

第4章 熱とエネルギー代謝

熱とエネルギー代謝

4.1 熱とエネルギーの基礎

- (1) 熱とは何か
- (2) 温度と比熱
- (3) 熱伝導とフーリエの法則
- (4) 熱放射とエネルギー
- (5) 自由エネルギーと変化の進む方向

4.2 体温

4.3 人体における熱生産

4.4 人体における熱拡散

(1) 熱とは何か

◎熱：

*エネルギー：能力

*Eの性質：どのように変換されても一定不変

⇒ 保存則

Ex. 位置E, 運動E, 電気E, 光E, 音のE

熱の性質

- 温度の物体から物体へ伝わる
- 物質を構成する分子の に比例
- 熱の移動に伴い分子の と は変化する

熱の伝わり方

・ ・

(1) 熱とは何か

熱力学第1法則：

$$\Delta Q = \Delta U + W$$

物質に与えた熱 ΔQ は、物質の内部エネルギーの増加量 ΔU と物質が外部にした仕事 W の和に等しい

図4.1

内部エネルギー：

物質を構成する原子や分子が持つ運動 E ，電気 E ，位置 E などの総和
物質の絶対温度に比例

物質に熱を与えると，物質の温度の上昇や外部に仕事をなす

(1) 熱とは何か

◎熱の仕事当量

水1gを1度上昇させるのに必要な熱量 1[cal]

$$1 [\text{cal}] = 4.19 [\text{J}]$$

熱量 仕事

*熱も仕事もエネルギーの一形態

ただし、

仕事 $\Rightarrow$ 熱 は100%で変換可能

熱 $\Rightarrow$ 仕事 は100%では変換できない

(熱力学第2法則)

(1) 熱とは何か

◎熱化学方程式とエンタルピー

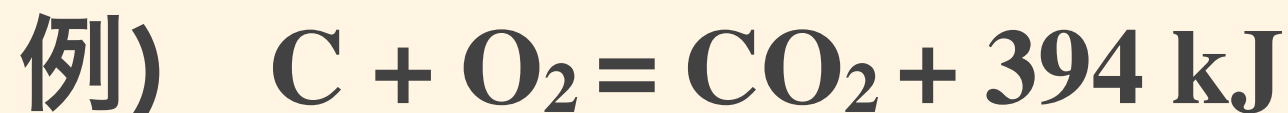
化学反応に伴い熱の発生と吸収が起こる

発熱反応 吸熱反応

 ：物質の持つ化学エネルギー

発熱反応：放出した熱の分	 	が減少
吸熱反応：吸収した熱の分	 	が増加

熱化学方程式：1molあたりの反応熱を含む式



(1) 熱とは何か

熱化学方程式：1molあたりの反応熱を含む式

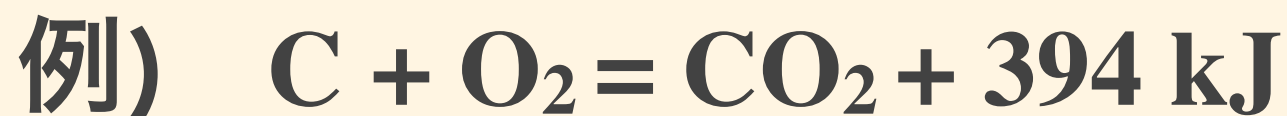


図4.2

エンタルピー変化と反応熱の関係

$$(\text{エンタルピー変化} \Delta H) + (\text{反応熱} \Delta Q') = 0$$

熱力学第1法則より(ΔQ は与えた熱量)

$$\Delta Q = -\Delta Q' = \Delta H$$

圧力一定の場合,

$$W = P\Delta V$$

$$\Delta Q = \Delta U + W \Rightarrow \Delta H = \Delta U + P\Delta V$$

物質はエンタルピーの低い状態がより安定

(2)温度と比熱

◎温度

の指標
の大きさ

- ・ 絶対温度：絶対零度を基準
単位
- ・ 相対温度：水の凍る温度を 0°C 、沸騰する温度を 100°C
としてその間を100等分したもの
単位 /

熱平衡状態：物体全体が同じ温度の状態

＊個々の分子のエネルギーは様々

(2) 温度と比熱

◎ 比熱

物質1gの温度を1K上昇させるために必要な熱エネルギー
単位： $[\text{J}/(\text{g} \cdot \text{K})]$

水の比熱 $4.19 [\text{J}/(\text{g} \cdot \text{K})]$

人体の比熱 $3.56 [\text{J}/(\text{g} \cdot \text{K})]$

熱容量：物体の温度を1K上昇させるために必要な熱エネルギー
単位： $[\text{J}/\text{K}]$

課題 (教科書外)

(練習4.1)

室温の1Lの水を沸騰させるために必要な熱エネルギーを求めよ。

体重 60 kg の人の熱容量を求めよ。

(3) 熱伝導とフーリエの法則

◎熱伝導

接触により分子の運動エネルギーが伝わっていく現象

＊輻射：電磁波により熱が伝わる

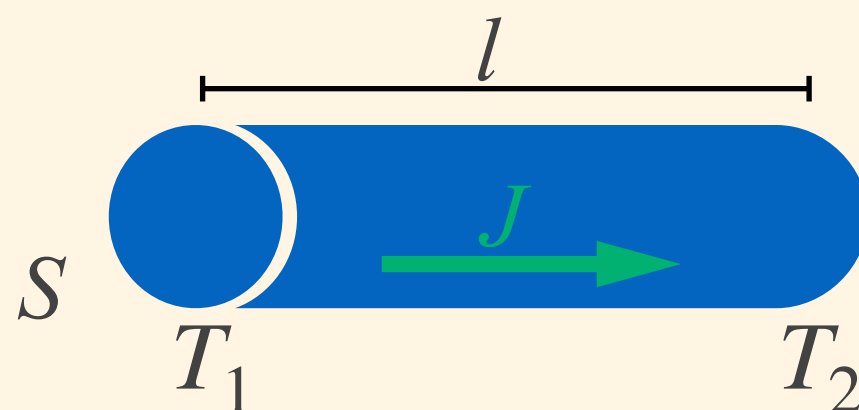
◎熱伝導のフーリエの法則

単位時間あたりに移動する熱量は温度の差に依存する

$$J = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \kappa \frac{S}{l} (T_1 - T_2)$$

κ ：熱伝導率 [W/(m・K)]

熱の伝わりやすさ



水 (27°C)	0.612 [W/(m・K)]
空気 (27°C)	0.0265 [W/(m・K)]
アルミニウム	237 [W/(m・K)]
皮下脂肪	0.190 [W/(m・K)]

(4)熱放射とエネルギー

◎熱放射 ふくしゃ (輻射)

電磁波を放射することで熱エネルギーが移動

(完全)黒体：電磁波を吸収・放出する理想的な物体
熱放射は表面の温度の4乗に比例する
(ステファン-ボルツマンの法則)

黒体放射による熱の移動

$$J = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \epsilon \sigma A (T_0^4 - T_a^4)$$

ϵ ：放射率

- ・理想的な黒体 1
- ・皮膚 0.95 (赤外線放射率)

σ ：ステファンボルツマン定数

$$5.67 \times 10^{-8} [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)]$$

(4)自由エネルギーと変化の進む方向

◎熱力学第2法則

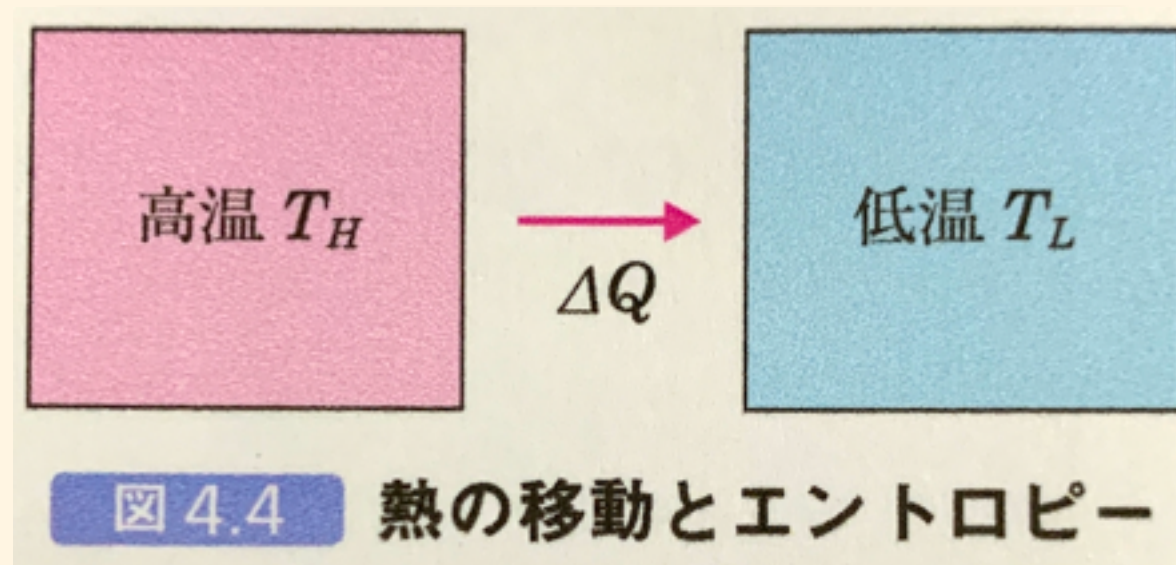
何の変化も起こさずに、低温の物体から熱を受け取り、高温の物体に与えることはできない（熱は高温の物体から低温の物体へ移動する）。

◎エントロピー：第2法則の定量的な表現のための概念

$$\text{エントロピー変化 } \Delta S = \frac{\Delta Q}{T}$$

(4) 自由エネルギーと変化の進む方向

高温の物体から低温の物体への熱の移動を考える



熱量の変化	$-\Delta Q$	$+\Delta Q$	$= 0$
-------	-------------	-------------	-------

エントロピー変化	$-\frac{\Delta Q}{T_H}$	$+\frac{\Delta Q}{T_L}$	> 0
----------	-------------------------	-------------------------	-------

($T_H > T_L$ のため)

熱の移動では必ず
エントロピーは増加する $\Rightarrow$ エンタルピー増大則

(4)自由エネルギーと変化の進む方向

エントロピーを使った第2法則の定量的な表現

エントロピーの合計が増大する変化は自然に起きるが、
減少する変化は自然に起きない。

*拡散：エントロピーの増大

(1) 熱エネルギーと体温

温度が一定 : 発生した熱 - 放出した熱 - 仕事 = 0

人体では...

貯熱量 = 熱生産量 - (伝導性放熱量 + 対流性放熱量 + 放射性放熱量
+ 蒸発性放熱量 + 外部への仕事)

貯熱量 > 0 $\Rightarrow$ 体温上昇

貯熱量 = 0 $\Rightarrow$ 体温維持

貯熱量 < 0 $\Rightarrow$ 体温低下

$$\text{物体の温度変化 } \Delta T = \frac{\text{貯熱量}}{Cm}$$

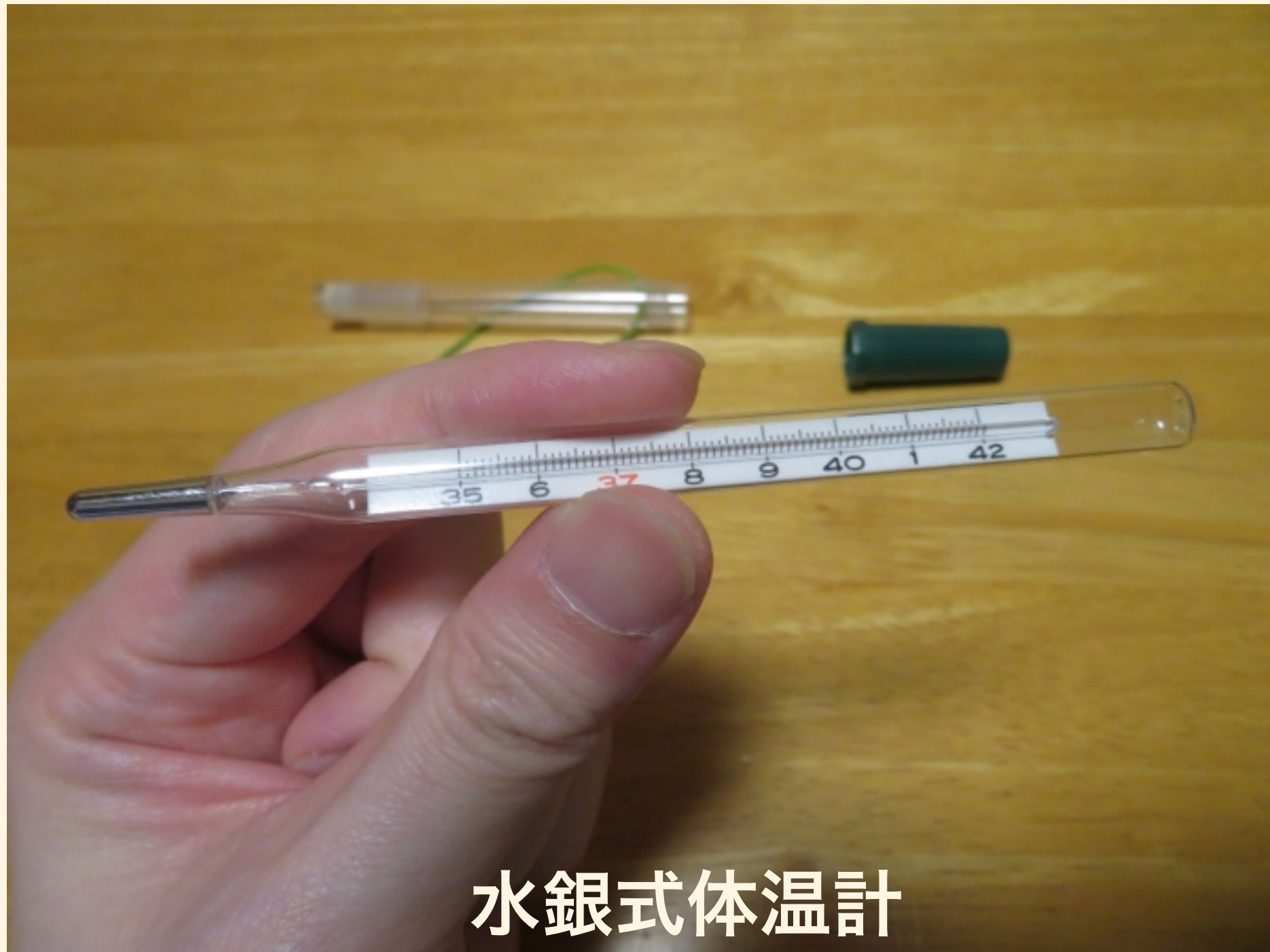
比熱 $\times$ 質量 = 熱容量

熱生産量 : エネルギー代謝量 (基礎代謝量や運動時代謝量など) から
見積もる

機械的仕事をする際 : 人体のエネルギー効率が低いため大部分が
熱生産のエネルギーになる $\Rightarrow$ 放熱が大事

(2)体温計

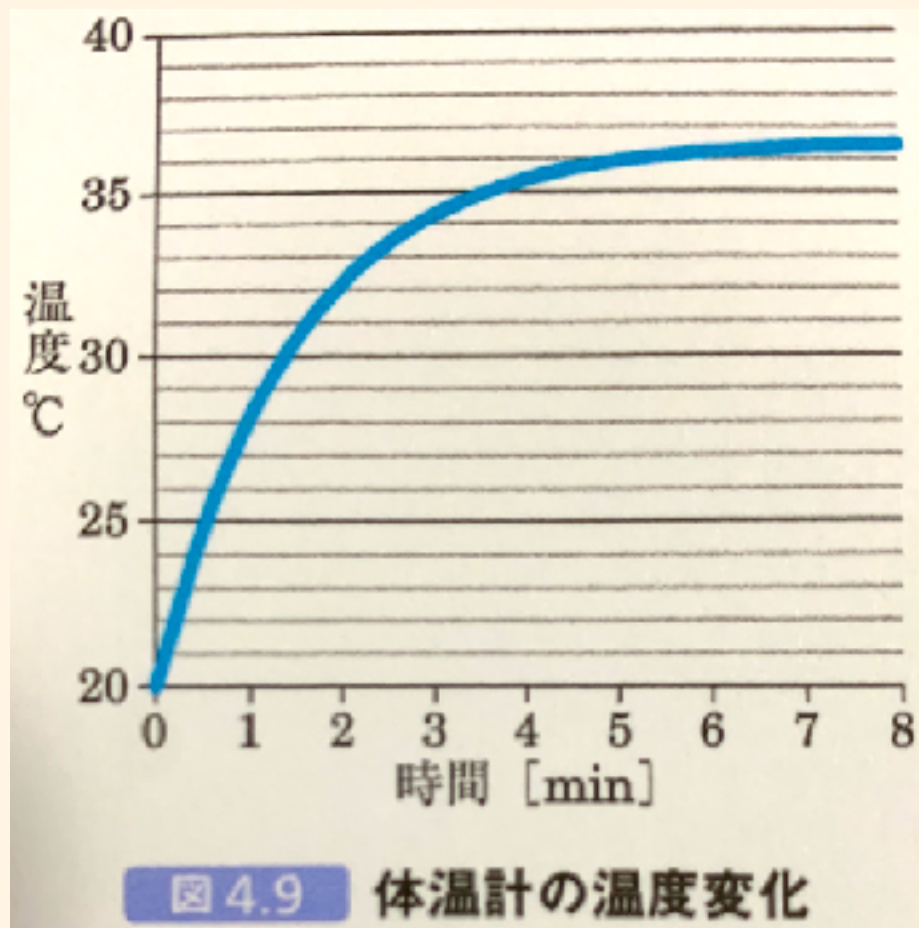
- **水銀式**：ガラス管の中の水銀の熱膨張を利用
- **電子式**：温度で抵抗値が変わる素子(サーミスタ)を利用
実測式と予測式がある
- **耳式**：鼓膜からの赤外線放射を赤外線センサーで測定
鼓膜は脳に近い
- **赤外線式**：皮膚からの赤外線放射を赤外線センサーで測定



水銀式体温計

(2) 体温計

◎ 体温計の温度変化



T : 体温計温度

T_0 : 体温計初期温度

T_1 : 皮膚温度

皮膚から体温計に熱伝導で伝わる
温度差が小さくなると熱流束が小さくなる

フーリエの法則

$$J = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{1}{\theta}(T_1 - T)$$

θ : 熱抵抗

体温計の熱容量を C とすると

$$\Delta Q = C\Delta T$$

よって

$$\frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{1}{C\theta}(T_1 - T)$$

解くと $(T_1 - T) = (T_1 - T_0)e^{-t/C\theta}$

(1)皮膚からの熱放散

人間の機械的仕事時の効率は低い ⇒ 熱になる

サイクリング 19%、トロツコを押す作業 17%、砂を掘る作業 3%

皮膚からの熱放散はとても大事

◎熱放散の過程

- 皮膚表面からの熱放射
- 身体周囲の空気の対流や伝導
- 汗や呼吸による水の蒸発

環境温度が 26°C 以下→皮膚からの放射が支配的

環境温度が 30°C 以上→蒸発による放射が支配的

衣服を着用した場合、熱の移動を妨げる「熱抵抗」を考慮する必要がある。