

講義中の注意



- 講義中は、参加者のマイク・カメラの機能はミュート状態になります。
- 進行はスタッフ及び講師が行いますので、指示に従ってください。
- 質疑応答の時間は、参加者のマイクをオンにして質問を受け付けることもあります。希望される方は「チャット欄」で申し出てください。

電験三種 オンライン講座

機械 第7回

電気加熱

～熱の伝わり、熱回路～

熱（量）と温度

熱（量）と温度って何が違うのか？

温度が高い＝熱が大きい ってこと??



200 mlの
お湯が必要

カップラーメンを作るために200 mlのお湯が必要です。
十分な量のお湯が準備できないため、以下のどちらかの案で調理
しないといけません。どちらを選びますか？

案1) お湯 100 °C 50 ml お水 20 °C 150 ml

案2) お湯 80 °C 150 ml お水 30 °C 50 ml

熱（量）と温度

物質を温めるためには、

- ・ 温度が低いと物質を温めることができない
- ・ 物質によって温まりやすさが違う
- ・ 物質のまわりに**温度が高いものがたくさんある**と温まりやすい
→ 『熱量 Q 』 という

$$Q = C\Delta T = C(T_1 - T_2)$$

加える熱量

温める物質の熱容量
(温まりやすさ)

加えた熱量により
変化した温度

Q : 熱量 [J]

C : 熱容量 [J/K]

T : 絶対温度 [K]

ケルビン

$$T = t\text{ }^\circ\text{C} + 273\text{ }^\circ\text{C}$$

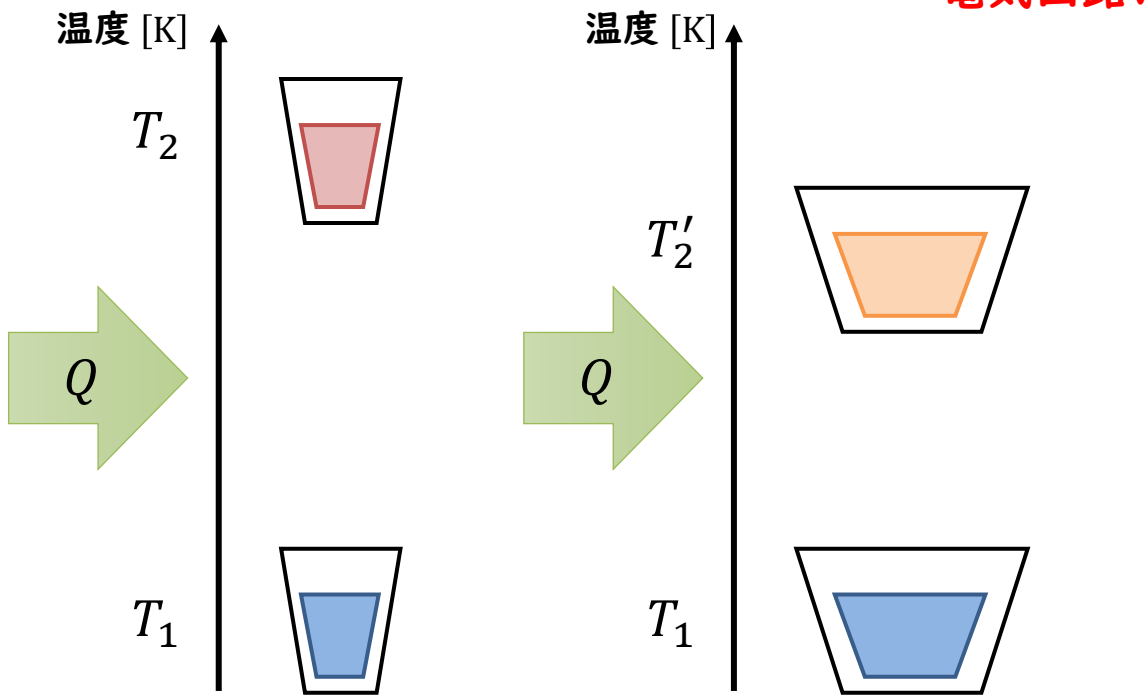
T_1 : 変化後の温度

T_2 : 変化前の温度

熱(量)と温度

熱量 Q [J]を与えたときの温度変化

電気回路に例えると、



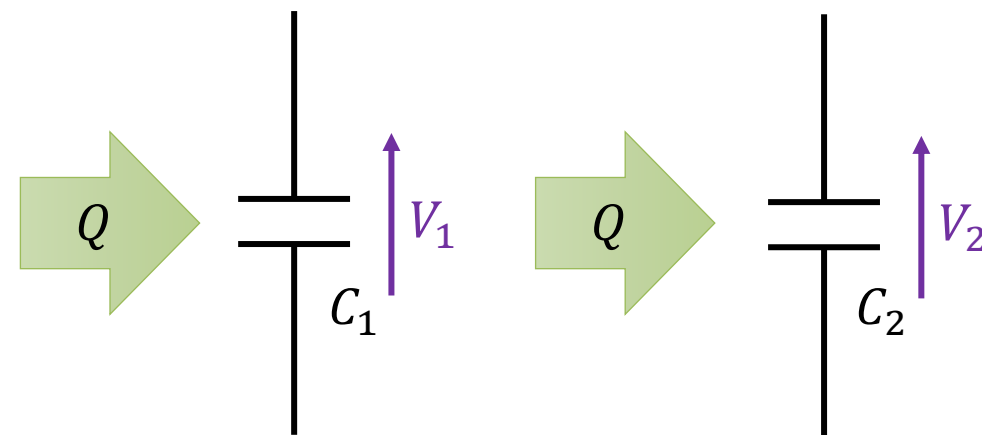
温まりやすい
(熱容量 C が小さい)
と温度上昇が大きい

$$Q = C\Delta T \rightarrow \Delta T = \frac{Q}{C} \text{ 大}$$

温まりにくい
(熱容量 C が大きい)
と温度上昇が小さい

$$Q = C\Delta T \rightarrow \Delta T = \frac{Q}{C} \text{ 小}$$

電荷量 Q [C]を与えたときの電圧の変化



静電容量 C_1 が小さい
と電圧上昇が大きい

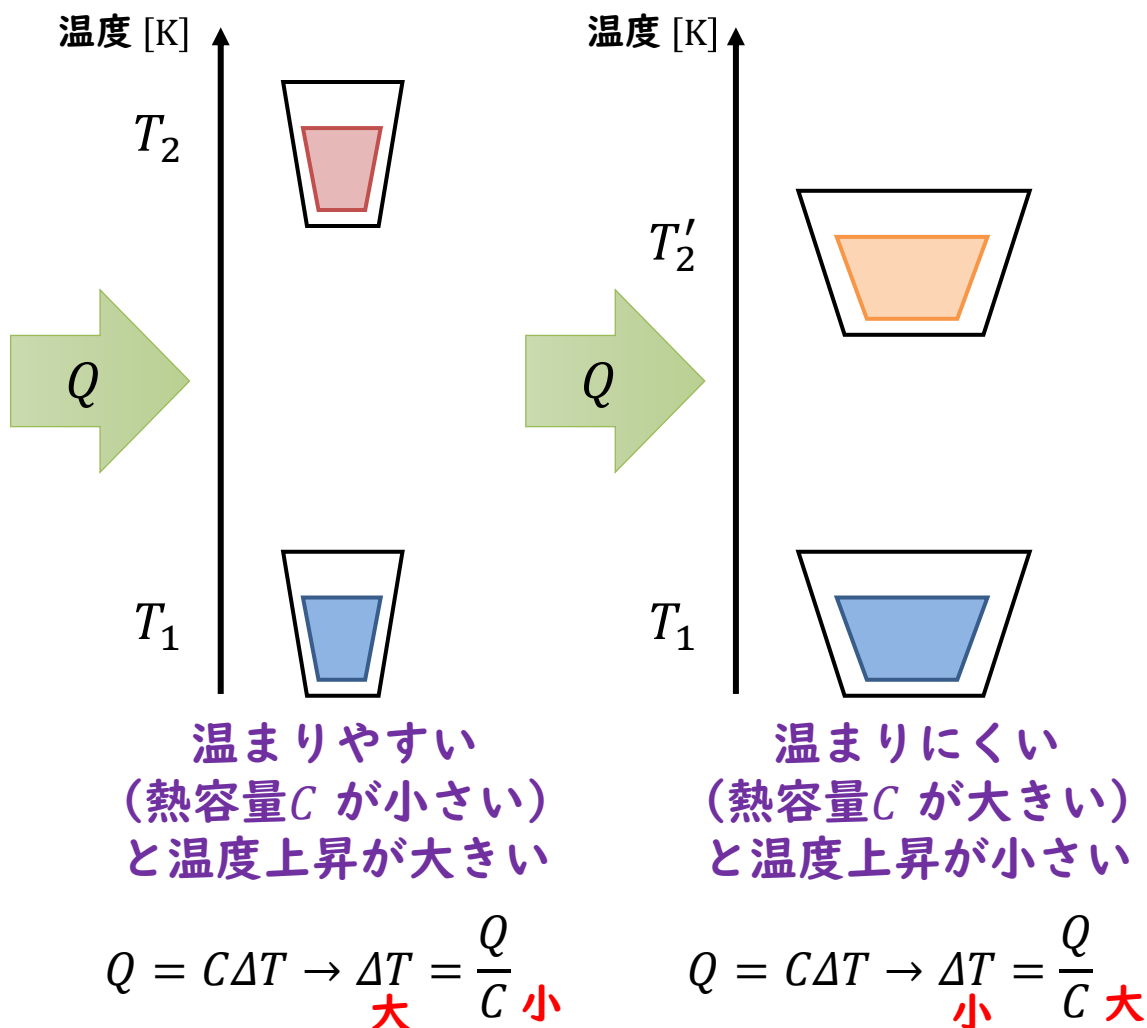
$$Q = CV \rightarrow V_1 = \frac{Q}{C_1} \text{ 大}$$

静電容量 C_2 が大きい
と電圧上昇が小さい

$$Q = CV \rightarrow V_2 = \frac{Q}{C_2} \text{ 小}$$

熱容量と比熱

熱量 Q [J]を与えたときの温度変化



同じ物質でも、量が多いと温まりにくくなる

$$Q = C\Delta T = \underline{cm}\Delta T$$

熱容量が物質の質量に
比例すると考える

Q : 熱量 [J]

C : 熱容量 [J/K]

T : 絶対温度 [K]

c : 比熱 [kJ/(kg · K)]

m : 物質の質量 [kg]

物質と比熱

水: 4.18 J/(g · K) → 4.18 kJ/(kg · K)

鉄: 0.46 kJ/(kg · K)

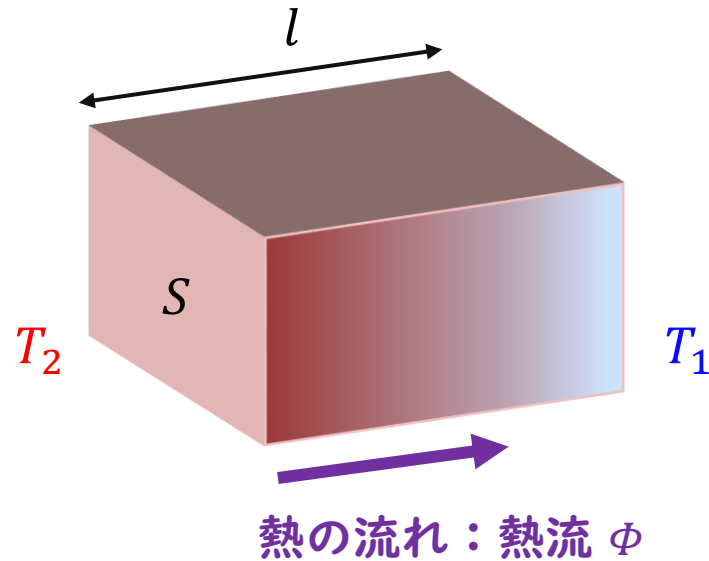
空気: 1.01 kJ/(kg · K)

水素: 14.2 kJ/(kg · K)

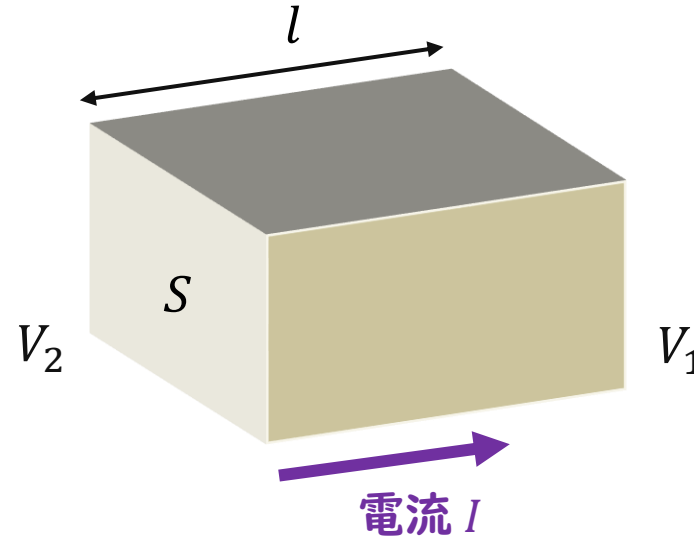
※1 cal: 1 gの水を1 °C上昇させるために必要なエネルギー

熱の伝わり (熱伝導)

熱伝導：物質中の熱エネルギーの伝搬（物質の移動は含まず、固体中で生じる伝搬）



電気回路に例えると、オームの法則



$$V_2 - V_1 = \Delta V = RI$$
$$I = \frac{\Delta V}{R}$$

ΔV : 電位差 [V]
 I : 電流 [A] = [C/s]
 R : 抵抗 [Ω]

$$T_2 - T_1 = \Delta T = R_T \Phi \rightarrow \Phi = \frac{\Delta T}{R_T} \quad R_T = \frac{1}{\lambda} \frac{l}{S}$$

ΔT : 温度差 [K]
 Φ : 熱流 [W] = [J/s]
 R_T : 熱抵抗 [K/W]

λ : 熱伝導率 [W/(m·K)]
 l : 物質の長さ [m]
 S : 物質の断面積 [m²]

$$R = \rho \frac{l}{S} = \frac{1}{\sigma} \frac{l}{S}$$

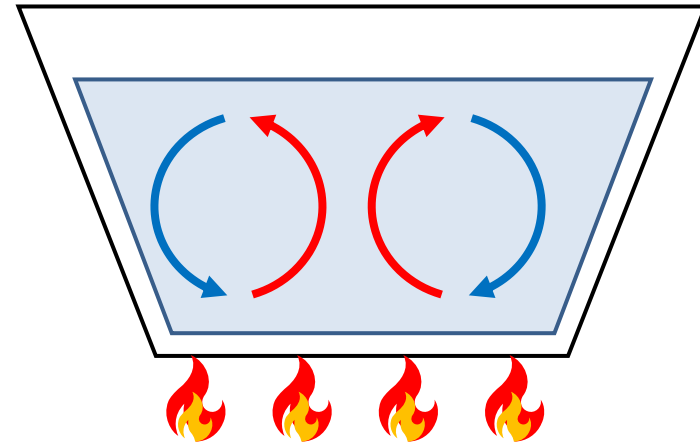
ρ : 抵抗率 [$\Omega \cdot m$]
 σ : 導電率 [S/m]
 l : 物質の長さ [m]
 S : 物質の断面積 [m²]

熱の伝わり（対流、放射）

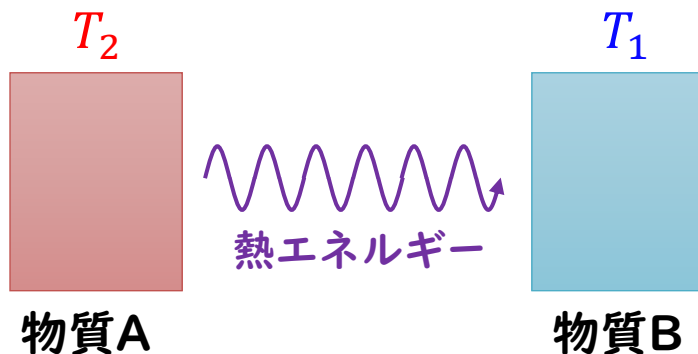
【イーデン】
-DEN



対流：熱エネルギーが物質とともに移動する
液体や気体などの流動による伝搬

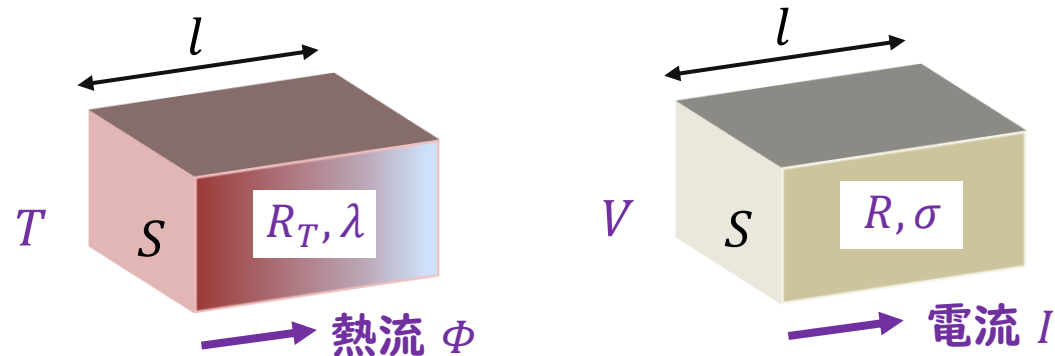


放射：電磁波の放射による熱エネルギーの伝搬
物質間を熱エネルギーのみ移動する



ステファン・ボルツマンの法則
物質が放射するエネルギーは**温度の4乗**に比例する

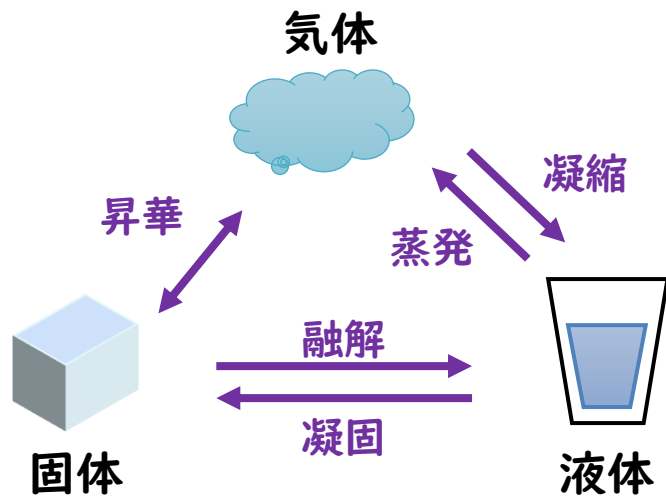
熱回路と電気回路 まとめ



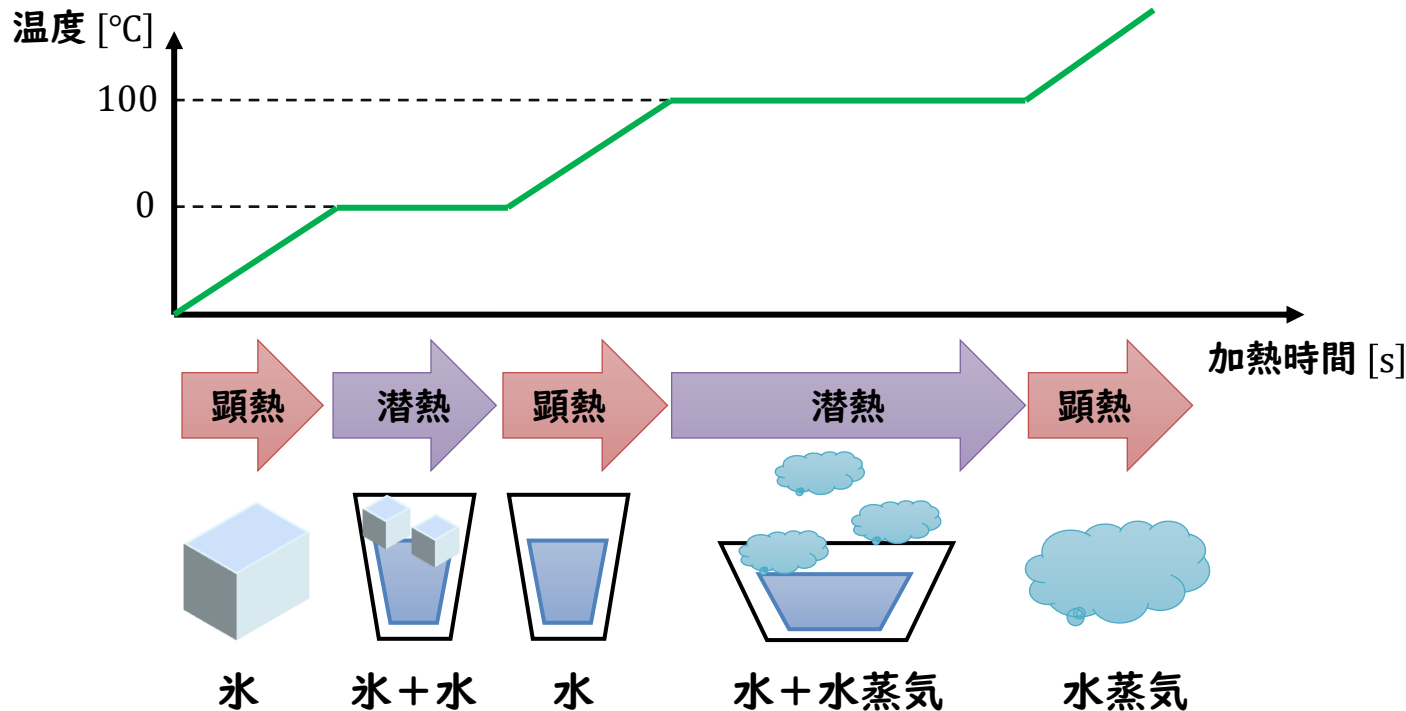
熱回路		電気回路	
物理量	単位	物理量	単位
温度差 T	K	電位差 V	V
熱流 ϕ	W	電流 I	A
熱抵抗 R_T	K/W	抵抗 R	Ω
熱容量 C	J/K	静電容量 C	F
熱量 Q	J	電荷量 Q	C
熱伝導率 λ	W/(m·K)	導電率 σ	S/m

熱回路	電気回路
$Q = CT$ $Q = cmT$	$Q = CV$
$T = R_T \Phi$	$V = RI$
$R_T = \frac{1}{\lambda} \frac{l}{S}$	$R = \frac{1}{\sigma} \frac{l}{S}$

物質の状態変化と熱の関係



水の状態変化と温度の関係



顕熱：物質の温度変化に必要なエネルギー

$$Q = cmT$$

T : 温度差 [K]

Q : 熱量 [J]

c : 比熱 [kJ]/(kg · K)

m : 物質の質量 [kg]

潜熱：物体の状態変化の際に必要なエネルギー

$$Q = \beta m$$

Q : 熱量 [J]

β : 物質の潜熱 [kJ]/(kg)

m : 物質の質量 [kg]

<エネルギーの公式>

$$W [J] = P [W] \times t [s] = 3600 \times P \times h [W \cdot h] = cmT + \beta m$$

R02 問13

問13 熱の伝導は電気の伝導によく似ている。下記は、電気系の量と熱系の量の対応表である。

電気系と熱系の対応表

電気系の量	熱系の量
電圧 V [V]	(ア) [K]
電気量 Q [C]	熱量 Q [J]
電流 I [A]	(イ) [W]
導電率 σ [S/m]	熱伝導率 λ [W/(m·K)]
電気抵抗 R [Ω]	熱抵抗 R_T (ウ)
静電容量 C [F]	熱容量 C (エ)

上記の記述中の空白箇所(ア)～(エ)に当てはまる組合せとして、正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

	(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)
(1)	熱流 Φ	温度差 θ	[J/K]	[K/W]
(2)	温度差 θ	熱流 Φ	[K/W]	[J/K]
(3)	温度差 θ	熱流 Φ	[K/J]	[J/K]
(4)	熱流 Φ	温度差 θ	[J/K]	[J/W]
(5)	温度差 θ	熱流 Φ	[K/W]	[J/W]

R02 問13

問13 熱の伝導は電気の伝導によく似ている。下記は、電気系の量と熱系の量の対応表である。

電気系と熱系の対応表

電気系の量	熱系の量
電圧 V [V]	(ア) [K] 温度差θ
電気量 Q [C]	熱量 Q [J]
電流 I [A]	(イ) [W] 熱流ϕ
導電率 σ [S/m]	熱伝導率 λ [W/(m·K)]
電気抵抗 R [Ω]	熱抵抗 R_T (ウ) K/W
静電容量 C [F]	熱容量 C (エ) J/K

上記の記述中の空白箇所(ア)～(エ)に当てはまる組合せとして、正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

	(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)
(1)	熱流 ϕ	温度差 θ	[J/K]	[K/W]
(2)	温度差 θ	熱流 ϕ	[K/W]	[J/K]
(3)	温度差 θ	熱流 ϕ	[K/J]	[J/K]
(4)	熱流 ϕ	温度差 θ	[J/K]	[J/W]
(5)	温度差 θ	熱流 ϕ	[K/W]	[J/W]

R03 問17

問17 熱の伝わり方について、次の(a)及び(b)の間に答えよ。

(a) \square (ア) は、熱媒体を必要とせず、真空中でも熱を伝達する。高温側で温度 T_2 [K]の面 S_2 [m²]と、低温側で温度 T_1 [K]の面 S_1 [m²]が向かい合う場合の熱流 Φ [W]は、 $S_2 F_{21} \sigma$ (\square (イ)) で与えられる。
 ただし、 F_{21} は、 \square (ウ) である。また、 σ [W/(m²·K⁴)]は、 \square (エ) 定数である。

上記の記述中の空白箇所(ア)～(エ)に当てはまる組合せとして、正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

	(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)
(1)	熱伝導	$T_2^2 - T_1^2$	形状係数	プランク
(2)	熱放射	$T_2^2 - T_1^2$	形態係数	ステファン・ボルツマン
(3)	熱放射	$T_2^4 - T_1^4$	形態係数	ステファン・ボルツマン
(4)	熱伝導	$T_2^4 - T_1^4$	形状係数	プランク
(5)	熱伝導	$T_2^4 - T_1^4$	形状係数	ステファン・ボルツマン

(b) 下面温度が 350 K、上面温度が 270 K に保たれている直径 1 m、高さ 0.1 m の円柱がある。伝導によって円柱の高さ方向に流れる熱流 Φ の値[W]として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

ただし、円柱の熱伝導率は 0.26 W/(m·K) とする。また、円柱側面からのその他の熱の伝達及び損失はないものとする。

- (1) 3 (2) 39 (3) 163 (4) 653 (5) 2420

導出のポイント

問 17 熱の伝わり方について、次の(a)及び(b)の間に答えよ。

熱放射

(a) (ア) は、熱媒体を必要とせず、真空中でも熱を伝達する。高温側で温度 T_2 [K] の面 S_2 [m²] と、低温側で温度 T_1 [K] の面 S_1 [m²] が向かい合う場合の熱流 Φ [W] は、 $S_2 F_{21} \sigma \left(\frac{T_2^4 - T_1^4}{(イ)} \right)$ で与えられる。

ただし、 F_{21} は、(ウ) である。また、 σ [W/(m²·K⁴)] は、(エ) 定数である。
形態係数 ステファン・ボルツマン

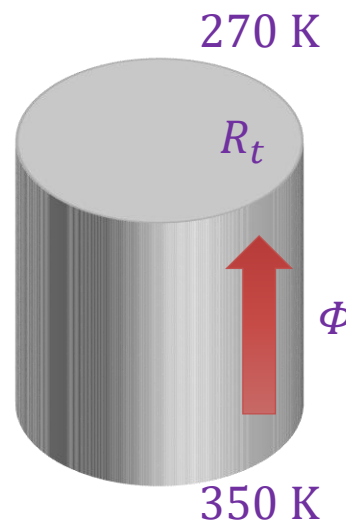
上記の記述中の空白箇所(ア)～(エ)に当てはまる組合せとして、正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

	(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)
(1)	熱伝導	$T_2^2 - T_1^2$	形状係数	プランク
(2)	熱放射	$T_2^2 - T_1^2$	形態係数	ステファン・ボルツマン
(3)	熱放射	$T_2^4 - T_1^4$	形態係数	ステファン・ボルツマン
(4)	熱伝導	$T_2^4 - T_1^4$	形状係数	プランク
(5)	熱伝導	$T_2^4 - T_1^4$	形状係数	ステファン・ボルツマン

(b) 下面温度が 350 K、上面温度が 270 K に保たれている直径 1 m、高さ 0.1 m の円柱がある。伝導によって円柱の高さ方向に流れる熱流 Φ の値[W]として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

ただし、円柱の熱伝導率は 0.26 W/(m·K) とする。また、円柱側面からのその他の熱の伝達及び損失はないものとする。

- (1) 3 (2) 39 **(3) 163** (4) 653 (5) 2420



熱抵抗を求める

$$R_T = \frac{1 l}{\lambda S} = \frac{1}{0.26} \times \frac{0.1}{0.5^2 \times \pi} = 0.49 \text{ W/K}$$

熱流を求める

$$\Phi = \frac{\Delta T}{R_T} = \frac{350 - 270}{0.49} = 163 \text{ W}$$

H25 問17

問17 伝熱に関する次の(a)及び(b)の間に答えよ。

(a) 直径1[m]、高さ0.5[m]の円柱がある。円柱の下面温度が600[K]、上面温度が330[K]に保たれているとき、伝導によって円柱の高さ方向に流れる熱流[W]の値として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

ただし、円柱の熱伝導率は0.26[W/(m・K)]とする。また、円柱側面からの放射及び対流による熱損失はないものとする。

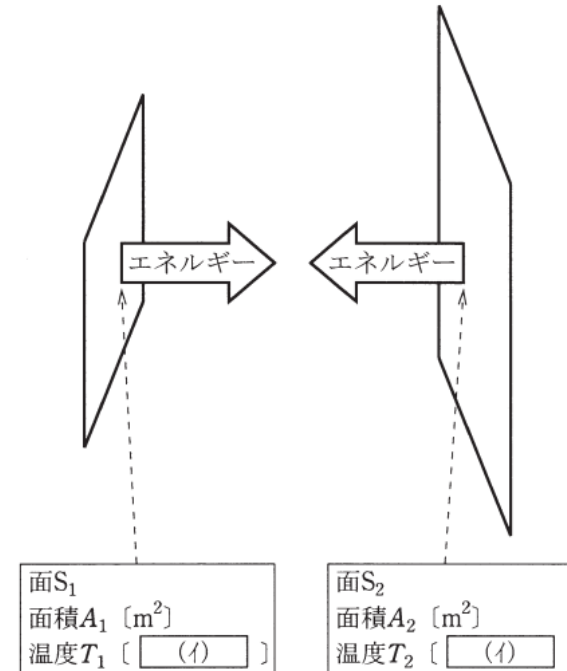
- (1) 45 (2) 110 (3) 441 (4) 661 (5) 1630

(b) 次の文章は、放射伝熱に関する記述である。

すべての物体はその物体の温度に応じた強さのエネルギーを (ア) として放出している。その量は物体表面の温度と放射率とから求めることができる。

いま、図に示すように、面積 A_1 [m²]、温度 T_1 [(イ)] の面 S_1 と、面積 A_2 [m²]、温度 T_2 [(イ)] の面 S_2 とが向き合っている。両面の温度に $T_1 > T_2$ の関係があるとき、エネルギーは面 S_1 から面 S_2 に放射によって伝わる。そのエネルギー流量(1秒当たりに面 S_1 から面 S_2 に伝わるエネルギー) Φ [W] は $\Phi = \varepsilon\sigma A_1 F_{12} \times$ (ウ) で与えられる。

ここで、 ε は放射率、 σ は (エ) 、及び F_{12} は形態係数である。ただし、 ε に波長依存性はなく、両面において等しいとする。また、 F_{12} は面 S_1 、面 S_2 の大きさ、形状、相対位置などの幾何学的な関係で決まる値である。



上記の記述中の空白箇所(ア)、(イ)、(ウ)、及び(エ)に当てはまる組合せとして、正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

	(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)
(1)	電磁波	K	$(T_1 - T_2)$	プランク定数
(2)	熱	K	$(T_1^4 - T_2^4)$	ステファン・ボルツマン定数
(3)	電磁波	K	$(T_1^4 - T_2^4)$	ステファン・ボルツマン定数
(4)	熱	°C	$(T_1 - T_2)$	ステファン・ボルツマン定数
(5)	電磁波	°C	$(T_1^4 - T_2^4)$	プランク定数

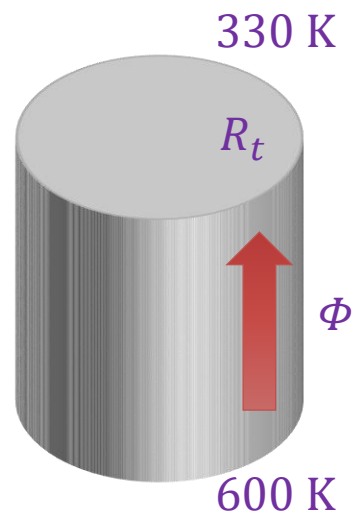
導出のポイント

問17 伝熱に関する次の(a)及び(b)の間に答えよ。

(a) 直径1 [m]、高さ 0.5 [m] の円柱がある。円柱の下面温度が 600 [K]、上面温度が 330 [K] に保たれているとき、伝導によって円柱の高さ方向に流れる熱流 [W] の値として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

ただし、円柱の熱伝導率は 0.26 [W/(m・K)] とする。また、円柱側面からの放射及び対流による熱損失はないものとする。

- (1) 45 (2) 110 (3) 441 (4) 661 (5) 1630



熱抵抗を求める

$$R_T = \frac{1}{\lambda S} = \frac{1}{0.26} \times \frac{0.5}{0.5^2 \times \pi} = 2.45 \text{ W/K}$$

熱流を求める

$$\Phi = \frac{\Delta T}{R_T} = \frac{600 - 330}{2.45} = 110 \text{ W}$$

導出のポイント

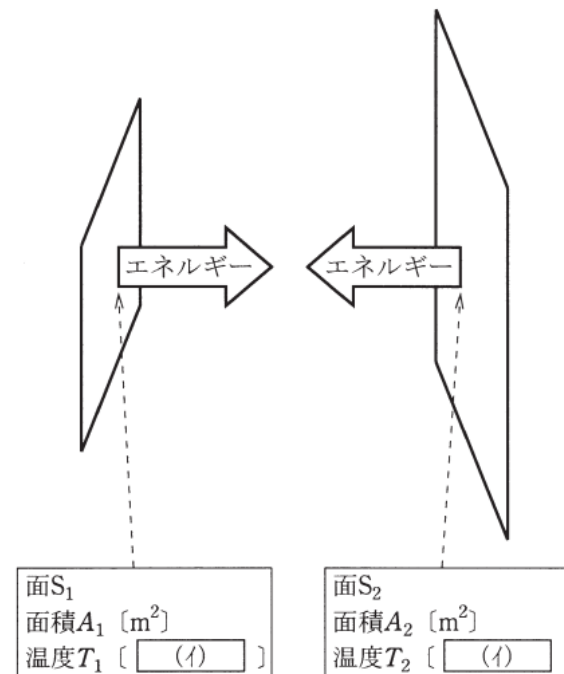
(b) 次の文章は、放射伝熱に関する記述である。

電磁波

すべての物体はその物体の温度に応じた強さのエネルギーを $(ア)$ として放出している。その量は物体表面の温度と放射率とから求めることができる。

いま、図に示すように、面積 A_1 [m²]、温度 T_1 [$(イ)$] の面 S_1 と、面積 A_2 [m²]、温度 T_2 [$(イ)$] の面 S_2 とが向き合っている。両面の温度に $T_1 > T_2$ の関係があるとき、エネルギーは面 S_1 から面 S_2 に放射によって伝わる。そのエネルギー流量(1秒あたりに面 S_1 から面 S_2 に伝わるエネルギー) Φ [W] は $\Phi = \varepsilon \sigma A_1 F_{12} \times \frac{(ウ)}{T_2^4 - T_1^4}$ で与えられる。

ここで、 ε は放射率、 σ は $(エ)$ **ステファン・ボルツマン** 定数、 F_{12} は形係数である。ただし、 ε に波長依存性はなく、両面において等しいとする。また、 F_{12} は面 S_1 、面 S_2 の大きさ、形状、相対位置などの幾何学的な関係で決まる値である。



上記の記述中の空白箇所(ア)、(イ)、(ウ)、及び(エ)に当てはまる組合せとして、正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

	(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)
(1)	電磁波	K	$(T_1 - T_2)$	プランク定数
(2)	熱	K	$(T_1^4 - T_2^4)$	ステファン・ボルツマン定数
(3)	電磁波	K	$(T_1^4 - T_2^4)$	ステファン・ボルツマン定数
(4)	熱	°C	$(T_1 - T_2)$	ステファン・ボルツマン定数
(5)	電磁波	°C	$(T_1^4 - T_2^4)$	プランク定数

R01 問17(a)

問17 電気給湯器を用いて、貯湯タンクに入っている温度 20°C 、体積 0.37 m^3 の水を 85°C に加熱したい。水の比熱容量は $4.18 \times 10^3 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ 、水の密度は $1.00 \times 10^3 \text{ kg}/\text{m}^3$ であり、いずれも水の温度に関係なく一定とする。次の(a)及び(b)の間に答えよ。

(a) 貯湯タンク内の水の加熱に必要な熱エネルギー Q の値 [MJ] として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 51 (2) 101 (3) 152 (4) 202 (5) 253

導出のポイント

問 17 電気給湯器を用いて、貯湯タンクに入っている温度 20°C 、体積 0.37 m^3 の水を 85°C に加熱したい。水の比熱容量は $4.18 \times 10^3\text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ 、水の密度は $1.00 \times 10^3\text{ kg}/\text{m}^3$ であり、いずれも水の温度に関係なく一定とする。次の (a) 及び (b) の間に答えよ。

(a) 貯湯タンク内の水の加熱に必要な熱エネルギー Q の値 [MJ] として、最も近いものを次の (1) ~ (5) のうちから一つ選べ。

- (1) 51 (2) 101 (3) 152 (4) 202 (5) 253

水の質量

$$1\text{ m}^3 = 1000\text{ kg} \rightarrow 0.37\text{ m}^3 = 370\text{ kg}$$

加熱に必要な熱エネルギーを求める

$$\begin{aligned} Q &= cm(t_1 - t_0) = 4.18 \times 10^3 \times 370 \times (85 - 20) \\ &= 100529 \times 10^3\text{ J} = 101\text{ MJ} \end{aligned}$$

H2I 問17(a)

問17 温度 20.0 [°C] , 体積 0.370 [m³] の水の温度を 90.0 [°C] まで上昇させたい。次の(a)及び(b)に答えよ。

ただし、水の比熱(比熱容量)と密度はそれぞれ 4.18×10^3 [J/(kg·K)] , 1.00×10^3 [kg/m³] とし、水の温度に関係なく一定とする。

(a) 電熱器容量 4.44 [kW] の電気温水器を使用する場合、これに必要な時間 t [h] の値として、最も近いのは次のうちどれか。

ただし、貯湯槽を含む電気温水器の総合効率は 90.0 [%] とする。

- (1) 3.15 (2) 6.10 (3) 7.53 (4) 8.00 (5) 9.68

導出のポイント

問17 温度 20.0 [°C] , 体積 0.370 [m³] の水の温度を 90.0 [°C] まで上昇させたい。次の(a)及び(b)に答えよ。

ただし、水の比熱(比熱容量)と密度はそれぞれ 4.18×10^3 [J/(kg·K)] , 1.00×10^3 [kg/m³] とし、水の温度に関係なく一定とする。

(a) 電熱器容量 4.44 [kW] の電気温水器を使用する場合、これに必要な時間 t [h] の値として、最も近いのは次のうちどれか。

ただし、貯湯槽を含む電気温水器の総合効率は 90.0 [%] とする。

- (1) 3.15 (2) 6.10 (3) 7.53 (4) 8.00 (5) 9.68

水の質量

$$1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ kg} \rightarrow 0.37 \text{ m}^3 = 370 \text{ kg}$$

加熱に必要な熱エネルギーを求める

$$\begin{aligned} Q &= cm(t_1 - t_0) = 4.18 \times 10^3 \times 370 \times (90 - 20) \\ &= 108262 \times 10^3 \text{ J} = 108000 \text{ kJ} \end{aligned}$$

電気温水器で加熱する場合に必要な時間を求める

$$Q = \eta \times P \times \frac{60}{\text{分}} \times \frac{60}{\text{秒}} \times h$$

$$h = \frac{Q}{\eta \times P \times 60 \times 60} = \frac{108000}{0.9 \times 4.44 \times 3600} = 7.51 \text{ h}$$



ご聴講ありがとうございました!!