

角度依存性のない青い構造色を示す鳥の羽を参考に、
刺激に応じて色が変化するソフトマテリアルを開発
—センサー、表示材料への応用に期待—

名古屋大学大学院工学研究科（研究科長：新美智秀）の大塚 由美子（おおつか ゆみこ）研究員、関 隆広（せきたかひろ）教授、竹岡 敬和（たけおかゆきかず）准教授の研究グループは、角度依存性のない青い構造色を示す鳥の羽を参考に、温度などの刺激によって様々な色に変わる高分子ゲルを開発しました。

鮮やかな青色を示すノドムラサキカザリドリなどの羽には、サブミクロンサイズである特定の大きさの細孔が、短距離秩序を持って等方的に分布しています。この各細孔には、秩序構造があり互いに干渉して強め合う結果、羽に当たった光は散乱し鮮やかな構造色を示します。竹岡准教授らは、温度などの刺激や環境に応じて体積が可逆に変化する高分子ゲルにこの羽と同様の細孔構造を施し、より鮮やかな構造色を示すための工夫として、少量の黒色のカーボンの粉を高分子ゲルに導入して、様々な色を示す高分子ゲルを開発しました。

これまでも、環境の変化や刺激に応じて、様々な構造色を示す高分子ゲルなどのソフトマテリアルは報告されていますが、そのほとんどが構造色には、角度依存性がありました。

本研究で開発された環境の変化や刺激に応じて変化する角度依存性のない構造色のソフトマテリアルは、今後各種センサーや表示材料などへの利用が期待できます。

本研究成果は、2015年10月26日発行（独国時間）のドイツ国際学術雑誌『*Angewandte Chemie International Ed.*』誌（電子版）に掲載されました。

なお、この論文は、編集委員によって特に重要な論文（Hot Paper）とされ、その概念図が中表紙（Frontispiece）にも選出されております。

温度などの環境変化に应答して 迅速に色を変える高分子ゲルを開発

～色素を利用しておらず、白色の高分子ゲルに黒色のカーボンの粉を入れるだけで、角度依存性のない鮮やかな色を発現～
～センサー、表示材料への応用に期待～

【概要】

名古屋大学大学院工学研究科 大塚由美子、関隆広教授、竹岡敬和准教授は、角度依存性のない青い構造色を示す鳥の羽を参考にして、温度などの刺激によって様々な色に変わる高分子ゲルを開発しました。

ノドムラサキカザリドリなどの鮮やかな青色を示す羽には、サブミクロンサイズの特定の大きさの細孔が短距離秩序を持って等方的に分布しています。各細孔によって散乱した光は、秩序構造があることで干渉して強め合う結果、羽は鮮やかな構造色を示すのです。竹岡らは、羽と同様の細孔構造を、温度などの刺激や環境に応じて体積が可逆に変化する高分子ゲルに施すことで、様々な色を示す高分子ゲルを開発しました(図1)。

また、より鮮やかな構造色を示すための工夫として、少量の黒色のカーボンの粉を高分子ゲルに導入しています。

これまでにも、環境の変化や刺激に応じて、様々な構造色を示す高分子ゲルなどのソフトマテ

リアルは報告されていますが、そのほとんどが構造色には角度依存性がありました。本研究で開発された角度依存性のない構造色を環境の変化や刺激に応じて変化するソフトマテリアルは、センサーや表示材料などへの利用が期待できます。

本研究成果は、2015年10月26日発行(独国時間)、ドイツの国際学術雑誌『*Angewandte Chemie International Ed.*』誌(電子版)に掲載されました。この論文は、編集委員によって特に重要な論文(*Hot Paper)とされ、その概念図が中表紙(Frontispiece)にも選出されました。

* *Angewandte Chemie International Ed.* では、急速な展開によって注目を集めている分野における研究で、編集委員が特に重要性を認めた論文を **Hot Paper** としています。

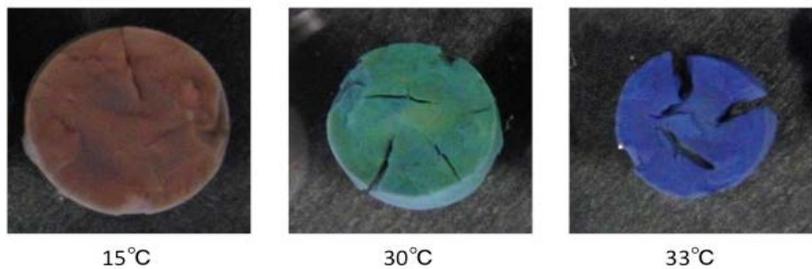


図1 温度変化に応じて角度依存性のない様々な構造色を示す高分子ゲル

【ポイント】

粒径の揃ったコロイド粒子が短距離秩序を有する状態で集合した場合、見た目には白いのです。また、これを鋳型にして高分子ゲルを調製した場合も、得られたポーラスなゲルも同様に見た目は白くなります (図2)。ところが、上記のコロイド粒子集合体に黒色のカーボンブラック(CB)を少量添加すると、鮮やかな構造色を示すようになるのです。この原理を利用して、ポーラスな高分子ゲルに少量のCBを添加すると、ポーラスな高分子ゲルが鮮やかな構造色を示すようになることを明らかにしました (図3)。この高分子ゲル内には、サブミクロンサイズの特定の大きさの細孔が短距離秩序を持って等方的に分布しているために、観測される構造色には角度依存性を生じません。また、環境の変化や刺激に応じて、その体積を可逆に変えるような高分子ゲルを用いれば、様々な色を示す高分子ゲルが得られることが分かりました。さらに、ポーラスなゲルは、細孔の施していない高分子ゲルに比べて、その応答速度が1000倍以上速くなることも明らかにしました。

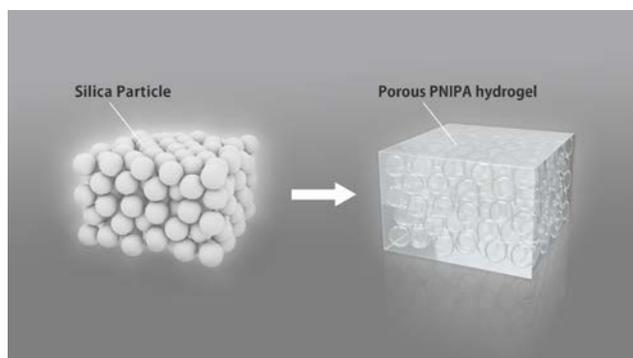


図2 コロイド粒子集合体を鋳型にして合成するポーラスな高分子ゲル

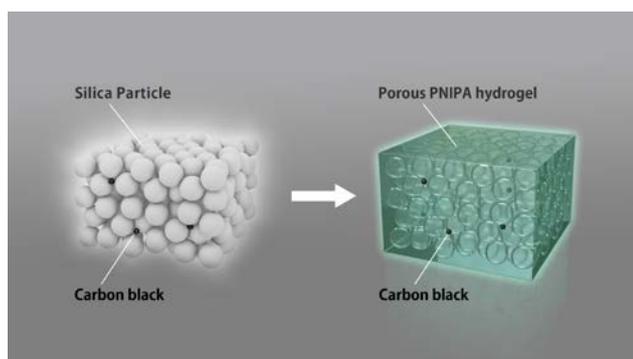


図3 少量のCBを入れたコロイド粒子集合体を鋳型にして合成するポーラスな高分子ゲル

【背景】

長期間屋外に貼られたポスターが、色あせた状態になっているのを目にした人は多いでしょう。このようなポスターは、紫外線によって分解しやすいイエローやマゼンダの染料(有機色素)が使われており、長い時間を太陽光に晒されたことで、それらの染料は元の色合いを失ってしまったのです。他にも、水分や化学物質により反応して退色する場合があります。それに比べて、顔料の中には、耐光性、耐水性、耐薬品性、抗酸化還元性を有するもの(特に無機顔料)が多く、様々な用途に利用されています。しか

し、無機顔料は毒性の高い重金属を使用した化合物からできているものも多いため、化粧品など、人に直接触れるような用途には使用できる種類が限定されています。染料に関しても、化粧品などへの配合に関して、規制が厳しくなっています。とりわけ、ヨーロッパを中心に広がる環境に対する配慮から、その他の用途への染料や顔料に使用する材質についても、今後ますます規制が強化されると考えられます。しかし、我々が豊かな生活を送る上で、様々な鮮やかな色を示す退色しない染料や顔料（色材）の存在は欠かせなくなっているのです。さらに、低毒性、低環境負荷性を備えた色材が安価に大量に得られるようになれば、今後の我々の暮らしが永続的に発展可能で快適になることを後押しするでしょう。そのためには、自然界に豊富に存在し、環境負荷の低い自然調和性に優れた化合物を利用した色材作りが求められると考えられます。構造発色性材料はそのような色材の候補と考えられ、研究が取り組まれています。

また、従来の構造発色性材料のイメージである、キラキラ感や角度依存性を無くすことに関しても、我々の過去の研究（例えば、*Angewandte Chemie International Ed.* **52**, 7261 (2013)など）をきっかけに世界中で取り組まれるようになりました。さらに、より機能性の高い構造発色性材料の開発も取り組まれており、環境の変化や刺激に応じて色の変わるような構造発色性材料の研究が進んでいます。

【研究の内容】

これまでの多くの研究によって示された刺激応答型構造発色性材料は、速い応答速度や広い領域での波長変化による多色変化を示す例はありましたが、角度依存性のない鮮やかな構造色を示す系はほとんど報告されていませんでした。本研究で開発されたポーラスな高分子ゲルは、その繋がった細孔構造のおかげで、温度変化に応じて素早く体積を大きく変化させることができ、かつ、それに応じて角度依存性のない様々な色を示す性質を持ち合わせるようになりました。コロイドアモルファス集合体を象っただけでは、ポーラスゲルの内部で生じる可視光の非干渉性多重性散乱の寄与が大きいため、肉眼では鮮やかな構造色を観測することはできませんが、可視光領域全体に渡って光を吸収する CB をポーラスゲル中に導入することで、非干渉性多重性散乱の寄与を軽減する結果、短距離秩序の存在による干渉性の散乱を原因とした可視光領域に現れる散乱ピークが顕著になるため、鮮やかな構造色を示すようになりました。

【成果の意義】

高分子ゲルの欠点とされている力学特性が改善できれば、化学物質のセンシングや、ペーパー型ディスプレイなどへの利用が期待できます。

【用語説明】

構造色：光の波長サイズの微細構造が原因で生じる干渉色

高分子ゲル：高分子の3次元網目、もしくは、それが沢山の溶媒を抱えた状態

【論文名】

出典：*Angewandte Chemie International Ed.* (2015)

タイトル：Thermally Tunable Hydrogels Displaying Angle-Independent Structural Colors

著者名：大塚 由美子、関 隆広、竹岡 敬和

所属：名古屋大学大学院工学研究科物質制御工学専攻

