

共有ブロックを用いた実物体共有対称型 遠隔地組立作業支援システムの実現と評価

佐藤 究^{1,a)} 佐藤 奈摘² 小笠原 直人¹ 布川 博士¹

受付日 2011年6月22日, 採録日 2012年1月13日

概要: 実空間での実物体を用いた組み立て, デザイン作業等を遠隔地から支援するシステムとして様々な研究がなされている. しかし, いずれの研究も作業「空間」の共有に主眼が置かれているため, 作業対象となる実物体の共有が困難である. 本研究では, 作業対象となる「実物体」の共有に主眼を置き, ユーザの操作を自らが感知し遠隔地のユーザへその操作を提示するインテリジェントな部品 (共有ブロック) を実装することにより, 遠隔地においても実物体の存在の対称性を可能とする遠隔地作業支援システムの実現を行う.

キーワード: グループウェア, CSCW, 遠隔地組立作業, 実物体指向, 共有ブロック

Shared Block: Synchronous Remote Assembling Collaboration Support System by Intelligent Real Objects

KIWAMU SATO^{1,a)} NATSUMI SATO² NAOHITO OGASAWARA¹ HIROSHI NUNOKAWA¹

Received: June 22, 2011, Accepted: January 13, 2012

Abstract: We propose a synchronous and symmetrical remote assembling collaboration system using Shared Blocks. Shared Block is a LEGO[®] like shape consisting of intelligent blocks containing a microcontroller, a ZigBee module, LEDs, and batteries in each block. It has following three functions. (1) Auto modeling function recognizes user's building procedures by itself. (2) Communication function exchanges building procedures with remote user's blocks. (3) Building procedures representation UI function informs a user to build the same structure as the remote user's one by switching on LEDs of blocks. By these functions, Shared Block solves the problem of sharing real objects and its real manipulation for remote collaboration. In this paper, we describe an implementation of a prototype system and its evaluation.

Keywords: groupware, CSCW, remote assembling collaboration, real object oriented, shared block

1. はじめに

実空間での実物体を用いた組み立て, デザイン作業等を遠隔地から支援するシステムとして様々な研究がなされている. たとえば, (a) 音声画像通信をベースに, 音声, 映像, レーザポインタ等の指示デバイス, あるいは AR を用

いて作業の指示を行うシステム [1], (b) 遠隔地の作業空間内に自己の化身となるロボットのなデバイスを設置し, そのロボットデバイスを通して作業対象に対する作業空間の相互行為を実現するシステム [2], (c) VR, AR あるいは MR 等を用いた作業空間, 作業対象物を共有するシステム [3], [4], [5] がある.

以上のシステムにおいては, いずれも作業「空間」の共有に主眼が置かれており, そこで操作する作業空間に作業対象となる実物体 (以下, 作業対象物と呼ぶ) は, (a), (b) においては片方にしか存在しない. また, (c) においては, 仮想物体との重量表示等によって両方に部分的にしか存在

¹ 岩手県立大学ソフトウェア情報学部
Faculty of Software and Information Science, Iwate Prefectural University, Iwate 020-0173, Japan

² 岩手県国民健康保険団体連合会
Iwate National Health Insurance Organization, Morioka, Iwate 020-0025, Japan

^{a)} kiwamu@iwate-pu.ac.jp

しない。これは、作業対象物として自由な形状を持つ既存の実物体を利用できる反面、作業者の作業対象物に対する物理的な操作に制約を与えていると考えることができる。そこで我々は、「作業対象物」の共有に主眼を置くことにより、作業対象物にある種の制約を与える代わりに、作業員全員が自由に作業対象物への物理的な操作を可能とするシステム、すなわち、遠隔地に、形状とその変化が同期する実物体が同時に存在する（以下、存在の対称性と呼ぶ）を実現することを目標とした。しかし、自由形状かつ変化が自動的に同期するような物体は実際的ではないため、様々な作業物体に見立てることが可能なブロックを用い、複雑な作業物体の形状とその変化を作業員間で容易かつリアルタイムに、作業ではなく作業内の一手順として同期させることを支援することにより、これを解決することとした。

具体的には、作業対象物を構築可能な部品を双方に配置し、その部品に部品自ら利用者の組み立てを感知し、遠隔地の部品を通じて直感的にユーザに組み立て方を提示する自立性を持たせることにより、作業対象物および形状の変化の対称性を実現し、対称的な作業空間の実現の支援を行う。本稿では、共有ブロックのプロトタイプシステムの実装 [15], [16], および、その評価について述べる。

2. 実物体を用いた遠隔地作業支援環境

実世界においては、実物体の作業対象物を共有した複数人による組み立て、デザイン作業等あるいはそれらのための訓練、教授等の共同造形作業においてはきわめて自然な社会的な相互行為である。このような作業空間において、重要となるのは、全作業員と作業対象物が同一の空間に存在することである。すなわち、(1) 作業員全員が作業空間を共有していること、(2) 作業員全員が作業対象物を共有していること、(3) 作業員全員が作業対象物に対して物理的に操作が可能こと、を満たす必要がある。

しかし、これを遠隔作業として行うことを考えた場合、(2), (3) を同時に満たすことは困難である。なぜなら、遠隔地に、形状とその変化が同期する実物体が同時に存在することが必要となるからである。

一般に実物体を作業対象物として利用する重要性は様々な形で議論されているが、本研究では、以下の3点から重要であると考えられる。

(a) 形状や形状の変化の直感的な把握

作業対象物を実際に手に取り、自分の望む瞬間に自分の望む視点から作業対象物を眺めたり、試行錯誤的に操作を試行したりすることにより、直感的に複雑な形状やその変化を把握することが可能となる。

(b) 容易な作業指示

指示者が作業対象物を直接用いて複雑な造形作業を例示したりすることにより、指示者や作業員にとっての分かりやすく容易な作業指示を行うことが可能になる。

(c) 再利用

作業の結果が実物体になるため、他人に見せたり、他の場所に搬送したりといった現実世界での再利用が可能になる。

遠隔地での共同造形作業を可能とするシステムとして、以下のような研究が行われているが、いずれも「空間」の共有に主眼が置かれており、存在の対称性が完全には実現できていないと考える。

(a) 音声画像通信をベースに、音声、映像、レーザポイント等の指示デバイス、あるいはARを用いて作業の指示を行うシステム [1]

(b) 遠隔地の作業空間内に自己の化身となるロボット的なデバイスを設置し、そのロボットデバイスを通して作業対象に対する作業員間の相互行為を実現するシステム [2]

これら2つのシステムでは、作業対象物は作業員側の空間にのみ存在するため、指示者側は作業対象物を物理的な操作が不可能である。作業対象への操作は指示（「それを、そこに、〇〇のようにする」）によって行うこととなり、実物体を利用した例示（「これを、ここに、このようにする」）は困難である。また、複雑な造形作業を例示なしに指示だけで実現することは困難であると考えられる。

(c) VR, AR あるいはMRを用いた作業空間、作業対象物を共有するシステム [3], [4], [5], [14]

これらにおいては、実物体と、仮想物体あるいは遠隔地の実物体の投影を混在させた作業空間を実現することにより作業対象物の共有が実現されているが、仮想物体に対する物理的操作は不可能であり、存在の対称性が実現されているとはいえない。

(d) MRを用いた、形状が異なるが同一の操作が可能な作業対象物に対する操作を共有するシステム [6], [7], [8]

これらにおいては、作業対象の完全な対称性を実現することができず、対象物の物理形状が重要な作業に対応することが困難である。

以上のシステムにおいては、いずれも「空間」の共有に主眼が置かれている。これは、作業対象物として自由な形状を持つ既存の実物体を利用できる反面、上記 (2), (3) に大きな制約を与えていると考えることができる。そこで我々は、「作業対象物」の物理的な共有である存在の対称性に主眼を置き、複雑な作業物体の形状とその変化を作業員間で容易かつリアルタイムに同期させることを支援するシステムを構築することにより、上記 (2), (3) の実現を目標とすることとした。よって、本システムでは空間の共有のための直接的な機能は提供しない。すなわち、コミュニケーションや、作業や行為のアウェアネス（相手がどの物体を見ているか、どの物体を手にとったか等）や、参加者の相互行為において重要とされる身体配置、思考、ジェスチャ、相互観察、継起性等については、本システムでは支

援しない。この実物体のみに閉じたデザインは、それらの機能を提供している既存のコミュニケーションツールや空間を共有するためのグループウェア上で本システムを幅広く利用することを可能とするためである。

3. 実物体共有対称型遠隔地作業支援システム

存在の対称性を実現するためには、ある複雑な形状を持つ物体が対称に存在（作業対象物の対称性）する必要があると同時に、その物体の形状の変化も対称に生じる（変化の対称性）必要がある。

3.1 作業対象物の対称性

作業対象物の対称性を実現するためには、遠隔地に同一の作業対象物が存在することが必須である。自由な形状の作業対象物を搬送することなく存在させるには、3D プリンタや NC マシンの利用が考えられるが実際的ではない。そこで、一般の作業対象物が基本部品から構成されることに着目し、双方に基本部品を多数用意し、双方が同形に組み立てることにより自由な形状の作業対象物の対称性を実現する。

双方に配置する部品の種類は、たとえば、本棚の組み立て作業であれば、側板と棚板、といったように造形作業内容に依存するため、具体的な部品を用いて本手法を実現するときわめて応用範囲が狭いものとなってしまう。そのため、特定物体の組み立てや形状試作まで幅広く利用可能なように、ある部品に「見立てる」ことができるような抽象的な部品として、玩具において一般的に利用されている直方体の 8 ピンブロックを採用した。多くの人々がブロックを用いて、見立てでものを作成した経験があること、高い物体表現能力があることが理由である。

3.2 変化の対称性

仮に同形の作業対象物の部品を双方に用意した状態において 2 章で述べたシステムを利用することを考えた場合、相手方で行われた形状の変化を音声や（実空間あるいは仮想空間の）画像を見ながらそれを立体的に解釈して手元の物体で造形し、さらにそれが正しい造形であったのかを確認する必要がある。画像と手元の実物体を何度も見比べるという煩わしさだけでなく、画像等から複雑な立体構造を把握、解釈する能力は個人差も大きく解釈ミスが起こりやすいことを考慮すると、この形状の変化を同期させること自体が 1 つの大きな作業となってしまう実際的ではない。

一方、実世界の作業空間では、作業対象物が 1 つしか存在しないため、物体の形状の変化は、その作業対象物それ自身の変化として伝わるものであり、それがきわめて直感的かつ自然である。そこで、本研究では、ユーザの部品自体が形状の変化を感知し、遠隔地の部品へ作業内容を転送し、受け取った部品自体が変化を作業者に提示することに

した。この部品からの変化に関する情報の提示に基づき手元の部品による造形を行い、さらにその造形が正しいものかを部品自体が判別することにより変化の対称性を実現する。

部品自体が変化に関する情報を作業者に提示することにより、画面との見比べといった行為が必要なくなるだけでなく、他のコミュニケーションのチャンネルに対しての影響や依存がなくなる。これにより、本システムを既存のコミュニケーションツールや空間を共有するためのグループウェア上で幅広く利用することが可能になる。また、部品自体が作業者の造形の結果が正しいかどうか判断することができるため、作業者は確認のための行為を省くことが可能になる。ただし、変化に関する情報の提示手法には、作業対象物の構造の大きさや複雑さに依存することなく、また、ユーザに解釈能力や手間を要求することがなく、単なる一手順になるような、直感的な手法が必要となる。

すなわち、部品自体が他の部品との接続状況や着脱を感知、判断する機能、形状の変化を遠隔地側の部品に伝える通信機能、および、その変化の情報をユーザに直感的に伝える UI 機能の 3 つを有する自立的な部品により、作業の対称性を実現可能とする。

3.3 実物体共有対称型遠隔地作業支援システム

以上から、(1) 部品自体が他の部品との接続状況や着脱を感知、判断するモデリング機能、(2) 通信機能、さらに (3) 変化の情報をユーザに伝える作業提示機能、の 3 つを持つ自立的な部品群が双方に存在する環境が、複雑な作業物体の形状とその変化を作業者間で容易かつリアルタイムに同期させることを可能とし、作業対象物および変化の対称性を実現する、実物体共有対称型遠隔地作業支援システムの実現となる。

このシステムは前章でも述べたとおり、存在の対称を目標とするものであり、コミュニケーションやアウェアネス等は提供しない。コミュニケーションやアウェアネスに関しては既存のシステムや環境を利用することとなる。

4. 共有ブロックを用いた実物体共有対称型遠隔地作業支援システム

共有ブロックとは以上を実現するため、

- (1) ユーザの組み立て（形状の変化）をブロック自身が自動的に把握し、作業対象物の形状を管理するモデリング機能、
- (2) 内蔵 LED により遠隔地ユーザのブロックの着脱情報（形状の変化に関する情報）をもう一方のユーザに伝える作業提示機能、

の 2 つの機能を持つ自立的なブロック（図 1）である。

完全な自立性、および、遠隔地のブロックとの通信機能をブロック単体で実現することは困難なため、部品本体で



図 1 共有ブロック

Fig. 1 Shared block.

ある共有ブロックと、それを管理する共有ブロック管理システムからなる。

4.1 モデリング機能

4.1.1 共有ブロックにおけるモデリング機能

モデリング機能はユーザのブロック組み立て操作から、部品の着脱、接続状況をリアルタイムに感知、判断しシステム内に取得、管理する機能である。ユーザによる形状の変更を認識し、また、造形結果が正確に同期したかを判断するために必要な機能である。

本研究では、システムにモデリング情報を入力するだけではなく、それに基づいた遠隔ユーザ間でのインタラクションが目的である。そのため、リアルタイム性、組み立ての自由度、物体表現能力をあわせ持つブロックが必要となる。本研究では物体表現能力向上のために、一般の8ピン玩具ブロック形状を採用した。

また、ブロックが見立て部品であることを考慮すると、組み立て済みの複数のブロック塊を同時に管理し、それら相互に結合するような自由な組み立て作業に対応することがきわめて重要である。たとえば、ドアと壁をそれぞれ見立てたブロック塊を作っておき、その後、それらを結合するような作業である。このような組み立ての自由度を実現するためには、ベースブロックのような電源供給、管理システムとの通信、接続状況の分析の起点となる特殊なブロックがあってはならない。また、ブロック間の接続関係も複雑かつ、着脱が頻繁に行われるため、ベースブロックを起点として接続状況を隣接ブロックに順に問い合わせる接続状況を取得する手法ではリアルタイムな認識が困難である。

本システムでは、すべてのブロックに独立に電源と無線による管理システムと通信機能を持たせるとともに、隣接ブロックとの着脱（自分のピンが抜き差しされた場合）を自らが感知し、管理システムに報告するような自立的動作をさせる。着脱に関与しなかったブロックはブロック塊の一部になっているときでも通信は必要ないため、省電力かつ高速なモデリング状況の認識が可能になる。着脱に関する情報は管理システムに送信され管理システムで全体のモデリング情報が管理される。

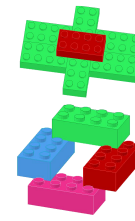


図 2 考慮すべき接続形状

Fig. 2 Connections taken into consideration.

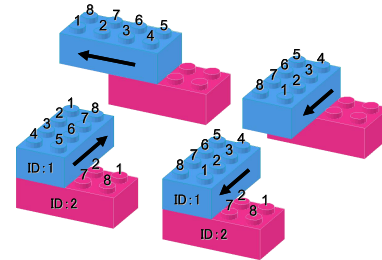


図 3 ブロック ID とピン番号

Fig. 3 Block ID and pin number.

4.1.2 ブロック接続状況マップ

玩具の8ピンブロック形状を用いたことにより、接続形状としては、図2のように、複数のブロックにまたがった接続やループ上の接続を考慮しなければならない。また、2個のブロックの同じピンを使用した接続においても、方向を考慮すると図3左上、右上、左下のような3種類が考えられる。逆に図3左下、右下のように組み立て形状が同じであっても、接続ピンが違う接続形状も考えられる。現段階では8ピン直方体のブロックのみしか用いていないため問題とならないが、様々な形状のブロックや様々な入出力機能を持つブロックの実装を検討しているため、対応の必要がある。

以上から、モデリング状況表現するためには、ブロック上部の8カ所の凸部のピン（以下アッパーピンと呼ぶ）、とブロック下部の8カ所の凹部の穴（以下ローワーピンと呼ぶ）、合計16カ所のピンの接続状況を記述する必要がある。すなわち全ブロックの全ピンにおいて、接続先のブロックとピンの対応を表現しなければならない。そこでブロックIDとピン番号を用いて、各ブロックのアッパーピンの接続状況を格納するサイズ8の配列とローワーピンの接続状況を格納するサイズ8の配列によってブロック接続状況マップとすることとした。

4.2 操作提示機能

遠隔地ユーザ側の着脱をもう一方のユーザ側にブロック自身が伝える機能であり、アッパーピン上部に埋め込まれた2色LED（赤、緑）と電子音（現システムでは共有ブロック管理システムが動作するPC上で再生される）によって実現される。

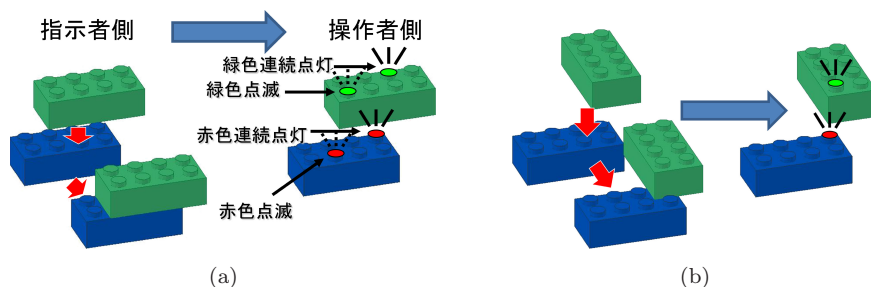


図 4 ブロック接続指示時の LED 基本発光パターン

Fig. 4 Basic LED lighting pattern for attaching blocks.

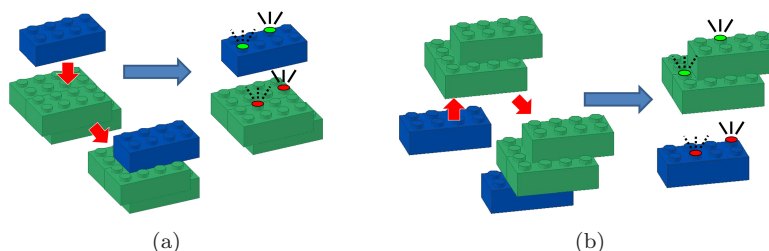


図 5 単一ブロックとブロック塊の接続

Fig. 5 Attaching a block to block cluster.

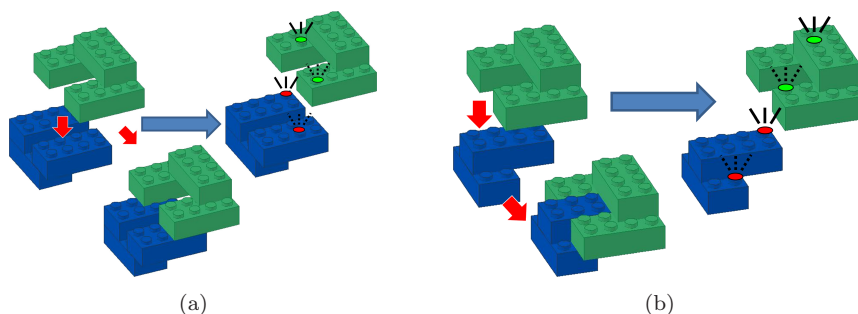


図 6 ブロック塊同士の接続

Fig. 6 Attaching block cluster to block cluster.

4.2.1 ブロック接続指示

図 4(a) 左のように片方のユーザ（仮に指示者と呼ぶ）が組み立てた場合、遠隔地にいるもう片方のユーザ（仮に操作者と呼ぶ）のブロックの LED が図 4(a) 右のように発光し組み立て操作を提示する。すなわち組み立てによって接続されたピンの対角の 2 点において、片方を点灯、もう片方を点滅とし、上側を緑色、下側を赤色で発光させる。各色の点灯と点滅が重なるように組み立てることによって一意に組み立てを行うことができる。接続ピンが 1 つの場合は点灯のみで提示する（図 4(b)）。また、操作者が正しい組み立て操作を行った場合は正解音（ピンポン）、間違っただけの場合は不正解音（ブー）がなる。

単一のブロックとブロック塊の接続時の点灯パターンを図 5 に示す。図 5(a) は単一ブロックを上側に、図 5(b) は下側に接続した場合である。複数のブロックにまたがる場合や、ブロックが重なっている場合でも接続部分の対角の 2 点の最上部の発光によって操作を指示することができる。また、ブロック塊どうしの接続においても、最上部の

対角の 2 点の発光により接続指示が可能になる（図 6）。

このような手法により、作業対象物の構造の大きさや複雑さに依存することなく、また、ユーザに解釈を要求することがないような、直感的な形状の同期が可能となる。

4.2.2 ブロック分離指示

ブロックの分離指示は 2 色 LED（赤、緑）の同時発光（利用者にはオレンジ色として見える）で指示する。ブロックの分離には、単一のブロックの分離とブロック塊の分離の 2 種類が考えられるが、現時点では単一のブロックの分離のみが可能である。しかし、ブロック塊の分離は、手順は増えるが単一ブロックの個別の分離とそれらの再接続によって実現できるため問題はない。たとえば、図 7 左のように、4 個のブロックからなるブロック塊をブロック 2 個からなるブロック塊 2 つに分離することは、図 7 右のように単一ブロック 2 個の分離と、それらの接続によって実現することができる。システムの機能的にはブロック塊の分離は認識可能なので、ブロック塊が分離された場合は、被指示側の共有ブロック管理システムが構造を解析し、複数

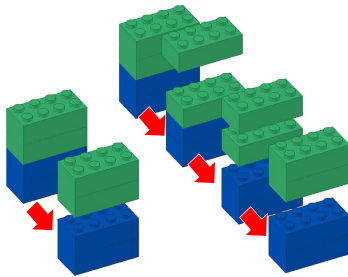


図 7 ブロック塊の分離

Fig. 7 Detaching block cluster.

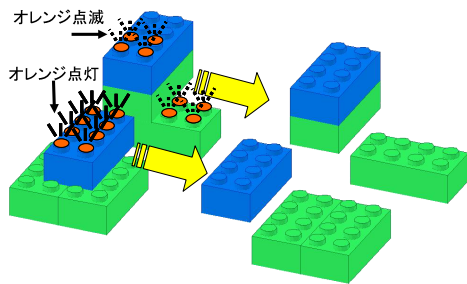


図 8 ブロック分離指示時の LED 点灯パターン

Fig. 8 LED lighting pattern for detaching blocks.

回の分解、接続として提示する機能を実装中である。

単一のブロックの分離は、上側のブロックの分離と下側のブロックの2種類のブロックの分離が考えられる。上側のブロックを分離する場合は、分離するブロックの全LEDがオレンジ色の点滅(図8上)で指示する。下側のブロックを分離する場合は、そのブロックの形で最上部のLEDがオレンジ色に点灯(図8下)する。

4.3 作業モード

システム上は双方の利用者とも、自由なタイミングで指示者と操作者になることが可能であるが、作業の進行を考慮し、現在以下の3種類の動作モードを実装している。

(1) リアルタイム組み立て共有作業モード

リアルタイム組み立て共有は、指示者と操作者が1つのブロックを組み立てるたびに、立場を交換しながら行う作業モードである。双方が協調しながら試行錯誤的に作業を行う場合に有効であると考えられる。

(2) 非同期形状共有作業モード

指示者側がすべての形状を試行錯誤的な組み立てを終えてから、任意の時点でその形状を送信し、操作者に組み立て手順をまとめて提示しまとめて組み立てる作業モードである。

(3) 組み立て再生作業モード

指示者側の組み立て手順、形状をデータとして保存しておき、そのデータを再生し作業者が組み立てを行うための補助的なモードである。自由なタイミングで反復的な作業が可能のため、訓練や教育的な利用に有効である。

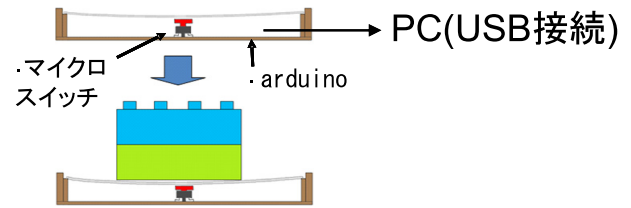


図 9 作業台

Fig. 9 Working table.

4.4 操作権と作業台

本システムでは、操作可能な実物体が双方に存在しているため、(1)、(2)のモードにおいては、双方が同時に操作を行う(たとえば、同じ場所にそれぞれが別な方向でブロックを接続する等)可能性があり、形状、操作の整合がとれなくなる可能性がある。現実世界においては、対象を手に取りるといった行為が操作権の取得となり、操作権のない(対象を手にしていない)利用者は操作を行えない。本システムでは、上にブロックが載せてあるか否かを判別し、管理システムに状態を通知する作業台(図9)を双方に設置し、これと効果音を用いることで現実に準じた操作権のコントロールを行っている。

操作権の取得は、作業台からブロックを持ち上げる行為であり、相手には、高音から低音に変化する連続音として通知される。操作権の放棄は作業台にブロックを戻す行為であり、相手には低音から高音に変化する連続音として通知される。片方のユーザーがブロックを持ち上げている最中に、他方のユーザーがブロックを持ち上げると、管理システムから警告音(ビ、ビ、ビ)がなり、ブロックを作業台に戻すように促す。

4.5 ブロック形状の実物体をデバイスとして用いた研究との比較

ブロック形状の実物体をデバイスとして用いたインタフェースには以下のようなものがある。

Triangles[9]は、三角形の平面ブロックを用いたタンジブルインタフェースであり、ブロックの各辺を接続した立体的なモデリングが可能である。ブロックにはコンピュータ内の様々な情報や機能が割り当てられており、その情報や機能を、実世界におけるブロックのモデリングとして操作、利用可能なシステムである。

アルゴブロック[10]は、立方体のブロックを用いた実体を持つプログラミング言語である。各ブロックはプログラミング言語におけるコマンドや制御構造に対応し、ブロックを組み立てることによりプログラムを作成することができるシステムである。

これらのシステムは、情報の操作が目的であり、本システムのような3次元物体の形状を操作するものではない。

Lego形状を用いたシステム[11]は3D形状モデリングの

入力を目的としたシステムである．ブロックの形状としては，本研究と同様に8ピンの玩具ブロック形状である．このシステムは，ブロックを用いて3次元形状の作成を終了したのちに，その接続状態をスキャンするものであり，形状の認識はリアルタイムではない．また，モデリングのみが可能で，変化の情報をユーザに伝える作業提示機能は存在しない．

Active Cube [12], [13] は，入出力機能を持つ立方体のブロックを用い，ユーザとコンピュータ間のインタラクションを目的としたインタフェースである．入力としては超音波センサブロック，タッチセンサブロック，ジャイロセンサブロック等，出力としてはライトブロック，スピーカブロック等がある．3次元形状のリアルタイムな認識が可能であり，出力ブロックを経由したユーザへのリアルタイムな情報の提示が可能である．このシステムは，ユーザとコンピュータ間のインタラクションを目的としており，本システムのような，ユーザ同士の形状共有，同期を目的としていない．出力機能を持つブロックは存在するが，すべてのブロックには出力機能が与えられておらず，変化の情報をユーザに有効に提示することは不可能だと思われる．

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 [14] は，本研究と同様の8ピンのブロックを用い，作業者同士が共同で3次元のモデリングを通して共創的コミュニケーションを行うシステムである．このシステムでは，HMD等を利用し自己の実物体のブロックに相手の操作したブロックを仮想物体として重畳表示することにより，作業対象物の共有を可能とする．このシステムは2章で述べたように，相手側に実物体として存在する仮想物体に対する物理的な操作は不可能である．またこのシステムを利用して作業対象物の同期を行うときには3.2節で述べた問題が発生する．

さらに以上のすべてのシステムではベースブロックを必要としている，そのため4.1.1項で述べたような組み立ての自由度を持たない．

5. 実現システム

本システムは，共有ブロック，作業台およびPC上で動作する共有ブロック管理システムからなる．共有ブロック管理システムは作業空間に1つ設置され，その作業空間内で利用する共有ブロックを管理下におく（図10）．共有ブロックと共有ブロック管理システムはZigBeeを用いた短距離無線通信で接続され，共有ブロック管理システム間はインターネットで接続される．共有ブロックはそれぞれ自立的に動作し，共有ブロック管理システムと，LEDの点灯，点滅，消灯指示，および，接続状況の報告，問合せのコマンドを送受信する．共有ブロック管理システムは個別の共有ブロックの接続状況を把握し，作業対象物全体のブロック接続状況マップを保持，管理する．

作業台は，4.4節で述べた操作権を実現するものであり，詳細は5.5節で述べる．

5.1 システムの動作

指示者がブロックを着脱した場合のシステムの基本的な動作をユーザから見た動作の様子（図11）を交えて説明する．図11(a)が待機状態である．画面左側が指示者側の管理システム下にあるブロック群，右側が操作者側の管理システム下にあるブロック群である．

- (1) 指示側のブロックが着脱を感知しZigBeeを経由して指示側の共有ブロック管理システムに報告する（図11(b)）．
- (2) 報告を受けた共有ブロック管理システムは管理下にあるブロックとネゴシエーションを行い，指示側のブ

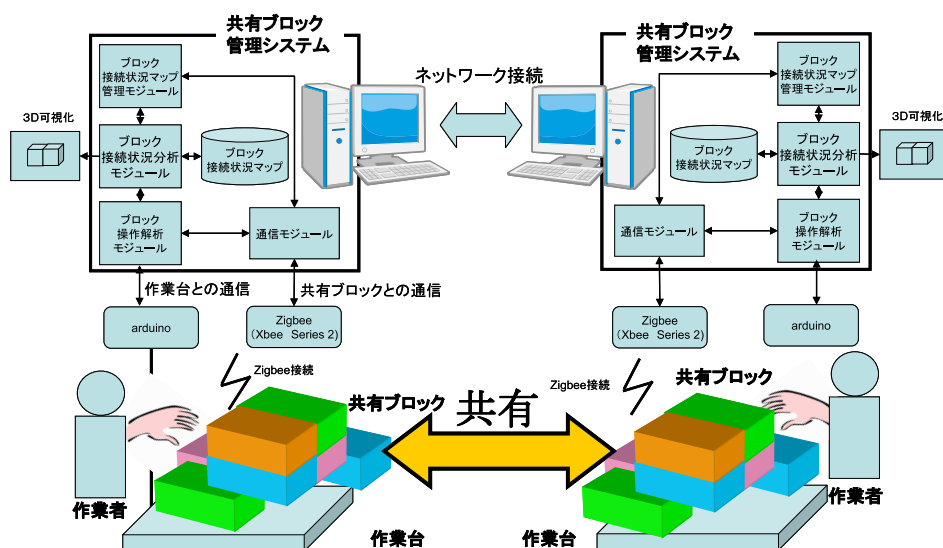


図10 システム構成図

Fig. 10 Implementation model.

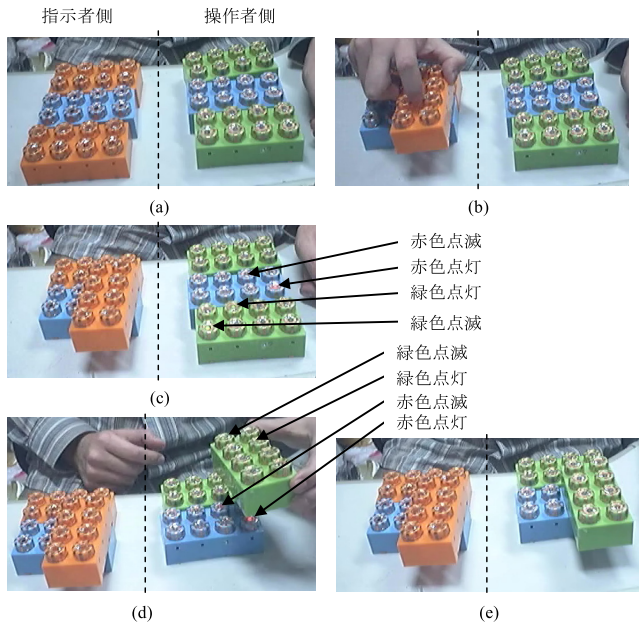


図 11 動作の様子

Fig. 11 Appearance of system working.

ロック接続状況マップを更新する。

- (3) 更新されたブロック接続状況マップを被指示側の管理システムに送信する。
- (4) ブロック接続状況マップを受信した被指示側の共有ブロック管理システムは、管理下にある共有ブロックのブロック接続状況マップとこれを比較解析し、どの共有ブロックのどの LED を点灯させるかを決定し、操作者の共有ブロックに送信する (図 11(c))。
- (5) 操作者の共有ブロックの LED の点灯指示により被指示側のユーザがブロックを着脱する (図 11(d))。
- (6) その着脱を感知したブロックが管理システムに接続状況を報告する。
- (7) その着脱が正しいかを共有ブロック管理システムが判別し正解音、不正解音を再生する。
- (8) 正解の場合、LED の消灯指示をブロックに送り、その後、両者の共有ブロック管理システムは次のユーザの作業を待つ待機状態になる (図 11(e))。

同期形状共有作業モード、組み立て再生作業モード、では (1)～(2) が繰り返し行われたのち、(3) が行われる。作業モードにあわせて、任意の時点で (4)～(8) が繰り返し行われる。

5.2 共有ブロック

共有ブロックの全景は図 1 に示したとおりである。外側は、大きめのサイズ (約 10 cm × 5 cm × 4 cm) の市販の玩具ブロックを使用している。内部には、1 チップコンピュータ (Microchip Technology 社製 PIC16F887 TQFP 44Pin), ZigBee を用いた短距離無線通信用チップ (XBee Series 2), 作業提示用の 8 個の 2 色 LED (赤, 緑, および

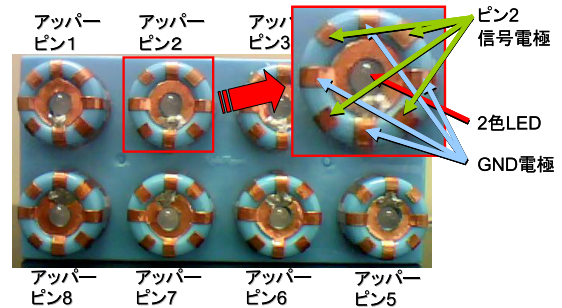


図 12 アッパーピンの電極と 2 色 LED の配置

Fig. 12 Layouts of upper pin contacts and bi-color LEDs.

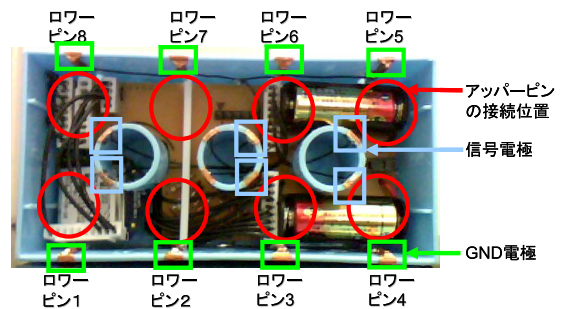


図 13 ロワーピンの電極配置

Fig. 13 Layouts of lower pin contacts.

同時点灯によるオレンジの 3 色が表現可能), およびバッテリーとして単 5 電池 2 本を搭載しており、重量は約 80 g である。

5.2.1 電極配置

ブロックの着脱を物理的に認識するために、アンダーピンとローワーピンには図 12, 図 13 のような銅箔テープを使用した電極がつけられており、これらが接触、分離することにより、ハードウェア的に着脱を認識する。

電極には、GND と信号用の 2 種類があり、それぞれが各ピンごとに接続される必要がある。しかし、ブロックは図 3 のように 90 度ごとのどの向きからでも接続されるため、図 8 のように 2 種類の電極を 45 度ごとに 8 カ所配置した。この配置によりどの方向から接続されても、GND と信号用接点が正確に接続される。

5.2.2 ブロック接続状況の把握

ブロック接続状況マップを作成するためには、ピンの着脱の感知に加え、各ピンごとに、相手のブロック ID とピン番号を取得しなければならない。そのためには接続されたピン上でデータ通信による実現が考えられるが、アンダーピンとローワーピンの 16 ピンすなわち 16 チャンネルすべてにおいて、データ通信を管理し、データを取りこぼしなく送受信するためには、かなりの CPU リソースが必要となるだけでなく、つねに全チャンネルを見張り続けるため消費電流も大きいものとなる。

そこで、ピンの接続と分離をハードウェア割込みだけで監視し、ピンの対応関係は共有ブロック管理システムとの

通信により共有ブロック管理システム側で把握することとした．接続状況把握アルゴリズムについては文献 [15] で述べた．これによりブロック本体の CPU をスリープ状態で待機させることが可能となり最小限のリソースで実装が可能となる．現バージョンのブロックでは 1 日 2 時間程度の利用であれば 4 日の連続動作が可能である．

5.2.3 LED の発光を用いた操作提示

LED は，共有ブロック管理システムからのコマンドに基づき，点灯，点滅，および発光色が制御される．点滅間隔はおおよそ 1 秒である．

5.2.4 共有ブロック管理システムとの通信

共有ブロックは ZigBee により共有ブロック管理システムとの通信を行う．共有ブロック管理システム側が Coordinator，共有ブロック側が Router となる．

アプリケーションレベルでは，LED の点灯，点滅，消灯指示，および，接続状況の報告，問合せのコマンドプロトコルが実装されている．また，通信に関しても割込みを利用し，スリープコントロールを行っている．

5.3 共有ブロック管理システム

共有ブロック管理システムは PC (Windows XP SP3, InterCoreDuo2 1.8 G, 4 Gbyte RAM 上) で動作し，USB シリアル変換ケーブルで接続された ZigBee モジュール (XBee Series 2, Coordinator モード) を介して，管理下にある共有ブロックと通信を行う．管理システムは，Java SE6 を用いて実装した以下の 4 個のモジュールからなる．

5.3.1 通信モジュール

USB シリアルを介して接続された ZigBee モジュールとの通信および送受信コマンドのパケット変換を行うモジュールである．シリアル通信には，Java Communication API に準拠したオープンソースクラスライブラリの RXTX を用いている．

5.3.2 ブロック接続状況マップ管理モジュール

各共有ブロックと，5.4 節で述べるプロトコルに基づいた通信を行い，構築中の作業対象物のブロック接続状況マップを管理更新するモジュールである．

5.3.3 ブロック接続状況分析モジュール

本モジュールには 2 つの機能がある．1 つは，ネットワークを介して相手側の共有ブロック管理システムと通信を行い互いのブロック接続状況マップの送受信を行うブロック接続状況マップ同期機能である．非同期形状共有作業モード，組み立て再生作業モードにおいては，相手側のブロック接続状況マップのファイルへの保存も行う．もう 1 つはブロック接続状況マップを分析し，現在のモデリング形状を 3D で可視化しユーザに提示するブロック接続状況マップ 3D 可視化機能を持つ．本機能は 4.3 節で述べた，組み立て再生作業モードにおいて記録されたブロック接続状況マップに基づく形状確認のための補助機能である．現時点

では，単なる可視化機能しか有していないが，形状をユーザがエディットするための 3D 形状エディット機能を実装する予定である．3D 可視化機能は，Java 3D API を用いて実装されている．

5.3.4 ブロック操作解析モジュール

本モジュールは，ブロック接続状況マップを解析し，組み立てユーザに対して提示する LED の点灯パターンを構成する機能を持つモジュールである．リアルタイム組み立て共有作業モード，およびリアルタイム形状共有作業モードにおいては，相手側と自分側のブロック接続状況マップの差分からの LED 点灯パターンを構成する．非同期形状共有作業モードにおいてはブロック接続状況分析モジュールがファイルに保存したブロック接続状況マップを解析し LED 点灯パターンを構成し再生する．

5.4 作業台

作業台は，枠とその上に置かれた天板 (約 50 cm × 30 cm)，マイクロスイッチ，Arduino からなる．天板は上に載せた共有ブロックの重量でたわむようになっており，このたわみを天板下部に設置したマイクロスイッチで感知し，それを Arduino 経由で管理システムに通知する．

6. 評価

本プロトタイプを用い，(1) システムのモデリング機能を評価するためのモデリング機能評価実験，(2) LED と効果音による操作提示が，ユーザに解釈能力や手間を要求することがなく実用的かつ有効であるか，これにより複雑な作業物体の形状とその変化を作業者間で容易かつリアルタイムに同期することが可能であるか，を評価するための操作提示機能評価実験，の 2 つを行い，提案手法の実用性と有効性を評価する．

実際の協調作業支援環境に本システムを導入することの効果については，現在実験中である．

6.1 モデリング機能評価実験

システムのモデリング機能，すなわちユーザによるブロックを用いた組み立て作業のシステムによる認識が有効に動作するかを評価するための実験を行った．

被験者 2 名 (学部学生，男 1 名，女 1 名) に，自由な組み立て (各 100 手順) を行わせ，システムのモデリング認識エラー率と，モデリング認識時間を測定した．

6.1.1 モデリング認識エラー率

利用初期にはブロックの差し込みが甘い，斜めに差し込む，といった操作があり，認識エラーが生じやすいが，操作に慣れてくると (後半 50 手順以降) エラー率は 0.02% となった．

6.1.2 モデリング認識時間

本システムでは 5.4 節で述べた処理が各ブロックで非同

期的に行われる。そのため、ベースブロックからの探索を行うシステムのように作業対象物の接続ブロック数に認識時間が比例することではなく、1度に接続されるピンの数にほぼ比例した認識時間となるが、平均 0.85 秒での認識が可能であった。

6.1.3 考察

上記から、モデリング機能に関しては実用的であるとの結果が得られた。

問題点として、本ブロックが物理的な接点を用いているため、チャタリング等が発生し接続操作が完了する前に共有ブロックからの間違った接続報告が管理システムに送信される現象が確認された。これを解決するために、ブロック接続後に接点の接続が物理的に安定するまでの待ち時間（ガードタイム）として 10 ミリ秒を設ける改良を行った。

6.2 操作提示機能評価実験

本研究で提案する、LED 配置とその点灯パターンおよび効果音による操作提示の、実際の形状同期に対する有効性を評価するため、テレビ会議システム（画像、音声によるコミュニケーション）を用いた形状同期作業と本システム（ガードタイムを用いるように改良されたもの）による形状同期作業の比較実験を行った。

6.2.1 実験方法

操作提示手法が認知的に有効であるかを評価するという観点から、本研究が最終的に目標とする自由な作業ではなく、指示者と操作者の立場を固定した限定的な条件で、指示者（実験者）から提示された一連の組み立て操作を、操作者（被験者）が理解し同期的な組み立てを行えるかを、操作者の理解操作時間、組み立てエラー率から評価する。

被験者 10 名（学部学生、男 5 名、女 5 名）を操作者とし、ブロック組み立て課題をテレビ会議システムと本システムの双方で行い、それぞれ課題達成時間、組み立てエラー回数、および自由記述による感想を調べた。課題実施直前に、共有ブロックおよびテレビ会議システムに慣れるための練習を行った。また、認知的有効性を評価するという観点から、被験者には「落ち着いて、正確に組み立てるように」との教示を与えた。

組み立て課題は、テレビ会議システムを利用した課題（課題 A）と本システムを利用した課題（課題 B）の 2 種類を行う。なお、順序効果等を考慮して、5 名は課題 A→B、残り 5 名は課題 B→A の順で実施した。

6.2.2 実験環境

課題 A、B とも、指示者と操作者が遠隔地にいるという想定で、図 14(a) のように指示者、操作者間に衝立を立てた環境で行った。右側が指示者側、左側が操作者側である。両側においてあるノートパソコンは、課題 A のテレビ会議システム（Skype を使用）のためのものである。起動時の画面は図 14(b) であり、カメラ画像と音声を用いた双方向コ

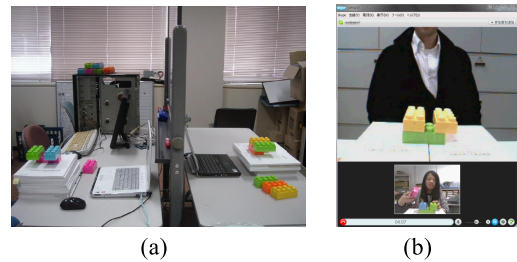


図 14 実験環境とテレビ会議システム

Fig. 14 Experiment environment and video-conference system.

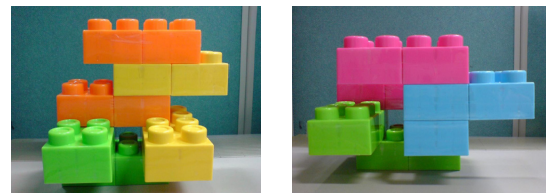


図 15 課題組立形状

Fig. 15 Shape of assembling task.

ミュニケーションを行うことができる。指示者、操作者とも図 14(b) の上側の画面が相手のカメラ映像で、下側の映像は自分側の確認用の映像であり、両者とも上の広い画面で映像コミュニケーションを行うことが可能である。必要であればカメラの角度を変えることは許可した。なお、課題 A で用いるブロックは、共有ブロックではなく、共有ブロックの元となった玩具ブロックである。

課題 B では、操作者側のテレビ会議システムウィンドウは隠され、指示者（実験者）が操作者の動作を記録、定性分析するためだけに使用される。このとき、操作者からの質問等は禁止され、課題は共有ブロックのみで実施される。

6.2.3 組み立て課題

課題 A、B とも、指示者がブロック 1 個を組み立てて例示し、その例示に基づき操作者が同形に組み立てる作業を 1 手順とし、5 手順行い最終的に 6 個のブロックからなる形状（図 15）を組み立てるものである。双方とも 1 手順は以下の 4 フェーズからなる。

(1) 説明フェーズ

指示者がブロック 1 個の組み立てを行い、操作者に例示するフェーズである。

テレビ会議システムの場合、指示者の「組み立てます」の発話から始まり、指示者の例示の組み立てを経て、「このように組み立ててください」の発話で終了する。指示者の発話、例示順は全被験者に対して同一である。

共有ブロックの場合、万が一指示者側のブロックのモデリング機能において問題が生じた場合、実験自体が無効となる可能性があるため、リアルタイムな実際の指示者を使わず、組み立て作業再生モードで動作するシステムから自動で操作提示を行うこととした。

(2) 理解フェーズ

操作者が指示者の例示を理解するフェーズである。一般の物体組み立て作業では、理解と操作が同時進行するが、理解を行わない状態で試行錯誤的な組み立てを行われると、理解に要した時間の分析が困難になるため、別なフェーズとした。よって作業には、このフェーズでは組み立て作業を行わず例示ブロックの位置関係の理解だけを行うよう指示した。

テレビ会議システムの場合、指示者の「このように組み立ててください」直後から始まり、指示者、操作者間のテレビ会議を用いたコミュニケーションを経て、操作者の「分かりました」の発話で終了する。被験者の理解度が試行時間において支配的になるように、コミュニケーションは、同期作業を行うために必要な「反対側を見せてください」、「90度右に回してください」等、作業から指示者への例示ブロックのカメラへの映し方の指示等のみに対応し、それ以外のヒントの要求や独断的発話等には、返答をしないか「自分で考えてください」で統一した。

共有ブロックの場合、操作提示のためのLED点灯から始まり、操作者の「分かりました」の発話で終了する。コミュニケーション等はいっさい許可しない。

(3) 組み立てフェーズ

理解フェーズでの理解に基づき、操作者が実際にブロックの組み立てを行うフェーズである。

双方とも、操作者が組み立てのためにブロックを手にとった時点から始まり、組み立てを経て、操作者の「できました」の発話で終了する。

(4) 確認フェーズ

操作者の組み立てが、指示者の例示どおりであったかを確認するフェーズである。

テレビ会議の場合、操作者の「できました」直後から始まり、指示者、操作者間のテレビ会議を用いたコミュニケーションを経て、指示者の「オッケーです」の発話で終了する。コミュニケーションは、理解フェーズ同様、ブロックのカメラへの映し方の指示等のみを行う。組み立てが間違っていた場合（組み立てエラー）、指示者は「だめです」と発話し、理解フェーズに戻ることにした。

共有ブロックの場合、操作者の「できました」直後から始まり、システムによる接続確認とLEDの消灯を経て、管理システムからの「ピンポン」という成功音で終了する。組み立てが間違っていた場合、管理システムからの「ブー」という失敗音で終了する。失敗の場合、LEDは点灯し続け理解フェーズに戻ることにした。

以上の4フェーズを5回繰り返して、課題終了となる

6.3 結果

組み立てエラー回数に関する結果を表1に、課題達成時間に関する平均と有意差を表2、表3に示す。被験者1名

表1 組立エラー (回)

Table 1 Assembling error.

被験者	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
テレビ会議	1	5	0	0	0	0	1	1	0	2
共有ブロック	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0

表2 フェーズごとの達成時間の平均と有意差

Table 2 Average times and significant levels of each phase.

	合計時間(秒)	テレビ会議	共有ブロック		t(9)	有意差
平均	説明フェーズ(1)	21	0	t検定	27.63	P<0.01
	理解フェーズ(2)	81.6	49.2		3.85	P<0.01
	組立フェーズ(3)	19.6	27.6		-2.56	P<0.05
	確認フェーズ(4)	17.2	10.2		3.7	P<0.01
	(2)+(3)	101.2	76.8		2.47	P<0.01
	(2)+(3)+(4)	118.4	87		3.22	P<0.05
	(1)+(2)+(3)+(4)	139.4	87		5.29	P<0.01
平均	組立エラー (回)	1	0.2	t検定	2.45	P<0.05

表3 課題達成時間 (秒)

Table 3 Task completion time.

合計時間	被験者	テレビ会議	共有ブロック	被験者	テレビ会議	共有ブロック
説明フェーズ(1)	1	24	0	6	18	0
理解フェーズ(2)		98	33		64	40
組立フェーズ(3)		20	21		19	32
確認フェーズ(4)		14	9		13	10
(2)+(3)		118	54		83	72
(2)+(3)+(4)		132	63		96	82
(1)+(2)+(3)+(4)		156	63		114	82
説明フェーズ(1)	2	25	0	7	20	0
理解フェーズ(2)		60	34		87	65
組立フェーズ(3)		15	25		27	22
確認フェーズ(4)		18	11		27	10
(2)+(3)		75	59		114	87
(2)+(3)+(4)		93	70		141	97
(1)+(2)+(3)+(4)		118	70		161	97
説明フェーズ(1)	3	22	0	8	18	0
理解フェーズ(2)		148	65		110	62
組立フェーズ(3)		21	28		18	36
確認フェーズ(4)		26	11		21	8
(2)+(3)		169	93		128	98
(2)+(3)+(4)		195	104		149	106
(1)+(2)+(3)+(4)		217	104		167	106
説明フェーズ(1)	4	22	0	9	20	0
理解フェーズ(2)		35	44		60	32
組立フェーズ(3)		29	21		16	24
確認フェーズ(4)		15	10		15	13
(2)+(3)		64	65		76	56
(2)+(3)+(4)		79	75		91	69
(1)+(2)+(3)+(4)		101	75		111	69
説明フェーズ(1)	5	19	0	10	22	0
理解フェーズ(2)		97	69		57	48
組立フェーズ(3)		18	30		13	37
確認フェーズ(4)		11	12		12	8
(2)+(3)		115	99		70	85
(2)+(3)+(4)		126	111		82	93
(1)+(2)+(3)+(4)		145	111		104	93

につき7項目からなる。(1)~(4)の4項目は、説明フェーズ~確認フェーズそれぞれの5手順の合計である。

共有ブロック条件における説明フェーズの合計時間は、前節で述べたようにシステムが自動的に提示するため0秒とした。説明フェーズは指示者の操作時間を表しており、

LEDによる操作提示機能の有効性とは無関係である。そのため、説明フェーズの合計時間である(1)、および、課題時間総計となる(1)+(2)+(3)+(4)は、参考値である。

6.4 考察

表3から、理解フェーズ、確認フェーズにおいて有意に共有ブロックのほうが優れていることが分かった。双方とも、テレビ会議条件においては、コミュニケーションが行われるフェーズであるが、共有ブロック条件においては直接的なコミュニケーションが必要ないため達成時間が短くなったと考えられる。また、コミュニケーションを行わない共有ブロック条件のほうが、有意に組立エラーが少ないという結果からも、操作提示機能のLED配置と点灯パターンの有効性が明らかになったといえる。効果音に関しては、組み立てエラーが2回しか生じていないため定量的には評価できないが、いずれの場合も被験者は即座にブロックをはずしていたこと、および、自由記述の「効果音があると正解かどうか即座に分かって気持ちいい」から、効果的であったと思われる。

一方、組み立てフェーズにおいては、有意に共有ブロックのほうが劣っている。これは、テレビ会議条件では、ブロックをいい加減にはめることが許されるが、共有ブロック条件では接点が接触するように正確かつ慎重にはめることが求められているためである。本来はブロックをはめる時間の差を引いて分析するべきであるが、共有ブロック条件では組み立てフェーズ全体が慎重になっており、はめる時間のみを計測することが困難であり、組み立てフェーズとしてまとめている。しかし、(2)+(3)、あるいは(2)+(3)+(4)においては、有意に共有ブロックが優れていることから、作業全体においては組み立てフェーズの影響は小さく、結果として本操作提示手法の認知的有効性、すなわち作業物体の形状とその変化を作業間で容易かつリアルタイムに同期することが可能であるとの結論が示されたといえる。また、本実験に類似した限定条件を持つタスク(たとえば、きわめてフォーマルな指示、教授タスク)において本システムが有効である可能性も示されたといえる。

7. まとめ

自由な形状の作業対象物とその変化を作業間で容易かつリアルタイムに(作業ではなく作業内の一手順として)同期させることを支援する共有ブロックを用いた遠隔地作業支援システムを提案し、機能評価を行った。また、この評価実験を通して、本システムの有効性の一部を示した。今後、実物体とそれへのアクセスが重要となる、協調的なグループ学習やデザイン作業等のタスクにおいて、既存システムと組み合わせることによる具体的な有効性の評価実験を行う予定である。また、現在のシステムでは、通常形状のブロックしか実装していないため、対応している作業

はブロックの着脱のみである。今後、可動機構(車輪のような回転動作や、関節のような開閉動作)を持つブロックを実装することにより、可動部の変形作業の共有を可能とする予定である。さらに、共有ブロックを有効に利用することが可能な作業空間共有システムの研究を行っていく。

参考文献

- [1] 酒田信親, 蔵田武志, 葛岡英明: レーザポインタと装着型ディスプレイを用いた遠隔協調作業のための視覚的アシスト, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.11, No.4, pp.561-568 (2006).
- [2] Yamazaki, K., Yamashita, A., Kuzuoka, H., Oyama, S., Kato, H., Suzuki, H. and Miki, H.: Gesture laser and Gesture Laser Car: Development of an Embodied Space to Support Remote Instruction, *Proc. EC-SCW'99*, pp.239-258 (1999).
- [3] 玉木秀和, 山本 峻, 岡嶋 雄, 坂内祐一, 岡田謙一: MR空間における準同期的な実物体共有による遠隔作業支援, 日本VR学会論文誌, Vol.12, No.4, pp.529-536 (2007).
- [4] 南谷真哉, 北原 格, 亀田能成, 大田友一: 遠隔地における複合現実空間の共有: 対面型卓上作業システムの構築, 電子情報通信学会技術研究報告, MVE2007-53, pp.91-96 (2007).
- [5] Wesugi, S. and Miwa, Y.: Facilitating interconnectedness between body and space for full-bodied presence-Utilization of Video projection "Lazy Susan" communication system, *Workshop on Presence (Presence 2004)*, pp.208-215 (2004).
- [6] 磯 和之, 八木貴史, 小林 稔, 岩城 敏, 石橋 聡: 生活融合通信: 空間情報整合化機能 "ComAdapter", 日本VR学会論文誌, Vol.9, No.2, pp.169-178 (2004).
- [7] 坂内祐一, 玉木秀和, 鈴木雄士, 重野 寛, 岡田謙一: 実物体を用いたMR空間での遠隔協調作業, 情報処理学会論文誌, Vol.48, No.7, pp.2465-2476 (2007).
- [8] 宮狭和大, 坂内祐一, 鈴木雄士, 玉木秀和, 重野 寛, 岡田謙一: MR空間における仮想シールを介したシンタックスの異なる実物体の遠隔共有手法, 情報処理学会論文誌, Vol.48, No.1, pp.134-147 (2007).
- [9] Gorbet, M.G., Orth, M. and Ishii, H.: Triangles: Tangible interface for manipulation and exploration of digital information topography, *Proc. Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'98)*, pp.49-56 (1998).
- [10] 鈴木栄幸, 加藤 浩: アルゴブロック: アルゴリズム教育のための物理言語, 第8回ヒューマンインタフェースシンポジウム論文集, pp.245-248 (1992).
- [11] Anderson, D., Frankel, J., Marks, J., Agarwala, A., Beardsley, P., Hodgins, J., Leigh, D., Ryall, K., Sullivan, E. and Yedidia, J.: Tangible interaction + graphical interpretation: A new approach to 3D modeling, *Proc. SIGGRAPH2000*, pp.393-402 (2000).
- [12] 渡邊亮一, 伊藤雄一, 北村喜文, 岸野文郎, 菊池日出男: マルチメディアコンテンツのための分散制御によるActive Cubeシステムの高速度化, 日本VR学会論文誌, Vol.10, No.4, pp.513-522 (2005).
- [13] 伊藤雄一, 北村喜文, 河合道広, 岸野文郎: 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).
- [14] 上杉 繁, 三輪敬之: 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論文誌, Vol.5, No.1, pp.143-151 (2003).

- [15] 佐藤 究, 勝田雄紀, 小笠原直人, 布川博士: 共有ブロックを用いた実物体共有対称型遠隔作業支援システム, 第5回日本感性工学会春季大会予稿集 2008 (CD-ROM) (2008).
- [16] 佐藤 究, 佐藤奈摘, 小笠原直人, 布川博士: 共有ブロックを用いた実物体共有対称型遠隔地作業支援システム, 情報処理学会研究報告, Vol.2010-GN-75, No.15 (2009).



佐藤 究 (正会員)

1996年東北大学大学院情報科学研究科博士後期課程修了。東北大学大学院情報科学研究科を経て、現在、岩手県立大学ソフトウェア情報学部講師、(財)仙台応用情報学研究振興財団主任研究員。博士(情報科学)。この間、

ユーザインタフェース、ヒューマンコンピュータインタラクション等に関する研究に従事。



佐藤 奈摘

2011年岩手県立大学ソフトウェア情報学部卒業。現在、岩手県国民健康保険団体連合会職員。実物体指向インタフェースに興味を持つ。



小笠原 直人 (正会員)

2003年東北大学大学院情報科学研究科博士後期課程修了。現在、岩手県立大学ソフトウェア情報学部講師。博士(情報科学)。この間、ユーザインタフェース、ヒューマンコンピュータインタラクション等に関する研究に従

事。日本感性工学会会員。



布川 博士 (正会員)

山形大学工学部卒業。東北大学大学院工学研究科博士課程修了。工学博士。東北大学電気通信研究所、宮城教育大学を経て、現在、岩手県立大学ソフトウェア情報学部教授。(財)仙台応用情報学研究振興財団理事・研究主幹。

日本感性工学会理事および感性事業部会部会長。IT系ベンチャー企業役員を歴任。コンピュータソフトウェアおよびその事業化についての研究に従事。近年、ネットワーク接続可能な業務用厨房機器の相互接続とその応用も研究中。