

<第1章 伝熱学の基礎>

1.1 熱力学と伝熱学の違いを述べよ。

解) 熱力学は平衡状態の議論を行い、速度論の議論は行わない。これに対して伝熱学は、平衡状態に到達するまでの伝熱速度の議論を行う。

1.2 水の粘性係数は常温常圧で 1.022 cP (センチポワズ) である。この値を S I 単位系で表せ。ただし、1 cP = 1 mPa s である。

解) 1 cP = 1 mPa s より、1.022 mPa s

1.3 質量 m [kg] の物体に加速度 a [m/s²] を与える力 f [kgf] について、

$$f = 9.80665ma$$

という関係式がある。これを S I 単位系の値に関する式に変換せよ。

解) 与式に

$$f \text{ [kgf]} = 9.80665 f_{SI} \text{ [N]}$$

を代入して、

$$9.80665 f_{SI} \text{ [N]} = 9.80665 m \text{ [kg]} \cdot a \text{ [m/s}^2\text{]}$$

これを整理して、

$$f_{SI} = ma$$

1.4 常温常圧の銀に 1 K/m の温度勾配がある時に生じる熱流束はいくらか。

解) p198 の付表 2 より銀の熱伝導率は 427 W/(m K)。式(1.3)を用いて、

$$q = -(427 \text{ W/(m K)}) (1 \text{ K/m}) = -427 \text{ W/m}^2$$

なお、負号は温度が下がる方向に熱が流れる意味を示す。

1.5 厚さ 5 cm の銅板の 1 面が 300℃ に保たれ、他の表面が 100℃ に保たれているとき、銅板を通して流れる熱量を求めよ。

解) 表 1.1 より銅の熱伝導率は 398 W/(m K)。温度勾配は温度差を厚さで割って求められる。5 cm = 5×10^{-2} m なので、式(1.3)を用いて

$$q = -(398 \text{ W/(m K)}) \frac{(300 - 100) \text{ K}}{5 \times 10^{-2} \text{ m}} = -1.59 \times 10^6 \text{ W/m}^2 = -1.59 \text{ MW/m}^2$$

なお、負号は温度が下がる方向に熱が流れる意味を示す。

1.6 面積 1 m²、厚さ 10 mm のアルミニウムの板がある。それぞれの面を 30℃ と 10℃ に保ち、定常状態にする。この板を 1 時間に通過する熱量を求めよ。

解) アルミニウムの熱伝導率は 203 W/(m K)。温度勾配は温度差を厚さで割って求められる。10 mm = 1×10^{-2} m なので、式(1.3)を用いて

$$q = -(203 \text{ W/(m K)}) \frac{(30 - 10) \text{ K}}{1 \times 10^{-2} \text{ m}} = -4.06 \times 10^5 \text{ W/m}^2$$

伝熱面積が 1 m²、伝熱の時間は 1 h = 3600 s なので、

$$Q = (-4.06 \times 10^5 \text{ W/m}^2) (1 \text{ m}^2) (3600 \text{ s}) = -1.46 \times 10^9 \text{ J} = -1.46 \text{ GJ}$$

なお、負号は温度が下がる方向に熱が流れる意味を示す。

1.7 厚さ 3.5 cm、断面積 0.1 m² で、熱伝導率 0.2 W/(m K) の断熱材内部を 300 W の熱量が熱伝導で伝わる時、断熱材両面間の温度差を計算せよ。

解) 求める温度差を ΔT [K] とすると、式(1.3)を用いて

$$\frac{(3 \times 10^2 \text{ W})}{(0.1 \text{ m}^2)} = -(0.2 \text{ W/m K}) \frac{\Delta T \text{ [K]}}{3.5 \times 10^{-2} \text{ m}}$$

これを解いて、 $\Delta T = 525 \text{ K}$ 。

1.8 表面が 250°C に保たれて大きさ $40 \times 30 \text{ cm}$ の平板の表面を 20°C の空気が流れている。このときの表面からの熱伝達率を $25 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ として伝熱量を求めよ。

解) 式(1.4)を用いて熱流束 q を求める。

$$q = -(25)(20 - 250) = 5750 \text{ W}/\text{m}^2$$

伝熱面積 $0.4 \text{ m} \times 0.3 \text{ m}$ をかけて伝熱量を求める。

$$\dot{Q} = (0.4)(0.3)(5750) = 690 \text{ W}$$

1.9 温度差 30 K で水に自然対流で熱が伝わっている時の熱流束を概算せよ。

解) 表 1.2 より熱伝達率は $10 \sim 800 \text{ W}/\text{m}^2$ 。図 1.2 のように壁から離れる方向に座標軸を取ると、温度差は流体の温度から壁の温度を引いて決定される。壁から熱が伝わる場合には流体の温度の方が低いので、式(1.4)の温度差の項は -30°C 。よって式(1.4)より

$$q = -(10 \sim 800)(-30) = 300 \sim 24,000 \text{ W}/\text{m}^2 = 300 \text{ W}/\text{m}^2 \sim 24 \text{ kW}/\text{m}^2$$

1.10 固体表面から熱流束 $1000 \text{ W}/\text{m}^2$ で、水を自然対流熱伝達で加熱する。このとき、固体表面が 50°C 、水が 20°C であった。このとき、熱伝達率はいくらか。

解) 求める熱伝達率を $h [\text{W}/(\text{m}^2 \text{ K})]$ とすると、式(1.4)を用いて

$$1000 = -h(20 - 50)$$

これを解いて、

$$h = 30,000 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K}) = 30 \text{ kW}/(\text{m}^2 \text{ K})$$

1.11 直径 1 mm 、長さ 15 cm の細線に電流を流す。細線を大気圧下の水の中に入れ、沸騰が起こるまで電流を増して行ったとき、熱伝達率 $h = 5000 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ 、水温 100°C に保たれているとして、細線の温度を 120°C に保持するために必要な電力量はいくらか。

解) 直径 $1 \times 10^{-3} \text{ m}$ 、長さ 0.15 m より、伝熱面積は

$$(3.1416)(1 \times 10^{-3})(0.15) = 4.71 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

式(1.4)より熱流束 q [W/m^2] は、

$$q = -(5000)(100 - 120) = 100\,000 \text{ W/m}^2$$

伝熱面積をかけて必要な伝熱量を求める。

$$\dot{Q} = (4.71 \times 10^{-4})(100\,000) = 47.1 \text{ W}$$

これを電力として供給するので、もとめる電力の量は 47.1 W。

1.1 2 面積 1.5 m^2 のガラス板を挟んで 25°C と 0°C の空気がある。熱通過係数を $1.5 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$ とすると伝熱量はいくらになるか。

解) 式(1.5)より、求める熱流束 q [W/m^2] は、

$$q = (1.5)(25 - 0) = 37.5 \text{ W/m}^2。$$

1.1 3 表面温度が 373 K の物体から放出される熱流束をステファン・ボルツマンの式を用いて見積もれ。

[この場合、熱流束という用語はあまり適当ではない。熱の形で移動している訳ではなく、また、放射される方向も通常は一定ではないためである。単位面積から単位時間あたりに放射されるエネルギー量というのが正しく、放射能と呼ぶ。放射についての詳細な説明は第 8 章まで待たなくてはならず、このため、教科書 1.3.3 の記述も、この問題の記述も不適切。]

解) 式(1.6)より、求める熱流束 q [W/m^2] は、

$$q = (5.669 \times 10^{-8})(373)^4 = 1097 \text{ W/m}^2 = 1.097 \text{ kW/m}^2。$$

1.1 4 温度 500 K の黒体の全放射能を求めよ。

[黒体の定義も、全放射能の定義も教科書では与えられていないのでこの章の問題としては不適切かも知れない。元の問題は、『温度 500 K の物体の放射エネルギー量をステファン・ボルツマンの式を用いて求めよ。』だったのだが、前問注の理由により、この問題の書き方も不適切なので、厳密性の方を重視してこのような問題となっている。要するにステフ

アン・ボルツマンの式を使えばよい。]

解) 式(1.6)より、求める放射エネルギー量 q [W/m^2] は、

$$q = (5.669 \times 10^{-8}) (500)^4 = 3543 \text{ W/m}^2 = 3.543 \text{ kW/m}^2。$$

1.15 2つの面が、一方の面から射出される放射エネルギーが他方の面にすべて吸収されるように配置されている。それぞれの温度が、 300°C 、 850°C の場合、単位面積、単位時間当たりの伝熱量をステファン・ボルツマンの式を用いて求めよ。

解) 式(1.6)より、 300°C の面からの放射エネルギー量 q_1 [W/m^2] は、

$$q_1 = (5.669 \times 10^{-8}) (300 + 273.15)^4 = 6118 \text{ W/m}^2。$$

同様に、 850°C の面からの放射エネルギー量 q_2 [W/m^2] は、

$$q_2 = (5.669 \times 10^{-8}) (850 + 273.15)^4 = 90210 \text{ W/m}^2。$$

正味の伝熱量は、この差なので、

$$q_2 - q_1 = 90210 - 6118 = 84090 \text{ W/m}^2 = 84.09 \text{ kW/m}^2$$

1.16 2枚の黒体の無限平板が平行に置かれている。温度がそれぞれ 500K 、 300K として、正味の熱流束をもとめよ。

[この問題も、黒体の説明が第8章までないので、第1章の問題としては不適切。元の問題は『2枚の無限平板が平行に置かれている。温度がそれぞれ 500K 、 300K として、ステファン・ボルツマンの式を用いて正味の熱流束をもとめよ。』だった。厳密性を重視して、このように変更。]

解) 無限平板が並行に置かれているので、一方からの放射エネルギーは他方に全て届く。

式(1.6)より、 300K の面からの放射エネルギー量 q_1 [W/m^2] は、

$$q_1 = (5.669 \times 10^{-8}) (300)^4 = 459 \text{ W/m}^2。$$

同様に、500 K の面からの放射エネルギー量 q_2 [W/m²] は、

$$q_2 = (5.669 \times 10^{-8})(500)^4 = 3543 \text{ W/m}^2。$$

正味の熱流束は、この差なので、

$$q_2 - q_1 = 3543 - 459 = 3086 \text{ W/m}^2 = 3.086 \text{ kW/m}^2$$