

令和 2 年 6 月 16 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H01339

研究課題名(和文) マイクロ流路の流動挙動解析に基づいた次世代連続操作型分離技術の開発

研究課題名(英文) Development of next generation continuous separation processes based on fluid behaviour in microchannel

研究代表者

外輪 健一郎 (Ken-Ichiro, Sotowa)

京都大学・工学研究科・教授

研究者番号：00336009

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,800,000円

研究成果の概要(和文)：重要な分離技術である蒸留と晶析を取り上げ、従来とは異なる流動状態を利用した新規技術の解析を行った。蒸留については水平の装置を提案し、内部の回転体の形状および運転条件が性能に及ぼす影響を明らかにした。晶析に関してはテイラークエット流における結晶成長への影響を数値的に解析し、攪拌槽中よりも早く成長できる可能性を示唆した。またカスケード型晶析システムを提案した。この装置では操作パラメータの1つである流量比率を変化させることで、得られる結晶の大きさを制御することに成功した。セグメント流に関する晶析技術についても検討を行い、操作中の閉塞を防止するための指針を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

フロー合成技術は近い未来の医薬品製造技術として注目されている。このような製造プロセスで利用できる反応技術の開発が進められている一方で、分離精製技術の進展が遅れている。本研究では特に重要となる晶析技術、さらにはより一般の化学産業でも広く使われる蒸留を取り上げた検討を行った。研究の結果、テイラークエット流を利用した晶析システムの提案や、せん断流における物質移動の解析など学術的にも新規な知見を得ることができた。

研究成果の概要(英文)：This study focused on intensification of distillation and crystallization technologies through exploitation of novel fluid flow systems. For distillation, a horizontal apparatus with agitator was developed and the effect of shape of rotating elements on the separation performance was investigated experimentally. A cascade crystallization system, which involves a Taylor Couette flow apparatus, was developed. The crystal size can be easily controlled by varying a fraction of flow rates, which is one of the important operating parameters in this system. A CFD simulation was conducted to examine the mass transfer rate around a particle under shear dominated conditions, and the results showed fine crystals grow faster in Taylor Couette flow than in a stirred tank. Clogging prevention is important in segmented flow crystallization in microchannels. An experimental study was conducted to clarify the condition which promotes initiation of crystal deposition on the wall.

研究分野：単位操作、化学工学

キーワード：蒸留 晶析 単位操作 マイクロ流路

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

化学産業では少量生産のプロセスにはバッチプロセスが向くとされている。医薬品製造プロセスは典型的な少量生産プロセスであることから、バッチプロセスが活用されてきた。しかし、2000年頃からのマイクロリアクタの登場に端を発し、製薬企業においても連続プロセスの導入（フロー化）に対する関心が高まってきている。これはマイクロリアクタを採用したフロー化によって収率を向上できるというだけでなく、定常状態で操作することによる品質の安定化、省力化などを達成できるためである。近年になって国内外でフロー化に関する関心が一層高まって複数の研究開発プロジェクトが進行するようになった。しかし、その多くは反応工程の連続化に主眼が置かれている。化学品製造では、物質を生み出すための反応工程のほか、品質を高めるための分離精製工程も同様に重要である。しかし、これまで抽出などのわずかな種類の分離技術を除いて、フロー化技術の開発が遅れている。

代表的分離技術である蒸留については、小型・連続化は、従来の蒸留装置を小さくすることで実現は可能である。しかし、気液接触における相間物質移動速度は比較的進行が遅い比較的時間遅いプロセスであるため、従来の装置を単に小型化してもそのサイズを十分に小さくできるとは期待できない。我々は、気液の物質移動を促進させるために攪拌機能を備えた蒸留装置を提案した。予備的な実験によって蒸留が可能であることが明らかとなっていたが、その設計や運転条件が性能に与える影響を明らかにすることが求められていた。

晶析は蒸留よりもさらに広く医薬品製造において活用されている分離技術である。近年の研究で、マイクロ流路を活用したりして流れ場を制御すれば合成される粒子群の特性をも制御可能であることが示されてきている。とくにマイクロ流路中の多相流れにおいてしばしば注目されるセグメント流や2つの円筒間のクリアランスに生じるテイラー・クエット流を晶析に応用する研究が広がってきている。

以上のように、蒸留および晶析は古くから存在する分離技術であるが、その装置内部の流体挙動をより精密に制御することによって、性能の一層の向上が期待されている。本研究では実験および数値計算の両面からこれらの新規技術の特性を明らかにすることを旨とした。

2. 研究の目的

上述した通り、本研究では蒸留および晶析という2つの代表的な分離技術に着目した。蒸留については、我々が提案している水平型蒸留装置を対象とし、その分離性能を定量的に明らかにすることを目的とした。また、晶析については、スラグ流およびテイラー・クエット流を利用した晶析技術に着目した。これらについても流体解析と実験の双方から特性を明らかにすることを目的とした。

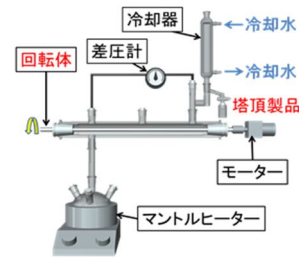


図1：蒸留実験装置

3. 研究の方法

(1) 蒸留実験

蒸留に関しては、図1に示す水平型蒸留装置を構築した。装置の内径は3.0mmであり、その内部に回転軸が設けられている。回転速度は0~1600rpmの範囲で変化させた。実験は全還流条件とし、塔頂及び塔底の温度が定常に達したことを確認してサンプルを採取した。採取したサンプルの組成から、該当する実験条件における分離段数を求めた。実験はシクロヘキサンヘプタン混合物を使用した。回転軸には様々な形状の回転体を取り付けて気液接触を強化することができる。ここではステンレスウールや水車型の翼を取り付けて実験を行った。

(2) テイラー流を利用したカスケード晶析実験

従来の連続晶析装置であるMSMPR装置を用いると、結晶化現象の核化と成長が装置内で同時に起きるため、結晶粒子群の品質を厳密に制御することができない。これに対し、核化と成長を空間的に分けるために、MSMPR装置を複数台組み合わせる案が提案されている。しかし、同一種類の装置を組み合わせただけでは、機能を分けられない。そこで前段の装置として核化を特異的に促進することができることが報告されているTaylor Vortex装置に着目した。さらに、各装置に対して結晶化の推進力である過飽和を分配できるようにTaylor Vortex装置とMSMPR装置とをカスケード型に組み合わせる新たな装置を設計した。本手法では、新規カスケード型連続晶析装置の開発と、その晶析装置を用いた結晶粒子群の品質の作り分けを行うための操作指針を検討した。実

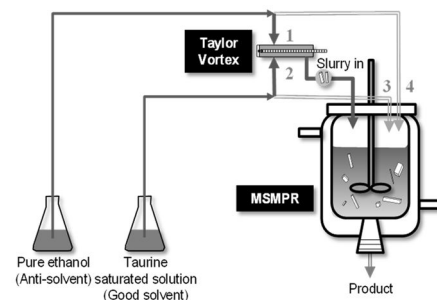


図2：カスケード晶析実験

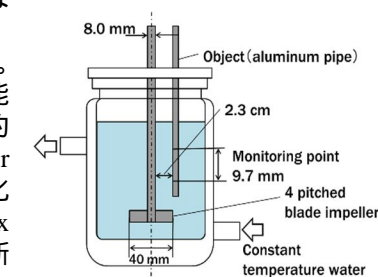


図3：スケーリング解析実験

験系は、タウリン(結晶化物質)水(良溶媒) エタノール(非溶媒)である。新規カスケード型晶析装置の概略図を図2に示す。この晶析装置は、前段の Taylor Vortex 装置と、後段の MSMPR 装置から構成されている。また、原料溶液であるタウリン飽和溶液とエタノールを Taylor Vortex 装置と MSMPR 装置との両方の晶析装置に対して供給した。

表 1 : 実験で用いた粒子の形状と実験結果

Particle No.	LA [mm]	LB [mm]	LC [mm]	Asp ₁ (L _A /L _C)	Asp ₂ (L _B /L _C)	V [mm ³]	D _{pv} [mm]	N _{col} [-]	R _{con} [-]	τ _{con} [s]	
1	1.1 ± 0.1	0.30 ± 0.02	0.30 ± 0.02	3.7	1.0	0.099	0.57	1.3	87	0.54	0.013
2	2.5 ± 0.2	0.32 ± 0.03	0.31 ± 0.02	8.1	1.0	0.25	0.78	1.6	131	0.69	0.016
3	3.8 ± 0.3	0.28 ± 0.02	0.28 ± 0.02	14	1.0	0.30	0.83	1.6	198	0.72	0.020
4	2.6 ± 0.2	0.55 ± 0.02	0.55 ± 0.02	4.7	1.0	0.79	1.1	1.8	142	0.58	0.018
5	0.97 ± 0.2	0.54 ± 0.04	0.32 ± 0.03	3.0	1.7	0.17	0.68	1.6	102	0.69	0.012
6	2.4 ± 0.2	0.53 ± 0.04	0.30 ± 0.01	8.0	1.8	0.38	0.90	1.6	159	0.64	0.016
7	4.0 ± 0.3	0.55 ± 0.04	0.31 ± 0.02	13	1.8	0.68	1.1	2.2	211	0.75	0.026
8	1.4 ± 0.2	1.0 ± 0.03	0.52 ± 0.02	2.7	1.9	0.73	1.1	1.7	134	0.59	0.014
9	2.8 ± 0.2	1.0 ± 0.02	0.53 ± 0.02	5.3	1.9	1.5	1.4	2.5	161	0.61	0.019
10	2.5 ± 0.3	0.76 ± 0.02	0.28 ± 0.02	8.9	2.7	0.53	1.0	1.7	183	0.61	0.018
11	2.0 ± 0.3	1.3 ± 0.03	0.30 ± 0.04	6.7	4.3	0.78	1.1	1.9	126	0.69	0.013

(3) クエット流における物質移動速度の解析

テイラークエット流の条件では、粒子が攪拌槽とは異なる流動場に置かれている。前者ではせん断が支配的であるのに対し、従来の攪拌槽ではほとんどの時間が一樣流の中に存在していると考えられる。そこで、数値計算を活用して、これらの流れの違いが結晶回りの物質移動速度に及ぼす影響の解析を行った。この計算では単一の粒子回りの物質移動速度に注目した。せん断および一樣な速度分布を与え粒子と周囲との物質移動速度を計算によって求めた。速度や粒子径を変化させ、これらの因子の影響を整理した。

(4) セグメント流を利用した晶析技術の検討

セグメント流の晶析は微小空間で結晶を発生させる技術であるので、閉塞挙動の制御が重要となる。そこで、懸濁型冷却晶析法で問題となる装置壁面での結晶化現象すなわちスケール形成の開始メカニズムの解析に取り組んだ。これまでの取り組みから、スケール形成開始に懸濁結晶の形状の違いに起因する懸濁結晶の衝突現象の差異が関係すると考えられた。そこで、懸濁型晶析プロセスを想定しながら、複数種類の寸法のポリスチレン製の直方体粒子からなるモデル粒子群(以下 PS 粒子)を懸濁させ、結晶化が起きない条件で懸濁粒子の装置内構造物への衝突現象を解析した。解析に際しては、スケール形成開始のメカニズムの観点より、粒子の衝突頻度 N_{col} [time]、継続して接触した割合を示す接触率 R_{con} [-]、継続接触時間を τ_{con} [s]などの現象と粒子の種類、攪拌槽内構造物の大きさなどとの関係に着目した。

実験方法であるが、所定の寸法(3辺を L_A, L_B, L_C と定義)の複数種類の PS 粒子群 ~ (各 1000#) を作製し、PS 粒子の体積 V [mm³]、球体積相当径 D_{pv} [mm] を求めた(表 1 参照)。実験装置に攪拌槽内構造物として冷却コイルを想定し、外径 d = 5 mm のアルミパイプを用い、攪拌槽に 0.1 mass% パーフルオロアルキル化合物水溶液含有 80 mass% エタノール水溶液 (0.84 g/cm³) の懸濁溶媒 500 mL と PS 粒子群を入れ、400 rpm で攪拌した。この時の槽内構造物の観察領域(長さ方向 9.7 mm) への PS 粒子の衝突を 3 秒間高速度撮影し(1200 fps)、これを 5 回繰り返して計 15 秒間撮影した。この操作を粒子群ごとに行なった。また外径 d を変更して同様に実験した。装置概略図を図 3 に示した。

4. 研究成果

(1) 蒸留実験

多様な形状の回転体を用いて蒸留実験を行った。代表的な例として水車型の回転体を利用した場合の結果を図 4 に示す。図の横軸は f-factor と呼ばれ蒸気の質量流量を代表する数値である。縦の HETP は一段の分離を行うのに必要な装置の長さであり、小さいほど性能が高い。この図より軸が回転していない場合には、HETP が大きな値をとるが、回転速度を大きくすると HETP を 5cm 程度まで短くできることが示された。蒸気流量増大とともに HETP は悪化する傾向にあるが、最大の HETP は 10cm 程度であった。一方で、圧力損失については f-factor の増大とともに大きく増大した。回転体の形状は分離性能に大きく影響するデータが得られており、安定な運転のためには回転体の形状をより工夫する必要がある。この点については本研究期間終了後も継続して検討を進める予定である。

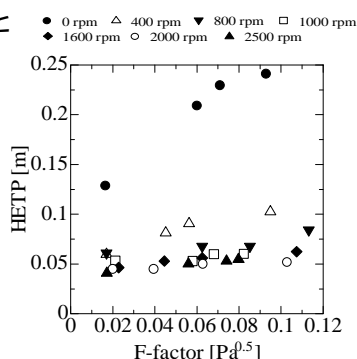


図 4 : 蒸留実験結果

(2) テイラー流を利用したカスケード晶析実験

新規カスケード型晶析装置の性能を評価するために、従来型の MSMPR 装置と得られた結晶品質の比較を行った。結果、新規カスケード型晶析装置では粒径分布が改善していた。さらに、収率に関しても、新規カスケード型晶析装置で、約 19% 向上できることが分かった。

前段の Taylor Vortex 装置で実際に核化が促進可能であったかを確認するために、MSMPR 装置に組み合わせた従来型の MSMPR 装置と新規カスケード型晶析装置とで population density プロットを行って核化速度を比較したところ、従来型よりも核化速度が促進されていることが分かった。

さらに、新規カスケード型晶析装置へ供給する総流量のうち、Taylor Vortex 装置の流量比率 η (= Taylor Vortex への Feed / Total Feed) を 0% から 100% まで変更したときの球相当径の変化を

図5に示した。結果、 η は最終的な平均粒径に影響を与え、 η を高くすると、製品結晶の平均粒径が小さくなることが明らかになり、 η の変更によって粒径の作り分けに成功した。

以上、結晶粒子群の連続フロー製造を目的として、Taylor Vortex 装置と MSMPR 装置を組み合わせた新規カスケード型晶析装置の開発を行った。開発した新規カスケード型晶析装置では、粒径分布が改善し、収率に関しても向上できることが分かった。また、カスケード接続にしたことで、流量比率 η を変更することで、粒径の作り分けも可能となることも見出した。

(3) クエット流における物質移動速度の解析

せん断流におかれた粒子周りの物質移動速度をシミュレーションによって解析した。ここでは物質移動速度は粒子1つあたりの溶質の移動速度と定義して解析を行った。テイラークエット流を利用した晶析装置では、粒子に与えるせん断速度を、内円筒の回転数で制御できる。計算の結果、回転数を大きくしていくと、物質移動速度が大きくなる傾向が見られた。とくに小さい粒子は回転数の影響を大きく受け、 $1\mu\text{m}$ 程度の大きさの粒子では、せん断速度を $0.1 \sim 1000\text{rad/s}$ まで増大させると 100 倍程度に物質移動速度が増大することが示唆された。一方で、攪拌槽内の粒子について考察すると、粒子が攪拌翼やバフフルに付近の流れが大きく乱れている部分に存在するものを除き、ほとんどの粒子が一樣流中に存在していると考えられる。この時の粒子と流体の相対速度は終末沈降速度のオーダーであると予想される。そこで、粒子が一樣流中に置かれている場合についてもその周りの物質移動速度を計算し、せん断流の場合と比較した。その結果、直径 $1\mu\text{m}$ 程度の微細な粒子は、せん断流中における物質移動速度が一樣流中の値に比べて 100 倍程度大きくなることが示唆された。

(4) セグメント流を利用した晶析技術の検討

作製した粒子の寸法および形状係数とアルミパイプの外径 $\phi 5\text{mm}$ のときの PS 粒子の懸濁実験の解析結果を表1に示す。解析結果から L_A のみ異なる粒子、 L_B と L_C が異なる粒子を比較するとそれぞれアスペクト比 $Asp_1 (=L_A/L_C)$ 、 $Asp_2 (=L_B/L_C)$ と共に N_{col} 、 R_{con} 、 τ_{con} が增大する傾向が見られ、粒子の形状により衝突の仕方が異なることが数値的に示された。

また、粒子形状の衝突への効果を、粒子レイノルズ数によって式(1)、(2)で示される動力学的形状係数 κ を用いて評価した。

$$\kappa = (D_{pv}/D_{ps})^2 \quad (\text{Stokes 域}, Re_p < 6) \quad (1)$$

$$\kappa = (D_{pv}/D_{ps})^{3/2} \quad (\text{Allen 域}, 6 < Re_p < 500) \quad (2)$$

(粒子の球粒子沈降速度相当径 D_{ps} と球体積相当径 D_{pv} から算出)

また、槽内構造物の外径 d の増大と共に N_{col} が減少し、 R_{con} 、 τ_{con} が増大する傾向が確認された。そこで、衝突の評価に粒子形状と槽内構造物の関係性を考慮して PS 粒子の長軸 L_A と d で定義される形状指数 $D (=L_A/d)$ で N_{col} を整理したところ、図6に示すように N_{col} は D に対して直線的に変化することが示された。また同様な増大傾向が $D-\kappa-N_{col}$ の三次元プロットでも見られた。よって、 D 、 κ の大きい粒子ほど槽内構造物へ衝突しやすいことが分かった。

以上より、本実験系において、長軸径が大きい結晶やアスペクト比が大きい結晶は、懸濁時に攪拌槽内の構造物に物理的に衝突しやすく、衝突頻度の観点でスケール形成しやすい傾向にあることが示された。すなわち、スケール形成防止の観点からは懸濁結晶の形状は長軸径が短い低アスペクト比であることが望ましいことが数値的に示された。

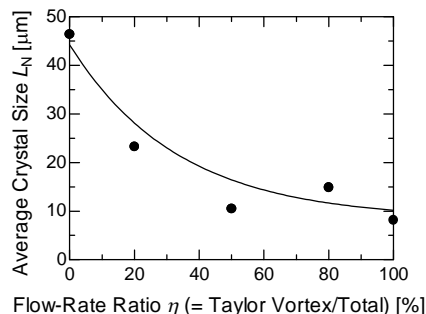


図5： η と平均径の関係

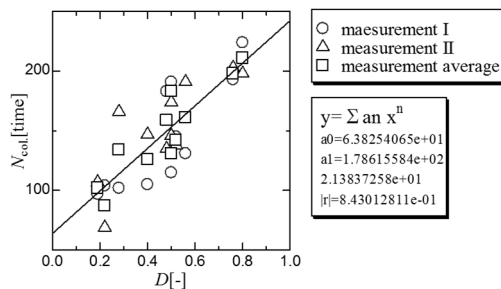


図6： $D(=L_A/d)$ と N_{col} の関係

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5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 Sato Eriko, Seki Yuichiro, Takiyama Hiroshi	4. 巻 52
2. 論文標題 Control of Reaction Crystallization of Organic Compounds Using the Supersaturation Profile	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 JOURNAL OF CHEMICAL ENGINEERING OF JAPAN	6. 最初と最後の頁 599 ~ 604
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1252/jcej.19we017	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 Nishimaru Momoko, Kudo Shoji, Takiyama Hiroshi	4. 巻 52
2. 論文標題 Effect of Two Kinds of Supersaturation on Crystal Qualities during Cocrystallization	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 JOURNAL OF CHEMICAL ENGINEERING OF JAPAN	6. 最初と最後の頁 579 ~ 585
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1252/jcej.18we281	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 Ohyama Mitsuki, Kudo Shoji, Amari Shuntaro, Takiyama Hiroshi	4. 巻 75
2. 論文標題 Production of crystalline particles with high homogeneity in reaction crystallization by using pH-solubility-profile	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Industrial and Engineering Chemistry	6. 最初と最後の頁 38 ~ 43
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jiec.2019.03.003	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 Sotowa Ken-Ichiro, Aoyama Takahiro, Takagi Ryo, Ito Kohei, Avila Jesus Rafael Alcantara, Horikawa Toshihide	4. 巻 44
2. 論文標題 Modular Concept Inspired by Microchemical Systems and Application to Distillation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Computer Aided Chemical Engineering	6. 最初と最後の頁 2419 ~ 2424
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/B978-0-444-64241-7.50398-0	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 Nishimaru Momoko, Nakasa Miku, Kudo Shoji, Takiyama Hiroshi	4. 巻 470
2. 論文標題 Operation condition for continuous anti-solvent crystallization of CBZ-SAC cocrystal considering deposition risk of undesired crystals	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Crystal Growth	6. 最初と最後の頁 89 ~ 93
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jcrysgro.2017.04.017	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24件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 13件)

1. 発表者名 大山満希、工藤翔慈、滝山博志
2. 発表標題 反応晶析にpH-溶解度プロファイルを用いた結晶粒子群の凝集制御
3. 学会等名 分離技術会年会2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Junya Matsushita, Ken-Ichiro Sotowa, Toshihide Horikawa and Jesus Rafael Alcantara Avila
2. 発表標題 Effect of gas-liquid slug length on the mass transfer rate in microchannel
3. 学会等名 The 31st International Symposium on Chemical Engineering (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Natsuki Kitagawa, Ken-Ichiro Sotowa, Toshihide Horikawa and Jesus Rafael Alcantara Avila
2. 発表標題 Effect of shear flow on mass transfer rate around a crystal
3. 学会等名 The 31st International Symposium on Chemical Engineering (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takumi Nishimoto, Ken-Ichiro Sotowa, Toshihide Horikawa and Jesus Rafael Alcantara Avila
2. 発表標題 Numerical Investigation of the effect of bend on the gas absorption rate in microchannels
3. 学会等名 2018 AIChE Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shimada Yuusuke, Yumi Uno, Ken-Ichiro Sotowa, Jesus Rafael Alcantara Avila and Toshihide Horikawa
2. 発表標題 Effect of rotating elements on HEPT of a horizontal distillation column
3. 学会等名 2018 AIChE Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ken-Ichiro Sotowa, Takumi Nishimoto, Shunsuke Miyai, Toshihide Horikawa and Jesus Rafael Alcantara Avila
2. 発表標題 Numerical Analysis of Interfacial Mass Transfer Rate of Deforming Fluid Slugs in Microchannels
3. 学会等名 International Conference on Micro Reaction Technology 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ken-Ichiro Sotowa
2. 発表標題 Analysis of interfacial mass transfer rate in microchannels
3. 学会等名 International symposium on the fluidized beds and multi-phase flow reactor (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 北川 菜月, 外輪 健一郎, 堀河 俊英, アルカンタラ アピラ ヘスース ラファエル
2. 発表標題 晶析装置内における単一結晶周りの流動状態と物質 移動速度
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 外輪 健一郎
2. 発表標題 マイクロ・フロー合成における化学プロセス技術の考察と展望
3. 学会等名 マイクロプロセス最前線シリーズ -来たるべき変革に向けた始動- (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西丸萌々子, 工藤翔慈, 滝山博志
2. 発表標題 Anti-solvent添加を併用した共結晶粒子群製造での品質制御手法の検討
3. 学会等名 分離技術会年会2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 岡崎 大周, 外輪 健一郎, 堀河 俊英, アルカンタラ アピラ ヘスース ラファエル
2. 発表標題 スラグ流を活用した貧溶媒晶析技術の検討
3. 学会等名 日本海水学会第68年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Momoko NISHIMARU, Shoji KUDO, Hiroshi TAKIYAMA
2. 発表標題 Quality Control during CocrySTALLIZATION by Using Two Kinds of Supersaturation Operation
3. 学会等名 The 11th International Conference on Separation Science and Technology (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yusuke Shimada, Ken-Ichiro Sotowa, Jesus Rafael Alcantara Avila and Toshihide Horikawa
2. 発表標題 Separation performance of a horizontal type distillation system
3. 学会等名 The 11th International Conference on Separation Science and Technology (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Taishu Okazaki, Ken-Ichiro Sotowa, Toshihide Horikawa and Jesus Rafael Alcantara Avila
2. 発表標題 Continuous anti-solvent crystallization of glycine using slug flow
3. 学会等名 The 11th International Conference on Separation Science and Technology (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Natsuki Kitagawa, Ken-Ichiro Sotowa, Toshihide Horikawa and Jesus Rafael Alcantara Avila
2. 発表標題 Flow around a single crystal and the mass transfer rate
3. 学会等名 The 30th International Symposium on Chemical Engineering (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Taishu Okazaki, Ken-Ichiro Sotowa, Toshihide Horikawa and Jesus Rafael Alcantara Avila
2. 発表標題 Continuous anti-solvent crystallization using gas-liquid slug flow generated in microchannel
3. 学会等名 The 30th International Symposium on Chemical Engineering (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 岡崎 大周, 外輪 健一郎, 堀河 俊英, アルカンタラ アピラ ヘスース ラファエル
2. 発表標題 スラグ流を用いた貧溶媒晶析における結晶品質制御
3. 学会等名 化学工学会 第49回秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 西丸萌々子, 工藤翔慈, 滝山博志
2. 発表標題 Anti-solvent添加晶析を併用した共結晶製造での結晶品質制御
3. 学会等名 化学工学会第83年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shuntaro AMARI, Chinami SUGAWARA, Hiroshi TAKIYAMA
2. 発表標題 Development of Continuous Flow Production Process with High Shear Field for Reaction Crystallization
3. 学会等名 18th Asian Pacific Confederation of Chemical Engineering Congress (APCCChE 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yumi Uno, Ken-Ichiro Sotowa, Yusuke Shimada and Toshihide Horikawa
2. 発表標題 Effect of the size of rotating elements on the performance of horizontal distillation column
3. 学会等名 The 32nd International Symposium on Chemical Engineering (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 工藤翔慈、滝山博志
2. 発表標題 溶液からの共結晶粒子群晶創製のための多成分相図を利用した操作設計
3. 学会等名 分離技術会年会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 千明知広、工藤翔慈
2. 発表標題 非球形粒子の攪拌槽内構造物への衝突現象の解析
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 小山 真奈、甘利 俊太郎、滝山 博志
2. 発表標題 新規カスケード型連続フロー晶析を用いた結晶粒子群の品質制御
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 木村一輝、工藤翔慈
2. 発表標題 パニリンの非溶媒添加晶析での結晶粒子群品質
3. 学会等名 化学工学会 第85年会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔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
研究分担者	滝山 博志 (Takiyama Hiroshi) (40251582)	東京農工大学・工学(系)研究科(研究院)・教授 (12605)	
研究分担者	工藤 翔慈 (Kudo Shoji) (50735008)	群馬工業高等専門学校・物質工学科・助教 (52301)	
研究分担者	A L C A N T A R A J . R A F A E L (Alcantara-Avila J. Rafael) (50709219)	京都大学・工学研究科・講師 (14301)	
研究分担者	堀河 俊英 (Horikawa Toshihide) (90380112)	徳島大学・大学院社会産業理工学研究部(理工学域)・准教授 (16101)	