

# StudI/O:立体への投影を利用したトイブロック組み立て支援

椎尾 一郎 橋本 菜摘\*

**概要.** 安価で小型軽量なプロジェクタのみにより、トイブロックの組み立て支援を行う StudI/O を開発し、有用性を評価した。建物や物体に映像を投影するプロジェクションマッピングでは、立体物の形状を補償した映像を投影することでひずみの無い映像投影を実現している。本方式ではこの手順を逆にし、組み立て位置に部品を置いた場合に正しく見える映像を投影することで、ユーザに部品取り付け位置・方向を提示する。StudI/O では、トイブロックの突起 (stud) の先端部分に円形マーカを投影し、ブロック組み立てを行うユーザとインタラクション (I/O) する。本システムは、突起位置に投影を行うのみで、ブロックや人の位置検出は行わない。投影位置に合わせてユーザが手作業でブロックと組み立て基板を置く事で、実世界と投影情報の位置合わせを行う。シンプルな構成であるにもかかわらず効果的な作業支援が可能な実用性の高いシステムである。

## 1 はじめに

実世界におけるトイブロック（以下 LEGO® ブロックまたはブロック）、機械、家具などの立体構造物の組み立て作業をその場で支援するシステムが多数提案・研究されている [1] [9] [3] [5]。これらの研究では、透過型の頭部装着型ディスプレイ (HMD)、カメラを内蔵し作業空間とコンピュータ情報を表示する携帯端末、作業空間にコンピュータ情報を投影するプロジェクタなどが利用されている。これらのデバイスで表示される内容には、文字や図による手順説明から、実世界に緻密に合成された仮想部品まで様々な手法が提案されている。拡張現実感 (AR) を利用した組み立て作業支援の研究によると、実世界の状況により緻密に合成された提示を行うシステムの方が、より効果的な作業支援を提供できることが示されている [6] [4]。しかし、実世界の状況を反映したリアルな AR を実現するためには、物体や人の正確な位置検出が必要であり、高価、複雑で、設置が困難なシステムとなる問題点がある。近年、安価で小型軽量高性能になったコンピュータプロジェクタを用いて、作業空間に支援情報を投影するシステムも多数提案されているが、これらでは透過型 HMD で実現するような高品位な AR を実現できない。そのため、HMD による支援システムと同等の効果的な作業支援を提供することが不可能である。

実世界にコンピュータ情報を投影する手法は、作業支援に留まらず、各種の情報提示やエンタテインメントに応用されている。実世界の立体的な建物や物体に映像を投影するプロジェクションマッピング技術では、立体物の形状を補償した映像をコンピュータにより作成し、これを投影することで、立体的な

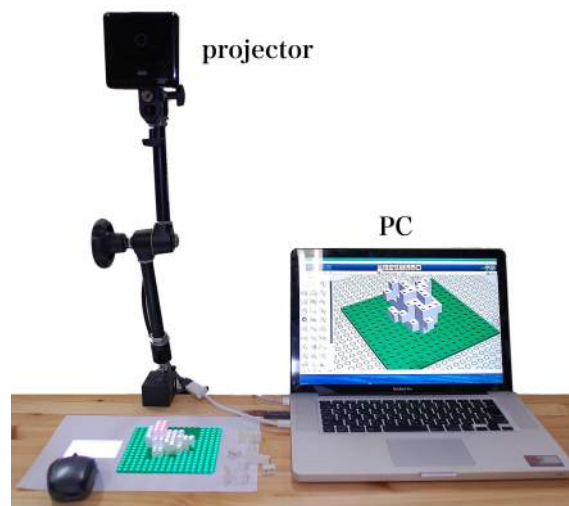


図 1. 本システムの概観。LEGO 設計ソフトで設計した作品の組み立てて順を投影する。

物体の上にひずみの無い映像投影を行っている。本研究はこの手法に着目し、組み立て支援においてこの手順を逆に実施することで、部品の空間内での位置や方向を指示できると考えた。すなわち、ユーザが部品を組み立て位置に置いた場合に正しく見える映像を投影することで、ユーザに部品を取り付け位置・方向を提示する方式を提案する。さらにその有用性を実証するために、安価で小型軽量なプロジェクタのみにより LEGO ブロックの組み立て支援を行う StudI/O を開発し、ユーザによる評価を行った。

## 2 StudI/O

StudI/O は、安価で小型軽量なプロジェクタを使用した LEGO 組み立て支援システムである。プロジェクタは図 1 に示すように、ユーザが LEGO 組み

Copyright is held by the author(s).

\* Itiro Siio, Natsumi Hashimoto, お茶の水女子大学大学院 人間文化創成科学研究科

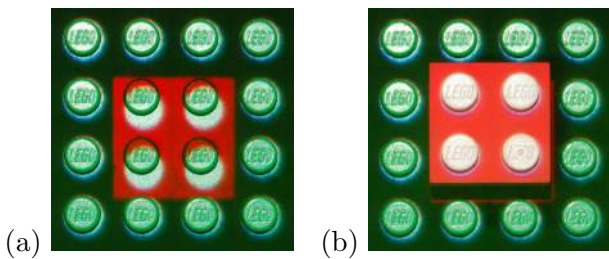


図 2. LEGO 突起への円形マーカー投影. (a) 中央の 4 突起への投影がずれている. (b) ブロックを置くと上面の 4 突起に正しく投影される.

立て作業を行う机上方に、光軸を鉛直方向に合わせて真下に投影するよう設置する。これをコンピュータと接続し、組み立て支援のための情報を表示する。

LEGO 製品は突起のある組み立て基板やブロックの上に、別のブロックを重ねて固定する。そこで、作業エリア上方のプロジェクトから、LEGO 組み立て基板や LEGO ブロックの突起 (stud) の先端部分に円形マーカーを投影し、ブロック組み立てを行うユーザとインタラクション (I/O) することで LEGO 作品の組み立て支援を行う。ブロックへの投影の様子を図 2 に示す。図 2(a) は、ブロックが置かれていない組み立て基板への投影例である。突起の先端の場所に白い円形が多数投影されているが、中央の 4 突起への投影が、基板の突起位置からずれている。これは、この場所に高さのあるブロックが本来あるべきなのに対して、それが無いことを示している。ユーザが中央にブロックを置くと、図 2(b) に示すようにブロック上面の 4 突起に正しく投影される。このように、投影が正しく行われるようにユーザがブロックを追加することで、指示に従った組み立てを進めることができる。

図 2(a) で、本来そこに置かれているべき高さのあるブロックが無い場合に、投影映像がブロック突起位置とずれていたのは、ここがプロジェクトの光軸上から外れた場所だからである。市販されている多くのプロジェクトは光軸が投影面中央を通らず、投影面の下辺もしくは上辺にオフセットした光学系を採用している。このため、投影面中央部分を含む広い領域で、投影場所のずれを利用した高さ指示が可能である。

StudI/O は、LEGO ブロック突起に投影を行うのみで、ブロックや人の位置検出は行わない。ブロックに正しく投影するための設置は、すべてユーザが手作業で行う。ただし、この作業の負担は少ないと考えている。正しい投影を行うためには、プロジェクトの光軸を鉛直方向に合わせて、実物大に投影する高さに設置し、ブロック組み立て基板を正しい位置に置く必要がある。ブロックが置かれていない場合、StudI/O は組み立て基板のすべての突起部分に向け

てマーカーを投影する。これらのマーカーが突起部分に合致するように、プロジェクトと基板を動かすことで設置が完了する。位置合わせのための手がかりが多数表示されるので、比較的容易に行える作業である。後述する実験では一般ユーザに組み立て基板の位置合わせを依頼したが、容易に行えたとの回答を得ている。将来専用のプロジェクト設置台、作業基板設置台などを提供すればこれらの調整を不要にすることも可能と考えている。

StudI/O によるブロック組み立ては、作品の下層から一段ずつ組み上げる作業になる。高さのある大型の作品や、下に支えの無い部分などは、分割して作成することになる。このような作業手順は、従来の印刷物による組み立て説明書でも採用されていて、本システムもこの手順によりほとんどの LEGO 作品を組み立てることができると考えている。また、支えの無い部分の組み立てに関しては、3D プリンタで使われているサポート材のように、足場となるブロックを積み上げ、後にそれを取り外す方法も可能であろう。

一般的に立体物へのプロジェクションする場合、立体物が投影を遮蔽して影になる部分へは情報提示を行うことができない。しかし、StudI/O は下部から 1 層ごとに積み上げる方式を採用しているため、場所指定を行う場所が必ず最上面であり、作業部分への投影が遮蔽されることは無い。一方で、背後に投影すべき情報が遮蔽ブロックに投影されてしまうことで、指示が混乱する可能性がある。そこで本システムでは、ブロックに遮蔽される情報を投影しないようプログラムしている。

### 3 実装

プロジェクションによる 3D 組み立て作業支援の有用性を検証するために、LEGO ブロックの組み立てを支援するシステム StudI/O を実装した。図 1 にシステムの構成を示す。プロジェクトには 854x480 画素、投射距離 20~300cm の小型プロジェクト<sup>1</sup>を使用した。プロジェクトは自在アームを使って作業机上 48.5cm に固定した。このとき机上への投影画面は 30.0cm x 16.8cm になる。投影画面中央には 12.6 cm x 12.6 cm の突起を備えた作業基板を置き、ユーザはこの上に LEGO 作品を組み立てる。

プロジェクトは PC<sup>2</sup> に接続し、この PC 上の Processing 2<sup>3</sup> によりアプリケーションプログラムを開発した。Processing 2 によるアプリケーションは、作業基板と基板の上に組み立てられたブロックの突起先端部分に、突起と同じ大きさの円をプロ

<sup>1</sup> サンワサプライ社 400-PRJ014BK. DLP 方式。光源は LED, 85 ルーメン。

<sup>2</sup> MacBook Pro. OS は Mac OS X 10.9.4.

<sup>3</sup> <http://www.processing.org/>

ジェクタから投影する。鉛直方向に設置したプロジェクトタの光軸上以外の場所では、高さ方向が異なると投影すべき場所が異なる。各突起から光軸までの距離を元に、突起先端に正しく投影するよう位置調整を行っている。

現在のプロジェクトタ位置では、作業基板のプロジェクトタから最も遠い縁に LEGO ブロックを 9 段積み上げると、プロジェクトタ投影範囲外になり投影ができない。中央寄りの部分では、さらに高く積み上げることができるが、プロジェクトタの最短投影距離が 20cm であることから、これ以上プロジェクトタに近づけると焦点が合わない映像になる。この制約は、高さ方向に分割して組み立てる、作業中に作業基板位置を変更する、プロジェクトタの高さを上げるなどの手段で解決できると考えている。また、使用したプロジェクトタは焦点合わせが必要な機種であるため、ブロックの高さによって合焦状態が異なる結果となる。しかし、本方式は突起上を照射する円形マーカを投影しており、文字や細線などの精細な投影を行っていないため、段数が上がり焦点が完全に合わなくなっても、作業に大きな支障は出なかった。将来は、サーボモータなどで焦点リングをコンピュータ制御したり、合焦不要のレーザ走査型プロジェクトタを用いることで、この問題を解決できるであろう。さらには、コンピュータから焦点を調整することで、映像のぼけを利用して、高さ方向を指示する手法も可能になると考えられる。

基板上に組み立てられた LEGO ブロックを表現するデータ形式は、LEGO 設計プログラムのオープンスタンダードである LDraw<sup>4</sup> の形式を使用した。このデータから LEGO 突起部分の座標を得て、そこを照射すべく投影を行う。LEGO 作品を設計したりレンダリングするために様々なオープンソースプログラムが提供されている。LEGO 社も無料の LDD(LEGO Digital Designer)<sup>5</sup> を提供しており、これも広く利用されている。LDraw と LDD ではデータ形式が異なるが、その差は軽微であり変換機能が提供されている。そこで本システムでは、これらの普及しているアプリケーションでデータを作成でき、またすでに流通している LEGO ブロック作成データを使用して LEGO 作品を作成することができる。

本システムを起動すると、ブロック組み立て基板の突起先端を照射する多数の白い円がプロジェクトタから投影される。図 3(a) に示すように、ユーザは、組み立て基板を机の上に置き、投影された円と突起先端が合うように位置を調整する。システムには机上に置かれた基板やブロックの位置を検出する機能は無いが、ユーザが手で動かして位置合わせすることで、正しい位置への投影が可能になる。

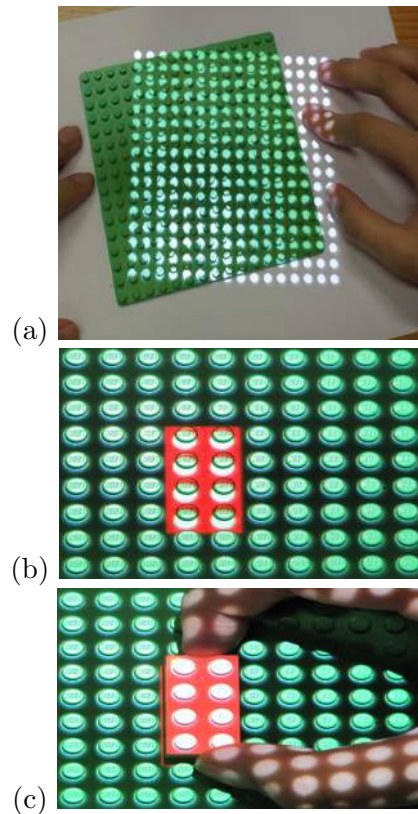


図 3. StudI/O による LEGO 組み立て手順。(a) 基板の位置合わせ、(b) ブロック位置の指示、(c) ブロック設置

次に、ユーザがマウスクリックもしくはキー押下すと、基板に最初に置くブロックの突起先端を照射する円が表示される。この段階ではブロックは置かれていないので、図 3(b) に示すように突起位置からずれた場所に円が表示される。ユーザはこの位置にブロックを置き、図 3(c) に示すように突起先端が正しく照射されることを確認する。ここでマウスクリックすると、次のブロック設置作業に進む。このようにして、再下段のブロックから順次上の段のブロックを組み立てていく。

#### 4 ユーザ実験

StudI/O の有用性を確認するために、従来の紙の説明書と本システムを使って組み立てを行うユーザ実験を実施した。被験者 4 名 (20 歳代女性の情報系学科大学生および大学院生) に、図 4(a)、図 4(b) に示す LEGO 作品の組み立て作業を依頼した。それぞれの LEGO 部品数はどちらも 21 個であり、4 段の高さの意味の無い形状をした同程度の難易度作品である。図 5 に実験の様子を示す。被験者の正面に組み立て基板を置き、その左側に組み立てに必要な LEGO 部品群を箱に入れて置いた。また、A4 用紙サイズに印刷した完成図を用意した。従来の LEGO

<sup>4</sup> <http://www.ldraw.org/>

<sup>5</sup> <http://ldd.lego.com/>

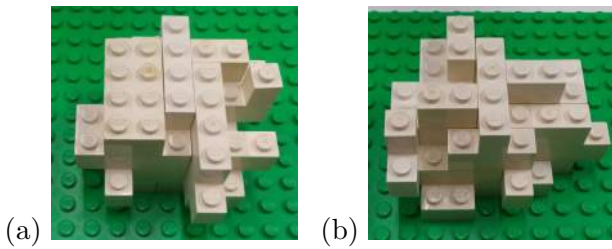


図 4. 作成を依頼した LEGO 作品.

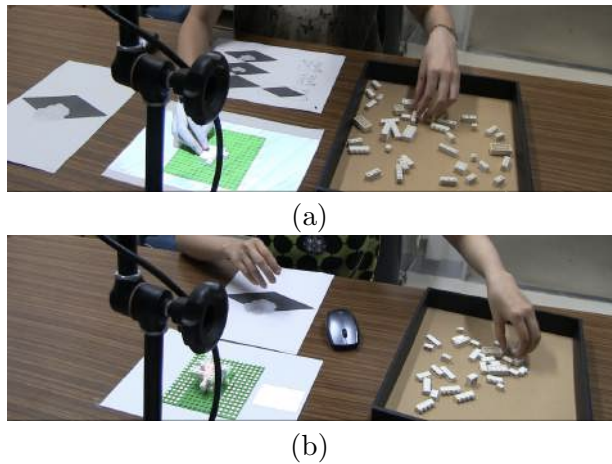


図 5. ユーザ実験の様子. (a) 説明書による組み立て (手前に説明書を置いている) と, (b) 本システム (中央にマウスを置いている).

組み立てキットでは、図 6 に示す紙に印刷された組み立て説明書が使われる。そこで図 5(a) に示す従来方式の組み立て作業では、図 6 と同様の紙の説明書 (全 2 ページ) を提供した。また、図 5(b) に示す本システムによる組み立て作業では、ワイヤレスマウスを被験者に渡し、これをクリックして次のブロック指示に進んでもらった。完成図、紙の説明書、ワイヤレスマウスは、被験者が作業しやすい場所に置いてもらうことにした。多くの被験者 (右利き 3 人, 左利き 1 人) は、説明書のタスクでは説明書を組み立て基板の手前に、本方式の場合はマウスを右

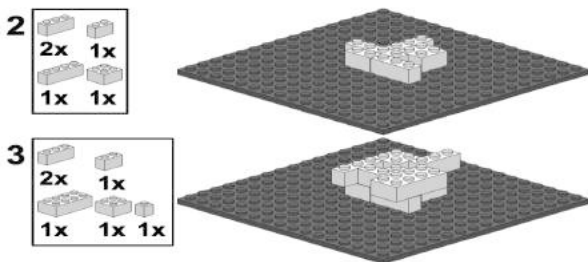


図 6. 印刷した組み立て説明書. 全 5 ステップのうち 2,3 ステップを示す.

表 1. 組み立て作業時間 (秒).

被験者	m:説明書	p:本方式	改善 (%)
pm1	136*	135	0.7
pm2	166	148	10.8
mp1	150	120	20.0
mp2	435	160	63.2
平均	222	141	23.7

\* ブロック取り付け位置に間違い有り.

に置いていた.

被験者は本システムと従来説明書を使ってそれぞれ 1 回, 合計 2 回の組み立て作業を行った. 被験者のうち 2 名は, 先に本システム (projection) を使い, 次に説明書 (manual) を使って組み立てを行った. これらの被験者を pm1, pm2 とする. 残りの被験者 2 名は, 説明書で組み立てた後で, 本システムにより組み立てた. これらの被験者を mp1, mp2 とする. 組み立て依頼した 2 作品の難易度は同等と考えているが, 念のために pm1, mp1 には図 4 の作品を (a)(b) の順に, また pm2, mp2 には (b)(a) の順に組み立ててもらった. また, それぞれの組み立てに先立って, StudI/O と紙の説明書を使って 1 段だけの組み立てを行う 1 分程度の練習を行った.

4 名の被験者が組み立てに要した時間を表 1 に示す. 表では, それぞれの被験者の作業時間 (s) と, 本システムによる改善率 (%) と, これらの平均を示している. 4 名の被験者全員が, 程度の差はあるものの, 本方式においてより短い時間で作業を終了している. 作業の様子を観察していると, どの被験者も 2 回目の作業のほうが, ブロックの取り扱いにおいて, よりスムーズに作業を進めているように感じられた. それでも, 先に本方式を行った pm1, pm2 を含め, 本方式でより短時間に作業を終えている.

pm1 はブロック作業に慣れているのか, どちらのタスクも短時間で終わっている. とくに後半の紙の説明書の作業では, その段で使用するブロック全部をあらかじめ左手に持ち, はめ込み作業をしつつ, 説明書上で次のブロック位置を確認するなど, 紙の説明書の記載を活かした並列作業により, 効率的な組み立てを行っていた. それにも関わらず, pm1 の場合も本方式の方がわずかに短時間で作業終了し, さらに説明書方式の作品では第 2 段において位置ずれが生じ, 説明書と異なる作品となっていた. mp2 はブロックをしっかりとめ込まないで組み立てるなど, ブロック組み立て作業に不慣れな様子が観察された. そのため, 最初に行った説明書による組み立てでは, 組み立てに迷いブロックの位置を再度確認するなどして長時間の作業となった. しかしながら, 次に行った本方式では手を止める事も無く順調に作業を進めたため, 作業時間が劇的に改善されている.

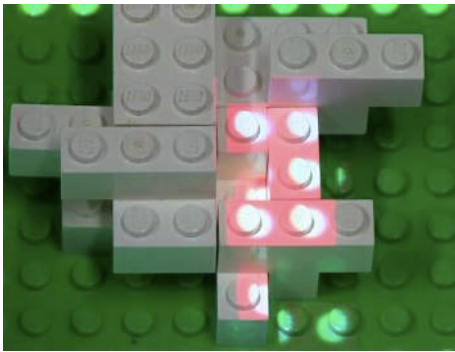


図 7. オーバーハングするブロック投影例

以上から、本方式は組み立てに不慣れな初心者に対して、作業時間短縮の効果が特に高いと考えられる。また、組み立てに慣れたユーザに対しては、初心者ほどの作業時間短縮効果は期待できないものの、組み立て間違い防止効果があり有用であると言える。

実験終了後に被験者にアンケートとインタビューを行った。机上で組立基板の位置を手作業により調整することが容易であったかどうかを、(1:非常にそうである, 2:そうである, 3:どちらとも言えない, 4:そうではない, 5:全くそうではない) の5段階で回答してもらったところ、pm2, mp1, mp2 の3人が1:非常にそうであると回答し、pm1 は2:そうであると回答した。組立基板の位置調整は容易であったと判断できる。本システムによるLEGO組み立ては従来の印刷説明書に比べて容易であったかどうかを、同じく5段階で解答してもらったところ、mp1, mp2 が1:非常にそうであると回答し、pm1, pm2 が2:そうであると回答した。さらに、本システムは従来方式より作業の負担が少ないかどうかを、同じく5段階で回答してもらったところ、pm2, mp1, mp2 の3人が1:非常にそうであると回答し、pm1 は2:そうであると回答した。これにより、本システムは使いやすく負担の少ないシステムになっていたと考えられる。

本システムについて自由記述で質問したところ、1段目の組み立てが上段と比べてより分かりやすかったという回答を得た。特に、上段でブロックの一部がオーバーハングする場面では、配置する場所を理解するに戸惑ったという意見が複数得られた。オーバーハングする部分に対しては図7のように投影場所のずれが大きくなり、深い部分へ投影され、見難くなったのが原因である。今後は、オーバーハングであることの表示を何らかの方法で追加することで、状況把握が容易になるよう対応したい。

また、紙の説明書が1段ごとに組み立ての指示をまとめて行っているのに対し、本システムではブロックを1個ずつ組み立てるよう逐次的に指示していくため、機械的で単調な作業に陥りやすく、組み立て

ることの楽しさを感じられないという意見もあった。今回、実験にもちいた作品が意味のない形状をしていたことも、単調作業と感じられた原因であろう。しかしブロック組み立てには、作品を組み立てる楽しみの他に、どこに配置するのか考えながら作業するパズル的な楽しみがあるのも事実である。今後は、紙の説明書のように1段ずつ組み立てるよう指示する方法も実装し、現在の逐次的な指示方式と比較したい。1段ずつまとめて指示するモードも用意すれば、前述した熟練者のように、その段で必要なブロック全部をあらかじめ選んで手に持ち、位置探索と固定作業を並行してすすめる効率的な作業も可能になるであろう。

## 5 関連研究

実世界での作業をARにより支援する研究が古くから多数行われている。たとえばFeinerらは、レーザプリンタの保守作業をするユーザの視野内に、装着した透過型HMDを用いてプリンタの内部機構を表示するシステム[1]を開発した。組み立て作業を支援するARに関しては、Zaunerらによる家具組み立て作業支援システム[9]、Nilssonらによる医療部品の組み立て[3]、Salonenらによる3Dパズル組み立て[5]などの研究があり、ARにより非常に効果的な作業支援が実現できることが示されている。

本研究と同様に、LEGO組み立て作業に着目した研究も多い。たとえばTangらはARによるLEGO組み立て作業支援効果を評価し、ARシステムにおいてdependent error(先の手順でのエラーによって引き起こされるエラー)が減少することを示した[6]。またRobertsonらは、HMDを装着したLEGO組み立て作業において、仮想LEGOブロックを組み立て基板に正確に重ね合わせて表示したAR(fully registered AR)は、簡易的なARに比べてより短い時間で組み立て作業を行えることを示した[4]。このように、実世界の位置を反映した現実感の高いARを導入することで、より効果的な組み立て作業支援が可能になることが示されている。DuploTrack[2]は深度カメラKinect<sup>®</sup>を用いて大型のDUPLO<sup>®</sup>ブロックの組み立てを支援したり、記録するシステムである。Kinectの分解能の制約などにより、使用対象が固定サイズの大規模ブロックに限定されているものの、ユーザが自由にテーブルに置き、手にしたDuploブロックを検出し、前面に置いたディスプレイにCG画像を表示して組み立て支援を行う。本方式は、位置合わせと正しいブロック操作の確認をユーザに任せることで、高精度な位置検出を必要とするARシステムに比べて装置が簡便で低コストで実現している。また透過型HMDを使用するシステムでは、その装着することを煩わしく感じるユーザも多い。これに対して、プロジェクターにより実世界のLEGOブロックに作業手順を投影する本シス

テムは、機器装着の負担が少なく実用的なシステムとなっている。

一方、プロジェクターにより実世界に情報を投影して作業支援を行うシステムも多数提案されている。FabNavi[7]では、作業スペースの上にプロジェクタとカメラを置き、あらかじめ記録した組み立て手順を投影する。使用する部品を実物大で投影することで、実物と照らし合わせながら組み立てを行うことが出来る。ClayMore[8]は、粘土による造形行為を支援するシステムである。深度カメラとプロジェクタを組み合わせて、手本となる粘土作品と比べて差異のある部分をプロジェクションによる光で知らせる。また、東城ら[10]は、物体への投影像の歪みを利用して遠隔作業支援を実現している。これらのシステムは、本システムと同様にHMDを装着することなく利用できる特徴がある。一方で、現実感の高いARの手法と比較すると、精密な位置指定、とくに立体的な位置指定が十分に実施されていない、もしくは精度が低い問題点がある。このため、立体的な組み立てを行う必要のあるLEGO組み立てでは、十分な効果や精度を期待できない。プロジェクションを利用して作業支援を行う従来研究と比較した本システムの特徴は、部品の特徴的な部分(ここでは突起)への投影を利用した点である。これにより、組み立て設計図と実体の差を感度良く検出し、ユーザに伝えることが可能になり、立体的なLEGO組み立て作業を、簡便な構成にもかかわらず効果的にかつ精度良く支援する。

## 6 まとめ

プロジェクションを利用した3D組み立て作業支援手法を提案し、レゴの突起部分にマーカを投影することでレゴ組み立て支援を行うシステムStudI/Oを実装した。その有用性をユーザ実験により評価し、従来の紙の説明書に比べて正確で負担の少ない作業が可能であり、作業時間が20%以上短縮されることを確認した。今後は、ユーザ評価で得られた意見などを参考に、使い勝手を改良して行きたい。

今回の評価実験では、白色ブロックのみを使用した。色の濃いブロック、例えば黒色ブロックでも視認性が低下するものの、投影情報を確認することは可能であった。今後は対象ブロックの周囲への情報表示を導入して、黒色ブロック、オーバーハング部分などの視認性を改善し、よりわかりやすい組み立て指示を実現したい。また、本方式はLEGO組み立て以外にも、規格化された突起、ボルト、取り付け穴、磁石、ジョイントなどが多数使用されるブロック部品の組み立てに応用できると考えている。このような部品による機器や家具の組み立てなどの実用的な応用についても検討していきたい。

## 参考文献

- [1] S. Feiner, B. Macintyre, and D. Seligmann. Knowledge-based Augmented Reality. *Commun. ACM*, 36(7):53–62, July 1993.
- [2] A. Gupta, D. Fox, B. Curless, and M. Cohen. DuploTrack: A Real-time System for Authoring and Guiding Duplo Block Assembly. In *Proceedings of the 25th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '12, pp. 389–402, New York, NY, USA, 2012. ACM.
- [3] S. Nilsson and B. Johansson. Fun and Usable: Augmented Reality Instructions in a Hospital Setting. In *Proceedings of the 19th Australasian Conference on Computer-Human Interaction: Entertaining User Interfaces*, OZCHI '07, pp. 123–130, New York, NY, USA, 2007. ACM.
- [4] C. M. Robertson, B. MacIntyre, and B. N. Walker. An Evaluation of Graphical Context when the Graphics Are Outside of the Task Area. In *Proceedings of the 7th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, ISMAR '08, pp. 73–76, Washington, DC, USA, 2008. IEEE Computer Society.
- [5] T. Salonen and J. Sääsäski. Dynamic and Visual Assembly Instruction for Configurable Products Using Augmented Reality Techniques Advanced Design and Manufacture to Gain a Competitive Edge. In X.-T. Yan, C. Jiang, and B. Eynard eds., *Advanced Design and Manufacture to Gain a Competitive Edge*, chapter 3, pp. 23–32. Springer London, London, 2008.
- [6] A. Tang, C. Owen, F. Biocca, and W. Mou. Comparative Effectiveness of Augmented Reality in Object Assembly. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '03, pp. 73–80, New York, NY, USA, 2003. ACM.
- [7] K. Tsukada, K. Watanabe, D. Akatsuka, and M. Oki. FabNavi: Support system to assemble physical objects using visual instructions. In *10th Fab Lab annual meeting*. Barcelona, Spain.
- [8] 若園 祐作, 暦本 純一. ClayMore: 粘土を用いた造形の支援. 情報処理学会シンポジウムシリーズ, インタラクション論文集, 第 2013 巻, pp. 147–152, Feb. 2013.
- [9] J. Zauner, M. Haller, A. Brandl, and W. Hartmann. Authoring of a Mixed Reality Assembly Instructor for Hierarchical Structures. In *Proceedings of the 2Nd IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, ISMAR '03, pp. 237–, Washington, DC, USA, 2003. IEEE Computer Society.
- [10] 東城 賢司, 目浦 慎作, 井口 征士. プロジェクタを用いた3次元遠隔指示インタフェースの構築. VR 学会論文誌, 7(2):169–176, 2002.