



2 層構造の飴による食品の直接付与に安定で高反射率の 食べられる再帰性反射材

Edible retroreflector with two-layered candy structure
for highly reflective and stable against direct attachment on foods.

佐藤美子¹⁾, 金子愛²⁾, 奥寛雅¹⁾

Miko SATO, Megumi KANEKO, and Hiromasa OKU

- 1) 群馬大学大学院理工学府 (〒376-0052 群馬県桐生市天神町 1 丁目 5-1 t181d030@gunma-u.ac.jp)
2) 群馬大学理工学部 (〒376-0052 群馬県桐生市天神町 1 丁目 5-1)

概要: 本研究では, 飴を材料とする再帰性反射材を 2 層構造にすることで, 食品の直接付与に安定で高反射率な食べられる光学デバイスを提案する. 従来の飴を材料とする食べられる再帰性反射材は片面に突起があり, 突起に水分を含んだ食品等が触れた場合に溶解により形状が変化し, 著しく性能が低下するという欠点があったが, 突起を保護するような形で 2 層構造を実現することが出来たならば, 安定した食品への直接付与が可能となる. また, 2 層構造により, 1 層目で反射せず透過した光を 2 層目で反射することで, 反射率の向上を期待できる. よって, 2 層構造の飴を材料とする再帰性反射材を試作し, 光学デバイスとしての性能を評価した.

キーワード: 可食, 光学マーカー, 再帰性反射材, 飴

1. はじめに

近年, 立体物の表面にプロジェクターで映像を投影するプロジェクションマッピングという技術が注目されている. 投影対象として, これまで静止した壁面などが多く利用されてきたが, 最近では食品へ応用しようという試みも盛んになってきた[1][2]. 実際にプロジェクションマッピングを行うためには, 投影対象の距離や姿勢などの位置の情報を知ることが必要になる. 特に投影対象が食品の場合は, 環境や作り手によってその時々で形状が異なるため, 画像処理のみから位置を検出するのは難しい場合が多い.

そこで, 食品の位置の情報を容易に得る方法として, 食品の上や近くに食べられる再帰性反射材を置くという手法が提案されている[2][3]. 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素子である. これを食品の上や近くに置き, カメラの近くに設置した光源から光を照射すると, カメラの画像中で再帰性反射材が非常に明るく見えるため, その明るい領域を検出することにより, 食品の位置の情報をコンピューターで認識することができる. 従来の再帰性反射材は不可食なガラスやプラスチック製であったが, これを食品からのみ形成することで, 料理の上においても無害で安全に利用することができるようになる.

これまでに食べられる再帰性反射材は寒天製と飴製の 2 種類作製されており, 飴製の再帰性反射材の方が再帰性反射可能な入射角の範囲が広く, 長時間の使用に耐えられるものであった. しかし, 従来の飴を材料とする食べられる再帰性反射材は, 片面に突起があり, 突起に水分を含んだ食品等が触れた場合に溶解により形状が変化し, 著しく性能が低下するという欠点があった.

そこで本論文では, 2 層構造の飴による食べられる再帰性反射材を提案し, その作製方法を報告する. また, 試作した 2 層構造の食べられる再帰性反射材について反射性能を評価した結果を報告する.

2. 2 層構造の飴による食べられる再帰性反射材

従来の飴を材料とする食べられる再帰性反射材は, 飴という材質の親水性が非常に高いという理由により, 水分を含んだ食品等が触れた際に溶解し形状が変化してしまうものであった. 飴製の再帰性反射材はコーナーキューブプリズムアレイの形状により再帰性反射をする為, 形状が変化してしまうと再帰性反射材としての性能が著しく低下する.

そこで, 図 1 に示すように飴製再帰性反射材 2 枚を組み合わせた 2 層構造の飴による食べられる再帰性反射材を

提案する。2つの層の間には非常に薄い空気の層が形成されており、上、もしくは下の層に入射した光が、その層の反対側のコーナーキューブ面で全反射を起こすような構造となっている。

これにより、コーナーキューブプリズムアレイの突起部分が水を含んだ食品等に直接触れる事を防ぎ、水を含んだ食品に飴製再帰性反射材が触れた状態であっても安定した性能を期待出来る。

また、従来の1層の飴製再帰性反射材では透過してしまっていた光を2層目で反射する事により、反射率の向上も期待出来る。

さらに、上下のどちらの面も再帰性反射材として機能するため、面の表裏の区別がなくなり利便性が向上する。

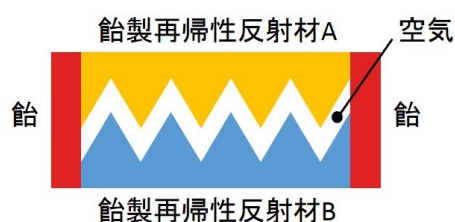


図 1: 2層構造の飴製再帰性反射材の構成

3. 作製方法

3.1 使用機材・食品

2層構造の飴製再帰性反射材の作製において、以下の機材・食品を使用した。

- ・ 飴製再帰性反射材 2枚
- ・ 先の尖った鋏(TSECO ウッドバーニングキット)

3.2 作製手順

2層構造の飴製再帰性反射材の作製手順を以下に述べる。また、作製した2層構造の飴製再帰性反射材を図2に示す。

- (1) 飴製再帰性反射材2枚を図1のように合わせる。
- (2) ウッドバーニングキットで4辺を溶接する。
- (3) 均一に冷却し、凝固したら完成。

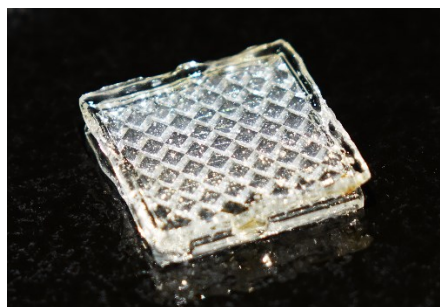


図 2: 試作した2層構造の飴製再帰性反射材

4. 性能評価

4.1 屈折率測定

飴製再帰性反射材の材質である還元イソマルツロース飴の屈折率を屈折率計（京都電子工業 RA-600）により計測した。今回用いた屈折率計は測定するガラス面に測定対

象が密着する必要がある。これを実現するため、測定温度の設定を摂氏75度とし、溶融した飴が固化しないうちに測定することとした。測定結果は1.5266であった。

4.2 分光光度測定

基礎的なデータとして、飴製再帰性反射材の材質である還元イソマルツロース飴の分光光度を分光光度計（日立製作所 U-3000）により計測した。リファレンスは空気とした。

測定結果の透過率%Tを図3に示す。結果より、可視光から赤外光において高い透過率を持つことが分かる。

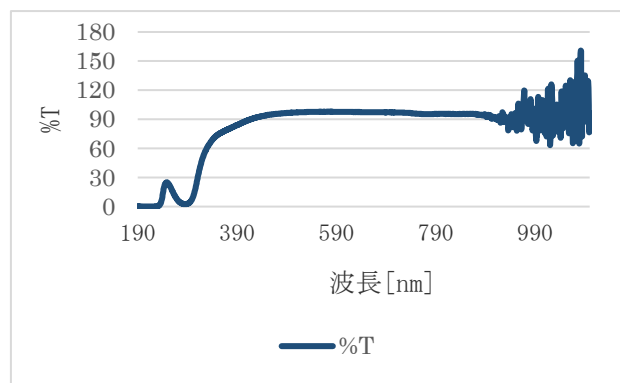


図 3: 分光光度測定結果

4.3 反射性能測定

試作した2層構造の飴製再帰性反射材について、計測の配置をJIS Z9117に則り反射性能の測定試験を行った[4]。但し、被検物の面積だけはJISで定められたものより小さい条件で試験した。パラメータとして投光機と飴製再帰性反射材を結ぶ直線と飴製再帰性反射材の法線との成す角を入射角、投光機と飴製再帰性反射材を結ぶ直線と飴製再帰性反射材と受光機を結ぶ直線との成す角を観察角、試料を時計回りに回転させた角度を回転角として、これらを変化させて各角度での再起反射係数を測定した。受光器を試験片位置に投光器に正対させて置いて測定した照度を E_s 、試験片表面積をA、測定時の配置における受光器上の照度を E_r 、測定対象の反射材表面中心と受光器の距離を15mとしたとき、再帰反射係数Rは次の式のように定義される。

$$R = \frac{E_r \times 15^2}{E_s \times A}$$

観察角は 0.2° 、 0.33° 、 2.0° 、入射角は 0° 、 5° 、 10° 、 15° 、 20° 、 25° 、 30° 、 35° 、 40° 、 45° 、回転角を 0° 、 90° と変化させた。試料のサイズは $3.5\text{cm} \times 3.5\text{cm}$ であった。試験はニッセンケン品質評価センターに依頼し行った。

試験結果から求められた再帰反射係数Rを図4と図5に示す。回転角 0° の場合の結果が図4、回転角 90° の場合の結果が図5である。結果より、回転角 0° 、 90° 共に入射角 0° から 45° の全範囲において観察角が大きくなるにつれて再帰反射係数が低下しており、試作した飴製再帰性反射材は再帰性反射していることが分かる。

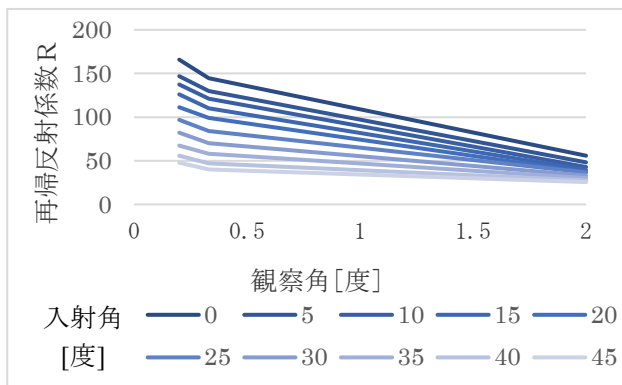


図 4: 反射性能測定の結果(回転角 0°)

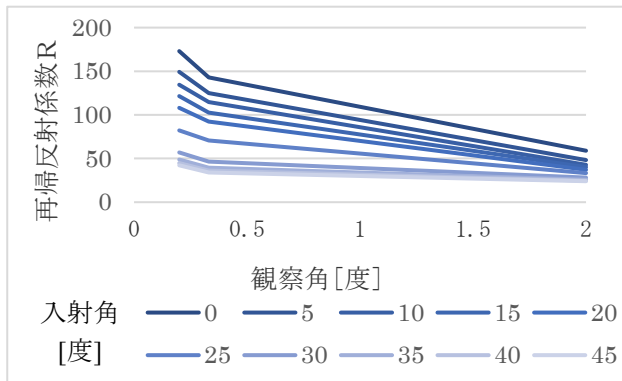


図 5: 反射性能測定の結果(回転角 90°)

4.4 同軸落射照明下での画像計測実験

作製した 2 層構造の飴製再帰性反射を、光源 (EPSON 4950WU) とカメラ (Phoron 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撮影した。2 層構造の飴製再帰性反射材に対する入射角はおおむね 0 度であった。その結果を図 6 と図 7 に示す。図 6 は絞りを絞った場合の画像であり、図 7 は絞りを開いた場合の画像である。図の左から 2 番目に配置したものが提案する 2 層構造の飴製再帰性反射材である。比較のため、図の左から 1 番目に 1 層構造の飴製再帰性反射材を、3 番目にビーズ型再帰性反射材を、4 番目にプラスチック製コーナーキューブ型再帰性反射材を配置した。

図 6 について、それぞれの再帰性反射材全体の領域における画素値の平均を算出した。結果は、2 層構造の飴製再帰性反射材は 122.922、1 層構造の飴製再帰性反射材は 23.1656、ビーズ型再帰性反射材は 19.5755、プラスチック製のコーナーキューブ型再帰性反射材は 220.643 であった。2 層構造の飴製再帰性反射材は、プラスチック製のコーナーキューブ型再帰性反射材には及ばないが、1 層構造の飴製再帰性反射材とビーズ型再帰性反射材よりも強い反射強度を持っていることが分かった。これにより、2 層構造の飴製再帰性反射材は 1 層構造の飴製再帰性反射材に比べ、よりカメラ用のマーカーとして検出することが容易であると言える。

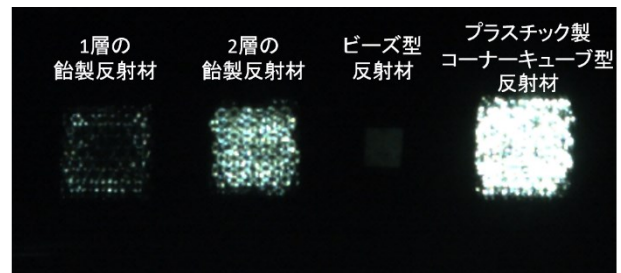


図 6: 同軸落射照明下での画像計測結果(絞り: 閉)

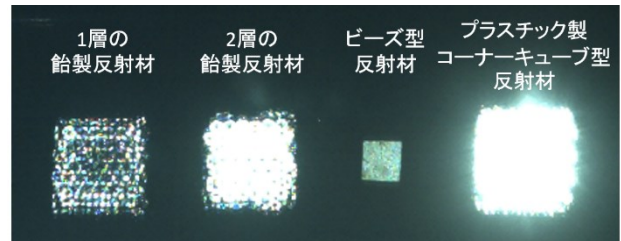


図 7: 同軸落射照明下での画像計測結果(絞り: 開)

また、2 層構造の飴製再帰性反射材の面を変えた場合の同軸落射照明下での画像計測結果を図 8 と図 9 に示す。図 8 で撮影した面と表裏を逆にし、同条件の同軸落射照明下で画像計測を行った結果が図 9 である。

図 8 と図 9 について、それぞれの再帰性反射材全体の領域における画素値の平均を算出した。結果は、図 8 は 135.458、図 9 は 153.844 であった。結果より、2 層構造の飴製再帰性反射材は両面共にカメラ用のマーカーとして十分な再帰性反射性能を持っており、面の表裏の区別無く使用できると言える。画素値の平均値が図 8 と図 9 で異なる原因としては、組み合わせた飴製再帰性反射材自体の性能の個体差によるものではないかと推察される。

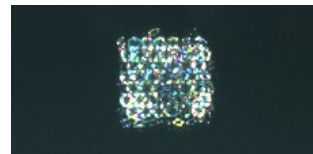


図 8: 2 層構造の飴製再帰性反射材の画像計測結果

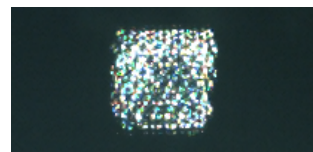


図 9: 図 6 と表裏を逆にした場合の 2 層構造の飴製再帰性反射材の画像計測結果

4.5 水分を含んだ食品に触れた状態における同軸落射照明下での画像計測実験

4.2 と同じシステムを用い、水分を含んだ食品に触れた状態において 2 層構造の飴製再帰性反射材は時間の経過によってどの程度反射する光の強度が変わるのか定点観察を行った。実験は比較のため 2 層構造の飴製再帰性反射材と 1 層構造の飴製再帰性反射材について行い、水分を含んだ食品の例として、今回はアイスクリーム(明治 ファミリア)を使用した。試料の大きさは、2 層構造の飴製再帰性反射材が縦 3.4cm 横 3.4cm 厚み 0.7cm であり、1 層構造の飴製再帰性反射材が縦 3.4cm 横 3.4cm 厚み 0.5cm であった。実験風景は図 10 の通りである。

実験開始後 0 分, 30 分, 60 分時点で計測された画像は図 11, 図 12, 図 13 の通りであった。また, 実験結果を図 14 にグラフとして示す。横軸は経過時間, 縦軸は反射材全体における画素値の平均である。結果より, 0 分の段階において既に 1 層構造の飴製再帰性反射材はカメラ用のマーカーとして機能する程度の反射強度を持っていない。それに対し, 2 層構造の飴製再帰性反射材はゆるやかに反射強度を落としているものの, 60 分経過後においてもカメラ用のマーカーとして有効な反射強度を持っている。よって, 2 層構造の飴製再帰性反射材は水分を含んだ食品に触れた状態においても長時間カメラ用のマーカーとして使用することが可能である。



図 10 : 水分を含んだ食品に触れた状態における同軸落射照明下での画像計測実験風景

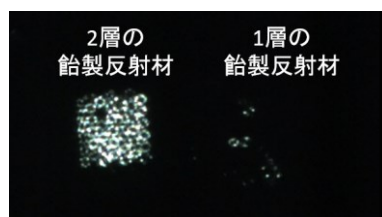


図 11 : 0 分後の画像計測実験結果

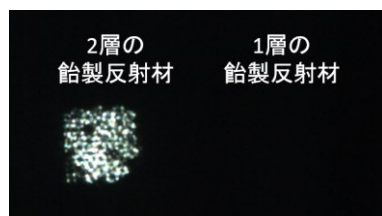


図 12 : 30 分後の画像計測実験結果

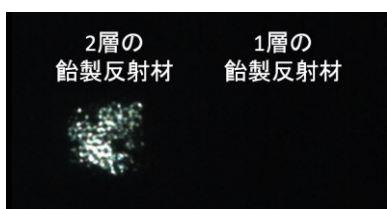


図 13 : 60 分後の画像計測実験結果

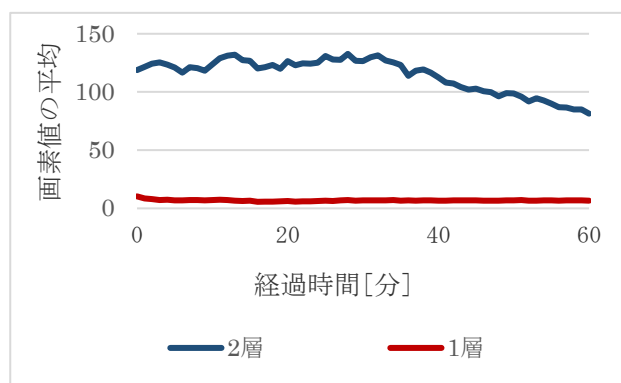


図 14 : 水分を含んだ食品に触れた状態における同軸落射照明下での画像計測実験結果

5. まとめ

本研究では, 2 層構造の飴を材料とする食べられる再帰性反射材を提案・試作し, 実験の結果から, 従来の 1 層構造の飴製再帰性反射材よりも反射率が向上し, 上下のどちらの面も再帰性反射材として機能し, 水分を含んだ食品に触れた状態であっても長時間カメラ用のマーカーとして使用可能であることを確認できた。今後は上記の利点を活かしたプロジェクションマッピング等の応用を行っていきたい。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP18K19799 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] 鳴海拓志, 松尾宇人, 櫻井翔, 谷川智洋, 廣瀬通孝 : 食卓へのプロジェクションマッピングによる食の知覚と認知の変容 ～天ぷらを例題として～, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.23, No.2, 2018 年 6 月.
- [2] 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.
- [3] H. Oku, T. Uji, Y. Zhang, K. Shibahara : Edible fiducial marker made of edible retroreflector, Computers & Graphics, Vol.77, pp.156-165 (2018)
- [4] JIS Z 9117 : 2011. 再帰性反射材.