

高レイノルズ数壁乱流における知的抵抗低減制御の効果

Effects of Smart Drag-Reduction Control in High Reynolds Number Wall-Turbulence

深瀬康二（東大工），岩本薫，笠木伸英，鈴木雄二

計算機能力あるいはセンサ/アクチュエータ製作技術の現時点までにおける限界により，従来の乱流摩擦低減のためのアクティブ・フィードバック制御に関する直接数値シミュレーション (DNS)，あるいは実験的研究は，すべて低～中レイノルズ数壁乱流を対象にしたものに限られてきた．例えば opposition control [1] の DNS で最大 $Re_\tau \sim 1000$ [2]，新たな制御則の構築・検証のための DNS に至っては $Re_\tau \sim 100$ [3, 4] である．これに対して，実際のアプリケーション，例えばジャンボ旅客機において等価なレイノルズ数を見積もると $Re_\tau \sim 100000$ となるが，このような高レイノルズ数壁乱流に対して低レイノルズ数で構築された制御を適用した場合の効果は不明である．摩擦抵抗とレイノルズ数剪断応力の積分関係式 [5] の教えるところによると，レイノルズ数の増加に伴い壁面からの制御の壁近傍領域における直接的効果 [6] は減少するが，実際には壁から離れた領域における間接的效果 [6] も考慮しなければならないため，全体として制御効果がどのようなレイノルズ数依存性を示すかを明らかにする必要がある．本研究では，中程度のレイノルズ数における乱流構造の解明，及び高レイノルズ数における制御効果のモデル予測の両面から高レイノルズ数壁乱流制御の効果に関する検討を行った．

中レイノルズ数 ($Re_\tau = 1160$) の DNS により，図 1 に示すようなチャンネル幅スケールの大規模低速・高速領域構造及び渦構造のクラスター化が観察され，この大規模構造が壁から離れた領域のレイノルズ数剪断応力（即ち摩擦抵抗 [5]）の大部分に寄与していることが明らかになった [7]．

高レイノルズ数における opposition control [1] の効果を積分関係式 [5] と混合距離理論に基づいて評価すると， $Re_\tau \sim 100000$ においてもさほど制御効果が劣化しないことが予測される [8]．さらに，単純化した抵抗低減制御のモデルを用いることにより，一定の抵抗低減率を得るために直接制御を加えるべき壁近傍層の厚さは $y^+ \propto Re_\tau^{1/7}$ とレイノルズ数依存性は非常に弱いことが分かる [9]．このことより，低レイノルズ数壁乱流を対象に研究開発されている「壁近傍の構造のみを直接操作する制御」は実用問題における高レイノルズ数壁乱流においてもほぼ劣化なくその効果を発揮すると結論づけられる．

参考文献

- [1] H. Choi, P. Moin and J. Kim, *J. Fluid Mech.* **262**, 75-110 (1994).
- [2] K. Iwamoto, Y. Suzuki and N. Kasagi, *Int. J. Heat Fluid Flow* **23**, 678-689 (2002).
- [3] K. Morimoto, K. Iwamoto, Y. Suzuki and N. Kasagi, Proc. SMART-3 (2002), pp. 107-114.
- [4] K. Fukagata and N. Kasagi, *Int. J. Heat Fluid Flow* **25** (2004, to appear).
- [5] K. Fukagata, K. Iwamoto and N. Kasagi, *Phys. Fluids* **14**, L73-L76 (2002).
- [6] K. Fukagata and N. Kasagi, *Int. J. Heat Fluid Flow* **24**, 480-490 (2003).
- [7] 岩本，笠木，鈴木，日本流体力学学会年會 2003 (2003) pp. 46-47.
- [8] K. Fukagata, K. Iwamoto and N. Kasagi, submitted for presentation at ICTAM04.
- [9] K. Iwamoto, K. Fukagata, N. Kasagi and Y. Suzuki, submitted to *Phys. Fluids*.

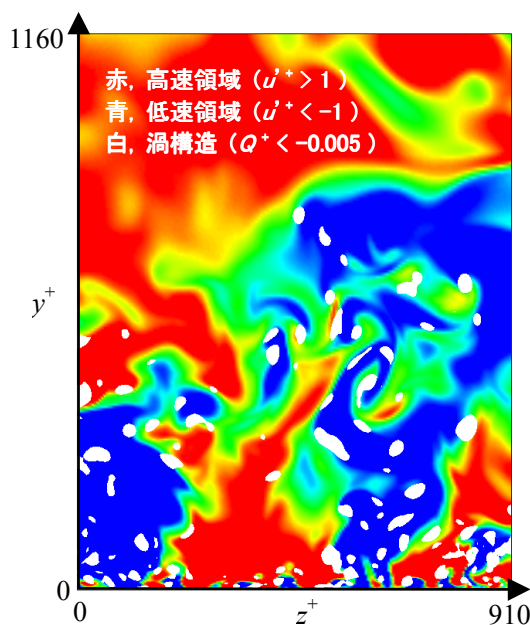


図1. $Re_\tau = 1160$ のチャンネル乱流における大規模構造 [7].