

気になる論文コーナー

固有の蛍光寿命を用いた偽造米国紙幣の検出

Detection of Counterfeit U.S. Paper Money Using Intrinsic Fluorescence Lifetime
[T. H. Chia and M. J. Levene: Opt. Exp., 17, No. 24 (2009) 22054-22061]

米国紙幣は国内外での経済活動に大きな影響力をもっているが、偽造紙幣はいまだに存在し、通貨に対する公共の信頼をおびやかしている状況である。この状況に対し著者らは、分子の蛍光寿命がその種類・微細環境を知る上で重要な情報であることを利用し、米国の連邦準備券の紙媒体の蛍光寿命測定を行うことで、紙幣の真偽識別と偽造紙幣のグループ化を試みている。フェムト秒レーザー(波長 735 nm, パルス幅 100 fs, 繰り返し周波数 80 MHz)を用いた走査型二光子蛍光顕微鏡と時間相関単一光子計数法とを組み合わせたシステムで真正紙幣 74 枚と 3 タイプの偽造紙幣 9 枚(測定面積はいずれも約 4 mm²)の蛍光寿命を測定している。その結果、真正紙幣はすべて蛍光寿命が 2 成分であるのに対し、偽造紙幣 4 枚は 1 成分であった。また、偽造紙幣 5 枚の蛍光寿命は 2 成分であったが、遅い時間成分が真正紙幣と異なることが確認され、真偽識別に成功している。(図 5, 表 1, 文献 16)

本研究は、おもに光化学・光物理過程のダイナミクス解明に用いられる蛍光寿命測定を、紙幣の真偽識別に応用した点において興味深い。本手法は、偽造者がこだわる「見た目」や「質感」といった人間の五感で確認できる部分ではなく、偽造困難な紙媒体の蛍光特性に着目した新たな検査法であり、従来手法と組み合わせることにより、さらに信頼性の高い識別が期待される。(鈴木 基嗣)

蛍光寿命の解析結果

サンプル	寿命 1	寿命 2	比率 1	比率 2
偽造紙幣 (漂白タイプ)	160±0.6 ps	1552±118 ps	86.0±4.9 %	14.0±4.9 %
偽造紙幣 (伝統的タイプ)	174±5.7 ps	1725±46 ps	79.4±2.2 %	20.6±2.2 %
偽造紙幣 (デジタルタイプ)	918 ps	N/A	100 %	N/A
真正紙幣 (\$100)	802±170 ps	N/A	100%	N/A
真正紙幣 (\$100)	162±4.6 ps	2010±64 ps	84.8±3.3 %	15.2±3.3 %
真正紙幣 (\$50)	161±1.7 ps	2070±60.1 ps	84.2±0.9 %	15.8±0.9 %
真正紙幣 (\$20)	161±4.1 ps	2023±53.3 ps	86.2±4.6 %	13.8±4.6 %
真正紙幣 (\$1)	166±10.3 ps	2001±60.3 ps	85.0±3.3 %	15.0±3.3 %

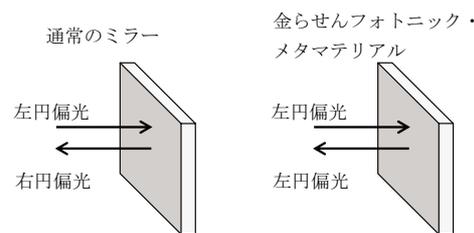
金らせんフォトニック・メタマテリアル：パラメーターに関する数値計算

Gold Helix Photonic Metamaterials: A Numerical Parameter Study
[J. K. Gansel, M. Wegener, S. Burger and S. Linden: Opt. Exp., 18, No. 2 (2010) 1059-1069]

金属らせん構造は、ヘリカルアンテナとしてマイクロ波帯の WLAN (wireless local area network) などに幅広く利用されている。最近、これを周期的に二次元的配列させた金らせんフォトニック・メタマテリアルが、赤外光に対する広帯域な円偏光子として働くことが報告された (J. K. Gansel *et al.*: Science, 325 (2009) 1513-1515)。本論文はその続報で、らせんの巻き数、ピッチ長、らせん間隔、らせん半径、らせん太さ、および光の入射角度への透過スペクトルの依存性を、数値計算の手法を用いて詳細に調べたものである。例えば、共鳴波長はらせん半径にほぼ比例する。また、共鳴波長において反射する円偏光のヘリシティが、入射する円偏光のヘリシティと同じになるという結果が示された。通常の金属ミラーでは反射光のヘリシティは反転するので、これは顕著な相違である。(図 8, 文献 16)

上記のような特性は、2枚の波長板と金属ワイヤグリッドを組み合わせて実現可能であるが、単体の光学素子では難しいと思わ

れる。著者らが示した金らせんフォトニック・メタマテリアルの特異な光学特性は、その起源と新たな応用可能性という点で興味深い。(佐藤 琢哉)



通常のミラーと金らせんフォトニック・メタマテリアルにおける入射光と反射光の円偏光ヘリシティ

反透明物体知覚に対する手がかりとしてのハイライトと陰影の関係性

Highlight-Shading Relationship as a Cue for the Perception of Translucent and Transparent Materials
[I. Motoyoshi: J. Vision, 10, No. 9 (6) (2010) 1-11]

世の中の自然物体には、人間の肌のように表面が半透明であるものが多い。そのような半透明物体の表面は、表面下散乱や屈折などの複雑な光学特性をもっており、物体画像のみからその光学特性に基づいて半透明度を抽出することは、非常に難しい問題である。それにもかかわらず、われわれヒトは、網膜に映った像のみから不透明物体と半透明物体を容易に区別できる。本論文では、ヒトの半透明知覚を生じさせるのに必要な画像特徴を検討している。その際、表面の半透明度の違いは光沢以外の画像成分(陰影パターン)に大きく影響を与える一方、光沢成分(ハイライト)にはほとんど影響しないという事実に着目している。はじめに、CG画像を用いた半透明度評価に関する心理物理学実験と画像特徴解析により、半透明知覚が強い物体では、光沢以外の画像成分のコントラストが低下あるいは反転することを明らかにしている。また、不透明物体画像の光沢以外の画像成分のコント

ラストを操作することにより、見かけ上の半透明感が劇的に操作可能であることを、画像例から示している。これらの結果は、ハイライトと陰影パターンとの間のコントラストおよび空間配置の関係性が、三次元物体に対する半透明知覚の強力な手がかりであるという考えを支持する。(図 7, 文献 50)

本研究のように、われわれの視覚系が物体質感を理解する際、必ずしも物体の反射光学特性そのものではなく、より単純化された情報を用いているという事実は、近年急速に明らかになりつつある。この視覚系の方略を理解することは、画像における豊かな質感表現技術につながるはずである。今後、質感という比較的複雑に思える知覚を作り出すための脳機能の理解が、さらに進むことが期待される。

(永井 岳大)

光速で運動する物体の超高速イメージングのための周波数領域ストリークカメラ

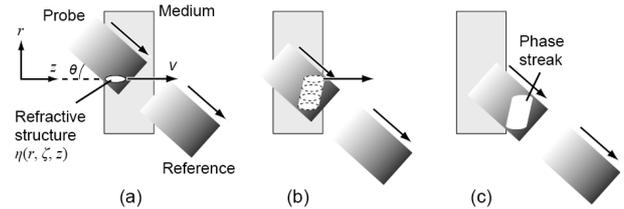
Frequency-Domain Streak Camera for Ultrafast Imaging of Evolving Light-Velocity Objects

[Z. Li, R. Zgadzaj, X. Wang, S. Reed, P. Dong and M. C. Downer: Opt. Lett., 35, No. 24 (2010) 4087-4089]

高強度のフェムト秒レーザーパルスが媒体中を伝搬する際、パルスの電界強度に応じて光速で移動するマイクロメートルスケールの複雑な屈折率構造が形成される。従来このような屈折率構造を計測することは困難であり、計算機シミュレーションによってのみ知ることができたが、著者らは大きくチャープされた広帯域パルスを用いてレーザー誘起屈折率変化を掃引する周波数領域ストリークカメラを構築し、屈折率構造の実験的な計測を行った。図に周波数領域ストリークカメラの原理を示す。チャープされた広帯域パルスを2つに分け、時間差を与えて参照光およびプローブ光とする。図 (a) に示すように、プローブ光とポンプ光とを角度をつけて媒体中に入射させると、図 (b) (c) に示すように、ポンプ光によって誘起される3つの次元をもつ屈折率構造 $\eta(r, \zeta, z)$ がプローブ光のスペクトル上に2つの次元をもつ位相変化として記録される。ここで、 r は光軸に垂直方向の位置、 ζ は遅延時間、 z は光軸方向の位置を表す。著者らは、複数のプローブパルスを用いて、角度 θ を変えてストリーク像を撮影することで、トモグラフィの手法により三次元の屈折率構造 $\eta(r, \zeta, z)$ を再構成することを提案している。加えて、時間多重ホログラフィーによ

り、単一の分光器かつシングルショットでの再構成手法についても述べられている。(図3、文献8)

本手法は、フェムト秒レーザー誘起屈折率構造の時間変化をシングルショットで観測することが可能であり、媒体中を伝搬するパルスの解析に重要な役割を果たすと考えられる。フェムト秒パルスの分裂や合流といった現象が生じる際に、どのような屈折率構造が形成され、それがどう変化していくのかについて、ぜひ本手法で明らかにしてもらいたい。(田北 啓洋)



周波数領域ストリークカメラの原理

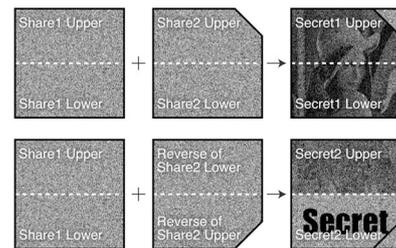
ピクセル拡大を行わないリバーシブル視覚復号型暗号

Non-Expansion Visual Secret Sharing in Reversible Style

[W.-P. Fang: IJCSNS Int. J. Comp. Sci. Network Security, 9, No. 2 (2009) 204-208]

視覚復号型暗号は、透明シートなどに印刷されたパターン(シェア画像)を重ね合わせるだけで、秘密画像が浮かび上がる暗号技術である。一般にシェア画像はサブピクセル構造をもつが、サブピクセル構造をもたない(ピクセル拡大を行わない)画像暗号化手法として、ランダムグリッドが提案されている。本論文では、このようなピクセル拡大を行わない視覚復号型暗号において、シェア画像を裏返して重ね合わせることで、別の秘密画像が復号される手法を提案している。ランダムグリッドでは、ランダムパターンであるシェア画像1と秘密画像との否定排他的論理和をとることでシェア画像2を生成する。提案手法では、シェア画像を上部和下部に分けて生成する。また、秘密画像2は下部のみに情報をもつ。まず、シェア画像1上部をランダムに生成する。次に、シェア画像1と秘密画像1の上部からシェア画像2上部をランダムグリッドにより生成する。同様に、シェア画像2上部を裏返したものと秘密画像2下部からシェア画像1下部を生成する。最後に、シェア画像1と秘密画像1の下部からシェア画像2下部を生成する。(図6、表1、文献10)

提案手法は、ランダムグリッドの暗号画像がランダムパターンになることを利用して、複数の秘密情報の埋め込みを実現している。上部と下部に分けてシェアを生成しているが、分割方法を工夫することで秘密画像2を画像全体に埋め込むことも可能であり、さらなる拡張や応用が期待される。(生源寺 類)



シェア画像および重ね合わせによる復号結果

フォトン数の少ない状況での二重ランダム位相暗号における平文情報確認手法

Information Authentication Using Photon-Counting Double-Random-Phase Encrypted Images

[E. Pérez-Cabré, M. Cho and B. Javidi: Opt. Lett., 36, No. 1 (2011) 22-24]

光学的な暗号化手法の代表技術である二重ランダム位相暗号化では、光量が極端に少ない状況で復号化を行うと、フォトンノイズの影響によって正しい復号鍵を用いた場合でも復号化画像に元の平文画像が現れず、ホワイトノイズのような画像となってしまう。このような状況で得られる復号化画像からは元の平文情報自体を復元することは困難であるが、本論文では、このような復号化画像の中にも平文情報が含まれているか否かを確認する手法を提案している。提案手法では、フォトン数を制限した暗号画像から得られた復号画像と元の平文画像との非線形相関演算を行うことで平文情報の有無を検出する。非線形相関演算は相関関数のフーリエ振幅成分を非線形に強度変調する手法であり、この手法を用いるとわずかな相関ピークが強調され、ホワイトノイズのような復号化画像でもその中に平文情報が含まれてい

るか否かを確認することが可能になる。本論文では非線形相関の変調パラメーターの変化による検出精度を計算機シミュレーションによって検証し、適切に設定されたパラメーターを用いた場合には、正しい平文画像から得られた復号化画像では相関ピークが鋭く現れるが、別の平文画像から得られた復号化画像では相関ピークは現れないことを確認している。(図4、文献17)

二重ランダム位相暗号化は、計算精度や処理速度などを既存の暗号技術と同等にすることは難しいが、既存の暗号技術にはない冗長性、曖昧性を有することが特徴であり、その特徴を利用した新たな応用が期待できる。この論文で提案する手法はその一例であり、復号の鍵が漏洩した場合でも平文の情報を盗まれないことがないため、新しいセキュリティ技術を実現する可能性を示している。(鈴木 裕之)