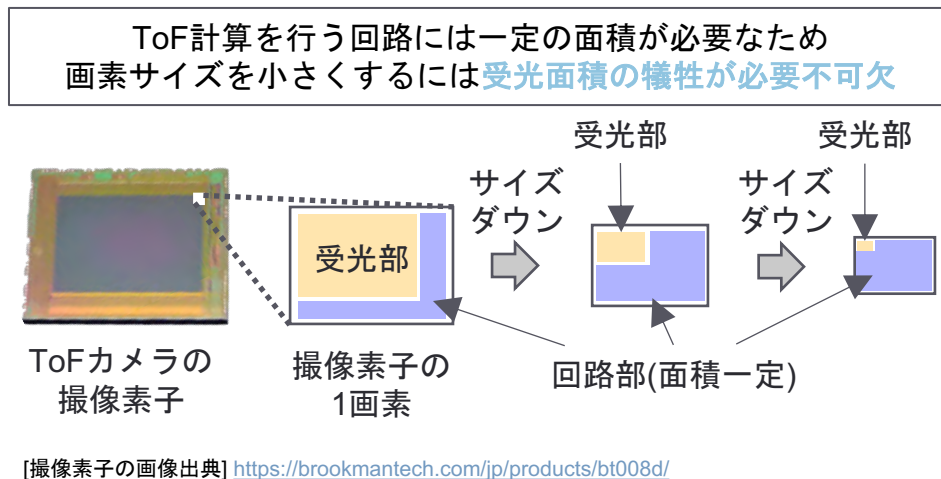


微細加工技術による Web カメラの ToF カメラ化 - 一般的なカメラで距離を明るさとして取得可能なフィルタの開発 -

1 背景

Time-of-Flight (ToF) は、照射光が被写体に反射して戻ってくるまでの時間を計測することで、光速から距離を算出することができる手法である。他の距離計測手法と比較して、小型化が可能、CPU 負荷が小さい、比較的長距離計測が可能、画素単位で独立して距離計算が可能、といった特長を持つため、近年、研究開発が盛んに行われている。ToF カメラに求められる要件のうち、解像度は現状、SXGA (1280×1024, 約 130 万画素) しかなく、一般的なカメラのように 4K や 8K などの高解像度な ToF カメラを作ることは難しい。なぜなら、ToF カメラの撮像素子を構成する回路部と受光部のうち、ToF (位相差) 計算を行う回路部は一定の面積を必要とするため、画素サイズを小さくすればするほど受光部の面積が限られてしまうためである (図 1)。そして、受光面積を小さくすると受光可能な光量が減少、S/N 比が悪化し、距離計測精度に影響が及ぶ。したがって、ToF カメラを高解像度化するためには、受光面積の犠牲を必要としないで ToF 計算が可能な新しいブレイクスルーが必要とされている。



[撮像素子の画像出典] <https://brookmantech.com/jp/products/bt008d/>

図 1: ToF カメラの高解像度化を阻む問題

2 目的

本プロジェクトの目的は、ToF カメラの高解像度化において受光部の犠牲を必要としない新しい ToF 計算の仕組みの開発である。高速に偏光板を回転させることで、一般的なカメラで距離を明るさとして取得可能にするアプローチで ToF カメラの高解像度化を阻む問題を解決する。そのために、本プロジェクト期間では、電氣的に偏光変調可能なカメラフィルタ「電気偏光光学素子」の製作と評価を通じた原理検証を行った。

3 開発の内容

3.1 本プロジェクトにおける ToF 計測の原理

従来の ToF カメラでは、照射光と反射光のずれ（位相差）を計測するために、複数の電荷蓄積部に電荷を振り分け、それぞれの電荷蓄積部に溜まった明るさの比から位相差を計算している。一方で、本プロジェクトにおける ToF 計測システムでは、カメラの前面に配置された複数の光学素子により、空間上で光学的に位相差の計算を実行する（図 2）。まず、強度変調された照射光は対象物体表面で反射し、透過軸が縦方向の偏光板を通過することで縦偏光になる。この縦偏光を電気偏光光学素子と 1/4 波長板によって回転させる。カメラの前には透過軸が横方向である偏光板が配置されているため、電気偏光光学素子と 1/4 波長板による偏光の回転量に応じてカメラで受光される明るさが増減する。電気偏光光学素子の偏光状態変化のタイミングをずらしながら複数回撮影し、得られた明るさの比から位相差および距離を計算することができる。

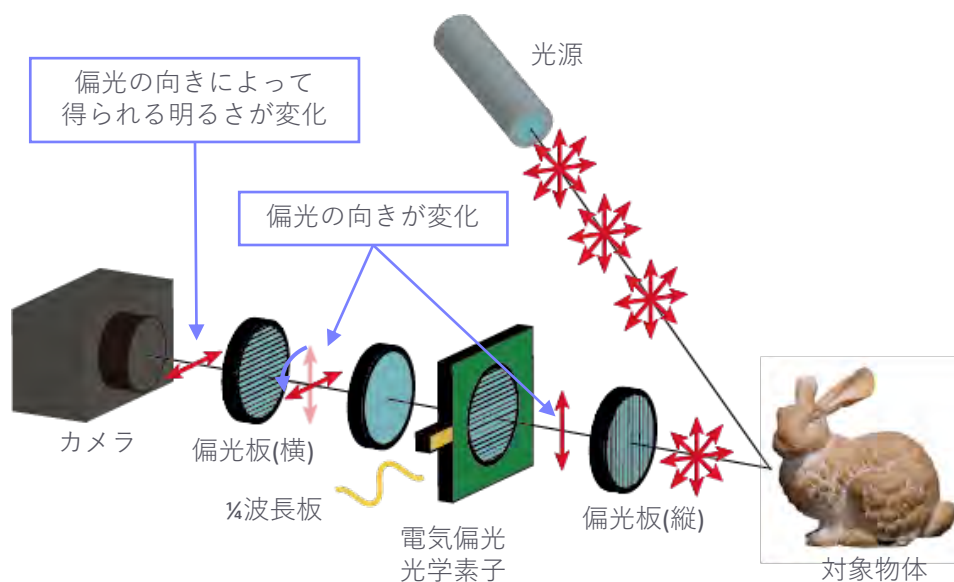


図 2: 本プロジェクトにおける ToF 計測システムのイメージ図

3.2 本プロジェクト期間における開発成果

電氣的に偏光変調可能なカメラフィルタ「電気偏光光学素子」とは、加えられた電圧に応じて偏光状態を変化させることが可能な光学素子である。この機能を実現するために電圧を与えると歪が生じる現象（逆圧電効果）を利用する。逆圧電効果による歪が結晶の厚みや複屈折性を変化させることで光の位相および偏光状態を変化させることができる。微細加工機器を用いて作製した電気偏光光学素子を図 3 に示す。圧電特性を持つ結晶であるニオブ酸リチウムのウエハの両面に透明な導電膜（ITO）を生成し、ウエハの厚み方向に電圧をかけることができるように、ウエハの

一部分に電極を作製した。基板上的コネクタを介して、素子固有の共振周波数の電気信号を入力することで、電気偏光光学素子による偏光変調が可能となる。

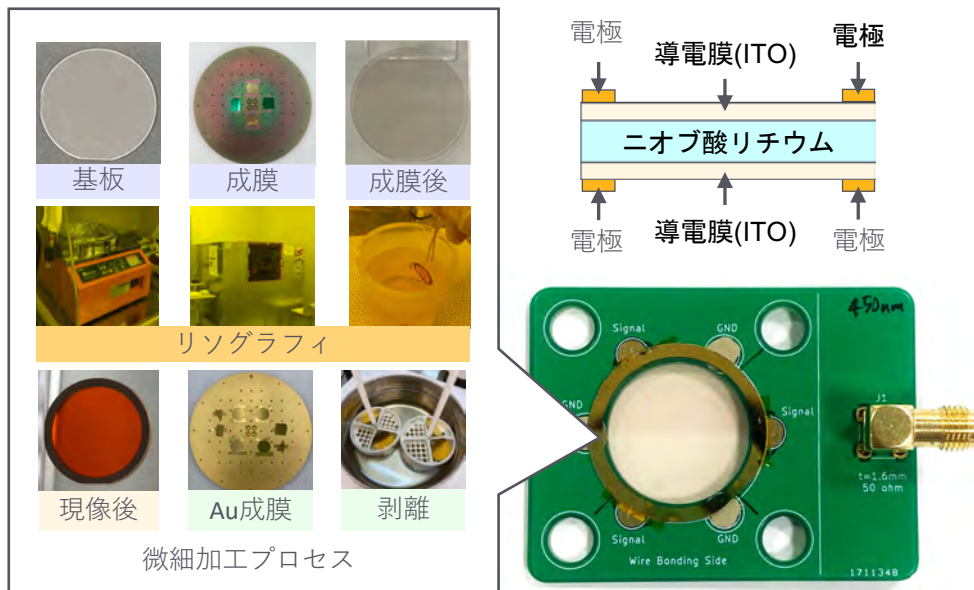


図 3: 製作した電気偏光光学素子

作製した電気偏光光学素子によって距離計測が可能かどうか1画素のカメラ (APD) を用いた評価を行った (図4) . この評価では、レーザー光源も素子の偏光変調と同じ周波数 (共振周波数) で強度変調を行い、電気偏光光学素子の駆動信号との位相差を変化させたときに APD で観測される輝度の変化を調べる。ToF の原理上、位相差から距離を算出することができるため、位相差を変化させることは距離を変化させることに相当する。図5は、位相を2度刻みで変化させたときの輝度変化をプロットしたものであり、輝度から位相差 (距離) を計算可能であることを示すことができた。

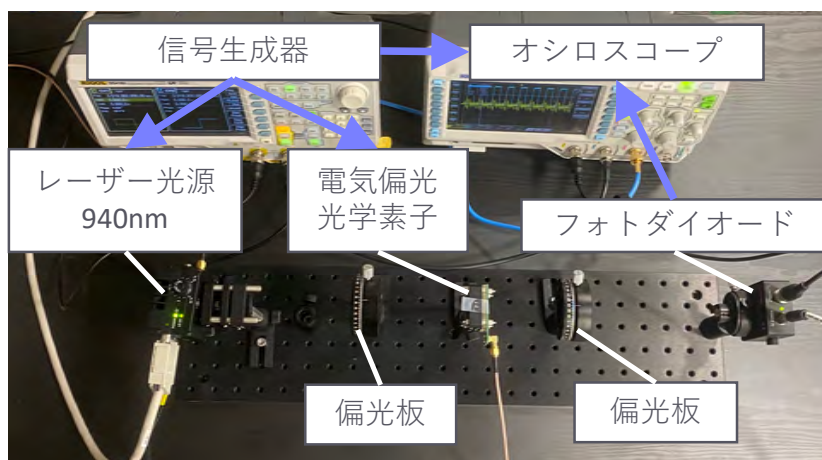


図 4: 1画素のカメラによる距離計測精度評価の実験系

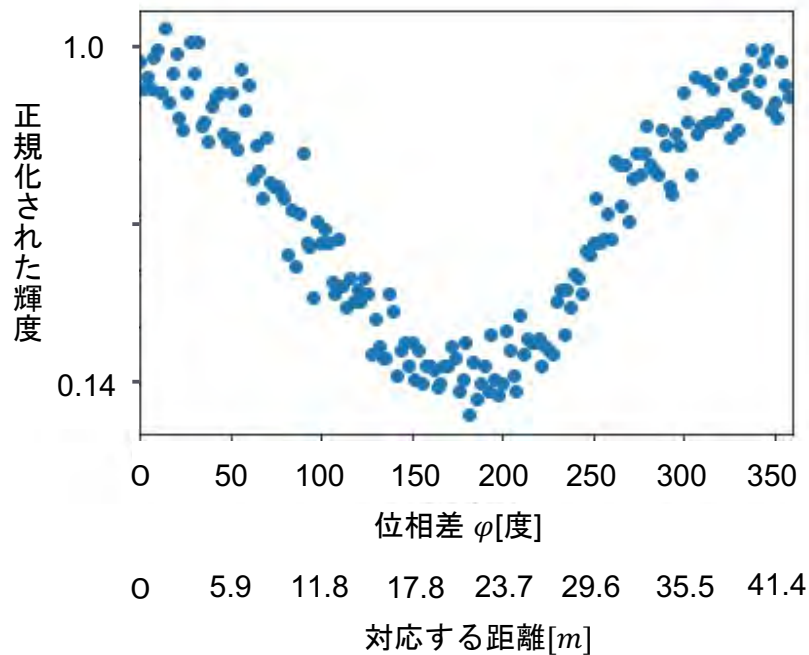


図 5: 位相を 2 度刻みで変化させたときの輝度変化

4 従来の技術との相違

従来の ToF カメラでは、位相差の計算を撮像素子の回路上で実行していたが、本プロジェクトが提案する方式では位相差の計算を光学的に実行することが可能である。そのため、ToF カメラの撮像素子上に位相差計算を行う回路が不要となるため、受光部を犠牲とせず高解像度化が可能となる。

5 期待される効果

現時点では、1 画素のカメラによる距離計測システムであるが、多画素化に向けてシステムを改良していくことで、高い解像度を持つ 4K や 8K の一般的なカメラのレンズと撮像素子の間に電気偏光光学素子を挟むだけで、4K や 8K の高解像度な ToF カメラを実現することが可能となると考えている。ToF カメラの解像度が向上することで、距離画像を入力とした画像認識アプリケーションにおいて認識精度が高まる効果が期待できる。

6 普及の見通し

電気偏光光学素子と一般的なカメラの撮像素子を用いた ToF カメラの多画素化の実現へ向けて開発を行っていく予定である。そのために、安定して発光する光源の開発や、電気偏光光学素子の偏光状態変化の面内不均一性に対する補正アルゴリズムの開発を行う。多画素化の実現後は、展示会や学会での論文発表を通じて、ユーザーへのアプローチを行うことで本プロジェクトの認知を向上させたいと考えている。

7 クリエータ名（所属）

- 蛭子 綾花（筑波大学 大学院人間総合科学学術院 人間総合科学研究群 情報学学位プログラム）