

令和 6 年 6 月 12 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01702

研究課題名(和文) 高分子微粒子ナノサイズ化のための反応器内部構造のデザイン

研究課題名(英文) Design of inner structure of reactor for synthesis of polymer nano particle

研究代表者

山本 徹也 (Yamamoto, Tetsuya)

名古屋大学・工学研究科・准教授

研究者番号：10432684

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,800,000円

研究成果の概要(和文)：反応器内部に三次元網目マイクロ構造または充填物を導入しマイクロ・ナノ空間を創成した。この空間では溶媒の対流が反応器内部の壁面の効果で抑制され、重合反応により析出した粒子の運動量が減少する。すなわち対流による粒子同士の衝突頻度が減少するので、凝集による粒子の成長が阻害されることになる。その結果、界面活性剤フリーで高分子微粒子のナノサイズ化に成功した。これらのナノ粒子のサイズは反応器内部の空隙率でコントロールすることが可能である。例えば、三次元網目マイクロ構造の場合、メラミンフォームを圧縮する、充填物の場合、充填物のサイズを小さくするといった操作で粒子径が制御できる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ナノ材料の開発が盛んに行われているが、それらを合成する反応器の最適化が進んでいない。本研究ではナノ材料の合成に適した反応器、たとえば充填物を利用したマイクロ・ナノ空間を反応場にするすることで、従来の反応器が与える環境負荷を低減することができる。また、材料のサイズ制御技術もマイクロ・ナノ空間をコントロールすることで可能になることを示した。今後、本研究により反応器の最適化、原料の供給法の最適化など、従来になかった観点でナノ材料の合成法の開発が進み、科学技術の発展に貢献するものと思われる。

研究成果の概要(英文)：A three-dimensional network microstructure or packing was introduced inside the reactor to create micro/nano spaces. In the spaces, the convection of the solvent was suppressed by the effect of the walls inside the reactor, and the motions of particles precipitated by the polymerization reaction was reduced. In other words, since the frequency of collisions between particles due to convection was reduced, particle growth due to aggregation was prevented. As a result, we succeeded in creating nano-sized polymer particles without surfactants. The size of the nanoparticles can be controlled by controlling the porosity of the reactor. For example, in the case of a three-dimensional network microstructure, the particle size can be controlled by compressing the melamine foam, or in the case of a filling, by reducing the size of the filling.

研究分野：化学工学

キーワード：メラミンフォーム ガラスビーズ 反応器 空隙率 重合反応 ナノ粒子 界面活性剤フリー

1. 研究開始当初の背景

材料の高性能化を追求するため、従来のバルク原材料をナノサイズ化する研究が進められている。この背景には、比表面積の増大による反応性、吸着効率、反応速度の向上が化学産業界に大きなインパクトを与えてきた事実がある。とくに、高分子微粒子は医薬、化粧品、印刷、電子デバイス、複合材料など多様な分野に応用される原材料である。今後そのナノサイズ化と安定供給が求められる。このように原材料のナノサイズ化は重要な課題である。

従来の高分子微粒子のナノサイズ化は、液相攪拌バッチ型反応器を利用したモノマーの重合反応で論ぜられてきた。これは粒径を整えるにはビルドアップ法が適していること、既存の工業プロセスを踏襲することに起因する。このナノサイズ化には多量の界面活性剤が添加されるので、環境汚染問題となる。最近では、マイクロ波の活用、マイクロ流路の利用など反応場や反応器をデザインする研究がなされているが、その生成メカニズム・機構の解明や粒子状化合物の流路内目詰まりなどの課題を解決するには時間を要する。

本研究はナノサイズ化のための反応器の最適化に焦点を当てた。ナノレベルの観察技術の向上によりビルドアップによる材料の生成機構の解明が進んだ。材料のナノサイズ化には、その生成・成長機構に応じた反応器を設計すべきである。分子からビルドアップしてナノ粒子が生成する過程をAFM in-situ 観察しナノレベルで機構を解明したところ、攪拌バッチ式は反応中の生成初期粒子の熱運動とバルクの外力が大きいので、粒子同士は凝集・合一しやすく、界面活性剤フリーでナノ粒子を得ることは難しいことが分かった。マイクロ波、超音波を利用した反応器についても同様のことが言える。本研究では、これらを解決するためナノ粒子合成のための反応器内部構造をデザインした。

2. 研究の目的

本研究の目的は、界面活性剤フリーで高分子微粒子のナノサイズ化を実現するために反応器の内部に粒子成長初期ステージの凝集成長を抑制する工夫を施すことである。反応中は温度が高く、また反応初期の粒子はサイズが小さいので凝集・合一が起こりやすい。

この反応初期の凝集成長を抑えることが、ナノ粒子を得るために極めて重要である。従来の攪拌バッチリアクターではコロイド分散安定性の観点(例えば DLVO 理論)から大量の界面活性剤添加により、粒子の凝集成長を抑制しナノ粒子を得てきた。これは粒子-粒子間相互作用、粒子-溶媒間相互作用に着目した発想である。

本研究は反応器内部構造壁面-溶媒間の相互作用に注目する。すなわち反応器内部構造を構成する固体表面と溶媒間の相互作用を強化することで溶媒分子の熱運動を抑制し、生成粒子の運動を抑える。その結果、生成初期のナノ粒子同士の衝突が起こりにくくなり、界面活性剤フリーでナノ粒子が得られる。本研究の凝集成長の抑止策として、反応器内部に溶媒との接触面積が大きい三次元マイクロ網目構造を導入する。具体的には、スポンジ構造を有するメラミンフォーム(MF)とガラスビーズ(GB)を充填層型バッチリアクターとして活用する(図1)。

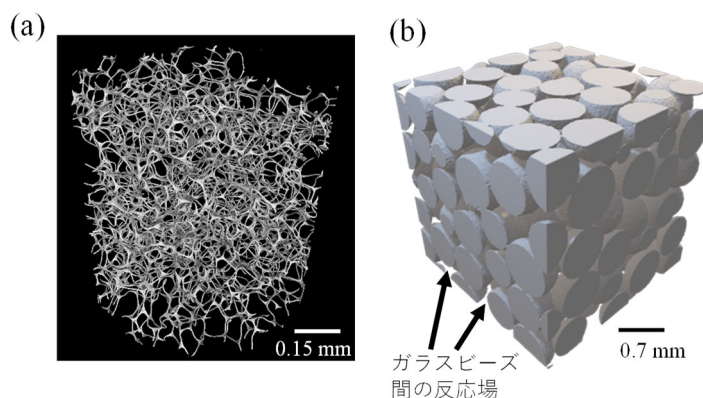


図1. 充填層型バッチリアクター:(a)メラミンフォーム;(b)ガラスビーズ

3. 研究の方法

φ36×20 mmに切り出したMFの底面にスチレン 64 mMを染み込ませたのち開始剤過硫酸カリウムまたは 4,4'-アゾビス(4-シアノ吉草酸) 2 mMで満たした。これをホットプレートで24 h加熱する,あるいは紫外線(UV, 波長 365 nm)を照射しソープフリー乳化重合を行い,反応終了後はMFを圧搾することで粒子を回収した(図

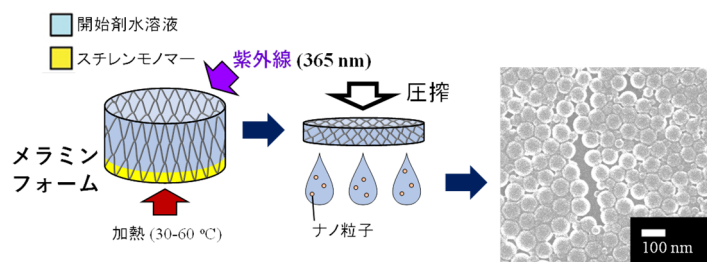


図2. メラミンフォームを利用したナノ粒子合成の概要

2)。この操作をMFの空隙率を変化させて行なった。空隙率は半径方向に大きく切ったMFを圧縮することで調整した。MF内の流動性については,断熱材を巻いたビュレットを逆さ向きにして先端にMFを詰め込み水を50 g流し,水が落ち切る時間を測定しDarcyの法則より流速と圧力の関係式より流動抵抗を評価した。それぞれの空隙率に対して平均流動抵抗を算出し,各流速と平均流動抵抗から推算される流速値との差をバラツキとし,MFの空隙の均一性について評価した。

6 mLスクリー管に64 mMのスチレンモノマー, GB充填層, 2 mMの過硫酸カリウム水溶液を順に投入し,暗室でUV(波長 365 nm)を24 h照射しソープフリー乳化重合を行った。

それぞれの反応器から回収した分散液に含まれる微粒子を走査型電子顕微鏡(FE-SEM)で表面形態を観察し粒子径を計測し,さらに熱重量測定で収率を算出した。

4. 研究成果

図3はMF反応器の空隙率が合成した粒子の平均径と収率に与える影響をグラフにしたものである。空隙率が小さくなるにつれて粒子径も小さくなり,100 nm未滿のナノ粒子が合成できることが明らかになった。MFを反応場に導入することにより,系内に三次元的にマイクロ網目が構造が発達し,水とMFの接触界面を増加させ,水の流動性を低下させることができた。この効果により粒子同士の凝集による成長を妨げ,粒子のナノサイズ化に至ったと考えられる。粒子の凝集は衝突頻度関数により二種類の駆動力に分けられる。一つ目は剪断による速度差が引き起こす衝突で,二つ目は粒子自身のブラウン運動による衝突である。空隙率 > 0.8 では対流による粒子衝突が系内で支配的に起きていると考えられる。空隙率が小さくなると対流が抑制され凝集を妨げたため粒子径が小さくなったと考えられる。空隙率 < 0.8 では対流の影響はほとんどなくなり粒子の運動はブラウン運動のみにより支配される。そのため粒子径が一定となったと考えられる。これらの結果より反応場の流動性を制御することで粒子径がコントロールでき, MFの圧縮操作により空隙率を調整し界面活性剤フリーで粒子径を制御することができた。

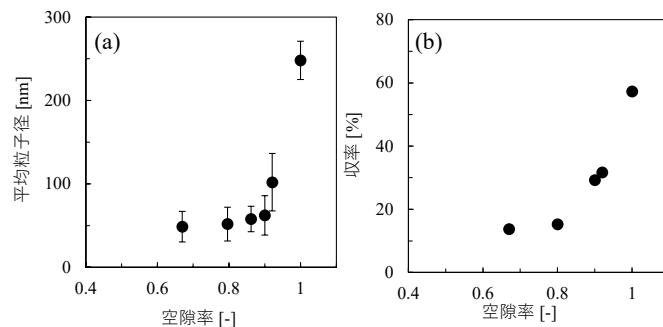


図3. MFの空隙率が:(a)平均粒子径;(b)収率に与える影響

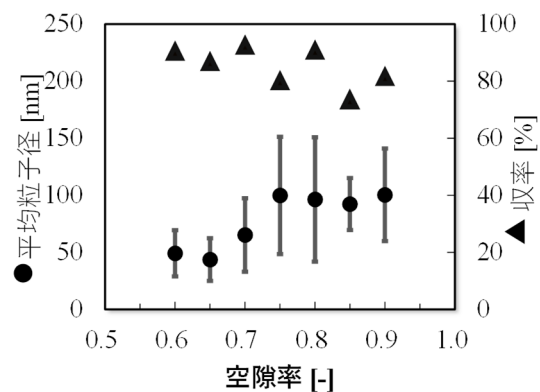


図4. UV照射型MFの空隙率が平均粒子径と収率に与える影響

一方、収率は低下した。スチレンが加熱(70 °C)により MF 底面から上方へ拡散し、反応器内部に供給される。この結果は重合によるスチレンの消費速度がモノマーの供給速度よりも低く、重合反応が効率的に進行していないことを表している。この加熱による拡散速度を抑えるために、UV を照射することで開始剤の分解速度を促進し、加熱温度を下げる、すなわちスチレンの供給速度を抑えることで収率の向上を試みた。温度低下により開始剤の分解速度は低下するが、それを UV 照射で補い、設定温度 40 °C で重合を進行させることができた。その結果、ナノ粒子の収率を向上させることに成功した。この高収率の条件下で生成した微粒子のサイズは 100 nm 未満であり、UV を援用した MF 反応器でナノ粒子を高収率で合成できることが明らかになった(図4)。

図5は MF 内の流速のバラツキと空隙率の関係を表している。 R^2 が 1 に近付くと各空隙率における平均流動抵抗値から推算される流速からのズレが少ないことを示し、MF 内の空隙の均一性が高いことになる。この実験結果は空隙率が減少するにつれ MF 内の空隙の均一性が高まっていることを示している。すなわち、圧縮することにより MF 内の孔径の大きいものから順に小さくなり、孔径の均一化が進んだと考えられる。その結果、空隙率が減少すると生成粒子のサイズが 100 nm を越えるものがなくなり、MF 内の空隙の均一化により粒子径の均一化も達成されることが示唆された。

MF 内での粒子生成メカニズムを明らかにするためにシード重合を行った。二種類の粒子径のシード粒子をソープフリー乳化重合法で合成した。シード粒子は 30 mL スクリュー管に 2 mM の過硫酸カリウム水溶液を 21.5 mL 入れたものを二本用意し、片方にはスチレンを 32 mM、もう一方にはスチレンを 224 mM 入れて調製した。二つのスクリュー管はホットプレートを用い 70 °C で 24 h 加熱しマグネチックスターラーを用いて 400 rpm で攪拌した。重合終了後、速やかに二種類のシード粒子を混合した。続いてシード粒子混合液と予め 70 °C に加熱しておいた 2 mM の過硫酸カリウム水溶液を体積比 1:4 となるよう混合した。次にこの混合液を 21.5 mL ずつ二つに分け片方を 30 mL スクリュー管に入れスチレンを 64 mM 加え、もう一方を底面にスチレンを 64 mM 染み込ませた MF に満たした。両者をホットプレートを用いて 70 °C で加熱しスクリュー管は 400 rpm で攪拌した。両サンプルとも 24 h 後の重合終了時にも粒子を回収して SEM で観察を行い、粒子径分布を作成した(図6)。MF を用いていない反応系では、二種類の粒子が一樣に成長しており、粒子径分布が顕著な二峰性を示す結果が得られている。一方、MF を用いたシード重合では

粒子径分布が非常に広く、バルクで発生した新粒子が既往の粒子の成長に寄与することができなかつたと考えられる。これは MF 内の流動が抑制されているので、新粒子が既往の粒子との衝突・合一が起こりにくい環境にあったことが原因であると考えられる。すなわち、MF 内では粒子の運動量が小さいので粒子の成長が起こりにくいメカニズムを支持する実験結果となった。MF を用いたシード重合で得られた微粒子の SEM 写真を図7に示す。仕込んだ二種類の粒子以外に更に小さい新粒子の存在を確認することができた。

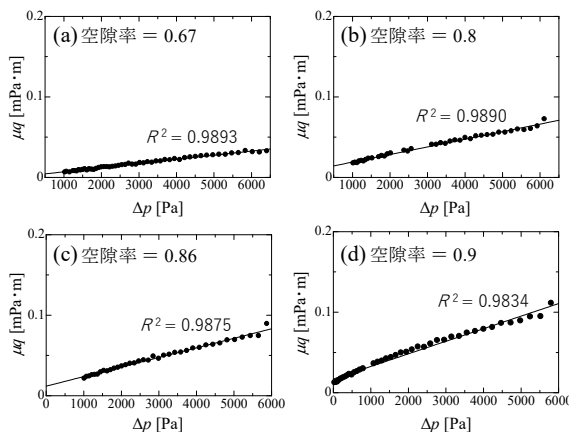


図5. MF の空隙率が内部流動のバラツキに与える影響

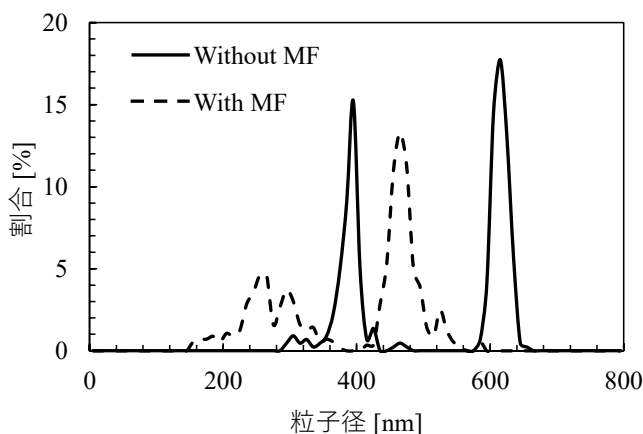


図6. MF を利用したシード重合で調製した粒子径分布

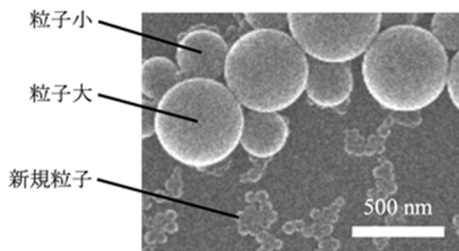


図7. MF を利用したシード重合で調製した粒子の SEM 像

MF では圧縮操作により反応器内部の空隙率を 0.6~0.9 の間で調整することができた。さらに小さいナノ粒子を得るために、空隙率が 0.45 となる GB で充填した反応器を設計した。充填する GB サイズの径を 15~1400 μm まで変化させ、それぞれの GB 充填層反応器によって得られる高分子微粒子の粒子物性を計測した結果を表1に示す。GB サイズが小さくなるにつれて、反応器内部の空間がより細かく分割されるので、一つの区画の体積が小さくなる。そこでは GB 壁面の効果がより強く表れるので、対流が抑制される。すなわち空間内で生成した微粒子の対流による運動が抑えられ、衝突頻度が減少し、凝集成長が阻害されるので高分子微粒子のナノサイズ化が達成できたと考えられる(図8)。粒子径のバラツキを表す指標の CV 値が高めに出ているのは用いた GB サイズが均一ではないので分画した空間サイズが不均一であったことが原因であると考えられる。

表1. 充填 GB サイズが高分子微粒子物性に与える影響

GB サイズ [μm]	15-90	37-63	150-250	991-1397
平均径 [nm]	27.3	43.9	46.1	61.8
CV [%]	22.3	73.2	89.4	52.4
ゼータ電位 [mV]	-32.7	-37.3	-38.9	-30.4

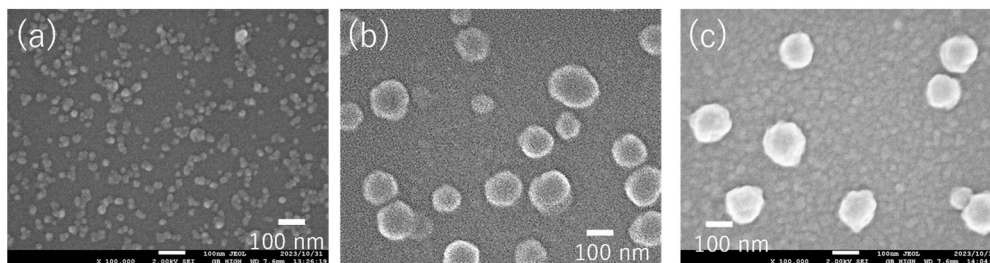


図8. 充填に使用した GB のサイズが生成粒子径に与える影響:
(a)15-90 μm ; (b)37-63 μm ; (c)150-250 μm

以上の研究成果により、MF や GB で反応器内部にマイクロ・ナノ空間を創成し、反応器内部の溶媒の対流を抑制することで、生成粒子の運動を抑制することができることを明らかにした。その結果、生成粒子同士の衝突、合一による成長が阻害され、界面活性剤フリーでもナノ粒子が合成できることが分かった。今後、この考え方をベースに

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11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 5件）

1. 著者名 Yamamoto Tetsuya, Morikawa Haruyuki	4. 巻 9
2. 論文標題 High-Efficiency Polymerization for Synthesizing Polymer Nanoparticles in Melamine Foam Using Ultraviolet Irradiation	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 ACS Omega	6. 最初と最後の頁 5273 ~ 5277
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsomega.3c05840	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 Tetsuya, Maeda Shinya, Hara Mitsuo	4. 巻 19
2. 論文標題 Hollow particles synthesized by water-soluble and oil-soluble initiators and the mechanism of incorporating an oil-soluble initiator	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Results in Materials	6. 最初と最後の頁 100421 ~ 100421
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.rinma.2023.100421	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 Tetsuya Yamamoto	4. 巻 23
2. 論文標題 Synthesis of polymer nanoparticles using methylcellulose gel as reactor	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Biological Macromolecules	6. 最初と最後の頁 37 ~ 45
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14533/jbm.23.37	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 Yamamoto Tetsuya	4. 巻 60
2. 論文標題 In-Situ Observations of Growth Process of Polymer Particles and Antimicrobial Activity	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of the Society of Powder Technology, Japan	6. 最初と最後の頁 341 ~ 347
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4164/sptj.60.341	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 Yamamoto Tetsuya	4. 巻 60
2. 論文標題 2.2.1 Mechanisms of Formation and Growth of Polymer Particles by In-Situ Observations	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of the Society of Powder Technology, Japan	6. 最初と最後の頁 221 ~ 227
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4164/sptj.60.221	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 Ouchi Shinya, Morikawa Haruyuki, Hara Mitsuo, Yamamoto Tetsuya	4. 巻 405
2. 論文標題 Nanosizing of polymeric particles by suppressing growth via heterocoagulation using a 3D micro-network reactor	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Powder Technology	6. 最初と最後の頁 117530 ~ 117530
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.powtec.2022.117530	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 Yamamoto Tetsuya, Tsutsumi Kazuya, Maeda Shinya	4. 巻 7
2. 論文標題 Green Synthesis of Hollow Structures through the Decomposition of Azo Compounds Incorporated inside Polystyrene Particles	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Omega	6. 最初と最後の頁 28556 ~ 28560
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsomega.2c03351	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 Ouchi Shinya, Yamada Naoki, Yamamoto Tetsuya	4. 巻 58
2. 論文標題 Size Control of Polymer Nanoparticles Using 3D Network Structure as a Reaction Field	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the Society of Powder Technology, Japan	6. 最初と最後の頁 481 ~ 485
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4164/sptj.58.481	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 Yamamoto Tetsuya, Tsutsumi Kazuya	4. 巻 6
2. 論文標題 Decomposing Oil-Soluble Initiators in Particles: A Template-Free Method for the Preparation of Hollow Polymer and Silica Particles	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Omega	6. 最初と最後の頁 31677 ~ 31682
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsomega.1c04197	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 Tetsuya, Morino Ayumi, Kanda Hideki, Seki Ayumu, Ishigami Toru	4. 巻 -
2. 論文標題 Environmentally Friendly Synthesis of Polymer Nanoparticles in a Packed Reactor Using Glass Beads	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Macromolecular Reaction Engineering	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/mren.202400009	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 Yamamoto Tetsuya, Nakamoto Takumi, Irisawa Toshihira	4. 巻 -
2. 論文標題 Carbon fiber reinforced thermoplastic synthesized by the hypercrosslinking reaction of polyether ether ketone	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Polymer Composites	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/pc.28579	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35件 (うち招待講演 7件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 Tetsuya Yamamoto
2. 発表標題 Design of reactor to synthesize polymer nano particles
3. 学会等名 SCEJ 89th Annual Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 山本徹也, 大内慎也
2. 発表標題 高分子微粒子ナノサイズ化のための反応器内部構造設計
3. 学会等名 第22回高分子ミクロスフェア討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山本徹也, 森野あゆみ
2. 発表標題 充填層リアクターによる高分子微粒子のナノサイズ化
3. 学会等名 化学工学会 第54回秋季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 森野あゆみ, 山本徹也
2. 発表標題 反応場の流動制御による生成微粒子のナノサイズ化
3. 学会等名 化学工学会山形大会2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山本徹也
2. 発表標題 ナノ粒子合成のための反応器内部構造のデザイン
3. 学会等名 粉体工学会春期研究発表会(招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 森野あゆみ, 山本徹也
2. 発表標題 反応場の流動制御による生成微粒子のナノサイズ化
3. 学会等名 省エネルギーに貢献する粒子設計・粉体プロセスの薬工連携研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 森野あゆみ, 山本徹也
2. 発表標題 Reactor using glass beads to synthesise polymer nanoparticle
3. 学会等名 37th European Colloid Interface Society Conference (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 丸山陽介, 神田英輝, 山本徹也
2. 発表標題 加熱・発泡による基板上の微粒子の脱着
3. 学会等名 第26回化学工学会学生発表会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Tetsuya Yamamoto
2. 発表標題 Design of reactor to synthesise polymer nano particles
3. 学会等名 37th European Colloid Interface Society Conference (ECIS2023) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tetsuya Yamamoto, Kazuya Tsutsumi
2. 発表標題 Green Synthesis of Hollow Structures Through the Decomposition of Azo Compounds Incorporated Inside Polymer Particles
3. 学会等名 9th World Congress on Particle Technology (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山本徹也
2. 発表標題 高分子微粒子の生成, 成長, 中空化と微生物毒性
3. 学会等名 粉体工学会 第56回技術討論会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山本徹也
2. 発表標題 スポンジでナノ粒子ができます!
3. 学会等名 国際粉体工業展東京 2022 技術シーズ賞受賞記念講演会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森野あゆみ, 山本徹也
2. 発表標題 充填層リアクターによる高分子ナノ粒子の合成
3. 学会等名 第25回化学工学会学生発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山本徹也, 前田慎弥
2. 発表標題 アゾ化合物内包による微粒子の中空化
3. 学会等名 化学工学会第88年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 森川陽之, 山本徹也, 大内慎也
2. 発表標題 三次元マイクロ網目空間による生成ナノ粒子の物性制御
3. 学会等名 化学工学会第88年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 前田慎弥, 山本徹也
2. 発表標題 アゾ化合物の熱分解による高分子中空微粒子のグリーン合成
3. 学会等名 化学工学会新潟大会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山本徹也, 山田尚輝, 大内慎也, 森川陽之, 森野あゆみ
2. 発表標題 ナノ粒子合成のための反応器設計
3. 学会等名 第59回粉体に関する討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山本徹也, 大内慎也, 森川陽之
2. 発表標題 スポンジリアクターを用いた高分子微粒子のナノサイズ化
3. 学会等名 省エネルギーに貢献する粒子設計・粉体プロセスの薬工連携研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山本徹也, 大内慎也, 森川陽之
2. 発表標題 三次元マイクロ網目構造を反応場に利用した高分子微粒子のナノサイズ化
3. 学会等名 化学工学会 第53回秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 前田慎弥, 山本徹也, 森川陽之
2. 発表標題 アゾ化合物の分解によるスチレン共重合微粒子の中空化
3. 学会等名 化学工学会 第53回秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山本徹也, 堤和也
2. 発表標題 テンプレートフリー法によるナノ粒子の中空化
3. 学会等名 繊維学会年次大会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山本徹也，堤和也
2. 発表標題 シリカ，ポリマー粒子の中空化
3. 学会等名 粉体工学会春期研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山本徹也，堤和也
2. 発表標題 高分子微粒子，複合微粒子の中空化
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 山本徹也，堤和也
2. 発表標題 油溶性開始剤の内包による微粒子の中空化
3. 学会等名 第21回高分子マイクロスフェア討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山本徹也
2. 発表標題 微粒子のナノサイズ化と中空化
3. 学会等名 第14回機能性微粒子分科会セミナー（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山本徹也
2. 発表標題 高分子微粒子の 中空化と多孔質化
3. 学会等名 界面科学実践講座2021 - 基礎と応用 - (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山本徹也, 大内慎也
2. 発表標題 スポンジリアクターによるポリマーナノ粒子の合成
3. 学会等名 2021年繊維学会年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山本徹也, 山田尚輝, 大内慎也
2. 発表標題 メチルセルロースゲルを反応場にしたポリスチレンナノ粒子の合成
3. 学会等名 2021年度粉体工学会春期研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大内慎也, 山本徹也
2. 発表標題 メラミンフォームを反応場とした高分子ナノ粒子のサイズコントロール
3. 学会等名 第72回コロイドおよび界面化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 堤和也, 山本徹也
2. 発表標題 加熱による高分子微粒子の中空化
3. 学会等名 化学工学会秋田大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 堤和也, 山本徹也
2. 発表標題 発泡剤によるナノ粒子の中空化
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 堀夏英, 山本徹也
2. 発表標題 超単分散な高分子ナノ粒子合成のための網目構造反応器の開発
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 堤和也, 山本徹也
2. 発表標題 Hollowing of polymer particles by gas emission within the particles
3. 学会等名 The 8th Asian Particle Technology Symposium (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大内慎也, 山田尚輝, 山本徹也
2. 発表標題 Size control of polymer nanoparticles using 3D network structure as a reaction field
3. 学会等名 The 8th Asian Particle Technology Symposium (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 森川陽之, 大内慎也, 山本徹也
2. 発表標題 三次元網目構造反応器とUV照射援用による高分子ナノ粒子の合成法
3. 学会等名 第52回 中部化学関係学協会支部連合秋季大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 山本徹也ら (監修: 川口正剛)	4. 発行年 2022年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 289
3. 書名 高分子微粒子の最新技術動向	

〔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
---------	---------