

令和 2 年 7 月 1 日現在

機関番号：12301

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2018～2019

課題番号：18K19799

研究課題名（和文）寒天による食べられる光学系の創出

研究課題名（英文）Edible optical systems made of agar

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） 4,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、寒天を利用した食べられる光学系の創出と評価に加えて、飴を材料とした食べられる光学素子や光学系の提案とデバイス開発、応用実験を行った。具体的には、寒天製レンズの成形と評価、寒天製レンズによる食べられる光学系の試作と評価、飴を素材とする光学素子の開発と評価、人-機械インタラクション(HMI)における有効性の検証、飴製マイクロレンズアレイによる高精度マーカの開発を行った。飴は当初の計画には含まれなかったが、本研究の中でその有用性が実証されており、適切な包装を行えば長期の保存も容易であるなどの利便性も備えていたため、寒天と同様に可食光学素子形成のための重要な原料であることが判明した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

レンズやプリズムといった光学素子を食べ物から形成することで、食べられるという機能と光学的な機能とを併せ持つ新しいデバイスとその応用方法を研究・開発した。これらの結果を応用することで料理と映像を融合した新しい演出手法や、映画やゲームの作成に欠かせないモーションキャプチャーシステムを動物に対して安全に行う手法を創出することができた。

研究成果の概要（英文）：In this project, the creation and evaluation of edible optical systems using agar were conducted. In addition, we proposed edible optical elements and optical systems made of candy as a material, and developed devices and applied experiments. Specifically, we investigated the molding and evaluation of agar lenses, the trial manufacture and evaluation of edible optical systems using agar lenses, the development and evaluation of optical elements made of candy, the verification of their effectiveness in human-machine interaction (HMI), and the development of high-precision markers using candy microlens arrays. Although candy was not included in the original plan, its usefulness was demonstrated in the present study, and it was found to be an important raw material for the formation of edible optical elements as well as agar because of its convenience such as easy long-term storage if it is packaged properly.

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：光学系 食べられる 寒天 食品 飴 再帰性反射材 マイクロレンズアレイ

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

近年、液体が光学デバイス形成に適することが判明し、液体による可変焦点レンズなどが開発されその応用領域を広げている。一方、多くの食材が液体状であることを鑑みると、これは食品が光学素子材料に適することを意味している。光学素子を食材で形成できると、それを利用した食べられる光学マーカーを食品上に設置できるようになり、人間の味覚や食に対するヒューマンマシンインターフェイス(HMI)研究に重要なツールとなる。また、外食・エンターテインメント産業において光学マーカーを手掛かりとした映像投影による新たな食の演出を可能にして新規サービスを創出することが期待される。

これに対し応募者は再帰性反射材と呼ばれる光学素子形成において寒天が優れた性質を持つことを見出した。これは寒天が優れた形状再現性を持つことに由来すると推測される。しかし寒天を光学素子として評価した結果は応募者の知る限り見当たらず、その光学特性はほとんど理解されていないかった。

### 2. 研究の目的

そこで本研究は、

- 寒天を素材とするレンズの成型精度を光学的に評価し、寒天製光学素子が達成できる光学性能の限界を明らかにする
- 寒天光学素子を組み合わせて光学系を構築する方法を明らかにする
- 特に HMI 分野への応用を想定した高機能な食べられる光学マーカーを構築し、食べられる光学系がもつ有用性を明らかにする

ことで、寒天の光学材料としての特性と限界を解明し、可食光学系構築手法を創出することを目的とした。

### 3. 研究の方法

目的達成のために、当初は以下の方法を想定した。

- 寒天製光学素子の特性評価：寒天のもつ面成型精度を評価するために、市販レンズを型として寒天でレンズを成型し、寒天光学素子材料としての性能と限界を測定・評価する。
- 複数寒天光学素子を組み合わせた光学系の構築手法開発：寒天製凸レンズと凹レンズとからなるアフォーカル光学系を開発する。
- 高精度基準マーカーの試作と評価：食材のみから高い角度分解能をもつ高精度基準マーカー、とを試作・評価する。当初は寒天を利用することを想定していたが、研究の進展に伴って飴を素材とする方針に変更した。
- 試作光学系による応用実験、並びに寒天光学系技術の整理・体系化：食材への映像投影実験から HMI 研究における有用性を実証する。寒天光学材料の性質を整理・体系化する。

以上に加え、研究が進む中で新しくでてきた以下のテーマに関する研究も行った。

- 飴を原料とする光学素子形成手法の開発：新たに光学素子形成に適していることが見出された飴を利用して光学素子を形成する手法を研究・開発する。

### 4. 研究成果

#### 4.1 寒天製レンズの成形と評価

最も基本的な光学素子であるレンズを寒天で形成し、その特性を評価した[1]。作製方法としては、市販の凹レンズを型として寒天を固化させ、それを取り出して平凸形状のレンズを形成した。材料は寒天(粉)、水とグラニュー糖であり、これらを混ぜながらヒーターで加熱することで全量をよく溶かした。溶かした状態でこれらの重量比は 1:22:50 となるようにした。ここでグラニュー糖は媒質の屈折率を上げるためと、ゲルの透明度を上げるために添加した。作成した溶液は最後に遠心分離器で遠心することで気泡を除去した。型としては、直径 25 mm、曲率半径 19.62 mm の平凹レンズの凹面を利用した。このレンズの凹面が上になるようにシャーレの底に置き、その上から気泡が入らないように寒天溶液を入れ、さらにその上に平らなガラス板を設置してから全体を冷却してゲル化させる。これにより、凸面部の曲率半径が 19.52 mm、中心部の厚みが 6.5 mm の平凸レンズを形成した。作成に利用したゲルの屈折率  $n$  を屈折率計で計測したところ、摂氏 20.0 度の温度において  $n=1.4684$  を得た。

試作した寒天製平凸レンズで点像を結像させて、そのときの点光源・試作レンズ・カメラの合焦位置の関係から焦点距離を測定した。試作したレンズはレンズ以外の余計な部分を切り落とし、さらに直径 25mm の絞りを密接させてレンズ部分のみ光が通過できるようにした。この状態で焦点距離  $f$  を計測したところ、 $f=39.50$  mm を得た。曲率半径や厚みから算出される焦点距離の理論値は 41.89 mm であり、理論値に近い値であることが確認された。

次に試作品の光学性能を計測するために、USAF1951 チャートで結像させ、その解像力を評価したところ、7.13 line pairs(lp)/mm であった。比較のために、レンズ径 25mm、焦点距離 40 mm の市販のガラス製球面レンズで計測したところ、20.2 lp/mm であった。なお、同じ条件での理論的な解像力の限界は波長を 530 nm として Rayleigh の基準で 259 lp/mm である。この結果から、寒天製レンズは市販の球面レンズよりもより大きな収差をもつことが判明した。この原因は、寒天がゲルのため重力などによる変形で表面が球面形状からゆがんでしまうことが考えられる。

以上の実験を通して、寒天でレンズを作製するとレンズ以外の部分も光を透過する形で形成

され、余計な部分は別に金属板などで絞りを設置する必要があることが判明した。しかし、このような部材が必要となってしまうと食べ物以外の材料が混在することになり、光学系全体としては食べられなくなるという問題がある。そこで、光を遮光したい部分にはやはり寒天を固化に利用する羊羹を形成するようにして、絞りも一体で形成した試作品も作製した。この試作品とほぼ同じパラメータの市販のガラス製平凸球面レンズとで解像力を評価した結果、市販品が 20.2 line pairs(lp)/mm に対して試作品は 5.56 lp/mm となった。

以上の実験から市販のガラス製レンズにくらべて結像性能が劣ることが判明したが、結像性能があまり問題とならない三次元ディスプレイ用のシリンドリカルレンズなどの用途では十分利用できると考えられる。そこで、実際に 60 lines per inch(lpi)のシリンドリカルレンズアレイを寒天で形成した。各シリンドリカルレンズの曲率半径は 0.68mm の、凹レンズのシリンドリカルレンズアレイを型として利用した。形成した寒天製シリンドリカルレンズを市販の液晶ディスプレイに載せ、液晶ディスプレイに白黒の縞を表示した状態で異なる角度からディスプレイを観察すると、角度に依存して画面が白くなる場合と黒くなる場合とが観察できた。これから、観察方向により異なる映像を提示することが可能であることが示され、三次元ディスプレイに応用可能であることが期待される。

#### 4.2 寒天製レンズによる食べられる光学系[2]

寒天製の平凸レンズと平凹レンズを組み合わせ、アフォーカル光学系を試作した。アフォーカル系は、平行光束が入射した時に平行光束が射出される光学系であり、カメラレンズをより望遠や広角に変換するテレコンバーター、ワイドコンバーターや、ビーム径を拡大・縮小するビームエキスパンダーとして利用されている。ここでは単体の凸レンズと単体の凹レンズを組み合わせたガリレオ式望遠鏡と同じ構造を試作した。利用した寒天製レンズの仕様は次の通りであった。平凸レンズの物が曲率半径 25.84 mm で焦点距離の理論値が 55.34 mm、平凹レンズが曲率半径 14.82mm で焦点距離の理論値が -36.02 mm であった。これらを焦点を共有するように配置することでアフォーカル系が構築でき、理論的な像倍率は 0.65 倍であった。

以上の設計で実際にアフォーカル系を構築し、カメラレンズの前に設置しない場合と設置する場合とで同じ物体の観察される大きさを比較した。対象は解像力測定用チャート上に記載されている文字 "F" とし、その大きさの変化を計測したところ、横方向について 0.67 倍、縦方向について 0.71 倍となり、概ね理論値に近い倍率を得た。ただし、観察された像のコントラストは、試作アフォーカル系を入れない場合にくらべて低下しており、これは試作したレンズの収差や、レンズ内に混入した気泡の影響と考えられる。

以上の光学系は、平行光の入射角に一定の係数をかけた角度で平行光を射出するものとして機能する。過去に当グループが開発した食べられる再帰性と組み合わせることでその再帰性反射可能な角度を拡大できることが期待される。

#### 4.3 飴を素材とする光学素子の開発と評価[3], [4]

寒天製の光学素子の実験を通じて、寒天がもつ欠点として、乾燥に弱く、長期保存が難しいことがわかってきた。日本の冬場の暖房の入った室内のように乾燥している環境だと 10 分弱程度の短時間で機能を失ってしまうことが経験的に判明している。また、寒天自体は腐敗しやすいので、長期保存には冷蔵庫や滅菌した密閉容器などが必要になる。

これらの欠点を克服する新たな素材として飴を見出した。飴は糖分子がガラス状に固化したもので、その屈折率は糖の種類にもよるがおよそ 1.5 程度である。基本的には糖分子から構成されており、湿度が低い環境であれば長期的に安定である。寒天が苦手とする状況で長期間機能することが見込まれる。そこで、まずは再帰性反射材を飴で作成することに取り組んだ。

飴の融点は摂氏 170 度と高く、寒天製再帰性反射材を作製する際に用いていたプラスチック製の型の耐熱温度を超えてしまう。高温に耐え得る金属製の型を用いて作製を試みたが、固まった飴が金属に強くはりついてしまい、取り外しが困難となる問題があった。そこで、食品用シリコン樹脂でプラスチック製再帰性反射材の型取りを行い、その樹脂製の型でさらに飴を形成した。通常特定の形状の飴を作製する際には溶かした飴を型に流し込む「流し飴」という手法が取られるが、今回作製するコーナーキューブの形状は複雑であるため、流し飴では飴が型に回りきらず正確な形成が難しいことが判明した。そのため、型に飴の原料となる糖と水を載せ、型ごと加熱を行うという手法を取った。また複数の糖を比較した結果、還元イソマルツロースが透明度を保ちやすく結晶化しにくいことがわかり、光学素子形成に向いていることを見出した。

以上で試作した飴製コーナーキューブ型再帰性反射材は、コーナーキューブが板状に並んだものであり、板の片面が平面に、反対の面がコーナーキューブの突起が連なった形状になっている。再帰性反射材として使用する際には、光が入射する方向に平面側を向ける必要があるため、物体の上に置いて使用する場合には、再帰性反射を行うために重要なコーナーキューブの連なった面が物体に触れる。飴製再帰性反射材は、飴という材質の親水性が高く、水分を含んだ物体に直接触れた際に溶解し、形状が変化してしまうため、例えば水分を含んだ食品の上に置いて使用したいという場合には、コーナーキューブの形状が溶解し、短時間で機能を失ってしまうことが推察される。

そこで、飴製再帰性反射材 2 枚を互いにコーナーキューブ形状の側が内側になるように組み合わせ、隅を鏝で溶接した 2 層構造の飴による食べられる再帰性反射材の構造も開発した。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、水を含んだ食品に鉛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、1層の鉛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。

1層構造と2層構造の試作品について、再帰性反射材の規格 JIS Z9117 に試験片の面積以外について準じて、性能評価を行った。結果として、どちらも入射角が0度~45度の入射光について市販品よりはやや劣るが十分に再帰性反射するという結果が得られた。

また、実際にカメラ用のマーカーとして使用することが可能か、光源とカメラをハーフミラーにより光学的に同軸上に設置したシステムを用いて撮影を行った。被検対象として、1層構造の鉛製再帰性反射材、2層構造の鉛製再帰性反射材、市販のビーズ型再帰性反射材、市販のプラスチック製コーナーキューブ型再帰性反射材を選定した。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から反射強度を比較し、最も反射強度の弱い結果となったガラスビーズ型の再帰性反射材は市販の再帰性反射材であり、試作品はすべてビーズ型の再帰性反射材よりも強い反射強度を持つことがわかった。

次に、鉛製再帰性反射材は時間の経過によってどの程度反射材全体において反射する光の強度が変わるのか定点観察を行った。実験には、観察対象として、1層構造の鉛製再帰性反射材と比較のために寒天製再帰性反射材を用いた。実験は冬場の昼間のみ暖房の効いた部屋で行った。

結果より、寒天製再帰性反射材は60分経過後あたりから著しく反射強度が低下したことにに対し、鉛製再帰性反射材は10日後であっても画像計測用のマーカーとして十分な反射強度を持っていることがわかった。よって、鉛製再帰性反射材は冬場の暖房の効いた部屋のような乾燥した場所であっても長時間の使用に耐えうるということがわかった。

さらに、水分を含んだ食品に触れた状態において2層構造の鉛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層構造の鉛製再帰性反射材と1層構造の鉛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を使用した。結果より、0分の段階において既に1層構造の鉛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ことがわかった。それに対し、2層構造の鉛製再帰性反射材は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ことが確認され、2層構造の鉛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った。

#### 4.4 人-機械インタラクション(HMI)における有効性の検証

作製した鉛製再帰性反射材が従来の寒天製の食べられる再帰性反射材と同様に対象の位置を計測するためのカメラ用のマーカーとして使用可能か、試作品を基準とした動的プロジェクションマッピングを行った。実験は寒天製再帰性反射材の場合と同様にルミベンを用いて行った。投影対象をパンケーキとし、投影対象の上に試作した1層構造の鉛製再帰性反射材を設置した。パンケーキ上の下部に四角形の鉛製再帰性反射材を設置しており、鉛製再帰性反射材の上部にキャラクターの絵を投影した。実験の様子より、パンケーキを移動した際に、投影しているキャラクターの像もパンケーキに張り付いているかのように移動できた。よって、寒天製再帰性反射材と同様に、鉛製再帰性反射材を基準とした動的プロジェクションマッピングを行うことが可能であった。

多くの市販のモーションキャプチャシステムはマーカーとして再帰性反射材を利用しており、鉛製再帰性反射材もマーカーとして機能する可能性がある。そこで、作製した鉛製再帰性反射材が市販の光学式モーションキャプチャシステム(カメラ:OptiTrack Prime41, ソフトウェア:OptiTrack Motive Body)のマーカーとして使用することが出来るのか実験を行った。対象物は海老煎餅とし、1層構造の鉛製再帰性反射材を3個取り付けた。これにより、対象物の位置と姿勢を検出することが可能となる。実験は、カメラを3台使用して行った。対象位置に関する推定結果は真値と近い値となり、鉛製再帰性反射材をマーカーとして認識し、対象物の大体の3次元位置推定を行うことが出来た。例えば動物のモーションキャプチャを行う際に動物にマーカーを付与することが必要になるが、時として動物がマーカーを齧ってしまうことがある。このような時に、マーカーが食材からできていれば、動物に対する健康上の害を低減できることが期待される。

#### 4.5 鉛製マイクロレンズアレイによる高精度マーカーの開発[5]

これまで寒天製再帰性反射材にもとづいて、食品の位置のみだけでなく姿勢も同時に推定できる食べられるARマーカーを提案してきた。これは寒天により形成された再帰性反射素子とチョコレート製の遮蔽材により形成されたARマーカーであり、これを食品の上に置くことで、食品の位置・姿勢を検出できるようにするものである。しかし、従来のARマーカーには正面付近から観測したときの姿勢推定精度が悪いという問題がある。これを解決するARツールとして、マイクロレンズアレイを用いたArrayMarkというマーカーが田中らによって提案されている[6]。しかし、従来のマイクロレンズアレイはガラスやプラスチック製であり食べられなかった。

そこで飴製マイクロレンズアレイを開発することで、ArrayMark の原理による高い姿勢推定精度と食べられるという機能を両立する、食べられる ArrayMark を研究・開発した。

提案されている ArrayMark は、マイクロレンズアレイという微小なレンズエレメントが多数配列した光学素子を用いる。この ArrayMark では、マイクロレンズアレイの焦点面に多数の小さい十字形が印刷されており、十字形の配置はマイクロレンズとは相似であるが、その間隔がマイクロレンズアレイより少し短くなっている。そこで、これと同じ原理を採用するが、材料をすべて可食材料のみでこの構造を形成することとした。そのために、飴製のマイクロレンズアレイを開発した。なお、十字形が印刷されたものは、既存の可食インクと可食紙を組み合わせることで可食化した。

市販のマイクロレンズアレイ（レンズのピッチ 3x4 mm、焦点距離 38.10 mm、各レンズの曲率半径  $20.00 \pm 2$  mm）を型として、この形状を食品用シリコン樹脂で複製し、この樹脂を型として飴を形成した。これと可食紙に可食インクで印刷した十字形パターンを適切な距離に離して設置することで食べられる ArrayMark を試作した。一定距離離すためのスペーサーも飴で形成した。この試作品を利用して正面付近での角度推定精度を評価したところ、RMSE で 0.076 度を達成し、通常の AR マーカーが正面付近で 6 度程度の RMSE に比べて高精度な角度推定が可能であることがわかった。

#### 4.6 まとめ

本研究では、寒天を利用した食べられる光学系の創出と評価に加えて、飴を材料とした食べられる光学素子や光学系の提案とデバイス開発、応用実験を行った。飴は当初の計画には含まれなかったが、本研究の中で再帰性反射材やマイクロレンズアレイの原料としてその有用性が実証されており、適切な包装を行えば長期の保存も容易であるなどの利便性も備えていたため、寒天と同様に可食光学素子形成のための重要な原料であると考えている。この研究では一部のデバイスで有効性を検証したに過ぎないため、未開拓の可能性を秘めていると考えており、今後の研究の進展が期待される。

#### 参考文献

- [1] M. Nomura and H. Oku, "Edible lens made of agar," *Opt. Rev.*, vol. 27, no. 1, pp. 9-13, 2020.
- [2] 野村美友, 奥寛雅, "絞りを内蔵する食べられるレンズの試作と評価," *ロボティクス・メカトロニクス講演会2019*, 2019, 1A1-R01.
- [3] M. Sato, Y. Funato, and H. Oku, "Edible retroreflector made of candy," in *26th IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces, VR 2019 - Proceedings*, 2019, pp. 1146-1147.
- [4] 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," *情報処理学会インタラクシオン2019*, 2019, pp. 319-322.
- [5] 佐藤優至, 清水翠, 奥寛雅, "高精度な食べられる基準マーカの提案と試作," *情報処理学会インタラクシオン2020論文集*, 2020, pp. 487-491.
- [6] H. Tanaka, Y. Sumi, Y. Matsumoto, "A High-Accuracy Visual Marker Based on a Microlens Array", *Proc. The 2012 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2012)*, 2012, pp. 4192-4197.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Miyu Nomura, Hiromasa Oku	4. 巻 27
2. 論文標題 Edible lens made of agar	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Optical Review	6. 最初と最後の頁 9-13
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10043-019-00557-9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Eric Fujiwara, Thiago D. Cabral, Miko Sato, Hiromasa Oku, Cristiano M. B. Cordeiro	4. 巻 10
2. 論文標題 Agarose-based structured optical fibre	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 7035
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-020-64103-3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Oku Hiromasa, Uji Takahiro, Zhang Yiting, Shibahara Kumi	4. 巻 77
2. 論文標題 Edible fiducial marker made of edible retroreflector	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Computers & Graphics	6. 最初と最後の頁 156 ~ 165
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.cag.2018.10.002	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 奥寛雅	4. 巻 10
2. 論文標題 食べられる再帰性反射材とその応用	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 OPTRONICS	6. 最初と最後の頁 143 ~ 146
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 奥寛雅	4. 巻 35
2. 論文標題 食べられる光学素子	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 BIO INDUSTRY	6. 最初と最後の頁 54～62
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 奥寛雅	4. 巻 18
2. 論文標題 食品のみを素材とする食べられる再帰性反射材とその応用	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 MATERIAL STAGE	6. 最初と最後の頁 53～56
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計14件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 奥寛雅
2. 発表標題 新規光学素子による動的映像制御 - 食べられる再帰性反射材から液体レンズまで -
3. 学会等名 一般社団法人日本オプトメカトロニクス協会 第3回光部品生産技術部会講演会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 奥寛雅, 佐藤美子
2. 発表標題 飴を材料とする食べられる再帰性反射材とその応用
3. 学会等名 一般社団法人レーザー学会学術講演会第40回年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 野村美友, 奥寛雅
2. 発表標題 絞りを内蔵する食べられるレンズの試作と評価
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2019 (ROBOMECH2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤美子, 金子愛, 奥寛雅
2. 発表標題 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
3. 学会等名 第 24 回日本バーチャルリアリティ学会大会 (VRSJ2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤 優至, 清水 翠, 奥 寛雅
2. 発表標題 高精度な食べられる基準マーカの提案と試作
3. 学会等名 第24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2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 野村美友, 奥寛雅
2. 発表標題 食べられるレンズの試作
3. 学会等名 第23回日本バーチャルリアリティ学会大会 (VRSJ 2018)
4. 発表年 2018年



1. 発表者名 Hiromasa Oku, Miyu Nomura, Kumi Shibahara, Akihiro Obara
2. 発表標題 Edible Projection Mapping
3. 学会等名 In Proceedings of Siggraph Asia '18 (SA'18) Emerging Technologies (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hiromasa Oku
2. 発表標題 Edible Retroreflector for Dynamic Projection Mapping on Foods
3. 学会等名 Laser Display and Lighting Conference (LDC2018), OPTICS & PHOTONICS International Congress 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 奥寛雅
2. 発表標題 食べられる光学素子が拓く食の映像演出手法
3. 学会等名 第43回光学シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 奥寛雅
2. 発表標題 食べられる光学素子とその料理上映像投影への応用
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサエティ大会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐藤美子, 船戸優希, 奥寛雅
2. 発表標題 飴を材料とした食べられる再帰性反射材の提案と試作
3. 学会等名 第23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2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Miko Sato, Yuki Funato, Hiromasa Oku
2. 発表標題 Edible Retroreflector Made of Candy
3. 学会等名 the 26th IEEE International Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (IEEE VR 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Miyu Nomura, Hiromasa Oku
2. 発表標題 Edible lens made of agar
3. 学会等名 the 26th IEEE International Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (IEEE VR 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiromasa Oku
2. 発表標題 Edible optics and its potential applications
3. 学会等名 2nd Workshop on The Future of Computing & Food (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 再帰性反射材の製造方法	発明者 奥寛雅, 佐藤美子	権利者 国立大学法人群 馬大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-030507	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

群馬大学理工学部電子情報理工学科 奥研究室 <a href="http://www.okulab.cs.gunma-u.ac.jp">http://www.okulab.cs.gunma-u.ac.jp</a> 鉛を材料とする食べられる再帰性反射材 <a href="http://okulab.wixsite.com/okulab/blank-22">http://okulab.wixsite.com/okulab/blank-22</a>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----