

新しいサイバースペース内移動インタフェースの提案

小林 稔 北川 愛子 志和 新一 市川 忠嗣

NTT ヒューマンインタフェース研究所
〒239 神奈川県横須賀市光の丘 1-1

HMDを用いたサイバースペースでの使用を前提に、足による移動インタフェースを提案する。これまでのサイバースペースの移動インタフェースには、手による操作や視線方向を利用したものが多かった。提案するインタフェースでは、コミュニケーションにおいて豊かな表現力をもつ手や視線を移動のためのインタフェースに使用せず、足による操作でサイバースペース内を移動する。ユーザは円盤に乗り、進みたい方向に体重を移動することでサイバースペース内を自由に移動できる。本報告では、提案する新しいインタフェースのデザインを示し、試作したインタフェースを使用して得られた知見を整理する。本インタフェースの効果を整理すると同時に、身体の向きを変えるとき足の踏み換え動作によるノイズなどの特有の課題を示す。

A Proposal of A New Interface for Cruising Cyberspace

Minoru KOBAYASHI, Aiko KITAGAWA, Shinichi SHIWA, and Tadashi ICHIKAWA

NTT Human Interface Laboratories

1-1 Hikarinooka, Yokosuka, Kanagawa 239 Japan

Hand gestures and eye gaze play important roles in inter-personal communication. This paper presents an interface that is operated by feet, and frees hands and gaze from locomotion task. With the proposed interface, users can move within the cyberspace by simply shift their body on the disc in the direction they want to go. This paper also presents several findings through the experimental use of the interface, including the noise generated when users step on the disc to change the direction to go.

1. HMD 表示によるインタースペース

「インタースペース」はNTTが実験中のサイバースペースで、仮想空間サーバが提供するサイバースペースにインターネットを介して多数のユーザが入り込み、サイバースペース内の情報にアクセスしたり、他のユーザとのコミュニケーションを楽しむ環境を提供している。コンピュータグラフィックスによるオブジェクトだけではなく、ユーザの顔映像や声も伝えることで、豊かなコミュニケーション環境を実現している[1]。ヘッドマウントディスプレイ (Head Mounted Display, 以下HMD)は、位置センサーと組み合わせユーザの頭の向きに対応した視野の画像を表示することで大きな没入感を実現することができ、バーチャルリアリティー等の3次元空間の表示に有効なデバイスである。我々はサイバースペースでのコミュニケーションの新たな可能性を探るために、HMD表示によるインタースペースを構築した[2]。

HMD表示によって、首を動かすだけで周囲を見回したり上や下を向くことができるようになり、CRT表示では得られなかった没入感や空間の広さが感じられ空間内の探索が面白くなった。また、移動しながら一瞥して通り過ぎるといった「仕草」が観察された。人間同士のコミュニケーションでは視線の動きのような些細な情報も重要な役割を果たす。マウスとCRTディスプレイの組み合わせでは移動と視野方向の両方をマウスで操作するので、移動してから視線方向を変えることになり、このような連続的で同時並行的な動作は起こらなかった。HMD表示では首の向きをそのままサイバースペース内の首の向きに反映させることで自然な仕草が可能になったと考えられる。構築したHMD表示によるシステムには問題もあった。HMD表示によるインタースペースではマウス操作は困難であった。マウスを手で探して掴むことができなかつたり、別のウィンドウをク

リックしてしまう等の問題があった。

本報告では、HMD表示の利点を活かしながら、HMDとの組み合わせには不向きなマウスに代わる新しいサイバースペース内移動のためのインタフェースを提案し、試作したシステムから得られた知見を報告する。

2. サイバースペース移動インタフェース

2.1 関連研究

サイバースペース内を移動するためのインタフェースとしては様々なものがあるが、マウスやジョイスティックを使った手で操作するインタフェースはその簡便性から広く普及している。例えば、マウスカーソルで画面上部を押すと前進、下部を押すと後退、右または左を押すと押した方向に進行方向を転回するというようなインタフェースが一般的である。画面の上下に方向を割り当ててではなく、ボタンを押し下げて上方に移動すると前進というようにボタンを押し下げた位置からの変位量によってコントロールする方法も一般的である。ジョイスティックでは、前に倒すと前進し横に倒すと倒した方向に転回するというように、行きたい方向にスティックを倒すことによって移動する方向をコントロールする。力をかけなければ、スティックは元の位置に復帰し、移動は停止する。手で操作するインタフェースとしては他に3次元マウスや3D-Wand [3] 等もある。

自然で直感的な移動インタフェースを実現するために歩行インタフェースの研究も行われている。ローラースケートや滑るサンダルを用いた歩くインタフェース[4][5]では、ユーザは磁気位置センサーと床面との接触を検出するセンサーを取り付けた「滑るサンダル」を履いて輪の形のセーフティー・フレームに入る。その中で移動する方向に歩くが、実際にはセーフティー・フレームに移

動を制限されるので足が滑るだけで移動することはなく、センサーが歩く動作を検出し仮想空間内の移動に反映させるので、ユーザは歩く動作をすることで仮想空間内を歩くことができる。また、ニューラルネットを用いて抽出した足踏み動作と、ユーザがHMDを通して見ている視線方向を利用して移動量と方向を決定するシステムもある[6]。またtreadmill(ルームランナー)の上で歩くインタフェースを発展させ、横方向に動くベルトを連結して縦方向に動くベルトを構成することで縦横自由方向への歩行を実現するものもある[7]。体感型のゲームやスポーツトレーナーのインタフェースも本研究と関連する。例えばオートバイの車体を傾けるインタフェースや、スキーのインタフェース[8]等である。これらのインタフェースは、多くの場合、決められたコースを走る中で、種目特有の身体の動きを入力し、反力として力覚フィードバックを返すことを目的に設計されている。自然な動きによる操作を目指す点で本報告のインタフェースと通ずる部分も多いが、これらのインタフェースが特定の種目に特化し決まったコースに沿った動きを対象にするのに対して、本報告のインタフェースは空間内の任意の方向への自由な動きを対象にする点で目的を異にしている。

2.2 提案するインタフェース

移動のみが目的であれば、緻密な操作が可能な手を使った移動インタフェースは効果的である。しかし、インタースペースのような3次元サイバースペース内での活動は移動だけにとどまらない。空間内の物体を操作したり、ジェスチャーを交えて他の人とコミュニケーションをするような場面では、手はそれらの活動に用いることができるように、手以外の部位による移動インタフェースが必要である。手同様に視線や頭の向きも、コミュニケーションにおいては大きな意味を持つ[9]。

そこで我々は、視線や手などコミュニケーションに有効に使える可能性のある身体の部位は極力使わないことを設計指針とし、コミュニケーション環境としてのサイバースペースのためのマウスに変わる新しいインタフェースを提案する。

手以外の部位によるインタフェースとして、足による歩行インタフェースは一つの究極の形である。現実空間での歩行を仮想空間での歩行に直接的に結びつける歩行インタフェースでは、日常歩くのと同じように仮想空間内を歩くことができ、説明しなくてもその使い方を理解することができる。しかし、歩行インタフェースの実現には機構的な難しさがある。また、我々は本物の「歩行」を知っているから本物とのわずかな差異を敏感に感じとってしまう。歩行によるインタフェースの実現は、それが直接的で自然であるが故に難しい。

我々はそのような実現の難しさに起因するインタフェースの不自然さを回避し、直感的に移動を楽しめるインタフェースを実現するために、歩行インタフェースのような自然の行動の直接的な模倣とは異なるアプローチをとる。仕組みが単純な仮想の道具を見立て、そのメタファーを用いたインタフェースを構築する。マウスなどを使用したサイバースペースのウォークスルーでは、視点が滑らかに移動するので空間内を滑っているような印象があった。そこで我々は滑るように移動する仮想の道具として、ユーザが乗って体重をかけたて傾けた方向へ滑って行く「滑る円盤」のメタファーに基づくインタフェースを提案する。

3. 実装

3.1 装置の概要

ユーザが体重をかけた方向に滑るように進む体重移動インタフェースを試作した。図1は体重移動を入力する装置(Tilting Disc)の概略を示す断面図

である。ユーザがのる円盤は支点で支えられ、下部にはバネが取り付けられている。ユーザが体重を移動させると円盤が傾く。その傾き量は荷重に比例しているため、円盤下面に取り付けられた変位センサーで装置の底板と円盤との距離を測ることで円盤にかけられた荷重移動を測ることができる。実際には、円盤は2つの軸で支えられ全ての方向に同じように傾く。各軸に対応して2個の変位センサーが取り付けられ、それぞれの軸に対する変位量を測る。2つのセンサーの出力を合成することで、ユーザの体重移動の方向と量を計算する。試作した装置の円盤の直径は1mであり、バネの強さはユーザが円盤の縁に乗ったときに約3度傾くように設定されている。

図2はシステム構成図、図3はユーザが円盤に乗った状態のシステム全体像である。ユーザはHMDをかぶり、前述の円盤にのる。HMDには磁気位置センサーが取り付けられ、ユーザの頭的位置と向きを測りコンピュータに送る。コンピュータはその情報を元に、ユーザの頭の向きに対応した画像を生成しHMDに表示する。コンピュータは、左目用・右目用に視差を付けた2枚の立体視用画像を生成する。円盤の傾きを示す変位セン

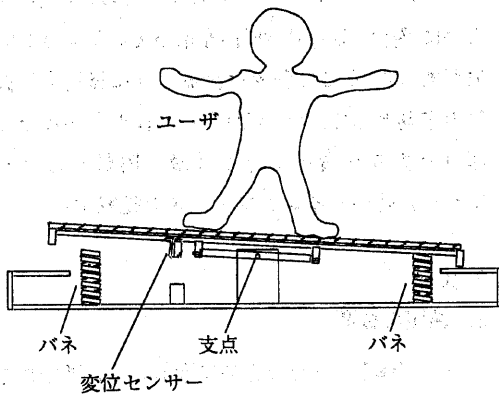


図1 体重移動入力装置断面図
Fig. 1 A cross section of the Tilting Disc

サーの出力は、A/D変換装置でデジタル量に変換され、コンピュータに入力される。このデータを基に、移動ベクトルを計算しサイバースペース内の移動を行う。

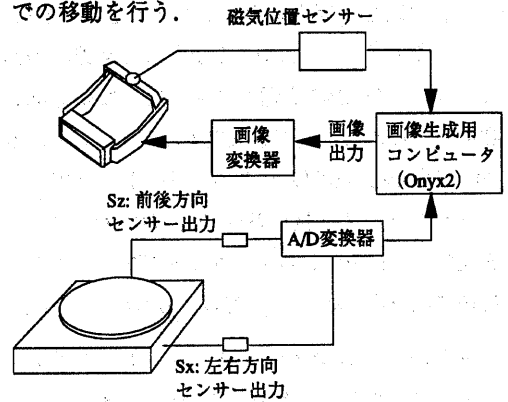


図2 システム構成
Fig. 2 System configuration

HMD (磁気位置センサーが取り付けられている)

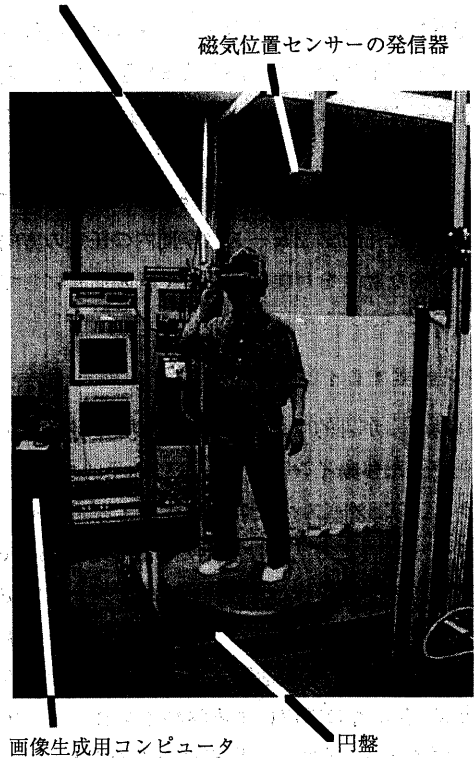


図3 システム全体の写真
Fig. 3 Picture of entire system.

3.2 体重移動入力の移動ベクトルへの変換

円盤の傾き量を3次元空間内の移動ベクトルに変換する方法として色々なものが考えられる。例えば、円盤の前方に体重を移動すれば前進、横に移動すれば旋回といった変換も考えられる。しかし、HMDをかぶり動いていると円盤の前後左右がどちらの方向かわからなくなる。そのような状況でも使用できるように、全方向に同じルールで作用する入力方法を選ぶ必要があった。本システムでは、円盤の前後方向を仮想3次元空間のワールド座標系のZ軸に、左右方向をX軸に直接対応させることとした。こうすることで、ユーザは単純に仮想空間内で移動したい方向に足を踏み出して体重を移動することで、その方向へ進むことができるインタフェースを実現した。また、体重移動インタフェースでは仮想空間中での位置だけを移動させ、視野方向はHMDにより決定することとした。移動方向と視野方向を独立の入力で決めるので、例えば一定方向に移動しながら後ろや横を向くこともできる。

本デバイスは、荷重をかけた時だけ傾き、力をかけずに中央に立てば元の位置に戻るデバイスであ

る。Zhaiらの報告によると、このようなデバイスのインタフェースは、その変位量を移動速度に割り当てた場合に高い性能を発揮する[10]。そこで、X方向、Z方向の傾き量をそれぞれの方向の移動速度に割り当てることとした。X方向、Z方向の移動速度は、各軸のセンサーの出力値からそれぞれ独立に計算されるが、その合成ベクトルはユーザが体重を移動した方向になる。ユーザは、進みたい方向に体重をかけて円盤を傾けることで、その傾き量に応じた速度で移動することができる。

4. 試用結果と考察

図4は、本システムの使用イメージ図である。HMDを装着したユーザは円盤に乗りサイバースペース内を滑りまわる。製作した体重移動によるインタフェースの使い勝手や効果を調べるために、試作したインタフェースを用いてサイバースペース内を移動するユーザを観察した。使用したサイバースペースは、インタースペースをもとに通信機能等を除き簡略化したプログラムを用い、模擬アバターを空間内の数カ所に配置した。移動中のユーザの座標、方向、体重移動による入力値

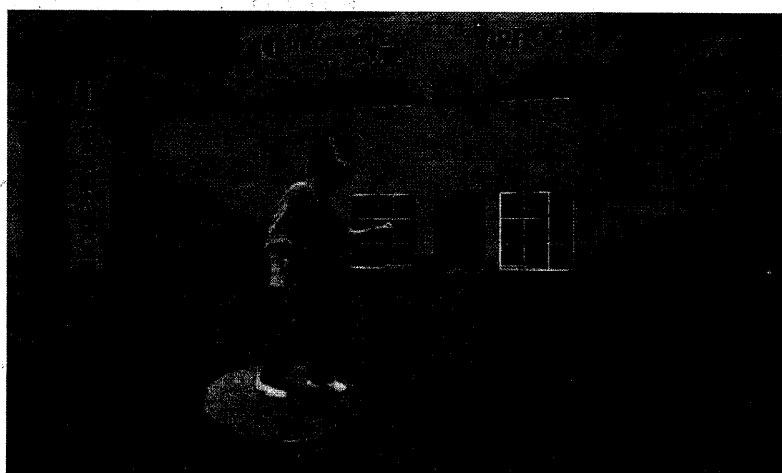


図4 本システムを使用したイメージ図

Fig. 4 An imaginary picture of the interface being used in the cyberspace

の記録データと、参加者の感想などから得られた知見・今後の研究課題等をまとめる。

4.1 操作感

操作性については概ね思った方向・位置に移動することができた。また、装置の使用方法を説明しなくても、その形状や視覚フィードバックから使用方法を把握することができた。進みたい方向に踏み込むという単純な割り当てが、理解を容易にしたと考えられる。

HMDを装着したユーザは円盤を実際に見ることはできないが、足に触れる円盤の存在を感じている。触って確かめられる実世界の円盤は、仮想世界でも確かにリアルサイズで存在する乗り物である。そのような実在感は、サイバースペースの中で自然なインタフェースを構成する上で重要である。また、ユーザは円盤という乗り物に乗ってサイバースペースの床に立つ。操作方法が容易に理解できる乗り物の存在を定義することが、ユーザの入力とサイバースペース内の移動の矛盾のない結合を助けていると考えられる。

本インタフェースを自然だと感じる一方で、目的地に近づいた後の細かな位置調整の難しさを全てのユーザが感じた。また、静止した後で徐々に位置が動いてしまうドリフト動作も使いにくさとして報告された。これは、円盤の中心からずれた位置に立つことによって起こる。実際には多少ずれたところに立ってもドリフトが起こらないように遊びがもうけてあるが、HMDを装着してしばらく本インタフェースを使用すると、中心がどこであったか分からなくなることがあった。また、足の位置を変えるなど姿勢を変更するときに不安定な状態になることがあった。

本インタフェースによる移動パターンの特徴を探るために、HMD表示で体重移動インタフェースを使った場合と、CRT表示でマウスを用いた場

合とで、仮想空間中の約40m前方に設定した目的地（指定の模擬アバターと対面できる位置）まで移動してもらい、その移動軌跡を記録した。図5(a)(b)は本インタフェースを用いた場合の軌跡の2例である。図5(a)の○印は2秒毎の位置、○印に付された矢印はその位置での視線方向を示す。図5(b)は別の例であるが、ここでは移動軌跡を見やすくするため○印と矢印は省略してある。

体重移動インタフェースでは、視線方向を変えず真横に動く蟹歩き動作や、視線方向とは異なる方向に進む動作、移動しながら目標に視線を向け始める動作が観察された（図5(a)）。これは、移動のためのインタフェースと視野方向を決定するインタフェースが独立しているためだと考えられる。コミュニケーションを目的として人に近づく際に、このように近づきながら目を合わせるのは自然な挙動である。サイバースペース内でこのような自然な動きができるのは本インタフェースの効用であると考えられる。

位置の微調整の難しさの原因と思われる動きの跡が図5(b)に見られる。例えば移動開始時（図5(b)中の四角形で囲んだ部分）の縦軸方向への動きである。これは、ユーザが意図せずに体重が片方に寄ったために起こったドリフト動作である。どち

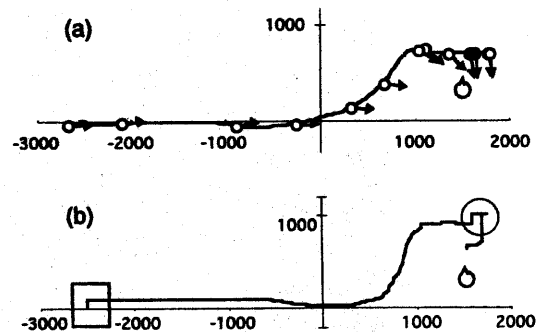


図5 ユーザの移動軌跡

Fig. 5 Tracks of user's motion in the cyberspace

らにも移動しないゼロ点で平衡を長時間保ち続けるは難しかった。もう一つは、図5(b)中に円で囲んだ部分の不規則な動きである。これはユーザが進行方向を変えるために、その方向に足を踏み込んで行く「踏み換え」動作の時に起こっている。このような動作は我々の身体の構造から避けられない。移動のための荷重が緩やかにかけられるのに対し、踏み換え時には素早く動くため大きな力で円盤が押され、結果として予期せぬ方向に大きな速度で動き、ユーザは慌てる。このような意図しない動きを取り除く方法の実現は、今後の課題である。

4.2 今後の課題: 他形状インタフェースの検討

試作したシステムの試用を通して、「踏み換え」動作の際の不規則な動きなど円盤の傾きを足でコントロールするインタフェース特有の問題も発見された。これを解決するためには、「踏み換え」動作成分をソフトウェアで除去する方法も考えられるが、円盤以外の形状のインタフェースも検討する必要がある。例えば座ったまま体重を傾けることによってサイバースペース内の移動を行う椅子型インタフェース等を考える。試作したインタフェースではユーザは使用中は円盤の上の立ち続けなければならないが、椅子型インタフェースでは座って使用できる等の利点もある。

4.3 今後の課題: 移動ベクトルへの変換方法

円盤の傾き入力からサイバースペース内での移動ベクトルへの変換方法は、使い勝手に大きく影響する。少ない傾きで高い速度が出るように設定すれば目的地までの到達時間は短縮できるが、細かな位置の調整には不向きになる。実験したシステムの最高速度は、数種の色速度を試した上でおおむね良好な操作感の得られた約10m/秒としたが、停止後のドリフトなどが観察され、工夫の必要性が感じられた。

ドリフト以外にも問題が見受けられた。不慣れたユーザでは、目的位置に近づいて慌てて体重を逆方向に移動させたために後退してしまうことも観察された。また、平衡位置に戻ると急に止まってしまうことの不快感も報告された。これはマウスでボタンから指を離したときの挙動と同じだが、没入感の高いHMD表示ではそのような急停止は不快であった。これらは、実世界で慣れている物理現象との違いに起因していると考えられる。実世界では壁に衝突しない限り瞬時に速度がゼロになることはない。また、前に進んでいたものが急に後ろに進み出すこともない。作用した力は時間をかけて物体の運動を変化させる。HMDを使った没入環境では、表示される映像は自身が存在する環境として真剣に解釈される。そのため不合理は敏感に捉えられ、違和感を生んでいると考えられる。

このような不自然な挙動をなくすために、日常生活で経験している物理法則に近い方法として、速度ベクトルではなく加速度ベクトルへの変換方法を試みた。傾き量を加速度として扱い、その時間積分から速度を求めた。自動車のブレーキのように、減速方向には加速時よりも大きな絶対値の加速度を与えた。実際に加速度変換によるインタフェースの使用感を確認する実験を行ったところ、進行方向反対に力をかけてブレーキをかけるような止まり方は心地良いものであり、加速度変換の効果を感じた。しかし微妙な位置の修正動作では、行き過ぎたり戻ったりすることを繰り返すうちに発散的に遠く離れてしまうこともあり、今後の改良の余地を残した。速度帯、傾きの大きさ、踏み込み速度の大きさ等を用いて、状況応答型の制御を取り入れることが必要だと考える。

4.4 今後の課題: 3次元移動への拡張

本インタフェースの3次元空間移動インタフェースへの拡張は興味深いテーマである。3次元移動

のインタフェースでは、傾きだけでなく円盤全体の上下動や回転など、さらに多次元の入力が必要となるかもしれない。また、円盤の傾きによって速度ではなく上下方向の進行方向を制御するような入力の移動ベクトルへの割り当て方も考えられる。ユーザの理解しやすい変換方法の設計に向けた検討が必要である。

5. まとめ

HMDによるサイバースペースのための新しい移動用インタフェースを提案した。本インタフェースを使うユーザは、円盤の上で移動したい方向に体重をかけて円盤を傾けることでサイバースペース内を自由に移動できる。足で操作するので、視線や手などを人間同士のコミュニケーションに重要な本来の役割に使用でき、サイバースペース内のコミュニケーションをより自然で豊かなものとする事ができる。

試作した装置によって操作性を確認した。一方で、身体の向きを変えるとき足の踏み換え動作に伴うノイズなど、本インタフェース特有の課題も確認された。このような特有ノイズの除去、ユーザの感覚にあった移動ベクトル生成方法の確立、3次元移動インタフェースへの拡張などは今後に残された課題である。

参考文献

- [1] S. Sugawara, G. Suzuki, Y. Nagashima, M. Matsuura, H. Tanigawa, and M. Moriuchi, "Interspace: Networked virtual world for visual communication, IEICE Transaction on Information and Systems," Vol. E77-D, No. 12, pp. 1344-1349, 1994. (参考: <http://CyberSociety.elcs.intsp.or.jp/>)
- [2] 定方徹, 小林稔, 北川愛子, 志和新一, "HMDを用いた3次元多人数参加型コミュニケーション空間の検討," 情報処理学会第55回全国大会講演論文集, 4, no. 1Y-5, pp. 99-100, September 1997.
- [3] C. Schmandt, "Spatial Input/Output Correspondence In A Stereoscopic Computer Graphic Work Station," Computer Graphics Volume 17, Number 3, pp. 253-261, July 1983.
- [4] H. Iwata, and K. Matsuda, "Haptic Walkthrough Simulator: Its Design and Application to Studies on Cognitive Map," Procs. of the 2nd International Conference on Artificial Reality and Tele-existence, pp185-192, 1992.
- [5] H. Iwata, and T. Fujii, "Virtual Perambulator: A Novel Interface Device for Locomotion in Virtual Environment," Procs. of IEEE 1996 Virtual Reality Annual International Symposium, pp 60-65, March 1996.
- [6] M. Slater, M. Usoh, and A. Steed, "Taking Steps: The Influence of a Walking Technique on Presence in Virtual Reality," ACM Transactions on Computer Human Interaction, Vol. 2, No. 3, September 1995, pp. 201-219, 1995.
- [7] 岩田洋夫, 吉田陽子, "無限平面を用いた仮想歩行装置," 日本バーチャルリアリティ学会第2回大会論文集, pp. 254-257, September 1997.
- [8] 田中幹大, 根本啓次, "VRを利用したスキートレーニングシステムの実現," テレビ学技報, Vol.19, No. 21 pp. 13-18, March 1995.
- [9] H. Ishii, M. Kobayashi, and J. Grudin, "Integration of Interpersonal Space and Shared Workspace: ClearBoard Design and Experiments," ACM Transaction on Information Systems, Vol. 11, No. 4, pp.349-375, October 1993.
- [10] S. Zhai, and P. Milgram, "Human Performance Evaluation of Manipulation Schemes in Virtual Environment," Procs. of IEEE 1993 Virtual Reality Annual International Symposium, pp. 155-161, September 1993.