

令和 2 年 6 月 30 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17H03168

研究課題名（和文）高速射出液膜流れの固気液三相接触線近傍流れ場の不安定現象に及ぼす周囲気体効果

研究課題名（英文）Surrounding gas effects on instability at solid-gas-liquid three-phase contact line in high-speed liquid film flow

研究代表者

渡部 正夫（Watanabe, Masao）

北海道大学・工学研究院・教授

研究者番号：30274484

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,700,000 円

研究成果の概要（和文）：固体表面への液滴衝突は噴霧冷却、インクジェット印刷、超清浄洗浄等の技術応用において重要な技術的要素である。本研究では、固体表面衝突後に形成される高速液膜流れの不安定現象に着目し、4つの研究項目（高速度カラー光干渉計を用いた液滴-固体間の空気薄膜形成の観察、異なる接触角を有する固体表面への液滴衝突の観察、減圧チャンバ内での高速液滴衝突の観察、固体表面衝突後の液膜不安定性に及ぼす周囲凝縮性気体の効果の観察）を行うことにより、「高速射出液膜流れの固気液三相接触線近傍流れ場の不安定現象に及ぼす周囲気体効果」を考察した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高速で進展する液膜が、周囲気体圧力が低下すると安定化することは15年程前から知られてはいるが、本研究を遂行することにより、周囲圧力のみではなく、固体表面の濡れ性や周囲気体の凝縮・蒸発現象も、進展液膜の不安定性に大きく影響を及ぼすことを明らかにした。これらの成果は、高速射出液膜の不安定現象に起因する splash の発生メカニズム解明に大きく寄与する。さらに、高速液滴と固体面との衝突は、噴霧塗装、プラズマ溶射、スプレー乾燥、インクジェット印刷等の様々な産業分野におけるプロセスにおいて本質的に重要な物理過程であるため、これらの産業分野の新たな展開に寄与する。

研究成果の概要（英文）：Liquid droplet impacts on solid surface are key elements in technical applications, such as rapid spray cooling, ink-jet printing and semiconductor cleaning. Although the broad varieties of parameters that control splash formation after the droplet impact, are proposed, they are not thoroughly explored; hence, dynamics of the droplet after the impact are yet fully understood. After droplet impacts on solid surface, characteristic film flow is developed; then splash which consists of the secondary droplets ejected from the edge of the lamella may be generated. We investigated the surrounding-gas effects on the instability in the vicinity of the solid-gas-liquid triple-phase contact line of the ejected fast liquid film flow. We conducted four types of experiments: observation of thin-gas layer by color interferometry, droplet impact on solid surface with various wettability, high-speed droplet impact in the reduced pressure chamber, droplet impact in the condensable surrounding gas.

研究分野：流体力学

キーワード：流体 混相流 液滴 液滴衝突 スプラッシュ 液捲流れ 可視化

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 液滴の固体表面衝突後に微小液滴が飛散する splash と呼ばれる現象はあらゆるところで観察される。工学分野では、噴霧燃焼においては界面面積を増大させるため splash は有利に働くが、塗工においては塗工液の塗工ムラを生じさせる。また、生化学の分野では医療・微生物や病気因子による相互汚染を引き起こすため、splash の制御はきわめて重要である。様々な splash 形成機構が確認されているが、液滴衝突直後に射出される非常に薄い高速射出液膜の水平方向への進展の結果、液膜先端の崩壊により高速微細液滴が形成される corona splash においては、高速射出液膜固気液三相接触線の移動が splash 形成機構における重要な物理過程である。

(2) 高速液膜流れに及ぼす周囲気体の効果については、気体内に発生する水撃圧力 (Xu ら, 2005) ; 液膜に及ぼす気体の揚力 (Riboux ら, 2014) ; 接触線近傍での気体のすべり (Sprittles, 2015) が提案されているが、研究代表者らが着目している、高速射出液膜固気液三相接触線近傍の不安定現象を、気液界面形状の詳細な観察に基づいて周囲気体の効果を実験的に考察した研究報告は存在しない。

(3) 研究代表者らは、水蒸気と水の混合スプレーによる洗浄技術を開発し高い洗浄効果を実現することに成功している。「液滴が固体表面に衝突した際に、周囲気体の凝縮効果により splash の発生が抑制されるため、高速で進展する液膜によって生じる強い粘性せん断応力によって高い洗浄効果が得られる」と仮説を提唱したが、洗浄効果と splash 発生の有無との関係性は未だ検証されていない。さらに、洗浄効果の向上のためには、液滴の固体表面衝突後に形成される高速射出液膜の不安定現象が splash 発生の要因となるため、高速射出液膜の不安定現象を制御することが必要不可欠であるにも関わらず、その実現には至っていない。

2. 研究の目的

(1) 本研究の目的は、液滴の固体面衝突直後に射出される非常に薄い高速液膜流れの不安定現象に及ぼす周囲気体の効果を明らかにし、壁面に沿う安定な高速液膜流れを実現することである。大気開放下および真空容器内で、液滴衝突速度 (0.1 m/s~50 m/s) 液滴周囲圧力 (0.8 kPa~大気圧)、液滴周囲温度 (室温~約 370 K)、液滴周囲気体種 (空気、窒素、ヘリウム、二酸化炭素、エタノール蒸気) をパラメータとして、液滴を固体面に衝突させ高速液膜流れを発生させる。液滴の固体面衝突直後に射出される高速射出液膜の不安定現象を周囲気体の果たす役割の視点から検討し、固気液三相接触線近傍での気液界面形状を詳細に観察することによって当該不安定現象を実験的に考察する。

(2) 本研究を遂行することにより、液膜進展時に発生する不安定現象を詳細に記述可能なモデルの構築が可能となり、高速射出液膜の不安定現象に起因する splash の発生メカニズムの解明に大きく寄与し、その制御を実現するとともに、接触線移動のダイナミクスの理解の深化にも大きく貢献する。

3. 研究の方法

(1) 高速度カラー光干渉計を用いた液滴-固体間の空気薄膜形成の観察

① 本研究では、液滴の固体壁に対する衝突時に形成される空気薄膜に注目する。高速度カラー光干渉法による観察を用いて、衝突条件により薄膜がどのような変化を示すのかを考察する。

② 本研究では、純水液滴のスライドガラスに対する鉛直自由落下衝突過程を観察した。高速度カラービデオカメラ (NAC イメージテクノロジー, HX-3) に、光学顕微鏡レンズ (Leica Microsystems, Z16 APO) を取り付け、これを水平に設置し観察対象とレンズの間にミラーを設置することで液滴衝突の下方向からの撮影を実現した。光源 (NPI, PCS-MH375RC) はレンズ同軸に取り込み照射し、衝突固体壁であるスライドガラス面による反射光と液滴底面の反射光による光の干渉を観察した。上記の方法により、形成されるごく薄い空気膜を視覚的に観察することが可能となった。

③ 本研究では、操作パラメータは固体表面濡れ性であり、窒素プラズマ照射処理を施すことで定性的な表面形状の変化なく、濡れ性を変化させた。接触角は処理時間 0s, 2s, 4s, でそれぞれ、75.8°, 34.2°, 14.4° であった。

④ 本研究では、空気薄膜の解析は幾何学的形状が既知である平凸レンズを用いて行った。スライドガラス上に平凸レンズの凸面が下になるように置き、ガラス面とレンズ底面の反射光により生じる干渉縞のデータを取得。液滴衝突時に得られる干渉縞のデータをこの情報と関連させることで、空気薄膜の形状を解析した。

(2) 異なる接触角を有する固体表面への液滴衝突の観察

① 本研究では、濡れ性が Splash 発生に及ぼす影響の調査と、液滴衝突の初期段階の観察を行うため、固体壁と水液滴との濡れ性を変化させて固体表面と水液滴の衝突実験を行い、下方向からの観察を行った。

② 本研究では、注射針で直径 $D = 2.8 \sim 3.2$ mm の純水液滴を生成して自由落下させ、固体壁に衝突する瞬間を高速カメラを使い、横方向と下方向から同期して撮影を行った。横方向からは高速カラービデオカメラ (NAC イメージテクノロジー, HX-3), 下方向からは超高速ビデオカメラ (島津製作所, HPV-1) を使い、フレームレートはそれぞれ, 10,000 fps, 500,000 fps. とした。この場合, HX-3 は約 1 s 間撮影できるため手動で撮影時刻を設定可能であるのに対し, HPV-1 を用いた場合は, 撮影時間が $202 \mu\text{s}$ と限られているため, 赤外線センサー (キーエンス社) とファンクションジェネレータ (株式会社エヌエフ回路設計ブロック) を用いて衝突時と撮影開始時刻とを同期させた。

③ 本研究では、下方向からの撮影ではバックライト法を用いたが、液滴が光源からの光を遮るため接地面が影となって観察できない。そこで Thoroddsen ら (2012) の実験手法を参考にした。液滴がレンズの役割を果たし、バックライトが集光できるように光源の角度を設定することで、観察可能領域を調整した。

④ 本研究では、衝突板には表面粗さ $R_a = 2.1$ nm のカバーガラス (松浪硝子工業 18×18) を使用した。この衝突板にプラズマ照射装置 (株式会社魁半導体社製) と、フッ素系撥水コート剤 (株式会社フロロテクノロジー社製) を用いることで濡れ性を変化させた (表 1)。液滴衝突速度 V は衝突板から注射針までの高さを変えることで $V = 3.2 \sim 4.5$ m/s まで変化させた。

(3) 減圧チャンバ内での高速液滴衝突の観察

① 本研究では、減圧チャンバー内で静止した注射針から落下した直径 $D = 2.15 \pm 0.15$ mm の液滴が鉛直上向きに移動している衝突板に衝突させた。周囲気体には Air, He, CO₂ を使用し、周囲気体圧力の範囲は $P = 0.8 \sim 100$ kPa (大気圧) と設定した。衝突板を移動させるために弾丸射出装置を使用した。弾丸射出装置は、誘導起電力により鉄製の弾丸を射出する機構を有する。衝突速度は $V = 7.3 \sim 33$ m/s の範囲であった。衝突板に使用するアクリル板の表面には表面粗さ $R_a = 2.1$ nm のカバーガラスを使用した。

② 本研究では、液滴衝突の様子は超高速ビデオカメラ (島津製作所, HPV-1) を使用し、1,000,000 fps のフレームレートで撮影した。自由落下する液滴がセンサーによって感知されると、駆動信号が超高速ビデオカメラ、弾丸射出装置、ストロボに送信され、高速衝突の同期撮影が可能となった。

(4) 固体表面衝突後の液膜不安定性に及ぼす周囲凝縮性気体の効果の観察

① 本研究では、真空容器内の圧力および温度制御が非常に重要であるため、容器内の温度制御にシリコンラバーヒーターを用いた。シリコンラバーヒーターは真空容器側面、上面、下面すべてに耐熱性両面テープで貼り付け、さらに耐熱材で覆うことで熱の損失を抑えた。また液滴が自由落下中に周囲気体による温度変化の影響を防ぐため、容器内の気体温度同様、液体容器にヒーターを取り付け、液体の温度制御も行った。また、ヒーターは温度制御を行うためにデジタル温度調節器に接続され、273 ~ 573 K までの温度制御が可能である。真空容器内の温度を測定するために熱電対を用いた。各シリコンラバーヒーター、真空容器内上部、固体壁近傍に取り付け温度を測定した。圧力は、液滴射出前に真空ポンプを用いて真空容器内を減圧することで制御し、温度制御を行う場合も同様に、液滴射出前にシリコンラバーヒーターを用いて内部の温度を目標温度まで加熱した。

② 本研究では、エタノール蒸気雰囲気中にて液滴衝突の観察をするので、真空容器内にエタノール蒸気雰囲気を作る場合は、減圧された状態の真空容器内にエタノールが入ったビーカーを設置し、蒸発させることで容器内をエタノール蒸気で満たした。注射針から衝突版までの高さはおよそ 600 mm。衝突直前の液滴の速度は 2.8~3.2 m/s。液滴生成装置を用いて液滴を生成すると、液滴直径は 2 ~ 3 mm であった。本研究において試料液体はエタノールである。気体圧力は 1 ~ 100 kPa (大気圧) 程度、気体温度はおよそ 290 K ~ 370 K 程度の領域での液滴衝突の観察を行った。

4. 研究成果

(1) 高速度カラー光干渉計を用いた液滴-固体間の空気薄膜形成の観察

① 本研究では、大気圧下で自由落下する液滴が固体壁に衝突する現象を、高速度カラーカメラによって撮影することで液滴と固体壁の間に形成される空気薄膜の観察を実現し、固体壁面の接触角が液滴衝突現象における空気薄膜特性に及ぼす影響を調査した。膜厚解析は本実験系に適用する方法を構築し、500 nm ~ 2.5 μm の厚さの解析を可能とした。

② 本研究では、液滴衝突時に山型の空気薄膜が形成されることが確認でき、接触角の違いでこれが保持される時間や、膜厚が異なることを明らかにした。接触角が小さいほど空気膜が形成されている時間が短く、膜厚は小さな値であった。特に、接触が開始するまでに要する時間が顕著に変化していた。最薄空気膜厚は最大 123 nm 差が現れ、最も厚くなっている厚さは推定 500 nm 程度の差が生じている。この変化は、接触角の違いで液滴に加わる力が変化していることを示唆している。これに対し、簡単なモデルを用いて作用する力について考察を行い、解析から得られた液滴底部の落下速度から求まる力のオーダーがモデルのものと一致し、一定の成果は得られたが十分なものではないと考える。接触角が異なることで固体表面の境界条件が変わり、それに伴い形成される空気薄膜に関する流体力学も変化すると考えられる。

③ 本研究では、濡れ性の評価として接触角を用いた。これは固液の接触が完了し、安定した状態で計測される静的指標である。しかし、液滴衝突現象では接触が始まる前からその影響が生じていることを示すと興味深い結果が得られており、動的条件においては濡れ性を接触角で整理しきれない可能性があると考えられる。

(2) 異なる接触角を有する固体表面への液滴衝突の観察：

① 本研究では、一滴でも 2 次的な液滴が発生したときを Splash とした。一般に衝突速度 V を上昇させると splash が発生しやすくなるが、濡れ性を向上 ($34.2^\circ \leq \theta \leq 110.0^\circ$) させることにより splash の発生が抑制されることを示した。splash の抑制は粘性と濡れ性を比較すると濡れ性のほうが効果は弱く、高粘性流体では有意な差が出ないと考える。splash が抑制された原因は液膜が進展していく際の先端形状が濡れ性の改質により変化したこと起因すると考える。濡れ性の向上による splash の抑制は splash が液膜先端部での 3 相接触線が dewetting することによって生じると考えられた。Cox (1998) が提案した接触線が動く場合の動的な接触角を定めるモデルを利用すると、そのモデルと実験結果に良好な一致が見られた。

② 本研究では、衝突直後の液膜の進展速度は濡れ性の変化に影響を受けないことがわかった。液滴衝突を下方向から観察したことにより、液膜の生成時間をより正確に見積もることが出来、無次元液膜生成時刻 te は衝突速度と濡れ性に依存せず、 $te=0.00757$ となった。

③ 本研究では、水液滴とガラスにおいて、表面粗さを大きく変えることなく接触角を最大にするためには現状 120° 程度までが限界であった(表面を粗くすれば 150° まで可能)。疎水域で異なる接触角を持たせることは難しいが、それが実現できれば非常に興味深い結果が得られると期待できる。

④ 本研究では、液滴の気体捕獲については、今回すべての条件で観測されたため、気体捕獲の有無が splash に影響を与えることは無いと考えている。ただし、今回実験を行った衝突速度はかなり狭い範囲であり、高速条件下においては気体捕獲が起きるのか、また、今回は濡れ性であったが、様々な条件を変えることで気体捕獲に対して影響が出る可能性もあり、今後の研究対象として非常に興味深いものである。

(3) 減圧チャンバ内での高速液滴衝突の観察

① 本研究では、Xu ら (2007) によって提唱された splash の判定基準に従って、prompt splash (固体表面粗さが支配する splash) と corona splash (周囲気体圧力が支配する splash) の発生閾値を探索した。これまで粗い表面での衝突でのみ観察されると考えられてきた低 Oh 数 ($Oh \sim 0.01$) 液滴の prompt splash が、滑らかな固体表面 ($Ra \sim 2.1nm$) 上でも観察されることを実験的に初めて明らかにした。

② 本研究では、prompt splash の発生閾値について既に提案されたモデル式が、滑らかな固体表面で発生する prompt splash の発生についても予測することが可能であることを示した。

③ 本研究では、prompt splash は液滴衝突プロセスの極初期過程で発生し、周囲気体圧力には依存せず、周囲気体圧力を十分に低下しても prompt splash の発生を抑えることができないこ

とを示した。

④ 本研究では、これまでの実験的研究では滑らかな固体表面で発生する prompt splash が観測されなかったのは、prompt splash が発生していなかったからではなく、corona splash の発生によって prompt splash の発生が隠されていたためであることを示し、prompt splash が発生しない事象と、prompt splash が観察されない事象とを明確に区別する重要性を示した。

(4) 固体表面衝突後の液膜不安定性に及ぼす周囲凝縮性気体の効果の観察

① 本研究では、窒素ガス中の液滴衝突における気体温度の影響に関して検討した。窒素ガス中でのエタノール液滴の衝突実験では各温度に対する splash 発生の閾圧力を見積もることができた。また、高温条件下では液膜の浮き上がりは短い時間のみ観察できた。浮き上がった液膜が高温のため蒸発したためと考えられ、気体温度の上昇は splash 発生の抑制効果があることが明らかになった。

② 本研究では、液滴衝突における気体種の影響に関して検討するため、空气中、エタノール蒸気中、および窒素ガス中での液滴衝突の様子を比較した。空気や窒素の場合では、corona splash が確認され、エタノール蒸気中の場合では splash の発生は確認できず、lamella の発生のみが確認された。理論上ではエタノール蒸気の圧力は飽和蒸気圧より高くなることはないため、エタノール蒸気中で飽和蒸気圧近傍の条件では、衝突部付近の局所的な圧力も飽和蒸気圧を超えることができず splash が発生しないと推察した。窒素ガス中の高温下の実験条件では、エタノール飽和蒸気圧が周囲気体圧力よりも大きいため、エタノール液滴は蒸発が発生していると考えた。しかし、予測され splash 閾値と実験結果が一致しているため、エタノール液滴の蒸発による splash 発生の影響は無視できると考えた。

③ 本研究では、窒素ガス中とエタノール蒸気中の splash 閾値を比べるとエタノール蒸気中の場合の方が低圧となった。また、エタノール蒸気中での液滴衝突は窒素中の液滴衝突に比べ splash が抑制され、splash 閾値より上の領域の大気圧と同程度の圧力においても splash が発生しないという結果が得られた。その原因として、エタノール蒸気とエタノール液滴との凝縮現象が考えられる。Xuらのモデル(2005)では周囲気体の影響として、蒸発・凝縮などの相変化を考慮していないため、予想される splash 閾値より上の領域でも splash は発生しなかったと推察される。

④ 本研究では、液滴衝突における混合気体の影響に関して検討した。混合する窒素ガスの圧力を変化させた液滴衝突の様子を比較した。窒素ガスとエタノール蒸気とを混合した場合でも、エタノール蒸気の影響は無視することができ、窒素ガスの分圧が splash の発生に関係していると推察される。また、窒素ガスの分圧と周囲気体温度が同程度の場合では、エタノール蒸気分圧が飽和蒸気圧より小さい場合に、splash が発生しやすい傾向が確認された。

<参考文献>

① L. Xu, W. W. Zhang, S. R. Nagel, Drop Splashing on a Dry Smooth Surface, Physical Review Letters, Vol. 94, 2005, 184505.

② G. Riboux, J. M. Gordillo, Experiments of Drops Impacting a Smooth Solid Surface: A Model of the Critical Impact Speed for Drop Splashing, Physical Review Letters, Vol. 113, 2014, 024507.

③ J. E. Sprittles, Air entrainment in dynamic wetting: Knudsen effects and the influence of ambient air pressure, Journal of Fluid Mechanics, Vol. 769, 2015, 444-481.

④ S. T. Thoroddsen, K. Takehara, T. G. Etoh, Micro-splashing by Drop Impacts, Journal of Fluid Mechanics, Vol. 706, 2012, 560-570.

⑤ R. G. Cox, Inertial and viscous effects on dynamic contact angles, Journal of Fluid Mechanics, Vol. 357, 1998, 249-278

⑥ L. Xu, L. Barcos, S. R. Nagel, Splashing of liquids: Interplay of surface roughness with surrounding gas, Physical Review E, Vol. 78, 2007, 066311.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Taku ASHIDA, Masao WATANABE, Kazumichi KOBAYASHI, Hiroyuki FUJII, Toshiyuki SANADA	4. 巻 5
2. 論文標題 Hidden prompt splashing by corona splashing at drop impact on a smooth dry surface	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Fluids	6. 最初と最後の頁 11601
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevFluids.5.011601	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 Y. Tatekura, M. Watanabe, K. Kobayashi, T. Sanada	4. 巻 5
2. 論文標題 Pressure generated at the instant of impact between a liquid droplet and solid surface	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Royal Society Open Science	6. 最初と最後の頁 181101
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1098/rsos.181101	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 -

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 0件／うち国際学会 5件）

1. 発表者名 Masao WATANABE, Taku ASHIDA, Kazumichi KOBAYASHI, Hiroyuki FUJII, Toshiyuki SANADA
2. 発表標題 Drop impact on a fast-moving rigid solid plate projected by a coilgun in a vacuum chamber
3. 学会等名 Droplets（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masao WATANABE, Taku ASHIDA, Kazumichi KOBAYASHI, Hiroyuki FUJII, Toshiyuki SANADA
2. 発表標題 Surrounding gas-independent splash at high-velocity drop impact with a protected solid surface
3. 学会等名 The 72nd Annual Meeting of the American Physical Society's Division of Fluid Dynamics（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊藤一樹, 澤井冨, 渡部正夫, 小林一道, 藤井宏之, 真田俊之
2. 発表標題 混合気体中におけるエタノール液滴と固体壁の衝突
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 遠藤理一郎, 渡部正夫, 小林一道, 藤井宏之, 真田俊之
2. 発表標題 液滴衝突における空気薄膜特性の光干渉解析
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 安達龍之介, 渡部正夫, 小林一道, 藤井宏之, 真田俊之
2. 発表標題 液滴衝突直後に発生するSplashにおける濡れ性の効果
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 Shota Tanimoto, Yohei Yamaguchi, Masao Watanabe, Kazumichi Kobayashi, Hiroyuki Fujii, Toshiyuki Sanada
2. 発表標題 Does Chemical Properties of Solid Surface Cause Liquid Film Flow Instability at Droplet Impact?
3. 学会等名 The Ninth JSME-KSME Thermal and Fluids Engineering Conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Taku Ashida, Masao Watanabe, Kazumichi Kobayashi, Hiroyuki Fujii, Toshiyuki Sanada
2. 発表標題 Observation of Splash Generated Immediately after the Impact of a High-Speed Droplet in Reduced-Pressure
3. 学会等名 The Ninth JSME-KSME Thermal and Fluids Engineering Conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Sae Sawai, Toshihisa Isono, Hiroyuki Fujii, Kazumichi Kobayashi, Masao Watanabe, Toshiyuki Sanada
2. 発表標題 Numerical and Experimental Analysis of Droplet Impact in Vapor Environment
3. 学会等名 The Ninth JSME-KSME Thermal and Fluids Engineering Conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 谷本聖太, 渡部正夫, 小林一道, 藤井宏之, 真田俊之
2. 発表標題 固体壁表面の化学組成が衝突直後の液滴の挙動に与える影響
3. 学会等名 日本混相流学会混相流シンポジウム2017
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

北海道大学大学院 工学研究院 熱流体物理学研究室ホームページ
<https://labs.eng.hokudai.ac.jp/labo/fluid/>

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	真田 俊之 (Sanada Toshiyuki) (50403978)	静岡大学・工学部・准教授 (13801)	
研究分担者	小林 一道 (Kobayashi Kazumichi) (80453140)	北海道大学・工学研究院・准教授 (10101)	
研究分担者	藤井 宏之 (Fujii Hiroyuki) (00632580)	北海道大学・工学研究院・助教 (10101)	