

3D プリンターを用いた知育玩具作成支援システム「といぷり」

諸戸 貴志^{1,a)} 小島 章裕¹ 大橋 省吾¹ 濱川 礼¹

概要：本論文では、3D プリンターを用いた知育玩具作成支援システム「といぷり」について述べる。

レゴブロックに代表される知育ブロック玩具は、汎用性が高いことから広く家庭内で用いられている。しかし、ブロックのサイズや形状が限られており再現度を高めるには数多くのブロックが必要となる。また、作成物の規模に応じて数を追加しなければならない。そこで我々は、近年低価格化が進み、急速に普及し始めている 3D プリンターを利用することで、それらの問題を解決する手法を提案し、それを実現するためのシステム「といぷり」を開発した。また、システムの有効性に関する評価を行った。「といぷり」では、使用者が任意に指定した物体の 3D モデルデータを入力する。入力された 3D モデルのボクセル化を行いボクセルデータの算出をする。算出されたボクセルデータから 3D モデルを構成するブロックを算出する識別処理を行う。「といぷり」で使用するブロックには、我々が独自に設計したオリジナルブロックを用いている。識別処理後に 3D プリンターで印刷する際に必要となるファイルを出力する。出力されたファイルを 3D プリンターで印刷することで知育玩具として利用する。

1. はじめに

レゴブロックに代表される、ブロック同士を組み合わせる立体形状を形成して遊ぶブロック玩具がある。ブロック玩具では、遊ぶ過程で空間知覚能力や視覚的弁別力を育ませることが出来るため知育玩具としても有効である。しかし、知育ブロック玩具では、サイズや形状が限られており再現度を高めるには数多くのブロックが必要となる、さらに作成物の規模に応じて数を追加しなければならない等の問題がある。

そこで我々は、低価格化が進み専門家ではなくても手に入られるようになった 3D プリンターを利用することで知育ブロック玩具の問題点であるブロックのサイズや形状の限定性を解決が出来ると考え、それを実現するためのシステム「といぷり」を開発した。また、システムの有効性に関する評価を行った。「といぷり」では、3D モデルが用意出来る対象であれば好きなものを再現出来るため子供の嗜好の変化に対応することが可能である。

2. 研究目的と背景

本研究には二つの着眼点がある。一つ目はレゴブロックに代表される、ブロック同士を組み合わせる立体形状を形成して遊ぶブロック玩具の存在である。ブロック玩具は、遊ぶ過程で空間知覚能力や視覚的弁別力を育ませることが出来るため知育玩具としても有効である。平成 26 年 2 月 20 日に三

重県教育委員会が「レゴ」の日本法人と、小中高の児童生徒向けの教材用ブロックを活用した英語教育で連携する協定を結んだことから国内での知育玩具としての有効性に注目が集まった[1]。一方で、知育ブロック玩具では、サイズや形状が限られており再現度を高めるには数多くのブロックが必要となる、さらに作成物の規模に応じて数を追加しなければならないといった問題がある[2]。

二つ目は 3D プリンターの一般化の進行である。3D プリンターの国内の市場規模は 2020 年に 190 億円まで達することが予想される[3]から分かるように今後の急速的に普及が期待できる。また、低価格化が進み専門家ではなくても手に入られるようになったことや自由度の高い立体物の作成が可能であることから 3D プリンターを利用した[4]のような研究が多く行われるようになった。

そこで我々は、知育ブロック玩具の問題点であるブロックのサイズや形状の限定性を 3D プリンターで解決が出来ると考えた。本論では、その手法を実現するためのシステム「といぷり」を開発した。「といぷり」の利用者は、知育玩具を利用する子供及び保護者あるいは教育者とする。

3. 関連研究

組み立て補助を用いるという点との関連として「作りやすさを考慮したブロック玩具作品組立手順の自動生成に関する研究」[5]を取り上げる。

[5]は、入力として与えられた 3D モデルデータをレゴブロックで再現出来るよう、設計図、組み立て手順を作成するシス

1 中京大学情報理工学部情報システム工学科
a) h1111113@st.chukyou-u.ac.jp

テムであり、「といぷり」と共通する部分に作成補助のための組み立て図があげられる．[5]の研究で用いられている組み立て図がブロックの構造を見易い角度から階層ごとに分割した投影図であるのに対して，我々は「といぷり」で，ボクセルデータの識別結果を基に書き起こされた組み立て図を用いている．この組み立て図は上面から見下ろした視点で作成されており，通常の投影では表示できない内部ブロックやブロックの背後に隠れてしまうブロックを表示できる点で補助能力に優れる．[6]の研究は3D プリンターを利用した印刷高速化を目的としたシステムである．[6]のシステムではモデルデータを解析しレゴブロックで代用できる箇所を算出して置き換える．この時レゴブロックで代用できない部分については3D プリンターで印刷を行い組み立てて利用する．一方「といぷり」では，オリジナルブロックを用いて少ないブロック数での再現を目的としている．

4. 使用ブロックについて

「といぷり」で使用するオリジナルブロックは，独自に設計した物を用いる．内訳は，造形を構築する為に用いるブロック8種類，立方体型・四角錐型・台柱型・三角州型・円錐型・半球型・円柱型・縁取り型とこれらのブロックを連結させる為に用いる1種類の連結用ブロックである．図1で示したようにオリジナルブロックは，結合用の凹を設置した基本形というシンプルな構造で構成されている．

採用した形状については[7]で使用されている3次元プリミティブの図形を基に選出した．

プリミティブな基本形はシンプルな形であるため，レゴブロックのような細かな突起や凹凸を作成する際に必要とする精巧な動作を3D プリンターに要求せず3D プリンターでの印刷が容易になり印刷に失敗する確率を減少させられる．加えて，印刷時間の短縮にも繋がる利点もある．

ブロック同士の結合方法には連結用ブロックを使用する方法を利用した．図1で示すように連結したいブロック同士の結合部に連結用ブロックを挿入する．オリジナルブロックの結合部は連結用ブロックの半径分の深さであるため，ブロック同士が連結用ブロックを半身ずつ共有し連結する．



図1 「といぷり」で使用するオリジナルブロック

5. システム概要

「といぷり」の全体の流れを図2に示す．「といぷり」では，まず使用者は任意に指定した物体の3Dモデルのobj形式のファイルを入力する．次に「といぷり」は，入力された3Dモデルのボクセル化を行い，ボクセルデータを算出する．ボクセル化には外部ライブラリとして[8]を用いている．算出されたボクセルデータと形状がほぼ等しいオリジナルブロックの組み合わせを算出する．処理速度と精度向上のため，オリジナルブロックをグループに分けた大識別と個々のブロックへの小識別の2回行う．2回の識別処理後に3種類のファイルを出力する．1つ目は，3Dモデルを構成するブロックとして算出されたオリジナルブロックモデルのデータ，2つ目は，3Dプリンターで印刷したオリジナルブロックを組み立てる際に補助として利用する組み立て図，3つ目は，3Dプリンターで印刷するブロックの種類と個数が記載された印刷個数一覧である．組み立て図を出力する処理に外部ライブラリとして[9]を用いた．「といぷり」により出力されたオリジナルブロックのファイルを3Dプリンターで印刷して知育玩具として利用する．

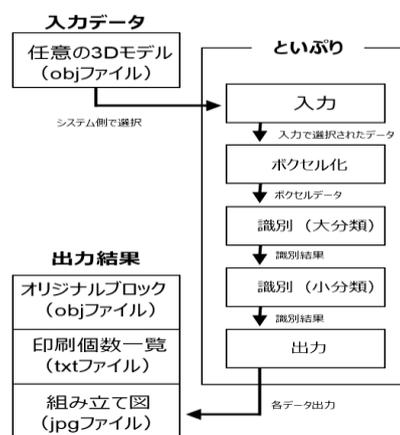


図2. 「といぷり」の処理の流れ

5.1 ボクセル化

使用者が任意に指定した 3D モデルデータを入力する。入力した 3D モデルのボクセルデータを算出するためにボクセル化を行う。ボクセルとは、3 次元空間での正規格子単位の値を表す。今回使用したボクセル化には、デプスバッファを取得して行う方法やデプスピーリングを使用する方法[10] に比べ GPU や高性能のリソースを必要としないクリッピングを用いた方法を用いている [11]。

5.2 識別処理

識別処理では、3Dモデルの構成を対応するオリジナルブロックに置き換える。

「といぶり」では、オリジナルブロックのボクセルデータを形状パターン毎に4種類のグループに分けたデータベースを作った (図3)。

大分類では、5.1の結果から抽出した識別対象 (図4では例として5×5×5) とオリジナルブロックの中心部分をx,y,z方向で切り出した配列を用い、図3のグループ毎に比較し識別対象と近似するグループを算出する。次に小分類では、大分類の結果から選ばれたグループに含まれるブロックと識別対象をxy平面毎に比較し、識別対象と近似するブロックを算出する。

識別処理例として、まず図4のように中心部分を切り出した識別対象と、図3の4種類のグループそれぞれを比較する大分類を行う。本例では、「グループB」の方が一致率が高いため、「グループB」が算出される。その後、識別対象と「グループB」に含まれるそれぞれのブロック全体をxy平面毎に比較し一致率の高いものを算出する小分類を行う。この時、一致率の高い「グループBの四角錐」が算出される。

グループ分類表	
グループA	立方体、縁取り、円柱
グループB	四角錐、円錐
グループC	三角州
グループD	半円、台柱

図3. ブロックのグループ分類

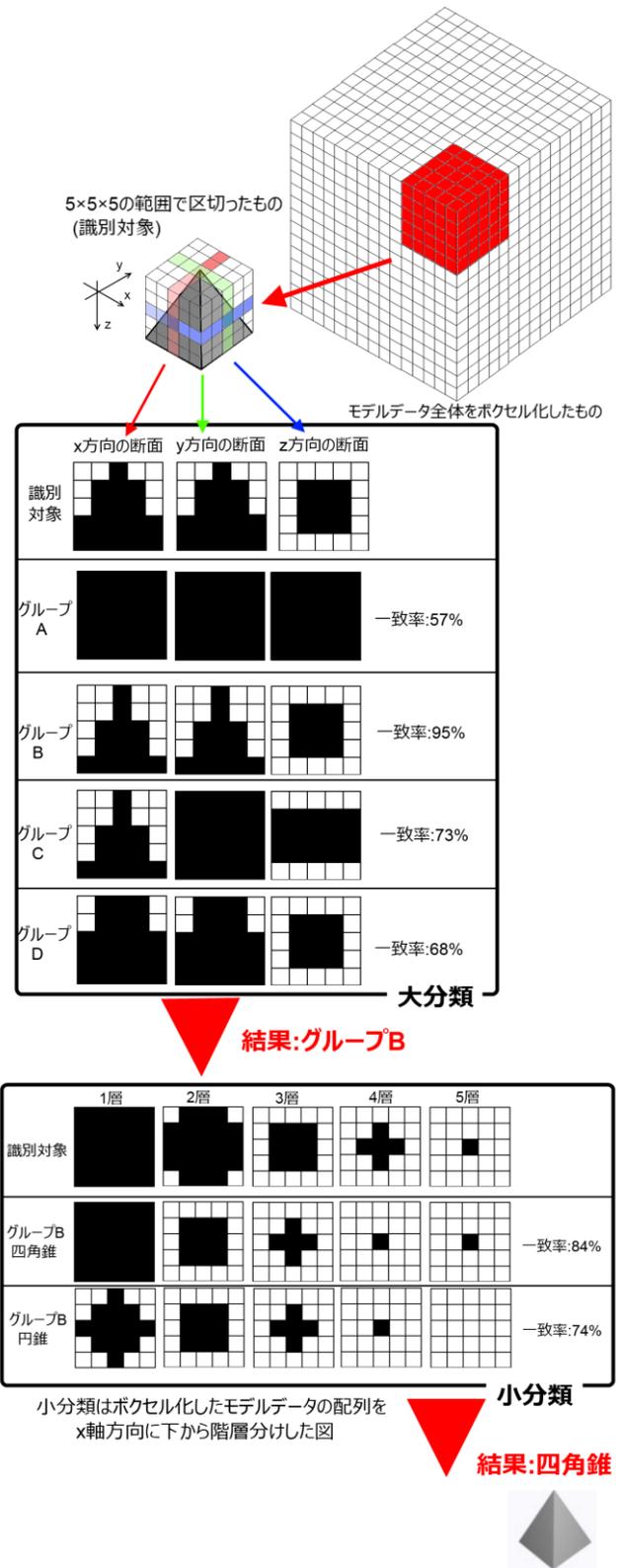


図4. 識別処理の流れ図

5.3 組み立て図

6.2の結果を基に図5で示したような組み立て図を作成する。組み立て図では、種類によって色分けされたブロックを一層毎に表示し組み立てる際の形状と連結するブロックを

確認することが出来る。また、組み立て図を印刷して利用することを考慮して画像形式での外部出力を行った。組み立て図を利用することで正確な形状を容易に再現が可能である。

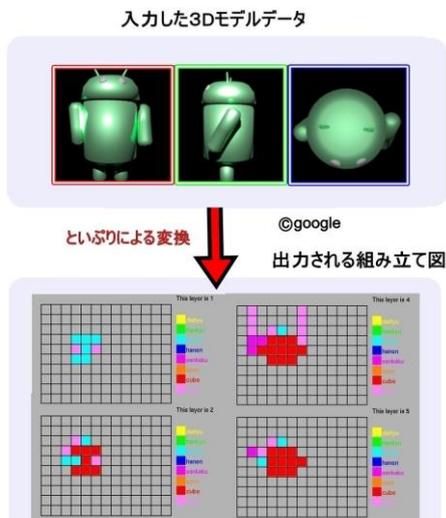


図 5. 組み立て図出力の一例

5.4 出力

6.2の結果から、モデル形成に必要とされるオリジナルブロックを obj 形式のファイルとして出力する。また、3Dモデルを形成するブロックの種類と数をテキストファイルに印刷個数一覧として出力する。識別後に出力された obj ファイルを元に 3D プリンターで印刷を行う。その際に印刷すべき個数や種類は、識別後に出力された印刷個数一覧を参照することで把握が可能である。印刷されたオリジナルブロックは、組み立てて遊ぶ知育ブロック玩具として利用する。組み立て図を参照することで容易に組み立てることが可能である。

6. 評価

3D プリンターで作成したブロック玩具の玩具としての有効性と知育玩具の作成を支援しているシステムとしての有効性を確認するため 2 種類の評価を行った。

「といぷり」では対象年齢を 5 歳前後と設定しているため、3D プリンターで印刷したオリジナルブロックは、それを考慮した上で一辺 27mm の立方体が最大サイズになるよう調整した。また、本研究との比較評価に[12]を用いた。3D プリンターには、PLA 樹脂を用いた積層式造形法による印刷を行う[13]を使用した。[13]で用いられている PLA 樹脂は、柔軟性にかけるためブロック同士の結合に結合用ブロックを用いた方式を利用することの安定性が低く、結合にはマジックテープによる代案を利用した。

レゴブロックは、全 5 種類の形状のブロックを計 51 個用意した。オリジナルブロックは、全 8 種類計 60 個を印刷し用意した。印刷には、1 個あたり平均 36 分要した。

6.1 「といぷり」の玩具としての有効性に関する評価

「といぷり」で作成した知育玩具の利用対象者としている子供に実際に遊んでもらい知育玩具として利用可能であるかを調査することを評価の目的とする。

評価方法は、5 歳児 1 人に遊べるかどうかという点でレゴブロックとの比較を行い楽しいかどうか実際に遊んでもらった感想を評価者に聞き取る形式をとった。評価項目としては、玩具として利用可能かという点に関して楽しいかどうかの聞き取り調査し、感想と共に記録した。実際に評価している様子を写真 1 に示す。また、病児保育室での調査を行ったため、調査に協力して頂いた保育士の視点からの意見を補足する。結果は、以下の通りである。

家や塔のようなものを作るなど、組み合わせで様々なものを制作していた点から、玩具としては問題なく遊べていると思われる。また、評価中にレゴブロックとオリジナルブロックを両方を組み合わせる遊び方をしていた。評価者からは、色々作られて面白いという感想を頂いた。

保育士の視点からの意見として、形の種類が色々あるので、組み合わせを楽しむ年長(5,6 才児)に向いていると頂いたため「といぷり」は、使用者の想定年齢設定は適当であると言える。



写真 1 評価中の様子

6.2 システムとしての有効性に関する評価

システムの有効性を調査することを目的とした評価を学内で行った。

対象となる項目は、再現度に対する満足度および再現に用いられたブロックの数の確認。再現するモデルは、図 6 に示

した。評価方法としては、3Dモデルの画像(図6)を見ながら組み立てによる再現をレゴブロックとオリジナルブロックそれぞれで行うこと、組み立て図(図7)を見ながらオリジナルブロックによる再現、の計3種類の評価を27人に行った。評価項目としては、組み立てられた作品の再現度に対する満足度を最低点の1から最高点の5までの5段階の評価で行い、3種類の評価をそれぞれ比較した。また、ブロック数に関しても同様にそれぞれカウントして比較を行った。

結果は以下の通りである。

評価の際に組み立てられた物を図8に示す。

再現度に対する評価をまとめた図9を見て分かるように3種類の評価ともに4や5の高評価が大半占め。平均点も4.7と高い数値であることが分かった。また、3Dモデルを見てブロックを組み立てる評価では1や2といった低評価の人数が全体の15%であり、組み立て図ありと比較して多いことが分かった。

組み立てに使用したブロック数の平均は、レゴブロックを使用した場合には13.9個、オリジナルブロックを使用し組み立て図なしで組み立てた場合は、15.6個になり、組み立て図を利用した場合のブロック数14個と僅差であることが分かる。また、図10を見て分かるように、レゴブロックの最低数は6個で最高数は27個、オリジナルブロックでは最低数は10個、最高数は22個となり、レゴブロックの方がオリジナルブロックに比べ使用数の幅が大きいことが分かった。

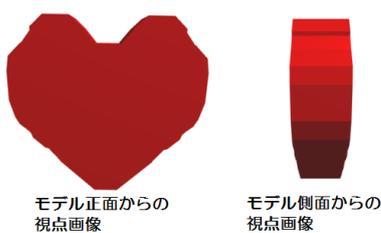


図6. 評価に使用したハート型の3Dモデル

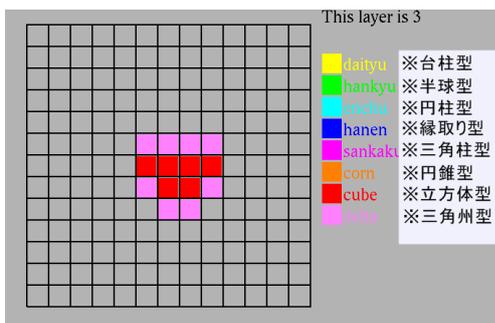
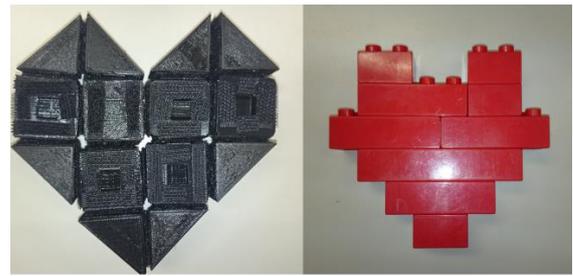


図7. ハートモデルの組み立て図



組み立て図を参照しながらオリジナルブロックで組み立てた物
 図12を参照しながらレゴブロックで組み立てた物の一例

図8 評価の際に組み立てられた物

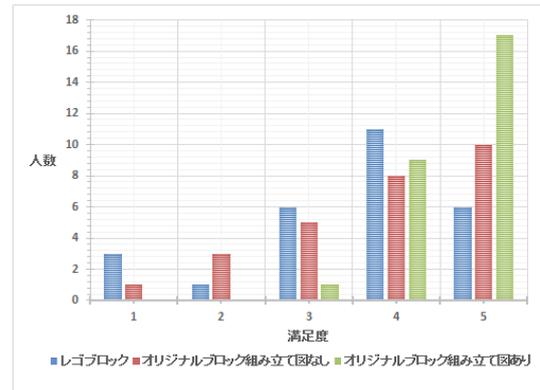


図9. 再現度に対する満足度

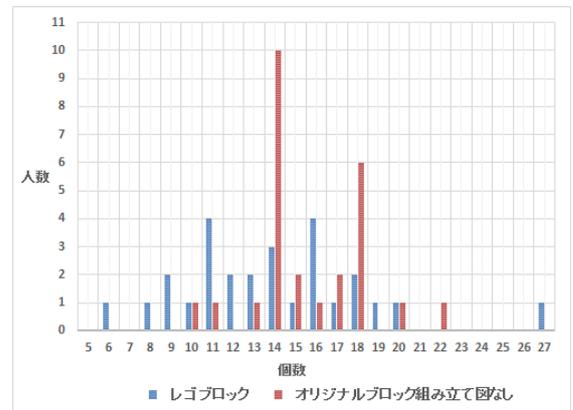


図10. 個数分布図

7. 考察

評価者から頂いた感想として、組み立て図に対しての以下の様な好意的な意見が多く見られた。

- ・組み立て図あった方が思っていたものが作れている。
- ・自分ではうまくできなかったが、組み立て図を使用したら、簡単に使えた。

これは組み立て図を利用しながら組み立てた物に対する再現性の満足度と併せて考察すると、作成補助としての組み立て図の影響が顕著に見られる。レゴでは作りたい形状に対して組み立て図が存在する場合もあるが、使用者自身が作成したいと考えた形状に対して組み立て図が存在する事は少な

い、「といぷり」では3Dモデルから自動作成するため、常に組み立て図を用意可能で、組み立て図に対する有用性を最大限に活かすことができる。

しかし、組み立て図に対して見にくかった・わかりにくかった、という意見も寄せられた。今回の組み立て図ではブロックの種類と完成形状しか判別出来ないため、ブロックの方向に対する判断が困難であった。組み立て図の有用性を損ねないためにも、組み立て図のデザインの見直しは改善点としてあげられる。

次にブロックに関しての好意的な意見として、三角州型ブロックの存在をあげた以下の様な意見が寄せられた。

- ・三角州型ブロックがとても便利だと思った。
- ・三角州型ブロックがあったので組み立て方が考えやすかった。

今回の評価では、ハートのモデルの構成に三角州型ブロックが再現性の高さから利用された。

オリジナルブロックの利点として、特異な形状のブロックを作成物にあわせて用意する事が可能である点があげられる。レゴでは、基本的なブロックは角が立った四角形であるため、丸みのある輪郭の再現に多くのブロックを使用しないといけないが、「といぷり」では、少数のブロック構成での輪郭の再現が可能である。

一方で、現状のオリジナルブロックの種類が少ないのではないかという意見も多く、汎用的であるブロックの更なる追加が今後の課題である。

8. 展望

評価者から頂いた意見としてレゴブロックはブロックがカラフルだから楽しいというものがあったことや、研究を進めていく中で知育には玩具の色による影響もあることが分かったため今後は、3Dモデルの配色を再現できるよう対応する。

また、再現度に関して満足いく結果にならなかったため、ブロックの種類を増やすことにより再現率を向上させる方法とシステム内の識別処理方法を工夫する方法の両面で改善を行いたいと考えている。

参考文献

[1]三重の教育 三重県教育委員会
<http://www.pref.mie.lg.jp/KYOIKU/HP/>

[2]Acrographia---哲学的企てとその波紋 ブロック遊びの哲学 2005年 <http://www.acrographia.net/>

[3]日経コンピュータ 2014年1月23日号

[4]廣瀬真輝 他

「スフェリコンをベースとした等高重心立体の形状デザインシステム」情報処理学会第73回全国大会講演論文集 2011

[5]小野 純明 他「作りやすさを考慮したブロック玩具作品組立手順の自動生成に関する研究」映像情報メディア学会技術報告 36(16), 2012

[6]Stefanie Mueller 他 「aBrickation: Fast 3D Printing of Functional Objects by Integrating Construction Kit Building Blocks」CHI 2014,

[7]佐賀聡人, 安福 尚文「空間描画動作同定に基づく3次元図形プリミティブ入力CADインターフェースの提案」室蘭工業大学紀要 48, 1998

[8]OpenGL 4.4 <http://www.opengl.org/>

[9]OpenCV 2.4.7 <http://opencv.jp/>

[10]原田隆宏, 越塚誠一「グラフィックスハードウェアを用いた高速なソリッドボクセルライゼーション」日本計算工学会論文集, No. 20060023, 2006

[11]和歌山大学床井研究室
<http://marina.sys.wakayama-u.ac.jp/~tokoi/>

[12]レゴ デュプロブロック
<http://www.lego.com/ja-jp/duplo>

[13]Makerbot_Replicator2
<http://store.makerbot.com/replicator2>