

特別研究報告書

警備員ロボットの抑止力向上のための オペレータ支援システムに関する研究

指導教員：神田 崇行

京都大学工学部情報学科

天野 岳洋

2024年1月31日

警備員ロボットの抑止力向上のためのオペレータ支援システムに関する研究

天野 岳洋

内容梗概

アバターロボットが普及しアバターを介して遠隔地から勤務することが新たな働き方として認められつつある。通勤が必要ないため場所を問わず働くことが大きなメリットであり、今後ますます普及することが予想される。具体例では、スタッフ全員がアバターロボットのカフェ「分身ロボットカフェDAWN」[1]であったり、ugo 株式会社による警備アバターロボット ugo の、ミツカングループや東北電力株式会社といった企業での導入例がある。しかし、警備員のような人に指示する必要があるような仕事をアバターを介して行う際には大きな問題もある。それは、アバターロボットに注意された際、人は実際の人間に注意されてるとは感じることなくたかがロボットと侮ることが多いために、直接注意する場合と比べて抑止力が低下するというものである。そこで本研究では認知的不協和理論に基づき、注意されたときに自分のもつ信条に関する認知と自分の行動に関する認知とが矛盾することによって生じる不快感とその解消方法に注目し、より効果的な注意文言を作成とそれらのオペレータへの提示によって、オペレータの対応の質を高め、抑止力を向上させることを目的としたオペレータ支援システムの開発を行った。

具体的には、ロボットの移動操作の簡単化によってオペレータがより対話に集中できるようにすることに加えて、オペレータが相手が取ったであろう不快感の解消方法を判断し、それに基づいて提示された注意文言の中で効果的なものを選択し注意することによって、アバターロボットの抑止力を強めることを可能にした。この支援システムを用いることで、操作に不慣れなオペレータであっても、より効果的にロボットを操作することができるようになるため、警備員の仕事を全うすることが容易になると考えられる。

警備員ロボットの抑止力向上のためのオペレータ支援システムに関する研究

目次

1 はじめに	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究手法	3
2 関連研究	4
2.1 認知的不協和の HRI への適用研究	4
2.2 説得のために否定的な行動をとるロボット	5
2.3 テレオペレーション支援に関する研究	6
3 提案手法	6
3.1 移動操作の簡単化	7
3.2 認知的不協和とは	11
3.3 有効な注意文言の検討	13
4 実験	16
4.1 実験目的	16
4.2 実験方法	16
4.3 実験参加者	18
4.4 実験結果	18
4.5 実験結果の考察	19
5 今後の課題	20
6 まとめ	21
謝辞	21
参考文献	21

1 はじめに

1.1 研究背景

アバターロボットとは人間が遠隔地から操作することで、人が実際にその場所に行くことなく現地での作業を可能にするロボットであり、そのロボットを介して遠隔地から作業を行うことをテレオペレーションと呼ぶ。この性質からアバターロボットはリモートワークを可能にする。リモートワークについて働く場所を問わないことから通勤の必要がないことや、時差を利用した業務が可能になることなどの長所があげられる。加えて他の人間と直接接する機会が少ないとことなどから、パンデミック時において感染を心配する必要がなく従来の働き方よりも有利となる。実際にアメリカでは2020年の新型コロナウイルスの流行によって、それまでは従業員のうちリモートワークをしている割合は約13%だったが、2020年の4月にはおよそ56%から74%に増加した[2]。またリモートワークは従業員だけでなく企業にとっても利点があることがわかっている。例えば[3]では、企業が地理的制約なしに優秀な人材を獲得できることや、オフィスの維持費や交通費を削減できることがあげられている。アバターロボットを用いることによって、それまでは難しかった物理的な作業を伴うサービス業や飲食業などの分野においてもリモートワークが可能になる。他にも、身体障碍を持つ人がアバターロボットを用いることによって、カスタマーサービスといった業務を行うことができるようになる。さらにその際に、身体障礙を持つ人の社会参加感や精神的充足感をもたらすことがわかっている[1]。アバターロボットは自律ロボットでは難しかった人との柔軟なコミュニケーションが可能である。現時点では自律ロボットは人の表情や声のトーン、仕草などを読み取り相手の感情を推測することが困難であることや、音声認識の問題などから人とのコミュニケーションにおいて限界があるが、一方でアバターロボットでは人が操作するため、人とのコミュニケーションにおいて自律ロボットよりも柔軟な対応が可能である。これらのことから、アバターロボットを介したリモートワーク業務は教育、介護、サービス業等の分野で広く普及することが予想される。

今後アバターロボットが担うであろう様々な業務において人々を注意し、特定の行動を抑止するという行為は重要である。例えば、教育の場面において先生は生徒が集中力に欠く行動をとっていたとき、注意することによって生徒の

集中を取り戻すことができる。またサービス業の場面においては、他の客に迷惑をかける行動を取る客がいたときに店員が注意することで、その行動をやめさせ他の客の満足度の低下を防ぐことができる。しかし、人を注意するという行為には逆上した注意相手とのトラブルに陥るかもしれないといったリスクも伴う。ロボットを用いた場合、注意相手との直接のコミュニケーションが存在せずそのようなリスクが小さいことから、ロボットは注意を行う際の便利なツールとなる。以上のことから、アバターロボットを介した業務の中で注意という行為は重要な役割を果たすことになる。

しかし、ロボットによる注意にも人間による注意とは異なった問題点もある。それは、移動操作の困難性と抑止力の欠如である。ここで抑止力とは歩きスマホのような社会的規範に背くような行動をしている相手に対して、注意によってどれくらいの人がその行動をやめるかを意味するものとする。移動操作に関して、ロボットの最大移動速度は安全のために通常の人の歩行速度より低めに設定されていることや、ロボットからのカメラ映像では空間認識が困難であることから、移動操作が難しくそもそもその人の視界に入ることが難しい場合がある。実際に予備実験で DUALSHOCK4 及びキーボードを用いてロボットを操作し、歩きスマホをしている客への注意を行ったところ、次のような移動に関する問題があることが分かった。まず、注意を効果的に行うためには相手の視界に入り続けさらにロボットが相手の方向を向いている必要がある。そうでないと注意された人は自分が注意されているとは気づかず無視される結果となつた。人の視界内に立つためには人の将来いるであろう位置にロボットを移動させる必要がある。そのためロボットはその対象の現在位置ではなく予測位置をむくことになり、結果その人をロボットのカメラの視野から外す必要があった。しかし、それでは今その人がどこにいるかわからないまま、おそらく来るであろう位置に移動を続けなければならない。また人と対話できる距離まで追いつけたとしても、その人と対面するためにロボットの向きを変える必要があった。これらの操作は DUALSHOCK4、キーボードのいずれでも困難であり操作に集中する必要があったために十分に相手との対話や相手のしぐさに集中できなかつた。またほかにも歩きスマホをしている客を探す必要がありどこに人がいるのかを探すために、常にロボットを回転させる必要があった。その結果、予備実験の中で歩きスマホをしている客がロボットの近くを通った回数は 7 回あったが、そのうち相手の視界に入って注意を行えたのは 2 回であった。抑止力に関

して例えば[4]では、歩きスマホをしている人に対してロボットが二回にわたって「歩きスマホ危険ですからおやめください」と注意を行った時に、160人中76人が一回目の注意を無視し、さらにそのうち72人が二回目の注意も無視したという結果が得られている。またこれに関して同論文では、注意を無視した人のインタビューの結果から、ロボットが人間らしくないことで注意された際に実際に人間に注意されているとは感じず、たかがロボットに注意されているという認識を持つことが多いためであると考察されている。

アバターロボットを介した業務の普及が予測される中で、注意時における移動操作の困難性と抑止力の欠如は重大な問題である。そこで本研究ではこれら二つの課題に取り組む。

1.2 研究手法

本研究では、アバターロボットが抱える問題である移動操作の困難性と抑止力の欠如を解決するために、移動操作支援を行うシステムの開発と有効な注意文言の検討を行った。有効な注意文言を考えるためにあたって、人が規範に反する行動を注意された時その行動をやめる理由として、以下のように仮定した。まず注意されることによって自らの信条と自らの行動に関する認知とが矛盾することに気づかされる。そして認知的不協和理論[5]に基づきその認知の矛盾によって不快感がうまれ、その不快感の解消のために注意された行動をやめると仮定する。しかしこの不快感の解消は行動をやめること以外によっても可能である。そこで行動の変容をもたらすために、それらの解消方法に対抗するいくつかの注意文言を考えた。その後開発した移動支援システムを用いて実際のフィールドにて実験を行い、どのような場合にいずれの注意文言が効果的であるかを明らかにすることを目標とした。これが明らかになれば、有効な注意文言としてあり得るもの提示や、どのような状況下ならばどの注意文言が有効かについての知識の提示を行うシステムの開発が可能となり、業務パフォーマンスの向上につながると考えられる。

本研究では以降、アバターロボットが注意するシチュエーションとして警備員アバターロボットを想定している。また簡単のために注意すべき行動を[4,6]と同じように歩きスマホのみとした。これは、歩きスマホがもっともよく観測される迷惑行為であり、実際にやめたかどうかを確認することが容易であるためである。

2 関連研究

このセクションでは、HumanRobotInteraction(HRI)における認知的不協和理論を適用した研究を紹介する。その後歩きスマホを注意しやめさせるといった、人の行動に影響を与えるために否定的なフィードバックや行動をとるロボットに関する研究について紹介を行う。そして開発するシステムのようなテレオペレーション支援に関する研究について様々な例と本研究との差異について説明を行う。

2.1 認知的不協和の HRI への適用研究

HRI 分野における認知的不協和理論の適用例を示す。例えば研究 [7] では、人間が荷物配達ロボットに対して従順になる理由の説明として、認知的不協和理論を用いている。具体的には、人間がロボットにタスクを依頼された場合に、人間が「タスクを果たすことを楽しいことだ」という認知を追加する傾向があることを人間がロボットに対して従順になりやすいことの説明としている。また他にも研究 [8] では、ロボットがわざと最適ではない選択肢を人間に提供した際に、信頼されているロボットのほうがそうでないほうよりも、人間が反応を返すまでに長い時間がかかることが示されている。この理由として人間がロボットを信頼している場合ロボットが不適切な選択肢を提示した際に、不協和が生じ意思決定時に余分な負荷がかかるために、反応時間が長くなるという説明を行っている。しかし、これらのように多くの研究は、あくまで結果の説明のために認知的不協和理論を用いているものであり、ロボットがとるべき戦略を決定するために用いているものではない。

認知的不協和に基づく不快感を戦略として利用した歩きスマホの注意を行っている研究は存在している [4]。しかし上記研究では自律ロボットを前提としているため注意された時に生じる不快感の解消方法として、どのようなものが用いられているかのその場での分別は難しいものとしており、行動をやめるか、ロボットの矮小化を行うことを仮定している。これは注意を無視した人のアンケートで、歩きスマホを行っている人が注意された際に用いる「行動を変える」以外の不快感の解消方法として、ロボットの矮小化が多かったためである。ロボットの矮小化とは例えば、ロボットが機械音声を用いているために、ただのガイダンスだと捉えられたや、ロボットがただの機械であると捉えられたなど

である。そのため、一度単に「歩きスマホは危険なのでおやめください。」と注意されたが引き続き歩きスマホを行っている人に対して、「あなたは私のことをただのロボットだと思っているかもしれません、私はみなさんのために働いているのです」と一律に話しかけることによって、ロボットの矮小化を防ぐことを試みている。一方で本研究ではアバターロボットを用いており、オペレータとして人間が操作することを前提としているため、より柔軟な戦略を取ることが可能である。そこで、使用されたであろう解消方法に基づいて異なる文言を提示することで、より効果的な注意を行うことができるのではないかと考える。

2.2 説得のために否定的な行動をとるロボット

まずははじめに説得は人の行動になにかしらの影響を与えるために行われるものであり、本研究で取り組む抑止は特にその中でも、特定の行動をやめさせるための説得行為を指すものとする。ロボットがいかにして人間に対する説得力を向上させることができるかについては多くの先行研究で取り組まれている。例えばロボットが人間とのじゃんけんゲーム内でわざと負けることによって贈賄を行い、その後人間がロボットにお願いされた追加のタスクを行うかどうかについての研究 [9] では、ロボットがわざと負けた場合に（贈賄を行った場合）より好感度が高く、しかし、追加のタスクについてはより非協力的になることがわかっている。また、他にも仮想的な洗濯作業中に省エネを促す際、エネルギーをより使う設定に変えた際に、怒りの表情や批判的な言葉または不快な音といった否定的なフィードバックをとるほうが、エネルギーを節約する設定に変えたときに、褒めるや喜びの表情を見せるといった肯定的なフィードバックよりもより効果的に人間に行動の変容をもたらすことがわかっている [10]。また研究 [11] では、被験者が自律ロボットから助言を受けながら決断を下すようなシチュエーションにおいて、ロボットが怒り等の負の感情を表現すると、被験者はロボットのアドバイスに従う可能性が高くなり、説得が効果的になることが報告されている。しかし、一般的にどのようなフィードバックが最も説得力があるかという研究課題に対する明確な答えはなく、それは実験のシチュエーションや人間とロボットの関係性によって異なる。多くの研究では、事前に定められた二つのフィードバック手法を比較してどちらがより効果的かどうかについて調査しており、ロボットのフィードバックに対する人間の反応によって、

その後のロボットの行動を変化させる戦略をとるような研究は少ない。そこで本研究では、相手のとった行動に対して次の発言内容を決定するような柔軟な戦略についての研究を行う。

2.3 テレオペレーション支援に関する研究

テレオペレーション支援に関する研究は多く行われており、様々な面から種々のシステムが開発されてきた。例えば[12,13]では、テレオペレーションにおいて課題となっている視野の狭さや方向感覚の喪失といった問題を、視覚だけでなく聴覚や触覚などの他の感覚を利用する多モーダルインターフェースによって解決を試みている。また、多数の無人航空機を操作する際にパフォーマンスを向上させるようなコントローラへのハプティックフィードバック手法についての研究[14]などがある。ヘパティックフィードバックとは、コントローラの利用者に力や振動によって警告等を行うフィードバック手法のことである。他にも鉱業において採掘を行うロボットのテレオペレーションでのユーザーインターフェースについての研究[15]や、テレオペレーターが荒い言葉遣いで話したとしても意図認識を用いて、支援システムが丁寧な言葉遣いに変換するような支援システム[16]などいろいろなものが研究されている。しかし、これらの研究のように大半では操作や発言を行いやすくするための支援に関する研究であり、それらの操作内容や発言内容は操作者が決定しなければならず、オペレーターはどういった操作、どういった発言が効果的かを考える必要がある。そこで本研究では警備員業務の中で注意時に必要な知識をオペレータに提示し、オペレータは自分でどのようなものが有効か考える必要なく有効な注意喚起を行うことが可能になるような支援システムの開発を目標とする。

3 提案手法

アバターロボットを用いて警備員の仕事を行うことを効率的に簡単に行うことを行なうために、図2のようなインターフェースを用いて操作支援を行うシステムを開発と、認知的不協和理論[5]に基づいた不快感の解消に対抗する注意文言の検討を行った。この章では移動操作支援システムの詳細についての説明を行ったのちに、認知的不協和理論の説明とそれに基づいて有効な注意文言について検討を行う。また注意文言については、1.2節で述べたように歩き

スマホに対する注意に関するのみを扱っている。

3.1 移動操作の簡単化

より人間らしい対話を可能にするために発話はオペレータが行う。しかしながらアバターロボットの移動操作に気をとられてしまい、うまく対話が行えないやそもそも話しかけることができないという問題があった。そこで、移動操作を簡単にするためのシステム及びインターフェースを開発した。システム全体の構成を図1に示す。これらのシステムを用いることによって、オペレータは画面クリックのような簡単な操作でアバターロボットを人の前まで移動させ可能な限りその人についていくことができるようになる。これらの機能によってオペレータは歩きスマホをしている人に容易に話しかけることが可能になり、さらにその人の動きや反応に集中できるようになる。以下セクションでは、このシステムの構成について述べる。システムではデータのやり取りはROS¹⁾を介して行われる。ROSとは、ロボットのソフトウェア開発のためのライブラリでありROSを用いることで複数のプロセス間でのデータのやり取りを容易に行うことができる。図1における各構成要素について以下に説明する。

- 人位置計算

既存のソフトウェアであるhuman_trackerを利用しておおり、人物の位置を取得することができる。ロボットに備わったLiDARセンサーから得られた点群データと事前に作成されたマップデータを用いており、点群データの内からマップデータに存在しないものを人としており、その人の位置を取得することができる。また各人に対してidが割り振られ、このidは基本人に対して唯一である。およそ1秒に5回から10回ほどの頻度で人位置と人idが発行され、このデータを用いて次の速度計算が行われる。

- 速度計算

各人idごとに位置の時系列データから速度計算を行う。今回この速度計算は最大直近16個の位置データを用いて、前半8個の平均と後半8個の平均の差をとることで速度を計算した。これによって各人の速度及び現在位置がわかる。そのデータを次のゴール計算に用いる。また、過去のデータ数が8個に満たない場合は速度計算を行わない。またhuman_trackerの仕様

¹⁾ <https://wiki.ros.org/ja>

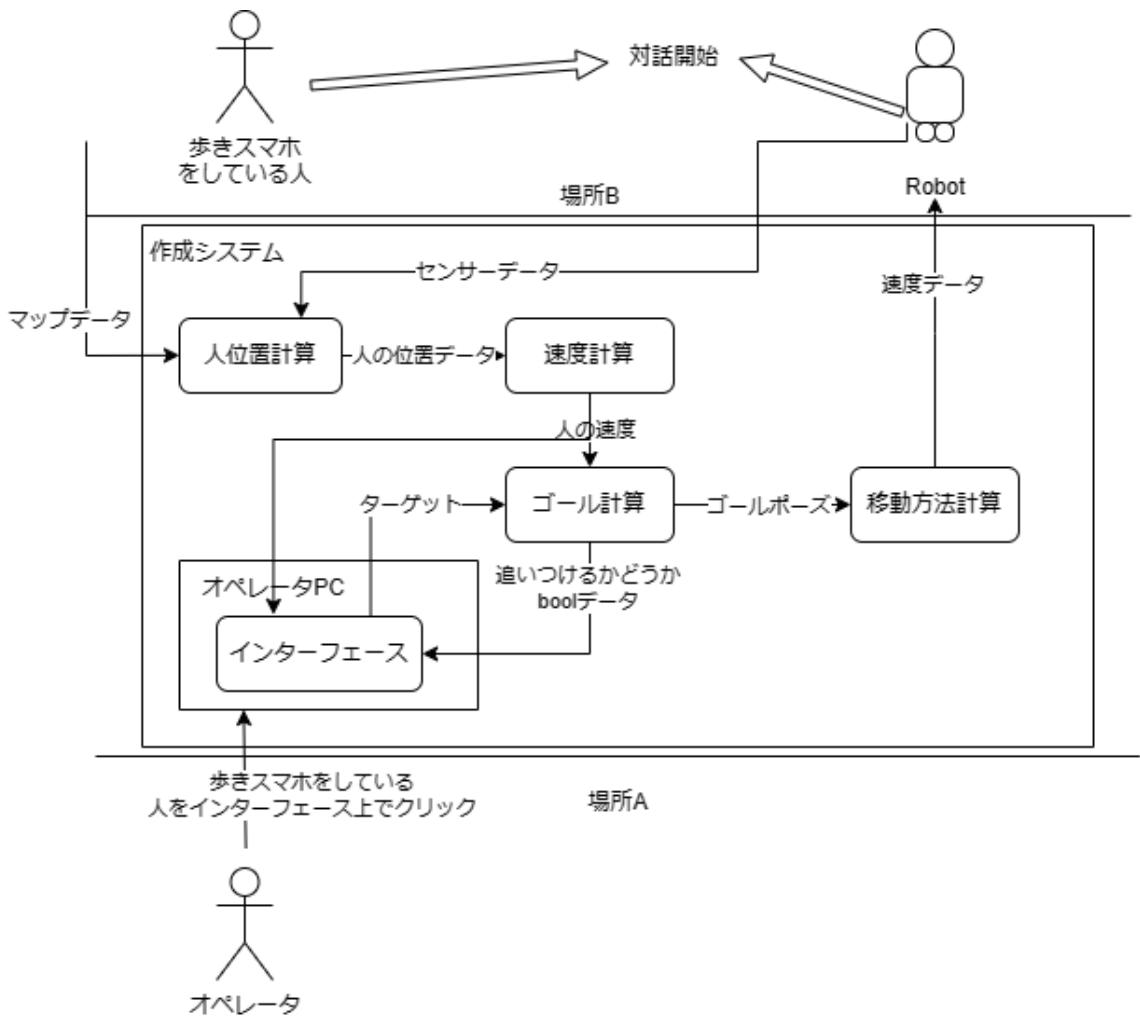


図 1: 移動支援システムの構成

上、異なる人であっても同じ id が用いられることが時々起こりうるので、その場合は過去に蓄えられたその id に関する位置データをリセットしたのちに追加を行う。この検出は直近の位置データから大きく乖離している場合に、異なる人であると判定を行った。

- ゴールポーズ計算

ゴールポーズ計算では事前定数としてロボットの最大速度を、変数としてロボットの現在位置、各人の速度と位置を用いて、各人と衝突することが可能かどうかその衝突位置を求めている。ここでの衝突は会話できる距離にいることを意味しており、具体的には人の進行方向 120cm 先にロボットがいる場合を衝突としている。この値は研究 [17]において、実験の中で人

がロボットにもっとも近づいた時の距離が100cmから110cm程度であったことから、両者移動していることを考慮して120cmとした。具体的には以下の計算によって求めている。人の位置を (H_x, H_y) とし、ロボットの位置を (R_x, R_y) とする。また人の速度を (V_{hx}, V_{hy}) とし、ロボットの最大速度を V_R とする。また追いつくまでの時間を t とする。これら用いた変数についてを表1にまとめる。

表1: 変数・定数について

人の位置	人の速度	ロボットの位置	ロボットの最大速度
$H_x \ H_y$	$V_{hx} \ V_{hy}$	$R_x \ R_y$	V_R

この時 t 秒後の人との位置は $H_x + V_{hx}t, H_y + V_{hy}t$ であり、この位置とロボットの初期位置との距離が $V_R t$ であるので、以下の等式が成り立つ。

$$(H_x + V_{hx}t - R_x)^2 + (H_y + V_{hy}t - R_y)^2 = V_R^2 \quad (1)$$

これは t についての二次方程式なので、 t について解くことができる。この時解の内正であるものが衝突可能な時間となる。二次方程式が実数の範囲で解けない、もしくは、二つの解がともに負の値となる場合は衝突可能な時間は存在しない。また、衝突可能な時間が複数存在する場合はより小さいほうを採用する。この解を用いて衝突可能な位置を求めることができる。実際には、 H_x, H_y の代わりに式2の H'_x, H'_y を用いて計算を行っている。

$$\begin{cases} H'_x = H_x + 1.2 * \frac{V_{hx}}{\sqrt{V_{hx}^2 + V_{hy}^2}} \\ H'_y = H_y + 1.2 * \frac{V_{hy}}{\sqrt{V_{hx}^2 + V_{hy}^2}} \end{cases} \quad (2)$$

このようにすることによって人の進行方向120cm先と衝突できるかどうか、またその際の位置を計算することができる。

- インターフェース

ロボットに備え付けられたカメラから受け取った画像データをもとに図2のようなインターフェースを作成した。インターフェースでは、ゴール計算の際の各人に対して衝突可能かどうかを用いて、図2のように衝突可能な人は緑枠で、不可能な人は赤枠で囲むこととしている。このインター

フェースを用いて、オペレータは緑枠に囲まれた歩きスマホをしている人をクリックすることとなる。その際、ターゲットに選ばれた人を囲む枠は太く塗られ、オペレータは今だれを追跡しているかについて知ることができる。その後クリックされた人の id をゴール計算に定期的に送る。そこでゴール計算では、そのターゲット id を受け取るたびに送られていた人との衝突可能位置をゴールポーズとして発行する。ここでゴールポーズとは目標となる位置と向きのことであり、その向きは人の向きであり、ロボットが常に人の方向を見るようにしている。また、画面両端にてカメラに写っていない人についての情報を得ることができる。これはオペレータが歩きスマホをしている人を探す際に常に回転する必要があるという問題の解決のためであり、この機能によってオペレータは左右に人がいる場合にのみ、回転を行えばよい。



図 2: 操作支援インターフェース

- 移動方法計算

既存のソフトウェアであり発行されたゴールポーズを目指し障害物を避けながら、robot に対して移動速度、回転速度についての指令を行う。

3.2 認知的不協和とは

認知的不協和理論 [5] とは Festinger により提唱された理論であり、人間が互いに相反する認知を抱いた場合、その状態(不協和)に不快感を感じその不快感の解消のために、不協和の解決を図るというものである。この認知とは、行動、知覚、態度、信念、感情といった様々な事象に関するものであり、多くの場合片方の認知は自らの行動に関するものである。例えば、表2のようにたばこは健康に良くないと分かっているのに、タバコを吸ってしまった際に生じる不快感が認知的不協和である。この不快感は、認知1と認知2が矛盾しているために生じるものである。

表2: 認知的不協和の例

認知1	たばこは体に害をもたらす
認知2	私はたばこを吸っている

この不快感を解消するために、「行動を変える」「認知を変える」「新たな認知の追加を行う」「矛盾の矮小化、無視」の4つの選択肢をとることができる。それぞれについて表2のたばこの例を用いて具体的に説明を行う。

1. 行動を変える

行動を変えることは、たばこを吸うのをやめることであり表2の認知2の変化をもたらす。そして表3のように認知1と認知2の不一致を解消することができる。行動の変更が容易なものであればこの方法をとることが最も理論的であるが、行動の変更が困難な場合もある。そのような場合この方法ではなく他の方法をとることになる。

表3: 行動を変える例

認知1	たばこは体に害をもたらす
認知2	私はたばこを吸っている吸わない

2. 認知を変える

認知を変えることは、表2の認知1を「たばこは体に害をもたらさない」とすることである。これにより認知は表4のように変化し、実際に行動を改めることなく認知1と認知2の不一致を解消することができる。

表4: 認知を変える例

認知1	たばこは体に害をもたらさない
認知2	私はたばこを吸っている

3. 新たな認知の追加

新たな認知の追加を行うことは表5の認知3や認知4を追加することであり、この追加によって認知1と認知2の不一致度合いを軽減させることができるために生じる不快感が小さいものとなる。

表5: 新たな認知の追加の例

認知1	たばこは体に害をもたらす
認知2	私はたばこを吸っている
認知3	喫煙をやめると他の人にあたってしまい迷惑となる
認知4	たばこを吸っていて長寿の人もいる

4. 矛盾の矮小化、無視

矛盾の矮小化、無視では認知自体を変えずに不協和を解消する方法である。このとき、注意してきた対象や認知同士が生む不協和が矮小化もしくは無視されることになる。例えば、そもそも表2の認知1と認知2がそれほど矛盾していないと思いつむことによって生じる不快感を軽減することができる。

ここで本研究では上記方法が一つ取られた時点で、不快感が十分に解消されそれ以上の方法をとることがないことを仮定する。従って不協和による不快感が生じた人は上記の方法のうちいずれか一つをとることになる。

3.3 有効な注意文言の検討

認知的不協和理論に基づき、なるべく歩きスマホをやめさせるような注意文言の検討を行う。一度目の歩きスマホの注意の後も歩きスマホをやめない人は、注意によって生じた不快感を解消するために、3.2章で述べた解消方法の中で「行動を変える」以外のいずれかを用いていると考えられる。そこでその解消方法に対抗するような文言によって、不快感の解消を困難にすることで「行動を変える」という選択肢をとらせることが可能になると考える。まず多くの人が

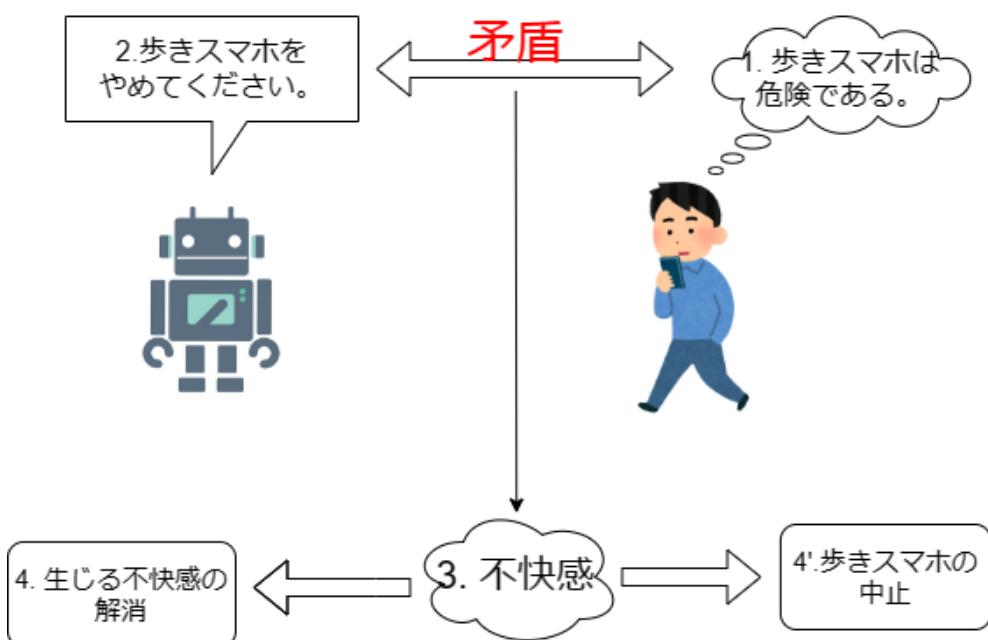


図3: 不快感が生じるまでの流れ

歩きスマホのことを危険だと考えており、さらに注意された際に不快感が生じることは示されている。[4]では具体的に、人が歩きスマホを注意されたとき図3のように、以下のような過程を経ることが示されている。

- (1) 歩きスマホをしている人も信念として、歩きスマホが危険であるという信念を持っている。
- (2) ロボットが注意を行う。
- (3) 自分の行動と信念とが矛盾していることに気付かされ不快感が生じる。
- (4) 歩きスマホをやめる。
- (4') 歩きスマホをやめる以外の不快感の解消方法をとる。

ここで、(4)ではなく(4')の行動を行った相手に対してその解消方法に応じた追加の注意喚起によって、(4)の行動をとらせることを目指す。歩きスマホを注意された人は表6のような認知を持っており、認知1と認知2の矛盾によって不快感が生じる。3.2章で述べたように、注意された人は不快感を解消するためい

表6: 歩きスマホによる不快感

認知1	歩きスマホは危険である
認知2	私は歩きスマホをしている

くつかの選択肢をとることができる。これらの選択肢の内、行動を変えるという選択肢をとらせることが本システムの目標である。そのために、それ以外の選択肢をとった際にその解消方法を無効にするような文言や、新たに不快感を生じさせるような文言によって、再度不快感を解消する必要性を生むことで行動を変えるという選択肢をとらせることが可能になると考える。ここで歩きスマホを注意された人の不快感の解消方法それについて考える。

1. 行動を変える

行動を変えることは、歩きスマホをやめることでありこの場合これ以上注意を行う必要はない。

2. 認知を変える

認知を変えることは、表6の認知1を「歩きスマホは危険ではない」とすることである。この認知の変更を困難にするためには、再度歩きスマホが危険であるような認知を追加するような文言が有効であると考えられる。例えば、「歩きスマホによる死亡事故例も存在します」や「歩きスマホによって他人をケガさせた場合、高額の賠償金を請求される可能性があります」等があげられる。そのような注意を受けたとき表7のように認知3が追加

表7: 認知の変更

認知1'	歩きスマホは危険であるではない
認知2	私は歩きスマホをしている
認知3	歩きスマホによる死亡事故が存在する

される。そして、認知1' と新たに追加された認知3の矛盾により新たに不快感が生じることとなる。もしくは、認知1の変更が困難になる。それらの結果として、この方法での不快感の解消が難しく再び不快感の解消を試みなければならない。なので、この選択肢がとられた際に有効な注意文言は歩きスマホが危険であることを示す文言であると考えられる。

3. 新たな認知の追加

不快感の解消のために、表8の認知3や認知4が追加されることが考えられる。これらの認知は、認知1と認知2の矛盾を軽減させることができるために不快感の解消につながる。そこで、これらの認知の追加に対しては、

表8: 新たな認知の追加

認知1	歩きスマホは危険である
認知2	私は歩きスマホをしている
認知3	地図アプリを見ており、これは必要な行為である
認知4	周りに人がおらず、他人に迷惑をかけていない

認知3の追加に対して「道案内なら私がしますよ。」や認知4の追加に対して「そこの柱の裏から急に人が飛び出してくるかもしれません」といった文言が有効であると考えられる。これらの文言は追加される認知と矛盾す

表9: 新たな認知の追加

認知1	歩きスマホは危険である
認知2	私は歩きスマホをしている
認知3	地図アプリを見ており、これは必要な行為である
認知3'	道案内を目の前の人には頼むことができる
認知4	周りに人がおらず、他人に迷惑をかけていない
認知4'	そこの柱の裏から急に人が飛び出してくるかもしれません

るものであり、図9のように認知3と認知3'の矛盾を生じさせることで新たな不快感が生まれる、もしくは、認知3の追加を防ぐことができると予想され、結果として注意された人は再び不快感の解消を試みなければなら

ない。よってこの選択肢がとられた際に有効な注意文言は、追加された認知に対して矛盾する文言であると考えられる。

4. 矛盾の矮小化、無視

ロボットが矮小化や無視の対象となることが多い[4]。そのためこの選択肢がとられた際には、再度ロボットを無視することが困難になるような文言が有効であると考えられる。これは対象の外見の特徴を述べたうえで注意することによって、ロボットの矮小化を防ぐことができると考えられる。具体例として考えられる会話の例を表10に示した。

表10: 矮小化・無視

ロボット	歩きスマホは危険ですので、おやめください。
人	(無視)
ロボット	そこの青いシャツを着ている方に言っています。

4 実験

4.1 実験目的

現段階では具体的にどのような状況に対してどのような文言が有効であるかは不明である。そこでこの実験では注意文言提示システムの構築のために、どのような行動がどの解消方法を意味するかを調べることを目的とする。実験では歩きスマホをしている人に対して、用意した文言のいずれかを用いて注意喚起を行い、その後の行動を記録する。

4.2 実験方法

警備員の格好をしたアバターロボットを用い、大型のショッピングモール(ATC¹⁾)の中で、歩きスマホをしている参加者に対して注意喚起を行った。また注意喚起の際に、アバターロボットを操作するためのインターフェースを用いた。実験の様子を図4に示す。

¹⁾ <https://www.atc-co.com/>

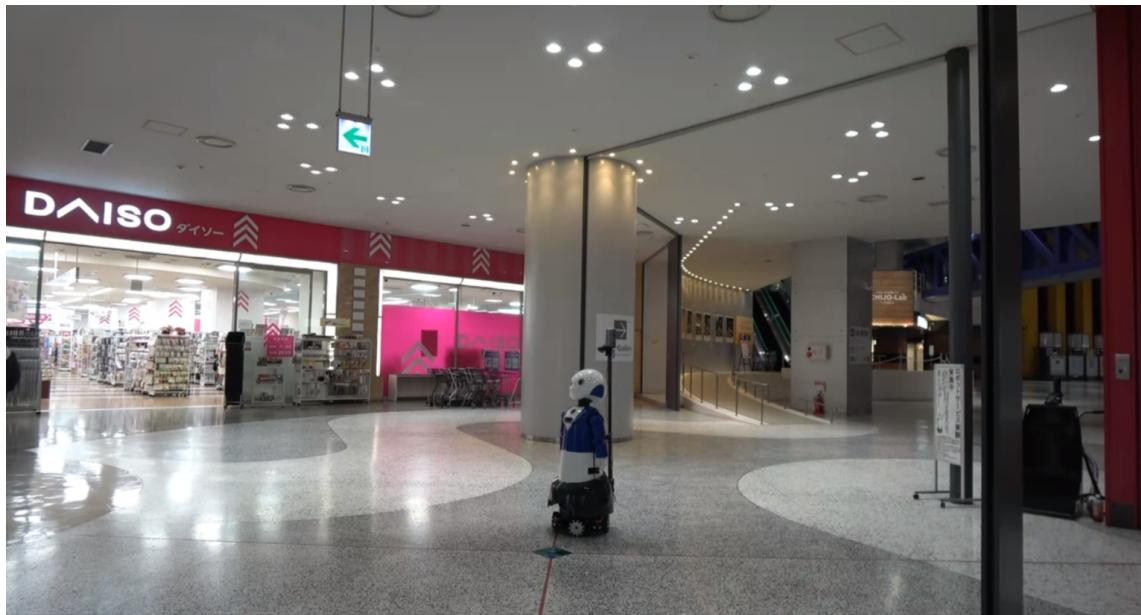


図4: 実験環境

用いた注意文言は図5の通りである。実験の手順は次のように行った。

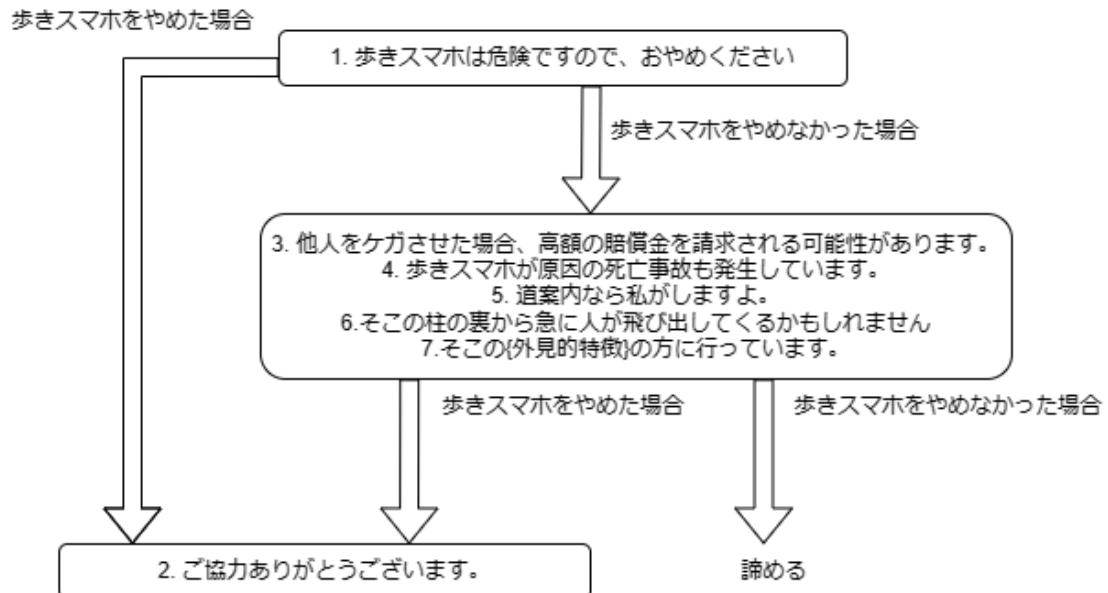


図5: 注意文言

1. 用意したインターフェースを用いて歩きスマホをしている人に近づく。
2. 全ての人に対して、「歩きスマホは危険ですのでおやめください。」という

注意喚起を行う。

3. 歩きスマホをやめなかった場合、反応から最も適切だと思う図5の注意文言3,4,5,6,7のうち一つ選択し再度注意喚起を行う。
4. その後、歩きスマホをやめたかどうかを記録する。

4.3 実験参加者

今回の実験では、実験協力者として計7組に対して注意を行った。そのうち2組は事前に協力をお願いしてロボットの前で歩きスマホをしてもらい、さらに1度目の注意を無視するようにお願いした。残りの5組は実験当日にロボットの近くで歩きスマホをしていたATCへの来場者であった。

4.4 実験結果

事前協力者には図5における文言3,4,5,6,7の5種類の注意文言を用いて1回ずつ計5回注意を行った。以下図6, 図7に注意の様子を示す。その後のインタ



図6: 実験の様子 1



図7: 実験の様子 2

ビューでは次のような意見が得られた。

- 容姿の特徴を述べる注意文言では、周囲の人の注目をひきつけた結果無視することが難しかった。
- 注意された際にそれを聞いていた別の歩きスマホをしている人が、歩きスマホをやめて立ち止まっていた。

また残りの5組に関して注意した状況、どのような注意文言を用いたかそして結果はどうであったかについて説明を行う。一度目の注意はいずれも「歩きスマホは危険ですのでおやめください。」という文言を用いた。

Case1 男性1人でスーツを着用しており、歩行速度はかなり早めであった。一度

目の注意ではこちらのほうに視線を向けることなく歩きスマホを継続した。その後、「そこの柱の裏から急に人が飛び出してくれるかもしれません」と注意したが、話しかけ始める時点が遅かったため、相手の後方から話すこととなり無視され歩きスマホを止めることはできなかった。

- Case2 女性2人組で片方が歩きスマホをしており、歩行速度は遅めであった。一度目の注意をおこなったところ、ロボットの方向に近づいきた。その後、「道案内なら私がしますよ」と話すと、「駅の方に行きたいです」と返答があつたため、その方向を指し示した。その後歩きスマホをやめたがスマホは手に持ったままであった。
- Case3 男性1人で平均的な速度であった。一度目の注意に対して、英語で「私は中国人なので中国語で話して」と返答があったため、中国語を話せる人にオペレータを代わってもらい、中国語で注意を行ったところロボットを凝視したのちに歩きスマホをやめ歩行を再開したが、その後しばらくの間もロボットを見ていた。
- Case4 男性1人で歩行速度はかなり遅めであった。1度目の注意でこちらに少し目を向け歩きスマホをやめ歩行速度を速めた。そのため2度目の注意は行わなかっただが、実際はしばらくしたのちに歩きスマホを再開していた。
- Case5 男女複数名のグループで全員スーツを着用しており、そのうち1人の女性が歩きスマホをしていた。グループ全体の歩行速度は平均的であった。一度目の注意で歩きスマホをやめ、それ以上の注意は行わなかっただ。その後グループの何人かがロボットのほうを見てロボットについて話していた。
それぞれの注意の様子を図にも示す。

4.5 実験結果の考察

実験での観察から注意文言の選択の重要な属性として、周囲の状況、歩行速度、恰好、グループの人数、注意された際の反応があると考えられる。例えばスーツを着用している人は普段からATCを利用している人が多いと考えられるため、地図アプリを見ている可能性は低い。またCase2のように歩行速度が遅い場合、地図アプリを利用している可能性が高く「道案内なら私がしますよ」という文言が有効になる。またやめなかっただ人に共通する特徴として、ロボットに対して興味を抱いていなかっただことがあげられる。歩きスマホをやめたCase2, Case5, Case3では、いずれもロボットに興味を示すそぶりを見せていた一方で、

歩きスマホを最後まで継続していたCase1, 4ではロボット対して一度も目線を向けることがなく、ロボットに対して興味を示していないかった。Case3では用意した文言以外を用いることになったが、Case3で歩きスマホをやめた理由として、急に中国語で話すことで相手に強い驚きを与えられたことが考えられる。実際Case3では歩きスマホをやめたあとも、しばらくの間ロボットの方向を見ながら歩いていた。このことから、相手に強い印象を与えた時に相手にとってロボットが無視しづらい存在となり、ロボットの矮小化、無視を防ぐことができると考えられる。

またアンケートからは周囲の人から注目されている時には無視することが難しいという意見が得られた。このことから歩きスマホをしている人の周囲に人がいる場合、恰好の特徴を述べる文言は注目を集めるため有効であると考えられる。

5 今後の課題

今回の実験では注意文言の中からどのような解消方法をとられたかどうかに基づいて注意文言の選択を行ったが、それでは認知的不協和理論について詳しくない人にとっては、それを判断し注意文言を選択することは難しい。そこでグループの人数や恰好といった誰にとってもわかりやすい属性を用いて、注意文言の選択を行うことができるような提示システムを作成する必要がある。今回解消方法の判断において重要であろうと考えられる属性をいくつか見つけることができたが、それらの属性の値によってどのような解消方法がとられたかを明確にすることはできていない。そこで、今後実験によってそれらの属性の値から解消方法を予測するようなモデルを構築することが必要である。相手の歩行速度が速い時に、最後まで注意文言を聞いてもらうことができなかった。相手の視界内にロボットがいない場合、ロボットの発話を無視することが非常に簡単になってしまう。そこで相手の歩行速度に基づいて、注意文言の長さを変え提示する必要がある。

また移動に関して今回のシステムでは単純に歩きスマホをしている人に一直線に近づくというものであったが、[6]のように工夫した近づき方を行うことで、より注意をひきつけることができるを考える。

6 まとめ

本研究では、警備員の業務の中で歩きスマホの注意を支援するシステムの実装を行った。第一にコントローラーを用いて歩きスマホをしている人に近づき、継続的にその人の方向に向いているという操作は困難なものであったため、それらを解決するインターフェースおよびシステムの構築を行った。第二に認知的不協和理論に基づき、注意されたときに生じる不快感を行動をやめる以外の方法によっても解消できることに着目し、それらの解消方法に対抗するような文言を考えた。しかし今のままでは、注意文言の選択に認知的不協和理論に関する知識やどのような行動の時どのような解消方法がとられているかといった情報が必要となるため、注意文言の選択を行うことが難しい。そこで第三に、解消方法の識別に必要な情報を得るための実験を行った。その結果として、いくつかの属性が解消方法の識別に重要であるや提案したもの以外の有効な注意文言が考えられることがわかった。将来課題としてこれらの属性を用いた解消方法の予測モデルの構築を行い、それを用い有効な注意文言の提示を行うシステムによって、誰にとっても明らかな情報のみで簡単に注意文言の選択を行うことができるようなシステムの構築を目指す。

謝辞

本研究を行うにあたりご指導頂いた指導教員の神田崇行教授と Jani Even 特定講師、今回の研究の予備実験を手伝ってくださった研究室の先輩、友人たち、そして実験を行うに当たって協力頂いた ATR の方々と実験に協力してくださった ATC の来客者の方々に深い感謝の気持ちとお礼を申し上げます。

参考文献

- [1] Takeuchi, K., Yamazaki, Y. and Yoshifuji, K.: Avatar work: Telework for disabled people unable to go outside by using avatar robots, Companion of the 2020 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, pp. 53–60 (2020).
- [2] Ozimek, A.: The future of remote work, Available at SSRN 3638597 (2020).

- [3] Ferreira, R., Pereira, R., Bianchi, I. S. and da Silva, M. M.: Decision Factors for Remote Work Adoption: Advantages, Disadvantages, Driving Forces and Challenges, *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, Vol. 7, No. 1, p. 70 (2021).
- [4] Schneider, S., Liu, Y., Tomita, K. and Kanda, T.: Stop Ignoring Me! On Fighting the Trivialization of Social Robots in Public Spaces, *J. Hum.-Robot Interact.*, Vol. 11, No. 2 (2022).
- [5] Festinger, L.: *A theory of cognitive dissonance.*, Stanford University Press (1957).
- [6] Mizumaru, K., Satake, S., Kanda, T. and Ono, T.: Stop Doing it! Approaching Strategy for a Robot to Admonish Pedestrians, *2019 14th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)*, pp. 449–457 (2019).
- [7] Washburn, A., Shrestha, K., Ahmed, H., Feil-Seifer, D. and La, H. M.: Exploring Human Compliance Toward a Package Delivery Robot, *2022 IEEE 3rd International Conference on Human-Machine Systems (ICHMS)*, IEEE, pp. 1–6 (2022).
- [8] Herse, S., Vitale, J., Tonkin, M., Ebrahimian, D., Ojha, S., Johnston, B., Judge, W. and Williams, M.-A.: Do you trust me, blindly? Factors influencing trust towards a robot recommender system, *2018 27th IEEE international symposium on robot and human interactive communication (RO-MAN)*, IEEE, pp. 7–14 (2018).
- [9] Sandoval, E. B., Brandstetter, J. and Bartneck, C.: Can a robot bribe a human? The measurement of the negative side of reciprocity in human robot interaction, *2016 11th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)*, IEEE, pp. 117–124 (2016).
- [10] Midden, C. and Ham, J.: Using Negative and Positive Social Feedback from a Robotic Agent to Save Energy, *Proceedings of the 4th International Conference on Persuasive Technology*, Persuasive '09, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery (2009).
- [11] Paradeda, R., Ferreira, M. J., Oliveira, R., Martinho, C. and Paiva, A.: What makes a good robotic advisor? The role of assertiveness in human-

- robot interaction, *Social Robotics: 11th International Conference, ICSR 2019, Madrid, Spain, November 26–29, 2019, Proceedings* 11, Springer, pp. 144–154 (2019).
- [12] Chen, J. Y., Haas, E. C. and Barnes, M. J.: Human performance issues and user interface design for teleoperated robots, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, Vol. 37, No. 6, pp. 1231–1245 (2007).
 - [13] Triantafyllidis, E., Mcgreavy, C., Gu, J. and Li, Z.: Study of multimodal interfaces and the improvements on teleoperation, *IEEE Access*, Vol. 8, pp. 78213–78227 (2020).
 - [14] Son, H. I., Chuang, L. L., Franchi, A., Kim, J., Lee, D., Lee, S.-W., Bülthoff, H. H. and Giordano, P. R.: Measuring an operator’s maneuverability performance in the haptic teleoperation of multiple robots, *2011 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, IEEE, pp. 3039–3046 (2011).
 - [15] Hainsworth, D. W.: Teleoperation user interfaces for mining robotics, *Autonomous robots*, Vol. 11, No. 1, pp. 19–28 (2001).
 - [16] Daneshmand, M., Even, J. and Kanda, T.: Effortless Polite Telepresence Using Intention Recognition, *J. Hum.-Robot Interact.* (2023). Just Accepted.
 - [17] Mumm, J. and Mutlu, B.: Human-robot proxemics: physical and psychological distancing in human-robot interaction, *Proceedings of the 6th international conference on Human-robot interaction*, pp. 331–338 (2011).
 - [18] Kanda, T., Shiomi, M., Miyashita, Z., Ishiguro, H. and Hagita, N.: A Communication Robot in a Shopping Mall, *IEEE Transactions on Robotics*, Vol. 26, No. 5, pp. 897–913 (2010).