

DNS による矩形曲り流路内の乱流熱伝達解析

DNS of turbulent heat transfer in curved square duct flow

○服部博文, 名工大, 名古屋市昭和区御器所町, E-mail: hattori@nitech.ac.jp

塚松裕崇, 名工大

長野靖尚, 名工大, E-mail: nagano@nitech.ac.jp

Hirofumi HATTORI, Nagoya Institute of Technology, Gokiso-cho, Showa-ku, Nagoya 466-8555, Japan

Hirofumi TSUKAMATSU, Graduate school, Nagoya Institute of Technology

Yasutaka NAGANO, Nagoya Institute of Technology

Direct numerical simulations of fully developed turbulent flow with heat transfer in a spanwise rotating curved square duct have been performed in order to investigate the combined effects of curvature, rotation and walls on the structure of turbulent heat transport. The curvature is 0.013, and the rotation numbers are set to -0.5, 0.0 and +0.5. In a curved duct flow, since the large-scale mean secondary flows are generated, the laminarization is observed on the convex side. In the curved duct with negative rotation, turbulence is suppressed in most parts of the duct except near the concave wall. On the other hand, in the case of positive rotation, we can observe several statistical characteristics similar to those in a straight square duct, indicating that the rotation effects undercut the curvature effects.

1. 緒言 最近のコンピュータの飛躍的な性能向上に伴い、数値シミュレーションによる乱流熱伝達の解析が広く行われるようになってきた。しかし、回転、曲り、剥離、再付着等様々な流体因子が同時に作用する熱流動場では、その正確なシミュレーションは非常に困難である。これら流体力学的現象をより正確に予測できるかどうかは、乱流モデルの性能によるところが大きいが、予測精度の高いモデルを開発するには、乱流熱伝達現象の素過程を DNS により精査し、十分なデータベースを構築することが重要である。ところで、これら複合的な現象が生じる場として、タービン翼内熱流動場がある。その基礎的な場として、回転チャンネル乱流や曲りチャンネル乱流があり、これまでに数多く報告されている^{(1)~(4)}。しかしながら、これらの研究は、スパン方向が無制限長の平行平板間乱流を対象としているものが多く、実機のような複数壁による乱流伝熱場への影響については理解が不十分である。そこで本研究では、回転と曲りが同時に作用する正方形矩形管内の乱流熱伝達の DNS を行い、乱流伝熱場における乱れの生成散逸機構の解明及び回転方向の違いによる伝熱構造の変化についての理解を得ることを目的とする。

2. 計算結果 本研究の計算領域および座標系を図 1 に示す。本研究では、曲りの効果を比較検討するため、正方形直矩形管の計算も行った。一方、曲り矩形管は流れ方向に半径 R_c で曲げられ、かつスパン方向を軸に一定角速度 Ω で回転する。また、各場とも一様内部発熱条件を課している。計算に用いた格子点数は、いずれの系も $(n_{\xi^1}, n_{\xi^2}, n_{\xi^3}) = (96, 96, 96)$ とした。レイノルズ数 Re_τ を 180, 曲率 δ/R_c を 0.013, 回転数 Ro_τ は +0.5, 0.0, -0.5 であり、プラントル数 Pr は 0.71 とした。

図 2 に、各壁面における壁面摩擦係数 C_f 及び局所ヌセルト数 Nu の分布を示す。曲り矩形管に正回転を加えた時には、正方形直矩形管と C_f と Nu の分布変化が酷似し、回転が曲り効

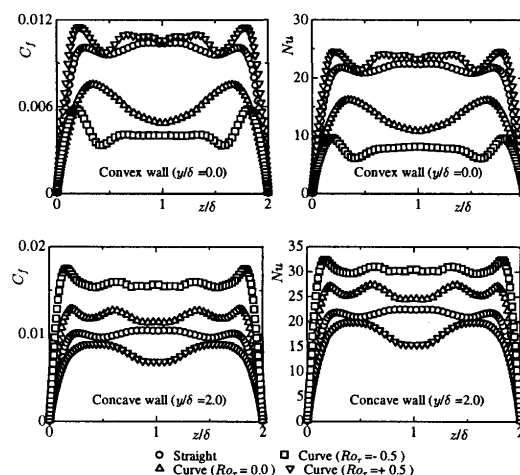


Fig. 2 Skin friction coefficients and Nusselt numbers

果を打ち消しているように見える。負回転では、それぞれの壁で曲りに回転効果が重畳している現象が観察できる。また、そのほかの統計量でも同様な傾向が観察された。

3. 結言 DNS の結果より、以下のことが確認された。(1) 正方形直矩形管に曲率を持たせることで、断面内に平均的な大規模 2 次流れが発生する。この 2 次流れが卓越する側壁及び Convex 壁近傍では層流化が促進される。(2) 曲り矩形管に負回転を付加した場合、Convex 側の流量が Concave 側にさらに奪われ、矩形管の大部分で層流化が進む。一方、正回転の場合では、回転と曲りの体積力が打ち消し合い、正方形直矩形管に類似した分布をもつ統計量が見られた。

謝辞 本研究の一部は、科学研究費補助金基盤研究(S)(No.17106003) および奨励研究(No.17917028)の成果である。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- (1) Kristoffersen, R. and Andersson, H., *J. Fluid Mech.*, **256** (1993), pp. 163-197.
- (2) Moser, R. E. and Moin, P., *J. Fluid Mech.*, **175** (1987), pp. 479-510.
- (3) Nagano, Y. and Hattori, H., *Journal of Turbulence*, **4**-010 (2003), pp. 1-15.
- (4) Hattori, H. and Nagano, Y., *Proc. 3rd Int. Sympo. on Turbulent Shear Flows Phenomena*, (2003), pp. 1043-1048.

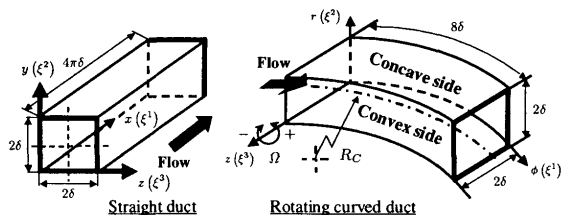


Fig. 1 Configurations of DNS