

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 12 月 2 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2019

課題番号：18K14177

研究課題名(和文) 不斉プラズモン近接場デザインに立脚したキラル核形成制御と電磁場パリティの開拓

研究課題名(英文) Control of Chiral Nucleation and Exploitation of Electromagnetic Parity by Chiral Plasmonic Near-field Design

研究代表者

新家 寛正(Niinomi, Hiromasa)

東北大学・金属材料研究所・助教

研究者番号：40768983

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)：右手と左手の関係のような、物質の鏡像体同士の構造が一致しない性質をキラリティと呼び、キラリティを持たない分子がキラリティを持つ結晶へと組み上がる最初の過程をキラル核形成という。一方、物質だけでなく光にもキラリティがあり、金属ナノ構造体への光照射に伴う自由電子の励振により発生するナノスケールの光である近接場が強いキラリティを示し得る。通常、キラル核形成の結果右結晶と左結晶は1:1の確率で現れることが知られているが、本研究では、強いキラリティを示し得る近接場を高度にデザインしその中でキラル核形成を誘起することで右結晶と左結晶の晶出確率をおよそ1:3にまで変化させることができることが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来、光による物質キラリティ制御は円偏光とキラル物質間の相互作用を基に展開されてきたが、光と分子とのスケール差が大きいためその相互作用は小さく、得られるキラリティの偏りは極めて小さい。キラルな表面プラズモン近接場の利用でスケール差が解消されることが期待されているが、近接場のような微小領域のキラリティを調べる技術が未成熟であるという問題点があった。本研究では、キラル核形成の、微小領域のキラル反応の結果を即座に観測可能なスケールへ拡大する性質により、問題点を克服し、従来の10倍に及ぶ偏りが実際に得られることが判明した。ホモキラリティ問題・創薬やスピントロニクス材料分野への波及効果が期待される。

研究成果の概要(英文)：Chirality is the property that a certain 3D structure is not superimposable with its mirror image like our right-hand and left-hand. Chiral nucleation is the earliest stage of solidification of achiral molecules into a chiral crystal. On the other hand, chirality shows up not only in materials but also in light field. Plasmonic near-field, which is generated by collective oscillation of free-electrons on the surface of metal nanoparticles exposed to light field, can exhibit strong chirality. Although chiral nucleation generally yields 1:1 ratio of left-handed and right-handed crystal, in this research project, we achieved to induce strong chiral bias in the ratio of chiral nucleation, up to 1:3, by inducing chiral nucleation in specially-designed plasmonic near-field with strong chirality.

研究分野：結晶成長

キーワード：キラル結晶化 塩素酸ナトリウム 表面プラズモン近接場 光学捕捉 Optical Chirality 光学捕捉誘起結晶化 クリーピング

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

空間反転対称性の欠如を意味するキラリティという性質は、自然界の様々な階層において普遍的に存在する性質であり、自然界の構成上重要な位置を占める。例えば、キラル物質の両鏡像体間の熱力学的等価性に反した、生体を構成するキラル物質におけるホモキラリティの起源は自然界の根幹を成す未解決問題のひとつである。生体内のホモキラリティのため、医薬化合物や食品添加物の両鏡像体における生理活性は異なり、キラル分子の光学分割技術の確立が囑望されている。また、近年、スピントロニクス観点から、結晶材料においてもそのキラリティの重要性が強く認識されている。結晶の空間反転対称性の欠如に起因する反対称性電子スピン-軌道相互作用により、二種類の電子スピンのエネルギー縮退が解けることにより電子スピン制御が可能となる。結晶の利き手と安定化する電子スピンの向きには対応関係があるため、結晶キラリティの制御はスピントロニクス材料制御にも将来的に重要となり得る。キラリティ制御は物質科学において重要である。

物質のみでなく光にもキラリティは存在する。円偏光は電場ベクトルが螺旋状の軌跡を描くため右巻螺旋と左巻螺旋と区別が付き、キラリティを持つ光である。円偏光二色性に代表されるように円偏光はキラル物質と左右非対称に相互作用する。左右非対称な相互作用を基にした物質キラリティ制御は、古くから物理・化学・生物・地球科学等幅広い研究者の興味を惹き続けており、光による物質キラリティ制御は光化学における一つの終着点である。円偏光を不斉源とした絶対不斉合成は、光による物質キラリティ制御の研究として古くから認知されている。1970年代に Kagan, Calvin らによるヘリセンの円偏光を不斉源とした液相中での絶対不斉合成において2%程度の鏡像異性過剰率(enantiomeric excess, e. e.)が実験的に得られたとする報告を契機に<sup>1,2</sup>、この反応スキームが種々の化学物質に適用されてきた。しかし、円偏光の螺旋ピッチとキラル分子のスケール差が大きいため、円偏光二色性を初めとした円偏光-キラル物質間の左右非対称な相互作用は一般に小さく、円偏光不斉合成により誘起可能な鏡像異性過剰率は、0.5-2%程度に留まっており<sup>3</sup>、光による物質キラリティの完全制御には程遠いのが現状である。

近年、光のキラリティの尺度を表す新しい保存量である“Optical Chirality (OC)”が発見された<sup>4-6</sup>。OCはMaxwellの方程式から導かれ、時間反転対称性と空間反転対称性に関してそれぞれ偶遇・偶奇・奇奇の対称性をもつ保存量であるエネルギー・運動量・角運動量と同じ階層に属する奇遇の偶奇性を持つ保存量であると言われている(図1)<sup>5</sup>。OCは、円偏光のような伝搬波ではなく、金属ナノ粒子の表面プラズモン励振に伴う近接場で局所的に増強され、OCの増強された光場は円偏光よりも強くキラル物質と左右非対称に相互作用することが種々の先行研究から示されている<sup>7</sup>。円偏光・遠方場という枠組みを超え、OCの増強された近接場を積極的に利用することでキラルな光物質相互作用の矮小さを克服し、延いてはOC増強近接場を絶対光不斉合成に応用する機運が高まっている<sup>8,9</sup>。

しかし、近接場の及ぶ空間はナノスケールであり微小であるためそこで生成する物質の量もまた微量である。微量のキラル物質の鏡像異性過剰率を安価に迅速かつ精度良く評価する手法がないという問題が、OC増強近接場中でのキラル物質合成やOCの物質系への転写の実験的検証のボトルネックとなっている。この問題に対し、研究代表者は「水溶液からのキラル核形成・結晶化」に着目してこれまで研究を行ってきた。古典的な核形成の描像に従うと、キラル核形成の描像は以下ようになる(図1)。水溶液中に両結晶鏡像体の結晶クラスターが存在し、それらクラスターのサイズが臨界半径以下である場合は生成・消滅を繰り返し両鏡像体クラスターの成長は競合する。一方で、サイズが熱揺らぎ等で一旦臨界半径を超えると、臨界サイズを超えた結晶鏡像体クラスターが安定化し、我々の観察可能なサイズまで急速に成長する。一般的に、臨界核のサイズは数nmと言われており、これは、キラル核形成は近接場中で誘起可能なスケールである。仮に、OC増強近接場が、臨界核半径以下のキラル結晶クラスターの生成・消滅に対し有意な摂動を与えれば、キラル結晶化により得られるマクロな結晶はOC増強場のキラリティの情報を反映した利き手となるはずである。研究代表者はこれまでの研究で、キラル結晶化するNaClO<sub>3</sub>の水溶液の気/液界面で銀ナノ粒子凝集体を円偏レーザー捕捉すると集光点からキラル結晶化を誘起でき、得られる結晶の結晶鏡像体過剰率(Crystal Enantiomeric Excess, CEE)に約25%もの大きな偏りが見られること(図2)<sup>10</sup>、また、円偏光により励振される銀ナノ粒子凝集体の表面プラズモン近接場に円偏光よりも大きなOCが見られることをFinite-difference time-domain法(FDTD)

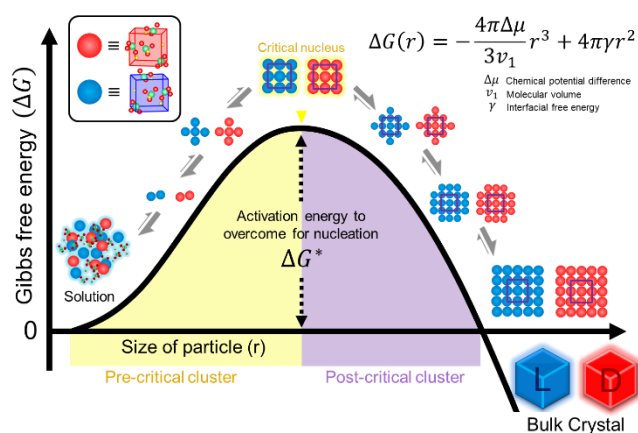


図 1: 古典核形成理論の描像に従ったキラル核形成の描像。臨界核サイズより小さい両鏡像体結晶クラスターは不安定であり、生成・消滅を繰り返す。臨界サイズを超えたクラスターが安定化し急速に成長する。

法)に基づいた電磁場解析により明らかにしてきた。この結果は、キラル核形成が 0C 増強近接場のプローブと成り得ること示唆している。

このような研究背景の下、研究代表者はこれまでの研究を発展させ、銀ナノ粒子凝集体といった構造の不確定なプラズモン励振源ではなく設計された金属ナノ構造体のプラズモン励振源を用い高度に不斉プラズモン近接場をデザインすることにより、キラル核形成における更に高い CEE を達成するだけでなく 0C 増強近接場を不斉源とした光不斉反応の可能性を定量的に調査することができると着想し本研究を計画した。

## 2. 研究の目的

本研究は、高度にデザインされた金属ナノ構造体の表面プラズモン 0C 増強場でキラル核形成を誘起することで、(1) 従来より更に高い CEE 達成を目指し、(2) 電磁場の「キラリティ」に関する新しい保存量である 0C の物質系への転写を確かめることを目的とする。

## 3. 研究の方法

電子線描画法のリフトオフプロセスによりガラス基板に任意の金ナノ構造体を作成し、ナノ構造体へ結晶化する物質の水溶液を滴下したものをサンプルとした。倒立型偏光顕微鏡のバックポートから連続波レーザーを導入し、顕微鏡の対物レンズによりレーザーをサンプルの金ナノ構造体へ集光することで表面プラズモン共鳴を励振した。顕微鏡に接続された CCD カメラにより、集光点近傍で起こる結晶化ダイナミクスをその場観察した。

## 4. 研究成果

### (1) 表面プラズモン近接場光学捕捉誘起結晶化の実証

研究代表者は、H28-H29 若手研究 (B) において、医薬化合物の一種であるアセトアミノフェンの水溶液を担持した卍型二次元周期金ナノ構造体の表面プラズモン励振により、可逆的な結晶化/溶解制御及び析出位置操作を人為的に行うことができることを示した。結晶化の際、結晶の析出形状は、プラズモン励振源である集光スポットを中心として円環状となることを明らかにした。研究代表者はこの結晶化現象を、溶質分子の表面プラズモン近接場光学捕捉によるものと解釈した(図 3)。レーザーピンセットに代表される光学捕捉は、集光による電場勾配力を媒質中の誘電体微粒子に対し電場強度の高い方向へ作用させることで捕捉する技術である。表面プラズモン近接場は、事実上光の回折限界を超えたナノ集光と解釈することができ、レーザーピンセットよりも強力な微粒子捕捉が可能となることが知られており、このような表面プラズモン近接場を応用した光学捕捉の手法はプラズモニックピンセットと呼ばれている<sup>11</sup>。当初、表面プラズモン近接場光学捕捉が水溶液中の分子クラスター(結晶クラスター)に適用された結果上記の現象が観察されたものと解釈されたが、その妥当性は検証されていなかった。本研究では、水溶液中の分子クラスターに働くであろう、表面プラズモン近接場の励振に伴う電場勾配力とプラズモン加熱に伴う熱泳動力の二種類の互いに反対向きに働く力をそれぞれ FDTD 法に基づいた電磁場解析(図 4)及び実験によるプラズモン励振源近傍の温度分布測定により定量的に分子濃

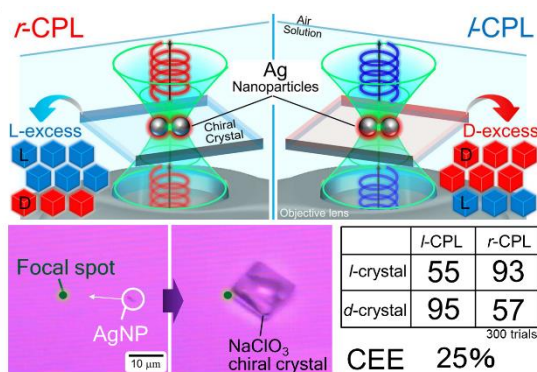


図 2: 円偏光レーザー光学捕捉された銀ナノ粒子凝集体を核形成サイトとしたキラル結晶化における巨大な鏡像体選択的結晶鏡像異性過剰。上: 実験のイメージ図。左下: キラル結晶化の光学顕微鏡その場観察像。右下: 300 回の結晶化実験の内結果得られた両鏡像体の数と入射円偏光の利き手の関係。

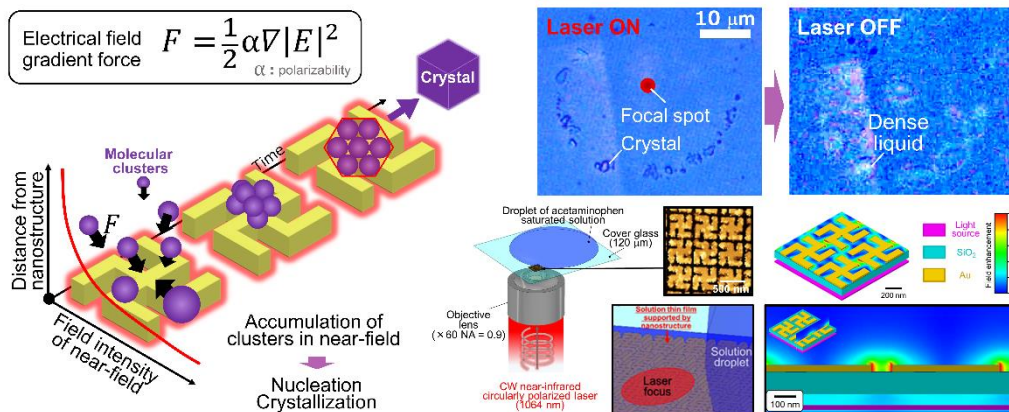


図 3: 表面プラズモン近接場光学捕捉誘起結晶化の概念図(左)と卍型金属ナノ構造体を用いたアセトアミノフェン水溶液からの表面プラズモン近接場光学捕捉誘起結晶化/溶解(右)。右上は顕微鏡その場観察像。右下は実験方法と FDTD 法による近接場の電磁場解析。



集位置を求め、実験で得られた円環状析出位置を良く再現することを示した(図 5)。これにより、表面プラズモン近接場光学捕捉誘起結晶化を実証した。この結晶化機構では近接場で核形成が誘起される。そのため、近接場の核形成への影響を調査する本研究計画を遂行する上で基盤となる技術を確立することができたと言える。この成果を Crystal Growth and Design 誌に発表した<sup>12</sup>。

## (2) 三角形金属ナノ粒子トライマー構造体への円偏光照射により誘起される NaClO<sub>3</sub> キラル結晶化における巨大結晶鏡像体過剰

三角形金属ナノ粒子を3つ近接させて配置し中心部にナノ間隙を形成したトライマー構造体を表面プラズモン励振源として NaClO<sub>3</sub> キラル結晶化を、表面プラズモン近接場光学捕捉誘起結晶化により誘起すると、得られる CEE が銀ナノ粒子凝集体の場合に比して約 2 倍となる 50% に達することが台湾の国立交通大学・北海道大学・千葉大学との共同研究により明らかとなった(図 6)。この成果を The Journal of Physical Chemistry Letters 誌に発表した<sup>13</sup>。この結果は、表面プラズモン近接場を適切にデザインすることで CEE を飛躍的に向上させることができることを示している。この CEE 増強機構は必ずしも明らかではないが、これまでの表面プラズモン近接場の OC 研究を鑑みると金属ナノトライマー構造中心のナノ間隙に強い OC 増強が見られる可能性が非常に高く、表面プラズモン近接場光学捕捉誘起結晶化の原理と OC 増強場とキラル物質との左右非対称な相互作用を考慮すると、結晶クラスターが強い電場強度を示すナノ間隙に優先的に捕捉され OC の増強された場の中でキラル核形成が誘起されることで巨大な鏡像体過剰が得られるとする機構が妥当であると思われる。今後、この仮説に基づく、CEE 増強機構解明へ向けた調査・解析を行う。

## (3) NaClO<sub>3</sub> キラル結晶化におけるクリープのプラズモン近接場光学操作による接触誘起多形転移によるキラリティ転写

(1) の研究成果で用いた  $\pi$  型金属ナノ周期構造体上に NaClO<sub>3</sub> 水溶液の微小液滴を配置し、微小液滴の縁近傍へレーザーを集光することで表面プラズモン共鳴を励振すると自然結晶化の場合と比較して著しく結晶化待ち時間を短縮できることが明らかとなった。また、結晶析出後に液滴の縁から液滴の外側へと結晶が滲みだしていくように成長していく現象をクリーピング(creeeping)と呼ぶが<sup>14</sup>、液滴の外側にレーザーを集光すると集光点へ向かう方向のクリーピング成長速度が大きくなり結果としてクリーピングの操作が可能であることが明らかとなった。また、クリーピングの成長端が集光点へ到達すると、集光点を覆うように半球状の結晶の塊が形成され、プラズモン励振時はほぼ半球状に維持され

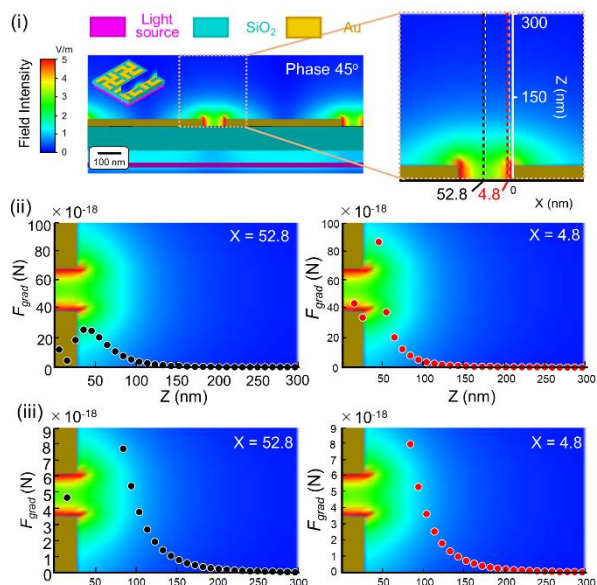


図 4: 金ナノ構造体近傍に発生する電場勾配力の計算。(i): FDTD 電磁場解析の結果得られた電界強度分布。(ii): 金属ナノ構造体間のナノギャップ中央部で発生する電場勾配力の空間分布。(iii) 金ナノ構造体のエッジ部で発生する電場勾配力の空間分布。

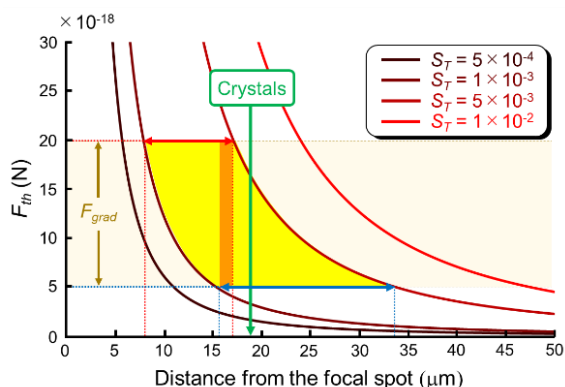


図 5: 温度分布から求まる熱泳動力の集光点からの距離依存性と電場勾配力とのつり合いの位置。ソーレ係数は未知のため、有機低分子に典型的にみられるオーダーのソーレ係数を代入した描画されている。電場勾配力の範囲は F<sub>grad</sub> として示されている。緑の矢印は実験で観察された結晶の析出位置。

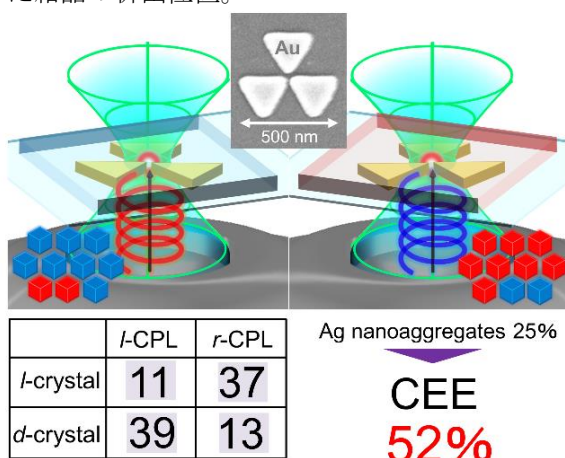


図 6: 三角形金属ナノ粒子トライマー構造体への円偏光照射により誘起されるキラル結晶化における巨大鏡像異性過剰。銀ナノ粒子凝集体の場合と比較して 2 倍以上大きな異性体過剰を達成した。

る一方、プラズモン励振を止めると塊の裾からクリーピングが観察された。この現象は、プラズモン励振中集光点へ向かう電場勾配力によって塊に捕捉されていた水及び溶質分子が、プラズモン励振停止に伴い電場勾配力から解放されるために見られる現象と考えられる。更に、クリーピングの操作を適切に行うことで、多形転移の開始を制御できることを明らかにした。水溶液からの  $\text{NaClO}_3$  結晶化では、しばしばアキラルな前駆体結晶として最初に結晶化し、そのアキラル結晶の多形転移を介してキラル結晶が生成する。微小液滴中に形成したアキラル結晶からクリーピングする結晶を液滴の外へプラズモンピンセットにより導き、集光点に結晶の塊を形成した後に液滴から遅れて集光点へ近づくクリーピング結晶が集光点の結晶塊に接触すると、接触点からアキラルキラル多形転移が誘起されることを見出し、多形転移の開始を制御可能であることを明らかにした。また、アキラル結晶からのクリーピングとキラル結晶からのクリーピングをプラズモニックピンセットで操作し両者を接触させると、接触点からアキラル結晶のキラル結晶への多形転移が開始され、多形転移の結果現れるキラル結晶の利き手は接触したキラル結晶の利き手を継承することが明らかとなり、プラズモン光学捕捉による結晶キラリティ転写が可能であることが分かった。この成果を *Crystal Growth and Design* 誌に発表した<sup>15</sup>。以上のように表面プラズモン近接場のデザインによっては、プラズモニックピンセットによって結晶のキラリティのみでなく、多種多様な結晶化現象を精密に制御可能であるということが示され、表面プラズモン近接場による結晶化制御の新しい方向性を見出すことができた。

#### (4) レーザー光学捕捉誘起結晶成長における光照射に伴う表面ポテンシャル改変に伴う水溶液の濡れ転移と非古典的結晶成長過程のその場観察

本研究で実証された表面プラズモン光学捕捉誘起結晶化の背景には、レーザー光学捕捉誘起結晶化という現象がある<sup>16</sup>。これは、伝統的な光学捕捉技術であるレーザーピンセットにより結晶クラスターを捕捉することで、例えば不飽和な水溶液からでも集光点から核形成・結晶成長を誘起することができる技術であり、これまでに種々の化合物に適用されその結晶化制御能の高さが実証されてきた。ところが、その結晶成長機構は未だ不明な点が多い。その一つの原因として、実際に結晶成長が進行する結晶表面に着目し調査した研究がないことが挙げられる。そこで研究代表者は、結晶表面の偏光顕微鏡その場観察を、 $\text{NaClO}_3$  準安定相結晶のレーザー光学捕捉誘起結晶成長で実施した(図7A)。その結果、レーザー照射に伴い結晶表面を覆っていた水溶液薄膜が完全濡れの状態から部分濡れの状態へと濡れ転移することが明らかとなった(図7B)。この現象は、結晶中を伝搬したレーザー光の電場によって結晶の界面ポテンシャルが改変されることを示している。また、濡れ転移によって結晶表面に形成した大きさ数 100 nm 程度の液滴がその体積をほぼ保ったまま結晶表面のステップへ取り込まれる様子が観察された(図7C)。古典的な結晶成長理論では、分子が結晶のステップへ取り込まれる場合、1分子ずつ取り込まれることが仮定される。その仮定に反して、本研究の観察では、分子が集団的にステップへ取り込まれる非古典的な結晶成長の一部始終が観察された。これらの結果は、これまでレーザー集光点への溶質分子の濃集のみで理解されてきた結晶成長の描像だけでなく、結晶界面における分子取り込み過程の光電場による改変を考慮に入れレーザー光学捕捉誘起結晶化の機構を議論する必要性を新たに示した。延いては、プラズモン光学捕捉誘起結晶化においても光電場による結晶化の描像の改変を示唆するものである。これらの成果を *Crystal Growth and Design* 誌に発表した<sup>17</sup>。

<引用文献>

[1] Moradpour et al., *J. Am. Chem. Soc.*, **93**, 2353, (1971). [2] Bernstein et al., *J. Am. Chem. Soc.*, **94**, 494, (1972). [3] Feringa et al., *Angew. Chem. Int. Edit.*, **38**, 3419, (1999). [4] Lipkin et al. *J. Math. Phys.* **5**, 696, (1964). [5] Tang et al. *Phys. Rev. Lett.* **104**, 163901, (2010). [6] Tang et al. *Science* **332**, 333, (2011). [7] Hendry et al. *Nat. Nanotechnol.* **5**, 783, (2010). [8] Li et al. *Adv. Mater.* **30**, 1801908, (2018). [9] Wen et al. *Sci. Adv.* **6**, eaao0019, (2020). [10] Niinomi et al. *CrystEngComm* **18**, 7441, (2016). [11] Shoji et al. *Sci. Rep.* **10**, 3349, (2020). [12] Niinomi et al. *Cryst Growth Des.* **19**, 529, (2019). [13] Cheng et al. *J. Phys. Chem. Lett.* **11**, 4422, (2020). [14] Qazl et al. *Sci. Adv.* **5**, eaax1853, (2019). [15] Niinomi et al., *Cryst. Growth Des.* **8**, 5493, (2020). [16] Sugiyama et al. *Acc. Chem. Res.* **45**, 1946, (2012). [17] Niinomi et al. *Cryst. Growth Des.* **19**, 4138, (2019).

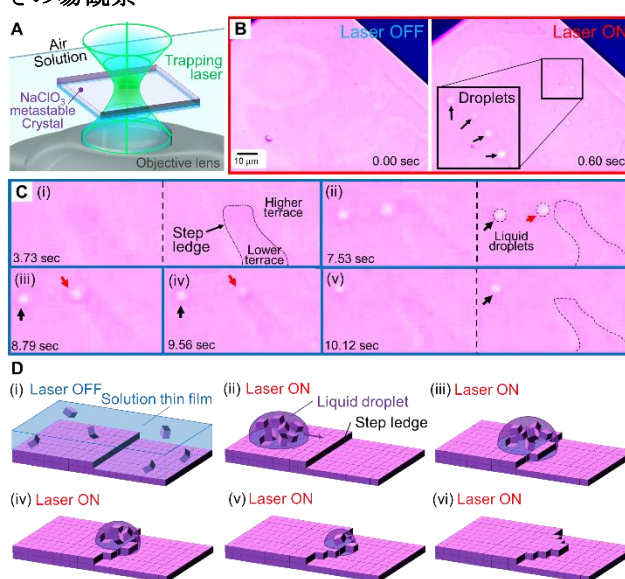


図 7: レーザー光学捕捉誘起結晶成長過程の結晶表面その場観察。A: 実験概要図。B: 光照射に伴う結晶表面の水溶液薄膜の濡れ転移。C: 非古典的結晶成長ダイナミクス。D: B: C のその場観察の模式図。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 5件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Hiromasa Niinomi, Teruki Sugiyama, Satoshi Uda, Miho Tagawa, Toru Ujihara, Katsuhiko Miyamoto, Takashige Omatsu	4. 巻 19
2. 論文標題 Plasmonic Trapping-Induced Crystallization of Acetaminophen	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Crystal Growth and Design	6. 最初と最後の頁 529-537
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.cgd.8b01361	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 該当する
1. 著者名 Hiromasa Niinomi, Teruki Sugiyama, Miho Tagawa, Shunta Harada, Toru Ujihara, Satoshi Uda, Katsuhiko Miyamoto, Takashige Omatsu	4. 巻 18
2. 論文標題 In Situ Observation of Chiral Symmetry Breaking in NaClO3 Chiral Crystallization Realized by Thermoplasmonic Micro-Stirring	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Crystal Growth and Design	6. 最初と最後の頁 4230-4239
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.cgd.8b00420	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 該当する
1. 著者名 Niinomi Hiromasa, Sugiyama Teruki, Ujihara Toru, Guo Suxia, Nozawa Jun, Okada Junpei, Omatsu Takashige, Uda Satoshi	4. 巻 19
2. 論文標題 In Situ Microscopic Observation on Surface Kinetics in Optical Trapping-Induced Crystal Growth: Step Formation, Wetting Transition, and Nonclassical Growth	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Crystal Growth & Design	6. 最初と最後の頁 4138 ~ 4150
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.cgd.9b00600	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 該当する
1. 著者名 Cheng An-Chieh, Niinomi Hiromasa, Omatsu Takashige, Ishida Shutaro, Sasaki Keiji, Sugiyama Teruki	4. 巻 11
2. 論文標題 Plasmonic Manipulation-Controlled Chiral Crystallization of Sodium Chlorate	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 4422-4426
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcllett.0c0104	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 該当する

1. 著者名 Niinomi Hiromasa, Sugiyama Teruki, Tagawa Miho, Ujihara Toru, Omatsu Takashige, Miyamoto Katsuhiko, Yoshikawa Hiroshi Y., Kawamura Ryuzo, Nozawa Jun, Okada Junpei T., Uda Satoshi	4. 巻 20
2. 論文標題 Plasmonic Manipulation of Sodium Chlorate Chiral Crystallization: Directed Chirality Transfer via Contact-Induced Polymorphic Transformation and Formation of Liquid Precursor	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Crystal Growth & Design	6. 最初と最後の頁 5493 ~ 5507
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.cgd.0c00693	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 該当する

〔学会発表〕 計18件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 新家寛正, 杉山輝樹, 宮本克彦, 尾松孝茂, 宇田聡
2. 発表標題 不飽和微小液滴中での光圧捕捉結晶化によるNaClO <sub>3</sub> 準安定相制御
3. 学会等名 第135回東北大学金属材料研究所講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 新家寛正, 杉山輝樹, 宇田聡, 田川美穂, 宇治原徹, 宮本克彦, 尾松孝茂
2. 発表標題 不飽和微小液滴からの光圧誘起結晶化による塩素酸ナトリウム準安定相制御
3. 学会等名 第47回結晶成長国内会議(JCCG-47)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 新家寛正, 杉山輝樹, 宮本克彦, 尾松孝茂
2. 発表標題 不飽和微小液滴中での光圧捕捉結晶化によるNaClO <sub>3</sub> 準安定相制御
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 新家寛正, 杉山輝樹, 宇田聡, 田川美穂, 宇治原徹, 宮本克彦, 尾松孝茂
2. 発表標題 金ナノ構造体への光照射により誘起されるキラル結晶化における対称性の破れ
3. 学会等名 第47回結晶成長国内会議(JCCG-47)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 新家寛正, 杉山輝樹, 宇田聡, 田川美穂, 宇治原徹, 宮本克彦, 尾松孝茂
2. 発表標題 水溶液中のアセトアミノフェン分子のプラズモン光学捕捉による結晶化
3. 学会等名 第47回結晶成長国内会議(JCCG-47)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 新家寛正, 杉山輝樹, 宇田聡, 田川美穂, 宇治原徹, 宮本克彦, 尾松考茂
2. 発表標題 水溶液中の有機分子のプラズモン光学捕捉による結晶化
3. 学会等名 結晶表面・界面での相転移ダイナミクスに関するその場観察および理論(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Suxia Guo, Jun Nozawa, Ihara Naoki, Hiromasa Niinomi, Junpei Okada, Satoshi Uda
2. 発表標題 Effect of interaction between particles and substrate on nucleation rate of two-dimensional colloidal crystals
3. 学会等名 SUMMIT of MATERIALS SCIENCE 2018 (SMS 2018)
4. 発表年 2018年



1 . 発表者名 Jun Nozawa, Suxia Guo, Ihara Naoki, Hiromasa Niinomi, Junpei Okada, Satoshi Uda
2 . 発表標題 Step kinetics dependent on kink generation mode in colloidal crystal growth
3 . 学会等名 SUMMIT of MATERIALS SCIENCE 2018 (SMS 2018)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Hiromasa Niinomi, Teruki Sugiyama, Miho Tagawa, Toru Ujihara, Katsuhiko Miyamoto, Takashige Omatsu, Jun Nozawa, Junpei Okada, Satoshi Uda
2 . 発表標題 Chiral Symmetry Breaking in NaClO3 Chiral Crystallization Achieved by Thermoplasmonic Micro-Stirring
3 . 学会等名 SUMMIT of MATERIALS SCIENCE 2018 (SMS 2018)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 An-Chieh Cheng, Shutaro Ishida, Keiji Sasaki, Hiromasa Niinomi, Takashige Omatsu, Teruki Sugiyama
2 . 発表標題 Plasmonic optical trapping-controlled chiral crystallization of sodium chlorate
3 . 学会等名 10th Asian Photochemistry Conference
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 An-Chieh Cheng, Shutaro Ishida, Hiromasa Niinomi, Takashige Omatsu, Keiji Sasaki, and Teruki Sugiyama
2 . 発表標題 Plasmonic optical trapping-induced enantiomeric excess in chiral crystallization of sodium chlorate
3 . 学会等名 Annual Meeting on Photochemistry 2018
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 新家寛正, 杉山輝樹, 田川美穂, 宇治原徹, 宮本克彦, 尾松孝茂, 野澤純, 岡田純平, 宇田聡
2. 発表標題 プラズモン光ピンセットによる有機分子の結晶化操作と二段階溶解過程の発見
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. Niinomi, T. Sugiyama, M. Tagawa, T. Ujihara, K. Miyamoto, T. Omatsu, J. Nozawa, J. Okada, S. Uda
2. 発表標題 Crystallization "Manipulated" by Plasmonic Optical Tweezers
3. 学会等名 第135回東北大学金属材料研究所講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 新家寛正
2. 発表標題 プラズモン光学捕捉による有機分子の結晶化操作
3. 学会等名 第36回無機分析コロキウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiromasa Niinomi, Teruki Sugiyama, Miho Tagawa, Toru Ujihara, Katsuhiko Miyamoto, Takashige Omatsu, Jun Nozawa, Junpei Okada, Satoshi Uda
2. 発表標題 "Manipulation" of Acetaminophen Crystallization and Discovery of Two-Step Dissolution Process by Plasmonic Optical Tweezers
3. 学会等名 19th International Conference on Crystal Growth and Epitaxy (ICCGE-19) (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 新家寛正, 杉山輝樹, 宇治原徹, Suxia Guo, 野澤純, 岡田純平, 尾松考茂, 宇田聡
2. 発表標題 光学捕捉誘起結晶化における表面カイネティクスの顕微鏡その場観察 - 光電場によるステップ形成・濡れ転移・非古典的結晶成長 -
3. 学会等名 第48回結晶成長国内会議(JCCG-48)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiromasa Niinomi, Teruki Sugiyama, Miho Tagawa, Toru Ujihara, Katsuhiko Miyamoto, Takashige Omatsu, Jun Nozawa, Junpei Okada, Satoshi Uda
2. 発表標題 “ Manipulation ” of Acetaminophen Crystallization and Discovery of Two-Step Dissolution Process by Plasmonic Optical Tweezers
3. 学会等名 International Conference on Materials and Systems for Sustainability 2019 (ICMaSS2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiromasa Niinomi, Teruki Sugiyama, Toru Ujihara, Suxia Guo, Jun Nozawa, Junpei Okada, Takashige Omatsu, Satoshi Uda
2. 発表標題 In-Situ Observation on Surface Kinetics in Optical Trapping-Induced Crystal Growth: Step Formation, Wetting Transition, and Nonclassical Growth
3. 学会等名 SMS2019 and GIMRT User Meeting 2019
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔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