

## レゴブロックによる近似形状制作支援システム

北川 佑樹<sup>†</sup> 高井 昌彰<sup>‡</sup> 高井 那美<sup>††</sup>北海道大学大学院情報科学研究科<sup>†</sup> 北海道大学情報基盤センター<sup>‡</sup> 北海道情報大学<sup>††</sup>

## 1 はじめに

ユニット折り紙や缶アートなど，基本的に同一形状のプリミティブを立体的に多数組み合わせることで，任意の3次元近似形状を生成する研究が行われている[1]．そのような形状構築の玩具の一つとしてレゴブロックがある．

レゴブロックはブロック同士を組み合わせることで立体形状を形成するものであり，一般的に子供の玩具として親しまれている．近年では，芸術作品の一種としてレゴブロックによるオブジェが数多く制作されているが，実際に大規模な制作を行う場合，大量のブロックと広い制作場所を要するため，制作前にブロックの種類や組み合わせを十分に検討する必要がある．

そこで本研究では，3Dポリゴンモデルデータと使用ブロックの種類や個数等の制約条件を入力として与え，物理法則に基づいて実際に配置する場合の安定性を考慮した上で，ポリゴンモデルをレゴブロックで近似表現した3Dモデルを自動生成するレゴブロック制作支援システムを開発した．レゴブロックのCADツールとして[2]があるが，近似形状の自動構築支援の機能はない．

## 2 使用ブロックの定義

本システムでは，1×1, 1×2, 1×3, 1×4, 1×6, 1×8, 2×2, 2×3, 2×4, 2×6, 2×8の11種類のレゴブロックを扱う．ポリゴンモデルのボクセル化では，1×1ブロックをボクセル1個に対応させる．ブロックの配色は，ユーザの選択に基づき，モデルの色をそのままブロックに反映させるか，あるいはレゴブロックの代表的な11色のみを使用する．

## 3 システムの概要

本システムの流れをFig.1に示す．

本システムは，ユーザが与えた3Dモデルをレゴブロックのモデルに変換するシステムである．実際に組んだ際のブロック解像度またはブロック総個数を条件としてユーザが指定する．

システムはポリゴンモデルの形状とテクスチャ及び構築の制約条件から，ボクセル化，厚み付け，ブロック配置，連結性判定，再配置処理を行い，最終的にレゴブロックによる3Dモデルを出力する．

また生成されたレゴブロックモデルに対してユーザがインタラクティブに個々のブロックの配置を調整できるGUIも実装している．実際に組み立て可能かどうかを判定するため，荷重とモーメントの計算による脆弱度の可視化の他，ブロック間の結合力を考慮した物理シミュレーションの機能も実装している．

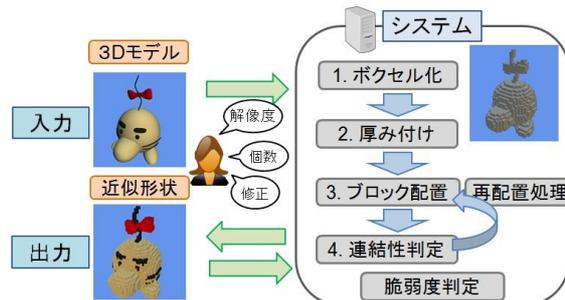


Fig.1 システム概要

## 3.1 ボクセル化と厚み付け

ボクセル化と厚み付け処理の流れをFig.2に示す．入力したモデルを1×1ブロックと同サイズ，すなわち縦，横，高さの比が5:5:6の直方体によるボクセル化を行う．

内部の厚み付け処理では，層ごとに1ブロックずつ走査を行い，直下層の同一平面位置にブロックが無く，かつモデルの内部である場合，その部分に1×1ブロックを配置する．

外部の厚み付け処理では，直上及び直下の両方の層の同一平面位置にブロックが無く，かつモデルの外部である場合，その層の直下層にブロックを配置する．

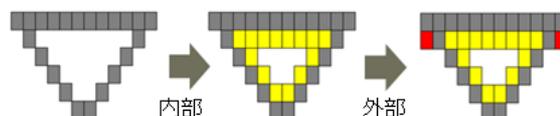


Fig.2 厚み付け

## A LEGO Block Modeling System with 3D Shape Approximation

<sup>†</sup>Yuuki KITAGAWA, Graduate School of Information Science and Technology, Hokkaido University

<sup>‡</sup>Yoshiaki TAKAI, Information Initiative Center, Hokkaido University

<sup>††</sup>Nami TAKAI, Hokkaido Information University

### 3.2 ブロックの配置

配置する順番は、基本的に大きなブロックから先に行う。その際どのブロックも一定方向から走査を行い、配置可能性を判定する。

2×N ブロックの配置では、はじめに空間を 2×2 ブロック幅の格子に区切ってからブロックの配置を行う。その際、奇数層と偶数層は 1×1 ブロック分だけ縦横に格子をずらす。また 1×N ブロックは、1×1 ブロック幅の格子により配置を行う。Fig.3 に奇数層と偶数層のブロック配置例を示す。

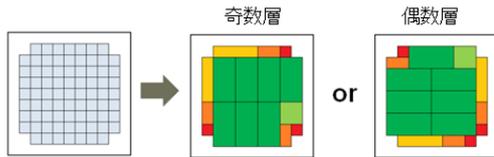


Fig.3 ブロックの配置

### 3.3 連結判定

1 ブロックを 1 ノードとし、レゴブロックで構築されたモデルを 1 つのグラフ構造として考える。上下に 1 ポッチでも接続している場合、その部分を枝とする。このグラフ構造に対して幅優先探索を行い、各ブロックが最下層のブロックのいずれかと連結しているかどうかを調べる。

連結性判定により非連結なブロックが 1 つでも確認された場合、非連結部分の 1 カ所を 1×2 ブロックで置き換え、先述したブロック配置ルールに従って、その層のブロックを全て組み直す。次に再配置前と再配置後の総非連結数を比較し、再配置前より再配置後が多い場合または置き換え部分の非連結性が解消されなかった場合、配置を置き換え前に戻す。非連結部分が解消されない場合、置き換える対象のブロックを変えて、組み直しの処理を繰り返す。再配置処理の流れを Fig.4 に示す。

実験で使用したモデルに関しては、再配置処理を繰り返すことで非連結ブロックは全て解消された。

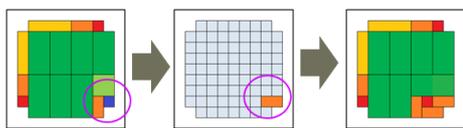


Fig.4 再配置処理

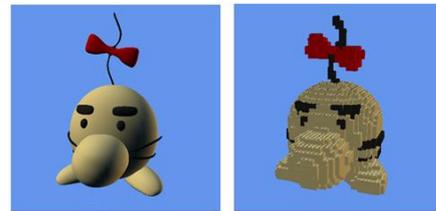
### 3.4 脆弱度の可視化

ブロックにかかる荷重とモーメントを計算することによって、水平断面ごとの脆弱度を可視化する。脆弱度を計算する断面の図心を P1、その断面より上側全体の重心を P2、かかる重力を W、上の断面と連結しているポッチ数を N とする。ここで P1P2 ベクトルと W ベクトルによる

外積を N で除した値を脆弱度とし、その値を可視化する。また P2 が脆弱度を計算する断面の内部なら、脆弱度はゼロとする。なお摩擦力などによる結合力を考慮した物理演算には Physx を利用している。

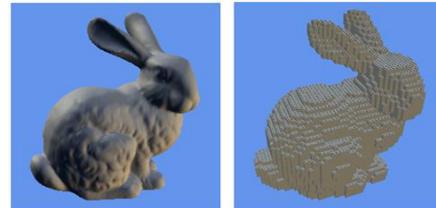
## 4 実行結果

本システムを評価するため、いくつかの 3D ポリゴンモデルデータを本システムに入力し、レゴブロックモデルを生成した。その結果を Fig.5 に示す。概ね正確に本システムによる変換が行われたことがわかる。ブロック間の連結性は満たされているが、Fig.5(a)のリボンの部分や Fig.5(b)の耳の部分など、実際に組み立てた場合に崩壊する可能性のある脆弱な部分がある。



©任天堂

(a)モデル 1 (ブロック数: 1788 個, コスト: 14,050 円)



(b)モデル 2 (ブロック数: 2750 個, コスト: 18,336 円)

Fig.5 システムの実行結果

## 5 まとめと今後の課題

本稿では、仮想空間上にレゴブロックを表現し、与えられたポリゴンモデルの近似形状を自動構築し、適切な組み合わせ・配色・脆弱性・総数(コスト)を見積もることにより、作品制作を支援するシステムを構築した。

脆弱度を反映したブロックの再配置法や、評価方法の検討が今後の課題である。

## 参考文献

- [1] 高橋和茂, 高井昌彰, 高井那美: “近似形状の構築が可能な缶アート制作支援システム”, 情報処理学会研究報告, Vol.2011-GC-145, No.26, pp.1-6 (2011)
- [2] BlockCAD <http://www.blockcad.net/>