

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

上杉 繁^{*1} 三輪敬之^{*2}

Building Brick Interface Supporting for Actual Communication

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

Abstract – The issue of trust in a virtual community has grown in importance as the Internet has penetrated our daily lives. We believe that “co-creative communication”, or creating and sharing a context through physical activities, can support trust building. This paper describes a design strategy and two interface systems for supporting co-creative communication between remote locales. We describe an “inter-real virtual space”, which presents a virtual reflection of a local physical space into a remote locale, and which provides an interface space bridging remote locales. We have implemented two building brick interface systems, which enable users to model structures with bricks in each real space and represent the modeling process in inter-real virtual space with virtual bricks and virtual avatars. Some observations and interviews indicate that these interfaces are available for supporting modeling with real brick, spatial pointing and putting the virtual brick between remote participators. As a result our inter-real virtual space method is also expected to support an interpersonal communication for co-creative communication.

Keywords: Co-creative communication, Actual communication, Bodily action, Ba, Shared virtual space

1. はじめに

昨今ではITネットワークが一般家庭にまで広く普及し、情報によって人と人がつながりやすくなってきた。そして、ネットワーク上での信頼性や、離れた家族の一体感など、人間同士の関係創出をいかに支援するかという問題が話題に上がり始めた^{[1][2]}。このような状況において、これまでのグループウェアや Computer Supported Collaborative Work などの集団活動を支援するツールは、互いの信頼感を前提とした支援技術であり^[3]、信頼性の創出を十分に扱っていない。さらには、これらのツールが提供するコミュニケーションの場は、実際に行われている現場から分離したメッセージやシンボルを操作する主客分離的設計に基づいている。そのため、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や他者性、あるいは同場所性や同時性が遠隔地間で本質的に共有されにくい設計になっていると考えられる。このことは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共有されないことを意味するものである。

一方、互いの心的状況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^{[1][4][5]}。互いの身体性を介して行われる創出的なコミュニケーションを、著者らは「行為的コミュニケーション」と呼称している。その一例として、身体の動きの無意識的な同調現象である、エンタテインメント（インタラクショナル・シンクロニー）がある。これは生得的に備わっている機能であり、身体同調という行為的な関係生成によって、相手との一体感を生み出していると考えられている^{[6][7]}。また、互

いの意図を交互に伝え合う会話ではなく、雑談のように、互いの即興的な対話によるつながりを楽しんだり、そのつながりを持続したりしている場合においても、互いの即興的な発話により、コミュニケーションの場が生成されている^[8]。

こうした身体的なコミュニケーションによって、コンテキストの共有や信頼性の創出を実現する実践的活動が共創と呼ばれ、コミュニティにおける場づくりの現場などで最近高い関心を集めている^[5]。

しかしながら、共創支援技術の開発は極めて遅れている。そこで著者らは身体行為や表情などの身体性に着目した共創支援や場の技術に関する一連の研究を展開してきた^{[1][4][9-11]}。

本研究では、異なる現場をつなげ、コミュニケーションの場をつくるために、互いの身体的な行為が反映される空間創出の支援に取り組む。このような互いの行為を表現し合う空間を創るには、行為そのものにおいて空間的な自由度を持たせる必要があることから、互いがオブジェクトを空間的に自由に構成していく積み木遊びに注目した。さらに、集団における積み木遊びや砂場遊びは幼児期においては社会性を身につけさせる手法であると指摘されている^[12]のみならず、積み木遊び自体もリハビリや世代間、異文化間のコミュニケーションツールとして適用できる可能性もある^[13]。そこで、実体の積み木を使った造形行為を共有仮想空間に再現し、その仮想空間を介して離れた現場間で互いが場を共有する手法に基づく、行為的インタフェースを開発した。また、共創支援インタフェースの設計指針について二三の知見を得たので報告する。

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

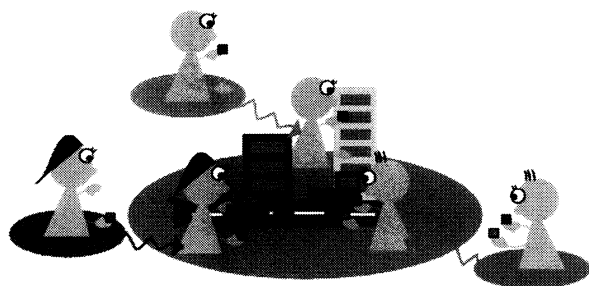


図1 共創的コミュニケーション
Fig.1 Co-creative communication

2. 積み木遊びのコミュニケーション

本研究で目指す、異なる現場をつなぎ積み木遊びや砂場遊びの場を支援するインタフェースのイメージを図1に示す。このような行為的コミュニケーション支援の設計手法を考案する上で、様々な行為が複雑に重なり合っている通常の積み木遊びを、まずは積み木を直接扱う場面と、そうでない場面から見直してみた。

直接積み木を取り扱う場面としては、置いてある積み木を選択し、立てたり、積み上げたり、取り除いたりなどの各個人における造形行為と、相手に積み木を渡したり、共に積み上げたりする共同の造形行為とがある。

また、積み木を直接扱わない場面としては、相手と対話をしたり、相手に指示をしたりなどの対話コミュニケーションに関する行為である。

互いの身体性を介して行われる創出的なコミュニケーションを支援するには、連続的に遠隔地間をつなぎ、これらの行為が、即興的に実現できるようなインタフェースを設計する必要がある。特に離れた異なる空間をつなぐ点を考慮すると、上記に述べた共同造形は困難な課題であるため、以下の3つのシステムに要求される条件の最後に分類することにした。

- ①各個人において自然かつ直感的な積み木の造形行為の支援
- ②複数人においてコミュニケーションする際の積み木を操作する身体動作や指示行為など、対話における身体行為の表現
- ③遠隔の相手の積み木に対するインタラクション

3. システムの構築

本研究では、まずは①、②の条件を満たし、異なる現場間をつなぎインタフェースの基本的な設計手法を、図2に示すように考案した^{[10][11]}。この手法の特長は、異なる現場間のインタフェース空間として、互いの現場の状況を反映させた共有仮想空間を導入することである。すなわち、単に互いの現場の状況をビデオ映像として送りあっても、3次元的な造形作業の支援は困難である^[8]。そのため、各自が実体として扱う積み木、およびそれを組み合わせて造り上げた構造物、それらと身体とのインタ

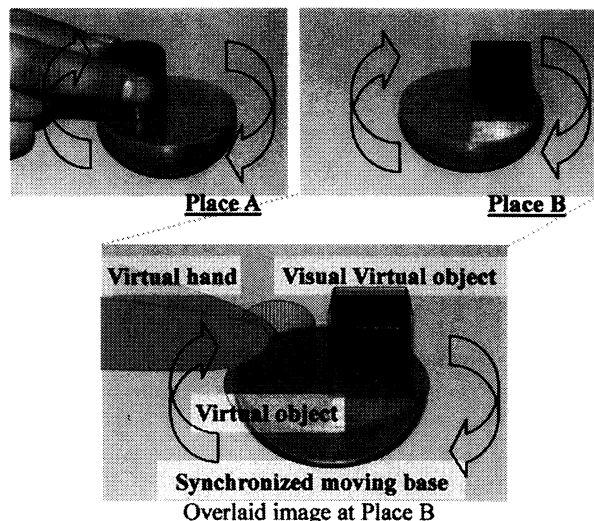


図2 インタフェースの設計手法
Fig.2 Interface design method

ラクション過程を、仮想的にテーブルを囲んでいる状況として共有仮想空間に位置付ける。そして、実体であるテーブル上に、この共有仮想空間を視覚的に重ね合わせることで、各自が参加する積み木遊びの場を新たに創り出し、行為的コミュニケーションの支援をめざす手法である。

3.1 ブロックインタフェースシステムのデザイン

まずは先に述べた条件①に示したように、実在空間における積み木を使った空間的な造形行為を共有仮想空間に互いに表現するためのインタフェースシステムを開発することにした。

このシステムを構築するには、実在空間でのブロックによる造形物を仮想空間で再現する必要がある。それには、接合するブロック自身が、自分の位置や種類を発信し合い、その結果としてブロックによる造形物の色や形状の情報が生成される方法と、外部から CCD カメラなどで撮影した映像を解析することで、ブロックによる造形情報を生成する方法が考えられる。本研究では前者のアプローチを選択し、ブロックによる3次元造形物の構造を再現するために1箇所の接続に関するデータを3バイトとして設計した。これにより、通信データおよび、保持データを減らすことで PC の処理性能にあまり依存せず、リアルタイム性の確保が可能になる。

このデータ形式は接合するブロックの ID (S-ID)、接合されるブロックの ID (M-ID)、接合するブロックと接合されるブロックとの結合状態を示す信号 (L-ID) からなる。

図3に示すように、ブロックを接合するとき、接合されたブロックの ID に、接合したブロックの ID および、その接合位置情報を合わせたデータを1パケットとして送信する。また、ブロックを外すときは、接合されていたブロックの ID に、外れたことを示す空 ID およびその接合されていた位置を送信する。この手法を実現するた

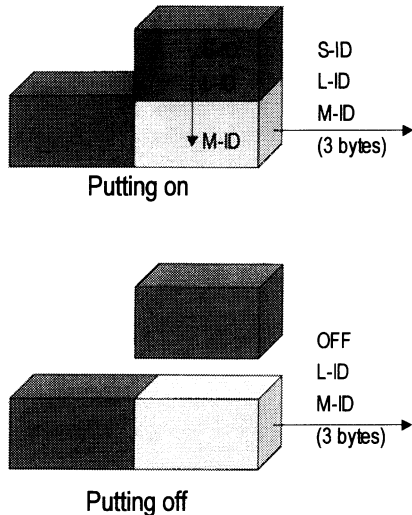


図3 ブロック組み立てデータ
Fig. 3 Assembling data

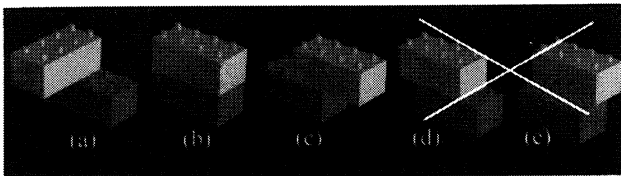


図4 ブロック組み立てルール
Fig. 4 Brick assembling rule

めには、ブロック自身が①通信、②接合、③センシングの3つの機能を備える必要がある。

①通信は、ブロッカーブロック間、ブロッカーコンピュータ間でデータを送受信する機能である。

②接合は、上記に述べた通信を可能とするための送受信線の電氣的接合、さらには造形作業を可能とするためのブロック同士の機械的な接合を可能にする機能である。

③センシングは、ブロックの結合状態や上にブロックがあるかどうかを調べる機能である。

上記機能を満たすため、図4(a), (b), (c)で示す3次元造形作業を可能とする、8つのピンを持つ直方体のブロックを基本コンセプトとした。ピンは、ブロックの結合状態を調べるセンサやコネクタとしての役割をする。その他に、仮想映像と実体の重畳表現時の遮蔽問題対策としてそれらの輝度の差に着目する手法を考案し、また、相手のブロックとのインタラクションを触覚的に表現する手法の提案も試みた。

このような実体のオブジェクトを使ったインタフェースは、仮想空間での造形 (Triangles^[14], ActiveCube^[15]など) や配置 (Cypher^[16], 3D-AR^[17]など) を可能にする研究としてこれまでも展開されてきた。しかし、これらの手法は、いずれも単独での利用や物理的に同じ場所を共有した人同士のコミュニケーション支援を対象としている。したがって、本研究のように行為的コミュニケーション

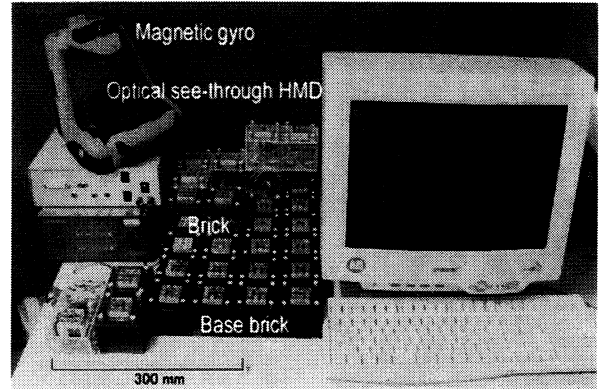


図5 ブロックシステム

Fig. 5 Brick interface system

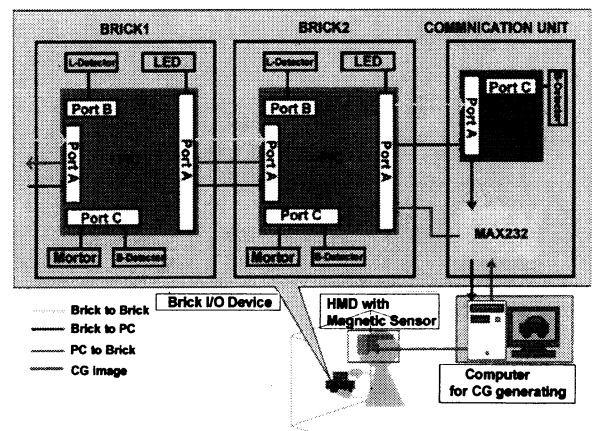


図6 システム構成図

Fig. 6 Brick interface system configuration

ョンを支援するという観点から、異なる場所をつなげる新たな空間創出をめざす手法は未だ提案されていない。

以下に、上述した機能を組み込んで開発した試作システムについて述べる。

3.2 ブロックインタフェースシステムの開発

本研究で開発したブロックインタフェースシステムは図5, 6に示すように、ブロック型入出力装置、仮想映像生成コンピュータ、映像ディスプレイから構成される。

ブロック型入出力装置は図7に示すように、片手で把持できる大きさとして設計した基本ブロックユニットと、そのユニットを12個組み合わせた送受信ベースユニットからなる。各ブロック内部には、ブロックの位置検出センサおよびデータ送受信処理のためのワンチップマイコン(PIC16F873)を組み込み、ブロックとコンピュータ間で9600[bps]のシリアル通信を可能にした。そして、接合されるブロックがコンピュータへ信号を送信するタイミングを制御するため、接合するブロックとの接合の有無をセンシングするための検出スイッチをブロック上面に組み込んだ。

ブロック接合コネクタは図7に示すような銅皮膜した磁石を交互に配置した構造にすることで、90度回転した場合においても、常に同種の信号線同士が電氣的に接合

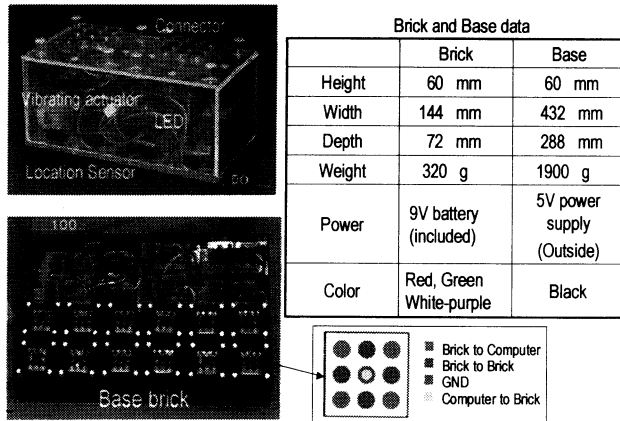


図7 ブロックユニット

Fig. 7 Brick unit

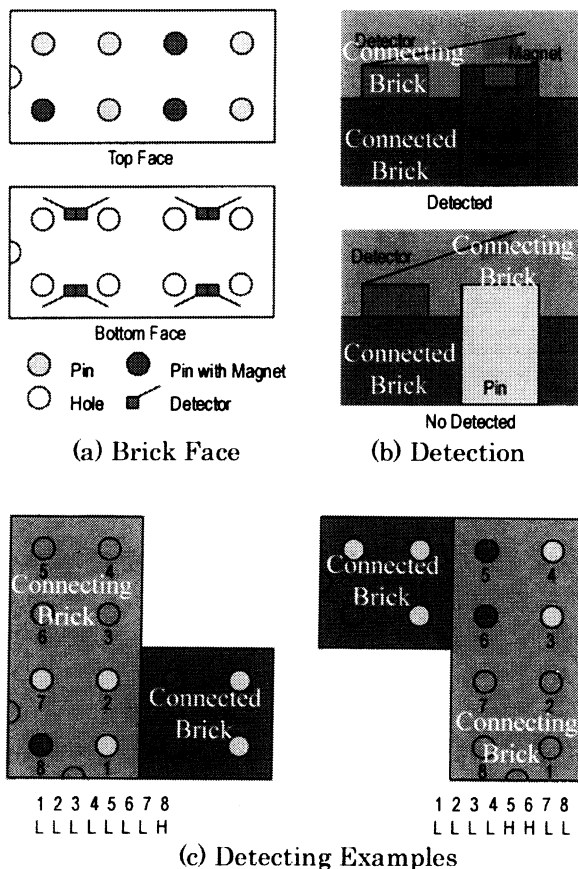
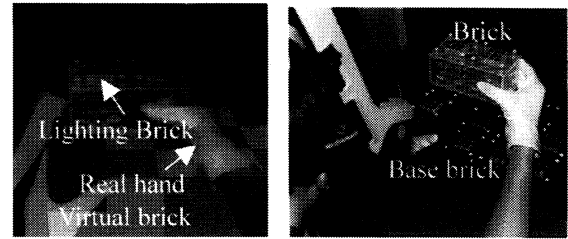


図8 ブロック位置検出

Fig.8 Brick location detecting

可能とした。そして、ブロックの結合位置のセンシングは、図8(a)(b)に示すような方法で行う。ブロックの上面には3本の磁石付ピンと5本の通常ピン、ブロックの底面には磁石付ピンを検知するためのスイッチが8ヶ所組み込まれている。図8(c)の例に示すように、ブロックを接合するとき、接合するブロックの底面にある検知スイッチの組合せにより、接合するブロックの相対的な位置が検出される。

触覚表現に関しては、コンピュータからの信号により、ブロック内部の小型振動モータを駆動させることを可能



(a) Overlaid image

(b) Actual modeling

図9 使用イメージ

Fig. 9 Hands-on modeling

にした。接合によってブロックが映像表現されるが、同時に振動することで、信号がコンピュータに送信されたことの確認ができる。また、相手がブロックを載せたとき、それに隣接するこちら側のブロックのモータを振動させることで、相手のブロックの接続状況を表現する。

仮想映像生成コンピュータは、図9が示すように、仮想ブロックを、ブロックの接合にしたがってベースブロックの上に描画する。なお、仮想空間の生成には、SENSE8社製 WolrdToolKit ライブラリーを使用した。仮想空間上に再現された仮想積み木を含む映像はシースルー機能を有した HMD (OLYMPUS Mediamask601) に提示されることで、実物と二次元的に重畳表現される。このとき、幾何的位置合わせは現時点ではキーボードからのマニュアル入力によって調整される。光学的に仮想映像を重畳するため、仮想表現と実体の間に遮蔽問題が生じる。この対処方法として反射材を塗布したグラフをはめることで手の輝度を仮想映像の輝度より高めることを可能にし、図9(a)のように遮蔽問題を解決できる糸口を得ている。また、ブロックにおいては、接合前にはLEDを発光させることで実体が見え、接合後には消灯することで仮想ブロックが見えるようにした。

3.3 システムの活用と検討

実体のブロックを組み合わせて造る三次元構造物を、リアルタイムで仮想空間内に表現することが可能であるか、自由な造形作業を試みた。そのときの様子を図10に示す。ブロック遊びをする程度の簡便さで使用できかつ時間遅れなく仮想ブロックを表現することを可能とし、1ブロックあたり7通りの接続方法を実現した。

そして、条件②の互いの身体行為の表現手法を考案する手始めとして、机をはさんで向かい合う状況を共有仮想空間に設定し、互いの構造物を表現しあう手法を試みた。その手順として、上記に述べたブロックインタフェースを研究室のLANで結ばれた異なる2カ所に設置し、まずは各自が仮想映像をベースブロックにオプティカルシースルーHMDを介して二次元的に重ね合わせる。その後、会話なしの状況で各自二種類の色のブロックを交互に置きあい、外していく作業を二組の被験者に指示した。

一連の造形作業の一部を図11に示す。このように実体

である共有ベースの上に、実体のブロックを使って実際に組み上げることが可能である一方で、共有仮想ベース

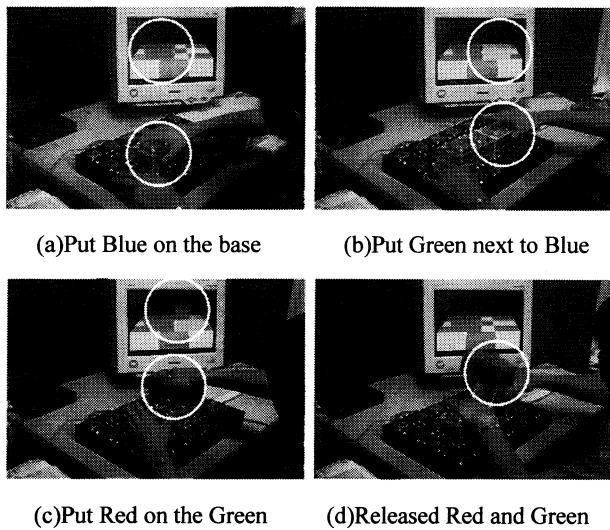


図 10 単独でのモデリング

Fig.10 Solo modeling

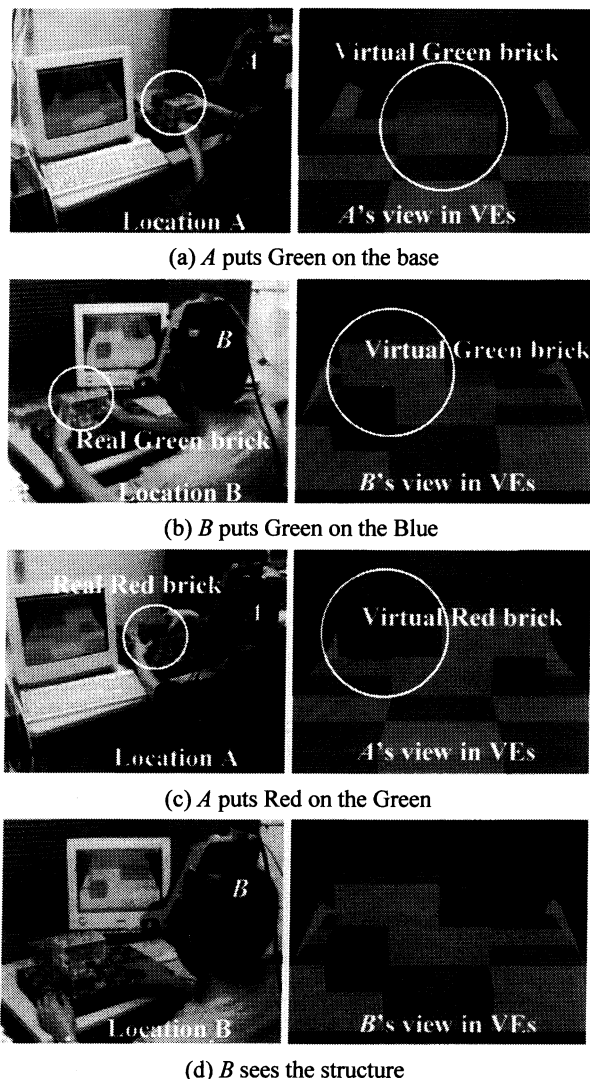


図 11 2人でのモデリング

Fig.11 Mutual modeling

の上に、互いが個別に組み立てた造形物を同じ場所に再現し、相手と視覚的に共有することを可能とした。

造形作業試行後に、(a)自分の手で直感的に積み木を扱えるか、(b)相手と共に造っている感覚がするかのそれぞれについて、聞き取り調査を行った。これによると、(a)については、ブロックを接合するときのはめあいが円滑でないと指摘されたが、慣れることで自然に扱うことが可能であると全ての被験者が報告した。また、(b)においては、相手のブロックが突然出現するため、会話がない場合には、相手の意図が読みにくいという点が一部指摘されている。

以上、本ブロックインタフェースにより、異なる現場間において、実体のブロックを使った三次元造形物を共有仮想空間で同時に再現することをはじめて可能にした。

3.4 ブロックリーダグラフのデザイン

続いて、先に条件②で示したような、積み木に対する操作過程を互いに表現すること、および相手に対する指示などの行為を共有仮想空間上に表現する手法に取り組んだ。このような協調作業を伴う遠隔地間コミュニケーションにおいて、互いの作業過程を表現し合うことや、身振りなど互いの身体的な行為の表現が重要であることは Tang らの共同描画システムの研究によって指摘されている^[18]。

そこで著者らは、参加者の周囲に積み木が置かれている環境を共有仮想空間に再現し、積み木を掴み、移動し、放すなどの操作過程、および互い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3次元的に再現することにした。そのために、昨今ユビキタスコンピューティングなどの分野で使われ始めたRFID タグセンサ^{[19][20]}を手の位置計測センサと組み合わせる手法を考案したので、以下、本インタフェースについて述べる。

3.5 ブロックリーダグラフの開発

ブロックリーダグラフは、図 12 に示すように、指の動きを計測するためのデータグラブ (5DT Data Glove 5)、手の位置・姿勢を計測するための電磁気を利用した計測

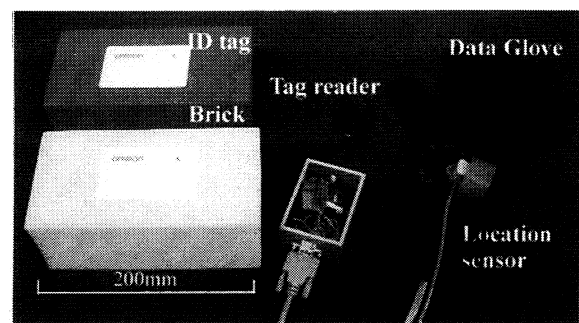


図 12 ブロックリーダグラフ

Fig.12 Brick-reader glove interface

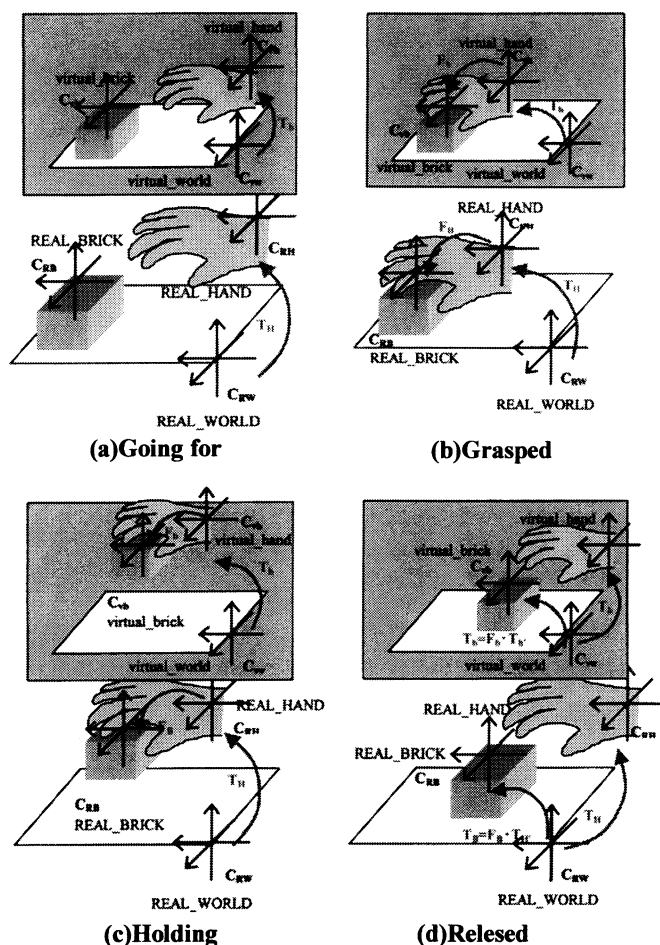


図 13 実在空間と仮想空間の対応

Fig.13 Virtual world coordinates and Real world coordinates

装置(Polhemus Fastrak)およびグラフの手の平側に RFID アンテナ部を組み込み、手首に制御ユニットを装着させた RFID ユニット (OMRON V720-HMC 73), そして ID タグ (85×55[mm]) を上面に貼った積み木(発泡ポリエチレン, 200×100×85[mm], 100[g])からなる。

ここで、実装した一連の処理アルゴリズムを図 13 と合わせて説明する。図 13(a)において、積み木を触らない状態では、データグラフに装着されたセンサ情報による、実在空間座標系 C_{rw} における手の位置・姿勢量 T_H にしたがって、仮想空間座標系 C_{vw} における $T_b (= a \cdot T_H, a: \text{定数})$ 移動量を計算し、仮想手が描画される。次に図 13(b)では、実在空間において積み木を掴むときに、アンテナがタグ ID を取得することで、積み木の色、形を認識し、その位置の仮想手に仮想積み木を描画する。つまり、後述する把持キャリブレーションにより得られる、仮想手座標系 C_{vh} における仮想積み木の位置・姿勢量 F_b をもとに、仮想手が把持するように仮想積み木が描画される。続いて図 13(c)において、積み木を運んでいるときは、仮想手と仮想積み木の位置関係は変わらないため、移動量 T_b に従い仮想手と積み木が描画される。最後に図 13(d)では、実在空間において積み木を放したときには、そのと

きの手の位置 (T_h) に対応した場所に仮想積み木を定位させる。つまり、仮想空間座標系 C_{vw} における $T_b (= F_b \cdot T_h)$ 位置に仮想積み木が置かれて描画される。この手法によって、実在空間で積み木を使った造形行為や周辺に置かれた積み木の状況が仮想空間内に表現される。さらに、空間の任意の位置に積み木を放すことで、共有仮想空間に描画された相手の仮想積み木の上に、こちらの仮想積み木を積むことなども可能とした。

本手法では、積み木を掴むときの実際の手とその積み木の位置、仮想手とその仮想積み木の位置関係が、手の大きさや持ち方の異なるユーザーによって差が生じるためキャリブレーションが必要となる。これが先に述べた把持キャリブレーションである。使用前に、積み木を握ったときの手の位置・姿勢と積み木の位置・姿勢、さらに仮想空間内でのそれらの関係が一致するように、仮想手座標系 C_{vh} における仮想積み木の回転および移動量 F_b を求める。

このような操作者の手の位置や把持行為に着目し、実在空間のオブジェクトと仮想空間のオブジェクトをつなぐ手法は、Real Reality Modelling インタフェース^[21]においても見られる。そこでは、グラフの開閉と手の位置情報を組み合わせることで、予め登録された場所に置かれている実体のオブジェクトを掴み、移動させ、置く状況をコンピュータが認識し、仮想空間内に表現する。この手法では、把持に似た動作と実際の把持との誤認識や、オブジェクトの位置が他のものと重なっていたり、一度その位置がずれてしまったりすることで、登録された仮想空間の位置と実在空間の位置とに差が生じ、結果としてオブジェクトの認識が困難になる。この点、著者らが考案した手法は、掴むたびにオブジェクトの ID を認識するため、上記のような誤動作を防ぐことが可能である。さらに、遠隔の現場間をつなぎ、3 次元造形作業を支援する空間創出の手法を提案するものである。

3.6 システムの活用と検討

本システムで利用している位置計測装置は、電磁気を利用しているため、金属物とその磁界内にあると、誤差を生じる原因となる。そこで、本システムに組み込んでいるタグリーダアンテナや、ID タグの影響を調査するために、次の実験を行った。木製の作業テーブルの上に XYZ 方向に 1mm ごとに目盛を印刷した紙テープを張り、X 軸方向 500[mm], Y 軸方向 400[mm], Z 軸方向 300[mm] の区間の両端にマーカーをつけた。そしてブロックを掴んだ状態で各軸方向にその区間を 5 回移動してもらい、その際の移動位置を計測した。その結果、X 方向の移動平均値: 499.9[mm] ($s = 0.951$), Y 方向の移動平均値: 396.0[mm] ($s = 0.729$), Z 方向の移動平均値: 302.7[mm] ($s = 2.075$) という値を得た。これらの誤差は扱っている積み木の最小辺の長さと比較して最大で 7% 程度の大きさにすぎないことから、タグやアンテナの影響は無視可能な量と判

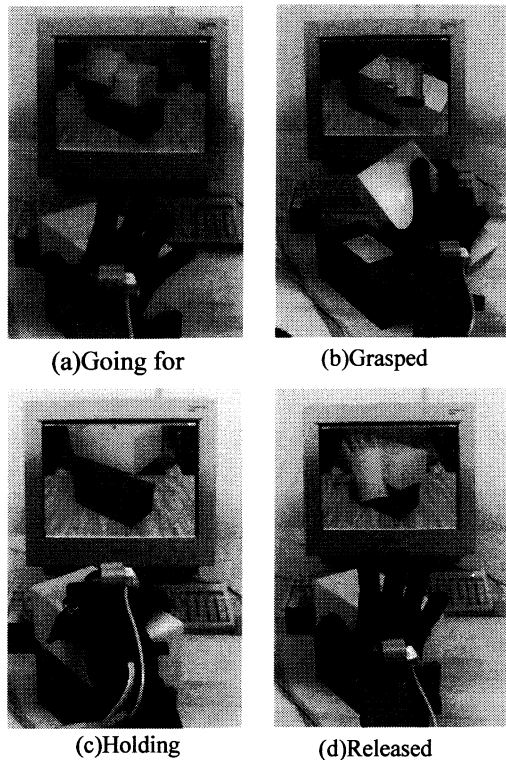


図 14 単独でのモデリング
Fig.14 Solo modeling with brick reader glove

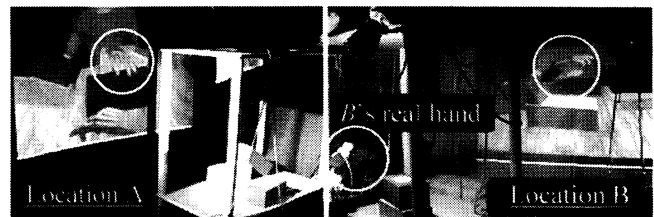
断した。

3.6.1 単独での造形作業

右手 1 人用のブロックリーダグラブシステムを利用し試行実験を行った。図 13 に対応した造形作業時の状況を図 14 に示す。4 名の被験者には、ブロックと仮想手一致のためのキャリブレーション後、モニターの前で片手で 2 個の積み木を自由に動かし、上に載せる動作を繰り返すよう指示した。図 14 が示すように、実空間において積み木を自然に掴み、移動し、放す行為をリアルタイムで仮想空間に再現することが可能になった。ID タグが貼られていない箇所を掴み、画面内に仮想積み木が現れないときや、実体の積み木を置いた場所と仮想積み木の位置とにズレが生じたときは、モニターの画面を見たまま実体の積み木を動かし、置き直すような行為が観察された。このような積み木の置き直しは、使い始めの時間帯に多く観察され、被験者からも積み木の掴み方や置き方に習熟する必要があるとのコメントを得ている。

3.6.2 複数人での造形作業

次に被験者 2 組に対して、LAN で接続された異なる 2 箇所において、スクリーンに映る仮想映像を見ながらかつ会話をしながら自由に積み木を置きあうよう指示した。なお互いの鳥瞰的視点は固定位置のまま試行し、一人での造形作業と同様に、使用前には、把持のキャリブレーションをそれぞれが行った。一連の造形作業過程の一部を図 15 に示す。図 15(a)において、被験者 B が A に対して指示対象の積み木（赤い積み木）を掴むように指示し



(a) B points a red brick



(b) B points the position where A puts on



(c) A moves the red brick

図 15 複数人でのモデリング

Fig.15 Mutual modeling with brick reader glove

(音声と指示動作)、図 15(b)においては、さらに B が A に対して赤の積み木を置く場所とその置き方を指示している。そして、図 15(c)は、A が B の指示に従い、赤の積み木を移動している時の状況である。

これら一連の作業状況を 2 箇所でも録画し、その時の互いの身体行為に着目して観察したところ、以下のようなインタラクションが認められた。

- ・ 指定位置へ特定の積み木を移動させるための正確な指示とそれに対する反応
- ・ 指示位置がずれたとき手の振りに従った微調整とその反応
- ・ 手の傾きによる積み木の配置角度の指示表現

このような身体表現はいずれも、現場での対面コミュニケーション時において観察されるものと現象的には同じである。

また、被験者に対して、造形作業終了後、本インタフェースの使い方に関して聞き取り調査を行った。その結果、

- ・ 普通に積み木を扱うことができる
- ・ 手の指示が伝わりやすい
- ・ 仮想空間上で相手の積み木にのせることが可能である
- ・ 実体と仮想積み木の置き方にズレが生じる場合があ

り、慣れが必要である

- ・視点が固定であるため、相手の指示動作や相手の積み木が見えないことがある

などの回答が得られた。これらは先の条件①で示した、自然的かつ直感的な操作による積み木の組み立てや、条件②で示した、積み木を操作する際の相手に対する指示行為の支援が本インタフェースにより実現されていることを示唆するものである。また、条件③に示した、相手の積み木へのインタラクションにおいては、相手側の実体である積み木を直接操作することには取り組んでいないものの、視覚的な表現として上に積み重ねることを可能としている。

以上の実験から、本インタフェースが共有仮想空間に、互いの机上の積み木の状況を表現し、それらの積み木を操作する際の連続的な身体行為の表現や、積み木の配置とその置き方に対する空間的な指示が可能であることを示した。このことは、本インタフェースが遠隔地間をつなぐ空間を創出し、行為的コミュニケーションを支援する上で有効であることを意味するものである。

4. 考察

先に開発したブロックインタフェースとブロックリーダーグラフを組み合わせることで、高精度の組み立てが可能なインタフェースへと発展させることができる。しかし、ブロックの製作やメンテナンスが煩雑なことから、グラフのみで利用の方が一般的に使われやすいと推察される。そこで、後者の手法のみで3次元造形作業したときの、積み木同士の簡単な位置の誤差計測を試みた。このとき、2個の実体の積み木において、1つの積み木をもう1つの上にテーブルと平行に載せた場合を対象とした。その結果、XYZの各軸方向に最大で20-30[mm]、各軸回転では最大10-20[deg]回転の誤差を含み仮想積み木が描画されていることが確認された。なお、これ以上実体と仮想のずれが生じると、もう一度積み木を置き直すなどの行為が見られた。

このような誤差を生み出す原因として、把持キャリブレーションしたときの手と積み木の位置が、掴むときに変わり、これによってタグのIDを検出する際の、IDタグとアンテナとの位置関係が変化することがあげられる。また、IDタグからアンテナを垂直に放すか、斜めに放すかによって仮想積み木の位置・姿勢がずれてしまうこともあげられる。本インタフェースの目的は、互いの行為を伝え合うことでコミュニケーションの関係を創出できるかにあるため、ある程度のズレは許容できると予想される。しかし、把持キャリブレーションの改良や、新たなセンサの導入を踏まえた技術的な改良が今後必要であろう。

これまで遠隔共同作業を扱う研究は、没入感という言葉が示すように、現場と切り離れた仮想空間でのコミュ

ニケーションを支援する手法について数多く検討されてきた^[22]。これに対して、仮想空間に閉じてしまうのではなく、遠隔の実在空間における行為を支援する手法として、遠隔の熟練者が現場の作業を指示するなどの研究^{[23][24]}も最近では行われている。しかしながら、双方向的に複数の現場をつなぐことは極めて難しく、その設計手法に関してはまだほとんど確立されていない。

いくつかある試みの一つとして、互いの身体位置の適切な関係や身体行為の表現とその伝達に着目したAGORA^[25]が提案されている。そこでは机の周りを囲むメタファに基づき、机上に2箇所の現場の映像を重ね、周りに人物を映す映像の配置手法を試みている。また、互いの実体そのものを制御するという手法においては、各現場に存在するオブジェクトの下に磁石を貼り、テーブルの下面のアームを互いに制御するPSyBench^[26]が提案されている。さらに、互いの実体に対するインタラクション支援として、マスタスレーブ方式によるロボットアーム制御と映像提示を組み合わせる手法^[27]が考案されている。

これらの研究は机上の平面に限定した2次元的な作業の支援を対象としているのに対し、著者らが考案した設計手法は実在空間の3次元造形作業を支援するものである。そして、本稿で述べた2つのインタフェースシステムは、それぞれの実在空間のテーブル上に存在する積み木の種類および空間的位置を共有仮想空間内において視覚的に表現するとともに、それらに対する操作過程および指示動作などの身体行為さらには身体的なインタラクションの表現も実現している。

したがって、本手法は実在空間での空間的作業における身体性を支援できる可能性があり、他の研究例との違いはもとより、新たなコミュニケーションの現場を創出し、双方で実践的に創造していく行為的コミュニケーションを遠隔地間で支援する手法として、新しいコミュニケーションモードの提案やノンバーバルモードの支援に有効であると著者らは考えている。

さらに、本手法は、3箇所以上の異なる現場をつなげる可能性を有するものであり、今後、対話コミュニケーションの支援や遊びなどを通じて共創の場への展開も期待できよう。

5. おわりに

遠隔地間において行為的なコミュニケーションを支援するために、積み木遊びに着目したインタフェースシステムを設計・開発し、二三の実験を試みた。これにより、異なる現場間における3次元造形作業時の空間的な指示行為や、相手の仮想積み木の上に仮想積み木を置く行為など、コミュニケーションにおける身体的表現をリアルタイムで反映できる共有仮想空間の生成が可能であることを示した。また、この仮想空間を介して現場をつなぐ

ことにより、実体とのつながりを仮想空間と整合的に維持しながら新たな現場を創出し、互いの共同作業を支援できることを示した。

これまで遠隔地間での共同作業において、現場性や他者性を表現できるインタフェースシステムはほとんど見当たらない。本研究はこの問題を解決するための設計手法として有効であると考えられる。今後は、互いの行為のタイミングや情感、雰囲気などを表現するために、より身体性に着目した設計手法について検討する必要がある。また、離れた場所の積み木とのインタラクション手法を含め3箇所以上の離れた現場への本システムの拡張や、仮想空間の提示方法や非接触型のトラッキング方式などを踏まえた上で、実際の現場への活用を試みていきたい。

謝辞

本研究を進める上で、板井志郎、沼田哲郎、渥美聡一郎らの多大な協力を得た。ここに謝意を表する。

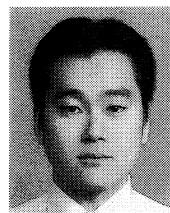
参考文献

- [1] 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).
- [2] Rosenbloom, A.: Trusting Technology; Communications of the ACM, Vol.43, No.12, pp.31-32 (2000). など
- [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, 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).
- [5] 清水, 久米, 三輪, 三宅: 場と共創; NTT 出版, (2000).
- [6] Condon, W.S., Sander, L.: Neonate movement is synchronized with adult speech; Science, No.183, pp.99-101 (1974).
- [7] Watanabe, T., et al.: Evaluation of the Entrainment Between a Speaker's Burst-Pause of Speech and Respiration and a Listener's Respiration in Face-to-Face Communication; Proc. of the 6th IEEE International Workshop on Robot and Human Communication, pp.392-397 (1997).
- [8] 岡田, 三嶋, 佐々木 編著: 身体性とコンピュータ; bit 別冊, 共立出版, (2000).
- [9] 三輪, 四方, 佐々: 矛盾的誘導法を適用したコンテキストの生成と共有過程に関する実験的研究; Vol.2, No.2, pp.71-77 (2000).
- [10] 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).
- [11] Wesugi, S., Itai, S., and Miwa, Y.: Hands-on Modelling interface system for co-creative telecommunication; INTERACT2001, IOS Press, pp.675-677(2001).
- [12] 笠間: <砂場>と子供; 東洋館出版社, pp.127-156 (2001).
- [13] 柏木: naef design -ネフのおもちゃ; アムズ・アーツ・プレス (2000).
- [14] Gorbett, M., Orth, M., Isii, H.: Triangles: Tangible Interface for Manipulation and Exploration of Digital Information Topography; Proc. of CHI98, pp.49-56 (1998).
- [15] 伊藤, 北村, 河合, 岸野: リアルタイム3次元形状モデリングとインタラクションのための双方向ユーザインタフェース ActiveCube; 情報処理学会論文誌, Vol.42, No.6, pp.1338-1347 (2001).
- [16] 蓼沼, 田中, 中尾: Cypher - ブロックで構築した仮想世界と実写との融合システム; 画像電子学会第6回 VMA 研究会 (2001). <http://www.hi-ho.ne.jp/y-komachi/committees/vma/confs/vma6/6-5.pdf>
- [17] Poupyrev, I., Tan, D., Billingham, M., Kato, H., Regenbrecht, H., Tetsunami, N.: Developing a Generic Augmented-Reality Interface; IEEE Computer, pp.44-50 (2002).
- [18] John C. Tang, Larry J. Leifer: A Framework for Understanding the Workspace Activity of Design Teams; Proc. of CSCW'88, pp.244-249 (1988).
- [19] Want, R., Fishkin, K., Harrison, B., and Gujar, A.: Bridging Real and Virtual Worlds with Electronic Tags; Proc of ACM SIGCHI, pp.370-377 (1999).
- [20] Rekimoto, J., Ullmer, B., and Oba, H.: DataTiles: A Modular Platform for Mixed Physical and Graphical Interactions; CHI2001, pp.269-276 (2001).
- [21] Schäfer, K., Brauer, V., Bruns, W.: A new Approach to Human-Computer Interaction - Synchronous Modelling in Real and Virtual Spaces; Proc. of DIS97, pp.335-344 (1997).
- [22] 葛岡, 竹村: ネットワーク上に展開するVR世界, 広瀬通孝編, パーチャルリアリティの基礎3. VR世界の構成手法; 培風館, pp.99-123 (2000).
- [23] Feiner, S., MacIntyre, B., Seligmann, D.: Knowledge-based augmented reality; Communications of the ACM, Vol.36, No.7, pp.52-62 (1993).
- [24] 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).
- [25] 山下, 葛岡, 山崎他: 相互モニタリングが可能な遠隔共同作業支援システムの開発; 日本パーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.4, No.3, pp.495-504(1999).
- [26] Brave, S., Ishii, H. and Dahley, A.: Tangible Interfaces for Remote Collaboration and Communication; Proc. of CSCW '98, ACM Press, pp.169-178 (1998).
- [27] 永嶋, 瀬戸, 鈴木: 運動メディアを用いる遠隔協同作業支援システム; 電子情報通信学会, D-II, Vol. J78-D-II, No.1, pp.1115-123 (1995).

(2002年6月6日受付, 2002年11月26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。