

基礎論文

タンジブルアバタを利用した VR空間ナビゲーションインタフェースの評価

藤門 千明^{*1} 安藤 真^{*2} 山下 淳^{*3}
吉田 和弘^{*4} 葛岡 英明^{*1} 廣瀬 通孝^{*3}

Evaluation of Tangible Avatar Interface for VR Space Navigation

Chiaki Fujimon^{*1} Makoto Ando^{*2} Jun Yamashita^{*3}

Kazuhiro Yoshida^{*4} Hideaki Kuzuoka^{*1} and Michitaka Hirose^{*3}

Abstract – The authors have developed a tangible navigation interface to assist navigation in VR(Virtual Reality) space. The aim of this paper is to show our interface is effective on spatial perception. For this purpose, experiments to compare the tangible navigation interface and the game controller were conducted. The results showed that the tangible navigation interface is superior in spatial perception because; 1) a user can always be aware of the bird's-eye view of the VR space, and 2) somatic sensation of a user's arm helps him/her to memorize spatial orientation and distance.

Keywords : Tangible Avatar, Spatial Perception, Somatic Sensation

1 はじめに

VR(Virtual Reality) 技術の高度化に伴い高品位な VR 環境を構築することが可能となっており、教育や医療など様々な領域での応用が期待されている。特に教育分野においては、VR がグループによる体験学習に近い教育効果を持つと期待されている。グループによる体験学習では、生徒が体験学習の場を自由に移動し、発見した内容や問題点をまとめ、他者と討論することが重要とされている [1]。そのためには、「どのように移動し、どこで何を発見したのか」など空間を正しく認識する必要があると考えられる。

一般的な VR システムでは、空間移動のための入力インタフェースとしてマウスやジョイスティック等のゲームコントローラが多く利用されている。そうしたシステムでは、ゲームコントローラの操作に慣れていない者は自由に VR コンテンツの中を移動することは難しい。またゲームコントローラにおける移動量や回転量は、現在地点からの相対的な操作量であることが多く、適切な空間認知がなされない可能性があるというのも事実である。

そこで著者らは、

- 家庭や教室に設置しやすいサイズで
- 子どもに対して負担が少ない

家庭用のデスクトップ型の VR 環境で使いやすいナビゲーション用ユーザインタフェースを目指し、実物体を利用した VR 空間ナビゲーションインタフェース (以後、タンジブルナビゲーションインタフェース) [2] を開発した。本論文の目的は、このタンジブルナビゲーションインタフェースが空間認知に対して有効であるということを示すことである。

Lynch によれば、ユーザが空間を認知する行為は、空間の全体的なイメージ (認知地図) を構築する作業であり、この認知地図は、パス・ランドマーク・ノード・エッジ・ディストリクトの 5 つの要素によって構成されている [3]。特に、「場所の視覚的情報」であるランドマークや「場所の連絡関係」であるパスが、最も基本的な認知地図の情報であると考えられている [4]。

そこで本論文でも、

- ランドマークの位置が正しく認識される
- 経路 (パス) の距離感覚が正しく認識される

の 2 点が認められる場合に空間認知に対して有効であると定義した。したがって本論文の目的を、タンジブルナビゲーションインタフェースによって、ランドマークの位置の認識とパスの距離感覚の認識を確認することにした。

^{*1}筑波大学 機能工学系

^{*2}通信・放送機構

^{*3}東京大学 先端科学技術研究センター

^{*4}株式会社エクサ

^{*1}Institute of Engineering Mechanics and Systems, University of Tsukuba

^{*2}Telecommunications Advancement Organization of Japan

^{*3}Research Center for Advanced Science and Technology, The University of Tokyo

^{*4}EXA Corporation

次章では、研究の背景について述べ先行研究との相違点を明らかにする。次にシステムの概要を述べ、さらにランドマークの位置の認識を確認する「空間ナビゲーション実験」とパスの距離感覚の認識を確認する「体性感覚実験」とを通してタンジブルナビゲーションインタフェースが空間認知に有効であることを示す。

2 先行研究

ユーザに VR 空間を適切に認識させる手法として、没入型多面ディスプレイを持つ VR システムや、歩行感覚を呈示するインタフェースなどの研究が行われてきた。

例えば没入型多面ディスプレイとして、立方体形状の部屋の中の側面 3 面（正面、右、左）と床面の 4 面をディスプレイとして用いた CAVE[5] や、さらにユーザの周りを完全に包み込む完全没入型 6 面ディスプレイ COSMOS[6] の開発が行われている。これらのシステムでは、ユーザはその時々に向いている方向を正面と捉えるために空間内の身体性は実世界に近く、またどの方向を見ても映像が広がっているために空間認知のためのメンタルローテーションが不要になり、VR 空間固有の座標系に従った空間認知を行うことができるとしている。Torus Treadmill[7] は、人間が自分の周囲の空間を認識する場合に、歩いて移動する行為が極めて重要であるという観点から提案されたロコモーションインタフェースの 1 つである。Torus Treadmill は、回転ベルト状のトレッドミルをトーラス状に配置させ環状に回転させることで、任意方向への移動を実現している。Torus Treadmill では、歩行による体性感覚が空間の認識を向上させ、歩行行動が空間認知に優れているという知見を裏付けた。

以上のシステムは、身体性や体性感覚を重視しユーザを拘束しないという利点をもつ反面、装置が大掛かりであるといった問題点がある。したがって学校や家庭で気軽に VR 空間を探索するような場合には不向きである。

一方、実物体を操作するタンジブルユーザインタフェース (TUI) に関する研究も盛んに行われており、机の上で使用できる規模のインタフェースの開発が行われている [8][9][10][11]。しかし、実物体を VR 空間のナビゲーションのための入力インタフェースとして利用した場合に、これが VR 空間の空間認知に対してどのような効果を持つかということを調査した研究はほとんど無い。



図 1 タンジブルナビゲーションインタフェースの外観

Fig.1 External view of tangible navigation interface

3 システムの概要

3.1 タンジブルナビゲーションインタフェース

図 1 にタンジブルナビゲーションインタフェースの外観を示す。本システムは、机上面に投影された VR コンテンツの鳥瞰図と自分自身を表す実物体 (タンジブル) のアバタ (化身) から成る。また正面には、VR 空間でのアバタの視点映像を表示するスクリーンを設置する。ここで、自分のアバタとなる実物体を「タンジブルアバタ」と呼ぶことにする。

本システムでは、実空間でのタンジブルアバタの位置や姿勢をリアルタイムで計測し、VR 空間での座標と対応付ける。そして正面のスクリーンには、タンジブルアバタが VR 空間で眺めている景色を投影させる。したがってユーザは、鳥瞰図の上でタンジブルアバタを動かしたり向きを変えることで、目的の場所へ移動したり見たい方向へ向くことが可能になる。故にタンジブルアバタを使うことで、VR 空間を自由にナビゲーションできると期待される。

臨場感の高さや操作性の良さでは HMD や没入型ディスプレイなども有効であるが、デスクトップ型の VR システムは HMD と比較して解像度が高く体験学習に向いている。また空間学習の点ではデスクトップ型の VR と HMD には有意な差が見られないことが知られているため [12]、本論文ではデスクトップ型の VR システムでタンジブルアバタを利用している。

3.2 システムの構成

図 2 に本システムの構成を示す。本システムでは、タンジブルアバタによる VR 空間のナビゲーションを可能にするために、タンジブルアバタの位置および姿勢をリアルタイムかつ高精度で計測する必要がある。そこで位置および姿勢の検出のために Inter Sense 社製のモーショントラッカー (IS-600 Mark2) を用いた。

図 3 に、タンジブルアバタの位置・姿勢計測法を示

藤門・安藤・山下・吉田・葛岡・廣瀬：タンジブルアバタを利用したVR空間ナビゲーションインタフェースの評価

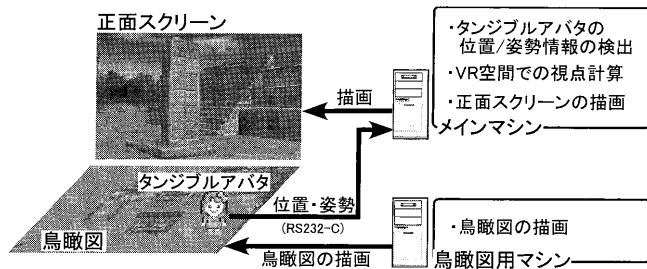


図2 システムの構成
Fig.2 System configuration

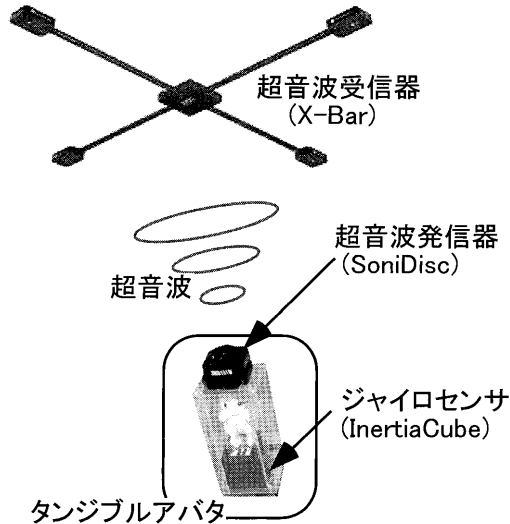


図3 タンジブルアバタの位置・姿勢計測
Fig.3 Position and orientation measurement of tangible avatar

す。タンジブルアバタの上面中央には、超音波発信器が取り付けられ、また天井には超音波受信器が取り付けられている。超音波発信器から発せられる超音波を4点の超音波受信器で受信し、その遅延時間から3点測量の原理で超音波発信器の3次元位置が計測される。また姿勢の検出にはジャイロセンサが使用されている。モーショントラッカーで検出されたタンジブルアバタの位置や姿勢のデータをVR空間座標系に変換し、この座標をVRコンテンツに送ることで、タンジブルアバタのVR空間内の視点映像を正面のスクリーンに投影することができる。

本システムは、通信・放送機構が試作したコパン遺跡VRコンテンツ[13]をシステムのVR空間として利用した。コパン遺跡VRコンテンツは、マヤ文明コパン遺跡を題材としたVRシステムである。VR技術によって忠実に再現した中米ホンジュラスのコパン遺跡を、高臨場感の表示システムによって鑑賞したりゲーム感覚で探検しマヤ文明について学習を行うものである。タンジブルナビゲーションインタフェースは、コパン遺跡VRコンテンツの入力インタフェースとして実装されている。図4に鳥瞰図上での操作の様子

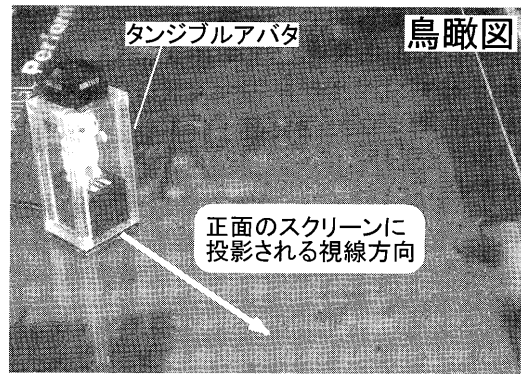


図4 鳥瞰図上の様子
Fig.4 Bird's-eye view

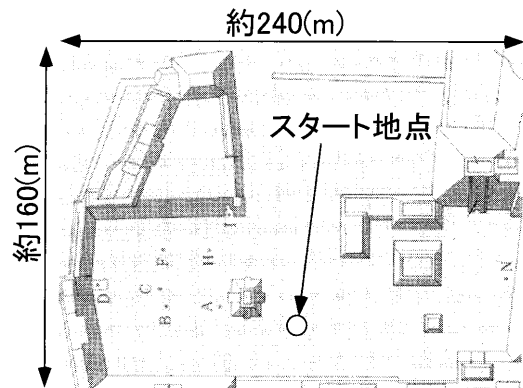


図5 実験に用いたVR空間の地図
Fig.5 The map of VR space which is used in the experiment

を示す。

4 空間ナビゲーション実験

本実験では、ゲームコントローラとタンジブルナビゲーションインタフェースの2つのインタフェースにおいて、制限時間内にできるだけ多くのランドマークを探索させる空間ナビゲーション実験を行うことで、空間認知の評価を行った。

4.1 実験設定

3.2で述べたコパン遺跡VR空間の一部を実験空間(図5)とし、またランドマークとして図6(a)で示されるバーチャルな立て札を実験空間内に適当に6つ配置した。

被験者は最初に空間内を自由に動き回って操作方法の練習をした後、図5中の○から出発して探索を始めた。立て札を見つけた場合、問題用紙に示されている選択肢から立て札に書かれている絵柄と同じものをマークさせた(このマーク数は立て札を探索できた数となる)。制限時間を3分間とし、制限時間が経過した場合または制限時間内に全ての立て札の探索を終えた場合に操作を終了させた。操作終了後、鳥瞰図と同じ紙の地図に、探索して見つけることが出来た立て札

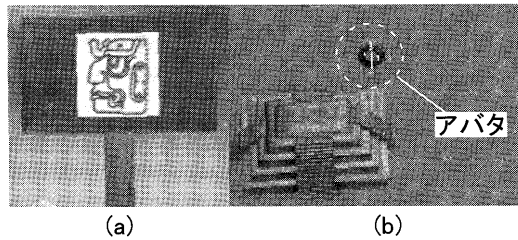


図6 バーチャルな立て札 (a) とアバタ (b)
Fig.6 A virtual notice board(a) and avatar(b)

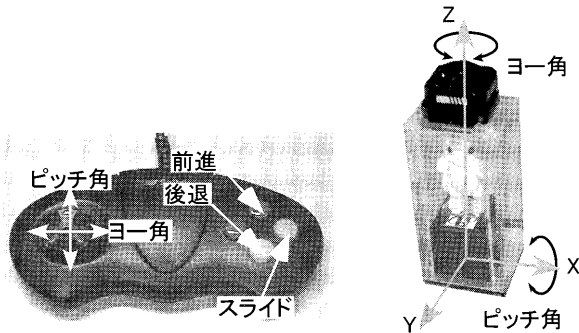


図7 ゲームコントローラとタンジブルアバタ
Fig.7 Game controller and tangible avatar

があった場所をマークをさせるタスクを課した。

実験で使用したゲームコントローラは、図7で示されるような十字キーと4つのボタンを持つパッド型のデバイスである。十字キーとボタンの組み合わせにより任意位置への移動や任意回転軸まわりの回転が可能である。タンジブルアバタも、鳥瞰図上での水平移動だけではなく、持ち上げたり任意方向へ傾けた場合もその状態が全て反映される。両デバイスの詳しい操作方法を表1に示す。

ただし、本実験ではVR酔いの影響を考え両デバイス共にロール角方向の回転は反映させないものとする。なおタンジブルナビゲーションインタフェースの時と同様に、ゲームコントローラの操作時においても鳥瞰図を投影した。また鳥瞰図上には、随時位置や向きを視認できるように、グラフィックスでバーチャルなアバタを表示しその意味を被験者に説明した。図6(b)にバーチャルなアバタの表示例を示す。

実験で計測されるデータとして、探索に要する時間、立て札の場所のマークの正答率、そして被験者の移動データ(位置および姿勢)を記録した。また被験者が見る正面スクリーンの映像と被験者の視線や頭部の動きをVTRに撮影した。

4.2 実験結果

筑波大学の工学を専門とする学部の学生を中心とした12名の被験者に対して実験を行った。立て札の位置として2種類(A,B)を準備し、入力インタフェースの操作順序を被験者ごとにランダムに変えたため、

表1 両デバイスの操作方法
Table 1 The operations of two devices

	ゲームコントローラ	タンジブルアバタ
前進後退	前進・後退ボタン	前後スライド
左右移動	スライドボタン+十字(左右)	左右スライド
上昇下降	スライドボタン+十字(上下)	上げ下げ
ヨー角	十字(左右)	左右にひねる
ピッチ角	十字(上下)	前後に倒す

表2 操作順序
Table 2 The operational sequence

操作順序 (1回目 → 2回目)	立て札位置 (1回目 → 2回目)
ゲームコントローラ → タンジブルアバタ	A → B
ゲームコントローラ → タンジブルアバタ	B → A
タンジブルアバタ → ゲームコントローラ	A → B
タンジブルアバタ → ゲームコントローラ	B → A

測定パターンは表2に示す4パターンになった。

立て札の場所をマークするタスクの正答率を図8に示す。このタスクでは、被験者は与えられた地図に目分量でマークを行うために、正確な位置をマークすることは難しいと考えられる。したがって、立て札の位置と周りの建物の位置関係が正しく、マークした場所の誤差が10m以内(VR空間内の距離に換算して)の場合を正解とした。また正答率は、正しくマークできた立て札の数を制限時間内に探索出来た立て札の数で割ったものとした。

正答率について、両条件で得られた対のデータをWilcoxonの符号順位検定を用いて比較した。検定の結果、両条件間で母集団の分布に有意な差が確認された($p < .01$)。

4.3 考察

従来のインタフェースであるゲームコントローラと比較して、タンジブルナビゲーションインタフェースを利用することでVR空間のランドマークの位置が正しく認識されることが確認された。この結果により、空間認知が向上していると考えられる。

実験で撮影されたVTRから、視線を正面スクリーンから鳥瞰図へ移したと考えられる回数を観察した。鳥瞰図上のバーチャルなアバタ、あるいはタンジブルアバタを確認するという行為は、地図上での自分の位置を確認する作業であると考えられる。図9に示す通り、タンジブルアバタの操作時においては、ゲームコントローラと比較して回数にして約3倍以上鳥瞰図へ視線を移したことが観察された。

これは、タンジブルアバタと鳥瞰図を組み合わせることで、ユーザがタンジブルアバタと鳥瞰図の位置関係を把握しながら、タンジブルアバタをコントロールするためであると考えられる。実際、タンジ

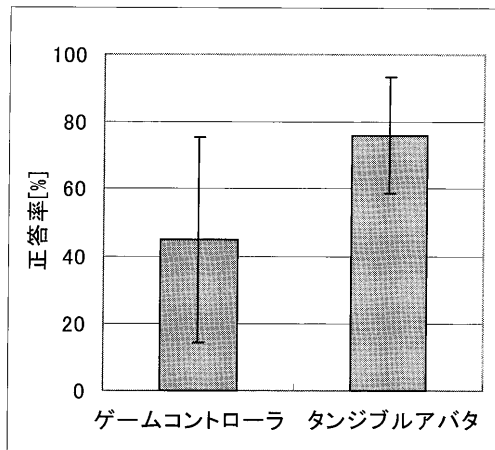


図8 立て札の場所をマークするタスクの正答率
Fig. 8 The percentage of right answers of the task

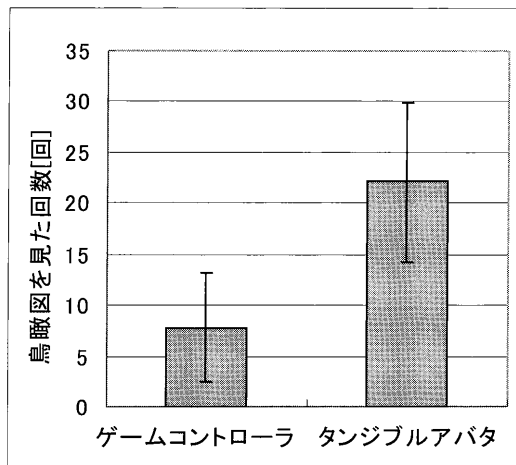


図9 操作時に視線を鳥瞰図へ移した平均回数
Fig. 9 The average of how many times the subjects moved their eyes to the bird's-eye view from front screen

ブルアバタの操作時において、立て札が後ろにあると分かった被験者が、正面映像を見ずにタンジブルアバタや鳥瞰図だけを見ながらアバタを後ろ向きにすることで立て札を発見することが出来たシーンが観察された。

一方、ゲームコントローラの操作時においても、鳥瞰図上にグラフィックスでアバタを表示したが、鳥瞰図が観察される回数が少ないという結果が得られた。したがって鳥瞰図との関連付けをグラフィックスでユーザに提示しても、これを参照することを支援しなければ、その効果が十分に発揮できない可能性が考えられる。また、ゲームコントローラの操作時においては、図9の結果より、主に正面映像を見ながら回転操作を行うことが予想される。VR空間を回転させるという行為はメンタルローテーションを必要とし、回転量が大きいと空間認知の負荷が大きくなるために[14]正答

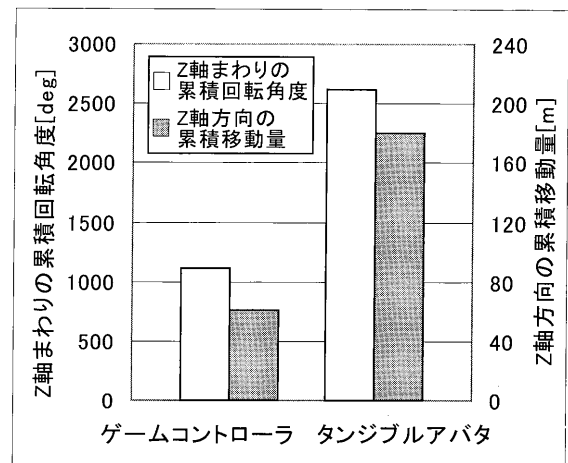


図10 Z軸まわりの平均累積回転角度とZ軸方向の平均累積移動量
Fig. 10 The average of cumulative the angle of rotation around Z-axis and the distance of movement on Z-axis in VR space

率が低くなったと考えられる。

さらに実験で計測されたZ軸まわり(ヨー角)の累積回転角度とZ軸方向への累積移動量を図10に示す。回転角度[度]・移動量[m]はともにVR空間座標系の値である。図10の2つの値に対してWilcoxonの符号順位和検定を行うと、タンジブルアバタを利用した場合とゲームコントローラを利用した場合とで有意な差が確認された($p < .01$)。

この結果は、タンジブルアバタが直接デバイスを持ち上げたり回転させやすいデバイスであるということを示している。実際、タンジブルアバタを持ち上げて、VR空間全体を上から眺めるといった操作を行った被験者も観察された。タンジブルアバタを持ち上げて、上空から全体を眺めた後にVR空間を探索し始めたためにスムーズな探索が行われ、タスクの正答率も高かったことも確認されている。

タンジブルアバタを操作することで、腕の運動が増えることが示されたが、腕の運動による体性感覚が空間認知に関して有効であると予想される。次章では腕の運動による体性感覚が空間認知に対して有効であるかを確認する実験を行う。

5 体性感覚実験

空間認知を支援する要因として歩行感覚や体性感覚があることが知られている[15]。タンジブルナビゲーションインタフェースも、腕の運動による体性感覚が空間認知の要因となっている可能性がある。そこで本実験では、ゲームコントローラとタンジブルナビゲーションインタフェースの2つのインタフェースにおいて、経路再現実験を行うことで体性感覚による空間認

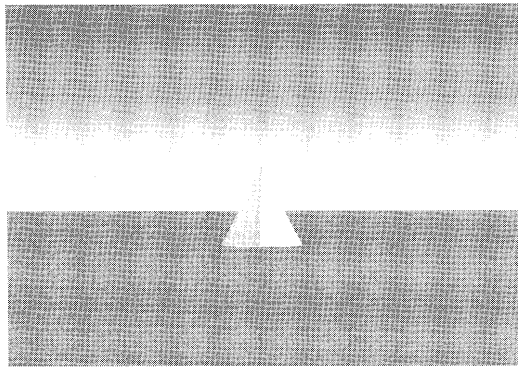


図 11 体性感覚実験に用いた VR 空間
Fig. 11 The virtual space which is used in the somatic sensation experiment

知に対する評価を行った。経路再現実験とは、被験者が移動する空間にマークを置き、それに向かって移動するという行為を行った後、マークを消してもう一度その移動を行う手法である。この実験結果を評価するためには、両者の軌跡を記録し分析すればよく、この過程は完全に客観的であることが知られている [16].

5.1 実験設定

実験では、図 11 のような一様の草原テクスチャが貼られた VR 空間を実験空間とした。これらの風景からは距離と角度を知る手がかりは存在しない。この草原テクスチャの上にはあらかじめ円錐形のマークが設置されている。図 12 にマークの設置位置を示す。マークの位置として、角度 θ が 7 パターン（正面を 0 度として $0, \pm 15, \pm 30, \pm 45$ [度]）、距離 L が 2 パターン（VR 座標系における 10, 30[m]）の計 14 パターンを用意し、ランダムに表示した。

本実験におけるゲームコントローラは、4 章で使用したものと同一のものである。一方タンジブルアバタも 4 章で使用したものと同一のものであるが、体性感覚のみの効果を得るために視覚的な要因を排除する必要がある。そこで鳥瞰図は投影せず、また直接タンジブルアバタを見ることができないようにカーテンで手元を覆った。これは、人間が体性感覚だけでなく視覚的な情報を用いて把持している物体の位置を認識している可能性があるためである。図 13 に実験風景を示す。

5.2 実験結果

筑波大学の工学を専門とする学部の学生を中心とした 12 名の被験者に対して実験を行った。それぞれのインタフェースによって前述の実験空間を移動させた時の経路再現誤差を図 14 に示す。本実験での経路再現誤差とは、単純にマークの位置と移動経路の最終位置の間の距離とする。

また経路再現誤差について、両条件で得られた対のデータを Wilcoxon の符合順位和検定を用いて比較した。検定の結果、両条件間で母集団の分布に有意な差

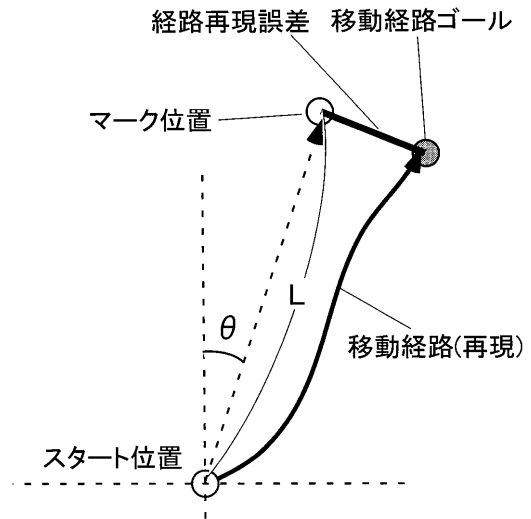


図 12 経路再現実験におけるマーク位置
Fig. 12 The position of the mark in the path reproduction tests



図 13 体性感覚実験の風景
Fig. 13 The scene of the somatic sensation experiment

が確認された ($p < .05$).

5.3 考察

本実験において被験者が与えられる感覚は、ゲームコントローラ条件では正面映像の視覚とコントローラのボタンを押している時間感覚であり、タンジブルアバタ条件では正面映像の視覚と腕の筋肉の体性感覚である。もし正面映像の視覚情報のみで距離感覚や移動感覚が決定されるならば、両デバイスの実験結果は等しくなると予想される。しかし体性感覚実験の結果から、タンジブルナビゲーションインタフェースを利用した方が経路再現誤差が小さくなることが明らかになった。これはターゲットまでの経路（パス）の距離感覚が正しく認識されたと考えられるため、空間認知に対して有効であると期待される。

図 15 に、マークまでの距離別経路再現誤差、図 16 に、マークへの角度別経路再現誤差をそれぞれ示す。距離が短い (10m) の時は両デバイスともほとんど差が見られないが、距離が長くなると (30m) タンジブルナビ

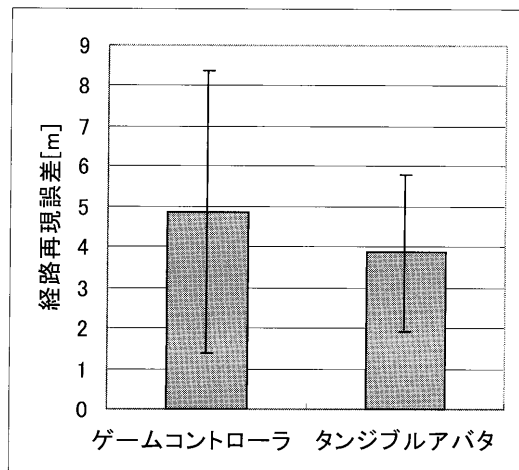


図 14 体性感覚実験の結果

Fig. 14 The result of the somatic sensation experiment

ゲーショントラフェースでの経路再現誤差はゲームコントローラと比べて少ないことが分かる ($p < .01$). この結果は、空間ナビゲーションなど試行錯誤的に長い距離を移動する際にタンジブルナビゲーションインタフェースが有利であることを意味していると考えられる。また角度に関しては有意な差が見られなかったが、 $-15, 45$ 度の時を除いた経路再現誤差はタンジブルナビゲーションインタフェースの方が少ないことが分かる。

一方、タンジブルナビゲーションインタフェースでは経路再現誤差のばらつきが少ないことも明らかになった。これはゲームコントローラの操作が、ゲームコントローラの習熟度に影響される可能性があるのに対し、タンジブルナビゲーションインタフェースでは、腕の運動の体性感覚によって得られた距離感覚や移動感覚の再現となるためにばらつきが少ないのだと思われる。この結果から、博物館など必ずしもゲームコントローラになれていない幅広い年齢層のユーザが操作する場合などに有効であると考えられる。

6 おわりに

本論文では、タンジブルナビゲーションインタフェースの空間認知に対する有効性を示すために、相対的な入力となる従来のゲームコントローラインタフェースとの比較実験を行った。特に、空間認知において最も基本的な情報とされる、ランドマークの位置の認識とパスの距離感覚の認識を確認することに絞り、それぞれに対する2種類の実験を行った。

空間ナビゲーション実験では、ランドマークの位置が正しく認識されやすいことを確認し、また腕の運動が増えることから、腕の体性感覚も空間認知に対して有効であることを予想した。そこで鳥瞰図の影響をで

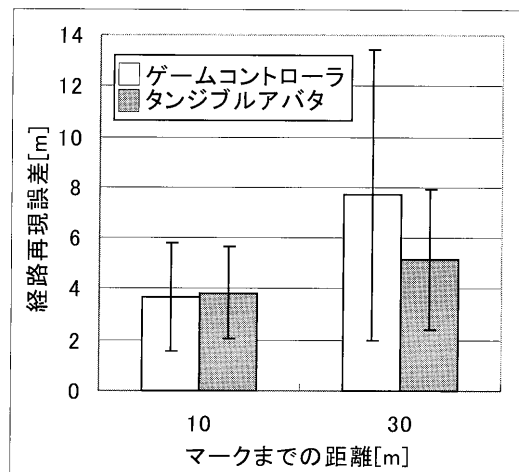


図 15 距離別の経路再現誤差

Fig. 15 The errors of the cases which have different distance to the mark

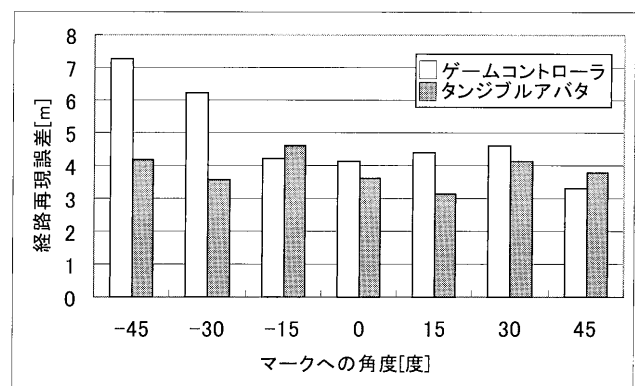


図 16 角度別の経路再現誤差

Fig. 16 The errors of the cases which have different angle to the mark

きるだけ排除した体性感覚実験を行い、パスの距離感覚が正しく記憶されやすいことを確認した。

その結果、タンジブルナビゲーションインタフェースは、空間認知に対して有効であることが示された。この要因として、タンジブルナビゲーションインタフェースを利用することで、絶対座標で簡単に直接マップ上の位置と方向を指示でき、鳥瞰図を常に意識しながらタンジブルアバタのコントロールが行われる点とユーザの腕の体性感覚により距離感覚や移動感覚が記憶されやすいということを明らかにした。

しかし、タンジブルアバタを操作することで、鳥瞰図がより自然に観察されるということを確認するために詳細な実験を行う必要があると考えられる。また今回使用したパッド型のゲームコントローラのほかに、ジョイスティック・3Dマウス・ワンドといった相対入力と絶対入力の間期的な特徴を持つ様々なインタフェースもある。今後はこれらの各種デバイスとの比較実験も行う予定である。

謝辞

本研究は、通信・放送機構の直轄研究「スケーラブル VR コンテンツ生成・共有技術の研究開発」の一環として実施されました。

参考文献

- [1] 岡本敏雄: インターネット時代の教育情報工学 1, pp. 144-147 (2000).
- [2] 藤門千明, 安藤真, 山下淳, 吉田和弘, 葛岡英明, 廣瀬通孝: タンジブルアバタを利用した VR 空間ナビゲーションインタフェースの構築と評価, 日本バーチャルリアリティ学会第 8 回大会論文集, pp. 501-504 (2003).
- [3] Lynch, K.: The image of the city. MIT Press (1960).
- [4] 村越 真: 認知地図と空間行動, 心理学論評 Vol.30, No.2, pp. 188-207 (1987).
- [5] Cruz-Neira, C., Sandin, D. J. and DeFanti, T. A.: Surround-Screen Projection-Based Virtual Reality: The Design and Implementation of the CAVE., ACM SIGGRAPH '93 Proceedings, pp.135-142 (1993).
- [6] 山田俊郎, 棚橋英樹, 小木哲郎, 廣瀬通孝: 完全没入型 6 面ディスプレイ COSMOS の開発と空間ナビゲーションにおける効果, 日本バーチャルリアリティー学会論文誌, Vol. 4, No. 3, pp. 531-538 (1999).
- [7] 岩田洋夫: 全方向無限平面を用いたロコモーションインタフェース, 日本バーチャルリアリティー学会論文誌, Vol. 5, No. 2, pp. 853-862 (2000).
- [8] Mazalek, A., Davenport, G. and Ishii, H.: Tangible Viewpoints: A Physical Interface for Exploring Character-Driven Narratives, Published in the Proceedings of SIGGRAPH, July 21-26 (2002).
- [9] 蓼沼真, 田中昭二, 中尾恵子: Cypher - ブロックで構築した仮想世界と実写の融合システム, 画像電子学会第 6 回 VMA 研究会予稿集, Vol.6, No.4, pp. 1-7 (2001).
- [10] 暦本純一, Sciammarella, E.: ToolStone: 多様な物理操作を可能にする入力デバイス, WISS' 2000, Vol. 24, pp. 7-12 (2000).
- [11] Rekimoto, J. and Saitoh, M.: Augmented Surfaces: A Spatially Continuous Workspace for Hybrid Computing Environments, Proceedings of CHI '99, pp. 378-385 (1999).
- [12] ナイジェル・フォアマン, ラファエル・ジレット: 空間認知研究ハンドブック, pp. 198-199 (2001).
- [13] 安藤真, 吉田和弘, 谷川智洋, 王燕康, 山下淳, 葛岡英明, 廣瀬通孝: スケーラブル VR システムを用いた教育用コンテンツの試作 - マヤ文明コパン遺跡における歴史学習 -, 日本バーチャルリアリティー学会論文誌, Vol. 8, No. 1, pp. 65-74 (2003).
- [14] R.N, Shapard. and J.Meter. : Mental Rotation of Three-Dimensional Objects, Science, Vol.171, pp. 701-703 (1971).
- [15] 宮里勉: 「ロコモーションインタフェース」特集号について, 日本バーチャルリアリティー学会論文誌, Vol. 5, No. 2, pp. 821 (2000).
- [16] Iwata, H. and Yoshida, Y.: Path Reproduction Tests Using a Torus Treadmill, Presence Vol.8, No.6, pp. 587-597 (1999).

(2004 年 2 月 2 日受付)

[著者紹介]

藤門 千明 (学生会員)



2003 年 筑波大学第三学群工学システム学類卒業。同年 同大学大学院修士課程理工学研究科入学, 現在に至る。グループウェア, ヒューマンインタフェースの研究に従事。

安藤 真 (正会員)



1996 年 成蹊大学工学部工学研究科博士前期課程修了。同年凸版印刷株式会社入社。VR によるデジタルアーカイブを中心としたコンテンツ製作, 大型映像展示システムの技術開発に従事。2001 年通信・放送機構研究員。

山下 淳 (正会員)



1997 年 筑波大学第三学群工学システム学類卒業。1999 年 同大学大学院修士課程理工学研究科修了。2002 年 同大学大学院博士課程工学研究科単位取得退学。同年 東京大学先端科学技術研究センター特任助手, 現在に至る。共同作業支援 (CSCW), グループウェア, 五感情報通信の研究に従事。博士 (工学)。

吉田 和弘



1993 年 東京工業大学理学部物理学科卒業。1998 年 同大学大学院理工学研究科基礎物理学専攻博士課程修了。同年株式会社エクサ入社, 現在に至る。リアルタイム CG, VR の描画アプリケーション等の開発・研究に従事。博士 (理学)。

葛岡 英明 (正会員)



1986 年 東京大学工学部機械工学科卒業。1988 年 同大学大学院情報工学専攻修士課程修了。1992 年 同大学大学院博士課程修了 1992 年 筑波大学構造工学系講師。1997 年 カナダ, Dept. of Comp.Sci., Univ. of Calgary 客員研究員。2000 年 筑波大学機能工学系助教授。共同作業支援 (CSCW), グループウェアの研究に従事。博士 (工学)。

廣瀬 通孝 (正会員)



1977 年 東京大学工学部産業機械工学科卒業。1977 年 同大学大学院修士課程修了。1982 年 同大学大学院博士課程修了。同年 東京大学工学部産業機械工学科専任講師, 1983 年 同大学助教授, 1999 年 東京大学大学院工学系研究科機械情報工学専攻教授, 同年 東京大学先端科学技術研究センター教授現在に至る, 主にシステム工学, ヒューマンインタフェース, バーチャルリアリティの研究に従事。工学博士。