

ホログラフィが可能にする新しい画像・映像技術 —3次元動画像計測から超高速動画撮影技術まで—

京都府中小企業特別技術指導員の京都工芸繊維大学 粟辻安浩教授から上記テーマで寄稿いただきました。

はじめに 画像・映像のインパクトと光技術

人間は外界からの情報の多くを五感(味覚、嗅覚、聴覚、触覚、視覚)として察知して、思考する。また、思考した結果に対して次の瞬間の行動をおこす。五感の中でも特に、視覚で得られる情報は情報量が最も多く、重要な役割を果たす。視覚情報は、人間の周囲にある物体から直接発せられる光、あるいは太陽や電灯の光が物体に当たって、その物体から散乱や反射されてきた光が眼球、視神経を通して大脳で画像情報として知覚する。このように、画像や映像は光を情報媒体として人間の視覚から取り込まれている。

画像に対する人間の欲求はとどまることがなく、昔は印刷技術においてモノクロ写真しかなかったものが、カラー写真へと進展した。写真は静止画であるが、動画として映像技術が誕生した。映像技術は、白黒テレビ、カラーテレビ、高精細テレビ、3次元テレビへと進展を続けている。また、情報通信分野では、30年ほど前はパソコンでの通信は文字のみ、画像表示は10色程度でしかも静止画だけであった。その後、インターネットを介したWWW(world wide web)により、地球の裏側からでも静止画であれば、16万色の高精細画像、画質を落とすと動画も送られてきて閲覧できるようになった。昨今では、動画像でもかなり高精細の映像を閲覧できるようになってきた。高精細映像として4kテレビが市販されるようになり、8kスーパーハイビジョンの普及が現在進められている。映像技術の応用としてYoutubeによる個人の動画配信と視聴が盛んに行われている。ユーチューバーなる言葉も創られ、子供が将来にしたい仕事の上位にランクインしている。また、スマートフォンの普及に伴い、手軽に動画を撮影できるようになり、テレビではこの2,3年の間に世界各地で個人が撮影した衝撃映像を集めて紹介する特番が頻繁に放送されるようになってきたと感じている。さらに、いたるところに監視カメラが設置されるようになり、犯罪捜査に大きく役立つようになった。このように、画像や映像に対しての要求は今後益々増えていき、より高い機能や性能が求められるようになることは容易に予想される。

このような観点から筆者は、光技術を用いることにより、これまでに無い新たな画像技術の創出と応用の研究に興味をもち、現在はホログラフィと呼ばれる技術を用いて、3次元の動画像記録とその動く物体の形状計測への応用や超高速の動画像記録とその高速現象の観察への応用の研究を進めている。本稿では、これらの研究について紹介させていただく。

ホログラフィ

ホログラフィは、光波の干渉と回折を利用して物体のすべての情報を干渉縞画像として記録・再生する技術である。この技術における情報媒体がホログラムと呼ばれる。科学館や展示会でホログラムを実際にご覧になったことがある読者もいらっしゃるだろう。ホログラムは、日本国紙幣やクレジットカードにも付けられており光を反射して輝く文字や絵などを映し出すお馴染みのものであり、薄膜の高解像力を持つ写真記録材料からなる。

ホログラフィには記録と再生の2つの過程があり、図1にその光学系の概略を示す。記録では、レーザーからの光を二分し、一方を広

げて物体に照射する。すると物体からは回折光が生じる。これを物体光という。他方は参照光と呼ばれ、物体光と重ね干渉させる。この2光波が重なった空間に高解像写真記録材料からなるホログラム乾板を置き干渉縞を記録する。これを現像処理してできた物をホログラムという。

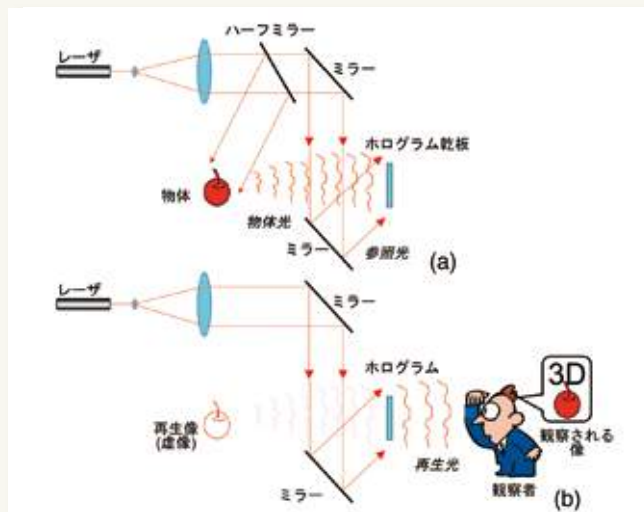


図1 ホログラフィの概略。(a)記録、(b)再生。

再生では、ホログラムを参照光と同じ光で照明すると、物体と同じ方向に回折して進む光がホログラムから生じる。この光は再生光と呼ばれ、元の位置に物体の完全な3次元像を再生できる。

ホログラム乾板を用いるこれまでのホログラフィでは、一般的には現像、定着処理が必要である。そのために、実時間記録・再生、動く物体の動画像記録が困難という問題がある。この問題を解決できる技術としてデジタルホログラフィが考案され、近年世界的に研究が急速に進められている。

3次元動画像記録技術 デジタルホログラフィ

デジタルホログラフィはイメージセンサで干渉縞画像を記録し、この画像からコンピュータで物体の3次元像を数値再生する技術である。図2にデジタルホログラフィの概略を示す。この技術は、透明物体の厚みを表せる位相という情報や物体の3次元形状を記録可能、3次元像の記録の際に一般的に用いられる光ビームや接触探針による物体の走査が不要であり1ショットで記録可能、記録した物体の3次元情報の定量的な解析が可能、実時間記録が

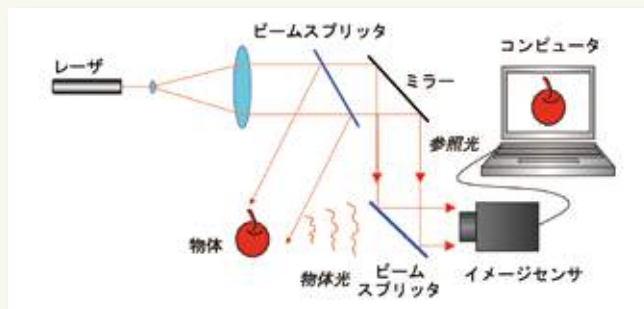


図2 デジタルホログラフィの概略。

可能などの特長を持つ。これらの特長を活かしてこの技術は、物体の非接触かつ高速な3次元計測への応用が期待されている。しかし、従来のホログラフィで用いていたホログラム乾板には記録できていた微細な干渉縞は、イメージセンサでは、その画素ピッチが粗過ぎて記録できないことが生じる。そのために、デジタルホログラフィでは、参照光をイメージセンサに対してほぼ垂直に照射する。その結果、不要な像(非回折光と共役像)が、再生された物体の像に重畳することが、ホログラフィの原理として避けられなかった。この問題を解決するために、複数枚のホログラムを逐次的に記録して数値処理により不要像を除去する位相シフトデジタルホログラフィという技術が考案された。しかし、この技術は動く物体に使用できないという問題があった。そこでこの問題を解決するために筆者らは、1ショットで記録したホログラムからでも、不要像が重畳しない明瞭かつ正確な物体の像を再生できる並列位相シフトデジタルホログラフィを考案した。

並列位相シフトデジタルホログラフィの基本的な考えは、ホログラムを記録するための参照光として、イメージセンサの画素ごとに異なる位相分布を持たせて1ショットで記録することにある。この技術により、1枚のホログラムから不要像が重畳しない鮮明かつ正確な物体の明るさと位相の両方を表す量である複素振幅分布が得られる。

並列位相シフトデジタルホログラフィに必要な参照光の位相分布を実現する一形態として、偏光高速カメラを用いたシステムを実証している。偏光カメラは、カメラの撮像素子に入射する光に関して、異なる方向に振動する直線偏光の成分に分けて、その成分ごとの強度を画素ごとに検出できる機能をもつカメラである。このようなカメラは、近年世界的に数社で開発され市販もされるようになっている。

並列位相シフトデジタルホログラフィの実証システムでは、高速な物体としてスプレーから発する透明な圧縮ガスを設定し、このガスによって生じる気体の高速密度変化の分布を記録した。毎秒3000コマで記録したホログラムから再生された密度変化の動画像の一部を図3に示す。この技術を用いて、最高で毎秒100万フレームの位相動画像記録と再生も報告している。

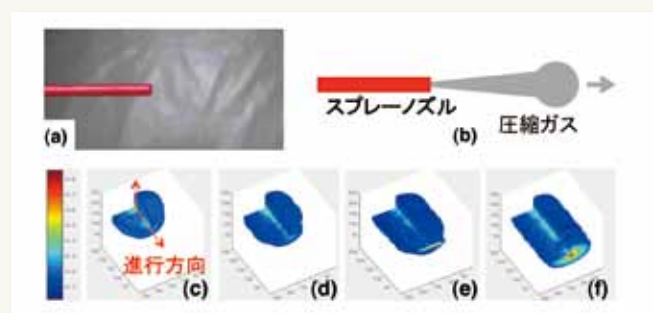


図3 透明ガス流の3次元動画像から抜き出した4コマ。
(a) 通常のカメラで写した物体の写真、(b) 物体の模式図、(c) 0.0ms、
(d) 1.5ms、(e) 3.0ms、(f) 4.5ms。

超高速の動画像記録技術 Light-in-flightホログラフィ

光は約 3×10^8 m/sで空気中を伝播し、世界で最も速く進む。その速さのために光の伝播は直接見られないだけでなく、高速度カメラでも観察が困難である。これまでに、超短パルスレーザーを用いてホログラムを記録することで光の伝播を動画像として観察できる技術としてLight-in-flightホログラフィが提案されている。

この技術を応用して、筆者らは光学部品中を光が伝播する様子の動画像記録とスローモーション観察に成功している。図4にガラス基板中を全反射を繰り返しながら伝播する超短光パルスの動画像記録結果を示す。明るく輝く小さな粒が1兆分の1秒だけ発光が持続する光パルスである。世界最高速級の高速カメラの約100万倍の記録速度を実現できており、時間を約100億倍以上に引き伸ばして観察できる「超高倍率時間顕微鏡」と見なせる。この技術を用いて、光が伝播する様子の3次元動画像記録と観察に世界で初めて成功している(図5)。

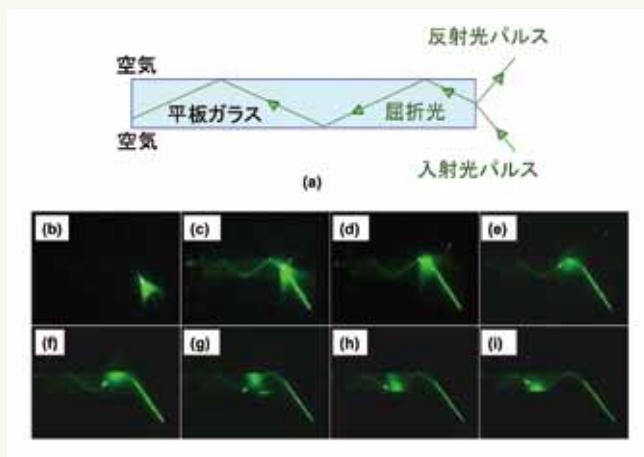


図4 ガラス基板中を全反射を繰り返しながら伝播する超短光パルスの動画像から抜き出した8コマ。画像の時間間隔は49ピコ秒である。

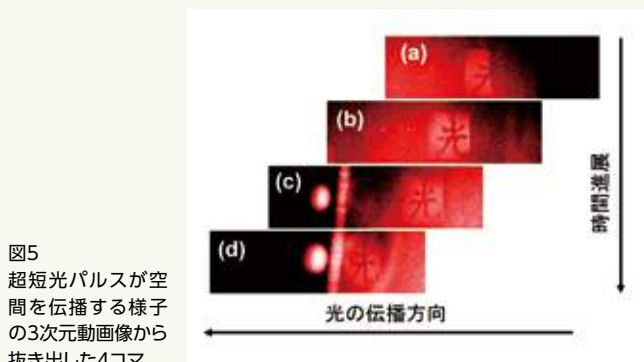


図5 超短光パルスが空間を伝播する様子の3次元動画像から抜き出した4コマ。

おわりに

筆者が現在進めている研究として、3次元画像記録技術と超高速動画像記録技術ならびにそれらで得られた結果の一部を紹介した。それぞれ、デジタルホログラフィとLight-in-flightホログラフィと呼ばれる技術で、産業応用から基礎研究まで幅広い様々な分野において強力な観察技術、計測技術になると期待できる。これらの技術だけでなく、これまでに培ってきた光学ならびに画像工学に関する知識と技術を活かして、地域の中小企業発展のために貢献していきたいと考えている。



栗辻 安浩 氏

1997年大阪大学大学院工学研究科博士後期課程修了 博士(工学)授与。同年京都工芸繊維大学大学院工学科学研究科・助手、2005年同助教授、2007年同准教授、2014年同教授。現在に至る。この間、2005～2009年(独) 科学技術振興機構 さきがけ 個人研究者(兼業)。

お問い合わせ先

京都府中小企業技術センター 企画連携課 TEL:075-315-8635 FAX:075-315-9497 E-mail:kikaku@mtc.pref.kyoto.lg.jp