

可動機能を持つ共有ブロックの拡張

佐藤究^{†1} 近藤泰宏^{†1} 小笠原直人^{†1} 布川博士^{†1}

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。我々、この問題を解決するために作業対象となる「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）の研究を行っている。本稿では、共有ブロックの表現能力の向上を目的とした可動機能を持つ共有ブロックの拡張について述べる。

Enhanced Shared Block with Movable Mechanism

KIWAMU SATO^{†1} YASUHIRO KONDO^{†1} NAOHITO OGASAWARA^{†1}
HIROSHI NUNOKAWA^{†1}

We have been proposed 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 enhanced shared block with movable mechanism.

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。例えば、(a) 音声画像通信をベースに、音声、映像、レーザー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者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、仮想物体との重畳表示等によって両方に部分的にしか存在しない。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、作業者全員が自由に作業対象物への物理的な操作を可能

とするシステムとして共有ブロックを用いた実物体共有対称形遠隔地組立作業支援システムの研究[9]を行っている。この、システムで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実現するものである。

本稿では、この共有ブロックによる作業対象物の表現能力向上を目的とした、可能機能を持つ拡張共有ブロックの実装について述べる。

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極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、全作業者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) 作業者全員が作業空間を共有していること、(2) 作業者全員が作業対象物を共有していること、(3) 作業者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

^{†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

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、指示者や作業者にとってのわ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おこなわれている。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、レーザー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者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、作業対象物は作業側側の空間にのみ存在するため、指示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][10]

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側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、先行研究である[9]および本拡張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、作業や行為のウェアネス（相手がどの物体を見ているか、どの物体を手を取ったか等）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. 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[9]

本章では先行研究である、共有ブロックを用いた遠隔地作業支援システム[9]について説明する。

本システムでは、作業対象物の対称性を実現するためには、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これを実現している。基本部品として、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。

また、変化の対称性を実現するために、ユーザの手元にある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側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した。

共有ブロックとは以上を実現するため、以下の(1)、(2)の機能を持つ自立的なブロック（図1）からなるシステムである。

(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

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 (図 2)。

3.1 モデリング機能

3.1.1 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。

本システムでは、全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 (自分のピンが抜き刺しされた場合) 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時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。

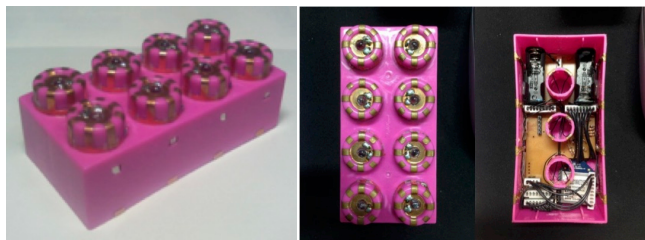


図 1 共有ブロック
 Figure 1 Shared Block.

3.2 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。

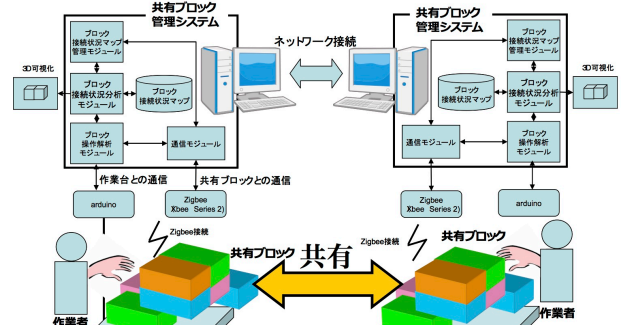


図 2 システム構成図

Figure 2 Implementation Model.

3.2.1 ブロック接続指示

図 3(a)左の様に片方のユーザ (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 3(a)右の様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様に組み立てることで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 3(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)、間違った場合には不正解音 (ブー) になる。

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、ブロック塊同士の接続においても、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 4)。

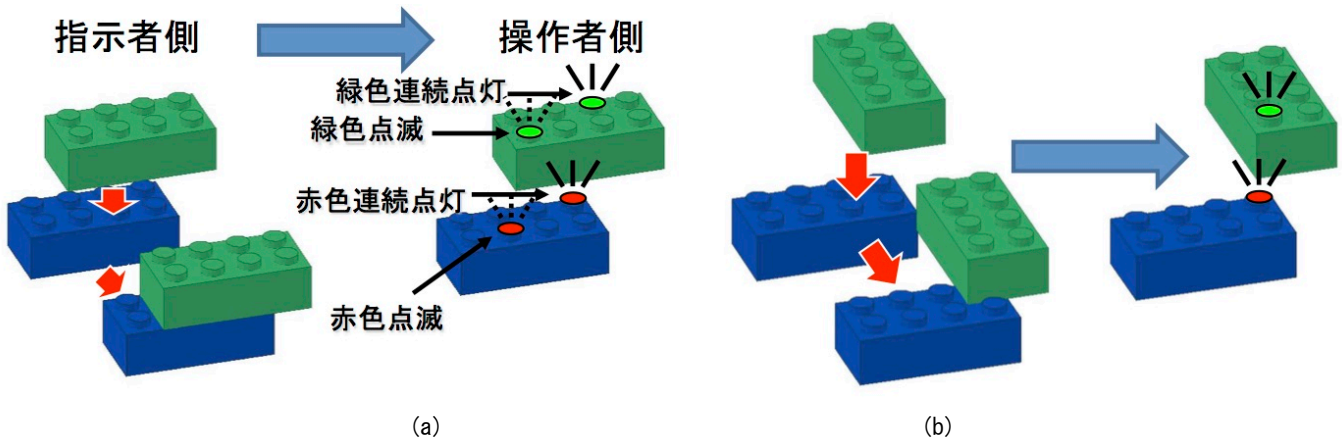


図 3 ブロック接続指示時の LED 基本発光パターン

Figure 3 Basic LED lighting pattern for attaching blocks.

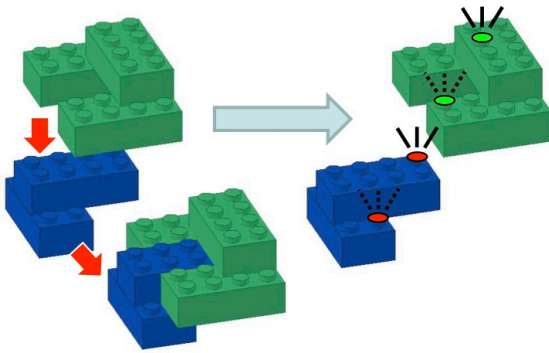


図 4 ブロック塊同士の接続

Figure 4 Attaching block cluster to block cluster.

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。

3.2.2 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。

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 5 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 5 下) する。

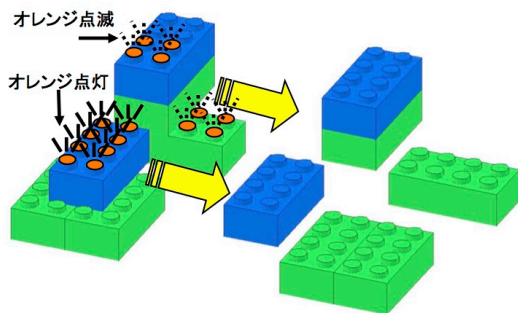


図 5 ブロック分離指示時の LED 点灯パターン

Figure 5 LED lighting pattern for detaching blocks.

3.3 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

指示者側が全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。

3.4 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 (例えば、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、操作の整合性が取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 6) 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。片方のユーザがブロックを持ち上げている最中に、他方のユーザ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) になり、ブロックを作業台に戻す様に促す。

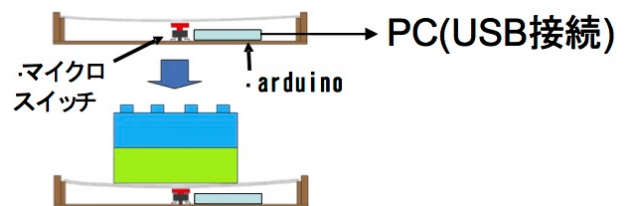


図 6 作業台

Figure 6 Working Table.

4. 可動機能を持つ共有ブロックの拡張

4.1 変化の対称性

ブロックを用いた造形作業における形状の変化として以下の 2 種類があると考えられる。

(1) 部品の組み立てによる形状の変化

ブロックを用いた、共同造形作業において最も頻繁に生じる形状の変化である。先行研究では、これに対応するた

めに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した。

(2) 可動部品による形状の変化

一般のブロックにおいては、図 7 のような回転、伸縮、関節といった可動機構を持つ部品が存在する。このようなブロックはその表現能力を向上させるためには重要であり、本稿ではこのような可動機構を持つ部品を共有ブロックに導入することを目的とする。

しかし、このような可動機構を先行研究のような LED 等を用いて作業者に提示し、作業者がその情報に基づき可動部を操作し変化を同期する手法では、回転のような細かいアナログ量を直感的かつ正確に把握できるように提示することが困難である。そのため、可動による変化の対称性を実現するためには、可動機構の自動同期が必要になる。また、自動同期により、変化の時間差の改善、手動では困難な繊細な変化の同期が可能となると考えられる。

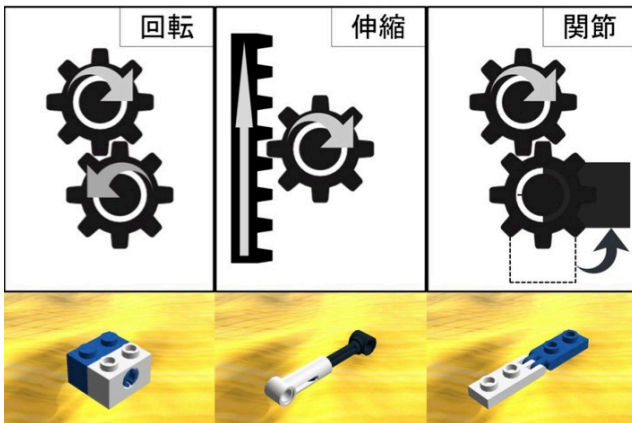


図 7 可動ブロック
 Figure 7 Movable Block.

4.2 可動機能を持つ共有ブロックの実現

一般のブロックに存在する可動の携帯として、回転、伸縮、関節の動作がある。伸縮、関節は回転運動に変換可能なため、本稿では回転動作の機構を実装した。

回転機能の実装ためには、作業者の操作による回転量の把握と、その情報に基づき相手側の回転軸を自動的に回転させる機能が必要となる。そこで、ブロック内にインクリメンタル式ロータリーエンコーダ (15 度/パルス) およびステッピングモータ (1.8 度/パルス)、および減速ギヤを内蔵した。ステッピングモータは電圧がかかっていない場合、手動で回転させることが可能であり、双方向での操作と同期が可能となる (図 8)。

また、ブロック自体の構造についても、現在は市販の玩

具ブロックを利用しており、利用可能な内部の空間が狭く拡張性に限界があることに加え、ブロックの電極を銅箔テープにより実現しているため接続精度が低く耐久性に問題があるため、DC ジャックを用いたブロック形状の物体として再設計を行った (図 9)。

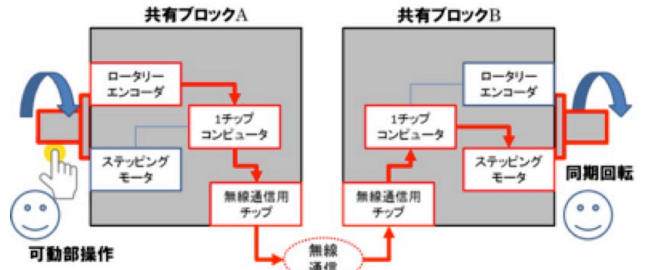


図 8 可動ブロックの構造

Figure 8 Structure of Movable Block.



図 9 拡張共有ブロック

Figure 9 Enhanced Shared Block.

5. 評価

実装した可動同期機能について、動作の実用性を評価する評価実験を行った。本機能の共同造形作業における有効性の評価は今後の課題である。

動作の実用性を評価するために、(1) 同期精度、(2) 同期時間、に関する評価を行った。

可動部への操作は他者へ表現・伝達することが難しく、把握できたとしても手動で同期する場合には繊細な操作を要求される。よって、行われた操作を自動で同期する機能を持つブロックにおいては、同期の精度評価が必要である。

また、作業者によって同期の反映速度が変動、遅延する着脱操作と異なり、安定した高速な同期が期待できることも自動同期の利点である。同期に要する時間も評価項目と

した。

5.1 同期精度

一方のブロックの回転軸に操作を行ったとき、どの程度の回転角度誤差が現れるのか、表 1 にまとめる。なお、各操作の試行回数は 5 回である。

表 1 同期精度

行った操作 (操作所要時間)	各回の誤差(度)					誤差平均(度)
	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	
ゆっくりと 90度回転 (2秒前後)	0	0	0	0	+45	+9
ゆっくりと 180度回転 (2秒前後)	0	-15	0	0	-15	-6
ゆっくりと 360度回転 (4秒前後)	-30	0	0	30	-30	-18
すばやく 90度回転 (1秒未満)	0	-15	-15	0	0	-6
すばやく 180度回転 (1秒未満)	-30	-15	-30	0	0	-15
すばやく 360度回転 (2秒未満)	-45	-60	-45	0	-90	-48

5.2 同期時間

ステッピングモータはパルス入力の間隔が極端に短いと、脱調を引き起こし、入力と実際の回転の同期が失われ、またトルクの低下に繋がる。これを防止するため、プログラム内でステッピングモータに 1 ステップごとの待機時間として 3 ミリ秒を設定している。ステッピングモータとロータリーエンコーダの性能、連動のためにとりつけられた歯車の比率から、ステッピングモータが 720 ステップ動作するとロータリーエンコーダが 1 回転することになる。その際に要する時間は 3 ミリ秒×720 ステップで 2160 ミリ秒である。

動作するのにかかった時間を測定した結果(表 1)を見ると、およそ推定通りの結果になっていることがわかる。なお、短時間の測定では測定者による誤差が大きく現れる恐れがあったため、7200 ステップ(推定 21600 ミリ秒)動作を対象として測定を行い、そこから 720 ステップあたりの動作時間を算出した。

表 2 同期時間

	7200 ステップの動作に 要した時間(秒)	720 ステップあたりに 要した時間(秒)	720 ステップ動作の 推定時間との誤差 (ミリ秒)
1 回目	23. 21	2. 321	+161
2 回目	23. 15	2. 315	+155
3 回目	23. 16	2. 316	+156

5.3 考察

同期精度については、操作量の増加、高速な操作よって

同期精度が低下している。「ゆっくりと 90 度回転」操作の 5 回目の試行で 45 度という大きな誤差が発生しているが、これは、時間をかけて操作を行ったために、ロータリーエンコーダのパルス出力基準点で複数回の出力が行われたものと考えられる。

同期に要する時間については、回転軸 1 回転あたりに要する時間はおよそ 2 秒程度であり、たとえばダイヤルやボリュームなどの回転部を想定するのであれば十分な同期速度であると言える。しかし、車軸のように利用する場合には、脱調やトルク低下に強いステッピングモータを用意するか、減速比の調整が必要となる。

6. まとめ

共有ブロックの表現機能を向上させるため、可動機能を持つ共有ブロックを提案、実装し、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、本機能の共同造形作業における有効性の評価を行っていく予定である。

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同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) K.Yamazaki, A.Yamashita, H. Kuzuoka, S. Oyama, H. Kato, H. Suzuki, H.Miki: Gesture laser and Gesture Laser Car: Development of an Embodied Space to Support Remote Instruction, in Proc. Of ECSCW'99, pp239-258 (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) S. Wesugi, Y. Miwa: Facilitating interconnectedness between body and space for full-bodied presence-Utilization of Video projection "Lazy Susan" communication system, Workshop on Presence (Presence 2004), pp208-215 (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 空間での遠隔協同作業, 情報処理学会論文誌, Vol.48, No.7 pp. 2465-2476 (2007).
- 8) 宮狭和夫, 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) 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組立作業支援システムの実現と評価, 情報処理学会論文誌 Vol.53, No.4 pp.1380-1392 (2012)
- 10) 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)