

3. 熱流体計算プログラム

3.1. 入出力ファイル一覧

熱流体計算プログラム `cf_d_unst` は、市街地の熱気流分布を非定常で算出するツールである。`cf_d_unst` の入出力ファイルを表 3.1 に示す。機番はプログラム内部の割り当て番号である。`dummy` は未使用（空データ）である。

表 3.1 `cf_d_unst` の入出力ファイル一覧

No.	ファイル名	内 容	入出力	機番
1	<code>control</code>	計算制御データ	入力	11
2	<code>grid</code>	計算格子データ	入力	13
3	<code>bnd</code>	境界条件	入力	14
4	<code>init</code>	初期条件	入力	15
5	<code>restart</code>	リスタート・データ	出力	16
6	<code>history</code>	時系列データ	出力	17
7	<code>domain</code>	領域分割データ	入力	18
8	<code>Porous</code>	ポーラスデータ	入力	19
9	<code>StHeat</code>	人工排熱データ	入力	20
10	<code>dummy</code>	未使用	入力	21
11	<code>SurfTemp</code>	メッシュ別表面温度データ	入力	22
12	<code>TreeLAD</code>	葉面積格子データ	入力	23
13	<code>out1</code>	流れ場の結果データ	出力	24
14	<code>srftflux</code>	表面熱流束データ	出力	25
15	<code>ProgressLog</code>	プログラム進捗ログ	出力	26

3.2. 入力データの準備

3.2.1. 入出力ファイル名リストデータ

cf_d_unst で使用する入出力ファイル名リストデータは file_name に収録される。ファイル名の file_name は固定である。file_name の記入例を図 3.1に示す。入出力ファイルの所在パスおよびファイル名を記述する。

```
1 ./control
2 ../db/grid
3 bnd
4 linit
5 restart_
6 history_
7 domain
8 ../db/Porous
9 StHeat
10 dummy01
11 ../db/Surftemp
12 dummy02
13 out1_
14 srfhtflux_
15 ProgressLog_
```

図 3.1 file_name の記入例

(注意点) bnd、StHeat の格納フォルダは、control で規定される (3.3.1)。bnd、StHeat のデータ様式を cf_d_unst がいったん読み込む必要があるため、bnd、StHeat の格納フォルダとは別に、任意の時刻の bnd、StHeat を cf_d_unst の実行フォルダ (control や file_name があるフォルダ) にあらかじめコピーしておく必要がある。

3.2.2. 計算制御データ

計算制御データは control に収録される。control の記入例を図 3.2に示す。

```

1      300      300      100
2          2
3      -1          1 1.00E+20
4      999999      999999      999999      -1
5          5          300 1.00E+10      300
6          1          1
7          1          1          1
8      -1          1          1
9          9          9          9          9
10     4000 1.d-12          -1
11     4000 1.d-10
12          2
13     0.99          0.01
14     301.95      101325
15          0          0          0
16          0          0
17          2
18     0.99          0.01
19     301.95
20          0          0      -9.8          1
21          0.9          0.9
22          0
23     18.2d-6      293.15      117
24          0.72          0.5
25          2
26     28.964d-3      1005          0          0          0          0
27     18.015d-3      1854          0          0          0          0
28          0
29          1 5.d-6          300
30          0          0          0
31          2          2          0
32     5.00E-02      5.00E-02
33
34
35 &date_and_place
36     date=2012,8,15,14
37 /
38 &dummygrid
39     nxf=0
40     nyf=0
41     dxf=5
42 /

```

図 3.2 control の記入例

各項目の内容は「付録：入出力データ説明書」に説明しているが、留意点などは以下のとおりである。

- ・ 計算制御データ `control` では、メッシュ分割、時間分割などの基本的な計算条件に加え、必要に応じて変数を `namelist` 形式で指定している。図 3.2 の事例では、2 つの `namelist` (`&date_and_place`、`&dummygrid`) が設定されている (`namelist` の詳細は、付録 入出力データ説明書を参照)。

- ・ `namelist/dummygrid/` について

ファイル `StHeat`, `TreeLAD`, `Porous`, `SurfTemp` は、緩衝領域の有無に関わらず、緩衝領域なしのインデックスでデータを整備する。緩衝領域をファイル `StHeat`, `TreeLAD`, `Porous`, `SurfTemp` に指定する場合、変数 `nx`, `ny` を使用してインデックスをシフトする。

3.2.3. 計算格子データ

計算格子データは `grid` に収録される。`grid` の記入例を図 3.3に示す。

X座標	301				
	0	5	10	15	20
	25	30	35	40	45
	50	55	60	65	70
	~ (中略) ~				
Y座標	1425	1430	1435	1440	1445
	1450	1455	1460	1465	1470
	1475	1480	1485	1490	1495
	1500				
	301				
	0	5	10	15	20
	25	30	35	40	45
	50	55	60	65	70
	~ (中略) ~				
	1425	1430	1435	1440	1445
1450	1455	1460	1465	1470	
1475	1480	1485	1490	1495	
1500					
Z座標	101				
	0	0.99868	2.03106	3.09819	4.20119
	5.34117	6.51931	7.73678	8.99481	10.29465
	11.63758	13.02493	14.45803	15.93827	17.46706
	19.04584	20.6761	22.35935	24.09713	25.89102
	~ (中略) ~				
	356.1562	365.1801	374.3046	383.5256	392.8389
	402.2402	411.7249	421.2883	430.9253	440.6309
	450.3998	460.2266	470.1058	480.0316	489.9983
	500				

図 3.3 計算格子データの記入例

各項目の内容は「付録：入出力データ説明書」に説明しているが、留意点などは以下のとおりである。

- ・ 水平方向に緩衝領域を設定する場合は、緩衝領域を含めて座標値を設定する。

3.2.4. 境界条件データ

境界条件データは **bnd** に収録される。**bnd** の記入例を図 3.4に示す。

ヘッダ部	0	0	0	0	0	0		
	2							
	53505							
境界 1	0	300	0	300	0	0	0	0
	2	5	2	2	2			
	0	0	0	301.15	0			
	1	0						
境界 2	0	1	0	0	0	1	0	0
	2	1	2	2	2			
	-4.90E-01	-6.91E-01	0.00E+00	3.06E+02	0.00E+00			
	9.86E-01	1.42E-02						
	1.20E-02	1.03E-03						
境界 3	1	2	0	0	0	1	0	0
	2	1	2	2	2			
	-4.93E-01	-6.96E-01	0.00E+00	3.06E+02	0.00E+00			
	9.86E-01	1.42E-02						
	1.20E-02	1.03E-03						
	~ (中略) ~							
境界 n	299	300	299	300	100	100	0	0
	3	4	1	1	4			
	-2.13E+00	-3.18E+00	0.00E+00	3.03E+02	9.53E+04			
	9.87E-01	1.28E-02						
	1.19E-02	8.94E-06						

図 3.4 境界条件データの記入例

各項目の内容は「付録：入出力データ説明書」に説明しているが、留意点などは以下のとおりである。

- ・ 水平方向に緩衝領域を設定する場合は、緩衝領域を含めた範囲で設定する。

bnd では境界メッシュに流体境界条件として、風速、温位、圧力、比湿、乱流統計量を設定する。ユーザーは、観測データやメソ気象モデルの計算結果を参照して **bnd** に反映する必要がある。参考までに、境界条件の代表的な設定方法を以下に示す。

【風速】

アメダスデータの測定高と風向をもとに 1/7 乗則により鉛直プロファイルを与える。

$$\frac{u}{u_0} = \left(\frac{z}{z_0} \right)^{1/7} \quad (3.1)$$

ここで、 z_0 : 測定高[m]、 u_0 : 測定風速[m/s]である。

【温位および比湿】

観測値を一様に設定する。

【上空境界の圧力】

上空境界の圧力は等温位場における静水圧分布の式

$$p^n = (p_{z=0})^n - \frac{ngp_0^n}{R\theta} z \quad (n = R/C_p) \quad (3.2)$$

から計算する。ここで、 $p_0 = 1000$ [hPa]、 $R = 287$ [J/kgK]、 $C_p = 1005$ [J/kgK]、 $g = 9.8$ [m/s²]である。

【 k および ε 】

乱流エネルギー k および乱流エネルギー散逸率 ε の鉛直プロファイルは、

$$\mu_T \frac{\partial u}{\partial z} = \text{一定} \quad , \quad \varepsilon = \sqrt{C_\mu} k \frac{\partial u}{\partial z} \quad (3.3)$$

を仮定する。すなわち、

$$\rho k = \text{一定。}$$

ただし、簡単のため密度 ρ を一定とするため、実際は $k = \text{一定}$ とする。

一定とする乱流エネルギー k は次のように計算する。風速に関する鉛直プロファイルを与える $1/7$ 乗則を適用して地表面付近 $z_1 = 0.5\text{m}$ (第1セル中心点の高さで鉛直座標値データにより変化する)における風速 u_1 を計算する。

$$\frac{u_1}{u_0} = \left(\frac{z_1}{z_0} \right)^{1/7} \quad (3.4)$$

地表面付近では対数則を適用して、摩擦速度 u^* を計算する。

$$\frac{u_1}{u^*} = \frac{1}{\kappa} \ln \left(\frac{z_1 u^*}{\nu} \right) + A \quad (3.5)$$

これより乱流エネルギー k は次のように与えられる。

$$k = \frac{(u^*)^2}{\sqrt{C_\mu}} \quad (3.6)$$

3.2.5. 初期条件データ

初期条件データは `init` に収録される。「付録：入出力データ説明書」に説明しているが、留意点などは以下のとおりである。

- ・ 計算制御データで指定する一様流を初期条件とする場合は、空のファイルを用意すればよい。Linux 環境の場合は `touch` コマンドで作成できる。
- ・ リスタート計算を行う場合は、前回計算のリスタート・ファイルを初期条件データとして利用する。

3.2.6. 領域分割データ

領域分割データは `domain` に収録される。`domain` の記入例を図 3.5に示す。

1							
0	1	300	1	300	1	100	

4							
0	1	150	1	150	1	100	
1	151	300	1	150	1	100	
2	1	150	151	300	1	100	
3	151	300	151	300	1	100	

図 3.5 `domain` の記入例 上：分割なし、下：2×2 分割

各項目の内容は「付録：入出力データ説明書」に説明しているが、留意点などは以下のとおりである。

- ・ 水平方向に緩衝領域を設定する場合は、緩衝領域を含めた範囲で設定する。

3.2.7. ポーラスデータ

2.2.14 に示したとおりである（以下再掲）。ポーラスデータの記入例を図 3.6に示す。

# i	j	k	Vf	Ai-	Ai+	Aj-	Aj+	Ak-	Ak+	
1	1	1	3	0.1824	0.1824	0.1824	0.1824	0.1824	0	1
1	1	2	3	0.1824	0.1824	0.1824	0.1824	0.1824	0	1
1	1	3	3	0.1824	0.1824	0.1824	0.1824	0.0917	0	1
1	1	4	3	0.0917	0.0917	0.0917	0.0917	0.0917	0	1
1	1	5	3	0.0917	0.0917	0.0917	0.0917	0.0917	0	1
1	1	6	3	0.0917	0.0917	0.0917	0.0917	0.0917	0	1
1	1	7	3	0.0917	0.0917	0.0917	0.0917	0.0917	0	1
1	1	8	3	0.0917	0.0917	0.0917	0.0917	0.0917	0	1
1	1	9	3	0.0917	0.0917	0.0917	0.0917	0.0917	0	1
1	1	10	3	0.0917	0.0917	0.0917	0.0917	0.0917	0	1
～（中略）～										
150	150	146	2	0	0	0	0	0	0	0
150	150	146	3	0.9984	0.9984	0.9984	0.9984	0.9984	0	1
150	150	147	2	0.092	0.092	0.092	0	0.092	0	1
150	150	147	3	1	1	1	0.9984	1	1	1
150	150	148	2	0.092	0.092	0.092	0.092	0	0	1
150	150	148	3	1	1	1	1	0.9984	1	1
150	150	149	2	0	0	0	0	0	0	0
150	150	149	3	0.9984	0.9984	0.9984	0.9984	0.9984	0	1
150	150	150	2	0.092	0.092	0.092	0	0.092	0	1
150	150	150	3	1	1	1	0.9984	1	1	1

図 3.6 ポーラスデータの記入例

各項目の内容は「付録：入出力データ様式」に説明しているが、留意点などは以下のとおりである。

- ・第 1～3 列のインデックス(i,j,k)は面素が含まれる熱流体計算セルのインデックスに相当する。鉛直インデックス k の最下層は k=0 とする。
- ・第 4 列 Vf は体積占有率（熱流体解析セルの全体積に対して流体が占有する体積の割合）である。
- ・第 5～10 列 A は面積開口率（熱流体解析セルの界面において流体が占有する面積の割合）である。
- ・水平方向に緩衝領域を設定する場合でも、第 1～2 列の水平インデックス(i,j)は緩衝領域を含まない状態で設定する。

3.2.8. 人工排熱データ

人工排熱データは StHeat に収録される。StHeat の記入例を図 3.7に示す。

#i	j	k	Hour	VclSens	VclLant	BldSens	BldLant
1	30	3	1	3.92E-01	2.00E-02	0.00E+00	0.00E+00
1	31	3	1	4.36E+01	2.23E+00	0.00E+00	0.00E+00
1	32	3	1	4.43E+01	2.26E+00	0.00E+00	0.00E+00
1	33	3	1	4.43E+01	2.26E+00	0.00E+00	0.00E+00
1	34	3	1	4.43E+01	2.26E+00	0.00E+00	0.00E+00
1	35	3	1	4.43E+01	2.26E+00	0.00E+00	0.00E+00
1	36	3	1	3.58E+00	1.82E-01	0.00E+00	0.00E+00
1	37	3	1	3.58E+00	1.82E-01	0.00E+00	0.00E+00
1	38	3	1	1.04E+01	5.37E-01	0.00E+00	0.00E+00
1	39	3	1	1.04E+01	5.36E-01	0.00E+00	0.00E+00
~ (中略) ~							
150	141	17	1	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
150	142	17	1	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
150	143	17	1	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
150	144	17	1	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
150	145	3	1	7.09E-04	3.61E-05	0.00E+00	0.00E+00
150	146	3	1	3.15E+00	1.60E-01	0.00E+00	0.00E+00
150	147	2	1	3.70E+00	1.88E-01	0.00E+00	0.00E+00
150	148	2	1	7.22E+01	3.66E+00	0.00E+00	0.00E+00
150	149	3	1	6.98E+01	3.54E+00	0.00E+00	0.00E+00
150	150	2	1	7.22E+01	3.66E+00	0.00E+00	0.00E+00

図 3.7 StHeat の記入例

各項目の内容は「付録：入出力データ様式」に説明しているが、留意点などは以下のとおりである。

- StHeat は、bnd とともに同じディレクトリに収録される。
- 水平方向に緩衝領域を設定する場合でも、第 1~2 列の水平インデックス(i,j)は緩衝領域を含まない状態で設定する。
- 第 1~3 列のインデックス(i,j,k)は面素が含まれる熱流体計算セルのインデックスに相当する。鉛直インデックス k の最下層は k=0 とする。
- 第 5~6 列のインデックス(VclSens,VclLant)は、熱流体計算セルに付与する単位体積当たりの人工排熱（顕熱、潜熱）である。

3.2.9. 葉面積格子データ

葉面積格子データは TreeLAD に収録される。TreeLAD の記入例を図 3.8に示す。

#i	j	k	LAD	
	7	10	2	1.5
	8	10	2	1.5
	23	10	2	1.5
	24	10	2	1.5
	7	11	3	1.5
	8	11	3	1.5
	23	11	3	1.5
	24	11	3	1.5
	23	10	4	1.5
	24	10	4	1.5
	7	11	4	1.5
	8	11	4	1.5
(以下、行の繰り返し)				

図 3.8 TreeLAD の記入例

各項目の内容は「付録：入出力データ様式」に説明しているが、留意点などは以下のとおりである。

- ・ 水平方向に緩衝領域を設定する場合でも、第 1～2 列の水平インデックス(I,J)は緩衝領域を含まない状態で設定する。
- ・ 第 1～3 列のインデックス(i,j,k)は面素が含まれる熱流体計算セルのインデックスに相当する。鉛直インデックス k の最下層は k=0 とする。

3.2.10. メッシュ別表面温度

メッシュ別表面温度は SurfTemp に収録される。SurfTemp は、表面温度計算プログラムの出力である SurfTemp_ をリネームして利用する。

3.3. 非定常 CFD 計算

3.3.1. 計算制御データ

`cfu_unst` で複数の連続時刻ないしは日々に渡る非定常の計算を行う場合は、計算制御データに `namelist/unsteady/` を記入する。`namelist/unsteady/` の記入例を図 3.9 に示す。

```
&unsteady
  lunstdy=1 nsimpl=1
  deltt_ts=300
  dir_input='./Data_cfdM/Mk_GrdBnd/Tran_Data/TRNS'
  hours=0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23, 24,
  25,26,27,28,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,42,43,44,45,46,47,48,
  49,50,51,52,53,54,55,56,57,58,59,60,61,62,63,64,65,66,67,68,69,70,71,72,
  73,74,75,76,77,78,79,80,81,82,83,84,85,86,87,88,89,90,91,92,93,94,95,96
  cyclehr=10000
/
```

図 3.9 計算制御データ `namelist/unsteady` の記入例

各項目の内容は「付録：入出力データ説明書」に説明しているが、留意点などは以下のとおりである。

- ディレクトリ `TRNS*` 以下に毎正時の `Sheat,bnd` を格納する。
- 開始時刻を 0 時とし、ディレクトリ `TRNS*` の末尾は 2 桁の通し時刻を付加する。
図 3.9 に例示した 4 日間の場合、時刻 00~96 までとなる。
(例) `TRSN00, TRSN01, TRNS02, …, TRNS96`
- `deltt_ts` は地表面境界条件を付与する時間刻み (`SurfTemp` の線形補間) である。
- `namelist/date_and_place/` の情報は使用しない (入力しても無視される)。

3.4. 並列計算

3.4.1. 領域分割と PE 配置

水平 2 次元の領域分割により分散メモリ環境での MPI 並列計算ができる。東西方向に 3 分割、南北方向に 2 分割する場合、図 3.10 のように PE を配置する。

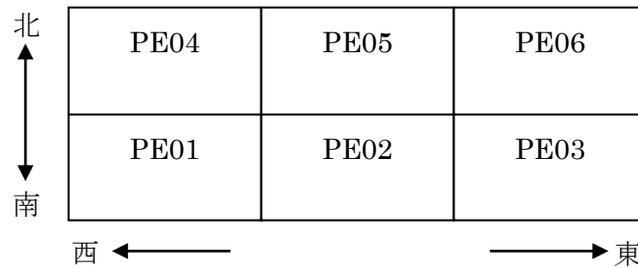


図 3.10 領域分割と PE 配置

3.4.2. 領域分割データ

領域分割データは domain に収録される。domain の記入例を図 3.11 に示す。

4						
0	1	150	1	150	1	100
1	151	300	1	150	1	100
2	1	150	151	300	1	100
3	151	300	151	300	1	100

図 3.11 domain の記入例 (2×2 分割の場合)

各項目の内容は「付録：入出力データ説明書」に説明しているが、留意点などは以下のとおりである。

- ・ 水平方向に緩衝領域を設定する場合は、緩衝領域を含めた範囲で設定する。
- ・ 第 2 行以降の第 1 列は PE ランクであるが、0 から順番に (PE 数 - 1) まで並べる。

3.4.3. 入力ファイルの領域分割

分割された領域ごとに必要となる入力ファイルを表 3.2に一覧して示す。

表 3.2 領域分割が必要な入力ファイル一覧

No.	ファイル名	内 容
1	bnd	境界条件
2	init	初期条件
3	Porous	ポーラスデータ
4	StHeat	人工排熱データ
5	SurfTemp	メッシュ別表面温度
6	TreeLAD	葉面積格子データ

これらのファイル名は、例えば、

bnd0000, bnd0001, bnd0002, …

などのように、末尾に4桁のPEランクを付加する。境界条件以外のデータはセル・インデックスに紐づけられたデータである。PEランクnが担当するセル・インデックスに対応するデータをそれぞれのファイルに分割して格納する。境界条件はセル界面(格子点)のインデックスに紐づけられたデータであることと、離散式が一つとなりのセルを参照することから、担当領域の1つ外側のセルまでを含めて分割、格納する。熱流体計算プログラムでは、各領域のi,j,kは全体領域のi,j,kと合致する。一方、表面温度計算プログラムでは、領域ごとに1から始まるPIDを割り振るので、各領域のPIDは全体領域のPIDと合致しない。全体領域の表面温度を描画する際は、PIDのつけ方の違いに注意すること(付録 入出力データ様式 Pid2Pidを参照)。

計算結果は1つにまとめることなく、それぞれのPEから直接外部ファイルに出力される。領域ごとに分割して出力されるファイルを表 3.3に一覧して示す。入力ファイルと同様にファイル名の末尾に4桁のPEランクが付加される。

表 3.3 領域分割される出力ファイル一覧

No.	ファイル名	内 容
1	restart	リスタート・データ(流れ場)
2	out1	流れ場の結果
3	srfhtflux	表面熱流束

3.5. 出力データの利用

出力データの利用について以下に示す。3.5.1～3.5.2 のデータ様式は、付録 入出力データ様式を参照。3.5.3 の出力形式は、付録 入出力データ説明書 4 章を参照。

3.5.1. 流れ場データ

流れ場データの出力ファイル名は `out1_` である。`out1_` では、気温、風速、比湿および乱流エネルギーが熱流体計算セルごとに出力されている。これらは、流れ場の可視化表示などに利用できる。

3.5.2. 表面熱流束データ

表面熱流束データの出力ファイル名は `srfhtflux_` である。`srfhtflux_` では、セル体積当たりの対流顕熱・潜熱フラックスが出力されている。これらは、開発過程でプログラムのデバッグや検査のために用いられた。

3.5.3. リスタート・データ

流れ場のリスタート・データの出力ファイル名は `restart_` である。`restart_` では、次回計算に必要な前回計算の結果などが出力されている。これを `init` にリネームして再計算することで、リスタートすることができる。その際、`control` の 3 行目には開始ステップを記入する。