

令和 3 年 5 月 19 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01370

研究課題名(和文) 超臨界ホモトピーによる亜臨界乱流遷移の解明と制御

研究課題名(英文) Elucidation and control of subcritical transition to turbulence using homotopy to supercriticality

研究代表者

河原 源太 (Kawahara, Genta)

大阪大学・基礎工学研究科・理事

研究者番号：50214672

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、亜臨界乱流遷移を示す平面ポアズイユ流あるいは矩形ダクト流に新たな外力や異なる境界条件を導入し、それらの影響を表すパラメータを新たな支配パラメータとして変化させることで力学系を連続的に変形し(ホモトピー)、乱流遷移を発現する起源を見つけ出した。平面ポアズイユ流の亜臨界乱流遷移では、乱流縞と呼ばれる空間局在乱れの上流部分の渦列不安定が乱流遷移起源と同定された。この部分を安定化すると、安定な周期変動を示す縞状の構造が現れる。一方、アスペクト比をパラメータとする平面ポアズイユ流と矩形ダクト流とのホモトピーでは、乱流縞の発生の起源を乱流パフの対称性の破れに帰着できることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究によって、平面ポアズイユ流の亜臨界乱流遷移に現れる空間局在乱れ(乱流縞)の発生起源がその上流部分の渦列不安定と同定された。また、アスペクト比をパラメータとする平面ポアズイユ流と矩形ダクト流とのホモトピーでは、乱流縞の発生の起源を乱流パフの対称性の破れに帰着できることを示した。これらの知見から、乱流縞の上流部分を安定化することにより平面ポアズイユ流の亜臨界乱流遷移を遅延できる可能性が示唆された。一方、矩形ダクト流においては、そのアスペクト比を適切に設定することにより、乱流遷移の様相を制御できることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：In this study, the origin of subcritical transition to turbulence was found through continuous deformation (homotopy) of dynamical systems for plane Poiseuille flow and rectangular duct flow. We change the control parameters representing external force or different boundary conditions in plane Poiseuille flow or rectangular duct flow. In the case of subcritical turbulent transition in plane Poiseuille flow, the origin of transition to turbulence was identified as the instability of a vortex street in the upstream part of the spatially localized turbulence called the turbulent band. If this part is stabilized, band structure with stable periodic fluctuations appears. On the other hand, the homotopy between planar Poiseuille flow and rectangular duct flow, where the aspect ratio is a control parameter, shows that the onset of the turbulent band can be attributed to the symmetry breaking of the turbulent puffs.

研究分野：熱流体工学

キーワード：亜臨界乱流遷移 ホモトピー

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

乱流遷移現象の解明と制御は、熱流体工学における最重要課題の1つである。摩擦係数や熱伝達率といった流れの特性は乱流遷移を経ることにより著しく変化するため、その解明と制御は機械工学や航空宇宙工学における熱流体関連機器の開発設計に不可欠となる。これまで、乱流遷移に関する研究が国内外を問わず数多くの研究者により精力的に進められており、乱流遷移を主要テーマとする国際会議等が多数開催され、国内においても乱流遷移関連のオーガナイズド・セッションが頻繁に実施されている。従来の研究により、乱れが層流の不安定化から生じる超臨界乱流遷移に対しては、分岐理論による乱れの発生の理論的解明が可能である。しかし、層流が安定であるにも拘らず乱れが発生する亜臨界乱流遷移では、乱流遷移の起源を層流の不安定化に帰着できないため、その解明は長年にわたり流体力学における難問中の難問とされてきた。

亜臨界問題では、層流解とは異なるナビエ・ストークス方程式の安定な不変解(定常解、定常進行波解、周期解等)を見つけ出し、その解の不安定化、すなわち乱流遷移の起源を突き止めることが問題解決の鍵となることが分かってきた。だが、亜臨界乱流遷移の初期段階では、支配パラメータ(レイノルズ数)がある値を超えると、空間的に局在する乱れ(乱流パフ、乱流斑点、乱流縞等)が突如として現れるため、遷移過程において層流以外の単純で安定な不変解を発見することは極めて困難であると言わざるを得ない。

この困難を解決するため、本研究では、亜臨界乱流遷移を示す力学系に新たな外力や異なる境界条件を導入し、それらの影響を表すパラメータを新たな支配パラメータとして変化させることで力学系を連続的に変形し、非自明な不変解とその不安定化、すなわち乱流遷移起源を発見する力学系を見つけ出すという、従来にはない新規のアプローチを展開する。以下では、この力学系の連続変形をホモトピーと称する。ホモトピーによって得られた新たな力学系では、変形前の力学系に比べ、乱流遷移の様相を著しく単純化できる。ホモトピーにより解の分岐等を追うことで、乱れの発生機構を解明することができ、その知見に基づき乱流遷移に対する制御を実現することも可能となると期待される。

2. 研究の目的

本研究の目的は、層流に対する亜臨界問題を、上述のホモトピーによって、層流とは異なる不変解に対する超臨界問題に帰着し、乱流遷移をもたらす不安定性(乱流遷移起源)を同定することにより、難問とされてきた亜臨界乱流遷移問題を解明することである。さらには、その不安定性の抑制あるいは助長により乱流遷移を遅延あるいは促進することで、亜臨界乱流遷移現象の制御を実現することも研究目的とする。より具体的には、亜臨界乱流遷移を示す工学的に重要な壁面剪断流である平行平板間のポアズイユ流、さらには矩形ダクト流に対して、

- (1) 力学系に外力を付与し、層流に対する亜臨界乱流遷移を層流以外の非自明な不変解に対する超臨界不安定へと連続変形(ホモトピー)させる
- (2) 乱流遷移を超臨界不安定に帰着することで、乱流遷移の起源を臨界現象(不安定化)として同定する

ことに取り組み、得られた知見に基づき亜臨界乱流遷移の制御の指針を得ることを研究目標とする。

3. 研究の方法

(1) ホモトピー

亜臨界乱流遷移の初期段階に現れる、空間局在した乱れ(乱流斑点、乱流縞、乱流パフ等)をもたらす平行平板間のポアズイユ流に外力(空間局在する体積力)を付与する、あるいは矩形ダクト流の境界条件(アスペクト比)を変化させる。これらの外力の強度を表すパラメータあるいはアスペクト比を新たな支配パラメータとして準静的に変化させることで力学系を連続的に変形し(ホモトピー)、これらの乱れを超臨界遷移により生み出す起源となる、(層流とは異なる)非自明な不変解を突き止める。以上のホモトピーはニュートン法を用いた不変解の数値計算ならびに直接数値シミュレーションにより実施する。

(2) 乱流遷移起源の同定

上記(1)によって得られたポアズイユ流および矩形ダクト流の乱れを生み出す起源となる不変解の不安定化、さらにはそれらの不安定性から生じる乱流遷移の過程を直接数値シミュレーションおよび実験により明らかにし、亜臨界遷移における乱れの発生起源を明らかにする。また、上記(1)で導入した外力の印加や境界条件の変更を制御パラメータと見なすと、乱流遷移の起源となる不変解の不安定化を抑制あるいは助長することができる。そこで、以上で得られた結果に基づき、亜臨界乱流遷移を遅延あるいは促進する制御指針を得る。

以上のホモトピー、分岐解析、直接数値シミュレーションに係る大規模数値計算は、京都大学学術情報メディアセンター大型計算機システム Cray XC40(システムA)を用いて行うとともに、並列計算機 Xeon Phi システムを購入して実施する。また、実験は研究室現有の可変アスペクト比の矩形ダクトおよび2成分レーザ流速計と3成分粒子画像流速計を用いて行う。

4. 研究成果

平面ポアズイユ流および矩形ダクト流の亜臨界乱流遷移に対してホモトピー等による力学系アプローチを試みた。

平面ポアズイユ流の亜臨界乱流遷移では、乱流縞と呼ばれる流れ方向から傾いた方向に伸び

る空間局在乱れが突如として現れることにより乱流遷移が進行する。そこで、空間局在する減衰力を付加したナビエ・ストークス方程式の直接数値シミュレーションを実施し、乱流縞の空間発展（乱流縞の長さの伸長）とそれによる乱流遷移を抑制することを試みた。乱流縞と空間局在減衰力の印加領域との位置関係および減衰力の強度を支配パラメータとして、それらを準静的に変化させることにより、安定な時間周期変動が得られた。次に、この安定変動を初期推定としてニュートン法による反復計算を実施することで、安定な周期変動状態に対応するナビエ・ストークス方程式の不変解（周期解）を求めることに成功した。安定周期変動を呈する縞と空間局在減衰力の印加領域との位置関係および減衰力の強度を与えるパラメータを変化させることにより、安定な周期変動状態の不安定化の起源を突き止めた。これらのパラメータを縞が空間成長するように変化させる（減衰力による安定効果を弱める）と、周期変動を示す縞が伸長し、縞の上流部分に現れる縦渦列が、von Karman の渦列の不安定化過程に酷似した渦列の不安定を通じて乱流化する。この局所的な乱流化が縞全域に広がることによって、周期変動縞から乱流縞への乱流遷移が完了する。したがって、平面ポアズイユ流の亜臨界乱流遷移における乱流縞の発生の起源は、安定な周期変動を示す縞状の構造内に見られる渦列の不安定に帰着できる。以上の結果は、乱流縞の上流部分における空間局所的な渦列の不安定性を安定化する制御を実施すれば、乱流縞の安定化、すなわち平面ポアズイユ流の亜臨界乱流遷移を遅延させることが可能であることを示唆する。この遷移現象は、力学系の分岐の観点から、安定周期解の不安定化を通じた2重周期解（トラス）の発生、すなわちナイマルク・サッカー分岐によって特徴づけられる。周期解から分岐した2重周期解は、トラスの崩壊によりカオス（乱流）を生み出す。

一方、矩形ダクト流の亜臨界乱流遷移に関しては、それと平面ポアズイユ流の乱流遷移とのホモトピーを実験と直接数値シミュレーションの両面で追及した。矩形ダクト流の乱流遷移では、アスペクト比（ダクト断面の辺長比）が1に近い場合には流れ方向にのみ空間局在する乱流パフが現れるが、アスペクト比が増加すると乱流パフのダクト中間面に関する対称性が崩れ、非対称性を有するパフが現れることが判明した。さらにアスペクト比を増加させると、流れ方向からの傾きを有するダクト固有の局在乱流が下流方向に蛇行する状態が現れることが明らかとなった。さらにアスペクト比を増加させると、この蛇行乱流が複雑化し、平面ポアズイユ流におけるいわゆる乱流縞に移行することを突き止めた。以上の発見は、矩形ダクト流に現れる平衡状態としての蛇行乱流と平面ポアズイユ流における乱流縞とがホモトピーによって接続し得ることを示唆している。すなわち、乱流パフの対称性の破れを解明することにより、平面ポアズイユ流の亜臨界乱流遷移で観測される乱流縞の発生メカニズムを解明することができる。そこで次に、乱流パフの対称性の破れの原因について実験および数値シミュレーションの両面で検討を加えた。その結果、乱流パフ上流の静穏領域におけるわずかなスパン方向への偏流が対称性の破れをもたらす得ることが明らかとなった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Motoki Shingo, Kawahara Genta, Shimizu Masaki	4. 巻 914
2. 論文標題 Multi-scale steady solution for Rayleigh-Benard convection	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Fluid Mechanics	6. 最初と最後の頁 A14
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1017/jfm.2020.978	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Kawano Koki, Motoki Shingo, Shimizu Masaki, Kawahara Genta	4. 巻 914
2. 論文標題 Ultimate heat transfer in 'wall-bounded' convective turbulence	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Fluid Mechanics	6. 最初と最後の頁 A13
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1017/jfm.2020.867	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Kubo A, Kawahara G, Shimizu M	4. 巻 53
2. 論文標題 Dissimilar heat transfer enhancement by introduction of a vortex tube in plane Couette flow	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Fluid Dynamics Research	6. 最初と最後の頁 015511 ~ 015511
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1088/1873-7005/abdb3e	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Sasaki Eiichi, Takehiro Shin-ichi, Yamada Michio, Kawahara Genta	4. 巻 406
2. 論文標題 Bimodal vortex solutions on a sphere	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physica D: Nonlinear Phenomena	6. 最初と最後の頁 132438 ~ 132438
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.physd.2020.132438	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tiago Pestana, Markus Uhlmann, Genta Kawahara	4. 巻 5
2. 論文標題 Can preferential concentration of finite-size particles in plane Couette turbulence be reproduced with the aid of equilibrium solutions?	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Fluids	6. 最初と最後の頁 34305
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevFluids.5.034305	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Lennaert, van Veen, Alberto Vela-Martin, Genta Kawahara	4. 巻 123
2. 論文標題 Time-Periodic Inertial Range Dynamics	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 134502
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.123.134502	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Tatsuya Yasuda, Genta Kawahara, Lennaert van Veen, Shigeo Kida	4. 巻 874
2. 論文標題 A vortex interaction mechanism for generating energy and enstrophy fluctuations in high-symmetric turbulence	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Fluid Mechanics	6. 最初と最後の頁 639-676
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/jfm.2019.370	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Lustro Julius Rhoan, Kawahara Genta, van Veen Lennaert, Shimizu Masaki, Kokubu Hiroshi	4. 巻 862
2. 論文標題 The onset of transient turbulence in minimal plane Couette flow	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Fluid Mechanics	6. 最初と最後の頁 R2-1-15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/jfm.2018.971	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shingo Motoki, Genta Kawahara, Masaki Shimizu	4. 巻 851
2. 論文標題 Maximal heat transfer between two parallel plates	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Fluid Mechanics	6. 最初と最後の頁 R4-1-14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/jfm.2018.557	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

[学会発表] 計37件 (うち招待講演 7件 / うち国際学会 10件)

1. 発表者名 Genta Kawahara
2. 発表標題 Ultimate heat transfer in turbulent convection and turbulent shear flow
3. 学会等名 Laboratoire de Mecanique des Fluides de Lille Webinar (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Genta Kawahara
2. 発表標題 Ultimate heat transfer in turbulent permeable-channel flow
3. 学会等名 IPAM Workshop: Transport and Mixing in Complex and Turbulent Flows (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Genta Kawahara
2. 発表標題 Dissimilar and ultimate heat transfer in turbulent porous channel flow
3. 学会等名 Monash University, Seminar Series: Shear Flow Instability, Transition and Turbulence (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 本木慎吾, 河原源太
2. 発表標題 2次元多孔質壁面間熱対流における究極熱伝達
3. 学会等名 日本流体力学会年会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 國廣亮人, 清水雅樹, 河原源太
2. 発表標題 矩形ダクト流における乱流バフの大域的対称性の破れ
3. 学会等名 日本機械学会第98期流体工学部門講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 稲田健汰, 本木慎吾, 河原源太
2. 発表標題 多孔質チャネル乱流における非相似的伝熱促進
3. 学会等名 日本機械学会第98期流体工学部門講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 遠藤雄太, 廣田幸起, 奥埜智也, 清水雅樹, 河原源太
2. 発表標題 平面クエット系における特異乱流状態の実現—熱運動量輸送促進
3. 学会等名 日本機械学会第98期流体工学部門講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 川野晃季, 本木慎吾, 清水雅樹, 河原源太
2. 発表標題 水平貫通壁面間熱対流乱流における究極スケーリング
3. 学会等名 第56回日本伝熱シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石橋知大, 河原源太, 清水雅樹, 本木慎吾
2. 発表標題 チャンネル乱流遷移に現れる局在乱流における熱・運動量輸送の非相似性
3. 学会等名 第56回日本伝熱シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Genta Kawahara
2. 発表標題 Ultimate heat transfer in wall-bounded turbulence
3. 学会等名 11th International Symposium on Turbulence and Shear Flow Phenomena (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shingo Motoki, Genta Kawahara, Masaki Shimizu
2. 発表標題 Multiscale Three-Dimensional Steady Solutions In Rayleigh-Benard Convection
3. 学会等名 11th International Symposium on Turbulence and Shear Flow Phenomen (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akira Kubo, Genta Kawahara, Masaki Shimizu
2. 発表標題 Physical Mechanism of Dissimilar Heat Transfer Enhancement By Vortex Tube In Plane Couette Flow
3. 学会等名 11th International Symposium on Turbulence and Shear Flow Phenomen (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 稲田健汰, 本木慎吾, 清水雅樹, 河原源太
2. 発表標題 貫通壁チャンネル乱流における非相似的伝熱促進
3. 学会等名 日本流体力学会年会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松森圭祐, 本木慎吾, 河原源太
2. 発表標題 周期箱熱対流乱流における究極スケーリング
3. 学会等名 日本流体力学会年会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川野晃季, 本木慎吾, 清水雅樹, 河原源太
2. 発表標題 水平貫通壁面間熱対流乱流の究極状態
3. 学会等名 日本流体力学会年会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石橋知大, 河原源太, 清水雅樹, 本木慎吾
2. 発表標題 チャンネル乱流遷移に現れる熱・運動量輸送の非相似性
3. 学会等名 日本機械学会2019年度年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川野晃季, 本木慎吾, 清水雅樹, 河原源太
2. 発表標題 水平貫通壁面間熱対流乱流における究極熱輸送
3. 学会等名 日本機械学会2019年度年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 津川健太, 本木慎吾, 清水雅樹, 河原源太
2. 発表標題 貫通壁チャンネル乱流における究極熱伝達
3. 学会等名 日本機械学会2019年度年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 久保晃, 河原源太, 清水雅樹
2. 発表標題 遺伝的トポロジー最適化による非相似的伝熱促進体の開発
3. 学会等名 日本機械学会第97期流体工学部門講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 平野宙, 河原源太
2. 発表標題 平面クエット・ポアズイユ乱流における熱運動量輸送の非相似性
3. 学会等名 日本機械学会第97期流体工学部門講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Genta Kawahara
2. 発表標題 Ultimate heat transfer in convective turbulence
3. 学会等名 French-Japanese Workshop on Wavelet and Large Eddy Representations to Study Turbulent Flows (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Genta Kawahara
2. 発表標題 Hierarchical structures and scaling in maximal-heat-transfer states between two parallel plates
3. 学会等名 Euromech Colloquium 598 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Julius Rhoan Lustro, Genta Kawahara, Lennaert van Veen, Masaki Shimizu, Hiroshi Kokubu
2. 発表標題 The onset of transient turbulence in minimal plane Couette flow
3. 学会等名 Euromech Colloquium 598 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shingo Motoki, Genta Kawahara, Masaki Shimizu
2. 発表標題 Three-dimensional steady solutions in Rayleigh-Benard convection
3. 学会等名 Euromech Colloquium 598 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 本木慎吾, 河原源太, 清水雅樹
2. 発表標題 浮力駆動型対流における3次元定常解
3. 学会等名 日本流体力学会年会2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 廣田幸起, 河原源太, 清水雅樹, 渡邊大記
2. 発表標題 平面クエット系における特異な乱流状態
3. 学会等名 日本流体力学会年会2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 久保晃, 河原源太, 清水雅樹
2. 発表標題 平面クエット流への渦導入による非相似的伝熱促進とその機構解明
3. 学会等名 日本流体力学会年会2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 川野晃季, 本木慎吾, 河原源太, 清水雅樹
2. 発表標題 高レイリー数におけるレイリー・ベナール対流の乱流構造と統計的性質
3. 学会等名 日本流体力学会年会2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 本勝隆喜, 加藤賢人, 清水雅樹, 河原源太
2. 発表標題 矩形ダクト流の乱流遷移時に現れる蛇行乱流パターン
3. 学会等名 日本流体力学会年会2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Julius Rhoan Lustro, Genta Kawahara, Lennaert van Veen, Masaki Shimizu, Hiroshi Kokubu
2. 発表標題 The onset of transient turbulence in minimal plane Couette flow
3. 学会等名 日本流体力学会年会2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 本木慎吾, 河原源太, 清水雅樹
2. 発表標題 レイリー・ベナール対流における多重スケール不変解
3. 学会等名 日本機械学会2018年度年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 久保晃, 河原源太, 清水雅樹
2. 発表標題 平面クエット流への渦導入による非相似的伝熱促進
3. 学会等名 日本機械学会2018年度年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 垣田健, 清水雅樹, 河原源太
2. 発表標題 水平平板間クエット・ポアズイユ系における乱流熱伝達
3. 学会等名 日本機械学会2018年度年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 河原源太
2. 発表標題 ナビエ・ストークス方程式の不変解と乱流
3. 学会等名 京都大学数理解析研究所RIMS共同研究「非線形波動現象の数理とその応用」(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 久保晃, 河原源太, 清水雅樹
2. 発表標題 平面クエット流に導入した渦管による非相似的伝熱促進とその実現機構
3. 学会等名 日本機械学会第96期流体工学部門講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 本木慎吾, 河原源太, 清水雅樹
2. 発表標題 レイリー・ベナル対流におけるマルチスケール性を有する定常解の階層的渦構造と統計性質
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 平井智也, 河原源太
2. 発表標題 クエット・ポアズイユ乱流の熱伝達特性の実験的観測
3. 学会等名 日本機械学会関西支部第94期定時総会講演会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	清水 雅樹 (Shimizu Masaki) (20550304)	大阪大学・基礎工学研究科・助教 (14401)	
研究分担者	本木 慎吾 (Motoki Shingo) (70824134)	大阪大学・基礎工学研究科・助教 (14401)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------