

バイオミメティクスと構造色を組み合わせた陶器の制作

小野 洋介(機械・材料技術部ナノ材料グループ)

1. はじめに

神秘的に輝くオパール虹色は、微細な周期構造が光を強め合うように反射して生じる構造色である(図1)。直径が数百ナノメートルの球状粒子を合成し、規則的に配列させると、人工オパールが得られる(図2)。構造で色を発現する原理上、素材の化学組成に制限がない。例えば、地殻に豊富に存在し耐熱性や耐候性が高い酸化ケイ素を素材とする人工オパールを作ることができる。また、その構造を制御することにより、青、緑、黄、橙、赤などの狙った色を発色させることもできる。従来は無機顔料は、カドミウムイエローやコバルトブルーと呼ばれるように希少・有害な重金属を含有することが多いため、SDGs時代を背景に、これらに置き換わるかたちで人工オパールを普及させるよう研究に取り組んでいる。

広く知られるように、雲の色も色素ではなく光の散乱に起因する。同様に、サンカヨウという植物の花びらは、気泡が光を散乱して白く見える。雨に濡れると透明化してガラス細工のような見た目に変化するため、スケルトンフラワーとも呼ばれる。気泡内に水が浸透すると、花びら全体の屈折率がほぼ均一になる結果、透明化すると考えられている。見方を変えれば、サンカヨウの白色が色素によらないために生じる現象と解釈することもできる。

KISTECでは、構造色技術の可能性を広げるために、サンカヨウ透明化のバイオミメティクスと人工オパールの構造色を組み合わせることを着想した。このコンセプトに基づく陶器製の花器の制作に関する研究発表²⁾は、日本デザイン学会で受賞した。本稿では、花器よりさらに透明化させたエアプランツホルダーの制作について報告する。

2. 実験と結果

サンカヨウに見られる透明化現象を引き起こすには、気泡と同じように人工オパール粒子の内部まで水を浸透させる必要があると考えられる¹⁾。そこで、多孔質な粒子を得るために、試薬の配合比を変えて3種の人工オパール(酸化ケイ素)粒子分散液を合成した²⁾。具体的には、80%エタノール水溶液 25 gに加えるオルトケイ酸テトラエチル(TEOS)と1 mol/Lアンモニア水の比を6.7 g : 8.0 mL、7.0 g : 7.0 mL、7.3 g : 6.0 mLとした。本研究におけるアンモニアの配合比は、一般的な合成条件に比べ1割以下となる低い水準である。室温で攪拌すると、図3に示す加水分解・脱水縮合反応によってSi-O-Si結合を形成し、酸化ケイ素粒子が析出して白濁した分散液が得られた。粒子の多孔性は、分散液を蒸発させて得た粉末状の試料を用いて評価した。900°Cで1時間焼成した粉末について、走査電子

顕微鏡(JEOL JSM-IT200)で計測した粒径と比表面積・細孔分布測定装置(MicrotracBEL BELSORP-max II)で測定した比表面積から粒子の多孔性を評価した結果、アンモニア配合比が低いほど多孔性が高いことが分かった。配合比が最も低い7.3 g : 6.0 mL条件では、球と仮定した比表面積の計算値が9 m²/gに対し、実測値は44 m²/gであった。アンモニア配合比が低いと液中の水酸化物イオン濃度が低く、図3における加水分解反応が十分に進まずにTEOSのエトキシ基の一部が未反応となり、多孔質粒子が生成したと考えられる。3種の分散液を用いて陶器試作品を作製し水で濡らした結果、当初の予想通り、粒子の多孔性が高いほど濡らした時の透明化の度合いが高かった²⁾。

本研究の要であるサンカヨウバイオミメティクスにおいては、濡れる⇔乾くに伴う外観変化が特徴となるため、日常的に水を吹きかけて使用されるエアプランツホルダーを制作することにした。ここで、エアプランツとは、土を必要とせず霧吹き等で水やりをして育てる植物を指す。透明化現象の様子が分かりやすいように、下地に用い

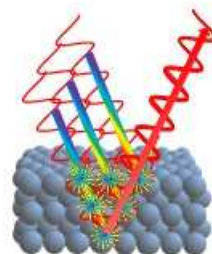


図1 構造発色の原理

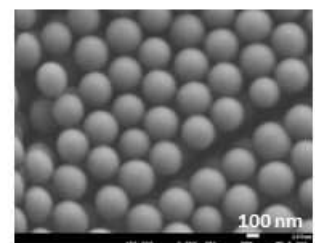


図2 人工オパールのSEM像

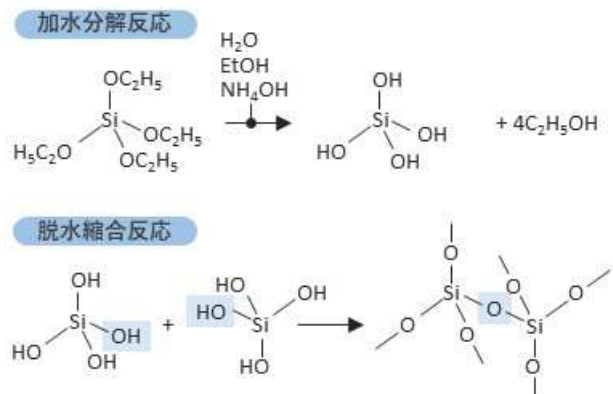


図3 TEOSを原料に用いた人工オパール合成の反応過程



図4 制作した陶器（エアプランツホルダー）を壁に立て掛けて正面からペンライトで照らした様子；赤色の構造色が見える。

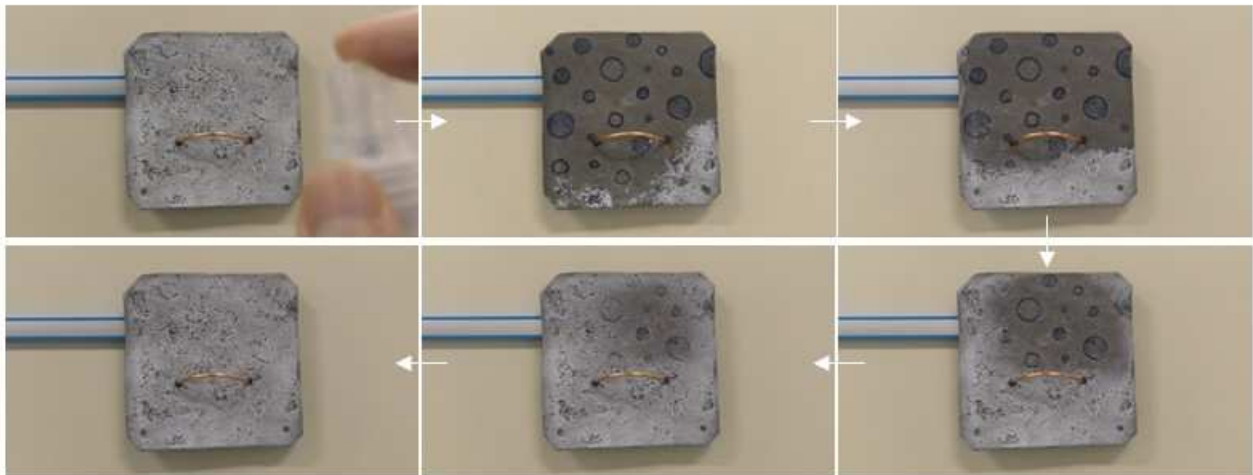


図5 制作した陶器（エアプランツホルダー）にスプレーで水を吹きかけて経時的に乾く様子；濡れると水玉模様が現れ、乾くにつれて元の外観に戻る。

る陶器表面に水玉模様を施すこととし、下地の陶器は陶芸家（満月窯）に外注して制作した。透明化現象を顕著に引き起こすために、3種の人工オパール分散液のうち最も粒子の多孔性が高かった分散液（配合比 7.3 g : 6.0 mL）を下地の水玉模様が見えなくなるまで筆で厚く重ねて塗り、大気中 850°C で 1 時間焼成して陶器を制作した。

陶器をマグネットバーに固定して立て掛け、ペンライトで照射した。撮影した動画から切り取った画像を図4に示す。なお、陶器の中央近傍にある褐色の部品は、エアプランツを固定する想定で取り付けられた銅線である。蛍光灯下では白色の粉っぽい外観であったが、正面からペンライトで照射すると高輝度の赤色が確認された。また、塗りムラがあり、厚く塗られた箇所では擦過に伴い人工オパール層が剥がれてしまった。人工オパール粒子を厚く重ねて塗った結果、陶器表面に概ね 10 層以上の人工オパール粒子が積層しており、多層の粒子に光が散乱されて白く見える一方で、正反射光については多層からの反射が重なって高輝度の赤色に見えたと考えられる。

陶器の正面から市販のスプレーで水を吹きかけ、7分ほど放置して乾くまでの外観変化を図5に示す。本研究のコンセプト通り、濡れると陶器表面に厚く塗られた人工オパール層が瞬時に透明化し、下地の水玉模様が現れた。普遍的な無孔の人工オパール粒子ではなく、本研究で合成した

多孔の人工オパール粒子を使用したため、サンカヨウの花びらの気泡のように粒子内部まで水が浸透し、人工オパール層の屈折率がほぼ均一になって透明化したと考えられる。そして、水が蒸発して乾くにつれて、多層の人工オパール粒子による光散乱によって水玉模様が隠れ、濡らす前の外観に可逆的に戻ったと考えられる。

3. 今後の展望

“水を吹きかけたくなるエアプランツホルダー”を思い描いて、サンカヨウバイオミメティクスとオパールの構造色を組み合わせた陶器を制作した。類似する市販品として、温水や冷水を注ぐと温度変化に伴って外観が変化する食器が販売されているが、本研究で制作した陶器は乾いた状態で構造色を示す点と外観変化が水温によらない点で差別化できたと思う。本稿が、デザインの幅を広げ、製品の高付加価値化を促進する契機になれば幸いである。

【参考文献】

1. Y. Ono, *Journal of Asian Ceramic Societies* **8** 578-585 (2020).
2. 小野洋介, 日本デザイン学会第 71 回研究発表大会 デザイン学研究 **71** 522-523 (2024).

【口頭発表】口頭発表（ポスター） 1 件