

令和 5 年 5 月 30 日現在

機関番号：14501

研究種目：国際共同研究加速基金（国際共同研究強化(B)）

研究期間：2019～2022

課題番号：19KK0127

研究課題名（和文）機能構造に着目した新しい渦動力学の複雑流体系への展開

研究課題名（英文）Development of new vortex dynamics into complex fluid systems focusing on functional structures of vortices

研究代表者

大村 直人（Ohmura, Naoto）

神戸大学・工学研究科・教授

研究者番号：50223954

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 14,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究課題では、複雑流体として、当初設定した1) 非ニュートン性の強い流体、2) 高濃度分散相を有する混相流体、3) 粘弾性流体の3つに、期間中に国立台湾大学と新たな国際共同研究課題となった加熱平板上のLeidenfrost液滴を加え、それぞれの複雑流体が渦の発生、消滅、サイズ、形状、動特性の制御性にどのような影響を及ぼすのかを明らかにした。本研究を通じて当初想定した国立台湾大学および、香港城市大学に加え、RMIT大学（オーストラリア）、CSIRO（オーストラリア）、リバプール大学（英国）との共同研究も行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

研究に参画した若手研究者が、本研究課題を通じて、当初の共同研究先であった国立台湾大学及び香港城市大学に加え、独自で国際研究ネットワークを広げ、新たな共同研究を開始したことから、本研究プロジェクトの若手研究者育成への寄与は非常に大きい。さらに、本研究課題だけではなく、新たな共同研究テーマを相手機関と立ち上げ、国際共著論文を執筆するなど、国際共同研究促進にも大きく寄与したと考えられる。

研究成果の概要（英文）：In this research project, we added Leidenfrost droplets on a heated plate, which became a new international joint research project with National Taiwan University during this period, to the three initially established complex fluids: 1) strongly non-Newtonian fluid, 2) multiphase fluid with a highly concentrated dispersed phase, and 3) viscoelastic fluid, and clarified how each complex fluid affects vortex generation, extinction, size, shape, and controllability of dynamic properties. In addition to National Taiwan University and City University of Hong Kong, which were originally envisioned through this research, collaborations with RMIT University (Australia), CSIRO (Australia), and the University of Liverpool (UK) were also established.

研究分野：移動現象論

キーワード：渦動力学 複雑流体 プロセス強化 マルチスケール解析 機能構造

### 1. 研究開始当初の背景

平成 30 年度から科学研究費補助金基盤研究 (A) の支援を受け開始した「革新的プロセスを創生するプロセス強化技術のための渦動力学の体系化への挑戦」において、化学工学の設計論、操作論に新しい枠組みを与えることを目的に、組織的渦構造を自由自在に操るための渦動力学の体系化を試みている。この研究課題では、取り扱う流体は主に単純な均相系ニュートン流体である。一方で、化学プロセス、食品プロセス、鉱物プロセスなど多くの産業プロセスでは、取り扱う流体は単純な均相系ニュートン流体ばかりではなく、多くの場合、非ニュートン流体、高濃度分散相を有する混相流体、粘弾性流体など複雑流体である。したがって、現在構築しようとしている新しい「渦の動力学」をプロセス強化技術へ応用し、社会実装していくためには、単純流体から複雑流体への展開が必要不可欠である。そこで本研究課題での核心をなす「問い」は、「複雑流体は、渦の発生、消滅、サイズ、形状、動特性の制御性にどのような影響を及ぼすのか？」ということである。

### 2. 研究の目的

そこで、本研究課題では、複雑流体として、当初設定した 1) 非ニュートン性の強い流体、2) 高濃度分散相を有する混相流体、3) 粘弾性流体の 3 つに、期間中に国立台湾大学と新たな国際共同研究課題となった加熱平板上の Leidenfrost 液滴を加え、それぞれの複雑流体が渦の発生、消滅、サイズ、形状、動特性の制御性にどのような影響を及ぼすのかを明らかにすることを目的とした。

### 3. 研究の方法

#### 1) 非ニュートン性の強い流体における渦の発生、消滅、動特性の制御

複雑流体の一例として非ニュートン流体を対象とし、特に shear-thinning 性が強い流体における渦流動の発生や制御について検討を行なった。流動系には組織的な渦流の発生・制御が容易なテイラー渦流系を用いた。局所変化する複雑流体のレオロジー特性を詳細に把握するため、数値解析を用い、テイラー渦流の動特性と shear-thinning 性の関係を検討した。また、非ニュートン性によって形成される粘度分布が複雑流動の一因と捉え、温度不均一場におけるニュートン流体系のテイラー渦流ダイナミクスについても検討を行なった。この系では、温度分布に起因した粘度分布が形成されるため、複雑流体系と同様の流動パターンが見られるかを明らかにすることで、粘度分布が流動にもたらす影響についての理解が深まる。ここでは、実験と数値解析の両面からのアプローチを行い、得られた流動パターンの分類および速度・温度の時系列変動データに対し、周波数解析やウェーブレット解析などを行なった。また、数値解析で得られた速度分布を元に仮想粒子の分散特性を検討し、流動パターンにおけるカオス的な特性について、本課題の共同研究者である Wang 博士 (香港城市大学) と解析を行なった。

#### 2) 高濃度粒子懸濁系における渦流動と粒子の相互作用の解明

渦流動を応用した管型の連続式反応器である振動流バツフル反応器 (OBR) を固体粒子懸濁系に適用する。OBR は、円管にオリフィス状のバツフル (邪魔板) を等間隔で複数個備えた構造を持つ。これに原料流体を穏やかな流量で流通させた上で、往復する流れを付与する。この周期的な流動に合わせてオリフィス部前後でドーナツリング状の渦流が発生し、バツフル間を迅速かつ均一に混合することができる。この反応器を代表的な粒子懸濁系プロセスである晶析に応用し、渦流動の条件と結晶の成長速度への影響を調べた。なお、一般的な OBR はオリフィスが中心に位置するが、管を水平に設置するため、オリフィス位置を重力方向に偏心した独自開発のバツフル (鼻ぐりバツフル) を用いた。共同研究者の香港城市大学の Steven Wang 博士の助言のもと装置を作成した。モデル懸濁粒子としてガラス粒子を用いたステップ応答実験で鼻ぐりバツフルを用いると固体を適切に輸送できることがわかっている。

このバツフルを備えた回分式 OBR を使って、L-グルタミン酸の晶析に展開した。晶析は核化と成長が同時に起こるため、複雑化を避けるため種晶を十分に加えて結晶成長のみが起こる条件とした。そのため、渦流動が結晶成長に与える影響、すなわち、固液の物質移動に与える影響が調査できる。結晶成長速度式を取得し、各種振動条件における結晶成長速度定数を得て、PIV (Particle Image Velocimetry) によって得られた渦流動状態との関係を調べた。さらに、連続式プロセスに展開し、反応工学モデルを使って実験結果を評価した。

#### 3) 粘弾性流体における渦の発生、消滅、動特性の制御

粘弾性流体が渦の発生、消滅、動特性に与える影響を調べるため、以下の 2 つの実験を行った。どちらも溶液の粘度、緩和時間を調べ、レオロジー特性を定量化した上で行った。研究にあたっては The University of Liverpool や国立台湾大学を訪問し、複雑流体の振動現象について議論した。

キャピティ内の渦発生と動特性 粘弾性の強い紐状ミセル水溶液を流路に流し、キャピティ

内での流動特性を調べた。ここで、流路は  $W=75\text{mm}$ ,  $D=40\text{mm}$ ,  $L_c=100\text{mm}$ ,  $L_r=100\text{mm}$ ,  $H=15, 20, 25, 30\text{mm}$  と変化させた。まず、流量を変化させ、キャピティ内に生じる流動場を以下に示すレイノルズ数  $Re$  やワイゼンベルグ数  $Wi$  により定量化した。

$$Re = \frac{\rho U_m (D - H)}{\eta_0}$$

$$Wi = \tau \frac{U_m}{(D - H)}$$

ここで  $\rho$  [ $\text{kg/m}^3$ ] は溶液の密度、 $U_m$  [ $\text{m/s}$ ] は流路縮小部分の平均流速、 $\tau$  [ $\text{s}$ ] は溶液の緩和時間、 $\eta_0$  [ $\text{Pa}\cdot\text{s}$ ] は溶液の粘度である。さらに、キャピティ内で生じる渦の大きさについて、モデリングした。

**二次元流動場での渦発生と動特性** 紐状ミセル水溶液を二次元流動場の流路に流し、円柱列からの渦発生を可視化と PIV 計測により調べた。PIV 計測により得た速度場は、乱流統計量の計算に用いた。

#### 4) Leidenfrost 液滴内の流動・混合制御

Leidenfrost 現象は、液体の沸点よりもはるかに高い温度の加熱面に液体を滴下すると、瞬間蒸発によって生じた蒸気膜の上に液滴が乗り、液滴の状態を維持する現象である。実際、Leidenfrost 液滴を還元剤を用いずに塗布・還元反応の反応器として応用した例がいくつか報告されている。しかし、Leidenfrost 液滴の状態を安定的に維持するためには、280 近い高温が必要である。そこで本研究では、撥水剤を用いて加熱面を撥水化し、ライデンフロスト温度が低下するかどうか、また撥水処理の有無で液滴の流れがどのように変化するかを調査した。

実験については、共同研究者の国立台湾大学の Sun 教授の指導のもと、装置を作成した。まず、加熱面であるアルミディスクの接触角や表面粗さが、撥水処理の有無でどのように変化するかを調べた。また、撥水加工を施した場合と施さない場合では、蒸発時間が温度によってどのように変化するかを調べた。流動解析は、蒸留水に蛍光粒子を分散させた溶液と高速度カメラを用いて液滴の流れを撮影し、PIV 法により流動解析を行った。液滴の撮影では、ピント位置を変えて、液滴の底面の画像と液滴の表面の画像の 2 種類を撮影した。液滴底面の画像からは、液滴底面の粒子移動の有無により、液滴が浮いているか否かを判断した。液滴表面の映像から、液滴表面の流速を調査した。

### 4. 研究成果

#### 1) 非ニュートン性の強い流体における渦の発生、消滅、動特性の制御

非ニュートン性流体のうち、ここでは shear-thinning 流体系におけるテイラー渦流の発生機構について検討した。図 1 にテイラー渦流の発達過程における数値解析結果を示す。ここで、速度ベクトルに加え、ニュートン流体系では速度、shear-thinning 流体系では粘度の発達過程も示す。ニュートン流体系では、両端の固定壁付近に形成されるエックマンセルから流れが発達し、徐々に装置中央部に向かってテイラー渦セルが発達した。その一方、shear-thinning 流体系では固定壁付近のエックマンセルに隣接するテイラーセルが変形し、軸方向波長の小さなテイラーセルが見られた ( $t = 0.70 \text{ s}$ )。この変形したセルは非常に不安定であり、後にエックマンセルと合一した。その結果、shear-thinning 流体系ではエックマンセルの軸方向波長が大きくなった。この固定端近傍のダイナミクスは粘度分布の影響を強く受けると考えられ、今後、様々なレオロジー特性の流体について検討する必要がある。

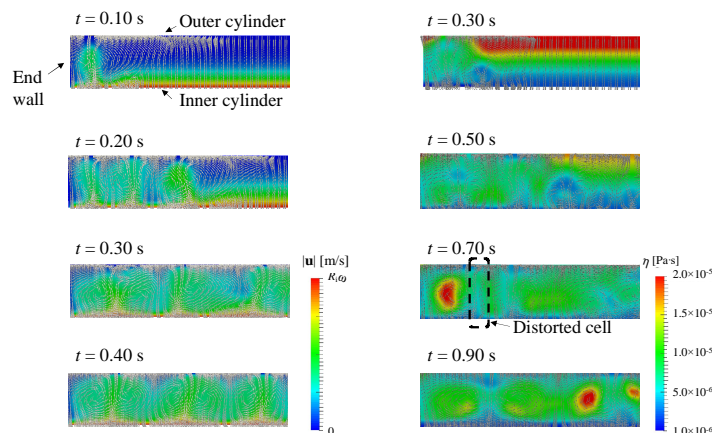


図 1 固定壁面近傍における流れの発達 (左: ニュートン流体、右: shear-thinning 流体)

上述のように粘度分布が流動ダイナミクスに影響を与えると考えられるため、ニュートン流体で見かけの粘度は同程度でありながら、粘度の温度依存性が異なる二種類を用い、半径方向に温

度分布がある円錐型テイラー渦流の熱流動パターンを検討した。一例として、同レイノルズ数 ( $Re = 358$ ) における流動パターンを図 2 に示す。図 2 より、明らかに粘度の温度依存性が強い流体の方が、テイラー渦セルの流動が安定していないことがわかる。特に温度依存性が強い流体系におけるある地点での速度の時系列変動を周波数解析したところ、振動はいくつかの周波数成分の重ね合わせでありカオス的な特徴が見られた。ただし、ここでは非等温系であるため、少なからず浮力が流動に影響を与えると考えられるが、グラスホフ数としては比較的強く熱対流の影響は大きくない。そのため、粘度分布が形成されると流動を不安定化させる傾向が示され、非ニュートン性による粘度分布と温度分布による粘度分布の影響の差異について 今後より詳細に検討する。



図 2 径方向に温度分布を与えた際の円錐型テイラー渦流の流動パターン (左: 粘度の温度依存性が強い流体、右: 粘度の温度依存性が弱い流体)

## 2) 高濃度粒子懸濁系における渦流動と粒子の相互作用の解明

回分式 OBR を用いて、10, 13 mm の 2 種類の振幅に対して振動数を変化させた。振動条件の変化によって渦流の発生状態が異なる。結晶成長速度式  $G = k_g(C - C_s)$  から成長速度定数  $k_g$  を得て、渦流の状態が固液の物質移動に与える影響について調査した。いずれの振幅においても、図 3 のように結晶成長速度定数が極大値をとる挙動が見られた。

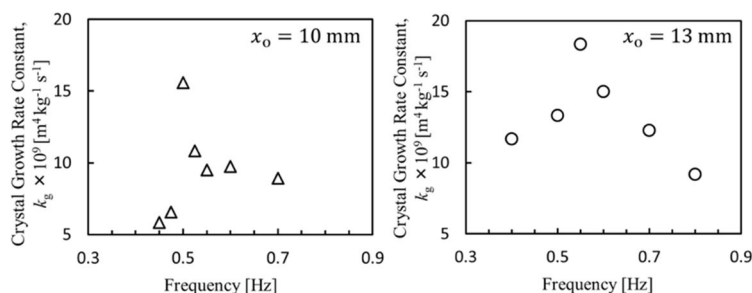


図 3 OBR 内での振動条件と結晶成長速度の関係

PIV によって流線の観察を行うと、結晶成長速度定数が小さい条件では、反応器上部に流れの弱いよどみ領域が観察された (図 4)。この領域は、結晶成長速度が大きくなるにつれて小さくなり、さらに振動数を上昇させると、再度よどみ領域が出現した。振動が弱すぎても、強すぎても渦流を適切に起こすことができず、固液の物質移動を促進できなかった、すなわち、成長速度定数を大きくすることができなかつたものと考えられる。

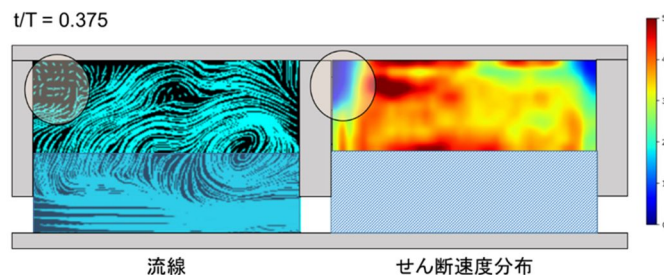


図 4 PIV によって得られた OBR の側断面内の  $t/T = 0.375$  における (振動流一周期:  $T$ ) 流線およびせん断速度分布

回分式 OBR 晶析実験により得られた、各種振動条件における結晶成長速度定数を連続式プロセスの反応器モデルに適用し、モデル計算結果を行った。実験に用いた装置の長さは 1200 mm とした。管型の反応器を完全混合槽が直列に連結された反応器と考える槽列モデルを用いたところ、原料濃度の消費速度及び結晶の粒径分布の実験結果を適切に表現できた。



### 3) 高濃度粒子懸濁系における渦流動と粒子の相互作用の解明

#### キャビティ内の渦発生と動特性

図 5 (a)~(c)に、キャビティ内流動場を可視化した様子を示す。流動場は、流量によって変化する  $Re$  や  $Wi$  の影響を受け、(a)流体がキャビティ内部に侵入するバラス効果に関連する流動場、(b)侵入した流体がキャビティ内を逆流し、再び流れ去るバルジ構造、(c)キャビティ内に侵入しない剥離流れに分類される。この流動挙動を流路ごとに調べ  $Wi$ - $Re$  マッピング上に分類すると、図 5 (d)に示すようになった。バラス効果からバルジ構造への遷移は、粘弾性マッハ数  $Ma$  により、バルジ構造から剥離流れへの遷移はデボラ数  $De$  により分類できることがわかった。

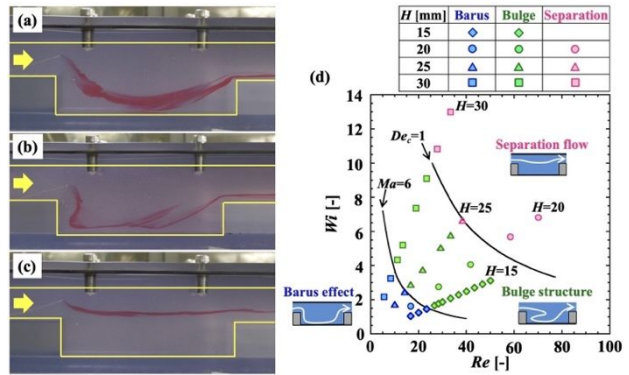


図 5 キャビティ内流動挙動 (a)バルジ構造、(b)バラス効果、(c)剥離流れ、(d)Wi-Re マッピングによる流動挙動の分類

#### 二次元流動場での渦発生と動特性

図 6 (a)に、紐状ミセル水溶液の二次元流動場に発生する渦を可視化した様子を示した。ここで、界面活性剤濃度は 4000ppm、この界面活性剤に対するサリチル酸ナトリウム(紐状ミセルを形成するための対イオン供給剤)のモル比  $\xi$  は、0.35 ~ 0.5 と変化させた。 $\xi = 0.45$  付近から、粘弾性が強くなり、二次元流動場の膜厚が大きくなり可視化しにくくなるため、同様の流動場を PIV の速度場計測により可視化した。 $\xi$  の上昇とともに、渦が変形していく様子わかる。また、図 6 (b)に示すように、流動場の伸長速度を求めると、伸長速度の変化が  $\xi$  により影響を受けていることがわかり、流動場内で紐状ミセルの増強や緩和が生じていることが示唆された。これにより、渦生成と変形が影響を受けていると考えられる。

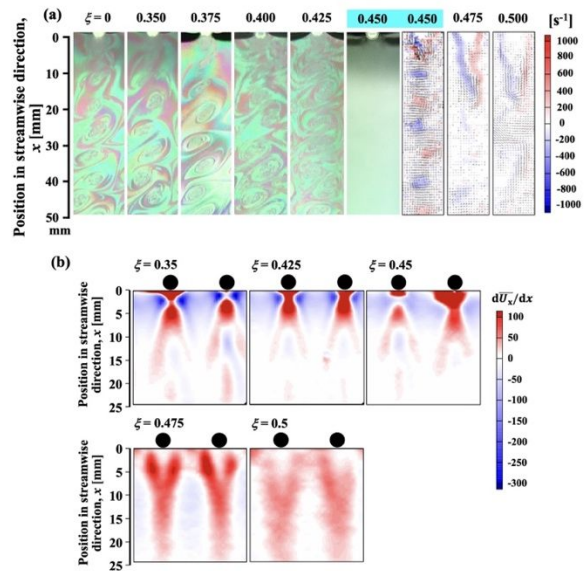


図 6 (a)紐状ミセル水溶液の二次元流動場における渦発生(b)流動場内の局所伸長速度

### 4) Leidenfrost 液滴内の流動・混合制御

図 7 に示すように、温度変化に伴う蒸発時間は、撥水処理なしの場合、260 を極大値とする曲線を示し、260 がライデンフロスト温度であることを示している。一方、撥水処理を施した場合の曲線には極大値がなく、曲線が直線的なグラフを描き始めた時点のグラフから、ライデンフロスト温度は 140~160 と判断された。これは、撥水処理による微細な凹凸が、気泡核の生成と膜沸騰状態への移行を促進したためと考えられる。図 8 に示した液滴底部の速度ベクトルを見ると、撥水処理を施した加熱板上の液滴では、140 で底部の粒子がすべて移動しており、液滴と加熱面は接触していないことがわかった。液滴表面の流速を測定したところ、温度上昇に伴い流速が増加する傾向にあることがわかった。さらに、撥水処理を施した場合と施さない場合では、撥水処理を施した方が流速が速くなっていた。これは、撥水処理による表面の微細な凹凸により、蒸気膜の形成速度が速くなったためとも考えられる。このことから、加熱面の撥水処理がライデンフロスト温度の低下と流速の高速化に寄与することが明らかとなった。

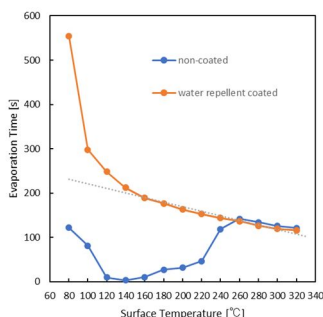


図 7 液滴の蒸発時間の温度依存性



図 8 液滴底部の速度ベクトル (温度 140 )

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計22件（うち査読付論文 21件 / うち国際共著 9件 / うちオープンアクセス 11件）

1. 著者名 Masuda Hayato, Nakagawa Kanta, Iyota Hiroyuki, Wang Steven, Ohmura Naoto	4. 巻 381
2. 論文標題 Thermo-fluid dynamics and synergistic enhancement of heat transfer by interaction between Taylor-Couette flow and heat convection	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences	6. 最初と最後の頁 1-19
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1098/rsta.2022.0116	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 Shimizu Keigo, Kato Kairi, Kobayashi Tomoyuki, Komoda Yoshiyuki, Ohmura Naoto	4. 巻 183
2. 論文標題 Flow and mixing characteristics of gas-liquid slug flow in a continuous Taylor-Couette flow reactor with narrow gap width	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Chemical Engineering and Processing - Process Intensification	6. 最初と最後の頁 109226 ~ 109226
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cep.2022.109226	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 Ochi Yusuke, Takenaka Katsuhide, Komoda Yoshiyuki, Ohmura Naoto	4. 巻 61
2. 論文標題 Friction Factor Distribution at the Side Wall of a Turbulent Agitated Vessel with Baffles Using a MAXBLEND Impeller	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Industrial & Engineering Chemistry Research	6. 最初と最後の頁 1514 ~ 1522
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.iecr.1c04229	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 Horie Takafumi, Hirai Kenta, Kumagai Norihisa, Taniya Keita, Ichihashi Yuichi, Ohmura Naoto, Matsuda Keigo, Matsumoto Hideyuki, Sakurai Makoto, Watabe Yoshihide	4. 巻 4
2. 論文標題 Reaction rate enhancement of three phase hydrogenation using the Taylor flow reactor	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Manufacturing and Processing	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) 10.1002/amp2.10116	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 Hayato Masuda, Takafumi Horie, Hiroyuki Iyota, Naoto Ohmura	4. 巻 19
2. 論文標題 Chemical process intensification from the viewpoint of vortex dynamics	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Trends in Chemical Engineering	6. 最初と最後の頁 111-120
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 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 Komoda Yoshiyuki, Ishibashi Kaoru, Kuratani Kentaro, Suzuki Kosuke, Ohmura Naoto, Kobayashi Hironori	4. 巻 568
2. 論文標題 Effects of drying rate and slurry microstructure on the formation process of LiB cathode and electrochemical properties	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Power Sources	6. 最初と最後の頁 232983 ~ 232983
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jpowsour.2023.232983	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 Sato Eri, Ochi Yusuke, Horiguchi Hiroo, Takenaka Katsuhide, Wu Jie, Parthasarathy Rajarathinam, Komoda Yoshiyuki, Ohmura Naoto	4. 巻 6
2. 論文標題 Effect of Baffle Clearance on Scale Deposition in an Agitated Vessel	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Omega	6. 最初と最後の頁 24070 ~ 24074
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsomega.1c03503	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 Ochi Yusuke, Cai Ziqi, Horie Takafumi, Komoda Yoshiyuki, Tung Kuo-Lun, Ohmura Naoto	4. 巻 171
2. 論文標題 Representative shear rate for particle agglomeration in a mixing tank	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemical Engineering Research and Design	6. 最初と最後の頁 73 ~ 79
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cherd.2021.04.017	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 Naoto Ohmura, Hayato Masuda, Steven Wang	4. 巻 -
2. 論文標題 Vortex dynamics in complex fluids	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 In Vortex Dynamics - From Physical to Mathematical Aspects, InTech	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5772/intechopen.101423	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 Horie Takafumi, Hirai Kenta, Kumagai Norihisa, Taniya Keita, Ichihashi Yuichi, Ohmura Naoto, Matsuda Keigo, Matsumoto Hideyuki, Sakurai Makoto, Watabe Yoshihide	4. 巻 -
2. 論文標題 Reaction rate enhancement of three phase hydrogenation using the Taylor flow reactor	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Manufacturing and Processing	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/amp2.10116	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 Masuda Hayato, Iyota Hiroyuki, Ohmura Naoto	4. 巻 44
2. 論文標題 Global Convection Characteristics of Conical Taylor Couette Flow with Shear Thinning Fluids	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemical Engineering & Technology	6. 最初と最後の頁 2049 ~ 2055
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ceat.202100236	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 Matsumoto Masahiro, Masuda Hayato, Hubacz Robert, Horie Takafumi, Iyota Hiroyuki, Shimoyamada Makoto, Ohmura Naoto	4. 巻 231
2. 論文標題 Enzymatic starch hydrolysis performance of Taylor-Couette flow reactor with ribbed inner cylinder	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemical Engineering Science	6. 最初と最後の頁 116270 ~ 116270
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ces.2020.116270	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



1. 著者名 Iwamura Yuuki, Horie Takafumi, Watabe Yoshihide, Masuda Hayato, Wang Steven, Hirai Kenta, Kumagai Norihisa, Taniya Keita, Ichihashi Yuichi, Komoda Yoshiyuki, Ohmura Naoto	4. 巻 53
2. 論文標題 Gas Absorption Enhancement of Slug Flow in the Presence of Non-Porous Silica Fine Particles	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 JOURNAL OF CHEMICAL ENGINEERING OF JAPAN	6. 最初と最後の頁 409 ~ 413
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1252/jcej.19we155	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

1. 著者名 Usa Sohei, Hidema Ruri, Komoda Yoshiyuki, Horie Takafumi, Taniya Keita, Ichihashi Yuichi, Ohmura Naoto, Nishiyama Satoru, Asano Hitoshi, Suzuki Hiroshi	4. 巻 53
2. 論文標題 Impacts of the Surfactant Concentration on the Sedimentation Characteristics of Silica Hard-Shell Microcapsules Containing Phase Change Materials	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 JOURNAL OF CHEMICAL ENGINEERING OF JAPAN	6. 最初と最後の頁 431 ~ 437
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1252/jcej.19we123	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 Hidema Ruri, Fukushima Kengo, Yoshida Ryohei, Suzuki Hiroshi	4. 巻 285
2. 論文標題 Vortex deformation and turbulent energy of polymer solution in a two-dimensional turbulent flow	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics	6. 最初と最後の頁 104385 ~ 104385
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jnnfm.2020.104385	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 Masuda Hayato, Hubacz Robertc, Ohmura Naoto, Shimoyamada Makoto	4. 巻 75
2. 論文標題 Effect of Rheological Properties of Liquid Foods on Heat Sterilization Process in TaylorCouette Flow Apparatus	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemical Engineering Transactions	6. 最初と最後の頁 31 ~ 36
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3303/CET1975006	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

1. 著者名 Masuda Hayato, Hubacz Robert, Shimoyamada Makoto, Ohmura Naoto	4. 巻 42
2. 論文標題 Numerical Simulation of Sterilization Processes for Shear Thinning Food in Taylor Couette Flow Systems	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemical Engineering & Technology	6. 最初と最後の頁 859 ~ 866
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ceat.201800600	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

1. 著者名 Zhao Jianguo, Gulan Utku, Horie Takafumi, Ohmura Naoto, Han Jun, Yang Chao, Kong Jie, Wang Steven, Xu Ben Bin	4. 巻 15
2. 論文標題 Advances in Biological Liquid Crystals	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Small	6. 最初と最後の頁 1900019 ~ 1900019
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/smll.201900019	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

1. 著者名 Suzuki Hiroshi, Hidema Ruri, Usa Sohei, Horie Takafumi, Komoda Yoshiyuki, Ohmura Naoto, Taniya Keita, Ichihashi Yuichi, Nishiyama Satoru, Asano Hitoshi	4. 巻 106
2. 論文標題 Flow and sedimentation characteristics of silica hard-shell microcapsule slurries treated with additives	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Refrigeration	6. 最初と最後の頁 18 ~ 23
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijrefrig.2019.07.007	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 Sato Hideki, Kawata Masaki, Hidema Ruri, Suzuki Hiroshi	4. 巻 310
2. 論文標題 Effect of the channel geometries on flow regimes of a viscoelastic surfactant solution in a cavity	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics	6. 最初と最後の頁 104946 ~ 104946
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jnnfm.2022.104946	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 Fukushima Kengo, Kishi Haruki, Suzuki Hiroshi, Hidema Ruri	4. 巻 933
2. 論文標題 Modification of turbulence caused by cationic surfactant wormlike micellar structures in two-dimensional turbulent flow	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Fluid Mechanics	6. 最初と最後の頁 A9-1 ~ A9-25
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/jfm.2021.1058	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 Ogura Yu, Taniya Keita, Horie Takafumi, Tung Kuo-Lun, Nishiyama Satoru, Komoda Yoshiyuki, Ohmura Naoto	4. 巻 96
2. 論文標題 Process intensification of synthesis of metal organic framework particles assisted by ultrasound irradiation	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Ultrasonics Sonochemistry	6. 最初と最後の頁 106443 ~ 106443
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ultsonch.2023.106443	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27件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 13件)

1. 発表者名 Naoto Ohmura
2. 発表標題 Development of Novel Chemical Processes by the Aid of Precision Machining and Mathematical and Data Science
3. 学会等名 台湾化学工程学会69周年年会 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小倉 悠、谷屋 啓太、堀江 孝史、菰田 悦之、大村 直人
2. 発表標題 金属有機構造体微粒子合成プロセスに及ぼす超音波照射効果
3. 学会等名 化学工学会第53秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 室谷 峻介、堀江 孝史、藤岡 沙都子、菰田 悦之、大村 直人、沖田 愛利香、安田 昌弘
2. 発表標題 振動流バツフル反応器内のCFD流動解析による層流混合の評価
3. 学会等名 化学工学会第53秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 増田 勇人、中川 幹太、伊與田 浩志、大村 直人
2. 発表標題 径方向温度勾配を伴う円錐型テイラー・クエット流の流動ダイナミクス
3. 学会等名 化学工学会第53秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 清水 啓吾、加藤 海里、小林 知之、菰田 悦之、大村 直人
2. 発表標題 液物性が間隙幅の狭い連続式テイラー・クエット流反応装置内の気液スラグ流に及ぼす影響
3. 学会等名 化学工学会第53秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中川幹太, 増田勇人, 伊與田浩志
2. 発表標題 軸方向温度勾配を有するTaylor-Couette-Poiseuille流の流動ダイナミクス
3. 学会等名 化学工学会第53秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 H. Masuda, K. Wada, S. Okumura, H. Iyota
2. 発表標題 Dynamics of Polymer Solution Droplet on High Temperature Surface
3. 学会等名 The 4th International Symposium on Multiscale Multiphase Process Engineering (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Koki Wada, Ryosuke Sakurai, Shinichiro Okumura, Hayato Masuda, Hiroyuki Iyota
2. 発表標題 Effect of Polymer Addition on Dynamic Leidenfrost Phenomenon
3. 学会等名 19th Asian Pacific Confederation of Chemical Engineering Congress (APCCHE 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takafumi Horie, Jin Tanigawa, Atsushi Manaka, Yoshiyuki Komoda, Naoto Ohmura
2. 発表標題 Population balance modeling for crystal growth of L-glutamic acid in an oscillatory baffle crystallizer
3. 学会等名 4th International Symposium on Multiscale Multiphase Process Engineering (MMPE) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森田 悠希、Yu-Tung Chiu、Chen-Li Sun、堀江 孝史、菰田 悦之、大村 直人
2. 発表標題 振動平板上に設置した液滴内の混合に及ぼす循環流動の効果
3. 学会等名 化学工学会第52回秋季大会
4. 発表年 2021年



1. 発表者名 越智 友亮、堀江 孝史、菰田 悦之、大村 直人
2. 発表標題 攪拌槽内のせん断速度分布が微粒子凝集に与える影響
3. 学会等名 化学工学会第52回秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 堀江 孝史、谷川 仁、間中 敦史、菰田 悦之、大村 直人
2. 発表標題 連続式振動流バツフル反応器による晶析プロセスの強化
3. 学会等名 化学工学会第52回秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Naoto Ohmura
2. 発表標題 Process intensification technology by controlling fluid flow
3. 学会等名 The On-line Honorary Shiny Chem. Lectureship, Taiwan (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 S. M. Khayry, E. Sato, M. Davoody, J. Wu, N. Ohmura, S. Madapusi, R. Parthasarathy
2. 発表標題 Mitigation of scale formation in an agitated vessel using via baffle modification
3. 学会等名 The 10th International Symposium on Mixing in Industrial Processes (ISMIP10) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 H. Masuda, M. Matsumoto, M. Shimoyamada, R. Hubacz, N. Ohmura
2. 発表標題 Mixing enhancement of Taylor-Couette flow reactor with ribbed inner cylinder in continuous starch hydrolysis process
3. 学会等名 The 10th International Symposium on Mixing in Industrial Processes (ISMIP10) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 S. M. Khayry, E. Sato, M. Davoody, J. Wu, N. Ohmura, S. Madapusi, S. Bhattacharya, R. Parthasarathy
2. 発表標題 Effect of impeller speed on scale mitigation in an agitated vessel using Maxblend impeller
3. 学会等名 The 10th International Symposium on Mixing in Industrial Processes (ISMIP10) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 室谷 峻介、堀江 孝史、中田 直貴、伊藤 伸一郎、藤岡 沙都子、菰田 悦之、大村 直人
2. 発表標題 振動流バッフル反応器内の層流混合メカニズムに関するCFD解析
3. 学会等名 化学工学会第87年会 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 越智 友亮, 蔡 子琦, 堀江 孝史, 菰田 悦之, 童 國倫, 大村 直人
2. 発表標題 攪拌槽内流動場における高粘度流体中でのポリスチレン粒子の凝集挙動
3. 学会等名 化学工学会 第51回秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小西 裕貴, 堀江 孝史, 豊田 俱透, 大村 直人, 菰田 悦之
2. 発表標題 スタティックミキサーにおけるMetzener-Otto型平均せん断速度推算式に及ぼす助走区間の影響
3. 学会等名 化学工学会 第51回秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 室谷 峻介, 堀江 孝史, 薬師寺 光, 中田 直貴, 菰田 悦之, 大村 直人
2. 発表標題 回分式振動流パッフル反応器内の混合及び流動状態観察
3. 学会等名 化学工学会 第51回秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤 衣里, 堀口 洋郎, 竹中 克英, 堀江 孝史, 菰田 悦之, 大村 直人
2. 発表標題 パッフルのクリアランスが動力と混合性能に及ぼす影響
3. 学会等名 化学工学会 第51回秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高坂 航平, 石畑 敦啓, 菰田 悦之, 堀江 孝史, 大村 直人
2. 発表標題 平行平板二枚攪拌翼の流動特性
3. 学会等名 化学工学会 第51回秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 室谷 峻介, 堀江 孝史, 葉師寺 光, 中田 直貴, 伊藤 伸一郎, 菰田 悦之, 大村 直人
2. 発表標題 非渦流型振動流バツフル反応器内の混合メカニズムの解析
3. 学会等名 化学工学会, 第86年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ochi, Y., Horie, T., Komoda, Y., Tung, K.-L., Ohmura, N.
2. 発表標題 Aggregation process of silica micro particles in a two dimensional chaotic mixing field
3. 学会等名 18th Asian Pacific Confederation of Chemical Engineering Congress (APCCHE 2019), Sapporo, Japan (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Matsumoto, M., Masuda, H., Hubactz, R., Shimoyamada, M., Ohmura, N.
2. 発表標題 Process optimization of enzymatic hydrolysis of polysaccharide using Taylor-couette flow reactor
3. 学会等名 18th Asian Pacific Confederation of Chemical Engineering Congress (APCCHE 2019), Sapporo, Japan (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ohmura, N.
2. 発表標題 Chemical process intensification from the aspect of sustainable dimension
3. 学会等名 Industrial Symposium Green and Sustainable Technology, Malaysia (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masuda, H., Hubactz, R., Ohmura, N., Shimoyamada, M.
2. 発表標題 Effect of rheological properties of liquid foods on heat sterilization process in taylor-Couette flow apparatus
3. 学会等名 Engineering Future Food, Bologna, Italy (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計0件

〔取得〕 計1件

産業財産権の名称 流体制御の方法、及びテイラー渦流反応装置	発明者 大村 直人、清水 啓吾、小林 知之、加藤 海里	権利者 国立大学法人神戸大学、株式会社チップトン
産業財産権の種類、番号 特許、7213513	取得年 2023年	国内・外国の別 国内

〔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	堀江 孝史  (Horie Takafumi)  (20513550)	大阪府立大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授   (24403)	
研究分担者	日出間 るり  (Hidema Ruri)  (20598172)	神戸大学・工学研究科・准教授   (14501)	
研究分担者	増田 勇人  (Masuda Hayato)  (90781815)	大阪市立大学・大学院工学研究科・講師   (24402)	

#### 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			
オーストラリア	RMIT大学	CSIRO		
その他の国・地域・台湾	国立台湾大学			
ポーランド	ワルシャワ工科大学			
中国	北京化工大学	香港城市大学		
英国	The University of Liverpool			