

補助事業番号 2019M-129

補助事業名 2019年度 超音波と液晶による高速可変焦点レンズの開発 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

本研究では、超音波と液晶を用いた小型で高速応答可能な可変焦点レンズを開発した。レンズは2枚のガラス基板とそれに挟まれた液晶層、圧電超音波振動子で構成される簡素な構造である。一般的に、現在ディスプレイなどに幅広く用いられている液晶は、レアメタルを含む透明電極を介して液晶層に電圧を加えることにより、その分子配向を変化させ、液晶透過光を制御している。またその応答速度は、基本的には粘性など液晶の物性に依存する。本研究で開発したレンズは、これまでに我々のグループが開発した超音波を使った液晶分子配向制御技術を用いることにより、透明電極を用いずとも可変焦点機能を実現することができる。圧電振動子から発生した超音波が液晶中に伝搬すると、その放射力によって液晶分子の配向が高速に変化する。本技術はすなわち光を空間的・時間的に高速制御する技術と言える。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、機械的可動部を持たないことにより、外部からの振動に対して高いロバスト性を有する。さらに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。

2 研究の目的と背景

カメラ撮影時に画面奥行方向にピントを合わせる場合、一般的なカメラモジュールではレンズを光軸方向に移動させる必要がある。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傾向がある。また焦点を合わせる際に必要とする応答時間は、このアクチュエータの機械的性能によって決定される。本研究では、スマートフォンや車輻への搭載を目的とした小型・薄型で高耐震性、高速応答性を併せ持つ、焦点距離を制御可能な光学レンズを開発する。またレンズの駆動原理である超音波による液晶配向変化の物理メカニズムを明らかにする。将来的には本レンズを用いて、車輻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

超音波と液晶による高速可変焦点レンズの開発

(https://use.doshisha.ac.jp/Funding_Koyama.html)

- ① レンズ構造：超音波駆動式液晶レンズを試作した。液晶レンズは2枚のガラス基板間にネマチック液晶層を持ち、一方のガラス板に接着したリング形圧電超音波振動子を接着した簡素な構造である（図1）。液晶分子は電源OFF時の初期状態において液晶分子がガラス基板表面に対して垂直に配向する。

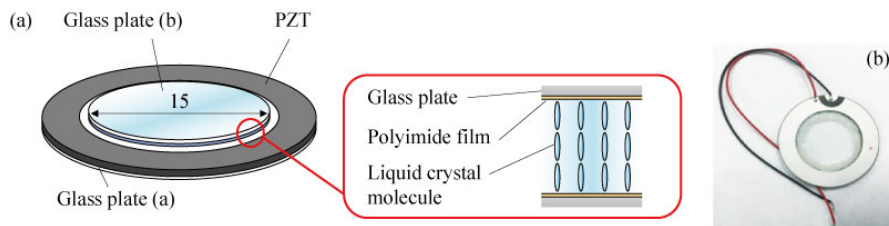


図1 超音波駆動型液晶レンズ

- ② レンズ動作特性：レンズは周波数10 kHz～100 kHzの範囲において、複数の共振たわみ振動モードを有する（図2）。高い共振モードほどたわみ振動の波長は短くなり、レンズ中心部分、すなわち超音波振動の大きい部分（図中赤い部分）が可変焦点レンズとして作用するため、周波数によってレンズ径を制御可能である。またレンズへの入力電圧を変化させることによってレンズ焦点位置が変化することがわかり、可変焦点機能を有する超音波式液晶レンズを実現した（図3）。

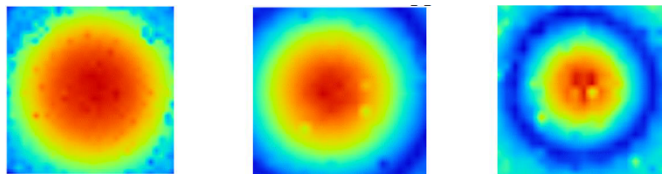


図2 レンズに発生する超音波振動分布の例（左から14, 38, 78 kHz）。赤（および青）部分は振動振幅が大きい（小さい）部分であることを表している。

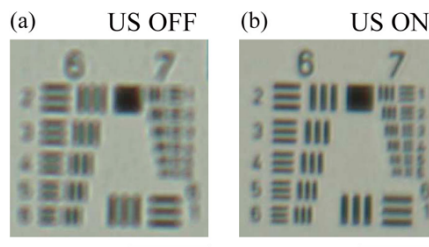


図3 超音波液晶レンズによる焦点変化のようす（(a) 超音波駆動OFF, (b) 超音波駆動ON）

- ③ 物理メカニズムの解明：レンズ内液晶分子の配向評価法を新たに開発した。2枚の偏光板を互いに90度に保った状態（クロスニコル配置）で、入射光の偏波面を回転させながらレンズの透過光分布を観測することで、レンズ内液晶分子の3次元的な配向方向を推定する手法を考案した。本手法によって、超音波振動分布と液晶分子配向の関係性が明らかとなった（図4）。すなわち液晶分子は超音波振動振幅の空間勾配に依存し、レンズ中央に向かって傾斜することにより、凹レンズとして動作することがわかった。

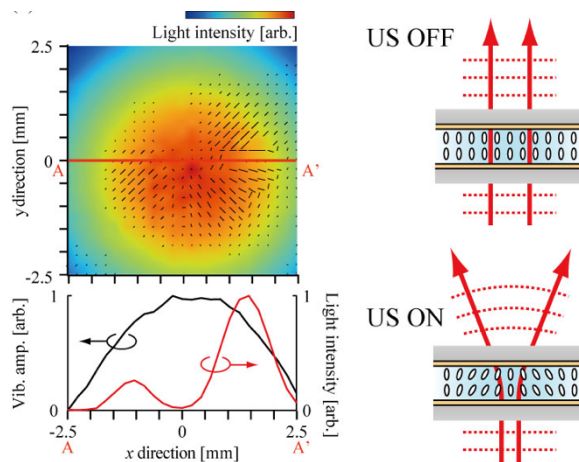


図4 レンズの超音波振動分布と液晶分子配向の関係

4 本研究が実社会にどう活かされるかー展望

本レンズの光学特性を更に改善することにより、今後スマートフォンを初めとする小型電子デバイスへの搭載やこれらのデバイス全体の小型・薄型化が期待できる。またアクチュエータやギア機構などの機械的可動部を持たないことは、外部からの振動に対する高いロバスト性を有することを意味する。特にこれらの性能が要求される車載カメラに、本研究で開発した液晶レンズが搭載され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

当研究室では超音波振動を用いた各種アクチュエータ、センサの開発を行ってきた。その中で事業者らは、超音波の放射力によって外部電解を用いずとも液晶分子配向を変化可能であることを見出した。本事業において実施した可変焦点液晶レンズは、この技術を用いた世界初の光デバイスである。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

1. Y. Harada, D. Koyama, M. Fukui, A. Emoto, K. Nakamura, M. Matsukawa, "Molecular orientation in a variable-focus liquid crystal lens induced by ultrasound vibration" Sci. Rep., in press.
2. Y. Shimizu, D. Koyama, M. Fukui, A. Emoto, K. Nakamura, M. Matsukawa, "Ultrasound liquid crystal lens", Appl. Phys. Lett., Vol.112, No. 16, p.161104 (2018)
3. Y. Shimizu, D. Koyama, S. Taniguchi, A. Emoto, K. Nakamura, M. Matsukawa, "Periodic pattern of liquid crystal molecular orientation induced by ultrasound vibrations", Appl. Phys. Lett., Vol.111, No. 23, p. 231101 (2017)
4. S. Taniguchi, D. Koyama, Y. Shimizu, A. Emoto, K. Nakamura, M. Matsukawa, "Control

of liquid crystal molecular orientation using ultrasound vibration, Appl. Phys. Lett.,
Vol. 108, No.10, p. 101103 (2016)

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/>