

## 気になる論文コーナー

## 指紋検出のためのライン走査型ラマンイメージング分光法

Line-scanning Raman Imaging Spectroscopy for Detection of Fingerprints

[S. Deng, L. Liu, Z. Liu, Z. Shen, G. Li and Y. He: Appl. Opt., 51, No. 17 (2012) 3701-3706]

指紋は事件の証拠品として重要であり、近年分光技術を駆使した検出方法が研究されている。特にラマン分光イメージングは、指紋画像による被疑者特定とどんな物質が付着していたかを示す化学情報の取得が同時に行えると期待されている。そこで、本論文では、迅速かつ正確なライン走査型ラマン分光イメージングシステムを構築し、指紋検出への応用を試みている。

励起光源である波長 473 nm のレーザー光をシリンドリカルレンズで線状にし、試料を設置したステージを走査することにより、光を二次元的に照射している。試料からの光はフィルターを用いて励起光をカットし、その後スリット・分光器を用いてスペクトルを取得している。本システムのイメージング範囲は、横 3.5~10 mm、縦 6~20 mm である。一方、汗腺分泌物のひとつである  $\beta$  カロテンと、ヒト脂肪の代わりに魚油を混ぜた試料を指先に塗布し、乾燥させた後、プリンター用紙やボール紙、黒色銅版、黒い絶縁ゴムテープに指を押し付けた試料を用いている。

まず、本装置の検出限界は、 $\beta$  カロテンの場合、 $3.4 \times 10^{-9}$  mol/L であることが検証された。次に、指紋を押し付けた試料をステージに固定し、ステップ間隔 14  $\mu\text{m}$ 、1 ラインの取り込み時間を 0.5 秒で観測した結果、 $\beta$  カロテンに由来するラマンピーク (1189 および 1545  $\text{cm}^{-1}$ ) が検出された。それぞれのピークのラマン強度イメージングは、通常のカメラで撮影した指紋画像と一致した。また、指紋を付着させた媒体の種類に依存せず検出することが可能であった。(図 4, 文献 22)

本手法は、化学物質の種類と位置を特定することができるラマン分光イメージングを指紋検出に応用することにより、単に指紋の形状を検出するのみならず、指に付着していた化学物質を推定することができる点で非常に興味深い。今後、イメージングの高速化や検査対象を選ばないフレキシブルな測定システムを目指した開発が期待される。(鈴木 基嗣)

## 焦点距離とピッチが可変な超音波光学レンズアレイ

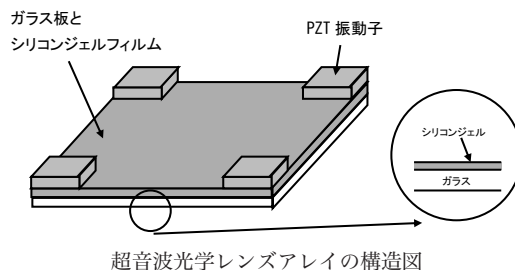
Ultrasonic Optical Lens Array with Variable Focal Length and Pitch

[D. Koyama, M. Hatanaka, K. Nakamura and M. Matsukawa: Opt. Lett., 37, No. 24 (2012) 5256-5258]

一般的なカメラシステムでは、アクチュエーターなどを使用してレンズを光軸方向に移動させて合焦を行うが、近年ではより高速に合焦でき、かつ小型のカメラシステムが望まれてきている。その要求に対し、水と油などの屈折率差を有し互いに混ざり合わない液体を使用した、可変焦点液体レンズが研究されている。しかし、従来の液体レンズは大気温度に敏感であり、微小気泡や乳化が起こることで動作寿命が短いという欠点があった。そこで著者らは、4つの PZT 素子から成る超音波振動子とガラス板上のシリコンジェルによって形成される、可変焦点、可変ピッチのレンズアレイを開発した。このレンズアレイは、PZT 素子の動作周波数でレンズのピッチを、入力電圧でレンズの焦点距離を可変にすることができる。入力電圧が小さいときはアレイレンズ個々の焦点距離のばらつきが大きい、電圧増加に伴い、焦点距離のばらつきが小さくなる様子が確認された。実際にこのレンズアレイを使用して焦点距離を 75 mm から 102 mm まで変化させ、それぞれの距離に置かれた被写体に合焦できることが確認できている。(図

6, 文献 20)

ピッチと焦点距離が可変なレンズアレイという発想は非常に興味深く、今後さまざまな分野に応用できる技術であると感じた。ただ、個々のレンズの形状やピッチのばらつきをどこまで小さくできるかが、製品化に際しての課題であると思う。(佐野 永悟)



## ペアノ曲線のような研磨経路を用いた非球面光学面の研磨方法

Peano-like Paths for Subaperture Polishing of Optical Aspherical Surfaces

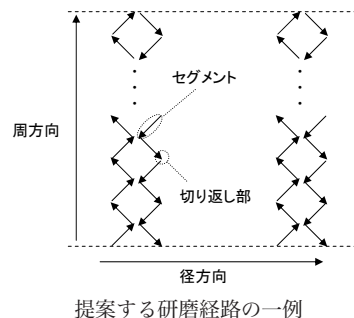
[H.-Y. Tam, H. Cheng and Z. Dong: Appl. Opt., 52, No. 15 (2013) 3624-3636]

光学系に非球面を適用することで、光学系の性能向上や小型化を実現することができる。非球面は面の位置ごとに曲率が異なるため、小さな研磨工具を用いて面全体を研磨して製造する。研磨工具が面をなぞる研磨経路として、スパイラルやラスターがある。

著者らは、ペアノ曲線のような研磨経路を非球面研磨に適用することを提案する。この経路は、どのセグメントも同じ長さの経路となり、切り返し部で直交するため、面形状を均一に磨くことができる。経路を工夫することで、回転対称な光学面や、面頂付近の適用方法を具体的に述べている。特に面頂付近では、セグメントの密集と歪みを防ぐために、正方形の経路を別途作成する工夫をする。

提案した経路で実際にガラス面の非球面研磨加工を行い、MRF (磁気粘弾性流体研磨) とピッチ研磨でその効果を確認した。MRF では、提案した経路とラスター経路とで、研磨加工の条件を同一にして比較したところ、ラスター経路で生じた研磨痕が、提案した経路ではみられなかった。また、ピッチ研磨では提案した経路は  $Ra$  0.91 nm の粗さを達成した。(図 27, 文献 15)

光学製品の高品質化に伴い、非球面の形状精度や粗さの要求は高まっているため、著者らの方法は興味深い。ガラス面の研磨の例が提示されているが、モールド金型に適用できれば、高品質な非球面レンズを量産できる可能性もある。(佐藤 陽輔)



## 一時的な単眼遮蔽が遮蔽眼の両眼連携への寄与を向上させる

Short-Term Monocular Deprivation Strengthens the Patched Eye's Contribution to Binocular Combination  
[J. Zhou, S. Clavagnier and R. F. Hess: J. Vis., 13, No. 5 (2013) 12]

左右2つの眼から入力される視覚像は脳内において統合され、1つの像として知覚・認知される。一般に、このような両眼情報の統合過程（両眼連携）において、両眼からの視覚情報は等しく利用されているのではなく、いずれか一方の眼からの情報が他方よりも優位に利用されている。近年、拡散フィルターを用いて視覚情報のパターンのみが見えなくなるような単眼遮蔽を行うと、遮蔽眼の両眼連携への寄与が向上することが報告されている。本論文では、拡散フィルターによる単眼遮蔽の効果を複数の両眼視機能検査課題を用いて検討するとともに、光そのものを完全に遮蔽する完全単眼遮蔽の効果についても併せて検討した。実験では、2.5時間の拡散フィルターによる単眼遮蔽、または完全単眼遮蔽の前後に、両眼視機能に関する検査課題を複数行い、両眼連携における遮蔽眼の寄与の変化を測定した。結果は、遮蔽のタイプにかかわらず、遮蔽眼での両眼連携への寄与が向上する

ことを示した。また、その効果はおおよそ30分程度持続した。これらの結果は、遮蔽のタイプにかかわらず、単眼遮蔽により両眼連携への寄与が変化することを示唆するとともに、両眼連携に関わる神経メカニズムの可塑性を示唆する。（図5、文献27）

従来の研究において、脳内の神経回路が形成される時期（臨界期）より前では、単眼遮蔽により遮蔽眼の永続的な感度の低下などが生じるが、臨界期以降では単眼遮蔽による効果がないことが報告されてきた。本論文では、臨界期を過ぎた成人において、遮蔽のタイプにかかわらず、単眼遮蔽によって両眼連携での寄与を向上させる効果があることを、さまざまな課題を用いて示している点で興味深い。臨界期以降での治療が困難な弱視の治療などへの応用が期待される。

（瀬谷 安弘）

## 液浸直接レーザー描画リソグラフィーによって作製した三次元メカニカルメタマテリアル

Tailored 3D Mechanical Metamaterials Made by Dip-in Direct-Laser-Writing Optical Lithography

[T. Buckmann, N. Stenger, M. Kadic, J. Kaschke, A. Frolich, T. Kennerknecht, C. Eberl, M. Thiel and M. Wegener: Adv. Mater., 24 (2012) 2710-2714]

二光子吸収による光重合反応を原理とする二光子加工法は、近年、direct-laser-writingともよばれ、高い空間分解能と三次元加工能からさまざまな分野で応用が盛んである。特に、フォトニック結晶やメタマテリアルの三次元構造作製法として、多くの研究グループが用いている。本論文は、二光子加工法を用いて、力学特性におけるメタマテリアルの開発を行った。本論文で実現したのは、ポアソン比が負の値、あるいはゼロの値をもつ材料である。通常材料は一軸性の圧縮応力を受けて縮むと残りの2軸方向には伸張するため、収縮量と伸張量の比（ポアソン比）は正の値を取る。ところが、本論文で作製した構造は、上下の収縮が残りの二次元にも収縮を生む。このような負のポアソン比をもつ材料は、自然界には例が少ない。ポリマーのワイヤーでボウタイをかたどったような構造を単位格子として、それが三次元的に積層した周期構造でできている。著者らはこのような三次元の人工材料を、ワイヤー径約1 $\mu\text{m}$ 、単位格子10 $\mu\text{m}$ 、全体のサイズ100 $\mu\text{m}$ ×100 $\mu\text{m}$ ×100 $\mu\text{m}$ で作製した。そして、上下から圧縮応力を

かけたときの形状変化を側方から観察してポアソン比を測定した。メタマテリアルであるゆえには、ボウタイの角度によって、負の値から正の値まで（0.14～-0.14）任意にポアソン比を人工的に選択することができた点、ポアソン比ゼロの構造も実現した点にある。（図4、文献28）

マイクロ/ナノサイズの構造によって自然界に存在しない物性を人工的に生み出そうとするメタマテリアルの研究は、電磁波や光に対する応答で研究が盛んである。今後、さまざまな力学特性に対するメタマテリアルが提案されよう。二光子加工法は、それらの作製技術の最も有力な候補として今後ますます重要な技術となる。また、本論文では、対物レンズを光硬化性樹脂中に浸すことで、通常二光子加工法で生じる、対物レンズの作動距離と基板の厚みによる深さ方向の加工領域の制限、ならびに収差の発生を解消した点も興味深い。

（庄司 暁）

## 生物系光ファイバーとしての天然の蜘蛛の糸

Native Spider Silk as a Biological Optical Fiber

[N. Huby, V. Vié, A. Renault, S. Beaufils, T. Lefèvre, F. Paquet-Mercier, M. Pérolet and B. Bêche: Appl. Phys. Lett., 102, No. 12 (2013) 123702]

自然界で生物が作り出す材料が合成材料より優れた構造と特性を示す例は多く、蜘蛛の糸は、きわめて優れた機械的特性を有することから繊維物としての応用、さらに、生物適合性を有することから外科的施術での医学応用がなされている。本論文では、蜘蛛から採取した天然の糸をそのまま光ファイバーとして用いることを提案し、実際に光ファイバーとしての動作を確認した。蜘蛛は用途により糸を使い分け、実験には強度と伸縮性に優れたジョロウグモから採取した引き糸（牽引糸）を用いた。糸の採取は、強制的に1cm/sの速度で試験管の周りに巻き取る方法で行われ、糸に対しては特殊な処理は施さなかった。電子顕微鏡観察から、採取した糸は滑らかで均質な表面を持ち、直径約5 $\mu\text{m}$ であった。この値と屈折率が1.50であることから、蜘蛛の糸の規格化周波数 $V$ は2.405以上であり、多モードファイバーとなる。ファイバー挙動の実験は、10nm精度のポジショナーを用いてマイクロレンズ付き光ファイバーと蜘蛛の糸を接続することで、光

の入射と検出を行った。伝搬損失は、カットバック法により測定した結果、合成ポリマーファイバーよりも高く、10.5±4.0dB/cmであった。さらに、フォトレジストとリソグラフィー技術を用いて導波路などの微小構造を作製する光チップへの蜘蛛の糸の導入を試みた。光チップ作製工程での露光・現像・焼成（最高95°C）過程を経ても蜘蛛の糸は壊れておらず、実際に微小構造物間を繋いだ蜘蛛の糸が光が伝搬していることを確認した。（図3、文献26）

蜘蛛の糸は生分解性で環境に優しいことから、繊維としての応用分野では、次のステップとして大量生産手法の開発が盛んに行われている。そのような中、本論文のように蜘蛛から直接採取する方法は、商業的には向かないと予想される。しかしながら、光チップ上で蜘蛛の糸がそのまま光ファイバーとして機能する実証結果などからは、生体適合性を有する光ファイバーなど新たなデバイス分野の創出が考えられ、今後の展開が期待される。

（中山 敬三）