

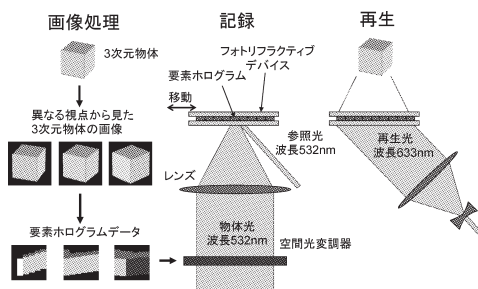
### 更新可能なホログラフィック三次元ディスプレイ

An Updatable Holographic Three-Dimensional Display

[S. Tay, P.-A. Blanche, R. Voorakaranam, A. V. Tunç W. Lin, S. Rokutanda, T. Gu, D. Flores, P. Wang, G. Li, P. St Hilaire, J. Thomas, R. A. Norwood, M. Yamamoto and N. Peyghambarian: Nature, 451 (2008) 694-698]

従来、ホログラフィック三次元ディスプレイでは、ホログラム記録材料に非可逆的な光重合反応を利用するフォトポリマーを用いているため、一度記録した表示内容を変更することはできない。本論文では、ホログラム記録材料に可逆的な反応のみで屈折率変化が誘起される有機フォトリフラクティブポリマーを用いることで、更新可能なホログラフィック三次元ディスプレイを実現した。今回著者らが新しく作製した有機フォトリフラクティブポリマーは、回折効率が90%と高く、7日間・60度で保持する加速試験でも相分離せず、電場耐久性・試料安定性の面でも優れている。また有機フォトリフラクティブポリマーにおいて欠点とされていたメモリー性（ホログラム保持性能）も従来の数秒程度から、3時間程度まで延ばすことに成功し、これが三次元ディスプレイへの応用を可能にした。最終的に作製した三次元ディスプレイは、視野角45度（水平視差のみ）で、大きさが10cm×10cmと大きく、1つの三次元物体を約2分半で記録・消去することが可能となっている。（図4、文献30）

三次元表示の技術に新しさはないものの、実際に使える有機フォトリフラクティブポリマーを作製した意義は大きい。今後は、カラー化とさらなるメモリー性の向上に期待したい。（藤村 隆史）



三次元物体表示のための画像処理とホログラム記録・再生

### 球面波の干渉による光渦アレイの生成

Vortex Array Generation by Interference of Spherical Waves

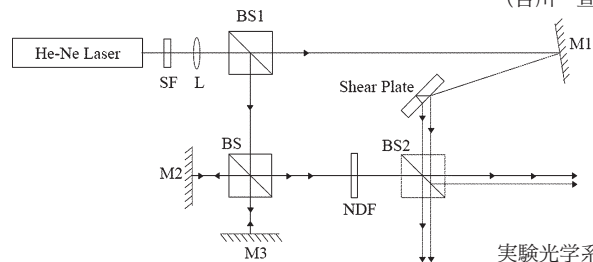
[S. Vyas and P. Senthilkumaran: Appl. Opt., 46, No. 32 (2007) 7862-7867]

光渦はらせん状の位相と強度分布の中心に特異点をもつという特徴があり、光ピンセット、光計測、量子情報処理などへの応用が期待されている。1つの光渦はらせん位相マスク、計算機ホログラム、レーザーのモード変換などを利用して作ることができる。光渦アレイはこれらの方法のほかにも多数の平面波の干渉を利用した方法が提案されている。本論文では、同じ曲率をもつ3つの球面波の干渉による光渦アレイの生成法を提案している。実験光学系はマッハ・ツェンダー干渉計の一方の光路に平行平板を導入した構成となっている。平行平板は球面波に横ずれを発生させるために用いられる。また、干渉計のもう一方の光路の途中で干渉計を作り光渦の発生をフォーク縞の観察により確認できるようになっている。光渦アレイは横ずれの関係をもつ2つの球面波と傾きをもつ1つの球面波の干渉により作られる。3つの球面波が同じ振幅をもつとき、著者らが以前提案した直交傾き成分をもつ3つの平面波の干渉を用いた生成法と同等の光渦アレイが、位相分布は異なるにもかかわらず生成できることが示されている。シ

ミュレーションによる光渦アレイの生成の確認と球面波の曲率が大きくなると光渦の密度が増加することについても述べている。（図3、文献27）

簡易な光学系で光渦アレイを実現しており、実用性が高いと思われる。曲率によって光渦の密度が変化する特性は興味深い。

(吉川 宣一)



実験光学系

### キノグラムに基づく単一位相画像を利用した復号化実験

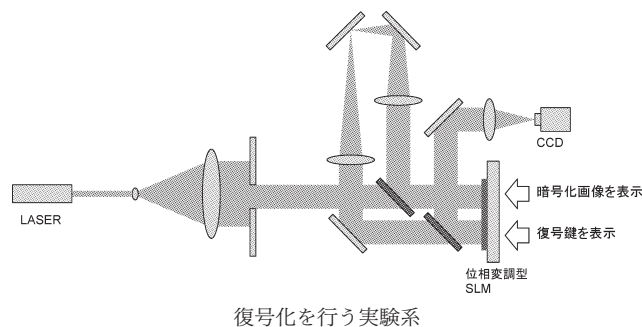
Experimental Demonstration of Kinogram-Based Single-Phase Decryption Technique for Information Security

[T. V. Vu, N. Kim, J.-W. An, S.-B. Hong: Appl. Opt., 46, No. 31 (2007) 7662-7669]

一般的に二重ランダム位相暗号化の暗号化画像は複素振幅情報であるため、光学的に実装する場合の暗号化画像の入出力は実装上の大きな課題であるが、振幅もしくは位相情報のみを暗号化画像とすることで比較的実装が容易になる。この論文では、位相情報のみで定義される画像（キノグラム）を暗号化画像として生成する手法を提案し、光学実験によって正しく復号化できることを確認している。暗号化画像の生成方法としては、位相情報のみで定義される像から逆フーリエ変換して得られる画像が、復号化画像に近い画像となるよう反復手法（DBS）によって位相画像を生成し、この位相画像を暗号鍵で位相変調することで暗号化画像を得る。実験では計算機で得られた暗号化画像の上半分に表示し、その表示部分に入射した平行光をSLMの下半分に結像させる。さらにその反射光をフーリエ変換させることで復号化画像を得る（図）。この実験では暗号化画像の階調数や空間領域を変えたときに復号化画像へ与える影響を調査しており、二値の位相画像を暗号化画像とした場合でも、元のパターンは復元できることを確認している（図14、文献23）

二重位相暗号化を光学的に実装したシステムでは高い安全性や高速演算が期待できるため、実用的な光学実装へ向けた検討は大変興味深い。実装の容易さを得ることで安全性の劣化を招いていないかを検証することも必要である。（鈴木 裕之）

(鈴木 裕之)



復号化を行う実験系

非相対的超短パルスレーザー書き込み

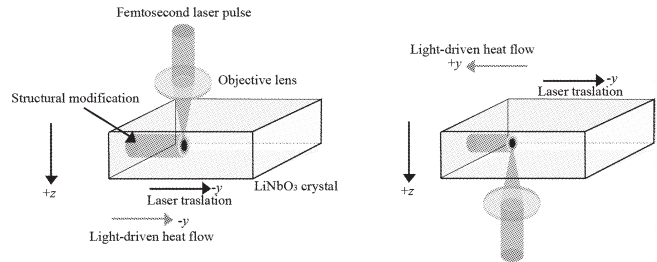
Non-Reciprocal Ultrafast Laser Writing

[W. Yang, P. G. Kazansky and Y. P. Svirko: Nat. Photon., 2, No. 2 (2008) 99-104]

超短光パルスを透明媒質内部に集光すると、集光点近傍でのみ構造変化が誘起される。本論文では、フェムト秒レーザーパルスをニオブ酸リチウム (LiNbO<sub>3</sub>) 結晶内部に集光し、走査することにより得られる光誘起構造変化がレーザーパルスの伝播方向および試料の走査方向に依存する「非相対的書き込み」を報告している。フェムト秒レーザーパルス (中心波長 800 nm, パルス幅 150 fs, 繰り返し周波数 250 kHz) を対物レンズ (開口数 0.55) により、LiNbO<sub>3</sub> 結晶内部 (表面からの深さ 150 μm) に集光し、走査速度 1 mm/s で光軸に対して垂直に走査し材料の内部の改質を行った。レーザーパルスの伝播方向を結晶軸の +z から -z へ逆転させると、光軸に垂直な +y および -y 方向に沿ってビームを移動させたとき、LiNbO<sub>3</sub> 結晶に書き込まれる構造が鏡面対称になることを示した。レーザーパルスの照射により、LiNbO<sub>3</sub> 結晶内部の集光点近傍に温度勾配が生じ、誘起構造変化がレーザーパルスの伝播方向に依存すると説明している。(図 5, 文献 47)

非中心対称性の媒質において、光の伝播方向により異なる材料改質

が局所的に誘起可能であることから、本手法の材料内部加工や光メモリーなどへの応用が期待される。(渡辺 歴)



LiNbO<sub>3</sub> 内部への非相対的超短パルスレーザー書き込み

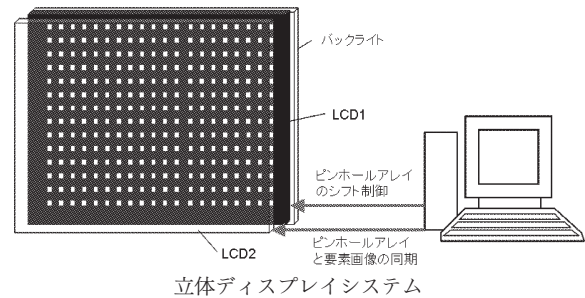
電気的移動ピンホールアレイを用いて解像度と視域角を改善した点光源インテグラルイメージング

Point Light Source Integral Imaging with Improved Resolution and Viewing Angle by the Use of Electrically Movable Pinhole Array

[Y. Kim, J. Kim, J.-M. Kang, J.-H. Jung, H. Choi and B. Lee: Opt. Express, 15, No. 26 (2007) 18253-18267]

インテグラルイメージングは特殊なメガネが不要で、より自然な立体視が可能であることから、将来的に立体テレビを実現する候補として有望視されている。本論文では、機械的な駆動を伴わずに、本方式の大きな課題である解像度の向上と視域角の拡大を図る方法が提案されている。筆者らが作製した立体ディスプレイはバックライトユニットと2枚の液晶パネル (LCD1, LCD2) で構成される。LCD1 はバックライトからの透過光を制御するシャッターの役割を果たし、立体表示時にはアレイ状の点光源を生成する。一方、LCD2 は各点光源に対応した要素画像を表示する。点光源の位置を時分割で変化させ、その位置と同期して要素画像の表示位置を変化させることで解像度と視域角の向上を図ることができる。実際に4分割、2分割表示で実験を行い効果を確認した。(図 13, 文献 26)

は、パネルを薄く保ちつつ、解像度と視域角の向上に加えて二次元-三次元表示切り替えも機械的な駆動部なしで実現できる利点を持っており、インテグラルイメージング方式の課題の多くを解決する可能性を備えている。今後の発展に期待したい。(渡邊由紀夫)



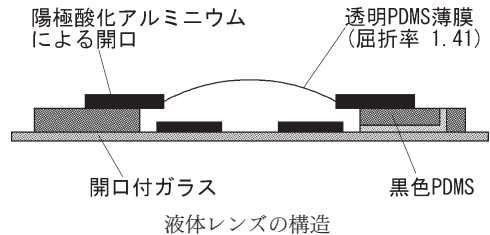
液体レンズを使用した小型多目的撮像デバイス

Miniaturized Universal Imaging Device Using Fluidic Lens

[F. S. Tsai, S. H. Cho, Y.-H. Lo, B. Vasko and J. Vasko: Opt. Lett., 33, No. 3 (2008) 291-293]

カメラ機能を有する携帯電話や携帯情報端末の普及の拡大に伴い、撮像系の小型化および高機能化への需要が高くなっている。著者らは、焦点距離が可変な液体レンズと固定レンズを組み合わせ、風景撮影、マクロ撮影および顕微鏡への適用が可能な撮像光学系を実現した。液体レンズとして、透明薄膜内 (PDMS: polydimethylsiloxane) に液体を充填、その充填率により薄膜の曲率を変化させることで焦点距離可変としたレンズを使用し、また、固定レンズとして、2枚の両凸レンズと1枚の両凹レンズの3枚組レンズを使用した。全体の光学系サイズは 1 cm<sup>3</sup> で、光軸方向の長さは 12.5 mm である。作製した組レンズと CMOS (complementary metal oxide semiconductor) イメージセンサーにより撮像性能を確認し、10 m 先および 1 cm 先の物体について良好な画像が得られることを確認した。これは、焦点距離の調整幅として最も大きい報告例である。また、顕微鏡としての動作確認を実施し、10 倍の対物レンズと同等の性能を有し、分解能は 3 μm であることを確認した。(図 5, 文献 12)

適用範囲が広く、民生、研究、産業など各種への展開が期待できる。実用化には、曲率の制御方法、光学液体を供給する構造などが今後の課題であると考えられる。(白附 晶英)



液体レンズの構造