

## 伝熱実験

—熱電対を使った温度計測と熱伝導実験及び熱交換器実験—

### 2. 熱交換実験

九州工業大学 機械知能工学科 機械コース

3 年 学籍番号:13104069 坂本 悠作

実験日 2:平成 27 年 7 月 8 日

提出日 :平成 27 年 7 月 15 日

共同実験者

川内 諒

川上 晃弘

金城 悟

草場 悠真

石井 敦

一ノ宮 浩祐

砂野 仁輝

高野 真里

是永 遼介

酒井 淳

里中 花実

白石 大輔

高木 怜

## 1 目的

並流型及び交流型熱交換器について、対数平均温度差、熱通過率、及び温度効率を実験により求め、熱伝達理論と実験の比較、実験結果の整理方法を学ぶ。

## 2 レポート課題

2.1 次元解析から  $Nu = CRe^m Pr^n$  を導く (バッキンガムの  $\pi$  定理を利用)。また、ヌセルト数、レイノルズ数、プラントル数の物理的意味を調べる。

### 2.1.1 バッキンガムの $\pi$ 定理

バッキンガムの  $\pi$  定理は、 $n$  個の物理量と  $m$  個の基本物理量が存在するとき、 $(n-m)$  個の無次元量で表現できるという定理。熱伝導実験で関係がある物理量を表 1 に示す。

表 1: 物理量		
物理量	記号	MLST 次元式
熱伝達率	$h$	$M/(S^3T)$
流体の密度	$\rho$	$M/L^3$
定圧比熱	$C_p$	$L^2/(S^2)$
代表寸法	$l$	$L$
流体の熱伝導率	$\lambda$	$ML/(S^3T)$
流速	$w$	$L/S$
流体の粘性係数	$\mu$	$M/(LS)$

$$Nu = \frac{hd}{\lambda} = 0.023Re^{0.8}Pr^{\frac{1}{3}} \quad (1)$$

これら 7 つの物理量に対して、次の式が成立する

$$f(h, \rho, C_p, l, \lambda, w, \mu) = 0 \quad (2)$$

よって、(物理量-基本物理量)=(7-4)=3 となるので、3 つの無次元数を用いて

$$f(\pi_1, \pi_2, \pi_3) = 0 \quad (3)$$

### 2.1.2 ヌセルト数の導出

ヌセルト数は、熱伝達率  $h$  に関する無次元量であるので、 $l, \lambda, w, \mu$  を用いて無次元化していく。無次元量  $\pi_1$  と  $h$  の間には、次の関係があるとする。

$$\pi_1 = \frac{h}{l^a \lambda^b w^c \mu^d} \quad (4)$$

MLST 次元量で書き直すと、

$$\pi_1[\cdot] = \frac{M^1 S^{-3} T^{-1}}{M^{b+d} L^{a+b+c-d} S^{-3b-c-d} T^{-b}} \quad (5)$$

よって、連立方程式が成り立つ。

$$\begin{aligned} b + d &= 1 \\ a + b + c - d &= 0 \\ -3b - c - d &= -3 \\ -b &= -1 \end{aligned}$$

これを解いて、 $a=-1, b=1, c=0, d=0$ となる。よって、

$$\pi_1 = \frac{hl}{\lambda} = Nu \quad (6)$$

同様に、

$$\pi_2 = \frac{wl\rho}{\mu} = Re \quad (7)$$

$$\pi_3 = \frac{C_p\mu}{\lambda} = Pr \quad (8)$$

以上より、

$$\begin{aligned} \pi_1 &= f(\pi_2, \pi_3) \\ Nu &= f(Re, Pr) \\ &= CRe^m Pr^n (C, m, n \text{ は定数}) \end{aligned} \quad (9)$$

### 2.1.3 物理的意味

#### 1. ヌセルト数

対流熱伝導の際に、壁面での温度勾配を基準温度勾配で除したもの。このあたいが大きければ壁面でより急峻な変化をしており、逆に小さければ壁面での変化は緩やかになる。

$$Nu = \frac{hd}{\lambda} \quad (10)$$

#### 2. レイノルズ数

流れの特性を表す無次元数で、層流か乱流かを判断する量。分子は慣性力、分母は粘性を示す量で、乱流が発生しにくい環境 (慣性力が小さく、粘性が大きい) ではレイノルズ数は小さくなる。

$$Re = \frac{\rho ul}{\mu} \quad (11)$$

#### 3. プラントル数

流れと熱移動の相関を表す無次元数。温度境界層と速度境界層の関係を注目した場合、速度境界層に対して温度境界層の方が大きければ、 $Pr < 1$  となり、速度境界層に温度境界層が一致していれば  $Pr = 1$ 、温度境界層の方が小さければ  $Pr > 1$  となる。

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{c_p\mu}{\lambda} \quad (12)$$

## 2.2 両対数グラフの縦軸に $Nu/Pr^n$ , 横軸に $Re$ を取り、実験データをプロットし、最小二乗法から係数決定をし、実験式を求める。

Colburn の実験式 ( $L/D > 60$  の範囲で適用できる理論式)

$$Nu = \frac{hd}{\lambda} = 0.023Re^{0.8}Pr^{\frac{1}{3}} \quad (13)$$

理論式より、

$$Nu/Pr^{1/3} = CRe^m (C, m \text{ は定数})$$

であるので、誤差の自乗が最小となるような  $C, m$  を求める。 $y = \log(Nu/Pr^{1/3}), x = Re, \alpha = m, \beta = \log(C)$  とすれば、伝熱実験で使ったプログラムを用いて求めることができる。

$$Nu/Pr^{1/3} = 10^{-1.77002} Re^{0.810572} \quad (14)$$

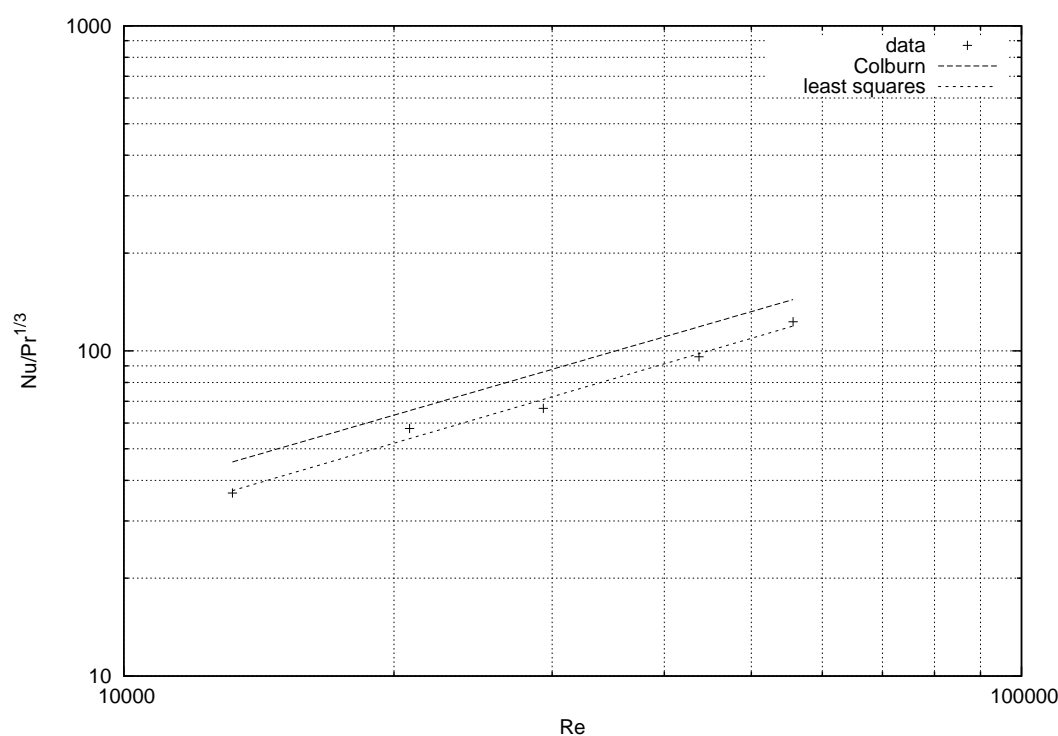


図 1: レポート 課題 2

## 2.3 課題 2 で求めた実験データとコルバーンの式を比較し考察する。

全体的にコルバーンの式よりも小さい値となった。誤差の大きいもので最大 23%、小さいもので 12% という結果になった。

コルバーンの式は、乱流で壁温が一定、プラントル数が一定、円管流れの条件での関係を表している関係式である。この実験式とコルバーンの式はよく似たものであるので、実際の関係式をよく表現できている式であると考えられる。

表 2: 比較表

$Nu/Pr^{1/3}$ 実験式	$Nu/Pr^{1/3}$ Colburn の式	誤差 (Colburn 基準 [%])
123.0	143.942	85.45
96.01	118.675	80.90
66.6	86.221	77.24
57.73	65.528	88.10
36.56	45.557	80.25

## 2.4 並流型、向流型熱交換器の性能について調べ、まとめる

### 2.4.1 並流型熱交換器

高温流体と低温流体が同じ方向に流動する熱交換器である。両流体入り口近傍で大きな温度差が生じるので、素早い熱交換が行えるが、低温流体の出口温度が高温流体の出口温度を超えることはない。

### 2.4.2 向流型熱交換器

高温流体と低温流体が互いに反対方向に流動する熱交換器であり、両流体間の温度差が小さくなるため、大量の熱交換をさせるためには大きな熱通過面積が必要になるが、低温流体を高温流体の出口以上に加熱することが可能である。

### 2.4.3 冷却水 4 大障害

冷却水では腐食によるチューブの損傷、熱交換率の低下などを引き起こす問題が生じるため、冷却水の適切な水質管理が重要になる。

#### 1. 腐食障害

腐食と水質には密接な関係があり、腐食が進むと穴あき等がおこる。

#### 2. スライム障害

微生物が繁殖し、その微生物が分泌する粘性有機物がスライムの原因である。

#### 3. スケール障害

不溶解成分で、局部腐食を引き起こすほか、熱交換率を低下させる。

#### 4. レジオネラ障害

レジオネラ菌を空気中に放出するため、感染症に注意する必要がある。

## 3 まとめ

この実験では、熱交換器の挙動についてデータを取り、Colburn の式と比較した。ヌセルト数、レイノルズ数、プラントル数の定義と物理的意味について学んだ。

## 4 参考文献

1. [http://www.sit.ac.jp/user/konishi/JPN/L\\_Support/SupportPDF/Non-dimension.pdf](http://www.sit.ac.jp/user/konishi/JPN/L_Support/SupportPDF/Non-dimension.pdf)
2. <http://envuniv.net/bakkingam.php>
3. <http://web2.clarkson.edu/projects/subramanian/ch330/notes/Heat%20Transfer%20in%20Flow%20Through%20Conduits.pdf>
4. [https://www.google.co.jp/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&ved=0CDQQFjAEahUKEwiSurl=http%3A%2F%2Fwww.ocw.titech.ac.jp%2Findex.php%3Fmodule%3DGeneral%26action%3DDownload%26file%3D2004-6550-20041116-3-8.pdf%26type%3Dcal%26JWC%3D200826550&ei=xVLAVdKT0omk0gTUsZrQCg&usg=AFQjCNGkS0r48c3y1oFkcE\\_SDKf8G-jp\\_g](https://www.google.co.jp/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&ved=0CDQQFjAEahUKEwiSurl=http%3A%2F%2Fwww.ocw.titech.ac.jp%2Findex.php%3Fmodule%3DGeneral%26action%3DDownload%26file%3D2004-6550-20041116-3-8.pdf%26type%3Dcal%26JWC%3D200826550&ei=xVLAVdKT0omk0gTUsZrQCg&usg=AFQjCNGkS0r48c3y1oFkcE_SDKf8G-jp_g)
5. <http://www.mizu-shori.com/solution/>