

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年5月24日現在

機関番号：32644

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22560429

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高性能・高機能化

研究課題名（英文） A Novel Method to Extract Sound Information in Light and Achievement of High Performance and Advanced Functions in Optical Wave Microphone

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

研究成果の概要（和文）：

振動板を用いずレーザービームで音を直接検出する光波マイクロホンの開発研究を行った。本研究により、(1)可聴帯から100kHzまでの周波数の音を計測できること、(2)同軸光多重反射システムあるいは光共振システムで感度を飛躍的に増大できること、(3)空間分布する信号光（音による回折光）を光ファイバ束により検出することで音の方向分離測定ができ、指向性の制御も可能なこと、などを示した。

研究成果の概要（英文）：

We carried out studies to develop the optical wave microphone, which can directly detect sounds by a laser beam without any diaphragm. In the present research report, it is shown that (1) all sound frequencies from audio wave to low-frequency ultrasonic wave can be detected, (2) the sensitivity can be greatly improved by using a co-axial multi-reflection system or an optical resonance system, and (3) the separating measurement of sounds with different incidence angle and the hand control of receiving directivity can be realized by using an optical fiber bundle to detect the spatially-distributed signal light (or the diffracted light by sounds).

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
2012年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・計測工学

キーワード：計測工学、音響工学、光マイクロホン、レーザー、音波

## 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。

一方、光で音を検出する非接触型計測法も存在し、音響光学(AO)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。しかしながら、これらの方法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あった。

本研究は、振動膜等の物体を一切使わずレーザー光により可聴音を直接検出する方法、あるいは光の中から音情報を取り出す方法（以下、「光波マイクロホン」と総称）を開発しようとするものである。

光波マイクロホンは、空中音波の位相変調作用によって発生した極微弱回折光を検出することにより、可聴音を検出・再生しようとする試みであり、微弱回折光の検出にはフーリエ光学系を含む光学情報処理システムを用いる。このような方法による可聴音検出の研究例は国内外を通じ行われていない。

本研究グループは、今日まで理論と実験の両面から基礎的研究及び実用化を目指した開発研究を進めてきており、光波マイクロホンの基盤となる基礎理論及び基礎技術をおよそ確立してきている。また、実際の音録音に適用する試験的実験を行い、音圧80～100dB程度の音楽であれば光検出器の出力信号を家庭用ステレオに入力することで十分試聴できることを確認している。また、音圧の高いジェット騒音の研究分野などでは非擾乱計測法として活用し成果を得ている。現在、光波マイクロホン開発は一般実用化のための最終段階に來ていると判断され、本研究を計画した。

## 2. 研究の目的

本研究では、従来からの開発研究を踏まえ、同技術を音に関わる工学分野一般に広く適用できる実用技術レベルとするため、それに必要とされる性能改善及び高機能化を行うことを目的とした。特に、最重要課題となっている微弱音・低音圧の検出(SN比の改善)などの計測性能の改善を行うこと、また、高機能化(従来マイクロホンでは実現できなかった音の入射方向毎の分離測定機能など)の開発研究を行うことなどを目的とした。

## 3. 研究の方法

### (1) 測定可能周波数領域の拡大及びSN比改善

#### ①可聴帯～100kHz帯の音検出の検討

従来の基礎研究では、可聴帯の音の測定実験を中心としていたが、本研究では応用

分野のニーズに鑑み、測定領域を可聴帯から高周波側(100kHzまで)へ拡大する実験を行い、技術の確立を図る。

#### ②オートバランス光レシーバ方式光波マイクロホンの検討

信号光をビームスプリッタで分割してオートバランスレシーバに入力しレーザノイズの低減効果を調べる。この信号処理システムで、ノイズ低減に有効なパワー分割比やSN比改善度などの具体的な数値を明らかにすると共に、この方式の技術的確立を行う。

#### ③準光共振形光波マイクロホンの実証と性能の検討

音を検出するレーザービーム部に同軸多重反射形の構造(又は、準ファブリーペロー形光共振)を組み込み、信号増大を検証する実験を行う。まず、光共振による信号増幅の精密な理論計算を行う。検証実験では90%の高反射率のレーザーミラーを用いて同軸多重反射部を構成する。

### (2) 高機能化の検討

以上のSN比改善と測定周波数領域拡大等の性能向上の検討に加え、実用性の視点から光波マイクロホンの高機能化を検討する。特に、通常の膜式マイクロホンでは達成できない機能の実現を図る。

#### ①光ファイバ束による音の分離測定

音の入射方向により観測面内に分布する光回折像の位置が変わるので、光ファイバ束を用いることにより音の進入方向毎の分離測定が可能となる。ここでは、光ファイバ束による入射方向毎の音の分離測定(立体録音)の可能性を検証し、光ファイバ束を用いた高機能測定技術の確立を図る。

#### ②受音指向性制御の検討

上記(2)-①のシステムにおいて、各光ファイバから得られる出力電気信号を合成すれば狭指向性から広指向性まで受音指向性の手元制御が可能になると考えられる。ここでは、その可能性を検証すると共に技術的な確立を図る。

## 4. 研究成果

### (1) 可聴帯～100kHz帯の音検出の検討

理論解析によれば光波マイクロホンは短波長(高周波)音の測定に優れる特性を有している。本研究では測定領域を可聴帯から高周波側(100kHzまで)へ拡大する実験を行った。その結果、この広帯域周波数バンドで十分計測ができることを実証した。

### (2) オートバランス光レシーバ方式光波マイクロホンの検討

受信した光をビームスプリッタで分割し、信号光と局発光に分けてオートバランスレシーバに入力し、レーザノイズの低減効果を調べた。信号・局発成分パワー分割比、

レーザ偏光特性等がSN比改善に及ぼす影響を検討し、この信号処理システムで20dB程度のノイズ低減が容易に達成できることを実証した。

### (3) 準光共振形光波マイクロホンの実証と性能の検討

音を検出するレーザビーム部に同軸多重反射光学系(又は、準ファブリーペロー形共振)の光学構造を組み込み、信号を光学的に大幅に増幅する方法を検討した。まず、光共振方式による信号増倍に関する理論式を求めこれによる増倍率を明らかにした。実験では理想的な安定化された光共振構造は費用の面で実現できなかったが、同軸多重反射システムにより30倍程度の信号増倍効果が容易に得られることを実証した。

### (4) 光ファイバ束による音の分離測定

音の入射方向により観測面内での回折像の位置が変わるので、光ファイバ束を用いることにより音の進入方向毎の分離測定が可能となると考えられる。ここでは、16chの光ファイバ束を用いて、入射角の異なる音による回折光の分離測定を行った。その結果、入射方向毎の音の分離測定が可能であることを実証した。また、1本の光ファイバによる音検出では双指向性の受音特性を有すること、指向性の角度はおおよそ±45°程度であることなどを明らかにした。

### (5) 受音指向性制御の検討

上記(1)のシステムにおいて、16ch光ファイバ束の中の90°の相対角度に位置する2本の光ファイバ出力の電気信号を合成することにより、45°の方向に最大強度を持つ指向性が実現できることを示した。また、3本、4本の光ファイバ出力の合成をそれぞれ行い、広指向性が得られることを実験的に示した。これらの結果より、各光ファイバから得られる出力電気信号を合成すれば受音指向性の手元制御が可能であることを実証した。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 29 件)

1. Application of Optical Wave Microphone to Measurement of Sound Field Emitted from Parametric Speaker, T. Samatsu, Y. Sonoda, R. Ide, T. Ikegami, F. Mitsugi, T. Nakamiya, ICIC Express Letters, 査読有, Vol. 7, No. 3, pp. 699-703, 2013.
2. A Tomographic Visualization of Electric Discharge Sound Fields in Atmospheric Pressure Plasma using Laser Diffraction, T. Nakamiya, F. Mitsugi, Y. Iwasaki, T. Ikegami, R. Tsuda, Y. Sonoda, Henryka Danuta Stryczewska, The European Physical Journal- Applied Physics, 査読有, Vol. 61, Issue 02, pp. 24310 - 24317, 2013.
3. Development of Optophone with No Diaphragm and Application to Sound Measurement in Jet Flow, Y. Sonoda, Y. Nakazono, Advances in Acoustics and Vibration, 査読有, Vol. 2012, Article ID 909437, p. 1-17, 2012.
4. 解説・光波マイクロホンにおける音検出の物理的メカニズム=なぜ光で低周波音(可聴音~超音波)が測定できるのか=, 園田義人, 超音波 TECHNO, 解説(査読無), 24 巻, 2 号, pp. 101-107, 2012.
5. Optical Wave Microphone Measurement during Laser Ablation of Si, F. Mitsugi, R. Ide, T. Ikegami, T. Nakamiya, Y. Sonoda, Thin Solid Film, 査読有, Vol. 521, pp. 132-136, 2012.
6. Influence of Air Flow Background Noise to Sound Measurement in Jet with Optical Wave Microphone, T. Samatsu, K. Honda, Y. Nakazono, Y. Sonoda, ICIC Express Letters, 査読有, Vol. 6, No. 3, pp. 803-809, 2012.
7. Observation of Phenomena After Pulsed Laser Irradiation of Solid with Optical Wave Microphone, F. Mitsugi, T. Ikegami, T. Nakamiya, Y. Sonoda, Japanese Journal of Applied Physics, 査読有, 51 (2012) 01AC10, 01AC10-1 ~ 01AC10-5, 2012.
8. Influence of Air Flow Background Noise to Sound Measurement in Jet with Optical Wave Microphone, T. Samatsu, K. Honda, Y. Nakazono, Y. Sonoda, ICIC Express Letters, 査読有, Vol. 6, No. 3, pp. 803-809, 2012.
9. Pulsed Neodymium-Doped Yttrium Aluminum Garnet Laser Heating of Multi-walled Carbon Nano-tube Film, T. Nakamiya, Y. Iwasaki, R. Kozai, Y. Sonoda, F. Mitsugi, K. Chiba, T. Ikegami, S. Aoki, I. Muramoto, Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 50, 08JF10, pp. 08JF10-1-08JF10-4, 2011.

10. 解説・光波マイクロホンの開発 =光による音（可聴帯から超音波帯まで）の直接検出=, 園田義人, 超音波 TECHNO, 解説(査読無), 23 巻 5 号, pp.48-54, 2011.
  11. Investigation of Electric Discharge Sound in Atmospheric Pressure Plasma Using Optical Wave Microphone, T.Nakamiya, Y.Iwasaki, F.Mitsugi, R.Kozai, T. Ikegami, Y. Sonoda, R. Tsuda、Journal of Advanced Oxidation Technologies, 査読有, Vol. 14, No. 1, pp.63-70, 2011.
  12. Handy Control of Directivity and Separation of Sound Direction in Optical Wave Microphone Using Multi Optical Fibers, K.Honda, T. Samatsu, Y. Sonoda, ICIC Express Letters, 査読有, Vol. 5, No. 10, pp.3933-3940, 2011.
  13. Sound Receiving Property of Optical Wave Microphone Using Optical Fiber Bundle in Light Detection, T. Samatsu, M. Iwahara, K.Honda and Y. Sonoda, ICIC Express Letters, Part B: Applications, 査読有, Vol. 2, No. 3, pp. 729-734, 2011.
  14. Acoustic Spectra Characteristics of Atmospheric Pressure Plasma using Optical Wave Microphone, T.Nakamiya, F. Mitsugi, T. Suyama, T. Ikegami, K. Ebihara, Y. Sonoda, Y. Iwasaki, S. Aoqui, Henryka Danuta Stryczewska, Joanna Pawlat, PRZEGLAD ELEKTRO-TECHNICZNY (Electrical Review), 査読有, Vol. 87, No. 1, pp. 249-253, 2011.
  15. Pulsed Nd:YAG laser heating and treatment on multi-walled carbon nanotubes film, T.Nakamiya, F. Mitsugi, K. Senba, R. Kozai, T. Ikegami, Y. Iwasaki, Y. Sonoda, R. Tsuda, Thin Solid Films, Vol. 518, Issue 22, pp. 6604-6608, 2010.
  16. Investigation of Electric Discharge Sound in Atmospheric Pressure Plasma, T.Nakamiya, F. Mitsugi, S. Suyama, T. Ikegami, Y. Sonoda, Y. Iwasaki, R. Tsuda, Journal of Advanced Oxidation Technologies, 査読有, 13 (1), pp. 43-49, 2010.
  17. Optical Information Processing System in Optical Wave Microphone for Improvement of SNR, T. Samatsu, M. Iwahara, Y. Sonoda, ICIC Express Letters, 査読有, Vol. 4, No. 6(B), pp. 2323-2328, 2010.
- [学会発表] (計 22 件)
1. 園田義人, 光ファイバセンサ型光波マイクロホンによる音波計測, 日本音響学会 2013 春季研究発表会, 2013 年 3 月 13 日, 東京工科大学 (東京) .
  2. T.Nakamiya, Y. Iwasaki, F. Mitsugi, T. Ikegami, R. Tsuda, Y. sonoda, Measurements of atmospheric pressure non-equilibrium plasma using electrical discharge sound and application to ozone generation, The 18th International Conference on Advanced Oxidation, Technologies for Treatment of Water, Air and Soil, 2012 年 11 月 11 日, Florida, USA.
  3. T. Samatsu, Y. Sonoda, R. Ide, T. Ikegami, F. Mitsugi, T. Nakamiya, Application of optical wave microphone to measurement of sound field emitted from parametric speaker, Seventh International Conference on Innovative Computing, Information and Control, 2012 年 11 月 4 日, Shanghai, China.
  4. 園田義人, 光ファイバセンサ型光波マイクロホンの開発, 日本音響学会 2012 秋季研究発表会, 2012 年 9 月 19 日, 信州大学 (長野) .
  5. 中園与一, 園田義人, 不足膨張ジェット の近傍音場と渦の移流速度計測への光マイクロホンへの応用, 日本実験力学学会 2012 年次大会, 2012 年 7 月 14 日, 豊橋技術科学大学 (愛知) .
  6. T. Nakamiya, Y. Iwasaki, F. Mitsugi, T. Ikegami, R. Tsuda, Y. Sonoda, Detection of Electric Discharge Sound in Atmospheric Pressure Plasma using Optical Wave Microphone, The 4th International Conference on Microelectronics and Plasma Technology (ICMAP-2012), 2012 年 7 月 4 日, Jeju, Korea.
  7. F. Mitsugi, T. Ikegami, T. Nakamiya, Y. Sonoda, Optical wave microphone measurement for laser ablation of Copper in supercritical carbon dioxide,

The 4th International Conference on Microelectronics and Plasma Technology (ICMAP-2012), 2012年7月4日, Jeju, Korea.

8. 園田義人, 光波マイクロホンの理論と設計基準の検討, 日本音響学会2012春季研究発表会, 2012年3月13日, 神奈川大学(神奈川県).
9. 本田和也, 園田義人, 光波マイクロホンにおける指向性制御と音方向分離測定の可能性, 日本音響学会2011秋季研究発表会, 2011年9月22日, 島根大学(島根県).
10. 園田義人, 同軸多重反射光学系による光波マイクロホンの信号増幅, 日本音響学会2011秋季研究発表会, 2011年9月20日, 島根大学(島根県).
11. 園田義人, 光共振方式を用いた高感度光波マイクロホンの開発, 日本音響学会2011春季研究発表会, 2011年3月11日, 早稲田大学(東京都).
12. T. Samatsu, M. Iwahara, K. Honda, Y. Sonoda, Sound Receiving Property of Optical Wave Microphone Using Optical Fiber Bundle in Light Detection, The Fifth International Conference on Innovative Computing, Information and Control, 2010年12月20日, 西安(中国).
13. 本田和也, 園田義人, オートバランス光検出システムによる光波マイクロホンのノイズ低減, 日本音響学会 2010 秋季研究発表会, 2010年9月16日, 関西大学(大阪府).

[その他]

ホームページ等

[http://music.geocities.jp/opto\\_sonophone/index.html](http://music.geocities.jp/opto_sonophone/index.html)

## 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・産業工学部・准教授  
研究者番号: 60299667