



飴を用いた単一コーナーキューブ構造の 再帰性反射材の作成と評価

久保なつみ¹⁾, 奥寛雅²⁾

1) 群馬大学大学院情報学研究所 (〒 371-8510 群馬県前橋市荒牧町 4-2 荒牧キャンパス, j251a009@gunma-u.ac.jp)

2) 群馬大学 情報学部 (〒 371-8510 群馬県前橋市荒牧町 4-2 荒牧キャンパス, h.oku@gunma-u.ac.jp)

概要: 動物にモーションキャプチャを行う際、従来のマーカーは健康被害のリスクがあるため、その解決のために可食マーカーを提案し、安全な手法の実現を目指す。先行研究では飴製再帰性反射材を多面体構造にすることで全方向の再帰反射を実現したが、実用性に課題が残った。そこで本研究では別構造として、コーナーキューブ 1 素子の飴製再帰性反射材を試作し、再帰反射することを確認した。さらにマーカーとしての応用可能性も検討した。

キーワード: 再帰性反射材、飴、可食

1. はじめに

モーションキャプチャシステムは、カメラで捉えた人間や動物、物体の動きをデジタル化するシステムのことで、エンターテインメントやスポーツ、科学分野など様々な分野で活用されている。例えば、動物のモーションキャプチャを行って、その動物の動作解析や、動物医学の研究に利用されている。しかし、従来のモーションキャプチャシステムでは、光学マーカーを動物が誤って齧ったり飲み込んだりして、健康被害を引き起こす危険性があった。

そこで、本研究では動物が食べられる再帰性反射材で構成されるモーションキャプチャシステム用光学マーカーを提案し、万が一動物が食べても安全なモーションキャプチャ手法の実現を目指す。

モーションキャプチャシステムでは、光源方向に光を反射する再帰性反射材を球状に加工し、ほぼ全方向へ再帰反射する物体を光学マーカーとして利用している。一方、当研究室では、寒天製や飴製の食べられる再帰性反射材を開発している。

しかし、従来の食べられる再帰性反射材は、再帰反射可能な入射角の範囲に限りがあった [2]。そこで、飴製再帰性反射材を用いて多面体形状に組み合わせることで、全方向からの再帰反射を可能にする手法が提案されている [4]。しかし、実際にモーションキャプチャ用光学マーカーとして利用するには、構造上問題があった。具体的には、多面体のすべての面が反射せず、一部の面しか反射しなかったことや、多面体の向きによって反射強度にばらつきがあったことで、一つのマーカーが複数個のマーカーとして認識されたり、マーカーとして認識されなかったということが起こった。

本研究では、新たな構造として、単一コーナーキューブ構造の飴製再帰性反射材を作成し、その機能を評価したことを報告する。また、応用可能性を検討したことを報告する。

2. 食べられる再帰性反射材

再帰性反射材とは、入射光を光源方向に反射する光学素子のことであり、主に自転車の反射板や道路標識に利用されている。これには主にコーナーキューブ型とガラスビーズ型の 2 種類がある。特にガラスビーズ型は布などにも適用可能で、球状に形成することができるためモーションキャプチャ用のマーカーに利用されている。しかし、従来の再帰性反射材はプラスチックやガラスで形成されているため、動物が誤って飲み込むと健康を害する危険性があった。

これに対し、当研究室では、食べられる再帰性反射材が開発されている。寒天製 [1] と飴製 [2] の 2 種類があり、どちらもコーナーキューブ型である。飴は寒天よりも屈折率が高いため、飴製再帰性反射材は寒天製のものに比べて再帰反射する入射角の範囲が広いという特徴がある。また、飴製再帰性反射材は寒天製のものに比べて乾燥に強く冬場のような乾燥した部屋では長時間の使用にも耐えられる。これらのような食べられる再帰性反射材は、料理へのプロジェクトマッピングにおいて使用されている。

もし、食べられる再帰性反射材が動物用モーションキャプチャ用マーカーとして利用できれば、万が一動物がマーカーを誤って飲み込んだ場合でも、健康を害する危険性が低減されると期待できる。

モーションキャプチャシステムは全方向からの再帰反射が求められる。しかし、従来の食べられる再帰性反射材は再帰反射可能な入射角の範囲に限りがあった [2]。そこで、飴製再帰性反射材を多面体形状に組み合わせることで、一枚の再帰性反射材では再帰反射しない入射角の範囲を他の面で補うことができ、全方向からの再帰反射を可能にしたことが報告されている [4]。しかし、実際にモーションキャプチャ用のマーカーとして利用するには認識が安定しないという課題があった。この原因として構造に問題があったと考えられる。具体的には、多面体のすべての面が反射せず、

一部の面しか反射しなかったことや、多面体の向きによって反射強度にばらつきが生じるといった問題が確認された。

3. 提案手法

先行研究 [4] では、マーカーとして認識しなかった理由は構造上の問題だと考えられた。そこで、本研究では、この問題を解決するため、単一コーナーキューブ構造での鉛製再帰性反射材の基礎検討を行う。

コーナーキューブとは、3枚の平面が垂直に交わる構造をしており、それぞれの面で光が全反射することで光源方向に光を反射している。コーナーキューブ型の再帰性反射材は、この構造が多数並んで構成されており、各コーナーキューブが基本単位として機能している。

本研究ではこの基本単位である一つのコーナーキューブ構造を鉛で作成し、再帰性反射材としての有効性を評価する。また、モーションキャプチャ用光学マーカーとしての応用可能性を検討する。

4. 単一コーナーキューブの作成方法

ここでは、鉛での単一コーナーキューブ構造の再帰性反射材の作成方法を説明する。

4.1 シリコン作成

まず、再帰性反射材を成形するためのシリコン型を作成する。本研究では、先行研究 [2][3] を参考にして、3種類のシリコン型を作成した。

まず、土台となるシリコン型を作成する。容器に市販の再帰性反射材を張り付けて食品用シリコンを流し込む。気泡を抜いて固まったら完成である。

次に単一コーナーキューブ構造を成形するための型を作成する。容器に市販の再帰性反射材を張り付け、その周りを粘土で囲む。再帰性反射材に食品用シリコンを流し込み、気泡を抜いて固まったら容器から取り外す。カッター等でコーナーキューブの部分を取り抜いて完成となる。

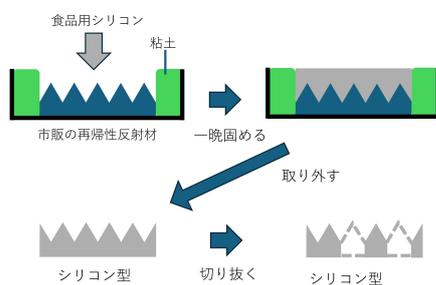


図1: 単一コーナーキューブ構造を成形するための型の作成方法

3つ目に平面のシリコンを作成する。これは、容器に何も張り付けずにシリコンを容器に流し込んで硬化させて作成する。

4.2 鉛製再帰性反射材の作成

次に単一コーナーキューブ構造の鉛製再帰性反射材を作成方法について説明する。作成方法は先行研究を参考にし

た。[2][3]

1. 作成したシリコン型2種類を組み合わせる。210度設定したホットプレート付き真空チャンバーの上に平面のシリコンと一緒に置いておく。
2. 別の容器にパラチニットと水を10:3の割合で混ぜ、電子レンジで溶かし、それをシリコン型に流し込む。
3. 真空チャンバーで気泡を抜く。
4. 気泡が抜けたら、平面のシリコンを再帰性反射材のシリコン型に押し付ける。
5. 常温で冷却し、固まったら型から外す。

今回作成したものを図2に示す。



図2: 単一コーナーキューブ構造の鉛製再帰性反射材

5. 評価実験

作成した単一コーナーキューブ構造の鉛製再帰性反射材が、再帰性反射材としての有効性を確かめるために反射強度測定を行った。使用する機材は以下のとおりである。

- 暗室 (サイエンテックス折りたたみ式暗室 B-LP-Z)
- 光源 (HOYA - SCHOTT MEGALIGHT100)
- USB カメラ (Ximea)

また測定条件を以下に示す。

- 入射角: 光源と再帰性反射材を結ぶ直線と再帰性反射材の法線との成す角
- 観察角: 光源と再帰性反射材を結ぶ直線と再帰性反射材と USB カメラを結ぶ直線との成す角

これらの値を変化させ、各角度において USB カメラで撮影を行った。この測定では、光源から再帰性反射材に入射する光が光源方向にどの程度反射されるのかを画素値の総和として記録し、相対的に照度として評価する。測定結果を図4に示す。横軸が観察角、縦軸は画素値の総和を表している。グラフから、観察角 ± 3 度のときに最も画素値の総和が高く、観察角が大きくなると総和が減少していることがわかる。これは、光源とカメラの位置が最も近い観察角3度の時に光がカメラに最も多く入っていることを表している。再帰反射とは、光源方向に光を反射する性質なので、単一コーナーキューブ構造の鉛製再帰性反射材は光源方向に光を強く返していることが分かり、再帰反射していることが確認できる。

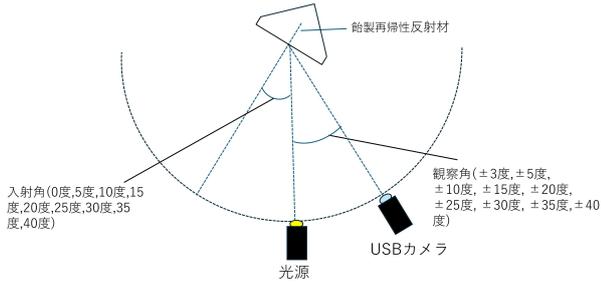


図 3: 測定条件

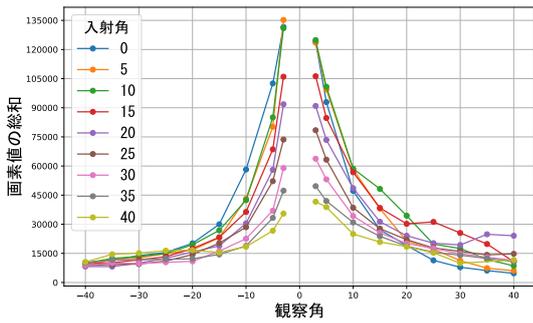


図 4: 測定結果



図 5: 試作したマーカー

- 観察角: 光源とマーカーを結ぶ直線と USB カメラとマーカーを結ぶ直線とのなす角度

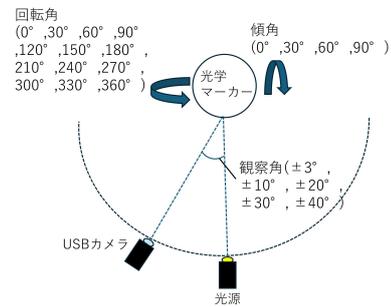


図 6: 測定条件

6. 応用検討

今回の提案手法で、単一コーナーキューブ構造の飴製再帰性反射材を作成することができた。これらをいくつも用意して組み合わせていき、一つのマーカーを作成することで、モーションキャプチャ用マーカーとして利用できないかを検討していく。

6.1 マーカーの作成

組み合わせ方を以下に示す。

1. 別容器にパラチニットと水を 10:3 の割合で混ぜて電子レンジで溶かす。
2. 市販の球体シリコン型に溶かした飴を流し込む。
3. 固まったら型から外す。
4. 180 度に加熱した電気によって高温になる金属製のこてを使って、単一コーナーキューブを球体に埋め込んでいく。

作成したマーカーを図 5 に示す。実験後にマーカーが破損したため、図に示すのは同じ手法で再作成したもので、評価実験に使用した個体とは異なる。

6.2 反射強度測定

再帰反射しているか確かめるために反射強度測定を行う。今回の測定条件を以下に示す。

- カメラの視点を図 7 における z 軸方向とする
- 回転角: マーカーが図 7 における y 軸を中心に回転する角度
- 傾度: マーカーが図 7 における x 軸を中心に回転する角度

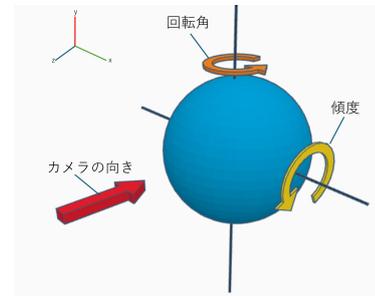


図 7: 測定条件

それぞれの傾度でマーカーを回転させ、各回転角においてマーカーを観察する。各傾度において回転角と観察角を変化させ、USB カメラで撮影した。実験環境の都合上、マーカーの前側 (0 度 ~ 180 度) と後側 (180 度 ~ 360 度) に分けて測定した。なお、光源・カメラとマーカーの距離は 660 mm である。測定結果を以下に示す。

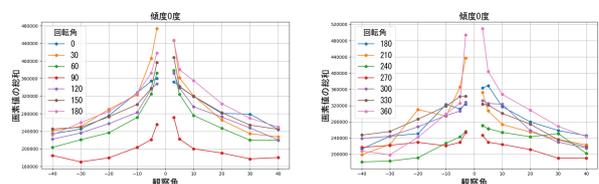


図 8: 傾度 0 度の測定結果

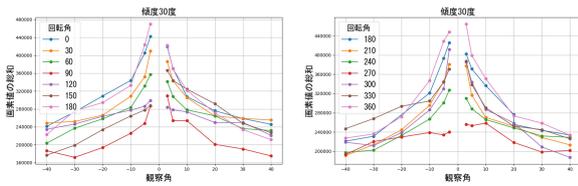


図 9: 傾度 30 度の測定結果

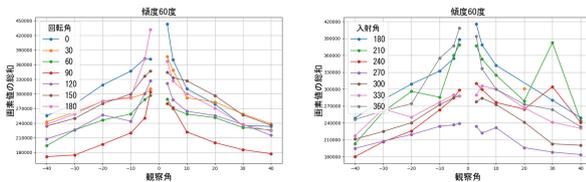


図 10: 傾度 60 度の測定結果

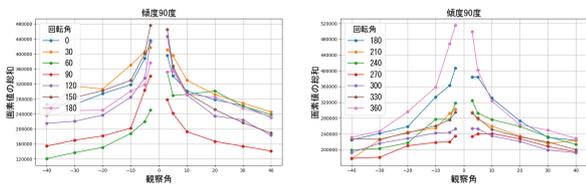


図 11: 傾度 90 度の測定結果

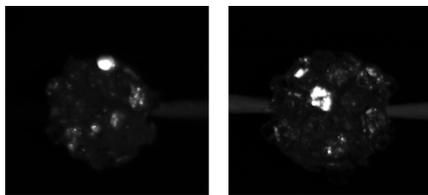


図 12: 光を当てた様子

再帰反射している場合、グラフは観察角 ± 3 度のとき画素値の総和が最も高くなり、観察角が大きくなるにつれて画素値の総和が減少していく形となる。グラフから、傾度 30 度で回転角が 360 度のときや、傾度 90 度で回転角が 150 度のときには、観察角 ± 3 度のときが最も画素値の総和が高く、観察角が大きくなるにつれて総和が減少していることが分かり、再帰反射が生じていることが確認できる。一方、傾度 0 度で回転角が 180 度のときや、傾度 30 度で回転角が 270 度のときには、グラフの形が再帰反射が生じている場合と異なっており、再帰反射が生じていないことが確認できる。これにより、マーカの向きによって、再帰反射する向きとしない向きがあることが分かった。この原因としては、飴製再帰性反射材を球体に張り付ける過程でコーナーキューブの一部が崩れてしまって機能が失われたことが考えられる。また、光を当てた様子を図 12 に示す。

図 12 のように、光を当てても全体が反射せず、一部の飴製再帰性反射材しか反射していないことが確認できる。これは、飴製再帰性反射材を球体に接着する際に反射強度が弱くなってしまったことが考えられる。また、コーナーキューブが球面に対して垂直に配置されていなかったことに加え、球体のサイズが小さく、表面の曲率が大きかったために、反射材の傾きが大きくなり、入射光が正しく反射されなかった可能性がある。ほかにも、全方向からの再帰反射を可能にするには、作成方法を見直す必要があると考える。

7. まとめ

本研究では、単一コーナーキューブ構造の飴製再帰性反射材の作成を行った。また、反射強度測定の結果から、再帰性反射材としての有効性が示された。また、応用検討として単一コーナーキューブ構造の飴製再帰性反射材を組み合わせ球状に成形し、モーションキャプチャ用光学マーカーとしての応用可能性を検討したが、全方向からの再帰反射が得られなかった。この原因としては、作成方法問題だと考えられるため、今後は作成方法を見直し試作を行っていく。

謝辞

本研究の一部は JST CREST JPMJCR23B2, 未来社会創造事業 JPMJMI24H1, JSPS 科研費 JP24K02971, JP24K15843, 令和 4(2022) 年度～令和 6(2024) 年度群馬大学重点支援プロジェクト (G3), ならびに令和 7(2025) 年度群馬大学重点支援プロジェクト (G2) の支援を受けたものであり、ここに謝意を表す

参考文献

- [1] 宇治貴大, 張依女亭, 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
- [2] 佐藤美子, 船戸優希, 奥寛雅: 飴を材料とする食べられる再帰性反射材の提案と試作, インタラクシオン 2019 論文集, p. 319-322, 2019.
- [3] 大竹彰悟, 奥寛雅: 食べられる 2 面コーナーリフレクタアレイの解像力向上にむけた形成手法, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2022 (ROBOMECH2022) (SORA 札幌コンベンションセンター, 北海道, ハイブリッド開催, 2022.6.3) / 講演論文集, 2P2-F01
- [4] 久保なつみ, 奥寛雅: 全方向への再帰反射を可能にする多面体形状の飴製再帰性反射材, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2025 (ROBOMECH2025)(山形ビッグウイング/やまぎん県民ホール, 山形, 2025.6.6) / 予稿集, 2A1-T07
- [5] What to Do if Your Dog Eats Plastic, Cape of Good Hope SPCA
<https://capespca.co.za/hospital-news/what-to-do-if-your-dog-eats-plastic/>