

令和 5 年 5 月 23 日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02793

研究課題名（和文）外部刺激による共役系制御に基づく高解像度な構造色印刷技術の開発

研究課題名（英文）Development of high-resolution structural color printing based on control of conjugate system by external stimulus

研究代表者

桑折 道済（Kohri, Michinari）

千葉大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号：80512376

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,800,000円

研究成果の概要（和文）：微細な周期構造に由来する構造色は、退色がなく独特の光沢を有することから、次世代型の色材として期待されている。我々はこれまで、自然界での構造発色メカニズムから創発し、ポリドーパミンを用いる人工メラニン粒子による構造色材料の開発を行ってきた。本研究では、メラニン前駆体粒子を新たに設計/作製し、光やアルカリ処理などの外部刺激によって共役系伸長を行うこと人工メラニン粒子をその場合成し、刺激の有無や強度によって構造色の可視性を制御する新たな技術の開発に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、メラニン前駆体高分子の共役系制御に基づくメラニン化を行い、色が無い状態から視認性の高い構造色を発現することに初めて成功した、学術的に特徴ある成果である。構造色を可視化する外部刺激としては、ウェット状態では光照射（UV光）による刺激が、ドライ状態ではアルカリ処理による刺激が有効であることを見出した。従来のインクでは困難な、劣化や退色がなく独特の光沢感を有する構造色による高解像度な印刷技術への道筋を示すものであり、社会的にも意義ある成果である。

研究成果の概要（英文）：Structural colors derived from fine periodic structures are expected to be next-generation color materials because they do not fade and have a unique luster. Based on the structural coloration mechanism in nature, we have been developing structural coloration materials using polydopamine-based artificial melanin particles. In this study, we have newly designed and fabricated melanin precursor particles and developed a technique to control the appearance of structural color by external stimuli such as light or alkali treatment that induce elongation of the conjugated length of the artificial melanin particles.

研究分野：高分子材料

キーワード：構造色 メラニン ポリドーパミン メラニン前駆体 共役系

1. 研究開始当初の背景

微細な周期構造（数百 nm 程度）に光があたり発現する構造色は、毒性を示す色素や顔料が不要で色褪せがなく、独特の光沢を有することから次世代型の色材として期待されている。リソグラフィ技術で作製した微細構造や、コレステリック液晶やブロックコポリマーの相分離を利用した構造色材料が盛んに研究されている。また、コロイド粒子の自己集合体が形成する微細構造を利用する構造発色についても多くの知見が蓄積されている。我々は、自然界での構造発色メカニズムに倣い、高屈折率な黒色高分子であるポリドーパミンを素材とする人工メラニン粒子を用いることで、メラニン系構造色材料の研究開発を行なっている。天然のメラニン、ならびにその模倣高分子であるポリドーパミンは、重合の過程で共役系が伸長し、黒色高分子となる。光吸収能のある黒色高分子で周期構造を構築すると、構造色が発現するとともに余分な散乱光が吸収され、結果として鮮やかに発色する。

粒子を集積して作製するコロイド結晶を基盤とする構造色材料の研究は、色が固定された静的な構造色材料に加えて、環境や刺激に応じて動的に構造色が変化する材料の開発も進んでいる。コロイド結晶をゲルやエラストマーと複合した材料への応力による色変化や、電場による荷電粒子間の距離制御による色調変化などが報告されている。しかし、これらの研究は、青色から赤色への変化など、すでに発現した構造色の色調を変化させるものが大半である。一方、色がない状態から、外部刺激によって位置選択的に構造色を発現させる技術はあまりないが、構造色を基盤とした印刷技術に向けて重要な研究課題である。

2. 研究の目的

本研究では、光吸収特性のないメラニン前駆体粒子で周期的な微細構造を構築し（＝ヒトにとって色が見えない状態）、外部刺激により共役系を伸長することでメラニン化（黒色化）を促し、構造色が発現（＝ヒトにとって色が見える状態）する技術の開発を目的とした。自然界においては、光刺激によりメラニンが形成される現象として日焼けが知られている。このような外部刺激に基づくメラニン化を人為的に制御する技術の確立により、基礎研究に軸足を置きつつ、構造色印刷に関する応用研究への道筋を示すことを目指した。

3. 研究の方法

メラニンの生合成経路においては、アミノ酸の1種であるチロシンを出発物質として、多段階の酵素反応や酸化反応を経て、共役系が伸長することで最終的に黒色のメラニンが生成する。この知見に基づき、本研究では、チロシンベースのモノマー分子を設計し、それらを重合して着色のないメラニン前駆体高分子でコア粒子表面を被覆し、光吸収能のないコア-シェル粒子を作製した。その後、外部刺激として光およびアルカリ処理を用いてメラニン化を行い、色がない状態から構造色を可視化する技術の開発を行った。

4. 研究成果

(1) 照射によるメラニン化促進と構造発色の発現制御

メラニンは、生体内でチロシンを出発物質として多段階酵素反応によって生じる物質であり、重合過程で π 共役系が伸長することで、暗褐色から黒色を呈する。メラニンでよく知られる現象として、肌の日焼けがあり、紫外線によって生体内でメラニン合成が促進されることで引き起こされる。そこで、日焼けに着想を得て、光吸収能のないメラニン前駆体粒子への UV 照射による π 共役系の伸長（メラニン化）による、構造色の視認性の制御を目指した（Figure 1）。

メラニン前駆体粒子としてポリチロシン (Pty) を酸化セリウム (CeO_2) コア粒子に被覆した $\text{CeO}_2@$ Pty コア

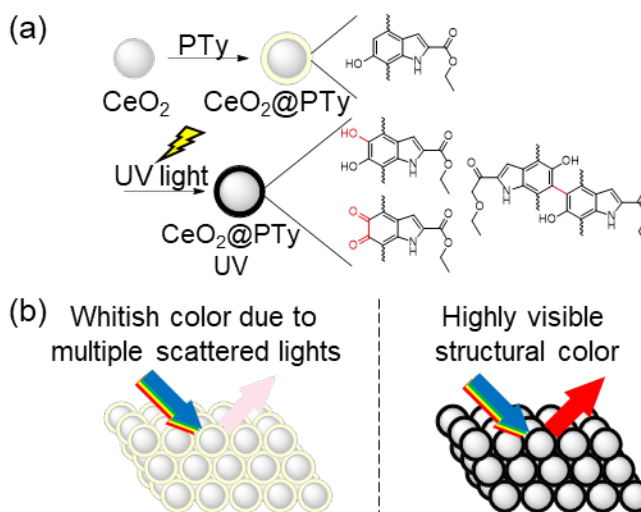


Figure 1 (a) Preparation of $\text{CeO}_2@$ PTy and $\text{CeO}_2@$ PTy UV core-shell particles. (b) Schematic diagram of structural color materials obtained by $\text{CeO}_2@$ PTy and $\text{CeO}_2@$ PTy UV particles.

-シェル粒子を作製した。Ty 被覆前後の粒子の TEM 画像の比較から、約 9 nm の PTy シェル膜を有する CeO₂@PTy コア-シェル粒子が得られたことを確認した。CeO₂ コア粒子および CeO₂@PTy コア-シェル粒子で作製したペレット材料は、散乱光の影響で視認性の低い白色のサンプルとなった。一方、CeO₂@PTy UV コア-シェル粒子からなるペレット材料は赤色となり視認性が向上した (Figure 2a)。これは、UV 照射による PTy の π 共役長の伸長により、散乱光が抑制されたためである。

各ペレット材料の反射スペクトルを測定した (Figure 3)。CeO₂ コア粒子や CeO₂@PTy コア-シェル粒子と比較して、CeO₂@PTy UV コア-シェル粒子で作製したペレットの反射スペクトルは可視領域全域において散乱光が抑制され、反射ピークが減少していることが確認された。さらに、UV 照射時間の増加に伴い 650 nm 付近に明確な反射ピークが出現した。この原因を調べるため、ペレット材料表面での粒子配列を SEM 測定とボロノイ分割により調査した。その結果、UV 照射時間の増加により粒子配列の規則性が向上したことがわかった (Figures 2b and 2c)。これは粒子表面の粗さに起因する。PTy は凝集性が高いため、多数の PTy 凝集体が吸着することで CeO₂@PTy 粒子表面は粗くなった。詳細な解析により、粒子表面の PTy 凝集体は UV 照射時の攪拌操作により取れることが確認され、CeO₂@PTy UV コア-シェル粒子の表面が平滑になることで粒子配列の規則性が向上し、明確な反射ピークが出現することがわかった。

以上より、メラニン前駆体粒子である CeO₂@PTy コア-シェル粒子への UV 照射により、メラニン化による散乱光の抑制が起こると同時に粒子配列の規則性が向上し、構造色の視認性が向上することがわかった。

(2) アルカリ処理による固体状態でのメラニン化による構造色の視認性制御

上述の (1) の手法においては、メラニン化の際に粒子を溶媒に分散した状態で光による外部刺激を与える必要があった。そこで次に、溶媒のない固体状態でのメラニン化の達成を目指して、アルカリ処理による外部刺激を検討した。光吸収能のないメラニン前駆体粒子へのアルカリ処理により、その場で光吸収能を有す

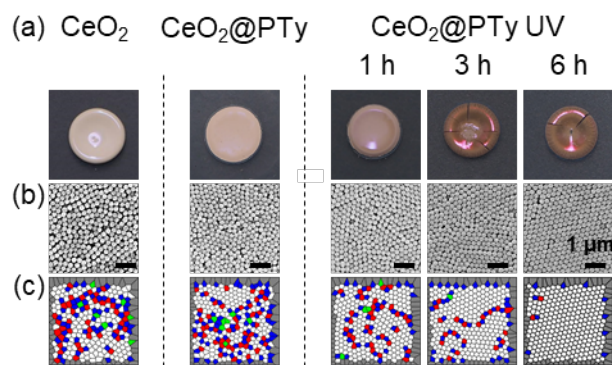


Figure 2 (a) Photographs, (b) SEM images, and (c) Voronoi diagrams of pellet samples prepared from CeO₂, CeO₂@PTy, and CeO₂@PTy UV particles.

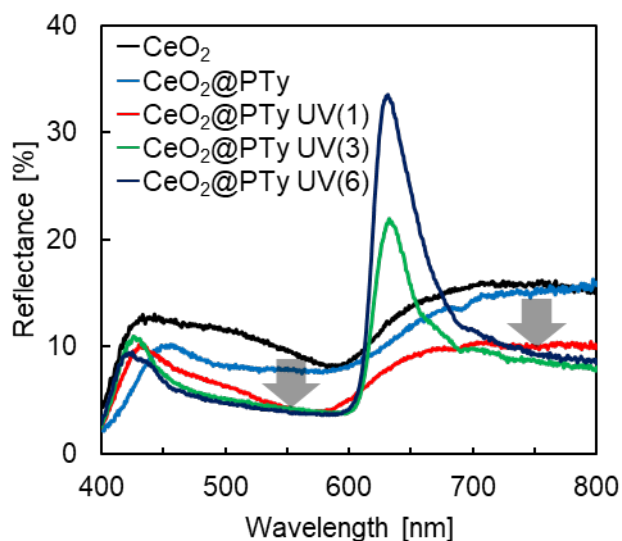


Figure 3 Reflection spectra of pellet samples prepared from CeO₂, CeO₂@PTy, and CeO₂@PTy UV particles.

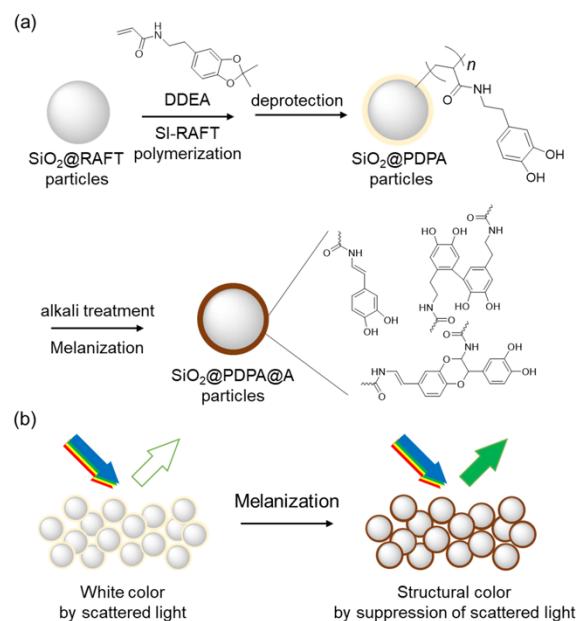


Figure 4 (a) Preparation of SiO₂@PDPA and SiO₂@PDPA@A particles. (b) Schematic diagram of structural color materials obtained by SiO₂@PDPA and SiO₂@PDPA@A particles.

る人工メラニン粒子を得ることで、構造色の視認性の制御を目指した。メラニン前駆体粒子として、表面開始 RAFT 重合によりシリカ (SiO_2) 粒子の表面にカテコール系ポリマーブラシ (PDPA) を構築したコア-シェル ($\text{SiO}_2@PDPA$) 粒子を設計した (Figure 4)。

はじめに、構造色の視認性向上に重要な散乱光抑制の役割を担う PDPA の吸収特性に対する酸化反応の影響について調査した。PDPA をアルカリ性条件下 (pH 10.0) で静置したところ、静置時間の増加とともに溶液の色が徐々に無色から褐色に変化した (Figure 5 insets)。溶液の色調変化を UV-vis 測定により評価したところ、アルカリ処理時間の増加に伴い、キノン (約 400 nm)、キノメタン (約 480–500 nm) ならびに α , β -デヒドロドーパミン (約 320 nm) が生成し、さらにそれらの二量化 (約 420–510 nm) およびオリゴマー化が進行したことで共役系が伸長し、可視光域での吸光度が徐々に増加した (Figure 5)。

続いて、表面開始 RAFT 重合により約 10 nm のシェル層を有する $\text{SiO}_2@PDPA$ 粒子を作製した。 $\text{SiO}_2@PDPA$ 粒子から得られたペレット材料は、多重散乱により乳白色に見えた。一方、 $\text{SiO}_2@PDPA@A$ 粒子のペレット材料は視認性が向上し、緑色の構造色がはっきりと観察された (Figure 6a)。アルカリ処理前後のペレットはいずれもアモルファス構造に典型的な角度依存性のない単色構造色を示し、SEM 観察からもアモルファス構造の形成が確認された (Figure 6b)。 $\text{SiO}_2@PDPA$ 粒子と $\text{SiO}_2@PDPA@A$ 粒子からなるペレット材料の反射スペクトル測定から、最大反射波長はいずれも約 520 nm であった。 $\text{SiO}_2@PDPA$ ペレットと $\text{SiO}_2@PDPA@A$ ペレットを比較すると、 $\text{SiO}_2@PDPA@A$ ペレットの反射率は可視光全域で低下していることが確認された。これは、アルカリ処理によるメラニン化によって架橋構造の形成などで PDPA シェル部位の共役系が伸長し、光散乱が抑制されたためと思われる。

最後に、 $\text{SiO}_2@PDPA$ ペレットへのアンモニア蒸気の暴露が、構造色の視認性へ与える影響を調査した。乳白色の $\text{SiO}_2@PDPA$ ペレットを、72 時間ほどアンモニアガス雰囲気下で静置したところ、ペレット材料の視認性が劇的に向上し、緑色の単色構造色が観察された (Figure 7)。ペレット断面の写真から、ペレット内部の構造色の視認性も向上しており、アンモニアガスによるメラニン化が材料内部まで効率よく進行し、固体状態での構造色の視認性制御に成功した。

以上より、メラニン前駆体粒子で周期的な微細構造を構築し (=ヒトにとって色が見えない状態)、光やアルカリ処理による外部刺激により共役系の伸長を制御することで、メラニン化 (黒色化) が進行し、構造色の発現 (=ヒトにとって色が見える状態) を制御できることが示された。

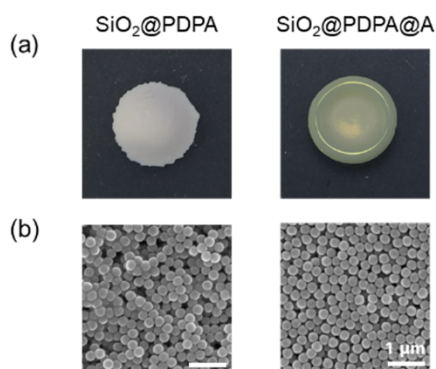


Figure 5 (a) Photographs and (b) SEM images of pellet samples prepared by $\text{SiO}_2@PDPA$ and $\text{SiO}_2@PDPA@A$ particles.

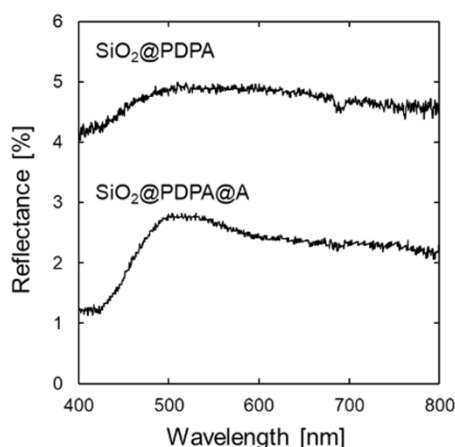


Figure 6 Reflection spectra of pellet samples prepared by $\text{SiO}_2@PDPA$ and $\text{SiO}_2@PDPA@A$ particles.

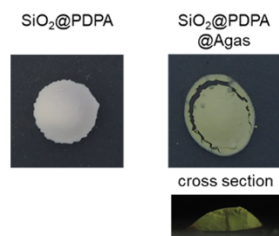


Figure 7 Photographs of pellet samples prepared by $\text{SiO}_2@PDPA$ and $\text{SiO}_2@PDPA@Agas$ particles.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計32件（うち査読付論文 25件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Takahashi Shimon, Kishikawa Keiki, Kohri Michinari	4. 巻 54
2. 論文標題 External stimulus control of structural color visibility using colloidal particles covered with a catecholic polymer shell layer	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Polymer Journal	6. 最初と最後の頁 1039 ~ 1043
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41428-022-00647-7	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 Yoshioka Daiki, Kishikawa Keiki, Kohri Michinari	4. 巻 12
2. 論文標題 A Flexible and Robust Structural Color Film Obtained by Assembly of Surface-Modified Melanin Particles	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nanomaterials	6. 最初と最後の頁 3338 ~ 3338
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/nano12193338	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 Okoshi Taku, Iwasaki Takeshi, Takahashi Shimon, Iwasaki Yasuhiko, Kishikawa Keiki, Kohri Michinari	4. 巻 22
2. 論文標題 Control of Structural Coloration by Natural Sunlight Irradiation on a Melanin Precursor Polymer Inspired by Skin Tanning	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Biomacromolecules	6. 最初と最後の頁 1730 ~ 1738
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.biomac.1c00161	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 Kojima Yuki, Kishikawa Keiki, Ichikawa Shuji, Matsui Jun, Hirai Keita, Kondo Yukishige, Kohri Michinari	4. 巻 3
2. 論文標題 Stimuli-Responsive Biomimetic Metallic Luster Films Using Dye Absorption and Specular Reflection from Layered Microcrystals	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Applied Polymer Materials	6. 最初と最後の頁 1819 ~ 1827
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsapm.0c01396	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 Kohri Michinari, Kobayashi Akari, Okoshi Taku, Shirasawa Hiroki, Hirai Keita, Ujiie Kazuya, Kojima Takashi, Kishikawa Keiki	4. 巻 50
2. 論文標題 Bright Solvent Sensor Using an Inverse Opal Structure Containing Melanin-mimicking Polydopamine	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 106 ~ 109
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.200626	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 Kawaguchi Haruki, Umesato Kei, Takahashi Kanta, Yamane Keisaku, Morita Ryuji, Yuyama Ken-ichi, Kawano Satoyuki, Miyamoto Katsuhiko, Kohri Michinari, Omatsu Takashige	4. 巻 11
2. 論文標題 Generation of hexagonal close-packed ring-shaped structures using an optical vortex	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nanophotonics	6. 最初と最後の頁 855 ~ 864
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1515/nanoph-2021-0437	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 Moriya Miyu, Kohri Michinari, Kishikawa Keiki	4. 巻 6
2. 論文標題 Chiral Self-Sorting and the Realization of Ferroelectricity in the Columnar Liquid Crystal Phase of an Optically Inactive <i>N,N'</i> -Diphenylurea Derivative Possessing Six (\pm)-Citronellyl Groups	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Omega	6. 最初と最後の頁 18451 ~ 18457
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsomega.1c02534	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 Kojima Reina, Kohri Michinari, Taniguchi Tatsuo, Kishikawa Keiki, Karatsu Takashi	4. 巻 50
2. 論文標題 Preparation of Electro-optically Responsive Liquid Crystal Nanocapsules by Miniemulsion Polymerization of Oil-in-Water Emulsion Monomer Droplets	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 1566 ~ 1569
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.210232	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 Kaneda Ariyoshi、Kohri Michinari、Taniguchi Tatsuo、Kishikawa Keiki	4. 巻 50
2. 論文標題 Highly Ordered Organic Piezoresponsive Materials Obtained by Cross-linking Electroresponsive Columnar Liquid Crystal Compounds	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 35 ~ 38
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.200652	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 Masuda Masaya、Kohri Michinari、Kishikawa Keiki	4. 巻 48
2. 論文標題 Construction of a liquid crystalline double helix supramolecular structure and its electro-responsive behaviour	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Liquid Crystals	6. 最初と最後の頁 295 ~ 306
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/02678292.2020.1819452	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 桑折道済	4. 巻 4
2. 論文標題 玉虫と孔雀の美しさ/人工メラニンによる構造発色材料	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Biomimetica	6. 最初と最後の頁 12 ~ 13
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 浦瀬舞、吉岡大輝、桑折道済	4. 巻 60
2. 論文標題 メラニン系構造色を基盤とする次世代インク開発	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本画像学会誌	6. 最初と最後の頁 478 ~ 485
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 吉岡大輝, 浦瀬舞, 桑折道済	4. 巻 13
2. 論文標題 コロイド粒子によるメラニン系構造色材料	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 粉体技術	6. 最初と最後の頁 50 ~ 53
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 桑折道済	4. 巻 46
2. 論文標題 ランタノイド元素複合高分子を用いる無着色磁性コロイド粒子の開発	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 C & I Commun	6. 最初と最後の頁 15 ~ 18
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 Kohaku Kotona, Inoue Mizuki, Kanoh Hirofumi, Taniguchi Tatsuo, Kishikawa Keiki, Kohri Michinari	4. 巻 2
2. 論文標題 Full-Color Magnetic Nanoparticles Based on Holmium-Doped Polymers	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Applied Polymer Materials	6. 最初と最後の頁 1800-1806
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsapm.0c00038	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 Yamamoto Mikiya, Ando Koki, Inoue Mizuki, Kanoh Hirofumi, Yamagami Mai, Wakiya Takeshi, Iida Eiji, Taniguchi Tatsuo, Kishikawa Keiki, Kohri Michinari	4. 巻 2
2. 論文標題 Poly- β -Ketoester Particles as a Versatile Scaffold for Lanthanide-Doped Colorless Magnetic Materials	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Applied Polymer Materials	6. 最初と最後の頁 2170-2178
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsapm.0c00149	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 Iwasaki Takeshi, Harada Shotaro, Okoshi Taku, Moriya Miyu, Kojima Takashi, Kishikawa Keiki, Kohri Michinari	4. 巻 36
2. 論文標題 Effect of the Polydopamine Composite Method on Structural Coloration: Comparison of Binary and Unary Assembly of Colloidal Particles	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Langmuir	6. 最初と最後の頁 11880-11887
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.langmuir.0c01904	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 Kohri Michinari	4. 巻 21
2. 論文標題 Progress in polydopamine-based melanin mimetic materials for structural color generation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Science and Technology of Advanced Materials	6. 最初と最後の頁 833-848
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/14686996.2020.1852057	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 Kohri Michinari	4. 巻 33
2. 論文標題 Biomimetic Structural Color Materials Based on Artificial Melanin Particles	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Photopolymer Science and Technology	6. 最初と最後の頁 111-116
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2494/photopolymer.33.111	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 Ohno Takaya, Nonoshita Sho, Akiyama Azumi, Kohri Michinari, Taniguchi Tatsuo, Kishikawa Keiki	4. 巻 272
2. 論文標題 A selectable approach for polarity-fixed and polarity-controllable polymer films with hexagonal columnar structures	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Materials Letters	6. 最初と最後の頁 127863-127863
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.matlet.2020.127863	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 Akiyama Azumi, Kohri Michinari, Kishikawa Keiki	4. 巻 49
2. 論文標題 A Low-temperature Axially Polar Ferroelectric Columnar Liquid Crystal Compound Possessing Branched Alkyl Chains	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 768-770
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.200266	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 Akiyama Azumi, Jido Keita, Kohri Michinari, Taniguchi Tatsuo, Kishikawa Keiki	4. 巻 6
2. 論文標題 Generation of Axially Polar Ferroelectricity in a Columnar Liquid Crystal Phase by Introducing Chirality	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advanced Electronic Materials	6. 最初と最後の頁 2000201-2000201
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/aelm.202000201	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 Kojima Reina, Hidaka Sho, Taira Mayuka, Kohri Michinari, Taniguchi Tatsuo, Kishikawa Keiki, Karatsu Takashi, Okabe Eiji, Kondo Fumitaka	4. 巻 563
2. 論文標題 Preparation of liquid crystal nanocapsules by polymerization of oil-in-water emulsion monomer droplets	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Colloid and Interface Science	6. 最初と最後の頁 122-130
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jcis.2019.12.050	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 桑折道済	4. 巻 210
2. 論文標題 クジャクの羽の発色を再現一次世代インク開発に生かす	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Fole	6. 最初と最後の頁 38-39
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 桑折道済	4. 巻 7
2. 論文標題 生体模倣高分子による構造色材料と無着色な磁性高分子材料	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Yano E plus	6. 最初と最後の頁 13-16
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 桑折道済, 山本幹也, 小白琴菜	4. 巻 8
2. 論文標題 無着色磁性粒子を磁気インクへ	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 印刷雑誌	6. 最初と最後の頁 35-40
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 -

〔学会発表〕 計22件 (うち招待講演 21件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 桑折道済
2. 発表標題 生物を規範とする発色性高分子材料の開発
3. 学会等名 高分子学会設立70周年記念講演会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 桑折道済
2. 発表標題 生物の階層構造から創発した環境配慮型の発色性色材の開発
3. 学会等名 色材セミナー：環境配慮への取組と環境配慮色材開発 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 桑折道済
2. 発表標題 メラニンのその場生成による構造色の可視化技術の開発
3. 学会等名 第71回高分子討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 桑折道済
2. 発表標題 生体を規範とする構造色材料の開発
3. 学会等名 富士フィルム講演会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 桑折道済
2. 発表標題 生物を模倣し生物を越える発色材料
3. 学会等名 高分子講演会(東海)（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 桑折道済
2. 発表標題 生体を模倣 / 超越する機能性ナノ粒子の作製：発色・磁性材料を中心に
3. 学会等名 岡山大学講演会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 桑折道済
2. 発表標題 生体を模倣 / 超越する機能性ナノ粒子の作製：発色・磁性材料を中心に
3. 学会等名 2022 年度繊維学会東北・北海道支部講演会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 桑折道済
2. 発表標題 生物に倣う発色性高分子材料の開発
3. 学会等名 21-1フォトリソポリマー研究会-発光・発色材料の最前線（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 桑折道済
2. 発表標題 高分子コロイド材料の階層的な構造制御による特異な発色 / 磁気特性の創出
3. 学会等名 徳島大学講演会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 桑折道済
2. 発表標題 生物を規範とする機能高分子材料の開発
3. 学会等名 工学院大学講演会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Michinari Kohri
2. 発表標題 Assembly of colloidal nanoparticles for colored materials
3. 学会等名 The 2020 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies(Pacificchem 2021) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 桑折道済
2. 発表標題 生物の階層構造から創発する材料開発：発色材料を中心に
3. 学会等名 第7回 CAIV Webinar (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 桑折道済
2. 発表標題 高分子微粒子材料の階層的な構造制御による特異な発色 / 磁気特性の創出
3. 学会等名 令和3年度高分子学会九州支部フォーラム (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 M. Kohri
2. 発表標題 Biomimetic structural color materials based on artificial melanin particles
3. 学会等名 The 37th International Conference of Photopolymer Science and Technology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 桑折道済
2. 発表標題 生体を規範とする機能高分子材料の開発
3. 学会等名 Molecular Chirality Research Center定例会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 桑折道済
2. 発表標題 特異な発光 / 磁性を示す高分子ハイブリッド材料
3. 学会等名 セラミックス協会第33回秋季シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 M. Kohri
2. 発表標題 Development of Biomimetic Structural Color Materials by Polydopamine-Based Artificial Melanin Particles
3. 学会等名 JAPAN-TAIWAN YOUNG SCIENTISTS POLYMER SYMPOSIUM (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 M. Kohri
2. 発表標題 Biomimetic Structural Color Materials by Polydopamine-Based Artificial Melanin Particles
3. 学会等名 3rd Glowing Polymer Symposium in KANTO (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 桑折道済
2. 発表標題 ホルミウム含有高分子を用いる無着色磁性粒子の作製と利用
3. 学会等名 応用物理学会 磁気科学研究会第9回講演会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 桑折道済
2. 発表標題 特異な発色・磁性を示す高分子微粒子材料の開発
3. 学会等名 産業技術総合研究所東北センター化学プロセス研究部門講演会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 桑折道済
2. 発表標題 特異な発色・磁性を示す高分子微粒子の開発
3. 学会等名 東海コンファレンス2020 in 愛知-次世代高分子微粒子材料の研究・開発-（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 桑折道済
2. 発表標題 ナノインクを志向した特異な発色・磁性を示す高分子微粒子の開発
3. 学会等名 ナノインク懇話会 第33回例会（招待講演）
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計4件

1. 著者名 M. Kohri	4. 発行年 2022年
2. 出版社 Jenny Stanford Publishing Pte. Ltd	5. 総ページ数 340
3. 書名 Biomimetics -Connecting Ecology and Engineering by Informatics	

1. 著者名 桑折道済	4. 発行年 2022年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 289
3. 書名 高分子微粒子の最新技術動向	

1. 著者名 桑折道済	4. 発行年 2021年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 350
3. 書名 バイオミメティクスー持続可能な社会へ導く技術革新のヒントー	

1. 著者名 桑折道済	4. 発行年 2020年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 251
3. 書名 コロイド結晶の形成とその応用	

〔産業財産権〕

〔その他〕

千葉大学ソフト材料化学研究室HP
<http://chem.tf.chiba-u.jp/gacb03/saito/toppu.html>

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