

令和 2 年 6 月 17 日現在

機関番号：23903

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K04990

研究課題名(和文) 粒子間摩擦力の制御による対称性に優れた正四面体型荷電コロイド粒子会合体の構築

研究課題名(英文) Fabrications of regular tetrahedral colloidal clusters by controlling frictional forces between colloidal particles

研究代表者

山中 淳平 (Yamanaka, Junpei)

名古屋市立大学・医薬学総合研究院(薬学)・教授

研究者番号：80220424

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：数個～10個程度のコロイド粒子の会合体は、会合モデル系として、また高次集合構造の基本ユニットとして、世界的な注目を集めている。特に正四面体型の会合体は、光閉じ込めが可能なダイヤモンド格子の構成単位として重要である。このような会合体は、正・負荷電粒子のクーロン引力により作製できるが、粒子間の摩擦力のため、結合角は不均一であった。

本研究では、粒子表面の高分子修飾やクーロン力の大きさを調節することで摩擦力を制御し、対称性に優れた会合体の構築に成功した。また、平面基板への粒子吸着挙動との対応も検討した。本研究成果を元に、国際宇宙ステーションでの会合形成実験が2020年に実施予定である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで、国の内外の研究により、会合数分布が狭いコロイド粒子の会合体を作製する条件が明らかになりつつある。しかし、対称性に優れた会合体の作製は、課題として残されていた。本研究は、正負の粒子間に働くクーロン力を利用し、かつ粒子間に働く摩擦力を制御することで、対称性に優れた正四面体型を作製できる条件を見出し、また対称性と摩擦力の相関を実験的に明らかにした。本研究で得られた規則正しい会合体は、ダイヤモンド構造構成単位として、新材料の作製に役立つと期待する。また、研究の成果は、国際宇宙ステーションでの会合体作製実験にも役立っている。

研究成果の概要(英文)：Assemblies of small numbers of colloidal particles (colloidal clusters) have attracted considerable attention as (i) models to study atomic and molecular clusters, and (ii) structural units for higher order structure. Particularly, regular tetrahedral clusters are of interest, because they are units of diamond lattices, which act as perfect photonic crystals. Thus far, we have studied the colloidal clustering via Coulomb attraction between oppositely charged colloidal particles. However, frictional forces acting between the particles prevented formation of regular tetrahedral clusters with a good symmetry. Here, we tuned the frictional force by tuning the magnitude of Coulomb force. The optimum conditions to form the regular clusters were examined. Based on the present results, the space experiment on colloidal clusters will be performed in the International Space Station in 2020.

研究分野：コロイド科学

キーワード：コロイド 微粒子 クラスタ 会合体 正四面体 ダイヤモンド格子 摩擦力 宇宙実験

1. 研究開始当初の背景

数個～10個程度の少数のコロイド粒子の会合体（クラスター）の研究が、近年、世界的に活発である。会合現象は結晶成長の初期過程や、タンパク質の複合体形成など、自然界に広く観察され、コロイド会合系は、そのモデルとして有用である。会合の駆動力として、粒子間のファンデルワールス力のほか、DNAの相補的結合、荷電粒子間のクーロン引力を用い、会合数（中心粒子に吸着する粒子数、以下 n とする）や、その形態制御が報告されている。さらに会合体どうしの結合により、高次構造を作成できる。正四面体（ $n = 4$ ）の頂点方向に結合できる会合体をユニットとすると、炭素原子と同様にダイヤモンド結晶格子が構築できる（Fig. 1）。ダイヤモンド格子は、その構造周期が可視光波長のとき、光の閉じ込めが可能な「フォトニック結晶」として作用することから、正四面体型会合体の作製が、当該分野の長年の課題となっている。

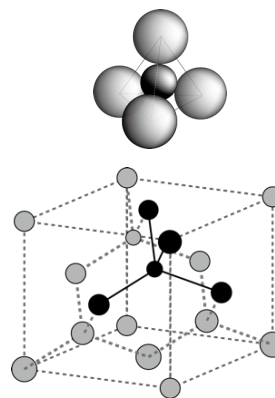


Fig. 1 (上) 正四面体型会合体と(下)ダイヤモンド結晶格子

2. 研究の目的

我々はこれまでに、正・負に荷電した粒子のクーロン引力を用い、会合数が数個程度で、かつその分布が狭い会合体が生成する条件を見出している。しかし粒子間には大きな摩擦力が存在するため、会合粒子間の結合角は不均一で（Fig. 2）、高次構造構築に不適であった。本研究では、粒子表面の高分子修飾により摩擦力を制御し、対称性に優れた正四面体型の会合体を構築する手法を確立する。またその自己集合により、当該研究分野の長年の懸案であった、バルクのダイヤモンド結晶構造の作製を目指す。

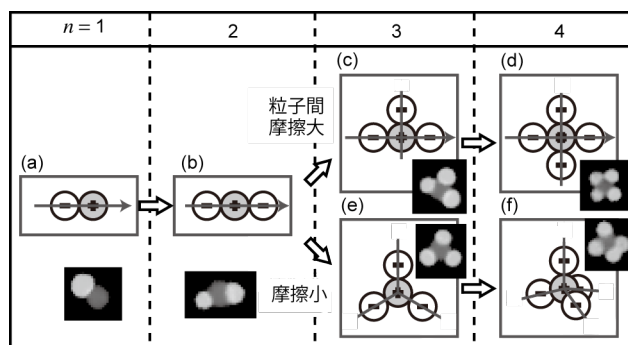


Fig. 2 粒子間摩擦力と会合形態の相関

3. 研究の方法

研究計画に従い、次の3項目を順次検討した。(1) 粒子表面の高分子修飾：粒子表面に水溶性高分子を導入した、正および負荷電を持つシリカ粒子を作成した。(2) 摩擦力の制御による対称性に優れた正四面体型会合体の作製：合成した正・負荷電粒子を用い、対称性の良い正四面体型の会合体を含む試料を作成した。(3) クラスターの自己集合による高次構造の構築：会合体の自己集合により、高次構造を構築した。基板を用いることにより、格子欠陥や乱れが存在するものの、単層のダイヤモンド格子を作製できた。

4. 研究成果

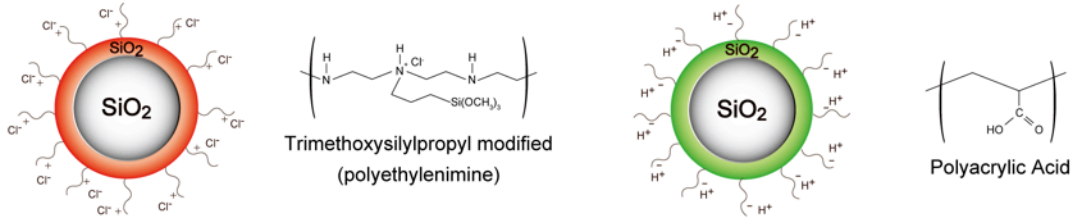
以下に、(1)–(3)項の成果の概略を述べる。

(1) 粒子表面の高分子修飾：

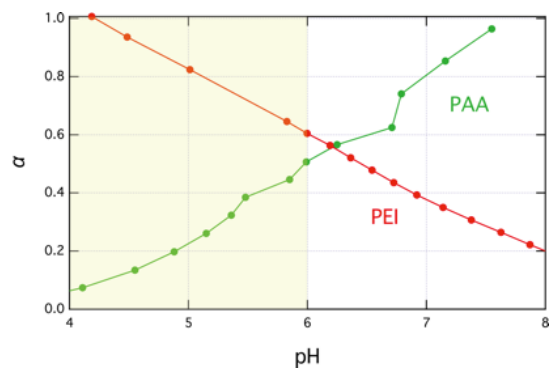
正荷電粒子（p 粒子）および負荷電粒子（n 粒子）は、直径約 $1 \mu\text{m}$ のシリカ粒子（日本触媒社、KE-P100）を、カチオン性（ポリエチレンイミン、PEI）、およびアニオン性（ポリアクリル酸、PAA）高分子電解質で修飾して作製した。各粒子に、蛍光色素であるローダミンおよびフルオレセインを導入し、蛍光顕微鏡観察で両者を判別した。粒径と易動度、ゼータ電位を、走査型電子顕微鏡観察および顕微鏡電気泳動法により評価した。試料特性の一例を、Table 1 に示す。

Table1 Characteristics of particles

particle	diameter (nm)	ζ -potential (mV)	polymer	fluorescent dye
p	1250	+75.8	polyethyleneimine	rhodamin B isothiocyanate (red)
n	1260	-84.6	polyacrylic acid	fluorescein-5-isothiocyanate (green)



PEI と PAA の pH 測定の結果から解離度 α を算出した (Fig. 3)。電荷による会合体形成のために、それぞれの高分子の α がどちらも 0.6 程度になる pH6 付近で実験を実施した。



(2) 対称性に優れた正 4 面体型会合体の作製:

正負コロイド粒子の電荷数、粒子濃度および NaCl 濃度を変化させ、 $n=4$ の会合体が生成し易い条件を探索した。会合体の顕微鏡写真の一例を Fig. 4 (a) に、また、p 粒子および n 粒子の体積分率 (ϕ_p 、 ϕ_n) を変化させたときの会合数分布の測定例を、Fig. 4 (b) - 4 (d) に、それぞれ示す。会合数は粒子体積分率および混合比に依存し、適切な粒子濃度では、 $n=4$ で分布が極大を示した。なお、分布測定は種々の濃度の塩 (NaCl) を添加し、粒子間のクーロン力を調節して行った。

Fig. 3 PEI 及び PAA の解離度と pH の関係

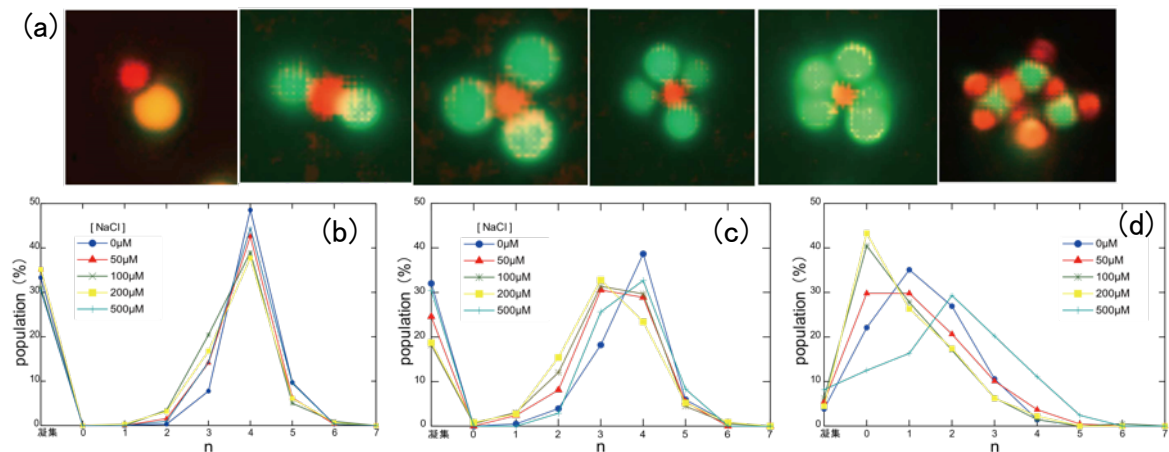


Fig. 4 (a)会合体の光学顕微鏡画像(会合数 n は左から順に $n=1, 2, 3, 4, 5$ および凝集)(b)~(d) 会合数分布の塩濃度及び粒子体積分率 (ϕ_p) 依存性。(b) $\phi_p = 2.3 \times 10^{-5}$, $\phi_n = 1.2 \times 10^{-3}$ (c) $\phi_p = 1.2 \times 10^{-5}$, $\phi_n = 5.9 \times 10^{-4}$ (d) $\phi_p = 2.9 \times 10^{-6}$, $\phi_n = 1.5 \times 10^{-4}$

なお、得られた会合体の混合系は、遠心分離や沈降により分級できた。当初の計画では分級した会合体の集合により高次構造を作製する予定であったが、後述のように基板を利用した新規手法が有用であったため変更した。

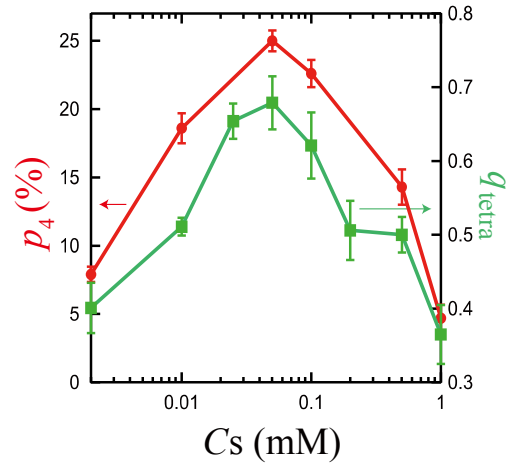
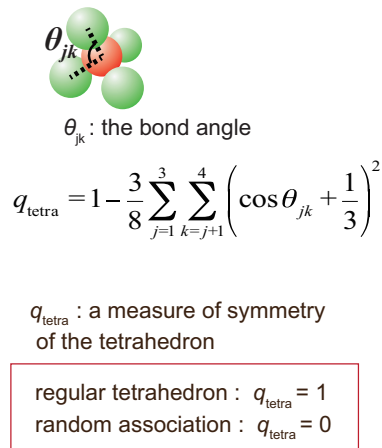


Fig. 5 四面体の分率とボンドオーダーパラメーターの塩濃度による変化

四面体の対称性を評価するために、試料を高分子ゲルで固定し、3次元画像が取得できる共焦点レーザー顕微鏡を用いて、会合体を構成する粒子の中心座標を計測した。中心粒子と付着粒子の中心を結ぶ線分が互いになす角 θ_{jk} を計算し、ボンドオーダーパラメーター q_{tetra} (左上図) により対称性を定量化した。正四面体であれば $q_{\text{tetra}} = 1$ 、無秩序であれば $q_{\text{tetra}} = 0$ を与える。

結果の一例を Fig. 5 に示す。ここでは、1個の正荷電(p)粒子に複数の負荷電(n)粒子が付着し、会合体を形成している。系の塩濃度 Cs を変化させて p 粒子と n 粒子間のクーロン引力 F_c を調節した。両者間の摩擦力 F_f は F_c に比例する ($F_f = \mu F_c$ 、 μ は摩擦係数) と考えられる。Cs の増加に伴い、 q_{tetra} は、はじめ増加したが、Cs がおよそ 50 μM で極大を示した後、減少した。Cs が低いときは F_c が大きく、 F_f も大きいため、会合体の対称性は低いと考えられる。一方、Cs が高すぎると、 F_f は小さいが n 粒子同士の反発が弱くなるため、対称性は低い。このため、適切な Cs 値で、 q_{tetra} に極大が観察されたものと考えられる。

なお、Fig. 5 には、 q_{tetra} に加え、四面体型会合体の生成比率 p_4 も併せて示した。同様の Cs 依存性が、 p_4 についても同様に観察された。Cs が低いと付着した n 粒子と、フリーな n 粒子間の静電反発が強いため平均会合数は小さく、また Cs が高すぎると、p 粒子と n 粒子間の静電引力も弱くなる。このため、 p_4 の生成にも最適条件が存在するものと考えられる。 p_4 と q_{tetra} に相関があることは、本研究により明らかになった結果で、今後詳細を検討したい。

反対符号の粒子の会合体形成は、粒子の平板への静電吸着とも類似点が多く、両者の比較を定量的に調査した。平板への吸着した粒子の配列秩序を、動径分布関数により評価したところ、吸着量と秩序度の間に良好な相関が見出された。今後、会合体との定量的な比較を行う予定である。

(3) クラスターの自己集合による高次構造の構築:

正四面体 ($n=4$) 会合体はダイヤモンド格子の構成単位である。本研究成果を利用して、基板上で正四面体会合体を作製する手法を開発し、現在検討を継続している。結果の一例を Fig. 6 に示す。正に荷電した基板上に n 粒子の三角格子を作製し、これを第一層として p 粒子、n 粒子を積層することで、単層ダイヤモンド構造を得た。結晶欠陥を改善することが今後の課題である。

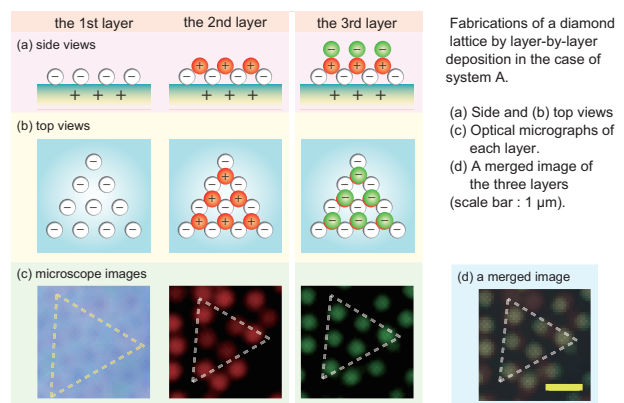


Fig. 6 基板上での会合体形成による単層ダイヤモンド構造の構築

まとめ

正負に荷電した粒子が形成する会合体について、特に正四面体構造の形成を検討した。粒子表面に高分子を修飾し、かつ塩濃度により静電相互作用を調節することで、結合力と摩擦力を制御した。四面体型の会合体の生成条件を明らかにした。さらに、四面体型の会合体の分率が高いほど、四面体の対称性が向上することが明らかになった。

なお、本研究の成果は、並行して実施した、JAXA 宇宙実験「微小重力を用いた多成分会合コロイド系の相挙動の研究」* の条件設定にも極めて有用であった。2019年12月に、チタニア系を主体とするコロイド試料が国際宇宙ステーションに打ち上げられ、2020年7-8月に宇宙実験が実施される予定である。

* https://iss.jaxa.jp/kiboexp/news/180830_colloid.html

(以上)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Jun Nozawa, Satoshi Uda, Akiko Toyotama, Junpei Yamanaka, Hiromasa Niinomi, Junpei Okada	4. 巻 20
2. 論文標題 Growth and One-Dimensional Heteroepitaxy of Binary Colloidal Crystals	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Crystal Growth & Design	6. 最初と最後の頁 3247-3256
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 101.1021/acs.cgd.0c00078	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 Suxia Guo, Jun Nozawa, Masashi Mizukami, Kazue Kurihara, Akiko Toyotama, Junpei Yamanaka, Hiromasa Niinomi, Junpei Okada, Satoshi Uda	4. 巻 19
2. 論文標題 Effect of Substrate on Nucleation Rate of Two-Dimensional Colloidal Crystals	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Crystal Growth & Design	6. 最初と最後の頁 3215-3221
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 101.1021/acs.cgd.9b00069	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 Jun Nozawa*, Satoshi Uda, Suxia Guo, Akiko Toyotama, Junpei Yamanaka, Junpei Okada, and Haruhiko Koizumi	4. 巻 18
2. 論文標題 Step Kinetics Dependent on the Kink Generation Mechanism in Colloidal Crystal Growth	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Crystal Growth & Design	6. 最初と最後の頁 2948-2955
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.cgd.8b00063	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 Jun Nozawa, Satoshi Uda, Akiko Toyotama, Junpei Yamanaka, Hiromasa Niinomi, Junpei Okada	4. 巻 20
2. 論文標題 Growth and One-Dimensional Heteroepitaxy of Binary Colloidal Crystals	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Crystal Growth & Design,	6. 最初と最後の頁 3247-3256
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 101.1021/acs.cgd.0c00078	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 Suxia Guo, Jun Nozawa, Masashi Mizukami, Kazue Kurihara, Akiko Toyotama, Junpei Yamanaka, Hiromasa Niinomi, Junpei Okada, Satoshi Uda	4. 巻 19
2. 論文標題 Effect of Substrate on Nucleation Rate of Two-Dimensional Colloidal Crystals	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Crystal Growth & Design	6. 最初と最後の頁 3215-3221
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.cgd.9b00069	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 Seki Tomotaka, Okuzono Tohru, Toyotama Akiko, Yamanaka Junpei	4. 巻 99
2. 論文標題 Mechanism of diffusiophoresis with chemical reaction on a colloidal particle	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 12608
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevE.99.012608	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 Naoko Sato, Yurina Aoyama, Junpei Yamanaka, Akiko Toyotama, Tohru Okuzono	4. 巻 7
2. 論文標題 Particle Adsorption on Hydrogel Surfaces in Aqueous Media due to van der Waals Attraction	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Scientific Reports	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) 10.1038/s41598-017-06257-1	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 -

〔学会発表〕 計34件 (うち招待講演 13件 / うち国際学会 21件)

1. 発表者名 A. Toyotama, A. Fukushima, M. Ioka, T. Okuzono, S. Uda, J. Nozawa, and J. Yamanaka
2. 発表標題 2D crystallization of submicron-sized gold particles
3. 学会等名 Okinawa Colloids 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 J. Yamanaka
2 . 発表標題 3D and 2D colloidal crystals of submicron-sized gold particles
3 . 学会等名 Post conference of Okinawa Colloids 2019 (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 M. Ioka, A. Toyotama, T. Okuzono, J. Yamanaka
2 . 発表標題 Fabrications of Gold Colloidal Crystals Due to Depletion Attraction and Their Applications for SERS
3 . 学会等名 Okinawa Colloids 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Y. Aoyama, A. Toyotama, T. Okuzono, J. Yamanaka
2 . 発表標題 2D Non-close-packed Colloidal Crystals by the Electrostatic Adsorption of 3D Charged Colloidal Crystals
3 . 学会等名 Okinawa Colloids 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 M. Fujita, Y. Aoyama, A. Toyotama, T. Okuzono, J. Yamanaka
2 . 発表標題 Single-Sheet Diamond Colloidal Crystals Formed by Layer-by-Layer Electrostatic Self-Assembly
3 . 学会等名 Okinawa Colloids 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 J.Yamanaka
2. 発表標題 Interface dynamics of colloidal systems
3. 学会等名 Mathematical Aspects of Surface and Interface Dynamics 18 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山中 淳平
2. 発表標題 コロイド分散系の結晶化と相分離
3. 学会等名 表面・界面ダイナミクスの数理 17 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 J.Yamanaka, H.Komazawa, M.Fujita, H.Miki, M.Minami, T.Ishigami, A.Toyotama, T.Okuzono
2. 発表標題 Clustering of Oppositely Charged Colloidal Particles
3. 学会等名 Space Environment Utilization Working Group Symposium (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤直子、青山柚里奈、豊玉彰子、奥園透、山中淳平
2. 発表標題 コロイド微粒子の高分子ゲル表面およびガラス表面への吸着
3. 学会等名 分離技術会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 A.Toyotama, A.Fukushima, M.Ioka, T.Okuzono, S. Uda, J. Nozawa, and J. Yamanaka
2 . 発表標題 2D crystallization of submicron-sized gold particles
3 . 学会等名 Okinawa Colloids 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 J. Yamanaka
2 . 発表標題 3D and 2D colloidal crystals of submicron-sized gold particles
3 . 学会等名 Post conference of Okinawa Colloids 2019 (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 M.Ioka, A. Toyotama, T.Okuzono, J. Yamanaka
2 . 発表標題 Fabrications of Gold Colloidal Crystals Due to Depletion Attraction and Their Applications for SERS
3 . 学会等名 Okinawa Colloids 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Y. Aoyama, A. Toyotama, T. Okuzono, J. Yamanaka
2 . 発表標題 2D Non-close-packed Colloidal Crystals by the Electrostatic Adsorption of 3D Charged Colloidal Crystals
3 . 学会等名 Okinawa Colloids 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Fujita, Y. Aoyama, A. Toyotama, T. Okuzono, J. Yamanaka
2. 発表標題 Single-Sheet Diamond Colloidal Crystals Formed by Layer-by-Layer Electrostatic Self-Assembly
3. 学会等名 Okinawa Colloids 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 J.Yamanaka
2. 発表標題 Interface dynamics of colloidal systems
3. 学会等名 Mathematical Aspects of Surface and Interface Dynamics 18 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山中 淳平
2. 発表標題 コロイド分散系の結晶化と相分離
3. 学会等名 表面・界面ダイナミクスの数理 17 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 J.Yamanaka, H.Komazawa, M.Fujita, H.Miki, M.Minami, T.Ishigami, A.Toyotama, T.Okuzono
2. 発表標題 Clustering of Oppositely Charged Colloidal Particles
3. 学会等名 Space Environment Utilization Working Group Symposium (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤直子、青山柚里奈、豊玉彰子、奥園透、山中淳平
2. 発表標題 コロイド微粒子の高分子ゲル表面およびガラス表面への吸着
3. 学会等名 分離技術会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Junpei Yamanaka, Yoko Kondo, Hajime Hattori, Yushi Takeda, Minori Fujita, Hiroyuki Miki, Akiko Toyotama, and Tohru Okuzono
2. 発表標題 Clustering of oppositely charged colloidal particles
3. 学会等名 IACIS 2018（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Junpei Yamanaka
2. 発表標題 Self Assembly of Colloidal Systems
3. 学会等名 International Symposium and School on Crystal Growth Fundamentals（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山中淳平
2. 発表標題 高分子ゲルによるコロイド粒子の固定化と物理吸着
3. 学会等名 バイオフィーマージャパン2018（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Aoyama, A. Toyotama, T. Okuzono, J. Yamanaka
2. 発表標題 Fabrication of 2D Charged Colloidal Crystals by Electrostatic Adsorption on Oppositely Charged Substrates
3. 学会等名 International Symposium and School on Crystal Growth Fundamentals (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tohru Okuzono, Tomotaka Seki, Akiko Toyotama, Junpei Yamanaka
2. 発表標題 Diffusiophoretic motion of a charged particle undergoing chemical reaction on its surface
3. 学会等名 Soft Matter Physics (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 服部 肇、近藤陽子、竹田優志、山中淳平、豊玉彰子、奥園 透
2. 発表標題 反対符号に荷電したコロイド粒子のクラスター形成
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 藤田みのり、三木裕之、豊玉彰子、奥園 透、山中淳平
2. 発表標題 荷電コロイド粒子の制御されたクラスター形成
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 三木裕之、藤田みのり、山本和史、豊玉彰子、奥園 透、山中淳平
2. 発表標題 荷電コロイド粒子の四面体型クラスターの構造評価
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 山中淳平、奥園 透、豊玉彰子
2. 発表標題 荷電コロイド系の構造形成
3. 学会等名 日本物理学会秋季大会（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山中 淳平
2. 発表標題 イオン性界面活性剤の吸着を利用した コロイド系の秩序構造形成
3. 学会等名 第68回コロイドおよび界面化学討論会（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 青山柚里奈、豊玉 彰子、奥園 透、山中 淳平
2. 発表標題 高分子修飾基板上の荷電コロイド粒子の吸着と結晶化
3. 学会等名 第68回コロイドおよび界面化学討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 佐藤 直子、青山 柚里奈、山中 淳平、豊玉 彰子、奥蘭 透
2. 発表標題 ファンデルワールス引力による水系媒体中での高分子ゲル表面への粒子吸着
3. 学会等名 第68回コロイドおよび界面化学討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 野場 亮汰、山中 淳平、豊玉 彰子、奥蘭 透
2. 発表標題 荷電コロイド粒子およびその会合体の電場下での運動
3. 学会等名 第68回コロイドおよび界面化学討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Y. Aoyama, A. Toyotama, T. Okuzono, J. Yamanaka
2. 発表標題 Adsorption and Crystallization of Charged Colloids on Polymer Modified
3. 学会等名 10th Liquid Matter Conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Seki, T. Okuzono, A. Toyotama, J. Yamanaka
2. 発表標題 Dynamics of Charged Colloids in Inhomogeneous Concentration
3. 学会等名 10th Liquid Matter Conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 N.Sato, J.Yamanaka, A.Toyotama, and T.Okuzono
2. 発表標題 Particle Adsorption on Hydrogel Surfaces in Aqueous Media due to van der Waals Attraction
3. 学会等名 International Conference on Advanced Materials 2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計3件

産業財産権の名称 SERS測定用材料及びその製造方法	発明者 豊玉彰子、山中淳平、奥園透	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2018-134965	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 MIM型SPR測定用基板及びその製造方法	発明者 山中淳平、豊玉彰子、奥園透、青山柚里奈	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2018-159185	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 ダイヤモンド格子構造を有するコロイド結晶及びその製造方法	発明者 山中淳平、豊玉彰子、奥園透、藤田みのり、青山柚里奈	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2019-188961	出願年 2019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
研究分担者	奥園 透 (Okuzono Tohru) (10314725)	名古屋市立大学・医薬学総合研究院(薬学)・准教授 (23903)	
研究分担者	豊玉 彰子 (Toyotama Akiko) (50453072)	名古屋市立大学・医薬学総合研究院(薬学)・講師 (23903)	