

3次元トラックボールを用いた身体的アバタ操作の評価

石井 裕[†] 大崎 浩司^{††} 渡辺 富夫^{†††,††††} 伴 好弘[†]

[†] 神戸大学 学術情報基盤センター 〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町 1-1

^{††} 岡山県立大学大学院 情報系工学研究科 〒719-1197 岡山県総社市窪木 111

^{†††} 岡山県立大学 情報工学部 〒719-1197 岡山県総社市窪木 111

^{††††} 科学技術振興事業団 戦略的創造研究推進事業 CREST

E-mail: †{ishii,ban}@kobe-u.ac.jp, ††osaki@hint.cse.oka-pu.ac.jp, †††watanabe@cse.oka-pu.ac.jp

あらまし 本研究は仮想同一空間内に対話者自身及び対話相手の身体的アバタを配置して互いのインタラクションをとらえられることで、遠隔においてもより効果的なコミュニケーションを実現することを目的としている。これまでにこの身体的アバタのコミュニケーション動作を直接的に合成する入力として手指に着目し、新たに手指動作入力によるアバタとして“PuppetAvatar”を提案し、プロトタイプを開発して効果を確認した。本稿ではPuppetAvatarの頭部動作をより直感的に操作することができる3次元トラックボールを開発している。身体全体が自由に動かせないなど、制約的なコミュニケーション状態での手指動作入力アバタの操作について、15組30人を被験者としたコミュニケーション実験により官能評価を行うとともに、システムの有効性を示している。

キーワード ヒューマンインタラクション、身体的アバタ、手指動作入力、3次元トラックボール

Evaluation of Embodied Avatar Manipulation by using 3D Trackball

Yutaka ISHII[†], Kouzi OSAKI^{††}, Tomio WATANABE^{†††,††††}, and Yoshihiro BAN[†]

[†] Information Science and Technology Center, Kobe University Rokkodai 1-1, Nada-ku, Kobe, Hyogo, 657-8501 Japan

^{††} Graduate School of System Engineering, Okayama Prefectural University Kuboki 111, Soja, Okayama, 719-1197 Japan

^{†††} Faculty of Computer Science and System Engineering, Okayama Prefectural University Kuboki 111, Soja, Okayama, 719-1197 Japan

^{††††} CREST, JST

E-mail: †{ishii,ban}@kobe-u.ac.jp, ††osaki@hint.cse.oka-pu.ac.jp, †††watanabe@cse.oka-pu.ac.jp

Abstract Remote talkers can communicate smoothly through their embodied avatars that represent their interactive behaviors in the same virtual space. We have already developed an embodied avatar mediated communication system by using a human avatar called the “VirtualActor” and an abstract avatar called the “VirtualWave” within the same communication space. And we proposed the concept of a virtual communication avatar “PuppetAvatar” in which remote talkers can operate their own avatar by their hand motion under the restricted condition, and developed the prototype of the system. This paper developed 3D trackball for intuitive manipulation of the avatar’s head motion. Sensory evaluation demonstrates the effectiveness of the system in communication experiment for 15 pairs of 30 talkers in the comparison with the wireless mouse, trackball, and 3D mouse.

Key words Human Interaction, Embodied Avatar, Hand Motion Input, 3D Trackball

1. はじめに

人間のコミュニケーションにおいては、時空間の共有とともに互いの身体を介したインタラクションによって情報共有を行っている。対面コミュニケーションに代表されるこの身体的

コミュニケーションはより自然かつ普遍的なものと言える。遠隔においても対話者相互の身体を介したコミュニケーションを実現するために、対話者の代役となるアバタを用いてコミュニケーションを支援する様々な検討がなされている^{[1]-[3]}。この際、対話者に想定される共有空間において、互いのインタラク

シジョンを効果的にとらえるためには、対象となる空間つまりコミュニケーション場における自己の振る舞いを知覚できることが不可欠である。対話空間が実空間であり、コミュニケーションにおいて自己の身体性が機能する場所が一致している場合、対話者は自己の振る舞いを意識的にとらえる必要性は少ない。しかし遠隔の対話者と仮想空間を共有する場合、自己アバタの機能としては対話者の存在を仮想空間に位置付けるだけでなく、対話相手とのインタラクションをとらえる上で重要な役割を果たしている。この自己アバタの操作手段によっては、空間に共に存在している感覚としての共存感を全く得られない可能性もあり、仮想空間内でのアバタ同士の関係性だけでなく、対話者とアバタの関係性についても注目する必要がある。

著者らはこれまでに、より対話者の身体性に着目し、磁気センサを利用して対話者上半身の身体動作を忠実に再現する人型の VirtualActor、及びよりプリミティブなオブジェクトによりコミュニケーションリズムに特化した波型の VirtualWave による身体的バーチャルコミュニケーションシステムを提案し、システムの有効性を確認してきた [4][5]。また、身体全体が動かさない場合の代用として、手指動作入力によるアバタである PuppetAvatar のコンセプトを提案し、手袋型センサを用いたプロトタイプシステムを開発している [6]。さらにこの身体的アバタの動作入力について、特別なセンサを必要とせず、より簡易に対話者の身体特性を表現できるアバタの構築を目的として、直接的な入力特性により対話者の身体動作を線形写像的に操作できるトラックボール式 PuppetAvatar を開発している [7]。

本研究では、コミュニケーション実験によりこのトラックボール入力による PuppetAvatar の有効性を確認するとともに、操作対象であるボールに対して、より CG キャラクタの頭部動作としてのメタファを活用するために、一つの操作対象でアバタを操作できる 3 自由度を有する 3 次元トラックボールを開発している [8]。この 3 次元トラックボール及びワイヤレスマウス、トラックボール、3 次元マウスの 4 デバイスを比較するコミュニケーション実験を行い、アンケートによる官能評価結果よりシステムの有効性を確認している。

2. 手指動作入力による身体的アバタ

2.1 身体的バーチャルコミュニケーションシステム

遠隔地において身体的な対話を可能にすることを目的として、これまでに磁気センサを用いて CG キャラクタを動作させることができる身体的バーチャルコミュニケーションシステムを開発している (図 1)。このシステムは、磁気センサを利用して VirtualActor は 4 個の磁気センサを頭頂部、腰部、両手首に着けて上半身を再現し、VirtualWave は 1 個の磁気センサを頭頂部に着けて頭部運動のリズムを特徴的に表現しており、それぞれ自己の身体的アバタとして効果的に振る舞い、対話相手と同一仮想空間を共有して円滑なインタラクションをとらえながら対話を行うことができる (図 2)。さらに身体的コミュニケーションの分析・評価に有効であり、対話者のアバタ配置等の対話空間操作だけでなく、対話者とアバタ間に意図的に矛盾を与えることで同一性、一貫性を修正する課程を調べるなど、各種

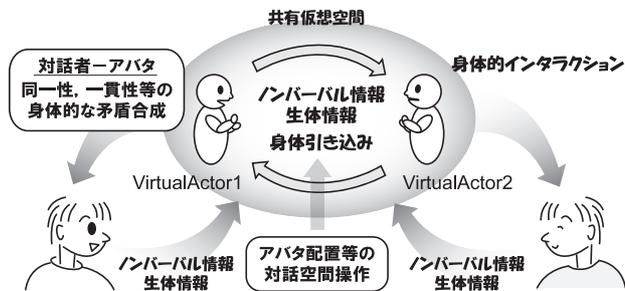


図 1 身体的アバタを介したインタラクション
Fig.1 Interaction via embodied avatars.

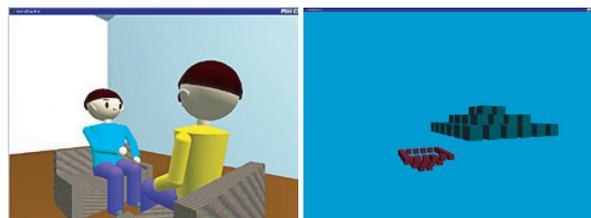


図 2 身体的バーチャルコミュニケーションシステム
Fig.2 Embodied virtual communication system.

のインタラクション分析が可能である。これまでにシステムを用いて、身体的アバタ動作と自己の振る舞いが矛盾的に異なる場合に対話相手とのインタラクションに影響を与えるなど、そのコミュニケーションにおける効果について報告するとともに、システムの有効性を示してきた [4],[5]。

2.2 ポインティングデバイスによる手指動作入力

入院中の患者など、図 3 のように身体全体が動かさない状況でも円滑なインタラクションを支援することを目的として、上半身の動作を再現する VirtualActor を操作するための手袋型センサによる PuppetAvatar を開発している [6]。擬人的キャラクタによるアバタの直接的操作に着目したコミュニケーション支援システムとしては、小泉らのハンドパペット型ロボティックユーザインタフェース [9] や、伊藤らのパペットインタフェース [10] などが挙げられ、その他研究開発が行われているが [11]-[13]、身体的インタラクションの観点からの自己アバタ操作やアバタインタラクションについては検討されていない。また一方で、一般的な PC 環境でのコミュニケーション支援を考慮した場合、専用のデバイスの存在は利用を阻害するケースも考えられるため、他のアプリケーション操作と共有できるデバイスを効果的

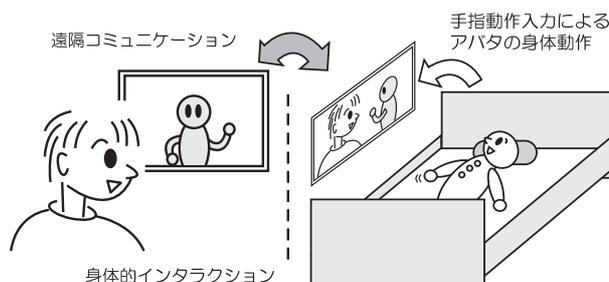


図 3 手指動作入力による応用例
Fig.3 Application by using hand motion input.



(a)トラックボール (b)3次元マウス (c)ワイヤレスマウス

図 4 使用したデバイス

Fig.4 Devices used in the experiment.

に利用する方法を検討する必要がある。

そこで本研究では、操作特性を簡略化し直接的に表現できるトラックボールに着目し、ポインティングデバイスによるコミュニケーションシステムを開発している^[7]。トラックボールは球状の操作対象によりCGキャラクタの頭部動作としてのメタファを活用できるため、対話者の直接的な操作を反映した身体的なアバタを構築し、対話者相互のアバタを介することで円滑なコミュニケーションを支援することができる。使用したトラックボールは、Kensington Expert Mouse 64325A (図4(a))で、操作軸を捉えやすくするために、操作対象である球の直径がより大きいものを選定した。アバタ動作は、トラックボールの前後移動をうなずき方向(ピッチ回転)、左右移動を首をかしげる方向(ロール回転)、ホイールの移動を否定方向(ヨー回転)に対応させた。ここで対話者の音声は、ヘッドセットによりUSB接続の外付けサウンドボード(CREATIVE Sound BLASTER AUDIGY2 NX)経由で16bit 22.050Hzでサンプリングして100MbpsEthernet経由で相互に送受信し、対話相手側のヘッドセットより出力している。またMicrosoft WindowsXPをOSとしたPCを使用して、3次元モデリングソフト(3ds max)により作成されたキャラクタをDirectXにより秒間30フレームで動作させている。

2.3 評価実験

対話者12組24人を対象として、トラックボール及び一般的なワイヤレスマウス及び3次元マウスによるシステムを比較するコミュニケーション実験を行った。比較対象としての3次元マウスは、トラックボールと同様に操作中に把持する対象として球体を利用したデバイスである3次元マウス(SPACEBALL 5000)を用いてシステムを構築した(図4(b))。またワイヤレスマウスを用いたシステム構成は、上下運動をうなずき方向(ピッチ回転)、左右方向を疑問方向(ロール回転)、ホイールの前後回転を否定方向(ヨー回転)にそれぞれ対応付けている。有線接続によるマウスは、ケーブルが操作に影響を与える可能性があるため、光学式ワイヤレスマウス(ELECOM M-D10URBK)を用いている(図4(c))。3つのデバイスそれぞれについて各場面2分間ずつ対話させて評価させた。それぞれのデバイスについて、対話者の入力が停止した際にアバタの姿勢を初期状態に戻す場合と、そのままのアバタ姿勢を維持する場合の2パターンを使用しており、計6パターンの12分間で対話を行った。

表1は、実験終了後にアバタ姿勢の初期戻しの有無にかかわらず最も使用したいという観点から各デバイスについて一

表 1 3 デバイスの一対比較結果

Table 1 Result of pair comparison.

	3次元マウス	トラックボール	ワイヤレスマウス	合計
3次元マウス		6	7	13
トラックボール	18		17	35
ワイヤレスマウス	17	7		24

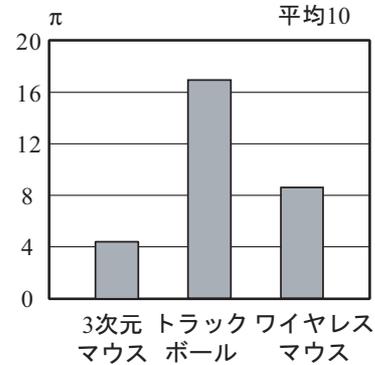


図 5 Bradley-Terry モデルに基づく表 1 の評価比 π

Fig.5 Analysis of table 1 based on the Bradley-Terry model.

対比較を行った結果である。また図11はその結果に対してBradley-Terryモデル[式1,2]に基づいて算出した評価比 π (平均10)である。

$$P_{ij} = \frac{\pi_i}{\pi_i + \pi_j} \quad (1)$$

$$\sum_i \pi_i = const. (= 30(\text{for Fig.5}) \text{ or } 40(\text{for Fig.11})) \quad (2)$$

(P_{ij} : i が j に勝つ確率, π_i : i の強さ量)

その結果、トラックボールが非常に高く評価され、次にワイヤレスマウス、3次元マウスの順で評価されていることが分かる。なお、尤度比検定($\chi^2(2, 0.10) = 4.61 > \chi_0^2 = 0.73$)によりモデルの妥当性を確認している。

またアンケートの自由記述欄からは、アバタ姿勢の初期戻し機能についてデバイスにかかわらず肯定的な意見が確認されたが、トラックボール使用時に「右下を向いて欲しいときなどの操作がしづかった」などとインタラクションへの影響を示唆するコメントが見られた。各デバイスの操作の慣れについてのコメントも多く、ワイヤレスマウスについては操作に違和感を感じる対話者はほとんど確認されなかったが、逆に「操作はし易いが、面白くない」などコミュニケーション全体でとらえた場合にはやや否定的な評価も見られた。

3. 3次元トラックボールの開発

3.1 プロトタイプシステム

前章で簡易入力デバイスとしてのトラックボールを用いたPuppet Avatarは高く評価されたが、一方で操作対象がボールとスクロールホイールの2つとなるため操作しにくいという意見も得られた。そのため本研究では、1つの操作対象で3軸を

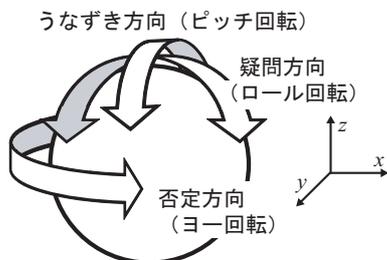


図 6 回転と頭部動作対応

Fig. 6 Results of comparison of the devices.

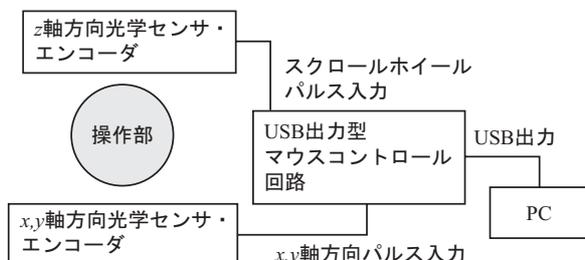


図 7 回路構成

Fig. 7 Circuit.

操作できる 3 次元トラックボールの開発を行った。図 6 は操作対象であるボール回転とアバタ頭部動作対応である。ボールの x 軸回転がうなずき方向, y 軸が疑問方向, z 軸が否定方向にそれぞれ対応している。動作対応は前節で用いた 3 次元マウスと同様であるが, 3 次元マウスは力覚センサのために操作対象は初期状態に戻るが, 3 次元トラックボールの場合ユーザの操作後は球体が静止するという違いがある。

図 7 にプロトタイプデバイスの回路構成を示す。スクロールホイールの入力部が光学式センサ及びエンコーダで構成されるマウスコントロール回路に対して, 同じく光学式センサ・エンコーダ経由の出力を取り込み, z 軸方向の変位計測を行うことにより, 3 自由度を有する 3 次元トラックボールを構成している。これまでに 3 自由度以上を有するトラックボールの提案はいくつか検討されているが, 操作対象であるボールの回転のみに着目し, z 軸回転を直接検出した例は見られない^{[14]–[16]}。この構成に基づいて実際に構築したプロトタイプデバイスを図 8 に示す。対話者 5 名によるユーザテストの結果, 仮想空間内の自己アバタとボール操作が一致していることに肯定的な意見が多く, デバイスの有効性が示唆された。

3.2 コミュニケーション実験

開発した 3 次元トラックボールのプロトタイプシステムの評価を目的として, 男女学生 15 組 30 人を対象にコミュニケーション実験を行った。本実験でのアバタ動作については, 対話者からの入力に対してはそれぞれアバタ動作に対応するが, 入力が途切れた場合すぐに初期状態に戻るのではなく, 入力停止から 3 秒後に初期状態に戻る設定とした。これは予備実験において, 対話者からアバタを初期状態に戻せないという意見が得られたため, インタラクションに影響を与えない範囲で入力停止後にアバタを戻す設定とした。実験は前章で示した 3 デバイス(図 4)を用いた実験環境において, 3 次元トラックボール

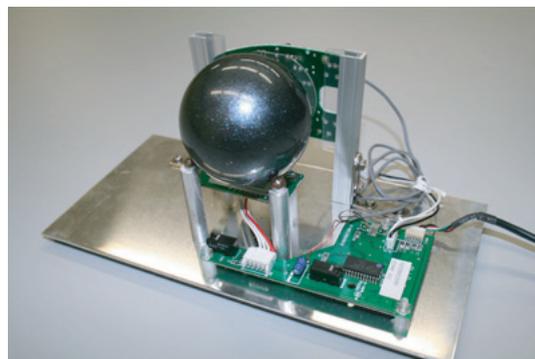


図 8 3 次元トラックボールのプロトタイプ

Fig. 8 The prototype of 3D Trackball.

を加えて 4 つのデバイスによる評価とした。コミュニケーション実験の様子を図 9 に示す。

各デバイスに対して 6 項目について 7 段階 (+3 ~ -3, 中立 0) で評価したアンケート結果について, 説明上平均及び標準偏差を算出したものを図 10 に示す。トラックボールおよび 3 次元トラックボールが共に高く評価されており, それぞれの評価は同様の傾向を示している。これは両デバイスが同一の球体を操作対象としており, 比較したアンケート項目に関して大きな差が無かったものと思われる。また図より, 3 次元マウスがかなり低く評価されていることがわかる。特に「操作し易さ」の項目で低く評価されている。3.1 節で述べた通り, 3 次元マウスは力覚センサであり操作後に球体は初期状態に戻るため, アバタ動作との整合が得られにくかった可能性も考えられる。

次に表 2 は, 実験終了後に最も使用したいという観点から各デバイスについて一対比較を行った結果である。また図 11 は表 2 の結果に対して Bradley-Terry モデル[式 1,2]に基づいて算出した評価比 π (平均 10) である。結果については尤度比検定 ($\chi^2(3, 0.10) = 6.25 > \chi_0^2 = 5.37$) によりモデルの妥当性を確認している。

その結果 3 次元トラックボールが高く評価されていることがわかる。これは一つの操作オブジェクトで否定方向(ヨー回転)も含めて頭部動作がより直感的に操作可能であることが評価されたものと考えられる。その他 3 次元トラックボールを除いた



図 9 実験の様子

Fig. 9 Example of communication scene in the experiment.

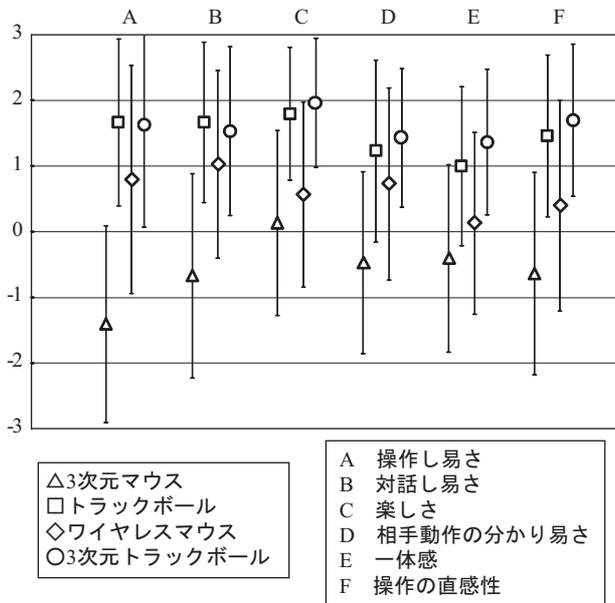


図 10 アンケート結果

Fig. 10 Results of the questionnaire.

表 2 4 デバイスの一対比較結果

Table 2 Result of pair comparison.

	3次元マウス	トラックボール	ワイヤレスマウス	3次元トラック	合計
3次元マウス	-	6	25	4	35
トラックボール	24	-	28	8	60
ワイヤレスマウス	5	2	-	4	11
3次元トラック	26	22	26	-	74

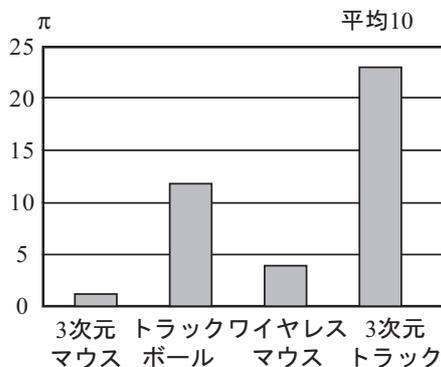


図 11 Bradley-Terry モデルに基づく表 2 の評価比 π

Fig. 11 Analysis of table 2 based on the Bradley-Terry model.

3 デバイスに対する評価は、前章で行った図 5 とほぼ同様の傾向を示しており、結果の再現性が確認された。

また、アンケートの自由記述欄において、3 次元マウスでは「横方向の顔の位置調整がとても難しい」、「力加減が難しく、少しだけ動かしたい場合でも動きすぎ、一体感がなかった」など否定的な意見が目立った。ワイヤレスマウスでは「扱い慣れているからか操作し易かった」という意見が大半を占めており、「マウスパッドの端まで行くと使いにくかった」などの意見が

得られた。トラックボールでは全体的に肯定的な意見が多く、「キャラクタに直接した動きができたと感じた」といった意見が得られた一方、「首を左右に回す動きが少し動かしにくかった」というコメントがあった。3 次元トラックボールでは「あまり操作していることを意識せず出来ていた気がする」というアバタとして非常に効果的な評価が得られたが、「ボールを落としそうになりそうで、おそろおそろ使いました」という意見も複数確認され、デバイス改良の必要性も指摘された。

4. おわりに

本稿では、遠隔においても円滑な身体的インタラクションを実現するアバタ操作のための 3 自由度を有する 3 次元トラックボールのプロトタイプを開発し、コミュニケーション実験による官能評価結果よりシステムの有効性を確認した。本デバイスは操作部であるボールを、CG キャラクタの頭部動作として操作するメタファを活用した簡易入力デバイスとして期待でき、本研究で構築したアバタ動作合成手法は、ポインティングデバイスを利用したインタラクション支援システムにおいて有用な手段である。今後対話者の身体動作とアバタ操作に着目し、身体的インタラクションについて詳細に分析を行う予定である。

文 献

- [1] 宮島, 下地, 藤田: 視線と存在の擬似アウェアネス機能を有する共有仮想空間コミュニケーションシステム, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.10 No.1, pp.71-80 (2005).
- [2] 廣瀬, 小木, 玉川, 山田: 没入型コミュニケーションのための高臨場感ビデオアバタ, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.2, No.2, pp.55-62 (2000).
- [3] Morishima, S.: Multiple points face-to-face communication in cyberspace using multi-modal agent, Human-Computer Interaction, Vol.2, pp.177-181 (1999).
- [4] 石井, 渡辺: 身体的バーチャルコミュニケーションシステムを用いた Virtual Actor の対話配置の評価, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.4 No.2, pp.43-50 (2002).
- [5] 石井, 渡辺: 聞き手の Virtual Actor の頭部動作を矛盾的に止めた身体的コミュニケーションの合成的解析, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.4 No.3, pp.9-16 (2002).
- [6] 石井, 渡辺: 身体的バーチャルコミュニケーションシステムにおける身体的アバタの手指動作入力の検討, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.105, No. 358, pp. 95-100 (2005).
- [7] 石井, 大崎, 渡辺: トラックボール入力による身体的アバタ操作の評価, ヒューマンインタフェース学会研究報告集, Vol.9, No.2, pp.25-30 (2007).
- [8] 石井, 大崎, 渡辺, 伴: 身体的アバタ操作のための 3 次元トラックボールの開発, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2007 論文集, pp.597-600 (2007).
- [9] 小泉, 清水, 杉本, 新居, 稲見: ハンドパペット型ロボティックユーザインタフェースの開発, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.11, No.2, pp.265-274 (2006).
- [10] 伊藤, 沖元, 山口, 鈴木, 佐藤: 実体概念を利用したパペットを媒体とするコラボレーション環境, ヒューマンインタフェースシンポジウム 96 論文集, pp.461-468 (1996).
- [11] Sato, K. and Lim, Y.: Physical Interaction and Multi-Aspect Representation for Information Intensive Environments In Proc. of 9th IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication (ROMAN2000), pp.436-443 (2000).
- [12] 棚瀬, 神原, 竹村, 横矢: 人形型インターフェイスを用いた共有仮想環境におけるコミュニケーションの実現, 日本バーチャルリアリティ学会第 5 回大会論文集, pp.331-332 (2000).

- [13] 米澤, クラークソン, 間瀬: 文脈適応型音楽生成をともなうぬいぐるみインタラクション, 情報処理学会論文誌, Vol.43, No.8, pp.2810-2820 (2002).
- [14] 鈴木: 3D マイクロトラックボール, 情報処理学会ヒューマンインタフェース研究会報告, Vol.98, No.35, pp.57-60 (1998).
- [15] Takahashi, T., Kuzuya, M.: 3D input device using a ball rotation interface, In Proc. of the 8th International Conference on Human-Computer Interaction, pp. 397-401 (1999).
- [16] Kim, M.-S., Seong, J.-K., Hyun, D.-E., Lee, K.-H., and Choi, Y.-J.: A Physical 3D Trackball, 9th Pacific Conference on Computer Graphics and Applications (PG'01), pp.134-139 (2001).