

回転ゲルトロー流れと熱伝達

益田重明、小尾晋之介（慶大理工）、江戸義博（JR東日本）

Heat Transfer in Rotating Goertler Flow

S.Masuda*, S.Obi* and Y.Edo**

* Faculty of Science and Technology, Keio University

** East Japan Railway Company

ABSTRACT

Heat transfer in a transitional boundary layer subjected to the spanwise system rotation has been investigated. The test wall has been electrically heated to give the constant heat flux condition. The surface temperature has been obtained by employing temperature-sensitive liquid crystal and the local heat transfer coefficient has been evaluated from the input power to the heater, by theoretically compensating the heat loss to the backside. The heat transfer is augmented on the pressure surface, on which the Coriolis force acts normal and toward the surface, while it does not change at all on the suction surface. This is due to the streamwise vortices generated by the Coriolis instability.

Key Words: rotating boundary layer, Coriolis force, Goertler vortex, heat transfer coefficient, liquid crystal

$$h_x \equiv \frac{q - q_L}{T_w - T_\infty} \quad (1)$$

1. まえがき

図1に示す回転平板境界層の熱伝達率がコリオリ力の作用方向と大きさに応じてどのように変化するかを、誘起される縦渦との関連に注目して実験的に調べた。

を求めた。ここで q は、ヒーターへの供給電力、 q_L は熱伝導方程式の数値解析から理論的に求めた裏面への熱伝導損失熱量、 T_w, T_∞ はそれぞれ、平板表面及び主流の温度である。

2. 実験装置と方法

回転風洞中に試験平板を挿入し、層流境界層を形成させた。試験壁面に設置されたステンレス膜ヒーターを通電加熱することにより、等熱流束条件を実現した。壁面温度は壁面に設置した感温液晶の色分布をデジタルカメラで撮影し、あらかじめ求めておいた色-温度検定曲線を用いて温度に換算した。これより局所熱伝達率、

3. 回転による熱伝達係数の変化

図2は得られた局所熱伝達係数を Stanton 数、

$$St_x \equiv \frac{h_x}{\rho C_p U_\infty} \quad (2)$$

の形で整理した結果である。横軸は加熱開始点からの距離を代表長さにとったレイノルズ数、

$$Re_{x-x_l} = \frac{U_\infty (x - x_l)}{\nu} \quad (3)$$

、図中のパラメータは回転パラメータ、

$$Ro_{x1} \equiv \frac{\Omega x_1}{U_\infty} \quad (4)$$

で、 Ω は座標系の回転角速度である。従って、 $Ro_{x1} > 0$ の場合、コリオリ力が壁面に向かって作用し（高圧面）、 < 0 の場合は逆向きに作用する（低圧面）。静止状態における測定結果は、主流方向全測定範囲にわたって層流境界層に対する理論式(1)によく一致している。これに比べて高圧面では、熱伝達率が回転数の増加とともに上昇し、静止平板乱流境界層の半経験式(2)に近づく傾向を示す。回転場の平板乱流境界層の熱伝達率についてはまだ明らかになっていないが、高回転パラメータの傾向は、乱流境界層の熱伝達率が、回転の影響により変化することを示唆している。これに対して低圧面では、静止平板上の層流境界層の状態とまったく変わらない。

4. 流れ場との対応

図3は高圧面における $x=430\text{mm}$ の位置で熱線プローブにより得られた平均速度の等高線と、同じく熱電対トラバースにより得られた、流体温度の等高線を比較した結果である。両者はよく一致しており、コリオリ力により誘起された縦渦が運動量及び熱の輸送を活性化させ流ことが分かる。その結果、スパン方向の downwash 領域で高流速—高熱伝達係数、upwash 領域で低流速—低熱伝達係数となるが、図2で示されたようにスパン方向平均で見ても熱伝達率が向上するのは、縦渦の非線形効果によると思われる。一方低圧面では流速、温度ともスパン方向に一樣で、縦渦による運動量・熱輸送は期待できないことが明らかとなった。

5. 結論

コリオリ力が壁面に向かって作用する高圧面では、コリオリ力による縦渦(回転ゲルトラー渦)の誘起に伴って、熱伝達率が著しく向上すること、逆向きに作用する低圧面ではこの現象は見られ

ず、熱伝達率は静止場と変わらないことが明らかになった。このことは、回転場での伝熱促進デバイス設計に当たって、こうした力学的環境の差を考慮することが重要であることを示している。

参考文献

- (1)Kays, W.M. 1966: Convective Heat and Mass Transfer, McGraw-Hill, New York.
- (2)片山ら、1986、伝熱工学資料、日本機械学会

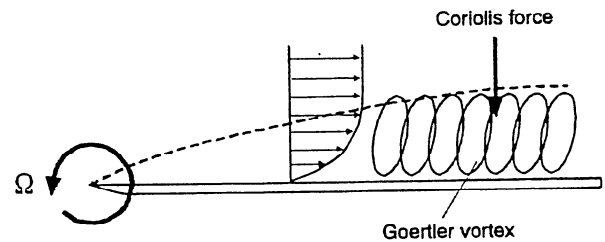


図1 回転ゲルトラー流れ

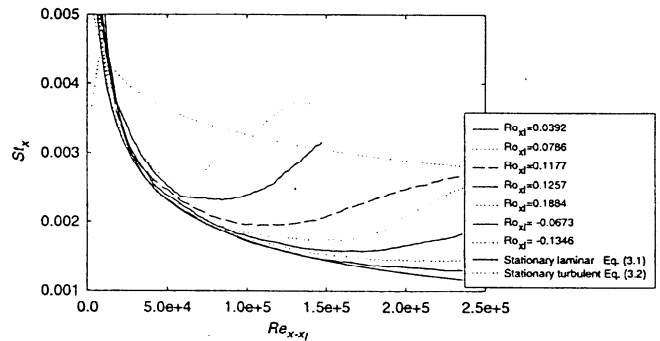


図2 スタントン数とレイノルズ数の関係

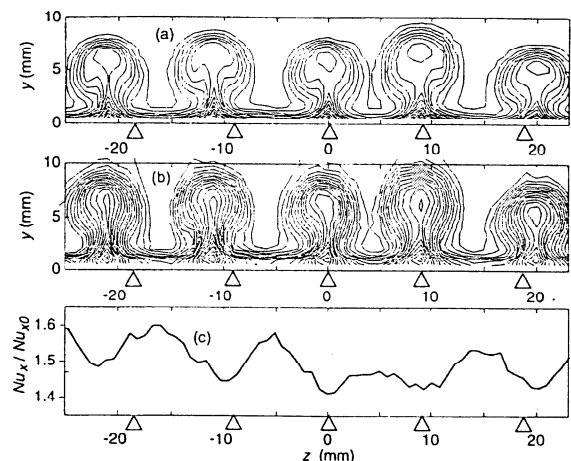


図3 速度場と温度場の対応

$U_\infty = 4\text{ m/s}$, $\Omega = 4.6\text{ rad/s}$, $x = 430\text{ mm}$

(a)等速度線 (b)等温線 (c)局所ヌセルト数