



1. 研究背景：高レイノルズ数乱流輸送現象の解明とその工学的応用

高レイノルズ数流れ 実在流れのレイノルズ数領域は図1に示す通り、非常に広範囲に及ぶ($Re_\tau = O(10^2-10^6)$). しかし現在の乱流モデルは高レイノルズ数効果を適切に反映できていない。理論及び実験手法により指摘されている高レイノルズ数特性を検証するには少なくとも、 $Re_\tau = 8000$ 規模のデータベースが必要となる。

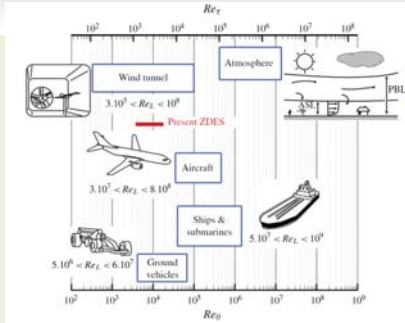


図1 実在流れのレイノルズ数とDNS研究. Deck et al. J. Fluid Mech. (2014) より引用. Re_τ : 摩擦速度(u_τ)と境界層厚(h)に基づくレイノルズ数

直接数値計算 高レイノルズ数流れのスケールング則を解明する上では、流れ場の最小スケールから最大スケール(図3参照)を直接計算する直接数値計算(Direct Numerical Simulation, DNS)が最も有効である。

技術的課題と問題点 乱流のDNSにおいては精度の観点からは、スペクトル法が最も最適であるが、近年の超並列スーパーコンピュータでは高効率演算が難しい(実行効率: 3%程度)。また日本は世界最高性能クラスのスーパーコンピュータ「京」及び「地球シミュレータ」を有するが、**1課題あたりの割り当て資源は、米国の1/10程度**であり、世界最大規模DNSの実行において障害となっている。従って、計算手法の高度化・高精度化が極めて重要となっている。

本研究の目標 本研究では、工学実規模の高レイノルズ数壁面乱流場を対象とした、
 (1)次世代スパコンを視野に入れた大規模直接数値計算手法の開発
 (2)DNSデータベースを用いた高レイノルズ数特性の解明
 ・乱流統計解析
 ・可視化解析
 ・乱流モデル開発
 (3)実験との比較検討、流体計測手法の校正を目標とし、計算科学・計算機科学・実験科学の各研究者による共同研究体制の構築を目指す。

2. 研究内容

1) 世界最大規模直接数値計算コード開発

次世代スパコンを視野に入れた直接数値計算手法の検討

- ・スペクトル法及び高次精度差分法の計算コスト評価
- ・高速フーリエ変換の高速化

2) DNSデータベースポスト処理手法開発

理論及び実験的手法により指摘されている壁面乱流場における高レイノルズ数乱流特性の評価

- ・乱流統計解析
- ・新規統計処理手法(機械学習手法の適用)

3) 大規模DNSデータベースの全領域可視化

世界最大レイノルズ数条件下でのDNSデータベース(1物理量あたり、6.4TB)の全領域可視化による、

- ・渦構造の視覚化及びスペクトル解析並びに attached eddy仮説の検証を実施する

3. 高レイノルズ数DNSデータベース

表1 DNSデータベース

Re_τ	L_x/h	L_y/h	L_z/h	N_x (Δx^+)	N_y (Δy^+)	N_z (Δz^+)	T/Re_τ
1	1000	16	2	6.4	1440 (11.1)	512 (0.6-8.0)	768 (8.3)
2	2000	16	2	6.4	2880 (11.1)	1024 (0.6-8.0)	1536 (8.3)
3	4000	16	2	6.4	5760 (11.1)	2048 (0.6-8.0)	3072 (8.3)
4	8000	16	2	6.4	8640 (14.8)	4096 (0.6-8.0)	6144 (8.3)

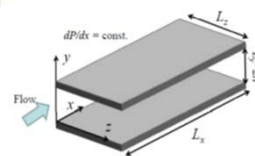


図2 計算体系と座標系

図2及び表1に示す、 $Re_\tau = 1000-8000$ (世界最大レイノルズ数)のDNSデータベースを用い、高レイノルズ数特性の解明に取り組む。

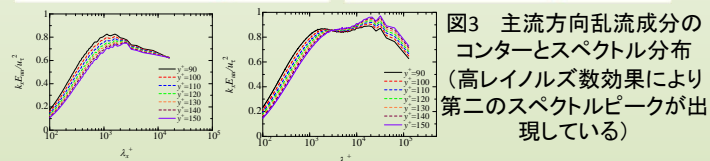
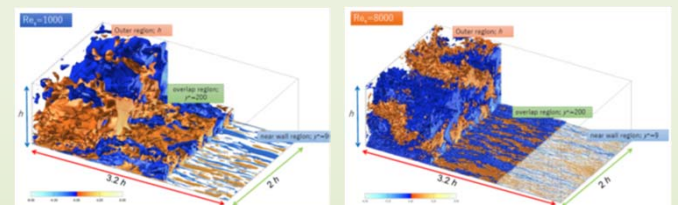


図3 主流方向乱流成分のコンターとスペクトル分布(高レイノルズ数効果により第二のスペクトルピークが出現している)

図3に示すように本DNSデータベースにおいては高レイノルズ数特性による大規模構造の影響が確認できており、実験と1対1の比較が可能である。