

スフェリコンをベースとした 等高重心立体の形状デザインシステム

廣瀬真輝[†] 三谷純[‡] 福井幸男[‡] 金森由博[‡]

[†]筑波大学情報学群情報科学類 [‡]筑波大学大学院システム情報工学研究科

1. はじめに

球体でないのに、平面上をスムーズに転がる「スフェリコン」と呼ばれる立体がある^[1]。スフェリコンは図1に示す形状をしており、斜面を左右にゆらゆらと揺れながら滑らかに転がり降りる。また、球や円柱と同様に、転がしても常に重心の高さが一定であるという性質があり、このような性質をもった立体は等高重心立体と呼ばれる。転がるときに、球体は点で平面に接するが、円錐面の組み合わせでつくられるスフェリコンは線で接する。そのため、円錐の任意の母線上の2点が残っていれば表面の一部を削っても滑らかに転がることのできる。

そこで本研究では、「滑らかに転がる」という制約条件を満たしながらスフェリコンの形状を編集することで、ユーザの意図を反映した「転がして面白い形」をデザインするシステムを提案する。メッシュまたはボクセルベースのデータ構造を持ったユーザインタフェースを4種類実装し、3Dプリンタを用いた出力を行った。



図1 スフェリコン

2. 関連研究

村松は、スフェリコンなどの等高重心立体をベースとし、ステンレススチールのパイプを用いて、滑らかに転がる大型のオブジェを制作した^[1]。これらの作品は興味深い形をしているが、製作者は作りたい形がスフェリコンに固有の幾何特性を保持しているかを考えながら形状をデザインする必要がある。そこで本研究では、ユーザがスフェリコンに固有の幾何特性を意識することなく、滑らかに転がる形状をデザインできるシステムを提案することを目標とする。

A sphericon based shape design system for a solid which height of the gravity is constant

Masaki HIROSE[†], Jun MITANI[‡], Yukio FUKUI[‡], Yoshihiro KANAMORI[‡]

[†]College of Information Sciences, University of Tsukuba
[‡]Department of Computer Science, University of Tsukuba

Mitraらは、投影したい3つの影画像を2値画像の集合として与えると、互いに直交する3方向から投影したときに、それらの画像が影として現れるような立体を自動的に生成するシステムを提案した^[2]。ユーザの手による編集操作も可能であり、その場合も、得られた形状は常に「目的の影を投影する」という幾何的な制約を満たす。本研究はこの研究に動機付けられており、「目的の影を投影する」という制約条件の代わりに、「重心の高さが常に一定」かつ、「滑らかに転がる」という条件を課す。また、立方体の代わりにスフェリコンを形状編集の対象とする。

3. 提案システム

3.1 形状表現

スフェリコンの形状表現には、メッシュまたはボクセルベースのデータ構造を用いる。ボクセル表現では、頂角90度の円錐を2等分にした立体を4つ組み合わせることでスフェリコンを形成し、それぞれを回転角 θ 、半径 r 、高さ z という座標系を用いてモデリングした(図2)。

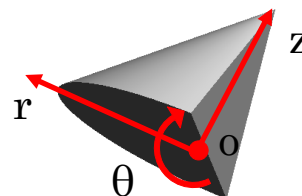


図2 スフェリコンを構成する部品の θ, r, z 座標系

3.2 制約条件

構築する形状は、スフェリコンに固有の幾何特性を保持するために、次の3つの条件を満たさなければならない。

- ひとつながりの立体である (位相制約)
- 任意の母線上に2つ以上の接地点を持つ (接地制約)
- 回転しても重心が一定の高さに保たれる (重心制約)

3.3 形状デザインシステム

本研究では以下に示す、4種類の異なるユーザインタフェースを持つ形状デザインシステムを提案する。

手法 1 : 任意形状へのスフェリコンの骨格構造の付加

ユーザが指定した任意のメッシュ形状に, 前述の制約条件を満たす骨格構造を付加して出力形状を得る (図 3) . 組み合わせる際に, 骨格構造によって定義される仮想スフェリコンの内部に入力形状が収まるように大きさを調整し, 重心が中央になるように位置を調整する.



図 3 入力メッシュ形状 (左), スフェリコン骨格構造 (中央), 出力形状 (右)

手法 2 : モーフィング

任意のメッシュ形状を, 2 種類の手法を用いて変形させる. 1 つは形状を徐々にスフェリコンに近づくように拡大していくもので, もう 1 つはユーザが指定した頂点群をスフェリコン骨格構造の円弧部に対応させるよう移動させるものである (図 4) .

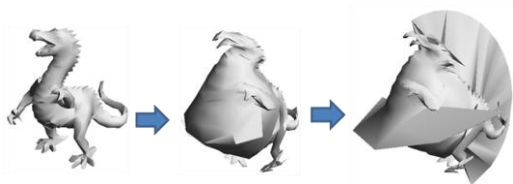


図 4 拡大変形 (左から中央) と, 頂点群の移動 (中央から右)

手法 3 : ボクセルの追加と削除

ユーザが指定したボクセルの追加または削除を繰り返す. 追加または削除をする際には, 接地制約と位相制約はシステムによって保証される. 重心制約は, スフェリコンを構成する 4 つの半円錐を, 全て同じ形状にすることで満たす.

手法 4 : 展開図への模様を描画

スフェリコンの表面は可展面である. その展開図にユーザが絵を描き, その絵を用いてスフェリコンの表面の形状を決定する (図 5) .

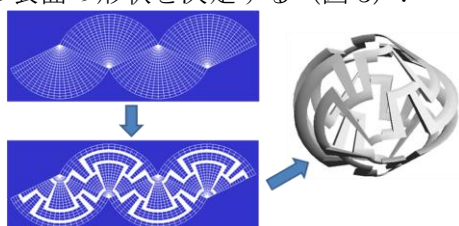


図 5 展開図 (左上) に絵を描き (左下), スフェリコンの表面に反映させる (右)

4. 結果と考察

提案システムを用いて, スフェリコンに固有の幾何特性を持った形状を複数デザインし, 検証のために 3D プリンタによる出力を行った (図 6) . 手法 2 を用いてデザインした形状は, 重心制約を満たしていないのと, 3D プリンタで出力するには薄すぎる部分があるため, 3D プリンタによる出力は行わなかった.



図 6 提案システムでデザインした 3D モデルと, 3D プリンタによる出力結果

3D プリンタで出力した形状がスフェリコンと同様に転がることを確認できた. 出力した形状の内部は, 図 7 に示すように格子状になっているため, データでは重心制約を満たしていても, 出力時に誤差が生じることがある. また, 出力する形状が細すぎたり, 薄すぎたりすると, データ通りに形状を出力することができなかった. このように, 3D プリンタで出力する際の制約も考慮して形状をデザインする必要があることが分かった.



図 7 3D プリンタによる出力物体の内部の様子

5. 結論と今後の課題

本研究では, スフェリコンに固有の幾何特性を持った形状をデザインするためのユーザインタフェースを 4 種類提案した. 提案したシステムではデザインできる形状が限られている. 今後は, 滑らかな曲線パイプからなる形状など, より多様な形状をデザインできるシステムを提案したい.

参考文献

- [1] 村松 俊夫, “等高重心立体の構造を用いた動く造形”, 日本図学会, 図学研究, Vol40, No.4, pp.11-16, 2006
- [2] Mitra, Niloy J. and Pauly, Mark, "Shadow Art", ACM Trans. Graph. vol.28, no.5, articleno. 156, 2009.