



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 S X-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きます。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 1 mm、内径 0.5 mm の円筒ノズルから 5 気圧の圧力で吐出される水が数十 μ m 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
ポアラスメディア使用の有無を指定
'NO-POROUS'
(ポア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、 $k - \varepsilon$  方程式においてあらわれる対流項スキームの
パラメーターについての指定
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( $k - \varepsilon$  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值)(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

```

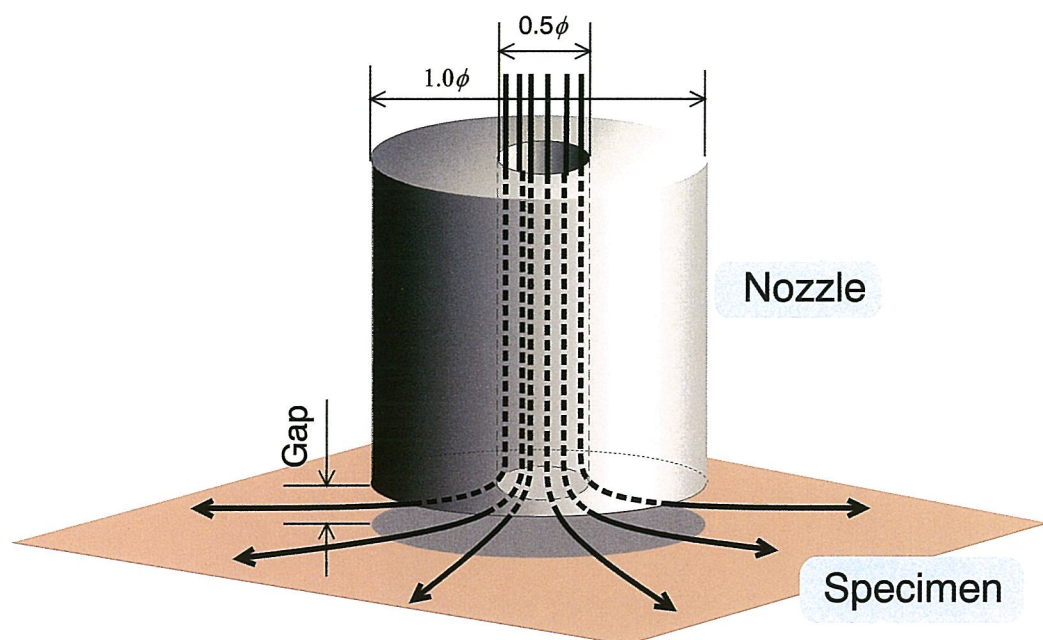


図1 解析したいノズル先端の流れの様子

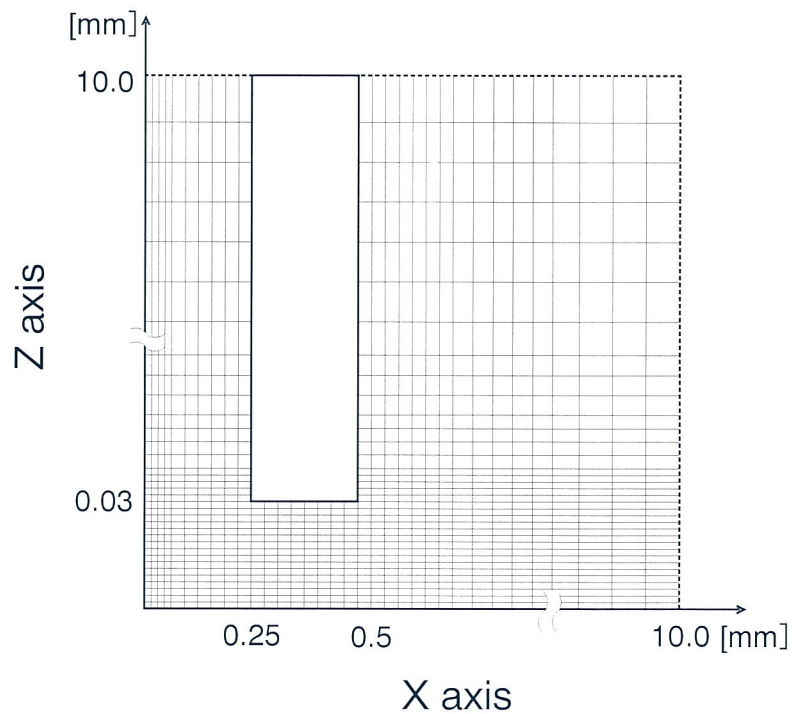


図2 解析に使った格子モデル

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、I S, J S, K S 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 I E, J E, K E とすると、(I S, J S, K S, I E, J E, K E) 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


```

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.

```

*****
*
*          @@@@ @          @ @ @ @ @*
*      @      @ @ @      @ @ @ @ @*
*  @ @ @ @      @ @ @      @ @ @ @ @*
* @ @ @ @      @ @ @      @ @ @ @ @*
* @ @ @ @      @ @ @      @ @ @ @ @*
* @ @ @ @      @ @ @      @ @ @ @ @*
* @ @ @ @      @ @ @      @ @ @ @ @*
* @ @ @ @      @ @ @      @ @ @ @ @*
*
*****
*****

```

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

```

]*****
* 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) = 1.0000000D+00 0.0000000D+00
POISSON. SOLVER = SCG
NORM-TYPE = SQUARE
CRITERION(ABS) = 1.0000000D-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 = 1.0000000D+03
WALL. MODEL = LOG-LAW(NEWTON)
CLGK, CLG = 4.0000000D-01 5.5000000D+00
THERMAL. CONDUCT. MODEL
NUMBER OF MODEL = 0

*** MATERIAL & FORCE ***
MATERIAL-FLUID
DENSITY
CONSTANT = 1.0000000D+03
VISCOSITY
CONSTANT = 1.3070000D-03
SPECIFIC-HEAT-P
CONSTANT = 4.2000000D+03
THERMAL-CONDUCT
CONSTANT = 6.0000000D-01
NUMBER OF MATTER = 0
FORCE TYPE = GRAVITY
X : CONSTANT = 0.0000000D+00
Y : CONSTANT = 0.0000000D+00
Z : CONSTANT = -9.8000000D+00
FORCE TYPE = BODY
X : CONSTANT = 0.0000000D+00
Y : CONSTANT = 0.0000000D+00
Z : CONSTANT = 0.0000000D+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) = 0.0000000D+00 X( 2) = 2.5000000D-05
X( 3) = 5.0000000D-05 X( 4) = 7.5000000D-05
X( 5) = 1.0000000D-04 X( 6) = 1.2500000D-04
X( 7) = 1.5000000D-04 X( 8) = 1.7500000D-04
X( 9) = 2.0000000D-04 X(10) = 2.2500000D-04
X(11) = 2.5000000D-04 X(12) = 2.7500000D-04
X(13) = 3.0000000D-04 X(14) = 3.2500000D-04
X(15) = 3.5000000D-04 X(16) = 3.7500000D-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 = 0.0000000D+00

FIX. VALUE = 0.0000000D+00

FIX. VALUE = -6.2000000D+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 = 0.0000000D+00 0.0000000D+00 0.0000000D+00

NUMBER OF AREA = 0

INITIAL CONDITION OF PRESSURE

DEFAULT VALUE = 1.0000000D+05

NUMBER OF AREA = 0

INITIAL CONDITION OF TEMPERATURE

DEFAULT VALUE = 0.0000000D+00

NUMBER OF AREA = 0

INITIAL CONDITION OF K

DEFAULT VALUE = 1.0000000D-20

NUMBER OF AREA = 0

INITIAL CONDITION OF EPSILON

DEFAULT VALUE = 1.0000000D-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)

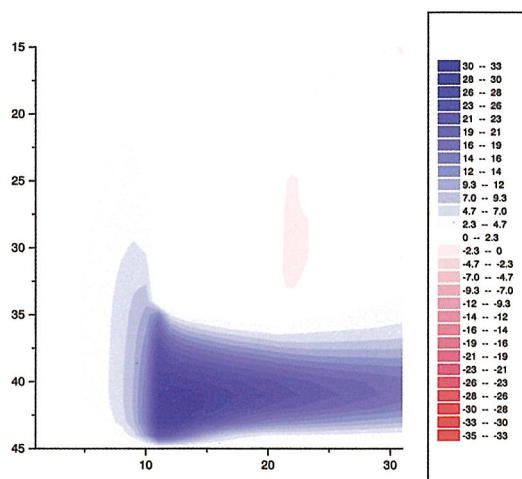


図3 X方向の速度分布

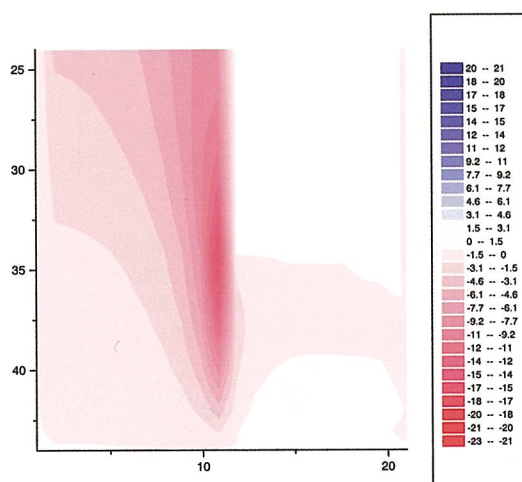


図4 Z方向の速度分布

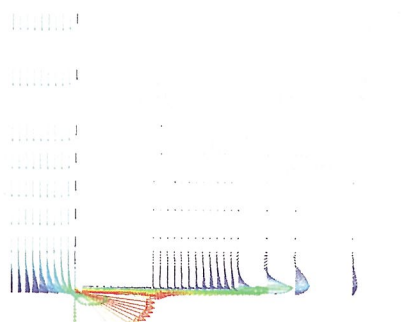


図5 速度ベクトルの分布
(図3、図4のデータを用いて
ベクトル表示したもの)

Vol. 28 No. 1 1998—5

: REMAINING : 1924541

0* CPU TIME INFORMATION

TOTAL CPU TIME 1.1706E+02 SEC

1

```
*****
*****
N  N  OOO  RRRRRR  M  M  A  L
NN  N  O  O  R  R  MM  MM  A  A  L
N N  N  O  O  R  R  M  M  M  A  A  L
N N  N  O  O  RRRR  M  M  M  AAAAAA  L
N  N N  O  O  R  R  M  M  A  A  L
N  NN  O  O  R  R  M  M  A  A  L
N  N  OOO  R  RR  M  M  A  A  LLLLLL

EEEEEE  N  N  DDDD
E      NN  N  D  D
E      NN  N  D  D
EEEEEE  N  N  N  D  D
E      N  NN  D  D
E      N  NN  D  D
EEEEEE  N  N  DDDD
*****
*****
```

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なるものであろうか？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。

