



遠隔地からの車椅子移動操作を伴うコミュニケーションシステム

栗原 渉¹⁾, 韓 旭¹⁾, 阪口 紗季¹⁾, 馬場 哲晃¹⁾, 難波 治¹⁾, 申山 久美子¹⁾

Wataru KURIHARA, Xu HAN, Saki SAKAGUCHI,

Tetsuaki BABA, Osamu NAMBA and Kumiko KUSHIYAMA

1) 東京都立大学大学院 システムデザイン研究科 (〒 191-0065 東京都日野市旭が丘 6-6)

概要: これまで、車椅子ユーザに向けたナビゲーションシステムや自動運転による移動支援システムが開発されてきた。しかし、車椅子ユーザが遠隔地のユーザと一緒に会話をしながら移動する体験に着目したものは多くない。そこで、本研究では遠隔操作が可能な電動車椅子と、ブラウザ上で動作する車椅子の遠隔操作と会話が可能アプリケーションを使用して車椅子ユーザと遠隔地のユーザが共に外出を楽しむことができるシステムのプロトタイプを制作した。

キーワード: 電動車椅子, 遠隔操縦, コミュニケーション

1. はじめに

アクセシビリティ研究において高齢者や四肢障がい者などの車椅子ユーザに向けたスマートフォンを用いた最適な経路情報のナビゲーションシステム [1] や電動車椅子による自動運転による移動支援システム [2] が開発されてきた。

また、テレプレゼンスロボットを用いて、あるユーザと遠隔地のユーザが旅行や買い物など、一緒に行動することを可能にするシステムが提案されている。

テレプレゼンスロボットのように、車椅子に取り付けたカメラの映像の共有や通話、車椅子の遠隔操作によって、離れたユーザ同士と一緒に自由な移動をすることが可能になると考えられる。

そこで、本研究では遠隔操作が可能な電動車椅子とブラウザ上で動作するアプリケーションを使用した車椅子ユーザとの買い物や旅行を遠隔地のユーザと楽しむことができるシステムのプロトタイプを制作した。

2. 関連研究

Shiomi ら [3] によって高齢者の移動を支援する自動走行車椅子ロボットが開発されている。会話と速度の調整機能の実装により従来の自動走行車椅子や人間の介助者よりも高い評価を得たことが報告されている。しかし、この研究では高齢者の介助を目的としており、遠隔地間のユーザと一緒に旅行や買い物などを楽しむことを目指す本研究とは目的が異なる。

また、HMD を用いて現地のユーザと遠隔地のユーザと一緒に観光することを支援するシステムも存在する [4]。しかし、このシステムでは車椅子ユーザは対象となっていない。

林田ら [5] は HMD を用いて電動車椅子ユーザと遠隔地のユーザのコミュニケーションを可能にするシステムを開発した。我々の提案するシステムと類似しているが、HMD を用いていることでリッチな表現が可能一方、車椅子ユー

ザと遠隔地のユーザの双方に HMD が要求される。そのため、利用できる環境に限りがあり、導入障壁も存在する。

3. 提案システム

本研究では遠隔地からの車椅子操作を利用し、高齢者や肢体不自由者との買い物や旅行を遠隔地の介護者が支援・楽しむシステムの構築を目指している。本章では現在開発中のシステムについて述べる。

3.1 システム概要

本システムにおいて、ユーザは電動車椅子に乗る現地側と遠隔地から電動車椅子を操作する遠隔地側に分かれる。両者はノート PC を用いて Web アプリケーションにより音声通話が可能である。遠隔地側のユーザはブラウザ上での会話と現地側から送信されるカメラの映像を見ながら現地側の電動車椅子の遠隔操作を行う。現地側のユーザは電動車椅子に乗り、会話をするだけで移動が可能である。

3.2 システム実装

3.2.1 システム構成

本システムは電動車椅子と Arduino UNO、サーバ用 PC、遠隔操作用 PC で構成される。システム図を図 1 に示す。

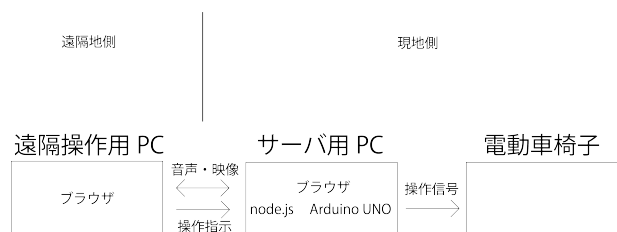


図 1: 本システムのシステム図

電動車椅子には Whill Model CR (WHILL 社) を、サーバ用 PC および遠隔操作用 PC には Macbook Pro を用いた。サーバ用 PC については音声や映像の共有はスマート

フォンなどを用い、サーバ機能を切り離すことも可能であるが、試作段階のためノート PC を用いた。

3.2.2 Web アプリケーション

サーバ用 PC には Node.js で実装した Web サーバを構築し、遠隔操作 PC との映像と音声のリアルタイム通信には WebRTC を使用した。サーバ用 PC は電動車椅子のユーザの膝の上に置き、内蔵カメラとマイクで遠隔操作 PC に映像と音声を共有する。電動車椅子とサーバ用 PC の外観を図 2 に示す。



図 2: 電動車椅子とサーバ用 PC の外観

また、Whill Model CR はシリアル通信 (RS232C) によって外部機器からの操作が可能であり、遠隔操作 PC から操作コマンドを受信した際、サーバ用 PC は Arduino UNO を経由して電動車椅子に操作信号を送信する。加えて、ネットワーク不良によるパケットロスなどを想定し、車椅子ユーザの安全のため Arduino UNO には電動車椅子の走行中に 500 ミリ秒操作信号を受け取れなかった場合は電動車椅子の電源を自動でオフにする機能も実装した。

遠隔操作 PC はブラウザでサーバにアクセスし、電動車椅子側のカメラで撮影された映像と音声を見聞きしながらキーボードの矢印キーを押すことで電動車椅子を前後左右に遠隔操作が可能である。遠隔地の電動車椅子を操作している場面の Web アプリケーションのスクリーンショットを図 3 に、現地側の様子を図 4 に示す。

操作については電動車椅子と同様のジョイスティックを用いることも考えられるが、本稿における試作では操作の簡素化のためキーボード操作を採用した。

4. ユーザスタディ

本研究では室内などから遠隔地の電動車椅子の操作および会話が可能なシステムを実装した。本システムを使用することで、車椅子ユーザの外出を室内の介助者が会話をしながら補助することが可能になると考えられる。一方、どちらのユーザにとっても遠隔操作による当事者間の会話や適切な操作インタフェースに関するユーザビリティについては十分に明らかになっていない。

そこで、本研究では本システムを用いてユーザスタディを行った。ユーザスタディは以下の 3 条件にて実施した。

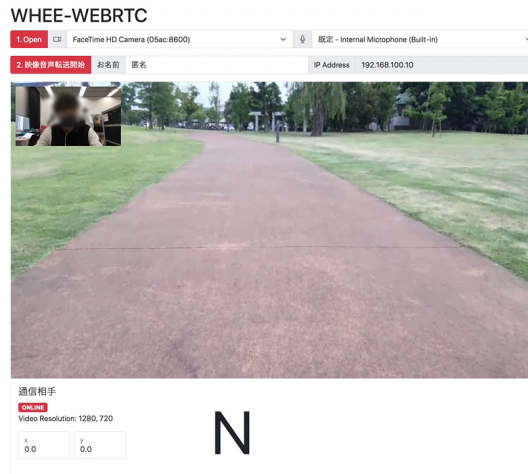


図 3: Web アプリケーションのスクリーンショット

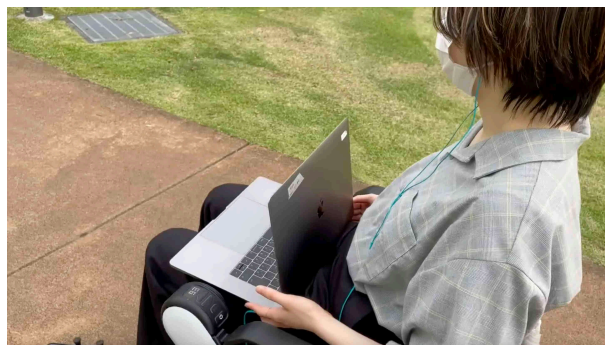


図 4: 現地側の様子

1. システムを用いずに指定された同一のコースを 2 人で散歩
2. 会話のみ行い電動車椅子搭乗者が操作
3. 室内の遠隔ユーザが電動車椅子を操作

上記すべての条件において、映像を撮影し、発話ログ、発話量、発話ログのネガポジ推移、GPS ログを取得した。

それぞれのデータは以下のように取得した。

発話ログ 実験の様子を記録した映像から文字起こし

GPS ログ 条件 1 においてはどちらかの被験者、条件 2 および 3 においては電動車椅子搭乗者にスマートフォンを持ってもらい、アプリケーションを用いて記録

なお、発話ログは実験実施者が聞き取って文字起こしをしたため、聞き取りが出来なかった箇所については「hogehoge」とした。また、被験者の各発話は 1 文とは限らず、同じ被験者による複数文で構成される発話でも間を大きく取っていない発話と判断されるものについては 1 回の発話とした。さらに、発話ログから発話量、発話ログのネガポジ推移を取得した。

発話量は発話ログの文字数を python で実装したプログラムによって文字数を計測したものである。句読点やフィ

ラーも全て発話として計測した。また、聞き取りが出来なかった箇所を表す「hoge hoge」もそのまま 8 字とした。

ネガポジ推移は発話ログの内容をネガポジ解析し、ネガポジスコアを実験経過時間にプロットしたものである。プログラムは Python で実装した。形態素解析には Janome を用いた。極性辞書には日本語評価極性辞書 [6][7] を用いた。ネガポジ分析した品詞は名詞および用言である。各発話におけるネガポジスコアは以下のように算出した。

各発話を形態素解析し、ネガポジ解析

各発話におけるポジティブな名詞 1 つにつき +1

各発話におけるネガティブな名詞 1 つにつき -1

中立または判定不能な名詞については何もしない

上記の合計値を当該発話のネガポジスコアとする

各発話ごとのネガポジスコアを発話があった時間にプロットした。

取得したデータを用い、以下の項目の評価指標とした。

発話ログ 操作インターフェースに関するユーザビリティ

発話量 スムーズな会話が可能か

発話ログのネガポジ推移 各条件ごとの実験開始から終了までの感情の変化

GPS ログ 操作者が適切に車椅子を操作可能か

操作インターフェースのユーザビリティについての問題点を見つけるため、発話ログから発話プロトコル分析を行う。

また、本システムを用いる上で、運転に集中することや相手の顔が見えないことから同時に歩いている場合と比較して会話量が減る可能性が考えられる。そこで、本システムによる会話量への影響を調査するため、発話量を計測し、1 分あたりの発話量を算出する。

本システムを用いて電動車椅子を運転する事で会話のしやすさや操作へのストレスなど、通常の散歩をしながらの会話と比較してユーザの体験の質が落ちる可能性がある。そのため、本システムを用いた場合に通常の散歩と比較してユーザの感情がどのような変化をするか、発話ログのネガポジ推移を体験マップとして可視化する。

ユーザが電動車椅子を遠隔操作する際に、操作インターフェースや通信のラグにより適切な操作が困難になる可能性がある。そこで、GPS ログを地図にマッピングする事でユーザが適切にルートを走行可能であるか可視化する。

これらの評価指標を用い、各条件下における体験の変化について比較した。

4.1 概要

電動車椅子の遠隔操作がユーザ同士の会話に与える影響を調査するため、提案システムを用いて、2022 年 6 月 16 日から 23 日までの期間で東京都立大学日野キャンパスの中庭にて、ユーザスタディを行った。参加者は 21~24 歳の大学生および大学院生 6 名（男性 5 名、女性 1 名）で、それぞれ 2 名ずつ 3 グループに分けて実験をした。

4.2 手順

実験は大学内で 1 グループずつ実施した。各条件において、条件 1、条件 2、条件 3 または条件 1、条件 3、条件 2 の順番で実施し、条件 2,3 においては、ユーザの場所を入れ替えた 2 種の試行をおこない、合計 5 種の実験となる。

4.2.1 条件 1

条件 1 では、中庭で 2 名に調査の概要を説明し、3 分間自己紹介をしてもらう。被験者それぞれに実験手順を説明し、その後、事前に実施者によって決められたコースを会話をしながら 2 人で散歩してもらう。

実験終了後、1 名は電動車椅子の遠隔操作のため操作室に移動し、1 名は電動車椅子に搭乗するためにそのまま中庭に残る。移動完了後に条件 2 または 3 に移る。条件 2,3 の順序は各順序の試行数が同数に近づくよう実験実施者によりランダムに決定された。

4.2.2 条件 2

操作室の被験者と中庭の被験者それぞれに実験手順を説明し、中庭の電動車椅子の手動操作による散歩を行う。操作室の被験者は電動車椅子を操作せず、映像を見ながら会話のみ行う。

4.2.3 条件 3

操作室の被験者と中庭の被験者それぞれに実験手順を説明し、遠隔操作システムを用いて操作室の被験者が電動車椅子を遠隔操作することで中庭の被験者と散歩コースの散歩を行った。この時、中庭の被験者は電動車椅子を操作せず、会話のみ行う。また、遠隔操作の前には 5 分程度の操作練習時間を設けた。

4.2.4 終了後の手続き

条件 2,3 において、操作室と中庭を入れ替えた合計 4 パターンの手順が終了後、参加者属性アンケート、遠隔操作条件、現地操作条件についてのそれぞれ 5 段階評価のアンケートの合計 3 つに答えてもらった。なお、各条件についての 5 段階評価では条件 1 と比較するため、条件 1 でのスコアを 3 とし、それと比較して回答してもらった。

5. 結果

ユーザスタディの結果について、以下に述べる。ある参加者における指定された同一のコースを 2 人で散歩した場合（条件 1）の発話量とネガポジ推移、移動量のグラフを図 5 に、会話のみ行い電動車椅子搭乗者が操作した場合（条件 2）の発話量とネガポジ推移のグラフを図 6 に、室内の遠隔ユーザが電動車椅子を操作した場合（条件 3）の発話量とネガポジ推移のグラフを図 7 に示す。

5.1 発話ログ

実装したシステムのユーザビリティについて評価するため、発話ログの内容を分析した。発話内容は操作 UI について、カメラ映像について、速度について、操作の案内について、通信についての 5 つに分類される。

操作 UI については、レバーが良い、同時押しができない、スティックが楽、前進を押し続けるのが疲れるといった

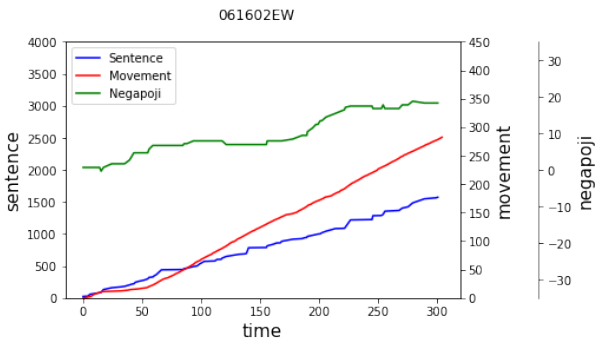


図 5: 散歩のネガポジ推移

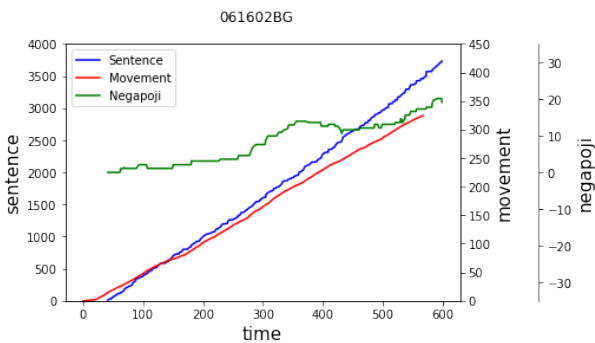


図 6: 現地操作のネガポジ推移

発話がみられた。

カメラ映像については、車幅について、前方の視界についての 2 種類の発話がみられた。車幅については、車幅がわからない、膝が目印であったといった発話や遠隔操作者が脱輪していないかを確認の様子があつた。前方の視界については、開始時や少し操作してからカメラの範囲を調整の様子や電動車椅子搭乗者が遠隔操作者にどの範囲が見えているのか確認の様子がみられた。また、障害物があることや向かいから人が歩いて来ていることを確認の様子、木の枝の付近を走行する際に電動車椅子搭乗者に当たっていないか確認する発話もあつた。さらに、電動車椅子搭乗者がカメラを動かして上方向の景色を見せる様子もみられたが、その最中は運転が怖いという発話もあつた。そ

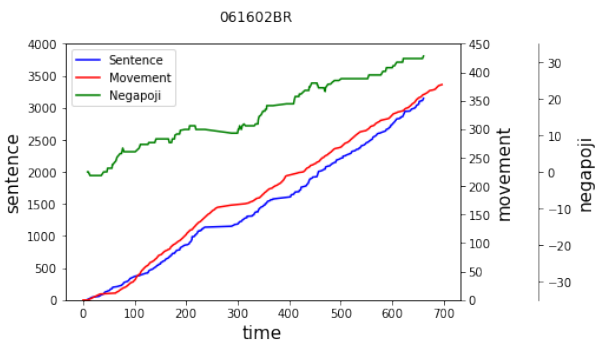


図 7: 遠隔操作のネガポジ推移

他に、電動車椅子搭乗者の顔が見えないためにゲーム感覚で操作してしまう、道に凹凸がある場合にカメラ映像が揺れてしまうといった発話があつた。

速度については、車の速さでは運転したくない、直線の時に遅いと煩わしいといった発話があつた。

操作の案内については、走行中に遠隔操作者が道順を確認の様子や電動車椅子搭乗者が曲がりやすい場所を指示の様子がみられた。また、初めて操作する際に初めて車を運転する時のようにどうしたら良いのかわからないといった発話もあつた。

通信については、ラグがある、切断された、思った場所よりも行き過ぎる、やり返しを何度もしてしまうといった発話があつた。また、操作のラグについては慣れるという発話をした被験者もいた。

5.2 発話量

本システムを用いた際にユーザがスムーズな会話が可能であるか、発話量の計測を行なった。発話量は発話ログの文字数の合計とし、プログラムを用いて計測した。なお、中庭側の被験者の発話と操作室側の被験者の発話については分けていない。また、句読点については取り除いておらず、それぞれ 1 文字として計測した。

発話量 (CPM) の計測結果を表 1 に示す。なお、システムトラブルにより実験を実施できなかった箇所については数値を入力していない。

5.2.1 発話ログのネガポジ推移

本システムを用いて遠隔地から移動支援をした際に、ユーザが楽しむことができるのか、ネガティブな気持ちにならないかを評価する。発話ログをネガポジ分析したものを実験開始からの経過時間にプロットし、ネガポジの推移を評価指標とする。

図 5, 図 6, 図 7 に示すように、ほとんどの参加者でそれぞれ右肩上がりでポジティブな状態になり、実験を終了した。一方、ある 1 名の参加者において、ネガティブな状態で終了したものがあつた。これは、終盤に会話の内容が恋人との喧嘩についてのものであり、ネガティブな単語が多く発話されたためである。このように、会話内容によって結果が変化する可能性はみられたが、本システムを利用する上でシステムに対しての不安や不満によってネガティブになることなく、通常の散歩や現地で操作した場合と同様の体験をすることが可能であるといえる。

5.3 GPS ログ

本システムを用いて被験者が電動車椅子を適切に操作可能であったか、GPS ログを用いて評価する。

実験で走行したコースに GPS ログのデータをマッピングした条件 2 の画像を図 8 に、条件 3 の画像を図 9 示す。

電動車椅子搭乗者が電動車椅子を自身で操作した場合 (図 8) と操作室から電動車椅子を遠隔操作した場合 (図 9) を比較すると、遠隔操作した場合には曲がり角や、なだらかなカーブにおいて著しく速度が遅くなった。また、移動ルートがコース上でジグザグになる傾向も示された。

表 1: 1 分間あたりの発話文字数

グループ	条件 1	条件 2-1	条件 2-2	条件 3-1	条件 3-2
1	314.6	384.4	376.8	262.1	286
2	283.8	170.8	-	163.4	-
3	245.8	164.2	143.7	90.3	-



図 8: 現地操作した時の経路

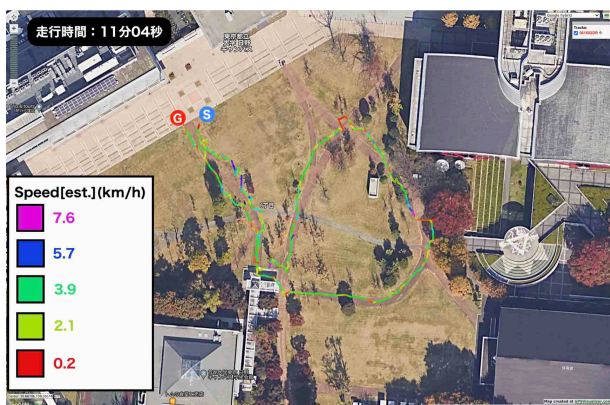


図 9: 遠隔操作した時の経路

6. まとめと展望

本研究では車椅子ユーザとの買い物や旅行を遠隔地のユーザと楽しむことができるシステムの開発を目指し、本稿では、提案システムのプロトタイプを用い、一緒に散歩する場合、電動車椅子ユーザが操縦した場合、システムを用いて遠隔操縦した場合でどのような変化が起こるのかユーザスタディを行った。その結果、いずれの場合も発話量やネガポジ推移に大きな違いは見られなかった。このことから、システムを使用することによって会話が減る、会話や移動を楽しめないという問題が発生しないことがわかった。一方、GPS ログからはシステムを用いた場合に移動経路がギザギザになる結果が示されたことから、システムを使用した操縦が難しい、通信のラグが発生しているといった課題も示された。そのため、今後は操縦用インタフェースの改善や 5G 回線を用いたユーザスタディを行う予定である。

参考文献

- [1] 清水建設. 屋内外歩行者ナビゲーション・システム. <https://www.shimz.co.jp/solution/tech107/index.html>. 2023 年 7 月 21 日閲覧.
- [2] WHILL 株式会社. Whill モビリティサービス. <https://whill.inc/jp/mobility-service>. 2023 年 7 月 21 日閲覧.
- [3] Masahiro Shiomi, Takamasa Iio, Koji Kamei, Chandraprakash Sharma, and Norihiro Hagita. Effectiveness of social behaviors for autonomous wheelchair robot to support elderly people in japan. *PLOS ONE*, Vol. 10, No. 5, MAY 20 2015.
- [4] Minghao Cai and Jiro Tanaka. Trip together: A remote pair sightseeing system supporting gestural communication. In *Proceedings of the 5th International Conference on Human Agent Interaction, HAI '17*, p. 317–324, New York, NY, USA, 2017. Association for Computing Machinery.
- [5] 林田望海, 下里浩昇, 浦野健太, 米澤拓郎, 河口信夫. 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. マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム 2022 論文集, 第 2022 巻, pp. 1702–1706, jul 2022.
- [6] 小林のぞみ, 乾健太郎, 松本裕治, 立石健二, 福島俊一. 意見抽出のための評価表現の収集. *自然言語処理*, Vol. 12, No. 3, pp. 203–222, 2005.
- [7] 東山昌彦, 乾健太郎, 松本裕治. 述語の選択選好性に着目した名詞評価極性の獲得. *言語処理学会第 14 回年次大会論文集*, Mar. 2008, pp. 584–587, 2008.