

平成21年 3月31日現在

研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19760134
 研究課題名（和文） 主流特性が乱流熱輸送機構の時空間構造に及ぼす影響の解明
 研究課題名（英文） Effects of Free-Stream Characteristics on Spatio-Temporal Structures of Turbulent Heat Transfer
 研究代表者
 保浦 知也（HOURA TOMOYA）
 名古屋工業大学・工学研究科・助教
 研究者番号：00324484

研究成果の概要：熱や物質の移流拡散現象は、そこに流入する流れ場の特性により大きく影響を受ける。熱交換器の温度効率、燃焼器の熱効率や燃焼効率の向上、有害排出物質の低減のためには、この主流の特性が、乱流熱伝達に及ぼす影響を明らかにする必要がある。本研究では、独自の速度・温度変動の多点同時計測システムにより、圧力勾配や主流乱れといった主流の特性が、乱流熱伝達の時空間構造に及ぼす影響を明らかにした。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,700,000	0	1,700,000
2008年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,000,000	390,000	3,390,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・熱工学

キーワード：強制対流，乱流境界層，熱伝達

1. 研究開始当初の背景

熱交換器や燃焼器内の乱流場には、流路の曲がりや拡大・縮小、流れの旋回などによって圧力勾配（圧力分布）が形成されるだけでなく、主流には乱れが存在することが普通である。主流の特性を代表するこの二つの因子は運動量や熱の乱流輸送に強い影響を及ぼしている。

そのため、「圧力勾配」と「主流乱れ」といった主流特性を操作パラメータにして、それらが単独あるいは重畳して乱流場に作用するとき、熱輸送機構がいかに変化・変容するかを系統的に解明することが必要とされ

ている。実験的にデータベースを構築することができれば、既存の乱流モデルや乱流予測手法の改良に資することも可能となる。さらに、これらのパラメータが乱流場に強い影響を及ぼす事実に着目すれば、圧力こう配と主流乱れを能動的に操作することで、熱交換器の温度効率の向上、燃焼器の熱効率や燃焼効率の向上、有害排出物質の低減といった実際的な問題に対して合理的で普遍性の高い対処法を見いだすための基礎知見が得られるものと期待できる。

また、標準的な乱流境界層からの差異として、主流特性に対する応答を調べることによ

り、そこに潜伏している現象を顕在化させることが可能となる。たとえば、乱流温度境界層に逆圧力勾配が作用すると、運動量輸送と熱輸送のアナロジーが崩れることが研究代表者らの予備実験から明らかになっている。流れ方向に圧力が上昇する逆圧力こう配流れにおいては、摩擦抵抗が急減するにも拘わらず、熱伝達が維持されるため、高効率の熱交換器を実現することが可能である。

2. 研究の目的

本研究の主目的は、圧力勾配と主流乱れという二つの操作パラメータを操作変数として、それらの変化に対する乱流温度場の応答特性を同定し、熱輸送機構を解明する。熱線・冷線多点同時測定技術により、時空間構造の詳細を明らかにする、系統的に収集した実験データを整備し公開することにより、乱流熱輸送機構のモデリング分野に信頼性の高いデータベースを提供する、ことである。

3. 研究の方法

(1) 主流乱れ発生装置の製作と風洞実験

① 相対乱れ強さ最大 10% 程度で慣性小領域のスペクトル帯域を持つ主流乱れを発生できる主流乱れ発生装置を製作する。具体的には、多数の羽を格子軸に取り付け、ステップモータで各軸を低周波数で振動させる方式を採用する (図 1)。



図 1 動的乱流発生装置

② 非等温場における熱線の温度補償をリアルタイム処理するため、DSP を用いたデジタル処理技術を適用し、データ取得および補償・評価のオンライン計測システムを構築する。

③ 上記の主流乱れ発生装置および計測システムにより、主流乱れの大きさやスケールを系統的に変更した場合の温度境界層内乱流構造の実験データを取得する。また、主流乱れと逆圧力こう配の影響が重畳した場合の乱流諸量を取得する。

(2) 実験結果のデータ解析および多点測定による時空間構造の同定

① 主流の圧力勾配と乱れが重畳した場合について、乱流熱流束、速度乱れと温度乱れの相互相関スペクトル等を調べる。さらコンピュータを援用する乱流構造解析法 (ウェーブレット変換による局所スケールの抽出、異なるスケール同士の干渉を精査できるバイスケール解析、準秩序構造のトラジェクトリ解析法など) を活用して、乱流熱輸送の特性と乱流構造を詳しく調べる。

② DSP による計測システムを多チャンネルに拡張し、乱流熱輸送の時空間構造を明らかにするための熱線・冷線プローブ (図 2) による多点同時測定を行う。

③ 多点同時測定データを用いて、乱流熱輸送機構へ大きく寄与する時空間構造を抽出し、固有直交分解 (POD) 法および短時間バイスケール解析等により、詳しく調べる。

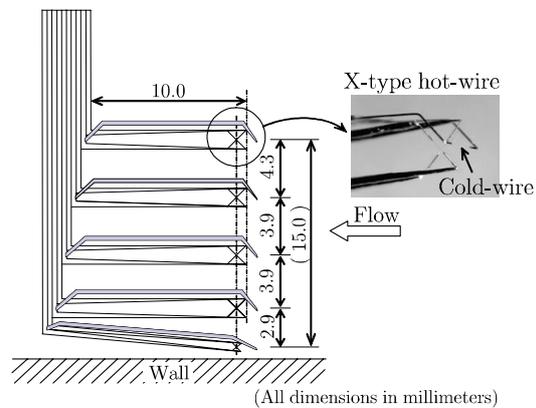


図 2 熱線・冷線多点同時測定プローブ

4. 研究成果

(1) 主流乱れと逆圧力勾配の影響

特定のスケールにエネルギーを注入した場合について、圧力勾配の影響が重畳した場合の乱流統計量を取得した。図 3 に示すように、逆圧力勾配流れでは、対数速度分布が下方へ変位し、後流成分が増大する。これに主流乱れを付加した場合には、対数領域での影響はほとんど認められないが、後流成分が低下することが明らかとなった。

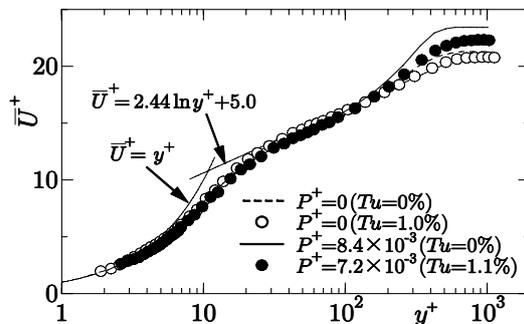


図 3 対数速度分布に及ぼす主流特性の影響

(2) 熱線のリアルタイム温度補償

DSPを用いたデジタル処理技術を適用し、データ取得および補償・評価のオンライン計測システムを構築した。極細抵抗線からの温度変動信号を、熱線流速計から得られる熱伝達率の補正に用いた。補正された速度は主流温度の影響を受けず、等温場と同様の検定結果となった。

(3) 温度境界層内乱流構造の風洞実験

主流乱れ発生装置および開発した計測システムにより、主流乱れの大きさやスケールを系統的に変更した場合の温度境界層内乱流構造の実験データを取得した。その結果、主流乱れが強くなると、平均温度分布は周囲温度に速やかに近づくことが明らかとなった。すなわち、主流乱れの影響で、外層の大部分で主流との平均温度差が低下し、平均速度分布と同様に、後流成分が小さくなる。これは圧力勾配の有無に依らない。

(4) 乱流構造の詳細な解析

ウェーブレット変換による局所スケールの抽出、異なるスケール同士の干渉を精査できるバイスペクトル解析(図4)、準秩序構造のトラジェクトリ解析法などを活用し、乱流熱輸送の特性と乱流構造を詳しく調べた。

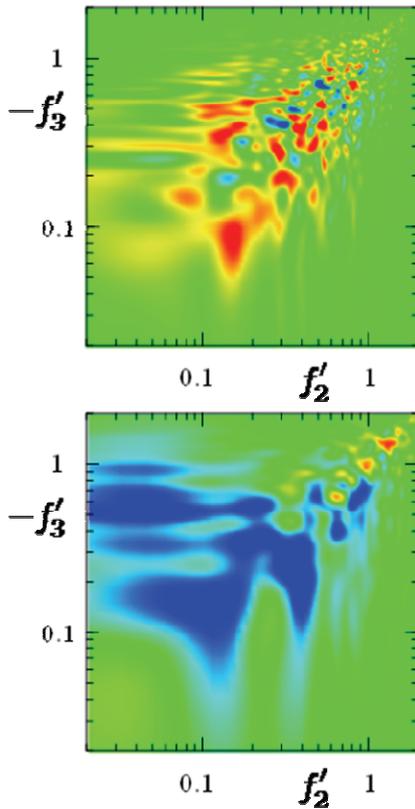


図4 乱流輸送のバイスペクトル：零圧力勾配流れ(上図)に比べ逆圧力勾配流れ(下図)では異なる周波数間の干渉が著しい

(5) 多点同時測定による時空間構造の抽出

圧力勾配を伴う乱流温度境界層において、熱線・冷線多点プローブ(図2)により、乱流熱輸送機構へ大きく寄与する時空間構造を抽出した。図5に示すように、境界層内の温度場構造は大きなスケールで関連を持っている。例えば、境界層内全域で一斉に低温流体が壁面へ押し寄せる(図6,上図)。一方、壁近傍の乱流渦構造が不活性化する逆圧力勾配流れでは、図6の下図に示すように壁近傍で高温となったストリークが観察された。これらの現象の時間スケールには差が大きく、伝熱現象を制御するには、それぞれに異なる手法をとる必要がある。

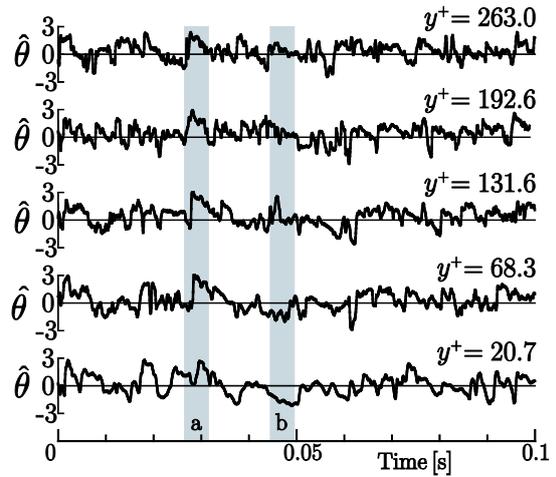


図5 多点同時測定による温度変動の時空間構造

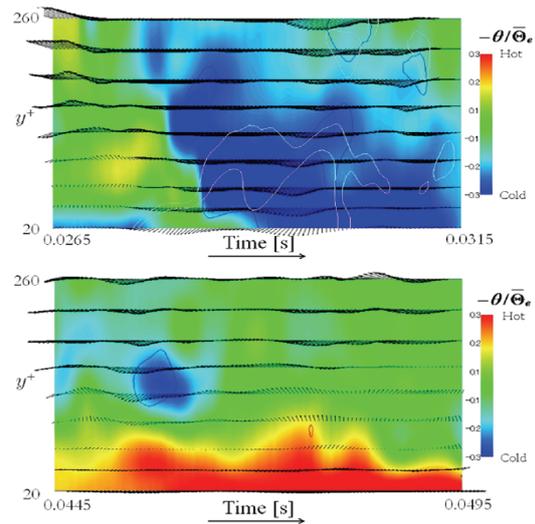


図6 逆圧力勾配流れにおける低温流体の侵入(上図)と高温ストリーク(下図)。空間構造の補間にはPOD法を使用した。

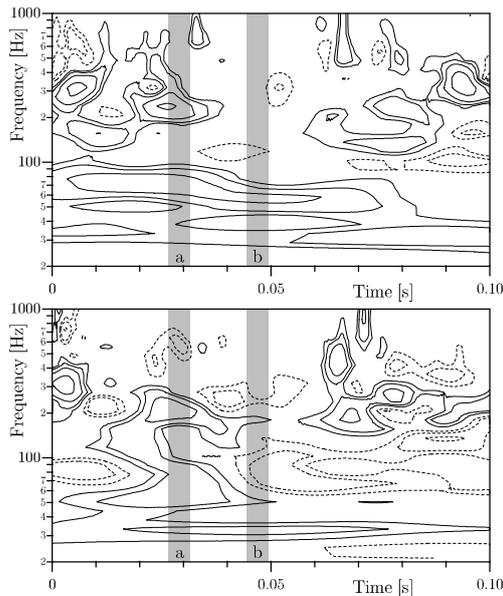


図7 対数領域(上図)とバッファー域(下図)で同時測定されたレイノルズ剪断応力のウェーブレットスペクトル

多点同時測定結果に基づくウェーブレット解析により、支配的な流動パターンを特定することができた(図7, 領域a: 高周波数のスイープ運動; 領域b: 壁近傍の高温ストリーク)。また、非常に強い速度乱れが生じる壁乱流場として、2次元加熱丘周りを通過する乱流温度境界層の時空間構造を調べた。丘の背後に形成されるはく離泡内では、通常の乱流境界層とは異なり時空間相関が同心円に近くなることなど新しい知見を得た(図8)。

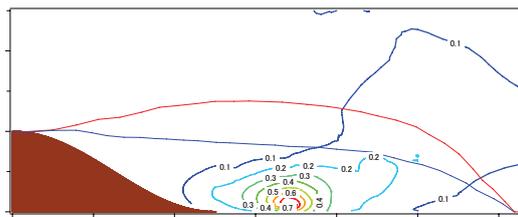


図8 2次元丘下流のはく離泡内における温度変動の2点相関分布

なお、本研究で取得された実験データは、系統的に整理され広く利用されるようにしている。

以上の通り、圧力勾配と主流乱れという主流特性が、乱流熱輸送機構の時空間構造に及ぼす影響を実験的に明らかにした。これらは、学術的に高い価値を有する。今後は、得られた知見を基盤にして、乱流熱輸送現象のモデリングに具体的に役立てる必要がある。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1件)

① T. Houra and Y. Nagano, “Spatio-temporal turbulent structures of thermal boundary layer subjected to non-equilibrium adverse pressure gradient,” Int. J. Heat and Fluid Flow, Vol. 29, pp. 591-601, 2008, 査読有

[学会発表] (計 3件)

① T. Houra, M. Tagawa and Y. Nagano, “Turbulent flow and dispersion from a point source over a two-dimensional hill,” Sixth International Symposium on Turbulence, Heat and Mass Transfer (THMT-09), 2009年9月14日~18日, Rome, Italy, 発表予定

② 保浦知也, 田川正人, 長野靖尚, 加熱された2次元丘により攪乱される乱流境界層の熱輸送特性, 日本伝熱学会東海支部支部講演会, 2009年2月6日, 豊田工業大学

③ T. Houra, S. Shakouchi and Y. Nagano, “Spatio-temporal turbulent structures of thermal boundary layer subjected to non-equilibrium adverse pressure gradient,” 5th International Symposium on Turbulence and Shear Flow Phenomena (TSFP-5), 2007年8月27日~29日, TU Munich, Germany

6. 研究組織

(1) 研究代表者

保浦 知也 (HOURA TOMOYA)

名古屋工業大学・工学研究科・助教

研究者番号: 00324484