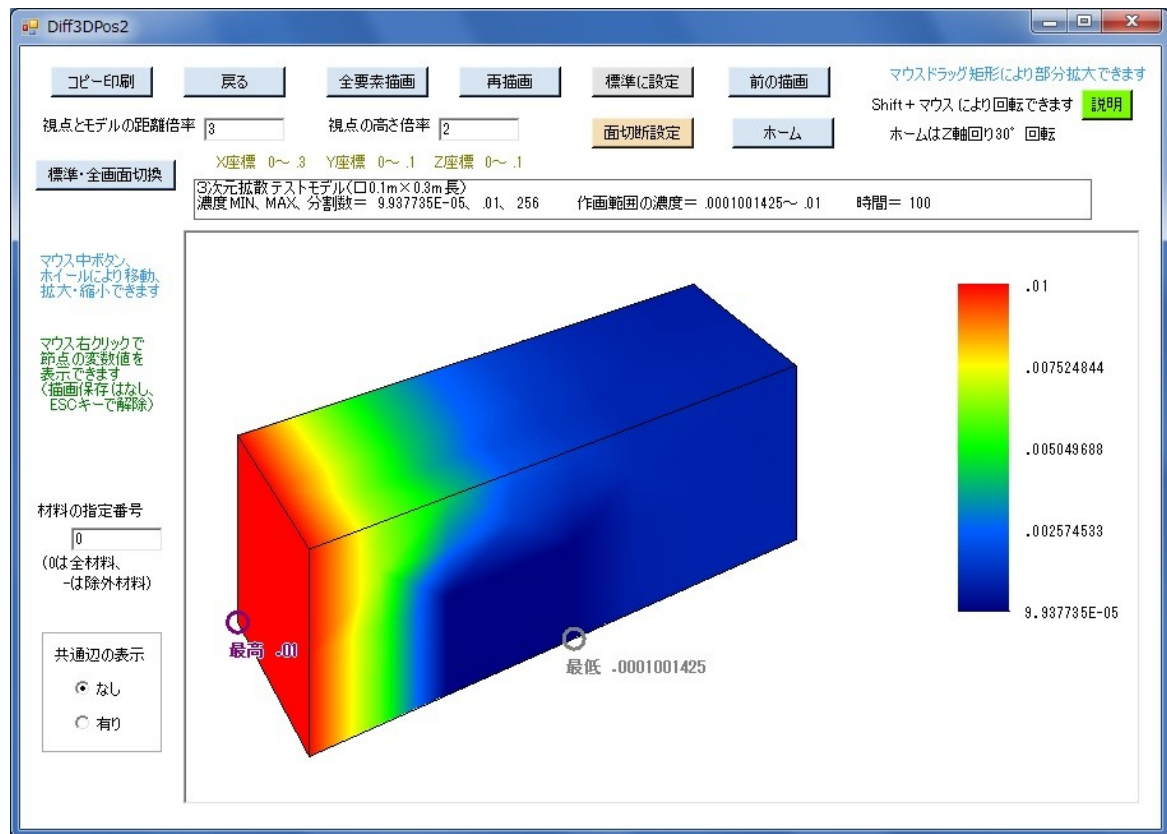


図6-9 等濃度線図の作画画面（グラデーション、非定常解析、ステップ数1の場合）

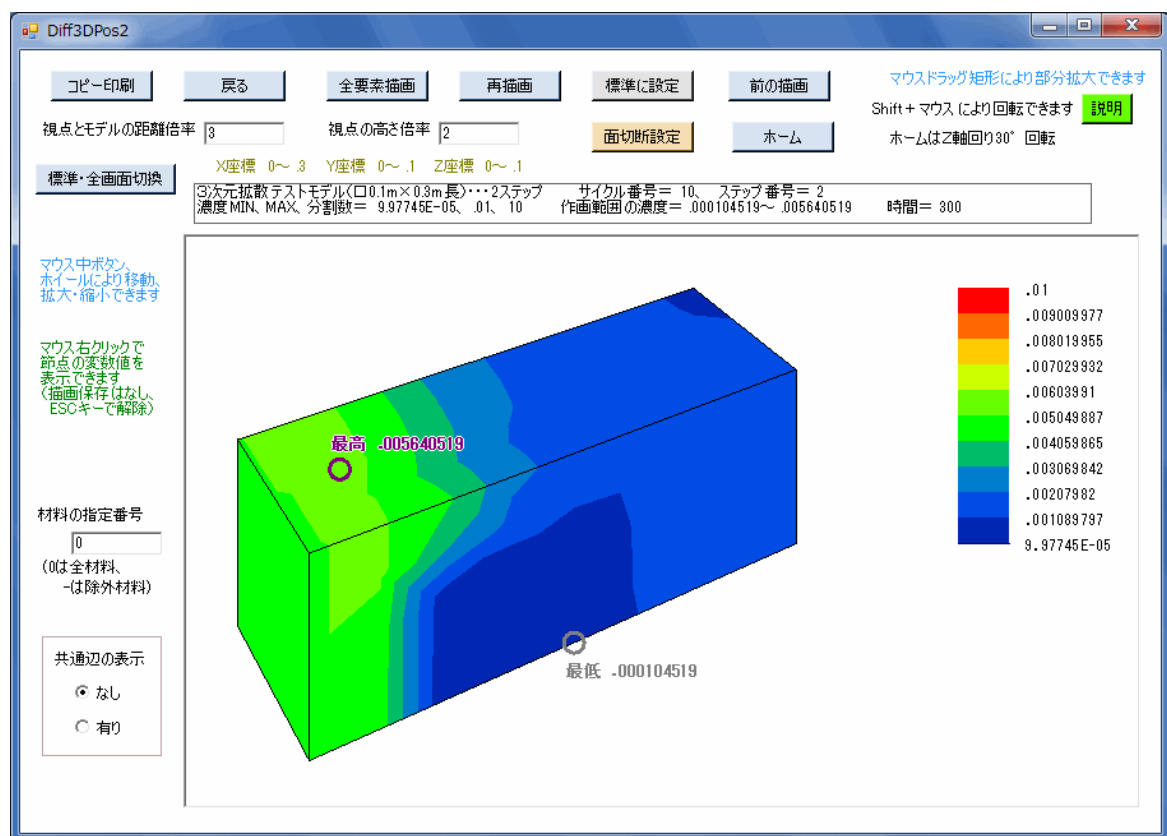


図6-10 等濃度線図の作画画面（非定常解析、ステップ数2以上の場合）

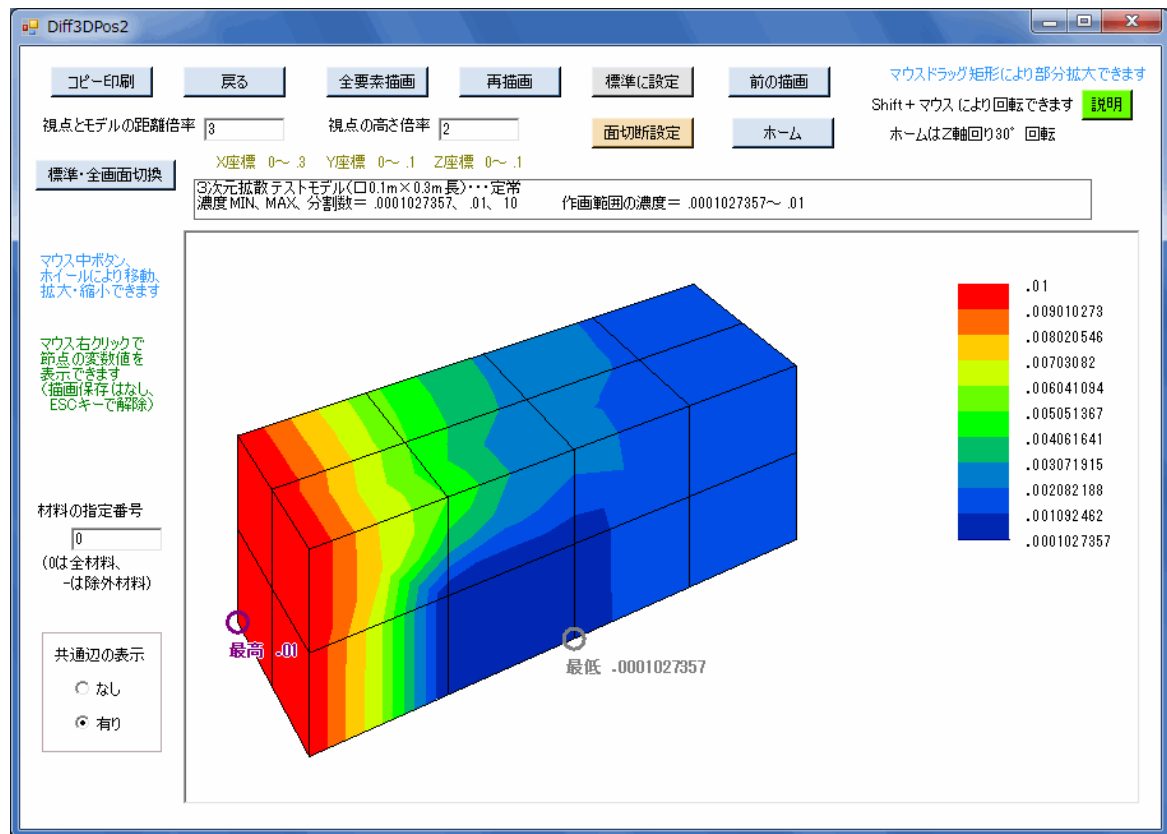


図6-11 等濃度線図の作画画面（共通辺の表示有り、定常解析）

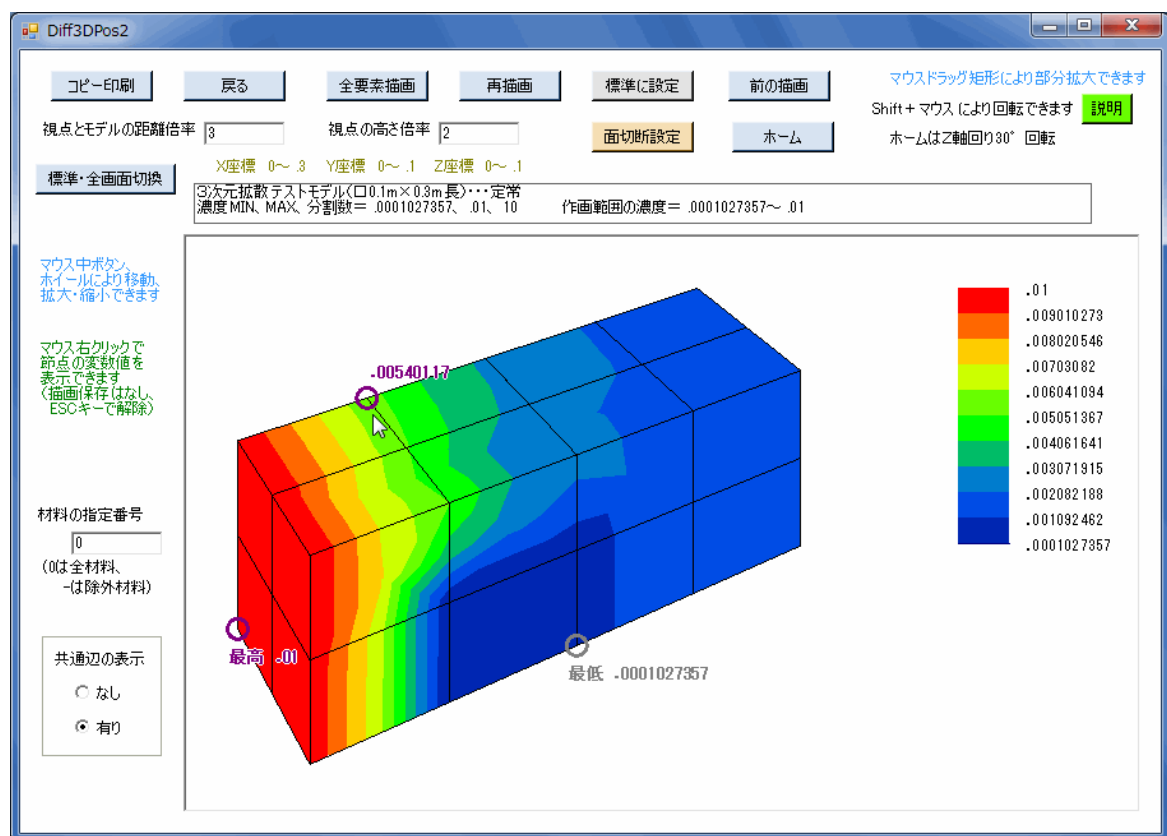


図6-12 等濃度線図の作画画面（定常解析、マウス右クリックの節点の変数値表示）

また、図6-13に移流有りの等濃度線図を示します。

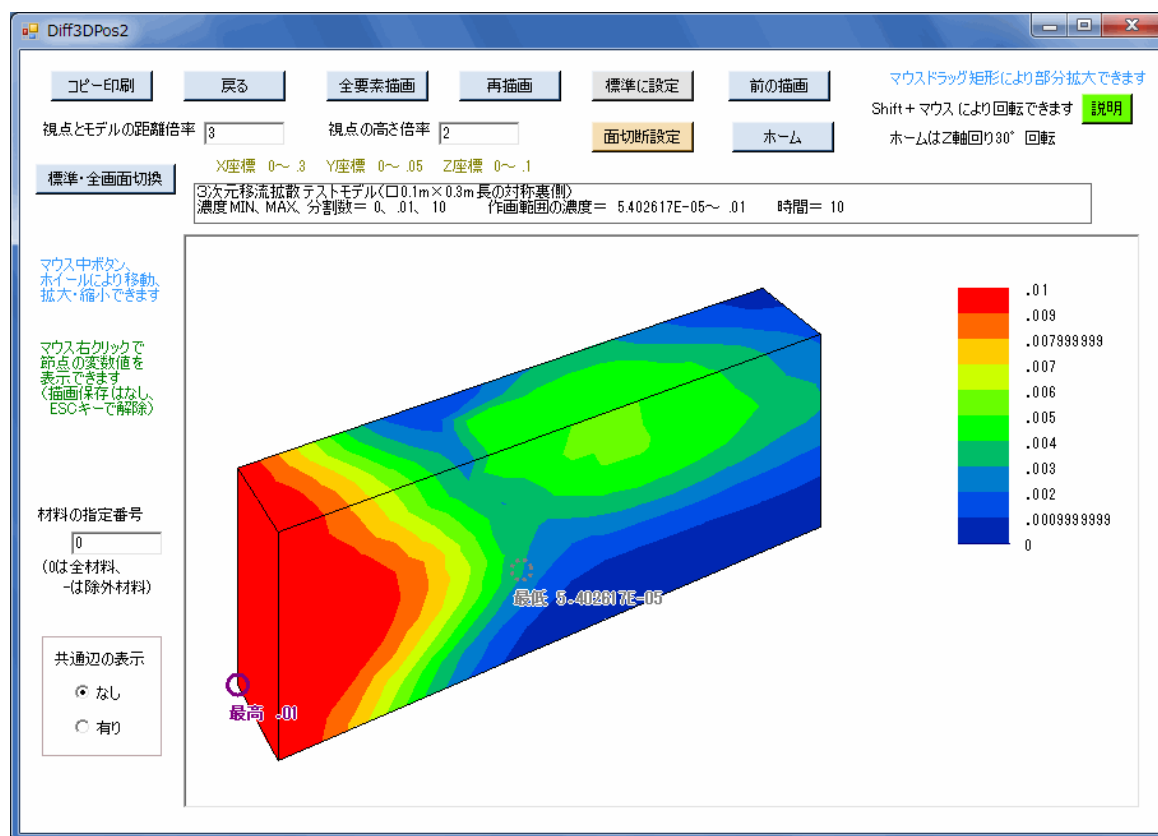


図6-13 等濃度線図の作画画面（移流有りの非定常解析、対称裏側部分）

6.5 等濃度線図スライドショーの画面

図6-14に等濃度線図スライドショーの初期画面を示します。

- ①「スライド間の待ち時間」は、自動スライドの場合に、各スライド間の待ち時間を秒数で設定するものです。待ち時間を調整する必要がある場合は、適宜変更してください。
◇デフォルトの待ち時間は1秒となっています。

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

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

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

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

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

◇スライドショーが終了すると、図6-15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

時間メッシュの等濃度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等濃度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6-16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濃度線図に適用され、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、もし等濃度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、等濃度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。

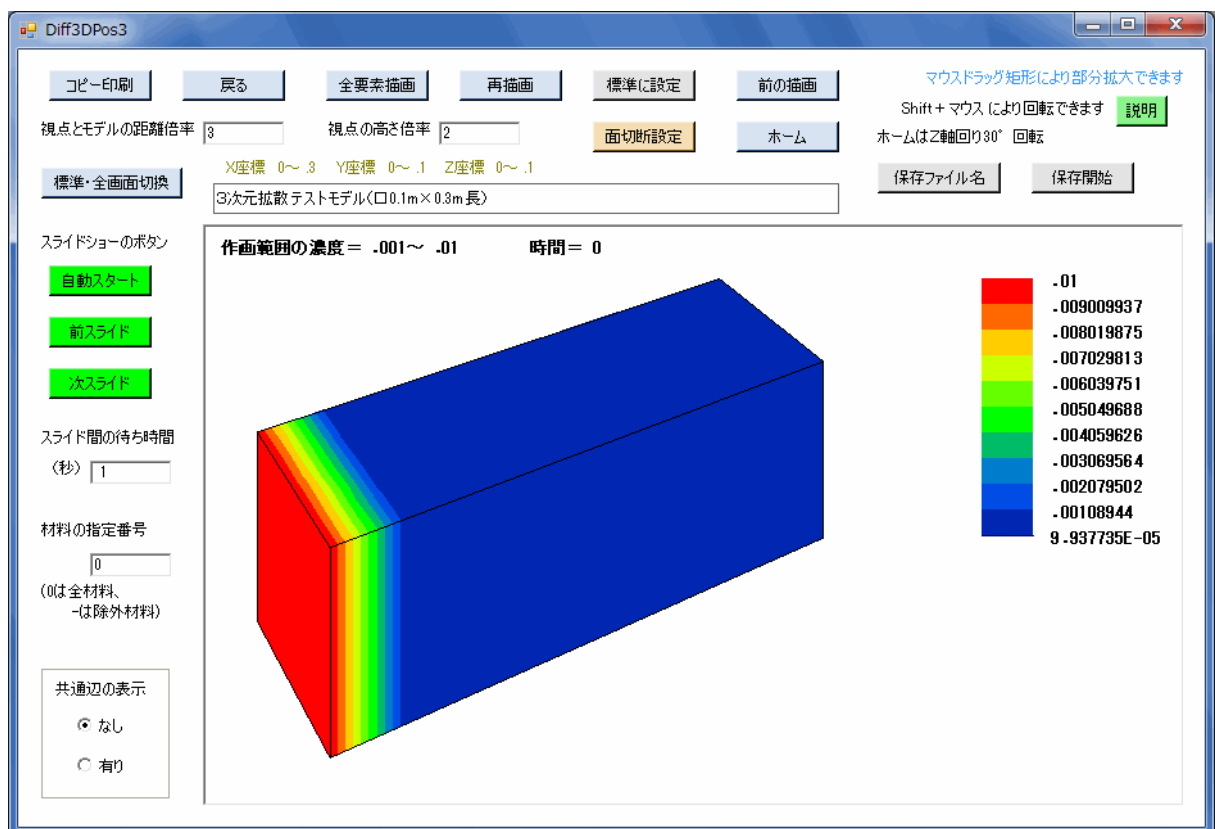


図6-14 等濃度線図スライドショーの初期画面

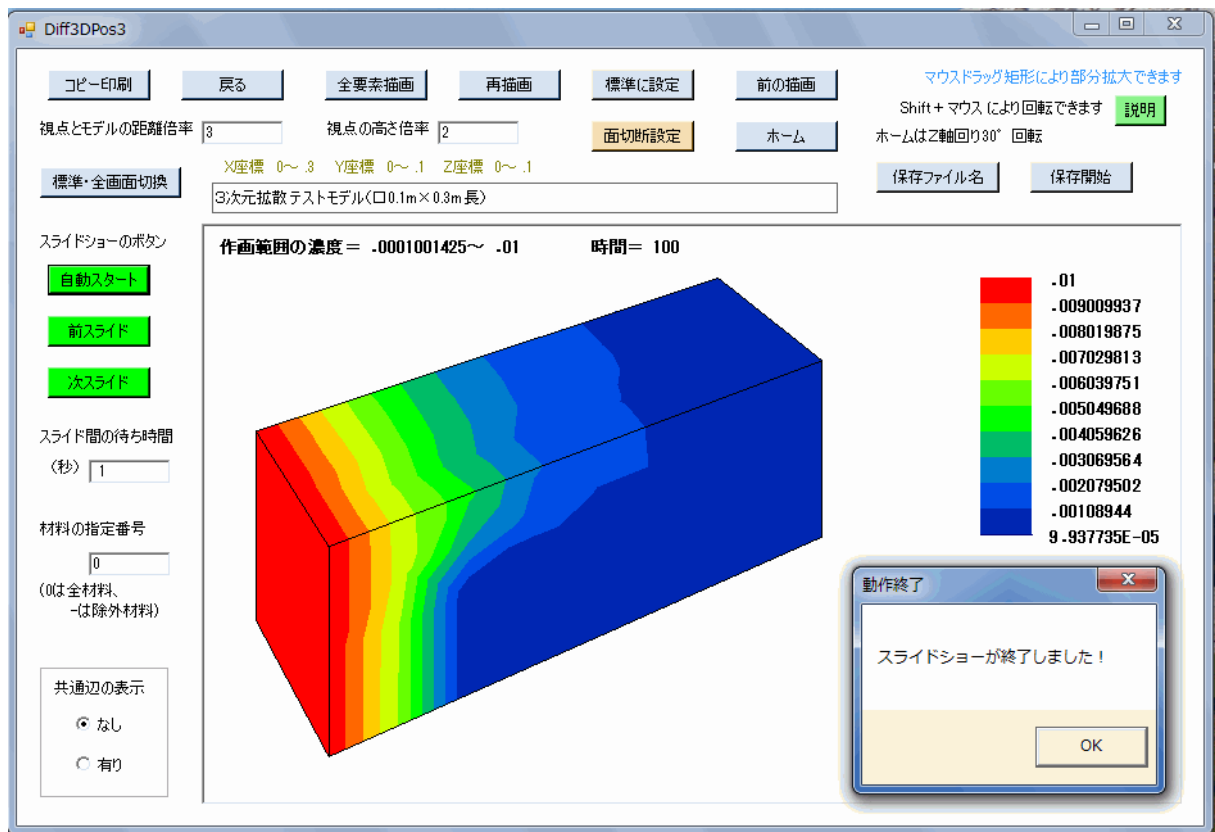


図6-15 等濃度線図スライドショーの終了画面

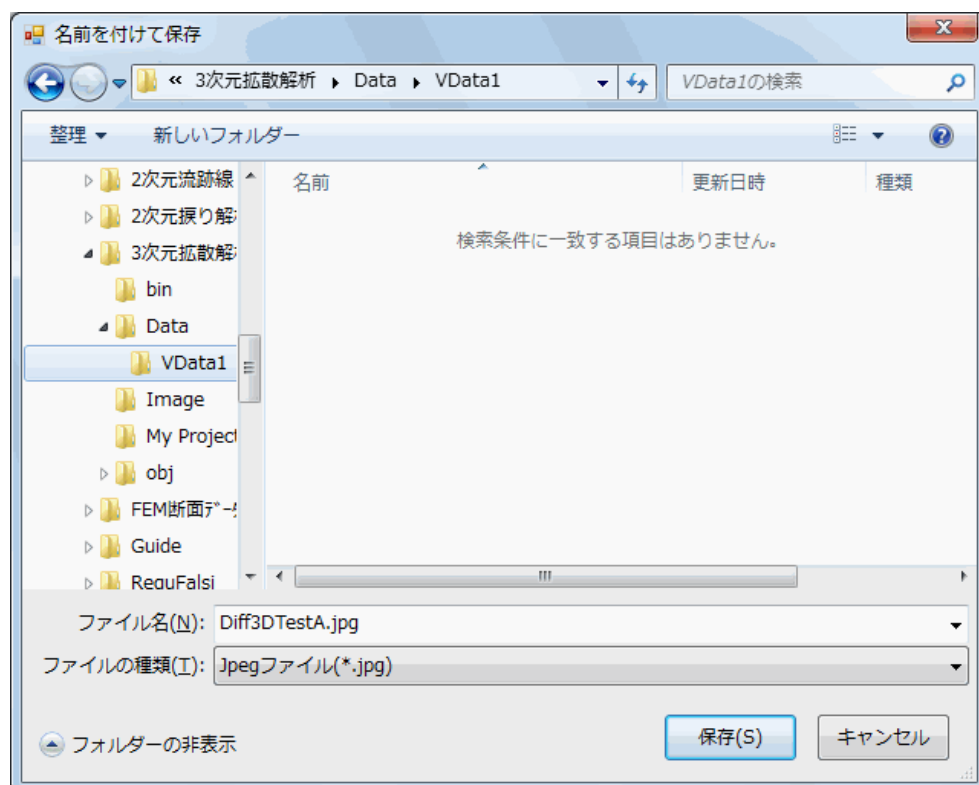


図6-16 ファイル保存コンマダイアログ画面

6.6 移流有りの非定常解析のメッシュ指定画面

流れベクトル図の作画で移流有りの非定常解析の場合は、図6-17の非定常解析メッシュ指定画面が表示されます。

- 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。

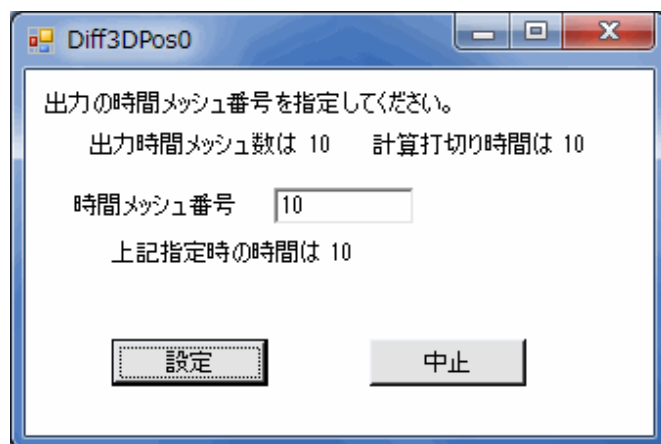


図6-17 非定常解析メッシュ指定画面

6.7 流れベクトル図の作画画面（移流有りの場合）

図6-18に流れベクトル図の作画画面を示します。

- 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本画面の上側に表示されている作画パラメータ、マウスド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。
 - ◇「隠面処理」は、「有り」か「なし」を選択できます。
 - 標準条件では隠面処理「有り」です。隠面処理を「なし」にすると、すべての節点の速度ベクトルが作画されますので、マウスドラッグにより一部の領域を選択して節点数が少ない状態で利用してください。
 - ◇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」でマウスド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。

◇流れベクトル図の「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。

- ④マウス右クリックで任意の節点を選択すると、図6-19のように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。

- ⑤「標準・全画面切換」ボタンをクリックすると、標準画面と全画面を切り換えることができます。また、画面Formの右下コーナー等をマウ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。

- ⑥マウス中ボタン、ホイールにより移動、拡大・縮小を行なうことができます。中ボタンを押したまま動かせば図形を移動できます。また、ホイールの回転により拡大・縮小ができます。

- ⑦マウスドラッグ矩形により、流れベクトル図の一部分を拡大できます。操作方法は4.22節の構造図と同じです。

- ⑧繰り返して描画を実施した場合、「前の描画」ボタンをクリックすると1つずつ前の描画にさかのぼることができます。

◇さかのぼれる描画の数は最大8つです。

◇回転操作があっても無視され、初期の回転位置で描画されます。

- ⑨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、「部分拡大モード」でマウスドラッグ矩形により対象の領域を選択するか、次項の「面切断設定」を実施して、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。

- 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ます。

◇定常解析の場合は「中止」ボタンになります。

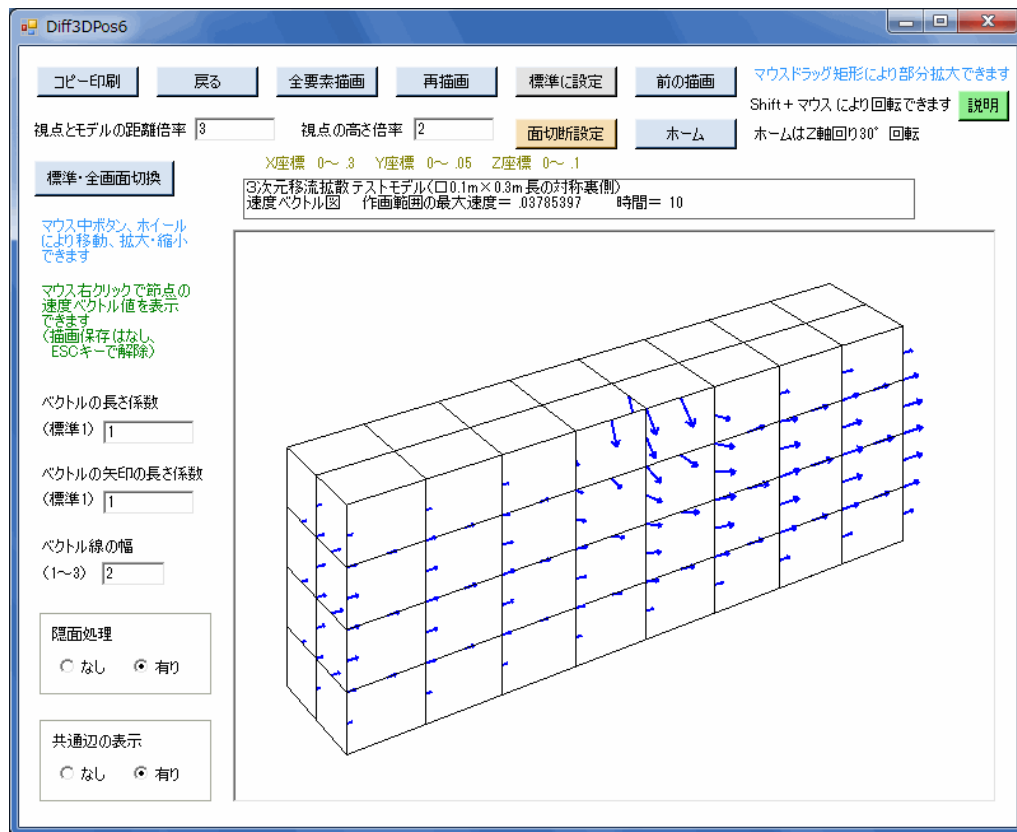


図6-18 流れベクトル図の作画画面（移流有り、対称裏側部分）

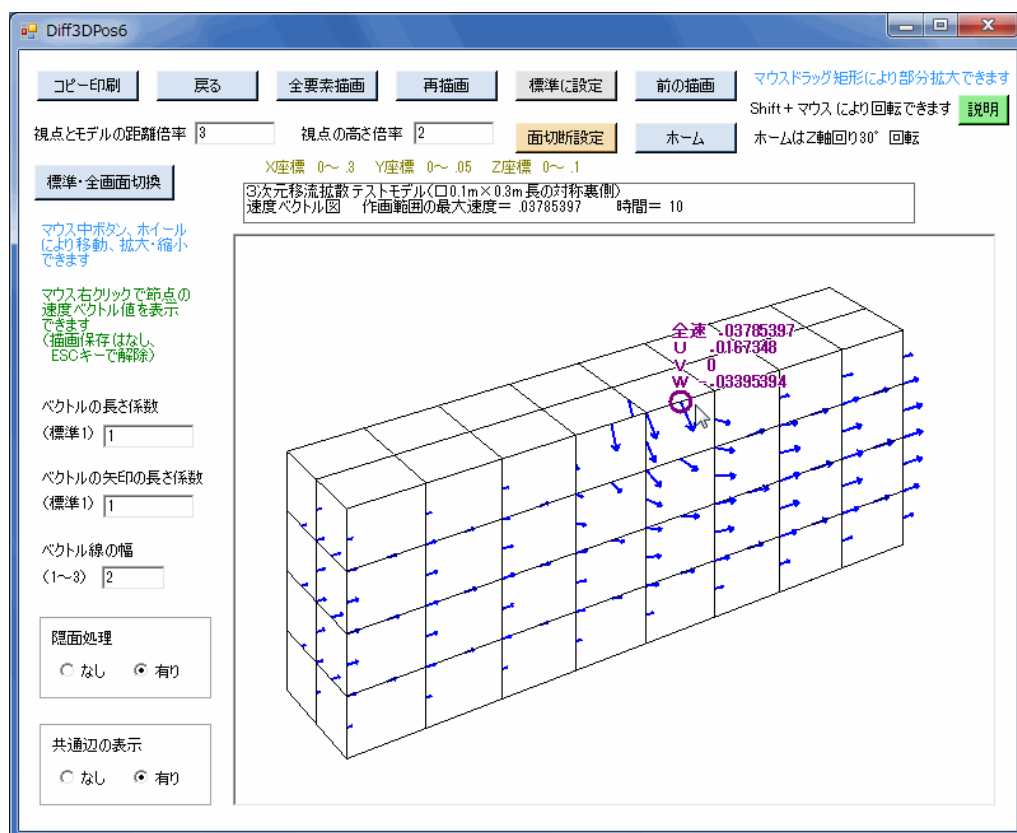


図6-19 流れベクトル図の作画画面（移流有り、マウス右クリックの節点の速度ベクトル値表示）

6.8 解析結果の主要値表示

図6-20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。

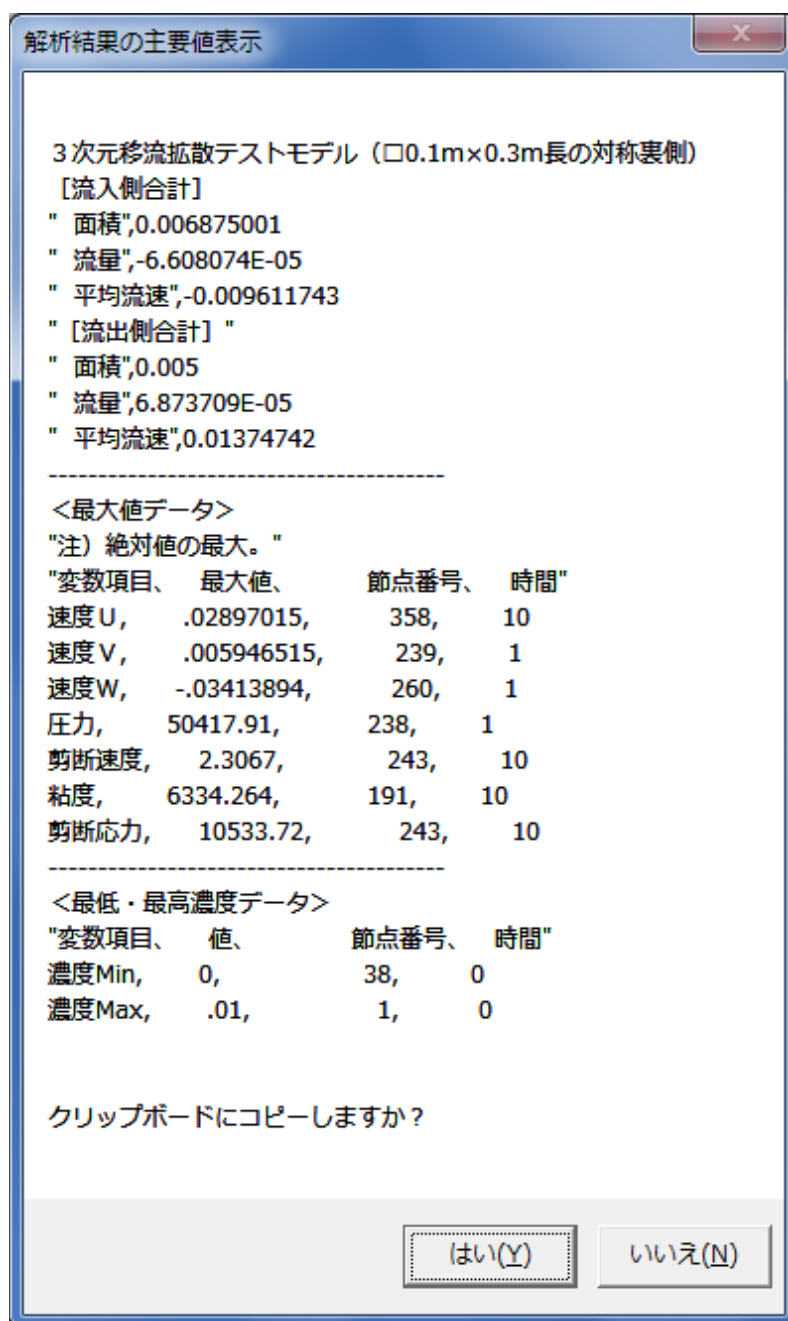


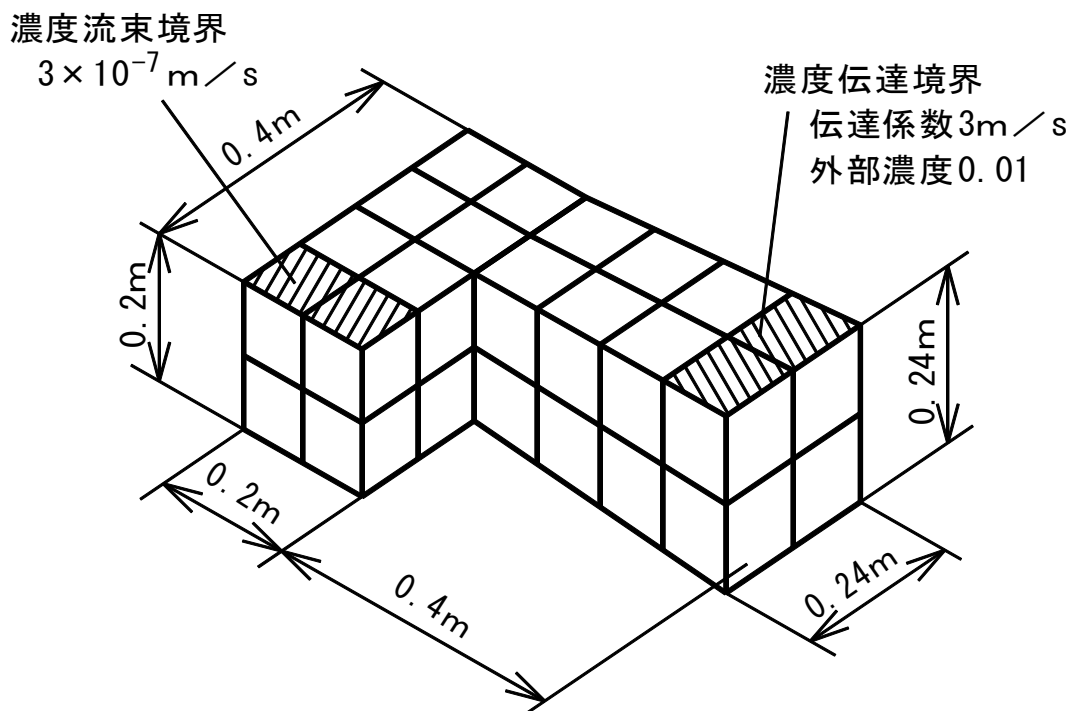
図6-20 解析結果の主要値表示の画面（移流有りの場合）

第7章 計算事例

7.1 合成構造モデルの拡散解析

図7-1に構造モデル図を示します。同図は図4-41の構造図と同じモデルです。本モデルの定常解析の結果を図7-2に、非定常解析の結果を図7-3に、それぞれ等濃度線図で示します。なお、計算時間は定常解析が0s、非定常解析が1sでした。

注) 本モデルは要素数32、節点数261です。



[材料物性] 拡散係数 $5 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$

[初期濃度] 0.002一様

図7-1 合成構造モデル

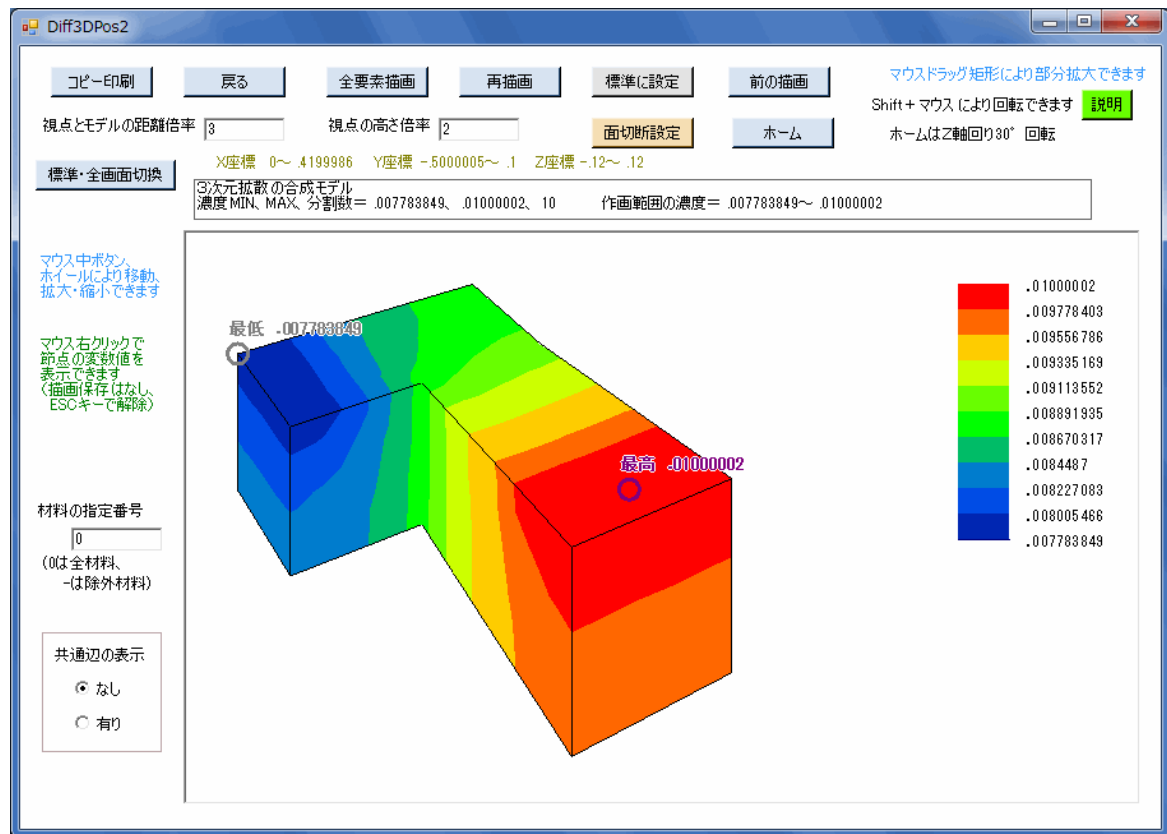


図7-2 合成構造モデルの等濃度線図（定常解析）

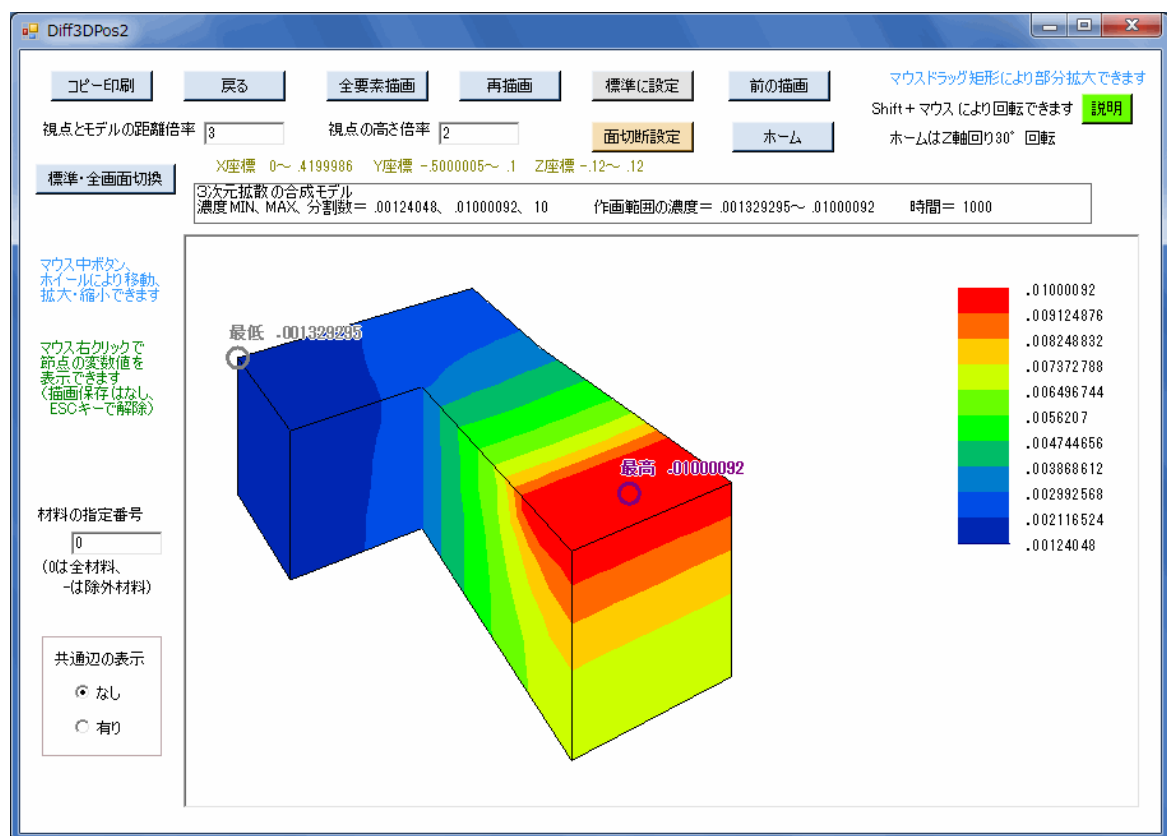


図7-3 合成構造モデルの等濃度線図（非定常解析）

7.2 軸回転体の拡散解析

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

注) 本モデルは要素数352、節点数1920です。

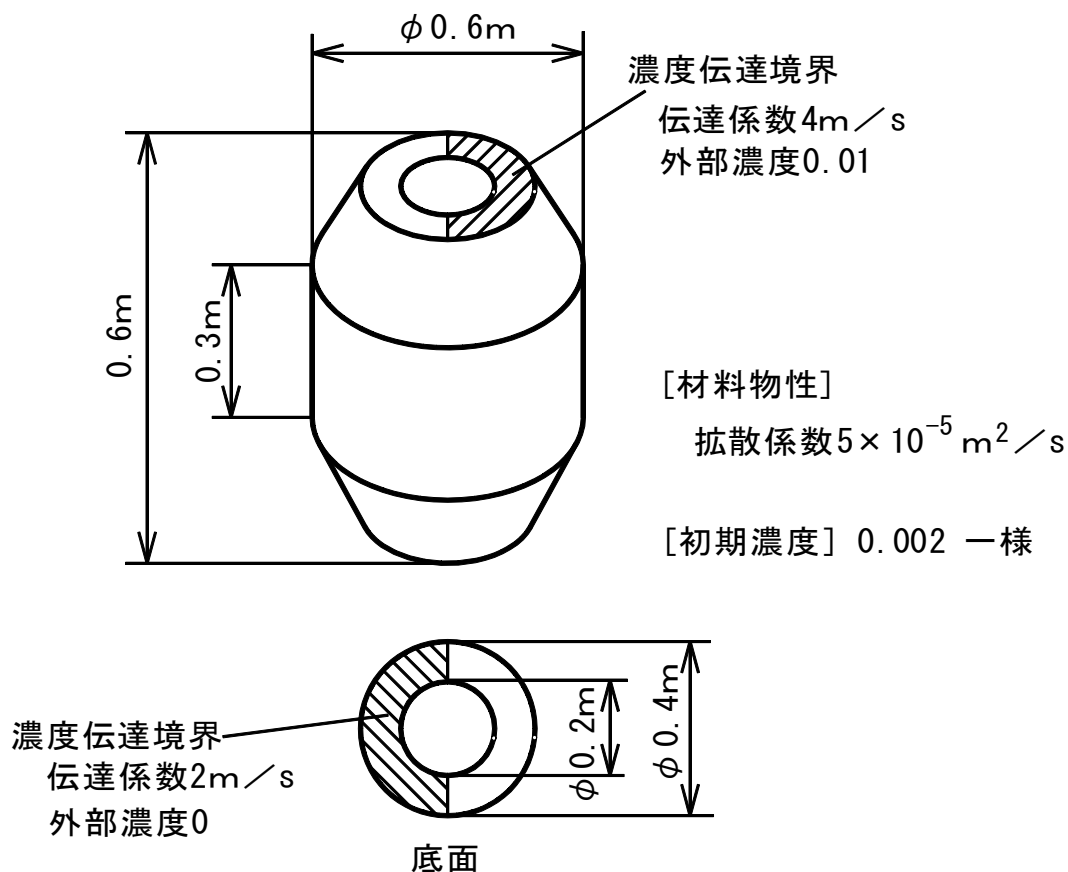


図7-4 軸回転体の構造モデル略図

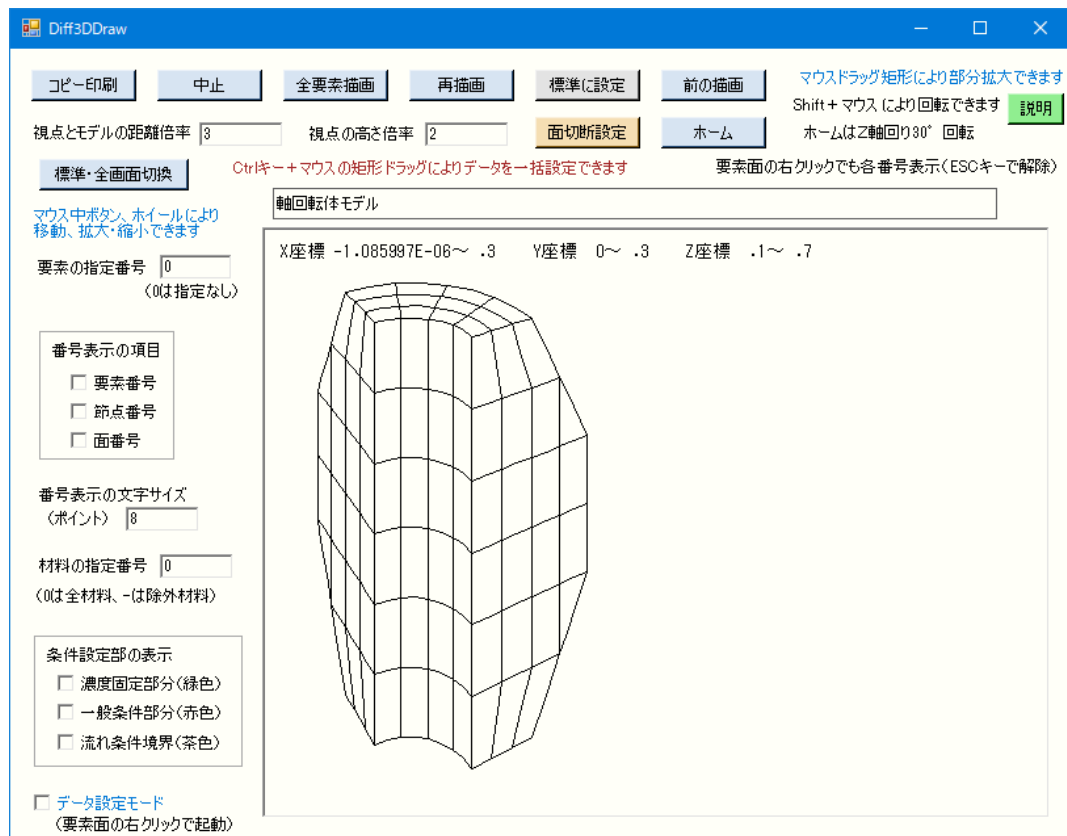


図7-5 軸回転体の1/4部分拡大の構造図

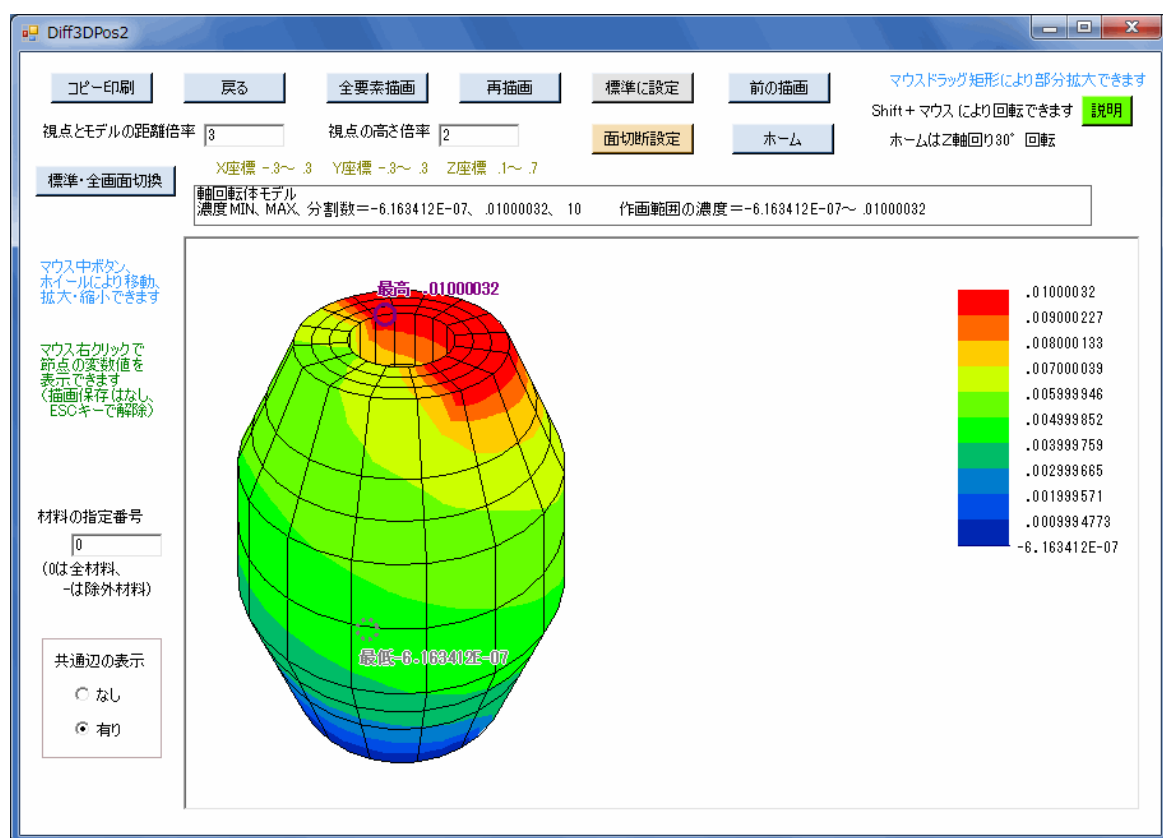


図7-6 軸回転体の等濃度線図（定常解析、共通辺表示有り）

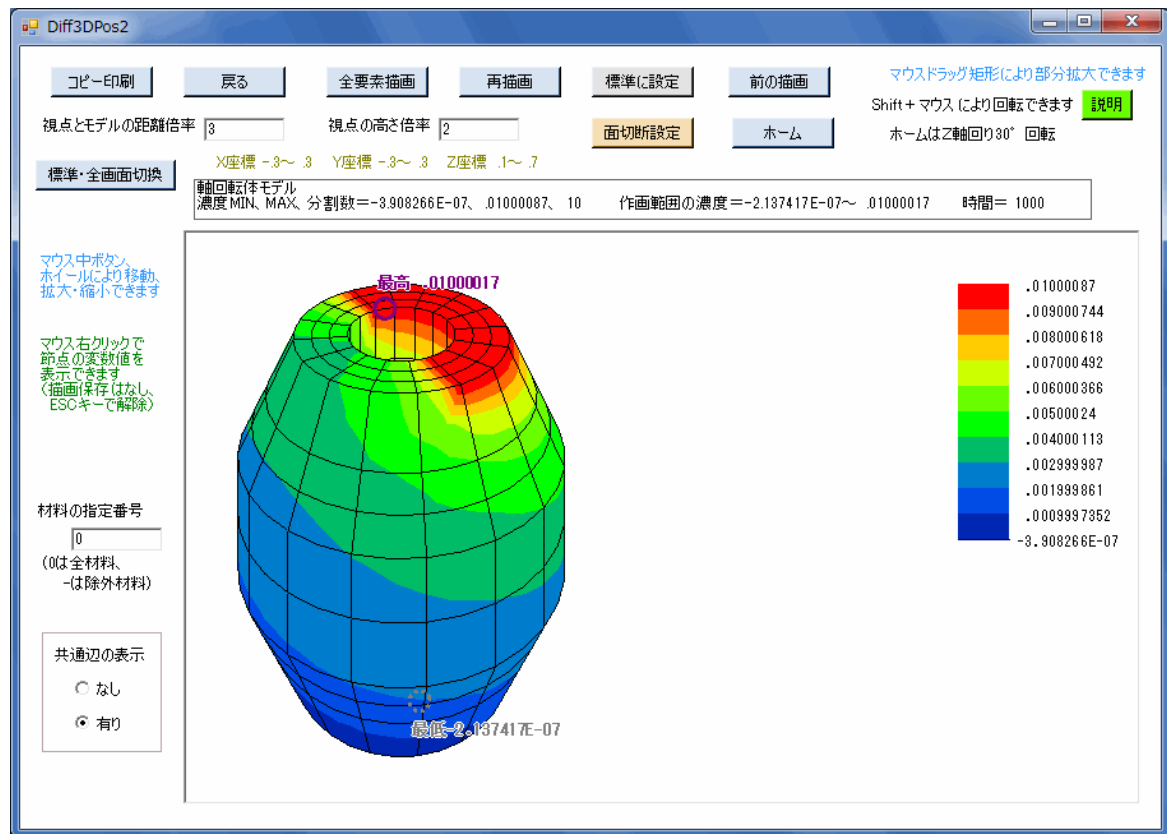
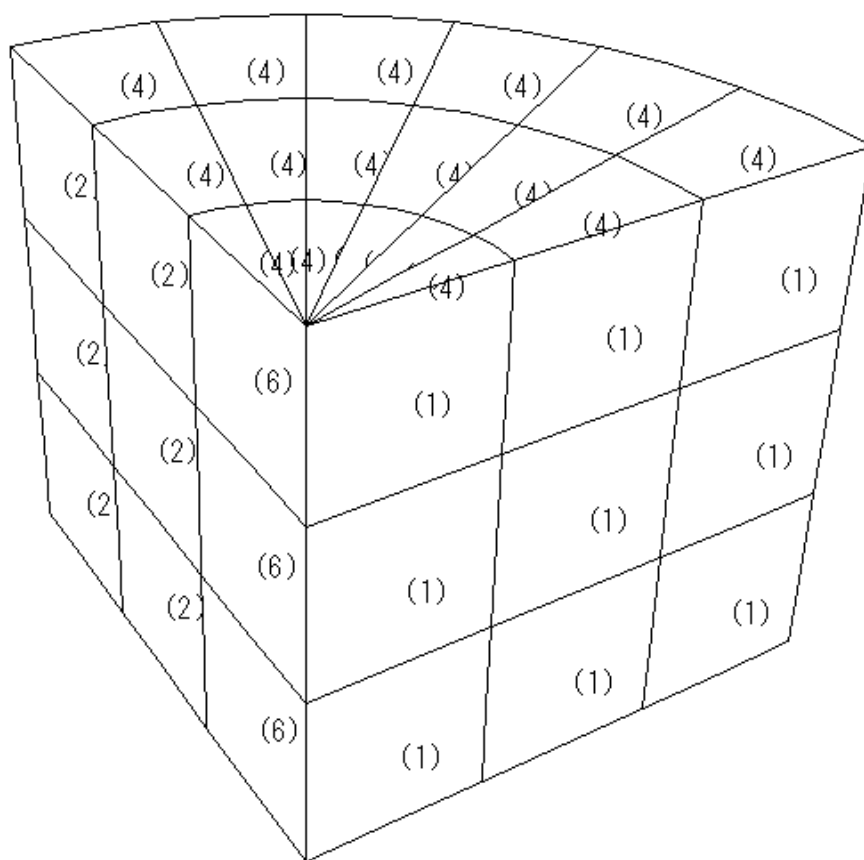


図7-7 軸回転体の等濃度線図（非定常解析、共通辺表示有り）

[補足] 中心穴なし軸回転体の注意事項（六面体要素の場合）

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

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



注) ()内は面番号

付図 中心穴なし軸回転体の構造図例（1/4軸回転体）

[参考文献]

<A> BASIC言語

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

 数値計算・グラフィックス

- B1) 「数学公式・数表ハンドブック」、スpeerゲル 著、氏家 勝巳 訳、
マグローヒル ブック (株)、1984
- B2) 「数値解析とその応用」、名取 亮、
コロナ社、1992
- B3) 「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「流体力学」、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) 「拡散と移動現象」、宝沢光紀他、化学工学会監修、
培風館、2010
- C15) 「流体力学 非圧縮性流体の流れ学」、中山 司、
森北出版（株）、2015