

オブジェクト指向型ディスプレイの研究

川上直樹[†] 稲見昌彦[†] 柳田康幸[†]
前田太郎[†] 館 暲[†]

本論文では、情報環境の可視化デバイスとして、ディスプレイ自身をバーチャル物体のメタファアとして手に持ち操作可能な「オブジェクト指向型ディスプレイ」の概念について提案する。オブジェクト指向型ディスプレイとはバーチャル物体の提示に主眼をおいたディスプレイであり、ディスプレイ自体を操作することでディスプレイに表示されているバーチャル物体を操作可能とし、より直観的な操作を可能とする。また、以上の概念に基づき投影型オブジェクト指向ディスプレイとなる MEDIA X'tal (MEDIA-Crystal) の設計と試作を行った。MEDIA X'tal は X'tal Vision と名付けた再帰性反射材を用いた光学系を利用し、従来のディスプレイ・デバイスで問題となっている遮蔽や遮蔽関係の矛盾、形状の制限や重量の問題を解決した。

Study and Implementation of the Object Oriented Display

NAOKI KAWAKAMI,[†] MASAHIKO INAMI,[†] YASUYUKI YANAGIDA,[†]
TARO MAEDA[†] and SUSUMU TACHI[†]

In this paper we propose the concept of "Object Oriented Display", which enables an operator to perceive and to operate the virtual object as if it were a real object. The purpose of the object oriented display is the presentation of virtual object. Using object oriented display, the operator can recognize and handle the virtual object with higher reality. Based on this concept, we designed and implemented a type of object oriented display. The MEDIA-X'tal (MEDIA crystal) is a type of object oriented display using the technology named "X'tal Vision", which uses optical projection. MEDIA X'tal solves several problems such as occlusion, shape or weight problem which occurred when using ordinary display devices.

1. はじめに

近年、バーチャル・リアリティ (Virtual Reality: VR) 技術の進展はめざましく、さまざまな分野への応用が期待されている。その中でもバーチャル空間の視覚情報提示デバイスは特筆される研究であり、HMD (Head Mounted Display)¹⁾ や CAVE²⁾ (CABIN³⁾) などさまざまな新しいタイプの画像提示デバイスが提案されてきた。これらのディスプレイ・システムは「バーチャル空間」の提示に主眼を置いている。しかし、バーチャル空間における「バーチャル物体」に対する作業を考慮したとき、「バーチャル物体」の提示に主眼が置かれるべきである。そこで本論文では 2 章で特に VR で用いられる従来のディスプレイ・システムを分類し、その問題点について論じたうえで、バー

チャル物体の提示に主眼をおいた「オブジェクト指向型ディスプレイ^{4),5)}」の概念を提案し、その利点に関して論じる。3 章で「オブジェクト指向型ディスプレイ」の実施例として再帰性反射材を用いた投影型タイプのディスプレイ・システム「MEDIA X'tal」の設計・試作・評価を行った。

2. オブジェクト指向型ディスプレイの提案

2.1 従来のディスプレイ・システムの問題点

現在 VR あるいはコンピュータ・ビジュアルライゼーションなどの分野で利用されている視覚提示装置を表 1 のように大別した。本論文では以降、視覚提示装置を「ディスプレイ・システム」と呼称する。CRT のようにデバイス単体でシステムを構成するものもあるが、CAVE などのように複数のデバイスによって構成

[†] 東京大学大学院工学系研究科
School of Engineering, University of Tokyo

本論文の内容は 1998 年 1 月ヒューマンインタフェース研究会にて報告され、同研究会主査により情報処理学会論文誌への掲載が推薦された論文である。

表 1 ディスプレイ・システムの種類

Table 1 Categories of display systems for VR.

大分類	中分類	小分類	例
平面型	発光型		CRT, LCD
	投影型	前面投影	Front Projector
		背面投影	Rear Projector
頭部搭載型 (HMD)	非シースルー		
		シースルー	光学式
			ビデオ式
没入型	投影型		CAVE CABIN

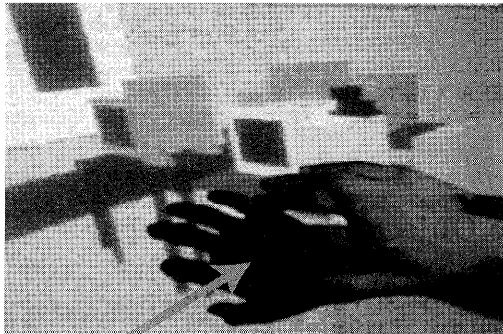
手の影による
画像の遮蔽

図 1 影問題

Fig. 1 Shadow problem.

されるものもあり、視覚提示装置として運用するため必要なすべての装置一式をもって「システム」とする。またディスプレイ・システムの中で実際に画像が提示される部分を特に「ディスプレイ部」と呼称する。以降、これらのディスプレイ・システムを VR システムで利用する際の問題点について論じる。同時に VR システム用のディスプレイ・システムに必要なとされる機能について論じる。

影問題 視覚提示装置に前面投影型の機構が含まれる場合、現実物体によって影が生じる。投影装置とスクリーンの間に操作者の身体、各種装置などが存在する場合、それらの影がスクリーン上に投影され、影の部分に投影される本来見えるはずのバーチャル物体が見えなくなるという問題である(図 1)。

遮蔽矛盾問題 複合現実感などバーチャル空間と現実空間を融合させる場合、バーチャル物体と現実物体の本来提示されるべき奥行き順序情報と実際に提示されている画像の視覚情報の奥行き順序情報が一致していないことがある。この現象は「遮蔽矛盾」と呼ばれ、透明視解釈をはじめとす

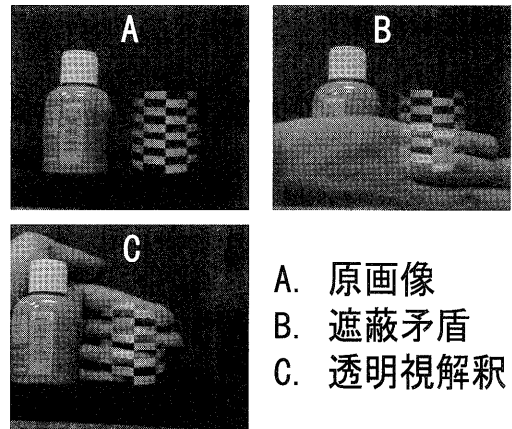
A. 原画像
B. 遮蔽矛盾
C. 透明視解釈

図 2 遮蔽矛盾問題

Fig. 2 Contradictory occlusion problem.

る立体視の障害が生じることが知られている⁶⁾。たとえば、図 2 において A が原画像であり、光学式シースルー HMD と同様のハーフミラーを利用した光学系を用いて、現実物体であるボトルとバーチャル物体である円筒が観察者から等距離に配置されている画像を生成している。B が手を物体の前面に差し出した状態である。この際、本来は手によって隠れるべき円筒の画像が見え、手と円筒の前後関係の知覚を妨害する。また、C は手を物体の背面に差入れた状態である。このとき、手と円筒の前後関係の矛盾は生じないが、本来は円筒によって隠される手が透けて見えてしまい現実感が著しく損なわれる。

視触覚融合 バーチャル空間内で物体の操作を効率よく行い、さらにバーチャル物体によりいっそうの現実感を与えるには、表示される画像に対し、操作者が対話的に影響を与えられることが効果的である。従来型のディスプレイ・システムでは入力装置とディスプレイ部はまったく独立に配置されており、操作の身体感覚と提示される画像の位置に不一致が生じ、操作性、現実感が著しく低い。この問題に対し観察者の手の位置を計測し、CG による手の画像を合成する方法や、シースルー型のディスプレイ・システムを利用し、操作の身体感覚と提示される画像の位置の一致を図るという解決手段もある。しかし、この手法ではフィードバックは視覚に限定され、バーチャル物体に触れた感覚を提示したり、バーチャル物体を把持することは不可能である。以上の問題を解決するためには適切な触覚/力覚のフィードバックが重要であり、さらに視覚系と触覚系/力覚系が適切に融合して

いることが望ましい。理想とされるのは「見たものが触れるもの (What You See Is What You Feel)」である WYSIWYF ディスプレイ⁷⁾ である。WYSIWYF ディスプレイを従来の視覚提示系のみで実現することは不可能であり、何らかの触覚/力覚提示装置が必要である。また、視覚提示装置による視覚空間と触覚/力覚提示装置による触覚空間が一致していることが重要であり、これが VR システム用のディスプレイ・システムに求められる重要な機能の 1 つである。

2.2 オブジェクト指向型ディスプレイ

前述の従来型ディスプレイ・システムの問題点、VR システム用のディスプレイ・システムに必要とされる機能をふまえ、平面型、頭部搭載型、没入型に次ぐ第 4 番目の種類のディスプレイ・システムと位置付けされる「オブジェクト指向型ディスプレイ」を本論文で提案する。提案するオブジェクト指向型ディスプレイの特徴は以下の 2 点である。

- バーチャル物体の提示される位置の近傍にディスプレイ部を配置する。
- ディスプレイ部に対する操作とバーチャル物体に対する操作に投射性がある。

バーチャル物体の提示される位置の近傍にディスプレイ部を配置することにより「遮蔽矛盾問題」が解決する。これは、バーチャル物体が提示されるべき場所に現実物体であるディスプレイ部が配置されるためであり、非常に単純ではあるが本質的な解決方法である。ただし、「影問題」を解決するためには、前面投影型の機構を用いない、あるいは前面投影型の機構を用いるならば、視点と光学的に等価な位置から投影する必要がある。

また、バーチャル物体をディスプレイ部ごと把持することによって WYSIWYF ディスプレイを近似的に実現する。さらに WYSIWYF ディスプレイの概念を一步進め、ディスプレイ部に対する操作とバーチャル物体に対する操作に投射性を持たせることにより、あたかもディスプレイ部がバーチャル物体であるかのように扱えるようになる。すなわち、オブジェクト指向型ディスプレイとは、その名の示すとおり、より物体を意識したディスプレイである。

ディスプレイ部に対する操作とバーチャル物体に対する操作に投射性を持たせるためには、ディスプレイ部の位置・姿勢、および観察者の視点位置を計測し、画像提示面に提示される映像を実時間で生成することが必要な場合もある。この機構を組み込むことで、ディスプレイ部を回転させると、バーチャル物体の映像も

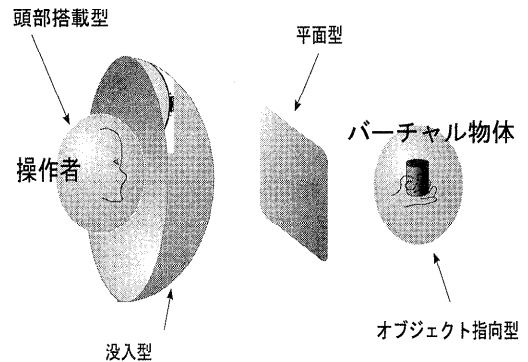


図 3 バーチャル物体と観察者とディスプレイ部の位置関係
Fig. 3 Positional relationship between the operator, the virtual object and display unit.

バーチャル物体があたかもディスプレイ部内部に存在するようにディスプレイ部の回転にあわせて回転させることも可能となる。この機構はオブジェクト指向型ディスプレイに必須ではないが、より高い現実感を得るためには実装されることが望ましい。

図 3 はこれらのディスプレイ・システムにおけるバーチャル物体と観察者と画像提示面の位置関係を示す。頭部搭載型は観察者の頭部を囲む位置に画像提示面があり、没入型は観察者の身体を囲む位置に画像提示面が配置されている。また、一般の平面型ディスプレイ・システムは観察者とバーチャル物体の間に位置しバーチャル空間を覗く窓として機能している。オブジェクト指向型ディスプレイの場合は画像提示面がバーチャル物体を取り囲む形で配置され、観察者は、ディスプレイ部自体をバーチャル物体を閉じ込めた「かご」として観察、あるいは操作する。

現在までにオブジェクト指向型ディスプレイの概念に非常に類似したディスプレイとして、スクリーンに触覚提示機構を持たせたハプティックスクリーン⁸⁾などが研究されているが、ディスプレイ部に手を触れて扱うことを考えた場合、手に投影された映像も観察されてしまうため、物体提示時の遮蔽関係に矛盾が生じるといった問題が生じ、提示物の現実感を著しく損なう。

また、投影型ディスプレイの構成例の 1 つとして筆者らは過去に半球型バーチャルホログラムを提案している⁴⁾。半球の内部からの投影によるものであり、筆者らが物体の形状認識に重要であると考えている手に持ち見回すという動作が困難となっている。

その他投影型の物体提示ディスプレイの例として、頭部搭載型プロジェクタ⁹⁾などによるものが提案されている。この手法は天井をスクリーンとして用いると

いう巧妙な手法を用いることにより広い見回し範囲を実現しているが、現実空間にバーチャル物体を重畳させようとした場合、焦点距離のずれや、遮蔽関係の不一致など従来の光学式シースルー型 HMD が原理的に抱えていた欠点を解決するまでには至っていない。

2.3 オブジェクト指向型ディスプレイの利点

ここで、オブジェクト指向型ディスプレイ全般に関し、前述の既存ディスプレイ・システムの問題点解決以外の特性、優位性、問題点などを論じる。

2.3.1 既得学習スキルの利用

オブジェクト指向型ディスプレイにおいて、デバイスに対する作用とバーチャル物体に対する作用との間に投射性があるため、バーチャル物体に対する操作に人間が現在までの成長の過程で習得した「手で持つ」などといった既得学習スキルを利用でき、操作が直感的で容易なものとなる。

2.3.2 輻輳調節

HMD や CAVE を用いて両眼視差によって近距離物体の 3 次元提示を行おうとした場合、輻輳による提示距離と水晶体調節との不一致、つまり輻輳調節が満足されないことによる興行き認知精度の狂いや眼精疲労が指摘されている¹⁰⁾。特に多くの HMD では像の光学的距離が 1~2 m に固定されているため、20~40 cm の距離の物体を提示しようとした場合、両眼での融像さえ困難となる可能性もあり、それを解決するためには可変焦点などの複雑な機構が必要となってしまう。

これに対してオブジェクト指向のディスプレイ・システムでは、物体の近傍で映像の再構成を行うと考えると、焦点距離と物体距離を厳密に一致させること不可能であるが、バーチャル物体の位置と提示面との距離の差を小さく保つことが可能である。つまり輻輳によって提示される物体距離と、水晶体調節との差が小さくでき、長時間作業による眼精疲労の低減を期待できる。

2.3.3 物体提示の解像度

オブジェクト指向ディスプレイは物体を実質的に比較的高い解像度で提示することができる。例として、縦視野角 30° の HMD と視点から 40 cm 先（手で保持した場合を想定）にあるオブジェクト指向ディスプレイを比較してみる。双方に縦 84 mm、234 pixel の液晶パネルを利用したと仮定する。この場合、HMD の分解能は約 7.5 分（視力に換算すると 0.13 相当）であるのに比べ、オブジェクト指向ディスプレイは約 3.1 分（視力で 0.32 相当）と 2.4 倍の解像度で物体を提示することが可能である。

2.3.4 環境提示

オブジェクト指向型ディスプレイは物体の提示に特化したディスプレイ・システムである。しかし、より高度な VR の実現のためには環境あるいは背景を提示する必要がある。そのためには従来のディスプレイ・システムとのハイブリッド・システムが有効である。すなわち、従来のディスプレイ・システムによって操作対象とならない背景・環境などの遠景を提示し、オブジェクト指向型ディスプレイによって操作対象であるバーチャル物体といった近景を提示する。また、後述されるオブジェクト指向型ディスプレイ MEDIA X'tal を用いた場合、複数のディスプレイ部が共存可能であり、複数のバーチャル物体を操作し、あるいは複数のバーチャル物体間での相互作用を適切に再現することが可能である。

3. オブジェクト指向型ディスプレイの実施例

筆者らは過去に実装例として 4 台の液晶ディスプレイを立方体状に構成した MEDIA³ (MEDIA-Cube)^{11),12)} を提案した。本論文はオブジェクト指向型ディスプレイの実施例として投影型オブジェクト指向ディスプレイとなる MEDIA X'tal (MEDIA Crystal) を提案する。

3.1 X'tal Vision 光学系

投影型オブジェクト指向ディスプレイを実現するにあたり、単純に従来型の投影機構を用いると次の問題が生じる。

- ディスプレイ部（スクリーン部）の形状、ディスプレイ部と光軸の角度などによって提示画像に歪みが生じる。
- ディスプレイ部と投影部（プロジェクタ部）の距離によってピンぼけが生じる。
- 投影される映像を手などの物体で遮蔽した際、遮蔽している物体に映像が映ってしまう。

筆者らはまず、以上の問題を解決し、さらに遮蔽関係を正しく提示するための再帰性反射材を用いた光学系を設計し、これを X'tal Vision (Crystal Vision) と命名した。

再帰性反射材とは図 4 に示すような入射方向に高い指向性を持ち反射する性質を持つ素材である。自転車の反射板や交通標識などに用いられておりコーナーキューブアレイやガラスビーズなどを用いてその機能を実現している。現在シートあるいは布状の再帰性反射材が市販されている。また、塗料としても市販されており、適切に塗布することでさまざまな形状のさまざまな材質の素材に再帰性反射材としての機能を持た

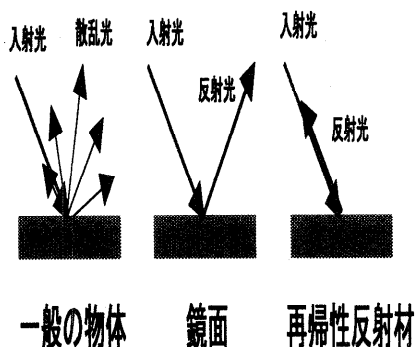


図4 再帰性反射材
Fig. 4 Retroreflector.

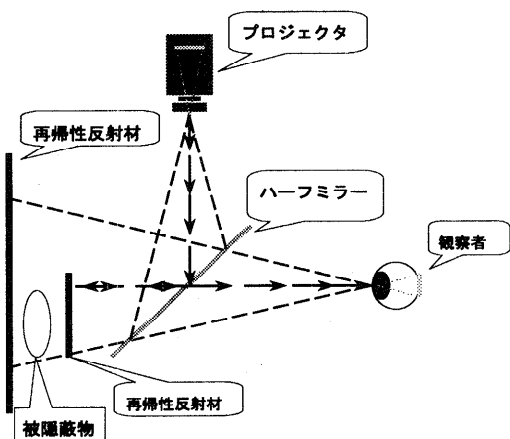


図5 X'tal Vision 光学系
Fig. 5 X'tal Vision optic system.

せることが可能である。

X'tal Vision 光学系の構成は図5のとおりであり、技術的なポイントは以下の3点である。

- (1) ディスプレイ面として再帰性反射材(retroreflector)を利用する。
- (2) 観察者の目と光学的に共役な位置より画像を投影する。
- (3) 画像投影部の開口径を光量の許す限り絞り込む(ピンホール)。

再帰性反射材の利用 再帰性反射材を用いることで高い輝度、指向性反射を有し、また再帰性反射材が塗布可能なすべての物体を提示部として利用可能なため、非常に軽量なディスプレイ部を実現可能である。また、提示部の形状も自在かつ材質も発泡スチロールや布、壁など相当の自由度が得られる。

光学的に共役な配置 図5で示すようにプロジェクタと観察者の目をハーフミラーによって光学的に共

役な位置に配置することで提示部の形状に起因する像の歪みが生じない。また、プロジェクタと提示部の間に何らかの遮蔽物があったとしても遮蔽物の影が生じる部分は遮蔽物自体によって観察者からは死角となる。そのため観察者から見ると遮蔽物の影は事実上ないと見なすことができる。

ピンホールの利用 ピンホールによって大きな焦点深度を持ち、提示部の形状や提示部の前後方向の移動によるピンぼけなどが生じにくい。

また、各要素を同時に満たすことにより以下のように単独では生まれえない効果も発生する。

再帰性反射材の利用 + 光学的に共役な配置 スクリーン輝度の距離依存性が減少する。また、視点位置を限定できるため、本光学系を2組用意することで裸眼立体視が可能である。

再帰性反射材の利用 + ピンホールの利用 ピンホールによって投影光が大幅に減衰される。そのため提示面(再帰性反射材)以外の部分に投影された像は散乱され肉眼で観察不能な暗さとなる。しかし、提示面(再帰性反射材)はこの減衰された光を散乱することなく視点方向にのみに反射するため像が観察可能となる。この機構によって提示面部のみの選択的な投影が可能となり、正しい遮蔽関係が保持される。

3.2 MEDIA X'talの構成

MEDIA X'talはX'tal Vision 光学系を利用し図6で示す構成とする。まず、小開口径単眼プロジェクタをハーフミラーにより目と共役な位置に配置する(左右両眼に各1組)。提示面は再帰性反射材を塗布し、さらに位置センサを取り付ける。計測した提示部の位置情報を基にグラフィックエンジン部で画像を生成する。試作システムでは小開口径単眼プロジェクタとしてSHARP社XV-E690を用い、自作のピンホールを取り付けた。プロジェクタの明るさは220ANSIルーメンでありピンホールの直径は0.5mm前後とした。また位置センサとして磁気式のPolhemusセンサ(Polhemus社Fastrack)を、グラフィックエンジン部としてSony Computer Entertainment Inc.社DTL-H3000を2台使用した。センサの更新レートは1/60秒で画像の更新レートは60フレーム/秒である。

3.3 MEDIA X'talに関する考察

以下に今回試作したMEDIA X'talに関する特性、優位性、問題点を論じる。

3.3.1 影問題・遮蔽矛盾問題の解決

図7が今回試作したシステムを用いて、球形の提示部に人形の映像を投影したものである。本装置によ

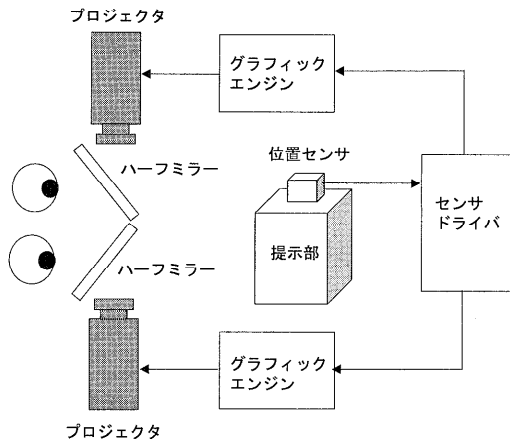


図 6 MEDIA X'tal の構成図

Fig. 6 System architecture of MEDIA X'tal.

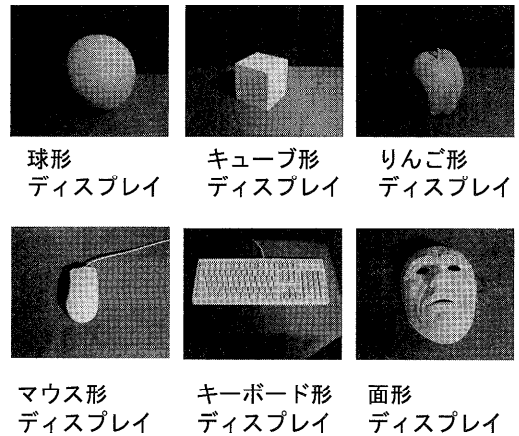


図 8 MEDIA X'tal の提示部

Fig. 8 Display units of MEDIA X'tal.

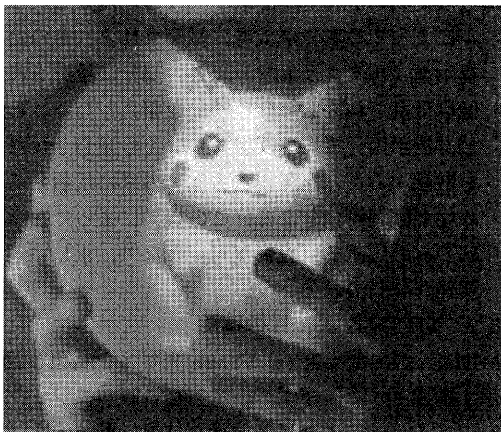


図 7 MEDIA X'tal 上による遮敵矛盾問題の解決

Fig. 7 Solution of contradictory occlusion problem using MEDIA X'tal.

て、バーチャル物体である人形が球形の提示内部に存在するかのよう効果が得られた。

図より明らかなように人形の映像の手で遮蔽される部分は、正しい遮蔽関係を保って観察可能であった。また、正しい遮蔽関係が保たれると同時に、提示部の移動や回転に対応した映像提示も適切に移動・回転することが確認された。

3.3.2 提示部の形状・重量

提示部はさまざまな形状をとることが可能である。図 8 が今回試作したディスプレイ部の一例である。これらすべてに関して歪みなく画像が提示されることが確認された。

重量に関してはプロジェクタなどの光学系は位置が固定されているため、本質的に、提示部に用いる素材の重量に位置センサの重量を加えたものとなる。たと

えば、今回試作した球形のディスプレイ部の重量は位置センサの重量を加えても 97g と 100g 以下となり、きわめて低重量のディスプレイ部が実現された。

3.3.3 解像度

提示部として利用している再帰性反射材はマイクロビーズで構成されており、この 1 粒が最小の画素単位となると考えられる。今回の試作で利用した市販の再帰性反射布のマイクロビーズの直径は約 $50\mu\text{m}$ (電子顕微鏡による実測)、再帰性反射塗料のマイクロビーズの直径も約 $50\mu\text{m}$ (電子顕微鏡による実測) であり、投影される像の解像度に比べ十分細かい値である。よって本光学系の解像度に関してはプロジェクタの解像度に依存する。

3.3.4 使用環境の明るさ

プロジェクタを利用するシステムでは使用する環境の明るさが問題となる。プロジェクタの映像をはっきり提示するには環境を十分暗くしなくてはならない。たとえば、没入型ディスプレイ CABIN の場合映像提示部内の明るさは通常に使用すると 10lx を超えることがない。この明るさでは現実物体は形状の判断は可能であるが、詳細を観察するには一般的な室内の明るさ (約 200lx) 程度が必要である。一般に、プロジェクタを利用した既存のディスプレイ・システムは非常に暗い環境で使用される。しかし、MEDIA X'tal の場合は再帰性反射材の特性から、非常に弱い光でも確実に視点へ反射させるため、明るい環境下 (約 500lx) でも利用可能であることが確認された。この明るさは一般的な事務作業用表示装置を快適に利用する目安とされる明るさである。

3.3.5 再帰性反射材の反射性能の角度依存性

また、現時点での問題点として、再帰性反射材の

没入型ディスプレイ

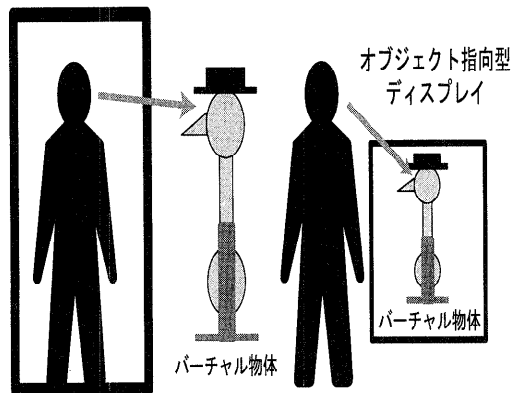


図9 オブジェクト指向型ディスプレイと没入型ディスプレイとの関係

Fig.9 Duality between object oriented display and immersive display.

反射性能に角度依存性があることが確認された。今回使用した再帰性反射塗料と同様のガラスビーズを使用した再帰性反射布の標準的な反射性能は JIS Z-9117 の反射輝度測定方式で計測した場合、入射角 $\alpha = 4.0^\circ$ で 500 (candelas/lux/m²)、入射角 30° で 350 (candelas/lux/m²) である (観測角 $\beta = 0.2^\circ$)。そのためディスプレイ部にエッジ、しわなどが存在すると、映像の輝度が非連続に変化するという問題が生じる。この問題に関しては、再帰性反射材の材質・構造レベルでの改良が必要であり、今後の課題である。

3.3.6 没入型ディスプレイとの関係

ここで、画像提示に関して MEDIA X'tal は CAVE (または CABIN) などの没入型ディスプレイと表裏一体の関係であることを指摘しておく。没入型ディスプレイの場合、操作者はディスプレイ・システムの内部に位置し、提示部を通じて外部のバーチャル世界を観察する。MEDIA X'tal の場合、操作者はディスプレイ・システムの外部に位置し、ディスプレイ面を通じて内部のバーチャル物体を観察する (図9)。この事実から没入型ディスプレイ CAVE に利用されている技術の一部は若干の適切な変更で MEDIA X'tal に適用できることを意味する。特に両者に共通のグラフィック・ライブラリを構築することは容易である。

3.3.7 多人数での使用

MEDIA X'tal は一見、操作者を 1 人に限定するように思われるが、プロジェクタ、ハーフミラーからなる光学系を複数用意することで多人数での使用が可能

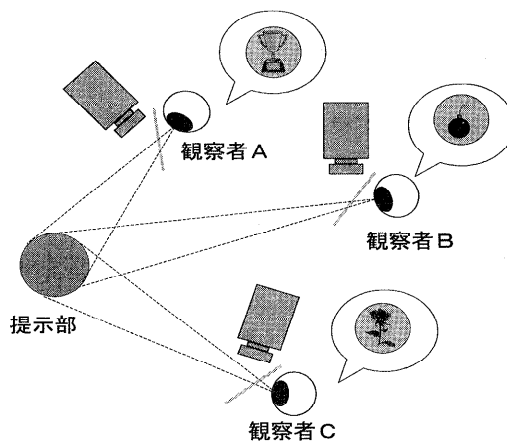


図10 多人数での使用
Fig.10 Multi user.

となる。この方法は一見非効率的であるが、同一の提示部に対し観察者ごとにまったく異なる画像を提示可能である (図10)。すなわち、よりパーソナルなディスプレイ・システムと考えることが可能である。例として、MEDIA X'tal を用いてトランプを複数人で行うことを考える。従来型のディスプレイ・システムでは、各人の手札がすべての人に見えてしまうため、1人1人にディスプレイ部を用意しなくてはならない。しかし、MEDIA X'tal の場合、各人が同一のディスプレイ部を見ているにもかかわらず、見える内容はすべて異なり、それぞれ自分の手札のみが見える。このように共同の環境を利用しつつ、プライベートな情報を提示・秘匿可能なディスプレイ・システムとしての側面も持ち合わせている。

4. おわりに

本論文ではバーチャルリアリティ、コンピュータ・ビジュアルライゼーションなどの分野で有効な新概念に基づいた「オブジェクト指向型ディスプレイ」の提案を行い、実装例である MEDIA X'tal を設計・試作した。

本論文で提案される「オブジェクト指向型ディスプレイ」とはバーチャル物体の提示される位置の近傍にディスプレイ部を配置し、ディスプレイ部に対する操作とバーチャル物体に対する操作に投射性を持たせたディスプレイで、より物体を意識したディスプレイである。また、本論文ではオブジェクト指向型ディスプレイの利点として既得学習スキルの利用が可能な点、輻輳調節が満足されている点、提示デバイスとして同一のデバイスを用いた際、他のディスプレイ・システムと比較して物体提示の解像度の面で有利である点などに関して論じ、今回試作した MEDIA X'tal で以下

☆ 照射軸と観測軸との間の角度。

☆☆ 照射軸と反射布表面中心の法線との間の角度。

の機能を確認した。

- 現実物体との正しい遮蔽関係を保持した画像の提示。
- 被写界深度が深く広い範囲で合焦する。
- 提示部の形状によらず歪みのない画像の提示。
- 屋内光下で十分な輝度を持ち、バーチャル物体と現実物体を同時に観察可能。

今後、今回開発したディスプレイ・システムを用いた「オブジェクト指向型ディスプレイ」の有効性および「オブジェクト指向」という概念の心理物理的な実験・研究を進めていく予定である。

謝辞 なお本研究は東京大学IML(インテリジェント・モデリング・ラボラトリー)のプロジェクトの一環として行われたものである。

参 考 文 献

- 1) Surtherland, I.E.: A Head Mounted Three Dimensional Display, *Proc. fall joint Computer Conference*, Vol.33 (1968).
- 2) Cruz-Neira, C., Sandin, D.J. and DeFanti, T.A.: Surround-Screen Projection-Based Virtual Reality: The Design and Implementation of the CAVE, *SIGGRAPH '93 COMPUTER GRAPHICS Annual Conference Series*, pp.135-142 (1993).
- 3) 廣瀬通孝, 小木哲郎, 石綿昌平, 山田俊郎: 没入型多面ディスプレイ(CABIN)の開発, 日本バーチャルリアリティ学会第2回大会論文集, pp.137-140 (1997).
- 4) 稲見昌彦, 川上直樹, 前田太郎, 館 暉: 物体近傍映像提示ディスプレイ「バーチャルホログラム」の提案, 日本バーチャルリアリティ学会第1回大会論文集, pp.139-142 (1996).
- 5) 川上直樹, 稲見昌彦, 前田太郎, 館 暉: オブジェクト指向型デバイスの評価法の検討, 日本バーチャルリアリティ学会第2回大会論文集, pp.340-341 (1997).
- 6) 鈴木伸介, 前田太郎, 館 暉: 人工現実感における遮蔽矛盾問題の知覚への影響, 日本バーチャルリアリティ学会論文集, Vol.2, No.3, pp.1-8 (1997).
- 7) 横小路泰義, ラルフホリス, 金出武雄: 仮想環境への視覚/力覚インタフェース: WYSIWYFディスプレイ, 日本バーチャルリアリティ学会論文集, Vol.2, No.4, pp.17-26 (1997).
- 8) 岩田洋夫, 市ヶ谷敦郎: ハプティックスクリン, 日本バーチャルリアリティ学会第1回大会論文集, pp.7-10 (1996).
- 9) 木島竜吾, 廣瀬通孝: 頭部搭載型ディスプレイを用いた仮想環境とデスクトップ環境の融合, 第10回ヒューマン・インタフェース・シンポジウム論文集 (1994).
- 10) 畑田豊彦: 疲れない立体ディスプレイを探る, 日経エレクトロニクス (1988).
- 11) 川上直樹, 稲見昌彦, 前田太郎, 館 暉: バーチャルホログラムの手法によるメディアキューブの試作, 日本バーチャルリアリティ学会第1回大会論文集, pp.99-100 (1996).
- 12) Kawakami, N., Inami, M., Maeda, T. and Tachi, S.: Proposal for the Object Oriented Display: The Design and Implementation of the MEDIA³, *The 7th International Conference on Artificial Reality and Tele-existence*, pp.57-62 (1997).

(平成10年9月17日受付)

(平成11年3月5日採録)

推 薦 文

本論文では、ディスプレイ自身を仮想物体のメタファーとし、手で持ち操作可能なオブジェクト指向型ディスプレイの概念を提案し、3種類(1面ディスプレイ型, 多面ディスプレイ型, 投射ディスプレイ型)の設計と試作について論じている。実際には存在しない仮想物体をあたかも実際の物体のような感覚をもって知覚し、作用することを可能とするディスプレイの実現であり、種々の応用があり、ヒューマンインタフェースの高度化への貢献が期待される論文である。ヒューマンインタフェース研究会からの研究会推薦論文として推薦します。

(ヒューマンインタフェース研究会主査 竹林洋一)

川上 直樹 (学生会員)



1996年東京工業大学院大学理工学研究科電気・電子工学専攻修士課程修了。東京大学大学院工学系研究科先端学際工学専攻博士課程入学。現在、バーチャルリアリティの研究に従事。日本バーチャルリアリティ学会会員。

稲見 昌彦 (学生会員)



1996年東京工業大学大学院生命理工学研究科バイオテクノロジー専攻修士課程修了。現在東京大学大学院工学系研究科先端学際工学専攻博士課程在学中。現在、バーチャルリアリティの研究に従事。日本バーチャルリアリティ学会会員。



柳田 康幸

1990年東京大学大学院工学系研究科修了。同年東京大学先端科学技術研究センター助手。1997年東京大学工学部助手、現在に至る。人工現実感システム等の研究に従事。日本音響学会、日本ロボット学会、日本バーチャルリアリティ学会等会員。1997年日本バーチャルリアリティ学会奨励賞を受賞。



前田 太郎

1987年東京大学工学部計数工学科卒業。同年通産省工業技術院機械技術研究所に入所。ロボット工学部バイオロボティクス課研究員を経て、1992年東京大学先端科学技術研究センター助手。1994年同大学工学部助手、1997年同講師、現在に至る。人間の知覚特性とモデル化、神経回路網モデル、マンマシンインタフェース、テレグジスタンス等の研究に従事。日本神経回路学会、日本ロボット学会、電気情報通信学会、日本バーチャルリアリティ学会、計測自動制御学会等会員。工学博士。1990年計測自動制御学会論文賞、1991年日本ロボット学会技術賞を受賞。



館 暁

1973年東京大学大学院工学系研究科博士課程修了。同年同大学助手。1975年通産省工業技術院機械技術研究所に入所。主任研究官、研究課長。1979年MIT客員研究員。1989年東京大学助教授。1992年同教授。テレグジスタンス等の研究に従事。日本ロボット学会、日本バーチャルリアリティ学会、計測自動制御学会等会員。工学博士。IMEKO TC17 (Robotics) 議長。SICEフェロー、日本ロボット学会論文賞、測自動制御学会論文賞、同技術賞等のほか、IEEE/EMBS論文賞、通商産業大臣賞を受賞。