

## LEGO ブロック組み立て支援システムの開発

廣原 佑樹 山下 主税 西尾 孝治

大阪工業大学

## 1. はじめに

近年、アートの分野で LEGO ブロックが広く用いられている。LEGO ブロックは、安価であり、構造がシンプルで誰でも簡単に扱うことができる。また、作り方次第では、大きな作品や芸術的作品を作り出すことができる。本来は、付属の説明書に従って組み立てることで立体物を構築するため、組み立て方を考える必要はない。一方で、説明書がない立体物を組み立てる場合、自分で組み立て方を考える必要があり、初心者には組み立てることが難しい。

そこで本研究では、組み立てやすさを考慮した LEGO 作成支援システムの開発を行う。パーツ分割、組み立てやすさを考慮した手順の決定を行うことによりナビゲーション手順の提案を行う。

## 2. LEGO 組み立てシステム

本システムでは、入力した 3 次元形状を LEGO ブロックに近いと考えられるボクセルモデルへ変換し、その後 LEGO ブロックの集合である LEGO 構造へと変換する。次に LEGO 構造により決定された手順通りに LEGO ブロックを表示することによってナビゲーションを行う。なお、本稿で使用する LEGO ブロックは、基本ブロックである  $1 \times 1$ ,  $1 \times 2$ ,  $1 \times 3$ ,  $1 \times 4$ ,  $2 \times 2$ ,  $2 \times 3$ ,  $2 \times 4$  の 7 種類とする。また、 $1 \times 1$  の LEGO ブロックはボクセル 1 個と対応付けるものとする。

## 2.1 LEGO 構造への変換

本システムでは、3 次元形状をボクセルモデルに変換を行う。次に LEGO ブロックの割り当てを行い、LEGO 構造に変換する。以降でそれぞれの処理について説明する。

## 2.2 ボクセルモデルへの変換

ボクセル空間で 3 次元形状を構成する面と交差している部分を境界ボクセルとして抽出する。境界ボクセルを抽出することで形状の内部に空洞を作り、LEGO 構造へ変換した際に使用する LEGO ブロックの数を減らすことができる。ただし、このままでは上下の部分に 1 列しかボクセルが配置されていない部分がある。この部分は、LEGO ブロックを割り当てた場合、ブロック同士

が噛み合わず崩れてしまう。そこで、本システムでは、解像度に応じて内部にボクセルを追加することによって補強を行い、組み立てたときの強度を高める。

## 2.3 LEGO ブロックの割り当て

ボクセルモデルに LEGO ブロックを小さいものから順に割り当てることで LEGO 構造へと変換を行う。この処理は、ボクセル 1 個の高さ毎に輪切りにした 2 次元平面毎に行う。このとき、同じ形のボクセルが複数段続いている場合、すべての段で同じ処理をしてしまうと LEGO ブロック同士が噛み合なくなりモデルが崩れてしまう。そこで、処理の方向を 2 列ごとに反転させ、さらに下から交互に偶数段と奇数段で処理の方向を変更することによってモデルが崩れるのを防ぐ。

## 3. ナビゲーション手順

本システムは、最下段から順番に 1 個ずつブロックを提示することによってナビゲーションを行う。そのため、ナビゲーションの途中で、他のブロックと繋がりを持たないブロック（以降浮遊ブロックとする）を提示する可能性がある。また、ふたをして閉じるような場所では、1 個ずつブロックを配置していくと内部に手が入らなくなり、ブロック同士を噛み合わせることが難しくなる。そこで、ふたを検出し、本体とは別で組み立てた後、本体へ繋ぐことで組み立てを容易にする。さらに、四足歩行動物のようなモデルを組み立てる場合、4 本の足を同時に組み立てる必要がある。そこで、パーツごとに分割を行い、パーツ単位で組み立てを行う。

## 3.1 浮遊ブロックの検出

浮遊ブロックは、下段とは繋がりを持たず、上段のブロックとのみ繋がりを持っているブロックを指す。そこで、各ブロックの 1 段下を調べる。このとき、その領域にブロックが存在しない場合、このブロックを浮遊ブロックとして検出する。

## 3.2 ふたの検出

図 1 の斜線部のような部分にブロックを配置する際、1 個ずつブロックを配置すると、組み立ての途中で内部に手を入れることができず下から支えることができないため、上段のブロックの組み立てが困難になると考えられる。そこで、本システムでは、 $3 \times 3$  の領域すべてにボクセルが存在し、その 1 段下の領域すべてにボクセルが存在しない場合、その段以上の領域を同図の斜線部で示すようにふたとして検出する。

“Development of a Support System for LEGO block Assembly”

Yuki Hirohara, Chikara Yamashita and Koji Nishio

Osaka Institute of Technology

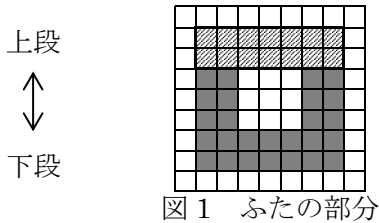


図1 ふたの部分

### 3.3 パーツ分割

パーツ分割の前処理として、ラベリングを行う。この処理では、ボクセルモデルに対して、下段から順に2次元平面毎に8近傍のラベリングを行う。次に、ラベルの統合を行うことにより3次元でのラベリングを行う。この処理は、小野ら<sup>[1]</sup>の手法を参考にした。処理の内容を下記に示す。

- ①最下段から順にラベルを探索する。
- ②参照したラベルの1段上にあるラベルを調べる。
- ③参照したラベルが1種類のラベルと繋がっている場合、1段下のラベルを調べる。
- ④図2(a)のように、この2種類のラベルがそれぞれのラベルにのみ繋がっていた場合、小さい方のラベルに統合する。同図(b)のようにどちらか一方、または、両方が複数個のラベルと繋がっていた場合統合しない。

この処理をすべての段で行うことで同図(c)のようにパーツ分割を行う。

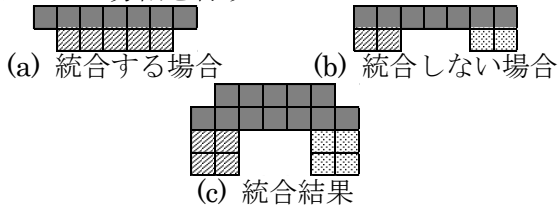


図2 ラベルの統合

### 3.4 組み立てやすさを考慮した手順の決定

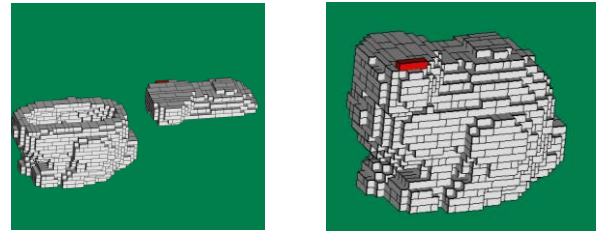
浮遊ブロック、パーツ分割、ふたとなる部分を考慮したナビゲーション手順の決定を行う。

#### 3.4.1 パーツ単位での組み立て手順

ラベル毎に、繋がりを持ったラベル番号の個数、参照ラベルに属するブロックの個数を調べ、しきい値より多くのブロック数があり、かつ一番多くのラベルに接続しているパーツを先に提示する。以降はラベル番号が降順になるように提示する。その後、昇順に提示を行う。このようなラベルが複数存在した場合、小さいラベルを優先する。

#### 3.4.2 ブロックの組み立て手順

ブロックは、最下段から順番に1個ずつ提示することによってナビゲーションを行う。ただし、浮遊ブロックは繋がりを持った上段のブロックが表示されるときに同時に提示する。また、ふたにあたる部分のブロックは、図3のように別の場所に表示を行い、しきい値以上のブロックが提示された後、本体に繋げるナビゲーションを行う。

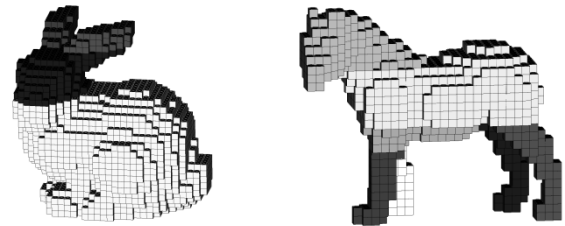


(a) 分割された状態 (b) 統合

図3 ふたの表示

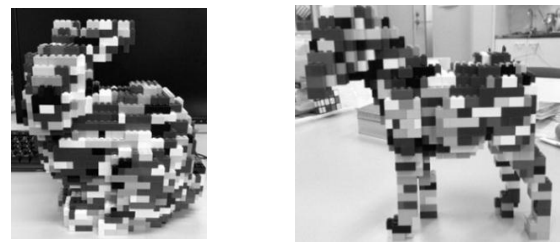
## 4. 実験

本システムを用いて図4のようにパーツ分割を行ったモデルの組み立てを行った。括弧内の数字はパーツ数を表す。組み立て結果を図5に示す。



(a) StanfordBunny(4個) (b) Horse(7個)

図4 パーツ分割



(a) StanfordBunny (b) Horse

図5 組み立て結果

実際に組み立てられることを確認した。また、決定したナビゲーション通りに組み立てを行うことで容易に組み立てることができた。

## 5. おわりに

本研究では、LEGOブロック組み立て支援システムの開発を行った。本システムでは、浮遊ブロックの検出、ふたの検出、パーツ分割を行うことによって組み立てやすいナビゲーション手順の提案を行った。その結果、LEGOブロックを用いてモデルを組み立てたところ、容易に組み立てられることを確認した。

今後の課題として、色情報を付与した、LEGOブロックの割り当てなどが挙げられる。

### <参考文献>

- [1]小野 純明, Alexis Andre, 張 英夏, 中嶋 正之 “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, Vol.36, No.16, 2012.