

骨伝導音を用いた リアルタイム咀嚼・発話判定精度向上手法の提案

三井 秀人¹ 小原 丈¹ 横窪 安奈¹ ロペズ ギョーム¹

概要: 肥満は咀嚼回数を向上させることで抑制可能であるが、日常生活の中で常に意識続けることは難しい。また、従来の咀嚼回数測定装置は、装置が大きい等の理由から、日常生活の中では用いることが難しいという問題点もあった。本研究では、日常生活の中でも利用可能となるように、安価で小型の骨伝導マイクとスマートフォンで構成する咀嚼回数と発話意識向上支援システムを提案する。提案手法の精度評価を行ったところ、食事中にユーザへ咀嚼状態を視覚情報としてフィードバックすることによって、咀嚼回数の増加が見込まれ、フィードバックの効果に影響を与える要素も明らかになり、食事中の咀嚼回数ならび発話の向上支援に有効であることが示唆された。

Method to Improve Real-time Chewing and Speaking Detection Accuracy from Bone-conduction Sound

Hideto Mitsui¹ Joe Ohara¹ Anna Yokokubo¹ Guillaume Lopez¹

1. はじめに

肥満は糖尿病や心疾患などの生活習慣病を引き起こす恐れがある。厚生労働省はこの予防のために対策を講じてきたが、10年前に比べて肥満の患者数は減少していない[1][2]。肥満対策には、「適度な運動を行うこと」、「食事内容の改善」、「咀嚼回数を増やすこと」などが挙げられるが、その中でも「咀嚼回数を増やすこと」は、誰でも手軽に行うことが可能である。これに加えて、食事中に会話することが健康と関連していることから、食事中の発話を促すことが望ましいと考えられる[3]。このような食習慣を改善する取り組みとして、ウェアラブルデバイスを用いた食習慣改善システムが提案されているが、日常生活の中で用いる場合の咀嚼回数や発話の判定には未だ改良の余地がある[4][5]。

本研究では、日常生活の中でも利用可能な安価で小型の骨伝導マイクとスマートフォンまたはスマートウォッチで構成する咀嚼回数と発話意識向上支援システムを提案し、食事中の咀嚼回数の向上、及び発話を意識させる点に着目し、リアルタイムでの咀嚼回数と発話判定制度の向上手法を提案し、評価した。

2. 関連研究

食習慣の改善として咀嚼に着目した研究は数多く、様々な手法やシステム及び装置が検討されている。宇野らは、骨伝導マイクロフォンを用いて咀嚼回数と噛みごたえ度を

検出するシステムを提案している[6]。咀嚼をする際の振幅に着目し、振幅の大きさが一定を超えた場合に咀嚼と判定するシステムであり、判定精度は約89%であった。井上らは、HMDと骨伝導スピーカーを用いて、摂食時における食品の外観と咀嚼音を上書きする手法を提案している[7]。HMDでは食品に固さを感じさせるテクスチャの重畳表示、骨伝導スピーカーでは固さを感じさせる咀嚼音の再生によって咀嚼回数の増加を図った。結果として、視聴覚情報によって咀嚼回数の増加が見られた。

上記2つの関連研究に共通する部分として、PCやHMD、チャージアンプなどを用いているため、装置が大きく、日常生活で扱うことが困難である。

3. 提案システム

3.1 システム概要

提案システムは咀嚼回数向上支援システムならびに発話意識向上デバイスの2要素から構成される。以下には各構成要素について詳細に述べる。咀嚼回数向上支援システムの使用イメージを図1に示す。咀嚼回数向上支援システムは、骨伝導マイクをウェアラブルに取り付け可能にした装置と、スマートフォンまたはスマートウォッチを用いて実現した。ユーザは骨伝導マイクを装着し、食事を行うと、MS搭載したMotorola社製のMoto Gを採用した。

また、発話意識向上支援デバイスの使用イメージを図2に示す。発話意識向上支援デバイスは、マイクと振動素子、

¹ 青山学院大学
Aoyama Gakuin University

LEDにより構成されている。マイクと振動素子、LEDの制御には、Arduino UnoとTinyDuinoを用いた。本デバイスは、マイクによって音声データを取得し、その値の大きさが一定以上であれば、フィードバックを返すよう実装した。

3.2 咀嚼回数と発話時間の計測アルゴリズムの構築

咀嚼回数と発話時間の計測アルゴリズム全体の流れを図3に示す。咀嚼音や発話音の音声データの解析にはShort-Term Energyを用いた。Short-Term Energyの算出式(1)は、処理した信号をs, サンプル数のシフトをn, 窓関数をw(n)とした。Short-Term Energyは信号を用いることで、信号を波形化する際に波の大きさ・小ささを明示的に確認できるため、特徴が把握しやすくなる。そのため、本システムによって取得した音声データの波形を簡潔にし、波形を見易くすることで、咀嚼及び発話の特徴を捉えることが可能になる。Short-Term Energyによって得られたデータに対し、キャリブレーションによって設定される閾値を用いて咀嚼のカウントと発話時間の計測を行った。

$$e(n) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} (s(m) \cdot w(n - m))^2 \quad (1)$$

咀嚼回数と発話時間の測定について述べる。まず、音声を取得した後に音声を解析し、その結果を提示する流れを食事中に繰り返すことによって、リアルタイムでの結果を提示する。測定開始はBluetooth通信を行う骨伝導マイクを装着し、スマートフォンアプリケーションの計測開始ボタンを押下した時とし、終了は計測終了ボタンを押下した時とした。また、咀嚼回数と発話時間の判定アルゴリズム全体の流れを図3に示す。まずユーザは、Bluetooth通信を行う骨伝導マイクを装着し、スマートフォンアプリケーションの計測開始ボタンを押下する。咀嚼や発話が行われた際の音声をスマートフォンにより取得し、その解析結果の提示をした後、計測終了ボタンを押下して計測終了とした。

図3の通り、閾値を超えた場合は、咀嚼と発話の判別及び算出を行う。判定は、設定された閾値を一定時間以上超えていた場合を発話とし、それ以下の場合は咀嚼と判定する。咀嚼のカウントは音声データが設定された閾値を超え、一定時間内に閾値を下回るごとに1回ずつカウントされる。発話時間は、閾値を超えている間の時間を計測する。判定結果が咀嚼であれば咀嚼回数を、発話であれば発話時間を計測結果として様々なフィードバックによってユーザへ返すようにした。

また、動作の区切りのタイミングを図4に示す。動作の区切れは閾値を超える波の波形間の距離が一定以上離れた場合とした。これは、食べ物を咀嚼し終え、飲み込んだタイミングと発話を終了したタイミングである。動作が区切れるたびに咀嚼・発話の判定を行い、咀嚼と判断されたのなら咀嚼回数に応じたフィードバックを提示し、発話と判



図1 咀嚼回数向上支援システムの使用イメージ

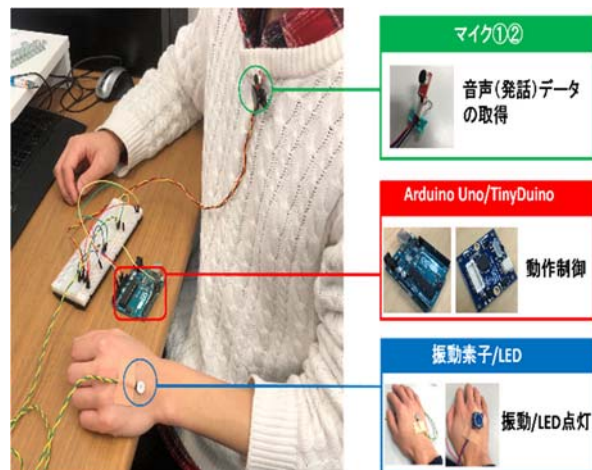


図2 発話意識向上支援デバイスの使用イメージ

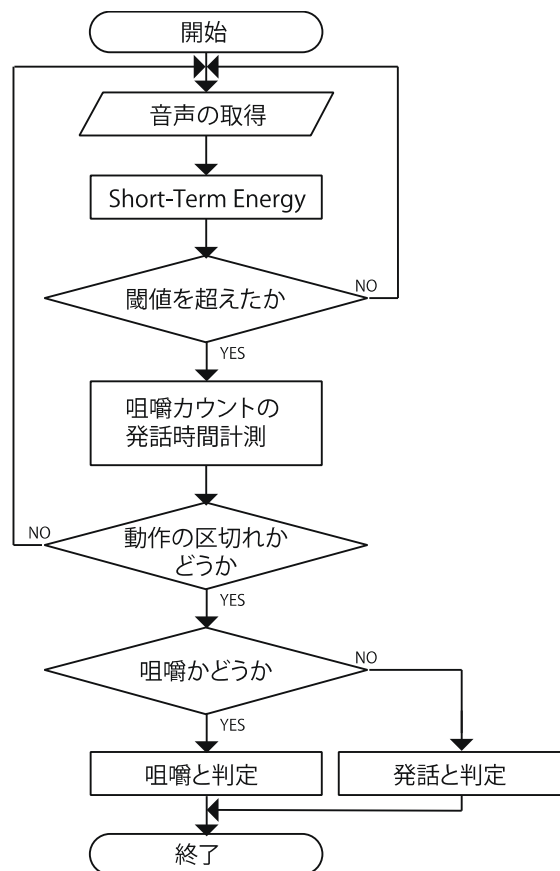


図3 咀嚼と発話判定アルゴリズムの全体の流れ

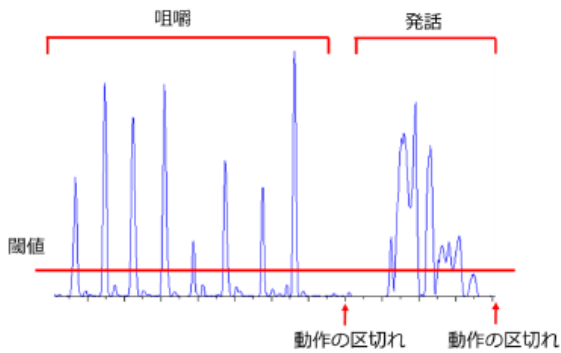


図 4 咀嚼と発話の判定と区切れ

断されると発話時間に応じたフィードバックを提示する。

4. 評価実験

4.1 実験概要

提案システムである咀嚼回数向上支援システムならびに発話意識向上支援デバイスを用いて、咀嚼・発話に対して以下のフィードバックでの影響を検証するための評価実験を行った。表 1 に各フィードバックの対応を、図 5 にパターン A の表示例を示す。

以下に、実験手順について詳細に述べる。まず被験者は、デバイスを装着した状態で食事を行い、食事中に実験者の質問に答える。本実験は、食事中に提案システムを用いてフィードバックを提示する場合とフィードバックを提示しない場合の 2 通り実施した。被験者 1 名につき、パターン A-C のうち 1 つ、パターン D、パターン E-F のうち 1 つの計 6 組み合わせのうち 1 つの組み合わせとし、各組み合わせ 3 名ずつ行う。実験における真値はビデオカメラを用いて目視で実施した。

上記に加えて、ユーザが発話時間に関するフィードバックによって発話を意識したかを検証するために、アンケート調査による主観評価を行い、5 件法で評価した。また、発話を意識しているかを検証するために「食事中、発話に関して意識しましたか」の項目に対して、パターン E とパターン F の間でフィッシャーの正確確立検定を行い、フィードバックによる影響も検証した。主観評価に関しては、咀嚼による実験でも実施した。

4.2 実験結果

提案システムの咀嚼・発話判定精度の結果を表 2 に示す。平均で約 91% という高い精度で咀嚼を判定できていることが示唆された。発話時間においても、全体平均で約 96% と高精度で判定できていることが示唆された。

フィードバックありの場合は、フィードバックなしの場合に比べて、約 16% 有意的に咀嚼回数が増加 ($p < 0.05$) し、フィードバックの違いによって、咀嚼回数の増加率に差が

表 1 フィードバックの対応

	フィードバック内容	表示デバイス
A	咀嚼回数に応じて画像・ゲージ変化	スマートフォン
B	咀嚼回数表示	スマートフォン
C	パターン A を表示	スマートフォン・スマートウォッチ
D	発話時間を表示	
E	発話時間に応じて振動	振動素子
F	発話時間に応じて LED 点灯	LED

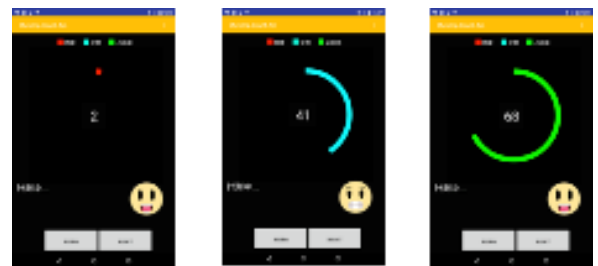


図 5 パターン A の表示例

表 2 提案システムの判定精度

	咀嚼回数	発話時間
相対誤差	約 9%	約 4%
標準偏差	約 4%	約 3%
精度	約 91%	約 96%

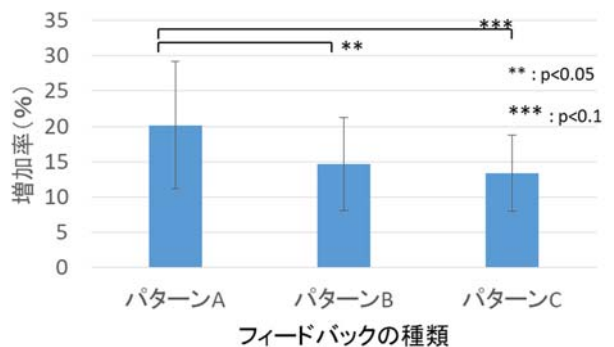


図 6 フィードバックごとの咀嚼回数の推移

見られた (図 6)。また、発話意識向上支援デバイスを用いた発話実験に関して、主観評価を行った結果、半数以上の被験者に発話を意識させることが可能になった。

提案システムを用いた実験で行った咀嚼に関する主観評価の結果を図 7 に示す。加えて、質問内容と対応している項目を表 3 に示す。この結果より、ユーザは装着デバイスに違和感なく、咀嚼を意識しながら食事することが可能であった。加えて、提案システムの精度やわかりやすさなどにも特に問題がないことがわかる。

続いて、発話に関する主観評価の結果を図 8、図 9 に示す。本実験では、フィードバックにおける発話に対する意

咀嚼に関する主観評価の結果

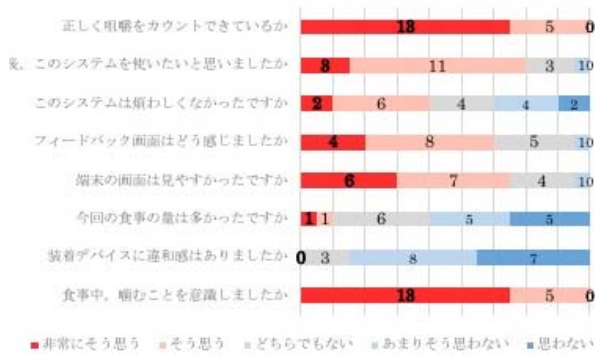


図 7 咀嚼に関する主観評価の結果

表 3 質問内容と対応項目

正しく咀嚼をカウントできているか	正確性
装着デバイスに違和感がありましたか	煩わしさ
このシステムはわずらわしくなかったか	
端末の画面は見やすかったですか	わかりやすさ
今後、このシステムを使いたいか	実用性

識への違いを明らかにするため、パターン E とパターン F の「食事中、発話に関して意識したか」の項目に対してフィッシャーの正確確立検定を行った。フィッシャーの正確確立検定では、主観評価の結果での五段階評価を「良い」、「悪い」の二段階に分けているが、「どちらでもない」の項目は評価に入れずに除外する。「良い」は「非常にそう思う」と「そう思う」、「悪い」は「あまりそう思わない」と「思わない」と結びつけている。検定を行った結果、パターン E とパターン F によるフィードバックには有意に差がある傾向が示された ($p < 0.1$) (表 4)。パターン D のフィードバックに関しては、「システムは正しく発話を測定していたか」の項目だけ主観評価を行った (図 10)。

5. 考察

5.1 咀嚼と発話の判定精度

実験結果で述べた通り、リアルタイムでの咀嚼の判定精度は約 91% となった。この結果は、先行研究での咀嚼回数判定精度、約 89% と比較すると、約 2% 精度が向上した。また、発話の判定についても、先行研究と比較して精度が向上した。主観評価の結果によると、咀嚼に関しては、「正しく咀嚼をカウントできているか」という項目において、「非常にそう思う」、「そう思う」といった肯定的な結果が多かった。この結果により、被験者に対して違和感を覚えさせることもなく、咀嚼をカウントできたと言えるだろう。

発話に関する主観評価の結果 (振動)



図 8 振動素子によるフィードバックの主観評価

発話に関する主観評価の結果 (LED)



図 9 LED によるフィードバックの主観評価

表 4 フィッシャーの正確確率分布の主観評価

	良い	悪い
振動	6	1
LED	1	4

主観評価の結果(Android)



図 10 発話の精度に関する主観評価

ただし、提案システムは周囲の環境によって精度が変化してきてしまう。今回の実験では、静かな室内で行ったため精度が良いものとなったが、周囲が騒がしい場合には、その音声も取得してしまう欠点がある。発話に関して、主観評価の結果によると、Android 上の精度は主観評価でも肯定的な結果が大半を占めていたため、被験者が違和感なく計測できていたと言えるだろう。しかし、Arduino・Tinyduino による計測の場合、マイクがノイズを拾ってしまい、閾値を超えてしまうことやコードの接続方法が適切でないことが問題として挙げられる。対策として、Android の発話の精度が良いこと活かし、Arduino・Tinyduino を Bluetooth 接続し、フィードバックを行うことが考えられる。

5.2 フィードバックの有無による食事への影響

フィードバックなしの場合の咀嚼回数よりも、フィードバックありの場合の咀嚼回数の方が約 16%有意的に増加した。これにより、視覚的フィードバックによって有意に咀嚼回数の増加を促すことが可能であることが明らかになった。咀嚼回数が増加している要因の一つとして、フィードバックがあることにより、食事中に咀嚼に対して意識していることが挙げられる。

各フィードバックによる咀嚼回数の増加率はパターン A が 20%、パターン B が 15%、パターン C が 13%となり、パターン A とパターン B 及びパターン A とパターン C では有意差が見られたものの、パターン B とパターン C では有意差が見られなかった。また、フィードバックの種類ごとの咀嚼回数の増加率が変化する要因としては、フィードバック画面において、ユーザに対して「噛む」ということを意識させることのできる情報量が多いことや画面の見易さが挙げられる。前者においては、パターン A とパターン B でのフィードバックによる情報量がパターン A の方が多く、結果としてパターン A のフィードバックによって有意に咀嚼回数が多くなったからである。後者においては、フィードバック内容が同じであるパターン A とパターン C だが、スマートフォンを使用してフィードバックしているパターン A の方がスマートウォッチを使用してフィードバックしているパターン C よりも有意に咀嚼回数が多いからである。

主観評価の結果によると、被験者が発話に対して意識していることがわかる。また、フィッシャーの正確確率検定より、パターン E とパターン F に有意的な差がある傾向が示されたことに関して、パターン F の場合では目線を少し外してしまうとフィードバックの意味を成さなくなる一方で、パターン E の場合だと強制的に意識させることができることが要因の一つであると思われる。

6. まとめと今後の展望

日常生活の中で使用可能な咀嚼促進システムとして、骨伝導マイクとスマートフォンを用いたリアルタイムでの咀嚼回数のフィードバックを提示するシステム、ならびに発話を促進するデバイスを提案した。提案システムを実装するにあたり、咀嚼回数と発話の計測アルゴリズムを構築し、提案システムでの咀嚼回数と発話時間の判定精度、ならびに、提案システムからのフィードバックの有無が食事と与える影響を確認した。その結果、咀嚼回数は先行研究よりも約 5%高い約 96%の判定精度で判定することに成功した。一方、発話の精度は、Android 上は発話の測定精度も約 96%といった高い精度で測定することができ、Arduino・Tinyduino による発話に対してのフィードバックは、半数以上の被験者に発話を意識させることが可能になった。ま

た、フィードバックごとによって発話への意識の違いは存在し、本実験では、パターン F のフィードバックよりもパターン E のフィードバックの方が発話を意識させることが可能となった。発話に対するフィードバックでは、発話に関して意識させることはできたものの、主観評価による「今後、このシステムを使いたい」の項目で否定的な結果が多い傾向にあった。被験者からは、ただ振動を与えることや LED を光らせることだけでなく、それらを用いて何か達成できる目標を設定するべきではないかという意見が挙げられた。そのため、ユーザに対するフィードバックの内容に関して、実用性を考慮して開発することが必要である。

今後の展望として、ユーザに対して視認性及び効果が高いフィードバックの検討を進めるとともに、どの食材にも対応できるように閾値設定を変更可能にすることで、咀嚼回数の判定精度を向上させたい。また、提案システムについての長期実験を行い、有効性を検証したい。

参考文献

- [1] 厚生労働省: 国民健康・栄養調査報告(2014)
- [2] 花王健康科学研究: Kao ヘルスケアレポート, 「よく噛んで味わって食べる効用-メタボリックシンドロームと肥満の予防対策」, 2007, 12月 28日発行.
- [3] 岸田典子, 上村芳枝: 学童の食事中における会話の有無と健康及び食生活との関連, 栄養学雑誌, (Vol.51), pp.23-30 (1993).
- [4] Amft, O., et al.: Wearable Eating Habit Sensing System Using Internal Body Sound, Proceedings of 7th International Conference on Ubiquitous Computing, pp.56- 72 (2005).
- [5] Zhang, H., Lopez, G., Shuzo, M., et al., "Analysis of eating habits using sound information from a bone-conduction sensor," in proc. of the IADIS International Conference e-Health 2011, pp.18-27 (2011).
- [6] 宇野修司, 有泉亮, 金田重朗, 他: 骨伝導マイクとスマートフォンを用いた咀嚼回数指導方式の提案, 人工知能学会全国大会論文集 24 回, pp.1-4 (2010).
- [7] 井上亮文, 山崎滉峻, 星徹: 拡張現実感による食品咀嚼回数の増加手法, 情報処理学会研究報告, Vol2016-GN-97 No.35(2016).