

補助事業番号 2025M-505

補助事業名 2025年度 超音波による車載カメラ用高速レンズの開発 補助事業

補助事業者名 同志社大学 理工学部 電気工学科 小山 大介

## 1 研究の概要

一般的なカメラモジュールは複数枚のレンズと撮像素子で構成されており、物体撮影時にピント(焦点)を合わせる際は、そのうちのレンズの1つを画面奥行き方向に移動させて焦点位置を調整する。そのため、レンズを動かすためのアクチュエータなどの機械的可動部が必要となり、カメラモジュール全体が大型化する。また焦点が合うまでの応答時間は、このアクチュエータの機械的性能によって決定される。そこで本研究では、超音波を用いることにより小型化と高速応答を実現可能な可変焦点レンズを開発する。提案するレンズでは、これまでに申請者らのグループが開発した、超音波を使った物体の屈折率変化技術を利用する。光路中の媒質に超音波を伝搬させ、その屈折率分布を高速に変化させることにより、光の焦点位置を変化できる。すなわち本技術により、耐震性と小型化のボトルネックとなる機械的可動部を用いることなく、レンズ位置を動かすことなく焦点距離を調整可能なレンズを実現する。

本研究では第一に、超音波によってその焦点距離を高速に変化可能な可変焦点レンズを開発した。本レンズは焦点変化の際にレンズ位置を動かす必要がないため、機械的可動部が不要であり、小型・薄型化に適している。また、音速で伝搬する超音波の圧力変動を利用するため、従来技術に比べて速い高速応答性が期待できる。第二に、屈折率変化の物理メカニズムの解明と、それによって得た知見に基づいた数値シミュレーションによるレンズの設計手法について検討した。第三に、開発したレンズを利用した高速イメージング技術について検討した。

## 2 研究の目的と背景

2016年の国土交通省による保安基準改正により、現在自動車業界では従来のサイドミラーなど全てのミラーからカメラシステムへの置き換えが急速に進んでおり、2021年にはバックカメラの装着を義務化している。しかしながら、車載搭載用カメラには長期間の走行に耐えうる高い耐震性と瞬時に車載周囲情報を取得するための高速応答性が求められる。また現在既に一部の国と地域で試行されている自動運転技術の将来を考えると、高速に車載周囲の情報を取得可能な高速応答性を有するカメラは必要不可欠である。現在主に用いられているカメラシステムは、ピント合わせの動作機構として機械的可動部を必要とするが、車載搭載用部品として一般的に要求される10年の製品寿命をクリアするためには、機械的可動部を持たない耐震性に優れたカメラシステムの開発が必須と言える。

そこで本研究では、車載搭載を目的とした高耐震性と高速応答性を併せ持つ、焦点距離を制御可能な小型・薄型の可変焦点レンズの開発を行った。本レンズを用いて、車載周囲の情報を瞬時に取得可能なイメージング技術を開発し、今後の自動運転技術の発展に貢献する。

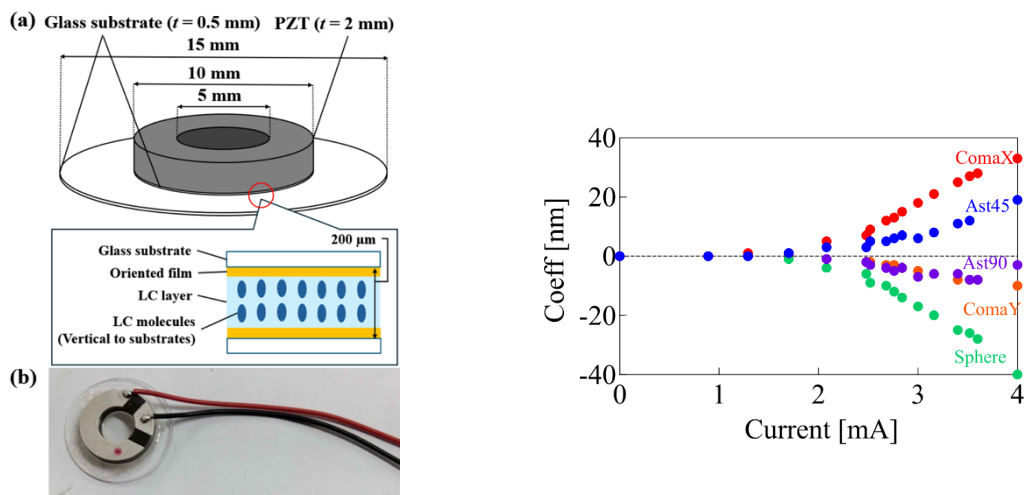
### 3 研究内容

#### 超音波による車載カメラ用高速レンズの開発

([https://use.doshisha.ac.jp/JKA\\_Koyama\\_Doshisha2025.pdf](https://use.doshisha.ac.jp/JKA_Koyama_Doshisha2025.pdf))

##### ① レンズ試作器の作製・光学性能評価

異なる動作メカニズムに基づいた可変焦点レンズを開発した。車載レンズを目的とした小型レンズとして (a) 透明ゲルによるゲルレンズ, (b) 高周波超音波による液体レンズ, (c) 液晶材料を用いた液晶レンズを試作した。このうち、液晶レンズは2枚のガラス円板、アニュラ型圧電素子、液晶層で構成される (図1)。機械的可動部を持たないため耐震性に優れ、小型、薄型化を実現したことにより、車載レンズとしてより適している。液晶レンズの光学特性を評価するため、波面センサを用いた光学評価システムを構築し、ザイデルの5収差などの代表的な光学性能を定量的に評価した (図3)。



左) 図1 超音波液晶レンズ ((a) 構造と (b) 写真)

右) 図2 レンズの入力電流とザイデルの5収差の関係

##### ② 超音波による屈折率変化の物理メカニズム解明

各種デバイスについて、形状パラメータを変化させた複数の試作器を比較することで、屈折率変化の物理メカニズムについて検討した。透過光量を調整可能な液晶NDフィルタでは、液晶層厚さを変化させた場合の動作・光学特性を評価した。NDフィルタの液晶層が厚い場合 (200  $\mu\text{m}$ ) は薄い場合 (50  $\mu\text{m}$ ) と比較して、同じ入力電圧範囲における透過光量調整範囲のダイナミックレンジが大きいことが明らかとなった (図3)。この結果は、液晶層が薄いほど配向膜による液晶分子のアンカリング力が大きいことを意味しており、定常状態における液晶の分子配向状態が超音波の放射力と液晶分子の復元力、アンカリ

ング力によって決定されることを示唆しており，超音波駆動式液晶デバイスの物理メカニズムを定性的に把握することができた。

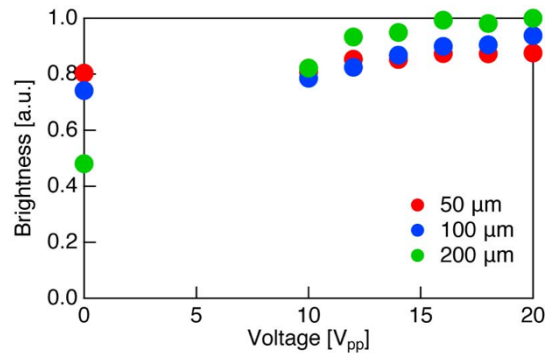


図3 超音波NDフィルタの入力電圧と透過光強度の関係

### ③ レンズの設計，数値シミュレーション

有限要素解析による数値シミュレーションを利用したレンズの設計手法について検討した。試作した液晶レンズについて，超音波駆動時におけるレンズの振動分布をシミュレーションによって計算した結果，実測値と計算値は精度良く一致することが認められた（図4）。本シミュレーションによって所望の超音波振動分布を得られる様な形状パラメータ（例えばガラス円板厚さや圧電素子形状）を選定することで，有効レンズを調整可能であり，レンズ設計に有効であることが明らかとなった。

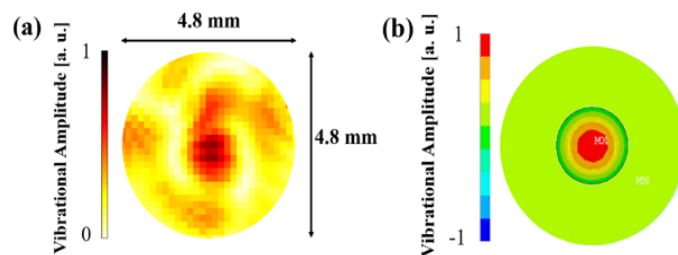


図4 超音波液晶レンズの振動分布（(a) 実測値と(b) 計算値）

### ④ レンズを用いた高速撮影技術

試作器の駆動条件や形状パラメータが高速撮影にとって重要な時間応答性に与える影響について実験的に検討した。特に，液晶デバイスについて駆動条件の1つである入力電圧が時間応答性に与える影響について評価した結果，入力電圧の増加と共に時定数が小さくなる（応答時間が短くなり時間応答性が向上する）ことが明らかとなった（図5）。また，形状パラメータについても，一般的な液晶デバイスと同様に液晶層が薄いほど応

答時間が短くなることが認められた。

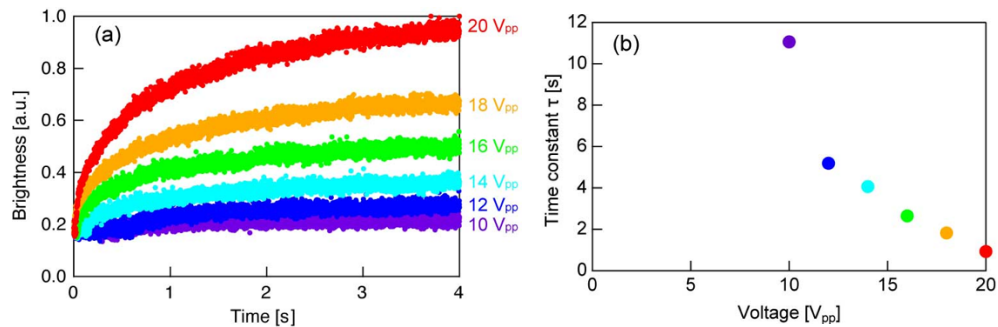


図5 (a) 液晶デバイス透過光の時間変化と (b) 入力電圧と時定数の関係

#### 4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

今後の益々進むであろう超高齢化社会を迎えるにあたって、安心・安全な自動車社会の実現は、高齢者を含めた全てのドライバーや歩行者などにとって欠かすことができない。昨今問題となっている高齢者ドライバーの事故を減少するためには、今後自動運転技術の発展は必要不可欠である。そのため、「カメラの応答性能」は高度な自動運転システムを構築する上で最も重要な性能指標の一つであり、瞬時的に車輻周囲の情報を広範囲に渡って一挙に取得できれば、より安全な自動車社会の実現に繋がる。一方で、車輻搭載用部品として一般的に要求される10年の製品寿命をクリアするためには、機械的可動部を持たないカメラシステムの開発が必須と言える。このことは同時に、カメラシステムの小型化に直結し、ヘッドアップディスプレイなどカメラシステムの応用範囲が大幅に広がることが期待される。

#### 5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

本研究では、申請者らが2022年および2024年に独自に発見した超音波による屈折率変化技術によって、レンズ中を伝搬する光波の波面を空間的・時間的に高速制御する手法を利用している。ブラッグ反射など、光と音波の相互作用については、光音響学として一学問が成立するほど古くから研究がなされているが、本研究で提案する様なアプローチで光波の制御を行うグループは申請者が知る限り他に見られない。本研究では、デバイスの開発のみに留まらず、デバイスの高速応答性を活かしたイメージング技術にも展開している。

#### 6 本研究にかかわる知財・発表論文等

1. R. Mizuno, Z. Wu, R. Noma, D. Koyama, A liquid-crystal neutral density filter that can be tuned using ultrasound, Appl. Opt., in press.
2. R. Mizuno, K. Kano, A. Emoto, D. Koyama, Effect of the thickness of the glass substrate on an ultrasonic liquid crystal lens, Acoust. Sci. & Tech., Vol. 47, No. 2, pp. 202–205 (2026)

## 7 補助事業に係る成果物

(1)補助事業により作成したもの

該当なし

(2)(1)以外で当事業において作成したもの

該当なし

## 8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 同志社大学 理工学部(ドウシシャダイガク リコウガクブ)

住 所： 〒610-0321

京都府京田辺市多々羅都谷1-3

担 当 者： 教授 小山 大介(コヤマ ダイスケ)

担 当 部 署： 超音波エレクトロニクス・応用計測研究室(チョウオンパエレクトロニクス・オウ  
ヨウケイソクケンキュウシツ)

E - m a i l: dkoyama@mail.doshisha.ac.jp

U R L: <https://use.doshisha.ac.jp/>