

人体の動きを表現した 3次元立体作品製作手法

古川 亮^{1,a)} 中野 裕太¹ 向井 貴昭¹ 馬場 雅志¹ 宮崎 大輔¹ 日浦 慎作¹

概要: 近年, 安価なモーションキャプチャシステムが普及し, 人体の動きをデータとしてキャプチャすることが容易に行えるようになった. キャプチャされた人体の動きは, 通常 3次元CGのアニメーションなどに応用されるが, 人体の四肢の動きのデータは, それ以外にもアート作品への応用が期待される. 本報告では, 人体の動きそのものから, アート作品として「動きを表現する彫像」を製作する手法を提案する. 提案手法では, キャプチャされた人体ボーンの連続フレームから, 動きを表す 3次元形状を作成し, それを 3次元プリンタで出力することで, 形状作品を製作する.

キーワード: 動きの彫像, RGB-D カメラ, モーションキャプチャ, 3D プリンタ, Marching cubes 法

A method for making 3D statue that represents motion of human body

RYO FURUKAWA^{1,a)} YUTA NAKANO¹ TAKAAKI MUKAI¹ MASASHI BABA¹ DAISUKE MIYAZAKI¹
SHINSAKU HIURA¹

Abstract: Recently, inexpensive, off-the-shelf motion capture systems have become available, and capturing human motion data is getting easier. While most of the captured motions are used for 3D CG animations or user interfaces, using those data for making artistic pieces would be a promising field for application. In this report, a method for making “sculptures representing human motion” as pieces of art from motion data of human bodies. In the proposed method, 3D shape polygon mesh whose shape represents a human motion is generated from the output of the motion captured human bones of series of time frames. Then, the shape data is materialized as a real 3D statue using a 3D printer.

Keywords: motion sculpture, RGB-D camera, motion capture, 3D printer, Marching cubes method

1. 序論

人体形状を, 彫像や塑像などの立体像として表現することは, 芸術表現として広く親しまれてきた分野である. このような芸術作品の多くは, ある瞬間で切り取られた, 静止した人体の形状を, 3次元像として形にしたものである. このような作品は, 人体の形状を詳細に表現することが出来るが, 人体の「動き」そのものの表現ではない.

これに対し, 近年では, 人体, あるいはその他の事物の, ある瞬間の形状だけでなく, 「動き」を含めて立体像とするような作品が存在する. このような作品は, “motion

sculpture” などとも呼ばれており, インターネット上でも作品例が検索できる [1]. 例えば, 動いている人の, 「連続した時刻のフレーム」での 3次元形状の論理和をとった形状は, 人体の動きを含めた 3次元形状と言える (写真の技法に例えると, リピーティング発光によるフラッシュ撮影のようになる).

このような作品を製作するための技術的な困難性として, 等間隔の時系列で人体の動きを正確に捉えることは, 補助的な手段無しでは難しいことが挙げられる.

近年, 安価なモーションキャプチャシステムが普及し, 人体の動きをデータとしてキャプチャすることが容易に行えるようになった. また, 3次元プリンタの普及により, コンピュータ内のデータとして表現された 3次元形状を, 現実の形状として出力することも容易になった. これらの

¹ 広島市立大学
Hiroshima City University, Hiroshima, Hiroshima 731-3194, Japan

^{a)} ryo-f@hiroshima-cu.ac.jp



図 1 3D プリンタで出力された motion sculpture の例 (後述の動きデータ A) . 人体の動きは、能の動きの一部を演者が演じたものを、モーションキャプチャシステムで計測したもの . 演者は、写真の物体の左端から動き始め、右端まで移動しながら、手を前方に振り出している .

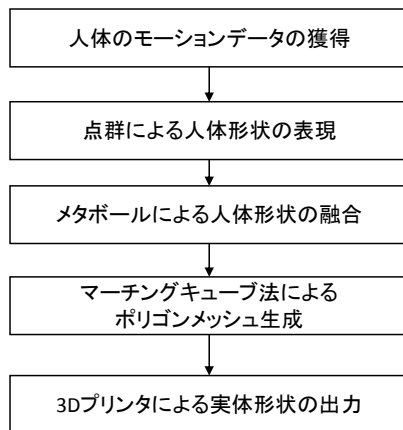


図 2 Motion sculpture の出力までの処理の概要

技術を利用すれば、motion sculpture のように動きを表現する 3 次元の実体像の自動作成や、あるいはアーティストがそのような作品を製作する際のプロトタイプモデルの作成を行うことができると期待される .

本報告では、RGB-D カメラによるモーションキャプチャデータから、実際に motion sculpture のような立体作品を、3D プリンタで出力する手法を提案する . 図 1 で、現在の 3 次元形状として作成された立体物の例を紹介する .

2. 処理の概要

本報告では人の動きをモーションキャプチャシステムで時系列計測し、得られたボーン情報から、3D プリンタで出力可能な 3 次元形状データを作成する . 処理全体の流れを図 2 に示す .

以下の節では、各工程についての説明を行う .

3. 人体の動き情報の獲得

モーションキャプチャの処理では、時系列フレームご

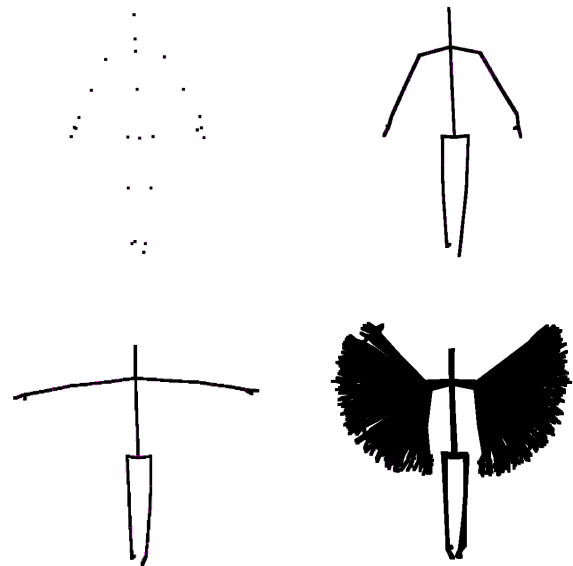


図 3 点集合によるボーン表現: (a) ボーンを構成する関節点の集合, (b) ボーンの線分表現, (c) 別のフレームの線分表現, (d) 複数フレームの線分表現を重ねたもの .

との人体の状態を、ボーンモデルとして出力する . 後に述べる実験では、モーションキャプチャシステムとして Microsoft 社の Kinect v2 を利用しており、ボーンモデルではなく、人体形状の距離画像を出力することも可能であるが、本報告ではボーンモデルを形状として利用している . これは、人体全体の形状データを取得しようとする場合、センサーを複数用意して、それらの距離画像を統合することが必要になることと、表現として、「動き」を抽象化した 3 次元像を作成することを目指したためである .

ボーンの表現は、頭や関節等、あらかじめ決められた人体の部位が 25 個の点で表されており、それらの点の 3 次元位置が、フレームごとに出力される . ボーンの出力例を図 3(a) に示す .

モーションキャプチャシステムから出力されたデータは、ボーンを構成する関節点であるので、これらの点を連結する線分から、人体の近似形状を作成する . 本報告では、上記の線分について、線分の端点を一定間隔で内分する点の集合を求め、ボーンを表現する点集合とした . このようにして求められた点集合を図 3(b),(c) に示す . また、複数のフレームに渡って計測されたボーン表現を集めたものを図 3(d) に示す .

4. メタボール法による形状モデリング

前節で得られる点集合から、3D プリンタで出力可能な形状情報を作成する . 本報告では、線分上の各点を中心としたメタボール [2] の融合形状として形状を定義する . メタボールは、複数の物体の融合が簡単に行えるので、本報告のように複数のフレームの形を融合する場合において有

効である。

メタボールは、3次元関数の等位面で表されるが、ここでは3次元関数として以下の関数を利用する。

$$f(x, y, z; X, Y, Z, \sigma) \quad (1)$$

$$= \exp\left(-\frac{(x-X)^2 + (y-Y)^2 + (z-Z)^2}{\sigma^2}\right) \quad (2)$$

ただし、 (X, Y, Z) はメタボール関数の中心である。また、 σ はメタボール関数の広がりやを制御するパラメータであり、本報告では人体の部位ごとに、形状の太さを制御するために利用する。

前節の点集合を

$$S = \{(x_1, y_1, z_1), (x_2, y_2, z_2), \dots, (x_n, y_n, z_n)\} \quad (3)$$

とすると、メタボール関数の総和は

$$g(x, y, z) = \sum_{k=1}^n f(x, y, z; x_k, y_k, z_k, \sigma_k) \quad (4)$$

となる。ここで、 σ_k には、点 (x_k, y_k, z_k) が属する線分の部位によって異なる値を割り当てる。例えば、胴体の線分に属する点には大きな値を、肘や膝など、四肢の部分に属する点には小さな値を割り当てることにより、胴体は太く、四肢は細くなるような形状モデルを定義する。

5. ポリゴンメッシュ生成

3D プリンタで形状を出力するには、曲面として閉じたポリゴンメッシュのデータ形式で、形状情報を表す必要がある。メタボール関数によって陰関数として表された形状を、閉じたポリゴンメッシュに変換するアルゴリズムとしては、マーチングキューブ法 [3] が代表的なものである。

マーチングキューブ法では、まず形状全体を囲む bounding box を設定し、bounding box 内をボクセルに分割する。次に各ボクセルについてメタボール関数の総和 $g(x, y, z)$ を計算し、ボクセルデータとして格納する。最後にそれぞれのボクセルについて、そのボクセルの占める立方体領域が、メタボール関数の等位面によって分割されるかどうかを調べ、分割される場合には、等位面によるボクセルの切断面を1つ以上のポリゴンとして生成する。

図4に、人体の動き情報から、ボーン形状の折れ線表現を経てポリゴンメッシュに変換した形状データの例を示す。

5.1 3次元出力

マーチングキューブ法で得られた形状を、3D プリンタで出力することで、motion sculpture を作成することができる。

多くの3D プリンタでは、出力可能な形状に制約が存在する。例えば、熱で溶かした樹脂を土台の上に重ねながら盛り上げていく、材料押出堆積法による3D プリンタでは、

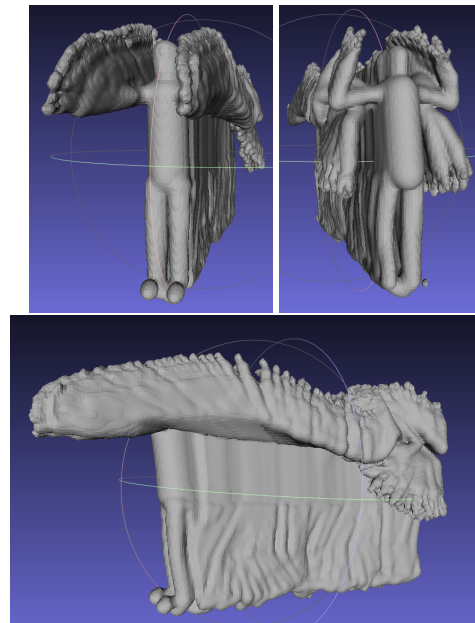


図4 生成されたポリゴンメッシュの例 (動きデータ A)。

中空に物体を生成することは出来ないため、例えば人の手を広げたような形状を作るには、手の下に「サポート」と呼ばれる形状を追加して造形する必要がある。このようなサポート形状は、造形後に手作業などで削り取る必要がある。しかし、Motion sculpture のような形状は、一般に複雑であり、サポート形状が煩雑で大きなものになりやすい。このため、サポート形状の除去作業が難しくなり、得られる形状の品質にも影響する。

一部の3D プリンタは、目的物を造形する為の通常材料とは別に、生成物からの除去が容易な材料でサポート材を生成することができる。本報告の実験では、物体の造形後に、水流によって除去可能なサポート材を生成できる3D プリンタを使うことで、高品質な3次元形状を出力した。

6. 実験

本報告の手法を利用して、motion sculpture の生成実験を行った。人体の動きのデータとしては、能の演者である大島衣恵氏の協力を得て、能の動きを計測した(図6)。その計測結果から、3種類の動きデータ(動きデータ A,B,C)から3次元形状データを作成し、3D プリンタで出力した。得られた3次元形状データを図6,7に示す。さらに、3D プリンタで出力された、実体形状の写真を図1, 8, 9に示す。

出力された3次元実体像を、広島市立大学の芸術学部教員の数名に見せ、コメントしてもらった。得られたコメントを以下に示す。

- 動きの軌跡を正確に捉えられている。
- 軌跡をより滑らかにしていくことによって、抽象的な彫刻作品へと見え方が変わっていくと思う。
- 静的な彫刻作品が多い中、演者の動きの流れを立体化するのとは今までにない新しい表現である。



図 5 能の動きの撮影時の姿勢の例 .

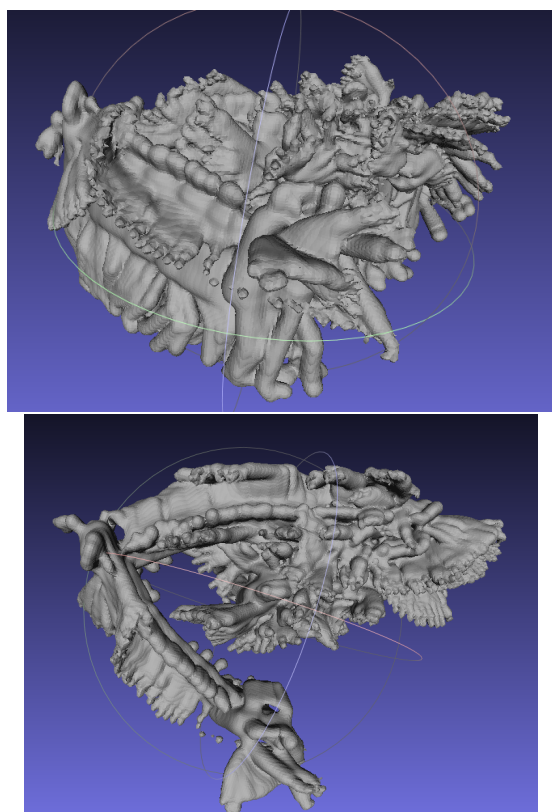


図 6 生成されたポリゴンメッシュの例 (動きデータ B) .

- 時間ごとに色を付け、グラデーション化するとよいのではないか

7. 結論

本報告では、人体の動きのモーションキャプチャデータから、その動きを表現した立体造形物を製作する方法を提

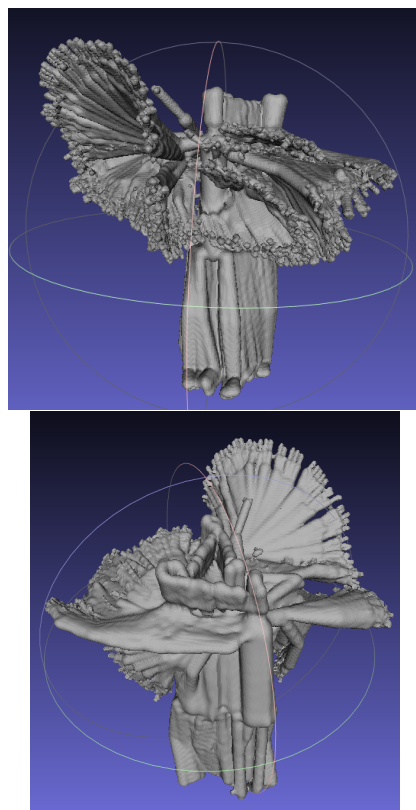


図 7 生成されたポリゴンメッシュの例 (動きデータ C) .



図 8 3D プリンタでの motion sculpture の出力例 . (動きデータ b) .

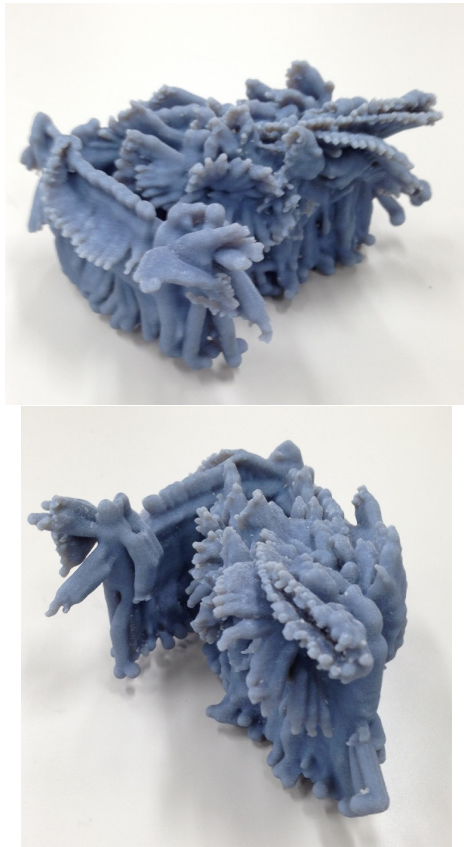


図 9 3D プリンタでの motion sculpture の出力例。(動きデータ c)。

案した。モーションキャプチャデータから得られた点群からメタボール法によって形状を表現し、マーチングキューブ法によってポリゴンメッシュデータに変換した。ポリゴンメッシュデータを 3D プリンタで出力することで、人体の動きを実際の立体物として生成することができた。実験では、提案手法を利用して、能演者の動きを彫像化することができた。

現状の手法の課題としては、モーションキャプチャの生データから直接形状データを作っているため、動きデータの編集を行いにくいことが挙げられる。今後は、データの編集機能を向上させることで、複雑な動きのうちの一部を立体化したり、フレーム間での人体の動きを編集して、より、動きを感じやすい彫像を作成できるようにすることが挙げられる。

謝辞 本報告の内容については、広島市立大学 社会連携センターの三上賢治氏に様々なご教示とご支援を頂いた。また、能の動きのデータの取得には、能楽シテ方 喜多流 大島衣恵氏にご協力を頂いた。ここに深く感謝する。

参考文献

- [1] Jensen, P.: Human Motions, <http://www.humanmotions.com/>.
- [2] 村上伸一, 市原英也: メタボール法による 3 次元図形の表示について, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol. 70, No. 8,

pp. 1607–1615 (1987).

- [3] Lorensen, W. E. and Cline, H. E.: Marching cubes: A high resolution 3D surface construction algorithm, *ACM siggraph computer graphics*, Vol. 21, No. 4, pp. 163–169 (1987).