

## 相手の視線に応じるロボットの視線の評価

吉川 雄一郎<sup>†</sup> 篠 沢 一 彦<sup>†</sup> 石 黒 浩<sup>†,††</sup>  
萩 田 紀 博<sup>†</sup> 宮 本 孝 典<sup>†</sup>

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。ヒューマンコンピュータインタラクションの従来研究においても、視線を制御することの効果を示されているが、相手の視線の動きを考慮した枠組みの研究は少ない。そこで本研究では、ロボットの視線を対面する人間の視線によって変化させる方法を提案し、被験者実験により、ロボットの視線を強調する効果があることを示す。

### Evaluating reflexive robot gaze for interaction partner

YUICHIRO YOSHIKAWA,<sup>†</sup> KAZUHIKO SHINOZAWA,<sup>†</sup>  
HIROSHI ISHIGURO,<sup>†,††</sup> NORIHIRO HAGITA<sup>†</sup>  
and TAKANORI MIYAMOTO <sup>†</sup>

In human-human communication, gaze is regarded to play an important role, such as transmitting the intention and regulating conversation. Although the previous work in the field of human-computer interaction have shown the effect of the gaze of the on-screen agent, it has not been less focused on how to respond to the interaction partner's gaze. In this study, we propose a method to change the robot's gaze in response to human gaze. Experimental results show that the feeling of being gazed can be emphasized by such reflexive robot's gaze.

#### 1. はじめに

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ことが知られており、近年、人間とインタラクションをするロボットやCGのエージェントにどのような視線制御をさせればよいか注目が集まっている<sup>1)~5)</sup>。

人間の視線については古くから研究されており、相手を見つめる時間の割合<sup>6)</sup> や対面時の視線方向<sup>7)</sup> 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いる。ヒューマンコンピュータインタラクションの従来研究においても、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、CGの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が示されている<sup>1)</sup>。また、ロボットが人間へ情報伝達する際に、相手の顔を見つめたり、相手の視線を追ったりすることが重要な役割を

持つことが示唆されている<sup>3)</sup>。しかしこれらの研究では、ある程度の確率的な変動はあったものの、視線は固定のパラメータで動くのみであり、どのようなタイミングで目を逸らすか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、相手の目を見ると反射的に視線を動かしてしまうことが知られており(例えば文献<sup>9)</sup>)、相手の視線が自分の視線に応じていることが、相手の印象に影響していると考えられる。例えば、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かけやすく感じるときがある。このように、自分の視線に応じて相手が視線を変えているかどうか、人間が相手の視線を認識する上で重要な要素になっていると考えられる。

人間の視線とは異なり、ロボットやCGエージェントは視線の強さが弱く、なんらかの方法で視線を強調することが必要であると考えられる。そこで本研究では、ロボットの視線を人間の視線に応じてさせることで、ロボットが見ている感じを強調可能であることを示す。

<sup>†</sup> ATR 知能ロボティクス研究所  
ATR Intelligent Robot and Communication Laboratories

<sup>††</sup> 大阪大学大学院工学研究科  
Graduate School of Engineering, Osaka University

本稿では、対面する人間の視線によってロボットの視線を変化させる方法を提案し、被験者実験の結果からその効果を報告する。

## 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明らかにされている<sup>2)</sup>が、相手に見られている感じ(被注視感)を基本とすると考えられる。人間が相手を見つけていれば、相手は見られていることを明確に認識するだろう。しかし、ロボットの場合、相手の顔を見続けるだけでは、必ずしも相手に認識されるとは限らない。例えば、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。そこで、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を考える。

### 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、相手以外のものにも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) 人間が自分の視線と相手の視線との時間的関係でもって被注視感の認識を行っている<sup>8)</sup>とすると、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な関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

相手の視線に対する応じ方として、追従的な応じ方と逃避的な応じ方の2種類が考えられる。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、相手が自分を見ていれば見つめ返し、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。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すもので、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なく、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は、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く、適応的にこれらを切り替える機構が必要であるが、ここでは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り替え

本節では、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

注視対象切り替えを行わず、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捉えた画像から、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、相手以外のものに視線を向け、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



図 1 An appearance of robot's eyes

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

相手に視線に応じた視線制御をロボットに行わせること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、ロボットの印象を評価する実験を行った。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、首部のパン・チルト軸、および眼球部のパン・チルト軸周りの回転関節の計 6 自由度を使用した。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つ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アクリル材を取り付け、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、装着者の視野を捉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。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

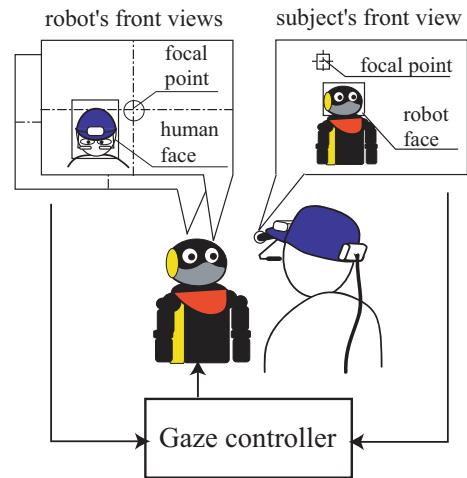


図 2 Input to the gaze controller

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。

被験者の注視点とロボットの顔との位置関係からロボットの注視対象を決定し、注視対象が対面者である場合、被験者の目の位置を眼球カメラの中心に捉えるようにフィードバック制御を行う。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。

##### 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況で「耳が聞こえないのでしゃべらないが、きよるきよる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二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し、10 秒に一回ピーブ音を鳴らすことでサイコロ

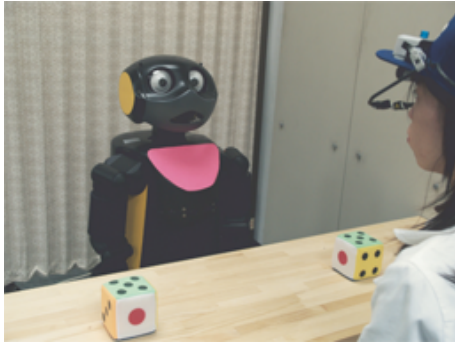


図 3 Experimental setup for evaluating the impression of reflexive eye

表 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	6	9

を見るタイミングを提示した．70 秒の対面時間が終了後，ロボットに抱いた印象についてアンケートを実施した．

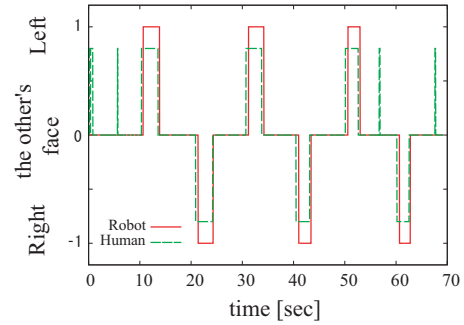
## 5. 実験結果と議論

男性 20 名，女性 21 名の計 41 名の被験者に，3 節で示したいづれかの戦略で視線を動かすロボットと一度だけ対面させ，対面したロボットについてのアンケートに対する評価結果とともに，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 才～24 才の大学生あるいは大学院生であり，平均年齢は  $20.8 \pm 1.5$  才であった．

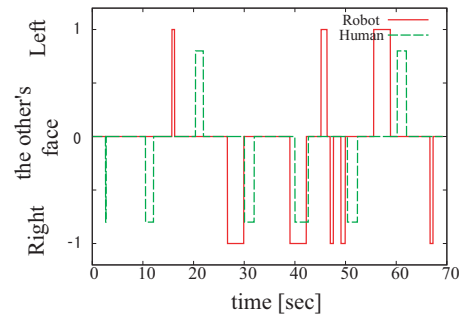
### 5.1 対面の様子

図 4 は，被験者とロボットが対面している際，両者がそれぞれ相手の顔を，あるいは机の上に置かれた左右のサイコロを見ていたかを示すグラフであり，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わかる．図 4(b) 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わかる．

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



(a) Following



(b) Independent

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

表 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	$59.0 \pm 1.1$	$47.5 \pm 11.6$
independent	$41.9 \pm 6.9$	$42.2 \pm 7.9$
following	$41.9 \pm 6.7$	$45.7 \pm 5.4$
averting	$18.0 \pm 7.3$	$48.0 \pm 8.4$

ボットの顔を見ていた時間の平均値を表 2 に示す．独立群の切り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 ( $F = 1.09, p = 0.37$ ) ．

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

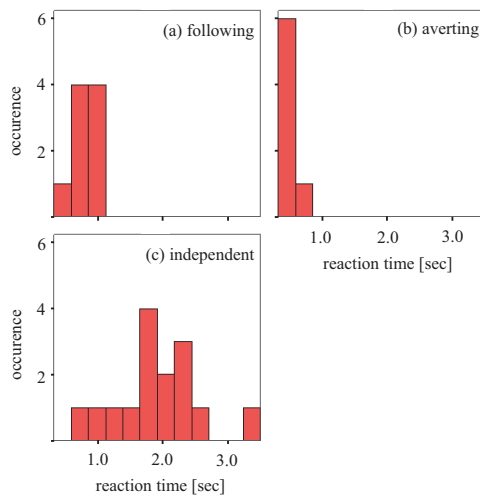


図 5 Histogram of reaction time of the robot's gaze in each control law: (a)following, (b)averting, and (c)independent

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わかる。

### 5.2 被注視感

注視対象切り替えを行わないロボットに比べ、切り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、切り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定（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。

注視対象切り替えを行う群、すなわち追従・逃避・独立の3群を切り替え群と呼び、100%注視群と比較した所、100%注視群の方が切り替え群に比べ、被注視感の評定の平均値が小さい ( $p = 0.001$ ) 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。従って、注視対象切り替えを行わないロボットに比べ、切り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抱いているといえる。

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、切り替え群を独立群と随伴群に分けて対比した所、随伴群での被

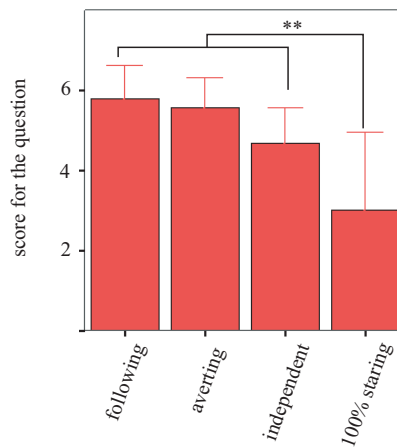


図 6 Score for the question, “did you feel being gazed by the robot?”

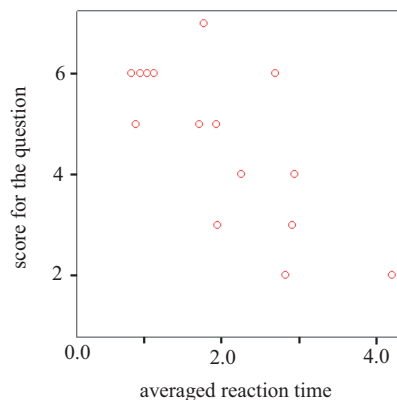


図 7 Score for the question, “did you feel being gazed by the robot?” with respect to the reaction time to subjects' gaze shift in first 30 seconds of interaction

注視感が独立群に比べて高いという傾向が見られた ( $p = 0.064$ )。ここで、独立群のロボットの中には、視線の切り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つてから 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

表 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

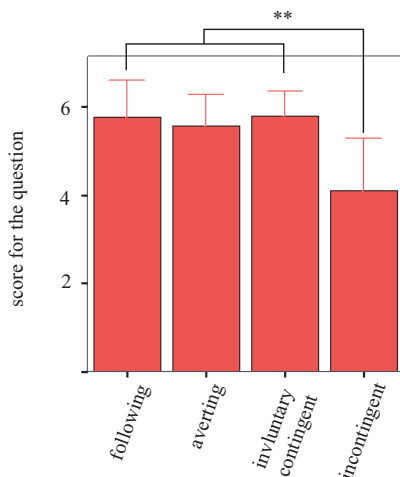


図 8 Score for the question, "did you feel being gazed by the robot?" with respect to the modified conditions

いるとみなし、偶然随伴群 (involuntary contingent), それ以外のものを非随伴群 (incontinent) 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拡大随伴群とよび、非随伴群と比較した所、拡大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に高いことが認められた ( $p = 0.009$ ) (図 8)。従って、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ようである。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、本提案手法等、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. 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事で、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法について検討を進める予定である。

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) 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) .
- 2) 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) .
- 3) Shinozawa, K., Naya, F., Kogure, K., and Yamato, J.: Effect of robot's tracking users on human decision making, *Proc. of 2004 IEEE/RSJ Intl. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, pp.1908-1913 (2004)
- 4) 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).
- 5) 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 International Workshop on Robot and Human Interactive Communication, pp.473-478 (2004)
- 6) Cook, M. and Smith, M.C.: The Role of Gaze in Impression Formation, *British J. Social Clinical Psychology*, Vol.14, pp.19-25 (1975) .
- 7) Tankard, J.W., Jr.: Effects of eye position on person perception. *Perceptual & Motor Skills*, Vol.31, pp.883-893 (1970)
- 8) 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)
- 9) Seyama, J. and Nagayama, R.S.: Eye direction aftereffect, *Psychological Research*, (in press).