

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 9 日現在

機関番号：13101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420302

研究課題名(和文) 光導波型アコースティックエミッションセンサの高性能化および監視システムの構築

研究課題名(英文) Guided-wave optical acoustic emission sensor and its observation system

研究代表者

大河 正志 (Ohkawa, Masashi)

新潟大学・自然科学系・教授

研究者番号：90213644

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：共振周波数の高周波数化を目的に、共振周波数のダイヤフラムサイズ依存性について考察を行った。理論どおり、ダイヤフラム厚に比例し、辺長の二乗に反比例する結果が得られた。パルス時間幅特性については、時定数が数ms程度であることが分かり、音圧特性については、最大出力電圧が音圧に比例することを確認した。また、高次共振モードの利用による高周波数化についても、その有効性を確認した。

AE特徴量の推定・算出システムに関しては、「雑音処理」と「AE特徴量算出」の2つの機能からなるアプリケーションを製作した。本システムに振幅、時間幅、雑音が異なる模擬信号を入力して、AE特徴量を算出できる条件を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Our resonance-type guided-wave optical acoustic emission (AE) sensor consists of a diaphragm and a single-mode optical waveguide on the diaphragm. In order to obtain higher resonance frequency, dependences of resonance frequency on diaphragm dimensions were considered. According to experimental results, resonance frequency was found to be proportional to diaphragm thickness, and inversely proportional to square of side length, as theoretically predicted. Regarding to pulse-width characteristics, time constant was several ms. Also, maximum output voltage was found to be proportional to applied sound pressure. Moreover, use of higher-order mode is useful to expand detectable frequency range.

An AE signal estimation system consisting of noise reduction and AE parameter estimation was built as a Windows application. The system performance was successfully examined using test signals with different amplitude, time duration and noise level.

研究分野：センサ・デバイス

キーワード：アコースティック・エミッションセンサ 光導波型センサ 光集積回路 ダイヤフラム 光導波路

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

我々の研究グループでは、光導波型センサの無誘導性、防爆性等の特徴に着目し、シリコン基板およびガラス基板光導波型センサの研究を行っている。中でも、ダイヤフラムを用いた圧力センサ、マイクロホン、流量センサ、加速度センサ等を提案し、それらの動作確認に成功している。さらに、圧力センサおよびマイクロホンの感度がダイヤフラム共振時に極めて高くなることに着目し、狭帯域光導波型アコースティック・エミッションセンサ (AE センサ) の開発を行っている。

ところで、近年、国内外を問わず先進諸国において、橋梁、トンネル、道路、鉄道等の社会インフラ、ビル、工業プラント等の老朽化に伴う事故、災害が多発しており、尊い人命が奪われる事例も少なくない。このような事故は、大規模破壊に至る前に発生する微小破壊を検知することにより、未然に防げる可能性がある。そのためには、微小破壊時に生じる弾性波 (AE 波) を検出する AE センサおよび AE モニタリングシステムの開発が重要となる。このような AE モニタリングは代表的な非破壊検査法の 1 つとして有望視されおり、圧電素子を利用した AE センサを中心に開発が進んでいる。一方、防爆性能を本質的に有する光導波型 AE センサは、工業プラントや発電所等においても、センサ自体が爆発等の事故を誘発することなく、これらの施設における安全監視、異常検知用のセンサとして大変有望である。また、センサヘッド部は放射線に対する耐性も高く、原子力施設での使用も期待できる。

### 2. 研究の目的

本研究は、次のような 2 つのサブプロジェクトからなる。

- (1) 【SUB1】 AE センサの高性能化
- (2) 【SUB2】 AE 検出・監視システムの構築及び評価

【SUB1】「AE センサの高性能化」では、狭帯域型 AE センサの干渉光回路、ダイヤフラムサイズ、構成材料等を見直し、再設計することで、狭帯域型センサの高周波数化と広帯域型センサの実現およびその高感度化を研究の目的とした。さらに、【SUB2】「AE 検出・監視システムの構築及び評価」では、狭帯域型 AE センサの検出信号から AE 波の特徴量を推定するシステムを構築することを目的とした。

### 3. 研究の方法

#### (1) AE センサの高性能化

光導波型 AE センサはダイヤフラムとその上を通る光導波路からなる。狭帯域型センサでは、共振周波数の高周波数化が課題となる。本研究では、以下の 3 つの観点から研究を進めた。

- ① ダイヤフラムの厚化
- ② ダイヤフラム辺長の短長化
- ③ 高次共振モードの利用

ところで、AE 信号とセンサ出力には相似性がないため、AE 特徴量の推定には、センサの応答特性についての考察が不可欠である。そのため、音波パルスを利用して、パルス時間幅特性、音圧特性について考察を行った。これらの研究成果に我々のグループが提案している「感度を維持したダイヤフラム縮小則」を合わせることで、感度の低下のない高周波数化を実現できる。実験では、数値解析・設計の結果を基に、研究室の作製装置、作製ノウハウ等を考慮した上で、センサ構成材料及び光回路構成を決定し、AE センサを試作して、音波を用いた特性評価を行うこととした。

#### (2) AE 検出・監視システムの構築及び評価

狭帯域光導波型 AE センサでは、共振現象を利用するため、感度は高くなるが、出力信号は入力 AE 波形と相似ではない。そのため、出力信号から AE 波の特徴量 (大きさ、時間幅、周波数等) を直接知ることはできない。しかし、センサのインパルス応答やステップ応答が得られれば、AE 波の特徴量を推定することができる。そこで、特徴量推定に関する実験的及び理論的考察を行い、センサの出力信号から AE 特徴量を推定するソフトウェアベースのシステムを構築することとした。

### 4. 研究成果

#### 4.1 AE センサの構成および動作原理

図 1 は光導波型 AE センサの構成で、ダイヤフラムと光導波路からなる。光導波路はダイヤフラム上に作り付けられ、最低次の TM-like モード光、TE-like モード光のみを伝搬させることができる。

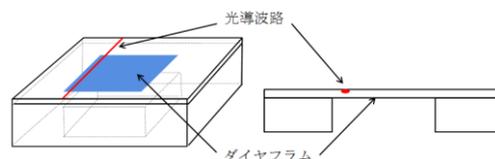


図 1 光導波型 AE センサの構成

センサを直交ニコル配置の偏光子の間に設置する。TM-like モード光と TE-like モード光を同強度で励起させるため、入力側の偏光子の偏光方向を基板面に対して  $45^\circ$  傾けて、直線偏光波を導波路端面に入射する。ダイヤフラム部に AE 波が印加されると、その圧力によりダイヤフラムがたわみ、歪みが生じる。この歪みは、光弾性効果によって、ダイヤフラムの屈折率を変化させる。また、この誘起屈折率変化は等方的でないため、TM-like モード光と TE-like モード光の伝搬速度がそれぞれ異なる変化をし、両モード光間に位相差が生じる。この位相差に応じて、光導波路の出力端では直線、楕円、円偏光のいずれかの偏光状態となる。入射光の偏光方向に対して  $90^\circ$  傾けた検光子を出力側に置くことで、位相差に対して正弦的な変化を示す干渉出力が得られる。

## 4.2 AE センサの高性能化

### 4.2.1 共振周波数の高周波数化

#### ダイヤフラムの厚化

ダイヤフラムの共振周波数は、ダイヤフラム厚に比例することが知られており、まずダイヤフラムの厚化による高周波数化について考察を行った。今回試作したセンサのダイヤフラム厚は 0.145、0.21、0.30 mm とした。さらに、ダイヤフラム形状は正方形とし、その一辺を 20 mm とした。なお、本研究では、センサにダイヤフラム厚の薄い方から順に #20-1、#20-2、#20-3 と番号を付与した。

センサ#20-1 (厚さ 0.145 mm) の周波数特性を図 2 に示す。この図より、センサ#20-1 の共振周波数は 3250 Hz であることが分かる。本センサの共振周波数の理論値は 3300 Hz であり、ほぼ理論どおりの共振周波数が実験的に得られた。

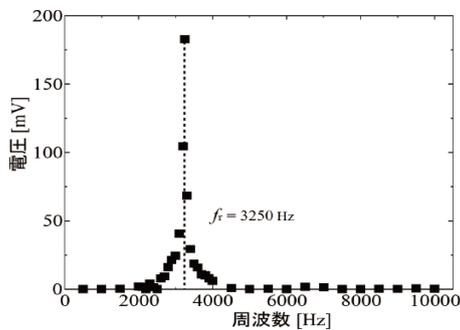


図 2 センサ#20-1 の周波数特性

センサ#20-2 の共振周波数は 4050 Hz となったが、理論値は 4780 Hz であり、700 Hz 程度低い値となった。また、センサ#20-3A および #20-3B の共振周波数はそれぞれ 7100、6900 Hz であることが分かった。しかし、上述の他のセンサと異なり、複数のピークが現れた。しかも、理論値の 6830 Hz より高い周波数に最大のピークが現れた。この原因は明らかになっていないが、同一のダイヤフラム厚のセンサを 2 つ作製し、両方のセンサで類似した周波数特性が得られたため、このダイヤフラム厚に固有の特性であると考えられる。

以上の結果から、ダイヤフラム厚を厚くすることで、ほぼ理論どおりの共振周波数の高周波数化が確認できた。

#### ダイヤフラム辺長の短長化

ダイヤフラムの共振周波数は、ダイヤフラム辺長の二乗に反比例することが知られている。そこで、ダイヤフラム辺長の短長化による高周波数化について考察を行うこととし、辺長を上述の 20 mm 角から 16 mm 角に変えた。なお、試作したセンサのダイヤフラム厚は 0.145、0.21、0.30 mm とした。本研究では、センサの区別を容易にするため、ダイヤフラム厚の薄い方から順に #16-1、#16-2、#16-3 と番号を付した。さらに、実験では、同一サイズのダイヤフラムを有するセンサを 2 つずつ作製したので、区別のため番号の後ろに A、B を付すこととした。

周波数特性の測定結果から、センサ#16-1A とセンサ#16-1B の共振周波数はそれぞれ 4750、4500 Hz であった。本センサの共振周波数の理論値は 5120 Hz であり、理論値より 10 % 程度低い値となった。また、センサ#16-2A および #16-2B の共振周波数は、それぞれ 6800 Hz、6700 Hz であった。本センサの共振周波数の理論値は 7420 Hz であり、センサ#16-1 と同様に、理論値より 10 % 程度低い値となった。さらに、センサ#16-3A および #16-3B の共振周波数はそれぞれ 8600 Hz、8400 Hz で、理論値の 10600 Hz より 20 % 程度低い値となった。

#### 高次共振モードの利用

高次共振モードを利用することは、センサの高周波化にとって有効な手段となり得る。ところで、共振周波数や振幅分布 (振動パターン) はダイヤフラムサイズや辺比により異なる。これまで、感度の観点から正方形ダイヤフラムを使用してきたが、共振周波数の縮退の問題がある。そこで、縮退の問題を回避するため、正方形ダイヤフラムに加えて、長方形ダイヤフラム (長辺 20 mm、短辺 18 mm) についても考察を行うこととした。

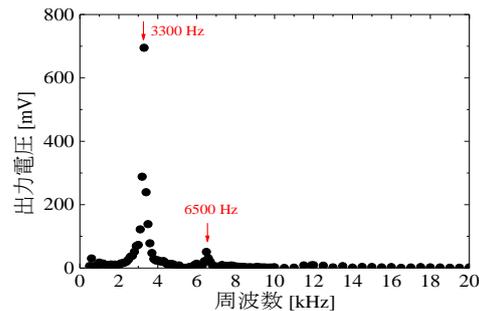


図 3 周波数特性 (20 × 18 mm<sup>2</sup>、0.145mm 厚)

図 3 は周波数特性の一例で、センサ#20-18-1 (長辺 20 mm、短辺 18 mm、厚さ 0.145 mm) の結果である。また、表 1 にシミュレーションソフト ANSYS による共振周波数のシミュレーション値を示す。図 3 を見ると、3300 Hz と 6500 Hz に出力電圧のピークが確認できる。表 5 のシミュレーション値より 3300 Hz は 1 次共振であり、6500 Hz は 2 次共振であると考えられる。ともにシミュレーション値から約 10 % 低下する値となった。また、センサ #20-18-2 (厚さ 0.21 mm) では 4600 Hz、9300 Hz、16400 Hz に出力電圧のピークが現れた。表 1 および振動モードのパターンからこれらはそれぞれ 1 次共振、2 次共振、5 次共振であると考えられる。センサ#20-18-3 (厚さ 0.3 mm) については、6400 Hz と 12600 Hz に出力電圧のピークが確認された。これらは 1 次共振と 2 次共振であると考えられる。

以上の結果から、高次共振モードの使用により、動作周波数の高周波数化を実現できるとともに、1 つのセンサに複数の検出可能周波数をもたせることができることが分かった。

表1 共振モードおよび共振周波数のシミュレーション値（行：ダイヤフラムサイズ[mm<sup>2</sup>]、列：モード次数）

|          | 1    | 2     | 3     | 4     | 5     |
|----------|------|-------|-------|-------|-------|
| #20-18-1 | 3720 | 7089  | 8055  | 11172 | 12445 |
| #20-18-2 | 5383 | 10254 | 11651 | 16146 | 17990 |
| #20-18-3 | 7681 | 14619 | 16606 | 22900 | 25617 |

#### 4.2.2 AEパラメータ推定のための諸特性 パルス時間幅特性

センサ#20-1において、30 cyclesの音波を印加したときの、出力電圧波形を図4に示す。なお、出力電圧の雑音除去を目的に、FFTを用いたバンドパスフィルタ処理を行っている。

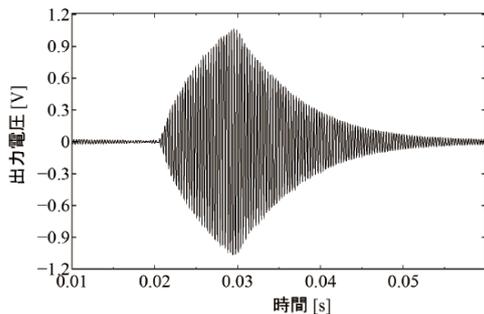


図4 音響パルス印加時の応答 (30 cycles)

図のように、出力電圧の振幅は過渡的に上昇していることが分かる。短時間幅のパルスに対しては振幅が定常値に達することなく、パルスの印加終了と同時に減衰が始まっている。このことから、センサの立ち上がりについて考察するため、各出力電圧振幅の最大値を代表値とすることとした。図5に、センサ#20-1における音波パルスの時間幅と出力電圧の最大振幅の関係を示す。立ち上がりの速さを表す指標として、時定数を用いることとした。フィッティング解析からこの値を求めたところ、時定数は6.72 msとなった。

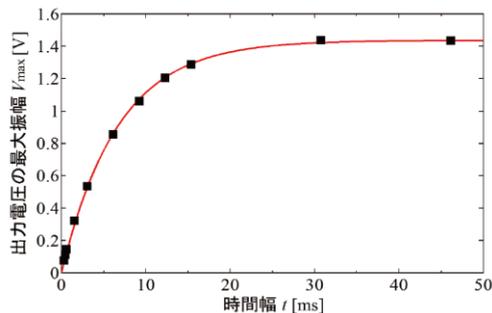


図5 センサ#20-1におけるパルス時間幅と最大出力電圧の関係

その他のセンサについても、同様の測定を行い、時定数を評価した。その結果を表2に示す。辺長20 mmのセンサ#20-1、-2、-3に着目すると、ダイヤフラム厚が厚くなるにつれて、時定数が短くなる傾向が見られる。一方、辺長16 mmのセンサ#16-1、-2、-3については、顕著なダイヤフラム厚依存性は見られず、時定数はほぼ2 ms前後となった。ダイヤフラム辺長によって、時定数の傾向が変わるとい

必然性はなく、理論やシミュレーションによる考察も不可欠である。

表2 各試作センサにおけるダイヤフラムサイズと時定数

| 番号    | 辺長[mm] | 厚さ[mm] | 時定数[ms] |
|-------|--------|--------|---------|
| 20-1  | 20     | 0.145  | 6.72    |
| 20-2  |        | 0.21   | 2.79    |
| 20-3A |        | 0.30   | 1.61    |
| 20-3B |        |        | 2.15    |
| 16-1A | 16     | 0.145  | 2.22    |
| 16-1B |        |        | 2.14    |
| 16-2A |        | 0.21   | 1.55    |
| 16-2B |        |        | 2.15    |
| 16-3A |        | 0.30   | 2.01    |
| 16-3B |        |        | 1.72    |

#### 音圧特性

本測定では、印加音波の周波数をセンサの共振周波数に合わせて、音圧を、0.1 Paから2.0 Paまで変化させて、光検出器の出力電圧をコンピュータに記録した。図6はセンサ#20-1における音圧2.0 Pa印加時の出力電圧波形である。なお、出力電圧の雑音除去を目的に、FFTを用いたフィルタ処理を行っている。

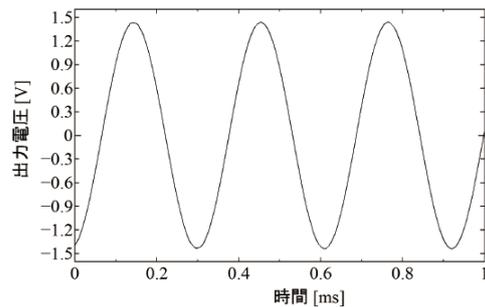


図6 音圧2 Pa時の連続音波に対する応答 (#20-1)

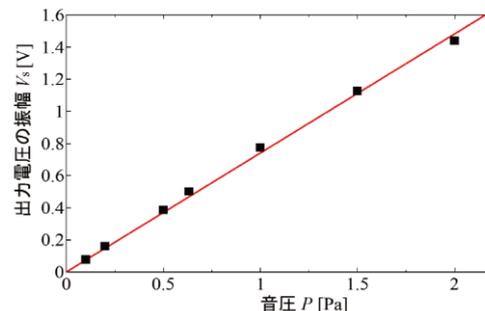


図7 センサ#20-1における音圧と出力電圧の関係

音圧 $P$ に対する出力電圧振幅 $V_s$ の変化を図7に示す。なお、図中の■点は測定値、赤線は回帰直線を表す。これより、出力電圧の振幅は音圧に比例していることが分かる。また、フィッティング解析から求められた直線の傾き、すなわちセンサ感度は、0.741 V/Paであった。

その他のセンサについても、同様の測定を行い、感度を評価した。音圧-出力電圧特性は示していないが、すべてのセンサで、比例関係が確認された。表3に各センサの感度を示す。センサ感度は、ダイヤフラム厚の2乗に反比例することが理論的に分かっているが、表3でも、ダイヤフラム厚の薄いセンサの感度が高い傾向が見られる。しかし、ダイヤフラム厚に対する強い依存性を確認することはできなかった。これは、感度が導波路に結合する光強度に強く依存するためである。感度を高くするのに、導波光強度を上げるのが効果的であることは確認できたが、実用的には、光ファイバを接続するなど、導波光強度を一定に保つ方策が必要と言える。

表3 各試作センサにおけるダイヤフラムサイズと感度

| 番号    | 辺長[mm] | 厚さ[mm] | 感度[mV/Pa] |
|-------|--------|--------|-----------|
| 20-1  | 20     | 0.145  | 741       |
| 20-2  |        | 0.21   | 37.1      |
| 20-3A |        | 0.30   | 35.2      |
| 20-3B |        |        | 18.1      |
| 16-1A | 16     | 0.145  | 88.1      |
| 16-1B |        |        | 16.0      |
| 16-2A |        | 0.21   | 12.6      |
| 16-2B |        |        | 25.5      |
| 16-3A |        | 0.30   | 37.2      |
| 16-3B |        |        | 36.5      |

### 4.3 AE 検出・監視システムの構築及び評価

#### 4.3.1 システムの概要

センサの出力信号から AE 特徴量を推定するソフトウェアベースのシステムを構築することとした。構築するシステムの内部処理の流れは、図8のとおりである。本研究で構築したのは、青矢印で示したものである。最初に AE センサからの出力信号を AD 変換し、データを記憶媒体に保存する。その後、フィルタにかけることで雑音を処理した後、AE 特徴量を推定し出力する。ここで AE 特徴量とは、波形を特定するための重要なパラメータであり、このパラメータを推定し出力することが、この研究の目的である。また、AE 特徴量には、振幅（大きさ）、持続時間（時間幅）、カウント（頻度）、重心周波数、ピーク周波数など様々なものがあるが、本研究では、振幅（大きさ）、持続時間（時間幅）、カウント（頻度）の3つのパラメータに注目した。そして、これらを精度よく推定するには、雑音の影響を最大限に抑える必要がある。そのため、AE 特徴量を推定する前に雑音を処理する機能を取り入れた。なお、赤矢印で示した方はリアルタイムでの処理であり、本研究では対象としなかった。



図8 AE 波解析システムの流れ

#### 4.3.2 AE 特徴量算出システム

##### システム概要とアルゴリズム

本研究で構築した特徴量算出システムでは、4.2.2 項で得られた時間幅特性および音圧特性に基づいて、重要な AE 特徴量である時間幅と音圧を算出する。本研究では、時間幅特性および音圧特性が次式で与えられることが分かっている。

$$\text{時間幅特性: } V_{\max} = V_{std}(1 - e^{-t_p/\tau}) \quad (1)$$

$$\text{音圧特性: } V_{std} = cP \quad (2)$$

ここで、 $V_{\max}$  は出力電圧の最大値、 $V_{std}$  は出力電圧の定常値、 $t_p$  は時間幅、 $P$  は音圧である。また、 $\tau$  は時定数、 $c$  は比例定数を表し、センサ特性により決まる定数である。式(1)と式(2)より、 $V_{std}$  を消去すると、

$$P = \frac{V_{\max}}{c(1 - e^{-t_p/\tau})} \quad (3)$$

が得られる。式(3)は、センサ出力から最大電圧  $V_{\max}$  と時間幅  $t_p$  が得られれば、音圧  $P$  を推定できることを示している。そこで、本研究における AE 特徴量算出システムでは、センサ出力から最大電圧  $V_{\max}$  と時間幅  $t_p$  を決定した後、式(3)に基づいて音圧を算出するプロセスとなっている。

ところで、時間幅を検出するためには、AE 波の始点と終点を検出する必要がある。そして、始点を検出するためには雑音と区別し、より正確な始点を検出する必要がある。ここでは、始点の検出方法として、標準偏差を基準に閾値を設定する方法を取りあげ、その結果を示す。

##### システム性能の検証

AE 検出始点より前のデータ（雑音部分）を利用して、雑音の標準偏差  $\sigma$  を求め、その4倍である  $4\sigma$  を超えた時刻を始点とした。雑音が正規分布に従うことを想定すれば、平均値の前後  $4\sigma$  の範囲に 99.994 % の雑音が含まれるため、雑音による始点の誤検出はほとんどないと考え、 $4\sigma$  を閾値とした。

雑音を付与した模擬信号を用いて、音圧と時間幅の算出能力の評価を行った。検証では、雑音レベル、音圧、時間幅等の異なる 80 種類の模擬信号を使用した。具体的には、音圧 0.01、0.1、0.5、1 Pa の 4 種類、時間幅 5、10、20、30、50 cycles の 5 種類、雑音レベル（標準偏差）0.0001、0.001、0.01、0.1 V の 4 種類とした。80 種類の模擬信号に対する、音圧および時間幅の算出の可否の結果を表4、5に示す。表4及び5は、それぞれ雑音の標準偏差が 0.0001、0.01 V となっており、定常時出力電圧と雑音（標準偏差）の比も S/N 比として表に書き入れている。判定の記号は、誤差が 5 %

以内の場合に○、5 %以上 10 %以内の場合に△、10 %以上の場合に×としている。

表4 雑音の標準偏差 0.0001 V の検証結果  
・「音圧」の算出の可否

| 音圧     | S/N   | 時間幅 [cycle] |    |    |    |    |
|--------|-------|-------------|----|----|----|----|
|        |       | 5           | 10 | 20 | 30 | 50 |
| 1 Pa   | 10000 | △           | ○  | ○  | ○  | ○  |
| 0.5 Pa | 5000  | △           | ○  | ○  | ○  | ○  |
| 0.1 Pa | 1000  | △           | ○  | ○  | ○  | ○  |
| 0.01Pa | 100   | ×           | △  | ○  | ○  | ○  |

・「時間幅」の算出の可否

| 音圧     | S/N   | 時間幅 [cycle] |    |    |    |    |
|--------|-------|-------------|----|----|----|----|
|        |       | 5           | 10 | 20 | 30 | 50 |
| 1 Pa   | 10000 | ×           | ○  | ○  | ○  | ○  |
| 0.5 Pa | 5000  | △           | ○  | ○  | ○  | ○  |
| 0.1 Pa | 1000  | △           | ○  | ○  | ○  | ○  |
| 0.01Pa | 100   | ×           | △  | ○  | ○  | ○  |

表5 雑音の標準偏差 0.01 V の検証結果  
・「音圧」の算出の可否

| 音圧     | S/N | 時間幅 [cycle] |    |    |    |    |
|--------|-----|-------------|----|----|----|----|
|        |     | 5           | 10 | 20 | 30 | 50 |
| 1 Pa   | 100 | △           | ○  | ○  | ○  | ○  |
| 0.5 Pa | 50  | ×           | △  | ○  | ○  | ○  |
| 0.1 Pa | 10  | ×           | △  | ×  | ×  | ×  |
| 0.01Pa | 1   | ×           | ×  | ×  | ×  | ×  |

・「時間幅」の算出の可否

| 音圧     | S/N | 時間幅 [cycle] |    |    |    |    |
|--------|-----|-------------|----|----|----|----|
|        |     | 5           | 10 | 20 | 30 | 50 |
| 1 Pa   | 100 | ○           | ○  | ○  | ○  | ○  |
| 0.5 Pa | 50  | ×           | △  | ○  | ○  | ○  |
| 0.1 Pa | 10  | ×           | ×  | ×  | ×  | ×  |

音圧と時間幅の検出の可否には、お互い同じ傾向が見られた。つまり、時間幅が正確に検出できないものは音圧も正確に検出できないと言える。これは音圧の算出が時間幅の決定精度に依存するためである。そのため、音圧の方が時間幅より誤差が大きくなる傾向が見られた。また、SN比が100以下になると推定精度が下がる傾向があった。

## 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3件)

- ① H. Nikkuni, M. Ohkawa, T. Sato, Design guidelines for a guided-wave optical pressure sensor based on dependences of sensitivity and resonance frequency on diaphragm dimensions, *Optical Engineering*, 査読有, Vol. 56, 2017, 採録決定。
- ② M. Ohkawa, T. Sato, Silicon-based guided-wave optical flow sensor using a diaphragm with a small opening as an orifice, *Optical Engineering*, 査読有, Vol. 55, 2016, 017102 (5 pages).  
DOI: 10.1117/1.OE.55.1.017102

- ③ M. Ohkawa, H. Nikkuni, T. Sato, Design Method of a Guided-wave Optical Pressure Sensor Based on Dependences of Sensitivity and Resonance Frequency on Diaphragm Dimensions, *ACP 2014 Technical Digest*, 査読無, 2014, ATh3A.209 (3 pages).

[学会発表] (計7件)

- ① Y. Kuga, T. Koyama, M. Ohkawa, T. Sato, Output responses of resonant-type guided-wave optical acoustic emission sensors with different diaphragm thicknesses, *Microoptics Conference*, 2016年10月13日、「パークレー市 (アメリカ合衆国)」
- ② 久我祐介、小山卓耶、大河正志、佐藤孝、共振周波数の異なる光導波型アコースティック・エミッションセンサの応答特性、第77回応用物理学会秋季学術講演会、2016年9月14日、「朱鷺メッセ (新潟県・新潟市)」
- ③ 小山卓耶、久我祐介、大河正志、佐藤孝、ダイヤフラム厚の異なる狭帯域光導波型アコースティック・エミッションセンサにおける応答特性、応用物理学会北陸・信越支部学術講演会、2015年12月12日、「信州大学工学部 (長野県・長野市)」
- ④ 久我祐介、大河正志、佐藤孝、立花宗太郎、狭帯域光導波型 AE センサの応答特性に関する考察、第32回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム、2015年10月29日、「朱鷺メッセ (新潟県・新潟市)」
- ⑤ 針山京子、大河正志、狭帯域光導波型 AE センサにおける AE 特徴量評価システム、電子情報通信学会信越支部大会、2015年10月3日、「新潟工科大学 (新潟県・柏崎市)」
- ⑥ 川村義晃、大河正志、佐藤孝、光導波型センサにおける光導波路設計支援システム、応用物理学会北陸・信越支部学術講演会、2014年11月7日「富山大学工学部 (富山県・富山市)」
- ⑦ 立花宗太郎、大河正志、佐藤孝、光導波型構造を用いた共振型アコースティック・エミッションセンサの応答特性、*Optics & Photonics Japan*, 2014年11月6日「筑波大学東京キャンパス文京校舎 (東京都・文京区)」

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

大河 正志 (OHKAWA, Masashi)  
新潟大学・自然科学系・教授  
研究者番号：90213644

### (2)研究分担者

佐藤 孝 (SATO, Takashi)  
新潟大学・自然科学系・教授  
研究者番号：10143752

### (3)連携研究者

新國 広幸 (NIKKUNI, Hiroyuki)  
東京工業高等専門学校・講師  
研究者番号：90547829