

バイオミメティクス（バイオミミクリ）と構造色加飾技術

2023/08/11 更新 MTO 技術研究所

1 バイオミメティクスとプラスチックへの応用

バイオミメティクス（英語: Biomimetics）とは、「生物の構造や機能、生産プロセスを観察、分析し、そこから着想を得て新しい技術の開発や物造りに活かす科学技術」の意である。バイオミミクリとも言われている。

バイオミメティクスとその応用例を表1、2に示した。既に多くの分野に応用されている。

表1 バイオミメティクスとその応用—1

対象動植物	特徴	応用例
モルフォ蝶	構造色	繊維(帝人)、フィルム(東レ)
ハスの葉	撥水性	布、フィルムの撥水加工
蛾の目	無反射	モスアイ型無反射フィルム(三菱ケミカル)
カワセミの羽	見る角度で色が変わらない構造色	
カワセミの嘴	水中でも抵抗が少ない	新幹線の騒音低減
タマムシの羽	構造色	ステンレス製品、[自動車ボディ]
クモヒトデ	炭酸カルシウムの結晶によるレンズ構造	マイクロアレイレンズ
カタツムリの殻	薄い水の膜が油污れをはじいて、いつも清潔	タイル(リクシル)
せみの羽	抗菌効果	
トンボの羽	ベアリングのような働きで、空気の抵抗を抑える	クロスフローファン(シャープ)
アホウドリの羽	細く鋭い翼で高効率な飛び方	室外機ファン。風効率を20%アップ(シャープ)
イヌワシの羽	先端部が分かれた翼で安定飛行	

表2 バイオミメティクスとその応用—2

対象動植物	特徴	応用例
ヤモリの足の裏	せん断方向の接着力に優れる	接着テープ(日当電工)
オジギソウ	イオンの移動を利用して力を発生	アクチュエータ
フナクイムシ	木を掘ると同時に木材の膨張から身を守る	シールド工法(イギリス)
オナモミ	実が衣服などにくっつき、取れにくい	マジックテープ(スイス)
サメの肌	微生物の付着、拡散を防ぐ	安全・健康製品
カイコガ	性ホルモン感知	匂い源探索ロボット
カイコの繭	生体親和性、紫外線遮蔽性、制菌性など	コスメ、サプリメントなど
蚊の嗅覚受容体	蚊の触角には、さまざまな臭いを検知する嗅覚受容体が臭いごとに約100種類備わっている	臭い物質を検出する小型センサー

図1は蛾の眼を応用した無反射フィルム¹⁾、クモヒトデを応用したマイクロアレイレンズ²⁾、図2は、モルフォ蝶の羽を応用した発色する新光学繊維³⁾、ハスの葉を応用した撥水する布(蝙蝠傘⁴⁾、カマゼミの羽の抗菌効果⁵⁾を示し、図3は、カタツムリの殻を応用した防汚外壁タイル⁶⁾、図4⁷⁾はその他の例である。バイオミメティクスは、今後も研究が進み、多くの応用が期待される^{8)~11)}。

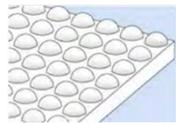
三菱ケミカルのモスアイ型反射防止フィルム

・蛾の眼をヒントに開発した表面に百ナノスケールの規則的突起構造を有するフィルム。
突起の垂直方向に屈折率が連続的に変化するため、380～780nmの可視光域で光をほとんど反射しない。



モスアイなし モスアイあり

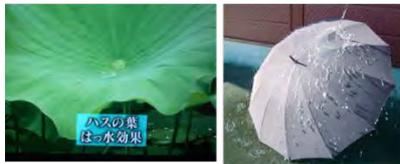
グラパックジャパンのマイクロレイレンズ



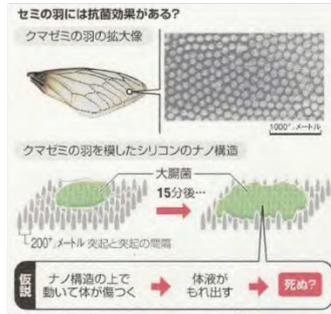
見る角度で、中央部が浮かび上がったり、沈んで見える

図1 バイオミメティクスの例—1

ハスの葉 → 布(編織傘)の撥水加工



クマゼミの羽の抗菌効果



モルフォ蝶 → 発色する新光学繊維

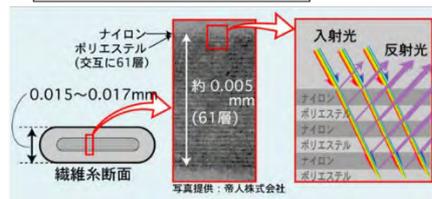
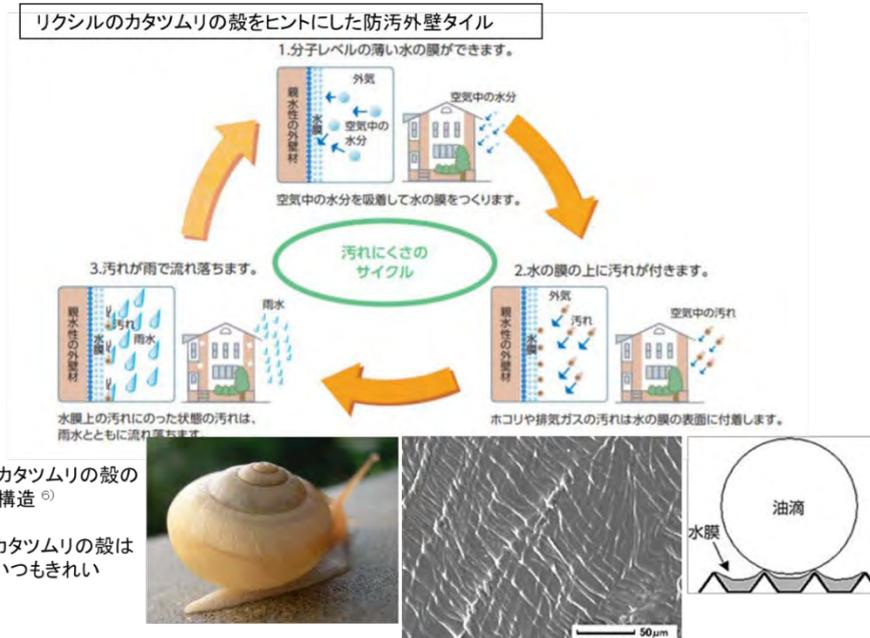


図2 バイオミメティクスの例—2

カタツムリの殻の構造は、ダイハツキャストのルーフ（共和レーザー(株)が製造）のセルフクリーニンググループにも応用されている。



カタツムリの殻の構造⁶⁾
カタツムリの殻はいつもきれい

図3 バイオミメティクスの例—3



図4 バイオミメティクスの例—4

2 構造色と構造色加飾

2.1 自然界の構造色例とその仕組み

バイオミメティクスのプラスチック加飾への応用の中心は、構造色である。構造色 (structural color) は、光の波長あるいはそれ以下の微細構造による発色現象を指す。

着色材などを使用せずに意匠表現ができ、紫外線や熱などで脱色しないため、加飾として注目され、工業的な再現、応用が期待されている。

構造色の仕組みを図5、自然界の構造色例とその仕組みを図6. 7に示す。図に示すように、構造色は、薄膜干渉、多層膜干渉、回折格子、光散乱、Mie散乱、屈折などの規則的な構造により、着色材なしで発色する。

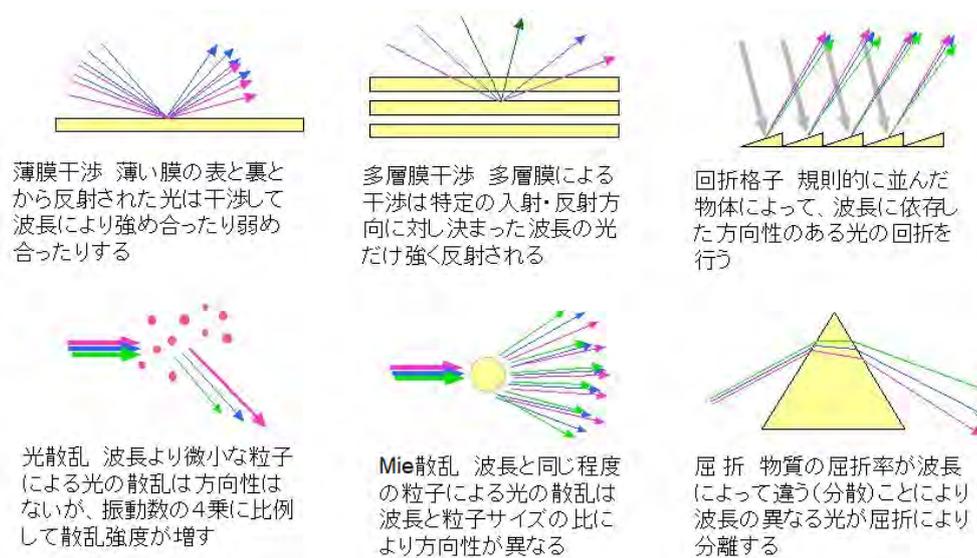


図5 構造色の仕組み

一般的には、「紫外線などにより脱色することがない」ことおよび大部分の構造色は、「見る角度に応じて、様々な色彩が見られること」などの特徴がある。

しかし、カワセミは、図7のように、一見ランダムな構造ではあるが、その中に規則性を潜ませた構造になっていると言われており、方向によらない構造色を作るために重要な構造であり、

その詳細な解明が行われており、その解明とプラスチックへの応用が大いに期待される。

図8に示すように、モルフォ蝶の構造は詳しく解明され、再現されている^{1,2)}。モルフォ蝶の羽構造は、複雑で、鱗粉には、超微細格子状の溝が等間隔に多数刻まれていて、それぞれの溝の側面には柵状の襞がついている。各列とも、高さ 3μ 、幅 1.2μ 、長さ 20μ で、この襞構造1列を人工析出させるのに約20分要すると言われている。

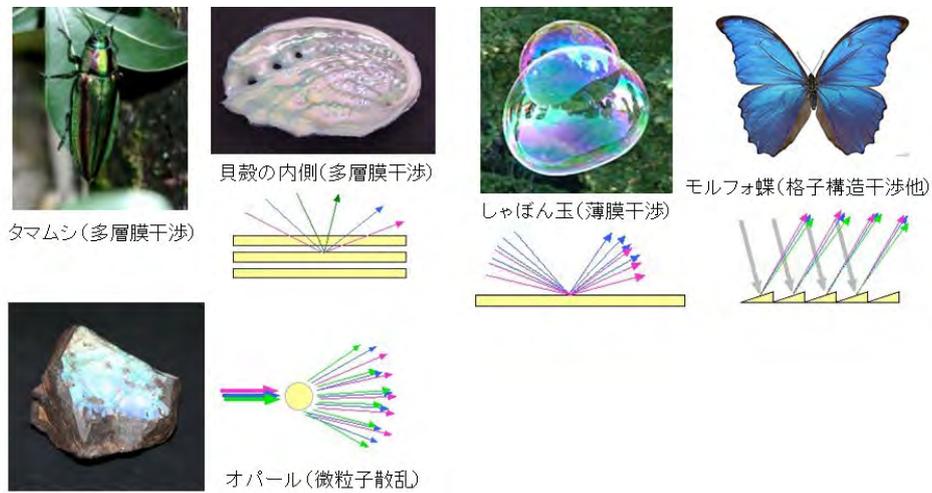
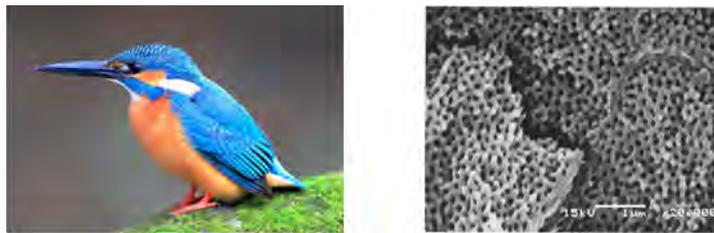
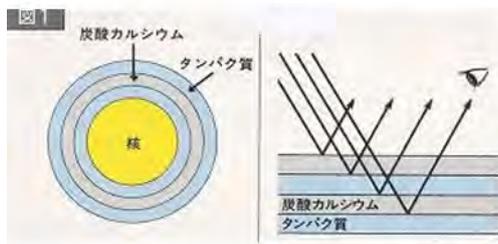


図6 自然界の構造色例とその仕組み-1



一見ランダムな構造ではあるが、その中に規則性を潜ませた構造は、方向によらない構造色を作るために重要な構造

カワセミ(特殊構造)



核の回りに炭酸カルシウムとタンパク質の薄層が交互に重なり合っている。平行に配列した二層の境界で起こる入射光の規則多重反射がパール光沢。

天然(養殖)真珠

図7 自然界の構造色例とその仕組み-2

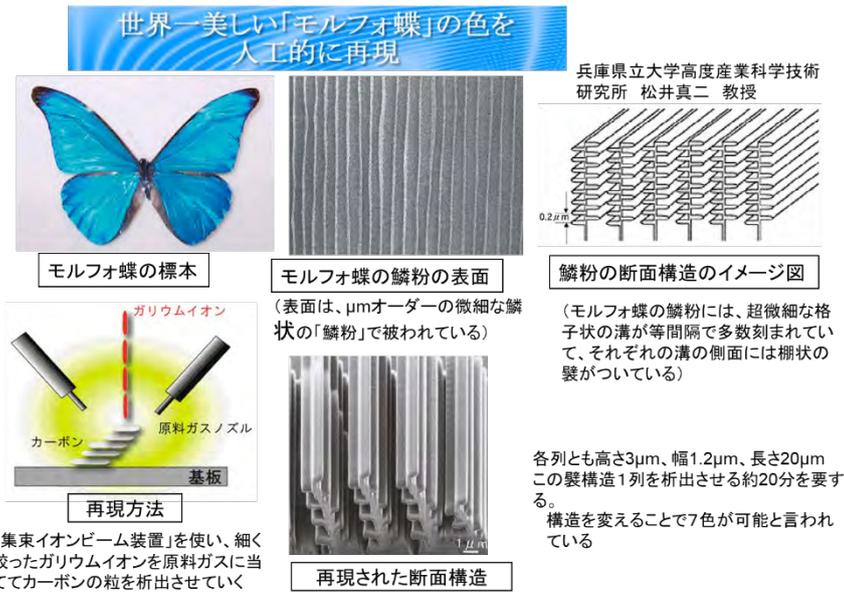


図8 モルフォ蝶の構造解明と人工析出

2. 2 プラスチックに応用されている構造色加飾

図9. 10は、プラスチックの分野で応用されている構造色例をまとめたものである。図11、12は、富士フィルム(株)の独自の光波長発技術とインクジェット技術を掛け合わせることで、本物の構造色を印刷可能とした技術¹³⁾である。

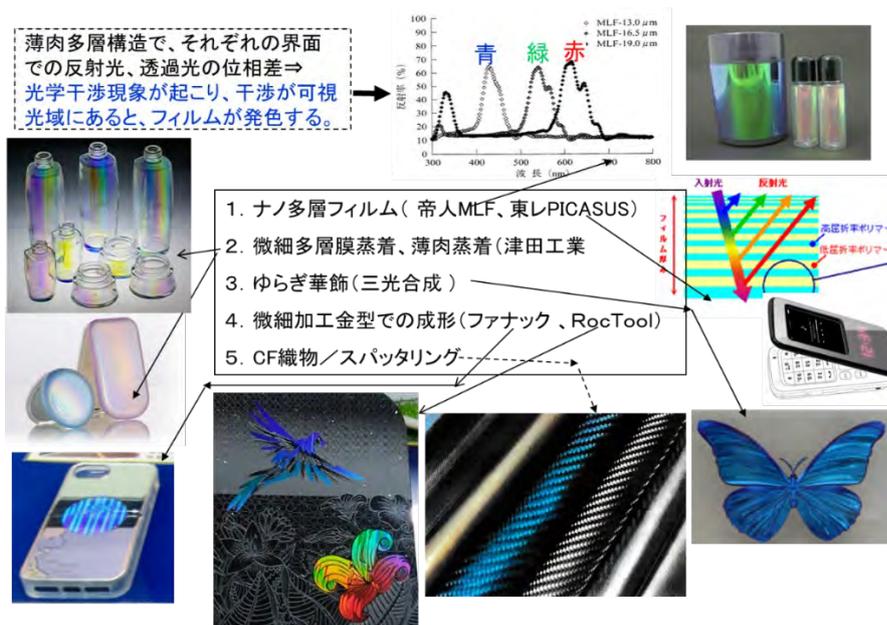


図9 構造色加飾代表例-1

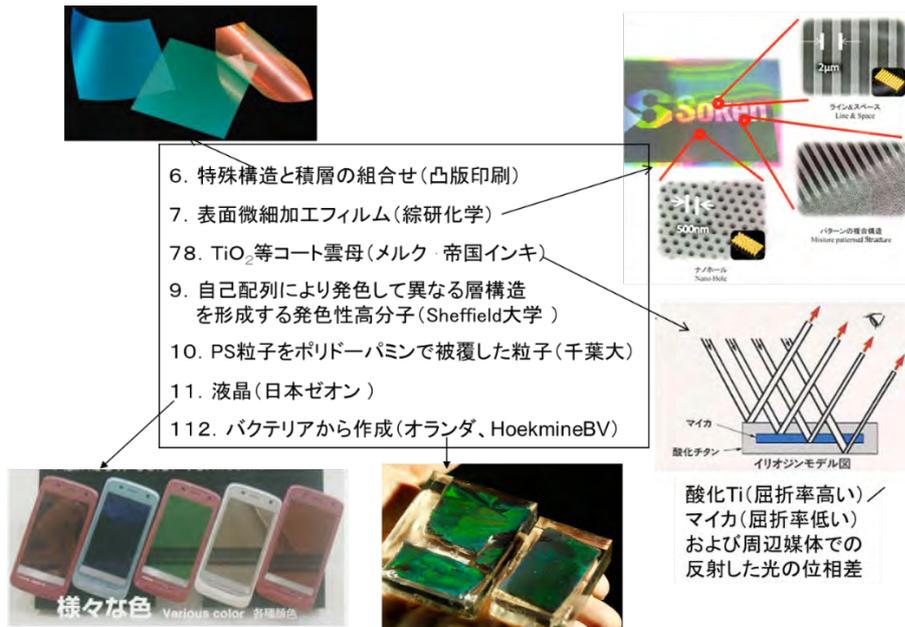
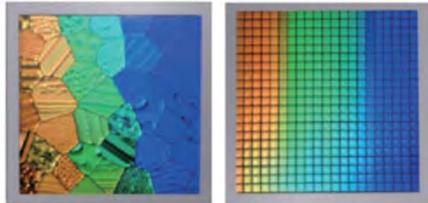


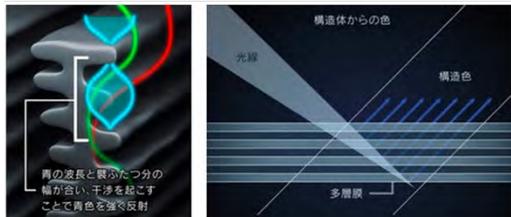
図 1 0 構造色加飾代表例 - 2

インクジェットで構造色印刷(富士フィルム)



本物の構造技術
独自の光波長発技術とインクジェット技術を掛け合わせることで、本物の構造色を印刷可能とした技術。構造色のため、見る角度によって色がかわる角度依存性や背景色によって見え方が変わる環境依存性のある印刷技術
現時点でフィルム印刷後の成形伸び(3次元加飾) 対応は困難

インクに色素となる染料や顔料を含まず、基材定着時にインク膜内に微細構造を形成する技術により、構造色を発現させる。構造色の多彩な色合いをインクジェット印刷で自在に表現でき、樹脂やガラスの装飾などに最適。



色味の異なる構造色を発現する複数種のインクを組み合わせることで、光の波長によって生じる赤色から青色まで、フルカラーの構造色を表現できる。

図 1 1 構造色加飾代表例 - 3

富士フィルムのインクジェット構造色印刷の応用例



CITIZEN L『アンビリュナ』の文字盤



舘鼻氏の作品で使用される構造色



図 1 2 構造色加飾例 - 3 - 2

2. 2. 1 ナノ多層（超多層）フィルム

薄肉多層構造で、それぞれの界面での反射光、透過光の位相差が特定条件を満たすと干渉により反射光は強めあう光学干渉現象が起こり、干渉が可視光域にあると、フィルムが特定の色で発色する（構造色）。メタリックであっても、光・電磁波を透過する。

東レ(株)が PICASUS¹⁴⁾、帝人フィルムソリューション(株)が MLF¹⁵⁾、さらにリンテックが REVI¹⁶⁾の超多層フィルムの構造色フィルムを供給している。積層の調整で各色の発色が可能であるが、最も注目されるのは、メタリック発色で、メタリックでありながら、光、電磁波を透過するフィルムが得られ、車載用途における衝突回避システム等に搭載されるミリ波レーダ-の部品等に応用されている。図 1 3、1 4 に PICASUS、図 1 5 に MLF、図 1 6 に LVI を示す。

東レのPICASUS

- ・スマホやパソコンのブルーライトカット用途
- ・情報家電における静電容量型タッチパネル
- ・鏡面に電光表示が浮き出すデザイン
の非接触充電器
- ・車載用途における衝突回避システム
等に搭載されるミリ波レーダ-の表面部分
- ・次世代HUD (head up display) の表示部分

ナノ積層構造

干渉反射

可視光線

反射波長

高屈折率ポリマー

100nm

1000nm

メタリック サテン調メタリック 表面に印刷

近赤外光透過金属沢調、ダイクロック調、ブルーライトカットの3種類のナノ積層フィルムをPICASUS®シリーズに加え、本格展開。

ブルーライトカット

高速時・高ブルーライトカット率

高品質ディスプレイ

高透明フィルム

ダイクロック調

単色・紅色変化

自動車・カーナビ・携帯機器

情報家電(スマホ) ICカード(交通系IC)

近赤外透過

金属調・近赤外透過

情報家電

ミリ波レーダ- スマートフォン

ミリ波レーダ-部品

図 1 3 超多層フィルムによる構造色例加飾ー 1

東レのPICASUSの意匠表現

		構成例				
		GH	GM	GL	GT	GB
メタリック	<p>Al, Cr, SUS 調</p>	セラミック蒸着調		ダイクロ調		
	<p>カラーメタリック調</p>					
	<p>ヘアライン調 マット調</p>	ヘアライン調 マット調				
ハイグロス デザイン	<p>大理石、木目、幾何学 調</p>					
3D	<p>視差効果</p>					
光透過	<p>隠し文字、ハーフミラーディスプレイ調</p>					
全光線透過率(%)		30	50	65	85	95

図 1 4 超多層フィルムによる構造色加飾例ー 2

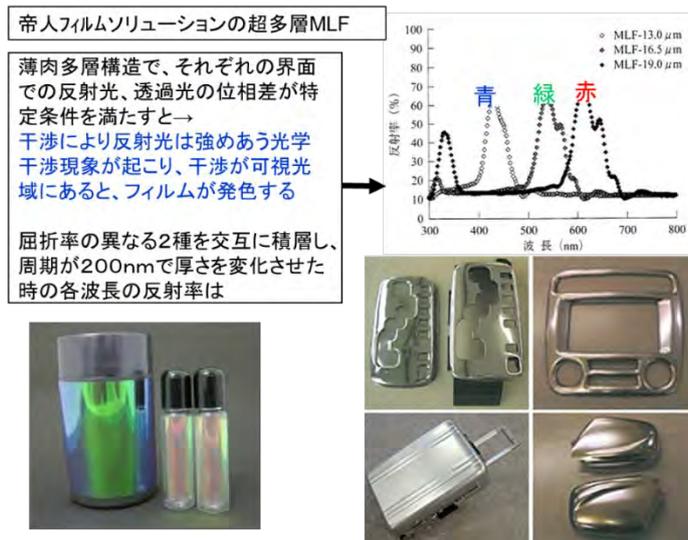


図15 超多層フィルムによる構造加飾色ー3



図16 超多層フィルムによる構造色加飾ー4

2.2.2 表面微細加工フィルム

綜研化学¹⁷⁾等が、ロールまたはプレスでフィルム表面に超微細加工を付与した構造色フィルムを作成している(図17)。微細パターンを調整すれば、超撥水効果も得られる。

2.2.3 ゆらぎ華飾

三光合成(株)¹⁸⁾が、プラスチックを用いて、格子構造+多層構造で、モルフォ蝶の色を実現し、MERT (Morpho Exclusive Resin Technology)、あるいは「ゆらぎ華飾」の名称で発表している(図18)

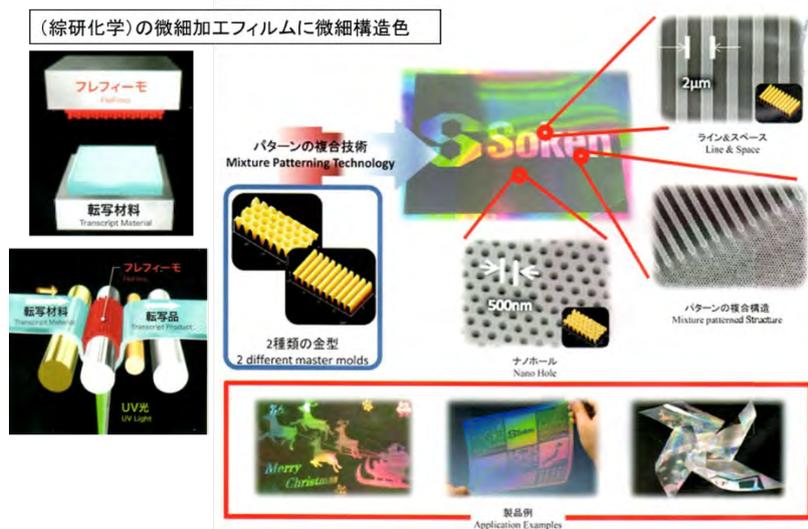


図 1 7 表面微細加工フィルムによる構造色加飾

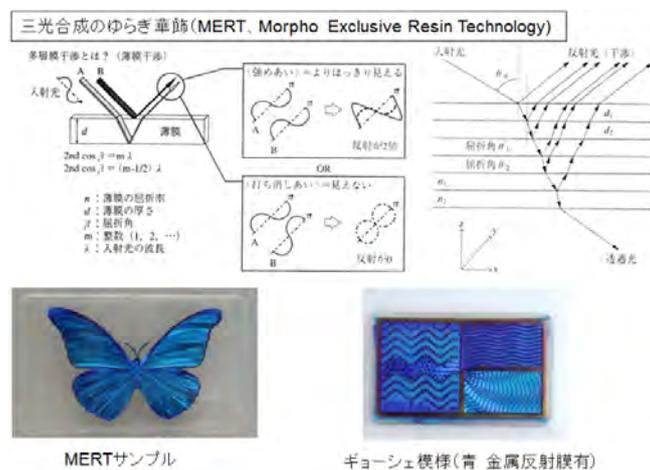


図 1 8 表面微細加工フィルムによる構造色加飾

3. 2. 4 微細加工金型での成形品

図 1 9 に示すように、RocToo¹⁹⁾ が自社のヒート&クールシステムによって成形された構造色例を示し、ファナック²⁰⁾ も、表面を微細加工した金型を用いて、射出成形で構造色を実現している。モルフォ蝶の色にも挑戦したが、構造が複雑で、あまりにも工数がかかりすぎるなどで、実現していないと言われている。

カワセミのように、見る角度が変わっても、色目に変化しない構造色が得られたら、実用化が進むと思われるが、かなりハードルは高いようである。

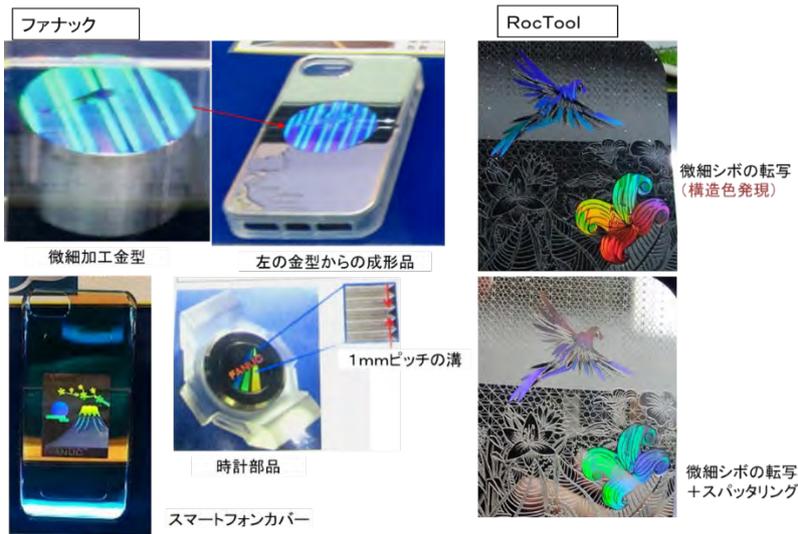


図19 微細加工金型による構造色加飾

2.2.5 液晶フィルム

図20に示すように、日本ゼオン(株)²¹⁾が単層でメタリック、各種カラ-の構造色を出せる液晶フィルムを開発。現時点では伸びがないが、改良検討中と説明されている。

PICASUS(超多層)より面品質良好で、微細凹凸加工性に適したフィルムで、パターンによって各種機能を付与できると言われている。現時点では、機能フィルムとしての展開を目指しており、加飾への展開は考えていないと説明されている。

日本ゼオン 単層でメタリック、各種カラ-の構造色を出せる液晶フィルム。
現時点では伸びなし(改良検討中)。

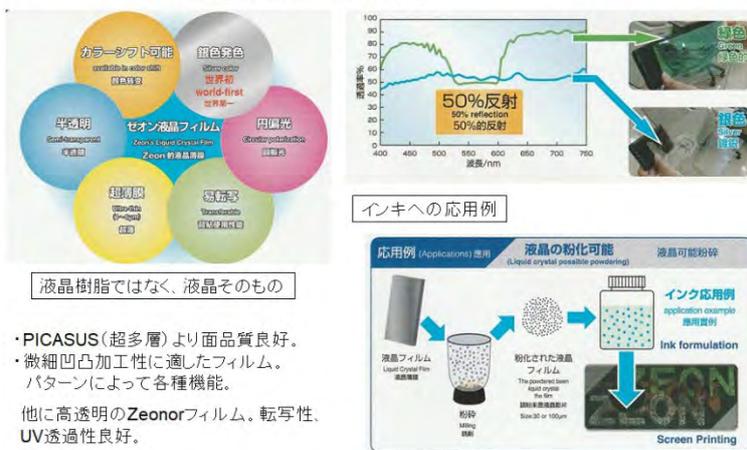


図20 液晶フィルムによる構造色加飾

- ・PICASUS(超多層)より面品質良好。
 - ・微細凹凸加工性に適したフィルム。
 - ・パターンによって各種機能。
- 他に高透明のZeonorフィルム。転写性、UV透過性良好。

2. 2. 6 多層膜真空蒸着

図 2 1 は、薄肉、多層蒸着による構造色加飾で、津田工業(株)等 2 2) が、多層膜蒸着で構造色を実現している。(株)いわき 2 3) 金属蒸着膜を複数重ねることによって、染料や顔料を使わずに、カラーリングができ、重ねる金属膜の厚み層数によって、色をコントロールすることができる。また、この金属膜は光学的に制御されるの、赤外域の透過性を有するといった特殊な機能を持たせることができる。



2. 2. 7 特殊構造と積層の組合せ

凸版印刷(株)^{2 4)} が、ナノインプリント技術により形成したナノ構造上に金属薄膜を多層に成膜することで、光の反射と散乱を制御した構造色フィルム、「モルフォシート」を開発している。(図 1 0 参照)

2. 2. 8 光輝性偏光フィルタ-

図 2 2 に示すように、メルク(株)^{2 5)} が、天然マイカの表面を TiO_2 および FeO などの、高屈折率の金属酸化物で被覆した無機パール顔料を販売している。屈折率の高い TiO_2 の層と、屈折率の低いマイカおよび周りの媒体との境界で反射した光がパール光沢をもたらす。また、帝国インキ(株)^{2 6)} も同様な構成のパール顔料を販売している。

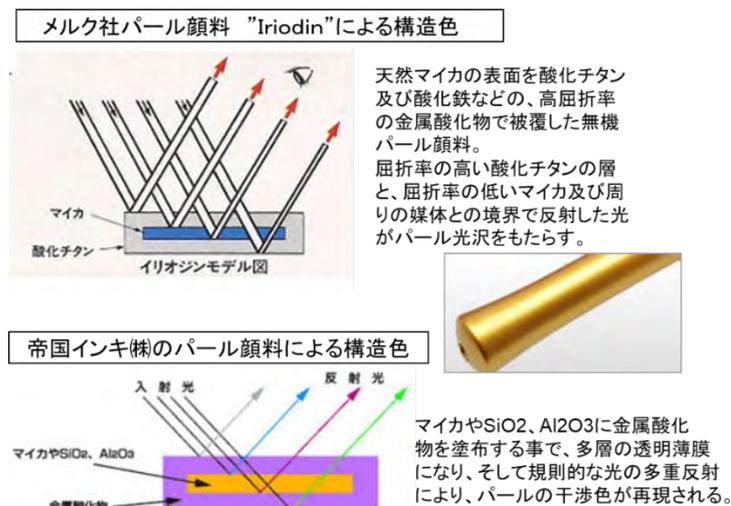


図 2 2 無機パール顔料による構造色加飾

2. 2. 9 コロイド粒子の微細粒子光散乱

日油^{2 7)} が、図 2 3 に示すように、2 層コロイド粒子を用いて、微細粒子光散乱による構造色を

開発した。コロイド粒子を用いた構造色は、他にも開発されている。

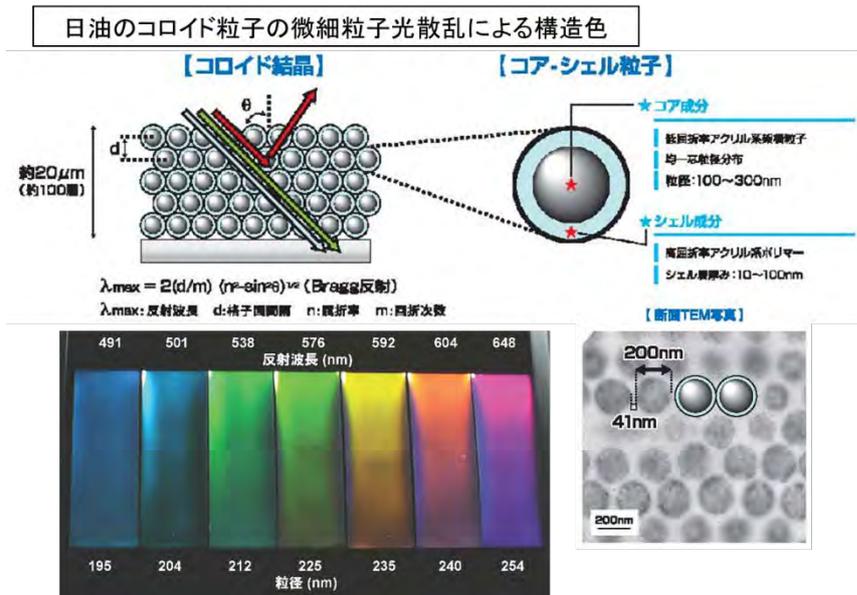


図 2 3 コロイド粒子の微細粒子光散乱による構造色加飾

2. 2. 10 スパッタリングスパッタリング

スパッタリングスパッタリングで、主として膜厚さを制御することで、異なる色を発色できる。
 図 2 4 に示すように、カーボンファイバー (CF) 織物 / スパッタリングで構造色が得られる²⁸⁾。

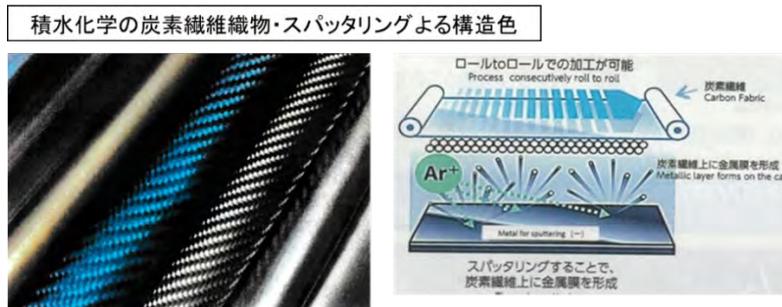


図 2 4 炭素繊維織物へのスパッタリングによる構造色

2. 2. 11 その他の構造色

千葉大学では、孔雀の羽の構造にヒントを得て、ポリスチレン粒子をポリドーパミンで被覆した粒子を開発し、視認性の高い構造色を開発した²⁸⁾。

また、Sheffield 大学²⁹⁾では、鳥類の構造色の研究から、自己配列により発色して異なる層構造を形成する発色性高分子を開発している。

さらに、東京理科大学³⁰⁾でも検討され、オランダの HoekmineBV³¹⁾もバクテリアからの検討を進めている。

その他、トヨタ自動車(株)³³⁾が、レクサスのフラッグシップクーペである『LC』の特別仕様車「Structural Blue (ストラクチャルブルー)」を発売した。ボディ色に、南米に生息するモルフオ蝶の羽から着想を得た「構造発色」を採用した (図 2 5)。

モルフォ蝶に着想した特別色...レクサスLCに国内販売累計50万台記念仕様

レクサスは、2018年3月末時点での国内における累計販売台数が50万台を達成した。これを記念して、レクサスのフラッグシップクーペである『LC』の特別仕様車「Structural Blue(ストラクチュラルブルー)」を発売した。

このストラクチュラルブルーは、南米に生息するモルフォ蝶の羽から着想を得た「構造発色」という、光を受けると特定の波長だけが反射、強調される原理を応用した独自のボディカラーで、レクサスは15年の期間を経て、この原理を再現した自動車用の構造発色性顔料を開発。光の反射により圧倒的な鮮やかさと強い輝き、深みのある陰影を実現し、ボディの抑揚を美しく際立たせる。

内装色には、日の出や日の入りのわずかな時間に現れる幻想的な空の風景をモチーフに、ストラクチュラルブルーと調和した、特別仕様車専用ブルーモーメントとブリージブルーの2種類を設定している。



レクサスの最上級クーペ『LC』に限定車「EDGE」にも同様色(2023)

図 2 5 レクサス LC の限定車 (2 0 1 8)

参考文献

1) 三菱ケミカル(株)

<https://www.m-chemical.co.jp/products/departments/mcc/ams/expo/15.pdf>

2) グラパックジャパン <http://www.grapac.co.jp/print/print.html>

3) 博物館だより・2008年秋冬号「構造発色繊維」

<https://www.i-kahaku.jp/magazine/backnumber/54/03.html>

4) 帝人フロンティア・ニュースリリース「蓮の葉構造を傘地に再現！撥水性に優れる機能傘を発売」<https://www2.teijin-frontier.com/news/150226.html>

5) 朝日新聞デジタル「セミの羽は抗菌？薬を使わず細菌を殺すナノ構造とは」

<https://www.asahi.com/articles/ASM253VKHM25UBQU001.html>

6) 生物史から、自然の摂理を読み解く「生き物ってすごい！3～『汚れる』方がおかしい？」

<http://www.seibutsushi.net/blog/2013/01/1358.html>

7) リクシル(株)「カタツムリの殻をヒントにした防汚外壁タイル」

https://www.env.go.jp/policy/keizai_portal/B_industry/frontrunner/reports/h29engine_1L_IXIL.pdf

8) セブン-イレブンみどりの基金広報誌「自然界に学ぶ最先端の技術」

<http://www.7midori.org/katsudo/kouhou/kaze/meister/16/>

9) (株)インプレス・家電 Watch「シャープ“トンボの羽”で送風効率を高めたプラズマクラスターエアコン」<https://kaden.watch.impress.co.jp/img/kdw/docs/407/475/html/a44.jpg.html>

10) 日本経済新聞 電子版「ヤモリの足から接着テープ 生物模倣技術の今」

https://www.nikkei.com/article/DGXNASDD27050_X20C12A4000000/

11) 東京大学他 <https://eetimes.itmedia.co.jp/ee/articles/2101/15/news055.html>

12) 松井ら 微細構造の人工的再現、J. V. Science and Technology B: Microelectronics and Nanometer Structures 23, 570(2005)

13) 富士フィルム(株) <https://www.fujifilm.com/jp/ja/news/list/7724>

14) 東レ(株) <https://www.films.toray/products/picasus/>

15) 帝人デュポンフィルム <https://xtech.nikkei.com/dm/article/NEWS/20091026/176870/>

16) リンテック <https://fs2.magicalir.net/tdnet/2011/7966/20111031035375.pdf>

17) 吉田哲也(綜研化学(株))、色材、77 [9]、P405 (2004)

18) 三光合成(株)「ゆらぎ華飾技術」

- https://www.sankogosei.co.jp/tec/Decorationhara/j_design.html
- 19) ロックツール 入手サンプル (<https://roctool.jp>)
 - 20) ファナック(株) Naotec2016
 - 21) 日本ゼオン(株) Naotec2016
 - 22) 津田工業 Naotec2017
参考 <http://www.tsudaindustrial.co.jp/technology/deposition%20technology.html>
 - 23) (株)いわき N-P L U S 2014
 - 24) 凸版印刷(株) 高機能素材 2017
参考 <https://www.toppan.co.jp/news/2016/08/newsrelease0809.html>
 - 25) メルク「Iriodin® パール光沢カラーエフェクト」
<https://www.merckgroup.com/jp-ja/brands/pm/iriodin.html>
 - 26) 帝国インキ(株)
 - 27) 林昌樹ら (日油(株)、JETI、59(6)、P107-109)
 - 28) 積水化学(株) くるまワールド 2019
 - 29) オプトロニクスオンライン「千葉大ら、孔雀を模したフォトニック材料を作成」
<http://www.yoshioka-lab.com/kaisetsu/morpho.html>
 - 230) Sheffield University Latest News 「Nature's unique way of controlling colour explains why birds never go grey」
<https://www.sheffield.ac.uk/news/nr/jay-bird-feather-grey-nanostructure-university-1.535413>
European P l a s t i c News 2011年6月号 p12
 - 31) 東京理科大学 理工学部 物理学科 吉岡研究室 HP <http://www.yoshioka-lab.com/>
 - 32) Hoekmine BV <https://www.hoekmine.com/>
 - 33) トヨタ自動車 <https://global.toyota.jp/newsroom/lexus/21980565.html>