

令和 4 年 6 月 18 日現在

機関番号：32660

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02071

研究課題名(和文) 層流-乱流が共存する亜臨界遷移流れの応用展開

研究課題名(英文) Application development of subcritical transitional flow with laminar-turbulent coexistence

研究代表者

塚原 隆裕 (Tsukahara, Takahiro)

東京理科大学・理工学部機械工学科・准教授

研究者番号：60516186

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)：環状流や平行平板間流における、乱流から層流への逆遷移、いわゆる亜臨界乱流遷移を調査し、各種流動形態における層流-乱流共存状態に見る特徴と普遍性、そして局在的にも乱流状態が維持する限界条件を明かにした。例えば、同心二重円筒間の環状流路では局在乱流が螺旋形状を呈することを、可視化による初の実験実証に成功し、また直接数値シミュレーションにより高い伝熱特性を明かにした。また、空間成長する乱流斑点では、運動量輸送と熱輸送の非相似性(伝熱優位)が生じることを見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

環状流や平行平板間流は、熱交換器やフィンに見られる規範的な流路形態であり、これらに見られた現象は広く多くの実用場面でも生じるものである。亜臨界乱流遷移および臨界条件を明かにすることは、熱交換器の性能、ひいては発電プラントの安全性等に及ぶ重要な課題である。また、亜臨界乱流遷移や乱流維持限界は、流体力学分野における古くからの難問であり、当研究成果はその解決に大きな貢献をもたらしている。特に、乱流の起源や厳密解の解明に繋がるものと期待できる。

研究成果の概要(英文)：We have investigated the reverse transition from turbulent to laminar flow in various annular and channel flows, the so-called subcritical turbulent transition, and clarified the characteristics and universality of laminar-turbulent coexistence and the limiting conditions for maintaining a turbulent state even locally. For example, we succeeded in the first experimental demonstration of the helical shape of localized turbulence in an annular Poiseuille flow between two concentric cylinders by visualization, and revealed its high heat transfer characteristics by direct numerical simulation. In addition, we found that dissimilarity between momentum and heat transport (heat transfer dominance) occurs in a spatially growing turbulent spot.

研究分野：熱流体力学

キーワード：亜臨界遷移 壁乱流 DNS 環状流 非相似性

1. 研究開始当初の背景

流体流れの状態は大別して層流と乱流があり、一般的にレイノルズ数が大きいと乱流に遷移し易い。産業分野（輸送機や流体機器）において層流と乱流の区別は肝要であり、乱流では摩擦抵抗の増大が問題となるが、伝熱性能および混合性能が向上するために、時には乱流維持限界を把握する必要もある。層流から乱流への遷移については、線形安定性理論等で臨界レイノルズ数が求まることが多く、また線形臨界値以下でも外乱等により実際は乱流に遷移していることも稀ではない。一方、乱流から層流への逆遷移は、亜臨界乱流遷移とも呼ばれ、理論的な予測が難しく、実験等による下臨界値の調査が要される。近年、亜臨界乱流遷移の学問分野において、乱流域と層流域が安定的に共存する現象が注目を集めている。特に、層流 - 乱流共存場が実質的な乱流維持の最下臨界条件（大域的臨界レイノルズ数）に重要と分かってきている。

層流 - 乱流共存場として古くから知られた現象として、円管内流れのパフ（平衡乱流パフ）がある。これは、乱流が管軸方向（主流方向）に局在して一つの塊を形成し、管径の 20~30 倍の大きさを維持しながら流下する現象である。パフは管内に複数発生することもあり、パフの分裂や消滅を繰り返しながら、およそレイノルズ数に応じた間欠性を長時間維持するのだが、レイノルズ数が低ければ分裂よりも消滅の頻度が増して、大域的に乱流が維持できなくなる。つまり、パフの特性（時空間間欠性および分裂と消滅）により大域的臨界レイノルズ数が定まることが、2011 年に報告された。準一次元的な円管内流に対して、準二次元的な平行平板間流においても、今世紀に入り、多くの直接数値シミュレーション（DNS：乱流モデル不使用）や実験により、局在乱流の発生維持と特徴的パターン形成が知られるようになった。平行平板間流では、局在乱流が主流方向に対して一定に傾いた縞状/帯状のパターンを形成し、その空間および時間スケールは乱流の微細渦運動のものに比べて桁違いに大きく、その様相を捉えるには大規模実験や大規模計算が必要となるチャレンジングな課題となっている。その様相を広域かつ長時間追跡すると、非平衡科学分野で扱われる吸収状態転移の DP（Directed Percolation）臨界現象に似た特徴が見られた。元来、決定論的である流体现象から確率的 DP が実現象として現れた例として、関心が集まっている。最もカノニカルな流路形態である円管内流と平行平板間流を対象に研究が進められてきたが、これら 2 形態を繋ぐ系として同心二重円筒間の環状流がある。その亜臨界遷移過程について、当研究課題遂行前には DNS により、乱流パフと乱流縞の中間的現象「螺旋乱流」や「螺旋パフ」を発見していた（図 1 参照）。しかし、乱流縞と同様に未解明な問題を多く残している上、実験実証も成されていない。

以上のように、流体力学の未解決問題の一つ「亜臨界乱流遷移」に関して、未曾有の大規模計算や大規模実験により、局在乱流の分裂・消滅・パターン形成が実質的な層流 - 乱流共存場の下臨界値を左右する、と分かってきた。しかし、依然として円管内流れや平行平板間流における観測に限られ、その他の系についての調査は不十分であり、現象の普遍性を考慮した統一的物理モデルが未確立である。また、層流 - 乱流共存場における伝熱特性についても研究例は少なく、熱交換器などへの応用展開の可能性は議論されていない。

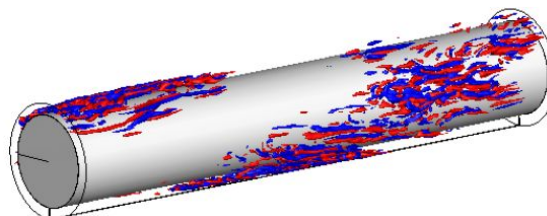


図1 環状 Couette-Poiseuille 流の螺旋乱流。赤・青の等値面は速度変動。主流は右向き。

2. 研究の目的

本研究では、様々な流動形態に関係を持つ環状流を主な解析対象とすることで亜臨界遷移現象の包括的な調査を、直接数値計算（DNS）と水路実験により実施し、局在乱流に見る特徴や普遍性を明らかにする。特に環状流は、円管内流と平行平板間流を結ぶような系で、工学的にも熱交換器等に多く見られる系であり、現象理解に基づく工学応用などの探索を目指して重点的に調査する。特に、環状流の螺旋乱流について実験報告例はないため、初の実験観測を目指す。また、局在乱流がもたらす伝熱特性（運動量輸送と熱輸送における非相似性）を明らかにする。

3. 研究の方法

- (1) 大型並列計算機を用いて、平行平板間流（自然対流含む）と各種環状流（Poiseuille / Couette / Couette-Poiseuille / Taylor-Couette-Poiseuille 流の 4 種）の DNS を大規模計算領域で実施。
- (2) 環状 Poiseuille 流の水路を作成し、螺旋乱流および螺旋パフ等の可視化実験を実施。
- (3) 環状 Poiseuille 流および平面 Couette 流の DNS により、局在乱流の伝熱特性を調査。

4. 研究成果

- (1) 各種流動形態に見る垂臨界乱流遷移過程とそのレイノルズ数依存性を明らかにした。まず、環状 Couette 流では、環状流路の周方向制限を緩和した仮想計算領域の DNS によって、局在乱流の振る舞いが DP 普遍クラスの特徴に合致することが判明した [Takeda et al. (2020) *Entropy* に発表]

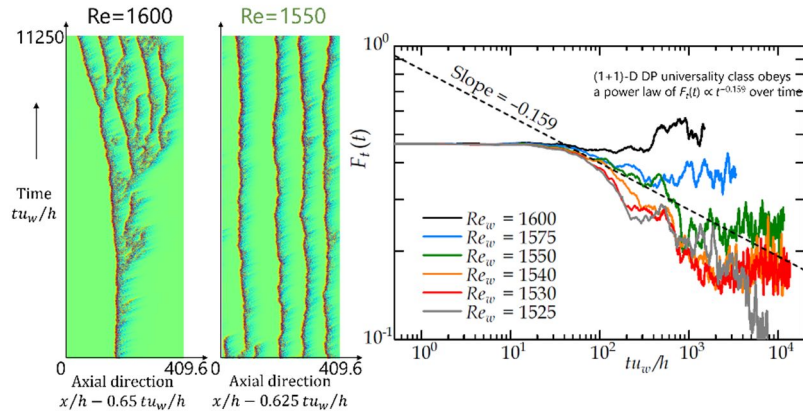


図 2 環状 Couette-Poiseuille 流の局在乱流の時空間ダイアグラム (左) と乱流間欠率 F_t の時間変化 (右) . レイノルズ数 $Re = 1550$ ではパフ分裂は生じず, F_t の時間減衰は見かけ上 (1+1)-D DP に沿う.

環状 Couette-Poiseuille 流では、螺旋乱流 (螺旋状の乱流縞) と螺旋パフ (有限長の螺旋状パフ), および直線状パフを観測しており、特に後者の局在乱流構造の分裂・減衰過程を捉えることに成功した (図 2 最左). これは、円管内流の垂臨界遷移問題も含めた確率的非平衡現象と (平面流に見られる) 乱流縞との関係性を明らかにする上で、重要な発見である。しかし、図 2 のように、(1+1)D-DP のような振る舞いが統計量から検知されても実際には乱流パフの分裂が起きていない、つまり厳密な DP と判断できないケースがあることを見出した [Morimatsu & Tsukahara (2020) *Entropy* に発表]. 環状 Taylor-Couette-Poiseuille 流では、軸方向圧力勾配の程度に応じて局在乱流の形状が、環状や帯状に変化することを発見した [英文学術誌で発表予定]. 他にも大規模 DNS は順調に遂行されて、平面 Poiseuille 流と矩形ダクト Poiseuille 流、鉛直平行平板間自然対流についての新たな解析結果も得られた。特に、鉛直平行平板間自然対流では、明確な層流 - 乱流共存場 (乱流縞など) の報告例はなかったが、本解析により乱流縞に酷似した流動場の検出に成功した。共存対流 (自然対流と直交して強制対流を付加) における層流化も見出した。環状流 (Poiseuille 流 / Couette 流 / Couette-Poiseuille 流 / Taylor-Couette-Poiseuille 流) およびダクト流の DNS で、局在乱流パターンニングの特徴や、DP (Directed Percolation) 普遍クラスとしての特徴を一部明らかにした。

- (2) 偏心可能な環状 Poiseuille 流の実験水路を構築し、螺旋乱流の観測的実証や下臨界レイノルズ数調査を開始した。半径比が約 0.5 の同心二重円筒流路において、少なくとも有限長の螺旋パフの観測に成功した。螺旋パフを形成する局在乱流域の太さや主流方向に対する傾斜角度は、既に DNS で観測されたものと良く一致していた。また偏心二重円筒流路においては、ギャップ幅の違いによる乱流間欠構造の空間的差異が見られるようになった。偏心可能な環状 Poiseuille 流の可視化実験を行い、螺旋乱流の観測的実証や下臨界レイノルズ数調査を行った。半径比が約 0.5 の同心二重円筒流路において、少なくとも有限長の螺旋パフの観測には成功し、半無限長の螺旋乱流も部分的に確認できた。偏心二重円筒流路においては、偏心率と円筒比に応じて、間欠率のレイノルズ数依存性が変化し、完全層流に至るレイノルズ数が偏心の影響で有意に下がることが分かった。

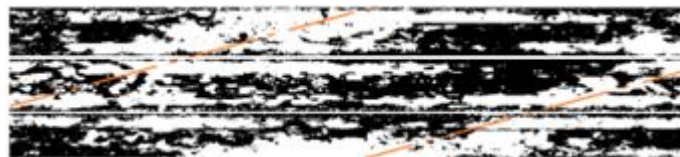


図 3 環状 Poiseuille 流の螺旋パフの実験観測画像。白が乱流域、主流は右向き。3 つのパネルは方位 120 度毎の 3 方向可視化を示す。橙の線は局在乱流の中心を示す。

また偏心二重円筒流路においては、ギャップ幅の違いによる乱流間欠構造の空間的差異が見られるようになった。偏心可能な環状 Poiseuille 流の可視化実験を行い、螺旋乱流の観測的実証や下臨界レイノルズ数調査を行った。半径比が約 0.5 の同心二重円筒流路において、少なくとも有限長の螺旋パフの観測には成功し、半無限長の螺旋乱流も部分的に確認できた。偏心二重円筒流路においては、偏心率と円筒比に応じて、間欠率のレイノルズ数依存性が変化し、完全層流に至るレイノルズ数が偏心の影響で有意に下がることが分かった。

- (3) 環状 Poiseuille 流の熱伝達を解析した結果、螺旋乱流がもたらす伝熱促進効果を定量的に実証できた。これは、局在乱流と層流域の境界領域において、強い乱流熱流束が引き起こされている結果と結論した [Fukuda & Tsukahara (2020) *IJHFF* に発表]. 平面 Couette 流においては、発達流の局在乱流 (乱流斑点) を対象に熱輸送と運動量輸送の非相似性を検証し、高い伝熱特性を有する過程の特定を試みた。DNS 解析の結果として、乱流斑点が空間的成長を続ける際に、熱と運動量輸送の非相似性 (熱輸送優位) が見出された。上記の結果も含めて、局在乱流の維持限界や伝熱特性が判明したことで、例えば低レイノルズ数下での熱交換器の性能を維持する方針が一つ与えられたものと考えられる。

以上の得られた知見について、未発表のものは国内外の会議や英文学術雑誌にて発表公知する予定である。2022 年 6 月現在、2 件の原著論文が英文学術誌に投稿中である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Morimatsu Hirotaka, Tsukahara Takahiro	4. 巻 22
2. 論文標題 Laminar-turbulent intermittency in annular Couette-Poiseuille flow: Whether a puff splits or not	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Entropy	6. 最初と最後の頁 1353
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/e22121353	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 Takeda Kazuki, Duguet Yohann, Tsukahara Takahiro	4. 巻 22
2. 論文標題 Intermittency and critical scaling in annular Couette flow	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Entropy	6. 最初と最後の頁 988
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/e22090988	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 該当する
1. 著者名 Fukuda Takehiro, Tsukahara Takahiro	4. 巻 82
2. 論文標題 Heat transfer of transitional regime with helical turbulence in annular flow	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Heat and Fluid Flow	6. 最初と最後の頁 108555
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.ijheatfluidflow.2020.108555	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 Kunii Kohei, Ishida Takahiro, Duguet Yohann, Tsukahara Takahiro	4. 巻 879
2. 論文標題 Laminar-turbulent coexistence in annular Couette flow	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Fluid Mechanics	6. 最初と最後の頁 579 ~ 603
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1017/jfm.2019.666	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

〔学会発表〕 計45件（うち招待講演 4件 / うち国際学会 22件）

1. 発表者名 Kazuki Takeda, Yohann Duguet, Takahiro Tsukahara
2. 発表標題 DNS study of annular Couette flow for low-high radius ratio in subcritical transition
3. 学会等名 Seventeenth International Conference on Flow Dynamics (ICFD2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 福留功二, 塚原隆裕, 守裕也, 山本誠
2. 発表標題 平面クエット流における乱流スポットの成長と非相似性の発生
3. 学会等名 第36回生研TSFDシンポジウム「乱流シミュレーションと流れの設計 - 環境制御とCFDの新しい展開 - 」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 森松浩隆, 塚原隆裕
2. 発表標題 低円筒比環状流路の亜臨界遷移に生じる間欠構造に関する調査
3. 学会等名 第34回数値流体力学シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 竹田一貴, 塚原隆裕
2. 発表標題 仮想周長拡張した環状クエット流の亜臨界遷移における乱流間欠性とDP普遍性
3. 学会等名 第34回数値流体力学シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 福留功二, 塚原隆裕, 守裕也, 山本誠
2. 発表標題 平面クエット流で成長する乱流スポットの運動量輸送と熱輸送の非相似性解析
3. 学会等名 日本機械学会熱工学コンファレンス2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 堀本康文, 川口靖夫, 塚原隆裕
2. 発表標題 偏心二重円筒間流れにおける乱流間欠構造の可視化
3. 学会等名 第48回可視化情報シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松川裕樹, 塚原隆裕
2. 発表標題 高円筒比Taylor-Couette-Poiseuille 流における亜臨界遷移の局在乱流パターン
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 竹田一貴, 塚原隆裕
2. 発表標題 環状クエット流の亜臨界遷移における局在乱流構造とDP 普遍性の円筒比依存性
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 塚原隆裕, 福田雄大
2. 発表標題 環状流の垂臨界遷移における螺旋型局在乱流と縦渦群の伝熱寄与
3. 学会等名 第57回日本伝熱シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 塚原隆裕
2. 発表標題 乱流計算にSX-Aurora TSUBASA導入から半年...最新の成果報告
3. 学会等名 SX-Aurora TSUBASAフォーラム (Webinar開催) (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 塚原隆裕
2. 発表標題 乱流現象 vs 機械学習
3. 学会等名 Promotech Simulation Conference (PSC2019) & GPU Computing Workshop for Advanced Manufacturing (GPU2019) (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 塚原 隆裕
2. 発表標題 乱流を機械学習：粘弾性流体乱流の代理モデルと乱流物質輸送の拡散源推定
3. 学会等名 ポスト「京」重点課題 ・重点課題 第3回HPCものづくり統合ワークショップ (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masaki Hanabusa, Takahiro Tsukahara
2. 発表標題 Robustness of turbulent stripes in particle-laden channel flows
3. 学会等名 ASME-JSME-KSME 2019 8th Joint Fluids Engineering Conference (AJKFluids2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takahiro Tsukahara, Takehiro Fukuda
2. 発表標題 Turbulent heat transfer in transitional annular Poiseuille flow
3. 学会等名 14th International Conference on Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics (HEFAT2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kazuki Takeda, Takahiro Tsukahara
2. 発表標題 New knowledge as DP universality class on the subcritical turbulent transitions of wall-bounded shear flows
3. 学会等名 7th Asia-Pacific Congress on Computational Mechanics (APCOM2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hirotaka Morimatsu, Takahiro Tsukahara
2. 発表標題 Parameter dependences of intermittent turbulent regime of annular Couette-Poiseuille flow
3. 学会等名 7th Asia-Pacific Congress on Computational Mechanics (APCOM2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Koji Fukudome, Takahiro Tsukahara, Makoto Yamamoto
2. 発表標題 Emergence of dissimilarity between heat and momentum transports for turbulent stripes in transitional plane Couette flow
3. 学会等名 7th Asia-Pacific Congress on Computational Mechanics (APCOM2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takehiro Fukuda, Takahiro Tsukahara
2. 発表標題 Influence of large-scale intermittent structure on heat transfer in the transition regime of annular Poiseuille flow
3. 学会等名 2nd Pacific Rim Thermal Engineering Conference (PRTEC) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Koji Fukudome, Takahiro Tsukahara, Hiroya Mamori, Makoto Yamamoto
2. 発表標題 Heat and momentum transports of turbulent spot in plane Couette flow
3. 学会等名 2nd Pacific Rim Thermal Engineering Conference (PRTEC) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masaki Hanabusa, Takahiro Tsukahara
2. 発表標題 Study on robustness of turbulent stripe in particle-laden channel flows with/without considering gravitational effect
3. 学会等名 7th Asian Symposium on Computational Heat Transfer and Fluid Flow (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kazuki Takeda, Takahiro Tsukahara
2. 発表標題 Subcritical transition of plane Poiseuille flow as DP universality classes in (2+1) and (1+1) dimensions
3. 学会等名 7th Asian Symposium on Computational Heat Transfer and Fluid Flow (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroya Morimatsu, Takahiro Tsukahara
2. 発表標題 Direct numerical simulation of annular Couette-Poiseuille flow: intermittent structures depending on pressure gradient and radius ratio
3. 学会等名 7th Asian Symposium on Computational Heat Transfer and Fluid Flow (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomohiro Nimura, Takuya Kawata, Takahiro Tsukahara
2. 発表標題 Interscale energy transport for turbulent stripe in rotating plane Couette flow
3. 学会等名 17th EUROMECH European Turbulence Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Koji Fukudome, Takahiro Tsukahara, Hiroya Mamori, Makoto Yamamoto
2. 発表標題 Development of turbulent spot in plane Couette flow and dissimilarity analysis between heat and momentum transfers
3. 学会等名 65th Workshop on Investigation and Control of Transition to Turbulence (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kazuki Takeda, Takahiro Tsukahara
2. 発表標題 Subcritical transition of plane Poiseuille flow as $(2+1)d$ and $(1+1)d$ DP universality classes
3. 学会等名 8th Symposium on Bifurcations and Instabilities in Fluid Dynamics (BIFD2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 花房 真輝, 塚原 隆裕
2. 発表標題 チャンネル流の乱流縞剛健性に関する質点粒子ストークス数への依存性
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 森松 浩隆, 塚原 隆裕
2. 発表標題 環状クエット・ポアズイユ流において円筒比及び圧力勾配が間欠構造に及ぼす影響
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 竹田 一貴, 塚原 隆裕
2. 発表標題 平面ポアズイユ流亜臨界遷移におけるDP普遍クラスとしての二段階遷移過程
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 福田 雄大, 塚原 隆裕
2. 発表標題 環状ボアズイコ乱流において大規模間欠構造がもたらす伝熱促進効果
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 Takahiro Tsukahara
2. 発表標題 Direct numerical simulation of subcritical wall turbulence using very large aspect-ratio domain
3. 学会等名 32nd Workshop on Sustained Simulation Performance (WSSP32) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kazuki Takeda, Masaki Sano, Takahiro Tsukahara
2. 発表標題 Side-wall effect of high-aspect-ratio duct flow on turbulent bands in subcritical transition
3. 学会等名 The 8th Asian Symposium on Computational Heat Transfer and Fluid Flow (ASCHT2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuki Matsukawa, Takahiro Tsukahara
2. 発表標題 Subcritical transition of Taylor-Couette-Poiseuille flow
3. 学会等名 The 8th Asian Symposium on Computational Heat Transfer and Fluid Flow (ASCHT2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takahiro Tsukahara, Chigusa Izumi, Yuki Matsukawa, Kazuki Takeda
2. 発表標題 Patterning of turbulent natural convection in vertical channel
3. 学会等名 The 8th Asian Symposium on Computational Heat Transfer and Fluid Flow (ASCHT2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kazuki Takeda, Takahiro Tsukahara
2. 発表標題 Intermittent turbulent structures in subcritical transition of annular Couette flow with/without imaginary domain
3. 学会等名 25th International Congress of Theoretical and Applied Mechanics (ICTAM2020+1) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hirotaka Morimatsu, Takahiro Tsukahara
2. 発表標題 Study of intermittent structure in annular Couette-Poiseuille flow from turbulent puff to turbulent stripe
3. 学会等名 25th International Congress of Theoretical and Applied Mechanics (ICTAM2020+1) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Koji Fukudome, Takahiro Tsukahara, Hiroya Mamori, Makoto Yamamoto,
2. 発表標題 Emergence of transport dissimilarity by growing turbulent spot in plane Couette flow
3. 学会等名 25th International Congress of Theoretical and Applied Mechanics (ICTAM2020+1) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuki Matsukawa, Takahiro Tsukahara
2. 発表標題 Occurrence and disappearance of localized turbulence in Taylor-Couette-Poiseuille flow
3. 学会等名 21st International Couette-Taylor Workshop (ICTW21) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松川裕樹, 小野寺駿, 塚原隆裕
2. 発表標題 水平圧力勾配を付加した鉛直平行平板間共存対流の亜臨界遷移パターン
3. 学会等名 第59回日本伝熱シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 福留功二, 塚原隆裕, 守裕也, 山本誠
2. 発表標題 温度成層平面ポアズイコ乱流の熱流動特性
3. 学会等名 第37回生研TSFDシンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松川裕樹, 塚原隆裕
2. 発表標題 対向回転するTaylor-Couette-Poiseuille 流の圧力勾配増加に伴う層流化
3. 学会等名 第35回数値流体力学シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 竹田一貴, 塚原隆裕
2. 発表標題 乱流バフの時空間欠性に関するDomany-Kinzel モデルによる再現の試み
3. 学会等名 第35回数値流体力学シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 竹田一貴, 佐野雅己, 塚原隆裕
2. 発表標題 亜臨界遷移の高アスペクト比ダクト流で形成される大規模乱流間欠構造に関する研究 - 側壁における乱流挙動に着目して -
3. 学会等名 日本機械学会 第99期 流体工学部門講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松川裕樹, 塚原隆裕
2. 発表標題 Taylor-Couette-Poiseuille流における局在乱流の層流化
3. 学会等名 日本機械学会 第99期 流体工学部門講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 塚原隆裕, 泉千種, 松川裕樹, 竹田一貴
2. 発表標題 鉛直平行平板間自然対流における亜臨界乱流遷移過程
3. 学会等名 第58回日本伝熱シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 福留功二, 塚原隆裕, 守裕也, 山本誠
2. 発表標題 平面クエット流において成長する乱流スポットの非相似性の発生機構
3. 学会等名 第58回日本伝熱シンポジウム
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

DNS Database of Wall Turbulence and Heat Transfer https://www.rs.tus.ac.jp/~t2lab/db/index.html
--

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	川口 靖夫 (Kawaguchi Yasuo) (20356835)	東京理科大学・理工学部機械工学科・教授 (32660)	
研究分担者	福留 功二 (Fukudome Koji) (70710698)	東京理科大学・工学部機械工学科・助教 (32660)	

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
---------	---------