

令和 3 年 6 月 10 日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01767

研究課題名(和文) マイクロ空間における迅速な相転移誘起の制御と微細構造設計

研究課題名(英文) Materials and morphology design induced by rapid phase transition using microfluidics

研究代表者

小野 努 (Ono, Tsutomu)

岡山大学・自然科学研究科・教授

研究者番号：30304752

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,600,000円

研究成果の概要(和文)：マイクロ流路内における精密な異相界面形成に加えて、迅速な溶媒拡散作用を用いることで相分離を誘起すれば、微粒子、カプセル、繊維などの精密生産が可能となし、その微細構造を制御することが可能であることを実験的に示した。特に、このような非平衡状態における相転移現象を支配する操作因子についてをCFD解析や実験的検証によって明らかにし、それらを活用することで分子配向性を向上した繊維の調製やコアシェル構造やヤヌス構造を制御したゲルおよび核生成を制御した単分散微粒子の迅速調製などが可能なことを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

マイクロ空間の精密な流動場および熱制御性を利用して従来の回分反応器(バッチプロセス)を少量多品種を連続生産可能なフロープロセスへと変換していく動きが世界中で加速している。そのようななかで、非平衡な状態での相分離誘起とそれに伴う微細構造制御は今後の材料創製プロセスに意義があり、高付加価値材料を生み出す新たなプロセス設計として有用になると期待される。本研究で得られた知見は、非常に迅速な相転移を誘起できる溶媒拡散法に着目して、微細構造制御のための操作因子を実験的に示したものであり当該分野の発展に貢献するものといえる。

研究成果の概要(英文)：This study demonstrated that the highly-ordered microstructure of colloidal materials were designed by microfluidics and solvent diffusion induced phase separation. We found some important factors to control the fast phase separation under non-equilibrium state. In addition, these findings lead to prepare microfibers with high orientation and particles with core-shell or janus structure and to realize the time-saving production of monodisperse polymer microspheres.

研究分野：マイクロ化学プロセス

キーワード：マイクロ流路 高分子微粒子 Microfluidics フロープロセス 相分離 湿式紡糸

1. 研究開始当初の背景

マイクロ流路内における制御された流体挙動では、液滴、スラグ流、ジェット流など非相溶流体の界面を均一に作製することができ、マイクロ空間特有の急速温度変化や相間物質移動の高速化によって迅速かつ均一な相転移が誘起できる。フロー型反応器での連続的な精密材料調製は将来有望視されるが、マイクロ空間内にてミリ秒スケールで生じる非平衡状態での濃度・粘度・混合特性・レオロジー特性・相変化の把握は困難であった。そこで我々は、マイクロ流路内で生じる物質移動量の制御や高分子重合を利用した相転移挙動の時間変化を観察および化学工学的に解析することで、ミクروسケールでの相互作用がマクروسケールの微細構造形成にどのような影響を与えているかを検証し、それらを制御する因子を解明していく。これらの知見から、相転移誘起挙動の制御による微細構造設計を目指してきた。

マイクロ流路設計および送液手法の工夫により、非相溶流体間で様々な異相界面を形成できることからそれらの流体を固体として連続的に取り出すことで革新的な精密コロイド材料の創製手法として注目されている。我々も当該分野において、溶質の移動ではなく溶媒の移動による迅速な材料調製に着目し、「溶媒拡散法」を利用して高分子溶液から高分子固体を連続的に迅速調製する“Droplet-to-particle Technology”や“Jet-to-Fiber Technology”といった技術へ発展させてきた(図1)。また、マイクロ流路設計においては微細金属加工を得意とする岡山県下のものづくり企業群と連携することでマイクロ流路デバイス製造拠点としての活性化を図り(「岡山マイクロリアクターネット」として産学連携推進)、国内外において精密コロイド材料創製をハード面でもリードしてきた。

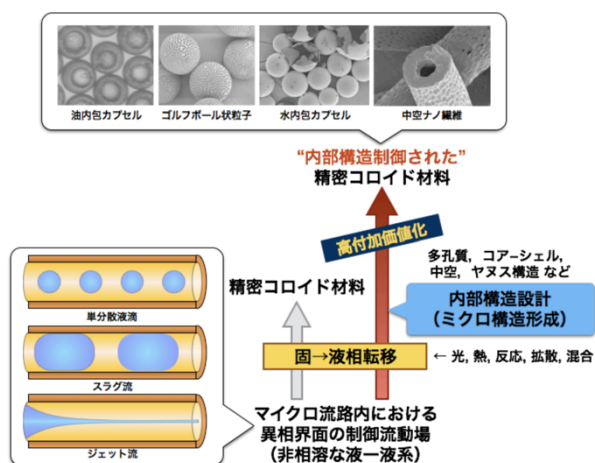


図1 マイクロ流路内の相転移制御による微細構造設計の概念図

2. 研究の目的

これまでにも相分離現象などを取り入れてカプセル構造や中空構造を持つ高分子材料の創製を実証してきたが、マイクロ空間内に形成された異相界面間で非常に高速な物質移動を伴うため、ごく短時間で流体粘度が増大して固体に至る非平衡状態での相転移現象であり、その把握は極めて難しい。このような非平衡状態での高速相転移現象が作り出す様々な微細構造の支配因子は何か? また、任意の微細構造を制御・設計できるのか? これらの学術的課題をクリアにできれば、より高付加価値なナノ~マイクロスケールの微細構造形成材料(例:多孔質・コアシェル・ヤマス・中空構造など)の高速連続製造プロセスにも繋がることから、本研究の目的は、マイクロ流路内における迅速相転移におよぼす因子について学術的に探求し、それらを駆使して微細構造を制御するなど高付加価値材料の設計に活かすことを目的としている。

3. 研究の方法

マイクロ流路内の相分離挙動誘起には、溶媒拡散によって濃度上昇に伴う相分離誘起や重合反応による高分子析出などを利用することとした。特に、重合反応を用いる場合には、光や熱をトリガーとして反応開始を促進することで、異なった時間スケールでの相分離挙動を誘起できる。また、ピッカリングエマルジョン(あるいはコロイドソーム)と呼ばれるナノ粒子の界面吸着特性を活用して、微細な相分離挙動を観察することもでき、直接観察が困難なマイクロ流体内の非相溶流体の液液界面の挙動は、CFD計算によっても推測することも検討した。

(1) マイクロ流路内でのジェット流からの溶媒拡散による繊維調製

マイクロ流路内の様々なジオメトリーを検討してきた結果、オリフィス部を設けた流路内で外相(連続相)流および内相(分散相)流を同心円状に縮流させることで、高い流れ方向へのせん断力を付与した状態で、溶媒拡散による相転移を誘起する(図2)。特にここでは、極めて短時間の間に大きな濃度変化、粘度変化が生じ、相転移時の分子の挙動は非常に興味深い。連続相流量は縮流によるジェット流径を減少させるだけでな

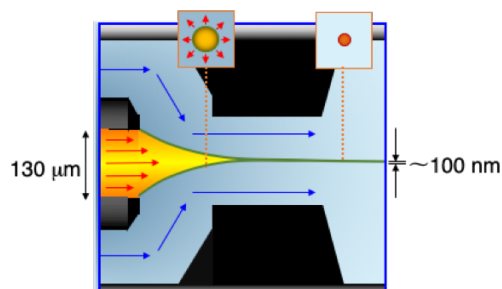


図2 マイクロ流路内のオリフィス部縮流によるジェット流からの繊維調製

く、溶媒拡散の時間スケールを変化させ、オリフィス部での線速度増大ももたらす。

(2) COMSOL Multiphysics を用いたマイクロ流路内の CFD 解析

同流路は主に SUS 製デバイス内部に位置するため相転移挙動の直接観察は難しく、流路内の異相界面は、COMSOL Multiphysics を用いてレベルセット法による流体解析シミュレーションから異相界面を推定した。10wt%ポリスチレン (PS) /テトラヒドロフラン (THF) 溶液を分散相として水を連続相に用いた場合の解析を行ってジオメトリの最適化を行った。

(3) マイクロ流路内での液滴形成と自発的重合反応による相分離誘起

マイクロ流路を用いて反応性ポリエチレングリコール (PEG) を 2 種類とデキストラン (DEX) を溶解した水溶液を混合して直後に連続相のせん断力による単分散液滴の調製を行った。ここでは、反応性 PEG の自発的重合の進行に伴って水性二相分離が誘起され、PEG-rich 相と DEX-rich 相に相分離する。反応速度の制御などによって得られるハイドロゲルの相分離構造を観察した。

(4) マイクロ流路内のスラグ流内におけるソープフリー乳化重合と核生成挙動

スラグ流内部では、線速度に影響を受ける循環流が生じており、液滴内部濃度を均一にするるとともに、連続相からの相間物質移動を促進する目的がある。そのようなスラグ流内部においてソープフリー乳化重合を行うことで、スラグ流内部において核生成を制御し、核成長過程を経て高分子微粒子を調製することができる (図 3)。本研究では、モノマーとしてメタクリル酸メチル (MMA) をドデカンに溶解させた連続相を用い、分散相には開始剤である過硫酸ナトリウム (NPS) を含んだ水溶液である。

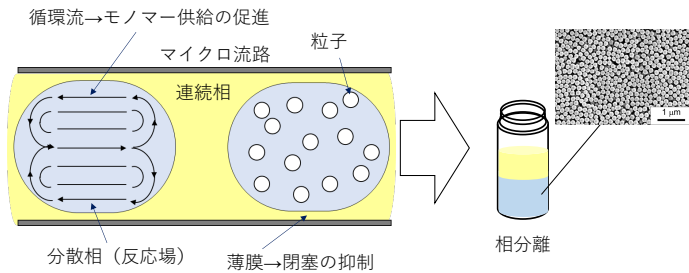


図 3 スラグ流内部における核生成と微粒子調製

4. 研究成果

本研究で得られた研究成果について、以下の 4 つの項目についてのみここでは述べる。

(1) マイクロ流路内でのジェット流からの溶媒拡散による繊維調製

マイクロ流路内のノズル口から分散相が押し出され、それを包むように連続相によってオリフィス部へ流し込まれると、流れ方向への強いせん断場で迅速な物質移動に伴う相転移が誘起されて微細繊維が調製された。この挙動は、用いる高分子、分散溶媒、溶液濃度、粘度、連続相組成、流量などに影響を受けることが確認されており、得られる繊維径をどのように微細化するか、繊維内部の微細構造をいかに制御するかがそれらの因子で変化することが分かってきた。なかでも、本研究では繊維調製時にジェット流にかかるせん断力によって相転移挙動が変化し、それによって相転移後の固体中に含まれる分子の配向性が制御できることを見出してきた。

本繊維調製では、分散相および連続相の流量からオリフィス部でのジェット流の直径は計算され、溶媒拡散によって固体析出体積から理論繊維径が求められるのに対して、実際に得られた繊維径は理論繊維径よりも大きく下回ることが明らかとなった (図 4)。そして繊維径が減少するとともに、繊維の複屈折率は増大することが示され、本手法で調製した繊維は延伸工程を導入しなくても分子配向性を向上させることができ、繊維物性にも反映されることが示唆された。また、ジェット流の界面側から相転移が進行すると考えられるため、界面付近での高分子析出がスキン層となって内部構造が不均一になることも示唆された。非平衡状態での相転移の場合には、マクロな相分離にはある程度の時間が必要であって、析出速度の制御によって相分離誘起とそれともなう微細構造形成も制御することができる。

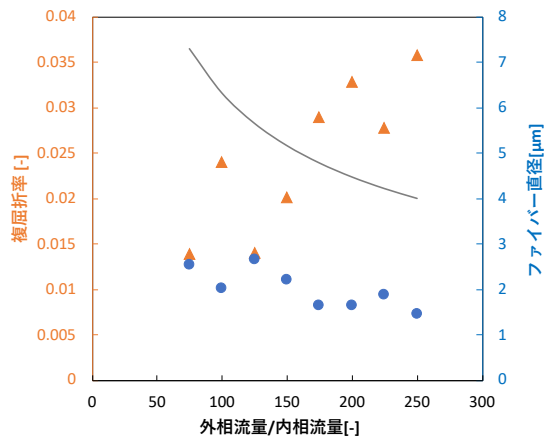


図 4 ポリスチレン/THF 溶液からの溶媒拡散によって調製された繊維径 (曲線: 理論繊維径) と複屈折率の関係

(2) COMSOL Multiphysics を用いたマイクロ流路内の CFD 解析

上記のようなマイクロ流路内での相転移挙動を直接観察できないために、流体解析シミュレーションによって推測することを目的として CFD 解析を行った。分散相から連続相への THF の拡散は考慮せずマイクロ流路内における二流体の界面を COMSOL Multiphysics によって計算した。その結果、ノズルから出た分散相は Taylor cone 状に絞られてオリフィス部へ縮流していく様子を可視化することができ、オリフィス部にて強い線速度で流れ方向にジェット流が延伸されていることが分かる (図 5)。しかしながら、CFD 解析では物質移動を考慮できていないため、

ノズル出口からの距離に応じて体積変化や粘度変化の影響が見られていないことから、ジェット流の下流になるほど実際の状態から離れていると考えられる。

(3) マイクロ流路内での液滴形成と自発的重合反応による相分離誘起

2つの反応性 PEG が接触することで架橋構造が進行するため、最初の混合様式と反応速度がハイドロゲル微粒子内の構造に大きく影響することが分かった。ここでは PEG-rich 相と DEX-rich 相のマクロな相分離も必要なため、マイクロ流路内での合流形態も影響をおよぼし、反応速度を低く抑えることで、液滴内部の相分離挙動も平衡論で議論できるようになる。平衡配置理論に基づいて、コア-シェル構造やヤヌス構造を作り分けることができ、マイクロ流路中での反応制御と構造制御の関係が見いだされた。

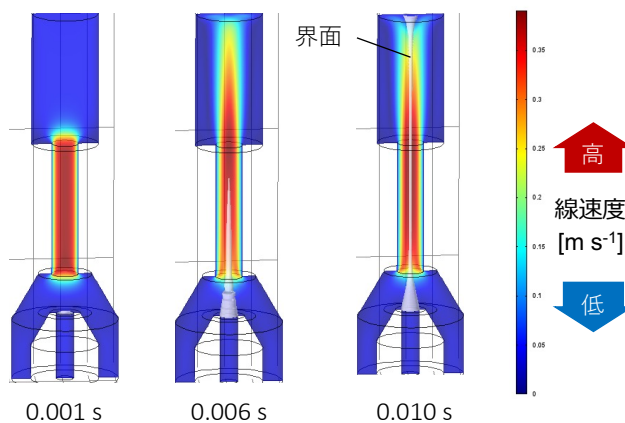


図5 マイクロ流路内におけるジェット流の CFD 解析結果

(4) マイクロ流路内のスラグ流内におけるソープフリー乳化重合と核生成挙動

マイクロ流路内で調製されたスラグ流は、分散相、連続相の流量および流路壁の濡れ性によってスラグ長や内部循環流の強さを制御できる。これによって、スラグ流内の物質移動や攪拌効率が変わって反応速度や核生成速度、核成長速度も影響を受ける(図6)。本研究では、MMA のソープフリー乳化重合をこのスラグ流内で行うことで、得られた PMMA 微粒子の粒径や粒径分布挙動から均一溶液からの相転移(核生成)を推定することができた。

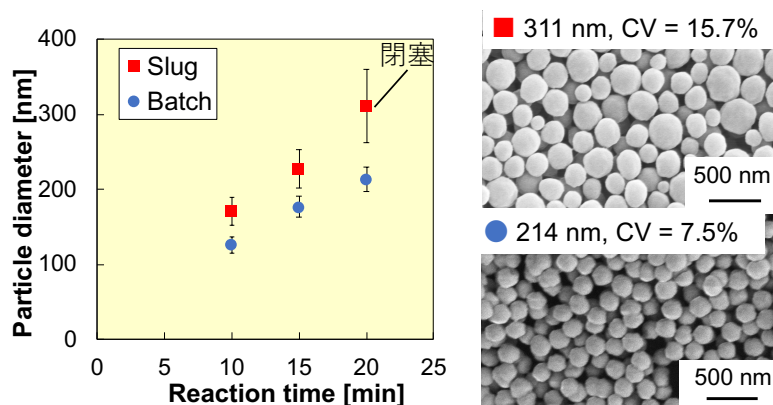


図6 マイクロ流路内スラグ流および回分反応でのソープフリー乳化重合による粒子成長速度の比較

さらに開始剤濃度および連続相組成の最適化によって、スラグ流を用いた PMMA 微粒子において、粒子成長の高速化が達成された。結果として、粒径 $1\mu\text{m}$ の高分子微粒子を調製するために必要な時間はこれまで 18 時間程度必要としていたが、マイクロ流路内でのスラグ流を用いたフロープロセスによっておよそ 2 時間で調製できることが明らかとなった。

以上のマイクロ流路内における相転移挙動に関する知見より、溶媒拡散法によって非常に迅速な濃縮過程および核生成反応を精密に誘起できることが明らかとなり、物質移動の濃度勾配および半径方向に対する濃度変化が最終的な微細構造の不均一性を生じていることが見いだされてきた。マクロな相分離挙動を引き起こすためには、溶媒拡散による速い物質移動と高い溶質濃度による化学ポテンシャル差が重要である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 T. Watanabe, R. Takahashi, T. Ono	4. 巻 16
2. 論文標題 Preparation of tough, thermally stable, and water-resistant double-network ion gels consisting of silica nanoparticles/poly(ionic liquid)s through photopolymerisation of ionic monomer and subsequent solvent removal	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Soft Matter, 16, 1572-1581 (2020)	6. 最初と最後の頁 1572-1581
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9SM02213A	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 渡邊貴一, 小野努	4. 巻 63
2. 論文標題 マイクロ流体デバイスを用いた単分散ポリ乳酸微粒子の連続調製	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ケミカルエンジニアリング	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 T. Tsuneyoshi, Y. Yohaze, T. Watanabe, T. Ono	4. 巻 34
2. 論文標題 Free-Standing Metal Films Prepared via Electroless Plating at Liquid-Liquid Interfaces	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Langmuir	6. 最初と最後の頁 13183-13191
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.langmuir.8b02822	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 M. Kohri, K. Yanagimoto, A. Kawamura, K. Hamada, Y. Imai, T. Watanabe, T. Ono, T. Taniguchi, K. Kishikawa	4. 巻 10
2. 論文標題 ACS Appl. Mater. Interfaces	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ACS Appl. Mater. Interfaces	6. 最初と最後の頁 7640-7648
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsami.7b03453	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 T. Watanabe, K. Karita, K. Tawara, T. Soga, T. Ono	4. 巻 220
2. 論文標題 apid synthesis of poly(methyl methacrylate) particles with high molecular weight by soap-free emulsion polymerization using water-in-oil slug flow	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Macromol. Chem. Phys.	6. 最初と最後の頁 1900021
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/macp.201900021	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 T. Watanabe, I. Motohiro, T. Ono	4. 巻 35
2. 論文標題 Microfluidic Formation of Hydrogel Microcapsules with a Single Aqueous Core by Spontaneous Cross-linking in Aqueous Two Phase System Droplets	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Langmuir	6. 最初と最後の頁 2358-2367
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.langmuir.8b04169	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50件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 14件)

1. 発表者名 渡邊貴一, 高橋るり, 小野努
2. 発表標題 高分子イオン液体イオンゲルの高強度化に関する設計指針の構築
3. 学会等名 化学工学会第85年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 荒木拓也, 渡邊貴一, 小野努
2. 発表標題 光重合による樹脂表面への高分子イオン液体層の構築
3. 学会等名 化学工学会第85年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 入江智紀, 渡邊貴一, 小野努
2. 発表標題 カーボンナノチューブ分散液を用いたモノフィラメント繊維の連続調製
3. 学会等名 化学工学会第85年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 平井瑠夏, 渡邊貴一, 小野努
2. 発表標題 クリック反応を利用した主鎖型高分子イオン液体の合成および評価
3. 学会等名 第69回高分子年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 入江智紀, 渡邊貴一, 小野努
2. 発表標題 カーボンナノチューブ分散液を原料としたモノフィラメント繊維の調製
3. 学会等名 繊維機械学会第73回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小野努, 渡邊貴一
2. 発表標題 マイクロ流路を利用したナノファイバーの湿式紡糸と配向性の向上
3. 学会等名 2020年繊維学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 平井瑠夏, 渡邊貴一, 小野努
2. 発表標題 クリック反応性モノマーを利用した主鎖型高分子イオン液体の作製および物性評価
3. 学会等名 第69回高分子討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 荒木拓也, 渡邊貴一, 小野努
2. 発表標題 光重合による樹脂表面への高分子イオン液体層の構築 (再発表)
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 安原有香, 渡邊貴一, 小野努, Itab Youssef, Christophe A. Serra
2. 発表標題 重合誘起相分離による微粒子内部の微細構造制御
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 渡邊貴一, 高橋るり, 小野努
2. 発表標題 高分子イオン液体イオンゲルの高強度化に関する設計指針の構築 (再発表)
3. 学会等名 化学工学会第85年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 平井瑠夏, 渡邊貴一, 小野努
2. 発表標題 クリック反応を利用した主鎖型高分子イオン液体および架橋体の開発
3. 学会等名 第29回ポリマー材料フォーラム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 入江智紀, 渡邊貴一, 小野努
2. 発表標題 異なるカーボンナノチューブ CNT 原料を用いたマイクロ湿式紡糸プロセスによるCNT繊維の調製
3. 学会等名 日本繊維機械学会「研究発表会」
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 武内裕城, 渡邊貴一, 小野努
2. 発表標題 液滴内での迅速な溶媒拡散誘起相分離を用いた共連続構造を有する高分子微粒子の調製
3. 学会等名 化学工学会広島大会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大江笑北, 渡邊貴一, 小野努
2. 発表標題 セルロースナノファイバーの添加による高分子イオン液体ゲルの高強度化
3. 学会等名 第23回化学工学会学生発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岡田慧, 渡邊貴一, 小野努
2. 発表標題 マイクロ湿式紡糸プロセスによるポリアミック酸繊維の調製と機能性評価
3. 学会等名 第23回化学工学会学生発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 道行大将, 渡邊貴一, 小野努
2. 発表標題 CNF水分散液を原料としたマイクロ湿式紡糸プロセスによるセルロース繊維の調製
3. 学会等名 第23回化学工学会学生発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高野創也, 渡邊貴一, 小野努
2. 発表標題 マイクロ湿式紡糸プロセスによるコラーゲン繊維の調製
3. 学会等名 化学工学会広島大会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 笠嶋拳人, 渡邊貴一, 小野努
2. 発表標題 ホルムアルデヒドを使わないメラミンマイクロカプセルの開発
3. 学会等名 第23回化学工学会学生発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松本彬, 渡邊貴一, 小野努
2. 発表標題 マイクロ湿式紡糸によるステレオコンプレックスポリ乳酸ファイバーの調製
3. 学会等名 第23回化学工学会学生発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 恩地哲生, 渡邊貴一, 小野努, 小林慧子, 大村雅也
2. 発表標題 マイクロ流路内における溶媒拡散法を用いた酢酸セルロースナノ繊維の調製
3. 学会等名 日本繊維機械学会第72回年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takaichi Watanabe, Shohei Toyota, Tsutomu Ono
2. 発表標題 Preparation of hollow polymer fibers with controlled internal structures using microchannel wet-spinning process and phase separation
3. 学会等名 47th Textile Research Symposium 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tsutomu Ono, Takaichi Watanabe
2. 発表標題 Microfluidics for nanofiber wet-spinning
3. 学会等名 TechConnect World 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takaichi Watanabe, Ibuki Motohiro, Kae Ikegami, Tsutomu Ono
2. 発表標題 Structural Control of Hydrogel Microparticles by Combining Phase Separation and Cross-linking Reaction in Aqueous Droplets
3. 学会等名 APChE 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tsutomu Ono, Yayoi Kawashima, Takaichi Watanabe
2. 発表標題 Nucleation behaviors in nano- and pico-liter droplets using microfluidic crystallization
3. 学会等名 APChE 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Cui Yunlong, Takaichi Watanabe, Tsutomu Ono
2. 発表標題 Preparation of Formaldehyde-free Melamine Microcapsules
3. 学会等名 APChE 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Toshihiko Tsuneyoshi, Takaichi Watanabe, Tsutomu Ono
2. 発表標題 Preparation of metal-shell microcapsules using Pickering emulsion and interfacial electroless plating
3. 学会等名 Okinawa Colloids 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kengo Karita, Takaichi Watanabe, Tsutomu Ono
2. 発表標題 Synthesis of poly (methyl methacrylate)/polystyrene composite particles by soap-free seeded emulsion polymerization using a water-in-oil slug flow in a microchannel
3. 学会等名 Okinawa Colloids 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ruri Takahashi, Takaichi Watanabe, Tsutomu Ono
2. 発表標題 Preparation of double network ion gels with silica particles and poly (ionic liquid)s
3. 学会等名 Okinawa Colloids 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takaichi Watanabe, Kae Ikegami, Ibuki Motohiro, Tsutomu Ono
2. 発表標題 Microfluidic preparation of Janus hydrogel microparticles using aqueous two-phase system droplets as a template
3. 学会等名 Okinawa Colloids 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高橋るり, 渡邊貴一, 小野努
2. 発表標題 高分子イオン液体を用いたイオンゲルの作製とダブルネットワーク構造による高強度化
3. 学会等名 第10回イオン液体討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 平井瑠夏, 渡邊貴一, 小野努
2. 発表標題 クリック反応性モノマーを用いた架橋高分子イオン液体の合成および評価
3. 学会等名 第10回イオン液体討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川口佳, 渡邊貴一, 小野努
2. 発表標題 不均一系RAFT重合による高分子微粒子の合成
3. 学会等名 化学工学会姫路大会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 神吉翔太, 渡邊貴一, 小野努
2. 発表標題 連続晶析プロセスにおけるスラグ流が晶析挙動に与える影響
3. 学会等名 化学工学会姫路大会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮林敬典, 渡邊貴一, 小野努
2. 発表標題 マイクロ湿式紡糸プロセスによるセルロースナノファイバーの長繊維化
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 2020年

1. 発表者名 小野努, 渡邊貴一
2. 発表標題 マイクロ湿式紡糸プロセスにおける繊維物性に与える操作因子
3. 学会等名 日本繊維機械学会第71回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石田裕朗, 渡邊貴一, 小野努
2. 発表標題 溶媒拡散を用いた両連続相構造を持つ複合液滴 (Bijelカプセル) の調製
3. 学会等名 化学工学会第50回秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kengo Karita, Takaichi Watanabe, Tsutomu Ono
2. 発表標題 Soap-free emulsion polymerization in water-in-oil slug flow for synthesis of high-molecular weight polystyrene particles
3. 学会等名 International Conference on Micro Reaction Technology (IMRET 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shinya Masumoto, Takaichi Watanabe, Tsutomu Ono
2. 発表標題 Preparation of poly(vinyl alcohol) fiber by microchannel wet-spinning process
3. 学会等名 International Conference on Micro Reaction Technology (IMRET 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 渡邊貴一, 元廣伊吹, 小野努
2. 発表標題 単分散水滴内での相分離を活用したハイドロゲル微粒子の合成と構造制御
3. 学会等名 第20回高分子ミクロスフェア討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 苅田健吾, 渡邊貴一, 小野努
2. 発表標題 Water-in-Oilスラグ流を反応場としたソープフリー乳化重合による高分子量ポリマーの合成
3. 学会等名 第20回高分子ミクロスフェア討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Naoya Seike, Takaichi Watanabe, Tsutomu Ono
2. 発表標題 Mitigation of void formation in polymer fibers prepared by microchannel wet-spinning process
3. 学会等名 13th Korea-Japan Symposium on Materials and Interfaces (13th KJSMI) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tetsuo Onji, Takaichi Watanabe, Tsutomu Ono
2. 発表標題 Preparation of cellulose fibers using ionic liquid by microchannel wet-spinning process
3. 学会等名 13th Korea-Japan Symposium on Materials and Interfaces (13th KJSMI) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Toshihiko Tsuneyoshi, Takaichi Watanabe, Tsutomu Ono
2. 発表標題 Metal Microcapsules Prepared by Electroless-plating on Pickering Emulsion
3. 学会等名 13th Korea-Japan Symposium on Materials and Interfaces (13th KJSMI) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 荻田咲耶子、渡邊貴一、小野努
2. 発表標題 酸化鉄含有高分子フィルムの調製と光熱変換によるフィルム特性の変化
3. 学会等名 化学工学会中四国関西支部合同徳島大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 池上華絵, 元廣 伊吹, 渡邊 貴一, 小野 努
2. 発表標題 水性二相液滴を鋳型としたヤヌス型ゲル微粒子の調製
3. 学会等名 第21回化学工学会学生発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西岡莉那, 渡邊貴一, 小野努
2. 発表標題 マイクロ湿式紡糸プロセスにおけるデバイス内部の流体解析
3. 学会等名 第21回化学工学会学生発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川上晃聖, 渡邊貴一, 小野努
2. 発表標題 湿式紡糸による多層ジェット流を利用した複合繊維の調製
3. 学会等名 第21回化学工学会学生発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤野麻衣, 渡邊貴一, 小野努
2. 発表標題 液滴界面におけるシリカナノ粒子間でのポリ乳酸ステレオコンプレックス形成を利用したマイクロカプセル調製
3. 学会等名 化学工学会第84年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 恒吉俊彦, 渡邊貴一, 小野努
2. 発表標題 液滴界面を鋳型とした無電解めっきによる金属マイクロカプセルの調製
3. 学会等名 化学工学会第84年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 渡邊貴一
2. 発表標題 液滴内での相分離を利用した微粒子の構造制御
3. 学会等名 化学工学会第84年会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 分子配向性が向上した湿式紡糸繊維およびその製造方法	発明者 小野努, 渡邊貴一	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2018-183868	出願年 2018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
研究協力者	渡邊 貴一 (Watanabe Takaichi) (60743979)	岡山大学・大学院自然科学研究科・助教 (15301)	

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