

ロボットによる空間構成法に関する基礎的研究

三次元ジグソーパズルのアルゴリズム・デザインとロボットアームによるプロトタイプ制作

Basic Research on Space Composition Method by Robot
Algorithmic Design and Digital Fabrication for 3D Jigsaw Puzzle
白髪 誠一

大阪工業大学ロボティクス&デザイン工学部空間デザイン学科
構造デザイン研究室 准教授

Abstract : In this research, the algorithm for the piece connection pattern in 3D jigsaw puzzle was built. The checkered pattern of connection surface and contact surface was adopted as the piece connection pattern. On the connection surfaces, a pair of convex and concave connectors are oriented in the same direction. The Key Word : 3D Jigsaw Puzzle, Algorithmic Design

Seiichi Shiraga
Associate Professor, Structural Design Laboratory
Dept. of Deign and Architecture, Osaka Institute of Tecnology

checked connection pattern made integrity incomplete, so some connection surfaces were added.

The prototype of the 3D jigsaw puzzle with Styrofoam was manufactured using a robot arm and a styrene cutter. The prototype indicated that assembly is possible and that integrity is ensured.

1. はじめに

本研究は、ロボティクスを用いた空間の構成法について研究することを目的としている。今年度は、構造体を嵌合接合により積層する方法として三次元ジグソーパズルの内部構造を定式化するアルゴリズムの構築とロボットアームを用いたプロトタイプの製作を目的とした。

ジグソーパズルは、一枚の画像を複数のピースに分割したパズルで、使用する画像やピースの数によって難易度が変化する。3D ジグソーパズルは三次元の造形物を複数のピースに分割したパズルであるが、一般的に造形物を曲面で構成し、その曲面をジグソーパズルと同様のパターンで分割したものであり、各ピースの嵌合は平面的である。

一方、3D ジグソーパズルについて町屋、池上ら¹⁾は、二次元のジグソーパズルと同様の凹凸の曲線がパズル表面上に現れる 3D ジグソーパズルを提案している。しかし、パズル内部の溝とほぞを空間の 3 方向に巧妙に配置する複雑な内部構造にしなければならず、池上式 3D ジグソーパズルは内部構造を定式化するには至っていない。

2. 内部構造のアルゴリズム

三次元ジグソーパズルの外形を一辺の長さ L の立方体とし、空間内にパズルの領域を設定する。図 1 に示すように、各辺を等分割して小さな立方体に分割する。図 2 に示すように各立方体ピースの面を x 面はその法線ベクトルが X 軸方向の面であると定義し、同様に y 面と z 面を定義する。

二次元ジグソーパズルでは、隣り合うピースと接するすべての辺に、一対の凹型と凸型のコネクタが配置され各ピースが嵌合される。三次元ジグソーパズルでは、接するすべての面にコネクタを配置すると、すべてのピースを嵌合させることが可能な接合構造を得ることは非常に困難となる。そこで、隣り合うピースが嵌合する接合面と、接触するが嵌合しない接触面の 2 種類の面で構成し、全体としての一体性を確保することを目標とする。

図 3 に示すように、接合面と接触面を市松パターンで与えていく方法を採用した。図 4(a) に示す市松パターンの a と b を、図 4(b) に示すピースの接する面 (例えば x_1 面, x_2 面) にそれぞれ与えていく。各面に市松パターン a を与えた接合パターンを A, 市松パターン a と市松パターン b を交互に与えた接合パターンを B, 市松パターン b を与えた接合パターンを C とする。表 1 に示すパターン ABB を与えるとすべて

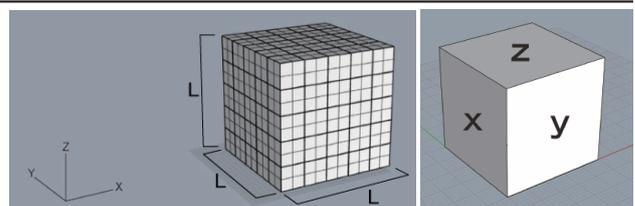


図 1 分割された立方体

図 2 面の定義

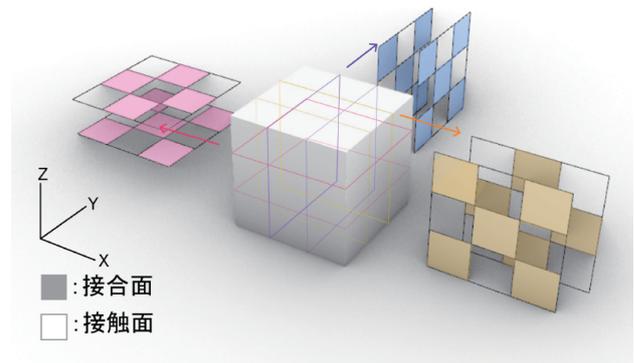
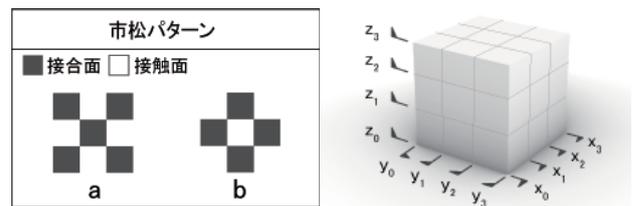


図 3 市松パターンの設定



(a) 市松パターン

(b) 各面の名称

図 4 接合パターン

表 1 接合パターン ABB

面	市松パターン				接合パターン
	0	1	2	3	
x	-	a	a	-	A
y	-	a	b	-	B
z	-	a	b	-	B

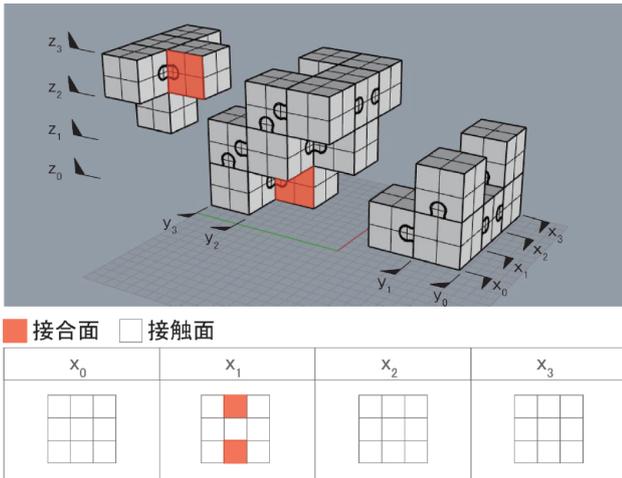


図5 全体の分割と追加パターン

のピースが少なくとも一面の接合面を有することができる。しかし、一面しか接合面を持たないピースが連続することで、図5に示すように複数のピースからなる集合体で全体が分割されることが明らかとなった。よって、x面に図5に示す追加のパターンで接合面を与えることで全体の一体性を確保することができた。

コネクタの嵌合方向は、各面において同一の方向に設定した。y面の嵌合方向はX軸方向に設定し、x面とz面の嵌合方向はY軸方向、追加のx面の嵌合方向はZ軸方向に設定した。この時x面とy面のコネクタが角部で干渉するため、図6に示すようにx面のコネクタは下方に、y面のコネクタは上方にずらした。z面のコネクタは、面の中心に配置した。ただし、z面の上面に凹型のコネクタがある場合は、y面のコネクタと干渉してしまうため、図7に示すようにz面の上面はすべて凸型のコネクタとした。コネクタの形態は、8個の制御点に乱数を与えたNURBS曲線で定義した。

以上より、全体としての一体性を確保する内部構造の構成方法を定式化でき、図8に示すような三次元ジグソーパズルの三次元モデルを得ることができた。

3. プロトタイプ製作

各ピースはスタイロフォームからスチロールカッターで切断することでプロトタイプを製作した。製作には、ロボットアーム(xArm6, UFACTORY社製)を使用し、写真1に示すようにスチロールカッターを設置し、ロボットアームにスタイロフォームを取り付けた。各ピースの三次元モデルの各面から切断ラインを抽出し、座標データに変換してロボットアームを制御することでピースを製作した。プロトタイプにより全体の組立てが可能であること、全体の一体性が確保されていることが確認できた。

4. まとめ

等分割された立方体ピースの各面に接合面と接触面を市松パターンで与え、さらにx面に接合面を追加すること、コネクタが干渉しないように嵌合方向と位置を調整することで三次元ジグソーパズルの内部構造の構成方法を定式化することができた。また、スタイロフォームをロボットアームによって切削することによってプロトタイプの製作を行った。

今後は、任意の三次元形状について内部構造を構築するためのアルゴリズムを得ることが必要となる。また、空間を構成するためには強度と剛性の高い材料の使用することが求められる。材料の選定とその材料を使用したときの嵌合方法や嵌合接合部の強度、精度の高い加工方法について検討を行う予定である。

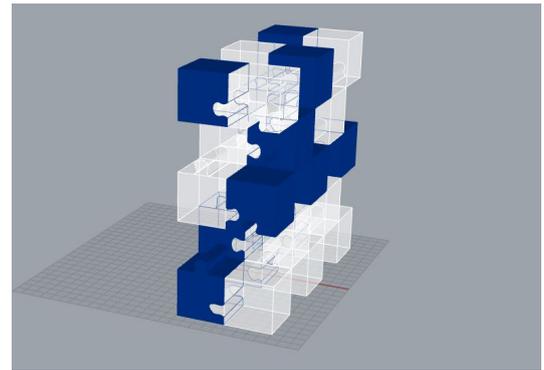


図6 x面とy面のコネクタ位置

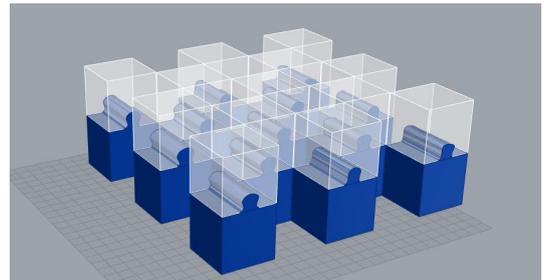


図7 z面のコネクタ

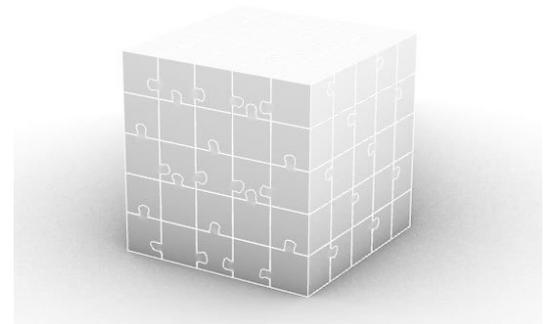


図8 三次元ジグソーパズル

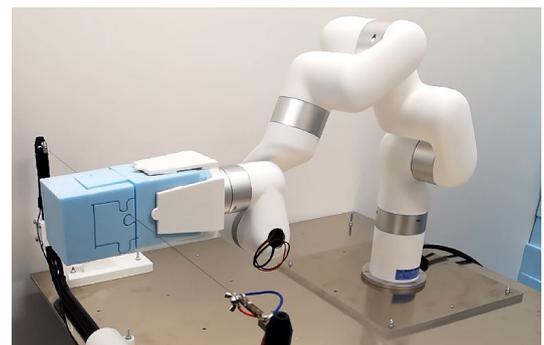


写真1 製作状況

【参考文献】

- 1) 町屋佑季, 池上祐司, 手嶋吉法: 池上式 3D ジグソーパズルの複製とピースの対称性について, 形の科学会, 第85回形の科学シンポジウム, pp.25-26, 2018年6月