

図書館情報メディア研究科修士論文

**笑顔可聴化システムを用いた
弱視者による他者の表情認識支援**

2017年3月

201521633

中山 雄貴

**笑顔可聴化システムを用いた
弱視者による他者の表情認識支援**

筑波大学

図書館情報メディア研究科

2017年3月

中山 雄貴

目次

| | | |
|------------|---------------------------|-----------|
| 第1章 | はじめに | 1 |
| 1.1 | 研究背景 | 1 |
| 1.2 | 研究目的 | 2 |
| 1.3 | 本論文の構成 | 3 |
| 第2章 | 関連研究 | 4 |
| 2.1 | データ可聴化 | 4 |
| 2.1.1 | 可聴化の定義 | 4 |
| 2.1.2 | 可聴化の手法 | 4 |
| 2.2 | 弱視 | 5 |
| 2.2.1 | 対面コミュニケーションにおいて弱視者が抱える困難 | 5 |
| 2.2.2 | 視覚障害者支援に向けた表情可聴化 | 6 |
| 2.3 | 表面筋電位信号 | 6 |
| 2.3.1 | 筋電位発生メカニズム | 6 |
| 2.3.2 | 筋電位計測方法 | 7 |
| 2.3.3 | 表面筋電位信号分析のための処理 | 7 |
| 2.3.4 | 筋電位信号を用いるメリット | 9 |
| 第3章 | システム構成 | 10 |
| 3.1 | 表面筋電位信号計測 | 10 |
| 3.1.1 | 使用機器 | 10 |
| 3.1.2 | 計測位置 | 11 |
| 3.2 | 信号処理部 | 11 |
| 3.2.1 | 特徴量抽出 | 11 |
| 3.2.2 | 可聴化用信号 | 12 |
| 3.3 | 表情識別部 | 13 |
| 3.4 | 可聴化部 | 14 |
| 3.4.1 | 可聴化音への要求 | 14 |
| 3.4.2 | 可聴化音合成の方法 | 14 |
| 第4章 | 予備調査 | 17 |
| 4.1 | 予備調査I：静止画を用いた弱視者の笑顔認識能力調査 | 17 |
| 4.1.1 | 調査目的 | 17 |
| 4.1.2 | 参加者 | 17 |
| 4.1.3 | 手順 | 17 |
| 4.1.4 | 結果 | 17 |
| 4.1.5 | 考察 | 18 |

| | | |
|--------------|--------------------------------------|-----------|
| 4.2 | 予備調査 II：動画を用いた弱視者の笑顔認識能力調査 | 19 |
| 4.2.1 | 調査目的 | 19 |
| 4.2.2 | 参加者 | 19 |
| 4.2.3 | 手順 | 19 |
| 4.2.4 | 結果 | 20 |
| 4.2.5 | 考察 | 20 |
| 第 5 章 | 検証実験 | 22 |
| 5.1 | 実験目的 | 22 |
| 5.2 | 実験条件 | 22 |
| 5.2.1 | 実験参加者 | 22 |
| 5.2.2 | 実験環境 | 22 |
| 5.3 | 実験刺激 | 23 |
| 5.4 | 実験手順 | 24 |
| 5.5 | 分析手法 | 25 |
| 5.5.1 | 回答カテゴリ | 25 |
| 5.5.2 | 回答遅れ | 26 |
| 5.6 | 実験結果 | 26 |
| 5.6.1 | 回答カテゴリ | 26 |
| 5.6.2 | 回答遅れ | 30 |
| 5.6.3 | アンケート結果 | 37 |
| 5.7 | 考察 | 39 |
| 第 6 章 | 実証実験 | 41 |
| 6.1 | 実験目的 | 41 |
| 6.2 | 実験参加者 | 41 |
| 6.3 | 実験環境 | 41 |
| 6.4 | 実験手順 | 41 |
| 6.5 | 実験結果および考察 | 41 |
| 第 7 章 | おわりに | 43 |
| | 謝辞 | 44 |
| | 参考文献 | 45 |
| | 発表論文一覧 | 48 |
| | 付録 | 49 |
| A | 検証実験同意書 | 49 |
| B | 検証実験教示 | 51 |
| C | 検証実験アンケート | 53 |
| D | 検証実験結果 | 55 |

表 目 次

| | |
|---|----|
| 3.1.1 使用デバイス | 11 |
| 3.4.1 用いた音階 | 15 |
| 3.4.2 音合成用信号と音響パラメタの対応 | 15 |
| 4.1.1 弱視参加者の視力，症状及び発症時期（調査 1） | 17 |
| 4.1.2 平均所要時間 | 18 |
| 4.2.1 弱視参加者の視力，症状及び発症時期（調査 2） | 19 |
| 4.2.2 用いた映画作品のタイトルおよび切り出し時間 | 20 |
| 5.2.1 弱視参加者の視力，症状及び発症時期（検証実験） | 22 |
| 5.3.1 実験刺激リスト | 23 |
| 5.3.1 実験刺激リスト | 24 |
| 5.4.1 アンケート内容 | 25 |
| 5.5.1 回答カテゴリ | 26 |

目 次

| | |
|--|----|
| 1.1.1 感情の円環モデル (色付き部分は笑顔に関係すると考えられる感情の範囲) | 2 |
| 2.3.1 筋電位信号の例 | 7 |
| 2.3.2 RMS 信号の例 (上段:EMG 信号 中段:RMS(窓幅 50ms) 下段:RMS(窓幅 150ms)) . . | 9 |
| 3.0.1 システムフロー図 | 10 |
| 3.1.1 電極装着例 (正面) | 11 |
| 3.1.2 電極装着例 (側面) | 11 |
| 3.2.1 特徴量抽出 | 12 |
| 3.2.2 笑顔時の EMG 信号の例 | 13 |
| 3.3.1 SVM の学習に用いる表情 | 14 |
| 3.4.1 泡の音の波形例 | 15 |
| 4.1.1 個人ごとの成績 (正答率 = 正解数/全回答数, 自信度 = 回答「自信あり」の数/全回答数) | 18 |
| 4.1.2 晴眼者・弱視者の平均成績 (正答率 = 正解数/全回答数, 自信度 = 回答「自信あり」の数/全回答数) | 18 |
| 4.1.3 弱視者回答例 | 19 |
| 4.2.1 id6 に対する各参加者の回答結果 (色付き部分: 参加者が笑顔だと回答した区間, 薄いグレー: 晴眼者 濃いグレー: 弱視者) | 21 |
| 4.2.2 id7 に対する各参加者の回答結果 (色付き部分: 参加者が笑顔だと回答した区間, 薄いグレー: 晴眼者 濃いグレー: 弱視者) | 21 |
| 5.6.1 晴眼被験者の回答カテゴリ結果 | 27 |
| 5.6.2 弱視被験者の回答カテゴリ結果 | 27 |
| 5.6.3 TP 率 (全体) | 27 |
| 5.6.4 TP 率 (笑顔・正面) | 28 |
| 5.6.5 TP 率 (笑顔・真横) | 29 |
| 5.6.6 TP 率 (微笑み・正面) | 29 |
| 5.6.7 TP 率 (微笑み・真横) | 30 |
| 5.6.8 回答遅れ (開始) | 31 |
| 5.6.9 回答遅れ (終了) | 31 |
| 5.6.10 回答遅れ (開始・笑顔・正面) | 32 |
| 5.6.11 回答遅れ (開始・笑顔・真横) | 33 |
| 5.6.12 回答遅れ (開始・微笑み・正面) | 33 |
| 5.6.13 回答遅れ (開始・微笑み・真横) | 34 |
| 5.6.14 回答遅れ (終了・笑顔・正面) | 35 |

| | |
|---|----|
| 5.6.15回答遅れ（終了・笑顔・真横） | 35 |
| 5.6.16回答遅れ（終了・微笑み・正面） | 36 |
| 5.6.17回答遅れ（終了・微笑み・真横） | 36 |
| 5.6.18質問項目「回答の容易さ」（質問内容「可聴化音がある場合とない場合どちらが笑顔 の認識が容易でしたか？」）についての被験者回答 | 37 |
| 5.6.19質問項目「回答への自信」（質問内容「可聴化音がある場合とない場合どちらが自信 を持って回答できましたか？」）についての被験者回答 | 38 |
| 5.6.20質問項目「実環境使用への印象」（質問内容「実際に対話相手の笑顔に可聴化音が付 与されていたらどう感じますか？」）についての被験者回答 | 39 |

第1章 はじめに

1.1 研究背景

笑顔をはじめとする表情は、私達人間が持つ感情をよく表すものであり、感情は「喜び」「悲しみ」「怒り」というようなカテゴリーとしてとらえることが出来る。また、同じ「喜び」であっても、「わくわくする喜び」「ほっとした喜び」のように細かな違いがあるものとしてもとらえることが出来る。岡ノ谷は自著「つながり」の進化生物学」の3章で、前者の立場(カテゴリー説)と後者の立場(次元説)を対比させ、私たちがどのように他者の感情を受け止めるかについて論じている [1]。

カテゴリー説は Ekman らによって提唱されており、世界中のどの国の人たちも「喜び、怒り、悲しみ、恐怖、嫌悪、驚き」といった基本6感情を表現し、またその表情は国や文化に関わらず認識されるという立場である [2]。

しかし、同じカテゴリーでも表情には様々なものがある。一言で笑顔と言っても、その笑顔に含まれる感情は多様で、Ekman は自著の中で笑顔が含む感情として、「楽しみ」、「興奮」、「安堵」、「快感」等があると述べている [3]。

これに対して、感情の次元説では、横軸を「快・不快」、縦軸を「覚醒・睡眠」として、その座標軸上で感情を連続的な変化として捉える。Russell はこの座標軸を元に感情がどの位置に来るのかを形容詞で示すモデルを作成した。これを感情の円環モデルという [4]。円環モデルを図 1.1.1 に示す。笑顔表出時の感情は、笑顔は円環モデルの上で快方向の広い範囲で見ることのできる表情だと考えられる(図 1.1.1 色付き部分)。そして、様々な感情に応じて異なる笑顔が表出される。

他者の表情を正しく認識することは、円滑なコミュニケーションにおいて重要である。社会生活を営む上で、他者とのコミュニケーションは欠かすことのできない要素である。表情は感情は重要なノンバーバルコミュニケーションの一種である。表情は感情を表しており、感情に伴う表情表出は文化や国籍に関わらず全人類で共通する普遍的なものであるとされている。表情に普遍性があることにより、表情から感情を推測することが可能である。相手の表情を正しく認識することが、円滑なコミュニケーションにおいて重要である。また、笑顔については他者の笑顔を観察すると観察者自身も笑顔になるということが知られている [5]。

しかし、弱視者のように他者の表情を認識することに困難を持つ人もいる。厚生労働省の調べによれば日本には 20 万人以上の弱視者がおり視覚障害者の 6 割以上を占めている [6]。弱視の代表的な症状としては矯正しても視力が低い低視力、周辺視野や中心視野の欠損といった視野障害が挙げられる [7]。彼らは視覚情報から他者の表情を認識することが難しく、声をはじめとする聴覚情報を元に他者の表情を推測している。そのため、他者が声を発していない状況においては他者の表情を認識することが難しく、対面コミュニケーションに困難が生じている [8]。そこで本研究では、笑顔可聴化システムを用いてそのような音声を伴わない笑顔に聴覚的な情報を付与することにより、認識の支援を目指す。

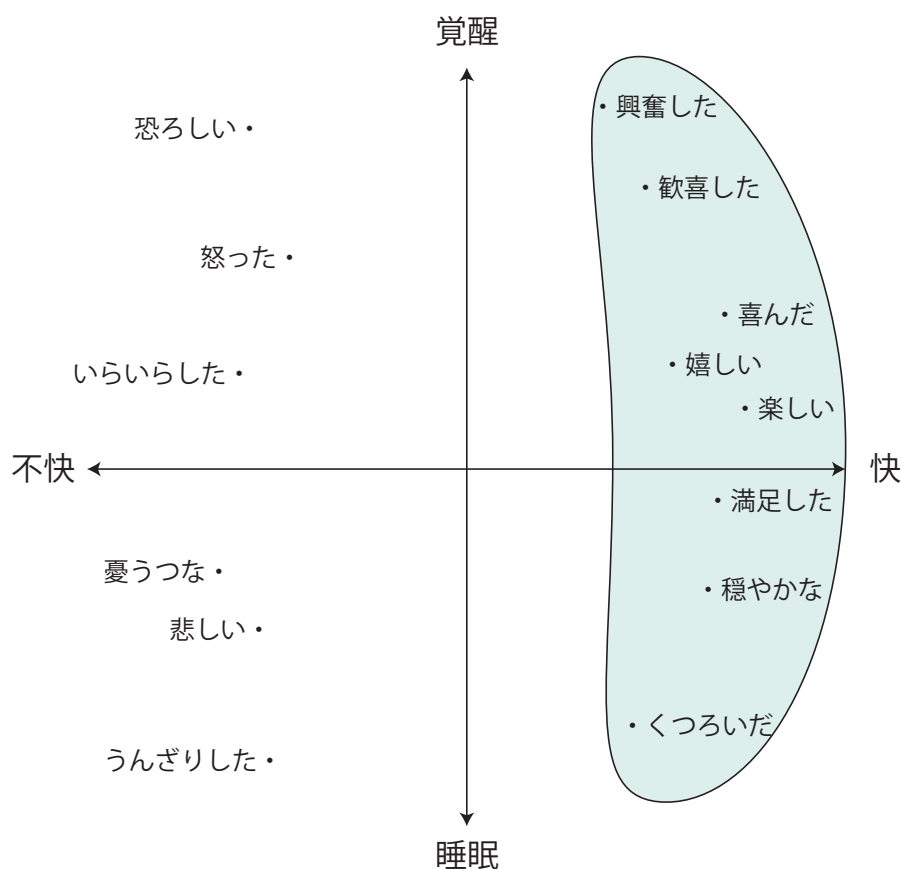


図 1.1.1: 感情の円環モデル (色付き部分は笑顔に関係すると考えられる感情の範囲)

1.2 研究目的

本研究では、笑顔可聴化システムによる聴覚的な情報の付与を行うことで弱視者が認識しにくい音声を伴わない笑顔の認識の支援を行い、弱視者と他者とのコミュニケーションの円滑化を目指す。笑顔の伝達に音を用いることで視覚を奪われることなく他者の笑顔の認識が可能であり、弱視者が他者の表情を視覚のみで認識する際の負担を軽減できると考えられる。また、本システムでは音の出力によって笑顔であるかどうかという二値的な情報を伝達するだけでなく、データを音響パラメタに対応付ける Parameter mapping sonification という手法を用いて音高を変化させることで表出されている笑顔の度合いを表現することも試みた。さらに、笑顔の識別および可聴化に表面筋電位を用いることで、画像処理による表情識別において起こる空間的な制約を解消することが出来ると考えられる。

実際に笑顔可聴化システムを用いて聴覚的な情報を付与することで、弱視者による他者笑顔認識に変化が起こるかどうか検証実験を行った。また、検証実験に先がけて弱視者と晴眼者の他者笑顔認識の傾向に差があるかということも調査する。加えて、弱視者と実際に笑顔可聴化システムを使用している晴眼者との会話を通して、実環境における笑顔可聴化システムの印象についても調査する。

1.3 本論文の構成

本論文は全7章から構成される。第1章では研究背景と本研究の目的を述べた。第2章では、本研究に関連する先行研究について述べ、第3章ではシステム構成について述べる。第4章では予備調査について述べる。第5章では検証実験について述べる。第6章では実証実験について述べる。第7章でまとめと今後の展望を述べる。

第2章 関連研究

2.1 データ可聴化

2.1.1 可聴化の定義

Kramer らは可聴化を「コミュニケーションや解釈を容易にするための、データの関係性を音響信号により知覚される関係性に変換することである」と定義している [9].

さらに Hermann は可聴化を科学的研究として進める立場から可聴化の定義を明確なものにするために次の4つの条件を可聴化の定義として提案している [10]. 以下にその条件を引用する.

- (C1) 音は入力データの客観的な特性や関係性を反映する.
- (C2) 音への変換は系統的である. つまり, データがどのように音の変化を引き起こすか明確に定義されている.
- (C3) 可聴化は再現可能である. 全く同じデータと全く同じ制御によって生成された音は, 同一の構造を持つ.
- (C4) 可聴化のシステムは, 他のデータを入力としても利用でき, 同じデータを繰り返しても利用できる.

可聴化はこれらの定義に基づいて, 本来音ではない情報を非言語音に変換して情報伝達を行う.

音を用いて情報伝達を行う利点としては, 「視覚を奪われない」「素早く情報を検出することが出来る」「多数の音情報から選択的に聴取することができる」といったことが挙げられる [11].

2.1.2 可聴化の手法

以下に代表的な可聴化の手法を挙げる [12, Chapter.12~16].

Audification

Audification は元のデータの波形を直接音に変換する手法で, 可聴化の中で最も直接的で単純な手法である.

Auditory icons

Auditory icons はコンピュータなどのインタフェース上においてユーザーの動作に対応する音である. コンピュータでは, 「ごみ箱」にファイルをドラッグ&ドロップして削除すると紙をくしゃくしゃと丸めるような音がする. これは Auditory icon の典型例である. Auditory icon は我々が日常生活で体験する音を模倣することで, その音の意味を学ばなくても理解することを可能としている.

Earcon

Earcon はコンピュータなどのインタフェース上においてユーザーの動作に対応する音である.

Auditory icon は実生活に存在する音であるが、ユーザーのインタフェース上での動作全てを実生活の中に存在する音で表すことは出来ない。そのような動作を表すための非言語の音を Earcon と言う。Auditory icon は聴いただけで何を表しているのかを理解できるのに対し、Earcon は聴いただけでは何を表しているのか理解できない抽象的な音のため、理解するには学習を要する。

Parameter mapping sonification

Parameter mapping sonification (PMSon) はデータを音響パラメタ (音量, 音高など) に結びつけることで、データの変化を音の様子の変化で表現する手法である。データを音の様々な特徴量に割り当てることで、多様な可聴化が可能になる。PMSon は直観的な表示が可能な一方で、美的な問題も含むため、それらの要素を考慮することも重要である。また、正しくデータを理解出来るようにするためにどのようにデータと音響パラメタを対応させるかを考えることが最適なマッピングに繋がる。

Model-based sonification

Model-based sonification はデータを楽器などの仮想モデルのパラメータに割り当てる手法である。そのモデルはユーザーのアクションに応じて音を出力するという仕組みになっており、ユーザーは自身が起こしたアクションに対する音の反応を通してデータの特性を理解する。

本研究では、笑顔時の表面筋電位信号の変化を音の様子の変化で表現するため、データを音響パラメタに結びつける Parameter mapping sonification を用いることとした。

2.2 弱視

2.2.1 対面コミュニケーションにおいて弱視者が抱える困難

1.1 節で述べたように、弱視者は低視力による視界のぼやけ、視野の欠損や羞明、眼振などの症状によって、視覚的な情報の利用に困難がある。坂本は弱視者の見えにくさについて、屈折異常による見えにくさ (ぼやけ)、視野狭窄による見えにくさ、中心暗転による見えにくさ、まぶしさによる見えにくさの4つに分類できるとし、弱視者の多くはこれらの見えにくさの組み合わせになっていると述べている。[13]

視覚的な情報の制限により日常生活において、歩行や文字情報の取得に加えて、対面コミュニケーションでも困難を抱えていると考えられる。茂手木は、弱視者が相手の表情を認識できないことにより対面コミュニケーションにおいて困難が生じていることを、弱視である自身の経験に基づいてまとめている [14]。また、中野らは37名の弱視者へのインタビューを通して弱視者が直面している対面コミュニケーション上の課題を9つのカテゴリに分類している。[8]。それらの課題のうち、特に表情に関連すると考えられる課題を以下に挙げる。

- ・「沈黙」されると、どういう表情をしているかがわからないので、どうしたらよいか困る。
- ・表情や仕草が見えていないからか、会話中のちょっとした沈黙 (間) はとても気になってしまう。
- ・相手の表情が分からないため、相手の感情を細部までつかむことが出来ない。
- ・会話がとぎれたとき、何を相手が考えているかが掴みにくい。
- ・顔や表情を捉えようとすると注意を集中させなければならないため、それだけで疲れる。

以上を踏まえると、弱視者は他者の表情を読み取る自体に困難を抱えていたり、読み取り自体は可能でも視覚情報のみでそれを継続することに困難を抱えていることがわかる。

また、筆者が4名の弱視者に他者の表情認識についてインタビューを行ったところ、「相手が笑っている状態は音声を伴っていたり動きが大きいと認識しやすい。」「しかし、音声を伴わなかったり動きの小さい笑顔は認識しにくい」という意見があり、聴覚的な情報が無かったり視覚的な情報量が少ない笑顔の認識に困難がある可能性が考えられる。

以上を踏まえて本研究では、表情の中でも特に表出されることの多い笑顔について、聴覚的な情報を付与することで、弱視者が他者の笑顔を認識する支援を目指す。

2.2.2 視覚障害者支援に向けた表情可聴化

本節では視覚障害者に向けた表情可聴化研究について言及する。表情可聴化においては、画像処理を用いることが多い。Ioulia らが行った初期の表情可聴化研究では、画像処理を用いて表情を認識し、表情に応じて楽器音の音高を変化させることで、聴覚的な表情認識を試みている [15]。Patil らはカメラを用いて顔を9つの部位に分けて計測し、それぞれの部位のオプティカルフローを用いて表情の可聴化を行った。オプティカルフローによって喜び、悲しみ、怒り、驚き、嫌悪の5種類の中から表情を特定し、それぞれに対応した楽器音によるフィードバックを行う [16]。また、Dietz らは画像処理に加えアイトラッキングを用いることで対象となる人物をユーザー自身に決定させた上で楽器音による表情の可聴化を行っている [17]。

このように表情可聴化研究では画像処理を用いることが多く、表面筋電位信号を用いた可聴化の研究はあまり行われていない。Webb は盲人の表情表出トレーニングに向けて表面筋電位を用いた可聴化を行っている [18] が、これは視覚障害者自身の表情表出の支援を目指しており、他者の表情認識の支援は目的としていない。

そこで本研究では、笑顔可聴化システムを用いた弱視者による他者の表情認識支援を目指し、その有効性を検証する。

2.3 表面筋電位信号

2.3.1 筋電位発生メカニズム

筋肉が動く過程において、微弱な電気信号が発生する。この電気信号は、脳や脊髄を構成する神経細胞(ニューロン)から発生し、神経軸索を経由して次のニューロンに伝達され、目的となる筋繊維に伝えられる。筋繊維はこの電気信号により収縮する。これを筋収縮という。筋収縮が起こる際に筋繊維に発生する活動電位を筋電位と呼び、これを記録・表示したものが筋電図 (Electromyography, EMG) である。我々が測定した筋電位信号の例を図 2.3.1 に示す。筋電位信号は、その筋肉の活動の度合いによって振幅が変化し、より活発に活動するほど振幅が大きくなる。

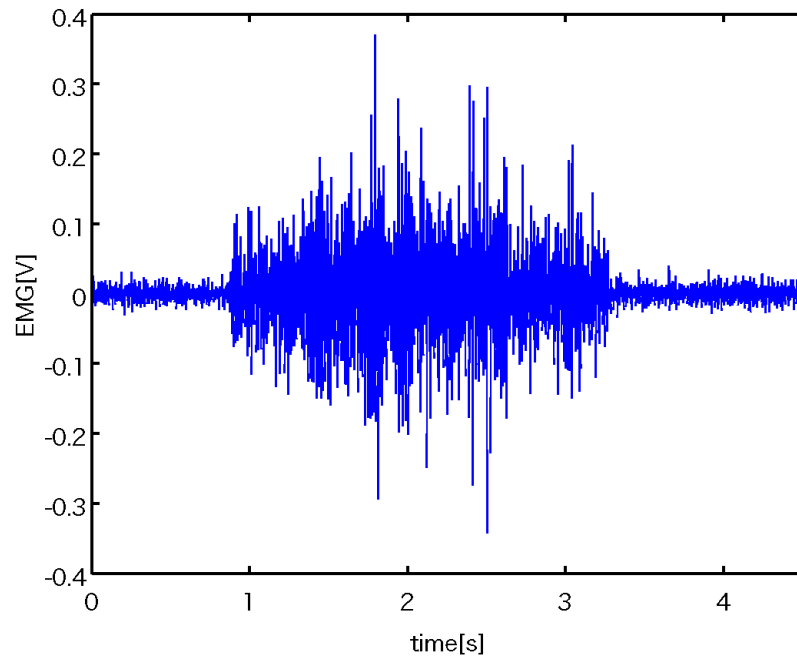


図 2.3.1: 筋電位信号の例

2.3.2 筋電位計測方法

筋電位を計測する方法は用いる電極によって大きく 2 つに分かれる [19]. 1 つは皮膚表面に取り付ける表面電極を用いて筋電位を計測する方法で, この方法で計測される筋電位信号を表面筋電位信号と呼ぶ. 表面電極には侵襲性がないため, 表面筋電位信号は体育・スポーツ, リハビリテーション, 人間工学などの分野において主に用いられる. もう 1 つは皮膚から筋内に針電極を刺入する方法で, 筋内の電位変化を高い空間分解能で識別できるが, 人体に対して侵襲性が高い. 本研究では, 人体に対して侵襲することなく測定出来る表面筋電位信号を用いる.

2.3.3 表面筋電位信号分析のための処理

フィルタ処理

表面筋電位信号の周波数成分は一般的に 5~500Hz に分布すると言われている [19]. しかし, ノイズの影響や電源の交流成分などで, 意図していない周波数成分の信号が含まれることがある. そのような周波数成分を取り除き, 目的とする筋電位信号を得るために, フィルタ処理を行う. フィルタ処理は, 一般的にローパスフィルタやハイパスフィルタが用いられる.

また, 電源による 50~60(Hz) の周波数成分が含まれる場合は, ノッチフィルタやコムフィルタを用いてその周波数成分を取り除く必要がある.

特徴量抽出

表面筋電位の分析に用いる特徴量は、大きく分けて2種類ある。1つは振幅情報を表す特徴量である。もう1つは、周波数情報を表す特徴量である。振幅情報は筋電位信号の中で最も重要な特徴量とされており [19], 本研究では振幅情報を表す特徴量として用いる。振幅情報を表す特徴量は EMG 信号を平滑化することで得られる。

振幅情報を表す特徴量の代表として、次の2つがある。

RMS (Root mean square)

RMS は、平均二乗平方根により信号を平滑化することで得られる特徴量である。RMS は次式から与えられる [20]。

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_n^2} \quad (2.1)$$

本研究では、この RMS を特徴量として用いる。

IEMG (Integrated EMG)

IEMG は移動平均により信号を平滑化することで得られる特徴量である。IEMG は次式から与えられる [20]。

$$IEMG = \sum_{n=1}^N |x_n^2| \quad (2.2)$$

式 2.1 と式 2.2 において、 x_n は n サンプル目の EMG 信号の値を、 N の値は平滑化の窓幅を表している。RMS の例を図 2.3.2 に示す。上段が EMG 信号の波形である。中段と下段は RMS の波形であり、窓幅はそれぞれ 50(ms), 150(ms) としている。この図のように、窓幅を狭く取ると元の EMG 信号の細かい振幅変化を得ることができ、窓幅を広く取ると元の EMG 信号の大まかな振幅変化を得ることが出来る。

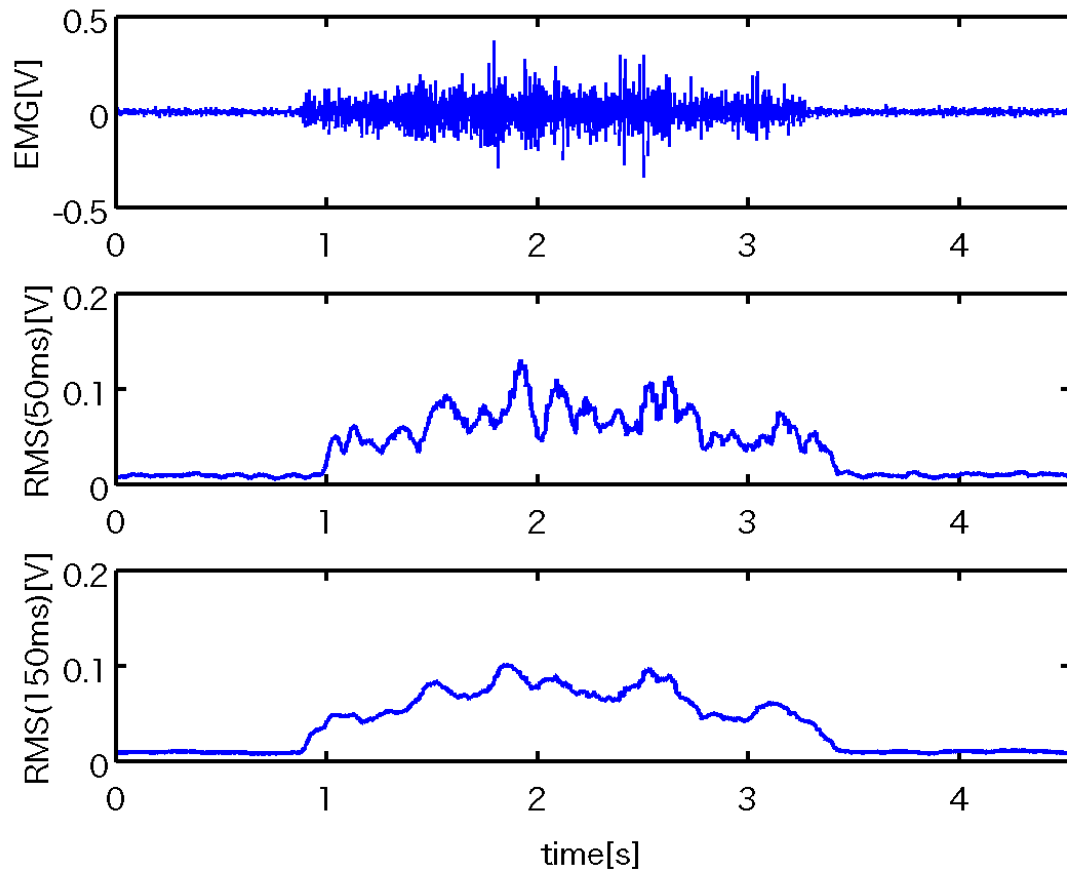


図 2.3.2: RMS 信号の例 (上段:EMG 信号 中段:RMS(窓幅 50ms) 下段:RMS(窓幅 150ms))

Konrad は, 平滑化を行うのに最適な窓幅として, 50~100(ms) を推奨している [21].

2.3.4 筋電位信号を用いるメリット

本研究において表面筋電位信号を用いる利点として, 空間的な制限がないこと, リアルタイム性の高さの 2 点が挙げられる.

過去の表情可聴化研究で, Patil ら [16] や Funk ら [22] は, 表情の可聴化に画像処理 (オプティカルフロー) を用いている. 顔をいくつかの部位にわけ, それぞれの部位のオプティカルフローを用いて表情の可聴化を行った.

空間的な制限について, このような画像処理を用いる場合はカメラが必要であり, カメラと顔の位置関係による空間的な制限が大きくなる. また表情を認識するためには顔がカメラと正対する必要があるが首をまわせないといった姿勢の制約や, それによって生じる視界の制限もある. 一方表面筋電位信号を計測する電極は小型で軽量かつ視界に入らない場所に装着可能なためそのような制約はなく, 装着型のデバイスとしての応用も可能である [23–25].

リアルタイム性の高さについては, 筋活動が表情の変化を起こし, それを他者が視覚で認知するという順序を考えれば, 筋活動を用いると視覚情報を用いるよりも早く表情の変化を捉えられることがわかる. よって, リアルタイム性も高いと考えられる.

第3章 システム構成

本章では、本研究で構築した可聴化システムについて述べる。本システムは、計測した表面筋電位信号を入力として、リアルタイムに可聴化音を出力する。本システムのフロー図を図 3.0.1 に示す。

本システムはノイズ除去のためのフィルタ処理および特徴量の抽出を行う信号処理部 (Signal Processing Section) と、表情識別およびそのための学習を行う表情識別部 (Facial Expression Classification Section), 表情識別結果と特徴量を用いて音合成を行う可聴化部 (Sonification Section) から構成され、笑顔と判定された時にのみ表情の可聴化音が提示される。

信号処理部および表情識別部は C#, 可聴化部はリアルタイムでの音合成に優れる SuperCollider にて実装した。信号処理部および表情識別部から可聴化部へのデータの受け渡しは OSC(Open Sound Control) 通信 [26] を用いた。

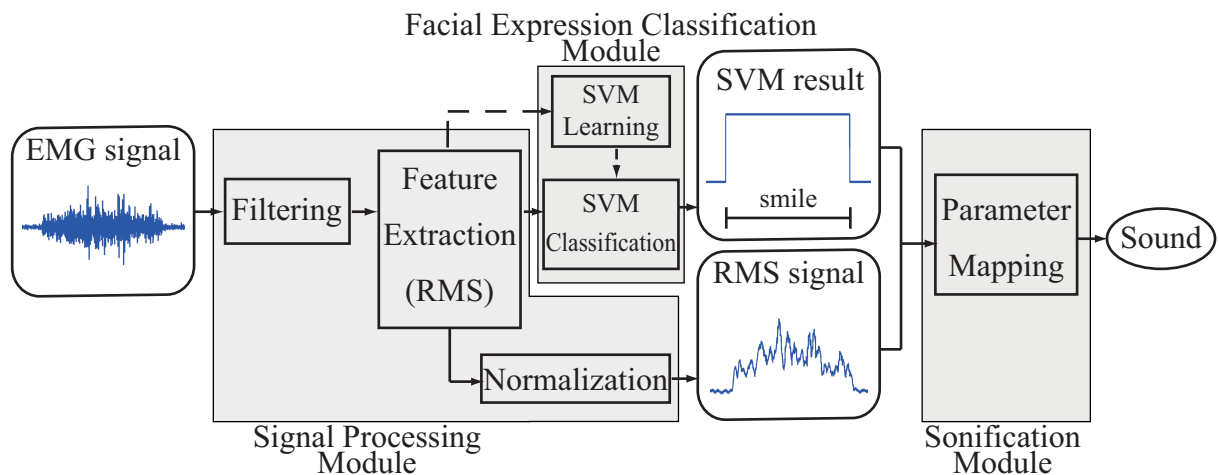


図 3.0.1: システムフロー図

3.1 表面筋電位信号計測

3.1.1 使用機器

使用デバイスを表 3.1.1 に示す。表面電極で取得する生体信号は乾式電極内で 400 倍に増幅し、サンプリング周波数 1000(Hz), 16bit で離散化を行う。さらに、データは実時間で Bluetooth 通信によりデータロガーからコンピュータに送信し、信号処理を行う。

表 3.1.1: 使用デバイス

| | |
|--------------------|------------------|
| 乾式電極 | DL-141, S&ME 社製 |
| グランド用電極 | F-150S, 日本光電社製 |
| データロガー | DL-4000, S&ME 社製 |
| BluetoothUSB アダプター | UD100, SENA 社製 |

3.1.2 計測位置

表情表出に関する表面筋電位信号を計測する場合、口輪筋・大頬骨筋・眼輪筋といった表情を形成する上で主要な筋肉上での計測を行うことが多い [27–29]。しかし、これらの筋肉上に電極を装着すると、表情を物理的に阻害してしまう。

そこで、Gruebler の研究では、頭部こめかみ付近 2ヶ所で表面筋電位信号を取得することで、表情の物理的阻害を軽減した上で笑顔に関して表情筋上で計測される信号と相関が高い信号を得ることが出来ることを示した [25]。

本研究では以上を踏まえて、表面筋電位信号を計測するための表面電極は左右のこめかみ付近に装着する。電極の装着例を図 3.1.1 および図 3.1.2 に示す。また、区別のため、図中に示す電極のうち下部の電極が取得する顔面領域を側頭部、上部の電極が取得する顔面領域を前頭部と定義する。



図 3.1.1: 電極装着例 (正面)



図 3.1.2: 電極装着例 (側面)

3.2 信号処理部

3.2.1 特徴量抽出

計測した表面筋電位信号に対しノイズ除去のためのフィルタ処理を施した後、特徴量の抽出を行う。以後、フィルタ処理を施した表面筋電位信号を EMG 信号と呼ぶ。2.3.3 節で述べたように、特徴量はここでは信号の時間的な振幅変化の情報を表すため RMS を用いる。フィルタ処理はまずコムフィルタによって電源周波数を除去した後、バンドパスフィルタによって周波数帯域を 30～450(Hz) に限定する。

特徴量の抽出は、図 3.2.1 のようにフレームシフト幅を設定し、一定の間隔をあけて繰り返し行う。特徴抽出は計測部位毎に独立して行い、計測部位間にまたがる特徴抽出は行わない。

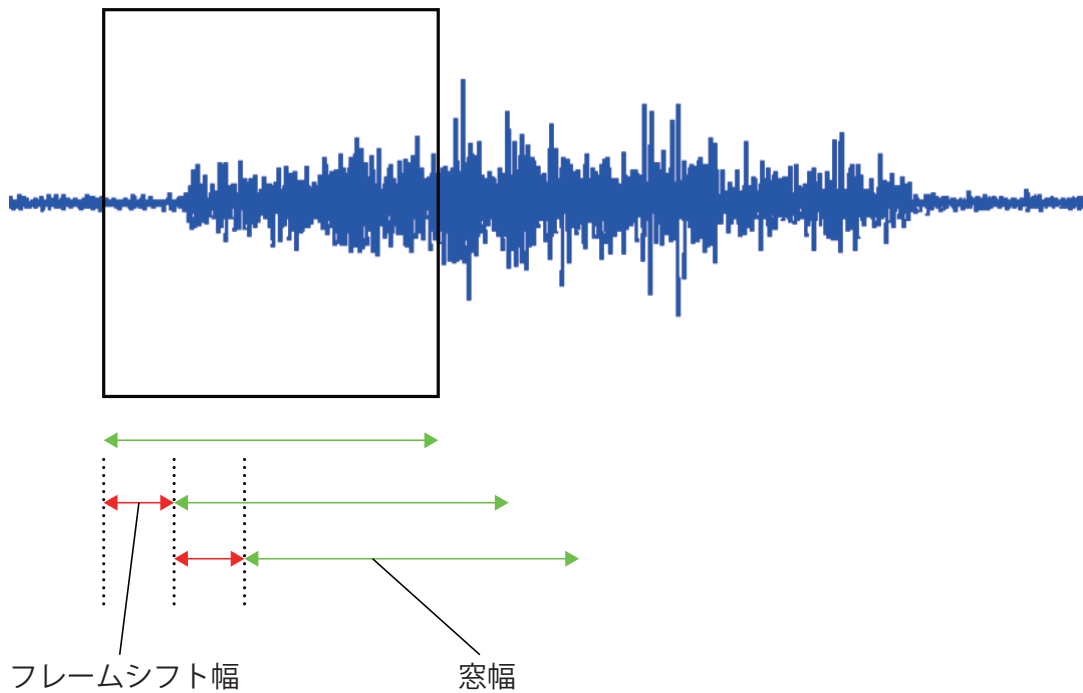


図 3.2.1: 特徴量抽出

ベースとなる表情識別アルゴリズムでは窓幅を 150(ms) として表情識別用の RMS を算出しているが、加えて本システムでは信号のより細かい変化を音で表現するため、RMS の窓幅として推奨される 50(ms) で音合成用の RMS を算出し、併用する [21]。

フレームシフト幅について、通常時は 25(ms) として RMS の算出を行う。表情識別のための学習 (3.2.2 節で述べる) 時にはデータ数確保のためフレームシフトは行わず、1(ms) 毎に RMS を算出し、学習データに用いる。

3.2.2 可聴化用信号

笑顔時の EMG 信号の波形例を図 3.2.2 に示す。この図のように笑顔時には前頭部の EMG 信号はほとんど変化がなく、主に側頭部の EMG 信号が変化する傾向があった。そこで、左右側頭部の EMG 信号から可聴化用 RMS を算出し、音合成に用いることとした。

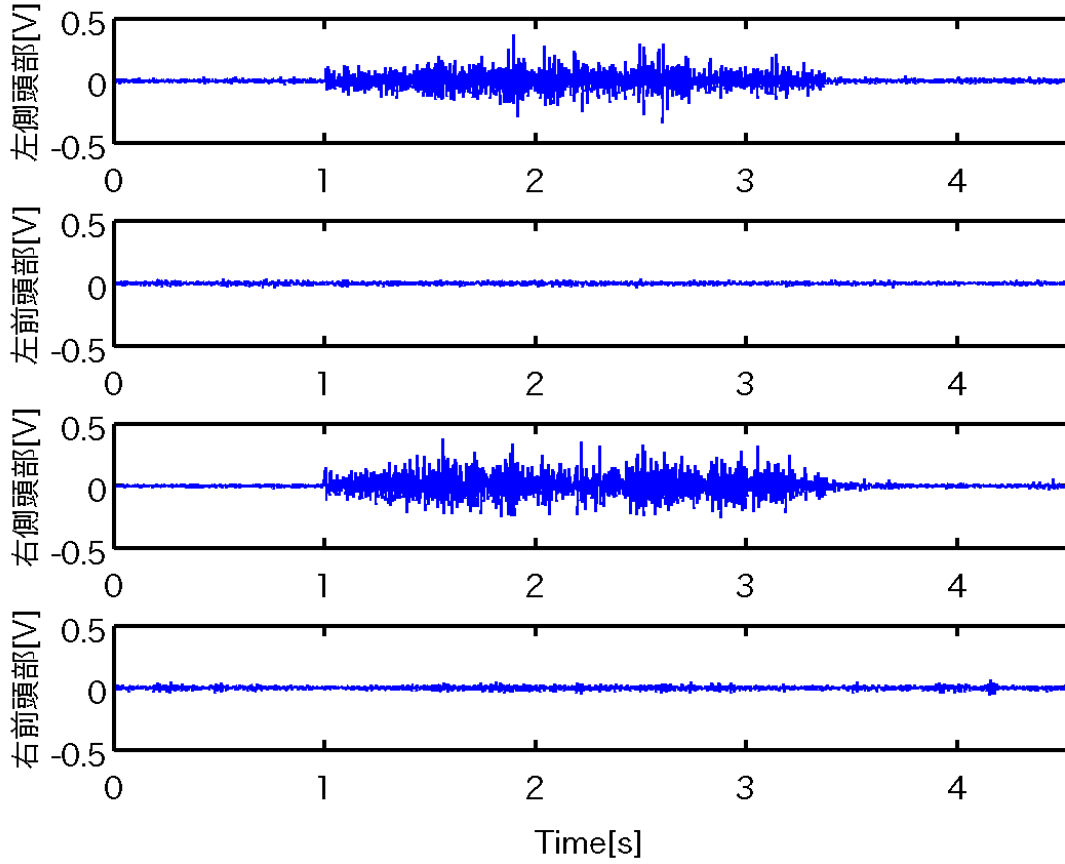


図 3.2.2: 笑顔時の EMG 信号の例

音合成用信号の算出には, 表情学習時 (3.3 節で述べる) の可聴化用 RMS を用いる. 計測部位 m における中立顔学習時の可聴化用 RMS の平均値を R_{0_m} , 笑顔学習時の可聴化用 RMS の最大値を R_{max_m} , n サンプル目の可聴化用 RMS を $r_m(n)$ として, n サンプル目の音合成用信号 $A_m(n)$ を次式から算出した.

$$A_m(n) = \frac{r_m(n) - R_{0_m}}{R_{max_m} - R_{0_m}} \quad (3.1)$$

なお,

$$A_m(n) = \begin{cases} 1 & (A_m(n) > 1) \\ A_m(n) & (otherwise) \end{cases}$$

とする.

3.3 表情識別部

表情の識別は, 上述の表情識別用 RMS を用いて 2 クラス識別器として高い性能を持つ SVM (サポートベクタマシン) によって笑顔かそれ以外の表情かを識別する. SVM はクラスを識別するための識

別面とその識別面に最も近い位置にある学習データ (サポートベクタ) との距離 (マージン) が最大になるように識別面を決めるアルゴリズムである [30].

SVM で識別を行うためには, 事前に学習を行う必要がある. 学習のために, 約 2 秒間保持される特定の表情の EMG 信号を計測する. 計測する表情は, 中立顔 (力を抜いた表情), 咬合 (奥歯を噛み締める), 微笑み (歯を見せない笑顔), 笑顔 (歯を見せる笑顔) の 4 種類である. 計測表情の例を図 3.3.1 に示す. 計測した表面筋電位信号から算出される表情識別用 RMS を元に個人に応じた信号強度やパターンの違いを学習し, それを元に識別を行う.



図 3.3.1: SVM の学習に用いる表情

3.4 可聴化部

3.4.1 可聴化音への要求

本研究は, 笑顔の聴覚的な理解を可能にし, それによる表情認識の支援を目指すものである.

これらを踏まえると, 本可聴化システムの音合成に求められる要求として, 表情の動きがどのような音に反映されるかが理解しやすい「わかりやすさ」, 自発的な使用を促す「楽しさ」が挙げられる. また, 長時間聴いていても不快になることのない「心地よさ」も求められる.

3.4.2 可聴化音合成の方法

前節で述べた要求のうち「わかりやすさ」と「楽しさ」を満たす方法として, 音階を用いた音高へのマッピングが有効であると考えた. 音合成用信号 $A_m(n)$ (式 3.1) の値の範囲 (0~1) を用いる音階の音数で等分割し, 音階 (C メジャーペンタトニックスケール) による音高へのマッピングを行った. 音色には正弦波による純音を用いた. 用いた音階を表 3.4.1 に示す.

表情の動きで音高が変化するため「わかりやすさ」の要求は満たすことが出来ると考えた. また, 表情の動きを反映し, 音が細かく変化するため「楽しさ」の要求も満たすことが出来ると考えた. しかし, 正弦波による純音では音色が人工的で, 「心地よさ」を達成するのは難しいと考えた.

聴きやすい音として, 井手祐昭氏の書籍 [31] に「いい音」の例として挙げられていた「泡の音」を音色として用い, 音階によるマッピングを行った. 泡の音の合成アルゴリズムについては書籍「Designing Sound [32]」に記載されている. 実際に SuperCollider 上で泡の音の合成アルゴリズムを実装するにあたってはオンライン書籍「Designing Sound in SuperCollider [33]」のうち「Bubbles」(Dan

表 3.4.1: 用いた音階

| MIDI ノート番号 | 音高 | MIDI ノート番号 | 音高 |
|------------|----|------------|----|
| 60 | C4 | 72 | C5 |
| 62 | D4 | 74 | D5 |
| 64 | E4 | 76 | E5 |
| 67 | G4 | 79 | G5 |
| 69 | A4 | 81 | A5 |

stowell [34] による実装) を参考にした. 泡の音 1 つの持続時間は約 0.1 秒であり, 速い立ち上がりの後減衰していく. 泡の音の波形を図 3.4.1 に示す. これによって, 音色が人工的に聴こえる問題が改善された.

実際に可聴化する際は, リズムの面でも変化をつけるために, 同じ音高が連続した場合は, 音が再生されないようになっている. また, 自然な泡の音を意識して, 音高が上がるにつれ音量が小さくなるようにした. 音階は表 3.4.1 と同様の音階を用いる. 音合成用信号と音響パラメタの対応について表 3.4.2 に示す.

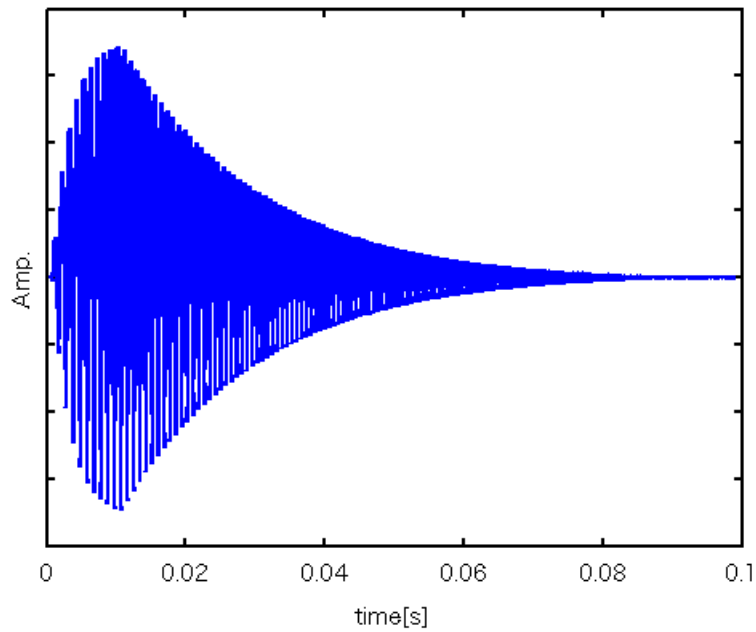


図 3.4.1: 泡の音の波形例

表 3.4.2: 音合成用信号と音響パラメタの対応

| | |
|-----------------|-------------------------|
| 音合成用信号 $A_m(n)$ | $0 \rightarrow 1$ |
| 音高 | $C4 \rightarrow A5$ |
| 振幅 | $0.05 \rightarrow 0.01$ |

また、他に検討してきた音合成の方法としては、次のようなものがある。いずれも正弦波による純音を音色として用いた。

音量

調和して聴こえる 5 度音程の 2 音 (MIDI ノート番号 F4, C5) の音量に左右側頭部の信号をマッピングする (例えば、左側頭部の信号が大きくなれば F4 の音の音量が大きくなる)。調和して聴こえるメリットはあるが、変化が単調になってしまい、信号の細かい変動がわかりにくいという欠点があった。

音高 (周波数)

左右側頭部の信号をそれぞれ音の周波数にマッピングする。信号の変化は最もよく表せていたが、スケーリングが難しく、範囲を広く取ると信号のわずかな変化でも音高の変化が大きいため聴きにくく、範囲を狭く取ると変化がわかりにくくなってしまった。また、左右で音高がバラバラになってしまうため、不協和音が生まれることもあり聴き苦しいという欠点があった。

和音

信号の変化を音の豊かさで表そうとしたマッピング方法で、和音の構成音ごとにしきい値を設定し、信号の値がしきい値を越えるにつれて和音の構成音が増える。和音は F Δ 7 に 9th の音を加えた 5 音による和音を用いた。構成音の増減と、それぞれの音量に左右音合成用信号を足し合わせた信号を用いた。これも信号の細かい変化の影響でやや聴きにくいものになってしまった。

第4章 予備調査

弱視者の笑顔認識に対する笑顔可聴化システムの有効性検証に先がけ、弱視者の他者笑顔認識能力を調査する予備調査を2つ実施した。本章では、その2つの予備調査について述べる。

4.1 予備調査I：静止画を用いた弱視者の笑顔認識能力調査

4.1.1 調査目的

本調査では、静止画を用いて晴眼者と弱視者の笑顔認識に差があるかどうかを調査する。

4.1.2 参加者

全体で3名の晴眼者（S-01～S-03）および2名の弱視者（L-01, L-02）が参加した。弱視参加者の視力、症状及び発症時期を表4.1.1に示す。調査は1名ずつ行った。

表 4.1.1: 弱視参加者の視力、症状及び発症時期（調査1）

| 弱視参加者 id | 視力（左 右） | 症状 | 時期 |
|----------|-------------|------|----|
| L-01 | 0.09 0.4 | 視野欠損 | 先天 |
| L-02 | 0.09 0.09 | 中心暗点 | 先天 |

4.1.3 手順

A4用紙に印刷された表情画像を1枚ずつ椅子に座った状態の参加者に提示し、その表情が「笑顔かどうか」「回答に自信があるか」をそれぞれ2択で回答してもらった。提示画像は日本人女性の表情データベースである JAFFE データベース [35] のうち、笑顔10枚、その他の表情30枚の計40枚選定した。20枚を1タームとして、休憩を挟んで2ターム実施した。

4.1.4 結果

参加者個人ごとの成績を図4.1.1、晴眼者および弱視者それぞれの正答率および自信度の平均を図4.1.2に示す。正答率と自信度の算出方法をそれぞれ式4.1、式4.2に示す。

$$\text{正答率 (\%)} = \frac{\text{正解数}}{\text{全回答数}} \quad (4.1)$$

$$\text{自信度 (\%)} = \frac{\text{回答「自信あり」の数}}{\text{全回答数}} \quad (4.2)$$

4.1 予備調査Ⅰ：静止画を用いた弱視者の笑顔認識能力調査

また、各チーム及び全体の所要時間の平均を表 4.1.2 に示す。弱視者は晴眼者に比べ、回答に自信を持っておらず、判断に時間がかかっている傾向が示された。

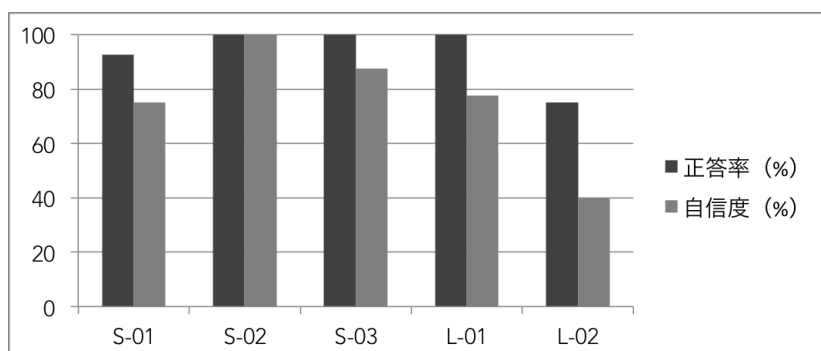


図 4.1.1: 個人ごとの成績（正答率 = 正解数/全回答数，自信度 = 回答「自信あり」の数/全回答数）

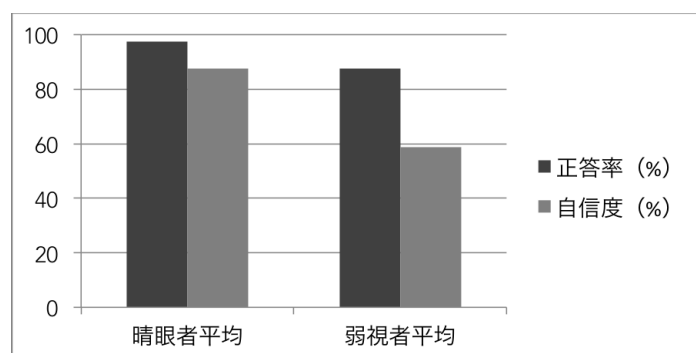


図 4.1.2: 晴眼者・弱視者の平均成績（正答率 = 正解数/全回答数，自信度 = 回答「自信あり」の数/全回答数）

表 4.1.2: 平均所要時間

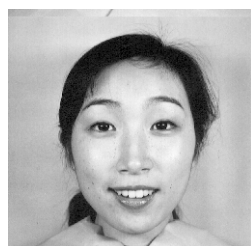
| | 晴眼者 | 弱視者 |
|-----|----------|----------|
| 1st | 1 分 11 秒 | 2 分 11 秒 |
| 2nd | 1 分 7 秒 | 1 分 50 秒 |
| 全体 | 2 分 18 秒 | 4 分 1 秒 |

4.1.5 考察

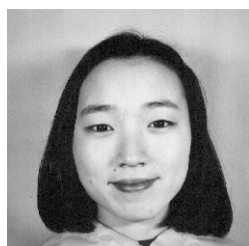
弱視者の回答例を図 4.1.3 に示す。この例のうち左側と中央の表情は笑顔だが、左側の歯が見えている笑顔に対しては両者自信を持って回答しているのに対し、中央の歯が見えていない微笑みに対しては、両者とも回答に自信を持っていない。また、右側の表情は怒りを表しているが、この表情に対しても両者回答に自信を持っていないことに加え、この表情を笑顔と判定した弱視者もいた。考えられる要因として、口角の右側が上がっているため笑顔だと判断された可能性が考えられる。終了後に

弱視参加者に話を伺うと、「歯が見えているとわかりやすいが、見えていないと難しい」といったコメントがあり、微笑みなどの度合いの小さい笑顔の認識は難しい可能性が示唆された。

また、弱視者は晴眼者に比べ、回答に自信を持てておらず、判断に時間がかかっている傾向があるため、リアルタイムで表出される笑顔に対してはさらに認識が困難であると考え、動画を用いた調査を実施することにした。



(a) 笑顔
両者正解
両者自信あり



(b) 笑顔
両者正解
両者自信なし



(c) 笑顔ではない
1 名正解 1 名不正解
両者自信なし

図 4.1.3: 弱視者回答例

4.2 予備調査 II：動画を用いた弱視者の笑顔認識能力調査

4.2.1 調査目的

予備調査 I を踏まえ映像を用いて晴眼者と弱視者の笑顔認識に差があるかどうかを調査する。

4.2.2 参加者

静止画を用いた調査の結果を踏まえ、映像を用いて弱視者による他者の笑顔認識について調査した。調査は 1 名ずつ行い、全体で 3 名の晴眼者 (S-01 ~ S-03) および 4 名の弱視者 (L-01 ~ L-04) が参加した。弱視参加者の視力、症状及び発症時期を表 4.2.1 に示す。

表 4.2.1: 弱視参加者の視力、症状及び発症時期 (調査 2)

| 弱視参加者 id | 視力 (左 右) | 症状 | 時期 |
|----------|-------------|-----------|--------|
| L-01 | 0.2 0.08 | 視野欠損 | 先天 |
| L-02 | 0.01 0.02 | 中心暗点・色覚異常 | 高校 1 年 |
| L-03 | 0.1 0.08 | 視野欠損・暗順応 | 先天 |
| L-04 | 0.4 0.7 | 眼振 | 先天 |

4.2.3 手順

参加者は椅子に座った状態で PC の画面上に表示される映像を 2 回視聴する。映像は映画作品中から抽出した。刺激に用いた映画作品のタイトルと切り出した時間を表 4.2.2 に示す。今回の調査では視覚情報のみでの弱視者の笑顔認識を調査するため、刺激に音声は含めなかった。

参加者は2回の視聴のうち、1回目の視聴で映像中どのタイミングに笑顔が出現するか、あるいは映像を通して出現しないかを把握し、2回目の視聴で実際にキーボードで回答した。回答として、映像中に笑顔が出現したと思うタイミングで‘f’キーを、笑顔が消失したと思うタイミングで‘j’キーを押下する。笑顔が出現していないと思う場合はキーを押下しない。この2回の視聴を笑顔を含む映像に6種類に加え笑顔を含まない映像3種類の合計9種類の映像に対して実施した。

表 4.2.2: 用いた映画作品のタイトルおよび切り出し時間

| 映像 id | 映画タイトル | 切り出し時間 | 笑顔の有無 |
|-------|-------------|-------------|-------|
| 1 | 朝食亭 | 47:00~47:18 | 無し |
| 2 | 朝食亭 | 78:30~78:55 | 無し |
| 3 | 朝食亭 | 85:40~85:58 | 無し |
| 4 | 船を編む | 49:40~50:11 | 有り |
| 5 | 船を編む | 71:10~71:28 | 有り |
| 6 | グーグーだって猫である | 49:39~50:00 | 有り |
| 7 | しあわせのパン | 1:20~1:50 | 有り |
| 8 | しあわせのパン | 32:00~32:27 | 有り |
| 9 | ソラニン | 53:39~54:09 | 有り |

4.2.4 結果

ここでは特に顕著な結果が見られた id6 と id7 (表 4.2.2) の2つの映像について述べる。id6 の映像に対しての各参加者の回答を図 4.2.1 に、id7 の映像に対しての各参加者の回答を図 4.2.2 に示す。横軸は時間を表しており、薄いグレーのエリアが晴眼者が笑顔だと判定した部分、濃いグレーのエリアが弱視者が笑顔と判定した部分を表している。また、id6, 7 以外の笑顔有り映像については晴眼者間でも回答にばらつきがあり、顕著な結果は得られなかった。

4.2.5 考察

id6 の映像に対して、晴眼者は全員 21 秒付近で笑顔が消失したと判断しているが、弱視者のうち 2 名は 18 秒付近で笑顔が消失したと判断している。実際の映像では 16 秒付近から女性が微笑み、18 秒付近で微笑みのまま顔の角度を正面から斜めに変えている。このことから、弱視者は正面以外の角度で表出される笑顔の認識が難しい可能性が示唆された。

また、id7 の映像に対して、晴眼者は全員 3 秒付近で笑顔が出現したと判断しているが、弱視者のうち 2 名は 2 秒ほど遅れて笑顔が出現したと判断している。実際の映像では 3 秒付近で女性が 2 秒ほど微笑み、その後笑顔を表出するシーンになっている。笑顔出現の判定が遅れた弱視者は、最初の微笑みを認識することが出来ておらず、笑顔になり歯が見えたタイミングで笑顔が出現したと判断している。このことから、弱視者は笑顔を判断する際に歯が見えているかどうかを大きな判断基準にしている可能性が示唆された。

4.2 予備調査 II：動画を用いた弱視者の笑顔認識能力調査

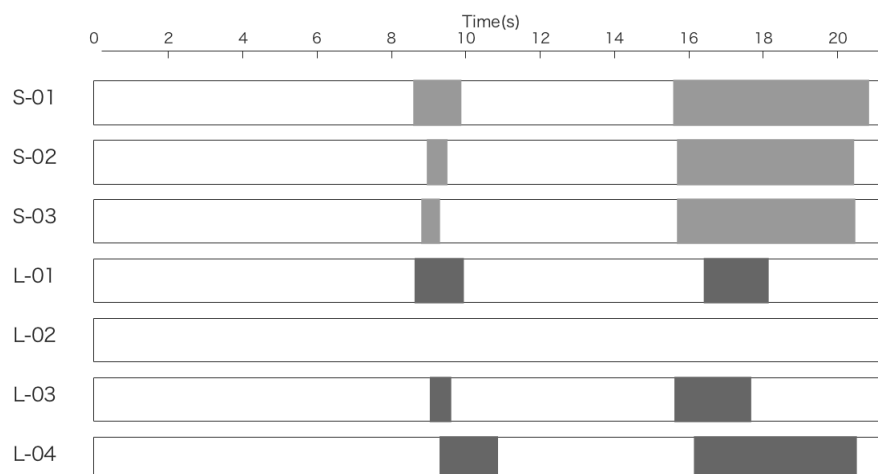


図 4.2.1: id6 に対する各参加者の回答結果（色付き部分：参加者が笑顔だと回答した区間，薄いグレー：晴眼者 濃いグレー：弱視者）

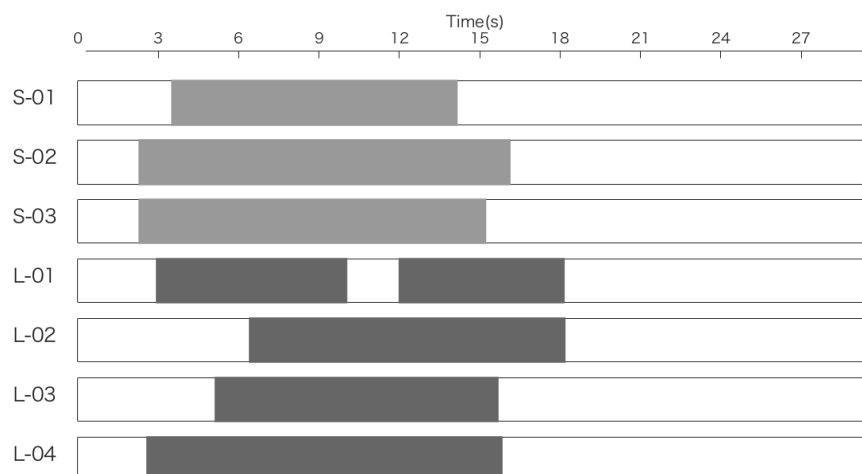


図 4.2.2: id7 に対する各参加者の回答結果（色付き部分：参加者が笑顔だと回答した区間，薄いグレー：晴眼者 濃いグレー：弱視者）

第5章 検証実験

5.1 実験目的

実際に笑顔可聴化システムによる可聴化音を付与することで、弱視者が視覚情報のみでの認識が難しい笑顔を認識出来るようになるかを表情表出を含む映像を用いて検証する。また、比較対象として晴眼者に対しても同様の検証を行う。

5.2 実験条件

5.2.1 実験参加者

晴眼者 12 名（男性 7 名女性 5 名，21～25 歳），弱視者 12 名（男性 10 名女性 2 名，19～43 歳）が参加した。弱視参加者の視力，症状及び発症時期を表 5.2.1 に示す。調査は 1 名ずつ行った。被験者には 1,000 円分の Amazon ギフト券を謝礼として贈呈した。

表 5.2.1: 弱視参加者の視力，症状及び発症時期（検証実験）

| 弱視参加者 id | 視力（左 右） | 症状 | 時期 |
|----------|--------------|-----------|-------|
| L-01 | 0.2 0.1 | 視野欠損 | 先天 |
| L-02 | 0.02 0.01 | 中心暗点・色覚異常 | 16 歳 |
| L-03 | 0.02 0.03 | 色覚異常 | 12 歳 |
| L-04 | 0.7 0.3 | 眼振 | 先天 |
| L-05 | 0.1 0.3 | 特になし | 先天 |
| L-06 | 0.4 0.4 | 中心暗点・視野欠損 | 18 歳 |
| L-07 | 0.03 0.001 | 視野欠け | 先天 |
| L-08 | 0.07 0 | 特になし | 先天 |
| L-09 | 0.1 0.1 | 眼振 | 先天 |
| L-10 | 0.15 0.15 | 羞明 | 先天 |
| L-11 | 0.3（両目） | 視野欠損 | 先天 |
| L-12 | 0 0.06 | 特になし | 1 歳未満 |

5.2.2 実験環境

被験者は椅子に座った状態でパーソナルコンピュータ（MacBook Pro）を通して刺激映像を視聴する。可聴化音はヘッドホン（SONY 社製 MDR-7506）を通して聴取した。

5.3 実験刺激

刺激映像はそれぞれおよそ 10 秒程度で、1 つの刺激映像につき 1 つの表情が含まれており、開始と終了時の表情は中立顔である。表情表出者の 4 名は可聴化システムのための電極を装着している。含まれる表情は笑顔（歯が見える笑顔）、微笑み（歯が見えない微笑み）、しかめ面、驚き顔の 4 種類である。また、映像は正面から撮影された表情だけでなく、表情の視覚的な認識が難しいと考えられる真横から撮影された表情も含む。それぞれの映像はビデオカメラで撮影し、可聴化音については PC からステレオミニプラグを通してビデオカメラに直接入力した。4 名の表出者×4 種類の表情×2 つの撮影角度からなる 32 個の映像を撮影した。それぞれの映像について音声を削除した音なしバージョンを作成し、合計 64 個の刺激映像を作成した。作成した実験刺激のリストを表 5.3.1 に示す。

表 5.3.1: 実験刺激リスト

| 刺激 id | 表出者 | 表情 | 角度 | 可聴化音の有無 |
|-------|-----|------|----|---------|
| 1 | A | 笑顔 | 正面 | 無し |
| 2 | A | 笑顔 | 正面 | 有り |
| 3 | A | 笑顔 | 真横 | 無し |
| 4 | A | 笑顔 | 真横 | 有り |
| 5 | A | しかめ面 | 正面 | 無し |
| 6 | A | しかめ面 | 正面 | 有り |
| 7 | A | しかめ面 | 真横 | 無し |
| 8 | A | しかめ面 | 真横 | 有り |
| 9 | A | 微笑み | 正面 | 無し |
| 10 | A | 微笑み | 正面 | 有り |
| 11 | A | 微笑み | 真横 | 無し |
| 12 | A | 微笑み | 真横 | 有り |
| 13 | A | 驚き | 正面 | 無し |
| 14 | A | 驚き | 正面 | 有り |
| 15 | A | 驚き | 真横 | 無し |
| 16 | A | 驚き | 真横 | 有り |
| 17 | B | 笑顔 | 正面 | 無し |
| 18 | B | 笑顔 | 正面 | 有り |
| 19 | B | 笑顔 | 真横 | 無し |
| 20 | B | 笑顔 | 真横 | 有り |
| 21 | B | しかめ面 | 正面 | 無し |
| 22 | B | しかめ面 | 正面 | 有り |
| 23 | B | しかめ面 | 真横 | 無し |
| 24 | B | しかめ面 | 真横 | 有り |
| 25 | B | 微笑み | 正面 | 無し |
| 26 | B | 微笑み | 正面 | 有り |
| 27 | B | 微笑み | 真横 | 無し |
| 28 | B | 微笑み | 真横 | 有り |
| 29 | B | 驚き | 正面 | 無し |
| 30 | B | 驚き | 正面 | 有り |

表 5.3.1: 実験刺激リスト

| 刺激 id | 表出者 | 表情 | 角度 | 可聴化音の有無 |
|-------|-----|------|----|---------|
| 31 | B | 驚き | 真横 | 無し |
| 32 | B | 驚き | 真横 | 有り |
| 33 | C | 笑顔 | 正面 | 無し |
| 34 | C | 笑顔 | 正面 | 有り |
| 35 | C | 笑顔 | 真横 | 無し |
| 36 | C | 笑顔 | 真横 | 有り |
| 37 | C | しかめ面 | 正面 | 無し |
| 38 | C | しかめ面 | 正面 | 有り |
| 39 | C | しかめ面 | 真横 | 無し |
| 40 | C | しかめ面 | 真横 | 有り |
| 41 | C | 微笑み | 正面 | 無し |
| 42 | C | 微笑み | 正面 | 有り |
| 43 | C | 微笑み | 真横 | 無し |
| 44 | C | 微笑み | 真横 | 有り |
| 45 | C | 驚き | 正面 | 無し |
| 46 | C | 驚き | 正面 | 有り |
| 47 | C | 驚き | 真横 | 無し |
| 48 | C | 驚き | 真横 | 有り |
| 49 | D | 笑顔 | 正面 | 無し |
| 50 | D | 笑顔 | 正面 | 有り |
| 51 | D | 笑顔 | 真横 | 無し |
| 52 | D | 笑顔 | 真横 | 有り |
| 53 | D | しかめ面 | 正面 | 無し |
| 54 | D | しかめ面 | 正面 | 有り |
| 55 | D | しかめ面 | 真横 | 無し |
| 56 | D | しかめ面 | 真横 | 有り |
| 57 | D | 微笑み | 正面 | 無し |
| 58 | D | 微笑み | 正面 | 有り |
| 59 | D | 微笑み | 真横 | 無し |
| 60 | D | 微笑み | 真横 | 有り |
| 61 | D | 驚き | 正面 | 無し |
| 62 | D | 驚き | 正面 | 有り |
| 63 | D | 驚き | 真横 | 無し |
| 64 | D | 驚き | 真横 | 有り |

5.4 実験手順

被験者は1つの刺激映像につき1回の視聴を行い、映像中に出現する笑顔について回答した。回答方法については予備調査II（4.2節）と同様に笑顔が出現したと思うタイミングでキーボードの‘f’

のキーを、笑顔が消失したと思うタイミングでキーボードの 'j' のキーを押下する。笑顔が出現していないと思う場合はキーを押下しない。5.3 節で述べた 64 個の刺激映像を 1 ブロックとして、休憩を挟んで 3 ブロック実施した。

3 ブロック目が終了後、被験者はアンケートに回答した。アンケートの内容を表 5.4.1 に示す。

表 5.4.1: アンケート内容

| 質問項目 | 質問内容 | 評価尺度 (5 段階評価) |
|------------------|---------------------------------------|---|
| 回答の容易さ | 可聴化音がある場合とない場合 どちらが笑顔の認識が容易でしたか？ | 5 : 可聴化音あり 4 : どちらかといえば可聴化音あり 3 : どちらともいえない 2 : どちらかといえば可聴化音なし 1 : 可聴化音なし |
| 回答への自信度 | 可聴化音がある場合とない場合 どちらが自信を持って回答できましたか？ | 5 : 可聴化音あり 4 : どちらかといえば可聴化音あり 3 : どちらともいえない 2 : どちらかといえば可聴化音なし 1 : 可聴化音なし |
| 日常環境での 使用への印象 | 実際に対話相手の笑顔に可聴化音が 付与されていたらどう感じますか？ | 5 : とても快い 4 : やや快い 3 : 気にならない 2 : やや不快 1 : とても不快 |
| 自由記述 | 感想や意見を自由に記述してください | (自由記述) |

5.5 分析手法

5.5.1 回答カテゴリ

被験者が刺激映像に対して正しい反応が来ているかを確認するために、刺激映像と被験者の回答内容の組み合わせによるカテゴリ分けを行った。回答カテゴリを表 5.5.1 に示す。この 4 つのカテゴリのうち、正解となるのは笑顔が含まれる映像に対してキー押しを行っている True Positive (TP) および笑顔が含まれていない映像に対してキー押しを行っていない True Negative の 2 つである。False Negative (FN) は笑顔が含まれる映像に対して笑顔が含まれていないと判断しているということであり、False Negative (FN) は笑顔が含まれていない映像に対して笑顔が含まれると判断しているということである。

仮説として、弱視者は音がない場合に TP の割合が小さくなり、音がある場合には TP の割合が大きくなると考えられる。

表 5.5.1: 回答カテゴリ

| | キー押しなし | キー押しあり |
|--------|---------------------|---------------------|
| 笑顔あり刺激 | False Negative (FN) | True Positive (TP) |
| 笑顔なし刺激 | True Negative (TN) | False Positive (FP) |

5.5.2 回答遅れ

5.5.1 節で述べた回答カテゴリのうち、True Positive に分類される回答について笑顔開始、笑顔終了それぞれにおけるキー押しの遅れ時間の算出を行った。刺激映像の表出者 4 名に、自身の笑顔映像について笑顔開始、笑顔終了の時刻をベースラインとして設定してもらい、そのベースラインに対する各回答の遅れを算出した。

被験者 n における TP 数を N 、刺激映像 i に対する被験者の笑顔開始回答時間を $A_{start}(i)$ 、ベースラインを $base_{start}(i)$ とすると、笑顔開始に対する回答遅れ時間 $delay(i)_{start}$ およびその平均 $P_{start}(n)$ は次式で求められる。

$$delay(i)_{start} = A_{start}(i) - base_{start}(i) \quad (5.1)$$

$$P_{start}(n) = \frac{\sum_{i=1}^N delay(i)_{start}}{N} \quad (5.2)$$

同様に被験者 n における TP 数を N 、TP の刺激映像 i に対する被験者の笑顔終了回答時間を $A_{end}(i)$ 、ベースラインを $base_{end}(i)$ とすると、笑顔終了に対する回答遅れ時間 $delay(i)_{end}$ およびその平均 $P_{end}(n)$ は次式で求められる。

$$delay(i)_{end} = A_{end}(i) - base_{end}(i) \quad (5.3)$$

$$P_{end}(n) = \frac{\sum_{i=1}^N delay(i)_{end}}{N} \quad (5.4)$$

仮説として、弱視被験者は音がない場合に比べ音がある場合に笑顔の開始と終了のタイミングを認識しやすくなり遅れが短くなると考えられる。

5.6 実験結果

5.6.1 回答カテゴリ

晴眼被験者、弱視被験者についてそれぞれ音あり条件、音なし条件での回答カテゴリについての結果を図 5.6.1、図 5.6.2 に示す。また、晴眼、弱視それぞれのグループについて被験者個人ごとの音あり条件、音なし条件での True Positive の割合を図 5.6.3 に示す。

晴眼者については各カテゴリについて音なし条件と音あり条件での差はほとんど見られなかったが、弱視者については笑顔あり刺激の場合に音あり条件で 3%程度 True Positive の割合が向上した。また、弱視被験者個人ごとの TP 率を見ると、音あり条件で L-02 で 40%近く、L-09 で 15%近く、L-11 で 10%近く TP 率が向上している。

5.6 実験結果

弱視被験者の TP 率について、音なし条件、音あり条件間でウィルコクソンの順位和検定を行ったが、有意差は見られなかった。

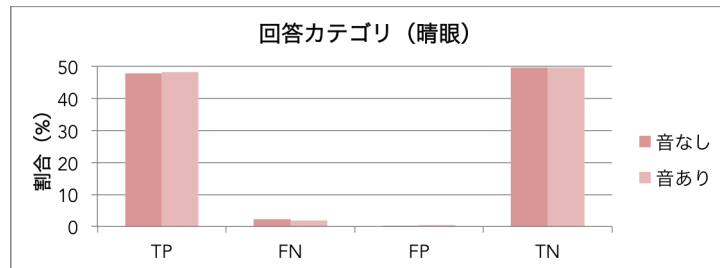


図 5.6.1: 晴眼被験者の回答カテゴリ結果

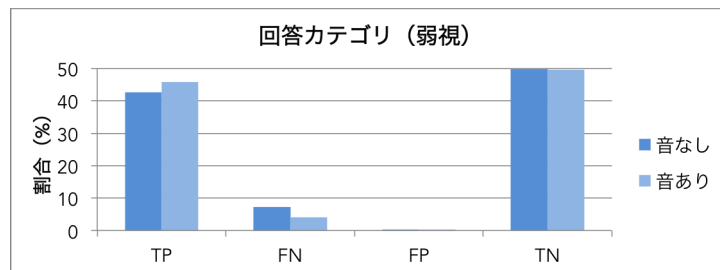
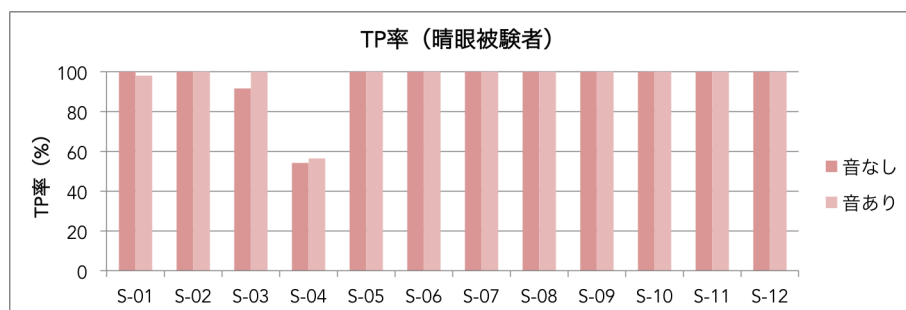
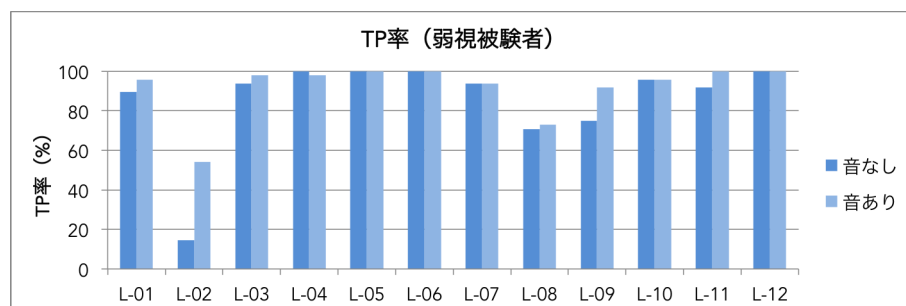


図 5.6.2: 弱視被験者の回答カテゴリ結果



(a) TP 率 (晴眼被験者)



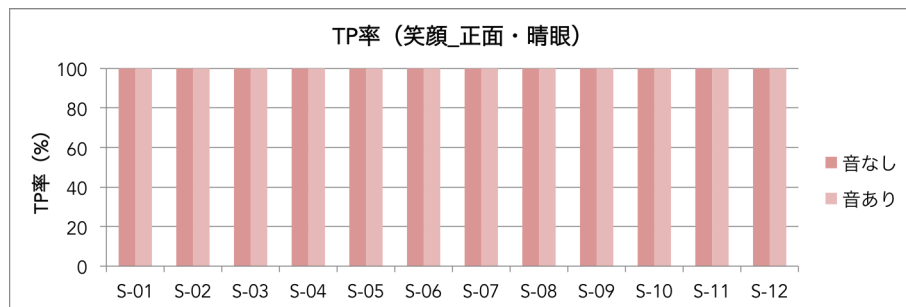
(b) TP 率 (弱視被験者)

図 5.6.3: TP 率 (全体)

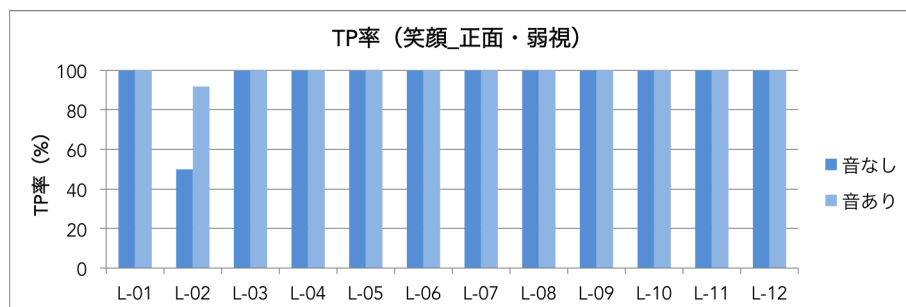
表情と角度の組み合わせごとの TP 率

表情と角度の組み合わせごとの TP 率についての結果を図 5.6.3, 図 5.6.4, 図 5.6.5, 図 5.6.6, 図 5.6.7 に示す。正面での笑顔表出に対してはほとんどの弱視被験者が音なし条件でも TP 率が 80%以上という結果になったが、その一方で真横での笑顔表出に関しては正面に比べて TP 率が小さくなる傾向が見られた。真横での微笑み刺激に対して、音なし条件に比べ音あり条件で L-01, L-02, L-09, L-11 の 4 名は TP 率が 20%以上向上した。

弱視被験者における表情と角度の組み合わせごとの TP 率についてウィルコクソンの順位和検定を行ったが、有意差は見られなかった。

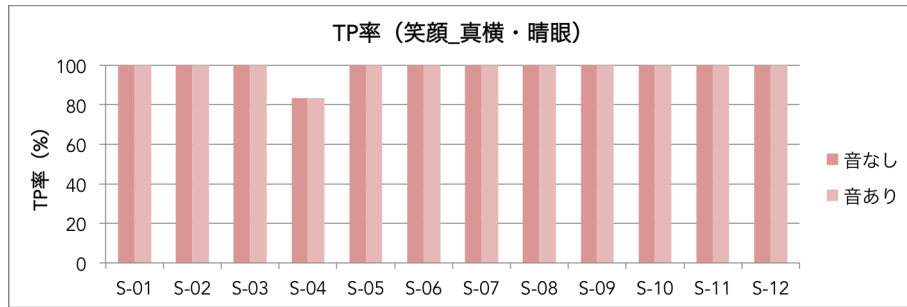


(a) TP 率 (晴眼被験者・笑顔・正面)

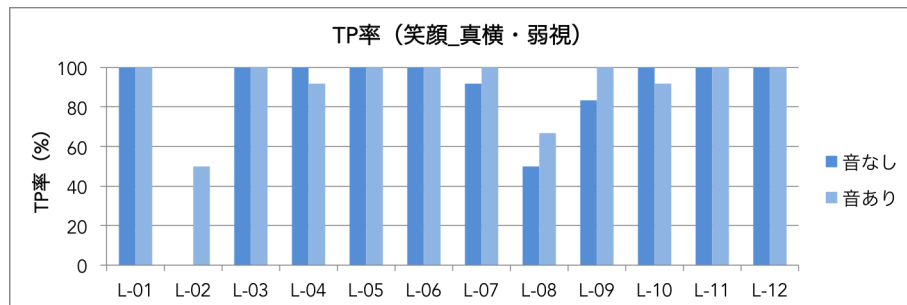


(b) TP 率 (弱視被験者・笑顔・正面)

図 5.6.4: TP 率 (笑顔・正面)

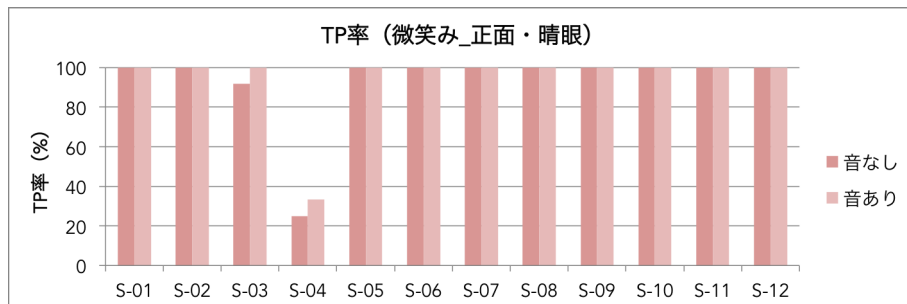


(a) TP 率 (晴眼被験者・笑顔・真横)

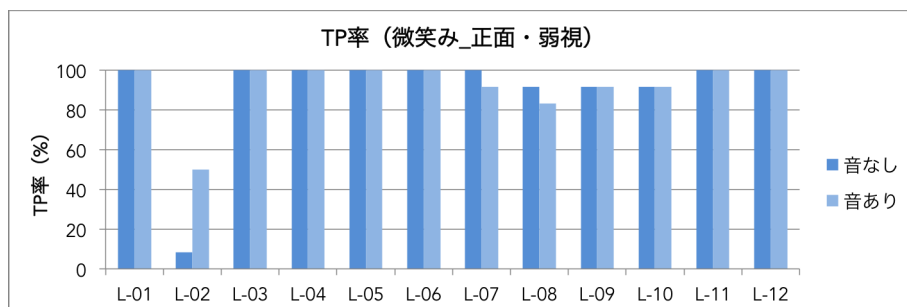


(b) TP 率 (弱視被験者・笑顔・真横)

図 5.6.5: TP 率 (笑顔・真横)

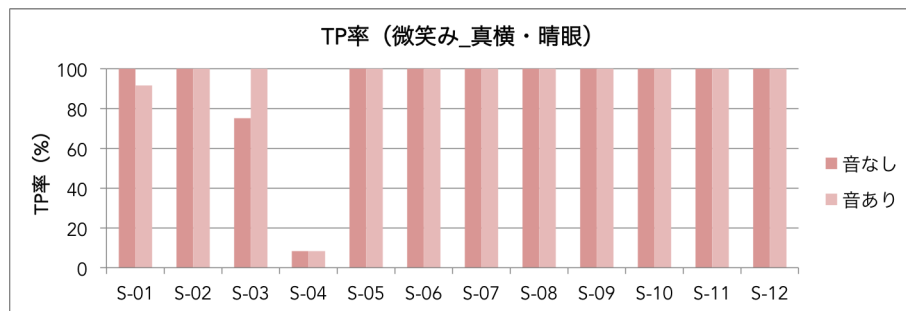


(a) TP 率 (晴眼被験者・微笑み・正面)

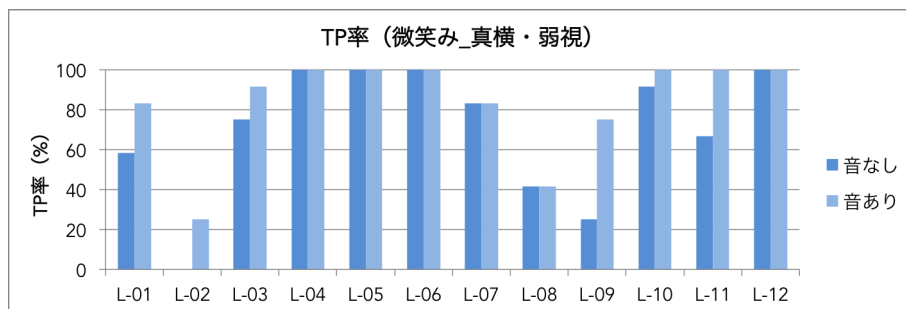


(b) TP 率 (弱視被験者・微笑み・正面)

図 5.6.6: TP 率 (微笑み・正面)



(a) TP 率 (晴眼被験者・微笑み・真横)



(b) TP 率 (弱視被験者・微笑み・真横)

図 5.6.7: TP 率 (微笑み・真横)

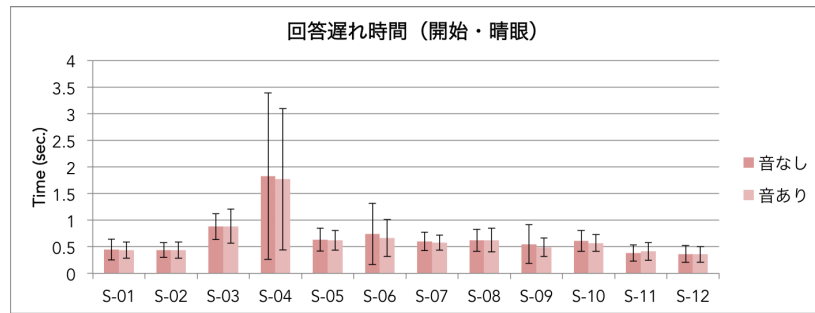
5.6.2 回答遅れ

晴眼、弱視それぞれのグループについて被験者個人ごとの音あり条件、音なし条件での回答遅れの平均を図 5.6.8, 図 5.6.9 に示す。

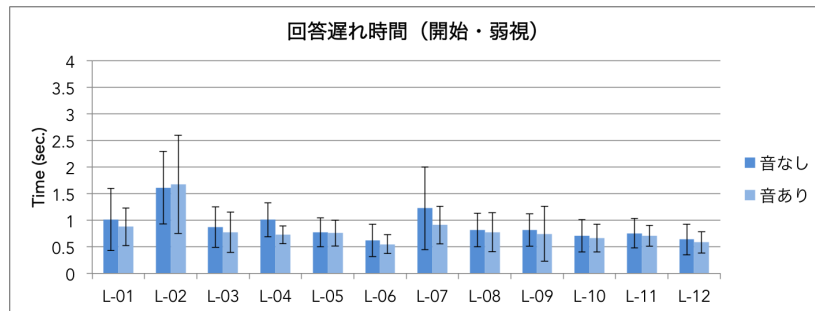
晴眼被験者のグループについては条件間での差はほとんど見られなかった。弱視の笑顔開始に関する回答では L-02 の被験者を除いて全員が音あり条件で遅れが短くなる結果になった。鬼丸らは笑顔の認識に約 200ms かかることを表情画像を用いた晴眼者への実験を通して明らかにしており [36], L-04, L-07 の 2 名は音あり条件で 200ms 以上遅れが短くなっている。弱視の笑顔終了に関する回答では 7 名が音あり条件でさらに回答が遅れる結果になったが、200ms 以上の差が見られる被験者はいなかった。

弱視被験者について、音なし条件、音あり条件間でウィルコクソンの順位和検定を行ったが、笑顔開始、笑顔終了どちらについても有意差は見られなかった。

5.6 実験結果

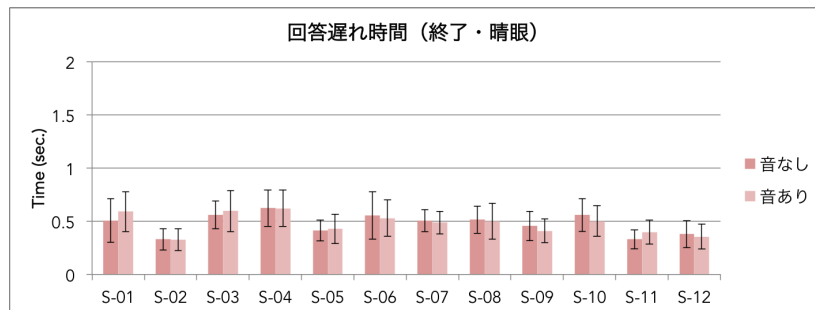


(a) 回答遅れ（開始・晴眼）

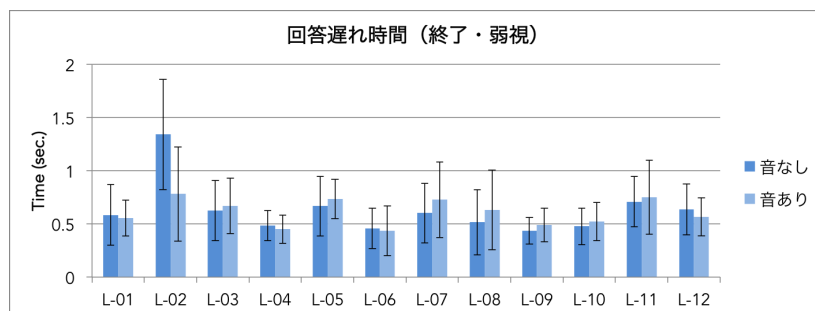


(b) 回答遅れ（開始・弱視）

図 5.6.8: 回答遅れ（開始）



(a) 回答遅れ（終了・晴眼）



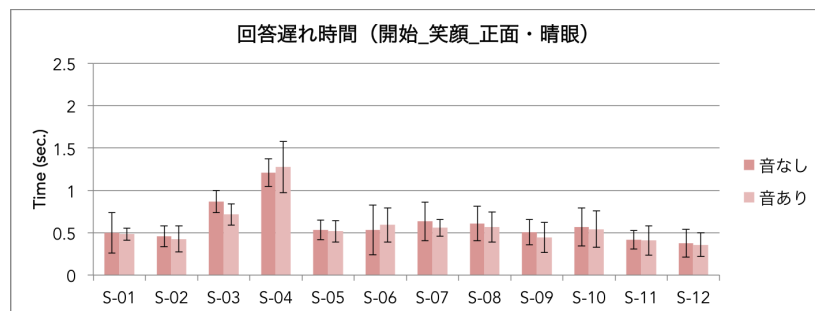
(b) 回答遅れ（終了・弱視）

図 5.6.9: 回答遅れ（終了）

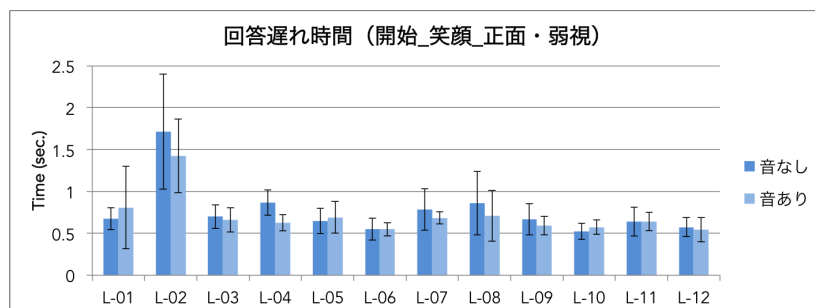
表情と角度の組み合わせごとの笑顔開始に対する回答遅れ

表情と角度の組み合わせごとの笑顔開始に対する回答遅れの平均を図 5.6.10, 図 5.6.11, 図 5.6.12, 図 5.6.13 に示す。弱視被験者に関して、正面の笑顔で L-02, L-04 の 2 名が、真横の笑顔で L-04, L-07, L-09 の 3 名が、正面の微笑みで L-01, L-03, L-04, L-09 の 4 名が、真横の微笑みで L-01, L-04, L-07 の 3 名がそれぞれ音あり条件で 200ms 以上遅れが短くなっている。対して正面の微笑みで L-02 が、真横の微笑みで L-09 がそれぞれ音あり条件で 200ms 以上遅れている。

弱視被験者における表情と角度の組み合わせごとの回答遅れに対して音なし条件、音あり条件間でウィルコクソンの順位和検定を行ったが、有意差は見られなかった。

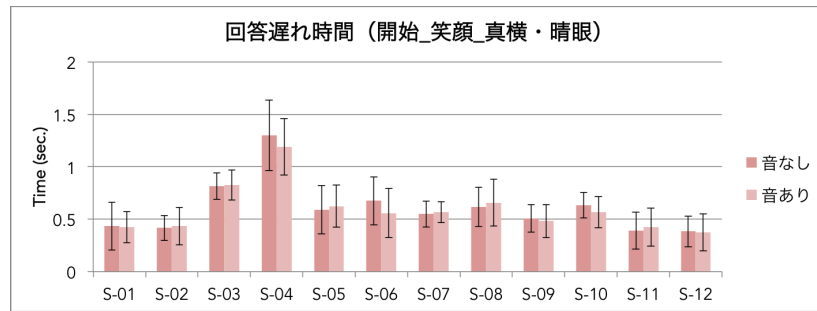


(a) 回答遅れ (晴眼被験者・開始・笑顔・正面)

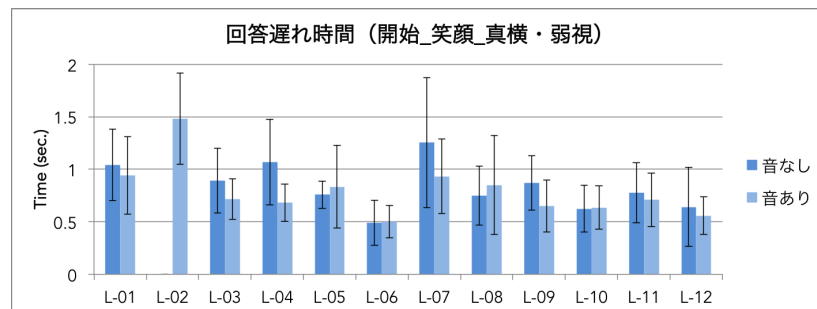


(b) 回答遅れ (弱視被験者・開始・笑顔・正面)

図 5.6.10: 回答遅れ (開始・笑顔・正面)

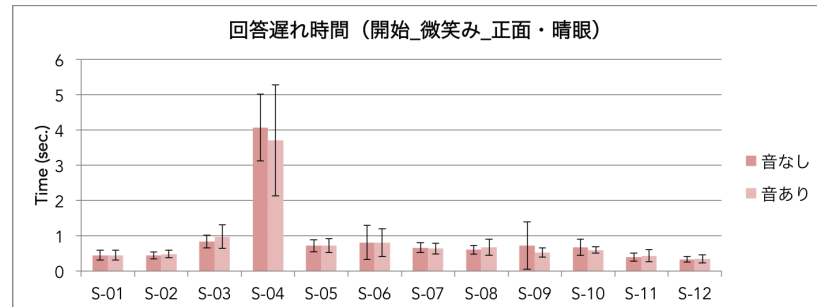


(a) 回答遅れ (晴眼被験者・開始・笑顔・真横)

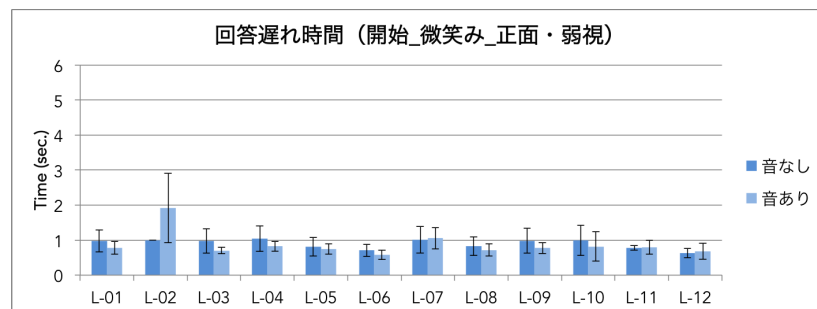


(b) 回答遅れ (弱視被験者・開始・笑顔・真横)

図 5.6.11: 回答遅れ (開始・笑顔・真横)

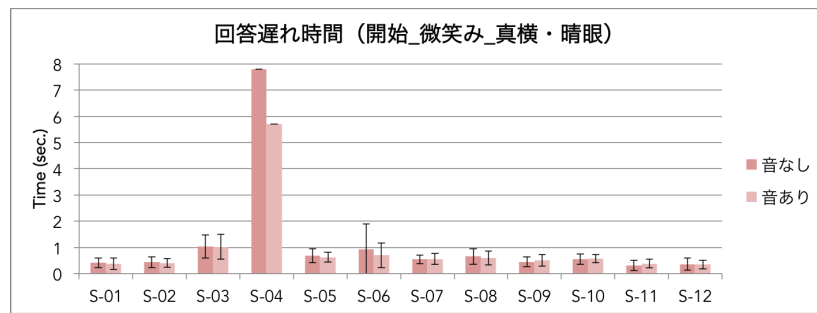


(a) 回答遅れ (晴眼被験者・開始・微笑み・正面)

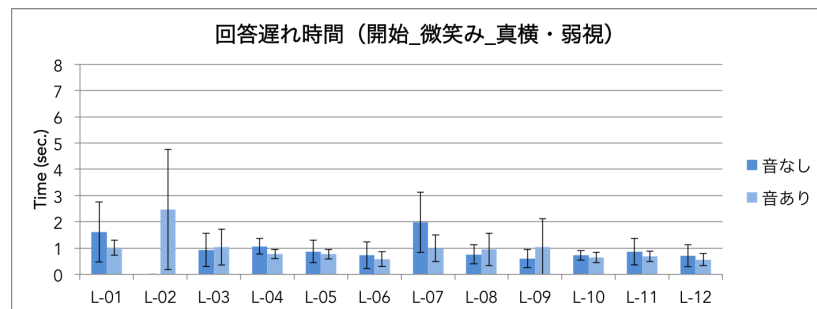


(b) 回答遅れ (弱視被験者・開始・微笑み・正面)

図 5.6.12: 回答遅れ (開始・微笑み・正面)



(a) 回答遅れ (晴眼被験者・開始・微笑み・真横)



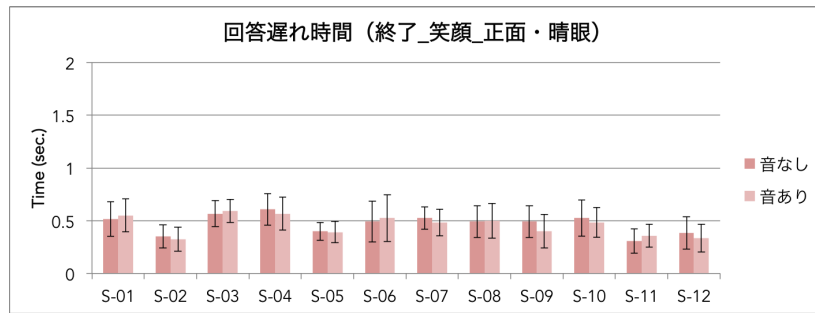
(b) 回答遅れ (弱視被験者・開始・微笑み・真横)

図 5.6.13: 回答遅れ (開始・微笑み・真横)

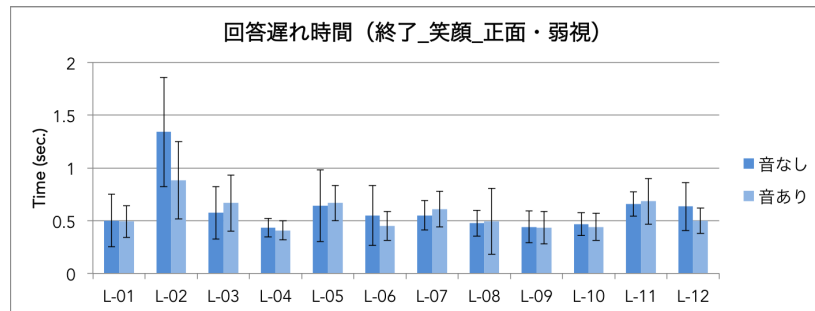
表情と角度の組み合わせごとの笑顔終了に対する回答遅れ

表情と角度の組み合わせごとの笑顔終了に対する回答遅れの平均を図 5.6.14, 図 5.6.15, 図 5.6.16, 図 5.6.17 に示す。弱視被験者に関して、正面の笑顔で L-02 が、真横の笑顔で L-01 がそれぞれ音あり条件で 200ms 以上遅れが短くなった。対して真横の笑顔と真横の微笑みで L-08 がそれぞれ音あり条件で 200ms 以上遅れている。

弱視被験者における表情と角度の組み合わせごとの回答遅れに対して音なし条件、音あり条件間でウィルコクソンの順位和検定を行ったが、有意差は見られなかった。

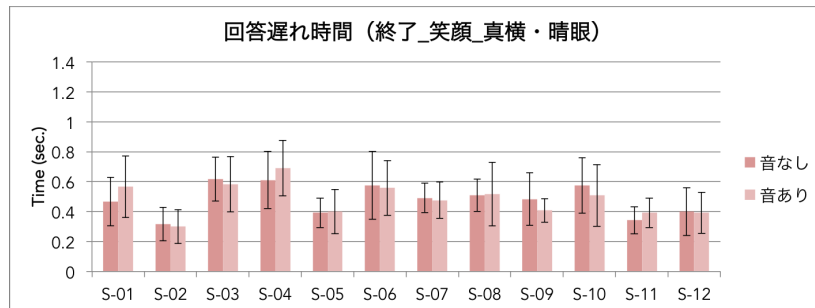


(a) 回答遅れ (晴眼被験者・終了・笑顔・正面)

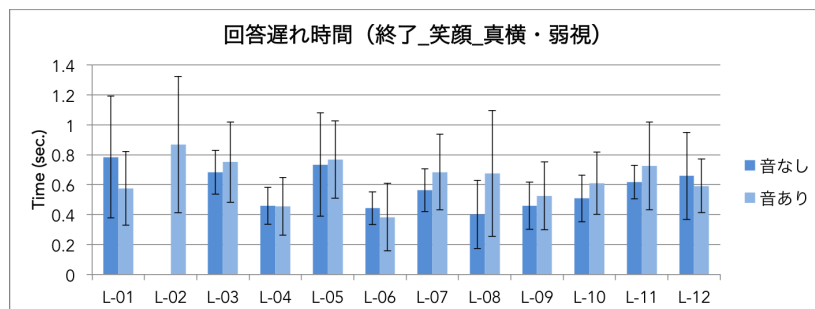


(b) 回答遅れ (弱視被験者・終了・笑顔・正面)

図 5.6.14: 回答遅れ (終了・笑顔・正面)

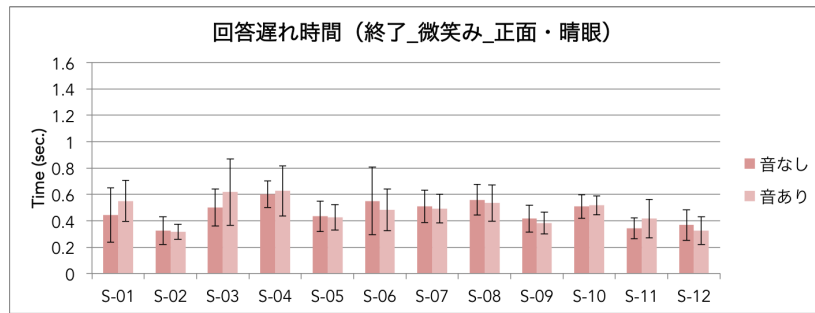


(a) 回答遅れ (晴眼被験者・終了・笑顔・真横)

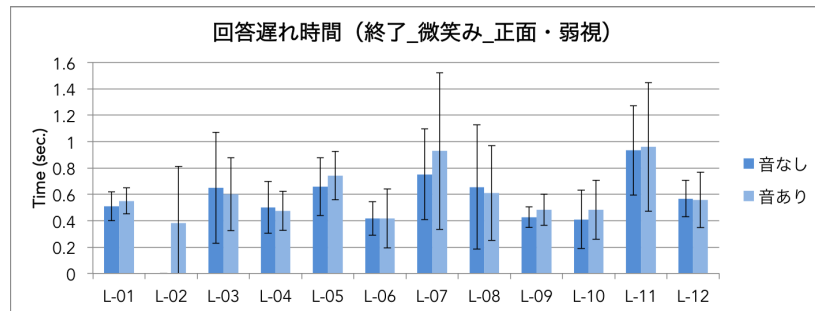


(b) 回答遅れ (弱視被験者・終了・笑顔・真横)

図 5.6.15: 回答遅れ (終了・笑顔・真横)

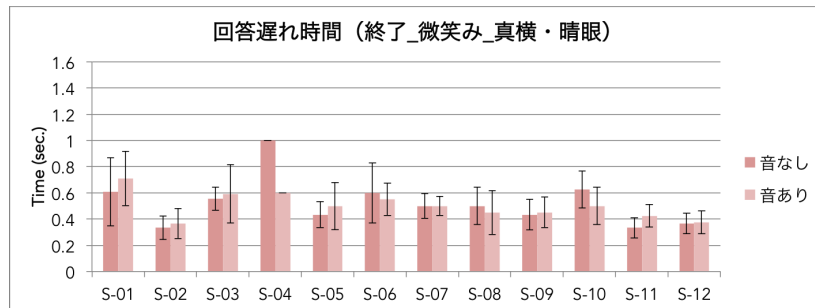


(a) 回答遅れ（晴眼被験者・終了・微笑み・正面）

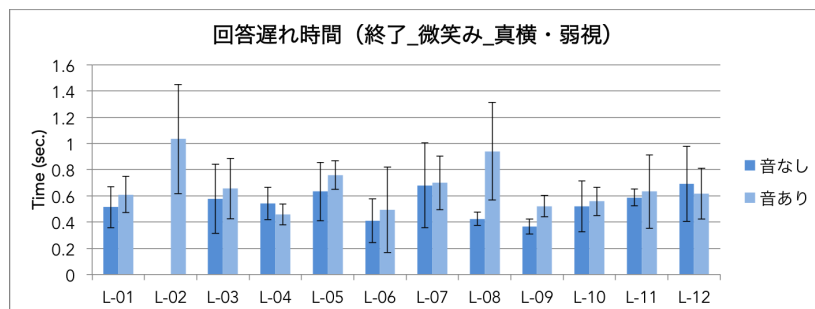


(b) 回答遅れ（弱視被験者・終了・微笑み・正面）

図 5.6.16: 回答遅れ（終了・微笑み・正面）



(a) 回答遅れ（晴眼被験者・終了・微笑み・真横）

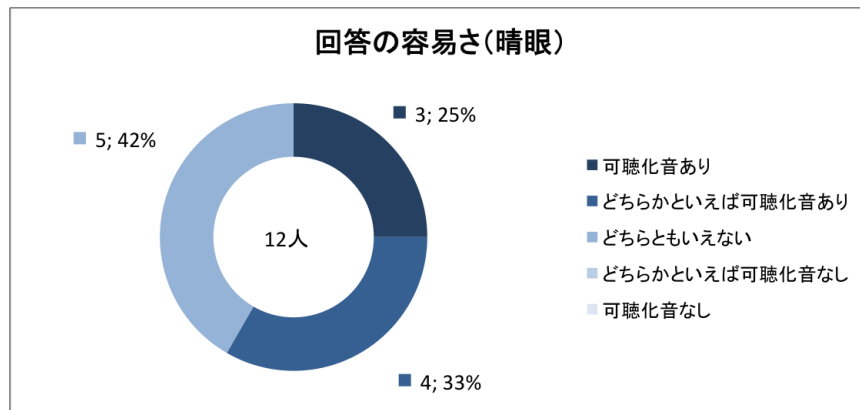


(b) 回答遅れ（弱視被験者・終了・微笑み・真横）

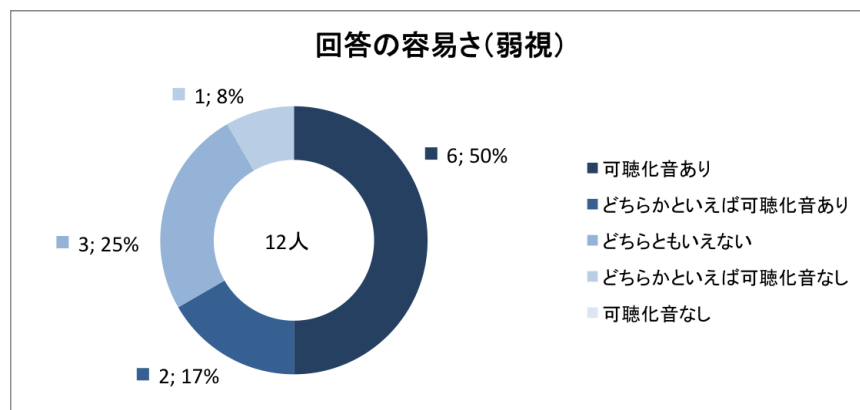
図 5.6.17: 回答遅れ（終了・微笑み・真横）

5.6.3 アンケート結果

質問項目「回答の容易さ」に対する結果を図 5.6.18 に示す。弱視被験者の 60%以上が可聴化音がある方が回答が容易になったと回答した。質問項目「回答への自信」に対する結果を図 5.6.19 に示す。弱視被験者の 80%近くが可聴化音がある方が自信を持って回答できたと答えた。質問項目「日常生活での使用への印象」に対する結果を図 5.6.20 に示す。弱視被験者の 25%が日常生活において対話相手の笑顔に可聴化音が付与されると不快であると回答した。

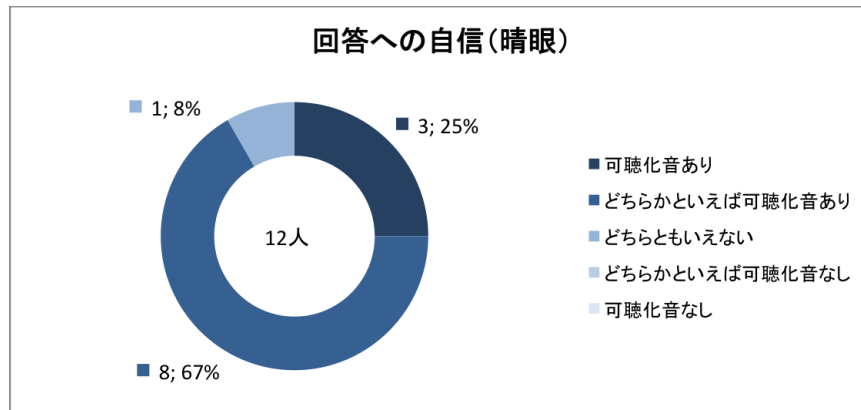


(a) 回答の容易さ (晴眼者回答)

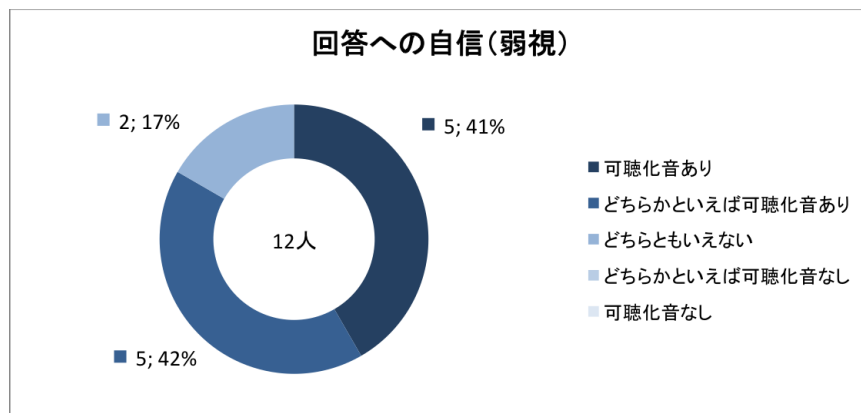


(b) 回答の容易さ (弱視者回答)

図 5.6.18: 質問項目「回答の容易さ」(質問内容「可聴化音がある場合とない場合どちらが笑顔の認識が容易でしたか?」)についての被験者回答

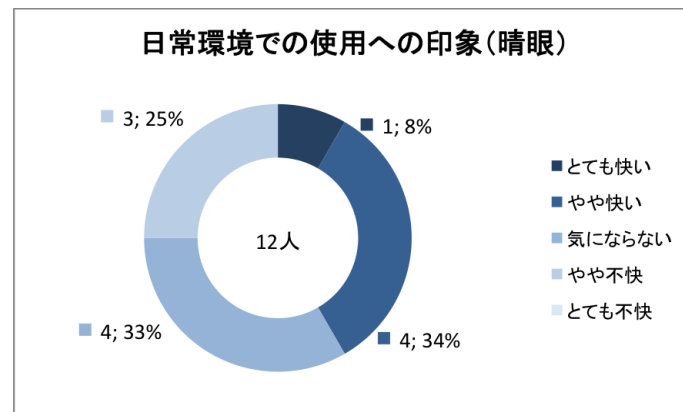


(a) 回答への自信 (晴眼者回答)

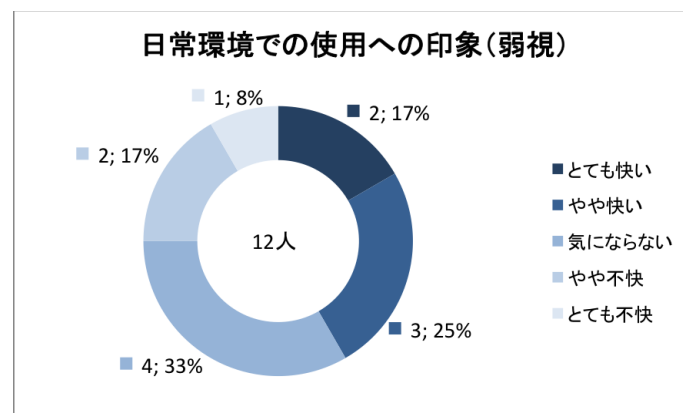


(b) 回答への自信 (弱視者回答)

図 5.6.19: 質問項目「回答への自信」(質問内容「可聴化音がある場合とない場合どちらが自信を持って回答できましたか?」)についての被験者回答



(a) 実環境使用への印象 (晴眼者回答)



(b) 実環境使用への印象 (弱視者回答)

図 5.6.20: 質問項目「実環境使用への印象」(質問内容「実際に対話相手の笑顔に可聴化音が付与されていたらどう感じますか?」)についての被験者回答

自由記述から得られたコメントは次のようなものがあった。

「横顔で笑顔か判別する際、音があった方が分かりやすかったし、自信を持てたと思う。」
(L-05)

「音が付いているほうが笑顔になった瞬間などわかりやすかったです。横からの映像では特に音があったほうが自信を持ってました。」(L-08)

「笑顔を認識するのに、可聴化音がない方が、個人的には認識しやすかった。」(L-11)

自由記述からも、真横からの笑顔表出において可聴化音を付与することで認識が容易になったことがわかる。また、L-11に自由記述の内容についてインタビューを行うと、「音があることで今の表情が笑顔だったのかどうか考えてしまい悩まされてしまう」というコメントを得ることが出来た。

5.7 考察

以下では弱視被験者の結果に関する考察を行う。

TP 率については、弱視被験者においても全体的に高い値が出ていた。これは刺激映像が1つの表情しか含んでいない単調なものであったため、難易度が低かったと考えられる。しかし、真横で表出される笑顔や微笑みに関しては被験者によっては TP 率が低くなったため、予備調査 II (4.2 節) で述べたように正面以外で表出される笑顔の認識は視覚情報のみでは難しいと考えられる。そして、可聴化音を付与することでそのような笑顔を認識出来る可能性が示唆された。しかし、今回は正面と真横という極端な角度での表情表出を対象としたため、 30° や 60° といった中間の角度で表出される笑顔に対しての検証も実施する必要がある。

また、可聴化音を付与することで笑顔が表出されたタイミングの認識が容易になる可能性が示唆された。可聴化音の付与によって相手の顔に注目しなくても笑顔表出のタイミングの認識が容易になり、視覚的な負担を軽減することが出来るのではないかと考えられる。その一方で笑顔の消失に関しては可聴化音がある場合により認識が遅れる可能性が示唆された。これは音が鳴り止んだことを確認してから回答していたためではないかと考えられる。

しかし、中には音によるフィードバックに対して不快感を感じる被験者もいた。その一方で「音があると笑い声みたいな感じで相手の気持ちを感じやすい」とコメントした被験者もいた。公共の場や屋外など、音によるフィードバックが適さない場面や個人の好みも考慮すると、先行研究で行われていたような光や振動によるフィードバック [24] も加え、状況に応じたフィードバックを選択できるようにすることで、より利用の幅を広げることが出来ると考えられる。

第6章 実証実験

6.1 実験目的

本実験では実際に視覚障害者と笑顔可聴化システムを適応した晴眼者との間で会話を行ってもらい、実際の対話環境でシステムを使用した印象や感想を調査することを目的とした。

6.2 実験参加者

実験は2回に分けて行い、それぞれ筑波大学附属視覚特別支援学校の教員および生徒が参加した。1回目には教員1名と弱視を持つ小学2年生の男子生徒3名、2回目には教員1名と弱視を持つ小学4年生の男子生徒および全盲である小学4年生の女子生徒が参加した。1回目と2回目はそれぞれ異なる教員が参加した。

6.3 実験環境

実験は筑波大学附属視覚特別支援学校内の教室で行った。教員および生徒は会話ができる位置関係に設置された椅子に座った状態で実験に参加した。

可聴化システムを実行しているコンピュータと接続されたスピーカー（SONY SRS-X3）を通して可聴化音の提示を行った。スピーカーは教員の横に配置し、生徒の方を向くように設置した。

6.4 実験手順

教員に電極を装着してもらい、表情の学習を行った後、教員と生徒の間で20分程度会話を行ってもらった。会話の内容は特に指定しなかった。会話後に生徒、教員それぞれに可聴化システムへの印象や感想についてインタビュー調査を行った。

6.5 実験結果および考察

参加者より次のような意見が得られた。

- ・生徒の感想（2年生）

「笑ってるっていうのがわかりやすかった」

「ニヤッとしてる時にも音が鳴ってた」

「長く笑ってるなってことがわかった」

「全盲の子に使うと良さそう」

・生徒の感想（4年生）

「音が鳴っている時は少しく感じるが鳴らないときびしい」

「泡の音ではなくもっと楽しい音のほうがいい」

「悲しい時や怒っているときなど、他の感情の時にも音が鳴ると面白い」

・教員の感想

「長く笑っていると生徒が気付いたことに驚いた」

「音が鳴ることで自分が今笑っているのかということに気が付くことがあった」

「他者の話を笑顔で聴くように教えているが、この音があることで先生が話を聴いている時に笑顔でいるとわかるのではないか」

「生徒同士で使っても面白いと思う」

「音自体は優しい音で良い」

「可聴化音が聴こえると意識してしまうので、電極を装着している人には可聴化音は聞こえない方が良くかもしれない」

「年齢によっては音の面白さに気を取られて話が頭に入らないのではないか」

これらの意見より、笑顔可聴化システムによって弱視の生徒が他者の笑顔を認識する支援が出来たと考えられる。また、システム自体の面白さからもコミュニケーションの支援に役立つ可能性が示唆された。

一方で可聴化音のデザインについては生徒によって好みが分かれた。2年生の生徒からは音について肯定的な意見を得られたが、4年生の生徒は今回の泡の音に対してはあまり肯定的な印象を持っていなかった。4年生のコメントに含まれている他の感情に対応する音について、生徒たちから悲しい時は雨の音、怒っている時は雷の音、など具体的なモチーフが出てきたのに対し、笑顔時の音に関しては具体的なモチーフは出てこなかった。このことから、笑顔に対しての可聴化音については複数の音デザインを用意し好みや状況に応じて使用する音デザインを変更できるようにすることで、より使いやすくなるのではないかと考えられる。

その他の意見として、「長い時間生徒と教員が話をすることが普段はあまり無い。それに音も加わっているという特殊な状況だったので、いつもの様子とは少し異なるかもしれない。」という意見もあり、継続的な使用による影響についても検証する必要があると考えられる。また、今回は晴眼者と弱視者の対話という設定で実験を実施したが、教員からのコメントにあったように生徒同士、つまり視覚障害者同士でシステムを使用した際にどのような印象を得られるか調査することも今後の課題として挙げられる。

第7章 おわりに

本研究では、笑顔可聴化システムを用いて弱視者が他者の笑顔を認識する支援を目指し、そのための検証実験と、弱視者の笑顔認識の傾向を調査するための予備調査、対話環境での使用に対する印象を調査するための実証実験を行った。

笑顔可聴化システムについては、左右側頭部および前頭部の EMG 信号を乾式電極によって計測し、学習した表情を元に笑顔を識別し、笑顔時の左右側頭部の EMG 信号を可聴化の手法の1つである Parameter mapping sonification を用いて可聴化した。可聴化音については、「心地よさ」「わかりやすさ」「楽しさ」を考慮し音量、音高(周波数、音階)、和音、音色を用いたマッピングを検討し、最終的には音階による音高マッピングを行った。また、泡の音をモデルにした合成音を音色に用いた。

静止画および動画を用いた予備調査より、弱視者は晴眼者に比べその表情が笑顔であるかどうかの判断に時間がかかっており、また歯が見えていない微笑みのような度合いの小さい笑顔や正面以外の角度で表出される笑顔の認識が難しい可能性が示唆された。

検証実験では、笑顔時の可聴化音の有無によって笑顔の認識に差があるかどうかを調べた。その結果、被験者によっては特に真横の笑顔について可聴化音を付与することで認識が容易になっていたと考えられる。また、可聴化音があることで笑顔の表出タイミングの認識も容易になっていた可能性が示唆された。

実証実験では、視覚障害を持つ小学部生徒と笑顔可聴化システムを適応した教員間での会話を通して、実際の対話環境におけるシステムの印象を調査した。参加者のコメントから、笑顔可聴化システムによって弱視生徒が教員の笑顔を認識する支援が出来ていたと考えられ、またシステム自体の面白さからコミュニケーションの支援に役立つ可能性が示唆された。その一方で可聴化音のデザインについては生徒によって好みが分かれたため、複数の音デザインを用意して必要に応じて選択できるようにする必要があると考えられる。

以上を踏まえて、弱視者の中でも特に相手の表情の認識が困難な人に対して、笑顔可聴化システムによる支援は有効であると考えられる。また、ある程度相手の表情が見える弱視者に対しても笑顔可聴化システムを用いることで相手の表情に注視する必要性がなくなるため、負担が減るのではないかと考えられる。

今後の課題として、ユーザーが用途や好みに合わせて選択することができるよう複数種類の音デザインの提案が挙げられる。また、今回の検証実験で用いた刺激は1つの表情に対する回答という単純な課題だったため、より日常生活に近い状況で表出される表情に対する有効性の検討も必要である。また、可聴化音やシステム自体への慣れの影響を調べるための長期間の利用に対する印象の調査が挙げられる。

謝辞

本研究を進めるにあたり、指導教員の平賀譲先生、寺澤洋子先生、本研究室の松原正樹先生には日頃から丁寧かつ熱心なご指導を賜りました。また、研究について貴重なご意見を賜りました本学システム情報系の鈴木健嗣先生、廣川暢一先生に感謝致します。本学人間系の柿澤敏文先生、半田こづえ先生には視覚障害についての貴重なお話を賜りました。筑波技術大学保健学科理学療法学専攻の井口正樹先生には視覚障害についての貴重なお話を賜るとともに、予備調査、検証実験の実施に際して大変お世話になりました。筑波大学付属視覚特別支援学校小学部の中村里津子先生には実証実験の実施に際して大変お世話になりました。また、オランダのソノロジー研究所にご勤務されている森本洋太さんには本研究の可聴化音デザインについて貴重なご助言を賜りました。本研究室スタッフの山田靖子さん、横井大輔さんには書類作成などで大変お世話になりました。また、本研究室の学生の皆様には日頃から様々な相談に乗っていただきました。実験に快く参加していただいた皆様にも深くお礼申し上げます。最後に、学生生活を送る上で大きな支えになった両親に心より感謝致します。

参考文献

- [1] 岡ノ谷一夫. 「つながり」の進化生物学：はじまりは、歌だった. つながりの進化生物学：はじまりは歌だった. 朝日出版社, 2013.
- [2] P Ekman. An argument for basic emotions. *Cogn. & Emot.*, Vol. 6, No. 3-4, pp. 169–200, 1992.
- [3] P Ekman. 顔は口ほどに嘘をつく. Emotions revealed : understanding faces and feelings. 河出書房新社, 2006.
- [4] J A Russell. A circumplex model of affect. *J. Per. Soc Psychol*, Vol. 39, No. 6, p. 1161, 1980.
- [5] 市川寛子, 牧野順四郎. 刺激表情に対する観察者の同調的表情. 心理学研究, Vol. 75, No. 2, pp. 142–147, 2004.
- [6] 厚生労働省社会・援護局障害保健福祉部企画課. 平成 18 年身体障害児・者実態調査結果. 2008.
- [7] 大山正, 今井省吾, 和氣典二, 菊池正. 新編 感覚・知覚心理学ハンドブック part2. 2007.
- [8] 中野泰志, 相羽大輔, 小松真也. ロービジョンの表情認知を促す方策—対面コミュニケーションの課題と工夫に関する実態調査からの考察—. 日本視能訓練士協会誌, pp. 55–63, 2014.
- [9] G Kramer, B Walker, and R Bargar. *Sonification Report: Status of the Field and Research Agenda*. 1999.
- [10] T Hermann. Taxonomy and definitions for sonification and auditory display. In *Proceedings of the 14th International Conference on Auditory Display (ICAD 2008)*, 2008.
- [11] G Kramer. *Auditory Display: Sonification, Audification, and Auditory Interfaces*. Perseus Publishing, 1993.
- [12] T Hermann, A Hunt, and J G. Neuhoff, editors. *The Sonification Handbook*. Logos Publishing House, Berlin, G, 2011.
- [13] 坂本洋一. 改訂視覚障害リハビリテーション概論. 中央法規出版, 2007.
- [14] 茂手木寛子. ロービジョン者の対人コミュニケーションにおける表情認知に関する研究. 筑波大学大学院修士課程教育研究科障害児教育専攻 修士論文, 2006.
- [15] Ioulia Guizatdinova and Zhiguo Guo. Sonification of Facial Expressions. In *new interaction techniques*, 2003.
- [16] V Patil, M Q Akhtar, A Parab, and A Fernandes. Sonification of Facial Expression Using Dense Optical Flow on Segmented Facial Plane. *International Conference on Computing and Control Engineering (ICCCE)*, 2012.

-
- [17] M. Dietz, M. Garf, and I. Damian et al. Exploring Eye-Tracking-Driven Sonification for the Visually Impaired. Proceedings of the 7th Augmented Human International Conference 2016 (AH 2016) , 2016.
- [18] C Webb. The use of myoelectric feedback in teaching facial expression to the blind. *Biofeedback and self-regulation*, Vol. 2, No. 2, pp. 147–160, 1977.
- [19] 木塚朝博. 表面筋電図. Practical usage of surface electromyogram. 東京電機大学出版局, 東京, Japan, 2006.3 2006.
- [20] A Phinyomark, A Nuidod, P Phukpattaranont, and C Limsakul. Feature extraction and reduction of wavelet transform coefficients for emg pattern classification. *Elektronika ir Elektrotechnika*, Vol. 122, No. 6, pp. 27–32, 2012.
- [21] P Konrad. The abc of emg. *A practical introduction to kinesiological electromyography*, Vol. 1, , 2005.
- [22] M Funk, K Kuwabara, and M J Lyons. Sonification of facial actions for musical expression. In *Proceedings of the 2005 Conf. NIME.*, pp. 127–131. National University of Singapore, 2005.
- [23] Yuji Takano and Kenji Suzuki. Affective communication aid using wearable devices based on biosignals. In *Proceedings of the 2014 Conference on Interaction Design and Children, IDC '14*, pp. 213–216, New York, NY, USA, 2014. ACM.
- [24] 高野裕士, 鈴木健嗣. 生体計測に基づく装着型インタフェースによる表情表出の拡張. 電子情報通信学会論文誌, Vol. J99-D, pp. 67–75, 2016.
- [25] A Gruebler and K Suzuki. Design of a Wearable Device for Reading Positive Expressions from Facial EMG Signals. *IEEE transactions on affective computing*, Vol. 5, No. 3, pp. 227 – 237, 2014.
- [26] ”<http://opensoundcontrol.org/>”.
- [27] 蔭山洋介, 新居康彦. 自然な笑いを作り笑いにおける情動の伝染 : facial EMG 及び内省報告による検討. 電子情報通信学会技術研究報告. HCS, ヒューマンコミュニケーション基礎, Vol. 105, No. 306, pp. 49–54, September 2005.
- [28] 山口真美. 表情の筋電図による分析 : 演劇経験者と非演劇経験者での違い. 社会心理学研究, Vol. 7, No. 3, pp. 180–188, March 1992.
- [29] 菅原徹, 山田昇, 佐渡山亜兵, 上條正義, 細谷聡, 井口竹喜. 笑顔のメカニズムの解明表情筋活動と表層変化の計測. 感性工学研究論文集, Vol. 5, No. 2, pp. 47–54, 2005.
- [30] C Cortes and V Vapnik. Support-vector networks. *Machine learning*, Vol. 20, No. 3, pp. 273–297, 1995.
- [31] 井出祐昭. 見えないデザイン : サウンド・スペース・コンポーザーの仕事. Sound space compose. ヤマハミュージックメディア, 2009.
- [32] A Farnell. *Designing Sound*. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 2010.

-
- [33] ”http://en.wikibooks.org/wiki/Designing_Sound_in_SuperCollider”.
- [34] ”<http://www.mcl.d.co.uk/research/#phd>”.
- [35] Michael J. Lyons, Shigeru Akemastu, Miyuki Kamachi, and Jiro Gyoba. Coding facial expressions with gabor wavelets. In *3rd IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition*, pp. 200–205, 1998.
- [36] 鬼丸真一, 米村恵一, 杉浦彰彦. 視線走査統制による表情認知時間の計測と表情認知モデルの検討. 電子情報通信学会論文誌, Vol. J89-A, pp. 308–311, 2006.

発表論文一覧

1. Yuki Nakayama, Yuji Takano, Masaki Matsubara, Kenji Suzuki, Hiroko Terasawa. “Real-time smile sonification using surface EMG signal and the evaluation of its usability”, International Conference on Auditory Display 2015 (ICAD2015), pp. 152-156, (2015).
2. Yuki Nakayama, Yuji Takano, Masaki Matsubara, Kenji Suzuki, Hiroko Terasawa. “EMG smile sonification”, International Workshop on Time Series Data Sonification (TSDS2015), (2015).
3. 中山 雄貴, 松原 正樹, 鈴木 健嗣, 寺澤 洋子. “弱視者の笑顔認識の傾向に関する調査”, 情報処理学会アクセシビリティ研究会 (IPSJ SIG AAC) 第2回研究会 (2016-AAC-002), (2016).
4. Yuki Nakayama, Yuji Takano, Masaki Matsubara, Kenji Suzuki, Hiroko Terasawa. “The sound of smile: Auditory biofeedback of facial EMG activity”, Displays , (2016). [in press]

付録

A 検証実験同意書

添付資料 3

実験への参加に際して

[映像の視聴について]

本実験では、ノート PC のディスプレイを通して映像を視聴してもらいます。映像はビデオカメラで撮影された一般的なものですが、もし実験中に気分が悪くなったり疲労を感じた場合は実験実施者にお伝え下さい。

[実験中の音声録音について]

本実験では全編を通して IC レコーダーによる音声録音を行います。音声に関しては外部への公表は行いませんが、実験中の会話については、研究発表の際に本人が特定されない形の文章で一部公開される可能性があります。

[個人情報とデータの取扱い]

取得した回答データおよび個人情報は、研究目的以外には使用しません。データには番号付けを行うとともに匿名化しますので、専門学会、学術専門誌、学内研究会等を通じて研究発表する際も個人情報は守秘されます。データの保管には万全を期し外部へは漏洩しません。

この保管データは、研究が終了してから 5 年後までに破棄します。

以上をご了承いただいたうえで、実験のご参加をお願いします。なお、実験参加はあくまでも任意であり、いつでも実験参加をとりやめることが可能です。途中で実験をとりやめた場合でも、謝礼は支払われ、あなたに不利益が生じることはありません。また、本実験によって得られた個人情報は厳重に管理され、本研究の成果は、個人が特定されない形で発表・出版する予定です。

不明点、疑問やご意見がありましたら、寺澤洋子（terasawa@slis.tsukuba.ac.jp）までご連絡ください。また本実験に関して、第三者にご報告されたい場合は、筑波大学図書館情報メディア系の研究倫理審査委員会までご連絡ください。

研究責任者 筑波大学図書館情報メディア系 助教 寺澤洋子

連絡先 〒305-8550

茨城県つくば市春日 1-2

筑波大学 図書館情報メディア系

Tel. 029-859-1302, Fax. 029-859-109

A 検証実験同意書

被験者番号：

同意書

私は、研究課題「リアルタイム笑顔可聴化システムによる表情認識支援」に関し、研究の目的、研究の内容・方法、プライバシーの保護、身体面、精神面等への配慮、不利益及び危険性に対する配慮、同意しない自由の保障等について説明文書に基づき十分な説明を受け、その内容を十分に理解し納得しましたので、私の自由意志により本研究の被験者となることに同意します。

平成____年____月____日

所属・職又は学年 _____

連絡先電話番号又は E-mail _____

被験者署名 _____

| | |
|---------------------------|------|
| | 実験者 |
| 筑波大学図書館情報メディア研究科 博士前期課程2年 | 中山雄貴 |
| 筑波大学図書館情報メディア系 助教 | 寺澤洋子 |
| 筑波大学図書館情報メディア系 特任助教 | 松原正樹 |
| 筑波大学システム情報系 教授 | 鈴木健嗣 |

B 検証実験教示

添付資料 2

「リアルタイム笑顔可聴化システムによる表情認識支援」 実験概要書

■趣旨

本研究では、表面筋電位を用いてリアルタイムに笑顔を音で表現するシステムの構築を行いました。本来音ではないデータを音で表すことを「可聴化」と言い、本実験では**システムで生成される音を「可聴化音」と**呼びます。

本可聴化システムでは、表面筋電位を計測するための電極を装着し、あらかじめ計測した笑顔を含む 4 種類の表情の表面筋電位を元に、現在の表情が笑顔かどうかを識別し、笑顔時の表面筋電位を可聴化しています。

本実験では表情表出を含む映像を複数視聴して頂き、それぞれの映像で笑顔が表出されている部分を回答していただきます。

■ 本日の流れ

- ① 趣旨説明
- ② 同意書への記入
- ③ 事前アンケート記入
- ④ 実験概要説明
- ⑤ 実験（練習→本番）
- ⑥ 事後アンケート
- ⑦ アンケートを元にインタビュー

添付資料 2

■実験内容

映像中における笑顔認識

この実験では、映像を視聴して頂きその映像中に表出される笑顔について回答して頂きます。映像に出現する人物は可聴化システムのための電極を装着しています。

回答方法として、映像中に笑顔が出現したと思うタイミングでキーボードの[i]キーを、笑顔が消失したと思うタイミングで[j]キーを押していただきます。映像中笑顔が含まれていないと感じた場合はキーを押す必要はありません。

1つの映像につき、1つの表情が含まれており、開始と終了時の表情は真顔です。また、映像は正面から撮影された表情だけでなく真横から撮影した表情も含みます。

● 実験の流れ

1. 練習タスク（2 試行）
 - 回答の方法を把握してもらうためのタスクです。
 - 複数回実施する場合があります。

【休憩】
2. 本番タスク 1 回目（64 試行）

【休憩】
3. 本番タスク 2 回目（64 試行）

【休憩】
4. 本番タスク 3 回目（64 試行）

※注意事項

- ・ 本実験における笑顔は「作り笑顔」も含みます。
- ・ 笑顔であっても音が鳴らない場合、笑顔でなくても音が鳴る場合があるので、「音が聴こえたから」ボタンを押すのではなく「映像中の表情が笑顔である」と感じた際にボタンを押して下さい。
- ・ 姿勢は椅子に座った姿勢のまま、画面に顔を近づけすぎないように注意して下さい。

C 検証実験アンケート

被験者番号：

「リアルタイム笑顔可聴化システムによる表情認識支援」 事前アンケート

実験へのご参加，ありがとうございます。

実験に際して，以下のご記入をお願いします。

本実験におけるアンケートの回答の内容については，厳重な管理を行い，研究目的以外には一切使用しません。

・性別：(男性 ・ 女性)

・年齢：

・現在難聴など聴覚に障害をお持ちですか？：(はい ・ いいえ)

以下、弱視の方のみ回答をお願い致します。

・視力 左 _____ 右 _____

・症状

・発症時期 _____

被験者番号：

「リアルタイム笑顔可聴化システムによる表情認識支援」
アンケート

以下の質問に対して、**5段階**のうち最も近いと思うものに○をつけてください。

1. 可聴化音がある場合とない場合どちらが笑顔の認識が容易でしたか？

| | | | | |
|---|---|---|--------|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| | | | | |
| 可聴化音なし どちらかといえば どちらともいえない どちらかといえば 可聴化音あり | | | | |
| 可聴化音なし | | | 可聴化音あり | |

2. 可聴化音がある場合とない場合どちらが自信を持って回答できましたか？

| | | | | |
|---|---|---|--------|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| | | | | |
| 可聴化音なし どちらかといえば どちらともいえない どちらかといえば 可聴化音あり | | | | |
| 可聴化音なし | | | 可聴化音あり | |

3. 実際に対話相手の笑顔に可聴化音が付与されていたらどう感じますか？

| | | | | |
|-----|----|--------|----|-----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| | | | | |
| とても | やや | 気にならない | やや | とても |
| 不快 | 不快 | | 快い | 快い |

4. 本実験についての感想や意見を自由に記述してください。

| | | |
|---|--|---|
| [| |] |
|---|--|---|

D 検証実験結果

回答カテゴリ結果（晴眼・音なし）

| カテゴリ | 割合 (%) |
|------|----------|
| TP | 47.7 |
| FN | 2.3 |
| FP | 0.3 |
| TN | 49.7 |

回答カテゴリ結果（晴眼・音あり）

| カテゴリ | 割合 (%) |
|------|----------|
| TP | 48.1 |
| FN | 1.9 |
| FP | 0.5 |
| TN | 49.5 |

回答カテゴリ結果（弱視・音なし）

| カテゴリ | 割合 (%) |
|------|----------|
| TP | 42.7 |
| FN | 7.3 |
| FP | 0.3 |
| TN | 49.7 |

回答カテゴリ結果（弱視・音あり）

| カテゴリ | 割合 (%) |
|------|----------|
| TP | 45.9 |
| FN | 4.1 |
| FP | 0.3 |
| TN | 49.7 |

| TP 率 (S:晴眼, L:弱視) | | |
|-------------------|----------------|----------------|
| 被験者 ID | 割合 (%) (音なし) | 割合 (%) (音あり) |
| S-01 | 100 | 97.9 |
| S-02 | 100 | 100 |
| S-03 | 91.7 | 100 |
| S-04 | 54.2 | 56.3 |
| S-05 | 100 | 100 |
| S-06 | 100 | 100 |
| S-07 | 100 | 100 |
| S-08 | 100 | 100 |
| S-09 | 100 | 100 |
| S-10 | 100 | 100 |
| S-11 | 100 | 100 |
| S-12 | 100 | 100 |
| L-01 | 89.6 | 95.8 |
| L-02 | 14.6 | 54.2 |
| L-03 | 93.8 | 97.9 |
| L-04 | 100 | 97.9 |
| L-05 | 100 | 100 |
| L-06 | 100 | 100 |
| L-07 | 93.75 | 93.75 |
| L-08 | 70.8 | 72.9 |
| L-09 | 75 | 91.7 |
| L-10 | 95.8 | 95.8 |
| L-11 | 91.7 | 100 |
| L-12 | 100 | 100 |

TP 率（笑顔・正面）（S:晴眼, L:弱視）

| 被験者 ID | 割合 (%) (音なし) | 割合 (%) (音あり) |
|--------|----------------|----------------|
| S-01 | 100 | 100 |
| S-02 | 100 | 100 |
| S-03 | 100 | 100 |
| S-04 | 100 | 100 |
| S-05 | 100 | 100 |
| S-06 | 100 | 100 |
| S-07 | 100 | 100 |
| S-08 | 100 | 100 |
| S-09 | 100 | 100 |
| S-10 | 100 | 100 |
| S-11 | 100 | 100 |
| S-12 | 100 | 100 |
| L-01 | 100 | 100 |
| L-02 | 50 | 91.7 |
| L-03 | 100 | 100 |
| L-04 | 100 | 100 |
| L-05 | 100 | 100 |
| L-06 | 100 | 100 |
| L-07 | 100 | 100 |
| L-08 | 100 | 100 |
| L-09 | 100 | 100 |
| L-10 | 100 | 100 |
| L-11 | 100 | 100 |
| L-12 | 100 | 100 |

D 検証実験結果

TP 率（笑顔・真横）（S:晴眼, L:弱視）

| 被験者 ID | 割合 (%) (音なし) | 割合 (%) (音あり) |
|--------|----------------|----------------|
| S-01 | 100 | 100 |
| S-02 | 100 | 100 |
| S-03 | 100 | 100 |
| S-04 | 83.3 | 83.3 |
| S-05 | 100 | 100 |
| S-06 | 100 | 100 |
| S-07 | 100 | 100 |
| S-08 | 100 | 100 |
| S-09 | 100 | 100 |
| S-10 | 100 | 100 |
| S-11 | 100 | 100 |
| S-12 | 100 | 100 |
| L-01 | 100 | 100 |
| L-02 | 0 | 50 |
| L-03 | 100 | 100 |
| L-04 | 100 | 91.7 |
| L-05 | 100 | 100 |
| L-06 | 100 | 100 |
| L-07 | 91.7 | 100 |
| L-08 | 50 | 66.7 |
| L-09 | 83.3 | 100 |
| L-10 | 100 | 91.7 |
| L-11 | 100 | 100 |
| L-12 | 100 | 100 |

TP 率（微笑み・正面）（S:晴眼, L:弱視）

| 被験者 ID | 割合 (%) (音なし) | 割合 (%) (音あり) |
|--------|----------------|----------------|
| S-01 | 100 | 100 |
| S-02 | 100 | 100 |
| S-03 | 91.7 | 100 |
| S-04 | 25 | 33.3 |
| S-05 | 100 | 100 |
| S-06 | 100 | 100 |
| S-07 | 100 | 100 |
| S-08 | 100 | 100 |
| S-09 | 100 | 100 |
| S-10 | 100 | 100 |
| S-11 | 100 | 100 |
| S-12 | 100 | 100 |
| L-01 | 100 | 100 |
| L-02 | 8.3 | 50 |
| L-03 | 100 | 100 |
| L-04 | 100 | 100 |
| L-05 | 100 | 100 |
| L-06 | 100 | 100 |
| L-07 | 100 | 91.7 |
| L-08 | 91.7 | 83.3 |
| L-09 | 91.7 | 91.7 |
| L-10 | 91.7 | 91.7 |
| L-11 | 100 | 100 |
| L-12 | 100 | 100 |

D 検証実験結果

| TP 率（微笑み・真横）（S:晴眼, L:弱視） | | |
|--------------------------|----------------|----------------|
| 被験者 ID | 割合 (%) (音なし) | 割合 (%) (音あり) |
| S-01 | 100 | 91.7 |
| S-02 | 100 | 100 |
| S-03 | 75 | 100 |
| S-04 | 8.3 | 8.3 |
| S-05 | 100 | 100 |
| S-06 | 100 | 100 |
| S-07 | 100 | 100 |
| S-08 | 100 | 100 |
| S-09 | 100 | 100 |
| S-10 | 100 | 100 |
| S-11 | 100 | 100 |
| S-12 | 100 | 100 |
| L-01 | 58.3 | 83.3 |
| L-02 | 0 | 25 |
| L-03 | 100 | 100 |
| L-04 | 100 | 100 |
| L-05 | 100 | 100 |
| L-06 | 100 | 100 |
| L-07 | 83.3 | 83.3 |
| L-08 | 41.7 | 41.7 |
| L-09 | 25 | 75 |
| L-10 | 91.7 | 100 |
| L-11 | 66.7 | 100 |
| L-12 | 100 | 100 |

D 検証実験結果

平均回答遅れ時間（開始）（S:晴眼, L:弱視）

| 被験者 ID | 回答遅れ時間（秒）（音なし） | 回答遅れ時間（秒）（音あり） |
|--------|----------------|----------------|
| S-01 | 0.45 | 0.44 |
| S-02 | 0.44 | 0.44 |
| S-03 | 0.88 | 0.89 |
| S-04 | 1.83 | 1.77 |
| S-05 | 0.63 | 0.62 |
| S-06 | 0.74 | 0.66 |
| S-07 | 0.6 | 0.58 |
| S-08 | 0.62 | 0.63 |
| S-09 | 0.55 | 0.49 |
| S-10 | 0.61 | 0.57 |
| S-11 | 0.38 | 0.41 |
| S-12 | 0.36 | 0.36 |
| L-01 | 1.01 | 0.88 |
| L-02 | 1.61 | 1.67 |
| L-03 | 0.87 | 0.77 |
| L-04 | 1.01 | 0.73 |
| L-05 | 0.77 | 0.76 |
| L-06 | 0.62 | 0.55 |
| L-07 | 1.22 | 0.91 |
| L-08 | 0.81 | 0.78 |
| L-09 | 0.81 | 0.74 |
| L-10 | 0.71 | 0.66 |
| L-11 | 0.75 | 0.71 |
| L-12 | 0.64 | 0.59 |

平均回答遅れ時間（終了）（S:晴眼, L:弱視）

| 被験者 ID | 回答遅れ時間（秒）（音なし） | 回答遅れ時間（秒）（音あり） |
|--------|----------------|----------------|
| S-01 | 0.51 | 0.59 |
| S-02 | 0.33 | 0.33 |
| S-03 | 0.56 | 0.6 |
| S-04 | 0.62 | 0.62 |
| S-05 | 0.41 | 0.43 |
| S-06 | 0.55 | 0.53 |
| S-07 | 0.51 | 0.49 |
| S-08 | 0.51 | 0.5 |
| S-09 | 0.46 | 0.41 |
| S-10 | 0.56 | 0.5 |
| S-11 | 0.33 | 0.4 |
| S-12 | 0.38 | 0.36 |
| L-01 | 0.58 | 0.55 |
| L-02 | 1.34 | 0.78 |
| L-03 | 0.62 | 0.67 |
| L-04 | 0.48 | 0.45 |
| L-05 | 0.67 | 0.73 |
| L-06 | 0.46 | 0.44 |
| L-07 | 0.6 | 0.73 |
| L-08 | 0.52 | 0.63 |
| L-09 | 0.44 | 0.49 |
| L-10 | 0.48 | 0.52 |
| L-11 | 0.71 | 0.75 |
| L-12 | 0.64 | 0.57 |

平均回答遅れ時間（開始・笑顔・正面）（S:晴眼, L:弱視）

| 被験者 ID | 回答遅れ時間（秒）（音なし） | 回答遅れ時間（秒）（音あり） |
|--------|----------------|----------------|
| S-01 | 0.5 | 0.48 |
| S-02 | 0.46 | 0.43 |
| S-03 | 0.87 | 0.72 |
| S-04 | 1.21 | 1.28 |
| S-05 | 0.53 | 0.52 |
| S-06 | 0.53 | 0.59 |
| S-07 | 0.63 | 0.56 |
| S-08 | 0.61 | 0.57 |
| S-09 | 0.51 | 0.44 |
| S-10 | 0.57 | 0.54 |
| S-11 | 0.42 | 0.41 |
| S-12 | 0.38 | 0.36 |
| L-01 | 0.68 | 0.81 |
| L-02 | 1.72 | 1.43 |
| L-03 | 0.7 | 0.66 |
| L-04 | 0.87 | 0.63 |
| L-05 | 0.65 | 0.69 |
| L-06 | 0.55 | 0.55 |
| L-07 | 0.78 | 0.68 |
| L-08 | 0.86 | 0.71 |
| L-09 | 0.67 | 0.59 |
| L-10 | 0.53 | 0.58 |
| L-11 | 0.64 | 0.64 |
| L-12 | 0.58 | 0.54 |

D 検証実験結果

平均回答遅れ時間（開始・笑顔・真横）（S:晴眼, L:弱視）

| 被験者 ID | 回答遅れ時間（秒）（音なし） | 回答遅れ時間（秒）（音あり） |
|--------|----------------|----------------|
| S-01 | 0.43 | 0.43 |
| S-02 | 0.42 | 0.43 |
| S-03 | 0.82 | 0.83 |
| S-04 | 1.3 | 1.19 |
| S-05 | 0.59 | 0.63 |
| S-06 | 0.68 | 0.56 |
| S-07 | 0.55 | 0.57 |
| S-08 | 0.62 | 0.66 |
| S-09 | 0.51 | 0.48 |
| S-10 | 0.63 | 0.57 |
| S-11 | 0.39 | 0.43 |
| S-12 | 0.38 | 0.38 |
| L-01 | 1.04 | 0.94 |
| L-02 | 有効回答なし | 1.5 |
| L-03 | 0.89 | 0.72 |
| L-04 | 1.07 | 0.68 |
| L-05 | 0.76 | 0.83 |
| L-06 | 0.49 | 0.5 |
| L-07 | 1.25 | 0.93 |
| L-08 | 0.75 | 0.85 |
| L-09 | 0.87 | 0.65 |
| L-10 | 0.63 | 0.64 |
| L-11 | 0.78 | 0.71 |
| L-12 | 0.64 | 0.56 |

D 検証実験結果

平均回答遅れ時間（開始・微笑み・正面）（S:晴眼, L:弱視）

| 被験者 ID | 回答遅れ時間（秒）（音なし） | 回答遅れ時間（秒）（音あり） |
|--------|----------------|----------------|
| S-01 | 0.45 | 0.45 |
| S-02 | 0.44 | 0.48 |
| S-03 | 0.84 | 0.98 |
| S-04 | 4.1 | 3.7 |
| S-05 | 0.72 | 0.72 |
| S-06 | 0.81 | 0.81 |
| S-07 | 0.66 | 0.63 |
| S-08 | 0.6 | 0.68 |
| S-09 | 0.73 | 0.53 |
| S-10 | 0.68 | 0.59 |
| S-11 | 0.39 | 0.43 |
| S-12 | 0.33 | 0.34 |
| L-01 | 0.98 | 0.78 |
| L-02 | 1 | 1.9 |
| L-03 | 0.98 | 0.7 |
| L-04 | 1.04 | 0.83 |
| L-05 | 0.81 | 0.75 |
| L-06 | 0.71 | 0.58 |
| L-07 | 1.01 | 1.05 |
| L-08 | 0.83 | 0.72 |
| L-09 | 0.98 | 0.77 |
| L-10 | 0.99 | 0.82 |
| L-11 | 0.78 | 0.79 |
| L-12 | 0.63 | 0.68 |

D 検証実験結果

平均回答遅れ時間（開始・微笑み・真横）（S:晴眼, L:弱視）

| 被験者 ID | 回答遅れ時間（秒）（音なし） | 回答遅れ時間（秒）（音あり） |
|--------|----------------|----------------|
| S-01 | 0.42 | 0.38 |
| S-02 | 0.43 | 0.41 |
| S-03 | 1.03 | 1.03 |
| S-04 | 7.8 | 5.7 |
| S-05 | 0.68 | 0.63 |
| S-06 | 0.93 | 0.7 |
| S-07 | 0.55 | 0.56 |
| S-08 | 0.66 | 0.6 |
| S-09 | 0.45 | 0.5 |
| S-10 | 0.56 | 0.58 |
| S-11 | 0.32 | 0.38 |
| S-12 | 0.36 | 0.35 |
| L-01 | 1.61 | 1.01 |
| L-02 | 有効回答なし | 2.47 |
| L-03 | 0.93 | 1.04 |
| L-04 | 1.07 | 0.77 |
| L-05 | 0.87 | 0.77 |
| L-06 | 0.73 | 0.58 |
| L-07 | 1.98 | 0.99 |
| L-08 | 0.76 | 0.94 |
| L-09 | 0.6 | 1.03 |
| L-10 | 0.72 | 0.63 |
| L-11 | 0.86 | 0.68 |
| L-12 | 0.71 | 0.56 |

D 検証実験結果

平均回答遅れ時間（終了・笑顔・正面）（S:晴眼, L:弱視）

| 被験者 ID | 回答遅れ時間（秒）（音なし） | 回答遅れ時間（秒）（音あり） |
|--------|----------------|----------------|
| S-01 | 0.52 | 0.55 |
| S-02 | 0.35 | 0.33 |
| S-03 | 0.57 | 0.59 |
| S-04 | 0.61 | 0.57 |
| S-05 | 0.4 | 0.39 |
| S-06 | 0.49 | 0.53 |
| S-07 | 0.53 | 0.48 |
| S-08 | 0.49 | 0.5 |
| S-09 | 0.49 | 0.4 |
| S-10 | 0.53 | 0.48 |
| S-11 | 0.31 | 0.36 |
| S-12 | 0.38 | 0.33 |
| L-01 | 0.5 | 0.49 |
| L-02 | 0.35 | 0.33 |
| L-03 | 0.58 | 0.67 |
| L-04 | 0.43 | 0.41 |
| L-05 | 0.64 | 0.67 |
| L-06 | 0.55 | 0.45 |
| L-07 | 0.55 | 0.61 |
| L-08 | 0.48 | 0.49 |
| L-09 | 0.44 | 0.43 |
| L-10 | 0.53 | 0.48 |
| L-11 | 0.66 | 0.68 |
| L-12 | 0.63 | 0.5 |

D 検証実験結果

平均回答遅れ時間（終了・笑顔・真横）（S:晴眼, L:弱視）

| 被験者 ID | 回答遅れ時間（秒）（音なし） | 回答遅れ時間（秒）（音あり） |
|--------|----------------|----------------|
| S-01 | 0.47 | 0.57 |
| S-02 | 0.32 | 0.3 |
| S-03 | 0.62 | 0.58 |
| S-04 | 0.61 | 0.69 |
| S-05 | 0.39 | 0.4 |
| S-06 | 0.58 | 0.56 |
| S-07 | 0.49 | 0.48 |
| S-08 | 0.51 | 0.52 |
| S-09 | 0.48 | 0.41 |
| S-10 | 0.58 | 0.51 |
| S-11 | 0.34 | 0.39 |
| S-12 | 0.4 | 0.39 |
| L-01 | 0.78 | 0.58 |
| L-02 | 有効回答なし | 0.87 |
| L-03 | 0.68 | 0.75 |
| L-04 | 0.46 | 0.45 |
| L-05 | 0.73 | 0.77 |
| L-06 | 0.44 | 0.38 |
| L-07 | 0.56 | 0.68 |
| L-08 | 0.4 | 0.68 |
| L-09 | 0.46 | 0.53 |
| L-10 | 0.51 | 0.61 |
| L-11 | 0.62 | 0.73 |
| L-12 | 0.66 | 0.59 |

D 検証実験結果

平均回答遅れ時間（終了・微笑み・正面）（S:晴眼, L:弱視）

| 被験者 ID | 回答遅れ時間（秒）（音なし） | 回答遅れ時間（秒）（音あり） |
|--------|----------------|----------------|
| S-01 | 0.44 | 0.55 |
| S-02 | 0.33 | 0.32 |
| S-03 | 0.5 | 0.62 |
| S-04 | 0.6 | 0.63 |
| S-05 | 0.43 | 0.43 |
| S-06 | 0.55 | 0.48 |
| S-07 | 0.51 | 0.49 |
| S-08 | 0.56 | 0.53 |
| S-09 | 0.42 | 0.38 |
| S-10 | 0.51 | 0.52 |
| S-11 | 0.34 | 0.42 |
| S-12 | 0.37 | 0.33 |
| L-01 | 0.51 | 0.55 |
| L-02 | 有効回答なし | 0.38 |
| L-03 | 0.65 | 0.6 |
| L-04 | 0.5 | 0.48 |
| L-05 | 0.66 | 0.74 |
| L-06 | 0.42 | 0.42 |
| L-07 | 0.75 | 0.93 |
| L-08 | 0.65 | 0.61 |
| L-09 | 0.43 | 0.48 |
| L-10 | 0.41 | 0.48 |
| L-11 | 0.93 | 0.96 |
| L-12 | 0.57 | 0.56 |

D 検証実験結果

平均回答遅れ時間（終了・微笑み・真横）（S:晴眼, L:弱視）

| 被験者 ID | 回答遅れ時間（秒）（音なし） | 回答遅れ時間（秒）（音あり） |
|--------|----------------|----------------|
| S-01 | 0.61 | 0.71 |
| S-02 | 0.33 | 0.37 |
| S-03 | 0.56 | 0.59 |
| S-04 | 1 | 0.6 |
| S-05 | 0.43 | 0.5 |
| S-06 | 0.6 | 0.55 |
| S-07 | 0.5 | 0.5 |
| S-08 | 0.5 | 0.45 |
| S-09 | 0.43 | 0.45 |
| S-10 | 0.63 | 0.5 |
| S-11 | 0.33 | 0.43 |
| S-12 | 0.37 | 0.38 |
| L-01 | 0.51 | 0.61 |
| L-02 | 有効回答なし | 1.03 |
| L-03 | 0.58 | 0.65 |
| L-04 | 0.54 | 0.46 |
| L-05 | 0.63 | 0.76 |
| L-06 | 0.41 | 0.49 |
| L-07 | 0.68 | 0.7 |
| L-08 | 0.43 | 0.94 |
| L-09 | 0.37 | 0.52 |
| L-10 | 0.52 | 0.56 |
| L-11 | 0.59 | 0.63 |
| L-12 | 0.69 | 0.62 |

アンケート回答 (S:晴眼, L:弱視)

| 被験者 ID | 回答の容易さ | 回答への自信度 | 日常環境での使用への印象 |
|--------|--------|---------|--------------|
| S-01 | 3 | 4 | 3 |
| S-02 | 4 | 5 | 4 |
| S-03 | 5 | 4 | 3 |
| S-04 | 3 | 4 | 5 |
| S-05 | 4 | 5 | 2 |
| S-06 | 4 | 3 | 2 |
| S-07 | 3 | 4 | 4 |
| S-08 | 5 | 4 | 3 |
| S-09 | 5 | 5 | 2 |
| S-10 | 3 | 4 | 3 |
| S-11 | 4 | 4 | 4 |
| S-12 | 3 | 4 | 4 |
| L-01 | 4 | 4 | 1 |
| L-02 | 5 | 5 | 3 |
| L-03 | 3 | 4 | 5 |
| L-04 | 5 | 4 | 2 |
| L-05 | 3 | 4 | 3 |
| L-06 | 3 | 5 | 4 |
| L-07 | 4 | 5 | 4 |
| L-08 | 5 | 5 | 5 |
| L-09 | 5 | 5 | 3 |
| L-10 | 5 | 4 | 4 |
| L-11 | 2 | 3 | 2 |
| L-12 | 5 | 3 | 3 |