

咀嚼回数向上支援システム

三井秀人¹ 中野和哉¹ 磯山直也¹ ロペズ・ギヨーム¹

概要: 肥満は糖尿病や心疾患などの生活習慣病を引き起こす要因とされており, 厚生労働省はこの予防のために対策を行っているが, 10年前から肥満患者の数は減少していないのが現状である. 肥満対策の1つとして, 咀嚼回数を増やすことが挙げられる. 肥満は早食いの人に多い傾向にあるため, ゆっくりよく噛んで食事をするのが重要である. そこで, 本研究では, 日常的に扱うことのできるデバイスを用いて, 咀嚼回数向上を支援するシステムを提案する. 本システムにより, 日常的に咀嚼を意識させ, 咀嚼回数向上の支援を図る. 実際に咀嚼回数が増加するかを評価するための実験を行った結果, 本提案システムを利用することが咀嚼回数向上の支援に有効であることが示された.

Chewing times increase support system

HIDETO MITSUI¹ KAZUYA NAKANO¹ NAOYA ISOYAMA¹
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が減少していないことが示唆されている[1]. 肥満対策として, 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. この中でも, 日常的に行われている咀嚼回数を増やすという点に注目した.

肥満と咀嚼の関係として, 時間をかけてよく噛むことにより, 脳の働きが活発になり, 満腹中枢や交感神経を刺激することで, 食欲を抑えるホルモンを分泌するため, 肥満を抑制出来ることが知られている[2]. また, 早食いの人は肥満が多い傾向にあることが示されているが[3], これは早く食べることにより, 食事量の増加を引き起こしていることが原因である. これより, 肥満の予防にはゆっくりとよく噛んで食べるのが重要であると考えられる.

本研究では, 日常生活で扱えるデバイスを用いて, リアルタイムで咀嚼を解析し, フィードバックを返す手法を提案する. 本システムによって, ユーザに咀嚼に関して意識させ, 咀嚼回数を増加させることを目的としている. さらに, 一般的に食事中には咀嚼だけでなく, 会話も行っているため, 咀嚼回数に加えて, 発話時間も抽出した.

本論文では, 提案手法に対するシステムの開発と咀嚼回数増加への影響について評価実験を行い, 提案手法の有効性について調査した結果を述べる.

2. 関連研究

咀嚼に関する研究として, 宇野氏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[4]. しかし, システムを実現させるためにチャージアンプやPCを用いているため, 日常生活で扱うのは困難である. また, 咀嚼音のみを想定したシステムであるため, 発話を行った場合などには対応できていない.

また, 日本かみかみクラブによってかみかみセンサ[5]と呼ばれる装置が開発され, 商品化されている. かみかみセンサは, 子供たちの噛むことへの意識を高め, よく噛む習慣を自然に身に付けてもらうことが目的とされている. 顎の下にあるセンサを用いることによって, 咀嚼をカウントする装置である. この商品のシステムでは顎の下にセンサによって, 顎の筋肉動作の違いなどを検知することで, 咀嚼と会話を判断し, フィードバック画面に咀嚼回数を表示する. しかし, 顎にセンサが当たるように装着しなければならないので, ユーザは食事中に違和感を覚えたり, 食べ方や食べる姿勢が悪いうまく咀嚼をカウントできなかったりする問題点がある.

これらの共通点として, 装置が大きく, 日常的に用いることに適していない点である. そこで本研究では, スマートフォンと骨伝導マイクロフォンを用いる手法を提案する. これらの器具は小型であるため, 日常的にも使用しやすく, ユーザは違和感を覚えることなく咀嚼回数をカウントできると考えられる.

さらに, Amft・Zhang・Shuzo らによる周波数領域を用いた解析や48Khz サンプリング可能な高性能マイクを用いた研究があるが[6][7][8], いずれもリアルタイムでの解析が

¹ 青山学院大学 理工学部 情報テクノロジー学科

できないことが問題点として挙げられているため、その点においても提案システムで改善していく。

3. 提案システム

本研究では、被験者が骨伝導マイクを装着し、食事を行う。食事時の音声情報を、装着した骨伝導マイクから取得し、Bluetooth で接続されたスマートフォン上に送信する。その後、スマートフォン上で解析を行い、結果を画面に表示することで咀嚼回数向上の支援を図る。本研究で使用する骨伝導 Bluetooth マイクは MOTOROLA Finiti HZ800 Bluetooth Headset (Motorola)、スマートフォンは Moto G (Motorola) を用いる。実験風景とフィードバック画面を図 1 に示す。

咀嚼回数と発話時間の計測アルゴリズム全体の流れを以下に述べる。はじめにユーザは骨伝導 Bluetooth 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す。その後、ユーザによって咀嚼や発話が行われた際の音声を取得し、その解析結果の提示を行った後、計測終了となる。音声の解析は音声を取得した後、音声データに対して Short-Term Energy を用いる。その式は、処理したい信号を s 、サンプル数のシフトを n 、窓関数を $w(n)$ 、として式(3.1)に示す[9]。

$$e(n) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} (s(m) \cdot w(n-m))^2 \quad (3.1)$$

Short-Term Energy は信号に用いることで、信号を波形化する際に波の大きさ・小ささがはっきりわかるため、特徴が把握しやすくなる。そのため、本実験によって取得した音声データの波形を簡潔にし、波形が見やすくなることで、咀嚼の特徴を理解しやすくするために用いる。また、本実験で用いる Short-Term Energy におけるウィンドウ幅は 0.08sec、シフト幅 0.02sec とする。Short-Term Energy によって得られたデータに対し、あらかじめ設定されていた閾値を用いて咀嚼のカウントと発話時間の計測を行う。図 2 のように閾値を超えた場合は、咀嚼と発話時間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断される。咀嚼のカウントは音声データが指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アプリケーション画面に表示させる。

提案手法の評価実験を実施するにあたり、咀嚼と発話時間の計測に必要な閾値を定めるための実験を前実験として行う。然る後、提案手法による実験を行う。以上の 2 実験によって本システムの有効性について調査する。



図 1 実験風景 (左) とフィードバック画面 (右)

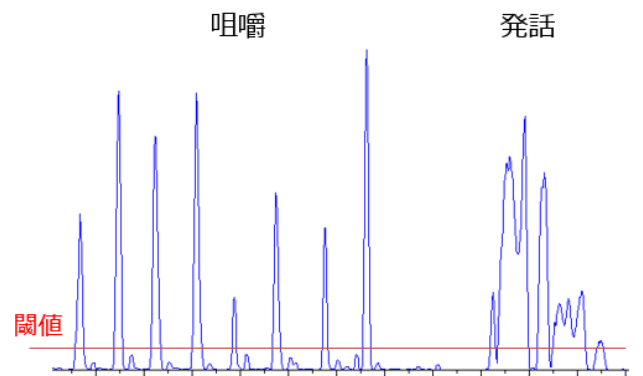


図 2 咀嚼・発話の判定

4. 閾値設定及び精度検証実験

4.1 実験内容

咀嚼・発話時間の判定の閾値を決定するために、被験者に特定の食品を食べてもらい、その咀嚼音から閾値の設定を行う。本実験は閾値設定実験と閾値精度検証実験の 2 段階構成となっており、閾値設定の実験を 22 歳の男性 2 名、閾値精度検証実験を 22 歳から 23 歳の男性 19 名、女性 1 名を被験者として行う。被験者は Bluetooth 骨伝導マイクを装着し、指定された食品を意識しながらよく咀嚼する。閾値設定実験では、被験者にハッピーターンを咀嚼するよう求める。咀嚼する食品をハッピーターンとした理由として、ハッピーターンのようなせんべい菓子は柔らかい食べ物に比べて咀嚼音が大きく、音声データを波形表示した際に特徴を把握しやすいからである。

ハッピーターンを咀嚼した際に取得した音声を録音し、音声情報の波形解析を行う。咀嚼回数の真値は、被験者が咀嚼している様子をビデオ撮影し、実験後に実験者が目視によるカウントを行う。そのデータから、音声データによって咀嚼回数が正しくカウントされるよう閾値を設定する。

次に定められた閾値の精度検証を行う。閾値精度検証実験では閾値設定実験の際と同様に、被験者にハッピーターンを食べるよう求める他に、柔らかい食べ物でもハッピー

ターンによる閾値が適用できるか検証するべく、被験者におにぎりを咀嚼するよう求め、その精度の検証を行う。

4.2 精度検証実験結果

設定された閾値が正しく咀嚼回数を計測しているかどうかを検証した結果を表 1、表 2 に示す。表 1 より、相対誤差が約 20% であり、従来手法のかみかみセンサの相対誤差が 30% であるため、誤差が小さく精度がよくなっている。表 2 の場合、1 口目・2 口目・3 口目の相対誤差はかみかみセンサより低くなっているため、誤差が小さく精度がよいことがわかる。20% の相対誤差が出た原因として、試行回数が少ないこと・マイクからノイズを拾ってしまうこと・発話の部分が咀嚼と判断されてしまうことが挙げられる。しかし、従来手法よりも高い精度を得ることが出来たため、本実験ではこの閾値を適用する。閾値は 0.2 とする。

5. 咀嚼回数フィードバック実験

5.1 実験内容

本実験の目的は、提案手法の精度を確かめることに加え、スマートフォンを用いて、咀嚼回数と発話時間のフィードバックを返した場合に、食事の被験者の咀嚼回数が改善されるかを調査することである。

本実験では、21 歳から 23 歳の男性 19 名、女性 1 名の合計 20 名を被験者とする。被験者は閾値精度検証実験の 20 名とは異なる人物とする。順序効果も観察するため、2 種類の実験を被験者ごとに順序を変え、それぞれ 10 回ずつ行う。咀嚼回数と発話時間の真値は、ビデオカメラによって録画したビデオ映像を目視によって計測を行う。食事内容は閾値精度検証実験と同様におにぎりとし、被験者の食べる量を統一するために、各実験で 2 つずつとする。

5.2 フィードバックを返さない場合の実験

フィードバックを返さない場合の実験では、被験者に Bluetooth 骨伝導マイクを装着した状態でおにぎりを 2 個食べてもらい、その咀嚼回数と発話時間を計測する。実験の流れとしては、Bluetooth 骨伝導マイクを装着し、食事を開始。食事で咀嚼を確認しながら、実験者の指示に従って数回の発話を行い、おにぎりを 2 つ食べ終えた時点で食事終了となる。

表 1 ハッピーターンを 1 枚食べた際の結果

	咀嚼(回)	発話時間(秒)
真値	24	2.50
提案手法	29	2.88
誤差	+5	+0.33

表 2 おにぎりを 3 口食べた際の結果

	1 口目(回)	2 口目(回)	3 口目(回)
真値	27	38	24
提案手法	25	34	23
誤差	-2	-4	-1

実験中に被験者が行う発話のタイミングと内容を表 3 に示す。発話内容は日常生活において食事中に話す内容を想定したものである。発話の指示は経過時間によって行うが、被験者が咀嚼中だった場合、その咀嚼中の食べ物を嚥下し、口の中に食べ物が残っていない状態になってから発話を行うようにする。また、食事終了後のアンケートでは、各質問項目に対して、「まったく思わなかった」、「あまり思わなかった」、「どちらとも言えない」、「そう思う」、「非常にそう思う」の 5 件法により評価を行う。質問の内容を表 4 に示す。フィードバックを返さない場合の実験では質問番号 1-4 までの質問を行うものとする。

5.3 フィードバックを返す場合の実験

フィードバックを返す場合の実験では、フィードバックを返さない場合の実験に追加し、食事している中で被験者にスマートフォンを用いて咀嚼回数と発話時間のフィードバックを返す。それに加え、被験者は食事中にスマートフォンに表示されるフィードバック画面を見ながら食事を行う。食事終了後、フィードバックを返さない実験同様、被験者に質問紙によるアンケートに回答してもらい、実験終了とする。アンケートの質問内容は表 4 の質問すべてとし、フィードバックを返さない場合と同様に 5 件法による評価を行う。

5.4 実験結果

2 種類の実験を被験者ごとに順序を変えて行ったが、便宜上、フィードバックを返さない実験の次にフィードバックを返す実験を行う場合をパターン A、フィードバックを返す実験の次にフィードバックを返さない実験を行う場合をパターン B とする。被験者 20 名に対し、2 種類ずつ計 40 回の実験を行い、咀嚼回数と発話時間の判定制度を求めた。その結果を表 5 に示す。それぞれの誤差は真値からの誤差に対して絶対値を取ったものであり、真値との差を求めている。

咀嚼回数に着目すると、個人によってばらつきは存在するものの、全体平均で 93% という高い精度で咀嚼回数が判定できていることがわかる。しかし、発話時間の判定精度を見ると、全体で 69% と低くなっている。

図 3 は実験結果となる各被験者の咀嚼回数を平均して表したグラフである。グラフを見てみると、咀嚼回数はフィードバックなしの場合より、フィードバックありの場合の方が増加していることがわかり、具体的に咀嚼回数は約 20% 増加したことがわかる。ウィルコクソンの符号付順位

和検定による有意差検定を行ったところ、フィードバックを返すことで、フィードバックを返さない場合よりも咀嚼回数が有意に多くなることが示された ($p<0.01$)。

フィードバックによって咀嚼回数を意識しているか調査するために行った実験終了後のアンケートの結果を、図4に示す。アンケート結果より、フィードバックがない場合より、フィードバックがある場合の方が「そう思う」、「非常にそう思う」と回答する人が多かったことがわかる。それに伴い「まったく思わなかった」、「あまり思わなかった」の割合が小さくなった。このことからフィードバックによって咀嚼が意識されているといえる。

5.5 考察

実験結果より、提案手法の咀嚼回数の精度は93%であった。これは、関連研究で述べた宇野氏らの研究での咀嚼回数の精度、約88.75%と比較すると、約5%精度がいいことがわかる。また、宇野氏らの研究がリアルタイムでなかったことから有用性があると考えられる。しかし、発話時間の精度は約69%と低い値になっている。精度が低くなった原因として、突発的なノイズの除去がうまくできていなかったことが挙げられる。そのノイズを発話と判定してしまい、誤差が大きくなってしまった。また、本手法では咀嚼と発話の判別は閾値を超えた値のみで判断しており、それぞれの閾値を定めたわけではなく、咀嚼の閾値を併用して用いていたことも要因として考えられる。このために映像による分析では発話と判断されたシーンでも、システム側では咀嚼と判定してしまう場合もあり、咀嚼と発話に対する判定方法はまだ改良していく余地がある。

表3 質問内容

経過時間	発話内容
1分	「どんな食事が好きですか。」 「私はおにぎりが好きです。」 「特にさけです。」
2分30秒	「どんな映画が好きですか。」 「私はアクション映画が好きです。」
4分	「この後何をしたいですか。」 「私は映画を見たいです。」

表4 実験アンケート内容

質問番号	質問内容
1	食事では噛むことを意識しましたか
2	装着デバイスに違和感はありましたか
3	食事は美味しかったですか
4	食事の量は多いと思いましたか
5	システムの画面は見やすかったですか
6	咀嚼を正しくカウントされていましたが
7	発話を正しくカウントされていましたが
8	今後、システムを使いたいと感じましたか

表5 提案手法による測定の誤差

	咀嚼回数	発話時間
平均	384 (回)	19 (秒)
誤差	24 (回)	5 (秒)
標準偏差	16 (回)	4 (秒)
判定精度	約93%	約69%

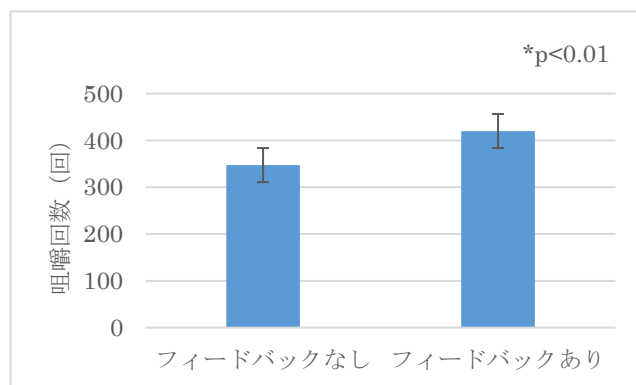


図3 各実験における咀嚼回数の推移の平均

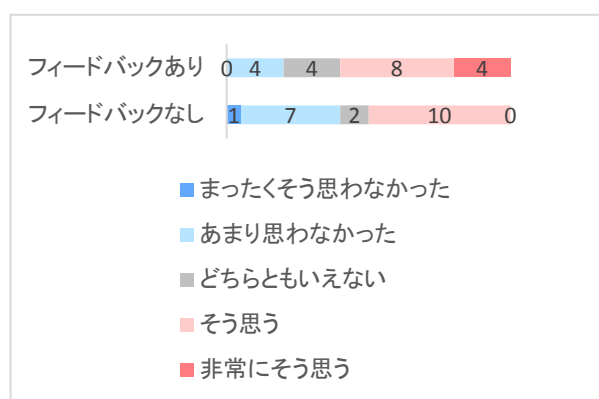


図4 実験後のアンケート結果

6. むすび

先行研究より手軽に扱える食事支援システムとして、スマートフォンを用いたリアルタイムでの咀嚼フィードバックシステムを提案した。フィードバックを返すことで食事を与える影響と提案システムの判定精度を確かめたところ、咀嚼回数は先行研究よりも約 5%高い約 93%の判定精度で判定することに成功した。しかし、発話の精度は 69%と低い精度になってしまった。本研究により、咀嚼回数のフィードバックを食事中的ユーザへ返すことによって咀嚼回数の増加が見込めることがわかった。また、日々の食事の中で時々咀嚼回数のフィードバックを行うだけでも咀嚼回数が上昇することも示唆された。例えば、朝の食事でもフィードバックを行うことで昼食や晩食でも咀嚼回数が向上する効果が期待できると考えられる。

本実験では食事中的行動に咀嚼と発話をはっきり区別するよう制約をつけていた。しかし、自由に食事を行った場合にはうまく判定できず、精度が悪くなる可能性がある。また、発話の判定精度も低いため、アルゴリズムを改善し、精度を高めていくことが必要とされる。

本研究では、食事中的咀嚼回数をフィードバックとして返しており、ユーザに咀嚼を意識させることができた。しかし、フィードバック画面に対する評価が低かった。このことから、単に咀嚼回数を返すだけでなく、適切にフィードバックを行う方法も新しく考察することで、ユーザの咀嚼回数を向上できるシステムに発展させる必要があると考えられる。ユーザに対してわかりやすいフィードバックで食事支援を行うことで咀嚼回数の向上を図りたい。

参考文献

- [1] 厚生労働省：国民健康・栄養調査報告（2014）。
- [2] 花王健康科学研究会：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年12月28日発行）
- [3] 安藤雄一，花田信弘，柳澤繁孝：「ゆっくりとよく噛んで食べること」は肥満につながるか？ヘルスサイエンスヘルスケア，pp. 54-63（2008）。
- [4] 宇野修司，有泉亮，金田重朗，芳賀博英：骨伝導マイクロ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）。
- [5] 日本かみかみクラブ
<http://かみかみ.com/index.html>.
- [6] Amft, O., et al, Proceedings of 7th International Conference on Ubiquitous Computing, Tokyo, Japan, pp.56-72, 2005.
- [7] H. Zhang, G. Lopez, M. Shuzo, J.J. Delaunay, I. Yamada, Proceedings of the IADIS International Conference e-Health 2011, e-Health 2011, Italy, pp. 18-27, 20-22 July 2011,

[8] Shuzo M., et al., Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, pp. 158-166, 2010.

[9] Sakshat Virtual Labs
<http://iitg.vlab.co.in/?sub=59&brch=164&sim=857&cnt=1>.