水平視差型ホログラフィや超多眼に取り組む

―負担なく自然な立体動画の実現へ

より自然で生体に負担がかからず鮮明な立体映像は、テレビや医療用途などをはじめさまざまな応用が期待できる重要な研究テーマである。究極の映像である電子ホログラフィやホログラフィに迫るリアルさをもつ多眼式など、各種の手法が研究されている。

立体視には研究中のものから実用化されたものまでさまざまな方式がある。一番身近なものがメガネをかける3D映画や3Dテレビだろう。また携帯電話機やゲーム機、一部のテレビは、裸眼で立体像を見ることができる。一方でホログラフィは、対象から出てきた光を正確に記録・再生する手法だ。通常の２次元の映像や写真は、物体から出てくる光の強度しか記録できない。そのため奥行き情報が失われており、立体像を見ることはできない。だがホログラフィは光の強度と位相を、物体からの光と参照光による干渉縞として記録する。そしてできた像に参照光と同じ光を当てると、物体からの光が位相情報、つまり奥行きまでを含めて再生される。通常の写真などでは光線を記録・再生するが、ホログラフィは波面を記録・再生する点でも「理想的な3D映像」と言われる。

そもそも「人が立体感を感じる生理的な仕組みは4つある」と東京農工大学の高木康博氏は言う。第1に、左目と右目が対象を見る時に内側に回転する「輻輳」、第2に左と右の目で見え方がずれる「両眼視差」、第3に対象にピントを合わせる「調節」、そして移動することで見え方が変わっていく「運動視差」である。メガネをかける方式の映画やテレビなどは、絵を複数用意して両眼視差を利用して擬似的な立体感を得るものがほとんどである。これらの方式では、ピントは常に映像が再生される面に合わせられ、輻輳との矛盾が生じる。この矛盾が立体視の疲労を作り出す原因の一つと言われる。一方ホログラフィは立体の像を奥行きも含めて完全に再生するため、これらの4つの生理的機能をすべて満たす。人への負担を考える上でも理想的だといえる。

ホログラフィの原理は、1948年にガボールによって電子顕微鏡の像を改善する過程で発見された。その後ホログラフィに必要な、干渉性の高い光源であるレーザ、高解像度の記録材料、各種の光学系の考案によって実用化が進み、1971年にガボールはノーベル物理学賞を受賞している。

ホログラムは写真を記録媒体として始まったが、動画の再生を見据えた電子ホログラフィの研究も進んでいる。画像の再生には、音響光学変調器（AOM：acoust optical modulator）や液晶パネル、MEMSのミラーデバイスなどの空間光変調器が研究されている。究極の映像といえるホログラフィの動画を実現するにあたっては、大量のデータを扱うとともに高精細化および大サイズ化が課題となる。可視光の波長が0.4～0.8μmであることから素子には1μm程度の画素ピッチが必要と考えられているが、現状では写真式よりも解像度は劣る。情報通信研究機構（NICT）ではピッチが4.8μmのスーパーハイビジョン（7680×4320）の液晶画面を横に3つ並べ、視域角15°、画面サイズ1.7インチでの表示に成功している。ただ微細なピッチを持った大型のディスプレイを製造するのは、実用化の面ではハードルが高いのも事実だ。

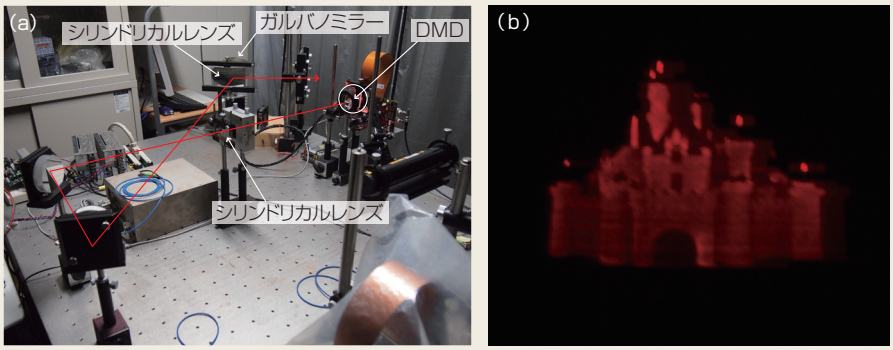

図1　(a)水平走査型ホログラフィの光学系　(b)水平走査型で再生された城のホログラム。角までシャープに見える

水平視差型ホログラフィ

そこで高木氏が研究している方式の一つが、液晶を使わない水平走査型の電子ホログラフィだ。表示システムは**図1(a)**のような構成になる。空間光

変調器(SLM:spatial light modulator)にはMEMSのミラーデバイスを使う。フレームレートは13kHzと高く、画素数は1024×768、画素ピッチは13.68μmである。これにアナモルフィック光学系とガルバノスキャナを組み合わせる。アナモルフィック光学系は水平方向と垂直方向で拡大倍率が異なる光学系である。これによって水平方向の画素ピッチを13.68μmから2.5μmに縮小して干渉縞を表示できるようにする。一方、縦方向は拡大して縦長の形状にする。これを水平方向にガルバノスキャナでスキャンすることによって水平視差型のホログラムを表示する(**図1(b)**)。両眼は水平方向についているため垂直方向の視差は省いている。これによって情報量を抑えるとともに機械的走査を減らしている。画面サイズは現在6インチを実現しているという。

高木氏は見え方について検証するため、実際にピントが合っているかどうかのテストも行っている。その結果からも、実物を見た場合と同様のピント調節や輻輳が行われることを確認しているという。「2次元映像は、解像度や階調数を上げていけば即質の向上につながる。だが立体視はあくまで人間の目での見え方をチェックする必要がある。目の応答を調べ、どう見えるかを確認しながら進めていくことが重要」(高木氏)だという。

解像度変換を利用

いっぽう解像度変換の表示システム(**図2**)は、フーリエ光学の手法により水平方向の解像度をn倍、垂直方向の解像度を1/n倍というように解像度を変換できる技術を使った表示システムである。変換しても画素数、つまり情報量は一定である。また水平方向の解像度を4倍に変換すると、水平方向の画素ピッチは1/4倍になる。これを利用して画素ピッチを縮小する。JVCケンウッドが開発した解像度が4k2k(4096×2400)、0.9インチのSLMを用い、水平方向の解像度を4倍にすることで、画面サイズ2インチ、画素ピッチ3.5μm、視域角11°のホログラムを実現した。このシステムのユニークなところがモジュール化したことである。通常は除振台の上にたくさんの光学系が乗っている状態であることが多いが、同システムではすべてを241×46×27mmの箱の中に収め、また枠もなくすことによって、モジュールを並べることによる大画面化も可能にした。

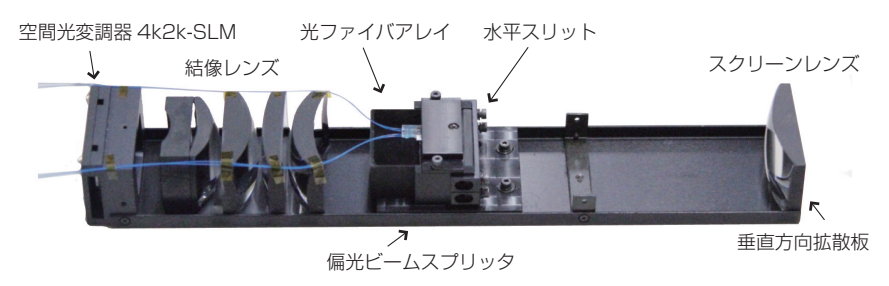

図2 モジュール化された解像度変換技術によるホログラフィ光学系

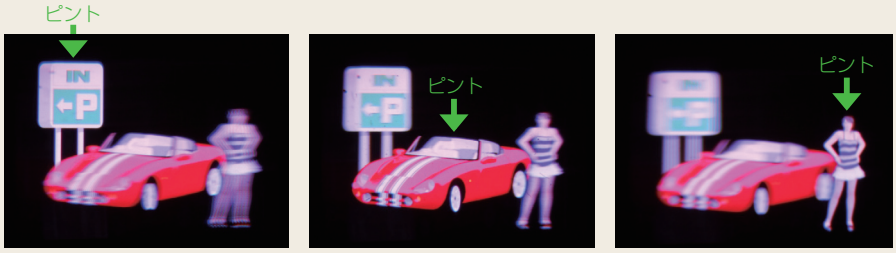

図3 超多眼式カラー映像。それぞれの像にカメラでピントを合わせることもできる。

カラー超多眼ディスプレイ

なお高木氏の研究室ではホログラフィに限らず、よりリアルな立体視を実現するため、超多眼ディスプレイについても研究を行っている。MEMSミラーデバイスによる1024×768画素で8000Hzの高スキャン速度のSLMとガルバノスキャナを組み合わせ、時分割による3色表示で、視域角は17.2°、55点の多眼でクリアな像を見ることができる。カメラでも人や車などそれぞれに焦点を合わせることが可能だ(**図3**)。像は小さいもののホログラフィに劣らない立体感が得られる。ほかにも360°の方向から見ることができる回転ディスプレイやさまざまな多眼式など、多様なディスプレイについて研究を行っている。

現状の立体ディスプレイでは見づらさがあったり専用メガネが必要であるなど課題は多い。だがよりリアルな立体視が実用化されれば医療やアート、テレビ映像など応用は幅広い。今後の展開が非常に楽しみだ。 **(加藤 まどみ)**

謝辞

解像度変換技術を用いたモジュールは、NICT委託研究「裸眼立体映像提示の高画質化に関する研究開発」で開発されたものです。

訪問した研究室

東京農工大学 大学院 工学研究院 工学府 電子情報工学専攻 高木研究室

LFWJ