

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 20 日現在

機関番号：32644

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K03902

研究課題名(和文) 低エネルギーでの微粒化制御による排ガス中のNOx低減/CO2吸収・回収手法

研究課題名(英文) Low-Energy Atomization Control Techniques for NOx Reduction and CO2 Absorption/Capture in Exhaust Gases

研究代表者

野原 徹雄 (Nohara, Tetsuo)

東海大学・総合科学技術研究所・研究員

研究者番号：40718186

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：排ガス流量/温度域の再現可能な可視化用実験装置を設計・製作し、高速度カメラにてこれまで殆ど報告がなかった排ガス内でのマイクロ～マイクロ秒での気液混相状態および噴霧液滴の微粒化度を明らかにした。それら実験データを基に液滴挙動の再現や他の条件での予測について液滴認識用AIも組み合わせた新たな最短・最適計算手法も見出した。

更にNOx低減用尿素水やCO2吸収液を衝突させ微粒化制御するための表面微細加工を施した衝突板の開発を行った。様々な穴径や深さ、温度違いによる液滴衝突後の微粒化度合いやライデンフロスト現象の発現有無についてWe数との新たな相関やCO2吸収率結果が得られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

排ガス内でのマイクロ～マイクロ秒での噴霧液滴の微粒化度合いや気液混相状態の把握により、排気管内でのトラブル解消や、気液混相流の新たな計算手法(PIV-DDM:粒子画像流速測定+離散液滴法)解析の開発にて通常のCFDとは違う低コスト・小時間での解析方法が期待される。

更にハスの葉表面にヒントを得た様々なディンプル形状等の表面微細加工による特殊テクスチャプレートの開発にて、尿素水やCO2吸収液を噴霧衝突させる衝突板にそれらを施した際に、噴霧エネルギーを追加せずに通常の未加工板に衝突させるよりも微粒化(=表面積増加)促進や排ガス流内の均一化にも貢献すると考える。

研究成果の概要(英文)：We constructed an experimental apparatus for the reproducible visualization of exhaust gas flow and temperature ranges. Using a high-speed camera, we clarified the gas-liquid multiphase flow and the atomization of spray droplets within the exhaust gas, phenomena scarcely reported in the literature. Based on these experimental data, we developed a novel calculation method using model reduction, aided by AI for droplet recognition, to reproduce droplet behavior and predict outcomes under various conditions.

Furthermore, we developed impact plates with micro-texture surface processing to control the atomization of urea-water solution for NOx reduction and CO2 absorption liquids impingement. We obtained new correlations between We number, the degree of atomization, and the occurrence of the Leidenfrost phenomenon for various hole diameters, depths, and temperatures on the textured surface. Finally, we observed results concerning the CO2 absorption rate using new CO2 absorption methods.

研究分野：熱工学

キーワード：NOx低減/CO2吸収・回収 システム 尿素SCRシステム 表面微細加工 液滴微粒化 PIV-DDM+データ同化 可視化システム 気液混相流 AI液滴認識

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、研究者個人に帰属します。

## 1. 研究開始当初の背景

使用環境やコスト的に電動化が難しいトラック・産業機械・発電機等に搭載されるディーゼルエンジンは 2030 年までは新興国を中心に未だ世界的な需要が予測されている。しかしそれらから排出される有害な NOx や CO<sub>2</sub> は世界中の大気汚染および温暖化の 1~2 割レベルと言われていたが、具体的な対策や技術開発は未だおぼろげな状態である。

その中で尿素水より生成する NH<sub>3</sub>(アンモニア)にて NOx を浄化させる尿素 SCR システムは有効な手法だが、噴霧する尿素水の液滴挙動/微粒化プロセスについて不明な点が多く、尿素堆積による機能不全が学術的にも現実的にも未解決である。また、乗用車では CO<sub>2</sub> 排出規制(=燃費規制)も 2020 年より欧州から導入され始めているが、電気自動車のような代替案がない産業用ディーゼルエンジンでは、化石燃料を使用する限り CO<sub>2</sub> の排出は避けられず、NOx 浄化のような CO<sub>2</sub> 低減方法すらも未だ見当たらない。その中で再生可能エネルギーにて生成された水素と、工場や大気中の CO<sub>2</sub> を合成させる e-fuel や植物由来のバイオ燃料によるカーボンニュートラル(CN)燃料によるエンジン使用中の CO<sub>2</sub> 低減可能性は有望とされている。しかし、様々な移動/固定機器から高温燃焼により排出される NOx の安定した高効率低減や CO<sub>2</sub> を吸収・回収するには至っていない。

## 2. 研究の目的

本研究では上記背景を踏まえて下記の検討を目的としている。

- (1) NOx 浄化用として使用される尿素 SCR システムについて、ガス流中への尿素水噴霧による気液混相流内の挙動を高精度可視解析および数値化し、尿素水噴霧→均一 NH<sub>3</sub> ガス化を促すミキサー(液滴衝突拡散板)による気液混相流内でのガス流/液滴挙動の解明。
- (2) ミキサー上にバイオミメティクス(生体模倣)にヒントを得た表面微細加工を施し、衝突液滴の物理的な微粒化に加え、他の技術も検討した低エネルギーでの完全微粒化制御の開発。
- (3) 上記の技術を適用した排ガス内への CO<sub>2</sub> 吸収液噴霧→液滴衝突微粒化度合や CO<sub>2</sub> 吸収率の確認、CO<sub>2</sub> 吸収液やスリップ NH<sub>3</sub>/CO<sub>2</sub> の吸着も検討した CO<sub>2</sub> 吸収/回収手法の開発。

## 3. 研究の方法

- (1) NOx 浄化用尿素 SCR システムでのガス流中への尿素水噴霧→均一 NH<sub>3</sub> ガス化を促すミキサーによる気液混相流内でのガス流/液滴微粒化挙動の解明。

排ガス内での気液混相状態の把握・解析のために高精度・高速可視化を目指した実際の排ガス流量/温度に昇温可能な図 1 に示す可視化実験装置(尿素 SCR シミュレータ)を設計・製作し、高分解能高速度カメラにてこれまで確認が困難であった排ガス内でのマイクロ~マイクロ秒での気液混相状態および噴霧液滴の微粒化度合いや液滴径/数を図 2 のように確認した。それらの実験データを基に PIV(粒子画像流速測定)にてガスと液滴速度をベクトル化、噴霧液滴はデータ同化も考慮した DDM(離散液滴法)解析と組み合わせた PIV-DDM にて数値化を検討した。

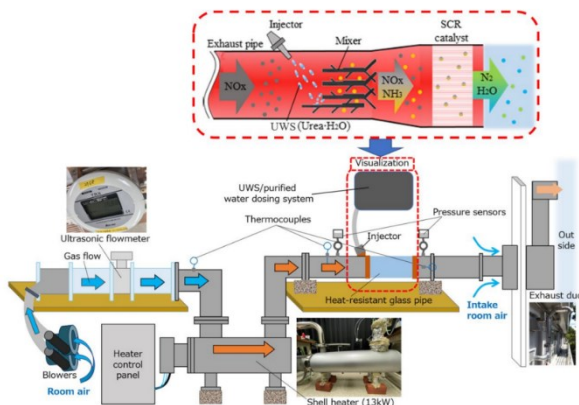


図 1 可視化実験装置 (尿素 SCR シミュレータ)

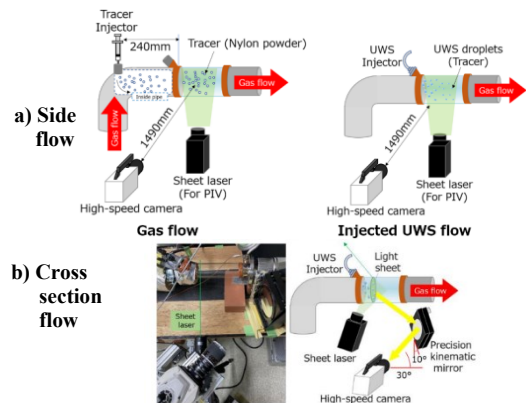


図 2 高速度カメラによるガス・液滴流/液滴径/数の確認

- (2) ミキサー上に表面微細加工を施し、衝突液滴の物理的な微粒化に加え、機械学習 AI 技術も検討した低エネルギーでの完全微粒化制御の開発。

噴霧液滴を衝突させ微粒化コントロールのためにレーザー加工機(図 3)にて表面微細加工を施したテクスチャプレートの開発用に図 4 のような生体模倣による鮫肌やサボテン棘、ハスの葉表面を模したディンプル形状に着目し、様々な形状や穴径、深さ、温度違いによる液滴衝突後の微粒化度合いやライデンフロスト現象の発現有無について高速度カメラを使用した液滴衝突実験装置(図 5)にて可視化を実施し、その画像データから微粒化度合をウェーバ(We)数にて評価した。また噴霧液滴の実験データを画像処理分野で注目されている機械学習 AI(物体認識モデル:YOLO, および深度予測モデル:FERN)を用いてボケにより輪郭が不明瞭な液滴が混在する可視化画像から液滴粒子を検出し、その中からピント範囲にある粒子を抽出する新たな粒子計測手法にて検討した。

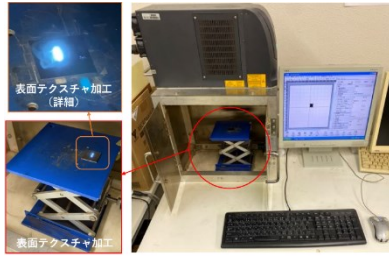


図3 表面微細加工用レーザー加工装置

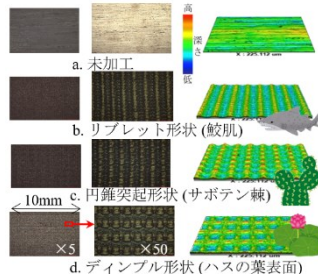


図4 生体模倣による表面微細加工例

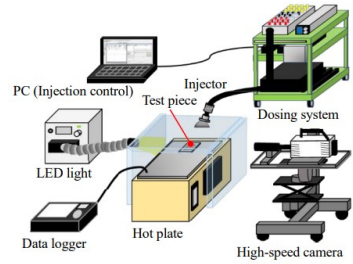


図5 噴霧液滴衝突実験装置

(3) 上記技術を適用した排ガス内へのCO<sub>2</sub>吸収液噴霧⇒液滴衝突微粒化度合やCO<sub>2</sub>吸収率の確認、CO<sub>2</sub>吸収液やスリップNH<sub>3</sub>/CO<sub>2</sub>の吸着も検討したCO<sub>2</sub>吸収/回収手法の開発。

CO<sub>2</sub>水溶液であるモノエタノールアミン (MEA) 20%水溶液を使用した噴霧液滴衝突後の微粒化粒子によるCO<sub>2</sub>吸収可能性を図6の実験装置で確認した。まず精製水とMEA水溶液、次に衝突板を設置した場合と設置しない場合、その後衝突板上に微粒化促進させるために表面微細加工によるテクスチャプレートで微粒化性能が高い単層および新たに二層ディンプル試験片を乗せた比較を実施した。またそのCO<sub>2</sub>吸収率との相関評価としてMEA水溶液の噴霧液滴の衝突板への液滴衝突後の微粒粒子数比較も図7の方法で実施した。実験条件については模擬排ガス流量を360L/min、CO<sub>2</sub>濃度をディーゼルエンジンの排出に近い約7%に調整した。その模擬ガス中にMEA20wt%水溶液を4気圧、0.6g/sにて120秒間噴霧し、噴霧箇所からCO<sub>2</sub>濃度測定位置までの円管容積からSV(空間速度)=9154として各条件でのCO<sub>2</sub>低減率を比較した。また、実際のアプリケーションでの低流量使用領域となりえる模擬排ガス総流量770L/min (SV=19579)に増加させ、噴霧後の衝突液滴による微粒化粒子の挙動を高速度カメラにて実施した。それらの結果を踏まえCO<sub>2</sub>吸収後および未吸収のMEA水溶液を最後段にあるゼオライト/シリカ系吸着材での回収を想定したCO<sub>2</sub>水溶液吸収の方法も検討した。

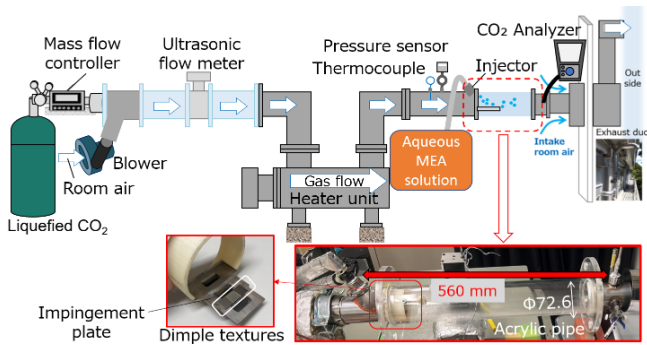


図6 MEA水溶液によるCO<sub>2</sub>吸収率確認実験方法

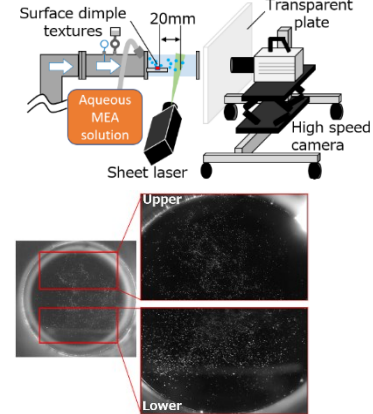


図7 微粒化粒子径/数確認実験方法/可視化画像例

#### 4. 研究成果

(1) NO<sub>x</sub>浄化用尿素SCRシステムでのガス流中への尿素水噴霧⇒均一NH<sub>3</sub>ガス化を促すミキサーによる気液混相流内でのガス流/液滴微粒化挙動の解明。

①排ガス内での気液混相状態の高精度の把握

マイクロ~マイクロ秒での気液混相状態および噴霧液滴の微粒化度合いについて、各ガス温度の流れを可視化確認した結果、瞬間的な時間軸上では旋回流も発生しておりガラス管内で完全に乱流(Re=4~6×10<sup>4</sup>)であることを確認した。またガス速度については実験結果と計算結果はほぼ一致するが、噴霧された液滴の挙動はガスの流れと同じにはなっておらずガラス管の中央から下部にかけて液滴速度はガス速度に追従せず低下している。これらは霧化された液滴の表面蒸発により液滴サイズが小さくなり、液滴の前面表面積とガス速度の減少により、気流で運べない粒子の増加、衝突液滴が壁面に付着し液膜形成による跳返り液滴の速度低下、衝突液滴がガラス管壁で蒸発することでガス相変化領域でのガス流れが阻害される等が考えられる。また、図8に示す様に断面流れの各位置/ガス温度での液滴分布や個数測定ではガス温度30℃と150℃および200℃の液滴粒子数はあまり変わらない。しかし噴霧液滴の移動や壁面付着により液滴数は減少している。これよりガス温度による気化よりも物理的な気化が律速になると示唆された。これらのガス温度範囲ではガスと液相流での熱伝達時間不足やガス速度が高いため、噴霧液滴のかかなりの数が短時間では気化せずにSCR触媒位置まで残存することを示している。

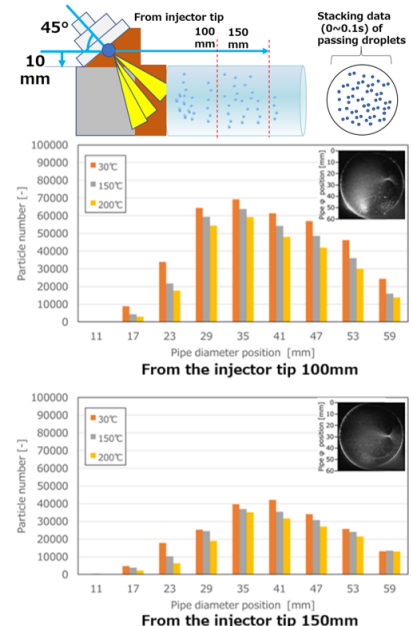


図8 ガス温度違いによる噴霧液滴径/数比較結果



②実験データを基に PIV-DDM 解析による数値化・再現性検討.

尿素 SCR システムにおけるマイクロ~マイクロ秒での気液混相状態および噴霧液滴の微粒化度合いの可視化実験データを基に、ガス/液滴挙動の可視化を予測するための新しい可視化手法であり CAE 計算負荷削減モデルとして PIV-DDM 解析手法を開発した(図 9). 最初に垂直噴霧について実験結果との比較により DDM の妥当性を検証し、噴霧液滴の到達距離が可視化実験結果との時間変化比較では DDM の方が実験よりわずかに小さい値を示すが定性的な近似を得られた. 次に管内ガス流れ/液滴噴霧速度を PIV 化し組み合わせた結果、非常に短時間での二相混相流を再現可能とした. また噴霧初期の液柱変化や合一、分裂等の複雑な挙動に対し DDM 解析だけではどうしても一致しない場合を考慮し、EnKF(アンサンブルカルマンフィルタ)によるデータ同化も確認した. 噴霧液滴速度による PIV から得られた断面速度分布に対してデータ同化を適用した結果、静止流体中に噴霧した場合の双子実験による予測精度は良好な結果から有用性が確認できた.

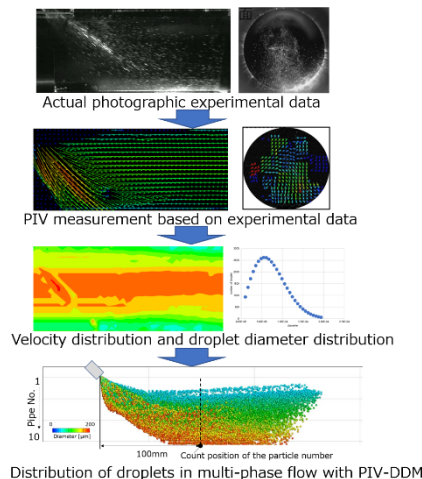


図 9 PIV-DDM 解析手順と噴霧液滴挙動の計算結果

(2) ミキサー上に表面微細加工を施し、衝突液滴の物理的な微粒化に加え、機械学習 AI 技術も検討した低エネルギーでの完全微粒化制御の開発.

①表面微細加工による微粒化効果および制御手法

これまでの生体模倣による表面微細加工で加工精度が高く穴径および深さの制御が容易なディンプル形状のテクスチャプレートを白色干渉顕微鏡による 3 次元画像で確認しながら作製し、インジェクタ噴霧実験にて最適微粒化形状を評価した. 噴霧液滴のザウター径  $65\mu\text{m}$ 、噴霧圧  $500\text{kPa}$  で表面温度  $270^\circ\text{C}$  のホットプレート上に各形状のディンプルテクスチャプレートを設置し、衝突後に微粒化しなかった液滴の最大ウェーバ数を臨界ウェーバ数 ( $We_c$ ) と定義し、各試験片における微粒化効果を比較する指標とした. 図 10 に示す実験結果よりディンプルを施した全てのテクスチャプレートの臨界ウェーバ数は未加工よりも大幅に低く、可視化結果からもディンプルによる微粒化効果が高いと言える. またディンプル径の深さは  $h = 5\mu\text{m}$  が最も低い臨界ウェーバ数を示しており、深さによる微粒化効果の制御が明らかとなった. 穴径については穴径は噴霧液滴のザウター径  $65\mu\text{m}$  に近づくにつれて臨界ウェーバ数は低下しており、穴径による微粒化効果を臨界ウェーバ数から評価できることも確認できた. これらを無次元的な指標として各試験片における穴径/深さのアスペクト比と臨界ウェーバ数の関係を図 11 に示す. 衝突液滴に対して深さが浅く、穴径の大きいディンプルが衝突液滴の微粒化に有効であること、またアスペクト比 18 以上のディンプル形状を用いることで更なる微粒化効果の向上が期待できると考えられる.

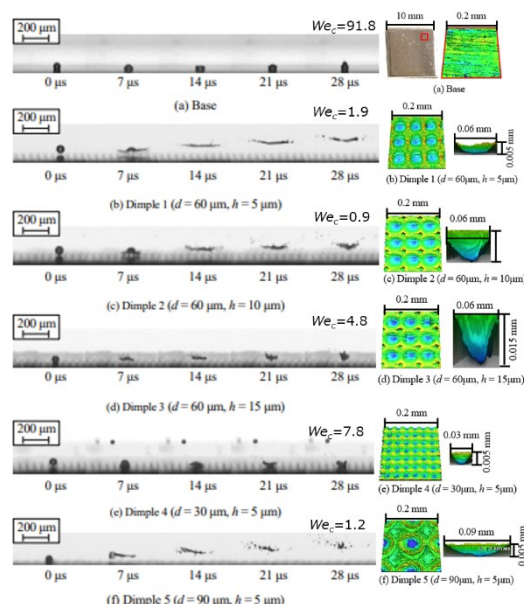


図 10 表面微細加工(ディンプル)径/深さでの微粒化比較

● Dimple 3 ( $d = 60\mu\text{m}, h = 15\mu\text{m}$ )    ■ Dimple 4 ( $d = 30\mu\text{m}, h = 5\mu\text{m}$ )  
 ▼ Dimple 2 ( $d = 60\mu\text{m}, h = 10\mu\text{m}$ )    ◆ Dimple 1 ( $d = 60\mu\text{m}, h = 5\mu\text{m}$ )  
 ▲ Dimple 5 ( $d = 90\mu\text{m}, h = 5\mu\text{m}$ )

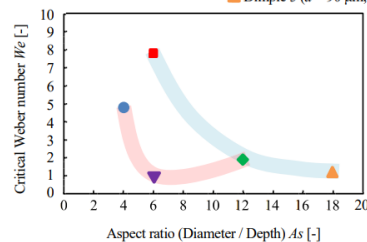


Fig.5 Critical Weber number and aspect ratio

図 11  $We_c$  数とディンプル径/深さ比率の関係

②機械学習 AI(物体認識/深度予測モデル)を用いた可視化画像から液滴粒子を抽出する新たな粒子計測手法.

どうしても発生する液滴のボケや不明瞭な噴霧液滴が含まれる実験画像データについて、物体認識モデル(YOLO)にて各粒径それぞれ 1000 個ずつの液滴が出力された検出領域内に収まり、各粒径の検出率が約 90%以上と学習済みモデルが高い検出精度を示すことを確認した(図 12). また、図 13 に示す深度予測モデル(FCRN)を用いたピント液滴判別では粒径  $30\mu\text{m}$  と  $60\mu\text{m}$  では一部の範囲で誤判別の可能性があるものの、粒径  $90\mu\text{m}$  の場合は  $-330 \sim +330\mu\text{m}$  までの全範囲でピント液滴の判別に十分な予測精度が得られることを確認した.

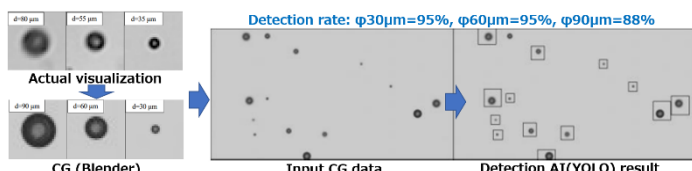


図 12 実際の可視化画像⇒CG 液滴作成⇒AI 液滴認識結果

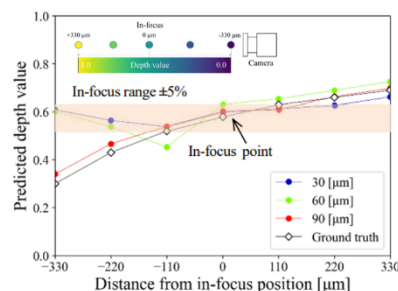


図 13 深度予測モデルを用いたピント液滴判別結果

(3) 上述技術を適用した排ガス内への CO<sub>2</sub> 吸収液噴霧⇒液滴衝突微粒化度合や CO<sub>2</sub> 吸収率の確認, CO<sub>2</sub> 吸収液やスリップ NH<sub>3</sub>/CO<sub>2</sub> の吸着も検討した CO<sub>2</sub> 吸収/回収手法の開発.

① 水溶液/衝突板/表面微細加工違いによる CO<sub>2</sub> 吸収量比較

精製水と MEA 水溶液違い, 衝突板有無, そしてその衝突板表面への微細加工違いによる CO<sub>2</sub> 吸収量を比較し, 最適条件を確認した (図 14). 衝突板がない状態で精製水に比べ MEA 水溶液での CO<sub>2</sub> 吸収量は約 6 倍の差が確認されたが噴霧した全ての MEA 水溶液が全て吸収出来た理論吸収値と比較した場合, 噴霧だけではその 1.9% レベルまでしか到達していない. 次に噴霧液滴の衝突板による微粒化にて MEA 水溶液の表面積増加を試みた結果では, 衝突板無しに比べて約 1.6 倍の吸収量が確認された. 最後に衝突板表面への微細表面加工の微粒化促進技術を適用した二種類のディンプル形状のうち, 微粒化能力が高く, 表面加工による親水性を發揮する単層ディンプル加工での CO<sub>2</sub> 吸収効率が最も高く, 理論上での MEA 水溶液の吸収量と比較するとその 4.0% レベルまで改善している. 排気管内での液滴噴霧による CO<sub>2</sub> 吸収効率を上げるには衝突微粒化させる際に液滴サイズを微小化させ, 且つ微粒子数を増加させることで, 液境界層反応を更に活発にするような MEA 水溶液との表面接触頻度を上げる事が重要になる事が示唆された.

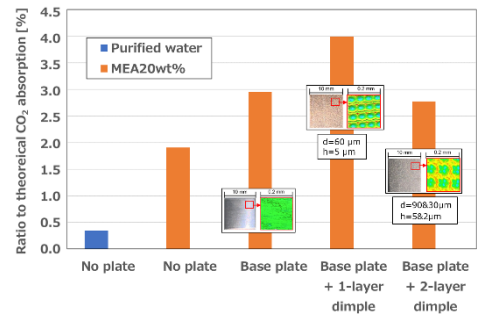


図 14 MEA 水溶液による CO<sub>2</sub> 吸収率結果

② MEA 水溶液の噴霧衝突後の粒子径/数確認.

全噴霧量のうち噴霧液滴衝突部から 20mm 位置, 噴霧後 0.1s までの高速度カメラでの排気管内を上下に二分割した詳細な撮影結果では比較的排気管上部に細かい微粒子が多く見受けられた. その撮影結果から動画処理ソフトを用いた上下部での粒子数およびその粒子径分布を作成した図 15 の円管上部で単層ディンプル加工のテクスチャプレートで φ110μm 以下の粒子数が多い. 小粒子径になると MEA 水溶液を噴霧した際の表面積が増加し, 表面気液境界層での反応が促進すると考え, この結果と単層ディンプル加工のテクスチャプレートが最大 CO<sub>2</sub> 吸収量を示した事と符合している. また, 低温時での液滴微粒化・気化促進用に開発した二層ディンプル加工のテクスチャプレートが逆に図 15 の円管下部で φ110~200μm での粒子数が多い. これは単層ディンプルでは液滴サイズにより衝突後に親水性を示した後に微粒化する事が多いが, 二層ディンプルでは形状的に撥水性又は跳ね返る可能性が高いことによると考える. また CO<sub>2</sub> 吸収反応で鍵となる MEA 表面積についてそれらの粒子数および粒子径から, 全噴霧量のうち 0.1 秒までの噴霧液滴数での幾何学表面積での比較を各粒径の中央値で計算した結果を図 16 に示す. 二層ディンプルでは 2.76×10<sup>-2</sup>m<sup>2</sup>, 未加工衝突板についても 2.33×10<sup>-2</sup>m<sup>2</sup> と先行研究 (八坂, 2017) での表面積に近い数値までなっており, 単層ディンプルでは 3.16×10<sup>-2</sup>m<sup>2</sup> と上回っている. これらの結果より, MEA 噴霧量は少ないにもかかわらず MEA 水溶液噴射後に表面微細加工板へ液滴衝突, 微粒子生成を施す事で液滴微粒化・表面積向上による CO<sub>2</sub> ガスとの接触頻度が増加し, 排気管内での比較的大きな SV でも CO<sub>2</sub> と MEA の表面気液境界層での反応が促進すると考えられる.

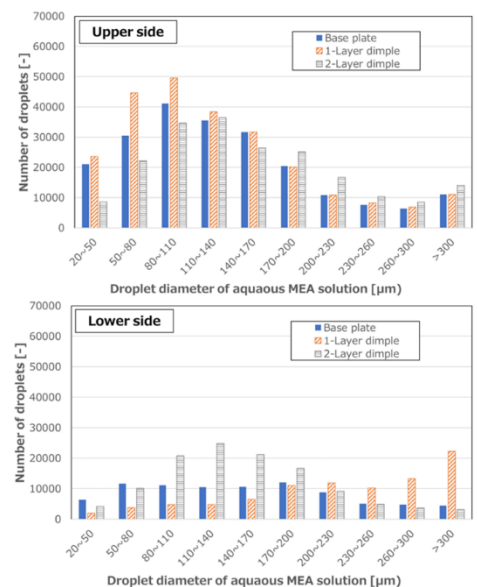


図 15 MEA 水溶液による衝突噴霧の液滴径/数結果

③ CO<sub>2</sub> 吸収液やスリップ NH<sub>3</sub>/CO<sub>2</sub> の吸着も検討した CO<sub>2</sub> 吸収/回収手法の確認

後段に設置している無数の気孔を有するゼオライト系吸着材にて吸着回収, また CO<sub>2</sub> を取込んでいない微粒子化された MEA 水溶液も吸着回収する事で外部に放出せず吸着後に CO<sub>2</sub> を取り込む事を想定している (図 17). CO<sub>2</sub> を取り込んだゼオライト系吸着材は飽和状態前に脱着タンクごと燃料補充時にユニット交換される. CO<sub>2</sub> 吸収時に排ガス中の NO<sub>x</sub> により MEA が劣化・阻害する先行報告 (BeritFostás, et. al., 2011) もあり, 尿素 SCR システムで NO<sub>x</sub> を完全浄化させる事が CO<sub>2</sub> 吸収効率にもつながる. また, SCR 触媒からの NH<sub>3</sub> 放出も最後段に設置するゼオライト系吸着材や, 吸収した水分および MEA 水溶液にて吸着回収させる事が計算上は可能と考える.

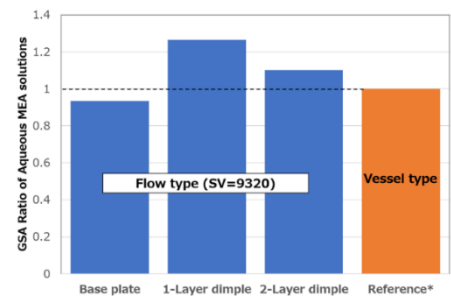


図 16 MEA 水溶液の幾何学的表面積比較

\*参考=容器タイプ(先行研究データ)

\*八坂, 二酸化炭素分離・回収の低コスト化に向けた新規化学吸収液の提案, 2017

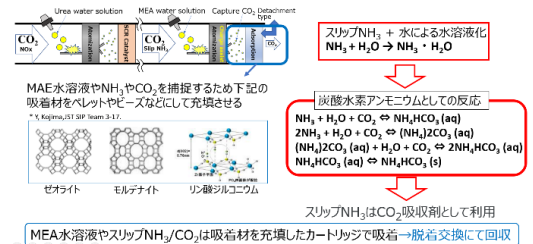


図 17 MEA 水溶液やスリップ NH<sub>3</sub>/CO<sub>2</sub> の吸着回収検討

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 8件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 菊池 飛鳥、石川 直也、小原 昭、杉山 直輝、川本 裕樹、奈良 祥太郎、野原 徹雄、高橋 俊、落合 成行、大角 和生	4. 巻 53
2. 論文標題 尿素SCR システムへの適用を目的としたディンプルによる衝突液滴の微粒化効果	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 自動車技術会論文集	6. 最初と最後の頁 751 ~ 757
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11351/jsaeronbun.53.751	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 Takahashi Shun, Misaka Takashi, Nara Shotaro, Sugiyama Naoki, Nohara Tetsuo, Kawamoto Yuki, Kuramoto Yuiki, Obara Akira, Osada Rina, Kikuchi Asuka, Ochiai Masayuki, Osumi Kazuo, Ishikawa Naoya	4. 巻 88
2. 論文標題 Estimation of spray flow characteristics using ensemble Kalman filter	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Flow Measurement and Instrumentation	6. 最初と最後の頁 102247 ~ 102247
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.flowmeasinst.2022.102247	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 SUGIYAMA Naoki, NARA Shotaro, KAWAMOTO Yuki, OSADA Rina, ONOUE Hiroki, NOHARA Tetsuo, TAKAHASHI Shun, OCHIAI Masayuki, OSUMI Kazuo, OZAWA Hisashi, ISHIKAWA Naoya	4. 巻 SAE2022-01-09
2. 論文標題 Observation / PIV-DDM Analysis of Spray and Liquid Film Behaviors in Visualized Pipe for Urea-SCR dosing system: Confirmation of Physical Phenomena without Thermal Evaporation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 SAE Technical Papers	6. 最初と最後の頁 1 ~ 9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4271/2022-32-0091	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 Takahashi Shun, Misaka Takashi, Nara Shotaro, Sugiyama Naoki, Nohara Tetsuo, Kuramoto Yuiki, Kawamoto Yuki, Obara Akira, Osada Rina, Kikuchi Asuka, Ochiai Masayuki, Osumi Kazuo, Ishikawa Naoya	4. 巻 36
2. 論文標題 Augmentation of Cross-Sectional Spray Measurements with Discrete Droplet Model Using Ensemble Kalman Filter	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Computational Fluid Dynamics	6. 最初と最後の頁 125 ~ 137
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/10618562.2022.2052281	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 落合 成行、野原 徹雄	4. 巻 35
2. 論文標題 新興国の大気環境改善のための液滴微粒化コントロールに向けた微細構造加工の設計・手法	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 天田財団助成研究成果報告書	6. 最初と最後の頁 331 ~ 336
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.32163/amadareport.35.0_331	査読の有無 無
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 小原昭, 菊池飛鳥, 川本裕樹, 杉山直輝, 奈良祥太郎, 長田莉菜, 落合成行, 高橋俊, 野原徹雄, 大角和夫, 石川直也	4. 巻 54th-40th
2. 論文標題 壁面衝突液滴に対する深層学習を用いた画像解析手法の開発	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 流体力学講演会/航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム講演集	6. 最初と最後の頁 3A04
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 KIKUCHI Asuka, SUGIYAMA Naoki, NOHARA Tetsuo, OCHIAI Masayuki	4. 巻 35
2. 論文標題 Effect of Atomization of Impact Droplets by Surface Texturing using High-Speed Camera	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 JAPANESE JOURNAL OF MULTIPHASE FLOW	6. 最初と最後の頁 308 ~ 315
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3811/jjmf.2021.023	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 小原 昭、菊池 飛鳥、川本 裕樹、杉山 直輝、蔵本 結樹、奈良 祥太郎、落合 成行、高橋 俊、野原 徹雄	4. 巻 52
2. 論文標題 液滴可視化画像に対する深層学習を用いた深度予測手法の提案	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 自動車技術会論文集	6. 最初と最後の頁 1071 ~ 1076
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11351/jsaeronbun.52.1071	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 野原 徹雄, 杉山 直輝, 菊池 飛鳥, 落合 成行	4. 巻 56
2. 論文標題 排ガス浄化システムにおける表面微細構造を利用した微粒化技術 (表面テクスチャ加工と可視化による尿素SCRシステムへの適用)	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 設計工学	6. 最初と最後の頁 259 ~ 266
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 野原 徹雄, 尾上 大樹, 小野 文, 落合 成行	4. 巻 55
2. 論文標題 表面微細加工を活用した吸収液の液滴衝突/微粒化制御による排ガス中のCO2吸収手法	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 自動車技術会論文集	6. 最初と最後の頁 321 ~ 327
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11351/jsaeronbun.55.321	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 NOHARA Tetsuo, SUGIYAMA Naoki, NARA Shotaro, ONO Jyo, ONOUE Hiroki, OSADA Rina, KAWAMOTO Yuki, OCHIAI Masayuki, TAKAHASHI Shun, OOSUMI Kazuo, ISHIKAWA Naoya	4. 巻 2023-32-0098
2. 論文標題 Visualization of Physical / Thermal Evaporation Phenomena with Experimental and PIV-DDM Analysis in Urea-SCR Dosing System of Multi-Phase Flow	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Society of Automotive Engineers of Japan	6. 最初と最後の頁 1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4271/2023-32-0098	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 Hiroki Onoue, Jyo Ono, Tetsuo Nohara, Masayuki Ochiai	4. 巻 -
2. 論文標題 Atomization Modelling of Carbon Dioxide Capture and Storage Technology for Installation in Internal Combustion Engines	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 ilass-europe-2023-proceedings	6. 最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 三坂孝志, 高橋俊, 奈良祥太郎, 杉山直輝, 野原徹雄, 蔵本結樹, 川本裕樹, 小原昭, 長田莉菜, 菊池飛鳥	4. 巻 E-09-03
2. 論文標題 離散液滴モデルとアンサンブルカルマンフィルタによる噴霧断面計測の拡張	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 計算工学講演会論文集(CD-ROM)	6. 最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 長田 莉菜, 奈良 祥太郎, 杉山 直輝, 小野 丈, 川本裕樹, 福島 直哉, 高橋 俊, 落合 成行, 野原 徹雄, 大角 和生, 石川直也	4. 巻 No.135-23
2. 論文標題 尿素 SCR システムの性能予測に向けたインジェクタ噴霧液滴の PIV-DDM 解析	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 自動車技術会 2023年 学術講演会予稿集 (秋)	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 小野 丈, 野原 徹雄, 奈良 祥太郎, 長田 莉菜, 川本 裕樹, 落合 成行, 福島 直哉	4. 巻 32nd, ROMBUNNO. B122
2. 論文標題 尿素SCRシステムにおける実験および PIV-DDM解析による液滴衝突現象の可視化	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 微粒化シンポジウム講演論文集(CD-ROM)	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) なし	査読の有無 無
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 野原 徹雄, 尾上 大樹, 小野 丈, 落合 成行	4. 巻 135-23
2. 論文標題 低エネルギーでの微粒化制御による排ガス中のNOx低減/CO2吸収手法	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 自動車技術会 2023年 学術講演会予稿集 (秋)	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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18件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 7件）

1. 発表者名 野原 徹雄, 尾上 大樹, 小野 丈, 落合 成行
2. 発表標題 低エネルギーでの微粒化制御による排ガス中のNOx低減/CO2吸収手法
3. 学会等名 自動車技術会 2023年秋季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hiroki Onoue, Jyo Ono, Tetsuo Nohara, Masayuki Ochiai
2. 発表標題 Atomization Modelling of Carbon Dioxide Capture and Storage Technology for Installation in Internal Combustion Engines
3. 学会等名 ILASS Europe 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小野 丈, 野原 徹雄, 奈良 祥太郎, 長田 莉菜, 川本 裕樹, 落合 成行, 福島 直哉
2. 発表標題 尿素SCRシステムにおける実験および PIV-DDM解析による液滴衝突現象の可視化
3. 学会等名 第32回微粒化シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 長田 莉菜, 奈良 祥太郎, 杉山 直輝, 小野 丈, 川本裕樹, 福島 直哉, 高橋 俊, 落合 成行, 野原 徹雄, 大角 和生, 石川直也
2. 発表標題 尿素 SCR システムの性能予測に向けたインジェクタ噴霧液滴の PIV-DDM 解析
3. 学会等名 自動車技術会 2023年秋季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 三坂孝志, 高橋俊, 奈良祥太郎, 杉山直輝, 野原徹雄, 蔵本結樹, 川本裕樹, 小原昭, 長田莉菜, 菊池飛鳥
2. 発表標題 離散液滴モデルとアンサンブルカルマンフィルタによる噴霧断面計測の拡張
3. 学会等名 第28回計算工学講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小野 丈, 落合 成行, 畔津 昭彦, 野原 徹雄
2. 発表標題 尿素 SCRシステムにおける噴霧液滴の管内分布の可視化計測 ~排ガス温度および溶液違いによる影響~
3. 学会等名 日本機械学会関東学生会 第 62 回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2022年 ~ 2023年

1. 発表者名 Hiroki Onoue, Koichi Hirose, Naoki Sugiyama, Tetsuo Nohara, Masayuki Ochiai
2. 発表標題 Atomization Method with Dimple Shape at Various Gas Temperatures and Flow Rates Considering Urea-SCR System
3. 学会等名 The 9th International Conference on Manufacturing, Machine Design and Tribology - ICMDT 2023 (国際学会)
4. 発表年 2022年 ~ 2023年

1. 発表者名 Naoki SUGIYAMA, Shotaro NARA, Yuki KAWAMOTO, Rina OSADA, Hiroki ONOUE, Tetsuo NOHARA, Shun TAKAHASHI, Masayuki OCHIAI, Kazuo OSUMI, Hisashi OZAWA, Naoya ISHIKAWA
2. 発表標題 Observation / PIV-DDM Analysis of Spray and Liquid Film Behaviors in Visualized Pipe for Urea-SCR dosing system: Confirmation of Physical Phenomena without Thermal Evaporation
3. 学会等名 The 26th Small Powertrains and Energy Systems Technology Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年 ~ 2023年

1. 発表者名 Naoki Sugiyama, Asuka Kikuchi, Tetsuo Nohara, Masayuki Ochiai
2. 発表標題 Validation of the Removal Method by Visualization of Liquid Film Behavior
3. 学会等名 7th World Tribology Congress, WTC2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 Hiroki Onoue, Asuka Kikuchi, Naoki Sugiyama, Tetsuo Nohara, Masayuki Ochiai
2. 発表標題 Visualization of atomization by dimple using High-Speed Camera
3. 学会等名 7th World Tribology Congress, WTC2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 小原昭, 菊池飛鳥, 川本裕樹, 杉山直輝, 奈良祥太郎, 長田莉菜, 落合成行, 高橋俊, 野原徹雄, 大角和夫, 石川直也
2. 発表標題 壁面衝突液滴に対する深層学習を用いた 画像解析手法の開発
3. 学会等名 第54回流体力学講演会 / 第40回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 Shotaro Nara, Rina Osada, Naoki Sugiyama, Yuki Kawamoto, Shun Takahashi, Masayuki Ochiai, Tetsuo Nohara, Kazuo Osumi, Naoya Ishikawa
2. 発表標題 Numerical Analysis for Performance Prediction of Urea SCR System Using PIV Measurement and Discrete Droplet Model
3. 学会等名 19th International Conference on Flow Dynamics 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年～2023年



1. 発表者名 小原 昭, 菊池 飛鳥, 川本 裕樹, 杉山 直輝, 蔵本 結樹, 奈良 祥太郎, 落合 成行, 高橋 俊, 野原 徹雄
2. 発表標題 液滴可視化画像に対する深層学習を用いた深度推定手法の提案
3. 学会等名 自動車技術会 2021年春季大会 学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 菊池 飛鳥, 小原 昭, 杉山 直輝, 川本 裕樹, 奈良 祥太郎, 野原 徹雄, 高橋 俊, 落合 成行, 大角 和生, 石川 直也
2. 発表標題 微粒化後の液滴径に着目した表面テクスチャによる衝突液滴の微粒化特性
3. 学会等名 自動車技術会 2021年秋季大会 学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 奈良 祥太郎, 高橋 俊, 三坂 孝志, 杉山 直輝, 蔵本 結樹, 川本 裕樹, 小原 昭, 菊池 飛鳥, 落合 成行, 野原 徹雄, 大角 和生, 石川 直也
2. 発表標題 DDM-アンサンブルカルマンフィルタによる3次元粒子分布の高精度予測
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 野原 徹雄, 杉山 直輝, 菊池 飛鳥, 落合 成行, 富澤 徹
2. 発表標題 吸入空気の流れに影響する静電気帯電・放電メカニズムの研究
3. 学会等名 自動車技術会 2021年秋季大会 学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小野 文, 落合 成行, 畔津 昭彦, 野原 徹雄
2. 発表標題 尿素SCRシステムのNOx浄化効率向上を目的とした 噴霧液滴分布の可視化計測 ~ 管内ガス温度・溶液違いによる分布変化の検証 ~
3. 学会等名 日本機械学会 2023年度 年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 NOHARA Tetsuo, SUGIYAMA Naoki, NARA Shotaro, ONO Jyo, ONOUE Hiroki, OSADA Rina, KAWAMOTO Yuki, OCHIAI Masayuki, TAKAHASHI Shun, OOSUMI Kazuo, ISHIKAWA Naoya
2. 発表標題 Visualization of Physical / Thermal Evaporation Phenomena with Experimental and PIV-DDM Analysis in Urea-SCR Dosing System of Multi-Phase Flow
3. 学会等名 2023 JSAE/SAE Powertrains, Energy and Lubricants International Meeting (国際学会)
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 構造体とその設計方法、および構造体を備えた液滴の微粒化システム	発明者 落合 成行, 杉山 直輝, 菊池 飛鳥, 尾上大樹, 野原 徹雄	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2023-075153	出願年 2023年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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	落合 成行 (Ochiai Masayuki) (40407995)	東海大学・工学部・教授  (32644)	
研究分担者	高橋 俊 (Takahashi Shun) (60553930)	東海大学・工学部・准教授  (32644)	

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