

食べられる再帰性反射材の提案と試作

宇治貴大^{†1} 奥寛雅^{†1}

概要: 本研究では、カメラ用のマーカーなどとして利用される再帰性反射材を、食材を用いて作製することで食べられる光学デバイスを提案する。従来の再帰性反射材は食べられない素材で作られていたが、これを食品から作製することによって料理や生体との整合性がよく、食品へのプロジェクションマッピングなどを可能とするため、新たな応用が期待できる。これを実現するため、身近な食品から再帰性反射材として適した食材を選出し、実験を元に食べられる再帰性反射材の実現方法を確立し、光学デバイスとしての性能を評価した。

Proposal of Edible Retro-Reflector and Its Prototype

TAKAHIRO UJI^{†1} HIROMASA OKU^{†1}

Abstract: Retro-reflectors are often used as optical marker for image processing. Conventional retro-reflectors are made from glass or plastic. Because these materials are inedible, they are difficult to be used as markers for food or dishes, or inside wall of digestive tube. In this paper, edible retro-reflector made from foodstuffs is proposed. They would be suitable as the optical marker for the dishes and medical applications. We evaluated several kinds of foods as the candidate material to compose such device, and developed a method to fabricate the edible retro-reflector. The retro-reflected light intensity of the prototype and conventional retro-reflectors were measured and compared, and the validity of the prototype was confirmed.

1. はじめに

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[1] [2] [3]. 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[4]. 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。

このようにある種の食品は光学デバイス用素材として優れた性質を持っており、これまでレンズを飴で形成して光学教育に応用することを提案する論文などが報告されている[5].

本論文では、食品を利用した光学マーカーの創出を目的として考え、具体的な光学素子として再帰性反射材を対象とし、食べられる再帰性反射材の試作結果を報告するとともに、

その応用用途について議論する。

2. 食べられる再帰性反射材

食べられる再帰性反射材の概念図を図 1 に示す。このデバイスの利点は主として二つ挙げられる。

一つ目は、人が食べる料理などの上に直接光学デバイスが載せられるようになることである。例えば、料理の上に設置できればカメラから料理が認識しやすくなり、結婚式で運ばれてくるウェディングケーキの上に、プロジェクションマッピングするなどの新たな演出が可能となると考えられる。しかし、従来の光学デバイスは、多くがガラスやプラスチックなどの食べられない素材で作られている。そのため、料理の上に載せた場合は食べる前に取り除く必要があり、また素材に毒性がある危険性や、誤飲・誤食の危険性があった。食材で形成されている光学デバイスであれば、これらの問題はなく、料理の上に乗せても安心・安全



図 1 食べられる再帰性反射材概念図
Figure 1 Conceptual diagram of edible retro-reflector.

^{†1} 群馬大学
Gunma University

である。

二つ目は、人の口腔内や消化管表面などに設置することに適する点である。消化管の上に再帰性反射材を設置できれば、手術ナビゲーションの基準点として機能すると考えられる。また光学計測への応用可能性もあるため、計測の高精度化等への寄与も期待できる。食材で形成されている光学デバイスであれば、人体への毒性や影響はほとんどないと考えられ、また、留置しておいても自然と消化されるため、回収の手間がないという利点が想定される。

本論文では、特に一つ目に挙げた、料理への応用を想定し、アメや寒天など身近にある食材を利用して再帰性反射材を実現することを目的とした。以下では食べられる再帰性反射材の実現方法を提示し、実験から性能を評価した結果について報告する。

3. 再帰性反射材

再帰性反射材とは、光源から入射した光に対して光源方向に向けてまっすぐ光を反射させる光学デバイスである。この性質から、身近なものでは道路標識などに採用されており、自動車のヘッドライトからの光を再帰性反射することで、ドライバーは標識を明るく見ることができる。また、近年では人や物の動きをデジタル的に記録できるモーションキャプチャがCG作製や計測に利用され、再帰性反射材はその目印となるマーカーとしても使用されている。これは物体に固定された再帰性反射材に光を照射し、その反射をカメラで捉えることで、物体の動作をコンピュータで認識することができるというものである。

構造として再帰性反射材には主にガラスビーズ型とコーナーキューブ型の2種類があるが、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図2に示す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、型取際には精密に形成する必要があると考えられる。

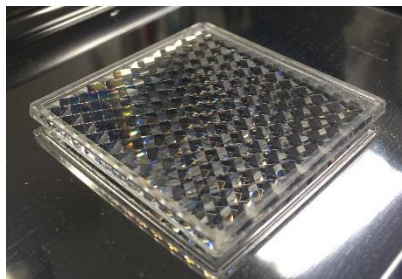


図2 コーナーキューブ型再帰性反射材
Figure 2 Corner cube retroreflector.

4. 使用食材

4.1 必要条件

ここでは再帰性反射材を形成する素材について検討した結果を説明する。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(Edmund optics コーナーキューブアレイ)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なと考えられる条件を以下に示す。

- ① 食べることが可能であり、毒性などが無いこと
- ② 透過率が高く、光の減衰が少ないこと
- ③ 高屈折率で光の反射率が高いこと
- ④ 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

この条件を満たしている素材を理想として選定する。

4.2 素材の決定

食べられる再帰性反射材を作製する素材を選出するために、まず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、ローカストビーンガ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。前項に記した条件をもとに、再帰性反射材に候補の素材が適しているかを調査した。①は食品であることからすべての素材が満たす。②は分光光度計(日立製作所 U-3000)を使用してそれぞれの透過率を測定した。結果は図3に示す。なお測定範囲は可視光としPMMA素材12.5mm厚のセル内に試料をいれ、測定した。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る。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。③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、これを利用してできるだけ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。④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。還元パラチノースは流動性もあり加工も可能であるが融点が170°C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還元パラチノースは候補から外した。

寒天とカラギーナン混合物は型に流し込むことは可能であったが、この二つでは作製中に性質の違いが見られた。寒天は液体状では粘度が低く、凝固後は角が立つがもろいという性質を持つ。一方カラギーナン混合物は液体状で粘度が高く、凝固後硬度はあるものの、微細な構造において角が立たず、表面に水が付着している状態であった。この

ことからコーナーキューブ形状を精密に型取り，保持することは寒天の方が優れていることがわかった。

以上の結果から再帰性反射材の素材として寒天を使用しして作製した。

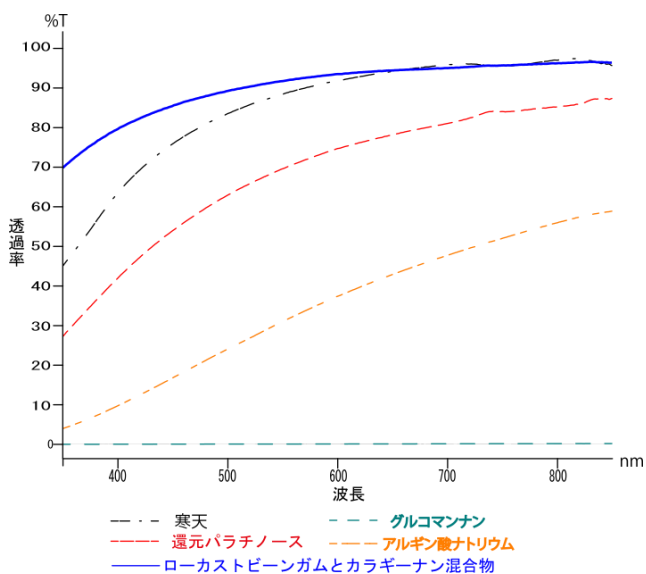


Figure 3 Transmittance of samples.

5. 作製方法

食べられる再帰性反射材の作製するための手順を記述する。また作製した再帰性反射材を図4に示す。

- (1) 寒天 4 g に水 250 g を加え加熱する
- (2) 寒天が完全に溶解した後，グラニュー糖 75 g，水飴 20 g を加え，完全に溶解させる
- (3) 攪拌しながら真空脱泡を行う
- (4) 再度加熱し，沸騰が起こらないように注意しながら溶液の温度が均一になるようにする
- (5) シャーレにコーナーキューブ型再帰性反射材を乗せ，その上から溶液を流し込む
- (6) 冷却後，完全に凝固したら型のコーナーキューブ型再帰性反射材を取り除く

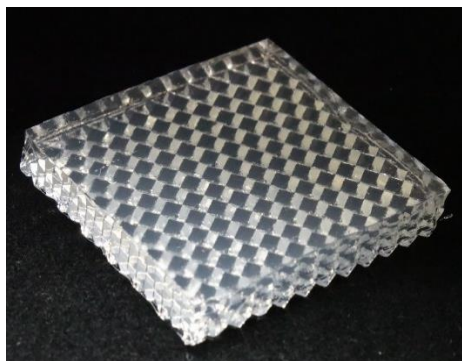


図4 寒天を素材とする再帰性反射材 (コントラストと明るさを調整している)

Figure 4 Photograph of the retro-reflector prototype made of agar.

真空脱泡には真空脱泡器 (アズワン MVD-300VMT), 攪拌攪拌機 (アズワン SMT-101), 真空ポンプ (アルバック DA-20D) を使用した。真空脱泡をすることにより，加熱時や攪拌時に発生した気泡を除去し，光の反射を妨げることを防ぐことが可能である。

6. 性能評価

6.1 反射照度

作製した寒天の再帰性反射材がどれだけ光を反射しているのか，その強度を照度計 (アズワン LM-331), 光源 (HOYA-SCHOTT MEGALIGHT100), 卓上暗室 (アズワン ADR-D1) を用い，比較対象としてコーナーキューブ型再帰性反射材，ビーズ型再帰性反射材 (3M スコッチライト反射布 8965) を用いて測定を行った[6]。その実験環境の構成図を図5に示す。なお，光源と照度計とのなす観測角を 1.5 度とし，光源から再帰性反射材までの距離を 660 mm する。測定結果は光源照度が 449 lx のとき，コーナーキューブ型 32 lx，ビーズ型 12.5 lx，寒天 48.3 lx，試料なし 6 lx となった。結果から，作製した寒天の再帰性反射材は光源の 10% 程度の光を反射していることがわかり，測定した角度において市販品のビーズ型の再帰性反射材と同程度以上の反射強度があることがわかった。ここで数値的に市販のコーナーキューブ型の再帰性反射材よりも作製した反射材の方が照度が高い理由は，市販の再帰性反射材の方がより高精度な再帰性反射を行っており，分散する光が少なく，光源方向に多くの光を反射しているため，1.5 度の角度をなして設置されている照度計に入射する光が少ないためと考えられる。一方，試作した再帰性反射材は市販品より広い範囲に光を反射しているために，照度計により多くの光を反射していると考えられる。

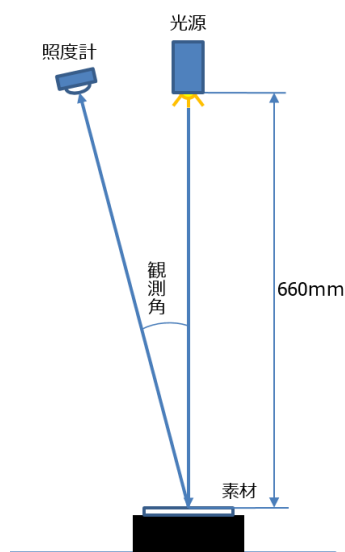


図5 反射照度測定

Figure 5 Setup of reflected illuminance measurement.

6.2 カメラでの認識

作製した再帰性反射材を光源（EPSON 4950WU）とカメラ（Photoron IDP-ExpressR200）、レンズ（Fujinon TVILens HF25HA-1B）をハーフミラーを介して光学的に同軸上に設置したシステムを用いて観察した。その結果を図 6 に示す。比較対象はビーズ型再帰性反射材とし、図の中央下に配置した。上部の 2 つが作成した再帰性反射材である。F6. 5 での撮影で作製した再帰性反射材は十分な強度で光を反射していることが確認できた。これにより食材を使用した食べられる再帰性反射材は光学デバイスとして再帰性反射の性質を持ち、カメラ用のマーカーとしても有効である。

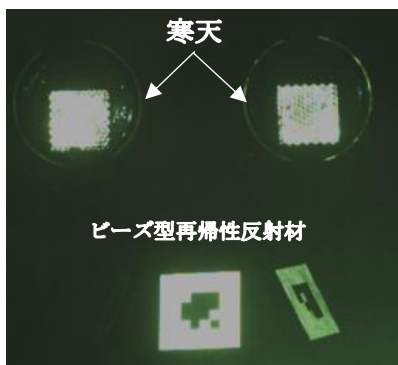


図 6 カメラで撮影した結果

(コントラストと明るさを調整している)

Figure 6 Image of the prototype captured by the camera.

7. まとめ

本研究では食べられる再帰性反射材の重要性を説明し、寒天を材料として作製した食べられる再帰性反射材を提案した。実験の結果から食品を材料としながらも、既存のビーズ型再帰性反射材に近い反射強度を持ち、カメラ用のマーカーとして有効であるということを確認できた。このことから、例えばこの再帰性反射材を用いたマーカーを作成することで食品へのプロジェクションマッピングなどが容易におこなえることが期待される。今後、食べられる再帰性反射材を用いた料理への新たな演出方法の創出や、医療分野への応用を目指して研究を進める予定である。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 JP 16K12469 の助成を受けたものである。また、実験に際してご協力いただいた、大連理工大学 張依婷様、群馬大学理工学部奥研究室の皆様へ深く感謝申し上げます。

参考文献

- [1] Berge, B. and Peseux, J. Variable focal lens controlled by an external voltage: An application of electrowetting. The European Physical Journal E, 2000, vol.3, p.159–163.
- [2] Kuiper, S. and Hendriks, B. H. W. Variable-focus liquid lens for miniature cameras. Applied Physics Letters, 2004, vol.85, no.7, p.1128–1130.
- [3] Oku, H. and Ishikawa, M. High-speed liquid lens with 2 msresponse and 80.3 nm root-mean-square wavefront error.

Applied Physics Letters, 2009, vol.94, p.221108.

- [4] Gennes, P.-G. de, Wyart, F. B.- and D. Quéré. 表面張力の物理学-しずく、あわ、みずたま、さざなみの世界-. 吉岡書店, 2004.
- [5] Bunton, P. Edible optics: Using gelatin to demonstrate properties of light, Phys. Teach, 1997, vol.35, p.421.
- [6] “技術情報：反射性能の測定方法／観測角と入射角／反射シートの色度とは”.
<http://www.mmm.co.jp/ref/about/tech/tech01.html#ps-1>, (参照 2016-12-22).