

修士論文

アンドロイドによる人の視線行動の再現と
アイコンタクト中の視線と瞬目の影響

佐野 哲也

2019年3月15日

奈良先端科学技術大学院大学
情報科学研究科

本論文は奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科に
修士(工学) 授与の要件として提出した修士論文である。

佐野 哲也

審査委員：

小笠原 司 教授	(主指導教員)
萩田 紀博 教授	(副指導教員)
高松 淳 准教授	(副指導教員)
GARCIA RICARDEZ Gustavo Alfonso 助教	(副指導教員)
丁 明 助教	(副指導教員)

アンドロイドによる人の視線行動の再現と アイコンタクト中の視線と瞬目の影響*

佐野 哲也

内容梗概

外見が人間に酷似したアンドロイドは人間とのインタラクションを目的としたコミュニケーションロボットとして期待されている。人間とコミュニケーションをとる上で、会話時の瞬目とアイコンタクトは非言語コミュニケーションツールとして重要な役割を持っている。そこで、視線を含む人間の動作を模倣することで、アンドロイドに自然な非言語コミュニケーションが実現できるのではないかと私は考えている。

そこで本論文では、人間の視線と瞬目の解析手法を提案し、アンドロイドによる視線と瞬目の再現を実現する。まず、ウェアラブルデバイスによる会話時の人間の注視点と瞬目を測定する。次に、測定したデータからアイコンタクトの長さや瞬目の回数を解析する。最後に、解析により得られた、視線の外し方、瞬目の長さ、それぞれのタイミングをアンドロイドで再現する。それぞれのパラメータを手動で設定することで、アンドロイドを意図的に制御することもできる。さらに、提案手法により視線と瞬目を再現したアンドロイドと恣意的に様々なパターンの視線と瞬目を表現するアンドロイドに対する印象を被験者実験を通して比較し、アイコンタクト中の視線と瞬目の関係の有効性を確認した。

キーワード

アンドロイド, 視線, アイコンタクト, 瞬目, 観察, 模倣

*奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 修士論文, 2019 年 3 月 15 日.

Imitation of Human Gaze Behaviors in an Android and Effects of Gaze and Blinking in Eye Contact*

Tetsuya Sano

Abstract

Androids are expected to have a role as communication robots for talking to humans. Blinking and eye contact during a conversation have an important role as non-verbal communication means when communicating with humans. I believed that natural and nonverbal communication can be realized in androids by imitating the human movement including gaze behavior.

In this paper, we propose a method to analyze human gaze and blinking, and realize imitation of the gaze and blinking by an android. First, we measure human gaze point and blinking during a conversation using a wearable device to realize imitating gaze and blinking. Second, we analyze how long the eye contact continues and how many blinking occurrences there are. The android can be intentionally controlled by setting each parameter manually. Furthermore, by comparing the impression of the android which reproduced the gaze and blinking using the proposed method and the impression of arbitrary gaze and blinking which expresses blinking through subject experiments, we confirm the relationship between the gaze and blinking during eye contact.

Keywords:

android, gaze, eye contact, blinking, observation, imitation

*Master's Thesis, Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology, March 15, 2019.

Contents

1. はじめに	1
1.1 研究背景	1
1.2 関連研究	2
1.3 研究目的	2
1.4 模倣システムのアプローチ	3
1.5 対象とするアンドロイドシステム	3
1.6 本論文の構成	4
2. 視線と瞬目の解析による再現手法	7
2.1 人間の会話中の動作判定	7
2.1.1 アイコンタクト判定	7
2.1.2 瞬目判定	12
2.1.3 開口動作判定	15
2.2 会話中の動作模倣	20
2.2.1 視線動作の実装	20
2.2.2 開口動作実装	22
2.3 視線逸らし動作の評価実験	24
2.3.1 実験目的	24
2.3.2 実験条件	24
2.3.3 実験結果	28
2.3.4 考察	30
3. アイコンタクトを考慮した視線パターンの比較実験	32
3.1 アイコンタクト中の瞬目について	32
3.2 複数の視線パターンの比較実験	32
3.2.1 実験目的	32
3.2.2 実験条件	33
3.2.3 実験結果	38
3.2.4 考察	40
4. 結論	43
4.1 本論文のまとめ	43
4.2 今後の課題と展望	43

謝辞	45
付録	46
A. 先行実験	46
A.1 視線解析による人間の視線模倣	46
A.1.1 人間のアイコンタクトと瞬目のタイミング解析	46
A.1.2 アンドロイドでの視線再現方法	46
A.2 視線模倣によるアンドロイドの印象評価実験	47
A.2.1 実験目的	47
A.2.2 実験条件	47
A.2.3 実験結果	50
A.2.4 考察	53
参考文献	54

List of Figures

1.1	Actroid-SIT, Kokoro Co. Ltd.	5
1.2	Hardware configuration of android	6
2.1	Wearable device	7
2.2	View from normal camera	8
2.3	Capturing a human pupil by an IR camera	8
2.4	A gaze point and face detection area in the automatic eye contact detection method	9
2.5	Flowchart of the eye-contact-detection method	11
2.6	Detection result for eye contact and gaze away	12
2.7	Automatic blinking detection method	13
2.8	Analysis result of human's gaze behavior	14
2.9	Face recognition result using OpenFace	16
2.10	Flowchart for mouth size analysis	17
2.11	Analyzing the mouth size	18
2.12	Mouth size graph	19
2.13	Nine gaze patterns	21
2.14	The mouth movement	23
2.15	Mask for hiding mouth movement	24
2.16	Display and chin rest	27
2.17	The result of questionnaire answer for comparing experiment	29
3.1	Analysis result of gaze	35
3.2	Setting for keeping human's head	37
3.3	Experiment setup	38
3.4	Experiment result	39
A.1	Analysis result for graph	48
A.2	Android's blinking expression and gaze expression	49
A.3	A subject listen to an android's talk	52
A.4	Result of questionnaire	52

List of Tables

2.1 Gaze pattern for preliminary experiment 25

3.1 Gaze pattern for comparative experiment 33

1. はじめに

1.1 研究背景

アンドロイドはコミュニケーションロボットとして様々な利用を期待された人型ロボットである [1]. 人間に酷似したロボットはそのような外見を持たないコミュニケーションロボットである Pepper[2] や NAO[3] と比べ, より高度なコミュニケーション能力を持っているように感じる事が報告されている [4]. そのことから人間に酷似している外見を持つアンドロイドには高度なコミュニケーション能力を発揮することが期待される. しかし, 高度なコミュニケーションを期待させる外観を持つロボットが人間とコミュニケーションをとり, 期待した能力以下であると人間に知覚された場合, 最終的な印象は悪くなることが報告されている [5].

高度なコミュニケーション能力を発揮するためには視線が重要な役割を持っている [6]. Shimada らは人間とアンドロイド間の非言語コミュニケーションにおけるアンドロイドのアイコンタクトの有効性を確認している [7]. さらに, Tatsukawa らは会話時のインタラクション相手としての人間の瞬目をアンドロイドで同調させる研究 [8] を行っている. したがって, アイコンタクトを含む視線の動かし方と瞬目のタイミングは外見が人間に酷似したアンドロイドにも同様に重要であると考えられる.

人の視線の動かし方と瞬目をアンドロイドで模倣させることで, より良いアンドロイドでのコミュニケーションができるのではないかと考えている. 会話中の人の視線を再現する際の指針としては, 会話時に 3 秒以上アイコンタクトを続けられると不快に感じてしまうこと [9] が指摘されている. 会話をするときにはただアイコンタクトをするだけではなく適度な長さでアイコンタクトをすることが重要になる. また, 聞き手は会話のブレイクポイントに行われる話し手の瞬目に同調すること [10] が指摘されている. 瞬目は相手が話し手か聞き手に対応して変化させることが重要になる. 瞬目のタイミングが話の状況に合わせて変わることから, アンドロイドで人間とコミュニケーションを取る場合にも, 状況に合わせた視線逸らしや瞬目のタイミングを取る必要があると考えられる.

1.2 関連研究

会話中のアイコンタクトと瞬目がコミュニケーションを取る上で重要な役割を果たしていると言われている。アイコンタクトに関しては、人間同士がアイコンタクトをしているときに相手のアイコンタクトを認識した際にはアイコンタクト効果が発生する [11]。アイコンタクト効果は相手のアイコンタクトを認識することで相手を認識する現象のことであり、アイコンタクトが知覚されることで個人の識別がされる。そのため、アイコンタクトが知覚されなければロボットが人間と見られない可能性がある。アンドロイドロボットで人間のようにコミュニケーションを取るには、人間が知覚できるアイコンタクトを取る必要がある。

また、瞬目に関しては Nakano らによると人間が会話を行う際に話し手が話のブレイクポイントで瞬目を行うと、聞き手もその瞬目に同調することが報告されている [10]。そのため、アイコンタクトを再現するには会話の展開や相手の反応に合わせて操作する必要がある。瞬目は意図的に行うことのできる随意性瞬目、様々な刺激によって誘発される反射性瞬目、および刺激や意思に関係なく生じる自発性瞬目の3種に分類できる [12] ことも報告されており、瞬目を人間のように再現したい時には、これらの3種類を含む瞬目の再現が必要になる。また、人間は興味を持っている事柄に遭遇すると瞬目率が減少することが報告されており [13]、人間がコミュニケーションをとっているときに、会話している会話の内容に合わせて、瞬目が行われる回数が増えている。コミュニケーションを取る上では瞬目もただ周期的に行うのではなく会話に応じた変化をすることが求められる。

1.3 研究目的

本論文では、人間の視線を模倣することで人間と会話できるコミュニケーションシステムによって、会話中のアイコンタクトと瞬目の影響を調べることが目的である。人間が会話を行う際には、視線や口の動き、頭の動きといった様々な要素が発生する。それらの要素の中でもコミュニケーションを取る上で、アイコンタクトと瞬目が重要な役割を果たす。特に瞬目の回数は自身が話しているか、聞いているかでその回数が変わると予想されている。

本論文では話し手に焦点を当て、会話中の視線再現システムを構築する。そのため、話し手の視線をウェアラブルデバイスにより測定し、会話中の話し手の瞬目とアイコンタクトを解析する。アンドロイドによる視線の再現は会話中の瞬目の回数とアイコンタクトの長さを同じ数、同じ長さで行なうことにより実現する。

この視線再現によって、会話時に人間のように話している印象を聞き手に与える。このアンドロイドシステムを用いることで上記の瞬目の回数とアイコンタクトの長さを手動で入力することで、視線を操作する。模倣した視線と操作された視線による比較実験を行う。

1.4 模倣システムのアプローチ

本論文で会話中の視線と瞬目の影響の調査は以下の手順にて行う。

(1) 再現方法

- (a) 視線と瞬目の計測
- (b) 再現のための要素の抽出
- (c) アンドロイドへの実装方法

(2) 視線と瞬目の影響の調査のための実験

再現方法にて人間の会話時の動作を模倣する。そのためにまず、人間の会話中の動作の測定を行う。この測定結果から人間の動作を自動判定するプログラムを作成することで、人間の会話中の動作を解析する。動作の自動判定結果から、アンドロイドの対応したパーツを制御することで、測定した人間の会話中の動作の模倣を実現する。実験では、模倣された視線と意図的に操作された視線による印象を比較することで会話中の視線と瞬目がどのような影響を人間に与えたか調査する。

1.5 対象とするアンドロイドシステム

本研究では株式会社ココロ社製のアクトロイド SIT を使用した。アクトロイド SIT の外観は Fig. 1.1 に示す。アクトロイド SIT は全身に 42 箇所の可動部を持っており、空気圧アクチュエータで構成されている。空気圧アクチュエータにはサーボコントローラを介してエアコンプレッサーによって空気が送られる。そしてサーボコントローラが計算機からの指令で送る空気の量を制御する。サーボコントローラと計算機はシリアル通信で接続されており、各アクチュエータは 1 バイトの指令値で制御される。指令値は 0 から 255 の値で制御され、0 のときが変位が最小となり 255 のとき変位が最大となる。Fig. 1.2 にアクトロイド SIT の制御システム構成を示す。

アンドロイドは従来の対話ロボットと比べ、シリコンの肌を持ち多くの自由度を備えている。特に視線は眼球と瞼を操作できるため、アンドロイドによる視線制御が可能である。また、アンドロイドの外観は人間に酷似しているため、従来のコミュニケーションロボットとは違った実験を行うことができる可能性が、実験によって示唆されている [14]。ただし現在の音声認識能力 [15] や会話内容の理解 [16] といった人工知能の分野では、人間と円滑に対話ができるまで研究が進んでおらず、対話能力に限界がある。

1.6 本論文の構成

本論文の構成を以下に述べる。第2章では、提案手法であるアイコンタクトの長さとし瞬目のタイミングと視線逸らしと口の動きの判定手法と、アンドロイドによる模倣について述べる。第3章では、第2章の提案手法を用いた評価実験によって、瞬目と視線逸らしの違いが人間に与える印象の評価、最後に、4章で本論文の成果についてのまとめと今後の課題について述べる。



Fig. 1.1: Actroid-SIT, Kokoro Co. Ltd.

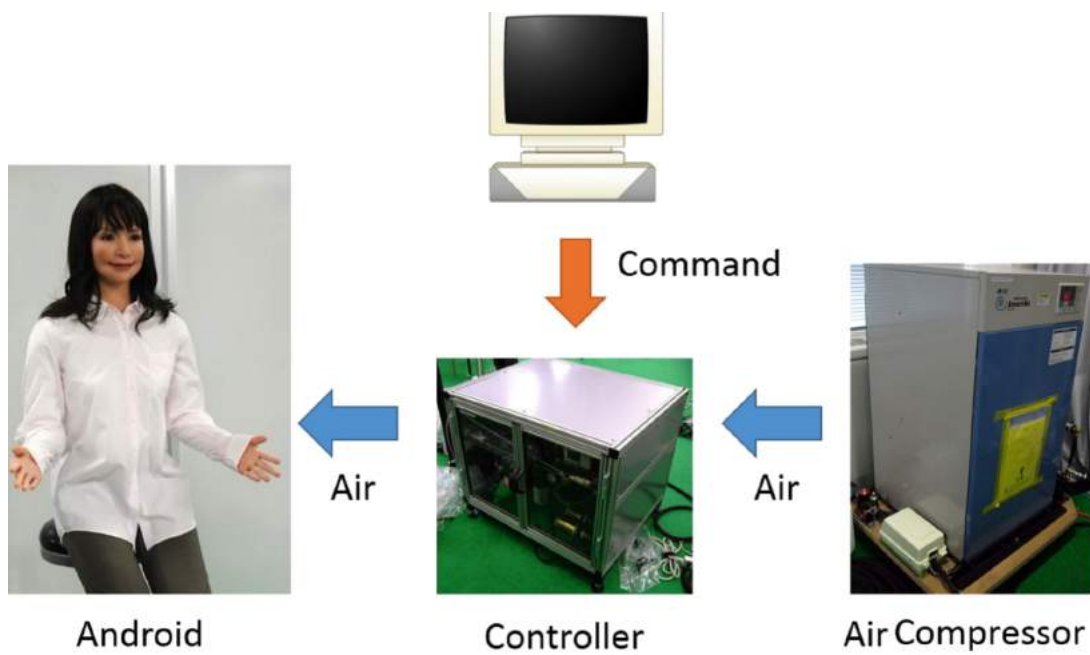


Fig. 1.2: Hardware configuration of android

2. 視線と瞬目の解析による再現手法

本章では，アンドロイドによる会話中の動作再現方法について述べる．会話中の人間の動作を測定するためにウェアラブルデバイスを用いて会話中の人間の視線と瞬目を測定する．測定結果からアイコンタクト判定と瞬目判定，開口動作判定を行う．2.1節ではそれらの判定法について述べ，2.2説では会話中の動作模倣について述べる．2.3節では，2.2節の動作模倣を用いた視線逸らし動作の評価実験について述べる．

2.1 人間の会話中の動作判定

2.1.1 アイコンタクト判定

アイコンタクト判定を行うために，人間の視線を計測する．視線計測にはメガネ型ウェアラブルデバイス，Pupil Labs 社の視線計測カメラ [17] を用いた．Fig. 2.1 にその外形を示す．このカメラにはカメラが2種類搭載されている．1つ目のカメラでは装着者の視点が撮影され，2つ目のカメラでは赤外線カメラであり，装着者の瞳が撮影される．1つ目のカメラの様子は Fig. 2.2 として図に示し，Fig. 2.3 には装着者の瞳を撮影している様子を示す．

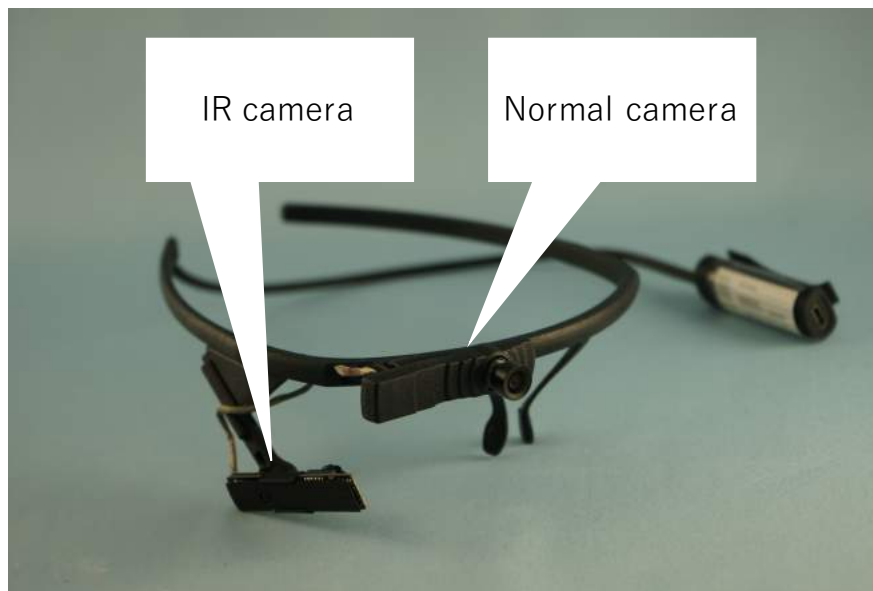


Fig. 2.1: Wearable device



Fig. 2.2: View from normal camera



Fig. 2.3: Capturing a human pupil by an IR camera

視線計測カメラによる視線方向推定の例を Fig. 2.4 に示す．装着者の視点は赤点で表示される．装着者の視点は座標として表される．この座標が人の顔の映像中の位置と一致しているかの判定によって，装着者の視点が人の顔を見ているか，見ていないか判定する．



Fig. 2.4: A gaze point and face detection area in the automatic eye contact detection method

顔検出器を用いたアイコンタクトの自動判定処理について説明する．まず初めに，OpenFace [18] による顔検出を用いることで，映像中のどの範囲に人の顔があるかを推定する．検出された顔の特徴点は Fig. 2.4 の青点で示されたような複数の座標で表される．この青点の座標はそれぞれ縦方向と横方向の座標として 67 個の座標で算出される．それらの座標の縦方向を x_i ，横方向を y_i とした時， x_i と y_i の最大値と最低値を算出する．横方向の最大値，最小値を x_{max} ， x_{min} とし，縦方向の最大値，最小値をそれぞれ y_{max} ， y_{min} と算出した．装着者の視点の座標の横方向を x_{gaze} ，座標の縦方向を y_{gaze} とした時に， x_{gaze} と y_{gaze} の両方が顔座標の最大値と最小値に収まっているか算出することで，アイコンタクトの判定を行った．処理の一連の流れを Fig. 2.5 としてフローチャートに示す．これにより，視線計測カメラで取得した装着者の視点の映像から自動的に装着者の視線が人の顔を見ているか，すなわちアイコンタクトをしているのか判定ができる．

また，アイコンタクトをしていない場合に装着者がどこを見ていたか判定させる．顔領域以外のエリアに名称をつけ，アイコンタクトをしてない時の視線がどこにあるか分類した．顔認識させることで，人の顔に対して四角形の範囲で顔領域が認識された．算出されている四角形の辺を伸ばすことで，四角形の周りに 8 つのエリアが区分できた．8 つのエリアの基準に顔認識の座標を用いた．その様子を Fig. 2.6 に示す．Right up, Right center, Right under, Center up, Center under, Left up, Left center, Left under と設定した．視線の横軸の座標が顔領域の範囲に入っているが，視線の横軸の座標がおさまっていない時は，顔の上下の Center up, Center under のどちらかに逸れているか判定可能とした．他の領域も同じ様に判定する．

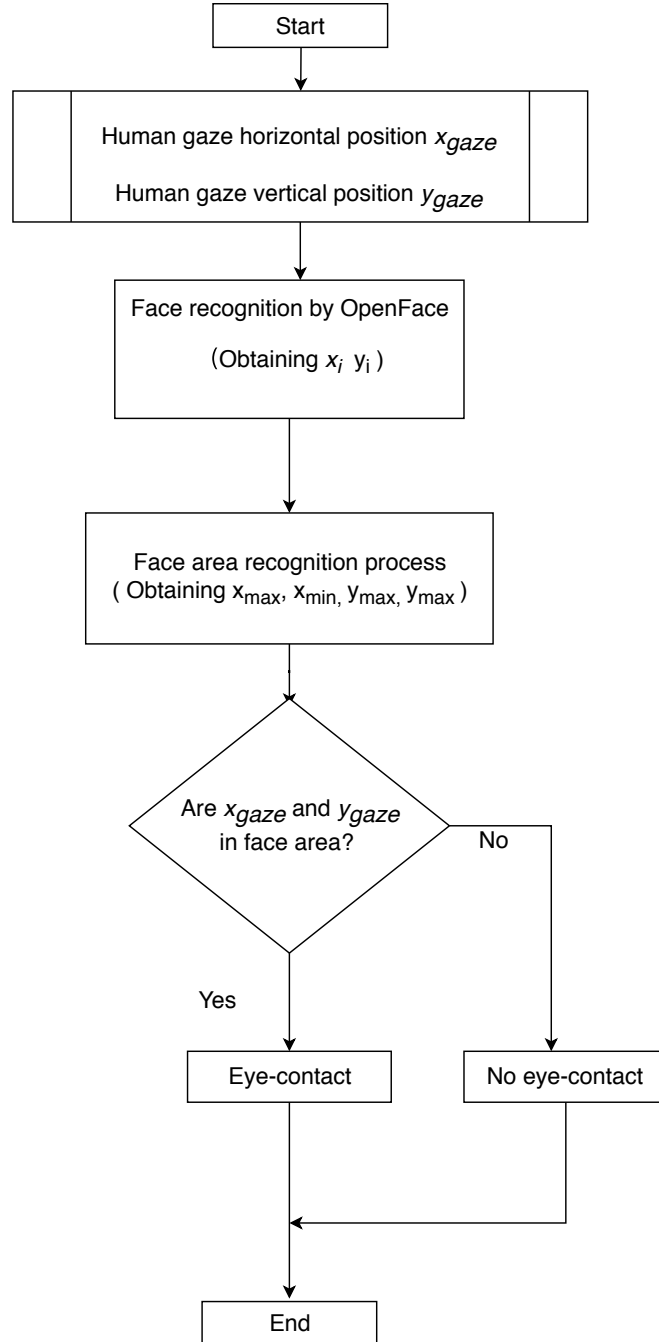


Fig. 2.5: Flowchart of the eye-contact-detection method

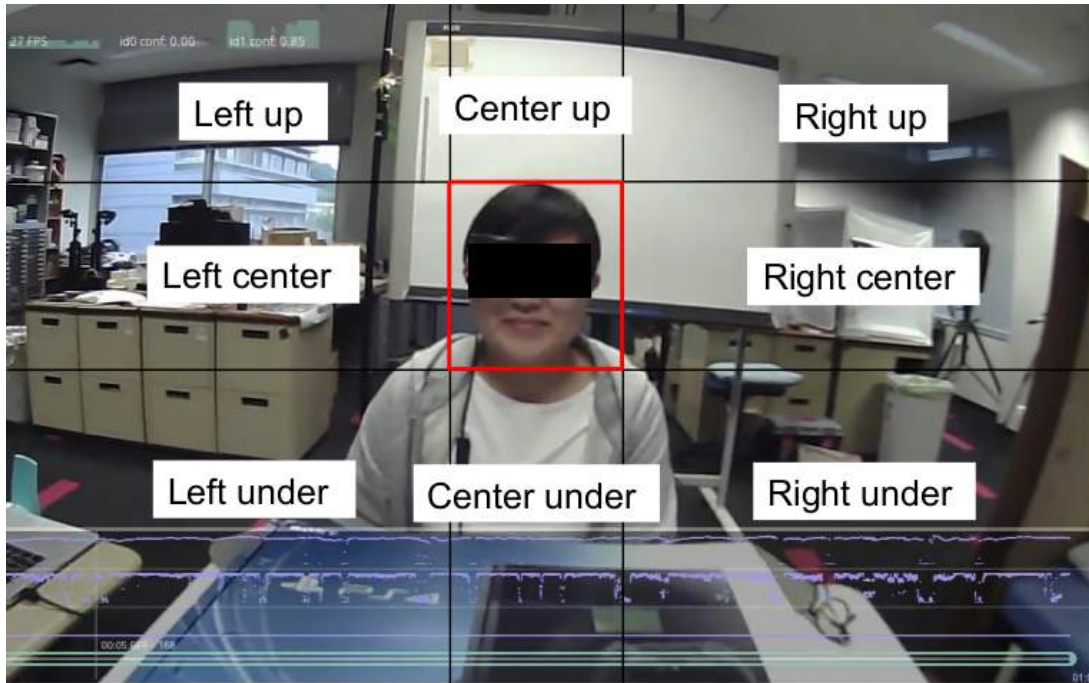


Fig. 2.6: Detection result for eye contact and gaze away

2.1.2 瞬目判定

一般に瞬目は意図的に行うことのできる随意性瞬目，様々な刺激によって誘発される反射性瞬目，および刺激や意思に関係なく生じる自発性瞬目の3種に分類できる [12]．瞬目は1分間に平均約20回程しており [19]，瞬目の大半は自発性瞬目と言われている．この自発性瞬目が頻繁に発生する理由は未だ解析されていない．会話中では自発性瞬目に加えて周りの環境によって反射性瞬目が発生し，会話中の内容に応じて随意性瞬目が発生する．これら3種の分類は難しいため今回の測定では会話中に発生した全ての瞬目を測定することで，視線計測カメラの被験者が行った瞬目を判定し，アンドロイドにて再現させる．視線計測カメラで撮影した瞳の虹彩の大きさから瞬目の判定を行う．瞳が開いている時と閉じている時の様子を Fig. 2.7 に示す．眼の画像内の虹彩の大きさが十分な大きさに見えていれば瞬目してないと判定し，虹彩の大きさが半分以下に見えている場合に瞬目をしていると判定する．

アイコンタクト判定と瞬目判定をグラフに適用したものを Fig. 2.8 に示す．Fig. 2.8 の (a) にはアイコンタクトと瞬目に関してグラフとして表示した．アイコ

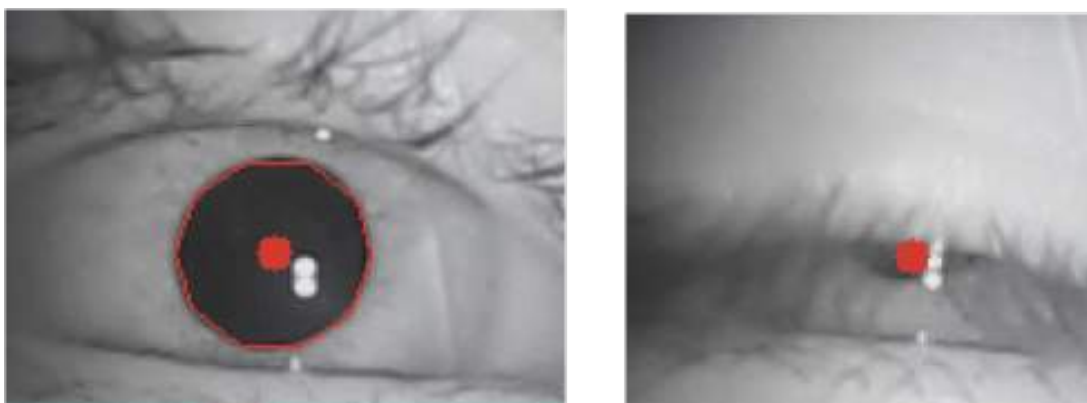
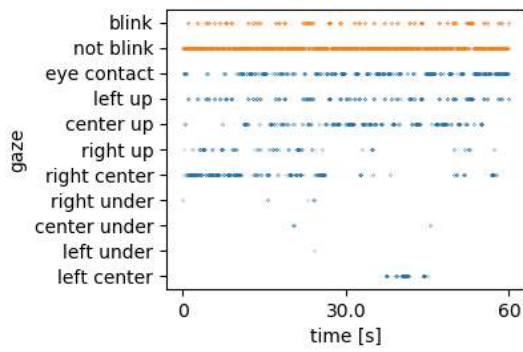


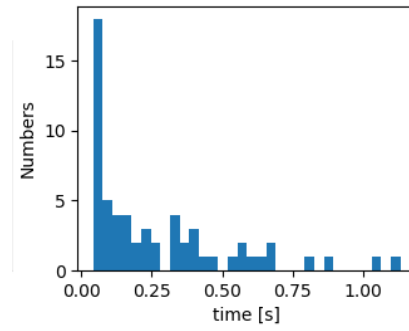
Fig. 2.7: Automatic blinking detection method

ンタクト判定の結果は青色の点でプロットし、話し手がアイコンタクトしている区間は eye contact と表記した. それ以外の区間はそれぞれ Right up, Right center, Right under, Center up, Center under, Left up, Left center, Left under と表記した.

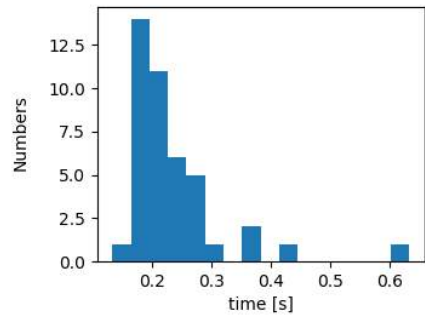
瞬目判定に関しては橙色の点でプロットし、瞬目をしている区間を blink, 瞬目をしていない区間を no blink と表記した. また, アイコンタクトの長さのヒストグラムと瞬目の長さのヒストグラムをそれぞれ Fig. 2.8 の (b) と (c) に作成した. ここでの瞬目の長さとは, 目を閉じ始めてからまた開くまでの時間とする. (b) では, アイコンタクトをしている時間が 3 秒を超えていないこととアイコンタクトのパターンが何種類あるか確認する. 今回の Fig. 2.8 の (b) では 0.25[sec] までの長さのアイコンタクトと 0.30[sec] から 0.45[sec] までの長さのアイコンタクトと 0.50[sec] から 0.60[sec] までの長さのアイコンタクトと 0.75[sec] 以上の長さのアイコンタクトの 4 種類存在していることが確認できる. Fig. 2.8 の (c) のヒストグラムは瞬目の長さを表している. 瞬目に関しては, 0.30[sec] までの長さの瞬目, 0.35[sec] から 0.45[sec] までの長さの瞬目, および 0.60[sec] までの長さの瞬目が確認できる. そして, Fig. 2.8 の (d) に関してはどの方向に視線が逸れていたかを示すヒストグラムを作成した. 視線の外し方としては Center up が一番多く発生していたことが分かる.



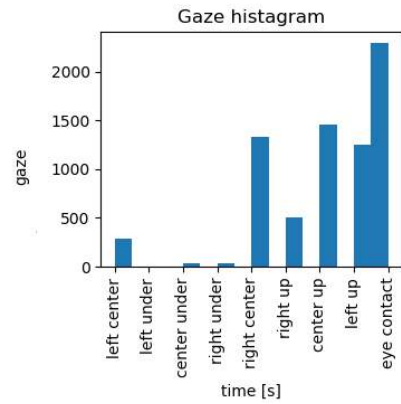
(a) Eye contact and blinking



(b) Histogram of eye contact



(c) Histogram of blinking time



(d) Histogram of gaze patterns

Fig. 2.8: Analysis result of human's gaze behavior

2.1.3 開口動作判定

視線計測カメラでは人の顔が撮影されている。話し手の口が映っている動画を使う必要があるため、口の開口動作判定には、聞き手の視線計測カメラの動画を用いる。口の動きの解析には、OpenFace [18] で口の領域を認識させ、会話中の口の大きさを判定させた。OpenFace には画像中の顔の大きさだけでなく、顔の各パーツの認識が可能であり、認識した口の座標を点群で検出することができる。顔のパーツを全て認識した結果を Fig. 2.9 に示す。今回は口と認識された青点の座標で、青点の口座標の横方向の最大値と最小値を x_{max} , x_{min} を検出し、青点の口座標の縦方向の最大値と最小値として y_{max} , y_{min} を検出した。2.1.1 節で行ったように顔全体の座標においても横方向の最大値と最小値 X_{max} , X_{min} と縦方向の最大値と最小値 Y_{max} , Y_{min} を算出した。口領域の面積を S_{mouth} 、顔領域の面積を S_{face} とすることで、この二つの面積を以下の式 (1) と (2) のように計算できる。

$$S_{mouth} = (x_{max} - x_{min}) * (y_{max} - y_{min}) \quad (1)$$

$$S_{face} = (X_{max} - X_{min}) * (Y_{max} - Y_{min}) \quad (2)$$

顔領域の面積と口領域の面積の比を取ることで、口の大きさ k を算出した。この式を式 (3) として示す。この一連の処理の流れをフローチャートして Fig. 2.10 に示す。

$$\text{口の大きさ } k (\%) = \frac{\text{口領域の面積 } S_{mouth}}{\text{顔領域の面積 } S_{face}} \quad (3)$$



Fig. 2.9: Face recognition result using OpenFace

口が最大に開いた時と半分ほど開いていた時を Fig. 2.11 に示す．口の大きさを判定した結果をグラフとして，Fig. 2.12 に示す．Fig. 2.12 の (a) では 1 分間会話した時の口の大きさを示している．今回の解析では口の最大に開いた時が顔に対して 7.5 % の大きさで，最低の大きさは顔に対して 3 % ほどになったことが分かる．Fig. 2.12 の (b) のヒストグラムでは口の大きさを表している．今回の判定では口の大きさ 5 % 程が 100 回を超えている．逆に口の大きさが 7 % になったものは 10 回程しかされていないことが確認できる．

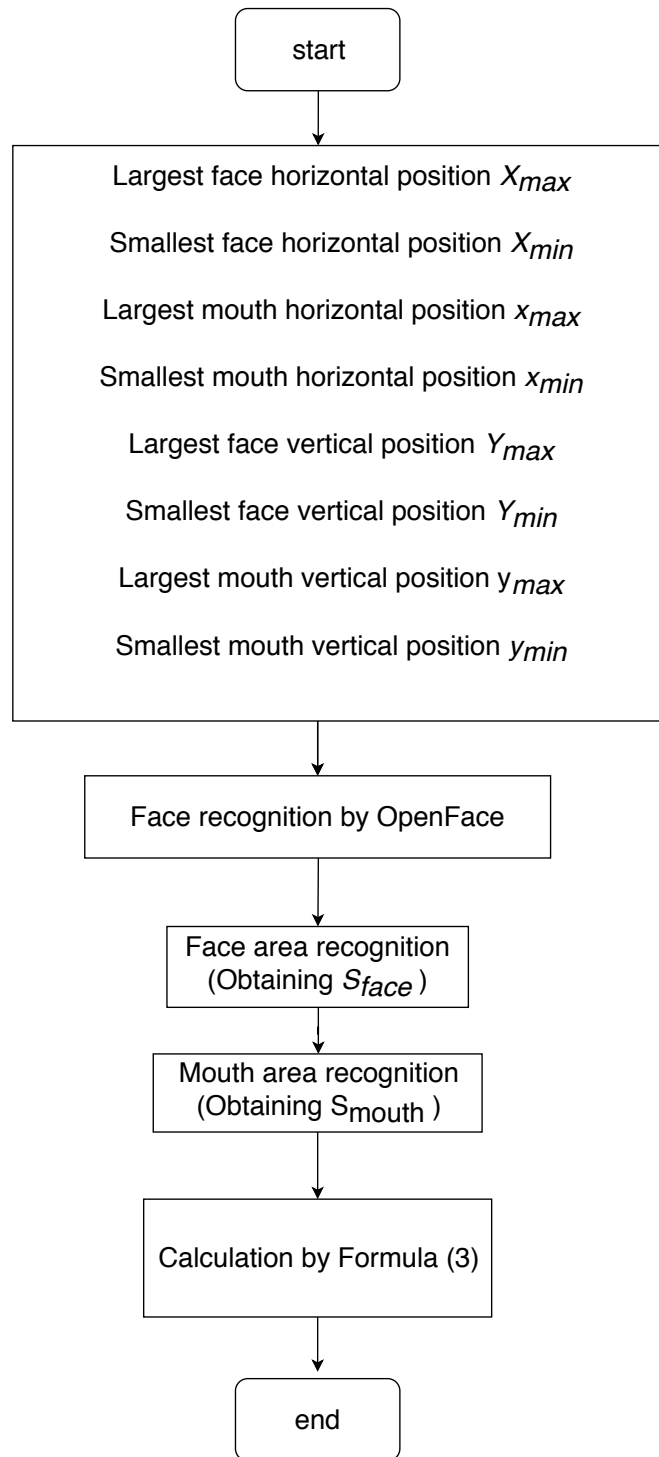
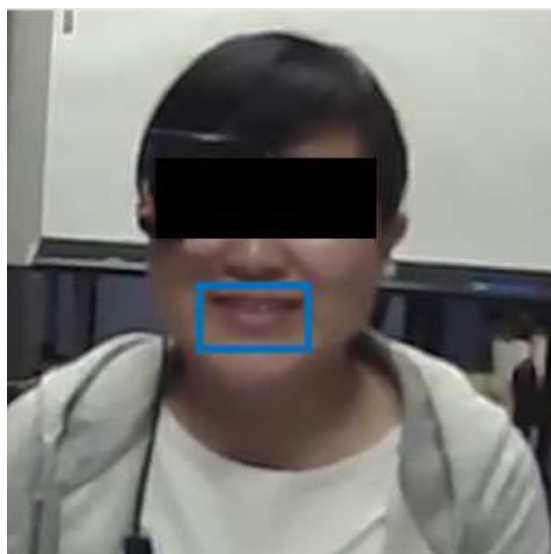
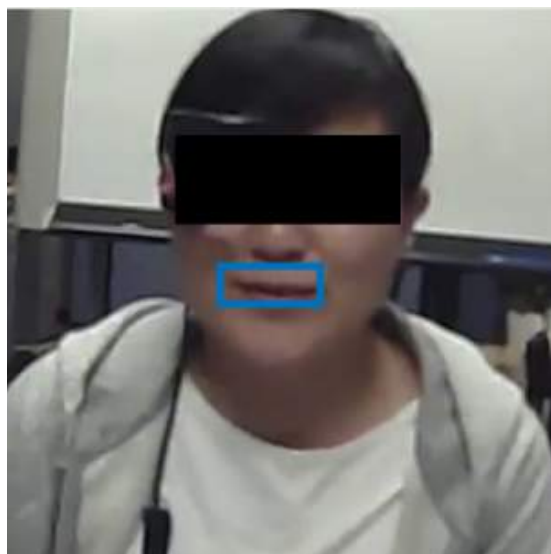


Fig. 2.10: Flowchart for mouth size analysis

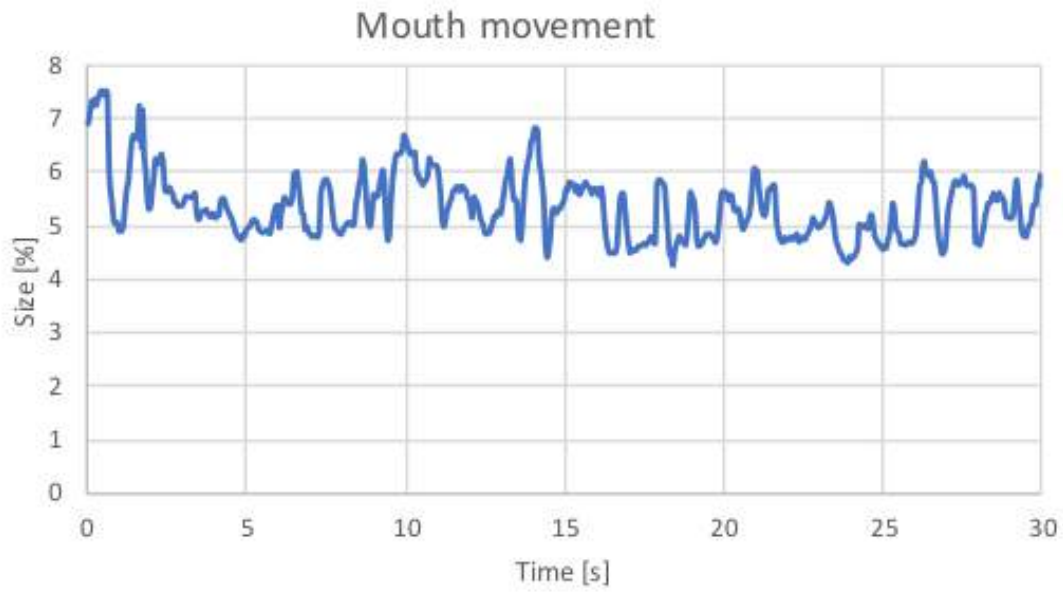


(a) Max size

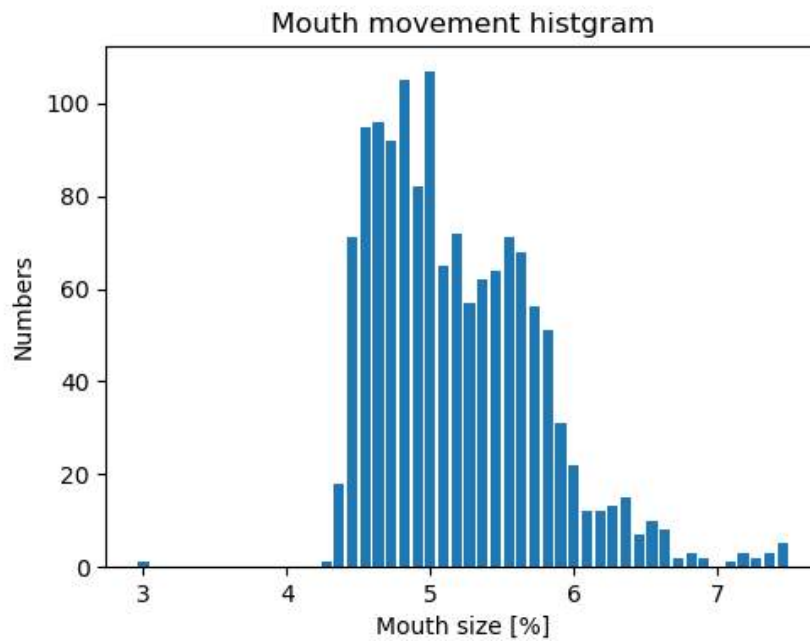


(b) Half size

Fig. 2.11: Analyzing the mouth size



(a) Graph for mouth size



(b) Histogram of mouth size

Fig. 2.12: Mouth size graph

2.2 会話中の動作模倣

2.2.1 視線動作の実装

本節では，視線逸らしの動作について述べる．2.1 節で得られた人間の会話時の動作判定の結果から，人間の視線行動をアンドロイドに実装させる．2.1 節ではアイコンタクトしている状態とアイコンタクトしていない状態に分けられた．特にアイコンタクトしていない状態に関しては下に箇条書きで示す．この分類にしたがって，アンドロイドの視線状態を作成した．Fig. 2.8 の (a) のグラフに従って，視線が向いている方向を変化させた．アンドロイドで視線逸らし動作を実装した様子を Fig. 2.13 に示す．

- Right up
- Right center
- Right under
- Center up
- Center under
- Left up
- Left center
- Left under

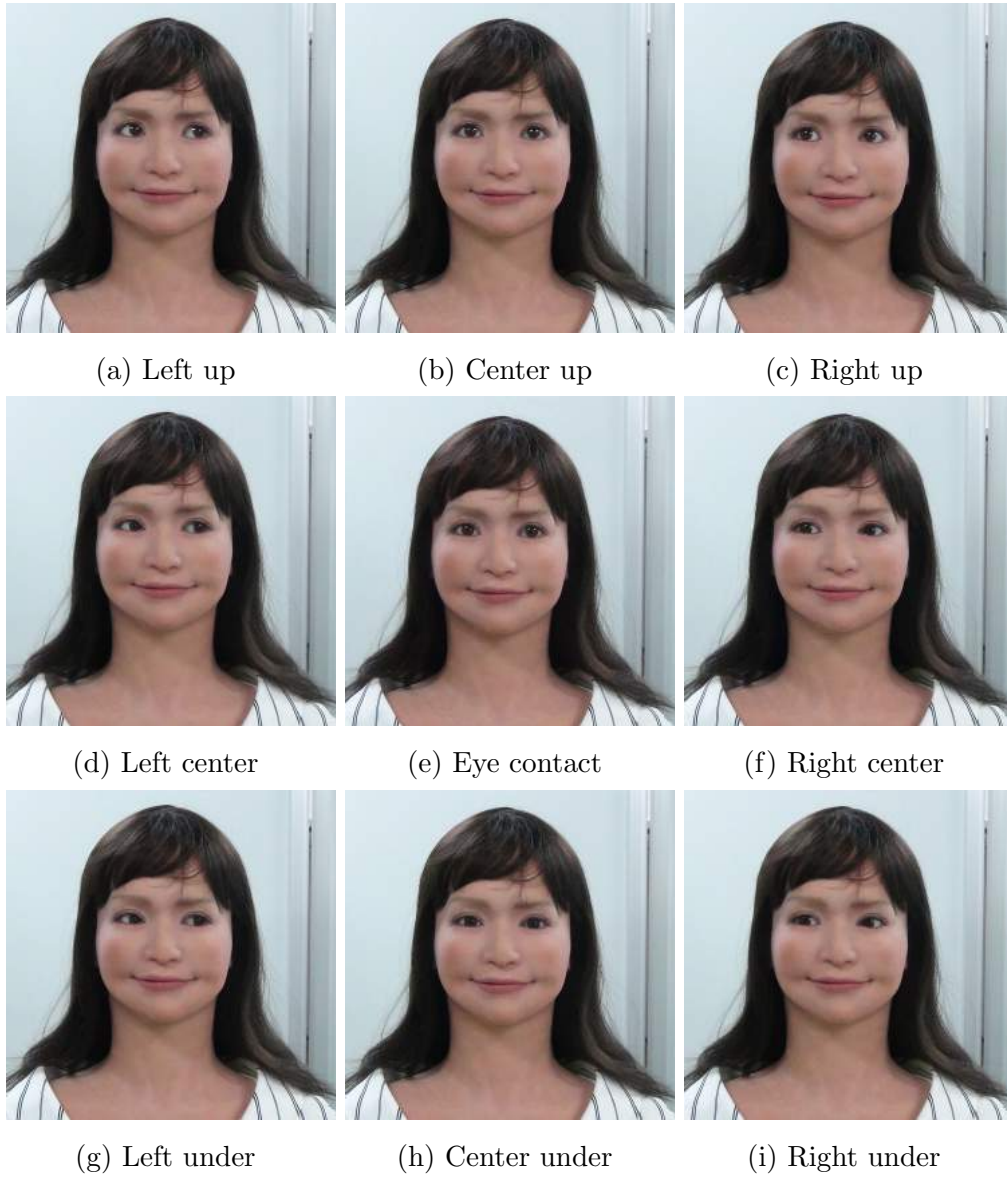


Fig. 2.13: Nine gaze patterns

2.2.2 開口動作実装

本節では，口の開口動作の実装について述べる．2.1.3 節での口の大きさの解析結果から，アンドロイドの口を操作する．Fig. 2.12 の (a) のグラフの大きさに従って，アンドロイドの口の大きさを変化させた．アンドロイドの口は上下に開けることが可能であり，その自由度は上下に移動できるので1つの自由度で動かされる．上下に開ける大きさを変化させることでアンドロイドの口を操作した．その様子を Fig. 2.14 に示す．今回の解析手段では口の大きさを判定できるが，アンドロイドの口は横方向には動かすことが不可能なため，人間の口の動きを再現することが現段階で難しい．本研究の実験では口が動いてないことに対する印象への違和感をなくすために口の開口動作を入れるが，口の動き自体に対して注意が向くことを避けたい．そのための方法として，アンドロイドに対してマスクを装着して実験する．アンドロイドにマスクを装着した様子を Fig. 2.15 にて示す．



(a) Graph for mouth size



(b) Histogram of mouth size

Fig. 2.14: The mouth movement



Fig. 2.15: Mask for hiding mouth movement

2.3 視線逸らし動作の評価実験

2.3.1 実験目的

本実験の目的は視線逸らしタイミングがより自然に感じるか評価することである。そのため、印象評価実験を行う。視線逸らしの間隔を模倣した視線パターンと、最適と言われている3秒のアイコンタクト [9] との比較を行い人の視線の模倣の有用性を確認する。

2.3.2 実験条件

1分間の話をアンドロイドに話し手として話をさせる。話の内容と音声は人間の視線を計測した時に録音したものをを用いた。20代の男性8人に被験者として参加してもらった。アンドロイドのアイコンタクトと瞬目のパターンを Table. 2.1 に示す4種類で行う。

今回のこの実験ではアイコンタクトは被験者の顔を見ている状態とする。よって、アイコンタクトしている状態はアンドロイドが瞬目をしてない状態とアンドロイドの瞳が中央になる状態とする。またアイコンタクトの長さは3秒以上アイコンタクトを続けられると不快に感じてしまうこと [9] ことから、アイコンタク

Table. 2.1: Gaze pattern for preliminary experiment

視線パターン	視線を逸らすタイミング	視線を逸らす場所	瞬目
(1)	人模倣	右上か左上	人模倣
(2)	2 秒	右上か左上	人模倣
(3)	9 秒	右上か左上	人模倣
(4)	なし	なし	人模倣

トの長さが3秒を超えているか本実験での指標の一つとする．また，本実験では視線を逸らすタイミングに関して比較したいため，視線を逸らすタイミング以外の条件は同じ条件にさせる．視線を逸らす場所は視線パターン（1）から（3）では右上か左上に逸らす．視線パターン（4）では視線を逸らさないので，視線を逸らす場所はないものとし，瞬目に関してはすべての視線パターンにおいて人を模倣したものをを用いる．

視線パターン（1）は人の視線行動を模倣したものである．この視線パターンでは，人の視線を模倣したものであるため，被験者が人間らしく感じる事が期待される．Fig. 2.8の(b)のヒストグラムでは，アイコンタクトの長さが3秒に達していないアイコンタクトが多く存在するため，人間に与える印象が悪くなる事が予想されるが，人間を模倣した視線なので被験者に対してアンドロイドが人間のようになっている印象を与える事が期待される．視線パターン（2）と（3）は視線を外すタイミングが異なり，それぞれ2秒間隔と9秒間隔で視線を逸らす．視線パターン（2）は2秒に1回視線を逸らす動作が入るため，アイコンタクトを頻繁に避ける印象を相手に与える事が予想される．このパターンではアイコンタクトが3秒維持されないため，被験者に与える印象が悪くことが予想される．視線パターン（3）では9秒の間隔で視線を逸らす動作が入るため，瞬目と合わせることで，3秒以上アンドロイドが目を開けた状態が維持される．そのため，被験者が感じるアイコンタクトの長さが3秒ほどになり，被験者に与える印象が良くなる事が期待される．視線パターン（4）は瞬目をせずにアイコンタクトを続ける．視線逸らしの動作が入っていないため，アイコンタクトの解除が瞬目のみで行われる．瞬目の回数は，他の視線パターンと同じ回数行われるため，この視線パターンが一番アイコンタクトが長くなる．

この4種類の視線パターンで聞き手役としての被験者に話を聞いてもらいどのような印象を受けるか以下の6つの指標でSD法にてアンケートを行った．各項

目 A, B, C, D, E, F に関して 7 段階の評価をしてもらった。例えばアンドロイドのアイコンタクトと瞬目がやさしく感じた場合には A を 1, こわく感じた場合には A を 7 と答えてもらった。

A: やさしい (1) — こわい (7)

B: 感じの良い (1) — 感じの悪い (7)

C: 親しみやすい (1) — 親しみにくい (7)

D: 視線を感じる (1) — 視線を感じない (7)

E: 魅力がある (1) — 魅力がない (7)

F: 人間的な (1) — 機械的な (7)

今回の実験の様子を Fig. 2.16 の (a) に示す。被験者はディスプレイの前に着席させた。そして被験者はディスプレイに表示される 4 種類の視線パターンによるアンドロイドの会話動画を見て、その印象に対して一つの視線パターンが終わるたびにアンケートを回答するように説明を行った。その後、Fig. 2.16 の (b) に示すあご台で、被験者の顔を固定した後に、動画と音声を再生させた。各パターンの動画が終わる度にアンケートを回答してもらった。



(a) Experiment environment



(b) A chin rest

Fig. 2.16: Display and chin rest

2.3.3 実験結果

被験者 8 人の評価の平均値を算出したものを Fig. 2.17 に示す。黄色の線が視線パターン (1)、灰色の線が視線パターン (2)、橙色の線が視線パターン (3)、青色の線が視線パターン (4) を示している。この評価を見ると視線パターン (3) と (4) が良い評価を得られた。評価指標項目 D の視線を感じる (1) — 視線を感じない (7) では視線パターン (1) がもっとも視線を感じない評価を受けている。この結果に対して、視線パターン (3) と視線パターン (4) は評価が高くなったが、視線パターン (4) の方が評価指標項目 E の魅力を感じる (1) — 魅力を感じない (7) において魅力を感じるという結果になった。また、評価指標項目 F の人間らしさ (1) — 人間らしくない (7) の項目に関してはどの視線パターンも 4 になっており、人間らしさにおいてこれらの視線パターンでは人間らしいと言えない結果になった。

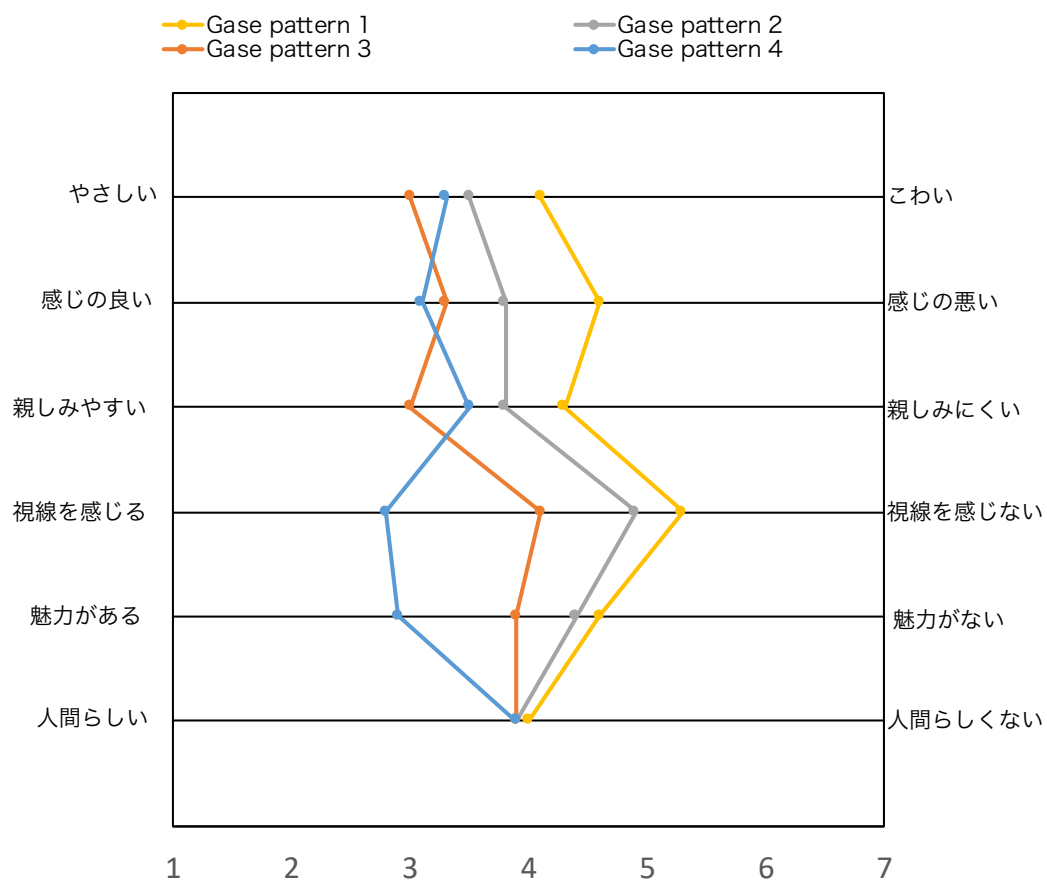


Fig. 2.17: The result of questionnaire answer for comparing experiment

2.3.4 考察

今回の実験では、アイコンタクトの長さによって与える印象が変わる結果になった。大きく分けて、アイコンタクトの長さが3秒を維持できているかいないかに分けることができる。視線パターン（1）と視線パターン（2）はアイコンタクトの長さが3秒に達しておらず、視線パターン（3）と視線パターン（4）はアイコンタクトの長さが3秒ほどになっていた。視線パターン（1）に関しては2.1節で算出したFig. 2.8の(b)のヒストグラムにおいてアイコンタクトの長さが短く、3秒に満たしているものが少ない。アイコンタクトの長さが3秒より小さいものは評価が悪いことが視線パターン（1）と視線パターン（2）の結果から分かる。

アイコンタクトの長さが3秒になっていた視線パターン（3）と視線パターン（4）は視線パターン（1）と視線パターン（2）より良い印象が与えられている。視線パターン（3）と視線パターン（4）を比べた時には、評価指標項目Eの魅力を感じる（1）－視線を感じない（7）に差が出ている。視線パターン（4）の方が魅力を感じる結果になった。視線パターン（3）と視線パターン（4）の違いは視線逸らし動作が入っているかいないかの違いのみで、瞬目に関しては同じタイミング、回数を行なっている。そのため視線パターン（4）の方がアイコンタクトを行なっている時間が長くなっており、今回の視線パターンの中で最も長い。この結果からアイコンタクトの長さが長いほど、魅力がある様に感じる可以说える。しかし、視線パターン（4）はアイコンタクトの長さが3秒を超えている区間も存在したため、評価指標項目Aのやさしい（1）－こわい（7）と評価指標項目Cの親しみやすい（1）－親しみにくい（7）では、視線パターン（3）の方が良い評価になった。そのため、アイコンタクトが長いと相手に魅力的に見えるように感じさせることが出来るが、アイコンタクトの長さがある時間を越えると相手に与えるやさしさ、親しみやすさが無くなると考えられる。この結果から視線を逸らすタイミングの時間を変更することで、被験者が感じるアイコンタクトの長さを変更できる。また、視線逸らしの動作の有無によって、被験者に与える印象に差がでたことが確認できたが、視線逸らしの場所によってどのような印象が被験者に与えられるかは確認できなかった。そのため、仮説として視線逸らしの場所によって被験者に与える印象が変わらないことが挙げられる。

しかし、評価指標項目Fの人間らしい（1）－人間らしくない（7）において、どの視線パターンもどちらともいえない結果になっていた。視線パターンを変化させても、人間らしさは変化しなかった。今回の実験では、アイコンタクトの長さが異なる視線パターンを用意したが、視線パターン（1）から（3）は瞬目の回

数と視線を逸らす場所が同じ視線パターンだった。瞬目の回数と視線を逸らす場所が人間らしさに影響を与えている可能性がある。アイコンタクトが3秒に近い視線パターンが被験者に良い印象を与える結果になった。しかし、瞬目と視線逸らしを組み合わせた視線パターンでは、会話中のどの動作が必要になるか分からなかった。視線逸らしと瞬目によって3秒のアイコンタクトが実現できていることが予想されるが、視線パターン（4）によって瞬目のみで行われたアイコンタクトが被験者に良い印象を与えたため、視線逸らしがアイコンタクトの維持に必要な可能性もある。そのため、仮説として、瞬目によって3秒のアイコンタクトが維持できると考えられる。

3. アイコンタクトを考慮した視線パターンの比較実験

3.1 アイコンタクト中の瞬目について

視線逸らし動作の評価実験でアイコンタクトの長さが違うことで、被験者に与える印象が異なることが確認できた。しかし、アンドロイドが行なっているアイコンタクトの長さに関して、長く感じているのか、短く感じているのか分かりにくい結果となった。視線逸らし動作の評価実験でのアイコンタクトは瞬目をしておらず瞳が中央にある状態であった。しかし、アンドロイドが瞬目した際にアイコンタクトが遮断されたように感じるのか、瞬目前後も継続してアイコンタクトしているように人間が感じるか不明である。そこで、アンドロイドの瞼が下に降りていない状態が3秒続くような視線パターンを複数用意し、それらの中でどのパターンが一番良い印象を与えるか評価する。

3.2 複数の視線パターンの比較実験

本節では、アイコンタクトの違いによる印象比較実験を行う。アイコンタクトについては瞼が開いているかつ瞳が中央にある状態と仮定し、アイコンタクトの長さが3秒の複数の視線パターンを作成する。瞬目と視線逸らしによってアンドロイドの視線が相手の顔から離れたときにどのような印象を相手に与えるか比較する。

3.2.1 実験目的

視線逸らし動作の評価実験にて考察された2つの仮説が正しいか検証することが目的である。2つの仮説とは「視線逸らしの場所によって被験者に与える印象が変わらない」、「瞬目によって3秒のアイコンタクトが維持できる」のことである。そのため、アイコンタクトをしていない状態を持った視線パターンの比較実験を行い、どの動作によって3秒のアイコンタクトが維持されるか評価する。

Table. 3.1: Gaze pattern for comparative experiment

パターン	視線を逸らすタイミング	視線を逸らす場所	瞬目
(1)	人模倣	人模倣	人模倣
(2)	人模倣	右上か左上	人模倣
(3)	瞬目がない時	右上か左上	会話のブレイクポイント
(4)	3 秒に 1 度	右上か左上	なし
(5)	なし	なし	3 秒に 1 度長い瞬目
(6)	なし	なし	3 秒に 1 度短い瞬目
(7)	なし	なし	なし

3.2.2 実験条件

20 代の男性 17 人に被験者として参加してもらった．アンドロイドのアイコンタクトと瞬目のパターンを Table. 3.1 に示す 7 つの視線パターンにて比較実験を行う．

上記の視線パターン毎に呼称を付けておく．視線パターン (1) を人模倣パターン，視線パターン (2) を固定された視線逸らしによる人模倣パターン，視線パターン (3) を瞬目と視線逸らしによる 3 秒のアイコンタクトパターン，視線パターン (4) を視線逸らしのみパターン，視線パターン (5) を短い瞬目のみパターン，視線パターン (6) を長い瞬目のみパターン，視線パターン (7) をアイコンタクトのみパターンと呼称する．

人模倣パターンと固定された視線逸らしによる人模倣パターンは 2 章の手法によって人の視線を模倣した視線パターンになる．この 2 つの視線パターンの違いは，視線を逸らす場所が異なる．固定された視線逸らしによる人模倣は視線を逸らす場所を右上と左上に固定したものであり，視線を逸らす時に交互に右上と左上に視線を逸らす．

また，人模倣パターンと固定された視線逸らしによる人模倣パターンはアイコンタクトの時間が 3 秒より短くなっていた．視線計測カメラにて人の視線を測定した際に，認識された視線の座標が計測誤差によって正しい位置に計測できてなかったことが原因と考えられる．そのため今回は OpenFace で認識された顔領域を大きくすることで，アイコンタクトの判定を大きくした．認識された顔領域の大きさを 1.10 倍に変更した．その結果を Fig. 3.1 に示す．Fig. 3.1 の (a) にて示されるアイコンタクトの長さは Fig. 2.8 の (a) と比べると長くなっている．Fig. 2.8 の (a) ではアイコンタクトは合計 21 秒と認識していたが，Fig. 3.1 の (a) では合

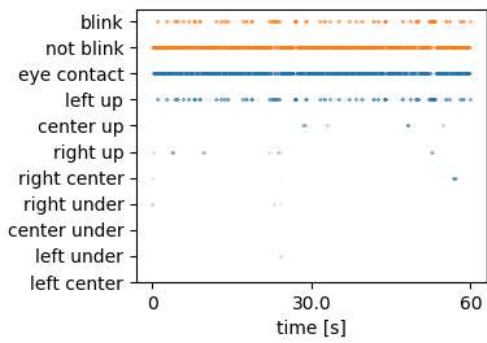
計 48 秒と認識された。また、Fig. 3.1 の (b) のアイコンタクトの長さのヒストグラムも比較すると、認識されたアイコンタクトの長さが長くなっていることが確認できる。Fig. 3.1 の (c) に関しては、瞬目の長さのヒストグラムを示しているため、Fig. 2.8 の (c) と同じ結果が出ている。Fig. 3.1 の (d) に関しては、Fig. 2.8 の (d) で認識されていた視線逸らしの種類が減少したことが確認できる。Fig. 3.1 の (d) では Left up への視線逸らしを一番多く行なっているように認識された。アイコンタクトの長さが 3 秒に達していない区間があるため、被験者に与える魅力が減ることが予想される。

瞬目と視線逸らしによる 3 秒のアイコンタクトは瞬目と視線逸らしの両方が含まれている。瞬目を会話のブレイクポイントで行うように作成した。次に瞬目をしてない状態が 3 秒続いた時に視線逸らしを行うように調整した。視線逸らしはそれぞれ交互に左上と右上へ逸らせる。アイコンタクトが 3 秒続いた後に視線逸らしか瞬目のどちらかが行われる動作を実現した。視線逸らしと瞬目の動作はどちらも 0.50 秒かけて行うように調整した。3 秒のアイコンタクトと会話のブレイクポイントでの瞬目を行うため、最も印象が良くなると予想される。

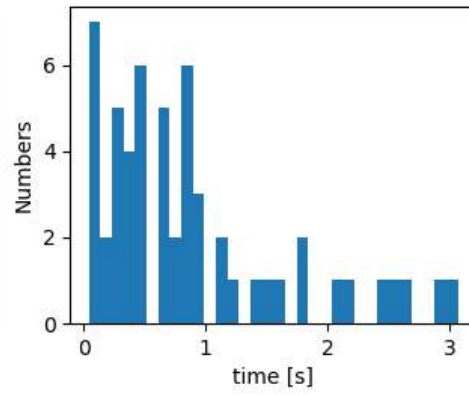
視線逸らしのみパターンは瞬目を行わずに、視線を逸らすのみとする。アイコンタクトを 3 秒続けた後に交互に左上か右上へ視線を逸らす。視線逸らしには 0.50 秒かけて行うように調整した。この視線パターンは瞬目を行わないことに対して不気味に感じるが、3 秒毎にアイコンタクトを外すためアイコンタクトの長さは最適に感じると予測される。

短い瞬目のみパターンと長い瞬目のみパターンは視線を逸らさずに、瞬目のみを行う。瞬目の長さを変更することで、どのような印象を相手に与えるか比較するために、瞼を閉じている時間を変更した。短い瞬目のみパターンではアイコンタクトを 3 秒続けた後に瞬目を行い、瞼を閉じた状態を 0.20 秒維持する。長い瞬目のみパターンではアイコンタクトを 3 秒続けた後に瞬目を行い、瞼を閉じた状態を 0.50 秒維持する。この 2 つの瞬目を比較することで瞬目の長さが短いと人がアイコンタクトを解除しているように感じるか検証する。

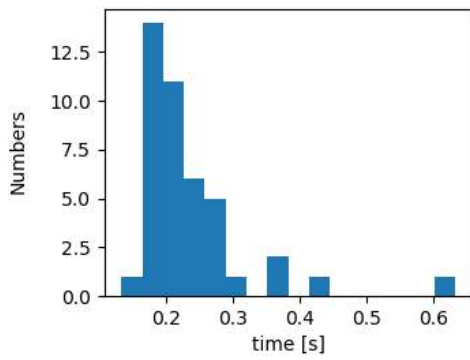
アイコンタクトのみパターンでは、視線逸らしと瞬目を行わずアイコンタクトを 1 分間続ける。3 秒以上アイコンタクトを続けることと瞬目がないことで、相手に与える印象がもっとも悪くなると予測される。



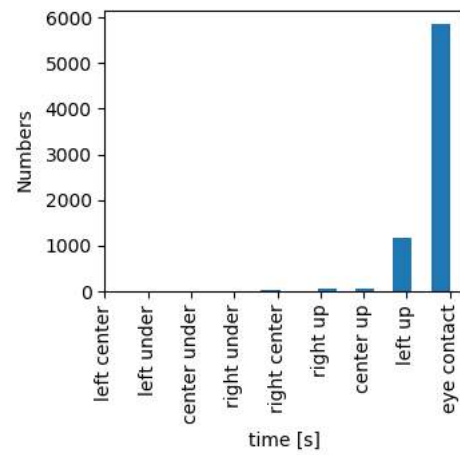
(a) Eye contact and blink



(b) Histogram of eye contact



(c) Histogram of blinking time



(d) Histogram of gaze patterns

Fig. 3.1: Analysis result of gaze

この7種類の視線パターンで聞き手役に被験者にアンドロイドに話を聞いてもらった時の印象を以下の6つの指標でSD法にてアンケートを行った，各項目 A, B, C, D, E に関して7段階の評価をしてもらった．

A: 感じの良い (1) — 感じの悪い (7)

B: 長すぎないアイコンタクト (1) — 長すぎるアイコンタクト (7)

C: 短すぎないアイコンタクト (1) — 短すぎるアイコンタクト (7)

D: 魅力がある (1) — 魅力がない (7)

E: 人間らしい (1) — 人間らしくない (7)

アンドロイド実機による実験では，エアコンプレッサーの騒音でアンドロイドの音声聞こえない問題と被験者の体格によってアイコンタクトしてないように感じる問題が挙げられた．エアコンプレッサーの騒音に関しては，被験者にイヤホン装着させる．また，アイコンタクトに関しては，2.3節で用いたあご台で被験者の顔を固定する．三脚を用いることで，Fig. 3.2 のようにあご台を固定した．Fig. 3.3 のようにアンドロイドの前に三脚を設置し，被験者の体格に合わせてあご台の高さを調整した．



Fig. 3.2: Setting for keeping human's head



Fig. 3.3: Experiment setup

3.2.3 実験結果

被験者 17 人の評価の平均値を算出したものを Fig. 3.4 に示す．黄色の線が人模倣パターン，灰色の線が固定された視線逸らしによる人模倣パターン，橙色の線が瞬目と視線逸らしによる 3 秒のアイコンタクトパターン，青色の線が視線逸らしのみパターン，赤色の線が短い瞬目のみパターン，緑色の線が長い瞬目のみパターン，黒色の線がアイコンタクトのみパターンを示している．この評価を見ると，人模倣パターンと固定された視線逸らしによる人模倣パターンが似たような評価を受けている．評価指標項目 A の感じのよい（1）－感じのわるい（7）で最もよい評価を獲得した視線パターンは長い瞬目のみパターンになり，評価指標項目 D の魅力がある（1）－魅力がない（7）と評価指標項目 E の人間らしい（1）－人間らしくない（7）においても，長い瞬目のみパターンが最もよい評価を受けている．アイコンタクトの長さについては，アイコンタクトのみパターンが最も長すぎるアイコンタクトをしていると感じられていた．次に長すぎると感じられた視線パターンは，視線逸らしのみパターンとなった．アイコンタクトの短さについては，固定された視線逸らしによる人模倣パターンが最も短いと感じられていた．次に短すぎると感じられていたのは，人模倣パターンになった．

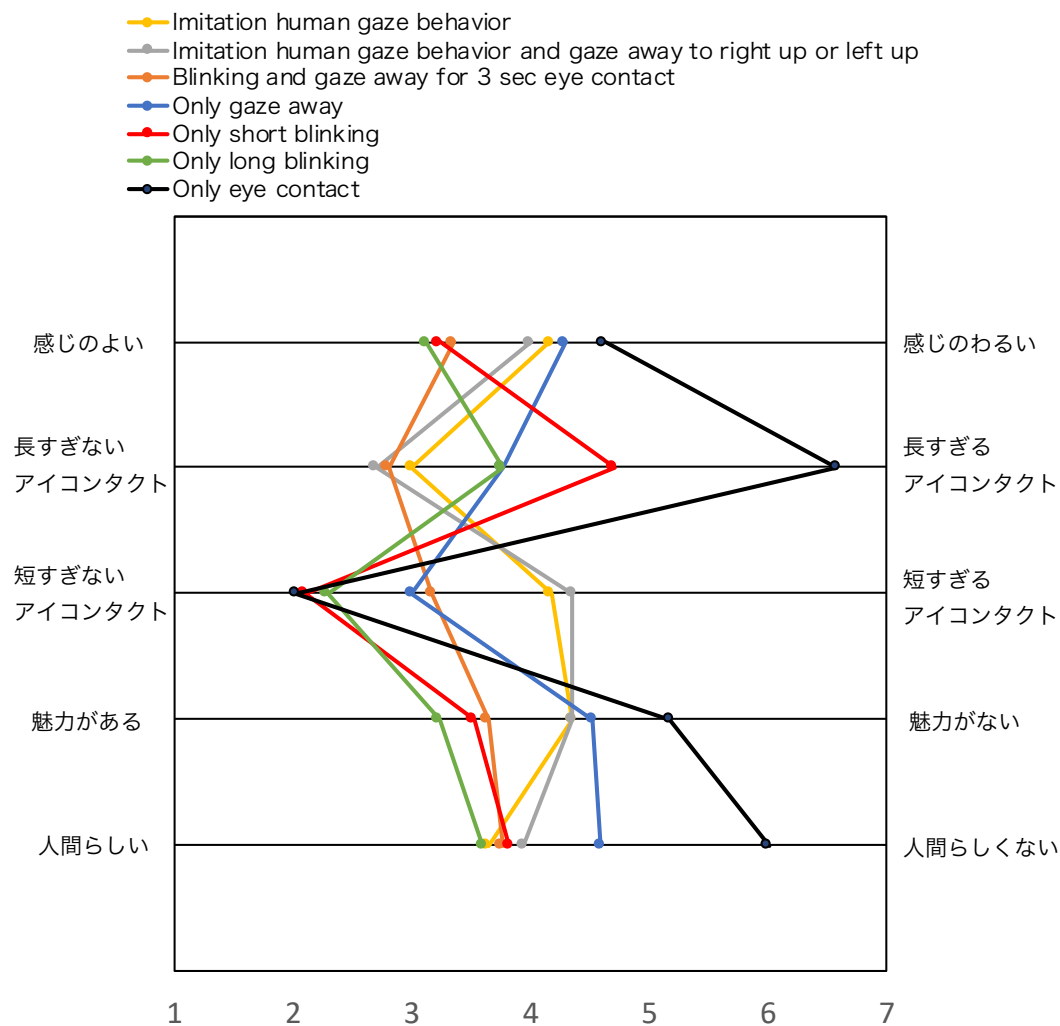


Fig. 3.4: Experiment result

3.2.4 考察

今回の実験では7つの視線パターンを比較した。人模倣パターンと固定された視線逸らしパターンは、逸らした視線の場所が異なっていたが、評価はほとんど似たような評価になっていた。このことから、仮説で立てた視線を逸らす場所が被験者に与える影響は今回の場合なかった。被験者からは人模倣パターンは会話に応じて考えながら話しているように見えたと回答された。固定された視線逸らしによる人模倣パターンでも同じような回答した被験者がいたので、視線逸らしの動作によってアンドロイドが考えているような印象を被験者に与えたと思われる。また、両者ともアイコンタクトの長さについて、評価指標項目Cで短すぎると評価されていた。この両者のアイコンタクトの長さはFig. 3.1の(b)では、3秒に達していない区間が存在しているので、被験者がアイコンタクトの長さの違いが知覚できたと言える。また、この2つの視線パターンでは、自信が無いように見える、迷っているように見えると回答した被験者がおり、評価指標項目Dで魅力がないと評価されている。これはアイコンタクトの長さが3秒に達していないことが原因だと思われる。人模倣パターンと固定された視線逸らしによる人模倣パターンは人間らしさを付与できたが、同時に魅力のなさをアンドロイドに付与したと考えられる。

瞬目と視線逸らしによる3秒のアイコンタクトパターンでは、アイコンタクトを3秒持続するように視線逸らしと瞬目が行われるため、感じのよさ、人間らしさ、魅力の3つの評価指標項目が高くなることを期待した。実際には感じのよさと魅力に関しては人模倣パターンと固定された視線逸らしによる人模倣パターンより高くなっていた。人間らしさにおいても、固定された視線逸らしによる人模倣パターンより評価が高くなっている。被験者の中では、このパターンは考えているように見えたと回答しており、瞬目と視線逸らしによる3秒のアイコンタクトパターンは視線逸らしと瞬目の実装によって人間のように考えているような印象を付加できたと考えられる。また、人模倣パターンと固定された人模倣パターンでは自信がないように見える、迷っているように見えると被験者が回答していたが、瞬目と視線逸らしによる3秒のアイコンタクトパターンでは被験者から似たような回答がなかった。そのため、3秒のアイコンタクトによって、自信が無いように見える、迷っているように見えるといったマイナスなイメージが払拭できたと考えられる。これらのことから、適切な間隔で視線逸らしを行うことで、アンドロイドが会話を考えている印象を被験者に与えられる。そして、3秒のアイコンタクトが実現できていないと、自信がないように見える、迷っているよう

に見えるといったマイナスな印象を被験者に与えられる可能性がある。

視線逸らしのみパターン、短い瞬目のみパターン、長い瞬目のみパターンでは3秒のアイコンタクトを行っており、アイコンタクトの解除の違いを比較する。視線逸らしのみパターンは瞬目を行っていないため、瞬目を行っていないことに違和感を感じ、評価が悪くなることが予想されていたが、アイコンタクトの長さの感じ方については、アイコンタクトの間隔が同じためこれら3つの視線パターンは似たような評価になると予想された。この3つの視線パターンの中では、視線逸らしのみパターンだけが感じのよさ、魅力と人間らしさの3つの評価が低くなっており予想通りだった。しかし、アイコンタクトの長さについては、短い瞬目のみパターンが長すぎると評価されていた。短い瞬目のみパターンと長い瞬目のみパターンは瞬目の際に瞼を下けている時間が違い、短い瞬目のみパターンの方が瞼を下けている時間が短い。そのため、短い瞬目のみパターンがアイコンタクトを解除していると感じず、感じるアイコンタクトの長さが長くなった。このことから、仮説で挙げていた「瞬目によって3秒のアイコンタクトが維持できる」は正しいと言えない。瞬目によって3秒のアイコンタクトを実現するには短い瞬目ではなく、長い瞬目によって実現できる。また、この3つの視線パターンでは、人模倣パターンと固定された視線逸らしによる人模倣パターンにおいて被験者が回答したアンドロイドが考えているような印象が被験者は感じなかった。しかし、感じのよさと魅力と人間らしさの評価が高く、長い瞬目のみパターンにおいては今回の実験では最大の評価となっている。短い瞬目のみパターンと長い瞬目のみパターンでは、話に集中しているように感じると被験者が回答している。そのため、視線逸らしをしなかったことで考えている印象を被験者に与えず、話に集中している印象を被験者に与えたと言える。また一方で、これら3つの視線パターンでは周期的にアンドロイドの視線を逸らしていたが、被験者の中にはこの周期的なアイコンタクトの外し方に気づき、人間らしくないと回答していた。特にその傾向が現れたのが、視線逸らしのみパターンであり人間らしさがこの3つの視線パターンで最も低い評価になった。

アイコンタクトのみパターンでは、アイコンタクトをずっと続けている。そのため、アイコンタクトの長さが3秒を超えていることと瞬目がないため、この視線パターンが最も印象が悪くなると予想される。評価を見てみると、評価指標項目A, D, Eの評価において最も悪い印象を受けており、予想していた結果になった。

また、全ての視線パターンにおいて人間らしさに関して高い評価を得られていない。これはアンドロイドがアイコンタクトの動作が不自然に見えたことが原因

だと考えられる．今回アンドロイドのアイコンタクトはある一か所を見つめる動作を続ける．実験中では被験者の顔を固定することで，人間とのアイコンタクトが行えるようにしたが，人間同士でアイコンタクトする場合には相手の顔を識別して，視線を相手の顔に向けている．そのため人間らしく感じてもらうにはアンドロイドが相手の顔を識別してアイコンタクトを行う必要がある．相手の顔の識別には顔検出器 [18] を用いることで，相手の顔を検出する．アンドロイドから見た人の顔の位置を検出することで，相手の顔に対してアイコンタクトをさせる．

今回の実験では視線を逸らす動作では眼球しか動かしていないので，顔の動きが少ないことが不気味に感じられたという被験者の意見もあった．視線を動かす際には首の操作を追加する必要がある．この首の操作に関しては，モーションキャプチャー等で人間の動きを測定し，自然に見える視線逸らし動作を行わせることで，人間らしく感じられる視線逸らしを行う．

4. 結論

4.1 本論文のまとめ

本論文では、アンドロイドによる人の視線と瞬目の再現できるシステムを構築し、アイコンタクト中の視線と瞬目の影響を調べた。提案手法ではウェアラブルデバイスによる人間の視線の測定から、それぞれアイコンタクト判定、瞬目判定、口の開口動作判定を行った。アイコンタクト判定では、視線計測カメラで得られた座標と OpenFace の顔認識を用いていることで、アイコンタクトをしていたか、視線を外していたか自動的に判定した。瞬目判定では、視線計測カメラで撮影した瞳の虹彩の大きさから瞬目の自動判定を行った。口の開口動作判定では、OpenFace によって識別した顔の要素から口の大きさを判定した。この三つの判定方法からアンドロイドを操作した。アンドロイドは口と視線が操作され、判定された長さだけアイコンタクトと瞬目と口の開口動作を行った。事前実験では、アイコンタクトの長さが3秒に達しなかったため、人を模倣したものが良い印象を与えたとは言えない結果になった。

この事前実験の結果から「視線逸らしの場所が被験者に与える印象が変わらない」、「瞬目によって3秒のアイコンタクトが維持できる」という二つの仮説を立て、この仮説を検証すべく評価実験を行った。7つの異なる視線パターンで印象評価実験を行った結果、「視線逸らしの場所が被験者に与える印象が変わらない」ことが確認できた。「瞬目によって3秒のアイコンタクトが維持できる」については、瞬目の長さによって被験者が感じるアイコンタクトの長さが変化することが確認できた。特に短い瞬目では、アイコンタクトの長さが3秒以上に感じてしまうことがあることを確認できた。この評価実験では、人の視線を模倣した視線パターンでは、被験者に話を考え、迷っているような印象を被験者に与える結果となり、魅力的に見える視線パターンには人間の視線を模倣する必要がないことがわかった。

4.2 今後の課題と展望

今後の課題としては、今回の提案手法によるアプローチではアイコンタクトを行う際に相手の顔を識別させることが出来なかった。そのため、人間の顔を固定した状態で実験を行い、被験者に負担をかけてしまった。自然なアイコンタクトを行うために顔検出器によって相手の顔を識別して、視線を動かすことが必要に

なる。また、今回の提案手法によるアプローチでは視線計測カメラで人の顔の動きのみを計測したため人間の体の動きが測定できなかった。アンドロイドが会話中の動作を模倣しても、頭のみが動いた。評価実験では頭だけが動くことに違和感を感じた被験者もいた。そのため、モーションキャプチャを用いて会話している人間の体の動きを測定する必要がある。また、本実験では被験者を男性に限定して実験を行った。女性とアンドロイドの視線模倣による会話を行った場合には、本実験で男性が回答した印象とは別の印象を女性に与える可能性がある。

謝辞

本論文は筆者が奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 博士前期課程在学中にロボティクス研究室で行った研究をまとめたものである。

本研究を遂行するにあたり，貴重なご指導とご助言を賜りました本研究科の小笠原司教授に深く感謝致します。

論文執筆にあたり，丁寧なご検討，ご教示をいただきました萩田紀博教授に深く御礼申し上げます。

本研究の遂行，論文執筆などにおいて多くのご助言，ご指導を頂きました本研究科の高松淳准教授に深く感謝致します。

研究方針や論文執筆などにおいて多くのご助言，ご指導を頂きました本研究科のGARCIA RICARDEZ Gustavo Alfonso 助教に深く感謝致します。

論文執筆などにおいて多くのご助言，ご指導を頂きました本研究科の丁明助教に深く感謝致します。

人間の視線に関するアドバイスを教えて頂きました京都大学の中澤篤志准教授に深く感謝致します。

事務処理の面で様々なサポートをして頂きました本研究室秘書の大脇美千代氏に深く感謝致します。

本研究の実験遂行にあたり，様々な議論やご助言を頂いた本研究室インタラクショングループの湯口彰重氏に深く感謝致します。

本研究の遂行にあたり，様々な議論やご助言を頂いた先輩，実験の被験者に協力して下さった同期や後輩達には本当にお世話になりました。

最後に，長年の学生生活を支えて頂いた両親，家族，そして友人達に深く感謝致します。

付録

A. 先行実験

A.1 視線解析による人間の視線模倣

本章では、視線逸らしを実装する前に行った人間のアイコンタクトと瞬目の判定手法の結果からアイコンタクトと瞬目をアンドロイドで再現する手法について説明する。

A.1.1 人間のアイコンタクトと瞬目のタイミング解析

人間の視点を2章で使用した視線計測カメラによって測定した。測定したデータから装着者のアイコンタクト判定と瞬目判定を行った。視線計測カメラを用いることで、装着者の視点は座標として表される。この座標が人の顔の映像中の位置と一致しているかの判定によって、装着者の視点が人の顔を見ているか、見ていないか判定を行う。具体的にはOpenFace [18] による顔検出を用いることで、映像中のどの範囲に人の顔があるかを推定する。視点の座標の縦方向と横方向でそれぞれ最大値と最小値を検出し、座標の最大値と最小値を頂点とした四角形を算出する。この四角形の中に視点の座標が含まれているかの判定をすることでアイコンタクトの自動判定を行う。これにより、視線計測カメラで取得した装着者の視点の映像から自動的に装着者の視線が人の顔を見ているか、すなわちアイコンタクトをしているのか判定ができる。

瞬目の判定には視線計測カメラで撮影した眼の画像から判定する。視線計測カメラで撮影された装着者の虹彩の大きさから瞬目の判定を行う。眼の画像内の虹彩の大きさが十分に見えていれば瞬目してないと判定し、虹彩の大きさが半分以下に見えている場合に瞬目をしていると判定する。上記のアイコンタクト判定と瞬目判定の結果を Fig. A.1 に示す。

A.1.2 アンドロイドでの視線再現方法

アイコンタクトと瞬目を再現するために、アンドロイドの瞼と眼球を制御する。アンドロイドで再現する動作は、判定手法で得られる計4種類の「アイコンタクトをする」、「アイコンタクトをしない」、「瞬目をする」、「瞬目をしない」とする。「アイコンタクトをする」の場合では、アンドロイドの瞳が正面方向に向くよう

に眼球を制御する。「アイコンタクトをしない」の場合では、アンドロイドの瞳が左端に移動するように眼球を制御する。「瞬目をする」の場合では、アンドロイドの瞼を下げる方向に制御する。「瞬目をしない」の場合では、アンドロイドの瞼を上げる方向に制御する。アンドロイドの顔の状態を Fig. A.2 に示す。

A.2 視線模倣によるアンドロイドの印象評価実験

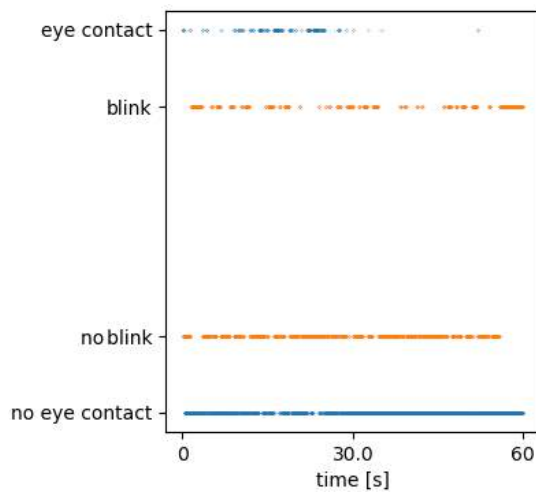
本節では、人間のアイコンタクトと瞬目を模倣したシステムを実装したアンドロイドを用いて、人間相手に発話を行った印象評価実験について述べる。

A.2.1 実験目的

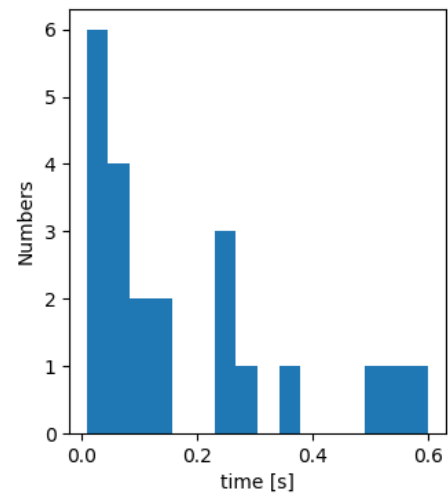
アンドロイドが人間のアイコンタクトと瞬目の模倣をした時、人間がどのような印象を受けるか検証する。人間の視線を再現したため、模倣システムの印象が一番よくなることが期待される。

A.2.2 実験条件

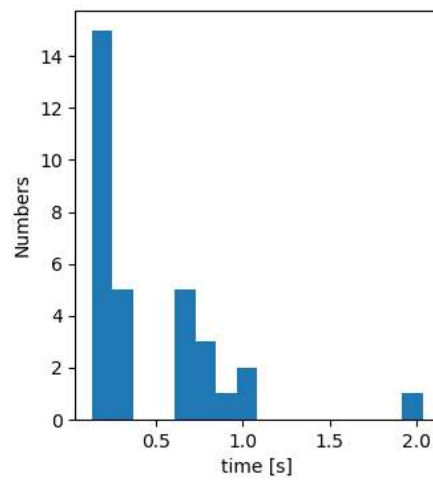
1 分間の話をアンドロイドに話し手として話をさせる。話の内容は過去の研究の紹介をしてもらい、音声は人間の視線を計測した時に録音したものを用了。20 代の男性 10 人に被験者として参加してもらった。その時の様子を Fig. A.3 に示す。



(a) Eye contact and blink



(b) Histogram of eye contact



(c) Histogram of blinking time

Fig. A.1: Analysis result for graph

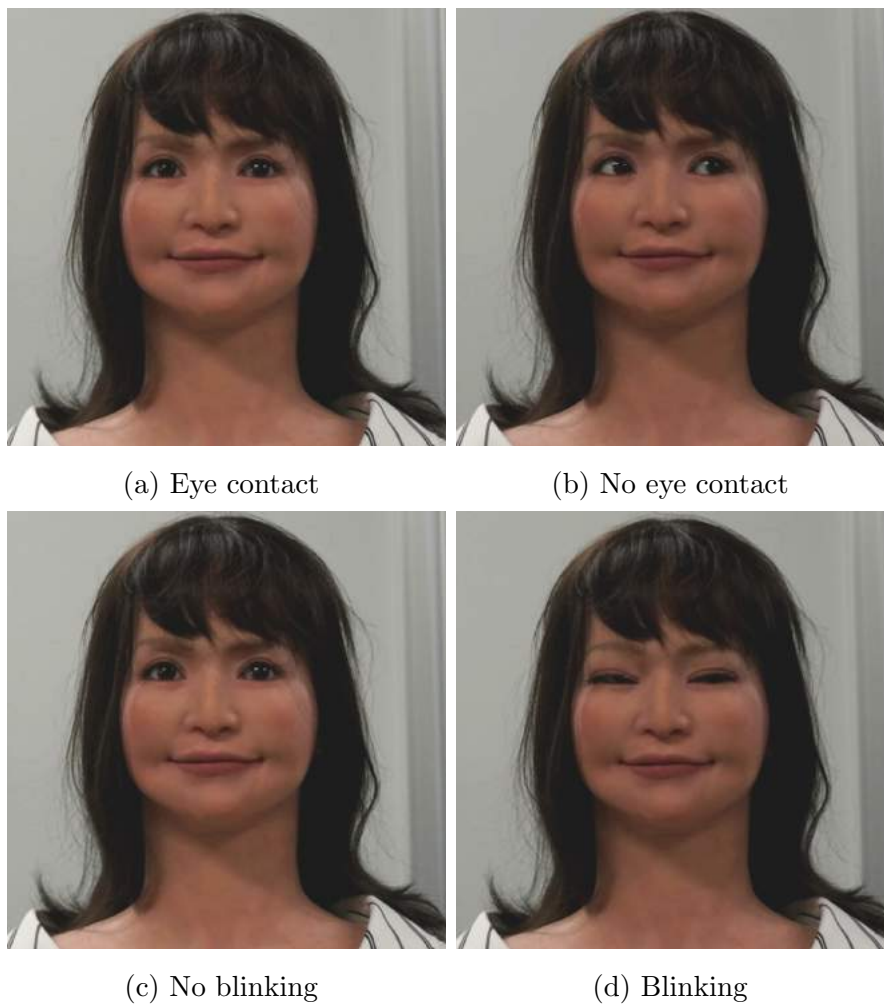


Fig. A.2: Android's blinking expression and gaze expression

アンドロイドのアイコンタクトと瞬目のパターンを以下の4種類で行う。

- (1) 提案システムで再現した瞬目とアイコンタクト
- (2) 3秒に1回ランダムな瞬目とアイコンタクト
- (3) 会話のブレイクポイントでの瞬目とアイコンタクト
- (4) 瞬目がない状態でのアイコンタクト

視線パターン (1) のみ視線をそらす動きが入り、視線パターン (2) から (4) はアイコンタクトを続ける。視線パターン (2) は3秒に1回ランダムに瞬目を行うため、3秒以上アイコンタクトを続ける可能性がある。視線パターン (3) は Tatsukawa らによる会話時のインタラクション相手としての人間の瞬目をアンドロイドで同調する研究 [8] に基づき、会話のブレイクポイントに瞬目をするように外部から手動で入力したものである。視線パターン (4) は瞬目をせずにアイコンタクトをし続ける。

この4種類のアイコンタクトと瞬目のパターンで聞き手役としての被験者に話を聞いてもらいどのような印象を受けるか以下の5つの指標でSD法にてアンケートを行った。各項目 A, B, C, D, E に関して7段階の評価をしてもらった。例えばアンドロイドのアイコンタクトと瞬目がやさしく感じた場合には A を 1, こわく感じた場合には A を 7 と答えてもらった。

- A: やさしい (1) — こわい (7)
- B: 感じの良い (1) — 感じの悪い (7)
- C: 親しみやすい (1) — 親しみにくい (7)
- D: かわいらしい (1) — にくらしい (7)
- E: 人間的な (1) — 機械的な (7)

A.2.3 実験結果

被験者 10 人の評価の平均値を算出したものを Fig. A.4 に示す。黄色の線が視線パターン (1), 灰色の線が視線パターン (2), 橙色の線が視線パターン (3), 青色の線が視線パターン (4) を示している。この評価を見ると、人のアイコンタ

クトと瞬目を再現した視線パターン（1）は他の方法と比べて人間らしいとは言えない結果になっている。しかし、視線パターン（1）と視線パターン（4）を比べると評価指標項目 A のやさしい（1）－こわい（7）では視線パターン（4）の方がこわく感じているが、評価指標項目 B の感じの良い（1）－感じの悪い（7）になると視線パターン（1）の方が感じを悪く感じている結果になった。



Fig. A.3: A subject listen to an android's talk

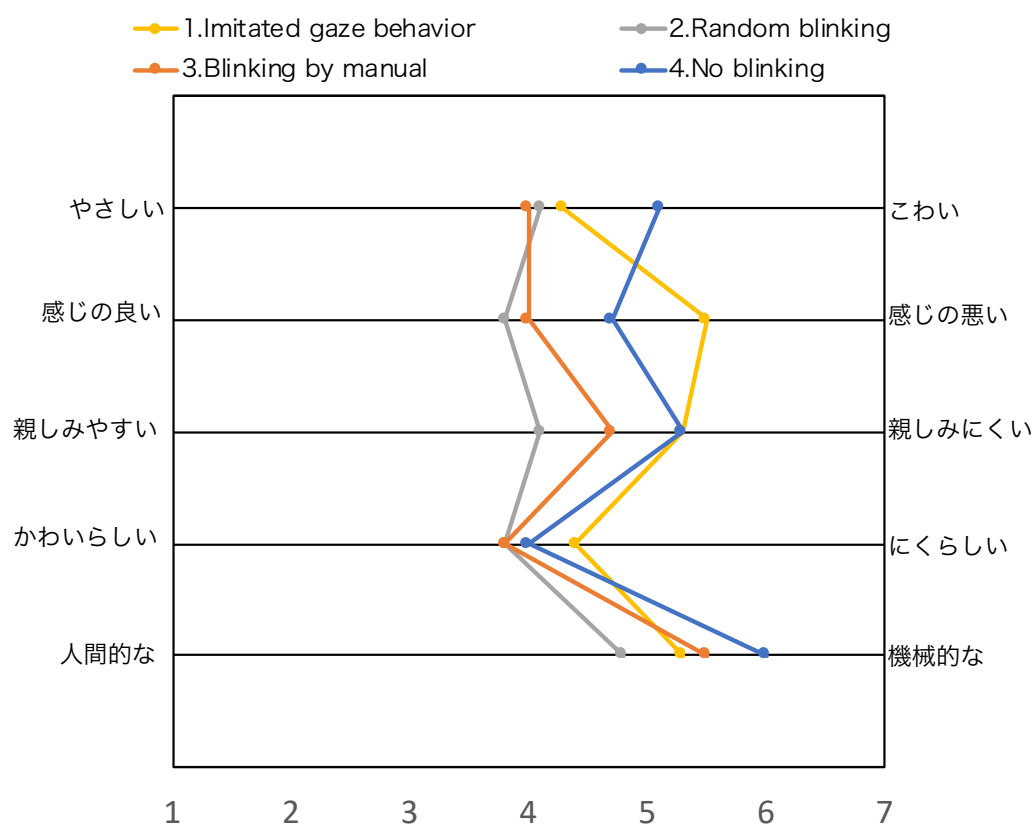


Fig. A.4: Result of questionnaire

A.2.4 考察

視線模倣システムによるアイコンタクトと瞬目を模倣した視線パターンは他の視線パターンと比べ、人間らしいとは感じられなかったと回答した人が多くいた。

視線パターン（1）はアイコンタクトしてないときには眼球を Fig. A.2 の (b) のように左にずらしているが、このずらし方に違和感を抱く人が多くいた。他の手法では視線を逸らしておらずこの手法のみ視線を逸らしていた。このことから、この視線のそらし方が不自然だったため、人間らしさが損なわれたと思われる。今回の実験では口を動かさず行ったため、アンドロイドが口を閉じている状態での会話に違和感があると答えた人が多数いた。今後、アンドロイドの口の開口動作を実装することで違和感をなくすことが求められる、もしくは口を隠した状態での実験を行い、視線に対して注意を向かせることで、どの視線パターンがより人間らしく感じるか議論できると考えられる。

また、評価指標項目 A のやさしい（1）－こわい（7）と評価指標項目 B の感じの良い（1）－感じの悪い（7）では、視線パターン（1）と視線パターン（4）での提案手法による模倣した視線パターン（1）と瞬目の無い視線パターン（4）に対する印象結果の傾向が逆転した。瞬目の無い視線パターン（4）は評価指標項目 A においてこわいという印象を受けていることから、瞬目の有用性を示唆できるのではないかなと言える。しかし、評価指標項目 B においては提案手法によるアイコンタクトと瞬目を模倣した視線パターン（1）の方が感じが悪いという印象を受けたことから、模倣した被験者の視線パターンの個性の影響を受けている可能性があるのではないかと考えている。今回の実験で用いた視線パターンは、アイコンタクトの解析結果である Fig. A.1 の (b) より会話中のアイコンタクトが少ないものだったと言える。ゆえに、そのアイコンタクトのタイミングの少なさから、評価指標項目 B の感じの悪さの印象を増加させた可能性がある。

参考文献

- [1] 西尾修一, 石黒浩: “人として人とつながるロボット研究,” 電子情報通信学会誌, Vol. 91, No. 5, pp. 411-416, 2008.
- [2] “SoftBank robot,” <https://www.softbank.jp/robot/consumer/products/>
- [3] “NAO ヒューマノイドロボット - JTP 日本サード・パーティ株式会社,” <https://www.jtp.co.jp/services/robotics/nao/>
- [4] S. Krach, F. Hegel, B. Wrede, G. Sagerer, F. Binkofski, and T. Kircher: “Can Machines Think? Interaction and Perspective Taking with Robots Investigated via fMRI,” *PLOS ONE*, Vol. 3, No. 7, 2008.
- [5] T. Komatsu and S. Yamada: “Adaption gap hypothesis: How differences between users’ expected and perceived agent functions affect their subjective impression,” *Journal of Systemics, Cybernetics and Informatics*, Vol. 9, No. 1, pp. 67-74, 2011.
- [6] C. L. Kleinke: “Gaze and Eye Contact: A Research Review,” *Psychological Bulletin*, Vol. 100, No. 1, pp. 78-100, 1986.
- [7] M. Shimada, Y. Yoshikawa, M. Asada, N. Saiwaki, and H. Ishiguro: “Effects of Observing Eye Contact between a Robot and Another Person,” *International Journal of Social Robotics*, Vol. 3, No. 2, pp. 143-154, 2011.
- [8] K. Tatsukawa, T. Nakano, H. Ishiguro, and Y. Yoshikawa: “Eyeblink Synchrony in Multimodal Human-Android Interaction,” *Scientific reports* 6, Article number: 39718, 2016.
- [9] N. Binetti, C. Harrison, A. Coutrot, A. Johnston, and I. Mareschal: “Pupil dilation as an index of preferred mutual gaze duration,” *Royal Society Open*

Science, Vol. 3, No. 7, 2016.

- [10] T. Nakano, and S. Kitazawa: “Eyeblick entrainment at breakpoints of speech,” *Experimental Brain Research*, Vol. 205, pp. 577-581, 2010.
- [11] A. Senju, and M. H. Johnson: “The eye contact effect: mechanisms and development,” *Trends in Cognitive Sciences*, Vol. 13, No.3, pp. 127-134, 2009.
- [12] J. A. Stern, L. C. Walrath, and R. Goldstein: “The Endogenous Eyeblick,” *Psychophysiology*, 21, pp. 22-33, 1984.
- [13] 津田兼六, 鈴木直人: “主体的興味が瞬目率と体動の生起頻度に及ぼす影響—見本評定法による主観的興味の統制—,” *Japanese Journal of Physiological Psychology and Psychophysiology*, Vol. 8, No.1, pp. 31-37, 1990.
- [14] 高野枝里, 松本吉央, 中村泰, 石黒浩, 菅本一臣: “アンドロイドの陪席によるコミュニケーションへの心理的影響,” *Conference on Robotics and Mechanics*, No. 08-4, pp. 1-4, 2008.
- [15] 中村哲: “話し言葉の音声翻訳技術,” 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 96, No. 11, pp. 865-873, 2013.
- [16] 高橋克也: “マルチモーダルインタラクション分析の基礎と現代的課題,” 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 131, No. 404, pp. 37-42, 2014.
- [17] “pupil docs,” <https://docs.pupil-labs.com/>.
- [18] T. Baltrusaitis, P. Robinson, and L-P. Morency: “OpenFace: An open source facial behavior analysis toolkit,” *Proc. of the 2016 IEEE Winter Conference*

on Applications of Computer Vision, pp. 1-10, 2016.

- [19] Ponder, E., and Kennedy, W. P. :“On the actof blinking,” *Quart, J. Exp. Psysiol.* No.18, pp. 89-110, 1927.

- [20] A. Yuguchi, G. A. Garcia Ricardez, M. Ding, J. Takamatsu, and T. Ogasawara: “Gaze Calibration for Human-Android Eye Contact Using a Single Camera,” *Proc. of the 2017 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO 2017)*, pp. 883-888, 2017.