

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 6 日現在

機関番号：12601

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2011 ～ 2012

課題番号：23800011

研究課題名（和文） 逆問題アプローチに基づく集光模様生成に関する研究

研究課題名（英文） A Research on Generation of Caustics via Inverse Problem Approaches

研究代表者

楽 詠瀨 (YUE, Yonghao)

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・助教

研究者番号：30612923

研究成果の概要（和文）：本研究では、ユーザの指定した集光模様を生成する透明屈折物体の形状を自動設計する方法を開発した。まず、物体が光を屈折する面（屈折面）を、不連続なファセットの集合によって表現する方法を開発した。次に、物体を透明な棒の集合で構成することにより、棒の集合を並べ替えることで異なる集光模様（ピクセルアート）を投射できる方法を開発した。さらに、屈折面を連続面で構成する方法を開発し、鋭いエッジや細かい領域を含む高品質な集光模様を投射できるようになった。

研究成果の概要（英文）：In this research, we developed methods for automatically computing the geometry of the transparent refractive object which produces a desired caustic pattern specified by the user. First, we developed a method to represent the surface refracting the light (refraction surface) using a discrete set of facets. Then we developed another method for making the object rearrangeable, by incorporating a set of transparent refractive sticks. By rearranging the same set of sticks, we can obtain different caustic patterns (pixel art). Finally, we developed a method for computing continuous refractive surface, and enabled production of high quality caustics, including sharp and thin features.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2011 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2012 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
総計	2,500,000	750,000	3,250,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：メディア情報学・データベース

キーワード：コンピュータグラフィックス、集光模様、透明屈折物体、逆問題、NC 機械

### 1. 研究開始当初の背景

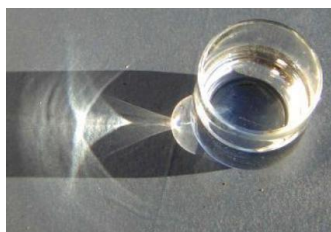


図 1. 集光模様の例。出典：インターネット。

察することができる。例えば、テーブル上の

本研究はコンピュータグラフィックス (CG) 分野の研究である。

集光模様 (図 1) は、我々の日常生活におけるさまざまな場面で観

ワイングラスに当たった光はテーブル上に集光模様を形成し、プールのような透明な波面に当たった光は、プールの底に波状の集光模様を形成する。こうした集光模様はしばしば印象的な視覚効果を生み出し、多くのアーティストや研究者を魅了してきた。このため、集光模様を計算することは、CG 分野における重要な研究テーマの一つである。

しかし一方で、どのような物体を作れば目的の集光模様を実現できるか、という方向の研究は少ない。集光模様を生成するには、鏡面を用いる方法と透明屈折物体を利用す

る方法が考えられるが、本研究では、透明物体を用いて所望の集光模様を実現する方法について研究した。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、ユーザの指定した所望の集光模様に応じて、その集光模様を生成する透明屈折物体の形状を自動的に設計する方法の開発である。また、コンピュータ上でのシミュレーションにとどまることなく、実物を実際に製作する。

従来 CG 分野では、透明屈折物体が与えられたとき、その集光模様をどのようにして計算するか、という順問題の解法に対する研究が主であったが、本研究はその逆問題へのアプローチであり、研究テーマとしての独創性が高い。また、逆問題の解決法として様々なアプローチを行い、体系的な研究を行う。実物の製作が実現されることによって、CG における新たな映像表現法を提唱できると考えている。

## 3. 研究の方法

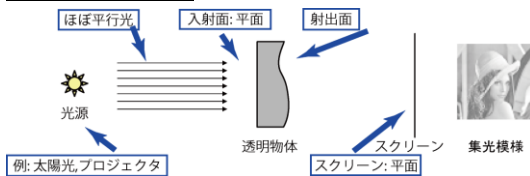


図 2. 本研究における問題設定。

本研究で想定する状況を図 2 に示す。まずユーザが所望の集光模様 (例えばロゴマーク) を指定し、本研究で開発する方法を用いて透明物体を生成する。次に、光源とスクリーンの間に透明物体を適切に設置すると、スクリーン上に所望の集光模様が現れる。

なお、光源は平行光源とみなせるもの (太陽光や離れた点光源など) を想定し、透明屈折物体の材質は、加工しやすく屈折率の高いアクリル樹脂とした。このようなアーティスティックな集光模様を生成する透明物体が製作可能になれば、アートとして展示したり、透明なキーホルダーを作成したり、他にも様々な面白い応用が考えられる。

本研究では、透明物体の設定として、図 3 に示す三種類について研究を行った。以下順に説明する。

(1) 一つ目の手法では、透明屈折物体は単一の物体 (図 3(a)) である。光源からの光は、物体の一つの平面 (入射面) に入射して物体を透過し、反対の面 (射出面) から物体の外にぬける。射出面は、巨視的に見ると入射面に平行であるが、異なる法線ベクトルをもつ小さなファセットの集合から構成されており、光はファセットの法線方向に応じて異なる方向へ屈折し、スクリーンに到達して集光模様を形成する。提案法では、入射面から入射した光とスクリーン上に到達

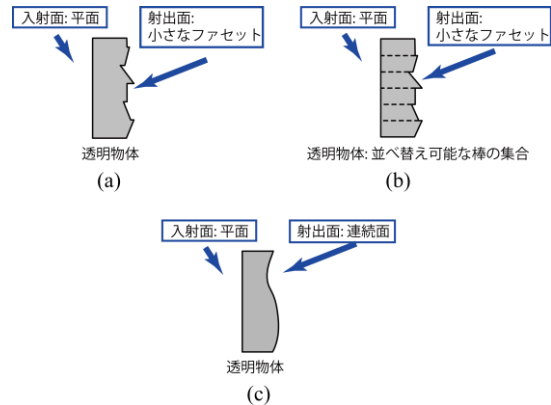


図 3. 本研究で考慮する透明物体の設定。

する光との間の対応関係を、グラフ理論を応用して求め、ファセットの法線を計算して物体形状を求めた。

(2) 二つ目の手法では、一つ目の手法の考え方を拡張し、透明屈折物体を並べ替え可能なアクリルの棒 (図 3(b)) から構成した。各々の棒は特定の方向に光を屈折でき、棒の配置を変えることでさまざまな集光模様を表現可能である。提案法では、棒の配置を求める問題を混合整数計画問題に基づく最適化問題として定式化した。提案法は、棒をグリッド状に配置しており、新しいピクセルアートの表現法ともいえる。

(3) 上記の二つの手法は、透明屈折物体の形状が不連続であるため、実現できる集光模様の質が限定される問題があった。そこで、三つ目の手法として、連続面から構成される形状を求める方法について研究を行った。

提案法は二つのステージから構成される。第一のステージでは、入射面に到達する光とスクリーンに到達する光との間の対応関係 (写像) を求める。射出面として連続的な面を得るには、連続的な対応関係を求めることが重要である。また、目的の集光模様を実現するには、光のエネルギー配分 (写像のヤコビアン) を制御する必要がある。本研究では、写像の連続性を保ったまま、光のエネルギー配分がより適切に行われるように、ポアソン方程式を解いて写像を反復的に更新する手法を開発した。

第二のステージでは、得られた写像に基づいて、まず光の屈折方向を求め、射出面の法線を推定する。次に、法線の分布をもとに、ポアソン方程式を解くことによって射出面の形状を求めた。

## 4. 研究成果

(1) 一つ目の手法による結果を図 4 に示す。開発した手法により、入力集光模様を生成する物体形状を計算し、さらに NC 機械を利用して実物を製作した。入力集光模様

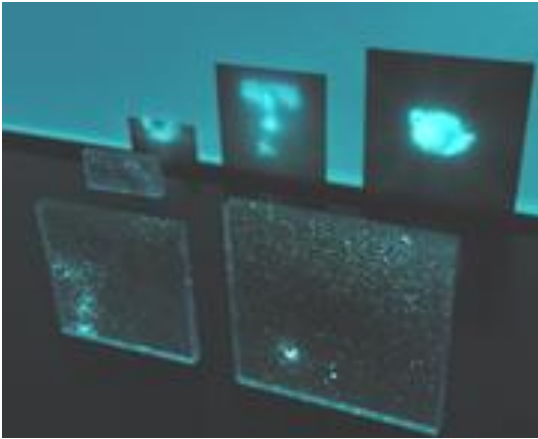


図 4. 上段: 入力集光模様. 下段: 一つ目の手法によって求めた物体形状を, 実際に NC 機械によって製作し, 集光模様を投射した様子.



図 5. 右上: 入力集光模様. 二つ目の手法では, 光を屈折する棒を並べ替えることによって, 左の図に示すように, 目的集光模様を投射できる. 右下: 投射された集光模様.

の濃淡を大まかに表現できていることがわかる.

(2) 二つ目の手法による結果を図 5 に示す. この図では, 入力に対して棒の配置を計算し, その配置に合わせて実際に棒を並べ替えて, 光を照射した場合の集光模様を表している. 本手法では, ファセットという特性をピクセルアートに生かしている. 単一の棒の集合を並べ替えることで, 複数の異なる像を再現できることを図 6 に示す.

(3) より複雑な像を表現しようとした場合, 一つ目と二つ目の手法では, 加工の都合上各ファセットは一定以上の大きさである必要があり, そのため一定の面積に使えるファセット数が限られ, 再現できる集光模様の解像度はあまり高くない. このことは高品質な集光模様を再現しようとする場合に問題となりうる.

三つ目の方法では, 図 7 に示すように, 透明物体の屈折面は連続面である. 透明屈折物体の位置や角度が多少変動しても集光模様の変化が少ないので, 理想でない照明環

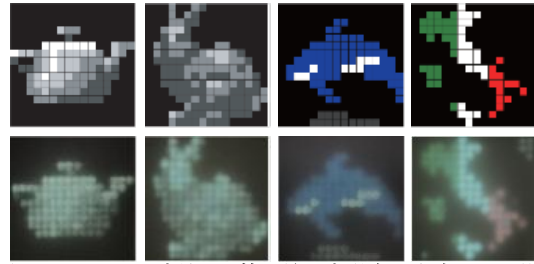


図 6. 二つ目の方法で, 棒を並べ方場合に生成できる他の集光模様の例. 上段: 入力集光模様. 下段: 投射された模様. 右の二例では, カラーフィルタを適用して色つきの集光模様を投射している.

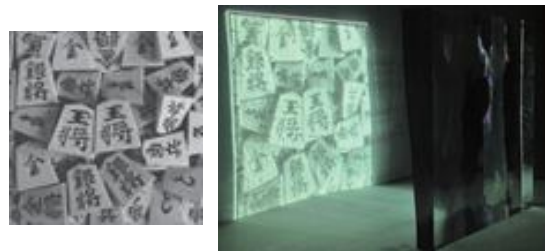


図 7. 三つ目の手法による結果. 左段: 入力集光模様. 右段: 製作した透明屈折物体, およびその集光模様.

境下でも集光模様を観察することができる. また, 微妙な濃淡変化や曲線, 鋭い形を含む高品質な集光模様も扱えるようになったことで, 表現の能力が向上した.

以上の三つの手法により, ピクセルアートのようなアーティスティックなアプリケーションから, 自然画像のような高品質な集光模様の投射まで, 幅広い集光模様を生成できる物体の形状設計法を開発できたといえる.

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者, 研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

① Y. Yue, K. Iwasaki, B.-Y. Chen, Y. Dobashi,

T. Nishita, "Pixel Art with Refracted Light by Rearrangeable Sticks," Computer Graphics Forum, 査読有, 31(2), 2012, pp.575-582, DOI: 10.1111/j.1467-8659.2012.03036.x

〔学会発表〕(計 3 件)

- ① **Y. Yue**, 岩崎 慶, 陳 炳宇, 土橋 宜典, 西田 友是, "所望の集光模様を生成するための連続面からなる透明物体の形状設計法," *Visual Computing / グラフィクスと CAD 合同シンポジウム 2012*, 2012 年 06 月 23 日~2012 年 06 月 24 日, 早稲田大学 国際会議場
- ② **Y. Yue**, K. Iwasaki, B.-Y. Chen, Y. Dobashi, T. Nishita, "Pixel Art with Refracted Light by Rearrangeable Sticks," *Eurographics 2012*, 2012 年 5 月 16 日, イタリア・カリヤリ
- ③ **Y. Yue**, 岩崎 慶, 陳 炳宇, 土橋 宜典, 西田 友是, "所望の集光模様を生成する透明物体の一設計法," *Visual Computing / グラフィクスと CAD 合同シンポジウム 2011*, 2011 年 6 月 25 日, 島根・くにびきメッセ

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

楽 詠瀬 (YUE, Yonghao)

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・助教

研究者番号 : 30612923