

## 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。アバターロボットは従来のミーティングアプリを用いたリモートワークでは難しかった物理的作業を伴う業務であってもリモートワークが可能なことが大きなメリットであり、リモートワークは通勤の必要がないことや、ワークライフバランスの向上などの様々な面で優れている。そのためアバターロボットを介した勤務は今後ますます普及することが予想される。また様々な業務の中で重要とされる注意という行為においてロボットを介して行うことで、注意した相手とのトラブルを避けることができることも長所としてあげられる。しかし、ロボットによる注意には大きな問題点もある。それは注意するために必要な操作が難しいことと、注意したときに相手にその行動をやめさせる力、抑止力が欠如しているというものである。そこで本研究ではオペレータの支援を行うシステムの開発を行うことでこれらの問題を解決することを目標とし以降、アバターロボットを用いて警備員業務の中で歩きスマホを注意するシチュエーションを考える。

移動に関してロボットの歩行速度や人との遠近感をつかみづらいなどの理由から、予備実験では7人がロボットの近くで歩きスマホをしていたのに対し、実際に相手の視界に入って注意を行えたのは2人であった。そこでオペレータ支援のためにまず移動支援システムの開発を行った。これによってオペレータはカメラ映像上で歩きスマホをしている人の指定を行うだけによく、システムが移動先の予測や、それに基づいた人の距離を保った移動、ロボットの向きの調整を担うことができる。

次に抑止力に関して、オペレータがとっさに有効な注意文言を考えるのは難しい。そのためオペレータに有効な注意文言を推薦するシステムの開発によって抑止力の向上を試みた。有効な注意文言についての検討にあたって、歩きスマホを注意されてもやめない人がいる理由を認知的不協和理論に基づき次のように仮定した。注意されたことで「歩きスマホは危険である」という信条と、

「自分は歩きスマホをしている」という行動に関する認知とが矛盾することに気づかされ、その認知の矛盾によって不快感が生じ、その不快感の解消のために行動をやめる。しかしこの時行動をやめる以外にもこの不快感を解消する方法が3種類存在するため、歩きスマホをやめない人がいる。そこで、注意された人がどのような方法で不快感を解消したかを推定し、その解消方法に対抗する文言によって不快感の解消を難しくすることで、行動をやめさせることが可能になるつまり抑止力が高まるのではないかと考え、それぞれの解消方法に対抗する文言を考案した。それは(1)歩きスマホの危険性を強調するもの、(2)相手の言い逃れを防ぐもの、そして(3)相手を特定するものである。

しかし現段階ではオペレータに相手の解消方法を推定することが求められており、これは認知的不協和理論についての知識や相手の行動に対する洞察が必要となる。そのためどのような行動のときどの解消方法がとられたのか、またその注意文言はどれくらい有効なのかを明らかにするために実際のフィールドで実験を行った。事前に協力をお願いした2人の参加者に対して注意されたときにどのように感じたかのアンケートを、また歩きスマホをしていた5組のATCへの来客者に対して注意を行ったときの反応の観察を行なった。アンケートでは(3)の相手を特定する文言では、自分だけが注意されているという孤立感から周囲の圧を感じることで無視することが難しくなったという意見が得られた。また実際の観察では、歩行速度やグループの人数といった属性の値によって解消方法を推定することができる可能性が示唆された。

以上のように本研究では、移動操作の支援を行うシステムの開発と解消方法ごとの有効な文言の検討を行った。また実験の観察からはいくつかの値から解消方法の推定が行える可能性が示唆された。今後さらなる実験を行い解消方法の予測モデルを構築することで、オペレータに有効な文言を提示するシステムの構築が可能となる。またアンケートの結果からは、同調圧力によって歩きスマホをやめる可能性が見られた。そのため、同調圧力を用いた戦略を取り入れたシステムの構築も考えられる。

# Study on Operator Support System for Improving Deterrence of Security Robot

Takehiro Amano

## Abstract

Avatar robots are becoming a new way of working, and it enable us to work remotely even in the field of business that requires physical work and can't be performed with such conventional remote work as using meeting apps. This is a great advantage of avatar robots because it eliminates the need for commuting and improves employees' work-life balance. Therefore, it is expected that work using avatar robots will become more and more popular in the future. In addition, one of the advantages of using avatar robots is that it is possible to avoid trouble with the person who is admonished through the robot. However, there are some problems with admonishing through the robot. One of them is the difficulty of moving the robot required to admonishing. This is because the robot's maximum moving speed is set lower for safety reasons, and also it is difficult to grasp the sense of distance between the robot and the person. Another problem is the lack of deterrence when the robot gives admonishment. The person who is admonished through a robot does not feel that he or she is being admonished by a human being, and it is easy to ignore the robot and its admonishment. In this research, we aim to solve these problems by developing a system to support the operator. In the following, we consider the situation where a security robot admonishes a person who is walking while using a smartphone.

First, we developed a system to support the operation required to give someone admonishment. With This system, all the operator have to do is select the person who is walking while using a smartphone on the camera image. Then, the system predicts the one's destination, and moves the robot with maintaining the distance between people, adjusts the direction of the robot based on the prediction.

Next, I considered that effective admonishment would improve the robot's deterrence. In order to consider effective admonitory words, we hypothesized that the following reason why admonished people sometimes do not change

their behavior. They are aware of the contradiction between their belief that "walking while using a smartphone is dangerous" and their behavior of "walking while using a smartphone", and the discomfort caused by this contradiction would lead to change the behavior. However, there are three other ways to resolve this discomfort besides stopping the behavior, so some people do not stop the behavior. Therefore, we devised admonitory words that counteract each of these methods of resolution. However, at this stage, the operator is required to estimate the other person's method of resolution, which requires knowledge of cognitive dissonance theory and insight into the other person's behavior. Hence, in order to clarify which method of resolution was used and how effective the admonitory words were, we conducted an experiment in the field. We conducted a questionnaire survey on how the two participants who were asked for cooperation felt when they were given admonishment which counteracts the resolution, and observed the reactions of the five pairs of visitors who were walking while using a smartphone when they were given the admonishment. In the questionnaire survey, it was found that the feeling of isolation from being the only one being given one of devised admonishment made it difficult to ignore the pressure from the surroundings. In the actual observation, it was suggested that the method of resolution could be estimated from the values of attributes such as walking speed and number of people in the group.

In this research, we developed a system to support the moving operation and considered effective admonitory words for each method of resolution. From the observation of the experiment, it was suggested that the method of resolution could be estimated from some values. In the future, by conducting further experiments and constructing a prediction model for the method of resolution, it will be possible to construct a system that presents effective words to the operator. In addition, the results of the questionnaire survey showed that there is a possibility that walking while using a smartphone can be stopped by the pressure of conformity. Therefore, it is also possible to construct a system that incorporates a strategy using the pressure of conformity.

# 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
2	関連研究	3
2.1	ロボットの接近行動に関する研究	3
2.2	認知的不協和の HRI への適用研究	4
2.3	説得のために否定的な行動をとるロボット	5
2.4	テレオペレーション支援に関する研究	6
3	認知的不協和とは	6
4	研究の前提	8
4.1	抑止力の定義	9
4.2	シチュエーション	9
4.3	ロボット	9
5	提案手法	10
5.1	移動操作支援システム	10
5.2	発話支援システム	17
5.2.1	有効な注意文言の検討	17
5.2.2	状況に応じた注意文言の推薦	20
6	ケーススタディ	21
6.1	実験目的	21
6.2	実験方法	21
6.3	実験参加者	22
6.4	インタビュー結果	22
6.5	ケーススタディ結果	23
6.6	実験結果の考察	24
7	今後の課題	26
8	まとめ	26

謝辭

27

参考文献

27

# 1 はじめに

近年、アバターロボットを用いた遠隔業務が注目されている。アバターロボットとは人間が遠隔地からロボットを操作することで、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のことであり、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。

アバターロボットを用いることの大きなメリットは、その性質からそれまで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けるリモートワークを可能にすることである。例えば ugo 株式会社<sup>1)</sup>によるアバターロボット ugo は、ビルメンテナンスや警備業務のためのアバターロボットであり、トイレ清掃や警備、巡回等の業務を遠隔地から行うことができる。リモートワークの長所として、働く場所を問わないことから通勤の必要がないことや、ワークライフバランスの向上、時差を利用した業務が可能になることなどがあげられる。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いことも大きなメリットである。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% ~ 74% に増加した [1]。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 [2] 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。

他のアバターロボットのメリットとしては、身体障碍を持つ人が身体労働をともなう業務に従事することを可能にすることがあげられる。さらにその際に、身体障碍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 [3]。また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。これから更なる通信技術の向上、安価なロボットの流通に伴いアバターロボットを介した業務はますます普及する

---

<sup>1)</sup> <https://ugo.plus/>

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その行動をやめさせ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、注意が重要な業務の中でアバターロボット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は問題点もある。それは注意のために求められる移動操作の困難性と抑止力の欠如である。ここで本研究では「抑止力」を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を行ったときに、その行動をやめさせる力と定義する。

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。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2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1回目の注意を無視し、さらにそのうち72人が2回目の注意も無視したという結果が得られている。同論文では1回目の注意を無視した人に対して、「あなたはただのロボットだとお思いみたいですが、私はみんなのために働いているのですよ」と注意することによって無視する人が有意に減少したという結果も得られているが、オペレータがとっさにそのような効果的な注意文言を考えることは難しい。

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の解決が求められる。そこで本研究ではこれら二つの課題に取り組む。移動操作の困難性の解決のために移動支援システムの開発と、また抑止力の欠如の解決のために3章で説明する認知的不協和理論[5]に基づいた有効な注意文言の推薦システムの開発を目指す。これは規範に反す

る行動を注意されてもその行動をやめない人がいる理由を認知的不協和理論によって説明可能であるからである。具体的には、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、認知の矛盾によって不快感がうまれる。そしてその不快感の解消のために注意された行動をやめる。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ため、これを注意をされても行動をやめない人がいることの説明ができる。

## 2 関連研究

このセクションでは移動支援システムを設計する上でロボットの接近行動に関する研究について、また注意文言の検討に用いた認知的不協和理論を Human-Robot Interaction(HRI) 分野に適用した研究について紹介を行う。さらに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そして注意文言提示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 ロボットの接近行動に関する研究

ロボットを人間の近くに移動させることは人間とコミュニケーションをとるうえで重要な行為であり、この行為に関する研究は多く存在するが、多くは自律ロボットを前提としたものでオペレータの存在を想定していない。

例えば [6] では、机の前に座っている人には後ろからや真正面から近づくよりも、斜め前から近づくほうが人にとって快適であることなどが示されている。また [7] ではロボットが人に十分に近づく際に、接近速度が速い (1.0m/s) ほうが、遅い (0.4m/s) ときに比べて、人のポジティブな反応 (e.g., 笑顔を見せるや寄りかかるといった行動) が見られることが示されている。また [8] では人の過去の行動から人の経路予測やその人の意図を用い、ロボットが周囲の人々の中でもっとも話しかけやすい人への移動を行うようなアプローチ方法によって最も近い人に最短距離で近づくよりも、無視される、気づかれないといったことなく会話を始めれることが示されている。他にも最短距離で近づくよりも、途中で角度を変えて人に急接近するような近づき方によって、ロボットの抑止力

が上がることが示されている [9]。

しかしこれらのように多くの研究では、自律ロボットを前提としておりある特定の人への近づき方について研究を行っており、近づく人の選択はできないもしくは考慮されていない。[9] では近づくべき人が選択できるようになっているが、それはあくまで Wizard of Oz 手法の中で用いられているものでありインターフェースなどは作成されていない。そこで本研究ではアバターロボットを操作する際に、近づけるか否かや視野外に人がいるか等の情報をインターフェースを通してオペレータに提供することによって、オペレータが近づける人の中で自由に接近対象を選べるようにし、その後適切な方法で近づくことを可能にするシステムの開発を行う。

## 2.2 認知的不協和の HRI への適用研究

認知的不協和理論 [5] は、現代においてもマーケティングや心理学など幅広い分野で用いられている理論であり HRI 分野における適用例も多いが、それらのほとんどは結果の説明に用いているのみである。

例えば研究 [10] 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 [11] 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。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 [4] は存在しているが、一部分のみの利用にとどまっている。具体的に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、いずれ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、より幅広い戦略をと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た注意を行うことに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。

### 2.3 説得のために否定的な行動をとるロボット

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が、なぜ説得がうまくいかないかに基づいて戦略を決定しているような研究は少ない。ここで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。

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 [12] 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 [13]。また研究 [14] 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。そこで本研究では、規範に反する行動を注意されてもやめない理由を考察したうえで、どのような注意がその行動をやめさせるのに効果的であるか研究する。

## 2.4 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が、オペレータは依然としてその場において効果的な操作内容や発言内容を自ら考えなければならずその負担は大きい。例えば[15,16]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ーへのハプティックフィードバック手法についての研究[17]などがある。ハプティックフィードバックとは、コントローラー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[18]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[19]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。そこで本研究では業務の中で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 認知的不協和とは

この章では、人が注意されたときに不快感が生じる理由とその不快感の解消のために人がどのような方法をとれるかについて説明のために、認知的不協和

理論について紹介を行う。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1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1: 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1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表1の認知2の変化をもたらす。そして表2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2: 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1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3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3: 認知を変える例

認知1	たばこは体に害をもたらすもたらさない
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4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4: 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1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。

## 4 研究の前提

本研究で解決すべきは、アバターロボットを用いた注意活動における移動操作の困難性と抑止力の欠如という問題である。この章では実験と研究を進める上で、定義や想定するシナリオ、用いるロボットについて説明を行う。

## 4.1 抑止力の定義

本研究において「抑止力」を社会的規範に背く行動を行っている相手に対して、注意を行った際にその行動をやめさせる力と定義する。つまり抑止力の高い注意とは、注意を受けた際にその注意を無視して行動を続けることが難しいようなものである。

## 4.2 シチュエーション

実験研究を進めるうえで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業務を想定し、その中で注意すべき行動を[4,6]と同じように歩きスマホとした。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。

## 4.3 ロボット



図 1: Robovie

今回警備員アバターロボットとして用いるロボット「Robovie」の外観を図1に示す。Robovieは身長が約120cmであり、4輪の車輪によって前後移動だけでなく左右にも移動することができる。また、胸部にはカメラとマイクおよびスピーカーが搭載されており、頭上部にはLiDARセンサーが搭載されている。このLiDARセンサーによりロボットは360度すべての方向の物体を検知することができる。オペレータはこのロボットからの情報受け取り、ロボットを発声や移動等の命令を行い操作することができる。なおこれらデータのやり取りはROS<sup>1)</sup>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オープンソースソフトウェアであり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。

<sup>1)</sup> <https://wiki.ros.org/ja>

## 5 提案手法

アバターロボットを用いた注意活動には注意のための移動操作の困難性と、抑止力の欠如という二つの課題がある。そこで移動操作の困難性の解決のために移動操作支援システムを作成し、また抑止力の欠如の解決のために有効な注意文言を提示することでオペレータの発話支援を行うシステムの開発を行う。

### 5.1 移動操作支援システム

移動操作を簡単にするためのシステムの開発を行った。これは、より人間らしい対話のためにオペレータ自身が発話を集中できないといった問題や、そもそも話しかけることができないという問題の解決のためである。

システム全体の構成を図2に、インターフェースを図3に示す。これらのシ

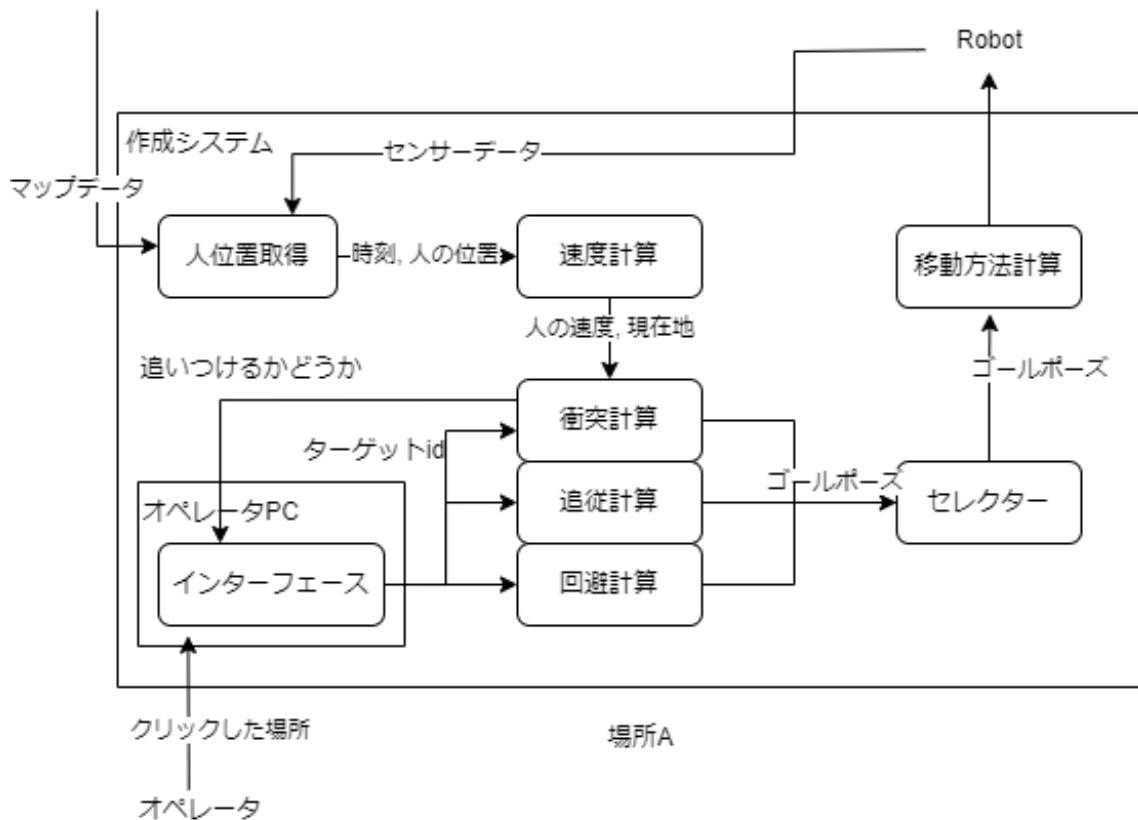


図2: 移動支援システムの構成

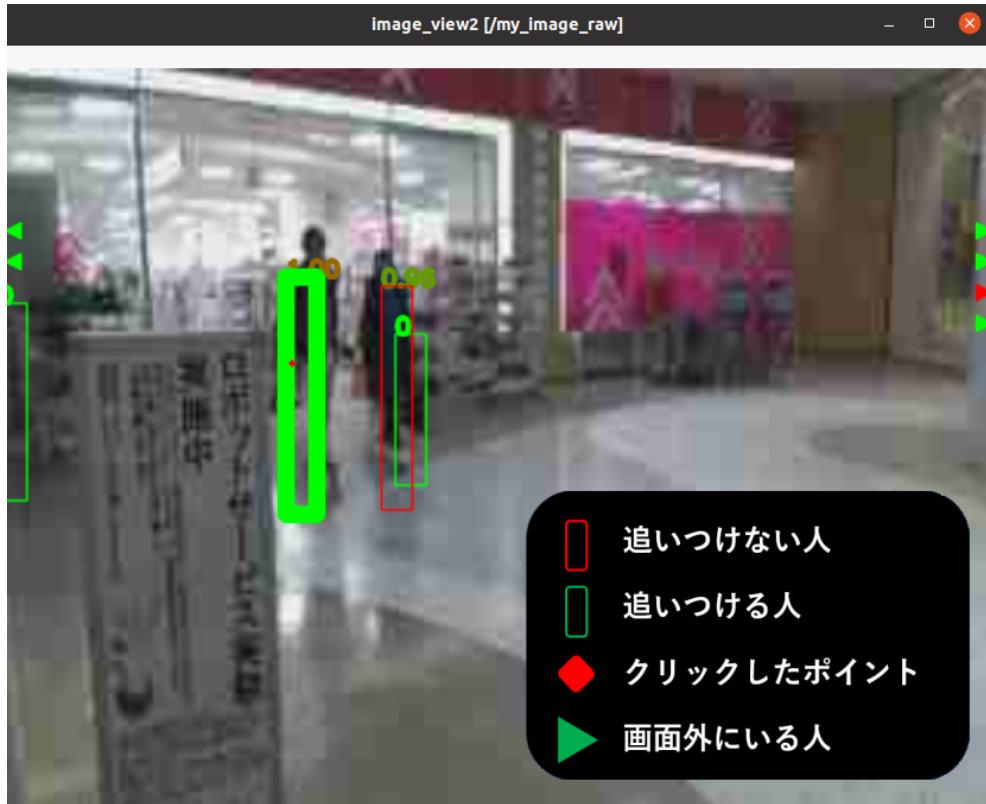


図 3: 操作支援インターフェース

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。以下では図 2 における各構成要素の実装について説明する。

- 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 は本人に対して唯一である。おおよそ 1 秒に 5 回から 10 回ほどの頻度で人位置と人 id およびその時刻が発行され、このデータを用いて次の速度計算が行われる。

- 速度・位置計算

位置の時系列データから各人 id ごとに速度計算と現在時点における位置計算を行う。速度計算では、まず人位置計算で得られた時刻、位置データを id ごとに保存しておく。その後最大直近 16 個の時刻データと位置データを用いて、最小二乗法によって速度を計算している。具体的に X 座標についての速度を求める場合、時刻と X 座標の組を  $(T_i, X_i)$  とし  $n(n \leq 16)$  個あるとする。この時その人の速度  $V_x$  は以下の式で求められる。

$$V_x = \frac{\sum_{i=1}^n (T_i - \bar{T})(X_i - \bar{X})}{\sum_{i=1}^n (T_i - \bar{T})^2} \quad (1)$$

ここで  $\bar{T}$  は時刻の平均、 $\bar{X}$  は X 座標の平均であり、次のようにして求められる。

$$\bar{T} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i, \quad \bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (2)$$

最大 16 とした理由は 50 等の大きい数字にすると、人の速度が変化した際に反応が遅くなってしまうことや計算時間の問題があり、一方で最大 2 個等の少ない数字にした場合は、人位置計算の結果の誤差によって速度計算の結果が大きく変動してしまったため、過去 2 秒から 3 秒程度で集まる 16 個のデータを用いることにしている。また human\_tracker からも人の速度情報を取得することができるが、式 1 によって求められる速度情報のほうが正確であることが確認されたため、human\_tracker から直接得られる速度情報は用いていない。

またある id の人の現在の X 座標位置  $P_x$  はその id の求められた速度  $V_x$  と現在時刻  $t$  を用いて、以下のように求められる。

$$P_x = \bar{X} + V_x(t - \bar{T}) \quad (3)$$

ただし、 $\bar{X}, \bar{T}$  は式 2 によって求めらるものである。

これら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 human\_tracker の仕様上、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。

- 衝突計算

衝突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できる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 [20]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 5 にまとめる。

表 5: 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。

$$(H_x + V_{hx}t - R_x)^2 + (H_y + V_{hy}t - R_y)^2 = V_R^2 \quad (4)$$

これは  $t$  についての二次方程式なので、 $t$  について式 5 のように解くことができる。

$$t = \frac{1}{V_{hx}^2 + V_{hy}^2} \left\{ -(H_x - R_x)V_{hx} - (H_y - R_y)V_{hy} \right. \\ \left. \pm \sqrt{((H_x - R_x)V_{hx} + (H_y - R_y)V_{hy})^2 - (V_{hx}^2 + V_{hy}^2)((H_x - R_x)^2 + (H_y - R_y)^2 - V_R^2)} \right\} \quad (5)$$

この時解の内正であるものが衝突可能な時間の候補となる。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、人の進行方向 120cm 先を表

す数式 6 の  $H'_x, H'_y$  を用いて計算を行っている。

$$\begin{cases} H'_x = H_x + 1.2 * \frac{V_{hx}}{\sqrt{V_{hx}^2 + V_{hy}^2}} \\ H'_y = H_y + 1.2 * \frac{V_{hy}}{\sqrt{V_{hx}^2 + V_{hy}^2}} \end{cases} \quad (6)$$

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求められるまたその際の位置  $(G_x, G_y)$  を式 5 を用いて以下のようにして求められる。

$$\begin{cases} G_x = H'_x + V_{hx}t \\ G_y = H'_y + V_{hy}t \end{cases} \quad (7)$$

さらに人の進行方向を正面と仮定すると、人と対面するための向き  $\theta$  は

$$\theta = \begin{cases} \arctan \frac{V_{hy}}{V_{hx}} + \pi & (V_{hx} > 0) \\ \arctan \frac{V_{hy}}{V_{hx}} & (V_{hx} < 0) \\ \frac{\pi}{2} & (V_{hx} = 0, V_{hy} < 0) \\ -\frac{\pi}{2} & (V_{hx} = 0, V_{hy} > 0) \end{cases} \quad (8)$$

のようにして求められる。

このようにしてゴールポーズを求めることができた。ここでゴールポーズとは目標となる位置と向き(クオータニオン)のことであり、位置は式 7 で求められた  $(G_x, G_y)$  であり、向きはロボットの回転軸が z 軸(鉛直方向)であり回転角度は式 8 で求められた  $\theta$  であることから、 $(0, 0, \sin \frac{\theta}{2}, \cos \frac{\theta}{2})$  と求められる。

#### • 追従計算

人になるべくついていくためのゴールポーズを求める。そのためには、ロボットの速度ベクトルの向きは人の速度ベクトルの向きと同じになるようし、またその際のロボットの向きは人の向きになるようにする。よってゴールとなる位置  $(G_x, G_y)$  は 5 で定義した変数を用いて以下のように表される。

$$G_x = R_x + V_{hx} \quad G_y = R_y + V_{hy} \quad (9)$$

である。また  $\theta$  は、 $t$  を  $(R_x, R_y)$  から  $(G_x, G_y)$  にたどりつくまでの時間とすると、 $(H_x + t V_{hx} - G_x, H_y + t V_{hy} - G_y)$  の偏角である。このようにして追従する際のゴールポーズが求まった。

- 回避計算

人とロボットの衝突をさけるため、また相手にとって不快な距離にいないようにするためのゴールポーズを求める。この時に進むべき方向はなるべく人から遠ざかる方向であるので、ゴールとなる位置は次の式で表される。

$$G_x = R_x + (R_x - H_x) \quad G_y = R_y + (R_y - H_y) \quad (10)$$

この時の向きは追従計算と同様に人の方向である。

- セレクター

セレクターは上記3つのゴールポーズから、どれを実際にゴールとするかを決定する。人とロボットの距離が1.2mよりも近い場合は相手にとって不快な距離にいると判断し、回避計算によって求められたゴールポーズを移動方法計算に送信する。人とロボットの距離が3.5mよりも近い場合は、対話可能な距離にいると判断しフォローゴールを移動方法計算に送信する。これは、人同士のパーソナルスペースにおいて親密でない場合の社会距離が1.2mから3.5mであることを考慮して決定した。3.5mよりも遠い場合には、その人と衝突可能な場合はその位置を送り不可能な場合追いつけないと判断し諦める。つまりこの時移動方法計算には何も送られない。

これらのロボットの振る舞いを説明するために、シミュレーションした結果を図4, 5, 6, 7に示す。赤い点はロボットの位置、赤い矢印がロボットの進行方向、黒い矢印がロボットの向きを表している。また青い点、青い矢印は人の位置、進行方向を表しており、青い2つの円がそれぞれ3.5m、1.2mの距離を表している。まずははじめに半径3.5mの薄青色の円に入るま

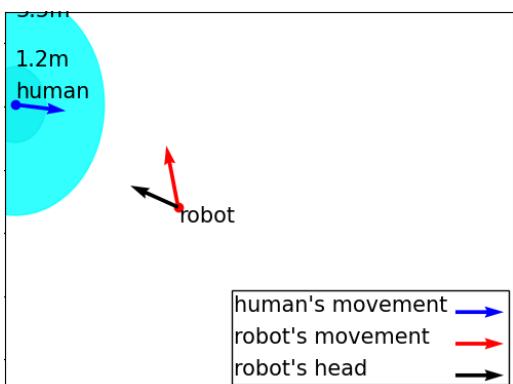


図4: 衝突

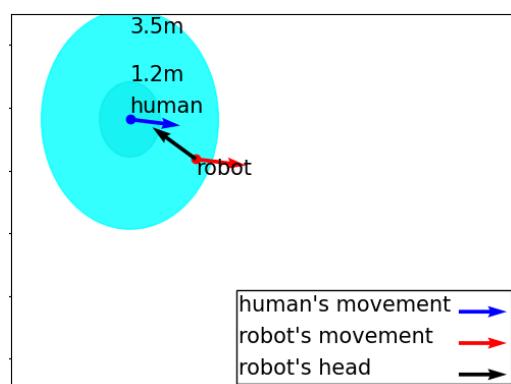


図5: 追従

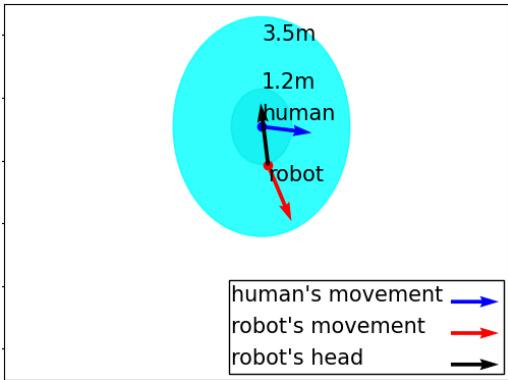


図6: 回避

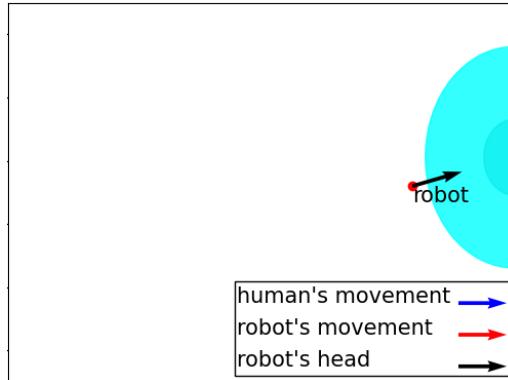


図7: 諦め

では衝突位置にむかってすすむ。その後円内では人と同じように進むが、人の速度がロボットよりも速い場合はロボットと人の距離が近くなりすぎる場合がある。そのような時はロボットの向きはそのままに人から遠ざかるように動く。その後薄青色の円から出た場合は追従を諦め立ち止まる。

- 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。

- 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して図3のようなインターフェースを作成した。なお図3右下に記された凡例はあくまでも説明のために記されたものであり、実際のインターフェースには表示されない。ここでは衝突計算の際の各人にに対して衝突可能かどうかを用いて、衝突可能な人は緑枠で、不可能な人は赤枠で囲うこととしている。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なり、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。

また、図3両端の赤・緑三角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。

## 5.2 発話支援システム

[4]では効果的な注意文言を用いることで抑止力が高まることが分かっている。しかしオペレータがとっさにその面する状況に対して効果的な文言を考えることは難しい。そこで有効な注意文言の推薦を行う発話支援システムの開発によって抑止力を高めることを目指す。有効な注意文言の検討と、状況に応じそれらを推薦するシステムの構築によってこの発話支援システムが作成可能であると考え、以下ではそれについての議論を行う。

なおこの発話支援は1度目の注意が無視された時に、次にかけるべき2度目の注意発話に対して行うことを想定している。

### 5.2.1 有効な注意文言の検討

有効な注意文言とは、3章で述べた中で「行動を変える」以外の解消方法に対抗するようなものである。なぜならば、注意されても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おり、この解消方法に対抗するような注意によって不快感の解消を困難にし、再度不快感の解消を強いることで、「行動を変える」という解消方法をとらせる、つまり歩きスマホをやめさせることができると考えられるからである。以下では不快感の解消はどのようにして起こるのかについて説明を行ったうえで、その後それらに対抗する具体的な文言について議論を行う。

まず多くの人が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、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) 不快感の解消のために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。

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くつかの選択肢をとることができる。注意を受けても歩きス

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

マホをやめなかつた人は、その中で「行動を変える」以外の選択肢をとっていると考えられる。そこで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歩きスマホをやめさせることが可能になると考えられる。

次に歩きスマホを注意された人の不快感の解消方法それぞれについて具体的に考える。

### 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人に頼むことができる
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。

以上の考察から、どのような時にどのような文言が有効であると考えられるかについてを表11にまとめた。

表11: 有効な注意文言

選択肢	有効な注意文言
行動を変える	-
認知を変える	歩きスマホは危険であることを強調するもの
新たな認知の追加	追加された認知に矛盾する文言
矛盾の矮小化、無視	対象の外見の特徴を述べた文言

### 5.2.2 状況に応じた注意文言の推薦

有効な注意文言の推薦のためには解消方法推定モデルの構築を行う必要がある。なぜなら5.2.1章で解消方法に応じた有効な注意文言について考察したが、それらの推薦のためには、注意された人の解消方法を推定する必要があり、これには認知的不協和理論に関する知識や注意された人の行動への洞察が求められる。したがって有用な発話支援システムのためには、解消方法の推定をシステムが担う必要があるからである。以下ではそのために、どのような状況がどのような解消方法を意味するかについての調査を行った。

## 6 ケーススタディ

### 6.1 実験目的

5.2.1で提案した文言による注意が有効であるかについて調べる必要がある。そのためそれら文言による注意を行い、その後どのように感じたかについてのインタビューを行った。また解消方法の予測モデルの構築のため、どのような状況がどの解消方法を意味するかを調べることを目的としたケーススタディをおこなった。

### 6.2 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であるATC<sup>1)</sup>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8に示す。中央に映るロボットが今回の実験で用いたア

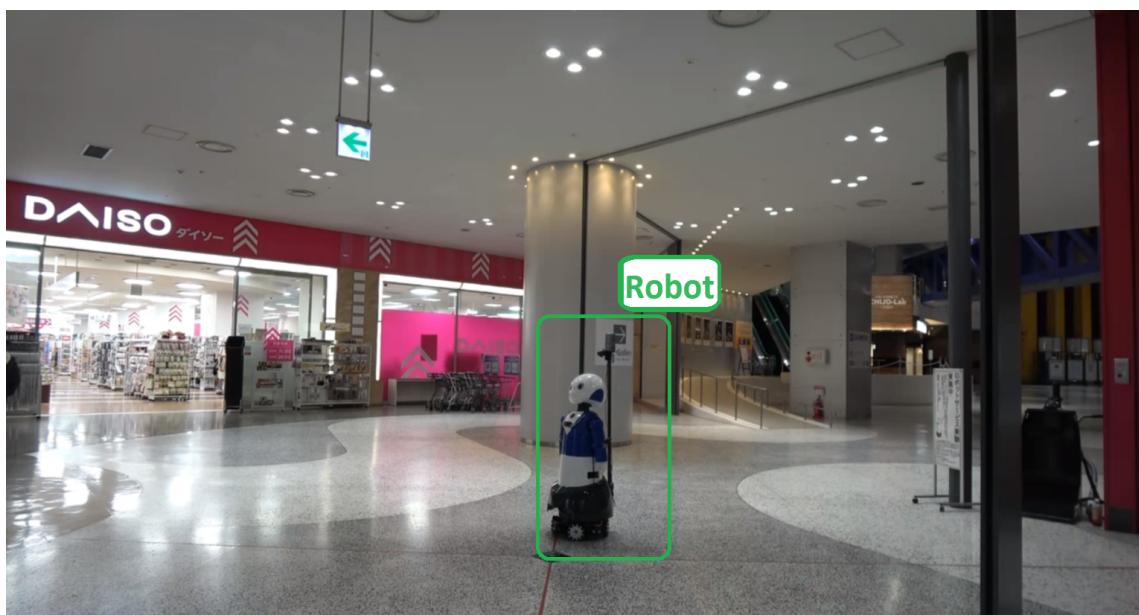


図8: 実験環境

バターロボットで、その周囲を通った歩きスマホをしている人に対して注意喚起を行った。用いた注意文言は図9の通りであり、一度目は全員に対して「歩

<sup>1)</sup> <https://www.atc-co.com/>

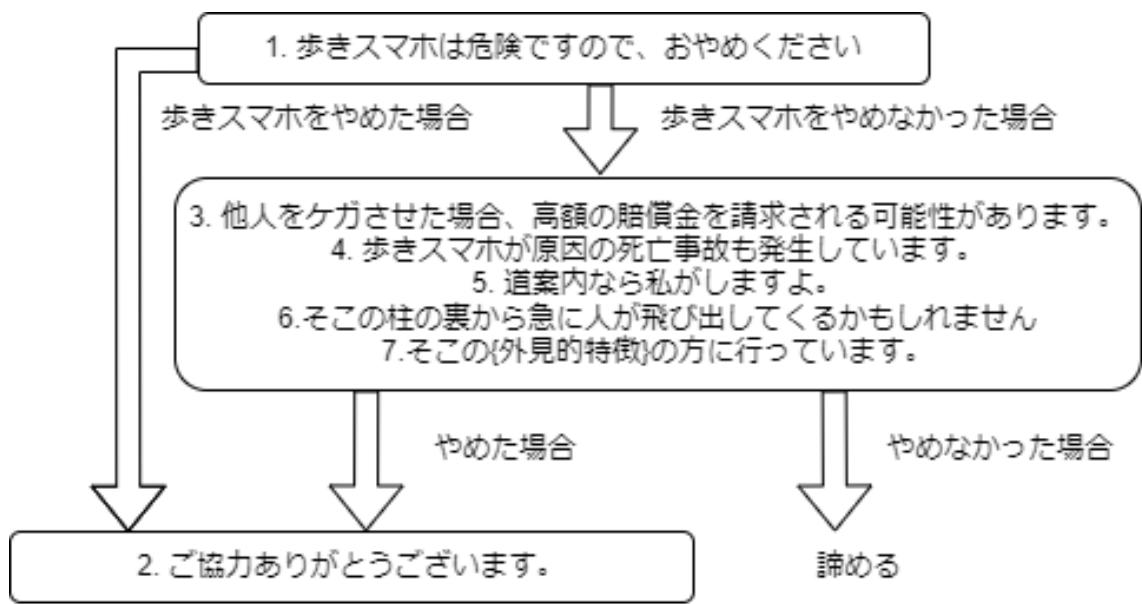


図9: 注意文言

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。その後も歩きスマホをやめなかつた場合には、図9の3,4,5,6,7の文言を用いて注意喚起を行つた。なおこの際解消方法の推定をWizard of Oz法的にオペレータが行い、それに従つて注意文言を選択した。ただしインタビューでは一回目の注意を無視するようにお願いし、一人に対してそれぞれ一回ずつ計五回の注意を行つた。なおいずれの場合も、二回目の注意でやめなかつた時にはそれ以上の注意は行わない。

### 6.3 実験参加者

インタビューでは2人の事前に協力を頼んだ人にロボットの前で歩きスマホをしてもらい注意を行つた。またケーススタディでは5組のロボットの近くで歩きスマホをしていたATCへの来場者に対しておこなつた。

### 6.4 インタビュー結果

事前に協力をお願いした二名に対して計5回注意を行い、その後どのような感想を抱いたかについてインタビューを行つた。以下図10,図11に注意の様子を示す。



図 10: 実験の様子: 一回目の注意



図 11: 実験の様子: 二回目の注意

インタ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用いた時に、自分が特定されていることで孤立感を感じ無視することが難しかった。また容姿の特徴を述べることによって周囲の人間の注目を集め、無視した際に周囲の人間からの怪訝なまなざしを向けられることも無視しづらい要因であった。
- 歩きスマホの危険性を強調する注意文言では、抑止力はかなり弱かった。
- 自分がロボットに注意されるのを目撃した他の歩きスマホをしている人は、歩くのをやめてその場で立ち止まって携帯を触っていた。
- ユーモアを用いるのも有効だと思った。

## 6.5 ケーススタディ結果

参加者の5組に関して注意した状況、どの解消方法が用いられたと推測され、どの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、周囲に人がいなかったため、「周りに人がおらず、他人に迷惑をかけていない」という認知の追加によって不快感を解消していると推測し、「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。しかし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、ロボットのほうを少し見たが歩きスマホを

継続していた。そこで2人組であり片方の1人のみが歩きスマホをしていることから、地図アプリを使用していると考え、「地図アプリを見ており、これは必要な行為である」という認知の追加によって不快感を解消していると推測した。そして「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」と返答があっ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。なおこの時、彼らが向かっていた方向は駅の方向ではなく反対側であった。

- 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が、オペレータはそのことに気づかなかった。
- 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。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。
- 特にCase2の様子を図6.5に示す。



図12: 一度目の注意



図13: 二度目の注意



図14: 駅への案内

## 6.6 実験結果の考察

実験での観察から解消方法の識別に重要な属性として、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。しかし 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。

実際にそれらの属性の値によってそれぞれどのような解消方法が用いられたかについて考察が可能である。Case1 では一度もロボットへの反応を示すことなく歩きスマホを継続しており、一方 Case4 では一度ロボットへ反応を示し歩きスマホをやめたのちに再開していた。このことから、実験時 Case1 では「認知の追加」、Case4 では「行動の変化」によって不快感を解消していると推測したが、実際はそれぞれ「無視、矮小化」、「認知の追加」によって不快感を解消していたため注意がうまくいかなかったと考えられる。なぜなら「無視、矮小化」では実際に認知になにも変化は起きていないため、注意された際即座に不快感の解消を行うことができる。一方で「認知の追加」の場合、なにかしらの認知を追加する必要があるため解消までに時間がかかる。そこで合理的な認知を追加されるまで、歩きスマホをやめることによって解消を行い、その後認知の追加によって解消を行い再び歩きスマホを再開したと予想される。

また解消方法に基づいた注意文言によって歩きスマホをやめさせることが期待できる。Case2 では行きたい方向の逆方向に歩いていたことから、地図アプリを使用していたと考えられる。そのため Case2 は解消方法をうまく推測でき、実際にそれに対する文言によって歩きスマホを止めることができた例となる。さらに Case3 では、その発言内容から「たかがロボットが中国語話せないでしょ」とロボットを矮小化していると予測される。その中で中国語で注意したこと、実験時は解消方法について推測できていなかったが、結果として矮小化を防ぐことができたため歩きスマホをやめさせることができたと考えられる。

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。これは不快感の解消のために歩きスマホをやめたのではなく、周囲の人々の同調圧力から歩きスマホをやめたと考えられる。また歩きスマホの危険性を強調する文言の抑止力が弱いという意見が得られたが、これは無視するようにお願いしているため「実験のために歩きスマホをしている」という認知が追加されており、不快感が生じなかつたことが原因と考えられる。

これらの結果から解消方法に対抗する文言によって抑止力の向上が見込めることと、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

がそれら識別に重要であることが分かった。ほかにもユーモアや同調圧力を用いた戦略が有効であることが示唆された。

## 7 今後の課題

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。さらに追加される認知や、無視、矮小化の対象には実験で想定した以外の様々なものが考えられる。そのため発話支援システムの開発のために、今後実験によってどのような解消方法が考えられるのかについての研究、および上記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。また不協和を利用した戦略以外にも、アンケートからは同調圧力を用いた戦略を取り入れたシステムも考えられる。

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、[9]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抑止力の向上につながるはずである。

## 8 まとめ

本研究ではアバターロボット警備員業務の中で歩きスマホを注意する際に、問題となる移動操作の困難性と抑止力の欠如を解決するためにオペレータ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を向いているという操作が困難であるという移動操作に関する問題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。これにより、オペレータはカメラ映像上で人をクリックするだけで、その人に適切に追従することができるようになった。

ロボットに注意されたときにたかがロボットと侮られ無視されやすいことに加えて、オペレータが効果的な注意文言をとっさに考え付くことが難しいために注意時の抑止力が欠如しているという問題を効果的な注意文言を推薦するような発話支援システムを作成することで解決できると考えた。

そこで第二に発話支援システムの構築に当たり、まず効果的な文言がどのようなものであるかについて認知的不協和理論に基づき考察を行い、注意によっ

て生じた不快感は行動を変え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しもう一度不快感の解消をせまるような文言が効果的であると結論づけた。しかし今のままでは推薦のために注意された人がとったであろう解消方法を推測する必要があり、これには認知的不協和理論に関する知識や注意された人の行動への洞察が求められる。そのためすべての人に対して有用な発話支援システムのためには、解消方法の推定をシステムが担う必要がある。

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こと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の構築やその他の戦略を取り入れることがあげられる。

## 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友人たち、本論文の執筆にあたり多くのご助言をいただいた先輩方、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] Ozimek, A.: The future of remote work, [Available at SSRN 3638597](#) (2020).
- [2] 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).
- [3] 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).

- [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] Woods, S. N., Walters, M. L., Koay, K. L. and Dautenhahn, K.: Methodological issues in HRI: A comparison of live and video-based methods in robot to human approach direction trials, ROMAN 2006-the 15th IEEE international symposium on robot and human interactive communication, IEEE, pp. 51–58 (2006).
- [7] Joosse, M., Lohse, M., Berkel, N. V., Sardar, A. and Evers, V.: Making appearances: How robots should approach people, ACM Transactions on Human-Robot Interaction (THRI), Vol. 10, No. 1, pp. 1–24 (2021).
- [8] Satake, S., Kanda, T., Glas, D. F., Imai, M., Ishiguro, H. and Hagita, N.: How to approach humans? Strategies for social robots to initiate interaction, Proceedings of the 4th ACM/IEEE international conference on Human robot interaction, pp. 109–116 (2009).
- [9] 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).
- [10] 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).
- [11] 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).
- [12] 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).
- [13] 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).
  - [14] 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).
  - [15] 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).
  - [16] 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).
  - [17] 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).
  - [18] Hainsworth, D. W.: Teleoperation user interfaces for mining robotics, Autonomous robots, Vol. 11, No. 1, pp. 19–28 (2001).
  - [19] Daneshmand, M., Even, J. and Kanda, T.: Effortless Polite Telepresence Using Intention Recognition, J. Hum.-Robot Interact. (2023). Just Accepted.
  - [20] 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).

- [21] 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).