

高精度な食べられる基準マーカの提案と試作

佐藤 優至¹ 清水 翠¹ 奥 寛雅¹

概要：近年、食品へのプロジェクションマッピングの試みが盛んになっており、食べられる AR マーカが提案されている。しかし、AR マーカは正面付近から観測した時の姿勢推定精度が悪いという問題がある。これを解決するマーカとしてマイクロレンズアレイを用いた ArrayMark が提案されている。本研究では、餡製マイクロレンズアレイを用いた食べられる ArrayMark を提案する。見かけのパターンの変化を画像解析により性能評価した結果、高い姿勢推定精度を確認することができたので報告する。

1. はじめに

近年、立体物の表面に映像を投影するプロジェクションマッピングが注目されている。投影対象としては静止した物体が多く利用されてきたが、最近は食品へのプロジェクションマッピングも盛んになっている [1][2][3]。実際にプロジェクションマッピングを行うためには、投影対象の位置や姿勢を知る必要がある。しかし、投影対象が食品の場合、環境や作り手によって形状が異なるため、画像処理のみから位置・姿勢を検出することは困難である。

そこで、食品の位置や姿勢を推定することができる食べられる AR マーカが提案されている [4]。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。すべての要素を食品で作製しているため、食べてしまっても健康上の問題はなく、料理の上に置いても安全である。

従来の AR マーカの問題点として、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 というマーカが田中らによって提案されている [5]。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。

そこで本研究では、餡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 を提案し、その作製方法と、姿勢推定実験による性能評価の結果を報告する。

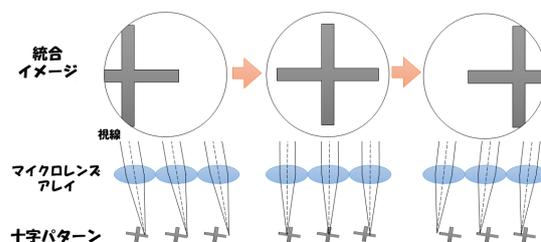


図 1 十字パターン変化の原理の説明

2. ArrayMark

提案されている ArrayMark[5] 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。図 1 にパターン変化の原理の説明を示す。この配置により、各マイクロレンズは十字形の異なった部分を拡大する。これを上から見たときにレンズ越しに見える十字形は、多数の十字形の部分拡大像が統合されてできた大きな十字となる。この配置関係により、視線角度に対応して異なる位置に十字形の像が生成される。

実際の試作例の写真を図 2 に示す。この写真からわかるように、ArrayMark はマイクロレンズアレイと、それを支えて十字パターンと一定の距離を保つ支持台（スパーサ）、さらに十字パターンが印刷されたシートからなる。

¹ 群馬大学

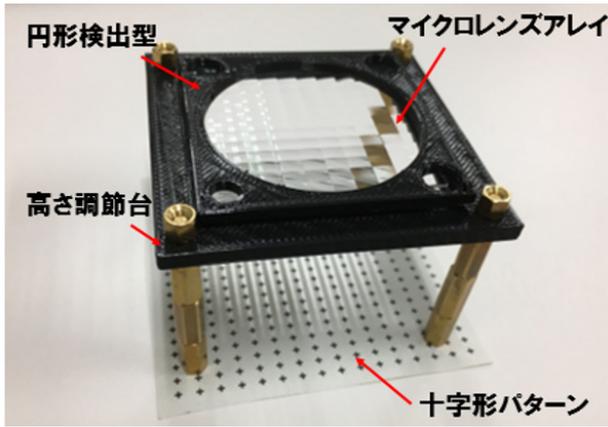


図 2 十字形パターンとマイクロレンズアレイの配置

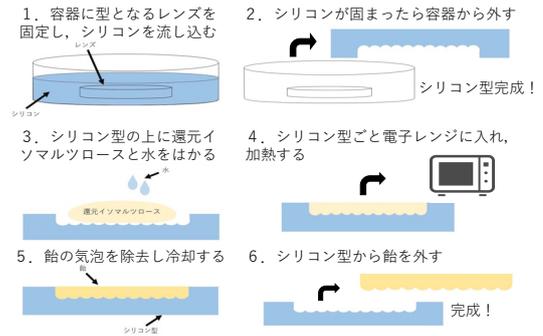


図 3 飴製マイクロレンズアレイ作製手順

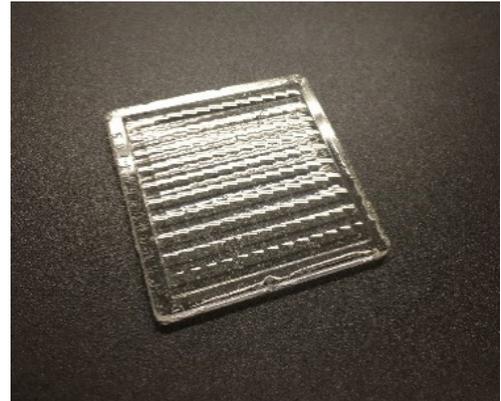


図 4 飴製マイクロレンズアレイ

3. 食べられる ArrayMark の作製方法

ArrayMark を可食とするには、マイクロレンズアレイ、スペーサ、十字パターンを有するシートをすべて食材から形成する必要がある。このうち、スペーサは何らかの固体状の食材を適切な形状にすればよいので、その可食化は容易である。また、現在食べられる紙に食べられるインクで印刷するフードプリンタが市販されているので、十字パターンを有するシートの可食化も容易である [6]。問題はマイクロレンズアレイの可食化であり、以下に実現方法を説明する。

3.1 マイクロレンズアレイの材料

本研究では、すでに再帰性反射材の形成で実績のある飴をマイクロレンズアレイの素材として選定した。飴は糖から作られるが、なかでもはちみつなどに含まれるイソマルツロースを還元した還元イソマルツロースが光学素子の形成に適している。この糖はグラニュー糖などの通常の糖に比べ高温に煮詰めてもキャラメル化しにくく、透明度があるという特徴がある [7]。本研究では還元イソマルツロースを用いて飴製マイクロレンズアレイを作製する。

3.2 飴製マイクロレンズアレイの作製手順

飴製マイクロレンズアレイの作製手順を図 3 に示し、その内容を以下に述べる。また、作製したマイクロレンズアレイを図 4 に示す。

- (1) 食品用シリコン（エングレーピングジャパン HTV-4000）で詳細は後述する市販のマイクロレンズアレイの型を取る
- (2) (1) で作製したシリコン型の上に還元イソマルツロース 8g と水 2.4g を置き、飴がキャラメル化しない程度に型ごと電子レンジで加熱する
- (3) 飴を均一に冷却し、凝固したらシリコン型から飴を外す

型として使用したマイクロレンズアレイと作製した飴製マイクロレンズアレイの詳細を以下に示す。

- フライアイレンズ スモール
 - 品番 63-230
 - メーカー Edmund Optics
 - レンズのピッチ 3×4[mm]
 - 焦点距離 38.10[mm]
 - 各レンズの曲率半径 20.00±2
- 飴製マイクロレンズアレイ
 - レンズのピッチ 3×4[mm]
 - 焦点距離 34[mm]

3.3 食べられる ArrayMark の試作

マイクロレンズアレイとスペーサ部を食材のみから形成した試作品を開発した。ただし、実験の都合上、十字パターンが印字されたシートは紙と通常のプリンタで作製した。このシートはフードプリンタと可食シートを利用することで容易に食材で置き換えられるので最終的な可食化に問題はない。試作品の写真を図 5 に示す。

作製方法としては次の通りである。まず、飴製のマイクロレンズ上に図 2 での黒枠部分をチョコペンで描いた。スペーサとなる柱も飴で作製した。柱の作製方法は飴製マイクロレンズアレイ同様、シリコン型を作製し飴を固めることで作製した。十字形パターンは紙にプリンタで印刷したものをを用いた。

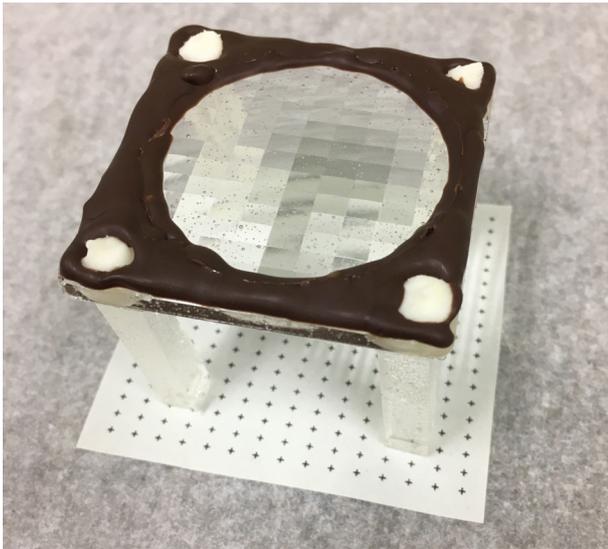


図 5 食べられる ArrayMark 試作品の写真

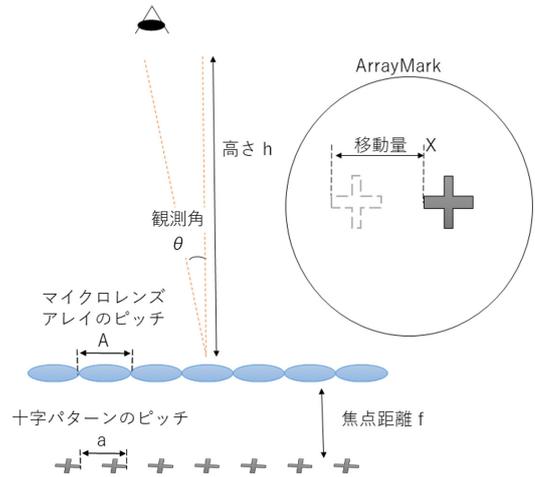


図 6 観測角と十字形の移動量の関係

4. 性能評価

ArrayMark の原理は特に姿勢検出精度が優れているため、本研究では特に姿勢検出精度の評価を行った。

4.1 観測角と十字形の移動量の関係

評価のために、マーカを観測している視点位置と観察される十字の位置の関係を説明する。図 6 に関係の記述に利用する変数を説明する。マーカの画像を計測しているカメラの視点位置とマーカ中心位置とを結んだ線が、マーカ法線方向となす角度を観測角と呼ぶこととし、 θ と表す。ArrayMark 上の座標系における十字形の移動量を X 、ArrayMark から視点までの高さを h 、マイクロレンズアレイから十字形パターンまでの距離を f 、マイクロレンズアレイのピッチを A 、十字形パターンのピッチを a とする。視点からマイクロレンズ上に観察される像は視点とそのマイクロレンズ中心を結んだ延長線上に描かれているパターンを拡大したものとなり、この関係から観測角と十字形の移動量の関係が以下のように求まる。これを理論値とした。

$$X = \frac{fh \sin \theta}{f + h \cos \theta \left(1 - \frac{a}{A}\right)} \quad (1)$$

なお本来の ArrayMark は、焦点距離 f を数 mm 程度と十分短く取ることによって ArrayMark から視点までの高さ h の影響は無視できるようになるため、マーカまでの距離に依存しない。ところが、今回試作した飴製マイクロレンズアレイの焦点距離が 34mm と比較的長く、高さ h の影響が無視できなかったため理論値に含める形とした。もっと焦点距離の短いマイクロレンズアレイを形成すればこの問題は解消されると考えている。

4.2 画像解析

画像解析の手法として、田中らによって提案されている

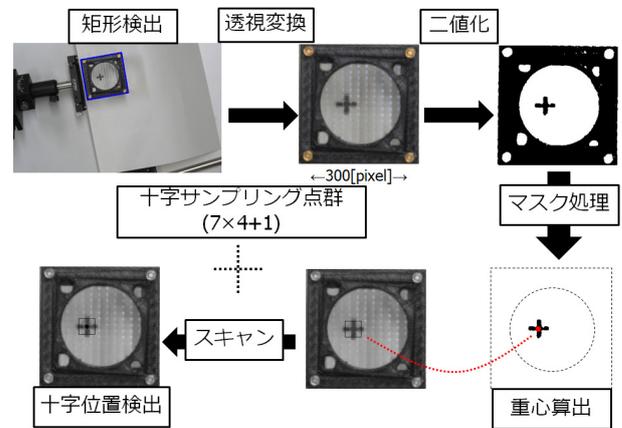


図 7 十字形位置推定手順

手法 [5] を参考に、カメラで撮影した画像から十字形的位置を求めた。具体的な手順は以下の通りである。また、手順を図示したものを図 7 に示す。

- (1) 画像中の矩形領域を検出し、透視変換を行う
- (2) 透視変換後の画像を二値化処理し、マスク処理する
- (3) 十字形の重心を求める
- (4) 求めた重心の周辺領域から十字形状のサンプリング点群によりスキャンし、最も暗い十字形領域を特定し、これを十字形的位置とする

4.3 評価方法

以下の 3 種類の試作品について性能評価を行った。

- (1) 試作品 1: 市販のガラス製マイクロレンズアレイを用いた従来と同様の ArrayMark
 - (2) 試作品 2: 飴製マイクロレンズアレイと食べられないスパーサ (プラスチックや金属) で構成された ArrayMark
 - (3) 試作品 3: 飴製マイクロレンズアレイと食べられるスパーサ (飴やチョコレート) で構成された ArrayMark
- 各 ArrayMark を 12 分 (=12/60 度) ずつ傾けることで観

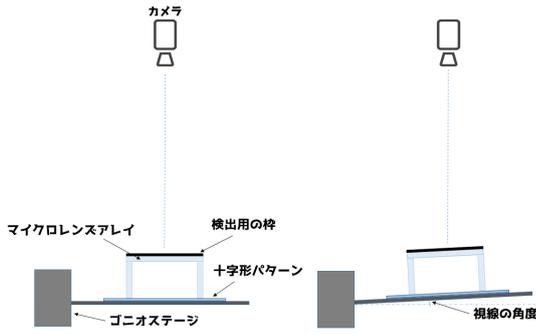


図 8 測定環境

測角が 0° から 3° まで、それぞれ 16 枚ずつ画像を撮影し、十字形の位置を検出して十字形の移動量を求めた。この測定環境を図示したものが図 8 である。使用した機材を以下に示す。

- カメラ MC023MG-SY(XIMEA)
- ゴニオステージ GOH-40A15(シグマ光機)
 - バーニア最小読取 12'
- ArrayMark
 - マイクロレンズアレイ
- 食べられる ArrayMark
 - 飴製マイクロレンズアレイ
- 十字形パターンピッチ $2.85 \times 3.8[\text{mm}]$

4.4 評価結果

求めた十字形の移動量の結果を図 9、図 10、図 11 に示す。横軸は十字形の移動量、縦軸は ArrayMark を傾けた角度、すなわち観測角である。青い線は理論式から予測される関係であり、オレンジ色の点は測定された点、オレンジ色の点線は測定点に関する回帰直線である。理論値は (1) 式を用いたときの値である。結果より、測定結果と理論値との間には誤差があることがわかった。これはマイクロレンズアレイと十字形パターンとの距離がマイクロレンズアレイの焦点距離と完全に一致せずに誤差があることが原因である可能性がある。

しかし、すべての測定結果において十字の移動量と角度の関係は線形であり、実際に実験などで使う場合は予めキャリブレーション行えば角度推定は十分可能であると予測される。実際、回帰直線と測定値の間の二乗平均誤差 (RMSE) は 0.1 度程度であり、最も可食部が多い試作品 3 では 0.076 度の RMSE を達成した。通常の AR マーカの正面付近での角度推定誤差が 6 度程度あること [4] を考えると、通常の AR マーカより 100 倍程度高い精度の角度推定を達成できると考えられる。

5. まとめ

本研究では、飴製マイクロレンズアレイを用いた食べられる ArrayMark を提案し、実験の結果から従来の ArrayMark

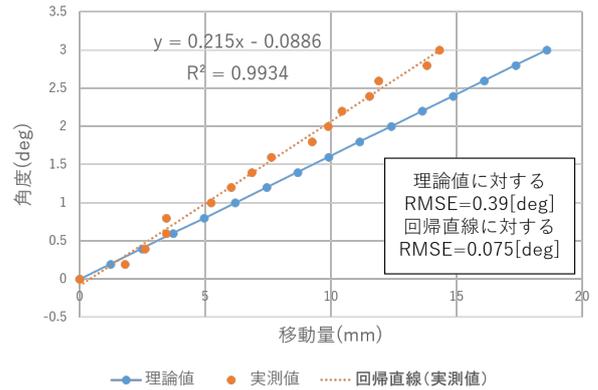


図 9 試作品 1 での推定結果

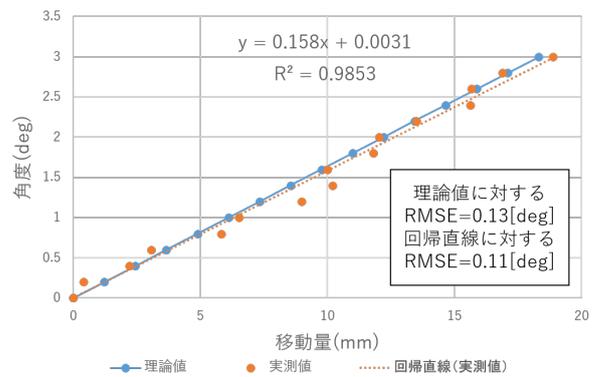


図 10 試作品 2 での推定結果

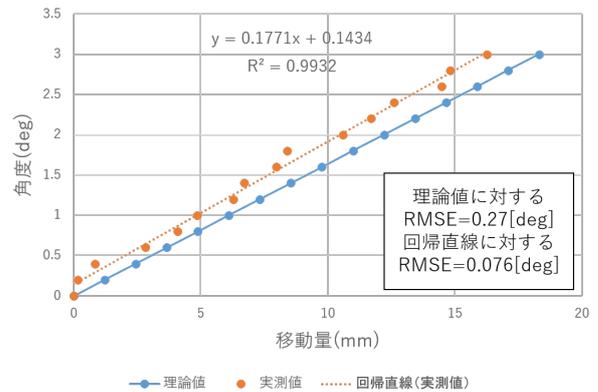


図 11 試作品 3 での推定結果

と同様の高い姿勢推定精度を持つことが確認できた。今後は十字形パターンを食材に置き換えて完全な食べられる ArrayMark の実現し、プロジェクションマッピングなどへの応用を目指す予定である。

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 天ぶらを例題として, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.23, No.2, (2018.06)
- [2] 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)
- [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, インタラクション 2019 論文集, 情報処理学会 (2019)
- [4] H. Oku, T. Uji, Y. Zhang, K. Shibahara : *Edible fiducial marker made of edible retroreflector*, Computers & Graphics, Vol.77, pp.156-165(2018)
- [5] 田中秀幸, 角保志, 松本吉央: 正面からの観測でも高精度な姿勢推定が可能な AR マーカ, 情報処理学会研究報告, Vol.2012CG147, No.3(2012.06.22)
- [6] SO-KEN: <http://www.trickprint.com>(2019.12.20)
- [7] サントス・アントワーン: サントス・アントワーンの美しい飴細工 基本と応用, 柴田書店 (2012)