

青 山 学 院 大 学

理 工 学 研 究 科

理工学専攻 知能情報 コース

修 士 論 文

学 生 番 号 35623218

氏 名 大久保 紗恵

研究指導教員 ロペズ ギヨーム

Chewker
ネックレス型デバイスを用いた
食習慣改善システム

大久保 紗恵

2025/01/31

Graduate School of Science and Engineering, Aoyama Gakuin University

Title: Chewker: Eating Habit Improvement System using Necklace-type Device

Student Name: Sae Ohkubo

ID Number: 35623218

Degree: Master of Engineering

Course: Intelligence and Information

Thesis Advisor: Professor Guillaume Lopez

Abstract

Obesity may lead to lifestyle diseases such as diabetes and high blood pressure. Eating slowly and chewing well is essential to prevent obesity. Past studies revealed that conversation during the meal is related to health. So, increasing conversation during the meal is desirable. On the other hand, presenting information to eaters, such as chewing count in real-time, prevents them from eating too fast and improves their consciousness of eating activity.

This study developed Chewker, a system that detects eating behaviors in real time and provides feedback. Chewker combines two parts: a necklace-type device equipped with an IMU sensor, a piezo film sensor, an ultrasonic sensor to detect feeding, chewing, and swallowing, and a smartphone application that uses the microphone to detect talking and provide feedback. Since slow music has been shown to promote slower eating and increase chewing count, Chewker dynamically adjusts music playback speed in real-time based on chewing count and interval, slowing to 0.5x when these values fall below a threshold and returning to normal speed when they meet the criteria. After meals, the system provides feedback on various metrics, including total chewing count, chewing interval, and meal duration, storing data for long-term behavior tracking.

Evaluation of Chewker accuracy with 15 subjects showed high F1-scores of 0.84 for chewing and 0.83 for feeding detection but a lower F1-score of 0.64 for swallowing, highlighting the challenge of distinguishing swallowing from chewing remains.

An evaluation with 11 subjects showed that real-time feedback increased total meal duration for all subjects, total chewing count and chewing count per swallowing for 10 subjects, and chewing interval for eight subjects. Seven subjects showed a decrease in chewing count per feeding, but their feeding count increased, suggesting smaller bites and more frequent food intake. However, talking time decreased for many subjects, likely due to increased focus on chewing. The pre-experiment survey indicated that 10 subjects did not usually pay attention to chewing, but all reported greater awareness after using the system.

Future work includes long-term evaluation of real-time feedback effects, improvements in swallowing detection through enhanced calibration and design, and modifications to improve ease of use and comfort. Adding feedback to promote conversation will also be considered.

理工学専攻修士論文要旨

提出年度：2024年度

提出日：2025年1月31日

専修コース：知能情報コース

学生番号：35623218

学生氏名：大久保 紗恵

研究指導教員：ロペズ ギヨーム 教授

(論文題目)

Chewker ネックレス型デバイスを用いた食習慣改善システム

(内容の要旨)

肥満は生活習慣病を引き起こす恐れがある。早食いの人ほどBMIが高い傾向があり、ゆっくりよく噛んで食べることが肥満を予防するために重要である。また食事中の会話は健康に関連があることが分かっており、食事中の会話を増やすことが望ましい。さらに、リアルタイムで咀嚼回数などの食事に関する情報を食事者に提示することにより、早食いを防ぎ、食事行動に対する意識の改善を促すことが期待できる。

以上より本研究の目的は、食事行動の定量化によって食習慣に基づく食事中の行動への意識改善を行うことである。研究目的の達成のために、自然な食事環境下でリアルタイムに食事行動を検出し、検出された食事行動に基づいたフィードバックを行うシステム（Chewker）を提案する。Chewkerは慣性センサ、ピエゾフィルム、超音波センサが搭載されたネックレス型デバイス、およびスマートフォンのマイクの4つを用いてリアルタイムに食事行動を検出する。検出する食事行動は摂食・咀嚼・嚥下・発話の4種類である。ゆっくりとした音楽は咀嚼のペースを下げて、咀嚼回数、食事時間を増加させることから、リアルタイムでのフィードバックは音楽を利用する。嚥下のタイミングで、前回の嚥下からの咀嚼回数と咀嚼ペースの平均を算出し、どちらか一方、もしくは両者とも基準値に満たない場合、音楽が0.5倍速になり、両条件が満たされた場合は1.0倍速に戻る。食事終了後には、摂食・咀嚼・嚥下の回数、および、摂食間・嚥下間の咀嚼回数の平均、咀嚼ペースの平均、総食事時間、総食事時間に対する会話時間の割合をもとに食事全体に対するフィードバックを表示する。食事データは保存され、いつでも振り返りを可能にし、可視化した過去の推移を確認できる。

まず、Chewkerの食事行動検出精度を評価した。被験者15名に、ピーナッツを口に運び、20回咀嚼して1回嚥下するという一連の動作を3回計測した。咀嚼のF1値は0.84と高い精度を示し、摂食も0.83と安定した精度で検出できることができることが確認された。一方で、嚥下のF1値は0.64と他の行動に比べて精度が低く、咀嚼との誤検出が課題として挙げられた。

次に、Chewkerの有用性をリアルタイムフィードバックの側面から検証するために、被験者11人に對し評価実験を行った。Chewkerのリアルタイムフィードバック機能ありとなしのそれぞれの状態で同じお弁当を、日にちを変えて合計2回食べ、総食事時間・総咀嚼回数・摂食間・嚥下間の咀嚼回数、咀嚼ペース、会話時間の6項目の数値の変化を評価した。結果、Chewkerの利用により、総食事時間において全員が、総咀嚼回数・嚥下間の咀嚼回数において10名、咀嚼ペースにおいて8名の数値が上昇した。摂食間の咀嚼回数においては7名の被験者で減少が見られたが、この7名は摂食回数が増加しているため、一口あたりの食べ物の量が減少し、口に運ぶ回数が増えたことが考えられるため、良い変化と言える。会話時間の割合は減少している被験者が多く、リアルタイムフィードバックにより、会話よりも咀嚼に意識していると考える。事前アンケートでは「普段の食事で噛むことを意識していない」と回答した被験者が10名いたが、実験後には全員が「噛むことを意識した」と回答し、食事行動への意識の改善が明らかになった。

今後は、長期間の使用によるフィードバック効果検証を実施したい。また嚥下の検出精度に課題が残るため、キャリブレーションの改良や、デバイスの設計の見直しを検討したい。アンケートで「デバイスの装着が難しい」、「首が苦しい」という意見が寄せられたため、より簡単に装着でき、快適に使用できるよう改善する。さらに発話を促すリアルタイムフィードバックの追加を検討したい。

目 次

第 1 章 序論	3
1.1 研究背景	3
1.1.1 肥満者の増加	3
1.1.2 肥満と咀嚼の関係	4
1.1.3 食事行動と食事中の音楽の関係	5
1.1.4 肥満と食事中の会話の関係	6
1.1.5 食事行動認識の必要性	6
1.2 研究目的	7
1.3 本論文の構成	7
第 2 章 食事行動検出についての関連研究	8
2.1 食事行動検出・分類手法に関する研究	8
2.2 食事行動に関するフィードバックを用いた研究	13
2.3 関連研究についてのまとめ	16
第 3 章 Chewker: 食習慣改善システム	19
3.1 システムの概要	19
3.2 ネックレス型デバイスとスマートフォンの連携	22
3.3 Chewker の利用手順	24
3.4 食事行動検出のアルゴリズム	31
3.4.1 発話検出	33
3.4.2 摂食検出	34
3.4.3 咀嚼と嚥下の検出	36
3.5 咀嚼と嚥下の検出	36
3.6 フィードバックシステムの概要	38
3.6.1 フィードバック内容	38
3.6.2 音楽を用いたリアルタイムフィードバック	40
3.6.3 食事直後の視覚的フィードバック	44
3.6.4 過去のデータ参照の視覚的フィードバック	53
第 4 章 Chewker の食事行動検出精度評価実験	57
4.1 食事行動検出精度実験概要	57
4.2 食事行動検出精度実験手順	57
4.3 食事行動検出精度実験結果	57
4.3.1 摂食の検出精度	60
4.3.2 咀嚼の検出精度	61

4.3.3 嘔下の検出精度	62
第5章 Chewker のフィードバック効果検証	63
5.1 フィードバック効果検証概要	63
5.2 フィードバック効果検証手順	63
5.2.1 事前アンケート	65
5.2.2 SUS アンケート	67
5.2.3 Chewker についてのアンケート	67
5.3 フィードバック効果検証結果	70
5.3.1 全体の食事時間の結果	70
5.3.2 全体の咀嚼回数の結果	71
5.3.3 摂食間の咀嚼回数の結果	73
5.3.4 嘔下間の咀嚼回数の結果	76
5.3.5 咀嚼ペースの結果	78
5.3.6 会話時間の結果	79
5.3.7 SUS スコア結果	81
5.3.8 実験前後のアンケート結果	82
第6章 結論	87
6.1 まとめ	87
6.2 今後の展望	88
謝辞	89
参考文献	90
付録	95
付録 A	95
付録 B	96
付録 C	99

第1章 序論

序論では、本研究を実施するに至った背景と研究の目的、本論文の構成について述べる。本研究にかかわる社会的背景や技術的背景を述べ、研究の意義について論述する。そのうえで本研究で提案する自然な環境下での様々なセンサを用いた食事行動分類によるフィードバックシステムの必要性と利点について述べ、広範囲な研究範囲の中で、本研究がどのような位置づけであるかについて説明する。

1.1 研究背景

1.1.1 肥満者の増加

世界保健機関では BMI が 25 以上を過体重、30 以上を肥満と定めている。2016 年には 18 歳以上の 39 % が過体重、13 % が肥満であったことが分かっており、さらに 1975 年以降、世界的な肥満の数は約 3 倍となっている [1]。また、世界的に見ると低体重でなくなるよりも過体重、肥満でなくなっている人の方が多い。肥満は、ほとんどの体のシステムに影響を与える病気であり、糖尿病や高血圧などの生活習慣病を引き起こす恐れがある。世界的に肥満が増え問題となっている中、日本でも厚生労働省によって対策が講じられてきた。日本においては BMI が 25 以上の場合に肥満であると判定されるのだが、肥満の患者数は 10 年前から減少していないことが示唆されている [2]。図 1.1 から肥満者の割合は年数に対して大きな変動がないことが分かり、これは肥満者の割合が減少していないことを意味する。

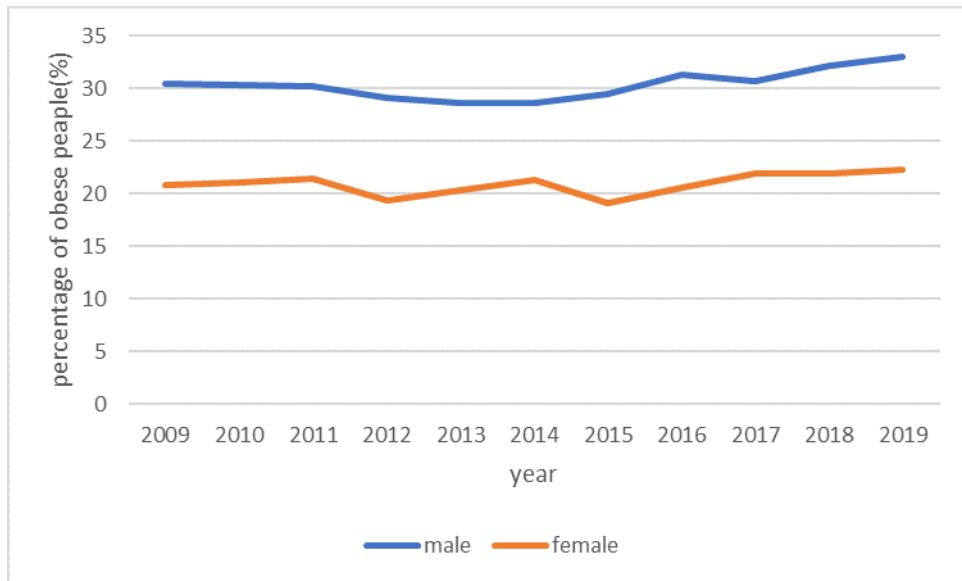


図 1.1: 日本の肥満率の年次推移（[2] をもとに作成）

1.1.2 肥満と咀嚼の関係

咀嚼とは口に取り込んだ食べ物を噛み碎くことである。また、日常生活においては食物を飲み込むのに適した性状に噛み碎き、唾液と混ぜる口の働きと定義されている [3]。よく噛むことで唾液が多く分泌され血糖値が早く上がり、その結果、満腹中枢に働くため空腹感が満たされる。そのため、肥満の予防にもなる [4]。また、図 1.2 より、食べる速さが早い人ほど BMI が高い傾向にあることが示されている [5]。これにより、早食いと肥満は強い関係にあることが分かる。これらのことから、肥満を予防するためにはゆっくりよく噛んで食べることが重要であると考えられる。

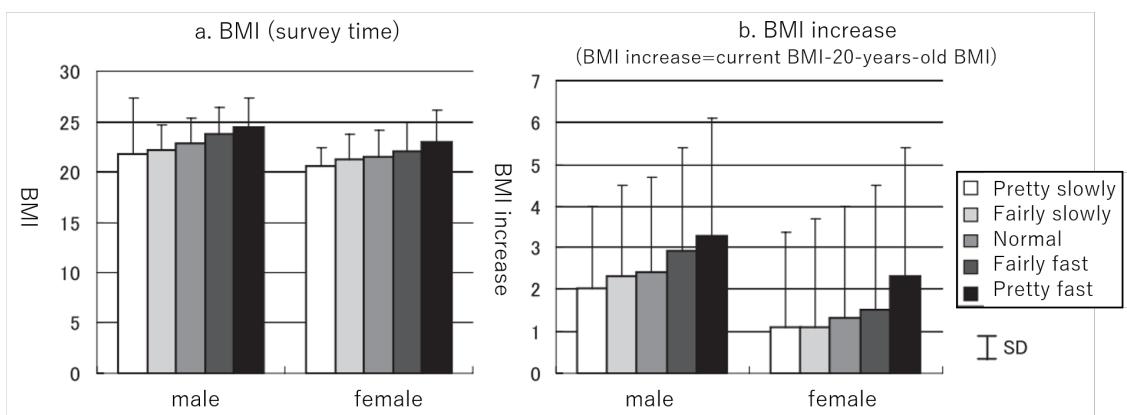


図 1.2: 食事速度別の BMI と BMI 上昇率（[5] から引用）

1.1.3 食事行動と食事中の音楽の関係

近年の研究では、食行動は個人の心理的・生理的状態といった内部要因だけでなく、周囲の環境要因（照明、色彩、温度、音楽など）にも影響を受けることが示されている。1986年の研究[6]では、Millimanは、レストランの客は遅い音楽を聴いているときの方が速い音楽を聴いている時よりも食事を終えるのに時間がかかったと結論付けた。

また、音楽のテンポが食事行動や感情に与える影響を調査した研究[7]では、遅いテンポの音楽を聴きながら食事をした参加者の方が、食事時間、咀嚼回数の合計、咀嚼時間の合計がすべて増加したことが確認されている。具体的には、124人の参加者を対象に、速いテンポ（145 BPM）と遅いテンポ（85 BPM）の音楽を聴きながら食事をする2つのグループに分けて実験を行った。その結果、遅いテンポの音楽を聴いた参加者は、食事時間が20%増加し、咀嚼回数が約30%増加し、総咀嚼時間が約24%増加した。さらに、遅いテンポの音楽は参加者をより落ち着かせ、平穏な気持ちにさせる効果があることが示された。

音楽の特定の要素、特にテンポとアーティキュレーションが食事時間に与える影響について調査した研究[8]では2つの実験が行われた。実験1では、テンポとアーティキュレーションが異なる2種類の音楽を用意し、チョコレートの試食と評価を行う際の食事時間を測定した。参加者は、自身の食事時間が計測されていることを認識していなかった。その結果、遅いテンポかつレガート（slow + legato）の音楽を聴いていた場合、速いテンポかつスタッカート（fast + staccato）の音楽を聴いていた場合と比較して、食事時間が有意に長くなることが確認された。実験2では、テンポとアーティキュレーションの相互作用についてより詳細に調査するために、無音の条件を加え、遅いテンポ+レガート、遅いテンポ+スタッカート、速いテンポ+レガート、速いテンポ+スタッカートの計5つの条件を設定した。その結果、テンポには主効果があり、遅いテンポの音楽を聴いていた場合のほうが速いテンポの音楽を聴いていた場合よりも食事時間が有意に長くなった。また、アーティキュレーションにはテンポとの交互作用が見られ、遅いテンポの音楽を聴いていた場合においてのみ、レガートの音楽を聴いていたときのほうがスタッカートの音楽を聴いていたときよりも食事時間が延長されることが示された。一方、速いテンポの音楽条件では、レガートとスタッカートの間に食事時間の有意な差は認められなかった。さらに、音楽の存在自体にも主効果が見られ、いずれの音楽条件においても、無音の条件で食事をした場合と比較して食事時間が有意に長くなった。これらの結果から、音楽のテンポは食

事時間を調整する環境要因の一つであり、特に遅いテンポの音楽は食事時間を延長させることができが示唆された。加えて、音楽の存在そのものが食事時間を延ばす効果を持つことが示されており、これらの知見は、ゆっくり食べることを促進し、過剰摂取を防ぐなど、より健康的な食習慣の形成に寄与する可能性がある。

1.1.4 肥満と食事中の会話の関係

近年、家族が揃って食事をする機会が減少し、ひとりで食事をする孤食が問題となっている。岸田らの調査によると、食事中の会話は健康に関連があることが分かっている[9]。食事中の家族との会話がある場合、生活習慣が規則正しく、食生活においても野菜をよく食べていたり、好き嫌いがないなど、健康状態である割合が高いことが示されたのだ。中岡らの調査からは、食事中のコミュニケーションの多さが児童の身体的・精神的健康の項目を含む生活全体を捉えたQOLの良好さに関連することが分かった[10]。また、森脇らが女子学生を対象に行った調査結果からは、小学生の頃に食事中に楽しい会話をよくしていた学生は健康状態が良い傾向があることが分かった[11]。特に家族での食事中の会話は重要である[12, 13, 14]。会話を伴う食事は、家族それぞれの経験を共有する機会となり、子どもは食事中の会話を通じてコミュニケーションスキルを身に付けることができる。

1.1.5 食事行動認識の必要性

近年Charge3(Fitbit製)やwena wrist pro(Sony製)に代表されるように、市販されているウェアラブルデバイスでは一日の消費カロリーの測定ができるため、これに関連した人間の活動レベルをモニタリングすることが可能である。しかし、自由な食事環境での食事行動を自動的に検出するデバイス、特に咀嚼とともに嚥下や会話などの複数行動を検出するデバイスはまだ市販されている状態はない[15]。また、食事行動の中でも咀嚼や発話を高精度に識別可能になり、リアルタイムでの咀嚼回数や会話時間の食事者への提示が可能となることで、咀嚼回数の増加や発話意識の向上など、食事に対する意識の改善が期待できる。先行研究では、実験室環境において、食事中にリアルタイムで咀嚼回数をフィードバックすることで咀嚼回数が増加することが示された[16]。

さらに食事の時間を楽しく過ごすためのテクノロジーとしてMeal Chatが開発されている[17]。これは、大学生が社交的になる機会を提供し、見知らぬ人と食事の時間を共有することへの心理的な壁を低くすることを目的としている。

1.2 研究目的

食事の際の咀嚼回数を検出可能になれば、食事者にリアルタイムで咀嚼回数が少ないことや早食いであることをフィードバックし、肥満の予防につなげることが可能である。また、食事中の会話も検出が可能になれば、フィードバックによって食事中の会話の増加を期待できる。さらに、咀嚼や嚥下、会話の他に食べ物を口に運ぶ行動である摂食、水分を嚥下した量など、より詳細な食事行動を識別することが可能になれば、食事者の健康促進に貢献できると考える。以上から本研究では、自然な食事環境下でのより詳細な食事行動の定量化とフィードバックによる食事行動への意識改善を目的とする。具体的な目的は以下の2点である。

1. 自然な食事環境下での、詳細な食事行動をリアルタイムに検出するシステムの実現。
2. 検出した食事行動に基づいて、フィードバックを提示することで、食事行動への意識改善を行うシステムの開発。

1.3 本論文の構成

第1章では、序論と題し本論文の研究背景、研究目的、そして本論文の構成について述べた。第2章では、関連研究や関連技術について説明する。第3章では、自然な食事環境下での様々なセンサを用いたリアルタイムでの食事行動検出、およびスマートフォンを用いた食習慣向上のためのフィードバックシステムについて述べる。第4章では、食事行動検出の精度評価と考察、および、フィードバックシステムの評価と考察を述べる。第5章では、本論文のまとめと今後の展望について述べる。

第2章 食事行動検出についての関連研究

第2章では本研究に関する先行研究や技術について述べる。まず、食事行動の検出方法や分類方法に関する先行研究について説明する。次に、食事行動に関するフィードバックを用いた先行研究を紹介する。最後に、本研究にかかわる研究や技術についてまとめ、先行研究での課題をまとめる。

2.1 食事行動検出・分類手法に関する研究

Zhang らは、食べ物を咀嚼することをセンシングするために、食事をモニタリングするためのスマートグラス「Smart eyewear」を提案した[18]。提案されたスマートグラスは図2.1に示すように、3Dプリントで製造され、マイクロコントローラ、EMG電極を収納している。電極の配置を分析し、側頭が電極を配置する際に最適であることが確認された。装着例を図2.2に示す。咀嚼の検出は、適合率と再現率が80%に達した。また、5種類の食品の分類精度は63%から84%の範囲であった。



図 2.1: 「Smart eyewear」
([18] から引用)



図 2.2: 「Smart eyewear」装着イメージ
([18] から引用)

Chun らは食事を検出するネックレス型デバイスを提案した[19]。ネックレス型デバイスは、近接センサ（proximity sensor）、BLE モジュール、マイクロコントローラ（mi-

crocontroller) からなるウェアラブルデバイスである。図 2.3 にデバイスを、図 2.4 に装着例を示す。近接センサは顎骨 (jawbone) までの距離から動きを捉え、食事行動と非食事行動を区別する。実験環境では、食事行動の検出が適合率 (precision) 91.2 %, 再現率 (recall) 92.6 % と良い結果を示したが、自然な環境では適合率 78.2 %, 再現率 72.5 % と、実験環境に比べて 10 % 以上劣る結果となった。自然な環境での結果が実験環境と比べて劣る原因として、バドミントンやスケートボード (badminton and skateboarding) などのスポーツをしたことでデバイスが動き、センサが顎を捉えられなくなったことなどが挙げられている。



図 2.3: Chun らが提案する
ネックレス型デバイス
([19] から引用)



図 2.4: デバイス装着イメージ
([19] から引用)

Zhang らは食事行動検出のためのマルチセンサネックレス「NeckSense」を開発した [20]。ネックレス型デバイスは近接センサ、環境光センサ、慣性計測ユニット (IMU) センサを内蔵している。近接センサでデバイスと着用者の顎の距離を計測することで咀嚼行動を検出し、環境光センサで着用者が食物を口に運ぶ摂食行動を捉える。また、IMU センサで食事をとる際の前傾姿勢の動きを捉える。システム概要を図 2.5 に示す。このシステムで F1 値 73.7 % の咀嚼検出精度、77.1 % の自然環境下での食事エピソード検出を達成した。

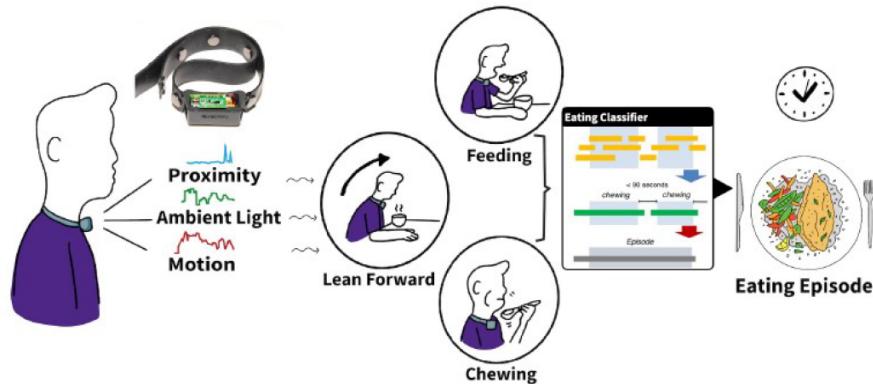


図 2.5: マルチセンサネックレス「NeckSense」概要
([20] から引用)

Chun らは、口腔内用 1 センチ未満のワイヤレスセンサによる食品種類分類手法を提案している [21]. 食べ物摂取時に口腔内の平均の温度変動の範囲を超えることを利用し口腔内をセンシングしている. システムはワイヤレス通信が可能であり、温度センサが内蔵されているマイクロコントローラー、加速度センサ、バッテリーによって設計されている. センサの取り付け方法は個人に特化したものとなっており、マウスピースに埋め込むことで歯に固定する. 図 2.6 にセンサと口の中に入れる型を示す. 様々な温度やテクスチャの全 9 種類の食品を水分含有率や温度などから 5 クラスに設定し分類する. 温度に関する特徴量のみを用いた場合に 77.5 % の精度、温度と加速度に基づく特徴量を用いた場合に 85.0 % の精度を達成した. さらに日常生活における食事の検出は precision93 %, recall96 % と高い精度を達成している.



図 2.6: 使用しているセンサとセンサをマウスピースで口腔内に装着した様子
([21] から引用)

Amft らはマイクロフォンを用いた咀嚼音の解析を行った [22]. その結果、耳の内側にマ

イクロフォンを配置することによって質の高い咀嚼音を取得できることが分かった。99 % の精度で食事の識別ができる、80 % 以上の精度で4種類の食べ物を分類することができた。

Bi らは、食事行動を自動で認識するウェアラブルデバイス「Auracle」を提案した[23]。Auracle はコンタクトマイク、マイクロコントローラ、それらを結ぶアナログ回路が内蔵されており、コンタクトマイクは耳の後ろ側に配置するよう設計してある。図 2.7 に Auracle とその装着例を示す。Auracle は自由な生活環境下で、食事行動の検出ができる、92.8 % の精度と 77.5 % の F1 値を達成した。

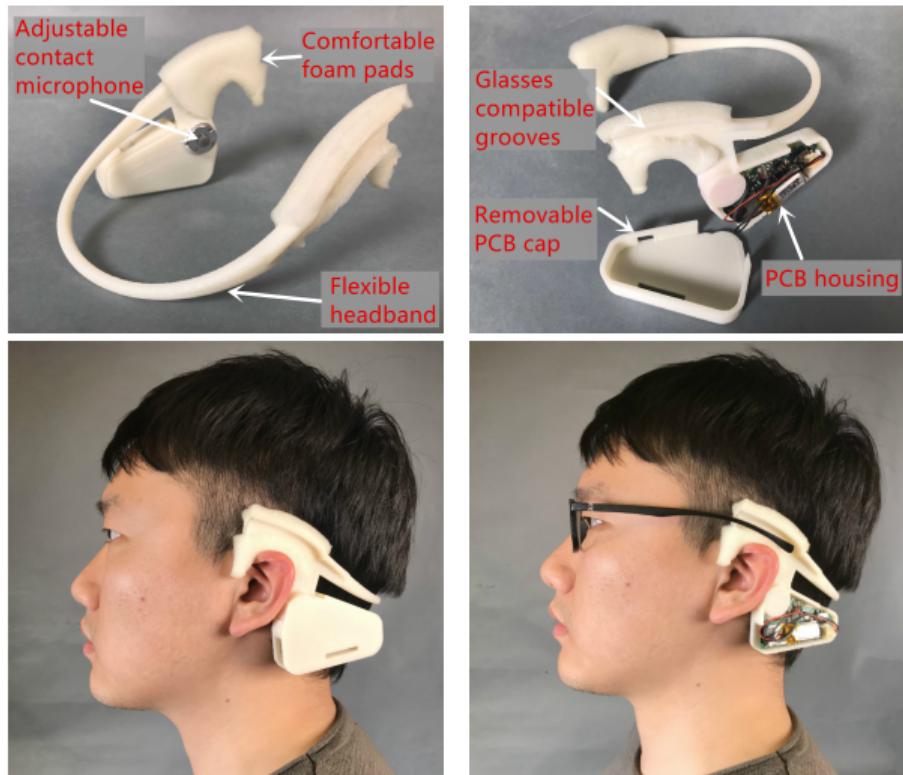


図 2.7: 「Auracle」の装着イメージ ([23] から引用)

Shuzo らは図 2.8 に示した骨伝導マイクロフォン利用した IC レコーダーを用いて食習慣分析を行っている[24]。音声データから FFT を用いてパワースペクトルを計算し、そこから得られる最大の周波数などの特徴量を用いて4つの状態（かたい食べ物を食べている、柔らかい食べ物を食べている、水を飲んでいる、しゃべっている）(eating a hard food, eating a soft food, drinking water, speaking) に分類し、各状態に対して 80 % 以上の分類をすることができた。しかし、解析のために PC、サンプリングレート 44.1kHz の骨伝導マイクロフォンを用いているため、手軽に扱うことが難しい。また、日常生活で扱うこと考慮するのであれば、Bluetooth 接続した骨伝導マイクロフォンを用いる必要がある。

あり、Bluetooth 接続が可能な機器はサンプリングレートが 8kHz の物が多いため、それに合わせたアルゴリズムが必要となる。

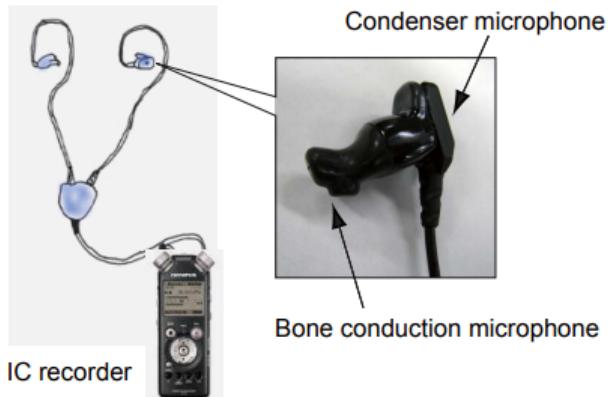


図 2.8: 骨伝導マイクロフォン利用した IC レコーダー ([24] から引用)

三井らは、食行動を改善するために骨伝導マイクロフォンを用いて咀嚼回数と発話状態をリアルタイムで判定し、ユーザにフィードバックするシステムを提案した [16]。リアルタイムでの咀嚼の判定精度が約 91 %、発話時間の判定も約 96 %と高精度での判定ができた。しかし、特定の食材でしか実験が行われていないことや、発話の方法が実験者の質問への返答など、自然な食事環境下での実験はまだ行われていない。

Bedri らは、食事行動を追跡するための眼鏡型デバイス「FitByte」を開発した [25]。このデバイスには、咀嚼を検出するための 4 つのジャイロスコープ、嚥下および咀嚼音をモニタリングする高精度加速度センサ、手を口の方へ動かすの動作を検出する近接センサ、および撮取した食べ物の映像を記録するカメラが搭載されている。このデバイスは、食事行動を 94.1 % の精度で認識し、食事エピソードの時間を 96.3 % の精度で推定することが可能であることが示された。

Papapanagiotou らは、音声、PPG、および加速度を用いて食事行動を検出するイヤーデバイスを開発した [26]。このデバイスは、耳内に配置されたマイクと PPG センサで構成されており、図 2.9 にその外観が示されている。彼らは、新しい高精度かつ低サンプリングレートを備えた咀嚼検出システムのプロトタイプを提案した。特徴量を抽出し、スナッキング検出をサポートベクターマシン (SVM) で分類する手法を採用した。このシステムは、93.8 % の精度と 89.2 % のクラス加重精度を達成した。

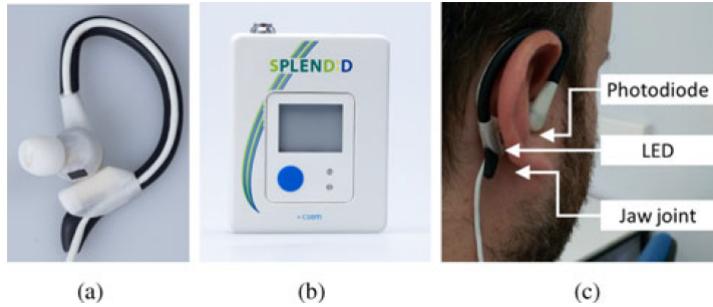


図 2.9: マイク, データ記録用装置, イヤーデバイス装着イメージ ([26] から引用)

Chen らは, 制御された環境下で食事行動を捉えるための食事認識システム「ChewPin」を提案した [27]. 食事音を記録するためにデュアルマイクロフォン拡張ボードを使用した. 分類手法には, メルスペクトログラムを入力とする畠み込みニューラルネットワーク(CNN)が採用された. このシステムは, 食事認識において 98.23 % の精度を達成した.

2.2 食事行動に関するフィードバックを用いた研究

三井らは, 咀嚼および会話のフィードバックシステムを提案した [16] (2.1 でも言及). 彼らは食事音を利用して咀嚼および会話を検出した. フィードバックは, 咀嚼回数やその総数に応じてゲージや画像を変化させる形でスマートフォンやスマートウォッチに表示された. また, 会話のフィードバックは振動や光によって提供された. フィードバックがある場合の総咀嚼回数は, フィードバックがない場合と比較して有意に増加した. しかし, 実験では被験者が実験者からの質問に答える形で話をするため, 自然な会話とは言えない.

Arnold らは, 実際の食事を伴う仮想現実(VR)ゲームを開発した [28]. プレイヤーの頬に装着したマイクを用いて咀嚼音を検出し, 食事行動を感知する仕組みである. 咀嚼動作は, 音の大きさを用いて検出される. 具体的には, 咀嚼の開始時に一定の閾値を超え, 終了時に別の閾値を下回るまでの経過時間によって咀嚼が判断される. このゲームでは, 非 VR プレイヤーがプレイヤーに実際の食べ物を与え, プレイヤーはそれを食べながら, 仮想の島からの脱出を目指す. 島に隠された信号拳銃を見つけることで生存し, 脱出を図る(図 2.10 参照). 咀嚼をするたびにプレイヤーの視界が徐々に広がり, 完全な視界が得られるようになる.



図 2.10: VR ゲームプレイイメージ ([28] から引用)

Kim らは、スマートな食事速度ガイドシステム「Slowee」を提案した [29]. このシステムは、センサユニットとフィードバックデバイスユニットで構成されている。センサユニットは、咀嚼を検出するためのヘッドフォン型 EMG センサと、嚥下を検出するためのネックレス型ピエゾセンサでユーザーの食事行動を測定する（図 2.11 に示す）。フィードバックデバイスユニットは、視覚的フィードバックを提供するライトと、触覚的フィードバックを提供する振動付きリストバンドを備えている。図 2.12 はこのシステムの使用例を示している。咀嚼行動の認識精度は 93.8 %、嚥下行動の認識精度は 79.4 % であった。テストの結果、このシステムは総咀嚼回数および 1 回の嚥下あたりの咀嚼回数を有意に増加させることができた。さらに、Kim らはアニメーション絵文字およびスマートウォッチを利用した食事速度ガイドのフィードバックシステムも提案している [30, 31]。絵文字フィードバックでは、アニメーション画像で食事状況を表示した。スマートウォッチベースのフィードバックでは、グラフィック、テキスト、時計、振動の 4 種類を提案した。グラフィック型は画像を表示し、テキスト型は文字や色の変化を表示する。時計型は現在時刻を色の変化とともに表示し、振動型は速い食事速度を検知した際に振動を提供する。しかし、このフィードバック方法は導入段階に過ぎない。

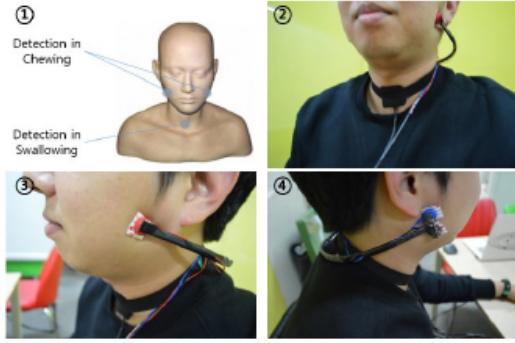


図 2.11: システムのセンサユニット
(quoted from[29])



図 2.12: システムのフィードバックデバイスユニット (quoted from[29])

元川らは皿駆動型食事阻害システムとして MealJammer を開発した [32]. 図 2.13 には使用時のイメージが、図 2.14 にはこのシステムの構成が示されている。電磁石を用いて皿デバイスを駆動させることで食事を阻害するシステムである。皿デバイスの裏面中央に装着された圧力センサで載せた食品の重さを計測し、皿デバイスの下にあるランチョンマット部に電磁石が配置してある。食品の重さが任意の重さ以下になると、2つの電磁石が交互に動作し、皿デバイスが左右に揺れる。チョコレートとキュウリの2種類の食品で提案システムの有無による食事時間の比較を行っている。キュウリでは9割が、チョコレートでは半数以上がシステムを用いることによる食事時間の増加が確認されている。

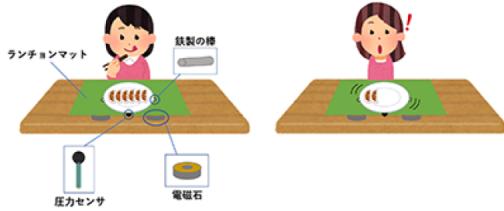


図 2.13: 皿駆動型食事阻害システム
使用イメージ
([32] から引用)

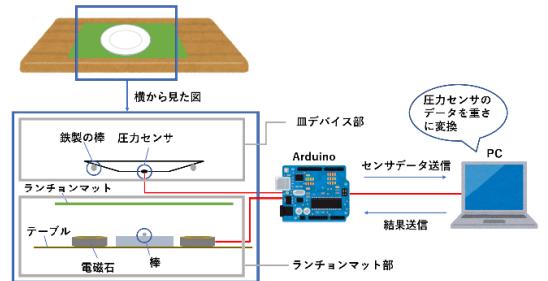


図 2.14: 皿駆動型食事阻害システムの構成
([32] から引用)

蒲地らは食事音声を用いた食習慣改善システム「ChewReminder」を提案した [33]. 食事中の骨伝導音を自動セグメンテーションし、抽出した特徴量より分類モデルを用いて食事行動を予測するアプリケーションを作成し、取得した一口ごとの咀嚼回数に応じてスマートウォッチによるリアルタイムフィードバックを行うシステムを提案した。さらに食

事後にはスマートフォン上に食事全体に対するフィードバックも表示される。アンケートの結果から早食いの自覚がある人に有効であることが示された。長期の実験より、スマートフォン上に食事後に表示されるフィードバックも食事行動の改善に有効であることが確認できた。しかし嚥下の検出のF1スコアが41%と低いことや、摂食タイミングを検出していないこと、スマートフォン、イヤホン、スマートウォッチの三つもデバイスを使うことなどが課題として挙げられる。

中岡らは、人々がゆっくり食事をすることを促し、より健康的な食習慣を推進するシステム「eat2pic」を開発した[34]。このシステムは、センサ付き箸とデジタルキャンバスで構成されており、図2.15にその構成を示す。彼らは、ユーザーの食事行動を物理的な世界でモニタリングし、それをデジタルの絵画世界に反映させるナッジングシステムを設計した。箸にはIMUセンサと小型カメラが搭載され、時系列信号処理や深層学習ベースの画像認識を用いて、ユーザーの食事速度、選択した食べ物の種類（色）、および摂取した量を認識する。このシステムは、健康的な食事のプロセスを風景画に徐々に色付けすることで表現し、ユーザーの健康的な食習慣を促進する。図2.16は、このシステムのリアルタイム視覚フィードバックの例を示している。このシナリオでは、デジタルキャンバスはダイニングテーブルの隣の壁に設置される。ユーザーは風景画を眺めながら食事を楽しむことができる。

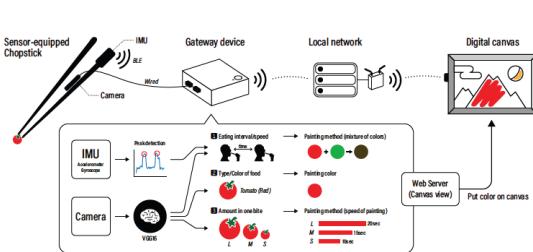


図 2.15: 「eat2pic」システム概要
([34] から引用)

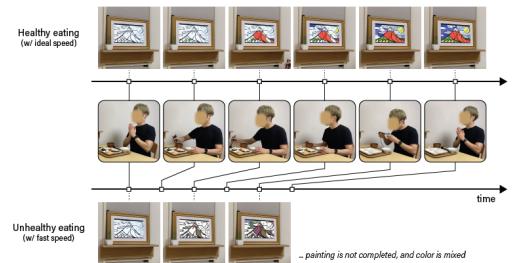


図 2.16: デジタルキャンバスの描画イメージ
([34] から引用)

2.3 関連研究についてのまとめ

様々なセンサを使ったオリジナルデバイスが開発されている。Chunらが提案したネックレスタイプのデバイスは、一日中装着し、食事行動と非食事行動を区別することができる。しかし、食事中の複雑な行動を分類することはできず、自然な環境下では非食事行動を食

事行動として誤認識する問題がある。Zhang らが開発した NeckSense は、食事活動や食事エピソードを検出するためのマルチセンサネックレスであるが、自然環境下での咀嚼検出の精度が低く、咀嚼や嚥下以外の食事活動を検出することはできない。他の多くの先行研究も、咀嚼および嚥下行動の検出精度が十分ではない。さらに、いずれのシステムも、摂食、咀嚼、嚥下、および会話という 4 つの複雑な食事行動をすべて認識することはできていない。また、フィードバック方法が食事中に画面を注視する必要があるもの、食事行動検出、フィードバック提示のために複数の特殊なデバイスを必要とするものなど、様々な課題があげられる。先行研究により、様々なセンサによって食事行動の検出が可能であることと、フィードバック提示によって咀嚼回数が増えるなどの早食いを防止する効果があることが言える。そこで、リアルタイムでの詳細な食事行動分類と振動によるフィードバックの提示を一つのデバイスで実現する、ネックレス型デバイス、「Chewker」を 2023 年に提案した [35]。システム概要を図 2.17 に示す。IMU、ピエゾフィルム、ToF、マイクの四つのセンサを用いて咀嚼や嚥下などの食事行動を検出した。また、1 口の咀嚼回数が少ない場合に振動のフィードバックをリアルタイムで提示し、食事後には M5StickC の画面上に食事全体のフィードバックを提示している。ただし、Chewker の課題として、咀嚼判定で用いるセンサ値の閾値が一定であるため、咀嚼判定の個人差が多いことや、振動によるリアルタイムフィードバックはユーザが慣れてしまうことが課題として挙げられる。さらに、食事後のフィードバックでは直前の食事一回のみの情報が小さい画面に表示されるため、情報が少ない上に見づらく、ハードウェアに関しても、見た目の悪さや装着感の悪さがあることが分かった。本論文では、本節で述べた課題の解決に向け、「Chewker」をさらに進化させたシステムを提案する。新しい「Chewker」はキャリブレーションを取り入れることで、食事行動検出の個人差をなくす。1.1.3 節で述べたように、音楽の存在そのものが食事時間を延ばす効果を持つことや、ゆっくりとした音楽は咀嚼のペースを下げて、食事時間を増加させることから、リアルタイムフィードバックで音楽を利用する。音楽によるフィードバックは画面を注視する必要がなく、食事の邪魔にならない。また、食事後の視覚的フィードバックはスマートフォンの画面で表示し、過去の食事データの参照を可能にする。ハードウェアに関しても、装着感、見た目を向上させ、正しく装着することで誰でも高い精度で食事行動の検出を可能にする。

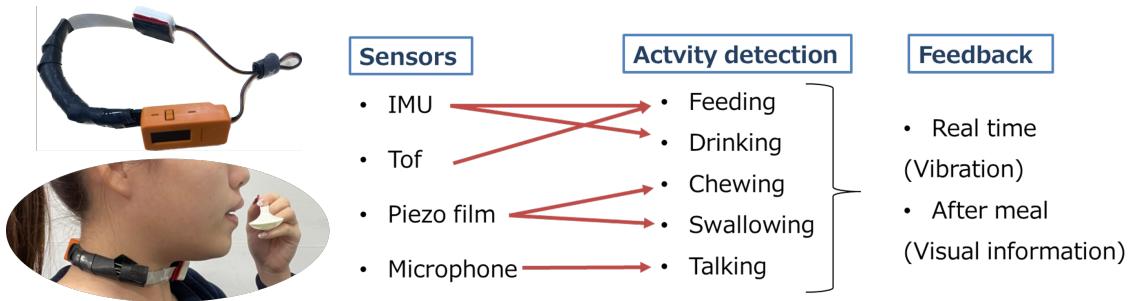


図 2.17: 2023 年に提案した Chewker の概要

第3章 Chewker: 食習慣改善システム

本章では、本研究で提案した食習慣改善のためのフィードバックシステム「Chewker」について述べる。本システムは、ネックレス型デバイスで食事中のセンサデータを取得し、スマートフォン上では柔軟なフィードバックを提示する。画面を見る必要のない音楽によるリアルタイムフィードバックと、食事終了直後や食事時以外に確認できる視覚的なフィードバックの二種類のフィードバックを提示する。

3.1 システムの概要

提案システム Chewker の検出システム概要は図 3.1 に示した通りである。また、正面、後ろから見たネックレス型デバイスを図 3.2 に示す。ユーザはネックレス型デバイスを装着し、スマートフォンを机上に置いて食事を行う。ネックレス型デバイスの構成を図 3.3 に示す。ネックレス型デバイスには M5StickC、ピエゾフィルム、超音波センサが搭載されている。センサ別の食事行動検出の詳細を表 3.4 に示す。ネックレス型デバイスの M5StickC 内の IMU センサ、ピエゾフィルム、超音波センサ、およびスマートフォンのマイクの 4つを用いて食事行動を検出する。IMU センサは食べ物を口に運ぶ摂食時 (Feeding) の前傾姿勢を検出する。マイクは会話 (Talking) を検出する。ピエゾフィルムはのどの起伏や、頸の動きで咀嚼 (Chewing) と嚥下 (Swallowing) を検出する。超音波センサは首から手までの距離で摂食 (Feeding) の検出に役立てる。M5StickC は首の後方に、ピエゾフィルムは首の前方に、超音波センサはピエゾフィルムの右側、つまり首の右前方に設置した。ネックレス型デバイスはマジックテープで着脱可能で、長さの調節も可能である。

本研究で使用する M5StickC は M5Stack 社製、ピエゾフィルムは MEAS 社製 (MEAS DT Series DT2-028K W/TH LEADS/RIVET)，超音波センサは M5Stack 社製の Ultrasonic Distance Unit (RCWL-9600) を使用する。M5StickC へのセンサ接続一覧を表 3.1 に示す。

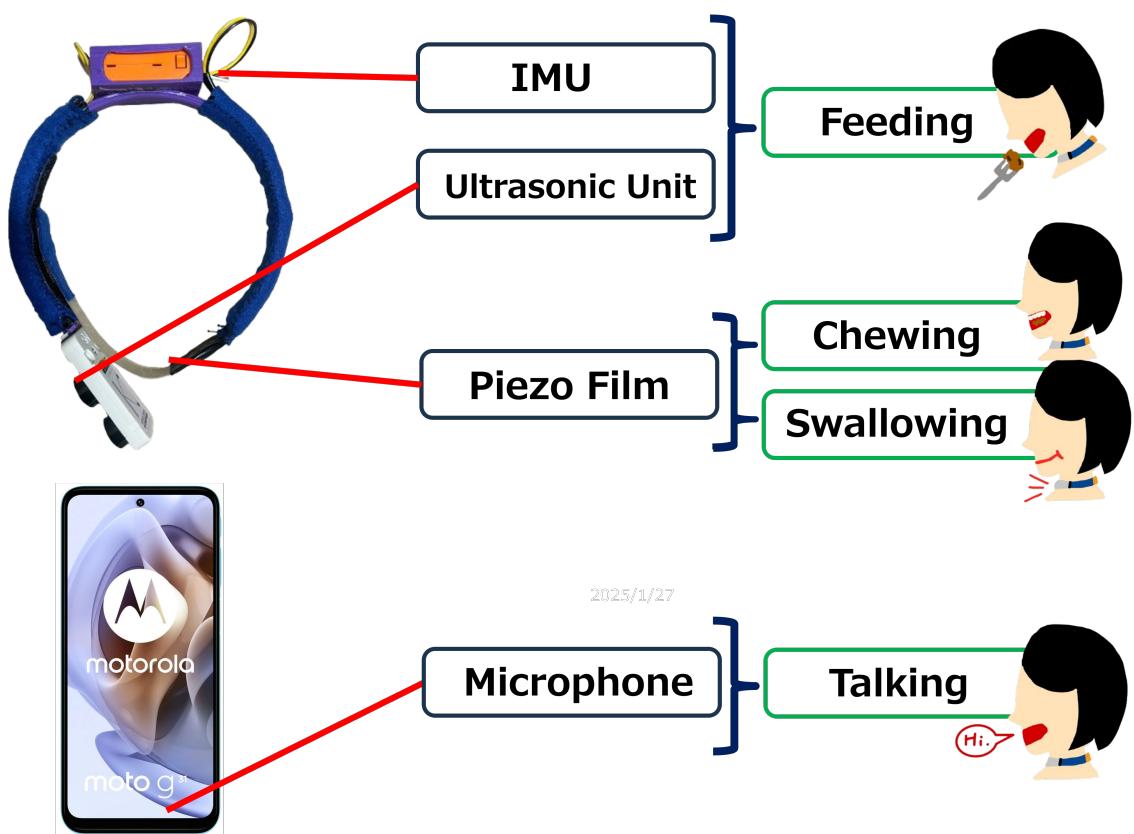


図 3.1: Chewker の検出システムの概要

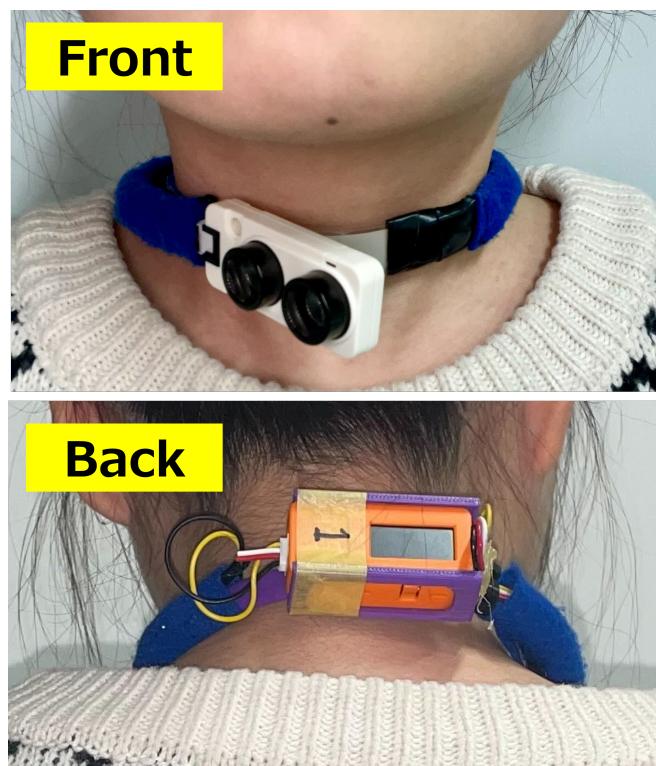


図 3.2: ネックレス型デバイス装着イメージ

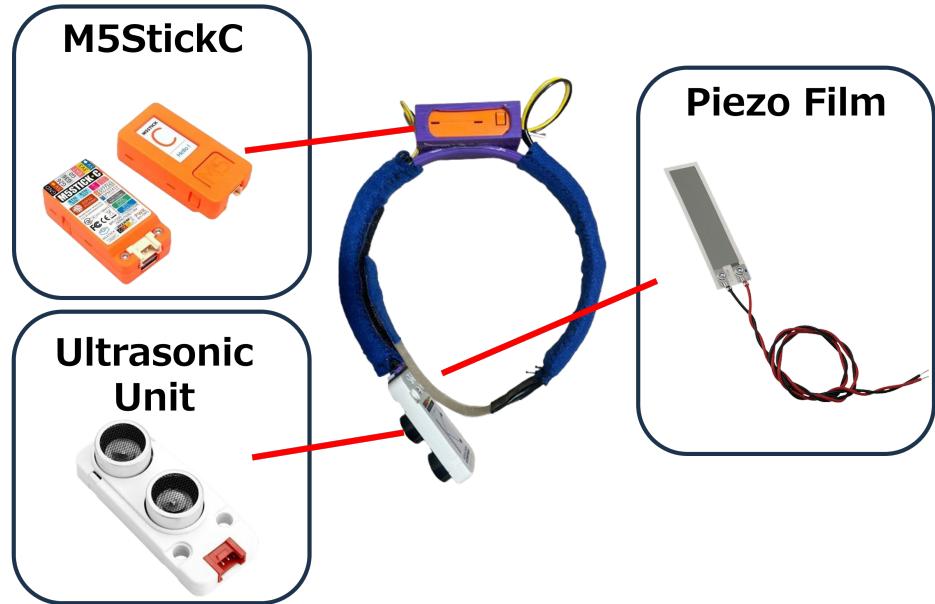


図 3.3: ネックレス型デバイスの構成

Device	Sensor	Detection of eating behavior
Necklace-type Device	IMU Sensor	Feeding by changes in posture
	Ultrasonic Sensor	Feeding by the distance from neck to hand or table
	Piezo Film	Chewing and Swallowing by throat and jaw movements
Smart Phone	Microphone	Talking by sound

図 3.4: センサ別の食事行動検出の詳細

表 3.1: M5StickCへのセンサ接続一覧

センサ	接続先	備考
IMU	内部搭載	M5StickC 内蔵 IMU を使用
ピエゾフィルム	G33	GND 接続, 270k Ω の抵抗を挟む
超音波センサ (Trigger)	G26	GND, 5V 接続
超音波センサ (Echo)	G0	GND, 5V 接続

検出された食事行動を元にフィードバックを提示する。フィードバックの概要を図 3.5 に示す。フィードバックはリアルタイム、食事後の 2 種類行う。専門家によると「行動の

直後にフィードバックを行うと良い、効果がある」ことが分かっているので、行動の把握とフィードバックをすぐに行うことができるようスマートフォンを用いた音楽を利用する。また、食事後の視覚的フィードバックは食事全体に対するフィードバックで情報が多くいため、スマートフォン上に表示し提示する。食事直後のフィードバックに加え、過去の食事データを参照できる視覚的フィードバックも用意している。

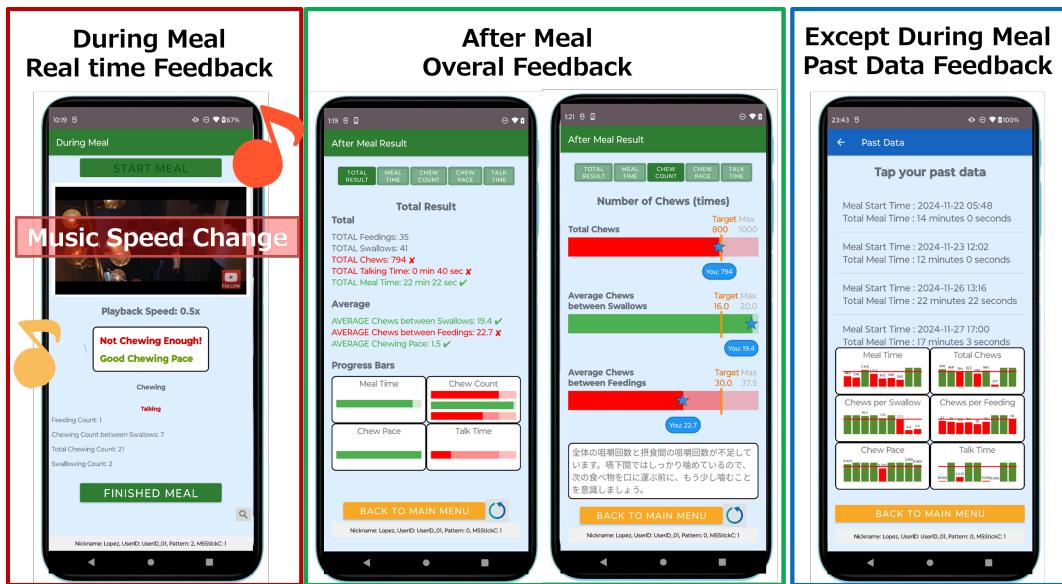


図 3.5: フィードバックシステムの概要

3.2 ネックレス型デバイスとスマートフォンの連携

本システムは、食事者が装着するネックレス型デバイスに搭載された M5StickC と食事者が食事中に机上に置く Android 端末がクラウドサービスの Firebase を通じて接続している構成となっている（図 3.6）。Firebase は Google が提供しているモバイル及び Web アプリケーション向けのバックエンドサービスであり、その中の Realtime Database 及び Cloud Firestore の機能を利用する。Realtime Database はリアルタイムでアプリ間でのデータの保存、及び同期が可能であるデータベースである。一方、Cloud Firestore は高性能なクエリ処理が可能であり、データの管理がしやすいデータベースである。複数の M5StickC 内のデータをリアルタイムで Android 端末へ送信する際に、Realtime Database が最適だと考える。また、Android 端末にて記録した食事データをユーザごとに保存する際に Cloud Firestore が最適だと考えたため、本システムではこれらを利用する。

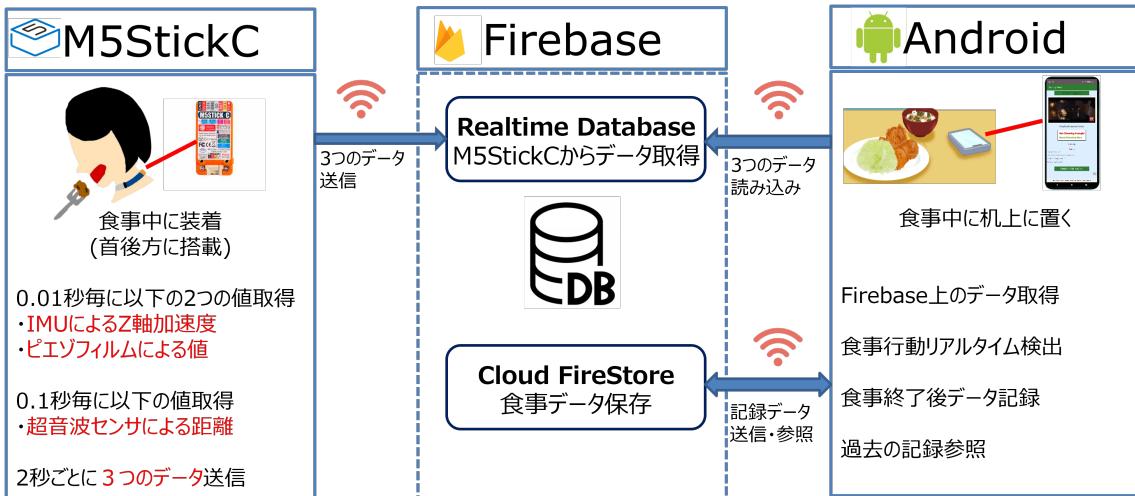


図 3.6: Firebase を用いたネックレス型デバイスとスマートフォンの連携

まず、M5StickC と Firebase 間のデータ送信について説明する。M5StickC では、0.01 秒ごとに IMU による Z 軸加速度とピエゾフィルムによる値を、0.05 秒ごとに超音波センサによる距離を取得し、タイムスタンプとともにそれぞれ用意されている配列に格納する。配列に 200 個分のデータ（超音波センサによる距離は 40 個分のデータ）が集まつたら、すべての値を一つの長い文字列へ変換し、その文字列を Firebase の Realtime Database へ送信する（図 3.7）。具体的には、Realtime Database の Device/M5Device __ 1 の配下に PiezoIMU と Distance という 2 つのキーを用意している。PiezoIMU にはタイムスタンプと IMU による Z 軸加速度とピエゾフィルムによる値を、Distance にはタイムスタンプと超音波センサによる距離を格納するということである。ネックレス型デバイスは 2 つ作成済みのため、Device/M5Device __ 2 の配下にも PiezoIMU と Distance という 2 つのキーを用意し、複数のデバイスでも対応可能である。また、Firebase への送信中にセンサによる計測が途切れないよう、M5StickC はマルチタスクでセンサによる計測と Firebase へのデータ送信を行う。Realtime Database は一つのデータを読み込むのに約 1 秒かかるため、その 1 秒の間に送られてくるデータは処理できずに欠損してしまう恐れがある。そのため、複数のデータを文字列へ変換し、約 2 秒ごとに送信することにより、Realtime Database がデータの欠損なく M5StickC からデータを読み込むことを可能とし、リアルタイム性を保証する通信の仕組みを確立した。また、1 つの超音波センサの値を取得するのに 0.03 秒程度かかるため、この値のみ 0.05 秒ごとに値を取得することにした。



図 3.7: M5StickC からセンサによるデータを取得している Firebase Realtime Database

次に Firebase と Android 間のデータ送信について説明する。Android では Firebase の Realtime Database の値が更新される度に、そのデータを読み込む。そして、読み込んだデータの文字列をコンマ区切りで double 型に変換し、配列へ格納して食事行動検出に利用する。食事行動検出のアルゴリズムは次の節で述べる。食事終了後、食事時間や咀嚼回数などの食事データは Firebase の Cloud FireStore へと送信される（図 3.8）。Cloud FireStore に保存された食事データは Android から呼び出すことが可能であり、Android 端末にて過去の記録を表示し、参照することが可能である。

UserID_02	Meals	20250120_153458
+ コレクションを開始	+ ドキュメントの追加	+ コレクションを開始
Meals	20250115_161653	+ フィールドを追加
	20250116_214709	average_chewing_count_fromFtoF: 33.70000076293945
	20250120_153458	average_chewing_count_fromStoS: 7.09999904632568
	20250120_155158	average_chewing_pace: 1.600000023841858
	20250120_163342	chewing_timestamps: [561, 7968, 14672, 17163,...]
	20250122_221548	device_id: 1
+ フィールドを追加		feeding_timestamps: [16802, 72752, 138252, 199...]
		finish_time: 2025年1月20日 15:51:58 UTC+9
		pattern_index: 2
		start_time: 2025年1月20日 15:02:10 UTC+9
		swallowing_timestamps: [22137, 25970, 28052, 3326...]
		total_chewing_count: 1044
		total_feeding_count: 31
		total_meal_time: 1968
		total_swallowing_count: 148
		total_talking_time: 517

図 3.8: 食事データが保存されている Firebase Cloud Firestore

3.3 Chewker の利用手順

本節では、Chewker の利用手順について説明する。以下に具体的な手順を箇条書き形式でまとめる。

1. 準備

- ネックレス型デバイスに搭載されている M5StickC とスマートフォンを十分に充電する.
- M5StickC の電源を ON にし, 起動する.
- ネックレス型デバイスを装着する.

2. スマートフォンでの初期設定

- スマートフォンアプリを起動し, ユーザ名 (ニックネーム), 計測パターン (実験管理者用), および M5StickC の番号をプルダウンメニューから選択する (図 3.9) .
- Save ボタンを押し, メニュー画面に移動する (図 3.10) .

3. キャリブレーション

- メニュー画面で Calibration ボタンを選択し, キャリブレーション画面に移動する (図 3.11) .
- キャリブレーションマニュアルを確認する. マニュアルは日本語版と英語版を切り替えるボタンが用意されている. マニュアルの内容は以下の通りである：
 - (a) Start Calibration ボタンをタップする.
 - (b) 自然な姿勢を 5 秒間保つ.
 - (c) 食べ物を口に運び, 20 回噛んだ後, 飲み込む. (食べ物をすべて飲み込む必要はありません.)
 - (d) 自然な姿勢を 5 秒間保つ.
 - (e) Finish Calibration ボタンをタップし, メインメニューに戻る.
- マニュアル通りにキャリブレーションを行い, 成功すればメニュー画面に戻る.

4. 食事中の操作

- メニュー画面で Start Meal ボタンを押すと, 食事中の画面が表示される (図 3.12) .
- 表示されている YouTube を再生し, 音量を調節する.
- 準備が整い次第, 画面上部の Start Meal ボタンを押し, 音楽を聴きながら食事を開始する.

5. 食事の終了

- 食事終了時には、画面下部の Finish Meal ボタンを押す。
- 食事終了の確認バナーに回答すると、食事終了後の画面に移動する。
- 食事終了後には、今回の食事に関するフィードバックが表示される（図 3.13）。

6. 過去の食事データ参照

- メニュー画面から Past Data ボタンを押すと、過去のデータを確認できる。（図 3.14）。

キャリブレーション中や、食事の計測中は、センサ値をグラフにして実験管理者が確認できるようにしている（図 3.15）。食事中の音楽によるフィードバック、食事終了後の視覚的フィードバック、過去の食事データ参照の詳細は 3.6 節にて述べる。



Select a pattern :

Pattern C: 0.5x speed if either condition is ..

Select a M5StickC :

M5Device_1

PAST DATA

SAVE

SELECT USER

Nickname: Lopez, UserID: UserID_01, Pattern: 0, M5StickC: 1

図 3.9: ユーザ名・計測パターン・M5StickC
番号の選択画面

図 3.10: メニュー画面

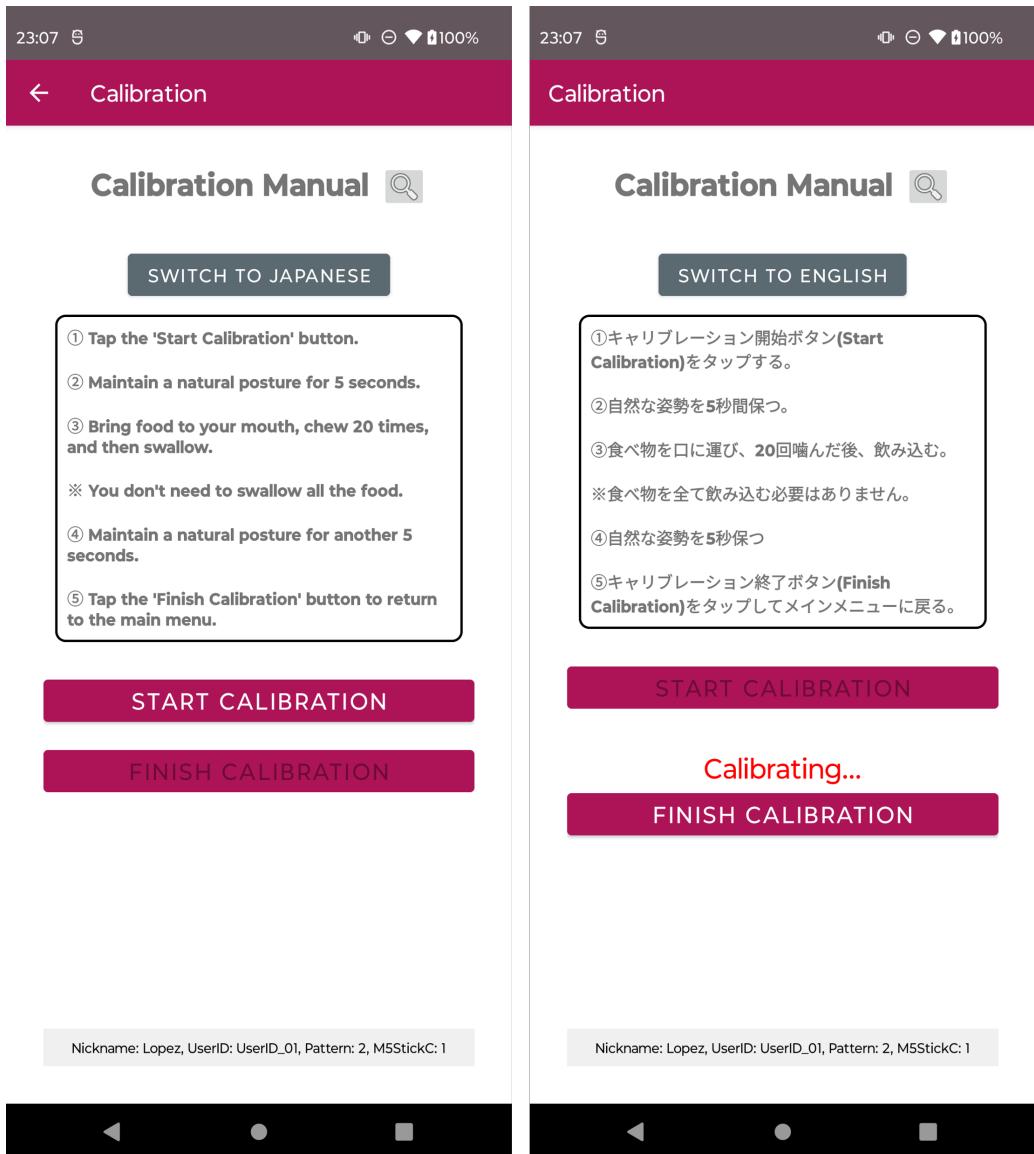


図 3.11: キャリブレーション画面
(左: キャリブレーション前, 右: 「Start Calibration」を押した後)

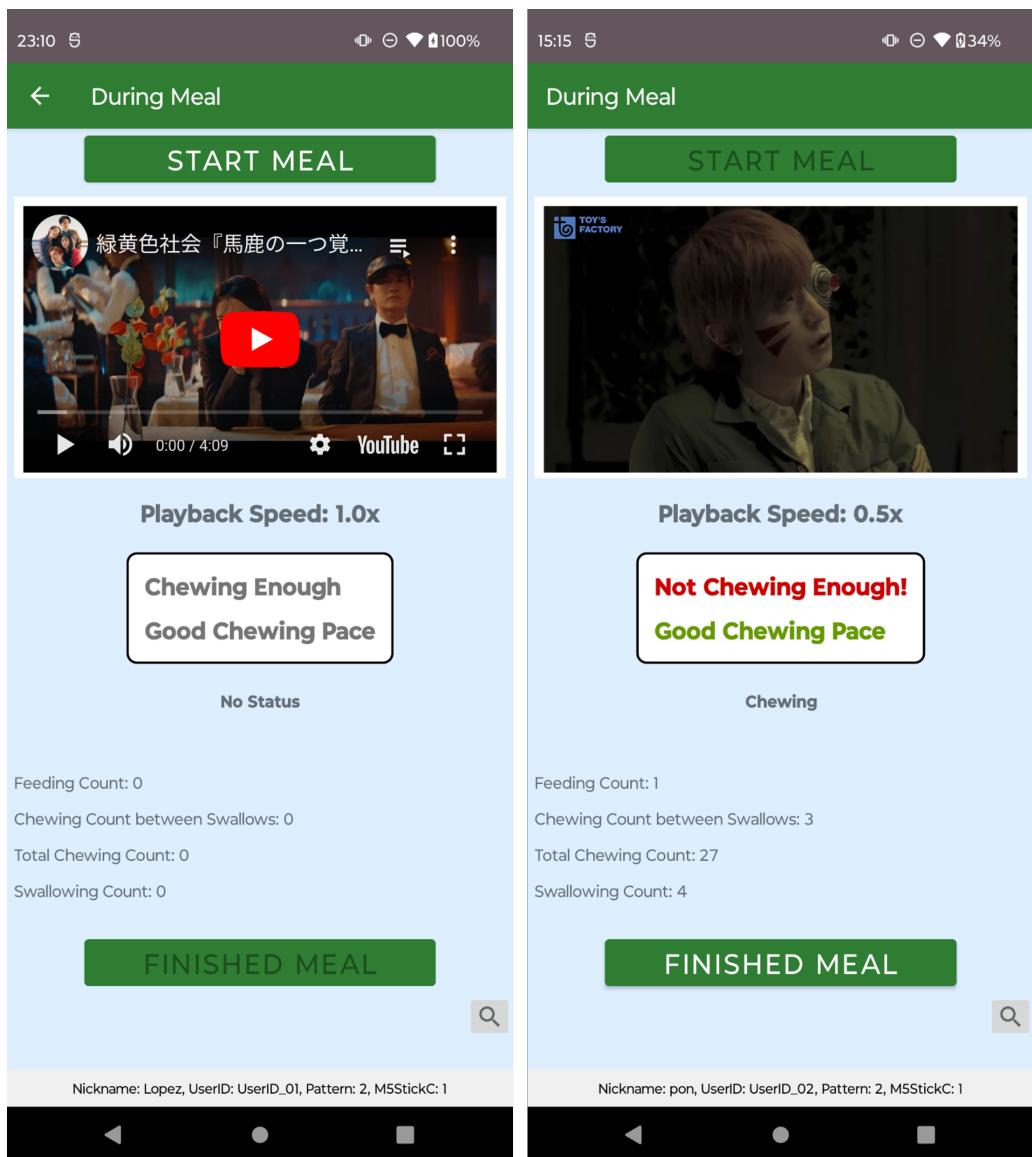


図 3.12: 食事中の画面の一例
(左: 食事開始前, 右:「Start Meal」を押した後)

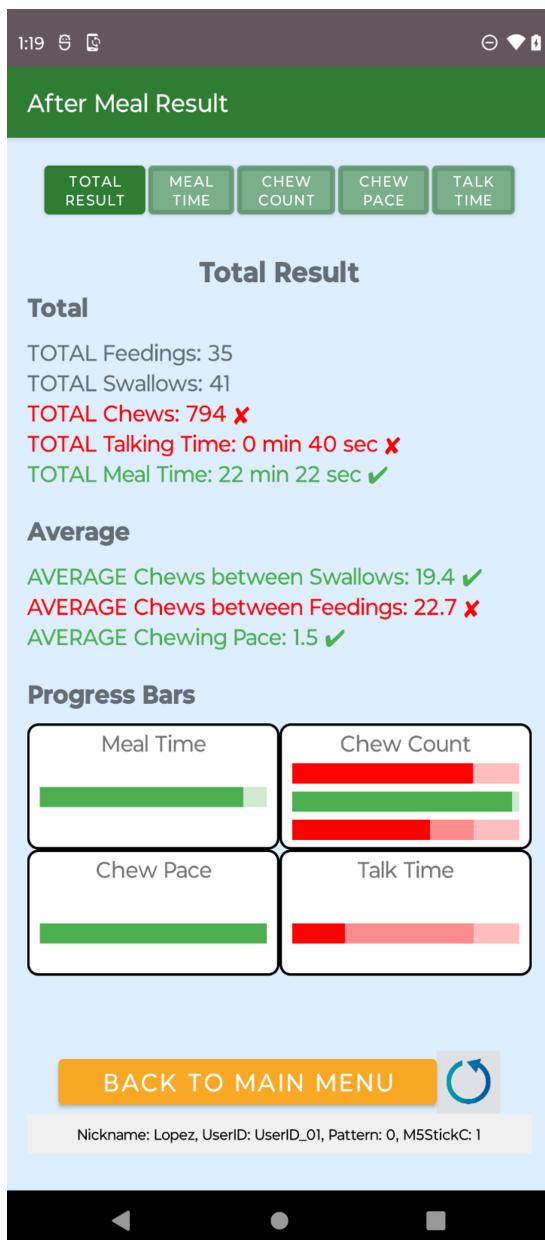


図 3.13: 食事終了後のフィードバック画面の一例

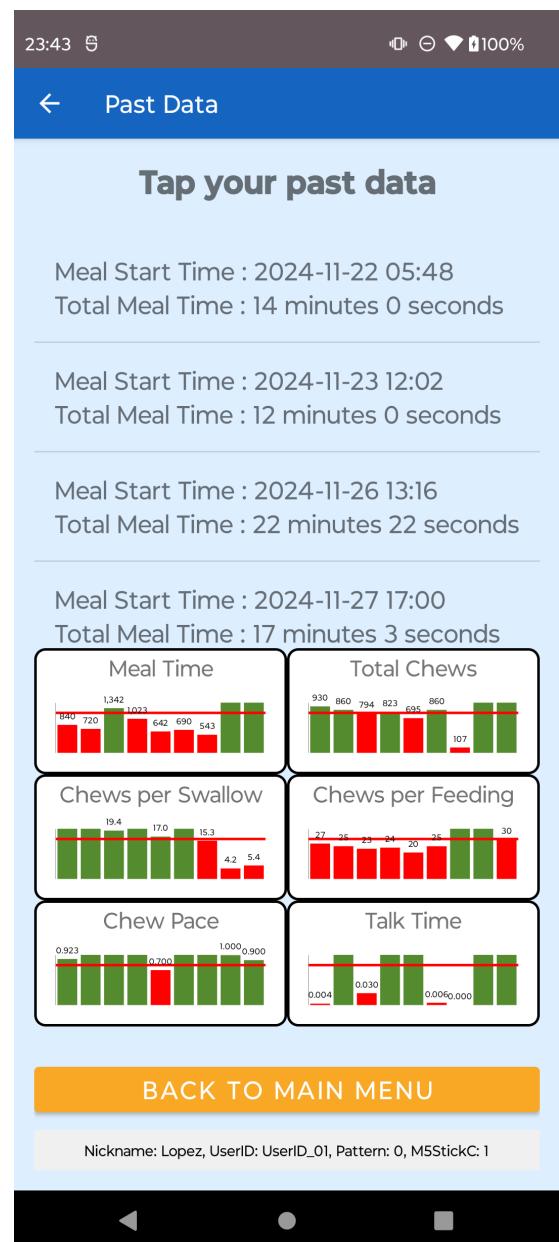


図 3.14: 過去のデータ参照画面の一例

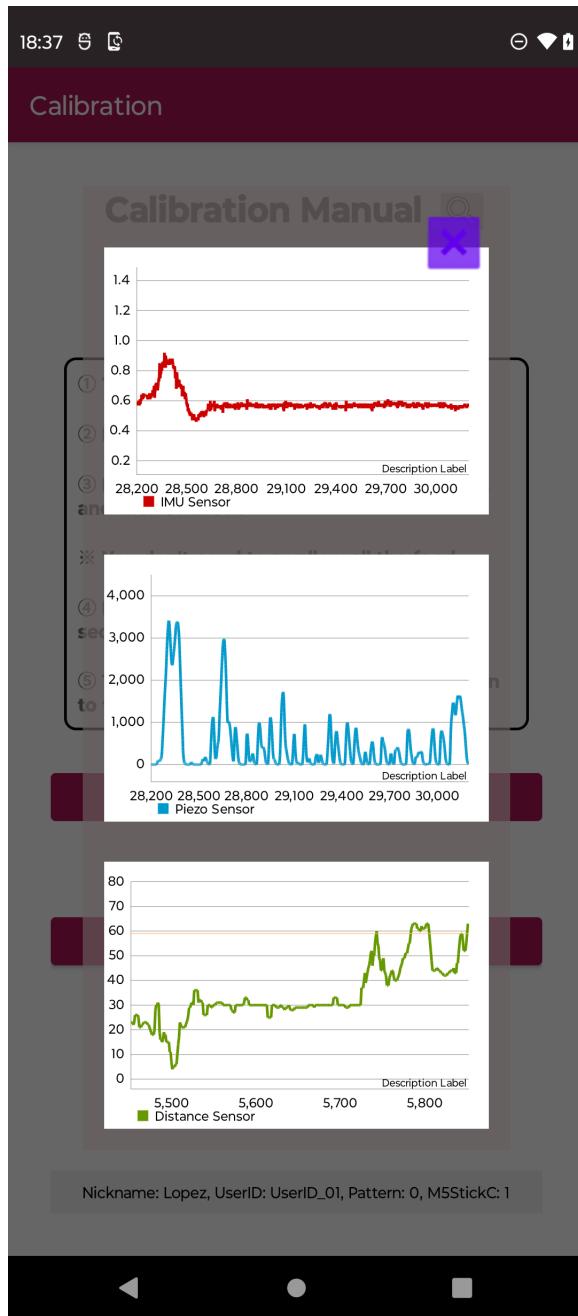


図 3.15: 管理者が確認するリアルタイムのセンサ値を示すグラフ
(上から IMU, ピエゾフィルム, 超音波センサによる値)

3.4 食事行動検出のアルゴリズム

M5StickC は電源が ON の間, IMU, 超音波センサ, ピエゾフィルムの 3 つのセンサから値を取得し, Firebase の Realtime Database に送信し続ける. スマートフォン上でキャリブレーションを開始すると, Realtime Database からのデータ読み込みを開始し, キャリ

ブレーション終了時に読み込みを終了するとともに、食事行動検出に必要な閾値を決定する。食事開始ボタンを押すと、Realtime Database からのデータ読み込みが再開され、食事終了ボタンが押されるまでの間、キャリブレーションで決定した閾値を用いて食事行動を検出する。さらに、Realtime Database からのデータ読み込みに加えて、スマートフォンのマイクも動作し、音声データを取得する。食事開始ボタンが押されてから、食事終了ボタンが押されるまでの食事行動検出などに関するフローチャートを図 3.16 に示す。本システムでは、発話、摂食、咀嚼、嚥下の 4 つの食事行動を検出しており、それぞれの検出方法について詳細を述べる。

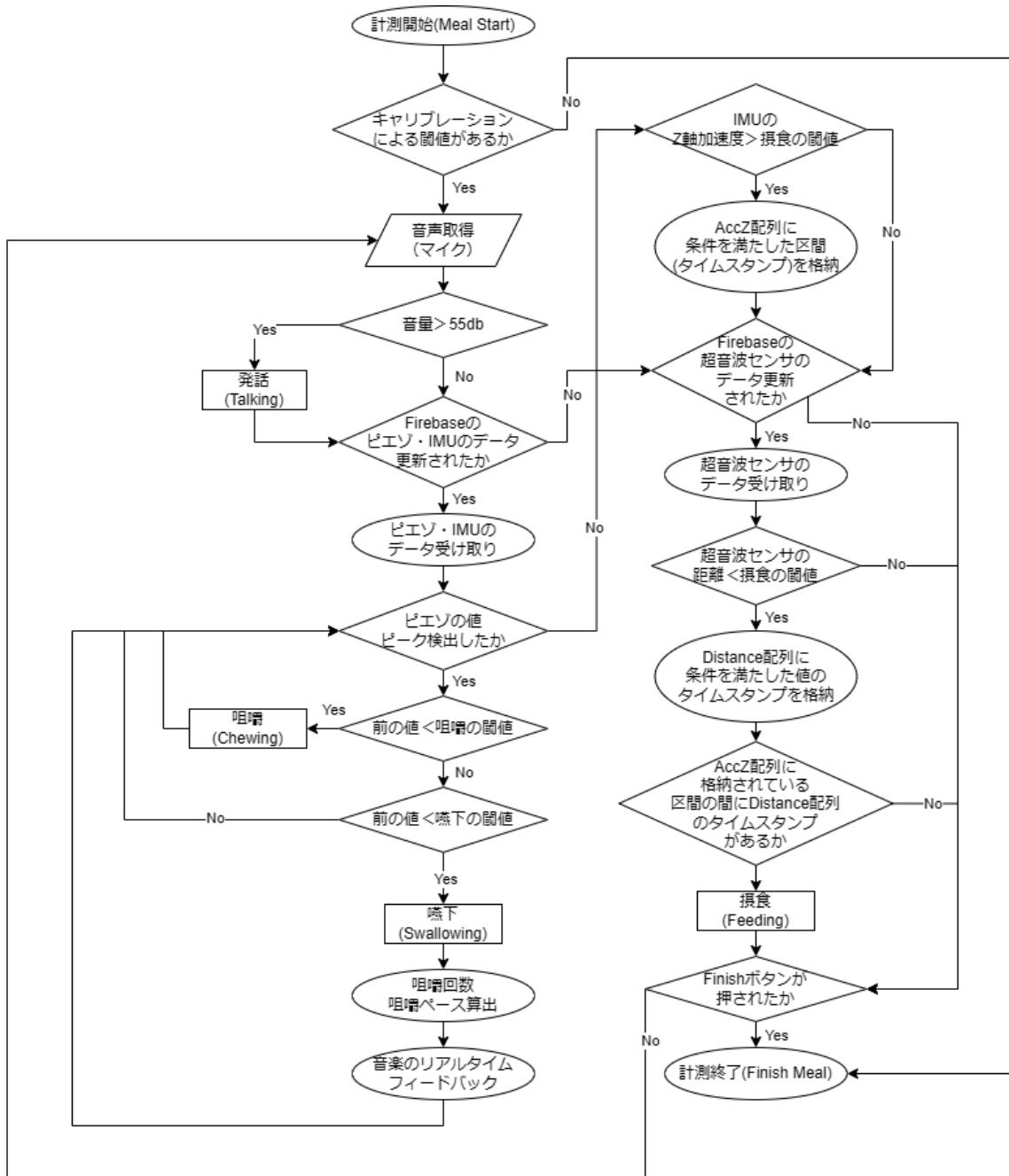


図 3.16: 食事開始から終了までの食事行動検出に関するフローチャート

3.4.1 発話検出

食事中の会話はスマートフォンのマイクを用いて検出した。マイクからの入力値を dB (デシベル) に変換した。図 3.17 は、デバイスを装着し、静かな環境で食事中に 2 回発話した際の音量の例を示している。人間の話し声の平均デシベル値は 55~65dB と推定されている [36]。そのため、55dB を閾値として設定し、この値を超えた場合を会話として検

出するようにした。図 3.17 から、この閾値が適切であることが確認できる。また、会話として検出された時間を加算していき、会話時間を計測している。

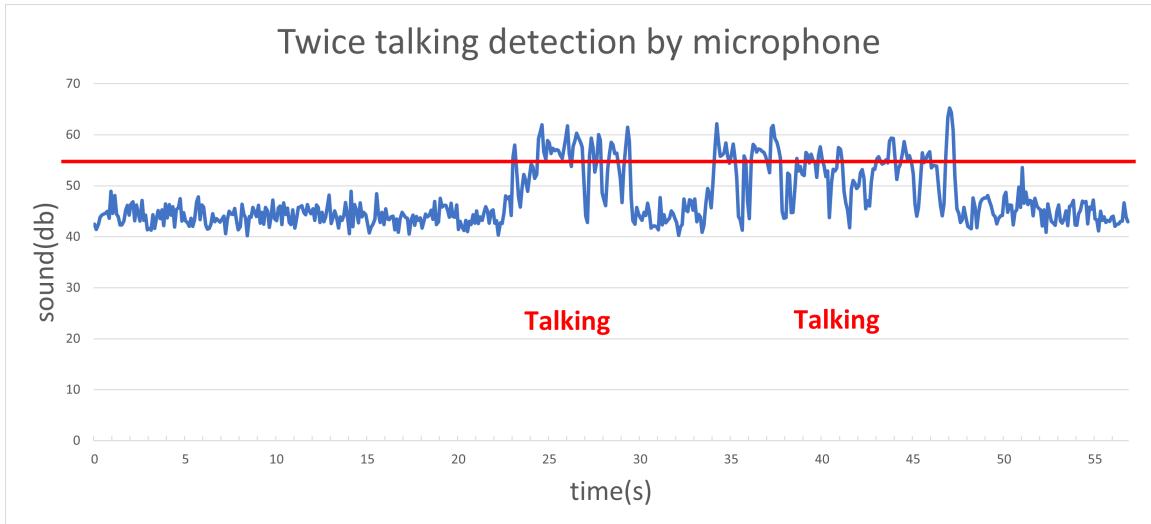


図 3.17: 2 回発話した際の音量の例

3.4.2 摂食検出

食べ物を口に運ぶ動作を摂食 (Feeding) とし、IMU による Z 軸加速度と超音波センサによる距離を用いて検出する。一般的に摂食の際、前傾姿勢になり、手が口に近づくため、これらのセンサを用いることで摂食を検出できると考える。IMU は首後方の M5StickC に搭載されており、Z 軸加速度の変化を利用する。また、右利きを想定して首の右前方に設置した超音波センサから手までの距離を算出する。実際に 3 回摂食を行った際の Z 軸加速度と距離データを図 3.18 に示す。摂食時に距離が小さくなり、Z 軸加速度が増加していることが確認できる。

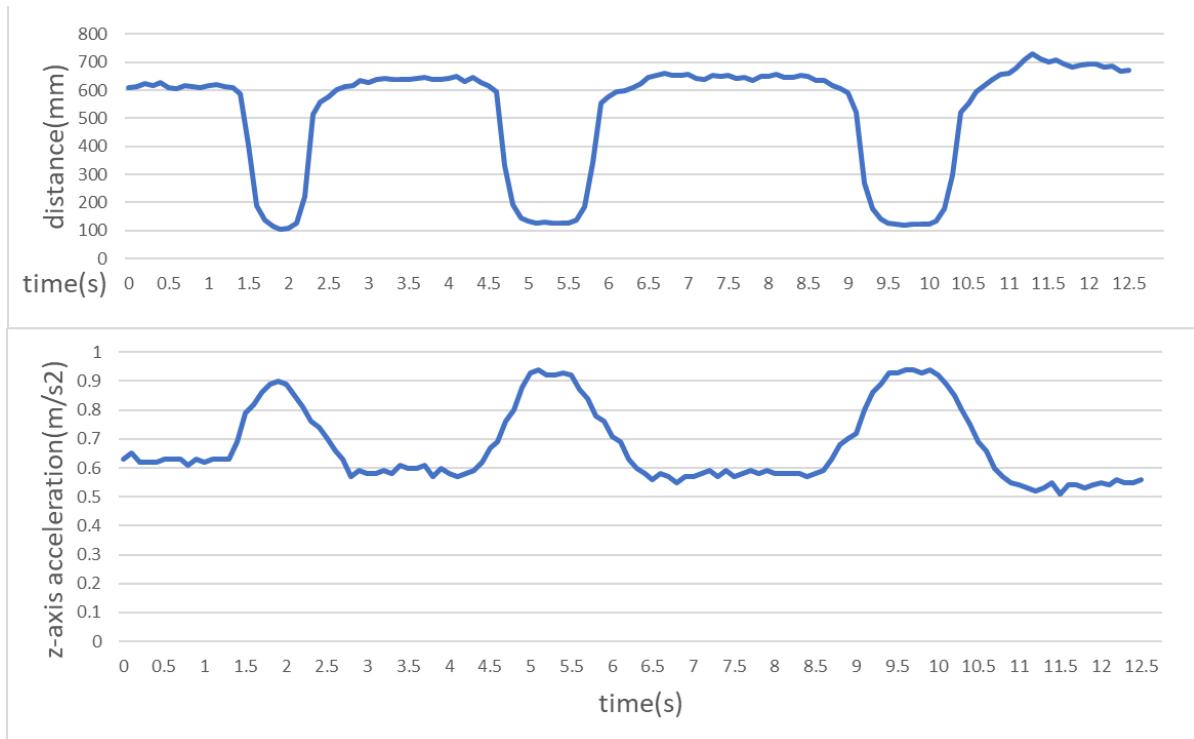


図 3.18: 3 回摂食を行った際の, IMU による Z 軸加速度と超音波センサによる距離

キャリブレーションでは, 摂食を検出するための閾値を決定する. 3.3 節で述べた手順に従い, 5 秒間の自然な姿勢の後, 1 回の摂食, 20 回の咀嚼, 1 回の嚥下を行い, 再び 5 秒間の自然な姿勢を保持する. この間に取得された IMU の Z 軸加速度と超音波センサの距離データを基に, 各個人に適した閾値を設定する. IMU の閾値は, キャリブレーション中に取得された Z 軸加速度データの統計的特性を利用して決定する. 具体的には, Z 軸加速度の平均値と最大値を算出し, その中央値を閾値として設定する. これにより, 通常の姿勢時の基準値と, 摂食動作に伴う最大加速度値の中間点を基準とすることで, 個人差に適応した閾値の設定が可能となる.

超音波センサの閾値は, キャリブレーション時に記録された距離データの平均値と最小値の中央値を用いて決定する. この閾値は, 手が口元に近づいた際の距離変化を考慮し, 摂食動作の検出精度を向上させるために用いる.

摂食の検出は, IMU の Z 軸加速度と超音波センサの距離情報を組み合わせて行う. 具体的には, IMU の Z 軸加速度がキャリブレーションで設定した閾値を超えた瞬間を摂食の開始点として記録し, この状態が一定時間維持された後, 閾値を下回ることで摂食の終了と判断する. このようにして, IMU のデータから摂食の時間的区間を特定する. さらに, この期間内に超音波センサの距離がキャリブレーションで設定した閾値以下になった

場合に、摂食の確定判定を行う。どちらかのセンサのデータのみで摂食を検出すると、手が顔の近くにあるが食べていない場合や、前傾姿勢になるが食べていない場合に誤検出する可能性があるため、両者を組み合わせることで精度を向上させる。

キャリブレーションで決定した閾値は、Firebase を介して保存され、食事中のリアルタイム検出に利用される。食事中のデータ処理では、IMU の Z 軸加速度が閾値を超えた時間帯を特定し、その開始・終了タイムスタンプを記録する。一方で、超音波センサの距離データも同様に処理され、閾値を下回る時間帯を特定する。これらのデータを照合し、IMU による摂食の開始から終了の間に、超音波センサの距離が閾値以下になった場合に摂食が検出されたと判断する。摂食が検出された場合、フィードバックシステムに通知し、食事行動の解析やリアルタイムフィードバックに活用される。

3.4.3 咀嚼と嚥下の検出

3.5 咀嚼と嚥下の検出

咀嚼 (Chewing) および嚥下 (Swallowing) は、ピエゾフィルムの信号を用いて検出する。ピエゾフィルムは首の前方に肌に密着するよう固定される。咀嚼時には頬の動きによってピエゾフィルムの出力信号が周期的に変化し、嚥下時には喉の動きによって比較的大きなピークが発生する。実際に 20 回咀嚼をして 1 回嚥下を行った際のピエゾフィルムの出力データを図 3.19 に示す。咀嚼時的小さいピークが 20 個と、嚥下時の大きいピークが 1 つ確認できる。これらの特性を利用し、ピエゾフィルムの信号のピーク検出を行うことで、咀嚼と嚥下を識別する。また、センサ信号にはノイズを含むため、リアルタイムでの信号処理においてはローパスフィルタ (RC フィルタ) を適用し、Firebase へ送信する前にノイズ除去を行う。

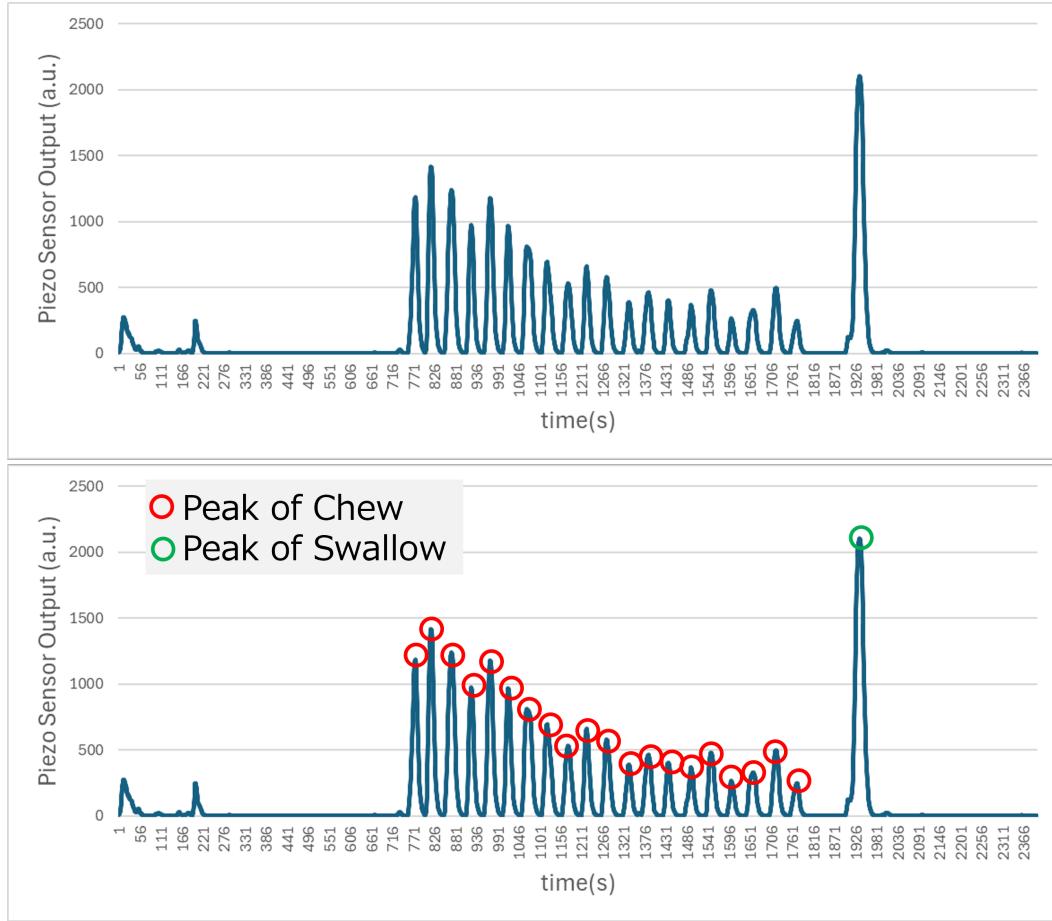


図 3.19: 20 回咀嚼し、1 回嚥下した際の、ピエゾフィルムによる出力データ

キャリブレーションでは、咀嚼および嚥下を検出するための閾値を決定する。3.3 節で述べた手順に従い、5 秒間の自然な姿勢の後、1 回の摂食、20 回の咀嚼、1 回の嚥下を行い、再び 5 秒間の自然な姿勢を保持する。この間に取得されたピエゾフィルムの信号データを基に、各個人に適した閾値を設定する。

閾値の決定には、キャリブレーション中に取得されたピエゾフィルムの信号データを正規化し、ピーク検出を行う。ピークの分類においては、キャリブレーションデータの最後の 30% の区間における最大ピークを嚥下の閾値とし、その他のピークのうち、振幅が 0.2 以上 0.8 以下の範囲にあるものを咀嚼のピークとする。咀嚼の閾値は、咀嚼ピークの最小値と最大値の中央値を用いて決定する。これらの閾値はスケール変換を施し、実際のピエゾフィルムの信号範囲に適用する。

リアルタイムの咀嚼および嚥下の検出は、キャリブレーションで設定した閾値を基に行う。まず、ピエゾフィルムの信号の変化量を計算し、ピーク検出を行う。検出されたピークが咀嚼閾値未満であれば、咀嚼と判定し、咀嚼回数をカウントする。また、咀嚼間隔を

記録し，嚥下ごとの咀嚼回数や咀嚼ペースの算出に利用する．一方，ピークが嚥下閾値未満であり，直前のイベントが咀嚼である場合，嚥下と判定する．嚥下が検出された場合，直前の咀嚼データを基に嚥下間の咀嚼回数や咀嚼ペースを評価する（3.6.2節で詳細を述べる）．評価結果はリアルタイムフィードバックに利用され，音楽の再生速度の調整に反映される．嚥下が検出された後は，嚥下間の咀嚼回数のリセットを行い，新たな嚥下までのカウントを開始する．

キャリブレーションで決定した閾値はFirebase を介して保存され，食事中のリアルタイム検出に利用される．食事中のデータ処理では，ピエゾフィルムの信号の変動を解析し，リアルタイムでピークを検出することで，咀嚼および嚥下を高精度に判定する．

3.6 フィードバックシステムの概要

検出された食事行動を元に提示するスマートフォンによるフィードバックについて述べる．図3.5に示したように，食事中の音楽によるフィードバック，食事直後の視覚的フィードバック，食事以外の時に過去の食事データが確認可能な視覚的フィードバックがある．

3.6.1 フィードバック内容

検出された食事行動（摂食，咀嚼，嚥下）を基に，摂食回数，咀嚼回数，嚥下回数，嚥下から次の嚥下までの咀嚼回数，摂食から次の摂食までの咀嚼回数，咀嚼ペース，総食事時間，食事時間全体に対する会話時間や食べている時間の割合などを算出する．これらの値は，リアルタイムおよび食事後のフィードバックに使用される．算出される値について，以下の表3.2に示す．

表 3.2: 算出される食事行動関連指標

指標（日本語）	指標（英語）	定義
摂食回数	Feeding Count	食べ物を口に運ぶ回数（回）.
咀嚼回数	Chewing Count	食べ物を噛む回数（回）.
嚥下回数	Swallowing Count	食べ物を飲み込む回数（回）.
食事全体の時間	Total Meal Time	「Start Meal」ボタンを押して、食事を開始してから「Finish Meal」ボタンを押して、食事を終了するまでの時間（秒）.
会話時間	Total Talking Time	食事中に会話をしていた合計時間（秒）.
食事全体に対する会話時間の割合	Percentage of Talking Time	食事全体の時間に対する会話時間の割合（%）.
嚥下から次の嚥下までの咀嚼回数	Chews between Swallows	1回の嚥下から次の嚥下までに行われた咀嚼の回数（回）.
摂食から次の摂食までの咀嚼回数	Chews between Feedings	1回の摂食から次の摂食までに行われた咀嚼の回数（回）.
咀嚼ペース	Chew Pace	咀嚼1回から次の咀嚼1回までにかかった時間（秒）.

一般的な食事行動は、食べ物を口に運ぶ摂食（Feeding）をした後、複数回の咀嚼（Chew）を経て、嚥下（Swallow）をして、まだ口に残っている食べ物をさらに咀嚼し、嚥下を繰り返す。食べ物が口になくなったら、摂食をして、咀嚼し、嚥下、咀嚼し、嚥下と繰り返す。一連の流れを図3.20に示す。この図には、咀嚼ペース（Chew Pace）、嚥下から次の嚥下までの咀嚼回数（Chews between swallows）、摂食から次の摂食までの咀嚼回数（Chews between feedings）についてわかりやすく説明している。

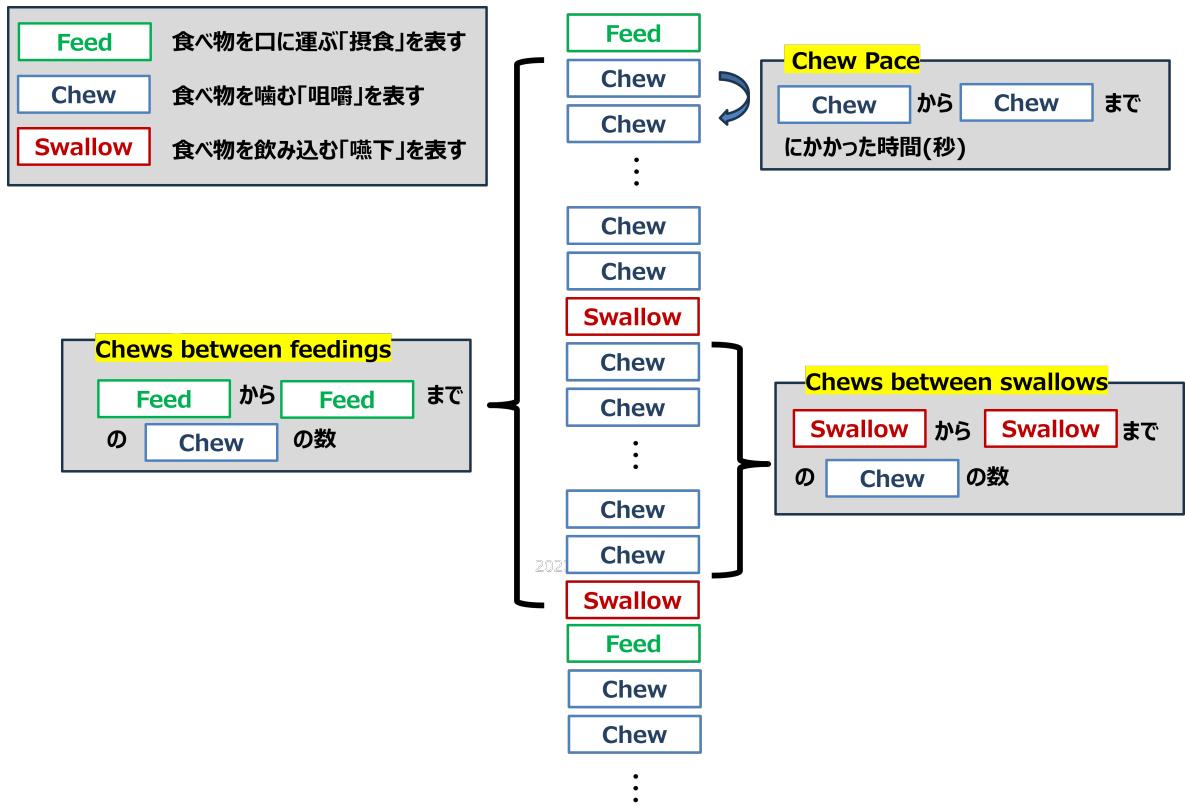


図 3.20: 食事行動の一連の流れと、算出される指標の説明

3.6.2 音楽を用いたリアルタイムフィードバック

研究背景により、咀嚼回数、咀嚼時間や咀嚼ペースが多いほど健康的な食習慣であることがわかった。そこでリアルタイムフィードバックでは、食事中に音楽の再生速度を変化させることで咀嚼回数と咀嚼時間を増加させることを目的としている。これまでの研究から、音楽のテンポが食行動や感情に影響を与えることが示されており（1.1.4 節で述べている），特に遅いテンポの音楽を聴きながら食事をした場合、食事時間、咀嚼回数、咀嚼時間が増加することが確認されている。また、レストランにおける BGM の影響として、ゆっくりとした音楽が咀嚼ペースを下げ、食事時間を延長させることが知られている。これらの知見を踏まえ、本システムではリアルタイムフィードバックに音楽を活用する。リアルタイムフィードバックは「Start Meal」ボタンを押してから、「Finish Meal」ボタンを押されるまで提示される。

具体的には、ユーザが自身の好きな YouTube の再生リストをアプリ上で再生し、嚥下が検出されたタイミングで食事行動に応じて再生速度を調整する。実際のリアルタイムフィードバック中のスマートフォンの画面とその説明を図 3.21 に示す。嚥下から次の嚥

下までの咀嚼回数が基準値に満たない場合、または咀嚼ペースの平均が基準値を下回る場合、一時的に再生速度を 0.5 倍に低下させ、どちらの条件も満たせば再生速度を 1.0 倍に戻す。一方で、いずれかの条件が基準値を満たさない限り、速度は 0.5 倍のままとなる。このフィードバックは、嚥下が検出されるたびに行われ、リアルタイムで食事行動を調整する仕組みとなっている。ユーザは 1.0 倍の再生速度をキープするために、両方の条件を満たそうと努力することが期待できる。

音楽の再生速度調整の動作は、嚥下から次の嚥下までの咀嚼回数および咀嚼ペースの平均の基準値との比較に基づき、以下の 4 つのパターンで決定される。

- **基準値を両方満たした場合 (1.0 倍速)**

- 嚥下から次の嚥下までの咀嚼回数が基準値以上
- 咀嚼ペースの平均が基準値以上
- 音楽の再生速度を **1.0 倍速** に維持

- **咀嚼回数のみ基準値を満たさない場合 (0.5 倍速)**

- 嚥下から次の嚥下までの咀嚼回数が基準値未満
- 咀嚼ペースの平均が基準値以上
- 音楽の再生速度を **0.5 倍速** に変更

- **咀嚼ペースのみ基準値を満たさない場合 (0.5 倍速)**

- 嚥下から次の嚥下までの咀嚼回数が基準値以上
- 咀嚼ペースの平均が基準値未満
- 音楽の再生速度を **0.5 倍速** に変更

- **両方の基準値を満たさない場合 (0.5 倍速)**

- 嚥下から次の嚥下までの咀嚼回数が基準値未満
- 咀嚼ペースの平均が基準値未満
- 音楽の再生速度を **0.5 倍速** に変更

図 3.22 に 4 パターンの画面のスクリーンショットを示す。それぞれの条件に応じて、中央のテキスト内容やテキストの色が変化する。ユーザは音楽が 0.5 倍速になる理由がわ

からない場合に中央のテキストに着目し、調整する。また、気になるようであれば、摂食回数(Feeding Count)、嚥下から次の嚥下までの咀嚼回数(Chewing Count between Swallows)、食事全体の咀嚼回数の合計(Total Chewing Count)、嚥下回数(Swallowing Count)を確認できる。また、会話中は赤字で「Talking」というテキストが表示される。



図 3.21: 食事中のリアルタイムフィードバックを提示するスマートフォン上の画面とその説明

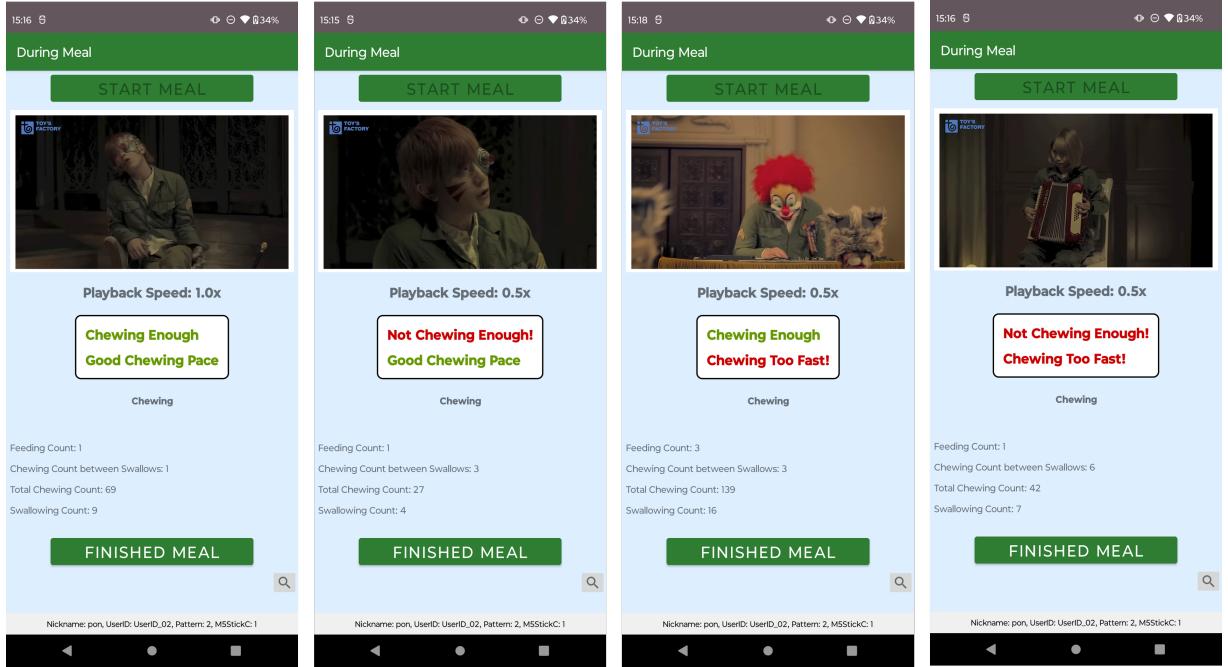


図 3.22: 4 パターンの画面のスクリーンショット

(左から基準値を両方満たした場合、咀嚼回数のみ基準値を満たさない場合、咀嚼ペースのみ基準値を満たさない場合、両方の基準値を満たさない場合)

YouTube の API を活用する理由は、無料で自分の好きな音楽リストを作成できること、再生速度を変更できること、多くの人が使い慣れていることがある。また、本システムでは音楽を利用することで、視覚的なフィードバックを確認し続ける必要がなく、より自然な食事を促進できる。このように、リアルタイムフィードバックを音楽と組み合わせることで、ユーザが無意識のうちに咀嚼回数を増やしたり、咀嚼のペースを落とすだけでなく、意識的にも適切な咀嚼を促すことが可能となる。

嚥下から次の嚥下までの咀嚼回数の基準値は 16 回、咀嚼ペースの基準値は 0.8 秒とした。現代人の 1 口に噛む平均回数は 10 回～20 回であるという文献 [37] や、厚生労働省による「嚥ミング 30 (カミングサンマル)」という一口 30 回噛むことを目標とするスローガン [38] などから、嚥下から嚥下まで 20 回噛むことを目標とする。ただし、食べ物によって 20 回咀嚼が必要ない場合もあるため、20 回の 8 割である 16 回を咀嚼回数の基準値とした。また、蒲池らの研究 [33] により、食事行動検出アプリ（フィードバックなし）を使用し、4 人から収集した食事データから、咀嚼ペースは 1.0 秒を理想としている。ただし、1.0 秒という条件は食べ物によっては厳しいため、その 8 割である 0.8 秒を基準値とした。

3.6.3 食事直後の視覚的フィードバック

食事を終えて、「Finish Meal」ボタンを押し、確認バーに Yes と答えると、食事全体のフィードバックを表示する。フィードバック項目は全体の結果 (Total Result)、食事時間 (Meal Time)、咀嚼回数 (Chew Count)、咀嚼ペース (Chew Pace)、会話時間 (Talk Time) の5つに分かれており、上部のボタンで切り替えられる。

全体の結果 (Total Result) の画面のスクリーンショットを図 3.23 に示す。「Total」という項目には全体の摂食回数、嚥下回数、咀嚼回数、会話時間、食事全体の時間を表示する。「Average」という項目には嚥下から次の嚥下までの咀嚼回数の平均、摂食から次の摂食までの咀嚼回数の平均、咀嚼ペースの平均を表示する。「Progress Bars」という項目には、食事時間、咀嚼回数、咀嚼ペース、会話時間の簡単な達成度を表す進行バーが表示される。これらの進行バーは以下に記述する画面にて詳細を確認できる。

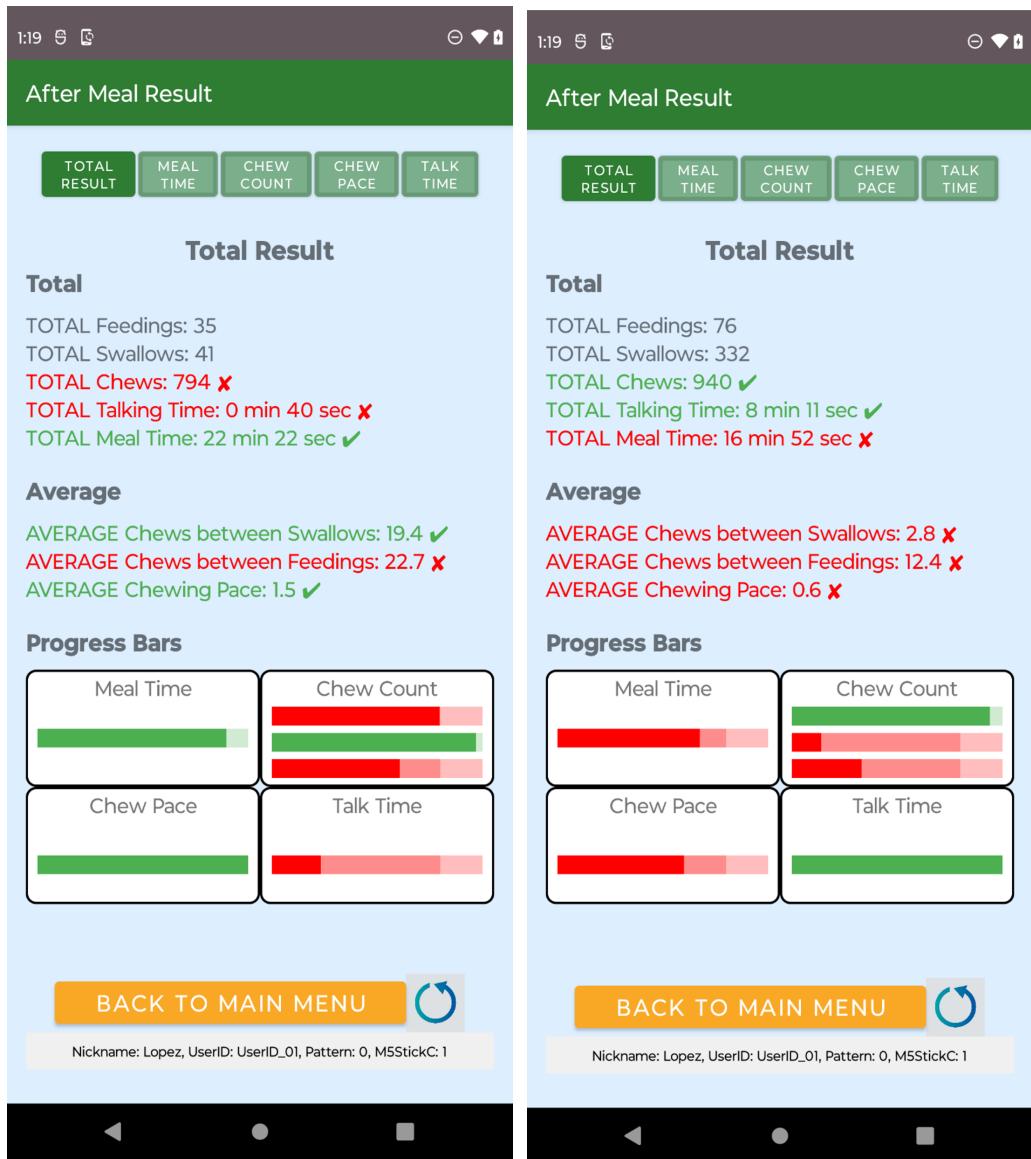


図 3.23: 全体の結果 (Total Result) の画面例

食事時間 (Meal Time) の画面のスクリーンショットを図 3.24 に示す。一つの進行バーが表示されており、食事時間の達成度を表す。進行バーの上部にある「Target」は基準値を、「Max」は進行バーの最大値を示しており、進行バーの下部にある「You」はユーザの結果を表す。結果が基準値を満たす場合（達成）、進行バーは緑色に、基準値を満たさない場合（未達成）は赤色に表示される。15 分から 20 分が理想的な食事時間である [39] ということから、基準値を 1200 秒（20 分）とした。進行バーの下部にはアドバイスが表示され、達成した場合と、達成しなかった場合で異なるアドバイスが表示される。アドバイスを表 3.3 に示す。アドバイスはタップすると日本語版、英語版を切り替えられる。

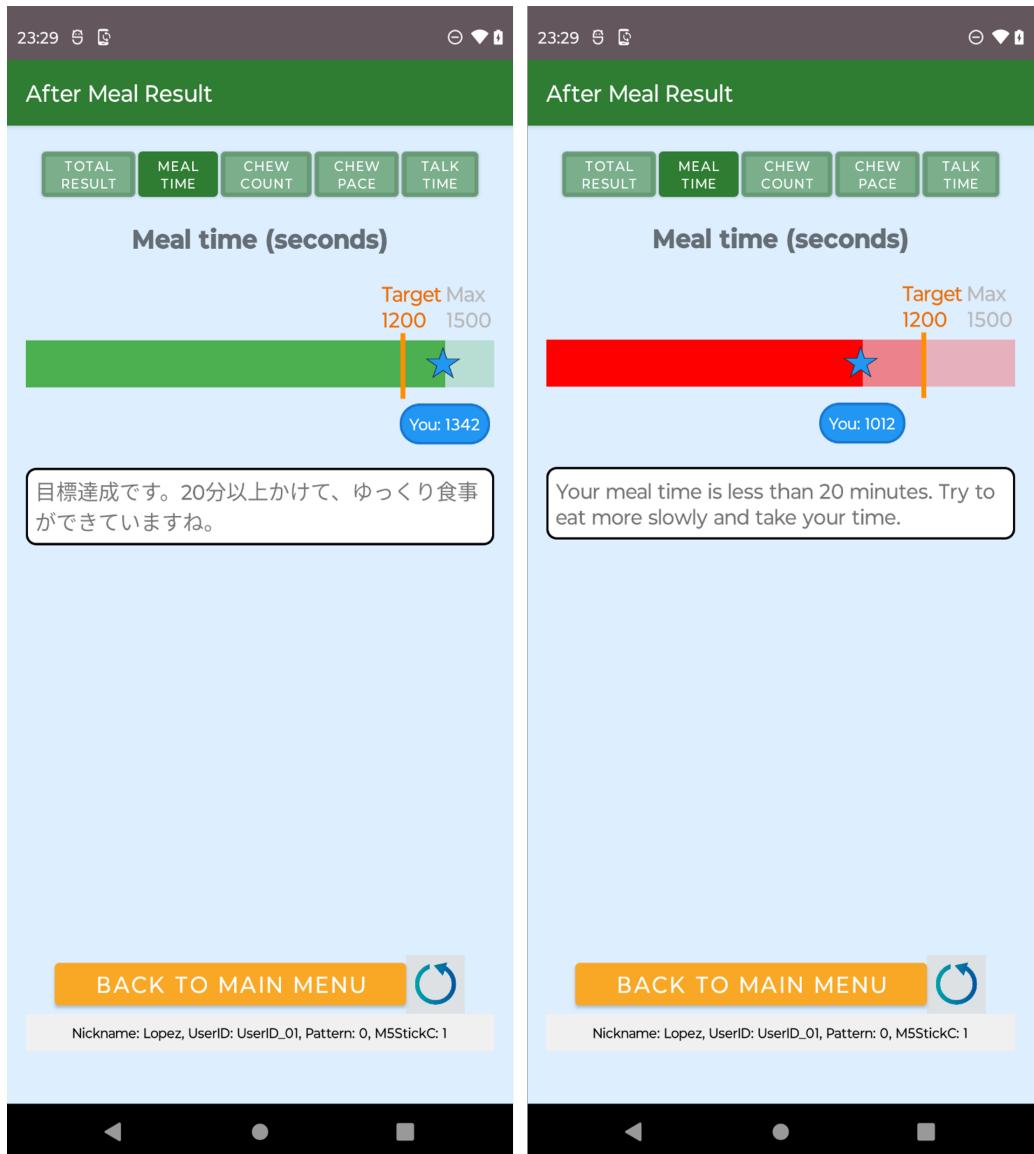


図 3.24: 食事時間 (Meal Time) の結果の画面例

表 3.3: 食事後のフィードバックによる食事時間についてのアドバイス

達成状況	日本語のアドバイス	英語のアドバイス
達成時	目標達成です。20分以上かけて、ゆっくり食事ができていますね。	Great job! You've taken more than 20 minutes for your meal, eating at a relaxed pace.
未達成時	食事時間が20分未満です。もう少しゆっくり時間をかけて食事をしましょう。	Your meal time is less than 20 minutes. Try to eat more slowly and take your time.

咀嚼回数 (Chew Count) のスクリーンショットを図 3.25 に示す。3つの進行バーが表示

されており、「Total Chews」は食事全体の咀嚼回数の達成度を、「Average Chews between Swallows」は嚥下から次の嚥下までの咀嚼回数の平均の達成度を、「Average Chews between Feedings」は摂食から次の摂食までの咀嚼回数の平均の達成度を表す。食事時間の画面と同様に、それぞれの進行バーの上部にある「Target」は基準値を、「Max」は進行バーの最大値を示しており、進行バーの下部にある「You」はユーザの結果を表す。結果が基準値を満たす場合（達成）、進行バーは緑色に、基準値を満たさない場合（未達成）は赤色に表示される。厚生労働省による「噛ミング30（カミングサンマル）」という一口30回噛むことを目標とするスローガン[38]から、「Average Chews between Feedings」の基準値は30回とした。また、1日100口以上食べ物を食べることが理想であるため[40]、一食33口以上食べることが理想だと考える。一口を摂食から摂食までと考えると、30回の咀嚼を33回分で1000回程度が理想となるが、食事内容により変動しやすいため、その8割の800を「Total Chews」の基準値とする。3.6.2節で述べた理由から、「Average Chews between Swallows」の基準値は16回とする。画面下部にはアドバイスが表示され、3つの指標の達成状況により異なるアドバイスが表示される。アドバイスを表3.4に示す。○は達成、×は未達成を示す。

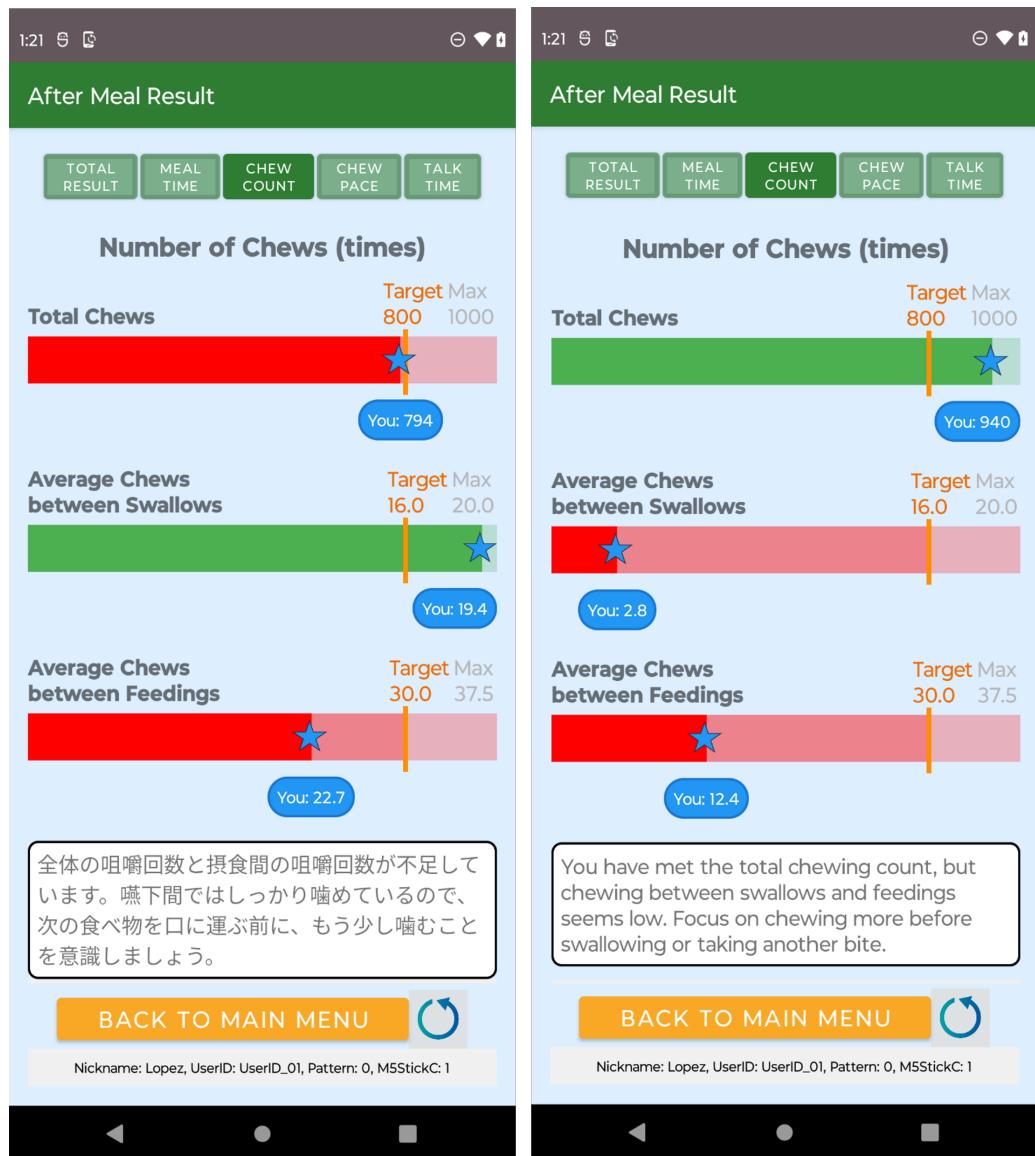


図 3.25: 咀嚼回数 (Chew Count) の結果の画面例

表 3.4: 食事後のフィードバックによる咀嚼回数についてのアドバイス

達成状況	日本語のアドバイス	英語のアドバイス
○総咀嚼回数 ○嚥下間の咀嚼回数 ○摂食間の咀嚼回数	目標の咀嚼回数をすべて達成しました！ しっかり噛んで食事ができています。この調子で続けましょう。	You have achieved all the chewing goals! You are chewing thoroughly during meals. Keep up the good work.
×総咀嚼回数 ×嚥下間の咀嚼回数 ×摂食間の咀嚼回数	全体的に噛む回数が少ないようです。飲み込む前や食べ物を口に運ぶ前に、もっとよく噛むことを意識してみてください。	Your overall chewing count seems low. Try to chew more thoroughly before swallowing or taking another bite.
×総咀嚼回数 ○嚥下間の咀嚼回数 ○摂食間の咀嚼回数	一口ごとにしっかり噛めていますが、全体の回数が少ないようです。一口分の量が多いかもしれません。口に運ぶ量を減らしてみましょう。	You are chewing thoroughly for each bite, but your overall count is low. Consider reducing the size of each bite.
○総咀嚼回数 ×嚥下間の咀嚼回数 ○摂食間の咀嚼回数	全体の咀嚼回数と摂食間の咀嚼回数は目標を達成していますが、嚥下間での咀嚼が少ないようです。飲み込む前にもう少し噛むことを意識しましょう。	You have met the total chewing count and chewing between bites, but chewing between swallows is low. Try chewing more before swallowing.
○総咀嚼回数 ○嚥下間の咀嚼回数 ×摂食間の咀嚼回数	全体の咀嚼回数と嚥下間の咀嚼回数は目標を達成していますが、摂食間での咀嚼回数が少ないようです。次の食べ物を口に運ぶ前に、もう少し噛むことを意識しましょう。	You have met the total chewing count and chewing between swallows, but chewing between feedings is low. Try chewing more before taking the next bite.
×総咀嚼回数 ×嚥下間の咀嚼回数 ○摂食間の咀嚼回数	全体の咀嚼回数と嚥下間の咀嚼回数が不足しています。1口を食べるために咀嚼はしっかりできているので、飲み込む前にもう少し噛むことを意識しましょう。	The total chewing count and chewing between swallows are insufficient. You chew well for each bite, but try chewing more before swallowing.
×総咀嚼回数 ○嚥下間の咀嚼回数 ×摂食間の咀嚼回数	全体の咀嚼回数と摂食間の咀嚼回数が不足しています。嚥下間ではしっかり噛めているので、次の食べ物を口に運ぶ前に、もう少し噛むことを意識しましょう。	The total chewing count and chewing between feedings are insufficient. You chew well between swallows, but try chewing more before taking the next bite.
○総咀嚼回数 ×嚥下間の咀嚼回数 ×摂食間の咀嚼回数	全体の咀嚼回数は目標を達成していますが、嚥下間や摂食間での咀嚼が少ないようです。飲み込む前や食べ物を口に運ぶ前に、もっとよく噛むことを意識してみてください。	You have met the total chewing count, but chewing between swallows and feedings seems low. Focus on chewing more before swallowing or taking another bite.

咀嚼ペース (Chew Pace) の画面のスクリーンショットを図 3.26 に示す。一つの進行バーが表示されており、咀嚼ペースの達成度を表す。上記と同様、進行バーの上部にある「Target」は基準値を、「Max」は進行バーの最大値を示しており、進行バーの下部にある「You」はユーザの結果を表す。結果が基準値を満たす場合（達成）、進行バーは緑色に、基準値を満たさない場合（未達成）は赤色に表示される。3.6.2 節で述べた理由から、基準値を 1.0 秒とした。進行バーの下部にはアドバイスが表示され、達成した場合と、達成しなかった場合で異なるアドバイスが表示される。アドバイスを表 3.5 に示す。

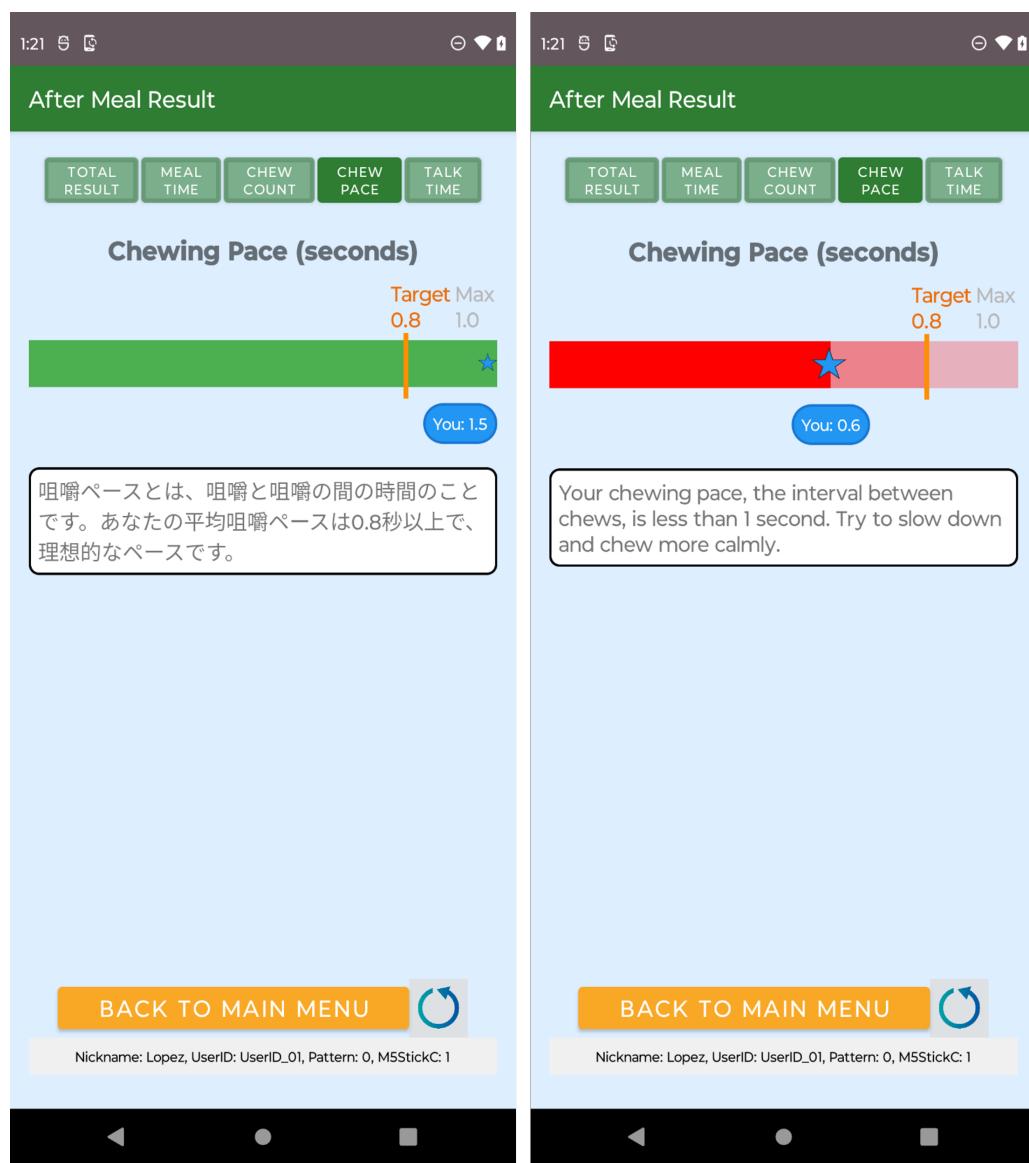


図 3.26: 咀嚼ペース (Chew Pace) の結果の画面例

表 3.5: 食事後のフィードバックによる咀嚼ペースについてのアドバイス

達成状況	日本語のアドバイス	英語のアドバイス
達成時	咀嚼ペースとは、咀嚼と咀嚼の間の時間のことです。あなたの平均咀嚼ペースは0.8秒以上で、理想的なペースです。	Your chewing pace, the interval between chews, is ideal at an average of 1 second or more. Well done!
未達成時	咀嚼ペースとは、咀嚼と咀嚼の間の時間のことです。あなたの平均咀嚼ペースは0.8秒未満なので、急がずにゆっくり噛んで、咀嚼ペースを落としてみましょう。	Your chewing pace, the interval between chews, is less than 1 second. Try to slow down and chew more calmly.

会話時間 (Talk Time) の画面のスクリーンショットを図 3.27 に示す。一つの進行バーが表示されており、食事全体の時間に対する会話時間の割合の達成度を表す。上記と同様、進行バーの上部にある「Target」は基準値を、「Max」は進行バーの最大値を示しており、進行バーの下部にある「You」はユーザの結果を表す。結果が基準値を満たす場合（達成）、進行バーは緑色に、基準値を満たさない場合（未達成）は赤色に表示される。1.1.4 節で会話のある食事が望ましいことから、基準値を 10.0 %とした。進行バーの下部にはアドバイスが表示され、達成した場合と、達成しなかった場合で異なるアドバイスが表示される。アドバイスを表 3.6 に示す。

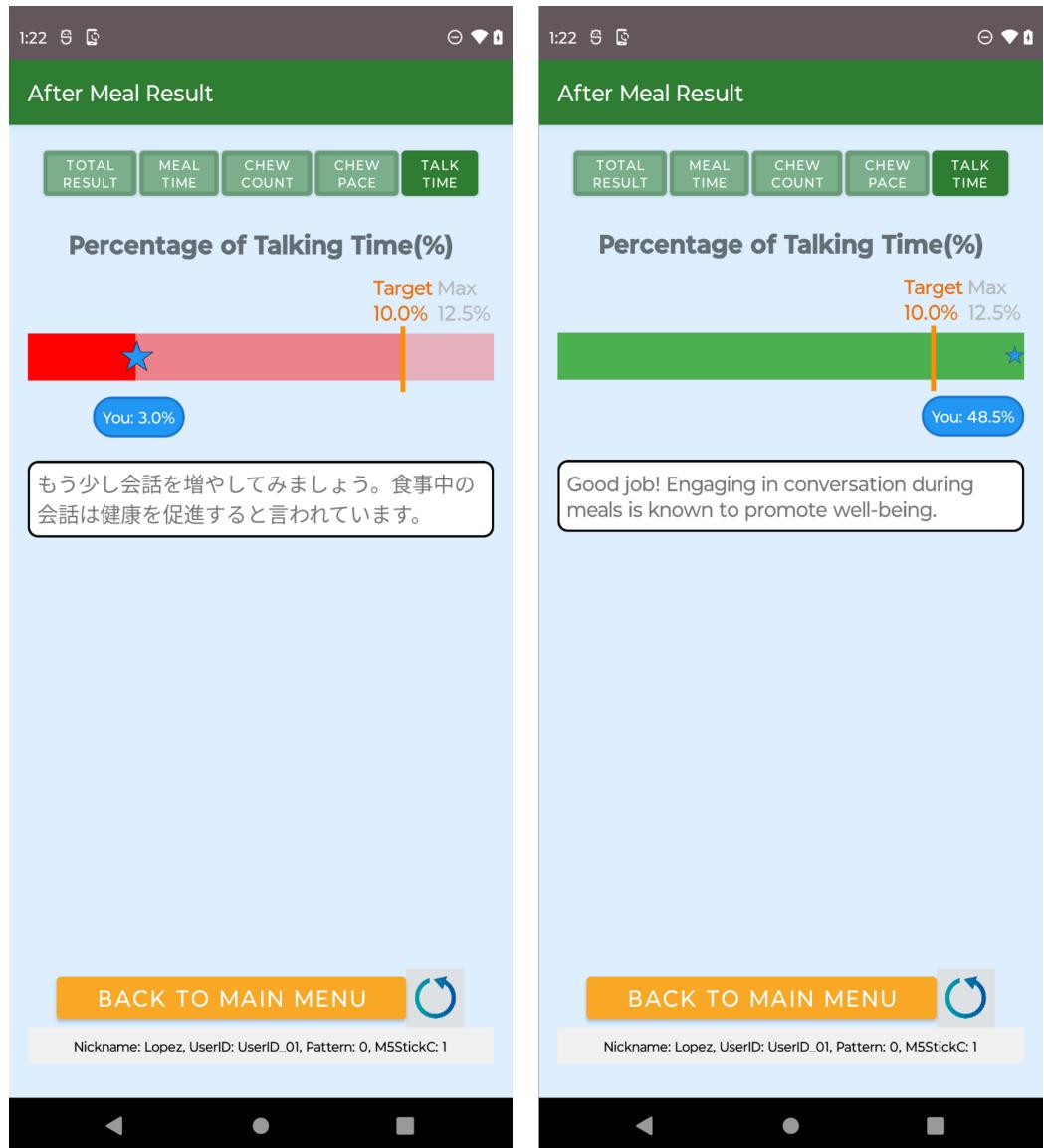


図 3.27: 会話時間 (Talk Time) の結果の画面例

表 3.6: 食事後のフィードバックによる会話時間についてのアドバイス

達成状況	日本語のアドバイス	英語のアドバイス
達成時	良い会話時間です。食事中の会話は健康を促進すると言われています。	Good job! Engaging in conversation during meals is known to promote well-being.
未達成時	もう少し会話を増やしてみましょう。食事中の会話は健康を促進すると言われています。	Try to increase your talking time. Conversation during meals can promote health and enjoyment.

3.6.4 過去のデータ参照の視覚的フィードバック

メニュー画面の「Past Data」ボタンから、過去の食事データを参照できる。「Past Data」ボタンを押すと過去の食事データ一覧画面に移動し、その画面を図 3.28 に示す。画面上部には、食事開始時間と合計の食事時間とともに、過去の食事データが一覧表示されており、スクロールが可能である。また、任意の食事データをタップすると、食事直後に表示されたフィードバックを再確認できる（図 3.29）。さらに、図 3.28 に示す画面の下部には、食事に関する各指標（食事時間（Meal Time）、全体の咀嚼回数（Total Chews）、嚥下間の咀嚼回数（Chews per Swallow）、摂食間の咀嚼回数（Chews per Feeding）、咀嚼ペース（Chew Pace）、会話時間（Talk Time））の棒グラフが表示される。この棒グラフは、過去の全食事データを時系列順に並べたもので、各指標の推移を可視化できる。グラフには基準値を示す赤い線が引かれており、基準値を達成した場合は緑色の棒、達成できなかった場合は赤色の棒で表示される。グラフをタップすると、詳細を確認できるダイアログが表示され、拡大表示される（図 3.30）。具体的な値や日付などを確認できる。過去の食事データを再確認・比較することで、自身の食習慣を振り返り、より良い食事を心がけるようになることが期待できる。

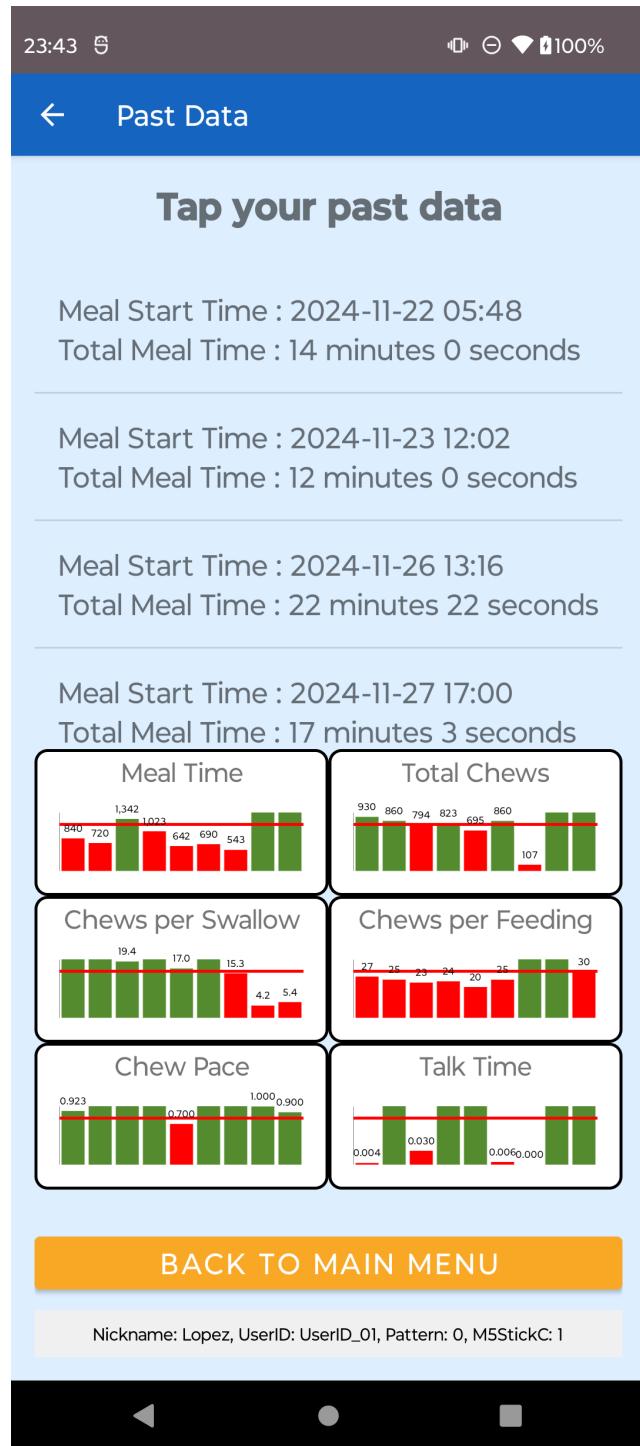


図 3.28: 過去の食事データ一覧画面

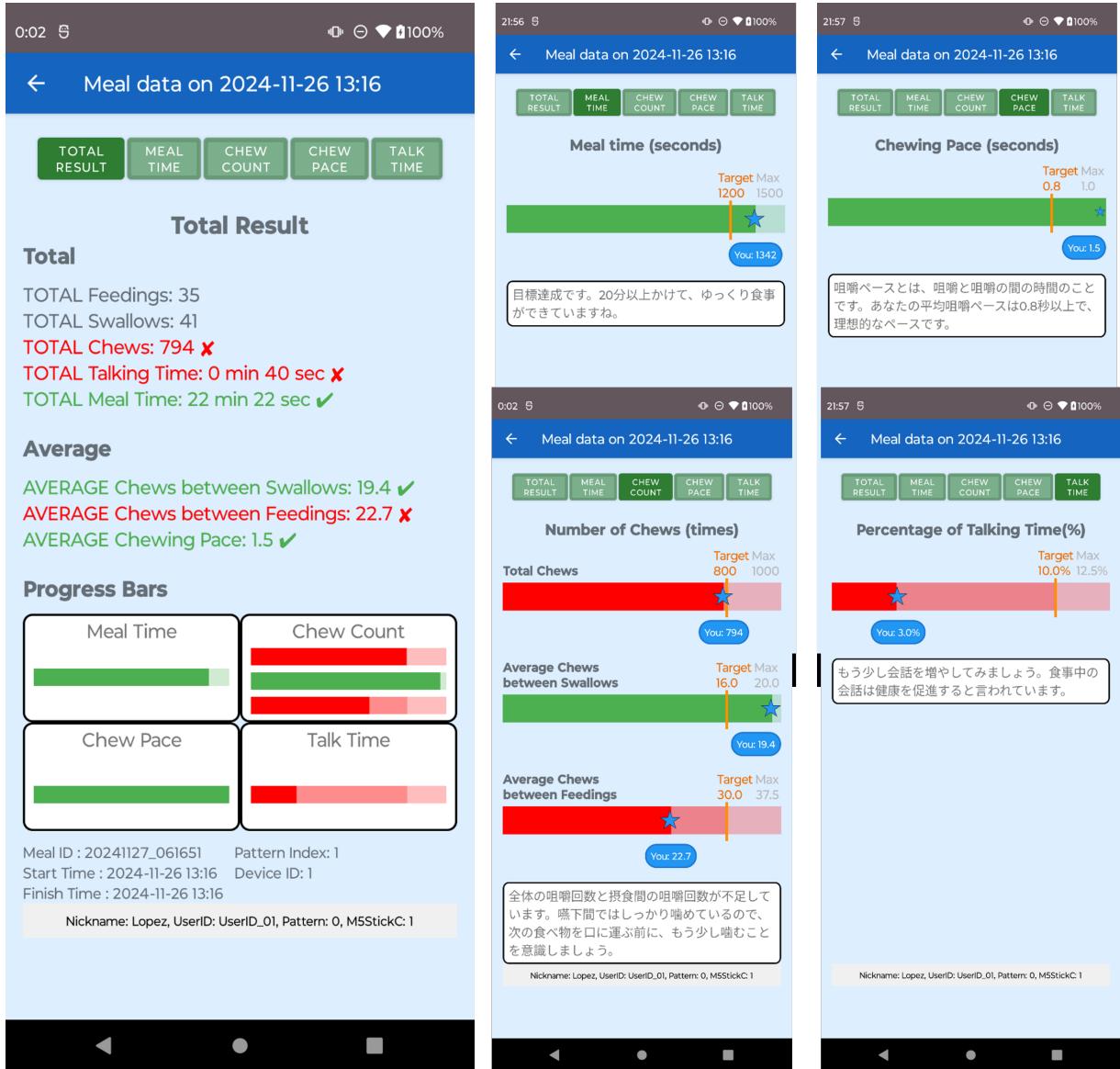


図 3.29: 任意の食事データタップ後にフィールドバックが再確認できる画面

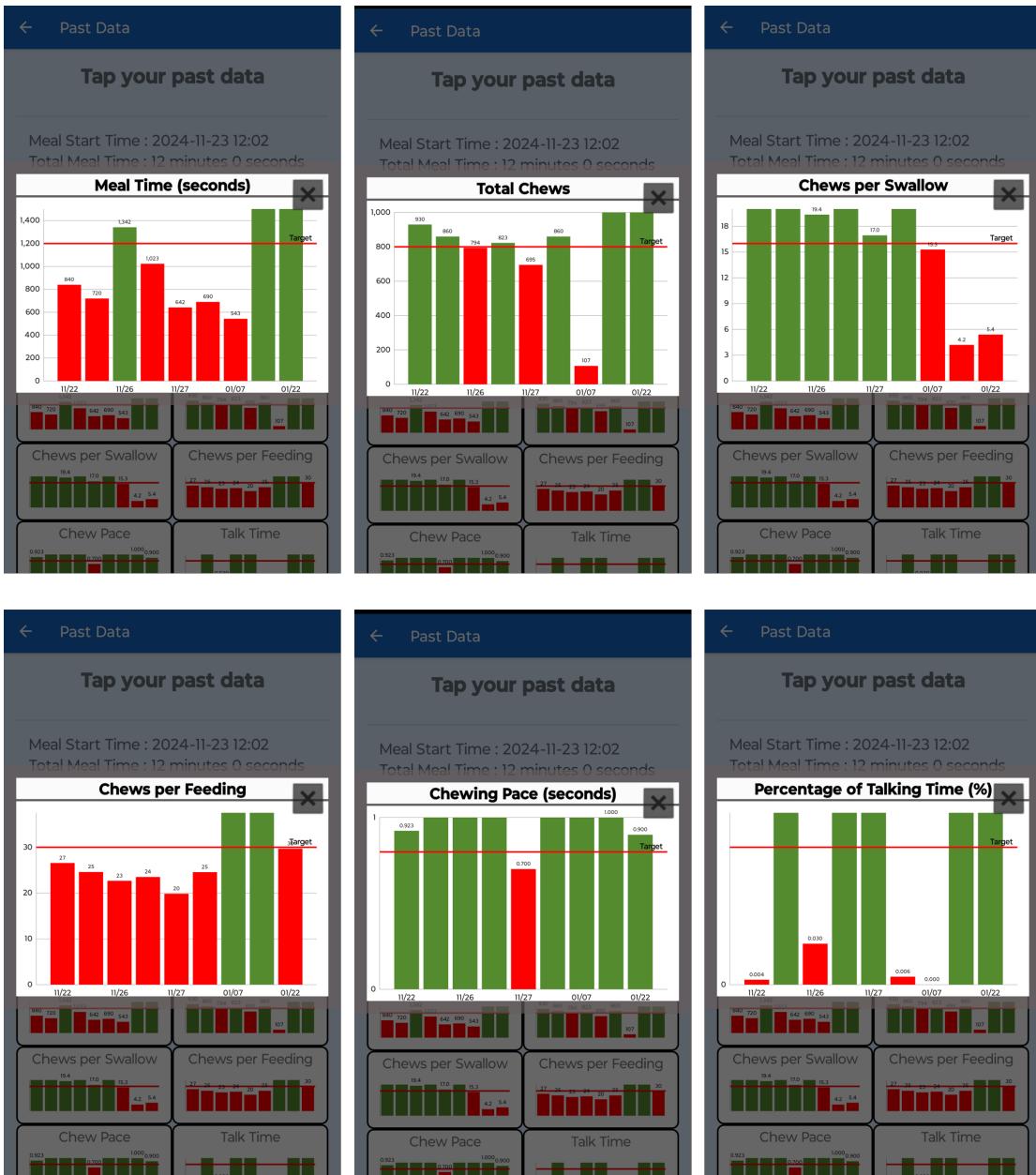


図 3.30: 棒グラフをタップ後に棒グラフを拡大表示するダイアログ

第4章 Chewker の食事行動検出精度評価実験

本章では、食事行動分類の精度を評価するための実験方法について述べる。実験の責任者は、臨床研究のeラーニングコース「ICR Introduction to Clinical Research」における「人を対象とする医学系研究に関する倫理指針」の研修を受講し、修了している。

4.1 食事行動検出精度実験概要

本実験の目的は、食事行動（主に摂食、咀嚼、嚥下）の検出精度を確認することである。

4.2 食事行動検出精度実験手順

20代男女15人を被験者として、研究室でネックレス型デバイスを着用し、ピーナッツを口に運び、20回咀嚼をして1回嚥下するという一連の行動を4回行った。1回目はキャリブレーションのためであり、精度評価に用いるデータは3回分である。キャリブレーションを行い閾値が決定された後、計測を開始し、3回分の一連の行動を連続で行った後、計測を終了した。評価する際の真の値は、ビデオカメラによって録画したビデオ映像の目視によって決定する。

4.3 食事行動検出精度実験結果

精度実験での全体の、摂食、咀嚼、嚥下の分類の混合行列を図4.1に示す。摂食(Feeding)45回、咀嚼(Chewing)900回、嚥下(Swallowing)45回分のデータである。実際に食事行動をした時に、正しく検出されたものの数をTP、実際には行動していないのに検出されてしまったものの数をFP、実際に行動しているのに検出されなかったものの数をTNとし、Precision, Recall, F1-scoreを算出した結果を表4.1に示す。摂食と嚥下はデータが

少ないが、咀嚼の F1-score 85 % とかなり高い。嚥下は再現性 (recall) は高いものの、咀嚼を嚥下として検出してしまうことが多く、F1-score は 60 % となった。

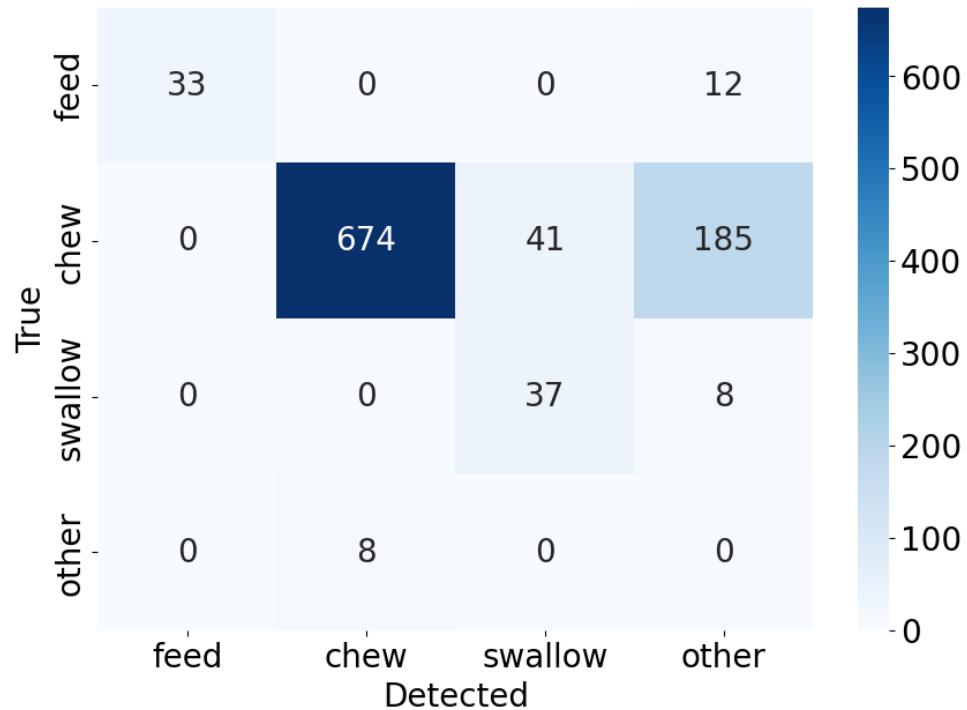


図 4.1: 精度実験における食事行動検出精度を示す混合行列

表 4.1: 食事行動分類精度結果

	Precision	Recall	F1-score
Feeding	1.00	0.73	0.85
Chewing	0.99	0.75	0.85
Swallowing	0.47	0.82	0.60

食事行動ごとの詳細な考察をするため、各被験者の F1-score を示す棒グラフを図 4.2, 図 4.3, 図 4.4 に示し、全体の分布を示す箱ひげ図を図 4.5 に示す。棒グラフでは、各被験者ごとの F1-score を視覚的に比較することができる。一方、箱ひげ図では、各食事行動の F1-score の分布のばらつきや外れ値を確認できる。これらの図を用いることで、摂食、咀嚼、嚥下の検出精度における個人差や、全体としての精度の傾向を分析することが可能となる。さらに、各食事行動の F1-score の統計的指標として、平均値および中央値を表 4.2 に示す。

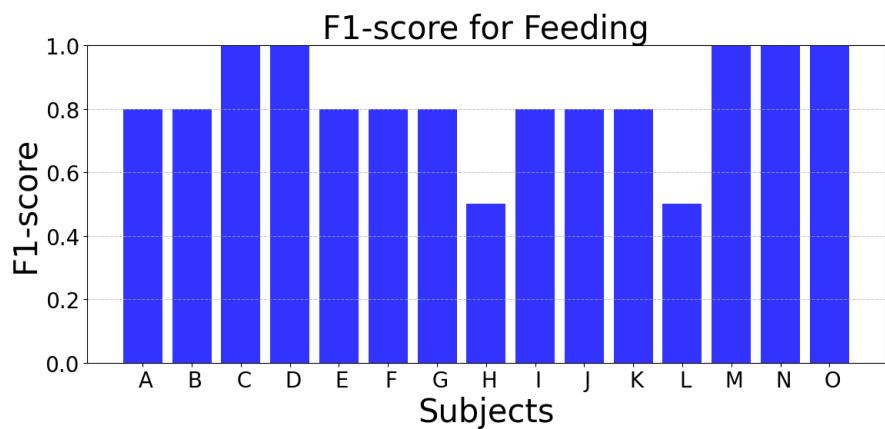


図 4.2: 被験者ごとの摂食検出精度 (F1-score)

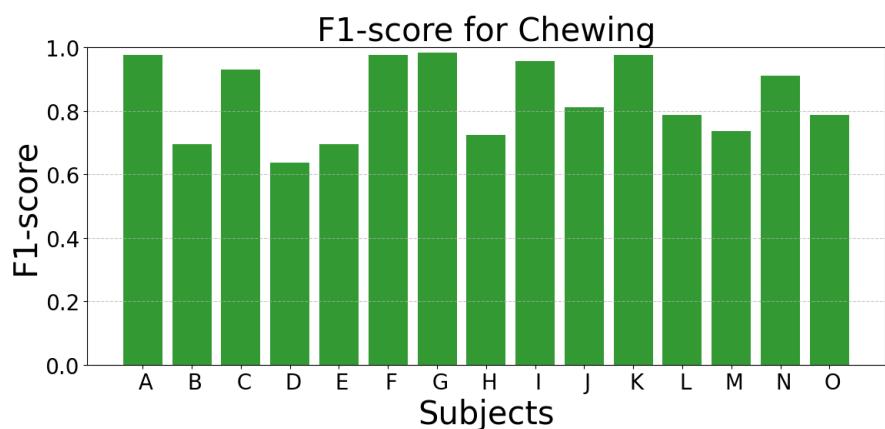


図 4.3: 被験者ごとの咀嚼検出精度 (F1-score)

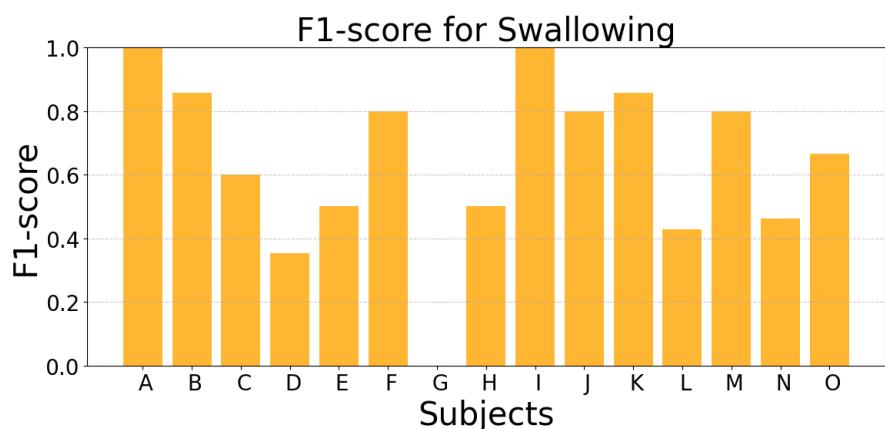


図 4.4: 被験者ごとの嚥下検出精度 (F1-score)

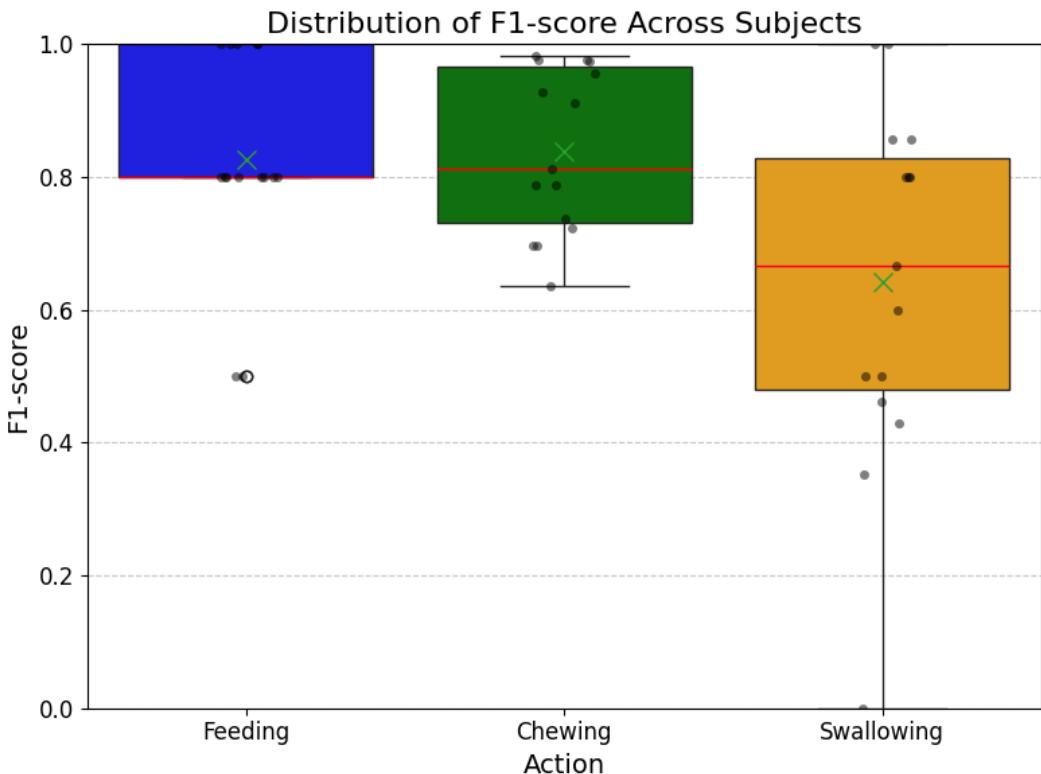


図 4.5: 食事行動ごとの F1-score の分布

表 4.2: 各食事行動における F1-score の統計値

	Mean	Median
Feeding	0.827	0.800
Chewing	0.839	0.812
Swallowing	0.642	0.667

表 4.2 から、咀嚼の F1-score の平均値 (0.839) および中央値 (0.812) が最も高く、次いで摂食 (平均値 0.827, 中央値 0.800) が続いていることが分かる。嚥下の F1-score は平均値が 0.642、中央値が 0.667 となっており、他の食事行動と比較して低い値を示している。これらの結果を踏まえ、個々の食事行動について詳しく考察する。

4.3.1 摂食の検出精度

図 4.2 および図 4.5 に示すように、摂食 (Feeding) の F1-score の平均値は 0.827、中央値は 0.800 であり、多くの被験者において高い精度が得られている。特に、15 名のうち 13

名の F1-score は 0.8 以上であり、精度の安定性が確認された。これは、超音波センサによる手の検出と IMU による前傾姿勢の検出を組み合わせることで、摂食の特徴的な動作を捉えやすいことに起因すると考えられる。

一方で、2 名の被験者では F1-score が 0.5 以下であり、個人差による影響が見られた。この要因として、手の動きや姿勢の違いが挙げられる。しかし、全体的には F1-score の分布が比較的狭く、キャリブレーションによる個別調整が有効に機能していると考えられる。今後は、さらに個別適応の閾値調整を行うことで、より安定した摂食検出が可能になると期待される。

4.3.2 咀嚼の検出精度

図 4.3 および図 4.5 に示すように、咀嚼 (Chewing) の F1-score の平均値は 0.839、中央値は 0.812 であり、他の食事行動と比較して最も高い精度が得られた。また、全被験者の F1-score は 0.6 以上であり、0.8 以上の F1-score を記録した被験者は 15 名中 8 名と、半数以上が高い精度を示した。さらに、咀嚼データは 1 人あたり 20 回分と豊富に取得されており、摂食や嚥下に比べて統計的に信頼性の高い精度評価が可能である。

咀嚼の検出精度が高い理由として、本システムがキャリブレーションを導入し、各個人に適した閾値を設定したことが挙げられる。キャリブレーション時に被験者の咀嚼パターンを取得し、個別に最適化した閾値を適用することで、咀嚼の個人差に対応しやすくなつた。また、ローパスフィルタ (RC フィルタ) を用いたノイズ除去により、ピエゾフィルムセンサの信号が滑らかに処理され、ピーク検出の精度が向上した。さらに、センサの装着方法やハードウェアの改良を行い、咀嚼時の振動をより安定して取得できるようにしたことでも、精度向上に寄与したと考えられる。

一方で、F1-score が 0.6 付近の被験者も存在しており、これは咀嚼の強さや速さに個人差があることに起因すると考えられる。特に、咀嚼が小さい、または速いリズムで行われる場合、ピークの振幅が小さくなり、閾値を超えないケースがある。今後の改善点として、ピーク検出の閾値を可変にし、連続する咀嚼パターンを考慮することで、より高精度な咀嚼検出が可能になると期待される。

4.3.3 嘔下の検出精度

図4.4および図4.5に示すように、嘔下 (Swallowing) のF1-scoreの平均値は0.642、中央値は0.667であり、他の食事行動と比較して最も精度が低かった。また、被験者ごとのばらつきが大きく、F1-scoreが0.8以上の被験者がいる一方で、0.4以下の被験者も複数存在する。これは、嘔下の個人差が大きいことに起因すると考えられる。さらに、嘔下のデータは1人あたり3回と少なく、統計的に評価が不安定になりやすいことも影響していると考えられる。

嘔下の検出精度が低い原因として、咀嚼と嘔下のピークが類似しており、咀嚼を嘔下として誤検出するケースがあることが考えられる。本システムでは、ピエゾフィルムの信号のピーク値を基に嘔下を判定しているが、嘔下時のピーク値が咀嚼時と類似している場合、明確な判別が困難になる。特に、嘔下時の喉の動きが小さい被験者では、嘔下のピークが検出されにくくなる可能性がある。

キャリブレーション時に嘔下時のピーク値の分布をより詳細に分析し、各個人に適した閾値をさらに細かく設定することが有効と考えられる。また、ピエゾフィルムの装着方法を最適化し、嘔下時の振動をより正確に捉えることで、検出の安定性を向上させる必要がある。

第5章 Chewker のフィードバック効果検証

本章では、Chewker のフィードバック、特にリアルタイムフィードバックの有効性を検証するための実験について説明する。

5.1 フィードバック効果検証概要

本実験は、スマートフォンによる音楽を用いたリアルタイムフィードバックが、食事行動そのものや、食事行動への意識にどう影響を与えるかを検証するために実施された。実験の責任者は、精度実験同様、臨床研究の e ラーニングコース「ICR Introduction to Clinical Research」における「人を対象とする医学系研究に関する倫理指針」の研修を受講し、修了している。さらに、実験の全参加者には研究内容の説明を行い、同意書への署名を得ている。

5.2 フィードバック効果検証手順

20代の男女11名のデータを収集した。本実験では、食事中の会話も必要とされたため、被験者は2人以上のグループで食事を行った。各被験者は、リアルタイムフィードバックなしで食事をする条件と、リアルタイムフィードバックを受けながら食事をする条件の2回の実験を、異なる日に行った。全て昼食の時間帯に行われ、2回の実験の時間帯がなるべく同じになるようにした。

実験で使用した弁当は学食で販売されているものであり、すべて同じ形状のトレイに盛り付けられ、おおよそ同じ量であった。また、各被験者が2回の実験で全く同じ弁当を食べるようになり、主菜の違いが影響しないように配慮した。弁当の主菜として、ハンバーグ、ヒレカツ、レバニラ炒め、チキン南蛮、白身フライ、酢豚の6種類を用いた。図5.1に弁当の例を示す。

実験の流れは、同意書への署名、事前アンケートの回答、実験1日目、実験2日目、2

つの実験後アンケートの回答である。実験の様子を図5.2に示す。被験者は両条件の実験においてネックレス型デバイスを装着し、スマートフォンを机に置いて、アプリを使用しながら食事をした。食事終了後は食事直後のフィードバック画面を確認した。食事時間の制限などは設けていない。記録のために口元や顎、首が移るようビデオ録画をした。リアルタイムフィードバックありの条件では、音楽が低速になるフィードバックに基づき、嚥下間の咀嚼回数や咀嚼ペースを意識することが求められた。リアルタイムフィードバックなしの条件では、ネックレス型デバイスを装着し、音楽は再生されたが、音楽の速度変化のフィードバックや、テキストによるフィードバックは提示されなかった。初期設定の画面で計測パターンを実験管理者が選ぶことで、フィードバックの有無を制御できる(3.3節参照)。アンケートは、実験前に回答する事前アンケート、実験後に回答するSUSアンケートとChewkerに関するアンケートの3つを用意した。



図 5.1: 実験で使用された弁当の例



図 5.2: 実験の様子

5.2.1 事前アンケート

実験前に、被験者は以下の質問項目について回答し、食事に関する意識や習慣を確認した。回答形式は5段階評価または選択式であり、被験者の食事速度や咀嚼、食事中の会話、音楽の聴取習慣などに関するデータを収集することを目的とした。図5.3に質問票のフォームを示す。

まず、被験者にはアプリ上で表示されるためのニックネームを決定してもらった。次に、「自分は早食いだ（食べるスピードが速い）と思いますか」、「普段の食事で、噛むことを意識していますか」、「普段の食事で、会話することを意識していますか」の3項目について、5段階評価で回答した。また、被験者が普段の食事中に音楽を聞く習慣があるかを確認するため、「音楽を聞きながら食事をする頻度はどれくらいですか（レストランなどのBGMも含む）」という質問を設定し、選択肢として「1日に一度以上」、「2~3日に一度程度」、「1週間に一度程度」、「全くない」の4つを用意した。

さらに、本実験ではYouTubeの再生リストを用いたリアルタイムフィードバックを行うため、被験者に実験中に聴取する音楽の選択を求めた。選択肢の中から好きな再生リス

トを選択するか、その他の欄に希望する YouTube 再生リストのリンクを入力する形式とした。ただし、アプリへの埋め込みができない再生リストについては対応できない可能性があることを事前に伝えた。

最後に、被験者の安全を確保するため、食材に関するアレルギーの有無を確認した。「ない」と回答した被験者はここで質問が終了し、「ある」と回答した被験者には、具体的なアレルギー食材について追加で回答を求めた。

事前アンケート(Chewker)

この度は実験にご協力ありがとうございます。以下についてお答えください。

* 必須の質問です

名前フルネーム（例：青山花子）*

回答を入力

音楽を聴きながら食事をする頻度はどれくらいですか（レストランなどのBGMも含む）*

- 1日に一度以上
- 2~3日に一度程度
- 1週間に一度程度
- 全くない
- その他: _____

ニックネーム（アプリを使用する際、あなたを示すニックネームです。他人に見られるてもよいニックネームを決めて下さい。）

回答を入力

実験中にYoutubeの再生リストの音楽を聴きながら食事をしていただきます。選択肢の中から、好きな再生リストを選んでください。この中に好きなものがない場合、その他の欄に好きなYoutubeの再生リストのリンクを入力してください。（※ただし、アプリへの埋め込みができない再生リストの場合、要望に応えられない場合があります）

- Mrs.GREEN APPLE メドレー
- 緑黄色社会MV
- SEKAI NO OWARI MV
- シブリメドレー
- 洋楽メドレー
- アニソンメドレー
- 2024Jpopメドレー
- Voudny MV
- クラシックメドレー
- THE FIRST TAKE
- その他: _____

自分は早食いだ（食べるスピードが速い）と思いますか*

1	2	3	4	5	
全く思わない	<input type="radio"/> 非常にそう思う				

普段の食事で、噛むことを意識していますか*

1	2	3	4	5	
全く思わない	<input type="radio"/> 非常にそう思う				

普段の食事で、会話することを意識していますか*

1	2	3	4	5	
全く思わない	<input type="radio"/> 非常にそう思う				

食材に関するアレルギーはありますか（「ない」を選んだ方は質問は以上になります。）

- ない
- ある

食材に関するアレルギーが「ある」と答えた方はアレルギーの食材を教えてください。

回答を入力

送信 フォームをクリア

図 5.3: 事前アンケート質問事項

5.2.2 SUS アンケート

SUS アンケートは System Usability Scale の略で、ジョン・ブルック (John Brooke) により 1986 年に開発され、システムのユーザビリティの受け止められ方について測定するために最も広く利用されている質問票である [41][42]。このスケールは、1（まったくそう思わない）から 5（まったくそう思う）の 10 の記述から成り立っている。奇数項目の設問は肯定的な質問であり、偶数番号の設問は否定的な質問である。集計方法は、奇数番号の設問に対しては回答番号から 1 を引く。偶数番号の設問に対しては、5 から回答番号を引く。そして、合計スコアに 2.5 をかけて 0 から 100 までのスケールに変換する。各スコアに対する評価の指標を図 5.4 に示す。

Grade	SUS	Percentile	Adjective
A+	84.1-100	96-100	Best Imaginable
A	80.8-84.0	90-95	Excellent
A-	78.9-80.7	85-89	
B+	77.2-78.8	80-84	
B	74.1 – 77.1	70 – 79	
B-	72.6 – 74.0	65 – 69	
C+	71.1 – 72.5	60 – 64	Good
C	65.0 – 71.0	41 – 59	
C-	62.7 – 64.9	35 – 40	
D	51.7 – 62.6	15 – 34	OK
F	25.1 – 51.6	2 – 14	Poor
F	0-25	0-1.9	Worst Imaginable

図 5.4: SUS スコア指標 ([41][42] から引用)

5.2.3 Chewker についてのアンケート

実験後、被験者は「Chewker に関するアンケート」に回答し、本システムの使用感やフィードバックの効果について評価を行った。このアンケートは、食事中の意識の変化、

システムのフィードバックの理解度、装着デバイスの違和感、およびシステムの継続利用意向について調査することを目的としている。図5.5に質問票のフォームを示す。

まず、被験者が本システムを使用したことによる食事中の意識の変化を評価するため、「食事中に噛むことを意識しましたか」、「食事中に発話に関して意識しましたか」、「食事中ゆっくり食べようと意識しましたか」の3項目について5段階評価で回答を求めた。また、システムの装着感について「装着デバイスに違和感はありましたか」という質問を設定した。

次に、リアルタイムフィードバックと食事後のフィードバックの理解度を確認するため、「音楽の速度変化によるリアルタイムフィードバックはわかりやすかったですか」、「リアルタイムフィードバックによってゆっくり噛むことを意識しましたか」、「リアルタイムフィードバックによってたくさん噛むことを意識しましたか」、「スマートフォン上の食事後に表示されるフィードバックはわかりやすかったですか」の4項目について5段階評価で回答を求めた。

さらに、本システムの測定精度に対する主観的評価を収集するため、「システムは咀嚼を正しくカウントしていると感じましたか」、「システムは嚥下（飲み込むこと）を正しく検出していると感じましたか」、「システムは発話を正しく測定していると感じましたか」の3項目について5段階評価で回答を求めた。また、「今後、このシステムを使いたいと思いましたか」という質問を設け、システムの継続利用意向を調査した。咀嚼、嚥下については音楽によるリアルタイムフィードバックに直接関与しているため、リアルタイムフィードバック画面下部の回数表示に注目することが予想されるため、質問に含めた。発話についてもリアルタイムフィードバック画面上に赤字で表示されるため、質問に含めた。摂食はリアルタイムフィードバックには関与しないため、注目する被験者が少ないことが予想され、答えにくいと判断し、質問には含めなかった。

加えて、被験者の自由な意見を収集するため、以下の3つの自由記述形式の質問を設けた：「システムを使用して使いにくかった点・改善した方が良い点があれば教えてください」、「システムの継続利用を想定するならば、どのようなシーンで利用したいと思うか具体的に教えてください」、「システムについて意見などがあれば自由に記述してください」。

実験後アンケート②(Chewker)	
<p>以下のアンケート項目に対して、「1：全く思わなかった」「2：あまり思わなかった」「3：どちらとも言えない」「4：そう思う」「5：非常にそう思う」の5段階で評価をお願いいたします。</p> <p>* 必須の質問です</p>	
<p>名前フルネーム(例：青山花子)*</p> <p>回答を入力</p>	
<p>食事中に噛むことを意識しましたか*</p> <p>1 2 3 4 5</p> <p>全く思わなかった <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> 非常にそう思う</p>	
<p>食事中に発話に関して意識しましたか*</p> <p>1 2 3 4 5</p> <p>全く思わなかった <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> 非常にそう思う</p>	
<p>食事中ゆっくり食べようと意識しましたか*</p> <p>1 2 3 4 5</p> <p>全く思わなかった <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> 非常にそう思う</p>	
<p>装着デバイスに違和感はありましたか*</p> <p>1 2 3 4 5</p> <p>全く思わなかった <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> 非常にそう思う</p>	
<p>今回の食事の量は多かったですか*</p> <p>1 2 3 4 5</p> <p>全く思わなかった <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> 非常にそう思う</p>	
<p>音楽の速度変化によるリアルタイムフィードバックはわかりやすかったですか*</p> <p>1 2 3 4 5</p> <p>全く思わなかった <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> 非常にそう思う</p>	
<p>リアルタイムフィードバックによってゆっくり噛むことを意識しましたか*</p> <p>1 2 3 4 5</p> <p>全く思わなかった <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> 非常にそう思う</p>	
<p>リアルタイムフィードバックによってたくさん噛むことを意識しましたか*</p> <p>1 2 3 4 5</p> <p>全く思わなかった <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> 非常にそう思う</p>	
<p>スマートフォン上の食事後に表示されるフィードバックはわかりやすかったですか*</p> <p>1 2 3 4 5</p> <p>全く思わなかった <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> 非常にそう思う</p>	
<p>システムは咀嚼を正しくカウントしていると感じましたか*</p> <p>1 2 3 4 5</p> <p>全く思わなかった <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> 非常にそう思う</p>	
<p>システムは嚥下(飲み込むこと)を正しく検出していると感じましたか*</p> <p>1 2 3 4 5</p> <p>全く思わなかった <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> 非常にそう思う</p>	
<p>システムは発話を正しく測定していると感じましたか*</p> <p>1 2 3 4 5</p> <p>全く思わなかった <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> 非常にそう思う</p>	
<p>今後、このシステムを使いたいと思いましたか*</p> <p>1 2 3 4 5</p> <p>全く思わなかった <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> 非常にそう思う</p>	
<p>システムを使用して使いにくかった点・改善した方が良い点があれば教えてください(自由記述)</p> <p>回答を入力</p>	
<p>システムの継続利用を想定するならば、どのようなシーンで利用したいと思うか具体的に教えてください(自由記述)</p> <p>回答を入力</p>	
<p>システムについて意見などがあれば自由に記述してください</p> <p>回答を入力</p>	
<input type="button" value="送信"/>	フォームをクリア

図 5.5: Chewker についての実験後アンケート

5.3 フィードバック効果検証結果

全体の食事時間、全体の咀嚼回数、摂食間の咀嚼回数、嚥下間の咀嚼回数、咀嚼ペース、会話時間の 6 つの評価指標について考察する。評価結果は値が大きいほど良好である。

5.3.1 全体の食事時間の結果

全被験者 11 名において、リアルタイムフィードバックを用いた食事の総食事時間は、フィードバックなしの食事と比較して増加した。図 5.6 に各被験者ごとの総食事時間の変化を示す。また、食事時間の結果を箱ひげ図で示したものも以下に示す。図 5.7 は、リアルタイムフィードバックを使用した食事と使用しなかった食事の比較結果を示している。

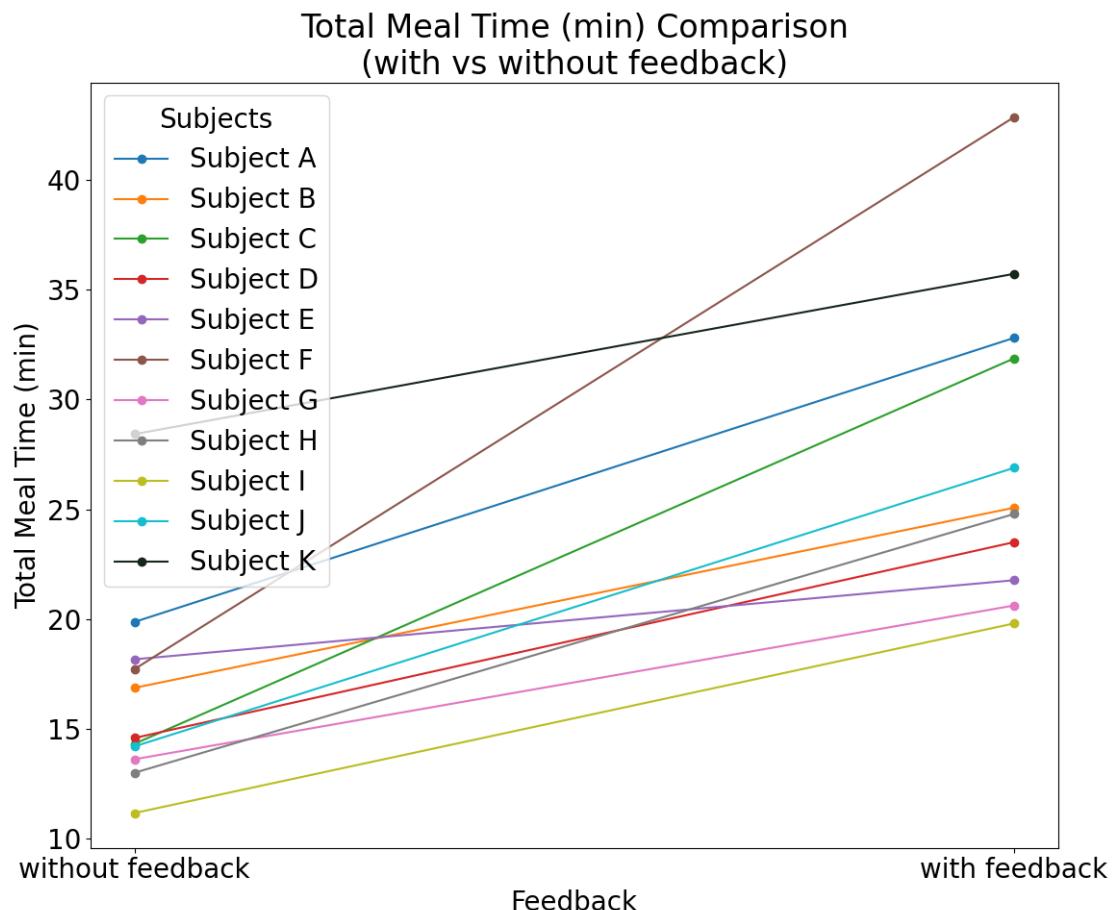


図 5.6: 各被験者ごとの全体の食事時間の変化

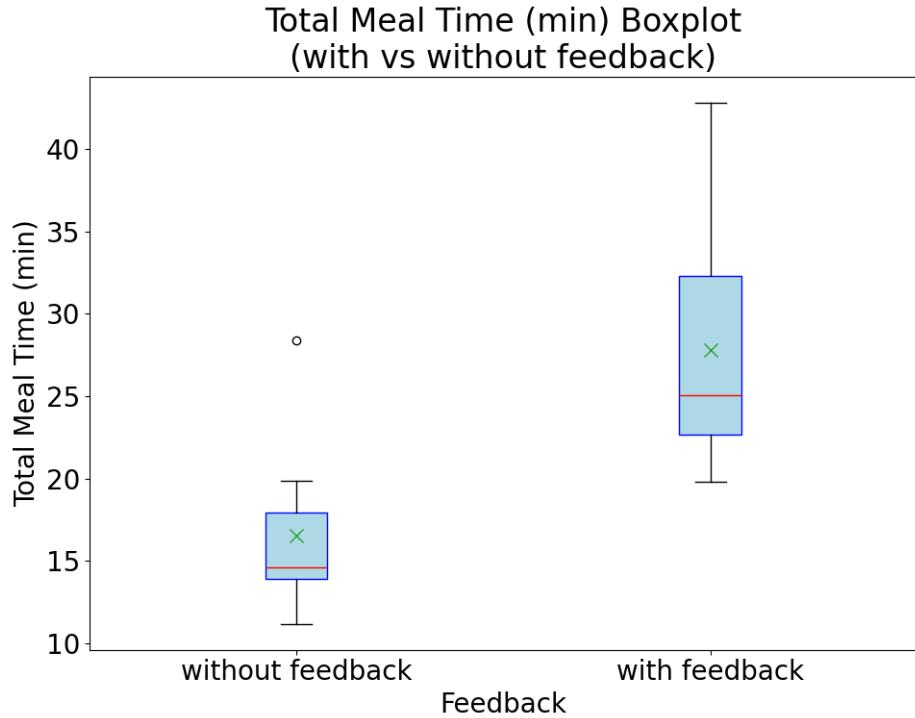


図 5.7: 全体の食事時間の箱ひげ図

箱ひげ図の結果から、リアルタイムフィードバックを使用した食事では、フィードバックなしの食事と比較して平均値および中央値が増加していることが確認された。ウィルコクソンの符号付順位和検定を用いて分析を行った結果、有意差があり ($P < 0.05$)、リアルタイムフィードバックが食事時間の延長に寄与することが明らかとなった。特に、フィードバックなしの食事と比較した食事時間の増加率は平均 68.02 % であった。リアルタイムフィードバックが咀嚼の意識を高め、結果として食事時間の延長につながった可能性が高い。これらの結果から、リアルタイムフィードバックを用いることで、よりゆっくりとした食事が促進されることが示唆された。食事時間の延長は、咀嚼回数の増加や過食防止にもつながるため、本システムは健康的な食習慣の形成に貢献する可能性が高い。

5.3.2 全体の咀嚼回数の結果

全被験者 11 名のうち、リアルタイムフィードバックを使用した食事では、フィードバックなしの食事と比較して咀嚼回数が増加した被験者は 10 名であった。図 5.8 に各被験者の咀嚼回数の変化を示す。一方で、Subject J のみがフィードバックなしの食事の方が咀嚼回数が多くかった。また、咀嚼回数の結果を箱ひげ図で示したものを見ると図 5.9 に示す。

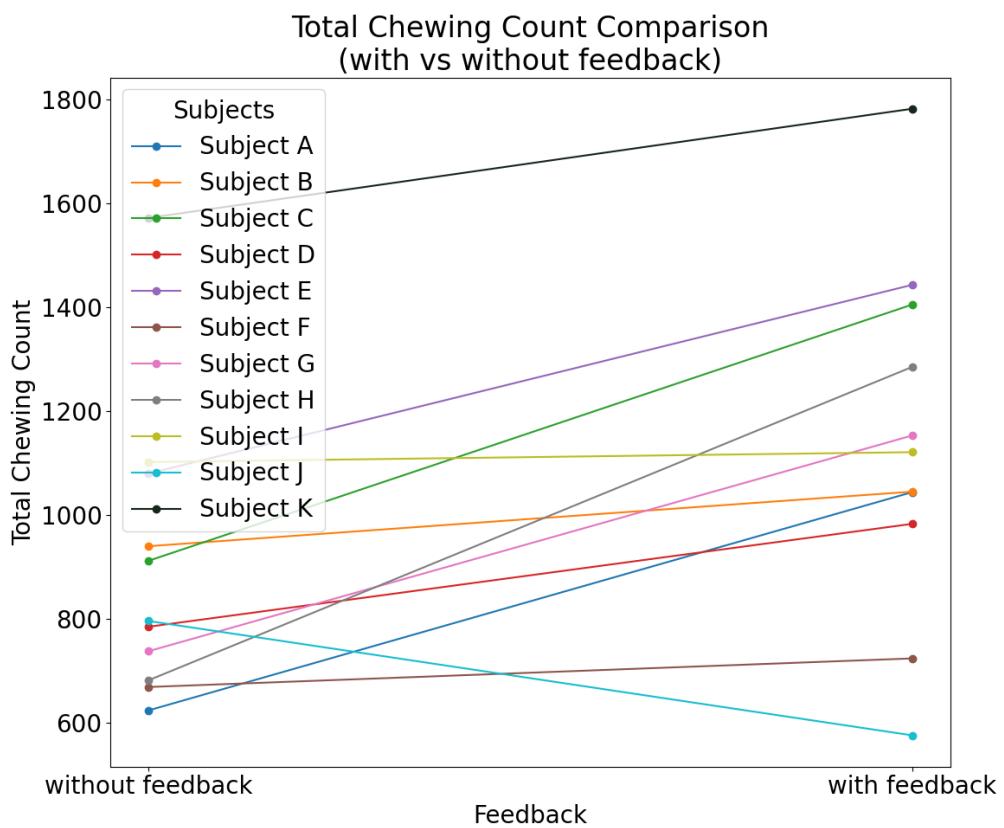


図 5.8: 各被験者ごとの全体の咀嚼回数の変化

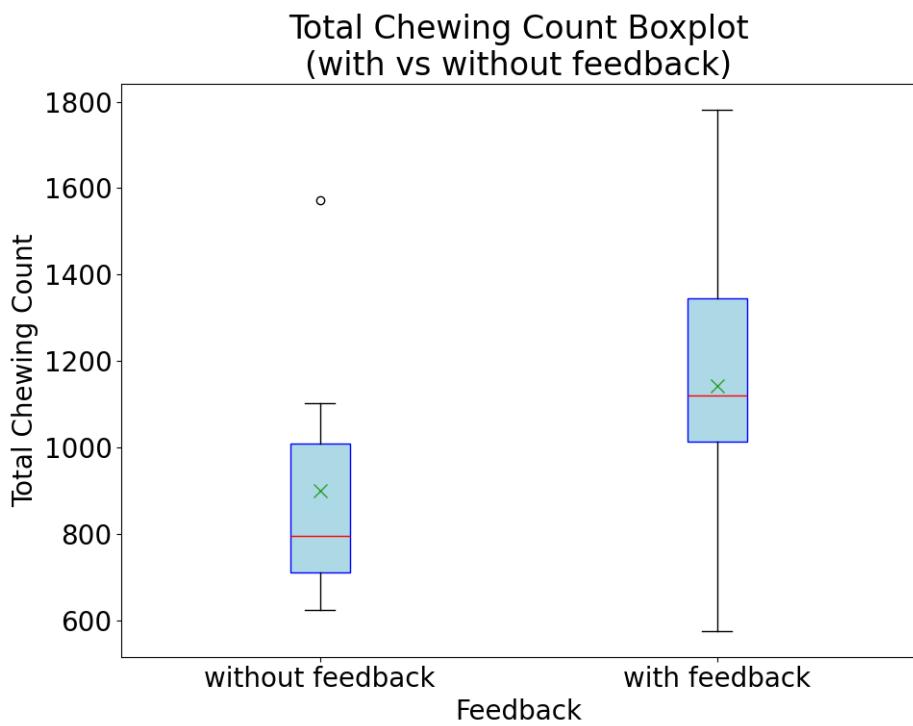


図 5.9: 全体の咀嚼回数の箱ひげ図

箱ひげ図から、リアルタイムフィードバックを使用した食事では、フィードバックなしの食事と比較して平均値および中央値が増加していることが確認された。特に、フィードバックなしの食事と比較した場合の咀嚼回数の増加率は平均 26.88% であった。これは、リアルタイムフィードバックが咀嚼を意識させる効果を持ち、その結果として咀嚼回数の増加につながった可能性を示唆している。また、ウィルコクソンの符号付順位和検定を用いて分析を行った結果、有意差があった ($P < 0.05$)。また、フィードバックなしの食事に比べて、Subject J の咀嚼回数が減少している原因としては、フィードバックありの食事の際に、咀嚼が検知されずらかったことがあげられる。

5.3.3 摂食間の咀嚼回数の結果

図 5.10 に各被験者ごとの摂食から次の摂食まで（摂食間）の咀嚼回数の変化を示す。リアルタイムフィードバックを用いた場合、摂食間の咀嚼回数が増加した被験者は 4 名であり、7 名では減少が確認された。この結果は摂食回数が関係するため、図 5.11 に全体の摂食回数の変化を、図 5.12 に摂食回数の結果をあらわした箱ひげ図を示す。

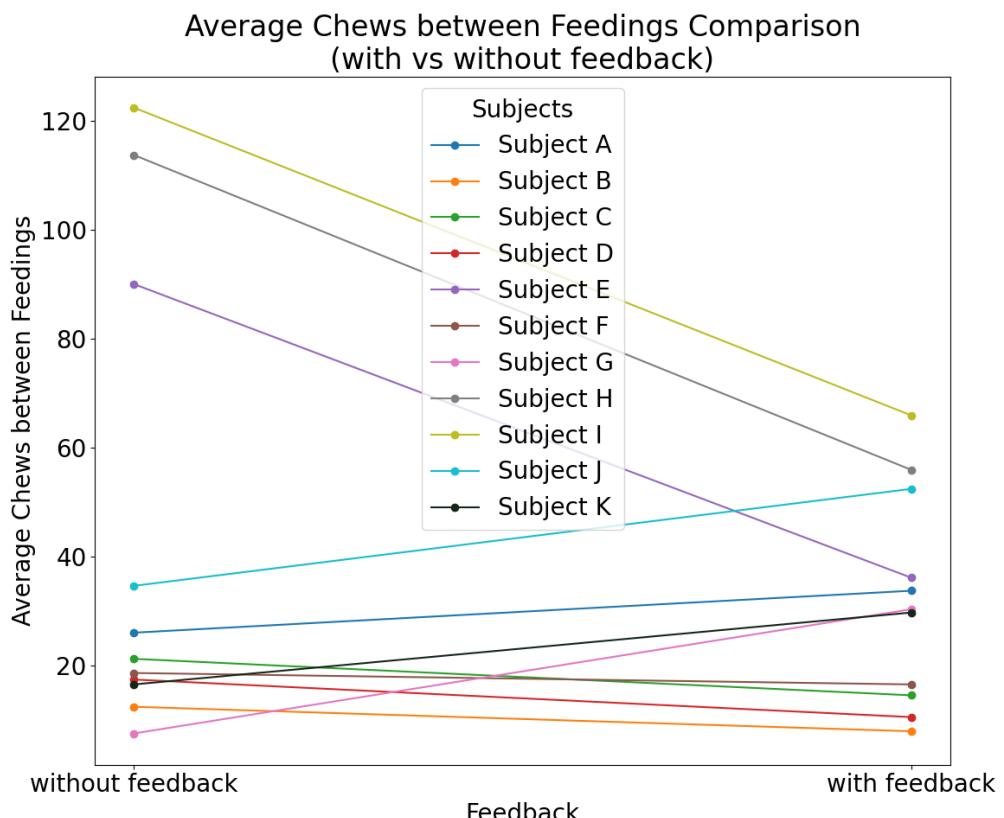


図 5.10: 各被験者ごとの摂食間の咀嚼回数の変化

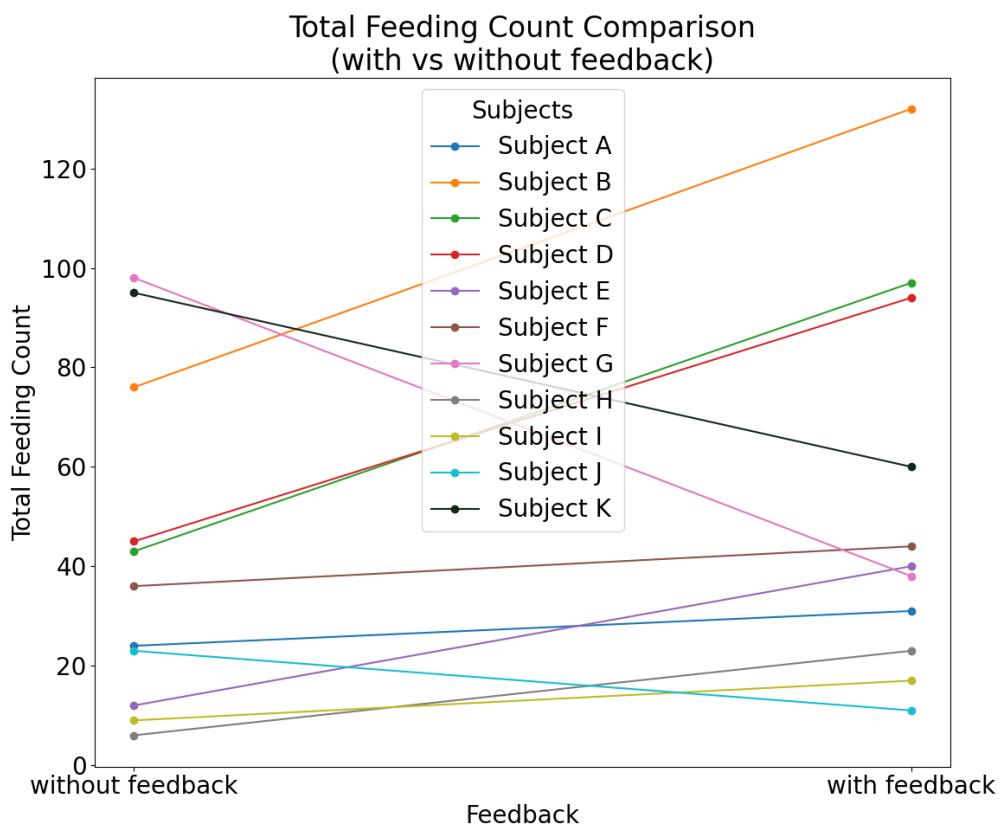


図 5.11: 各被験者ごとの摂食回数の変化

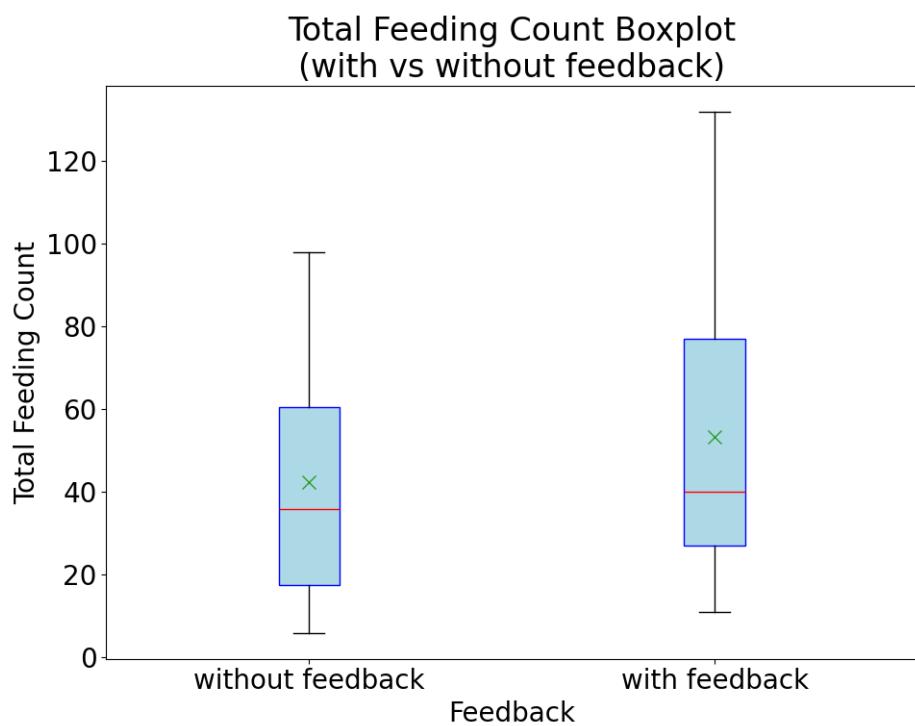


図 5.12: 摂食回数の箱ひげ図

摂食間の咀嚼回数の減少が見られた7名 (Subject B, C, D, E, F, H, I) は全員摂食回数が増加しており、全体で11名中8名の被験者がフィードバックありの状態で摂食回数を増やしていた。フィードバックを使用した食事では、フィードバックなしの食事と比較して摂食回数の平均値および中央値が増加している。摂食回数に関してウィルコクソンの符号付順位和検定を用いて分析を行った結果、有意差はなかったものの、増加率は平均25.70 %であった。図5.13にフィードバックありの食事で摂食間の咀嚼回数が減少した被験者7名を強調した比較結果を示す。一方、図5.14では、その被験者7名の摂食回数の結果を強調している。

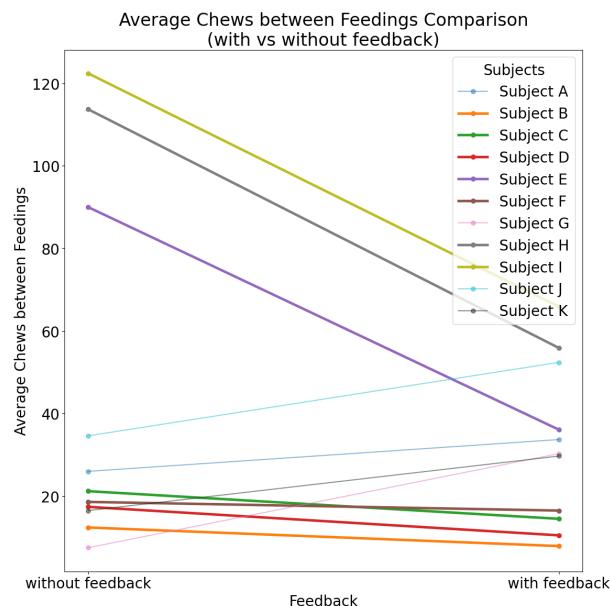


図5.13: 7名の被験者の結果を強調した各被験者ごとの摂食間の咀嚼回数の変化

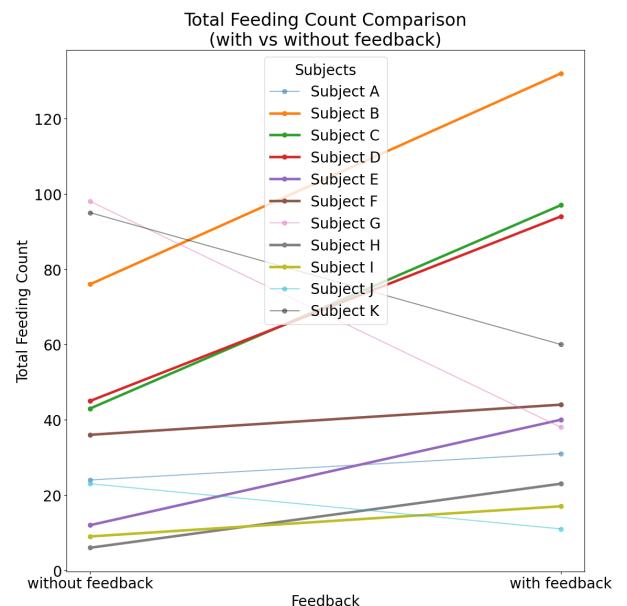


図5.14: 7名の被験者の結果を強調した各被験者ごとの摂食回数の変化

これらの結果から、リアルタイムフィードバックにより、咀嚼を意識することで、一度に口に入る食べ物の量が減り、その結果、何度も口に運ぶ摂食動作が増えたと考えられる。7名は摂食間の咀嚼回数が減少したが、全員全体の咀嚼回数は増加しているため、十分な咀嚼回数である。これらの結果から、リアルタイムフィードバックは、食事中の咀嚼を意識させることで、摂食行動を増加させる効果を持つ可能性が高い。また、同じ量のお弁当を食べているため、フィードバックありの食事で摂食回数が増えたということは一度に口に入る食べ物の量が減り、早食いを防止できていると言える。

5.3.4 嘸下間の咀嚼回数の結果

図 5.15 に各被験者ごとの嚥下から次の嚥下まで（嚥下間）の咀嚼回数の変化を示す。リアルタイムフィードバックを用いた場合、嚥下間の咀嚼回数が増加した被験者は 10 名であり、Subject J のみ減少が確認された。この結果は、前述のとおり、Subject J ではフィードバックありの状態で咀嚼が検知されにくく、全体の咀嚼回数が減少していたことが影響していると考えられる。また、嚥下間の咀嚼回数の結果を箱ひげ図で示したものも以下に示す。図 5.16 は、リアルタイムフィードバックを使用した食事と使用しなかった食事の比較結果を示している。

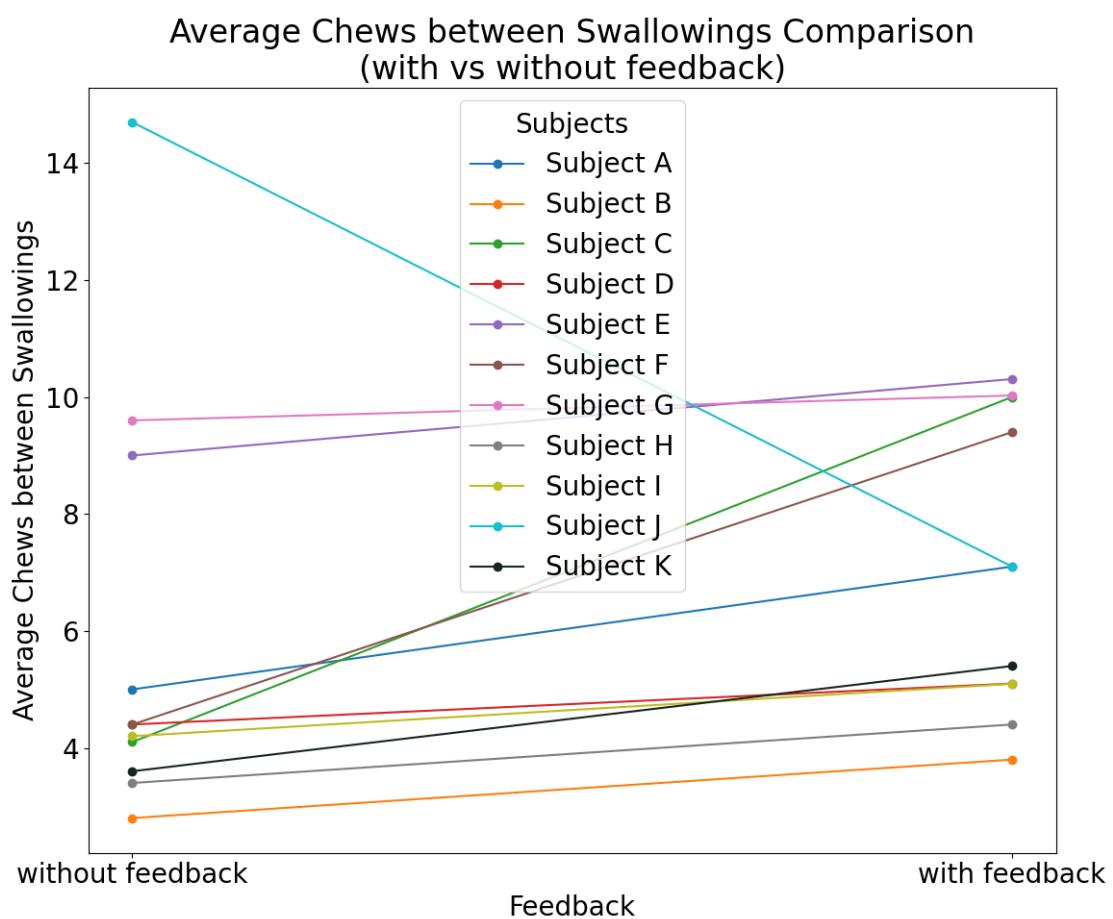


図 5.15: 各被験者ごとの嚥下間の咀嚼回数の変化

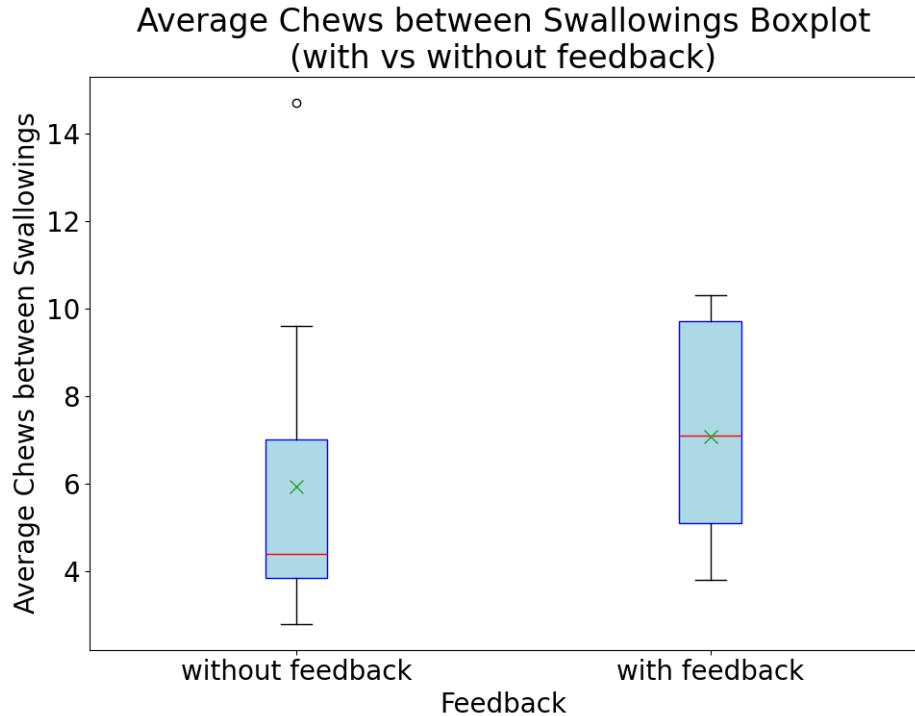


図 5.16: 嘸下間の咀嚼回数の箱ひげ図

箱ひげ図の結果から、リアルタイムフィードバックを使用した食事では、フィードバックなしの食事と比較して嘔下間の咀嚼回数の平均値および中央値が増加していることが確認された。また、嘔下間の咀嚼回数の増加率は平均 19.22 %であり、ほとんどの被験者において嘔下間の咀嚼回数が増加していることがわかる。一方で、嘔下回数の増加率は -6.69 % とほとんど変化が見られなかった。この結果から、嘔下回数を減らして嘔下間の咀嚼回数を増やしたということではなく、嘔下回数は変わらず、フィードバックにより意識することで咀嚼回数自体が増加したと考えられる。嘔下間の咀嚼回数は、リアルタイムフィードバックにおける音楽の速度変化に直接関与する重要な指標である。この指標が増加したことは、リアルタイムフィードバックが被験者の咀嚼行動に影響を与え、より多く咀嚼するよう促す効果があったことを示唆している。ウィルコクソンの符号付順位和検定を用いて分析を行った結果、有意差はなかったものの、ほとんどの被験者において嘔下間の咀嚼回数が増加しており、リアルタイムフィードバックが咀嚼行動の改善に寄与する可能性が示された。

5.3.5 咀嚼ペースの結果

図 5.17 に各被験者ごとの咀嚼ペースの変化を示す。リアルタイムフィードバックを用いた場合、咀嚼ペースが増加した被験者は 11 名中 8 名であった。Subject C と Subject K のデータが重なっており、個々の変化が視覚的に分かりづらいが、両者とも咀嚼ペースが増加している。また、咀嚼ペースの結果を箱ひげ図で示したものを図 5.18 に示す。箱ひげ図の結果から、リアルタイムフィードバックを使用した食事では、フィードバックなしの食事と比較して平均値および中央値が増加していることが確認された。

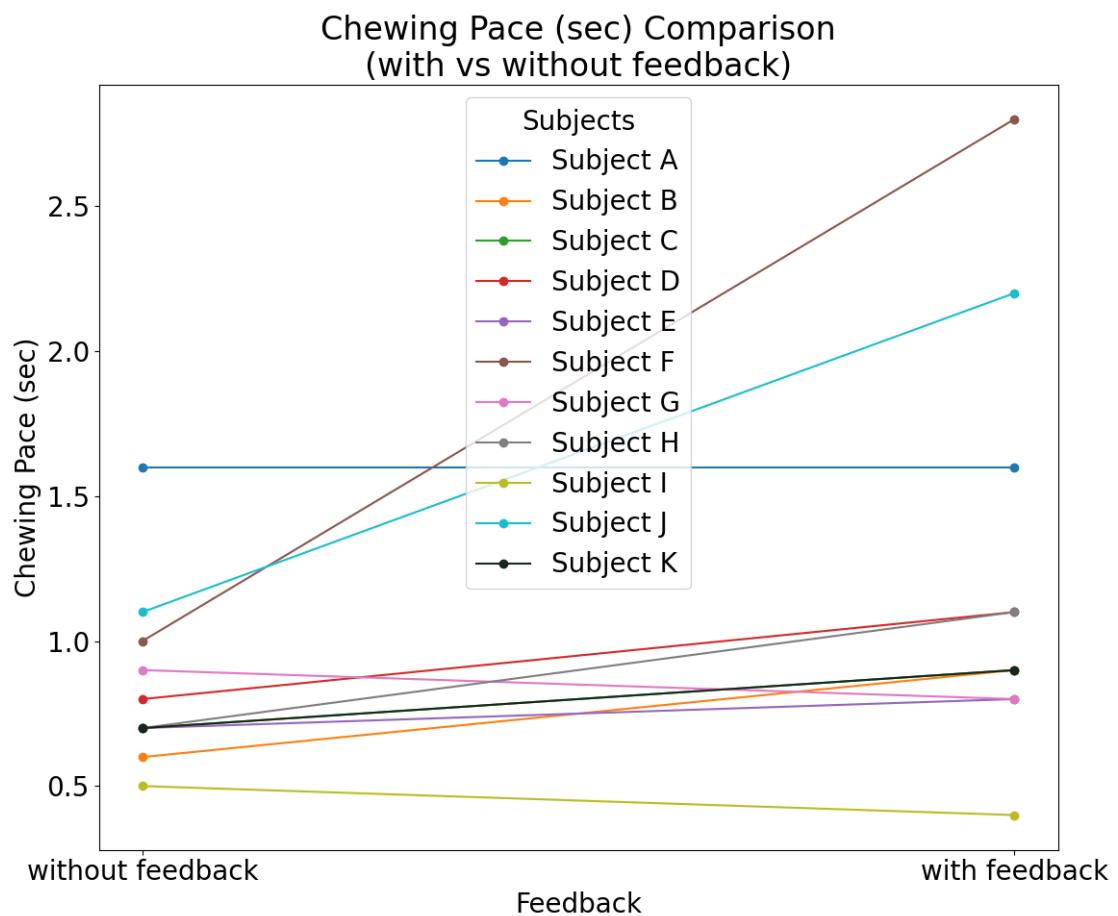


図 5.17: 各被験者ごとの咀嚼ペースの変化

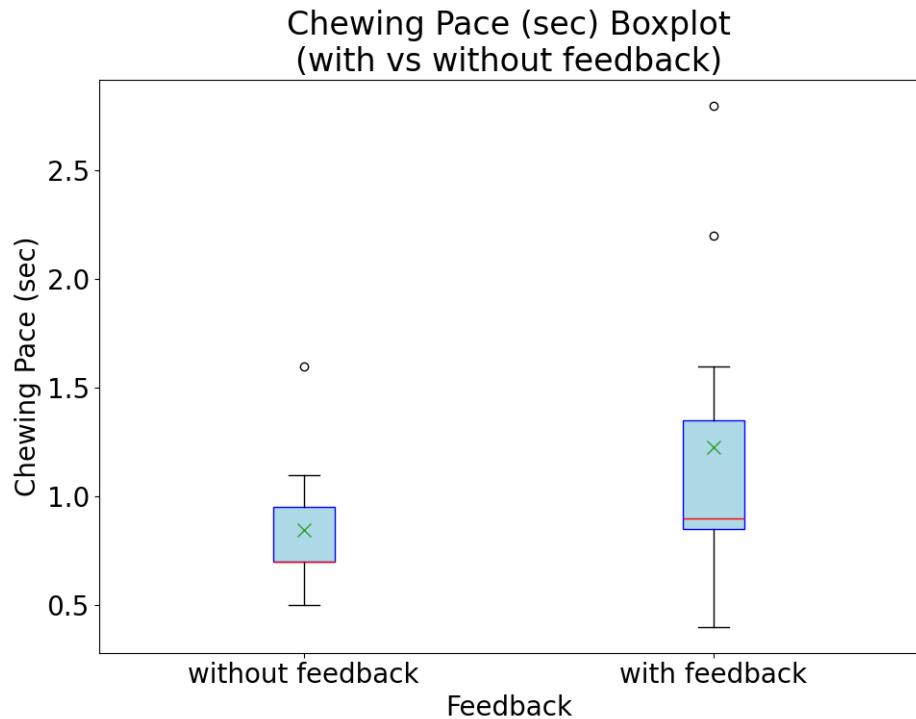


図 5.18: 咀嚼ペースの箱ひげ図

咀嚼ペースの増加率は平均 45.16 %であり、特に咀嚼が検知されにくかった Subject J は増加率が 100 %と大幅に上昇していた。このため、Subject J を除いた場合の平均増加率は 39.68 %となる。この結果から、リアルタイムフィードバックが咀嚼ペースに影響を与えていていることが示唆される。咀嚼ペースはリアルタイムフィードバックとしての音楽の速度変化に直接関与しており、咀嚼ペースの増加が確認されたことから、本システムが意図したフィードバック効果を発揮していることが分かる。また、ウィルコクソンの符号付順位和検定を用いて分析を行った結果、有意差があった ($P < 0.05$) ことから、リアルタイムフィードバックが咀嚼ペースの向上を促す可能性が示唆される。

5.3.6 会話時間の結果

図 5.19 に全被験者の食事時間に対する会話時間の割合の変化を示す。リアルタイムフィードバックを用いた場合、会話時間の割合が増加した被験者は 11 名中 4 名であった。また、会話時間の結果を箱ひげ図で示したものを見ると図 5.20 に示す。

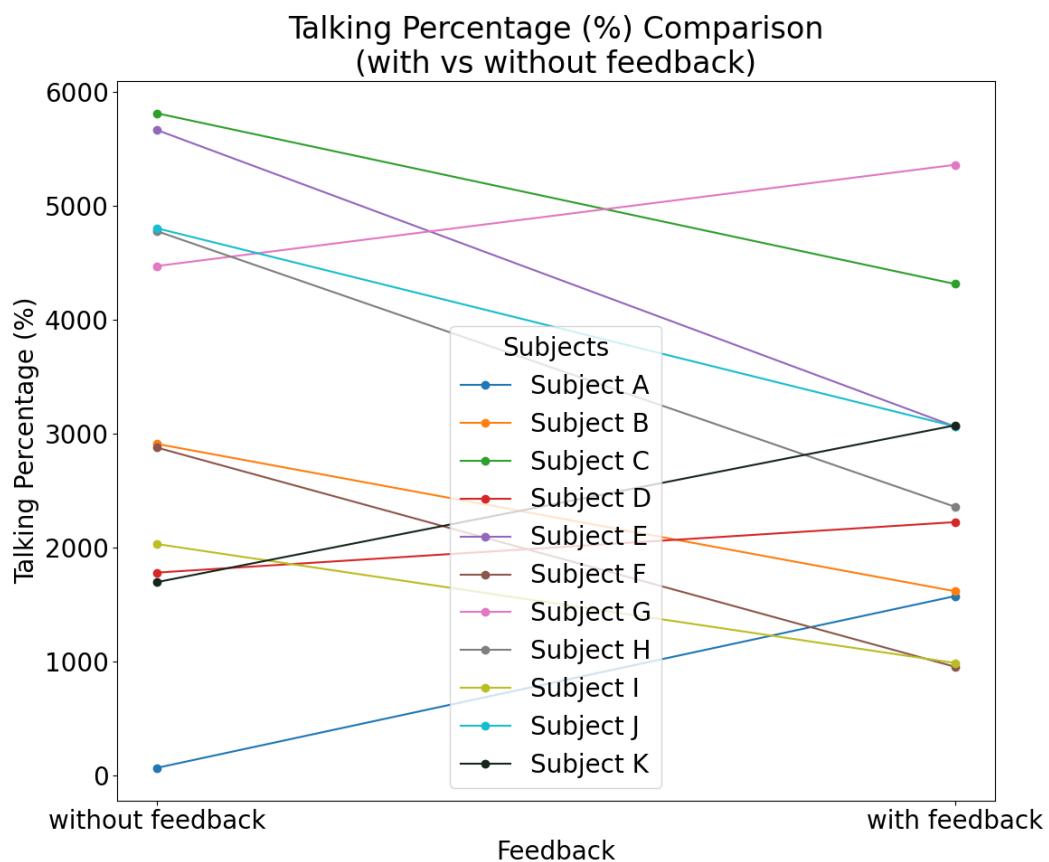


図 5.19: 各被験者ごとの会話時間の割合の変化

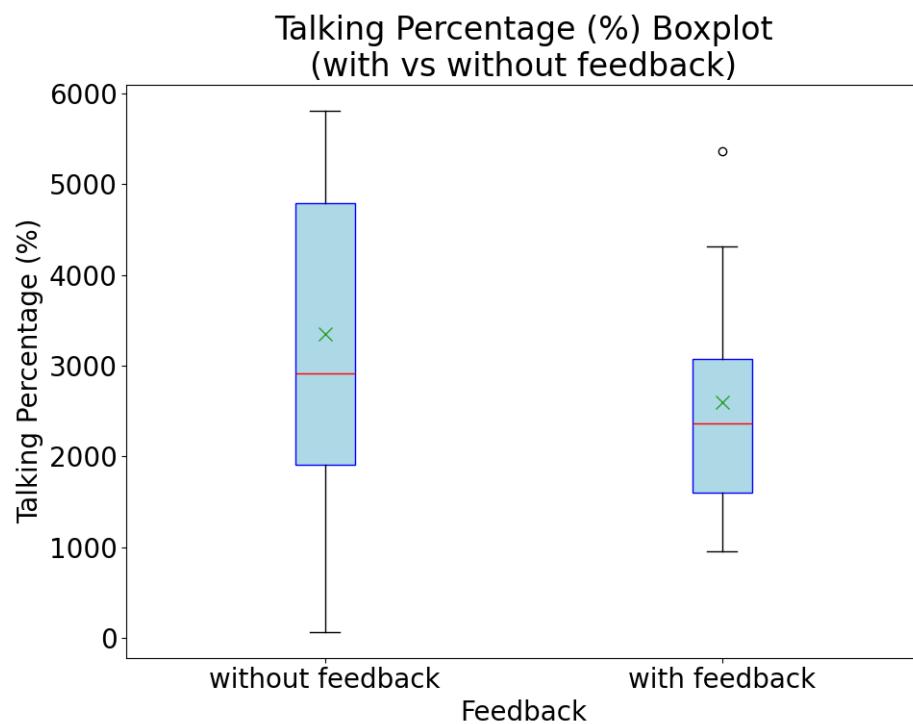


図 5.20: 会話時間の箱ひげ図

この結果から、全体的に会話時間の割合はフィードバックなしと比較して減少傾向にあることが確認された。増加率の平均は-22.48 %であり、会話時間が減少した被験者が多かったことが示された。この結果の要因として、リアルタイムフィードバックにより咀嚼への意識が向上し、咀嚼に集中することで会話の機会が減少した可能性が考えられる。また、被験者はフィードバックあり・なしで同じ人と同じ人数で食事を行ったわけではないため、環境要因が会話時間の変動に影響を与えた可能性もある。会話時間については個々の食事環境に依存するため、現段階では詳細な考察を行うことは難しい。しかし、将来的に会話を促進するためのフィードバック要素を導入することで、よりバランスの取れた食事行動の支援が可能になると考えられる。

5.3.7 SUS スコア結果

本節ではSUSスコアの結果について考察する。スコアは表5.1のとおりであり、スコア指標は図5.4のとおりである。平均スコアは83.2となり、Aスコアであった。平均的なSUSスコアである68以上のスコアが10/11人とほとんどであり、Excellentの評価となつたため、本システムのユーザビリティは優れていると結論付けることができる。

表 5.1: The result of SUS

Subject	Score
A	82.5
B	80.0
C	80.0
D	90.0
E	67.5
F	80.0
G	87.5
H	87.5
I	77.5
J	90.0
K	92.5

5.3.8 実験前後のアンケート結果

本研究では、食事前後のアンケートを実施し、被験者の食事に対する意識の変化や、リアルタイムフィードバックの影響を評価した。5段階評価における「5」は「非常にそう思う」、「1」は「全く思わなかった」を示す。食事前後での意識の変化の比較のため、6つの質問の平均得点の棒グラフを図5.21に表す。

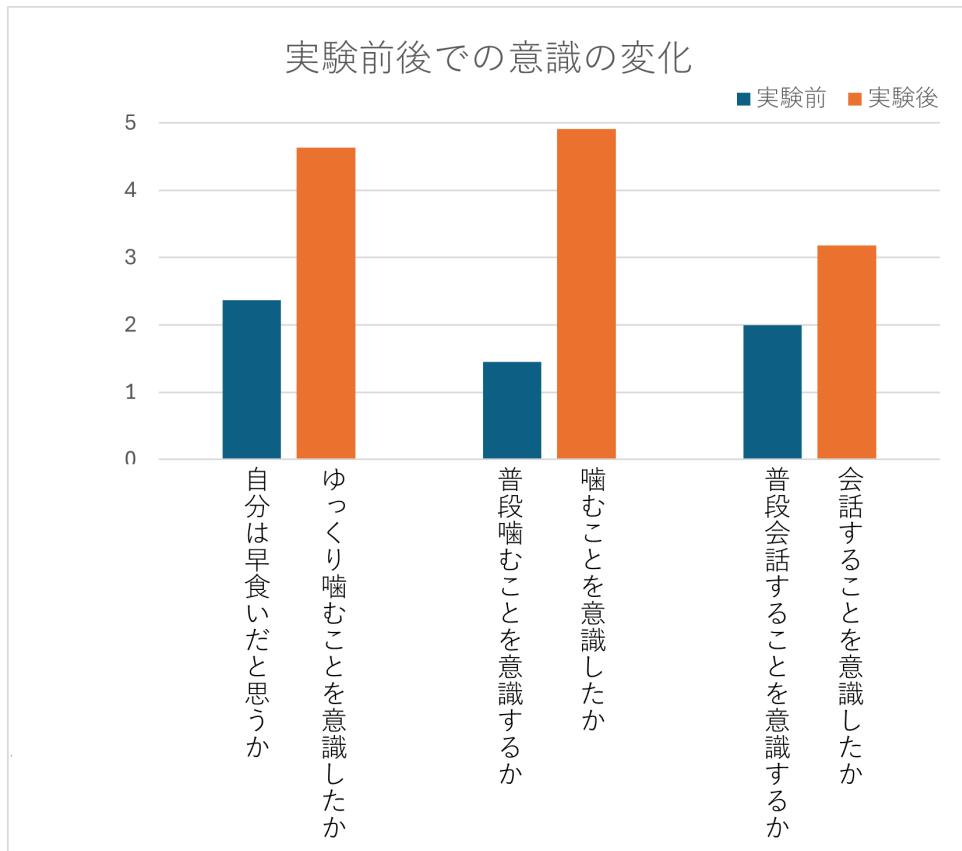


図 5.21: 食事前後での意識の変化の比較のための 6 つの質問の平均得点の棒グラフ

まず、早食いの意識の変化について述べる。事前アンケートにおいて、「自分は早食いだと思いますか」の質問に対して、「4」または「5」と回答した被験者は2名であった。これに対し、実験後のアンケートでは、「食事中ゆっくり食べようと意識しましたか」の質問に対し、7名が「5」、4名が「4」と回答しており、リアルタイムフィードバックが被験者に食事のペースを意識させる効果を持っていたことが示唆される。特に、事前アンケートで「早食いである」と回答した2名も実験後には「4」または「5」を選択しており、食事の速度を意識する変化が見られた。

次に、咀嚼への意識の変化を説明する。事前アンケートで「普段の食事で咀むことを意

識していますか」の質問に対し、「4」または「5」と回答した被験者は0名であり、ほとんどの被験者（10名）が「1」または「2」と回答していた。このことから、被験者のほとんどが普段は咀嚼を意識していないことが分かる。一方、実験後のアンケートでは、「食事中に噛むことを意識しましたか」の質問に対し、10名が「5」、1名が「4」と回答しており、全被験者がフィードバックの影響を受けて咀嚼を意識したことが明らかになった。この結果は、本システムが咀嚼の意識向上に大きく寄与したことを示している。

次に、会話への意識の変化について述べる。事前アンケートにおいて、「普段の食事で会話することを意識していますか」の質問に対し、「4」または「5」と回答した被験者は1名であった。一方、実験後のアンケートでは、「食事中に発話に関して意識しましたか」の質問に対し、「4」が6名、「3」が2名、「2」が2名、「1」が1名と結果がばらけたが、会話への意識が多少なりとも向上している。5.3.6でも述べたように、リアルタイムフィードバックの影響で会話よりも咀嚼を意識する傾向が強まっていると考えられる。また、被験者ごとに異なる食事環境の影響も考慮する必要がある。

次に、音楽によるリアルタイムフィードバックと食事後のフィードバックの理解度と影響について述べる。実験後アンケートのフィードバックに関する質問の得点平均を図5.22に表す。「音楽の速度変化によるリアルタイムフィードバックは分かりやすかったですか」の質問に対し、「4」または「5」と回答した被験者は8名であり、それ以外の被験者は「3」と答えていたため、多くの被験者がリアルタイムフィードバックの仕組みを理解していることが分かる。また、「リアルタイムフィードバックによってゆっくり噛むことを意識しましたか」の質問では11名全員が「4」または「5」と回答し、「リアルタイムフィードバックによってたくさん噛むことを意識しましたか」の質問でも11名全員が「4」または「5」と回答しており、リアルタイムフィードバックが咀嚼行動の改善に貢献した可能性が示唆される。「スマートフォン上での食事後に表示されるフィードバックはわかりやすかったですか」の質問に対しても、11名全員が「4」または「5」と回答したため、食事後の視覚的フィードバックは誰が見てもわかりやすいものと言える。

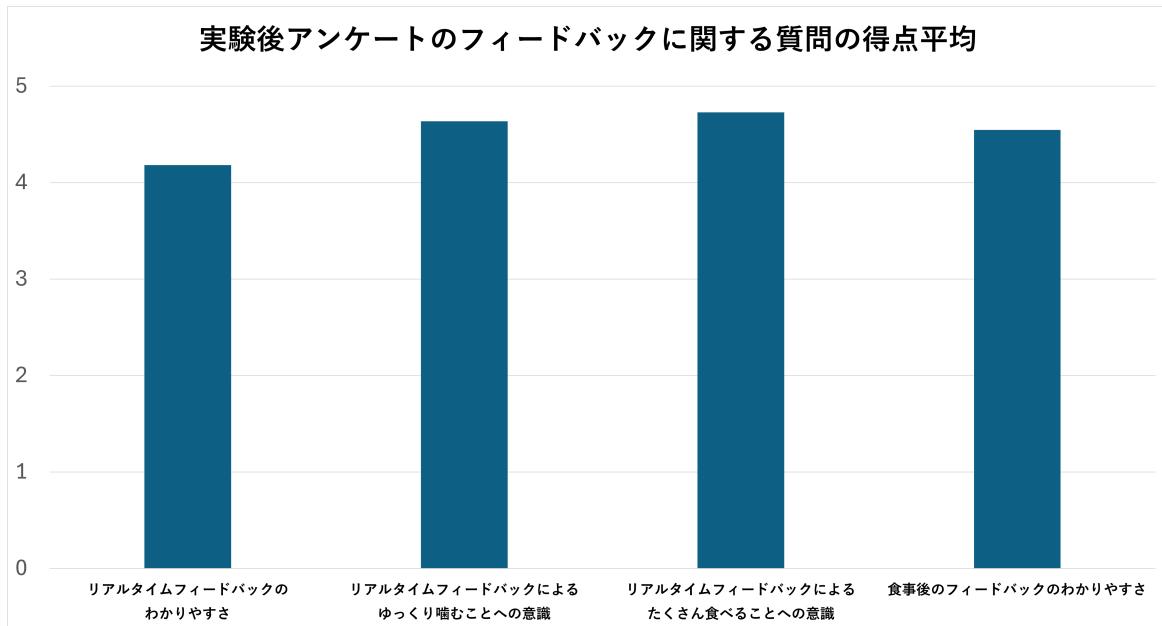


図 5.22: 実験後アンケートのフィードバックに関する質問の得点平均

食事行動検出精度に対する主観的評価の結果を述べる。システムが正しく食事行動（咀嚼・嚥下・発話）を検出しているかについての質問の得点平均を図 5.23 に示す。「システムは咀嚼を正しくカウントしていると感じましたか」の質問に対し、「4」または「5」と回答した被験者は 8 名であり、多くの被験者がシステムの咀嚼検出精度を肯定的に評価していた。一方で、「システムは嚥下（飲み込むこと）を正しく検出していると感じましたか」の質問に対し、「4」と回答した被験者は 4 名、「3」と回答した被験者は 6 名、「2」と回答した被験者は 1 名であった。この結果から、咀嚼の検出と比較すると、嚥下の検出に対する評価はやや低く、特に「3」の評価が多いことから、嚥下検出の精度には改善の余地があることが示唆された。4.3 節の精度実験の結果からも、咀嚼より嚥下の方が精度が低いことが確認されており、アンケートによる主観評価と一致していることが分かる。「システムは発話を正しく測定していると感じましたか」の質問では、「4」または「5」と回答した被験者が 8 名であり、多くの被験者が発話検出の精度を肯定的に評価していた。一方で、1 名が「3」、1 名が「2」と回答しており、一部の被験者においては発話検出の精度に対する懸念があることが示された。会話は、食事をしている人以外の周囲の音も検出していることが問題点として挙げられる。

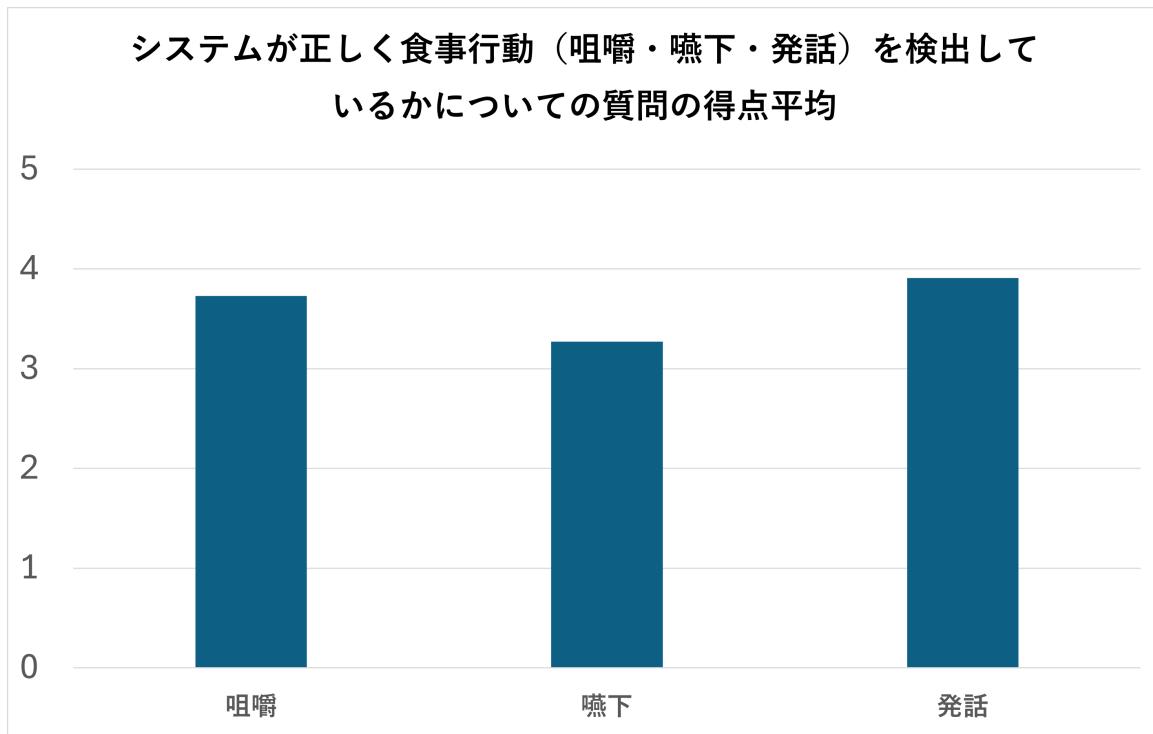


図 5.23: システムが正しく食事行動（咀嚼・嚥下・発話）を検出しているかについての質問の得点平均

次に、装着デバイスの違和感と継続利用意向について述べる。デバイスの装着感とシステムの継続利用意向についての質問の得点平均を図 5.24 に示す。「装着デバイスに違和感はありましたか」の質問では、1名が「5」、2名が「3」、7名が「2」、1名が「1」と回答しており、多くの被験者が装着に対して大きな違和感を感じなかったことが分かる。一方、「今後、このシステムを使いたいと思いましたか」の質問では、9名が「4」または「5」と回答しており、システムの継続利用に対する関心が高いことが確認された。特に、事前アンケートで「普段の食事で噛むことを意識していない」と回答した被験者が多かったにも関わらず、実験後には全員が咀嚼を意識するようになったことは、本システムの有効性を示す重要な結果である。

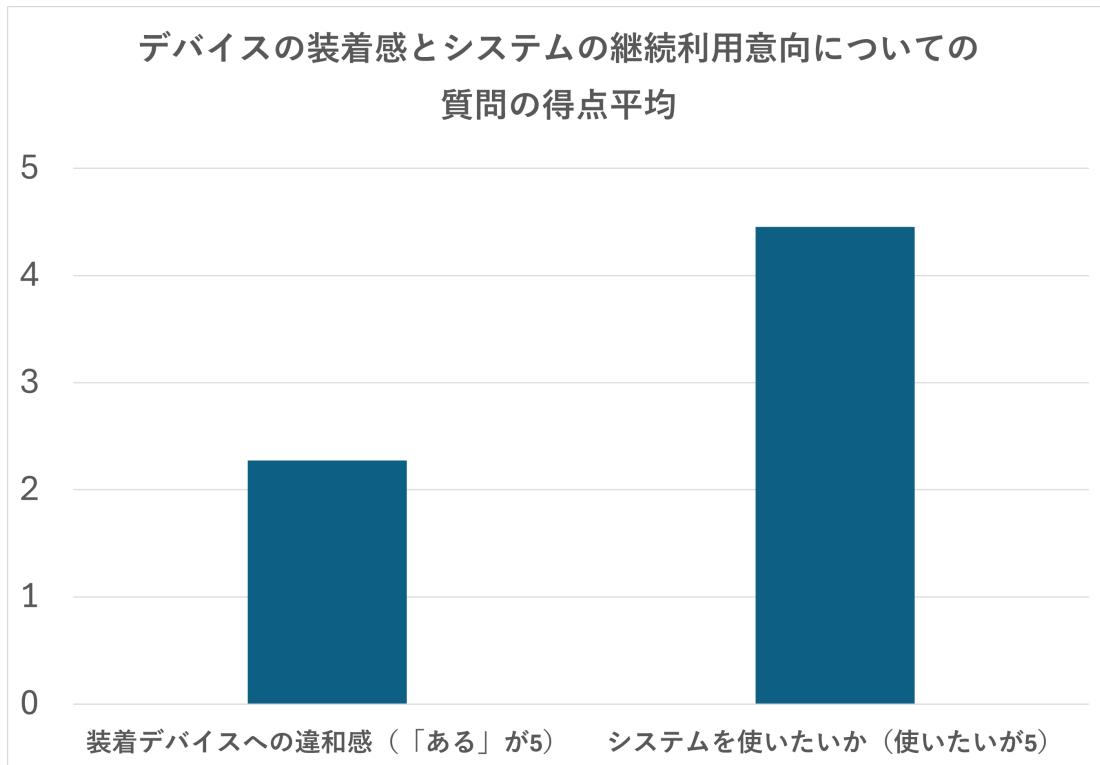


図 5.24: デバイスの装着感とシステムの継続利用意向についての質問の得点平均

これらの結果から、リアルタイムフィードバックは咀嚼行動や食事ペースの調整に有効であり、多くの被験者に受け入れられる可能性が高いことが示唆された。自由記述での質問の回答では、「デバイスの装着が少し難しいと感じた」、「首が苦しいと感じた」など装着方法や装着感についての意見が寄せられた。より簡単に、そして快適に装着できるハードウェアを検討する必要がある。また、「フィードバックのおかげで、噛む回数が増え、頬が疲れて普段いかに噛めてないかを自覚した」、「実験当日の夜に噛むことを意識した」、「食事結果と目標が「数値」としてフィードバックされることで、改善しようとする意欲が湧いた」「1倍速に戻ったときの爽快感が楽しくて、キープしようと努力した」など、フィードバックが意識向上につながっていることがわかる。

第6章 結論

6.1 まとめ

本研究では、食習慣の改善を目的として、リアルタイムフィードバックシステム「Chewker」を提案し、その有効性を検証した。IMU、ピエゾフィルム、超音波センサ、スマートフォンのマイクを用いて、摂食、咀嚼、嚥下、発話の4つの食事行動をリアルタイムに検出し、音楽の再生速度を変化させることでフィードバックを行う。また、食事終了後にはスマートフォン上で詳細なフィードバックを提示し、食事行動の振り返りを可能にした。

11名の被験者による実験の結果、リアルタイムフィードバックにより総咀嚼回数が平均26.88%増加、嚥下間の咀嚼回数が平均19.22%増加し、両者とも10名で増加が確認された。また、咀嚼ペースは8名で増加し、総食事時間は平均68.02%延長、すべての被験者で増加が確認された。さらに、8名の摂食回数が増加しており、一口あたりの食べ物の量が減り、口に運ぶ回数が増えたことが示唆された。これらの結果から、フィードバックが、急がずたくさん噛み、ゆっくりとした食事を促すことがわかる。事前アンケートでは「普段の食事で噛むことを意識していない」と回答した被験者が10名いたが、実験後には全員が「噛むことを意識した」と回答し、食事行動への意識の改善が明らかになった。

本システムの食事行動検出精度に関して、摂食と咀嚼のF1-scoreは0.85と高い精度を示した。一方で、嚥下のF1-scoreは0.60と他の行動に比べて低く、咀嚼との誤検出が課題として挙げられた。また、SUS平均スコアは83.2となり、本システムのユーザビリティは優れていると言える。

本研究の目的に対する結論は以下の通り：

1. 自然な食事環境下での、詳細な食事行動をリアルタイムに検出するシステムの実現ができた。
2. 検出した食事行動に基づいて、フィードバックを提示することで、食事行動への意識改善を行うシステムの開発ができた。

6.2 今後の展望

本研究では、リアルタイムフィードバックによる食事行動の変化を確認できたが、さらなる改良の余地がある。今後の展望として、長期間の使用による行動変容の検証や、装着方法の改良、精度向上を目指した改良が必要である。本研究では単回の食事を対象に検証を行ったが、食習慣の改善には長期的な行動変容が重要である。今後は、長期間の使用を通じて食習慣がどのように変化するかを検証し、持続的な効果を評価する必要がある。また、本システムには過去の食事行動を振り返る機能が備わっており、これが行動変容に与える影響についても詳細に検討する必要がある。

さらに、発話の促進を目的としたフィードバック手法の導入も検討すべきである。本システムでは、咀嚼や食事ペースの改善には効果があったものの、発話の促進には大きな影響を与えたかった。今後は、発話を積極的に促すフィードバック手法を導入し、食事中の会話を活発にするシステムの開発を進める。

本研究の食事行動検出精度の評価は、ピーナッツを用いた実験環境下で行われたため、摂食および嚥下のデータが少なく、精度の信憑性に課題が残る。今後は、様々な環境で精度を検証し、検出アルゴリズムの改良を進める。また、リアルタイムフィードバックの効果を検証する際、ビデオによる記録が残っているため、これを活用して自然な食事環境下での検出精度を詳細に評価することも検討する。特に嚥下の精度が劣るため、キャリブレーションの改良や、デバイスの設計を見直す必要がある。

また、装着方法やハードウェアの改良も必要である。実験後のアンケートでは、「デバイスの装着が少し難しい」、「首が苦しい」といった意見が寄せられたため、より簡単に装着でき、快適に使用できる設計への改良が求められる。加えて、M5StickC のバッテリー持続時間が約 1 時間と短いため、長時間の使用に耐えられるようなバッテリー駆動の最適化や代替デバイスの検討も必要である。これらの改良を通じて、本システムはより実用的で、食事行動の改善を長期的に支援するツールへと発展することが期待される。

謝辞

本研究を進めるにあたり、青山学院大学理工学部情報テクノロジー学科のロペズ・ギヨーム教授に深く感謝申し上げます。研究目標を達成するだけでなく、高い意欲を継続して研究に取り組むことができたのは、先生の温かく丁寧なご指導のおかげです。また、国内外での発表の機会を与えてくださり、研究者としての視野を広げることができました。さらに、研究室の運営や事務手続きを支えてくださった大熊ちひろ様にも、心より感謝申し上げます。研究に集中できる環境を整えてくださり、さまざまな手続きを円滑に進めさせていただいたことで、本研究を滞りなく進めることができました。また、ロペズ研究室のメンバーの皆様にも深く感謝いたします。日々のディスカッションを通じて新たな視点を得ることができ、研究をより良いものにすることができました。特に、同期や先輩方からのアドバイスは、問題解決の大きな助けとなりました。最後に、これまで支えてくれた家族に心から感謝いたします。研究に打ち込むことができたのは、日々の励ましや支援があったからこそです。多くの方々のご協力と支えがあって、本研究を完遂することができました。この場を借りて、心より御礼申し上げます。

2025年1月31日

大久保 紗恵

参考文献

- [1] Obesity and overweight. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>.
- [2] Japan Ministry of Health Labor and Welfare. The national health and nutrition survey in japan, reiwa first year. <https://www.mhlw.go.jp/content/000711005.pdf>.
- [3] info01.pdf. <http://sosyaku.umin.jp/info/file/info01.pdf>.
- [4] Japan Preventive Association of Life-style related Disease. Eating too fast can lead to obesity and metabolic syndrome. six measures to help you chew your food well (in japanese). <https://seikatsusyukanbyo.com/calendar/2017/009495.php>.
- [5] Yuichi Ando, Nobuhiro Hanada, and Shigetaka Yanagisawa. Does "eating slowly" lead to prevent obesity ? *Health Science and Health Care*, Vol. 8, No. 2, pp. 51–63, 2008.
- [6] Ronald E. Milliman. The influence of background music on the behavior of restaurant patrons on jstor, 1986. [Online; accessed 2025-01-29].
- [7] Luisa Torri Riccardo Migliavada, Fabio Luceri. Chew that beat! how music tempo influences eating behaviors and emotions - sciencedirect, 9 2024.
- [8] Derek Victor Byrne Qian Janice Wang Signe Lund Mathiesen, Line Ahm Mielby. Music to eat by: A systematic investigation of the relative importance of tempo and articulation on eating time - sciencedirect, 12 2020.
- [9] Noriko Kishida and Yoshie Kamimura. Relationship of conversation during meal and health and dietary life of school children. *The Japanese Journal of Nutrition and Dietetics*, Vol. 51, No. 1, pp. 23–30, 1993.
- [10] Kanae Nakaoka, Seiko Noda, Asako Yamada, Yuriko Togashi, Naoko Namiki, and Masa Goseki-Sone. The association of “the frequency of shared family meals and

spontaneous communication during mealtimes ” with decision-making, goal-setting skills, and qol in 5th and 6th grade students. *Journal of Japanese Society of Shokuiku*, Vol. 14, No. 1, pp. 41–51, 2020.

- [11] Hiroko Moriwaki, Noriko Kishida, Yoshie Kamimura, Noriko Takeda, Akiko Sakuma, Chieko Teraoka, and Masayuki Kakehashi. Relationship of the health condition, daily living habits, and diet of female university students with their mealtime conversation at elementary school. *Journal of Home Economics of Japan*, Vol. 58, No. 6, pp. 327–336, 2007.
- [12] “ food for talk ” adds meaning to family meal — the seattle times. <https://www.seattletimes.com/news/food-for-talk-adds-meaning-to-family-meal/>.
- [13] ’talking at mealtimes boosts children’s confidence’ - bbc news. <https://www.bbc.com/news/education-23502947>.
- [14] Mealtime conversations for family meals. <https://extension.psu.edu/mealtime-conversations-for-family-meals>.
- [15] Nur Asmiza Selamat and Sawal Hamid Md Ali. Automatic food intake monitoring based on chewing activity: A survey. *IEEE Access*, Vol. 8, pp. 48846–48869, 2020.
- [16] Hideto Mitsui, Joe Ohara, Anna Yokokubo, and Guillaume Lopez. Method to improve real-time chewing and speaking detection accuracy from bone-conduction sound. *Multimedia, Distributed, Cooperative, and Mobile Symposium 2018*, Vol. 2018, pp. 562–566, 2018.
- [17] Yuxing Wu, Elisa Krebs, Adithya Hassan Shankaranand, Patrick Shih, and Chiafang Chung. Meal chat: Promoting mealtime social interaction for college students. In *Extended Abstracts of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1–8, 2020.
- [18] Rui Zhang, Severin Bernhart, and Oliver Amft. Diet eyeglasses: Recognising food chewing using emg and smart eyeglasses. *2016 IEEE 13th International Conference on Wearable and Implantable Body Sensor Networks (BSN)*, pp. 7–12, 2016.
- [19] Keum San Chun, Sarnab Bhattacharya, and Edison Thomaz. Detecting eating episodes by tracking jawbone movements with a non-contact wearable sensor. *Pro-*

ceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies, Vol. 2, No. 1, pp. 1–21, 2018.

- [20] Shibo Zhang, Yuqi Zhao, Dzung Tri Nguyen, Runsheng Xu, Sougata Sen, Josiah Hester, and Nabil Alshurafa. Necksense: A multi-sensor necklace for detecting eating activities in free-living conditions. *Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies*, Vol. 4, No. 2, pp. 1–26, 2020.
- [21] Keum San Chun, Sarnab Bhattacharya, Caroline Dolbear, Jordon Kashanchi, and Edison Thomaz. Intraoral temperature and inertial sensing in automated dietary assessment: a feasibility study. In *Proceedings of the 2020 International Symposium on Wearable Computers*, pp. 27–31, 2020.
- [22] Oliver Amft, Mathias Stäger, Paul Lukowicz, and Gerhard Tröster. Analysis of chewing sounds for dietary monitoring. In *International Conference on Ubiquitous Computing*, pp. 56–72. Springer, 2005.
- [23] Shengjie Bi, Tao Wang, Nicole Tobias, Josephine Nordrum, Shang Wang, George Halvorsen, Sougata Sen, Ronald Peterson, Kofi Odame, Kelly Caine, et al. Auracle: Detecting eating episodes with an ear-mounted sensor. *Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies*, Vol. 2, No. 3, p. 92, 2018.
- [24] Masaki Shuzo, Shintaro Komori, Tomoko Takashima, Guillaume Lopez, Seiji Tatsuta, Shintaro Yanagimoto, Shin’ichi Warisawa, Jean-Jacques Delaunay, and Ichiro Yamada. Wearable eating habit sensing system using internal body sound. *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*, Vol. 4, No. 1, pp. 158–166, 2010.
- [25] Abdelkareem Bedri, Diana Li, Rushil Khurana, Kunal Bhuwalka, and Mayank Goel. Fitbyte: Automatic diet monitoring in unconstrained situations using multimodal sensing on eyeglasses. In *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1–12, 2020.
- [26] Vasileios Papapanagiotou, Christos Diou, Lingchuan Zhou, Janet van den Boer, Monica Mars, and Anastasios Delopoulos. A novel chewing detection system based on ppg, audio, and accelerometry. *IEEE journal of biomedical and health informatics*, Vol. 21, No. 3, pp. 607–618, 2016.

- [27] Yang Chen, Zhitong Cui, and Ching Chiuan Yen. Chewpin: a wearable acoustic device for chewing detection. In *Adjunct Proceedings of the 2021 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing and Proceedings of the 2021 ACM International Symposium on Wearable Computers*, pp. 11–12, 2021.
- [28] Peter Arnold, Rohit Ashok Khot, and Florian'Floyd' Mueller. "you better eat to survive" exploring cooperative eating in virtual reality games. In *Proceedings of the Twelfth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*, pp. 398–408, 2018.
- [29] Joohee Kim, Kwang-Jae Lee, Mankyung Lee, Nahyeon Lee, Byung-Chull Bae, Gene-hee Lee, Juhee Cho, Young Mog Shim, and Jun-Dong Cho. Slowee: A smart eating-speed guide system with light and vibration feedback. In *Proceedings of the 2016 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, pp. 2563–2569, 2016.
- [30] Joohee Kim and Byung-Chull Bae. An animated emoji feedback system for eating rate guidance. In *Proceedings of the 2018 ACM International Joint Conference and 2018 International Symposium on Pervasive and Ubiquitous Computing and Wearable Computers*, pp. 388–391, 2018.
- [31] Joohee Kim and Byung-Chull Bae. A smartwatch-based feedback system for eating rate guidance. In *Proceedings of the 2018 ACM International Joint Conference and 2018 International Symposium on Pervasive and Ubiquitous Computing and Wearable Computers*, pp. 384–387, 2018.
- [32] Nishiki Motokawa, Asuka Kato, Anna Yokokubo, and Guillaume Lopez. Mealjammer: Plate driven meal obstruction system using electromagnet (in japanese). *Technical reports Entertainment Computing (EC)*, Vol. 2020, No. 14, pp. 1–2, 2020.
- [33] Haruka Kamachi, Sae Ohkubo, Anna Yokokubo, and Guillaume Lopez. Eating habit improvement system using dietary sound. IPSJ Behavior Transformation by IoT Behavior Modification Research Kicking-off Symposium 16.4.2022, 2022.
- [34] Rei Nakaoka, Yugo Nakamura, Yuki Matsuda, Shinya Misaki, and Keiichi Yasumoto. eat2pic: Food-tech design as a healthy nudge with smart chopsticks and canvas. In *2021 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications*

Workshops and other Affiliated Events (PerCom Workshops), pp. 389–391. IEEE Computer Society, 2021.

- [35] Guillaume Lopez Sae Ohkubo. Chewker: Eating habit detection system using necklace-type device. マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2023 論文集, Vol. 2023, No. 1, pp. 1597–1604, 2023.
- [36] At how many decibels does a human speak normally. <https://decibelpro.app/blog/how-many-decibels-does-a-human-speak-normally/>.
- [37] Japan Dental Hygienists' Association. Keep your biting power (in japanese). https://www.jdha.or.jp/pdf/health/hatookuchi_20200401_2.pdf.
- [38] 厚生労働省. 歯科保健と食育の在り方に関する検討会報告書「歯・口の健康と食育～噛みング30（カミングサンマル）を目指して～」. <https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000687163.pdf>.
- [39] Eating slowly has many benefits! (in japanese). <https://www.osaka-tounyoubyou.jp/ryouri/yukkuritabe/>.
- [40] AOL.com Editors. Is taking 100 bites a day the key to weight loss?, 8 2014.
- [41] System usability scale - wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/System_usability_scale.
- [42] The system usability scale: Past, present, and future. https://www.researchgate.net/publication/324116412_The_System_Usability_Scale_Past_Present_and_Future.

付録

付録 A 本研究に関する論文と発表実績

2023年2月

Haruka Kamachi, Sae Ohkubo, Anna Yokokubo, Guillaume Lopez

“Eating Habit Improvement System using Dietary Sound”

HEALTHINH 2023 : 16th International Conference on Health Informatics @Lisbon

2023年7月

Sae Ohkubo, Guillaume Lopez

“Chewker: Eating Habit Detection System Using Necklace-type Device”

情報処理学会 マルチメディア、分散、協調とモバイルシンポジウム 2023 @富山国際会議場

2024年6月

伊東優乃, 大久保紗恵, 木村正子, ロペズギヨーム

“CutRest: カトラリー置き型摂食リズム調整システム”

一般社団法人 情報処理学会 マルチメディア、分散、協調とモバイルシンポジウム 2024 @花巻温泉

付録 B 本研究の実験に使用した研究同意書

図 6.1 から図 6.3 までは本研究の実験で使用した研究同意書である。

研究説明書・実験参加に関する同意書

この説明文書は、「ネックレス型デバイスを用いた食習慣改善システム」の検証のための実験へのご協力をお願いするために、当該研究について説明したものです。この研究への協力をお断りになってしまっても、成績評価には何ら関係はなく、他にもいかなる不利益を受けることもあります。また、協力に同意された場合でも自由意志でいつでもこれを撤回できます。同意書に署名する前に、この研究説明書を熟読してください。
わからないことがありましたら担当者にいつでも質問をして下さい。

1. 研究目的と概要

肥満は生活習慣病につながる恐れがあると同時に世界中で患者数が増えている。日本においても対策を講じているが人数は減っていない。また早食いの人ほどBMIが高く、肥満の防止にはよく噛んで食べることが望ましい。食事中の行動を自動で検出する研究は既に行われているが、検出される食事行動が不十分であるものや、検出精度が低いもの、リアルタイム性に欠けるものが多い。そこで、様々なセンサーを搭載したネックレス型デバイスとスマートフォンを連携し、リアルタイムでの詳細な食事行動を検出し、柔軟なフィードバックを提示するシステム「Chewker」を提案する。本実験は、自然な食事環境下でのより詳細な食事行動の定量化とフィードバックによる食事行動への意識改善を目的としている。

2. 実験の方法

1. 同意書、事前アンケートに回答
2. 実験の説明
3. ネックレス型デバイスを首に装着し、スマートフォンと接続
4. スマートフォン上で「Calibration」メニューでキャリブレーション（校正）を行う
5. キャリブレーション後、「StartMeal」メニューで、音楽を再生し、食事開始ボタンを押す。
6. 食事をする（時間の制限はありません）
7. 食事終了後にフィードバック内容の確認とアンケート回答

- 所要時間は食事にかかる時間にもよりますが、準備も含め40分程度を予定しています。
- 実験後に食事動作を確認するために、食事中の様子を動画で撮影させていただきます。（口元、喉元が映るように）
- 結果の検証のために一人2回実験に参加していただきます。
- お弁当はN棟1階にて販売されているお弁当から選択していただきます。また2回とも同じ内容のお弁当を食べていただきます。
- スマートフォンでのリアルタイムフィードバックは音楽の速度によるものです。以下の条件がどちらか当てはまる場合、嚥下時に音楽が低速になります。通常の速度を保てるようにしてください。

- ①一口の咀嚼回数が理想回数に達していない
②一口の中での咀嚼ペース(咀嚼と咀嚼の間の時間)の平均が理想ペースに達していない

図 6.1: 本実験の同意書 (1/3)

3. 研究実施者

この実験は、以下のうちのいずれかの者が実施いたします。

研究責任者:ロペズ ギヨーム(青山学院大学理工学部 教授)

実験担当者:大久保 紗恵(おおくぼ さえ) (理工学研究科知能情報コース 2年)

4. 実験実施場所

【学内】神奈川県相模原市中央区淵野辺5-10-1

相模原キャンパス内:O棟2階226 (研究室)

5. 実験参加によって予想される不利益と危険性

実験に参加することで長時間のネックレス型デバイス装着による首の痛みや違和感などが考えられます。実験中に不利益が生じ、実験の継続が困難と判断した場合、直ちに実験を中止し、速やかに適切な処置、または診察依頼を行います。なお、被験者は個人的都合などにより隨時実験への参加を中止できます。その場合、それまでに測定したデータは全て破棄されます。また、後日、実験が原因と考えられる健康被害が万一起きた場合には、研究責任者へ連絡してください。

6. 個人情報の管理と研究成果の公表

この実験によって得られた情報は研究開発データとして使用しますが、データは研究責任者により厳重に管理されます。統計的に処理された統計結果の一部は、学会、青山学院大学にて公表する場合があります。個人名は番号で管理され(匿名加工情報)、データから個人が特定できる形での公表は行いません。

7. インフォームドコンセント(研究協力の任意性および撤回の自由について)

「インフォームドコンセント」とは、実験に参加して頂く前に「実験の内容等について事前に充分説明を受け、理解納得した上で実験への参加に同意する」ということです。今回の実験の場合にもインフォームドコンセントが必要となります。実験中であってもいつでも実験中止を実験者に求めることができ、実験者は直ちに実験を中止します。その場合、実験結果などの情報は廃棄され、それ以後は研究目的に用いられることはありません。インタビューと質問紙については、答えたくない質問には答えなくて構いません。回答後に回答を撤回したい場合は、実験者にその意思を伝え、実験者はその回答をそれ以後の研究目的には用いません。この実験による研究の進展や成果について、質問があればいつでも受け付けます。

8. 実験参加への同意

以上、ご説明した内容で、

- 本実験に参加することを承諾する
- 研究実施者に限り個人特定されることを承諾する

の2点に同意頂ける方は、以下に同意書への署名等の記入を行い、実験者へ提出願います。

何かご不明な点がございましたら、いつでも研究実施者へご質問下さい。本研究の目的、方法等を十分理解し納得した上で、実験へのご協力をよろしくお願ひ申し上げます。

図 6.2: 本実験の同意書 (2/3)

9. 実験に関する連絡先

研究責任者（実験実施者）

青山学院大学理工学部 情報テクノロジー学科

名前：ロペズ・ギヨーム

e-mail : guillaume@it.aoyama.ac.jp

042-759-6373

実験担当者

青山学院大学理工学部 情報テクノロジー学科

名前：大久保 紗恵

e-mail : sokubo@wil-aoyama.jp

080-3751-4140

* 必須の質問です

実験に参加することを *

同意する

同意しない

名前フルネーム（例：青山花子） *

回答を入力

メールアドレス *

回答を入力

送信

フォームをクリア

図 6.3: 本実験の同意書 (3/3)

付録C 質疑応答内容

伊藤教授（情報テクノロジー学科）

Q	実験の際のセンシングにChewkerを使う必要性は何ですか。フィードバックがランダムな条件の実験を行うべきです。
A	詳細な食事行動（摂食、咀嚼、嚥下、発話）すべてをリアルタイムで検出している研究はありません。摂食のみであったり、咀嚼のみの検出をする研究はありますが、すべてを高い精度で検出できている研究はありません。現時点ではフィードバックを提示するために必要なセンシングはChewkerでのみ実現が可能であると言えます。

浦垣先生（情報テクノロジー学科）

Q	食習慣改善に対するChewkerの必要性。技術的な有用性についてどのようにお考えですか。このシステムは長期的に使用されるとお考えですか。また、継続利用を促すための工夫について教えてください。
A	本システムは、早食いを改善したいが自制が難しい人々を主なターゲットとしています。自身で咀嚼回数やペースを管理するのは難しく、意識していても持続することが困難な場合が多いです。そのため、Chewkerは音楽を活用しながら食事行動をコントロールし、アプリが客観的に食習慣の良し悪しを判断できる点で有用だと考えます。現代では、スマートフォンを見ながらの食事が一般的になりつつありますが、食事中にスマートフォンを見ることは、健康に悪影響があるという研究があります。むしろ、スマートフォンなどに注視させずに、会話などを促進してくれれば良い食事となります。ゴールはChewkerを使って、良い食事を習慣付けて、Chewkerがなくとも良い食事をできるようになることです。できるようになるまで、どの程度の期間を要するかは未検証でわかりませんが、継続してもらうために、成長を示すメタファー（花が成長するなど）を介してフィードバックを提示することが一つのアイディアとしてあげられます。

山下先生（情報テクノロジー学科）

Q	<p>Chewker の目的は音楽を速さを変えながら流すことで咀嚼回数やペースを適切に保つことで合っていますか。デモ動画ですと、アプリケーションの画面を見て、回数を把握し、増やしたり減らすことができるよう見えました。その行動が音楽によって誘発されていれば、ユーザがテキスト情報を参考に回数を調整してもいいということでしょうか。想定としては音楽のみで改善してほしいのか、アプリケーションを見てもらう前提なのかどちらでしょうか。</p>
A	<p>Chewker の目的は音楽を速さを変えながら流すことで咀嚼回数やペースを適切に保つことで合っています。ビデオでは配慮が足らず、画面を注視している形になってしまっていますが、実際には注視する必要はなく、音楽が1倍速だと、「今は良い食べ方なんだ」、0.5倍速なら、「今はペースもしくは回数が不十分なんだ」と感じてほしいです。ユーザがテキスト情報を参考に回数を調整してもいいのですが、想定としては音楽のみで改善してほしいです。どうしても1倍に戻らない場合など気になった場合のみ、テキストを確認してもらう形になります。また、音楽自体がゆっくり噛むことにつながったり、遅いテンポの音楽はさらに良い食事を促すことがわかっているので、無意識にも咀嚼回数などの増加につながっていると考えます。</p>