

# 鎖骨の音響特性を利用した個人識別・認証システム

川崎 陽平\*<sup>1</sup> 杉浦 裕太\*<sup>1</sup>

Identification and Authentication Using Acoustic Characteristics of Clavicle

Yohei Kawasaki\*<sup>1</sup>, Yuta Sugiura\*<sup>1</sup>

**Abstract** – In this study, we propose a personal identification and authentication system that utilizes differences in the acoustic characteristics of the clavicle between individuals. A transducer and a microphone were attached to each shoulder, and a sweep signal generated by the transducer was propagated through the clavicle and measured by the microphone. Fast Fourier transform and Mel filter bank processing were applied to the measured data, and Mel frequency cepstrum coefficients were extracted and used as features. The generalization performance of the model was evaluated by 10-fold cross-validation using the correct response rate for personal identification and the equal error rate for personal authentication as evaluation indices.

**Keywords** : Identification, Authentication, Clavicle

## 1. はじめに

個人認証技術は、セキュリティの強化やプライバシーの保護を目的とした技術である。例えば現状普及している個人認証技術として、指紋<sup>[8]</sup>や顔<sup>[6]</sup>による認証等が挙げられる。これらの技術は主として、スマートフォンやPC等のデバイスに実装されている。今後、IoTの促進により、あらゆるものがインターネットに繋がることを考慮すると、電子機器以外の身の周りの所持品においても個人認証機能が搭載されることで、安全かつ便利な社会が実現可能になると考えられる。

本研究では、バックパックの肩紐部分が鎖骨に触れていることに着目し、鎖骨の音響特性を利用した個人識別・認証を提案する。バックパックは荷物の運搬の際に日常生活で広く用いられ貴重品を入れる機会も多い。バックパックにおける個人認証を実装することで、盗難防止や取り違い防止に繋がる。将来的には、バックパックを背負うことを認証のトリガーとし、認証をしないとバックパックが開けられないシステムや、所有者以外の方がバックパックを背負った際に、警告音や所有者のもとに通知が届く等のフィードバックをするシステムを想定している。これによりバックパックが盗難されたり、置き忘れられたりすることがあってもプライバシーの保護やセキュリティの強化が期待できる。

手法としては、振動子とマイクを被験者の鎖骨に固定し、アクティブ音響センシングを利用して鎖骨の音響特性を解析した。(図1)。9人に対して実験を実施した結果、個人識別の精度は97.22%、個人認証の等価エラー率は1.25%であった。

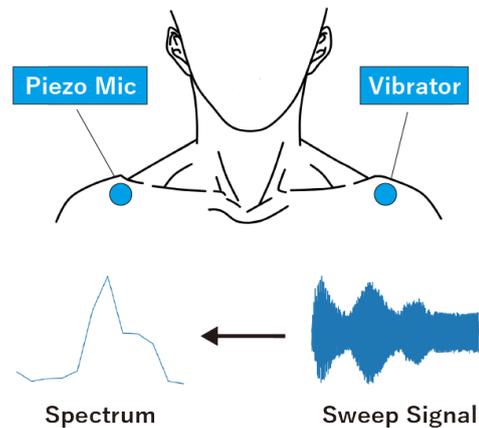


図1 鎖骨の音響特性の測定  
Fig.1 Measurement of acoustic characteristics of clavicle

## 2. 関連研究

### 2.1 認証の種類

個人認証には3種類存在する。1つ目は所有認証である。鍵やICカードなどがこれにあたり、紛失や盗難といったリスクもある。2つ目は知識認証である。パスワードや暗証番号などがこれにあたり、忘却や漏洩といったリスクもある。3つ目は生体認証である。上記の認証と比較して、紛失や忘却といったリスクはない。生体認証にはさらに2種類存在し、歩容<sup>[5]</sup>や筆跡<sup>[7]</sup>といった行動的特徴を利用するものと、指紋<sup>[8]</sup>や顔<sup>[6]</sup>といった身体的特徴を利用するものがある。本研究では鎖骨の音響を身体的特徴とした生体認証を提案する。

\*1: 慶應義塾大学大学院理工学研究科

\*1: Faculty of Science and Technology, Keio University

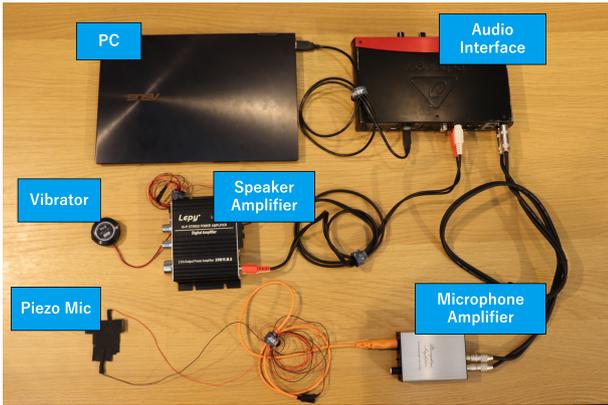


図2 実験装置  
 Fig.2 Experimental devices

表1 混同行列  
 Table 1 Confusion Matrix

		predict	
		positive	negative
true	positive	True Positive	False Negative
	negative	False Positive	True Negative

## 2.2 アクティブ音響センシング

アクティブ音響センシングは、音響解析に用いられる手法である。媒介に対してある特定の振動を伝播し、その出力を測定して音響特性を解析をする。Onoら<sup>[1]</sup>は触れている物体の音響特性を解析することで、5種類のタッチジェスチャの識別と、6種類の手の把持姿勢の識別をした。Katoら<sup>[2]</sup>は手の骨の音響特性を解析することで、7種類の手の姿勢識別をした。本研究では、アクティブ音響センシングを用いて鎖骨の音響特性を解析する。

## 2.3 人間の骨の特徴を利用した研究

人間の骨の特徴を利用した個人識別・認証に取り組んだ例は存在する。Isobeら<sup>[3]</sup>は鼻骨の音響特性をアクティブ音響センシングを用いて測定し、個人認証に取り組んだ。Schneegassら<sup>[4]</sup>は頭蓋骨にホワイトノイズを入力し、その応答を解析することで個人識別・認証に取り組んだ。このように頭蓋骨や鼻骨の個人差に注目した研究は存在するが、鎖骨に注目した研究はない。本研究では、鎖骨の音響特性を利用した個人識別・認証に取り組む。

## 3. 原理

### 3.1 個人識別と個人認証

個人識別はクラス分類をすることを目的としており、ユーザはあらかじめ決められたラベルの内のどれかに識別される。精度の評価指標には、正しいクラスに分類できた割合(正解率)を用いる。

一方で、個人認証はクラス分類とは異なり、ユーザが認証対象のユーザなのか否かを推定する。精度の評

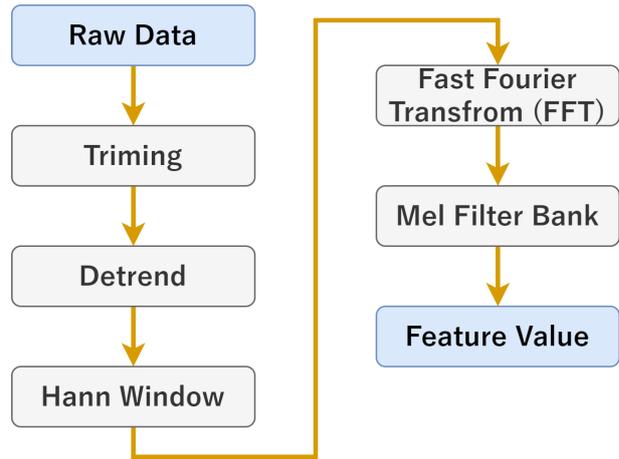


図3 データ処理の流れ  
 Fig.3 Data processing flow

価指標については False Rejection Rate (FRR), False Acceptance Rate (FAR), 等価エラー率 (EER) を用いる<sup>[9]</sup>。FRR は本人であるにもかかわらず、本人でないと判断してしまう割合である。一方で、FAR は本人でないにもかかわらず、本人と判断してしまう割合である。表1中の用語を用いて(1), (2)式で計算される。

$$FRR = \frac{FalseNegative}{TruePositive + FalseNegative} \quad (1)$$

$$FAR = \frac{FalsePositive}{FalsePositive + TrueNegative} \quad (2)$$

システムが認証をした際に得られるスコアを  $S$  とし、本人か否かを判定する際の閾値を  $\theta$  とする。  $S \leq \theta$  の際には本人とし、  $S > \theta$  となる際には本人ではないとする。  $\theta$  を低く設定すると、本人と認識されにくくなるため、FRRが高くなり、FARが低くなる。一方で、  $\theta$  を高く設定すると、本人と認識されやすくなるため、FRRが低くなり、FARが高くなる。このようにFRRとFARにはトレードオフの関係がある。閾値を変化させた際にFRRとFARが一致する割合をEERという。

### 3.2 実験装置

本研究では、アクティブ音響センシングを用いて鎖骨の音響特性を測定する。スイープ信号を発生させる振動子としてVp210 (Acoube Laboratory, Inc.) , 信号を測定するピエゾマイクとしてOMR20F10-BP-310 (THRIVE) を用いた。図2に実験装置を示す。ピエゾマイクは絶縁テープで覆っている。

### 3.3 データ処理

測定した音響信号から特徴量を抽出する流れを図3に記す。測定したデータによってフレーム数にばらつ



図4 実験の様子  
Fig. 4 Experiment

表2 被験者情報

Table 2 Participants' information

人数	9人(男性5人, 女性4人)
平均年齢	21.89歳
年齢の標準偏差	0.99歳

きがあるため、前から $2^{18}$ フレームをトリミングし、トレンド除去、窓処理を施した。その後高速フーリエ変換を施し、 $2^{18}$ フレームのデータを $2^{17}$ 個のスペクトルに変換した。最後にメルフィルタバンクによる処理をし、50個のメル周波数ケプストラム係数(MFCC)に変換した。

#### 4. 実験と解析

##### 4.1 実験概要

本研究では鎖骨の音響特性を解析することで個人識別・認証をする。鎖骨に信号を与えるために、図4のように振動子とマイクを設置した。被験者には4Lの水が入ったバックパックを背負ってもらい、鎖骨とバックパックの肩紐の間に振動子とマイクを挟んでもらった。スイープ信号は2秒間で100Hzから1000Hzまで変化させた。マイクのサンプリング周波数は96000Hzに設定し、3秒間測定した。一人に対して実験は2日分行われ、1日に20回測定した。すなわち一人被験者から40(=20×2)個のデータを測定し、合計で360(=40×9)個のデータを測定した。

##### 4.2 解析: 個人識別

1つのデータからMFCCを抽出し、その内の低周波成分の12個を特徴量とした。二日分のデータをランダムに選択し、10分割交差検証を用いてモデルの汎化性能を評価した。訓練データを用いて勾配ブースティング木のクラス分類モデルを作成し、テストデータを用いて正解率を評価した。正解率は97.22%であった。識別結果を図5に示す。



図5 個人識別結果  
Fig. 5 Result of Identification

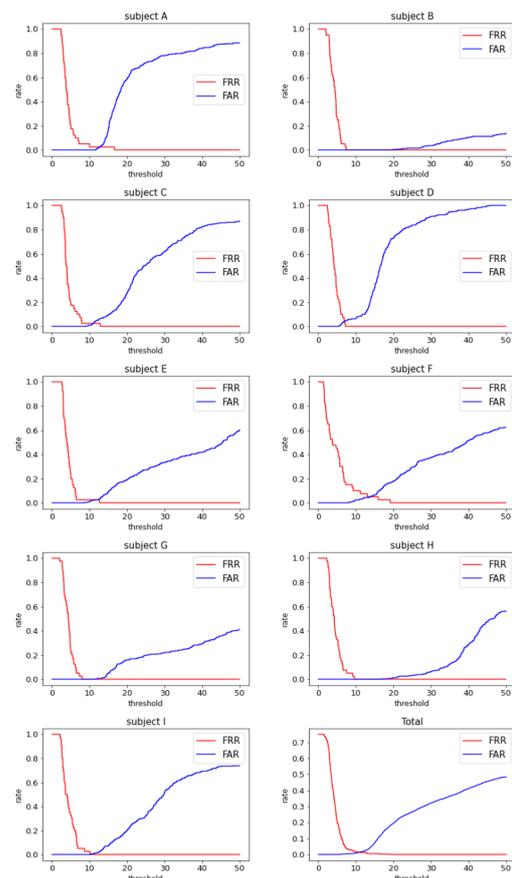


図6 各被験者のFRRとFAR  
Fig. 6 FRR and FAR of each participant

##### 4.3 解析: 個人認証

1つのデータからMFCCを抽出し、その内の低周波成分の12個を特徴量とした。二日分のデータをランダムに選択し、10分割交差検証をしてモデルの汎化性能を評価した。認証対象の被験者の訓練データのみを生成し、群と全被験者のテストデータとのマハ

表3 被験者ごとの EER  
 Table 3 EER for each participant

被験者	EER (%)
A	2.5
B	0.0
C	2.5
D	5.0
E	2.5
F	5.0
G	0.0
H	0.0
I	0.0
Total	1.25

ラノビス距離を計算した。閾値を0から50まで0.01刻みで変化させ、マハラノビス距離が閾値以下であったものは本人のデータ、閾値より大きかったものは本人でないデータとし、FRR, FAR, EERを算出した。全体でのEERは1.25%であった。各被験者と全体の個人認証の結果とEERを図6と表3に示す。

#### 4.4 考察

振動子とマイクの位置による差を調査するために、各被験者のデータを測定した日ごとに分け、A群とB群とした。A群を訓練データとし、B群をテストデータとしたところ、個人識別の精度は21.67%、個人認証のEERは35.42%となった。スピーカとマイクの装着位置の差によって精度が下がったと考えられる。

### 5. 制約と今後の課題

本実験中は、振動を発生している間は被験者には声を出さずに静止するように指示をした。声による振動を計測しないようにするためと、姿勢の変化による音響の変化を考慮しないようにするためである。今後は本システムの堅牢性の向上のために、歩行中などの様々な姿勢における鎖骨の音響を測定する必要がある。

また本実験で使用した振動の周波数は100Hz～1000Hzであり、人間の可聴周波数内であるため、実験時に音が聞こえるという問題点がある。今後は20kHz以上の周波数を用いたアクティブ音響センシングによる実装を検討している。

また、マイクとスピーカの装着位置を変えると精度が低くなるという課題が挙げられる。今後はマイクとスピーカの再装着回数を増やし、様々な装着部位における音響特性の測定を目指す。

### 6. おわりに

本論文では鎖骨の音響特性を利用した個人識別・認証システムの提案をした。9人の被験者を募って実験をしたところ、個人識別の精度は97.22%、個人認証時のEERは1.25%であった。今後は実験中の被験者の姿勢や運動を指定し、多様な状況における音響を測

定することで、システムの堅牢性を高めていく。

### 謝辞

本研究は、JSPS 科研費 JP21H03485 の助成を受けたものである。

### 参考文献

- [1] Makoto Ono, Buntarou Shizuki, and Jiro Tanaka. 2013. Touch activate: adding interactivity to existing objects using active acoustic sensing. In Proceedings of the 26th annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST '13). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 31–40.
- [2] Hiroyuki Kato and Kentaro Takemura. 2016. Hand pose estimation based on active bone-conducted sound sensing. In Proceedings of the 2016 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing: Adjunct (UbiComp '16). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 109–112.
- [3] Isobe and Kazuya Murao. 2021. Person-identification Method using Active Acoustic Sensing Applied to Nose. In 2021 International Symposium on Wearable Computers (ISWC '21). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 138–140.
- [4] Stefan Schneegass, Youssef Oualil, and Andreas Bulling. 2016. SkullConduct: Biometric User Identification on Eyewear Computers Using Bone Conduction Through the Skull. In Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '16). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 1379–1384.
- [5] Miyu Fujii, Kaho Kato, Chengshuo Xia, and Yuta Sugiura. 2021. Personal Identification using Gait Data on Slipper-device with Accelerometer. In Asian CHI Symposium 2021 (Asian CHI Symposium 2021). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 74–79.
- [6] W. Zhao, R. Chellappa, P. J. Phillips, and A. Rosenfeld. 2003. Face recognition: A literature survey. ACM Comput. Surv. 35, 4 (December 2003), 399–458.
- [7] R. Plamondon and S. N. Srihari, "Online and off-line handwriting recognition: a comprehensive survey," in IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 22, no. 1, pp. 63–84, Jan. 2000.
- [8] T. Charles Clancy, Negar Kiyavash, and Dennis J. Lin. 2003. Secure smartcardbased fingerprint authentication. In Proceedings of the 2003 ACM SIGMM workshop on Biometrics methods and applications (WBMA '03). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 45–52.
- [9] P. J. Phillips, A. Martin, C. L. Wilson and M. Przybocki, "An introduction evaluating biometric systems," in Computer, vol. 33, no. 2, pp. 56–63, Feb. 2000.