The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	α-FLOWによるノズル先端の流れの解析
Author(s)	島田, 尚一; 稲垣, 耕司
Citation	大阪大学大型計算機センターニュース. 1998, 108, p. 158-181
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/66279
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

α-FLOWによるノズル先端の流れ解析

大阪大学大学院工学研究科精密科学専攻　島田尚一、稲垣耕司

1．はじめに

細い円筒ノズルから対向する平面に向かって吹き出す液体の流れを解析する手法を捜していたところに、α-FLOW というＳＸ－４用の非常に優れた流体解析ソフトが大型計算機センターに導入されると聞いて、それを使ってみることを思い立った。また、幸いにもモニターに採用していただくことができ、α-FLOW をまともに使えるようになるまでの経済的負担も軽くなった。あらためて謝意を表する次第である。ここでは私共が行った解析の一例を示して報告書とさせていただく。今後α-FLOWを使う方々の参考になれば幸いである。

解析したモデルを図１に示す。外径１mm、内径 0.5mmの円筒ノズルから５気圧の圧力で吐出される水が数十μm離れてノズルと対向する試料表面との間でどのように流れるのかを解析した。

2．入力ファイル

α-FLOWの入力ファイルは以下に示す形式になっている。

```
%COORD-SYS          CARTESIAN
%FILE-TYPE          SFF
%FILE-SUBTYPE       COND
%FILE-VERSION       0.10
%STAMP              1995:10:24:16:01:57
%MESH-STAMP         1994:06:13:10:35:01
%STRUCTURE-STAMP    1994:06:10:17:11:55
%STRUCTURE          DEMO
%N-GRID             63504
%NI-GRID            56
%NJ-GRID             5
%NK-GRID            44
%NBLOCK             1
%DIMENSION          3
%CASE               sample
%INPUT-STAMP        1995:10:24:16:01:57
%MODULE             INCOMP
%FLUID-MAIN         EXIST
%FLUID-TIME         NONE
%MATTER-MAIN        NONE
%MATTER-TIME        NONE
```

```
%MOVE-GRID              NONE
%LINEAR-EQ-SOLUTION     MICCG
%GOVERNING-EQUATION     NO-CALCULATE
%TURBULENCE-MODEL       NO-CALCULATE
%START-TIME             0
%TIME-CONTROL           AUTO
%END-TIME               200
%TIME-INTEGRATION       EULER
%FLUID-MAIN-V           VELOCITY
%FLUID-MAIN-S           PRESSURE
%%
```

ここから解析条件の指定を行う

BLOCK　ANALYSIS
解析条件の指定

　BLOCK　COORDINATE
　座標系（直交座標、円筒座標）と周期境界の指定
　'CYLINDRIC' 'NO-PERIODIC-Y'
　（円筒座標系）（Y方向を周期境界条件にしない）
　円筒座標を指定。円筒座標系ではY方向をθ方向と読み替える。
　θ軸に周期境界を設定しない。
　　周期境界を設定した面には他の境界条件を設定できない。
　ENDBLOCK

　BLOCK　CALCULATION
　計算方法の指定
　　BLOCK　MOMENTUM.DEC
　　運動方程式を解くか解かないかの指定
　　'CALCULATE' 'GRAVITY' 'NO-BODY' 'NO-RESIST'
　　（運動方程式を解く）（重力項を計算する）（外力項を計算しない）（抵抗力を計算しない）
　　重力項を計算する場合には、密度の計算法、重力加速度、流体の物性値を指定する。
　　ENDBLOCK
　　BLOCK　ENERGY.DEC
　　エネルギー方程式を解くか解かないかの指定
　　'NO-CALCULATE' 'NO-PRESSURE'
　　（エネルギー方程式を計算しない)(圧力項を計算しない）
　　ENDBLOCK
　　BLOCK　TURBULENT.DEC

乱流計算の有無を指定
'NO-CALCULATE'
(乱流モデルを計算しない)
ENDBLOCK
BLOCK　POROUS
ポーラスメディア使用の有無を指定
'NO-POROUS'
(ポーラスメディアを使用しない)
ENDBLOCK
BLOCK　DENSITY
流体の密度の計算方法を指定
'CONSTANT'　1.0E03　0
(一定)　(水の密度)　(重力項を計算する際に必要な基準温度)
ENDBLOCK
ENDBLOCK

BLOCK　RUN.MODE
解析実行モードの区別　(各収束判定の既定値は、10の6乗である)
'STEADY'　'1'　'AND'
(定常解析モード)(収束判定を行うタイムステップ)(すべての方程式の解が収束した場合に終了)
'SQUARE'
(2乗ノルムで計算)
1E-06　1E-06
(速度の収束判定値 相対誤差(無次元))(速度の収束判定値 相対誤差(kg/m3, m/s, s))
1E-06　1E-06
(圧力の収束判定値 相対誤差(無次元))(圧力の収束判定値 相対誤差(kg/m3, Pa , s))
1E-06　1E-06
(温度の収束判定値 相対誤差(無次元))(温度の収束判定値 相対誤差>0.0)
1E-06　1E-06
(乱流エネルギーの収束判定値 相対誤差(無次元))(乱流エネルギーの収束判定値
相対誤差(kg/m3, m^2/s^2 , s))
1E-06　1E-06
(乱流エネルギーの散逸率の収束判定条件(無次元))(乱流エネルギーの散逸率の
収束判定条件)(kg/m3, m^2/s^2 , s))
ENDBLOCK

BLOCK　TIME.CONTROL
解析時間に関する指定
BLOCK　START
開始時刻の指定

```
                0      (計算解析時刻(s))
    ENDBLOCK
    BLOCK   RESTART
    リスタートファイルの指定
     'NO-RESTART'                0                0
    (リスタートを計算をしない)(リスタート時間)(リスタート開始ステップ)
    ENDBLOCK
    BLOCK   STEP
    時間積分における時間刻み幅の設定
     'AUTO'          1                0                0.5
    (自動時間刻み)(時間刻みを再設定するタイムステップ間隔))(安全係数)
     1.0E-15            1000                0
    (時間刻み幅下限値)(時間刻み幅上限値)(メンバーシップ関数の下限値)
      0                        0                0
    (メンバーシップ関数の下限値)(規格化された基準変位)(標準的なクーラン数)
    ENDBLOCK
    BLOCK   END
    計算終了時刻の指定
          200          2000              -1
         (計算終了時刻)(計算終了ステップ)(CPU 制限値(s))
    ENDBLOCK
ENDBLOCK

BLOCK   TIME.INTEGRAL
時間積分の方法についての指定を行う
 'EULER'                0.1
(オイラー陽解法)     (ルンゲクッタ法の係数)
ENDBLOCK
BLOCK   CONVECTION
対流項の指定
    BLOCK   PARAMETER
    運動方程式、エネルギー方程式、k－ε方程式においてあらわれる対流項スキームの
    パラメーターついての指定
          1                        1
    (ドナーセルパラメータの指定(運動方程式)) (ドナーセルパラメータの指定(運動方程式))
          1                        1
    (ドナーセルパラメータの指定(k－ε方程式))(通常セルで用いる QUICK スキーム
      パラメータ)
          1                        1
    (境界セルで用いる低次スキームのパラメータ(QUICK スキーム))(通常セルで用い 3 次風上
```

差分のパラメータ）

1

（境界セルで用いる低次スキームのパラメータ(3次風上差分)）

ENDBLOCK

ENDBLOCK

BLOCK　FORCE

外力についての指定

BLOCK　GRAVITY

重力加速度の指定

0　　0　　-9.8

（X方向の重力加速度）（Y 方向の重力加速度）（Z方向の重力加速度）

ENDBLOCK

ENDBLOCK

BLOCK　POISSON.SOLVER

連立一次方程式の解法およびパラメータの設定

'SCG'　　'SQUARE'　　1E-10

(SCG解法)(2乗ノルムで計算)(絶対誤差判定値(1/s))

10000　　5

(行列解法の反復回数の上限値)(未収束時の再計算回数上限値)

ENDBLOCK

ENDBLOCK

解析条件の指定終わり

BLOCK　MATERIAL

流体の物性値の決定

BLOCK　FLUID

流体の密度、粘性係数、比熱、熱伝導率を入力する。

'CONSTANT'　　1.0E03

（密度一定）　　（水の密度）

''

0

（多項式の係数）

'CONSTANT'　　1.307E-03

（粘性係数一定）　　（水の粘性係数）

''

0

（多項式の係数）

'CONSTANT'　　4.2E3

（比熱係数一定）　　（水の比熱係数）
''

0
（多項式の係数）
'CONSTANT'　　6.0E-1
（熱伝導率一定）　　（水の熱伝導率）
''

0
（多項式の係数）
ENDBLOCK
ENDBLOCK

BLOCK　GRID.DATA
ここからは計算モデルの格子点データを入力する。図１に示すモデルの格子点を図２に示すように設定した。
最初は格子データの指定(単位はm)

56　　2　　44
(X方向の格子数)(Y方向の格子数)(Z方向の格子数)

X方向の座標

0	0.000025	0.000050
0.000075	0.000100	0.000125
0.000150	0.000175	0.000200
0.000225	0.000250	0.000275
0.000300	0.000325	0.000350
0.000375	0.000400	0.000425
0.000450	0.000475	0.000500
0.000525	0.000550	0.000575
0.000600	0.000625	0.000650
0.000675	0.000700	0.000725
0.000750	0.000775	0.000800
0.000900	0.001000	0.001200
0.001400	0.001600	0.001800
0.002000	0.002500	0.003000
0.004000	0.005000	0.006000
0.007000	0.008000	0.009000
0.010000	0.020000	0.030000
0.040000	0.050000	0.060000
0.080000	0.100000	

Y（θ）方向の座標（θ座標の単位は度）

0　　360

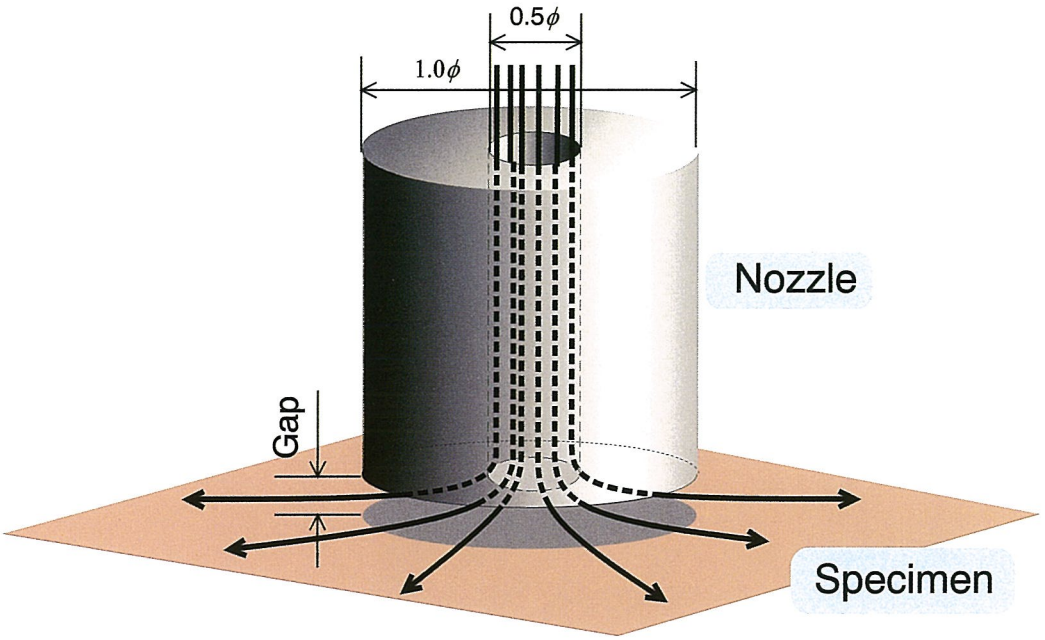


図１　解析したいノズル先端の流れの様子

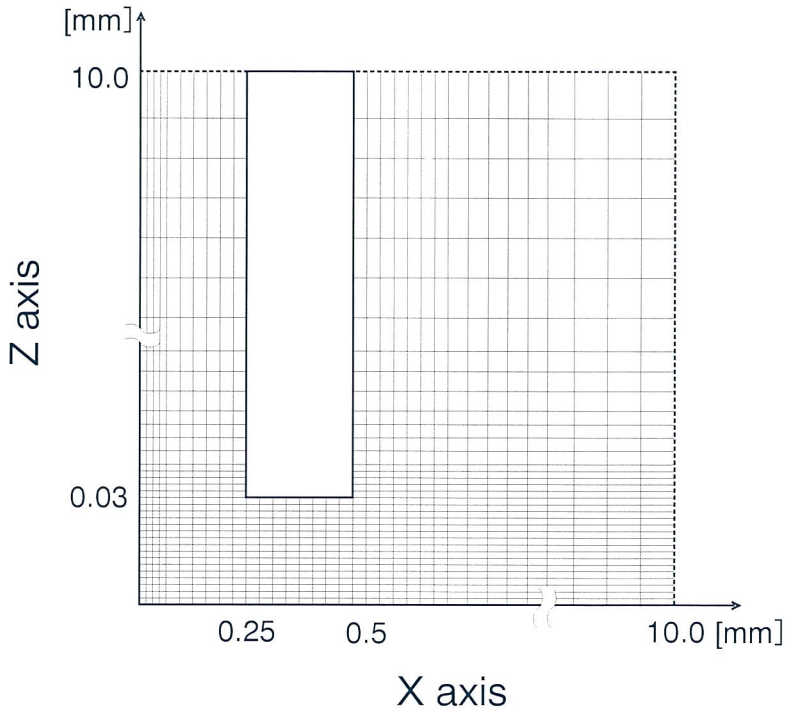


図２　解析に使った格子モデル

Ｚ方向の座標

0	0.000003	0.000006
0.000009	0.000012	0.000015
0.000018	0.000021	0.000024
0.000027	0.000030	0.000035
0.000040	0.000045	0.000050
0.000055	0.000060	0.000065
0.000070	0.000075	0.000080
0.000085	0.000090	0.000095
0.000100	0.000110	0.000120
0.000130	0.000140	0.000150
0.000200	0.000300	0.000400
0.000500	0.000600	0.000800
0.001000	0.002000	0.003000
0.004000	0.005000	0.006000
0.008000	0.010000	

ENDBLOCK

BLOCK　OBSTACLE.DATA

障害物の指定

指定の仕方

直方体の頂点は８点あるが、この８点のうち、X、Y、Ｚの各方向の格子点番号について、どの格子点番号も一番小さくなる点と、逆にどの格子点番号も一番大きくなる点の２点を選ぶ。指定する直方体はこの２点を対角にするような領域になる。逆に２点を選べば、この２点を対角とする直方体を指定することができる。具体的な方法は次の通り。

各方向の格子点番号が一番小さくなる点の、実際の格子点番号を、X、Y、Ｚの各方向毎に、ＩＳ，ＪＳ，ＫＳとし、同様に各方向の格子点番号が一番大きくなる点の、格子点番号をＩＥ，ＪＥ，ＫＥとすると、（ＩＳ，ＪＳ，ＫＳ、ＩＥ，ＪＥ，ＫＥ）でひとつの領域が指定できる。

BLOCK　SOLID

立体障害物の指定

1

（立体障害物の数）

11　1　11　21　2　44

（立体障害物の領域の指定）

ENDBLOCK

BLOCK　PLATE

平面障害物の指定

1

（平面障害物の数）

```
        1       1       1      56       2       1
          (平面障害物の領域の指定)
    ENDBLOCK
ENDBLOCK

BLOCK    AREA.NAME
 解析領域の指定
    BLOCK    PLATE
    平面内に厚みのない領域を設定する
     'NOZZLE'
    (平面領域の名称)
          3
    (BCNAME で指定する領域の数)
         11       1      11      11       2      44
         21       1      11      21       2      44
         11       1      11      21       2      11
                (平面領域の指定)
    ENDBLOCK
    BLOCK    PLATE
    平面内に厚みのない領域を設定する
     'BOTTOM'
   (平面領域の名称)
          1
   (BCNAME で指定する領域の数)
          1       1       1      56       2       1
                (平面領域の指定)
    ENDBLOCK
    BLOCK    PLATE
    平面内に厚みのない領域を設定する
     'IN'
    (平面領域の名称)
          1
     (BCNAME で指定する領域の数)
          1       1      44      11       2      44
                (平面領域の指定)
    ENDBLOCK
    BLOCK PLATE
     'OUT'
    (平面領域の名称)
          2
```

```
(BCNAME で指定する領域の数)
      21      1     44     56      2     44
      56      1      1     56      2     44
         (平面領域の指定)
   ENDBLOCK
   BLOCK   PLATE
   平面内に厚みのない領域を設定する
    'WALL'
    (平面領域の名称)
       6
   (BCNAME で指定する領域の数)
       1      1      1     11      1     44
      11      1      1     21      1     11
      21      1      1     56      1     44
       1      2      1     11      2     44
      11      2      1     21      2     11
      21      2      1     56      2     44
              (平面領域の指定)
   ENDBLOCK
ENDBLOCK

BLOCK   BOUNDARY
境界条件の指定
   BLOCK   VELOCITY
   流速についての指定
      BLOCK   WALL
       流速境界条件の設定
       'IN' 'FIX' 'CONSTANT' 'CONSTANT' 'CONSTANT'
      (面領域名称)(流速固定)(X 方向流速一定) (Y 方向流速一定) (Z 方向流速一定)
        0                    0                    -6.2 ' ' ' ' ' '
      (X 方向流速値)       (Y 方向流速値)       (Z 方向流速値)
      ENDBLOCK
      BLOCK   WALL
      流速境界条件の設定
       'NOZZLE' 'NON-SLIP' 'CONSTANT' 'CONSTANT' 'CONSTANT'
      (面領域名称)(流速固定)(X 方向流速一定) (Y 方向流速一定) (Z 方向流速一定)
        0                    0                    0 ' ' ' ' ' '
      (X 方向流速値)       (Y 方向流速値)       (Z 方向流速値)
      ENDBLOCK
      BLOCK   WALL
```

```
        流速境界条件の設定
         'BOTTOM' 'NON-SLIP' 'CONSTANT' 'CONSTANT' 'CONSTANT'
        (面領域名称)(流速固定)(X方向流速一定)(Y方向流速一定)(Z方向流速一定)
           0                0                0 ' ' ' ' ' '
        (X方向流速値)      (Y方向流速値)      (Z方向流速値)
        ENDBLOCK
        BLOCK   WALL
        流速境界条件の設定
         'OUT' 'FREE' 'CONSTANT' 'CONSTANT' 'CONSTANT'
        (面領域名称)(流速固定)(X方向流速一定)(Y方向流速一定)(Z方向流速一定)
           0                0                0 ' ' ' ' ' '
        (X方向流速値)      (Y方向流速値)      (Z方向流速値)
        ENDBLOCK
        BLOCK   WALL
        流速境界条件の設定
         'WALL' 'SLIP' 'CONSTANT' 'CONSTANT' 'CONSTANT'
        (面領域名称)(流速固定)(X方向流速一定)(Y方向流速一定)(Z方向流速一定)
           0                0                0 ' ' ' ' ' '
        (X方向流速値)      (Y方向流速値)      (Z方向流速値)
        ENDBLOCK
    ENDBLOCK
ENDBLOCK

BLOCK   INITIAL
初期条件の指定
    BLOCK   VELOCITY
    流速の初期条件の指定
        BLOCK   DEFAULT
        流速の初期条件の既定値
            0                0                0
        X方向成分        Y方向成分        Z方向成分
        ENDBLOCK
    ENDBLOCK
    BLOCK   PRESSURE
    流速の初期条件の指定
        BLOCK   DEFAULT
        流速の初期条件の既定値
                1E05
            (圧力の初期値)
        ENDBLOCK
```

```
    ENDBLOCK
ENDBLOCK

BLOCK    OUT.FILE
 出力ファイルの指定
    BLOCK    RESULT
    時間増分ノルムを標準出力するタイムステップ間隔を設定する。
        100
    (出力タイムステップ間隔)
    ENDBLOCK
BLOCK    RESTART
リスタートファイルへの計算結果出力方法を設定する。
    'STEP'                    0                    0                    0      1000
   (タイムステップでの出力)(出力開始時刻)(出力終了時刻) (出力時間間隔)(出力開始
    ステップ)
     12000    1000
   (出力終了ステップ)(出力ステップ間隔)
ENDBLOCK
    BLOCK    L/P
    標準出力
     'STEP'                    0                    0                    0                    1000
    (タイムステップでの出力)(出力開始時刻)(出力終了時刻) (出力時間間隔)(出力開始
     ステップ)
      12000                1000                'VELOCITY-X'                'XZ'        -1
    (出力終了ステップ)(出力ステップ間隔)(セル面におけるX方向成分)(出力断面)(全断面
     出力)
    ENDBLOCK
    BLOCK    L/P
    標準出力
     'STEP'                    0                    0                    0    1000
    (タイムステップでの出力)(出力開始時刻)(出力終了時刻) (出力時間間隔)(出力開始
     ステップ)
      12000                1000                'VELOCITY-Y'                'XZ'        -1
    (出力終了ステップ)(出力ステップ間隔)(セル面におけるY方向成分)(出力断面)(全断面
     出力)
    ENDBLOCK
    BLOCK    L/P
    標準出力
    'STEP'                    0                    0                    0    1000
    (タイムステップでの出力)(出力開始時刻)(出力終了時刻) (出力時間間隔)(出力開始
```

ステップ)
12000 1000 'VELOCITY-Z' 'XZ' -1
(出力終了ステップ)(出力ステップ間隔)(セル面におけるZ方向成分)(出力断面)(全断面出力)
ENDBLOCK
BLOCK L/P
標準出力
'STEP' 0 0 0 1000
(タイムステップでの出力)(出力開始時刻)(出力終了時刻)(出力時間間隔)(出力開始ステップ)
12000 1000 ' PRESSURE ' 'XZ' -1
(出力終了ステップ)(出力ステップ間隔)(セル面における圧力)(出力断面)(全断面出力)
ENDBLOCK
BLOCK GRAPHIC
解析結果ファイルへの解析結果の出力方法を設定する。
'STEP' 0 0 0 1000
(タイムステップでの出力)(出力開始時刻)(出力終了時刻)(出力時間間隔)(出力開始ステップ)
12000 1000 'VELOCITY'
(出力終了ステップ)(出力ステップ間隔) (流速ファイルの出力)
ENDBLOCK
BLOCK GRAPHIC
解析結果ファイルへの解析結果の出力方法を設定する。
'STEP' 0 0 0 1000
(タイムステップでの出力)(出力開始時刻)(出力終了時刻)(出力時間間隔)(出力開始ステップ)
12000 1000 'PRESSURE'
(出力終了ステップ)(出力ステップ間隔) (圧力ファイルの出力)
ENDBLOCK
ENDBLOCK

以上が入力ファイルである。次に計算結果の出力ファイルを示す。

3. 出力ファイル

```
----------------------------------------
      ALFA-FLOW/SX/BF Release 3.1

Copyright (c) 1995,1996 NEC Corporation
      All Rights Reserved.
----------------------------------------
1
```

```
**************************************************
*                                                *
*                @@@@@@  @         @@@    @      @*
*        @       @    @  @       @    @   @      @*
*   @@@  @       @       @       @    @   @     @ *
*  @   @@        @@@@    @      @     @  @  @  @  *
* @    @   @@@  @       @       @     @   @ @@ @   *
* @   @@        @       @       @    @    @@ @@    *
*  @@@  @      @@      @@@@@@@   @@@      @  @     *
*                                                *
**************************************************
**************************************************


  FELCRT : INCOMPRESSIBLE FLOW. (CARTESIAN)

**************************************************
**************************************************
1
1*****************************************************************************************************************
 *    ANALYSIS CONDITION READ.
 *****************************************************************************************************************
```

入力条件の確認———入力ファイルのまとめを出力

```
0 ********** ANALYSIS CONDITION READ START.

 ==========
 FILE START(入力ファイルでの条件)
 ==========
   :--ANALYSIS
   :    :--COORDINATE
   :    :--CALCULATION
   :    :    :--MOMENTUM.DEC
   :    :    :--ENERGY.DEC
   :    :    :--TURBULENT.DEC
   :    :    :--POROUS
   :    :    :--DENSITY
   :    :--RUN.MODE
   :    :--TIME.CONTROL
   :    :    :--START
   :    :    :--RESTART
   :    :    :--STEP
   :    :    :--END
   :    :--TIME.INTEGRAL
   :    :--CONVECTION
   :    :    :--PARAMETER
   :    :--FORCE
   :    :    :--GRAVITY
   :    :--POISSON.SOLVER
   :--MATERIAL
   :    :--FLUID
   :--GRID.DATA
   :--OBSTACLE.DATA
   :    :--SOLID
   :    :--PLATE
   :--AREA.NAME
   :    :--PLATE
   :    :--PLATE
   :    :--PLATE
   :    :--PLATE
   :    :--PLATE
   :--BOUNDARY
   :    :--VELOCITY
```

```
  :    :    :--WALL
  :    :    :--WALL
  :    :    :--WALL
  :    :    :--WALL
  :    :    :--WALL
  :--INITIAL
  :    :--VELOCITY
  :    :    :--DEFAULT
  :    :--PRESSURE
  :    :    :--DEFAULT
  :--OUT.FILE
  :    :--RESULT
  :    :--L/P
  :    :--L/P
  :    :--L/P
  :    :--L/P
  :    :--L/P
  :    :--GRAPHIC
  :    :--GRAPHIC
========
FILE END
========

 ********** ANALYSIS CONDITION READ END. CODE= 0
1*****************************************************************************************************************
*    ANALYSIS CONDITION CHECK.
*****************************************************************************************************************
```

解析条件のチェック———入力ファイルのまとめ

```
0 ********** ANALYSIS CONDITION CHECK START.

 *** TABLE DATA ***
   NUMBER OF DATA  =       0

 *** ANALYSIS CONTROL ***
   RUN.MODE = STEADY
       CRITERION.TYPE  = AND
       CRITERION.NORM  = SQUARE
       NUMBER OF SKIP  =       1
       VELOCITY    (R,A)=   1.00000000D-06  1.00000000D-06
       PRESSURE    (R,A)=   1.00000000D-06  1.00000000D-06
       TEMPERATURE(R,A)=   1.00000000D-06  1.00000000D-06
       K           (R,A)=   1.00000000D-06  1.00000000D-06
       EPS         (R,A)=   1.00000000D-06  1.00000000D-06
   TIME.CONTROL
       START.TIME      =   0.00000000D+00
       RESTART         = NOT.USE
       STEP.TYPE       = AUTO
           SAFETY      =   5.00000000D-01
           NUMBER.SKIP =       1
           VAL(MIN,MAX)=   1.00000000D-15  1.00000000D+03
       END.TIME        =   2.00000000D+02
       END.CPUMAX      =  -1.00000000D+00
       END.STEP        =    2000

 *** NUMERICAL SOLUTION ***
   TIME.INTEGRAL = EULER
   CONVECTION.SCHEME
       MOMENTUM = DONOR
           PARAM(H,L)  =   1.00000000D+00  0.00000000D+00
       ENERGY   = DONOR
           PARAM(H,L)  =   1.00000000D+00  0.00000000D+00
       K-EPS    = DONOR
```

```
          PARAM(H,L)  =   1.00000000D+00  0.00000000D+00
  POISSON.SOLVER = SCG
      NORM-TYPE        = SQUARE
      CRITERION(ABS)  =   1.00000000D-10
      MAX(ITR,RESOLV) =   10000       5

*** EQUATION & MODEL ***
  MOMENTUM   = CALCULATE
      CONVECTION
      VISCOSITY
      PRESSURE
      GRAVITY
      NO-BODY
      NO-RESIST
  ENERGY     = CALCULATE
      CONVECTION
      CONDUCTION
      NO-PRESSURE
      SOURCE
  TURBULENT  = NO-CALCULATE
  POROUS     = NO-CALCULATE
  DENSITY    = CONSTANT
      CONSTANT-DENS   =   1.00000000D+03
  WALL.MODEL = LOG-LAW(NEWTON)
      CLGK,CLG        =   4.00000000D-01  5.50000000D+00
  THERMAL.CONDUCT.MODEL
      NUMBER OF MODEL =       0

*** MATERIAL & FORCE ***
  MATERIAL-FLUID
      DENSITY
          CONSTANT    =   1.00000000D+03
      VISCOSITY
          CONSTANT    =   1.30700000D-03
      SPECIFIC-HEAT-P
          CONSTANT    =   4.20000000D+03
      THERMAL-CONDUCT
          CONSTANT    =   6.00000000D-01
  NUMBER OF MATTER =       0
  FORCE TYPE = GRAVITY
      X : CONSTANT    =   0.00000000D+00
      Y : CONSTANT    =   0.00000000D+00
      Z : CONSTANT    =  -9.80000000D+00
  FORCE TYPE = BODY
      X : CONSTANT    =   0.00000000D+00
      Y : CONSTANT    =   0.00000000D+00
      Z : CONSTANT    =   0.00000000D+00
  FORCE TYPE = RESIST-FRICTION
      NUMBER OF AREA  =       0
  FORCE TYPE = RESIST-DRAG
      NUMBER OF AREA  =       0

*** COORDINATE & GRID ***
  COORDINATE.TYPE = CYLINDRIC
  PERIODIC-Y      = NO
  NUMBER OF X-GRID=      56
      X(      1) =  0.00000000D+00      X(      2) =  2.50000000D-05
      X(      3) =  5.00000000D-05      X(      4) =  7.50000000D-05
      X(      5) =  1.00000000D-04      X(      6) =  1.25000000D-04
      X(      7) =  1.50000000D-04      X(      8) =  1.75000000D-04
      X(      9) =  2.00000000D-04      X(     10) =  2.25000000D-04
      X(     11) =  2.50000000D-04      X(     12) =  2.75000000D-04
      X(     13) =  3.00000000D-04      X(     14) =  3.25000000D-04
      X(     15) =  3.50000000D-04      X(     16) =  3.75000000D-04
```

```
    X(     17) =  4.00000000D-04      X(     18) =  4.25000000D-04
    X(     19) =  4.50000000D-04      X(     20) =  4.75000000D-04
    X(     21) =  5.00000000D-04      X(     22) =  5.25000000D-04
    X(     23) =  5.50000000D-04      X(     24) =  5.75000000D-04
    X(     25) =  6.00000000D-04      X(     26) =  6.25000000D-04
    X(     27) =  6.50000000D-04      X(     28) =  6.75000000D-04
    X(     29) =  7.00000000D-04      X(     30) =  7.25000000D-04
    X(     31) =  7.50000000D-04      X(     32) =  7.75000000D-04
    X(     33) =  8.00000000D-04      X(     34) =  9.00000000D-04
    X(     35) =  1.00000000D-03      X(     36) =  1.20000000D-03
    X(     37) =  1.40000000D-03      X(     38) =  1.60000000D-03
    X(     39) =  1.80000000D-03      X(     40) =  2.00000000D-03
    X(     41) =  2.50000000D-03      X(     42) =  3.00000000D-03
    X(     43) =  4.00000000D-03      X(     44) =  5.00000000D-03
    X(     45) =  6.00000000D-03      X(     46) =  7.00000000D-03
    X(     47) =  8.00000000D-03      X(     48) =  9.00000000D-03
    X(     49) =  1.00000000D-02      X(     50) =  2.00000000D-02
    X(     51) =  3.00000000D-02      X(     52) =  4.00000000D-02
    X(     53) =  5.00000000D-02      X(     54) =  6.00000000D-02
    X(     55) =  8.00000000D-02      X(     56) =  1.00000000D-01
 NUMBER OF Y-GRID=       2
    Y(      1) =  0.00000000D+00      Y(      2) =  3.60000000D+02
 NUMBER OF Z-GRID=      44
    Z(      1) =  0.00000000D+00      Z(      2) =  3.00000000D-06
    Z(      3) =  6.00000000D-06      Z(      4) =  9.00000000D-06
    Z(      5) =  1.20000000D-05      Z(      6) =  1.50000000D-05
    Z(      7) =  1.80000000D-05      Z(      8) =  2.10000000D-05
    Z(      9) =  2.40000000D-05      Z(     10) =  2.70000000D-05
    Z(     11) =  3.00000000D-05      Z(     12) =  3.50000000D-05
    Z(     13) =  4.00000000D-05      Z(     14) =  4.50000000D-05
    Z(     15) =  5.00000000D-05      Z(     16) =  5.50000000D-05
    Z(     17) =  6.00000000D-05      Z(     18) =  6.50000000D-05
    Z(     19) =  7.00000000D-05      Z(     20) =  7.50000000D-05
    Z(     21) =  8.00000000D-05      Z(     22) =  8.50000000D-05
    Z(     23) =  9.00000000D-05      Z(     24) =  9.50000000D-05
    Z(     25) =  1.00000000D-04      Z(     26) =  1.10000000D-04
    Z(     27) =  1.20000000D-04      Z(     28) =  1.30000000D-04
    Z(     29) =  1.40000000D-04      Z(     30) =  1.50000000D-04
    Z(     31) =  2.00000000D-04      Z(     32) =  3.00000000D-04
    Z(     33) =  4.00000000D-04      Z(     34) =  5.00000000D-04
    Z(     35) =  6.00000000D-04      Z(     36) =  8.00000000D-04
    Z(     37) =  1.00000000D-03      Z(     38) =  2.00000000D-03
    Z(     39) =  3.00000000D-03      Z(     40) =  4.00000000D-03
    Z(     41) =  5.00000000D-03      Z(     42) =  6.00000000D-03
    Z(     43) =  8.00000000D-03      Z(     44) =  1.00000000D-02

*** OBSTACLE ***
 NUMBER OF SOLID =       1
    SOLID  (      1) =     11     1    11    21     2    44
 NUMBER OF PLATE =       1
    PLATE-Z(      1) =      1     1     1    56     2     1

*** AREA ***
 NUMBER OF AREA  =       5
 AREA NAME       = NOZZLE
    PLATE-X(      1) =     11     1    11    11     2    44
    PLATE-X(      2) =     21     1    11    21     2    44
    PLATE-Z(      3) =     11     1    11    21     2    11
 AREA NAME       = BOTTOM
    PLATE-Z(      1) =      1     1     1    56     2     1
 AREA NAME       = IN
    PLATE-Z(      1) =      1     1    44    11     2    44
 AREA NAME       = OUT
    PLATE-Z(      1) =     21     1    44    56     2    44
```

```
      PLATE-X(      2) =     56      1      1     56      2     44
  AREA NAME        = WALL
      PLATE-Y(      1) =      1      1      1     11      1     44
      PLATE-Y(      2) =     11      1      1     21      1     11
      PLATE-Y(      3) =     21      1      1     56      1     44
      PLATE-Y(      4) =      1      2      1     11      2     44
      PLATE-Y(      5) =     11      2      1     21      2     11
      PLATE-Y(      6) =     21      2      1     56      2     44

*** BOUNDARY CONDITION ***
  BOUNDARY CONDITION OF VELOCITY
      DEFAULT TYPE     = SLIP
      NUMBER OF AREA   =       5
      AREA. PLATE NAME = IN
          BOUND. TYPE  = FIX
          FIX. VALUE   =   0. 00000000D+00
          FIX. VALUE   =   0. 00000000D+00
          FIX. VALUE   =  -6. 20000000D+00
      AREA. PLATE NAME = NOZZLE
          BOUND. TYPE  = NON-SLIP
      AREA. PLATE NAME = BOTTOM
          BOUND. TYPE  = NON-SLIP
      AREA. PLATE NAME = OUT
          BOUND. TYPE  = FREE
      AREA. PLATE NAME = WALL
          BOUND. TYPE  = SLIP
  BOUNDARY CONDITION OF TEMPERATURE
      DEFAULT TYPE     = ADIABATIC
      NUMBER OF AREA   =       0
  BOUNDARY CONDITION OF K
      DEFAULT TYPE     = FREE
      NUMBER OF AREA   =       0
  BOUNDARY CONDITION OF EPSILON
      DEFAULT TYPE     = FREE
      NUMBER OF AREA   =       0
  BOUNDARY CONDITION OF HEAT. SOURCE
      NUMBER OF AREA   =       0
  BOUNDARY CONDITION OF HEAT. S-PIECE
      NUMBER OF AREA   =       0
  BOUNDARY CONDITION OF PRESS. FIX. POINT
      NUMBER OF AREA   =       0

*** INITIAL CONDITION ***
  INITIAL CONDITION OF VELOCITY
      DEFAULT VALUE    =  0. 00000000D+00  0. 00000000D+00  0. 00000000D+00
      NUMBER OF AREA   =       0
  INITIAL CONDITION OF PRESSURE
      DEFAULT VALUE    =  1. 00000000D+05
      NUMBER OF AREA   =       0
  INITIAL CONDITION OF TEMPERATURE
      DEFAULT VALUE    =  0. 00000000D+00
      NUMBER OF AREA   =       0
  INITIAL CONDITION OF K
      DEFAULT VALUE    =  1. 00000000D-20
      NUMBER OF AREA   =       0
  INITIAL CONDITION OF EPSILON
      DEFAULT VALUE    =  1. 00000000D-20
      NUMBER OF AREA   =       0

*** OUTPUT FILE CONTROL ***
  FILE TYPE IS L/P
      NUMBER OF DATA   =       5
      STEP(STRT, END, H)=    1000  12000   1000
          PHYSICAL     = VELOCITY-X
```

```
        FACE(XZ). NUM=       -1
    STEP(STRT, END, H)=    1000  12000   1000
        PHYSICAL     = VELOCITY-Y
        FACE(XZ). NUM=       -1
    STEP(STRT, END, H)=    1000  12000   1000
        PHYSICAL     = VELOCITY-Z
        FACE(XZ). NUM=       -1
    STEP(STRT, END, H)=    1000  12000   1000
        PHYSICAL     = PRESSURE
        FACE(XY). NUM=       -1
    STEP(STRT, END, H)=    1000  12000   1000
        PHYSICAL     = PRESSURE
        FACE(XZ). NUM=       -1
  FILE TYPE IS RESULT
      SKIP NUMBER(CNV)=     100
  FILE TYPE IS RESTART
      NUMBER OF DATA  =       0
  FILE TYPE IS GRAPHIC
      NUMBER OF DATA  =       2
      STEP(STRT, END, H)=    1000  12000   1000
        PHYSICAL     = VELOCITY
      STEP(STRT, END, H)=    1000  12000   1000
        PHYSICAL     = PRESSURE
  FILE TYPE IS TIME. SERIES
      STEP(STRT, END, H)=       0   2000      1
      NUMBER OF AREA  =       0

*** OPTION ***
  VALUE OF ZERO   =   1. 00000000D-20
  IMPLICIT(V, T, K) =   0. 00000000D+00  0. 00000000D+00  0. 00000000D+00
  REPEAT. TYPE-X   = NO-REPEAT
  REPEAT. TYPE-Y   = NO-REPEAT
  REPEAT. TYPE-Z   = NO-REPEAT
  MEAN. CALC-TYPE  = NO-CALCULATE
      CALC(START, END) =   0. 00000000D+00  0. 00000000D+00
  MEAN. L/P-OUT
      NUMBER OF DATA  =       0
  MEAN. GRAPHIC-OUT
      NUMBER OF DATA  =       0
  NUMBER OF USER. F=       0

*** REAL-TIME VISUALIZATION ***
  NUMBER OF DATA  =       0
      ( OTHER SPECIFICATIONS ARE IGNORED )

*** LIBRARY READ ***
  PHYSICAL. TYPE = DENSITY          :NOT USE
  PHYSICAL. TYPE = VISCOSITY        :NOT USE
  PHYSICAL. TYPE = SPECIFIC HEAT (C:NOT USE
  PHYSICAL. TYPE = THERMAL CONDUCT :NOT USE

 ********** ANALYSIS CONDITION CHECK END.  CODE= 0
1*****************************************************************************************************************
 *    SET UP & SEMANTIC CHECK.
 *****************************************************************************************************************

0 ********** SEMANTIC CHECK START.
  ********** SEMANTIC CHECK END.  CODE= 0
```

解析結果

```
1*****************************************************************************************************************
```

```
*    CALCULATION INFORMATION.
*****************************************************************************************************************************

 POISSON'S EQUATION SOLVER LIMIT= 7.99564D-08
** GRAPHIC(INDEX) ** CODE=      0
 STEP=       1 : TIME= 1.69706D-06 : DELTA= 1.69706D-06 ITR= 1433 SERR= 7.85760D-08 BNORM= 4.42797D-04
 STEP=       2 : TIME= 1.78233D-06 : DELTA= 8.52653D-08 ITR= 1578 SERR= 7.24468D-08 BNORM= 1.22931D-04
 STEP=       3 : TIME= 1.86787D-06 : DELTA= 8.55420D-08 ITR=  930 SERR= 7.45273D-08 BNORM= 2.33082D-05

 (解析ステップ)  (解析時刻)        (時間刻み幅)      (求解反復回数)

 STEP=    1998 : TIME= 1.76732D-04 : DELTA= 8.82182D-08 ITR=    2 SERR= 6.42250D-08 BNORM= 2.13975D-07
 STEP=    1999 : TIME= 1.76821D-04 : DELTA= 8.82188D-08 ITR=    9 SERR= 7.81418D-08 BNORM= 1.90076D-07
 STEP=    2000 : TIME= 1.76909D-04 : DELTA= 8.82195D-08 ITR=  357 SERR= 6.85519D-08 BNORM= 2.01736D-07
                 ***** CONVERGENCE CONDITION INFOMATION. *****
                    DF.MAX          DF.SQRT      (   F.MAX          F.SQRT       )
  : VELOCITY  :   2.7157662D+08  1.6771829D+07 (  3.2896448D+04  6.5323210D+03 )
  : PRESSURE  :   3.1622264D-05  1.3367574D-05 (  6.1493621D+05  2.8404609D+05 )
  : ENTHALPY  :   0.0000000D+00  0.0000000D+00 (  0.0000000D+00  0.0000000D+00 )
** GRAPHIC(WRITE) ** TIME=    1.76909D-04 NSTEP=    2000 CODE=      0
1*****************************************************************************************************************************
*    ANALYSIS VALUE OUTPUT. ( TIME=    1.76909D-04 : STEP=    2000 : DELTA=    8.82195D-08 )
*****************************************************************************************************************************


0          VALUE OF VELOCITY-X -  各格子点における流速（X方向）I=X方向の格子番号,  K=Z方向の格子番号 , J= Y方向の格子番号
                                  図3に結果を示す

 J=   1

      I=     0          1          2          3          4          5          6          7          8          9

  K=   44:  0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00
  K=   43:  0.00000D+00-3.63034D-03-7.26117D-03-1.08929D-02-1.45260D-02-1.81605D-02-2.17909D-02-2.53500D-02-2.82280D-02-2.63127D-02
  K=   42:  0.00000D+00-6.20032D-04-1.23966D-03-1.85869D-03-2.47660D-03-3.09328D-03-3.70872D-03-4.32421D-03-4.90201D-03-4.79257D-03


  K=    2:  4.87783D-06 7.93751D-07 1.07357D-07-3.46354D-08-5.13875D-08-5.27363D-08 0.00000D+00
  K=    1:  1.50846D-06 7.33250D-08-1.78384D-07-2.55308D-07-2.85589D-07-2.86938D-07 0.00000D+00
  K=    0:  0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00
1*****************************************************************************************************************************
*    ANALYSIS VALUE OUTPUT. ( TIME=    1.76909D-04 : STEP=    2000 : DELTA=    8.82195D-08 )
*****************************************************************************************************************************


0          VALUE OF VELOCITY-Y -  各格子点における流速（Y方向）I=X方向の格子番号,  K=Z方向の格子番号 , J= Y方向の格子番号


 J=   1

      I=     0          1          2          3          4          5          6          7          8          9

  K=   44:  0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00
  K=   43:  0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00
  K=   42:  0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00


  K=    2:  0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00
  K=    1:  0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00
  K=    0:  0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00
1*****************************************************************************************************************************
*    ANALYSIS VALUE OUTPUT. ( TIME=    1.76909D-04 : STEP=    2000 : DELTA=    8.82195D-08 )
```

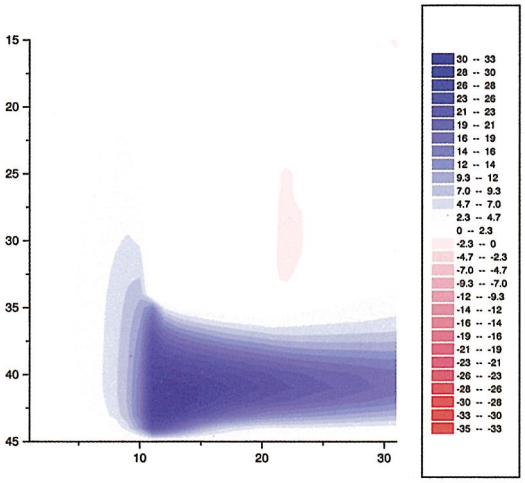


図３　Ｘ方向の速度分布

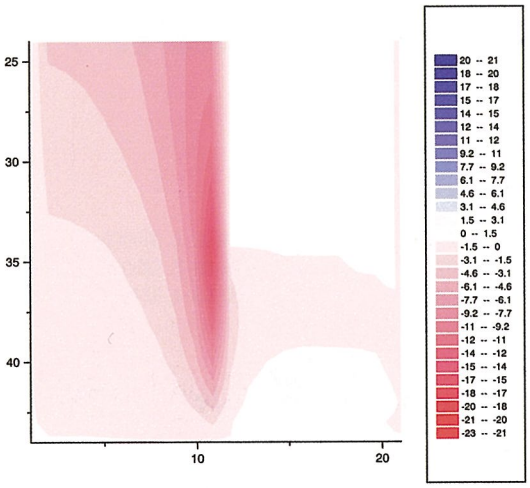


図４　Ｚ方向の速度分布

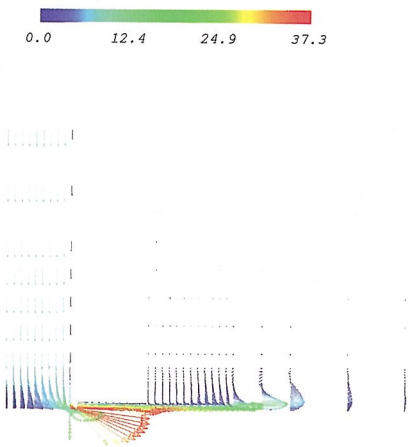


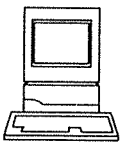
図５　速度ベクトルの分布
（図３、図４のデータを用いて
ベクトル表示したもの）

```
*****************************************************************************************************************

0          VALUE OF VELOCITY-Z -  各格子点における流速（Z方向）I=X方向の格子番号,  K=Z方向の格子番号 , J= Y方向の格子番号
                                  図4に示す

 J=    1

       I=     0           1           2           3           4           5           6           7           8           9

  K=   44:  0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00
  K=   43:  0.00000D+00-6.20000D+00-6.20000D+00-6.20000D+00-6.20000D+00-6.20000D+00-6.20000D+00-6.20000D+00-6.20000D+00-6.20000D+00
  K=   42:  0.00000D+00-6.78085D+00-6.78090D+00-6.78100D+00-6.78115D+00-6.78130D+00-6.78099D+00-6.77482D+00-6.71599D+00-6.30344D+00


  K=    2:  9.00880D-09-4.47225D-10 6.51679D-10-1.40557D-09-7.12438D-10-1.49377D-10 0.00000D+00
  K=    1:  3.07825D-09 9.28145D-10 1.17866D-09-3.48814D-10-1.06774D-09-4.99043D-10 0.00000D+00
  K=    0:  0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00
1*****************************************************************************************************************
 *    ANALYSIS VALUE OUTPUT. ( TIME=    1.76909D-04 : STEP=    2000 : DELTA=    8.82195D-08 )
 *****************************************************************************************************************


0          VALUE OF PRESSURE -  各格子点における圧力分布  I=X方向の格子番号,  K=Z方向の格子番号 , J= Y方向の格子番号


 J=    1

       I=     0           1           2           3           4           5           6           7           8           9

  K=   44:  0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00
  K=   43:  0.00000D+00 6.14909D+05 6.14910D+05 6.14911D+05 6.14913D+05 6.14915D+05 6.14918D+05 6.14922D+05 6.14926D+05 6.14931D+05
  K=   42:  0.00000D+00 6.06754D+05 6.06754D+05 6.06754D+05 6.06753D+05 6.06753D+05 6.06752D+05 6.06751D+05 6.06750D+05 6.06749D+05


  K=    2:  9.99730D+04 9.99765D+04 9.99777D+04 9.99808D+04 9.99851D+04 9.99915D+04 0.00000D+00
  K=    1:  9.99730D+04 9.99765D+04 9.99777D+04 9.99808D+04 9.99851D+04 9.99915D+04 0.00000D+00
  K=    0:  0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00 0.00000D+00


0


     ****************************
     *       MAXIMUM STEP       *
     ****************************


1*****************************************************************************************************************
 *    FINISH.
 *****************************************************************************************************************


0* DATA AREA INFORMATION
 ----------------------------------------
   REAL TYPE DATA    : MAX SIZE  :   2200000
                     : USED      :    362624
                     : REMAINING :   1837376

   INTEGER TYPE DATA : MAX SIZE  :   2200000
                     : USED      :    275459
```

```
                    : REMAINING :   1924541
 ---------------------------------------------


0* CPU TIME INFORMATION
 ---------------------------------------------
  TOTAL CPU TIME              1.1706E+02 SEC
 ---------------------------------------------
1

 ****************************************************
 ****************************************************
 N     N    000    RRRRRR   M     M     A     L
 NN    N   0   0   R     R  MM   MM   A   A   L
 N N   N  0     0  R    R   M M M M  A     A  L
 N  N  N  0     0  RRRR     M  M  M  AAAAAAA  L
 N   N N  0     0  R R      M     M  A     A  L
 N    NN   0   0   R   R    M     M  A     A  L
 N     N    000    R    RR  M     M  A     A  LLLLLLL

 EEEEEEE  N     N  DDDDD
 E        NN    N  D    D
 E        N N   N  D     D
 EEEEE    N  N  N  D     D
 E        N   N N  D     D
 E        N    NN  D    D
 EEEEEEE  N     N  DDDDD
 ****************************************************
 ****************************************************


   FELCRT : INCOMPRESSIBLE FLOW. (CARTESIAN)

 ****************************************************
 ****************************************************
1
出力ファイルの終わり
```

4. あとがき

以上にα-FLOW を用いてノズル先端での流れを解析した例を示した。我々は流体の専門家でもなければ計算機の専門家でもない。両方とも素人の我々が、機器を設計する上で、ノズル先端での流れを知る必要が出た時に、何でも解析できる優れ者の万能ソフトがあるぞといわれて気楽な気持ちで計算を始めたものである。しかし、素人が簡単に使えるだろうという考えは大変甘いものであった。まず、取り扱い説明書の言葉が解らない。計算機に関するかなりの専門家でなければ理解できない取り扱い説明書はいかがなものであろうか？　次に、研究室のワークステーションから計算をするための環境設定がこれまた大変面倒で解りにくい。最も、そんなことぐらい勉強してから計算機を使うのが常識だと言われれば返す言葉がないのも事実である。実際の解析に当たっても、説明書の内容から解析している内容の物理的意味が解らない。特に、境界条件などは、どのコマンドが物理的にどういう意味を持っているのかが解りにくく、例題を見て考え、計算をやってみて、結果から推定するという作業の繰り返しであった。当然うまく行かないことが多いが、エラーメッセージの説明が不十分で、何が悪いのかを突き止めるために、さらに試行錯誤を重ねる必要がある。できるならば、説明書はソフトの開発者、物理的な背景の良く知る解析の専門家、利用する側の素人を含むグループで作成して欲しいと切望する次第である。せ

めて、例題の種類を増やして欲しいというのは素人の厚かましいお願いだろうか？

そのような訳で、限られたモデルについてそれらしい解析結果が得られたのは結局ほぼ１年が過ぎてからのことである。機器設計の途中で、形状、寸法、パラメータなどの決定のために急いで解析結果が欲しいという時にはこのような万能ソフトを使おうとするのはとても無理であるように思われる。しかし、１年後にはこのソフトの持つ優れた点も理解できたことは今後につながる成果であった。それは、ナビエストークスの方程式で記述できる解析なら、思った以上にモデルの細部にわたる流れの状態が計算できること。また、乱流が生じるモデルも比較的楽に扱えるということである。我々の経験上、前述のように、豊富な例題があることが素人には極めて有益である。この報告が誰かの助けになれば大変幸いである。