



# 食べられるライトパイプに対する非接触の光供給手法

船戸優希<sup>1)</sup>, 林鈴乃<sup>1)</sup>, 奥寛雅<sup>1)</sup>

Yuki FUNATO, Suzuno HAYASHI, and Hiromasa OKU

1) 群馬大学大学院理工学府 (〒 376-8515 群馬県桐生市天神町 1-5-1, t211d065@gunma-u.ac.jp)

**概要:** 現在食品の演出手法の一つとして, 入射口から入射した光を出射口に伝達する性質を持つライトパイプを餡を用いて作成した「食べられるライトパイプ」の研究が行われている. これは料理を光で演出するデバイスであり, 料理の上に置いても安全に使用できる利点があるが, 現在は光源をライトパイプの近くに設置しなければならないという課題が存在する. そこで, 本研究ではレーザー光の出射方向をガルバノミラーを用いて制御し, 常にライトパイプの入射口に照射できるシステムを提案する. このシステムにより, 離れた位置にあるレーザーを光源として利用することで前述の課題を解決する. 実験結果よりその有効性を示す.

**キーワード:** ライトパイプ, 再帰性反射材, 可食, レーザー

## 1. はじめに

近年プロジェクションマッピングを始めとして, 食品への光を用いた演出手法への関心が高まっている [1]. そのような演出手法の一つに, 光学素子を餡や寒天などの食品を用いて作成した食べられる光学素子が存在する. 食べられる光学素子には食品の上に配置しても安全に使用可能であるという利点が存在する. 例えば, 食べられる光学素子の一つである食べられる再帰性反射材 [2][3][4] は料理の上に設置し, 食品へプロジェクションマッピングを行う際の基準マーカーとして利用可能である.

食べられる光学素子の 1 つに, ライトパイプを餡を用いて作成した「食べられるライトパイプ」[5] が存在する. ライトパイプとは, 光を入射口から出射口へ伝達させる光学素子であり, 加工によりそれ自体を光らせることも可能となる. ライトパイプを使用することで, 図 1 のように食品に対して光を用いた演出が可能となる. 図 1 の左の写真は餡製のライトパイプを透明なゼリーに立てて, ライトパイプからゼリーに光を供給してゼリーを光らせている. また, 右の写真ではケーキの上に載せたらうそくの形を持つ餡製ライトパイプを光らせている様子を示す. 食べられるライトパイプについても食品で作成されているため, 料理

の上に配置しても安全に使用できる利点があるが, 光を供給するために LED などの光源をライトパイプの近くに配置しなければならない課題がある.

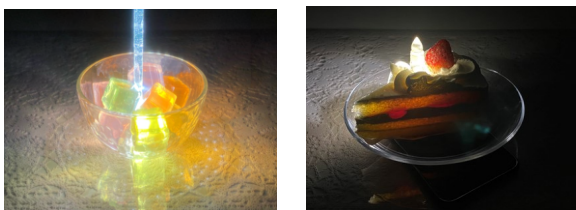
そこで, 本研究ではレーザーを光源として用いて, 離れた位置からライトパイプへ光を供給する手法を提案する. 具体的な手法としては, ガルバノミラーを用いてレーザー光を制御し, レーザーを常にライトパイプの入射口へ照射するようレーザーの出射方向を変化させる. この手法では光源となるレーザーをライトパイプから離れた位置に設置することが出来, 前述の光源をライトパイプの近くに設置しなければならないという課題を解決する. なお, レーザーをライトパイプへ照射するためには入射口の正確な位置の推定が必要となるが, 本研究では位置の推定のために食べられる再帰性反射材を利用した. 実験の結果より, 離れた位置からレーザーでライトパイプに光を供給できることを示す.

## 2. 食べられる光学素子

食べられる光学素子とは, 餡や寒天などの食品で作成された光学素子である. まず, レーザーの照射実験に用いた 2 つの光学素子について説明する.

### 2.1 食べられるライトパイプ

食べられるライトパイプとは, 餡を用いて作成されたライトパイプである. ライトパイプとは全反射の性質を利用し, 図 3 に示すように, 入射口から入射した光を出射口まで伝達する光学素子である. また, 表面に凹凸を作成したり物体に接触させることで, 全反射の条件を意図的に成立しないようにして, ライトパイプの表面から光が外に散乱させるようにすることで, ライトパイプが発光しているように見せることも可能となる. 現在の用途としては, 前者の性質を用いて光を特定の場所まで伝達し, 後者の性質を



(a) ゼリーでの利用の様子 (b) ケーキでの利用の様子

図 1: 食べられるライトパイプの利用例



図 2: 食べられるライトパイプ

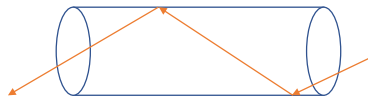


図 3: ライトパイプの反射の様子

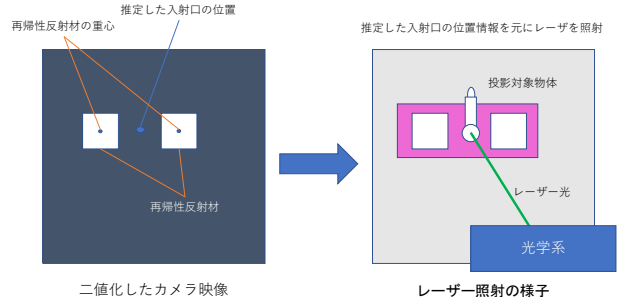


図 5: ライトパイプへのレーザー照射手法

用いて光らせることで食品に光を用いた演出を行うことが考えられている。

2.2 食べられる再帰性反射材

食べられる再帰性反射材とは、飴や寒天などを用いて作成された再帰性反射材である。再帰性反射材とは入射した光を入射方向に反射させる光学素子で、主に自転車や標識の反射材として利用されている。再帰性反射材には大きく分けてコーナーキューブ型とビーズ型の二種類が存在し、食べられる再帰性反射材はコーナーキューブ型で作成されている。コーナーキューブ型の再帰性反射材は三枚の平面を直角に組み合わせた立方体の頂点角を模した構造を表面に持っている。この三平面で光が全反射することにより、光が入射方向へ向かってゆくことで再帰性反射を起こす仕組みである。現在は食品の上に設置し、食品の位置を推定するための基準マーカとして利用されている。

3. ライトパイプに対する非接触の光供給手法

本研究では食べられるライトパイプのための光源として、レーザーを使用する。レーザーを使用する理由としては、レーザー光には指向性があり、離れた位置から照射しても強度が減衰しにくいからである。なお、レーザーを光源として利用するためにはレーザーの出射方向を制御してライトパイプの入射口に照射する必要がある。今回はレーザーの出射方向の制御に 2 軸ガルバノミラーを使用した。2 軸ガルバノミラーにはパン方向、チルト方向それぞれに対応する回転鏡が 1 つずつ付いており、レーザー光をそれぞれの鏡で反射させて使用する。ガルバノミラーは電圧を用いて回転角を制御することが出来、角度の制御によりレーザーの出射方向を制御する。

また、ライトパイプ自体は小さく無色透明であるため、ライトパイプ単体をトラッキングすることは難しい。そこで、本研究では飴製の食べられる再帰性反射材をライトパイプの位置推定のための基準マーカとして使用し、それをカメ

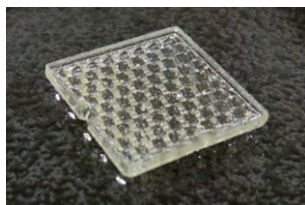


図 4: 飴製の食べられる再帰性反射材

ラを利用して画像処理で検出することとした。再帰性反射材には入射した光を光源方向に反射する性質があり、この性質を利用することで基準マーカとしての利用が可能となる。ライトパイプの入射口の位置推定の際には、再帰性反射材に LED ライトなどを用いて光を当て、カメラの画像から再帰性反射材の画像内での位置を推定する。次に、推定した再帰性反射材の重心を色認識を用いた二値化画像などから推定する。この際に、2 枚の再帰性反射材を用いてそれぞれの重心間の中心に配置するなど、ライトパイプの入射口を再帰性反射材の重心から推定できる位置にあらかじめ配置することで、画像内でのライトパイプの入射光の位置を推定することが可能となる。最後に、カメラ画像とレーザーを照射する位置の対応関係が計算できていれば、再帰性反射材を基準とし、ライトパイプの入射口へレーザーを照射することが可能となる。

4. 評価実験

以上の手法を評価するために、離れた位置からのレーザー照射によって食べられるライトパイプに光を供給することが可能であるか確認した。具体的には、レーザーをライトパイプから 3m 程度離れた位置に設置し、食べられるライトパイプの入射口に常にレーザー光を照射できるようにガルバノミラーを用いてレーザー光の出射方向を制御し、ライトパイプを光らせる実験を行った。

4.1 投影対象物体

本研究では検証実験のために以下のような構造の投影対象物体を使用した。基本的な構造としては図 6 のようになっている。また、実物の写真は図 8 に示す。食器用のスポンジの表面をくりぬき、飴製のライトパイプと飴製の 2 枚の再帰性反射材を表面に埋め込んで作成している。

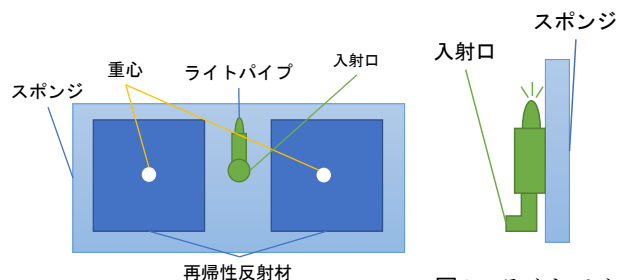


図 6: 投影対象物体の正面図

図 7: ライトパイプの側面図

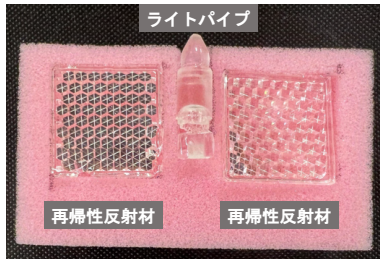


図 8: 投影対象物体

飴製のライトパイプや再帰性反射材は全反射を利用してそれぞれの機能を実現しているため、物体と接触するとそこで全反射の条件が失われて光の損失が発生する。この接触面積をできるだけ少なくするため、各デバイスの固定に多孔質のスポンジを用いた。今回は簡易的にポリマー製のスポンジを用いたが、食品のスポンジを利用すれば同様のことが実現できると考えている。

ライトパイプについては図 7 のようにろうそく型の物と L 字型のライトパイプを接着して作成している。L 字型のライトパイプへ光が入射すると、ろうそく型のライトパイプが光る仕組みになっている。なお、作成した投影対象物体では、飴製のライトパイプの入射口が 2 つの再帰性反射材それぞれの重心間の中心に来るように配置している。このような構造にすることで、再帰性反射材の重心から入射口の位置を推定することが出来、また、物体表面の法線周りの回転にも対応できるようになっている。

4.2 実験環境

実験で使用した光学系は図 9, 10 のような構造になっている。基本的な動きとしては、カメラ映像からライトパイプの入射口の位置を推定し、推定した位置にレーザー光を照射する形となる。詳細については次の実験手順の項で説明する。レーザーから出射したレーザー光は、Neutral Density (ND) フィルターを通過した後にガルバノミラーで射線を偏向され、ダイクロイックミラーで反射した後に投影対象の物体に照射される。なお、ダイクロイックミラーとは特定の波長の光のみを反射する光学素子であり、今回は緑色 (波長 520~550nm) のみを反射するものを使用している。レーザーとしては波長 532nm, 出力 10mW の物を使用している。出力については ND フィルターを利用して減衰させ、57μW ほどにしている。なお、再帰性反射材をマーカーとして利用するためには、反射材を光らせるための光源が必要となる。今回は反射材用の光源として、リングライトを

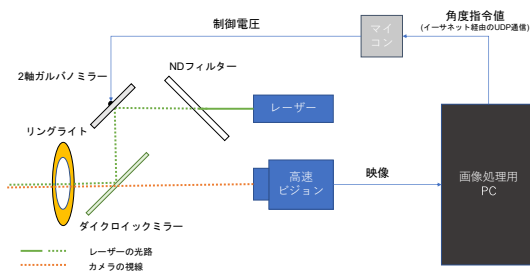


図 9: 使用した光学系の概略及び接続図

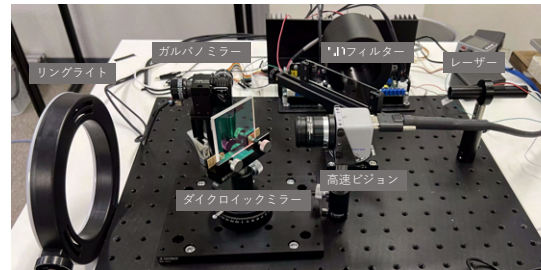


図 10: 使用した光学系

使用した。また、カメラとしては低遅延で画像処理が実現できる高速ビジョンを利用し、高速ビジョンとレーザー光はダイクロイックミラーを通して同軸上に配置されている。実験に使用した機材は以下表 1 のようになっている。

4.3 実験手順

実験においては、食べられる再帰性反射材及び食べられるライトパイプを埋め込んだスポンジを、レーザーから 3m ほど離れたスクリーンの面上で約 30cm × 30cm の範囲内で平行移動・回転させた。スクリーンと光学系の位置関係を図 11 に示す。また、レーザーについては、ライトパイプの入射口に常に照射されるように制御した。処理の流れについて説明すると次のようになる。

まず、前準備としてレーザー光の偏向に利用するガルバノミラーの回転角度の指令値と高速ビジョンから得られる画像の座標系を対応させる。今回は座標系の対応にスクリーンを用いた。まず、食べられるライトパイプへレーザーを照射したい距離にスクリーンを配置する (今回は 3m)。次に高速ビジョンの映像の左上, 右下の点それぞれに対応するスクリーン上の点にレーザーを照射する。その際のガルバノミラーの回転角度の指令値を求め、高速ビジョンの映像上の座標系とガルバノミラーの回転角度の対応関係を計算する。ガルバノミラーの角度についてはマイコンからの出力電圧で制御するが、マイコン上では整数の角度指令値を用いて出力する電圧を制御し、ミラーの回転角を制御している。なお、本来スクリーン上の位置はレーザーとスク

表 1: 使用機材

高速ビジョン	IDP-ExpressR2000(Photron)
高速ビジョン用レンズ	HF50HA-1B(FUJIFILM)
画像処理用 PC	CPU : Intel(R)Xeon(R)CPUE5-2643 v4 @3.40GHz GPU : NVIDIA Quadro K420
レーザー	DPSS ポインティング用レーザー 532nm x 10mW(EDMUND Optics)
ダイクロイックミラー	50mm × 50mm,45° GREENDICHROIC FILTER (EDMUND Optics)
ND フィルター	Step Variable ND Filter, 0.1 - 4.0 NDL-25S-4(tholabs)
マイコン	M5Stack Gray
ガルバノミラー	GVS202(tholabs)
リングライト	コロタツ LED リングライト IGLL01



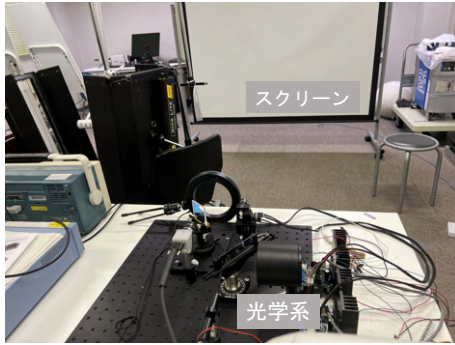


図 11: 光学系とスクリーンの位置関係

リーンの距離  $l$  とレーザーの射出角度  $\theta$  を用いて  $l \tan(\theta)$  と表される．今回の実験ではレーザーとスクリーンの距離 3m に対して移動範囲が 30cm と小さくなり，レーザーの射出角度が十分小さくなるため， $\tan(\theta) \simeq \theta$  と近似して計算した．なお，計算方法は以下ようになる．

画像上でのライトパイプの入射口の推定の座標を  $(x, y)$  と置く．また，画像の縦方向の解像度を  $h$ ，横方向の解像度を  $w$  と置く．次に，ガルバノミラーの角度指令値を（パン方向，チルト方向）の書き方で指定する．画像の左上にレーザーを投影した際の角度指令値を  $(d_1, d_2)$ ，画像の右下に投影した際の角度指令値を  $(d_3, d_4)$  とおく．なお，角度指令値は整数で表されている．この際に，ライトパイプの入射口の座標を角度指令値に変換した値  $(d_x, d_y)$  は

$$d_x = (d_1 - d_3) \frac{x}{w} + d_3 \quad (1)$$

$$d_y = (d_2 - d_4) \frac{y}{h} + d_4 \quad (2)$$

と表すことが出来る．

次に実際にレーザーを照射する際の手順について説明する．まず，食べられる再帰性反射材の HSV 色情報を登録し，登録した情報を用いて画像を二値化することで再帰性反射材を検出する．次に，二値化画像から 2 枚の再帰性反射材それぞれの重心位置を検出する．その後，2 つの重心間の中心位置を検出する．この座標がライトパイプの入射口的位置になる．次に，推定したライトパイプの入射口の座標をガルバノミラーの回転角度の指令値に変換し，マイコンに対して指令値を送信する．その後，指令値を元にマイコンから適切な電圧を出力しガルバノミラーを制御する．この一連の処理によって，ライトパイプへレーザーを照射する．なお，一連の処理は 125Hz の周期で行った．

#### 4.4 実験結果

図 12 に実験の様子を示す．実験の結果，ライトパイプの移動に合わせてレーザーの照射位置も移動し，ライトパイプへ光を供給出来ていることが確認出来た．また，スポンジを回転させた際にもライトパイプが光っていることから，回転にも対応できていることが確認出来た．一方で実験中に時々ライトパイプが上手く光らないことがあった．原因としては，実験の際に人が直接スポンジを手を持った状態

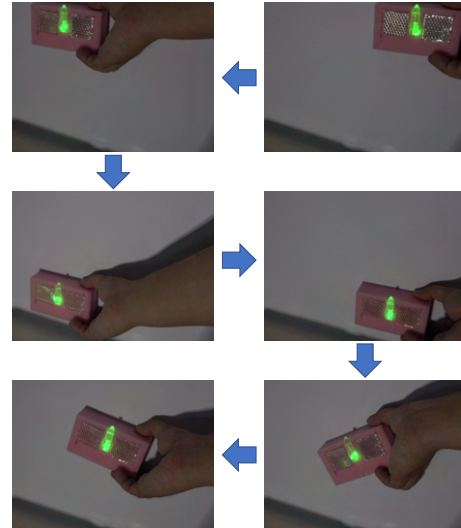


図 12: ライトパイプへのレーザー照射の様子

で動かしたため，スポンジが前後に傾いたことによりレーザー光の照射位置がライトパイプの入射口から外れたことが考えられる．

## 5. おわりに

本稿では，食べられるライトパイプに対して離れた場所から光を供給する手法を提案し，試作システムを用いて実際に光供給実験を行った．実験結果より，離れた位置からレーザーを利用して食べられるライトパイプに光源を供給することが可能であることが確認できた．今後はレーザー照射の精度の向上，ケーキなど実際の食品を用いた演出手法の考案などに取り組んでいく．

## 謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 JP21H03458, JP20K20626 の助成を受けたものです．

## 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, p. 65-74, 2018.
- [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, p. 535-543, 2017.
- [3] 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.
- [4] H. Oku, M. Sato, and Y. Funato: Edible Retroreflector Made of Candy, IEEE Access, Vol.10, p.24749-24758, 2022.
- [5] 林鈴乃, 奥寛雅: 飴製の食べられるライトパイプによる光る料理の提案と基礎評価, ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2022(Robomech2022), 2P2-F08, 2022.