

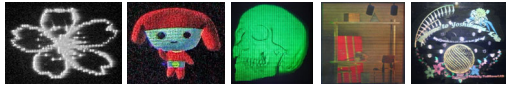
2018 年 11 月 19 日 3D フォーラム 第 124 回研究会

講演 3

「デジタルホログラフィー技術を用いる 3D 映像表示」

吉川 浩(日本大学工学部)

デジタルホログラフィー技術 を用いる3D映像表示



吉川 浩

日本大学理工学部

<http://yylab.ce.cst.nihon-u.ac.jp/~hiroshi/>

1

光学ホログラムの例



デニシユクホログラム



ホログラフィックステレオグラム

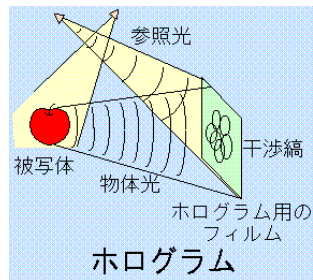
見ただけでは区別できないものも

2

ホログラム (Hologram)

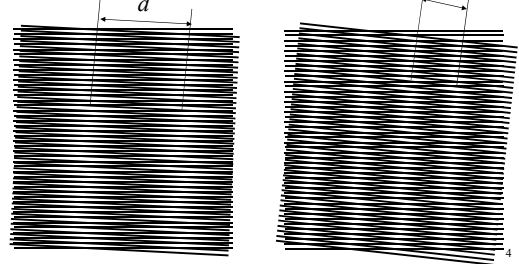
光の干渉を利用して、
被写体からの光の強さ
のみでなく光の方向も
記録することができる。

その物: **ホログラム**
その技術: **ホログラフィ**



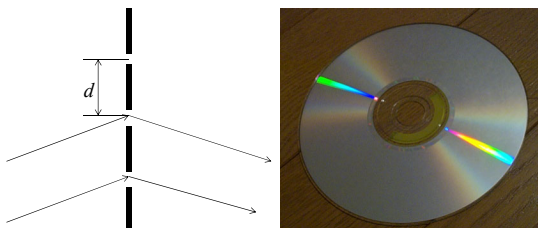
ホログラムの原理1 (波の干渉)

$$\lambda = d(\sin \theta_{obj} - \sin \theta_{ref})$$



ホログラムの原理2 (波の回折)

$$m\lambda = d(\sin \theta_{out} - \sin \theta_{ill})$$



ホログラム撮影の光学系

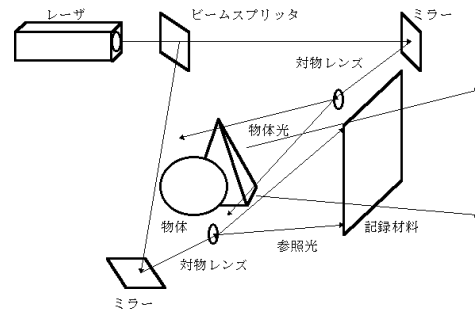


図1. ホログラムの記録

ホログラムの再生

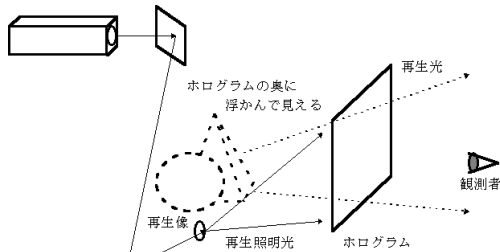


図2, ホログラムの再生

アナログからデジタルへ

- ホログラム材料を電子デバイスに置き換える
- イメージセンサで撮影してコンピュータで再生
- コンピュータでホログラムを生成
- 伝送 / 蓄積
- 空間光変調器で像を再生
- デジタルデータから印刷

8

デジタルホログラフィ

- 超微細
 - 光の回折を利用するので、波長程度のピクセルサイズが必要
- 膨大な標本点数
 - セルサイズを $1\mu\text{m}$ とすると、 100mm 角では、 $100,000 \times 100,000 = 10^{10} = 10 \text{ GB}$

9

ホログラフィックテレビジョン に関連した主要な研究1

- ・1965 Leith, Upatniks, Hildebrand and Haines
標本点数, 帯域の計算
 1.5×10^{11} サンプル/秒
- ・1966 Enloe, Murphy and Rubinstein
テレビによるホログラムの電送
- ・1972 Doyle and Glenn
Lumatron (EB・サーモプラスチック)

ホログラフィックテレビジョン に関連した主要な研究2

- ・1986 Mok, Diep, Liu and Psaltis
液晶を用いたCGH (キノフォーム)
- ・1989 Barnes, Eiju, Matsuda and Ooyama
液晶を用いたCGH
- ・1990 St. Hilaire, Benton, Lucente, Jepsen, Kollin, Yoshikawa and Underkoffler
AODを用いたリアルタイムホログラム

ホログラフィックテレビジョン に関連した主要な研究3

- ・1990 岡田, 岡本, 山口
液晶を用いたキノフォーム
- ・ 尼子, 曾根原
液晶を用いたキノフォーム
- ・1991 橋本, 諸川, 北村
液晶を用いたリアルタイムホログラム
- ・ 佐藤, 道下, 小林, 樋口, 勝間
液晶を用いたリアルタイムホログラム

ホログラムの画素ピッチ

- 干渉縞の周期 d :

$$d = \frac{\lambda}{\sin \theta_{obj} - \sin \theta_{ref}}$$

- $\lambda = 0.5 \mu\text{m}$, $\theta_{obj} = 30 \text{ deg}$, $\theta_{ref} = -30 \text{ deg}$ の時
 $d = \lambda = 0.5 \mu\text{m}$
- ホログラムの画素ピッチ p は周期の半分以下
 $p < 0.25 \mu\text{m}$

13

標本点数

- 大きさを $100\text{mm} \times 100\text{mm}$ とする
- ピッチ $p = 0.25 \mu\text{m}$ は 4000 点 / mm

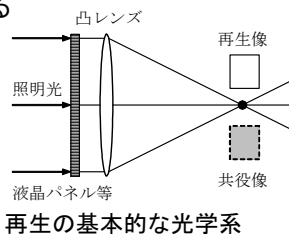
$$\begin{aligned} \text{標本点数} &= 100 \times 4000 \times 100 \times 4000 \\ &= 1.6 \times 10^{11} = \mathbf{160 \text{ GByte/frame}} \end{aligned}$$

- 60 frame/sec の時
 $\mathbf{76.8 \text{ Tbit/sec}}$

14

液晶パネルなど

- 液晶パネル等に干渉縞を表示し、レーザー光を照射する



15

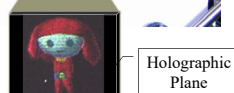
Real-time holography using the high-resolution LCVT-SLM

N. Hashimoto, S. Morokawa and K. Kitamura, SPIE Proc. 1461, 1991.

- ホログラムをCCDで撮影し、液晶パネルに伝送
- リアルタイムの記録再生
- 視点は固定

16

液晶を用いる方式



Manufacturer : Cannon
POWERPROJECTOR SX50

17

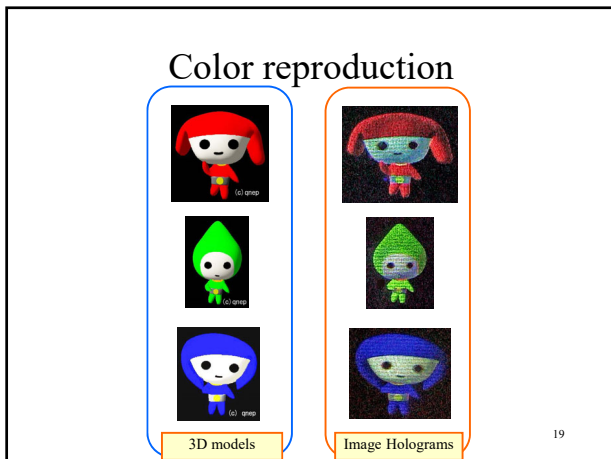
ホログラムの超高速計算とフルカラー表示



- 従来の7,000倍高速
- 普通のPCで20 fps



18



超高精細パネルによるカラー表示

- 情報通信研究機構
- 3,300万画素 (7,680 × 4,320) × 3 (x 3)
- 画素ピッチ4.8μm, 視域角5.6° (15°)
- 表示サイズ 36.8 mm × 20.7 mm
- 輝度情報と奥行き情報からホログラムを計算

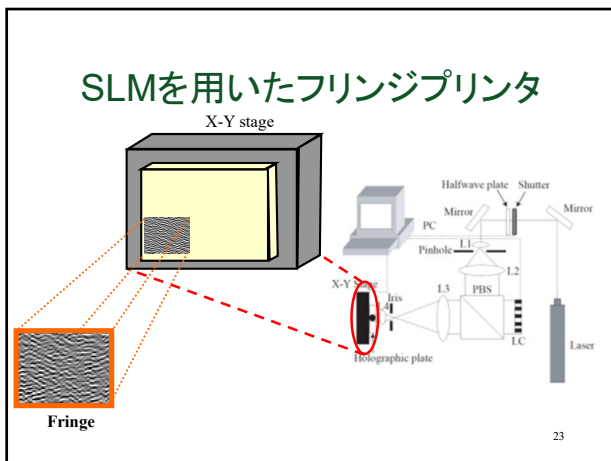
T. Senoh, T. Mishina, K. Yamamoto, R. Oi, and T. Kurita, "Viewing-Zone-Angle-Expanded Color Electronic Holography System Using Ultra-High-Definition Liquid Crystal Displays With Undesirable Light Elimination," *Journal of Display Technology*, vol. 7, no. 7, pp. 382-390, Jul. 2011.

ホログラフィックディスプレイ

- フルパララックスでは、表示サイズ数インチまではできているが、大画面化には帯域がさらに必要
- 静止画(ハードコピー)なら100Gpixel以上も実現されている
- 水平視差のみにして帯域を削減
- 接眼型(HMD)にして帯域を削減

関大デジタルホロスタジオ

- 高解像度計算機合成ホログラムの描画サービスを提供
- DWL 66+, 0.6 μm, 68 Gpixel
- <http://holography.ordist.kansai-u.ac.jp/digitalholostudio/>
- 松島恭治 教授



Rainbow hologram

Fringe pitch : 0.44 μm
Pixel number : 103.2 G (384,000 × 268,800)
Hologram size: 169 mm x 118 mm

H. Yoshikawa and T. Yamaguchi: "Computer-generated holograms for 3D display," *Chinese Optics Letters*, 7, pp. 1079-1082, 2009

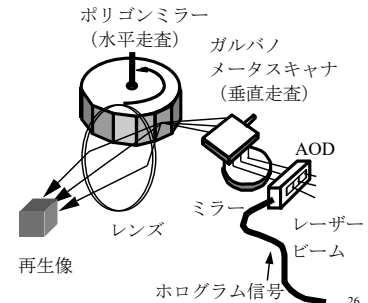
水平方向視差のみ (HPO)

- 垂直方向視差を放棄する
- 画素ピッチ p を $1.0 \mu\text{m}$ とする
(観察可能範囲の減少)
- 垂直方向には走査線100本と仮定
標本点数 = $100 \times 1000 \times 100$
= $1.0 \times 10^7 = 10\text{MByte/frame}$
- 30 frame/sec の時
2.4 Gbit/sec

25

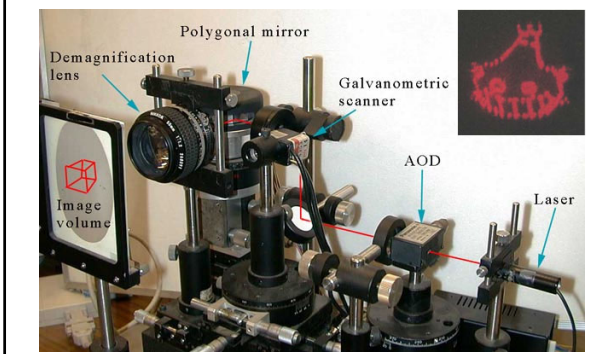
音響光学変調器を用いる方式

- MIT方式
- 機械走査が長所と短所



26

ディスプレイの外観



28

Holovideo for everyone: a low-cost holovideo monitor

V. Michael Bove (ISDH 2012)

- 材料費は\$500以下
- 水平視差のみ, 垂直解像度480, 30 fps
- 視域 15 度, 像のサイズ 10 cm x 5 cm
- 通常のPC + グラフィックカードで駆動

28

走査式ディスプレイ

- 東京農工大学
- 高速DMDと水平走査
- 垂直解像度はDMDと同じため, 垂直走査不要
- 表示ホログラムサイズ 73.1 mm x 52.5 mm, 視域角 14.6 度.
- 時分割によるフルカラー表示も実現

Takaki, Y. and Okada, N., "Hologram generation by horizontal scanning of a high-speed spatial light modulator," *Applied Optics* 48(17), 3255 (2009).

29

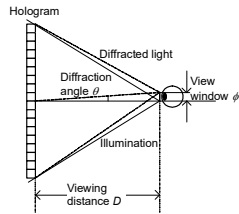
観察窓+視点追従

- See Real Technologies (ドイツ)
- <http://www.secreal.com/>
- 観察者から見える部分のみのホログラムを計算・表示
- 1メガピクセル程度の液晶パネルで, 奥行の深いホログラムを表示可能

30

最大回折角

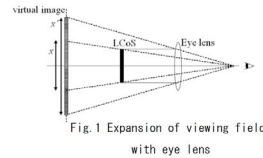
- 眼の近くに収束する照明光
- $\lambda = d \sin\theta$
- $D=1,000$ mm, $\phi=10$ mmと仮定すると, $\theta=0.01$ rad
- 干渉縞の周期 d は波長 λ の100倍
- 空間光変調器の画素サイズは, λ の50倍
- よって, λ が $0.6\mu\text{m}$ なら, 画素ピッチは $30\mu\text{m}$



31

接眼型ホログラム

- ゴーグルの様に装着する
- 視点位置を固定することで, 少ない画素数で広い視野を実現
- ステレオ表示と違い, 調節矛盾は生じない



32

池田貴裕, 竹森民樹: “動画ホログラフィ”, 浜松ホトニクス 創立50周年記念展示会フotonフェア2004 (2004).

表示素子	HDTV (1920 x 1080 pixel), 256 階調, 60Hz, モノクロ単板 2 枚
表示輝点数	約 50 万点相当
表示奥行き	約 30 cm ~ 無限遠、近点距離は設定により変更可能
水平視野角	約 2 度
入力信号	標準アナログ V G A, Dsub-15pin
消費電力	20 W 以下
質量	約 500 g
その他	シースルー機能有り、視力補正機能有り
用途	VR、医療支援、3Dゲーム、ドライブシミュレータ等

33

北山, 佐川, 山口, 吉川: 接眼型イメージホログラムによるフルカラーHoloTV —実時間再生と広視野化の実現— 3次元画像コンファレンス2009, 4-4

- 市販のビデオプロジェクタとレンズ

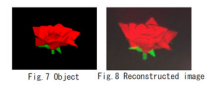
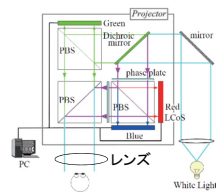


Table.1 Viewing field

	従来方式	接眼方式
視野面積(mm ²)	5.0-3.8	30.0-22.7
縦の視野角[°]	4.4	25.6
横の視野角[°]	5.7	33.4

34

T. Ichikawa, T. Yoneyama, and Y. Sakamoto, “CGH calculation with the ray tracing method for the Fourier transform optical system,” *Opt. Express*, **21**, 26, p. 32019, 2013.

- WXGA (1,280 x 768 pixel) LCoS
- フルカラー・据置型・単眼
- 水平視野 9.79度

35

T. Yoneyama, E. Murakami, Y. Oguro, H. Kubo, K. Yamaguchi, and Y. Sakamoto, “Holographic head-mounted display with correct accommodation and vergence stimuli,” *Opt. Eng.*, **57**, 061619, 2018.

- 1,280 x 768 pixel, 重さ 1,480 g
- フルカラー
- 水平視野 9.4度, 垂直視野 5.6度

E. Murakami, Y. Oguro, and Y. Sakamoto, “Study on Compact Holographic Head-Mounted Display for Augmented Reality,” *IEICE Trans. Electron.*, **E100-C**, pp. 870–873, 2017.

- 960 x 540 pixel, 重さ 120 g
- 赤, 水平視野 7.9度

36

Microsoft HoloLens

- ホログラフィック光学素子を使用
- 見ているのは2Dのディスプレイ画面

37

A. Maimone, A. Georgiou, and J. S. Kollin, "Holographic near-eye displays for virtual and augmented reality," ACM Trans. Graph., **36**, 4, pp. 1–16, 2017.

- Microsoft Research
- 1920 x 1080 pixel, フルカラー
- AR用も試作

38

応用物理分野の アカデミック・ロードマップ

- 社団法人 応用物理学会
 - <http://www.jsap.or.jp/>
 - 2008年3月 作成報告書
 - 2010年3月 改訂版 2,000円
- オプティクスクラスター
 - 日本光学会(応用物理学会分科会)
 - ヒューマンインターフェース: ディスプレイ
 - ホログラフィックディスプレイ研究グループ

39

基盤研究説明文

- 空間光変調デバイスの発展が必須
- 10インチ、視域角 30° 、 10^{12} [画素/秒]
- 50インチ、視域角 90° 、 10^{14} [画素/秒]
- 1980年代後半からの空間光変調デバイスの進歩を図1に示す。
- 同様のイノベーションが進められれば、2020年代には 10^{12} [画素/秒]、2030年代には 10^{14} [画素/秒]程度に達する。

40

デジタルホログラフィー技術 を用いる3D映像表示

- 一番自然な究極の3次元表示
- 静止画(ハードコピー)は実用に近い
- ビデオも技術的には実現可能
 - 小さい像なら実現できている
 - 水平視差のみや接眼型は実用に近い
 - 値段を気にしなければ高性能なものも可能

41