

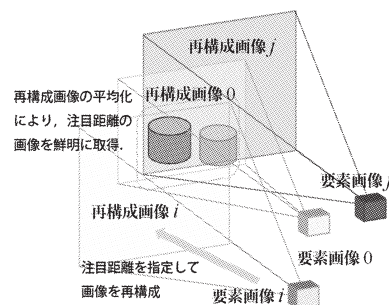
## ランダムに配置されたイメージセンサーによる三次元イメージング

Three Dimensional Imaging with Randomly Distributed Sensors

[M. D. Panah, B. Javidi and E. A. Watson: Opt. Exp., **16**, No. 9 (2008) 6368-6377]

近年、計算機を活用して機能的な撮像や結像を行う各種手法が提案されている。複数の視点位置で取得された要素画像の統合により、撮像光学系の薄型化や自由視点映像の生成等、単独の結像系では達成できない効果が実現される。本論文では、ランダムに配置したイメージセンサーを用いて、注目距離の画像を鮮明に再構成するアルゴリズムを示している。対象までの距離に応じて倍率が変化するため、従来のインテグラルイメージングと異なる定式化が必要である。アルゴリズムの有効性を、ランダムに決められた 100 視点の映像からの三次元画像再構成実験により示している。実験では、焦点距離 25 mm のレンズを取り付けた CMOS イメージセンサー (3072×2048 画素、画素ピッチ 7 μm) を 8 cm×8 cm×2 cm の範囲内で走査して、カメラから距離 19 cm から 24 cm の距離で画像を再構成した。広範な視点位置で得られた画像の統合により、オクルージョン (手前にある物体により背後の物体が隠される状態) を除去した注目距離の画像を得た。(図 4, 文献 41)

セキュリティ用途では多視点の防犯カメラ映像の統合による遮蔽除去、三次元ディスプレイ用途では体積表示向けの多層化された距離画像の取得手段として有効である。今後、カメラの向きに自由度を与えたアルゴリズムの構築が期待される。(山本 裕紹)



さまざまな視点位置で得られた要素画像からの三次元画像再構成法

## スペクトル画像解析や偏光イメージングに向けたプラズモン光分離素子

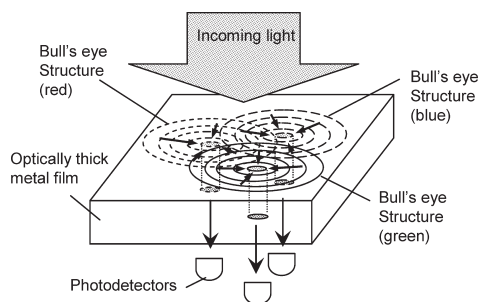
Plasmonic Photon Sorters for Spectral and Polarimetric Imaging

[E. Laux, C. Genet, T. Skautli and T. W. Ebbesen: Nat. photonics, **2**, No. 3 (2008) 161-164]

表面プラズモンはナノスケールでの新しい光学素子を実現するツールとして非常に注目されているが、アプリケーションとしては現在まだバイオセンサーなどごく一部のものしか実現されていない。著者らは、表面プラズモンを利用した Bull's eye とよばれる構造に注目し、ナノスケールの色フィルターや偏光フィルターを実現する新しいナノ構造を提案した。Bull's eye 構造は金属膜上にサブミクロン幅の同心円状の溝を形成することにより作製され、その周期、溝深さを調整することで透過光特性を変化させることができる。この特徴を生かし、異なる 3 つの可視波長領域に調整した Bull's eye を集積化した構造によりスペクトル分離フィルターを実現した。このスペクトル分離フィルターは、白色光を効率よく空間的に分離することができるため、受光素子と集積化することが可能である。また金属膜上の周期溝構造の特徴を生かし、金属膜上の溝とスリットを集積化した構造により偏光フィルターも実現した。(図 4, 文献 27)

本技術のスペクトル分離素子は、イメージセンサー上のカラーフィ

ルターなど民生用途の半導体デバイスに用いることができる。今後、このような汎用デバイスに適用できるプラズモン技術を用いた光学素子の開発動向に注目したい。(山中 一彦)



プラズモンを利用したスペクトル分離素子例

## 振幅変調による二重ランダム位相暗号化の安全性向上

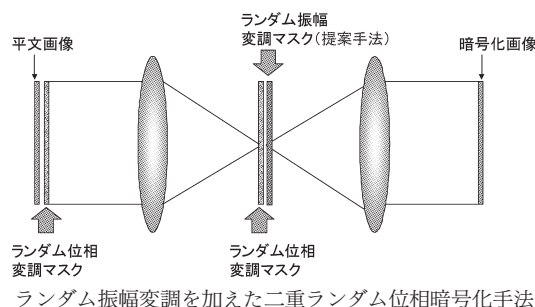
Security Enhancement of Double-Random Phase Encryption by Amplitude Modulation

[X. C. Cheng, L. Z. Cai, Y. R. Wang, X. F. Meng, H. Zhang, X. F. Xu, X. X. Shen and G. Y. Dong: Opt. Lett., **33**, No. 14 (2008) 1575-1577]

二重ランダム位相暗号化は単純な線形演算に基づいている手法であるため、安全性についての不安が危惧されていたが、近年になって選択平文攻撃、既知平文攻撃、総当たり攻撃などの攻撃方法が報告されており、その脆弱性が明らかになっている。本論文では、二重ランダム位相暗号化におけるフーリエ面での処理方法に関して、ランダム位相変調だけでなくランダムな振幅変調を加えることで、既知平文攻撃に対する安全性を向上させる手法を提案している。計算機シミュレーションでは、フーリエ面で乗算する振幅ランダムマスクを 2 値画像とし、振幅マスクの画像値の比と画素数の割合を変化させた場合の成りすましに対する耐性を調査し、パラメーターを適切にすることで十分な成りすまし耐性を有することを確認している。またランダム振幅変調を導入した場合のフーリエ反復法を利用した既知平文攻撃に対する耐性を調査し、この攻撃に対する十分な耐性を有することを確認している。(図 4, 文献 15)

二重ランダム位相暗号化は、光学的な実装が可能であるだけでなく画像のパターンマッチングと暗号化を融合させた手法であるため、さ

まざまな応用が期待できる半面、その安全性に対しては懐疑的である。本論文では、特定の既知平文攻撃に対しての安全性を確認しているが、他のさまざまな攻撃に対しては不明であり、今後実用的な安全性を得るためには、非線形な処理を導入するなど大きな手法の改善が必要かもしれない。(鈴木 裕之)



## 複屈折プレートを用いた超深度イメージング

Extended Depth of Focus Imaging with Birefringent Plate

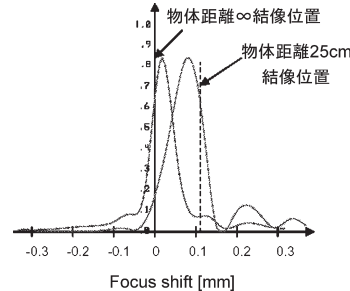
[Z. Zalevsky and S. Ben-Yaish: Opt. Express, 15, No. 12 (2007) 7202-7210]

現在携帯電話に搭載されているマイクロカメラでは、遠方の風景を撮影するとき、近くの物や二次元バーコード等を撮影するときでは、結像位置を調節する必要があるため、オートフォーカス機能やマクロ切り替え機能などが使用されている。それらの機構部品を削減するために、遠距離～近距離まで焦点の合った画像を撮影する技術が開発されており、多くの場合は撮影した後信号処理を行うことにより超深度画像が得られる。

本論文では、マイクロレンズと撮像素子の間に複屈折をもつ平行平板を配置すると、常光線の結像位置と異常光線の結像位置が異なることを利用し、信号処理を行うことなく超深度画像を得る方法が紹介されている。遠距離物体から出た光束の常光線結像位置と近距離物体から出た異常光線の結像位置が（または反対の組み合わせが）ほぼ等しくなるように平行平板の厚さを決定している。一方、結像に寄与しない偏光の光束は撮像素子から離れた点に結像するため、画像にはフレアのように表れ結像に寄与しないことを、常光、異常光の PSF (点像分布関数) を重ね合わせて確認している。論文では、シミュレシ

ョンと実験のそれぞれの結果として、平行平板を入れたときの超深度画像が紹介されている。(図5, 文献16)

F 値と許容錯乱円で決まる深度を超える超深度技術は知られているが、画像処理を行わない方式は興味深い。複屈折を利用し遠距離～近距離まで焦点を合わせた結果、全体的に解像力が低下しているため、今後はさらなる画質向上が期待される。(野口 一能)



物体距離∞光束の直交する偏光の MTF (変調伝達関数) vs. Focus

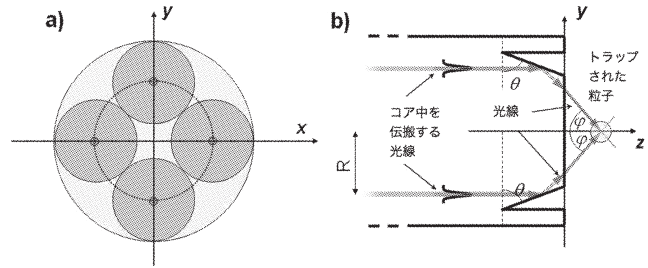
## 反射を用いた光ファイバー光ピンセットの設計と最適化

Design and Optimization of a Reflection-Based Fiber-Optic Tweezers

[F. Bragheri, P. Minzioni, C. Liberale, E. Di Fabrizio and I. Cristiani: Opt. Express 16, No. 22 (2008) 17647-17653]

光ファイバーによる光ピンセットは小型で取り回しのよい特徴があるが、十分な NA を確保するためにトラップ点がきわめてレンズに近くなってしまうという問題があった。著者らの提案する方式は、光ファイバーの先端を斜めに切り落とすと光が全反射を起こし斜めに射出されることを利用している。このようなファイバーを複数本 (図では4本) 円周に並べバンドルとし、内側にビームが射出されるように配置すると、その集光点でトラップを行うことができ自由度の高い設計が可能となる。本論文では数値解析によりファイバー先端の切り落し角、モード・フィールド直径について最適化を行っている。レンズを用いた光ピンセットではレイリー長が極端に短いため光線近似が成り立つが、本方式ではその仮定が成り立たないため、計算の1ステップごとに振幅と波面の曲率から新たに光線を計算して繰り返す方法を新たに考案した。モード・フィールド直径は8~10 μm のときにトラップが最大となり、レンズを用いる場合と同等のトラップ力が得られる。結果は実験とよい一致を示した。(図14, 表1, 文献13)

ファイバーバンドルを用いるため、構成にも設計にも自由度がある。バンドルの中心を空けておき別の物質やビームを通す等の新しい応用も考えられ、興味深い。(岡村 秀樹)



4本のファイバーのバンドルの例。a) 光軸に垂直な面での断面図、b) 光軸に平行な面での断面図

## 低輝度レベルにおける動き知覚：特定の運動タイプ認識における異なる効果

Motion Processing at Low Light Levels: Differential Effects on the Perception of Specific Motion Types

[J. Billino, F. Bremmer and K. R. Gegenfurtner: J. Vision, 8, No. 3 (2008) 1-10]

異なる運動タイプに対し、輝度レベルを変えて動き知覚を比較した結果、低輝度下の運動知覚に差があることを発見した。運動タイプは、ドットが水平方向に動くコヒーレント運動、放射状にドットが広がる放射運動、point-light walker アルゴリズムに従い歩行者の動きを模した生体的運動の3種で、規則的に動くドットとランダムに動くドットとの比を変えることで各運動に対する検出閾値を決定する。実験の結果、コヒーレント運動の場合、遅い動きでは輝度レベルによる影響は小さいが、動きが速くなると低輝度下 (薄明視、暗所視) における知覚が悪化した。放射運動の場合、低輝度下 (薄明視、暗所視) の知覚は運動速度に依らず差は小さいが、明所視に比べ悪化する。これは、桿体が支配的な状況下では信号の時間的積分により、速い動きの知覚に影響があったためと考えられる。一方、生体的運動の知覚は、薄明視のみ明所視、暗所視に比べ悪化する。速度知覚実験から、錐体より桿体のほうが速度を遅く知覚することが報告されているが、このため、薄明視 (桿体と錐体の両方が働く) では複雑な動きの知覚に桿体と錐体の相関が影響したと考えられる。(図7, 文献51)

輝度レベルにより知覚に差が生じることは知られているが、その影響が輝度レベルや運動速度だけではなく、動きタイプによっても異なることが示されたことは興味深い。(兼松えりか)

