

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 5 月 18 日現在

機関番号：15401

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K19132

研究課題名(和文)ロバストな構造色コーティング膜の作製プロセスの開拓

研究課題名(英文)Development of a Process for Preparation of Robust Structurally Colored Coating Films

研究代表者

片桐 清文(Katagiri, Kiyofumi)

広島大学・先進理工系科学研究科(工)・教授

研究者番号：30432248

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 4,800,000円

研究成果の概要(和文):我々の研究グループでは、電気泳動堆積法を活用した微粒子集積型構造発色性コーティング膜の作製法を開発してきた。しかし、これまでのコーティング膜においては、粒子同士あるいは粒子と基板の間に十分な結合が存在しないため、膜の構造が非常に脆く、塗膜がはがれてしまう問題があった。この研究課題では金属塩をコーティング液に添加し、粒子の電着と同時にバインダーとなる金属水酸化物をシリカ粒子間に析出させる方法を開発した。これにより、極めて耐摩擦性に優れたロバストな構造色コーティング膜を得ることに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

構造色は微細構造における光の散乱や干渉で発色する現象であり、色素とは発色メカニズムが全く異なる色材として注目されている。特に微粒子集積体による構造色材料は、シリカ粒子など無害で安全な材料で作製可能である。しかしながら、微粒子集積体は構造安定性が乏しく、実用性の面で大きな問題があった。そこで本研究課題では高い構造安定性を有するロバストな構造色コーティング膜の作製手法を開発した。従来の構造色研究は発色原理の解明などが中心であったが、本研究課題では塗装という観点で研究の体系や方向を大きく変革した。したがって得られた成果は学術的にはもちろん産業界等にもインパクトを与えており、社会的意義があった。

研究成果の概要(英文):Our research group was previously developed a strategy for the fabrication of colloidal array type structural colored coating films by using the electrophoretic deposition (EPD) method. However, the coating films were very brittle and peeled off due to the lack of sufficient binding between particles or between particles and substrates. In this research project, a method was developed in which metal salts are added to the EPD coating solution to electrodeposit metal hydroxides between SiO<sub>2</sub> particles in the EPD films. As a result, robust structurally colored coating films with excellent abrasion resistance have successfully been obtained.

研究分野：無機材料科学

キーワード：構造色 電気泳動堆積法 コロイド粒子 コーティング膜 耐摩擦性

## 1. 研究開始当初の背景

人類は、様々な色材を用いて、絵を描く、あるいは塗装するなどしてモノに色彩を与えてきた。現存する人類最古の絵画は有史以前に作成されたとされる洞窟壁画であろう。最も古い洞窟壁画は、スペインのラパシエガ洞窟、マルトラビエソ洞窟、アルタレス洞窟の壁画で、約6万年以上も前の旧石器時代のものとされている。現代においても、色材は様々なところで利用されている。例えば、自動車は白や黒だけでなく、多彩な色で塗装されており、その自動車の運転者に情報を提供する交通標識では、一旦停止などの規制標識は赤色、警戒標識は黄色、指示標識は青色と分類に応じて色分けがなされている。また、街中では、様々なポスターが貼られており、これらにおいてはより注目を集めるカラー印刷のもののほうがモノクロ印刷より一般的である。しかし、長期間屋外に掲示されたポスターが色褪せた状態になっているのを目にしたことがある人も多いだろう。これらでは紫外線によって分解しやすいイエローやマゼンダの有機染料が使われることが多いため、太陽光に長期間晒されることで染料の色素分子の化学構造が壊れて退色してしまったためである。染料色素は水分や酸素、化学物質の影響を受けて酸化還元反応を起こして退色する場合もある。前述の交通標識などでは、有機染料に比べてより高い耐候性を有する無機顔料などが使用されているが、これらでは鉛やセレンなどの毒性の高い元素を含む化合物でできているものも多い。色材に含まれる有害化学物質が人体や環境へ及ぼす影響が問題視されるようになり、特に欧州を中心に規制が年々強化されており、染料や顔料に使用する化合物についても、様々な制約が生じはじめている。しかし、人類の持続可能な発展を目指す上で、鮮やかな色を示す色材はやはり欠かすことができないものであることに疑いはない。そのような背景から、環境低負荷で自然調和性などに優れた新たな色材の創出が求められている。ここで自然に存在する色材に目を向けると、鮮やかな色を示す動植物、貝殻やオパールなどで構造色が存在していることに気づく(図1)。自然界における構造色の存在を認識すれば、我々の生活にも構造色を材料として活用すべきことは論を俟たない。構造色材料は上述の重金属等の毒性元素を含まない材料のみで作製できる。例えば、粒径の揃った  $\text{SiO}_2$  粒子を最密充填で集積した材料はオパールを模した構造となり、鮮やかな構造色を呈する。また、構造色は色素と異なり、時間経過や紫外線等の影響による退色が起こらない点でも利点がある。一方で、微粒子集積型の構造色材料には、実用化に向けては乗り越える必要がある大きな壁がいくつか存在する。1つはその構造安定性である。微粒子集積体は粒子間の弱いファンデルワールス力のみで構造を形成しており、例えば塗膜とした場合、耐摩擦特性は極めて低く、簡単に剥がれおちてしまい、鮮やかな発色をしても色材塗装しての実用に耐えるものではなかった。

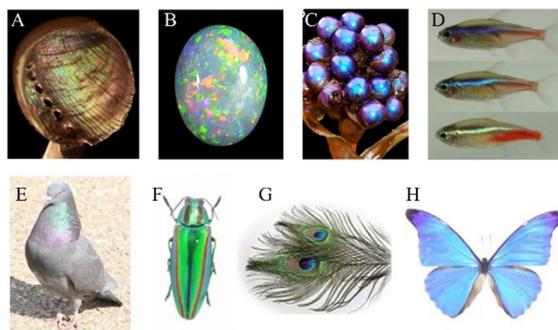


図1 自然界に見られる構造色の例：A: 貝殻, B: オパール, C: 植物の実, D: 熱帯魚, E: 鳩, F: 玉虫, G: 孔雀の羽根, H: モルフォチョウ

## 2. 研究の目的

当研究グループではこれまで  $\text{SiO}_2$  粒子を用いた電気泳動堆積(電着)法によって微粒子集積型構造色コーティング膜を形成させる手法を検討してきた。これまでは通常  $\text{SiO}_2$  粒子が負に帯電しているため主にアノード型の泳動電着で行ってきたが、アノード型電着では被塗物が金属の場合に腐食がおこる懸念があった。また、これまでに得られているコーティング膜は基板と粒子、粒子間の接着力が弱く、容易に剥離してしまう欠点もあった。すなわち「塗装」としての観点からはいまだ多くの課題がある。そこで本研究課題では、「色材としての塗装」という観点にたち、耐摩擦性のある堅牢な構造とするとともに、環境の変化でも発色特性が変化しない、いわゆる「ロバスト」な微粒子集積型構造色コーティング膜を迅速に形成可能な合理的かつ斬新なプロセスの開拓を目的とした。電着用コーティングゾルに金属塩を添加し、粒子の電着と同時に金属水酸化物を電析させ、これとバインダーとして微粒子集積型構造色コーティング膜に高い耐摩擦性を付与することについて検討を行った。電着によるコーティング膜の作製プロセスについて解析を行った。得られたコーティング膜については、従来法で作製した微粒子集積型構造色コーティング膜と耐摩擦特性を比較した。

### 3. 研究の方法

SiO<sub>2</sub> 粒子を 2-プロパノールに分散させ、黒色添加物として Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 粒子、さらに金属塩水溶液を添加し、超音波照射により分散させ、電着用ゾルを調製した。コーティング基材には ITO 膜付ガラス基板を用い、直流電圧を印加して SiO<sub>2</sub> 粒子および Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 粒子を電気泳動させ、基板の上に堆積させた。コーティング過程で積算クーロン量(ΣQ)を測定し、膜成長との関係性について評価した。得られた試料は反射スペクトルにより構造色の発色特性を評価した。また、走査型電子顕微鏡(SEM)によって得られたコーティング膜の組織を観察し、粒子の集積状態やバインダー物質の析出状態を評価した。また、得られたコーティング膜について、構造発色性や耐摩擦特性をそれぞれ評価した。試料の耐摩擦特性は、粒度#600 の紙やすり上に 100 g の荷重をかけた試料を敷き、10 cm 摩擦する試験を数サイクル実施し、残存するコーティング膜の面積により評価した。

### 4. 研究成果

従来の微粒子集積型構造色コーティング膜では、SiO<sub>2</sub> 粒子は電着過程において、物理的に堆積しているだけであるため、粒子と基板、あるいは粒子間における密着性が極めて低く、膜に衝撃を与えたり、他のものとの間に摩擦を生じたりすると、簡単に剥離してしまい、実用性の観点においては致命的な欠点が存在する。そこで、耐摩擦性を有する構造色コーティングの作製法の開発を電着法をベースとして行った。

電着過程においては、電場の印加によって微粒子が電気泳動すると同時に、カソード表面では水の電気分解が式①にしたがって起こることで OH<sup>-</sup>イオンが生成し、カソード表面の pH が局所的に上昇することが知られている。



ここで電着ゾル中に金属イオン M<sup>n+</sup>が存在していれば、これがカソード方向に電場によって引き寄せられ、pH の上昇した領域に到達した際に不溶性の金属水酸化物 M(OH)<sub>n</sub> が粒子の電着と同時に析出し、粒子と基板、あるいは粒子間を接着するバインダーとしてはたらくと期待できる。また金属イオン M<sup>n+</sup>は SiO<sub>2</sub> 粒子に吸着することで、SiO<sub>2</sub> 粒子の表面電荷を正に反転させる効果も期待できる。そこで金属塩を添加したゾルを用いて構造色の電着コーティングを試みた。ここでは SiO<sub>2</sub> 粒子は粒径 200 nm のものを用いた。まず Na, Mg, Ca の三種類の硝酸塩をそれぞれ用い、電着実験を行ったところ(印加電圧: 20 V, 電着時間: 5 分)、1 価のカチオンである Na<sup>+</sup>を用いた場合にはコーティング膜は得られなかったが、2 価のカチオンである Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>を用いた場合にはカソード電着により青色を呈した均一なコーティング膜が得られた

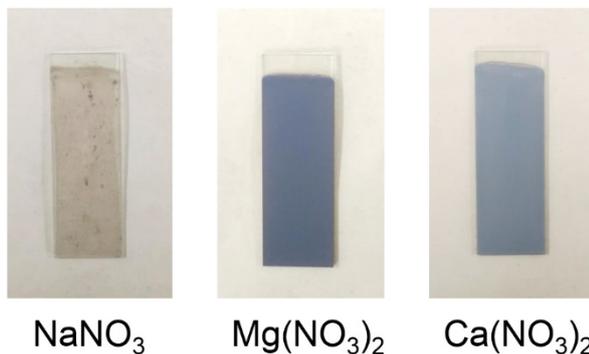


図 2 種々の金属塩(硝酸ナトリウム、硝酸マグネシウム、硝酸カルシウム)を添加したカソード電着(シリカの粒径: 200 nm)で作製したコーティング膜の写真

(図 2)。SEM 観察によれば、SiO<sub>2</sub> 粒子がアモルファス構造をもって集積している様子が観察され、さらに金属水酸化物と推測される物質が析出している様子が見受けられた(図 3)。特に Mg<sup>2+</sup>を用いた場合、Ca<sup>2+</sup>を用いたものよりも粒子間に金属水酸化物がより均一に析出している様子が確認できた。また用いる塩としては、硫酸塩や酢酸塩と比較して、硝酸塩を用いたものがより均一なコーティング膜となったため、添加する金属塩としては硝酸マグネシウムが適していることが分かった。これは、電着ゾル中に硝酸イオン NO<sub>3</sub><sup>-</sup>が存在していると、水の電気分解反応に加え、カソード表面において式②のように NO<sub>3</sub><sup>-</sup>が亜硝酸イオン NO<sub>2</sub><sup>-</sup>に分解する反応が起こり、さらに多くの水酸化物イオン OH<sup>-</sup>を生じるためである。

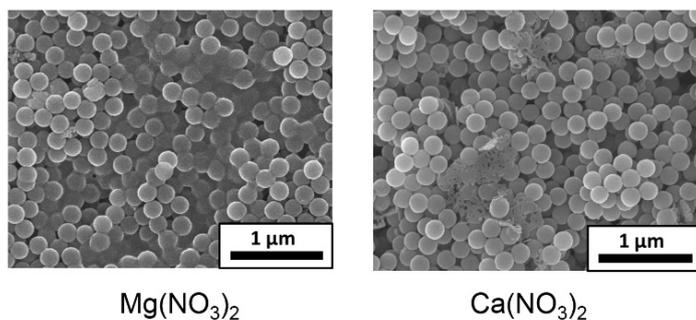


図 3 硝酸マグネシウムならびに硝酸カルシウムを添加したカソード電着(SiO<sub>2</sub> の粒径: 200 nm)で作製したコーティング膜の SEM 観察結果



次に、電着時間に対する  $\Sigma Q$  値の変化と断面 SEM 像から算出した膜厚の変化を図 4 に示す。電着時間が約 1 分を過ぎると電圧をかけても電気が流れず、 $\Sigma Q$  値は一定となった。また、膜厚も約  $10\ \mu\text{m}$  で一定となり、膜の成長が停止した。これは電析した絶縁物質である  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  が電極基板表面を塞ぐことにより、粒子の泳動が妨げられることが原因と考えられる。

図 3 の  $\text{Mg}^{2+}$  を用いた試料において観察されたように、硝酸マグネシウムを添加したゾルを用いて作製した構造色コーティング膜では、 $\text{SiO}_2$  粒子が基板の上に電着・堆積すると同時に、その粒間において  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  が析出しており、これがバインダーとしてはたらくことによって、膜の耐摩擦特性が向上していることが期待される。そこで、得られた膜の耐摩擦性の評価としてサンドペーパーを用いた試験を行った。これまでに作製した 3 種類の構造色コーティング膜、すなわち、 $\text{SiO}_2$  粒子のみをアノード電着した膜、カチオン性高分子電解質であるポリジアリルジメチルアンモニウムクロリド(PDDA)を添加してカソード電着した膜、そして  $\text{Mg}^{2+}$  イオンを添加してカソード電着した膜について、耐摩擦特性評価試験を行った。図 5a に示すように、アノード電着により作製したコーティング膜はわずか 1 サイクルの試験で全ての膜が剥離してしまい、耐摩擦特性は極めて乏しかった。PDDA を用いたカソード電着により作製したコーティング膜はそれよりも耐摩擦性はあるが、5 サイクル後においてはほぼ全ての膜が剥離してしまっ

た。これらに対し、 $\text{Mg}^{2+}$  イオンを用いたカソード電着によって作製したコーティング膜は摩擦試験 5 サイクル後も 85 %以上の面積のコーティング膜が残存していた(図 5b)。したがって、 $\text{Mg}^{2+}$  イオンを添加してカソード電着する手法においては、 $\text{Mg}(\text{OH})_2$  が目論見通りバインダーとしての効果を発揮し、構造色コーティング膜に極めて高い耐摩擦特性を発現していることが明らかになった。

本研究課題では、微粒子集積型構造発色性材料の欠点の一つであった集積構造の脆さを電着時にバインダーとなる水酸化物の同時電析させることで飛躍的な改善が達成できた。しかし、実用化に向けてはいまだ多くの課題も残っている。例えば、水に濡れるなどして粒子間の空隙に液体などが入ると、構造色を与えていた粒子と空隙の屈折率差が粒子と液体の屈折率差に変化してしまい、本来の色調が失われてしまう。また、電着法によってコーティングできるのは導電性の基材に限られるため、それとは異なるコーティング手法についても開発が必要であろう。今後、これらの課題を解決し、微粒子集積型の構造発色性材料を実用性のある塗装材料とするための検討をさらに進めていきたいと考えている。

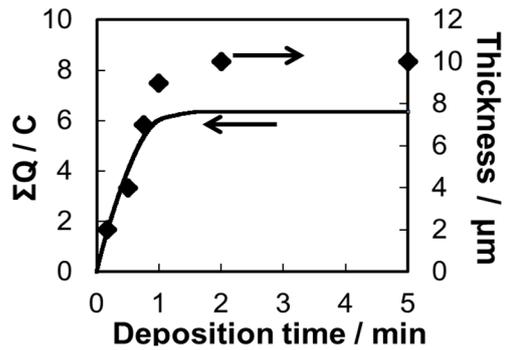


図 4 硝酸マグネシウムを添加したゾルを用いたカソード電着過程における  $\Sigma Q$  値と電着膜の膜厚の電場印加時間による変化

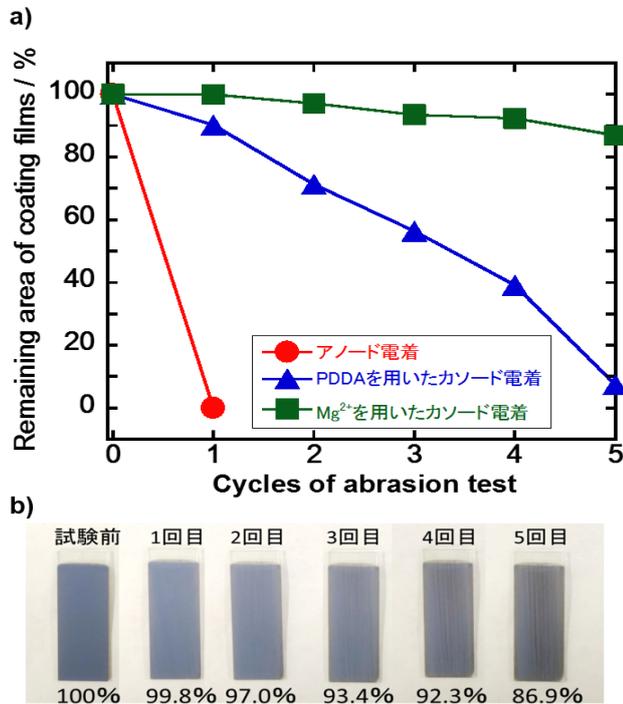


図 5 アノード電着、PDDA を用いたカソード電着、硝酸マグネシウムを用いたカソード電着(いずれもシリカの粒径  $200\ \text{nm}$ ) で作製したコーティング膜の耐摩擦試験結果(a)と硝酸マグネシウムを用いたカソード電着で作製したコーティング膜の各耐摩擦試験サイクル後の写真(b)

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7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 4件）

1. 著者名 Kiyofumi Katagiri, Kensuke Uemura, Ryo Uesugi, Naoki Tarutani, Kei Inumaru, Tetsuo Uchikoshi, Takahiro Seki, Yukikazu Takeoka	4. 巻 12
2. 論文標題 Robust Structurally Colored Coatings Composed of Colloidal Arrays Prepared by the Cathodic Electrophoretic Deposition Method with Metal Cation Additives	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces	6. 最初と最後の頁 40768 ~ 40777
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsami.0c10588	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 片桐 清文	4. 巻 22
2. 論文標題 「ロバスト」な微粒子集積型構造発色性コーティング	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 LPM Lett.	6. 最初と最後の頁 2 ~ 7
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 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 Katagiri Kiyofumi	4. 巻 28
2. 論文標題 Novel Inorganic Colorants Prepared with Safe and Sustainable Materials and Processes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the Society of Inorganic Materials, Japan	6. 最初と最後の頁 32 ~ 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 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 Naoki Tarutani, Takuya Sakata, Kiyofumi Katagiri	4. 巻 56
2. 論文標題 Preparation of Coating Films of Colloidal Arrays via Electrophoretic Deposition and Their Applications as Structurally Colored Materials	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Japan Coating Technology Association	6. 最初と最後の頁 60 ~ 70
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 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 Kiyofumi Katagiri	4. 巻 92
2. 論文標題 Structurally Coloured Coatings Prepared via the Electrophoretic Deposition of Spherical Particles	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Jpn. Soc. Colour Mater	6. 最初と最後の頁 355-361
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4011/shikizai.92.355	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 Kiyofumi Katagiri, Kensuke Uemura, Ryo Uesugi, Kei Inumaru, Takahiro Seki, Yukikazu Takeoka	4. 巻 8
2. 論文標題 Structurally colored coating films with tunable iridescence fabricated via cathodic electrophoretic deposition of silica particles	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 RSC Advances	6. 最初と最後の頁 10776 ~ 10784
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c8ra01215f	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 Naoki Tarutani, Ryo Uesugi, Kensuke Uemura, Kiyofumi Katagiri, Kei Inumaru, and Yukikazu Takeoka	4. 巻 -
2. 論文標題 Understanding the Electrophoretic Deposition Accompanied by Electrochemical Reactions Toward Structurally Colored Bilayer Films	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces	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) 10.1021/acsami.2c04635	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17件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 片桐 清文
2. 発表標題 電気泳動堆積法による塗装応用を志向した構造色コーティング
3. 学会等名 日本化学会研究会「低次元系光機能材料研究会」第8回研究講演会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 片桐 清文・上杉 遼・上村健祐・犬丸 啓・打越 哲郎・竹岡 敬和
2. 発表標題 電気泳動堆積法を利用した微粒子集積型構造色コーティング膜
3. 学会等名 第68回高分子討論会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kiyofumi Katagiri, Ryo Uesugi, Kensuke Uemura, Kei Inumaru, Tetsuo Uchikoshi, Yukikazu Takeoka
2. 発表標題 Robust Structurally Colored Coating Films Prepared via the Electrophoretic Deposition Method
3. 学会等名 The 13th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies (PacRim13) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 上杉 遼・樽谷直紀・片桐清文・犬丸 啓・竹岡敬和
2. 発表標題 複合構造を有する粒子集積型構造色コーティング膜の泳動電着法による作製とその構造発色性
3. 学会等名 第58回セラミックス基礎科学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K. Katagiri, K. Uemura, R. Uesugi, K. Inumaru, Y. Takeoka
2. 発表標題 Bioinspired structurally colored coating films with tunable iridescence fabricated by electrophoretic deposition of silica particles
3. 学会等名 17th International Conference on Organized Molecular Films (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 上杉 遼・上村 健祐・竹岡 敬和・片桐 清文・犬丸 啓
2. 発表標題 単分散SiO <sub>2</sub> 粒子のカソード電着による高い耐摩擦性を有する構造色コーティング膜の作製
3. 学会等名 日本ソル - ゲル学会第16回討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 片桐 清文
2. 発表標題 無機微粒子を元素ブロックとする機能性材料の創出
3. 学会等名 日本セラミックス協会 第31回秋季シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 片桐 清文・上村 健祐・上杉 遼・犬丸 啓・打越哲郎・竹岡敬和
2. 発表標題 泳動電着法による微粒子集積型構造色コーティング膜の作製
3. 学会等名 第67回高分子討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kiyofumi Katagiri
2. 発表標題 Bioinspired structurally colored coating films fabricated via electrophoretic deposition of SiO <sub>2</sub> particles
3. 学会等名 MIRAI Seminar 2018 Sustainable Social System and Technology for Aging Society (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 片桐 清文・上杉 遼・上村健祐・犬丸 啓・打越哲郎・竹岡敬和
2. 発表標題 耐摩擦特性を有するシリカ粒子集積型構造色コーティング膜の作製
3. 学会等名 第37回無機高分子研究討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ryo Uesugi, Kiyofumi Katagiri, Kensuke Uemura, Kei Inumaru, and Yukikazu Takeoka
2. 発表標題 Preparation of Robust Structurally Colored Coating Films Formed with Arrays of Monodisperse CeO <sub>2</sub> Particles and Perhydropolysilazane-Derived SiO <sub>2</sub>
3. 学会等名 12th SPSJ International Polymer Conference (IPC2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kiyofumi Katagiri, Kensuke Uemura, Ryo Uesugi, Kei Inumaru, Tetsuo Uchikoshi, Yukikazu Takeoka
2. 発表標題 Robust structurally colored coatings prepared via cathodic electrophoretic deposition of SiO <sub>2</sub> particles
3. 学会等名 6th International Conference on Multifunctional, Hybrid and Nanomaterials (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川口 堅大・樽谷 直紀・片桐 清文・犬丸 啓
2. 発表標題 電気泳動堆積法によるコロイド粒子集積体の配列制御：電着ゾルと泳動条件の検討
3. 学会等名 日本ゾル-ゲル学会第19回討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中谷 優太・山中 陵弘・樽谷 直紀・片桐 清文・犬丸 啓・坂井 美紀・竹岡 敬和
2. 発表標題 SiO <sub>2</sub> 球状粒子からなるフォトニックボールにおける粒子配列と堅牢性の制御
3. 学会等名 日本セラミックス協会第34回秋季シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山中 陵弘・樽谷 直紀・片桐 清文・犬丸 啓・竹岡 敬和
2. 発表標題 発色耐熱性を有する粒子集積型構造色コーティング膜の作製
3. 学会等名 日本セラミックス協会第34回秋季シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山中 陵弘・樽谷 直紀・片桐 清文・犬丸 啓・竹岡 敬和
2. 発表標題 高い耐熱性を有する微粒子集積型構造色コーティング膜の作製
3. 学会等名 第11回CSJ化学フェスタ
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中谷 優太・山中 隆弘・樽谷 直紀・片桐 清文・犬丸 啓・坂井 美紀・竹岡 敬和
2. 発表標題 フォトニックボールにおける粒子配列の制御とその構造発色性と堅牢性向上の検討
3. 学会等名 第60回セラミックス基礎討論会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

【研究成果】白と黒の粒子を用いて鮮やかな色彩と剥がれにくさを併せ持つコーティングを実現！  
<https://www.hiroshima-u.ac.jp/news/59827>  
環境に優しい新規無機系色材の開発  
<https://hoip.hiroshima-u.ac.jp/research/inorganic-color/>

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
研究協力者	樽谷 直紀 (Tarutani Naoki) (60806199)	広島大学・先進理工系科学研究科(工)・助教  (15401)	
研究協力者	竹岡 敬和 (Takeoka Yukikazu) (20303084)	名古屋大学・工学研究科・准教授  (13901)	

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