

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

上杉 繁^{*1} 三輪敬之^{*2}

Networked “Lazy Susan” to support a sense of co-presence between remote places

Shigeru Wesugi^{*1}, Yoshiyuki Miwa^{*2}

Abstract – Our goal is to create a co-existing space bridging remote locales as a place where mutual bodily interaction is grounded and as a place where remote participants feel a sense of co-presence or “being collocated”. We propose a design framework of dual represented embodied interaction; sharing an “inter-real virtual space” that reflects mutual bodily action at each remote site, and interacting with a remote participant through real object. We focus attention on a communicating situation that people gather around a “Lazy Susan” (a revolving wooden disk), and have developed networked “Lazy Susan” system, that bodily interaction can be shared through rotating the physical disk, and with viewing a virtual hand and a virtual disk in the virtual space. Some results of conversational experiments indicate that our design is suitable for supporting a sense of co-presence and ability for supporting intimate conversation. Additionally, some demonstrations on an advanced “Lazy Susan” system indicate our system is promising to support a remote collaborative work.

Keywords: Co-presence, Embodied interaction, Inter-real virtual space, Lazy Susan, ‘Ba’

1. はじめに

インターネットの普及に伴い、離れた場所にも人と人が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、人と人が直接出会わないとうまくいかないことが指摘されており^[1]、このことが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]}。このような問題が発生する要因として次のことが挙げられる。すなわち、対面時のように同じ場所（空間）におけるコミュニケーションでは、互いの身体性（身体の働き）を介して存在そのものが伝わることで、コミュニケーション可能な場が創出され、それによってコンテキストの共有が起きると考えられている^[4]。しかしながら、これまでのコンピュータメディア技術は、異なる空間において、そのような場を創出できるインタフェースの開発が遅れているといえよう。そこで著者らは、この問題を解決する手がかりを得るために、離れた場所間において、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検討してきた^{[3][5-8]}。その結果、共存在感の創出には、行為を介して自身と相手との関係を創りながら、互いを共通の空間に位置付けること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られる。

以上のような観点から、本研究では、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、その身体的行為の現場をリアルタイムに映像表現し、仮想空間上にそれぞれの現場における行為を統合することで、共存在感を創出させる二重表現的な手法について検討することにした。

具体的には、図1に示すように、回転盆（“Lazy Susan”）を複数人で囲んだコミュニケーションの場を想定したインタフェースシステムを開発した。そして、本システムを利用したコミュニケーション実験を行い、相手の仮想的な身体と実体のテーブルとのインタラクションにおいて、相手の仮想手に存在感が創出されるという興味深い現象を確認し、共存在感の創出支援や対話支援における有効性を示した。さらに、本システムを拡張し、遠隔地間での共同作業を支援するためのプラットフォームとしての活用について若干の検討を加えた。すなわち、積み木を用いたテーブル上での作業やホワイトボード上での共同描画などにおいて、本システムを用いることで、互いの身体性を強められ、共存在感が創出されやすくなることを示した。

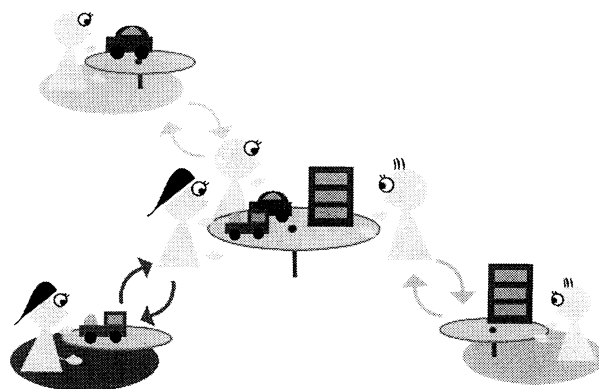


図1 コミュニケーション場の創出インタフェース
Fig. 1 Co-creative interface between remote places

*1: 早稲田大学大学院理工学研究科

*2: 早稲田大学理工学部

*1: Graduate School of Science and Engineering, Waseda University

*2: Faculty of Science and Engineering, Waseda University

2. 共存在感の創出支援手法

これまでの遠隔コミュニケーションにおける共存在感支援に関する研究は、例えば、写実的な表情のアバター表現やダイナミックな身体行為の映像表現^[9]、あるいは触覚デバイス^[10]の利用など、それぞれのコミュニケーションチャンネルにおいて情報の量を明示的に拡大する視点から主として取り組まれてきたといえよう。これに対して著者らは、身体の働きに着目し、仮想空間上に双方の現場を表現し、そこに各自の存在を位置付けるための設計手法に取り組む。その場合、①自分と相手がどこに存在して②どのように行為しているか、の2点がインタフェースを介して双方に共有される必要がある。

そこで、図2に示すように、実在空間における身体行為が仮想空間に表現され、その仮想空間を互いが現場において共有する手法を提案する。このような仮想空間を著者らは「現場共有仮想空間」(Inter-real virtual space)と呼称している^[11]。これをシステムとして実装する上で、本研究では、図3に示すように、中華盆の周りでコミュニケーションする状況に着目した。その理由として、1つのテーブルが、①テーブルの周りに参加者が位置付けられる、②テーブルが回転することで、そこに参加した人の身体的な行為が表現される、という2通りの機能を果たしていることが挙げられる。したがって、これは対話や共同作業などコミュニケーションの場を支援する点からも興味深い道具と見なせよう。そのため、各現場に実体のテーブルを設置し、回転盆のように、自由に回転させることが可能なディスクを組み込む。そのディスクが遠隔で互いに同期して回転することで相手の行為を身体を介して表現する。さらには、ディスクを回す身体行為や会話の際のジェスチュアなどを、仮想アバターとして共有仮想空間内に再現する。以上のようにして、実在空間での行為を反映した映像空間と遠隔の互いに同期運動する実体のテーブルとを組み合わせることにより、二重的な表現手法に基づいたインタフェースを開発する。システムを構築するための設計要件をまとめると以下の4点になる。

- ① 物理的に共通の場所としてのテーブル
- ② 相手とのインタラクションを支援するテーブル上のディスク
- ③ テーブル上に互いの身体行為を表現
- ④ テーブル上での共同作業支援

遠隔地間において、互いのオブジェクトを同期して運動させる手法を、ブレイブや石井らが「分散同期物理オブジェクト群」として提案している^[12]。その手法では、遠隔地間にて共同作業する人同士が「同じモノを扱っている感覚」の創出を目指している。これに対し著者らが提案する二重的な表現手法は、共通の仮想空間上に互いの存在を位置付け、共存在感の創出を目指す点に特徴がある。

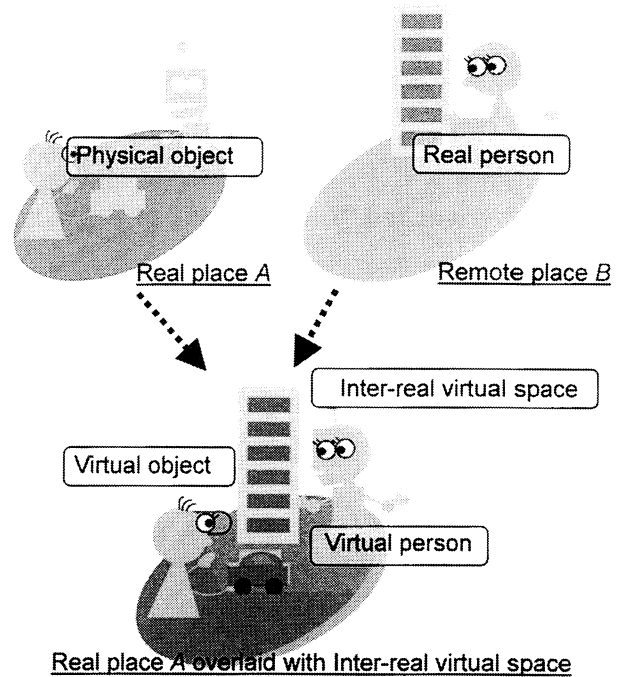


図2 現場共有仮想空間による空間の統合
Fig. 2 Inter-real virtual space bridging remote places

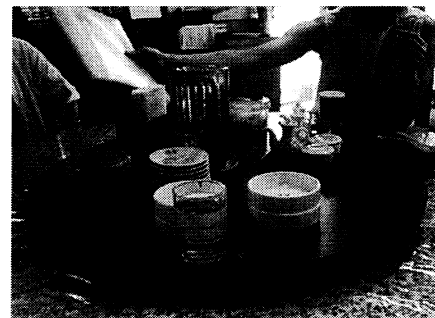


図3 回転盆の周りのコミュニケーション
Fig. 3 Communication around a "Lazy Susan"

3. 同期運動テーブルシステム

これらの要件を満たすべく、同期運動テーブルシステム (Networked "Lazy Susan") を設計・開発した。本システムは図4に示すように以下4つのユニットから構成され、図5(a)に示すように木製の移動ワゴンにまとめられている。

- ① 同期運動テーブル
- ② 身体運動計測ユニット
- ③ 映像生成、ディスク制御用ホストコンピュータ
- ④ ディスプレイユニット

同期運動テーブルには、回転盆のように回転するディスクを組み込んでいる。このディスクを実際に手で回すと、その回転が遠隔地にあるディスクの回転運動として表現される。この同期運動テーブルは、図5(b)に示すように、ロータリーエンコーダー(NEMICON, OME-360-2MC)とDCモーター(Sayama, RB-35GM-SS009-24)を各1個内蔵し、ホストコンピュータと19200[bps]でデータ

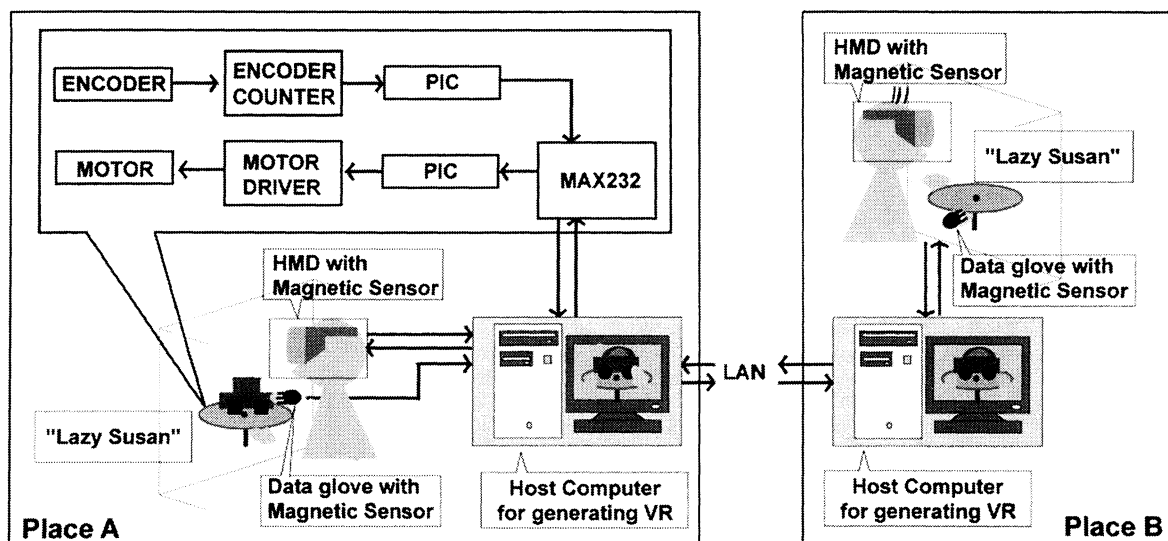


図4 同期運動テーブルシステム
Fig. 4 Configuration of the networked "Lazy Susan"

通信する。ホストコンピュータはLANを介して遠隔のコンピュータに回転位置信号を送信する。そして遠隔のディスクの回転位置に一致するように、その偏差量をフレームレートに合わせてPIDフィードバック計算する。その結果を8ビット精度のPWM出力によってディスクの回転制御をしている。ディスクは手触りの良さから木材を使用し、片手で覆うことが可能な大きさとして直径を175[mm]とした。さらにゴムのマーカーをディスク上面に貼り、手のスリップ防止とディスク回転の視覚的表現に役立てた。このディスクは最大トルク219[mN・m]、最大回転速度206[rpm]で回転する。利用者がディスクを回転させているとき、ネットワークを介してつながった2つのディスクはバネでつながれたような振る舞いをする。すなわち、どちらかの利用者が自分の場所のディスクを回し始めると、相手側のディスクも回転し始め、その回転を止めると、相手側のディスクも静止する。例えば、一方の利用者が時計回りに回転させ、もう一方が反時計回りに回転させるような反対方向への操作を試みたときには、各利用者は反対方向へのトルクフィードバックを体感する。なお、2台の同期運動テーブルをLANを介してつなぎ、同方向および反対方向にディスクを回したときの動作試験を行ったところ、テーブルの固有振動数は約2[Hz]であることが確認された。また、時定数は制御変数を調整することで変化させることも可能である。

身体運動計測ユニットでは、6自由度のトラッキングセンサー(Polhemus社製Fastrak)により頭部の動き、手の位置・姿勢を計測する。また、指の曲げは、今回は右手のみデータグラブ(5DT Data Glove 5)を利用した。これらのデータはそれぞれ、115200[bps]、19200[bps]の速度でホストコンピュータに送信される。

ホストコンピュータはディスク回転を制御し、仮想テーブルおよび仮想アバターを含めた共有仮想空間をリア

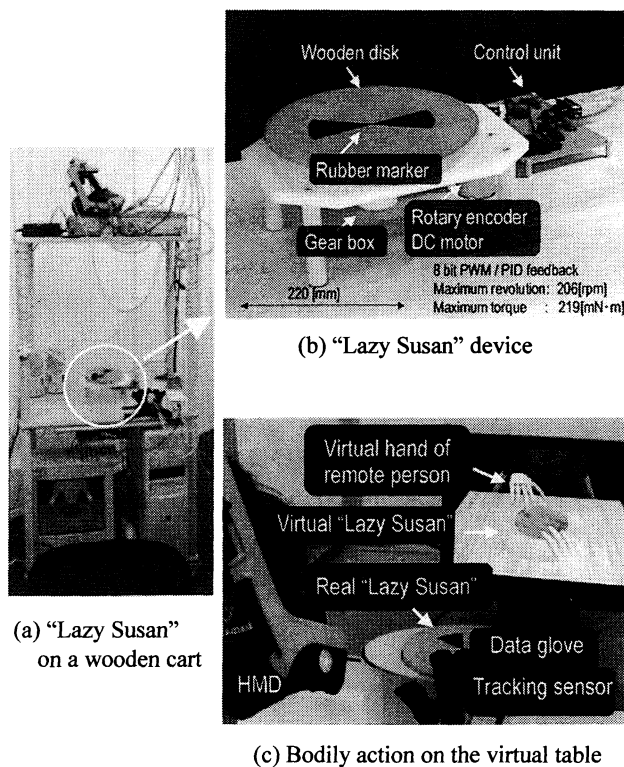
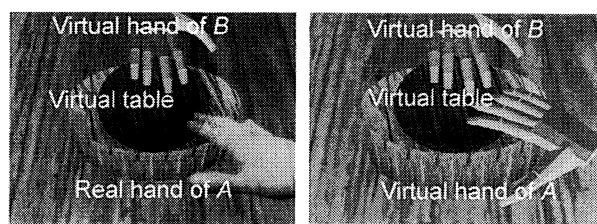


図5 同期運動テーブルの利用
Fig. 5 Utilization of the "Lazy Susan"

ルタイムで生成する。共有仮想空間では、参加者のアバターがテーブルを挟んで向かい合って座った状況を設定した。このアバターは上半身と右手からなる。仮想表現された遠隔の相手と自分の手はセンサからのデータに従ってその動きが再現される。また、仮想テーブルの大きさと形状は実体のテーブルの寸法と一致するようにモデリングされ、その表面は木目調にテクスチャマッピングされている。これらの共有仮想空間は、VR開発ソフト(SENSE8社製WorldToolKit)を利用して構築した。

ディスプレイユニットは光学シースルー機能を有する



(a) View a real hand through display (b) View a virtual image of real hand

図6 HMD から見た重畳映像
Fig. 6 Overlaid image through HMD

HMD (オリンパス社製 Mediamask 601) を利用している。

図5(c)に本システムを利用しているときの様子を示す。HMDを装着した利用者は、実体のテーブルに仮想テーブルが重畳した映像を見る。その際、自分の実際の手が透けて見える場合(図6(a))と、自分の仮想手が見える場合(図6(b))とを選択することが可能である。

4. テーブルを利用したコミュニケーション実験

4.1 実験方法

本システムが遠隔地間コミュニケーションにおいて、互いの存在を共通の空間に位置付け、共存在感の創出を支援できるかどうか、その有効性について以下のような実験を行った。

互いにあまり面識がない10組20名(学生:男子16名, 女子4名, 20-28歳)により、図7に示すように2人が異なる場所にそれぞれ分かれて会話するコミュニケーション実験を試みた。すなわち、同期運動テーブルシステムに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によって実験システムとした。

また、二重的な表現による共存在感創出の効果を明らかにするために、以下の4つの実験条件を設定した。図8にその実験状況の一部を示す。

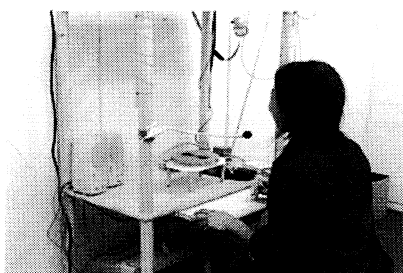
- ① 同期運動テーブルに向かって座り音声のみによる対話、ただしディスクとのインタラクションはない(相手の身体行為が表現されない)



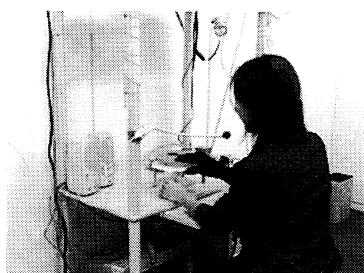
図7 対話実験実験風景
Fig. 7 Communication in remote rooms

- ② 音声およびディスクとのインタラクションを伴う対話(相手の身体行為が映像として表現されない)
- ③ 共有仮想空間が表現され、音声、ディスクとのインタラクションを伴う対話(相手の身体行為が映像、実体を介した動きとして表現される)
- ④ 共有仮想空間において、音声、仮想身体を伴う対話(双方の間でディスク回転によるインタラクションがない)

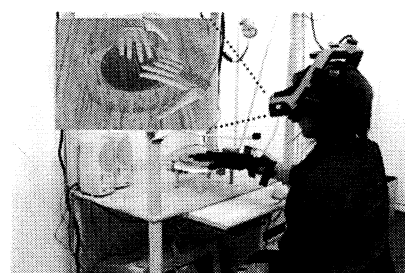
以上の条件下において、それぞれ6分間ずつ、大学での生活に関して自由対話した。その場合、条件②と③では、テーブルに自由に手を触れてディスクを回転させてよいと指示した。また、条件③、④では、身体行為を仮想身体動きとして反映させるために、実験開始前にデータグラブを装着し、手の位置・姿勢の初期設定を行う。その後、HMDを装着し、条件③ではマウスによるマニュアル入力で実体テーブルと仮想テーブルの映像が重畳するよう幾何的位置合わせを行っている。なおこれらの実験条件は、各対話グループによって順序を入れ替えた。



a) Condition①: Only verbal conversation and no interaction with disk



b) Condition②: Rotate the disk without virtual image hands / disk



c) Condition③: Rotate the disk with viewing virtual image hands / disk

図8 コミュニケーション実験における条件
Fig. 8 Conditions in conversational experiments

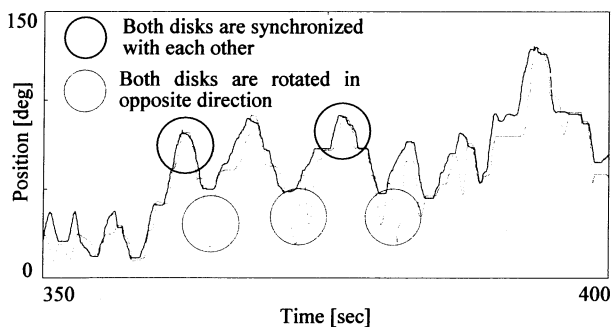
示す。これら2つの条件下では、自由にディスクを回転させながら対話しているため、常に同じ位置に一致するように互いが回転させているだけではなく、同図に示されるように、一方がディスクの回転を止めている場合や、あるいは互いに逆回転させている場合などのパターンが観察された。

全被験者に対し、全ての条件下で実験を終えた後、相手の存在感や、対話に与える本システムの効果を調査するため、表1に示す8項目^[13]を、各項目7段階（中立0）で評価させた。これらをもとに、評点の平均と標準偏差を算出した結果を図10、11に示す。さらに、相手のアバター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。結果を表2に示す。

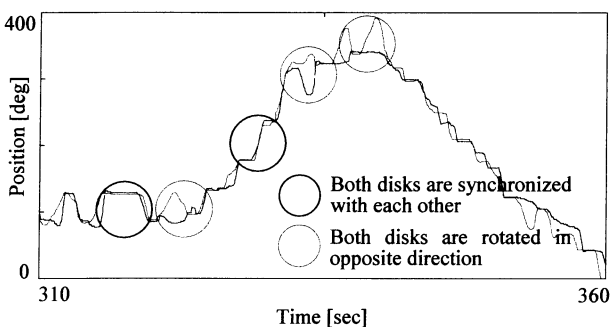
最初に、同期運動テーブルの効果についてまとめると

表1 評価項目

評価項目
共存在感に関する項目
A: テーブルを共有している感覚があるか
B: 相手はテーブルのそばにいるか
C: 相手と同じ場所にいる感覚があるか
D: 相手との親近感(親しみ)
対話に関する項目
E: 楽しさ
F: 対話しやすい
G: 対話したいか
H: 好き、嫌い



(a) Behavior of both disks in condition②



(b) Behavior of both disks in condition③

図9 ディスクの時間的回転変位
Fig. 9 Behavior of both disks in two conditions

以下のようになる。すなわち、共存在感に関する項目においては、テーブルを介してインタラクションした2つの条件②と③では音声のみの対話条件と比較して、図10に示す4項目において有意な差が認められた。しかし、条件②では、相手の存在と自分の場所に関する項目 B,Cにてマイナス傾向の評価が得られた。これは、ディスクの共有感覚に関するコメント調査において、遠隔の参加者と共に回している感覚と、人間ではなくコンピュータを相手にディスクを回している感覚という2通りのコメントに分かれた結果や、相手の存在感をあまり感じていないという結果とも一致する。したがって、条件②のディスクのみを回し合うインタフェースでは、相手を自分の場所に位置付けて、共存在感を得ることが難しいといえよう。

一方、条件③の二重的な表現では、条件②と比較して4項目全てにおいて図10に示すように有意な差が確認された。さらに、コメント調査結果においてもほとんどの参加者が遠隔の相手と共にディスクを回している感覚がすると報告した。特に相手の存在感は、自分の手をディスクの上に置いたままの状態、相手がディスクを回転させているときに強まることが指摘されている。また、このときに相手の仮想手が直接ディスクを回している感覚が強まると報告した。さらに、相手の仮想手に触れている感覚や、対面している感覚がするなど、自分のテーブルに相手の身体の実感が創出される結果が得られた。

次に、対話に与える本システムの効果について述べる。この場合も、テーブルを介してインタラクションした2つの条件②と③では音声のみの対話に比べ、図11に示すように有意な差があり、さらに全ての項目で肯定的な評価を得ている。コメント調査においても、沈黙の際の不安感がディスクを回転させることによって和らぐことや、会話を続けやすいなど、ディスクを介した身体的インタラクションによる対話支援の有効性を示す結果が得られている。さらに、条件③の二重的な表現では条件②と比較して、4項目全てにおいて有意水準5%の有意差が確認できる。楽しさや、話しやすさなどの、気分や情感といった心的な状況に関係すると思われる項目で、二重的な表現を適用した方が高い評価を得ていることから、二重的な表現によって単に情報のチャンネルが追加されたのではなく、対話における共存在的な「場」の創出が促されたものと考えられる。なお、図9で示したような、ディスクの回転パターン変化と対話との関連は今後の課題として考えたい。

最後に、共存在感の創出に関し、映像による表現、実体の動きによる表現、および二重的な表現の有意差について調べた。相手の存在感に関する図10の結果によると、映像による表現と実体の動きによる表現では、Bの項目においてこそ、映像表現が実体の動きのみに対して有意

*p<0.001 **p<0.01 ***p<0.05 (①と③, ①と④では全て*)

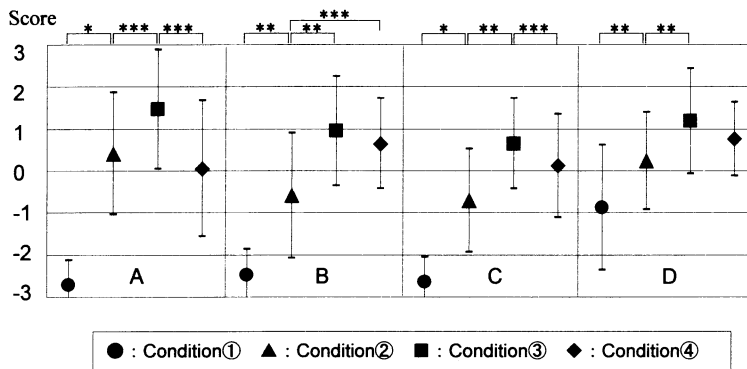


図 10 共存在感に関するアンケート結果
Fig. 10 Result of questionnaire on co-presence

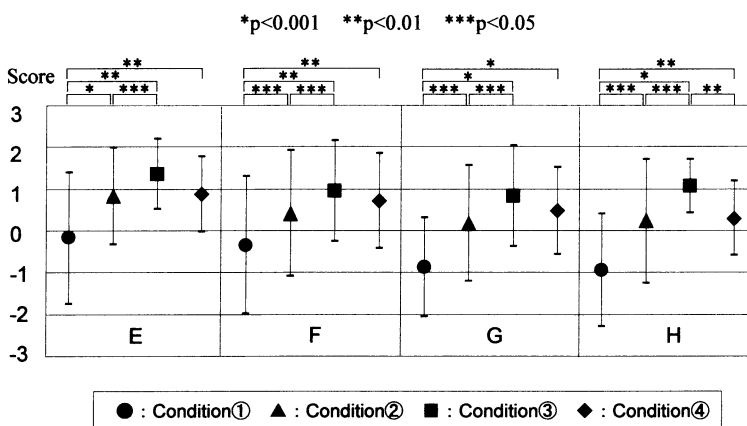


図 11 対話に関するアンケート結果
Fig. 11 Result of questionnaire on conversation

差が生じている。しかしながら、A から C の項目において、それぞれの平均値は 0 付近であり、両者においてばらつきが確認できる。したがって、映像や実体の動きによる単独の表現では、どちらが優位であるとは判定できない。これらの結果から、いずれも相手の存在を自分の空間に表現する手法としては不十分であると解釈される。一方で、二重的な表現では、A から D までの全てに肯定的な評価が示されている。さらに、二重的な表現と映像表現との比較では、A と C の項目において有意水準 5% で、二重的表現がより高い評価を示した。また、二重的な表現と実体の動きによる表現との比較においては、先述したように 4 項目で有意差が確認され、二重的な表現が高い評価を示している。

以上の実験結果は、相手の存在を自分の場所に位置付け、共存在感を創出するには、身体行為の映像表現だけではなく、その行為を実体を介して互いに共有する二重的な表現が効果的であることを支持するものである。

5. 考察

身体を二重的に表現する手法は、タンジブルインタフェースの概念としても提案されている^[14]。しかしながら二重性に着目したシステムを実際に開発したり、その効果について検討したりした例はこれまでほとんど見当た

表 2 対話実験のコメント調査結果

Table 2 Summary of comments

コメント	
条件①	・通常の電話よりも音質が低い ・相手がどこにいるか分からない
条件②	・話しやすい ・沈黙の際の不安感がディスクを回転させることによって和らぐ ・遠隔の相手と共にディスクを回転させている感覚がする ・相手の存在感が希薄である ・コンピュータを相手にディスクを回転させている感覚がする ・会話に集中するとディスクを意識しないで動かす
条件③	・とぎれがちな会話がディスクを回転させることで持つ ・孤独感がなくなる ・仮想手の向こうに相手を想像する ・ふと手を重ねられた感覚がする ・対面している感覚である ・仮想手から相手の存在感を感じる ・仮想手がディスクを回している感覚がする ・手のみは不自然である ・アバターの表情が必要である

らない。例えば、実体の動きを介して相手の行為を表現することで生じる相手の存在感を *ghostly presence* などと呼称しており^[14]、少ない情報量で既知の人間同士の関係を維持するモード^[15]などには有効であるといわれている。その一例である *inTouch*^{[12][14]}は、互いのローラーを同調して回転させることで、身体を一切映像表現しないで相手の存在を喚起させることを提案したものである。しかし、本実験結果に示したように、実体の同期運動表現だけでは、相手の存在感は必ずしも十分に創出されない。これは相手との位置関係、距離感、方向性が生成されないため、互いがどこに存在し、いつ行為しているのかといった現場性あるいは同場所性が遠隔地間で共有されにくいためと考えられる。

本研究では、共存在感の創出を支援することを目指して、身体の二重的な表現手法を考案し、それを基に同期運動テーブルシステムを開発した。この二重的な表現とは、一つは実在空間において実体のテーブルとインタラクションする際の身体行為およびその実体とリンクして動く仮想テーブルを再現した仮想空間である。もう一つは、互いの現場に備え付けられ自由に回転させることが可能であり、かつ遠隔地間において互いに同期して回転するディスクによる表現である。すなわち、回転ディス

は、互いの現場に備え付けられ自由に回転させることが可能であり、かつ遠隔地間において互いに同期して回転するディスクによる表現である。すなわち、回転ディスクの運動を仮想ディスクの動きと同期させることにより、自分が行っている実在空間と、相手の身体行為も表現された共有仮想空間とをつなぐと同時に、それぞれのディスクが遠隔地間で同期して回転することで相手と直接的、身体的にインタラクションすることを可能とした。

こうした同期運動テーブルの働きにより、映像として直接的、明示的に表現される身体と、実体の動きの中に暗的に表現される身体とが互いに関係付けられることで相手の存在感の創出が促されているのではないかと推察される。すなわち、互いが実体とのインタラクションを介することで身体的にはつながるが、相手を自分の場所に位置付けるには不十分である。この問題を解決するためには、映像表現による仮想空間での位置付けが有効であると考えられるが、仮想空間だけでは互いの現場と分離してしまうため、仮想空間と実在空間とを結び付ける必要がある。そうした場合、同期運動テーブルの二重的表現は、これらの機能を同時に満足させることにより、互いの身体的なつながりと互いの存在位置の創出を実現しているものと考えられる。

最後に、遠隔地間での共同作業支援に向けて、本システムの活用を二三試みているので、紹介しておく。

一つは、先に開発したブロックリーダグラフ^[8]との統合を図っている。実在空間での実体の積み木による造形状況を共有仮想空間上に再現するこのグラフシステムは、RFIDタグセンサと手の位置計測センサから構成されている。これにより、掴み、移動し、放すなどの実体の積み木の操作過程、および相手の積み木に対する指差しなどの身体的なインタラクションを共有仮想空間に三次元的に再現することが可能である。これを本研究のシステムと組み合わせることで、図12に示すように、ディスクの回転によって相手のディスク上の積み木への働きかけが可能になり、コミュニケーションの場づくりを支援することが期待できる。

さらには、互いのテーブル上の空間を CCD カメラによって撮影し、それを相手のテーブル上にビデオプロジェクタによって投影するシステムを試験的に構築した。図13にその一部を示すが、ビデオ映像の手により相手の空間に存在するオブジェクトへの指示や、ディスクの回転によって相手のオブジェクトを操作するなどを可能にした。実際にディスクを回転させているときや、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、遠隔の相手側のテーブル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手を伸ばそうとする感覚がしばしば創出されると報告された。このように、身体が相手の現場へ拡張したかのような効果が確認されている。

その他にも図14に示すように、ホワイトボードをディスク上に貼り付けることで、あたかも同じテーブルの周りを自由に動き回って共同描画するような状況を、ディスクを回すことで擬似的に再現することも可能である。このような使い方によって、互いが相手の存在を自分と同じ場所の中に位置付けあつて作業することが、より容易になるといえよう。したがって、以上に示した本

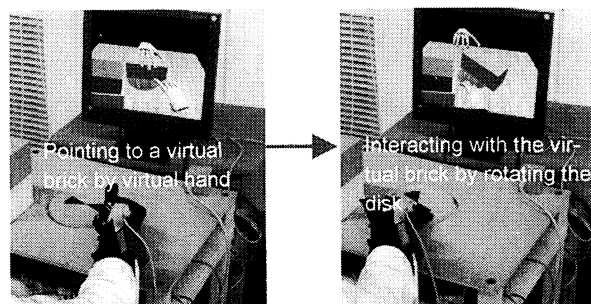


図12 積み木による共同作業
Fig. 12 A collaborative modeling on "Lazy Susan"

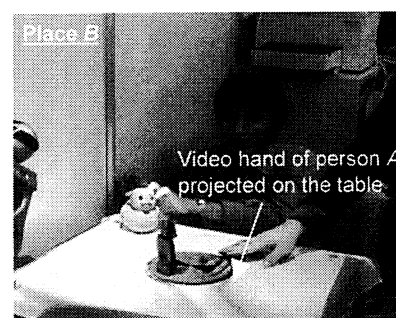
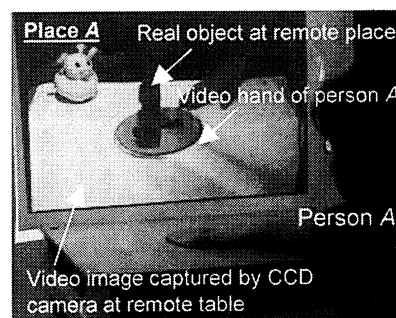


図13 遠隔の2箇所におけるディスク上での作業
Fig. 13 A collaborative work between remote places

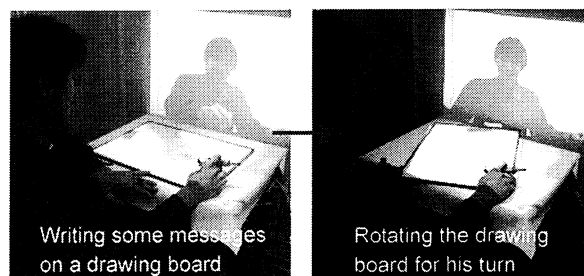


図14 ボード上での共同描画
Fig. 14 A collaborative drawing on "Lazy Susan"

システムの活用例からも、本研究で提案した二重的な表現手法は、コミュニケーションにおける互いの身体性を強め合いながら、遠隔のそれぞれの現場において共存在感の創出を支援するのに有効であると考えられる。

6. おわりに

信頼感や安心感が創出されるようなコミュニケーション支援技術が、コミュニティづくりの現場をはじめとして各方面で期待されている。それには、互いの存在そのものを伝え合って、共存在的な場を創出することが必要と考えられる。しかし、このような観点からのインタフェースの開発例は数少ない。本論文では、各人が存在し行為するそれぞれの実在空間を実体的なツールを介して共有仮想空間上に統合する二重表現的なインタフェースの設計手法を提案し、それをシステムとして構築した。その結果、本手法により、相手を自分の場所に位置付けながら行為を共にできる可能性を見出し、共存在感の創出に有効であることを示した。

今後の課題として、相手の現場の状況を共有仮想空間上にいかに反映させ、自身の現場との整合を図るという問題がある。その一方で、対話支援や共創作業支援における本システムの実践的な活用方法について研究し、共創の場を支援する技術に発展させていきたいと考えている。

謝辞

本研究の一部は 2002 年度特定課題研究助成費 (2002A-860) の補助によるものであり深く感謝する。

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、鈴木友宏、石川一暁、片山智文らの協力を得た。ここに謝意を表する。

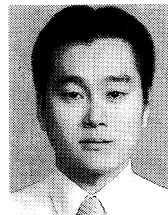
参考文献

- [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] 清水, 久米, 三輪, 三宅: 場と共創; NTT 出版(2000).
- [5] 三輪, 石引, 荒井, 西嶋: 身体性に着目したエンタテインメント創出過程の計測; ヒューマンインタフェース学会誌・論文誌, Vol.2, No.2, pp.79-85 (2000).
- [6] Wesugi,S., Itai,S., and Miwa,Y.: Hands-on Modelling interface system for co-creative telecommunication; *INTERACT2001*, IOS Press, pp.675-677 (2001).
- [7] Miwa,Y., Wesugi,S., Ishibiki,C.,and Itai,S.: Embodied interface for emergence and co-share of 'Ba'; *Usability Evaluation and Interface Design, Vol.1, Proc. of HCI International 2001*, pp.248-252 (2001).
- [8] 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).
- [9] Casanueva,J., Blake,E.: The Effects of Avatars on Co-presence in a Collaborative Virtual Environment; *SAICSIT2001*, http://www.cs.uct.ac.za/Research/CVC/Publications/saicsit01_1casanueva.pdf (2001).
- [10] Basdogan,C., Ho,C., Srinivasan,M.,and Slater,M.: An Experimental Study on the Role of Touch in Shared Virtual Environments; *ACM Transactions on Computer Human Interaction*, 7(4), pp.443-460 (2000).
- [11] Wesugi,S., Miwa,Y. : Overlaying a virtual and a real table to create inter-real virtual space; *Proc. of SIGCHI-NZ Symposium on Computer-Human Interaction*, pp37-42 (2000).
- [12] Brave,S., Ishii,H.,and Dahley,A.: Tangible Interfaces for Remote Collaboration and Communication; *Proc. of CSCW '98*, ACM Press, pp.169-178 (1998).
- [13] 渡辺, 荻久保, 石井: 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呼吸の視覚化と評価; ヒューマンインタフェース学会誌・論文誌, Vol.3, No.4, pp.319-326 (2000).
- [14] 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).
- [15] 宮島, 伊藤, 渡邊: つながり感通信—離れて暮らす家族を対象とした社会実証実験; ヒューマンインタフェースシンポジウム 2002 論文集, pp.565-568 (2002).

(2002 年 11 月 5 日受付, 2003 年 3 月 19 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を経て, 現在早稲田大学大学院理工学研究科博士後期課程在学中。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。