

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 26 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26288103

研究課題名(和文)機能可変粒子の創製とそれを用いた微粒子構造体の制御

研究課題名(英文)Preparation of polymer particles having changeable properties and control of colloidal structure

研究代表者

南 秀人(MINAMI, Hideto)

神戸大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：20283872

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、機能可変性ポリイオン液体複合粒子材料創製の新展開に挑戦した。ポリメタクリル酸メチル(PMMA)をシード粒子として用い、イオン液体モノマーのシード分散重合を行うことで汎用高分子/PIL複合微粒子の合成に成功し、そのモルフォロジー制御を行った。さらにアニオン交換により、複合粒子への磁性などの機能付加にも成功した。また、親水疎水性変換可能なポリイオン液体をシェルに有する中空粒子を合成できることも見出した。さらに片方にポリアクリル酸、片方にポリビニルピロリドン分散安定剤に有するヤヌス状複合粒子がビルディングブロック粒子として一次元粒子構造体として配列できる可能性も明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Seeded dispersion polymerization of ionic liquid monomer was carried out in the presence of poly(methylmethacrylate) (PMMA) as seed and composite particles with poly(ionic liquid) (PIL) were obtained. Moreover, we showed that anion exchange of the composite particles can be used to modify the properties of only the PIL component of the composite particles. PIL particles with a single-hollow are also prepared by suspension polymerization from monomer droplets consisting of the ionic liquid monomer, ethylene glycol dimethacrylate, and n-butyl acetate. The obtained particles can be changed from hydrophobic to hydrophilic by anion exchange. Moreover, Janus particles with two hemispheres having different stabilizers, a polystyrene (PS) phase stabilized by poly(acrylic acid) and a PMMA phase stabilized by poly(vinyl pyrrolidone), were able to be synthesized. The facile formation of the colloidal chains via hydrogen bonding interaction between different stabilizers were demonstrated.

研究分野：高分子合成, 界面化学, ソフトマター

キーワード：微粒子 ポリイオン液体 粒子配列

## 1. 研究開始当初の背景

高分子微粒子は、従来、塗料や接着剤など、粒子同士が融着した皮膜形態として利用されている。しかしながら近年では様々な工業分野において微粒子形態のままに機能性材料として応用展開されており、さらなる高機能化として、より精密な粒子構造設計技術が求められている。さらに、コロイド結晶など粒子が配列された粒子構造体は非常に特徴的な機能を付与することが知られているが、最近になり物理的観点からの報告や応用材料としての報告が国内外において急激に増加している。

ところで“イオン液体”はその不揮発性から環境に優しい媒体として注目されるだけでなく、イオンの組合せにより磁性、液晶性(光学特性)、イオン導電性やCO<sub>2</sub>吸収性など様々な機能を付与できる。例えばアニオンをFeCl<sub>4</sub><sup>-</sup>に変換することにより磁性を有する液体が得られる報告が紙面を賑わせた。また、国内においてイオン液体を含有させたイオンゲルやイオン液体の高分子化などの先導的研究が行われている。しかしながら、イオン液体を利用した機能性微粒子材料の合成に関する検討は世界的に見ても殆ど行われていないのが現状であった。

研究代表者は、これまで高分子合成化学に基づいた高分子コロイド化学という境界領域分野を追求し、界面を利用した材料創製としてカプセル粒子からコアシェル粒子など様々な高分子微粒子創製法を提起してきた。平成23~25年度基盤研究Bに採択され、世界に先駆けてイオン液体中での(複合)高分子微粒子の合成に成功した。その検討の中で、イオン液体モノマーを用いることにより、右図に示すようにマイクロサイズで単分散なポリイオン液体粒子の合成にも成功しており、この粒子は、異種イオン添加により瞬時に対イオンを交換できる、つまり粒子機能を後処理により変換できることを示した。さらに、研究代表者は、別途ベースポリマーによらない水素結合を利用した粒子の配列制御についても成功している。これまで、その殆どが機能を持たない粒子の配列制御であったが、上記ポリイオン液体粒子をビルディングブロック粒子として統合的に深化させることは、機能部位の配列を制御することにより機能の増幅が期待できること、配列制御された後に機能の付加することができるなど、新たな微粒子由来の材料創製法の確立が期待される。

## 2. 研究の目的

本研究は、“イオン液体”の性質を保持した機能可変性ポリイオン液体複合粒子材料創製の新展開に挑戦する。イオン液体は簡単にイオン交換することが可能であり、その塩に応じ磁性や液晶性などの性質に変換できる。これは複合粒子作製後に変換できるため極性に関係なく機能部位の粒子モルフォロジーを制御できることを示している。さらに、分散安定剤間の水素結合を利用することにより、得ら

れたポリイオン液体複合粒子をビルディングブロック粒子として粒子構造体を形成させる。一次元鎖状構造、二次元構造への配列や特殊な配列制御の可能性にも挑戦し、機能部分が配向した粒子材料の物性を明らかにする。

## 3. 研究の方法

1) 微粒子系でのポリイオン液体(PIL)複合化に関する基礎的知見獲得を目的とし、汎用高分子であるポリスチレン(PS)及びポリメタクリル酸メチル(PMMA)をシード粒子として用い、メタクリロイル基を有する四級アンモニウム系のイオン液体モノマー[2-(メタクリロイルオキシ)エチル]トリメチルアンモニウムビス(トリフルオロメタンスルホン)アミド([MTMA][TFSA])のシード分散重合を行うことで汎用高分子/PIL 複合微粒子の合成を試み、イオン交換による機能化についても検討を行った。さらに、極性差の大きいポリマーからなるヤヌス状複合粒子の作製を行うため、溶剤吸収放出法(SARM)を用いて、上記で得られた汎用高分子/PIL 複合微粒子から半球状に別れた汎用ポリマーと疎水性 PIL からなるヤヌス粒子の合成に挑戦した後、アニオン交換を行うことにより検討した。

2) 中空粒子の合成法として当研究室が提起している相分離自己組織化(SaPSeP)法を用い、PIL をシェルに有する中空粒子の合成を試み、機能変換可能な新規マイクロカプセル材料の作製を目指した。さらに、アニオン交換により得られた中空粒子のシェル層の性質を疎水性から親水性へと変化させる機能変換可能な新規マイクロカプセル材料の作製を目指した。

3) 水素結合を利用した高分子構造体制御のための基礎的知見の獲得を目的として、高分子微粒子の分散安定剤として用いる水素結合受容体であるポリビニルピロリドン(PVP)と水素結合供与体であるシリカ粒子のシラノール基間の水素結合によるヘテロ凝集を利用することで、簡便な無機/高分子複合ラズベリー状粒子の作製及びその形態制御を試みた。さらに分散安定剤間の水素結合を利用した粒子の一次元配列制御を目的とし、一粒子の片側にポリアクリル酸(PAA)、もう片側に PVP を分散安定剤とする PS<sub>PAA</sub>/PMMA<sub>PVP</sub> 複合粒子(ヤヌス粒子)の作製を試み、粒子の表面に存在する PAA と PVP 間の水素結合を利用することで一次元鎖状の配列制御を検討した。

4) ビルディングブロック粒子のさらなる機能化を見据え、還元型グラフェン(rGO)の汎用モノマーへの分散、及びそのポリマーとの複合化についての検討を行った。その際、rGO の分散安定剤として PIL の使用を試みたが、汎用モノマーへの溶解性を示さなかった。そこで、汎用モノマーへの溶解性向上を担う PMMA と PIL との共重合体を rGO の分散安定剤として用いることで rGO 分散モノマーの作製及び、rGO 含有汎用ポリマー微粒子の合成を試みた。

#### 4. 研究成果

1) PS に比べて極性の高い PMMA をシードとして用い、PMMA シード粒子存在下、エタノール中にてシード分散重合の検討を行ったところ、PS 系とは異なり、副生微粒子の生成もなく、単分散性を保持したまま粒子径が増大した。また、PIL をシード粒子に用い、MMA 及びエチレングリコールジメタクリレート(EGDM)のシード分散共重合を行うことで、PIL をコア、P(MMA-EGDM)をシェルとするコアシェル構造を有する複合粒子の合成に成功した(Fig. 1a)。得られた複合粒子のエマルジョンに LiBr のエタノール溶液を加え、洗浄後、FT-IR で分析したところ、TFSA アニオンのピークが消失しており、コア部である PIL の TFSA アニオンが Br アニオンに交換されたことを確認した。さらに、同様の操作で TFSA から  $\text{FeCl}_4$  アニオンへの交換を行い、そのエマルジョンに還元剤  $\text{NaBH}_4$  を加え、鉄イオンを還元することでコア部に鉄ナノ粒子を保持した複合粒子の合成に成功した(Fig. 1b)。得られた粒子はネオジウム磁石に対して応答を示した。

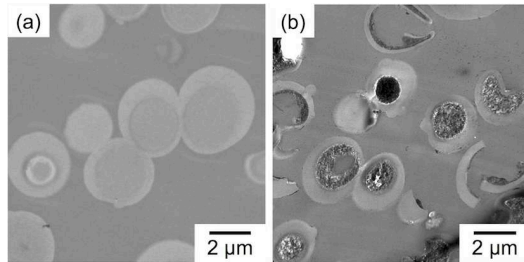


Fig. 1 PIL/P(MMA-EGDM) 複合粒子 (a) と P([MTMA][ $\text{FeCl}_4$ ])/P(MMA-EGDM) 複合粒子の還元後 (b) の超薄切片の透過型電子顕微鏡写真

上記で得られた PMMA/PIL 複合粒子に SARM 処理を行い、モルフォロジー変化の検討を行った。SARM 処理に必要な両ポリマーの良溶媒かつ媒体である水に不溶な溶媒を検討したところ、完全にその条件を満たす媒体はなかったものの、他の媒体に比べ、水への溶解度が比較的低いメチルイソブチルケトン(MIBK)が両ポリマーの良溶媒であったため、MIBK を用いた SARM の検討を行った。得られた粒子を透過型電子顕微鏡(TEM)にて観察したところ、複合粒子のモルフォロジーがコアシェル構造から不十分ではあるものの、ヤヌス構造へ近づいたことを確認した(Fig. 2b)。モルフォロジーの変化が不十分であったのは、P([MTMA][TFSA])のアニオン部が水中の二酸化炭素由来の炭酸水素イオンと一部アニオン交換し、疎水性である PIL がより親水性に変化していることが原因であると考え、[TFSA]をアニオン部に有する塩である Li[TFSA]存在下にて SARM を行った。Li[TFSA]の添加量を変化させて検討を行ったところ、Li[TFSA]の添加量を増やすごとに、モルフォロジーがよりヤヌス構造に近づく傾向が見られ、Li[TFSA]を最も多く添加した系にて得られた粒子を TEM にて観察した

ところ、SARM 処理後の粒子がヤヌス構造を有していることを確認した(Fig. 2c)。

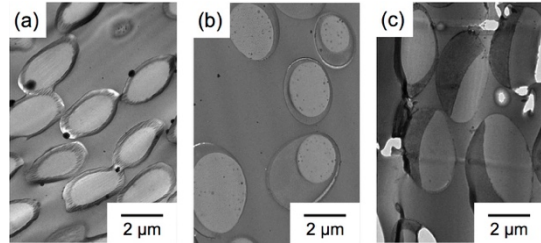


Fig. 2 PMMA/P([MTMA][TFSA])複合粒子(a) および SARM 処理後の複合粒子(Li[TFSA] 不在下(b) と存在下 (c) )の超薄切片の透過型電子顕微鏡写真

次に、得られたヤヌス粒子を用いてアニオン交換の検討を行った。アニオン交換に LiBr ではなくポリスチレンスルホン酸(Poly(NaSS))を選択し、アニオン交換を行ったところ、半球状ではなくヤヌス粒子の片側成分のみが膨潤した粒子が得られ、疎水性/親水性からなるヤヌス粒子の合成に成功した。

2) [MTMA][TFSA]/EGDM 重量比を 50/50 とし、相分離促進剤である PBMA 量を 10 wt% として重合を行い、得られた粒子の走査型電子顕微鏡(SEM)写真及び超薄切片の TEM 写真を Fig. 3 に示した。平滑な表面を有する球状の粒子が得られ、その内部は中空構造を形成していた。

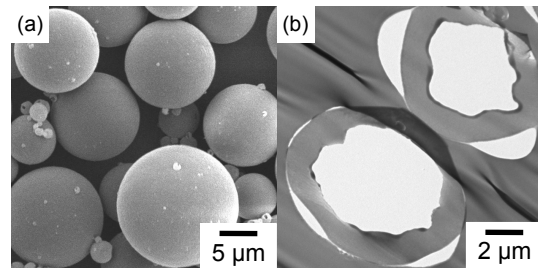


Fig. 3 SaPSeP 法により合成した P([MTMA][TFSA]-EGDM) 粒子の走査型電子顕微鏡写真(a)および超薄切片の透過型電子顕微鏡写真(b)

[MTMA][TFSA]が 70 wt%の粒子を用いて LiBr エタノール溶液を用いアニオン交換を試みたところ、粒子の形状は球状を保持していた。また FT-IR スペクトルの [TFSA]アニオンに起因するピークの消失より Br アニオンへの交換が確認でき、さらに同成分のフィルムの接触角より疎水-親水性の変化を確認できた。水溶性物質及び油溶性物質に対するカプセル特性を評価するために、ローダミン B 水溶液及び Nile red/DMSO 溶液中で粒子の共焦点レーザー顕微鏡観察を行った。ローダミン B 水溶液中において、アニオン交換前の疎水性の粒子では内部に蛍光が観察されないのに対して、アニオン交換後の親水性の粒子には内部まで蛍光が観察された(Fig. 4a, b)。一方、Nile red/DMSO 溶液中においては、疎水性の粒子では内部まで蛍光が観察されたのに対して、親水性の粒子では内部に蛍光が観察されなかった(Fig. 4c, d)。これらの結果より、アニオン交換によりシェルの性質を疎



水-親水性を変化させることによって、油溶性及び水溶性物質を粒子内部へと浸透できることが示唆された。

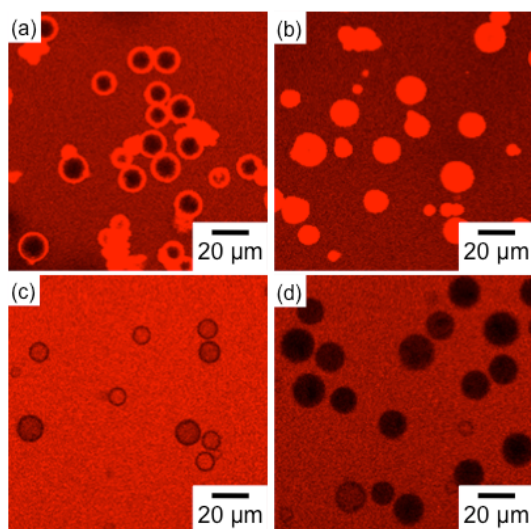


Fig. 4 P([MTMA][TFSA]-EGDM)/PBMA 中空粒子(a, c) および P([MTMA]Br-EGDM)/PBMA (b, d) 中空粒子をローダミン B 水溶液 (a, b) または Nile red DMSO 溶液(c, d)に分散させた共焦点レーザー顕微鏡写真

3) PAA を分散安定剤に PS を作製後、PS 粒子をシードに、PVP を分散安定剤に MMA のシード分散重合にて PS/PMMA 複合粒子を作製した。SARM 前における複合粒子の超薄切片の TEM 写真を Fig. 5a に示した。SARM 前では、PS をコア、PMMA をシェルとするコアシェル構造が観察された。さらに SARM を行う際に媒体中に乳化剤であるドデシル硫酸ナトリウム(SDS)を加えたところ、PS 及び PMMA 成分が半球状に相分離した粒子径が単分散なヤヌス粒子が得られたことを確認した(Fig. 5b)。また、5) の検討を参考に、作製したヤヌス粒子と、PVP のみに選択的に水素結合が生じるシリカ粒子を混合したところ片側のみには吸着している様子が観察された(Fig. 5c)。このことから、SARM を行うことで、ベースポリマーの相分離変化と共にそれぞれにグラフト化している分散安定剤の PAA 及び PVP の位置が変化し、粒子の片側表面に PAA、もう片側に PVP を有するヤヌス粒子生成を明らかにした。

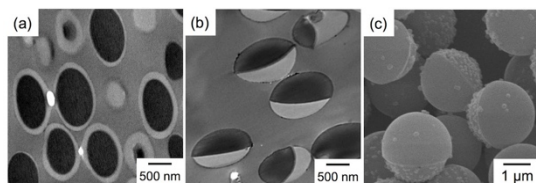


Fig. 5 PS<sub>PAA</sub>/PMMA<sub>PVP</sub> コアシェル粒子 (a) 及びヤヌス粒子 (b, c) の超薄切片の透過型顕微鏡写真。ヤヌス粒子とシリカ粒子の混合後(c)の走査型電子顕微鏡写真

続いて、粒子の配列制御を行うため、SARM 後のエマルジョン、及び比較として SARM 前のエマルジョンの pH を様々に変化させたところ、いずれの場合も pH が高い時

は安定に分散しているのに対し、PAA のカルボキシ基が解離しない pH 4 付近では凝集が観察された。この際、SARM 前のコアシェル粒子は無秩序に凝集したが(Fig. 6a)、SARM 後のヤヌス粒子は鎖状に連なった一次元配列しているものが多く観察され(Fig. 6b)、分散安定剤間の水素結合を利用することにより一次元鎖状構造の作製に成功した。また、この凝集挙動の時間経過を光学顕微鏡上で観察すると、時間の増加と共に、鎖状構造を形成する粒子数は増大していくことを確認し、さらに、これら平均会合数を光学顕微鏡観察から評価した。また、鎖状構造を成す粒子数制御を試みるため、PS<sub>PAA</sub>/PMMA<sub>PVP</sub> ヤヌス粒子のエマルジョンに PS<sub>PAA</sub> シード粒子を加えたところ PS<sub>PAA</sub> シード粒子を加えた系では、鎖状構造を形成する粒子数が減少している様子が観察され、鎖状粒子数は制御可能であることを確認した。これらの会合数の分布や理論会合数は逐次重合挙動と同様で、分子モデルとしても期待できる。

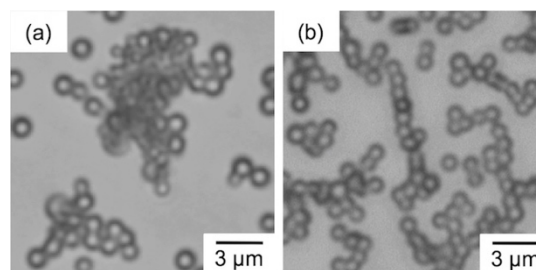


Fig. 6 PS<sub>PAA</sub>/PMMA<sub>PVP</sub> コアシェル粒子(a)及びヤヌス粒子(b)の pH 4 変化後の光学顕微鏡写真

4) 分散安定剤として用いるブロック共重合体を作製するため、まず、RAFT 溶液重合により PMMA マクロ RAFT agent を合成した。このマクロ RAFT agent を用い、[Mbm][TFSA]をセカンドモノマーとしてブロックポリマーを合成した。作製されたブロック共重合体の重合度は PMMA ~165、PIL ~70 と算出された。これを MMA に溶解させた系は、rGO が 12 h 以上、MMA 中において安定した分散状態を保持していた。さらに、この rGO 分散 MMA モノマーの塊状重合を行ったところ、rGO が均一に分散した黒色のポリマーが得られた。このことから、ブロック共重合体により重合中も rGO が効率的に分散することが明らかになった。

そこで、rGO 分散 MMA モノマーを Tween 80 乳化剤水溶液に加え超音波ホモナイザーによりモノマー分散滴を作製し、ミニエマルジョン重合を行った。重合後のエマルジョンは灰色を呈しており、TEM により 100 nm 程度の球状粒子が観察された。ただ、エマルジョンとは別に仕込み量に対して約 30 wt% の rGO の沈降がみられた。重合前のエマルジョンにも同様に一部 rGO の沈降がみられ、その量は重合後の沈降量とほぼ同量であった。このことから、rGO の抜け出しはモノマー分散滴作製時に、滴内に取り込まれなかったものであると推測された。

しかしながら、TEM 写真からは rGO が含有された様子を観察できなかった。そこで、粒子内における rGO 含有を確認するため、得られたエマルジョンのアセトンによる処理を試みた。PMMA 粒子は、アセトンに溶解し、粒子内に含有されていた rGO は、ブロックコポリマーの存在により分散すると考えられる。アセトン処理を行ったサンプルにレーザー光を当てると、同組成のポリマーのみを溶解させた系とは異なり、rGO の分散に由来するチンダル現象が観察された。また、アセトン処理を行ったサンプルの DLS 測定では 30 nm 程度のピークが現れたことから、rGO の含有を示唆する結果が得られた(Fig. 7)。この様に PIL-PMMA ブロックコポリマーを分散安定剤として用いることにより仕込み量に対して約 70 wt% の rGO を PMMA 粒子内に含有させることに成功した。

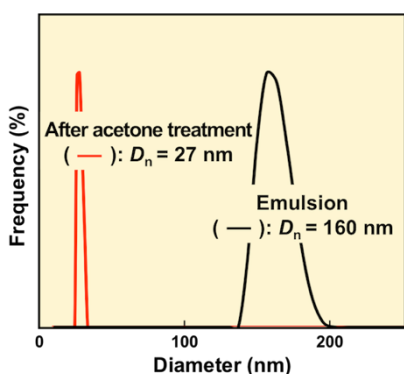


Fig. 7 rGO を含有した PMMA 粒子および、アセトン処理後の DLS による粒径分布(黒線:アセトン処理前, 赤線:アセトン処理後)

以上の結果は、10 報の学術論文に掲載され、28 件の口頭発表を行った。そのうち 5 件は招待講演を受けている。さらに本課題を基課題として、国際共同研究加速基金(国際共同加速)に採択され(15KK0187)、オーストラリア、ニューサウスウェールズ大学において共同研究を遂行しており、多大な成果を挙げることができた。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 10 件)

1) 南 秀人, 常 誠, 鈴木登代子, 水素結合を利用した有機/無機複合粒子の作製, *色材協会誌*, **87**, 356-360 (2014)

2) Masayoshi Tokuda, Toshiharu Sanada, Tatsunori Shindo, Toyoko Suzuki, Hideto Minami, Preparation of Submicron-sized Quaternary Ammonium-based Poly(ionic liquid) Particles via Emulsion Polymerization and Switchable Responsiveness of Emulsion Film, *Langmuir*, **30**, 3406-3412 (2014)  
DOI: 10.1021/la500282n

3) Shohei Onishi, Masayoshi Tokuda, Toyoko Suzuki, Hideto Minami, Preparation of Janus

particles with different stabilizers and formation of one-dimensional particle arrays, *Langmuir*, **31**, 674-678 (2015)

DOI: 10.1021/la504535k

4) Keigo Kinoshita, Hiroshi Yanagimoto, Toyoko Suzuki, Hideto Minami, Influence of the Molecular-Oriented Structure of Ionic Liquids on the Crystallinity of Aluminum Hydroxide Prepared by a Sol-Gel Process in Ionic Liquids, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **17**, 18705-18709 (2015)

DOI: 10.1039/C5CP02015H

5) Ryuma Nakamura, Masayoshi Tokuda, Toyoko Suzuki, Hideto Minami, Preparation of Poly(ionic liquid) Hollow Particles with Switchable Permeability, *Langmuir*, **32**, 2331-2337 (2016)

DOI: 10.1021/acs.langmuir.6b00263

6) Masayoshi Tokuda, Stuart Thickett, Hideto Minami, Per B. Zetterlund, Preparation of Polymer Particles Containing Reduced Graphene Oxide Nanosheets using Ionic Liquid Monomer, *Macromolecules*, **49**, 1222-1228 (2016)

DOI: 10.1021/acs.macromol.5b02216

7) Masayoshi Tokuda, Mitsuyoshi Yamane, Stuart Thickett, Hideto Minami, Per B. Zetterlund, Synthesis of Polymeric Nanoparticles Containing Reduced Graphene Oxide Nanosheets Stabilized by Poly(ionic liquid) using Miniemulsion Polymerization, *Soft Matter*, **12**, 3955-3962 (2016)

DOI: 10.1039/c6sm00269b

8) Masayoshi Tokuda, Tatsunori Shindo, Toyoko Suzuki, Hideto Minami, Preparation of Poly(ionic liquid) Composite Particles and Function Modification with Anion Exchange, *RSC Advances*, **6**, 31574-31579 (2016)

DOI: 10.1039/C6RA00564K

9) Masayoshi Tokuda, Toyoko Suzuki, Hideto Minami, Morphological Change of Thermosensitive Imidazolium-based Poly(ionic liquid)/Poly(phenylethylmethacrylate) Composite Particles, *Polym. Adv. Technol.*, **28**, 470-475 (2017)

DOI: 10.1002/pat.3907

10) Taro. Omura, Kaori Imagawa, Kyosuke Kono, Toyoko Suzuki, Hideto Minami, Encapsulation of Either of Hydrophilic or Hydrophobic Substances in Spongy Cellulose Particles, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, **9**, 944 (2017)

DOI: 10.1021/acsami.6b13261

[学会発表] (計 28 件)

1) 神藤龍仁, 徳田真芳, 鈴木登代子, 南 秀人, 汎用高分子/イオン液体ポリマー複合微粒子の合成とその構造制御, 第 63 回高分子学会

年次大会, 2014年5月29日, 名古屋国際会議場 (愛知県)

2) 大西 昭平, 河野 恭介, 松永 尚之, 鈴木登代子, 南 秀人, 分散安定剤間の水素結合を利用した一次元粒子配列制御, 第63回高分子討論会, 2014年9月24日, 長崎大学 (長崎県)

3) Masayoshi Tokuda, Toshiharu Sanada, Tatsunori Shindo, Toyoko Suzuki, Hideto Minami, Preparation of poly(ionic liquid) particles by emulsion polymerization, Workshop on Polymer Nanoparticles, Seil-Assembly and Colloids, 2014年11月14日, シドニー (オーストラリア)

4) 大西 将平, 鈴木 登代子, 南 秀人, 異なる分散安定剤を有したヤヌス粒子の作製及び一次元粒子配列制御, 第64回高分子学会年次大会, 2015年5月29日, 札幌コンベンションセンター (北海道)

5) Masayoshi Tokuda, Stuart C. Thickett, Per B. Zetterlund, Hideto Minami, Preparation of polymer particles containing reduced graphene oxide using ionic liquid monomer, IPCG Conference 2015, 2015年6月28日, ニューハンブシャー大学 (アメリカ)

6) Hideto Minami, Colloidal building blocks using hydrogen bonding interactions between stabilizers, IPCG Conference 2015, 2015年7月3日, ニューハンブシャー大学 (アメリカ)

7) 中村 龍真, 徳田 真芳, 鈴木 登代子, 南 秀人, イオン液体ポリマー中空粒子の作製及びカプセル特性評価, 第61回高分子研究発表会 (神戸), 2015年7月17日, 兵庫県民会館 (兵庫県)

8) 中村 龍真, 徳田 真芳, 鈴木 登代子, 南 秀人, ポリイオン液体中空粒子の作製及びカプセル特性評価, 第64回高分子学会討論会, 2015年9月16日, 東北大学 (宮城県)

9) 大内 卓太, 中村 龍真, 鈴木 登代子, 南 秀人, ポリメタクリル酸メチル/ポリイオン液体複合粒子のモルフォロジイ制御, 第64回高分子学会討論会, 2015年9月16日, 東北大学 (宮城県)

10) Hideto Minami, Preparation of Janus particles with different stabilizers and formation of one-dimensional particle chains, International Science & Nature Congress 2015 (ISNaC2015), 2015年9月22日, クアラルンプール (マレーシア)

11) Ryuma Nakamura, Masayoshi Tokuda, Toyoko Suzuki, Hideto Minami, Preparation of Poly (ionic liquid) Hollow Particles Having Permeability-Switchable Shell, The 5th Asian Symposium on Emulsion Polymerization and Functional Polymeric Microspheres, 2015年10月25日, 蘇州市 (中国)

12) Hideto Minami, Preparation of Janus Particles with Different Stabilizers and Formation of Colloidal Chains, The 5th Asian Symposium on Emulsion Polymerization and Functional Polymeric Microspheres, 2015年10月25日, 蘇州市 (中国)

13) Hideto Minami, Preparation of functional polymer particles and formation of colloidal structures, Seminar of Materials Science and Engineering, 2016年4月11日, 北京化工大学 (中国)

14) 大内 卓太, 中村 龍真, 鈴木 登代子, 南 秀人, 汎用ポリマー/イオン液体ポリマー複合微粒子のモルフォロジイ制御, 第65回高分子学会年次大会, 2016年5月25日, 神戸国際会議場 (兵庫県)

15) 山根 三慶, 徳田 真芳, Stuart C. Thickett, Per B. Zetterlund, 南 秀人, イオン液体ポリマーを分散剤として用いた還元型酸化グラフェン含有汎用性高分子微粒子の合成, 第65回高分子学会討論会, 2016年9月14日, 神奈川大学 (神奈川県)

16) 林 千尋, 中村 龍真, 鈴木 登代子, 南 秀人, ポリイオン液体中空粒子を用いた無機物質の導入, 2016年度色材研究発表会, 2016年10月13日, 大阪大学 (大阪府)

17) Hideto Minami, Preparation of Polymeric Particles Containing Reduced Graphene Oxide by Miniemulsion Polymerization, 36th Australasian Polymer Symposium, 2016年11月22日, Lorne (オーストラリア)

他 11 件

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

南 秀人 (MINAMI, Hideto)  
神戸大学・大学院工学研究科・准教授  
研究者番号: 20283872

### (2) 研究分担者

鈴木 登代子 (SUZUKI, Toyoko)  
神戸大学・大学院工学研究科・助教  
研究者番号: 40314504