

## 初心者のための化学工学入門

### 2. 熱工学入門

講師：平木 一郎

#### <講義概要>

化学プロセスにおいて、加熱・冷却などの伝熱操作は非常に多く使われており、重要な操作の一つです。

熱の伝わり方、すなわち伝熱の3様式（伝導、対流、放射）を理解するとともに、伝熱の基礎的計算法を学びます。また伝熱操作に広く使われている熱交換器（二重管式熱交換器、多管式熱交換器）の概要とその計算法についても学びます。

最後に演習問題に取り組み、理解を深めます。

#### <講義の主な内容>

1. 伝熱の基礎
  - ・ 伝熱操作を行う際の基礎的事項（伝熱の3様式、単位、熱流量と熱流束）
2. 伝導伝熱
  - ・ 平板壁内の伝導伝熱（フーリエの法則）
  - ・ 多層壁内の //
  - ・ 円管壁内の //
3. 対流伝熱
  - ・ 固体壁とそれに沿って流れる流体との間の伝熱（ニュートンの冷却の法則）
  - ・ 自然対流と強制対流
  - ・ 円管内の強制対流伝熱
  - ・ 相変化を伴う伝熱（沸騰伝熱、凝縮伝熱）
4. 放射伝熱
  - ・ 黒体および灰色体の平板間の放射伝熱
5. 熱交換器
  - ・ 総括伝熱係数（平板、円管）
  - ・ 二重管式熱交換器
  - ・ 多管式熱交換器
6. 演習問題

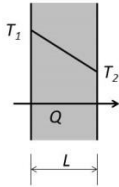
## 伝導伝熱

- 主として固体内部を高温側から低温側へ熱が移動する現象である。

平板壁内の伝導伝熱

フーリエの法則

$$Q = kA(T_1 - T_2) / L$$

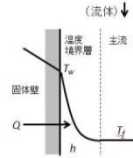


$Q$ : 熱流量[W]  
 $A$ : 伝熱面積[m<sup>2</sup>]  
 $T$ : 温度[K]  
 $L$ : 壁の厚さ[m]  
 $k$ : 熱伝導率または熱伝導率[W・K<sup>-1</sup>・m<sup>-1</sup>]

Copyright © 2015 SCEI

## 対流伝熱

- 固体壁とそれに沿って流れる流体との間の伝熱



- 温度境界層  
壁付近の流れの穏やかな薄い層で、温度勾配が大きい。
- 主流  
流体の混合効果により、比較的溫度が均一な中央部分。

$$Q = Ah(T_w - T_f)$$

ニュートンの冷却の法則

$T_w$ : 管壁温度[K],  $T_f$ : 主流温度[K]  
 $h$  [W・m<sup>2</sup>・K<sup>-1</sup>] は熱伝達係数または境膜伝熱係数と呼ばれる。

Copyright © 2015 SCEI

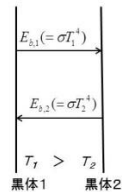
## 放射伝熱

- 物体間の放射伝熱

無限に広いと見なせる面積  $A$  の黒体1と2が相対する場合  
黒体平板間の放射伝熱

$$Q = A(E_{b,1} - E_{b,2}) = A\sigma(T_1^4 - T_2^4)$$

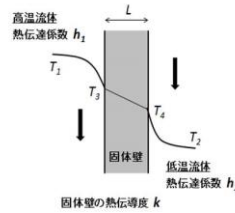
$$= 5.67A \left\{ \left[ \frac{T_1}{100} \right]^4 - \left[ \frac{T_2}{100} \right]^4 \right\}$$



Copyright © 2015 SCEI

## 熱交換器(総括伝熱係数)

固体壁をはさむ2流体間の伝熱(平板の場合)



- $A$  は固体壁の伝熱面積[m<sup>2</sup>]
- $U$  は総括伝熱係数[W・m<sup>2</sup>・K<sup>-1</sup>]

$$Q = UA(T_1 - T_2)$$

$$= h_1 A(T_1 - T_3)$$

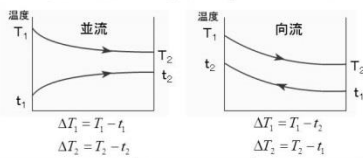
$$= \frac{k}{L} A(T_3 - T_4)$$

$$= h_2 A(T_4 - T_2)$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_1} + \frac{L}{k} + \frac{1}{h_2}$$

Copyright © 2015 SCEI

## 二重管式熱交換器(交換熱流量)



	高温流体	低温流体
質量流量 (kg・s <sup>-1</sup> )	$M$	$m$
比熱 (J・kg <sup>-1</sup> ・K <sup>-1</sup> )	$C_p$	$c_p$

高温流体が失う熱流量(W)  $Q = MC_p(T_1 - T_2)$

低温流体が得る熱流量(W)  $Q = mc_p(t_2 - t_1)$

熱交換器における交換熱流量(W)  $Q = UA\Delta T_{lm}$

$U$ : 総括伝熱係数[W・m<sup>2</sup>・K<sup>-1</sup>]      対数平均温度差(K)  $\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)}$   
 $A$ : 伝熱面積[m<sup>2</sup>]

Copyright © 2015 SCEI

## 多管式熱交換器(計算法)

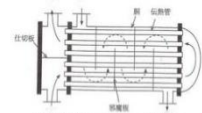
1. 胴側 1パス、管側 1パスの場合  
二重管式熱交換器と同様に計算。

2. 多流路の熱交換器の場合  
工業的に使用される熱交換器では多流路の熱交換器が用いられることが多い。

この場合には、向流として求められる対数平均温度差  $\Delta T_{lm}$  に温度差補正係数  $F_T$  をかけた平均温度差  $\Delta T_m$  を使い、二重管式熱交換器と同様に計算。

$$\Delta T_m = F_T \Delta T_{lm}$$

Copyright © 2015 SCEI



(例) 胴側 1パス、管側 2パス