

道具との二重的インタラクションによる空間共有コミュニケーション

上杉 繁

早稲田大学 先端科学・健康医療融合研究機構 生命医療工学研究所

〒162-0044 東京都新宿区喜久井町 17, 41-5-2-03B

E-mail: wesugi@computer.org

あらまし 遠隔地間において、互いの身体や作業対象物との位置的な整合性を高めることで共同作業を支援する技術が数多く提案され、これらは一般的に空間共有技術とされている。これらの技術は身体性を欠如していると指摘されているように、共に同じ場所に居合わせたコミュニケーション時における身体のはたらきを限定させてしまっていると考えられる。著者らは、こうした身体性の問題に着目し、双方の現場において実体とのインタラクションを共有するという指針に基づき、身体が共に居合わせている感覚を創出するための技術にこれまで取り組んできた。本論文では、これまでに開発したシステムの研究成果を踏まえ、空間共有コミュニケーションの設計論へ向けて、身体と「道具」との二重的インタラクションというアイデアを提案する。

キーワード Tool, Dual interactions, Embodiment, Shared space communication, Lazy Susan

Shared Space Communication Based on Dual Interactions with Tool

Shigeru WESUGI

Consolidated Research Institute for Advanced Science and Medical Care, Waseda University

41-5-2-203B, 17, Kikui-cho, Shinjuku-ku, Tokyo, 162-0044 Japan

E-mail: wesugi@computer.org

Abstract Various communication systems have been proposed for supporting a remote spatial collaborative work, which are generally called as shared space technology. These previous systems can only support a part of embodied interactions in comparison to in a face-to-face situation, as pointed out that these systems lack of whole sense of embodiment. Author's group has focused on a problem of sharing embodiment between remote places and devised communication systems which can create a sense as if they were present at the same place from the standpoint of sharing embodied interactions with physical objects with each other. In this paper, author proposes an idea of dual interactions with tool in preparation for establishing the methodology of shared space communication based on findings of our novel communication systems.

Keyword Tool, Dual interactions, Embodiment, Shared space communication, Lazy Susan

1. はじめに

携帯電話やインターネットの普及に伴い、互いが地理的に離れていながらも「いつでも、どこでも」情報を伝え合うことが可能になった。その結果、電子メールをはじめとした遠隔コミュニケーションが日常生活の一部となりつつある。そして、大量のデータを遠隔地間においてリアルタイムで伝え合うことが実用化されており、高品質の映像や音声などを利用したコミュニケーションサービスも今後広まることは予想できよう。テキストやシンボルのみならず、多くの情報チャネルを利用して、遠隔地間で視線や身振りを伝えたり、あるいは共有描画ボードに双方で書き込みをしたり、模型を操作しながら対話するような、互いの身体や作業対象物との位置的な整合性を高める技術は、一般的に空間共有技術^[1]あるいは空間共有コミュニケーション技術と呼ばれている。

一方で、こうしたメディア空間におけるコミュニケーションは、身体性を欠いていると指摘されている^[2]。相互信頼感や安心感の創出には、対面で直接出会わないとうまくいかないことも指摘され^[3]、人と人とのつながりやコミュニティ支援にメディア技術を活用する際の大きな問題にもなっている^[4]。

身体が「いま、ここ」という同じ現場に居合わせることで他者と出会い、言葉によるコミュニケーションのみならず、情感を伴った場面を身体を介して共有し、相手と共感することが可能である^[5]。このような共通の現場に身体が共に居合わせることで、身体を介してつながり合い、相互信頼感、共存在感、さらには安心感を創出するコミュニケーションを共存在コミュニケーションと呼称している^{[6][7]}。

以上に述べた身体性への問題意識のもとに、自身と遠隔の相手が共有する空間と身体との関係性を強め合

うことに着目し、遠隔地間での共存在コミュニケーション技術に取り組んできた。

本論文では、これまでに提案した遠隔の双方において実体とのインタラクションを共有するコミュニケーションシステムの成果を踏まえ、空間共有の概念を、共同作業支援を主目的とした従来の立場から、相手と共に居合わせる空間へと枠組みを広げることを目指し、道具とのインタラクションという新たな視点からその設計方法を提案する。

2. 実体とのインタラクションの共有

2.1 設計指針

空間共有技術は、身体行為や共有空間の表現手法から注目すると、映像による表現（例えば^{[8][9][10][11][12]}など）とロボット（人間型に限らない）による表現（例えば^{[13][14][15][16][17]}など）の主に2通りに分類できる。各表現手法の特徴として、映像表現は互いの現場に相手の空間の映像を投影し合うこと、ロボット表現は相手の現場のロボットを一方の側から操作することがあげられる。そして、それらの表現手法によって、身体と作業対象物との空間的位置関係を整合化し、共同作業を支援することが目的である。この空間的位置関係の整合化が「空間共有」とされている。そのため、著者らが問題意識として抱えている身体が共に居合わせる感覚が創出する空間であるか否かという視点ではほとんど議論されていない。さらには、これらの表現手法によって、共に居合わせている感覚を創出する空間を生成できるかという点についても明らかではない。

そこで著者らは、少なくとも自身の身体が居合わせている状況、すなわち自身の身体が空間において存在し、そこで行為している状況そのものを双方で共有することを試みてきた。つまり、双方の現場とは関係のない独立した新たな仮想空間を構築し、そこにおいて新たに双方の身体を居合わせるという方法ではなく、それぞれの現場における身体行為そのものを共有するという立場である。そして、双方の現場において実体とのインタラクションを共有するためのコミュニケーションシステムの開発に取り組んできた。

まずは、双方の現場において、各人が個物とインタラクションしている状況を視覚的に共有し、かつその個物の動きをそれぞれの現場の個物の動きとして表現し合うという指針を考案した。この指針を図1に示す。この指針に基づき双方の現場でのインタラクションを共有するために、図2に示す2つの場面を想定した。

1. 自身の現場におけるインタラクションを相手の空間において共有（図2(a)）
2. 双方の現場において相手とのインタラクション

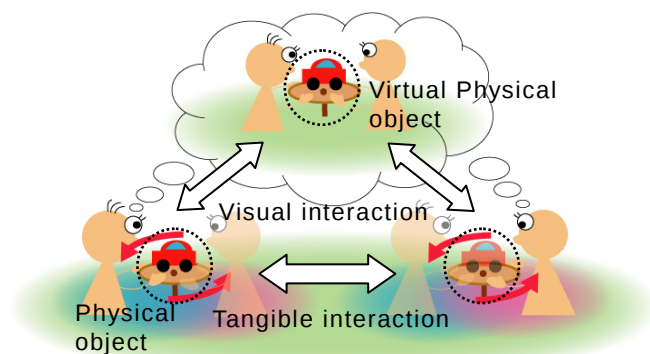
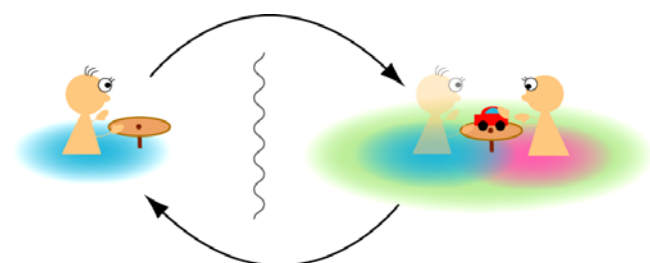
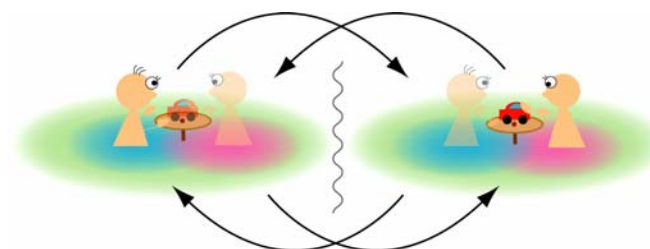


図1 映像表現と実体の動きの共有による身体的インタラクションの共有手法

Fig.1 Design method of sharing embodied interactions between remote places by representing video and physical actions of object



(a) One participant is present at the other remote place.



(b) Both participants are present at each remote place.

図2 離れた二箇所間における実体とのインタラクションの共有

Fig.2 Sharing embodied interactions with physical objects between remote two places

を共有（図2(b)）

これら2つのそれぞれの場面に对应して、映像投影による空間共有テーブルシステム^[18]と双方向映像投影による空間共有テーブルシステム^[19]を開発し、その評価を行ってきたので、以下に紹介する。

2.2 コミュニケーションシステム

1 つめの映像投影による空間共有テーブルシステムについて図3を用いて説明する。一方の場所において

は、自身のテーブル上でのインタラクションの状況を、相手の空間の映像の中に合成し、それを正面のスクリーンに投影する(図 3(a)). もう一方の場所においては、自身のテーブル上に直接相手の空間のインタラクションの状況を投影する(図 3(b)). 同時に、それぞれの場所において実体のディスクを操作することが可能であり、そのディスクを操作することで相手の空間のディスクもその動きと一致するように回転させることが可能である. このとき、両者が反対方向にディスクを回転させようとする、双方のディスクの回転角度の差に比例した反力が生じる.

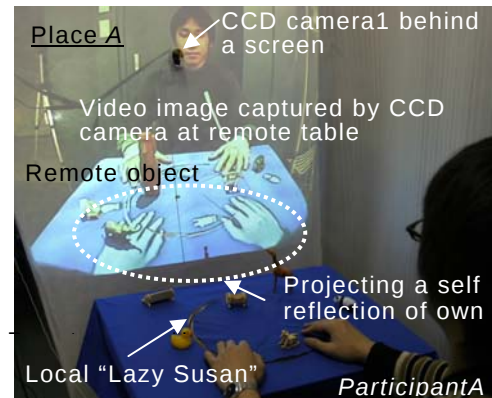
このシステムを利用して、ディスクを操作し合いながら対話したり、積み木を利用した作業などのコミュニケーション実験を行った. 具体的には、従来の表現手法として映像のみを投影する表現や、実体のディスクのみを操作する表現、そして本システムの表現を実験条件として比較実験を行った.

その結果、自身が相手の空間に参加する側の表現では(図 3(a)), 相手の映像空間に居合わせる感覚や、相手の映像空間の個物の存在感が、本表現手法の方が従来の表現手法に対して有意に強まることを明らかにした. 同時に、相手が自身の場所に参加してくる側の表現では(図 3(b)), 相手が自身の場所に居合わせる感覚や、相手の個物の存在感も同様に有意に強まることを示した.

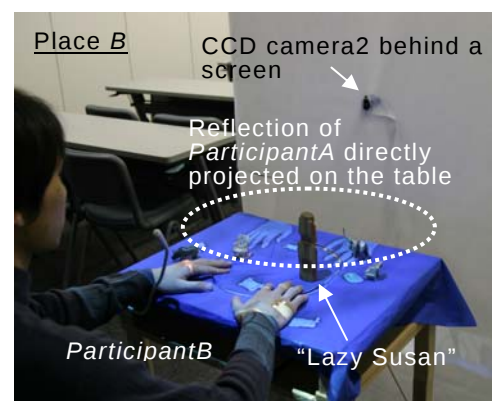
実験中に撮影した映像を分析したところ、映像中の個物が倒れようと思うとせず手を出してしまうことや、自身の方へ個物が倒れてくると避けるなどの行為が観察された. このことは、相手の空間に自身が居合っているかのような感覚に対応する現象が生じていることを示唆している.

また、従来の空間共有技術での主な目的である共同作業支援に関しては、積み木を利用した造形作業においては、相手の造形物を見やすいようにディスクを回転させて自身の方向に向けたり、あるいは相手が見やすいようにディスクを回すことなどが一部観察された. また、ディスク上にホワイトボードを取り付け、そのボード上で共同描画する場合には、自身の描画物を相手が見やすいようにディスクを回転させたり、ディスクを回すことで、互いのタイミングを合わせながら描画したり、互いの視点を入れ替えてあたかも同じテーブルの周りを動き回ったかのように描画したりなどが可能となった.

以上に示すように、従来のシステムでは実現されなかった作業支援も同時に実現されている. しかしながら、ディスクの鉛直方向における空間的な指示が困難であることや、描画する場所と共有映像空間が異なるので違和感が生じることなども指摘されている.



(a) Displaying a video space including self reflection in front of a table



(b) Projecting a reflection of a remote partner on a local table

図 3 映像投影による空間共有テーブルシステム

Fig.3 Video projection “Lazy Susan” system in use between remote places

次に、2 つめの双方向映像投影による空間共有テーブルシステムについて、図 4 に基づいて説明する. このシステムは、上記に紹介した映像投影による空間共有テーブルシステムの表現手法をさらに発展させている. すなわち、双方の場所において相手のテーブル上のインタラクションの映像を投影し合い、同時に、ディスクの動きを双方で共有することが可能である. なお、単にテーブル上を撮影し、プロジェクタによって投影し合う方法では、映像ループが生じてしまうため、リアルタイムでフィルタリングするソフトを実装している. そしてテーブルの正面には互いの正面像が映るようにビデオカメラとプロジェクタを設定し、テーブル上の映像との接続性を考慮して、投影している.

このシステムを利用して、ディスクを操作し合いながら対話したり、積み木を用いた造形作業などの遠隔コミュニケーション実験を行った.

その結果、遠隔の相手と同時にディスクを回転させる、あるいは一方がディスクを回転させているのを見

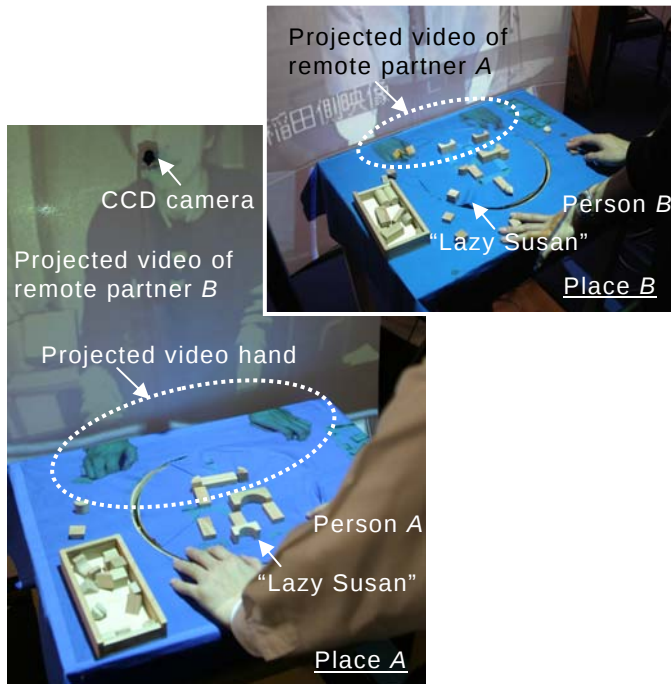


図 4 空間共有テーブルシステムを利用している様子

Fig.4 A scene utilizing Bidirectional video projection
“Lazy Susan” system

ている時において、遠隔の相手があたかも自身の場所に居合わせている感覚や、遠隔の相手が自身のディスクを操作している感覚、さらには遠隔の相手と一緒にディスクを回転させている感覚の創出が生じることが、ほとんどの参加者から報告された。また、上半身像とテーブル上の映像との関係に関しても、正面のスクリーンの人物からあたかも手が伸びてくるような感覚がするとほとんどの参加者から報告され、2つの映像の分離感や違和感は特に指摘されず、相手の身体が自身のテーブルに居合わせている感覚を強めている。

さらに、双方の場所で実体の積み木を利用した共同造形作業に取り組んでもらった。その結果、先に示したシステムと同様に、ディスク上の相手の造形物を自身が見やすいようにディスクを回転させたり、あるいは相手が見やすいようにディスクを回転させることなどが観察された。しかしながら、先のシステムでも指摘されたように、テーブルに対して鉛直方向の作業、例えば積み木を積み上げるなどに関しては、それを映像で伝えることや相手に指示することが困難であることも指摘された。

以上をまとめると、1.自身の現場空間におけるインタラクションを相手の空間において共有する場合、2.双方の現場空間において直接相手のインタラクションを共有する場合の2つの場面を想定し、実体ディスクの動きを共有し、かつ映像としてディスクや周辺個物とのインタラクションを共有するシステムを開発した。

コミュニケーション実験の結果、自身が相手の空間に居合わせている感覚や、相手が自身の場所に居合わせている感覚が従来の表現手法と比較して強まることを明らかにした。

3. 道具との二重的インタラクション

3.1 身体と実体とのインタラクション

遠隔地間において互いの身体や作業対象物との空間的位置関係の整合性を高めるという従来の空間共有の概念を広げることを目指し、前章において紹介したコミュニケーションシステムの研究成果を踏まえ、身体が共に居合わせているときの身体のはたらきに着目した空間共有の設計手法について提案する。

本システムの最大の特長は、実体ディスクとのインタラクションを実体の動きと身体行為の映像表現によって共有することで、遠隔の作業対象物と自身との位置関係を変化させたり、遠隔の相手に対する指示やジェスチャによって空間的共同作業を支援すると同時に、双方において実体ディスクのみならず、ディスク上、その周りのオブジェクト、それを操作する相手の存在感が創出するなど、自身の身体と空間との関係性が強められることである。このことは、従来の空間共有技術の主目的である空間的共同作業の支援のみならず、これまでほとんど検討されてこなかった身体が共に居合わせる感覚を強め合うことも可能であることを示している。

ここで、身体が共に居合わせているときの身体のはたらきについて、積み木を利用した共同作業を例に検討する。共同作業のために身体と積み木の空間的位置関係を整合的に表現するという立場では、積み木を手で操作したり、相手に作業を指示するための身体行為を映像で表現するだけで充分であろう。しかしながら、同じ場所に身体が共に居合わせて積み木で造形作業している場合には、積み上げた積み木が崩れる可能性や、自身や相手が意図的あるいは非意図的に接触して崩してしまう可能性の中においてコミュニケーションが行われている。我々はこうした可能性に対して常に意識して対処しようと思構えしているのではなく、むしろそうした構えは身体化されている。

従来のメディア技術では、このような身体化された構えの欠如によって、自身の経験が非現実的なものとして感じてしまうと指摘されている^[21]。一方、身体が居合わせる場面では、こうした身体のはたらきによって、その場での経験を自身の現実としてありありと感じることができる^[20]。雰囲気に応じて自動的に対応可能であるのはこうした身体のはたらき^[21]によるものであり、このような身体のはたらきを空間共有コミュニケーションへ導入できれば、コミュニケーションの可能性が大きく広がることだろう。

本システムの利用において観察された、倒れようとしている映像の積み木に思わず手を出してまった現象やそこにおける身体の拡張感などは、こうした身体化された構えを一部ではあるが支援していると考えられよう。

以上に述べたように本システムは、自身や相手の身体と作業対象物との間において、空間的位置関係が外部に表現されているという点で明示的な身体的インタラクションと、空間に対する身体の構えといえよう自身の内部のはたらきという点で非明示的な身体的インタラクションとの、二重的なインタラクションを支援していると考えられる。

3.2 身体と道具とのインタラクション

二重的な身体的インタラクションに着目し、空間共有コミュニケーションの設計手法へ向けて検討する。

単に実体のディスクが遠隔地間で操作可能であることや、それを映像で共有するだけの視点では、なぜ一部の実体とのインタラクションによって周囲の空間に対しても影響を及ぼすのか、複数の実体とのインタラクションに拡張すればより効果が上がるのかなどの問題を十分に扱うことができず、空間共有コミュニケーションの設計論へつなげることは困難である。

そこで、身体と実体とのインタラクションを、身体と「道具」とのインタラクションという別の視点から検討する。「道具」に着目したのは、以下に述べるように、道具と身体の関係においても二重性が存在しているからである。例えば、ハンマーを持つことで素手では打ち付けることができない釘を打ち付けることや、ピンセットを利用することで素手ではつまむことが困難な小さなものを扱うことなど、道具は一般的に操作、行為の機能を支援する。一方、道具を利用している際には、例えば、外科医がメスを利用している時にはメスが自身の手と一体になっていることや、盲目の人が杖を利用して歩いているときには、杖の先にまで身体が拡張していることが言われている^[21]。すなわち、身体と道具との関係においては、外部に対する操作的な機能を支援するという身体への明示的な効果と、身体との一体化や知覚の変化など身体内部の働きへの効果があり、二重的なはたらきを有していると考えられる。このような道具と身体の関係は、先に述べた実体との二重的インタラクションと関連させて考えることもできよう。

例えば、本システムにおいて実体ディスクとのインタラクションによって、自身の身体が映像空間にまで拡張する感覚や、自身と映像空間とのつながりが強まるなどの身体感覚は、まさに道具とのインタラクションにおける身体の拡張と深く関係しているといえる

だろう。特にこの現象においては、最近の脳科学や認知科学の分野において、道具を利用したり、映像中の自己像を見るときに、猿の脳内で身体イメージがそれらに伴って変化することや^[22]、人間においても、道具の先端の視覚刺激によって手元の触覚刺激への反応が影響を受ける^[23]などの、道具の利用における身体の拡張に関する知見と関係付けることが可能であろう。

しかしながら、道具と身体の関係のメカニズムは、まだ十分に明らかにされておらず、さらなる研究が必要である。

以上を踏まえ、道具による二重的インタラクションという視点から、空間共有コミュニケーション技術の設計論へと展開するための今後の指針について検討する。そこで、2章で紹介した2つのシステムの表現手法を、次に示す2つの特徴において分類し、各表現について論じる。

1. 自身と実体とのインタラクションが映像空間において共有される
2. 相手と実体とのインタラクションが自身の空間において共有される

1と2の表現を組み合わせたのが最初に紹介した映像投影による空間共有テーブルシステムであり、2と2の表現を組み合わせたのが次に紹介した双方向映像投影による空間共有テーブルシステムである。

1つめの表現において、自身と映像空間との関係性が強められたことは、道具による自身の身体イメージの拡張という先に示した脳科学の知見と深く関連がある。そして、本表現手法は、自身の自己像がそのまま映像空間の中に現れる、さらには自身が操作することで映像中のディスクも同時的に動くという点において、自身と映像空間との関係における、少なくとも時間的な要因に影響していると考えている。

2つめの表現において、相手の映像と自身の空間の関係性が強められたことは、自身の身体性の問題のみならず、相手の身体性が拡張することに関係するが、そのメカニズムに関してはほとんど明らかにされていない。この表現手法においては、映像の相手が自身の現場の実体のディスクを操作するという、映像と自身の場所との関係における、少なくとも同じ空間であるという空間的な要因に影響していると考えている。

以上に述べたように、道具とのインタラクションによる空間共有というアプローチは、そのメカニズムについてはまだ明らかではないものの、それを支持する脳科学的な知見なども報告されていることもあり、空間共有コミュニケーションシステム構築の有効な設計方法につながると期待している。そして、道具の利用

における自身の身体性の拡張, 相手の身体性の拡張という問題において, 時間的な側面, 空間的な側面から今後さらに検討していく.

4. おわりに

遠隔共同作業を支援するために, 数多くの空間共有コミュニケーションシステムが提案されている. しかしながら, これらが支援する身体のはたらきは, 互いが同じ場所に居合わせているときのはたらきのごく一部にすぎない. こうした問題意識に基づき, 著者らは従来の空間共有コミュニケーションの幅を広げることを目指し, 共に居合わせている感覚の創出を支援する技術に取り組んできた.

本論文では, これまでに開発した, 実体とのインタラク션을遠隔地間において共有するコミュニケーションシステムの成果に言及し, 共同作業に直接に有効である明示的な身体的インタラクションと, 身体と共有空間との関係性を強め合う非明示的な身体的インタラクションという二重性について論じた. さらに, この二重的インタラクションに着目し, 実体とのインタラクションを共有するという視点のみならず, 身体と道具とのインタラクションという新たな立場において, 空間共有コミュニケーションの設計論へ向けた提案を行った. 今後は, これらの指針に基づき, 空間共有コミュニケーションのメカニズムについてさらに研究を進めていきたい.

謝 辞

本研究を遂行するにあたり, 貴重なご意見, ご指摘を頂戴した早稲田大学三輪敬之教授に謝意を表します. また, システム開発や実験に協力してくださった, 本学学生に感謝します.

文 献

- [1] Benford, S., Brown, C., Reynard, G., Greenhalgh, C.: Shared Spaces: Transportation, Artificiality, and Spatiality; Proc. of CSCW'96, pp.77-86 (1996)
- [2] ドレイファス, H.: インターネットについて—哲学的考察 Thinking in action; 産業図書 (2002)
- [3] Rocco, E.: Trust breaks down in electronic contexts but can be repaired by some initial face-to-face contact; Proc. of CHI'98, ACM Press, pp.496-502 (1998).
- [4] 三輪: 共創的コミュニケーションにおける場の技術; システム/制御/情報, 45-11, pp.638-644 (2001).
- [5] 清水, 久米, 三輪, 三宅: 場と共創; NTT 出版 (2000).
- [6] 三輪, 石引, 渡辺, 篠原: 影を自己のエージェントに用いた共創的コミュニケーションシステムの開発, 信学技報, HCS2003012, pp.35-40, (2003).
- [7] 上杉, 三輪: 異なる空間をつなぎ共存在感を支援する同期運動テーブル; ヒューマンインタフェース学会誌・論文誌, Vol.5, No.2, pp.197-204 (2003).
- [8] Tang, J.C., Minneman, S.L.: Videodraw: a video interface for collaborative drawing; ACM Transactions on Information Systems, ACM Press, Vol.9 No.2, p.170-184 (1991).
- [9] Ishii, H., Kobayashi, M., and Grudin, J.: Integration of Interpersonal Space and Shared Workspace: ClearBoard Design and Experiments; ACM Transactions on Information Systems, ACM Press, Vol.11, No.4. pp. 349-375 (1993).
- [10] Ishikawa, Y., Okada, K., Jeong, G., Tanaka, S., and Matsushita, Y.: MAJIC Videoconferencing System: Experiments, Evaluation and Improvements. Proc. of ECSCW1995, pp. 279-293 (1995).
- [11] Morikawa, O. and Maesako, T.: HyperMirror Toward Pleasant-to-use Video Mediated Communication System; Proc. of CSCW'98, pp.149-158 (1998).
- [12] Yamashita, J., Kuzuoka, H., Yamazaki, K., and Yamazaki, A.: Agora: Supporting Multi-participant Telecollaboration; Proc. of HCI International 1999, Vol.2, pp. 543-547 (1999).
- [13] Tachi, S.: TELE-EXISTENCE -toward Virtual Existence in Real and/or Virtual Worlds-; Proc. of the ICAT1991, pp.85-94 (1991).
- [14] Paulos, E. and Canny, J.: PRoP: Personal Roving Presence; Proc of CHI'98, pp.296-303 (1998).
- [15] Brave, S., Ishii, H., and Dahley, A.: Tangible Interfaces for Remote Collaboration and Communication; Proc. of CSCW '98, ACM Press, pp.169-178 (1998).
- [16] Kuzuoka, H., Oyama, S., Yamazaki, K., Suzuki, K., and Mitsuishi, M.: GestureMan: A Mobile Robot that Embodies a Remote Instructor's Actions, Proc. of CSCW2000, pp.155-162 (2000).
- [17] Jouppi, N.P.: First Steps Towards Mutually-Immersive Mobile Telepresence; Proc of CSCW'02, pp.354-363 (2002).
- [18] 上杉, 三輪: 身体の映像表現と実体ツールとのインタラクションによる共創的コミュニケーションシステム; ヒューマンインタフェース学会誌・論文誌, Vol.6, No.3, pp.295-305 (2004).
- [19] 上杉, 片山, 三輪: 身体の二重的表現手法に基づく空間共有テーブル, インタラクション 2004, pp.263-270 (2004).
- [20] メルロ・ポンティ: 知覚の現象学; みすず書房 (1974).
- [21] 市川: 「身」の構造—身体論を超えて; 講談社学術文庫 (1993).
- [22] Iriki, A., Tanaka, M., Iwamura, Y.: Coding of modified body schema during tool use by macaque postcentral neurons; Neuroreport, 7, 2325-2330 (1996).
- [23] Maravita, A., Spence, C., Kennett, S., and Driver, J.: Tool-use changes multimodal spatial interactions between vision and touch in normal humans; Cognition, 83(2), B25-34 (2002).