

## 人工オパール構造色を利用した虹色の陶器を開発

—”形”で色をコントロールする構造色の新たな応用—

地方独立行政法人神奈川県立産業技術総合研究所の小野洋介 主任研究員は、女子美術大学 工芸専攻の吉田潤一郎 教授の研究協力の下、オパール（天然のシリカ粒子が充填した構造）の微構造と発色を模倣した材料を陶器表面に焼き付けることにより、サブミクロンサイズの”形”で色を発現する陶器を開発しました。

### ●特徴

#### <人や環境にやさしいレアメタルフリー材料>

砂や窓ガラスの主成分である酸化ケイ素で、その粒子サイズをコントロールすることにより、紫、青、緑、黄、赤などの様々な色を発現することができます。従来の無機顔料とは異なり、重金属を含みません。

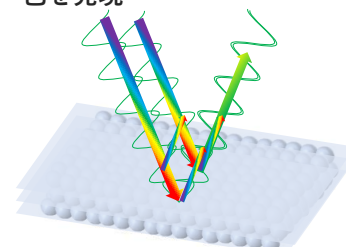
#### <ユニークな発色も可能>

国宝「曜変天目」茶碗のような見る角度によって色が変わるユニークな発色が可能です。従来顔料のような角度依存性の無い発色も可能であり、ガラス添加物の有無によってこれをコントロールすることができます。



制作協力: 女子美術大学 工芸専攻

周期構造が特定の波長(色)の光を強め合うように反射し色を発現



1 μm以下の酸化ケイ素粒子が充填した構造から成る

本研究成果は、令和2年5月31日に国際学術雑誌 Journal of Asian Ceramic Societies に掲載されました。

タイトル: Application of Silica Opals to Ceramic Pottery

著者: Yosuke Ono

### 【問い合わせ先】

地方独立行政法人神奈川県立産業技術総合研究所 (KISTEC)

機械・材料技術部 部長 高木 電話 046-236-1500 (代表)  
総括グループリーダー 横内 電話 同上

## 【詳細な説明】

### (1)研究背景

多くの日用品に着色やそれに基づく描画がなされているように、色はデザインの重要な要素です。これらのほとんどは、特定の波長の光を吸収する色素や顔料を用いて着色されていますが、近年、シャボン玉の干渉色のように光を強め合うように反射して発色する、構造色の研究が進められています。宝石のオパールやクジャクの羽(図1)の色も構造色だと言われています。構造色を発現するためには、光の波長と同程度となる、1 mmの1/1000以下の微細な周期からなる構造を形成する必要があります。構造色の技術を用いれば、国宝に指定されている「曜変天目」茶碗のように“見る角度によって色が変わる”ユニークな発色とすることができ、新しいデザインが可能になります。曜変天目の美しい色彩が広く認知されている陶芸の分野で構造色のニーズが高いと期待し、美工連携となる女子美術大学との共同研究を実施しました。構造色の技術を陶芸に利用するためには、900℃程度の高温焼成に耐える物質を用いる必要があります。本研究では砂や窓ガラスの主成分でもある酸化ケイ素製の人工オパールを合成し、焼成後の色や特徴の発現について研究しました。



図1 クジャクの羽の外観写真。青や緑のきれいな色彩は、1ミクロン以下の微細な周期構造由来する構造色と言われている。

### (2)本研究の成果

人工オパールの合成技術と伝統的な陶芸技術を組み合わせることで研究を進めました。最大の成果として、人工オパール合成時に原料成分の一部を未反応のまま残すと、これが粒子の隙間を埋め接合の役割を果たすことを発見しました。余分な接合材を添加する必要がなくなったため焼成後も高度な規則的配列構造(図2)を形成でき、“見る角度によって色が変わる”ユニークな特徴を顕著に発現することができました(図3(a))。また、適量のガラス粉末を添加して人工オパールの周期構造を部分的に乱すことにより、従来顔料のような“どの角度で見ても同じ色を示す”発色も可能であることを発見し、これをコントロールすることに成功しました(図3(b))。さらに、人工オパールのコーティング層を表面に露出することにより、水に濡れると色が変化または消失し、乾くと元の色に戻る性質を発見しました(図3(c))。

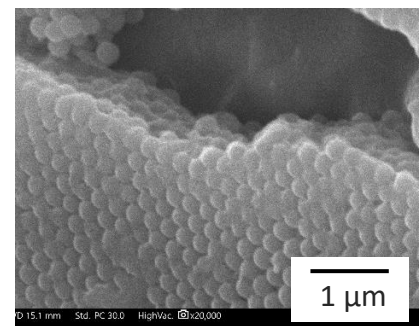


図2 人工オパールの拡大観察像。球状の微粒子が規則的に配列した構造から成る。

従来、薄膜を形成し干渉色により発色する技術が知られておりましたが、干渉色の場合は基材の僅かな凹凸やコーティング厚のバラツキの影響を受けて色が変わるため、意図せず虹色になりやすい課題がありました。一方、人工オパールの構造色では、基材

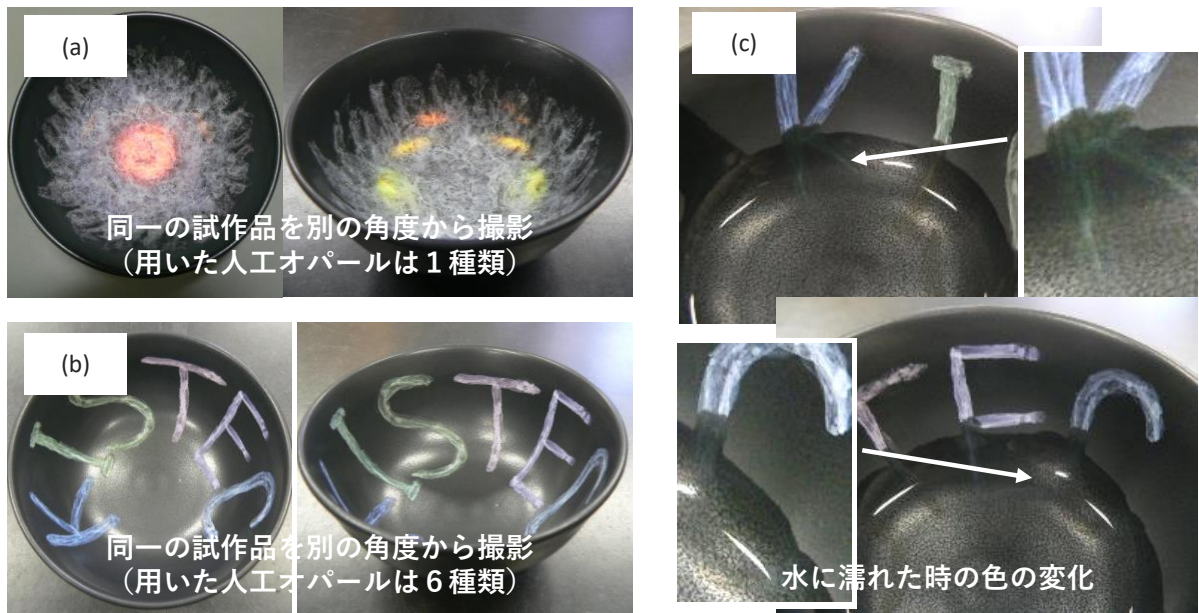


図3 試作品の外観写真. (a)粒子を規則的に配列させて得られる試作品. 見る角度(光の角度)によって赤、黄、緑と色が変わる. 光が多重反射され輝度の高い発色となる. (b)ガラス粉末を添加すると従来顔料のように角度依存性の無い発色となる. 合成条件で粒子サイズを変えることにより紫、青、緑、赤等に色を調整できる. (c)水に濡れると、屈折率変化により、色が変わったり消えたりする.

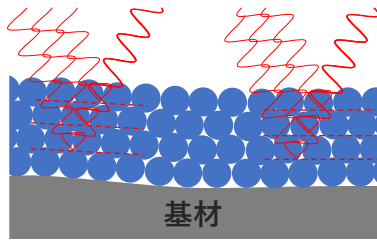
の上に積層した粒子の周期間距離で色が決まるため、基材凹凸やコーティング厚の影響を受けません(図4)。このメリットにより、図5に示すように、同心円状の虹色のデザインを施すこともできます。色が基材の凹凸やコーティング厚の影響を受けずに光の角度にのみ依存するため、同心円状の虹色が現れます。単一の人工オパールを使用しているため、例えば赤色に見える領域を違う角度から見ると緑色等の他の色に見えます。

### (3)展望

人工オパールの特徴を活かして制作した作品を図6に示します。見る角度によって色が変わる特徴や水に濡れると色が変わったり消えたりする特徴を活かし、これまでになくユニークな発色が可能な無機顔料として、デザインの幅を広げることが期待できます。また、現在陶芸に用いられている顔料にはコバルト、クロム、ニッケル等のいわゆるレアメタルが使用されているため、レアメタルフリー化に向けた代替技術としても期待できます。さらに、ガラスや金属を基材とする、陶芸以外の分野への活用も期待できます。

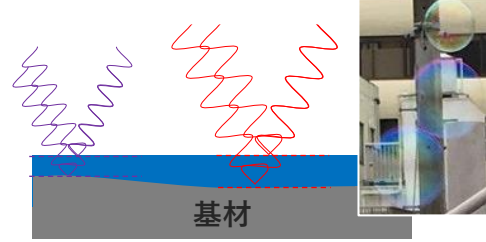


積み重なった粒子の距離は一定であり  
基材凹凸の影響を受けず均質な発色が可能



人工オパール構造色

膜厚を一定にするのは困難であり  
意図せず虹色になりやすい



【従来】薄膜の干渉色

図4 人工オパール構造色と薄膜の干渉色を比較したイメージ図. 粒子配列の周期構造を利用する人工オパールでは均質な発色が可能となる.



図5 同心円状の虹色をデザインした試作品. 用いた人工オパールは1種類. 陶器の内側の傾斜により光の角度が異なるため、赤色～緑色の異なる色が見える.



図6 人工オパールの魅力を活かした作品.