

解析例 「気泡塔解析の入力データと実行方法」

杉中 隆史* 大島 小百合*

The method of Bubble tower analysis by Advance/FrontFlow/MP

Takafumi Suginaka* and Sayuri Oshima*

Advance/FrontFlow/MP による気泡塔解析の入力データと実行方法を紹介する。

Key word: 気泡塔

1. はじめに

気泡塔は液体を連続相、気体を分散相として、気液反応装置やバイオリアクターとして使用されている装置である。気泡塔の気液二相流解析は

- ・装置の性能評価
- ・装置の設計条件の検討
- ・気液二相流の現象解明

などに利用することができる。

Hills による気泡塔の実験[1]条件で解析を行い、ボイド率と液相速度の予測精度を確認する。

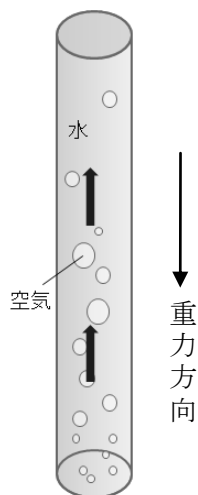


図1 気泡塔のイメージ図

2. 解析条件

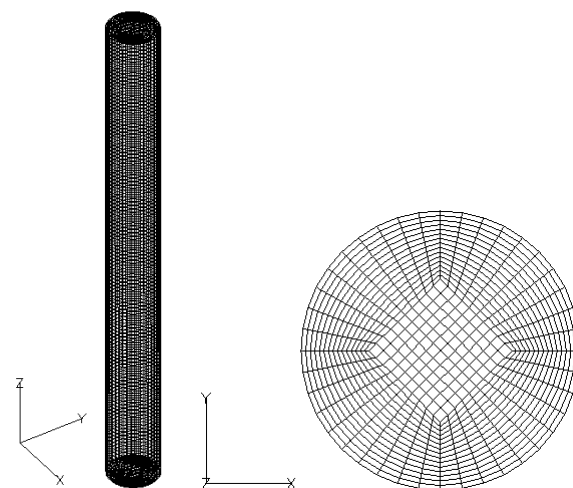
解析条件を以下に示す。

- ・気泡塔の内径：138 mm
- ・気泡塔の長さ：1370 mm
- ・気体の密度：1.2 kg/m³
- ・液体の密度：1000 kg/m³
- ・気体の粘性係数：1.8×10⁻⁵ Pa・s
- ・液体の粘性係数：1×10⁻³ Pa・s
- ・気体の空塔速度(気体の流量を入口の断面積で割った値)：3.8 cm/s
- ・気泡径：3 mm
- ・非定常計算：30 秒までの現象を計算
- ・時間刻み：0.001 秒で一定

3. 計算格子

計算格子の節点数、セル数、メッシュ図を以下に示す。

- ・節点数 94,451
- ・セル数 91,000



(a) 鳥瞰図

(b) XY 断面図

図2 メッシュ図

4. 入力データ

使用する入力データ(ファイル名 fflow.ctl)を以下に示す。変数の説明は省略する。

```
&model
    flow      = 'incomp'
    trbmdl    = 'no'
/
&files
    gdformat  = 'GF'
    gdScale   = 1.d-3
    ffrgrid   = './bubble_column.gf'
    ffrgridform = 'a'
    initial   = './restart_30000'
    anim      = './anim'
```

*アドバンスソフト株式会社 技術第3部

3rd Technical Division, AdvanceSoft Corporation

```

/
&hpc_cntl
    NPE          = 12
    hpc_initial = 'restart_30000'
    hpc_anim     = 'animHPC'
/
&sizes
    mcell = 3000000
    mface = 3000000
    medge = 3000000
    mvrtn  = 3000000
    mssfbc = 3000000
    ncell  = 91000
    nvrtx  = 94451
/
&time
    start = -1
    end   = 30000
    flowcon = 2
/
&deltat
    dt      = 1.d-3
    option = 'const'
/
&simple
    iter    = 4
/
&species
/
&fluid
    IMAT_U = 1
    muopt  = 'const'
    mu     = 1.0d-3
    mu2    = 1.8d-5
/
&initial
    IMAT_U = 1
    p      = 101325
    t      = 303.15
    u      = 0
    v      = 0
    w      = 0
    dens   = 1000
    aks    = 0.9999999, 1.d-7
/
&initial2
    IMAT_U = 1
    t2     = 303.15
    u2     = 0
    v2     = 0
    w2     = 0
    dens2  = 1.2
/
&boundary
    no     = 1
    name   = 'INLE'
    kind   = 'wall'
    vel    = 'no'
    u      = 0
    v      = 0
    w      = 0
    u2     = 0
    v2     = 0
    w2     = 0
/
&boundary
    no     = 2

```

```

    name = 'OUTL'
    kind = 'outlet'
    p     = 101325
    u     = 1
    v     = 0
    w     = 0
    u2    = 0
    v2    = 0
    w2    = 0
    aks   = 0.9999999, 1.d-7
/
&boundary
    no     = 3
    name   = 'WALL'
    kind   = 'wall'
    vel    = 'no'
    u      = 0
    v      = 0
    w      = 0
    u2     = 0
    v2     = 0
    w2     = 0
/
&gravity
    g      = 0, 0, -9.807
    rho    = 1000
    rho2   = 1.2
/
&Eul2ph
    phase_type = 'LIQUID', 'GAS'
/
&flagalp
    iflwmp = 0
/
&parameters
    d_b0    = 3.d-3
    d_d0    = 1.d-6
    sigmp   = 7.3d-2
/
&gassrc
    i_gsrc  = 1
    xl      = -1.d20
    yl      = -1.d20
    zl      = 0
    xu      = 1.d20
    yu      = 1.0d20
    zu      = 0.01
    gsrc    = 7.21168
/
&les
    NSTART      = 20000
    uvw_ave_rms_re = 1
    average_rans(2) = 1
/
&monitor
    moni_inter = 300
    monitor_x  = 0
    monitor_y  = 0
    monitor_z  = 0.5
/
&output
    start = 0
    inter = 10000
    file  = 'result'
    type  = 'inter_i'
    multi_result = 1
/

```

```
&output
start = 0
inter = 10000
file = 'restart'
type = 'inter_i'
/
```

5. 実行方法

Advance/FrontFlow/MP のインストールディレクトリが「/home/FrontFlow_MP/」とすると、実行は以下の手順で行う。

①計算を実行する作業ディレクトリの作成

```
$ mkdir work [Enter キー]
```

②作業ディレクトリに移動

```
$ cd work [Enter キー]
```

③入力データ(ファイル名 fflow.ctl)と計算格子ファイルを作業ディレクトリ work にコピー

④サブディレクトリの作成

並列計算を行う場合には作業ディレクトリに実行する並列度にあわせて、サブディレクトリを作成する。上記の入力データのように 12 並列で計算する場合には、hpc_0000 から hpc_0011 まで作成する。

```
$ mkdir hpc_0000 [Enter キー]
$ mkdir hpc_0001 [Enter キー]
$ mkdir hpc_0002 [Enter キー]
$ mkdir hpc_0003 [Enter キー]
$ mkdir hpc_0004 [Enter キー]
$ mkdir hpc_0005 [Enter キー]
$ mkdir hpc_0006 [Enter キー]
$ mkdir hpc_0007 [Enter キー]
$ mkdir hpc_0008 [Enter キー]
$ mkdir hpc_0009 [Enter キー]
$ mkdir hpc_0010 [Enter キー]
$ mkdir hpc_0011 [Enter キー]
```

⑤前処理の実行

Advance/FrontFlow/MP のインストールディレクトリから prefflow をコピーして、実行する。

```
$ cp /home/FrontFlow_MP/bin/prefflow .
[Enter キー]
$ ./prefflow [Enter キー]
```

prefflow をコピーしないで以下のように実行してもよい。

```
$ /home/FrontFlow_MP/bin/prefflow [Enter キー]
```

⑥メインソルバーの実行

Advance/FrontFlow/MP のインストールディレクトリから fflowHPC をコピーして、実行する。

```
$ cp /home/FrontFlow_MP/bin/fflowHPC .
[Enter キー]
$ mpirun -np 12 ./fflowHPC [Enter キー]
```

⑦計算結果のコンバート

Advance/FrontFlow/MP のインストールディレクトリから ffr2viz をコピーして、可視化ソフトの入力形式に変換する。

```
$ cp /home/FrontFlow_MP/bin/ffr2viz .
[Enter キー]
$ ./ffr2viz -m 12 -r result.frontflow -g
geom.frontflow -gf FF -o RES -rf VTK
[Enter キー]
```

⑧可視化

図 3 に、30 秒後の液体速度、気体速度、ボイド率の瞬時分布を示す。

図 4 と図 5 に、高さ方向中央位置におけるボイド率と液相速度の時間平均値を Hills による実験値[1]と合わせて示す。

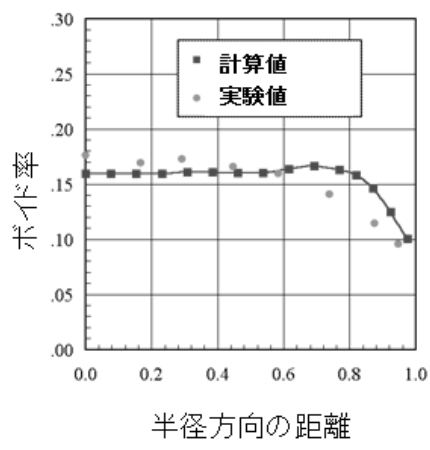
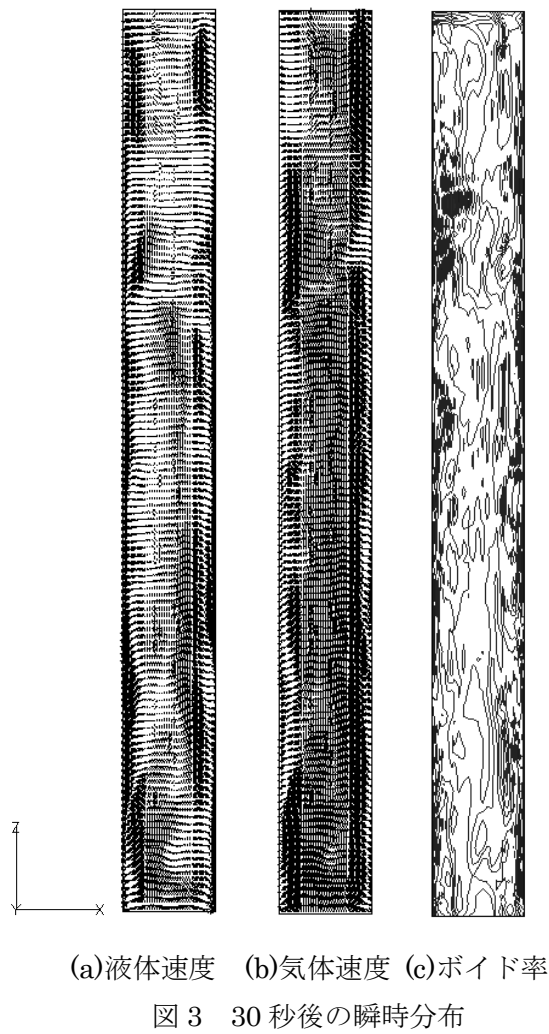


図 4 高さ方向中央位置のボイド率の時間平均値

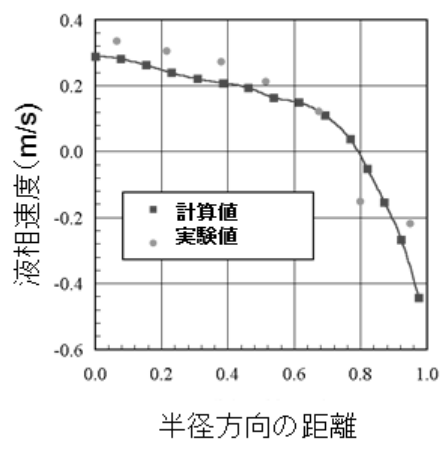


図 5 高さ方向中央位置の液相速度の時間平均値

6. 計算時間

計算時間を以下に示す。

表 1 30 秒までの計算時間

並列数	計算時間
1	81 時間 28 分 47 秒
2	39 時間 20 分 42 秒
4	16 時間 36 分 1 秒
12	8 時間 11 分 59 秒

使用した計算機の仕様は以下の通りである。

- ・ OS : CentOS
- ・ CPU : Intel(R) Xeon(R)、2.80GHz
- ・ コンパイラ : Intel

7. まとめ

Advance/FrontFlow/MP による気泡塔解析の入力データと実行方法を紹介した。

参考文献

[1] Hills, J. H., 'Radial adial non-uniformity of velocity and voidage in a bubble column ', Trans. Inst. Chem. Eng. ,52, (1974) 1-9.

解析例 「伝熱管解析の入力データと実行方法」

Takafumi Suginaka* and Sayuri Oshima*

杉中 隆史* 大島 小百合*

The method of Heat exchanger tube analysis by Advance/FrontFlow/MP

Takafumi Suginaka* and Sayuri Oshima*

Advance/FrontFlow/MP による伝熱管解析の入力データと実行方法を紹介する。

Key word: 伝熱管、沸騰、凝縮、固体と流体の熱連成

1. はじめに

伝熱管の固体外表面一部を加熱したときに、伝熱管を流れる液体の沸騰、発生した蒸気の凝縮、ボイド率、温度、速度の分布を解析する。

2. 解析条件

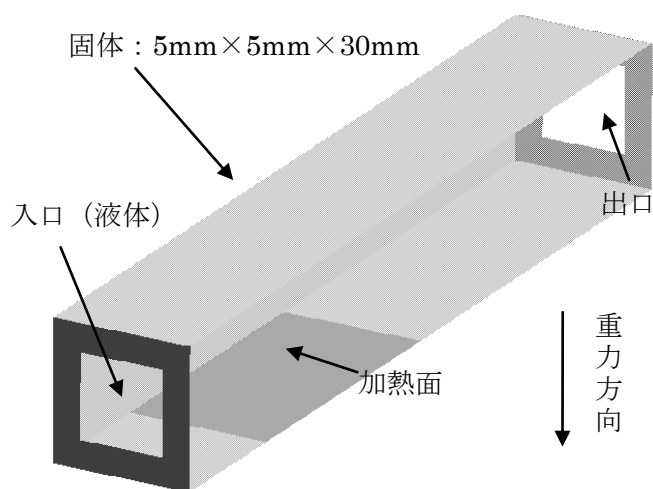


図1 解析対象

解析条件を以下に示す。

- 液体の密度：958 kg/m³
- 液体の粘性係数：2.845 × 10⁻⁴ Pa · s
- 液体のプラントル数：1.76
- 液体の定圧比熱：4220 J/kg/K

- 液体の飽和エンタルピー：4.19 × 10⁵ J/kg
- 気体の密度：0.578 kg/m³
- 気体の粘性係数：= 1.254 × 10⁻⁵ Pa · s
- 気体のプラントル数：1.09
- 気体の定圧比熱：2100 J/kg/K
- 気体の飽和エンタルピー：2.67 × 10⁶ J/kg
- 固体の密度：1000 kg/m³
- 固体の熱伝導率：100 W/m/K
- 固体の定圧比熱：1000 J/kg/K
- 加熱面の熱流束：10⁷ W/m²
- 入口のボイド率：1 × 10⁻⁷
- 入口の速度：0.1m/s 一様
- 入口の温度：90℃
- 初期温度：90℃
- 気泡径：1mm
- 液滴径：10⁻³mm
- 非定常計算：1秒までの現象を計算
- 時間刻み：0.001秒で一定

3. 計算格子

計算格子の節点数、セル数、メッシュ図を以下に示す。

- 節点数 26,572
- セル数 20,250

*アドバンスソフト株式会社 技術第3部

3rd Technical Division, AdvanceSoft Corporation

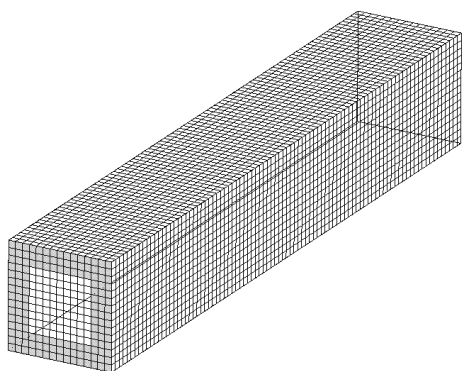


図2 メッシュ図

4. 入力データ

使用する入力データ(ファイル名 fflow.ctl)を以下に示す。変数の説明は省略する。

```
&model
    flow      = 'incomp'
    trbmdl    = 'no'
/
&files
    gdformat  = 'GF'
    gdScale   = 1.d-3
    ffrgrid   = './heat_pipe.gf'
    initial   = './restart_100'
    ffrgridform = 'a'
    anim      = './anim'
/
&hpc_cntl
    NPE       = 4
    hpc_initial = 'restart_100'
    hpc_anim   = 'animHPC'
/
&sizes
    mcell = 1000000
    mface = 1000000
    medge = 1000000
    mvrtx = 1000000
    mssfbc = 1000000
    ncell = 20250
    nvrtx = 26572
/
&time
    start = -1
    end   = 1000
    flowcon = 2
/
&deltat
    dt      = 1.d-3
    option = 'const'
/
&simple
    iter    = 4
/
&species
    cp      = 2100
    cp2     = 4220
/
&fluid
    IMAT_U = 1
```

```
muopt  = 'const'
mu      = 1.254d-5
mu2     = 2.845d-4
Prandtl = 1.09d0
Prandtl2 = 1.76d0
ts      = 373.15d0
hgs     = 2.67d6
hls     = 4.19d5
/
&solid
    IMAT_U = -1
    rho    = 1000
    cp     = 1000
    cndct  = 100
/
&initial
    IMAT_U = 1
    p      = 101325
    t      = 373.15
    u      = 0
    v      = 0
    w      = 0.1
    dens   = 0.578
    aks    = 1.d-7, 0.9999999
/
&initial2
    IMAT_U = 1
    t2     = 363.15
    u2     = 0
    v2     = 0
    w2     = 0.1
    dens2  = 998
/
&initial
    IMAT_U = -1
    t      = 363.15
/
&boundary
    no     = 1
    kind   = 'interface'
    name    = 'inter-fluid'
    name2   = 'inter-solid'
    vel    = 'no'
    temp    = 'transfer'
    u      = 0
    v      = 0
    w      = 0
    u2     = 0
    v2     = 0
    w2     = 0
/
&boundary
    no     = 2
    name    = 'North'
    kind    = 'wall'
    temp    = 'Neumann'
    t      = 0
    t2     = 0
/
&boundary
    no     = 3
    name    = 'East'
    kind    = 'wall'
    temp    = 'Neumann'
    t      = 0
    t2     = 0
/
```

```

&boundary
  no      = 4
  name    = 'West'
  kind    = 'wall'
  temp    = 'Neumann'
  t       = 0
  t2      = 0
/
&boundary
  no      = 5
  name    = 'Low'
  kind    = 'wall'
  temp    = 'Neumann'
  t       = 0
  t2      = 0
/
&boundary
  no      = 6
  name    = 'High'
  kind    = 'wall'
  temp    = 'Neumann'
  t       = 0
  t2      = 0
/
&boundary
  no      = 7
  name    = 'South',
  kind    = 'wall'
  temp    = 'Neumann'
  t       = 0
  t2      = 0
  name    = 'heat',
  kind    = 'wall'
  temp    = 'Neumann'
  t       = 1.d7
  t2      = 1.d7
/
&boundary
  no      = 9
  kind    = 'inlet'
  name    = 'INLE'
  profile = 0
  u       = 0
  v       = 0
  w       = 0.1
  t       = 373.15
  u2      = 0
  v2      = 0
  w2      = 0.1
  t2      = 363.15
  aks     = 1.d-7, 0.9999999
/
&boundary
  no      = 10
  kind    = 'outlet'
  name    = 'OUTL'
  p       = 101325
  u       = 0
  v       = 0
  w       = 0
  t       = 373.15
  u2      = 0
  v2      = 0
  w2      = 0
  t2      = 363.15
  aks     = 1.d-7, 0.9999999
/

```

```

&gravity
  g       = 0, -9.807, 0
  rho     = 0.578
  t       = 373.15
  beta    = 1.d-10
  rho2    = 958
  t2      = 373.15
  beta2   = 2.1d-4
/
&Eul2ph
  phase_type = 'GAS','LIQUID'
/
&flagalp
  iflwmp    = 1
/
&flagtemp
  i_pc      = 2
  i_cnds    = 2
  ibcbht    = 2
/
&parameters
  d_b0      = 1.d-3
  d_d0      = 1.d-6
  sigmp     = 7.2d-2
/
&monitor
  moni_inter = 1
  monitor_x  = 0
  monitor_y  = 0
  monitor_z  = 0.03
/
&output
  start = 0
  inter = 1000
  file  = 'result'
  type  = 'inter_i'
  multi_result = 1
/
&output
  start = 0
  inter = 1000
  file  = 'restart'
  type  = 'inter_i'
/

```

5. 実行方法

Advance/FrontFlow/MP のインストールディレクトリが「/home/FrontFlow_MP/」とすると、実行は以下の手順で行う。

①計算を実行する作業ディレクトリの作成

```
$ mkdir work [Enterキー]
```

②作業ディレクトリに移動

```
$ cd work [Enterキー]
```

③入力データ(ファイル名 fflow.ctl)と計算格子ファイルを作業ディレクトリ work にコピー

④サブディレクトリの作成

並列計算を行う場合には作業ディレクトリに実行する並列度にあわせて、サブディレクトリを作成する。上記の入力データのように 4 並列で計算する場合には、hpc_0000 から hpc_0003 まで作成する。

```
$ mkdir hpc_0000 [Enterキー]
$ mkdir hpc_0001 [Enterキー]
$ mkdir hpc_0002 [Enterキー]
$ mkdir hpc_0003 [Enterキー]
```

⑤前処理の実行

Advance/FrontFlow/MP のインストールディレクトリから prefflow をコピーして、実行する。

```
$ cp /home/FrontFlow_MP/bin/prefflow .
[Enterキー]
$ ./prefflow [Enterキー]
```

prefflow をコピーしないで以下のように実行してもよい。

```
$ /home/FrontFlow_MP/bin/prefflow [Enterキー]
```

⑥メインソルバーの実行

Advance/FrontFlow/MP のインストールディレクトリから fflowHPC をコピーして、実行する。

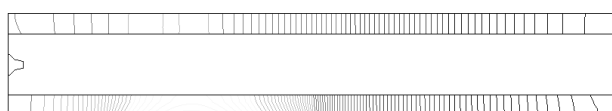
```
$ cp /home/FrontFlow_MP/bin/fflowHPC .
[Enterキー]
$ mpirun -np 4 ./fflowHPC [Enterキー]
```

⑦計算結果のコンバート

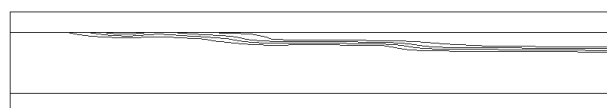
Advance/FrontFlow/MP のインストールディレクトリから ffr2viz をコピーして、可視化ソフトの入力形式に変換する。

```
$ cp /home/FrontFlow_MP/bin/ffr2viz .
[Enterキー]
$ ./ffr2viz -m 4 -r result.frontflow -g
geom.frontflow -gf FF -o RES -rf VTK
[Enterキー]
```

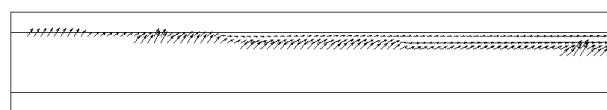
⑧可視化



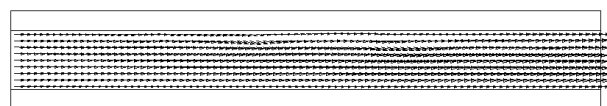
(a)固体と液体の温度



(b)ボイド率



(c)気体速度(ボイド率 0.005 以上を表示)



(d)液体速度

図 3 1 秒後の瞬時分布 (中央断面)

6. 計算時間

計算時間を以下に示す。

表 1 1 秒までの計算時間

並列数	計算時間
1	19 分 45 秒
2	16 分 12 秒
4	10 分 40 秒

使用した計算機の仕様は以下の通りである。

- OS : CentOS
- CPU : Intel(R) Xeon(R)、2.80GHz
- コンパイラ : Intel

7. まとめ

Advance/FrontFlow/MP による伝熱管解析の入力データと実行方法を紹介した。

解析例 「焼入れ解析の入力データと実行方法」

杉中 隆史* 大島 小百合*

The method of quenching analysis by Advance/FrontFlow/MP

Takafumi Suginaka* and Sayuri Oshima*

Advance/FrontFlow/MP による焼入れ解析の入力データと実行方法を紹介する。

Key word: 焼入れ、沸騰、凝縮、固体と流体の熱連成

1. はじめに

高温の固体を低温の液体に置いたときに、沸騰を考慮した固体内部の冷却速度を解析する。

2. 解析条件

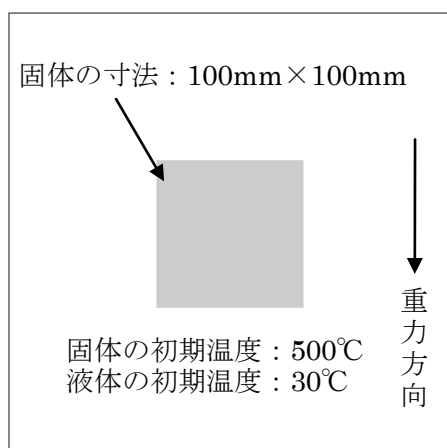


図1 解析対象（初期値）

解析条件を以下に示す。

- 液体の密度：958 kg/m³
- 液体の粘性係数：2.845×10⁻⁴ Pa・s
- 液体のプラントル数：1.76
- 液体の定圧比熱：4220 J/kg/K
- 液体の飽和エンタルピー：4.19×10⁵ J/kg
- 気体の密度：0.578 kg/m³
- 気体の粘性係数：1.254×10⁻⁵ Pa・s
- 気体のプラントル数：1.09
- 気体の定圧比熱：2100 J/kg/K

- 気体の飽和エンタルピー：2.67×10⁶ J/kg
- 固体の密度：1000 kg/m³
- 固体の熱伝導率：100 W/m/K
- 固体の定圧比熱：1000 J/kg/K
- 液体の初期温度：30°C
- 固体の初期温度：500°C
- 気泡径：2mm
- 液滴径：10⁻³mm
- 非定常計算：10秒までの現象を計算
- 時間刻み：0.002秒で一定

3. 計算格子

計算格子の節点数、セル数、メッシュ図を以下に示す。

- 節点数 11,403
- セル数 7,200

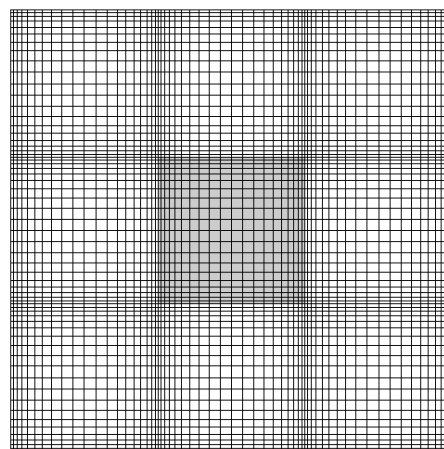


図2 メッシュ図

4. 入力データ

使用する入力データ（ファイル名 fflow.ctl）を

*アドバンスソフト株式会社 技術第3部
3rd Technical Division, AdvanceSoft Corporation

以下に示す。変数の説明は省略する。

```
&model
    flow      = 'incomp'
    trbmdl    = 'no'
/
&files
    gdformat  = 'GF'
    gdScale   = 1.d-3
    ffrgrid   = './quench.gf'
    initial   = './restart_2000'
    ffrgridform = 'a'
    anim      = './anim'
/
&hpc_cntl
    NPE       = 4
    hpc_initial = 'restart_3000'
    hpc_anim   = 'animHPC'
/
&sizes
    mcell     = 1000000
    mface     = 1000000
    medge     = 1000000
    mvrtx     = 1000000
    mssfbc    = 1000000
    ncell     = 7200
    nvrtx     = 11403
/
&time
    start     = -1
    end       = 5000
    flowcon   = 2
/
&deltat
    dt        = 0.002
    option    = 'const'
/
&simple
    iter      = 10
/
&species
    cp        = 2100
    cp2       = 4220
/
&fluid
    IMAT_U    = 1
    muopt     = 'const'
    mu        = 1.254d-5
    mu2       = 2.845d-4
    Prandtl   = 1.09
    Prandtl2  = 1.76
    ts        = 373.15
    hgs       = 2.67d6
    hls       = 4.19d5
/
&solid
    IMAT_U    = -1
    rho       = 1000
    cp        = 1000
    cndct     = 100
/
&initial
    IMAT_U    = 1
    p         = 101325
    t         = 373.15
```

```
    u         = 0
    v         = 0
    w         = 0
    dens      = 0.578
    aks       = 1.d-7, 0.9999999d0
/
&initial2
    IMAT_U    = 1
    t2        = 303.15
    u2        = 0
    v2        = 0
    w2        = 0
    dens2     = 958
/
&initial
    IMAT_U    = -1
    t         = 773.15
/
&boundary
    no        = 1
    kind      = 'outlet'
    name      = 'OUTL',
    temp      = 'Neumann'
    p         = 101325
    u         = 1
    v         = 0
    w         = 0
    t         = 373.15
    u2        = 0
    v2        = 0
    w2        = 0
    t2        = 303.15
    aks(1)=1.d-7, aks(2)=0.9999999
/
&boundary
    no        = 2
    kind      = 'symm'
    name      = 'Wall_side'
/
&boundary
    no        = 3
    kind      = 'symm'
    name      = 'Cyc_fluid1'
/
&boundary
    no        = 4
    kind      = 'symm'
    name      = 'Cyc_fluid2'
/
&boundary
    no        = 5
    kind      = 'interface'
    name      = 'Inter_fluid'
    name2     = 'Inter_solid'
    vel       = 'no-slip'
    u         = 0
    v         = 0
    w         = 0
    temp      = 'transfer'
    u2        = 0
    v2        = 0
    w2        = 0
    aks(1) = 1.d-7, aks(2)=0.9999999d0
/
&boundary
    no        = 6
    kind      = 'symm'
```

```

        name = 'Cyc_solid1'
/
&boundary
    no      = 7
    kind    = 'symm'
    name    = 'Cyc_solid2'
/
&boundary
    no      = 8
    kind    = 'symm'
    name    = 'Wall_bottom'
/
&gravity
    g       = 0, 0, -9.807
    rho     = 0.578
    t       = 373.15
    beta    = 0.2d-10
    rho2    = 958
    t2      = 373.15
    beta2   = 7.8d-4
/
&Eul2ph
    phase_type='GAS','LIQUID'
/
&flagalp
    iflwpmp  = 1
/
&flagtemp
    i_pc     = 2
    i_cnds   = 2
    ibcbht   = 2
/
&parameters
    d_b0     = 2.d-3
    d_d0     = 1.d-6
    sigmp    = 7.2d-2
/
&monitor
    moni_inter = 1
    monitor_x  = 0.1
    monitor_y  = 0.05
    monitor_z  = 0.205
/
&output
    start = 0
    inter = 1000
    file  = 'result'
    type  = 'inter_i'
    multi_result = 1
/
&output
    start = 0
    inter = 1000
    file  = 'restart'
    type  = 'inter_i'
/

```

5. 実行方法

Advance/FrontFlow/MP のインストールディレクトリが「/home/FrontFlow_MP/」とすると、実行は以下の手順で行う。

①計算を実行する作業ディレクトリの作成

```
$ mkdir work [Enterキー]
```

②作業ディレクトリに移動

```
$ cd work [Enterキー]
```

③入力データ（ファイル名 fflow.ctl）と計算格子ファイルを作業ディレクトリ work にコピー

④サブディレクトリの作成

並列計算を行う場合には作業ディレクトリに実行する並列度にあわせて、サブディレクトリを作成する。上記の入力データのように 4 並列で計算する場合には、hpc_0000 から hpc_0003 まで作成する。

```
$ mkdir hpc_0000 [Enterキー]
$ mkdir hpc_0001 [Enterキー]
$ mkdir hpc_0002 [Enterキー]
$ mkdir hpc_0003 [Enterキー]
```

⑤前処理の実行

Advance/FrontFlow/MP のインストールディレクトリから prefflow をコピーして、実行する。

```
$ cp /home/FrontFlow_MP/bin/prefflow .
[Enterキー]
$ ./prefflow [Enterキー]
```

prefflow をコピーしないで以下のように実行してもよい。

```
$ /home/FrontFlow_MP/bin/prefflow [Enterキー]
```

⑥メインソルバーの実行

Advance/FrontFlow/MP のインストールディレクトリから fflowHPC をコピーして、実行する。

```
$ cp /home/FrontFlow_MP/bin/fflowHPC .
[Enterキー]
$ mpirun -np 4 ./fflowHPC [Enterキー]
```

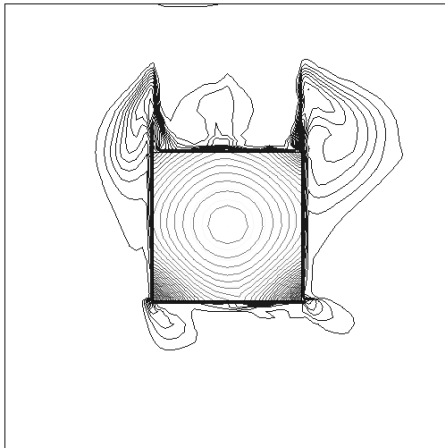
⑦計算結果のコンバート

Advance/FrontFlow/MP のインストールディレクトリから ffr2viz をコピーして、可視化ソフトの入力形式に変換する。

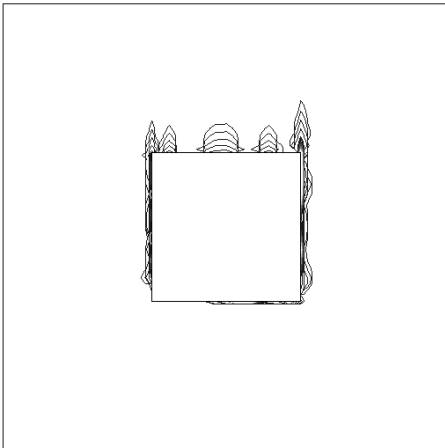
```
$ cp /home/FrontFlow_MP/bin/ffr2viz .
[Enterキー]
$ ./ffr2viz -m 4 -r result.frontflow -g
```

```
geom.frontflow -gf FF -o RES -rf VTK
[Enterキー]
```

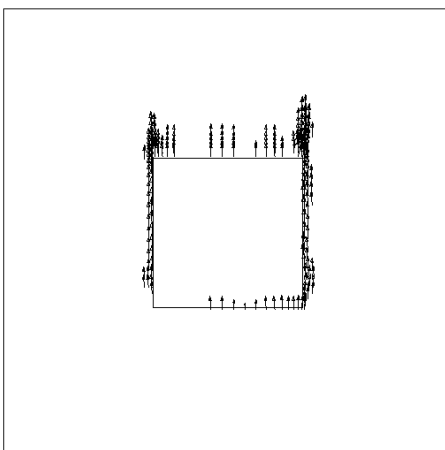
⑧可視化



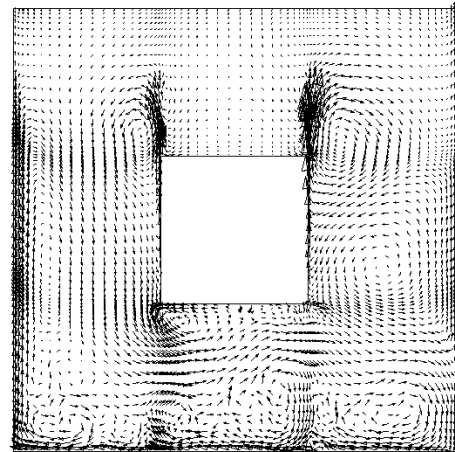
(a)固体と液体の温度



(b)ボイド率



(c)気体速度(ボイド率 10^{-6} 以上を表示)



(d)液体速度

図 3 10 秒後の瞬時分布

6. 計算時間

計算時間を以下に示す。

表 1 10 秒までの計算時間

並列数	計算時間
1	1 時間 56 分 51 秒
2	1 時間 1 分 4 秒
4	40 分 6 秒

使用した計算機の仕様は以下の通りである。

- ・ OS : CentOS
- ・ CPU : Intel(R) Xeon(R)、2.80GHz
- ・ コンパイラー : Intel

7. まとめ

Advance/FrontFlow/MP による焼入れ解析の入力データと実行方法を紹介した。

解析例 「気泡合体解析の入力データと実行方法」

杉中 隆史* 大島 小百合*

The method of Bubble coalescence analysis by Advance/FrontFlow/MP

Takafumi Suginaka* and Sayuri Oshima*

Advance/FrontFlow/MP による気泡合体解析の入力データと実行方法を紹介する。

Key word: 気泡合体

1. はじめに

Serizawa, Kataoka, Michiyoshi が行った気泡流の実験[1]の条件で気泡合体モデルを用いて解析を行う。

2. 解析条件

解析条件を以下示す

- ・ 気体の密度：1.231 kg/m³
- ・ 液体の密度：998.2 kg/m³
- ・ 気体の粘性係数：1.798×10⁻⁵ Pa・s
- ・ 液体の粘性係数：1.002×10⁻³ Pa・s
- ・ 気泡径：1.5mm、1.8mm、2.2mm、2.8mm、3.4mm、4.2mm、5mm
- ・ 非定常計算：4秒までの現象を計算
- ・ 時間刻み：0.0002秒で一定

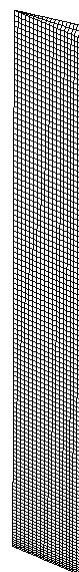


図1 メッシュ図（鳥瞰図）

3. 計算格子

計算格子の節点数、セル数、メッシュ図を図1に示す。

- ・ 節点数 6,783
- ・ セル数 4,248

4. 入力データ

使用する入力データ（ファイル名 fflow.ctl）を以下に示す。変数の説明は省略する。

```
&model
    flow      = 'incomp'
    trbmdl    = 'KE'
/
&files
    gdformat  = 'GF'
    gdScale   = 1.d0
    ffrgrid   = './serizawa.gf'
    ffrgridform = 'a'
    initial   = './restart_20000'
    anim      = './anim'
/
&hpc_cntl
    NPE       = 4
    hpc_initial = 'restart_13180'
    hpc_anim   = 'animHPC'
/
&sizes
    mcell     = 100000
    mface     = 100000
    medge     = 100000
    mvrtx     = 100000
    mssfbc    = 100000
    ncell     = 4248
```

*アドバンスソフト株式会社 技術第3部

3rd Technical Division, AdvanceSoft Corporation

```

        nvrtx = 6783
/
&time
    start = -1
    end = 20000
    flowcon = 2
/
&deltat
    dt = 2.d-4
    option = 'const'
/
&simple
    iter = 4
/
&species
/
&fluid
    IMAT_U = 1
    muopt = 'const'
    mu = 1.002d-3
    mu2 = 1.798d-5
/
&initial
    IMAT_U = 1
    p = 101325
    u = 0
    v = 0
    w = 1.231
    dens = 998.2
    aks(1) = 1.894d-3
    aks(2) = 1.374d-3
    aks(3) = 0.8367194d0
    aks(4) = 0.16328d0
    aks(5) = 1.d-7
    aks(6) = 1.d-7
    aks(7) = 1.d-7
    aks(8) = 1.d-7
    aks(9) = 1.d-7
    aks(10) = 1.d-7
/
&initial2
    IMAT_U = 1
    u2 = 0
    v2 = 0
    w2 = 1.231
    dens2 = 1.21
/
&boundary
    no = 1
    kind = 'inlet'
    name = 'in'
    profile = 0
    u = 0
    v = 0
    w = 1.231
    u2 = 0
    v2 = 0
    w2 = 1.231
    aks(1) = 1.894d-3
    aks(2) = 1.374d-3
    aks(3) = 0.8367194
    aks(4) = 0.16328
    aks(5) = 1.d-7
    aks(6) = 1.d-7
    aks(7) = 1.d-7
    aks(8) = 1.d-7
    aks(9) = 1.d-7

```

```

        aks(10) = 1.d-7
/
&boundary
    no = 2
    kind = 'symmetric'
    name = 'sym1'
/
&boundary
    no = 3
    kind = 'symmetric'
    name = 'sym2'
/
&boundary
    no = 4
    kind = 'symmetric'
    name = 'cen'
/
&boundary
    no = 5
    kind = 'wall'
    name = 'wal'
    vel = 'log'
    rans = 'log'
    u = 0
    v = 0
    w = 0
    u2 = 0
    v2 = 0
    w2 = 0
/
&boundary
    no = 6
    kind = 'outlet'
    name = 'out'
    p = 6.959d5
    u = 0
    v = 0
    w = 0
    u2 = 0
    v2 = 0
    w2 = 0
    aks(1) = 1.d-10
    aks(2) = 1.d-10
    aks(3) = 0.9999993
    aks(4) = 1.d-7
    aks(5) = 1.d-7
    aks(6) = 1.d-7
    aks(7) = 1.d-7
    aks(8) = 1.d-7
    aks(9) = 1.d-7
    aks(10) = 1.d-7
/
&gravity
    g = 0, 0, -9.807
    rho = 1.d-10
    rho2 = 1.d-10
/
&Eul2ph
    N_phase = 8
    phase_type(1) = 'LIQUID'
    phase_type(2) = 'GAS'
    phase_type(3) = 'GAS'
    phase_type(4) = 'GAS'
    phase_type(5) = 'GAS'
    phase_type(6) = 'GAS'
    phase_type(7) = 'GAS'
    phase_type(8) = 'GAS'

```

```

/
&flagalp
    iflwmp = 0
    iflif  = 2
    ifwl   = 2
    iftd   = 2
    irc_tdf = 3
/
&flagkeys
    ikemp  = 1
    ntske  = 51
    ikt    = 2
    iwrypls = 2
/
&parameters
    d_b0(1) = 1.5d-3
    d_b0(2) = 1.8d-3
    d_b0(3) = 2.2d-3
    d_b0(4) = 2.8d-3
    d_b0(5) = 3.4d-3
    d_b0(6) = 4.2d-3
    d_b0(7) = 5.d-3
    d_d0    = 5.d-4
    sigmp   = 0.072
/
&bcoal_param
    ibcoal = 101
    ntsbc  = 101
    cefmax = 0.9
    bct    = 3
    bcamax = 0.8
/
&les
    NSTART = 10000
    uvw_ave_rms_re = 1
    uvw2_ave_rms_re = 1
    average_rans(3) = 1
    average_rans(4) = 1
    average_rans(5) = 1
    average_rans(6) = 1
    average_rans(7) = 1
    average_rans(8) = 1
    average_rans(9) = 1
    average_rans(10) = 1
    average_p = 0
    average_t = 0
    rms_t = 0
    rms_p = 0
    rms_rans = 0
    re_uvw_t = 0
    re_uvw_rans = 0
/
&monitor
    moni_inter = 200
    monitor_x = 0.02
    monitor_y = 0
    monitor_z = 2
/
&output
    start = 0
    inter = 10000
    file = 'result',
    type = 'inter_i'
/
&output
    start = 0
    inter = 10000

```

```

    file = 'restart'
    type = 'inter_i'
/
&monitor
    moni_inter = 20
    monitor_x = 0.02
    monitor_y = 0
    monitor_z = 2
/

```

5. 実行方法

Advance/FrontFlow/MP のインストールディレクトリが「/home/FrontFlow_MP/」とすると、実行は以下の手順で行う。

①計算を実行する作業ディレクトリの作成

```
$ mkdir work [Enterキー]
```

②作業ディレクトリに移動

```
$ cd work [Enterキー]
```

③入力データ（ファイル名 fflow.ctl）と計算格子ファイルを作業ディレクトリ work にコピー

④サブディレクトリの作成

並列計算を行う場合には作業ディレクトリに実行する並列度にあわせて、サブディレクトリを作成する。上記の入力データのように 4 並列で計算する場合には、hpc_0000 から hpc_0003 まで作成する。

```

$ mkdir hpc_0000 [Enterキー]
$ mkdir hpc_0001 [Enterキー]
$ mkdir hpc_0002 [Enterキー]
$ mkdir hpc_0003 [Enterキー]

```

⑤前処理の実行

Advance/FrontFlow/MP のインストールディレクトリから prefflow をコピーして、実行する。

```

$ cp /home/FrontFlow_MP/prefflow .
[Enterキー]
$ ./prefflow [Enterキー]

```

prefflow をコピーしないで以下のように実行してもよい。

```
$ /home/FrontFlow_MP/prefflow [Enterキー]
```

⑥メインソルバーの実行

Advance/FrontFlow/MP のインストールディレクトリから fflowHPC をコピーして、実行する。

```
$ cp /home/FrontFlow_MP/bin/fflowHPC .
[Enterキー]
$ mpirun -np 4 ./fflowHPC [Enterキー]
```

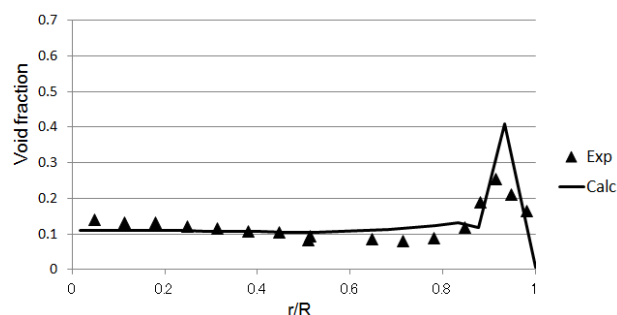
⑦計算結果のコンバート

Advance/FrontFlow/MP のインストールディレクトリから ffr2viz をコピーして、可視化ソフトの入力形式に変換する。

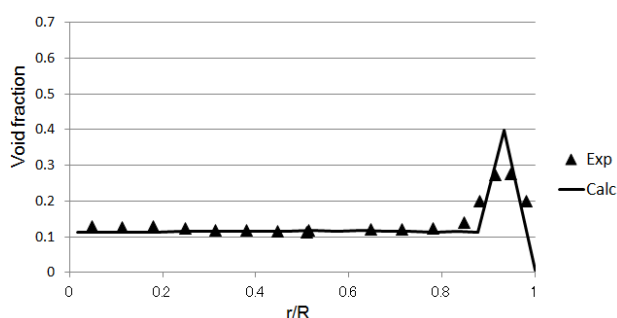
```
$ cp /home/FrontFlow_MP/bin/ffr2viz .
[Enterキー]
$ ./ffr2viz -m 4 -r result.frontflow -g
geom.frontflow -gf FF -o RES -rf VTK
[Enterキー]
```

⑧可視化

図 2 に、高さ方向 L/D=10、20、30 位置におけるボイド率の径方向分布を実験値[1]と合わせて示す。

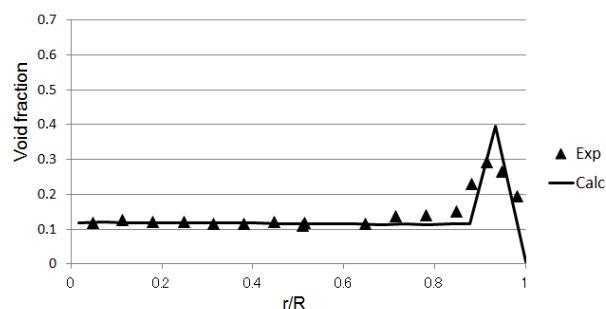


(a) L/D=10 位置



(b) L/D=20 位置

図 2 ボイド率の径方向分布



(c) L/D=30 位置

図 2 ボイド率の径方向分布

6. 計算時間

並列度を変えた時の計算時間を以下に示す。

表 1 4 秒までの計算時間

並列数	計算時間
1	10 時間 6 分 50 秒
2	5 時間 26 分 34 秒
4	3 時間 51 分 31 秒

なお、使用した計算機の仕様は以下の通りである。

- ・ OS : CentOS
- ・ CPU : Intel(R) Xeon(R)、2.80GHz
- ・ コンパイラー : Intel

7. まとめ

Advance/FrontFlow/MP による気泡合体析の入力データと実行方法を紹介した。

参考文献

- [1] Serizawa, A., Kataoka, I., Michiyoshi, I., “Experimental data set no. 24: phase distribution in bubbly flow”, Multiphase Sci. Tech., 6, 1992, pp. 257-301.

解析例 「沈殿解析の入力データと実行方法」

杉中 隆史* 大島 小百合*

The method of segmentation analysis by Advance/FrontFlow/MP

Takafumi Suginaka* and Sayuri Oshima*

Advance/FrontFlow/MP による沈殿解析の入力データと実行方法を紹介する。

Key word: 沈殿

1. はじめに

容器中央に仕切りを置いて、上側には液体を、下側には気体を入れ、容器を 10° 傾けた状態で仕切りを取り除いた後に気体と液体が混合して分離する過程を解析する。気体と液体は 6 秒で入れ替わり、約 20 秒後に定常に達する論文[1]の結果の再現性を検証する。

・時間刻み：0.005 秒で一定

3. 計算格子

計算格子の節点数、セル数、メッシュ図を以下に示す。

・節点数 3,813

・セル数 2,400

2. 解析条件

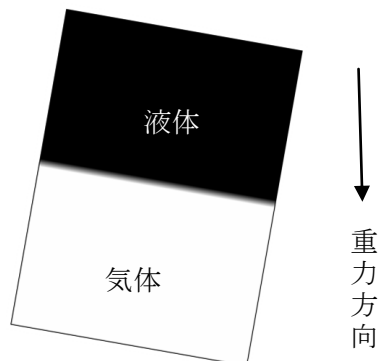
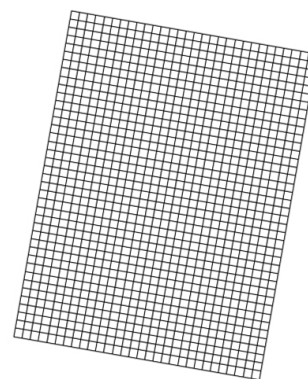
図1 解析対象（初期値、傾斜角度 10° ）

図2 メッシュ図

解析条件を以下に示す。

- ・気体の密度：1.2 kg/m³
- ・液体の密度：998.2 kg/m³
- ・気体の粘性係数：1.8×10⁻⁵ Pa・s
- ・液体の粘性係数：1×10⁻³ Pa・s
- ・気泡径：1 mm
- ・液滴径：0.1 mm
- ・非定常計算：20 秒までの現象を計算

4. 入力データ

使用する入力データ（ファイル名 fflow.ctl）を以下に示す。変数の説明は省略する。

```
&model
    flow    = 'incomp'
    trbmdl  = 'no'
/
&files
    gdformat = 'FV'
    gdScale  = 1.d0
    vertex   = './sedimentation.grd'
    initial  = './restart_4000'
    anim     = './anim'
/
&hpc_ctl
    NPE      = 4
    hpc_initial = 'restart_4000'
```

*アドバンスソフト株式会社 技術第3部

3rd Technical Division, AdvanceSoft Corporation

```

hpc_anim    = 'animHPC'
/
&sizes
  mcell = 100000
  mface = 100000
  medge = 100000
  mvrtx = 100000
  mssfbc= 100000
  ncell = 2400
  nvrtx = 3813
/
&time
  start    = 0 ! use usrini.f
  end      = 4000
  flowcon = 2
/
&deltat
  dt       = 5.d-3
  option = 'const'
/
&simple
  iter     = 4
/
&species
/
&fluid
  IMAT_U   = 1
  muopt    = 'const'
  mu       = 1.8d-5
  mu2      = 1.d-3
/
&initial
  IMAT_U = 1
  p      = 101325
  u      = 0
  v      = 0
  w      = 0
  dens   = 1.2
  aks    = 1.d-7 , 0.9999999
/
&initial2
  IMAT_U = 1
  u2     = 0
  v2     = 0
  w2     = 0
  dens2  = 998.2
/
&boundary
  no     = 1
  kind   = 'wall'
  vel    = 'no'
  name   = 'north'
  u      = 0
  v      = 0
  w      = 0
  u2     = 0
  v2     = 0
  w2     = 0
  aks(1) = 1.d-7
  aks(2) = 0.9999999
/
&boundary
  no     = 2
  kind   = 'wall'
  vel    = 'no'
  name   = 'south'
  u      = 0

```

```

  v      = 0
  w      = 0
  u2     = 0
  v2     = 0
  w2     = 0
  aks(1) = 1.d-7
  aks(2) = 0.9999999
/
&boundary
  no     = 3
  kind   = 'wall'
  vel    = 'no'
  name   = 'west'
  u      = 0
  v      = 0
  w      = 0
  u2     = 0
  v2     = 0
  w2     = 0
  aks(1) = 1.d-7
  aks(2) = 0.9999999
/
&boundary
  no     = 4
  kind   = 'wall'
  vel    = 'no'
  name   = 'east'
  u      = 0
  v      = 0
  w      = 0
  u2     = 0
  v2     = 0
  w2     = 0
  aks(1) = 1.d-7
  aks(2) = 0.9999999
/
&boundary
  no     = 5
  kind   = 'wall'
  vel    = 'no'
  name   = 'high'
  u      = 0
  v      = 0
  w      = 0
  u2     = 0
  v2     = 0
  w2     = 0
  aks(1) = 1.d-7
  aks(2) = 0.9999999
/
&boundary
  no     = 6
  kind   = 'wall'
  vel    = 'no'
  name   = 'low'
  u      = 0
  v      = 0
  w      = 0
  u2     = 0
  v2     = 0
  w2     = 0
  aks(1) = 1.d-7
  aks(2) = 0.9999999
/
&gravity
  g      = 1.703, -9.658, 0
  rho    = 1.2

```

```

rho2 = 998.2
/
&Eul2ph
  phase_type = 'GAS','LIQUID'
/
&flagalp
  iflwmp = 1
/
&parameters
  d_b0 = 1.d-3
  d_d0 = 1.d-4
  sigmp = 7.2d-2
/
&monitor
  moni_inter = 4
  monitor_x = 0.75
  monitor_y = 1
  monitor_z = 0.05
/
&output
  start = 0
  inter = 1200
  file = 'result',
  type = 'inter_i'
  multi_result = 1
/
&output
  start = 0
  inter = 1200
  file = 'restart'
  type = 'inter_i'
/
&misc
  uchar(1) = 'Sedimentation'
/
&usrsub
  output = 'no'
  inlet = 'no'
  initial = 'yes'
  initial2 = 'no'
  source_uvw = 'no'
  source_t = 'no'
/

```

5. 実行方法

Advance/FrontFlow/MP のインストールディレクトリが「/home/FrontFlow_MP/」とすると、実行は以下の手順で行う。

①計算を実行する作業ディレクトリの作成

```
$ mkdir work [Enterキー]
```

②作業ディレクトリに移動

```
$ cd work [Enterキー]
```

③入力データ（ファイル名 fflow.ct1）と計算格子ファイルを作業ディレクトリ work にコピー

④サブディレクトリの作成

並列計算を行う場合には作業ディレクトリに実行する並列度にあわせて、サブディレクトリを作成する。上記の入力データのように 4 並列で計算する場合には、hpc_0000 から hpc_0003 まで作成する。

```
$ mkdir hpc_0000 [Enterキー]
$ mkdir hpc_0001 [Enterキー]
$ mkdir hpc_0002 [Enterキー]
$ mkdir hpc_0003 [Enterキー]
```

⑤前処理の実行

Advance/FrontFlow/MP のインストールディレクトリから prefflow をコピーして、実行する。

```
$ cp /home/FrontFlow_MP/bin/prefflow .
[Enterキー]
$ ./prefflow [Enterキー]
```

⑥ユーザーサブルーチンのコピー

Advance/FrontFlow/MP のインストールディレクトリからユーザーサブルーチンをコピーする。以下のコマンドを実行すると、作業ディレクトリに /home/FrontFlow_MP/usr/user_src がコピーされる。

```
$ /home/FrontFlow_MP/bin/ffuser [Enterキー]
```

⑦ユーザーサブルーチンがあるディレクトリに移動

```
$ cd usr/user_src [Enterキー]
```

⑧usr_ini.fの中のsubroutine usrini_mpに以下のコーディングを記述

```

if(y>1.) then
  aks(1)=0.0001d0
  aks(2)=0.9999d0
else
  aks(1)=0.9999d0
  aks(2)=0.0001d0
endif

```

⑨コンパイル

以下のコマンドを実行すると、ディレクトリ内に 1CPU で計算用の fflowS と並列計算用の fflowHPC の両方が作成される。

```
$ /home/FrontFlow_MP/bin/fflowbuild [Enterキー]
```

⑩作業ディレクトリに移動

```
$ cd ../../ [Enterキー]
```

⑪メインソルバーの実行

並列計算を行う場合には fflowHPC をコピーして、実行する。

```
$ cp usr/user_src/fflowHPC . [Enterキー]
$ mpirun -np 4 ./fflowHPC [Enterキー]
```

⑫計算結果のコンバート

Advance/FrontFlow/MP のインストールディレクトリから ffr2viz をコピーして、可視化ソフトの入力形式に変換する。

```
$ cp /home/FrontFlow_MP/bin/ffr2viz . [Enterキー]
$ ./ffr2viz -m 4 -r result.frontflow -g geom.frontflow -gf FF -o RES -rf VTK [Enterキー]
```

⑬可視化

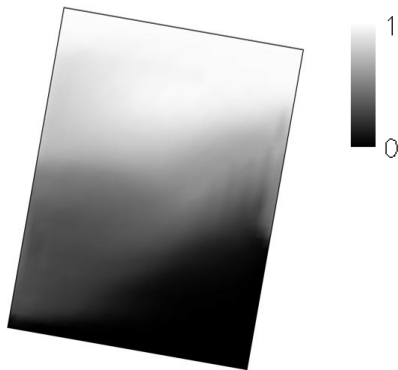


図 3 6 秒後のボイド率分布

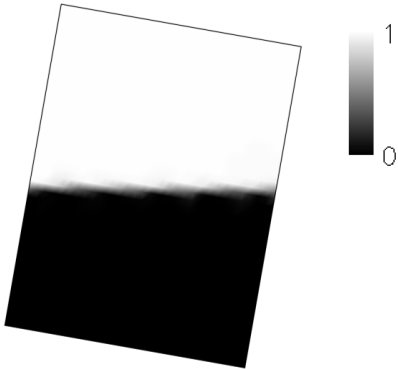


図 4 20 秒後のボイド率分布

気体と液体は 6 秒で入れ替わり、約 20 秒後に定常に達する論文⁽¹⁾の結果と一致している。

6. 計算時間

計算時間を以下に示す。

表 1 20 秒までの計算時間

並列数	計算時間
1	12 分 29 秒
2	8 分 12 秒
4	4 分 51 秒

なお、使用した計算機の仕様は以下の通りである。

- ・ OS : CentOS
- ・ CPU : Intel(R) Xeon(R)、2.80GHz
- ・ コンパイラ : Intel

7. まとめ

Advance/FrontFlow/MP による沈殿解析の入力データと実行方法を紹介した。

参考文献

[1] 寺坂晴夫,日本機械学会論文集(B 偏) , Vol.65, No. 631 (1993) 847

解析例 「液柱崩壊解析の入力データと実行方法」

杉中 隆史* 大島 小百合*

The method of Liquid column collapse analysis by Advance/FrontFlow/MP

Takafumi Suginaka* and Sayuri Oshima*

Advance/FrontFlow/MP による液柱崩壊解析の入力データと実行方法を紹介する。

Key word: 液柱崩壊、自由表面

1. はじめに

Koshizuka らが行った液柱崩壊の実験⁽¹⁾の条件で解析を行い、気液界面挙動の予測精度の検証と自由表面問題に対する適用性を確認する。

2. 解析条件

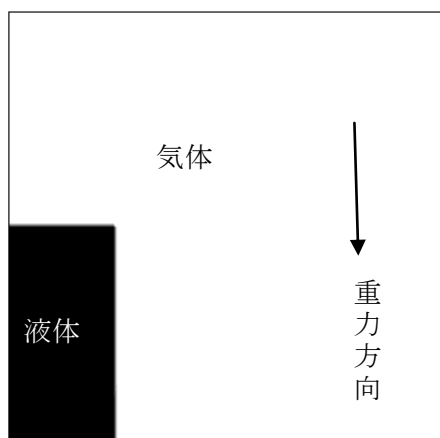


図 1 解析対象（初期値）

解析条件を以下に示す。

- ・ 気体の密度：1.2 kg/m³
- ・ 液体の密度：998.2 kg/m³
- ・ 気体の粘性係数：1.8×10⁻⁵ Pa・s
- ・ 液体の粘性係数：1×10⁻³ Pa・s
- ・ 気泡径：1 mm
- ・ 非定常計算：0.4 秒までの現象を計算
- ・ 時間刻み：0.001 秒で一定

3. 計算格子

計算格子の節点数、セル数、メッシュ図を以下に示す。

- ・ 節点数 7,695
- ・ セル数 4,928

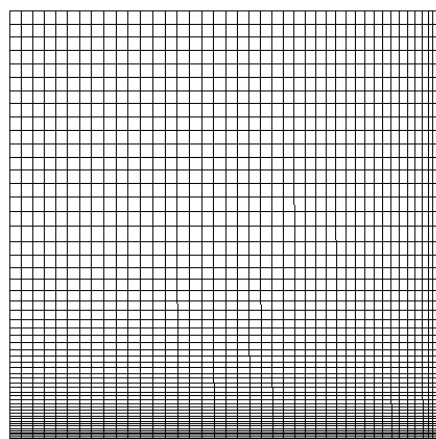


図 2 メッシュ図

4. 入力データ

使用する入力データ(ファイル名 fflow.ctl)を以下に示す。変数の説明は省略する。

```
&model
    flow      = 'incomp'
    trbmdl    = 'no'
/
&files
    gdformat = 'FV'
    gdScale  = 1.d0
    vertex   = './dum_break.grd'
    initial  = './restart_400'
    anim     = './anim'
/
&hpc_cntl
    NPE      = 4
    hpc_initial = 'restart_400'
```

*アドバンスソフト株式会社 技術第 3 部

3rd Technical Division, AdvanceSoft Corporation

```

hpc_anim    = 'animHPC'
/
&sizes
    mcell = 100000
    mface = 100000
    medge = 100000
    mvrtx = 100000
    mssfbc = 100000
    ncell = 4928
    nvrtx = 7695
/
&dimension
    z = .true.
/
&time
    start    = 0 ! use usrini.f
    end      = 400
    flowcon  = 2
/
&deltat
    dt       = 1.d-3
    option   = 'const'
/
&simple
    iter     = 6
/
&species
/
&fluid
    IMAT_U   = 1
    muopt    = 'const'
    mu       = 1.8d-5
    mu2      = 1.d-3
/
&initial
    IMAT_U   = 1
    p        = 101325
    u        = 0.d0
    v        = 0.d0
    w        = 0.d0
    dens     = 1.2d0
    aks      = 1.d-7 , 0.9999999d0
/
&initial2
    IMAT_U   = 1
    u2       = 0.d0
    v2       = 0.d0
    w2       = 0.d0
    dens2    = 998.2
/
&boundary
    no       = 1
    kind     = 'wall'
    name     = 'wal0'
    vel      = 'free-slip'
/
&boundary
    no       = 2
    kind     = 'wall'
    name     = 'wal1'
    vel      = 'free-slip'
/
&boundary
    no       = 3
    kind     = 'wall'
    name     = 'wal2'
    vel      = 'free-slip'

```

```

/
&boundary
    no       = 4
    kind     = 'symm'
    name     = 'sym1'
/
&boundary
    no       = 5
    kind     = 'symm'
    name     = 'sym2'
/
&boundary
    no       = 6
    kind     = 'wall'
    name     = 'outlet'
    vel      = 'free-slip'
/
&gravity
    g        = 0, -9.8, 0
    rho      = 1.d-10
    rho2     = 1.d-10
/
&Eul2ph
    phase_type='GAS','LIQUID'
/
&flagalp
    iflwmp   = 0
/
&parameters
    d_b0     = 1.d-3
/
&monitor
    moni_inter = 4
    monitor_x  = 0.1
    monitor_y  = 0.1
    monitor_z  = 0.05
/
&output
    start      = 0
    inter      = 100
    file       = 'result',
    type       = 'inter_i'
    multi_result = 1
/
&output
    start      = 0
    inter      = 1000
    file       = 'restart'
    type       = 'inter_i'
/
&usrsub
    output     = 'no'
    inlet      = 'no'
    initial    = 'yes'
    initial2   = 'no'
    source_uvw = 'no'
    source_t   = 'no'
/

```

5. 実行方法

Advance/FrontFlow/MP のインストールディレクトリが「/home/FrontFlow_MP/」とすると、実行は以下の手順で行う。

①計算を実行する作業ディレクトリの作成

```
$ mkdir work [Enterキー]
```

②作業ディレクトリに移動

```
$ cd work [Enterキー]
```

③入力データ(ファイル名 fflow.ctl)と計算格子ファイルを作業ディレクトリ work にコピー

④サブディレクトリの作成

並列計算を行う場合には作業ディレクトリに実行する並列度にあわせて、サブディレクトリを作成する。上記の入力データのように 4 並列で計算する場合には、hpc_0000 から hpc_0003 まで作成する。

```
$ mkdir hpc_0000 [Enterキー]
$ mkdir hpc_0001 [Enterキー]
$ mkdir hpc_0002 [Enterキー]
$ mkdir hpc_0003 [Enterキー]
```

⑤前処理の実行

Advance/FrontFlow/MP のインストールディレクトリから prefflow をコピーして、実行する。

```
$ cp /home/FrontFlow_MP/bin/prefflow .
[Enterキー]
$ ./prefflow [Enterキー]
```

prefflow をコピーしないで以下のように実行してもよい。

```
$ /home/FrontFlow_MP/bin/prefflow [Enterキー]
```

⑥ユーザーサブルーチンのコピー

Advance/FrontFlow/MP のインストールディレクトリからユーザーサブルーチンをコピーする。以下のコマンドを実行すると、作業ディレクトリに /home/FrontFlow_MP/usr/user_src がコピーされる。

```
$ /home/FrontFlow_MP/bin/ffuser [Enterキー]
```

⑦ユーザーサブルーチンがあるディレクトリに移動

```
$ cd usr/user_src [Enterキー]
```

⑧usr_ini.fの中のsubroutine usrini_mpに以下のコーディングを記述

```
if(x <= 0.1461d0 .and. y <= 0.2921d0) then
  aks(1)=0.00001d0
  aks(2)=0.99999d0
else
  aks(1)=0.99999d0
  aks(2)=0.00001d0
endif
```

⑨コンパイル

以下のコマンドを実行すると、ディレクトリ内に 1CPU で計算用の fflowS と並列計算用の fflowHPC の両方が作成される。

```
$ /home/FrontFlow_MP/bin/fflowbuild [Enterキー]
```

⑩作業ディレクトリに移動

```
$ cd ../.. [Enterキー]
```

⑪メインソルバーの実行

並列計算を行う場合には fflowHPC をコピーして、実行する。

```
$ cp usr/user_src/fflowHPC . [Enterキー]
$ mpirun -np 4 ./fflowHPC [Enterキー]
```

⑫計算結果のコンバート

Advance/FrontFlow/MP のインストールディレクトリから ffr2viz をコピーして、可視化ソフトの入力形式に変換する。

```
$ cp /home/FrontFlow_MP/bin/ffr2viz .
[Enterキー]
$ ./ffr2viz -m 4 -r result.frontflow -g
geom.frontflow -gf FF -o RES -rf VTK
[Enterキー]
```

⑬可視化

気液界面形状は論文⁽¹⁾の結果と一致している。

6. 計算時間

計算時間を以下に示す。

表 1 0.4 秒までの計算時間

並列数	計算時間
1	3 分 59 秒
2	2 分 13 秒
4	1 分 23 秒

なお、使用した計算機の仕様は以下の通りである。

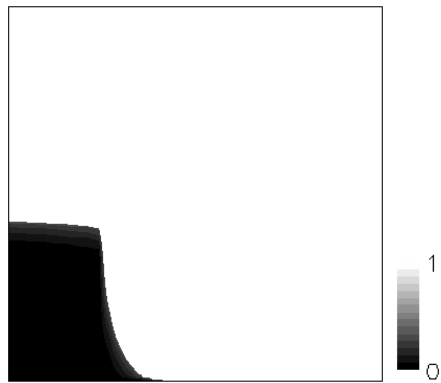
- ・ OS : CentOS
- ・ CPU : Intel(R) Xeon(R)、2.80GHz
- ・ コンパイラ : Intel

7. まとめ

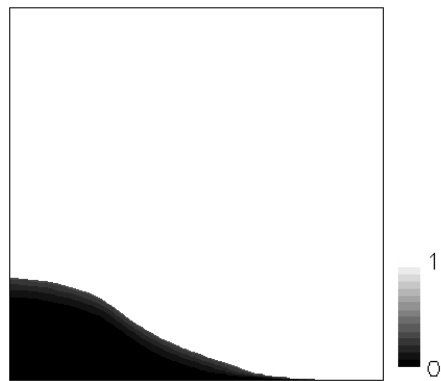
Advance/FrontFlow/MP による液柱崩壊解析の入力データと実行方法を紹介した。

参考文献

- [1] Koshizuka and Oka, Nuclear Science and Engineering,123(1996),pp.421-434.



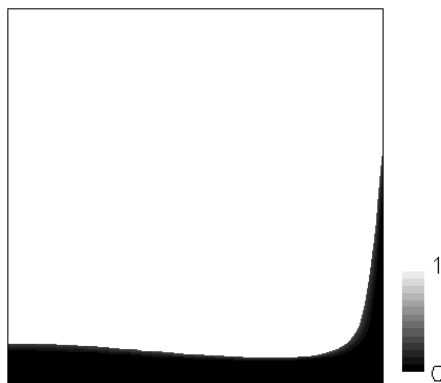
(a) 0.1 秒後



(b) 0.2 秒後



(c) 0.3 秒後



(d) 0.4 秒後

図 3 ボイド率分布

解析例 「スロッシング解析の入力データと実行方法」

杉中 隆史* 大島 小百合*

The method of Sloshing analysis by Advance/FrontFlow/MP

Takafumi Suginaka* and Sayuri Oshima*

Advance/FrontFlow/MP によるスロッシング解析の入力データと実行方法を紹介する。

Key word: スロッシング解析、自由表面

1. はじめに

Okamoto らが行ったスロッシング実験[1]の条件で解析を行い、気液界面位置と周波数の予測精度の検証と自由表面問題に対する適用性を確認する。

2. 解析条件

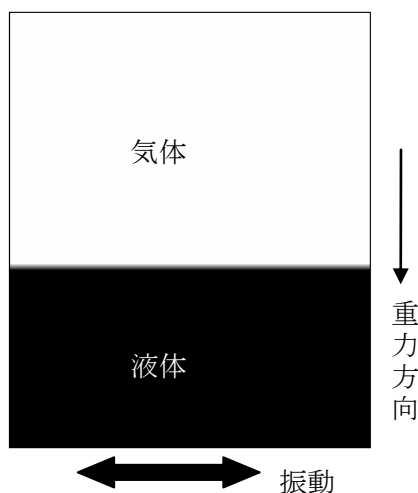


図1 解析対象（初期値）

- ・非定常計算：7秒までの現象を計算
- ・時間刻み：0.0001秒で一定

3. 計算格子

計算格子の節点数、セル数、メッシュ図を以下に示す。

- ・節点数 9,000
- ・セル数 5,782

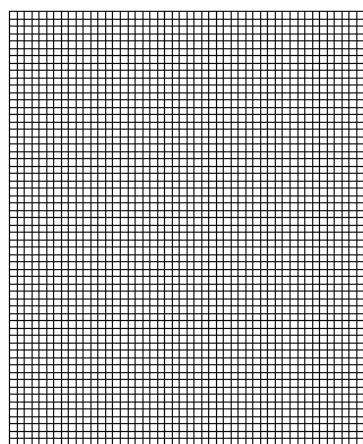


図2 メッシュ図

解析条件を以下に示す。

- ・気体の密度：1.2 kg/m³
- ・液体の密度：1000 kg/m³
- ・気体の粘性係数：1.8×10⁻⁵ Pa・s
- ・液体の粘性係数：1×10⁻³ Pa・s
- ・気泡径：1 mm
- ・液滴径：0.1 mm

4. 入力データ

使用する入力データ(ファイル名 fflow.cti)を以下に示す。変数の説明は省略する。

```
&model
    flow    = 'incomp'
    trbmdl  = 'no'
/
&files
    gdformat = 'FV'
    gdScale  = 1.d0
    vertex   = './okamoto.grd'
    initial  = './restart_40000'
```

*アドバンスソフト株式会社 技術第3部

3rd Technical Division, AdvanceSoft Corporation

```

        anim      = './anim'
/
&hpc_cntl
    NPE          = 4
    hpc_initial = 'restart_1000'
    hpc_anim     = 'animHPC'
/
&sizes
    mcell = 100000
    mface = 100000
    medge = 100000
    mvrtn = 100000
    mssfbc = 100000
    ncell  = 5782
    nvrtx  = 9000
/
&time
    start = 0 ! use usrini.f
    end   = 70000
    flowcon = 2
/
&deltat
    dt      = 1.d-4
    option = 'const'
/
&simple
    iter    = 6
/
&species
/
&fluid
    IMAT_U    = 1
    muopt     = 'const'
    mu        = 1.8d-5
    mu2       = 1.d-3
    cnv_vv    = '2nd', limitr_vv='slope'
    cnv_ke    = '2nd', limitr_ke='slope'
/
&initial
    IMAT_U = 1
    p      = 101325
    u      = 0.d0
    v      = 0.d0
    w      = 0.d0
    dens   = 1.2d0
    aks=1.d-7 , 0.9999999d0
/
&initial2
    IMAT_U = 1
    u2     = 0.d0
    v2     = 0.d0
    w2     = 0.d0
    dens2  = 1000.
/
&boundary
    no     = 1
    kind   = 'wall'
    vel    = 'no'
    name   = 'top'
    u      = 0
    v      = 0
    w      = 0
    u2     = 0
    v2     = 0
    w2     = 0
    aks    = 1.d-7, 0.9999999d0
/

```

```

&boundary
    no     = 2
    kind   = 'wall'
    vel    = 'no'
    name   = 'bottom'
    u      = 0
    v      = 0
    w      = 0
    u2     = 0
    v2     = 0
    w2     = 0
    aks    = 1.d-7, 0.9999999d0
/
&boundary
    no     = 3
    kind   = 'wall'
    vel    = 'no'
    name   = 'east'
    u      = 0
    v      = 0
    w      = 0
    u2     = 0
    v2     = 0
    w2     = 0
    aks    = 1.d-7, 0.9999999d0
/
&boundary
    no     = 4
    kind   = 'wall'
    vel    = 'no'
    name   = 'west'
    u      = 0
    v      = 0
    w      = 0
    u2     = 0
    v2     = 0
    w2     = 0
    aks    = 1.d-7, 0.9999999d0
/
&boundary
    no     = 5
    kind   = 'symmetric'
    name   = 'high'
/
&boundary
    no     = 6
    kind   = 'symmetric'
    name   = 'low'
/
&gravity
    g      = 0, -9.807, 0
    rho    = 1.d-10
    rho2   = 1.d-10
/
&Eul2ph
    phase_type='GAS','LIQUID'
/
&flagalp
    iflwmp = 1
/
&parameters
    d_b0 = 1.d-3
    d_d0 = 1.d-4
/
&monitor
    moni_inter = 1
    monitor_x  = 0.5

```

```

        monitor_y = 0.1
        monitor_z = 0.025
/
&output
    start = 0
    inter = 10000
    file = 'result',
    type = 'inter_i'
    multi_result = 1
/
&output
    start = 0
    inter = 10000
    file = 'restart'
    type = 'inter_i'
/
&usrsub
    output      = 'yes'
    inlet       = 'no'
    initial     = 'yes'
    initial2    = 'no'
    source_uvw  = 'yes'
    source_t    = 'no'
/

```

5. 実行方法

Advance/FrontFlow/MP のインストールディレクトリが「/home/FrontFlow_MP/」とすると、実行は以下の手順で行う。

①計算を実行する作業ディレクトリの作成

```
$ mkdir work [Enterキー]
```

②作業ディレクトリに移動

```
$ cd work [Enterキー]
```

③入力データ(ファイル名 fflow.ctl)と計算格子ファイルを作業ディレクトリ work にコピー

④サブディレクトリの作成

並列計算を行う場合には作業ディレクトリに実行する並列度にあわせて、サブディレクトリを作成する。上記の入力データのように 4 並列で計算する場合には、hpc_0000 から hpc_0003 まで作成する。

```

$ mkdir hpc_0000 [Enterキー]
$ mkdir hpc_0001 [Enterキー]
$ mkdir hpc_0002 [Enterキー]
$ mkdir hpc_0003 [Enterキー]

```

⑤前処理の実行

Advance/FrontFlow/MP のインストールディレクトリから prefflow をコピーして、実行する。

```

$ cp /home/FrontFlow_MP/bin/prefflow .
[Enterキー]
$ ./prefflow [Enterキー]

```

prefflow をコピーしないで以下のように実行してもよい。

```
$ /home/FrontFlow_MP/bin/prefflow [Enterキー]
```

⑥ユーザーサブルーチンのコピー

Advance/FrontFlow/MP のインストールディレクトリからユーザーサブルーチンをコピーする。以下のコマンドを実行すると、作業ディレクトリに /home/FrontFlow_MP/usr/user_src がコピーされる。

```
$ /home/FrontFlow_MP/bin/ffuser [Enterキー]
```

⑦ユーザーサブルーチンがあるディレクトリに移動

```
$ cd usr/user_src [Enterキー]
```

⑧usr_ini.fの中のsubroutine usrini_mpに以下のコーディングを記述

```

if( y <= 0.5d0) then
    aks(1)=0.d0
    aks(2)=1.d0
else
    aks(1)=1.d0
    aks(2)=0.d0
endif

```

⑨usr_src.fの中の subroutine usrsrc_uvw_mpに以下のコーディングを記述

```

suu=-0.2623d0*sin(5.311*time)*dens
suv=0.d0
suw=0.d0

```

⑩usr_out.fの中のsubroutine user_outputに液位を計算するコーディングを記述
ここでは省略する。

⑪コンパイル

以下のコマンドを実行すると、ディレクトリ内に1CPUで計算用のfflowSと並列計算用のfflowHPCの両方が作成される。

```
$ /home/FrontFlow_MP/bin/fflowbuild [Enterキー]
```

⑫作業ディレクトリに移動

```
$ cd ../../ [Enterキー]
```

⑬メインソルバーの実行

並列計算を行う場合にはfflowHPCをコピーして、実行する。

```
$ cp usr/user_src/fflowHPC . [Enterキー]
$ mpirun -np 4 ./fflowHPC [Enterキー]
```

⑭計算結果のコンバート

Advance/FrontFlow/MPのインストールディレクトリからffr2vizをコピーして、可視化ソフトの入力形式に変換する。

```
$ cp /home/FrontFlow_MP/bin/ffr2viz .
[Enterキー]
$ ./ffr2viz -m 4 -r result.frontflow -g
geom.frontflow -gf FF -o RES -rf VTK
[Enterキー]
```

⑮可視化

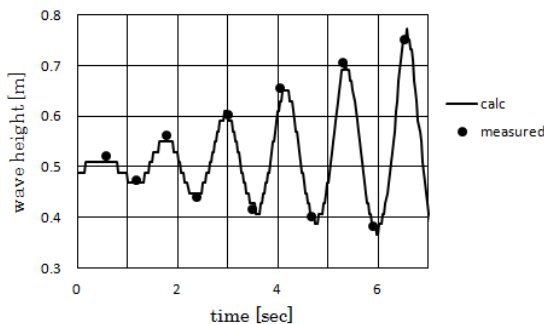


図3 右壁における界面位置の時間変化

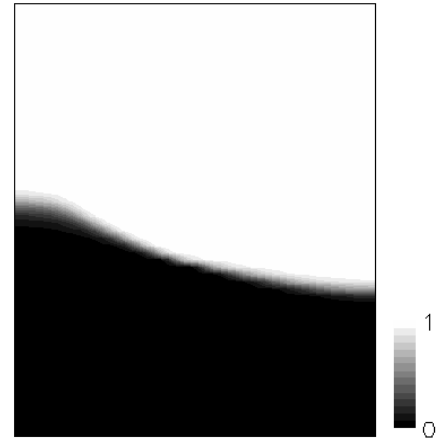


図4 7秒後のボイド率分布

図3において気液界面位置と周波数は論文⁽¹⁾の結果と一致している。

6. 計算時間

計算時間を以下に示す。

表1 7秒までの計算時間

並列数	計算時間
1	17 時間 2 分 38 秒
2	10 時間 10 分 56 秒
4	5 時間 37 分 42 秒

なお、使用した計算機の仕様は以下の通りである。

- ・ OS : CentOS
- ・ CPU : Intel(R) Xeon(R)、2.80GHz
- ・ コンパイラー : Intel

7. まとめ

Advance/FrontFlow/MP によるスロッシング解析の入力データと実行方法を紹介した。

参考文献

- [1] Okamoto, Kawahara, Int. J. Numer. Meth. Fluid 11 (1990) 453-477.