

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 19 日現在

機関番号：12608

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K20991

研究課題名(和文) ゴム導波路の音響特性を利用した柔らかな分布型触覚センサの研究開発

研究課題名(英文) Distributed force sensing using acoustic waveguide made on a rubber substrate

## 研究代表者

田原 麻梨江 (Tabaru, Marie)

東京工業大学・科学技術創成研究院・准教授

研究者番号：60721884

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)： ロボットの触覚をはじめ、様々な分野で分布型の荷重センサの需要が高まっている。従来の荷重センサは、センサをアレイ化したときに配線が複雑になりがちである。本研究では、弾性管内を伝搬する音響特性を利用することで、マイクロホンとイヤホンという簡易構成で、弾性管にかかった荷重の位置を特定できる分布型荷重センサの実現を目的とする。1次元および2次元の分布センサの製作方法と評価の他、弾性管内の音響特性について検討を行った。

研究成果の概要(英文)： Recently, demand for flexible and distributed load sensor is increasing in various fields such as tactile sensing in robot. However, load sensors have many problems in lack of flexibility, complex wiring, and discrete measurement since they are based on electrical/electronic devices. We have developed one-dimensional distributed load sensors utilizing acoustic frequency responses of elastic tubes. Two-dimensional load sensors by making an acoustic waveguide on a rubber substrate have been proposed. We also investigated the acoustic characteristics in elastic tubes.

研究分野：超音波工学

キーワード： 柔らかいセンサ 触覚センサ 圧力センサ 弾性管 分布型 音響 マイクロホン イヤホン

### 1. 研究開始当初の背景

ロボットの触覚をはじめ、様々な分野で分布型の荷重センサの需要が高まっている。従来の荷重センサは、センサをアレイ化したときに配線が複雑になりがちである。

### 2. 研究の目的

本研究では、弾性管内を伝搬する音響特性を利用することで、マイクロホンとイヤホンという簡易構成で、弾性管にかかった荷重の位置を特定できる分布型荷重センサの実現を目的とする。分布型のセンサであるため、荷重位置では弾性体(ゴム)のみの非金属センサである。本研究では、ロボットハンドへ応用するための、ゴム基板上に導波路を製作することによる2次元の分布型触覚センサについて検討を行った。また、減衰特性や変形量と信号強度との関係などの弾性管内の基礎的な音響特性について検討を行った。

### 3. 研究の方法

#### (1) 弾性管を用いた1次元荷重センサ

図1に提案するセンサの動作原理を示す。弾性管の端部にマイクロホンとイヤホンをとりつけ、イヤホンから音波を発生させる。音波は弾性管内部を伝搬し、荷重の加えられた位置においていくらか反射し、残りは透過するものと考えられる。入射波と反射波が干渉した音響信号をマイクロホンで計測することによって、音波の周波数特性を得る。周波数特性のパワースペクトルに高速フーリエ変換を施すことによって、変形位置  $x_L$  に反射係数  $r$  に比例した大きさのピークが現れる。このようにして弾性管に加えられた荷重の位置を推定することができる。

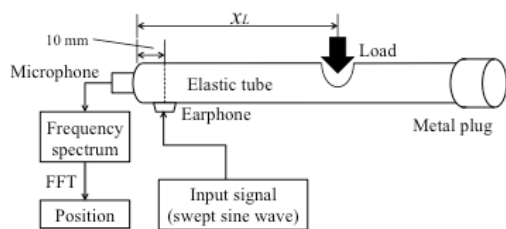


図1 提案する触覚センサの原理

#### (2) 2次元センサの製作および実験

図1の1次元センサを2次元的に配列することによって、平面上のどの位置に荷重が加えられたのかを検出できる2次元センサを製作した。具体的には、図2のような幅5mm、深さ5mmの溝を縦50mm、横50mmのウレタン基板上に作り、溝を覆うように上下から薄いウレタンの膜で挟むことによって音響導波路を製作した。この導波路の片端にイヤホンおよびマイクロホンをとりつけ、20Hz～40kHzの音を20Hzごとに入力することで周波数特性を測定し、これにFFTを施すことによって、分解能4.15mmの位置情報を得た。

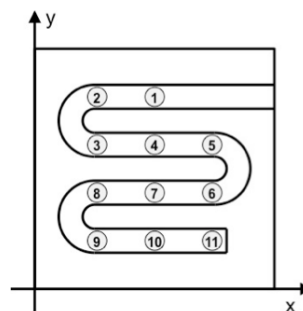


図2 負荷を印加した位置

実験は竹串を用いて図2に示した11点に導波路が十分つぶれる程度の荷重を加えることによって行った。

#### (3) 弾性チューブの変形量と応答ピーク値との関係

チューブの変形量  $h$  に対する出力値が反射係数に対応すると考えて、これら2つの間の関係を導出した。変形していないチューブ内の音響インピーダンスを  $Z_1$ 、変形位置における音響インピーダンスを  $Z_2$  とすると、適当な比例定数  $a$  によってそれぞれの位置における断面積  $S_1$ 、 $S_2$  で、 $Z_1 = aS_1$ 、 $Z_2 = aS_2$  と表せる。変形位置での音圧反射係数  $r$  は断面積から表すことができる。

チューブに荷重をかけて変形させたとき、横方向の伸びを無視できると仮定し、円形から変形した分の面積  $S'$  を差し引くことで、音波の通る部分の断面積  $S_2$  をチューブの内径  $R$  と変形量  $h$  を用いて関係式で表した。

### 4. 研究成果

(1) 2次元センサを用いた実験の結果、図3に示す結果を得た。負荷を加えた状態の特性と負荷を加えていない状態の特性の差分をとり、位置応答を得た。図4の円の大きさはその位置での相対的な応答の大きさを示し、また灰色の円は実際に荷重を加えた位置を示している。多少の誤差はあるものの、およそ荷重を加えた位置で大きな応答が発生していることがわかった。

(2) マイクロホンから300mmの位置において、チューブを  $h=2\sim 8$  mmの範囲で1mmずつ圧縮して応答を調べた。横軸はマイクロホンからの距離  $x_L$ 、縦軸はFFT後の信号強度である。チューブの圧縮量が大きいくほど、大きなピークが現れていることがわかる。次にチューブの圧縮量に対する応答ピーク値および計算した反射係数を図5に示す。ピーク値と反射係数の変化の仕方は良好に一致している。2mm圧縮したときは実線から外れてしまっているが、これは反射係数が0.05と小さいため、出力のピーク値が小さくSN比が悪いためであると考えられる。以上より、位置応答のピーク値はチューブの断面積の

変化量から推定できることがわかった。

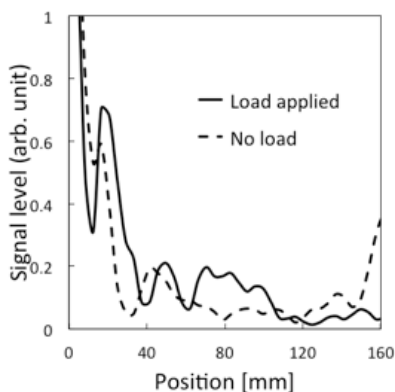


図3 負荷を印加した位置

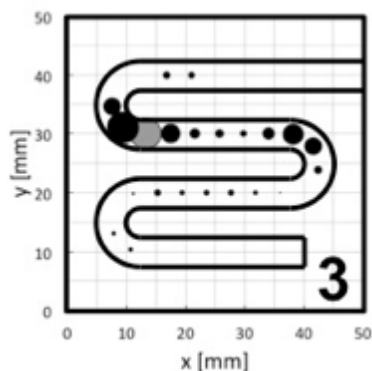


図4 ③の位置における位置応答マップ

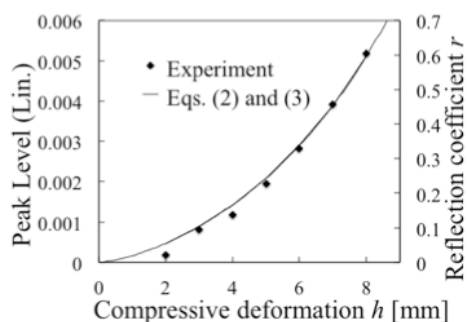


図5 チューブ変形量とピーク強度との関係

#### <引用文献>

① 篠田裕之、接触センシングの現状と今後の展開、日本ロボット学会誌、20 巻、2002、385-388

#### 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 Kentaro Nakamura, Shota Odajima, Marie Tabaru, Distributed force sensor based on acoustic characteristics of elastic tube、文部科学学会誌、査読有、38 巻、2017、80-86

DOI: <https://doi.org/10.1250/ast.38.80>

[学会発表] (計 28 件)

① Marie Tabaru, Elasticity Measurement of Soft Materials Using Ultrasound and OCT、Taiwan-Japan International Engineering Forum 2018

② Hayato Koyama、Tabaru Marie、FDTD Simulation of shear wave propagation in subcutaneous region、The 38th Symposium on Ultrasonic Electronics、2017

③ Marie Tabaru、Observation of elastic wave propagation near tissue surface using swept-source optical coherence tomography、Biomedical Imaging and Sensing Conference、2017

④ 下村颯志、田原麻梨江、ゴム導波路の音響特性を用いた戸挟み検知に関する研究、電子情報通信学会 超音波研究会、2017.

⑤ Shota Odajima、Yosuke Mizuno、Marie Tabaru、Kentaro Nakamura、Distributed force sensing using frequency response of acoustic waveguide made on a rubber substrate、2015 International Congress on Ultrasonics、2015

[図書] (計 2 件)

① 豊田政弘、青柳貴洋、田原麻梨江、他、コロナ社、FDTD 法で見る音の世界、2015、13

② 田原麻梨江、他、コロナ社、音のキーワードブック、2016、2

[産業財産権]

○出願状況 (計 2 件)

① 名称: 挟み込み検出装置

発明者: 田原麻梨江、下村颯志

権利者: 国立大学法人東京工業大学

種類: 特許

番号: 2017-156214

出願年月日: 2017 年 8 月 10 日

国内外の別: 国内

② 名称: 音響式 2 次元分布触覚センサ

発明者: 中村健太郎、田原麻梨江、小田嶋祥太

権利者: 国立大学法人東京工業大学

種類: 特許

番号: 2015-035200

出願年月日: 2015 年 2 月 25 日

国内外の別: 国内

○取得状況 (計 0 件)

名称:

発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等  
<http://tbr.pi.titech.ac.jp>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

田原麻梨江 (TABARU, Marie)

東京工業大学・科学技術創成研究院・准教授

研究者番号：60721884

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：

### (4) 研究協力者

( )