

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 11 日現在

機関番号：23903

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K05063

研究課題名(和文) 引力系コロイドの原子系結晶モデルとしての有効性の検証

研究課題名(英文) Verification of the effectiveness of attractive colloids as an atomic crystal model

研究代表者

豊玉 彰子 (Toyotama, akiko)

名古屋市立大学・医薬学総合研究院(薬学)・講師

研究者番号：50453072

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：コロイド系は、これまで原子系の結晶化モデルとして広く研究されてきた。しかし、コロイドでモデル化できる普遍的な現象と、原子系には見られないコロイド系に特有な現象の区別が、必ずしも明確でない場合もある。今回我々は、コロイド粒子間に引力が働く“引力系コロイド”を利用して検討を行った。

枯渇引力コロイド系では、結晶構造の内外において、depletantの存在の有無によりその相互作用は全く逆になることが明らかになった。また、その結晶化に対する粒径の影響を検討した結晶の形状は、粒子間ポテンシャルから導かれた、ステップエネルギー密度により説明できると思われる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

コロイド系は、これまで原子系の結晶化モデルとして広く研究されてきた。しかし、コロイドでモデル化できる普遍的な現象と、原子系には見られないコロイド系に特有な現象の区別が、必ずしも明確でない場合もある。本研究の目的は、コロイド系の様々な現象を原子系の結晶成長理論を用いて解析し、枯渇引力コロイド系のモデルとしての妥当性を検証することである。

コロイド系を用いて原子系では観察困難な“モノマー(粒子)単位”での結晶成長を、会合体形成の初期段階から結晶のマクロ形態まで連続して観察して、コロイド特有の現象を明らかにした。本研究の成果は、コロイド科学、結晶成長の分野に寄与できると考える。

研究成果の概要(英文)：Colloidal systems have been widely studied as a crystallization model for atomic systems. However, the distinction between a universal phenomenon that can be modeled with colloids and a phenomenon peculiar to colloids that is not found in atomic systems is not always clear. Here, we studied using a depletion-attracting colloidal system in which attractive force acts between colloidal particles with coexistence of polymer.

In the system, the interaction is completely opposite (attractive or repulsive) on the presence or absence of depletant inside and outside the crystal structure. Then, we focused on an influence of the particle size on the crystal shape. The crystal shapes significantly varied depending on the particle size. For the smaller particles, the crystals were more significantly faceted, while larger particles formed less ordered aggregates. The observed change in the crystal phase was explainable in terms of decreases in attraction energy on increasing the particle size.

研究分野：コロイド科学

キーワード：コロイド 微粒子 コロイド結晶 結晶成長 粒子間相互作用 ソフトマター

## 1. 研究開始当初の背景

コロイド系には、(1)構成単位である一粒子が光学顕微鏡によりその場・実時間観察できること、(2)粒子間相互作用の種類が多様で、またその大きさが広範囲にわたって調節できること、(3)特性時間が長いため、結晶成長をはじめ、非平衡動的過程の観察が容易であることなどの利点がある。このため、コロイド系は原子系のモデルとして広く研究されてきた。しかし、コロイドでモデル化できる普遍的な現象と、原子系には見られないコロイド系に特有な現象の区別が、必ずしも明確でない場合もある。以下に、原子系の結晶成長とコロイド系の関連研究の現状を、それぞれ述べる。

### 1: 結晶成長の研究

結晶成長様式の解明は、材料科学・地質学・生物学・化学など、多くの研究分野で重要な課題である。一般に結晶化の駆動力である過飽和度と結晶表面の張力により、成長速度や結晶の形状の評価法などが古典論として定式化されている。一方、近年、原子系の結晶成長がこれらの古典論ではなく、

「非古典的」様式で起こることが提案されている(図 1)。これは原子が成長中の結晶に一個ずつ付着するのではなく、微小なクラスターが生成し、その融合合体により結晶が成長するものである。実際、電子顕微鏡技術の進歩により結晶構造の原子レベル観察が可能になっており、クラスターが集合した結晶の生成が報告されている。しかし原子系では 3 次元的な成長過程のその場観察は通常困難であり、成長過程の実証には至っていない。

多成分系では結晶化にともない各成分が自発的に分離(分級)して、会合する場合がある(図 2)。生物の細胞内において構成成分に分離する「セルフソーティング」過程は、結晶学分野では共晶形成の初期過程に対応するものである。

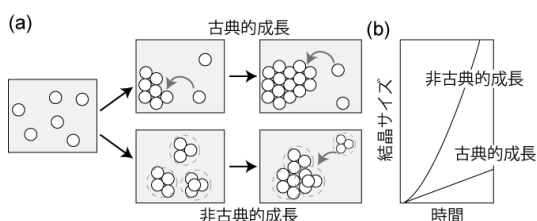


図 1. (a)モノマーが1つずつ結晶に取り込まれる古典的理論と、集合したモノマーが合体することで成長する非古典的な結晶成長の模式図。(b)それぞれの成長様式に対する結晶成長の模式図。

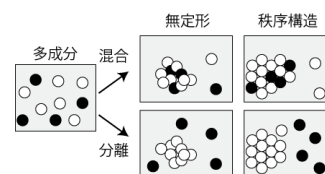


図 2. 多成分混合系からの会合挙動の模式図。

### 2: コロイド系における会合体と結晶構造の研究

コロイド系は粒子間相互作用に応じて、様々な結晶構造を形成する。図 3 に斥力系、引力系の結晶の例を示す。高分子を添加したコロイド系では、粒子間に高分子鎖 (depletant) が侵入できない領域 (枯渇領域) が存在するため、領域の内外で高分子濃度差が生じ、それに伴う浸透圧差により枯渇引力 (depletion attraction) が生じる (図 4(a))。図 3(b)の結晶は、枯渇引力により生じたものである。

本申請者らはこれまで、斥力系コロイド結晶において不純物排除等、原子系との共通点を発見した。また枯渇引力系において、多成分コロイドの共晶の形成、2 次元的な結晶成長のダイナミクスが、原子系の古典論で解析できることも報告している。

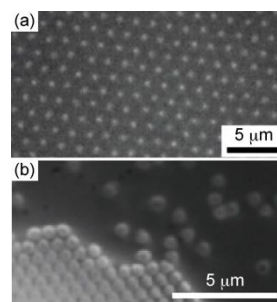


図 3. ポリスチレン粒子分散系の (a)斥力による荷電コロイド結晶 (b)引力によるコロイド結晶の光学顕微鏡像。

### <研究課題の核心をなす学術的「問い」>

「コロイド結晶化の示す特徴の中で、どの現象が原子系と共通の普遍的なもので、それがコロイド系に特有の現象か」が、本研究の核心をなす問いである。例えば、幾何学的な要因(パッキング)で決まる現象は、コロイドと原子系に共通であると予想される。一方、結合の異方性や、大きさが小さい(原子・分子サイズである)ことが本質的に重要な現象は、本コロイド系には不適である。上述した結晶の外形の問題がどちらに属する

かは、現状では明らかでない。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、コロイド系の様々な現象を原子系の結晶成長理論を用いて解析し、原子系との類似点・相違点を明確にすることで、枯渇引力コロイド系のモデルとしての妥当性を検証することである。具体的には、コロイド系を用いて原子系では観察困難な”モノマー(粒子)単位”での結晶成長を、会合体形成の初期段階から連続して観察する。ダイナミクスと結晶形態を調査し、枯渇引力系コロイドのモデル系としての妥当性を検討する。

## 3. 研究の方法

コロイド系会合体・結晶の3次元構造を、共焦点レーザースキャン顕微鏡など光学顕微鏡を用いたその場・実時間観察、および、散乱実験による構造解析により、枯渇引力系コロイドのモデル系としての妥当性を検討する。

## 4. 研究成果

### (1) 粒子間相互作用に関する検討

原子系結晶においては、原子間に働く相互作用は、共有結合など常に引力である。これに対して、今回検討した引力系コロイド粒子間に働く相互作用は、枯渇引力のほか、ファンデルワールス(vdW)引力に加えて、粒子間の静電斥力が働く。コロイド系に関して、詳細を以下に述べる。

図4(a)(b)に、結晶領域の内側と外側の粒子間の相互作用を示す。溶媒中の高分子電解質は、depletant と添加塩の両方として機能する。前者としては、粒子間に枯渇引力を生じさせ、後者では静電反発力を遮蔽する。粒子の2体間相互作用ポテンシャルを、静電斥力、ファンデルワールス(vdW)引力、および depletion 引力の寄与によるものとして、次のように求めた。なお、粒子として直径 150 nm の金微粒子(ゼータ電位 -56 mV)、depletant として、ポリアクリル酸ナトリウム(分子量 25,000)の場合の例を示す。粒子の表面ポテンシャルが十分に低い場合、静電相互作用はしばしば湯川ポテンシャル  $U_Y(r)$  で表記される。

$$U_Y(r) = A \frac{(Ze_0)^2 \exp(-\kappa r)}{4\pi\epsilon_r\epsilon_0 r} \quad (1)$$

ここで、 $Z$  は粒子の電荷数、 $e_0$  は電気素量、 $\epsilon_r$  と  $\epsilon_0$  は、それぞれ媒体と真空の誘電率の比誘電率である。 $\kappa$  は、 $\kappa^2 = \epsilon_0^2 I / (\epsilon_r \epsilon_0 k_B T)$  として定義される Debye パラメータである。 $r$  は、粒子間の距離、 $I$  は溶媒のイオン強度、 $A = \exp(2\kappa a_p) / (1 + \kappa a_p)^2$  は、粒子サイズの幾何学的因子を示す。電気電導度測定によって決定された NaPAA の電荷数(=96)から求めた  $I$  の値は、2.17 mM だった。

2つの球の間の vdW ポテンシャルは次の式で与えられる。

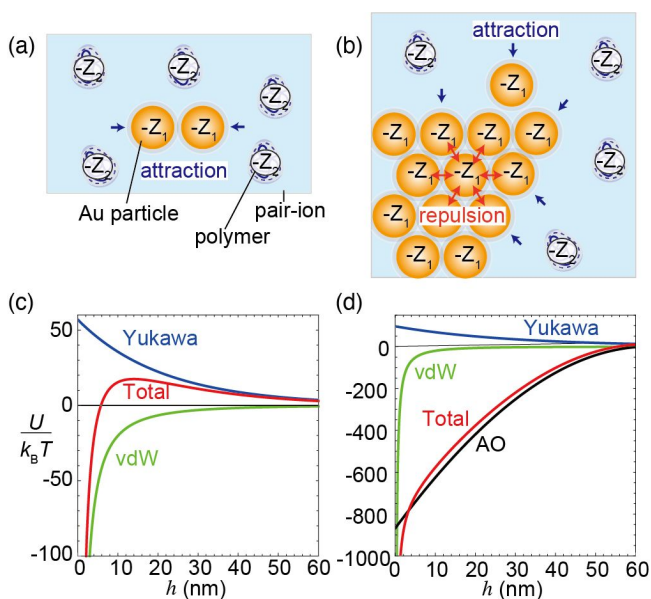


図4. (a)(b)負に荷電した高分子電解質を添加した系における、負に荷電した粒子間に働く結晶領域内外での相互作用の模式図。(c)(d) 結晶領域内外での粒子間ポテンシャル。 $h$  は、粒子表面間距離。

$$U_{\text{vdW}}(r) = -\frac{A_H}{6} \left\{ 2a_p^2 \left( \frac{1}{r^2 - (2a_p)^2} + \frac{1}{r^2} \right) + \ln \frac{r^2 - (2a_p)^2}{r^2} \right\} \quad (2)$$

ここで、 $A_H$  は Hamaker 定数である。

枯渇引力の相互作用ポテンシャル  $U_{\text{AO}}(r)$  は、朝倉-大沢ポテンシャルにより以下のように与えられる。

$$U_{\text{AO}}(r) = -n_b k_B T V_{\text{OV}}(r) \quad (2a_p \leq r \leq 2R_d) \quad (3)$$

$$= 0 \quad (r > 2R_d), \quad (4)$$

ここで、 $R_d = a_p + R_g$  は有効枯渇半径、 $V_{\text{OV}}(r)$  は半径  $a_p$  の球の重なり体積である。

$$V_{\text{OV}}(r) = \frac{4\pi}{3} R_d^3 \left[ 1 - \frac{3r}{4R_d} + \frac{1}{16} \left( \frac{r}{R_d} \right)^3 \right] \quad (5)$$

式(3)では、バルク浸透圧  $\Pi$  はファンツホッフの関係で表されると仮定される。 $\Pi = n_b k_B T$ 、 $n_b$  は溶質の数密度である。 $n_b$  は、ポリマー鎖と対イオンの濃度の合計  $n_b = N_p (1 + Z_{\text{eff}})$  で与えられると仮定した。ここで、 $N_p$  と  $Z_{\text{eff}}$  は、それぞれ高分子の数濃度と、ポリマー鎖あたりの有効電荷数である。

高分子電解質との共存下では、粒子間に働く総相互作用ポテンシャル  $U$  は、1次近似として3つのポテンシャルすべての加算  $U = U_Y + U_{\text{vdW}} + U_{\text{AO}}$  によって与えられる。 $U_Y$  で  $\kappa$  値を計算する際には、高分子電解質だけでなく低分子イオンの  $l$  値への寄与を考慮する必要がある。高分子電解質の共存下の2つの荷電平板間のギャップ領域における有効イオン濃度  $n_{\text{eff}}$  は、Tadmor らの導出した  $n_{\text{eff}} = (n_s + n_c)^{1/2}$  の関係が利用できる。ここで、 $n_s$  と  $n_c$  はバルクにおけるマイナスおよびプラスの低分子イオンの濃度である。引力系コロイドの場合、 $n_s$  は添加塩の濃度であり、 $n_c$  は (i) NaPAA の対イオン ( $C_1$ )、(ii) 媒体中の低分子イオン ( $C_2$ )、および (iii) 帯電した Au 粒子の対イオンの濃度 ( $C_3$ ) の合計として与えられる。つまり  $n_c = C_1 + C_2 + C_3$ 。結晶の内部領域は高分子電解質が排除された領域となる。したがって、相互作用は  $U = U_Y + U_{\text{vdW}}$  で与えられる。ここで、 $l$  は  $l = C_2 + C_3$  で与えられる。図4(c) および4(d) は、高分子電解質の存在下および非存在下でのポテンシャル曲線を示す。 $U_Y$ 、 $U_{\text{vdW}}$ 、 $U_{\text{AO}}$ 、および  $U_{\text{total}}$  を、それぞれ青、緑、黒、および赤の実線で表す。2つの粒子は、高分子電解質の存在下で正味の引力を介して相互作用する。ただし、結晶内の粒子は、静電反発力が十分に強いため、接触しない。この結晶の内外の粒子間相互作用の大きな違いにより、荷電粒子は非最密結晶の形成するものと推察する。荷電粒子と高分子電解質の混合系の相互作用は非常に複雑なため、上記の議論は定性的なものである。今後より詳細な検討が必要である。

## (2) 結晶成長におけるグレインの形状に関する検討

Table 1 に示す5種類の粒径  $d$  を持つポリスチレン (PS) 粒子 (Thermo 社) を用いた。PS の比重はおよそ 1.05 であり、結晶の成長に伴い、沈降の影響が顕著になる。3D 結晶化過程を観察するために、本研究では

Table 1 コロイド粒子の特性

粒径 $d$ [nm]	207	253	423	601	1000
有効電荷数 $Z_{\text{eff}}$	1330.3	1705.1	5799.6	32759	21753
有効電荷密度 $\sigma_{\text{eff}} [\mu\text{C}/\text{cm}^2]$	0.159	0.136	0.165	0.463	0.111

媒体として、重水 (比重 1.1) と軽水の 50:50 (vol/vol) 混合系を用い、比重マッチングを行った。高分子には、NaPAA を用いた。共焦点レーザー走査型顕微鏡 (LSM、Nicon 社、C2) を用い、結晶構造のその場・実時間観察を行った。いくつかの実験では、UV 光照射によりゲル化する、アクリルアミド系ゲル化剤をあらかじめ媒体の水中に溶解させてお



き、結晶成長のさまざまな発展時間において、光照射によって構造を固定して観察した。

粒径による結晶形の変化を検討した。ポリスチレン粒子濃度  $C_{PS} = 0.24\text{vol}\%$ 、高分子濃度  $C_{\text{polymer}} = 0.06\text{wt}\%$  となるように試料を混合し4日間静置した後に、顕微鏡観察を行った。結晶の顕微鏡画像の一例を図5に示す。粒径が小さいとき、明確なファセットを持つ大型結晶が成長した。粒径の増加に伴い、無秩序で丸みを帯びた凝集体様の構造が生成し、また微結晶粒同志の会合構造が観察された。

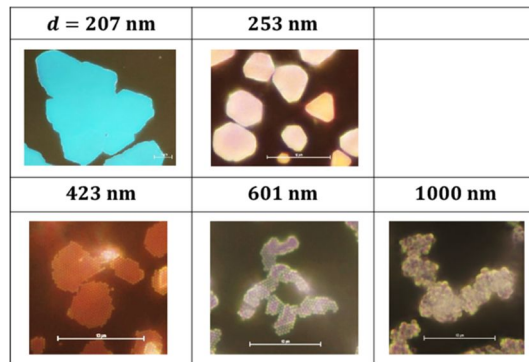


図5. 成長した2次元結晶形状の粒径依存性。

図6に、 $C_{\text{polymer}} = 0.06\text{wt}\%$ での5種類の粒径のPS粒子の粒子間ポテンシャルを示した。いずれの場合も、相互作用ポテンシャルは極小値  $U^* (< 0)$ を有する。すなわち、粒子同士は互いに引き付け合い、その位置関係は準安定的な極小値における表面間距離によって決定付けられると考えられる。Fig. 7に、粒径と  $U^*$  および  $U_{AO}$  の関係を示す。粒径の増加に伴い、相互作用ポテンシャルの極小値は減少し、2粒子間の引力は増加した。粒子間ポテンシャルから、ステップエネルギー密度（ステップ自由エネルギー）を計算したところ、粒径が大きいほどは減少することが予測された。観察された結晶形状の粒径依存性は、この粒径依存性に基づいて説明できると考えられる。

原子系結晶では、一般的に相互作用が大きくなると明確なファセットを有する結晶成長が観察される。引力系コロイドの結晶化とは異なる。これらは、粒子サイズと粒子間に働く摩擦によるものと考えており、論文投稿準備中である。

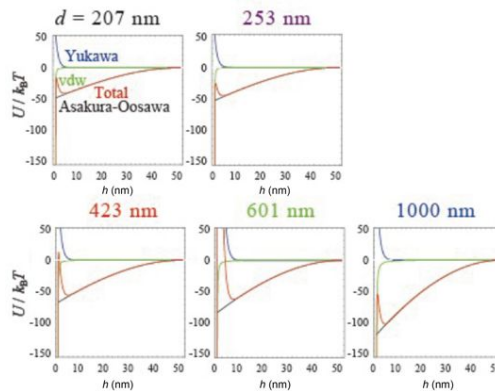


図6. 各粒径における粒子間のポテンシャル。

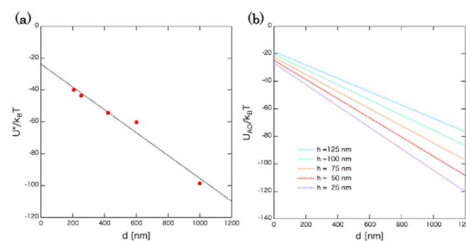


図7. (a)相互作用ポテンシャルの極小値と線形近似曲線(b)粒径とAsakura-Oosawaポテンシャルの関係 ( $h$ : 粒子の表面間距離)

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8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 0件）

1. 著者名 Jun Nozawa*, Satoshi Uda, Akiko Toyotama, Junpei Yamanaka, Hiromasa Niinomi, and 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) 10.1021/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 豊玉彰子	4. 巻 71
2. 論文標題 コロイド結晶の構造制御と新規波長選択光学材料の創製	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 化学工業	6. 最初と最後の頁 155
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 豊玉彰子	4. 巻 47
2. 論文標題 コロイド系の溶液成長と不純物排除	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 結晶成長学会誌	6. 最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.19009/jjacg.47-1-04	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 Nozawa Jun, Uda Satoshi, Guo Suxia, Toyotama Akiko, Yamanaka Junpei, Ihara Naoki, Okada Junpei	4. 巻 18
2. 論文標題 Kink Distance and Binding Energy of Colloidal Crystals	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Crystal Growth & Design	6. 最初と最後の頁 6078 ~ 6083
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.cgd.8b00942	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 Nozawa Jun, Uda Satoshi, Guo Suxia, Toyotama Akiko, Yamanaka Junpei, Okada Junpei, Koizumi Haruhiko	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 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 Y. TOMITA, T. SEKI, N. FUKAYA, S. NISHIKAWA, N. SATO, M. IMAI, M. SUKO, M. TAKAKI, Y. AOYAMA, A. TOYOTAMA, T. OKUZONO, J. YAMANAKA, K. TSUKAMOTO and Y. INATOMI	4. 巻 -
2. 論文標題 Crystallization of Charged Colloids under Microgravity during Aircraft Parabolic Flights	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Int. J. Microgravity Sci. Appl.	6. 最初と最後の頁 350303
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.15011//jasma.35.350303	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9件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 3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 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 豊玉 彰子
2. 発表標題 コロイドのフォトニック およびプラズモニック材料への応用
3. 学会等名 ソフトマターの未来材料シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岸田孝一、佐藤結、豊玉彰子、奥蘭透、山中淳平
2. 発表標題 分光法および中性子散乱法による2成分枯渇引力コロイド系の構造解析
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 山本瑠璃、豊玉彰子、奥園 透、山中淳平
2. 発表標題 枯渇引力による3次元コロイド結晶構造の成長機構
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 奥園 透、関 友崇、松浦侑輝、豊玉彰子、山中淳平
2. 発表標題 化学反応を伴った荷電コロイド粒子の自己電気泳動の関する数値シミュレーション
3. 学会等名 第66回レオロジー討論会
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: from the perspective of the essential heterogeneity
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計2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

〔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	山中 淳平 (Yamanaka Junpei)  (80220424)	名古屋市立大学・医薬学総合研究院(薬学)・教授  (23903)	

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