



第7章 熱交換器

八戸工業高等専門学校 伝熱工学
園山 重直 (東北大学)

高温流体から低温流体へ熱を伝える装置を
(Heat Exchanger)という。

熱交換器は、伝熱工学の基礎と応用を結ぶ接点でも
ある。



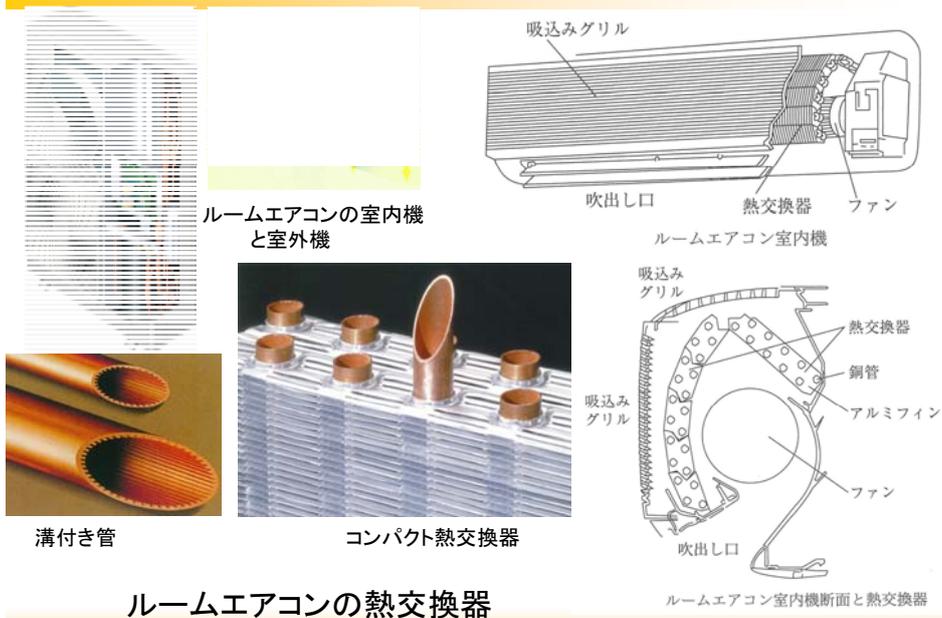
熱交換器の模式図

1



熱交換器の例

八戸工業高等専門学校 伝熱工学
園山 重直 (東北大学)



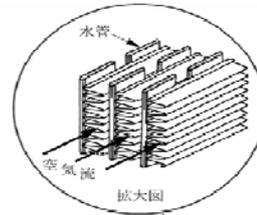
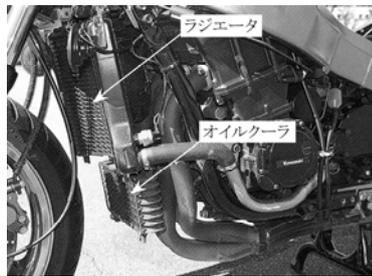
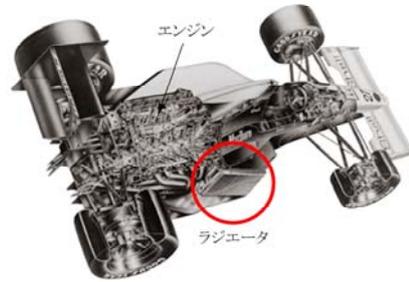
ルームエアコンの熱交換器



第7章 熱交換器

八戸工業高等専門学校 伝熱工学
圓山 重直 (東北大学)

熱交換器の例



自動車用ラジエータ

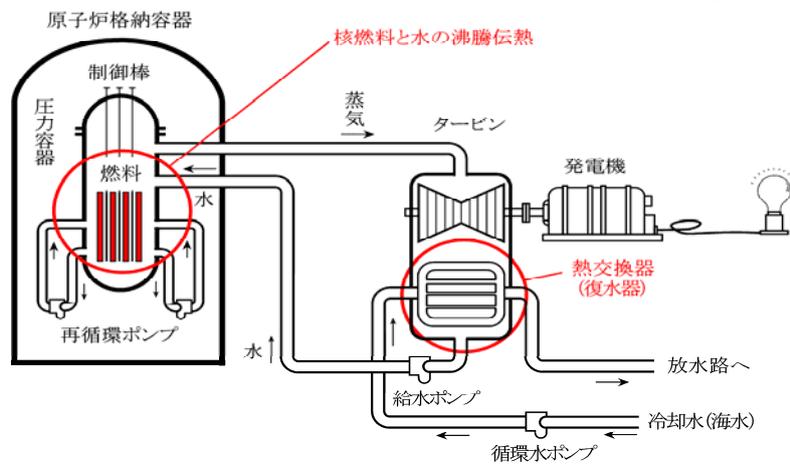
3



熱交換器の例

八戸工業高等専門学校 伝熱工学
圓山 重直 (東北大学)

熱交換器の例



原子力発電と伝熱

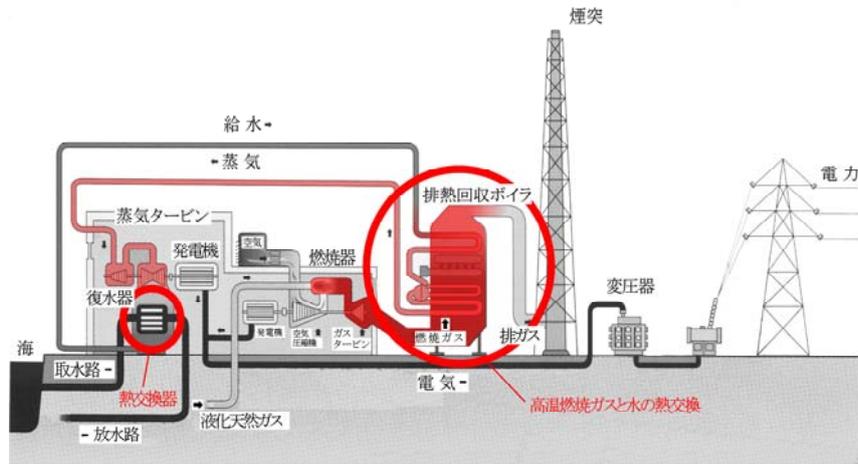
4



第7章 熱交換器

八戸工業高等専門学校 伝熱工学
圓山 重直 (東北大学)

熱交換器の例



複合サイクルの熱交換

5



熱交換器の例

八戸工業高等専門学校 伝熱工学
圓山 重直 (東北大学)



ガスタービン



廃熱回収ボイラ



廃熱回収ボイラ用熱交換器



6

東北電力仙台火力発電所の複合発電プラント



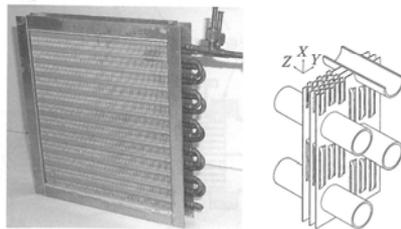
第7章 熱交換器

八戸工業高等専門学校 伝熱工学
圓山 重直 (東北大学)

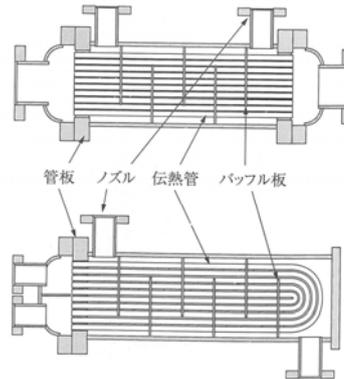
(1) 隔板式熱交換器

流体Aと流体Bが管状ないし平板状のものである。

隔板は熱通過率を向上させるために種々の形状が用いられることがある。流体の加熱冷却機器に使用される熱交換器の多くは隔板式熱交換器である。



プレートフィンアンドチューブ型熱交換器



シェルアンドチューブ型熱交換器



熱交換器の分類

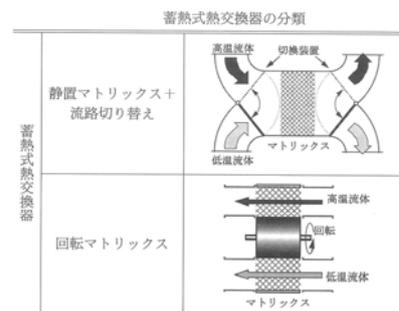
八戸工業高等専門学校 伝熱工学
圓山 重直 (東北大学)

(2) 蓄熱式熱交換器

して周期的に吸熱と放熱を繰り返すことによって熱交換を行うものである。

レンガや多孔質セラミックス、針金などの蓄熱材に流体Aと流体Bを交互に流し熱交換をする。流体の切り替えは、流体A,Bを一定間隔で切り替える と蓄熱材を回転させる とがある。

使用温度を高くすることができるので、ガスタービンやボイラ用空気余熱器、加熱炉などの廃熱回収に用いられる。

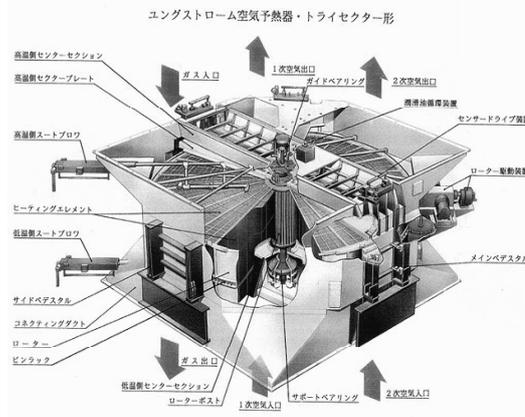
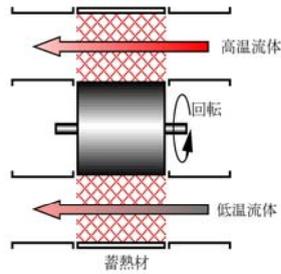




第7章 熱交換器

八戸工業高等専門学校 伝熱工学
園山 重直 (東北大学)

蓄熱式熱交換器



ユングストローム型熱交換器

11



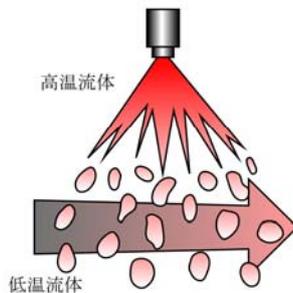
熱交換器の分類

八戸工業高等専門学校 伝熱工学
園山 重直 (東北大学)

(3) 直接接触式熱交換器

互いに溶けあわない流体Aを流体B中に噴霧し、両流体の直接接触によって熱交換する方式である。

ビル用空調機の や内陸型の火力・原子力発電所の冷却塔に用いられる。これらの熱交換器では水を蒸発も使って冷却している。



空調用冷却塔 12



熱交換器の分類

八戸工業高等専門学校 伝熱工学
圓山 重直 (東北大学)

(3) 直接接触式熱交換器



原子力発電所の冷却塔: チェコのDukovany原子力発電所

<http://ja.wikipedia.org/wiki>

13



第7章 熱交換器

八戸工業高等専門学校 伝熱工学
圓山 重直 (東北大学)

実用に供されている隔板式熱交換器をその形態や構造から分類すると、以下のようなになる

- (a) (double-tube type heat exchangers)
- (b) (plate type heat exchangers)
- (c) (shell-and-tube type heat exchangers)
- (d) (cross-fin type heat exchangers)
- (e) (compact heat exchangers)

14

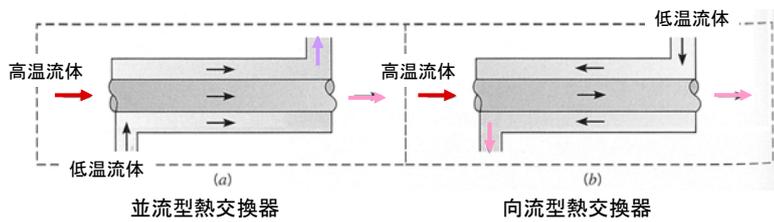
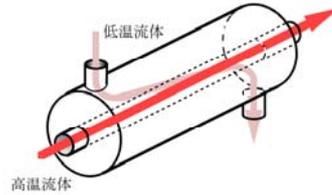


隔板式熱交換器

八戸工業高等専門学校 伝熱工学
圓山 重直 (東北大学)

二重管型熱交換器

内管と外管からなる二重管にそれぞれ流体を流して熱交換を行う最も単純な形態の熱交換器で、伝熱学的には並流型あるいは向流型熱交換器に分類される。



15

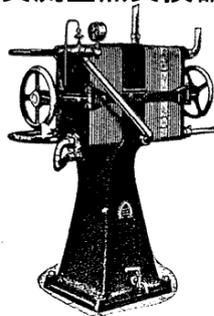


第7章 熱交換器

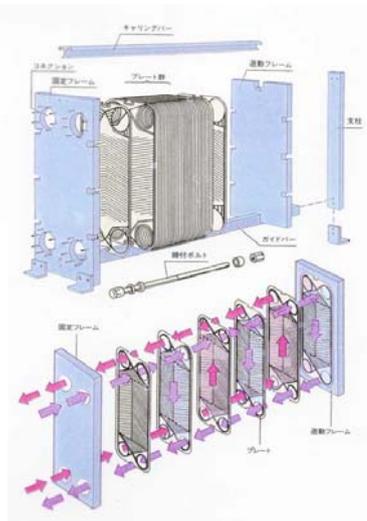
八戸工業高等専門学校 伝熱工学
圓山 重直 (東北大学)

プレート型熱交換器

複数枚のプレートをパッキンを介して積層し、その間隙に高温流体と低温流体を交互に流して熱交換を行う形態の熱交換器である。プレート部への流路の配置によって、伝熱学的には並流型あるいは向流型熱交換器、直交流型熱交換器のいずれにもなりうる。



プレート式殺菌器 (Bergdorf, 1932)



プレート式熱交換器の構造 ¹⁰



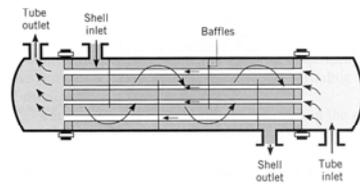
隔板式熱交換器

八戸工業高等専門学校 伝熱工学
圓山 重直 (東北大学)

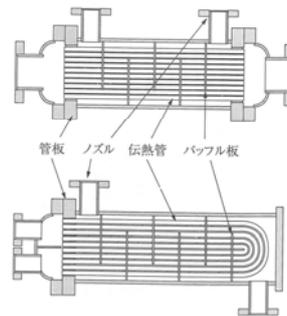
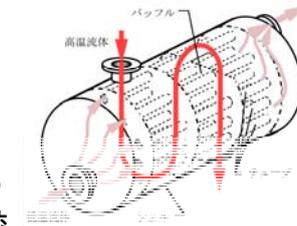
シェルアンドチューブ型熱交換器

を胴状の に納め、パイプ状流路内と流路外(胴内)を流れる流体間で熱交換を行わせるものである。胴内に配置された (baffle)の配置や切り欠きの位置・形状を変えることで胴側体の流れを比較的自由に設定できる。

大型の熱交換器やボイラなどで用いられる。



Shell-and-tube heat exchanger with one shell pass and one tube pass (cross-counterflow mode of operation).



シェルアンドチューブ型熱交換器

7



第7章 熱交換器

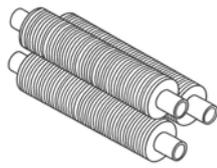
八戸工業高等専門学校 伝熱工学
圓山 重直 (東北大学)

クロスフィン型熱交換器

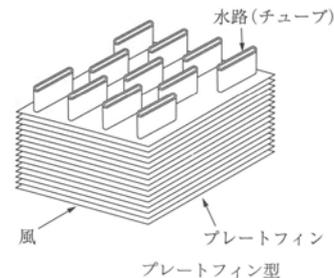
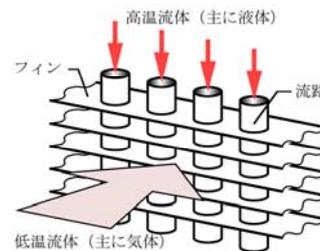
パイプ状流路の周囲に の熱交換器で、主にパイプ状流路内を流れる液体と周囲を流れる気体との間の熱交換に用いられる。

気体に対する熱伝達率が液体に対するものに比べて小さいため気体側伝熱面にフィンを設置する。

この形式の熱交換器は空調機や自動車のラジエータなどにみられる。



円周フィン管型熱交換器



10



隔板式熱交換器

八戸工業高等専門学校 伝熱工学
圓山 重直 (東北大学)

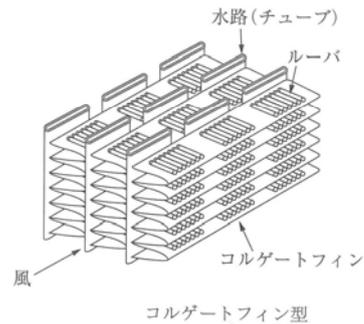
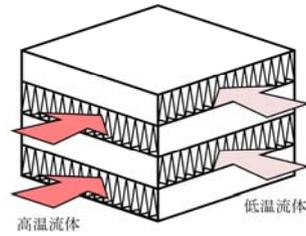
コンパクト熱交換器

コンパクト熱交換器とは、熱交換器の占有体積 1 m^3 あたりの伝熱面積が $500\sim 1000\text{ m}^2$ を越える熱交換器を指す名称である。

凝集度の高い熱交換器を実現するために、金属製の薄板を細かく折りたたんだ

を用いる場合がある。

狭義のコンパクト熱交換器では両流体流路内にフィンが設置されるため、気体・気体間の熱交換に用いられることが多い。

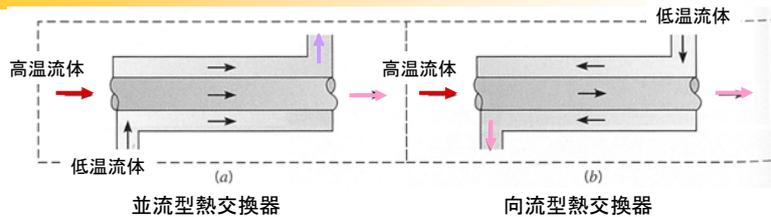


9



隔板式熱交換器の特性

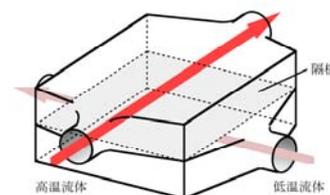
八戸工業高等専門学校 伝熱工学
圓山 重直 (東北大学)



隔板式熱交換器は、各流体の流れ方向によって

- (parallel flow)、
- (counter flow)、
- (cross flow)

に大別される。



直交型熱交換器

20



第7章 熱交換器

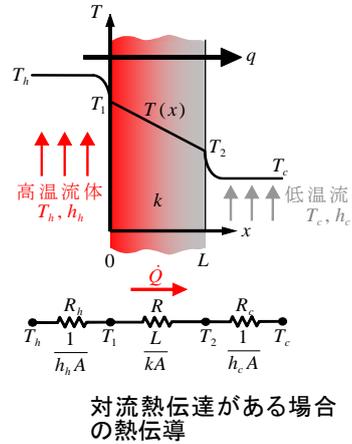
八戸工業高等専門学校 伝熱工学
園山 重直 (東北大学)

熱交換器の熱通過率

第2章で述べたように
 $K(\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}))$ が次式で定義される

平板を通過する熱流束は,

伝熱面積 A の平板の伝熱量は,



各熱抵抗の総和である

$R_t(\text{K}/\text{W})$ は

21



例題

八戸工業高等専門学校 伝熱工学
園山 重直 (東北大学)

【例題】

温度 40°C の温水を使って 20°C の空気を暖める熱交換器を考える. 温水側の熱伝達率を $200 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$, 空気側の熱伝達率を $20 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ とし, 隔板を厚さ mm のアルミニウム(熱伝導率 $204 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$) であるとして, 熱通過率とこの位置における通過熱流束を求めよ.

【解答】

熱通過率は定義式から,

この場所での通過熱流束は,
である.

熱通過率の式の分母は, 熱通過面積基準の熱伝達・熱伝導の熱抵抗の
であることがわかる.

22

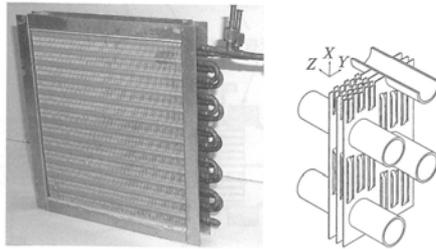
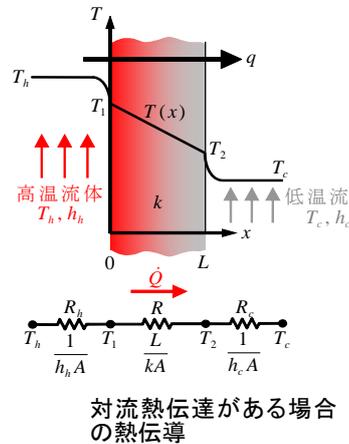


第7章 熱交換器

八戸工業高等専門学校 伝熱工学
園山 重直 (東北大学)

熱通過率の定義式の分母は、隔板両面の対流伝熱による熱抵抗と隔板内の熱伝導による熱抵抗の合成抵抗となっており、これらのうち熱抵抗の最も大きい伝熱機構が全体の熱通過を支配している。

この場合、空気側の対流伝熱による



プレートフィンアンドチューブ型熱交換器

23



第7章 例題

八戸工業高等専門学校 伝熱工学
園山 重直 (東北大学)

【例題】

前問、空気側の対流熱伝達を促進するために、隔板の空気側表面に伝熱面積の10倍の面積を持つフィン(拡大伝熱面)を設置したとする。設置されたフィンのフィン効率を0.8として、このときの熱通過率を求めよ。

【解答】

熱通過率の定義式の分母の各項が熱抵抗と伝熱面積の積であることに注意すれば、隔板空気側(低温側)表面にフィンを設置した場合の熱通過率は、

と書ける。ここで、 A は隔板の伝熱面積、 A_f はフィンの面積であり、 ϕ はフィン効率である。具体的に数値を代入すると、

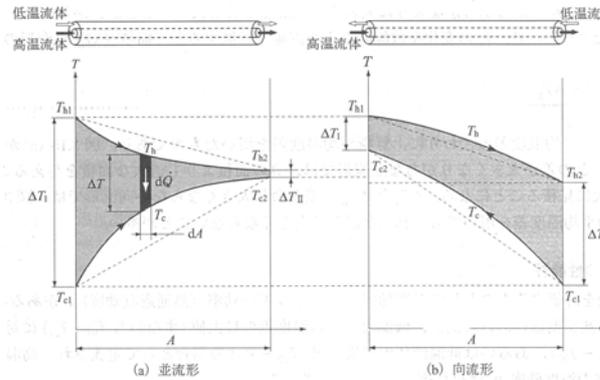
である。

24



第7章 熱交換器

八戸工業高等専門学校 伝熱工学
圓山 重直 (東北大学)



二重管式熱交換器の温度分布

隔板を介した熱通過によって高温流体は熱エネルギーを失い、低温流体は熱エネルギーを受け取るから、それぞれの流体は流れ方向に温度が変化していく。図のように、二重管式熱交換器の高温流体と低温流体が熱交換を行う場合を考える。

25



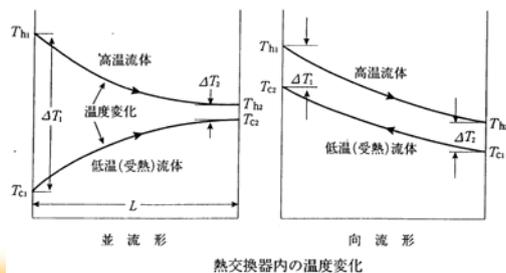
対数平均温度

八戸工業高等専門学校 伝熱工学
圓山 重直 (東北大学)

両流体間の温度差は、次式で表される。

ここで、括弧内の+は並流型、-は向流型熱交換器を表し、 $\dot{m}_h c_h$ 、 $\dot{m}_c c_c$ は高温側と低温側流体の質量流量と比熱の積であり、または C_h 、 C_c と呼ばれる。

上式を積分して平均すると、次式の T_{lm} が求められる。



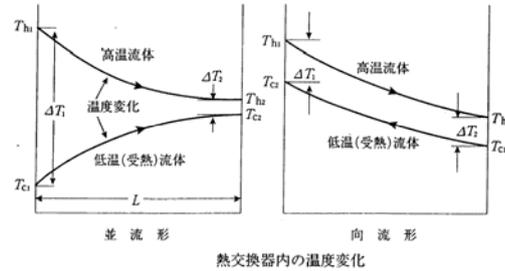
熱交換器内の温度変化



第7章 熱交換器

八戸工業高等専門学校 伝熱工学
圓山 重直 (東北大学)

この対数平均温度差を用いると熱交換器のは以下のように求められる。



高温流体が失う熱量と低温流体が受ける熱量は等しいので、

$$\dot{Q} = \overset{\text{高温側}}{\dot{m}_h c_h (T_{h1} - T_{h2})} = \overset{\text{低温側}}{\dot{m}_c c_c (T_{c2} - T_{c1})} \quad [\text{W}]$$

↑
↑
 質量流量 [kg/s] 比熱 [J/(kg·K)]

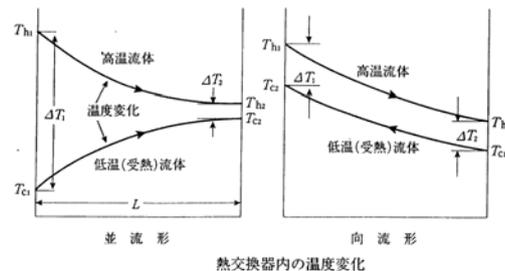
27



温度効率

八戸工業高等専門学校 伝熱工学
圓山 重直 (東北大学)

熱交換器の温度交換性能を評価するためには、高温流体あるいは低温流体の温度変化を両流体間の最大温度差(高温流体入口温度と低温流体入口温度の差)で正規化したで評価される。



温度効率は、伝熱面積無限大の熱交換器で達成できる最大の温度変化に対する実機の温度変化を表している。

28



第7章 熱交換器

八戸工業高等専門学校 伝熱工学
圓山 重直 (東北大学)

理想的熱交換器における交換可能な最大熱量に対する、実機の交換熱量の比を ϵ または η といひ、次式で定義される。

ここで $(\dot{m}c)_{\min}$ は熱容量流量の最小値である。

エネルギー効率は、熱交換器の形式、伝熱面積、流体の条件によって変化するが、支配的パラメータとして次式の (NTU , Number of Heat-Transfer Unit)がある。

29



エネルギー効率

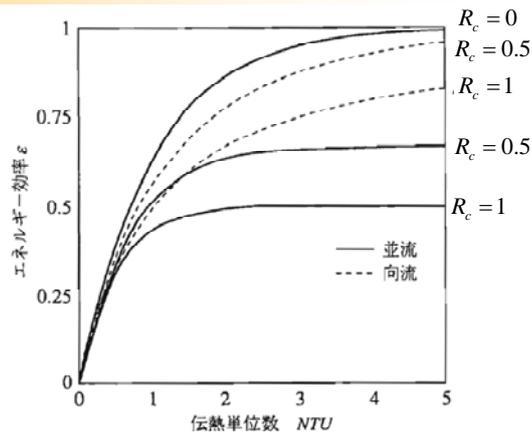
八戸工業高等専門学校 伝熱工学
圓山 重直 (東北大学)

右図は交流型熱交換器と並流型熱交換器のエネルギー効率を NTU と

$$R_c = (\dot{m}c)_{\min} / (\dot{m}c)_{\max}$$

の関数として表したものである。

NTU (つまり伝熱面積など) を増加させればエネルギー効率は増大するがある程度以上は増加しない。並流の方が向流より早く飽和することがわかる。



並流型と向流型熱交換器のエネルギー効率

30

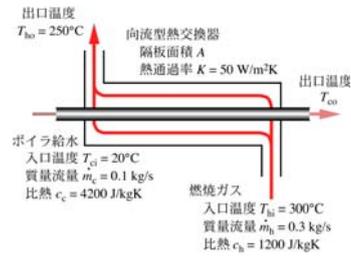


第7章 例題

八戸工業高等専門学校 伝熱工学
圓山 重直 (東北大学)

【例題】

ボイラの燃焼排ガスを使って給水を予熱する熱交換器を設計したい。図に示すように、燃焼排ガスの熱交換器入口温度は 300°C 、出口温度は 250°C 、質量流量が 0.3 kg/s 、比熱が $1200\text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ であり、給水の入口温度が 20°C 、質量流量 0.1 kg/s 、比熱 $4200\text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ であるとき、給水の予熱後の温度を求めよ。ただし熱交換器を向流型熱交換器とする。また、隔板の熱通過率を $50\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ とすると、伝熱面積はいくらか。



31



第7章 熱交換器

八戸工業高等専門学校 伝熱工学
圓山 重直 (東北大学)

【解答】

与えられている条件は、高温流体の入口温度 $T_{hi} = 300^\circ\text{C}$ 、出口温度 $T_{ho} = 250^\circ\text{C}$ 、熱容量流量 $\dot{m}_h c_h = 360\text{ W/K}$ 、低温流体の入口温度 $T_{ci} = 20^\circ\text{C}$ 、熱容量流量 $\dot{m}_c c_c = 420\text{ W/K}$ の5つである。これらから、交換熱量と低温流体出口温度を求めよ。

より、

32



第7章 例題

八戸工業高等専門学校 伝熱工学
圓山 重直 (東北大学)

これより, 両流体間の対数平均温度差は,

隔板の熱通過率と熱通過面積の積 KA は,

熱通過率が $K = 50 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ であることから, 隔板の熱通過面積は,

と求まる.

33



汚れ

八戸工業高等専門学校 伝熱工学
圓山 重直 (東北大学)

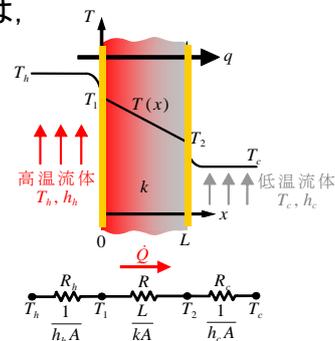
熱交換器内を流動する流体は必ずしも「きれい」ではなく, さびやほこり, スケール(scale)として付着する. これらの(fouling)は熱交換器隔板の熱抵抗を増す.

汚れによる熱抵抗の増分を (fouling factor) といひ, 汚れによる熱抵抗を考慮した熱通過率は,

ここで, r_i と r_o は隔板内外面の汚れ係数である.

水の汚れ係数 ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$)

加熱流体温度	115°C以下		115~205°C	
水の温度	50°C以下		50°C以上	
水の流速	0.9 m/s 以下	0.9 m/s 以上	0.9 m/s 以下	0.9 m/s 以上
蒸留水	0.00009	0.00009	0.00009	0.00009
海水	0.00009	0.00009	0.00018	0.00018
市水、井水、大きな湖水	0.00018	0.00018	0.00035	0.00035
河水	0.00053	0.00035	0.0007	0.00053
硬水	0.00053	0.00053	0.0009	0.0009



汚れがある場合の熱抵抗

34



第7章 熱交換器

八戸工業高等専門学校 伝熱工学
圓山 重直 (東北大学)

第7章おわり