

# VR 技術を利用した設計支援システムの開発

藤井 勝敏\* 浅野 良直\* 窪田 直樹\*\*

## Development of Design Supporting System using Virtual Reality Technology

Katsutoshi Fujii\*, Yoshinao Asano\* and Naoki Kubota\*\*

あらまし パーチャルリアリティ(VR)技術を用いて仮想空間を提示する装置である没入型6面ディスプレイCOSMOSは、仮想空間や仮想物体を実物大で表示することができ、しかも映像の中にユーザが没入できるシステムである。本研究は、このようなCOSMOSの特徴を生かした設計支援の方法について研究することを目的とし、システムソフトウェア、専用コントローラ等の開発を踏まえて仮想空間内におけるユーザインタフェースの設計・評価を行い、COSMOS内で高精度な位置決め操作が可能になった。また本年度は、COSMOSを用いた設計支援の一例としてインテリアデザインの検討システムを開発し、仮想の建物内を実物大で評価することが可能になった。

キーワード VR, COSMOS, ユーザインタフェース, インテリアデザイン, CAD

### 1. まえがき

コンピュータの表示能力は近年、高品位、高機能になってきており、製品設計においても従来の線画による図面表示だけではなく、質感を含めた高精細なレンダリングがパソコン上で表示できるようになった。一方で、コンピュータ技術全体の向上により、コンピュータ内部に仮想的な現実世界(バーチャルリアリティ:VR)を構築し、実時間で映像化することが可能になりつつある。このような趨勢から、平成10年度には没入型6面ディスプレイCOSMOS[1]が開発され、VR技術の産業応用として、CADで作成された形状データを実物大で表示するデジタルモックアップの実現に期待が高まっている。

本研究では、このようなCOSMOSの利用方法からさらに一步踏み込み、COSMOSの中でCADデータの作成、編集を行うことができるシステムを開発するために、VR環境下でユーザインタフェースを含む様々な要素技術について検討し、開発を行う。

本年度は、最初にCOSMOSのシステムを制御するためのソフトウェアと開発環境・実験環境を整備した。そして、VR技術を用いた設計支援例として建物とインテリアの検討シミュレーションシステムを開発した。さら

に、COSMOSにおけるユーザインタフェース装置を比較、評価すると同時に新たな装置を開発したので報告する。

### 2. COSMOSプログラミング

COSMOSの外観を図1に示す。この装置は、1辺3メートルの立方体の各面がスクリーンになっており、立方体内にユーザが入り、ユーザの視点位置に合わせた立体CG映像を描画、投影することで、仮想空間を表示する。この一連の処理の流れを図2に示す。このような処理は、COSMOSで動作させるアプリケーションプログラムでは基本的で共通な部分である。従って、この部分を独立させライブラリ化することは、将来のアプリケーション開発のためにも効果的であると言える。これまでに、廣

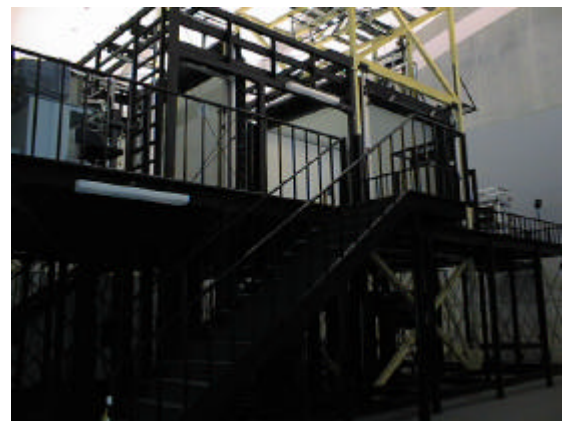


図1 没入型6面ディスプレイCOSMOS

Fig.1 Immersive 6-screens Display COSMOS

\* 情報システム部  
Information System Division,

\*\* メカトロ応用部  
Mechatronics Division

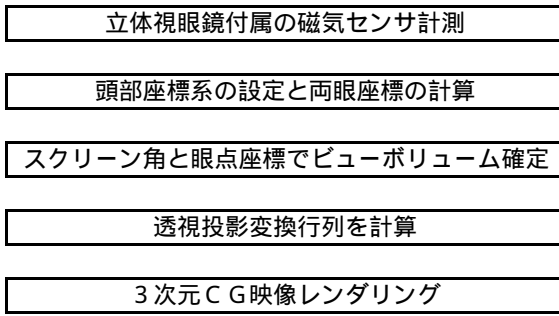


図2 COSMOSの映像生成アルゴリズム  
Fig2. Picture Generation Algorithm in COSMOS

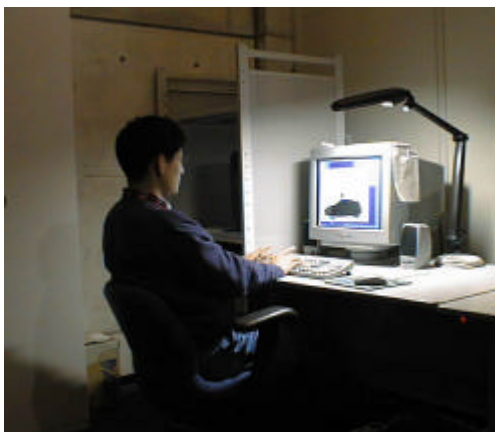
瀬らにより東京大学の没入型5面ディスプレイCABIN[2]で開発されたライブラリをYamadaらが拡張したpfCOSMOSライブラリが開発されている。

本節では、これらのライブラリをベースに今年度開発したCOSMOS用アプリケーション開発ライブラリ「G6」「F6」について概要を説明する。

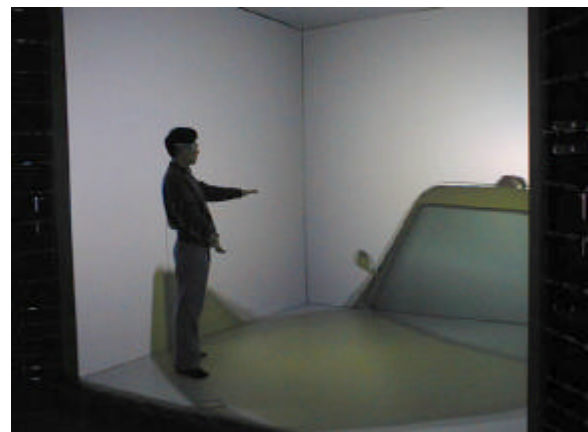
### 2.1 「G6」ライブラリ

pfCOSMOSライブラリは、名前の通りCOSMOSで動作するアプリケーション用のライブラリであるが、それ故に開発をCOSMOSで行わなければならないため、COSMOS関連研究が複数ある現状では開発効率が良くない。そこで、「G6」ライブラリでは、プログラム開発は通常のGWSで行い、最終確認のみCOSMOSで動作させる開発環境を実現した。

このライブラリを用いて開発したアプリケーションは、プログラム中の初期設定により、図3(a)のようなデスクトップGWS動作と、図3(b)のようなCOSMOS動作を切り替えることができる。但しデスクトップGWSで動作させる場合、視点検出のための磁気センサが利用できないため、キーボードのカーソルキーで簡易な視線方向制御で代替させる。



(a)デスクトップGWS動作



(b)COSMOS動作

図3 「G6」アプリケーションの動作モード

Fig.3 Execution Modes of 'G6'

表1 「F6」のコールバック関数

Table 1 Callback Functions of 'F6'

関数プロトタイプ	ユーザの処理
prepare(int)	OpenGL RCの初期設定
shareinit(void*)	ユーザワーク初期化
idol(void*)	シミュレーション等
draw(void*,int,int)	描画
refresh(void*,int)	OpenGL DLの更新
wait()	描画中の待ち時間処理
exit(void*)	終了時の保存

表2 「F6」の環境変数と動作モード

Table 2 Environment Variables of 'F6'

環境変数 F6MODE	動作モード
MONO(デフォルト)	単画面GWS
STEREO	単画面立体視
COSMOS	没入型6面立体視
RENDER	アニメーション保存

### 2.2 「F6」ライブラリ

pfCOSMOSおよび「G6」はIRIS Performerライブラリ[3]をベースにしており、すべての描画対象物をシーングラフと呼ばれる樹形構造体に格納することで、複雑な仮想空間であっても効率的な描画性能を達成している一方、シーングラフの構築・更新が煩雑であるため、CADのようなアプリケーションや、各種実験用程度の簡易な描画目的には向かないと思われる。また、IRIS PerformerがインストールされていないGWSでは開発できないことや、ライブラリ自体が巨大であるため習得に時間がかかり開発のハードルが高いなど、利用上の制限がある。

そこで、3次元描画APIとして比較的一般的なOpenGLライブラリ[4]を用いて描画することのできるCOSMOSライブラリ「F6」を開発した。このライブラリの中では、視点情報に応じた視野体積の設定および、描画性能向上のためのマルチプロセッシングを行い、開発者が記述すべき描画等のコールバック関数(表1)を適切なタイ

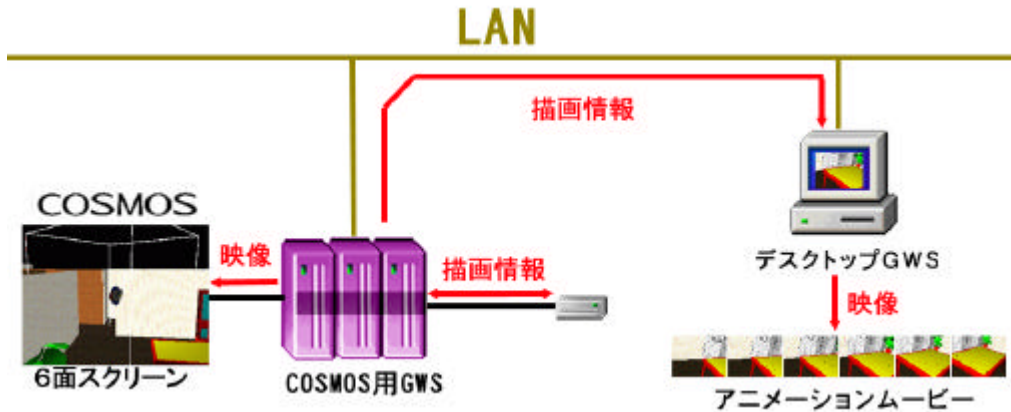


図4 「F6」のネットワーク機能  
Fig.4 Network Operations of 'F6'

ミングで呼び出している。

また「F6」では環境変数によって、プログラムの動作環境を表2のように設定できるほか、描画に必要な情報をファイルに保存したり、LAN経由でネットワーク上の他のGWSに配信したりできる。この情報を使って、GWS上でユーザが見ている映像をリアルタイムあるいはオフラインでモニタしたり、アニメーション化することもできる(図4)。これらの機能は、今後ユーザの行動観察や動作解析などの研究に利用する予定である。

ただし、「F6」には、「G6」で使うことのできるIRIS Performerが提供する形状ファイルローダが利用できないため、必要に応じて形状データファイルローダを開発しなければならない。また、描画順序の最適化や描画負荷軽減アルゴリズムなどの実装もプログラマの責任になるため、開発するアプリケーションの要求に応じて「G6」との使い分けが必要である。

### 3 インテリア検討システム

本節では、COSMOSを用いた設計支援の一例として開

発した、「インテリア検討システム」の概略を説明する。

このシステムは、あらかじめデスクトップコンピュータで建物の間取り図と、床と天井の高さや、床材、壁材などのテクスチャ画像を入力しておき、COSMOSで実物大に表示してウォークスルーできるシステムである。このシステムを使えば、実際の建物を竣工する前に空間やレイアウトなどの評価が直感的に行えるため、建築関係のプレゼンテーションなどに利用することができる。

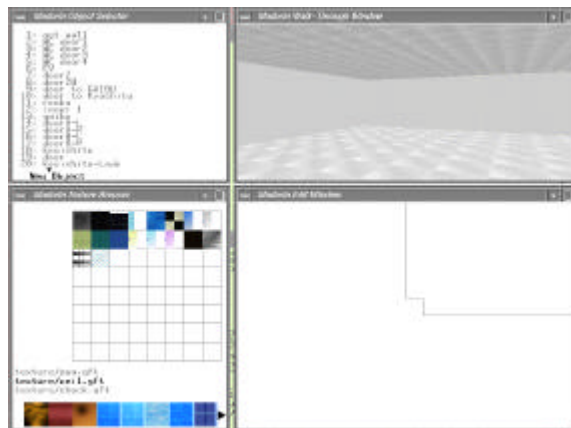
#### 3.1 システム構成

このシステムは間取り図をもとに建物データを入力するための「間取りエディタ(図5)」と、建物データをCOSMOSで表示する「間取りビュー(図6)」で構成している。

間取りエディタでは、(1)壁や間仕切りなどのパーツを登録して高さ情報を付加し、(2)2次元の間取り線を入力し、(3)テクスチャ画像を与えるだけで、壁や間仕切り、床、天井が簡単にモデリングでき、(4)ウォークスルーする。このようにして作成した建物データは独自の形式で保存できる。

(1)  
パーツ作成と  
高さ情報の付与

(3)  
テクスチャ編集



(4)  
簡易ウォークスルー

(2)  
間取り線入力

図5 間取りエディタ  
Fig.5 layout Editor





図6 間取りビューア

Fig.6 Layout Viewer

間取りビューアは、モデリングした建物データを COSMOS で実物大で表示し、専用コントローラを使って建物内を自由に移動できる。なお、この間取りビューアは前節で説明した「F6」を用いて開発している。

### 3.2 家具データの表示

間取りビューアでは、オプションで DXF 形式の家具形状ファイルを表示することが出来る。そのため、引っ越し前の部屋の広々とした状態のみならず、図7のように家具を配置した状態で室内空間のイメージを確認することも出来るため、生活時の人の移動等を体験し、評価することにも応用できる。

## 4 専用コントローラ

本研究の最終目標は、COSMOS のような没入型の VR 環境で従来の CAD ソフト相当の設計作業を行うことである。そのため、頂点や制御点の追加、修正や、色付け、部品の組み合わせ、ビュー等の機能が必要である。パソコンの場合は、マウスやキーボードなどの装置を使って多様な指示ができる。しかし COSMOS の場合は、ユーザが立ったり屈んだり歩きまわるため、机の上で使うように設計されたこれらの装置は使いにくい。従って本節では COSMOS の中に持ち込み可能で、設計作業に向く



図7 家具を置いた室内空間

Fig.7 Living room with a set of furniture

専用操作装置について検討する。

図8(a)は、視線の検出にも用いている磁気式位置角度センサとグローブ型モーションキャプチャ装置を組み合わせた入力装置「データグローブ(日商エレクトロニクス(株)製)」である。この装置を用いる場合、手が届く範囲であれば自分の手で仮想空間内の座標を直感的に指示できる利点があるが、手が届かない部分が指示できないこと、手が届いたとしてもセンサの位置精度が悪いこと、実物と仮想物の奥行き方向の知覚精度に個人差があること [5]で、高い精度の要求される設計作業には向いていないと考えられる。

図8(b)は、現在多くの COSMOS 用アプリケーションで標準的に使用しているゲーム機用コントローラ(任天堂(株)製)で、10個のボタンと1つの十字キー、そして2自由度のアナログスティックを装備している。この装置ではボタンとアナログスティックの組み合わせで多彩な操作入力ができるため、仮想物体を移動・回転・拡大縮小できる形状ビューアアプリケーションに利用されており、CAD への応用も考えられる。ところが、このアナログスティックは、頭部を左手の親指で半径 8mm 程度の円内で操作する設計であるが、ユーザの多くは限界まで倒すことが多く、中間の微妙な入力をするには相当の訓練を必要とする。

以上のように、従来の装置ではセンサの精度が低いか、



(a) データグローブ



(b) ゲーム機用コントローラ



(c) 転答虫(仮称)

図8 COSMOS で利用可能なコントローラ

Fig.8 Available controllers in COSMOS

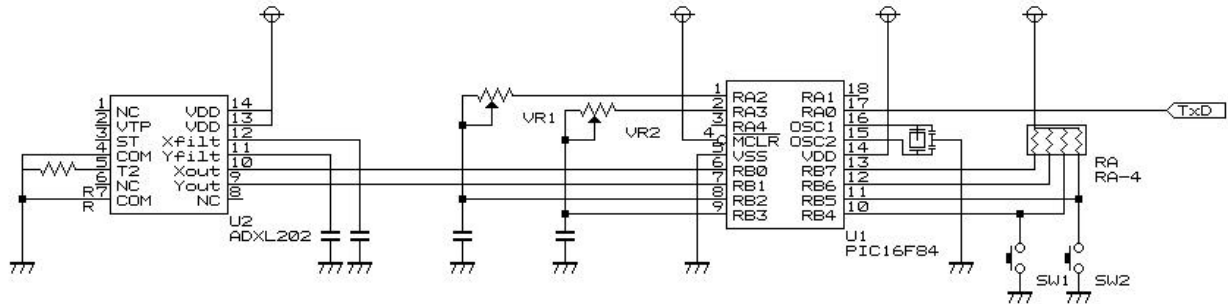


図9 「転答虫」の主要回路図

Fig.9 Principal circuit of 'TEN-TOU-MUSHI'

あるいは高精度入力に熟練を要するからで実用的な CAD ソフトへの適用上問題になると考えられる。そこで今回は、微妙な 1 次元アナログ量が入力できる回転式ボリュームつまみを装備し、操作装置の傾斜を入力値とする直感的な 2 次元アナログ入力、そして 2 個のスイッチを持った、COSMOS 専用コントローラ「転答虫(仮称)」を試作し、評価した。

#### 4.1 構成

試作した装置の外観を図 8(c)に、主要部分の回路図を図 9 に示す。外観は、ボリュームつまみと 2 個のスイッチを装備している。傾斜の入力には ANALOG DEVICES 社製加速度センサ ADXL202 を使用し、重力加速度である鉛直下向きに対する装置の角度を検出する。ボリュームはパーンズ社製の 15 回転ヘリカルポテンシオメータを使用し、直列に接続したコンデンサの放電時間で回転量を計測する。Microchip 社製ワンチップマイクロコントローラ PIC16F84 は、これらのセンサによる計測データをシリアルデータにし RS-232C インタフェースを介して COSMOS のワークステーションに送信している。

#### 4.2 使用方法

試作した装置は 2 個のスイッチが人差し指と中指に当たるように左手に持って使用する。中指のスイッチを押しながら手首を傾けると、傾けた方向と角度に応じて操

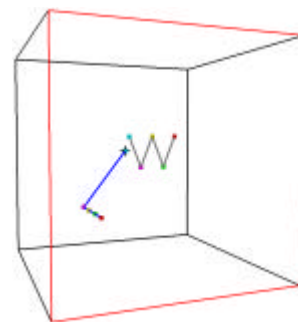


図 10 設計作業実験

Fig.10 Experiment Task

作対象物が移動する。人差し指のスイッチは補助的な操作に使用し、ボリュームつまみは微調整のために右手で操作する。

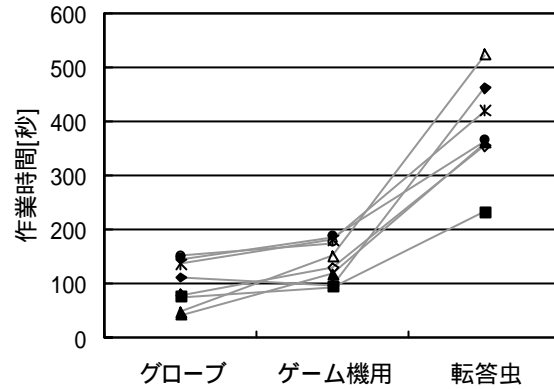
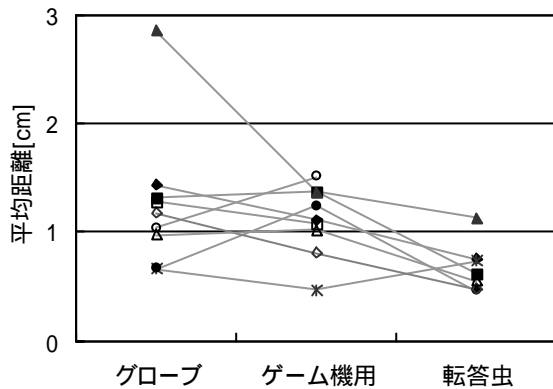
#### 4.3 評価実験と結果考察

「転答虫」を含む図 8 の 3 種類の操作装置について作業性を評価するため、これらの装置を用いて簡単な設計作業をさせ、作業時間、精度を比較した。これは図 10 のように COSMOS 内に 5 個の頂点を結ぶ折れ線を 2 本表示し、一方の頂点を他方の頂点に重ねさせる。この作業には CAD の基本である(1)頂点の選択、(2)頂点の移動、(3)位置確定の 3 段階の操作を含んでおり、それぞれの装置ごとに表 3 の方法で操作する。

表 3 実験の操作方法

Table 3 Operation methods of Experiment Task

操作装置	カーソル移動	(1)頂点の選択	(2)頂点の移動	(3)位置確定
データグローブ	カーソルを表示しない	頂点の近傍で手を握る	手を握った状態で移動	適当な位置で手を開く
ゲーム機用コントローラ	アナログスティックを使用。視線方向に対して通常は上下左右に、切り替えボタンを押しながらの場合、前後左右に移動。	カーソルを頂点の近傍に移動し、選択ボタンを押す	選択ボタンを押したままカーソルを移動	適当な位置で選択ボタンを離す
「転答虫」	手首の傾斜に応じて移動軸が回転。ボリュームつまみで軸沿いに移動。また切り替えスイッチ(中指)を押しながら手首を傾斜すると、視線方向に対し前後左右に移動。	カーソルを頂点の近傍に移動し、選択スイッチ(人差し指)を押す	選択スイッチを押したままカーソルを移動	適当な位置で選択スイッチを離す



(a)作業精度  
 図中の各記号は、個々の被験者を示している。

(b)作業時間

図 1 1 実験結果

Fig.11 Result of Experiments

この実験結果を図 1 1 のグラフに示す。図 1 1 (a)は各被験者ごとに目標位置と確定位置との平均距離を装置別に示しているが、ほとんどの被験者が転答虫で最も精度の高い結果を出していることがわかる。これはボリュームを使った微調整を効果的に利用しているためであると考えられる。また実験を終えた被験者からは、データグローブでは移動したい頂点が自分の手に隠れてしまうこと、ゲーム機用コントローラでは微妙な入力が難しく、何度も移動させるうちに偶然適切な位置に合わせられてなどの意見があった。

一方、図 1 1 (b)の作業時間の比較では、転答虫が最も時間がかかっている。実験中の被験者の様子から、この原因には、新しい装置の習熟度が低いために傾きによる 2次元移動の感覚がつかめずカーソルが遠くに行ってしまうことや、その移動モードとボリュームつまみによる移動のモードを切り替えた直後の操作に戸惑っていることがみられるなど、他の装置に比べて 3次元空間の広い移動に時間がかかっていることが考えられる。

以上の考察から、COSMOS の仮想空間中でより効率的に設計作業を行うには、データグローブで粗い指示した後、転答虫で微調整を行う方法が有効ではないかと考えられ、今後の課題としたい。

## 5 まとめ

バーチャルリアリティ (VR)技術を利用して設計支援を行うために、没入型 6面ディスプレイ COSMOS 用のシステムソフトウェア開発をはじめに、設計支援アプリケーション例としてのインテリア検討システム、VR 環境用アナログ入力コントローラの開発・評価を行った。以下にそれらの成果をまとめる。

COSMOS アプリケーション開発ライブラリ「G 6」「F 6」は、COSMOS アプリケーション開発に共通する処理をライブラリ化し、同時に COSMOS 実機以外でのプログラム開発を容易にした。

インテリア検討システムは、間取り図をベースにした仮想的な建築物の内部を、実物大で表示し、ウォークスルーによる体験を可能にし、VR 技術を用いた設計支援の方向性と可能性を示した。

COSMOS 専用アナログコントローラ「転答虫(仮称)」は、傾斜センサとボリュームを用いて微妙なアナログ操作の精度を高めたが、3次元の操作はモード切り替えによるため直感的な操作が難しく、今後の課題である。

## 文 献

- [1] Toshio YAMADA, Michitaka HIROSE, Yoshihiro IIDA, "Development of Complete Immersive Display: COSMOS", VSMM98, pp.522-527, Nov., 1998
- [2] 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 回全国大会論文集, pp.137-140, 1997
- [3] Jed Hartman, Patricia Creek, "IRIS Performer™ Programming Guide", Silicon Graphics, Inc., 1994
- [4] OpenGL Architecture Review Board, "OpenGL™ プログラミングガイド", アジソン・ウェスレイ, 1995
- [5] 藤井勝敏, 浅野良直, 棚橋英樹, "没入型 6面ディスプレイにおける空間知覚特性に関する考察", ヒューマンインタフェースシンポジウム'99, pp.207-210, Oct., 1999