

山梨県若手研究者奨励事業 研究成果概要書

所属機関名 国立大学法人 山梨大学

職名・氏名 助教・原田 裕生

1. 研究テーマ

超高周波強力超音波による屈折率変調型可変焦点レンズの開発

2. 研究目的

小型電子機器やマシンビジョン（産業ロボットなどの視覚系）に搭載されているカメラモジュールは、複数枚のレンズをアクチュエータ等の機械的可動部によって奥行き方向に移動させることで光学的な焦点調整が行われている。しかし、機械的可動部を有するカメラモジュールでは将来的な小型化や高速化には限界があり、さらに現状の光学システムでは部品点数が多くなってしまったため、製造コストやロバスト性、製品寿命の観点においても更なる技術革新が必要である。以上のことから、高速焦点制御および光学システム全体の小型・薄型化、さらにロバスト性の向上を実現したカメラモジュールの開発が求められている。そこで本研究では従来技術と比較して格段に大きな屈折率変化 (Harada, Appl. Phys. Lett., 2024) を実現可能な高周波強力超音波による屈折率制御技術を基盤とした機械的可動部を必要としない可変焦点光流体レンズを開発することを目的とする。

3. 研究方法

高周波強力超音波を用いた可変焦点レンズの開発に向けて、まず高周波強力超音波トランスデューサ（超音波送波器）を開発する。開発する超音波トランスデューサの圧電材料には、水熱合成法により成膜した KNbO_3 圧電薄膜を採用する。成膜した KNbO_3 圧電薄膜はレーザ加工を行い、所望の形状に加工し、高周波強力超音波トランスデューサに使用した。そして開発した高周波強力超音波トランスデューサを用いて、シュリーレン法による光学評価、光ファイバセンサ・ニードル型ハイドロフォンを用いた屈折率変化・音圧変化の評価を通して、高周波強力超音波照射による屈折率制御手法および光学媒質（屈折率変化媒質）に関する実験的な検討を行い、可変焦点光流体レンズへと展開する。

4. 研究成果と今後の展望

本研究を通して、主に以下の3点の成果が得られた。

・高周波強力超音波照射による屈折率制御手法の開発

これまでは連続波条件での屈折率制御を想定していたが、本研究により、パルス波条件においても屈折率変化領域を形成可能であることが明らかとなった。ただし、パルス波条

留意事項

- ① 3枚程度で作成してください。
- ② 特許の出願中等の理由により、一定期間公表を見合わせる必要がある箇所がある場合であっても、所定の期日までに公表可能な範囲で作成・提出してください。当該箇所については、後日公表可能となった際に追記して再提出してください。

件は連続波条件に比べて、屈折率変化が小さいため、今後はパルス波条件で屈折率変化が最大となる駆動条件（超音波周波数、入力電圧、パルス数、バースト周期等）の最適化を進める。

・ 可変焦点レンズの開発に向けた光学媒質（屈折率変化媒質）の選定

これまでの研究では、水中における高周波強力超音波照射によって誘起される屈折率変化について、主に検討を行っていた。しかし本研究を通して、数十 MHz 帯の超音波（連続波およびパルス波）を水およびグリセリン溶液に照射した場合、グリセリン溶液の方が大きな屈折率変化が得られることが確認された。今後はグリセリン溶液の濃度、粘度、温度などの各種パラメータを系統的に変化させた際の屈折率変化を評価し、グリセリン溶液における屈折率変化の最適条件を模索する。

・ 高周波強力超音波を用いた新たな屈折率制御手法の可能性

高周波強力超音波照射によって、従来観測されていた超音波トランスデューサ表面近傍での屈折率変化領域に加えて、超音波トランスデューサ表面から数十 mm 程度離れた地点においても、静的な屈折率変化領域が形成可能であることが明らかとなった。現時点では、超音波トランスデューサの遠方にて形成される屈折率変化領域には、音響流とキャビテーションが関係していると考えている。同現象を利用することで、屈折率変化の制御領域の拡大につながる可能性があり、新たな超音波光デバイスの創出が期待できる。

以上より、パルス波条件および光学媒質条件の最適化、音響流による新たな屈折率制御手法の可能性を通じて、屈折率変化 Δn の増大および屈折率制御領域の拡大が期待される。さらに得られた最適条件に基づいて、今後、屈折率変化の制御性を向上させることで、可変焦点レンズへの実装に向けた設計指針を確立させる。

5. 研究成果の発信方法（予定を含む）

高周波強力超音波照射によって誘起される屈折率制御技術および水熱合成法を利用した圧電薄膜の成膜技術に関する研究成果を下記、国際・国内学会にて発表を行った。

【国際学会】

・ Y. Harada, R. Mizuno, M. Ishikawa, M. Matsukawa, D. Koyama, Refractive index change under high-frequency, high-intensity ultrasonic irradiation and its relation to nanobubble density distribution, IEEE IUS 2025, Utrecht, Netherland (2025.9).

【国内学会】

・ 藤井 利津, 呉 沢農, 原田 裕生, 石河 睦生, 小山 大介, 水熱合成法による KNbO_3 を用いたフィルム状圧電振動子の検討, 日本音響学会第 155 回(2026 年春季)研究発表会, 日本大学 理工学部 駿河台キャンパス (2026. 3)

・ 呉沢農, 原田裕生, 藤井利津, 石河睦生, 小山大介, 100MHz 帯超音波による音響流の光学的観測, 電子情報通信学会 超音波研究会, 日本大学 駿河台キャンパス (2026.5)

留意事項

① 3 枚程度で作成してください。

② 特許の出願中等の理由により、一定期間公表を見合わせる必要がある箇所がある場合であっても、所定の期日までに公表可能な範囲で作成・提出してください。当該箇所については、後日公表可能となった際に追記して再提出してください。

その他、現在本研究により得られた成果を含めて、学術論文として投稿する準備を進めている。

本研究助成に対し、ここに改めて感謝の意を表す。

留意事項

- ① 3枚程度で作成してください。
- ② 特許の出願中等の理由により、一定期間公表を見合わせる必要がある箇所がある場合であっても、所定の期日までに公表可能な範囲で作成・提出してください。当該箇所については、後日公表可能となった際に追記して再提出してください。