

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 23 日現在

機関番号：12401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2013

課題番号：23650094

研究課題名(和文)コミュニケーションのためのロボットの目：外見と機能の総合的デザイン

研究課題名(英文) Robot Eyes Suitable for Communication: Integrated Design of Appearance and Function

研究代表者

久野 義徳 (KUNO, Yoshinori)

埼玉大学・理工学研究科・教授

研究者番号：10252595

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円、(間接経費) 840,000円

研究成果の概要(和文)：目はものを見るためであるが、アイコンタクト等の非言語コミュニケーションのためには他者に見せる機能も重要である。また、人間と共存するロボットとの目としては、人間に親しみやすい感じを与えるものが望まれる。そこで、この2点について、レーザープロジェクタにより種々の目の像を投影表示できるロボット頭部を製作し、どのような目の形状がよいかを被験者を用いた実験により調べた。その結果、人間の目の形状程度から、さらに目を丸く、また瞳も大きい形状が、親しみやすく、また視線がどちらを向いているかが読みとりやすいことが分かった。また、目や頭部の動かし方についても調査し、人間に自然に感じられる動かし方を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Human eyes not only serve the function of enabling us "to see" something, but also perform the vital role of allowing us "to show" our gaze for non-verbal communication, such as through establishing eye contact and joint attention. The eyes of service robots should therefore also perform both of these functions. Moreover, they should be friendly in appearance so that humans may feel comfortable with the robots. In this research, we first developed a robot face with rear-projected eyes for changing the ir appearance while simultaneously realizing the showing of gaze by incorporating stereo cameras. Then, we examined which shape of robot eyes is most suitable for gaze reading while giving the friendliest impression, through carrying out experiments where we altered the shape and iris size of robot eyes. Finally, we investigated how robots should move their eyes and head to give natural and friendly impressions.

研究分野：知能ロボット

科研費の分科・細目：情報学、知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：コンピュータビジョン 知能ロボット 社会学 マルチモーダルインタフェース ヒューマンロボット  
インタラクション 視線

### 1. 研究開始当初の背景

目の部分を黒く塗りつぶせば匿名性が高まるように、目は顔の中で、外見を決定する最も重要な要素である。したがって、人間型のロボットをデザインするときに、その目の外見をどうするかは、ロボットの印象を決める最大の要因になる。一方、目の機能は、一義的にはもちろん、ものを見ることだが、視線やアイコンタクトなど、非言語コミュニケーションにも重要な役割を果たすことが知られている。研究代表者は、人間とアイコンタクトするロボット等、ロボットの目による非言語コミュニケーションの研究をしてきたが、目の外見にはそれほど注意していなかった。ところが、最近、人間の目は外見上も非言語コミュニケーションに適した、動物の目の中では特異なものであるということを知った(遠藤編、読む目・読まれる目、2章、東京大学出版会、2005)。人間の目は、霊長類の中では最も横長で強膜(白目)が広く露出し、しかも、その強膜に色素がないのは人間だけのことである。したがって、視線が他者から分かりやすく、非言語コミュニケーションが容易になっている。これまでに開発されたロボットでは、目については、単に開発者やデザイナーの好みなどから外見を決めていることが多かったと思う。一方、ロボットの非言語コミュニケーション関連の研究では、画像からの相手の人間の顔の向きや視線の検出などの見る技術の研究が中心であった。しかし、人間の目の形態の特異性は、目の外見と機能の両者は不可分な関係であることを示している。以上のことから、人間と円滑にコミュニケーションできるロボットの実現のために、目の外見と機能の両面を総合的に検討する必要があった。

### 2. 研究の目的

目はものを「見る」ためにあるが、視線やアイコンタクトなど非言語コミュニケーションのために他者に「見せる」機能も重要である。研究開始当初の背景で述べたように、人間の目は横長で白目の部分が大きいという特異な形態をしており、他者に視線などを読まれやすい非言語コミュニケーションに適した目とのことである。しかし、現在のロボットの目のデザインでは、この知見は考慮されていない。そこで、様々なロボットの顔について、どのような形態の目がコミュニケーションに適切かを実験的に明らかにする。しかし、外見がよいだけでは有効なコミュニケーション手段にはならない。外部状況を認知し反応する存在であることを、外部に目で見せる必要がある。そこで、人間の調査をもとに、外部状況を見て、それに応じて適切な動きを見せるロボットの目を実現する。ロボットの目について、その外見と、外部を「見る」、そしてそれに応じて「見せる」という2つの機能を総合的に検討し、ロボットの目の新たなデザイン原理の確立を目指す。

### 3. 研究の方法

#### (1) 親しみやすい目の形状の調査

サーストンの一対比較法を用いて、親しみやすい目の形状を調べる。目の形状を目の縦幅と黒目の直径を図1のようにそれぞれ3通り、計9通りの目を作る。そのうちの2つをタブレット PC に表示し、どちらが親しみやすいかを聞く。各人にすべての組合せ(36通り)について判定してもらい、その結果から親しみやすさの程度を分析する。

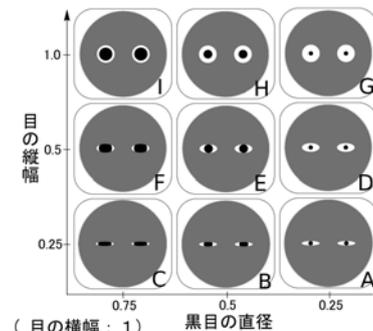


図1 目の形状

#### (2) 実験用ロボット頭部の開発

図1の目の形状に対して、どの形状が視線が読みとりやすいかを調べるために、図2のようにプロジェクタでCGで作成した目を投影するロボット頭部を開発した。この頭部には、ものを「見る」ためのカメラが左右に取り付けられている。この左右のカメラによるステレオ視により、指定された色の物体を検出し、その3次元位置を求め、そこに視線を合わせたように「見せる」ための目が表示されるようになっている。

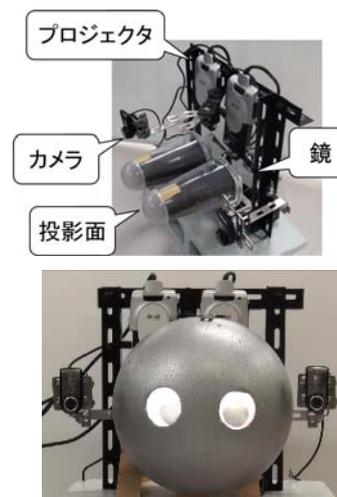


図2 実験用ロボット頭部  
上：内部 下：外観

#### (3) 目の形状と視線の読み取りやすさ

開発した実験用ロボット頭部で、顔(マスク)を3種類用意し、また黒目についても3種類の表示を行うことにより、図1に示した9つの目の形状に対して、指定した方向に視線を向けられるようにした。図3に示すよう

に、この頭部の前方に番号の書かれたマーカを並べ、視線をあるマーカに向ける。その際、被験者にどのマーカを見ているかを答えてもらうことにより、視線が正確に伝わる形状を調べる。



図3 視線計測の実験

(4) 頭部形状と視線の読み取りやすさ

人間は概略の視線として頭部の向きの情報を利用している。そこで、図4のように(a)平面、(b)半球面、(c)半球面に鼻のような突起があるという3種類の頭部を用いて、前項と同様に視線読み取りの実験を行い、視線の分かりやすい頭部形状を調べる。



(a) 平面 (b) 半球面 (c) 半球鼻有り

図4 実験に用いた頭部

(5) 目と頭部の動きに関する検討

適切な目や頭部の動かし方を明らかにするために、以下のような実験を行った。

① 振り向くときの頭部の動き

人間の振り向く際の頭部の動きを頭部に加速度センサを取り付け計測する。そして、ロボットの頭部を人間と同様に動かした場合と、等速で動かした場合について、被験者の評価を求める。

② 待機時の目の動き

特に何かをしているのではないときでも人間の目は動いている。ロボットも適切に目を動かしていると、外部の様子に反応する存在とより見られるのではないかと思われる。そうすれば、ロボットがどこかを見ると、人間もそちらを見るという共同注意が起こりやすくなるのではないかと考えられる。話題の対象を双方が見るといふ共同注意の確立はコミュニケーションにおいて重要であり、それを待機時の目の動きで助けられるか検討する。そこで、待機時にシーンの中で視覚的顕著性の高いところ(目立つところ)を見るように目を動かさず場合、等速で見回すように目を動かさず場合、ある方向だけ見て目を動かさない場合の3つの動作をさせ、その後、シーン内のある物体を見るようにした場合に、被験者がその物体を見るかどうか、すなわち共同注意を引き起こすことができたかどうかを調べる実験を行う。

③ 目と頭部の協調運動

ある方向を見るときに顔だけを動かさず場合と、目と顔の両方を動かさず場合について、どちらが自然に見えるか被験者の評価を求める実験を行う。

(6) 視線コミュニケーションに適したロボット頭部の製作

以上の検討をもとに、視線コミュニケーションに適したロボット頭部を製作する。

4. 研究成果

(1) 目の静的デザイン

詳細な結果は雑誌論文①などで発表している。ここでは、成果の概略を述べる。

① 親しみやすい目の形状

大学生105人に対して3(1)の実験を行った。図5に親しみやすさの尺度構成を行った結果を示す(2つを比較した際に、多くの方が一方を親しみやすいと判定すれば、両者の親しみやすさの差は大きい。このような考え方にに基づき、親しみやすさの程度を数値で表す)。結果を見ると、目の形状が丸く、黒目も大きいものが最も親しみやすいと判定されている。3番目がだいたい人間の目程度の形状であり、それより目全体の形状が丸く、黒目も同じか大きいものが好まれていると言える。

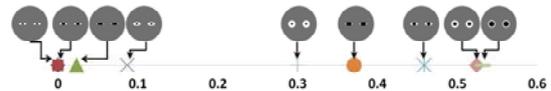


図5 形状による目の親しみやすさ(数値が大きい方が親しみやすいと判定されたもの)

② 視線の読み取りやすい目の形状

大学生36人に対して3(2)の実験を行った。回答したマーカとロボットが実際に視線を向けたマーカとの距離を視線読み取りの誤差として、平均誤差を求めた結果を図6に示す。上位(誤差が小さい)は、親しみやすさの点で上位のものと同様の結果となった。人間の目に近い横長のEの形状の結果が良いのではと予想したが、全体的には黒目が大きいものが良い結果であった。

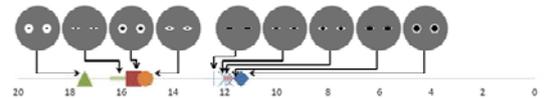


図6 目形状と視線読み取りの平均誤差(単位 cm)

③ 視線(顔の向き)の読み取りやすい頭部形状

大学生16人に対して3(4)の実験を行った。平均誤差の結果を図7に示す。鼻のような突起のある顔が視線(顔の向き)が読みとりやすいという結果となった。

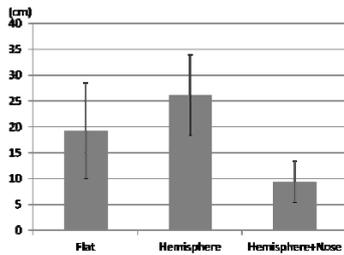


図7 頭部形状と視線（顔の向き）読みとりの平均誤差、左から平面、半球面、半球鼻有り

④ 静的デザイン結論：親しみやすく視線の読み取りやすいロボットの目のデザイン

親しみやすさについては、他にも多くの条件があり、単純に断定はできないが、以上の結果からは、親しみやすく視線の読み取りやすいロボット頭部としては、目は丸く黒目が大きく、鼻のような突起のあるものがよいということになる。このようなロボット頭部として、図8のようなものを製作した。



図8 親しみやすく視線の読み取りやすいロボット頭部

(2) 目の動的デザイン

詳細な結果は学会発表①などで発表している。ここでは、成果の概略を述べる。

①振り向くときの頭部の動き

人間の振り向く際の頭部の動きは、等速回転ではなく、初めは遅く、中間の方向で最大になり、また遅くなるのが分かった。ロボット頭部を同様に動かした場合と、等速で動かした場合を24人の被験者（大学生）に見せて、いくつかの質問について7段階の評価をもらった。その結果、自然に見えるか、親しみやすいかという質問については、人間のように動かした方が統計的に有意によいことが分かった(p<0.05)。

②待機時の目の動き

視覚的顕著性の高いところを見回す場合、等速に動かす場合、動かさない場合、それぞれを11、10、11人の被験者（大学生）に20秒間見てもらった後、ロボットはある物体の方を見る。被験者にロボットの動きの自然さについて7段階の評価をもらったが、その値については統計的な有意差はなかった。

共同注意が起こったのは、順に6例(54.5%)、4例(40%)、2例(18.2%)であった。この実験だけでは、被験者数も少なく断定的な結論は得られなかった。共同注意の実現のためには目を動かしておくのがよさそうだが、どのように動かすかについては、さらに検討が必要である。

③目と頭部の協調運動

人間は振り向く際に頭部だけでなく目も動かしている。また、①の実験の際に、人間は振り向くときによくまばたきすることが観察された。そこで、ある方向を見るときにロボットが顔だけを動かす場合と、目と顔の両方を動かし、かつ途中にまばたきも行う場合について、前者について24人、後者について27人の被験者（大学生）に動きの自然さについて7段階評価をもらった。平均値は3.96と5.00で、t検定により統計的に有意な差があった。今回の実験では、目と頭部の両者を動かし、まばたきもするという、人間が行っている動きと、頭部運動だけのものを比較した。したがって、目と頭部の両方を動かすことと、まばたきすることの、それぞれの効果を分けて示すことはできない。これについては、今後、検討したい。

④動的デザイン結論：活き活きと動く目のデザイン

基本的に、人間のように目や頭を動かすのが自然に見える。すなわち、振り向くときは頭部は途中を速く動かす、また、目と頭部の両者を動かす、そして、待機るときはあたりを見回すのがよい。ただし、それぞれの動きについて、さらにどう動かすとよいか、また、その効果については、さらに検討が必要である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

- ① T. Onuki, T. Ishinoda, E. Tsuburaya, Y. Miyata, Y. Kobayashi, and Y. Kuno, Designing robot eyes for communicating gaze, Interaction Studies, 査読有, Vol.14, No.3, 2014, pp.451-479 DOI: 10.1075/is.14.3.07onu
- ② 児玉幸子、デバイスアートと遊び、日本バーチャルリアリティ学会誌、査読無 Vol.19, No.1, 2014, pp.20-23 <http://www.vrsj.org/journal/backnumber/>

〔学会発表〕(計17件)

- ① T. Onuki, K. Ida, T. Ezure, T. Ishinoda, K. Sano, Y. Kobayashi and Y. Kuno, Designing robot eyes and head and their motions for gaze communication, ICIC2014, 2014年8月3-6日, Taiyuan, 中国(採録決定)

- ② T. Onuki, T. Ezure, T. Ishinoda, Y. Kobayashi and Y. Kuno, Static and dynamic robot gaze expressions to communicating with humans, 20th Korea-Japan Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision (FCV2014), 2014年2月5日, 沖縄高専(名護市)
- ③ 小貫朋実、江連智香、石野田貴文、小林貴訓、久野義徳、注視を演出するコミュニケーションロボット、画像センシングシンポジウム(SSII2013)、2013年6月13日、パシフィコ横浜(横浜市)
- ④ T. Onuki, T. Ishinoda, Y. Kobayashi, and Y. Kuno, Designing robot eyes for gaze communication, 19th Korea-Japan Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision (FCV2013), 2013年1月30日, Incheon, Korea
- ⑤ 小貫朋実、宮田雄規、小林貴訓、久野義徳、視線コミュニケーションを考慮したロボット頭部の開発、画像センシングシンポジウム(SSII2012)、2012年6月8日、パシフィコ横浜(横浜市)
- ⑥ T. Sato, K. Goto, and S. Kodama, Emotional distance: A virtual human's facial expressions based on the "Hedgehog's Dilemma" model upon encountering and becoming accustomed to a person, ASIAGRAPH Forum 2012, 2012年3月13日、東京大学(東京都)
- ⑦ 小貫朋実、宮田雄規、小林貴訓、久野義徳、親しみやすさと視線コミュニケーション機能を考慮したロボットの目のデザイン、HAIシンポジウム2011、2011年12月3日、京都工芸繊維大学(京都市)

[図書] (計1件)

- ① S. Kodama, T. Sato, and H. Koike, Anton Nijhold ed., Playful User Interfaces, Springer, 2014, 352(141-160)

[その他]

- ① 報道 テレビ埼玉 2013年7月13日放送、埼玉ビジネスウォッチ、コミュニケーションロボット

6. 研究組織

(1) 研究代表者

久野 義徳 (KUNO, Yoshinori)  
 埼玉大学・大学院理工学研究科・教授  
 研究者番号：10252595

(2) 研究分担者

小林 貴訓 (KOBAYASHI, Yoshinori)  
 埼玉大学・大学院理工学研究科・助教  
 研究者番号：20166692

児玉 幸子 (KODAMA, Sachiko)  
 電気通信大学・大学院情報理工学系研究

科・准教授

研究者番号：10323883

(3) 連携研究者

山崎 敬一 (YAMAZAKI, Keiichi)  
 埼玉大学・教養学部・教授  
 研究者番号：80191261

山崎 晶子 (YAMAZAKI, Akiko)  
 東京工科大学・メディア学部・准教授  
 研究者番号：00325896