

3D センサと 3D プリンタを用いた depth 画像の立体造形の実験的検討

嶋 好博¹ 大越 庸司² 三ツ木 太朗³ 渡 邊 健 斗³

An Experimental Study on 3D Printing Creation from Depth Images with 3D Scanner and 3D Printer

Yoshihiro SHIMA¹ Youji OOKOSHI² Tarou MITSUKI³ Kento WATANABE³

Depth images of scene are fabricated by 3D printer. Depth images are captured by 3D scanner Kinect[®]. In computer vision, a picture element of depth image contains information relating to the distance of the surfaces of scene objects. The surfaces of objects are covered by triangular mesh, which is converted from depth images. 3D printer CUBE[®] is used for 3D creation.

キーワード：3D センサ, 3D プリンタ, 奥行き画像, 三角形メッシュ

Keywords : 3D Scanner, 3D Printer, Depth Image, Triangular Mesh

1. はじめに

IT 機器は日々進化し続け便利になっている。しかしながら、一方で操作が複雑になり使いこなせないものになれば利用者は遠のく。生活の中で日々利用する IT 機器の使いやすさを決めるのは入力の設定などの操作や画面表示方法を決める「ユーザーインターフェイス」だと言える。たとえばパソコンは処理速度や性能が年々飛躍的に向上しているがユーザーインターフェイスはマウスとキーボードという従来のままで変わらず、まだまだある程度のスキル慣れを要するのが現状である。ユーザーインターフェイスにおいて、近年急速に高まっている技術が「自然インターフェイス」である。これは、「体の動き」や「顔の表情の変化」、「音声」などの自然な動きを入力できるインターフェイスである。複合センサからなる自然インターフェイス技術はより自然に IT 機器を操作でき、利用者や用途の範囲を新たに広げることができる⁽¹⁾。また、3D プリンタはものづくりにおいて高度なデザイン作成が可能であり、製品等が販売されはじめている⁽²⁾⁽³⁾。

本研究の目的はこれら自然インターフェイス技術と 3D プリンタを組み合わせた新しい応用システムの可能性を示すことである。複合センサ Kinect[®]と 3D プリンタ Cube[®]を組み合わせ、距離画像(depth 画像)を立体的に表現する。この 3D 造形物によって、より現実感、臨場感が増す。

2. Kinect と Cube による depth 画像の立体造形

2-1 複合センサ Kinect の構成

図 1 に複合センサ Kinect の外観を示す。表 1 に Kinect の仕様を示す^{(4)~(6)}。Kinect は音声・映像を捉える事のできる複合センサで距離センサと RGB カメラが搭載されている⁽⁷⁾。主に RGB カメラ、赤外線センサー（近赤外線プロジェクタ、近赤外線カメラ）、内蔵マイクから構成されており特に近赤外線プロジェクタに「Light Coding」という赤外線パターンを照射して物体から反射して来た歪んだパターンを解析し、奥行きを表す depth 画像を提供できるようになっている。本研究では Kinect for Windows を使用する。



図 1 3D センサ Kinect の外観(Microsoft 社)

Fig. 1 External appearance of 3D sensor Kinect (Microsoft Co.)

2-2 3D プリンタ Cube の構成

図 2 に 3D プリンタ Cube の外観を示す。また、表 2 に Cube の仕様を示す⁽²⁾⁽⁸⁾。積層ピッチとは、造形を積み重ねていくピッチで、細かければ造形物の密度が高くなる。プリントヘッドとは、マテリアルを溶かして排出する場所のことであり、ここにマテリアルが詰まるとノズル詰まりになる。ブレードアウェイ方式とは手で外しやすいような材質を持つサポート材を使用した方式である。マテリアルの ABS は、

1 明星大学理工学部総合理工学科電気電子工学系 教授 視覚映像情報

2 明星大学理工学部電気電子システム工学科 卒業 視覚映像情報

3 明星大学理工学部総合理工学科電気電子工学系 卒業 視覚映像情報

アクリロニトリル (Acrylonitrile)、ブタジエン (Butadiene)、スチレン (Styrene) 共重合合成樹脂の総称である。また、PLA は、ポリ乳酸 (polylactic acid) のことで原料はとうもろこし等の植物である。

表 1 Kinect の基本仕様 (Microsoft 社)

Table 1 Basic specification of Kinect (Microsoft Co.)

サイズ	縦×横×高さ	65 × 280 × 70 mm
	重さ	600 g
必要システム	Microsoft (R) Windows 7	
	Kinect for Windows SDK-v1.8	
	KinectDeveloper Toolkit v-1.8.0	
画像ソフト	OpenCV 2.4.2	
距離センサ	解像度	640×480 画素
	距離の範囲	400mm~3000mm



図 2 3D プリント Cube の外観 (3D SYSTEMS 社)

Fig. 2 External appearance of 3D printer Cube (3D Systems, Inc.)

表 2 3D プリント Cube の仕様 (3D SYSTEMS 社)

Table 2 Specification of Cube (3D Systems, Inc.)

ヘッド数	1 個
最大造形サイズ	140×140×140mm
積層ピッチ	0.2mm
プリントヘッド温度	280℃ (動作時最大)
サポート除去方法	ブレークアウェイ方式
入力データ形式	STL
外形寸法	260×260×340mm
マテリアル (材料)	ABS / PLA (各 16 色)

三角形メッシュデータで構成される STL ファイルから Cube ファイル⁽⁶⁾を作成する。この Cube ファイルから造形物を印刷する。図 3 に STL ファイルの構成例を説明する。三角形の頂点 (vertex) 座標と法線 (normal) ベクトルがテキスト形式で格納されている。横軸を x、縦軸を y、高さを z とする。頂点 3 点を結ぶ三角形において三角形平面に垂直な法線ベクトルを定義する。この三角形は 3 つの頂点から成り立ち、面の垂直方向に法線ベクトルが伸びている。

図 4 は STL ファイルの構成である。1 行目の solid で任意の文字列を指定する。2 行目の facet normal は三角形の法線ベクトルの成分 (x 成分値 y 成分値 z 成分値) を表す。4 から 6 行目の vertex は x 成分値 y 成分値 z 成分値、を表

す。vertex は三角形の 3 つの頂点のうち、1 つの頂点座標を示す。vertex が 3 つ使われることで三角形が作られる。これら三角形の頂点座標と法線ベクトルがテキスト形式で格納されている。

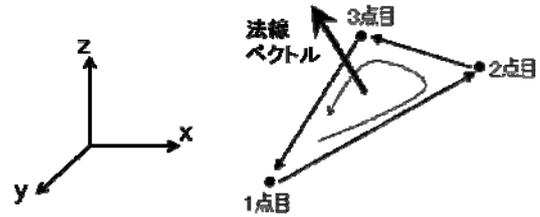


図 3 STL ファイルの構成例の説明

Fig. 3 Triangular data of STL file

```

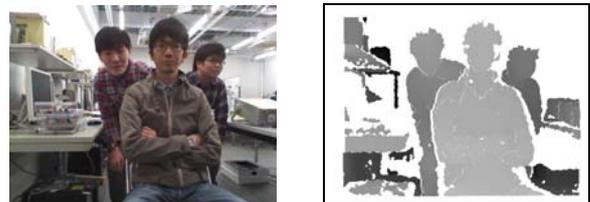
solid 任意の文字列
facet normal x 成分値 y 成分値 z 成分値
outer loop
vertex x 成分値 y 成分値 z 成分値
vertex x 成分値 y 成分値 z 成分値
vertex x 成分値 y 成分値 z 成分値
endloop
endfacet
facet normal x 成分値 y 成分値 z 成分値
outer loop
vertex x 成分値 y 成分値 z 成分値
vertex x 成分値 y 成分値 z 成分値
vertex x 成分値 y 成分値 z 成分値
endloop
endfacet
endsolid 任意の文字列
    
```

図 4 STL ファイルの構成

Fig. 4 STL file format

2・3 depth 画像の立体造形の原理

depth 画像は画素毎に対象物までの距離を持っている濃淡画像である⁽⁴⁾⁽⁷⁾。図 5 に示すようにセンサが遠距離を検出した場合、画像の色は黒、近距離を検出した場合は灰色で表す。なお、白色は検出不能を表す。



(a) RGB 画像 (カラー) (b) depth 画像 (濃淡)

図 5 Kinect による距離画像の例

Fig. 5 An example of a depth image by Kinect sensor

図 6 は depth 画像からの 3D 造形の流れ図である。Kinect の距離センサにより depth 画像を採取する。depth 画像は画素毎に距離を持っている濃淡画像である。depth 画像中の隣接する画素三点の座標と depth 値から立体物の表面を覆う三角形メッシュデータに生成する。ここでは隣接する画素三点で構成される三角形によって、depth 画像の全面を覆う。次いで 3D プリント用の積層データを作成する。

図 7 により depth 画像から立体物の表面を覆う三角形メッシュデータへの変換方法を説明する⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾。横軸を x 、縦軸を y 、高さを z とする。図中の●が画素位置を表す。また、□が depth 画像の濃淡値、即ち depth 値を表す。●から□までの高さが depth 値となる。三角形は 3 つの頂点 (x_1, y_1, z_1) 、 (x_2, y_2, z_2) 、 (x_3, y_3, z_3) から構成されている。緑色で示す三角形は 3 点から作られている。これはメッシュデータを表している。赤い矢印は法線ベクトルを表し、三角形の面の向きに伸びている。隣接する画素ごとに三角形を順次、行進しながら生成し三角形メッシュで覆う⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾。

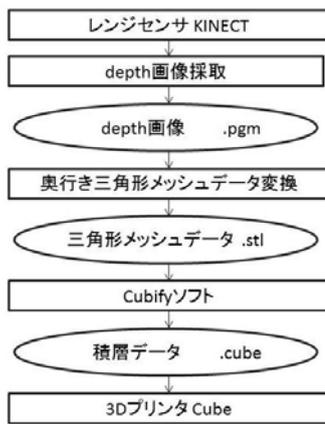


図 6 depth 画像からの 3D 造形の流れ図

Fig. 6 Flowchart of 3D printing creation from depth images

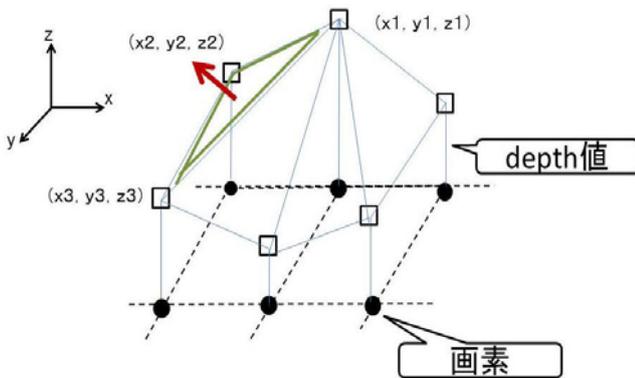


図 7 三角形メッシュデータの変換方法

Fig. 7 Conversion to triangular mesh data from depth image

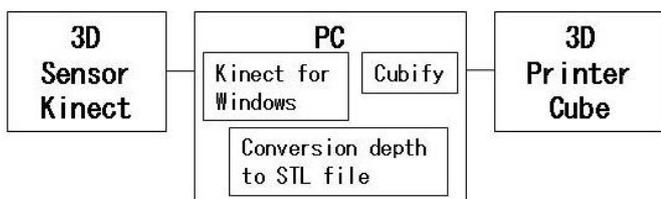


図 8 立体造形の実験システム

Fig. 8 Experimental system for 3D printing creation



(a)正面全身像



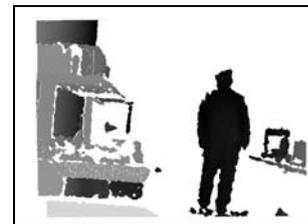
(b)半身像



(c)斜め全身像

図 9 撮影したカラー画像 (RGB カメラ)

Fig. 9 Captured color images (by RGB camera)



(a)正面全身像



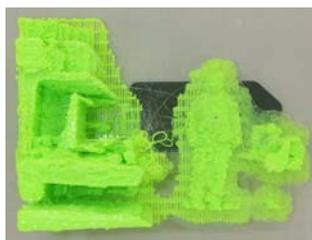
(b)半身像



(c)斜め全身像

図 10 depth 画像 (depth センサ)

Fig. 10 Depth images (by Depth sensor)



(a)正面全身像



(b)半身像



(c)斜め全身像

図 11 depth 画像の造形結果(材料:NEON GREEN PLA)

Fig.11 3D printing creation from depth images (material: neon green PLA)

3. depth 画像の立体造形実験

3-1 立体造形実験の概要

図 8 に立体造形の実験システムの構成を示す。Kinect の Depth センサで depth 画像を PGM 形式で採取する⁽¹¹⁾。次いで depth 画像から STL ファイルを作成する。このデータ変換ソフトは独自作成した。STL ファイルを Cube ファイルに Cubify[®] (8)により変換する。そして、3D プリンタで立体造形物を印刷する。なお、3D プリンタ Cube は仕様が非公開の Cube ファイル⁽⁸⁾から造形物を印刷する。

3-2 立体造形実験の結果

図 9 は RGB カメラで撮影したカラー画像、図 10 は depth センサで採取した depth 画像を示す。これらの画像は研究室に人物が立っている風景である。図 11 は図 10 の depth 画像から作成した造形物である。図 12 は Cube の 3D 造形時間と Cube ファイルの容量の関係を示す。造形時間は 2 時間から 14 時間である。対象は試供サンプル(Napkin Holder, Rook, Teacup)3 種類⁽⁸⁾と depth 画像から作成した 3 種類の Cube ファイル、計 6 種類である。

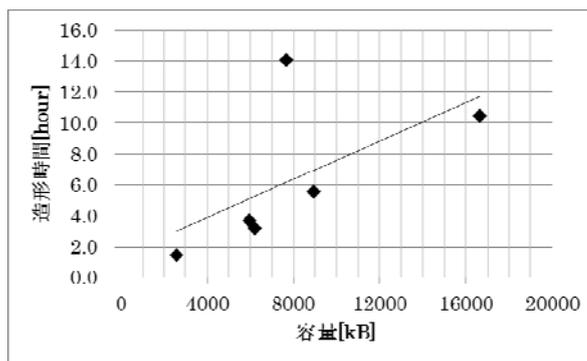


図 12 3D 造形時間と Cube ファイルの容量の関係

Fig. 12 Relation of 3D printing time and data file size

4. おわりに

複合センサ Kinect で採取した depth 画像から距離を表す立体を造形した。Kinect は RGBD の画像を撮影することができ、その内の depth を濃淡画像 (PGM 形式) として採取した。撮影距離は 0.4m から 3.0m の範囲である。depth 画像のサイズは 640×480 画素である。depth 画像から三角形メッシュデータからなる STL ファイルに変換する。3D プリンタ Cube により 3D 造形を行った。簡単な実験システムを構築し立体の造作物を作成できることがわかった。また、Depth センサと 3D プリンタを組み合わせた現実感のある造形物システムの可能性を示すことができた。

今後の課題を以下に記す。

- ①自然インターフェイスと 3D 造形の応用システム開拓
- ②Kinect を複数台配置する精度の高い立体造形物の作成
- ③目の不自由な人が触って楽しめるような造形物の作成
- ④キャラクター等のフィギュアの造形物の作成

参考文献

- (1) Microsoft, Kinect for Windows SDK v1.8, <http://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/>
- (2) 3D SYSTEMS, <http://www.3dsystems.com/>
- (3) 小玉秀夫, 立体図形作成装置, 公開特許公報, 昭56-144478, 出願 昭和55年(1980)4月12日
- (4) 杉浦 司, 他, Kinect for Windows SDK プログラミングガイド, pp42-53, 平成24年11月20日 (精工学社)
- (5) OpenCV.jp, OpenCV-1.0, リファレンスマニュアル(日本語訳), <http://opencv.jp/opencv-1.0.0/document/>
- (6) Jamie Shotton, etc., Real-Time Human Pose Recognition in Parts from Single Depth Images, IEEE CVPR 2011, pp.1297-1304
- (7) 中島 秀真他, Kinectによる安定な動物体領域抽出のためのカラー画像とデプスマップの時刻合わせ, 情報処理学会研究報告, Vol. 2012-CVIM-180, No. 59, pp1-8, 2012. 1. 20
- (8) Cubify, 3D SYSTEMS, <http://cubify.com/>
- (9) William E. Lorensen, Harvey E. Cline, Marching Cubes: A High Resolution 3D Surface Construction Algorithm, Computer Graphics, Volume 21, Number 4, July 1987, pp.163-169
- (10) Timothy S. Newman, Hong Yi, A survey of the marching cubes algorithm, Computers & Graphics, 30 (2006), pp. 854-879
- (11) 大越 庸司他, 複合センサ Kinect と 3D プリンタ Cube を用いた depth 画像の立体造形の研究, 第5回八王子コンソーシアム学生発表会, pp142-143, 平成25年度12月7日