



平成 24 年 11 月 6 日

科学技術振興機構 (JST)
Tel : 03-5214-8404 (広報課)

学校法人青山学院
Tel : 03-3409-6578 (本部広報部広報課)

「究極の 3D テレビ」実現に向けたホログラム材料を開発

ポイント

- 究極の 3D 画像技術であるホログラフィーで動画を再生する材料開発は課題
- リアルタイムに画像情報を記録・再生が可能なホログラム材料を世界で初めて開発
- 立体テレビ、光コンピューター用素子、エンターテインメントでの利用が期待

JST 課題達成型基礎研究の一環として、青山学院大学 理工学部化学・生命科学科の阿部 二郎 教授、石井 寛人 研究員らは、リアルタイムで物体の 3 次元情報を記録・再生することが可能な新しいホログラム材料の開発に成功しました。

ホログラフィー^{注1)}は空間に自然な 3D 画像を作り出せる技術で、クレジットカードや紙幣の隅にある光る部分などで使用されています。そこでは、画像や数字が立体的に写っていますが、実際は画像や数字そのものではなく、その 3 次元情報が暗号化されてホログラム^{注2)}という材料に記録されています。ホログラムに光を当てると、暗号化された物体の 3D 画像が浮かび上がります。これまでは、展示やアート作品に、また複写機では複製できないことを利用して、偽造防止などに使われていました。リアルタイムで暗号を記録・再生できるホログラム材料が開発されれば、3D 画像の動画を再生できる 3D テレビの開発が実現するため、新しいホログラム材料の開発が求められていました。

本研究グループは、光を照射すると瞬時に着色し、光を遮ると速やかに無色に戻る独自に開発した高速フォトクロミック化合物^{注3)}を応用して、暗号をリアルタイムで記録・再生することができるホログラム材料の開発に成功しました。このホログラム材料では、物体の動きに応じて、古い暗号が消失し新しい暗号が新たにリアルタイムで記録されるため、3D 映像を再生することができます。

今回開発したホログラム材料は、大面積スクリーンにすることも可能であり、今後は新しいタイプの 3D 映像表示システムをはじめとして、光コンピューター素子、エンターテインメントへの利用が期待されます。

本研究成果は、2012 年 11 月 7 日 (英国時間) にネイチャー・パブリッシング・グループ (NPG) 発行の「Scientific Reports」で公開されます。

本成果は、以下の事業・研究領域・研究課題によって得られました。

戦略的創造研究推進事業 チーム型研究 (CREST)

研究領域 : 「プロセスインテグレーションに向けた高機能ナノ構造体の創出」

(研究総括 : 入江 正浩 立教大学 理学部化学科 特任教授)

研究課題名 : 「高速フォトクロミック分子の高性能化と新機能創成」

研究代表者 : 阿部 二郎 (青山学院大学 理工学部 教授)

研究期間 : 平成 22 年 10 月 ~ 平成 28 年 3 月

JST はこの領域で、分子レベルにおける精緻なナノ構造、機能をマクロレベルの材料の構造、機能につなげる方策を探り、ボトムアッププロセスでしか達成されない特異な構造、機能を備えた自立した高機能ナノ構造体を創出することを目指しています。上記研究課題では、革新的フォトクロミック材料を開発することによって、世界をリードする新しい光産業の創出を目指しています。

<研究の背景と経緯>

3D元年といわれる2010年から映画や家庭用テレビ、携帯電話やゲーム機に至るまで、身近なところにおいて3Dディスプレイの普及が急速に進んできました。これに伴い近年では、「究極の3D映像方式」とよばれるホログラフィー（図1）に注目が集まっています。ホログラフィーの特徴は、立体物に反射して実際に目に入るときの光の強さと方向を忠実に再現することであり、眼に優しい自然な立体像を作り出すことができます。ホログラフィーによる3D画像をリアルタイムで記録・再生する技術が確立できれば、3Dテレビとしての用途のみならず、光コンピューター用素子、エンターテインメントでの利用が期待されます。しかし、その実現には暗号である干渉縞^{注4)}をリアルタイムで記録・再生することができる全く新しい材料が必要になります。当研究グループでは、光を照射した時だけ着色する「高速フォトクロミック化合物」を、2009年に世界に先駆けて開発しました。今回は、この高速フォトクロミック化合物を応用することで、リアルタイムで物体の3次元情報を記録・再生することができる画期的なホログラム材料を開発することに成功しました。

<研究の内容>

本研究では、当研究グループが開発した高速フォトクロミック化合物（[2.2]パラシクロファン架橋型イミダゾール二量体誘導体）（図2）を応用することにより、物体の3次元情報を表す光の明暗の縞である干渉縞を、色変化や屈折率変化の縞として記録することができるホログラム材料を開発しました。高速フォトクロミック化合物をアクリル系ポリマーに混ぜることで、光照射により瞬時に着色し、光を遮ると速やかに無色になるフィルム状のホログラム材料を開発しました。このホログラム材料に干渉縞を投影すると、光の明暗に応じて、部分的な着色が起きます。すなわち、干渉縞の明るい部分では着色しますが、暗い部分の色は変化しません。このように、干渉縞の光の明暗パターンは、色のパターンとしてホログラム材料に記録されます。

一方、高速フォトクロミック化合物は、光照射を遮ると速やかに無色に戻ることから、物体が動いて干渉縞が変化すると、新たに明るくなった部分は着色したままですが、暗くなった部分は速やかに無色に戻ります。このような色変化により、古い干渉縞の情報は消えて、新しい干渉縞の情報が記録されます。つまり、干渉縞はホログラム材料上に周期的な色変化や屈折率変化のパターンとしてリアルタイムで記録されます（図3）。物体が動いて3次元情報が時々刻々変化する場合には、干渉縞もそれに合わせて変化するため、ホログラムに再生照明光^{注5)}を当てると、物体の3D映像が浮かび上がります。

干渉縞のパターンが記録されたホログラムは回折格子^{注6)}の性質を持つので、ホログラムに光をあてて回折される光の強度（回折光強度）を測定すれば、ホログラムに記録された画像情報の記録速度と消去速度を知ることができます。記録する光をホログラム材料上に当てると速やかに回折光が観測され、光照射を始めてから約300ミリ秒で一定の値となりました（図4）。一方、記録光の照射を止めると100ミリ秒以内で回折光強度はゼロになり、記録が完全に消失したことを示しています。すなわち、古い画像情報が完全に消去されてから新しい画像情報を記録するプロセスは、最短で100ミリ秒程度で行えることを意味しています。これは、毎秒10フレーム程度で画像更新が可能なことを示しています。さらに、このような高速な回折格子の生成・消失は、高速フォトクロミック化合物が光照射により着色し、照射を止めると無色に戻ることに起因することがわかりました（図5）。

実際に、2次元画像として数字のパターンが記されたフォトマスクを用い、動いている2次元画像のリアルタイム・ホログラフィー実験を試みました。その結果、再生されたホ

ログラム画像がフォトマスクの動きに連動して動くことが確認され、本ホログラム材料を用いて2次元画像をリアルタイムで記録しながら、ホログラム画像を連続的に再生することに世界で初めて成功しました（図6）。

このホログラム材料で記録した干渉縞の情報は、記録に用いた光の波長とは異なる波長の光を照射したり、加熱したりすることなく、室温下で記録光をオフにするだけで高速消去が行えます。すなわち、1つの波長の光だけで干渉縞を記録・消去できる点で、従来のホログラム材料とは異なる全く新しいホログラム材料といえます。さらに本ホログラム材料は、干渉縞を記録するために電圧を加える必要がなく、大面積のフィルムが簡便に作製できる点も他に類はなく、極めて汎用性の高いホログラム材料であるといえます。

<今後の展開>

本研究において、新たに開発したホログラム材料を用いることで、動いている2次元画像のホログラム動画を実現することができました。しかし、3次元物体の実験では、実験で用いた記録用のレーザー光の強度が弱いため、明瞭なホログラム像を目視することはできませんでした。今後は、市販されている高強度のレーザーをホログラムの記録光に使うことで、本ホログラム材料を用いた3次元物体のリアルタイム・ホログラム記録と、そのホログラムに再生照明光を当てることで3D画像の動画再生を行います。さらに、ホログラム材料の感度や消色速度といった性能を向上させることで、実用化レベルの高性能ホログラム材料の開発を目指します。また、大面積ホログラムフィルムの開発を行うとともに、新たな用途開発に取り組めます。

一方で、新しいタイプの3D映像表示システムの開発を目指して、3次元物体の情報が記録された干渉縞、あるいはコンピューターで合成された干渉縞をホログラム材料に連続して投影することで3D画像の動画再生を行う手法に関しても研究を推進する予定です。

<参考図>

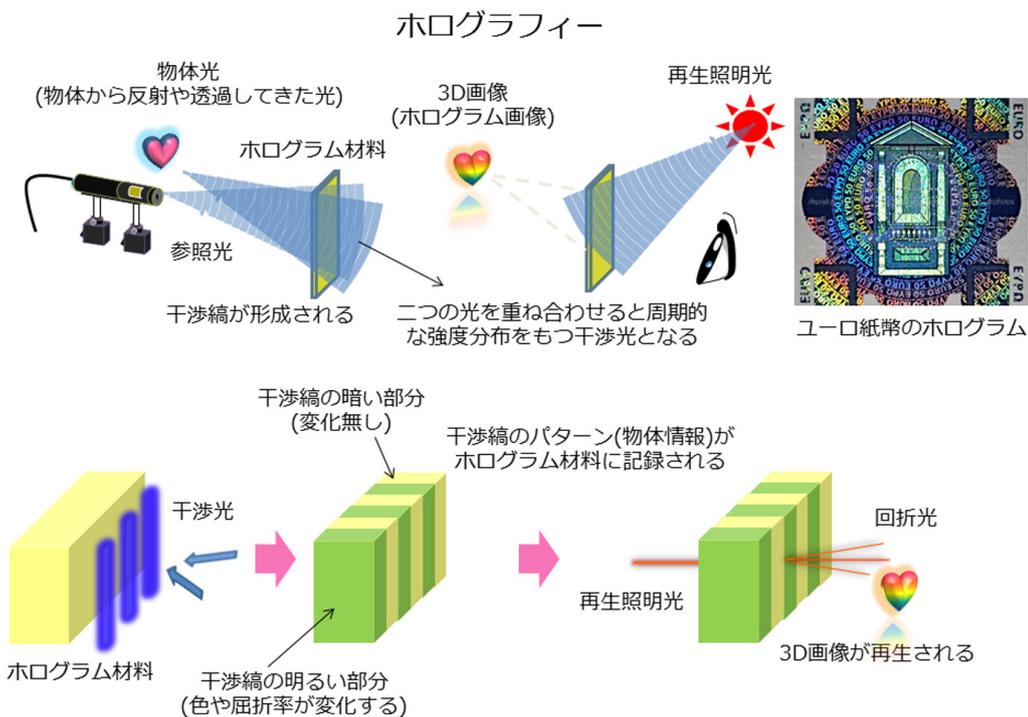


図1 ホログラフィーの原理

物体光と参照光をホログラム上で重ね合わせると光の明暗の縞（干渉縞）ができる。物体の3次元情報を干渉縞として媒体に記録した後、その媒体に再生照明光^{注5}を当てることで3D画像が浮かび上がる。

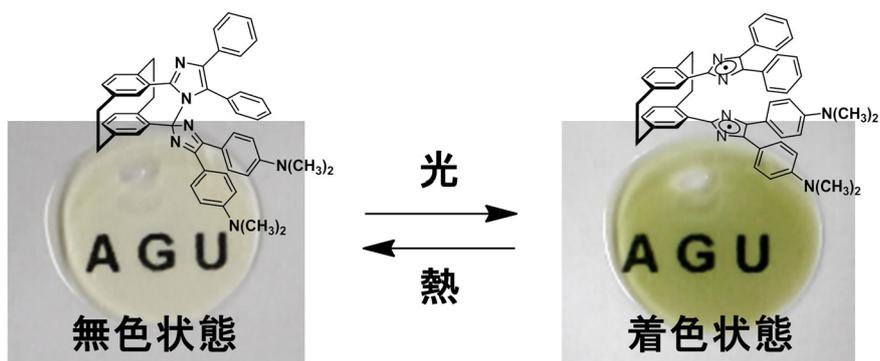


図2 本研究で用いた高速フォトクロミック化合物と色変化

[2.2]パラシクロファン架橋型イミダゾール二量体誘導体は、青色光を照射することで無色から緑色に着色します。光照射を止めると、速やかに元の無色に戻ります。

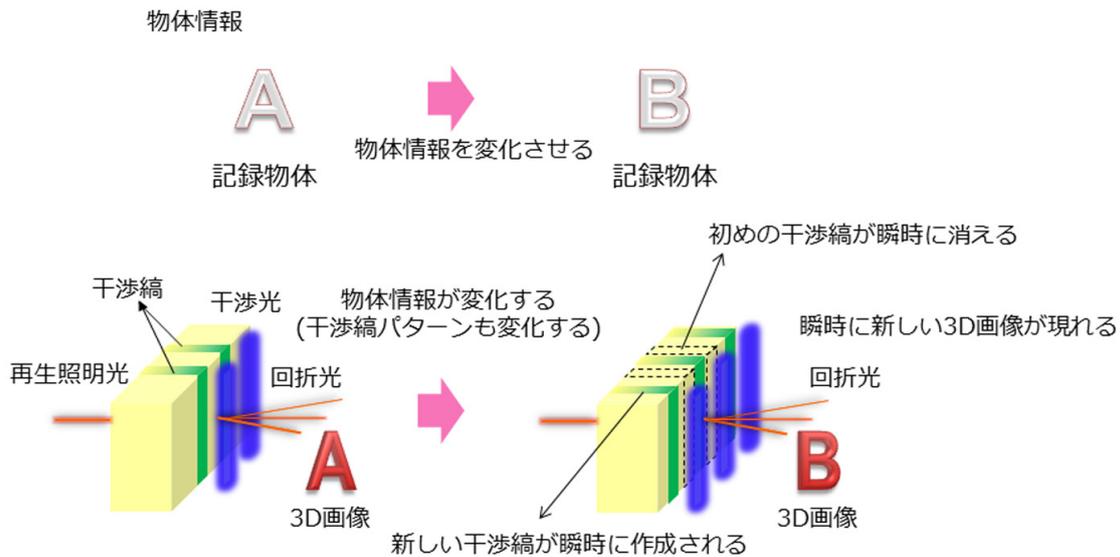


図3 高速フォトクロミック化合物を応用した干渉縞の高速記録・消去

高速フォトクロミック化合物は光が当たると着色し、光を遮ると速やかに無色に戻る。ホログラム上に投影された干渉縞のパターンが変わると、古い干渉縞の記録情報は速やかに消失し、新しい干渉縞のパターンが瞬時に記録される。

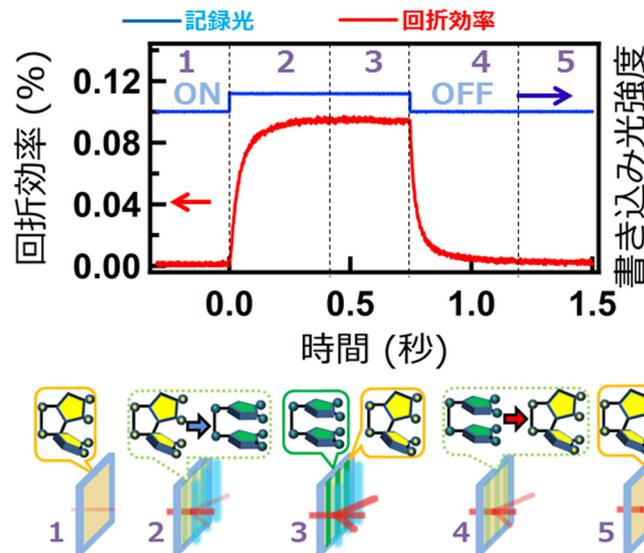


図4 記録光のオン・オフに伴う回折効率の変化

記録光を照射することで、ホログラムに干渉縞が記録され、回折格子が形成されるために回折光が観測できるようになります。記録光の照射を止めると回折格子が消失し、回折光が見られなくなります。

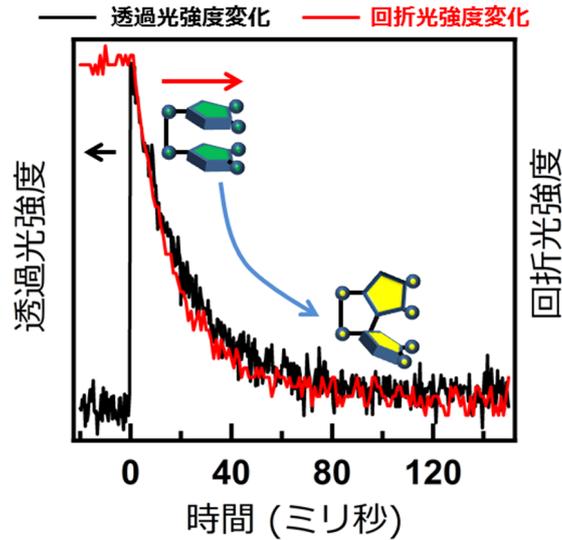


図5 回折光強度と着色体濃度の比較

記録光の照射を止めた後の回折格子の消失過程とパルス光を照射して着色したフォトクロミック化合物が元の無色に戻る過程の時間挙動が同じことから、フォトクロミック化合物の光化学反応と回折格子の形成・消失が連動していることがわかります。

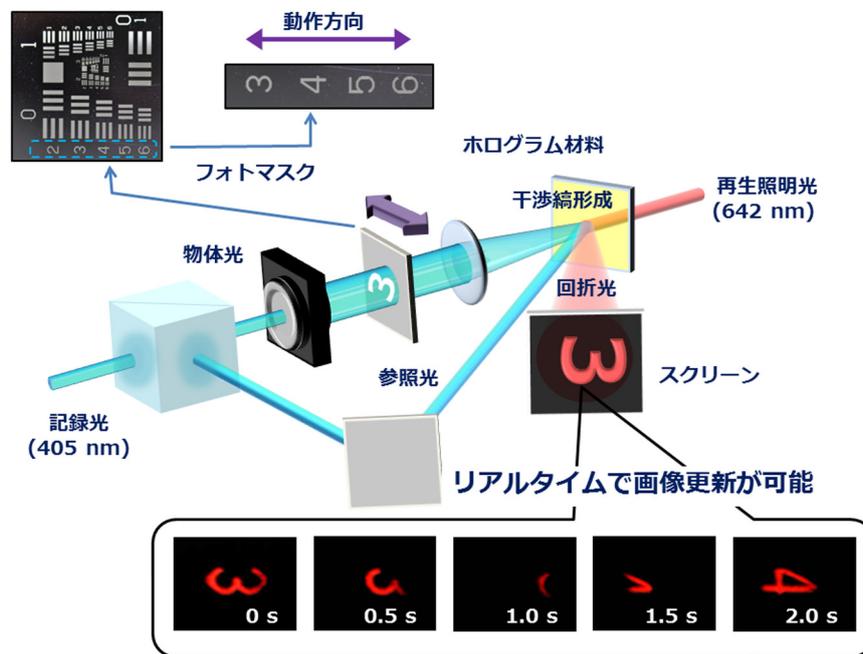


図6 スクリーン上に投影されたフォトマスクのホログラム画像のリアルタイム変化

フォトマスクを透過した物体光と参照光が干渉することで、ホログラム上に画像情報が記録されます。再生照明光を同時に当てることで、再生照明光が回折してホログラム画像がスクリーン上に映し出されます。フォトマスクの動きに追従して、ホログラム画像もスムーズに動きます。

<用語解説>

注1) ホログラフィー

光が物体に当たって反射すると、光の波の山と谷がずれるが、この現象を利用して立体像を記録・再生する技術。具体的には、干渉性のあるレーザー光を2つに分けた後、一方を物体に反射させ（物体光）、他方の光（参照光）と再び重ね合わせた時に、光が互いに強め合ったり、弱め合ったりすることで光の明暗の縞（干渉縞^{注4)}ができる。この干渉縞^{注4)}には、物体の明るさに関する情報と、光がどの方向からやってきたか、という情報が含まれている。物体の3次元情報を干渉縞として媒体に記録した後、その媒体に再生照明光^{注5)}を当てることで3D画像が浮かび上がる。写真では反射光が平面に記録されるだけだが、ホログラフィーは物体の立体形状の情報まで記録できる。

注2) ホログラム

ホログラフィーで物体の3次元情報や位置情報を含んだ干渉縞が記録された媒体。

注3) 高速フォトクロミック材料

光を当てると形が異なる2種類の化合物を可逆的に生じる現象をフォトクロミズムという。例えば、A字型の構造の化合物に紫外線を当てるとΛ字型の構造の化合物に変わり、Λ字型の構造の化合物は可視光線や熱により元のA字型の構造の化合物に戻る現象である。このA字型構造の化合物とΛ字型構造の化合物は色や屈折率などの性質が異なるため、光の作用で物質の性質を変えることができる。フォトクロミズムを示す化合物（材料）を、フォトクロミック化合物（材料）という。光を当てるとA字型からΛ字型に変化して、光を遮ると速やかに元のA字型に戻る現象を高速フォトクロミズムといい、そのような性質を持つ化合物（材料）を高速フォトクロミック化合物（材料）という。

注4) 干渉縞

同じ波長を持つ2つの波の重なり合いで、波の山と山、あるいは谷と谷が一致するように重なり合うと、山の高さが2倍、谷の高さが2倍の波になる。一方で、山と谷が一致するように重なり合うと波の高さはゼロになる。このように、2つの波が重なり合って、強め合ったり、弱め合ったりする現象を干渉という。光は波としての性質を持つが、光の干渉によってできる明暗の縞模様を干渉縞という。

注5) 再生照明光

ホログラムから立体像を浮かび上がらせるために当てる光。

注6) 回折格子

光の回折現象を利用してスペクトルを得る素子。例えば、ガラス基板に多数の溝を刻むと、溝の間の滑らかな面で反射される光線の間で干渉で回折が起きる。材質が周期的に異なる場合にも回折が起きる。

<論文タイトル>

“A real-time dynamic holographic material using a fast photochromic molecule”
(高速フォトクロミック化合物を用いたリアルタイムホログラム材料)

<お問い合わせ先>

<研究に関すること>

阿部 二郎 (アベ ジロウ)

青山学院大学 理工学部化学・生命科学科 教授

〒252-5258 神奈川県相模原市淵野辺5-10-1 J棟506室

Tel : 042-759-6225 Fax : 042-759-6225

E-mail : jiro_abe@chem.aoyama.ac.jp

<報道に関すること>

齋藤 敏幸 (サイトウ トシユキ)

青山学院 広報部広報課

Tel : 03-3409-6578 Fax : 03-3486-4712

E-mail : tsaito@aoyamagakuin.jp

<JSTの事業に関すること>

古川 雅士 (フルカワ マサシ)

科学技術振興機構 戦略研究推進部 グリーンイノベーショングループ

〒102-0076 東京都千代田区五番町7 K's五番町

Tel : 03-3512-3531 Fax : 03-3222-2066

E-mail : crest@jst.go.jp