

# 可動式立体表示ビューアと3次元ポインタの構成法

西田 雅貴, 阪本 邦夫

島根大学総合理工学部 数理・情報システム学科

See-through 3D Viewer and Pointing System for the 3D Work Space

Masataka NISHIDA and Kunio SAKAMOTO

*Department of Mathematics and Computer Science,  
Interdisciplinary Faculty of Science and Engineering, Shimane University*

## Abstract

The authors have developed a 3D work space system using collaborative imaging devices. A stereoscopic display enables this system to project 3D information. We describe a see-through 3D viewer with a parallax polarizer barrier. The advantage of the parallax polarizer barrier is that the resolution of presented parallax images is much greater than that of a conventional display and see-through 3D images can be observed, because the 3D screen can multiplex projected images with horizontal and vertical polarization to display stereo views.

## 1. ま え が き

近年、バーチャルリアリティの研究が盛んになり、医療、教育、CAD/CAMなど様々な分野へ、3次元画像技術が応用されるようになってきた<sup>1)-4)</sup>。Fisherは、空間型のインタフェースとして、仮想的に作られた空間内で実際の3次元空間で行うと同様の作業を行い、その仮想空間を必要に応じて、全く別の空間に変えることができる virtual environment workstation を提案している<sup>5)</sup>。ヒトが生活しているのは3次元の空間であり、コンピュータで扱う情報の提示や操作なども、3次元空間を利用して行うほうが、ヒトにとって操作が容易である。提示する情報には、2次元表示のほうが適している場合もあり、2次元映像を表示するため、仮想空間内にバーチャルな2次元ディスプレイを配置できなければならない。しかし、現時点では仮想的な3次元映像空間を作り出す映像表示装置の制約により、実在のモニタ装置と同等の解像度をもつ仮想モニタ画面を仮想空間内に作ることは難しい。そこで筆者らは、高精細な立体映像空間表示が実現されるまでの中間システムとして、機能ごとに複数の映像装置を用いた、図1に示すような3Dワークスペースシステムについて研究を行っている<sup>6)-10)</sup>。図1に示すシステムにおいて、液晶ペンタブレットはスクリーンに表示された仮想空間内の各オブジェクトに対し、手で作業を行う場合に用いる入出力装置であり、文書など2次元の情報オブジェクトの操作を行う。このシス

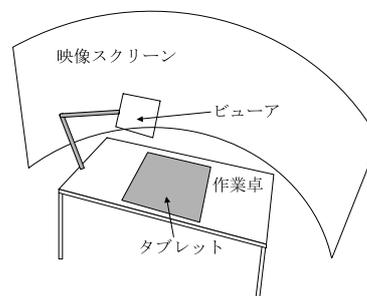


図1 3Dワークスペースの構成図

テムでは、スクリーンあるいはタブレットに表示される情報は2次元の映像であり、3次元の立体情報を取り扱う場合は、アーム可動式の立体表示ビューアを使用して作業を行うようになっている。

一つの作業空間を構築するため、立体映像と2次元の映像とは重畳表示を行う必要があり、ビューアはシースルー型の構造でなければならない。シースルー表示可能な立体表示ビューアを実現するため、液晶プロジェクタを使用してステレオ画像の投影を行うが、本論文では、パララックスバリア方式の立体視に適した、ストライプ状ステレオ混成画像を、偏光を利用して投影する方法、パララックスバリア方式の問題である横方向の解像度劣化を、偏光パララックスバリアを利用して改善する方法について述べる。また、カメラ1台の映像を用いて、可動式アームに取り付けられた立体表示ビューアと3次元

ポインタによる指示位置の3次元空間座標位置の計測を行う方法について述べる。

## 2. シースルー型立体表示ビューア

### 2.1 パララックスバリア方式表示ビューア

立体表示ビューアにより提示される立体映像は、他の2次元の情報オブジェクトと重ね合わせて表示可能なように、シースルー表示を実現する必要があるため、ステレオ画像は液晶プロジェクタを利用した透過型スクリーンへの投影方式とした。さらに投影による左眼、右眼に対応する画像の画素配置にずれを生じさせないように、偏光を利用して透過型スクリーンの最適位置に投影する方法を採用した。図2は、透過型スクリーンとパララックスバリアで構成された、立体表示ビューアの表示原理を示したものである。スクリーン投影型偏光メガネ方式の立体表示方法と同様に、使用する2台の液晶プロジェクタには偏光フィルタを装着し、偏光方向が異なるステレオ画像を投影する。

さらに透過型スクリーンには、偏光方向の異なる偏光フィルタをストライプ状に配し、左眼、右眼用のステレオ画像がストライプ状に分離されて投影できる構造となっている。このストライプ状に分離されたステレオ画像を、パララックスバリアを通して、左眼、右眼用のステレオ画像をそれぞれの眼で観察することにより、両眼視差による立体表示がメガネなしで実現できる。メガネなし方式でステレオ画像の分離を行う場合には、パララックスバリアの設置位置とステレオ画像の画素配置が重要であるが、最適な画素配置は投影されるステレオ画像ではなく、ストライプ状偏光板により決定される設計となっている。したがって、偏光を利用したステレオ画像の投影と、パララックスバリアによるステレオ画像の両眼分離を併用することで、スクリーンへの投影位置に制約が生じないため、シースルー表示可能なメガネなし可動式立体表示ビューアを容易に実現できる。

また、立体ディスプレイ装置とハーフミラーを利用して、立体映像と実空間の映像との重畳表示を実現する場合と異なり、ステレオ画像の提示を投影方式とすることで、映像提示部と映像表示スクリーン部分を分離でき、ビューアの可動スクリーン部分の小型軽量化を実現できるため、視野を妨げることのないスクリーン部のみの扱いやすい可動式シースルー立体表示ビューアを構築できる。

### 2.2 偏光パララックスバリア方式表示ビューア

パララックスバリア方式の立体表示では、ステレオ画像の画素配置がストライプ状になるため、横方向の解像度の劣化を生じる。また、図2に示したシステムでは、2台のプロジェクタによりステレオ画像を投影しているが、横方向の解像度が1/2になるため、実際には1台分のプロジェクタの映像情報しか利用できていない。そこ

で、透過型スクリーンへ投影されるステレオ画像が偏光特性を有していることを利用して、偏光パララックスバリアにより両眼分離を行う方法を採用し、解像度劣化の生じない立体表示を行った。図3は、偏光パララックスバリア方式の表示原理を示したものである。偏光フィルタは偏光方向により光の透過、不透過の選択性があるため、偏光特性を有する投影画像に対してパララックスバリアとして利用できる。したがって、偏光方向の異なる偏光フィルタをストライプ状に配することにより、偏光を利用したパララックスバリアを構成できる。

2台のプロジェクタの投影映像は、偏光方向が異なっているが、透過型スクリーンには、1/2波長板をストライプ状に配することにより、左眼、右眼用のステレオ画像は、それぞれ偏光方向が異なるストライプ状の映像として投影される。透過型スクリーン上には、偏光方向が異なるストライプ状の左右ステレオ混成画像が、2重に投影されることになり、1/2波長板により偏光方向が90°回転した画像と偏光方向が変化しない画像を、偏光パララックスバリアを通して観察することにより、投影されたステレオ画像が両眼分離されるため、解像度劣化のない立体表示を実現できる。

液晶シャッタを利用した可変パララックスバリア<sup>11)</sup>の場合には、時分割によりステレオ画像を2重に表示する必要があるが、2台のプロジェクタを使用して立体表示を行う偏光パララックスバリア方式では、パララックスバリアは偏光特性を利用して構成しており、デバイスなどに高速な制御速度が必要ないため、容易に解像度の改善を実現でき、さらに、時分割ではなく2台のプロジェクタを使用しているため、立体映像の高輝度表示も同時に実現できる。また、パララックスバリアと異なり、偏光パララックスバリアには実空間の映像に対して遮蔽効果がないため、パララックスバリアの存在を気にすることなく、実空間の映像も観察できる立体映像投影用の透過型スクリーンを構成できる。

### 2.3 立体表示ビューアによる立体映像表示

図4(a)は、偏光パララックスバリアによる両眼ステレオ画像の分離機能を備えた透過型スクリーンを通して、実空間を観察した場合の映像である。このスクリーン部分へ、2台の液晶プロジェクタにより偏光方向の異なるステレオ画像を投影すると、図4(b)に示すように、パララックスバリアにより左右両眼へ映像が分離され、各視点位置において視差画像が観察できる。これら視差画像を両眼で観察することにより、両眼視差を利用して立体視を行うことができるため、シースルー表示された立体映像をメガネなしで観察することができる。3次元立体情報の提示を立体表示ビューアが担うことにより、作業者が直接操作を行う3次元オブジェクトを高精細に再現でき、また立体映像は透過型スクリーンを通して観察できるため、他の映像装置の映像との重畳表示も実現でき

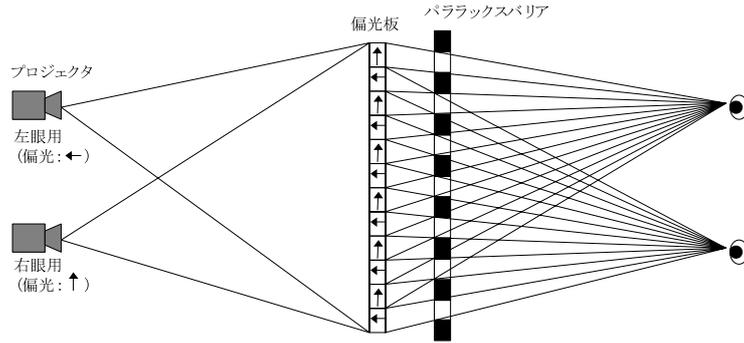


図 2 パララックスバリア方式表示ビューア

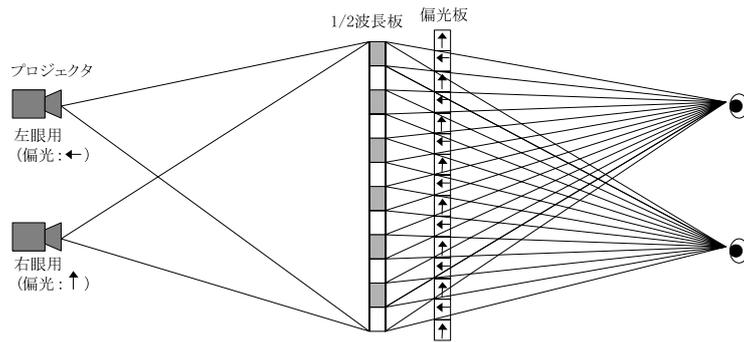


図 3 偏光パララックスバリア方式表示ビューア

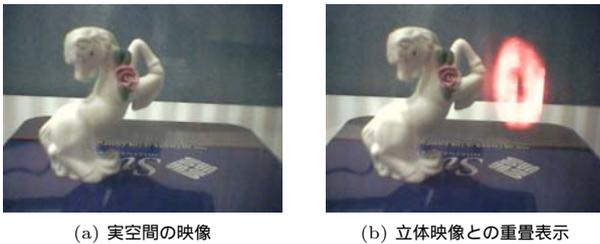


図 4 ビューアを通して観察される映像

る．3次元CADのオブジェクトを作業卓上に表示するような場合、立体表示ビューアを用いて立体映像を提示し、液晶ペンタブレット上で作業アイコンなどの提示を行うことで、作業卓上で実際に作業を行っているような環境を構築できる．また、可動式とすることで、常に作業者に正対してスクリーン上に立体映像を表示でき、投影スクリーンの位置に対応した立体映像の提示により、異なった方向からの3次元オブジェクトの観察も可能となる．このため、仮想空間内に提示される情報オブジェクトは、2次元の映像情報で構成することが基本である中間システムにおいても、必要に応じ立体表示ビューアを利用することで、3次元の立体情報を同時に取り扱い作業を行うことができる、3Dワークスペースシステムを構築できる．

### 3. 立体表示ビューアと3次元ポインタ

3次元空間内の物体の位置計測は、ステレオ画像計測

を利用するのが一般的である<sup>12)</sup>が、本章では、可動式立体表示ビューアのキャリブレーションと立体映像を直接操作するための3次元ポインタに関して、カメラ1台の映像による計測の実現方法とシステム構成について述べる．

#### 3.1 立体表示ビューアの3次元空間位置の計測

図1は、3Dワークスペースの構成を示したものである．液晶ペンタブレットはスクリーンに表示された仮想空間内の各オブジェクトに対し、手で作業を行う場合に用いる入出力装置であり、文書など2次元の情報オブジェクトの操作を行う．このシステムでは、スクリーンあるいはタブレットに表示される情報は2次元の映像であり、3次元の立体情報を取り扱いたい場合は、アーム可動式の立体表示ビューアを使用して作業を行うような構成となっている．ビューアは透過型スクリーンを備えており、立体映像とタブレットに表示された映像などを重ね合わせ、両装置の情報をリンクして操作することができる．このような各装置の映像間で連携した操作を行うためには、各装置で用いている座標系の相対関係を求めるキャリブレーションを行う必要がある．

立体映像表示に用いる座標系は、スクリーン上の映像表示位置を基準とした座標系であるため、透過型スクリーンの位置が求めれば、立体表示ビューアとタブレットとの間でキャリブレーションを行うことができる．そこで、図5に示すように、スクリーン上の4点のカメラ映像上の座標位置から、実空間での3次元座標位置を求

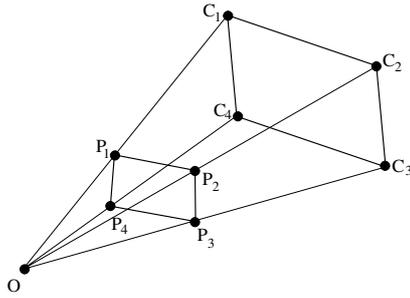


図 5 長方形頂点座標位置の計測

める．スクリーン上の4つの頂点を  $C_i$ ，対応するカメラ映像上の点を  $P_i$ ，カメラの焦点位置を原点  $O$  とし，点  $C_i$ ， $P_i$  の位置ベクトルを  $c_i$ ， $p_i$  とすると， $c_i$ ， $p_i$  の間には，

$$c_i = t_i p_i$$

(ただし， $t_i$  は変数． $i = 1, 2, 3, 4$  とする) が成立する．また，スクリーンは長方形の形状ゆえ，

$$t_1 p_1 - t_2 p_2 = t_4 p_4 - t_3 p_3$$

の関係が成り立つ．この両辺の各項と  $p_3 \times p_4$  との内積を考えると，

$$t_2 = \frac{p_1 \cdot (p_3 \times p_4)}{p_2 \cdot (p_3 \times p_4)} t_1$$

を得る．同様にして変数  $t_3$ ， $t_4$  について，

$$t_3 = -\frac{p_1 \cdot (p_2 \times p_4)}{p_3 \cdot (p_2 \times p_4)} t_1, \quad t_4 = \frac{p_1 \cdot (p_2 \times p_3)}{p_4 \cdot (p_2 \times p_3)} t_1$$

を得る．したがって， $t_1$  が求まれば，変数  $t_i$  はすべて決定される．ここで辺  $C_1 C_2$  の長さを  $L$  とすると，

$$|c_2 - c_1| = |t_2 p_2 - t_1 p_1| = t_1 |\alpha p_2 - p_1| = L$$

よって， $t_i > 0$  であることより，

$$t_1 = \frac{L}{|\alpha p_2 - p_1|}, \quad \text{ただし, } \alpha = \frac{p_1 \cdot (p_3 \times p_4)}{p_2 \cdot (p_3 \times p_4)}$$

を得る．このようにして  $t_1$  が求まり変数  $t_i$  はすべて決定されるため，カメラ映像上の点  $P_i$  の座標値を用いて，スクリーンの4つの頂点  $C_i$  の3次元空間座標を一意に求めることができる．

### 3.2 3次元ポイントによる指示座標の計測

立体表示ビューアのスクリーン越しに表示される立体映像に対して，3次元ポイントを利用して操作者が3次元空間において直接指し示すことにより，操作指示を行うことができる．計測対象の指標として球体を用いることにより，球の直径が既知であれば，カメラ映像上の計測点から実空間での3次元座標を得ることができるため，3次元空間座標をシステムに指示するためのポイントングデバイスを構築することができる．

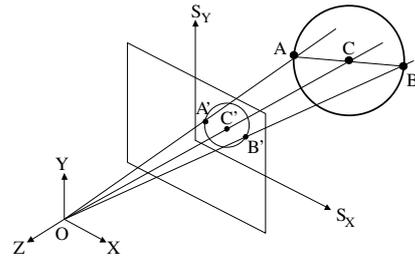


図 6 3次元位置の計測

図6は，ピンホールカメラを用いて指標となる球体を撮影した場合について，実空間に存在する球とカメラの撮像面に映った映像を図示したものである．図6において，ピンホールカメラの焦点位置を原点  $O$  とする絶対座標系を考え，右手系で  $X$ - $Y$ - $Z$  軸をとる．球体の直径の両端を点  $A$ ，点  $B$ ，中心を点  $C$  とし，これら各点に対応するカメラ映像上の点をそれぞれ  $A'$ ， $B'$ ， $C'$  とする．実空間に存在する球体は，原点  $O$  とカメラ映像上の球の中心  $C'$  を通る直線上に位置するため，カメラ焦点から球体までの距離  $OC$  が求めれば，球体の3次元空間座標を得ることができる．

ここで，カメラの焦点距離（原点  $O$  と撮像面との距離）を  $f$ ，点  $C'$  の座標を  $(x_{C'}, y_{C'})$  とすると，距離  $OC'$  は，

$$OC' = \sqrt{f^2 + x_{C'}^2 + y_{C'}^2}$$

であり，球の直径を  $R$ ，画像上での直径を  $R'$  とすると，

$$OC = \frac{R \times OC'}{R'} = \frac{R \times \sqrt{f^2 + x_{C'}^2 + y_{C'}^2}}{R'}$$

となり，距離  $OC$  が求まる．このようにして，3次元ポイントで指示した位置の3次元空間座標が得られる．

以上のようにして，1台のカメラ映像より立体表示ビューアと3次元ポイントで指し示された3次元座標位置が得られるため，各装置で用いる座標系の相対関係を得るキャリブレーションを行うことができ，操作卓上のタブレットを中心とした連携操作が実現できる．

## 4. 3D ワークスペースシステム

### 4.1 3D 入出力システムの構成

仮想空間の提示を行う映像スクリーンおよび液晶ペンタブレットについては標準装備の機能を利用して3Dワークスペースシステムを構築している．本節では機能拡張が必要な立体表示ビューアと3次元ポイントについて，3次元計測機能のシステムへの実装について述べる．本システムでは，タブレット周辺の空間を操作者の作業空間として想定しており，ビューアで表示された立体映像を，3次元ポイントにより直接操作する．そこで，図7に示すように，この作業空間が撮影範囲となるようにカメラを設置し，ビューアやポイントによる指示位置

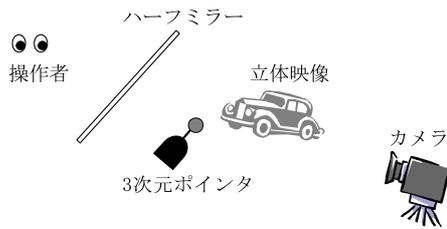


図 7 3次元ポイントによる操作

の3次元空間座標の計測を行う。なお、カメラの設置位置は固定とし、あらかじめタブレットとカメラの両座標系の間でキャリブレーションは完了しているものとする。ビューアの位置計測を行うため、カメラ映像よりスクリーンの位置を認識可能なように、角の4箇所にカラーマーカーを取り付けた。3次元ポイントは、マウスに直径20mmの球体を取り付けて3次元空間位置を指示するための指標とし、球の位置により3次元位置を指示する入力デバイスとした。なお、マウスに装備されている位置検出機能は利用しないが、マウスボタンはそのままコンピュータへの指示を行うスイッチとして利用している。また、色情報を用いて閾値処理によりマーカーの認識を行うため、スクリーンに取り付けたマーカーとは異なる色の球を利用し、1台のカメラ映像から容易にビューアと3次元空間の指示位置を同時に検出できる構成とした。

#### 4.2 計測システム

3次元空間位置計測のシステムは、Windowsが動作するIBM PC/AT互換機と市販のUSBカメラを1台使用する構成とし、カメラにより入力された縦640画素、横480画素の映像から、カラーマーカーなどの測定点を抽出する画像処理部、カメラ画像上の計測点から3次元空間での位置計測を行う計測部をコンピュータ上で動作するソフトウェアとして実装した。図8は、操作者がスクリーン越しに見える作業空間内でポイントにより指示動作を行っている場合の計測結果を示したものである。図8に示すように、操作者がポイントを円運動させている様子が捉えられており、合わせてスクリーン上の4つの計測点の3次元空間座標位置も得られている。作業空間の基準となるタブレットとカメラ映像の両座標系の間でキャリブレーションは完了しているため、この結果を用いて、ビューアで用いる座標系とのキャリブレーションを行うことにより、ポイントによる操作指示や、タブレットおよびビューアなどの映像機器間での操作の連携を行うことができる。

#### 5. むすび

液晶プロジェクタを使用した、投影型の立体映像表示を実現するため、偏光を利用してストライプ状ステレオ混成映像を投影する方法、偏光パララックスバリアを利用して、立体映像の解像度改善と高輝度化を実現する方

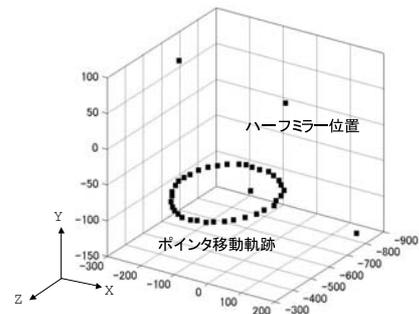


図 8 3次元位置計測の結果

法について述べた。液晶プロジェクタによる透過型スクリーンへの投影、およびパララックスバリアを利用した両眼分離を行うことで、シースルー表示可能な立体表示ビューアをメガネなしで実現でき、さらに、プロジェクタによる投影ステレオ画像が偏光特性を有することを利用して、偏光パララックスバリア方式を採用することにより、時分割表示など高度な技術を用いることなく、簡易な構成のシステムで、横方向の解像度劣化を改善できることを確認した。

今後は、映像スクリーンで提示された仮想空間内のオブジェクトへの操作の実現などの、3Dワークスペースシステムの機能拡張、立体表示ビューアの映像との連携操作などについて検討を行う予定である。

#### 【参 考 文 献】

- 1) 大越孝敬：“三次元画像工学”，朝倉書店（1991）
- 2) 泉武博監修：“3次元映像の基礎”，オーム社（1995）
- 3) 辻内順平編者：“ホログラフィックディスプレイ”，産業図書（1990）
- 4) 志水英二，岸本俊一：“ここまで来た立体映像技術”，工業調査会（2000）
- 5) S. Fisher：“The AMES Virtual Environment Workstation (VIEW)”，SIGGRAPH '89, Course #29 Notes（1989）
- 6) 阪本邦夫，高木美和：“立体映像へのインタラクションのための3次元位置計測の一手法”，映情学誌，57，9，pp.1152 - 1154（2003）
- 7) 阪本邦夫，木村理恵子：“単眼カメラ画像を用いた指差しポイントの構成”，映情学誌，58，5，pp.721 - 723（2004）
- 8) 阪本邦夫，木村理恵子：“3Dワークスペース構築のためのシースルー立体表示ビューア”，映情学誌，58，7，pp.999 - 1001（2004）
- 9) 阪本邦夫，高木美和：“偏光パララックスバリア方式多視点立体ディスプレイの試作”，映情学誌，58，9，pp.1288 - 1290（2004）
- 10) 阪本邦夫，木村理恵子：“逆視領域のないパララックスバリア立体ディスプレイの方式”，映情学誌，58，11，印刷中（2004）
- 11) H.Isono, M.Yasuda and H.Sasazawa：“Autostereoscopic 3D LCD Display using LCD generated Parallax Barrier”，12th Int. Display Research Conf., Japan, Display'92, pp.303-306（1992）.
- 12) 井口征士，佐藤宏介：“三次元画像計測”，昭晃堂（1990）