

氏名	小貫 朋実
博士の専攻分野の名称	博士（工学）
学位記号番号	博理工甲第 1035 号
学位授与年月日	平成 28 年 9 月 23 日
学位授与の条件	学位規則第 4 条第 1 項該当
学位論文題目	視線コミュニケーションのためのロボットの視線表現
論文審査委員	委員長 教授 久野 義徳 委員 准教授 小林 貴訓 委員 准教授 小室 孝 委員 教授 島村 徹也

## 論文の内容の要旨

近年、人間とコミュニケーションを行い、人間と共に暮らすことを目的としているコミュニケーションロボットが増えてきた。コミュニケーションは大きく分けて言語コミュニケーションと非言語コミュニケーションに分けることができる。非言語コミュニケーションには身振りや対人距離などがあり、無意図的で自動的な行為であることが多い。人間は日頃から意図せずに非言語コミュニケーションを行っているため、自然なコミュニケーションを行うにはコミュニケーションロボットにも非言語コミュニケーションが行えることが求められる。非言語コミュニケーションの中で、我々は視線を用いたコミュニケーションに着目した。人間とロボットのインタラクションにおいて、会話の進行において視線のやり取りの重要性、視線を相手に見せる機能の重要性が指摘されている。

ロボットによる視線を用いたコミュニケーションを行うには、ロボットの視線方向を人間に感じてもらう必要がある。また、人間と日常生活で共生するロボットにおいては、機能的価値だけでなく、情緒的価値も重要であり、外見的にも人間が受け入れられるものでなければならない。そのため、外見上の親しみやすさも重要である。そして、ロボットが何かを『見ている』ということを人間に印象付ける必要がある。

そこで本研究では視線コミュニケーションを行うための目の静的な視線表現と動的な視線表現に着目した。静的な視線表現として、親しみやすさと視線の読み取りやすさを兼ね備えた目のデザインと、視線の読み取りやすい顔のデザインについて考えた。動的な視線表現として、全体としての視線の自然な動作、目によるロボットの内部状態表現を検討した。

第 1 章では、本研究の背景、関連研究、目的と課題、構成について示す。

第 2 章では、はじめに人間の目を基準として、目の横幅に対する目の縦幅を 3 段階、目の横幅に対する黒目の直径を 3 段階に変化させ、それらを組み合わせることで 9 個のデザイン候補を作成した。それを用いてサーストンの一対比較法により親しみやすい目のデザインについて調査を行い、結果についてまとめた。視

線コミュニケーションは、人間を対象とした認知科学的な研究からインタラクションやインタフェースへの応用まで、様々なレベルで研究対象とされているが、比較的デザインが自由なロボットの目を対象として、目のデザインと視線の関係を扱っているものは少ない。そこで、まず一番身近な視線コミュニケーションを行う相手として、人間の目の形状を元として目のデザインをすることを考え、調査を行った。その結果、目の横幅に対する目の縦幅が人間の目の程度から、それよりも縦幅が大きい目（本研究中では円形の目）が形状としてよく、目の横幅に対する黒目の直径が人間と同程度からそれよりも大きい目（本研究では目の横幅の0.75倍）が親しみやすい傾向があった。

第3章では、第2章で作成した目のデザイン候補及び、平面の顔・半球の顔・人間でいう鼻にあたる半球の中央に三角形の突起をつけた顔の3つをつくり、視線の読み取りやすさを調査した。先述したように、比較的デザインが自由なロボットの目を対象として目のデザインと視線の関係を扱っているものは少ないため、人間の目の形状を元として目のデザインを元に視線の読み取りやすさを調査することを考えた。目のデザインとは異なり、人間の顔を用いた視線の読み取りやすさや、人間の顔を模したマスクを用いた視線の読み取りやすさを扱った研究はこれまでもなされてきた。しかし、人間の顔の要素については言及されていなかった。本研究では人間の顔から視線が読み取りやすくなる要因が鼻にあると考えた。そこで、人間の顔全体を半球、人間の顔で一番大きな凹凸である鼻にあたる三角形の突起をつうけるところまで単純化させ、ただの半球の顔との違いを調査した。第2章で好まれた目の形状で、半球の中央に三角形の突起をつけた顔が、視線が読み取りやすいという結果となった。

第4章では、全体としての視線の自然な動作を調査した。自然な動作ができなければ、初めてロボットと相対する場合に人間がロボットの状態を理解することができない。また、自然な動作として人間の動作を完全に模倣することは、今後様々な動作を作るには非効率的である。そこで、人間の動作を観察し、その中から要素を抽出してそれを元に眼球動作と頭部動作、そしてその2つの連動について検討した。頭部回転をするときに瞬きをすること、加速減速を伴う首振りが自然であること、目と頭部回転の組み合わせが自然であるという結果となった。

第5章では目によるロボットの内部状態表現として、待機動作と注視動作に差を作ることで注視を演出することを考えた。しかし、視線コミュニケーションを行うには、ロボットが何を注視しているか他者が感じ取ることができなければならない。そこでロボットの注視を演出するために、集中して物に視線を定めている状態に行われる注視動作と、そうではない状態に行われる待機動作の2つの動作に差を出すことで、ロボットの注視を演出することを考えた。待機動作と一言でいっても様々な状態での待機動作が考えられる。そこで、「待つ」という状態のように集中して視線を定めておらず何のタスクもない状態に行われる視線移動の待機動作について考えた。そのために、人間の動作を観察し、その中から要素を抽出してそれを元にして眼球動作を作成し、印象調査を行なった。その結果、視線が戻る位置がある状態で視覚的顕著性（visual saliency）の高い場所を人間は見ていること、瞬きが少なく目が動かないと注視しているように見えること、待機状態としては目が動くことがよいことが分かった。

第6章では、全体のまとめ、及び将来の展望について記述した。

## 論文の審査結果の要旨

当論文審査委員会は、当該論文の発表会を平成 28 年 7 月 26 日に公開で開催し、詳細な質問を行い論文内容の審査を行った。その論文発表を含む学位論文の審査の結果、本提出論文を博士（工学）の学位論文として合格と判定した。以下に審査結果の要約を示す。

本提出論文は、人間と適切にコミュニケーションを取ることができるようにするための、ロボットの視線表現について検討したものである。

近年、人間とコミュニケーションを行い、人間と共に暮らすことを目的としているコミュニケーションロボットが増えてきた。コミュニケーションは大きく分けて言語コミュニケーションと非言語コミュニケーションに分けることができる。非言語コミュニケーションには身振りや対人距離などがあり、無意図的で自動的な行為であることが多い。人間は日頃から意図せずに非言語コミュニケーションを行っているため、自然なコミュニケーションを行うにはコミュニケーションロボットにも非言語コミュニケーションが行えることが求められる。本論文では、非言語コミュニケーションの中で、視線を用いたコミュニケーションに着目している。人間とロボットのインタラクションにおいて、会話の進行において視線のやり取りの重要性、視線を相手に見せる機能の重要性が指摘されているからである。

ロボットによる視線を用いたコミュニケーションを行うには、ロボットの視線方向を人間に感じてもらう必要がある。また、人間と日常生活で共生するロボットにおいては、機能的価値だけでなく、情緒的価値も重要であり、外見的にも人間が受け入れられるものでなければならない。そのため、外見上の親しみやすさも重要である。そして、ロボットが何かを「見ている」ということを人間に印象付ける必要がある。

そこで本研究では視線コミュニケーションを行なうための目の静的な視線表現と動的な視線表現に着目している。静的な視線表現として、親しみやすさと視線の読み取りやすさを兼ね備えた目のデザインと、視線の読み取りやすい顔のデザインについて検討している。動的な視線表現としては、全体としての視線の自然な動作と、目によるロボットの内部状態表現を検討している。

本論文は 6 章からなる。まず、第 1 章では、本研究の背景、関連研究、目的、課題について述べている。

第 2 章では、親しみやすい目の形状について検討している。はじめに人間の目を基準として、目の横幅に対する目の縦幅を 3 段階、目の横幅に対する黒目の直径を 3 段階に変化させ、それらを組み合わせることで 9 個のデザイン候補を作成した。それを用いてサーストンの一対比較法を用いて親しみやすい目のデザインについて調査を行った。視線コミュニケーションは、人間を対象とした認知科学的な研究からインタラクションやインタフェースへの応用まで、様々なレベルで研究対象とされている。しかし、比較的デザインが自由なロボットの目を対象として、目のデザインと視線の関係を扱っているものは少ない。そこで、まず一番身近な視線コミュニケーションを行う相手として、人間の目の形状を元として目のデザインをすることを考え、調査した。結果として、人間の目の形状程度から、さらに円形（縦幅が大きい）で黒目の大きいものが好まれることが分かった。

第 3 章では、第 2 章で作成した目のデザイン候補、および、平面の顔・半球の顔・半球の中央に三角形の突起をつけた顔の 3 つを作り、視線の読み取りやすさを調査している。先述したように、比較的デザインが自由なロボットの目を対象として目のデザインと視線の関係を扱っているものは少ないため、人間の目の形状を元として目のデザインを考え、視線の読み取りやすさを調査することを検討した。人間の顔を用いた視線の読み取りやすさや、人間の顔を模したマスクを用いた視線の読み取りやすさを扱った研究はこれまでもされており、視線が読み取りやすくなることが示されてきた。しかし、人間の顔の要素については言及さ

れていなかった。人間の顔から視線が読み取りやすくなる要因が鼻にあると考えた。そこで、人間の顔全体を半球とし、人間の顔で一番大きな凹凸である鼻にあたる三角形の突起を付けるところまで単純化させ、ただの半球の顔との違いを調査した。結論として、第2章で好まれた目の形状で、鼻がある場合に視線が読み取りやすいことが示された。

第4章では、全体としての視線の自然な動作を検討している。自然な動作ができなければ、初めてロボットと相対する場合に人間がロボットの状態を理解することができない。そこで、人間の動作を観察して、その中から要素を抽出し、それを元に眼球動作と頭部動作、そしてその2つの連動について検討した。人間の動作としては、振り向くときの頭部の速度は一定でない、その際に瞬きをする、目と頭部の両者の動きが組合せられることが分かった。被験者を用いた実験により、ロボットにも同様の動作をさせた方が自然に見えることを明らかにした。

第5章では目によるロボットの内部状態表現として、待機動作と注視動作に差を作ることで注視を演出することを検討している。視線コミュニケーションを行うには、ロボットが何を注視しているか他者が感じ取ることができなければならない。そこでロボットの注視を演出するために、集中して物に視線を定めている状態に行われる注視動作と、そうではない状態に行われる待機動作の2つの動作に差を出すことで、ロボットの注視を演出することを考えた。心理学における知見と実際の人間の観察により、注視時は瞬きが少なく、目もあまり動かないことが分かった。待機動作については、様々な状態での待機動作が考えられる。そこで、「待つ」という状態のように集中して視線を定めておらず何のタスクもない状態に行われる視線の待機動作について検討した。人間の動作の観察の結果、待機時には視線が動き、またシーンの中で視覚的顕著性の高い部分に視線が戻るような動きが見られた。そして、以上のように視線を動かすロボットを開発し、待機と注視の内部状態を人間に効果的に伝えられることを示した。

最後に第5章で、全体を総括し、今後に残された課題を議論している。

以上のように、本論文の内容は、学術的に意義のある研究であると評価できる。よって、当学位論文審査委員会は、本論文を博士（工学）の学位論文として合格と判定した。