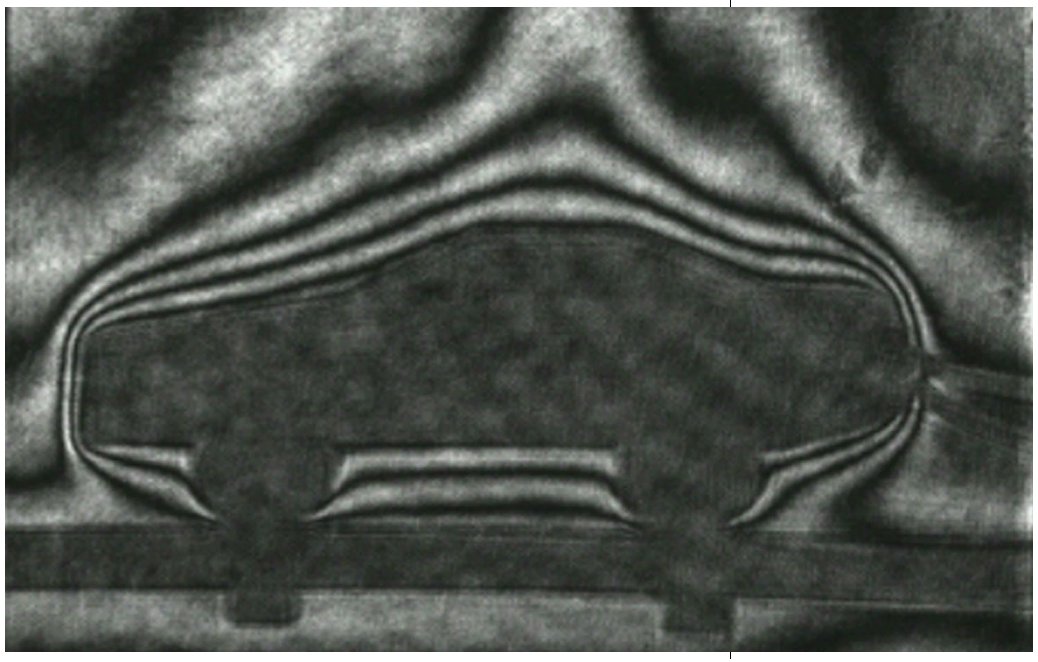
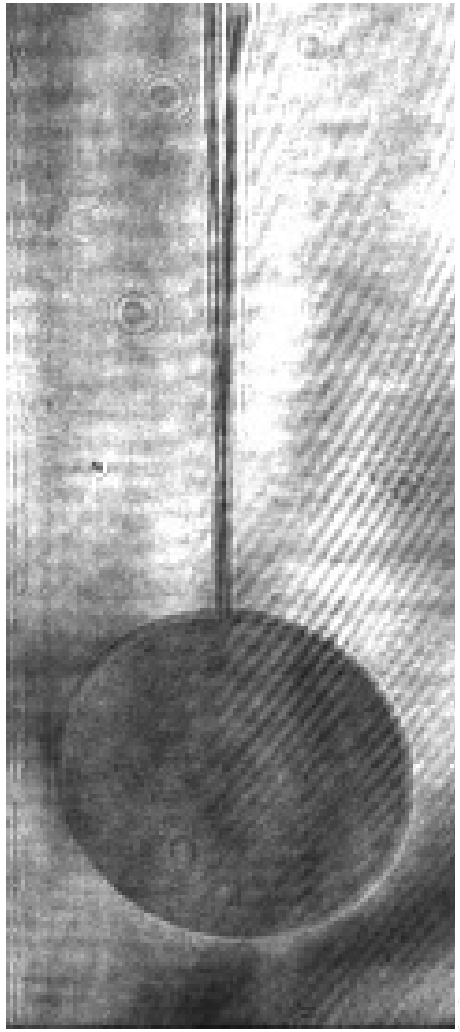
# 技術者と研究者に向けた伝熱工学の基礎と応用

## 第3章　対流熱伝達　①

## 3-1.　対流熱伝達の概要



加熱された自動車モデルの強制対流熱伝達



直径5cmの加熱球周りの自然対流（4.5倍速）

東北大学流体科学研究所の位相シフト大型光干渉装置により撮影した温度可視化画像

# 技術者と研究者に向けた伝熱工学の基礎と応用

## シリーズの構成

## レクチャーシリーズの概要

### 第1部　伝熱工学の基礎

1. 伝熱工学の概要
2. 熱伝導（伝導伝熱）
3. 対流熱伝達
4. 相変化を伴う熱伝達（沸騰・凝縮）
5. ふく射伝熱
6. 熱交換器

### 第2部　熱流動解析ソフトを用いた実践的応用

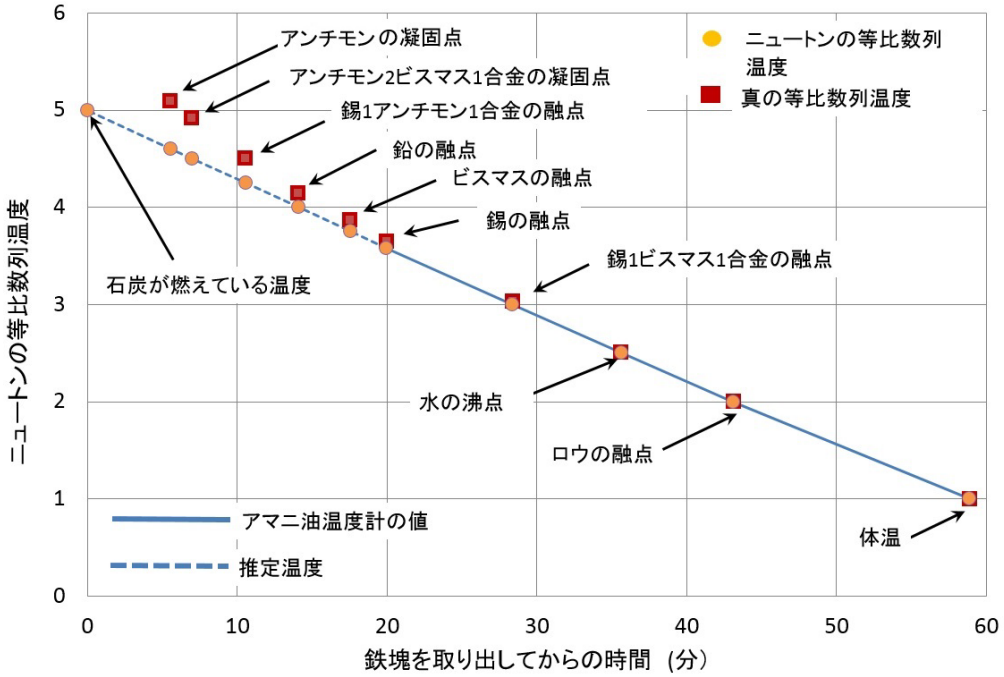
7. 熱流動解析ソフトのチュートリアル
8. 熱伝導
9. 強制対流熱伝達
10. 自然対流熱伝達
11. 熱伝導と対流複合伝熱
12. 機器開発を目指した伝熱現象のモデル化

前回の内容

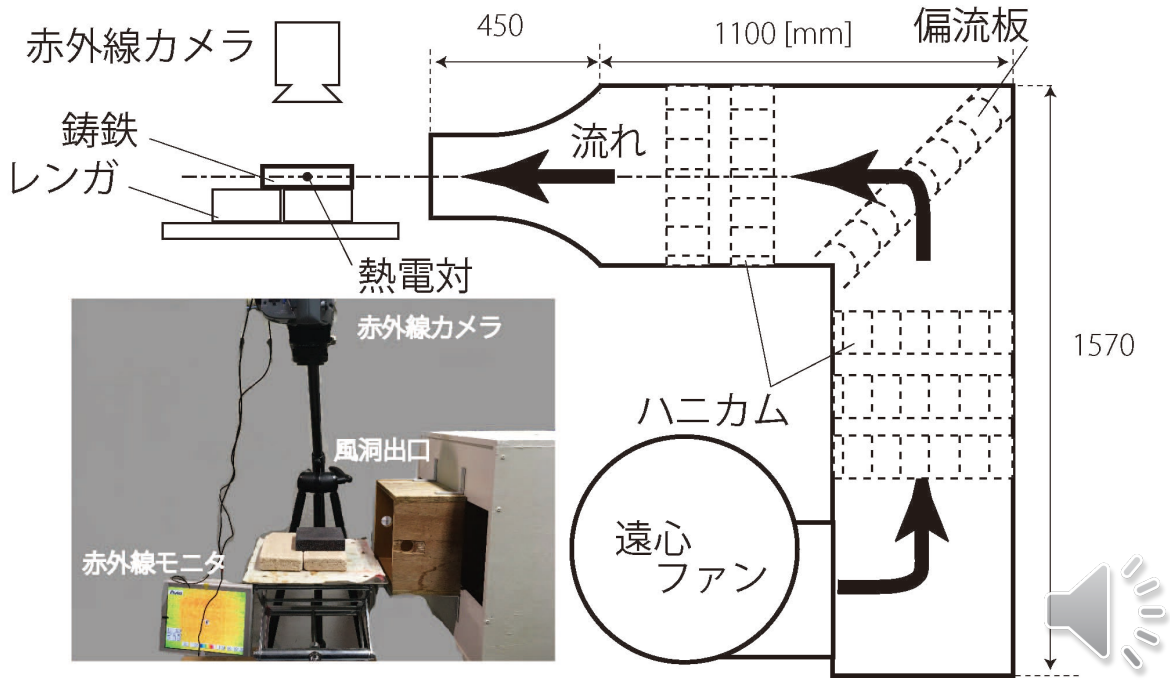
# 第2章　熱伝導（伝導伝熱）⑦

## 2-7.　ニュートンの冷却法則

ニュートンの冷却法則　$q = h(T - T_\infty)$




体温になるまでの時間を59分とした時、
ニュートン論文の表をグラフにしたもの




ニュートンの実験を再現するために構築した風洞実験装置

# 第3章　対流熱伝達

3-1.　対流熱伝達の概要
3-2.　強制対流熱伝達と流動の様相
3-3.　自然対流熱伝達の様相
3-4.　熱流動の無次元表記
3-5.　強制対流の流動と伝熱の定式化
3-6.　自然対流の熱伝達の定式化
3-7.　解析ソフトを使った伝熱計算

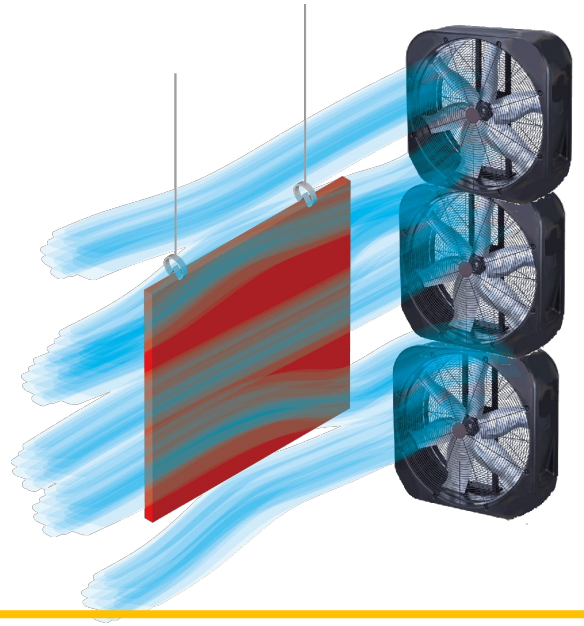


東北大学
圓山重直

# 技術者と研究者に向けた伝熱工学の基礎と応用









## 伝熱現象

| 熱伝導<br>Heat Conduction | 対流<br>Convection | 熱ふく射<br>Thermal Radiation |
|---|---|---|

## 熱輸送様式

| 伝導伝熱<br>Conduction Heat Transfer | 対流熱伝達<br>Convective Heat Transfer | ふく射伝熱<br>Radiation Heat Transfer |
|---|---|---|

# 対流熱伝達（流れによる熱伝達）



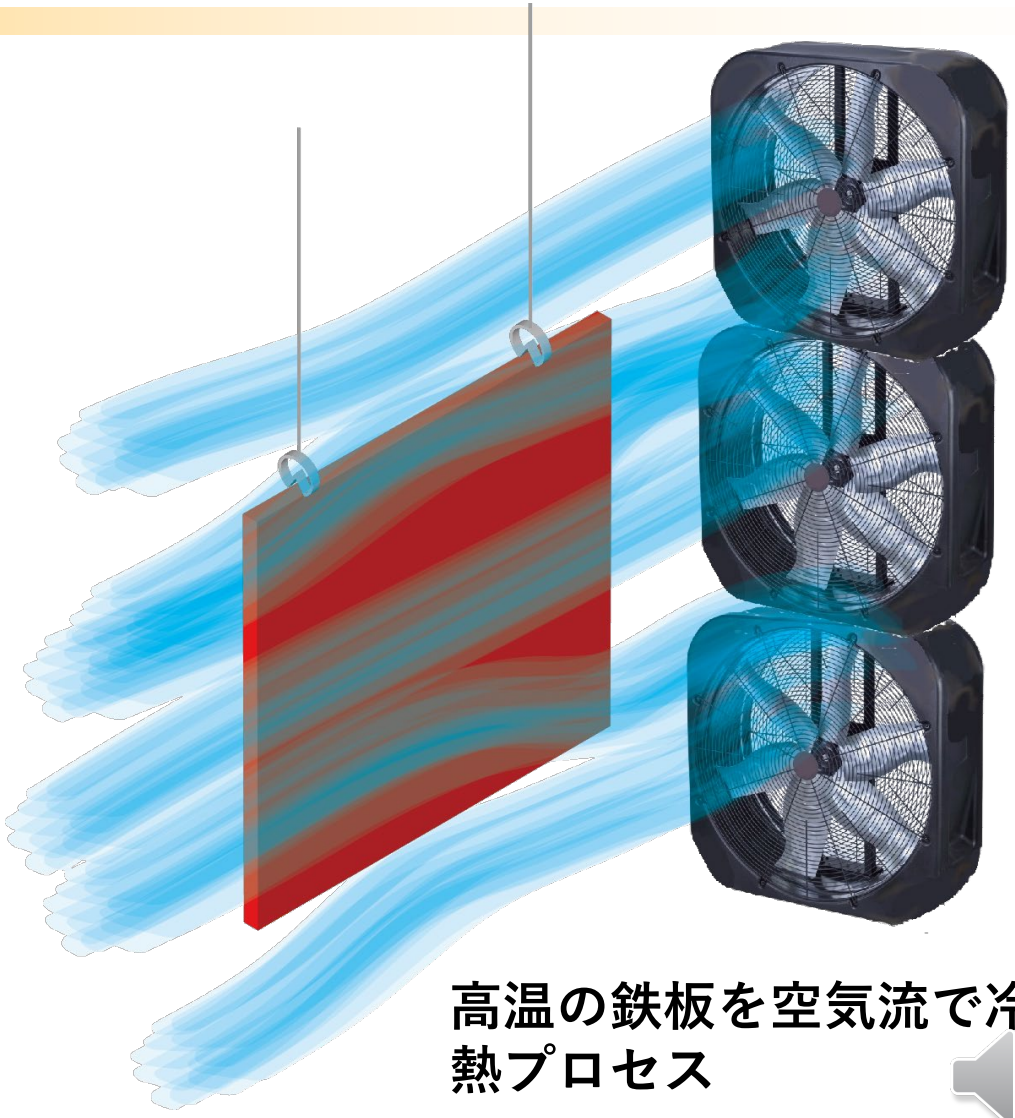
## 伝熱現象：

熱伝導(heat conduction)

**対流**(convection)

熱ふく射 (thermal radiation)

流体が強制的または浮力等の体積力によって移動する現象



高温の鉄板を空気流で冷却する熱プロセス

## 対流熱伝達(convective heat transfer)

**流体が移動**することによって、物体から**熱が移動**する伝熱形態

(註)
沸騰・凝縮伝熱など相変化を伴う伝熱も対流熱伝達である

(註)
物体が流体の場合でも流体が動かなければ熱伝導で熱が移動する

# 対流熱伝達



物体が流れている流体中に置かれているとき、物体近傍に温度や流速が変化する境界層が存在する.

物体表面上における流体は速度がゼロで、流体の温度は物体表面温度と同じである。一方境界層の外では、流れの速度や温度は主流の値となる。

この境界層の性質が、熱伝達率$h$(W/(m$^2$K))と密接に関係する。

物体からの伝熱量$Q$(W)は式(1)で表される。

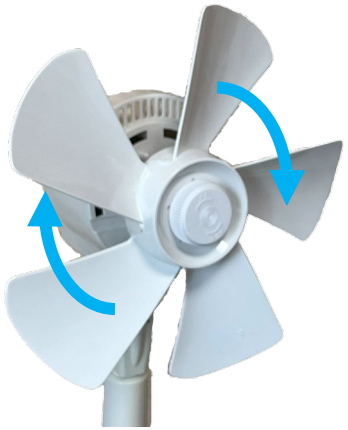
壁面温度（℃）　主流温度（℃）

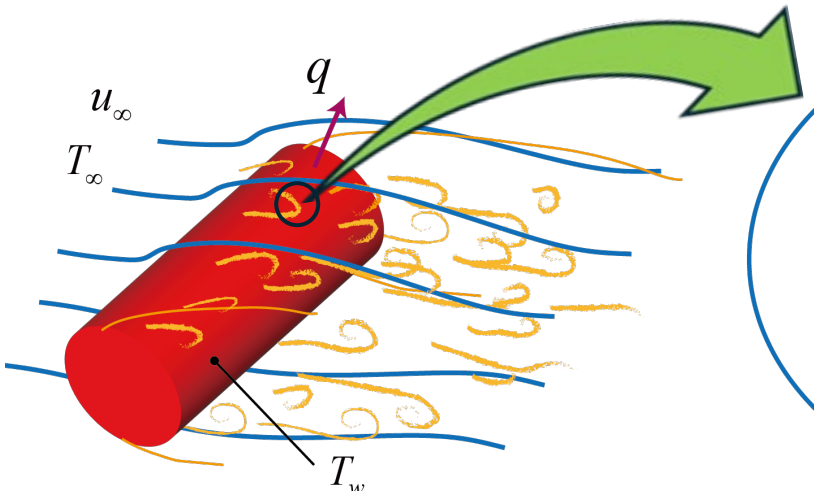
伝熱量(W)

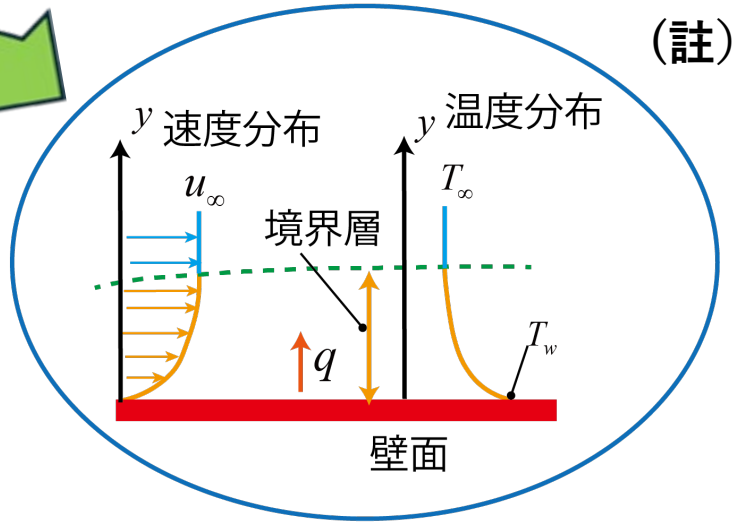
$$Q = Ah(T_W - T_\infty) \quad (1)$$

面積(m$^2$)　熱伝達率(W/(m$^2$K))

（註）熱伝導率と間違えやすいので注意する






対流による熱伝達と境界層

# 局所熱伝達率と平均熱伝達率



局所熱流束は、ニュートンの冷却法則から

$$q = h(T_w - T_\infty)\ (\mathrm{W/m^2}) \qquad (1)$$

ここで、熱伝達率　$h\ (\mathrm{W/(m^2 \cdot K)})$

一般に、物体面の熱伝達率 $h$ は一定ではなく、場所によって変化する量である。

$h_x$ を局所熱伝達率とすると、$(T_w - T_\infty)$が場所によらず一定なら、面積 $A$ の物体からの全伝熱量 $Q$ は、

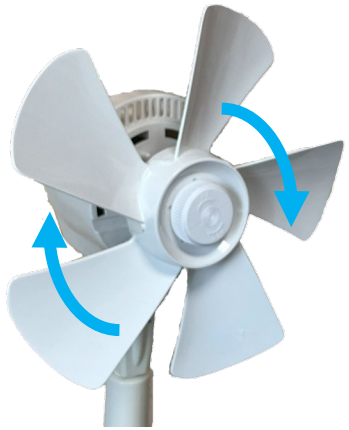
$$Q = \int_A q_w \mathrm{d}A = (T_w - T_\infty)\int_A h_x \mathrm{d}A \qquad (2)$$

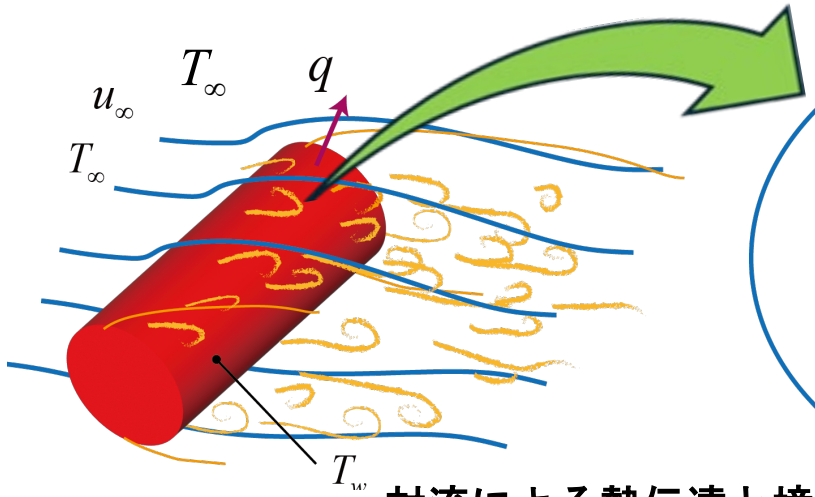
したがって、平均熱伝達率を式(4)で定義する。

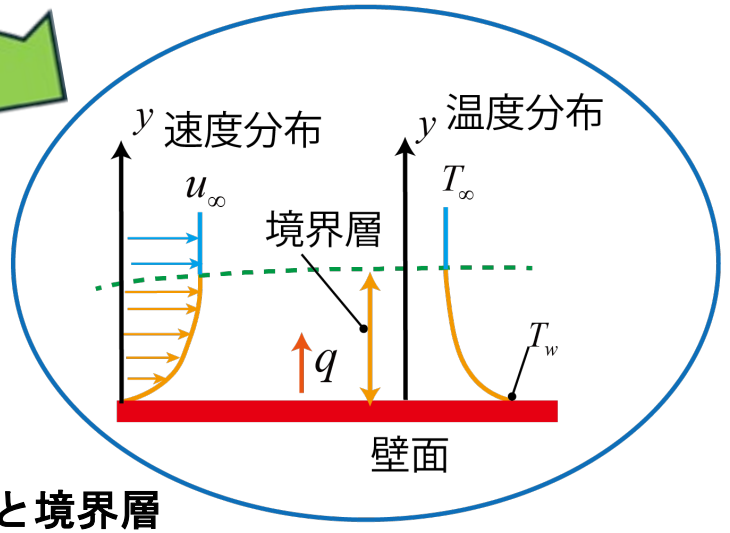
$$\bar{h} = \frac{1}{A}\int_A h_x \mathrm{d}A = \frac{\dot{Q}}{A(T_w - T_\infty)} \qquad (3)$$

物体からの伝熱量は

$$Q = A\bar{h}(T_w - T_\infty)\ [\mathrm{W}] \qquad (4)$$



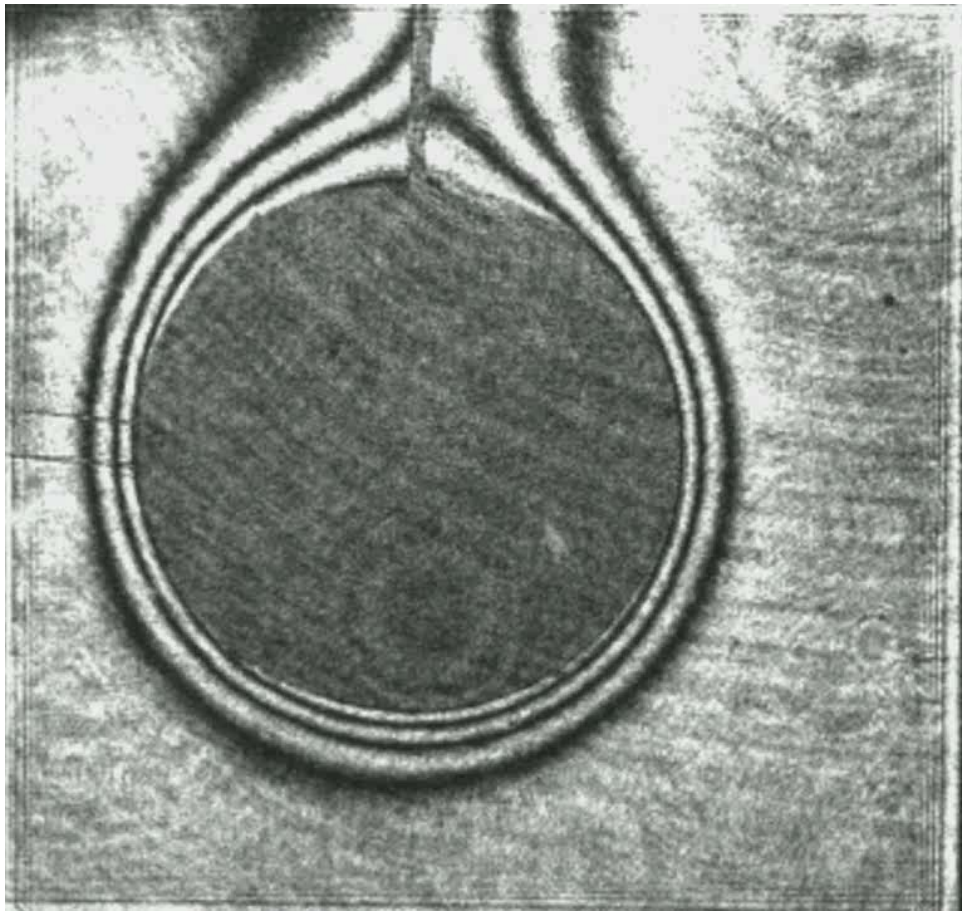


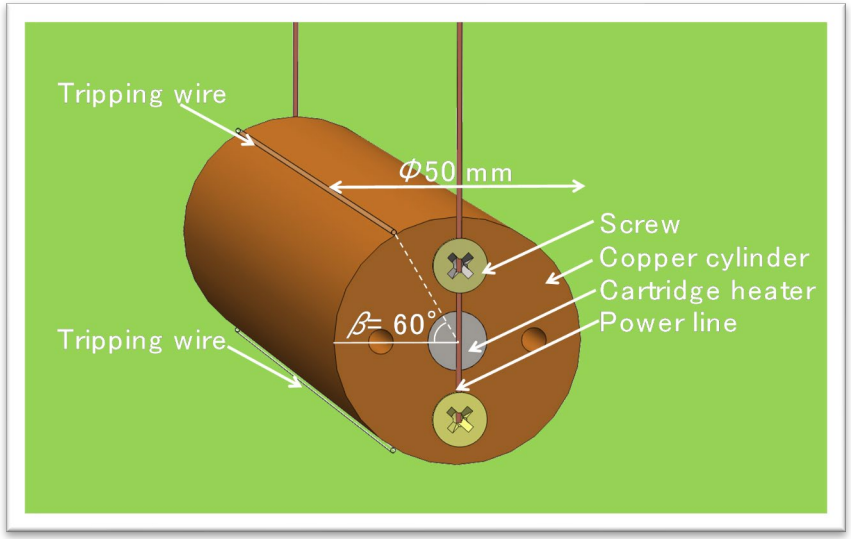




対流による熱伝達と境界層

# 流速による境界層の変化











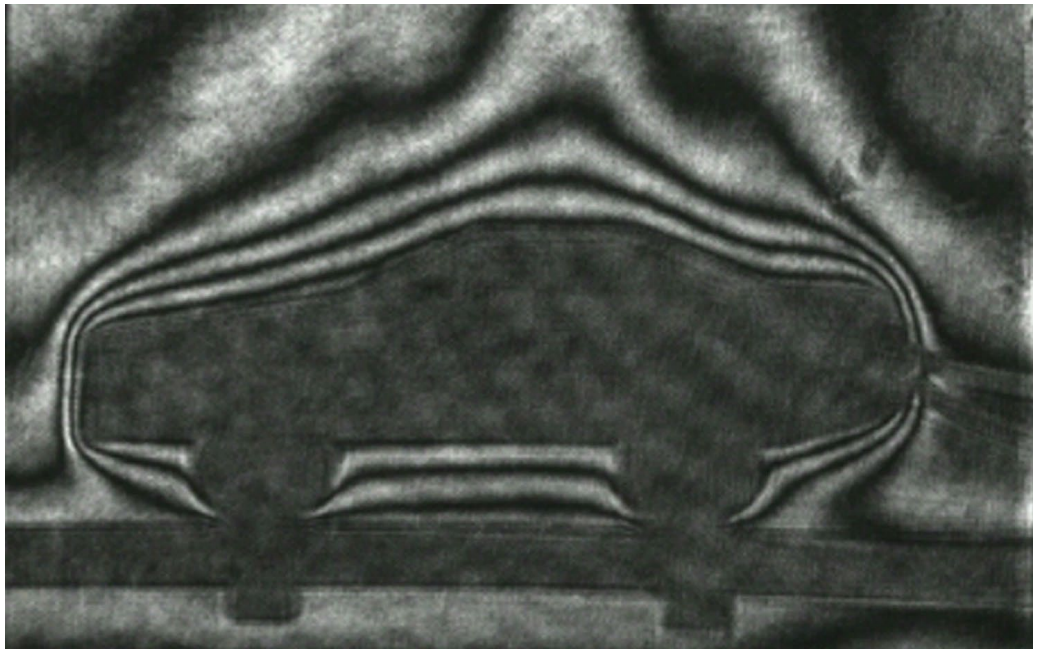
大型光干渉計による加熱円柱周りの温度境界層の光干渉計画像,
直径50mmの銅製円柱を加熱し、風洞の流速を徐々に増加させたときの干渉縞画像。
干渉縞は等温度線と同じと見なせる。
東北大学　圓山研究室作成

# 強制対流と自然対流



**強制対流**(forced convection)

ポンプやファンなどの機械的な手段によって強制的に発生させられた対流

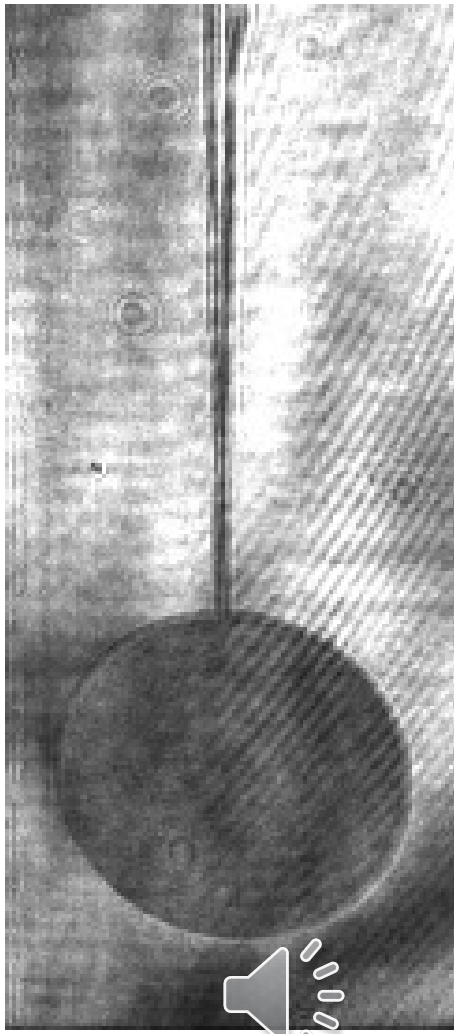


**加熱された自動車モデルの強制対流熱伝達（モデルの長さ7cm）**

**自然対流**(natural convection)
**または**
**自由対流**(free convection)

温度差または密度差による浮力で発生する対流

右図の場合には加熱された球周りの流体が浮力によって上昇し、そこに周囲から流体が流入する自然対流が発生している。



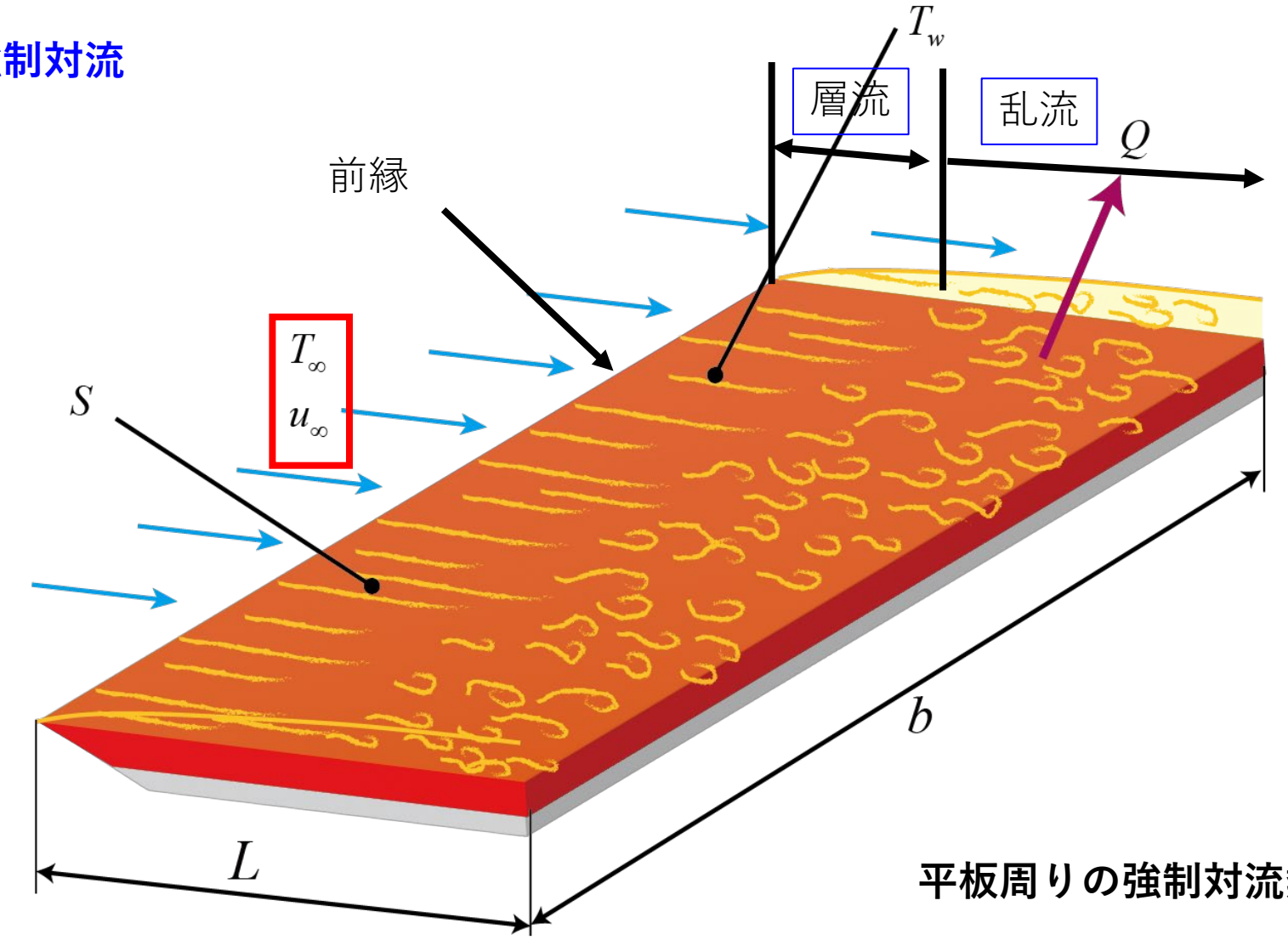
**直径5cmの加熱球周りの自然対流（4.5倍速）**

東北大学流体科学研究所の位相シフト大型光干渉装置により撮影した温度の可視化画像

# 強制対流の様式



## 外部流れの強制対流

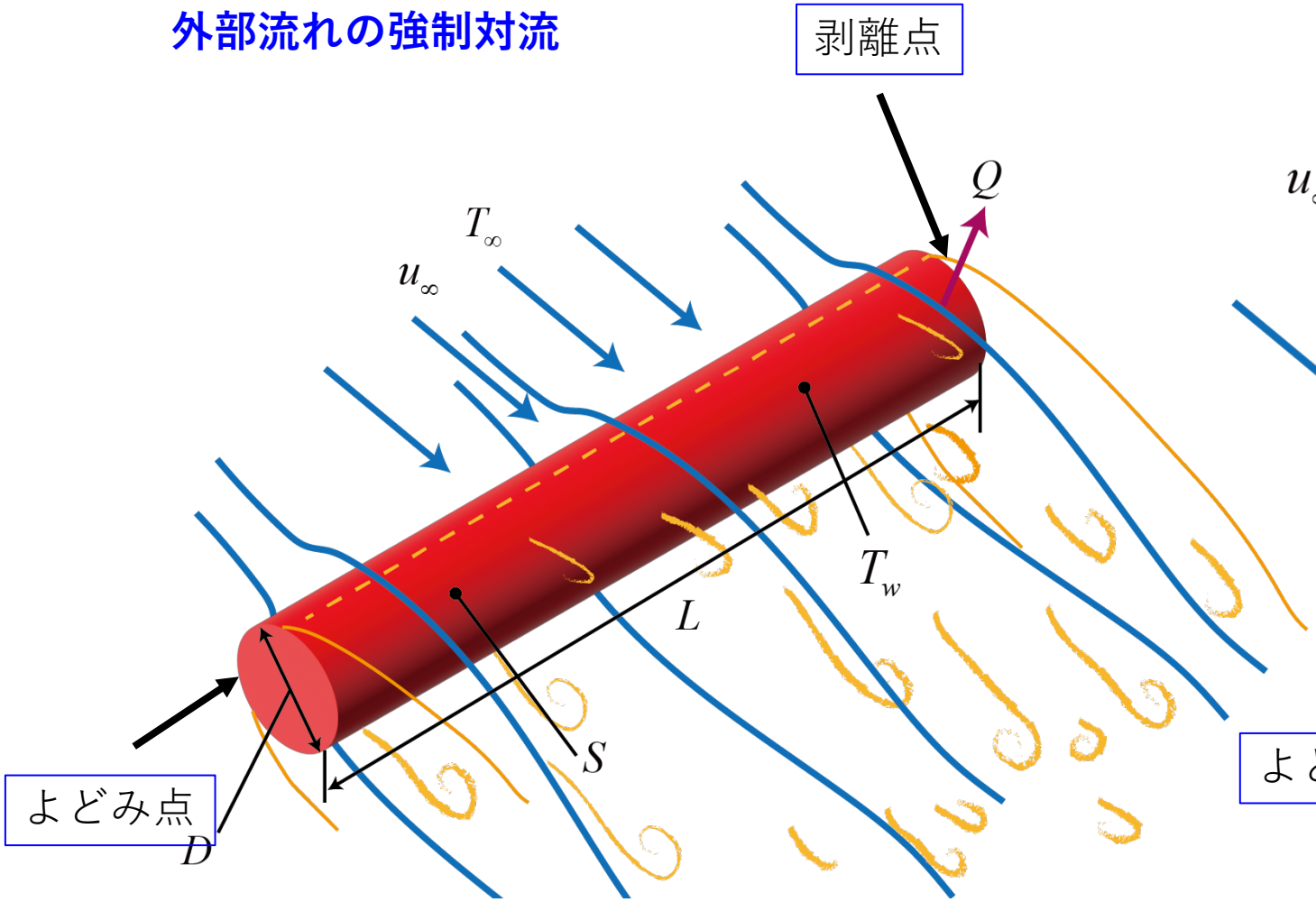



平板周りの強制対流熱伝達と流動

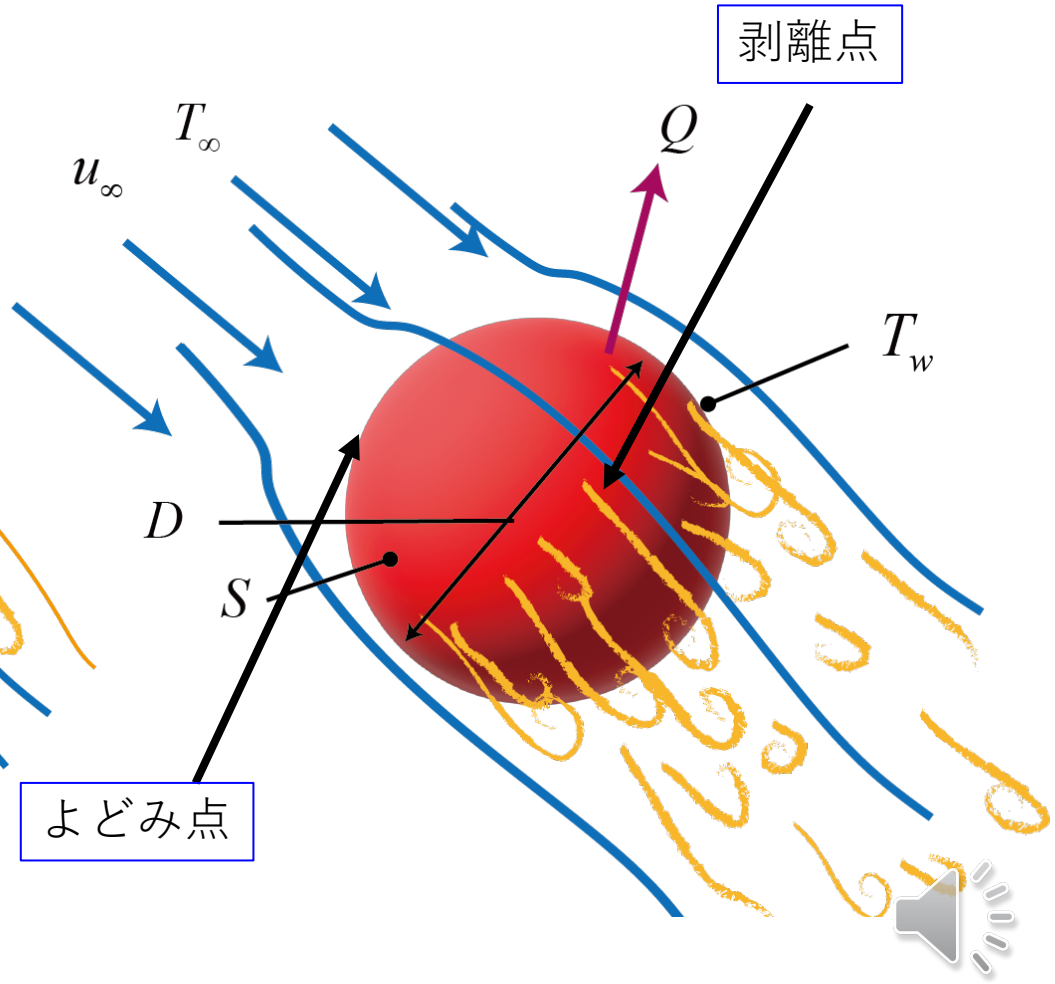
# 強制対流の様式



## 外部流れの強制対流




円柱周りの強制対流熱伝達と流動

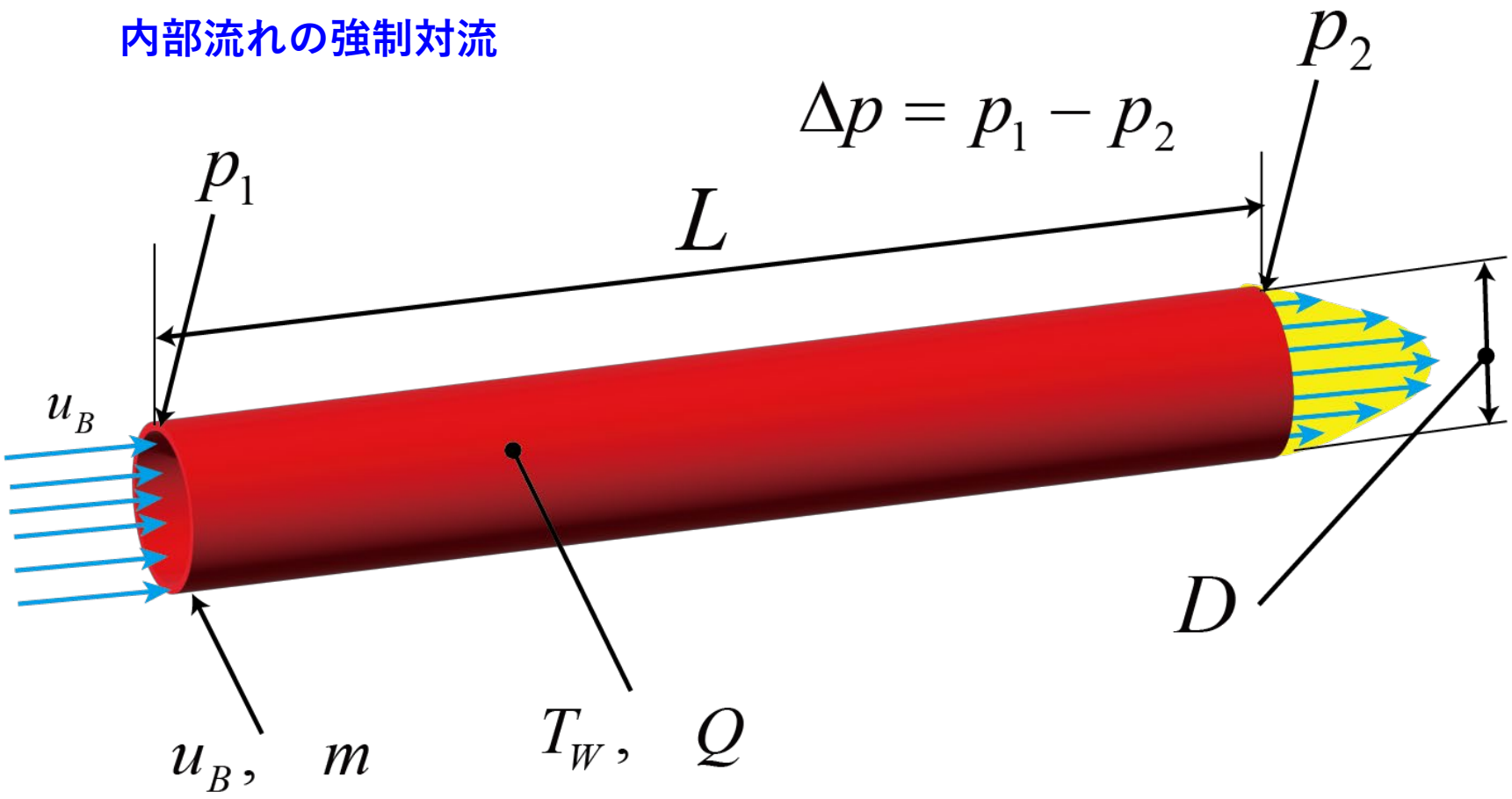



球周りの強制対流熱伝達と流動

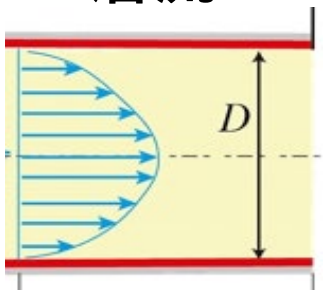
# 強制対流の様式



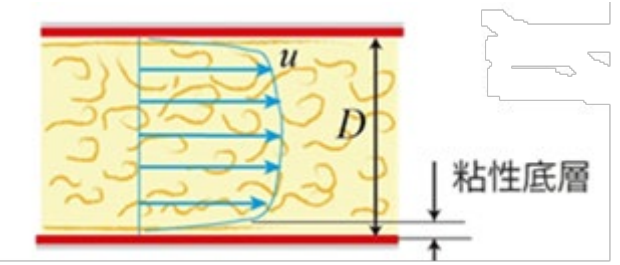
## 内部流れの強制対流




## 層流




## 乱流

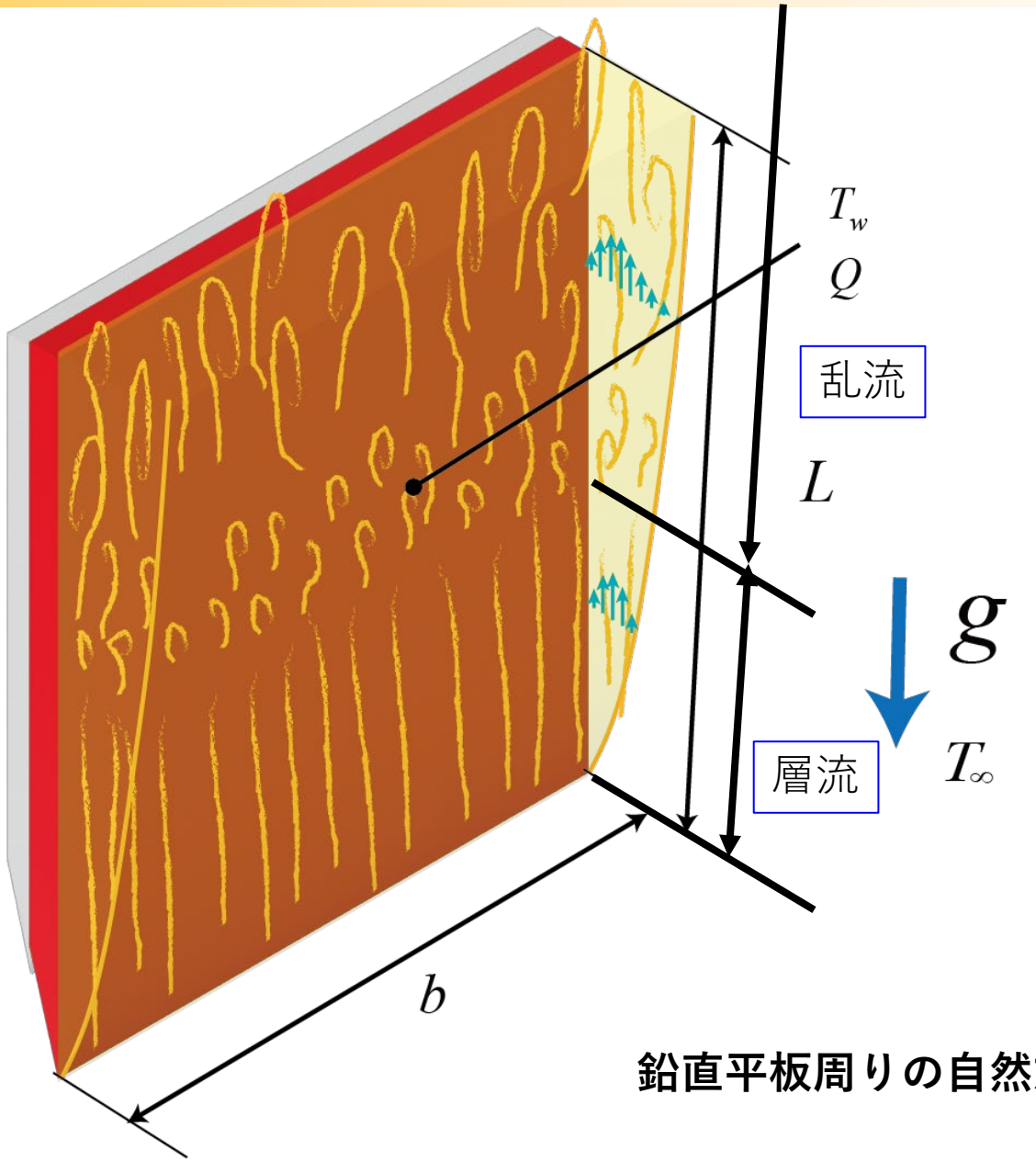



円管内の強制対流熱伝達と流動

# 自然対流の様式



## 外内部流れの自然対流

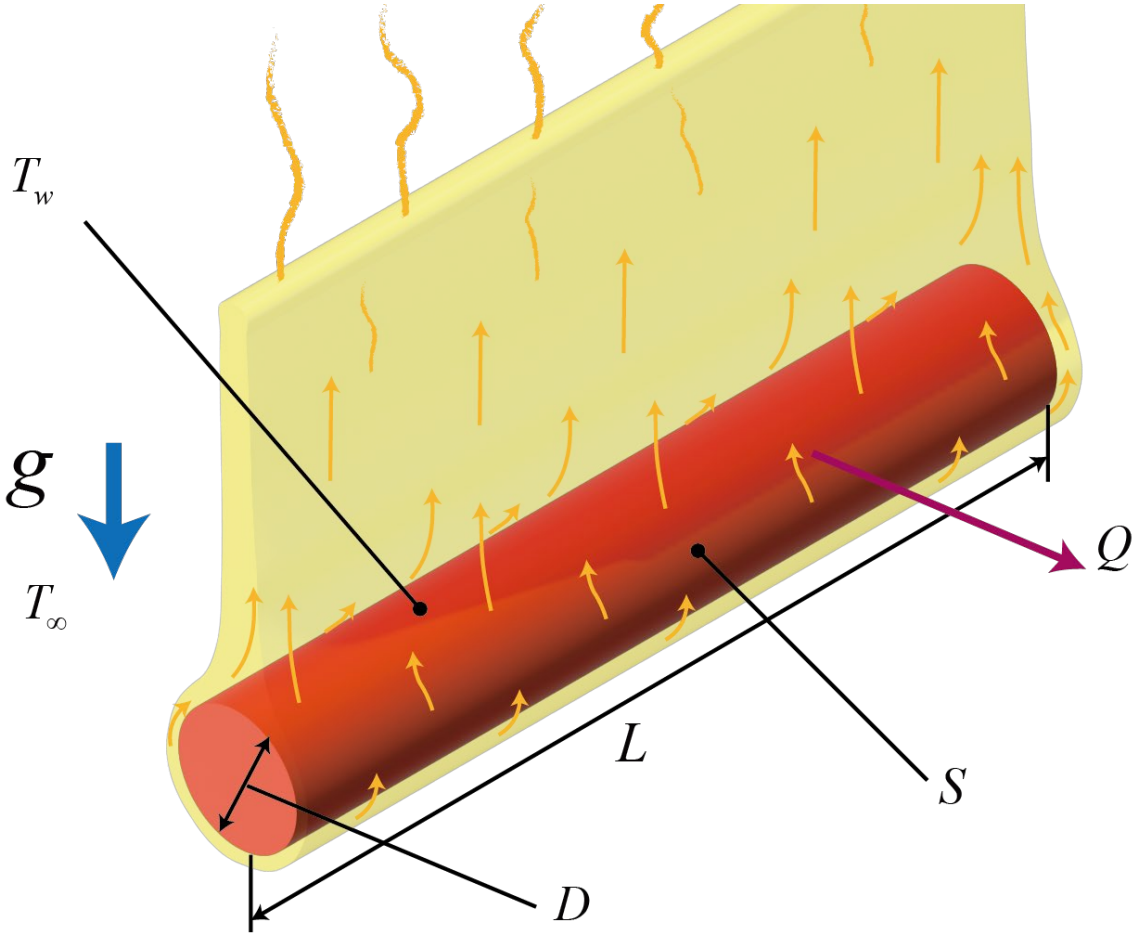



鉛直平板周りの自然対流熱伝達と流動

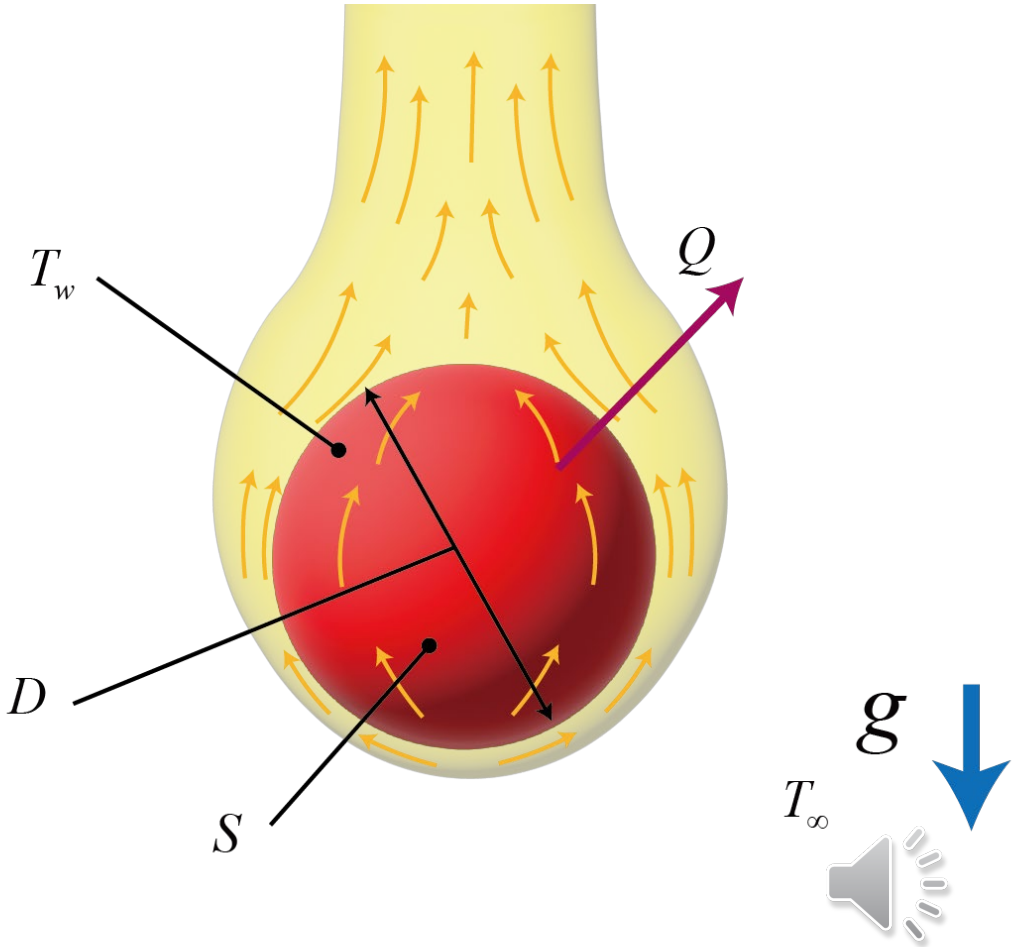
# 自然対流の様式



## 外内部流れの自然対流




円柱球周りの自然対流熱伝達と流動

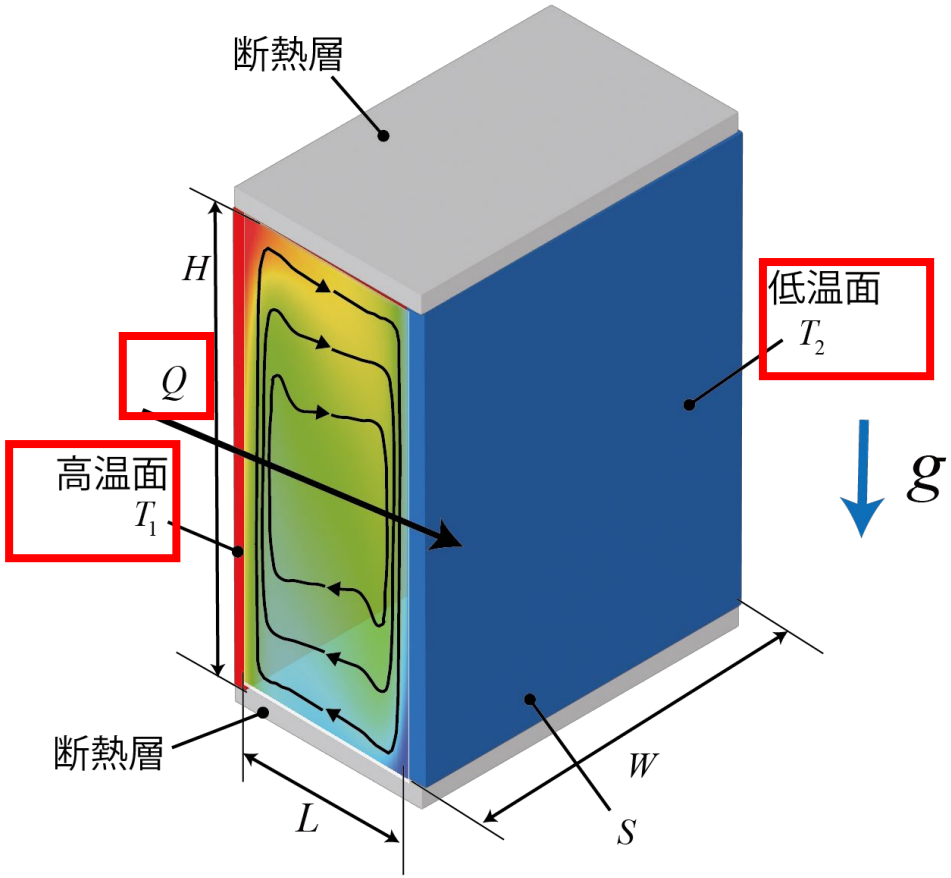



球周りの自然対流熱伝達と流動

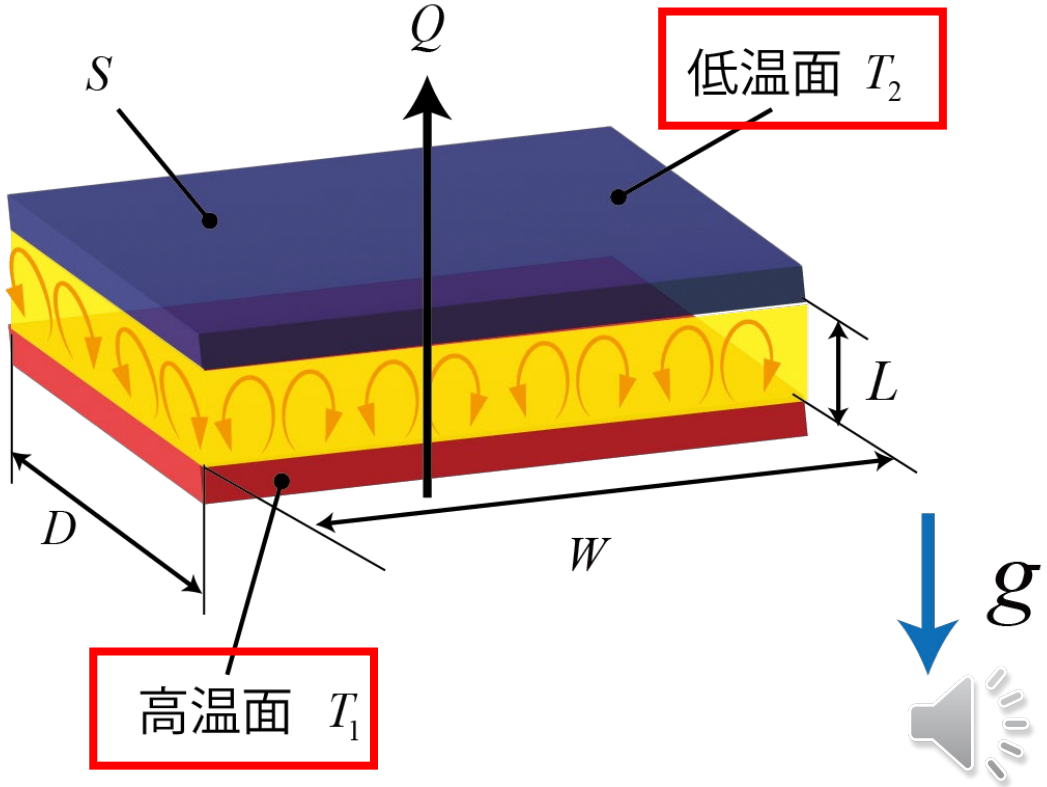
# 自然対流の様式



## 内部流れの自然対流




鉛直矩形空間内の自然対流熱伝達と流動



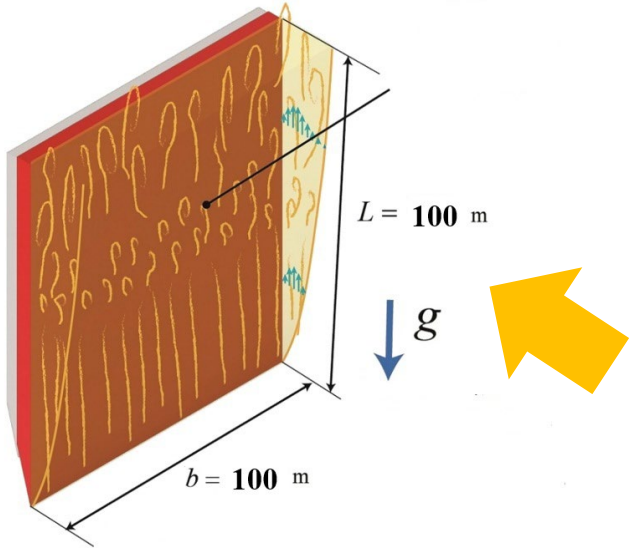

水平2平面空間内の自然対流熱伝達と流動

# 対流熱伝達率の概略値

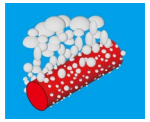


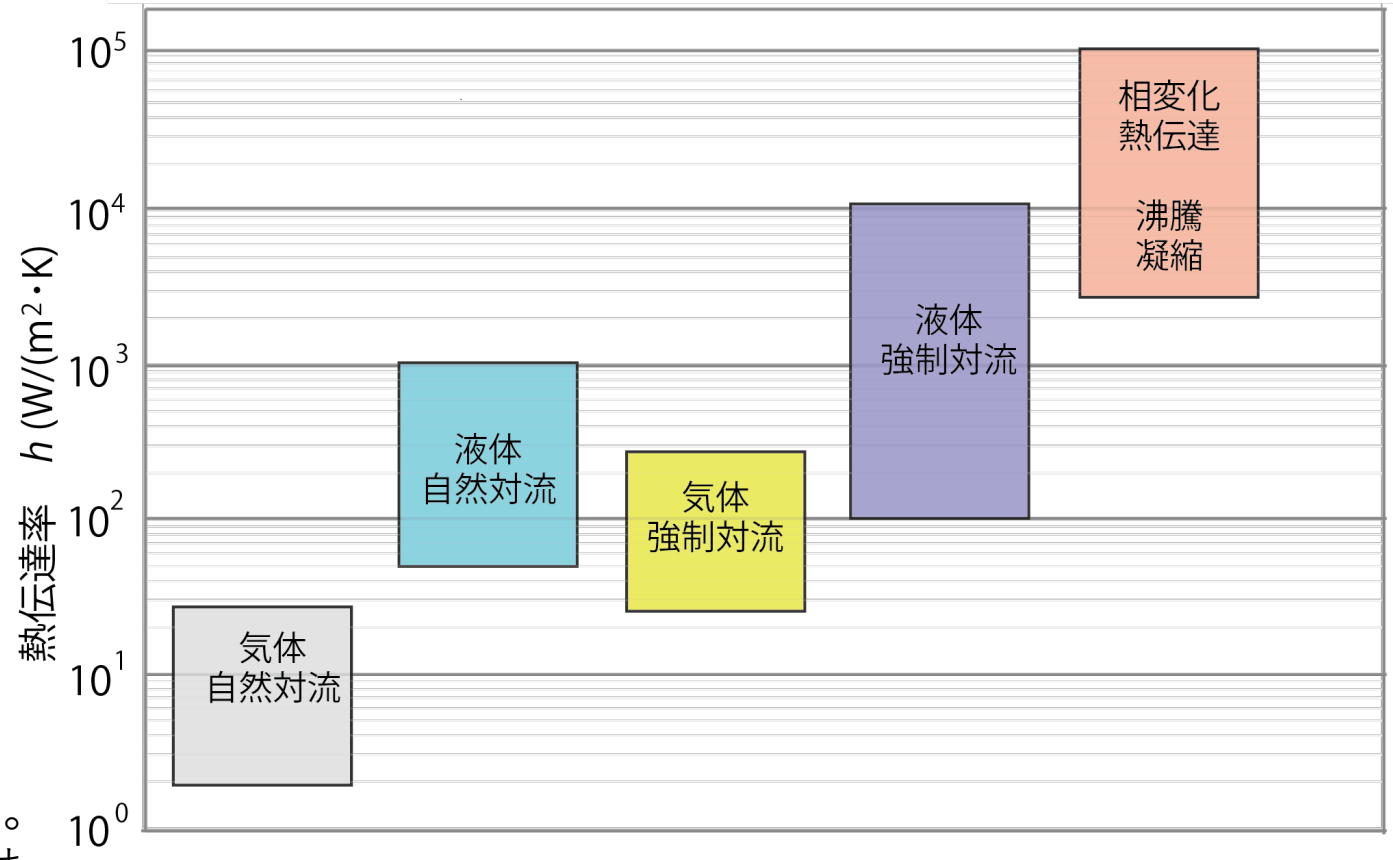
常温常圧の流体と一般的な大きさの物体間の熱伝達率のおおよその大きさ

高さ100m, 幅100mの自然対流伝熱




直径0.3m, 長さ1mの円柱からの沸騰伝熱






対流熱伝達率の大まかな大きさ

日本機械学会，JSMEテキストシリーズ　伝熱工学（2005）9頁より引用

気体の自然対流と相変化伝熱では約1万倍の差がある。
発電所などの大量の熱を輸送する必要のある機器には、ボイラーや凝縮器などの相変化伝熱が採用されている。

熱伝達率の概略値と機器のスケール感は、機器の開発・設計において重要である。

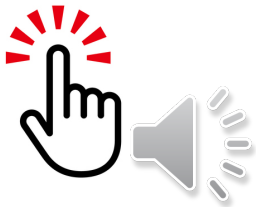
若手エンジニアや学生は、計算結果の桁を間違える。

次回予告

# 第3章　対流熱伝達

3-1.　対流熱伝達の概要
3-2.　強制対流熱伝達と流動の様相
3-3.　自然対流熱伝達の様相
3-4.　熱流動の無次元表記
3-5.　強制対流の流動と伝熱の定式化
3-6.　自然対流の熱伝達の定式化
3-7.　解析ソフトを使った伝熱計算

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。

# 技術者と研究者に向けた伝熱工学の基礎と応用



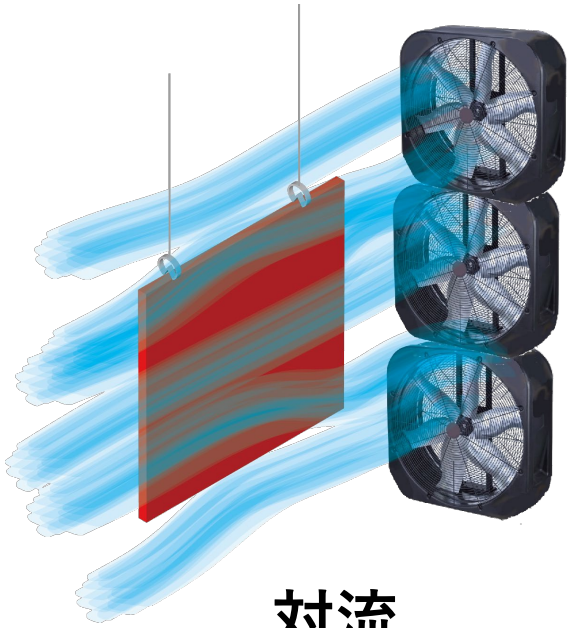
## 東北大学未来科学技術共同研究センター レクチャーシリーズ

― 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