研究成果

2026年11月4日

分野：工学系

キーワード：構造色、ナノセルロース、生分解、生物模倣

植物素材100%でタマムシの美しい翅を再現

―生分解性構造色フィルムとして世界最高反射率を達成―

【研究成果のポイント】

- タマムシの翅（はね）のように輝く、反射率95%以上の構造色フィルムを植物由来材料のみで実現
- 構造色材料※1は材料・プロセス面の制約が強く、生分解性※2と光反射性能の両立が困難だった
- 持続可能な新奇光学材料として、環境にやさしい装飾、センサ、偽造防止、熱制御材料として期待

❖ 概要

大阪大学産業科学研究所の春日貴章助教らの研究グループは、植物由来原料のみを用いて特定波長の光を95%以上反射可能な構造色フィルムを開発することに成功しました。この反射率は、生分解性構造色材料としては報告されている中で世界最高となります。

構造色材料は、色素や染料を使わず、ナノレベル（10億分の1メートルレベル）の微細構造による光の反射で発色する点が特徴です。色あせにくく、鮮やかな発色を実現できることから、加飾（装飾）や偽造防止、センサなどへの活用が期待されています。しかし、タマムシやモルフォ蝶など自然界に存在する構造色とは異なり、人工的な構造色材料には、化石燃料由来のプラスチックや無機材料が使われています。これらは、自然界で分解されにくいため持続可能性への懸念がありました。

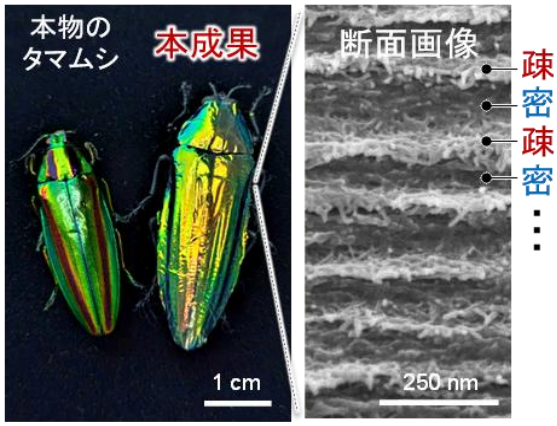

図1 植物由来ナノ材料の特性を生かした多孔質層（「疎」な層）と、同じく植物由来の「密」な層を積層することで、タマムシの翅の構造を再現することに成功。ピーク反射率はタマムシの約3倍。

今回、研究グループは、ナノセルロース※3と同じく植物由来の多糖類であるペクチンを交互に積層し、かつ、各層の密度を制御することで、植物素材のみを用いて 95%以上の反射率を有する構造色フィルムを実現することに成功しました（図1）。これにより、環境にやさしい加飾、センサ、偽造防止、熱制御材料および持続可能なフォトニクス分野（Sustainable Photonics）の発展が期待されます。

本研究成果は、国際科学誌『Advanced Materials（IF:29.1）』に、11月4日（水）（日本時間）に公開されました。

【春日助教のコメント】
タマムシやモルフォ蝶など、自然界には美しい構造色を有する様々な生物が存在します。私たちは、それらの生物達と同様に自然のサイクルと調和し、循環する、環境調和型の光学材料の開発に成功しました。今回開発した構造色材料は、私たちの生活を支える様々なシーンでの活躍が期待できます。今後は弱点である耐湿性の向上とともに、環境調和性を活かした具体的な用途への展開に取り組みます。

❖ 研究の背景

ナノレベルの微細な構造で特定波長の光を反射して発色する構造色材料は、鮮やかな発色、高い耐久性、角度応答性、広い波長範囲など優れた光学特性を兼ね備えており、加飾、偽造防止、センシング、近赤外反射による遮熱など様々な用途への展開が期待されています。構造色はタマムシやモルフォ蝶の翅など自然界にも存在しており、これらの構造を再現することで人工的な構造色材料を作製することが可能です。しかし、人工的な構造色材料の多くは石油由来のプラスチックや無機材料を中心に構成されており、自然に存在する構造色材料が有する生分解性や持続可能性は損なわれていました(図 2)。植物素材をはじめとする天然高分子を用いた構造色材料の開発も進められていますが、過去に報告されている光の反射率は最大でも50%前後であり、生分解性と光反射性能の両立は困難でした。

天然高分子を用いて高反射率構造色材料を実現することが困難な要因は主に二つ存在します。一つは、天然高分子そのものの屈折率バリエーションの乏しさです。最も単純で高反射率が実現できる構造はタマムシの翅などに代表される多層反射膜ですが、高反射率を実現するためには屈折率の異なる二種類の薄膜を交互に積層する必要があります(図 3)。しかし、天然高分子の屈折率は概ね 1.5～1.6 の範囲に限定されており、必要な屈折率差を得ることが容易ではありませんでした。二つ目は、薄膜積層手法が制限される点です。多層反射膜は 1 層 100 nm 前後の極薄の膜を積層する必要があります。無機材料の場合は蒸着が、プラスチックの場合は延伸が適用できますが、天然高分子にこれらの手法を直接適用することは困難です。

図 2 天然、人工含め構造色材料は数多く存在するが、生分解性と高反射率を両立することは容易ではない。

図 3 タマムシの翅は天然の多層反射膜だが、実際の反射率は 30%程度である。人工的に天然高分子を用いてタマムシの翅の構造を再現しても、屈折率差が小さいため高反射率を実現することは難しい。

❖ 研究の内容

研究グループは天然高分子のみを用いて十分な屈折率差を実現するために、植物由来ナノ材料であるナノセルロースに着目しました。ナノセルロースは全植物が有する天然のナノ材料であり、高強度、高透明、生分解性といった優れた特性を兼ね備えています。また、非常に細く、強靭なため、立体的なネットワーク構造を作ることで透明なスポンジ状の多孔質材料※4 を形成できます。これらの多孔質材料は低屈折率な空気(屈折率 n=約 1.0)を大量に含むため、通常のセルロースやペクチン(屈折率 n=約 1.5)よりも低屈折率となります。実際に、ナノセルロース多孔体を調製し、屈折率を測定したところ、非常に低屈折率(屈折率 n=約 1.2)であることを確認しました(図 4)。これにより、ナノセルロース多孔質層と、通常の多糖類層(例:ペクチン)を交

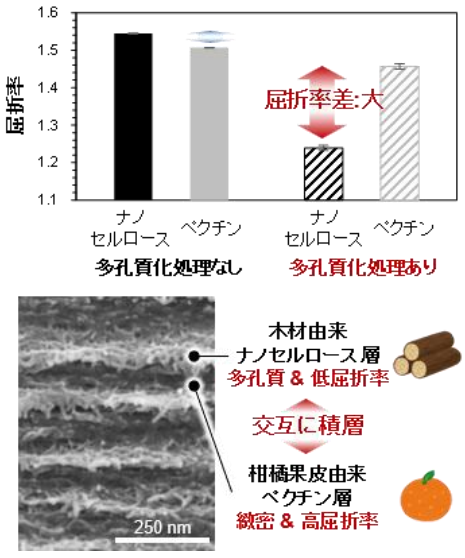

図 4 ナノセルロースはその強靭な骨格によって多孔質化/低屈折率化が可能であり、必要な屈折率差の実現に成功した。

互に積層することで、植物素材 100%で十分な屈折率差を実現することが可能になりました。

次に、ナノセルロース多孔質層とペクチン層を 100 nm 程度の厚みで交互に積層するために、電着※5 技術を採用しました(図 5)。電着とは、水中に分散した電荷をもったナノ粒子や高分子電解質を電極上に堆積させる技術です。電着では時間によって膜厚を精密に制御できるため、100 nm 前後の極薄膜を積層することが可能です。研究グループでは、ナノセルロース層の多孔質化/低屈折率化と電着による薄膜積層を組み合わせることで、植物素材のみを用いて高反射率の構造色フィルムの調製に成功しました。

開発した構造色フィルムは可視光域の特定波長を 95%以上の反射率で反射することが可能であり、白色光下で非常に鮮やかな発色を見せます(図 6)。反射光の波長(色)は各層の膜厚で決定されるため、電着時間を変更することで可視～近赤外の範囲で任意の波長を反射させることが可能です。そして、本構造色フィルムは植物由来のナノセルロースとペクチンのみで構成されているため、自然環境中で落ち葉や枯草と同じように分解され、自然のサイクルで循環します。生分解性構造色材料は過去にも報告されていますが、人工のもので最高反射率 50%程度、天然のタマムシでも 30%程度とされています。今回開発した構造色フィルムのピーク反射率は 95%以上のため、生分解性構造色材料としては、報告されている中では過去最高の反射率となります。

開発した構造色フィルムは様々な用途への展開が期待できます。電着によって薄膜を積層しているため、膜厚制御による反射波長の制御も容易であり、例えば、青色と赤色の光を同時に反射させて混色することも可能です。加えて、膜厚を徐々にずらしながら積層することで、金属のように広い波長範囲の光を反射させることもでき、植物素材のみを用いて金属調の光沢材料が実現できます。また、パターン化された電極を用いて電極ごとに異なる条件で積層することで、任意のパターンを有する構造色フィルムを実現することも可能です(図 7)。

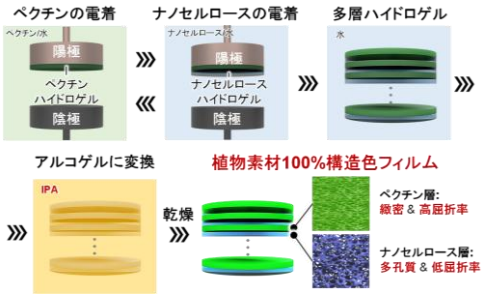

図 5 構造色フィルムの製法概要

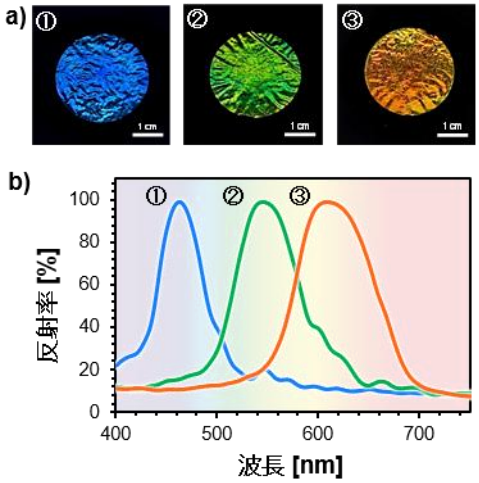

図 6 a)フィルム外観および b)反射率

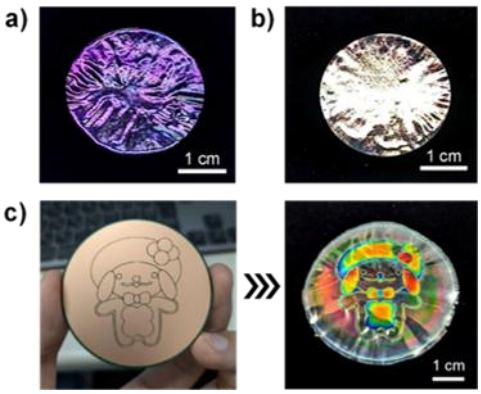

図 7 a)混色、b)金属調、c)パターン化構造色フィルム外観

加えて、電着時間を制御することで可視光だけでなく、近赤外光を反射させることにも成功しました（図 8）。近赤外光の選択的な反射は、近年では特に遮熱用途で注目されています。たとえば、窓に貼れば、太陽光の不要な近赤外光は反射しつつ屋内の明るさは確保することができ、屋内の温度上昇を最小限に抑えることが可能になります。加えて、今回開発した構造色フィルムはその体積の約半分が多孔質なナノセルロースキセロゲルで構成されているため、発泡シート並みの断熱性能も兼ね備えています。実際に、構造色フィルムを天窓材として使用して遮熱デモンストレーションを行ったところ、ガラス単独の場合と比べて、屋内の温度上昇を大幅に抑えることに成功しました（図 8c）。

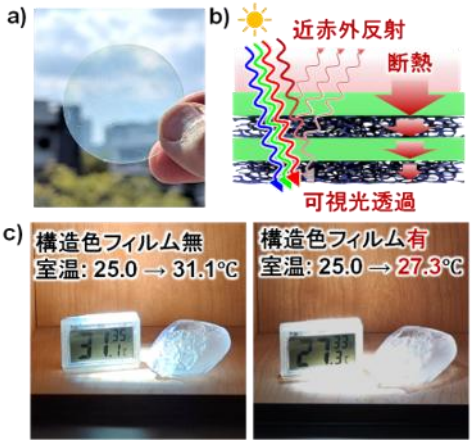

図 8 a)透明遮熱断熱フィルム外観、b)遮熱断熱イメージおよび c)遮熱デモ

❖ 本研究成果が社会に与える影響（本研究成果の意義）

開発した構造色フィルムは高反射率、高設計自由度、生分解性、持続可能性を兼ね備えています。本研究成果により、環境にやさしい加飾、センサ、偽造防止、熱制御材料および持続可能なフォトニクス分野（Sustainable Photonics）の発展が期待されます。具体的には、環境中に流出してもマイクロプラスチックにならない化粧品・装飾品などのラメ剤、回収不要な農業用光学センサ、パスポートなど紙製の偽造防止ホログラム、透明遮熱断熱窓材など、多岐にわたる応用展開が考えられます。

❖ 特記事項

本研究成果は、2026 年 11 月 4 日（水）（日本時間）に国際科学誌『Advanced Materials（IF:29.1）』（オンライン）に掲載されました。

タイトル：“Over 95% optical reflectance from structurally modulated all-biopolymer multilayers”

著者名：Takaaki Kasuga*, Ami Mizui, Shun Ishioka, Huang Yintong, Yuto Kaku, Tsuguyuki Saito, Tatsuya Namba, Yohsuke Goi, Hirotaka Koga, Masaya Nogi

DOI：https://doi.org/10.1002/adma.75473

なお、本研究は、JST 戦略的創造研究推進事業 さきがけ（JPMJPR24L6）、同 CREST（JPMJCR22L3）、創発的研究支援事業（JPMJFR2003）、共創の場形成支援プログラム（COI-NEXT）（JPMJPF2115）および JSPS 科学研究費助成事業（JP24H00524、JP25K17966）の一環として行われました。

❖ 用語説明

※1 構造色材料

ナノスケールの微細な構造によって特定波長の光を反射することが可能な光学材料です。自然界では、タマムシをはじめとする昆虫や、孔雀、オパールなどに見られます。色素による吸収ではないため、長期間使用しても構造が破壊されない限り退色することがなく、また、角度によって色が変わるなどユニークな特徴を持ちます。

※2 生分解性

微生物の働きによって、最終的に水や二酸化炭素などに分解される性質を指します。

※3 ナノセルロース

木材をはじめとする植物原料などから抽出できる極細繊維で、セルロースナノファイバーとも呼ばれます。太さは 2～15 nm で、一般的な髪の毛の 1000 分の 1 以下の太さです。軽量、高強度、高耐熱、高透明かつ持続可能な新材料であり、実用化が進められています。

※4 多孔質材料

ここでは、高分子や無機材料を骨格とし、ネットワーク構造の内部に空気を大量に含んだ材料を指します。多孔質材料を作製する方法はフリーズドライや発泡など様々ありますが、透明な多孔質材料を調製するためには通常特殊な技術（例：超臨界乾燥など）が必要になります。本研究ではナノセルロースの強靭な骨格を利用し、溶媒置換/常圧乾燥法によって多孔質化させています。

※5 電着

水中に差し込まれた 2 枚の電極に電圧をかけた場合、電極間には電場が生じます。水中に帯電した粒子や高分子電解質が分散していると、電場の影響で泳動し、一方の電極上に堆積します。

❖ **参考 URL**

春日 貴章 助教 研究者総覧
https://rd.iai.osaka-u.ac.jp/ja/715f54dbfcdd55a8.html

春日 貴章 助教 Web サイト
https://tkasuga.com/

❖ **本件に関する問い合わせ先**

＜広報に関するお問い合わせ＞
大阪大学 産業科学研究所 広報室
TEL: 06-6879-8524
E-mail: press@sanken.osaka-u.ac.jp

科学技術振興機構 広報課
TEL: 03-5214-8404 FAX: 03-5214-8432
E-mail: jstkoho@jst.go.jp

<JST 事業に関するお問い合わせ>
科学技術振興機構 戦略研究推進部 グリーンイノベーショングループ
金山 晋司(かなやま しんじ)
Tel: 03-3512-3526 Fax: 03-3222-2066
E-mail: presto@jst.go.jp