

令和 4 年 6 月 8 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K03563

研究課題名(和文) 高濃度電解質液体の電気二重層相互作用と非平衡ダイナミクス

研究課題名(英文) Electric double layer at high ionic concentrations

研究代表者

名嘉山 祥也 (Nakayama, Yasuya)

九州大学・工学研究院・准教授

研究者番号：10422982

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：コロイド分散系に外場をかけると、電気泳動と呼ばれるコロイド粒子の運動が生じる。強い外電場における電気泳動の非線形応答の物理について明らかにした。外場の強さの増加とともに、電気泳動易動度は一定である線形応答領域をへて易動度が増加したのち飽和する。このときの非線形応答と電気二重層ダイナミクスの関係について明らかにした。そして、分散媒がニュートン流体でなく高分子溶液のような粘弾性流体である場合のせん断レオロジーについて検討した。実験的に観測されていた希薄分散系における弾性シアシッキングのメカニズムを解明し、直接数値計算による定量予測に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

非線形電気泳動は水溶液系のみならず、特に低誘電率の有機溶媒系などにおける微粒子の運動において重要になる界面動電現象である。従来の電気泳動の理解は比較的低い電場で起こる線形応答の範囲にとどまっていた。本研究は、非線形電気泳動について基礎的な知見を与える。そして、コロイド分散系のレオロジーの理論的理解は、ニュートン流体系についての知見がほとんどであるが、工業材料などはじめてとして、分散媒が粘弾性流体である場合もおおく、学術的にも工業的にも粘弾性分散系の理解が求められている。本研究の知見は、複雑流体分散媒の工業材料の流動プロセスに対する基礎的な知見を成す。

研究成果の概要(英文)：When an external field is applied to a colloidal dispersion, a motion of colloidal particles called electrophoresis occurs. We clarified the physics of the non-linear response of electrophoresis in a strong external electric field. As the strength of the external field increases, the mobility of electrophoresis increases after the linear response region with a constant mobility, and then saturates. The physics of the nonlinear response is clarified based on the electric double layer dynamics. Then, we investigated the shear rheology of a dispersion in a viscoelastic fluid such as a polymer solution. We elucidated the mechanism of elastic shear thickening in a dilute dispersion that was observed experimentally, and succeeded in quantitative prediction of it by using direct numerical simulation.

研究分野：複雑流体の移動現象

キーワード：コロイド レオロジー 電気泳動

## 1. 研究開始当初の背景

液体に分散した微粒子の界面近傍にはバルクとは異なる不均一なイオン分布が形成され、これは電気二重層と呼ばれる。したがってマクロにみると電気的に中性な液体中でも、帯電界面と界面近傍の液中イオン分布は不均一である。コロイド分散系に外場をかけると、コロイド粒子と電気二重層それぞれの電荷が応答してコロイド粒子の運動が生じる、この現象は電気泳動と呼ばれる。外場が小さいとき電気泳動速度は外場に比例する線型応答であるが、外場が大きくなると応答は非線型になる。非線型電気泳動は水溶液系のみならず、特に低誘電率の有機溶媒系などにおける微粒子の運動において重要になる界面動電現象である。従来の電気泳動の理解は比較的低い電場で起こる線型応答の範囲にとどまっていた。

懸濁液の流れについての理論は、従来単純液体を想定したニュートン流体を分散媒とした系の研究が中心であった。一方で、界面動電現象が見られる分散系では、分散媒がニュートン流体である場合のみならず、高分子溶液のような粘弾性流体である場合も多い。過去の実験研究において、粘弾性流体中の分散系では、粒子濃度が希薄な場合においても、せん断速度とともに粘度が増加するシアシックニングが見られることが報告されている。この現象は、ニュートン流体分散媒の場合のシアシックニングは非常に粒子が高濃度でしかみられないことと対比される。すなわち、ニュートン流体中の分散系におけるシアシックニングは、粒子間の直接相互作用によって生じているのに対し、粘弾性流体中の分散系では粒子間直接相互作用がない状況でも生じている。したがって、粒子と液体の粘弾性流れの相互作用による現象と考えられる。

粘弾性分散系のシアシックニングを解明するために、流れの直接数値計算を用いた研究も行われてきた。それらによると、粒子周りの粘弾性流れやシアシックニングの仕組みが定性的な理解が進みつつあった。一方で、過去の数値計算では、分散系シアシックニングの定量予測には成功しておらず、実験と数値計算結果の乖離が問題となっていた。定量的な予測が行えなかったことに対して、物理モデルの不備や、伸長レオロジーのモデリングが必要であるなど、さまざまな可能性が議論された。数値計算と実験の比較において、定量予測に失敗するのは何故なのか、果たして既存のモデルや数値計算において考慮されていない物理があるのかどうか、解明が待たれていた。

## 2. 研究の目的

強い外電場における電気泳動の非線型応答がどのようなものであるか、非線形応答のメカニズムとその時の電気二重層ダイナミクスがどのようなものであるか明らかにする。次に、高分子溶液に分散した微粒子分散系のレオロジーについて明らかにする。液体の粘弾性によって、流れがどのような粒子と流れの相互作用がどのようなものであるか、そしてマクロなレオロジーがどのように変化するか検討する。実験的に観察されている、希薄分散系におけるシアシックニング現象の物理を明らかにする。また、開発する粘弾性分散系の直接数値計算によって、レオロジーの定量予測を目指す。

## 3. 研究の方法

実験が先行している非線型電気泳動の機序について明らかにするために、イオン分布と流れのダイナミクスを著者らの開発した Smoothed Profile 法 (SPm) による直接数値計算をもちいてダイナミクスを検討した。さらに、微粒子と粘弾性分散媒の相互作用を明らかにするために SPm を粘弾性流体に拡張する開発を行った。拡張された SPm を用いて、流体の弾性の効果を明らかにするために、粘度はせん断速度に依らないが弾性を示す Oldroyd-B モデルを用いて解析をおこなった。これは実験的には高分子溶液に対応する。前年度に、開発した独自の直接数値計算によって、粘弾性分散系における弾性シアシックニングを定量的に予測できることを示している。実験では、シアシックニングを示す高分子溶液を分散媒として用い、弾性シアシックニングに対する分散媒の非線型レオロジーの効果を検討した。

## 4. 研究成果

強い外電場における電気泳動の非線型応答について検討した。外場の強さの増加とともに、電気泳動易動度は一定である線型応答の領域から増加に転じ、さらに強い外場で飽和することが再現された。非線型応答領域では、強い外場によって電気二重層の非対称性が強くなり、これは泳動速度を減少させる電場を発生させる。一方、電気泳動易動度の増加する領域では、電気二重層における対イオンが徐々に剥離され、イオンによる抵抗が減少することによって、電気泳動易動度が増加することを明らかにした。これは見かけ上、微粒子の有効電荷が増加したよう

にみえる．さらに強い電場では，電気二重層の非対称性が極大になり，その結果流れの前後対称性が崩れ，電気泳動易動度が飽和することがわかった．従来は，強い電場によって電気二重層のイオンが完全に剥離すると考えられていたが，電気泳動易動度の飽和領域でも対イオンは完全に剥離せず，電気二重層の非対称性が重要であることがわかった．以上のように，定性的に異なる 2 つの非線型応答は，電気二重層と流れの複雑な相互作用によることを明らかにした．高分子溶液に分散した微粒子分散系のレオロジーについて検討した．まず，高分子溶液に分散した微粒子のダイナミクスを解く直接数値計算を開発した．著者らが過去に開発したニュートン流体中の分散系の流れの直接数値計算である Smoothed Profile 法 (SPm) を，粘弾性流体に拡張する開発を行った．開発した粘弾性系 SPm を用いて，粘弾性流れと微粒子運動の相互作用及び分散系レオロジーについて検討した．希薄粒子濃度において，分散媒の緩和レートより速いせん断速度ではシアシックニングが生じることが再現された．この現象のメカニズムを検討した．液体の流れは分散粒子のまわりで単純せん断流から変調される．固体粒子の存在によって，上流側では流線が広がり，二軸伸長流成分をもつ．反対に下流側では流線が再合流する一軸伸長流成分をもつ．また，粒子の極近傍では，流れが粒子周りを循環する流れが発生する．この循環流は永続的に粒子周りに滞留するわけではない．このような流れの様子は基本的には粘性流れでも共通してみられるものである．粒子周辺の粘弾性流れによるシアシックニングの仕組みは次のようであることが分かった．単純せん断流では，伸長されたコンフォメーションが流れ方向に配向することで第一法線応力差が発生する（高分子溶液の第一法線応力差は弾性の指標である）．この第一法線応力差は，単純せん断流下では流れ方向-勾配方向の圧力差を生じる．一方，粒子周りでは伸長コンフォメーションの配向は粒子に沿って向きを変える．その結果，第一法線応力差による応力はマクロなせん断応力に寄与し，マクロなシアシックニングが見られる．この弾性シアシックニングは，一粒子周りの流れでも発生する現象である．弾性シアシックニングは，理論的にはコンフォメーションの伸長によって強くなる現象である．一方，高分子溶液自体の弾性が強くなると，弾性応力が流れ場に影響してしまい，コンフォメーションの伸長は弱まることがある．このように，弾性シアシックニングは，固体粒子と粘弾性流れ場の相互作用によって発現すること，固体粒子と液体の弾性と流れ場が複雑に影響することを明らかにした．弾性シアシックニングの定性的なメカニズムは明らかになったが，過去の研究では直接数値計算によるせん断レオロジーは，実験による結果よりも過少評価すると報告されていた．そのため，上述のメカニズム以外に，考慮されていない要因があるのかどうかの問題であった．本研究では，実験結果との比較を行い，弾性シアシックニングの定量予測に初めて成功した．その結果，定量予測には次の 2 つのことが必要であるとわかった．1 つ目は実験と比較する上での粘弾性流体のパラメータの取り扱いである．粘弾性流体はレオロジーが時間スケール（あるいはせん断レート）に依存するため，モデル化するには観測事象に対して適切な時間スケールのレオロジーパラメータを考慮する必要がある．過去の研究報告では，弾性シアシックニングが起こるせん断レートとはことなる時間スケールのレオロジーパラメータが用いられていたため，数値計算結果と実験結果が乖離していたことがわかった．本研究では，線形粘弾性データを実験データの範囲ですべてモデル化することと，緩和モードを 1 つにする近似モデルで，弾性シアシックニングに関係するレオロジーパラメータを用いることの 2 つをおこない，どちらも定量予測が可能であることを示した．もちろん線形粘弾性データをすべて考慮すれば実験と対応するように考えるかもしれない．しかし，用いたモデルでは粘弾性流体の伸長レオロジーはうまくモデル化されていないため，実験の粘弾性流体のレオロジーをすべて再現するわけではないことに注意する．本研究で得られた結論は，弾性シアシックニングが起こるせん断レートではそのレートの液体レオロジーを適切な考慮が必要であること，またその際のせん断レートは伸長レオロジーが効くほどには大きくないことである．もう 1 つの点は，希薄系ではあるが 1 粒子と多粒子の流れにおけるストレスレットの定量的な違いである．流体力学相互作用は長距離に及ぶため，粒子間相互作用や粒子と壁面との相互作用はせん断レオロジーに対して系統的な違いを生じる．以上の 2 点を適切に考慮することで希薄系から準希薄系の弾性シアシックニングの定量予測が可能であることがわかった．本研究の知見は，複雑流体分散媒の工業材料の流動プロセスに対する基礎的な知見を成す．

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 Kimura Koichi, Nakayama Yasuya, Kajiwara Toshihisa	4. 巻 7
2. 論文標題 Distributive mixing characteristics of a Dulmage-type screw for a single-screw extruder: Experimental and numerical evaluation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemical Engineering Journal Advances	6. 最初と最後の頁 100137 ~ 100137
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cej.2021.100137	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 Yamamoto Ryoichi, Molina John J., Nakayama Yasuya	4. 巻 17
2. 論文標題 Smoothed profile method for direct numerical simulations of hydrodynamically interacting particles	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Soft Matter	6. 最初と最後の頁 4226 ~ 4253
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0SM02210A	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 Matsuoka Yuki, Nakayama Yasuya, Kajiwara Toshihisa	4. 巻 913
2. 論文標題 Prediction of shear thickening of particle suspensions in viscoelastic fluids by direct numerical simulation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Fluid Mechanics	6. 最初と最後の頁 A38
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/jfm.2021.5	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 Nakayama Yasuya, Kajiwara Toshihisa	4. 巻 333
2. 論文標題 Flow Classification and Its Application to Fluid Processing	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 MATEC Web of Conferences	6. 最初と最後の頁 02001 ~ 02001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/mateconf/202133302001	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 木村公一, 名嘉山祥也, 梶原稔尚	4. 巻 71
2. 論文標題 ダルメージ型スクリュの形状と分配混合性能の相関評価	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本製鋼所技報	6. 最初と最後の頁 69-75
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Sekiyama K., Yamada S., Nakagawa T., Nakayama Y., Kajiwara T.	4. 巻 34
2. 論文標題 Partially Filled Flow Simulation Using Meshfree Method for High Viscosity Fluid in Plastic Mixer	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Polymer Processing	6. 最初と最後の頁 279 ~ 289
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3139/217.3727	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 Nakayama Yasuya, Esaki Satoshi, Nakao Kenta, Kajiwara Toshihisa, Takeuchi Takahide, Kimura Koichi, Tomiyama Hideki.	4. 巻 2139
2. 論文標題 Mixing characteristics of different kneading elements: An experimental study	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 AIP Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 20005
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5121652	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 Matsuoka Yuki, Nakayama Yasuya, Kajiwara Toshihisa	4. 巻 16
2. 論文標題 Effects of viscoelasticity on shear-thickening in dilute suspensions in a viscoelastic fluid	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Soft Matter	6. 最初と最後の頁 728 ~ 737
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c9sm01736d	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 Nakayama Yasuya, Takemitsu Hiroki, Kajiwara Toshihisa, Kimura Koichi, Takeuchi Takahide, Tomiyama Hideki	4. 巻 64
2. 論文標題 Improving mixing characteristics with a pitched tip in kneading elements in twin-screw extrusion	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 AIChE Journal	6. 最初と最後の頁 1424-1434
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/aic.16003	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 名嘉山祥也, 梶原稔尚	4. 巻 64
2. 論文標題 溶融混練部のシミュレーションによる研究とその応用	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 プラスチックエージ	6. 最初と最後の頁 51-57
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 木村公一, 富山秀樹, 名嘉山祥也, 梶原稔尚	4. 巻 30
2. 論文標題 単軸押出機のフィン型混練スクリュの分配混合性能評価	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Seikei-Kakou	6. 最初と最後の頁 445-451
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 Nakayama Yasuya, Hiroki Takemitsu, Kajiwara Toshihisa, Kimura Koichi, Takahide Takeuchi, Tomiyama Hideki	4. 巻 2065
2. 論文標題 Characterization of melt-mixing in extrusion: Finite-time Lyapunov exponent and flow pattern structure	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 AIP Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 30032
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5088290	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38件（うち招待講演 4件 / うち国際学会 15件）

1. 発表者名 松岡 佑樹, 名嘉山 祥也, 梶原 稔尚
2. 発表標題 Prediction of shear thickening of particle suspensions in viscoelastic fluids by direct numerical simulation
3. 学会等名 化学工学会第87年会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 名嘉山 祥也, 木村 公一, 梶原 稔尚
2. 発表標題 ダルメージ型スクリュによる単軸スクリュ押出機の混合特性：非単調な操作条件依存性
3. 学会等名 化学工学会第87年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 名嘉山 祥也, 木村 公一, 梶原 稔尚
2. 発表標題 ダルメージ型スクリュによる単軸スクリュ押出機の混合特性：非単調な操作条件依存性
3. 学会等名 第69回レオロジー討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山田真生, 名嘉山祥也, 梶原稔尚, 木村公一
2. 発表標題 ダルメージ型スクリュによる単軸スクリュ押出機の混合特性：非単調な操作条件依存性
3. 学会等名 第58回化学関連支部合同九州大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 名嘉山 祥也, 松岡 佑樹, 梶原 稔尚
2. 発表標題 粘弾性流体中に微粒子が分散した系のレオロジーの直接数値計算
3. 学会等名 プラスチック成形加工学会第32回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 名嘉山 祥也, 松岡 佑樹, 梶原 稔尚
2. 発表標題 粘弾性流体中に微粒子が分散した系のレオロジーの直接数値計算
3. 学会等名 プラスチック成形加工学会第31回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 木村公一, 名嘉山 祥也, 梶原 稔尚
2. 発表標題 単軸押出機用フィン型スクリュの分配混合性能の変動メカニズムの調査
3. 学会等名 プラスチック成形加工学会第31回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 名嘉山 祥也, 松岡 佑樹, 梶原 稔尚
2. 発表標題 粘弾性流体中の分散系における shear-thickening
3. 学会等名 日本流体力学会 年会2020
4. 発表年 2020年



1. 発表者名 名嘉山 祥也, 松岡 佑樹, 梶原 稔尚
2. 発表標題 粘弾性流体中の分散系におけるシアシックニング
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 Yasuya Nakayama, Yuki Matsuoka, Toshihisa Kajiwara
2. 発表標題 Time-domain microrheological evaluation of colloidal suspensions
3. 学会等名 XVIIIth International Congress on Rheology (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yasuya Nakayama, Yuki Matsuoka, Toshihisa Kajiwara
2. 発表標題 Rheological evaluation of particle suspensions in viscoelastic fluids using the smoothed profile method
3. 学会等名 XVIIIth International Congress on Rheology (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yasuya Nakayama, Yuki Matsuoka, Toshihisa Kajiwara
2. 発表標題 Elastic shear-thickening in dilute suspensions in viscoelastic fluids
3. 学会等名 International Workshop on Machine Learning for Soft Matter (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuki Matsuoka, Yasuya Nakayama, Toshihisa Kajiwara
2. 発表標題 Shear-thickening in a dilute suspension of spheres in a weakly viscoelastic fluid: an approach with a direct numerical simulation
3. 学会等名 Annual European Rheology Conference 2019 (AERC 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松岡 佑樹, 名嘉山 祥也, 梶原 稔尚
2. 発表標題 粘弾性流体中希薄粒子分散系のshear thickening現象に関する直接数値計算
3. 学会等名 日本レオロジー学会 第46年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuki Matsuoka, Yasuya Nakayama, Toshihisa Kajiwara
2. 発表標題 Direct numerical simulation of shear-thickening in dilute suspensions in a viscoelastic fluid
3. 学会等名 18th Asian Pacific Confederation of Chemical Engineering Congress (APCCHE 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasuya Nakayama, Toshihisa Kajiwara
2. 発表標題 Flow classification and its application to fluid processing
3. 学会等名 18th Asian Pacific Confederation of Chemical Engineering Congress (APCCHE 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松岡 佑樹, 名嘉山 祥也, 梶原 稔尚
2. 発表標題 粘弾性流体中粒子分散系レオロジーの直接数値計算：粒子体積分率の影響
3. 学会等名 第67回レオロジー討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 名嘉山 祥也, 梶原 稔尚
2. 発表標題 流動プロセスの流れ場のトポロジー
3. 学会等名 第27回プラスチック成形加工学会秋季大会 成形加工シンポジア'19
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松岡 佑樹, 名嘉山 祥也, 梶原 稔尚
2. 発表標題 Stochastic Smoothed-Profile 法とサスペンションにおけるブラウン運動
3. 学会等名 粉体工学会 2018年度第2回「西日本談話会」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 上村 堯巳, 松岡 佑樹, 名嘉山 祥也, 梶原 稔尚
2. 発表標題 粘弾性流体中の粒子分散系の振動せん断レオロジー
3. 学会等名 第22回化学工学会学生発表会(岡山大会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 名嘉山 祥也, 松岡 佑樹, 梶原 稔尚
2. 発表標題 粘弾性流体中の分散系におけるシアシックニング
3. 学会等名 化学工学会 第85年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Koichi Kimura, Hideki Tomiyama, Yasuya Nakayama, Toshihisa Kajiwara
2. 発表標題 Evaluation of Distributive Mixing Performance of Fin Type Screw for Single-Screw Extruder
3. 学会等名 34th International Conference of the Polymer Processing Society (PPS-34) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yasuya Nakayama, Hiroki Takemitsu, Toshihisa Kajiwara, Koichi Kimura, Takahide Takeuchi, Hideki Tomiyama
2. 発表標題 Characterization of melt-mixing in extrusion: finite-time Lyapunov exponent and flow pattern structure
3. 学会等名 34th International Conference of the Polymer Processing Society (PPS-34) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kei Ito, Yasuya Nakayama, Toshihisa Kajiwara
2. 発表標題 Nonlinear Electrophoresis in the Salt-free Limit
3. 学会等名 The 7th Pacific Rim Conference on Rheology (PRCR 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 名嘉山 祥也
2. 発表標題 電気二重層の理論と直接数値計算
3. 学会等名 第55回化学関連支部合同九州大会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yasuya Nakayama, Hiroki Takemitsu, Toshihisa Kajiwara, Koichi Kimura, Takeuchi Takahide, Tomiyama Hideki
2. 発表標題 Impacts of Pitched Tips of Kneading Element in Twin-Screw Extrusion: Tuning Flow Pattern and Mixing Performance
3. 学会等名 Conference on Modelling Fluid Flow (CMFF ' 18) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yasuya Nakayama
2. 発表標題 Nonlinear Electrophoresis in the Salt-free Limit
3. 学会等名 Collaborative Conference on Fluid Dynamics (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 名嘉山 祥也
2. 発表標題 低塩濃度極限における非線型電気泳動
3. 学会等名 第69回コロイドおよび界面化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松岡 佑樹, 名嘉山 祥也, 梶原 稔尚
2. 発表標題 直接数値計算による粘弾性流体中微粒子分散系の流動挙動解析
3. 学会等名 第66回レオロジー討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 木村公一, 名嘉山祥也, 梶原稔尚
2. 発表標題 フィン型混練スクリュの分配混合性能の評価
3. 学会等名 第66回レオロジー討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 名嘉山 祥也, 伊藤 恵, 梶原 稔尚
2. 発表標題 低塩濃度極限における非線型電気泳動
3. 学会等名 第66回レオロジー討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 木村公一, 名嘉山祥也, 梶原稔尚
2. 発表標題 単軸混練スクリュの分配混合性能におけるスクリュ回転数依存性の調査
3. 学会等名 第26回プラスチック成形加工学会秋季大会 成形加工シンポジア'18(浜松)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuki Matsuoka, Yasuya Nakayama, Toshihisa Kajiwara
2. 発表標題 Shear-thickening in a dilute suspension of spheres in a weakly viscoelastic fluid: an approach with a direct numerical simulation
3. 学会等名 Soft Matter Physics: from the perspective of the essential heterogeneity, Nishijin Plaza (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yasuya Nakayama, Hiroki Takemitsu, Satoshi Esaki, Toshihisa Kajiwara, Koichi Kimura, Takeuchi Takahide, Tomiyama Hideki
2. 発表標題 MIXING CHARACTERISTICS OF DIFFERENT KNEADING ELEMENTS IN A TWIN-SCREW EXTRUDER: A NUMERICAL STUDY AND AN EXPERIMENTAL VERIFICATION
3. 学会等名 Asian Workshop on Polymer Processing 2018 (AWPP2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Koichi Kimura, Yasuya Nakayama, Toshihisa Kajiwara
2. 発表標題 EVALUATION OF DISTRIBUTIVE MIXING PERFORMANCE OF FIN TYPE SCREW FOR A SINGLE SCREW EXTRUDER
3. 学会等名 Asian Workshop on Polymer Processing 2018 (AWPP2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松岡 佑樹, 名嘉山 祥也, 梶原 稔尚
2. 発表標題 粘弾性流体中の分散系レオロジーの直接数値計算
3. 学会等名 粉体工学会 2018年度第2回「西日本談話会」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yasuya Nakayama
2. 発表標題 Flow field classification and melt-mixing characteristics in extrusion
3. 学会等名 IPOMY The First International Conference of Polymeric and Organic Materials in Yamagata University (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松岡 佑樹, 名嘉山 祥也, 梶原 稔尚
2. 発表標題 粘弾性流体中の粒子分散系の直接数値計算 : 希薄粒子分散系におけるshear thickening現象
3. 学会等名 化学工学会 第84年会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 名嘉山祥也	4. 発行年 2018年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 237
3. 書名 第1章1 溶融混練の基礎理論と現状 in 樹脂の溶融混練・押出機と複合材料の最新動向 監修: 田上秀一	

〔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
---------	---------