

MR デバイスを使った現実空間と仮想空間との 混在環境におけるコミュニケーション支援の基礎的評価

武田 優生^{1,a)} 山本 景子^{1,b)} 倉本 到^{1,†1,c)} 辻野 嘉宏^{1,d)}

概要：MR (Mixed Reality) デバイスを使ったテレプレゼンスシステムの研究が進んでいる。これによって、離れた場所に居る人が目の前に居るかのように会話できるようになると考えられている。しかし、利用者の発話は会話対象にのみ伝わるわけではないため、しばしば会話に関係のない周囲の人物の注意を引いてしまうという問題が発生する。そこで、本稿では利用者の声を周囲に漏れないように集音し、視線によって特定した会話対象にだけ伝える手法を提案する。本提案手法のプロトタイプを実装し、プロトタイプ利用の有無、MR デバイスの種類、話し手の顔の向き、聞き手の顔の向きの 4 条件を変化させて評価実験を行った。その結果、完全に遮音できないプロトタイプにおいても、利用者の発話によって周囲の人物の注意を不必要に引きつける回数を減少できることが分かった。

Preliminary evaluation of communication support method for both real and virtual environments using MR devices

YUKI TAKEDA^{1,a)} KEIKO YAMAMOTO^{1,b)} ITARU KURAMOTO^{1,†1,c)} YOSHIHIRO TSUJINO^{1,d)}

1. はじめに

会話は最も基本的なコミュニケーションであり、情報の伝達や感情の共有、意思決定などが会話を通じて日常的に行われている。空間を隔てた会話を実現するため、電話やビデオ通話を利用されてきたが、対面での会話ほど効率は高くない。近年、複合現実感 (Mixed Reality, 以降 MR) 技術を使ってこの問題を解決しようという試みがある。

例えば、Microsoft Research が研究を進めている Holoportation[1] という没入型テレプレゼンスシステムがある。このシステムは、離れた場所に居る会話相手の 3D 映像を現実空間に重畳する。システムの利用者は MR デバイスを

装着することで、離れた場所に居る会話相手がまるで目の前に居るかのように会話することが可能になる。

また、ウェアラブルデバイスの発展に伴って、MR デバイスも小型・軽量化が進むと考えられる。A.R.Lingley らは [2] で眼球に装着可能なコンタクトレンズ型ディスプレイを提案している。MR デバイスを常時装着した状態で日常生活を送ることが可能になることで、会話相手がどの空間に居るかを区別せずに会話相手と顔を合わせて会話できるようになる。

しかし、これらのような MR デバイスを装着しながら会話をする未来において、話し手と聞き手の関係を正しく構築できないという問題が発生すると考えられる。具体的には、話し手と同じ空間にいる第三者が、話し手の発話内容を聞いたとき、それが自分に対して話しかけているのか、違う空間に居る聞き手に対して話しかけているのかを区別する方法が無いという問題である。そのため、話し手が何か話すたびに周囲に居る第三者の注意を引いてしまい、第三者の集中力や作業効率の低下を招くと考えられる。

この原因は、利用者が MR デバイスに表示されている人

¹ 京都工芸繊維大学
Kyoto Institute of Technology, Sakyo-ku, Kyoto 606-8585, Japan

^{†1} 現在、大阪大学
Presently with Osaka University, Suita city, Osaka 565-0871, Japan

a) y-takeda@hit.is.kit.ac.jp

b) kei@kit.ac.jp

c) kuramoto@irl.sys.es.osaka-u.ac.jp

d) tsujino@hit.is.kit.ac.jp

に対してのみに声をかけようとしても、その声は現実空間で発せられたものであるため、自然に現実空間にも伝わってしまい、第三者がこれを聞き取ってしまうからである。そこで、利用者の声が現実空間にできるだけ漏れないようにした上で、マイクを使って発話を集音し、その声を伝えたい空間にあるスピーカでのみ再生する手法を提案する。

2. 関連研究

離れた場所にいる人物の姿を物理的なものに投影するテレプレゼンスシステムとして、MM-Space[3]やLiveMask[4]という研究がある。MM-Spaceでは、人物を映し出したスクリーンの角度を変化させることで、その人物のアイコンタクトや傾きを表現し、スクリーンに映し出された会話相手の意図や感情を利用者に伝える。LiveMaskでは、白い胸像に会話相手の顔をプロジェクションマッピングすることで、利用者に会話相手の表情を伝える。これらの研究では、利用者の周りに居る第三者の混乱を引き起こすという問題が発生する頻度は低いですが、テレプレゼンス利用時にスクリーンや胸像を設置する必要がある、機動性に欠ける。

3. 提案手法

提案手法では、利用者がデバイスに表示されている離れた場所にいる人物に対して話しかけると、利用者の声はマイクによって集音され、デバイスに表示されている会話相手のスピーカから声が出力される。このとき、利用者の声は現実空間に出て行かない。一方、利用者が、現実空間で目の前にいる相手に対して話しかけると、利用者の声は一旦マイクによって集音され、現実空間にあるスピーカから改めて出力される。これにより利用者は会話をしたいと考えている人物に対してのみ声を届けることができる。

この方法を実現するためには、利用者が現実空間で目の前にいる人に対して声をかけようとしているのか、デバイスに表示されている人物に対して声をかけようとしているのかを判別する必要がある。本稿では、その方法として利用者の視線を用いることを提案する。例えば、利用者の視界が図1のようになっているとする。この図において、赤枠で囲まれたMRデバイスに表示されている人を見ているとき、利用者の声はこの人物に対してのみ出力される。また、赤枠以外の部分を見ているときには、利用者の声が現実空間に出力される。

4. 実験

4.1 目的

本研究は、利用者の発話によって周囲の人物の注意を不必要に引きつけてしまうという問題を解決することを目的としている。本実験の目的は、利用者がMRデバイスに表示されている人物に対して話しかけると、自分に対して

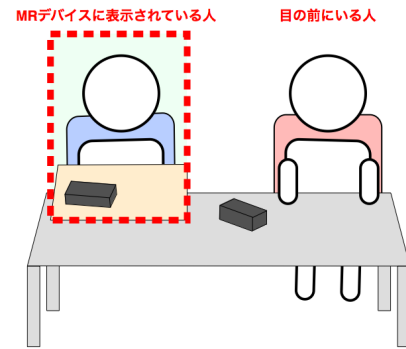


図1 利用者の視界

話しかけてきていると周囲の人物が感じる自信の度合いが提案手法によってどのように低減するかどうかを確かめることである。

4.2 方法

実験者(図2中X)はMRデバイスを通じて、現実空間にいる被験者(図2中Y)とXが装着しているMRデバイスに表示されている人物(図2中Z)を認識できる。MRデバイスに表示される人物(Z)が現実空間のどの場所に重畳して表示されるかは、MRデバイスによって決定される。しかし、被験者(Y)はMRデバイスに表示される人物(Z)がMRデバイスに表示されているかどうか、表示されている場合はどの場所に現れているかを知ることができない。このとき、実験者(X)が発話すると、被験者(Y)はMRデバイスに表示される人物(Z)を認識していないために、その発話が自分に対して行われているように感じると考えられる。また、実験者(X)に話しかけられていると被験者(Y)が感じる自信の度合いは、話している内容、HMDの種類、実験者の顔の向き、被験者の顔の向きによって変化すると考えられる。

これらの要素を変化させつつ、提案手法を用いる場合と用いない場合に分けて実験を行い、被験者(Y)が自分に対して話しかけてきていると感じた度合いを回答させることで、提案手法によって自信の度合いが低減するかどうかを確かめる。

具体的な手順は以下の通りである。4.3から4.6に詳述する実験条件を変化させながら、手順(2)～手順(7)を繰り返す。

- (1) 実験者(X)が被験者(Y)に実験概要を説明する
- (2) 実験者(X)がHMDの種類(4.3に詳述)を選択する
- (3) 実験者(X)が話しかける対象と実験者の向き(4.4に詳述)を選択する
- (4) 実験者(X)が被験者(Y)の体の向き(4.5に詳述)を指定する
- (5) 実験者(X)がプロトタイプの有無(4.6に詳述)を選

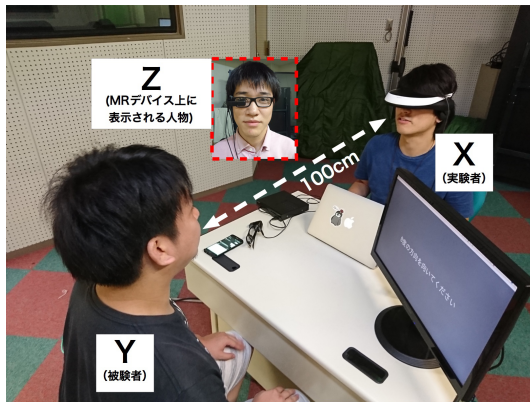


図 2 実験環境



図 4 非透過型 HMD (HMZ-T1)



図 3 透過型 HMD (Vufine)

択する

- (6) 実験者 (X) が被験者 (Y) もしくは MR デバイスに表示された人物 (Z) のどちらかに対して話しかける
- (7) 被験者 (Y) が自分に対して話しかけていたと感じた自信の度合いを 6 段階で評価する

4.3 HMD の種類

人は相手を向いて目を合わせて会話することが多いため、話し手が目元を覆うよう HMD を装着したとき、聞き手は自分に対して話しかけていると感じにくくなるのではないかと考えられる。そこで、聞き手が HMD を装着した話し手の目線を見ることができない透過型 HMD と目線を見ることができない非透過型 HMD の 2 種類で実験を行う。透過型 HMD として、メガネに取り付け可能な単眼透過型 HMD である Vufine (図 3) [5] を使用する。非透過型 HMD として、目元を覆うように装着する非透過型 HMD である HMZ-T1 (図 4) [6] を使用する。

4.4 話しかける対象と実験者の向き

話し手は誰かに話しかけると、相手のほうを向いて話しかける。聞き手はこのことを知っているため、話し手が自分のことを見て話しているときに自分に対して話しかけていると推測すると考えられる。そこで、MR デバイス上

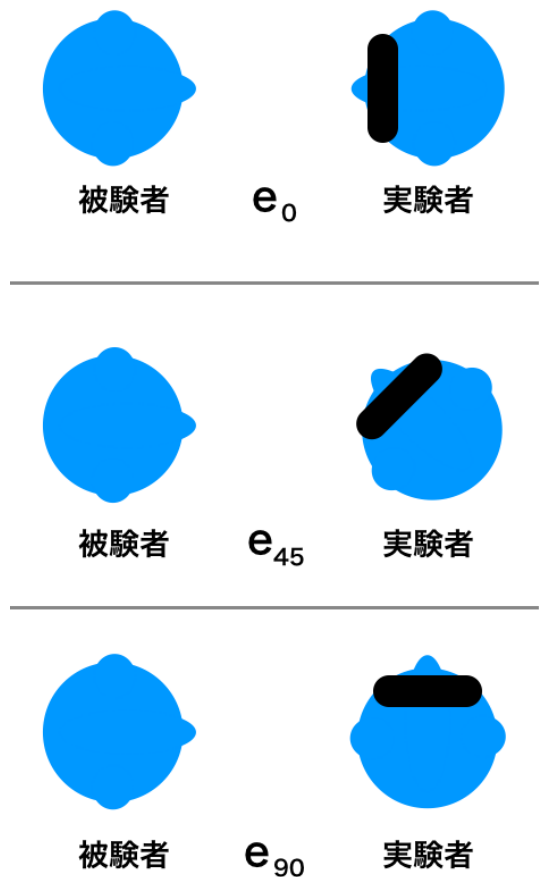


図 5 実験者の顔の向き

に表示される人物の表示方向を 3 通りに変化させて実験を行う (図 5)。実験者が被験者と向かい合う向きを e_0 とし、 e_0 から時計回りで 45 度回転した方向を e_{45} 、 e_{45} からさらに時計回りに 45 度回転した方向を e_{90} とする。実験者が被験者に対して話しかけるときは e_0 のみ、実験者が MR デバイスに表示されている人物の方向に対して話しかけるときは、 e_0 、 e_{45} 、 e_{90} に向いて話しかける。

4.5 被験者の顔の向き

聞き手が話し手を見ることができるとしても、話しかけられていると感じる自信の度合いが変化すると考えら

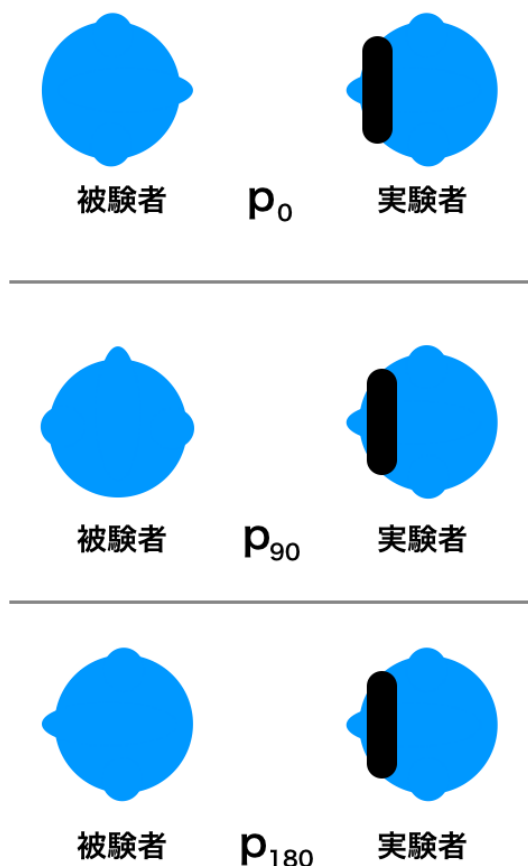


図 6 被験者の顔の向き

れる。そこで、被験者の向きを 3 通りに変化させて実験を行う (図 6)。被験者が実験者を正面に見ている向きを p_0 とし、被験者が p_0 から反時計回りに 90 度回転した向きを p_{90} 、被験者が p_0 から反時計回りに 180 度回転した向きを p_{180} とし、これらの 3 種類の向きに被験者の顔の向きを変化させる。

4.6 プロトタイプ

実験を行うためのプロトタイプを作成した (図 7)。プロトタイプは、口元に装着したマスクの内部に取り付けられたマイクによって利用者の声を集音し、必要に応じて外部に取り付けたスピーカから声を出力する。マスク自体の防音性能によって、利用者が発話した声は外部に漏れにくくなっている。マスクは 3M ジャパン株式会社が販売する防毒マスク 面体 3100[7] を使用し、内部に 3.5mm ジャックで接続可能な小型マイクロフォンを取り付けている。スピーカは JBL 株式会社が販売する JBL CLIP2[8] を使用した。

環境騒音が 50dB 前後の実験室で音響特性を評価した。プロトタイプを使用せずに実験者が被験者に対して話しかけたとき、被験者が座る場所での音量は 90dB 前後であった。プロトタイプを使用して同程度の音量で話しかけたとき、スピーカから出力される声の音量は被験者が座る場所

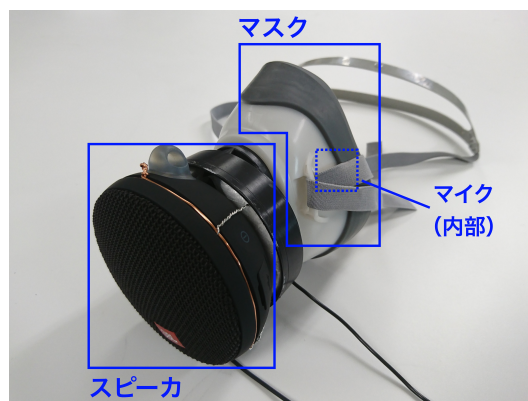


図 7 プロトタイプ

音のみを行った場合にマスク外部に漏れる声の音量は、被験者が座る場所で 60dB 前後であった。

4.7 実験者が話しかける内容

本実験では、話しかける内容として「ちょっと良いですか?」を採用する。採用理由として、仕事に誰かが誰かに話しかけるという状況は頻繁に発生しており、「ちょっと良いですか?」と話しかけることは、目の前に居る人物と MR デバイス上に表示された人物のどちらに対しても使用されると考えられるからである。

4.8 評価尺度

被験者は、実験者が自分に話しかけていたと感じた自信の度合いの 5 段階評価に加えて、実験者が話していたことに気づかなかったという回答を含めた以下の 6 段階で評価する。

- 話しかけられた
- おそらく話しかけられた
- どちらとも言えない
- おそらく別の人に話しかけていた
- 別の人に話しかけていた
- 気付かなかった

4.9 被験者

被験者は大学生 12 人 (男性 7 人, 女性 5 人) である。カウンターバランスを考慮して一人あたり、HMD の種類が 2 通り、プロトタイプ利用の有無が 2 通り、話しかける対象と実験者の向きが 4 通り、被験者の向きが 3 通りの合計 48 回評価させる。

5. 結果と考察

5.1 被験者が気付かなかった回数

実験者が HMD に表示された人物に対して話しかけたとき、実験者が話していることに被験者が気づかなかったと回答した回数について、HMD に透過型 HMD を利用した

表 1 透過型 HMD に表示されている人物に対して話しかけたときに被験者が気付かなかった回数

プロトタイプ有				プロトタイプ無		
	p_0	p_{90}	p_{180}	p_0	p_{90}	p_{180}
e_0	0	0	1	0	0	0
e_{45}	0	0	1	0	0	0
e_{90}	0	2	2	0	0	0

e_0 は実験者が被験者を正面に見ている向き
 e_{45} は e_0 から実験者が時計回りに 45 度回転した向き
 e_{90} は e_0 から実験者が時計回りに 90 度回転した向き
 p_0 は被験者が実験者を正面に見ている向き
 p_{90} は p_0 から被験者が反時計回りに 90 度回転した向き
 p_{180} は p_0 から被験者が反時計回りに 180 度回転した向き

表 2 非透過型 HMD に表示されている人物に話しかけたときに被験者が気付かなかった回数

プロトタイプ有				プロトタイプ無		
	p_0	p_{90}	p_{180}	p_0	p_{90}	p_{180}
e_0	0	1	2	0	0	0
45	1	0	1	0	0	0
e_{90}	3	0	4	0	0	0

e_0 は実験者が被験者を正面に見ている向き
 e_{45} は e_0 から実験者が時計回りに 45 度回転した向き
 e_{90} は e_0 から実験者が時計回りに 90 度回転した向き
 p_0 は被験者が実験者を正面に見ている向き
 p_{90} は p_0 から被験者が反時計回りに 90 度回転した向き
 p_{180} は p_0 から被験者が反時計回りに 180 度回転した向き

場合の結果を表 1 に、非透過型 HMD を利用した場合の結果を表 2 に示す。

表 1 および表 2 より、プロトタイプ有りのほうが、実験者が話していることに被験者が気づかなかった回数が多くなっていることが分かる。このことから、話し手がプロトタイプを利用することで、周囲の人物に対して自分が話しかけていると誤解させにくくできると考えられる。

また、実験者が被験者に対して話しかけたとき、実験者が話していることに被験者が気づかなかった回数について、HMD に透過型 HMD を利用した場合の結果を表 3 に、非透過型 HMD を利用した場合の結果を表 4 に示す。

表 3 および表 4 より、プロトタイプの有無に関わらず、実験者が話していることに被験者が気づいている。したがって、プロトタイプの利用によって、実験者に話しかけられた感が低下することは少ないと考えられる。

5.2 話しかけられたと感じた自信の度合い

実験者が自分に話しかけていると被験者が感じた自信の度合いを表 5 のように数値に対応させて回答の平均値を求

表 3 透過型 HMD を利用して被験者に話しかけたときに被験者が気付かなかった回数

プロトタイプ有				プロトタイプ無		
	p_0	p_{90}	p_{180}	p_0	p_{90}	p_{180}
e_0	0	0	0	0	0	0

e_0 は実験者が被験者を正面に見ている向き
 p_0 は被験者が実験者を正面に見ている向き
 p_{90} は p_0 から被験者が反時計回りに 90 度回転した向き
 p_{180} は p_0 から被験者が反時計回りに 180 度回転した向き

表 4 非透過型 HMD を利用して被験者に話しかけたときに被験者が気付かなかった回数

プロトタイプ有				プロトタイプ無		
	p_0	p_{90}	p_{180}	p_0	p_{90}	p_{180}
e_0	0	0	0	0	0	0

e_0 は実験者が被験者を正面に見ている向き
 p_0 は被験者が実験者を正面に見ている向き
 p_{90} は p_0 から被験者が反時計回りに 90 度回転した向き
 p_{180} は p_0 から被験者が反時計回りに 180 度回転した向き

表 5 回答と値の対応

回答	値
話しかけられた	5
おそらく話しかけられた	4
どちらとも言えない	3
おそらく別のの人に話しかけていた	2
別のの人に話しかけていた	1
話していることに気付かなかった	1

めた。実験者が HMD に表示された人物に対して話しかける場合、プロトタイプを利用するときは被験者がどちらに対して話しかけているかを区別することができ、回答が 3 未満になると期待される。一方、プロトタイプを利用しないときは、被験者がどちらに話しかけているかを理解することができず、回答が 3 以上になると期待される。

5.2.1 HMD に表示される人物に話しかけたとき

実験者が透過型 HMD に表示されている人物に話しかけたとき、被験者が話しかけられたと感じた度合いを図 8 に、非透過型 HMD に表示されている人物に話しかけたとき、被験者が話しかけられたと感じた度合いを図 9 に示す。実験者が HMD に表示されている人物に対して話しかけたとき、被験者が話しかけられたと感じた度合いを HMD の種類、プロトタイプの有無、実験者の顔の向き、被験者の顔の向きの 4 要因で 4 要因分散分析を行った。その結果、 $p \leq 0.05$ で HMD の種類および実験者の顔の向きで有意差が認められたが、プロトタイプ利用の有無では有意差が認められなかった。

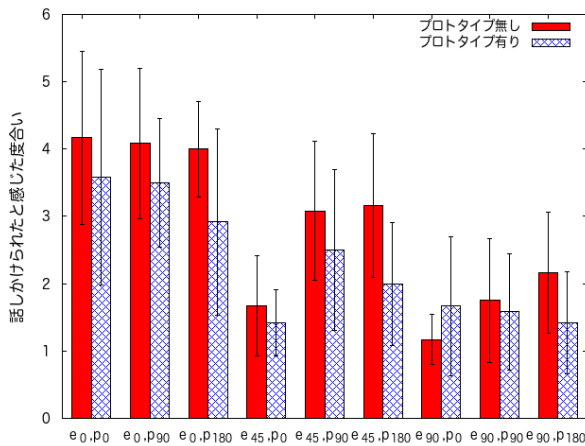


図 8 透過型 HMD を使って実験者が HMD に表示されている人物に対して話しかけたとき、被験者が話しかけられたと感じた度合い

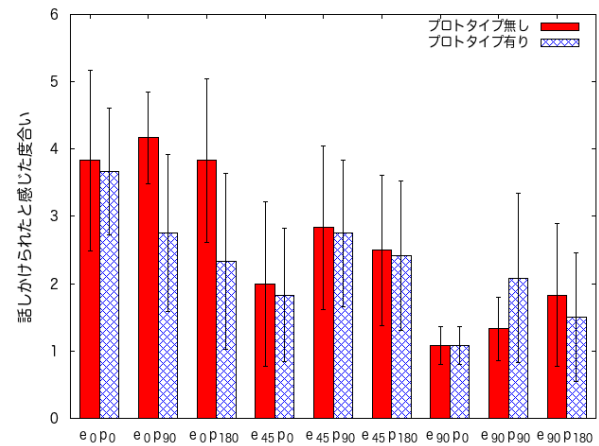


図 9 非透過型 HMD を使って実験者が HMD に表示されている人物に対して話しかけたとき、被験者が話しかけられたと感じた度合い

本実験前に行った予備実験 [9] では、被験者の数が 4 人と少ないものの、提案手法を用いることで非透過型 HMD 利用時に被験者が話しかけられたと誤解しにくくなる傾向が見られた。本実験でこの傾向が見られなかった理由として、プロトタイプの防音性能が影響したことが考えられる。本実験で使用したプロトタイプは、予備実験で使用したプロトタイプに比べて防音性能が低いことが分かった。そのため、現実空間に漏れ出てしまう実験者の声が大きくなり、被験者が実験者に話しかけられたと誤解した度合いが上がったと考えられる。

有意差が見られた HMD の種類に関しては、実験者が透過型 HMD を利用したときよりも非透過型 HMD を利用したときのほうが、実験者に話しかけられたと被験者が誤解した度合いが有意に低かった。これは、実験者が被験者を見ておらず HMD に映る映像を見ていると被験者が考えたため、実験者が自分の方を向いていても自分に対して話しかけていると感じにくかったからではないかと考える。

実験者の顔の向きに対して有意差が見られた理由としては、4.4 の仮説のように、人は話している人の顔の向きによって、話しかけられたかどうかを判断しているからだと考えられる。

5.2.2 被験者に話しかけたとき

透過型 HMD を利用して被験者に話しかけたとき、被験者が話しかけられたと感じた自信の度合いを図 10 に、非透過型 HMD を利用して被験者に話しかけたとき、被験者が話しかけられたと感じた自信の度合いを図 11 に示す。プロトタイプの有無に関わらず、実験者に話しかけられたと感じた度合いが 3 を超えているため、プロトタイプの利用によって、実験者に話しかけられた感が低下することは少ないと考えられる。

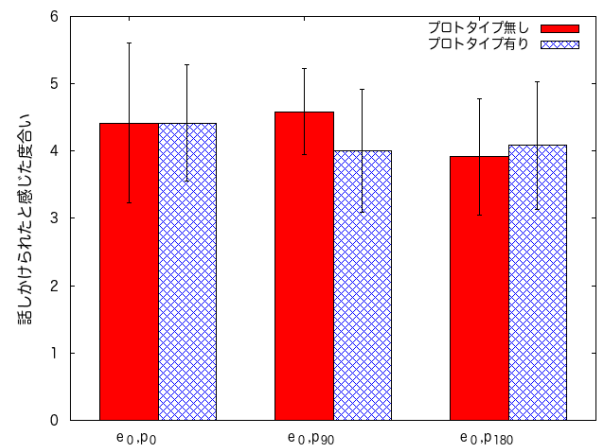


図 10 透過型 HMD を使って実験者が被験者に対して話しかけたとき、被験者が話しかけられたと感じた自信の度合い

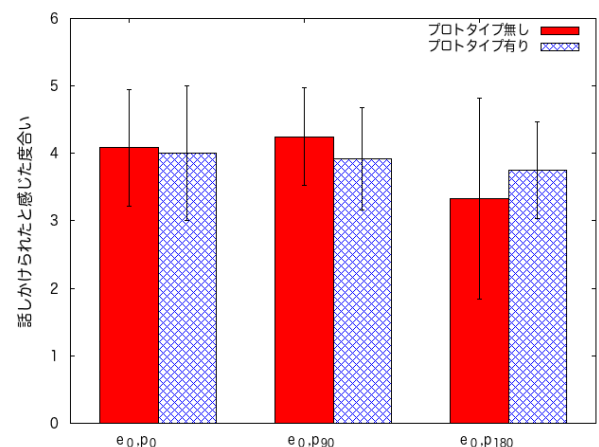


図 11 非透過型 HMD を使って実験者が被験者に対して話しかけたとき、被験者が話しかけられたと感じた度合い

5.3 今後の課題

4.6 で述べたプロトタイプでは、話し手の声が直接現実空間に伝わらないようにするために市販されている防毒マスクを使用した。しかし、この防毒マスクは防音性能を重

視して作られたものではないため、声あまり減衰せずに現実空間に漏れ出てしまっていた。これに対し、予備実験の際に使用した良い傾向が出ていたマスクは、家庭でカラオケを楽しむために使われるマイクカバー [10] を改造したものであり、現実空間に漏れ出る声の音量が 50dB 程度であったのに対し、本実験で使用したマスクでは 60dB 程度であった。そのため、より防音性の高いマスクが必要だと考えられる。

しかし一方で、本研究が想定しているような MR デバイスを日常的に装着する状況において、本プロトタイプのような防音性のあるマスクを使用することは社会的に受容性が低いと想定される。装着している姿が目立つため、装着に対して心理的な抵抗が生まれると考えられるからである。

これらの問題を解決する方法として、アクティブノイズキャンセル技術の利用が挙げられる。アクティブノイズキャンセリング技術は、騒音を打ち消して静音化するために用いられる技術であり、騒音源となる音と逆位相の音をスピーカで出力することで騒音を打ち消して静音化する。この技術を提案手法に应用することで、利用者の声を現実空間に響き渡らないようにできると考えられる。これにより、防音性能と心理的な問題が解決されることが考えられる。

6. おわりに

利用者の発話によって、利用者の周囲の人物の注意を不必要に引いてしまうという問題がある。これは利用者の周囲の人物が、聞こえてきた声は自分に対して発せられたものであると誤解してしまうために発生している。本研究では、この問題を解決するために、利用者の発話を現実空間に漏らさないように集音し、利用者が会話を行う対象を視線によって特定することで、その対象にだけ声を伝えるという手法を提案した。

提案手法の有効性を評価するためプロトタイプを作成して実験を行った。その結果、提案手法を用いることで利用者が話していることに気づかなくなる回数が増える傾向が見られ、話しかけられたと誤解する度合いについても平均的には改善されたが、プロトタイプの有無による有意差は見られなかった。今後の課題として、システムの防音性能を高めて再実験を行うことが挙げられる。

参考文献

[1] Orts-Escolano, S., Rhemann, C., Fanello, S., Chang, W., Kowdle, A., Degtyarev, Y., Kim, D., Davidson, P. L., Khamis, S., Dou, M., Tankovich, V., Loop, C., Cai, Q., Chou, P. A., Mennicken, S., Valentin, J., Pradeep, V., Wang, S., Kang, S. B., Kohli, P., Lutchyn, Y., Keskin, C. and Izadi, S.: Holoportation: Virtual 3D Teleportation in Real-time, *Proceedings of the 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '16, New York, NY, USA, ACM, pp. 741–754 (online), DOI: 10.1145/2984511.2984517 (2016).

[2] Lingley, A. R., Ali, M., Liao, Y., Mirjalili, R., Klonner, M., Sopanen, M., Suihkonen, S., Shen, T., Otis, B. P., Lipsanen, H. and Parviz, B. A.: A single-pixel wireless contact lens display, *Journal of Micromechanics and Microengineering*, Vol. 21, No. 12, p. 125014 (online), available from <http://stacks.iop.org/0960-1317/21/i=12/a=125014> (2011).

[3] Otsuka, K., Kumano, S., Ishii, R., Zbogar, M. and Yamato, J.: MM+Space: N x 4 Degree-of-freedom Kinetic Display for Recreating Multiparty Conversation Spaces, *Proceedings of the 15th ACM on International Conference on Multimodal Interaction*, ICMI '13, New York, NY, USA, ACM, pp. 389–396 (online), DOI: 10.1145/2522848.2522854 (2013).

[4] Misawa, K., Ishiguro, Y. and Rekimoto, J.: LiveMask: A Telepresence Surrogate System with a Face-shaped Screen for Supporting Nonverbal Communication, *Proceedings of the International Working Conference on Advanced Visual Interfaces*, AVI '12, New York, NY, USA, ACM, pp. 394–397 (online), DOI: 10.1145/2254556.2254632 (2012).

[5] Vufine: Vufine Wearable Display, Vufine (online), available from <https://store.vufine.com/products/vufine-wearable-display> (accessed 2017-07-21).

[6] Sony: ヘッドマウントディスプレイ “Personal 3D Viewer”, Sony (オンライン), 入手先 <http://www.sony.jp/hmd/products/HMZ-T1/> (参照 2017-07-21).

[7] 3M: 3M防毒マスク 1000 シリーズ有機溶剤作業用マスク セット/塗装作業用マスクセット, 3M (オンライン), 入手先 http://www.mmm.co.jp/news/2015/info/20150924_2.html (参照 2017-07-22).

[8] JBL: JBL CLIP2, JBL (online), available from <http://jbl.harman-japan.co.jp/product.php?id=clip2> (accessed 2017-07-23).

[9] 武田優生: MR 環境下での現実空間と仮想空間をまたぐコミュニケーション支援手法, 京都工芸繊維大学 平成 28 年度 卒業研究報告書 (2017).

[10] HORI: マイクカバー for Wii U, HORI (オンライン), 入手先 http://www.hori.jp/products/wiiu/mike_cover/ (参照 2017-07-31).