

SUBROUTINE Block の活用例: 簡易的な自然対流熱伝達の例

1. 本文書について

本文書では、熱伝達係数の算出を題材として、簡易的な SUBROUTINE Block の活用例を記します。ここでは、参考文献[2]を参考とし、図 1 のような平行平板の熱伝達率を算出する SUBROUTINE Block の活用を試みます。尚、問題を単純にすることを目的とし、ここでは A 面のみ考慮します。

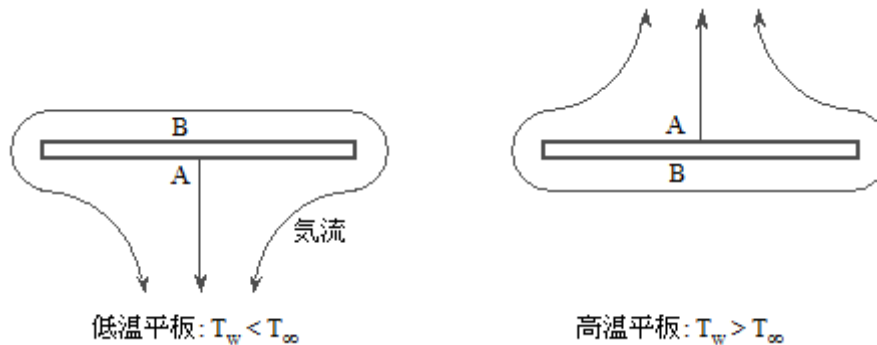


図 1: 自然対流模式図

A 面

$$\begin{aligned} \text{Nu}_L &= 0.54 (\text{Gr}_L \cdot \text{Pr})^{1/4} && (10^5 < \text{Gr}_L \cdot \text{Pr} < 2 \times 10^7) \\ \text{Nu}_L &= 0.14 (\text{Gr}_L \cdot \text{Pr})^{1/3} && (2 \times 10^7 < \text{Gr}_L \cdot \text{Pr} < 3 \times 10^{10}) \end{aligned}$$

ここで、 Nu_L 、 Gr_L の代表長さは正方形板の一片の長さ L である。

2. 試作回路

図 2 のような試作回路を使用します。この回路を使用して、参考文献[2] 第7章 例題2を、SUBROUTINE Block を活用して計算することを想定します。

- 周囲の空気温度は 20 [degC].
- 平板は 1[m]四方の正方形. 温度は 60 [degC] に保たれている.
- 前述の Nu 算出式を使用して、熱伝達係数, 及び, 放熱量を算出する.
- 但し, 本例では, 問題を単純にする為, A 面のみを考慮する.

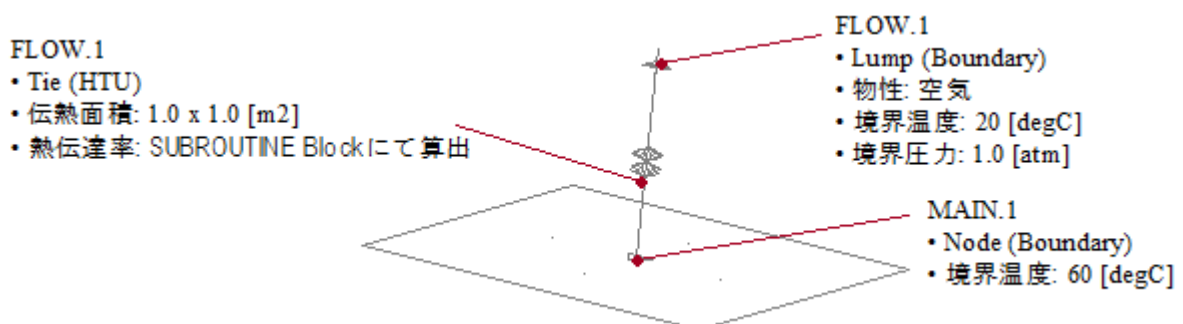
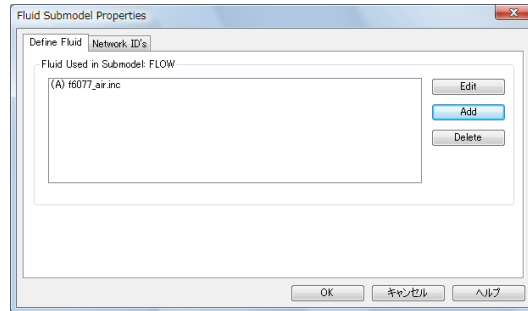


図 2: Thermal Desktop 試作回路

3. 作成手順の概要

Lump, Surface (Thermal Desktop Rectangle), 及び, Tie を組み合わせて回路を組み立てます. 具体的な構成・設定などは, 直接, *.dwg をご参照願います. 本回路では, 流体物性として, (デフォルトの空気ではなく)物性値を格納したファイル f6077_air.inc を使用しています. 熱伝達係数の算出に必要な物性値は, このファイル内から取り出すようになります.



回路の組み立てを終えた後, SUBROUTINE Block にサブルーチンを記載します. ここでは, 仮に, NCHHPU (Natural Convection Heat transfer coefficient for Horizontal Plate, Upward heated) というルーチン名にしました. NCHHPU の動作概要としては, 次のようにかかけます:

サブルーチン NCHHPU:

1. 空気温度, 圧力, クオリティ, 平板温度, 及び, 平板の代表長さを受け取る.
2. 組み込みサブルーチン NCPROP をコールした後, Ra 数 ($=Gr \cdot Pr$) を算出する.
3. Ra 数を使用して, Nu 数, 及び, 熱伝達係数を算出する.
4. 各変数を入力する (値の確認を目的とし, messages_case0.txt に出力する).

HEADER SUBROUTINES

```
C
C Purpose: calculate natural convection HTC for upward heated surface
C
C Arguments:
C   TAMB - input ambient temperature [K]
C   PAMB - input ambient pressure [Pa]
C   XAMB - input ambient quality [-]
C   TWAL - input wall temperature [K]
C   CLEN - input characteristic length [m]
C   HHPU - returned HTC upward heated surface [W/(m2-K)]
C
C Variables:
C   TEFF - effective film temperature [K]
C   RABS - base of the Rayleigh number [1/(K-m3)]
C   RAYL - Rayleigh number
C   KAIR - thermal conductivity of air [W/(m-K)]
C   NUSS - Nusselt number
C
F   SUBROUTINE NCHHPU(TAMB, PAMB, XAMB, TWAL, CLEN, HHPU)
    CALL COMMON

F   REAL TAMB, PAMB, XAMB, TWAL, TEFF, RABS, RAYL, KAIR, NUSS, HHPU

C   calculate effective film temperature
```

```

F      TEFF = (TWAL+TAMB)/2.

C      get RABS
F      CALL NCPROP(PAMB, TEFF, XAMB, RABS, PTEST, CTEST, BTEST,
+           FLOW.FI)

C      calculate Rayleigh number
F      RAYL = RABS*ABS(TWAL-TAMB)*CLEN**3.

C      calculate Nusselt number
F      IF(1.E5 .LT. RAYL .AND. RAYL .LT. 2.E7) THEN
F      NUSS = 0.54*RAYL**0.25
F      ENDIF

F      IF(2.E7 .LT. RAYL .AND. RAYL .LT. 3.E10) THEN
F      NUSS = 0.14*RAYL**0.333333
F      ENDIF

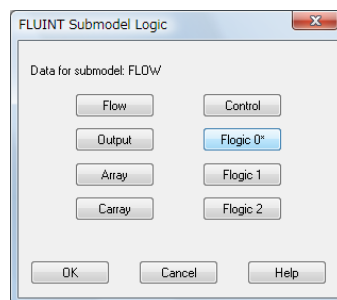
C      get thermal conductivity of air
F      KAIR = VCONDV(PAMB, TEFF,
+           FLOW.FI)
F      HHPU = NUSS*KAIR/CLEN

C      Output
WRITE(*,*) ''
WRITE(*,'(a7, i13)') 'LOOPCT:', LOOPCT
F      WRITE(*,'(a8, f12.2)') ' TAMB =', TAMB
F      WRITE(*,'(a8, f12.1)') ' PAMB =', PAMB
F      WRITE(*,'(a8, f12.3)') ' XAMB =', XAMB
F      WRITE(*,'(a8, f12.2)') ' TWAL =', TWAL
F      WRITE(*,'(a8, f12.2)') ' CLEN =', CLEN
F      WRITE(*,'(a8, f12.2)') ' TEFF =', TEFF
F      WRITE(*,'(a8, e12.5)') ' RABS =', RABS
F      WRITE(*,'(a8, e12.5)') ' RAYL =', RAYL
F      WRITE(*,'(a8, f12.5)') ' KAIR =', KAIR
F      WRITE(*,'(a8, f12.3)') ' NUSS =', NUSS
F      WRITE(*,'(a8, f12.3)') ' HHPU =', HHPU

      END

```

次に、このサブルーチン NCHHPU を呼び出す文を記載します。具体的には、FLOGIC 0 Block に記載します。



FLOGIC 0 Block では、次のような内容の Fortran-like 文を記載しています。

FLOGIC 0 Block:

1. Tie ID=1 の伝熱面積 (AHT1) を設定する.
2. (ユーザー) サブルーチン NCHHPU をコールする. UB1 (Tie ID=1 の熱伝達係数を格納する変数) には, 返却値として, 熱伝達係数値が格納される.

```
C input haet transfer area
```

```
AHT1=1.0*1.0
```

```
C get HTC (and put it into UB1)
```

```
CALL NCHHPU (TL1, PL1, XL1, MAIN.T1, 1.0, UB1)
```

4. 計算結果

SUBROUTINE Block 内の WRITE 文の出力, 及び, 計算結果の可視化画面を掲載します.

WRITE 文の出力:

```
TAMB = 293.15  
PAMB = 101325.0  
XAMB = 1.000  
TWAL = 333.15  
CLEN = 1.00  
TEFF = 313.15  
RABS = 0.76709E+08  
RAYL = 0.30684E+10  
KAIR = 0.02734  
NUSS = 203.436  
HHPU = 5.562
```

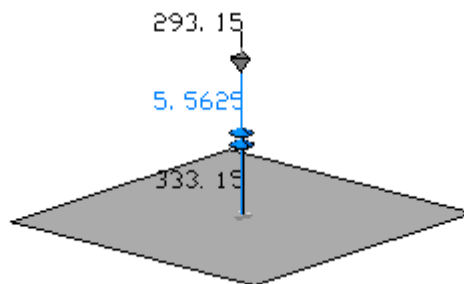


図 3. 温度[K], 及び, 熱伝達係数[W/(m2-K)]

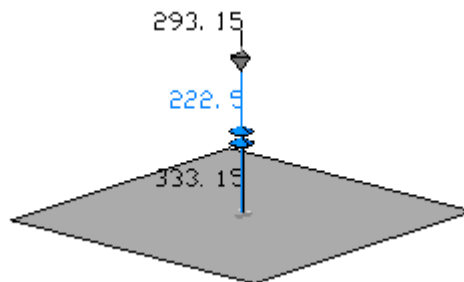


図 4. 温度[K], 及び, 伝熱量[W]

参考文献[2] 第 7 章 例題 2 の解答, 及び, 計算結果を下の表に記します. 両者(参考文献, 及び, SINDA/FLUINT 計算)では, 結果に僅かな差異が見られます. 要因としては, 計算に使用する物性値が異なることが挙げられます. しかしながら, (僅かな差異はあるものの) ほぼ同じ結果であることが確認できます.

	参考文献 [2] 第 7 章 例題 2 の解答	計算結果
Ra 数 (Gr Rr)	3.10E+09	3.07E+09
Nu 数	204	203.436
熱伝達係数	4.78 [kcal/(m ² -h-deg)] (\approx 5.559.. [W/(m ² -K)])	5.562 [W/(m ² -K)]
伝熱量	191 [kcal/h] (\approx 222.0.. [W])	222.5 [W]

参考文献

[1] Cullimore et al, SINDA/FLUINT Version 5.6 User's Manual

[2] 内田秀雄 編, 大学演習 伝熱工学, (1983), 昇華房.