

声量制御のための音声フィードバック手法の提案

竹川佳成^{1,a)} 平田圭二^{1,b)}

概要：近年、計算機の小型化や高性能化に伴い、ユーザが計算機を常に身に付けて持ち運ぶウェアラブルコンピューティングに対する注目が高まっている。Google Glass や Apple Watch などのウェアラブル端末は、例えば、目的地までのナビゲーションなどユーザにとって有用な情報を提供するなどユーザの行動を支援している。既存の多くの情報提供手法の多くは、行動判断の材料となる情報をユーザに提示し行動を促す。しかし、トラブル時や配慮時などユーザが自身の行動を制御できない状況もある。そこで本研究では、声量に着目し、ユーザに心理的負荷をかけず、不随意的かつ非知覚的にユーザの声量を制御するための音声フィードバック手法の提案を目的とする。提案システムは Lombard 効果を活用し、ユーザ自身が聴き取る自身の発声した声量を変化させることで、ユーザの声量を制御する。評価実験より提案手法における声量制御の効果を確認した。

1. はじめに

近年、ウェアラブルコンピューティング環境における、ユーザの状況を考慮した情報提供手法に注目が集まっている。例えば、Google Glass や Apple Watch などのウェアラブル端末を用いて、目的地までのナビゲーション、買い物時のセール情報、歩数や心拍に基づくヘルス管理など、ユーザにとって有用な情報を提供することでユーザの行動を支援している。このように、既存の多くの情報提供手法は、ユーザに行動の選択肢を与える情報を提示し、特定の行動を促すものが多い。しかし、公共の場で騒いでいる子どもを静かにさせたい場合や、プレゼンテーションや面接など緊張している状態で萎縮せず明瞭に話したい場合、災害など予想外の出来事が起きたときにパニック状態になってしまうなど、ユーザが自分自身の行動を直ちに制御できない場合がある。したがって、ウェアラブルシステムにより、ユーザに行動を促すだけでなく、ユーザの行動を制御することは重要である。

そこで本研究では、ユーザに心理的負荷をかけず、不随意的かつ非知覚的（ユーザに気づかせないこと）にユーザの行動の制御を目指し、その第一段階として、声量に着目し、声量制御のための音声フィードバック手法の提案を目的とする。周囲の雑音が高い騒音下では、人は不随意的に声が大きくなるという Lombard 効果 [1] を応用し、ユー

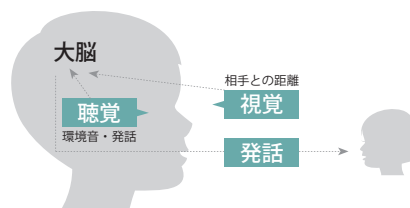


図 1 Speech Chain モデル

ザが聞き取る声量（以下、聴取声量と呼ぶ）を変化させることで、発話時のユーザの声量（以下、発話声量）を制御する。

2. 関連研究

人の発声モデルに関する研究は古くから多数行われており、その代表的な例として、Speech Chain モデルがある。図 1 に示すように、耳に聞こえてくる周囲の音などの聴覚情報や相手との距離などの視覚情報をもとに発話をコントロールしている。近年では、Speech Chain モデル [2] を応用した研究が、音声学に大きな影響を与えている [3]。また、聴覚フィードバックに特化した発声モデルとして Lombard 効果 [1] がある。例えば、我々は周囲の雑音が高い環境では、自然と声が大きくなる傾向があるが、このようにノイズを聞かせると声が大きくなるだけでなく、基本周波数やフォルマント周波数が高くなるなど、様々な音響の特徴が変化することが知られている。ロンバート効果についてはさまざまな研究結果があり、例えば、程島ら [4] は、静かな環境・雑音のある環境・残響のある環境において発声の変化を調べている。さらに、ロンバート効果を計

¹ 公立はこだて未来大学
Future University Hakodate

a) yoshi@fun.ac.jp

b) hirata@fun.ac.jp

算機システム上で実現する研究もある [5]。本研究ではロンバート効果において、特に自身の声量をリアルタイムに発話者にフィードバックしたときの効果について調査する点で既存研究と異なる。

一方、ウェアラブルデバイスを用いて人の行動を制御する研究事例も多数存在する。例えば、虚偽情報による生体情報制御 [6]、VR (Virtual Reality) による視覚提示による食欲制御 [7]、振動モータによる振る舞い制御 [8]、[9]、心拍情報の視覚提示による演奏テンポの制御 [10] などさまざまなアプローチで、不随意的な行動制御を実現している。栗原らは、人工的に自分の発話を遅らせて聞かせる聴覚遅延フィードバックにより、肉体的な苦痛を与えることなく話し手の発話を阻害するシステム SpeechJammer が挙げられる [11]。SpeechJammer は発話の制御という点において本研究とは関わりが深い。SpeechJammer を適用されたユーザは発話を直接的に阻害されることで発話を止めてしまう。本研究のアプローチは、不随意的かつ非知覚的にユーザの発話を制御するという点で異なる。

3. 声量制御手法

3.1 声量制御の原理

ユーザの視覚や聴覚で得られる情報を操作することで、ユーザの声量を変化させられると考えられる。聴覚的な情報による声量の変化の要因の1つとして環境音と自身の声の大きさの関係が考えられる。例えば、ロンバート効果 [1] により、ライブ会場や工事現場など、周りで大きな音が常に響き続けている場所で会話をしようとするときには、人は普段よりも声は大きくなる。逆に図書館など静まり返った場所においては、人は普段よりも声を小さくする。これらは周囲の環境音の大きさと自身の声の大きさを比較し、2つの音の大きさの差を一定に保つことで声量を適切にコントロールしているからである。上記の例を見ると、前者の場合は聴覚情報として得られる周囲の環境音が大きく、自身の通常時の声量と周囲の環境音とを比較し、自身の声量が小さいため、声が大きくなる。後者の場合はその逆で、周囲の環境音が小さく、通常時の声量と環境音とを比較し、自身の声量が大きいいため、声が小さくなる。次に、視覚的なアプローチとして、遠近が関係していると考えられる。人は遠くにいる人物に対しては大きな声で話しかけるが、近くにいる人物に対しては小さな声で話しかける。これを利用して基本的な声量制御手法とシステム構成を考案する。

3.2 提案する声量制御手法

声量制御手法を提案するため、人はより大きな聴取声量を受け取ると発話声量は小さくなり、反対に受け取る聴取声量が小さくなると発話声量が大きくなるという仮説を立てた。以下にその理由を示す。

声量増幅

ユーザの声量を増幅させるためには、「普段の聴取声量」より、「現在の聴取声量」を小さくすれば、現在の聴取声量を普段の聴取声量と同じにしようとし、結果、発話声量が大きくなると考えた。ユーザが発話したとき、聴取声量には骨導音と気導音の2種類あることが知られており、骨導経路の聴取声量を減衰させることは難しい。したがって、気導経路の聴取声量を減衰させるために、普段自分の耳で聞いている環境音の音量 (聴覚環境音量) より、現在の聴覚環境音量を大きくすればよい。これはロンバート効果 [3] により、ノイズを受け取ることで発話声量が大きくなることは証明されている。そこで、今回は、聴取声量が増幅した状態から、聴取声量を減衰させることで、発話声量は増幅すると考えた。

声量減衰

声量減衰においては、声量増幅を反転させればよい。すなわち、現在の聴取声量を増幅させれば、不随意的に声量が減衰すると考えた。

3.3 利用シーン

提案する声量制御手法は、ユーザの声量を不随意的かつ非知覚的に制御できる。緊張などで萎縮してしまう状況や、逆にリラックスしつつも周囲への配慮を必要とする状況など、特殊な場合においても効果が期待される。提案する声量制御手法は、次のようなシーンでの利用が考えられる。

声を大きくする場面

就職活動やアルバイト、受験などでの面接において、緊張しないという人は珍しく、特に面接の重要度が増すにつれて感じる緊張は大きくなる。そして、時間が経過するとともに声が小さくなってしまふ。これらの問題を防ぎ、聴取者である面接官に伝わる声量へと制御することで、声が聞こえない、伝わらないというケースを排除し、採用される可能性を高めることができる。

また、面接の場合と同様で、適切な声量へと制御することで、聴取者に効果的にプレゼンテーションをすることができる。マイクなど声を大きくする装置もあるが、発話者の元の声が小さい場合や、装置の向きが適切でない場合には効果を得ることができない。一方、本研究の提案手法は、人の声量自体を制御する。

声を小さくする場面

自宅でのパーティや図書館、機内など、他人が近くにいる場合には大きな声を出すのはマナー違反である。しかし、話が盛り上がってしまうと、つい配慮を忘れてしまうことがある。本研究の提案する声量制御手法は、ユーザが

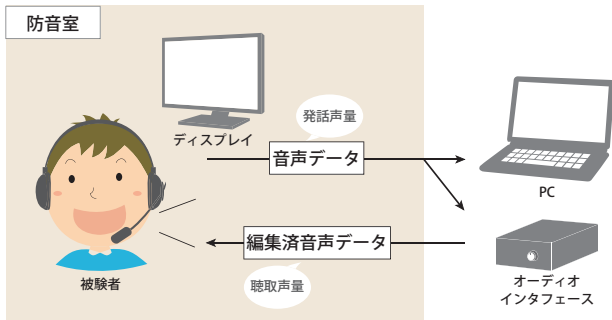


図2 提案手法で用いたシステム構成



図3 実験の様子

不随意的に音量を制御するため、配慮を忘れていても雰囲気には水を差し、ユーザの意識に変化を与えることなく音量を抑えることが期待される。

4. 評価実験

提案手法と2つの比較手法（指示手法およびノイズ手法）を用いて比較評価実験を実施する。各手法における音量変化の効果について即効性・効力・持続性・汎用性・副作用という5つの評価指標をもとに検証し、提案手法の有用性について評価することが本評価実験の目的である。

4.1 実験システム

提案手法での実験を行うため、図2のようなシステムを構築した。聴取音量の変化に伴う発話音量の変化を調べることが目的のため、マイクから取得した音声データを分析する。

被験者が防音室のディスプレイに表示された文章を発話したとき、マイクで取得した被験者の発話音量である音量データはパソコンとオーディオインタフェースが受け取る。パソコンで音声データを録音し、オーディオインタフェースを通じて編集済みの音声データを被験者のヘッドホンへ出力し、被験者はそれを聴取音量として認識する設計になっている。

ディスプレイは三菱電機社の RDT27WLM-A、パソコンは TOSHIBA 社の dynabook を使用した。マイクはオー

ディオテクニカ社のモノラルマイクロホン AT9913iS、ヘッドフォンは TIMERY 社のヘッドセットマイク HEADSET-A010BK を使用した。オーディオインタフェースはオーディオテクニカ社のマイクロホンアンプ AT-MA2 を使用し、聴取音量の変化は 12dB とした。図3に実験の様子を示す。

比較手法の1つである指示手法は、提案手法のように編集済みの音声データを被験者にフィードバックしない。その代わりに、ディスプレイに「声を小さくして音読を続けてください」「声を大きくして音読を続けてください」と表示し、被験者に音量の変更を活字で指示した。また、ノイズ手法では、提案手法の編集済みの音声データの代わりに 12dB の音量のホワイトノイズをオーディオインタフェースから出力した。

4.2 評価項目

本実験の客観的な評価項目は下記の5つであり、表1に示す。

即効性

各手法で刺激（提案手法では聴取フィードバック、指示手法では音量を指摘、ノイズ手法ではホワイトノイズ）を適用した後、何秒後に発話音量が変化するかを求めることで評価する。これは、図4で示すようにグラフから読み取ることができる。一度の発話は短時間で行われる。そのため、効果が現れるまでの時間が長ければ、制御が効きだす前に発話が終了してしまう。したがって、できるだけ短時間で効果が現れる必要がある。

効力

刺激適用前の発話音量の平均と、刺激適用後の最大値または最小値前後 10 秒間の発話音量の平均の差を求めることで評価する。これも即効性と同様に、図4で示すようにグラフから読み取ることができる。音量を制御する効果がどの程度あるのか、という効き目は評価する際に重要となる。

持続性

各手法において、刺激適用後の発話音量変化の持続時間を求めることで評価する。刺激適用前の発話音量の平均を各被験者の発話音量の平均とし、発話音量が大きくなる場合、刺激適用後、発話音量の平均を上回った地点から、平均を下回った地点までを持続時間とする。これも即効性、効力と同様に、図4で示すようにグラフから読み取ることができる。音量を指摘したとしても、時間が経つにつれ元に戻ってしまうことがある。持続的に場に合った音量で発話し続けることが必要である。

表 1 評価項目

評価項目	手法	説明
即効性	提案手法	聴取声量変化後、何秒後に発話声量が変化するか
	指示手法	声量を指摘した後、何秒後に発話声量が変化するか
	ノイズ手法	ホワイトノイズを受け取った後、何秒後に発話声量が変化するか
効力	提案手法	変化前の発話声量の平均と聴取声量変化後の発話声量の差
	指示手法	変化前の発話声量の平均と声量を指摘した後の発話声量の差
	ノイズ手法	変化前の発話声量の平均とホワイトノイズを受け取った後の発話声量の差
持続性	提案手法	
	指示手法	発話声量変化後の持続時間
	ノイズ手法	
汎用性	提案手法	聴取声量変化後、発話声量が変化した人数
	指示手法	声量を指摘した後、発話声量が変化した人数
	ノイズ手法	ホワイトノイズを受け取った後、発話声量が変化した人数
副作用	提案手法	システムの使用感のアンケート
	指示手法	声量を指摘されたことで感じたことのアンケート
	ノイズ手法	-

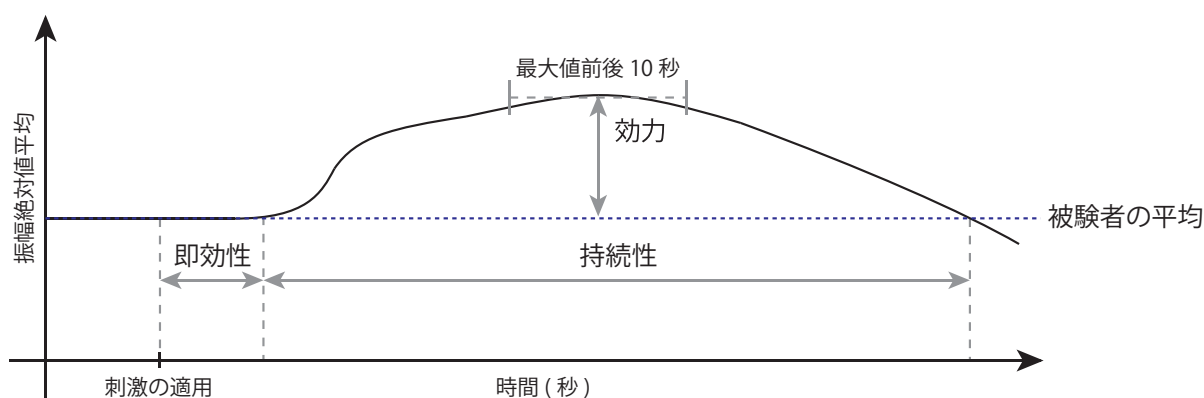


図 4 評価項目のモデル

副作用

本論文での副作用とは、聴取声量の変化、声量の指摘に伴って発現した好ましくない出来事のことを指す。提案手法ではシステムの使用感、指示手法では声量を指摘されたことで感じたことを中心に実験終了後のアンケート調査により評価する。具体的には、以下の3点について、リッカート尺度にもとづき5段階で評価してもらった。

- 内容理解：音読した文章の内容を理解できたか？（1：理解できない～5：理解できた）
- 非知覚性：発話声量の変化に自分自身で気づいたか？（1：気づいた～5：気づかない）
- 違和感-提案：ヘッドフォンを経由して自分自身の声を

聴くことは発話の障害になったか？（1：障害にならない～5：障害になった）

- 違和感-指示 a：声量を指摘されたことに不満を感じたか？（1：感じない～5：感じた）
- 違和感-指示 b：何度も声量を指摘されると不満を感じますか？（1：感じない～5：感じる）

4.2.1 実験の手順

実験の手順を以下に示す。

被験者

実験に参加した被験者は10名で、いずれも公立はこだて未来大学に通う学生かつ成人した男性2名、女性8名で

ある。

実験の流れ

提案手法では「聴取音量が変化の中で、文章を音読する」という試行、指示手法では「文章を音読している中で、音量を指摘する」という試行、ノイズ手法では「ホワイトノイズを受け取る中で、文章を音読する」という試行を隔音室にて行った。被験者が1.7メートル離れているディスプレイに表示される文章を音読した。その際に提案手法では、実験者が聴取音量を変化させた。聴取音量の変化、ホワイトノイズの音量は12dBとした。指示手法では、音量を指摘した。

音読文章は、付録その1からその5に記載しているものを使用した。水色文庫-朗読のためのフリーテキスト-[13]を参考にし、文庫本サイズであるA6サイズで4ページの、5分程度で読み切れる文章とした。また、想定される環境において、聴取音量の変化と音量の指摘、ホワイトノイズを受け取るタイミングはユーザの発話の前であるため、1ページを読み終わったあとに統一した。1ページ目で被験者の基準となる音量を測定した。残りの文章は、提案手法では聴取音量を変化させずに、指示手法では音量を指摘せずにそのまま音読を続けた。ノイズ手法ではホワイトノイズの音量を変化させずにそのまま音読を続けた。また、以下では、声を小さくする場合の提案手法を提案手法1(聴取フィードバック無の状態から聴取フィードバック有の状態に変化させる)、指示手法を指示手法1(声を小さくしてくださいと指摘する)とする。声を大きくする場合の提案手法を提案手法2(聴取フィードバック有の状態から聴取フィードバック無の状態に変化させる)、指示手法を指示手法2(声を大きくしてくださいと指摘する)、ホワイトノイズを受け取ることをノイズ手法とする。実験終了後、アンケートに答えた。表2に実験の流れを示す。

被験者の発話が独り言(他者に伝わる必要のない、音量調整の必然性が薄い発話)になることを避けるために、「ディスプレイの位置に人がいると想定して音読するように」と被験者に指示した。

また、音声のサンプリング周波数は44.1kHzから4kHzに変換し、量子化ビット数は16bitとした。

4.3 実験結果

マイクから取得した被験者の音声信号において、その振幅の絶対値を取得し、100区間の移動平均を求めた。これを振幅絶対値平均と呼ぶ。振幅は最大1から最小-1まで変化する。

ノイズ手法での実験結果として、ノイズを聞くことで発話音量は大きくなるというロンバート効果は、提案手法、指示手法と同様の環境でも効果は表れた。以下では、声を小さくする場合では提案手法と指示手法の2種類で比較

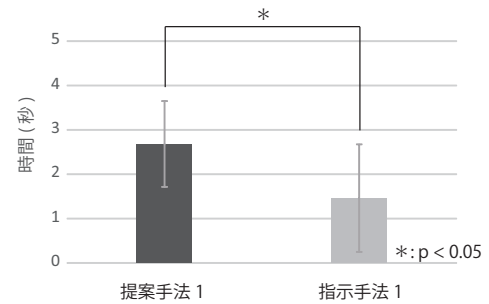


図5 声を小さくする場合の即効性

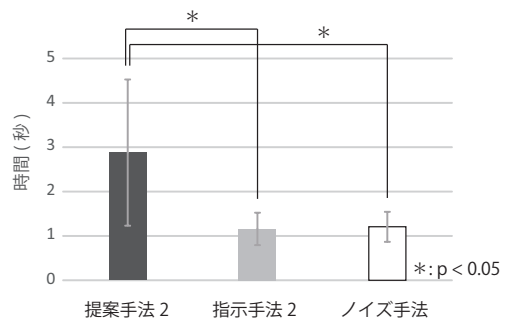


図6 声を大きくする場合の即効性

し、声を大きくする場合では提案手法、指示手法、ノイズ手法の3種類で比較する。

即効性

各手法で刺激を適用した後、何秒後に発話音量が変化するかを求めることで評価する。刺激適用前の発話音量の平均を各被験者の発話音量の平均とする。発話音量が大きくなる場合は、聴取音量の変化、音量の指摘、ホワイトノイズを受け取った後、その平均を超えるまでの間が即効性である。発話音量が小さくなる場合はその逆である。

被験者10名の即効性に関して、声を小さくする場合の実験結果を図5、声を大きくする場合の実験結果を図6のグラフに示している。

提案手法と指示手法で、有意水準5%において対応のあるt検定を行った結果、有意な差が見られた($t(8) = 2.64$, $p < .05$)。これより、提案手法は指示手法より即効性は期待されない。しかし、有意な差はあるものの、平均の差は1.22秒であった。

次に声を大きくする場合では、提案手法、指示手法、ノイズ手法で、有意水準5%においてSteel Dwassの多重検定を行った結果、提案手法と指示手法、提案手法とノイズ手法では有意な差が見られた($t = 2.61$, $t = 2.52$, $p < .05$)。指示手法とノイズ手法では有意な差が見られなかった($t = -0.35$, $p > .05$)。これより、提案手法は指示手法、ノイズ手法より即効性は期待されない。しかし、有意な差はあるものの、提案手法と指示手法の平均の差は1.72秒、提案手法とノイズ手法の平均の差は1.67秒であった。

表 2 実験の流れ

1 ページ目		2 ページ目以降	
提案手法 1	聴取フィードバック無	聴取フィードバック有	-
提案手法 2	聴取フィードバック有	聴取フィードバック無	アンケート
ノイズ手法	ホワイトノイズ無	ホワイトノイズ有	-
指示手法 1	指示無	声を小さくしてください	-
指示手法 2	指示無	声を大きくしてください	アンケート

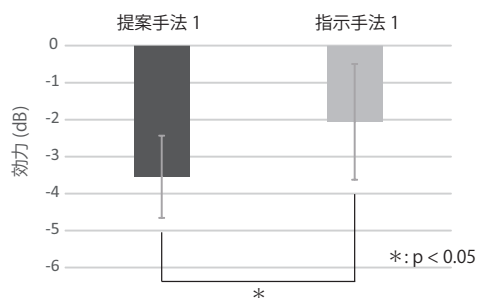


図 7 声を小さくする場合の効力

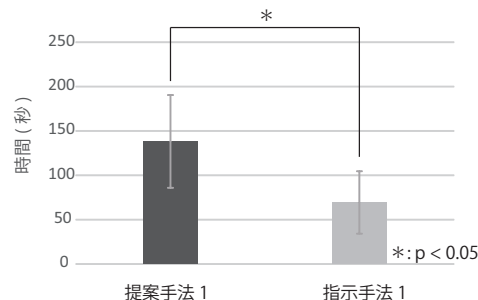


図 9 声を小さくする場合の持続性

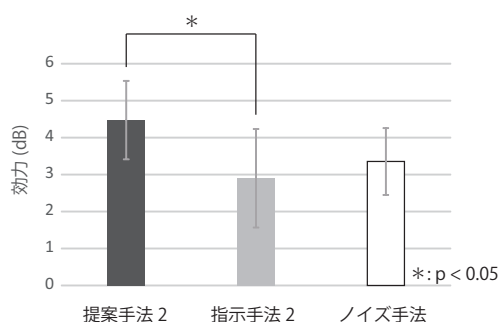


図 8 声を大きくする場合の効力

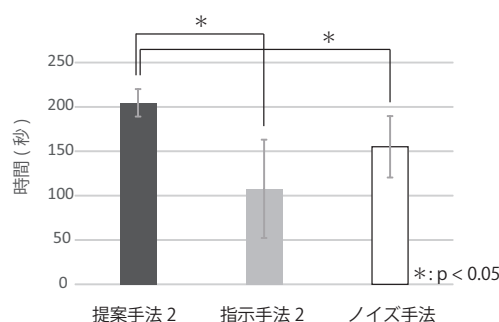


図 10 声を大きくする場合の持続性

効力

刺激適用前の発話声量の平均と、刺激適用後の最大値または最小値前後 10 秒間の発話声量の平均の差を求めることで評価する。刺激適用前の発話声量の平均を各被験者の発話声量の平均とする。発話声量が大きくなる場合は、聴取声量の変化、声量の指摘、ホワイトノイズを受け取った後、それぞれの最大値前後 10 秒間の平均を求め、その平均と被験者の発話声量の平均の差が効力である。発話声量が小さくなる場合はその逆である。

被験者 10 名の効力に関して、声を小さくする場合の実験結果を図 7、声を大きくする場合の実験結果を図 8 のグラフに示している。

提案手法と指示手法で有意水準 5 %において対応のある t 検定を行った結果、有意な差が見られた ($t(9) = 2.92$, $p < .05$)。これより、提案手法は指示手法より効力は期待される。

次に声を大きくする場合では、提案手法、指示手法、ノイズ手法で、有意水準 5 %において Steel Dwass の多重検

定を行った結果、提案手法と指示手法では有意な差が見られた ($t = 2.57$, $p < .05$)。提案手法と指示手法、指示手法とノイズ手法では有意な差が見られなかった ($t = 1.97$, $t = -1.13$, $p > .05$)。これより、提案手法はノイズ手法と有意な差はないが、指示手法より効力は期待される。

今回の提案手法 2 では、大きな聴取声量を受け取っている状態から普段の聴取声量を受け取る実験である。しかし、普段の聴取声量を受け取った結果、90 %の被験者が提案手法 1 における発話声量変化前の平均 (つまり、各被験者の聴取声量に何も変化を与えていない状態) よりも、聴取声量変化後の最大値前後 10 秒間の振幅絶対値平均が大きくなるという結果となった。

持続性

各手法において、刺激適用後の発話声量変化の持続時間を求めることで評価する。刺激適用前の発話声量の平均を各被験者の発話声量の平均とし、発話声量が大きくなる場合、刺激適用後、発話声量の平均を上回った地点から、平均を下回った地点までを持続時間とする。発話声量が小さ

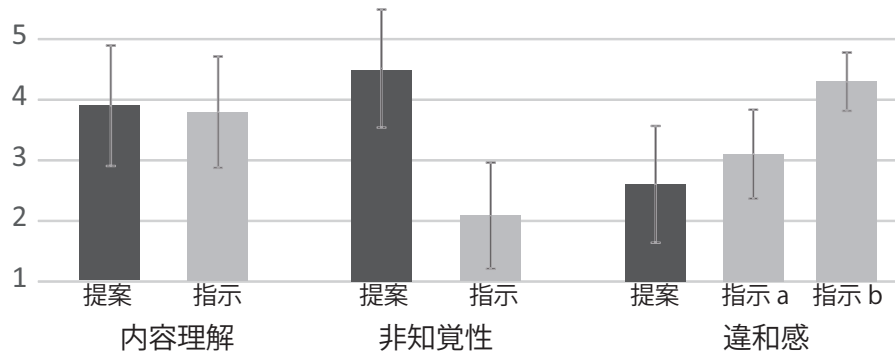


図 11 アンケート結果

くなる場合はその逆である。

被験者 10 名の持続性に関して、声を小さくする場合の実験結果を図 9、声を大きくする場合の実験結果を図 10 のグラフに示している。

提案手法と指示手法で有意水準 5 %において対応のある t 検定を行った結果、有意な差が見られた ($t(9) = 3.40$, $p < .05$)。これより、提案手法は指示手法より持続性は期待される。

次に声を大きくする場合では、提案手法、指示手法、ノイズ手法で、有意水準 5 %において Steel Dwass の多重検定を行った結果、提案手法と指示手法、提案手法とノイズ手法では有意な差が見られた ($t = 3.78$, $t = 3.02$, $p < .05$)。指示手法とノイズ手法では有意な差が見られなかった ($t = -1.80$, $p > .05$)。これより、提案手法が一番持続性が期待される。

汎用性

各手法において、刺激適用後に発話音量が変化した人数を調べることで評価できる。

今回の実験では、提案手法、指示手法、ノイズ手法の全てに関して被験者 10 名の発話音量は変化したことから、全てに汎用性はあったといえる。

副作用

実験終了後に回答してもらった各手法のアンケート結果における平均値と標準偏差を図 11 に示す。

文章内容の理解度に関しては、提案手法の平均値が 3.8、指示手法は 3.9 となった。これより、聴取音量の変化や音量の指摘によって文章内容の理解度に影響は及ばないといえる。提案手法のアンケート結果に関して、自分の声の大きさは変化したかという質問での平均値は 2.1 となった。発話音量が変化しているのに関わらず、このような結果になったということは、不随意的に発話音量は変化したといえる。聞こえる自分の声 (聴取音量) に対して不満を感じたかという質問での平均値は 2.6 となった。このことが

ら、副作用は小さいといえる。

指示手法のアンケート結果に関して、自分の声の大きさの変化を意識したかという質問での平均値は 4.5 となった。これより、音量を指摘されたことで、発話音量を変化させなければならないと、随意的に発話音量を変化させたといえる。声の大きさを指摘されたことに不満を感じたかという質問での平均値は 3.1 となった。今回の実験では音量の指摘は一度であったが、何度も音量を指摘されたらどう思うかという質問での平均値は 4.3 となった。これらより、一度の指摘ではそこまで不満を感じないが、何度も繰り返し指摘された場合は不満を感じる割合が増えるといえる。

4.4 考察

提案手法 2 は、聴取フィードバック有の状態から聴取フィードバック無の状態に変化させる実験であった。しかし、聴取フィードバック無に変化させた結果、被験者 1 名以外の 9 名の被験者が提案手法 1 における刺激適用前の平均 (つまり、各被験者の聴取フィードバック無の状態) よりも、刺激適用後の最大値前後 10 秒間の振幅絶対値平均が大きくなる結果となった。これより、発話音量を大きくする場合は、普段聴取フィードバック有の状態からであれば、効力は期待されると考えられる。聴取フィードバック無の状態で発話音量を大きくする場合は、ノイズ手法のように、ホワイトノイズを受け取ると良いと考えられる。

また、ノイズを発話者に与えることで発話音量が大きくなるという Lombard 効果 [1] が、ノイズ手法において観測された。これにより、各手法の実験手続きや解析方法の妥当性を確認できた。

5. まとめ

本研究では、ユーザに心理的負荷をかけずに不随意的にユーザの行動の制御を目指し、その第一段階として、音量に着目し、音量制御のための音声フィードバック手法を提案した。実験システムを構築し、提案手法・指示手法・ノ

イズ手法の異なる3つの手法における声量変化の効果について、即効性・効力・持続性・汎用性・副作用という5つの評価指標をもとに検証した。評価実験の結果、提案手法における即効性は他の手法と比べて弱いものの、提案手法の効力・持続性・汎用性の効果は高く、副作用は小さくなった。即効性に関して、提案手法と指示手法とで有意な差が観測されたが、その差は約2秒以内と小さい。今後は即効性がより期待されるように、聴取声量の変化の音量を検討する必要がある。また、提案手法を利用することにおいて、文章内容の理解度に悪影響は観測されず、不知覚的に発話声量を制御できる。

今後は、被験者の増加・被験者の環境や状況の考慮といった大規模な評価実験の実施や、本提案手法を用いたウェアラブルな音声フィードバックシステムの構築などがある。

謝辞

評価実験実施を担当した杉村綾菜氏（当時公立はこだて未来大学）に謝意を表す。本研究の一部は、本研究はJSPS 科研費 JP15H02797 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] Lane, H. and Tranel, B.: The Lombard Sign and the Role of Hearing in Speech, *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, Vol. 14, pp. 677–709, 1971.
- [2] Denes, P. and Pinson, E.: *The Speech Chain: The physics and Biology of Spoken Language*, Worth Publishers, 1993.
- [3] 柏野牧夫: 「スピーチ・チェイン」と脳, 電子情報通信学会信学技報, SP2006–73, pp. 23–26, 2006.
- [4] 程島奈緒, 荒井隆行, 栗栖清浩: 雑音・残響下における発話の音響的特徴の話者変動, 電子情報通信学会信学技報, SP2009–69, pp. 43–48, 2009.
- [5] 北原鉄朗, 小暮計貴, 吉永真宏, 鈴木光: 騒音下における声の張り上げ現象の計算機による実現に向けて, 人工知能学会 AI チャレンジ研究会, pp. 33–37, 2014.
- [6] 中村憲史, 片山拓也, 寺田 努, 塚本昌彦: 虚偽情報フィードバックを用いた生体情報の制御手法, 情報処理学会論文誌, Vol. 54, No. 4, pp. 1433–1441, 2013.
- [7] 鳴海拓志, 伴 祐樹, 梶波 崇, 谷川智洋, 廣瀬通孝: 拡張現実感を利用した食品ボリュームの操作による満腹感の操作, 情報処理学会論文誌, Vol. 54 No. 4, pp. 1422–1432, 2013.
- [8] Rekimoto, J.: Traxion: A Tactile Interaction Device with Virtual Force Sensation, *Proceeding of Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST2013)*, pp. 427–432, 2013.
- [9] 渡邊淳司, 安藤英由樹, 朝原佳章, 杉本麻樹, 前田太郎: 靴型インターフェースによる補講ナビゲーションシステムの研究, 情報処理学会論文誌, Vol. 46, No. 5, pp. 1354–1362, 2005.
- [10] Suzuki, D., Takegawa, Y., T., Terada, T., and Tsukamoto, M.: A Heart Rate Presentation System for Keeping Music Tempo in Live Performance, *Proceeding of IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE2013)*, pp. 177–181, 2013.
- [11] 栗原一貴, 塚田浩二: Speech Jammer: 聴覚遅延フィードバックを利用した発話阻害応用システム, *WISS 第18回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワー*

クシヨツプ論文集, pp. 77–82, 2010.