

令和 元年 5 月 30 日現在

機関番号：14101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06078

研究課題名(和文) 多重衝突噴流の能動制御

研究課題名(英文) Active control of multiple impinging 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) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：多数の衝突噴流を配置した多重衝突噴流では個々の噴流間に強い干渉が生じるため、多重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性能の低下、さらに衝突面上には非一様な分布特性が生じる。これらの問題を包括的に解決するため、独自に開発したDNS(Direct Numerical Simulation)コードを用いて、間欠制御や開花噴流を用いた能動制御手法を開発した。さらに混相流に対するシミュレーション技術も開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでは単独の衝突噴流に関する制御や、多重衝突噴流の干渉に関する影響評価に関する研究は行われてきているが、多数の衝突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)を用いた詳細な検討も多重衝突噴流の場合に関してはほとんど行われていない。本研究で検討した能動的な噴流制御は、一般の工学機器における伝熱特性の改善に貢献できると考えられる。

研究成果の概要(英文)：In multiple impinging jets in which a large number of impinging jets are arranged, since strong interference occurs between the individual jets, the formation of cross flow, the reduction of heat transfer performance due to the large circulating flow generated between the jets, and non-uniform distribution of heat transfer on the impinging wall occur. In order to solve these problems comprehensively, we developed an active control method such as pulsating jet and blooming jet using in-house DNS(Direct Numerical Simulation) code. Further, we also developed a simulation technology for multiphase flow.

研究分野：流体工学

キーワード：Impinging jet Multiple jet Heat transfer Mixing Coherent structure DNS Active control DMD

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 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、固体面上での混合、伝熱等の促進を行う基本的な手段として衝突噴流が用いられてきた。工業上での利用の多様さに対応し、さまざまな幾何学的あるいは力学的境界条件下の単独衝突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、単独噴流に限らず、多数の衝突噴流を配置した多重衝突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。多重化された状況の下では噴流間に強い干渉が生じるため、多重化に起因する横断流れが衝突現象を阻害することや、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などの問題が指摘されている。単独噴流は衝突中心あるいはその近傍で最大性能を示しその後、衝突点から離れると急激に性能が低下する。したがって、局所的に高い性能を示す単独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分布特性が必ず残ることになる。すなわち多重化する場合、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求められる。しかしながら従来の単独噴流の性能改善として提案された制御手法は必ずしも多重化された場合の改善には直結せず、これまでにない新たな制御の視点が必要である。

### 2. 研究の目的

多重衝突噴流に対して、多重化によって生じる単独の衝突噴流どうしの干渉による性能低下を回避・改善し、衝突面の分布特性を一様化する能動制御手法を開発する。制御手法として、自由噴流の混合制御で見出した低周波数での噴流の動的制御ならびに静的に配置した噴流の能動制御を多重噴流に適用する。具体的には、例えば動的制御の場合、動的に移動する噴流、静的制御の場合、噴流を静的に配置しそれぞれの噴流を間欠的に制御することや不安定モードを励起するなどの制御手法を開発する。また、これまで衝突噴流の研究は単相流が主流であったが、様々な混相流の数値スキームの改良が行われた結果、現在、混相流動場の解析が可能となってきている。そこで実用上多く利用される液体衝突噴流に対するシミュレーション技術の開発/提案も行う。

### 3. 研究の方法

すべての評価は数値シミュレーションを実施することにより行う。単相流の場合、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、衝突壁上での混合状態よりも壁面上の混合状態に強く関心があることから、混合性能に相当する衝突面上での Nu 数を評価指標として取り上げ、制御効果を検討する。混相流として、液体を壁面に衝突させる液体衝突噴流がある。これを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)を用いた計算コードを開発し、液体自由噴流、液滴衝突現象などのシミュレーションを行う。衝突時における伝熱特性や、液膜の動的挙動を追跡し、混相噴流制御に必要な基礎データを収集する。

#### (1) 多重噴流のための能動制御手法の検討

多重噴流の制御手法を開発するため、その要素技術となる個々の自由噴流を動的に制御する方法として、回転軸の周りに噴流を旋回させる回転制御を提案し、旋回半径ならびに旋回周波数を変え噴流の拡散状況について調査する。噴流の不安定モードである軸対称ならびに螺旋モードが励起された開花噴流は空間中に大きく拡散することが知られている。しかしながら混合拡散性能に関する定量化は十分に行われていない。そこで開花噴流がどのように噴流の構造変化を生じ、拡散状態に影響を与えるかを調査する。これら自由噴流の拡散特性を参考に、単独の衝突噴流として拡散性の高い制御パラメータで制御されている開花噴流を壁面に衝突させ、衝突面上での伝熱特性を調査する。また、多重化の制御における噴流間干渉を制御する方法の一つとして、噴流を連続的でなく間欠的に噴出させる間欠制御について、間欠周期を変化させ衝突面上での伝熱特性を調査する。

#### (2) 多重噴流のための混相噴流解析技術の開発

混相噴流は単相流の場合とは異なり、解析技術が十分に確立していないことから、検証可能な要素現象についての検討を積み上げることで提案する解析手法の有効性を明らかにする。その対象として液体が壁面に衝突する場合の基本現象である液滴衝突現象を取り上げる。また、液体噴流が衝突する壁面上では、高い伝熱領域が形成され、固体壁側にも非一様な伝熱特性が形成される。したがって固体壁の伝熱と流体側の伝熱を統一して解析する共役熱伝達 (CHT: Conjugate Heat Transfer) に対応できる混相流シミュレーションコードを開発、妥当性を検証する。液体噴流が壁面に衝突する前の自由噴流領域での液体噴流の崩壊特性、すなわち微粒化

特性や液体噴流の制御に関する基礎的知見を得るため、時間発展型の計算コードを用いて液体噴流の制御方法について検討する。制御の方法として、単相流の場合における噴流外縁の高せん断層の役割に注目し、液体噴流内部に高せん断層を形成することで液体噴流の分散性と均一性を向上する方法を検討する。

### (3)多重噴流の能動制御

多重噴流の制御手法を開発するため、その要素技術となる複数の自由噴流として、2本の自由噴流を間欠的に噴出させる制御について、噴流間隔を変えて拡散特性を評価する。幾何学的配置の異なる多重衝突噴流の基本的特性を明らかにするため、4本の噴流を一行に1次元的に配置した場合について噴流間隔を変更し、多重衝突噴流が形成する複雑な流動構造、および噴流の配置間隔が流動構造に及ぼす影響について調べる。さらに原点周りに等間隔に7,13,19本の噴流を2次元的に配置した場合のそれぞれの多重衝突噴流の流動・伝熱特性についても解析する。制御に関しては、一行に4本の円形噴流を配置した多重噴流の噴流間隔に対する流動特性を評価し、性能向上のために噴流を列方向に周期的に移動させる能動制御を行う。噴流を間欠的に噴出させる制御についても検討し、2本の円形噴流を配置した多重噴流の間欠制御を行い、間欠周期に対する伝熱特性を評価する。

## 4. 研究成果

### (1)多重噴流のための能動制御手法の検討

自由噴流を一定回転で旋回させる能動制御を行い、制御する回転周波数や回転半径の違いが及ぼす噴流の構造変化や混合状態に対する影響を調査し、流動特性および混合特性を定量的、定性的に評価した。さらに、動的挙動を調査するため、近年新たな流れ場解析手法として注目されているDMD (Dynamic Mode Decomposition)法により、噴流構造の特性を解析した。その結果、(i)瞬時構造の評価から、回転制御により渦構造が上流側で螺旋状に分布し、制御周波数に応じてフローパターンが大きく変化すること、(ii)同じ制御周波数において、制御半径が大きくなるにつれ、渦構造のピッチ間隔が広がること、(iii)エントレイメントおよびエントロピーを用いた混合指標より、回転制御は周囲流体の巻き込み量を大幅に増加させ、同じ制御周波数において制御半径が小さいほど、混合性能が向上すること、(iv)DMD法による解析結果から、回転制御噴流は最も高いエントレイメントを示した場合において、噴流の制御周波数と対応するモードを有しており、制御周波数の影響が流れ場において最も支配的となることを明らかにした。

開花噴流については、(i)螺旋と軸対称の不安定モードを与え、2つの周波数比を変えた自由噴流の場合、特定の周波数比のとき下流での伝熱・混合特性が大幅に向上すること、(ii)衝突噴流の場合、噴流の噴出後、開花噴流を特徴づける個々の渦輪の干渉が衝突面上に噴流を広く拡散させ、通常の衝突噴流では噴流構造は衝突距離を変化させた範囲内では大きく変化しないが開花噴流の場合、衝突距離が衝突壁面上での噴流の拡散特性に強く影響を及ぼすこと、(iii)通常の衝突噴流の場合、衝突面上でのNu数は衝突距離に関係なく衝突点にピークにもち、離れるに従って徐々に減少するが、開花噴流の場合、衝突距離が短い場合、周波数比の違いによる伝熱特性への影響は少なく、衝突点からNu数は単調に減少するが、衝突距離が長い場合、周波数比の影響は大きくなり、周波数比が大きいつき、衝突壁面上で均一な伝熱特性が達成されることを明らかにした。

間欠制御が衝突噴流に与える影響を明らかにするために、制御パラメータとして間欠周期を変更した計算を行い、(i)噴流の噴出時には強い渦輪構造が形成され、間欠周期が短い場合には渦輪の形成が頻繁になることや、壁面への衝突後には間欠周期の長さに対応した規模のトロイダル渦が形成され壁面上を進行すること、(ii)間欠制御により、衝突噴流の衝突点の伝熱性能や衝突面全体の総伝熱量が向上し、特に間欠周期が短い条件では伝熱性能が大きく向上することを明らかにした。

### (2)多重噴流のための混相噴流解析技術の開発

混相噴流については、時間発展型の計算コードを用いて、液体噴流の分散性の向上について噴出時の速度分布を一樣にした場合を基準として、中心の速度を凸型、そして中心の速度を凹型にした2パターンについて、凹凸部のそれぞれの影響を調べるために3種類の速度分布について調べた結果、(i)噴出時の速度分布を凸型または凹型に設定することによって通常の一様な場合と比べて噴流挙動が大きく変化し、発達初期段階で噴流の乱れが開始し、さらに時間とともに、液体噴流が細かく分裂・崩壊すること、またこの傾向が内部せん断層の強さに比例していること、(ii)階段状の速度分布によって生じる内部せん断により噴流内部においてスパン方向のロール状の渦構造が形成され、この構造が合体することで噴流が不安定になり、崩壊すること、またDMD法を用いた構造解析においても、ロール状の構造が形成されること明らかにした。また、凸型と凹型とでは渦形成の向きが逆になるが、さらに凸型のほうが大きな渦構造を形成することを明らかにした。

CHTを考慮した液滴の衝突問題について、液滴内部および周辺の温度分布にCHTが与える影響について検討した。さらに多数液滴の衝突問題について衝突面上の伝熱特性を評価した結果、(i)単独液滴が加熱壁面に衝突する問題において、計算領域下部に加熱された固体を設置し、そ

の固体に液滴を衝突させる CHT の計算を行い、高精度な伝熱計測による実験値と比較した結果、本計算結果と実験値はよく一致しており、提案する CHT を考慮した計算スキームが有用であること、(ii)多数の液滴を衝突させ固体表面の温度分布を可視化した結果、液滴同士が干渉している部分では壁面の冷却が遅くなることなどの伝熱特性が明らかにされた。

### (3)多数噴流の能動制御

自由噴流を間欠的に噴出させる間欠制御について、噴流間隔を変化させた結果、(i)瞬時構造の評価から、間欠制御の導入によって上流側で渦構造が間欠的に形成され大きくフローパターンが変化し、制御周波数及び噴流間隔を変えることで噴流配置軸方向と直交する方向に渦構造が発達すること、(ii)平均速度場を評価した結果、間欠制御を行った場合、噴流出口付近から流れ場が変化し噴流が大きく拡散すること、(iii)エントロピーを用いた混合指標より、間欠制御を行うことで制御なしの場合よりも値が増加し、混合が促進すること、(iv)エントレインメントを評価した結果、間欠制御の導入は周囲流体の巻き込み量を大幅に増加させることを明らかにした。

多重衝突噴流の基本的特性を明らかにするため、一列に4本の円形噴流を配置した多重噴流の噴流間隔に対する流動特性を評価し、そのうち特に伝熱特性が優れない場合について、性能向上のために噴流を列方向に周期的に移動させる能動制御を行い、特定の周波数で伝熱性能が改善されることを見出した。

7, 13, 19本の噴流を2次元的に配置した多重衝突噴流の流動・伝熱特性について解析し、その結果、(i)各衝突噴流どうしに形成される壁面噴流が互いに衝突することで壁面上に発生する吹上げ流れと、噴流が周囲に噴き出す流量が積算されて生じる横断流れの影響の度合いに応じて多重化された流れ場の内部に異なる流れ構造が形成されること、(ii)Nu数の特性から各噴流の衝突位置周辺にNu数のピークが形成され、多重衝突噴流でさえ不均一な分布が形成されること、(iii)本数が多くなると横断流れは強くなり、その横断流れは局所的なNu数のピークをわずかに減少させるが、周囲の伝熱が改善されることを明らかにした。

間欠制御が衝突噴流に与える影響を明らかにするために、2本の多重衝突噴流に間欠制御を行った場合について、制御パラメータとして、間欠周期と2本の噴流の位相差を変更した計算を行い、制御パラメータの変更が流動構造や伝熱特性へ与える影響を評価し、(i)多重衝突噴流では、制御しない場合に発生した噴流間の吹き上げが、間欠周期が長く位相差の大きなパラメータの下で抑制されること、(ii)間欠制御によって多重衝突噴流の伝熱性能が改善し、特に、間欠周期が長く位相差の大きなパラメータの下で噴流間の伝熱性能や衝突面全体の総伝熱量が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10件)

1 K. Tsujimoto, K. Jinno, T. Shakouchi, T. Ando, Numerical Simulation of Intermittently Controlled Multiple Impinging Jets, Proc. the 21st Australasian Fluid Mechanics Conference, USB-memory, 4P., 2018, 査読有。

<https://aomevents.eventsair.com/QuickEventWebsitePortal/21st-australasian-fluid-mechanics-conference/afmc2018>

2 T. Suzuki, K. Tsujimoto, T. Shakouchi, T. Ando, DNS of Flow and Heat Transfer Characteristics of Multiple Impinging Jets, Proc. the 21st Australasian Fluid Mechanics Conference, USB-memory, 4P., 2018, 査読有。

<https://aomevents.eventsair.com/QuickEventWebsitePortal/21st-australasian-fluid-mechanics-conference/afmc2018>

3 H. Sugiura, K. Tsujimoto, T. Shakouchi, T. Ando, Temporal Numerical Simulation of Atomization of Liquid Jet using Diffuse Interface Model, Proc. the 21st Australasian Fluid Mechanics Conference, USB-memory, 4P., 2018, 査読有。

<https://aomevents.eventsair.com/QuickEventWebsitePortal/21st-australasian-fluid-mechanics-conference/afmc2018>

4 K. Tsujimoto, A. Sanmuga, T. Shakouchi, T. Ando, DNS of dynamic rotating-controlled free jet, Proc. the 6th Int. Conf. Jets, Wakes and Separated Flows, USB-memory, 6p., 2017, 査読有。

<https://www.uc.edu/eventservices/ICJWSF-2017.html>

5 S. Keeni, K. Tsujimoto, T. Shakouchi, T. Ando, Temporal numerical simulation of liquid jet using diffuse interface model, Proc. the 6th Int. Conf. Jets, Wakes and Separated Flows, USB-memory, 6p., 2017, 査読有。

<https://www.uc.edu/eventservices/ICJWSF-2017.html>

6 K. Kitahara, K. Tsujimoto, T. Shakouchi, T. Ando, Intermittent Control in Multiple Jets Using DNS, Proc. the Ninth JSME-KSME Thermal Fluids Eng. Conf., USB-memory, 5p., 2017, 査読有。

<https://www.jsme.or.jp/event/2017-25788/>

- 7 K. Jinno, K. Tsujimoto, T. Shakouchi, T. Ando, DNS of Intermittently Controlled Impinging Jets, Proc. the Ninth JSME-KSME Thermal Fluids Eng. Conf., USB-memory, 5p., 2017, 査読有.  
<https://www.jsme.or.jp/event/2017-25788/>
- 8 K. Jinno, K. Tsujimoto, T. Shakouchi, T. Ando, DNS of Flow and Heat Transfer Characteristics of Multiple Impinging Jets, Proc. the 20st Australasian Fluid Mechanics Conference, USB-memory, 4P., 2016, 査読有.  
<http://www.afms.org.au/20AFMC/>
- 9 Y. Sugitani, K. Tsujimoto, T. Shakouchi, T. Ando, NUMERICAL SIMULATION OF MULTIPLE DROPLET IMPINGEMENT USING DIFFUSE INTERFACE MODEL, Proc. Int. Conf. Multiphase Flow 2016, USB-memory, 6P., 2016, 査読有.  
<https://www.aidic.it/icmf2016/>
- K. Tsujimoto, T. Onodera, T. Shakouchi, T. Ando, DNS analysis of multiple impinging jets, Springer Proceedings in Physics, Vol. 185, pp. 69-76, 2016, 査読有.  
 DOI: 10.1007/978-3-319-30602-5\_9

[学会発表](計 27 件)

- 1 杉本康嘉, 辻本公一, 社河内敏彦, 安藤俊剛, 相変化を伴う衝突する液滴の数値シミュレーション, 日本機械学会東海支部第 68 期総会講演会, 2019 年.
- 2 山下大覚, 辻本公一, DIM による液体噴流の伝熱特性, 日本機械学会東海支部第 50 回学生会卒業研究発表講演会, 2019 年.
- 3 杉本康嘉, 辻本公一, 社河内敏彦, 安藤俊剛, 固体の伝熱を考慮した加熱平面に衝突する液滴の数値シミュレーション, 32 回数値流体力学シンポジウム, 2018 年.
- 4 鈴木忠史, 辻本公一, 社河内敏彦, 安藤俊剛, DNS による間欠制御された多重衝突噴流の流動・伝熱特性, 第 96 期日本機械学会流体工学部門講演会, 2018 年.
- 5 越後謙太郎, 辻本公一, 社河内敏彦, 安藤俊剛, DNS を用いた開花噴流の混合と拡散, 第 96 期日本機械学会流体工学部門講演会, 2018 年.
- 6 北原歆伍, 辻本公一, 社河内敏彦, 安藤俊剛, DNS による間欠制御された多重噴流における構造解析, 第 96 期日本機械学会流体工学部門講演会, 2018 年.
- 7 鈴木忠史, 辻本公一, 社河内敏彦, 安藤俊剛, 多重衝突噴流の流動・熱伝達特性の DNS, 日本機械学会 2018 年度年次大会, 2018 年.
- 8 北原歆伍, 辻本公一, 社河内敏彦, 安藤俊剛, DNS による間欠制御された多重噴流の流動特性, 日本機械学会 2018 年度年次大会, 2018 年.
- 9 杉本康嘉, 辻本公一, 社河内敏彦, 安藤俊剛, DIM による伝熱面に衝突する液滴の数値シミュレーション, 日本混相流学会混相流シンポジウム 2018, 2018 年.
- 10 鈴木忠史, 辻本公一, 社河内敏彦, 安藤俊剛, DNS による多重衝突噴流の流動・熱伝達特性の評価, 日本機械学会東海支部第 67 期総会講演会, 2018 年.
- 11 北原歆伍, 辻本公一, 社河内敏彦, 安藤俊剛, DNS による多重噴流における間欠制御の流動特性, 日本機械学会東海支部第 67 期総会講演会, 2018 年.
- 12 キニ ショウタ, 辻本公一, 社河内敏彦, 安藤俊剛, DIM による平面液体噴流の微粒化構造解析, 日本機械学会東海支部第 67 期総会講演会, 2018 年.
- 13 神野敬太, 辻本公一, 社河内敏彦, 安藤俊剛, 間欠制御された多重衝突噴流の DNS における流動・伝熱特性の解析, 日本機械学会東海支部第 67 期総会講演会, 2018 年.
- 14 鈴木忠史, 辻本公一, 社河内敏彦, 安藤俊剛, 多重衝突噴流の流動・熱伝達特性の DNS, 第 31 回数値流体力学シンポジウム, 2017 年.
- 15 杉本康嘉, 辻本公一, 社河内敏彦, 安藤俊剛, DIM による液滴衝突の数値シミュレーション, 日本機械学会 第 30 回計算力学講演会, 2017 年.
- 16 キニ ショウタ, 辻本公一, 社河内敏彦, 安藤俊剛, DIM による制御された液体噴流の流動構造解析, 日本機械学会 第 30 回計算力学講演会, 2017 年.
- 17 北原歆伍, 辻本公一, 社河内敏彦, 安藤俊剛, 間欠制御された多重噴流の DNS, 日本機械学会 2017 年度年次大会, 2017 年.
- 18 神野 敬太, 辻本公一, 社河内敏彦, 安藤俊剛, 間欠制御された衝突噴流における渦構造が与える伝熱性能への影響, 日本機械学会 2017 年度年次大会, 2017 年.
- 19 キニ ショウタ, 辻本公一, 社河内敏彦, 安藤俊剛, DIM による制御された液体噴流の時間発展シミュレーション, 日本混相流学会混相流シンポジウム 2017, 2017 年.
- 20 神野敬太, 辻本公一, 社河内敏彦, 安藤俊剛, 間欠制御された単独・多重衝突噴流の構造解析, 日本機械学会東海支部第 66 期総会講演会, 2017 年.
- 21 北原歆伍, 辻本公一, サムガ アルムガム, 社河内敏彦, 安藤俊剛, 自由噴流における回転制御の DNS, 日本機械学会東海支部第 66 期総会講演会, 2017 年.
- 22 キニ ショウタ, 辻本公一, 社河内敏彦, 安藤俊剛, DIM による時間発展する液体噴流の微粒化解析, 日本機械学会東海支部第 66 期総会講演会, 2017 年.
- 23 神野敬太, 辻本公一, 社河内敏彦, 安藤俊剛, 単一・多重衝突噴流に対する間欠制御の DNS, 第 94 期日本機械学会流体工学部門講演会, 2016 年.

24 神野敬太, 辻本公一, 社河内敏彦, 安藤俊剛, 間欠制御された多重衝突噴流の DNS, 日本機械学会 2016 年度年次大会, 2016 年.

25 サンムガ アルムガム, 辻本公一, 社河内敏彦, 安藤俊剛, DNS によるダイナミック制御した噴流の構造解析, 日本機械学会 2016 年度年次大会, 2016 年.

26 キニ ショウタ, 辻本公一, 社河内敏彦, 安藤俊剛 DIM による時間発展する液体噴流の数値シミュレーション, 日本混相流学会混相流シンポジウム 2016, 2016 年.

27 杉谷侑良, 辻本公一, 社河内敏彦, 安藤俊剛 DIM を用いた多数液滴壁面衝突現象の数値シミュレーション, 日本混相流学会混相流シンポジウム 2016, 2016 年.

## 6 . 研究組織

### (1)研究分担者

研究分担者氏名：安藤 俊剛

ローマ字氏名：(ANDO, TOSHITAKE)

所属研究機関名：三重大学

部局名：大学院工学研究科

職名：准教授

研究者番号 ( 8 桁 ): 30273345

科研費による研究は, 研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため, 研究の実施や研究成果の公表等については, 国の要請等に基づくものではなく, その研究成果に関する見解や責任は, 研究者個人に帰属されます。