

三次元テレビの実現をめざす電子ホログラフィ技術

伊藤 智 義

ホログラフィは三次元波面を忠実に記録・再生できる唯一知られた技術であり、ホログラフィによる三次元動画像システムは究極の立体テレビになり得るものと考えられています。しかし、その実用化には、高精細な電子表示デバイスや、超高速な計算機環境が必要なことから、今後 20 年を要するともいわれています。本研究では、独自に設計・開発したホログラフィ専用計算機システムを用い、高精細液晶ディスプレイ（LCD）と組み合わせた電子ホログラフィシステムを試作し、小さな像ながらもリアルタイムの三次元動画像再生に成功しました。

ホログラムの干渉縞はコンピュータ上で作ることも可能であり、計算機合成ホログラム（CGH: Computer-Generated Hologram）と呼ばれています。したがって、CGH をビデオ・レート（30 フレーム/秒）で逐次更新できれば、リアルタイムの三次元動画像システムを構築することができます。CGH による動画像技術は電子ホログラフィと呼ばれ、1990 年頃から研究されています。その研究結果として、ホログラムを表示するための十分高精細な電子表示デバイスの開発が困難なことから、CGH の持つ膨大な情報量进行处理することが困難であること、二つの大きな課題が明らかにされました。

ホログラフィでは再生に回折光を利用しているため、表示面の画素ピッチ（間隔）が狭いほど視野角（見える領域）は大きくなります。図 1 に可視光での両者の関係を示します。光学フィルムでの画素ピッチは $0.1 \sim 1 \mu\text{m}$ に相当しますので、静止画の場合、視野角は 40° 以上あり、十分な立体視が可能であることがわかります。しかし動画の場合はこのホログラムを逐次更新しなければなりません。データを制御でき、かつ、これほど高精細な表示デバイスは今のところ存在しません。これが第一の問題です。

近年、反射型 LCD などの表示デバイスの高精細化が急速に進んでおり、画素ピッチが $10 \mu\text{m}$ を切るものまで市販され始めています。反射型 LCD を用いて図 2 の電子ホログラフィシステムを構築したところ、図 3 に示すような良好な再生像を得ることに成功し、本研究の初期の成果となりました。

しかし、画素ピッチ $10 \mu\text{m}$ から得られる視野角は 3° 程度しかありません。十分な両眼視のためには、さらに半分の $5 \mu\text{m}$ ピッチ程度が求められ、実用化

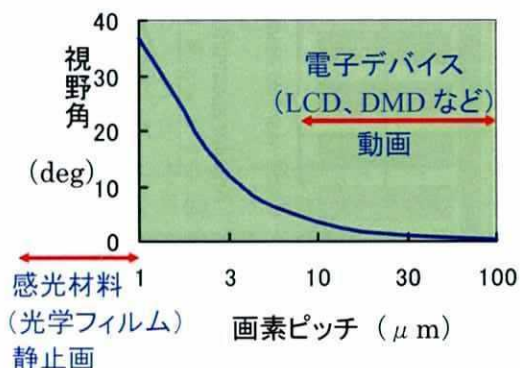


図 1. 画素ピッチと視野角の関係

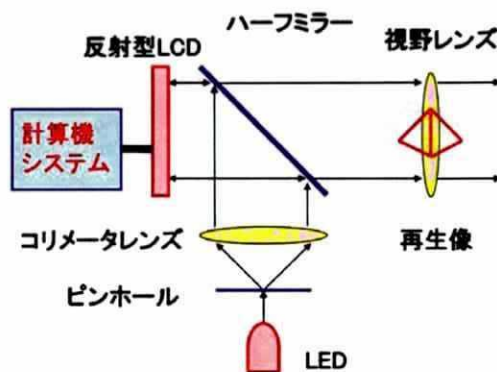


図 2. 再生システム

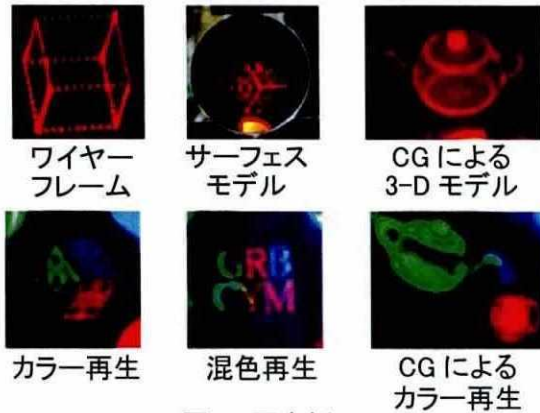


図 3. 再生例

を考えると $1\mu\text{m}$ ピッチに近づける必要があります。

理論的には、レンズを組み合わせることで画素ピッチを光学的に縮小できることが知られているので、現段階においても、十分高精細な表示系を構築することは可能です。ただし、表示系が高精細になるほど、言い換えれば、理想に近づくほど、計算負荷は膨大になります。例えば、画素ピッチ $1\mu\text{m}$ で $10\text{cm} \times 10\text{cm}$ の表示面が作成できたとしても、その総画素数は 100 億になります。

100 億画素のホログラム面をリアルタイムで更新できる計算機システムは存在していません。これが第二の問題点です。

これまでに様々な研究者によって計算手法の改良が行われ、従来に比べて数十倍も高速なアルゴリズムも提案されています。しかし、高速アルゴリズムを用いても、10,000 点で構成される物体から $1,000 \times 1,000$ 画素のホログラムを生成するのに数十秒を要し、ビデオ・レートにはさらに 1,000 倍の高速化が必要な状況にあります。ちなみに、図 3 中のポットが 5,000 点で作られていますので、物体点数 10,000 というのはそれほど大きな数字ではありません。

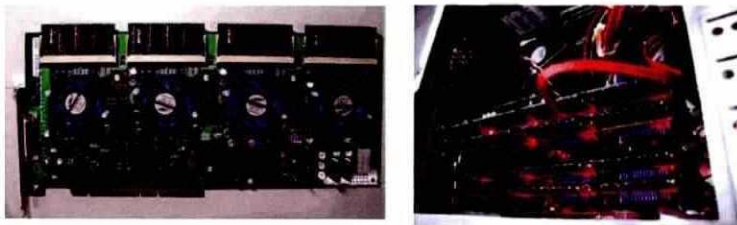


図 4. ホログラフィ専用計算機システム HORN-5

ソフトウェアの改良に対して、私たちの研究グループではハードウェアによるアプローチが有効であると考え、ホログラフィ専用計算機の研究を HORN (Holographic Reconstruction) と名付けて 1992 年に開始し、本

研究において、計算速度を飛躍的に向上させた最新の HORN-5 システムを開発しました(図 4)。左図は CGH 計算回路を 1,408 ユニット実装した高並列専用計算基板です。パソコンに差し込んで使用し、右図は 1 台のパソコンに 4 枚装着して稼働させている様子です。

表 1 に性能を示します。表中のホログラムの画素数は実際に使用した LCD のものであり、高速化率はパソコン単体で高速アルゴリズムを用いた場合を 1 とおいて比較した数値です。HORN-5 ボード 1 枚で約 300 倍、4 枚装着すると 1,000 倍以上高速になり、このシステムにおいては、ビデオ・レート、つまり、リアルタイムの電子ホログラフィ再生が可能になりました。

【システム】		計算時間 (秒/ CGH)	高速 化率
ホログラム	$1,408 \times 1,050$		
物体点数	10,000		
【パソコン単体】			
CPU: Pentium 4 3.2GHz		22.8	1
【HORN-5】	1 基板装着	0.0679	336
	2 基板装着	0.0349	653
	3 基板装着	0.0239	954
	4 基板装着	0.0185	1230

表 1. 専用ハードウェアの計算速度

ただし、パソコンの1,000倍以上の計算速度でもリアルタイムで駆動できる表示パネルは1枚であり、その実サイズはわずかに1.5cm×1.0cm(画素ピッチ:10 μ m)です。また、このパネルから再生される三次元像は、視野角3 $^{\circ}$ でサイズは3cm 3 程度でしかありません。

現在は、本研究をさらに進めて、図5のような表示システム、計算機システムともに並列化し、それを組み合わせることによって、10cm 3 程度の像をリアルタイムで三次元動画再生できるシステムの開発をめざしています。

リアルタイムの電子ホログラフィシステムの道筋がつけられれば、次世代三次元ディスプレイについて、現在模索を続けている産業界に対しても強いインパクトを与えることができるものと考えています。また、リアルタイム性はユーザとディスプレイを対話型インターフェースで結ぶことが可能になるため、コンピュータディスプレイ等で次世代の三次元GUI(Graphical User Interface)としての活用も期待されます。

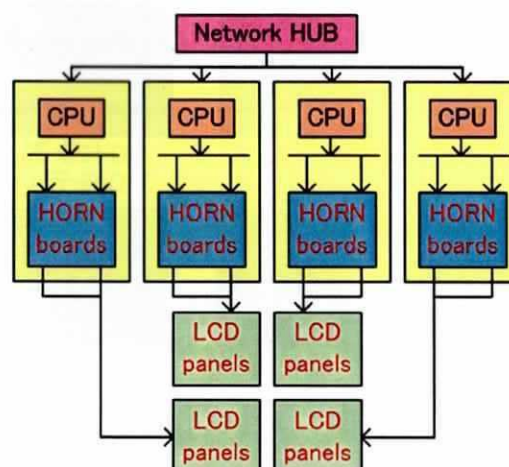


図 5. 並列型電子ホログラフィシステム

参考文献

- (1) Holographic reconstruction with a 10- μ m pixel-pitch reflective liquid-crystal display by use of a light-emitting diode reference light: T. Ito, T. Shimobaba, H. Godo and M. Horiuchi, Opt. Letters, Vol.27, pp.1406-1408 (2002)
- (2) Color electroholography by three colored reference lights simultaneously incident upon one hologram panel: T. Ito and K. Okano, Opt. Express, Vol.12, pp.4320-4325 (2004)
- (3) One-unit system for electroholography by use of a special-purpose computational chip with a high-resolution liquid-crystal display toward a three-dimensional television: T. Ito and T. Shimobaba, Opt. Express, Vol.12, pp.1788-1793 (2004)
- (4) Electroholographic display unit for three-dimensional display by use of special-purpose computational chip for holography and reflective LCD panel: T. Shimobaba, A. Shiraki, N. Masuda and T. Ito, Opt. Express, Vol.13, pp.4196-4201 (2005)
- (5) A special-purpose computer HORN-5 for a real-time electroholography: T. Ito, N. Masuda, K. Yoshimura, A. Shiraki, T. Shimobaba and T. Sugie, Opt. Express, Vol.13, pp.1923-1932 (2005)
- (6) Special purpose computer for digital holographic particle tracking velocimetry: N. Masuda, T. Ito, K. Kayama, H. Kono, S. Satake, T. Kunugi and K. Sato, Opt. Express, Vol.14, pp.587-592 (2006)
- (7) Computer generated holography using a graphics processing unit: N. Masuda, T. Ito, T. Tanaka, A. Shiraki and T. Sugie, Opt. Express, Vol.14, pp. 603-608 (2006)