

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 5 月 20 日現在

機関番号：14101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04169

研究課題名(和文)多数配置された円形噴流の混合・拡散・伝熱制御

研究課題名(英文)Control of Mixing, Diffusion, and Heat Transfer in Multiple-Arranged Round Jets

研究代表者

辻本 公一 (Tsujimoto, Koichi)

三重大学・工学研究科・教授

研究者番号：10243180

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：多数の円形噴流を配置した多数噴流では個々の噴流間に強い干渉が生じるため、自由噴流の場合には巻き込みの減少に伴う混合・拡散性能の低下、衝突噴流の場合には多数化に起因する横断流れや噴流間に生じる大規模な循環流れによる伝熱性能の低下、衝突面上の非一様な伝熱特性などが生じ混合・拡散・伝熱特性の改善が求められている。これらの問題を包括的に解決するため、独自に開発した計算コードを用いて、間欠制御や開花噴流による制御を単独噴流に適用した際の制御特性を調査し、さらに多数配置された噴流について間欠/脈動/振動制御による混合・伝熱特性を改善する制御や微粒化性能を向上させる多数の液体噴流制御の制御技術を開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで単独噴流に関する制御や、多数噴流の干渉に関する影響評価は行われているが、多数の噴流を能動的に制御する試みはほとんどない。また DNS (direct numerical simulation) を利用した詳細な検討も多数噴流の場合についてほとんど行われていない。本研究で開発した多数配置された噴流への制御手法は一般の工学機器における高効率な混合・伝熱制御手法に発展寄与することができるものと考えられる。

研究成果の概要(英文)：Multiple jets being composed of a large number of circular jets induces the occurrence of strong interference between the individual jets, resulting in some shortcomings to should be solved, i.e., the reduction of mixing/diffusion performance due to decreasing entrainment in the case of free jets; in case of the impinging jet, the suppression of heat transfer performance due to crossflow and large-scale recirculating flow and generation of non-uniform heat transfer distribution on the impinging wall. In order to comprehensively solve these problems, we investigated the control performance by applying intermittent control and control utilizing blooming jets to a single jet using our in-house computational code. Further, we developed a control method for multiple jets that improves mixing and heat transfer performance by conducting intermittent-, pulsation-, or oscillating control, and, in addition, a liquid jet control technology that enhances atomization.

研究分野：流体工学

キーワード：Multiple jets Active control Heat transfer Mixing DNS Impinging jet Free jet DRL

様式C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

さまざまな工学機器において、自由噴流による物質の混合・拡散や、衝突噴流による固体面上での混合・伝熱の促進が行われてきた。これまで工業上での噴流利用の多様さに対応するため、さまざまな幾何学的あるいは力学的境界条件下の単独の噴流の特性分析と性能改善が行われてきた。一方、実用上は単独の噴流に限られず、多数の噴流を配置した多数噴流が多く利用され、噴流の幾何学的な配置に対する影響を中心とした性能評価が行われてきた。衝突噴流の場合、多数化された状況の下では噴流間に強い干渉が生じるため、多数化に起因する横断流れが噴流の衝突を阻害すること、噴流間に大規模な循環流れが形成されることにより個々の噴流の性能が低下することや、単独の衝突噴流は衝突中心あるいはその近傍で最大性能を示し、衝突点から離れると急激に性能が低下、局所的に高い性能を示す単独の衝突噴流が理想的に組み合わせられ配置されたとしても、衝突面上には非一様な伝熱特性が必ず残ることになる。特に一様な加熱・冷却が求められる工程において個々の噴流の性能を損なわずかつ一様な分布を実現する噴流制御手法の開発が望まれる。自由噴流の場合、個々の噴流が互いに干渉する側では、周囲流体の巻き込み(エントレインメント)が減少し、干渉のため混合ならびに拡散が抑制される。このように干渉による特異な流れ構造が形成されるため、単独の噴流で評価された制御手法が必ずしも多数化される場合の改善に直結しないことから、多数の噴流を協調させて全体の性能を上げる制御の検討が必要であるが、その課題に対する試みは十分に行われていない。一方、直接数値シミュレーション(DNS : Direct Numerical Simulation)などの精度よいシミュレーションが可能となり、シミュレーションを利用することで制御方法の効率的な評価を実現できる状況が整っている。

2. 研究の目的

多数噴流に対して、多数化によって生じる、単独の噴流どうしの干渉による混合・伝熱性能低下や非一様性を回避・改善する制御手法を開発する。間欠噴流/脈動噴流/開花噴流を利用した新たな能動制御や強化学習を利用する最新の制御に取り組み、それら導入による個々の噴流に対する効果的な制御手法を検討し、多数噴流の基軸である単独の噴流制御に関する制御方法の知見を広げさらに、多数化による噴流間干渉の影響を軽減するため、多数噴流の性能を向上させる制御手法を開発する。近年、様々な混相流の数値スキームの改良が行われた結果、混相流動場の数値シミュレーションが可能となっている。実用上多く利用される液体噴流の微粒化に対して多数化された液体噴流による制御手法の開発も合わせて行う。

3. 研究の方法

数値シミュレーションを実施することにより評価を行う。自由噴流や衝突噴流の場合、多様な噴流の制御に対する制御結果を高精度に予測するため、すでに開発したスペクトル法と Compact Scheme を併用した高精度なハイブリッドスキームを利用した直接数値シミュレーション(DNS : Direct Numerical Simulation)を実施する。特に本研究で利用する計算コードは、周期境界条件の制約を緩和するため、主流と直交する2方向への離散化に sine、cosine 級数を用いておりこれにより、自由噴流の場合、周囲流体の取り込みを表すエントレインメントを正確に評価することができる。また、噴流自体の周囲への拡散を表す混合状態量として、熱力学的状態量に基づく混合指標である統計エントロピーを取り上げ、これらエントレインメントや統計エントロピーを利用して混合性能を評価する。衝突噴流については、衝突壁上部での混合状態よりも壁面直上の伝熱状態に強く関心があることから、衝突面上での Nu 数を評価指標として取り上げ、制御効果を検討する。また、流れ場に形成される支配的なモードと本研究で提案する噴流制御手法との関係を調査するため、動的モード分解法(DMD : dynamic mode decomposition 法)を用いた流動解析を行う。

液体噴流の微粒化は、エンジン内の燃料噴霧、噴霧塗装、農薬散布などの様々な工業技術に應用されている。解析の際、微小な液滴が生成されるまでを再現するには高い格子解像度が要求されるため、近年では超大規模な計算が実行されているが、多様なパラメータを有する微粒化の問題では多数の条件についての検討が必要であり、最小限の計算機資源で素早く解析が可能なシミュレーション手法が好ましい。そのような観点から、シミュレーションするための気液界面追跡法として気液界面に有限厚さを仮定する DIM(diffuse interface model)を用い GPU(Graphics Processing Unit) を利用した高速計算可能な時間発展型の計算コードをすでに開発している。これを利用し、微粒化のための噴流制御手法を開発する。

(1)多数噴流のための能動制御手法の検討

単独の噴流を間欠的に噴出させる間欠制御や開花噴流による制御について検討する。自由噴流の場合にはエントレインメントの増加による混合・拡散特性の向上、衝突噴流の場合には噴流間の吹上流れの低減による伝熱特性の改善を目指し、特に開花噴流は、自由噴流としての特性以外の評価は行われていないため、単独の衝突噴流に関する伝熱特性の評価から始める。これら一連の制御手法の検討において性能に影響を及ぼす大規模構造の抽出には DMD 法を利用し、流動特性の観点から抽出された大規模構造が混合・拡散・伝熱性能の向上に対しどのように影響して

いるか明らかにする。また開花噴流を実現するより簡便な手法として、傾斜を持つノズルを周期的に回転させる噴流の傾斜・回転制御と軸方向励起を組み合わせる新たな能動制御手法を提案し、方法の妥当性を検証する。さらに個々の噴流特性を改善する際、人為的に設定される周期的なモードだけでなく、任意の関数形の入力モードを見出すには、これまでにない方策が必要である。最近、機械学習に注目が集まっている。その機械学習の分野で、正解のない、教師なしの問題に対応できる強化学習 (RL: reinforcement learning) に対し、ニューラルネットワークを組み込んだ深層強化学習 (DRL: deep reinforcement learning) がある。DRL を導入した能動制御を行い、同時に開ループ制御した結果と比較し、DRL の有効性について評価する。

(2)混相噴流 (液体ジェット) の制御

平面液体噴流の時間発展型シミュレーションにより微粒化過程が再現されること、制御手法として液膜スパン方向の速度分布を凸型になるように噴流の速度を制御し、噴流内部に高せん断層を形成することで液体噴流の微粒化を促進できることがすでに明らかにされている。しかし実際の機器においては、噴流内にこのような速度分布を形成することは容易ではなく、より簡便に実現可能な微粒化を促進する手法が求められる。そのため本研究では、より簡便に液体噴流の微粒化を促進させる方法としてスリットにより噴流を分割するという手法を提案する。これにより、先行研究における噴流内部の高せん断層が単純な気液界面におけるせん断層に置き換わり、各種機器において容易に導入可能な微粒化手法となることが期待されると同時に多数の矩形噴流が噴出される液体噴流を制御することになる。

(3)多数噴流の能動制御

自由噴流に脈動成分を付加させた脈動噴流がある。脈動により渦輪が形成され、噴流の混合・拡散及び、エントレインメントを向上させ、これを多数噴流に同位相または逆位相の脈動を付加させた場合の報告がある。しかしながら、噴流間の距離が流れに及ぼす影響や、他の位相差の脈動を付加した場合についての知見はなく多数の脈動噴流のより効果的な手段となる可能性を見出すために、噴流間の距離ならびに、他の位相差が流動特性へ与える影響を調査する。

衝突噴流では個々の噴流の相互干渉により、伝熱性能は低下し、伝熱性能が不均一になるという課題に対して 4 本の噴流ノズルが一行に配置された衝突噴流の列方向に正弦波状の振動を与える振動制御を検討する。これまで多数の衝突噴流の実用を想定した 10 本以上の噴流を配置した解析例は少なく、噴流の多数化による非定常な衝突噴流の流動構造と伝熱特性について十分に明らかとなっていない。噴流の多数化による影響を調査するため、13 本と 19 本の噴流ノズルを平面上に等間隔に配置した衝突噴流に対して非制御時の様子を調べ、さらに多数噴流の最小単位である 2 本の噴流に対し、個々の噴流を間欠的に噴出させる間欠制御を検討する。さらにその結果に基づき 13 本の噴流を 3 つのグループに分け、グループごと間欠的に噴出させる間欠制御を行う。

4. 研究成果

(1) 多数噴流のための能動制御手法の検討

壁面衝突させた開花噴流の伝熱特性を解析した結果、衝突壁面上の衝突速度が緩和され、比較的ゆっくりとした壁面噴流が形成されること、また、噴流と壁面間の衝突距離の増加とともに、衝突壁面上で周囲流体との混合が促進され、熱の拡散が活発になることによって壁面上でより均一な伝熱が得られることを明らかにした。DMD 法による流動解析の結果、開花噴流では、上流部のみならず、半径方向にそのスケールを拡大しながら下流部まで制御効果が現れること、また、開花噴流に特徴的な渦輪の力オスの拡散によって、噴流内部に制御モードと関連付けられる構造が多様に現れることを明らかにした。

噴流の傾斜・回転制御と軸方向励起を組み合わせる制御を行いこれにより開花噴流を実現でき、開花噴流に特徴的な噴流の分岐構造が得られること、また、従来の手法による開花噴流と比較してより高い混合性能が得られることを明らかにした。この傾斜・回転制御と軸方向励起を組み合わせた制御による衝突噴流に対し、衝突距離の変化に伴う流動構造の変化及び伝熱性能の変化を評価した。噴出後、噴流出口近傍において、励起により強い渦輪構造の形成が行われ、下流部において個々の渦輪同士の干渉により壁面上で噴流の拡散が生じる。また、開花噴流と傾斜・回転制御を用いた噴流では、共に噴流の著しい拡散によって、衝突距離による Nu 数の分布が大きく変化し、衝突距離の増加による噴流の拡散の促進に対応して、衝突中心近傍の高い伝熱が失われ、中心部で低い伝熱を示すようになる。また、傾斜・回転制御された噴流の方が、開花噴流と比較してより上流側から噴流が拡散するため、より短い距離で、衝突中心部の高い伝熱が失われることを明らかにした。

自由噴流の混合性能を向上させるために 2 次元噴流の噴流出口にアクチュエータとして一対の副噴流を配置し、このアクチュエータを開ループ制御ならび DRL により能動制御した結果、開ループ制御において、低周波数に優位な制御周波数があること、DRL によって、人為的な入力とは異なる入力が見出されること、さらに巻き込み量や統計エントロピーを評価した結果、DRL に

より開ループ制御での最適な混合制御と同等か、さらにそれを上回る制御ができることを明らかにした。このとき噴流構造は開ループ制御と同様に、フラッピング運動により混合が活性化していることも観察された。衝突噴流の伝熱の均一性の向上とともに、伝熱性能を向上させるため、単独の2次元噴流を壁面に平行な方向に振動させ、この振動周期をDRLにより学習させた。開ループ制御の結果と比較、設定した評価区間での性能は、静止状態がもっとも性能が良いため、それに非常に近い最適値が見出され、また見出された最適制御周波数と同じ周波数で開ループ制御された場合と比べると、DRLによる制御により高い伝熱性能が得られることを明らかにした。

(2)混相噴流（液体ジェット）の制御

液体噴流の分割幅やレイノルズ数・ウェーバー数などの各種パラメータを変化させた場合の影響について調査した。分割された平面液体噴流では、分割されていない平面液体噴流と比べ、新たな気液界面におけるせん断層が形成され、急速に噴流の崩壊が進むとともに、十分に噴流が崩壊した後に生成される液滴の個数は多くなり、液滴径は小さくなり、噴流の噴霧角が大きくなることで液滴がより広範囲に拡散する、すなわち、噴流の微粒化が促進されるということを明らかにした。分割された平面液体噴流において、分割幅が液膜厚さの1倍の場合は計算領域における噴流体積が相対的に大きいため、液膜を崩壊させる渦構造の伝播に時間を要し、分割幅が液膜厚さの3倍の場合は噴流体積が相対的に小さいため、渦構造がダイナミックに振る舞う空間的余裕が無く、液膜の崩壊がやや控えめであり、これらの中間条件となる分割幅が液膜厚さの2倍の場合に最も微粒化が促進されるということが明らかになった。分割された平面液体噴流において、レイノルズ数・ウェーバー数の組み合わせによって液膜内部の渦構造の挙動がそれぞれ異なるものの、本研究における3通りのレイノルズ数・ウェーバー数の組み合わせでは、分割されていない平面液体噴流より微粒化が促進されるということが明らかになった。

(3)多数噴流の能動制御

2つの噴流からなる脈動噴流において、噴流間の距離ならびに、同位相や逆位相のみでなく、それ以外の位相差の脈動を噴流に与えた場合に脈動が噴流の流動特性へ与える影響を調査した。2つの脈動噴流で形成される渦輪同士が強く干渉すると流れに大きな変化が生じる。すなわち噴流が隣接して配置された場合、脈動に同位相の位相差を与えると、渦輪同士が結合して流れにスイッチング現象が生じ、また、逆位相、及び $1/2$ の位相差を与えると、流れにヘアピン状の渦構造が形成され、それによる誘起速度により流れが噴流の配置方向に大きく拡大し、さらに $1/2$ の位相差の場合では流れに偏向が生じる。さらに噴流間の距離を大きくすると渦輪同士の干渉が穏やかとなり、上述した現象が抑制されることを明らかにした。

4本の噴流が一行に配置された衝突噴流を正弦波状に移動させる振動制御について衝突距離、振動周波数、振動振幅の3つのパラメータを変更し、これら3つの制御パラメータが流動構造及び伝熱性能に与える影響を評価した。振動制御により各噴流が大きいたなびく速度分布が観察されるが、衝突距離および周波数の大きい条件では、噴流がたなびかず、折れ曲がる速度分布となること、変更した3つのパラメータの違いにより、衝突距離が大きいことで噴流が拡散すること、周波数が高いことで噴流が折れ曲がる分布となること、振幅が大きいほど噴流がよりたなびく分布となることを明らかにした。制御した全ての条件において、伝熱面上の伝熱性能を均一にできること、特に衝突距離を一定程度とり、噴流がたなびく条件において、伝熱性能がより均一になることを明らかにした。DMD法の解析結果から、制御周波数に対応して、噴流のたなびきおよび折れ曲がりの構造が生じていることを統計的に確かめた。

13本と19本の噴流を配置した制御しない衝突噴流に対する調査を行った。各噴流は壁面に衝突後、壁面噴流を形成し、噴流間において壁面噴流同士が衝突することで噴出する流れとは逆向きに流れる吹上げが全ての噴流間で生じており、従来の研究で明らかとなっている衝突噴流の基本的な特性が観察され、またその吹上げは噴流の噴出口に向かって上昇し、循環することなく、各噴流を避けながら外部へ流出する様子が今回明らかにされた。したがって衝突噴流の噴流間干渉及び伝熱性能の向上のためには壁面上方及び外側へ流れる吹上げの発生を抑制することが必要であることを明らかにした。さらに多数噴流の最小単位である2本の噴流に対し、個々の噴流を間欠的に噴出させる間欠制御を検討し、噴流間距離を変更させた結果、全ての噴流間距離の条件においてそれぞれの噴流が形成する壁面噴流同士の衝突と吹上げの発生が抑制された。その結果、噴流間の伝熱性能及び総伝熱量を向上し、特に噴流間距離が一番小さい条件において、間欠制御を行わない場合に対して最も総伝熱量が向上した。この制御を13本配置した場合に対して、噴流間隔と振動周期を変えかつ、13本の噴流を3つのグループに分け、グループごと間欠的に噴出させる制御を行った。瞬時構造から、自由噴流領域において噴出に起因する強い渦輪構造が形成され、間欠周期が小さい場合には渦輪が頻りに観察された。この渦輪は間欠周期あるいは噴流間隔が小さいほど、他の渦輪の影響を強く受け、早期に崩壊した。平均特性の評価から、間欠周期が長いほど流れ場が安定し、吹上げ流れは大きくなるという傾向が現れ、伝熱特性の評価から、間欠制御の導入及び間欠周期を長くすることで伝熱性能は向上し、特に低周期を除く範囲では、噴流間隔が広いほど衝突面上の伝熱の均一性は向上することを明らかにした。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 4件）

| | |
|---|--------------------|
| 1. 著者名 田ノ上 飛翔, 辻本 公一 | 4. 巻 87 |
| 2. 論文標題 多重脈動噴流において噴流間の距離及び脈動の位相差が流れに及ぼす影響 | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 日本機械学会論文集 | 6. 最初と最後の頁 1,15 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/transjsme.21-00051 | 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 Kentaro ECHIGO, Koichi TSUJIMOTO, Toshihiko SHAKOUCHI, Toshitake ANDO | 4. 巻 15 |
| 2. 論文標題 Flow and heat transfer characteristics of blooming jets impinging upon wall using DNS | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Fluid Science and Technology | 6. 最初と最後の頁 1-10 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/jfst.2020jfst0010 | 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 Tsujiimoto Koichi, Tanoue Tsubasa | 4. 巻 1 |
| 2. 論文標題 Mixing Enhancement of Free Jet using Deep Reinforcement Learning | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Proc.the22ndAustralasianFluidMechanicsConference | 6. 最初と最後の頁 1,4 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14264/ac4cdcc | 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 Echigo Kentaro, Tsujimoto Koichi, Shakouchi Toshihiko, Ando Toshitake, Takahashi Mamoru | 4. 巻 1 |
| 2. 論文標題 Direct Numerical Simulations of Free Jets Emerging from A Precessing Nozzle | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Proc.the22ndAustralasianFluidMechanicsConference | 6. 最初と最後の頁 1,4 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14264/b83a3c1 | 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 Tsujiimoto Koichi, Kitahara Kango, Shakouchi Toshihiko, Ando Toshitake | 4. 巻 1 |
| 2. 論文標題 Numerical Simulation of Intermittent-Controlled Multiple Jets | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 ASME Paper | 6. 最初と最後の頁 1,7 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1115/AJKFluids2019-5163 | 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 Echigo Kentaro, Tsujiimoto Koichi, Shakouchi Toshihiko, Ando Toshitake | 4. 巻 1 |
| 2. 論文標題 Flow and Heat Transfer Characteristics of Multi-Armed Impinging Jet Using DNS | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 ASME Paper | 6. 最初と最後の頁 1,8 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1115/AJKFluids2019-5380 | 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44件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 6件)

| |
|---|
| 1. 発表者名 Koichi Tsujiimoto and Tsubasa Tanoue |
| 2. 発表標題 CONTROL OF JET MIXING USING DEEP REINFORCEMENT LEARNING |
| 3. 学会等名 25th Int. Congress of Theoretical and Applied Mechanics (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Haruka Taniguchi, Koichi Tsujiimoto, Toshihiko Shakouchi, Toshitake Ando, Mamoru Takahashi |
| 2. 発表標題 Analysis of Oscillation-controlled Multiple Impinging Jets with varying Impinging Distance using DNS |
| 3. 学会等名 The 7th International Conference On Jets, Wakes and Separated Flows (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Yuichi Banno, Koichi Tsujimoto, Toshihiko Shakouchi, Toshitake Ando, Mamoru Takahashi |
| 2. 発表標題 Flow and heat transfer characteristics of inclined rotating impinging jets using DNS |
| 3. 学会等名 The 7th International Conference On Jets, Wakes and Separated Flows (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Yuma Terao, Koichi Tsujimoto, Toshihiko Shakouchi, Toshitake Ando and Mamoru Takahashi |
| 2. 発表標題 Temporal numerical simulation of atomization of divided planar liquid jets |
| 3. 学会等名 The 32th International Symposium on Transport Phenomena |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 寺尾 優馬・辻本 公一・社河内 敏彦・安藤 俊剛・高橋 護 |
| 2. 発表標題 様々なスリットにより分割された平面液体噴流の時間発展シミュレーション |
| 3. 学会等名 日本混相流学会混相流シンポジウム2021 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|-------------------------------|
| 1. 発表者名 辻本 公一・田ノ上 飛翔 |
| 2. 発表標題 深層強化学習による衝突噴流の伝熱制御 |
| 3. 学会等名 日本機械学会2021年度年次大会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 谷口 晴香・辻本 公一・社河内 敏彦・安藤 俊剛・高橋 護 |
| 2. 発表標題 近距離における振動制御した多重衝突噴流の解析 |
| 3. 学会等名 日本機械学会2021年度年次大会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 坂野 友一・越後 謙太郎・辻本 公一・社河内 敏彦・安藤 俊剛・高橋 護 |
| 2. 発表標題 DNS による傾斜回転制御した自由噴流の初期条件の検討 |
| 3. 学会等名 日本機械学会2021年度年次大会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 藤森 航紀・辻本 公一・社河内 敏彦・安藤 俊剛・高橋 護 |
| 2. 発表標題 間欠制御された多重衝突噴流のDNS |
| 3. 学会等名 第99期日本機械学会流体工学部門講演会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 谷口 晴香・辻本 公一・社河内 敏彦・安藤 俊剛・高橋 護 |
| 2. 発表標題 衝突距離を変更した振動制御下における多重衝突噴流のDMD解析 |
| 3. 学会等名 第99期日本機械学会流体工学部門講演会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 坂野 友一・越後 謙太郎・辻本 公一・社河内 敏彦・安藤 俊剛・高橋 護 |
| 2. 発表標題 DNSを用いた傾斜回転させた衝突噴流の流動・伝熱特性 |
| 3. 学会等名 第99期日本機械学会流体工学部門講演会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 寺尾 優馬・辻本 公一・社河内 敏彦・安藤 俊剛・高橋 護 |
| 2. 発表標題 分割された平面液体噴流の微粒化に関するパラメータの影響について |
| 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 藤森航紀・辻本公一 |
| 2. 発表標題 DNSによる間欠制御された多重衝突噴流の周波数特性 |
| 3. 学会等名 日本機械学会東海支部第53回学生会卒業研究発表講演会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 坂野 友一・辻本 公一・社河内 敏彦, 安藤 俊剛, 高橋 護 |
| 2. 発表標題 周波数比を変化させた傾斜・回転制御させた衝突噴流のDNS |
| 3. 学会等名 東海支部第71期総会・講演会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 谷口 晴香・辻本 公一・社河内 敏彦, 安藤 俊剛, 高橋 護 |
| 2. 発表標題 振動制御下における多重衝突噴流の伝熱性能の均一化 |
| 3. 学会等名 東海支部第71期総会・講演会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 寺尾 優馬・辻本 公一・社河内 敏彦・安藤 俊剛・高橋 護 |
| 2. 発表標題 時間発展シミュレーションによる分割された平面液体噴流の流動特性 |
| 3. 学会等名 東海支部第71期総会・講演会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Haruka Taniguchi, Koichi Tsujimoto, Toshihiko Shakouchi, Toshitake Ando, Mamoru Takahashi |
| 2. 発表標題 DNS ANALYSIS OF MULTIPLE IMPINGING JETS UNDER OSCILLATION CONTROL |
| 3. 学会等名 The 31th International Symposium on Transport Phenomena (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Yuma Terao, Hiroaki Sugiura, Koichi Tsujimoto, Toshihiko Shakouchi, Toshitake Ando, Mamoru Takahashi |
| 2. 発表標題 FLOW ANALYSIS OF PLANE LIQUID JET WITH A CONTROLLED SHEAR LAYER USING TEMPORAL NUMERICAL SIMULATION |
| 3. 学会等名 The 31th International Symposium on Transport Phenomena (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Kentaro Echigo, Koichi Tsujimoto, Toshihiko Shakouchi, Toshitake Ando, Mamoru Takahashi |
| 2. 発表標題 FLOW AND HEAT TRANSFER CHARACTERISTICS OF IMPINGING JETS EXCIED WITH BLOOMING CONTROL |
| 3. 学会等名 The 31th International Symposium on Transport Phenomena (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 寺尾優馬・杉浦広章・辻本 公一・社河内敏彦・安藤俊剛・高橋護 |
| 2. 発表標題 DIMによる時間発展シミュレーションを用いたせん断層を制御した平面液体噴流の流動解析 |
| 3. 学会等名 日本混相流学会混相流シンポジウム2020 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 越後謙太郎・辻本 公一・社河内 敏彦・安藤 俊剛・高橋 護 |
| 2. 発表標題 歳差運動するノズルから噴出する自由噴流のDNS |
| 3. 学会等名 日本機械学会2020年度年次大会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|-------------------------------------|
| 1. 発表者名 谷口晴香・辻本公一・社河内敏彦・安藤俊剛・高橋護 |
| 2. 発表標題 振動制御した多重衝突噴流の流動・伝熱特性 |
| 3. 学会等名 日本機械学会2020年度年次大会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|-----------------------------------|
| 1. 発表者名 辻本公一・田ノ上飛翔 |
| 2. 発表標題 深層強化学習を用いた 2 次元噴流の混合制御 |
| 3. 学会等名 日本機械学会2020年度年次大会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|-------------------------------------|
| 1. 発表者名 谷口晴香・辻本公一・社河内敏彦・安藤俊剛・高橋護 |
| 2. 発表標題 DMDを用いた振動制御した多重衝突噴流の解析 |
| 3. 学会等名 第98期日本機械学会流体工学部門講演会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--------------------------------------|
| 1. 発表者名 越後謙太郎・辻本公一・社河内敏彦・安藤俊剛・高橋護 |
| 2. 発表標題 歳差運動するノズルから噴出する自由噴流の構造解析 |
| 3. 学会等名 第98期日本機械学会流体工学部門講演会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|----------------------------------|
| 1. 発表者名 辻本公一・田ノ上飛翔 |
| 2. 発表標題 深層強化学習による2次元衝突噴流の伝熱制御 |
| 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 寺尾優馬・辻本公一・社河内敏彦・安藤俊剛・高橋護 |
| 2. 発表標題 DIMによるスリットから噴出した液体噴流の数値シミュレーション |
| 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 越後謙太郎・辻本公一・社河内敏彦・安藤俊剛・高橋護 |
| 2. 発表標題 DNSによる傾斜回転制御した自由噴流の初期条件の検討 |
| 3. 学会等名 東海支部第70期総会・講演会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---------------------------------------|
| 1. 発表者名 谷口晴香・辻本公一・社河内敏彦・安藤俊剛・高橋護 |
| 2. 発表標題 DNSによる振動制御した多重衝突噴流の流動・伝熱特性 |
| 3. 学会等名 東海支部第70期総会・講演会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 寺尾優馬・辻本公一・社河内敏彦・安藤俊剛・高橋護 |
| 2. 発表標題 スリットのある液体噴流に関するDIMを用いた時間発展シミュレーション |
| 3. 学会等名 東海支部第70期総会・講演会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 杉浦広章・辻本公一・社河内敏彦・安藤俊剛・高橋護 |
| 2. 発表標題 DIMによる制御された平面液体噴流の時間発展シミュレーション |
| 3. 学会等名 日本混相流学会混相流シンポジウム2019 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---------------------------------------|
| 1. 発表者名 越後謙太郎・辻本公一・社河内敏彦・安藤俊剛・高橋護 |
| 2. 発表標題 DNSを用いた壁面に衝突する開花噴流の流動・伝熱特性 |
| 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 鈴木忠史・辻本公一・社河内敏彦・安藤俊剛・高橋護 |
| 2. 発表標題 間欠制御下の多重衝突噴流における流動・伝熱特性のDNS |
| 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 田ノ上飛翔・辻本公一・社河内敏彦・安藤俊剛・高橋護 |
| 2. 発表標題 DNSによる間欠制御された多重噴流の解析 |
| 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 谷口晴香・鈴木忠史・辻本公一・社河内敏彦・安藤俊剛・高橋護 |
| 2. 発表標題 振動制御した多重衝突噴流のDNS |
| 3. 学会等名 第97期日本機械学会流体工学部門講演会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 鈴木忠史・辻本公一・社河内敏彦・安藤俊剛・高橋護 |
| 2. 発表標題 間欠多重衝突噴流における噴流間隔が流動・伝熱特性に与える影響 |
| 3. 学会等名 第97期日本機械学会流体工学部門講演会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--------------------------------------|
| 1. 発表者名 越後謙太郎・辻本公一・社河内敏彦・安藤俊剛・高橋護 |
| 2. 発表標題 DNSを用いた開花噴流の混合特性評価 |
| 3. 学会等名 第97期日本機械学会流体工学部門講演会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|-----------------------------|
| 1. 発表者名 辻本公一・田ノ上飛翔 |
| 2. 発表標題 深層強化学習による噴流の混合制御 |
| 3. 学会等名 第33回数値流体力学シンポジウム |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 杉浦広章・辻本公一・社河内敏彦・安藤俊剛・高橋護 |
| 2. 発表標題 DIMによる断層を制御した平面液体噴流の時間発展シミュレーション |
| 3. 学会等名 第33回数値流体力学シンポジウム |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--------------------------------------|
| 1. 発表者名 越後謙太郎・辻本公一・社河内敏彦・安藤俊剛・高橋護 |
| 2. 発表標題 傾斜回転させた自由噴流のDNS |
| 3. 学会等名 東海支部第69期総会・講演会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 杉浦広章・辻本公一・社河内敏彦・安藤俊剛・高橋護 |
| 2. 発表標題 DIMによる時間発展シミュレーションを用いたせん断層を制御した平面液体噴流の流動解析 |
| 3. 学会等名 東海支部第69期総会・講演会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 鈴木忠史・辻本公一・社河内敏彦・安藤俊剛・高橋護 |
| 2. 発表標題 DNSを用いた多数配置された衝突噴流の流動構造及び伝熱特性 |
| 3. 学会等名 東海支部第69期総会・講演会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|-------------------------------|
| 1. 発表者名 辻本公一・田ノ上飛翔 |
| 2. 発表標題 深層強化学習を用いた2次元噴流の制御 |
| 3. 学会等名 東海支部第69期総会・講演会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---------------------------------------|
| 1. 発表者名 谷口晴香・辻本公一 |
| 2. 発表標題 振動制御下における多重衝突噴流の流動・伝熱特性 |
| 3. 学会等名 日本機械学会東海支部第51回学生会卒業研究発表講演会 |
| 4. 発表年 2020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 |
|---------------------------|-----------------------|----|
| | | |

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 |
|---------|---------|
| | |