

# Social VR における存在を知覚させるシステムの検討

田中 聖也<sup>†1</sup> 工藤 雅士<sup>†1</sup> 山名 早人<sup>‡2</sup>

<sup>†1</sup> 早稲田大学大学院基幹理工学研究科 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1

<sup>‡2</sup> 早稲田大学理工学術院 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1

E-mail: <sup>†</sup> <sup>‡</sup> {seiya, kudoma34, yamana}@yama.info.waseda.ac.jp

**あらまし** 近年, Virtual Reality(VR)において, VR 空間内でアバター同士が対面でコミュニケーションを自由に行うことができる Social VR が注目を集めている. しかし, Social VR ではアバターの存在を意識させるものは視覚であり, 視覚外のアバターの存在を知覚しづらいという問題がある. そこで本研究では, アバターの存在を意識させる視覚以外のものとして聴覚に焦点を当て, 2ch ヘッドフォンを前提とした立体音響を用いたアバターの足音の実装により, 視覚外のアバターの存在をプレイヤーに知覚させるシステムを提案する. 評価実験では, 立体音響によるアバターの足音によりアバターの存在が知覚しやすくなるかを評価するために, ランダムに行動する仮想的な人物を複数配置した VR 空間を用意し, 制限時間内にどれだけ多くの人に接触できたかの検証を行った. アバターの足音があるかどうかの場合でプレイヤーが接触した人数を比較し, その結果, 視覚によるアバターの認識を妨げる障害物が多いとしても, 他のアバターの存在を知覚させるために立体音響による足音を用いることの効果は確認できないことがわかった

**キーワード** Social VR, Virtual Reality, 存在

## 1. はじめに

近年, Virtual Reality(VR)技術は, 医療, エンターテインメント, ソーシャルネットワーキングサービスプラットフォームとしての利用など, 様々な用途に用いられており, 普及が進んでいる. 実際, MindMotion<sup>1</sup>という VR 技術を用いたリハビリテーションや Playstation VR<sup>2</sup> という VR 技術を用いた没入感のあるゲーム体験を提供するハードウェアが存在する. また, VR 技術をソーシャルネットワーキングサービスプラットフォームとして利用する Social VR と呼ばれるサービスも登場し始めており, 現在では具体的な Social VR サービスとして, VR Chat<sup>3</sup>, Altspace VR<sup>4</sup>が提供されている. Social VR では, VR 空間内でアバターを自由に操作しながら対面形式でアバター同士の交流を行うことが可能であるため, 新たなコミュニケーションツールとして注目されている. しかし, 従来の Social VR において, 他のアバターの存在を意識させるものは視覚に依るものであり, 視覚外により他のアバターを知覚することはできない. そのため, 初対面のアバターと出会うためには周囲にアバターがいないかを目で確認する必要がある, ユーザは Social VR のコミュニケーション体験に煩雑さを感じてしまう. その結果 Social VR でユーザが初対面のアバターと接する機会が減り, Social VR での交友関係が狭いものになってしまうという問題がある.

Social VR を含め, VR の分野ではプレイヤーが他の

アバターの存在を意識する際に Presence という感覚が生み出されるとされている. Presence とは, VR 技術によって提供される仮想世界に対するユーザの行動と, ユーザの行動に伴う知覚フィードバックによって誘発される, 仮想世界の中に存在しているという感覚である [1]. VR 技術は現実世界の刺激を減らし仮想世界の刺激を増やすヘッドマウントディスプレイ(HMD)や, ユーザの動きを捉えて正確な知覚フィードバックを提供するトラッカーと感覚刺激装置によって構成される [1]. Presence は, 主に HMD が伝える仮想世界の感覚的な刺激と, 主にトラッカーと感覚刺激装置が反映する VR 空間内の行動のいずれかに没入するときにプレイヤーが感じるものであり, 感覚的な没入感が高いほど VR 空間に存在するという感覚が得られる [1]. したがって, Social VR においてプレイヤーに他のアバターの存在を意識させるためには, HMD による感覚的な刺激とトラッカーによる VR 空間への能動的な関わりの 2 つの観点から, 自然に他のアバターの存在を意識させる方法を考える必要がある.

既存研究では, トラッカーと感覚刺激装置による VR 空間への能動的な関わりにプレイヤーを没入させることで, アバターやアルゴリズムに基づいて人間のようには振る舞うエージェントの存在を意識させる研究が存在する. 具体的には, プレイヤーとエージェントとの視線のやり取りをシミュレートすることでエージェントの Presence を高める手法 [2]や, 触覚的な刺激によ

<sup>1</sup> <https://www.mindmaze.com/mindmotion/>

<sup>2</sup> <https://www.playstation.com/ja-jp/explore/playstation-vr/>

<sup>3</sup> <https://hello.vrchat.com/>

<sup>4</sup> <https://altvr.com/>

って他のアバターやエージェントの Presence を高める手法 [3] [4]が存在する。しかし、既存研究は目の前にアバターやエージェントが存在している場合を前提としているため、プレイヤーから離れたアバターや視覚外のアバターの存在を意識させることができないという問題がある。また、存在を意識させるシステムにはトラッカーと感覚刺激装置が必要であり、システムとして汎用的ではないという問題もある。

こうした問題に対して、本稿では、プレイヤーから離れたアバターや視覚外のアバターの存在を意識させるために、トラッカーと感覚刺激装置を必要としない HMD による感覚的な刺激として音の刺激を考え、Social VR において立体音響による足音によって他のアバターの存在を知覚させるシステムを提案する。立体音響による足音によって他のアバターがどこを移動しているかをプレイヤーに伝え、プレイヤーに初対面のアバターを意識させ、Social VR 内での交流を促すことを目指す。

以下、2 節で他者の存在を意識させる関連研究を述べ、3 節で提案手法を述べる。そして 4 節で評価実験の概要と評価指標を示す。

## 2. 関連研究

本節ではプレイヤーに他のアバターやエージェントの Presence を意識させる既存研究について説明する。

### 2.1. 視線によって Presence を意識させる研究

Kevin ら [2]は、2018 年にプレイヤーが目の前のエージェントの Presence を感じないという問題に対して、プレイヤーの視線に対するエージェントの反応のシミュレーションが有効であるかについての検証を行った。

プレイヤーの視線を利用したインタラクションでは、アイトラッカーによりプレイヤーの視線を検出し、プレイヤーの視線の先(エージェントの顔や物体)とプレイヤーの視線の向け方(瞬間的か、あるいは、継続的か)のパターンによってエージェントはプレイヤーへの反応を変える。プレイヤーの視線へのエージェントの反応をシミュレートすることで、プレイヤーとエージェント間のインタラクションの没入感を高め、エージェントの Presence を意識させる。

評価実験では、エージェントとプレイヤーにそれぞれ教師役と生徒役の役割を持たせ、生徒役であるプレイヤーが教師役であるエージェントに相談を行うという状況を再現した VR コンテンツを体験する。Summer Lesson<sup>5</sup>などの VR ゲームで使用されている、従来の HMD の向きを利用したインタラクションと、Kevin らが提案するプレイヤーの視線を利用したインタラクションそれぞれにおいて VR コンテンツを体験した後、

Presence や安心感、話が聞けたかといったエージェントへの印象に関する 5 項目(Social Presence, Rapport, Engagement, Social Attraction, Perception of Story)について、9 段階リッカート尺度のアンケートを行い、評価を実施した。評価の結果、従来の手法と比較して、提案手法は 5 項目全てにおいて高い得点を獲得し、ユーザエクスペリエンスの向上が示された。一方で、Presence に近い項目である Social Presence に関しては従来の手法と提案手法の間に有意差を確認することができず、提案手法が Presence に有効であるかどうかについては示されなかった。

### 2.2. 触覚によって Presence を意識させる研究

Fermoselle ら [3]は、2020 年に VR 空間でのコミュニケーションの体験を向上させユーザ同士で社会的なインタラクションができるように、触覚デバイスを導入した共有型のマルチモーダル VR コミュニケーションフレームワークを提案し、システムの有用性を検証した。提案されたシステムでは、振動によって触覚を再現する手袋を導入することで、ユーザ同士のハイタッチや書類の手渡しといった触覚的なインタラクションに関するシミュレートを行う。

システム評価では、VR に触覚が導入されることの重要性や、導入後の VR 体験の質の向上に関する評価を含めた、システムの品質や有効性、受容性についてのユーザアンケートを実施した。ユーザアンケートの結果、提案されたシステムは全体的に肯定的な評価が得られ、触覚でインタラクションをシミュレートする機能がビデオやオーディオやトラッキングといったモダリティの中で最も好ましいものと評価された。

Hoppe ら [4]は、2020 年に、エージェントの交流をより人間のものと意識させるためにソーシャルタッチを提案し、ソーシャルタッチがプレイヤーの知覚に与える影響を検証した。ソーシャルタッチはミダス効果と呼ばれる心理経済学の現象を利用したものであり、感情や意図を伝える「体にタッチすることによる触覚の刺激」を示す。ソーシャルタッチによって、プレイヤーとエージェントの間に触覚によって物理的なインタラクションを行い、プレイヤーやエージェントの感情や意図を伝える。Hoppe らは、プレイヤーに与える触覚として、VR 空間のエージェントの動きと手動で同期する人の手の感触を再現した人工手の刺激を用いている。

実験では VR 空間内でアバターかエージェントのどちらかがプレイヤーの肩をたたき、プレイヤーはアバターなのか、あるいは、エージェントなのかを識別するタスクが設定された。評価では、4 項目(Co-Presence, Embarrassment, Likeability, Perceived agency)について、

<sup>5</sup> <https://summer-lesson.bn-ent.net/>

7段階リッカート尺度を用いたアンケートが行われた。アンケートの結果、ソーシャルタッチがエージェントの人間らしさを意識させるものであるということが示された。

### 2.3. まとめ

従来の研究では、トラッカーによるVR空間への能動的な関わりに対して、視線に対する反応のシミュレーションや触覚のフィードバックといった刺激を付加して没入感を高めることで、プレイヤーに他のアバターやエージェントの存在を意識させる提案がなされている。しかし、いずれの研究にも、アイトラッカーや人の手の触覚を再現する人工的な手、触覚を再現する手袋といった専用のデバイスが用いられており、Social VRで再現する際はコストが大きいという問題がある。また、いずれの研究も、プレイヤーの視覚内のアバターやエージェント、あるいは、体に触れることができるほど近いアバターやエージェントに対するPresenceを意識させることを目標としており、プレイヤーから離れたアバターや視覚外のアバターのPresenceを意識させるものではない。そこで本稿では、アイトラッカーや、人の手の動きをトラッキングするトラッカーを必要としない、近くのアバターだけでなくプレイヤーから離れたアバターや視覚外のアバターのPresenceを意識させるシステムの提案を行う。

## 3. 提案手法

本節では、初対面のアバターを想定して、視覚内のアバターや近くのアバターだけでなくプレイヤーから離れたアバターや視覚外のアバターの存在を意識させるために、Social VRにおいて立体音響による足音によって他のアバターの存在を知覚させるシステムを提案する。立体音響による足音によって他のアバターがどこを移動しているかをプレイヤーに伝え、プレイヤーに初対面のアバターを意識させ、Social VR内での交流を促すことを目指す。具体的には、プレイヤーを中心として一定距離の範囲内において他のアバターが移動したときに立体音響で足音を発生させ、足音でプレイヤーに他のアバターの場所を知らせる。なお、足音はアバターごとに異なる音を割り当てる。また、知り合いになった人の足音が次の初対面の人を探すうえで邪魔になることを防ぐために、コントローラで任意のアバターの足音についてオンとオフが切り替えられる機能を実装する。

## 4. 評価実験

本節では、提案手法に対する評価実験の概要と評価指標について述べる。

### 4.1. 概要

提案するシステムによって他のアバターの存在が意識しやすくなるのかを検証するために、VR空間内の仮想的な人（以下、エージェントと呼ぶ）を確認していく評価実験を行う。

被験者は、一定範囲が確保された物理的な空間の中でコントローラを持って座り、コントローラによってVR空間内を移動する。VR空間内には仮想的な人を模したエージェントが10人ランダムに配置されており、制限時間内にコントローラのボタンによって10人中7人のエージェントを確認していくタスクを行なう。具体的には、ポインターでエージェントを指しコントローラのボタンを押すとエージェントは消え、エージェントを確認したことになり、7人を確認すると実験フィールドの中央にタスクにかかった時間とタスクで動いた総距離とが表示される。このときポインターの光線は最大100mまで伸び、プレイヤーの周囲100m以内のエージェントであればエージェントを確認することができる。また、エージェントはランダムなパターンで動き回る。なお、エージェントが存在するVR空間は、仮想的な遺跡とし、Social VR内の交流によって被験者とエージェントが仲良くなり、遺跡と一緒に観光するといったストーリーを想定した。

### 4.2. 実装

実験機材として、Oculus Quest2とOculus Quest2のコントローラを用いる。また、実験に用いるアプリケーションはUnityによって開発を行い、UnityのアセットであるOculus Integration内のOculus Spatializerによって立体音響を実現する。なお、足音は図4.1に示されるようなグラフに従う音の大きさと出力される。定性的に説明すると、30m程度の場合足音は小さいが複数の足音を区別できるレベルであり、50m程度では足音が非常に小さく足音がどこからきているか分かりづらいレベルである。

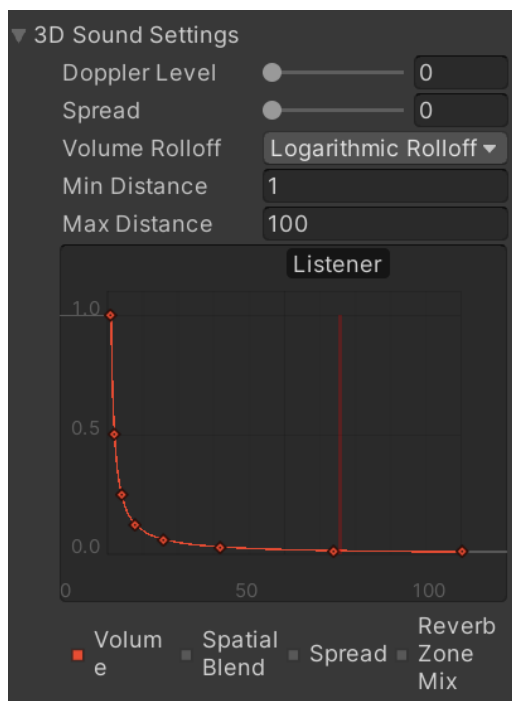


図 4.1 エージェントが発する足音の Unity 上の設定画面(縦軸：音の大きさ[-], 横軸：距離[m])

#### 4.3. 実験フィールド

実験で用いるフィールド（100m×100m）の俯瞰図を図 4.2 に示す。エージェントは遺跡内をランダムに動き回るようにした（動きまわる速度は 6m/秒とし、常に動きまわっているものとする）。初期状態では、被験者は実験フィールドの端に配置される。一方、10 名のエージェントは実験フィールド内にランダムに初期配置される。被験者は実験フィールドの端に位置し壁を向いているため、被験者が振り返り移動しない限りエージェントを認知することができない。



図 4.2 実験フィールドの俯瞰図

#### 4.4. 評価指標

足音の有無によって他のエージェントの存在を認識しやすくなったかどうかの指標として、7 人のエージェントをチェックするのに要した時間を用いる。また空間的に効率よくアバターの存在を認識したかどうかの指標として、7 人のエージェントをチェックするのに移動した総距離を用いる。

#### 4.5. 評価実験及び考察

本実験では、被験者を集めて実験を行う予定であったが、COVID-19 感染拡大による影響を受けて、第一著者のみでの実験となった。エージェントの足音がある場合のタスクとエージェントの足音がない場合のタスクを 1 セットとし、被験者は 9 セットのタスクを連続して行い、30 分の休憩をした後、9 セットのタスクを行なった。なお被験者は VR 経験者であり、実験の事前知識を減らすためにエージェントはランダムに配置されるようにした。

まず、足音の有無によって 7 人のエージェントのチェックするのに要する時間がどのように変化するかを調べた。図 4.3、表 4.1 に結果を示す。また、足音の有無による移動距離の比較を図 4.4、表 4.2 に示す。

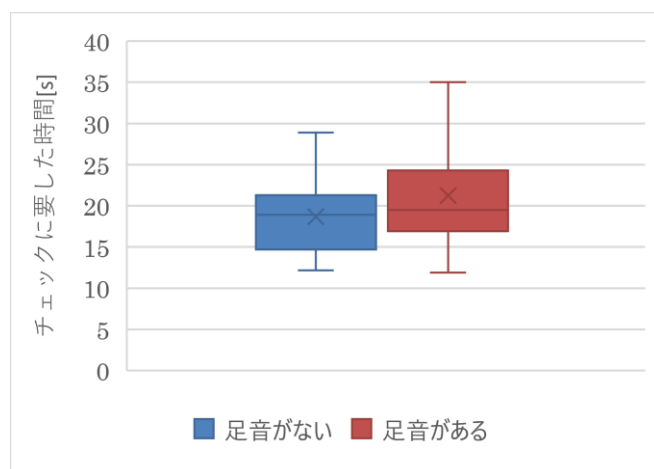


図 4.3 足音の有無の場合に対するチェックに要した時間の箱ひげ図

表 4.1 足音の有無の場合に対するチェックに要した時間の平均値と標準偏差

	足音がない	足音がある
平均値[s]	18.7	21.3
標準偏差[s]	4.67	6.21

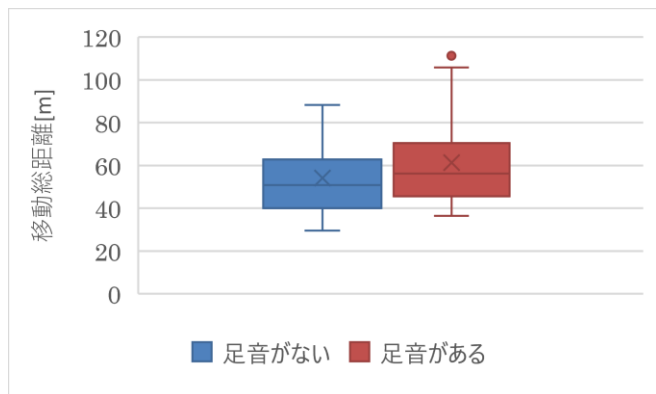


図 4.4 足音の有無の場合に対する移動総距離の箱ひげ図

表 4.2 足音の有無の場合に対する移動総距離の平均値と標準偏差

	足音がない	足音がある
平均値[m]	54.0	61.3
標準偏差[m]	16.0	20.9

まず、足音の有無でエージェントのチェックに要した時間に差があるかどうか検証するために、足音がない場合と足音がある場合に対してマンホイットニーのU検定を行うと、

検定統計量  $U = 122.0$ , 有意確率  $p = 0.211 > \alpha$   
(有意水準  $\alpha = 0.05$ )

となり、足音の有無でエージェントのチェックに要した時間に有意差があるとはいえなかった。

次に、足音の有無でエージェントのチェックに要した移動総距離に差があるかどうか検証するために、足音がない場合と足音がある場合に対してマンホイットニーのU検定を行うと、

検定統計量  $U = 128.0$ , 有意確率  $p = 0.289 > \alpha$   
(有意水準  $\alpha = 0.05$ )

となり、足音の有無でエージェントのチェックに要した移動総距離に有意差があるとはいえなかった。

次に、図 4.2 で示されるフィールドでは障害物が少なく視界内で容易にエージェントを見つけることができる可能性を考慮して、追加実験を行なった。変更点は実験フィールドとエージェントの動き回る速度である。障害物が多く視覚だけではアバターの存在を近くするのが困難な環境として、図 4.5 で示されるフィールドを用意した。なお、フィールド中央の大仏周りにある 10 個の塔はランダムに配置されるようにし

た。また、エージェントの動き回る速度は 3m/s に変え、エージェントが遮蔽物の後ろに隠れやすくした。



図 4.5 追加実験フィールドの俯瞰図

そして、足音の有無によって 7 人のエージェントのチェックするのに要する時間がどのように変化するかを調べた。図 4.6, 表 4.3 に結果を示す。また、足音の有無による移動距離の比較を図 4.7, 表 4.4 に示す。

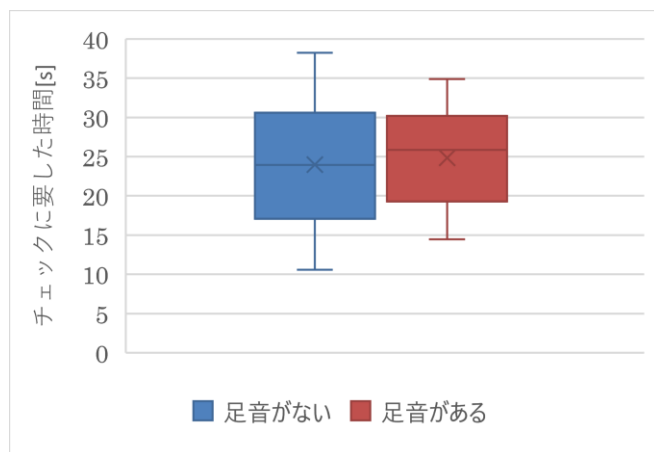


図 4.6 追加実験における、足音の有無の場合に対するチェックに要した時間の箱ひげ図

表 4.3 追加実験における、足音の有無の場合に対するチェックに要した時間の平均値と標準偏差

	足音がない	足音がある
平均値[s]	24.0	24.9
標準偏差[s]	7.80	6.2

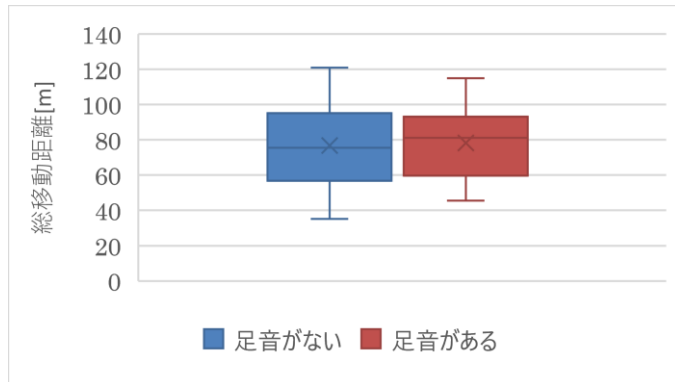


図 4.7 追加実験における、足音の有無の場合に対する移動総距離の箱ひげ図

表 4.4 追加実験における、足音の有無の場合に対する移動総距離の平均値と標準偏差

	足音がない	足音がある
平均値[m]	76.8	78.2
標準偏差[m]	26.3	20.5

まず、足音の有無でエージェントのチェックに要した時間に差があるかどうか検証するために、足音がない場合と足音がある場合に対してマンホイットニーの U 検定を行うと、

検定統計量  $U = 150.0$ , 有意確率  $p = 0.716 > \alpha$   
(有意水準  $\alpha = 0.05$ )

となり、足音の有無でエージェントのチェックに要した時間に有意差があるとはいえなかった。

次に、足音の有無でエージェントのチェックに要した移動総距離に差があるかどうか検証するために、足音がない場合と足音がある場合に対してマンホイットニーの U 検定を行うと、

検定統計量  $U = 154.0$ , 有意確率  $p = 0.812 > \alpha$   
(有意水準  $\alpha = 0.05$ )

となり、足音の有無でエージェントのチェックに要した移動総距離に有意差があるとはいえなかった。

以上の結果から、視覚によるアバターの認識を妨げる障害物が多いとしても、他のアバターの存在を知覚させるために立体音響による足音を用いることの効果を確認できないことがわかった。今回他人の存在を意識させるために足音を用いたが、現実ではドアを開くといった足音よりも聞き取りやすい音で他人が来たことを知る場合が考えられるため、足音よりも聞き取りやすい音を用いる場合について今後さらなる検証が必要である。

## 5. おわりに

Social VR では視覚でアバターの存在を意識させるが、視覚外のアバターの存在を知覚しづらい。本研究では、アバターの存在を意識させる視覚以外のものとして聴覚に焦点を当て、2ch ヘッドフォンを前提とした立体音響を用いたアバターの足音の実装により、視覚外のアバターの存在をプレイヤーに知覚させるシステムを提案した。評価実験では2種類のVR空間（「障害物が少なくほぼ視覚のみでアバターの存在を知覚できる環境」と「障害物が多く視覚だけではアバターの存在を知覚するのが困難な環境」）を用意した。評価実験の結果、視覚によるアバターの認識を妨げる障害物が多いとしても、他のアバターの存在を知覚させるために立体音響による足音を用いることの効果は確認できないことがわかった。今回他人の存在を意識させるために足音を用いたが、現実ではドアを開くといった足音よりも聞き取りやすい音で他人が来たことを知る場合が考えられるため、聞き取りやすい音を用いる場合について今後さらなる検証が必要である。

## 参 考 文 献

- [1] C. Coelho, J. Tichon, T. J. Hine, G. Wallis and G. Riva, "Media Presence and Inner Presence: The Sense of Presence in Virtual Reality Technologies," IOS Press, Amsterdam, 2006.
- [2] S. Kevin, Y. S. Pai and K. Kunze, "Virtual Gaze : Exploring use of Gaze as Rich Interaction Method with Virtual Agent in Interactive Virtual Reality Content," *Proceedings of the 24th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, no. 130, pp. 1-2, 2018.
- [3] L. Fermoselle, S. Gunkel, F. t. Haar, S. Dijkstra-Soudarissanane, A. Toet, O. Niamut and N. v. d. Stap, "Let's Get in Touch! Adding Haptics to Social VR," in *ACM International Conference on Interactive Media Experiences(IMX '20)*, Cornell, Barcelona, Spain, 2020.
- [4] M. Hoppe, B. Rossmys, D. P. Neumann, S. Streuber, A. Schmidt and T.-K. Machulla, "A Human Touch: Social Touch Increases the Perceived Human-likeness of Agents in Virtual Reality," *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1-11, 2020.