

はなれてたって、ぼくらはいっしょ！ 車椅子の XR コミュニケーションシステム

林田 望海¹ 下里 浩昇¹ 浦野 健太¹ 米澤 拓郎¹ 河口 信夫^{1,2}

概要：コロナ禍以降、オンライン会議やメタバースなど物理的な距離があっても気軽にコミュニケーションができる機会が増えている。その一方で、失われつつあるコミュニケーションも存在する。車椅子は基本的に介助者の同行が必要な乗り物であったが、介助者とのコミュニケーションが生まれる場でもあった。車椅子の電動・自動化が活用されるようになり、車椅子の操作を一人でも行えるようになったために、介助者と車椅子の利用者とのコミュニケーションの機会が減っている。本稿では、この失われつつある車椅子のコミュニケーションの機会を XR(eXtended Reality) を用いて再現するシステムを説明する。開発したプロトタイプと本システムの応用例及び実用化に向けて解決すべき課題を提案する。

XR Communication System for Wheelchairs

NOZOMI HAYASHIDA¹ HIRONORI SHIMOSATO¹ KENTA URANO¹ TAKURO YONEZAWA¹
NOBUO KAWAGUCHI^{1,2}

1. 背景

コロナ禍以降、対面以外でのコミュニケーション方法が多様化している。民間企業におけるテレワークは、新型コロナウイルス感染症の拡大に伴い急速に導入が進んでおり会議もオンラインで行われることが多い。大学の授業や学会でもオンラインや対面とオンラインを混ぜたハイブリッドで開催されることが標準になっている。また、仮想空間で物理空間と同じように人々が集まって活動ができるメタバースもウィズコロナ、アフターコロナ時代の新しいコミュニケーションの場として急速に拡大している。

このように物理的な距離があっても気軽にコミュニケーションができる一方で、失われつつあるコミュニケーションも存在する。車椅子は基本的に介助者の同行が必要だが、介助者との一種のコミュニケーションの場としても利用されてきた。しかし自走式ロボットの開発が進み、車椅子にも電動・自動化が活用されるようになり、車椅子の操作を一人でも行えるようになった。そのため、介助者と車椅子

の利用者とのコミュニケーションの機会が減っている。また、近距離移動を想定した 1 人乗り用の小型のパーソナルモビリティが新しい移動手段として注目されているが、こういった乗り物ではそもそもコミュニケーションをとる機会は得られない。

本研究では、このような失われつつあるコミュニケーションの機会を XR を用いて発生させるシステムの実現を目指す。特に、車椅子における以下の 2 種類のシナリオにおけるコミュニケーションを再現する方法を提案する。

- (1) 介助者が車椅子を押しながら車椅子利用者とコミュニケーション
- (2) 仮定の助手席の同席者と車椅子利用者のコミュニケーション

本稿では、360 度カメラと XR デバイスを用いた車椅子での XR コミュニケーションシステムのプロトタイプを提案し、車椅子におけるコミュニケーションの応用及び本システムの実用化に向けて解決すべき課題を述べる。

2. 関連研究

XR が身近なデバイスになりつつありコロナ禍環境も相まって、XR を用いたコミュニケーションに関する研究が

¹ 名古屋大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Nagoya University

² 名古屋大学未来社会創造機構
Institutes of Innovation for Future Society, Nagoya University

活発に行われている。また様々な用途を有するロボットのインターフェースを一元化し、それらロボットの情報をXRで可視化したり、XRから操作する試みは多く行われている。

2.1 XRコミュニケーションシステム

Theophilusら[1]やHuidongら[2]は労働者の視点の360度映像と周囲の3Dモデルを遠隔支援者に共有し、ARデバイスとVRデバイスで互いに協力して作業を行うシステムを実現した。また、Thammathipら[3]もVRデバイスを用いた遠隔支援者のアバターをARデバイスを用いた遠隔作業支援を行うMini-meを開発した。Geonsunら[4]はARデバイスを装着した複数の作業者がVRデバイスを装着した遠隔支援者によって監視できる一対多の環境で、2D映像・360度映像・3Dモデルの3つの視点共有手法を評価した。Janら[5]はフロアプロジェクションとモバイルディスプレイを位置追跡と組み合わせて使用し仮想世界を視覚化して、HMD非装着者とHMD装着者と対話しVR体験を共有する方法を提案した。

また、メタバースに関する研究開発も多く行われており、ゲームから始まり社会現象研究やマーケティングシミュレーション、教育や博物館見学にも活用されている[6]。

2.2 遠隔操作システム

Roldánら[7]は、ロボットアームや移動ロボットなどの操作にUnityベースのVRインターフェースを開発した。現実世界にあるロボットの位置をターゲットマーカーを基準に仮想空間に投影する。操作方法は、各ロボットオブジェクトの位置を指定し、現実世界のロボットが指定された位置に移動できる。NASA-TLX[8]の結果、VRインターフェースによって操作者の仕事を22%削減したことを示した。

Ostainら[9]は、Microsoft社が開発しているMRデバイスのHololensを用いて、様々なロボットを対話的に制御するフレームワークを提案している。作業者はMRデバイスにより投影されている移動ロボットやロボットアームなどのホログラムを操作することで、実際のロボットを操作できる。MRデバイスは現実空間上に仮想空間を複合しているため、実際のロボットを直感的な操作が可能で、それによってロボット制御の操作ミスなどを低減している。またロボットの位置をMRデバイスに表示するホログラムの位置と一致させる必要がある。Ostainらは、MRデバイスから得られる点群と移動ロボットに付属しているLiDARで得られる点群をマッチングしてMRデバイスと移動ロボットの位置を算出している。

Hashizumeら[10]は、車椅子介助者の負担を軽減するために、VRによる遠隔操作機能を備えた電動車椅子「Telewheelchair」を開発している。Telewheelchairは、車椅子



(a) シナリオ 1：介助 (b) シナリオ 2：同席

図 1: 車椅子 XR コミュニケーションのシナリオ

に360度カメラを搭載、介助者はVRデバイスから360度カメラを通して現実世界を確認しながら、付属のVRコントローラで車椅子の操作を行う。HMDでの操作を含む4つの操作モードで使いやすさや正確性を評価し、HMDを使用した操作モードが他の操作モードよりも優れていることを示した。

以上のように、XRを用いてのコミュニケーションや車椅子の遠隔操作など各々に関する研究は行われているが、車椅子を遠隔操作した際のコミュニケーションへの影響に関する研究はまだ十分に行われていない。それらを踏まえて本研究の位置付けは、失われつつある、もしくはもともと想定されていない場面でのコミュニケーションをXRを用いて発生させるプラットフォームを作成し、XRを用いた遠隔操作がコミュニケーションへどのように影響を与えるのかの調査である。本稿では特に、車椅子におけるコミュニケーションに重視してシステムの開発を行い、その応用や影響について議論する。

3. シナリオと実装

3.1 想定するシナリオ

スティンザー効果[11]にもあるように、コミュニケーションの質や内容において、位置関係は大きな要因の一つである[12]。本稿では、車椅子の利用者と介助者間の信頼関係や位置関係によってコミュニケーションの質や内容がどう変化するかについて検証するために、図1に示すような車椅子利用者と遠隔者とのコミュニケーションにおける2種類のシナリオを設計する。

3.1.1 シナリオ 1：介助

1つ目のシナリオは、遠隔者が介助者として行うコミュニケーションである(図1a)。車椅子は本来、高齢者や体の不自由な方の移動手段として欠かせない乗り物で基本的に介助者の同行が必要となる。その一方で、介助者の同行があることでコミュニケーションが生まれる場でもあった。そこでこのコミュニケーションを再現するために、遠隔の



図 2: プロトタイプ

介助者が車椅子を操作を行い、車椅子利用者は移動を介助者に委ねながら互いに会話できるようにする。車椅子での位置関係は、一般的なコミュニケーションの場においてあまり見られない位置関係であり、この位置関係ならではのコミュニケーションを発生できると考える。

3.1.2 シナリオ 2：同席

2つ目のシナリオは、遠隔者が同席者として行うコミュニケーションである(図 1b)。車の中は会話が弾む適度な距離感と言われている [13]。そこで、車椅子利用者を運転席、遠隔の同席者を助手席の位置関係を再現することでコミュニケーションが生まれる場を作る。このシナリオでは、車椅子利用者が車椅子に付属しているジョイスティックを用いて移動する。

3.2 実装

3.1 節で述べたシナリオを実現するために、VR・MR 間での空間共有システムと車椅子の遠隔操作システムを持つプロトタイプを作成した。図 2 に作成したプロトタイプ、図 3 にプロトタイプのシステム構成図を示す。

本システムでは以下のデバイスを使用した。

- VR デバイス：Meta Quest2 *1
- MR デバイス：Microsoft Hololens2 *2
- 車椅子：WHILL 電動車椅子 *3
- 360 度カメラ：RICOH THETA V *4

使用した WHILL の電動車椅子は自動運転開発用のため、ROS(Robot Operation System) での操作が可能であ

*1 <https://store.facebook.com/jp/quest/products/quest-2/>

*2 <https://www.microsoft.com/ja-jp/hololens/hardware>

*3 <https://whill.inc/jp/maas>

*4 <https://theta360.com/ja/about/theta/v.html>

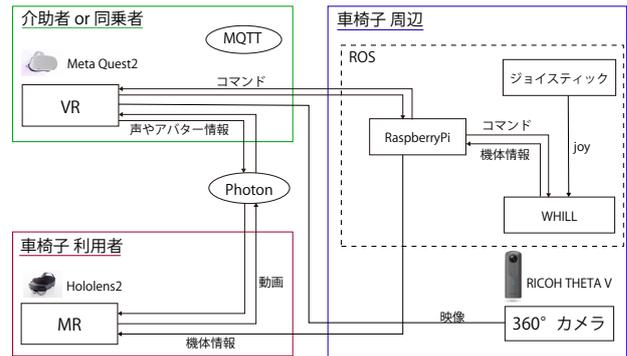


図 3: システム構成図

る。また付属のステレオカメラと 2DLiDAR により障害物検出を行い、進行方向に障害物がある場合は自動停止する仕様である。

3.2.1 空間共有システム

XR デバイスのアプリケーションは Unity を用いて開発する。車椅子利用者は MR デバイスを、遠隔者は VR デバイスをそれぞれ用いる。マルチプレイヤーゲームのバックエンドを構築可能な photon サーバ*5を用いて、それぞれのデバイスの位置を共有する。また、ジェスチャーによるコミュニケーションも可能にするため手の位置の共有も行う。図 4b, 4d に各シナリオにおける MR デバイスを通して見える車椅子利用者の視点を示す。黒い球体型のオブジェクトが遠隔者の頭を、2つの白い立方体型のオブジェクトが手を表している。図 4a, 4c に各シナリオにおける VR デバイスを通して見える遠隔者の視点を示す。遠隔者はこの映像を見ながら車椅子の操作及び会話を行う。お互いの声はそれぞれの XR デバイスのマイクとスピーカを用いて共有する。

3.2.2 遠隔支援システム

車椅子の遠隔操作には Meta Quest2 のコントローラを使用する。介助者はコントローラを空間的に押す動作をする、またはコントローラに付属しているスティックを任意の方向に倒す。これによって空間を押した量またはスティックの傾きから移動変化量を算出する。空間的に押す場合の移動変化量を算出する方法として、車椅子を押す直前にコントローラの任意のボタンを押し、押し始めの位置を記録する。記録した位置からの差分を移動変化量とする。

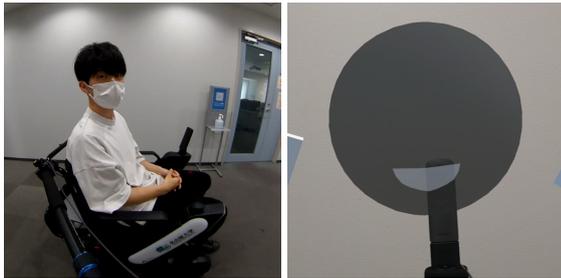
次に MQTT(Message Queuing Telemetry Transport) と呼ばれるメッセージングプロトコルを用いて、算出した移動変化量を車椅子に設置した RaspberryPi に送信する。RaspberryPi では受け取った移動変化量を ROS トピックの Joy メッセージに変換し、車椅子はその ROS トピックを元に移動を行う。また移動指令だけでなく、緊急停止や目的地的などの情報も MQTT 経由で車椅子に送信可能である。

一方、車椅子からの現在位置やバッテリー残量、人が着

*5 <https://www.photonengine.com/ja/server>



(a) VR 視点：介助モード (b) MR 視点：介助モード



(c) VR 視点：同席モード (d) MR 視点：同席モード

図 4: 各ユーザ視点 (VR：遠隔者, MR：車椅子利用者)

座しているかどうかなどの機体情報も同様に MQTT 経由で取得し、介助者だけでなく、車椅子利用者が使用している MR デバイスにも表示を行う。

4. 車椅子における XR コミュニケーションの応用

本稿では、車椅子を必要とする高齢者や体の不自由な方と介助者との車椅子用いたリアルタイムなコミュニケーションを対象とした。そこで本章では、以下のような応用とその具体例を述べる。

- (1) 非同期コミュニケーション
- (2) パーソナルモビリティ

4.1 非同期コミュニケーション

非同期コミュニケーションは、過去や未来とのコミュニケーションを行うことである。ポトルメールのように、あらかじめ録画されたメッセージを聞けるサービスを想定した場合、過去との時間の共有を行える。例えば、あらかじめ車椅子で自分宛のメッセージを録画しておき、何年後かに車椅子が必要になった時、過去の自分のメッセージを聞きながら介護を受けるような、タイムカプセルとしての使用が挙げられる。

4.2 パーソナルモビリティ

車椅子は本来、体の不自由な方の移動手段として使われていたが、健常者の移動手段としてのパーソナルモビリティとしても使える。例えば、学校や工場の見学、水族館や動物園などで車椅子に乗り、遠隔のガイドスタッフとコ

ミュニケーションを取りながら移動するなどが考えられる。さらにはジオキャッシングのような特定の場所に行くときメッセージが表示されるなどの応用例も挙げられる。また昨今のコロナウイルスにより病院では簡単に面会ができない状況であるが、そのような状況下でもこの仕組み・システムを利用すれば、仮想的に顔を合わせながら、病院の外などに散歩でき、車椅子が通れる範囲ならどこでもコミュニケーションの場を提供できる。

5. 実用化に向けた解決すべき課題

本研究で作成したプロトタイプデバイスを実用化するためにあたって解決すべき課題は大きく以下のようなものが考えられる。

- 車椅子操作の安全性
- 車椅子操作者への感覚フィードバック
- アバターの解像度

実用化する上で安全性を担保することは非常に重要である。本稿で作成したプロトタイプでは、ネットワーク映像配信に 2 秒ほどの遅延が存在する。介助者は VR インターフェースを通して 360 度カメラの映像を確認するが、2 秒の遅延があると操作上危険であり快適な操作とは言えない。本研究ではこの遅延による操作ミスが引き起こす衝突の回避策として、WHILL の自動停止機能を利用している。しかし今後社会実装を見据える場合、遅延が少ないリアルタイム配信を行う必要がある。また、操作手法によってもコミュニケーションに影響を与える可能性がある。本稿では、車椅子を手動操作と遠隔操作の 2 つのシナリオで動作させたが、他にも自動運転で車椅子を走らせるシナリオも考えられる。車椅子を自動で操作させた場合、介助者と利用者はコミュニケーションのみに集中できる。それによって、介助者・利用者ともに車椅子操作が不要となり、安全性の向上が見込める。しかし人の手動操作によって生まれるコミュニケーションも考えられるため、安全性を担保しながらシチュエーションによって手動・自動運転を切り替え、コミュニケーションを促す必要がある。

次に介助者が押す時のフィードバックについて考える。介助者はコントローラのジョイスティックまたは車椅子を押す動作で操作しているが、実際に車椅子を押しているフィードバックは、VR インターフェースに映し出される映像のみである。そのため押している感覚があまりなく、コミュニケーションに対して影響を与えない可能性がある。車椅子を操作している時は別の手法で操作感を与える必要がある。その対策として車椅子操作時にコントローラを振動させ、擬似的に重さをつけるようなフィードバックが考えられる。

また空間共有で使用するアバターの解像度についてが課題となる。本稿のプロトタイプでは、簡易な実装のため頭を模したオブジェクトと手を模したオブジェクトで作られ

たアバターを利用した。これだけでもジェスチャーや会話を使いコミュニケーションができるが十分とはいえない。より現実的なコミュニケーションを再現するためには表情や視線などよりリアルなアバターが必要となる。

6. まとめ

新型コロナウイルスやモビリティ変革などによる時代の変化に際してコミュニケーションの機会や手法が変化してきた。本研究では、車椅子でのコミュニケーションに着目し、360度カメラとHMDを用いた車椅子でのXRコミュニケーションシステムのプロトタイプを作成した。MRデバイスを装着した車椅子利用者がVRデバイスを装着している同席者と会話ができ、介助者がVRデバイスを通して車椅子の操作が可能なシステムを開発した。

今後の課題としては、第5章で示したように360度カメラ映像配信の低遅延化やアバターの解像度の向上により、より現実に近いコミュニケーションを再現し、3.1節で示したシナリオでの使用可能性やコミュニケーションへの影響の調査などが挙げられる。

また加えて、第4章で述べたように、操作手法やシチュエーションによって、人々のコミュニケーションに影響を与える可能性がある。そのため作成したプロトタイプを様々な条件下で使用してもらい、潜在的に含むコミュニケーションへの影響の変化を調査する必要があると考える。

謝辞

本研究の一部は、JST CREST(JPMJCR21F2), NICT 委託研究 (222C0101,01701), 科学研究費補助金 (22H03696) に支援されています。

参考文献

- [1] Theophilus Teo, Louise Lawrence, Gun A Lee, Mark Billingham, and Matt Adcock. Mixed reality remote collaboration combining 360 video and 3d reconstruction. In *Proceedings of the 2019 CHI conference on human factors in computing systems*, pp. 1–14, 2019.
- [2] Huidong Bai, Prasanth Sasikumar, Jing Yang, and Mark Billingham. A user study on mixed reality remote collaboration with eye gaze and hand gesture sharing. In *Proceedings of the 2020 CHI conference on human factors in computing systems*, pp. 1–13, 2020.
- [3] Thammathip Piumsomboon, Gun A Lee, Jonathon D Hart, Barrett Ens, Robert W Lindeman, Bruce H Thomas, and Mark Billingham. Mini-me: An adaptive avatar for mixed reality remote collaboration. In *Proceedings of the 2018 CHI conference on human factors in computing systems*, pp. 1–13, 2018.
- [4] Geonsun Lee, HyeongYeop Kang, JongMin Lee, and JungHyun Han. A user study on view-sharing techniques for one-to-many mixed reality collaborations. In *2020 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, pp. 343–352. IEEE, 2020.
- [5] Jan Gugenheimer, Evgeny Stemasov, Julian Frommel, and Enrico Rukzio. Sharevr: Enabling co-located ex-

- periences for virtual reality between hmd and non-hmd users. association for computing machinery, new york, ny, usa, 4021–4033, 2017.
- [6] Sang-Min Park and Young-Gab Kim. A metaverse: taxonomy, components, applications, and open challenges. *IEEE Access*, 2022.
- [7] Juan Jesús Roldán, Elena Peña-Tapia, David Garzón-Ramos, Jorge de León, Mario Garzón, Jaime del Cerro, and Antonio Barrientos. Multi-robot systems, virtual reality and ros: developing a new generation of operator interfaces. In *Robot operating system (ROS)*, pp. 29–64. Springer, 2019.
- [8] Sandra G Hart and Lowell E Staveland. Development of nasa-tlx (task load index): Results of empirical and theoretical research. In *Advances in psychology*, Vol. 52, pp. 139–183. Elsevier, 1988.
- [9] Mikhail Ostanin, Rauf Yagfarov, and Alexandr Klimchik. Interactive robots control using mixed reality. *IFAC-PapersOnLine*, Vol. 52, No. 13, pp. 695–700, 2019.
- [10] Satoshi Hashizume, Ipeei Suzuki, Kazuki Takazawa, Ryuichiro Sasaki, and Yoichi Ochiai. Telewheelchair: The remote controllable electric wheelchair system combined human and machine intelligence. In *Proceedings of the 9th Augmented Human International Conference*, pp. 1–9, 2018.
- [11] B. Steinzor. The spatial factor in face to face discussion groups. *The Journal of Abnormal and Social Psychology*, Vol. 45, pp. 552–555, 1950.
- [12] 山口創, 鈴木晶夫. 座席配置が気分及びぼす効果に関する実験的研究. *実験社会心理学研究*, Vol. 36, No. 2, pp. 219–229, 1996.
- [13] honda. Honda ホームページ 本田技研工業株式会社. <https://www.honda.co.jp/> (accessed 20 May 2022).