

しかし、一視点の映像からは、再帰性反射材スクリーン上に射影された指先の二次元位置しか取得できず、指先の三次元位置を求めることは不可能である。オブジェクト指向型ディスプレイでは、ユーザとバーチャル物体の接触判定も重要であると考えられるので、一視点映像のみからスクリーンや実物体の位置姿勢を得るだけでは不十分である。

また、別の問題として、視点と共役な点はすでにバーチャル物体提示用 RPT 投影系のプロジェクタが占有しているため、さらにハーフミラーを追加するなどしてビデオカメラのために共役点を増やしてやる必要が出てくる。これにより、ハーフミラーへに写り込む環境光の増加や透明度の低下を招いてしまう恐れがある。

我々は、ユーザの視点近傍から 2 台のビデオカメラで撮影することでこの問題が解決できると考える。2 台のビデオカメラで得た映像を解析することで、指先の三次元位置を求めることができ、既知の再帰性反射材スクリーン位置との距離が明らかになるため、接触判定が可能となる。また、2 台のビデオカメラで得られた情報を統合することで、再帰性反射材スクリーン位置の精度も向上することが期待できる。

### 3.6 デスク面上の実物体領域の切り出し

我々は、指さし行為に代表される、バーチャル物体とリアル物体の相互作用の有用性に着目し、再帰性反射材以外の部分（デスク面上など）においてもそれらの相互作用が検出できるようにする手法についても検討した。

デスク面がリアプロジェクション用スクリーンであれば、デスク面下部から拡散板を通して赤外光を照射し、デスク面スクリーン全体を赤外光源とすることで、デスク面上方のビデオカメラで実物体の領域を影として取得することが可能である。この場合、再帰性反射材スクリーンの位置と実物体領域は、赤外光源を時分割制御することで同一のビデオカメラを併用することができる。

整理すると、X'tal Desk では光源の切り替えにより、次のような領域情報を取得することができる。

- バーチャル物体提示再帰性反射スクリーン領域
- バーチャル物体提示再帰性反射スクリーン上の実物体領域
- デスク面映像提示スクリーン上の実物体領域

とくに最後の領域情報を用いることで、デスク面上に提示されたバーチャルなボタンを指で押すようなインタフェースを容易に作る事が可能になる。

図 6 に、取得できる領域情報を用いて指先位置を検出する例を示す。

## 4. おわりに

我々は本稿で、デスクトップ型バーチャル作業環境である X'tal Desk について、その原理とシステム構成について

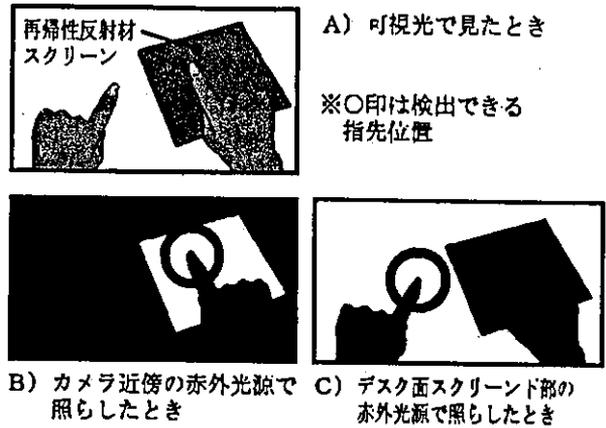


図 6: 指先位置検出の例

提案した。

今後は実機を用いて、X'tal Desk の特長である「バーチャルとリアルの相互作用」を生かしたアプリケーションを作成していく予定である。

## 参考文献

- [1] Henry Fuchs, Ramesh Raskar, Greg Welch, Matt Cutts, Adam Lake and Lev Stesin: *The Office of the Future: A Unified Approach to Image-Based Modeling and Spatially Immersive Displays*, ACM SIGGRAPH 98, Proceedings, pp.179-188, 1998.
- [2] 村元厚之, 稲見昌彦, 川上直樹, 館暲: 保持型力覚提示デバイスの研究, 日本バーチャルリアリティ学会第 7 回大会論文集, pp.451-452, 2002.
- [3] M. Czernuszenko et al.: *The ImmersaDesk and Infinity Wall Projection-Based Virtual Reality Displays*, Computer Graphics, Vol.31, No.2, 05/01/1997, pp.46-49.
- [4] 稲見昌彦, 川上直樹, 柳田康幸, 前田太郎, 館暲: オブジェクト指向型ディスプレイの研究 (第二報), 計測自動制御学会 Human Interface N&R, Vol.13, No.2, pp.219-222, 1998.
- [5] 川上直樹, 稲見昌彦, 柳田康幸, 前田太郎, 館暲: オブジェクト指向型ディスプレイの研究, 情報処理学会論文誌, Vol.40, No.6, pp.2725-2733, 1999.
- [6] 多田嘉宏, 羽座健二, 木島竜吾, 小鹿丈夫: 投影式頭部搭載型ディスプレイのためのスクリーン位置算出, 日本バーチャルリアリティ学会第 5 回大会論文集, pp.37-40, 2000.
- [7] Brygg Ullmer and Hiroshi Ishii: *The metaDESK: Models and Prototypes for Tangible User Interfaces*, Proceedings of the 10th annual ACM symposium on User interface software and technology, pp.223-232.

## IllusionHole における画像表示領域の重なり回避に関する検討

中山 智量<sup>†</sup> 北村 喜文<sup>†</sup> 岸野 文郎<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 大阪大学大学院情報科学研究科 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1

E-mail: †{nakayama.tomokazu, kitamura, kishino}@ist.osaka-u.ac.jp

あらまし 多人数共有型立体ディスプレイ IllusionHole は、複数の利用者が 3 次元空間を共有しながら立体画像を同時に観察することができるが、各利用者の位置によっては、各人の画像表示領域が重なってしまう問題点があった。本稿では、その問題を解決する方法を提案する。まず、画像表示領域が重なる場合の利用者間の距離と IllusionHole の設計パラメータの関係を考察する。そして、利用者の位置の変化に応じて全利用者の画像表示領域の大きさを動的に変更する方法と、複数の画像表示領域を結合させる方法の 2 つの方法を提案する。

キーワード 立体ディスプレイ, 多人数, 協調作業

## A Study to Avoid Overlaps among Image Drawing Areas on IllusionHole

Tomokazu NAKAYAMA<sup>†</sup> Yoshifumi KITAMURA<sup>†</sup> and Fumio KISHINO<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

Yamadaoka 2-1, Suita, Osaka, 565-0871 Japan

E-mail: †{nakayama.tomokazu, kitamura, kishino}@ist.osaka-u.ac.jp

**Abstract** IllusionHole is an interactive display system that allows three or more moving observers to simultaneously observe stereoscopic image pairs from their own viewpoints. One of the drawbacks of the IllusionHole is the fact that image drawing areas of multiple users sometimes overlap each other when they stand at closed positions even if the design parameters are carefully set. In this paper we propose two solutions to this problem based on the consideration to the design parameters. The one is to dynamically change the size of the users' image drawing areas according to the users' motions, and the other is to integrate image drawing areas when their corresponding viewpoints come within a certain threshold of proximity to each other.

**Keyword** 3D display, stereoscopic display, multiple users, CSCW, collaborative work

### 1. まえがき

3 次元情報を分かりやすく表示する手法として、様々な立体ディスプレイが研究・開発されてきている。最近では、効率的な協調作業などを目指して、複数人で同時に立体映像を観察することができるものも登場してきた。その例として、2 人の利用者の左右両眼の 4 種類の画像を時分割でスクリーンに表示し、液晶シャッター眼鏡を装着して立体視を行うもの[1]、円筒状のパラクスバリア方式を用いて周囲から像を観察するもの[2]、3 次元オブジェクトの映像を高速に回転するスクリーンに投影するボリュームディスプレイ[3],[4]、平面スクリーン上に錐体のハーフミラーを置くもの[5]などがある。しかし、利用者数が 2 人までに制限されたり、像がスクリーンや光学系よりも後ろ側に結像するため立体映像を直接指示することができないなどの問題がある。

我々は、多人数共有型立体ディスプレイ IllusionHole[6]を提案し検討を進めている。IllusionHole では、立体映像を直接指示することが可能であるため、多人数で立体映像を共有した協調作業をすることができ、また、自由に動き回る 3 名以上の利用者に対して適切な立体映像を提示することができるなどの特徴を有する。しかし、利用者同士が近づきすぎると他の利用者の観察オブジェクトが重なって見えてしまうという問題があった。

本稿では、その問題点の解決方法として、オブジェクト表示領域の大きさを変更する手法と、複数のオブジェクト表示領域を結合する手法を提案し、その検討を行った結果について報告する。

### 2. IllusionHole の仕組み

IllusionHole は、図 1 のように、一般のディスプレイ

表 1. IllusionHole の設計パラメータ

| 設計パラメータ            |                | (mm)  |
|--------------------|----------------|-------|
| 床からディスプレイ面の高さ      | display_height | 900   |
| ディスプレイ幅            | w              | 1,219 |
| ディスプレイ奥行き          | h              | 914   |
| マスクホール半径           | R_mask         | 130   |
| ディスプレイ面からマスク面までの高さ | D              | 200   |
| ディスプレイ面から視点までの高さ   | Z              | 700   |

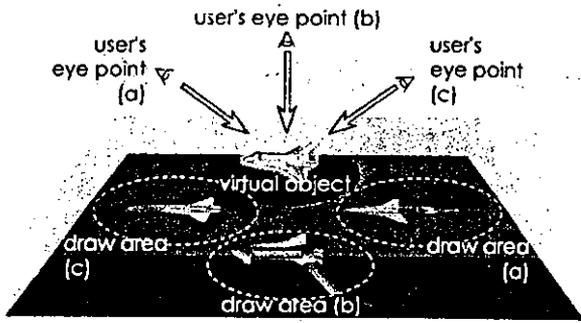


図 1. IllusionHole の原理

装置と、中央に穴の開いたディスプレイマスクから構成される。ディスプレイマスクをディスプレイ面から適当な距離だけ離れた位置に設置することで、各利用者が異なるディスプレイ上の画像表示領域を観察することを可能にする。この際、利用者の視点位置を検出し、各利用者の画像表示領域には両眼視差を用いた立体視用の画像を提示する。各利用者はマスクホールを通して観察するため、自分の画像表示領域は観察できるが、他人の画像表示領域はマスクに隠されて観察することができない。これにより、単一のディスプレイで複数の利用者の視点移動に適切に対応した歪みのない立体視画像を表示することができる。

### 3. IllusionHole における重なり問題

#### 3.1. IllusionHole の重なり問題とその考察

通常 IllusionHole では、各利用者はマスクホールを通して、それぞれディスプレイ上の独立した画像表示領域を観察する。しかし、利用者同士がある程度以上近づくと、図 2 のように、本来の自分の画像表示領域に加えて、近づいた利用者の画像表示領域まで見えてしまうという問題が生じる。

このとき、実際には、図 3 のように、右眼には右眼用、左眼には左眼用の画像のみが見えており、利用者同士が近づいた際には、右眼用の画像同士、左眼用の画像同士が重なった状態になる。そこで、以下、画像の位置関係についての考察を行う場合には、右眼用の画像に対しては他の利用者の右眼用の画像との位置関係のみを考慮し、左眼用の画像に対しても同様とする。そして、利用者 A と表記すると利用者 A の右眼あるいは左眼のどちらか一方を指すものとし、他の利用者も同じ眼を指すものとする。

この重なりの問題を解決するために、まず、実際に利用者同士が近づいて重なりが発生するときの利用者間の距離(以下、利用者間最近接距離と呼ぶ)を IllusionHole の設計パラメータを用いて考察する。考察

に用いる設計パラメータは、図 4 と図 5 に示すように、ディスプレイ面からマスク面までの高さ  $D(\text{mm})$ 、ディスプレイ幅  $w(\text{mm})$ 、ディスプレイ奥行き  $h(\text{mm})$ 、マスクホールの半径  $R_{\text{mask}}(\text{mm})$ 、ディスプレイ面から視点までの高さ  $Z(\text{mm})$  である。また、床からディスプレイ面までの距離は  $\text{display\_height}(\text{mm})$  である。これらの設計パラメータの値を変化させることで、利用者間最近接距離  $L(\text{mm})$  がどのように変化するか考察する。

利用者間最近接距離  $L$  は次式で求めることができる。

$$L = 2 \cdot \left( R_{\text{mask}} \cdot \frac{Z-D}{D} \right) \quad (1)$$

ただし、実際に立体像(オブジェクトと呼ぶことにする)が表示される領域は、利用者がマスクホールを通して見ることができる画像表示領域よりも小さくなるように設定するため、画像表示領域が重なっていてもオブジェクト自体は表示領域は重なっていないという状況がある。そこで、実際にオブジェクトが表示される領域をオブジェクト表示領域と呼ぶことにし、利用者間最近接距離  $L$  をオブジェクトの重なりという点で考察する。なお、オブジェクト表示領域は、オブジェクトの形状に応じて変化するものであるが、ここでは簡単化のため、過去の経験から、各利用者の画像表示領域の  $2/3$  の大きさの半径をもつ同心円とする。すると、検討する利用者間最近接距離  $L$  は、次式のように求められる。

$$L = 2 \cdot \left( \frac{2}{3} \cdot R_{\text{mask}} \cdot \frac{Z-D}{D} \right) \quad (2)$$

表 1 に示す IllusionHole の設計パラメータを用いると、利用者間最近接距離  $L$  は、 $433(\text{mm})$  となる。なおここでは、全利用者の床からの視点の高さは  $1600\text{mm}$  としている[7]。利用者間最近接距離  $L$  と  $D$ 、 $R_{\text{mask}}$ 、 $Z$  の関係を、図 6、7、8 に示す。

式(2)、図 6、7、8 より、次のことがわかる。

- $R_{\text{mask}}$  と  $Z$  を小さくすることで、利用者間最近接距離  $L$  が小さくなる
- $D$  を大きくすることで利用者間最近接距離  $L$  が小さくなる

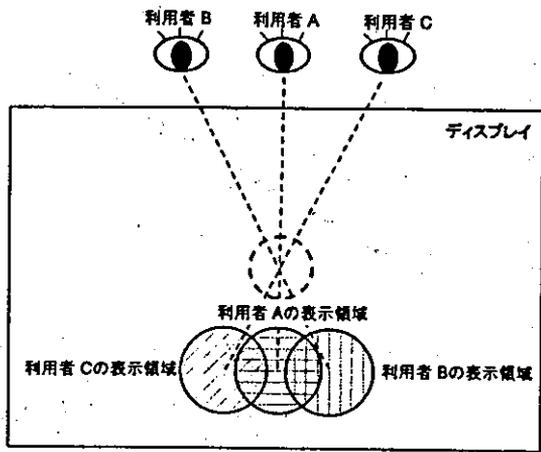


図2. 複数人で利用する場合における、利用者の位置関係とその問題点

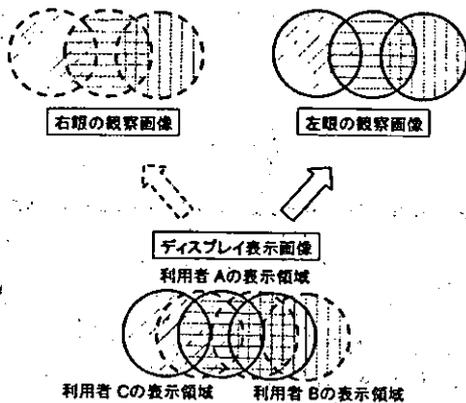


図3. 表示画像と観察画像の関係

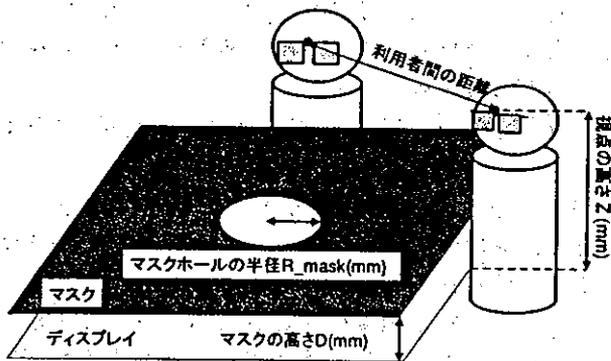


図4. IllusionHoleのパラメータ

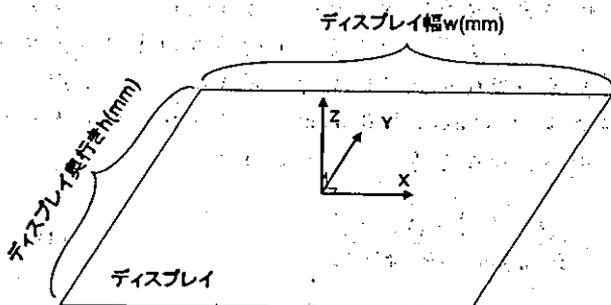


図5. IllusionHoleのパラメータと座標系

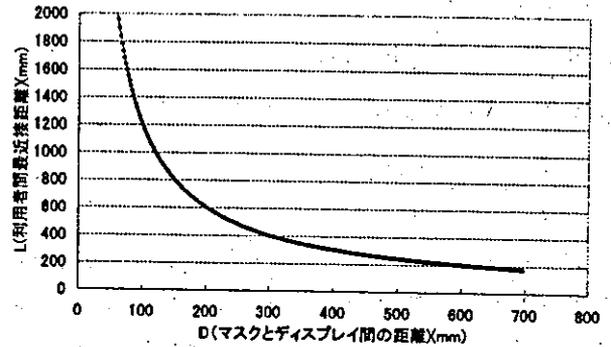


図6. Dと利用者間最近接距離の関係

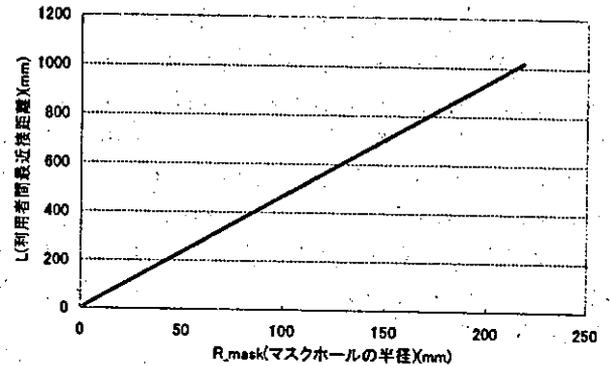


図7. R\_maskと利用者間最近接距離の関係

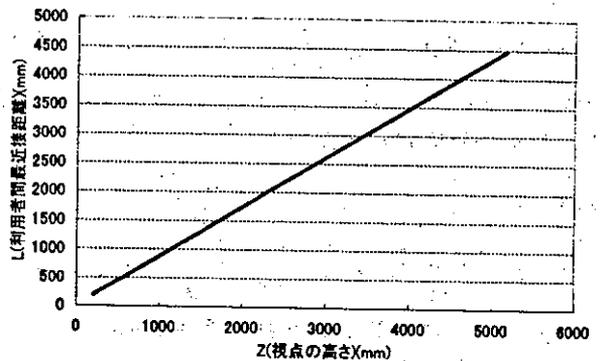


図8. Zと利用者間最近接距離の関係

つまり、 $R_{mask}$ と $Z$ を小さく、または、 $D$ を大きくすることで、利用者間最近接距離 $L$ を小さくすることができ、オブジェクト表示領域の重なりを生じにくくすることができる。

### 3.2. オブジェクト表示領域の大きさを利用者の位置関係

前節で用いたパラメータのうち、 $Z$ と $D$ 、 $R_{mask}$ のパラメータ値は、想定する利用者数や立体像の大きさに応じて一旦 IllusionHole を構成してしまえば、値は固定されたものと考えることができる。そこで、これら以外のパラメータを状況に応じて動的に変更することで、利用者間最近接距離 $L$ を小さくすることを考える。オブジェクト表示領域の半径を  $R_{object}(mm)$  とす

ると、先に述べた通り、

$$R_{\text{object}} = \frac{2}{3} \cdot \frac{Z}{Z-D} \cdot R_{\text{mask}} \quad (3)$$

と表すことができるので、式(2)は

$$L = 2 \cdot \left( R_{\text{object}} \cdot \frac{(Z-D)^2}{D \cdot Z} \right) \quad (4)$$

と変換することができる。つまり、 $R_{\text{mask}}$ の代わりにオブジェクト表示領域の半径  $R_{\text{object}}$  の大きさを動的に変更させることで、利用者間最近接距離  $L$  を小さくし、オブジェクト表示領域の重なりを生じにくくすることができる。オブジェクト表示領域の半径  $R_{\text{object}}$  と利用者間最近接距離  $L$  の関係を図9に示す。

いま、2人の利用者をそれぞれ利用者A、Bとし、図10のように、各利用者のオブジェクト表示領域がちょうど隣接する場合を考える。なお、利用者A、Bのそれぞれの視点位置を  $(X_{\text{eyeA}}, Y_{\text{eyeA}}, Z_{\text{eyeA}})$ ,  $(X_{\text{eyeB}}, Y_{\text{eyeB}}, Z_{\text{eyeB}})$ 、利用者A、Bのオブジェクト表示領域の中心をそれぞれ  $(X_A, Y_A, Z_A)$ ,  $(X_B, Y_B, Z_B)$ 、オブジェクト表示領域の円の半径をそれぞれ

$$R_{\text{objectA}} = \frac{2}{3} \cdot R_{\text{mask}} \cdot \frac{Z_{\text{eyeA}}}{Z_{\text{eyeA}} - D}$$

$$R_{\text{objectB}} = \frac{2}{3} \cdot R_{\text{mask}} \cdot \frac{Z_{\text{eyeB}}}{Z_{\text{eyeB}} - D} \quad (5)$$

と表す。また、マスクホールを中心の座標を  $(0,0,D)$  とすると、次の関係式が導かれる。

$$X_A = -X_{\text{eyeA}} \cdot \frac{Z_{\text{eyeA}} - D}{D}, Y_A = -Y_{\text{eyeA}} \cdot \frac{Z_{\text{eyeA}} - D}{D}, Z_A = 0 \quad (6)$$

$$X_B = -X_{\text{eyeB}} \cdot \frac{Z_{\text{eyeB}} - D}{D}, Y_B = -Y_{\text{eyeB}} \cdot \frac{Z_{\text{eyeB}} - D}{D}, Z_B = 0 \quad (7)$$

ここで、まず、オブジェクト表示領域が重ならない場合、式(6)、(7)より

$$\sqrt{(X_A - X_B)^2 + (Y_A - Y_B)^2} \geq R_{\text{objectA}} + R_{\text{objectB}} \quad (8)$$

の関係式が成り立つ。逆に、各利用者のオブジェクト表示領域が重なる場合、

$$\sqrt{(X_A - X_B)^2 + (Y_A - Y_B)^2} < R_{\text{objectA}} + R_{\text{objectB}} \quad (9)$$

の関係式が成り立つ。次章では、この関係を用いて、オブジェクト表示領域の重なりを軽減する手法について述べる。

#### 4. オブジェクト表示領域の重なりを軽減手法

本章では、オブジェクト表示領域の重なりを軽減する手法として、オブジェクト表示領域の大きさを変更する手法(手法1)と、複数の利用者のオブジェクト

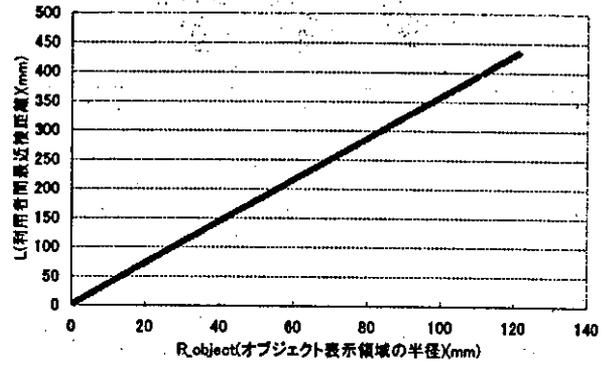


図9. オブジェクト表示領域の半径と利用者間最近接距離

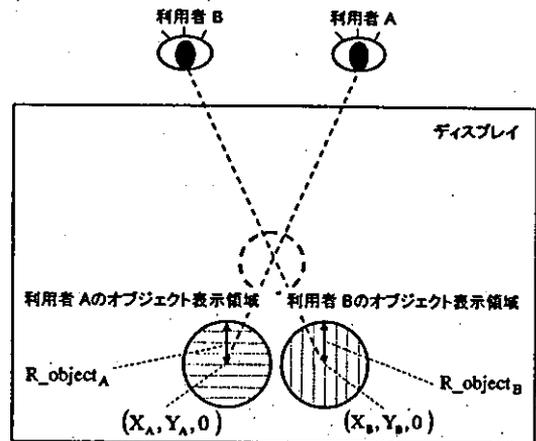


図10. 利用者A、Bに対するオブジェクト表示領域の位置と表示領域の大きさ

表示領域を1つに結合する手法(手法2)を提案する。なお、簡単化のため、ここでは、利用者が2人の場合を仮定して説明する。

##### 4.1. オブジェクト表示領域の大きさを変更する手法

オブジェクト表示領域の大きさを変更させることで重なりを軽減する手法として、オブジェクト表示領域が重なってしまう場合には、どちらか一方の利用者のオブジェクト表示領域の大きさを縮小させる手法が考えられる。しかし、この手法では、各利用者が観察するオブジェクトの大きさに差が生じ、複数人で同時に立体映像を共有できるという IllusionHole 本来の利点を失ってしまう。そこで、全利用者のオブジェクト表示領域の半径を同じ比率で変更する。ここで用いる比率  $\alpha$  は、 $R_{\text{objectA}} + R_{\text{objectB}}$  がオブジェクト表示領域の中心間距離と等しくなるように、

$$\alpha = \frac{\sqrt{(X_A - X_B)^2 + (Y_A - Y_B)^2}}{R_{\text{objectA}} + R_{\text{objectB}}} \quad (10)$$

とする。また、利用者の視点位置  $(X_{\text{eyeA}}, Y_{\text{eyeA}}, Z_{\text{eyeA}})$ ,  $(X_{\text{eyeB}}, Y_{\text{eyeB}}, Z_{\text{eyeB}})$  を用いて

$$\alpha = \frac{\sqrt{\left(X_{eyeA} \cdot \frac{Z_{eyeA} - D}{D} - X_{eyeB} \cdot \frac{Z_{eyeB} - D}{D}\right)^2 + \left(Y_{eyeA} \cdot \frac{Z_{eyeA} - D}{D} - Y_{eyeB} \cdot \frac{Z_{eyeB} - D}{D}\right)^2}}{\frac{2}{3} \left( R_{mask} \cdot \frac{Z_{eyeA}}{Z_{eyeA} - D} + R_{mask} \cdot \frac{Z_{eyeB}}{Z_{eyeB} - D} \right)} \quad (11)$$

と表すこともできる。

各利用者の位置に応じてオブジェクト表示領域の半径を小さくする手法を用いて、利用者間最近接距離を小さくすることができ、オブジェクト表示領域の重なりを軽減することができる。しかし、極端に利用者が近づきすぎると、オブジェクトが小さくなりすぎる場合もある。

#### 4.2. オブジェクト表示領域を結合させる手法

オブジェクトの重なりを軽減するもう1つの手法として、オブジェクト表示領域を結合する手法が考えられる。この場合、オブジェクト表示領域が重なってしまう場合には、各利用者のオブジェクト表示領域を1つに結合することが考えられる。ここで、利用者A, Bの右眼、左眼それぞれに対するオブジェクト表示領域の円の半径と中心座標をそれぞれ図10の関係と同じであるとする。オブジェクト表示領域を結合する場合、結合後のオブジェクト表示領域を表す円の位置は、各利用者のオブジェクト表示領域の中心間の中点とすると、 $\left(\frac{X_A + X_B}{2}, \frac{Y_A + Y_B}{2}, 0\right)$ となる。また、結合する対象となった利用者全てからもこの結合後のオブジェクト表示領域が全て見えるように、結合後のオブジェクト表示領域の半径  $R_{marge}$  を、

$$R_{marge} = \frac{N \cdot \sqrt{(X_A - X_B)^2 + (Y_A - Y_B)^2}}{2} \quad (12)$$

$$N = \left( \frac{Z_{eyeA}}{Z_{eyeA} - D} \cdot R_{mask} + \frac{Z_{eyeB}}{Z_{eyeB} - D} \cdot R_{mask} \right)$$

とする。

この結果を表しているのが図11であり、オブジェクト表示領域を結合することにより、オブジェクト表示領域の重なりを軽減することができる。しかし、こうすることによって、本来オブジェクト表示領域が表示されるべき位置に画像が表示されないという問題が発生する。そこで、この画像表示の位置誤差について検討する。ここでは、画像を結合させる瞬間の位置誤差が最大となる場合を考察する。

最大の位置誤差は、式(13)と(14)によって表すことができる。まず、ディスプレイ面の高さにおける位置

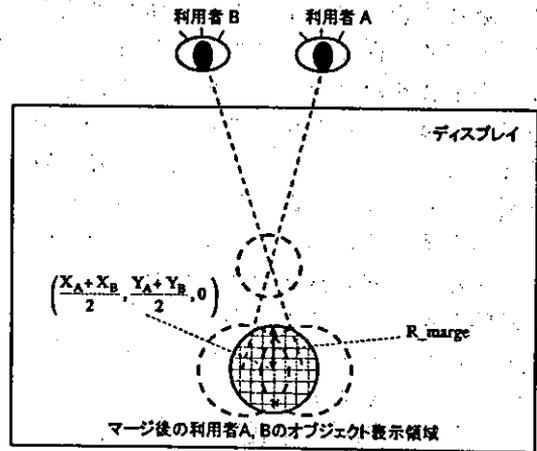


図11. オブジェクト表示領域を結合させる場合

誤差  $E_{display}$  は

$$E_{display} = \frac{\sqrt{(X_A - X_B)^2 + (Y_A - Y_B)^2}}{2} \cdot \frac{R_{objectA} + R_{objectB}}{2} \quad (13)$$

と表すことができる。マスク面の高さにおける位置誤差  $E_{mask}$  は、利用者Aの場合、

$$E_{mask} = \frac{Z_{eyeA} - D}{Z_{eyeA}} \cdot \frac{\sqrt{(X_A - X_B)^2 + (Y_A - Y_B)^2}}{2} \cdot \frac{R_{objectA} + R_{objectB}}{2} \quad (14)$$

と表すことができる。利用者Bの場合も同様である(図12参照)。これら2つの式より、オブジェクト表示領域を結合する直前の利用者A, Bのオブジェクト表示領域の半径が小さいほど位置誤差が小さくなるのが分かる。ここで、位置誤差とオブジェクト表示領域の半径の関係を図13で示す。ただし設計パラメータは表1に示すものを用いた。例えば、オブジェクト表示領域の半径を120mmと固定した場合のディスプレイ面での位置誤差は約450mmなのに対し、オブジェクト表示領域を60mmに縮小させた状態で画像を結合した状態での位置誤差は約200mmとオブジェクト表示領域を固定する場合よりも位置誤差が小さくなっている。このことから、オブジェクト表示領域の半径を小さくすると、オブジェクト表示領域を結合するときの位置誤差を小さくできることがわかる。

#### 4.3. オブジェクト表示領域の重なりを回避するための手法の統合

手法1では、利用者同士が近づきすぎるとオブジェクト表示領域が極端に小さくなってしまふ。また、手

法2では、結合後のオブジェクト表示領域の位置と本来表示されるべき位置で誤差が生じてしまう。そこで、これら2つの手法を組み合わせることで、各手法の問題点を軽減することができる。手法1に関しては、画像を結合させることでオブジェクト表示領域の半径が極端に小さくなる問題を回避できる。手法2に関しては、結合する直前のオブジェクト表示領域の半径を小さくすることができるので、オブジェクト表示領域の位置誤差を軽減することができる。

以上で述べたオブジェクト表示領域の重なり軽減

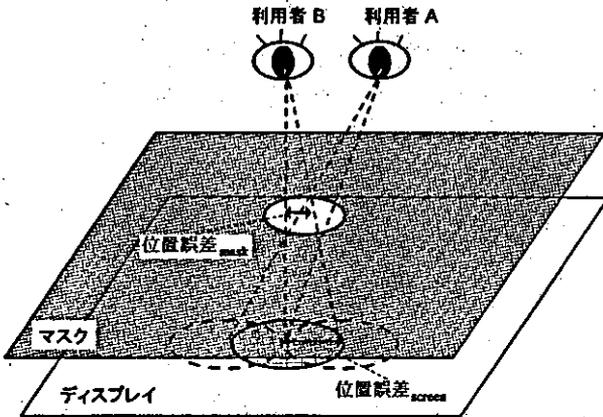


図12. 最大の位置誤差が生じる場合

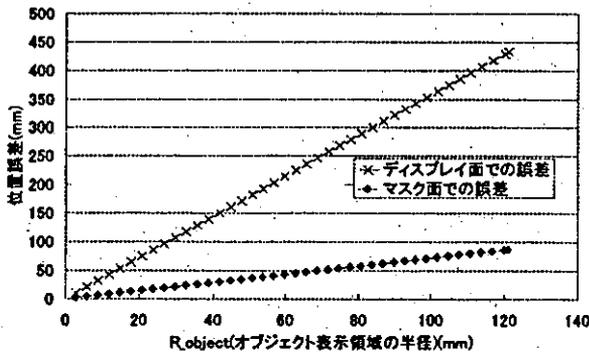


図13. オブジェクト表示領域の半径と位置誤差の関係

の手法を用いた様子を図14に示す。図中の円の内側がオブジェクト表示領域である。同図(a)がオブジェクト表示領域の重なり軽減を用いない場合であり、(b)がオブジェクト表示領域の重なり軽減を用いた場合である。いずれも、左から順に、利用者同士が十分に離れている時、利用者同士が近づいて、オブジェクト表示領域が少し重なるとき、さらに利用者が近づいたときを示している。同図(b)では、中央の図の場合に手法1を、右図の場合に手法2を適用してオブジェクト表示領域の重なりを軽減している。

## 5. おわりに

IllusionHole を複数人で利用する場合の利用者の位置によって表示されるオブジェクトが重なってしまうという問題を軽減する手法として、利用者のオブジェクト表示領域の大きさを変更する手法と、利用者のオブジェクト表示領域同士を結合する手法を提案した。そして、これらを組み合わせ、オブジェクト表示領域の大きさを小さくした状態で、オブジェクト表示領域同士を結合する手法をとることが効果的であることを確認した。

今後、本稿で紹介した手法の評価とこの問題に対する新たな改善手法の検討を進める予定である。

## 6. 謝辞

本研究の一部は、文部科学省21世紀COEプログラム(研究拠点形成費補助金)の研究助成、科学研究費補助金基盤研究(B)(2)13480104、総務省 戦略的情報通信研究開発推進制度の助成を受けた。

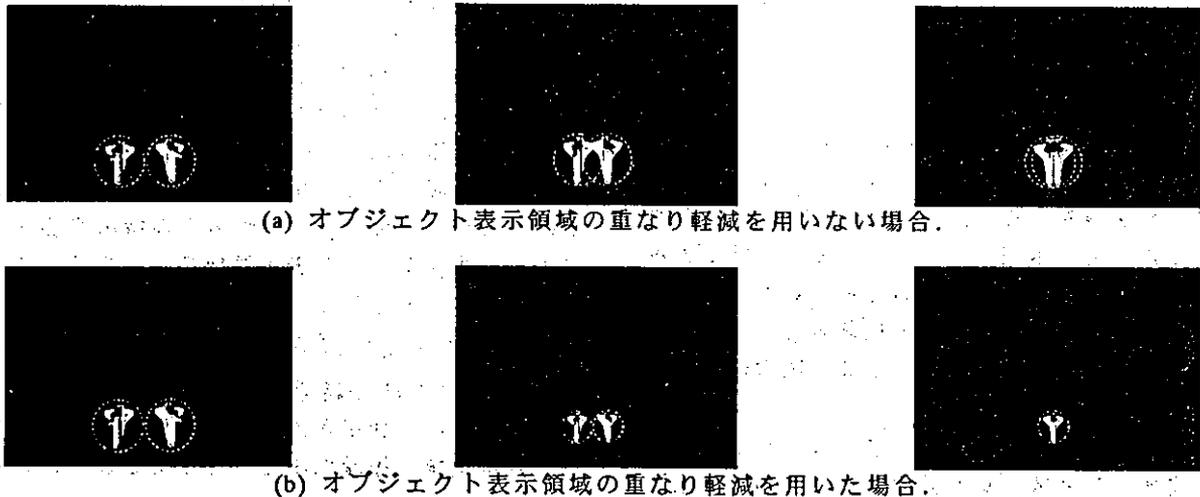


図14. オブジェクト表示領域の重なり軽減の例

## 文 献

- [1] M. Agrawala, A. C. Beers, B. Frohlich, and P. Hanrahan. "The two-user responsive workbench: support for collaboration through individual views of a shared space," *Computer Graphics, Annual Conference Series (Proc. of SIGGRAPH)*, pp. 327-332 (1997).
- [2] 圓道知博, 梶木善裕, 本田捷夫, 佐藤誠: "全周型 3次元ディスプレイ," *信学論*, J84-D-II, 6, pp. 1003-1011 (2001).
- [3] Rieko Otsuka, Takeshi Hoshino, Youichi Horry, Transpost: all-around display system for 3D solid image, *Proc of ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology 2004*, pp.187-194 (2004).
- [4] Actually-system 社  
<http://www.actuality-systems.com/>
- [5] Oliver Bimber, Bernd Frohlich, Dieter Schmalstieg, L. Miguel Encarnacao: "The virtual showcase," *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol.21, No.6, pp.48-55 (2001).
- [6] Yoshifumi Kitamura, Takashige Konishi, Sumihiko Yamamoto, and Fumio Kishino: "Interactive stereoscopic display for three or more users," *Computer Graphics, Annual Conference Series (Proc. of SIGGRAPH)*, pp.231-239 (2001).
- [7] 人間生活工学研究センター: 日本人の人体計測データ— Japanese Body Size Data 1992-1994, 社団法人人間生活工学研究センター(1997).

## 医療用を想定した多人数共有型立体表示装置の試作

岡島 弘<sup>†</sup> 北村 喜文<sup>†</sup> 上甲 剛<sup>††</sup> 岸野 文郎<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 大阪大学大学院情報科学研究科, 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1

<sup>††</sup> 大阪大学大学院医学系研究科, 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1

E-mail: †{h-okajima,kitamura,kishino}@ist.osaka-u.ac.jp, ††johkoh@sahs.med.osaka-u.ac.jp

あらまし 医療用のポリウムデータを複数の利用者に適切に立体表示し, かつ, インタラクティブに画像を操作することができるシステムを, 我々がこれまでに検討してきた多人数共有型立体表示装置 IllusionHole の考え方をを用いて試作した内容について報告する. まず, 医療用の多人数共有型立体表示装置の設計指針について検討する. 続いて, この設計指針を満足する医療用の多人数共有型立体表示装置のハードウェア構成, 描画ソフトウェア, インタフェースについて述べる.

キーワード 立体ディスプレイ, 3次元ユーザインタフェース, ポリウムデータ, 協調作業, 医療用アプリケーション, 外科手術, 診断

## An Experimental System of IllusionHole for Medical Application

Hiroshi OKAJIMA<sup>†</sup>, Yoshifumi KITAMURA<sup>†</sup>, Takeshi JOHKOH<sup>††</sup>, and Fumio KISHINO<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University, Yamadaoka 2-1, Suita-shi, Osaka, 565-0871 Japan

<sup>††</sup> Graduate School of Medicine, Osaka University, Yamadaoka 2-1, Suita-shi, Osaka, 565-0871 Japan

E-mail: †{h-okajima,kitamura,kishino}@ist.osaka-u.ac.jp, ††johkoh@sahs.med.osaka-u.ac.jp

**Abstract** A display table for cooperative work in medical application is described. Adequate stereoscopic image generated from a volume data is displayed for multiple users. The users can observe and interact with a shared stereoscopic image. In this paper, guidelines for designing display system for cooperative work in medical application are discussed. Then hardware configuration, rendering software to generate stereoscopic images, and interface system to operate displayed image are described.

**Key words** stereoscopic display, 3D user interface, volume data, cooperative work, medical application, surgery, diagnosis.

### 1. はじめに

近年, 人体内部の3次元情報を撮影可能なCTやMRIを用いた非襲侵検査が盛んに行われるようになってきている。人体内部を撮影した3次元情報は, ポリウムデータとして利用されることが多いが, 最近では, リアルタイムでの可視化処理も可能になってきている。これに伴い, ポリウムデータを用いた診断や手術計画などのシミュレーションの研究も進められており, すでに, 頭蓋骨整形手術シミュレーションや, ポリウムデータから体内の仮想映像を合成して内視鏡診断を代行する仮想内視鏡などが実用的なレベルに達している。表示した患部を解析する際には, 適度な色付けを行った医療用ポリウムデータの断面を観察する手法や, 画像と任意形状データとのマッピングによって切り出した患部の状態を観察する手法 [1], 画像をあら

かじめ皮膚や骨などの層に分解しておき, 各層ごとに観察可能にする手法 [2] などがある。また, 腫瘍の位置や大きさ, 血管や体内組織と腫瘍との距離などを, 医療用画像から自動的に解析する研究も行われている [3]。

しかし, これらのポリウムデータを表示するための装置については, 2次元ディスプレイ上に断面などを表示して利用する場合が依然多い。一部では, 立体ディスプレイを利用した例も試みられつつあるが [4], インタラクティブに画像を変更できなかつたり, 複数人で同時に観察することは難しかった。最近では, 手術の現場での状況と同じように複数人で立体画像を観察したいとの要求もあるが, 一般に, インタラクティブに視点位置を変更できる立体ディスプレイの場合, 複数人で同時に利用しようとすると, 2人目以降の観察者からは映像に歪みが生じてしまうため, 画像の奥行き感が損なわれ, 患部の位置や

状態などを正確に把握することは難しくなる。また複数の利用者同士がアイコンタクトや表情など含めて自然にコミュニケーションでき、作業環境を共有できる仕組みも求められる。

そこで本稿では、我々がこれまでに検討してきた多人数共有型立体表示装置 IllusionHole [5] の考え方をを用いて、医療用のボリュームデータを複数の利用者に適切に立体表示し、かつ、インタラクティブに画像を操作することができるシステムを試作した内容について報告する。

## 2. 医療用の多人数共有型立体表示装置の設計

外科を中心とする手術や治療・診断の現場でボリュームデータは頻りに利用されているが、複数の医師または手術支援者に対して立体画像を適切に表示することができれば、意思決定の効果的な支援に繋げることができる。また、手術計画やシミュレーションも、現場状況に即した臨場感の高いものになる。実際、最近では、手術室に MRI などのイメージング機材を設置する例も増えてきており [6], [7], 術中に CT やオープン MRI でボリュームスキャンを行い、術中の患部の状況をリアルタイムにモニタリングできるようになってきているが、手術台の傍らで術者と手術支援者が実際に執刀する際と同じ立ち位置関係でこれらの立体画像を観察することができれば、医師にとっても患者にとっても有意義である。そこで、本章では、このような状況での利用も想定して、医療用の多人数共有型立体表示装置の設計指針について考えてみる。

まず、上記のような目的のためには、ディスプレイ面を水平にしてテーブル型に設置し、その周囲から立体像を観察する形態で実装するのが適当である。また複数の利用者同士がアイコンタクトやお互いの顔表情などを通して自然なコミュニケーションをすることができる形で作業環境を共有できる仕組みが求められる。このような目的のため、パララックスバリア [8] や鏡 [9], [10], 回転式スクリーン [11] などの光学系を用いて、全周囲から複数人の運動視差をもった立体像を観察できるようにすることも考えられる。しかし、結像位置が光学的装置の中に置かれるため、立体像に対して直接指示などの自然なインタラクティブな操作をすることができない。したがって、我々がこれまでに検討してきた多人数共有型立体表示装置 IllusionHole の考え方 [5] を用いるのが適当である。ただし、医療用のボリュームデータを複数の利用者に適切に立体表示し、かつ、インタラクティブに画像を操作することができるシステムを構築するためには、検討しなければいけないことも多い。

まず、ディスプレイ装置本体について考える。これまでに我々が試作した IllusionHole [12] では、左右両眼用の画像を投影するために 2 台の液晶プロジェクタをそれぞれ使い、円偏光フィルタを用いることによって両眼画像を分離していたが、色成分によってはクロストークが生じ、また、この特性は観察方向によっても異なっていた。この構成は比較的安価に実現できるという利点もあったが、左右両眼用の 2 台のプロジェクタの位置合わせなどのキャリブレーションにも手間がかかるなどの問題もあった。そこで、医療における高精細の画像を表示し、同時に、ボリュームデータの表示で頻りに利用される半透明表示な

どを適切に行わせるためには、高輝度で高解像度のプロジェクタを利用した IllusionHole を設計する必要がある。また、左右両眼用に 2 台のプロジェクタを用いるのではなく、1 台のプロジェクタで左右両眼の画像を分離することができる時分割立体視を採用する必要がある。また、IllusionHole では、ディスプレイ面の正面ではなく、かなり角度を持った方向からから画像を眺めるため、スクリーンはゲインを抑えて視野角度を広げ、かつ、コントラストの良いものを使用しなければいけない。

次に、システム全体の構成について考える。IllusionHole では、人数分  $\times 2$  (左右分) の枚数の画像を、それぞれの視点位置に応じて、毎時刻に描画しなければならない。加えて、最近では高速に処理できるシステムが提供されて来ているとは言え、ボリュームレンダリングは負荷のかかる処理である。したがって、IllusionHole にボリュームレンダリングの結果をリアルタイムに表示する描画システムの実現には、効率的なソフトウェア構成を検討する必要がある。さらに、表示した画像に対して様々な操作を行うためのインタラクティブな環境についても、検討が必要である。IllusionHole を囲む複数の利用者がそれぞれデバイスを持ち、協力して手術のシミュレーションなどを行うことも考えられる。また、手術室内での利用を考えると、一般的なインタラクティブデバイスを多数持ち込んで医師に操作させることは、衛生面での配慮も必要であろう。いずれにしても、IllusionHole を囲む複数の利用者は表示されている画像に対する限定された処理のみを行い、その他のある程度込み入った処理については、別途の協力者が行うような協働作業環境の構築が必要であろうと考えられる。

## 3. ハードウェア

前章で検討した設計指針を満足する医療用の多人数共有型立体表示装置のハードウェア構成について述べる。

### 3.1 多人数共有型立体表示装置 IllusionHole の原理

多人数共有型立体表示装置 IllusionHole は、図 1 のように、ディスプレイ面から適当な距離だけ離れた位置に、中央部に穴(マスクホール)の開いたマスクを設置して構成する [5]。各利用者は、マスクホールを通して個々のディスプレイ上の領域を観察するため、自分に対応したディスプレイ領域だけを観察することができ、他人のディスプレイ領域はマスクに隠され見ることができない。ディスプレイ領域の位置と大きさは、トラ

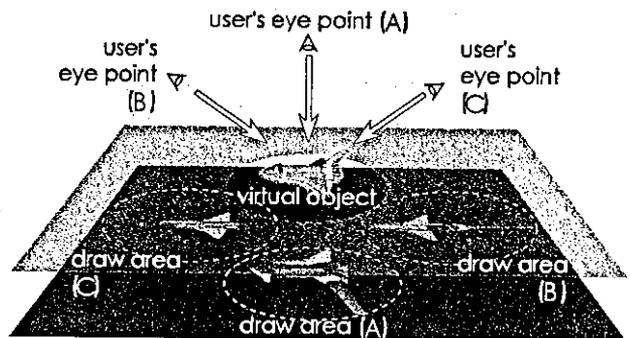


図 1 IllusionHole の原理

力によって計測された各利用者の視点位置に応じて動的に変化させる。各ディスプレイ領域に対応する両眼視差画像を表示し、各利用者に立体像を提示する。これにより、単一のディスプレイで、複数の利用者の視点移動に適切に対応した歪みのない立体像を提示することができる。

### 3.2 表示装置本体

Barco 社製の DLP プロジェクタ GALAXY (光出力 5,000ANSIルーメン, 解像度 1,280×1,024pixel) を水平横向きに配置し、45 度の角度で設置された平面ミラーで垂直上方へ反射させ、水平に設置したディスプレイ面に投影する。ディスプレイ面のスクリーンには、視野角とコントラストのバランスを考慮して Stewart 社製のテックブックス 100 を用いる。ディスプレイ面の大きさは 70inch (1,388mm×1,110mm)、ディスプレイ面の床面からの高さは 1,140mm とする。設計にあたり、日本人 20 歳代男性の利用者 3~4 名がディスプレイ周囲からマスクホールの中心位置に表示された立体像を覗き込むという環境を想定する。日本人の 20 歳代男性の平均眼高は 1,580mm であるので [13], 利用者は靴を履いているものとする平均眼高は 1,600mm 程度となり、ディスプレイ面からの視点の高さは 460mm 程度となる。通常のディスプレイであればこの高さでも利用できるが、IllusionHole ではディスプレイ面より上方にマスクを設置するため、立体像の観察や指示動作が困難になる。そこで、利用者の足元にステップを設置する。適切なステップの高さは、利用者の視点の高さやディスプレイ面-マスク間距離によって変化するため、100mm と 200mm の 2 種類を用意する。マスクホールは、さまざまな臓器をほぼ実物大で表示できるよう半径 200mm の円とするが、部品を交換することで、半径約 230mm 程度以下の任意の大きさや形状のマスクホールを利用できる。これらの値から、ステップの高さが 100mm の場合にはディスプレイとマスクの間の距離を 160mm、ステップの高さが 200mm の場合にはディスプレイとマスクの間の距離を 200mm として実現する。試作した IllusionHole の表示装



図 2 医療用を想定して試作した IllusionHole の概観

置本体の概観を図 2 に示す。

### 3.3 ハードウェアシステム構成

前節で述べた IllusionHole の表示装置本体を含めたハードウェアシステムの構成を図 3 に示す。3 次元モーショントラッカ (Intersense 社製 IS-600 Mk2) で計測した各利用者の視点位置に応じて左右それぞれの眼の位置を計算し、それに基づいて各利用者の各眼の描画領域の中心と半径を導出する。そして、各描画領域に対応した画像を PC (CPU: Xeon2.8GHz, メモリ: 1GB, グラフィックスカード: NVIDIA Quadro FX 4000) で生成する。これにより、PC 内部には各利用者の右眼と左眼に対応した全ての画像が生成される。そして、左右両眼用の画像を各バッファにそれぞれ描画し、グラフィックスボードのクワッドバッファリング機能を利用してそれぞれのバッファを交互に出力する。これにより、PC の描画更新速度に関わらず、ディスプレイ面では表示周波数の 1/2 で左右の画像を時分割表示することができる。各利用者は液晶シャッタ眼鏡 (Stereographics 社製 CrystalEyes3) をかけ、マスクホールを通してそれぞれに対応した立体視画像を観察する。すべてのシャッタ眼鏡は赤外線エミッタから発信される同期信号によって同一のタイミングで開閉する。この同期信号を出力バッファの切り替えタイミングと一致させることにより、利用者は左右それぞれの視点に適切に対応した画像のみを得ることができ、3 次元画像として知覚することができる。

今回試作したシステムでは、IllusionHole は複数の医師等がボリュームデータの立体像を共有する協調作業環境として利用し、PC モニタは IllusionHole 上での協調作業を補助する作業環境として利用できるような状況を想定して構成している。PC モニタでは、あらかじめ固定した視点位置に対応するボリュームレンダリング画像を表示し、ボリュームレンダリング画像と、画像解析操作の選択や詳細設定などに対応する複数のボタンを配置したビューアを表示する。PC モニタ上での操作はマウスとキーボードの利用を想定し、これらの入力各表示装置のボリュームレンダリング画像に等しく反映される。一方、今回は、IllusionHole 上でのインタラクションデバイスとしてコントローラを使用したシステムを試作するが、その内容については 5 章で述べる。

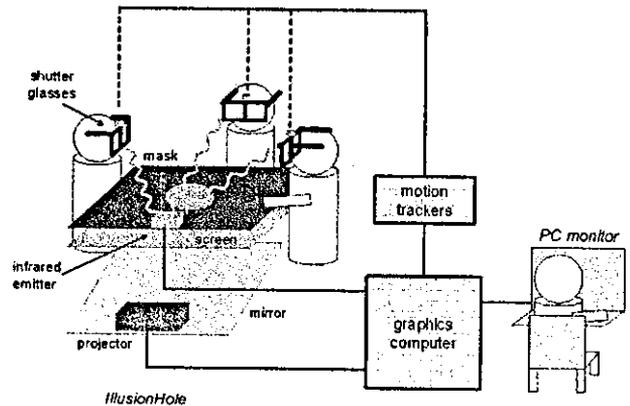


図 3 ハードウェア構成

## 4. 描画ソフトウェア

多人数共有型立体表示装置 IllusionHole にボリュームレンダリングの結果をリアルタイムに表示するためには、効率的な描画ソフトウェアを構成する必要がある。描画のためのソフトウェアは、ボリュームデータを可視化するボリュームレンダリングソフトウェアと、人数分の立体画像を適切に表示する IllusionHole ソフトウェアに分けて考えることができる。これらのソフトウェアの構成を図4に示す。なお、図中ではデータの流れを簡略化して示しているが、実際には各ソフトウェアは並列に処理を進める。その中で、メモリに書き込むデータには更新の有無を示すフラグを付加し、データが更新された場合のみそれぞれに対応する処理を行うことで、不要な処理を排除している。

### 4.1 ボリュームレンダリングソフトウェア

ボリュームデータを立体像として扱うために、リアルタイムに透視投影画像を生成可能なボリュームレンダリングソフトウェアとして、AZE社製 VirtualPlace[14]を利用する。全ての利用者の左右視点位置とインタラクションデバイスによる入力操作に関する情報が入力されると、各入力データを反映させたボリュームレンダリング画像をそれぞれ生成し、これらをメモリへ書き込む。同時に、PCモニター用のボリュームレンダリング画像をPCモニターに出力する。

### 4.2 IllusionHole ソフトウェア

図4左側の IllusionHole ソフトウェアでは、全ての利用者の左右視点位置とインタラクションデバイスによる入力操作に関する情報が入力されると、これらの入力データを反映して生成したボリュームレンダリング画像をメモリを参照して取得し、それらの画像を各利用者の左右の視点位置に応じて適切に立体視を行えるように配置し、IllusionHoleへ出力する。

## 5. インタフェース

IllusionHole を囲む複数の利用者は表示されている立体画像に対してある程度限定された処理を行い、その他の込み入った処理については別途の協力者が行うような、機能分離型の協調作業環境を構築するためのインタフェースを試作する。具体的には、本試作システムでは、表示装置として IllusionHole

とPCモニターの2つを利用するが、IllusionHole 上で複数の医師等が立体像を共有して協調作業を行い、PCモニター上でオペレータが協調作業の補助的な作業を行うことを想定し、各表示装置に適したインタフェースを試作する。

### 5.1 IllusionHole 上でのインタフェース

IllusionHole では、立体像表示領域の周りに遮るものがないため、立体像を直接手で指示することが可能である。また、どの利用者から見ても立体像の絶対位置は一致するという特徴がある[15]。そこで、3次元の入力が可能で、利用者の指示動作を認識しやすいインタラクションデバイスを用いる。ただし、3次元入力は直感的であるものの、詳細な操作が困難な場合もあるため、利用者の手元のボタンなどを併用して詳細に操作する必要もある。そこで試作システムでは、6自由度位置センサを取り付けたスティックタイプのコントローラを利用し、3次元入力と詳細な操作を可能にする。以下では、このコントローラを IllusionHole 上で用いるインタフェースについて述べる。

#### 5.1.1 クリッピング

クリッピングは、ボリュームデータの3軸に垂直あるいは平行な断面を表示する手法である。クリッピング操作にはコントローラの十字キーを利用する。利用者がいくつかあるインタラクションの中からクリッピングを選択した場合、図5のようにワイヤーフレームの立方体をボリュームデータの上に重畳表示する。この立方体は、各利用者に対してボリュームデータよりも手前に立体表示し、クリッピング面とその他の面を異なる色で示すことにより、どの利用者から見てもクリッピング面が分かるようにする。そして、コントローラの左右キーを操作して立方体の6面の中からクリッピング面を選択し、上下キーを操作してクリッピング面に対応したボリュームデータの断面をボリュームの内側、または外側に移動させる。これにより、利用者は手でクリッピング操作を行うことが可能になる。

#### 5.1.2 カットニング

カットニングでは、クリッピングとは異なり、任意の断面を表示することができる。そのため、カットニング操作にはコントローラの3次元位置と姿勢を利用する。そして、図6のように、コントローラから少し離れた位置にコントローラの向きに垂直な断面を生成することで、直感的な操作による任意断面の表示が可能となる。また、一度断面を決定した後、コントローラの十字キーを用いて断面の傾きを細かく調整することも可能である。

#### 5.1.3 不透明度調整

ボリュームデータそのものは濃度値で構成されているため、可視化の際に濃度値と色・不透明度を対応付ける。このうち、不透明度を調整することで、ボリュームデータのうちの特定の部位のみを可視化することが可能になる。そこで、可視化する濃度の閾値を変化させることで、体全体のボリュームデータから骨や血管などに限定した可視化を可能にする。不透明度調整の操作には、コントローラの上下キーを用いる。図7は、頭部のボリュームデータから頭蓋骨のみを抽出した画像である。

#### 5.1.4 傾き調整

ボリュームデータの立体像の傾きを調整することで、利用者

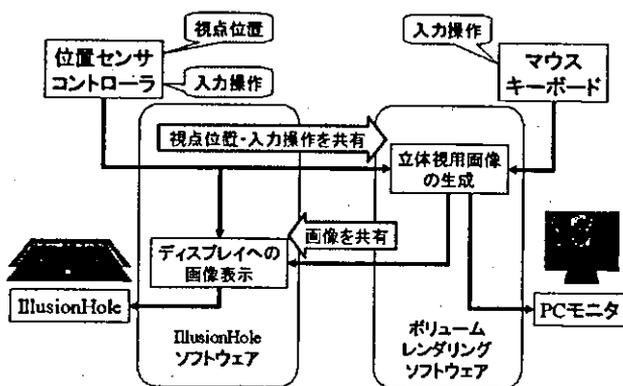


図4 ソフトウェア構成

は様々な角度から立体像を観察することが可能になる。そこで、IllusionHole 上の座標系での  $x, y, z$  軸回りの傾き調整を、それぞれ左右キー、上下キー、R1/L1 キーに割り当て、立体像の傾きを調整する。

#### 5.1.5 メニューの選択

IllusionHole 上で操作を行う場合、図 5 や図 7 のようにボリュームデータの下側に操作内容をテキストで表示することで、各利用者は選択されている操作を知ることができる。このテキスト表示は、操作内容を選択する際にも表示しておき、利用者はコントローラの左右キーを操作することで選択する。また、各操作の実行時と非実行時のテキストの色を変えることで、実行中か否かを知ることができる。図 6 のように、必要に応じてテキストを非表示にすることも可能である。

#### 5.2 PC モニタ上でのインターフェース

複数の医師等が IllusionHole 上で立体像を共有しているときに、PC モニタ上では、オペレータが医師の指示を受けて詳細な画像編集を行うことを想定している。そして、通常の PC を利用する場合と同様、マウスやキーボードを用いて操作する。PC モニタ上では、先に述べた IllusionHole 上でのインタラクション内容をマウスやキーボードを用いて詳細に行うことに加えて、患者データやレンダリングモードの選択など、本システ

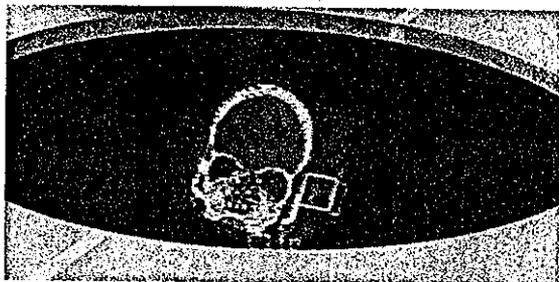


図 5 クリッピング



図 6 カutting

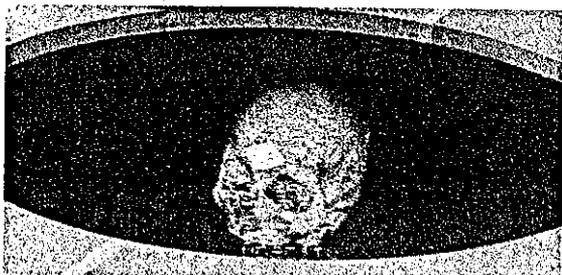


図 7 不透明度調整

ムを利用する上での基本的な設定も行う。図 8 に、PC モニタ上のグラフィカルユーザインタフェースの表示例を示す。

## 6. 試作システムに関する検討

前章まで述べてきた本試作システムの各構成要素に関して検討する。

### 6.1 ハードウェアに関する検討

IllusionHole では、理論上全ての利用者に対して立体像が同一の場所に結像するが、実際の立体像の結像位置には種々の要因により誤差が生じる場合がある。利用者の瞳孔間距離には個人差があるが、仮に、個人差がないものとして、65.7mm という一定値を用いて視差画像を生成した場合、日本人 20 歳代男性の眼間距離のばらつきを考慮すると、結像位置付近での奥行き方向の誤差は 13mm 程度になる。これ以下の位置精度が要求される場合には、各利用者の瞳孔間距離をあらかじめ測定し、その値を用いて視差画像を生成する必要がある。各利用者の瞳孔間距離を正しく反映できている場合には、システムの空間誤差は、ディスプレイの解像度とトラックの計測位置精度に起因する。前者は、 $1,280 \times 1,024$  の解像度の表示の場合、奥行き方向の量子化誤差として最大 10.5mm となる。後者については、本試作システムで利用した 3 次元モーショントラッカ (Intersense 社製 IS-600 Mk2) の公表値から算出すると、奥行き方向で 2mm である。

### 6.2 描画ソフトウェアに関する検討

本試作システムでは、ボリュームレンダリングソフトウェア VirtualPlace と IllusionHole ソフトウェアを組合せて描画ソフトウェアを実装した。VirtualPlace では、現時点での一般的な構成の PC を用いて PC モニタ上にリアルタイムに透視投影に対応したボリュームレンダリング画像を生成することが可能である。しかしながら、IllusionHole に表示する場合は複数人の視点位置に対応した画像を生成する必要があるため、IllusionHole ソフトウェアで各利用者の視点位置と描画領域はリアルタイムに更新できても、実際に各利用者へ提供する画像の更新頻度は低くなりがちである。3.3 節で述べた本試作システムの構成で

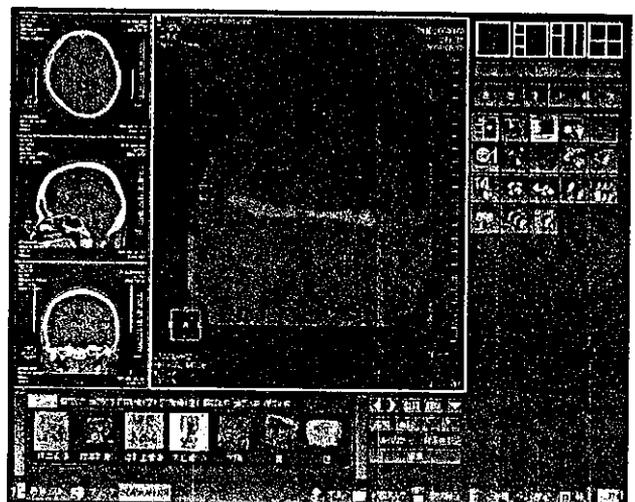


図 8 PC モニタ上の GUI

は、利用者が3人である場合、描画領域の更新は毎秒20フレーム前後であるが、ボリュームレンダリング結果の画像の更新頻度は、220×220×311のデータで、毎秒1フレーム程度である。ボリュームレンダリングの高速化については、専用のハードウェアを用いたり、または、PCクラスタなどを用いて複数のPCで並列処理することなどが考えられる。本試作システムで用いている描画ソフトウェアでは、この並列処理に容易に対応することができる。

### 6.3 インタフェースに関する検討

本試作システムでは、IllusionHole上で利用者の指示動作を認識しやすいデバイスを用いたインタフェースを実装した。クリッピングや不透明度調整などを利用者の手元で操作することは、症例検討や手術計画の際に有効である。今後、手術シミュレーションを想定した触力覚フィードバックを備えたデバイスや立体像の詳細情報を提示するデバイスなど、多様なデバイスを用いてインタフェースを改良する必要もあると考えられる。また、本システムを手術室に設置する場合には、医師がこうしたデバイスに触れるために消毒・滅菌などをする必要があり、そのような措置が取りにくい場合には、他の協力者による補助操作が有効である。

### 6.4 試作システム全体の検討

本試作システムは、医師同士のコンファレンスなど、複数人による共通理解が必要とされる場で有効に利用できそうである。骨や様々な臓器などで有効であるが、特に、脳や乳房、肝臓など、術中に形状があまり変化しない臓器を扱う場合は、術前に撮影したボリュームデータの立体像をIllusionHole上に表示し、術中に参照しながら手術を進めることもある程度は可能である。手術室にMRIなどのイメージング機材を設置され、術中にCTやオープンMRIでボリュームスキャンを行い、術中の患部の状況をリアルタイムにモニタリングできれば、さらに幅広い応用が期待できる。たとえば、患者の体表面に皮切線を描く例が考えられる。IllusionHole上の座標系と手術台の上の座標系のマッピングをとっておき、IllusionHole上で患部を確認しながら立体像に皮切線を描くと、その線が患者の体表面に重畳表示されるようにできれば、より正確な皮切を行うことができ、患者の負担を軽減できると考えられる。また、この考え方は、将来、遠隔手術用のシステムでも利用できるようになると思われる。

## 7. おわりに

我々がこれまでに検討してきた多人数共有型立体表示装置IllusionHoleの考え方を用いて、医療用のボリュームデータを複数の利用者に適切に立体表示し、かつ、インタラクティブに画像を操作することができるシステムを試作した。今後は、個々の臓器や治療・診断の内容などに応じて、適切な画像表示手法やインタフェースを改善し、医療現場での実利用可能なシステムを目指す予定である。

謝辞 本研究を進めるにあたり、株式会社AZE 榎本潤氏、株式会社キクチ科学研究所 加藤大典氏、大阪大学大学院情報科学研究科 市田浩靖氏、並びに高橋大輔氏には、適切な助言



図9 提案システムの利用風景

をいただいた。なお、本研究の一部は、科学研究費補助金基盤研究(B)(2)13480104、総務省 戦略的情報通信研究開発推進制度、厚生労働科学研究費補助金 身体機能解析・補助・代替機器開発研究事業、文部科学省21世紀COEプログラム(研究拠点形成費補助金)の研究助成の助成を受けた。

## 文 献

- [1] Michael J. McGuffin, Liviu Tancau, Ravin Balakrishnan, Using deformations for browsing volumetric data, IEEE Visualization (2003).
- [2] Daniel Weiskopf, Klaus Engel, Thomas Ertl, Volume clipping via per-fragment operations in texture-based volume visualization, IEEE Visualization 2002, pp. 93-100 (2002).
- [3] Bernhard Preim, Wolf Spindler, Karl J. Oldhafer, Heinz-Otto Peitgen, 3D-interaction techniques for planning of oncologic soft tissue operations, Graphics Interface (2001).
- [4] 小田原 宗明, 榎本 潤, 梁田 透, 高密度指向性画像による医用画像の三次元表示, 電子情報通信学会技術研究報告, ITS2004-79, IE2004-213 (2005)
- [5] Yoshifumi Kitamura, Takashige Konishi, Sumihiko Yamamoto, and Fumio Kishino, Interactive stereoscopic display for three or more users, in Computer Graphics, Annual Conference Series (Proceedings of SIGGRAPH 2001), pp. 231-239 (2001).
- [6] 伊関 洋, 大和 雅之, 杉浦 円, 堀 智勝, 村垣 善浩, 立花 美紀, 川俣 貴一, 白川 洋, 術中オープンMRI下での脳外科手術, MEDIX, Vol. 34, pp. 4-9 (2001)
- [7] 鎮西 清行, オープンMRIとロボット, 日本ロボット学会誌, Vol. 18, No. 1, pp. 37-40 (2000).
- [8] 圓道知博, 梶木善裕, 本田捷夫, 佐藤誠, 全周型3次元ディスプレイ, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J84-D-, No. 6, pp. 1003-1011 (2001).
- [9] Oliver Bimber, Bernd Frohlich, Dieter Schmalstieg, L. Miguel Encarnacao, The virtual showcase, IEEE Computer Graphics and Applications, Vol. 21, No. 6, pp. 48-55 (2001).
- [10] Rieko Otsuka, Takeshi Hoshino, Youichi Horry, Transpost: all-around display system for 3D solid image, Proc of ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology 2004, pp.187-194 (2004).
- [11] Actually-system 社 <http://www.actuality-systems.com/>
- [12] 北村 喜文, 山本 澄彦, 岸野 文郎, 偏光眼鏡を用いたIllusionHole, 情報処理学会, インタラクション2003 論文集, pp. 39-40 (2003)
- [13] 人間生活工学研究センター, 日本人の人体計測データ - Japanese Body Size Data 1992-1994, 社団法人人間生活工学研究センター, (1997).
- [14] 株式会社AZE <http://www.aze.co.jp/>
- [15] 北村喜文, 小西 孝重, 山本 澄彦, 岸野文郎, 多人数共有型立体ディスプレイ IllusionHole, 映像情報メディア学会誌, Vol. 57, No. 10, pp. 1320-1327 (2003)

## 3D Interaction With and From Handheld Computers

Martin Hachet<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>LaBRI – INRIA Futurs,  
University of Bordeaux  
hachet@labri.fr

Yoshifumi Kitamura<sup>2</sup>

<sup>2</sup>Graduate School of Information Science and Technology,  
University of Osaka  
kitamura@ist.osaka-u.ac.jp



Figure 1: Interaction in front of a large screen with a PDA interface.

### Abstract

*3D user interfaces (3DUI) aim to enhance the user performance of 3D interactive tasks. In this paper we focus on the bridges between 3DUIs and handheld computers, following two directions. First, 3DUIs must be developed for efficient interaction with embedded 3D applications. Second, handheld computers can be useful for distant interaction with large displays in collaborative 3D applications.*

*We propose a new 3 DOF interface for interaction with 3D environments for these two directions. This interface is based on the analysis of the video stream coming from the embedded cameras for bimanual interaction with and from handheld computers.*

### 1. Introduction

The use of handheld computers such as cell phones and PDA is becoming more widespread. The continued growth of computing resources allows for more and more complex 3D interactive applications on mobile settings. Following this evolution, screen resolution increases and the networks enhancement allows the design of actual client/server applications.

On the other hand, user interfaces for interaction with handhelds have barely evolved. Buttons allow the users to enter a few characters while direct pointers such as styluses associated to sensitive screens are well suited for 2D pointing in WIMP environments. However, interaction tasks related to new 3D applications are very different from the tasks required by simple schedulers and note editors. Consequently,

new interfaces must be proposed in order to adapt the interface structure to the task structure.

In this paper, we describe a new interface developed for interaction with 3D environments displayed on handheld computers. Its success convinced us to extend our work to collaborative applications in which several handhelds are used as input devices for interaction with virtual environments (VE) displayed by collective visualization interfaces.

## 2. Interaction with handheld computers

### Previous work

Input devices for handheld computers are not very common. The main works have been inspired by the pioneer investigations of Fitzmaurice et al. [1], where the device is moved in space. A more recent example is the Peephole display from Yee [2].

Other works are based on the analysis of the video stream coming from embedded cameras for augmented reality applications. For example, Wagner and Schmalstieg [3] use ARtoolkit on a distant server to estimate the position of the handheld from markers that have been fixed in the real environment.

### Our approach

We developed an interface where users control 3 DOF by moving a target with their dominant hand. The target is tracked from the embedded camera of the handheld computer held with the non-dominant hand. The 3 DOF relate to the xyz position of the target. Figure 2 illustrates this interface.

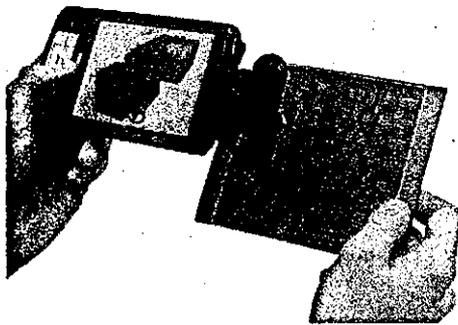


Figure 2: Bimanual camera-based interface.

We initially conceived our interface to enhance the visualization of displayed data. Indeed, one of the main limitations of handheld computers is the small visualization area provided by the screens. To avoid screen occlusion that occurs with pointing devices, we developed an interface that allows the screen to be permanently seen. Moreover, contrary to the described previous work, in our interface users do not have to move the handheld to interact with the data. Consequently, users can maintain the best possible view of the screen.

### Implementation

We have developed a very fast algorithm that limits the CPU ticks on handheld computers. From the analysis of a few pixels, we can estimate the 3D location of the held target from the embedded camera. The target is made of a color code grid where each color code refers to a line and a column. This algorithm is described in detail in [4].

### Interaction techniques

We have developed several interaction techniques in which our interface is used with handheld computers that allow users to perform such tasks as the visualization of large documents or interaction with 3D environments. For example, 3D objects can be manipulated by dividing the task into two subtasks. The objects' translations are directly mapped to the target's movements. When users want to modify the orientation of the objects, rotations are mapped to the movements of the target, as illustrated in figure 3.

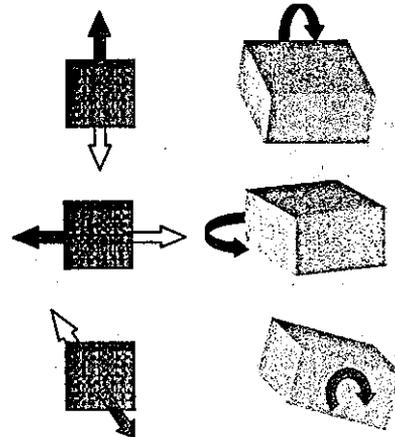


Figure 3: Object orientation.

Concerning camera viewpoint control for navigation in large 3D scenes, we developed a technique where left/right movements control the heading angle, up/down movements refer to the pitch angle, and forward/backward movements are used to go back and forth in the scene.

All the techniques used with our interface benefit from kinaesthetic feedback provided by bimanual interaction. Indeed, the actions are performed with the dominant hand according to the non-dominant hand, allowing users to easily interact with their data.

Generally, the numerous users who experimented with our interface have really enjoyed it. We conducted initial experiments that consisted of a targets-searching task. The results showed that our interface was faster than a classical stylus technique and that users also widely preferred it.

We extended this approach to collaborative contexts where several users visualize shared VE displayed on large screens. We are now going to describe this work.

### 3. Interaction from handheld computers

#### Collective visualization interfaces

Collective visualization interfaces allow several co-located users to simultaneously visualize the same VE. Consequently, such systems are very powerful for collaborative applications. An example is IllusionHole [5] where several users can visualize 3D models with correct personal viewpoints.

Despite the potential of collective visualization interfaces, at present actual collaborative applications limited because users generally cannot easily and efficiently interact with the VE.

#### Previous work

Some devices have specifically been developed to favor collective applications. For example, the CAT [6] is a 6 DOF freestanding device that can easily be shared by several participants for general interaction tasks.

Other devices can nicely be used as personal interfaces for interaction with the VE, such as laser pointers and handheld computers. On the one hand, laser pointers associated with cameras and computer vision algorithms are very light. They allow easily pointing parts of the screen. However, they are limited to monoscopic applications. On the other hand, handheld computers embed CPU and allow wireless

connections. Consequently, they are very interesting as collaborative devices.

Watson [7] primarily used a PDA as a remote control for interaction with VE. Hartling et al. [8] extended this approach by developing Tweek, a dedicated toolkit that can be integrated within VRJuggler applications.

However, current handheld computer interfaces are limited to 2D interaction techniques. Actually, users can only perform actions by stylus or the buttons of the handhelds. This lack of DOF limits interaction with 3D environments.

#### A new interface for interaction with VE

We have developed some test applications where the camera-based interface described above is used as a distant input device for interaction with the shared VE.

Similar interaction techniques can be used, the 3D data being displayed on the large screens rather than being displayed on the small handheld screens.

For example, from anywhere in front of the large screen, users can move their dominant hand from the embedded camera to navigate inside the VE (figure 1). Hence, users benefit from bimanual interaction in actual mobile settings. Figure 4 illustrates the use of our interface with the IllusionHole.



Figure 4: Interaction with the IllusionHole.

#### Implementation

A WIFI client/server configuration was used. The server at which the application is running listens for the client's handheld connections. Once the connection is established, the server asks for the client's inputs for each frame.

The handhelds permanently estimate the x, y, and z positions of the target from the embedded cameras.

These coordinates as well as the state of the current buttons are sent to the server when requested.

At the moment, we have developed some test applications where users interact one after the other. From this starting point, real collaborative applications can be developed.

#### A universal interface

We described a configuration where one server is used. The same approach has great potential when several servers associated to several visualization interfaces are available.

For example, we can imagine a user who interacts with 3D data displayed on her personal handheld computer. When working with colleagues in front of a huge screen in a collaborative session, the user connects to the server to interact with the shared data by using the same interaction techniques. She does not have to use any other input device or learn any new techniques. Hence, the same techniques will be used for each of the available visualization interfaces.

#### 4. Conclusion

Handheld computers are becoming a more widespread part of our everyday lives. Their endless capacity will lead to more and more future complex applications. This evolution has to be followed by the evolution of user interfaces. In particular, adapted 3D user interfaces have to be developed for new 3D applications.

Moreover, immersive visualization interfaces can benefit from handheld computers for interaction, particularly when collaborative works are required. Indeed, each participant can join a given collaborative application by interacting from his/her personal device.

In this paper, we have presented a new 3DUI for interaction with and from handheld computers. The next step consists of integrating this new interface to actual complex 3D collaborative applications.

#### 5. References

- [1] G.W. Fitzmaurice, S. Zhai, and M.H. Chignell. "Virtual reality for palmtop computers", *ACM Trans. Inf. Syst.* 11(3), 1993, pp. 197-218.
- [2] K.-P. Yee. "Peephole displays: pen interaction on spatially aware handheld computers", In *Proceedings of the conference on Human factors in computing systems*, ACM Press. 2003, pp 1-8.
- [3] D. Wagner and D. Schmalstieg, "First step towards handheld augmented reality", In *Proceedings of seventh IEEE international Symposium on Wearable computers*. 2003.
- [4] M. Hachet, J. Pouderoux, and P. Guitton. "A camera-based interface for interaction with mobile handheld computers", to be published in *Proceedings of ACM symposium on 3D interactive graphics and games (I3D'05)*. 2005.
- [5] Y. Kitamura, T. Konishi, S. Yamamoto, and F. Kishino, "Interactive stereoscopic display for three or more users", *Computer Graphics Annual Conference Series (Proc. of SIGGRAPH 2001)*, 2001, pp. 231-239.
- [6] M. Hachet, P. Guitton, P. Reuter, and F. Tyndiuk, "The CAT for Efficient 2D and 3D Interaction as an Alternative to Mouse Adaptations", In *Proceedings of Virtual Reality Software and Technology (VRST'03)*, 2003, pp 205-212.
- [7] K. Watsen, R. Darken, and M. Capps, "A Handheld Computer as an Interaction Device to a Virtual Environment", 3rd International Immersive Projection Technology Workshop (IPTW'99), 1999.
- [8] P. Hartling, A. Bierbaum, and C. Cruz-Neira, "Tweek: Merging 2D and 3D interaction in immersive environments". *6th World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics (SCI 2002)*, 2002.

# 骨盤内の軟部悪性腫瘍の手術

国立がんセンター中央病院骨軟部組織科  
中馬広一

後腹膜発生の悪性軟部腫瘍は、全身の悪性軟部腫瘍の14%発生をみる。脂肪肉腫40%、平滑筋肉腫30%、線維肉腫、悪性線維性組織球腫(MFH)、悪性末梢神経鞘腫瘍(MPNST)4~6%の組織亜型が多い<sup>1,2)</sup>。悪性軟部腫瘍の悪性化が強まるとMFH様変化が出現し、病理診断がMFHと診断されることも多く、報告で組織型の頻度は異なることもある。骨盤、後腹膜発生では高悪性度肉腫が60%、低悪性肉腫が40%の割合で、高悪性症例が多く、予後不良の原因の1つであり、手術が行えないと5年生存率20%以下できわめて予後不良である<sup>2-5)</sup>。

症状として、腹部腫瘤が8割、疼痛半数、神経症状1/4などの初発症状で発見されることが多いが、巨大な腫瘤を形成していることがほとんどである。骨盤内に発生すると、静脈閉塞、リンパ管還流障害のために、下肢の浮腫で診断されることもあるが、病状は進行して、治療は困難をきわめる。

癌以外にも悪性リンパ腫、辜丸腫瘍の後腹膜転移との鑑別が重要であり、辜丸の触診、全身のリンパ節触診もおろそかにしてはならない。局所診断だけでなく、胸部、腹部骨盤のCT、MRIは必須の検査であり、PETやTIシンチグラフィを駆使して、病期を綿密に決定し、病状の広がり把握する。また、発生頻度から肉腫以外の悪性腫瘍が多いことも念頭に置いて、診断を進める必要がある。

①小骨盤腔、会陰部に発生した場合、②鼠径部から腸腰筋に沿って発生し、外腸骨、大腿動静脈の合併切除が必要な場合、③腸骨前面から後腹膜へ発生し、腸骨合併切除が必要な場合、④腰筋、脊椎に接して発生した後腹膜発生の場合、腫瘍発生部位で、切除範囲や手術に際して必要な技術が異なり、アプローチ方法、協力する外科チーム編成も異なってくる。整形外科が主体となる3領域の悪性軟部腫瘍の手術方法を紹介する。

## 体位とアプローチ

### ◆正中切開(図1 a)

小骨盤内や会陰部発生の肉腫の治療に用いられる。内臓全摘、仙骨前面の処理、仙骨合併切除の場合さらに会陰部から後方へと皮切の延長が可能である。

### ◆傍直筋腹壁切開から鼠径部への切開(図1 b)

骨盤内、腸腰筋に発生した悪性軟部腫瘍は、鼠径部から大腿部へと外腸骨、大腿動静脈に沿って進展する。血管、神経を含めた合併切除のために血管の展開処理が容易で、腫瘍の上下進展に合わせて上下に延長できる皮切が応用される。

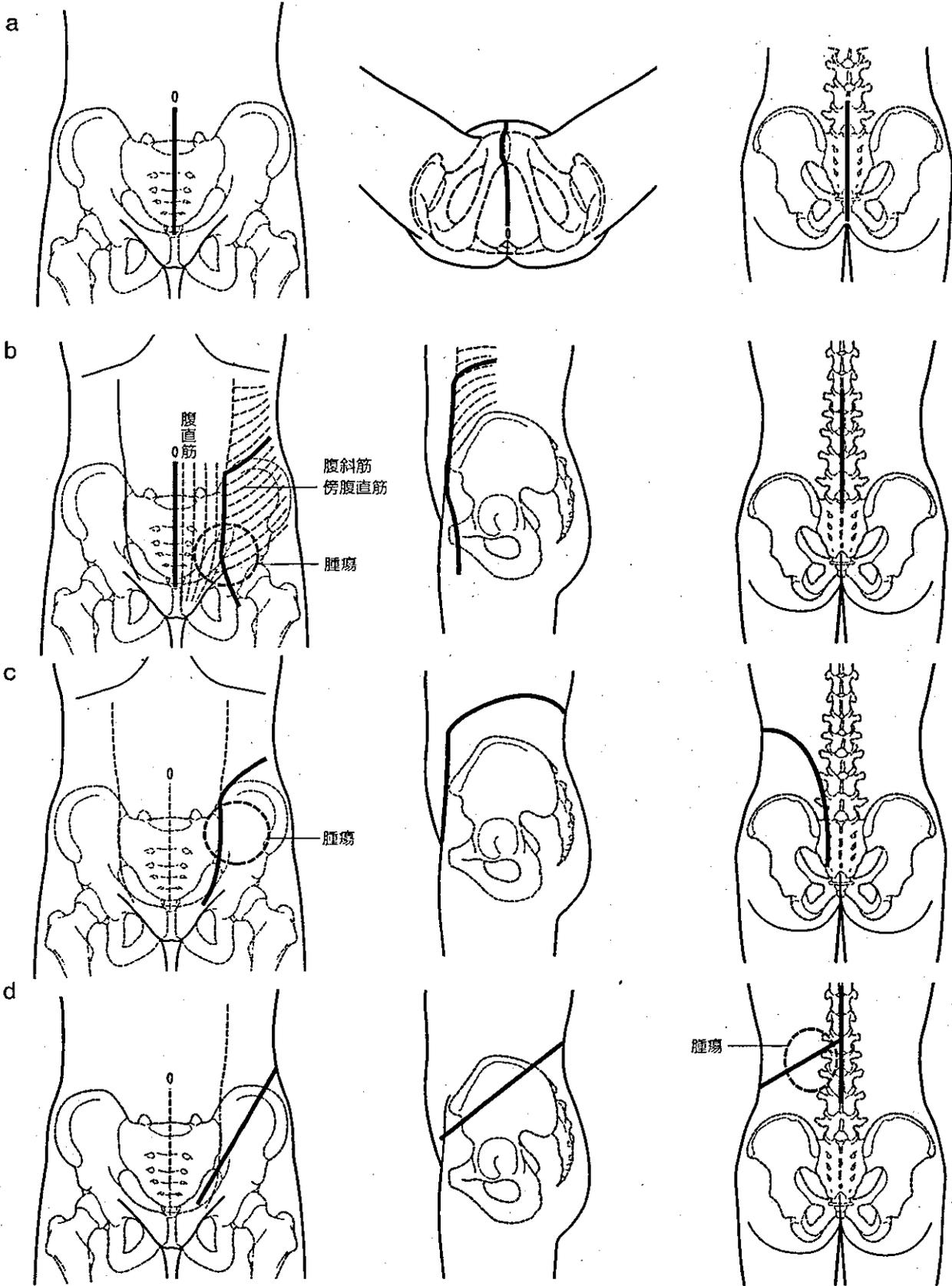


図1 腫瘍の大きさ、位置に合わせた皮切とアプローチ

a: 正中切開。会陰部から仙骨へ延長。

b: 傍腹直筋側腹壁切開と斜切開。傍腹直筋線、単径部では、腹斜筋、腹横筋を切開、単径靭帯を切離して、大腿動静脈を展開。

c: 傍腹直筋側腹壁切開。傍腹直筋線から斜切開と広げ、後方は、第5横突起、仙腸関節から大坐骨孔に至る上凸の切開線。

d: 斜切開と背部正中切開。斜切開(角度は、腫瘍の大きさ、展開の広さに合わせて、腫瘍中央の高さを背部正中との交差点とする)。