

# 不可能形状及び反重力運動表現のための陰影とテクスチャ

歪んだ実物体に対応した錯覚を誘発するための表現手法

鶴野幸子

近畿大学 産業理工学部, 九州大学大学院 芸術工学府  
sachiko@fuk.kindai.ac.jp, s.tsuruno.586@s.kyushu-u.ac.jp

富松 潔

九州大学大学院芸術工学府  
tomimatu@design.kyushu-u.ac.jp

キーワード: 錯覚、不可能形状、反重力運動

## 1 背景

2次元の不可能形状は16世紀の絵画にも描かれているが、20世紀半ばにPenroseらによって心理学の論文として発表され<sup>(1)</sup>、M. C. Escherのリトグラフである“Waterfall”や“Belvedere”等によって広く知られるようになった<sup>(2)</sup>。不可能形状は3次元では構造的に矛盾しており、2次元の不可能形状から直感的にイメージできるような3次元の形は存在しない。あくまでも人間の脳が作り出す心象である。例えば、図1(a)のような不可能形状は、図1(b)のように途中で切断するか、図2(c)(d)のように歪ませる必要がある。また、本研究ではボールを用いた反重力運動を表現することが目的である。反重力運動とは地球の重力を動力にしているにも関わらず、反重力方向に動いているように見える運動を指す。実空間でボールを転がすので、図1のような切断する方法は使用できない為、形状を歪ませる方法で対応している。歪ませた場合、本来は単一色の物体であるにも関わらず、図2(a)のようになり、不自然な陰影に見えたり、物体自体に濃淡があるように感じられる。テクスチャをつけると図2(b)に示すように、さらに不自然さが増幅する。画面上だけの表現であれば、Wuら<sup>(3)</sup>とElber<sup>(4)</sup>がレンダリング時の法線ベクトルを置き換えることでこれを解決している。しかし、実際の3次元物体には彼らの手法を応用できない。そこで本研究では、実空間における光源からの光の反射を考慮し、自然な陰影とテクスチャを実現する方法を考案する。

## 2 錯覚を起こさせるための表現技法

本研究は実空間内で、観察者に本来の形状を別の形状に誤認識させる。線画のように陰影やテクスチャがない場合は、同一視線上に物体を配置する方法で、図3のように見た目を同じにできる<sup>(5)</sup>。ところが陰影やテクスチャがある場合、この方法だけでは同じ形としては認識されない。例えば図4と同一視線上の別の形である図5において、それぞれの(c)の線画の透視図は同じに見えるが、陰影やテクスチャがある(d)や(e)をそれぞれ比較すると、異なる形状として認識される。この陰影やテクスチャを同じに見えるようにするには、バーチャル空間内だけであればレンダリング時に図4の形状の法線ベクトルを使って図5の形状をレンダリングすればよい。しかし実空間ではこの方法は使えない。そこで本研究では、線画では同じに見える2つの異なる物体を、実空間の光源の下でも目に届く物体からの反射光を同じにすることで、同一の物体として認識できる方法

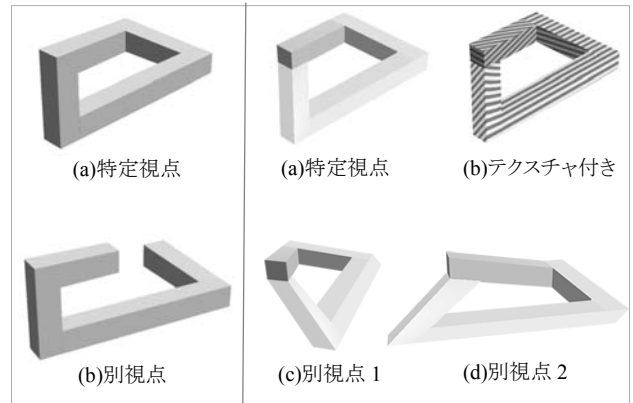


図1 切断による表現

図2 歪による表現

を示す。具体的には、図6において、面Aを面Mで擬態するとき、点aとmはそれぞれ面AとM上にあり、点vを視点とし、点a,m,vは同一線上にある。I<sub>a</sub>とI<sub>m</sub>をそれぞれ点aとmにおける反射光の強さとし、C<sub>a</sub>とC<sub>m</sub>はそれぞれ点aとmにおける物体自体の色とする。RGBの要素は各色0から1の範囲とするとC<sub>m</sub>は次の式で表される。

$$C_m = \frac{I_a}{I_m} C_a$$

この時、C<sub>a</sub>, I<sub>a</sub>, I<sub>m</sub>の値はC<sub>m</sub>の値が各色0から1の範囲内になるように制限される。擬態面M上のすべての点においてこの計算を適用することで、面Aと同じに見える陰影が実現し、同時にテクスチャの歪も解消される。図7は点光源の下で2つに折れた面が平面に見えるように適用した時の比較である。

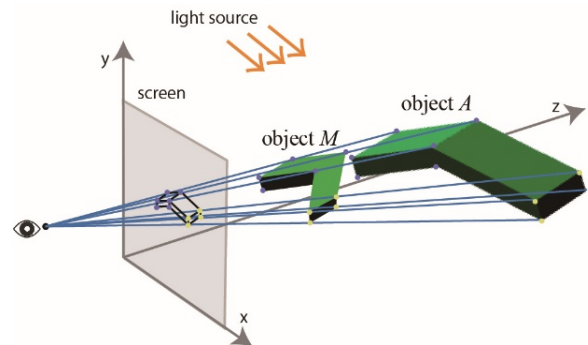


図3 同一視線上に物体が完全に重なった場合

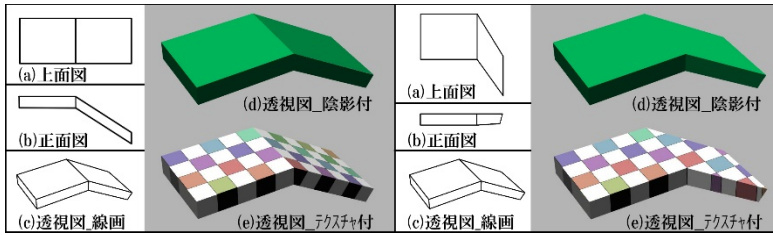


図4 見た目の形状

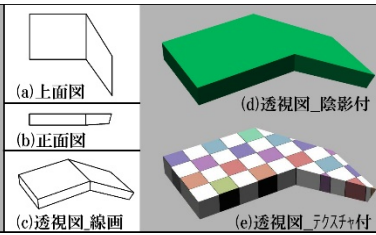


図5 同一視線上の形状

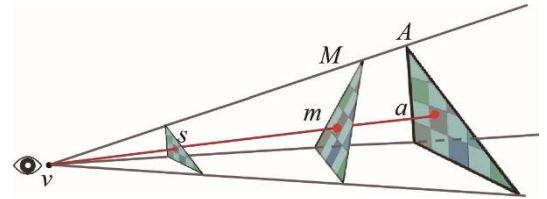
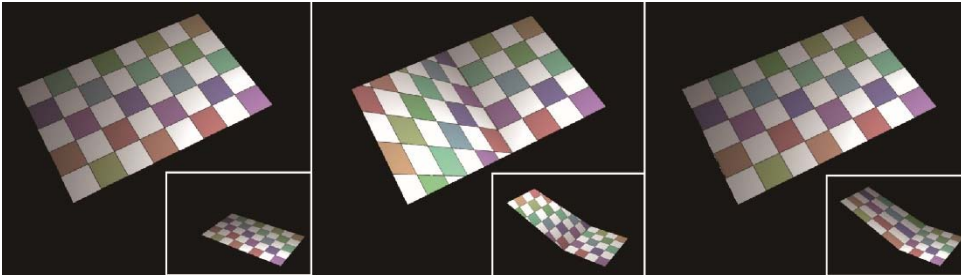


図6 面Aを面Mで擬態する場合



(a)平面

(b)折れた面

(c)折れた面に本手法を適用

図7 点光源下での見え方の比較



図8 出力した3Dモデルへのテクスチャの添付

### 3 実際の作品への応用

実際の3D物体にする為に、図8に示すように、形状は3Dプリンタで出力し、本手法を適用したテクスチャを印刷して表面に張り付けている。撮影時は、コンピュータでの設定と同じになるように、実際の3次元空間でカメラや光源を配置する。

図9~14に作品例を示す。何れもボールは重力によって動いており、手品のようなトリックは一切ない。図9は高さが矛盾している不可能物体で、図10に示すように周りの通路に着目すると通路は同一平面に見えるが、中央の傾斜面に注意を向けると左右の通路に高さの違いを感じる。ボールは中央の傾斜面を転がり落ちるが、周りの通路では転がしてもすぐに止まる。図11は逆にボールが傾斜面を上っていくように見えるが、実際には緩やかな下りである。図12に見た目の傾斜面と図9,図11それぞれの擬態面の位置関係を三面図で示す。図13は矢印のように垂直に上るように、図14は階段状に上るように錯覚される。形状を歪ませることでボールが落ちない構造にしている。

### 4 おわりに

歪んだ形状にも関わらず、実空間の光源に対応した自然な陰影とテクスチャを表現できたと考えている。今後は、アンケート調査や脳波測定などにより、その効果を客観的に検証したい。また、この手法を応用し、ストーリー性のある作品として、展開していくことを考えている。

### 参考文献

- [1]Penrose L. S, Penrose R., Impossible objects a special type of visual illusion, *British Journal of Psychology* Vol.49 pp.31-33, 1958.
- [2]ERNST, B. Magic Mirror of M.C.Escher, Taschen, 1978.
- [3]Wu T.-P., Fu C.-W., Yeung S.-K., Jia J., Tang C.-K., Modeling and rendering of impossible figures, *ACM Transactions on Graphics*, vol. 29, No. 4, article 106, 2010.
- [4]Elber, G. Modeling (seemingly) impossible models , *Computers and Graphics* vol.35, pp.632-638, 2011.
- [5]Sugihara K., Computer-aided creation of impossible objects and impossible motions, *Computational geometry and graphtheory : international conference KyotoCGGT*, vol.11, Springer, pp.201-212, 2007



図13 反重力 垂直移動



図14 反重力 階段状



図9 不可能物体 従重力運動

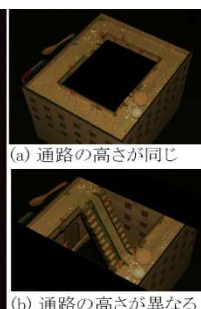


図10 高さの矛盾

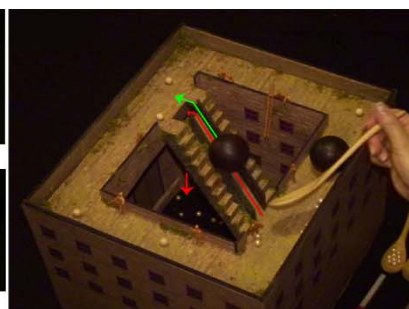


図11 不可能物体 反重力運動

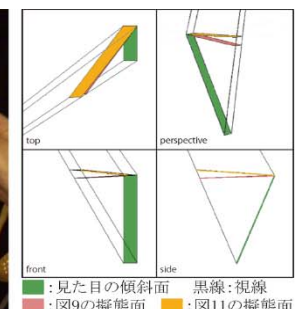


図12 図9,11の見た目の傾斜面と擬態面の位置関係