

# ホログラム立体映像表示を利用した 計装システム用複合現実感インタフェースの研究

Virtual Touch Interface System for 3D Image Using Holographic Display

1061007

研究代表者

島根大学 准教授

阪本 邦夫

## [研究の目的]

ホログラフィ技術を応用した立体映像表示により、空中に「警告」情報などを浮遊表示させ、実在する機械・装置の配置位置に合わせた情報表示が可能な複合現実感インタフェースを構築することで、プラント運用での監視作業支援を行う3次元映像による計装システムを実現する。情報の提示領域を3次元空間へ拡張することにより、多くの情報を表示可能になるとともに、3次元空間上の任意の位置に工場プラント配管等の異常箇所の情報を、実在する3次元空間上の物体と重畳表示（物体の位置と映像による拡張情報の提示位置が一致するような情報表示）させることのできるため、ユーザ（監視者）が直感的に認識可能な「人に優しい」情報提示が可能になる。

## [研究の内容、成果]

### 1. ホログラム作製環境の構築

本研究では、空中に幾何図形を表示させる映像システムを構築し、実物体の位置に上方を重畳する3次元計装システムなどの実空間拡張情報システムの実現技術の開発を目指している。3次元空間上に映像表示を行う手法として、両眼視差を利用した立体視による方法と、レンズ作用により映像表示面自体を空間上に表示させる方法により、空間情報提示システムの用途に応じた効果的な立体表示を実現する光学系を実

現する。そこで、3次元の実空間上に映像表示を行うため、レンズや回折格子等の機能を備えた光学素子を、ホログラフィ技術を用いて作製する。このようなホログラム光学素子は写真（撮影）技術により媒体に記録する方法（光学系により記録すべき光束を生成し、暗室内で写真撮影法により記録）により作製するため、まずはホログラムの作製環境の構築を行った。

### 1.1 ホログラム作製用光学設備の構築

ホログラフィ実験を行うためには、撮影・現像処理を行う暗室が必要であるが、これらの作業は、実験室の片隅にホログラム作製（撮影作業）用の暗室を、ダンボール、Lアングル材、遮光カーテン等ホームセンターにおいて安価に入手可能な資材を利用して構築した。撮影作業用のスペースとして、1.8メートル×2.5メートルの空間をダンボールにて遮光したが、若干の光の漏れはあるがホログラム撮影用の暗室としては十分機能しているものと思われる。同暗室内には水道設備も完備しており、ホログラムの撮影、現像処理等のすべての作業が一通り行える構造となっている。

また暗室とともに、光学実験を行う除振台（光学実験台）についても専用の光学実験設備は未整備の状態である。そこで重量の大きいOAテーブルを光学実験台の代用として使用した。ただし、ホログラムの撮影の際には、1ミリ当たり数千本の干渉縞の記録が必要なため、撮影中の振動対策が必要である。建物からの振動を除

去するためOAテーブルの足部分に非弾性ゴムの球体を挿入し、実験台への振動を防止するように改造を行った。ホログラムの撮影に必要な暗室設備と除振台(光学実験台)については、予算の関係上、専用の光学実験設備ではないが、ホログラムの撮影記録時間(露光時間)が3秒以内であれば、概ね干渉縞の記録が適切に行われ、ホログラムの作製が可能であった。さらに、図1に示すような厚み10ミリの鉄板を自転車チューブの上に乗せて実験台として使用しており、マグネットで光学機器の固定もでき、ホログラムの撮影も、本格的な光学除振台を使用した場合とほぼ同様に行うことができる。



図1 鉄板をベースに用いた光学実験台

## 1.2 光学素子の作製

左右映像分離に使用するホログラム光学素子の作製を行った。スリット方式の立体表示と同じ機能を実現するホログラム素子を作製するため、ホログラム部分より奥行き10ミリの位置に配置した線状の光源をホログラムに記録を行うことで、所望の特性の光学素子を作製した。作製した光学素子は5ミリ間隔のスリットにより左右映像分離を行うように設計された光学特性を有しており、図2は、このホログラム光学素子全面を照明光により照明した場合に再生される、再現された線状光源を撮影したものである。また、ホログラム上に光学素子を選択的に作りこむことで、見る方向により観察できる図形が変化する素子も試験的に作製した。図3はその素子の写真である。見る方向により、光の反射

状態が変化するため、一方の図形のみがキラキラしている。

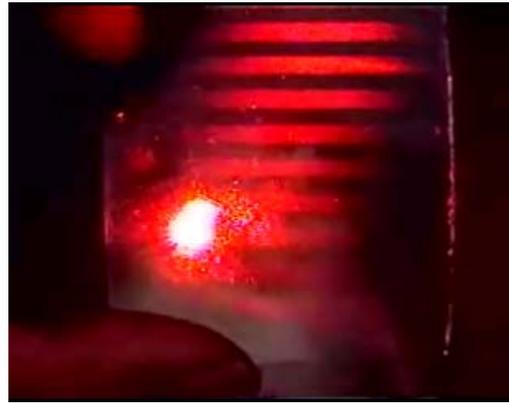


図2 ホログラムスクリーン



図3 図形パターンを構成するホログラム素子

## 2. 複合現実感インタフェース

音声認識や画像を用いた認識などは、人間の意図を正確に伝達する上で重要な技術であり、ロボットとのコミュニケーションやコンピュータとのインタフェースを実現するため、様々な研究が行われている。この中で人間の行う「指差し」という動作は、方向を示したり、ヒトや物を指し示したりする場合に用いられる重要なコミュニケーション手段の1つである。立体映像を用いた複合現実感環境では、空中に浮遊する立体映像に対する指示や仮想映像物体の移動操作などは、この「指差し」という動作により行うことを目指している。本章では、人間の指差し動作をコンピュータに理解させる方法について簡単に述べる。

### 2.1 指差し方位の計測

「指差し」を含め、手や指を用いた手振りによる意思表示は、人間の重要なコミュニケーション手段の1つであり、ジェスチャーなどの手振りを認識して、人間と機械とのコミュニケーションを実現しようとする数多くの試みが報告されている。手振りを認識するためには、カメラ画像から手や指の関節などの各部位の位置を計測し、手や指の3次元姿勢を求めなくてはならない。この姿勢を決定する方法として、手指の3次元形状モデルを利用して姿勢を推定する方法などが提案されており、手話認識など手振りを用いるコミュニケーションの実現に応用されている。このように手や指の3次元姿勢が求まると、指差しの方向も検出できるが、「指」の方向が「指差し」の方向に一致するのは、指先と指差しの対象が近距離にある場合（「これ」という単語が付随して指差しを行う場合）である。近距離の指差し以外に、「あれ」という単語が付随する遠距離の「指差し」がある。複合現実感計装システムでは図4に示すとおり、実物体や関連する情報表示はガラス面のホログラムスクリーンよりも奥の空間に存在することになる。そのため、「指差し」で直接指示することはできず、間接的な遠距離の「指差し」による指示となる。遠距離の指差しでは、指示方向を決定する際の基準となる指示基準点が必要で、この指示基準点を決定するため、指差し動作のメカニズムを解明しようとする研究が行われている。指示基準点と指示動作点（指先）を結んだ直線上に指示対象が存在するが、この指示基準点は、指示を行うヒトの姿勢に応じて変化するため、一意に決めることは困難である。そこで本研究では、視線の先に指示対象が存在するように、「指差し」を行うこととし、両眼の中心点（視点）を指示基準点として、指差しの方向を求めることにした。図5に示すように、本システムの「指差し」指示では、従来のタッチパネルに用いられているフィルム状のタッチセンサをガラス面に装着すれば、「指差し」指示を行っているかどうかの操作者の意図は、タッチセンサで

検出できるため、どこを指差しているかを特定するためには、指示基準点である視点の3次元座標の計測がポイントとなる。

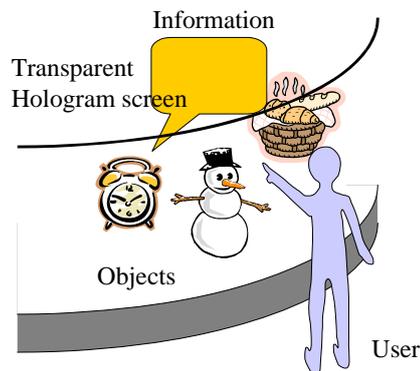


図4 複合現実感情報システム

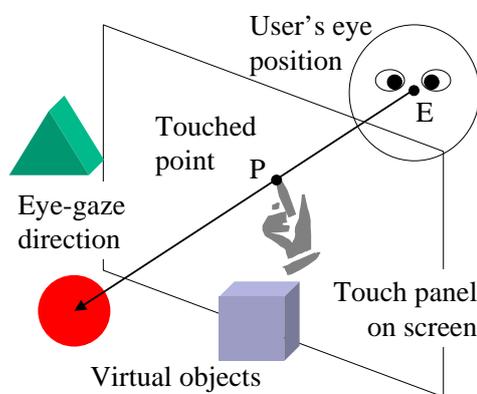


図5 指差しインタフェースシステム

## 2.2 視点位置の3次元計測

任意の点や物体の3次元座標を計測するには、2台以上のカメラを利用したステレオ画像計測を利用するのが一般的である。しかし、今回の場合のように視点位置の3次元座標計測ということであれば、注目点（カメラ画像上の眼）の幾何学的配置の条件を活用することで、カメラ1台での計測が可能である。以下、その原理について簡単に述べる。

図6はピンホールカメラで操作者の顔を捉えた状態を模式的に図示したものである。この図では、実空間に存在する操作者の顔と撮像面に投影された顔が図示されている。図6において、XYZ座標系をカメラのレンズ中心の点Oを基準とした絶対座標系とし、Z座標が奥行き方向の距離を表すものとする。またS<sub>x</sub>-S<sub>y</sub>座標は、撮像面の座標系を表すものとする。ここで、点A、B、

C, D は両眼の両端にあたる特徴点（注目点）とし、対応する撮像面上の点をそれぞれ点 A', B', C', D' とする。また、瞳の位置をそれぞれ点 E<sub>R</sub>, E<sub>L</sub> とし、各点は線分 AB および線分 CD の中点とする。さらに、画像キャプチャ時には次の条件を仮定するものとする。

- 1) 両眼の間隔（線分 E<sub>R</sub>E<sub>L</sub> の長さ）を R とする
- 2) AB : BC : CD = k : 1 : k
- 3)  $\vec{OA} = t_A \vec{OA}'$ ,  $\vec{OB} = t_B \vec{OB}'$ ,  $\vec{OC} = t_C \vec{OC}'$ （ただし、 $t_A, t_B, t_C$  は変数）

図 6 において、ベクトル OA, OB, OC には

$$(k+1)\vec{OB} = \vec{OA} + k\vec{OC}$$

の関係が成り立つ。また、

$$t_B(k+1)\vec{OB}' = t_A\vec{OA}' + t_C k\vec{OC}' \quad (1)$$

$$|\vec{E_L E_R}| = |\vec{AC}| = R \quad (2)$$

の 2 式が成立する。A'B' : B'C' = k' : 1 を仮定すると

$$(k'+1)\vec{OB}' = \vec{OA}' + k'\vec{OC}' \quad (3)$$

が成り立つ。式(1)と(3)の係数を比較すると、変数  $t_B, t_C$  は

$$t_B = \beta t_A, \quad t_C = \gamma t_A \quad (4)$$

$$\text{ただし、} \beta = \frac{k'+1}{k+1}, \gamma = \frac{k'}{k}$$

として求められる。 $|\vec{AC}| = R$  であることを用いると、次の方程式が導かれる。

$$\begin{aligned} |\vec{AC}|^2 &= |\vec{OC} - \vec{OA}|^2 \\ &= t_C^2 |\vec{OC}'|^2 - 2t_A t_C \vec{OA}' \cdot \vec{OC}' + t_A^2 |\vec{OA}'|^2 = R^2 \end{aligned}$$

この方程式に(4)式を代入すると、 $t_A$  についての 2 次方程式となり、点 A の Z 座標が常に負であることを考慮すると、変数  $t_A$  は一意に決定でき、その値は以下のようなになる。

$$t_A = \frac{R}{\sqrt{\gamma^2 |\vec{OC}'|^2 - 2\gamma \vec{OA}' \cdot \vec{OC}' + |\vec{OA}'|^2}} (> 0)$$

以上のように、変数  $t_A$  が定まったことにより、(4)式を用いて変数  $t_B, t_C$  も自動的に求めることができる。3 つの変数  $t_A, t_B, t_C$  がすべて一意に決定できるため、実空間にある両眼の特徴点（注目点）である点 A, B, C の 3 次元座標が決定でき、点 B, 点 C の中点を指示基準点とすることで、指先と視線を利用した遠隔対象物の「指差し」指示がカメラ 1 台の映像のみで実現できる。

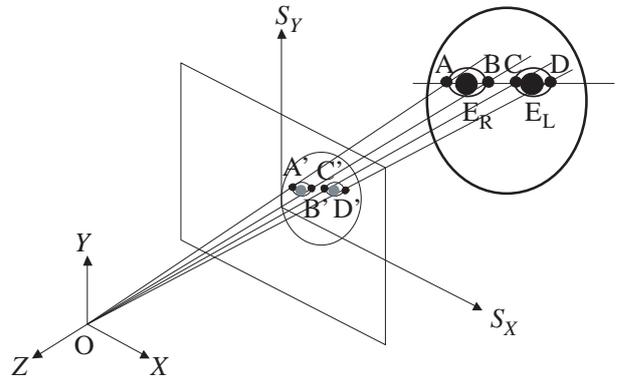


図 6 3次元座標計測の原理

[今後の研究の方向、課題]

1 台のカメラ画像から視点位置の計測を行う方法および指差しによるインタラクションを行うシステムについて述べた。本論文で述べた計測方法を用いることにより、一般に市販されている USB カメラを 1 台接続して、カメラ映像の入力、画像認識、計測およびインタラクションの処理すべてを 1 台のコンピュータで行う簡易な構成の「指差し」インタラクションシステムを構築することができた。このシステムにより「指差し」による指示が行えるため、画面上の複数の情報や対象物から指差しにより 1 つ選ぶといった用途の指示システムなど、映像空間の中の物体単位の指示であれば十分に使用することができる。また、指先位置のタッチセンサによる計測に加えて「確定」や「キャンセル」といった指示をジェスチャー認識により行う機能を加えることにより、システムに操作者の意図

を正確に伝達することができると考えている。今後の課題としては、提案した計測手法とインタラクションシステムを改良し、立体映像表示技術を用いて空間に立体映像として表示された仮想物体への「指差し」によるインタラクションを行うシステムや、さまざまなコマンド入力のためのジェスチャー認識機能の追加などについて検討を行う予定である。

[成果の発表、論文等]

- 1) K. Sakamoto, Polarizer slit enables full-screen high-resolution dual-view display, SPIE Newsroom: Illumination & Displays, doi: 10.1117/2.1200603.0185, 2006
- 2) H. Nakayama, R. Kimura, K. Sakamoto, Finger Pointing Using a Single Camera, Advances in intelligent IT, pp.431-432, 2006
- 3) S. Taneji, T. Tawada, K. Sakamoto, Virtual Theremin: Cyber music instrument by human motion capture, Advances in intelligent IT, pp.433-435
- 4) K. Sakamoto, H. Nakayama, S. Taneji, "Virtual Draw: Drawing system in the 3D virtual space, Advances in intelligent IT, pp.440-442, 2006
- 5) K. Sakamoto, T. Nishida, Field lens 3D display: Dual-layer LCDs enable to modulate orthogonal polarized illuminations, Optical Information Systems IV, SPIE Proc., Vol. 6311-36, pp.1-8, 2006
- 6) M. Nishida, K. Sakamoto, Pseudoscopic-free high resolution lenticular 3D display, Applications of Digital Image Processing XXIX, SPIE Proc., Vol. 6312-55, pp.1-8, 2006
- 7) M. Nishida, K. Sakamoto, Three dimensional measuring method of head and eye tracking system using a single camera, Electro-Optical and Infrared Systems: Technology and Applications III, SPIE Proc., Vol. 6395-38, pp.1-8, 2006
- 8) K. Sakamoto, S. Taneji, Mobile viewer system for virtual 3D space using infrared LED point markers and camera, Electro-Optical and Infrared Systems: Technology and Applications III, SPIE Proc., Vol. 6395-39, pp.1-8, 2006
- 9) M. Yoshigi, K. Sakamoto, Full-screen high-resolution stereoscopic 3D display using LCD and EL panels, Photonic Components and Architectures for Microwave Systems and Displays II, SPIE Proc., Vol. 6399B-28, pp.1-8, 2006
- 10) K. Sakamoto, T. Morii, Multiview 3D display using parallax barrier combined with polarizer, Photonic Components and Architectures for Microwave Systems and Displays II, SPIE Proc., Vol. 6399B-27, pp.1-8, 2006
- 11) K. Sakamoto, T. Nishida, K. Uchida, 360 degree viewing stereoscopic 3D display system, IDW 2006 The 13th International Display Workshops, IDW 2006 Proc., pp.1397-1400, 2006
- 12) A. Tanaka, K. Sakamoto, Virtual Display: Mirror Image for Extension of Display Area, IDW 2006 The 13th International Display Workshops, IDW 2006 Proc., pp.1401-1402 2006
- 13) H. Morimoto, K. Sakamoto, Field-lens 3D Display using Linear and Circular Polarized Illuminations, IDW 2006 The 13th International Display Workshops, IDW 2006 Proc., pp.1403-1404 2006
- 14) K. Sakamoto, K. Uchida, Event Driven Illumination System for Image Reconstruction of Hologram, Practical Holography XXI: Materials and Applications, SPIE Proc., Vol. 6488-31, pp.1-8, 2007
- 15) K. Uchida, K. Sakamoto, Pseudoscopic-free and Multi-view 3D Displays using Invisible Area Generated by Polarized Slit Barrier, Projection Displays XII, SPIE Proc., Vol. 6489-18, pp. 1-8, 2007
- 16) K. Sakamoto, H. Morimoto, Modulating Method

- of Linear and Circular Polarized Illuminations for Field-lens 3D Display, Projection Displays XII, SPIE Proc., Vol. 6489-19, pp.1-8, 2007
- 17) K. Sakamoto, T. Nishida, 3D display systems using dual-layer LCD panels, Asia Display 2007, pp.447-452, 2007
- 18) K. Uchida, K. Sakamoto, All-around 360 Degree Display System for Collaborative Tasks, Asia Display 2007, pp. 1941-1946, 2007
- 19) A. Tanaka, K. Sakamoto, Extension of Screen Region using Virtual Mirror Image of Dual-views Display, Asia Display 2007, pp. 2071-2076, 2007
- 20) H. Morimoto, K. Sakamoto, Light Control Method of Polarized Illuminations using piled LCD panels, Asia Display 2007, pp. 2077-2082, 2007
- 21) H. Fukuda, H. Morimoto, K. Sakamoto, Air Touch: Theremin-Like Interface System Enables to Recognize User's Operation in the Air, HCI international 2007, pp.408-412, 2007
- 22) H. Morimoto, H. Fukuda, K. Sakamoto, Virtual Touch: Touch-Panel Interface Using Fingertip Position and Eye-Gaze Detection, HCI international 2007, pp. 461-465, 2007
- 23) A. Tanaka, M. Adachi, K. Sakamoto, Touch Together: Multi-Users Touch-Panel Interface System for Collaborative Task Surrounding Round Table, HCI international 2007, pp. 509-513, 2007
- 24) K. Uchida, A. Tanaka, K. Sakamoto, Pointing Interface for Virtual Display with Extended Displaying Region Using Mirror Image, HCI international 2007, pp. 514-518, 2007
- 25) Y. Iwaze, M. Yoshigi, K. Sakamoto, Light Path: Light Guide for Route Indication in the Office Building with RFID Technology, HCI international 2007, pp. 666-670, 2007
- 26) H. Nakayama, H. Fukuda, K. Sakamoto, Networked Indication Display System for Route Guidance in the Public Facilities, HCI international 2007, pp. 727-731, 2007
- 27) K. Sakamoto, T. Nishida, T. Morii, DOTCH: Handy Route Guidance System Using Direction Indicator Projected by Laser Illumination, HCI international 2007, pp. 751-755, 2007
- 28) S. Ueda, S. Taneji, K. Sakamoto, Rhyming Game and New Digit Input Interface System for Brain Exercise, HCI international 2007, pp. 1294-1298, 2007
- 29) M. Adachi, T. Ishihara, K. Sakamoto, Pictogram Generator: Design Support System Enables Everybody to Produce Illustrations Easily, HCI international 2007, pp. 1491-1495, 2007
- 30) T. Ishihara, K. Uchida, K. Sakamoto, Video Viewer Enables to Playback Based on XML-Like Scene Scenario, HCI international 2007, pp. 1505-1509, 2007