

自由曲面を有する部品表面への木目等凹凸形状付与手法の開発

Development of a method for imparting unevenness such as wood grain to non-developable surface of parts

電子・機械技術部 ロボット・制御科 近野裕太

応募企業では、製品の高付加価値化を目的として、木目等の凹凸形状を表面に有する製品の開発を進めているが、ボール形状等の非可展面を有する製品表面への凹凸形状付与に課題を抱えていた。本開発支援では、オープンソースソフトウェアを用いた、非可展面を有する製品表面に3Dスキャン等で取得した木目等の凹凸形状を付与する手法及びそのプログラムの開発を行った。

Key words: メッシュデータ、UV 展開、アフィン変換

1. 緒言

応募企業では、車内装品等の開発・製造・販売を行っており、製品の高付加価値化を目的として、木目等の凹凸形状を表面に有する、自然の風合いを持った製品の開発を進めている。

3D スキャン等で取得した木目等の凹凸形状を付与する対象がパネル等の平面形状の製品表面である場合は、3D-CAD におけるブーリアン等の操作により容易に実施可能である。また対象がタイヤ等の円筒形状の側面である場合は、例えばメッシュ編集ソフトである Geomagix DesingX のロール/アンロールツール等を用いることで、対象側面を平面に展開することが可能であり、展開後の平面を基に形状の編集を行うことで実施可能である。

一方、例えば製品がボールのような形状の場合、その表面は非可展面であるため、凹凸形状を容易に付与することはできない。

そこで本開発支援では、先行研究¹⁾を参考に、オープンソースソフトウェアを用いた、非可展面を有する製品表面に対し木目等の凹凸形状を付与する手法及びそのプログラムについて開発を行った。

2. 実験

2. 1. 凹凸形状付与手法の概要

本開発支援で開発する手法の主な処理の流れを図1に示す。以下、主な処理の詳細について述べる。なお、座標系について、三次元メッシュデータの展開先の二次元平面を $x-y$ 平面及び構成する軸を x 軸、 y 軸、付与する凹凸形状の高さ方向を z 軸として考える。

2. 2. 主な処理の詳細

2. 2. 1. 三次元メッシュデータの UV 展開による二次元メッシュデータ化及び二次元メッシュデータと凹凸形状との対応付け

初めに対象の非可展面を 3D-CAD 等で三次元の三角形メッシュデータに変換し、次にこれをオープンソー

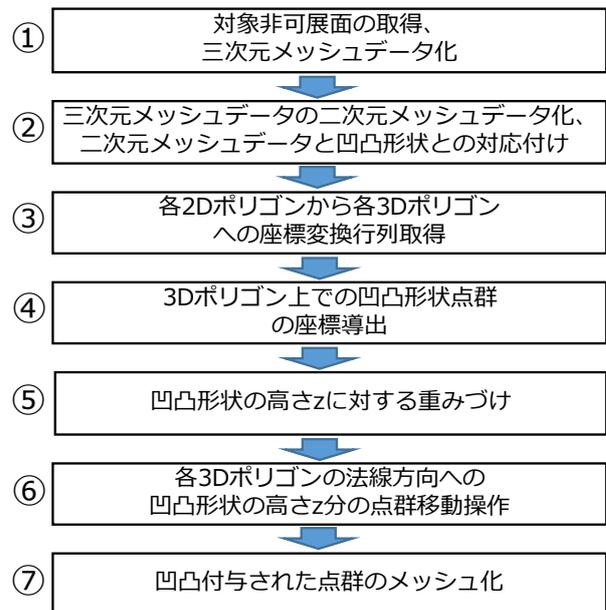


図1 処理フロー

ソフトウェア Blender により、非可展面を二次元平面に展開する UV 展開を行い、二次元の三角メッシュデータとした。UV 展開を行うことで、三次元の三角形メッシュデータに含まれる各ポリゴンの頂点座標に一对一に対応する二次元のポリゴンの頂点座標を導出することができる。以下、三次元の三角形メッシュデータに含まれるポリゴンを 3D ポリゴン、UV 展開後の二次元の三角形メッシュデータに含まれるポリゴンを 2D ポリゴンと呼ぶ。図2、3に UV 展開の例を示す。UV 展開後の 2D ポリゴンの頂点座標は、メッシュデータの保存形式として OBJ 形式を用いる場合、 x, y 座標ともに 0 から 1 の間に正規化された値を取る。これは、図3の各 2D ポリゴンを囲んでいる白い四角形の x, y 軸の範囲が 0 から 1 を取ることに対応する。

次に、3D スキャン等で取得した木目等の凹凸形状の点の座標と 2D ポリゴンの頂点座標との対応付けについて述べる。まず元の三次元の三角メッシュデータの外形寸法から、使用する凹凸形状の範囲を決定する。

次にその範囲内にある凹凸形状の点の x, y 座標を 0~1 の間の値に正規化する。その後、正規化した座標値を持つ凹凸形状の各点が、二次元平面上でどの 2D ポリゴンに属するか判別する。任意の 2D ポリゴンの頂点を a, b, c 、任意の凹凸形状の点を p とすると、それぞれの点がなすベクトルの外積を計算し、以下の条件であれば点 p が 2D ポリゴン abc の内部にあることを判別することができる。

$$\vec{ab} \times \vec{bp} > 0 \text{ and } \vec{bc} \times \vec{cp} > 0 \text{ and } \vec{ca} \times \vec{ap} > 0 \quad (1)$$

or

$$\vec{ab} \times \vec{bp} < 0 \text{ and } \vec{bc} \times \vec{cp} < 0 \text{ and } \vec{ca} \times \vec{ap} < 0 \quad (2)$$

2. 2. 2. 2D ポリゴンから 3D ポリゴンへの座標変換行列取得及び 3D ポリゴン上での凹凸形状点群の座標導出

次に各 2D ポリゴンに属する凹凸形状の点の座標の 3D ポリゴン上での座標を導出する。なお、この時点では凹凸形状の点の高さ z の値は 0 として考える。

前項でも述べたとおり、2D ポリゴンと 3D ポリゴンは一対一で対応している。2D ポリゴンとその 2D ポリゴンに属する凹凸形状の点の座標位置は導出されているため、2D ポリゴンの頂点座標を 3D ポリゴンの頂点座標へ変換する行列 H がわかれば、2D ポリゴンに属する凹凸形状の点の座標に行列 H をかけることにより、3D ポリゴン上での凹凸形状の点の座標を導出することが可能である。

この行列 H は、アフィン変換における拡大・縮小、回転に対応する行列であり、変換のイメージを図 4 に示す。このとき、2D ポリゴン及び 3D ポリゴンの総数を m 、任意の 2D ポリゴンの頂点座標を $(x_{m,1}, y_{m,1}, 0), (x_{m,2}, y_{m,2}, 0), (x_{m,3}, y_{m,3}, 0)$ 、対応する 3D ポリゴンの頂点座標を $(x'_{m,1}, y'_{m,1}, z'_{m,1}), (x'_{m,2}, y'_{m,2}, z'_{m,2}), (x'_{m,3}, y'_{m,3}, z'_{m,3})$ 、その 2D ポリゴン及び 3D ポリゴンの頂点座標ベクトルの組を行列 I_m, I'_m 、求めるアフィン変換行列を H_m 、その 2D ポリゴンに属する凹凸形状の点の総数を n 、その任意の点の座標を $(x_n, y_n, 0)$ 、対応する 3D ポリゴン上での座標を (x'_n, y'_n, z'_n) 、点座標のベクトルの組を行列 J, J' とすると、

$$I_m = \begin{bmatrix} x_{m,1} & x_{m,2} & x_{m,3} \\ y_{m,1} & y_{m,2} & y_{m,3} \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$I'_m = \begin{bmatrix} x'_{m,1} & x'_{m,2} & x'_{m,3} \\ y'_{m,1} & y'_{m,2} & y'_{m,3} \\ z'_{m,1} & z'_{m,2} & z'_{m,3} \end{bmatrix} \quad (4)$$

図 4 アフィン変換のイメージ

$$J = \begin{bmatrix} x_1 & \cdots & x_n \\ y_1 & \cdots & y_n \\ 0 & \cdots & 0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$J' = \begin{bmatrix} x'_1 & \cdots & x'_n \\ y'_1 & \cdots & y'_n \\ z'_1 & \cdots & z'_n \end{bmatrix} \quad (6)$$

より、

$$J' = H_m \times J \quad (7)$$

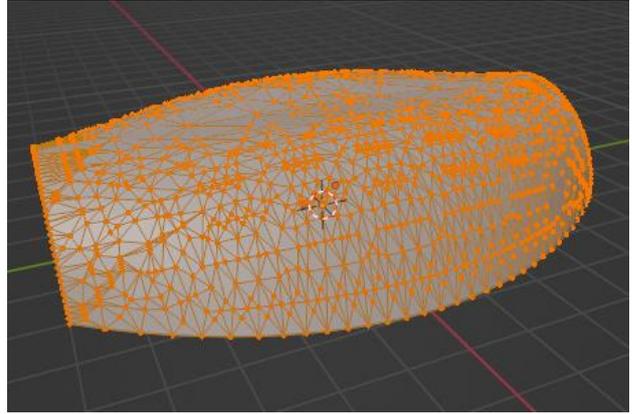


図 2 元の三次元三角形メッシュデータの例

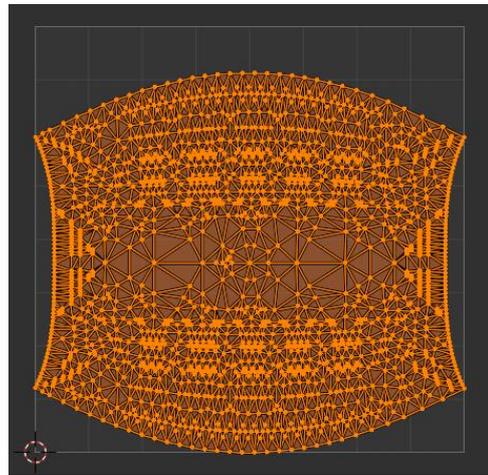


図 3 UV 展開後の二次元三角形メッシュデータの例

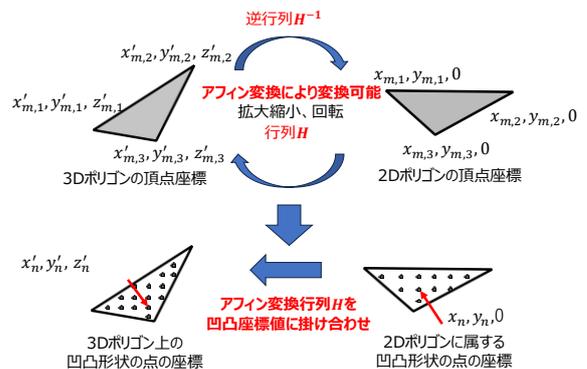


図 4 アフィン変換のイメージ

$$J = \begin{bmatrix} x_1 & \cdots & x_n \\ y_1 & \cdots & y_n \\ 0 & \cdots & 0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$J' = \begin{bmatrix} x'_1 & \cdots & x'_n \\ y'_1 & \cdots & y'_n \\ z'_1 & \cdots & z'_n \end{bmatrix} \quad (6)$$

より、

$$J' = H_m \times J \quad (7)$$

したがって、

$$\mathbf{H}_m = \mathbf{I}'_m \times \mathbf{I}_m^+ \quad (8)$$

であり、取得したアフィン変換行列 \mathbf{H}_m により

$$\mathbf{J}' = \mathbf{H}_m \times \mathbf{J} \quad (9)$$

と計算することで、3D ポリゴン上での凹凸形状の点の座標を導出することができる。なお、 \mathbf{I}_m^+ はムーアペンローズの擬似逆行列により求めた。また、今回開発した手法では、アフィン変換における平行移動はアフィン変換行列 \mathbf{H} には含まないようにした。 x, y, z が0となる点を原点としたとき、アフィン変換行列は対応する2D/3D ポリゴンの重心が原点と重なるように座標を平行移動した上で導出した。凹凸形状の点の座標を3D ポリゴン上に変換する際は、まず対応する2D/3D ポリゴンの重心が原点と重なるのに必要なそれぞれの移動量を事前に計算し、変換前の凹凸形状の点の座標を2D ポリゴンの移動量をもとに平行移動した上でアフィン変換行列により変換を実施、変換後は3D ポリゴンの移動量をもとに凹凸形状の点の座標の平行移動を行った。

2. 2. 3. 凹凸形状点群の3D ポリゴン法線方向への移動操作

3D ポリゴン上での凹凸形状の点の座標が導出された後、凹凸形状の点の z 方向への座標変換を行う。移動する方向は対応する3D ポリゴンの法線ベクトル \mathbf{n}_m の方向であり、凹凸形状の任意の点の高さを z_n 、座標変換後の凹凸形状の点の座標を (x''_n, y''_n, z''_n) とすると、

$$\mathbf{n}_m = \begin{bmatrix} n_x \\ n_y \\ n_z \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$\begin{bmatrix} x''_n \\ y''_n \\ z''_n \end{bmatrix} = z_n \begin{bmatrix} n_x x'_n \\ n_y y'_n \\ n_z z'_n \end{bmatrix} \quad (11)$$

と導出することができる。

2. 2. 4. 凹凸形状の高さ z に対する重み付け及び凹凸形状の付与

これまで述べてきた処理を行うことで、対象となる非可展面に対し、3D スキャン等で取得した木目等の凹凸形状を付与することが可能である。しかし、製品表面に凹凸形状を付与する際には、凹凸形状を付与した表面の端部と、元の形状においてその表面の端部と接する部分とを連続な形状にする必要がある。端部のイメージを図5に示す。今回開発した手法においては、図6に示す通り、黒色に近いほど凹凸形状の高さ z が0に近づくように重み付けを行った。

3. 結果と考察

3. 1. 凹凸形状の付与及び形状の歪み

図7に示す3D スキャンで取得した木目の凹凸形状

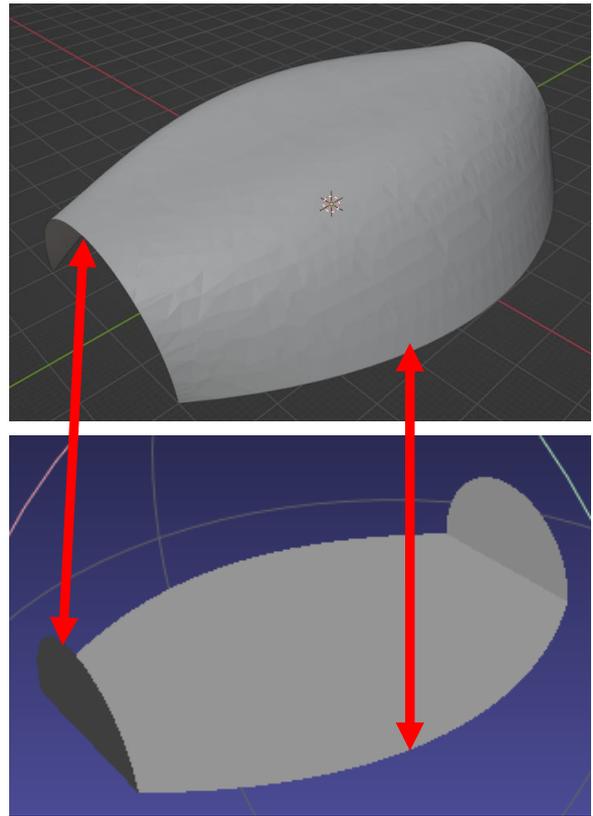


図5 端部のイメージ

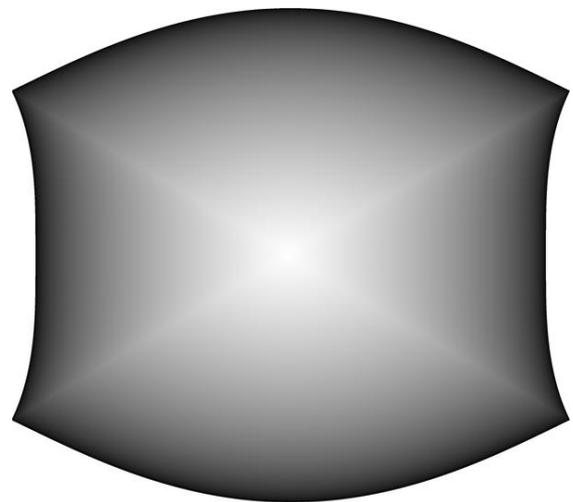


図6 重み付けのイメージ

を図2に示す非可展な表面に対し付与する実験を行った。結果を図8に示す。木目の凹凸形状を非可展面に付与することができたが、非可展な面の曲率が高い部分に付与した木目の凹凸形状に歪みが生じていることが確認された。これは、Blender等を用いたUV展開により元の三次元の三角形メッシュデータを二次元の三角メッシュデータに変換する際に生じる2Dポリゴンの拡張・歪みによるものである。例えばシボ加工におけるシボの形状のような、非連続的、非幾何的な凹

凸であれば問題とならないが、幾何的な凹凸形状等を付与する場合、付与した表面形状の意匠性が損なわれることが考えられる。今後、この歪みを抑える方法についても検討・開発していく必要がある。

3. 2. 加工性の課題

凹凸形状を付与した表面を持つ製品を製造する際の加工性についても課題がある。凹凸を付与した表面を持つ製品の加工は5軸加工機では可能である。しかし、射出成形で加工する場合、金型は抜き勾配を考慮した設計を行う必要があるが、今回開発した手法では考慮しておらず、金型における抜き勾配についても考慮した手法を開発していく必要がある。

4. 結言

本開発支援では、3D スキャン等で取得した木目等の凹凸形状を、非可展面を有する製品等の表面へ付与する手法及びそのプログラムについて開発を行った。凹凸形状が付与できることを確認し、付与後の凹凸形状に歪みがある部分があること、加工性の課題等があることが分かった。今後、応募企業の製品化に向けて引き続き支援を行っていきたい。

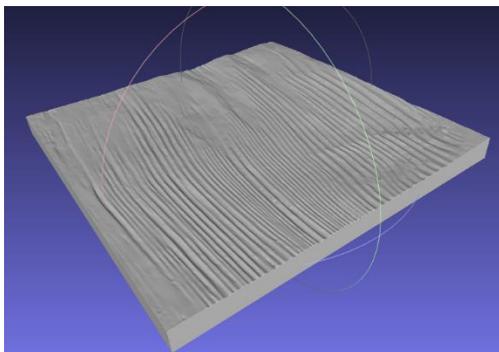


図7 付与する凹凸形状の例

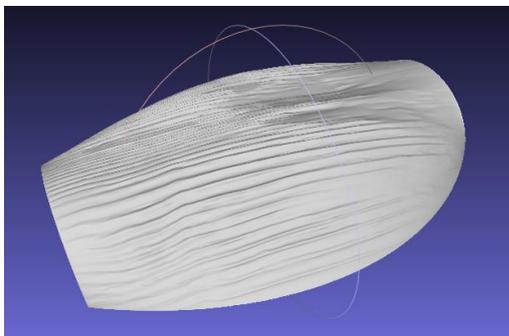


図8 付与結果

参考文献

- 1) 三浦憲二郎, 臼杵深. “デジタルデータに基づくシボ加工技術と ModelingNano プロジェクト”. 精密工学会誌. 2016, 82(11), p.933-938.