

レゴブロックのための 3 次元近似形状組み立て支援システム A LEGO Block Modeling System with 3D Shape Approximation

北川 佑樹
Yuuki Kitagawa

高井 昌彰
Yoshiaki Takai

1 まえがき

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、任意の 3 次元近似形状を生成する研究が行われている[1,2]。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。しかし近年では、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。しかし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[3]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、初心者にもなじみ深い、1×1, 1×2, 1×4, 2×2, 2×4 の 5 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。

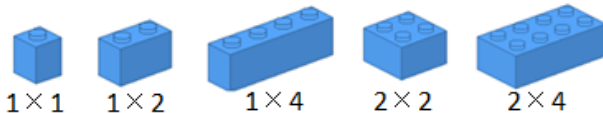


Fig.1 ブロックの種類

3 システムの概要

本システムの全体の処理の流れを Fig.2 に示す。本システムはレゴブロックをユーザ自ら 1 ブロックずつ組み上げていくシステムではなく、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。ポリゴンモデルは一般的な 3D モデリングソフトで作成し、実際に組んだ時のブロック解像度またはブロック総個数のいずれかをユーザが指定する。

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

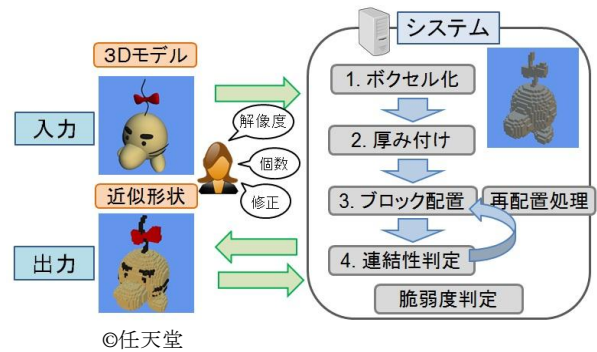


Fig.2 システム概要

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。

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.3 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 ブロックずつ走査していき、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。この処理を最下層から最上層まで行う。

外部の厚み付け処理では、内部の厚み付け同様に、層ごとに 1 ブロックずつ走査していき、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.3 厚み付け

3.2 ブロックの配置

ブロックの配置方法は基本的に 2×4 ブロックから、1×2, 1×4, 1×2, 1×1 ブロックへと、大きいブロックから順に配置していく。どのブロックも一定方向から走査していき、配置可能性を判定する。

2×4 ブロックの配置は、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。この格子を基準に、2×4, 2×2 ブロックを配置していく。1×4, 1×2, 1×1 ブロックは、奇数層・偶数層ともに 1×1 ブロック幅の格子により配置を行う。Fig.4 に奇数層と偶数層

†北海道大学大学院情報科学研究科, Graduate school of Information Science and Technology, Hokkaido University

‡北海道大学情報基盤センター, Information Initiative Center, Hokkaido University

のブロック配置例を示す。

また 2×4 , 1×2 , 1×4 ブロックのように縦横の長さの違うブロックは、奇数層と偶数層でそれぞれ優先して配置させる向きを変更する。

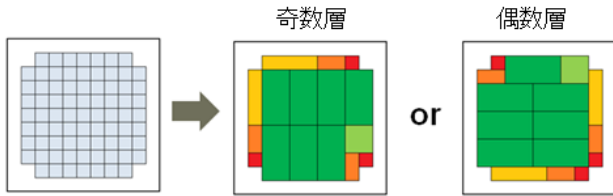


Fig.4 ブロックの配置

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。上下両方に1ポッチでも接続している場合、その部分を枝とする。したがって 2×4 ブロックの場合は最大で16個の枝を持つことになる。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。配置予定の全てのブロックの連結性が確認された時、ブロックの配置を決定する。

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. 5 に示す。

1×2 ブロックで置き換える理由は、内部・外部の厚み付け並びにブロック配置ルールにより非連結部分が必ず 1×1 ブロックになっているためである。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。

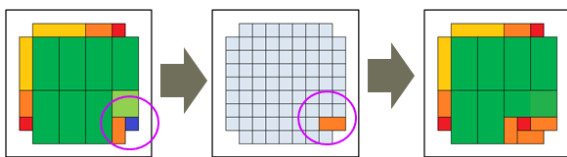


Fig.5 再配置処理

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。可視化の例を Fig. 6 に示す。色が濃いほど、脆弱度の高い場所である。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。

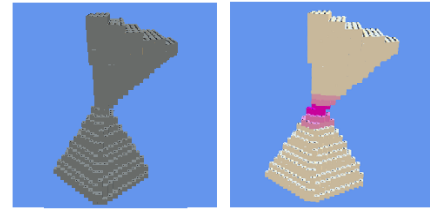
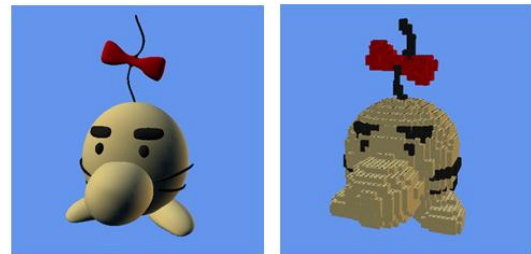


Fig.6 脆弱度の可視化

4 実行結果

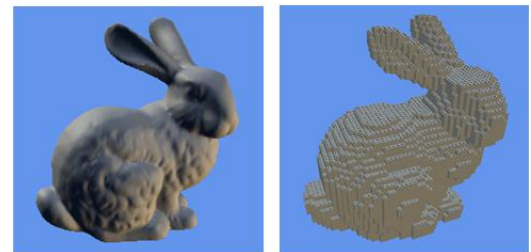
本システムを評価するため、いくつかの3Dポリゴンモデルデータを本システムに入力し、レゴブロックモデルを生成した。その結果を Fig. 7 に示す。概ね正確に本システムによるレゴブロックの変換が行われたことがわかる。ブロック間の連結性は満たされているが、Fig. 7 (a) のリボンの部分や Fig. 7 (b) の耳の部分など、実際に組み立てた場合に崩壊する可能性のある脆弱な部分がある。

なお本システムの実装は、開発言語に C# 言語を、3DCG の描画には XNA4.0 を使用した。



©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.7 システムの実行結果

5 まとめと今後の課題

本研究では、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、使用できるブロック種類の拡充は今後の課題である。

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] 田村友和, 高井昌彰, 高井那美: “ユニット折り紙を用いた3次元メッシュモデルの近似形状構築”, 情報処理学会研究報告, Vol. 2010-CG-141, No. 13, pp. 1-6 (2010)
- [3] BlockCAD <http://www.blockcad.net/>