

法線情報と色情報のカレイドグラムへのマッピングによる立体表示の検討

河合 直樹

鈴木 慎一郎

大畑 拓郎

大日本印刷株式会社

1. はじめに

偽造防止や装飾用に利用されるカレイドグラム[®]^[1]は、高輝度で精細な反面ホログラムのような立体表現は不可能である。本研究では、モデリングされた3次元形状の法線情報と色情報をカレイドグラムに継承することで、曲面形状をカラーで表現する立体表示手法を提案する。

2. カレイドグラムの特徴と課題

2次元図形で構成された図柄の各領域に回折格子（微細条溝）を異なった格子角度（条溝の向き）、格子ピッチ（条溝の凸部と凹部の幅の和）で割り当て、電子線描画によりカレイドグラム原版を形成し、エンボス加工により量産する技術が確立されている。カレイドグラムにより記録された図柄は、格子角度・ピッチの相違により、輝度・色彩の相違として観察される。また、各回折格子は観察角度により虹色に変化する（図1）。この特徴により、偽造防止や装飾用として利用されるが、回折現象による色彩や輝度の差異のみを利用しており、ホログラムとは本質的に異なる。カレイドグラムは高輝度で安価に量産可能である反面、デザインが平面領域の塗り分けに過ぎず、立体的な表現力に乏しい。



図1. カレイドグラムの見え方の変化例

3. 提案手法

ここでは、カレイドグラムの製作手順を説明した後、3次元でモデリングされた形状と色の情報をカレイドグラムに継承する手法を提案する。

An Examination of Three-dimensional Indication by Mapping Normal Vector and Colors onto Kaleidogram.

Naoki Kawai, Shin-ichiro Suzuki and Takuro Ohata, Dai Nippon Printing Co.,Ltd.

{Kawai-N,Suzuki-S9,Oohata-T}@mail.dnp.co.jp

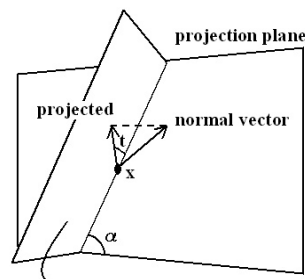
3.1. カレイドグラムの製作手順

領域分けされ着色された図柄において、任意の位置 \mathbf{x} について所属する領域 $R(\mathbf{x})$ と色 $C(\mathbf{x})$ が特定できる。カレイドグラム上の位置 \mathbf{x} では、格子角度 $\theta(\mathbf{x})$ は $R(\mathbf{x})$ により決定し、格子ピッチ $W(\mathbf{x})$ は $C(\mathbf{x})$ により決定する。 θ と R の対応付けに決まったルールはなく、任意のテーブル等で指定する。一方、格子ピッチにより特定の波長が強調され、特定の観察条件で $1.2\mu\text{m}$ で赤、 $1.0\mu\text{m}$ で緑、 $0.8\mu\text{m}$ で青に対応することが知られている。これに基づいて W と C を対応付け、所望の色彩を表現する。 $\theta(\mathbf{x})$ と $W(\mathbf{x})$ が決定すると、カレイドグラム全体を表す2値画像の原パターンが生成できる。

この原パターンを電子線描画によって基板上に実体化し、これを母型として樹脂フィルムにエンボス加工により転写することでカレイドグラムを量産できる。

3.2. 法線情報の継承

筆者らはモデリングされた3次元形状の法線情報を平面媒体上の条溝の方向情報に変換し、その結果に基づいて条溝を実体化することで、異方性反射により平面媒体上に曲面形状を知覚させる表示手法を提案した^[2]。この手法では、図2に示すようにCGの投影面上の位置 \mathbf{x} に得られる2自由度の法線ベクトルを法線投影面に投影し、その仰角成分 t を平面媒体上の位置 \mathbf{x} における条溝の方向情報とする。得られる仰角の範囲 $0 \leq t \leq \pi$ に対し、条溝の方向を $0 \leq \theta \leq \pi/2$ の範囲とするため、適宜 $\theta = t/2$ などのスケールリングを行う。



normal projection plane

図2. 法線情報の投影

カレイドグラムにおいても、領域内で向きの揃った微細条溝が回折により異方性反射素子と

して作用しており、法線情報より演算された条溝の方向情報を格子角度として利用することで、カレイドグラムに曲面上で変化する反射が再現できると予測できる。そこで図3に示すように、カレイドグラム上の微細なセルの各々について、セル内部を代表する位置 \mathbf{x} における角度 $\theta(\mathbf{x})$ にてセル内全域に平行線の条溝を定義する。厳密にはセル境界で不連続が生じるが、セルを十分小さくすることで視認できず問題はないと予測できる。

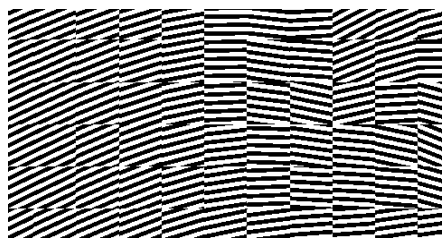


図3. 本手法による回折格子パターン拡大図

3.3. 色情報の継承

一般に 3DCG では、形状に設定した反射率、光線の強度と入射方向、射出方向を考慮したシェーディング処理によって、対応する画素における輝度を計算する。物体に色や模様を付けるためには、モデリングされた形状上の位置により複数の波長で異なる反射率を設定する。

カレイドグラム上に色調を再現するために、各位置における RGB 値を対応するセルの回折格子面積に反映させる。具体的には図4に示すように、3つのセルを一組の RGB 反射素子として各セル内部をそれぞれの原色を反射する格子ピッチで、それぞれの対応する位置の RGB 値に比例する面積の範囲内だけに条溝パターンを生成することで色情報を継承する。

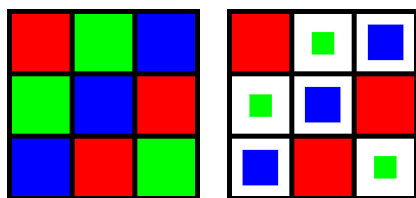


図4. RGBセルのサイズ調整

4. 検証実験

4.1. データの作成

提案手法の有効性を検証するために、図5に示す国旗のシーンを 1500×1500 pixel でレンダリングし、実サイズ 30×30 mm とみなした。レンダリングでは通常の輝度計算を行わず、法線情報と RGB 色面積情報を出力し、法線情報から提

案手法で格子角度に変換した。

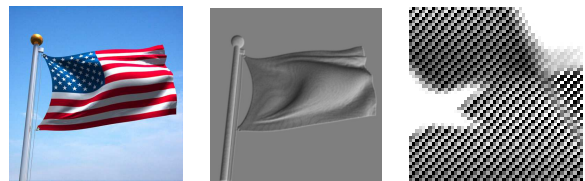


図5. シーン、方向情報と色面積情報（部分）

4.2. 製作結果

図5に示した方向情報をカレイドグラムを構成する各セルの格子角度に、色面積情報を RGB セルのサイズにそれぞれ割り当て、実際にカレイドグラムを製作した。30mm 角の面内を一边が $20 \mu\text{m}$ のセル配列に分割し、セル内部に位置に応じた格子角度で、位置の RGB 値に応じたセルサイズで $0.8 \sim 1.2 \mu\text{m}$ ピッチで格子の原パターンを生成し、これを基に本方式による立体表示カレイドグラムを製作した（図6）。

製作例では格子角度の相違により、照明方向により曲面上での鏡面反射の変化が再現されることが確認できた。また、RGB セルサイズの相違により、シーンに設定された色調が再現されることが確認できた。

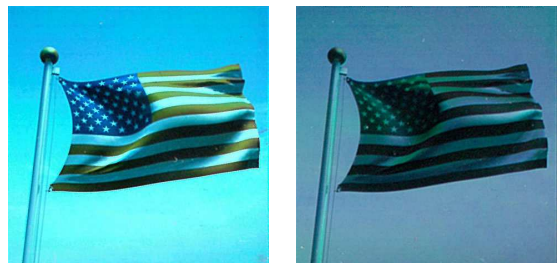


図6. カレイドグラム製作例の見え方の変化

5. まとめ

曲面形状の法線情報に基づいて格子角度を決定することで、カレイドグラム上に曲面の反射の変化を再現できた。また色情報に基づいて RGB セルのサイズを決定することでカラーを再現できた。これらは CG シーンからカレイドグラム上へのバンプ・テクスチャマッピングに相当するが、今後は他の属性情報を継承させる可能性も検討したい。

参考文献

- [1] <http://www.dnp.co.jp/bf/hologram/design/design.html>
- [2] 河合直樹, 異方性反射を利用した実物体への立体表現. 第4回 NICOGRAPH 春季大会論文集, pp23-24, 2005