

機関番号：13903

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2009～2010

課題番号：21760153

研究課題名 (和文) 主流乱れがはく離流れの乱流熱物質伝達に及ぼす影響の解明

研究課題名 (英文) Effects of Free-Stream Turbulence on Heat and Mass Transfer in Turbulent Separated Flows

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 (和文)：ガスタービンや熱交換器などの工業機器内を発達する乱流境界層は、主流乱れの影響を強く受ける。熱交換器の温度効率、燃焼器の熱効率の向上のためには、この主流特性が、乱流における熱物質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、運動量と熱物質輸送のアナロジーが成立しない場として、はく離を伴う複雑乱流場を対象とし、主流乱れが乱流熱・物質輸送機構に及ぼす影響を実験的に明らかにした。

研究成果の概要 (英文)：Turbulent boundary layers developing in industrial machinery, e.g., gas turbine and heat exchanger, are strongly affected by the free-stream turbulence (FST). In order to improve the temperature efficiency of heat exchanger and the thermal efficiency of combustor, we need to elucidate the effects of the FST on the turbulent heat and mass transfer. In this study, we focus on a turbulent separated flow and experimentally investigate the analogy between velocity and scalar fields.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,700,000	810,000	3,510,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

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：乱流境界層，はく離流れ，物質移動

1. 研究開始当初の背景

ガスタービンや熱交換器をはじめとする工業機器内を発達する乱流境界層は、主流乱れの影響を強く受ける。例えば、壁面摩擦係数や熱伝達率は主流乱れによって増大することが知られている。流れのはく離が無い場合には、運動量と熱の輸送機構にアナロジーが存在するため、この実験的事実に基づいて予測手法の改善が数多く行われている。一方、はく離を伴う流れの熱伝達においては、運動量と熱輸送のアナロジーが成立しないこと

が指摘されている。例えば、後方ステップ流れにおいては、壁面摩擦係数が零となる近傍、すなわち再付着領域において、熱伝達率は最大となる。

このような運動量と熱輸送のアナロジーの破綻は、はく離に達する直前の非平衡な逆圧力勾配流れにおいても現れることが研究代表者らによって示されている。すなわち、通常の零圧力勾配流れと異なり、逆圧力勾配流れでは摩擦係数が急激に低下するが、熱伝達率にはその影響はほとんど現れない。

そこで研究代表者らは次のような風洞実験を行い、はく離を伴う乱流場の熱および物質輸送について調査を進めた。壁面を等温加熱した 2 次元丘模型周りの上流から受動スカラーとしてエチレン（作動流体である空気とほぼ同じ密度、シュミット数を有する）を供給し、丘下流のはく離領域において平均温度および平均濃度分布を測定したところ、温度場と濃度場の間に顕著な非相似性が現れた。しかし、この実験における主流乱れは弱い（約 0.3 %）ため、主流特性の影響はほとんど無い。従って、主流乱れによってどのような影響が現れるかについては、実証的な研究はほとんど無く未知のまま残されている。

これまでの主流乱れの研究においては、このような運動量と熱または物質輸送におけるアナロジーの成立が破綻する状況は全く考慮されていない。したがって、はく離を伴う複雑乱流場においてそのメカニズムを正しく理解し、適切に予測や制御する際の明確な指針を提示する必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、はく離を伴う複雑乱流場の熱・物質輸送におよぼす主流乱れの影響を実験的に調べることを目的とする。具体的には、2 次元丘模型を対象として、動的な主流乱れ発生装置により主流乱れの強さやスケールを系統的に変化させて、2 次元丘模型の下流に形成されるはく離領域での乱流場の応答特性を同定し、熱・物質輸送機構に及ぼす影響を解明する。

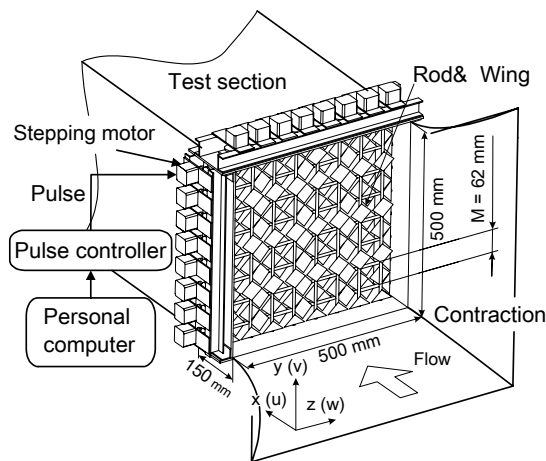


図1 風洞入口部に設置された動的乱流発生装置(Active turbulence generator: ATG)

3. 研究の方法

(1) 主流乱れ発生装置によって励起された主流特性の精査

動的な乱流格子を有する主流乱れ発生装置（図1、ATG）によって励起される乱流場の主流乱れ強さおよびスケールを系統的に

変化させる方法を精査し、併せて主流乱れの特性を明らかにする。

(2) 2次元丘周りの乱流熱伝達に及ぼす強い主流乱れの影響

動的な主流乱れ発生装置により励起された主流乱れが存在する場合の2次元丘模型周りの速度場と温度場の乱流諸量のデータを収集する。速度測定には、熱線流速計、レーザ流速計、粒子画像流速計（PIV）を用いる。また、変動する温度場の測定には、極細抵抗線および応答補償された熱電対を用いて、信頼性の高い温度測定を実現する。

(3) 2次元丘周りの物質輸送に及ぼす主流乱れの影響

2次元丘模型周りに点源供給されたエチレン濃度場の乱流諸量のデータを収集する。平均濃度測定には、ガスクロマトグラフを使用する。（図2）

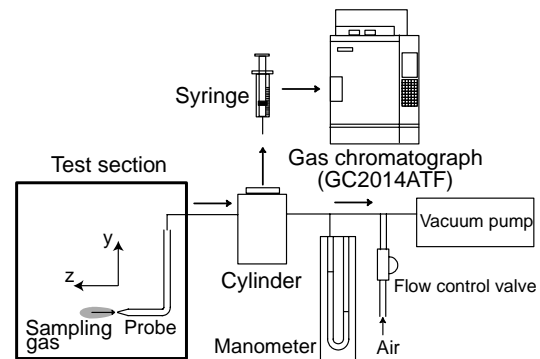


図2 平均濃度測定のためのサンプリングシステム

(4) 変動濃度場測定法の開発

乱流による物質輸送のメカニズムを明らかにするために、応答速度の速い濃度変動計測法として水素炎イオン化検出器（高速FID）プローブを製作し、その動特性を調べるとともに、乱流境界層中で測定精度を検証する。

4. 研究成果

(1) 主流乱れ発生装置によって励起された主流特性の精査

動的な乱流格子を有する主流乱れ発生装置によって励起される乱流場の主流乱れ強さおよびスケールを、格子の回転駆動方法を改良することで系統的に変化させる方法を検討し、主流乱れのスペクトル特性を明らかにした。その結果、格子幅の約 35 倍下流の位置において、主流乱れ強さは 2% から最大 13% まで制御され（図3）、理想的な局所等方性乱流を得ることができた。

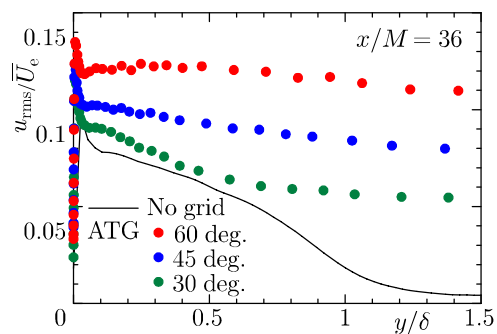


図3 平板乱流境界層に励起された強い主流乱れ。乱れ強さは、格子の最大回転角度を変更することで容易に制御できる。

(2) 2次元丘周りの乱流熱伝達に及ぼす強い主流乱れの影響

主流乱れを付加することで丘下流に形成されるはく離泡の大きさは小さくなることをPIV計測により示した(図4)。主流に付加された無相関の速度乱れは非常に強いものの、はく離せん断層での速度こう配に起因する乱れ生成により、速度変動は相関のある乱れに引き戻されることが明らかとなった(図5)。

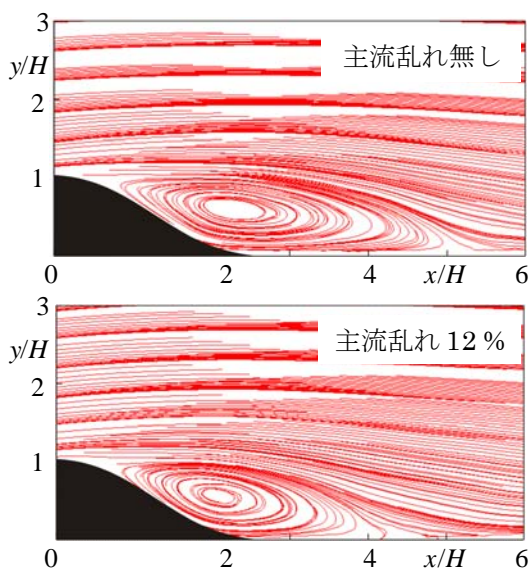


図4 平均速度の流跡線により可視化された丘下流に形成されるはく離泡。主流乱れが強くと再附着点位置が上流に移動し、はく離泡の大きさは小さくなる。

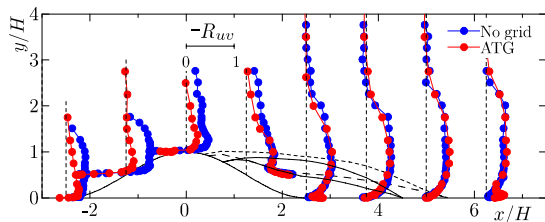


図5 レイノルズ応力の相互相関係数。

従って、主流乱れの強さに拘わらずはく離泡周りの乱流熱伝達の様子は大きく変化しないことが明らかとなった。(図6)

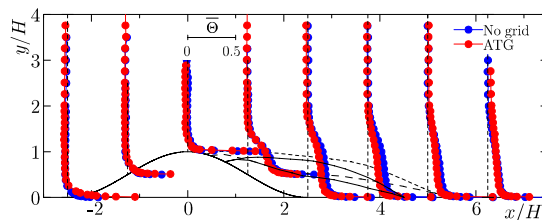


図6 平均温度分布。はく離泡が小さくなることに伴い、外縁で平均温度は低下する。一方、はく離泡の深部ではほとんど影響を受けない。

(3) 2次元丘周りの物質輸送に及ぼす主流乱れの影響

主流乱れが小さい状況において2次元丘模型の上流で点源供給されるエチレン濃度場の乱流諸量のデータを収集した。上流から移流してきたエチレンは2次元丘模型の存在により横方向に著しく拡散し、平均濃度分布はガウス分布では整理されない(図7)こと、下流のはく離領域内では濃度はかなり低下するが高さ方向には一様になること、が明らかとなった。

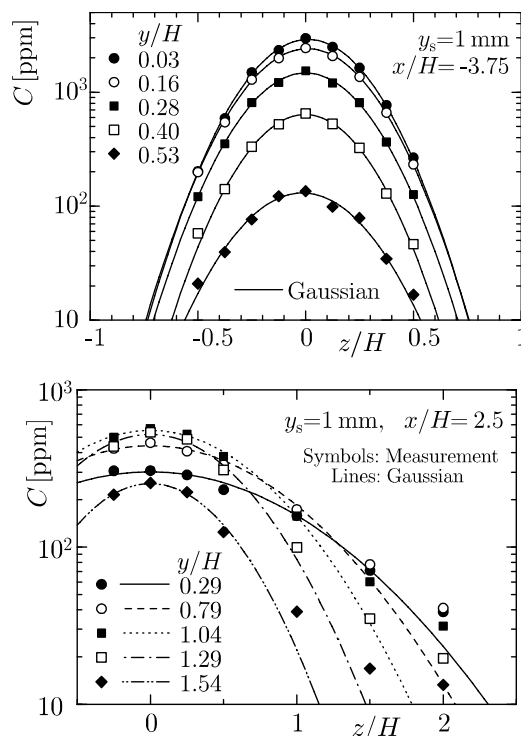


図7 平均濃度のスパン方向分布。供給源の直後(上図)では、ガウス型ブルームモデルでよく表されるが、はく離域(下図)ではモデルからのずれが著しい。

(4) 変動濃度場測定法の開発

乱流による物質輸送のメカニズムを明らかにするために、応答速度の速い濃度変動計測法として水素炎イオン化検出器（高速FID）プローブを製作し（図8）、その動特性を調べた。

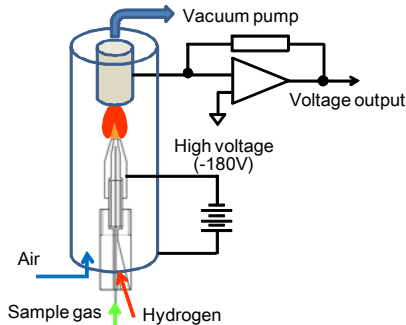


図8 変動濃度場を測定するための高速FID検出部。サンプルを連続的に吸引、燃焼、イオン化させ、濃度の時間変化を測定できる。

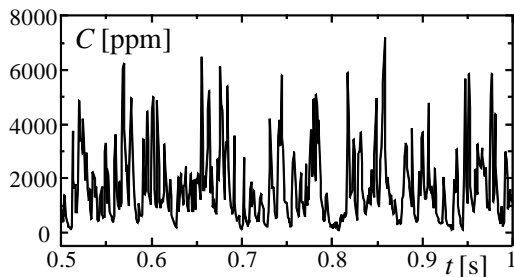


図9 濃度境界層外縁で測定された変動濃度波形の様子。非常に間欠的であり、平均濃度場だけで濃度場の特性を表すことは不十分である。

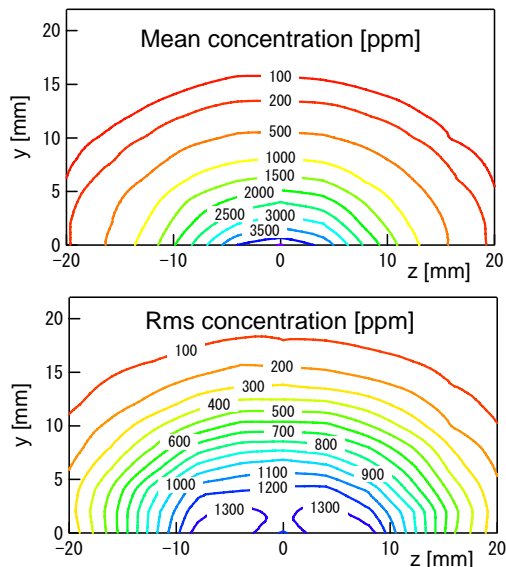


図10 壁面近傍から点源放出されたエチレンの平均濃度（上図）及び濃度変動（下図）の断面分布

乱流境界層中で点源供給されたエチレン濃度変動の乱れ強さやスペクトルを計測した。平均濃度場はガスクロマトグラフィーによる結果と定量的に一致した。濃度境界層外縁で測定された濃度変動波形は非常に間欠的であること（図9）、濃度変動の乱れ強さは平均濃度に匹敵するほど大きいこと、壁の極近傍で2つのピークを有することなど（図10）、変動濃度場の重要な性質を明らかにすることができた。

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）

〔学会発表〕（計6件）

① 保浦知也，川口昌紀，西脇悠太，田川正人，乱流境界層中に点源供給された濃度場の乱流特性，日本機械学会2011年度年次大会，2011年9月11～14日，東京工業大学，発表予定

② 高野浩平，保浦知也，田川正人，長野靖尚，主流乱れが2次元丘周りの乱流熱輸送に及ぼす影響，日本機械学会東海支部第60期総会・講演会，2011年3月15日，豊橋技術科学大学（豊橋市）

③ T. Houra，Y. Nagano and M. Tagawa，Turbulent Thermal Diffusion over a Locally-Heated Two-Dimensional Hill，International Heat Transfer Conference (IHTC-14)，2010年8月9日，Washington，DC（米国）

④ 保浦知也，草野文彦，田川正人，長野靖尚，2次元加熱丘周りの温度場乱流多層構造に関する研究，第47回日本伝熱シンポジウム，2010年5月28日，札幌

⑤ 草野文彦，保浦知也，田川正人，長野靖尚，局所的に加熱された2次元丘周りの乱流熱輸送に関する研究，日本機械学会東海支部第59期総会講演会，2010年3月9日，名城大学（名古屋市）

⑥ T. Houra，M. Tagawa and Y. Nagano，Turbulent flow and dispersion from a point source over a two-dimensional hill，6th International Symposium on Turbulence，Heat and Mass Transfer (THMT-09)，2009年9月17日，`Sapienza` Rome（イタリア）

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