

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 18 日現在

機関番号：11501

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20H02499

研究課題名（和文）拡張融解金属錯体法によるナノ粒子合成法の開発と3D人工格子への展開

研究課題名（英文）Development of nanoparticle synthesis method via extended molten metal complex method toward preparation of 3D artificial lattice

研究代表者

富樫 貴成（Takanari, Togashi）

山形大学・理学部・教授

研究者番号：80510122

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、ナノ粒子無溶媒合成・精密サイズ制御の両立する合成コンセプトを可能とする金属錯体設計指針を確立し、より広範囲の金属・金属酸化物ナノ粒子合成へと発展・拡張を目的に研究を進めた。精密サイズ制御を可能とする金属錯体の同定自在なサイズ制御の実現とした。金属錯体の配位子と分解温度の関係及び非破壊の分解温度評価法の開発、3次元人工格子開発へ向けたナノ粒子構造（サイズ・配位子）とナノ粒子分散挙動の定量的評価を行なった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

液相法によるナノ粒子合成は多量な溶媒・廃液が環境・原料コスト的な問題があり社会実装の大きな障壁となっていた。本研究では、申請者独自技術である融解金属錯体法による無溶媒単分散ナノ粒子の自在精密サイズ制御合成の汎用性向上を目指し研究を進めた。この成果により、所望の構造・性質を有するナノ粒子を簡便かつ低コストで合成可能とした本成果は、ナノ粒子を原料とした材料合成の開拓、ナノ粒子分散挙動などの基礎物性の評価を可能とする点に学術的意義がある。さらに、低コスト・簡便なナノ粒子合成法はナノ粒子の社会実装をする上で社会的意義もある。

研究成果の概要（英文）：In this research, a metal complex design guideline was established that enables a synthesis concept that is compatible with both solvent-free and precise size tunable synthesis of organic inorganic hybrid nanoparticles to develop and expand the synthesis of nanoparticles of a wider range of metals and metal oxides. advanced. We have realized size control that allows for precise size control of metal complexes that can be freely identified. Development of the relationship between the ligand and decomposition temperature of metal complexes and a nondestructive method for evaluating decomposition temperature, and quantitative evaluation of nanoparticle structure (size/ligand) and nanoparticle dispersion behavior toward the development of artificial three-dimensional super lattices.

研究分野：ナノ材料合成

キーワード：有機無機ハイブリッドナノ粒子 無溶媒合成 精密サイズ制御

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、有機無機ハイブリッドナノ粒子の特異な物性を利用した新材料・デバイスが報告されている。ナノ粒子は新たな原料として認識されはじめ、その需要が一層高まっている。その要求に応えるためには、多様なナノ粒子を自在かつ省労力・低コストで大量に合成する手法が必須である。有機無機ハイブリッドナノ粒子の合成、特にサイズ・構造・形状制御は一般的に希薄溶液内で行われており、その単位重量当たりの収量は極微量(1wt%以下)である。結果、合成スケールの増大に伴い、排液量は指数関数的に増加し、排液排出量は指数関数的に増加し、生産性が低く、環境負荷が顕著となる。さらに合成における溶媒が占める材料コストは、金属のその数十～数百倍となる。結果、ラボレベルでも、ナノ粒子を原料とした材料開発の推進に対しコスト・労力が高い障壁となる。

このような背景の中、申請者は、低温で融解する金属錯体を擬似的液相反応場とした無溶媒条件下のナノ粒子大量合成を可能とした。配位高分子であるシュウ酸錯体に、自由度の高いアルキルアミンを融合させると(アルキルアミン融合シュウ酸錯体)、その融点・分解温度が劇的に低下することを見出した。無溶媒合成を可能としたコンセプトは以下の2点にある。

コンセプト① アルキルアミンの融合にシュウ酸錯体部位の分解温度が低下。

コンセプト② 反応終了後にカウンターイオン(シュウ酸イオン)がCO₂へ分解しガスとして系外に排出。コンセプト①より、十分な反応温度条件で金属錯体の急速分解が可能となる。結果、急速核発生が実現し、合成されるナノ粒子のサイズは単分散化する。コンセプト②により、反応後にカウンターイオンの蓄積が0となる。結果、反応前後の組成が変化しないために、定常的に臨界濃度・結晶成長速度が変化せず逐次分解による予測可能なサイズ制御が可能である。これら、すべてを無溶媒条件下で達成しナノ粒子合成における多量な廃液を劇的に減少させた。

2. 研究の目的

アルキルアミン融合シュウ酸錯体を用いた融解金属錯体分解法により、単分散ナノ粒子の無溶媒合成・サイズ制御を可能とした。これにより、ナノ粒子を原料とした新材料開発への展開が可能となった。一方で、当時は報告していたのは酸化鉄・銅ナノ粒子の無溶媒合成のみであり決して汎用性の高い手法ではなかった。

本手法の多様な金属種への汎用性向上には、多種金属イオンでの融解金属錯体の合成、各種反応に対する融解金属錯体の役割、汎用性の向上へ向けた金属錯体の設計指針の構築が必要である。そこで、本研究では、本手法の汎用性向上を目指し、多種金属塩を骨格に有する融解金属錯体の合成、ナノ粒子の自在サイズ制御へ向けた金属錯体の同定、金属錯体分解温度制御・解析手法の開発を行った。

3. 研究の方法

(1) 多種金属塩を骨格に有する融解金属錯体の合成

シュウ酸ニッケル(三ツ和化学) 37.5 mmol に、オレイルアミン(Sigma Aldrich) 41.3 g (150 mmol)、メタノール(東京化成) 15 ml、蒸留水 30 ml をそれぞれ加え、環流条件で約 2 日間攪拌した。吸引ろ過により固体生成物を回収後、メタノールと 1-プロパノールにより洗浄した後、減圧乾燥した。結晶構造は粉末 X 線回折(XRD: RIGAKU Miniflex600)、赤外分光法(FTIR: iS-5 Thermo Fisher)および熱分析により評価した。同様の手法により他のオレイルアミン融合シュウ酸錯体を合成した。

(2) ナノ粒子の自在サイズ制御へ向けた金属錯体の同定と酸化鉄の無溶媒精密サイズ制御合成

① 逐次分解反応に対する dedap 配位子の効果

Fe(ox) (2.00 g, 11.1 mmol) をオレイルアミン (23.4 mL, 71.1 mmol) またはオレイルアミン (7.00 mL, 13.7 mmol)/dedap (9.00 mL, 57.4 mmol)の混合配位子と、製遠心分離管中で混合した。混合物を 160 度に調整されたホットプレートスターラーで 1 ~ 5 時間加熱攪拌した。反応後、固体生成物を2700gで2分間の遠心分離を2サイクル行い、続いて15mLのメタノール中でデカンテーションすることによって生成物を洗浄した。

② 逐次分解による Fe₃O₄ ナノ粒子の精密サイズ制御

内容積 50 mL のガラス管中で Fe(ox)-OAm (1.00 g, 1.33 mmol) とオレイルアミン (2.50 mL, 7.59 mmol) を混合後、混合物をホットプレート上で 130°C で 90 分間攪拌・錯体を融解し均一液相反応場を調整した。次に、混合物を空气中、300°C で 1 時間加熱攪拌し Fe(ox)-OAm の熱分解した種結晶(。反応溶液をホットプレートに移し、160 度で攪拌し、オレイルアミン(4.50mL, 13.7mmol)および dedap(9.00mL, 57.4mmol)を反応液に加えた。10分後、Fe(ox)(0.50g, 2.78mmol)を上記の攪拌条件下で反応混合物に添加した Fe(ox)-dedap を合成・分解した。この操作を繰り返し Fe(ox)の分解量を調整し一連の Fe₃O₄ NP のサイズを制御した。反応後、固体生成物を2700gで2分間遠心分離することによって回収後、合成された Fe₃O₄ NP の有機溶媒中での分散性を向上させるために、5 mL のオレイン酸を添加した後、メタノール添加後、2700g、2 分間の遠心分離を 2 回行い洗浄した。

得られた Fe_3O_4 NP はトルエンに分散させた。

(3)融解金属錯体の分解温度制御因子探索

金属錯体の合成

アルキルアミン、イミダゾール、またはピリジン配位 CuF 錯体は、以前に報告された修正方法によって調製した。1Proim 配位ギ酸 Cu(II) (1Proim-CuF) の調製手順を以下に示す。 $\text{CuF}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (1.13 g, 5 mmol) および 1Proim (1.02 g, 9 mmol) を 30 mL のアセトニトリルと混合した。次に、混合物を30分間攪拌した。この時、淡い青色の懸濁液から濃い青色の溶液への変化し、1Proim が銅イオンに配位していることを示唆しています。混合物を濾過して、未反応のギ酸銅を除去した。減圧下でロータリーエバポレーターを使用してアセトニトリルを除去した。アセトニトリルを除去した後、1Proim-CuF を含む濃青色のオイルを回収した。回収した油をトルエンに溶解し、3日間かけて 1Proim-CuF を結晶化させた。得られた結晶をろ過し、トルエンで洗浄した。その他の金属錯体も同様の手法で合成した。

4. 研究成果

(1)多種金属塩を骨格に有する融解金属錯体の合成

これまで、オレイルアミン融合シュウ酸錯体は鉄、銅、銀の三種しかなく、融解金属錯体分解法は決して汎用性が高い手法ではなかったここでは、これまで合成されていない他のオレイルアミンの合成および、その物性を評価し、融解金属錯体分解法の汎用性向上を示す。

図1には、得られた各種オレイルアミン融合シュウ酸錯体の XRD パターンを示す。得られた各種錯体からは回折ピークが確認されており結晶性の金属錯体だとわかる(赤色)。また、得られた回折パターンは原料として用いたシュウ酸錯体のパターン(青色)とは全く異なっていることからアルキルアミンとシュウ酸錯体が融合し、結晶構造が変化したことが示された。図2には、得られた各種オレイルアミン融合シュウ酸錯体の FTIR スペクトルを示す。いずれの金属錯体もアルキルアミン融合シュウ酸錯体の合成を示す変化が確認された。まず、一つ目がアルキルアミン融合シュウ酸錯体のスペクトル中には $2800\text{-}2900\text{cm}^{-1}$ 付近に C-H 伸縮振動に帰属されるピークが新たに確認された。これは、アルキルアミンのアルキル鎖に由来するピークである。次に 1600cm^{-1} 付近の COO の非対称伸縮振動に帰属されるピークが、原料のシュウ酸塩ではブロードなのに対して、オレイルアミン融合シュウ酸錯体ではシャープなピークへと変化した。これは、シュウ酸錯体中のバルクな配位ネットワーク構造が、オレイルアミンの融合により分子性になったことに由来する。しかし、この変化は Co, Ni では観察されたが、V, Sn ではその変化が観察されなかった。よってオレイルアミン融合シュウ酸 V, Sn の合成法に再度検討する必要があることを示す。また、オレイルアミン融合シュウ酸 Co, Ni 錯体では、 3300cm^{-1} に N-H 伸縮振動に帰属されるピークが確認され、その位置もオレイルアミン(3328cm^{-1})よりも低周波数側に確認された。これは、 NH_2 基が金属に配位結合していることを示す。

図3に TGDTA の結果を示す。Co, Ni, Sn の場合、原料のシュウ酸錯体では、一段階目の重量減は結晶水の脱離に帰属され、シュウ酸部位分解温度は二段階目の重量減の温度であり約 400°C 程度だった。オレイルアミン融合シュウ酸錯体も二段階の重量減が観察されるが、一段階目がシュウ酸部位の重量減であり、二段階目がオレイルアミンの分解・蒸発に伴う重量減である。シュウ酸部位に着目すると、オレイルアミン融合シュウ酸錯体の形成より、その分解温度は 200°C 以下まで低下していた。これにより、急速熱分解により単分散ナノ粒子合成の原料となる金属錯体が合成できた。一方、V 錯体では、原料の分解温度からの低下は確認されなかった。そのため、合成法の再検討が必要である。

本研究では、我々が研究している無溶媒合成法へ利用可能な各種金属のオレイルアミン融合シュウ酸錯体の合成を試みた。その結果、これまで合成されてきた Fe と Cu の間にある Ni, Co

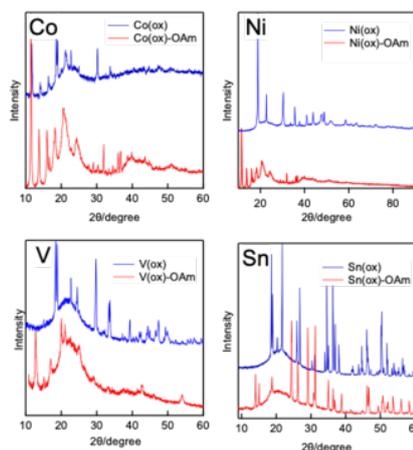


図 1. 各種アルキルアミン融合シュウ酸錯体の XRD パターン

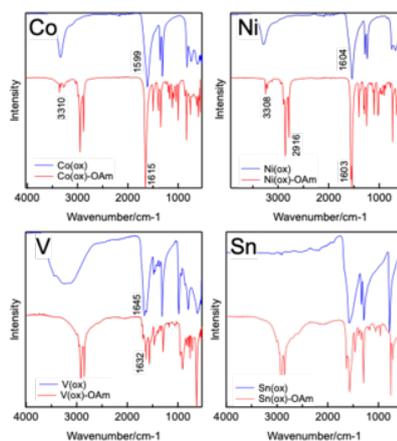


図 2. 各種アルキルアミン融合シュウ酸錯体の FTIR スペクトル

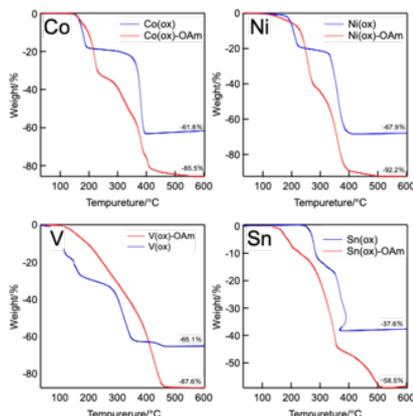


図 3. 各種アルキルアミン融合シュウ酸錯体の TGA

の金属錯体では、これまでと同様の手法によりオレイルアミン融合シュウ酸錯体の合成でき、今後これら金属錯体を原料に無溶媒合成・精密サイズ制御へと展開できる。一方で、Sn、V のオレイルアミン融合シュウ酸錯体については FTIR、TGDTA でこれまでのオレイルアミン融合シュウ酸錯体とは異なる挙動が観察され、合成法の再検討が必要である。

(2) ナノ粒子の自在サイズ制御へ向けた金属錯体の同定と酸化鉄の無溶媒精密サイズ制御合成

① 逐次分解反応に対する dedap 配位子の効果

我々は既に、混合アルキルアミン中での $\text{Ag}_2(\text{ox})$ の逐次的熱分解による Ag NP の連続的なシード媒介成長を報告した。しかし、それぞれのアルキルアミンの役割は不明のままであり、逐次分解反応を達成するための錯体種は不明なままだった。そこで、シュウ酸塩の逐次的熱分解におけるオレイルアミンと deda の役割を研究するために、オレイルアミン中およびオレイルアミンと dedap の混合物中の $\text{Fe}(\text{ox})$ の熱反応後に得られる生成物を分析した。160°C のオレイルアミン中で $\text{Fe}(\text{ox})$ を反応させた後に得られた生成物の赤外(IR)スペクトルと XRD パターンを図 4 に示す。22.9°、24.5°、29.8°、33.8°、34.1°、および 51.3° に観察される回折ピークは、それぞれシュウ酸鉄二水和物(JCPDS 23-0293)の (002)、(111)、(402)、(113)、(021)、および (130) 面と一致した。さらに、IR スペクトルも $\text{Fe}(\text{ox})$ のものと一致した。

図 4 は、160 ° C のオレイルアミンと dedap の混合物中での $\text{Fe}(\text{ox})$ の熱反応後に得られた生成物の IR スペクトルと XRD パターンを示す。IR スペクトルでは、反応後の $\text{Fe}(\text{ox})$ の配位高分子構造の破壊されていることを示している (図 4(b))。反応前の $\text{Fe}(\text{ox})$ の IR スペクトルでは、 $\text{Fe}(\text{ox})$ の配位高分子構造により、4 つの C-O 非対称伸縮振動に相当する強く広いバンドが 1600 cm^{-1} で観察される。対照的に、オレイルアミンと dedap の混合物中での熱反応後(1h 後)に得られた生成物のスペクトルでは、非対称伸縮振動に対応するピークが 1683 cm^{-1} と 1599 cm^{-1} の 2 つの強く鋭いピークに分割されています。これは、それぞれ 2 つの結合長の短い C=O 結合と 2 つの結合長の長い C-O 結合に同定されることができます。したがって、IR スペクトルより、オレイルアミンと dedap の混合物中では、 $\text{Fe}(\text{ox})$ の配位高分子構造がアルキルアミンの配位により単核シュウ酸錯体への変化することを示唆している。

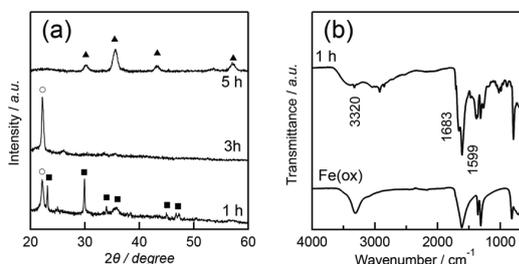


図 4. オレイルアミン/dedap 中でシュウ酸鉄を反応させた後得られた生成物の XRD パターン(a)と FTIR スペクトル(b)

オレイルアミンと dedap の混合物中で $\text{Fe}(\text{ox})$ を 1 時間熱反応させた後の生成物の XRD パターン (図 4(a))中には、 $\text{Fe}(\text{ox})$ の回折ピークとは異なる回折ピークを示した。これらの回折ピークは、1.0 g の $\text{Fe}(\text{ox})$ を 3.49 mL の dedap と室温で 2 日間攪拌することによって調製された $\text{Fe}(\text{ox})$ -dedap 錯体の回折パターンに対応した。3 時間の反応後、生成物の回折パターンは、 $\text{Fe}(\text{ox})$ に対応する回折ピークがなく、 $\text{Fe}(\text{ox})$ -dedap 錯体の回折パターンに変化し。5 時間の反応後、 Fe_3O_4 に帰属する回折ピークが観察された。これらの結果は、オレイルアミンと dedap の混合物中では $\text{Fe}(\text{ox})$ が徐々に $\text{Fe}(\text{ox})$ -dedap 錯体へと変化し、その後熱分解により Fe_3O_4 が合成されることを示唆している。以上の結果より dedap 配位子とシュウ酸塩により形成される $\text{M}(\text{ox})$ -dedap 種の形成が逐次分解を行う際に重要な金属錯体種であることがわかった。

② 逐次的熱分解による Fe_3O_4 ナノ粒子の精密サイズ制御

dedap の添加が、 $\text{Fe}(\text{ox})$ の逐次的熱分解が可能になるとわかった。ここでは、逐次的熱分解による連続 seed mediated growth による Fe_3O_4 のサイズ調整可能な無溶媒合成を試みた。図 4 は、 $\text{Fe}(\text{ox})$ の段階的熱分解によって合成された生成物の XRD パターンを示しています。30.16°、35.53°、43.13°、53.72°、57.12°、および 62.65° の回折ピークは、それぞれ Fe_3O_4 の(JCPDS 19-629) (220)、(311)、(400)、(422)、(511)、および (440)面に同定され。他の前駆体・不純物に由来する回折ピークは観察されなかった。これは、添加した $\text{Fe}(\text{ox})$ が 160 度の熱条件で完全に分解されたことを示す。さらに、半値幅より評価された Fe_3O_4 NP の結晶子サイズは $\text{Fe}(\text{ox})$ の逐次的熱分解量とともに徐々に増大した。これは、 $\text{Fe}(\text{ox})$ 粉末の添加により Fe_3O_4 NP が継続的に成長していることを示唆する。

図 5 は、Fe(ox)の逐次的熱分解によって合成された Fe₃O₄ NP の TEM 画像を示す。それぞれ得られた Fe₃O₄ NP の平均直径は、Fe(ox) の逐次的熱分解量とともに大きくなった。図 6(m)には Fe(ox)の分解量に対して TEM 像から評価されたナノ粒子の平均粒径をプロットしたものを示す。図 5(m) 中の点線は、式1より計算した添加された Fe(ox)が全て結晶成長に利用された場合、予測される理論上の Fe₃O₄ NP 粒子サイズを示す。

$$d = \left(\frac{6 \times (0.103 + 0.429 m_t)}{\rho_{\text{Fe}_3\text{O}_4} \pi N_p} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (1)$$

ここで、d は理論上の粒子直径、m_{Fe₃O₄} と m_t は、それぞれ Fe₃O₄ NP と分解された Fe(ox) の質量、ρ_{Fe₃O₄} は Fe₃O₄ NP の密度、W_t/W_{Fe₃O₄} は Fe(ox) に対する Fe₃O₄ の重量比 (= 0.429) N_p は反応媒体中の粒子の数です。m_{Fe₃O₄} は、1.0g の Fe(ox)-OAm の完全な熱分解によって得られた Fe₃O₄NP の重量に基づいて 0.103g と計さされた。N_p の値は次のように計算された。

$$N_p = \left(\frac{6 \times 0.103 m_0}{\rho_{\text{Fe}_3\text{O}_4} \pi d_0^3} \right)$$

ここで、d₀ は用いた種結晶の平均直径である (d₀ = 7.3 nm)。

図 5(m) は、実験サイズが理論サイズとよく一致していることを示している。したがって、Fe₃O₄ NP のサイズは、Ag₂(ox) に関する以前の報告と同様に、分解された Fe(ox) の質量を制御することによって予測可能となる。

Fe₃O₄ の予測可能なサイズ調整は次のように進行する。まず、Fe(ox)-OAm の熱分解による均一核生成により Fe₃O₄ 種結晶が合成される。続いて、dedap を添加しを種結晶と混合する。次に Fe(ox) 粉末を反応混合物に添加すると、dedap が Fe(ox) に配位します。Fe(ox) 部分の熱分解温度は dedap への配位によって低下する。結果、Fe(ox) -dedap の Fe(ox) 部分は熱分解され、Fe₃O₄ ユニットの生成し種結晶へ融合・結晶成長することによりサイズを制御可能となる。

以上の結果より、逐次的熱分解反応によるナノ粒子の無溶媒精密サイズ制御を実現するために h は dedap 系配位子が重要な役割を持つことが明らかとなった。これにより、金属錯体の特徴を基にした汎用的な無溶媒条件でのサイズ制御プロセスを確立した。

(3)まとめ

本研究期間では、多種金属塩を骨格に有する融解金属錯体の合成、ナノ粒子の自在サイズ制御へ向けた金属錯体の同定・サイズ制御合成の学術的基盤の構築を行った。さらに、詳細は記載できなかったが金属錯体分解温度決定因子の探索および非破壊分解温度予測手法も確立した。これにより、融解金属錯体分解法での合成ライブラリの拡大と自在なサイズ制御を行うための学術的基盤を確かなものとした。

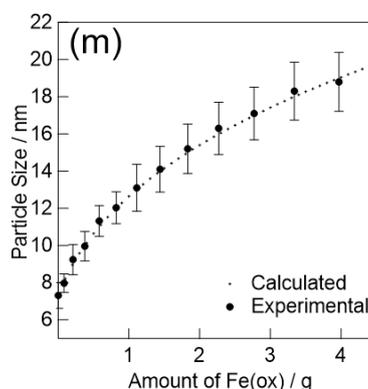
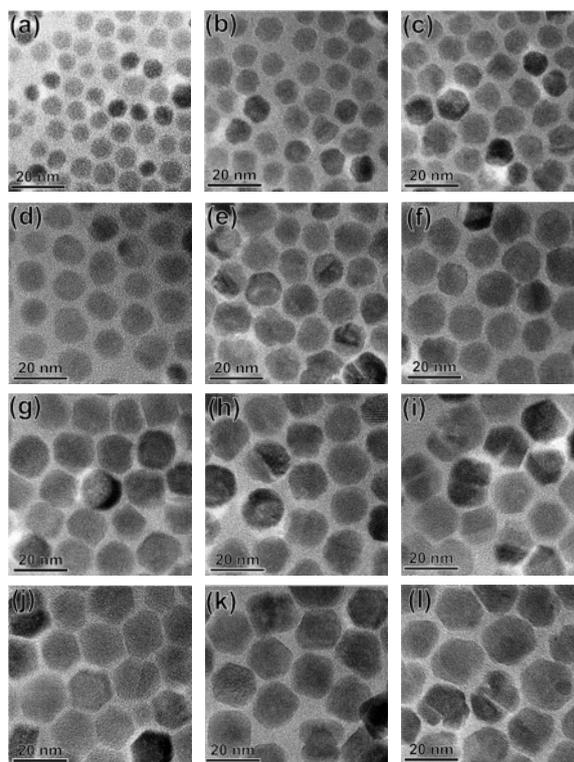


図 5. サイズ制御された Fe₃O₄ NP の TEM 画像。分解された Fe(ox) の総量はそれぞれ、(a) 0.08、(b) 0.21、(c) 0.38、(d) 0.58、(e) 0.82、(f) 1.11、(g) 1.44、(h) 1.83、(i) 2.27、(j) 2.77、(k) 3.34、(l) 3.97 g。(m)合成された Fe₃O₄NP の粒径の実験値と理論値 (点線)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

| | |
|--|---------------------------|
| 1. 著者名 Togashi Takanari, Tsuchida Koki, Soma Shiori, Nozawa Ryosuke, Matsui Jun, Kanaizuka Katsuhiko, Kurihara Masato | 4. 巻 32 |
| 2. 論文標題 Size-Tunable Continuous-Seed-Mediated Growth of Silver Nanoparticles in Alkylamine Mixture via the Stepwise Thermal Decomposition of Silver Oxalate | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Chemistry of Materials | 6. 最初と最後の頁 9363 ~ 9370 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acs.chemmater.0c03303 | 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 Ryosuke, Naka Takashi, Kurihara Masato, Togashi Takanari | 4. 巻 50 |
| 2. 論文標題 Size-tunable synthesis of iron oxide nanocrystals by continuous seed-mediated growth: role of alkylamine species in the stepwise thermal decomposition of iron(<sc>ii</sc>) oxalate | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Dalton Transactions | 6. 最初と最後の頁 16021 ~ 16029 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1039/d1dt02953c | 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 Kaori Kurosawa, Wakana Kanomata, Suzune Konno, Gimyeong Seong, Shin-ichi Kondo, Takashi Naka, Tadafumi Adschiri, Takanari Togashi | 4. 巻 65 |
| 2. 論文標題 Relationship of the Thermal Decomposition Temperature and Stretching Mode Wavenumber Shift of Amine-Copper Formate Complex: FTIR Spectrum Reveals the Decomposition Temperature of Copper Formate Moiety | 5. 発行年 2024年 |
| 3. 雑誌名 Mater Transactions | 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） 10.2320/matertrans.MT-N2024001 | 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 該当する |

〔学会発表〕 計11件（うち招待講演 2件/うち国際学会 3件）

| |
|---|
| 1. 発表者名 橋本篤毅、富樫貴成 |
| 2. 発表標題 Tailor-made synthesis of Ag@Cu ₂₀ NPs without using any solvents and its plasmon property |
| 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 Takanari Togashi |
| 2. 発表標題 Tailor-made Synthesis of metal and metal oxide nanocrystals via thermal decomposition self-reducible metal complex in a small amount alkylamine mixture |
| 3. 学会等名 Materials 2022 (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Takanari Togashi |
| 2. 発表標題 Continuous Seed Mediated Growth of Metal and Metal oxide Nanoparticle via Thermal Decomposition of Metal Oxalate |
| 3. 学会等名 ISHA2021 (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Yumeno Itoh, Takanari Togashi |
| 2. 発表標題 Effect of Organic Ligands for Morphology of Synthesized Iron Oxide Nanocrystals |
| 3. 学会等名 ISHA2021 (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 伊藤夢乃、野澤良甫、富樫貴成 |
| 2. 発表標題 Shape Controlled Synthesis of Iron Oxide Nanocrystals Via thermal decomposition of oleylamine Coordinated Iron Oxalate |
| 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 伊藤夢乃, 野澤良甫, 栗原正人, 富樫貴成 |
| 2. 発表標題 Effect of Organic Ligands for Morphology of Synthesized Iron Oxide Nanocrystals via Thermal Decomposition of Oleylamine-coordinated Iron Oxalate |
| 3. 学会等名 ナノ学会第18回大会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 野澤 良甫, 栗原 正人, 富樫 貴成. |
| 2. 発表標題 シュウ酸鉄の逐次熱分解によるFe ₃ O ₄ ナノ粒子の合成およびサイズ制御 |
| 3. 学会等名 ナノ学会第18回大会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 伊藤夢乃, 野澤良甫, 富樫貴成 |
| 2. 発表標題 Shape-controlled Synthesis of Iron Oxide Nanocrystals via Thermal Decomposition of Oleylamine-coordinated Iron Oxalate |
| 3. 学会等名 化学工学会第51回秋季大会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 野澤 良甫, 富樫 貴成, 栗原 正人. |
| 2. 発表標題 コロイド状マグネタイトナノ粒子の粒径制御に向けたシュウ酸鉄の逐次分解におけるアルキルアミンの効果 |
| 3. 学会等名 第71回コロイドおよび界面化学討論会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 野澤 良甫, 富樫 貴成, 栗原 正人. |
| 2. 発表標題 Fe3O4ナノ粒子の粒径制御に向けたシュウ酸鉄の逐次熱分解に対するアルキルアミンの効果 |
| 3. 学会等名 化学工学会 第51回秋季大会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 野澤 良甫, 富樫 貴成, 栗原 正人 |
| 2. 発表標題 Effect of Alkylamine for Stepwise Thermal Decomposition of Iron Oxalate toward Size-Tunable Synthesis of Fe3O4 Nanoparticles |
| 3. 学会等名 令和2年度化学系学協会東北大会 |
| 4. 発表年 2020年 |

〔図書〕 計1件

| | |
|--|-----------------|
| 1. 著者名 富樫貴成、栗原正人 | 4. 発行年 2021年 |
| 2. 出版社 技術情報協会 | 5. 総ページ数 558 |
| 3. 書名 金属ナノ粒子、微粒子の合成、調整と最新応用技術, 第1章 第3節 “アルキルアミン融合シュウ酸錯体分解法による単分散ナノ粒子の精密サイズ制御合成” | |

〔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 | 名嘉 節 (Naka Takashi) (30344089) | 国立研究開発法人物質・材料研究機構・機能性材料研究拠点・主席研究員 (82108) | |

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 | | | |
|---------|-------------------------|--|--|--|
| 韓国 | The University of Suwon | | | |