

# ソーシャルロボットにおけるプライバシーに配慮した 眼のデザインの探索的研究

篠原 舞乃<sup>1,a)</sup> 坂本 大介<sup>1</sup> 小野 哲雄<sup>1</sup>

受付日 2024年5月19日, 採録日 2024年11月1日

**概要:** 社会的ロボットが人々の生活空間に普及しつつある中で、ロボットがユーザを日常的に監視する機会が増えている、人間とロボットが調和して暮らす社会を実現するためには、この「見られる」ことによるプライバシーの認識を理解することが重要である。本稿では、ロボットの眼の表現がプライバシーの懸念に与える影響について調査した実験について報告する。我々は小型の円形ディスプレイを用いてロボットの眼の印象を多様に表現できるプロトタイプを開発した。これを用いて、ロボットと生活する環境におけるプライバシーの懸念を評価するビデオ調査実験を行った。実験結果からロボットの眼の印象はプライバシーの懸念に関する知覚に影響を与えることが示された。特にねに開いている眼を持つロボットは、人が離れると眼を閉じるロボットや眼のディスプレイを消灯させるロボットよりも、プライバシーの懸念が低いという予想外の結果が得られた。これらの結果は、ロボットの眼の印象がユーザのプライバシーに関する懸念の知覚に影響を与えることを示している。最後にプライバシーの懸念を生じさせうるロボットの眼のデザインについて議論する。

**キーワード:** ヒューマンロボットインターラクション, 社会的ロボット, 眼のデザイン, プライバシー

## An Exploratory Study of Privacy-friendly Eye Design for Social Robots

MAINO SHINOHARA<sup>1,a)</sup> DAIKU SAKAMOTO<sup>1</sup> TETSUO ONO<sup>1</sup>

Received: May 19, 2024, Accepted: November 1, 2024

**Abstract:** The adoption of social robots in everyday life requires the integration of understanding privacy perceptions related to being “watched” into their design. In this paper, we present an experiment investigating the impact of robot eye design on user’s privacy concerns. We developed a prototype robot with display-based eyes and conducted a video-based experiment to investigate the impacts on perceptions of privacy concerns living with the robot. Contrary to our initial hypothesis, our findings reveal that robots with eyes that remain “always on” elicit lower privacy concerns compared to robots with eyes that close or turn off (the display) just before a person leaves. These results suggest that the impressions of a robot’s eyes affect users’ perceptions of privacy concerns, highlighting the importance of considering the perceptual effects of robot eye behavior in the design of privacy-friendly robots.

**Keywords:** human-robot interaction, social robot, eye design, privacy

### 1. はじめに

近年の技術の急速な進歩とともに、人と社会的に交流する社会的ロボットが人々の生活空間に普及しつつある。これらのロボットは、人間やその他の生物を模倣して設計

されており、人間との自然かつ直感的なインターラクションを可能にしている。これは人間とロボットのインターラクション (Human-Robot Interaction ; HRI) における重要な設計方針の1つである。しかし、社会性を持つロボットが家庭や職場などのプライベートな空間に入り込み、日常生活の一部となることで、プライバシーに関する新たな懸念が生じる可能性がある [1]。そしてプライバシーの懸念

<sup>1</sup> 北海道大学  
Hokkaido University, Sapporo, Hokkaido 060-0814, Japan  
a) shinomai@eis.hokudai.ac.jp

は不快感を生じさせ、家庭での使用を妨げる要因になりうる[2]。ゆえに、人間とロボットが共生する社会の実現のためには、ユーザのプライバシーを適切に配慮したロボットデザインが求められ、これは HRI の分野における研究課題となっている。プライバシーに配慮したロボットの設計を目的とした研究[3], [4]は以前から行われてきたが、その多くは個人情報や機密データの収集といったプライバシーの技術的側面に焦点が当てられてきた。しかしながら、ロボットに「見られている」という社会的側面に焦点を当たした研究はわずかである。社会的エージェントであるとともに機械でもあるという社会的ロボットの二重の性質[5]を考慮すると、社会的ロボットが持つプライバシーの課題に社会的側面と技術的側面の双方から検討することは重要である。

本研究は、見るという行為において重要なインターフェースである「眼」に焦点を当て、眼を持つロボットがもたらしうるプライバシーの懸念を緩和する眼のデザインを探求する。我々は、非インタラクション時に非活動状態であることを示唆する眼を表示することで、ロボットとの生活におけるプライバシーの懸念を軽減できるという仮説を立てた。眼を通して非活動状態を示唆する最も単純な方法は眼を消灯させることであるが、我々はより自然で生物らしさを損なわない表現として、「眼を閉じる」ことを検討に加えた。そして小型ディスプレイを用いて消灯や閉眼を含む多様な眼の表現に切替え可能な眼のプロトタイプを開発し、このプロトタイプを搭載したロボットとの生活を描いたビデオをもとに、プライバシーの懸念を評価するオンライン実験を行った[6]。

実験の結果、予想に反して、人が離れると眼を消灯させたり閉じたりするロボットは、つねに眼を開いているロボットと比べ、プライバシーに関する懸念を高める可能性が示唆された。この知見は、眼を持つロボットにおけるプライバシーに配慮した設計指針に対して新たな視点を与えるものである。

## 2. 関連研究

### 2.1 プライバシー

プライバシーとは、「自己あるいは個人が属する集団への接近に対する選択的な統制」[7], [8]と定義される。プライバシーは人間同士だけでなく、人間とロボットのインタラクションにおいても、成功のための重要な指針となる[9]。HRI の分野ではプライバシー・バイ・デザイン（システム設計およびその構築段階からプライバシー保護を考慮し実装する仕組み[10]）やプライバシーに配慮したアプローチ[11]など、プライバシーが倫理的なロボットの設計における重要な考慮事項となっている。

プライバシーとは多面的な概念である。一般的にプライバシーは、機密性の高い個人情報が収集されることによっ

て損なわれると理解されていることが多いが、Gavison は、情報の漏洩に限らず、他者の注目の対象となるだけでもプライバシーが失われる可能性があると指摘している[12]。また Austin はプライバシーが失われる事例の1つに大衆の視線に晒されることをあげ、他者の視線から自身の安全を守ることは、社会の中で自己の個性を守ることになると主張した[13]。Smith らは、プライバシーを物理的プライバシーと情報的プライバシーに分類し、多くの研究分野でこれらが明確に区別されていないと指摘している。彼らは、物理的プライバシーを「個人および/または個人の周囲やプライベートな空間へのアクセス」、情報的プライバシーを「個人を特定できる情報へのアクセスと管理」と説明した[14]。

本稿では、Smith らの分類に従い社会的ロボットがユーザの物理的および情報的プライバシーに与える影響に焦点を当てる。人間とロボットの間の物理的プライバシーを「ロボットに監視されることによって生じる個人への物理的侵入を制御する能力」、情報的プライバシーを「ロボットを介した第三者による情報への侵入を制御する能力」とそれぞれ独自に定義する。

HRI の分野では擬人化されたロボットがプライバシーに与える影響が広く研究してきた。その多くは情報的プライバシーに関わるもの、すなわちロボットによる情報漏洩のリスクを調べたものである。一方の物理的プライバシーは、近接学の知見をもとに人とロボット間の快適な身体的な距離を調べた研究が物理的プライバシーに関連していると見なすことができる。

### 2.2 社会的ロボットとプライバシー

「Computers Are Social Actors (CASA)」理論によると、人間はコンピュータエージェントとのインタラクションにおいて人間同士の社会的規範を適用することが知られている[15]。実際に、人々はロボットに対して共感[16]や社会的配慮[17]をすることが示されている。このような社会的な意識を生じさせるロボットがプライベートな空間に溶け込むことになれば、ユーザのプライバシーに関する新たな懸念が生じる可能性がある[1]。以下に、ロボットに知覚される擬人化、生命性、好ましさについて述べ、プライバシーとの関係を論じる。

#### 2.2.1 擬人化とプライバシー

擬人化されたロボットと人間の社会的な相互作用に関する研究は、これまで広く行われてきた。人は、同じ大きさの円筒形の物体と比べて、人型の物体から大きな距離を保つ傾向があり、機械的な外観のロボットと比較して、人型ロボットから大きな距離を保つ傾向がある[18]。さらに、人型ロボットは、ウェブカメラに接続されたタブレットで構成される直立型端末であるキオスクよりも、より多くの個人情報を収集できることが示されており[19]、擬人化さ

れたロボットの社会性を利用した情報収集が、プライバシーの新たな脆弱性になる可能性がある [1]。これらから、擬人化は物理的プライバシーと情報的プライバシーの両方において密接に関わっていると考えられる。

### 2.2.2 生命性とプライバシー

生命性の知覚とは、物体を単なる物体ではなく、生命感のある実体として認識することである。生命性の知覚の例としては、Heider は、人がスクリーン上の幾何学的図形の単純な動きに対して意図を見出すことを示した研究があげられる [20]。ロボットの持つ生命性がプライバシーに与える影響を示した研究は擬人化に比べて少ないが、生きていることは人間らしいことの本質であることを考慮すると、擬人化と生命性は重なる部分がある [21]。ゆえに、生命性の知覚についても、プライバシーに対する懸念に関連する要素となりうる。

### 2.2.3 好ましさとプライバシー

好ましさとは、個人の魅力的な特徴に対する肯定的な感情を意味し、ロボットの外見 [22] や楽しそうな表情 [23] が子供のロボットに対する好ましさに影響を与えることが分かっている。また人とロボットの近接行動を調べた研究 [24] では、ロボットが嫌いな参加者はロボットと相互注視しているとき互いの物理的距離を遠く保つのに対し、ロボットが好きな参加者はそのような傾向が見られなかつた。さらにロボットが好きな参加者は、ロボットが嫌いな参加者に比べて多くの情報を開示した。これらから、好ましさは物理的プライバシーと情報的プライバシーの両方において密接に関わっていると考えられる。

これらの文献をもとに、我々はロボットに対する印象（擬人化、生命性、好ましさ）とプライバシーの懸念（物理的プライバシー、情報的プライバシー）の関係について仮説を立て、検証する実験を行った（仮説については 4.1 節を参照）。

## 2.3 眼のデザインの認知的影響

眼は視線を媒介するメディアであり、社会的シグナルを他者に伝える手段として機能する。たとえば、眼の画像として提示された刺激と、方向を示す非社会的なオブジェクト（たとえば、車 [25]）として提示された刺激では、異なる脳経路が活性化される。人間とロボットの相互作用において、眼の表情は、人間がロボットの意図を理解するのに役立ち [26]。ロボットの人間らしさに影響を与える [27]。ロボットの眼のデザインの具体的な要素としては、眼の大きさ、眼の形、瞳孔の有無などがあげられる。たとえば、丸みを帯びた輪郭や大きな虹彩は親しみやすい印象を与え [28]、大きすぎる眼は威圧感を与え、監視されているような感覚を強める可能性がある [29]。またロボットの眼がより生物らしくあればあるほど、ロボットはより人間的で感情的であると知覚される [30]。Kalegina らは、レンダリ

ングされた顔を持つロボットを特徴付け、評価し、瞳孔のないロボットは、瞳孔のあるロボットよりも、親しみやすさと信頼性が低く、嫌われ、機械的であると認識されることを発見した [31]。

情報プライバシーの観点では、眼を通して内部状態を可視化することは透明性を確保するために有用かもしれない。しかし、人間との信頼関係を構築する社会的ロボットにとって、誤った可視化は過信や欺瞞につながる可能性がある [11], [32], [33]。

人とロボットのインテラクションにおいて眼が果たすこれらの役割をふまえ、我々は異なる眼の状態がロボットに対する印象に与える影響を調査した。本研究はこれらの眼の状態が、人が認識するプライバシーの懸念や快適さに与える影響を理解することを目的としている。

## 3. ロボット・プロトタイプ

我々は、ロボットの眼の表情の違いがプライバシーの知覚に与える影響を調査するために、LCD パネルを使ったロボットの眼のプロトタイプを作成した。このプロトタイプでは「開眼」「閉眼」「消灯」という 3 つの眼の表情を遠隔操作できるものである。この構成と実装方法について以下に示す。

### 3.1 ハードウェア設計

実験に使用するロボットの外観における要件は「ディスプレイを用いた眼が搭載されている」「開眼、閉眼、消灯の 3 状態を切り替えることができる」の 2 点であった。これらの要件を満たすように設計されたロボットの外観を図 1 に示す。外観デザインの検討にあたり、日本で市販される家庭用コンパニオンロボットである MIXI 社の romi<sup>\*1</sup> やパナソニックエンターテインメント＆コミュニケーション社の NICOOBO<sup>\*2</sup> に注目した。これらのロボットは球に近

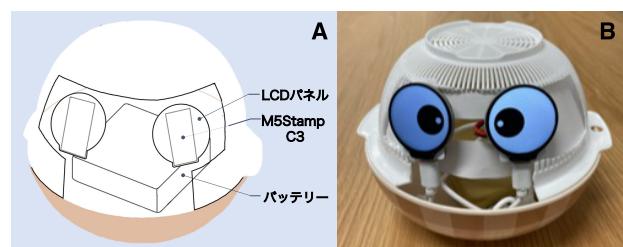


図 1 (A) M5Stack M5Stamp C3 を使用して、WiFi 経由で LCD ディスプレイを遠隔操作する。(B) 筐体を外したロボット・プロトタイプ。実験にはフェルト素材のスキンカバーを使用した

Fig. 1 (A) M5stamp C3 microcontrollers are used to control an LCD display remotely through WiFi. (B) Robot prototype with covering removed; we used a felt-material skin cover for the experiment.

<sup>\*1</sup> <https://romi.ai/>

<sup>\*2</sup> <https://ec-plus.panasonic.jp/store/page/NICOOBO/>

い形状や瞳孔のある丸い眼を持つ。また、ロボットの外観に関する子供の嗜好に関する研究でも、同様の結果が示されている。具体的には、丸みを帯びたエッジを持つロボットはポジティブに評価され [34]、漫画のような外見や誇張された顔の特徴（特に眼）を持つロボットは肯定的な感情を喚起する [35]。これらの知見をもとに、我々が開発したプロトタイプは、眼が特徴的な球形の構造を持ち、左右の眼の部分にはそれぞれ 1.28 インチ、240 × 240 ドットの円形 LCD パネルが用いられている。これに眼の表現としてアニメーションを描画することで眼の動きや状態を表現した。LCD パネルにはそれぞれマイクロコントローラ（M5Stack M5Stamp C3）が搭載されており、遠隔操作のためにスマートフォンと通信を行う。電力はロボット内部に組み込まれたバッテリーから供給される。

### 3.2 ソフトウェア設計

LCD パネルの描画や遠隔操作のためのソフトウェアを実装した。C++ 言語がベースの Arduino 言語を使用し、マイクロコントローラのプログラムを作成した。2つの眼に内臓されたマイクロコントローラは、サーバ/クライアントモデルで動作し、一方がサーバとしてスマートフォンなどからの遠隔でのリクエストを管理する。サーバがリクエストを受信すると、他方のクライアントのマイクロコントローラに中継され、両方の眼で同時に眼の表情を変化させる。サーバとクライアント間の通信は UART 通信によって行われる。この通信時間にともなう描画タイミングのずれを修正するため、サーバ側の描画タイミングを調整している。

ロボットの眼は、「開眼」「消灯」「閉眼」の 3 状態を持つ。開眼は、瞳孔のある円形の眼の画像が表示される。開眼状態のロボットは瞬きを行う。1 分間に平均 40 回のランダムな頻度で瞬きのアニメーションが描画される。消灯は黒い画像を表示することにより表現される。開眼と消灯の遷移はアニメーションではなく、瞬間的に行われる。閉眼は、白い背景と下側の瞼で構成された画像が表示される。開眼と閉眼の遷移はアニメーションで行う。

## 4. 実験

ロボットの眼のデザインがユーザのプライバシーの知覚に与える影響を調査するために、人とロボットがともに生活する状況を想定したシナリオに基づき、クラウドソーシングを用いたビデオ調査実験を行った。実験参加者はある人がロボットに監視されながら日常的な作業を行う様子が収められたビデオ（4.2 節参照）を視聴し、アンケートに回答した。本実験は参加者間比較による実験であり、ロボットの眼の動きが異なる 3 つの条件のいずれかを各参加者が視聴する。

### 4.1 仮説

2.2 節であげた関連研究より、本実験における仮説は以下のとおりである：

- **H1.1**：ロボットの擬人化と物理的プライバシーへの懸念には正の相関がある。
- **H1.2**：ロボットの擬人化と情報的プライバシーへの懸念には正の相関がある。
- **H1.3**：ロボットの生命性と物理的プライバシーへの懸念には正の相関がある。
- **H1.4**：ロボットの生命性と情報的プライバシーへの懸念には正の相関がある。
- **H1.5**：ロボットの好ましさと物理的プライバシーへの懸念には負の相関がある。
- **H1.6**：ロボットの好ましさと情報的プライバシーへの懸念には負の相関がある。
- **H2**：人が離れている間は眼を閉じたり消灯させることで、ロボットとの生活におけるプライバシーの懸念を軽減できる。

### 4.2 条件

本実験では、ロボットの眼の表現が異なる常時開眼条件、不在時消灯条件、不在時閉眼条件の 3 条件で参加者間比較による調査を行った。参加者は条件ごとに異なるビデオを視聴する。視聴に先立ち、参加者はシナリオについて以下のように説明された。

人と家庭用ロボットが部屋の中で一緒に暮らす様子を動画で視聴していただきます。動画の視聴後に回答してもらうアンケートには、ロボットとの暮らしに関する質問があります。あなたが自宅で過ごすことの最も多い部屋で、あなたが動画内のロボットと実際に暮らすことを想像して、できるだけ正確にお答えください。

実験に使用したビデオの構成を図 2 に示す。このビデオの長さはすべての条件で 30 秒であり、人がロボットの視線方向に座って本を読み、しばらくするとその場を去るという一連のインタラクションで構成されている。各条件のビデオにおいて、人がとる行動およびロボットの顔の向きは同一である。先行研究では、人とロボットが机を介して向かい合せに座り、ロボットに直視されている（頭部が人の方向を向いている）状態において、両者が同様のタスクを行うとき、監視されている知覚が高まることが示されている [36]。本実験は同様の環境下で人が読書をするというシナリオにおいて、ロボットの目の表現を変えることでプライバシーの懸念がどのように異なるかを調査する。

以下に、各条件について述べる。

#### 4.2.1 常時開眼条件

この条件は、ロボットの眼がつねに開眼しているという一般的なロボットの行動を模倣するように設計されてお



図 2 生活環境における眼のついたロボットと人間のインタラクションを描いたビデオシナリオ。条件によって、ロボットの眼は、人がいないとき (b,e) は変化するが (a), 人が近くにいるとき (c,d) は一貫して開眼状態である。ロボットの眼が開眼状態のときは、ランダムにまばたきをする

**Fig. 2** Video scenario, depicting the interaction between a robot with eyes and human in a living environment. When the robot's eyes are open (in the on-state), it blinks randomly.

り、つねに監視されているという印象をユーザーに与えることが予想される。

#### 4.2.2 不在時消灯条件

この条件では、ロボットの前に人が来ると、ロボットは眼を開き、人が離れるとロボットは眼を黒くする。黒い眼は、非活動状態にあるロボットの一般的な眼の表現を模倣するように設計されており、ユーザーが離れているときに電源をオフにしている（ゆえに監視を停止している）ような印象を与えることが予想される。

#### 4.2.3 不在時閉眼条件

この条件では、ロボットの前に人が来るとロボットは眼を開き、人が離れるとロボットは眼を閉じる。閉眼はユーザーが不在の間に監視能力を停止させるような印象を与える自然な表現として設計されている。

#### 4.3 実験参加者

Yahoo!クラウドソーシングサービスを利用して参加者を募集した。実験参加者は常時開眼条件、不在時消灯条件、不在時閉眼条件の3条件のいずれかに先着順に割り振られた。参加者の数はそれぞれ150名で計450名であった。コントロール質問として、ビデオの終了時におけるロボットの状態を自由形式で記述する設問を用いた。このコントロール質問に対して明らかに不適切な回答をした者、回答時間が極端に短い者、すべての選択式質問で同一の項目を選択した者は無効回答者と見なし、分析から除外した。最終的な有効回答者は420名で、常時開眼条件が142名、不在時消灯条件が条件145名、不在時閉眼条件が133名であった。420名の参加者のうち、127名(30%)が女性、288名(69%)が男性であった。参加者の年齢は20歳から78歳で、中央値は49歳であった。過去にロボットと話したり遊んだりした経験があると回答した参加者は131名(31%)であった。

表 1 プライバシーに関する質問項目

Table 1 The questionnaire for privacy.

質問内容	評価項目
「ロボットに監視されるのではないか」というプライバシー上の懸念がありますか。	物理的プライバシー
「ロボットを通じて何者かに情報が見られるのではないか」というプライバシー上の懸念がありますか。	情報的プライバシー

#### 4.4 手順

クラウドソーシングのプラットフォームを通じて本実験用のページにアクセスした参加者は、はじめに実験タスクの詳細が提示され、実験参加に関する同意を求められた。参加に同意した後は3条件のいずれかに割り当てられ、実験条件に応じたアンケート専用ページに進む。このアンケートは、事前アンケートのセクション、ビデオのシナリオに関する説明セクション、ビデオ視聴セクション、2つの評価セクションの5つのセクションで構成されている。すべての質問に回答した後、参加者はアンケートを提出し、7文字の英数字コードを受け取る。その後、参加者はYahoo!クラウドソーシング内のWebページに戻り、受け取ったコードをフォームに入力する。正しいコードが入力されると、報酬として10円分のポイントを受け取る。ビデオの視聴とアンケートの回答には、合わせて10分以内の制限を設けた。また、ビデオ再生時、早送り、早戻し、一時停止、繰返し再生はすべて許可されていた。

#### 4.5 評価

実験参加者は3つの選択式アンケートおよび1つの自由記述アンケートに回答した。1つ目はGodspeed尺度である。Godspeed尺度は、ロボットに対する人々の印象を測定するために広く使用されている尺度である[21]。この尺度は擬人化、生命性、好ましさ、知性の知覚、安全性の知覚の5つの側面から構成されている。本実験ではH1を検証するため、これらの側面のうち擬人化、生命性、好ましさに関する質問項目を採用した。質問項目はすべて5段階のリッカート尺度に基づいている。

2つ目はプライバシーに関する質問項目(PQ)である。この項目は、2.1節で述べた物理的プライバシーと情報的プライバシーの定義に基づいて独自に作成した質問で構成される。質問内容を表1に示す。これらの質問は7段階のリッカート尺度(1:まったくない、7:非常にある)に基づいている。

3つ目は快適さに関する質問項目(CHA)である。この項目はロボットが生活空間に浸透することにともなう不快感の尺度としてCaineらによって開発された家庭活動における快適さの質問票(CHA)[37]をもとに、独自に作成したものである。質問内容を表2に示す。この指標は、参加

者の家庭における一般的な快適さ (pre-CHA) と、ビデオで見たロボットが家庭で使用されていることを考慮した快適さ (post-CHA) の2つの評価項目から算出される。参加者は、pre-CHAとpost-CHAのスコアを7段階のリッカート尺度 (1: まったく快適ではない, 7: 非常に快適) で評価を行い、その差 ( $\Delta CHA$ ) を快適さの指標とした。pre-CHAとpost-CHAの評価にあたり、評価の一貫性を確保するため、ロボット以外の文脈的要素を統一するように注意を払った。具体的には、参加者はビデオを視聴する前に「あなたが自宅で最もすごすことの多い部屋をイメージしてお答えください」と指示されたうえで、pre-CHAについての設問に回答した。そしてビデオ視聴後、「先ほどイメージした部屋で、あなたが動画内のロボットと実際に暮らすことを想像して、できるだけ正確にお答えください」と指示されたうえで、post-CHAについての設問に回答した。

加えて、各条件におけるロボットの眼に対する人々の認識を詳細に理解するため、「ロボットの目はどのような状態でしたか」という自由記述の質問項目を設けた。

#### 4.6 データの分析

4.1節で述べた仮説を検証するため、以下の分析を行った。1つ目に、H1を検証するため、Godspeedの各項目（擬人化、生命性、好ましさ）から得られた平均値と、PQの各項目（物理的プライバシーと情報的プライバシーに関する懸念）について Spearman の順位相関係数を算出した。2つ目に、H2を検証するため、PQの各項目（物理的プライバシー、情報的プライバシー）について検定を行った。具体的には Kruskal Wallis 検定を用いて3条件の群間の中央値の比較を行った結果、すべての項目で有意差が確認されたため、Holm 補正を用いた Mann-Whitney-U 検定を用いて、条件間の比較を分析した。

$\Delta CHA$ については、Caineら[37]の検定手法に従い、一元配置分散分析(ANOVA)を用いて3条件の群間の平均値の比較を行った結果、すべての項目で有意差が確認されたため、Holm 補正のt検定による多重比較を行った。加えて、ロボットの眼の状態についての自由記述の回答とともに主題分析[38]を行った。

表 2 快適さに関する質問項目

Table 2 The questionnaire for comfort.

質問内容	評価項目
部屋でごす際の「快適さ」を評価してください。	pre-CHA
ロボットと部屋でごす際の「快適さ」を評価してください。	post-CHA

## 5. 結果

### 5.1 ロボットとプライバシーの懸念に関する認識

GodspeedとPQのスコアをプロットした結果を図3に示す。以下の間に有意な相関が認められた：擬人化と物理的プライバシー ( $\rho(420) = -0.24, p < .001$ ) および情報的プライバシー ( $\rho(420) = -0.25, p < .001$ )、生命性と物理的プライバシー ( $\rho(420) = -0.19, p < .001$ ) および情報的プライバシー ( $\rho(420) = -0.18, p < .001$ )、好ましさと物理的プライバシー ( $\rho(420) = -0.36, p < .001$ ) および情報的プライバシー ( $\rho(420) = -0.32, p < .001$ )。これらの結果は、擬人化、生命性、好ましさの評価が高いほど、プライバシーの懸念が低いことを示しており、好ましさに関しては中程度の関係があることを示唆している。ただし、擬人化および生命性に関する相関係数の絶対値が小さいことから、擬人化および生命性とプライバシーの懸念の間の関係は比較的弱い。

さらに、「ロボットと交流したことがありますか。ロボットとお話ししたり、遊んだりした経験があれば、「ある」を選択してください。」(以下、ロボット交流経験)という質問に基づき、各評価項目(Godspeed, PQ)について、ロボット交流経験の有無による2標本を対象とする独立したt検定を行った。その結果、擬人化および生命性に関しては、ロボット交流経験のある群がない群よりも有意に高い評価を示した(擬人化:  $t = 3.14, p = 0.0018$ 、生命性:  $t = 2.89, p = 0.0041$ )。好ましさ ( $t = 0.93, p = 0.35$ )、物理的プライバシー ( $t = -0.17, p = 0.87$ ) および情報的プライバシー ( $t = -0.98, p = 0.33$ ) に関しては、ロボット交流経験の有無による有意な差は認められなかった。これらの結果から、ロボットとの交流経験が擬人化および生命性の評価に影響を与える可能性が示唆されるが、好ましさおよびプライバシーの懸念に関しては影響が確認されなかった。

### 5.2 眼の表情とプライバシーへの懸念

3つの条件における平均値と標準偏差を表3に、各条件のPQスコアを図4に示す。各項目は数値が高いほどプライバシーへの懸念が強いことを示す。5%の有意水準において

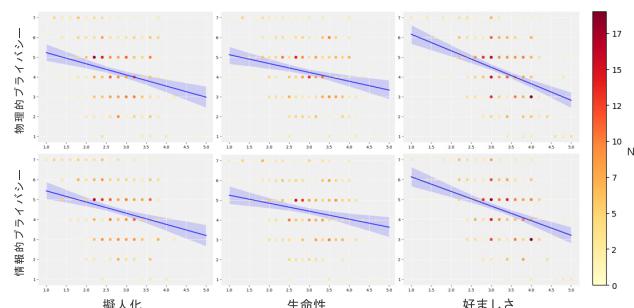


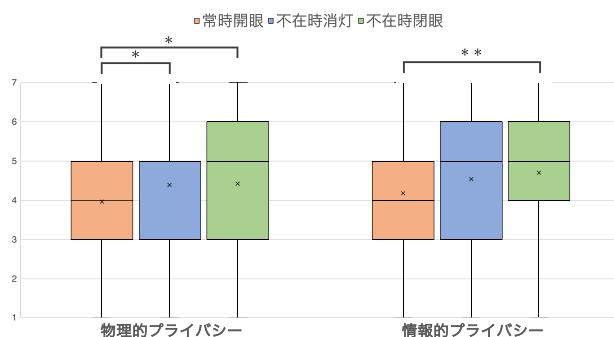
図 3 Godspeed [21] のスコアとプライバシーの懸念

Fig. 3 Godspeed scores [21] and privacy concerns.

表 3 各条件におけるプライバシーの懸念の平均値と標準偏差

**Table 3** The mean and standard deviation of privacy concerns for each condition: higher is more concern.

	物理的	情報的
常時開眼条件	3.97 (1.63)	4.18 (1.52)
不在時消灯条件	4.40 (1.63)	4.54 (1.68)
不在時閉眼条件	4.43 (1.65)	4.71 (1.61)



Note: \* $p < .05$ , \*\*  $p < .01$

図 4 各条件におけるプライバシーの懸念

**Fig. 4** Privacy concern for each condition: higher is more concern.

表 4 各条件における快適さの減少量  $\Delta CHA$  の平均値と標準偏差

**Table 4** The mean and standard deviation of comfort for each condition: higher is more uncomfortable.

	$\Delta CHA$
常時開眼条件	0.52 (1.40)
不在時消灯条件	0.92 (1.65)
不在時閉眼条件	0.92 (1.37)

いて、参加者は、常時開眼条件の方が不在時消灯条件よりも、物理的なプライバシーへの懸念を有意に低く報告した ( $p < .01$ ) が、情報的プライバシーについては有意な差は観察されなかった ( $p = .058$ )。さらに、常時開眼条件では、常時閉眼条件と比較して、物理的プライバシーと情報的プライバシーの両方において有意な減少を示した（物理的プライバシー： $p < .05$ 、情報的プライバシー： $p < .01$ ）。

### 5.3 快適さ

$\Delta CHA$  について各条件の平均値、標準偏差の結果を表 4 に示す。 $\Delta CHA$  は生活空間に各条件のロボットを導入することによる快適さの減少量を表している。すなわち、 $\Delta CHA$  が高いほど、参加者はロボットと生活空間を共有することにより、快適さが大きく損なわれると感じたことを示す。5%の有意水準において条件間で有意差は確認されなかつたが、常時開眼条件と不在時消灯条件、常時開眼条件と不在時閉眼条件の間に有意傾向が確認された ( $p = 0.074$ )。

### 5.4 ロボットの眼に対する認識

主題分析の結果、ロボットの眼の状態に関する自由記述

の回答が以下の 3 つの主題に分類された。

#### 5.4.1 人間的な特徴

参加者はロボットの眼の状態を、人間の特徴や行動と関連づけた。これに該当する回答は、常時開眼条件 ( $N = 129$ , 91%) と不在時閉眼条件 ( $N = 115$ , 86%) で顕著であった。常時開眼条件では、44%の参加者が「目が開いていた」(P14), 43%が「まばたきをしている」(P27) とロボットを表現した。また不在時閉眼条件では、68%の参加者がロボットを「目が閉じていた」(P294) と認識した。一方で不在時消灯条件では、他条件と比べ、ロボットの眼の状態を人間的な特徴を用いて表現する参加者は少なかった ( $N = 45$ , 31%)。この参加者の大半 ( $N = 37$ ) は、ロボットの眼を「閉じている」(P196) と認識していた。

さらに、全条件（常時開眼条件； $N = 7$ , 不在時消灯条件； $N = 5$ , 不在時閉眼条件； $N = 9$ ）において、ロボットが「見ている」または「監視している」との回答があった。「時々まばたきしながら静かに見ている」(P137) や「女性を見ている」(P397) のように、第三者視点でロボットの視線を表現する参加者がいた一方で、「私を見ている」(P63), 「監視されている気がする」(P170) など、自分がロボットに観察されているように表現する参加者もいた。

#### 5.4.2 視覚的な特徴

人間的な特徴とは対照的に、ロボットの形状や色といった視覚的な特徴を表現した回答も見られた。このような回答は不在時消灯条件において顕著であった ( $N = 110$ , 76%)。最も多かった回答は「黒い」( $N = 83$ ) であり、他にも「消灯」( $N = 14$ ) や「暗い」( $N = 8$ ) があった。一方、常時開眼条件 ( $N = 7$ , 5%) と不在時閉眼条件 ( $N = 14$ , 11%) では、視覚的特徴に注目した回答が明らかに少なかった。これは「光っている」「丸い」「白い」といった回答が含まれる。

#### 5.4.3 ロボットへの感情的反応

ロボットが持つ特徴をあげる回答のほかに、感情や印象など、ロボットに対する自身の感情的な反応を述べた回答が見られた。常時開眼条件では、「かわいい」(P1, P12, P110), 「つぶらな感じがした」(P6), 「感情が分からない」(P117) といった回答があった。不在時消灯条件では、「ちょっと不気味」(P146) とロボットに対する印象を述べる回答に加え、「怖い」「不快」のように自身の感情を述べる参加者もいた。P148 は、「オフのときは真っ黒で恐怖感がある。一緒にいたくない」と述べた。不在時閉眼条件では、常時点灯条件と同様に「かわいい」(P289) という回答があった。また、P406 は「(人が離れたあと)なぜか一人ぼっちになった寂しさが少しありました」と述べた。

## 6. 考察

### 6.1 ロボットに対する印象とプライバシーへの懸念

Godspeed とプライバシーへの懸念の相関分析の結果、H1.5 と H1.6 が支持された。これは、ロボットが好ましい

ほどより信頼性が高く、プライバシーが保護されていることを示した先行研究 [39] の結果を支持するものである。さらに我々の実験は、これが物理的プライバシーと情報的プライバシーの両方にあてはまる事を示した。この結果はプライバシーに配慮したロボットデザインに関する既存の知見を拡張するものであり、ロボットを好ましいと感じられるようにデザインすること（たとえば動物を模した外見 [40]、眼や口を用いたコミュニケーション [41]）は、物理的プライバシーと情報的プライバシーの両方の観点から有益であることを示唆している。我々の実験では、H1.1 および H1.2（ロボットの擬人化と物理的および情報的プライバシーへの懸念との間に正の相関がある）、H1.3 および H1.4（ロボットの生命性と物理的および情報的プライバシーへの懸念との間に正の相関がある）は支持されなかった。さらに、物理的および情報的プライバシーの懸念に関して、ロボット交流経験の有無による有意差が認められなかったことから、ロボットとの交流経験がプライバシーの懸念に影響を与えるとはいえない。本結果は、ロボットによる監視にともなうプライバシー侵害の知覚がロボット自体の擬人化や生命性に依存するのではなく、他の要因が潜在することを示している。

## 6.2 応答的な眼がプライバシーに与える影響

H1.1, H1.2, H1.3, H1.4 の「ロボットの擬人化/生命性と、物理的/情報的プライバシーへの懸念との間には正の相関がある」という我々の仮説は支持されなかった。さらに、H2 の「人が離れている間は眼を閉じたり消灯させることで、ロボットとの生活におけるプライバシーの懸念を軽減できる」という仮説も同様に支持されなかった。しかしながら、本実験の結果はロボットの生物らしい特定のインタラクションデザインが、潜在的にユーザのプライバシーに負の影響を与える可能性を示している。

本実験において、眼を消灯したり閉じたりしている状態から、人が来ると眼を開くロボットは、つねに眼を開いているロボットと比較して物理的プライバシーの懸念をむしろ高めた。また、眼を閉じている状態から、人が来ると眼を開くロボットは、つねに眼を開いているロボットと比較して情報的プライバシーの懸念を高めた。この結果は、ロボットの外観以上に「人間に反応する」という機能が、プライバシーの懸念を引き起こす可能性を示唆している。ロボットの応答的な視線は見られている感覚を強めることが知られている。Yoshikawa らは社会的ロボットを用いた実験を行い、ロボットが人間の視線に応じて視線を変化させることにより、人間がロボットから見られている感覚を強調できることを明らかにした [42]。本実験においても同様に、ロボットがつねに眼を開けている条件下よりも人間に反応して眼を開いた条件下において、見られている感覚が大きかった可能性がある。実際、ロボットの眼の状態を自

由記述する設問では、不在時消灯条件では「自分を監視されている感じ」(P170)、不在時閉眼条件では「監視されているように光っていた」(P364), 「監視している」(P365) といった回答が見られた。一方で常時閉眼条件では「監視」を含む回答が存在しなかった。この「見られている」という感覚は視覚的な侵入を意味している [43]。この視覚的侵入の増加が、不在時消灯条件や不在時閉眼条件におけるプライバシーの懸念を増加させた一因である可能性がある。

さらに快適さの結果は、有意差こそ見られなかったものの、不在時消灯条件や不在時閉眼条件が常時閉眼条件に比べて快適さが低い傾向があったことを示唆している。この結果から、プライバシーの懸念が増加したことは参加者にとって快適ではないと知覚された可能性がある。ただし、本結果は必ずしもプライバシーの懸念と快適さの間の相関関係を示すものではない。

## 6.3 制約

本実験ではいくつかの制約と考慮すべき事項があった。第1に、ロボットの眼の状態を正しく認識できていない参加者が含まれていた可能性がある。ビデオ終了時におけるロボットの眼の状態を記述するアンケートでは、不在時閉眼条件で「白目」「虚ろな目」といった回答があった。これらの回答は閉眼が一部の参加者に正しく伝わらなかったことを示唆している。また、ビデオの視聴にあたって、早送り、早戻し、一時停止、繰返し再生の操作が許可されていたため、参加者が実験刺激を意図せずスキップしていた可能性が懸念される。しかし、自由記述のアンケート結果では、各条件におけるロボットの振舞いに関する適切な回答が得られていた。ゆえに、参加者はビデオの内容を十分に理解していたと推察される。ただし、ビデオ視聴中の操作を制限することで、本懸念を完全に取り扱うことができる。

第2に、ビデオシナリオを用いた調査ゆえの制約があげられる。参加者はビデオを視聴してアンケートに答える前に、「あなたが動画内のロボットと実際に暮らすことを想像して、できるだけ正確にお答えください」との指示を受けた。この指示は参加者の生活環境に合わせたシナリオを提示することを意図したものである。しかし、ビデオは第三者視点からの観察に基づくものであったため、ロボットと生活空間を共有することによるプライバシーへの影響を現実的に考慮することが困難であった参加者がいた可能性がある。特に、本実験の不在時消灯条件および不在時閉眼条件における「人が離れると眼を変化させる」というロボットの振舞いが、ビデオでは明確に認識できたとしても、実際に参加者がロボットと対面し直接体験した場合に同様に認識されるかは不確かである。このように、ビデオを用いた実験では、参加者が体験するシナリオの現実性に限界があり、それが評価に影響を与える可能性を考慮する必要がある。

第3に、本実験ではロボットに対する印象とプライバシーへの懸念の相関を調査し、その結果をもとにこれらの関係について議論を行った。しかし実験に使用したロボットの種類が限られているため、結果は予備的なものであることに留意すべきである。両者の関係性をより詳細に調査するためには、擬人化、生命性、好ましさが異なる多数のロボットを用意する必要があるが、これは本研究の範囲を超えていた。

最後に、我々は初めの仮説を「非インタラクション時に非活動状態であることを示唆する眼を表示することで、ロボットとの生活におけるプライバシーの懸念を軽減できるだろう」として、実験では非インタラクション時を人が離れている状態、インタラクション時を人とロボットが空間を共有している状態をビデオで表現した。しかしインタラクション時において、人はロボットに視線を向けず、個人的な活動（読書）を行っている。そのため言語的コミュニケーションや相互注視によるインタラクションは行われていない。これは人とロボットの直接的なインタラクションとしては不十分である。この制約は実験に使用したロボットの振舞いが眼の状態を切り替えるという非常に限られたものであったことに起因する。

これらの制約があったものの、本実験を通してプライバシーに配慮したデザインに関する貴重な洞察を得ることができた。ディスプレイの表示および制御における近年の技術向上にともない、ディスプレイを用いた繊細な眼の動きが可能となり、多様な眼のデザインを探求できるようになった。本実験では開眼、閉眼、消灯という1つのパラメータのみで検討を行ったが、より多様なパラメータ（たとえば眼の形状、瞳孔の動きなど）を持つロボットを用いた新たな実験を行うことで、ユーザのプライバシーを適切に配慮できる眼のデザインをより深く理解できると考えられる。

## 7. おわりに

本研究は生活空間におけるロボットとの共生を目指し、プライバシーに配慮したロボットの眼の表現に関する調査実験を行った。ロボットの眼の表現が人間のプライバシーの知覚に与える影響を理解するため、つねに眼を開くロボットと、インタラクション時にのみ眼を開くロボットを比較した。その結果、インタラクション時に眼を開くロボットよりも、眼を閉じる表現のロボットのほうがより高いプライバシーの懸念を持つことが明らかとなった。

この結果はロボットの監視にともなうプライバシーへの懸念がロボットの眼から受け取る視覚的情報によって引き起こされる可能性を示唆しているが、これらの懸念とロボットの擬人化、生命性、好ましさの知覚を関連付ける直接的な証拠は見つからなかった。しかし、人間に反応して眼の外観を変化させるという応答的な動作が、プライバ

シーの懸念を増大させる可能性があることが示された。視線によるコミュニケーションとプライバシーへの配慮を両立させるデザインを特定するためには、さらなる検討が必要である。

**謝辞** 本研究はJST、CREST（JPMJCR21D4）およびJST創発的研究支援事業、JPMJFR226Sの支援を受けたものである。

## 参考文献

- [1] Calo, M.: *Robots and Privacy* (2010).
- [2] de Graaf, M., Ben Allouch, S. and van Dijk, J.: Why Do They Refuse to Use My Robot? Reasons for Non-Use Derived from a Long-Term Home Study, *Proc. 2017 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, HRI '17*, pp.224–233, Association for Computing Machinery (online), DOI: 10.1145/2909824.3020236 (2017).
- [3] 三野星弥、吉川雄一郎、伴 碧、石黒 浩：友人グループ内での長期間利用による他者情報のやり取りを行う日常対話チャットボットの評価—対話体験とプライバシー意識の調査、人工知能学会論文誌、Vol.37, No.3, pp.IDS-I1 (2022).
- [4] Denning, T., Matuszek, C., Koscher, K., Smith, J.R. and Kohno, T.: A spotlight on security and privacy risks with future household robots: Attacks and lessons, *Proc. 11th International Conference on Ubiquitous Computing, UbiComp '09*, pp.105–114, Association for Computing Machinery (online), DOI: 10.1145/1620545.1620564 (2009).
- [5] Hegel, F., Muhl, C., Wrede, B., Hielscher-Fastabend, M. and Sagerer, G.: Understanding Social Robots, *2009 2nd International Conferences on Advances in Computer-Human Interactions*, pp.169–174, IEEE (online), DOI: 10.1109/ACHI.2009.51 (2009).
- [6] Shinohara, M., Sakamoto, D., Ono, T. and Young, J.E.: Understanding Privacy-friendly Design of Robot Eyes, *Proc. 11th International Conference on Human-Agent Interaction, HAI '23*, pp.133–141, Association for Computing Machinery (online), DOI: 10.1145/3623809.3623829 (2023).
- [7] Altman, I.: *The environment and social behavior: Privacy, personal space, territory, and crowding*, ERIC (1975).
- [8] 岩田 紀：日本人大学生におけるプライバシー志向性と人格特性との関係、社会心理学研究、Vol.3, No.1, pp.11–16 (1987).
- [9] Kahn, Jr, P.H., Ishiguro, H., Friedman, B., Kanda, T., Freier, N.G., Severson, R.L. and Miller, J.: What is a human?: Toward psychological benchmarks in the field of human–robot interaction, *Interaction Studies*, Vol.8, No.3, pp.363–390 (2007).
- [10] 新保史生：ネットワーク社会における個人情報・プライバシー保護のあり方、電子情報通信学会基礎・境界ソサイエティ Fundamentals Review, Vol.6, No.3, pp.199–209 (2013).
- [11] Rueben, M., Aroyo, A.M., Lutz, C., Schmözl, J., Van Cleynenbreugel, P., Corti, A., Agrawal, S. and Smart, W.D.: Themes and Research Directions in Privacy-Sensitive Robotics, *2018 IEEE Workshop on Advanced Robotics and its Social Impacts (ARSO)*, pp.77–84, IEEE (online), DOI: 10.1109/ARSO.2018.8625758 (2018).

- [12] Gavison, R.: *Privacy and the Limits of Law* (1980).
- [13] Austin, L.: Privacy and the Question of Technology, *Law and Philosophy*, Vol.22, pp.119–166 (online), DOI: 10.1023/A:1023906406866 (2003).
- [14] Smith, H.J., Dinev, T. and Xu, H.: Information privacy research: An interdisciplinary review, *MIS Quarterly*, Vol.35, No.4, pp.989–1015 (2011).
- [15] Nass, C., Steuer, J. and Tauber, E.R.: Computers are social actors, *Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '94*, pp.72–78, Association for Computing Machinery (online), DOI: 10.1145/191666.191703 (1994).
- [16] Kwak, S.S., Kim, Y., Kim, E., Shin, C. and Cho, K.: What makes people empathize with an emotional robot?: The impact of agency and physical embodiment on human empathy for a robot, *2013 IEEE RO-MAN*, pp.180–185 (online), DOI: 10.1109/ROMAN.2013.6628441 (2013).
- [17] 三宅泰亮, 山地雄土, 大島直樹, 岡田美智男ほか : Sociable Trash Box : 子どもたちはゴミ箱ロボットとどのように関わるのか フィールドにおける調査結果とその考察, 人工知能学会論文誌, Vol.28, No.2, pp.197–209 (2013).
- [18] Syrdal, D.S., Koay, K.L., Walters, M.L. and Dautenhahn, K.: A personalized robot companion? The role of individual differences on spatial preferences in HRI scenarios, *RO-MAN 2007-The 16th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication*, pp.1143–1148, IEEE (2007).
- [19] Vitale, J., Tonkin, M., Herse, S., Ojha, S., Clark, J., Williams, M.-A., Wang, X. and Judge, W.: Be More Transparent and Users Will Like You: A Robot Privacy and User Experience Design Experiment, *Proc. 2018 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, HRI '18*, pp.379–387, Association for Computing Machinery (online), DOI: 10.1145/3171221.3171269 (2018).
- [20] Heider, F.: An Experimental Study of Apparent Behavior, *The American Journal of Psychology*, Vol.57, No.2, pp.293–259 (1944) (online), available from <<https://cir.nii.ac.jp/crid/1570572699335806848>>.
- [21] Bartneck, C., Kulić, D., Croft, E. and Zoghbi, S.: Measurement instruments for the anthropomorphism, animacy, likeability, perceived intelligence, and perceived safety of robots, *International journal of social robotics*, Vol.1, pp.71–81 (2009).
- [22] Dingjun, L., Rau, P.-L. and Li, Y.: A Cross-cultural Study: Effect of Robot Appearance and Task, *I.J. Social Robotics*, Vol.2, pp.175–186 (online), DOI: 10.1007/s12369-010-0056-9 (2010).
- [23] Calvo-Barajas, N., Perugia, G. and Castellano, G.: The Effects of Robot's Facial Expressions on Children's First Impressions of Trustworthiness, *2020 29th IEEE International Conference on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)*, pp.165–171, IEEE (online), DOI: 10.1109/RO-MAN47096.2020.9223456 (2020).
- [24] Mummm, J. and Mutlu, B.: Human-robot proxemics: Physical and psychological distancing in human-robot interaction, *Proc. 6th International Conference on Human-robot Interaction*, pp.331–338 (2011).
- [25] Kingstone, A., Tipper, C., Ristic, J. and Ngan, E.: The eyes have it!: An fMRI investigation, *Brain and cognition*, Vol.55, No.2, pp.269–271 (2004).
- [26] Westhoven, M., van der Grinten, T. and Mueller, S.: Perceptions of a Help-Requesting Robot - Effects of Eye-Expressions, Colored Lights and Politeness of Speech, *Proc. Mensch Und Computer 2019, MuC '19*, pp.43–54, Association for Computing Machinery (online), DOI: 10.1145/3340764.3340783 (2019).
- [27] DiSalvo, C.F., Gemperle, F., Forlizzi, J. and Kiesler, S.: All Robots Are Not Created Equal: The Design and Perception of Humanoid Robot Heads, *Proc. 4th Conference on Designing Interactive Systems: Processes, Practices, Methods, and Techniques, DIS '02*, pp.321–326, Association for Computing Machinery (online), DOI: 10.1145/778712.778756 (2002).
- [28] Onuki, T., Ishinoda, T., Kobayashi, Y. and Kuno, Y.: Design of robot eyes suitable for gaze communication, *Proc. 8th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, pp.203–204, IEEE Press (online), DOI: 10.1109/HRI.2013.6483572 (2013).
- [29] Lee, H.R., Šabanović, S. and Stolerman, E.: How humanlike should a social robot be: A user-centered exploration, *2016 AAAI Spring Symposium Series*, pp.135–141, AAAI Press (2016).
- [30] Luria, M., Forlizzi, J. and Hodgins, J.: The Effects of Eye Design on the Perception of Social Robots, *2018 27th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)*, pp.1032–1037, IEEE Press (online), DOI: 10.1109/ROMAN.2018.8525767 (2018).
- [31] Kalegina, A., Schroeder, G., Allchin, A., Berlin, K. and Cakmak, M.: Characterizing the Design Space of Rendered Robot Faces, *Proc. 2018 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, HRI '18*, pp.96–104, Association for Computing Machinery (online), DOI: 10.1145/3171221.3171286 (2018).
- [32] Aroyo, A.M., Rea, F., Sandini, G. and Sciutti, A.: Trust and Social Engineering in Human Robot Interaction: Will a Robot Make You Disclose Sensitive Information, Conform to Its Recommendations or Gamble?, *IEEE Robotics and Automation Letters*, Vol.3, No.4, pp.3701–3708 (online), DOI: 10.1109/LRA.2018.2856272 (2018).
- [33] Leong, B. and Selinger, E.: Robot Eyes Wide Shut: Understanding Dishonest Anthropomorphism, *Proc. Conference on Fairness, Accountability, and Transparency, FAT\* '19*, pp.299–308, Association for Computing Machinery (online), DOI: 10.1145/3287560.3287591 (2019).
- [34] Oros, M., Nikolić, M., Borovac, B. and Jerković, I.: Children's preference of appearance and parents' attitudes towards assistive robots, *2014 IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots*, pp.360–365 (online), DOI: 10.1109/HUMANOIDS.2014.7041385 (2014).
- [35] Woods, S., Dautenhahn, K. and Schulz, J.: The design space of robots: investigating children's views, *RO-MAN 2004. 13th IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication (IEEE Catalog No.04TH8759)*, pp.47–52 (online), DOI: 10.1109/ROMAN.2004.1374728 (2004).
- [36] Riether, N., Hegel, F., Wrede, B. and Horstmann, G.: Social facilitation with social robots?, *2012 7th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)*, pp.41–47 (online), DOI: 10.1145/2157689.2157697 (2012).
- [37] Caine, K., Šabanovic, S. and Carter, M.: The Effect of Monitoring by Cameras and Robots on the Privacy Enhancing Behaviors of Older Adults, *Proc. 7th Annual ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, HRI '12*, pp.343–350, Association for Computing Machinery (online), DOI: 10.1145/2157689.2157807 (2012).

- [38] Braun, V. and Clarke, V.: Using thematic analysis in psychology, *Qualitative Research in Psychology*, Vol.3, No.2, pp.77–101 (2006).
- [39] Yueh, H.-P. and Lin, W.: Services, Appearances and Psychological Factors in Intelligent Home Service Robots, *Cross-Cultural Design*, Rau, P.-L.P. (Ed.), Cham, Springer International Publishing, pp.608–615 (2016).
- [40] Löffler, D., Dörrenbächer, J. and Hassenzahl, M.: The Uncanny Valley Effect in Zoomorphic Robots: The U-Shaped Relation Between Animal Likeness and Likeability, *2020 15th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)*, pp.261–270, IEEE (2020).
- [41] Zinina, A., Zaidelman, L., Arinkin, N. and Kotov, A.: Non-verbal behavior of the robot companion: a contribution to the likeability, *Procedia Computer Science*, Vol.169, pp.800–806 (online), DOI: 10.1016/j.procs.2020.02.160 (2020).
- [42] Yoshikawa, Y., Shinozawa, K., Ishiguro, H., Hagita, N. and Miyamoto, T.: Responsive robot gaze to interaction partner, *Robotics: Science and Systems*, pp.37–43, MIT Press (2006).
- [43] Esmark Jones, C.L., Stevens, J.L., Noble, S.M. and Breazeale, M.J.: Panic attack: How illegitimate invasions of privacy cause consumer anxiety and dissatisfaction, *Journal of Public Policy & Marketing*, Vol.39, No.3, pp.334–352 (2020).



小野 哲雄 (正会員)

1997 年北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科博士後期課程修了。同年(株)ATR 知能映像通信研究所客員研究員。2001 年公立はこだて未来大学情報アーキテクチャ学科助教授、2005 年同学科教授。2009 年北海道大学大学院情報科学研究科教授、現在に至る。博士(情報科学)。ヒューマンエージェント/ロボットインタラクション(HAI/HRI)、インタラクティブシステムに関する研究に従事。電子情報通信学会、ロボット学会、ヒューマンインターフェース学会、ACM 各会員。本会フェロー。



篠原 舞乃

2023 年北海道大学工学部情報エレクトロニクス学科卒業。同年北海道大学大学院情報科学院修士課程進学。現在、ヒューマンエージェントインタラクションに関する研究に従事。



坂本 大介 (正会員)

2008 年公立はこだて未来大学大学院システム情報科学研究科博士(後期)課程修了。博士(システム情報科学)。国際電気通信基礎技術研究所(ATR)でインターン、東京大学で日本学術振興会特別研究員 PD、JST ERATO 五十嵐デザインインターフェースプロジェクト研究員、東京大学大学院情報理工学系研究科コンピュータ科学専攻助教、特任講師を経て、現在、北海道大学大学院情報科学研究院准教授。多様なユーザを扱うインターフェース技術により、公正なデジタル体験を提供し、包括的な社会を実現するための研究に従事。ACM、IEEE 各会員。