

# 遍在する顔ロボットを用いた注意誘導効果の評価

江口綾亮<sup>1</sup> 磯山直也<sup>2</sup> 寺田 努<sup>1</sup> 塚本昌彦<sup>1</sup>

**概要：**人の視線は、注視対象や自身の感情を伝えるだけでなく、周囲の人に対して様々な影響をもたらす。例えば、人は他者の視線方向に注意が誘導されることや、他者に見られているという意識が人の行動に影響を与えることが先行研究によって明らかにされている。今後、アンドロイドロボットが社会で活躍するようになり、このような視線によるコミュニケーションや情報伝達は人とロボットの間でも可能になると考えられる。しかし、日常生活において遍在的に存在するロボットの視線が、ユーザに与える影響を調査した研究は筆者らの知る限り存在しない。そこで本研究では、日常生活環境に設置された顔ロボットの視線による注意誘導効果の評価を行う。本稿では、顔ロボットが日常生活に遍在する環境でのサービス例を複数示し、その中からふたつの想定環境において注意誘導効果を検証する実験を行った。実験の結果、顔ロボットの視線方向に被験者が注意を向けた回数は少なかった。しかし、周囲の状況や、顔ロボットのサービスに対する意識などの要因に関する考察を通して、注意誘導を用いたサービスの実現可能性が示された。

## 1. はじめに

人の視線は、周囲に様々な影響を与えており、例えば、対話相手の目を見て自分の関心が相手に向いていることを示し、話題の対象に視線を向け、お互いの注意の対象を共有し、話の理解を深めるなどコミュニケーションにおいて視線は意図の伝達や会話の調整を行っている。視線による注意誘導は会話時以外にも起きており、人は他者の視線方向へ注意が向き [1], [2], 注意誘導は視線への意識的な気付きがなくても起こる [3]. 人が何かを見下ろす、振り返る、目で追うなどの視線の動きを視認したとき、その視線の先を見てしまうことがある。また、見られているという被視感によって人の行動に影響を与える [4]. これらの働きから、視線は周囲の人に無意識的な情報処理を促し、直観的で暗示的な情報の提示を行っているといえる。

近年、人の外見を模したロボットが多数開発されており、人に代わってサービスを行うなどこれからの社会での活躍が予想される。そのため、今後視線による効果を用いたコミュニケーションや注意誘導は、人とロボットの間でも起こると考えられる。現在、情報提示にはディスプレイやスピーカを用いた文字や音、光など明示的なものが使われているが、人の顔を模したロボットによって暗示的な情報提示などの人同士のインタラクションをコンピュータと人とのインタラクションとして利用できる。これを示すように、コンピュータの支援による共同作業を研究する

CSCW(Computer Supported Cooperative Work) の分野でも、ロボットを用いた研究が行われている [7]. ロボットと人とのインタラクションの研究として Hoque らのロボットの視線による注意誘導手法がある [5], [6]. この手法は注視対象や被験者の行動に制限があり、日常生活環境においての効果を確認できるものではない。

そこで本研究では、生活環境上に人の顔を模したロボット(顔ロボット)を複数設置し、その視線による注意誘導を利用したアンビエントな情報提示システムを提案する。提案システムのイメージを図1に示す。スマートフォンに設置された顔ロボットが周りを見渡すことで歩きながらスマートフォンの操作をしているユーザの視線を上げさせる、部屋の中や机の上などに設置された顔ロボットによって自然と注意を看板や探し物に誘導するなどの提案システムの利用方法が考えられる。街中に設置した際には、ゴミの不法投棄などを防止するために設置された人の目の写真を使った看板に代わるものとしても利用できる。本研究の目的は、音声や光などを用いた注意誘導の手法と比較することではなく、今後の社会でロボットが遍在する環境を想定し、遍在するロボットの視線による誘導効果を調査することである。本稿では、視線による注意誘導効果を調査することと、遍在させるために安価な部品で製作することに重点を置き、頭部のみを再現した顔ロボットを用いる。顔ロボットが遍在する環境として、部屋内に複数の顔ロボットを設置した場合と、スマートフォンに顔ロボットを設置した場合のふたつの想定環境で実際に注意誘導効果を再現し、サービスを実現できるかを議論する。

<sup>1</sup> 神戸大学大学院工学研究科

<sup>2</sup> 奈良先端科学技術大学院大学先端科学技術研究科



図 1: 提案システムの設置イメージ

## 2. 関連研究

### 2.1 視線が人に与える影響

人の目は他の霊長類と異なる形態をもっており、小林らは他の霊長類の目との外部形態の比較を行った [8]. 小林らによると、ヒトの目は白目と黒目のコントラストが際立っており、視線の動きを読みやすいようになっている。これは進化の過程において、周囲に対する視線のカモフラージュよりも視線を用いたコミュニケーションの必要性のほうが高まったためだと考えられている。このことから、視線は情報伝達において有用な手段であると考えられる。

視線による注意誘導の効果を検証した研究として、Friesenらは画面に提示した線画の顔の視線方向が、後に画面に表示されるターゲットの位置と一致する場合、ターゲットに対する反応時間が短くなることを示した [1]. この結果は、実際の人の顔写真を用いた Driver らの研究によっても再現された [2]. Sato らは、被験者ごとに「視線方向が見えなかった」と答える顔のイラストの提示時間を調べ、その提示時間以下の顔写真の提示によっても注意を誘導する効果が生じることを明らかにした [3]. つまり視線に対する意識的な気づきがなくても注意が捕捉されるということである。

その他にも視線のもつ効果に関する研究が行われている。視線が人の行動や注意に影響を与えることを確認した研究として、Bateson らは、ある会社のドリンクコーナーで金額の設定されたコーヒーと、飲んだ人が任意で料金を支払う無人の支払箱を用意し、支払箱の近くに人の目の写真と花の写真を1週間ごとに交互に設置する実験を行った [4]. その結果人の目の写真が設置してある週の支払額は花の写真を設置した週の支払額に対し、約2倍になった。これら

の研究が示すように、人の視線には情報伝達、注意誘導、行動変容などの効果がある。人の顔のイラストや写真の固定された視線によっても注意誘導や行動変容が起こるため、顔ロボットによる何かを追いかける、交互に見比べるなどの視線の動きによってより効果的な注意の捕捉や誘導ができると思われる。

### 2.2 視線を用いたヒューマンエージェントインタラクション

ヒューマンエージェントインタラクションの分野ではロボットやアンドロイドを用いた人とのコミュニケーション方法や情報提示の方法に関する研究が数多く行われており、それらの知見は本研究のシステム設計においても有用である。例えば、深山らは、ロボットの存在感が注視対象への注意を妨げ、期待した効果が得られない可能性を示唆した [9]. この研究は、CG エージェントによるある対象物の説明行為と CG エージェントを用いない説明を比較した。比較の結果、CG エージェントによる説明では、被験者の対象物への注視時間が短くなり、説明された内容の記憶量も減少することが確認されている。そのため、ロボットの注視対象へ注意を向けるよう促すインタラクションの設計が必要となる。一條らは2体のロボットの共同注視によって、ロボット間のインタラクションへの人の引き込みや対象物への注意誘導ができることを示した [10]. ロボット2体が被験者を共同注視した際には、すべての被験者がロボットとのアイコンタクトを試みており、ロボットから期待されているように感じるといったアンケート結果も得られた。Goetz らによると、ロボットの外見が人の顔を模したものは、機械的なものより社会的なタスクが可能だというイメージや期待感を人に与えるとされている [11]. このことから、アンドロイドロボットの顔の動きや視線によりノンバーバルなインタラクションへの自然な引き込みができ、情報提示や注意誘導をユーザに意識させずに行えることがわかり、本研究においてもロボットの外見によるインタラクションの影響を考慮する必要がある。

近年様々な目的を持ったアンドロイドロボットが開発されてきており、将来的には生活のあらゆる場面でアンドロイドロボットのサポートを受けることが一般的になると考えられる。CSCW の分野においてロボットは、三次元的に注意の方向を示すことができるため、遠隔コミュニケーションのためのメディアとして期待されており、人とロボットのインタラクションが必要とされる。石黒らは自身をモデルにした、ジェミノイドというきわめて人に近い外見をもつアンドロイドを開発している [12]. 近藤らは Actroid-SIT というアンドロイドを用いてより正確な視線の表現方法を示した [13]. しかし、これらのアンドロイドは価格が高く、日常生活環境に簡単に取り入れられるのではなく、現在活用されるシーンは講演やイベントなどに

限られている。Hoqueらは人の顔を模したロボットを用いて壁にかかった絵画への注意誘導を行った [5], [6]。人の顔を模したロボットによる注意誘導を行った研究であるが、被験者は椅子に座り絵画を見回すだけの状態で、普段の生活でロボットを特に意識していない状況での効果を示すものではない。これらのように人に似た顔をもつロボットを用いた研究も行われているが、日常生活の環境上に顔ロボットが遍在する影響についての研究は筆者らの知る限り行われていない。本稿では、部品の少ない安価なロボットを生活環境に多数遍在させ、注意誘導などアンビエントな情報提示を行うシステムの効果を調査する。

### 3. 提案システム

#### 3.1 システム構成

本研究では、生活環境に遍在するロボットの視線によって人の注意誘導や防犯を目的としたシステムを提案する。本稿ではロボットの視線による誘導効果を調査することと、環境上に遍在させることに重点を置き、頭部のみを再現した顔ロボットを用いる。視線による注意誘導のためには、顔ロボットの視線を変化させる必要がある。頭部を含めたロボットの動作によって、よりユーザが認識しやすい3次元的な視線方向の表現が可能であると考えたため、顔ロボットは目と顔の向きを駆動制御する。また、顔ロボットの形態は、人の視線を再現するために実際の人に近い外見をもち、様々な設置場所や状況に合わせた大きさにする。

提案システムはカメラやセンサ、PC、顔ロボットで構成される。カメラやセンサで人や周辺環境の状況を認識し、得られたデータを元にPCで状況と目的に応じて顔ロボットの頭部、目を動かして視線を提示する。顔ロボットは顔モデル、マイコン、モータから構成され、PCから送信された制御角をマイコンが受信してモータを動かし、顔ロボットの視線の向きを制御する。

顔ロボットの動作として、注意誘導を行うために誘導対象であるユーザと注意対象に交互に視線を向ける、不特定多数の注意を誘導するために設定された注意対象へとふいに視線を向ける、見られているという意識を与えるためにユーザに視線を向ける等があげられる。センサ情報により制御角を決定する以外にも、事前に設定された動作や、ユーザが操作することで任意の動作を行うことも想定する。

#### 3.2 サービス例

遍在する顔ロボットには、環境に設置されている顔ロボットとユーザが携帯する顔ロボットが考えられる。環境に設置された顔ロボットは個人に対してだけでなく、不特定多数の人に対しても注意誘導を行う。ユーザが携帯するロボットは、ユーザの目的に応じた動作、注意誘導を行う。さらに、ユーザのアバタとして、他者が携帯するロボットや環境側のロボットと連携してユーザのコミュニケーション

支援などを行うこともできる。それぞれの環境における提案システムを用いたサービス例を以下に示す。

#### 環境上に設置された顔ロボット

- 講義や発表の場で、机上に設置された顔ロボットが視線を上げることで聴講者の注意を発表者に向けさせ、強調したい部分や重要な部分を伝えるのを助ける。
- 扉に設置された顔ロボットが、扉を開ける人と鍵の位置を交互に見ることで、鍵の閉め忘れを防ぐ。
- 店頭や店内において、商品の前を通る人と商品を交互に見ることで、商品を宣伝する。
- 店内において、商品を手に取る人を見つめることで万引きを防ぐ。
- ゴミの投棄禁止場所や、指定時間外にゴミを捨てに来た人を見つめることで、不法投棄を防ぐ。
- ATMやスマートフォンに設置された顔ロボットが、肩越しに画面を覗いてくる人の顔を見ることでユーザにその存在を気づかせ、ショルダーハッキングを防ぐ。

#### ユーザが携帯する顔ロボット

ユーザが顔ロボットを携帯する場合、何かに装着したり、特定の場所に置いたりして利用すると想定される。

- 歩きながらスマートフォンを操作している場合、スマートフォンに装着した顔ロボットが周囲を見るように動くことで、ユーザが自然に周囲を確認するのを促す。
- 忘れ物とユーザを交互に見ることで、ユーザに気づかせる。
- 話し合いや会議の場で、自身の顔ロボットと他者の顔ロボットがうなずき合うなどのコミュニケーションをとることで、ユーザ自身のコミュニケーションを促す。
- 勉強や作業に集中していない人を見つめることで集中させる。

### 4. 実装

実装した顔ロボットを図2に示す。本稿では想定した実験環境に設置できるように顔ロボットの大きさは、高さが8.8 cm、横幅が6.7 cm、奥行きが7.8 cmで作製した。顔モデルは、人の顔を再現するために第一著者の顔を3D SYSTEMS社のiSenseを用いて3Dスキャンし、得られたデータをサンステラ社の3DプリンタUP Plus2で出力し着色したものである。モータにはTower Pro社のマイクロサーボ9g SG-90を用い、頭部全体を動かすために2つ、目玉を左右に動かすために1つの合計3つのモータによって顔ロボットの視線の向きを制御する。モータの可動域は0°から180°で、頭部は正面を90°として上下左右に90°回転可能である。PCから無線通信によってマイコンに制御角を送信し、マイコンが制御角に応じてモータを駆動させる。マイコンにはArduino Nano、無線通信モジュール

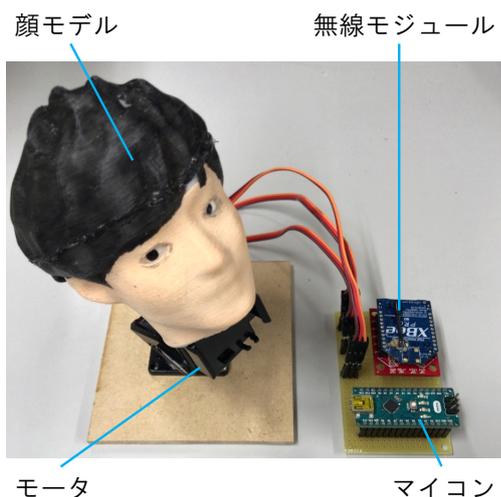


図 2: 顔ロボット

ルには XBee を用いた。本稿で実装したシステムでは、カメラやセンサを用いず、顔ロボットは手動による制御角の送信、あるいはあらかじめ設定した時間と制御角に応じて駆動する。本稿の評価実験では、実装したシステムを用いて評価を行う。

## 5. 実験

提案システムが構築する顔ロボット遍在環境には、環境上に設置されている顔ロボットと、ユーザが携帯している顔ロボットがある。この各タイプの顔ロボットの注意誘導の効果やユーザの顔ロボットに対する印象などを調査する。部屋内に設置した複数の顔ロボットによる注意誘導を検証する実験と、スマートフォンに装着した顔ロボットによる注意誘導を検証する実験を行った。

### 5.1 室内設置実験

日常生活環境に設置されている複数体の顔ロボットによって注意誘導が起こるかを検証するために、普段から被験者が研究活動を行っている居室に 4 体の顔ロボットを設置して被験者の様子を観察した。

#### 実験方法

図 3 のように大学内の学生居室に 4 体の顔ロボットを設置し、顔ロボットの視線の動きによって被験者の注意が誘導されるのかを調査する。被験者に装着型アイトラッカの Tobii Pro Glass 2 を装着させ、被験者の視野映像と注視点情報を記録し、web カメラで部屋全体を撮影した。被験者の視界に入りやすいように、4 体の顔ロボットは、1 体を部屋の入り口付近の靴箱に、1 体を共有で使うソファの前の机に、2 体を被験者の机に設置し、個別あるいは複数体同時に動作させる。実験者は別室で、実験室内の様子を web カメラの映像で確認しながら、顔ロボットを操作した。被験者にはイヤホンをつけさせ、顔ロボット動作時のモータ音をなるべく聞こえない状態にし、実験の目的や実

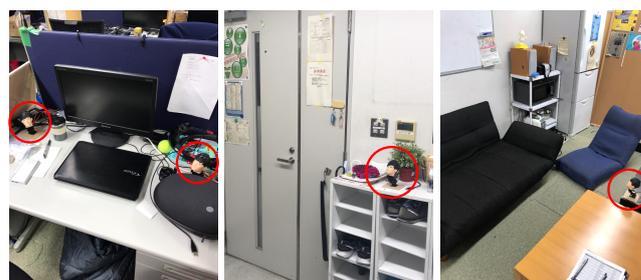
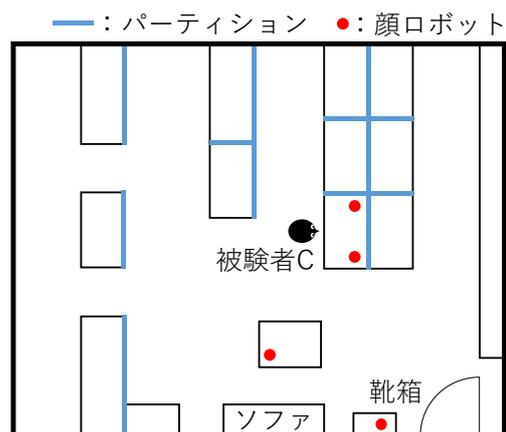


図 3: 被験者 C の実験時の環境

験者がロボットを操作していることを伝えずに実験を行った。また、被験者には普段どおりの部屋での行動をしてもらうことと、アイトラッカによる撮影が、都合が悪い場合にはアイトラッカを一時的に外してもかまわないということを伝えた。実験は被験者 1 名ずつ行い、実験中の部屋には被験者以外の数名の学生が在室していた。実験時間は約 1 時間とした顔ロボットを操作した時間とモータの角度を記録し、撮影した動画から被験者の反応を観察した。実験後、被験者は「顔ロボットの存在が気になったか」と「顔ロボットの視線方向が気になったか」の 5 段階評価と自由記述のアンケートに回答した。被験者は、普段実験で使用した部屋にて研究活動を行う 20 代の学生 5 名（男：4 名、女：1 名）であり、以降では被験者 A E とする。実験者は第一著者である。

#### 実験結果と考察

実験で使用した顔ロボットに関して、被験者が移動したときも視界に入るように入り口付近と共有のソファ前にもロボットを設置したが、今回の実験中に被験者が自分の机から移動することはなかったため、注意誘導のために機能したのは机上のロボット 2 体であった。被験者は基本机に向かい PC で作業を行っていたが、部屋にいる他の学生と会話する様子も何度かみられた。実験の結果を表 1 に示す。被験者が顔ロボットや顔ロボットの視線方向を見た回数は、実験者が撮影したアイトラッカの映像を見て確認した。アイトラッカの映像のキャプチャ画面を図 4 に示す。

表 1: 映像から得られた実験結果

	顔ロボットの動作回数 [回]	顔ロボットを見た回数 (動作時) [回]	顔ロボットの視線方向を見た回数 [回]
被験者 A	13	8(5)	0
被験者 B	16	5(5)	0
被験者 C	13	7(5)	1
被験者 D	12	6(3)	0
被験者 E	13	7(5)	0



図 4: アイトラッカ映像のキャプチャ画面

図 4 の赤い丸印は、被験者がキャプチャ画面内のどこを見ているかを示す注視点マーカである。実験中に顔ロボットを見る様子は 5 人の被験者全員に確認され、特に顔ロボットの動作時には注意を引き付けやすいことがわかる。しかし、ロボットの視線方向にまで注意を向ける様子は被験者 C に一度確認されたただけであった。

次にアンケートの結果を図 5 に示す。顔ロボットの視線方向はあまり気にならないという回答が多かった。アンケートの自由記述において、顔ロボットが視界に入っているときに動くと感じるという意見や、目が合っている状態で視線が動くと、その方向が気になるといった意見が得られた。ユーザと顔ロボットのインタラクションに応じた動作タイミングも誘導において重要であると考えられる。

被験者 C について考察すると、顔ロボットの視線方向に注意が向いたのは、7 回目の動作時に被験者の斜め後方を向いたときであった。このとき被験者の斜め後方には人がおり、その場所は被験者の視界の外であった。このとき以外にもその場所に人がいる状況は何度かあったが、被験者の注意が向いたのはこの動作時のみであった。それまでに顔ロボットは、ユーザ自身の顔や、人の出入りがある際にドアの方向を向く動作を行っていた。これによって顔ロボットは人を見ているということを印象付けることができ、被験者 C は視界の外である斜め後方に人がいると意識したのではないかと考えられる。また、被験者 C が斜め後方を見たのは顔ロボットが動作してから 4 秒程経ったあとであった。このことから、顔ロボットを用いた注意誘導は反射的に起こるものではなく、顔ロボットが何を見ているか、自身の周囲の状況はどうなっているかなど、ユーザが意識的な意味解釈を行ってから視線の移動というアクションを起こすのではないかと考える。被験者 C はアンケートにおいて顔ロボットの視線方向はあまり気にならなかったという回答であったが、自由記述では顔ロボットの視線方向に気が向いたことはあったと回答している。このことから顔ロボットの動作時すべてにおいて視線を気にしていたのではなく、特定の状況や意識等の条件が合わさったときに視線による誘導の効果を得られたといえる。

次に注意誘導の効果が確認できなかった原因を考察する。すべての被験者において、顔ロボットに対する反応は実験

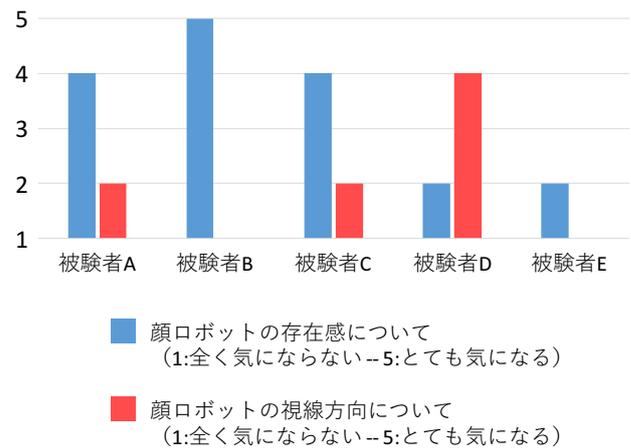
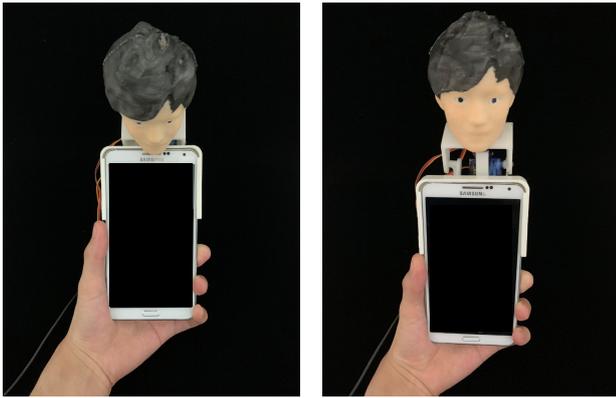


図 5: 室内設置実験のアンケート結果

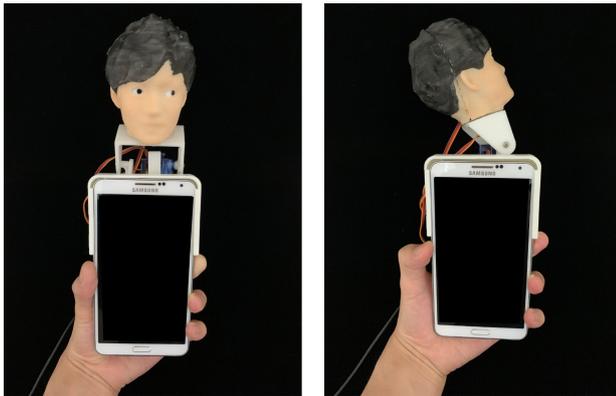
開始時から終了時まで満遍なくみられ、慣れによる反応の変化はみられなかった。しかし、図 4 のように被験者の机上にはパーティションがあったため、顔ロボットの方向によっては、パーティションの向こうにあるものを見ているということが伝わらず、誘導の効果にも影響があったと考えられる。また、被験者 C においては顔ロボットが人を見ていることを印象付けることができたが、顔ロボットは周囲にアクションがないときにも動作させており、他の被験者においては顔ロボットが何かを見ているという印象付けられなかった可能性がある。顔ロボットが何かを見ており、ユーザがその方向に注意を向けようと意識するために必要な顔ロボットの動作やタイミングを引き続き調査する必要がある。あるいは、室内において移動する人などの情報は被験者にとって重要ではなく、顔ロボットの視線方向に興味がなかった可能性も考えられる。ユーザにとって注意を向けるべき情報を提示するサービスの検討も行う必要があると考える。

## 5.2 スマートフォン操作実験

ユーザが携帯している顔ロボットによる注意誘導を検証するために、顔ロボットを装着したスマートフォンケースを実装した (図 6)。ユーザの注意をスマートフォンから動かすことで、歩きながらのスマートフォン操作による事故



(a) 通常状態 (b) ユーザの方を向いた状態



(c) 眼球のみ動いた状態 (d) 前方を向いた状態

図 6: スマートフォンに装着した顔ロボット

が防止できる。顔ロボットが装着されたスマートフォンと装着されていないスマートフォンを用いて、顔ロボットの有無による被験者の様子を比較した。

#### 実験方法

実験の様子を図 7 に示す。被験者は歩きながら、顔ロボットを装着したスマートフォンと、装着していない通常のスマートフォンを用いて、それぞれスマートフォン上で画面に表示されている文章を写す入力操作を行った。被験者の歩く道は曲がり角と階段を含む校内の廊下で、両歩行で同じ道順で歩かせた。道順は、実験前に口頭で被験者に説明した。顔ロボットは、通常はスマートフォンを持つ被験者の手元の方向を向いており、実験開始から 90 秒、110 秒、160 秒後に前方を向くように動作した。また、視線による注意の誘導を促すために、顔ロボットが前方を向く前に、顔を上げ被験者の顔を見てから眼球のみを横方向に動かす動作を行った。被験者には顔ロボットの動作について説明せずに実験を行う。各歩行時間は約 3 分間であった。通行人などの実験環境は統一することができないため、視線を上げた回数などでは注意誘導効果の評価は難しい。そのため被験者にアイトラッカを装着させ、実験中の被験者の視線情報と周囲の状況を映像で記録し、実験後に映像を観察して視線移動や通行人とのすれ違いなどのイベントを抽出

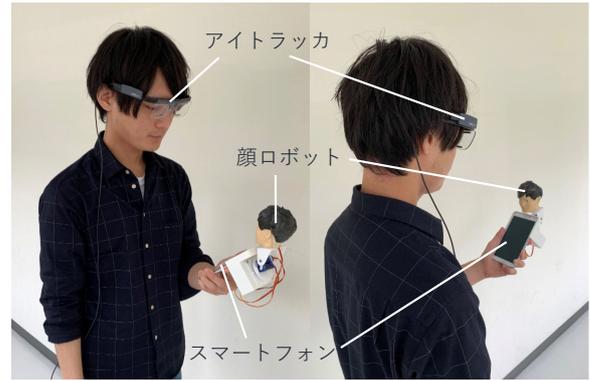


図 7: スマートフォン操作実験の様子

し特徴を考察することで注意誘導の効果を評価する。実験後、被験者に「顔ロボットの視線方向が気になったか」を 5 段階で回答する質問と自由記述のアンケート調査を行った。被験者は実験時に歩く廊下を歩き慣れた 20 代の男性 4 名であり、以降では被験者 A D とする。被験者 2 名はロボットを装着したスマートフォンから実験を行い、その後装着していないスマートフォンでの実験を行った。残りの 2 名は逆順で実験を行った。

#### 実験結果と考察

各被験者の顔ロボットの有無の影響をみるために、各被験者のアイトラッカの映像から、イベント抽出を行った。表 2 はある被験者の顔ロボットが装着されているスマートフォンを用いた実験中のイベントを表している。また、アンケート結果を図 8 に示す。

各被験者について考察を述べる。まず、被験者 A にみられた特徴として、2 分 37 秒ごろの顔ロボット動作時に、入力が 4 秒ほど止まった。顔ロボットがない場合の実験でも、人とすれ違う時に入力が止まった。しかし、人とすれ違うなどの状況ではなく、周囲を確認するために自発的に顔を上げる場合には、一瞬視線を上げてすぐに入力操作に復帰しており、入力が止まる様子は確認されなかった。このことから、入力が止まるときは自発的に顔を上げて周囲を確認する場合よりも、スマートフォンの操作から注意が離れていると考えられる。つまり、顔ロボットの動作によって、注意が誘導されたと考えられる。このイベントの前の 1 分 27 秒ごろに、被験者の前方に人がいる状況で顔ロボットが動作するシーンがあった。このときにも入力が止まる様子が確認されており、被験者 A は顔ロボットの動作時には周囲に人がいるという意識をもった可能性がある。また、アンケートにおいて被験者 A は、顔ロボットの視線方向について、気になったときもあれば気にならなかったときもあったため、どちらでもないという回答であった。前述のように、顔ロボットの動作時に周囲に人がいる、つまり顔ロボットが何かを見ているという意識の有無によって、顔ロボットの視線に対する意識にも変化が生じると考える。

表 2: 映像から得られたイベント抽出の例

経過時間 [秒]	視線, 被験者の様子	状況, 顔ロボットの動作
26	視線を前方に向ける	階段を上る 2.3m 手前
30		階段上りはじめ
49		階段上り終わり
53		前方から歩いて来た人とすれ違う
60		左方向曲がり角
63		前方から歩いて来た人とすれ違う
87	顔ロボットを見る 入力が止まる	顔ロボット動作
89	前方にいる人を見る	3m 前方から人が歩いてくる
90		前方から歩いて来た人とすれ違う
91	入力再開	
⋮	⋮	⋮

次に被験者 B について考察を行う。被験者 B は実験中歩行者とすれ違う場面はなかった。特徴的な場面として、階段の 4, 5m 手前で顔ロボット動作時に前方を見た。被験者 B は先に顔ロボットを装着していないスマートフォンで実験を行い、そのときには階段や曲がり角の直前、もしくは曲がった後に視線を上げた。顔ロボット動作時は顔ロボットのいないときよりも早い段階で前方を見た。顔ロボットがないときに、階段や曲がり角付近で視線を上げる回数が多いことから、被験者 B はその付近では視線を上げるという意識をもともと持っていると考えられる。そして、顔ロボットの動作タイミングと、視線を上げる意識が発生する状況が重なったことで、顔ロボット動作時に前方を見るというアクションが起こったと考える。以上のことから、注意の誘導にはユーザの意識だけでなく、周囲の状況と合わせたタイミング、誘導の目的対象が必要であると考えられる。

被験者 C と D の実験中の映像からは特徴的なイベントは確認されなかった。被験者 C はアンケートにおいて、「普段歩きながらスマートフォンを操作するときも自発的に周囲を確認するので、顔ロボットによってその意識に変化が生じたとは感じなかった」と回答した。しかし、「スマートフォンの操作に集中しているときに顔ロボットが動作すると顔を上げた気がする」との回答も得られた。このことから、周囲の確認という行動は、被験者自身が周囲の状況を把握しているときには起こりにくく、あるものに集中しているときに外部からの通知があると起こりやすくなるのではないかと考える。つまり、注意誘導を行うには、ユーザが集中している対象や状態などを把握し、そこから別の目的の対象へ誘導する動作を起こすことが有効であると考えられる。被験者 D は「顔ロボットが、きょろきょろと何かを追うように動いたら気になった可能性がある」と回答した。顔ロボットの視線を用いた注意誘導のサービスを実現するための、顔ロボットの外見や動作の改善案について、次の

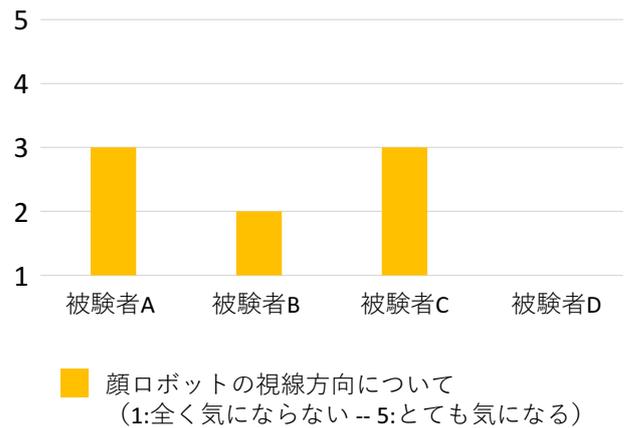


図 8: スマートフォン操作実験のアンケート結果

節で議論を行う。

### 5.3 議論

ふたつの実験を通して、注意誘導のためには、ユーザに顔ロボットが何かを見ているということ、見ているものがユーザにとって注意を向けるべきものであることを意識させる必要があると論じた。その条件を満たすための周囲の状況も考慮する必要がある。今後実験環境を設定する際には、あらかじめ被験者が注意を向けるものが何かを調査し、顔ロボットが見ているものを伝えておくことで、これらの条件を踏まえた注意誘導の効果を調査する。また、注意誘導の効果を高めるために必要な要件として、顔ロボットの外見や動作についての改善が求められる。

顔ロボットの外見に関して、今回用いた顔ロボットの目は左右方向にしか動かさず視線の動きの再現が不十分であった。近藤らの研究によると、頭部運動と眼球運動の両方を組み合わせた動きが人の注意を誘導するのに効果的であるとされている [14]。そこで頭部の動きに合わせて目玉も上下左右に動くように改良することで、視線の移動や見ている対象の方向をより認識されやすくすることが期待できる。

顔ロボットの動作に関して、今回顔ロボットは静止状態から目的の角度まで動作するだけであった。5.2 節の被験者 D のアンケートでの回答のように、きょろきょろと見まわすような動作や、何かを追いかけるような動作など、連続した動作を行うことでより人らしい視線の動きを再現でき、注意誘導の効果にも差が生じると考えられる。

## 6. まとめ

本稿では、実世界上に遍在する顔ロボットによる注意誘導や防犯を行うシステムの提案と、サービスの一部の実装を行った。部屋内に複数の顔ロボットを設置した場合とスマートフォンに顔ロボットを設置した場合で注意誘導効果を検証する実験を行い、どちらの実験においても誘導の効

果を確認できた。しかし、ロボットの動作すべてに対して効果が確認できたわけではなく、今後は顔ロボットの視線の動きを表現するために顔ロボット自体の設計の改良や、状況に合わせた動作を行うためにカメラやセンサと組み合わせた設計を行うなどシステムの見直しが必要である。また、顔ロボットの外見の変化や、それに伴う被験者の顔ロボットに対する意識の変化の調査を行う。実験環境や顔ロボットに対する慣れによって注意誘導の効果に差が出る可能性もあるので、実験環境の設定と引き続いての実験を検討していく。

## 謝辞

本研究の一部は、JST CREST(JPMJCR16E1, JPMJCR18A3)の支援によるものである。ここに記して謝意を表す。

## 参考文献

- [1] C. K. Friesen and A. Kingstone: The Eyes Have It! Reflexive Orienting is Triggered by Nonpredictive Gaze, *Psychonomic Bulletin and Reviews*, Vol. 5, Issue 3, pp. 490–495 (Sep. 1998).
- [2] J. Driver, et. al.: Gaze Perception Triggers Reflexive Visuospatial Orienting, *Visual Cognition*, Vol. 6, Issue 5, pp. 509–540 (1999).
- [3] W. Sato, T. Okada, and M. Toichi: Attentional Shift by Gaze is Triggered without Awareness, *Experimental Brain Research*, Vol. 183, Issue 1, pp. 87–94 (Oct. 2007).
- [4] M. Bateson, D. Nettle, and G. Roberts: Cues of Being Watched Enhance Cooperation in a Real-World Setting, *Biology Letters*, Vol. 2, pp. 412–414 (Sep. 2006).
- [5] M. M. Hoque, et. al.: An Empirical Framework to Control Human Attention by Robot, *Proc. of International Workshop on Gaze Sensing and Interactions (ACCV2010 Workshops)*, LNCS6468, pp. 430–439 (Nov. 2010).
- [6] M. M. Hoque, et. al.: Controlling Human Attention through Robot's Gaze Behaviors, *Proc. of the 4th International Conference on Human System Interaction (HSI2011)*, pp. 195–202 (May 2011).
- [7] 葛岡英明: CSCWにおけるソーシャルロボット研究の動向, 日本ロボット学会誌, Vol. 29, No. 1, pp. 6–9 (Jan. 2011).
- [8] 小林洋美, 幸島司郎: コミュニケーション装置としてのヒトの目の進化, 電子情報通信学会誌, Vol. 82, No. 6, pp. 601–603 (June 1999).
- [9] 深山 篤, B. P. Vincent, 大野健彦: 視線分析に基づく擬人化エージェントのユーザビリティ評価の検討, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 103, No. 743, pp. 53–58 (Mar. 2004).
- [10] 一條剛志, 棟方 渚, 開 一夫, 小野哲雄: ロボット2体の共同注視が与える引き込み効果の検証, HAI シンポジウム 2013 論文集, pp. 214–218 (Dec. 2013).
- [11] J. Goetz, S. Kiesler, and A. Powers: Matching Robot Appearance and Behavior to Tasks to Improve Human-Robot Cooperation, *Proc. of the 14th IEEE International Workshops on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN 2003)*, pp. 55–60 (Dec. 2003).
- [12] 石黒 浩: アンドロイドの存在感, バーチャルリアリティ学会誌, Vol. 14, No. 1, pp. 7–11 (Mar. 2009).
- [13] Y. Kondo, et. al.: Gaze Motion Planning for Android Robot, *Proc. of the 4th ACM/IEEE International Conference on Human Robot Interaction*, pp. 171–178 (Mar. 2011).
- [14] M. Hashimoto, H. Kondo, and Y. Tamatsu: Effect of Emotional Expression to Gaze Guidance Using a Face Robot, *Proc. of the 17th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication*, pp. 95–100 (Aug. 2008).