

応答的注視ロボットによる被注視感の呈示

吉川 雄一郎^{†,††} 篠 沢 一 彦[†] 石 黒 浩^{†,††,†††}
萩 田 紀 博[†] 宮 本 孝 典[†]

人間同士の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節など、重要な役割を持つことが知られている。人間と対面するロボットやスクリーンエージェントの従来研究においても、それらの視線をどのように構成するか注目が集まっているが、相手の視線の動きを考慮した枠組みの研究は少ない。しかし、相手の視線が自分の視線に対してどのように変化しているかを見ることは、人間が相手の視線を認識するうえで重要な手がかりになっていると考えられる。そこで本研究では、対面相手の視線に基づいて自身の視線を動かすことのできるロボットを構築し、応答的視線によってより強い被注視感を相手にいだかせることができることを示す。

Conveying the Feeling of Being Looked at by Responsive Robot Gaze to Interaction Partner

YUICHIRO YOSHIKAWA,^{†,††} KAZUHIKO SHINOZAWA,[†]
HIROSHI ISHIGURO,^{†,††,†††} NORIHIRO HAGITA[†]
and TAKANORI MIYAMOTO[†]

In face-to-face communication, eyes play a central role, for example in directing attention and regulating turn-taking. For this reason, it has been a central topic in several fields of interaction study. Although many psychology findings have encouraged previous work in both human-computer and human-robot interaction studies, so far there have been few explorations on how to move the agent's eye, including when to move it, for communication. Therefore, it is this topic we address in this study. The impression a person forms from an interaction is strongly influenced by the degree to which their partner's gaze direction correlates with their own. In this paper, we propose methods of controlling a robot's gaze responsively to its partner's gaze and confirm the effect of this on the *feeling of being looked at*, which is considered to be the basis of conveying impressions using gaze in face-to-face interaction experiments.

1. はじめに

人の視線は、意図の伝達や会話の調節など、コミュニケーションにおいて重要な役割を持つとされ、心理学の分野では古くからさかんに研究が行われている¹⁾。相手を見つめる時間の割合²⁾ や対面時の視線方向³⁾ など、相手をどのように見るかが相手に与える印象に

影響することが知られており、人と対面するロボットやスクリーンエージェントの実現において、それらにどのような視線制御をさせるかに注目が集まっている^{4) - 14)}。

深山らは心理学の見聞を参考にして、相手を見つめる時間の割合や目を逸らす方向などの視線パラメータにより、スクリーンエージェントを見た人間に与える印象が操作可能であることを示した⁴⁾。また、ロボットが人間へ意見を呈示したり⁶⁾、自身の内部状態や意図^{8),11)}を伝達する際、相手の顔を見つめたり、相手の視線を追ったりすることの重要性が示唆されている。またスピーチロールに応じて視線を変えることにより、円滑な話者交替を実現するスクリーンエージェント^{12),13)} やロボット⁹⁾の研究がある。しかしこれらの研究では、視線を変化させるタイミングは人間の視線の統計的な振舞いを再現するように決められることが多く、眼前の相手の視線に応じてそのタイミングを決

† 株式会社国際電気通信基礎技術研究所知能ロボティクス研究所
Intelligent Robot and Communication Laboratories,
Advanced Telecommunication Reserach Institute International

†† 独立行政法人科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業浅田共創知能システムプロジェクト
Asada Synergistic Intelligence Project, Exploratory Research for Advanced Technology Japan Science and Technology Agency

††† 大阪大学大学院工学研究科知能・機能創成工学専攻
Department of Adaptive Macine Systems, Graduate School of Engineering, Osaka University

めることについてはあまり考慮されていなかった。

しかし人間を見てみると、自分の方を見ていない眼の画像を見ているときにその眼が急に自分の方を見てくると反射的に眼を逸らしてしまう傾向があることが報告されている¹⁶⁾ように、相手の視線に応じ視線を動かしてしまう場合があり、この反応のタイミングや仕方が相手に与える印象に強く影響すると考えられる。たとえば、電車の中で周りを見渡しているとき、偶然目が合った相手に急に逸らされると、こっそり見られていたような気がするときがある。また人に話しかけようと相手を見たとき、相手がすぐに見つめ返すと話しかけやすく感じるときがある。これらのことから本研究では、人は相手の視線が自分の視線にどのように応じているかを確認することによって相手に見られていることを認識するのではないかと考える。また対面コミュニケーションにおいて、このような見られている感じ(被注視感)を人に与えることは、相手に注意を払っている印象を形成させることにつながり、ロボットが人にコミュニケーション可能な相手であると認識され、人とのコミュニケーションを成立・持続させるうえでひとつの有効な手立てであると考えられる。

そこで本稿では、対面相手の視線に基づいて自身の視線を動かすことのできるロボットを構築し、応答的視線の効果について検討する。応答的に視線を変化させる方法の代表的なものとして、追従的注視と逃避的注視と呼ぶ方法を導入し、応答の方法の違いによらず、被験者に強い被注視感を与えることを示す。本稿の残りの部分では、まず、応答的視線に関する仮説について述べ、本稿で提案する応答的な視線制御の方法と比較のためにロボットに実装する非応答的な視線制御の方法について述べる。応答的視線の被注視感に対する効果を音声をとまなわないインタラクション実験において検討し、最後に、音声をともなうインタラクションにおいても、同様に有効であることを示す。

2. 相手に視線に応じるロボットの視線についての仮説

人間の視線は、意図、情動、気分、個性などを表すことが知られている⁵⁾。本研究では、人間がコミュニケーション相手に対して持つこれらについての印象は、相手に見られている感じ(被注視感)を基本とすると考える。人間が相手を見続けていれば、相手は見られていること、また注意を払われていることを明確に認識し、相手に対して様々な印象をいだくであろう。しかし、ロボットの場合、相手の顔を見続けるだけでは、必ずしも相手にコミュニケーション相手として認識さ

れるとは限らない。たとえば、ロボットと人間が正面に向き合った場合、ロボットは正面を向いてさえいれば、動いていなくても相手を見つめることができる。動かないロボットは、静止物体に近くなり、その視線はおのずと弱くなる。これに対し本研究では、視線を相手の視線によって変化させることによって視線を強調することで、ロボットが人間にコミュニケーション相手として認識されるに足る強い被注視感を提示可能であると考えられる。

2.1 相手の視線に応じる効果

ロボットに相手の視線に応じて自身の視線を変えさせることにより、以下の4つの効果が得られると考えられる。まず、相手以外のものにも視線を向けることにより、

- (1) 相手に視線を向けている状態が、相手以外のものに視線を向けている状態からの差分として認識されやすい
- (2) 相手以外のものにも視線を向けることができることを提示することになるので、視線を相手に向けているときに、ロボットが意図的に相手を見ているという印象を与えやすい

という効果があり、相手の視線に応じることにより、

- (3) 相手の視線、すなわち目や顔、大局的には相手を見ていることを暗に伝えることになる
- (4) モニタを通してにらめっこをさせる実験における、画面にライブ映像と録画映像を提示した場合の差から伊藤¹⁵⁾が示唆したように人間が自分の視線と相手の視線との時間的關係でもって被注視感の認識を行っているとする、応じ方を変えることによりロボットの視線と相手の視線との時間的關係を制御できるため、人間の被注視感を制御することができる

という効果があると考えられる。

2.2 相手の視線に対する応じ方

対面コミュニケーションにおいて、見る対象の最も基本的な分類は相手とそれ以外であると考えられる。したがって、見る対象を変えることによる視線変化の提示を考えたとき、相手の視線に対して視線を変化させる、すなわち見る対象を変える基本的な方法として、追従的な応じ方と逃避的な応じ方の2種類の方法が考えられる。追従的な応じ方とは、相手と注意の先を共有するように視線の向きを動かすもので、相手が見ていなければ見つめ返し、他のものを見ていれば同じものを見るように視線を動かす応じ方である。したがって、相手の意図を理解するために重要であるとされる、相手の見ているものを見る行動(視覚的共同注

意¹⁷⁾)と似た行動を提示することになる。また追従的な応じ方は、相手にとっては真似をされているように映り、これを続けると、相手に被注視感を与えると同時に、脅威に感じられることが予想される。一方、逃避的な応じ方とは、相手と注意の先を共有しないように視線を動かさずもので、相手が自分を見ていれば他のものを見て、他のものを見ていれば相手を見るように視線を動かす応じ方である。逃避的な応じ方では、相手とあまり目が合わず、これを続けると、相手に被注視感を与えると同時に、不安そうに感じられることが予想される。

追従的な応じ方と逃避的な応じ方により、それぞれ別の印象をとまなわせながら被注視感を提示可能であり、これらを組み合わせることで、被注視感を維持しながら、多様な印象をとまなわせた視線が構成できると考えられる。またどちらも単独では長期の対面を続ける際の応じ方としてはふさわしくないため、適応的にこれらを切り替える機構が必要であるが、本稿ではまず上記の応じ方それぞれに注目し、その効果について検討する。

3. ロボットの注視対象切替え

本章では、相手の視線に応じてロボットが自身の視線を変える制御則とその効果を検証する際に比較対象となる制御則について説明する。

3.1 100%注視

注視対象切替えを行わず、相手の顔を注視し続ける視線制御を、100%注視(100% staring)と呼び、眼球および首による顔のトラッキングにより実現する。トラッキングは、ロボットの眼球の位置にあるカメラでとらえた画像から、画像処理により相手の顔を抽出し、これを画像中心に移動させる制御により実現する。

3.2 独立的注視

相手の視線変化と独立に注視対象を切り替える視線制御を、独立的注視と呼び、独立(independent)と記す。顔のトラッキングとその他の物体のトラッキングの持続時間を、乱数によって決定することによって実現する。

3.3 相手に視線変化に応じて注視対象を切り替える視線制御

3.3.1 追従的注視

相手が自分の顔に視線を向けているとき、自分も相手の顔を注視し、相手が顔以外に視線をはずしたとき、自分も相手と同じものを見るような視線制御を、追従的注視と呼び、追従(following)と記す。ただし、注視している状態の提示のため、視線を変化させた後

0.5 [sec]の間は、相手の視線変化があっても無視し、注視を続けさせる。

3.3.2 逃避的注視

相手が自分の顔に視線を向けているとき、相手以外のもに視線を向け、相手が顔以外に視線をはずしたとき、相手の顔を見るような視線制御を、ここでは逃避的注視と呼び、逃避(averting)と記す。ただし、注視している状態の提示のため、視線を変化させた後0.5 [sec]の間は、相手の視線変化があっても無視し、注視を続けさせる。

4. 実験

相手の視線に応じた視線制御の効果を検証するため、10代~20代の男性および女性を被験者として、ロボットと対面し、その印象を評価させる実験を行った。実験終了後、被験者には実験時間に応じて謝礼を支払った。

4.1 実験システム

本研究の実験ではATRが開発したコミュニケーションロボットRobovie-R2を用いた。本実験では、このロボットが有する全身17自由度のうち、首部のバン・チルト軸、および眼球部のバン・チルト軸周りの回転関節の計6自由度を使用した。使用したロボットは瞬きの機能や表情の変化の機能を有していない。ロボットの眼球部のCMOSカメラには、中空部分に赤外線通過フィルタを貼り付けた丸型の白いアタッチメントを取り付け、さらにその外側に透明で球状局面の亚克力材を取り付け、人間の瞳孔を模したものを使用した(図1)。ロボットの全高は1,100 [mm]、頭部は幅約270 [mm]、高さ200 [mm]、眼球は直径約70 [mm]であった。

ロボットは、左右の眼球部のCMOSカメラおよび対面者に装着させた注視点計測装置(株式会社ナックイメージテクノロジー, EMR-8B)からの入力に基づき、首と眼球を制御する(図2)。注視点計測装置では、赤外光を装着者の眼球に照射し、眼球を撮影するカメラ映像を画像処理することで、装着者の注視点を計測する。ただし注視点は、装着者の視野をとらえるように取り付けられたカメラの画像(被験者視野画像)上で、装着者が注視している点として検出される。

ホストPCでは、被験者視野画像からロボットの顔領域を抽出する画像処理を行い、シリアル経由で送られてくる注視点の情報と合わせ、被験者がロボットの顔をどのように見ているのか、あるいは見ていないのかを検出する。具体的には、注視点の位置とロボットの顔の位置を比較することにより、被験者がロボット



(a) Looking at a subject in front of it



(b) Looking at a subject in right-side



(c) Looking at the right object

図 1 ロボットの外観：(a) 正面の被験者を眺めているとき、(b) 右側からロボットを眺める被験者を眺めているとき、(c) 右側の物体を眺めているとき

Fig.1 Samples of the robot face during looking at (a) a subject who is in front of it, (b) a subject who looks at it from right-side, and (c) the right object.

の顔を見ているか、ロボットの右側もしくは左側を見ているのかを検出する。また、ロボットの左右の眼球カメラの画像から注視点計測装置から被験者の眼球へ照射された赤外光の反射光を抽出することで、被験者の目の位置を検出する。

ロボットは被験者の注視点とロボットの顔との位置関係から注視対象を決定し、首部の関節と眼球部の関節を用いてこれらを注視する。注視対象が対面者である場合、ロボットはその顔が正面に向くように首部の関節を動かし、検出された被験者の目の位置を眼球カメラの中心にとらえるように眼球部の関節のフィードバック制御を行う。これにより、ロボットの注視対象が被験者であり、被験者がロボットを見ながら頭を動かすとき、被験者からはロボットが眼で被験者を追っているように見える。図 1 (b) に被験者が頭を 10 cm

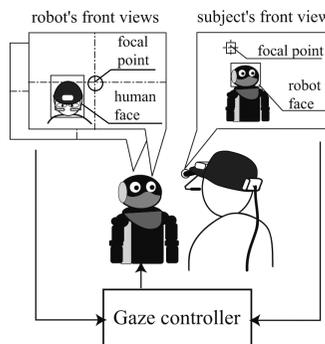


図 2 視線制御系への入力
Fig. 2 Input to the gaze controller.

程度右に動かしているときに、被験者を注視するロボットがどのように見えるのかを示す。注視対象が物体である場合、ロボットが物体を注視しているように見えるように、物体の位置ごとにあらかじめ設定した首部と眼球部の関節角度を実現する。図 1 (c) に、ロボットが実験で用いた物体の 1 つを注視の様子を示す。首部の関節の DC サーボモータ、眼球部の関節のラジコンサーボモータは、位置制御を行うそれぞれのモータコントローラにシリアル経由で目標角度を送信することで制御する。ただしモータ制御の際、若干の駆動音がするが、後述するピーブ音が聞き取れない程度ではなかった。

4.2 手順

被験者をロボットと対面させる前に、注視点計測装置の装着・校正を行った。ただし被験者には、ロボットが被験者の注視点についての情報を視線制御に利用することについては伏せ、印象評価の解析に利用するために注視点計測を行うと説明した。ロボットと被験者の間をカーテンで仕切って、被験者からロボットが見えない状態で「耳が聞こえないのでしゃべらないが、きょろきょろするロボットを眺めて評価してもらおう」と教示した後、被験者とロボットを約 700 [mm] の距離で対面させた。

被験者がロボットと対面したら、ロボットの制御を開始し、はじめの 8 秒間被験者の顔を注視させた後、各条件での制御則に従い視線制御を行わせ、開始から 70 秒が経過するまで、被験者とロボットと向かい合わせさせた (図 3)。この間、被験者がロボットの目だけを見続けることによって被験者の視線が動かなくなることを避けるため、ロボットと被験者の間の机の上に配置した 2 つのサイコロのうち好きなほうを時々見るように教示した。ただし被験者には、サイコロを見る理由は、注視点計測装置の微調整のためであると教示



図 3 実験システム

Fig. 3 Experimental setup for evaluating the impression of reflexive eye.

表 1 被験者数

Table 1 The number of subjects for each condition.

condition	male	female	total
100% staring	6	2	8
independent	6	9	15
following	5	4	9
averting	3	4	7

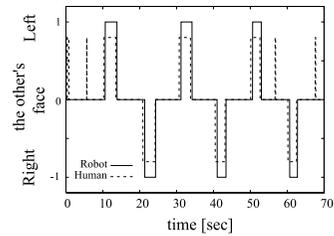
し、10 秒に 1 回ピーブ音を鳴らすことでサイコロを見るタイミングを提示した。このとき被験者には、ロボットやサイコロの注視の仕方については指示せず、またこれら以外の物を見ることを特に禁止はしなかった。70 秒の対面時間が終了後、ロボットにいただいた印象についてアンケートを実施した。

5. 実験結果と議論

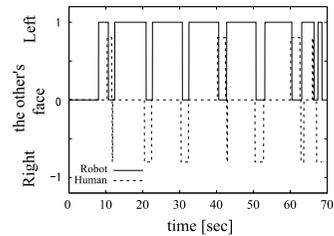
男性 20 名、女性 19 名の計 39 名の被験者に、3 章で示したいずれかの戦略で視線を動かすロボットと 1 度だけ対面させ、対面したロボットについてのアンケートに対する評定結果とともに、被験者およびロボットの注視データを計測した。ロボットの戦略に対する被験者の配分を表 1 に示す。被験者は 18 歳～24 歳の大学生あるいは大学院生であり、平均年齢は 20.8 ± 1.5 歳であった。

5.1 対面の様子

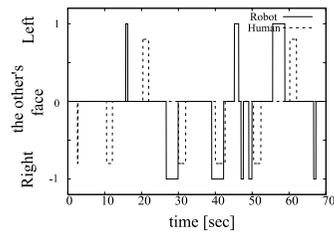
図 4 は、被験者とロボットが対面している際、両者がそれぞれ何を注視していたかを離散化して示したグラフであり、ゼロのとき相手の顔を見ていたこと、正あるいは負のとき被験者から見て左側あるいは右側を見ていたことを示している。図 4(a) は追従群の一例であり、被験者がロボットの顔を見るとロボットも被験者の顔を注視し、被験者が視線を左右にはずすと、ロボットもそれに追従して視線を移していることが分かる。図 4(b) は逃避群の一例であり、被験者がロボットの顔を見ると、ロボットはこの例では左方向のサイコロに視線をそらし、被験者が視線を左右には



(a) Following



(b) Avert



(c) Independent

図 4 ロボットと人間の視線変化：(a) 追従的注視，(b) 逃避的注視，(c) 独立的注視

Fig. 4 Examples of the transition of gaze among the other's face and the objects on the table in (a) the following condition, (b) the averting one, and (c) the independent one.

ずすと、ロボットは被験者の方を注視していることが分かる。図 4(c) は独立群の一例であり、ロボットは被験者の視線変化によらず、注視対象を切り替えていることが分かる。またロボットがつねに被験者の眼を追従する眼球運動のみを提示する 100%注視条件における眼球運動の大きさの標準偏差は左眼球のパン軸が 2.3 [deg]、右眼球のパン軸が 2.2 [deg]、左右のチルト軸が 1.0 [deg] であった。実験において被験者は、目だけでなく首も動かしてサイコロを見る 경우가多く、またロボットとサイコロのどちらかを見る場合がほとんどであった。したがって、本実験システムにおける被験者が右あるいは左側を見ていることの検出は、右あるいは左側のサイコロを見ていることの検出とほぼ同じであったと考えられる。

実験開始 8 秒から 68 秒までの 60 秒の間、ロボットが被験者の顔を見ていた時間、および被験者がロボットの顔を見ていた時間の平均値を表 2 に示す。独立群

表 2 相手の顔の注視時間の平均と標準偏差

Table 2 Average and standard deviation of time for staring at the other's face in 60 [sec] interaction.

condition	staring time by the robot [sec]	staring time by subjects [sec]
100% staring	59.0 ± 1.1	47.5 ± 11.6
independent	41.9 ± 6.9	42.2 ± 7.9
following	41.9 ± 6.7	45.7 ± 5.4
averting	18.0 ± 7.3	48.0 ± 8.4

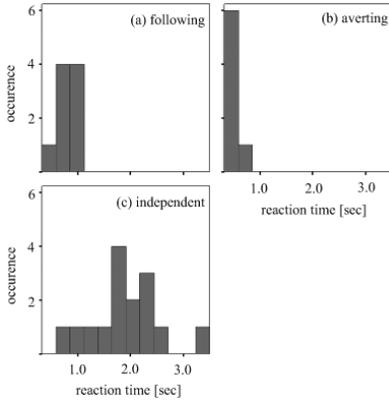


図 5 応答時間のヒストグラム：(a) 追従的注視，(b) 逃避的注視，(c) 独立的注視

Fig. 5 Histogram of reaction time of the robot's gaze in each control law: (a) following, (b) averting, and (c) independent.

の切替えの制御パラメータは、独立群の実験に先立って実施した追従群の実験で計測したデータから、被験者の顔を注視する時間が追従群のロボットと同じになるように調整した。制御則を要因とするANOVAを実施したところ、被験者がロボットの顔を見ていた時間の平均値に有意差は見られなかった ($F(3, 35) = 1.09$, $p = 0.37$)。

100%注視以外の注視対象を切り替える群について、被験者が視線を変えてから5秒以内にロボットが視線を変えたときの、反応するまでの時間(応答時間)の分布を図5に示す。独立群とは異なり、追従群と逃避群では、ほとんどの場合において、1.5秒程度以下の早いタイミングで正しく応答していることが分かる。

5.2 被注視感

注視対象切替えを行わないロボットに比べ、切替えを行うロボットと対面したときの方が、被注視感が強く、切替えを相手の視線に応じて行うことで、それがより強くなると考えられる。そこで「ロボットに見られていた感じがしましたか?」という問いに対する評価(被注視感)の平均値について、追従群、逃避群、独立群、100%注視群の順に逆Helmert対比を実施した。ここで、被注視感の評定は、被注視感が強ければ

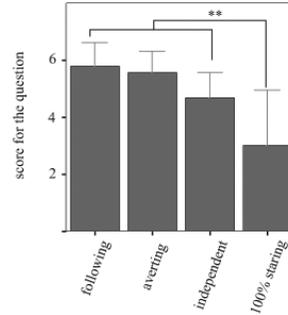


図 6 設問「ロボットに見られていた感じがしましたか?」に対する得点

Fig. 6 Score for the question, "did you feel being gazed by the robot?"

強いほど高い点数となるように、1~7の7段階でつけたものであった。

注視対象切替えを行う群、すなわち追従・逃避・独立の3群を切替え群と呼び、100%注視群と比較したところ、100%注視群の方が切替え群に比べ、被注視感の評定の平均値が小さい ($p = 0.001$, 逆Helmert対比)と認められた(図6)。性別とロボットの制御則の間に交互作用は認められなかった。したがって、注視対象切替えを行わないロボットに比べ、切替えを行うロボットの方に、被験者がより強い被注視感をいだいているといえる。

続いて、相手に応じて視線を切り替える群、すなわち追従・逃避の2群を随伴群と呼び、切替え群を独立群と随伴群に分けて対比したところ、随伴群での被注視感が独立群に比べて高いという傾向を示すにとどまった ($p = 0.084$, 逆Helmert対比)。しかし、独立群のロボットの中には、視線の切替えが偶然に被験者の視線の動きに対して随伴的であったものが混在している可能性がある。そこで独立群の偶然的随伴性を評価するため、被験者の視線変化があってから5秒以内にロボットが視線を変えたときの応答時間を調べた。対面実験の中のはじめの30秒において、平均応答時間と独立群の被注視感の評定に負の相関が認められた(図7および表3)。

随伴群において観測された平均応答時間は、0.30~1.33[sec]の範囲であった。そこで独立群の中で、応答時間がこの範囲内のものも相手の視線変化に応じて見なし、偶然随伴群(involuntary contingent)、それ以外のものを非随伴群(incontingent)として、独立群を2群に分け、被注視感についての対比をやり直した。随伴群と偶然随伴群を合わせて広義の随伴群とよび、非随伴群と比較したところ、広義の随伴群の被注視感の評定の平均値が、非随伴群のそれに比べ有意

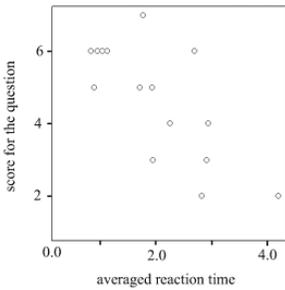


図 7 前半 30 秒間の応答時間と設問「ロボットに見られていた感じがしましたか？」に対する得点の関係

Fig. 7 Score for the question, “did you feel being gazed by the robot?” with respect to the reaction time to subjects’ gaze shift in first 30 seconds of interaction.

表 3 ロボットの視線の応答時間と被注視感の Spearman の相関係数

Table 3 Spearman’s correlation coefficient between the score for the question, “did you feel being gazed by the robot?” and the reaction time to subjects’ gaze shift during first and last 30 seconds of interaction in independent group.

	reaction time in first 30 sec	reaction time in last 30 sec
correlation coeff.	-0.69 (**)	-0.31
significance prob.	0.004	0.256
N	15	15

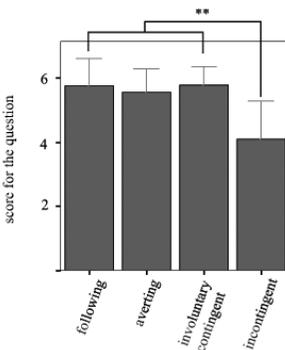


図 8 修正した条件に関する設問「ロボットに見られていた感じがしましたか？」に対する得点

Fig. 8 Score for the question, “did you feel being gazed by the robot?” with respect to the modified conditions.

に高いことが認められた ($p = 0.009$, 逆 Helmart 対比)(図 8)。したがって、相手の視線に応じて注視対象を切り替えることで、その応じ方によらず、被注視感を強調できているといえる。

また、対面実験の中の終わりの 30 秒において、平均応答時間と独立群の被注視感の評定に相関は認められなかった(表 3)。すなわち被注視感を印象付ける際には、対面が始まってすぐに、随伴的な視線を提示

することが重要であるといえる。独立群の制御則は、相手の視線の情報を取得する必要がないため実装は容易であるが、対面直後の短期間に相手の視線に随伴した視線変化を提示できるとは限らないため、本提案手法など、検出した相手の視線に基づく随伴的な視線制御が望まれる。

6. 議論：対話における応答的注視の効果の検討

本章では、対話場面においても、応答的な視線制御が被注視感を強調する効果を持つかどうかについて議論する。対話場面の簡単な場合として、ロボットが人間に一方的に情報を呈示するケースのインタラクションにおいて、視線制御の戦略の違いが、被注視感にどのような影響を及ぼすかについて検討する実験を実施した。

6.1 実験システム

前章の実験と同様の実験システムを使用した。ただし、ロボットの発話は、あらかじめ 20 代の女性に読み上げさせ、録音しておいた台詞をロボットの頭部に取り付けられたスピーカで再生することで行われた。

6.2 実験手順と対話内容

前章の実験と同様に、校正した注視点計測装置を装着させた被験者をロボットと対面させた。ただし被験者にはロボットと対面させる前に、「ロボットの話を聞いてもらった後、ロボットやロボットの話し内容について評価してもらおう」と教示した。被験者にサイコロと十字架が置かれた机を挟んでロボットと対面させ、ロボットにサイコロと十字架を題材にした「ピンからキリまで」の慣用句の語源の説明をさせた(図 9)。ロボットによる約 1 分の説明を聞かせた後、被験者にロボットにいただいた印象についてアンケートを実施した。

説明のシナリオは、(1) 挨拶、(2) ピンの語源とサイコロの関係についての説明、(3) キリの語源と十字架の関係についての説明、(4) ピンとキリの語源から現在使われている慣用句の意味への変遷についての説明、(5) 同様の変遷が見られる別のことばの例についての説明、(6) 終わりの挨拶、の 6 つの場面で構成した。注視制御の戦略によらず、挨拶場面(1)と(6))では、すべての条件で、ロボットに被験者を注視させ、それ以外の場面では、追従的注視、逃避的注視、独立的注視、100%注視のいずれかの戦略で、被験者あるいはサイコロと十字架を注視させた。物体を注視する際、話題の対象でない物体を見ないように、逃避群的注視と独立的注視を行うロボットには、どちらかの物体が話題の対象となっていれば、その物体を注視させ

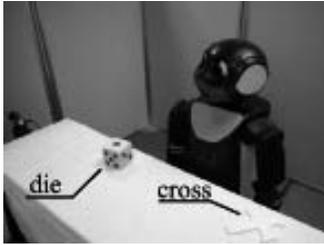


図 9 対話実験の様子

Fig.9 A sample scene from this experiment, where the subject sits across from the robot at a desk with a die that has a white cross on it.

表 4 対話実験の被験者数

Table 4 The number of subjects for each condition in the experiment of a conversational scene.

Method	Male	Female	Total
Following	5	6	11
Averting	3	4	7
Independent	4	5	9
100% staring	4	2	6

た．すなわち，(2)ではサイコロ，(3)では十字架，(4)と(5)ではサイコロあるいは十字架を注視させた．

6.3 実験結果

男性 16 名，女性 17 名の計 33 名の被験者に，3 章で示したいずれかの戦略で視線を動かすロボットと 1 度だけ対面させ，対面したロボットにいただいた印象についてのアンケートを実施した．ロボットの戦略に対する被験者の配分を表 4 に示す．被験者は 19 歳～24 歳の大学生あるいは大学院生であり，平均年齢は 21.0 ± 1.3 歳であった．

被験者がロボットにいただいた被注視感を，「ロボットはあなたを見ていましたか」という質問に対する回答で評価した．ただし被験者には，質問に対して，そのように感じた程度を 7 段階で得点付けさせた．追従群と逃避群を応答群，独立群と 100%注視群を非応答群として，t 検定を実施したところ，被験者の応答群のロボットに対する被注視感とは，非応答群のロボットに対する被注視感と比べ，比較的強いようであった ($p=0.035$) (図 10)．したがって，対話場面においても，応答的注視による被注視感の強調が可能であることが確認できた．応答的注視の方法をどのように使い分けるべきかについては，今後詳しく検討していく必要がある．

本稿では，簡単のため，ロボットが一方向的に話かける場面の実験を実施したが，従来研究^{9),12),13)}でも検討されているように，対話においてはスピーチロールを考慮した視線制御が必要であると考えられる．人間

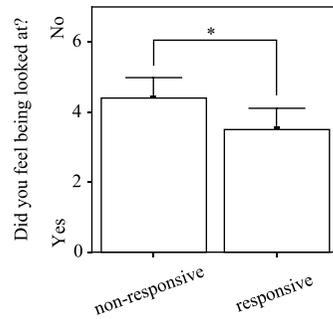


図 10 設問「ロボットはあなたを見ていましたか？」に対する得点
Fig.10 The score for the question, “Did you feel being looked at?”

が話しかける場面や相互に話しかける場合の実験も実施し，本稿で検討した応答的視線をどのように，スピーチロールを考慮した視線制御と協調させればよいかについて，今後検討していく必要がある．

7. 結 論

本稿では，ロボットが相手の視線に応じて自身の視線を変える手法を提案し，その効果を，ロボットと対面させた被験者に評価させる実験から検討した．その結果，相手のみを注視し続ける場合，および相手の視線変化とは独立に視線を切り替える場合に比べ，相手の視線変化に応じて視線を変えることで，被注視感を強調できることを確認した．追従的な応じ方と逃避的な応じ方をどのように使い分けるべきかは，コミュニケーションにおいてロボットに表現させたい内容とそれまでの文脈に依存すると考えられる．今後，これらの効果的な使用方法について検討を進める予定である．また，応答的視線とそれについていく印象の関係は，文化や個人に依存すると考えられる．したがって，対面相手に応じてロボットの応答的視線を適応させる方法についても検討する必要がある．

謝辞 本研究は総務省の研究委託により実施したものである．

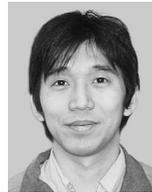
参 考 文 献

- 1) Kleinke, C.: Gaze and Eye Contact: A Research Review, *Psychological Bulletin*, Vol.100, No.1, pp.78–100 (1986).
- 2) Cook, M. and Smith, M.C.: The Role of Gaze in Impression Formation, *British J. Social Clinical Psychology*, Vol.14, pp.19–25 (1975) .
- 3) Tankard, Jr. J.W.: Effects of eye position on person perception. *Perceptual & Motor Skills*, Vol.31, pp.883–893 (1970).
- 4) 深山 篤，大野健彦，武川直樹，澤木美奈子，

- 萩田紀博：擬人化エージェントの印象操作のための視線制御方法，情報処理学会論文誌，Vol.43, No.12, pp.3596-3606 (2002) .
- 5) 武川直樹：コミュニケーションにおける視線の役割—視線が伝える意図・気持ち，電子情報通信学会誌，Vol.85, No.10, pp.756-760 (2002).
- 6) Shinozawa, K., Naya, F., Kogure, K. and Yamato, J.: Effect of robot's tracking users on human decision making, *Proc. 2004 IEEE/RSJ Intl. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, pp.1908-1913 (2004).
- 7) Breazeal, C., Edsinger, A., Fitzpatrick, P. and Scassellati, B.: Active Vision for Sociable Robots, *IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics -Part A: Systems and Humans*, Vol.31, No.5, pp.443-453 (2001).
- 8) Breazeal, C., Kidd, C., Thomaz, A.L., Hoffman, G. and Berlin, M.: Effects of Non-verbal Communication on Efficiency and Robustness in Human-Robot Teamwork, *Proc. IEEE/RSJ Intl. Conf. on Intelligent Robotis and Systems* (2005).
- 9) Sidner, C.L., Kidd, C.D., Lee, C.H. and Lesh, N.: Where to look: A study of humanrobot engagement, *ACM Intl. Conf. on Intelligent User Interfaces*, pp.78-84 (2004).
- 10) 住岡英信，細田 耕，吉川雄一郎，浅田 稔：コミュニケーション相手の動作情報を利用した共同注意の自律的獲得，ロボティクス・メカトロニクス講演会'05 予稿集，2A1-N-042 (2005).
- 11) Ito, A., Hayakawa, S. and Terada, K.: Why Robots Need Body for Mind Communication—An Attempt Of Eye-Contact between Human and Robot, *2004 IEEE Intl. Workshop on Robot and Human Interactive Communication*, pp.473-478 (2004).
- 12) Garau, M., Slater, M., Bee, S. and Sasse, M.A.: The impact of Eye Gaze on Communication using Humanoid Avatars, *Proc. SIG-CHI Conf. on Human factors in computing systems*, pp.309-316 (2001).
- 13) Heylen, D., van Es, I., Nijholt, A. and van Dijk, B.: Experimenting with the Gaze of a Conversational Agent, *Intelligent and Effective Interaction in Multimodal Dialogue System*, Kuppevelt, et al. (Eds.), Kluwer Academic Publishers (2003).
- 14) Cassell and Vilhjalmsson: Fully Embodied Conversational Avatars: Making Communicative Behaviors Autonomous, *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, Vol.2, pp.45-64 (1999).
- 15) 伊藤 昭：視線の検出と見られていることの認識，第 18 回日本認知科学学会大会発表論文集，R-104 (2001).
- 16) Seyama, J. and Nagayama, R.S.: Eye direction aftereffect, *Psychological Research*, (in press).
- 17) Butterworth, G.: Joint Visual Attention in Infancy, Bremner, G. and Fogel, A. (Eds.), *Brackwell Handbook of Infant Development*, pp.213-240 (2001).

(平成 18 年 6 月 22 日受付)

(平成 18 年 12 月 7 日採録)



吉川雄一郎

2005 年大阪大学大学院工学研究科知能・機能創成工学専攻博士後期課程修了。在学中，日本学術振興会特別研究員 (DC2)。同年株式会社国際電気通信基礎技術研究所知能ロボティクス研究所研究員。2006 年 4 月より JST Erato 浅田共創知能システムプロジェクト研究員。コミュニケーションロボット，認知発達ロボティクスの研究に従事。博士 (工学)，日本ロボット学会会員。



篠沢 一彦

1988 年慶應義塾大学工学部電気工学科卒業。1990 年同大学大学院修士課程修了。同年 NTT 入社。以来，NTT ヒューマンインタフェース研究所において，ニューラルネットワークを用いた組合せ最適化問題解法，気象予測，能動的学習法に関する研究に従事。1998 年より，NTT コミュニケーション科学基礎研究所にて，コミュニケーションロボットの研究に従事。現在，国際電気通信基礎技術研究所知能ロボティクス研究所主任研究員。博士 (情報学)，電子情報通信学会，神経回路学会各会員。



石黒 浩

1991年大阪大学大学院基礎工学研究科物理系専攻博士課程修了。工学博士。同年山梨大学工学部情報工学科助手，1992年大阪大学基礎工学部システム工学科助手。1994年京都大学大学院情報学研究科社会情報学専攻助教授。2001年和歌山大学システム工学部情報通信システム学科教授。現在，大阪大学大学院工学研究科知能・機能創成工学専攻教授，ATR 知能ロボティクス研究所第二研究室客員室長。人工知能学会，電子情報通信学会，IEEE，AAAI 各会員



宮本 孝典（正会員）

1981年大阪工業大学大学院工学研究科機械工学専攻修士課程修了。同年日本電信電話公社（現，日本電信電話株式会社）入社。2004年10月～2006年3月株式会社国際電気通信基礎技術研究所。2006年4月日本電信電話株式会社。工学博士。ハードディスク装置，コンテンツ配信システム，ネットワークロボット等の研究開発に従事。日本機械学会，電子情報通信学会，日本トライボロジー学会，ASME 各会員。



萩田 紀博（正会員）

1978年慶應義塾大学大学院工学研究科電気工学専攻修士課程修了。同年電電公社（現 NTT）武蔵野電気通信研究所入所。文字認識，画像認識，コミュニケーションロボット，ネットワークロボット等の研究に従事。NTT 基礎研究所，ATR メディア情報科学研究所長等を経て，現在 ATR 知能ロボティクス研究所長。工学博士。IEEE，電子情報通信学会，人工知能学会，日本ロボット学会各会員。