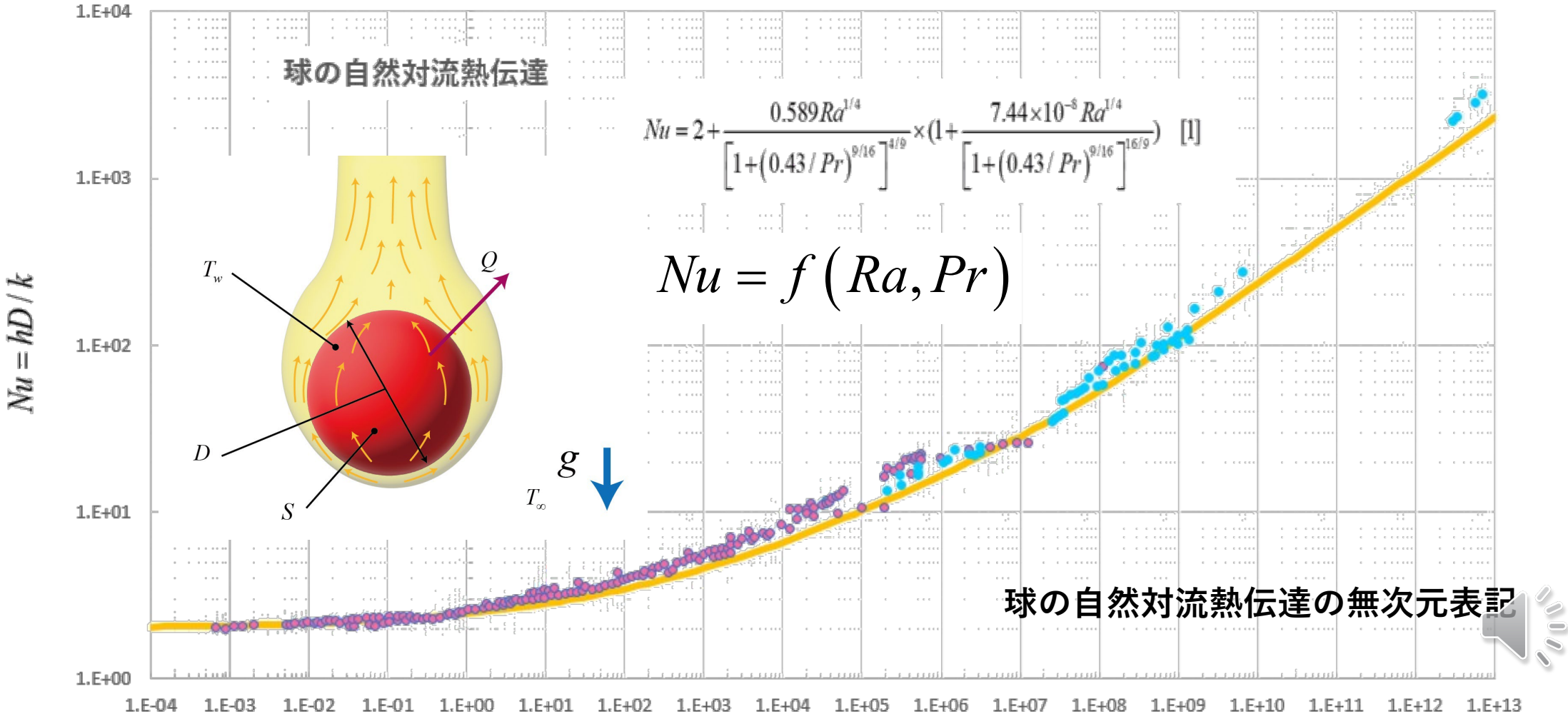
技術者と研究者に向けた伝熱工学の基礎と応用

第3章　対流熱伝達　⑥　　3-6.　自然対流熱伝達の定式化



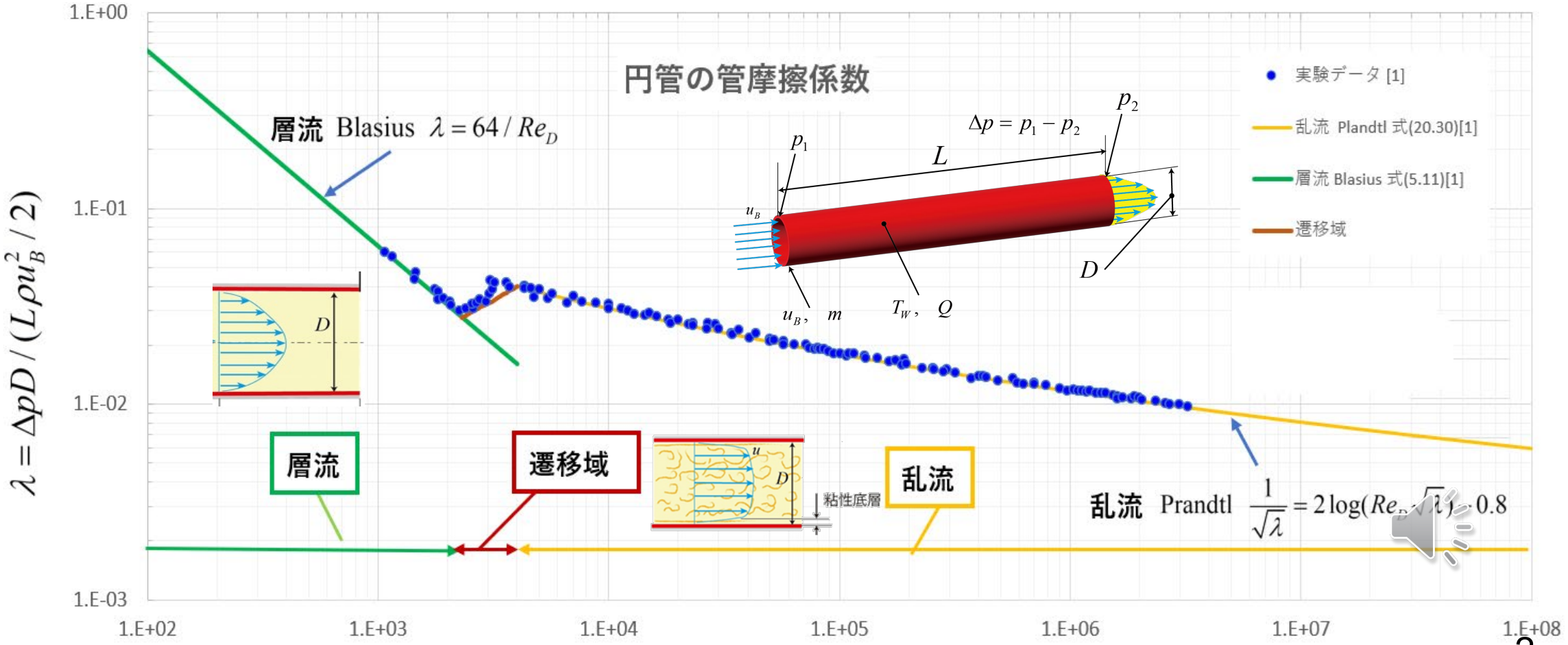
$$Ra = g\beta(T_W - T_\infty)D^3/(\alpha\nu)$$

技術者と研究者に向けた伝熱工学の基礎と応用

前回の内容

第3章　対流熱伝達　⑤

3-5.　強制対流の流動と伝熱の定式化

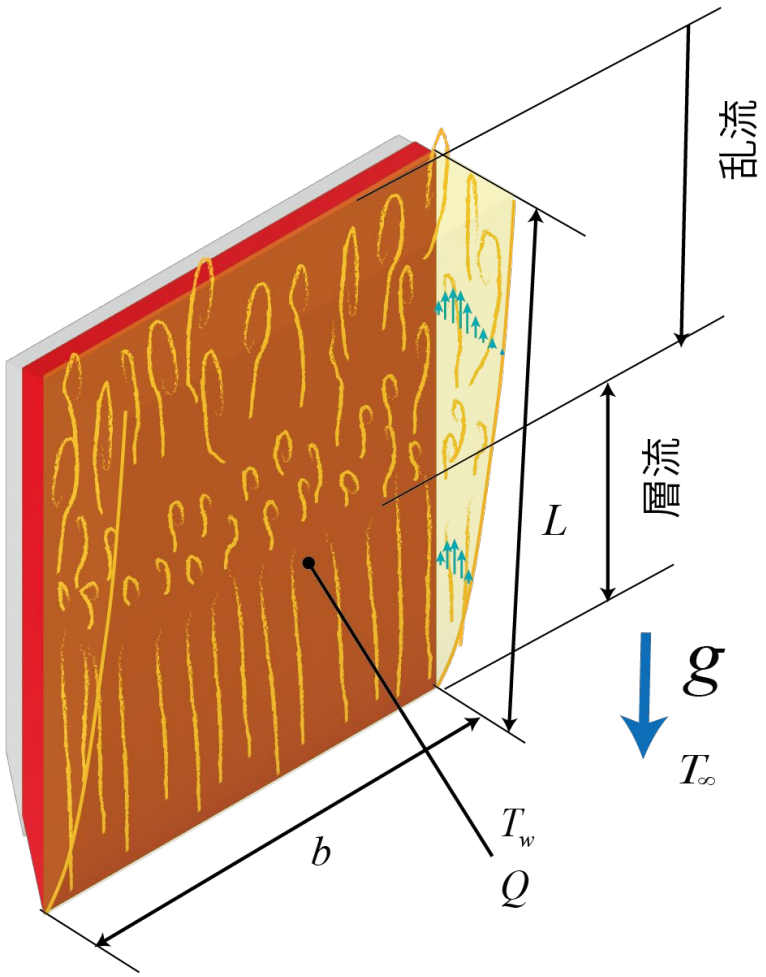


円管管路内圧損の無次元表記

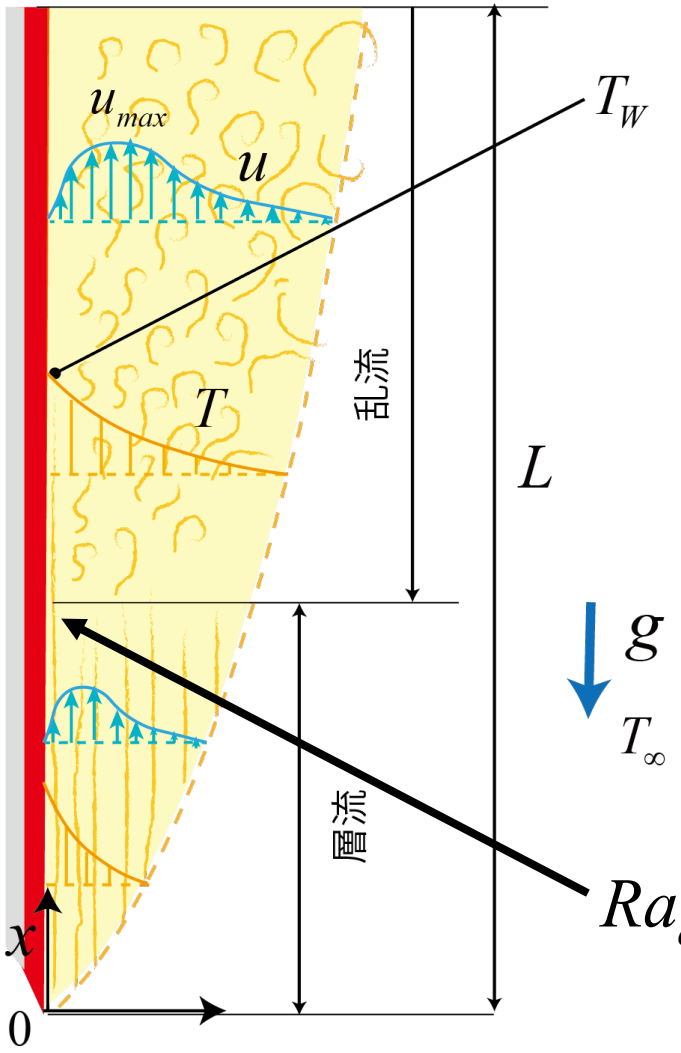
第3章　対流熱伝達

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.　自然対流熱伝達の定式化
3-7.　解析ソフトを使った伝熱計算

鉛直平板周りの自然対流



鉛直平板周りの自然対流



平板周りの自然対流境界層の様相

特性を表す無次元数

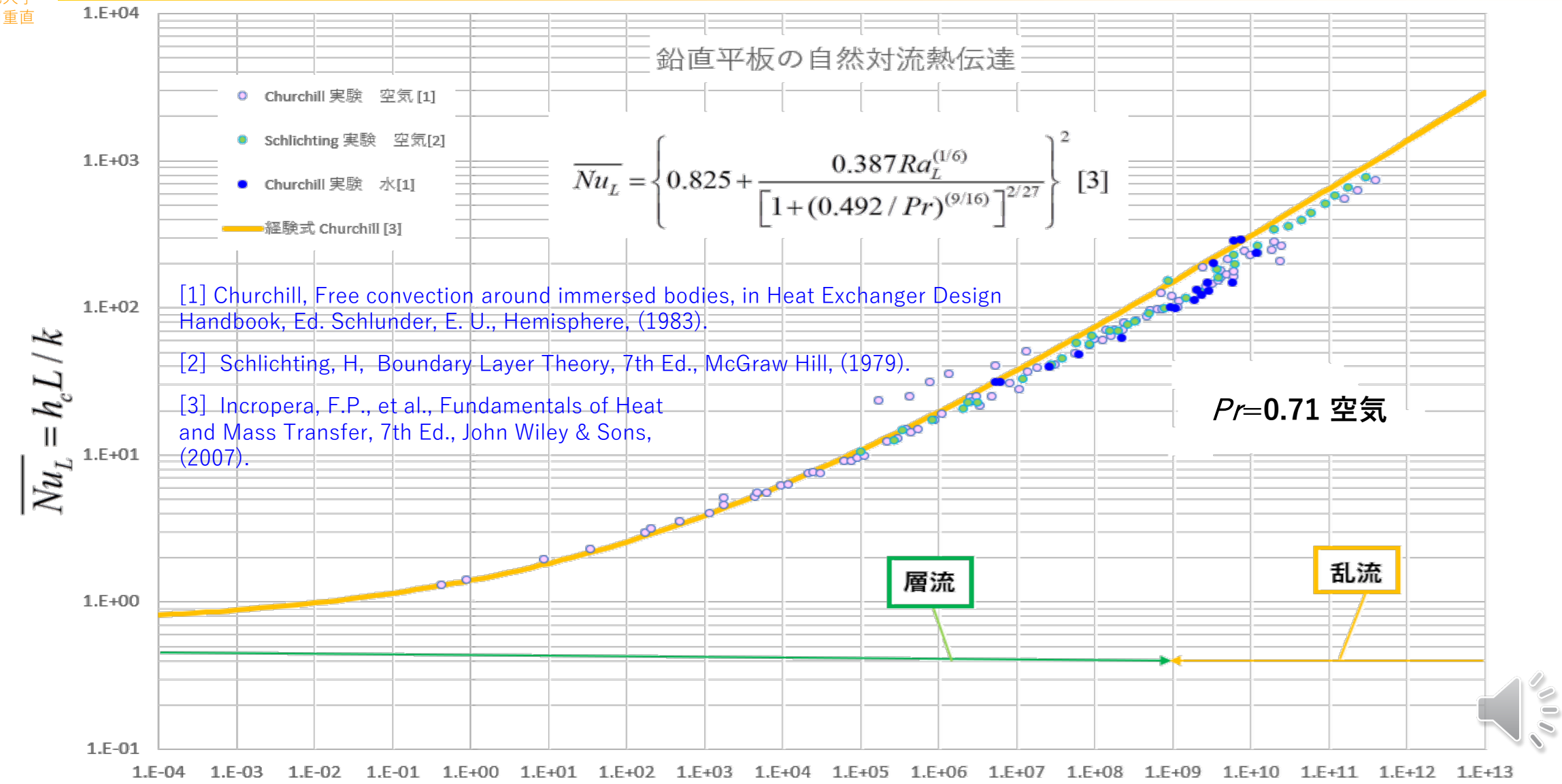
$$Nu = f\left(Ra, Pr\right) \qquad (1)$$

$$Nu = hL / k \qquad (2)$$

$$Ra_L = g\frac{g\beta(T_W - T_\infty)L^3}{\alpha\nu} \qquad (3)$$

$$Pr = \nu / \alpha \qquad (4)$$

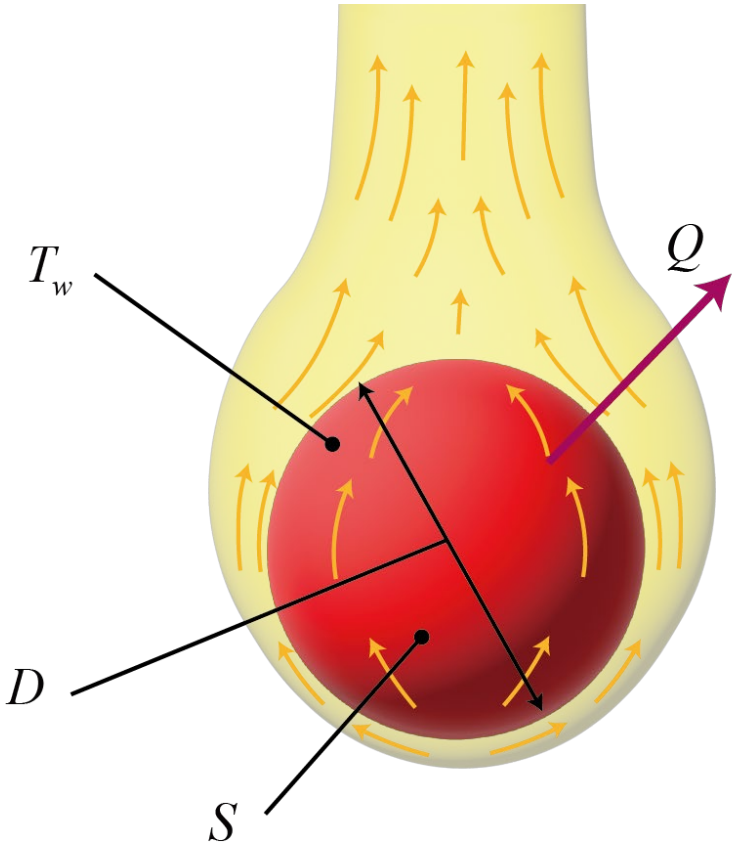
鉛直平板の熱伝達率



$$Ra_L = g\beta(T_w - T_\infty)L^3 / \alpha\nu$$

球周りの自然対流熱伝達

外内部流れの自然対流



球周りの自然対流伝達と流動

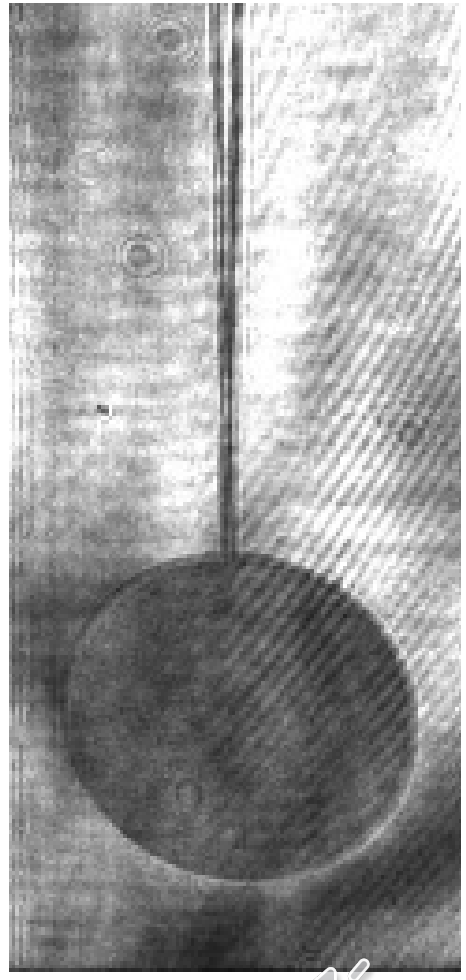
特性を表す無次元数

$$Nu = f\left(Ra, Pr\right) \quad (5)$$

$$Nu = hD/k \quad (6) \qquad Pr = \nu/\alpha \quad (7)$$

$$Ra = g\beta(T_W - T_\infty)D^3/(\alpha\nu) \quad (8)$$

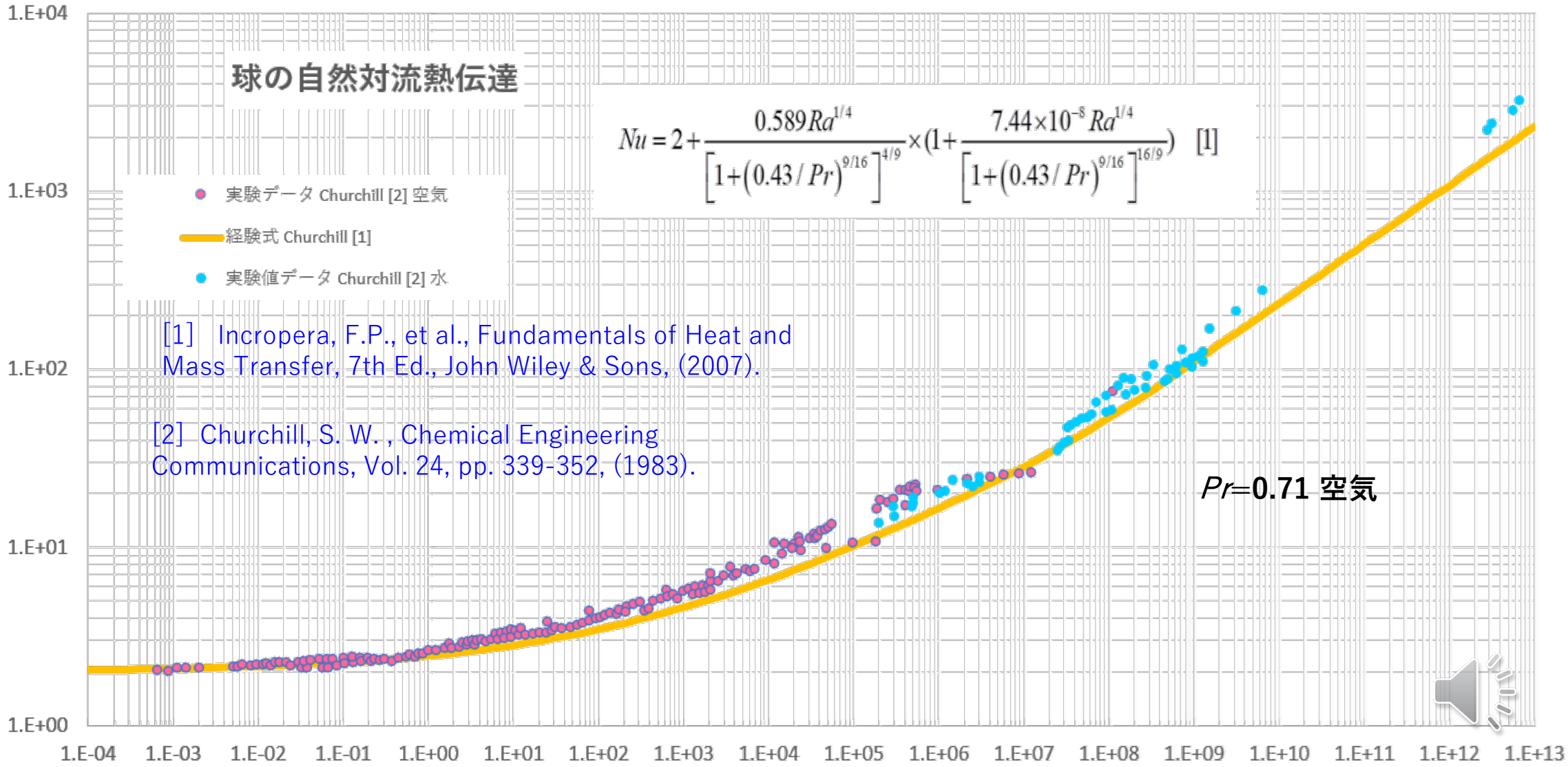




直径5cmの加熱球周りの自然対流（4.5倍速）

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

球の自然対流熱伝達

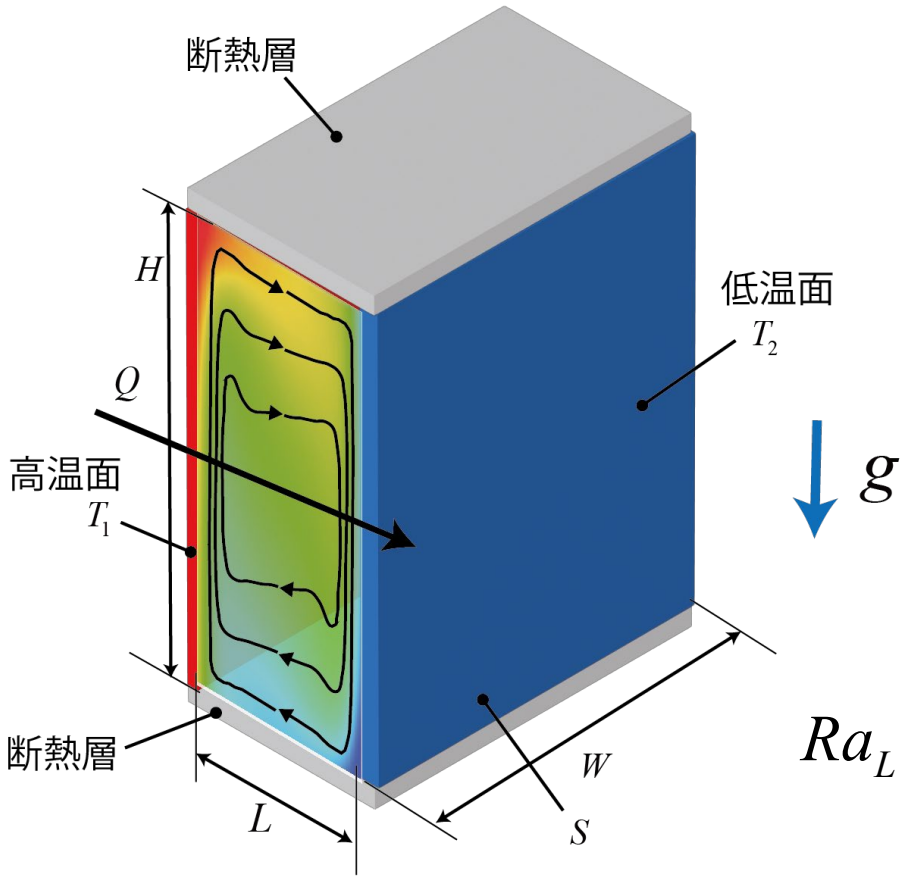


[1] Incropera, F.P., et al., Fundamentals of Heat and Mass Transfer, 7th Ed., John Wiley & Sons, (2007).

[2] Churchill, S. W. , Chemical Engineering Communications, Vol. 24, pp. 339-352, (1983).

Pr=0.71 空気

鉛直矩形空間内の自然対流熱伝達



鉛直矩形空間内の自然対流熱伝達と流動

特性を表す無次元数

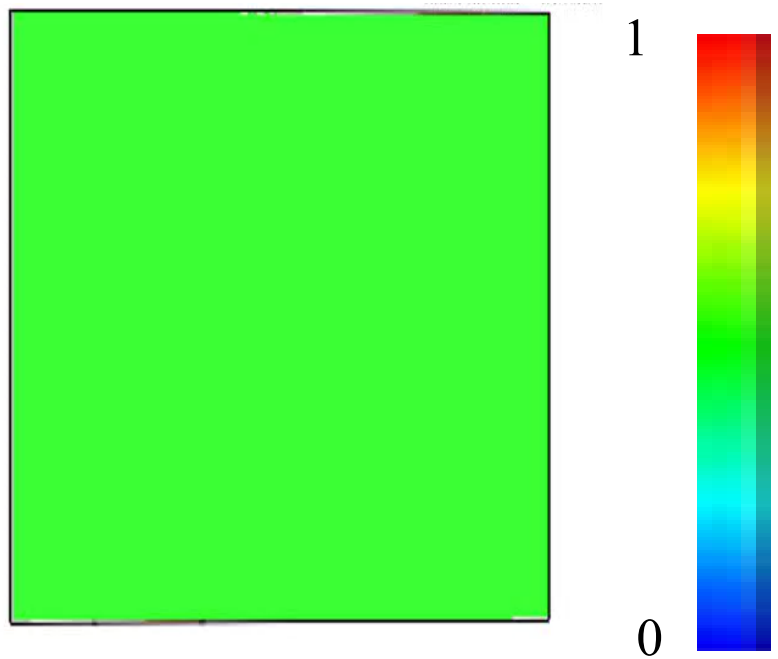
$$Nu = f\left(Ra, Pr\right) \quad (9)$$

$$\overline{Nu} = \overline{h_c} L / k \quad (10)$$

$$Pr = \nu / \alpha \quad (11)$$

$$Ra_L = g\frac{g\beta(T_1 - T_2)L^3}{\alpha\nu} \quad (12)$$

無次元温度 θ

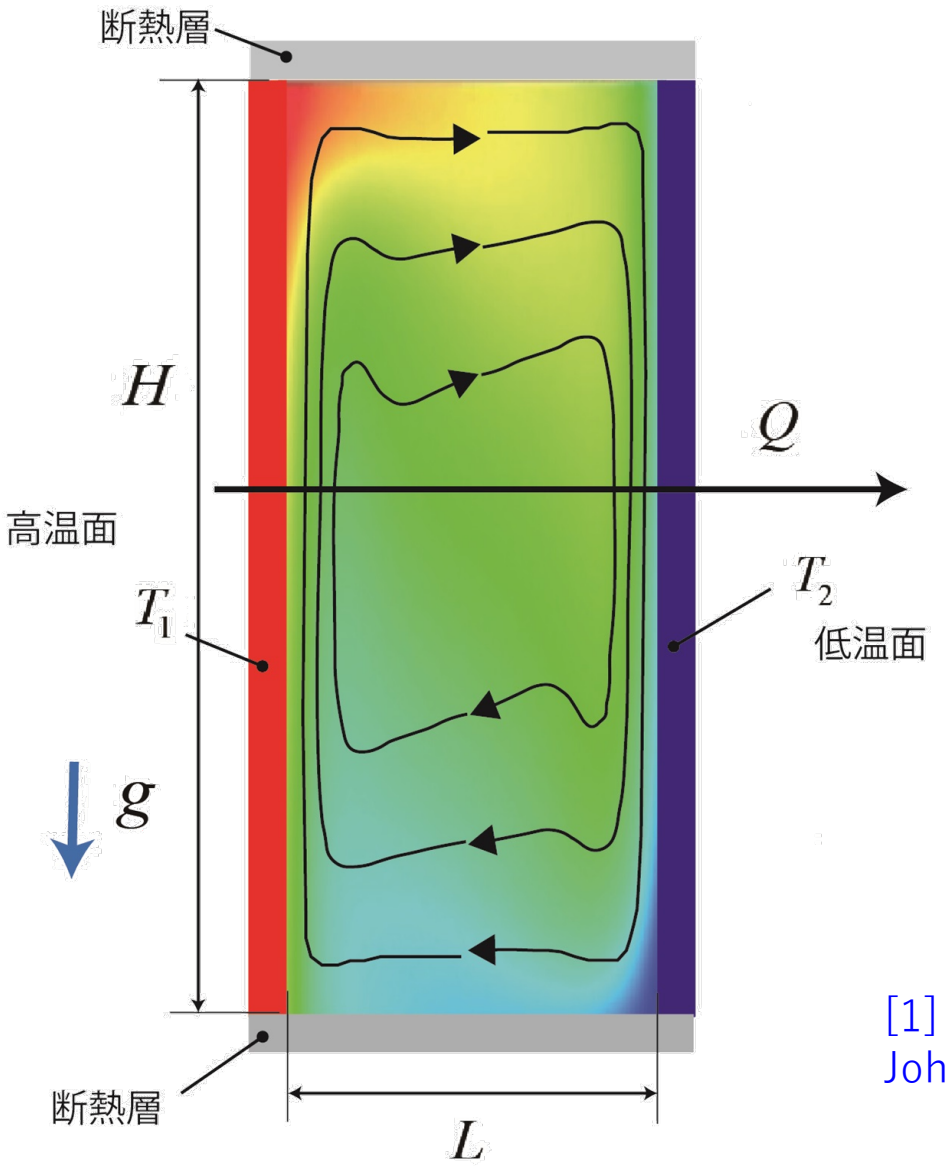


$Ra = 10^7, \quad Pr = 0.71$

矩形容器の両側面を加熱・冷却した場合の非定常温度場

中央大学　櫻井篤教授　作成

無次元数を使った経験式と仮定



引用　文献[1]

$1 \le H/L \le 2$

$$\overline{Nu} = 0.18\left(\frac{PrRa_L}{0.2+Pr}\right)^{0.29}, \quad 10^{-3} \le Pr \le 10^5, \quad 10^3 \le (Ra_L Pr)/(0.2+Pr) \tag{13}$$

$2 \le H/L \le 10$

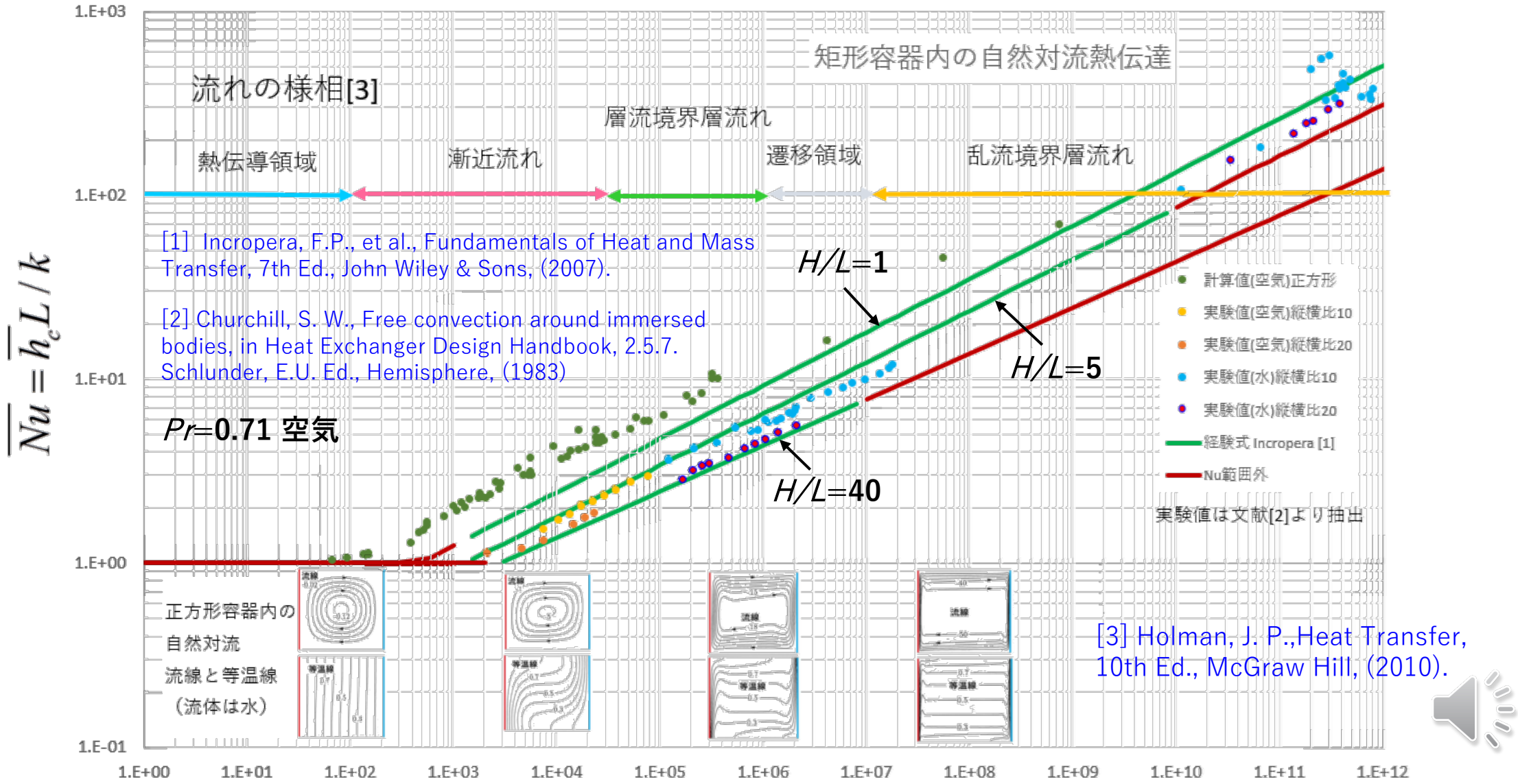
$$\overline{Nu} = 0.22\left(\frac{PrRa_L}{0.2+Pr}\right)^{0.28}\left(\frac{H}{L}\right)^{-1/4}, \quad Pr \le 10^5, \quad 10^3 \le Ra_L \le 10^{10} \tag{14}$$

$10 \le H/L \le 40$

$$\overline{Nu} = 0.42Ra_L^{1/4}Pr^{0.012}\left(\frac{H}{L}\right)^{-0.3}, \quad 1 \le Pr \le 2\times10^4, \quad 10^4 \le Ra_L \le 10^7 \tag{15}$$

[1] Incropera, F.P., et al., Fundamentals of Heat and Mass Transfer, 7th Ed., John Wiley & Sons, (2007).

鉛直矩形空間内の自然対流熱伝達

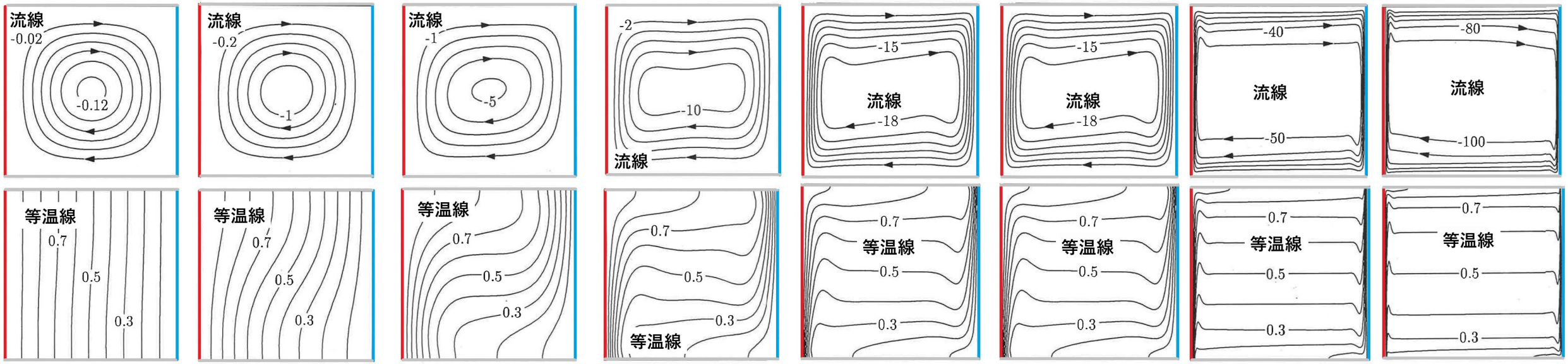


$$Ra_L = g\beta(T_1 - T_2)L^3 / (\alpha\nu)$$

正方形空間内の自然対流の様相

流れの様相[3]

熱伝導領域　漸近流れ　層流境界層流れ　遷移領域　乱流境界層流れ



$Ra = 10^2$　$Ra = 10^3$　$Ra = 10^4$　$Ra = 10^5$　$Ra = 10^6$　$Ra = 10^7$　$Ra = 10^8$　$Ra = 10^9$

$Pr = 7$

正方形空間内の自然対流　レイリー数による流線と等温線の変化

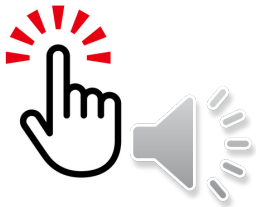
[3] Holman, J. P.,Heat Transfer, 10th Ed., McGraw Hill, (2010).

第3章　対流熱伝達

次回予告

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.　自然対流熱伝達の定式化
3-7.　解析ソフトを使った伝熱計算

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。

技術者と研究者に向けた伝熱工学の基礎と応用

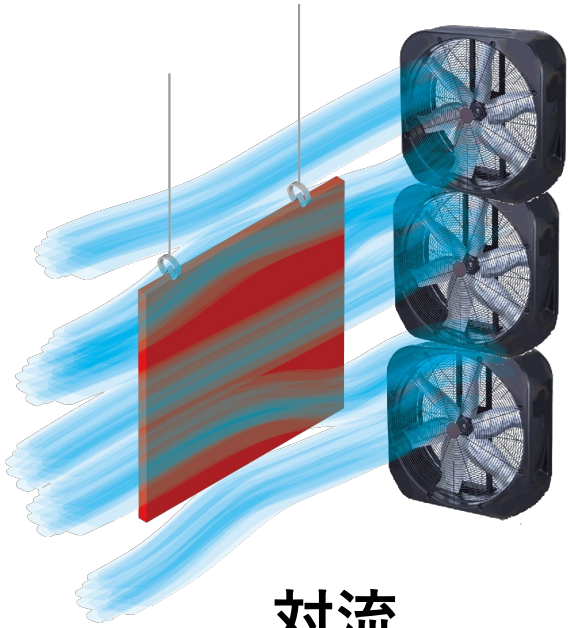
東北大学未来科学技術共同研究センター レクチャーシリーズ

— 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