VR技術を利用した設計支援システムの開発(第3報)

藤井 勝敏　　横山 哲也　　浅野 良直　　棚橋 英樹

Development of Design Supporting Systems using VR Technology(III)

Katsutoshi FUJII　Tetsuya YOKOYAMA　Yoshinao ASANO　Hideki TANAHASHI

あらまし　没入型6面ディスプレイ装置COSMOSを利用した設計支援の可能性/有用性を検討し，装置の特性を生かした設計作業支援の手法を研究した．本研究では支援の対象を建築設計とし，それらに関する特別な専門知識を持たない一般の人向けに，COSMOS特有の没入感，スケール感を生かした体験型設計・評価支援システムの開発を目標としてきた．本年度は，建築設計の基本となる間取りを，建物内の視点に立って「空間を掘るような感覚」で作成できる「間取り設計支援システム」と，室内家具のレイアウト設計を臨場感のある仮想空間で行うことができ，「仮想人間」による居住時性を客観的に検討できる「室内レイアウト設計支援システム」の2つを開発した．

キーワード　仮想現実感(VR)，COSMOS，設計支援，間取り，レイアウト

１．はじめに

仮想現実感(VR)技術とは，近年極めて高速になってきたコンピュータの処理能力を利用して現実世界の事象を計算モデル化し，立体視機能等をもつ特殊な表示装置を使って人に提示することによって，あたかも実在の物がそこにあるかのような感覚を与えることができる技術である．この技術を利用することにより，例えば失われた古代文明や，遠方の，あるいは空想の世界を散策することや，物理，数学モデルに基づく仮想空間を探索することができる．

一方で，こうしたVR技術を県内製造業の技術革新，活性化に結び付けるため，1998年，岐阜県科学技術振興センターに，世界的に最先端のVR装置である没入型６面ディスプレイ装置COSMOS[1](図1)が建設された．筆者らは，これまでCOSMOSを用いて，製造業における設計作業の支援に適用するために必要なVR技術を開発してきた．

図1　没入型6面ディスプレイCOSMOS

1999年度よりこれまでに，PCやGWSで作成したCADデータをCOSMOSで表示するデジタルモックアップ的な利用方法を基本として，COSMOSの表示特性評価[2]，データ作成・表示プログラムの開発，COSMOS内での指示操作用インタフェースの開発を行った．

本報告では，COSMOSの特徴を活かした応用事例として建築設計作業を取り上げ，今年度開発した「間取り設計支援システム」と「室内レイアウト設計支援システム」について述べる．その上で本研究を通して得られた技術，知見をもとに，VR技術を設計支援に利用する利点と課題について整理する．

２．VRによる建築設計支援

VRの世界では，現実世界における物体に相当する，仮想物体を取り扱う．仮想物体は主に座標値や質感パラメータなどの数値情報で表現されるため，数量や大きさに本質的な制限はなく，外観の変更も数値の増減で容易に実現できる．

VR表示装置のCOSMOSは，6画面から成る箱型スクリーンでユーザを囲い，ユーザの視点位置に応じた立体映像を全面に投影することによって仮想物体を表示する装置である．そのためユーザがどの方向を見ても視界が途切れることがなく，またユーザが動いて仮想物体を回り込んで見れば，その視点位置から見えるべき部分が見られるため，ユーザは自分が仮想空間の中に入り込んだような感覚が得られる特徴がある．

これらの特徴は製造業一般の設計作業において，試作コスト削減や修正が容易になるなどの利点があるが，特に建築設計においては，専門家でない一般ユーザに対し

ても大きな恩恵をもたらす．例えば，一般的な住宅設計においては通常，２次元の図面やパース図あるいは小型の模型が用いられている．しかし，これらから完成後の機能性や空間的な広がりを予想することは，経験がない人には難しく，もし施工中や施工後に予想との違いを発見しても，修正することは非常に困難である．そこで，VR技術を利用して住宅の完成イメージを原寸大で仮想体験できれば，事前に問題点を発見，修正できるため，そのような問題を避けることができるだけでなく，コスト削減や工期短縮につながる．そこで本章では，建物の仮想体験を行うシミュレータと，建物の設計変更を可能にしたシステムについて述べる．

２．１　仮想建築シミュレータ

筆者らはまず，COSMOSで建築物を原寸大表示するシステムを開発した．第1報[3]では，間取り図をもとに2次元CADで作成したCADデータをCOSMOSで表示し，コントローラでウォークスルーできるシステムを報告した．このシステムでは一般的にCADデータを表示する場合と共通の技術を利用したが，建築物の場合，ユーザが現在いる部屋からは決して見えない部分(別の部屋など)も描画するため，大きな建物になると無意味な描画処理が増え，画面の更新間隔が長くなりユーザにストレスを感じさせる問題が生じた．

そのため第2報[4]では，部屋の接続情報と部屋毎の描画データを併せ持った特殊なデータ構造を定義し，現在いる部屋とその隣の部屋のみに限定して描画することにより，大きな建物であっても描画負荷を抑えて，軽快にウォークスルーできる仮想建築シミュレータ(図2)を報告した．またそのシステム利用中にCOSMOSの中で問題点を発見した場合，その部分に手書きで指示を記入できるようにし，その結果を2次元CADにフィードバックして修正する設計手段を提案した．

２．２　間取り設計支援システム

上記のシステムでは，データ作成には2次元CADを使い，作成したデータをCOSMOSに転送して表示する方法を採っている．これは，建物のCADデータ構造が複雑で，

図2　仮想建築シミュレータ

図3　間取り設計支援システム

データ量が多く，COSMOSの中だけでそれらを作成，編集するのは困難であったためである．

そこで本報では，システムの機能を間取りの設計に限定し，個々の部屋の広さと配置，扉の位置の編集をCOSMOSの中で行える間取り設計支援システムを開発した．その基本機能としては，

・室内にいる状況を提示
・室内を歩行
・扉を経由して部屋を移動
・部屋の大きさや外観を変更
・扉の位置を変更

である．システムの概観を図3に示す．

このシステムは，間取りの基本単位である部屋ごとに大きさや扉の位置などを設定することによって，平面的な間取りを設計する．COSMOSでは，ユーザが現在いる部屋とそこから見える周辺の部屋が提示されており，COSMOS内にいるユーザは，コントローラのジョイスティックを使って室内を自由に移動できる．ユーザが扉の方向を見ると，その扉が反応し戸が開くアニメーションを提示する．ユーザが別の場所を見ると，開いていた扉は閉じる．

ユーザが任意の時点にコントローラのボタンを押すと，図4のようなメニューウィンドウが空間中に表示される．表示されるメニューの内容は，ボタンを押した時点にユーザが見ていた対象によって異なり，見ていた要素に関連して変更，設定可能な項目などが表示される．メニューウィンドウ表示中は，メニュー中の一つの選択項目を目立たせるようにカーソルも表示されており，コントローラで選択操作をした後決定ボタンを押すことで，対応する機能を呼び出すことが出来る．

例えば壁を見てボタンを押した場合，その方角の壁について、壁を奥行き方向に「拡げる」「縮める」ことができるメニューや，その方角に「扉」を設置するメニューが現れる．ここで「扉」を選択すると，設置可能な扉の種類が選択でき，扉を設置すると，その扉を「左へ」「右へ」移動したり，片開き扉の取っ手の向きなどを「反転」，あるいは扉を「撤去」するメニューが現れる．また，「く

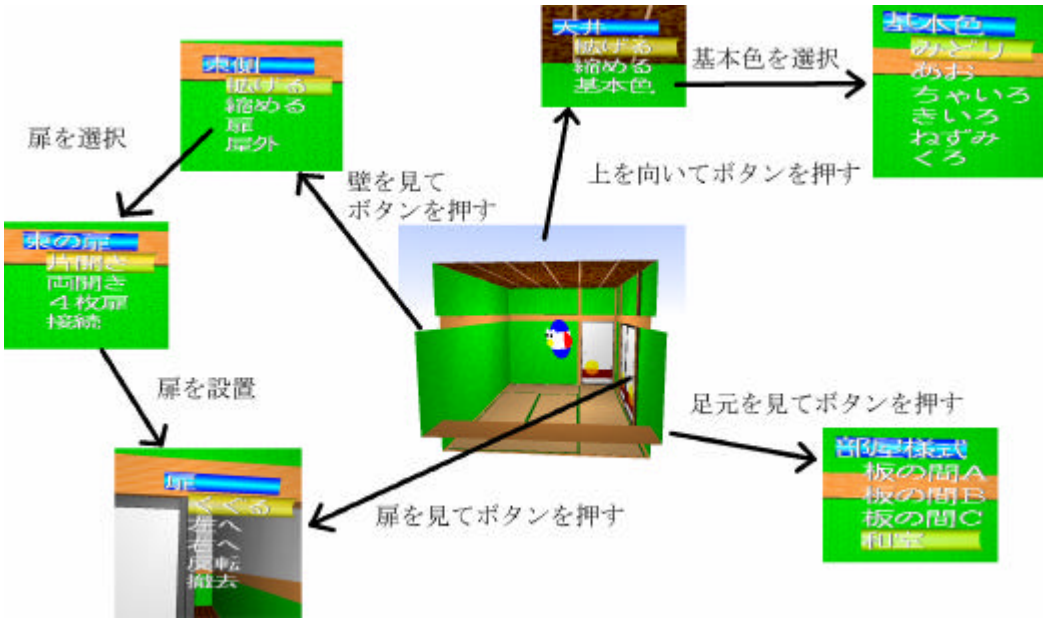

図4　間取り設計支援システムのメニュー表示と操作方法

ぐる」を選択すると，その先の既存または新規の部屋に移動することができる．

２．３　特徴と利用効果

間取り設計支援システムは，仮想的な建物の中に居ながらその建物に修正を加える作業を対話的に行えることが特徴である．ふすまなど扉を主観的な視点により直感的に確認でき，不具合があれば簡単に新設，変更，撤去できる．また部屋の拡張も他の部屋と干渉しなければ自由に行うことができ，あたかも「空間を掘るような感覚」での設計手法を実現している．

また，このシステムを使って編集するパラメータ項目数(自由度)は，従来の２次元CAD等と比較して大幅に削減しているが，一つの部屋あたり数十項目ある(表1)．そのためユーザが直感的に変更パラメータにアクセスできるよう，視線方向による対象の選択と，その対象に対応した日本語メニュー表示・選択を導入している．

このシステムを利用することによって，図5のような間取りを簡単に作成することができ，個々の部屋の広さやつながりなどの空間的な機能性評価や防犯上の死角などを，仮想体験を通じて主観的に確認できる．このことから，間取りや部屋割りのアイデアをまとめる上では有効な支援ツールになると考える．

実際に建物を施工する場合には，より詳細な設計図が必要であり，従来通り専門の設計士が図面を引くことになるが，このシステムを使って建築主と設計士が建物のイメージを共有できれば，より円滑に設計作業を行うことができる．

さらに，ある程度詳細な設計図ができた段階では，2.1節の仮想建築シミュレータを用いることによって，より現実に近い完成イメージを体験することができる．

このようにして，建築設計においてVR技術を利用することは，建築主が簡単に自分の建物を設計できることによる顧客満足度向上，建築主と設計士の間の意思疎通の円滑化，そして現場での設計変更要求の減少によりコストの抑制に貢献できることが期待される。

表1 部屋ごとのパラメータ項目

項目の名称	選択範囲	
様式	板の間，和室など	
基本色	緑，青，茶，黄など	
位置(X,Y)	32bit整数	
大きさ(X,Y,Z)	1～30ブロック	
壁[東,西,南,北]	壁，窓，壁なし	
ドア[最大８]	方向	東西南北
	位置	0～29

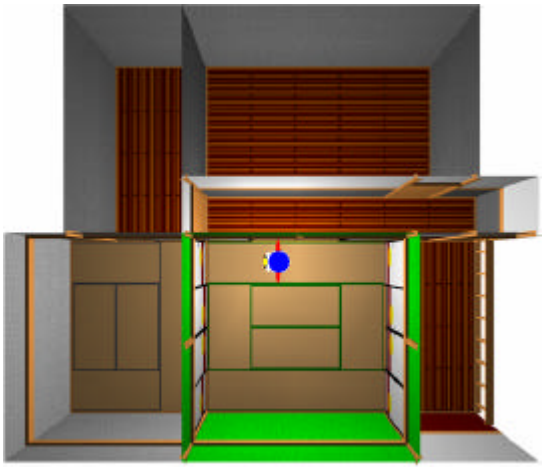

図5 間取り作成例

３．室内レイアウト設計支援システム

前章では，建物自体をCOSMOSを使って設計する手法について述べたが，人が建物の中で生活する場合，家具の配置についても検討が必要である．室内家具のレイアウト設計は，経験から来る常識や作法，あるいは人の行き来のしやすさを最適化する方法などの理論的な手法も考えられるが，一般人にとっては，自分で実際に家具の位置を動かして決めるという原始的な方法が，単純であると同時に納得しやすい．この方法で障害になるのは，現実の重い家具を動かすことが容易ではないという点であるが，VR技術を利用して家具を仮想物体として表示すれば，このことは全く問題にならない．またCOSMOSを利用して，仮想室内で生活する視点に立つことにより，その特徴でもある臨場感を得ることができる．本章では，今年度開発した室内レイアウト設計支援システムについて述べる．

３．１　システムの機能

本システムに要求される基本的な機能としては，

・室内にいる状況を提示
・室内を歩行
・家具を表示
・家具を移動
・家具を増加・撤去
・家具の種類を変更

である．このうち最初の２つは前章の間取り設計システムにも含まれる機能である．

家具を表示する機能については，市販の形状データ集の家具データを読み込み描画する方法や，箱や円柱など簡単な図形を組み合わせてモデリングする方法を検討した．今回のシステムの目的は，個々の家具デザインの評価ではなく，複数の家具を配置した室内の機能性や，広がり感の提示であるため，家具形状は簡易な形状で十分である．これによって複雑な家具データを表示する場合と比較して表示計算負荷を軽減できる利点がある．

家具の移動，増加，撤去，種類変更は，本質的にはシステム内部のパラメータ操作であり，ソフトウェアにより容易に実現できるが，ユーザインタフェースの実装においては使い勝手向上のための工夫が必要になる．本システムでは，家具が地平面上を2次元移動するという拘束条件と衝突検出による幾何的拘束によって家具の配置に関する操作性を向上している．

３．２　利用方法

開発したシステムの概観を図6に示す．利用者はCOSMOSに映し出された室内に入り，生活する時の視点で室内を歩き回りながら，必要に応じて家具を配置，移動することによって，レイアウトを決定する．

家具を移動させたい場合は，手元のコントローラを使って対象を選択し，アナログの２次元スティックを用いて平面上を移動することができる．また，鉛直方向を軸として家具の向きを回転させることもできる．

図6　室内レイアウト設計支援システム

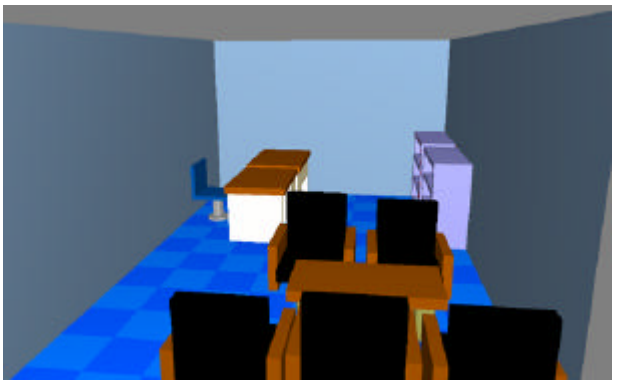

図7　室内レイアウト作成例

家具を追加，撤去，種類変更する場合は，それぞれの操作に対応したボタンを押すことによって結果が直ちに仮想の室内に反映される．本システムで作成したレイアウトの一例を図7に示す．

３．３　仮想人間の導入

室内レイアウトを検討する場合，機能的かどうかの判断は人が実際的な作業を行う時の動作に支障がないかで判断できる．本システムにおいては，ユーザが自分で室内を移動して試すことが出来るが，他人の動作を客観的に観察することも評価の指標になる．そこで本システムではレイアウトの基本機能の他に，仮想人間(図8)を導入した．

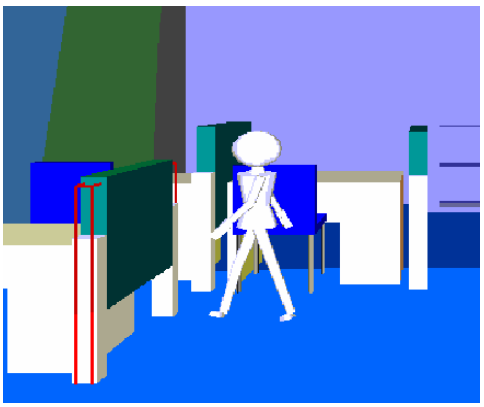

図8　仮想人間

仮想人間はレイアウト中の家具を避けながら，あらかじめプログラムされた行動決定モデルに沿って行動する人形要素である．仮想人間はユーザの直接的な操作対象ではないが，オフィスで想定される入り口から椅子，書架などを経由するような行動を，ユーザが配置した家具を避けるように経路を探索して行動する．経路の探索には人工ポテンシャル法[5]を用い，家具のポテンシャルを高く，目標のポテンシャルを低く設定している．

仮想人間を室内に登場させたことによって，居住時に予想される生活者の行動の様子を時系列で観察できることができ，室内レイアウトの機能性を確認する補助になる．また，ユーザ自身が仮想人間と向き合うことによって，他人とすれ違う際のストレスや作業性の変化を直感的に体験することもできる。

４．VR技術を利用した設計支援

VR技術は, 人のあらゆる感覚に関わる研究分野であるが, 製造業の設計作業においては表示系(視覚), 操作系(触覚)の技術が重要である．表示系の技術は，本研究に関してはCOSMOSそのものであり，操作系は，操作方法，操作手順，入力方式を含むヒューマンインタフェース関連の技術全般を指す．

本章では本研究の中で取り扱ってきた様々なVR技術に関して，建築以外の設計支援への利用に関する観点で有用性や課題について考察する．

図9　COSMOSの背面スクリーン

図10　COSMOSのメインコンピュータ

４．１　VR表示系の技術

本研究におけるVR表示装置であるCOSMOSの概要は，2章冒頭に述べたとおりである. この装置で特徴的な部分は図9の背面スクリーンで，COSMOSの入り口ドアを兼ねるこのスクリーンを閉じれば，ユーザは現実世界から完全に分離し仮想空間に没入することができる．これにより，COSMOS内部の空間に仮想物体が浮遊している様子を体験したり，その周りを回り込んで観察することを可能にしている．

前述の建築設計支援システムでは，ユーザよりも大きな設計物である建築物を対象とすることでユーザの周りを映像で包み込む前者の利点を強調してきたが，家具や車などの外観を検討する場合, 後者の利点が有効である．筆者らはこのような利用方法に関する研究[6]も併せて進めてきたが，現在の状況では，実用面において以下の課題がある．

COSMOSにおけるリアルタイムCG映像生成を担うメインコンピュータは，SGI社のOnyx2 Reality Monster Infinit Reality 2(図10)で，導入当時は最先端の処理能力を有していたが，日進月歩で進化するコンピュータ技術動向の中で，約3年半経過した現在では，PCなどの低価格機器に描画速度や解像度など能力的に追い付かれつつある．そのため，PC用のCAD等で作成したデータが複雑化してきた最近では，そのデータをCOSMOSで6画面同期した立体映像として表示することが処理速度的に困難になりつつある．建築設計支援システムにおいては，不要な描画処理を避けたり，描画オブジェクトを簡略化することによってこの問題に対応した．しかし車などの製品の外観を検討する場合は，その目的の関係上，簡略化することは出来ないため，異なる方法で高速処理を実現するか，システム自体を高速化する必要がある．

また，映像を投影するプロジェクタに関して言えば，家具など単体の製品の外観デザインを評価しようとする用途においては，全体的な照度，スクリーン中心部と周辺部の照度差および解像度が，現在の仕様では実用上不足していると言わざるを得ない．この点については，最近のデジタル映写機に使われ始めているDLP方式プロジェクタに交換することで，顕著な改善効果が期待できることを確認しており, 今後のVR技術普及や更なる研究開発に備えて導入も検討している．

４．２　VR操作系の技術

仮想空間内で設計作業を行うためには，形状データの個々のパラメータを，設計者の意図に沿って自由に変更できるユーザインタフェースが必要である。形状データに含まれる色や形といったパラメータの数は，設計の対象により差があり，複雑な形状では膨大な数になる場合があるが，通常は何らかの法則で組織化し逐次選択等の方法で特定することができる．

図11　COSMOSの操作入力装置
（左：任天堂製　右：SONY製）

COSMOSの中での作業は基本的に立って行うため，パラメータの数値操作に関しては，図11のようなゲーム機用のハンディコントローラが利用しやすい．これらの装置には複数のボタン型スイッチに加えて，２軸のアナログスティックが付いている．

このアナログスティックは数値パラメータを直感的に操作する際に有用であるが，設計作業に必要とされる寸法指定のような正確な数値指示や，スケッチ画のような線の入力には向いていない．そこで，本研究ではこれまで様々な入力方法や装置を検討し開発してきた．例えば，傾斜センサと多回転ボリュームを用いて，直感的な３次元方向指示と，正確な位置決めができる装置を開発した[7]．また，磁気式の位置センサを使った手書き入力方式を検討し，時系列を持つ入力指示から有効なデータを曲線として抽出し，利用する手法を開発した(図12)[8]．

現在ではアプリケーションごとに最適な装置を使用している．例えば建築設計支援システムでは，ウォークスルー操作の際あまり操作精度が必要でないため，手軽なゲームコントローラを利用している．位置を指示する場合には，直感性を重視する場合は磁気式位置センサを使った手書き入力を，正確さを重視するレイアウト設計にはジョイスティックによる直感的操作に加えて，幾何学的な拘束条件を導入している．筆者らの経験では，VRのアプリケーションでは直感性，簡便性を優先させるべきであり，視覚効果による状況表示の補助や，間取り設計システムで導入したメニュー選択のように，対話的に指示を与える方法が有効であると考えている．

５．まとめ

VR技術を利用して，設計作業を支援することの有効性を検討し，建築設計を応用例した設計支援システムのプロトタイプを開発した．

没入型6面ディスプレイCOSMOSを用いることにより，建築物のように，原寸大試作による事前検討が困難な製品についても仮想試作が可能で，内部を体験することによって，空間機能の評価や不具合の発見，修正を事前に行うことができる．特に本報では建物の基本設計である

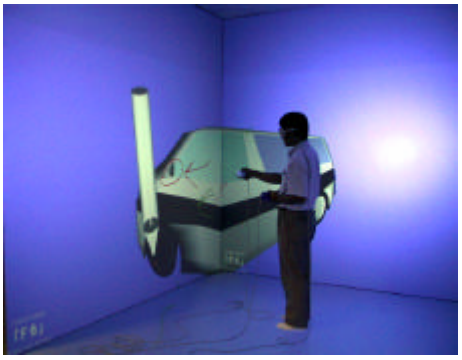

図12　手書き入力インタフェース

間取りを，仮想体験を通して直接空間を加工する「空間を掘るような感覚」での設計手法を提案した．

また，ユーザが実際に生活するときの視点に仮想的に立って，仮想的に同居する人間の動きを見ながら家具の配置を検討し修正できる，室内レイアウト検討支援システムを開発し，その有効性を検討した．

そして，本研究を通して得られた技術，知見をもとに，VR技術を一般の設計支援に利用する際の利点と課題を整理した．

文　献

[1] T.Yamada, M.Hirose, Y.Iida,“ Development of Complete Immersive Display : COSMOS ”, Proceedings of VSMM98，pp.522-527, 1998.

[2] 藤井，浅野，棚橋,“ 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論文集，pp.207-pp210,1999.

[3] 藤井，浅野，窪田，棚橋,“ VR技術を利用した設計支援システムの開発(第1報) ”，岐阜県生産情報技術研究所研究報告No.1，pp.11-16, 2000.

[4] 藤井，浅野，棚橋,“ VR技術を利用した設計支援システムの開発(第2報) ”，岐阜県生産情報技術研究所研究報告No.2，pp.1-4, 2001.

[5] 大田，倉林，新井,“ 知能ロボット入門 ”，コロナ社，pp.61-71, 2001.

[6] 浅野，藤井,“ 多面ディスプレイの高度利用に関する研究 ”，岐阜県生産情報技術研究所研究報告No.1，pp.1-6, 2000.

[7] K.Fujii, Y.Asano, N.Kubota, H.Tanahashi,“ User Interface Device for Immesive 6-screens Display COSMOS ”, Proceedings of VSMM2000，pp.275-282, 2000.

[8] 藤井，浅野，横山，棚橋,“ 没入型６面ディスプレイCOSMOSにおける手書き入力インタフェースの提案 ”，ヒューマンインタフェースシンポジウム2001論文集，pp.145-146. 2001.