

不可能立体のレイトレーシング

篠原 祐樹[†] 宮下 芳明[†]

CG Ray Tracing of Impossible Objects

YUKI SHINOHARA[†] and HOMEI MIYASHITA[†]

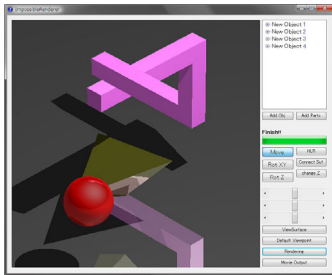


図 1 不可能立体の例 (試作システムを用いて出力)
Fig. 1 Example of impossible object.

1. はじめに

「一見作れそうであるが実際には作ることはできない」図 1 に示すような不可能立体の CG を誰でも手軽かつ本格的に作成できるようにしたい。本論文ではその第一歩として、ユーザがモデリングした不可能立体をレイトレーシングを用いて写実的な画像として表現する技法を提案する。また実際にシステムを試作し様々な物体を表現するテストを行った。図 1 に示した画像も、本システムを用いて生成したものである。

M.C.Escher は、不可能立体をテーマとした作品を数多く発表しており注目を集めているが、これらの作品が持つ「ありそうで、実はありえない」という性質が独特の違和感や面白さを生み、人気の要因の 1 つとなっている。本来画像を作ることは何らかの情報や感情を他者に伝達することにあり¹⁾、こうした特異な印象を見た者に与える不可能立体の表現技法は、デザインや芸術表現などにおいて大きな威力を発揮するツールとなるであろう。

不可能立体は数学や心理学の分野にも影響を与え、線画として表された不可能立体の解析²⁾³⁾ や、立体の不可能性が知覚に及ぼす影響の調査⁴⁾ などの研究が行われてきた。一方で、不可能立体を回転させながらインタラクティブにモデリングできるシステム⁵⁾ や、実現不能な構造の廊下や階段を、キャラクターが徘徊するだまし絵⁶⁾ など、不可能立体を計算機上で表現する研

究もはじまっている。これらの研究は、いずれも線画で表された立体を対象としていた。また、特定の不可能立体の陰影付けを行った例⁷⁾ もあるが、視点が限られるうえ、レイトレーシングのような写実的な画像は得られていない。前述のとおり不可能立体の面白さは「実際に存在するように見えて、実は存在し得ない」という違和感にこそあり、より多くの印象や感情を与えるために、もっと写実的で「実際に存在するよう」に見せ、違和感を強調する表現を行うべきであると筆者らは考えている。すでに CG 技術を用いて写実的な不可能立体の表現を行った芸術作品や広告も存在するが、こうした映像の作成は高い技能を持つ制作者のみが可能な、いわば「プロの技」であった。

本研究では、計算機上で表された不可能立体のモデルをレイトレーシングによって描画し、写実的な画像を生成する技法を提案する。さらに、モデリングやレンダリングなど一連の作業を行うことのできるシステムを制作することで、ユーザが簡単かつ効果的に不可能立体を表現することが可能な枠組みを構築した。

2. レンダリング手法の概要

2.1 モデルデータ

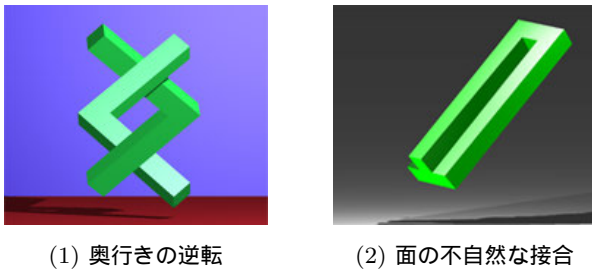
不可能立体は様々な実現方法があり、多くの種類に分類できる³⁾。本論文では、多面体に次の 2 種類のトリックを適用することによって実現される不可能立体を扱う。1 つは、対象立体の一部において、奥行き関係の順序が逆転する図 2(1) に示すような立体である。もう 1 つは、位置や向きが異なり通常では接合することの出来ない面同士が接合した図 2(2) のような立体である。

モデルデータは、これらのトリックを適用する前のベースとなる立体 (以下、基本立体と呼ぶ) のデータ、およびどの面に対してトリックを適用するか、という情報の 2 つから構成される。ユーザは初めに基本立体を作成した後その一部の面にトリックを施す、という手順で不可能立体をモデリングする。

2.2 レンダリング手順

レンダリングは、レイトレーシング手法を用いて行う。ただし、面の接合や奥行き移動を実現するために、

[†] 明治大学理工学部情報科学科
Department of Computer Science, Meiji University



(1) 奥行き逆転

(2) 面の不自然な接合

図 2 扱う不可能立体のトリック
Fig. 2 Tricks of impossible objects.

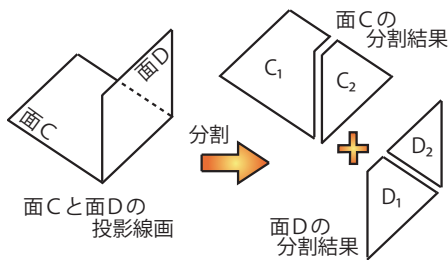


図 3 面を分割する例
Fig. 3 Dividing surfaces.

投影された立体の線画像を元に面の分割処理を適宜行っている。投影された線画において、立体の任意の面 C の一部が C 以外の面 D を隠すか D に隠される場合、面 C 上には面 D の稜線が C を分断するように描かれる。この面 D の稜線を用いて、面 C に対応する立体の面を 2 つに分割していく作業 (図 3 参照) を行う。与えられた投影線画の立体における全ての面について、この分割処理を再帰的に適用していけば、最終的にすべての面が他の面に隠されない、または完全に隠される状態になる。これにより、完全に隠された面を隠している面と入れ替えることで奥行きを入れ替えを行うことができる。例えば図 3 において、分割後の面 C₂ は面 D₁ に完全に隠れているが、これらの面を奥行き方向に前後させることにより、画像に投影される面を変えることが可能になる。

ここでいう「奥行き方向」とは投射されたレイの向きを指す。追跡しているレイと同方向に限定した平行移動であれば、投影面上での位置が変化せずズレが生じない。また、異なる向きの面同士を接合した際に、接合後の面が平らになるよう調節する必要がある。この際にもレイ方向へ限定した移動を用いている。ただし、これらの移動はレイの向きによって結果が異なるため、違う向きのレイを投射するたびに行う必要がある。

なお、不自然な面の接合が存在する状態で物体や視点が動くと、接合が維持できなくなる事がある。5) ではそのような場合、立体自体を回転・移動・拡大/縮

小することにより、接続を保つ工夫がなされている。本システムでも同様の機能を実装し、面の接合における問題を解決している。このため、視点を移動した際などに主観的な方向とは異なる向きに立体の一部分が動くことがある。

3. 試作システム

試作システム (図 1) において、ユーザは角柱や L 字、コの字の角材などベースとなるパーツを配置して組み合わせ、基本立体を作成する。その後、奥行きを入れ替えや面の不可能接合を行う箇所を指定して不可能立体を完成させる事ができる。また、立体の質感の設定やライティングの設定、カメラの位置調整も可能である。不可能立体だけでなく、実現可能な立体との共存もできる。

さらに、動画出力のための機能を用意した。これはカメラや物体の移動・回転を指定することでアニメーションを生成するものである。また、ステレオグラムやアナグリフの画像として出力することもでき、作成した不可能立体をより立体的に見ることが可能である。

システムの動作画面については添付動画⁸⁾を参照されたい。

参考文献

- 1) Seligmann, D.D. and Feiner, S.K.: Automated Generation of Intent-Based 3D-Illustrations, *SIGGRAPH91*, pp.123-132 (1991).
- 2) D.A.Huffman: Impossible objects as nonsense sentences, *Machine Intelligence*, Vol.6, pp.295-323 (1971).
- 3) 杉原厚吉: 不可能物体の数理, 森北出版 (1993).
- 4) M.Cowan, T. and Pringle, R.: An investigation of the cues responsible for figure impossibility, *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, Vol.4, No.1, pp.112-120 (1978).
- 5) Owada, S. and Fujiki, J.: DynaFusion: a modeling system for interactive impossible objects, *Proceedings of the 6th international symposium on Non-photorealistic animation and rendering*, pp.65-68 (2008).
- 6) 藤木 淳, 牛尼剛聡, 富松 潔: OLE Coordinate System: インタラクティブだまし絵, インタラクシオン 2007 論文集 (2007).
- 7) Savransky, G., Dimerman, D. and Gotsman, C.: Modeling and Rendering Escher-Like Impossible Scenes, *Computer Graphics Forum*, Vol.18, pp.173-179 (1999).
- 8) <http://miyashita.com/impossible.wmv> .