

対面MR環境において ユーザ間で視覚的不一致が生じる際の コミュニケーションの様態の解明に向けて

小黒 皓太^{1,a)} 坂井田 瑠衣^{1,b)} 中小路 久美代^{1,c)}

概要: 対面のMR環境では、仮想オブジェクトを全て共通するものとせず、一部のユーザには、異なる見た目の仮想オブジェクトを提示することができる。本研究では、対面MR技術を用いて、同じ場にいる2名のユーザの間に視覚的不一致が生じる環境を構築し、実世界では存在し得ないコミュニケーション環境を創出する。テーブルの上に、一方のユーザにはある種類の物体を模した仮想オブジェクト (e.g. みかん) が見え、他のユーザには同じ位置に全く別の物体を模した仮想オブジェクト (e.g. 虫) が見えるといった環境である。視覚的不一致が生じている仮想オブジェクトに対する共同注意の生起過程に着目し、両者間のコミュニケーションを分析する。

1. はじめに

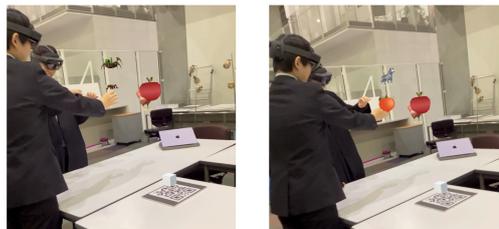
対面のMR環境では複数人がそれぞれ Head-Mounted Display (以下 HMD) を装着して隣接した状態で、共通する仮想オブジェクトを共有しながら実環境に存在する状況になる [1]。対面のMR環境でのコミュニケーションでは、各ユーザは他者と同じ物理的な場を共有しており、HMD越しに見える他者の身体配置やジェスチャを前提にコミュニケーションが行われる。

ここで、対面MR環境では、仮想オブジェクトを全て共通するものとせず、一部のユーザには、異なる見た目の仮想オブジェクトを提示することができる。例えば、一方のユーザにはテーブルの上にみかんの仮想オブジェクトが見え、他のユーザには同じ位置にみかんではなく虫の仮想オブジェクトが見えるといった対面のMR環境を作り出すことができる。その結果、あるユーザがみかんの仮想オブジェクトに対して指差しや操作を行い、みかんを話題にして相手とコミュニケーションを取るとすると、他のユーザにはそれが虫の仮想オブジェクトに見えるため、ユーザ間のコミュニケーションに齟齬が生じると考えられる。

一般に同じ物理空間に存在する人同士のコミュニケーションにおいては、共同注意(「両者が同じ対象物や人に注意(視線など)を向けていること」)が生じるとされてい

る [2]。例として、2人の人がテーブルに対して向かい合っている状況を想定する。テーブルの上には本がある。一方の人がテーブルの上の本を指差すと、もう一方の人はその本に注意を向ける。この際の指差し行為によって共同注意が生じる。共同注意は、ジェスチャの他に視線の後追い、指示語による会話などといった行為により生起する。この際、共同注意により、2人の間で「テーブルの上には本がある」という相互理解が形成される。このように、共同注意は対象物への認識を一致させ、誤解を避けるために重要な役割を果たす [2]。

本研究では、対面MR技術を用いて、同じ場にいる2名のユーザに視覚的不一致が生じる環境を構築し、実世界では存在し得ないコミュニケーション環境を創出する(図1)。共同注意の観点からその際の2人のコミュニケーションについて分析する。視覚的不一致が生じている仮想オブジェクトに対して共同注意が生起するかどうかに着目する。



ユーザAが見ている世界

ユーザBが見ている世界

図1 2人のユーザにおける視覚的不一致

¹ 公立はこだて未来大学

a) b1021024@fun.ac.jp

b) sakaida@fun.ac.jp

c) kumiyo@fun.ac.jp

2. 関連研究

本研究を進めるにあたって、対面 MR 環境構築における技術的課題を調査した。また、対面 MR 環境におけるコミュニケーションの特性について調査した。

2.1 対面 MR 環境構築における技術的課題

対面 MR 環境の構築についての技術的課題として、複数の HMD から見える仮想オブジェクトの位置制御に関する実装が挙げられる。対面 MR 環境では、仮想オブジェクトは現実の物体と同じように、複数のユーザから現実環境上の同じ位置に見える必要がある。各 HMD は独自の座標系を使用している。そのため、仮想オブジェクトの座標はそれぞれの HMD が持つ独自の座標系で表される。例えば、2 人のユーザ（ユーザ A とユーザ B）がそれぞれ異なる HMD を使用して MR 環境を体験している場面を想定する。図 2 と図 3 のように、その仮想オブジェクトの座標は 2 台の HMD それぞれが持つ独自の座標系で表される。

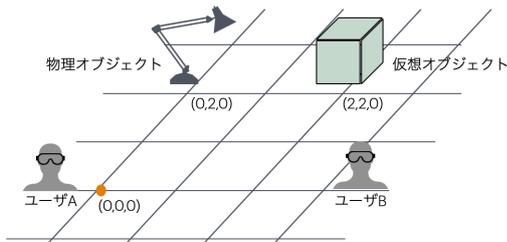


図 2 ユーザ A が持つ座標系

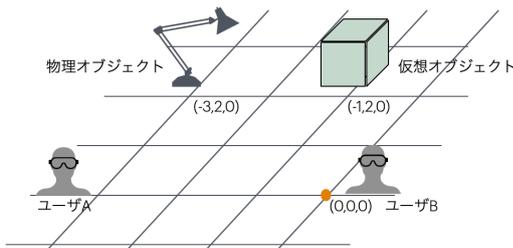


図 3 ユーザ B が持つ座標系

そこで 2 台の HMD で共通して扱える共有座標系を生成する。現実環境上の基準点をもとに共有座標系の原点を決定する必要がある。

Wang ら [3] は AR マーカーを用いて共有座標系を生成する方法を提案した。Wang らの研究では、2 台の HMD で同じ AR マーカーを読み取り、その AR マーカーの座標を現実環境上の基準点としている。図 4 のように、AR マーカーの位置を共有座標系の原点としている。

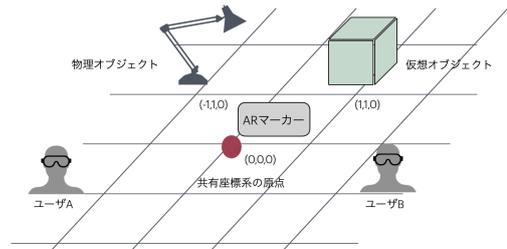


図 4 共有座標系

2.2 対面 MR 環境におけるコミュニケーション

対面 MR 環境におけるコミュニケーションは、同じ物理空間に存在する人同士のコミュニケーションと非常に似た形態をとる。清川ら [4] は、MR 環境における対面協働作業と現実環境での対面協働作業を比較する実験を行った。MR 環境においては建物の 3D オブジェクトを使用し、現実環境での対面協働作業では建物の模型を使用した。ユーザには都市をデザインするタスクを与え、その様子を観察した。結果として生じた会話やジェスチャが両作業において似ていることが明らかになった。指示語の使用頻度や指差動作の頻度は両作業でほぼ同じだった。コミュニケーションでは、他者のジェスチャや身体配置が重要な役割を果たす [5]。清川ら研究により、対面 MR 環境においても指差しや手の動き、ジェスチャ、身体配置がコミュニケーションの手段として機能する。

対面 MR 環境では、光学透過式 HMD を使用することが望ましい。光学透過式 HMD では、ハーフミラーを通して現実世界が、仮想環境はハーフミラーに映像として提示される [6]。そのためメガネと同じように現実世界をそのまま見ることができる。光学透過式 HMD を用いることで、相手のジェスチャや身体配置を違和感なく見ることできる。これにより、相手の意図や行動を理解しやすくなり、より自然なコミュニケーションが可能となる。本研究では、光学透過式 HMD である Microsoft 社の HoloLens 2 (図 5) を使用する。



図 5 HoloLens 2

3. 実験用対面 MR 環境の構築

本研究では、対面 MR 技術を用いて、同じ場にいる 2 人のユーザに視覚的不一致が生じる実験用対面 MR 環境を構築した。実験用対面 MR 環境では、図 6 のように 2 人のユーザがそれぞれ HoloLens 2 を装着し物理的なテーブルを囲んでいるシナリオを想定している。実験用対面 MR 環境内には複数の仮想オブジェクトが存在しており、そのうちの何個かの仮想オブジェクトにおいて視覚的不一致が生じている。

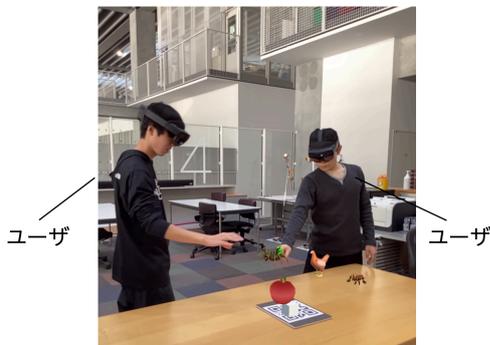


図 6 実験用対面 MR 環境の様子

実験用対面 MR 環境では 4 つのモードを設定した。モードによって仮想オブジェクトの数や種類は異なる。また、モードによって仮想オブジェクトの視覚的不一致の生じ方が異なる。実験用対面 MR 環境では、ユーザ向けの共同作業用端末として 2 台の HoloLens 2 を、観察用端末として 1 台の iPad を使用する。共同作業用端末向けに共同作業用インタフェース、観察用端末向けに観察用インタフェースを開発した。

3.1 共同作業用インタフェースの開発

共同作業用インタフェースの開発には、ゲーム開発エンジンである Unity を使用した。MR を用いたシステム開

発を行うツールキットである Mixed Reality Toolkit(以下 MRTK) を Unity にインポートして利用した。

仮想オブジェクトは、図 7 のように HoloLens 2 を装着したユーザによる、実際の手で物を掴むような動作を通じて操作される。HoloLens 2 にはハンドトラッキング機能が搭載されており、ユーザの両手の動きをリアルタイムで認識することができる。この機能を用いることで、ユーザは仮想オブジェクトを掴む、移動させるといった直感的な操作が可能となる。掴む動作を止めることで、仮想オブジェクトの移動は終了し、ユーザの意図に沿った操作が成立する。仮想オブジェクトの操作は、MRTK の標準コンポーネントである ObjectManipulator を使用して実現した。

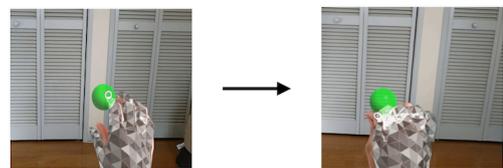


図 7 仮想オブジェクトの操作

仮想オブジェクトは、2 人のユーザから現実環境上の同じ位置に見えるよう制御されている。仮想オブジェクトの位置制御は関連研究を参考にした。2 台の HoloLens 2 で同じ AR マーカーを読み取り、共有座標系を生成し、仮想オブジェクトの座標を管理している。例えば、ユーザ A がりんごの仮想オブジェクトを掴んでいる際は、ユーザ B からはユーザ A がりんごの仮想オブジェクトを掴んでいるように表示される。特定のモードでは、ユーザ A が犬の仮想オブジェクトを掴んでいる状況で、ユーザ B にはユーザ A が蜘蛛の仮想オブジェクトを掴んでいるように表示される。

3.2 観察用インタフェースの開発

実験用対面 MR 環境を第三者視点から観察する端末として iPad を使用する。観察用インタフェースでは、iPad 上でユーザが操作する仮想オブジェクトの位置をリアルタイムで確認できるようになっている。iOS で仮想環境を扱うためのツールキットである ARKit を Unity にインポートして観察用インタフェースを開発した。iPad においても、2 台の HoloLens 2 と同じ AR マーカーを読み取り、共有座標系を生成することにより、仮想オブジェクトの位置制御を行なっている。iPad では、ボタン操作を通じて、視覚的不一致が生じている仮想オブジェクトをユーザ A およびユーザ B の見え方に切り替えることが可能となっている。この切り替え機能により、観察者は視覚的不一致を直感的に確認することができ、実験的なデータ収集が行いやすくなっている。

3.3 実験用対面 MR 環境のネットワーク構成

実験用対面 MR 環境では、2 台の HoloLens 2 それぞれで共同作業用インタフェース、1 台の iPad で観察用インタフェースが動作している。図 8 のように、2 つの共同作業用インタフェースと 1 つの観察用インタフェースはネットワーク接続されている。ネットワーク環境の構築には、Photon Unity Networking 2(以下 PUN2)を使用した。PUN2 のサーバーに対して、2 台の HoloLens 2 と 1 台の iPad はクライアントとして接続している。通信量の低減のために、ネットワーク環境では操作された仮想オブジェクトの座標のみを通信する。仮想オブジェクトの生成、映像処理、移動処理などは各共同作業用インタフェース、観察用インタフェースが行う。どちらかの HoloLens 2 で仮想オブジェクトが操作され座標が変化した場合に、変化した仮想オブジェクトの座標は PUN2 のサーバーを介してもう一方の HoloLens 2 と iPad に送信される。送信頻度は 20 フレームレートとなっている。通信量の削減により、実験用対面 MR 環境における仮想オブジェクトの同期ズレを低減している。

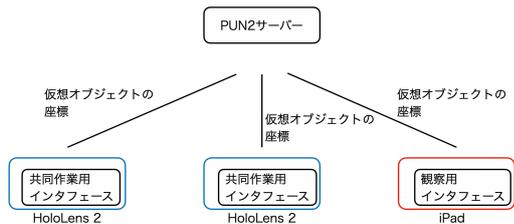


図 8 実験用対面 MR 環境のネットワーク構成

4. 実装した観察比較実験用共同作業体験モード

実験用対面 MR 環境にはこれまでに、以下の 4 つの共同作業体験モードを実装した。モードによって表示される仮想オブジェクトの種類、および数字の表示、量が異なる。

4.1 モード 1：数字の表示

各ユーザの共同作業用インタフェースからは仮想オブジェクトとして、5 個の数字が配置されているように見える。5 つの仮想オブジェクトについてのユーザごとの見た目の違いを図 9 に示す。

	オブジェクトA	オブジェクトB	オブジェクトC	オブジェクトD	オブジェクトE
ユーザA		数字の「2」		数字の「4」	
ユーザB	数字の「1」	数字の「4」	数字の「3」	数字の「2」	数字の「5」

図 9 モード 1 の仮想オブジェクト

このように、仮想オブジェクトの一部が、ユーザ A とユーザ B に対して異なる数字が表示されるように設計されている。

4.2 モード 2：立体の表示

各ユーザの共同作業用インタフェースからは仮想オブジェクトとして、2 種類の立体が 4 つ配置されているように見える。4 つの仮想オブジェクトについてのユーザごとの見た目の違いを図 10 に示す。

	オブジェクトA	オブジェクトB	オブジェクトC	オブジェクトD
ユーザA				球体
ユーザB	立方体	球体	立方体	立方体

図 10 モード 2 の仮想オブジェクト

このように、仮想オブジェクトの一部は、ユーザ A とユーザ B に対して異なる形状が見えるように設計されている。

4.3 モード 3：異なるサイズの立体の表示

各ユーザの共同作業用インタフェースからは仮想オブジェクトとして、2 種類の立体が 4 つ配置されているように見える。4 つの仮想オブジェクトについてのユーザごとの見た目の違いを図 11 に示す。

	オブジェクトA	オブジェクトB	オブジェクトC	オブジェクトD
ユーザA		大きい立方体		大きい球体
ユーザB	立方体	小さい立方体	球体	小さい球体

図 11 モード 3 の仮想オブジェクト

このように、仮想オブジェクトの一部は、ユーザ A とユーザ B に対して異なる大きさが見えるように設計されている。

4.4 モード 4：食べ物と生き物の表示

各ユーザの共同作業用インタフェースからは仮想オブジェクトとして、食べ物や生き物が 4 つ配置されているように見える。4 つの仮想オブジェクトについてのユーザごとの見た目の違いを図 12 に示す。

	オブジェクトA	オブジェクトB	オブジェクトC	オブジェクトD
ユーザA			蜘蛛	虫
ユーザB	りんご	鳥	犬	みかん

図 12 モード 4 の仮想オブジェクト

このように、仮想オブジェクトの一部は、ユーザ A とユーザ B に対して異なる見方で表示されるように設計されている。

5. 予備的ユーザ観察実験

本研究で構築した実験用対面 MR 環境を 2 名のユーザに体験してもらった。

5.1 体験に必要な装置

実験時に使用する装置は以下の通りである。

- 2 台の HoloLens 2
- iPad (観察用端末)
- AR マーカー

5.2 予備的ユーザ観察実験の流れ

実験では、2 名のユーザにテーブルを挟んで対面して立ってもらい、それぞれに HoloLens 2 を装着してもらった。最初に、ユーザの視線調整を実施し、調整が完了した後に、ユーザには HoloLens 2 を外してもらった。その後、実験者が 2 台の HoloLens 2 で共同作業用インタフェースを起動し、テーブルの中央に AR マーカーを設置した。

実験者は、2 台の HoloLens 2 の共同作業用インタフェース上で AR マーカーを読み取り、仮想オブジェクトを表示させた。次に、実験者は iPad で観察用インタフェースを起動し、周囲を見渡した後、AR マーカーを読み取って、仮想オブジェクトを表示させた。実験者は図 13 のように iPad を使用し実験用対面 MR 環境の観察を行った。

その後、実験者が最初に共同作業用インタフェースを起動した HoloLens 2 の MR 空間において、通信可能状態に

するボタンを押した。

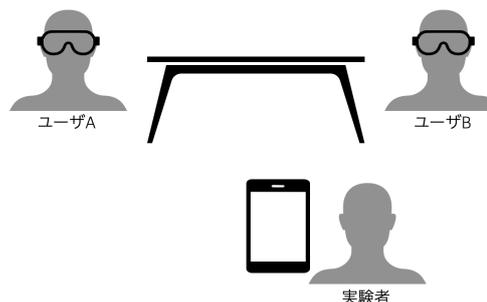


図 13 2 人のユーザと実験者

次に、実験者は 2 名のユーザにそれぞれ準備した HoloLens 2 を装着してもらうように指示した。最初に共同作業用インタフェースを起動した HoloLens 2 を装着したユーザがユーザ A、もう一方の HoloLens 2 を装着したユーザがユーザ B である。実験者は、ユーザに仮想オブジェクトが表示されているかどうかを確認し、表示されていれば次の段階に進めた。もし表示されていない場合は、共同作業用インタフェースを再起動して再確認する。

ユーザに仮想オブジェクトの掴み方を説明した。この際、実験者は iPad を使用して、仮想オブジェクトの位置を確認しながら操作方法を説明した。一方のユーザに操作方法の説明が完了したら、次にもう一方のユーザにも同様に操作方法を説明する。

実験においては、2 名のユーザには、目の前に表示された仮想オブジェクトの一部が相手とは異なるものとして見えていることを伝えなかった。ユーザには、さまざまなモードで自由に仮想オブジェクトを操作してもらった。

5.3 予備的ユーザ観察実験の結果

2 名のユーザは、仮想オブジェクトとして食べ物と生き物が表示されるモード 4 を体験した。両者は仮想オブジェクトの操作を直感的に行うことができ、特に操作の難しさは感じていなかった。

実験中に、ユーザ B がオブジェクト D を操作している際、ユーザ A は「グロい」と発言し、驚きや嫌悪感を示した。オブジェクト D はユーザ A には虫に、ユーザ B にはみかんに見えている。さらに、ユーザ B がいくつかの異なるオブジェクトを掴みながら、ユーザ A に対して「これはどう?」「可愛い?」といった質問を投げかける場面が見られた。このように、ユーザ同士が仮想オブジェクトに対して感情や意見を交換し、相互作用が発生していることが確認できた。視覚的不一致が生じている仮想オブジェクトに対しての相互作用においては、お互いの意思疎通に滞りが見られた。

5.4 考察

視覚的不一致と相互理解の関わりについて考察する。ユーザ B がオブジェクト D を操作している際、ユーザ A がそのオブジェクトに対して「グロい」と感じることから、視覚的不一致が相手に与える影響が明らかである。この「グロい」との反応は、ユーザ A がその仮想オブジェクトを虫として認識していたため、心理的な反発や嫌悪感を引き起こしたことが原因だと推測できる。一方、ユーザ B はそのオブジェクトをみかんとして認識しており、恐らくポジティブな印象を持って操作していたため、このギャップはユーザ間で誤解や感情のズレを生む結果となった。このように、同じ仮想オブジェクトでも異なる視覚的認識を持つことが、相互理解において障害となり得ることがわかった。

意思疎通の難易度の増加について考察する。視覚的不一致が生じることで、ユーザ同士の意思疎通が円滑に行われないことがあることが確認された。ユーザ B が「これはどう?」「可愛い?」と質問しながらいくつかの仮想オブジェクトを操作する場面があった。このようなことから、視覚的不一致が生じている仮想オブジェクトでは、ユーザ間で認識が異なるため、質問に対する反応や答えが曖昧になることが示唆される。相手の質問や意図が理解しづらく、意味のあるコミュニケーションが成り立ちにくくなる恐れがあると考えられる。

6. 今後の展望

今回の予備的ユーザ観察実験では、仮想オブジェクトのユーザごとの視覚的不一致が、相互行為における意思疎通の難易度を増加させることがわかった。

今後は構築した実験用対面 MR 環境を活用し、より多くのユーザを対象にユーザ観察実験を実施する。今後のユーザ観察実験では、ユーザに特定のタスクを提示し、その体験中に発生するコミュニケーションを促進させることを目指す。ユーザ観察実験後には、HoloLens 2 の映像データ（音声付き）と観察用端末の映像データを分析し、2名のユーザ間での相互行為に対して文字起こしを行い詳細に分析する。

具体的には、共同注意がどのような相互行為から生じるのかを調査する。共同注意を向けた仮想オブジェクトに視覚的不一致が生じていた場合のユーザの反応、相互理解が正しく形成されるのかどうかを明らかにする。

謝辞

本稿を執筆するにあたりご協力いただいた渡部丈氏に深く感謝します。

参考文献

- [1] 岡嶋雄太, 松山岳史, 坂内祐一, 岡田謙一: 視点座標を基準にした遠隔 MR 作業指示, 情報処理学会論文誌, vol.51, no.2, pp.564-573, 2010.
- [2] 高梨克也, 坂井田瑠衣: 日常生活場面での相互行為分析, 認知科学講座 3 心と社会, 鈴木宏昭 (編), 東京大学出版会, pp.103-140, 2022.
- [3] Jing Fei Wang, Yao Guang Hu, Xiao Nan Yang: Multi-person Collaborative Augmented Reality Assembly Process Evaluation System Based on HoloLens, International conference on human-computer interaction, Springer International Publishing, pp.369-380, 2022.
- [4] 清川清: 拡張現実感インタフェースを用いた対面協調作業のコミュニケーション過程 (<特集> 複合現実感 2), 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, vol.7, no.2, pp.159-168, 2002.
- [5] 坊農真弓, 片桐恭弘: 対面コミュニケーションにおける相互行為的視点: ジェスチャ・視線・発話の協調, 社会言語科学, vol.7, no.2, pp.3-13, 2005.
- [6] 横矢直和: 現実世界と仮想世界を融合する複合現実感技術 I 複合現実感とは, システム制御情報学会誌, vol.49, no.12, pp.489-494, 2005.