

令和 4 年 5 月 24 日現在

機関番号：32660

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02538

研究課題名(和文) 紫外線照射による高分子粒子内部への金属のナノ造形技術

研究課題名(英文) Nano-modeling technique of metal inside polymer particles by UV irradiation

研究代表者

河合 武司 (Kawai, Takeshi)

東京理科大学・工学部工業化学科・教授

研究者番号：10224718

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,600,000円

研究成果の概要(和文)：金属イオンを含む水溶液上に浮かべたポリスチレン(PS)粒子に紫外線を照射すると、紫外線の集光部にAu, Pt, Pd およびAgなどの金属粒子を担持できることを見出した。紫外線の入射角とPS粒子膜の回転とを組み合わせによって、多点スポット、棒状、ブーメラン状あるいはらせん状のAgナノ粒子集合体をPS粒子に担持させることに成功した。さらに、ブーメラン状集合体の特異な偏光特性、多点スポットとらせん状集合体のキラル光学特性についても明らかとした。すなわち、紫外線照射により望みのサイズ・形態の金属を高分子粒子の望みの位置にOne-Stepで迅速・簡便に析出させる技術確立した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、従来技術とは全く異なる斬新な原理に基づく高分子粒子への金属担持技術を開拓した。本技術は、(1)操作が簡便・迅速、(2)レーザー光源、高価な装置や真空は不要、(3)光の回折限界を超えたナノサイズの造形が可能、(4)高分子粒子の形状を保持、(5)紫外線の照射時間・方向によって金属のサイズ・形態の制御が可能などのオリジナリティーの高い特徴を持つ。そのため、既存の方法では不可能であった高機能なハイブリッド粒子が作製でき、ナノ材料開発の革新的な基盤技術となることが期待される。

研究成果の概要(英文)：Metal particles such as Au, Pt, Pd, and Ag can be deposited on desired positions of polystyrene (PS) particles by irradiating UV light to the particles floating on an aqueous solution containing the metal ions. Combining incident angle of the UV light and the rotation of the PS particle film gave rise to encapsulating Ag nanoparticle assemblies in the form of multiple spots, rods, boomerangs, or helices inside the PS particles. We clarified the unique polarization properties of the boomerang-like assemblies and the chiral optical properties of the multiple spots and the helical assemblies. We have successfully established a one-step technique for the rapid and easy deposition of metals of desired size and morphology at desired positions on polymer particles by UV irradiation.

研究分野：界面化学

キーワード：高分子ナノ粒子 ナノ加工 紫外線照射

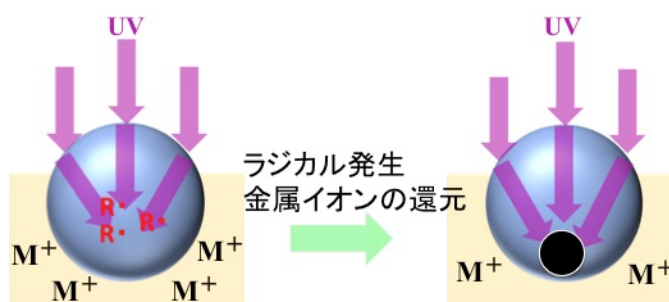
### 1. 研究開始当初の背景

ナノ粒子やコロイド粒子に関しては、サイズや形状が揃った精密合成法が開発されてきた。しかし、コロイド粒子の加工技術についてはまだ開拓途中であり、多くの課題が残されている。例えば、ナノカプセルやナノバルーン粒子に代表される中空粒子の作製は、直接合成法も報告されているが、粒径や形状の制御が困難である。一般的にはコアシェル粒子を作製した後、コア部分を除去する多段階プロセスが用いられているが、コアとシェルで使用できる材料の制約や機械的強度が低いなどの問題点がある。これらの解決策として、我々は水面上に浮かべた高分子粒子に紫外線を照射するだけで、粒子内部に空孔を簡単に形成できる方法を提案した。その特徴は、空孔サイズが紫外線波長の1/10程度(約30 nm)と光の回折限界を超える高い空間分解能を有し、材料内部に微細加工ができることである。すなわち、空孔のサイズ・形態・形成位置を紫外線照射の条件によって制御できる新規な空孔形成技術を創出した。

高分子粒子の組成・粒子径・空孔径を制御した中空ナノ粒子でも様々な応用が考えられるが、空孔に別の化合物を充填させることができれば応用範囲は格段に広がる。ここで、コアシェル粒子の合成に目を向けると、2種類の高分子粒子を融合させる方法、**block-copolymer** を用いる方法やマイクロ流路を利用する方法などがあるが、粒子内部に金属ナノ粒子の集合体を望みの形状で配列させたコアシェル粒子の報告は今のところない。したがって、既存の方法では、望みのサイズ・形態の金属を高分子粒子の望みの位置に配置したコアシェル粒子を作製することは不可能であり、コアシェル粒子を魅力的な機能性ナノ材料へと展開させるためには、革新的な技術開発が求められている。

### 2. 研究の目的

最近、我々が開発した「紫外線照射による高分子粒子の空孔化技術」で紫外線照射方向と粒子の回転操作を組み合わせると、高分子粒子内に球形以外のらせん構造など複雑な形状の空孔も作製できることを見出した。空孔形成は紫外線が集光する部位で高分子が光酸化分解するためであるが、金属イオンを含む水面上で高分子粒子に紫外線を照射すると、空孔形成部に金属粒子が析出することが期待される(右図)。これは、高分子の光酸化分解過程で発生するラジカルが金属イオンを還元するためである。



すなわち、紫外線照射による高分子粒子の空孔化技術と金属の析出技術とを組み合わせれば、高分子粒子に望みのサイズ・形態の金属を望みの位置に担持させたコアシェル粒子やハイブリッド粒子が作製できる。

そこで本研究では、我々が開発した「紫外線照射による高分子粒子の空孔化技術」をさらに発展させて、金属を望みのサイズ・形態・位置に造形させたコアシェル粒子の迅速・簡便な作製法の確立を目的とした。具体的には、下記の項目①と②について検討した後、③の **One-Step** 金属析出法である紫外線照射による金属の新規ナノ造形技術を開拓する。

① 金属スポット作製技術の最適条件の確立  
 ② ロッド状やブーメラン状など球状以外の作製法の確立  
 ③ ①や②で得られた知見に基づいて、紫外線照射により望みのサイズ・形態の金属を高分子粒子の望みの位置に **One-Step** で析出させる技術を確認し、さらにそれらの光学特性についても解明する。

### 3. 研究の方法

粒子サイズ分布が狭いポリスチレン(PS)粒子(粒径 400~800 nm)は懸濁重合により合成したものと市販品とを用いた。水面上の PS 粒子膜は、ガラス基板上にスピコート法で作製した PS 粒子の単層膜を水面上に展開することにより作製した。水面上の PS 粒子膜をバリアで圧縮し、紫外線を照射した。

紫外線照射は、朝日分光株式会社製の REX-250 超高压水銀光源を用いた。水銀ランプの出力は 250W で、主に 248 nm の輝線を用い、照射口と水面の距離は約 1.5 cm とした。

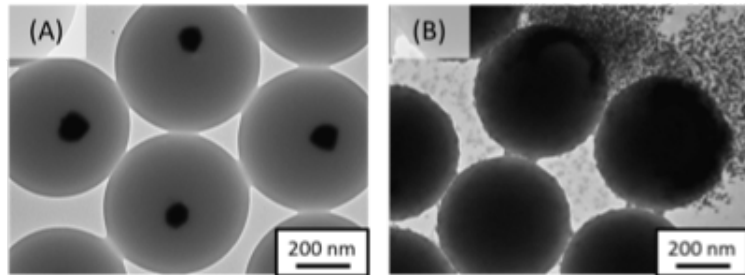
金属を担持した PS 粒子の評価は、透過型電子顕微鏡(JEOL 製 JEM-1011)および走査電子顕微鏡(SEM、日立ハイテクノロジーズ製 S-4800)を用いて行った。紫外可視吸収スペクトルは日本分光の J-570、円偏光二色性(CD)スペクトルは日本分光の J-725 を用いて測定した。

#### 4. 研究成果

##### 4.1 PS 粒子への金属スポット担持

###### ① 金属還元によらず PS 粒子の影響

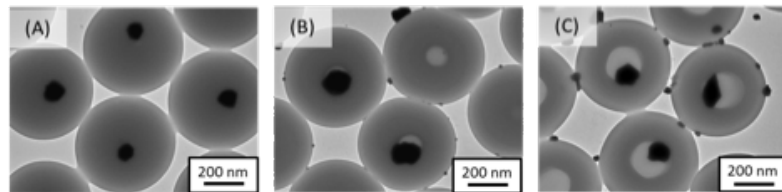
紫外線照射による金属担持について  $\text{HAuCl}_4$  水溶液を用いて検討した。紫外線照射によって金イオンは還元されて金ナノ粒子が生成することが確認できた。さらに、PS 粒子膜を共存させると、効率よく短時間で金ナノ粒子が生成することがわかった。これは、PS の光分解過程で発生したラジカルが金属イオンの還元に参加したことを示している。金ナノ粒子の生成はラジカルによる還元以外にも、光や熱の影響を受けて還元されることが報告されているが、本手法でも紫外線による光や熱の影響が考えられる。そこで金ナノ粒子の生成が集光部で生成するラジカルによるものであることを証明するために、ラジカルが生成しないシリカ粒子について、PS 粒子と同条件で比較検討を行った。その結果を右図に示す。PS 粒子 (A) では位置選択的に金ナノ粒子が担持されているが、集光部でラジカルが発生しないシリカ粒子 (B) では金ナノ粒子の位置選択的な生成は確認できなかった。すなわち、金ナノ粒子の生成は、紫外線照射によって PS 集光部で生成したラジカル還元によることが実証できた。



したがって、金属イオンを含む水溶液上に展開した PS 粒子膜に紫外線を照射すれば、PS 粒子に位置選択的に金属ナノ粒子を析出できることがわかった。

###### ② 紫外線の照射時間・強度の影響

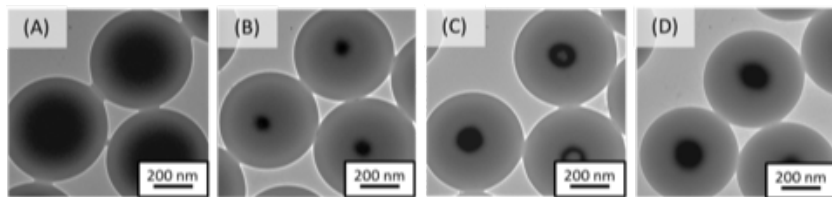
金ナノ粒子の生成について照射時間の影響を 1 mM の塩化金酸水溶液を用いて調べた。照射強度は  $100 \text{ mW/cm}^2$  一定とし、照射時間を (A) 240 秒、(B) 360 秒および (C) 480 秒と変化させた結果を右図に示す。照射時間とともに、PS 粒子周囲の金ナノ粒子の生成量が増加することがわかる。これは照射時間とともに粒子表面で生成したラジカルが増大し、金イオンが粒子の中心部以外でも還元されたためである。一方、粒子中心部の集光部での金ナノ粒子の大きさは照射時間に比例しない。すなわち、一定のエネルギーで核の成長は止まり、金粒子のサイズは増加しないことがわかった。



全照射光量が一定の条件で照射強度を 25、100、および  $200 \text{ mW/cm}^2$  と変化させて、金イオンの還元を行った結果、強度を増加させると粒子中心部の金ナノ粒子の大きさは小さくなり、PS 粒子周囲の生成量が増した。これは高強度では集光位置に限らず粒子表面でもラジカルの発生量が増し、核形成が促進されたためと考えられる。したがって位置選択的に金ナノ粒子を担持させるには、低強度で長時間照射を行うのが適していた。

###### ③ 金属の種類の影響

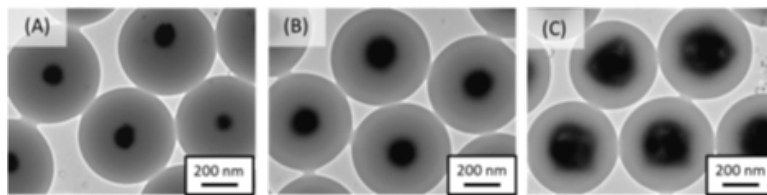
Pt と Pd の担持：金ナノ粒子の担持と同条件で、 $\text{K}_2\text{PtCl}_4$  水溶液を用いて白金の担持について検討した。照射強度を  $25 \text{ mW/cm}^2$  一定とし、照射時間を (A)120、(B)360、(C)600 および (D)900s とした結果を上図に示した。120s では粒子中心部に濃いコントラストは見られず、白金ナノ粒子は生成していないが、360s では集光部において白金粒子の生成が確認できた。したがって、Pt 担持には  $9 \text{ J/cm}^2$  以上の照射エネルギーを要することがわかった。また照射時間を増加させると粒子中心部の白金粒子量は増加した。さらに、白金系では、集光部に生成した核が照射時間とともに成長する金ナノ粒子系とは異なり、集光部に数 nm の白金ナノ粒子が多数生成し、照射時間の増加とともにその数が増加する生成機構であることがわかった。 $\text{K}_2\text{PdCl}_4$  水溶液を用いたパラジウム系でも白金系と同様の生成機構であった。



Cu および Fe の担持： $\text{CuCl}_2$  および  $\text{FeSO}_4$  を前駆体として Cu および Fe の担持についても検討した。しかしながら、PS 粒子が分解し空孔のみが形成し、それら金属の担持には至らなかった。また水溶液にエタノールを加えると、わずかに Cu および Fe の担持は確認できたが、PS 粒子の分解が優先し、空孔の形成は抑制できなかった。

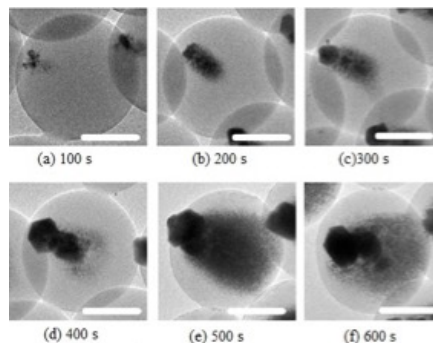
Ag の担持：銀の前駆体である  $\text{Ag}(\text{CH}_3\text{COO})$  を用いて、他の金属と同様の操作を行った。照射強度は  $100 \text{ mW/cm}^2$  とし、照射時間を (A)60、(B)120 および (C)240s の結果を次図に示した。Au, Pt

およびPdと異なり、照射光量とともに、PS粒子の分解を抑制しながら銀粒子の担持領域が徐々に増大することがわかった。さらに、Agは他のAu, Pt, Pd比べて低照射光量で析出することやPS粒子内部にも生成することが明らかとなった。したがって、PS粒子内に様々な形態の金属ナノ粒子を造形するには、Ag粒子系が最も適していることが明らかとなった。

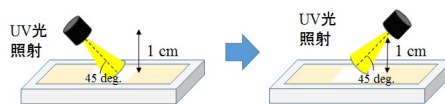


#### 4.2 Ag 粒子を内包した PS 粒子

PS 粒子に担持させる金属としては Ag 粒子が適していることを示したが、PS 粒子内の Ag ナノ粒子の分布についてはまだ不明である。そこで紫外線強度を  $25 \text{ mW/cm}^2$  として、照射時間が 100, 200, 300, 400, 500, 600 s の傾斜 TEM 像を観察したところ、右図の結果を得た。Ag 粒子は、100s では PS 粒子表面に生成し、照射時間とともに内部へ棒状に成長していくことがわかる。また、PS 粒子内部の Ag 粒子は直径数 nm であるのに対して、PS 粒子表面のそれは徐々に大きくなり、600s では直径数十 nm の結晶へと成長することもわかった。

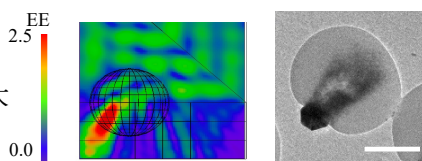


Ag 粒子が PS 粒子内部へ棒状に成長することは、紫外線の照射方向や粒子の回転などによって PS 粒子内に様々な形態の Ag 粒子集合体を形成できることを示唆している。そこで、紫外線を 2 方向から照射してブーメラン状の集合体、粒子を回転させることによってらせん状の集合体の作製について検討した。

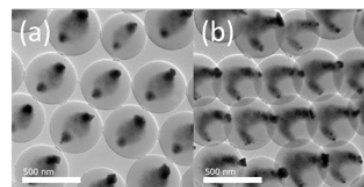


#### ① ブーメラン状 Ag 粒子集合体

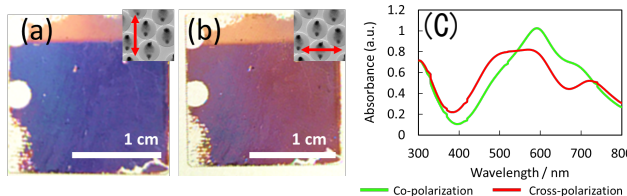
ブーメラン状の Ag 粒子集合体は、右図のように紫外線を入射角  $45^\circ$  で 2 方向から所定時間照射することで作製した。FDTD 理論計算によって、入射角  $45^\circ$  での紫外線強度分布を計算したところ、PS 粒子の斜め下方で最大になることがわかった。この結果は、実際に Ag 粒子を作製した結果と良く一致した (右図 右下)。



次に、斜め 2 方向から紫外線を照射したところ、右図に示すように狙い通りのブーメラン状の Ag 粒子集合体を得られた。ここで (a) は真上から観察した TEM 像、(b) は  $45^\circ$  傾斜させて観察した TEM 像であり、縦に長い集合体であることが確認できた。

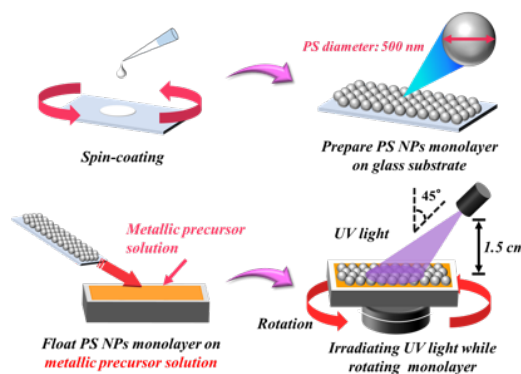


興味深いことに、ブーメラン状の Ag 粒子集合体に偏光を当てて色を観察したところ (右図参照)、光の電場方向が集合体の長軸方向と平行 (co-polarization) では青色、垂直 (cross-polarization) では赤色を呈した。その詳細を紫外可視吸収スペクトル (C) から調べたところ、平行では  $600 \text{ nm}$  のピークが強く、垂直では  $500 \text{ nm}$  のピークが強い偏光特性を有していることがわかった。したがって、Ag 粒子集合体の形態によって光学特性が制御できることが明らかとなった。



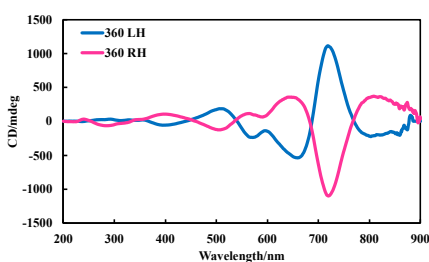
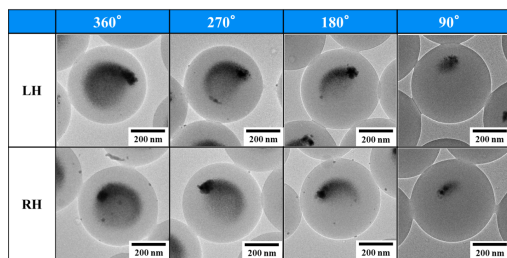
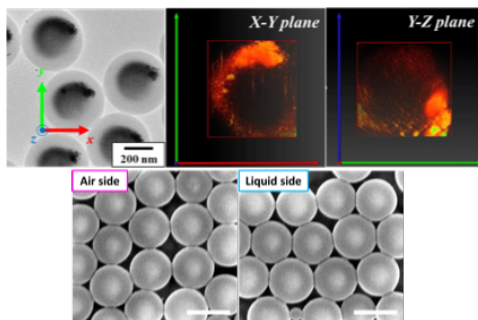
#### ② らせん状 Ag 粒子集合体

らせん状の Ag 粒子集合体の作製は、下図の手順で PS 粒子膜を回転することによって行った。得られた Ag ナノ粒子を内包した PS 粒子の TEM 像、3D トモグラフィおよび SEM 像を次図に示した。TEM 像 (右上) から銀粒子が C 字型に修飾していることがわかる。さらに 3D トモグラフィ解析から X-Y 断面では C 字型の構造が、一方、Y-Z 断面では高さが異なる構造が見られた。このことは、PS 粒子内にらせん状のキラル銀ナノ構造体が形成していることを示唆している。なお SEM 像 (下図) から、空気側および水溶液側のどちらにも空孔などが見られないことから、C 字型の銀ナノ構造体は PS 粒子内に完全に内包されていることが確認された。



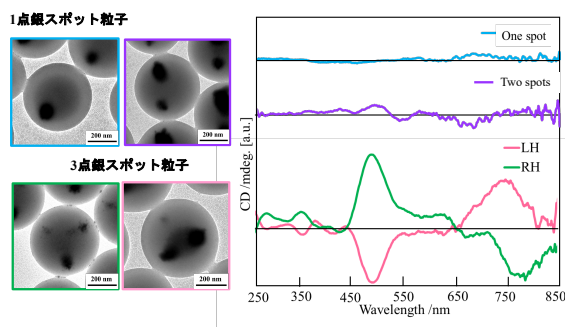
PS 粒子膜の回転方向の影響について検討したところ、時計回り (LH) および反時計回り (RH)

では C 字型のコントラストが反転したことから、PS 粒子膜の回転方向によってらせんの巻き方を容易に制御できることが明らかとなった。さらに、CD スペクトルを測定した結果（下図左）、Ag 粒子集合体によるピークが観測され、RH と LH とでは反転したスペクトルが得られた。すなわち、キラル光学特性を備えた PS 粒子の作製に成功し、そのキラリティーも制御できることを明らかとした。また PS 粒子膜の全回転角によってらせん構造が制御できること（下図左）、さらにそれにともなって CD スペクトルが大きく変化することも明らかとした。キラル光学特性変化の起源については今後の課題であるが、本研究で作製したらせん構造を内包した PS 粒子は新規なキラル光学材料として応用できることが期待される。



### 4.3 多点 Ag スポットの担持

キラル光学特性を有する PS 粒子の作製法として、らせん構造以外に非対称な金属スポットを担持させる方法がある。そこで PS 粒子膜の回転と組み合わせて、複数の Ag スポットの担持条件について検討した。Ag スポットを 1, 2 および 3 つ持つ PS 粒子を作製したところ、下図左に示すような Ag 担持 PS 粒子が得られた。ここで、紫外線照射時間は同じであったが、3 つのスポットサイズは異なった。これは、Ag スポット形成後に次のスポットを形成するため紫外線を照射すると、先に形成したスポットが成長する自己触媒的な作用のためである。また、最後のスポット作製時には、先に生成した Ag 粒子による紫外線の遮蔽効果が働き、Ag 粒子の形成が抑制されることも一因と考えられる。したがって、同一の照射条件で 3 点の Ag 粒子を担持させても、非対称なスポットが自発的に形成できることがわかった。Ag スポットを 1~3 点担持した PS 粒子の CD スペクトルを測定したところ（下図右）、予想通りに対称構造の 1 および 2 点担持では CD ピークは現れないが、3 点担持では CD が現れた。また担持の順序を時計回りと反時計回りでは CD スペクトルが反転することも確認できた。すなわち、Ag スポットの多点担持法によってもキラル光学特性の発現が達成できた。



### 4.4 まとめ

貴金属イオンを含む水溶液上に浮かべたポリスチレン (PS) 粒子に紫外線を照射すると、紫外線の集光部に金属粒子が析出することを見出した。PS 粒子に担持できる金属は Au, Pt, Pd および Ag であり、特に Ag では PS 粒子内部まで担持できることがわかった。また、PS 粒子の代わりに PMMA 粒子やシリカ粒子を用いた場合には、金属は粒子表面にランダムに析出し、紫外線の焦点位置とは無関係であった。すなわち、位置選択的に金属を析出させるには PS 粒子が最適であった。

紫外線の入射角によって金属の析出位置を制御できることを明らかとした。入射角と PS 粒子膜の回転と組み合わせることによって、棒状、ブーメラン状あるいはらせん状の銀ナノ粒子集合体を PS 粒子内部に包摂させることに成功し、ブーメラン状およびらせん状集合体の特異な光学特性についても明らかとした。さらに 3 つの Ag スポットを担持した PS 粒子の作製にも成功し、そのキラル光学特性について解明した。

したがって、紫外線照射により望みのサイズ・形態の金属を高分子粒子の望みの位置に One-Step で迅速・簡便に析出させる技術を確認した。さらに、金属をキラル状に内包したコアシェル粒子のキラル光学特性の発現にも成功し、紫外線照射による金属の新規ナノ造形技術を開拓することができた。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Masashi Kuroiwa, Tatsuya Nishimura, Mizuki Matsukawa, Yoshiro Imura, Ke-Hsuan Wang, Takeshi Kawai	4. 巻 11
2. 論文標題 Conductive Nanosheets Produced by UV Irradiation of Ag Nanoparticle Monolayer at the Air-Water Interface	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 RSC Advances	6. 最初と最後の頁 9693-9697
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1039/d1ra00454a	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 -
1. 著者名 Tatsuya Nishimura, Naoyuki Ito, Kazuhiko Kinoshita, Mizuki Matsukawa, Yoshiro Imura, and Takeshi Kawai	4. 巻 16
2. 論文標題 Fabrication of Flexible and Transparent Conductive Nanosheets by the UV-Irradiation of Gold Nanoparticle Monolayers	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 small	6. 最初と最後の頁 1903365-1903365
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/smll.201903365	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 Mizuki Matsukawa, Ke-Hsuan Wang, Yoshiro Imura, Takeshi Kawai	4. 巻 4
2. 論文標題 Au Nanoparticle Monolayer Nanosheets as Flexible Transparent Conductive Electrodes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Applied Nano Materials	6. 最初と最後の頁 10845-10851
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acsanm.1c02280	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 -
1. 著者名 Yuto Arai, Nayuta Yashiro, Ke-Hsuan Wang, Yoshiro Imura, Takeshi Kawai	4. 巻 38
2. 論文標題 Thermally Tunable Structural Coloration of Water/Surfactant/Oil Emulsions	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Langmuir	6. 最初と最後の頁 227-230
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acsanm.1c02280	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 1件 / うち国際学会 11件）

1. 発表者名 金子 梨乃、ワン カーシェン、伊村 芳郎、河合 武司
2. 発表標題 コロイダルソグラフィによるポリスチレン薄膜へのキラルナノパターンニングとその光学特性
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 曽根 義宏、伊村 芳郎、ワン カーシェン、河合 武司
2. 発表標題 コロイダルソグラフィによるポリスチレン薄膜への銀ナノ粒子パターンニング
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 赤坂 大樹、伊村 芳郎、ワン カーシェン、河合 武司
2. 発表標題 2成分ポリマー粒子へのUV照射による有機-無機複合粒子の作製
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 永塚 涼也、河合 武司、伊村 芳郎、ワン カーシェン
2. 発表標題 ポリスチレン粒子膜を鋳型とした鉄・ニッケル電極触媒の形態制御と高表面積化
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 松川 瑞季、ワン カーシェン、伊村 芳郎、河合 武司
2. 発表標題 水面上の不溶性単粒子膜に吸着した金ナノ粒子への紫外線照射の影響
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 赤坂 大樹・伊村 芳郎・ワン カーシェン・河合 武司
2. 発表標題 2成分ポリマー粒子へのUV照射による有機-無機複合粒子の作製
3. 学会等名 第10回 CSJ化学フェスタ
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松川 瑞季・ワン カーシェン・伊村 芳郎・河合 武司
2. 発表標題 水面上の不溶性単粒子膜に吸着した金ナノ粒子への紫外線照射の影響
3. 学会等名 第10回 CSJ化学フェスタ
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 永塚 涼也・伊村 芳郎・ワン カーシェン・河合 武司
2. 発表標題 ポリスチレン粒子膜を鋳型とした 鉄・ニッケル電極触媒の形態制御と高表面積化
3. 学会等名 第10回 CSJ化学フェスタ
4. 発表年 2020年



1. 発表者名 赤坂 大樹・金子 梨乃・伊村 芳郎・ワン カーシェン・河合 武司
2. 発表標題 2成分ポリマー粒子へのUV照射による有機-無機複合粒子の作製
3. 学会等名 日本油化学会 第59回年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松川瑞季・伊村 芳郎・ワン カーシェン・河合 武司
2. 発表標題 水面上の不溶性単粒子膜に吸着した金ナノ粒子への紫外線照射の影響
3. 学会等名 2020年度 色材研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 熊田 拓朗、ワン カーシェン、伊村 芳郎、河合 武司
2. 発表標題 紫外線照射によるポリスチレン粒子内部へのキラル銀ナノ構造体の作製とその光学特性
3. 学会等名 日本化学会 第101春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川村 拓巳、ワン カーシェン、伊村 芳郎、河合 武司
2. 発表標題 紫外線照射を用いたポリスチレン粒子への銀ナノリングの作製
3. 学会等名 日本化学会 第101春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 土方 優奈、ワン カーシェン、伊村 芳郎、河合 武司
2. 発表標題 多点銀スポットで修飾したポリスチレン粒子の作製とその光学特性
3. 学会等名 日本化学会 第101春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 保坂 茉莉花、ワン カーシェン、伊村 芳郎、河合 武司
2. 発表標題 紫外線照射と溶剤浸漬によるポリスチレン粒子の形状制御および光学特性
3. 学会等名 日本化学会 第101春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takeshi Kawai
2. 発表標題 Snowman-like anisotropic polystyrene particles prepared by combining UV light and solvent treatments
3. 学会等名 8th Asian Conference on Colloid & Interface Science (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takeshi Kawai
2. 発表標題 Snowman-like anisotropic polystyrene particles prepared by combining UV light and solvent treatments
3. 学会等名 ECOF2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshihiro Sone, Yoshiro Imura, KeHsuan Wang, Takeshi Kawai
2. 発表標題 Patterning of Ag Nanoparticles into Polystyrene Thin Films by Colloidal Lithography
3. 学会等名 OKINAWA COLLOIDS 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kota Murai, Yoshiro Imura, KeHsuan Wang, Takeshi Kawai
2. 発表標題 Fabrication of chiral nanostructure inside polystyrene particles by an UV irradiation method and their optical properties
3. 学会等名 OKINAWA COLLOIDS 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Rino Kaneko, Yoshiro Imura, KeHsuan Wang, Takeshi Kawai
2. 発表標題 Patterning of Polystyrene Thin Films by Colloidal Lithography and Their Chiral Optical Properties
3. 学会等名 OKINAWA COLLOIDS 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kazuhiko Kinoshita, Yoshiro Imura, KeHsuan Wang, Takeshi Kawai
2. 発表標題 Fabrication of Ag nanoparticle arrays embedded in polystyrene particles and their anisotropic optical properties
3. 学会等名 OKINAWA COLLOIDS 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 熊田拓朗、ワン カーシェン、伊村 芳郎、河合 武司
2. 発表標題 紫外線照射によるポリスチレン粒子内部へのキラル銀ナノ構造体の作製とその光学特性
3. 学会等名 第72回コロイドおよび界面化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 保坂茉莉花、ワン カーシェン、伊村 芳郎、河合 武司
2. 発表標題 紫外線照射と溶剤浸漬によるポリスチレン粒子の形状制御および光学特性評価
3. 学会等名 第72回コロイドおよび界面化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 土方優奈、ワン カーシェン、伊村 芳郎、河合 武司
2. 発表標題 円偏光特性を持つ多点銀スポット担持ポリスチレン粒子の作製
3. 学会等名 第72回コロイドおよび界面化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松川瑞季、ワン カーシェン、伊村 芳郎、河合 武司
2. 発表標題 Langmuir膜に吸着した金ナノ粒子への紫外線照射によるナノシート化
3. 学会等名 2021年度色材研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 土方優奈、ワン カーシェン、伊村 芳郎、河合 武司
2. 発表標題 多点銀スポットで修飾したポリスチレン粒子の作製とその光学特性
3. 学会等名 日本油化学会第60回年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 保坂茉莉花、ワン カーシェン、伊村 芳郎、河合 武司
2. 発表標題 紫外線照射と溶剤浸漬によるポリスチレン粒子の形状制御および光学特性
3. 学会等名 日本油化学会第60回年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 熊田拓朗、ワン カーシェン、伊村 芳郎、河合 武司
2. 発表標題 紫外線照射によるポリスチレン粒子内部へのキラル銀ナノ構造体の作製とその光学特性
3. 学会等名 日本油化学会第60回年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 土方優奈、ワン カーシェン、伊村 芳郎、河合 武司
2. 発表標題 紫外線照射によるポリスチレン粒子上の多点銀スポットの作製：円偏光特性の影響と帰属の検討
3. 学会等名 第11回CSJ化学フェスタ2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 保坂茉莉花、ワン カーシェン、伊村 芳郎、河合 武司
2. 発表標題 紫外線照射と溶剤浸漬によるポリスチレン粒子の形状および光学特性制御
3. 学会等名 第11回CSJ化学フェスタ2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiroki Akasaka, Ke-Hsuan Wang, Yoshiro Imura, Takeshi Kawai
2. 発表標題 Fabrication of Ag nanostructures by UV irradiation to PS-PI two-component polymer particles
3. 学会等名 Pacifichem 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Fuyuki Nakagawa, Ke-Hsuan Wang, Yoshiro Imura, Takeshi Kawai
2. 発表標題 Fabrication of Ag nanosheet from AgNPs deposited on cationic insoluble monolayer at the air-water interface
3. 学会等名 Pacifichem 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takumi Kawamura, Ke-Hsuan Wang, Yoshiro Imura, Takeshi Kawai
2. 発表標題 Fabrication of metal nanostructures on the outside of polystyrene particles using ultraviolet irradiation
3. 学会等名 Pacifichem 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuna Hijikata, Ke-Hsuan Wang, Yoshiro Imura, Takeshi Kawai
2. 発表標題 Decoration of silver spots on polystyrene particles and their optical properties
3. 学会等名 Pacifichem 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Marika Hosaka, Ke-Hsuan Wang, Yoshiro Imura, Takeshi Kawai
2. 発表標題 Shape control and optical characteristics of polystyrene particles by UV irradiation and solvent immersion
3. 学会等名 Pacifichem 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021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
---------------------------	-----------------------	----

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