

# 不可能立体の拡張現実感表現

吉川 祐輔<sup>†</sup> 宮下 芳明<sup>†,††</sup>

<sup>†</sup>明治大学 大学院 理工学研究科 <sup>††</sup>独立行政法人科学技術振興機構, CREST

## Augmented Reality Expression of Impossible Objects

Yuusuke Kikkawa<sup>†</sup> Homei Miyashita<sup>†,††</sup>

<sup>†</sup>Graduate School of Science and Technology, Meiji University <sup>††</sup>JST, CREST

### アブストラクト

本稿では, M.C.Escher の絵画に見られるような不可能立体を 3DCG として拡張現実感的に表示するシステムを提案する. オブジェクトが描画されている面と面が重なり合っている部分に処理を施し, そこの奥行きを逆転させる操作をリアルタイムで行いながら AR マーカ上に重畳表示している.

### 1. はじめに

M.C.Escher の絵画に見られる不可能立体は, 見る者を惹きつける. 杉原は「立体実現問題の答えがノーであるにもかかわらず, 人の心に引き起こす立体構造に関する印象」と定義している[1]. 谷部らの研究では, ディスプレイ上に描かれた図形そのものが人間とインタラクションを引き起こす可能性がある」と指摘されているほか[2], 立体の不可能性が知覚に及ぼす影響の調査[3]も行われている. 脳内でイメージ可能であるのに, 実世界上では存在し得ないからこそ, その矛盾が独特な面白さを導き出しているのだといえる.

ところで, 不可能立体という魅力的なコンテンツを描画する試みもいくつか行われている. Chih らは不可能立体を実現可能な部分立体の接続によって表現し, 不可能立体の回転アニメーションの生成手法を提案している[4][5]. また, 大和田らは不可能立体をインタラクティブにモデリングできるツールを開発した[6]. さらに藤木らは, インタラクティブなだまし絵やそのエンタテインメント性を発展させたゲームを提案している[7][8]. 本稿の第二著者らも, 不可能立体のレイトレーシングを行う手法を提案してきた[9][10]. その手法のひとつは, 面と面が重なり合っている部分に処理を施し, そこの奥行きを逆転させることというものであり, これによってフォトリアルな不可能立体の CG を得ることに成功している. この出力結果は 3D モニタにも表示可能であるのが特徴である (図 1). 同種の試みは Wu らによっても提案[11]され, 今後さらに不可能立体の描画法についての検討がなされていくと考えられる. 本稿では[9][10]の手法を用い

て不可能立体の 3DCG 描画を行い, AR マーカ上に重畳表示するシステムを実装した.



図1 第二著者による手法[9][10]を用いた不可能立体の 3DCG

### 2. システム

提案システムの基幹部分は, 可能立体を重畳表示する通常の拡張現実感システムと変わらない. 本稿では Processing と NyARToolkit for processing を用い, マーカベースの AR システムとして実装している. 提案システムは, L 字型のオブジェクトが組み合わさった不可能立体 (図 1 での最右) を描画するものであるが, ネッカーキューブ (図 1 中央) をはじめとする不可能立体の表示も原理的に可能である.

提案システムは 4 つのイメージバッファとカメラからの入力画像バッファをもっている. 最初の 2 つのイメージバッファは, 立体を構成する要素となる 2 つの L 字型オブジェクト (以下これらを便宜的に青色オブジェク

ト・赤色オブジェクトと呼ぶ)を個別に重畳表示したときに得られる画像が格納される(図2左上, 右上). 3番目のイメージバッファは両方のオブジェクトが交差した可能立体を重畳表示したときに得られるイメージバッファである(図2左下). 提案システムは, これらのイメージバッファをもとに不可能立体が重畳表示された画像バッファを生成し, それを表示する(図2右下).

システムのアルゴリズムを以下に示す. まず不可能立体が重畳表示される画像バッファに対して, 3番目のイメージバッファ(可能立体)をコピーする. 次に, カメラからの入力画像バッファと1番目・2番目のイメージバッファとを比較し, 背景差分法を用いて青色・赤色それぞれのオブジェクトが描画されているピクセルを得る. そこから, 両方のオブジェクトがともに描画されている(オブジェクトが重なっている)ピクセルを得, そのピクセルに対し, 3番目のイメージバッファ(可能立体)をもとにどちらが手前に描画されているのかを判断する. そして, 青色オブジェクトが手前であるならば, 赤色オブジェクトが重畳表示されている2番目のイメージバッファから画素情報を取り出す. 逆に赤色オブジェクトが手前であるならば, 青色オブジェクトが重畳表示されている1番目のイメージバッファから画素情報を取り出す. そしてそれを不可能立体が重畳表示される画像バッファに上書きしていく.

こうすることで, 実際に可能立体で起こっているのは逆の遮蔽関係をもつ立体の画像を得ることができる.

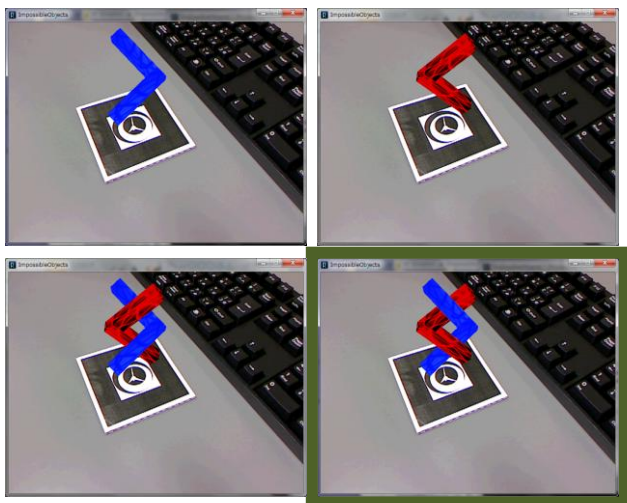


図2 不可能立体を構成するL字型オブジェクト(左上・右上), それらを交差させた可能立体(左下), 重なり部分を処理した不可能立体(右下)

この手法を用いると, 360度どの方向からでも不可能立体を観賞することができる. 通常のPCではフレームレートが荒くなってしまうのが難点であるが, ハイスペックなPCによる出力をHMDで体験すると, 高い実在感を感じることができる.

今後は, このシステムの高速化をはかると同時に, ネットワークキューブをはじめとする多様な不可能立体に対応させていきたい.

さらに, [9][10]で本稿第二著者が提案した「不可能立体の影」の描画法(影専用の立体に差し替えて演算を行う)を用いて, ARマーカ上に影を提示して実在感を高めたいと考えている. また, 拡張現実感を用いた不可能立体のモデリングインタフェースについても検討していきたいと考えている.

## 参考文献

- [1] 杉原厚吉: 不可能物体の数理, 森北出版, 1993.
- [2] 谷部好子, 藤波 努: 3次元物体の認知過程における主体的操作の特徴について ~ネッカーキューブ操作行動に見られた共通点, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2000 発表論文集, pp.483-486, 2000.
- [3] 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.
- [4] Khoh, C.W. and Kovesi, P.: Animating Impossible Objects. <http://www.csse.uwa.edu.au/pk/Impossible/impossible.html>
- [5] Khoh, C.W. and Kovesi, P.: Rotating the Impossible Rectangle, *Leonardo*, Vol.34, No.3, pp.197-198, 2001.
- [6] 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.
- [7] 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, *インタラクション 2007 論文集*, 2007.
- [8] Sony Computer Entertainment: 無限回廊. <http://www.jp.playstation.com/scej/title/mugen/>
- [9] 篠原祐樹, 宮下芳明. 不可能立体のレイトレーシング, *インタラクション 2009 論文集*, pp.143-144, 2009.
- [10] 篠原祐樹, 宮下芳明. 不可能立体の写実的表現手法の提案, *情処研報 2009-HCI-132*, Vol.2009, No.19, pp.95-102, 2009.
- [11] Tai-Pang Wu, Chi-Wing Fu, Sai-Kit Yeung, Jiaya Jia and Chi-Keung Tang. Modeling and Rendering of Impossible Figures, *ACM Transactions on Graphics (ToG)*, vol. 29, No. 2, Article 13, 2010.