

# 形状記憶合金ワイヤを用いた音響センシングシステムの構築と 周波数特性評価

光武 弘輝<sup>†</sup> 澤田 秀之<sup>‡</sup>

早稲田大学先進理工学研究科<sup>†</sup>

早稲田大学理工学術院<sup>‡</sup>

## 1. はじめに

我々の研究室では、直径数十 $\mu\text{m}$ のワイヤ状に加工した形状記憶合金 (Shape Memory Alloy: SMA) を用いたセンサの研究開発を行っている。本稿では、SMA ワイヤを用いた音響センシングデバイス (以下、SMA 音響センサ) を提案し、その入力周波数と音圧に対する感度の評価を行う。

## 2. SMA が有する特性

SMA は形状記憶効果および超弾性効果と呼ばれる特性を有する。本章ではこれら二つの性質について述べる。

### 2.1 形状記憶効果による結晶構造の変化

SMA は低温状態でマルテンサイト相、高温状態でオーステナイト相と呼ばれる結晶構造を有する。オーステナイト相での SMA の形状は組成時に決まり、低温状態である程度形状を変化させても熱することによって組成時の形状に戻ることができる。これを形状記憶効果と呼ぶ。本研究で用いる SMA ワイヤは、加熱することによって形状記憶効果が引き起こされ、長さ方向に 5%程度収縮する[1]。

### 2.2 超弾性効果による結晶構造の変化

オーステナイト相の SMA に物理的負荷を与えると、応力励起マルテンサイト相と呼ばれる結晶構造に変化し、除荷をするとオーステナイト相状態に戻る。このような応力に対する可逆的な結晶構造の変化を超弾性効果と呼ぶ。この効果は通常の金属の弾性と異なり時間経過による永久変形が生じにくく、応力を加えた時間による電気抵抗値の変化が小さいという特徴がある。

## 3. SMA ワイヤを用いた音響センシング

前述の形状記憶効果と超弾性効果により、高温状態の SMA ワイヤに負荷を与えることによって物理負荷のセンシングが可能である。また SMA ワイヤの電気抵抗値変化は 200mN 未満の微小な応力でも変化する[2]ことから、音響のような微小な振動を有効にセンシング可能であると考えられる。

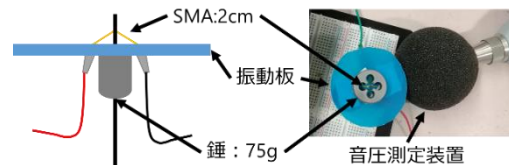


図1 SMAを用いた音響センシングデバイス

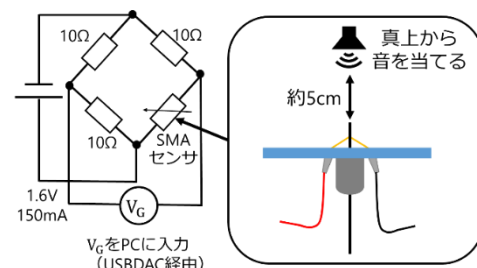


図2 計測回路図

次に、本研究で作製した SMA ワイヤを用いた音響センシングデバイスを図 1 に示す。音響センシングは、SMA ワイヤを支柱に引っ掛けて、接着剤で固定させた振動板を吊るす構造になっている。音響を効率よく受けるために、本研究では直径 4cm のプラスチック板を振動板として用いた。振動板には、SMA ワイヤに予負荷を与えるために 75g の錘をつけている。

また、音圧計測装置を図 1 で示す位置に設置し、入力音の音圧  $P[\text{dB}]$  を計測している。

図 2 に計測回路の概略図を示す。音響信号の入力には、音響スピーカを使用した。計測中は 150mA の定電流を流し、ジュール熱によって SMA ワイヤをオーステナイト相状態にしている。SMA 音響センサは図 2 のようにブリッジ回路に取り付ける。この回路によって SMA ワイヤの電気抵抗値変化をブリッジ回路の電圧変化に変換させ、この電圧を計測することによって、音響のセンシングをしている。

## 4. SMA 音響センサの音響特性の評価

### 4.1 周波数特性の評価

はじめに、100Hz~1000Hz までのスイープ音を用いて、この音響センシングデバイスの周波数特性を観測した。本実験ではスピーカの最大音量が 103dB と 96dB、93dB の 3 種類の場合においてそれぞれ計測を行った。このスピーカの特性上、200Hz 以下では出力が最大で 80dB までしか出ないため、200Hz

Frequency characteristics of a novel acoustic sensing system using a shape memory alloy wire

<sup>†</sup>H. Mitsutake, School of Advanced Science and Engineering, Waseda University

<sup>‡</sup>H. Sawada, Faculty of Science and Engineering, Waseda University

以下の帯域はいずれの条件でも同程度の結果が出ることになる。また、本実験では、計測感度  $A$ [dB]に以下の式で求めた数値を用いている。

$$A = 20 \log_{10} \frac{D}{D_0} \quad (1)$$

$D$  : 計測された電圧

$D_0$  : 基準値

図3に各音圧による周波数特性を示す。SMA音響センサは約80Hz付近で感度のピークになっており、350Hz以降の周波数では同程度の感度を示している。比較的103dBの時のほうが100Hz~350Hzの感度が安定していることがグラフから読み取れることから、安定したセンシングを行うためにはある程度の入力音量が必要であることが考えられる。一方で350Hz以上の周波数帯で計測感度がほぼ一定になっていることから、音響のセンシングに対して有効性が見込める。

#### 4.2 入力音量に対する感度変化

次に、100Hz, 200Hz, 300Hz, 500Hz, 800Hzの単音を入力音とし、スピーカの音量を段階的に変化させて計測を行った。また、本実験では音声解析ソフトWaveSpectraで得られたデータを計測感度  $A$ として用いている。

図4に周波数ごとの計測感度の変化のグラフを示す。SMA音響センサは周波数が低いほど計測感度が高まる傾向があることがこのグラフからわかる。特に、スピーカ音量が80dBの場合、100Hzと800Hzでは20dBの感度差が生じていることがわかる。この結果は図3の周波数特性と一致し、SMA音響センサが低周波数帯で固有の感度ピークを有することを示している。一方で、500Hzと800Hzを比較すると、スピーカ音量が80dB以上では同程度の計測感度を示している。さらに、500Hz, 800Hzのグラフを見ると、スピーカ音圧が80dB未満のところでは計測感度が増加せず、80dB以降急激に感度が増加していることがわかる。このことから、SMA音響センサは十分な入力音圧がある条件下で音響のセンシングが可能であることがわかる。

#### 4.3 音声入力に対する計測波形

ここでは、入力を女性の「こんにちは」という発声にして計測を行った。図5に入力と計測波形の結果を示す。入力波形と比較すると、計測値にはノイズが乗っているが良好に波形が再現できているのがわかる。また、十分に「こんにちは」という発話を聞き取ることができた。一方で、撥音などの子音部分では十分な音圧が得られず、波形の振幅が小さくなっている。子音は高周波成分を含むため、本センシングシステムの帯域では不十分な可能性がある。

### 5. まとめ

本研究では、SMA音響センサの有用性を示すために、周波数特性と計測感度特性の観点による評価

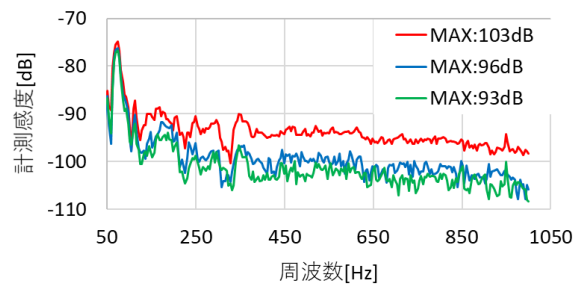


図3 周波数特性評価

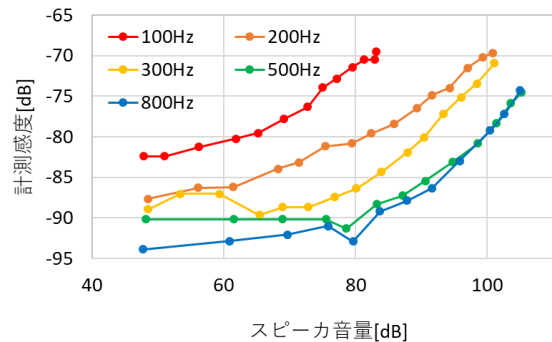


図4 スピーカ音量に対する計測感度の変化

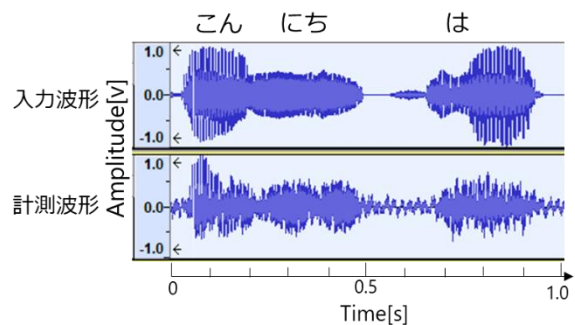


図5 人の発声に対する計測波形

及び、人の発声に対する計測の評価を行った。その結果、全体的に感度が低い傾向があるものの、母音音声の特徴を示す200Hz以下の帯域で計測感度が高く、また350Hz以上の帯域ではある程度の入力音量に対して安定した計測ができており、人の発声も十分にセンシングできることが示された。今後は、今回得られたSMA音響センサの特性をもとに、目的に応じた活用方法を模索していく。

#### 参考文献

- [1] 水上陽介, 澤田秀之, “形状記憶合金糸を用いた触覚ディスプレイと微小振動の発生確率密度制御による触覚感覚の呈示”, 情報処理学会論文誌 Vol.49, No.12, pp. 3890-3898, 2008.
- [2] 宮戸田顕音, 重宗宏毅, 三輪貴信, 澤田秀之, “微小振動する形状記憶合金ワイヤを用いた触覚センサ”, 電子情報通信学会論文誌 C Vol.J102-C, No.9, pp.241-248, 2019