

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 20 日現在

機関番号：32644

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420419

研究課題名(和文) 光の中から音情報を取り出す方法と光波マイクロホンの開発・技術統合体系化

研究課題名(英文) Development and systematization of optical wave microphone technique extracting sounds information in light

研究代表者

園田 義人 (SONODA, Yoshito)

東海大学・産業工学部・教授

研究者番号：90117143

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：音の代表的な検出手段であるマイクロホンは1世紀以上に亘る開発の歴史があるが、その基本方式(振動膜の利用)は変わっておらず、応用上種々の制約や限界が出るのが避けられなかった。本研究では、振動膜等の物体を一切用いず光で音を直接検出する方法、もしくは光の中から音情報を取り出す方法を提案し、それを実用化するための開発研究を行った。また、光ビームセンサ方式に加え光ファイバを音センサ部として用いる方式の開発も行った。最後に、計測原理からハードウェア、計測システムに至る全ての内容を体系的にまとめて技術総合指針を示した。

研究成果の概要(英文)：Many types of microphone have been developed over the last 100 years. Although current microphones have high sensitivity, the basic principle, in which a diaphragm is used to detect sound waves, has been not changed and many restrictions come out in application. In this study, an optical wave microphone method with no diaphragm, which uses a laser beam to detect sounds without disturbing the sound field, is proposed and developed. Moreover, in addition to the laser beam sensor method, an optical fiber sensor system is also proposed and developed which can be used in air and under water. Finally all the contents including from measurement principle to hardware system are systematically summarized to offer a technical synthesis guide.

研究分野：工学

キーワード：光マイクロホン 可聴音 超音波 レーザー 光ファイバセンサ ハイレゾセンサ

1. 研究開始当初の背景

音の代表的な検出手段であるマイクロホンは1世紀以上に亘る開発の歴史があるが、その基本方式(振動膜の利用)は変わっておらず、応用上種々の制約や限界が出るのが避けられなかった。また、光で音を検出する方法として、音響光学や超音波計測の分野では光回折法が古くから研究されているが、これらは波長が非常に短い固体中の高周波超音波を主対象としており、空気中を伝搬する可聴音の検出は困難で、これまで研究された例はなかった。

そのような状況に鑑み、本研究では振動膜等の物体を一切用いず光で音を直接検出する方法、もしくは光の中から音情報を取り出す方法(総称;光波マイクロホン技術)を提案し、それを実用化するための開発研究を行った。

2. 研究の目的

本研究では、従来から開発してきた要素技術をさらに高度化・高機能化し実用に供する光波マイクロホン技術を実現することを目指した。また、光ビームセンサ方式に加え実用面でニーズの高い光ファイバをセンサ部として用いる方法の開発も行うこととした。さらに最終的には、本技術を音響や超音波工学分野の技術者・研究者に継承することを意図して、計測原理(理論)からハードウェア、計測システムに至る全ての内容を体系的にまとめて技術総合指針を提供することを目的とした。具体的事項としては、光共振器方式による高感度化技術を開発すること、光ファイバセンサ形光波マイクロホンを実現すること、光共振形(レーザビーム方式、及び、光ファイバ方式)による超高感度光波マイクロホンの基礎特性を明らかにすること、光波マイクロホンの技術継承のための総合的資料・設計指針・基礎データを集大成し提示すること、などを目的とした。

3. 研究の方法

本計測法は、図1に示すように光を音測定領域に入射し、そこを伝搬する音波の位相変調作用によって生じる極微弱の光回折波と透過波との合成光波を、光ビーム出口側で光学情報処理系(フーリエ変換系)を通した後、光検出器で検出して音波の情報(周波数、強度、波長、位置等)を得ようとするものである。特に、レーザビーム径より波長が長い長波長波動の測定に優れ、可聴音波の検出に適している。図2は図1の原理図をそのまま実験に移す形で組んだ基礎実験装置で、原理検証実験、基礎特性測定実験を行なうのに使用した。この他に基礎及び応用実験装置として、5系列程度の実験装置を準備した。

これらの装置を用いて、光波マイクロホンの性能改善と高機能化を図るための開発研究を実施した。

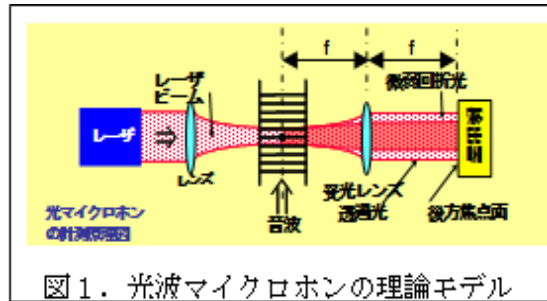


図1. 光波マイクロホンの理論モデル

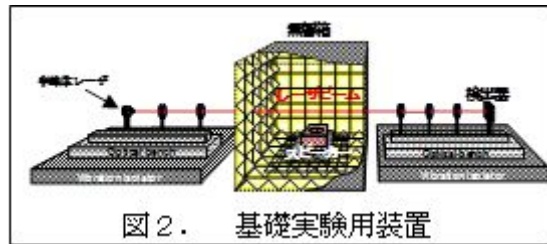


図2. 基礎実験用装置

4. 研究成果

本研究では、振動膜等の物体を一切用いず光で音を直接検出する方法もしくは光の中から音情報を取り出す方法(光波マイクロホン技術)を提案し、その実用化に向けて総合的な開発研究を実施した。得られた結果は以下の通りである。

(1) 光共振器方式による高感度化の検討: 光共振方式の音信号増幅は透過ミラーの反射率の設定に大きく依存するが、90%以上の反射率採用により60dB程度以上の信号増大が可能であることを理論的に示した。音を検出するレーザビーム部にファブリーペロー形の光共振構造を組み込んで信号増幅の検証実験を行うのが理想的であるが、本研究では設備の都合により外部ミラー型He-Neレーザの光共振構造部を利用して音信号の増幅効果を調べる実験を行った。その結果、この方式により信号増幅が可能で、レーザ光源内部の共振構造を利用した実験であったため信号増幅度は小さかったが20倍程度の増幅度は容易に達成できることなどを示した。

(2) 光ファイバ束による音方向の分離測定・指向性手元制御技術の検討: 音の進入方向により観測面内での光回折像の位置が変わるので、円周上に並べた多チャンネル光ファイバを用いることにより音の進入方向毎の分離測定が可能である。ここでは、16chファイバ束を用いた実験により分離測定が可能であることを実証した。また、各光ファイバの検出力を複数個電気的に合成することにより受信指向性を変化させることができることを実証した。これに基づき指向性手元制御技術の確立を行った。

(3) 信号処理によるSN比改善: 音による光位相変調の結果生じる位相反転した2つの回折光を2個の光検出器で受光し、その差動により2倍程度の信号増大が得られること

を実証した。また、対向するファイバ出力光（2出力）をオートバランス光レーザに導き、自動平衡差動検出方式によりSN比を10dB程度改善できることを実験的に示した。（4）光ファイバセンサ形光波マイクロホンの検討：空気中のレーザービームによる音検出方式に加え、音センサ部に光ファイバ（600nmバンド）を用いた方式の検討も行った。その結果、空中及び水中で音の測定が可能なことを実証すると共に、その基本性能（感度、周波数特性、ダイナミックレンジ、など）を明らかにした。また、光ファイバ中にBG（ブラッグ回折格子）を2つ作成することでファイバ中に共振部を設けたFBG共振構造（レーザー波長633nm、間隔数mm）を作成し、水中超音波10MHz、20Pa程度の検出が可能なことを実験的に明らかにした。高感度化された光ファイバ方式音波検出装置の実現が期待される。（5）本研究で提案し開発した光で音を聞く方法すなわち光波マイクロホン技術を音響工学や超音波工学等の各分野の技術者・研究者に継承することを意図し、計測原理（理論）からハードウェア、設計法、基礎的データ・基本特性（周波数特性、指向性、ダイナミックレンジ、感度、等々）を集大成して体系化し、工学分野及び社会一般向けの総合技術資料としてまとめた。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕(計 10 件)

- 園田義人, 中宮俊幸, 光木文秋, 光波マイクロホンの開発とそのプラズマ計測への応用, プラズマ核融合学会誌, Vol. 91, No. 10, 641-647 (2015). (査読付)
- 園田義人, 光波マイクロホンにおける音方向分離と指向性制御, AES-2015 コンファレンス論文集, 1, 1-8 (2015).
- F. Mitsugi, T. Nakamiya, Y. Sonoda, H. Kawasaki, High-Speed Camera and Fibered Optical Wave Microphone Measurements on Surface-Dielectric-Barrier Discharges, IEEE TRANSACTIONS ON PLASMA SCIENCE, Vol. 43, No. 8, 2642-648 (2015). (査読付)
- 園田義人, レーザビームによる可聴音及び超音波の直接検出, 日本超音波医学会・基礎技術研究会資料集, Vol. 2015, No. 2, 30-35 (2015).
- 園田義人, レーザビームによる可聴音及び超音波の直接検出 - 光波マイクロホン(ハイレゾセンサ)の開発 -, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 115, No. 102, 29-34 (2015).
- Y. Sonoda, T. Nakamiya: Proposal of Optical Wave Microphone and Physical Mechanism of Sound Detection, AES 135th Convention Papers, 8924, 1-8

(2013). (査読付)

- F. Mitsugi, T. Ikegami, T. Nakamiya, Y. Sonoda: Optical wave microphone measurements of laser ablation of copper in supercritical carbon dioxide, Thin Solid Films, 547, 81-85 (2013). (査読付)
- T. Samatsu, Y. Sonoda: SNR Improvement of an Optical Wave Microphone Using a Wavelet Network, Soft Computing in Machine Learning: Advances in Intelligent Systems and Computing, Vol. 273, 85-94 (2014). (査読付)
- T. Nakamiya, F. Mitsugi, Y. Iwasaki, T. Ikegami, R. Tsuda, Y. Sonoda: Sound Field Visualization using Optical Wave Microphone Coupled with Computerized Tomography, AES 135th Convention Papers, 8923, 1-5 (2013). (査読付)
- T. Nakamiya, F. Mitsugi, Y. Iwasaki, T. Ikegami, R. Tsuda, Y. Sonoda: Visualization of Dielectric Barrier Discharge Sound Field in Atmospheric Pressure by Novel Method, Proceedings of The 21st International Symposium on Plasma Chemistry, 306, 1-4 (2013).

〔学会発表〕(計 31 件)

- 園田義人, 光波マイクロホンにおける音方向分離と指向性制御, AES - 2015 コンファレンス名古屋 (2015.9.12-13), 名古屋芸術大.
- 園田義人, 振動膜を用いない光波マイクロホン - 光で音を直接検出する技術 -, 測定計測展・新技術発表コーナー (2015.9.16-18), 東京ビックサイト.
- 園田義人, レーザビームによる可聴音及び超音波の直接検出, 日本超音波医学会・基礎技術研究会 (2015.6.19), 熊本大.
- 園田義人, レーザビームによる可聴音及び超音波の直接検出 - 光波マイクロホン(ハイレゾセンサ)の開発 -, 電子情報通信学会・超音波研究会 (2015.6.19).
- 川上裕之, 佐松崇史, 園田義人, 光ファイバセンサ型光波マイクロホンによる可聴音検出の基本特性, 第 17 回日本知能情報ファジィ学会九州支部学術講演会, 日本知能情報ファジィ学会九州支部, (2015.12.12), 東海大学熊本キャンパス.
- T. Nakamiya, F. Mitsugi, Y. Iwasaki, T. Ikegami, R. Tsuda, Y. Sonoda, Detection of compression wave generated by Dielectric Barrier Discharge, the APSPT / 28th SPSM, Nagasaki University (2015.12.12~15), 長崎大学.
- 川上裕之, 佐松崇史, 園田義人, 光波マイクロホンにおけるSN比の改善, パイ

オメディカル・ファジィ・システム学会第 28 回年次大会(BMFSA2015), バイオメディカル・ファジィ・システム学会 (2015.11.21~22), 東海大学熊本キャンパス. T. Nakamiya, F. Mitsugi, Y. Iwasaki, T. Ikegami, R. Tsuda, Y. Sonoda, Investigation of Dielectric Barrier Discharge Sound in Atmospheric Pressure by Novel Method, The 3rd International Conference on Photocatalytic and Advanced Oxidation Technologies for the Treatment of Water, Air, Soil and Surfaces (PAOT-3), Gdansk University of Technology, Gdansk, Poland (2015.9.1~4).

川上裕之, 佐松崇史, 園田義人, 独立成分分析を応用した光波マイクロホンの SN 比改善, SOFT 九州支部夏季ワークショップ 2015, 日本知能情報ファジィ学会九州支部 (2015.8.27-28), 熊本.

H. Kawakami, T. Samatsu, Y. Sonoda, Application of Independent Component Analysis to Improvement of Signal-to-Noise Ratio in Optical Wave Microphone, 10th International Conference on Innovative Computing, Information and Control, ICIC International (2015.8. 20 - 22), Dalian, China

Toshiyuki Nakamiya, Yoshito Sonoda, F. Mitsugi, Yoichiro Iwasaki, T. Ikegami, Ryoichi Tsuda, The new measurement methods of acoustic field using Optical Wave Microphone, I SIMPOSIO DE APLICACOES DE OPTICA E LASERS, Sao Jose dos Campos - SP - Brasil (2015.8.26-28), IEAV - São José dos Campos/SP.

川上裕之, 佐松崇史, 園田義人, 光波マイクロホンの SN 比改善に関する研究, SOFT 九州支部春季ワークショップ 2015, 日本知能情報ファジィ学会九州支部, (2015.6.20 ~21), 東海大学阿蘇キャンパス.

田中啓一, 寺園信一, 園田義人, “オートバランス光レシーバによる光波マイクロホンシステムのノイズ低減の検討”, 日本音響学会 2015 年春季研究発表会, (2015.3).

園田義人, 光ファイバセンサ方式光波マイクロホンによる可聴音・超音波検出に関する考察”, 日本音響学会 2015 年春季研究発表会 (2015.3).

Yoshito Sonoda, Toshiyuki Nakamiya, “Direct Detection of Sound Wave by Light - Development of Optical Wave Microphone with No Diaphragm - “, 2014 IEEE 3rd Global Conference on Consumer Electronics (2014.10).

Yoshito Sonoda, Toshiyuki Nakamiya, Fumiaki Mitsugi, Development of

Optophone (Optical Wave Microphone) with No Diaphragm and Sonophone Using Optical Fiber Sensor”, 1st International Caparica Conference on Ultrasonic-based applications: from analysis to synthesis (2014.9).

田中啓一, 寺園信一, 園田義人, “光波マイクロホンにおける回折光の差動検出による信号特性改善”, 日本音響学会 2014 年秋季研究発表会 (2014.9).

園田義人, “ “レーザー光源の光共振構造を利用した光波マイクロホンにおける音信号増幅”, 日本音響学会 2014 年秋季研究発表会, (2014.9).

Toshiyuki Nakamiya, Fumiaki Mitsugi, Yoshito Sonoda, Yoichiro Iwasaki, Tomoaki Ikegami, Ryoichi Tsuda, “The new measurement methods of the acoustic field of ultrasound”, 1st International Caparica Conference on Ultrasonic-based applications: from analysis to synthesis (2014.10).

Toshiyuki Nakamiya, Yoichiro Iwasaki, Ryoichi Tsuda, Yoshito Sonoda, Fumiaki Mitsugi, Tomoaki Ikegami, “Visualization of sound field using Optical Wave Microphone coupled with Computerized Tomography”, 2014 IEEE 3rd Global Conference on Consumer Electronics (2014.10).

⑳ 谷口修弥, 佐松崇史, 園田義人, “独立成分分析を用いた光波マイクロホンの SN 比改善”, SOFT 九州支部夏季ワークショップ 2014 (2014.8.).

㉑ 谷口修弥, 佐松崇史, 園田義人, “光波マイクロホンの SN 比改善に関する研究”, SOFT 九州支部春季ワークショップ 2014 (2014.6).

㉒ Takashi Samatsu, Yoshito Sonoda, “Development of a High Sensitivity Optical Wave Microphone”, 9th International Conference on Innovative Computing, Information and Control (2014.6)

㉓ 園田義人, 田中啓一, 寺園信一, “高感度光波マイクロホンの開発”, 日本音響学会 2014 年春季研究発表会 (2014.3).

㉔ 園田義人, 光の中から音情報を取り出す方法 - 光波マイクロホンの開発 -, レーザー学会学術講演会第 3 4 回年次大会 (2014.1).

㉕ Yoshito Sonoda, Toshiyuki Nakamiya, “Proposal of Optical Wave Microphone and Physical Mechanism of Sound Detection”, The 135th AES Convention (2013.10).

㉖ 園田義人, “光ファイバ方式光波マイクロホン(Sonophone)による水中超音波及び空中音波の計測”, 日本音響学会

2013 年秋季研究発表会 (2013.9).

- ⑳ Takashi Samatsu, Yoshito Sonoda,
“ SNR Improvement of an Optical Wave
Microphone Using a Wavelet Network ” ,
14th International Symposium on
Advanced Intelligent Systems
(2013.11).
- ㉑ Toshiyuki Nakamiya, Yoshito Sonoda,
“ Sound Field Visualization using
Optical Wave Microphone Coupled with
Computerized Tomography ” , The 135th
AES Convention (2013.10).
- ㉒ Takashi Samatsu, Yoshito Sonoda,
“ Development of Optical Wave
Microphone with Optical Fiber
Sensor ” , 8th International
Conference on Innovative Computing,
Information and Control (2013.9).
- ㉓ Toshiyuki Nakamiya, F.Mitsugi,
Yoichiro Iwasaki, T.Ikegami, Ryoichi
Tsuda, Yoshito Sonoda,
“ Investigation of Electric
Discharge Sound in Atmospheric
Pressure Plasma using Laser
Diffraction ” , The 9th Asian-European
International Conference on Plasma
Surface Engineering (2013.8).

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

研究 HP:

http://music.geocities.jp/opto_sonophone/index.html

研究紹介 YouTube (光波マイクロホン) :

<http://youtu.be/DG7EsIPkQ7Y>

6. 研究組織

(1)研究代表者

園田 義人 (SONODA, Yoshito)

東海大学・産業工学部・教授

研究者番号: 90117143

(2)研究分担者

佐松 崇史 (SAMATSU, Takashi)

東海大学・基盤工学部・教授

研究者番号: 60299667