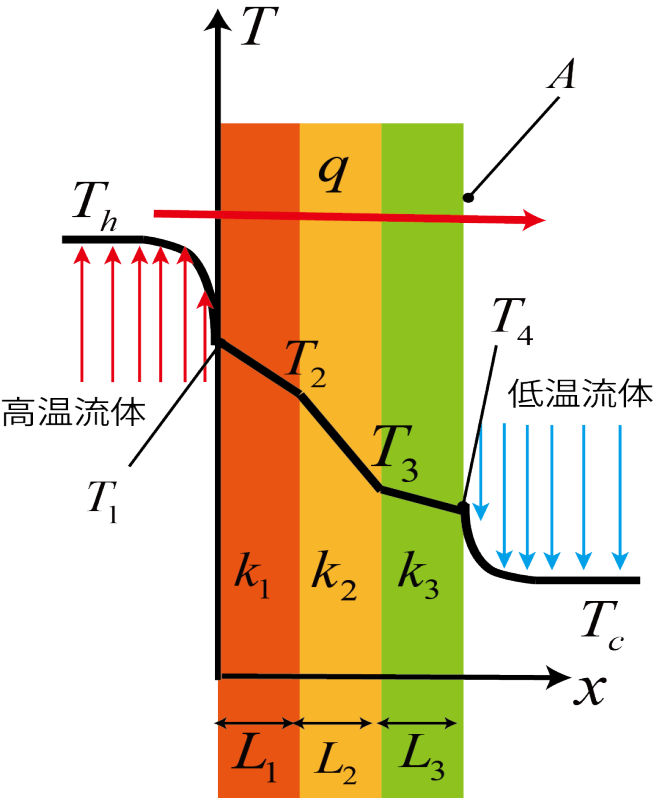




第2章 熱伝導（伝導伝熱）②

2-2. 多層媒体の定常熱伝導

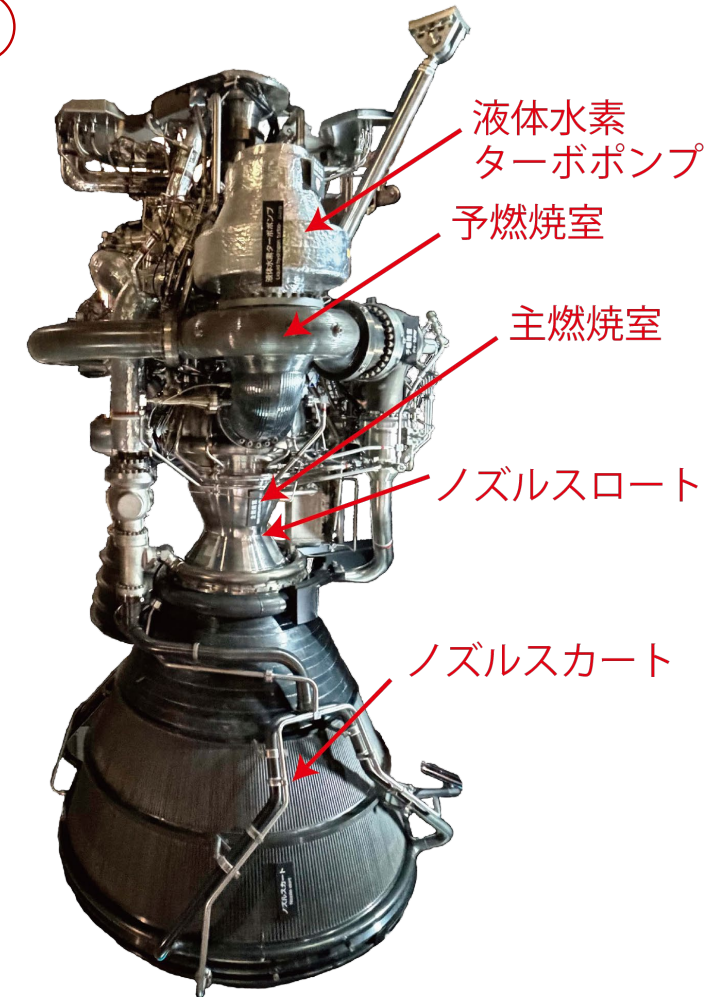


$$\frac{1}{Ah_h} \quad \frac{L_1}{Ak_1} \quad \frac{L_2}{Ak_2} \quad \frac{L_3}{Ak_3} \quad \frac{1}{Ah_c}$$

対流熱伝達がある場合の多層平板の熱伝導



水を入れた風船を炎にかざした時、風船は割れるだろうか



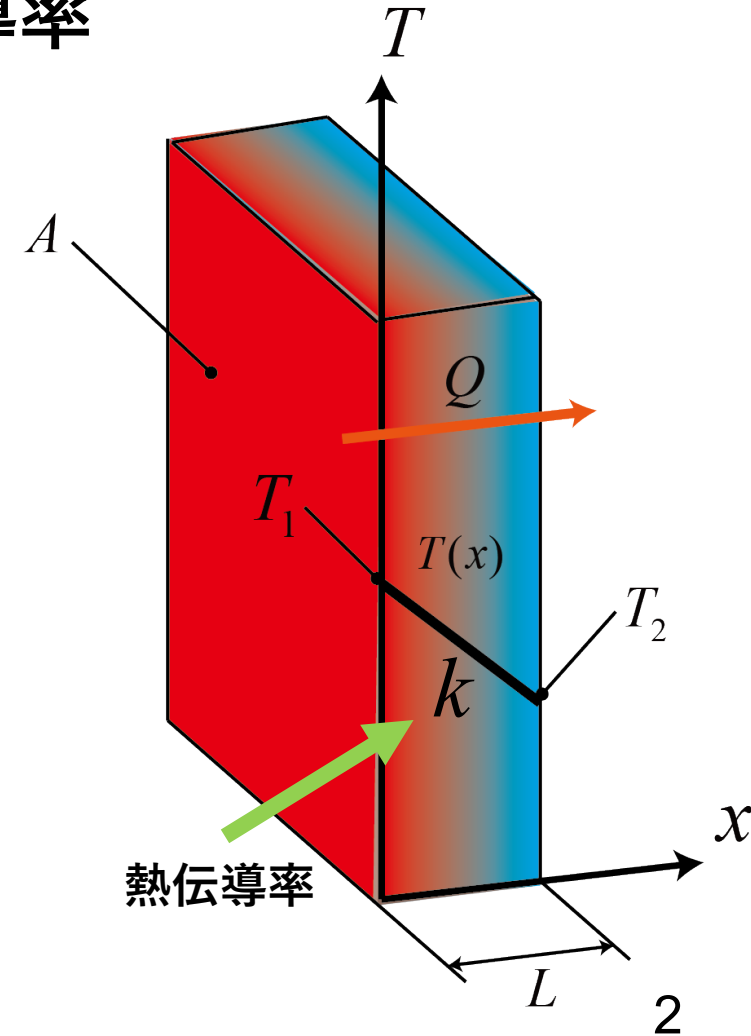
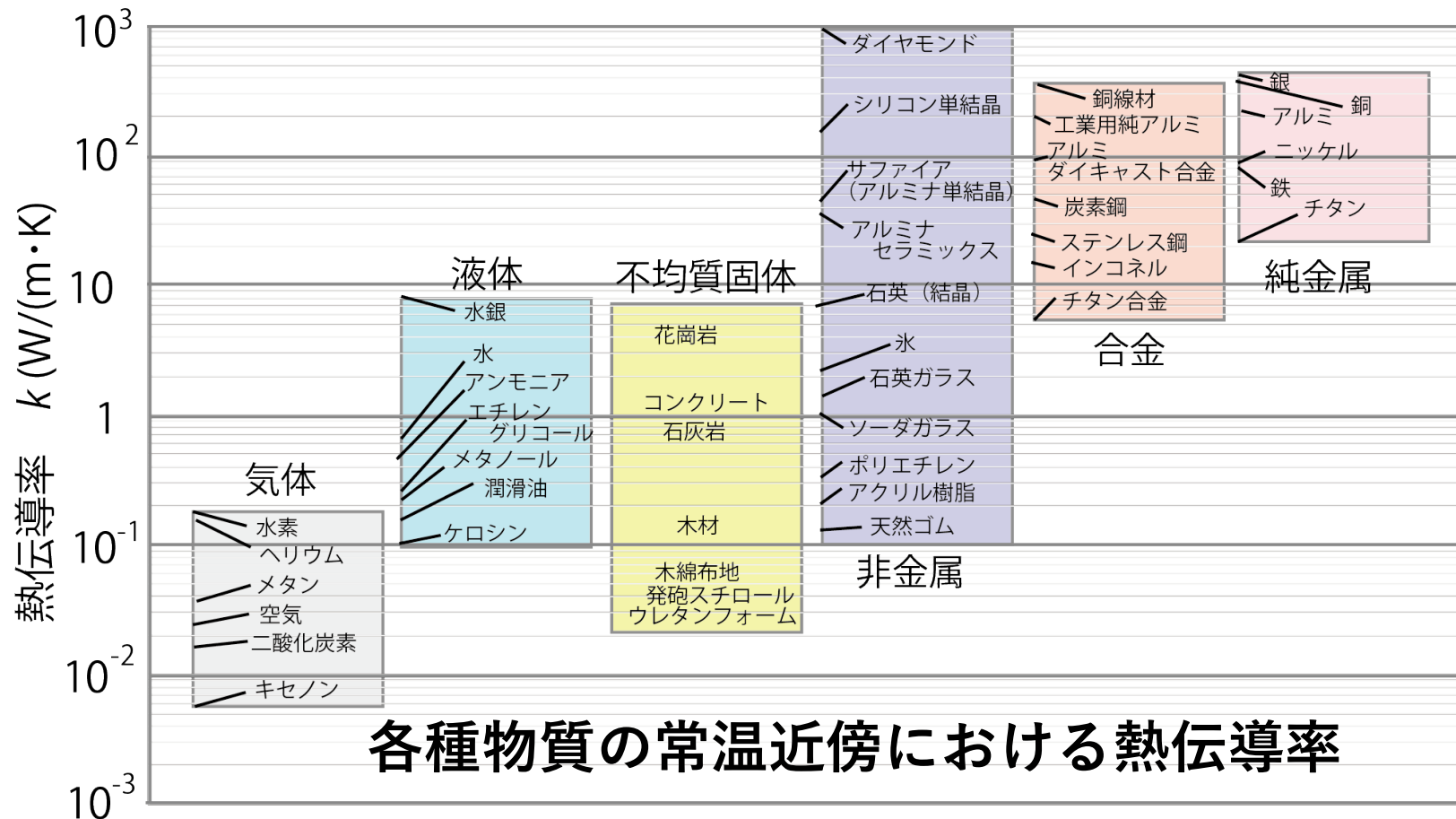
ロケットエンジンの冷却技術



前回の内容

第2章 熱伝導（伝導伝熱）①

2-1. 定常熱伝導と物質の熱伝導率





第2章 熱伝導（伝導伝熱）②

- 2-1. 定常熱伝導と物質の熱伝導率
- 2-2. 多層媒体の定常熱伝導**
- 2-3. 定常熱伝導の例題と演習問題
- 2-4. 熱伝導方程式と境界条件
- 2-5. 非定常熱伝導
- 2-6. 非定常熱伝導の例題と演習問題
- 2-7. ニュートンの冷却法則



多層平板の定常熱伝導

右図に示すように、熱伝導率が異なる複数の平板を密着させた多層平板の1次元熱伝導を考える。

ここで、平板の面積を A 、内側と外側の温度を T_1 、 T_4 とする。多層平板の定常熱伝導では、各平板を通過する熱流束は等しく次のように表される。

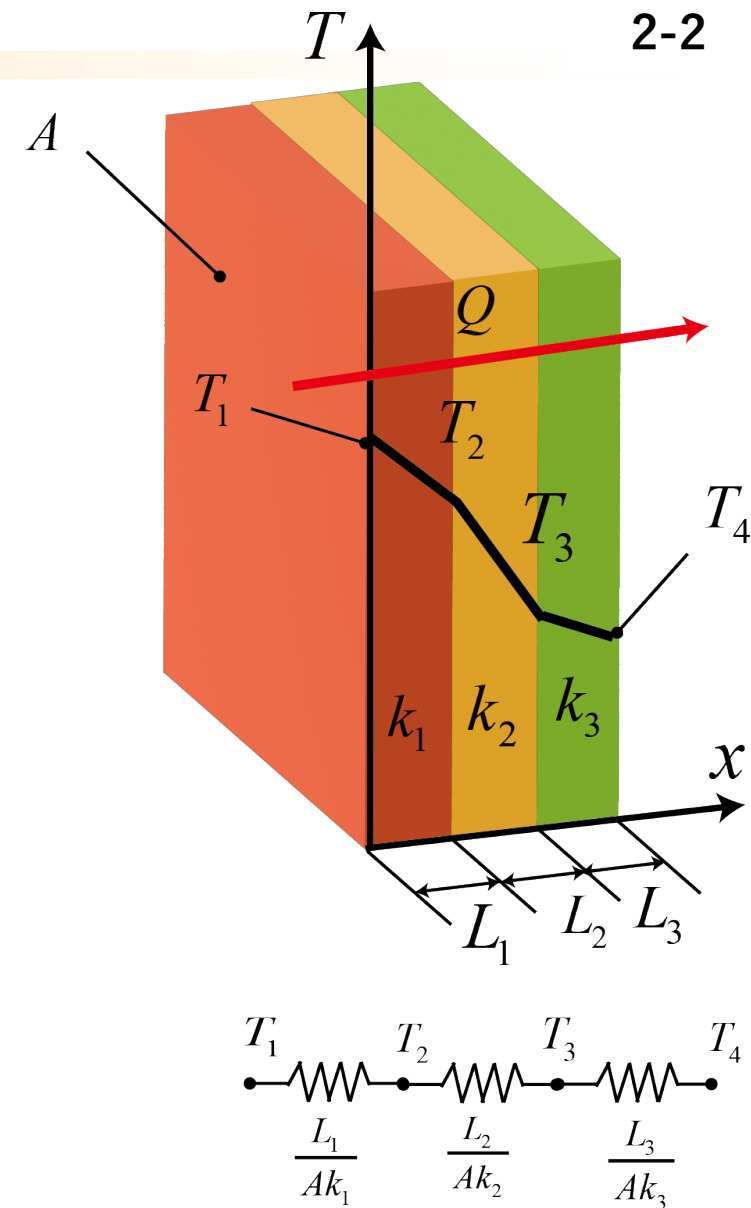
$$q = \frac{Q}{A} = \frac{k_1}{L_1}(T_1 - T_2) = \frac{k_2}{L_2}(T_2 - T_3) = \frac{k_3}{L_3}(T_3 - T_4) \quad (1)$$

各平板における熱伝導による熱抵抗が直列に接続する考えることができ、総括熱抵抗 R_t は、次式で表される。

$$R_t = \frac{1}{A} \left(\frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} + \frac{L_3}{k_3} \right) \quad (2)$$

熱流束 q は、内側と外側の温度を T_1 、 T_4 としているから、次式で表される。

$$q = \frac{T_1 - T_4}{AR_t} \quad (3) \quad T_2, T_3 \text{ は、式(1)と式(3)から計算できる。}$$





対流がある場合の定常熱伝導

右図に示すように、平板が2つの異なる温度 T_h, T_c の流体にさらされる場合について考える。

平板の高温側($x=0$)の熱伝達率を h_h 、低温側($x=L$)の熱伝達率を h_c とする。

平板内と両壁面の熱流束 q は一定となり次式で表される。

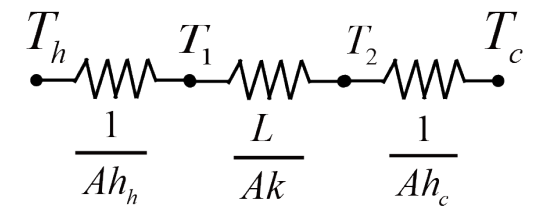
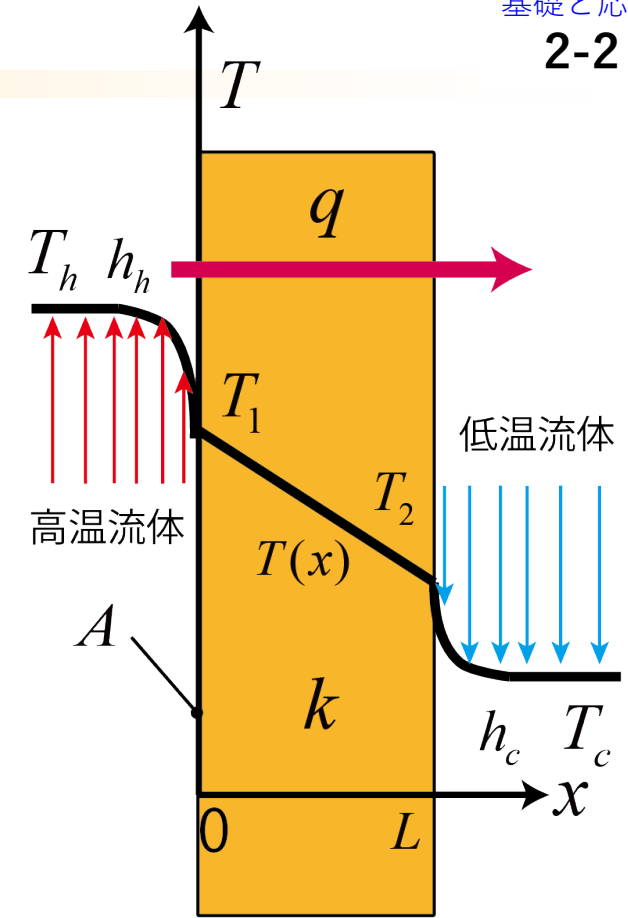
$$q = \frac{1}{h_h}(T_h - T_1) = \frac{k}{L}(T_1 - T_2) = \frac{1}{h_c}(T_2 - T_c) \quad (4)$$

対流による熱抵抗と熱伝導による熱抵抗が直列に連結すると考えると、総熱抵抗 R_t は、次式で表される。

$$R_t = \frac{1}{A} \left(\frac{1}{h_h} + \frac{L}{k} + \frac{1}{h_c} \right) \quad (5)$$

熱流束 q は、次式で表される。

$$q = \frac{T_h - T_c}{AR_t} \quad (6) \quad T_1, T_2 \text{ は、式(6)と式(4)から計算できる。}$$



対流熱伝達がある場合の熱伝導



対流がある場合の多層平板の定常熱伝導

前のスライドと同様に、右図に示すように、**多層平板**が2つの温度 T_h , T_c の流体にさらされる場合について考える。

平板内と流体に接する両壁面の**熱流束 q は一定**となり次式で表される。

$$q = \frac{1}{h_h}(T_h - T_1) = \frac{k_1}{L_1}(T_1 - T_2) = \frac{k_2}{L_2}(T_2 - T_3) = \frac{k_3}{L_3}(T_3 - T_4) = \frac{1}{h_c}(T_4 - T_c) \quad (7)$$

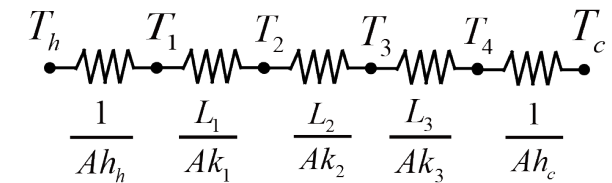
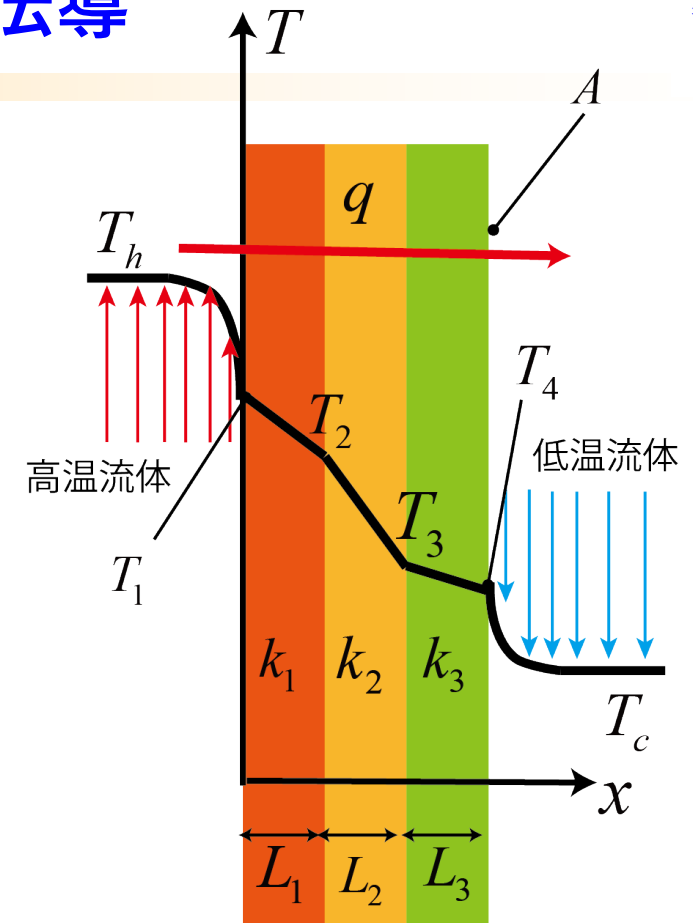
対流による熱抵抗と多層平板の熱伝導による熱抵抗が**直列に接続**していると考え、**総括熱抵抗 R_t** は、次式で表される。

$$R_t = \frac{1}{A} \left(\frac{1}{h_h} + \frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} + \frac{L_3}{k_3} + \frac{1}{h_c} \right) \quad (8)$$

熱流束 q は、次式で表される。

$$q = \frac{T_h - T_c}{AR_t} \quad (9)$$

各部の温度は、
式(9)と式(7)から計算できる。



対流熱伝達がある場合の多層平板の熱伝導



風せんに水を入れて炎で加熱したとき割れるだろうか？

水をいれた風船を炎で加熱したとき



風船に水を入れて炎で加熱したとき割れるだろうか？

この現象を多層媒体の定常熱伝導で計算してみよう。

風船をゴム膜と考え、片面に炎の高温空気、反対側に常温の水がある場合を想定する。

炎の温度は 700°C の空気として、その熱伝達率を $h_h=5$ $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ と設定する。

水の温度は 10°C として、その熱伝達率を $h_c=500$ $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ と設定する。

ゴム膜の熱伝導率を $k=0.13$ $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 、厚さを $L=0.1$ mmとする。





水を入れたゴム風船のゴム表面温度

現象を対流熱伝達がある場合の定常熱伝導と考える。

炎が接している面積をAとすると、**総括熱抵抗 R_t** は次式で計算される

$$R_t = \frac{1}{A} \left(\frac{1}{h_h} + \frac{L}{k} + \frac{1}{h_c} \right) = \frac{1}{A} \left(\frac{1}{5} + \frac{0.0001}{0.13} + \frac{1}{500} \right) = \frac{0.203}{A} \text{ K/W}$$

ゴム膜を通過する熱流束は、 $q = h_h(T_h - T_1)$ となるから、

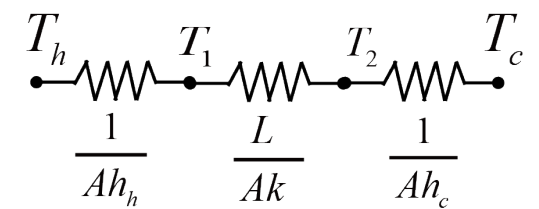
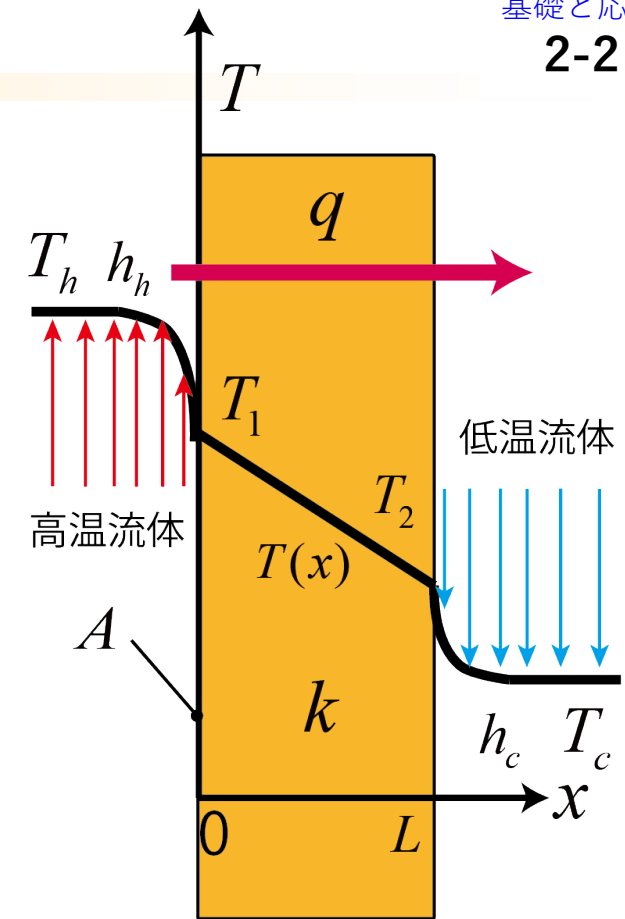
$$q = \frac{T_h - T_c}{AR_t} = \frac{700 - 10}{0.203} = 3400 \text{ W/m}^2$$

炎と壁面の熱伝達率からゴム膜表面の温度 T_1 は、

$$T_1 = T_h - q / h_h = 700 - 3400 / 5 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

風船は割れない

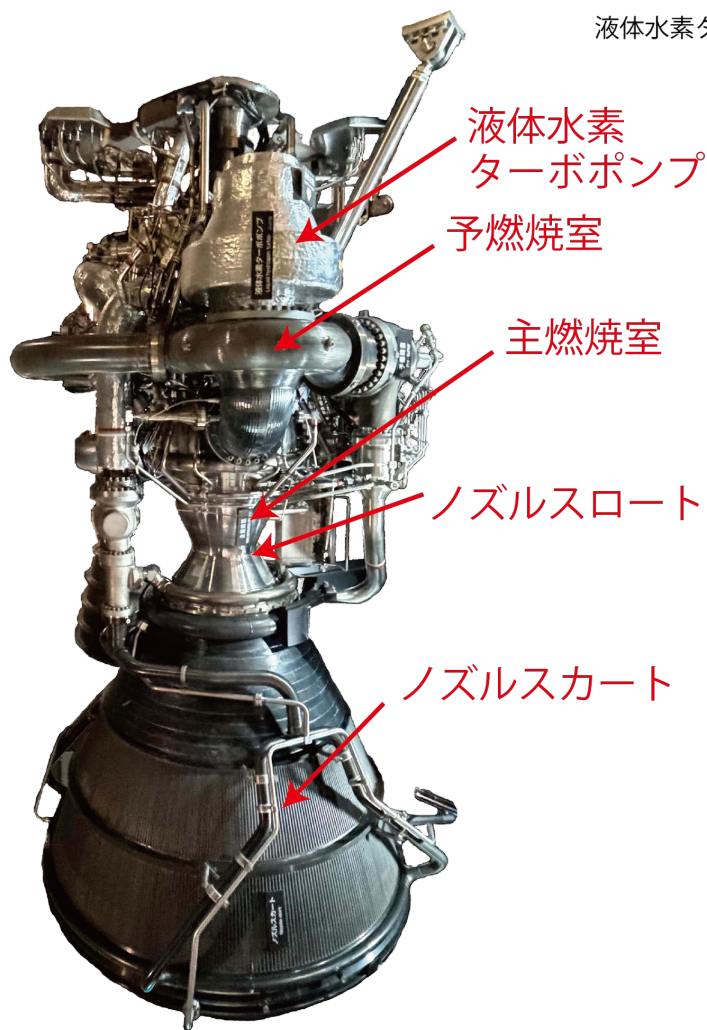
ただし、風船の中が空気の場合は、両側の熱伝達率が同程度になり、**ゴムの温度は350°C程度**になり割れる。



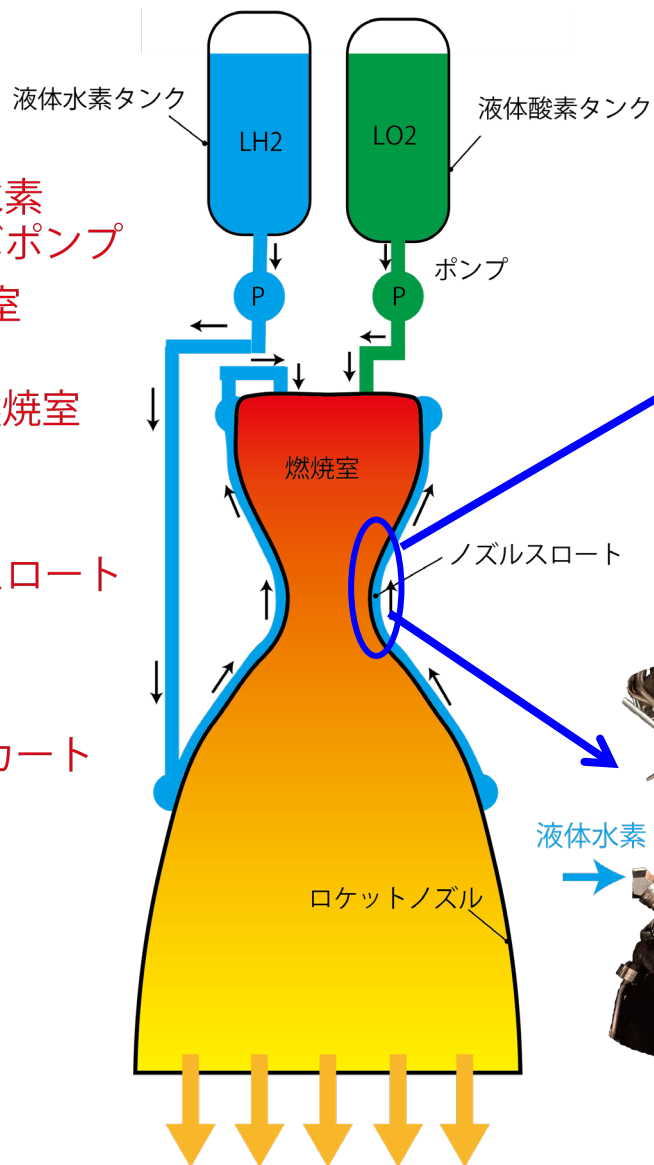
対流熱伝達がある場合の熱伝導



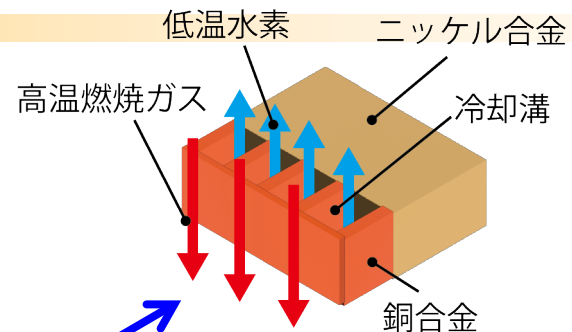
ロケットエンジンの冷却技術



HIIAロケットの主エンジン
LE7A

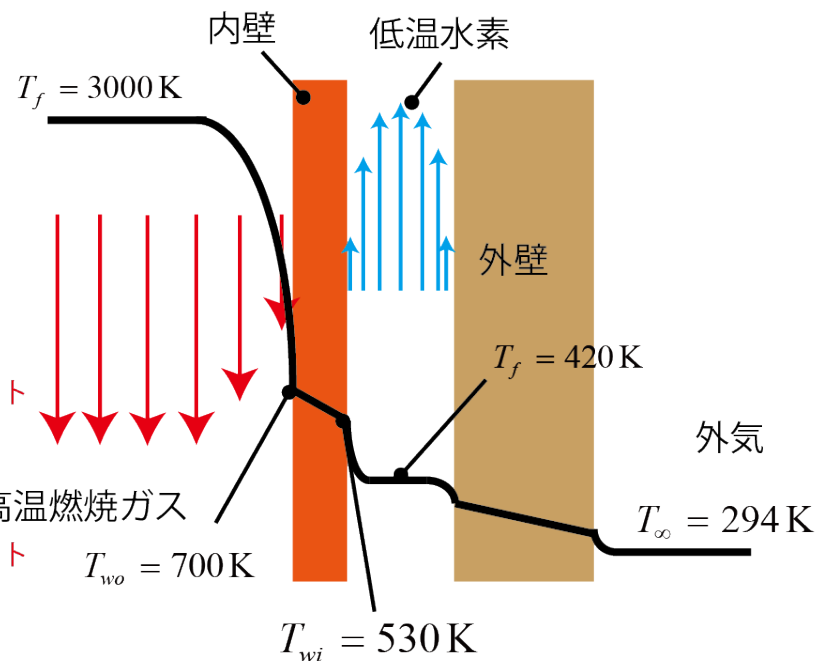


ロケットエンジンの冷却システム



エンジンスロート 部の冷却機構

上條・平田、ロケットを飛ばす、オーム社 (1994)



液体ロケットエンジンにおける温度勾配

サットン, G.P., ロケット推進工学, 山海堂, (1995) 10



次回予告

第2章 熱伝導（伝導伝熱）③

- 2-1. 定常熱伝導と物質の熱伝導率
- 2-2. 多層媒体の定常熱伝導
- 2-3. 定常熱伝導の例題と演習問題
- 2-4. 熱伝導方程式と境界条件
- 2-5. 非定常熱伝導
- 2-6. 非定常熱伝導の例題と演習問題
- 2-7. ニュートンの冷却法則

教科書

日本機械学会 JSMEテキストシリーズ 演習 伝熱工学 丸善



技術者と研究者に向けた伝熱工学の基礎と応用

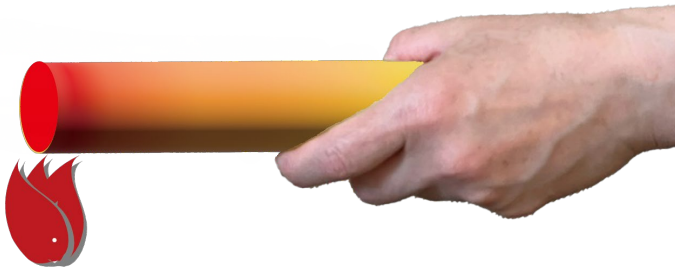
「もっと見る」欄に記載の今回の要約とホームページのpdf資料で理解を深めることができる。



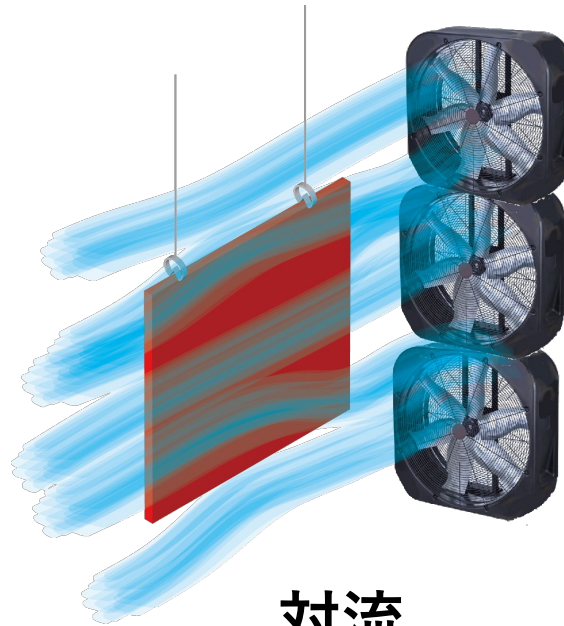
東北大学未来科学技術共同研究センター レクチャーシリーズ

— 熱プロセスを習得したい人のための入門と実践的応用 —

伝熱現象



熱伝導



対流



熱ふく射

講師 圓山重直

東北大学未来科学技術センター シニアリサーチ・フェロー
東北大学名誉教授・八戸高専名誉教授