動画ホログラフィの研究動向

正会員 佐藤 甲 癸†

ホログラフィは以前から静止画像のディスプレイとして用いられて来た。その自然な立体感のために動画像を対象とした3次元画像表示装置として期待され、そのための研究が行われて来た。しかし、動画ホログラフィの実現のためには、記録材料および表示デバイスなどの要素技術の開発や情報量の圧縮など、様々な問題の解決が必要である。ここでは内外で現在活発に行われつつある動画ホログラフィの研究についての動向を報告する。

1. ま え が き

ホログラフィは光の波面を再生するという原理に基づいているため、物体の明暗と位置の情報を記録し、再現することができる。人間が3次元物体を認識する時に重要な両眼視差、輻輳、ピント調節、運動視差、のすべての生理的要因を満足する方式であり、他の方式に比べて、より自然な3次元画像表示が得られる特徴がある¹⁾²⁾。

動画像を対象にした動画ホログラフィは、ホログラムの作成を光学的に行うか計算機によって行うかによって、(1)計算機ホログラム (CGH) 方式、(2)ホログラフィックステレオグラム方式(間接方式)、(3)光学的な方法 (直接方式)、のように分類される。あるいは、そこで用いられる技術によって、(a)光学技術を用いる方法、(b)光-電子のハイブリッドな技術を用いる方法、(c)すべて電子的に行う技術を用いる方法、のように分類することができる。

また、ホログラムの伝送が必要かどうかによって (A)映画方式 (ホログラフィ映画にはアニメーションなども含めて考えてよいと思われる)、(B)ビデオ方式、(C)テレビジョン方式に大別される。

この数年の間に動画ホログラフィの研究がめざましい発展をしている^{3)~8)}。今までにもすでに MIT メディアラボのベントン教授らによって動画ホログラフィ

のひとつの方式が提案され実験が行われている。一方、最近高精細化がなされて来た液晶を用いて動画ホログラムを作成しようとする動きが活発になって来ている。そこで本報告は、最近の動画ホログラフィの研究の動向について解説し、また将来の実現の可能性について検討することを目的とする。

2. 計算機合成ホログラフィ

計算機合成ホログラム (CGH) は、コンピュータグラフィックス (CG) などの計算機の出力画像を対象として、波面の伝搬式を計算機内で計算し、任意の観測点における波面の振幅と位相を求め、さらにそれらをホログラフィ情報に変換し、表示装置にホログラムパターンを表示する。この手法を用いて、振幅透過型および位相変化型の CGH の作成や、位相変調特性のみを用いたキノフォームの作成および、振幅と位相の両方の変調を行った波面変換素子の作成が行われている。

CGH を高速に記録・再生するための研究は、光コンピュータにおいて必要性が高く、熱心に行われて来た。しかし、画像を対象にした研究が行われるようになったのは最近のことである。提案されたものを年代順に挙げると、次のように分類できる。

2.1 光学的アドレス方式

高解像度の CRT ディスプレイに表示した CGH パターンを光学系で縮小し、液晶の光学的なモードによる空間的な光変調特性を用いて直接 CGH の像を再生する方式で、3次元画像を読み出す試みが1989年に S. H. Lee らによって行われた⁹⁾。その概略を図1に示す

† 湘南工科大学 電気工学科

"Development of Electro-holography" by Koki Sato
(Department of Electrical Engineering, Shonan Institute of Technology, Kanagawa)

図1 CRT-LCTVを用いたリアルタイムCGHの光学系⁹⁾

が、その時点で使える技術を用いて行った点は評価できるが、縮小光学系などに弱点があるようで、その後の進展は余り見られないようである。

2.2 音響-光学変調器による方式

1990年初めにMITメディアラボのベントン教授らによって提案された方式であり¹⁰⁾、計算機内で発生させたパターンをもとに計算機内で干渉縞を作成し、水平方向には長い音響光学変調器AOM(ドライブ周波数は50~100MHz)でレーザ光を変調しており、垂直方向に対しては、ガルバノミラーを走査している。AOMで波面が流れるのを止めるためにポリゴンミラーを用いている。このシステムの概略を図2に示す。

このシステムでは、コンピュータグラフィックスで作成した物体の回折波面の計算およびホログラムパターンの表示は、計算機合成ホログラム(CGH)の手法を用いており、また、計算を高速に行うために超高速パラレルコンピュータ(コネクションマシン)を用いている。さらに情報量を低減させるために、縦方向の視差を犠牲にしている。また、AO素子を複数個使用することにより、表示に要する時間を短縮するとともに、特殊なスクリーンを用いて視域角を広げている^{11)~13)}。また最近の発表では、同様の方式でAO素子の各チャンネルにRGBの信号を入力することによりカラーホログラムが得られている¹⁴⁾。

現在用いられているホログラム仕様は、読出し速度40Hz、解像度192本/mm、ホログラムの大きさは10cm²であり、また再生像の大きさ4cm²、視域角は水平方向12°、垂直方向23°程度である。結果はサー

図2 ホロビデオの概要図¹⁰⁾

フェスモデルにシェーディングを付加したCGの3次元画像が得られており、この方式が現在最も良い3次元画像が見られる方式と思われる。

2.3 電子的な方式

(1) CGH

液晶パネルを偏光フィルタではさんだ形の液晶表示デバイスは、通常液晶ビデオプロジェクタや液晶テレビなどとして市販されていて、入手が容易である。それらの偏光特性を用いて振幅透過型のCGHの作成が可能であり、Lee型の方法を用いた幾つかの実験が行われている¹⁵⁾¹⁶⁾。しかしこの方法では本質的に off-axis 型のホログラムとなり、キャリア成分を必要とするために液晶の解像度が不十分である。そのために対象とする画像は平面画像に限られている。

(2) キノフォーム

もうひとつの方法は、同様の波面変換を行った後、得られた波面の振幅は一定と近似して位相の分布を求め、記録媒体の屈折分布などによって位相の分布を記録したもので、キノフォームと呼ぶ。レンズと同様に結像作用があり、入力パターンを再生することができる。この方式は on-axis 型の光学素子であるために、解像度が通常のCGHに比べて小さくてすむ。しかし、位相の非線形性によるスポットが生じる問題がある。

キノフォームの最初の実験は1986年に行われたが、液晶の位相変化が2段階しかとれないものであったため、基礎的な実験が行われたただけであった¹⁷⁾。

キノフォームの本格的な最初の作成は1989年に行われたが、TN液晶を用いているために位相の変化は充分取れず、再生像の特性は不十分であった¹⁸⁾。

一方、ホモニアス配向液晶は、液晶分子にねじれがないために旋光性は示さず、図3に示すように、液晶分子の複屈折現象を用いると、印加電圧により光路長すなわち位相を充分大きく変化させることができる¹⁹⁾。

図 3 ホモジニアス液晶パネルの位相変調特性¹⁹⁾

1990 年に、この液晶の位相変調特性を用いたキノフォームの作成が初めてセイコーエプソンによって行われた。その後もセイコーエプソン、東工大、トキメック²⁰⁾などで引き続き研究が行われている。

セイコーエプソンで行われた研究結果の概要を次に

示す^{21)~23)}。用いた液晶空間光変調器(LCSLM)はホモジニアスな液晶であり、アクティブマトリックス方式で駆動されている。また、位相変調を用いるために偏光板ははずしてある。液晶パネルの仕様は液晶サイズ 25.6×19.8 mm、ピクセルサイズ 80×90 μm、厚さ 6.0 μm である。

実験の結果は、写真 1 に示すように位相の量子化レベルを多くすると中心に生じるスポットも消え、鮮明な再生像が得られている。しかし、液晶の解像度が不十分なために、簡単な物体に限定されている。また、この方法を用いて奥行き方向に距離が変化した面からの波面を多重化することにより、3次元像を表示する試みが行われている。さらに、通常ではキノフォームの再生像には位相の非線形性により、中心にスポットが生じるが、この影響を除去するために、振幅と位相の両方の変調を行った波面変換素子の作成が行われている²⁴⁾。

(a) キノフォームパターン
(標本点 128×128, 量子化数 2)

(b) 再生像

(c) キノフォームパターン
(標本点 128×128, 量子化数 16)

(d) 再生像

写真 1 キノフォームの特性²³⁾

図 4 ホログラフィックステレオグラム合成システム²⁵⁾

3. ホログラフィックステレオグラム方式

3次元物体を視点を変えて多数の2次元画像とし、それらのホログラムを細い帯状に作成する。再生の際にそれらを合成して1枚のホログラムとして観察すると、視差の違いによって立体像として見るができる。この方法は、直接レーザを照射できない風景やコンピュータグラフィックス (CG) 画面のホログラム作成に大変有効な方法である。

作成方法は、光学的方法、計算機による方法ともに作成可能であるが、現在までのところ圧倒的に光学的方法によるものが多い。例えば、コンピュータグラフィックスで作成した画面を直接液晶パネルに表示してホログラフィックステレオグラムを作成し、かつサーモプラスチックを記録材料に用いて書き換えを行っているシステムの概要を図4に示す²⁵⁾。今後、作成時間の大幅な短縮が果たされるならば、動画ホログラフィにとって有効な方式となるであろう。

一方、計算機による方法では、ベントン教授らはホログラフィックステレオグラムに対しても先の方法を適応しているが、計算時間を短縮するなど更に発展させた方式が報告されている²⁶⁾。

4. 光学的方式 (直接方式)

物体にレーザを照射して干渉縞を直接記録してホログラムを作成する方式で、記録および表示を高速で行う必要があるが、それらの方式によって、光学的地址方式と電子的アドレス方式が考えられる。光学的地址方式として最近行われた例としては、①サーモプラスチック材料を用いたもの、②フォトクロミック材料を用いたもの²⁷⁾、③液晶空間光変調器を用いたもの²⁸⁾、④生体膜を用いたもの²⁹⁾、などが報告されている。

③の方式で、印加する電圧によって記録・再生のモードの切り替えが行われている。その結果、応答速度が速く高感度なホログラムが得られている。また④の方式では、偏光状態を変えて高速に動画像再生を行っているが、感度は不十分である。これらは記録および表示媒体としては良い特性のものもあるが、一般に光学的アドレス方式では、ホログラム信号の伝送を含めたリアルタイムなホログラフィシステムとして用いるのは難しい。

もう一方は電氣的アドレス方式で、ホログラムを直接カメラの受光面に作成し、電気信号に変換した後、液晶などの電子的にアクセスできる表示装置にホログラムパターンを表示し、像再生を行う方式である。例えば湘南工大などでは、これを実現するために実際に図5に示すような実験システムを用いて、リアルタイムホログラムの作成および実時間で像再生が行われている^{30)~32)}。

まず被写体にコヒーレント光を照射し、これと参照光をテレビカメラの受光面において干渉させて光学的ホログラム(干渉縞)を発生させる。そこで on-axis 型ホログラムを作成するためにマッハツェンダー干渉計を用い、入力パターンとして反射物体を一方の光路に入れて光学的ホログラムを作成している。次に、これをテレビカメラで直接撮影し、干渉縞を電気信号に変換した後に、テレビ信号の伝送系を用いて伝送する。さらにコントローラを介して液晶パネルにホログラムとして表示したものに、再生用のレーザを照射して実時間で像を再生する。

得られたホログラムは on-axis 型ホログラムとなっている。そのために、レンズの焦点面においてフィルタリング処理を行うことが効果的であり、それにより0次透過光および回折光を除去できる。また、像再生時において視域を観察用のレンズの口径まで広げる

図 5 ホログラフィテレビジョン実験光学系³³⁾

図 6 ワンステップイメージホログラムの光学系³⁴⁾

写真 2 ホログラフィテレビジョン再生像³³⁾

写真 3 ワンステップイメージホログラムの再生像³⁴⁾

ことができる。

本実験で用いた液晶はセイコーエプソンの市販の液晶プロジェクタであり、液晶セルは約 $80 \times 90 \mu\text{m}$ である。解像度は 10 数本/mm で、通常では立体像を再生するためには不十分であるが、本実験では on-axis 型ホログラムを用いているためにキャリヤ成分を含まず、その結果、写真 2 に示すような立体像を表示することが可能である³³⁾。

一方、シチズンでは同様に光学的方法でさらに解像度の高い液晶パネル（液晶セル $30 \times 60 \mu\text{m}$ ）を用い、off-axis 型ホログラムの作成を行っている。作成されたシステムの概要を図 6 に示す。その結果、写真 3 に示すように鮮明な 3 次元物体の再生像が得られている³⁴⁾³⁵⁾。また、本手法では、イメージ型ホログラムを用いているために、像がホログラムの近傍にできるので白色光再生が可能である³⁶⁾。さらに現在、画素ピッ

チが10 μm 程度の超高解像液晶パネルを試作中とのことであり、今後の発展が期待できる。

5. 動画ホログラフィの応用

5.1 ホログラフィ映画

ホログラムによる映画が実用的なものになるためには、様々な動きのある物体を表示することが可能で、なおかつ、ホログラムの作成を自動化できる手法が開発される必要がある。従来から光学的なホログラムを用いた写真術の延長としてのホログラフィ映画用装置が作成されていたが³⁷⁾、最近では、これを動画ホログラフィへ向けた検討が行われている。例えば、コンピュータグラフィックスで作成した画面を直接液晶パネルに表示して作成したホログラフィックステレオグラムにより、3Dアニメーションの作成が行われている³⁸⁾。さらに、動画ホログラフィの特性を解析するための方法として、ホログラフィ映画に関する試作が行われている³⁹⁾。

具体的には、図7に示すように、フレネルホログラムを円筒状に配置したものを連続的に回転しながら接眼観察方式で覗いて見るもので、実際にデモを行い、ホログラフィによる動画表示時の画品質を評価するためのツールとして用い、コマの送り速度などの特性の検討を行っている。

5.2 ホログラフィビデオ

ホログラフィビデオとは、ここではホログラムの伝送を目的とせず、主にコンピュータグラフィックスの出力を3次元画像として表示することを目的として、Stand-aloneとして使用する方式を指している。その最初の提案がベントン教授のグループによってなされ、ホロビデオの名前で発表された。この方式はいわば「光-電子的」ホログラフィビデオシステムである。すなわち、音響-光学変調器と回転鏡を用いてホログラムを空間的に走査する方式である。この方式では、大容量の内部メモリーに記憶された複数のホログラムパターンを高速に読出すことによってCGの動画像を立体表示することが可能であり、最近の報告⁴⁾ではこの方式により、カラーで再生できるようになったとのことなので、今後の更なる展開が期待できる。

日本でもこの研究から刺激を受けてホログラフィビデオの研究が活発に行われるようになった。液晶パネルを用いた電子的方式によるホログラフィビデオの提案が報告されている。この方式では、液晶の位相変調特性を用いたキノフォーム方式で3次元画像の再生像が得られている。これは、液晶表示パネルを用いて電子的に走査を行う、いわば「電子式」ホログラフィビ

図7 ホログラフィ映画再生装置の構成³⁹⁾

デオシステムの方式である。現状では10数本/mm程度の解像度しかなく、またホログラムサイズも数 cm^2 程度で小さく、さらに、いずれも解像度あるいは視域が不十分なために、対象は単純な物体に留まっている。

5.3 ホログラフィテレビジョン

ホログラフィテレビジョンは、動く物体を対象にし入力、伝送、表示をリアルタイムで行い、かつ電子的技術を用いてホログラムを作成し、像を再生する方式の総称としてこの言葉をここでは使うこととする。

2光束法ホログラフィが発明されて間もない1966年に、ベル研究所のEnloeらがホログラフィの伝送を試みたのが最初のホログラフィテレビジョンの試みであろう⁴⁰⁾。その後、1970年にベントンが縦方向の視差を除き横方向だけの視差を用いたレインボーホログラムを考案したが、その動機はホログラムを伝送する際の情報量を減少させるのが目的であった。その後は目立った進歩は見られず、数年前まではホログラフィテレビジョンは不可能と考えられていた。ところが状況は、ここへ来て急激に動き出した。

最近になって、光学的ホログラムと液晶表示デバイス(LCD)を用い、現在までのホログラフィックディスプレイ技術、通信技術および表示技術を用いて、動く物体に対するホログラフィテレビジョンの実現に向けての研究が進められている。例えば入力、伝送、表示部はそれぞれ高解像のCCDカメラ、情報量の圧縮、高精細液晶表示パネルの開発によって実現可能である。そのうちCCDカメラの解像度については400万画素程度は充分可能と思われる。また液晶について

は、数 μm ピッチの高精細液晶パネルも作成が可能とのことである。さらに伝送帯域は最低でも 1 GHz 程度が必要であるが、現在の情報圧縮の技術を用いれば充分伝送可能である。あわせて今後、撮影時および再生時にレーザを使う問題、撮影時における物体の動きに対する振動対策およびカラー化などに取り組む必要があると思われる。

6. む す び

以上のように、3 次元動画像ディスプレイをホログラフィ技術を用いて実現する研究はまさにこれからの研究なので、まだ多くの課題がある。

ホログラフィ映画については光学的な方法から余り進歩は見られないようであるが、それでも本格的なものができる可能性がある。またさらに今後、スクリーンへの投影法などができると、多人数で鑑賞ができ、興味の対象が広がると思われる。

一方、ホログラフィビデオについては、コンピュータの性能が飛躍的に良くなり大容量のメモリーが使用でき、高速なコンピュータを用いた CGH の方式により、かなり見られるものがすでに試作されている。今後、この方式の CAD などへの応用が充分考えられる。今後は、高精細な液晶表示パネルを用いた電子的なシステムをつくるのが課題である。電子的な方式として、キノフォームによる方法では液晶パネルはそれほど大きな解像度を必要としないことから、比較的早期に実現されると思われる。

また、ホログラフィテレビジョンについては、入力、伝送、表示の各部分から構成されるが、方式としては今のところ光学的方式によるものが有力である。各部分についてまだ難しい問題が多く残っているが、すでに方向は確立していると思われる。今後はさらに高精細な液晶表示パネルを用いた電子的なシステムをつくるのが課題である。現在のテレビジョンも最初は機械的な走査方法で始まったことを考えると、大変興味深い思いである。

液晶パネルは、高い回折効率が得られ非常に優れた媒体であることから、今後さらに LCD の高精細化が行われれば、電子的ホログラフィを用いたホログラフィテレビジョンの可能性は充分あると思われる。

以上のように動画ホログラフィの研究はまだスタートしたばかりであるが、今後は電子通信分野の技術と関連してますます活発な研究が行われると思われる。また、昨年から電子情報通信学会に動画ホログラフィ時限研究会専門委員会が発足し、研究会では動画ホログラフィ研究の現状と将来、動画ホログラフィ研究に

ついて研究の方法、他の方式との比較、伝送帯域、要素技術などについて講演やシンポジウムが行われている⁴¹⁾。またさらに郵政省による大型研究プロジェクトも計画されている。まさに今本格的な動画ホログラフィの研究が始まったところである。それゆえ今後の研究の発展が望まれる。

最後に本原稿を書くにあたり有益な資料を提供していただいた方々に感謝いたします。

(1992 年 2 月 3 日受付)

〔参 考 文 献〕

- 1) 辻内：“最近のホログラフィック・ディスプレイ”，テレビ誌，**44**，1 (1990)
- 2) 大越：“3 次元画像工学”，朝倉書店
- 3) ベントン：“CG とホログラフィの結合”，サイエンス，**1**，pp. 38-39 (1989)
- 4) 樋口：“動画ホログラフィへの挑戦”，3D 映像，**5**，1，pp. 3-11，(1991)
- 5) 佐藤：“液晶を用いたホログラフィックディスプレイ”，写真工業，**8** (Aug. 1991)
- 6) 樋口：“活発化する動画ホログラフィ研究”，画像ラボ，**9** (Sep. 1991)
- 7) 本田：“ホログラフィック・ディスプレイの現状と将来展望”，オプトロニクス，**10** (Oct. 1991)
- 8) 礎野：“立体画像・表示方式”，テレビ誌，**45**，4，pp. 446-452 (1991)
- 9) H. Farhoosh, Y. Fainman, K. Urquhart, S. H. Lee: “Real-time Display of 3-D Computer Data Using Computer Generated Hologram”, SPIE Proc. **1052**, pp. 172-176 (1989)
- 10) P. S. Hilaire, S. A. Benton, M. Lucente, M. L. Jepsen, J. Kollin, H. Yoshikawa, J. Underkoffler: “Electronic Display System for Computational Holography”, SPIE Proc. No. 1212-20, pp. 174-182 (1990)
- 11) P. S. Hilaire, S. A. Benton, M. Lucente, J. Underkoffler, H. Yoshikawa: “Real-time Holographic Display: Improvements using a multichannel acousto-optic modulator and holographic optical elements”, SPIE Proc., No. 1461-37, pp. 254-261 (1991)
- 12) ベントン，吉川：“ホログラフィックビデオ画像に関する実験”，3D 映像，**5**，2，pp. 57-68 (1991)
- 13) ベントン，吉川：“ホログラフィックビデオ画像に関する最近の実験”，3D 映像，**5**，4，pp. 34-39 (1991)
- 14) P. S. Hilaire: “Color Images with the MIT Holographic Video”, SPIE Proc., No. 1667-33 (1992), to be published.
- 15) 当山，石井：“液晶空間光変調器による計算機ホログラムの記録”，1989 年秋応用物理学会，27p-ZF-3，第 3 分冊，p. 745 (1989)
- 16) 田，谷田貝：“液晶テレビによる計算機ホログラムの記録とその応用”，1991 年春応用物理学会，30a-PA-8，第 3 分冊，p. 844 (1991)
- 17) F. Mok, J. Diep, H. K. Liu and D. Psaltis: “Real-time Computer Generated Hologram by Means of Liquid-crystal Television Spatial Light Modulator”, Opt. Lett., **11**, pp. 748-750 (1986)
- 18) T. H. Barnes, et al.: “Phase-only Modulation Using a Twisted Nematic Liquid Crystal Television”, Appl. Opt., **28**, 22, pp. 4845-4852 (1989)
- 19) 阿須間，蘆，本田，大山：“液晶パネルの位相変調特性”，光学，**20**，2，pp. 98-102 (1991)
- 20) 岡田：“液晶を用いたホログラム”，ホログラフィックディスプレイ研究会会報，No. 1，pp. 20-25 (1991)

- 21) 尼子, 曾根原: “液晶空間光変調器を用いたキノフォーム”, 1990 年秋応用物理学会, 26a-H-10, 第 3 分冊, p. 754 (1990)
- 22) 尼子, 三浦, 曾根原: “液晶空間光変調器を用いたキノフォーム (II)”, 1991 年春応用物理学会, 29a-SF-13, 第 3 分冊, p. 975 (1991)
- 23) J. Amako, T. Sonehara: “Kinoform Using Electrically Controlled Birefringence Liquid Crystal Spatial Light Modulator”, *Applied Optics*, **30**, 32, pp. 4622-4628 (1991)
- 24) 尼子, 三浦, 曾根原: “液晶空間光変調素子を用いた光の振幅位相変調”, 1991 年秋季応用物理学会, 10a-ZK-2, 第 3 分冊, p. 861 (1991)
- 25) 大下: “液晶ディスプレイとサーモプラスチック・フィルムを用いたホログラム”, 1990 年春応用物理学会, 29a-D-7, 第 3 分冊, p. 766 (1990)
- 26) 吉川: “ホログラフィックステレオグラム方式による電子ホログラムディスプレイ”, 1991 年第 22 回画像工学コンファレンス, No. 4-4, pp. 107-110 (1991)
- 27) 津田, 黒川, 森中: “フォトリソミック媒体を用いた書換え可能ホログラム”, 1989 年秋応用物理学会, 27p-8F-8, 第 3 分冊, p. 747 (1989)
- 28) 黒川, 福島: “空間光変調器を用いた実時間ホログラム記録・再生”, ホログラムディスプレイ研究会会報, No. 2, pp. 15-18 (1991)
- 29) 山口, 岡田: “バイオフィルム使いホログラフィ撮影”, 日本経済新聞 (1992. 1. 27)
- 30) 佐藤, 道下, 小林, 樋口, 勝間: “ホログラフィ・テレビジョン (ホロビジョン) へ向けての基礎実験”, 1991 年春応用物理学会, 28p-A-14, 第 3 分冊, p. 792 (1991)
- 31) 佐藤, 樋口, 勝間: “液晶表示デバイスを用いたホログラフィ・テレビジョンの基礎実験”, *テレビ誌*, **45**, 7, pp. 873-875 (1991)
- 32) 佐藤, 道下, 小林, 樋口, 勝間: “液晶表示デバイスを用いたホログラフィ・テレビジョンの基礎実験 (IV)”, 1991 年秋応用物理学会, 28p-A-14, 第 3 分冊, p. 792 (1991)
- 33) K. Sato, K. Higuchi, H. Katsuma: “Holographic Television by Liquid Crystal Device”, *SPIE Proc.*, No. 1667-02 (1992), to be published
- 34) N. Hashimoto, S. Morokawa, K. Kitamura: “Real-time Holography using the High-resolution LCTV-SLM”, *SPIE Proc.*, No. 1461-44, pp. 291-300 (1991)
- 35) 橋本: “新技術を用いた動画ホログラフィ”, *画像ラボ*, No. 12, pp. 58-62 (1991)
- 36) N. Hashimoto, S. Morokawa, K. Hoshino: “Improved real-time Holography System with LCDs”, *SPIE Proc.*, No. 1667-01 (1992), to be published
- 37) Y. Tsunoda, Y. Takeda: “Three-Dimensional Color Display by Projection-Type Composite Holography”, *IEEE Trans.*, **ED-22**, 9, pp. 784-788 (1975)
- 38) 杉浦, 山口, 本田, 大山: “1 ステップ・リップマン・ホログラフィックステレオグラムによる 3-D アニメーション”, 第 21 回画像工学コンファレンス, No. 12-7, pp. 243-246 (1990)
- 39) 樋口, 桧山, 石川: “ホログラフィ映画技術の実験的検討”, 第 22 回画像工学コンファレンス, No. 9-10, pp. 231-234 (1991)
- 40) L. H. Enloe, J. A. Murphy, C. B. Rubinstein: “Hologram Transmission Via Television”, *Bell System Technical Journal*, **45**, 2, pp. 335-339 (1966)
- 41) 動画ホログラフィ研究会会報, No. 1 (1991), No. 2 (1992)

佐藤 申癸 昭和 50 年, 早稲田大学大学院理工学研究科電気工学専攻博士課程修了。同大学理学研究所奨励研究生を経て, 昭和 52 年, 相模工業大学 (校名変更につき現在湘南工科大学) 工学部電気工学科助教授となり, 現在に至る。ホログラフィ全般, 特に動画ホログラフィに関する研究および光エレクトロニクスに関する研究に従事。工学博士。正会員。