

人体 3D モデルをオフセットして自動生成した T シャツの 3D プリント手法

小林 直生* 鳴海 紘也*

概要. 織りに代表される従来の服作りは、平面的な布のパターンを裁断・縫製して立体的な衣服を作り上げる 2D to 3D のプロセスに依存することが多い。しかし、衣服を着ることになる人体は 3D 形状であるため、2D のパターンから始めるデザインプロセスには最終的な意匠を予測する技術や経験が求められる。そこで我々は、3D スキャンにより取得した人体の 3D モデルを入力として、鎖帷子状の衣服 3D モデルを自動生成し、3D プリンタにより製造する 3D to 3D の設計・製造プロセスを目指す。本稿ではその準備段階として、ZOZOMETRY によって取得した人体の 3D モデルをリメッシュし、そのメッシュをオフセットすることで T シャツの 3D モデルを自動生成した。また、生成された T シャツのモデルを 1/8 スケールに縮小し、Selective Laser Sintering (SLS) 方式の 3D プリンタにより実際に印刷した。

1 はじめに

衣服の設計・製造工程にはパターン作成・裁断・縫製などの高度な経験が求められる。一方近年、複数の工程を 1 回の印刷に集約することで廃棄物を限りなく削減できる可能性がある [3] ことから、3D プリントにより服を作る研究が行われつつある [2]。またデザインの分野では、3D プリントにより衣服の複雑な意匠を実現する試みが散発的になされている [1]。そこで本研究では、後述の ZOZOMETRY により人体の 3D モデルを取得し、そこから衣服を生成するシステムを目指す。本稿ではその準備段階として、取得した人体モデルをリメッシュし、そのメッシュからオフセットされた T シャツを生成する。

2 人体の 3D モデルの取得

人体モデルの取得には ZOZOMETRY を使用する。ZOZOMETRY とは株式会社 ZOZO が提供する人体計測システムであり、ZOZOSUIT という光学マーカ付きのタイツを着用し専用のスマートフォンアプリで写真を複数枚撮影することにより、OBJ 形式の 3D モデルと複数の採寸情報を出力できる。本研究では、ZOZOMETRY により取得した人体の 3D モデルを、Adobe Mixamo により A ポーズから T ポーズに変換して用いた (図 1)。これは、人体モデルのメッシュをオフセットして衣服を生成する際に、脇の下で自己交差が生じるのを防ぐためである。

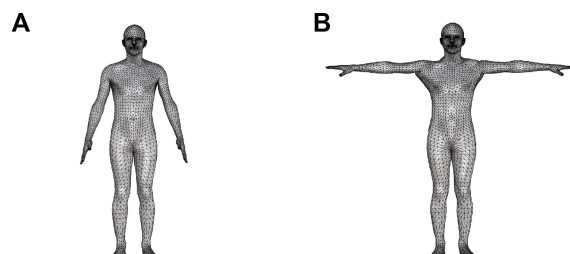


図 1. A: 変換前の A ポーズ. B: 変換後の T ポーズ.

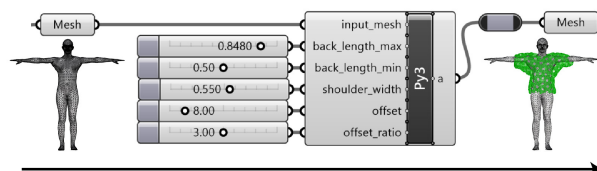


図 2. 人体の 3D モデルを入力して衣服の 3D モデルを出力する流れ

3 メッシュのオフセット

3.1 入力と前処理

次に、ZOZOMETRY によって得られた人体の 3D モデルを入力として、衣服の 3D モデルを生成する (図 2)。作業には Rhino 8 およびそのプログラミング環境である Grasshopper を用いた。ユーザが袖・着丈の長さなどを与えると、システムは人体の 3D モデルを法線方向にオフセットすることで、衣服を生成する。なお、ZOZOMETRY で得られるモデルの総メッシュ数は 1 万を超えており、メッシュの形状によってはオフセットの際に自己交差が生じる。このため、本研究では Grasshopper のコンポーネントである TriRemesh を用いてメッシュ数を削減し、かつ各メッシュの辺長をなるべく均一にした。

3.2 可動範囲を考慮したオフセット倍率の調整

衣服には、脇の下や股下など可動範囲の広い部分があり、これらの部位では衣服が突っ張らないようにオフセットの倍率を大きくして余裕を持たせる必要がある。本研究では、「人体の3Dモデルにおいて離散曲率が大きい部分は可動範囲の広い部分である」と仮定し、離散曲率の分布に応じて衣服のオフセット幅を変化させることを考える。特に、本研究で扱うTシャツにおいて可動範囲が広い部分は脇の下であるため、脇の下を自動検出する。

離散曲率を求める方法は以下のとおりである。まず、離散曲率を求める頂点を $p_0(x_0, y_0, z_0)$ 、隣接する頂点を $p_i(x_i, y_i, z_i)$ ($i = 1, \dots, n$)、曲率球の中心座標を $O_c(x_c, y_c, z_c)$ 、曲率半径を r_0 とする。曲率球は頂点 p_0 を通るため、式1のように書くことができる。次に、曲率球の中心座標 O_c と曲率半径 r_0 を求めるために、曲率球と隣接する各頂点との誤差(式2)を計算する。さらに、この誤差を最小化する解 (x_c, y_c, z_c) を求めるため、式3を用いて最小二乗法を行う。最終的に、離散曲率は曲率半径 r_0 の逆数として求まる。

$$(x_0 - x_c)^2 + (y_0 - y_c)^2 + (z_0 - z_c)^2 = r_0^2 \quad (1)$$

$$E = \sum_{i=1}^n \{ \Delta x_{ci}^2 + \Delta y_{ci}^2 + \Delta z_{ci}^2 - r_0^2 \}^2 \quad (2)$$

$$\Delta x_{ci} = x_i - x_c, \quad \Delta y_{ci} = y_i - y_c, \quad \Delta z_{ci} = z_i - z_c$$

$$Ax = b, \quad A = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \end{bmatrix}, \quad x = \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$b = -\frac{1}{2} \begin{bmatrix} \sum \Delta x_{0i}(x_i^2 - x_0^2 + y_i^2 - y_0^2 + z_i^2 - z_0^2) \\ \sum \Delta y_{0i}(x_i^2 - x_0^2 + y_i^2 - y_0^2 + z_i^2 - z_0^2) \\ \sum \Delta z_{0i}(x_i^2 - x_0^2 + y_i^2 - y_0^2 + z_i^2 - z_0^2) \end{bmatrix}$$

$$a_1 = \begin{bmatrix} \sum \Delta x_{0i}^2 \\ \sum \Delta x_{0i} \Delta y_{0i} \\ \sum \Delta x_{0i} \Delta z_{0i} \end{bmatrix}$$

$$a_2 = \begin{bmatrix} \sum \Delta x_{0i} \Delta y_{0i} \\ \sum \Delta y_{0i}^2 \\ \sum \Delta y_{0i} \Delta z_{0i} \end{bmatrix}$$

$$a_3 = \begin{bmatrix} \sum \Delta x_{0i} \Delta z_{0i} \\ \sum \Delta y_{0i} \Delta z_{0i} \\ \sum \Delta z_{0i}^2 \end{bmatrix}$$

$$\Delta x_{0i} = x_0 - x_c, \quad \Delta y_{0i} = y_0 - y_c, \quad \Delta z_{0i} = z_0 - z_c$$

なお、本稿では離散曲率が大きい頂点の中でも脇の下を特定するためにヒューリスティックを用いた。まず、離散曲率が大きい頂点から順に参照し、その頂点を含むメッシュを特定する。次に、各メッシュの法線ベクトルと-z方向(頭から足に向かう方向)の単位ベクトルとのなす角を求める。その角度が45°以下となるメッシュを脇の下とした。

4 衣服3Dモデルの出力と印刷

最後に、オフセットされた3Dモデルを、3Dプリント可能でかつ柔軟な衣服の3Dモデルとして出力する。本稿では3Dプリント可能な衣服の構造として鎖帷子を用いた(図3A)。まず、3Dモデルの三角形メッシュを縮小し、厚み付けする。その後、元のメッシュ同士が共有していた辺上にヒンジを配置し、厚み付けした三角形同士を接続することで全体の構造を実現した。

出力されたTシャツのモデルを1/8スケールに縮小し、Selective Laser Sintering (SLS)方式の3Dプリンタで印刷した(図3B)。プリンタにはSinterit社のLisa Proを、材料には柔軟素材のFLEXA Brightを使用した。現状、スケールに対して厚みが大きくなってしまいうためゴワゴワとした手触りであるが、実スケールで印刷すればある程度現実的な柔軟性が得られると考えられる。

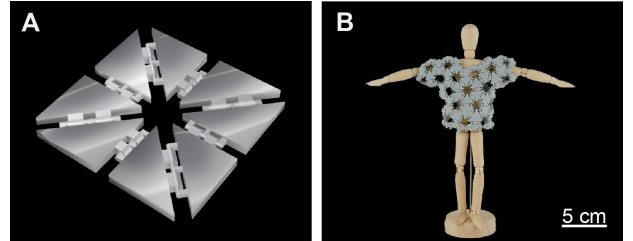


図3. A: 鎖帷子のヒンジ構造. B: 3Dプリントされた鎖帷子状のTシャツ.

5 おわりに

本研究では、入力された人体の3Dモデルにオフセット処理を行い衣服の3Dモデルを生成する手法を提案した。また、生成されたモデルの3Dプリンタに成功した。今後はTシャツに限らず、ズボンやスカートなど様々な衣服を生成できるシステムを目指す。また、曲率に限らず、人間の動作や理想の体型から衣服の形状を決定する手法も検討したい。

6 謝辞

本研究はJST創発的研究支援事業(JPMJFR232V)およびJST AdCORP(JPMJKB2302)の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] Iris Van Herpen: Sculpting the Senses Exhibition. <https://www.irisvanherpen.com/sculpting-the-senses>.
- [2] J. R. F. Gavancho, W. A. F. Quispe, D. V. F. Gavancho, B. P. Huamán, V. M. L. Condori, and G. J. C. Alca. Development and Print of Clothing through Digitalized Designs of Natural Patterns with Flexible Filaments in 3D Printers. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 12(4), September 2021.
- [3] R. Pasricha, AnupamaGreeninger. Exploration of 3D printing to create zero-waste sustainable fashion notions and jewelry. *Fashion and Textiles*, 5(30), December 2018.