

平成 30 年 6 月 17 日現在

機関番号：12301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2017

課題番号：16K12469

研究課題名(和文) 食べられる再帰性反射材の創出

研究課題名(英文) Edible Retroreflector

研究代表者

奥 寛雅 (Oku, Hiromasa)

群馬大学・大学院理工学府・准教授

研究者番号：40401244

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：再帰性反射材は、カメラから明るく観察されるため、画像処理用のマーカーとして頻りに利用されている。本研究では、食材のみから再帰性反射材を実現する方法を開発し、寒天製の食べられる再帰性反射材を実現した。また、作成した食べられる再帰性反射材を料理の上に付与することで、料理上へのプロジェクションマッピングを安定して実現できることを実証した。本成果はパーティーなどにおける食の新たな演出手法の創出や、消化管内部に設置可能なマーカーとして利用することで新たな医療技術の創出などに寄与する。

研究成果の概要(英文)：A retroreflector is a kind of optical device that can reflect incident light back to the light source. A retroreflector is often used as an optical marker for machine vision since it becomes very bright in the scene and is easy to detect by image processing. Based on this idea, this study proposed and developed an edible retroreflector made from transparent foodstuffs. We found that kanten, or Japan agar, which is a traditional Japanese cooking ingredient used to form a transparent jelly, was suitable for forming such optical devices. A recipe for an edible retroreflector using kanten was developed. A prototype made from kanten showed a retroreflective function in reflectance measurement experiments. From the measurement of reflectance and reflected images, the prototype was shown to work as a retroreflector and to properly work as an optical marker for computer vision. Dynamic projection mapping on a Swiss roll was also successfully demonstrated using the prototype as an optical marker.

研究分野：ダイナミックイメージコントロール

キーワード：光学マーカー 再帰性反射材 食べられる 料理 VR/AR プロジェクションマッピング

### 1. 研究開始当初の背景

近年、液体レンズに代表されるように、液体を利用した新しい光学デバイス形成技術が注目を集めている。液体は、可視光に対して透明なものが多く、またその界面はオングストロームの精度で滑らかである。そのため、適切に形成すると高精度の屈折面が実現でき、光学デバイスを実現するのに優れた素材であることがわかってきた。

さて、ここで少し視点を変えて、多くの食品の素材が液体であることに着目してみよう。代表的なものとしてゼリーを考えると、これは熱水に高分子である寒天や増粘多糖類、もしくはタンパク質からなるゼラチンを溶解させ、温度を下げてゲル化させたものである。ゼリーの主成分は水であり、可視光に対して高い透過性をもつ。また、型に入れて形成することもできるため、原理的にはその表面形状を制御することも容易である。これらの性質はすべて光学デバイス形成に必要とされるものであり、光学デバイスの素材として適しているといえる。

一方、近年 VR や AR 技術が注目を集めており、現実世界の情報を認識しながら、そこに新たな情報を付与して人間に提示することの重要性が高まってきている。このような場合には現実世界に存在するものの位置や姿勢の認識が重要であり、その実現を助けるものとして光学マーカーが存在する。従来の光学マーカーはガラスやプラスチックを素材としており料理や医療など生体に近い対象への付与は難しいという問題があった。しかし、食品を素材とした光学素子であればこのような問題を根本的に解決し、VR/AR 技術の料理や医療など新たな分野への展開を容易にすることが期待される。

### 2. 研究の目的

本研究は、特に食べられる再帰性反射材を対象に研究・開発し、その有用性を応用実験から実証することで、食べられる光学デバイスという概念を提案し新たな分野を開拓することを目的とする。つまり、料理や人間の消化管表面に設置可能な光学マーカーを創出することで、例えばウェディングケーキ上への安定したプロジェクションマッピングを可能とすることを目指すものである。

### 3. 研究の方法

#### (1) 食材による再帰性反射材作成手法

再帰性反射材を実現する構造は、主にガラスビーズ型とコーナーキューブ型の2種類がある。ビーズ型の再帰性反射材は構造上素材が高屈折率である必要があり、食品で実現することは困難である。そのため本研究では市販のコーナーキューブ型再帰性反射材の形状を型取ることによって、再帰性反射の性質を食材に付加させるという手法を採用した。コーナーキューブ型の再帰性反射材は、精密な3枚の平面をそれぞれ直角に組み合わ

せて頂点を作る形状から成り、それぞれの面で全反射が行われることで光源方向に光を反射する構造である。この構造によって再帰性反射が行われるため、型取る際には精密に形成する必要があると考えられる。

次に、再帰性反射材の形成に適する食材を調査した。まず、食べられる再帰性反射材の実現方法としては、コーナーキューブ型の市販の再帰性反射材を型として、主に液体状の素材を流し込み形成する方法を想定する。

この前提の下で、再帰性反射材の構造や特性、作製方法から素材に必要であると考えられる条件を以下に示す。

- (A) 食べることが可能であり、毒性がないこと
- (B) 透過率が高く、光の減衰が少ないこと
- (C) 高屈折率で光の反射率が高いこと
- (D) 流動性を持たせることなどで型に流し込むことが可能であり、何らかの操作で凝固してコーナーキューブ形状を精密に形成、維持することが可能であること

次に、透明に近いという観点から次の5つの食材を候補として挙げた。還元パラチノース、アルギン酸ナトリウムゲル、グルコマンナン、ローストビーングラムとカラギーナンの混合物(以降カラギーナン混合物)、寒天の5つである。上述した条件をもとに、再帰性反射材に候補の素材が適しているかを調査した。(A)は食品であることからすべての素材が満たす。(B)は分光光度計を使用してそれぞれの透過率を測定した。なお測定範囲は可視光とし PMMA 素材 12.5 mm 厚のセルを使用した。この結果からカラギーナン混合物と寒天の透過率が比較的高いことがわかった。しかし、それ以外の素材では多くの波長で 70% 未満の透過率を示しており透過率は低いと考えられる。(C)屈折率は素材にショ糖などを加えることで調整が可能であるため、どの素材でも、これを利用して屈折率を高くすることが可能である。つまりどの素材もこの要求条件は満たせる。(D)形成する上で加工性が良好であるのは、ゼリーなどの凝固材として使用される寒天とカラギーナン混合物であった。パラチニットは流動性もあり加工も可能であるが融点が 170 程度と高く、さらに粘性が高いため型取りの難易度が高い。特に今回型として利用したコーナーキューブは高温には耐えられず、型取りに別に金型が必要となることから本論文ではパラチニットは候補から外した。

寒天とカラギーナン混合物は型に流し込んで成型可能であった。しかし、実際の試作品で反射率を計測すると、寒天がビーズ型の市販品に近い反射強度を示したのに対し、カラギーナン混合物はごく弱い反射光しか得られなかった。この原因を調べるために、成型品を拡大して観察したところ、寒天による試作品は微細な形状まで比較的忠実に再現できていたのに対し、カラギーナン混合物は

角が丸くなり、微細な形状が失われていることがわかった。この形状再現性の違いが反射率の違いの原因であると推測される。

以上の結果から、寒天が再帰性反射材形成の素材として優れていると考えられる。図1に試作した寒天製再帰性反射材の写真を示す。

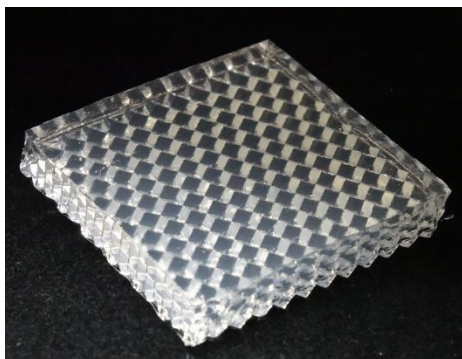


図1 寒天を素材とする再帰性反射材

試作した寒天製食べられる再帰性反射材のもつ再帰性反射材としての有効性を評価するために、反射照度測定実験、同軸落射照明下での画像計測実験を行った。

反射照度測定実験では、試作した寒天の再帰性反射材がどの角度でどれくらいの反射照度をもつのか測定した。光源と試作物を結ぶ直線と試作物の法線との成す角を入射角、光源と試作物を結ぶ直線と試作物と照度計を結ぶ直線との成す角を観測角として、これらを変化させて各角度での照度を測定した。結果から入射角0度、観測角1.5度するとき最大値をとり、光源照度の10%程度を反射していることがわかった。また観測角が0度から離れるにつれて照度が下がっていることから、試作した寒天製の再帰性反射材は再帰性反射をしていることが確認できた。一方、入射角が大きくなるにつれて反射照度はほぼ全域で低下しており、今回の実験では約15度程度までは再帰性反射が認められたが、それ以上の入射角では再帰性反射はほとんど認められなかった。つまり、再帰性反射が起こるためには正面から15度以内の角度から光を入射させる必要があることが判明した。この原因としては、素材の屈折率が再帰性反射材の材料としては低いため、全反射可能な光の入射角が限られていることが考えられる。この問題は、ショ糖などをさらに加え屈折率を上げることで改善できる可能性がある。

同軸落射照明下での画像計測実験では、落射照明下で試作品と市販のビーズ型再帰性反射材とを並べて画像を計測して、市販品と同程度の明るさを持つ再帰性反射像が得られることを確認した。

#### (2) 食べられる再帰性反射材応用実験

試作した寒天製再帰性反射材が実際にカ

メラ用のマーカーとして実用的に機能するのを実験した。具体的には、実際に寒天製再帰性反射材をカメラ用のマーカーとして使用し、マーカーを追従することで動的プロジェクションマッピングを行った。投影対象は市販のロールケーキとし、寒天製再帰性反射材マーカーはケーキの右に設置した。投影内容は視覚的なエフェクトとともに文字が「Happy」、「Birthday」、「TAKAHIRO」と変化するものとした。

図2は実際に動的プロジェクションマッピングを行った際の動画から抽出したものである。この実験では人間がケーキを皿ごと動かしているが、その最中でもケーキの上に安定して動画を投影していることが読み取れる。以上の結果から、試作した寒天製再帰性反射材マーカーが動的プロジェクションマッピングのマーカーとして機能していることがわかる。

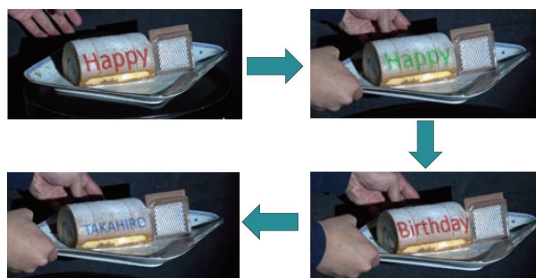


図2 寒天製再帰性反射材をマーカーとした動的プロジェクションマッピング結果

#### (3) 食べられるARマーカーの開発

食べられる再帰性反射材単体は単純にカメラから明るく見えるのみなので、その二次元的な位置は簡単に計測できるが、それ以外の、対象までの距離や対象の姿勢などは計測できない。そこで、対象の三次元的な位置・姿勢を計測可能な食べられるマーカーとして、食べられるARマーカーを開発した。このマーカーは正方形の食べられる再帰性反射材の一部にスライスチョコレートで作成した遮光板を付与したものであり、この遮光板がマーカー中央に暗いパターンを生成する。正方形の形状と中央の暗いパターンの形状から、マーカーの位置・姿勢の検出とマーカーの同定を可能とするものである。

試作した食べられるARマーカーを用いて姿勢計測実験を行った結果、紙に印刷したARマーカーよりやや推定精度は悪いものの、姿勢変化が検出できることがわかった。また、食べられるARマーカーを利用した動的プロジェクションマッピングにも成功した。

#### 4. 研究成果

- 寒天が再帰性反射材の形成に適することを見出した。
- 寒天を用いたコーナーキューブプリズム原理による食べられる再帰性反射材作成手法を確立した。

- 食べられる再帰性反射材とスライスチョコレートにより位置・姿勢の検出が可能な食べられるARマーカーを開発した。
- 以上で作成した食べられる光学マーカーを利用することで料理への動的プロジェクションマッピングが実現可能であることを実証した。
- 受賞
  - Best Paper Award, 23<sup>rd</sup> ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST '17)
  - インタラクシオン 2017 インタラクティブ発表賞(一般投票)
  - インタラクシオン 2017 インタラクティブ発表賞(PC推薦)

#### 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)

宇治貴大, 張依婷, 奥寛雅 : 食べられる再帰性反射材の提案と試作, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.22, No.4, pp.535-543 (2017) [査読有]

##### [学会発表](計7件)

宇治貴大, 奥寛雅 : 食べられる再帰性反射材の提案と試作, 第21回一般社団法人情報処理学会シンポジウムインタラクシオン2017, インタラクシオン2017論文集, 論文ID 1-503-17, pp.166-169  
 張依婷, 奥寛雅 : 食べられる再帰性反射材による食べられるARマーカーの提案と試作, 第22回日本バーチャルリアリティ学会大会(VRSJ2017), 論文集, 3E1-06  
 Takahiro Uji, Yiting Zhang, and Hiromasa Oku : Edible Retroreflector (Full Paper), 23rd ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST '17), Proceedings [doi:10.1145/3139131.3139148]

奥寛雅 : 食べられる再帰性反射材の試作と応用(招待講演), 一般社団法人電子情報通信学会ポリマー光部品技術特別研究専門委員会第38回ポリマー光部品(POC)研究会(産総研臨海副都心センター, 東京, 2017.11.24)

奥寛雅 : 再帰性寒天反射材を利用した料理上へのプロジェクションマッピング(招待講演), 第22回レーザーディスプレイ技術研究会(東京大学生産技術研究所コンベンションホール, 東京, 2018.2.9)

奥寛雅 : 新規光学素子によるダイナミックイメージコントロール(招待講演), 第67回PST-net例会(東京八重洲ホール811号室, 東京, 2018.4.20)

Hiromasa Oku : Edible Retroreflector for Dynamic Projection Mapping on Foods (invited), Laser Display and Lighting Conference (LDC2018), OPTICS & PHOTONICS International Congress 2018, Session No. LDC4-1

[図書](計0件)

[産業財産権]

出願状況(計1件)

名称: 再帰性反射材  
 発明者: 奥寛雅, 宇治貴大  
 権利者: 国立大学法人群馬大学  
 種類: 特許  
 番号: 特願 2017-029553  
 出願年月日: 平成29年2月21日  
 国内外の別: 国内

取得状況(計0件)

[その他]

ホームページ等

<http://okulab.wixsite.com/okulab>

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

奥 寛雅 (OKU, Hiromasa)  
 群馬大学・大学院理工学府・准教授  
 研究者番号: 40401244

##### (2) 研究分担者

なし

##### (3) 連携研究者

なし

##### (4) 研究協力者

なし