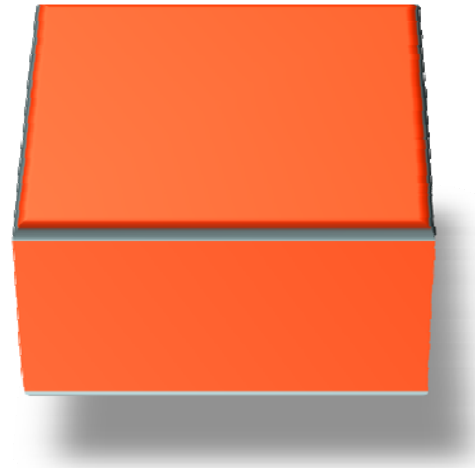


熱的性質

THERMAL PROPERTIES

This photograph shows a white hot cube of a silica fiber insulation material, which, only seconds after having been removed from a hot furnace, can be held by its edges with the bare hands. Initially, the heat transfer from the surface is relatively rapid; however, the thermal conductivity of this material is so small that heat conduction from the interior is extremely slow.



熱的性質

微視的にみた熱的性質

材料の物性としての熱的性質

比熱(熱容量)

熱膨張率

熱伝導率

熱拡散率

輻射率

潜熱

吸着熱

巨視的にみた熱挙動

3種類の伝熱

伝導

対流

輻射

材料工学の観点から

製造過程

加熱, 冷却, 相転移

熱伝導率と温度分布

冷却に伴う収縮(ひけ, 割れ)

例えば ガラス細工

使用時

触ると冷たい (熱伝導)

断熱, 接触感,

相転移熱

材料の熱的性質

固体が吸熱すると

温度が高くなる(原子の熱運動の増加) → 比熱
サイズが大きくなる → 熱膨張(線膨張率, 体膨張率)

固体中に温度勾配があると

熱が移動する → 熱伝導率、熱拡散率

固体の温度が雰囲気温度と異なるとき(異種界面)

表面を介して熱が移動する → 熱伝達係数
→ 輻射率

相転移に伴う熱の出入り

結晶化熱(発熱)、融解熱(吸熱)、気化熱(吸熱)、凝結熱(発熱)

比熱 (熱容量)

単位 J/(mol K) , J/(kg K)

(J/K)

$$C = \frac{dQ}{dT}$$

Q エネルギー (J/mol, J/kg)

T 温度 (K)

C 比熱 (J/(mol K), J/(kg K))

$$C_P = \left(\partial H / \partial T \right)_P \quad \text{定圧比熱} \quad H \text{ はエンタルピー}$$

$$C_V = \left(\partial U / \partial T \right)_V \quad \text{定容比熱, 定積比熱} \quad U \text{ 内部はエネルギー}$$

気体の場合: 両者の差は大きい $C_P > C_V$

定圧比熱 = 温度上昇 + 体積変化の仕事

理想気体 $C_P - C_V = R$

固体の場合: 室温で両者の差は小さい

固体の熱の吸収(assimilation) = 熱振動の増加

高周波数, 微小振幅

隣同士の原子の結合力を介した振動の協調

熱容量の温度依存性 (単純な固体結晶の場合)

$$\text{At } T = 0 \quad C_V = 0$$

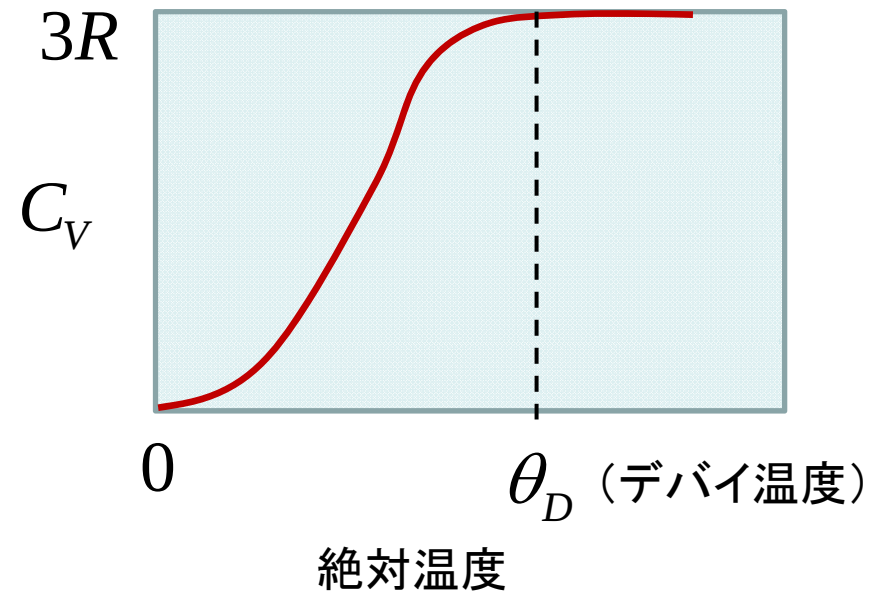
$$\text{低温域} \quad C_V = AT^3$$

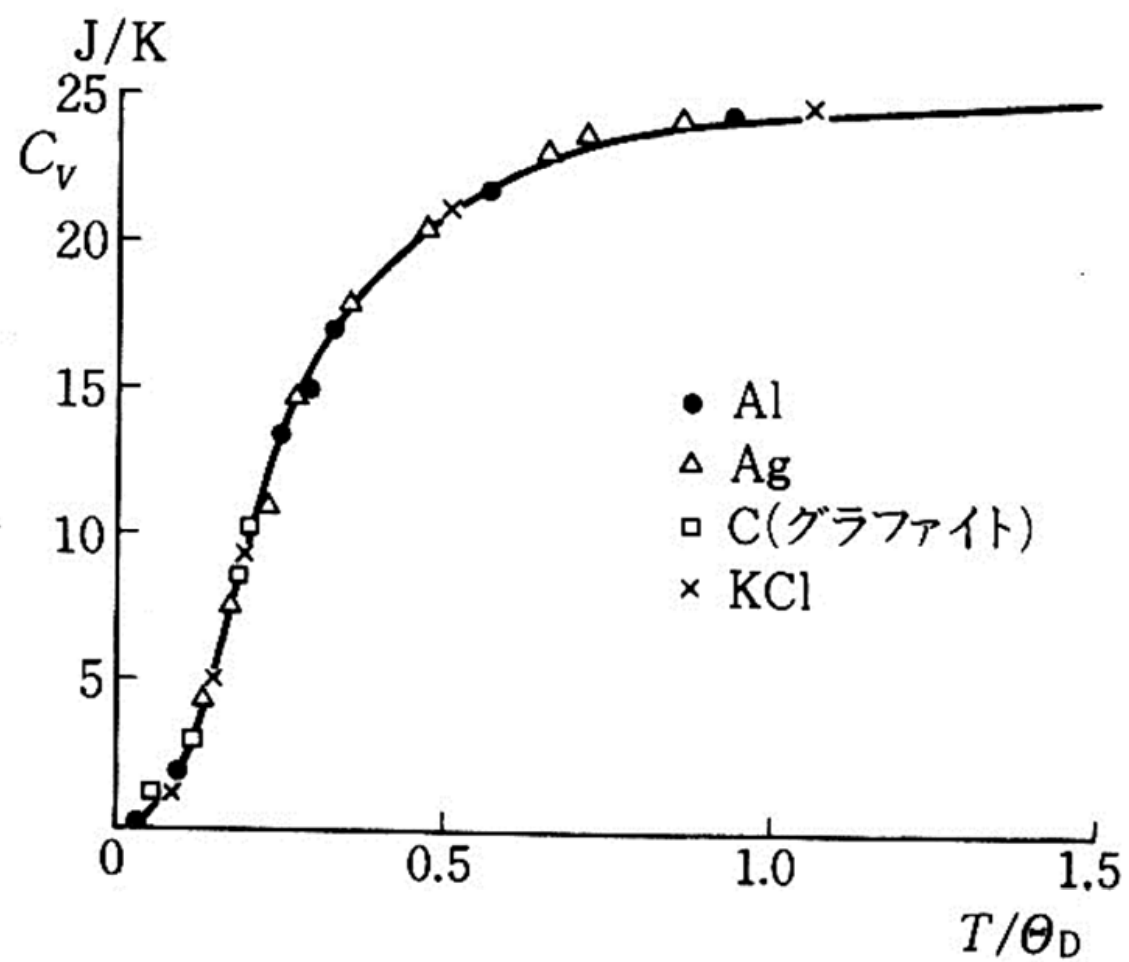
θ_D は室温以下(数百度以下)

$$C_V \approx 25 [\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})]$$

原子量を $x [\text{kg}/\text{mol}]$ とすれば

$$C_V \approx 25/x [\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})]$$





熱的性質

微視的にみた熱的性質

材料の物性としての熱的性質

比熱(熱容量)

熱膨張率

熱伝導率

熱拡散率

輻射率

潜熱

吸着熱

巨視的にみた熱挙動

3種類の伝熱

伝導

対流

輻射

材料工学の観点から

製造過程

加熱, 冷却, 相転移

熱伝導率と温度分布

冷却に伴う収縮(ひけ, 割れ)

例えば ガラス細工

使用時

触ると冷たい (熱伝導)

断熱, 接触感,

相転移熱

熱膨張

$$\frac{\ell_f - \ell_0}{\ell_0} = \alpha_l (T_f - T_0)$$

$$\Delta \ell = \alpha_l \Delta T$$

線膨張率

$$\Delta V = \alpha_V \Delta T$$

体積膨張率

(既出) ポテンシャルエネルギーの非対称性に起因

原子間結合エネルギー大 $\Rightarrow$ 谷が深く急峻 $\Rightarrow$ 線膨張率 小

金属

線膨張率 = $5 \sim 25 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$

合金 鉄-ニッケル, 鉄-コバルト $1 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$

セラミックス

強い原子間結合 $\Rightarrow$ 低熱膨張率 $0.5 \sim 15 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$

Fused Silica (高純度 SiO_2 ガラス) 不純物 $\Rightarrow$ 線膨張率大

ポリマー

線膨張率大 = $50 \sim 300 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$

線状, 分岐高分子 = 線膨張率大

架橋高分子 線膨張率小

異方性: 結晶の特定方向には縮む場合もある

セラミックス, 高分子配向繊維 (長さ方向に縮む)

熱伝導率

$$q = -k \frac{dT}{dx}$$

q 熱流束 W/m^2

k 熱伝導率 $\text{W}/(\text{m K}) = \text{J}/(\text{m s K})$

固体中の熱移動の要素

格子振動 (phonon)

自由電子 (free electron)

$$k = k_l + k_e$$

The thermal energy associated with phonons or lattice waves is transported in the direction of their motion (温度勾配下での実質的なフォノンの移動)

自由電子: 高温域 運動エネルギー大 $\Rightarrow$ 低温域へ移動 エネルギー交換
自由電子が多いほど k_e の寄与が相対的に大

Phonon による熱移動に比べ free electron による熱移動の方が容易

熱伝導

金属

高純度の金属 k_e の寄与大 $k = 20 \sim 400 \text{ W/(m K)}$

$$L = \frac{k}{\sigma T}$$

T 絶対温度
 σ 電気伝導率

L 定数 ($= 2.44 \times 10^{-8} \text{ } \Omega\text{W/K}^2$)

L は温度に依存しない

全ての熱伝導が自由電子によるもの⇒どの金属でも L は等しい

セラミックス

非金属材料 自由電子なし 低熱伝導率 $2 \sim 50 \text{ W/(m K)}$

非晶性の方が結晶性より熱伝導率が低い
(フォノンの散乱が起こりやすい)

温度上昇＝熱伝導率低下, 高音域で再上昇(輻射伝熱の寄与)

ポリマー

熱伝導率 $k = 0.3 \text{ W/(m K)}$ 程度

分子鎖の振動・回転が主な伝導の要素
高結晶化度 熱伝導率大

多孔体は, 熱伝導率が低い 空気の熱伝導率 0.02 W/(m K)

多孔性セラミックス, Foaming (発泡) 発泡ポリスチレン
衣服(繊維の空間の複合材料)

潜熱と顕熱

潜熱 (latent heat)

相変化に伴う熱の出入り
(温度変化を伴わない)

融解熱, 結晶化熱

蒸発熱, 気化熱

顕熱 (sensible heat)

温度変化を伴う熱の出入り

水の場合: 融解熱 333.5 J/g, 気化熱 2256.7 J/g

相転移の名称

	固体	液体	気体
固体		融解 Melting Fusion	昇華 Sublimation
液体	固化 Solidification Freezing		気化 Evaporation Vaporization
気体	凝結 Deposition	凝縮 Condensation	

熱的性質に関する用語(英語との対応)

微視的にみた熱的性質

材料の物性としての熱的性質

比熱(熱容量)	Specific heat, Heat capacity
熱膨張率	Thermal expansion coefficient
熱伝導率	Heat conductivity, Thermal conductivity
熱拡散率	Diffusivity of heat
輻射率(放射率)	Emissivity
潜熱	Latent heat
吸着熱	Heat of adsorption

巨視的にみた熱挙動

3種類の伝熱

伝導	Conduction
対流	Convection
輻射(放射)	Radiation