

アンドロイドとの「目が合う」条件の検証

山森崇義[†] 坂本大介[‡] 西尾修一[‡] 石黒浩^{†‡} 萩田紀博[‡]

[†] 大阪大学工学研究科 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1

[‡] ATR 知能ロボティクス研究所 〒619-0288 京都府相楽郡精華町光台 2-2-2

[¶] 公立はこだて未来大学大学院 〒041-8655 北海道函館市亀田中野町 116-2

E-mail: [†] {takayoshi.yamamori ,ishiguro}@ams.eng.osaka-u.ac.jp, [‡] {sakamoto ,nishio ,hagita}@atr.jp

あらまし ロボットに人と目を合わせる機能を実装することで、人との円滑なコミュニケーションが期待できる。ここで、ロボットが人に「目が合う」感覚を与えるためにはどのような条件が必要なのか？本稿では、見かけが人に酷似したロボット、アンドロイドを用いて目が合う条件を検証する実験を行った。本実験の結果から、互いの視線が一致しなくともアイコンタクトが成立したと感じられる条件が存在すること、眼球に微小な動作を加えることで目が合う視線偏位角の範囲が変化することが明らかとなった。

キーワード アイコンタクト, アンドロイド, 視線制御, ヒューマンロボットインタラクション

Inspection of the condition of eye contact with Android

Takayoshi YAMAMORI[†] Daisuke SAKAMOTO[‡] Shuichi NISHIO[‡]

Hiroshi ISHIGURO^{†‡} Norihiro HAGITA[‡]

[†] Faculty of Engineering, Osaka University 2-1 Yamada-oka, Suita-shi, Osaka, 565-0871 Japan

[‡] ATR Intelligent Robotics and Communication Laboratories 2-2-2 Hikaridai, Seika-cho, Soraku-gun, Kyoto, 619-0288 Japan

[¶] Future University-Hakodate 116-2 Nakano-cho, Hakodate-shi, Hokkaido, 041-8655 Japan

E-mail: [†] {takayoshi.yamamori ,ishiguro}@ams.eng.osaka-u.ac.jp, [‡] {sakamoto ,nishio ,hagita}@atr.jp

Abstract We consider that the function of an eye contact on an android will perform a natural human robot interaction. However, it is not confirmed what the necessary condition is which gives a person the sense that "eye contact" with robot. We conducted an experiment to verify a condition that the android give humans a feeling to make eye contact. From the experimental results, we confirmed that there is the condition that the eye contact established even if the line of visions did not cross. Furthermore, we confirmed that the area of eye angle will expand by the saccadic eye movement.

Keyword Eye contact, Android, Gaze control, Human-robot interaction

1. はじめに

近年、ロボット産業が活性化していくなかで、さまざまなロボットが開発されてきた。これに伴って人型ロボットの研究、特に人とロボットの対話研究は、ロボットが人との関わり合いをもち、日常生活に溶け込んでいく上で非常に重要なものであると考えられる[1]。ロボットの対話能力の向上と、その対話の影響評価は日常生活に溶け込むエージェントとしてのロボットには欠かせないものであると考えられる。

一方で、これまでに人同士の対話研究は数多く行われてきた。人同士のコミュニケーションチャンネルには様々なチャンネルが存在するが、我々はこの中で「視線」チャンネルに注目した。視線は、気付かないうちに多くの意味を伝える重要なチャンネルであり、他の非言

語コミュニケーションに比べて独自の機能を持っていると考えることができる[2]。

視線の知覚、とりわけ「目が合う」という感覚は、我々の社会生活にとって重要な役割を果たしている。このため、アイコンタクトの持つ心理的な意味に関する研究は多く存在する。しかし、視線知覚そのものに関する実験的な研究はそれほど多くはない[3]。とりわけ、外見が人に酷似したロボット、アンドロイドとの視線知覚の研究はこれまで全くと言っていいほど行われてきていない。我々は外見が人に酷似した人型ロボットであるアンドロイドの視線運動が、人のどのような視線知覚を引き起こすのかに注目している。

他方、アンドロイドを次世代インタラクションメディアとして活用するための研究が始まっている。具体

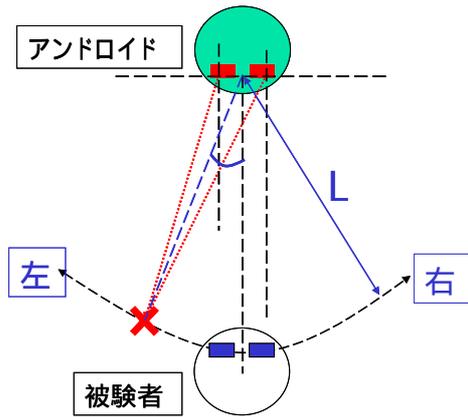


図 1 視線偏位角

的には、人に酷似したアンドロイドを遠隔コミュニケーションメディアとして利用する試みが行われてきている[4]。これまでのような人型ロボットでは、ある人の「存在感」を表現するのに十分なメディアであるとは言えなかった。人とロボットの対話において目が合うという感覚は存在感伝達のために重要であると考えられる。この点において人と自律的にアイコンタクトすることができるロボットシステムは重要となる。しかし、アンドロイドのどのような視線動作が人に対して目が合ったと感じさせることができるかの条件については検証されていない。

ここで、人とアンドロイドの視線が一致することが人にとって目が合うと感じることに必要であると仮定すれば、アンドロイドの制御は非常に困難となる。しかし、アイコンタクトする条件が視線を一致すること以外に存在し、簡単なシステムで行えることがわかれば、画像処理などのセンシングに対する要求度合いが低くなるであろう。これはつまり、自律的に人とアイコンタクトするシステムの実現に近づくことを示している。そこで我々は人とアンドロイドとの対話において、アンドロイドのどのような視線運動が人に対して目が合ったと感じさせることができるのかについて検証する実験を行った。これについて報告する。

2. 人の視線の仕組み

2.1. 眼球運動

人の眼球運動は運動速度により分類することができる。古賀らは眼球運動を5つに大別した[5]。

人の視線の動きを測定すると、一箇所への停留と次の箇所へのサッケードが交互に観察される。サッケードとは衝動性眼球運動と呼ばれる高速な眼球の位置変位を指す言葉である[6]。視線は1度サッケードが発生すると次のサッケードが発生するまでの間、一箇所に停留する。人が目によって情報を知覚出来るのは視線が停留している間であり、サッケード中にはほとんど



図 2 アンドロイド ReplieeQ2

情報は得られない。サッケードはきわめて高速であり、角速度は最高で 700deg/秒になる。また視線の停留時間は、一般に 100~300 ミリ秒程度、長い時間で 1000 ミリ秒になる[7]。

2.2. 視線偏位角

人の視線は、意図、情動、気分、個性などを表すことが知られている[8]。人同士のアイコンタクトの成立条件を検証した実験として、視線方向の異なる人の顔の写真を見てアイコンタクトの成立具合を測定した実験がある。この実験によると、視線知覚の精度が観察距離に依存せず、視線共有者側の視線偏位角としてほぼ一定になることが知られる。視線偏位角とは顔正面と視線の間の角度のことであり、図 1 の角度を表す[9]。

3. 実験設定

本稿では以下のような設定で人がアンドロイドと目が合ったと感じる条件を検証する実験を行った。被験者はアンドロイドと対面し、アンドロイドの目の動作（眼球動作）を見た後、アイコンタクトの成立具合をアンケートで評価する。被験者の評価から、アイコンタクトが成立したものとしなかったものに選別する。選別された眼球動作の特性から、アイコンタクトの成立条件を解明する。

3.1. アンドロイド

本研究では実験対象のアンドロイドとして、アンドロイド ReplieeQ2 (図 2) を用いる。本アンドロイドは実在の人物から実際に型を取り作成されたため、その造形は実在の人物に非常に酷似していて、成人女性のような外見を持つ。また、皮膚は医療用シリコンでできており、その見た目はもちろんのこと、人が触った感触も人のそれに近づけてある。本アンドロイドの持つ自由度は、目に 3、眉に 1、まぶたに 1、頬に 1、口

に 7, 首に 3, 左右各腕に 9, 左右各手に 2, 腰に 4, 合計 42 自由度であり, この自由度の配置に当たっては可能な限り人の動作を実現できるように設計されている。それらの自由度のうち 13 自由度を顔面に持ち, 様々な表情や口の形を作ることができ, 豊かな表現力を作り出すことが可能である。

本アンドロイドは合計 42 ある自由度を圧搾空気によるエアアクチュエータを用いて駆動する。これにより, 呼吸による肩, 胸の動きなどの人の無意識的動作を表現することができる。この動作はアンドロイドが人らしい動作を行うことに貢献している。

各エアアクチュエータにはエアコンプレッサから圧縮空気が送られ, それによってアンドロイドは駆動する。エアコンプレッサは専用のコントローラによって制御される。コントローラへは各関節の指令値が送られ, コントローラの分解能は 50 ミリ秒である。

3.2. アンドロイドと被験者の位置関係

図 1 に実験時のアンドロイドと被験者の位置関係の概略図を示す。アンドロイドの視線偏位角を図 1 のように定義する。視線の注視点と被験者は共にアンドロイドの両目の間を中心点として半径 1.5m の円上に存在する。位置は中心点からの角度で定義する。なお, 図や表中の角度で + は被験者から向かって右を, - は左を表す。

3.3. 眼球動作

3.3.1. 眼球動作の提示方法

本研究では被験者実験を行い, 眼球運動を被験者に提示し, アイコンタクトの成立具合を判別するため, 以下の 2 つのシステムを開発した。

システムの 1 つ目は, 実験中に被験者に眼球運動を提示するための, アンドロイドを遠隔操作し眼球動作を実行させるシステムである。

ある眼球運動がアイコンタクトしたか否かの判断は動作直後のアンケートにより判別される。これに加えて, 眼球運動の最中のアイコンタクトの成立具合を測定できれば, より明確に判別できる。そこで 2 つ目のシステムとして, 眼球運動の最中にもアイコンタクトの成立具合を検証するために, 眼球動作の最中に被験者がアンドロイドと目が合っていると感じた瞬間を記録するシステムを開発した。被験者にスイッチを渡し, アンドロイドと目が合っている間スイッチを押せばなしにするよう指示し, スイッチが押されている時間を記録するという方法でこのシステムを実現させた。

3.3.2. 眼球動作の作成方法

本実験に使用したアンドロイド RelieeQ2 はエアアクチュエータで構築されているため制御性に乏しい。そのため, 指令値と視線偏位角の対応関係は線形では

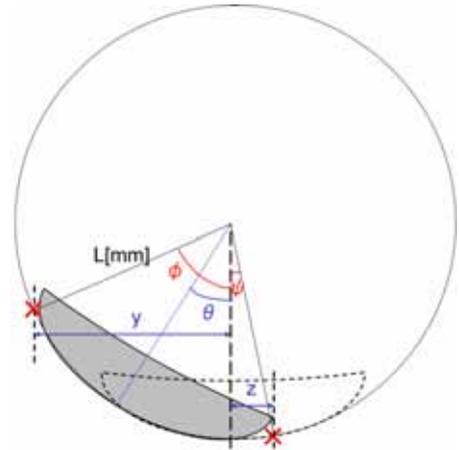


図 3 眼球角度の解析

ない。そこで, まず指令値と視線偏位角の対応をとった。

様々な指令値を持つ眼球動作の動画を撮影し, 動画の視線偏位角を解析するソフトにより解析を行った。これは眼球動作の動画からフレーム毎に視線偏位角を解析するプログラムである。これによってある角度を実現するための指令値が求まる。

アンドロイドの静止動作はこの指令値と角度の対応関係を元に作成される。

サケード動作の作成は, 以下のようなソフトを使用した。中心角度とその標準偏差, 平均停留時間 T とその標準偏差 t を置くと, 眼球動作中の視線偏位角の分布を正規分布で $N(\phi, t)$, 停留時間を正規分布 $N(T, t)$ の指令値として出力するソフトである。ただし専用のコントローラの分解能が 50ms であるため時間は 50ms 毎に切り上げている。出力された角度は指令値と角度の対応関係から指令値に変換する。以上により眼球動作を作成する。

3.3.3. 眼球動作中の視線偏位角の解析

以上により眼球動作が作成されるが, 指令値と角度の対応関係から視線偏位角を決めても想定通りに動作しない可能性がある。そこで, 作成した眼球動作の視線偏位角を確認するため, 視線偏位角を解析するソフトにより作成した眼球動作の解析を行った。解析方法は, まずアンドロイドの顔正面の眼球動作の動画を撮影し, 動画からフレーム毎に角度解析を行うことにより, 眼球動作全体の解析を行う。フレーム毎の処理は次のようになる。図 3 にて求めるべき視線偏位角とする。眼球中心と 1 ピクセル辺りの長さを設定することにより図中の y と z の長さが求まる。眼球半径を L とすると, 図中 ϕ と ψ の関係は

$$\phi = \sin^{-1} \frac{y}{L} \quad \psi = \sin^{-1} \frac{z}{L} \quad \theta = \frac{\phi + \psi}{2}$$

これにより θ が求まる。

3.4. 評価方法

佐藤らは人同士でのアイコンタクトが成立した状態を、ある眼球動作においてアイコンタクトしていると答えた人が50%を超えたものと定義した[9]。本稿でもこの定義と同様に「アイコンタクトしていると答えた人が50%を超えた眼球動作」をアイコンタクトが成立した動作とする。

本実験では11人が被験者として参加した(男性8人,女性3人)。図4のように質問項目を設定し,被験者には眼球動作1つを見終わる毎に質問に答えてもらった。アイコンタクトしているという回答は4のみである。1.から順に,徐々に被験者が「見られている」と感じる度合いが高くなるように設定した。こうすると,アンドロイドとのアイコンタクトの判別のみならず,見られている度合いも判断できる。

4. 仮説とパラメータ設定

本実験では,我々は以下の2つの仮説を設定した。以下の仮説が証明されれば,人の視線認知に対する1つの知見となり,また円滑なコミュニケーションの簡略化に大きく近づくことにもなる。

仮説に基づき,実験で変化させるパラメータを「眼球の動作方法」「視線偏位角」「被験者の立ち位置」の3点とした。眼球動作を眼球的静止した動作と動く動作の2種類を用意することにより,眼球が動くことによるアイコンタクトの条件の変化を検証する。従来研究より,アイコンタクトの条件は視線偏位角に依存することから,視線偏位角の異なった数種類の眼球動作を用意する。立ち位置を変化させ,同じ眼球動作を異なった位置から判断することにより,立ち位置によるアイコンタクト条件の変化を検証する。

4.1. 仮説

4.1.1. 仮説1「視線が一致しなくとも目が合うと感じる条件がある」

アンドロイドが人の方に視線を送ることだけではなく,人に視線を送っていないにも関わらず(視線が一致していないにも関わらず)アイコンタクトしていると感じる条件がある。

4.1.2. 仮説2「眼球がサッケード運動するとアイコンタクトする視線偏位角の範囲が静止運動に対し変化する」

アンドロイドにサッケード運動をさせると,アイコンタクトしたとされる視線偏位角の範囲が静止運動に対して変化する。

4.2. パラメータ設定

本実験では前述した2つの仮説を検証するために眼球動作のパラメータを設定する。

質問:アンドロイドはどこを見ていましたか

1. どこを見ているのかわからない
2. 自分は見られていない
3. 顔は見られている
4. 目が合っている

図4 アンケート項目

4.2.1. 眼球の動作方法

眼球の動作方法は,静止動作とサッケード動作の2種類を用意した。静止動作とは眼球が動かない眼球動作である。サッケード動作とは人の眼球のサッケード運動をモデルとしたもので,注視点での停留と次の注視点への跳躍移動が交互に発生する,視線が停留と移動を繰り返す眼球動作である。移動は左右方向のみで,注視点の分布はある角度を中心に標準偏差 σ で正規分布曲線に基づく確率分布をとる。停留時間は,平均停留時間 T ,標準偏差 t で正規分布曲線に基づく確率分布をとる。今回の実験で使用した眼球動作は人のサッケードの動きを実現しようとした。よってサッケード動作では,平均停留時間 T を 200ms,その標準偏差 t を 50ms と統一した。

眼球運動のない静止動作と,眼球運動のあるサッケード動作の2種類を用意することで,両者の間にアイコンタクトが成立する条件の差異を確認することができる。

4.2.2. 視線偏位角

視線偏位角として,静止動作,サッケード動作でそれぞれ表1,表2のような角度を用意する。角度設定の幅を 3° とすることで洩れがなく様々な角度に対処できる。また,サッケード動作の眼球の触れ幅を 1° (左右両側で 2°) とした。

4.2.3. 被験者の立ち位置

被験者立ち位置として,正面 0° ,左 6° ,右 6° の3点を設定する。被験者には,いずれの位置からも上記の18種類の動作を提示し,アイコンタクトの成立具合を判断してもらう。これで1人の被験者の見る眼球動作は $18 \text{種類} \times 3 \text{点} = 54 \text{種類}$ となる。

5. 実験結果

アンドロイドと目が合う条件を検証するための実験を行った。以下に実験の結果について詳述する。

5.1. アイコンタクトの成立条件

被験者の半分以上が「目が合った」と評価した眼球動作をアイコンタクトが成立した条件とする。結果から以下のアイコンタクトの成立条件が導き出された。(1)左 6° 位置:静止動作 $2.0 \sim 1.0^\circ$,サッケード動作は中心 $-4.0 \sim -2.3^\circ$ ($\sigma = 0.7$)

表 1 静止動作の視線偏位角設定

角度(°)	-15	-12	-9	-6	-3	0	+3	+6	+9	+12	+15
-------	-----	-----	----	----	----	---	----	----	----	-----	-----

表 2 サッケード動作の視線偏位角設定

中心角度(°)	-9	-6	-3	0	+3	+6	+9
サッケード範囲(°)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

(2) 正面 0° 位置：静止動作 1.3~2.5°，サッケード動作は中心-2.3~1.1° (σ=0.7)

(3) 右 6° 位置：静止動作 2.5~5.2°，サッケード動作は中心-1.7~0.6° (σ=0.7)

ただし，制御性の低さが原因で眼球動作が表 1，2 の設定通りに動作しなかったため，結果も 3° 刻みのものになっていない．またサッケード動作のサッケード範囲も設定とは異なり 0.7° だった．

以上を表 3 にまとめる．また，結果の概略図を図 5 ~ 図 7 に示す．なお，人同士のアイコンタクトの成立条件を検証した実験で，人同士のアイコンタクトの成立条件は視線偏位角 5° 以内という結果が得られていることから，アンドロイドと人ではアイコンタクトの範囲が異なることが言える．

全体的にサッケード動作に偏りが見られる．サッケード動作で，中心 3.9° (σ=0.7) の眼球動作がどの位置からもアイコンタクトが成立しなかった．この原因として，眼球の動きが不自然であり，被験者にアイコンタクトが成立しているように見られなかったことが考えられる．

5.2. 仮説 1 の検証

今回の結果から，左(右)6°の位置で，静止動作・サッケード動作共に -(+)6° 辺りの動作で目が合うことが予想されるが，そのような結果になっていない．これは，アンドロイドは自らの顔の正面付近に視線を送っているだけで被験者の方に視線を送っていないにも関わらず，被験者からは目が合っているように感じるということである．

逆に，被験者が左ないし右 6° の位置にいる場合に，顔の方向を正面 0° に向けているアンドロイドが視線だけ被験者の方に向けても被験者は目が合っていると感じないとも言える．

これらは，アンドロイドが視線を人の方に送っていない場合でも，その人はアイコンタクトが成立したと感ずることを意味する．よって仮説 1 は証明された．

5.3. 仮説 2 の検証

本実験の結果から，静止動作とサッケード動作でアイコンタクト範囲が異なることが言え，仮説 2 も証明

表 3 アイコンタクトの成立条件

立ち位置		目が合った(°)
-6°	静止	-2.0 ~ -1.0
	サッケード	-4.0 ~ -2.3
0°	静止	-1.3 ~ +2.5
	サッケード	-2.3 ~ +1.1
+6°	静止	+2.5 ~ +5.2
	サッケード	-1.7 ~ +0.6

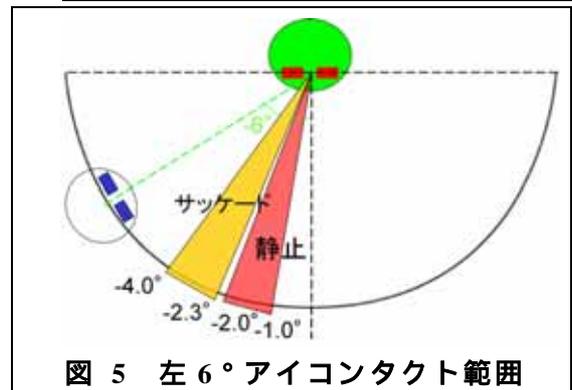


図 5 左 6° アイコンタクト範囲

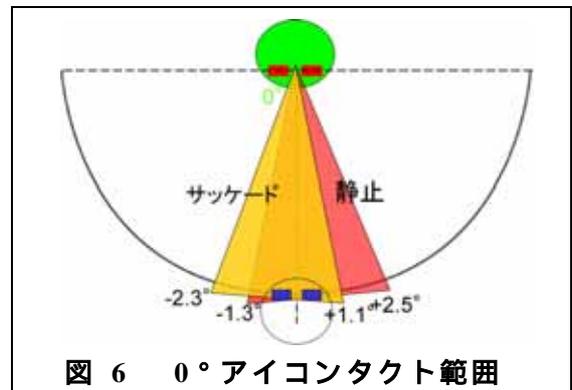


図 6 0° アイコンタクト範囲

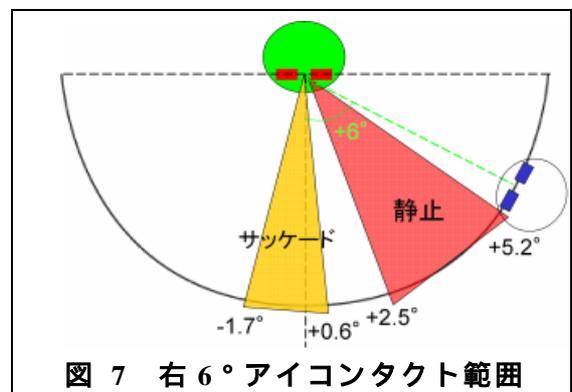


図 7 右 6° アイコンタクト範囲

された．

このことから，アンドロイド上で対話者とアイコンタクトするシステムを実装するためには，アンドロイドが対面相手の方に顔を向け，かつアンドロイドが自

らの正面付近に視線を送り眼球をサックード動作させる必要があることが確認された。この範囲であれば厳密に視線を一致させずとも，人に対して目が合ったと感じさせることができる。

6. 考察と結論

6.1. 眼球動作中のアイコンタクトの成立度合いの検証

被験者へのアンケートから，アイコンタクトが成立した動作とそうでない動作が判明した。ここで横軸に時間軸を取り，ある眼球動作のある瞬間における目が合ったと感じる被験者の割合を縦軸に取ったグラフを，図8と図9に示す。図8はあるアイコンタクトが成立した眼球動作の結果であり，図9はあるアイコンタクトが成立していない眼球動作の結果である。アイコンタクトが成立した眼球動作では動作実行中の大半の時間でスイッチを押した被験者の割合が50%を超え，かつそのグラフは安定している。これに対して，アイコンタクトが成立していない眼球動作ではスイッチを押した被験者の割合が50%を上回る瞬間もあるが，グラフは眼球動作全体を通して変動が大きく波形となっている。

全体的にアイコンタクトが成立した眼球動作とそうでない眼球動作の間でこれと同様の差異が見られた。このことから，アイコンタクトが成立した場合，眼球動作中のアイコンタクト成立度合いのグラフの値が山形で安定し，成立しなかった場合波形で不安定になるということが言える。

6.2. 結論

本稿ではアンドロイドの眼球動作を変化させることにより，人とのアイコンタクト成立条件を検証する実験を行った。本実験では眼球動作のパラメータを変えて提示し，アイコンタクトが成立した眼球動作とそうでない動作に分別した。この結果，アンドロイドが被験者の方に視線を送っていないにも関わらず被験者はアイコンタクトしているように感じる範囲が存在すること，また眼球が静止した動作と動いた動作でアイコンタクトする視線偏位角の範囲が異なること，人とアンドロイドでアイコンタクト範囲が異なることが判明した。

今後は，本研究で得られた結論が別のアンドロイドでも一般的に言えることであるかどうかを検証すべく，別のアンドロイドで同様の実験を行う予定である。また，パラメータを変更（顔の角度，体の角度等）するなどして実験を行う等，更なるアイコンタクト成立条件の解明を行いたい。

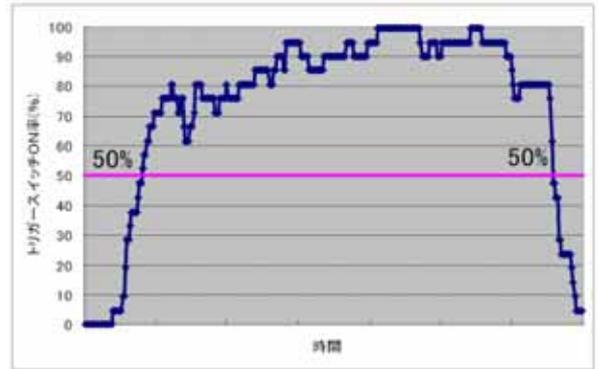


図8 アイコンタクトが成立した動作のグラフ

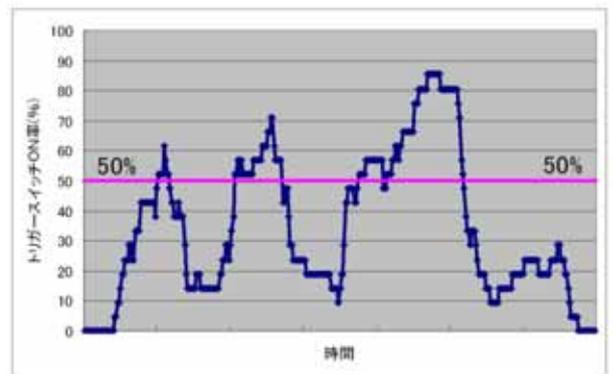


図9 アイコンタクトが成立していない動作のグラフ

文献

- [1] 坂本大介, 小野哲雄, ロボットの社会性 - ロボットが対話者間の印象形成に与える影響評価, ヒューマンインタフェース学会論文誌 Vol.8, No.3, pp.61-70, 2006..
- [2] 大坊郁夫, “しぐさのコミュニケーション - 人は親しみをどう伝えあうか,” セレクション社会心理学-14, サイエンス社.
- [3] 吉川雄一郎 et al., 応答的注視ロボットによる被注視感の呈示, 情報処理学会論文誌 Vol.47 No.4 Apr.2006.
- [4] 坂本大介 et al., 遠隔存在感メディアとしてのアンドロイド・ロボットの可能性, インタラクシオン 2007, 情報処理学会シンポジウムシリーズ, Vol.2007, No.4, pp.97-104, 2007.
- [5] 古賀一男, “眼球運動実験ミニ・ハンドブック,” (財)労働科学研究所出版部, ヒューマンサイエンス・フロンティアシリーズ - 2000
- [6] 大野健彦, 視線を用いたインタフェース, 情報処理 Vol.44, No.7, pp726-732, 2003.
- [7] 大野健彦, 視線から何がわかるか-視線測定に基づく高次認知処理の解明, 日本認知科学会『認知科学』9巻4号 pp.565-576. 共立出版.
- [8] 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 pp756-760 2002年10月
- [9] 佐藤隆夫, 「目が合う」ことの謎 - アイコンタクトの実験心理学的検討 -, 電子情報通信学会
- [10] 室彰浩, 佐藤隆夫, CG 顔を用いた視線方向知覚の検討, ヒューマンインタフェース学会研究報告書 V01.7 No.3.