

ふく

輻射(熱放射)

- … 電磁波（赤外線，可視光）による熱輸送
太陽光，電気ストーブなど
- 他の2つと原理が大きく異なる。
高温では輻射が支配的に

熱伝導

- … 静止している媒体(固体・流体)内での熱輸送
- 3態のうち最も簡単.

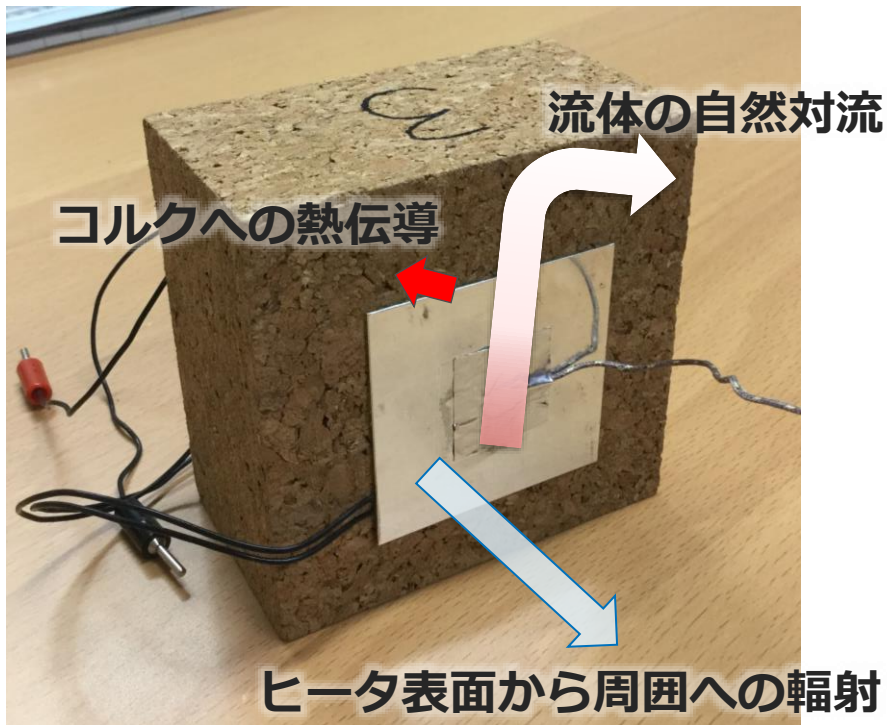
対流

- … 流体の流れによる熱輸送
特に重要なのが**固体表面一流体間の熱伝達**
層流・乱流，自然・強制対流それぞれで大きく変化
- 特に自然対流では流体解析と連成させるので大変.

相変化伝熱 (沸騰・凝縮)

- … 相変化による熱輸送
- 熱輸送能力では他の3つを圧倒
対流に含める考え方も

主な熱輸送経路の想定 と 考慮の流れの例



右の考察(妄想?)のように、
この系は自然対流で、**流れ \Leftrightarrow 伝熱**
の相互作用もあり、やや難しいです。
まずは**簡単な系**から相手にしましょう。

ヒータ電力(入熱)を一定(例えば2W) とした場合ヒータの温度は何度になる?

恥ずかしながら私の頭の中を実況中継してみますと。

まず、**コルクの熱伝導率**は低いだろう、
そして**2W**だったらそんなに温度が上がらないので、
輻射よりも**対流**が主体かな。まずは対流を主体に見積もりしよう。

表面は温度センサ以外は**表面粗さ**も小さいし
とりあえず平面とみなして良いか。

エアコンの風は当たってるかな？
あまり強くなさそうだし**自然対流**か、
だったら上昇流れを想定しなきゃ。

必要な物性値は、まず**コルク**、**空気の熱伝導率**か、
空気の熱伝導率は温度依存性があるし何度の値を使おうかなあ。
アルミの熱伝導率は十分大きいとしていいかな。

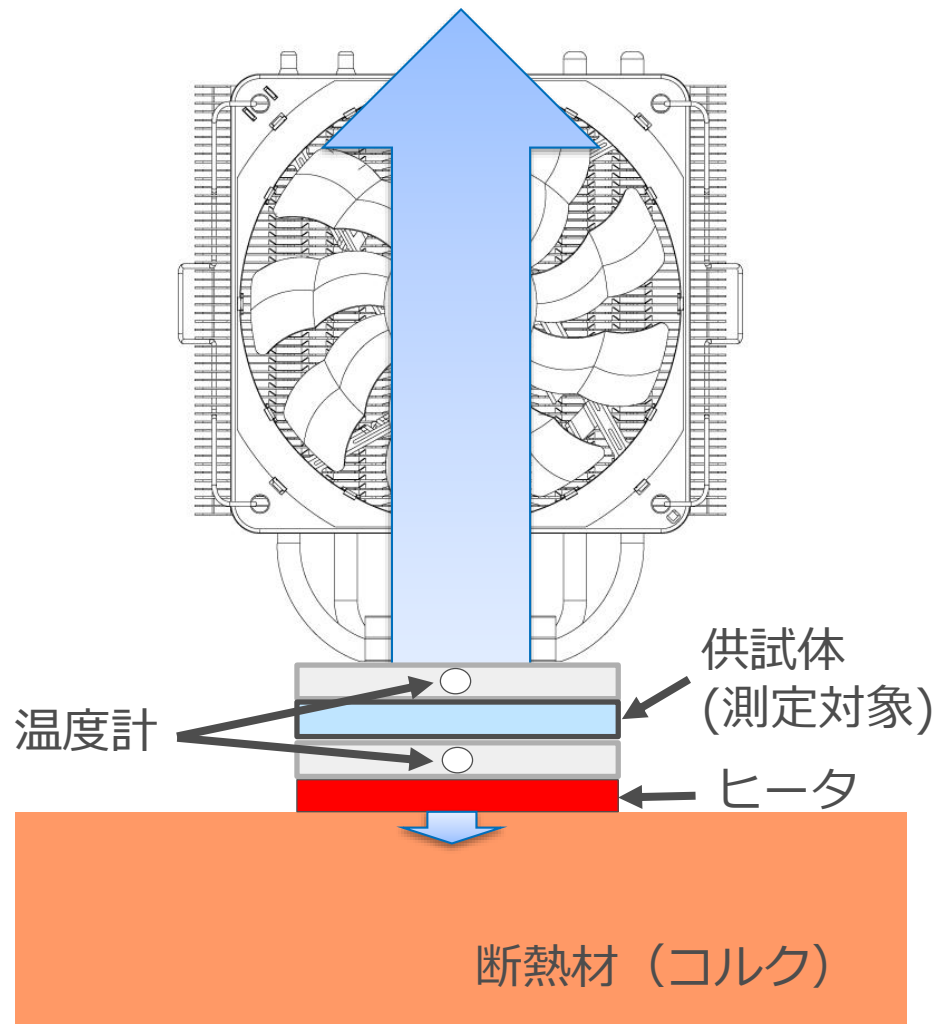
自然対流だから**熱膨張係数**が要るけど、
理想気体として(1/絶対温度)として調べなくていいか。

あとは、空気の**熱容量**、**密度**、**粘性係数**くらいか。

まずは、教科書の**垂直平板の自然対流の整理式**を調べよう。
周囲にコルクがあるけどハンドブックだったらそういう条件の
整理式あったかなあ。

このくらいだと**層流境界層**かな。**レイリー数** Ra はと・・・

熱抵抗



断熱材に逃げる熱もありますが、まずは無視して、
発熱はすべて上のクーラー側に逃げると考えましょう。

まず、9Vでヒーターを加熱してみましょう。

電流が _____ (A)なので

発熱量は _____ (W)

この時の供試体上下の温度差は、
15分ほど待って定常に達したときは

温度差は _____ (°C または K)

したがって

熱抵抗は _____ (°C/W)

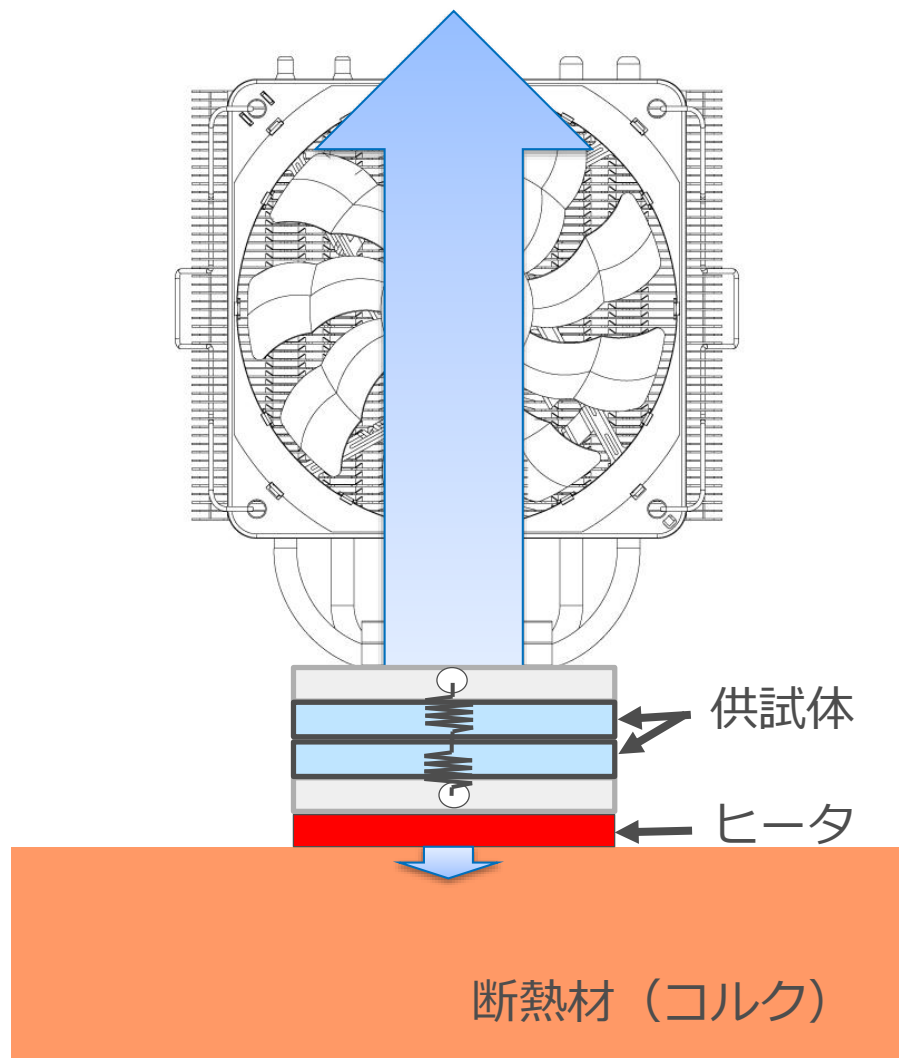
次に電圧を12Vに上げたとき、
温度差はどうなるでしょうか？

予想温度差 _____ (°C または K)

実際に測ると、

測定温度差 _____ (°C または K)

熱伝導からの熱抵抗の導出 … フーリエの式



供試体は固体で静止しているので

p. 5の3態のうち_____を考えます。

熱伝導の支配方程式は
フーリエの式(Fourier's equation)と呼ばれ
下記です。

$$\frac{Q}{A} = q = k \frac{\partial T}{\partial y} = k \frac{\Delta T}{\Delta y}$$

断面積 $\frac{Q}{A}$ 熱流束 q 熱伝導率 k

例えば、温度差 $\Delta T =$ ____(K)で、
厚さ $\Delta y =$ ____(m)
熱伝導率 k を $k = 0.21$ (W/mK)とすると、
熱流束 q は $q =$ ____
供試体を通過する熱量は $Q =$ ____(W)と
予想できます。

その他の熱抵抗

これまで、熱電対を刺している（固定するための）アルミ板の熱抵抗は考えていませんでした。

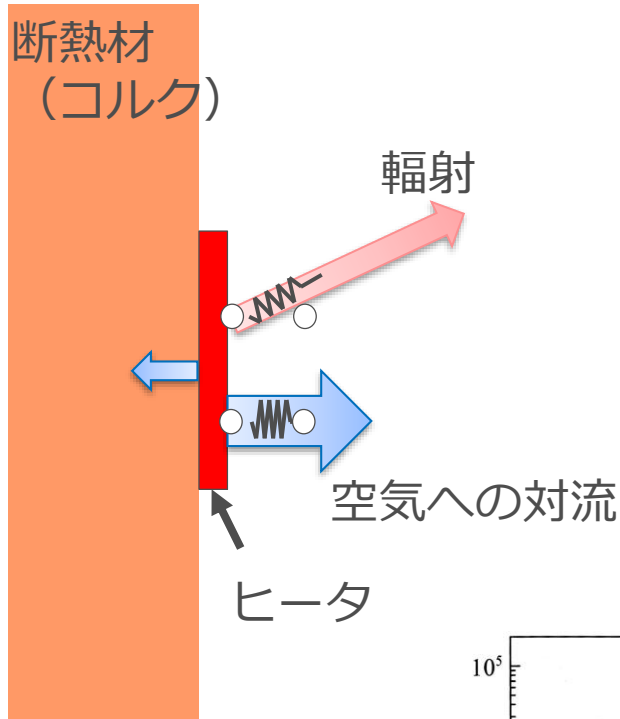
なぜ考えなくとも良いのでしょうか？
アクリルと比較してどのくらい小さいのでしょうか？



Compatible Socket (対応ソケット)	Intel® LGA 775/1150/1155/1156/1366/2011 AMD® AM2/AM2+/AM3/AM3+/FM1/FM2
Overall Dimension (全体寸法)	139(L) x 93(W) x 160(H) mm
Heat Sink Dimension (ヒートシンク寸法)	139(L) x 70(W) x 160(H) mm
Weight (重量)	610g (excluding fan and mounting brackets)
Heat Pipe (ヒートパイプ)	4 x Ø6mm
Material (材質)	Copper Heat Pipes / Aluminum Fins
Thermal Resistance (熱抵抗値)	0.09°C/W
Thermal Capacity (熱容量)	0.0001 J/°C
Fan Dimension (ファンサイズ)	120 x 120 x 25 mm
Fan Speed (ファンスピード)	800 ~ 1,800 RPM
Air Flow (風量)	37.57 ~ 86.70 CFM 63.83 ~ 147.30 m3/h
Static Pressure(静圧)	0.72 ~ 2.41 mmH2O

実用機器では機器そのものの仕様に
総括の「熱抵抗」が表示されているものがあります。
今回使ったCPUクーラーの熱抵抗はアクリル板に比べてどうでしょうか？

対流



- ・対流：ニュートンの冷却法則
対流でよく使われる整理式です。

$$q = Q/A = h\Delta T$$

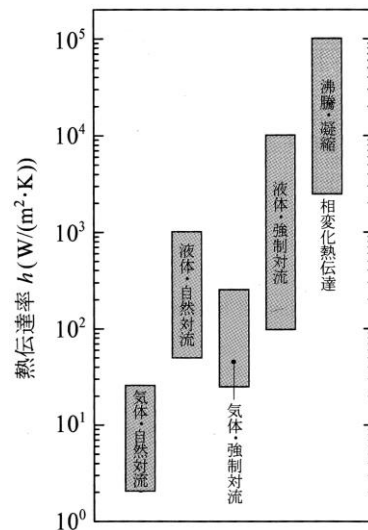
ここで h は、**熱伝達率**と呼ばれる工学的な値です(物性値ではなく流れの様相なども含む)。

空気の場合

自然対流はおおよそ $h \sim 10^{0 \sim 1}$ 程度
強制対流はおおよそ $h \sim 10^{1 \sim 3}$ 程度

仮に熱伝達率 $h=20$ とした際の熱抵抗を計算してみましょう。

$$R =$$



熱伝達率のおよその範囲

- ・ 輻射：ステファーン-ボルツマンの式

$$q = \varepsilon_1 \sigma T^4 - \varepsilon_2 \sigma T_a^4$$

この T は絶対温度(ケルビンK)の必要があります。
また、 σ は定数、 ε は射出率(放射率)で表面によって変わる値です(黒が1, 鏡面が0)

絶対温度の4乗に比例するため、
絶対温度が高くなると影響が大きくなります。

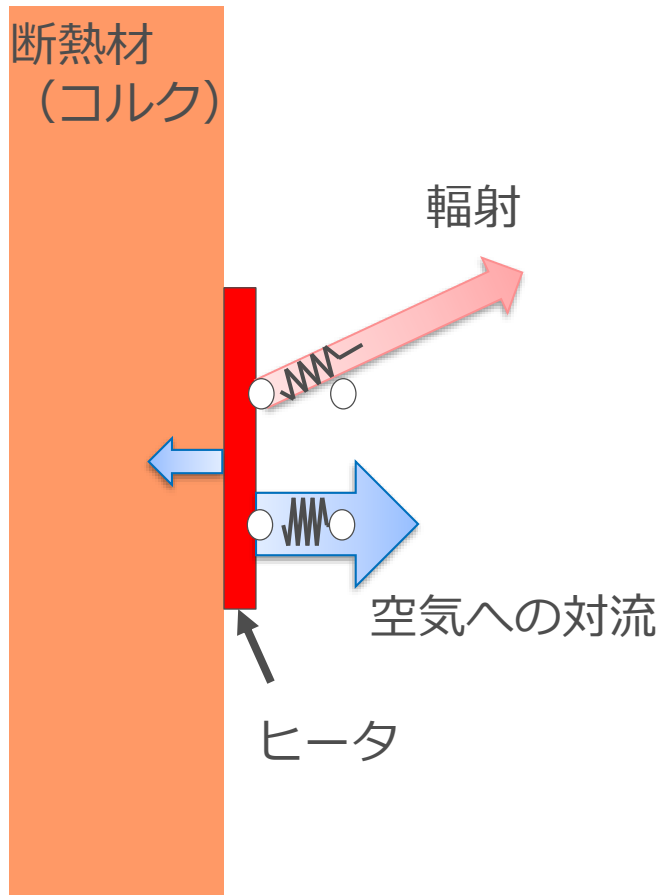
$$\sigma = 5.7 \times 10^{-8} \text{ (W/(m}^2\text{K}^4))$$

$\varepsilon = 1$, $T_{air} = 300\text{(K)}$, $T = 350\text{(K)}$ と仮定し熱抵抗を計算してみましょう。

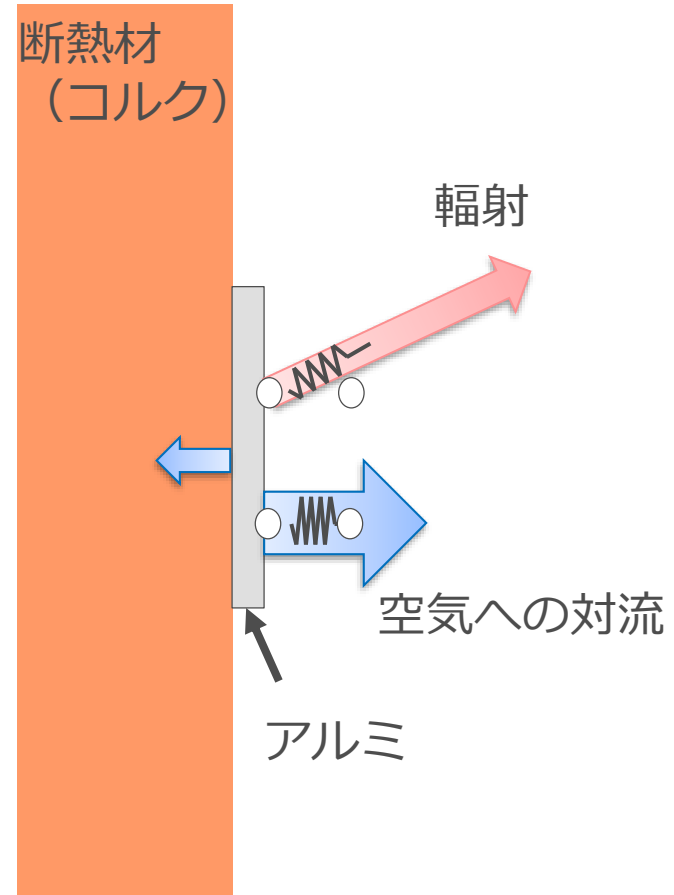
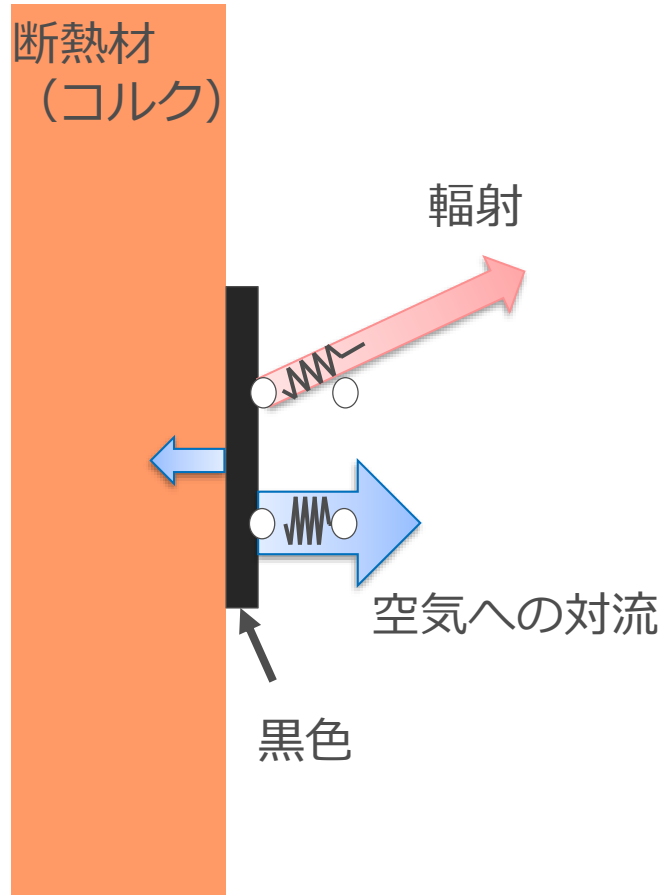
$$R =$$

同じ温度差でも1000Kと1050Kではどうでしょうか。

$$R =$$



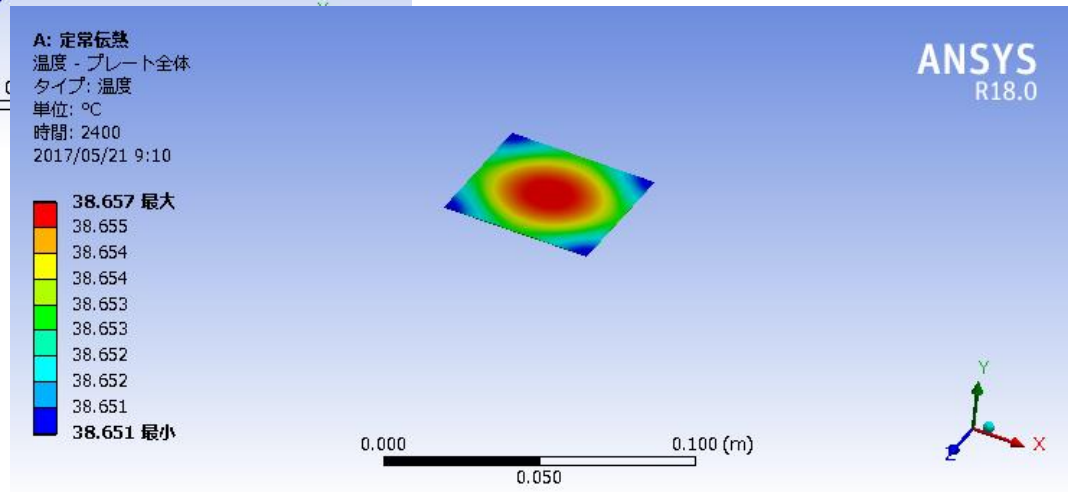
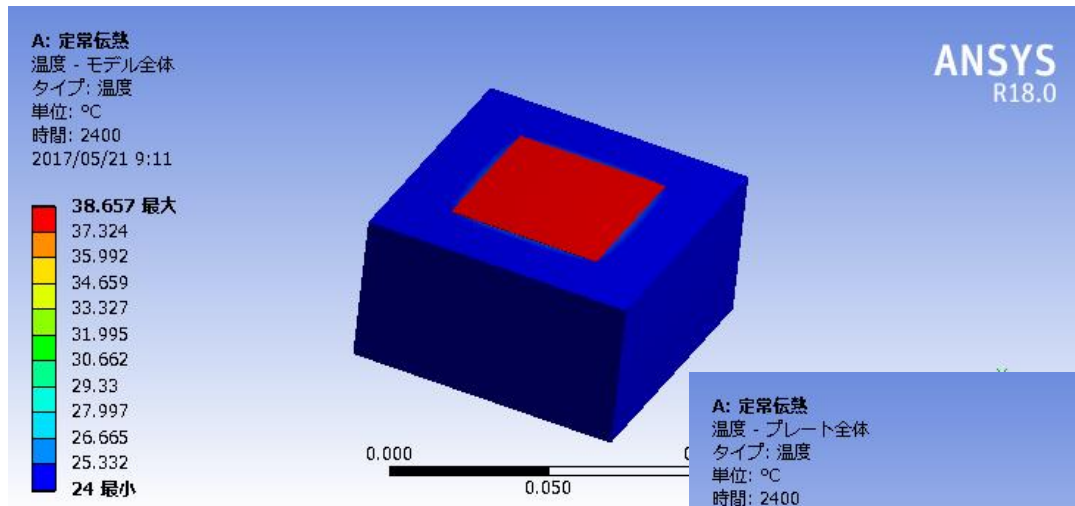
熱の輸送経路



さらに詳しい解析のために

機器設計には安全率をかけるので、今回のような整理式を用いた予測でも十分なこともあります。

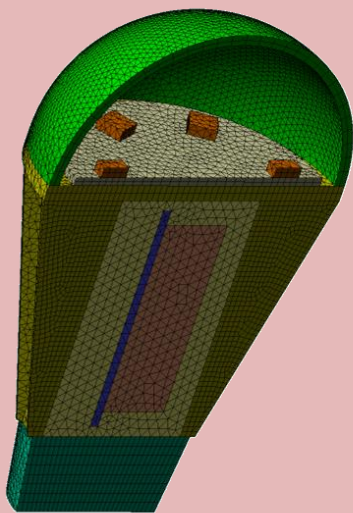
しかし、より詳しい解析が有用・必要な場合も多いですね。



「伝熱解析」と「熱流体解析」

CAEを用いて、より詳しい解析を行うにあたっては、大きく2つのステップがある。

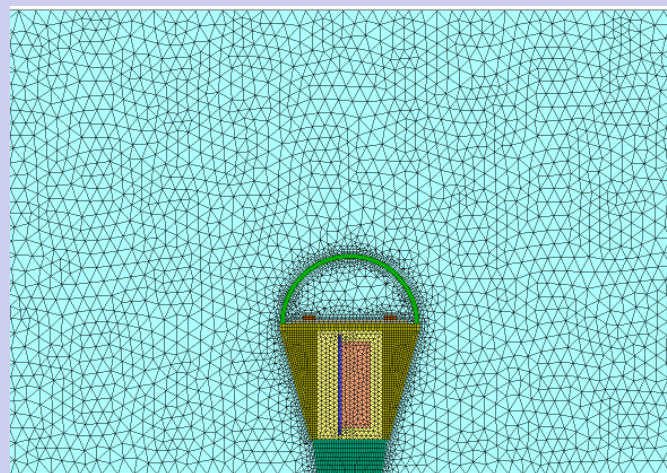
伝熱解析



固体内熱伝導は解くが、固体表面の対流・輻射には整理式を用いる。

正確性、計算負荷のバランスが良い

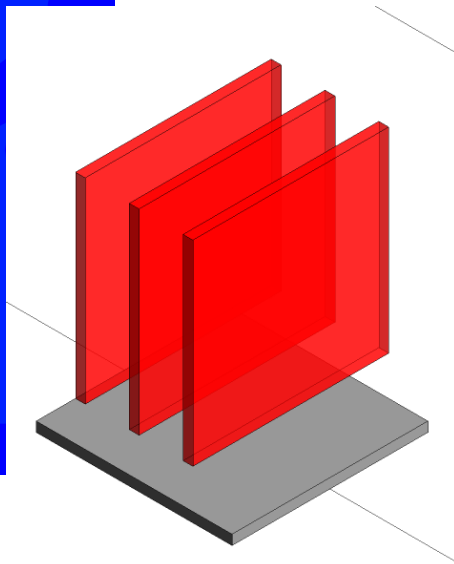
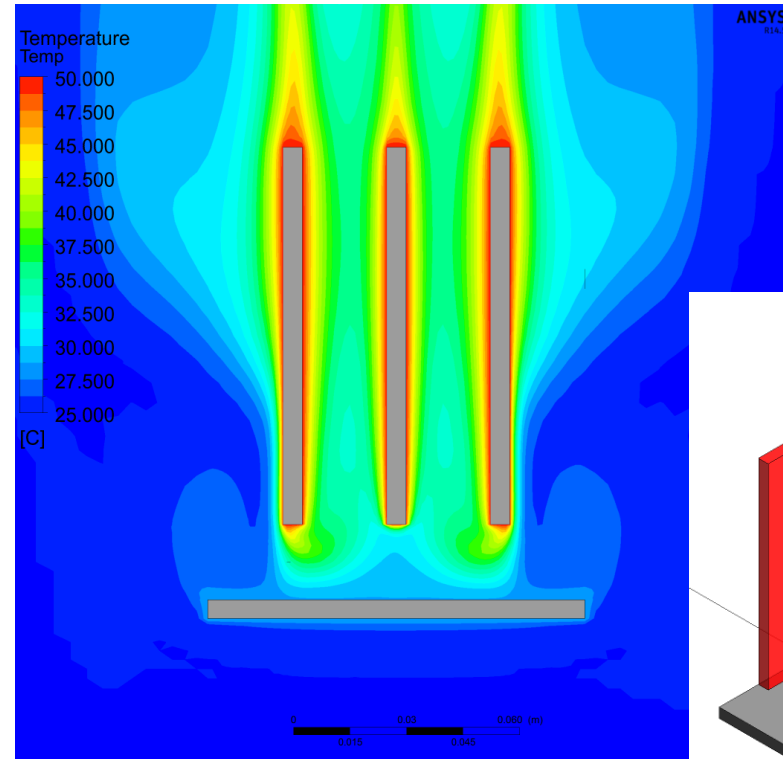
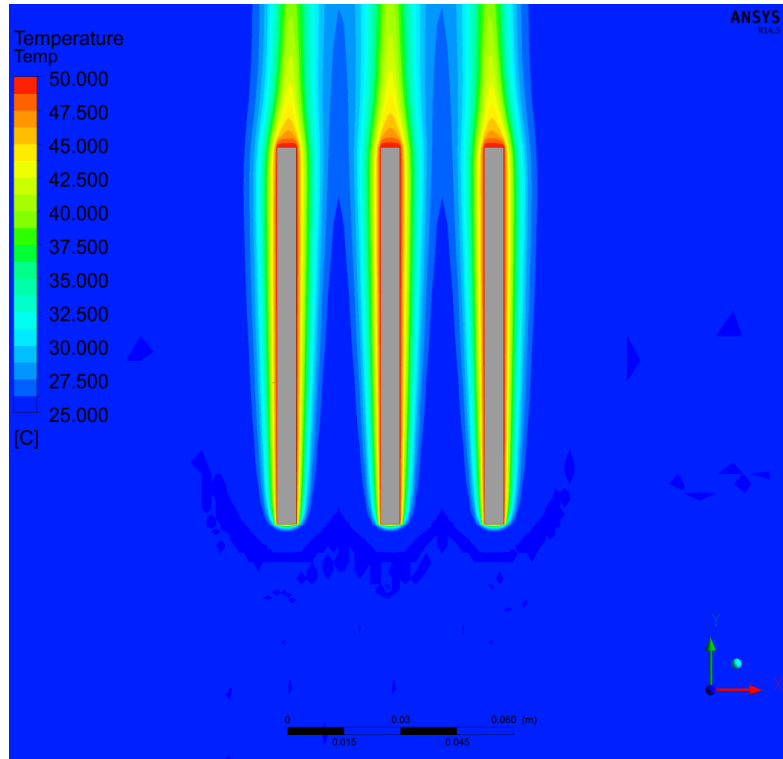
熱流体解析



構造と流体を連成してすべて解く。
整理式の使えない複雑形状に向く。

計算負荷が大きい。収束性、乱流モデル
メッシュの切り方などに専門知識が必要。

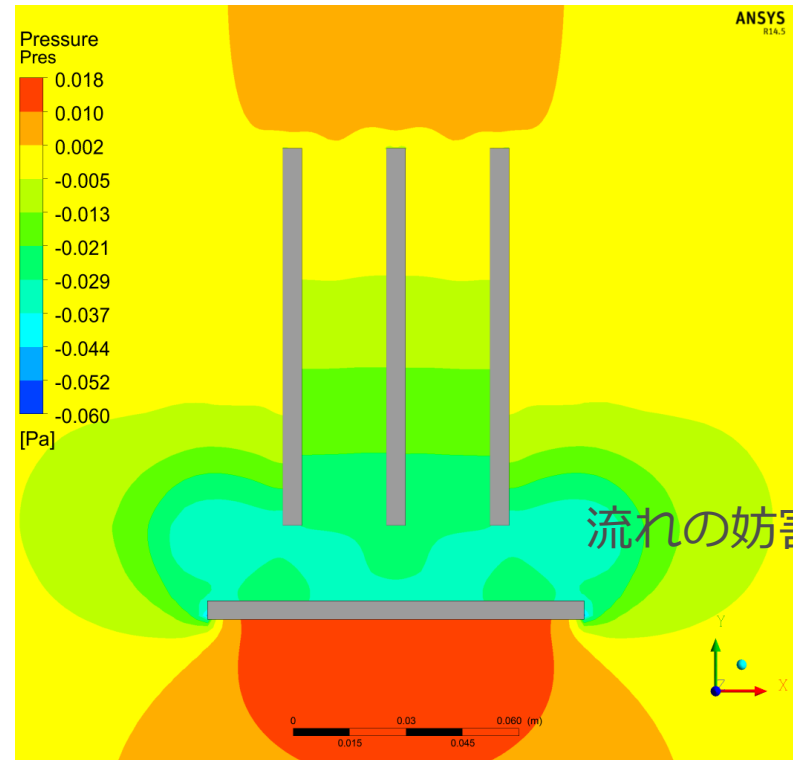
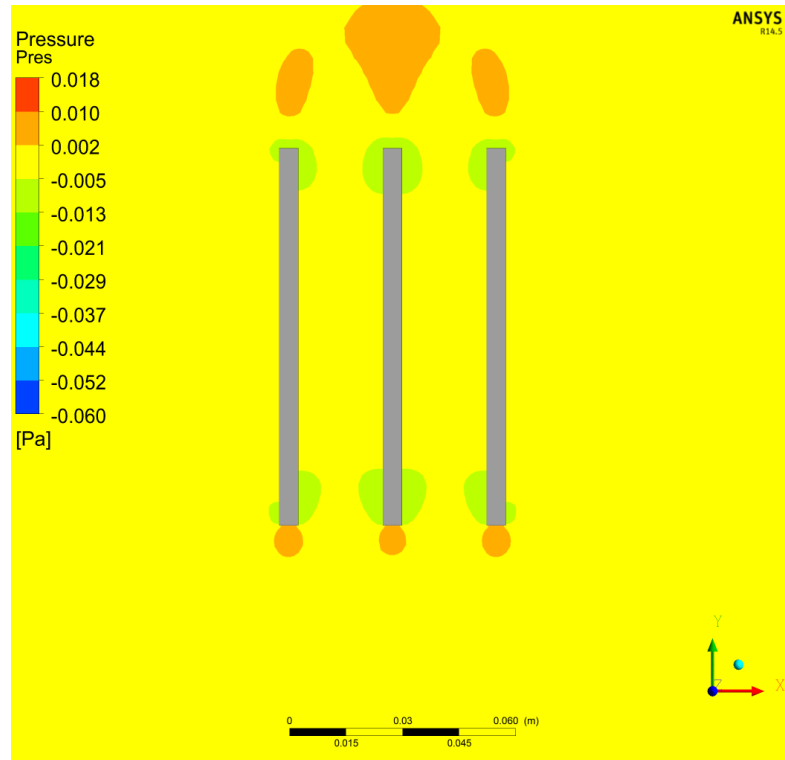
適応形状



左のような単純な形状であれば、整理式、伝熱解析でおおむね十分。

ただし、右のように邪魔板を追加されると、「熱流体解析」が必要。

圧力分布



プロセス全体がValidation

