

身体映像表現と実体ツールとのインタラクションによる 共存在的コミュニケーションシステム

上杉 繁* 三輪敬之*

Co-existing communication system by representing reflections of participants and by interacting with tangible tool

Shigeru Wesugi*, Yoshiyuki Miwa*

Abstract – A significance of a sense of togetherness or co-existence among remote communication partners has been pointed out in computer mediated communication. In order to create such a co-existing situation, presence of partners should be expressed at each place. We devise an idea for creating a virtual co-existing space by integrating a local physical situation into a remote physical situation. Then we implement a “Lazy Susan” communication system composed of a video interaction system by representing a self reflection in a shared video space and by projecting a reflection of a remote partner onto the local tabletop, and a tangible interaction system including a round, rotatable disk, the rotations of which are synchronized with the remote disk. The results of experiments suggest our system can support a sense of “being in a video space of a remote place” and “a remote participant is being present in a local place” simultaneously, and consequently enhance a sense of co-existence. Additionally, our communication system is promising to support for a remote collaborative work with physical objects.

Keywords: Co-existence, Embodiment, Self reflection, Visual interaction, Tangible interaction

1. はじめに

インターネットの普及に伴い、離れた場所においても人と人との必要な情報を共有できるようになってきた。しかし一方で、互いの間における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が指摘され^[1]、人と人とのつながりやコミュニティ支援にコンピュータ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^{[2][3]}。このような状況において、離れた家族間でのつながり感やみまもりの感覚など、人と人とのつながりを支援するシステムが提案され始めた^{[4][5]}。その一方で、これまでの多くのメディアコミュニケーション技術は、人間同士のインタラクションをビデオや音声などのコミュニケーションチャンネルに分割する手法に基づき、身体性を伝えるには不十分であると指摘されている^[6]。このことは、離れた場所の相手がどこに存在し、いつ行為しているのかといった現場の状況を共有すること、すなわち、コミュニケーションにおける互いの心的な状況としての「場」が本質的に共有されにくいことを示している。このような「場」は身体を介して表現し伝え合うことで共有されると考えられている^{[7][8]}ことから、互いの身体性を強め合うことが可能なインタフェースの設計手法についてこれまで提案してきた^{[9][10]}。その結果、互いが離れた場所にながらも同じ場所に存在している感覚の創出を支援するには、自身と現場との非分離性、さらには相手と自身との非分離性が必要であることが分かって

きた。また、これにより、相手との距離感や一体感なども創出されることができると考えることができる。以上のような観点から著者らは、これらの非分離性を強め合うためのインタフェースシステムの設計手法とし、双方での自身の現場における身体行為を共有仮想空間で統合する手法を考案した^{[9][10]}。そして、異なる空間で互いが同じツールを共有して、それを共同で操作すると同時に、その身体行為をリアルタイムに共有仮想空間上に表現するシステムをこれまでに考案し、共存在感の創出に有効であることを示した^[10]。

本研究ではこの手法をさらに発展させ、一方の現場を相手の現場において仮想的に統合することで、同じ場所で行っている感覚の創出支援を目指す。そこで、互いに同期して回転するディスク共有システムと、双方のテーブル上の状況を共有する映像表現からなる2通りの手法を考案し、コミュニケーションシステムとして実装した。離れた場所間でのコミュニケーション実験の結果、自身の身体が相手の空間にまで拡張したような感覚の創出や、遠隔の参加者が同じ場所にいる感覚が強められることが確認された。さらには、共同作業への活用例も示したので以下に報告する。

2. 共有の場所における身体表現

離れた実在空間でのコミュニケーションを支援するシステムは、昨今では視線や、身振り、手振りなどの身体行為を表現し合うことに重点が置かれ^[11]これまで数多くの手法が提案されてきた。例えばテーブルの周りに他地点の相手の映像を投影する MAJIC^[12]や、自分の周りに参

*: 早稲田大学理工学部

*: School of Science and Engineering, Waseda University

加者の顔映像のモニタを配置する Hydra^[13]などの視線一致を支援するシステムが提案された。また、2 箇所間での描画活動を支援する手法として、描画キャンバスと描画中の手を共有する VideoDraw^[14]や、描画面としてのガラスの板を挟んで向かい合っている状況を設定した ClearBoard^[15]などがある。これらのシステムは、各自の場所において相手の映像の配置などを工夫することで、視線一致の支援や映像上で相手の描画物への指示を支援する。これに対し、自身と相手の位置関係は固定であり、相手の存在は自分の場所ではなく、スクリーンやモニタの向こう側に位置していると指摘されている^[16]。

また、ロボット型の指示ツールを利用することで遠隔の相手が作業している実体に指示をしたり^[17]、あるいは自己の代理として自由に動き回ることが可能なロボットを遠隔操作する手法^{[6][18]}なども提案されている。これらのロボットシステムは、一方の場所への参加を支援する手法である。一方で、ロボット表面に遠隔の操作者の映像を投影するアイデアが提案されてはいるものの^[19]、ロボットを介して遠隔の空間に存在している感覚と、一方で遠隔の相手がそのロボットの操作者と同じ場所で行っている感覚が同時に創出することについて、実際にシステムを開発し、検証した事例はあまり見られない。さらには、互いの場所のローラーを同調して回転させることで、映像を介さずに触覚的なコミュニケーションを支援するシステムも提案されている^[20]。しかしながら、実体の動きのみによる表現では、相手がどこにいて、どのように行っているのかがわからず、相手と同じ場所でコミュニケーションしている感覚が必ずしも強まらない

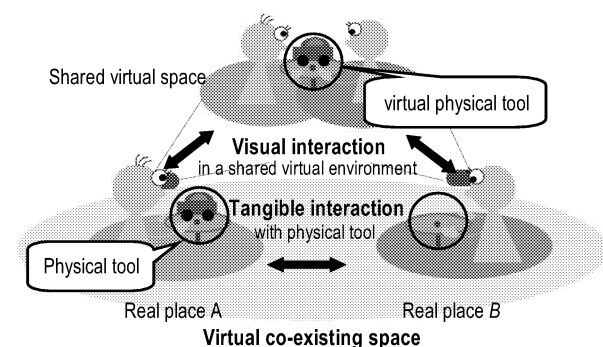
ことをこれまでの著者らの研究で示した^[10]。

以上にいくつかの例をあげたように、自身が存在し行っている現場において、相手との一体感や共に存在している感覚を強め合う手法の提案に関しては数少ない。その一方で、VirtualActor^[21]や HyperMirror^[22]などのように、共有仮想空間や共有映像空間に相手と共に自己像を投影する手法が提案され、一体感のある対話の場が支援されている。これらのシステムは、自身と相手の身体を共有の場所に同時に表現し、互いの身体行為の関係を創りやすく表現することに特長があると考えられる。

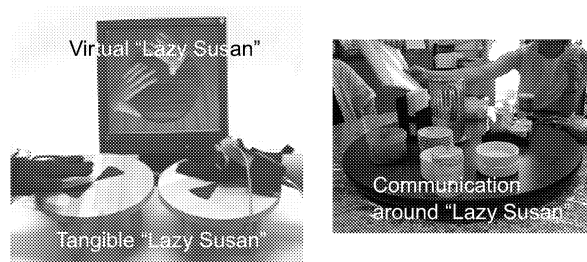
本研究ではこのような点を踏まえ、離れた実在空間において、一方の現場に相手の現場を仮想的に統合することにより、互いが共に存在している感覚を強め合うシステムを開発することにした。そのため、仮想的な現場の統合手法として、2通りの表現手法を提案する。1 つめは、自身の現場における行為を共有映像空間において統合する手法であり、2 つめは、相手の現場での行為を自身の現場において統合する手法である。

1 つめの表現手法に関しては、著者らがこれまでに考案した、共有仮想空間を介した対話において共存感を強め合う手法を発展させることにした。図 1 に示すこれまでの手法では、共有仮想空間内にアバターを介して互いが対面している状況が設定されている。そして、自身の現場においてディスクを回したり、手を動かしたりする状況が、その仮想空間内の仮想ディスクとのインタラクションとして視覚的に表現される。さらには、この実体のディスクは遠隔地間において互いに同期して運動することでその動きを伝え合うことが可能である。本システムでは実体のディスクのみならず、周りのテーブルやその他のオブジェクトを含んだ現場の統合を目指す。そのため、相手と自身が 1 つのテーブルを囲むように、双方のテーブル上の状況を映像上で統合し、その自身の現場が統合された映像を見ながら、ディスクを介してインタラクションする手法を考案した。この表現手法を以下表現(a)と呼称し、図 2(a)に示す。

2 つめの表現手法に関しては、自身の現場に直接相手



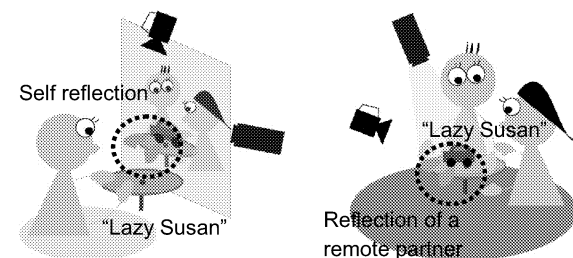
(a) Design of "Lazy Susan" communication system



(b) Networked "Lazy Susan" and real "Lazy Susan"

図 1 同期運動テーブルコミュニケーションシステム

Fig.1 Networked "Lazy Susan" communication system



(a) Displaying a video space including self reflection

(b) Projecting a reflection on a local table directly

図 2 行為の現場を統合する 2 通りの手法

Fig.2 Two ways to integrate remote physical places

の現場を統合することにした。すなわち、遠隔の相手が彼らの現場において、実体のオブジェクトを操作したり、手を動かしている状況を、映像として自身のテーブル上に直接投影する。さらには、そのテーブル上には、先に提案した遠隔の相手のディスクの動きと同期して運動するディスクを組み込み、相手と直接ディスクを回し合うことで行為を共有する手法を考案した。この表現手法を以下表現(b)と呼称し、図 2(b)に示す。

3. 空間共有テーブル

本システムの開発において、図 1(b)に示す実際のテーブルを複数人が囲んでいる状況のように、装置を特に何も装着せずに自由な参加が可能であることを第一の条件とした。実在空間にコンピュータが生成した映像を統合する手法として、頭部搭載ディスプレイ内に映像を投影する技術がある^[23]。しかしながらこの手法では、映像装置の装着や取り外しが共有空間に自由に出入りする上での障害になること、複数人に対応するにはその数だけディスプレイを用意しなければならないこと、さらにはディスプレイによって視野が限定され拘束感を与えることなどの問題があげられる。そこで著者らは、互いが操作可能なディスクを組み込んだテーブルに、ビデオプロジェクタにより相手の身体やテーブル上の映像を投影することにし、図 3 に示す空間共有テーブルシステムを開発した。本システムは、ディスク共有システムと映像表現システムから構成される。

ディスク共有システムは、図 4 に示すように、木製のテーブル(600×450×770[mm])上面に同期回転ディスク装置を組み込んでいる。この装置は、上面に直径 280[mm]の木製の円盤が装着され、ロータリーエンコーダー(NEMICON, OME-360-2MC)、DC モーター(Japan Servo Co.,Ltd., DME34S36G10B)、モーターコントローラ(iXs Research Corp., iMCs01)を各 1 個内蔵し、ホストコンピュータと USB 接続によりデータ通信する。ホストコンピュータは IP ネットワークを介し遠隔のコンピュータに回転位置データを送信する。そして遠隔のディスクの回転

位置に一致するように、モーターコントローラによってフィードバック制御を行う。これにより、2 つのディスクは仮想的なバネを介してつながったような振舞いをする。例えば図 5 に示すように、一方のディスクを手で回転させると、その回転に合わせて遠隔のもう一方が同期して回転する。一方がディスクを回転させているときに、もう一方のディスクを静止あるいは反対方向に回転させる際には、反対方向への反力が生じ、手を離すと相手の位置に収束する。

次に映像表現システムは、先に述べた 2 通りの映像表現を可能とする。すなわち、場所 A 側では表現(a)を実現し、場所 B 側では表現(b)を実現することにした。場所 A 側においては、テーブルの真上に設置された CCD カメラ 1 によって、参加者のテーブル上の手やオブジェクトを撮影する。そしてこの映像を、遠隔の相手側となる場所 B 側のテーブル上にビデオプロジェクタ 1 によってテーブル上へ投影する。一方で、場所 B 側では、ディスクの大きさがほぼ実寸サイズで撮影でき、かつ場所 A の参加者が椅子に座ってテーブルを眺める視点として CCD カメラ 2 を固定し、撮影した。そのため、テーブル上のみならず周りの映像も一部取得されるが、その映像を場所 A 側において、参加者と向かい合ったスクリーンにビデオプロジェクタ 2 によって投影する。この手法によって場所 A 側の参加者は、相手のテーブルと自身のテーブル上の状況が統合された映像、すなわち相手の空間に自己像が投影された映像を見ると同時に、自分の場所のディスクを回転させることで映像内のディスクを操作することが可能である。こうして、テーブル上の行為の現場を共有映像空間において統合する表現(a)を実現した。一方、場所 B 側では、自身や遠隔の相手が実際に操作することが可能なディスクを組み込んだテーブル上に、遠隔の相手やそのテーブル上の状況を直接投影する。これにより、テーブル上の行為の現場を直接自身の現場において統合する表現(b)を実現した。図 6 に本システムを利用した 2 箇所での映像表現の様子を示す。

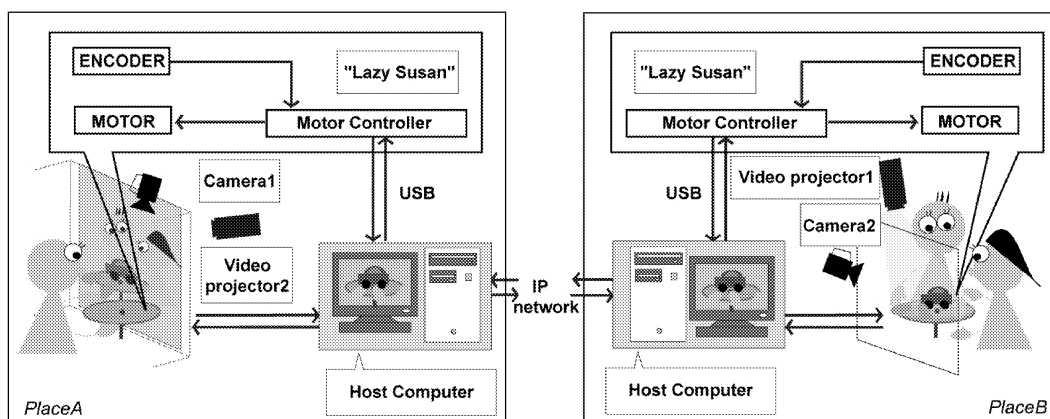


図 3 空間共有テーブルシステムの構成

Fig.3 Schematic diagram of a virtually shared "Lazy Susan" system

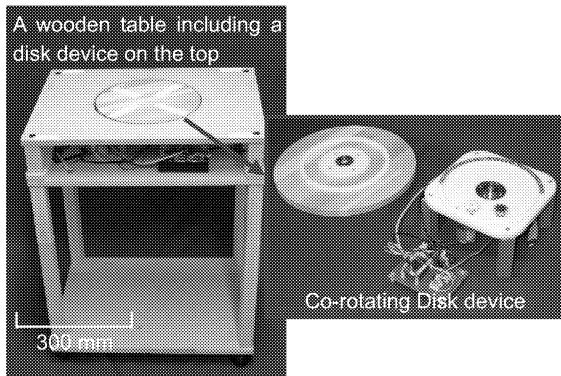


図4 ディスク共有システム

Fig.4 Shared disk system

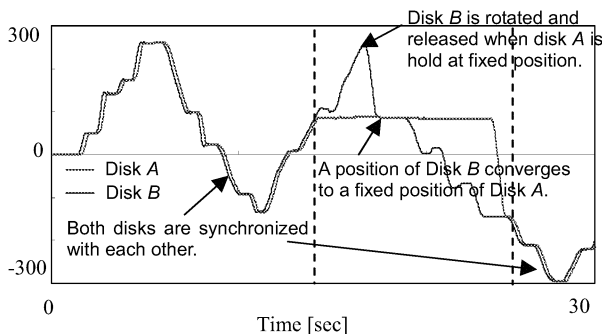


図5 ネットワークで接続された2つのディスクの変位

Fig.5 Behavior two networked disks

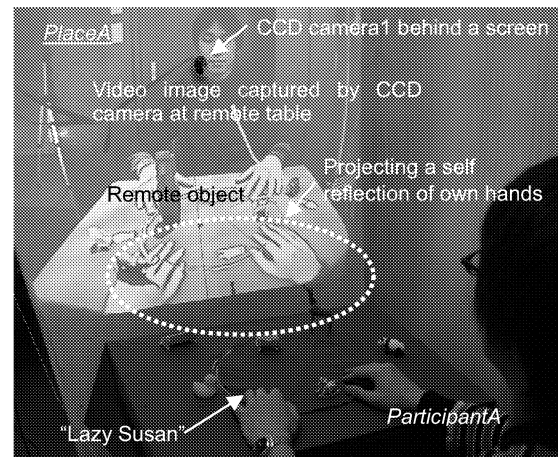
4. コミュニケーション実験

4.1 実験方法

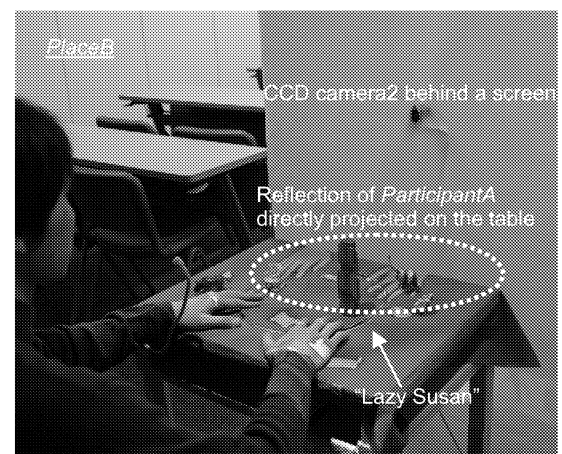
本システムでは、ディスクとのインタラクションと映像表現の組み合わせ方に関して、2通りの表現手法を提案したが、それぞれの表現において、映像空間における自己像の有無や、投影する相手の映像の有無、そしてディスクとのインタラクションの有無によって自身と相手の現場との関係や、自身の現場における相手の存在感に関してどのような効果があるのか検討することにした。

表現(a)に関しては、表1および図7に示す3つの条件、また表現(b)に関しては、表2および図8に示す3つの条件で実験を行った。そこで、被験者11組22名(学生：男子20名、女子2名、20-24歳)に対して次に示す手順で実験を行った。まずは本システムを離れた2箇所の部屋にそれぞれ設置し、既存の対話ツールである遠隔会議ソフト(Microsoft社製ネットミーティング)の音声機能を組み合わせることで実験システムとした。図6はその実験状況の一部であり、映像空間に自己像が投影されかつ、相手の身体がテーブル上に投影されてインタラクションしている様子である。

本システムでは先に述べた2通りの映像表現が1つのシステムとして組み込まれており、2名1組で同時に各映像表現を体験してもらうこととした。すなわち、2名1組の1名は場所Aにおいて表現(a)の3条件を体験し、も



(a) Displaying a video space including self reflection at PlaceA



(b) Projecting a reflection of a remote partner on a table at PlaceB

図6 システムを利用したコミュニケーションの様子

Fig.6 "Lazy Susan" system in use between remote places

う1名は同時に、場所Bにおいて表現(b)の3条件を体験する。各条件において図6に示したように、互いのディスク上およびテーブル上にオブジェクトを置き合い、ディスク上のオブジェクトが倒れないように注意しながら交互にディスクを回し合うよう被験者に指示した。各被験者が3条件下をそれぞれ3分間ずつ体験した後、各条件に対し、表現(a)においては表3に示す12項目を、表現(b)においては表5に示す12項目を各項目7段階(中立0)で評価させた。さらに、相手の存在感やディスクとのインタラクションに関するコメントを用紙に記述するように指示した。これらの評価が終了後、同じ被験者同士の組み合わせで、場所Aと場所Bとを入れ替え同様に実験を行った。なおこれらの実験条件は、各グループによって順序を入れ替えた。

これらの評点の平均と標準偏差を算出した結果を図9,10に示す。各条件間での有意差の評価には、Wilcoxonの符号付順位検定を適用した。さらにコメント結果を表4,6に示す。

表 1 表現(a)の 3 つの実験条件

Table 1 Three conditions of communication experiments on Representation(a)

条件①	映像空間に自分の手・テーブル上のオブジェクトが表現され、さらにディスクが互いに同期して回転する
条件②	映像空間に自分の手・テーブル上のオブジェクトが表現されるが双方の間でディスク回転によるインタラクションはない
条件③	ディスクが互いに同期して回転するが、映像空間に自分の手・テーブル上のオブジェクトは表現されない

表 2 表現(b)の 3 つの実験条件

Table 2 Three conditions of communication experiments on Representation(b)

条件①	相手の手・テーブル上のオブジェクトが自分のテーブル上に投影され、さらにディスクが互いに同期して回転する
条件②	相手の手・テーブル上のオブジェクトが自分のテーブル上に投影されるが、双方の間でディスク回転によるインタラクションはない
条件③	ディスクが互いに同期して回転するが、相手の手・テーブル上のオブジェクトは自分のテーブル上に投影されない

4.2 実験結果

4.2.1 表現(a)に関する結果

表現(a)では、共有映像空間内における自己像の有無や、映像内のディスクを操作することの有無によって、映像空間と自身との関係や、映像中のオブジェクト、相手の存在感がどのように影響があるかについて検討することにした。そして、表 3 に示す評価項目を設定した。表 4 にコメント調査の結果をまとめ、以下に各項目における表現(a)の結果を述べる。

項目 1, 2 は、映像中の操作可能なディスク、および固定されたままのテーブルに対する自身との関係についてである。図 9 の結果が示すように、自己像が投影されかつ映像中のディスクを操作可能な条件①では、両項目において相手のディスクやテーブルに触れているように感じることに肯定的な評価を示した。さらに、その他 2 条件と比較して有意差が確認できる。このことはコメント結果からも示され、条件①では、「映像の中にまで自分の身体が拡張しているかのように感じる」などと報告された。一方で、映像中のディスクを操作できず映像のみの条件では、「映像と自分とのつながりが弱い」とことや、映像内に自己像が投影されずディスク操作のみの条件では、「直接回しているよりもコントローラで操作している感覚がする」などの分離感が報告された。

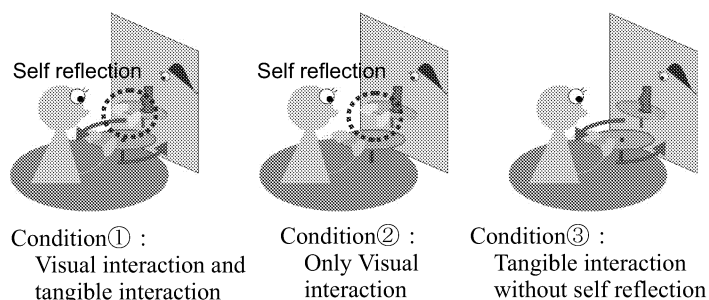


図 7 表現(a)の 3 つの実験条件

Fig.7 Three conditions of communication experiments on Representation(a)

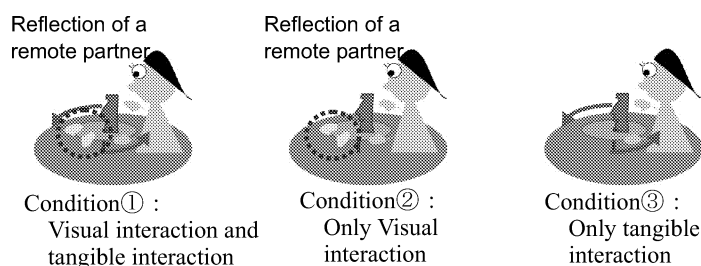


図 8 表現(b)の 3 つの実験条件

Fig.8 Three conditions of communication experiments on Representation(b)

次に項目 3, 4 は、映像中の操作可能なディスク上、あるいは固定されたままのテーブル上に置かれた相手のオブジェクトと自身との関係についてである。自己像が投影されかつ映像中のディスクを操作可能な条件①では、両項目において相手のオブジェクトに触れているように感じることに肯定的な評価を示した。さらにその他 2 条件と比較して有意差が確認できる。このことに関してコメントの結果からも、条件①においては、「相手のオブジェクトがある位置に自分の手を置かないように思わずよける」とことや、「相手のオブジェクトを倒したりしてしまうことで驚く」などの相手側のオブジェクトに対するつながりも強まることが示唆された。一方で、映像中のディスクを操作できず映像のみの条件では、「映像のオブジェクトに自分の手の映像が触れても気になりにくい」、「相手のディスク上のオブジェクトすり抜けてしまう感じがする」などのオブジェクトとのつながりが弱いことが示された。

続いて項目 5, 6 は、相手の手が、映像中の操作可能なディスク上にあるとき、あるいは固定されたままのテーブル上にあるときの存在感に関するものである。ここにおいても、自己像が投影されかつ映像中のディスクを操作可能な条件では相手に触れている感覚に対して肯定的な評価を示している。そして、その他 2 条件と比較しても有意差が認められる。この条件①では、「自分が回したときや動かしたときに相手に触れている感覚がある」と報告されたが、一方で、相手がディスクを回したときには、自分の場所のディスクも回転してしまうため「相手

表3 表現(a)における評価項目
Table 3 Items of questionnaire on Representation(a)

評価項目
1.相手のディスクに触れているように感じた
2.相手のテーブルに触れているように感じた
3.相手のディスク上のオブジェクトに触れているように感じた
4.相手のテーブル上のオブジェクトに触れているように感じた
5.ディスク上の相手に触れているように感じた
6.テーブル上の相手に触れているように感じた
7.自分のオブジェクトが相手のディスク上に存在するように感じた
8.自分のオブジェクトが相手のテーブル上に存在するように感じた
9.相手の場所にいるように感じた
10.相手がここにいるように感じた
11.相手と同じ場所にいるように感じた
12.相手の親近感

表4 表現(a)におけるコメント調査の結果
Table 4 Summary of comments on communication experiments under Representation(a)

	表現(a)
条件①: 自己像が投影され、かつ映像中のディスクを操作できる	- 映像の中にまで自分の身体が拡張しているかのように感じる - 相手のオブジェクトがある位置に自分の手を置かないように思わずよける - 相手のオブジェクトを倒したりしてしまうことで驚く - 自分が回したときや動かしたときに相手に触れている感覚がある - 相手が回したときには正面映像と自分の場所とに分離感がある
条件②: 映像中のディスクを操作できない	- 映像と自分とのつながりが弱い - 映像のオブジェクトに自分の手の映像が触れても気になりにくい - 相手のディスク上のオブジェクトすり抜けてしまう感じがする
条件③: 自己像が映像空間に投影されない	- 直接回しているよりもコントローラで操作している感じがする - 相手とのつながりが弱い - 相手が回しているような、勝手にテーブルが回っているようなどちらだか分からない感じ - 回しているのに回している気がしない - 相手とタイミングが合わない

が回したときには正面映像と自分の場所とに分離感がある」ことがあるとも報告された。映像内に自身の身体が投影されずディスク操作のみの条件では、自身と相手との位置関係が表現されないことから、この項目ではあまり評価されなかった。

項目7, 8は自身の身体のみならず、自分の場所のオブジェクトと相手の場所との関係についてである。自己像が投影されかつ映像中のディスクを操作可能な条件では、自分の場所に置かれたオブジェクトの存在が相手の場所

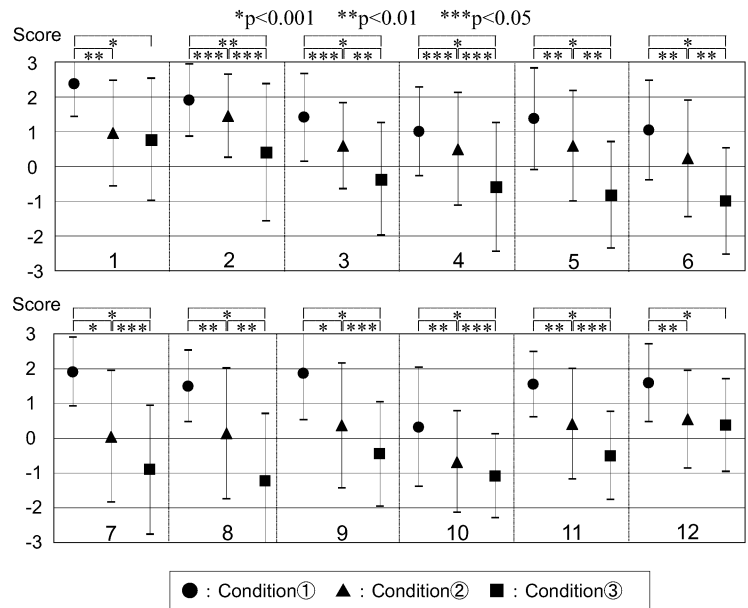


図9 表現(a)に関する評価結果
Fig. 9 Result of questionnaire on Representation(a)

にまで伝わるかに対して肯定的な評価を示し、その他2条件と比較しても有意差が認められる。映像中のディスクを操作できず映像のみの表現では、このような感覚の創出は必ずしも支援されておらず、単に自分のオブジェクトを相手の場所に投影するだけでは不十分であることを示唆している。

最後に項目9, 10, 11, 12は1から8までの項目を共存在感に関してまとめたものである。1-8項目までの結果が示すように、本項目でも自己像が投影され、かつ映像中のディスクを操作可能な条件では、相手と同じ場所にいる感覚の創出に対して肯定的な評価を示し、その他2条件とも有意差が認められた。コメント調査からも相手の場所にまで身体が拡張したかのような感覚が強まることが報告され、一方その他2条件では、相手の空間や相手とのつながりが不十分であることが示唆された。

4.2.2 表現(b)に関する実験結果

表現(b)では、テーブル上に投影される相手の映像の有無、相手側がディスクを操作することの有無によって、相手のオブジェクトや相手の存在感にどのように影響があるかについて検討することにした。そして、表5に示す評価項目を設定した。表6にコメント調査の結果をまとめ、以下に各評価項目における表現(b)の結果を述べる。

項目1, 2は、相手が操作可能なディスクと、その周囲のテーブル上における相手との関係についてである。図9の結果が示すように、相手の映像が投影されかつ相手がディスクを操作可能な条件では両項目において相手が自分のディスクやテーブルに触れているように感じるこ

表 5 表現(b)における評価項目
Table 5 Items of questionnaire on Representation(b)

評価項目
1.相手が自分のディスクに触れているように感じた
2.相手が自分のテーブルに触れているように感じた
3.相手が自分のディスク上のオブジェクトに触れているように感じた
4.相手が自分のテーブル上のオブジェクトに触れているように感じた
5.相手がディスク上の自分の手に触れているように感じた
6.相手がテーブル上の自分の手に触れているように感じた
7.相手のオブジェクトが自分のディスク上に存在するように感じた
8.相手のオブジェクトが自分のテーブル上に存在するように感じた
9.相手の場所にいるように感じた
10.相手がここにいるように感じた
11.相手と同じ場所にいるように感じた
12.相手の親近感

表 6 表現 (b) におけるコメント調査の結果
Table 6 Summary of comments on communication experiments under Representation(b)

	表現(b)
条件①： 相手の映像が投影され、かつ相手からのディスク操作が可能	・相手がディスクを実際に回しているかのように感じる ・相手が自分のオブジェクトに触って回しているように感じる ・自分の手の上に相手が重なってきたように感じる ・対面しているかのようにディスクを回している感じがする ・相手の手が迫ってくる感じがする ・相手のオブジェクトが平面的で違和感がある
条件②： 相手からのディスク操作がない	・相手の手を映像としてしか感じない ・相手とのつながりが弱い ・相手の行為によってもオブジェクトが動かない ・相手が同じ場所にいる感覚を感じない ・相手のオブジェクトが平面的で違和感がある
条件③： 相手の映像が投影されない	・相手と回している感じがする ・誰もいないのにディスクが回転して気味が悪い ・勝手にディスクが回転している ・いつ相手が回そうとしているのかわからない ・相手と同じディスクを回している感覚がない ・回していないときは相手がどこにいるかわからず不安である

の固定されたテーブル上においても相手の存在感が強められていることを示している。コメント結果からも、こ

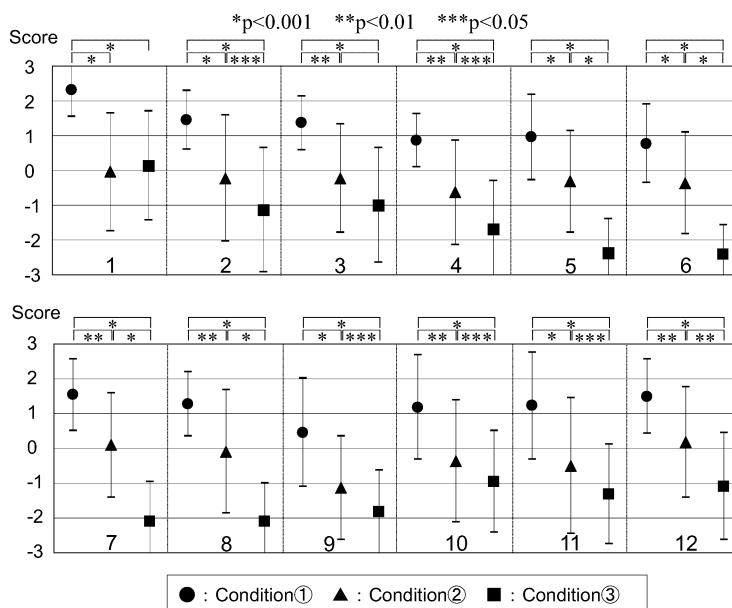


図 10 表現(b)に関する評価結果
Fig. 10 Result of questionnaire on Representation(b)

の条件①では、「相手がディスクを実際に回しているかのように感じる」と報告された。一方で、相手がディスクを操作できず相手の映像が投影されるのみの条件では、「相手の手を映像としてしか感じない」、「相手とのつながりが弱い」などと報告された。また相手の身体が投影されず相手がディスクを操作するのみの表現では、「相手と回している感じがする」との一方で「誰もいないのにディスクが回転して気味が悪い」、「勝手にディスクが回転している」、「いつ相手が回そうとしているのかわからない」などの相手の存在感が創出しにくいことも指摘された。

次に項目 3, 4 は、相手が操作可能なディスク上と、固定されたままのテーブル上に置かれた自分のオブジェクトと相手との関係についてである。相手の映像が投影されかつ相手がディスクを操作可能な条件では、両項目において相手が自分のオブジェクトに触れているように感じることに肯定的な評価が得られた。さらに、その他 2 条件と比較して有意差が確認できる。このことに関してコメントの結果からも、この条件①においては、「相手が自分のオブジェクトに触って回しているように感じる」ことが報告された。相手の映像が投影されるのみの条件でもこのような感覚の創出が一部報告された一方で、「相手の行為によってもオブジェクトが動かない」ことなどのオブジェクトとのつながりが弱いことも指摘された。

続いて、項目 5, 6 は、相手の手が、相手が操作可能なディスク上と、固定されたままのテーブル上に投影されるとき相手の存在感に関するものである。ここにおいても相手の映像が投影されかつ相手がディスクを操作可能な条件では、相手が自分に触れている感覚に対して肯

定的な評価を示している。そして、その他 2 条件と比較しても有意差が認められる。コメント調査からも「自分の手の上に相手が重なってきたように感じる」などの感覚が報告された。相手がディスクを操作できず相手の映像が投影されるのみの条件では、項目 1, 2 と同様に相手の手を映像だけの存在としか感じなかったように、存在感はあまり強められなかった。また相手の身体が投影されず相手がディスクを操作するのみの条件においては、同じディスクを共有している感覚が創出する場合がある一方で、自身と相手との位置関係が表現されないことから、この項目ではあまり評価されなかった。

項目 7, 8 は相手の身体のみならず、相手のオブジェクトと自分の場所との関係についてである。相手の映像が投影されかつ相手がディスクを操作可能な条件では、相手の場所に置かれたオブジェクトの存在が自分の場所にまで伝わるかに対して肯定的な評価を示し、その他 2 条件と比較しても有意差が認められる。しかしながら、この条件においても、相手の映像のみを投影する条件と同様に、投影されるオブジェクトは平面的になるため、「高さ方向に立体的なオブジェクトに関しては、平面的で違和感がある」と報告された。

最後に、項目 9, 10, 11, 12 は 1 から 8 までの項目を共存感という視点からまとめたものである。1-8 項目までの結果が示すように、本項目でも相手の映像が投影され、かつ相手がディスクを操作可能な条件では肯定的な評価を示している。そして、その他 2 条件と比較しても有意差が認められる。さらに、この条件では、「対面しているかのようにディスクを回している感覚がする」、「相手の手が迫ってくる感じがする」など、同じ場所に相手が存在している感覚が強められることが報告された。相手がディスクを操作できず相手の映像が投影されるのみの条件では、「相手が同じ場所にいる感覚を感じない」などや、相手の身体が投影されずディスクの操作のみの表現では、「相手と同じディスクを回している感覚がない」、「回していないときは相手がどこにいるかわからず不安である」など、相手の存在が自分の場所で強める効果に関しては必ずしも十分ではないことが示唆された。

4.2.3 表現(a)・(b)に関する実験結果

以上の結果をまとめると、表現(a)では、相手側の空間の映像中に自己像が統合され、かつその映像中のディスクの操作が可能な条件において、相手の空間にまで自身の身体があたかも拡張したかのような感覚が強まることを示された。また、表現(b)では、自分のテーブル上に相手の映像が投影され、かつ相手がディスクを操作することが可能な条件において、相手の全身ではなく手だけが投影されているにもかかわらず相手や相手のオブジェクトの存在感が自分の場所において強まることを示された。このことは、表現(a)では自身が相手側の空間に参加し、表現(b)では相手が自身の場所に参加して来るという、空

間に参加する方向性があることが示唆される。この点について表現(a)、(b)において共通の評価項目である 9,10,11,12 の結果をさらに整理する。項目 9 の相手の場所にいるように感じるかに関しては、表現(a)が表現(b)よりも高い評価を示し、かつ有意水準 0.1% で有意差が確認される。一方、項目 10 の相手がここにいるように感じたかに関しては、逆に表現(b)が表現(a)よりも高い評価を示し、有意水準 1% で有意差が確認される。これと同時に、項目 11 の相手と同じ場所にいると感じることや項目 12 の相手の親近感に関して、両表現とも高い評価を得ている。

このことから、表現(a)・(b)という表現手法によって、一方の表現では、自身の身体が相手の空間に拡張する感覚を創出し、もう一方の表現では、遠隔の相手の存在感を自身の場所において同時的に強めることを実現した。そして、このときに各々において相手と共に存在している感覚が強まることを示された。

4.3 離れた場所間での共同作業

さらに本システムの 1 つの活用方法として、離れた場所間での共同作業支援への適用を試みた。まずは、図 6 に示した場所 A の参加者の視線やテーブルの周囲の状況が場所 B においても伝わるように、システムを拡張した。そのため図 11 で示すように、場所 A 側の参加者の正面には CCD カメラ 3 を設置し、撮影する。この映像をビデオプロジェクタ 3 により、場所 B 側のテーブルと垂直に立てられたスクリーンに投影する。このシステムを活用し、テーブル上で積み木を使った造形作業をすること、回転するディスク上にホワイトボードを設置して共同描画することなどの共同作業を行った。その結果および、コミュニケーション実験を録画した映像において観察された現象について以下にまとめる。

まずは、場所 A の参加者が、場所 B の参加者に積み木を使つての造形を指示する共同作業を行ってもらった。これによると、場所 A の参加者は、場所 B 側のテーブル上に投影されるビデオ映像の手によって、積み木に対して指で指示することなどが可能となった。このときディスクを回すことで相手の積み木の位置を変え、それに対してまた指示をするなどのディスクの活用が観察された。また、自分の手だけではなく、自分の場所の積み木も投影することでその意図を正確に伝えていることが外部から観察された。さらに場所 A の参加者の一部からは、実際にディスクを回転させているときや、場所 B にいる相手が回転させているディスクに手を添えているときに、場所 B 側のテーブルの上に置かれたオブジェクトが倒れるなどすると、思わず手で支えようとする感覚が創出したとも報告があった。このような感覚と対応する現象が記録ビデオでも一部観察されたので、図 12 に映像中の倒れる積み木にあわせて手が動いている様子として示す。なお、自身の身体の映像が相手のテーブルに投影されない場合は、このような現象は観察されにくく、またコメ

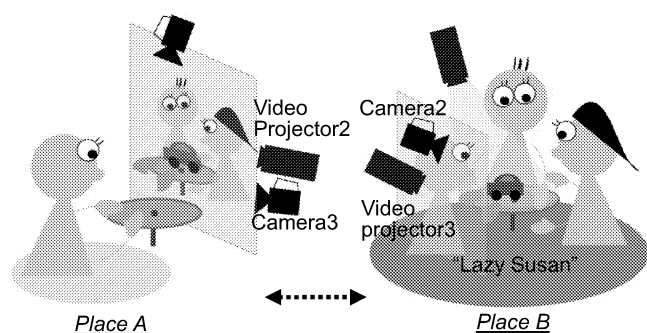


図 11 ビデオ投影型テーブル共有システムの構成
Fig.11 Diagram of a virtually shared "Lazy Susan" with video projection

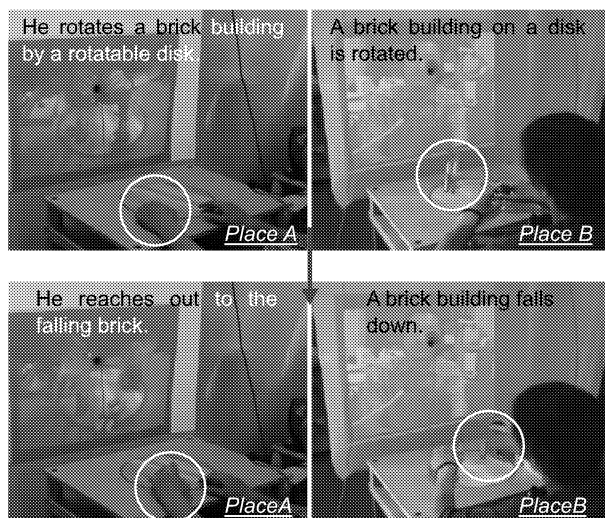


図 12 映像空間内の実体に対する身体拡張
Fig.12 An expansion of body image toward a video space of a remote table

ントとしても身体が拡張するかのよう感覚はほとんど報告されなかった。

一方、場所 B でも、投影された場所 A の参加者の指示にしたがって積み木で造形したり、移動させたりなどが観察された。そして場所 A の相手がディスクを回したときには、遠隔の相手と同じディスクを回している感覚が強まることや、相手と向かい合って一緒に作業している感覚がするなどと報告した。しかしながら、積み木を三次元的に積み上げる作業においては、遠隔の相手からの高さ方向の指示やその意図を汲み取るのが困難であることが指摘された。

次に、図 13 に示すように互いのディスクの上にホワイトボードを設置し、描画し合うなどの作業を行ってもらった。自分が描画する、あるいは相手が描画した後に、ディスクを回すことで、互いのタイミングを合わせたり、あるいは自分が描いたものを相手に見やすいように回して見せることなどが観察された。このように、ディスクを回すことで、あたかも同じテーブルの周りを自由に動き回ったり、互いの視点を入れ替えて共同描画するかのよう状況を支援することが可能となった。しかしなが

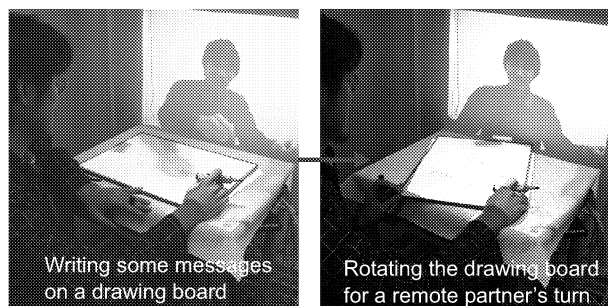


図 13 共有テーブル上での共同描画

Fig.13 A collaborative drawing on "Lazy Susan"

ら、場所 A 側においては、実際に描画するのはテーブル上のボードであり、一方相手の映像と合成されたボードは正面のスクリーン上に表現され、描画場所と投影場所とが異なっているために、作業の違和感があると報告された。このような違和感は、造形作業中に自分の手でスクリーン上のオブジェクトを直接指し示そうとする行為などからも確認され、スクリーンに投影された共有空間と自分の場所との整合性が保たれない場合があることも見出された。

以上の実験において、あたかも遠隔のディスクを操作したかのような感覚でディスク上のオブジェクトの方向を変えたり、タイミングよくディスクを回して相手に実体の向きを変えて見せることなどにより、1 つのテーブルを共有したかのような場における共同作業を支援する可能性を示した。

5. 考察

本研究では、一方の現場を相手の現場において仮想的に統合するための 2 通りの手法を提案したが、これらの手法の特長について検討する。

1 つは、自身の現場における行為を共有映像空間において統合する手法である。この手法においては、自身と共有映像空間との非分離性、さらには相手と自身との非分離性を同時に強め合うことが必要である。VirtualActor^[21]や HyperMirror^[22]のように自身の自己像を映像に投影することは、これらの非分離性を強める 1 つの方法である。本システムでは、自分の手や腕の一部を自己像として、テーブルを眺める視点からの映像を表現し、自己像の表現のみならず、実体ツールとのインタラクションを同時に支援することで、これらの非分離性をより強めることを可能にした。また、この手法においては、共存在的空間は自分の場所に創出したというよりは、むしろ相手の空間（共有映像空間）において創出するという特長がある。

映像中の身体像にまで自己が拡張することや、道具を介して身体が拡張することに関し、昨今の脳科学の分野では猿の脳の活動部位を計測する実験や人間がツールを利用したときの効果などについていくつかの知見が示されている^[24]。このような視点から身体拡張インタフェ

ースの原理やその評価を検討することは今後の課題として意味あることと思われる。

次に2つめの表現は、自身が行為している現場に相手の行為を統合する手法である。そのため、相手と自身との非分離性を強め合うことが必要である。例えば、双方のテーブル上に互いのテーブル上の状況を投影し合うことで、相手の映像オブジェクトに対して指示をするなどの共同作業を支援する AGORA^[25]が提案されている。著者らの手法は、このような相手の身体映像のみを投影する場合と比較して、相手が自身の場所の実体ツールを操作することで、この非分離性をさらに強めることが可能になった。

興味深いことに、相手の存在感が強まる感覚は双方が同時にディスクを触り続けていない状態においても報告されている。さらには、操作可能なディスク上に投影された相手のオブジェクトのみならず、固定されたテーブル上に投影されたオブジェクトの存在感も同様に強まることが示された。また、表現(a)においても、相手のディスク上に置かれたオブジェクトや操作している手のみならず、周りのテーブルやそのテーブル上の映像オブジェクトに対しても存在感が強まることが示唆された。これらの結果は、相手の存在感を強めたり、自身の身体が拡張したかのような感覚を強めるには、必ずしもインタラクションする全ての実体を操作可能にしたり、常に触り続ける必要性に関する問題を提起していると考えられる。これに関する研究として、仮想空間内の一部の実体を触って操作することによって、映像空間内の他のオブジェクトの実在感を強めるアイデアがこれまでに提案されている^[26]、このような視点からのコミュニケーションシステムを開発した例は他に見当たらず、新たな設計手法につながるのではないかと期待できる。

以上に示したように、本システムではこれら2通りの表現手法の特長を活かすことで、一方の現場において他方の現場を統合し、共存在感の創出が支援されたと考えられる。さらには、これらの表現手法をそれぞれ組み合わせることで、双方が共有映像空間を介したコミュニケーションや、双方の現場において相手の現場を統合するコミュニケーションを支援するシステムなどへも発展させることが可能である。

また、操作可能なオブジェクトと映像だけのオブジェクトが混在することによって、それらとのインタラクション時に生じる存在感の創出、崩壊のダイナミクスについては今後さらに検討したい。

最後に、遠隔の相手との共存在感や一体感を創出するシステム設計の指針に関する、二通りの身体的はたらきについて検討する。1つは、身振りや手振り、あるいは視線などの身体行為を直接的、明示的に表現することで、相手に対する指示や意図を伝えるはたらきである。第2章で示したように、既存のコミュニケーションシステム

の多くはこのような表現を支援することで、遠隔地間での共同作業を支援する技術であるといえよう。もう1つは、自身と相手の身体とのつながりや、あるいは自身と現場とのつながりを強め合う暗示的なはたらきである。本システムでは、自己像を共有空間に表現することのみならず、実体ツールを双方で操作可能にすることで、自身と共有空間との非分離性、さらには相手と自身の非分離性を強め合うことを実現した。このような身体のはたらきの二重性に関係するものとして、タンジブルインタフェースの概念の中でも、認知の中心と周辺と呼称する表現の二重性を導入することが提案されているものの^[27]、コミュニケーションシステムとして実際に開発したり、その効果について評価したりした事例は見当たらない。さらに、コミュニケーション・メディアの特性に関し、視覚的コミュニケーションの有無と存在感の有無という、身体のはたらきの二重性を示唆する視点からの検討も行われている^[28]。こうした身体の二重的なはたらきに着目することは、双方の現場において互いの存在を位置付け合い、共に存在している感覚の創出を支援する技術に取り組む上で少なからず開発の方向性を示すものであろうと考えられる。

6. おわりに

離れた場所にいながらも、互いがつながっている感覚や共に存在している感覚の創出を支援する技術が期待されている。しかしながら、このような場の創出を支援するメディア技術やその設計手法の提案はまだ少ない。本研究では、一方の現場を相手の現場に統合することによって共存在的な空間を創出することに取り組んだ。そして、映像空間に自己像を統合したり、相手の身体を自身の場所に投影すると同時に、互いが操作可能な実体ツールを共有するシステムを構築した。その結果、身体の拡張感覚や、相手の存在感が強まるのが各々の現場において同時的に支援され、共に存在している感覚が強められることを示した。

今後の課題として、共有の場所における自己像の表現の仕方や、自己像と自己との関係を強め合う手法などを脳科学の知見と結び付けて検討する必要がある。その一方で、実生活環境における本システムの実践的な活用手法についても研究し、共創の場を支援する技術へと発展させていきたいと考えている。

謝辞

本研究の一部は、岐阜県からの委託である WABOT-HOUSE プロジェクトにより行われた。また、本研究の実験システムの構築、コミュニケーション実験にあたり、修士学生片山智文君、学部生伊與田正晃君らの協力を得た。ここに謝意を表する。

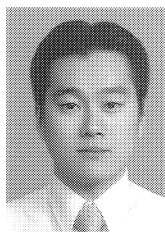
参考文献

- [1] 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).
- [2] ドレイファス, H.: インターネットについて一哲学的考察 *Thinking in action*; 産業図書 (2002).
- [3] 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).
- [4] 宮島, 伊藤, 伊東, 渡邊: つながり感通信: 人間関係の維持・構築を目的としたコミュニケーション環境の設計と家族成員間における検証; ヒューマンインタフェース学会誌・論文誌, Vol.5, No.2, pp.171-180 (2003).
- [5] 例えば, みまもりほっとライン:
<http://www.mimamori.net/index.html> など
- [6] Canny, J., Paulos, E.: Tele-Embodiment and Shattered Presence: Reconstructing the Body for Online Interaction; *The Robot in the Garden: Telerobotics and Telepresence in the Age of the Internet*, MIT Press (2000).
- [7] 清水, 久米, 三輪, 三宅: 場と共創; NTT 出版 (2000).
- [8] 清水: 場の思想; 東京大学出版会 (2003).
- [9] 上杉, 三輪: 行為的コミュニケーションを目指した積み木インタフェース; ヒューマンインタフェース学会誌・論文誌, Vol.5, No.1, pp. 143-151 (2003).
- [10] 上杉, 三輪: 異なる空間をつなぎ共存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).
- [11] 松下, 岡田: コラボレーションとコミュニケーション; 共立出版 (1995).
- [12] Ishikawa, Y., Okada, K., Jeong, G., Tanaka, S., Matsushita, Y.: MAJIC Videoconferencing System: Experiments, Evaluation and Improvements. *Proc. of ECSCW1995*, pp. 279-293 (1995).
- [13] Sellen, A.J.: Speech patterns in video-mediated conversations; *Proc. of CHI'92*, p.49-59 (1992).
- [14] 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).
- [15] Ishii, H., Kobayashi, M., 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).
- [16] 森川: 遠隔視覚対話における人間特性の分析とその応用; 博士論文 (2001). <http://staff.aist.go.jp/morikawa.osamu/ref.htm>
- [17] 小山, 葛岡, 山崎, 山崎, 加藤, 鈴木, 三樹: 実空間上の遠隔作業指示を支援するシステムの開発; 情報処理学会論文誌, Vol. 40, No. 11, pp.3812-3822 (1999).
- [18] Kuzuoka, H., Oyama, S., Yamazaki, K., Suzuki, K., Mitsuishi, M., GestureMan: A Mobile Robot that Embodies a Remote Instructor's Actions, *Proc. of CSCW2000*, pp.155-162 (2000).
- [19] Tachi, S.: Augmented Telexistence; Chapter 14, *Mixed Reality* (Ohta, Y., Tamura, H. ed.), Ohmsha, pp. 251-260 (1999).
- [20] Brave, S., Ishii, H., and Dahley, A.: Tangible Interfaces for Remote Collaboration and Communication; *Proc. of CSCW'98*, ACM Press, pp.169-178 (1998).
- [21] 渡辺, 大久保, 石井, 中林: パーチャルアクターとパーチャルウェブを用いた身体的パーチャル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論文誌 vol. 2, no. 2, pp.1-10 (2000).
- [22] Morikawa, O., Maesako, T.: HyperMirror Toward Pleasant-to-use Video Mediated Communication System; *Proc. of CSCW'98*, pp.149-158 (1998).
- [23] Azuma, R.: A survey of Augmented Reality, *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, vol.6, no.4, pp. 355-385 (1997). など
- [24] 入来: 道具を使う手と脳の働き; 日本ロボット学会誌, Vol.18, No.6, pp.786-791 (2000). など
- [25] Yamashita, J., Kuzuoka, H., Yamazaki, K., Yamazaki, A.: Agora: Supporting Multi-participant Telecollaboration; *Proc. of HCI International 1999*, Vol.2, pp. 543-547 (1999).
- [26] Hoffman, H.: Physically Touching Virtual Objects Using Tactile Augmentation Enhances the Realism of Virtual Environments; *Proc. of VRAIS'98*, pp. 59-63 (1998).
- [27] 石井, タンジブルメディアグループ: タンジブル・ビット—情報の感触・情報の気配; NTT 出版 (2000).
- [28] Rutter D. R., Stephenson G. M., Dewey M. E.: Visual Communication and the Content and Style of Conversation; *British Journal of Social Psychology*, 20, pp.41—52 (1981).

(2004 年 2 月 6 日受付, 2004 年 6 月 14 日再受付)

著者紹介

上杉 繁 (正会員)



平成 11 年早稲田大学大学院理工学研究科修士課程修了。大日本印刷(株), 金沢工業大学場の研究所, 早稲田大学大学院理工学研究科博士後期課程を経て, 現在早稲田大学理工学部助手。主に空間共有インタフェース, 共創における場の技術の研究に従事。日本機械学会, IEEE, ACM などの会員。

三輪 敬之 (正会員)



昭和 51 年早稲田大学大学院理工学研究科博士課程修了。同大学の助手, 講師, 助教授を経て, 昭和 61 年同大学理工学部機械工学科教授, 現在に至る。専門は生命機械工学。共創における場の技術, 植物のコミュニケーション, パフォーマンスロボットなどの研究に従事。日本機械学会, 日本ロボット学会, 計測自動制御学会, IEEE などの会員。工学博士。

