

平成 25 年度 公立はこだて未来大学卒業論文

ヒューマノイドにおける視線表現の検討

清野 裕太

情報アーキテクチャ学科 b1010011

指導教員 迎山 和司

提出日 2014 年 1 月 31 日

Examination of gaze representation in humanoid

by

Yuta SEINO

BA Thesis at Future University Hakodate, 2014

Advisor: Kazushi MUKAIYAMA

Department of Media Architecture

Future University Hakodate

January 31, 2014

Abstract

The purpose of this study is to develop a gaze representation that can humans feel a sense of affinity to the humanoid.

As advances in robot technology in recent years, the development of communication robots that activities while involved with humans in place of daily life are expected. In order to materialize a smooth communication between human and communication robot that humans have a sense of closeness to the robot is important. However, many of the communication robots with human-like appearance, has embraced the negative impression called "The Uncanny Valley".

In this study, we examined a gaze representation by projecting the animation of eye movement to parts of the humanoid face. We evaluated the implementation with a focus on four points blink rate, eye operation, eye texture, interaction. As a result, it was possible to develop a gaze representation to improve the effect of friendliness.

From the viewpoint of affinity with the humanoid, in the future, it is necessary to consider the factors other than the gaze representation that may affect the impression formed by the mouth and the eyebrows, neck, and body.

Keywords: humanoid, gaze representation, affinity

概要:

本研究では、ヒューマノイドの視線表現シミュレーションを行う顔モデルを制作し、人間がヒューマノイドに親近感を抱くことの出来る視線表現の検討を行った。

近年のロボット技術の進歩につれて、日常生活の場で人間と関わりながら活動するコミュニケーションロボットの開発が期待されている。コミュニケーションロボットと人間との円滑なコミュニケーションを成立させるためには、人間がロボットに対して親近感を持つことが重要である。しかし、人間に近い外観を持つコミュニケーションロボットの多くは、不気味の谷と呼ばれる否定的な印象を抱かれている。

本研究の目的は、人間がヒューマノイドに親近感を抱くことの出来る視線表現の開発である。視線表現は人間の印象形成に与える影響が大きいという知見が得られているため、視線表現の改善が親近感の獲得に繋がると考えた。

視線表現について、瞬目、眼球動作、眼球質感、インタラクション性の4つに着目し、実装・検討を行った。印象評定実験の結果、これら4つの視線表現に関する項目を改善することが、ヒューマノイドの親近感獲得に一定の効果を上げるという知見が得られた。

ヒューマノイドの親近感獲得という観点では、今後、眉や口、首、体など視線表現以外の部分で印象形成に影響を与える可能性のある要素の制作・検討を行う必要がある。

キーワード: ヒューマノイド, 視線表現, 親近感

目次

第1章	序論	1
1.1	背景	1
1.2	目的	2
第2章	関連研究	3
2.1	人間と相互作用する自律型ロボット Robovie	3
2.2	エンターテインメントロボットによる人物検出システム	3
2.3	人の印象形成におけるキャラクタ瞬目率の影響	5
第3章	視線表現シミュレーションモデル	6
3.1	概要	6
3.2	視線表現の検討	7
3.2.1	瞬目率	7
3.2.2	眼球動作	7
3.2.3	眼球質感	7
3.2.4	インタラクション性	8
3.3	実装	8
3.3.1	ハードウェア	8
3.3.2	ソフトウェア	11
第4章	実験	15
4.1	実験概要	15
4.2	実験目的	15
4.3	実験方法	15
4.3.1	刺激モデル	15
4.3.2	被験者	16
4.3.3	手続き	16
第5章	結果と考察	17
5.1	瞬目の有無による印象評定	17
5.1.1	結果	17
5.1.2	考察	17
5.2	眼球動作の違いによる印象評定	18
5.2.1	結果	18
5.2.2	考察	18

5.3	眼球質感の違いによる印象評定	19
5.3.1	結果	19
5.3.2	考察	19
5.4	アイコンタクトの有無による印象評定	20
5.4.1	結果	20
5.4.2	考察	21
第6章	結論と展望	22
6.1	結論	22
6.2	今後の課題	22
6.3	まとめ	22
	参考文献	25

第1章 序論

1.1 背景

近年のロボット技術の進歩につれて、日常生活の場で人間と関わりながら活動するロボットシステムの開発が期待されている。日常生活の中で人間とコミュニケーションしながら協調して動作するロボットは、コミュニケーションロボットと呼ばれ、Robovie[1]など対話型ロボットの研究開発が進んでいる。工場などで動作する産業用ロボットは、限られた環境で特定のタスクをこなすだけの機械的な存在である。一方で、コミュニケーションロボットにおいては、パートナーとして人間の生活空間の中で活動するために、人間とロボットの間に円滑なコミュニケーションを成立させることが重要である。円滑なコミュニケーションを成立させるためには、人間がロボットに対して親近感を持つことが必要である。しかし、人間に近い外観を持つコミュニケーションロボット(ヒューマノイド)の多くは、不気味の谷(図1.1)[2]と呼ばれる人間の感情的反応に関する問題を抱えており、人間がロボットに対して親近感を持つのを妨げている。これは、ロボットの写実的リアリティが高すぎる場合に、非人間的な特徴が目立つようになり、否定的な印象を抱かれるというものである。不気味の谷を避けるためには、リアリティを追求せず、より強いデフォルメを行ったカートゥーンキャラクターを用いる方法があるが、人間に近い外観を持つヒューマノイドが抱える問題の根本的な解決にはなっていない。

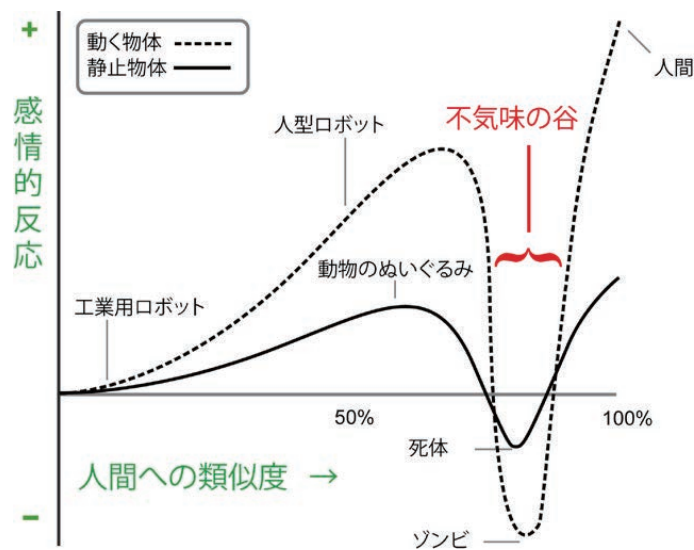


図 1.1: 不気味の谷 [2]

1.2 目的

本研究の目的は、人間がヒューマノイドに親近感を抱くことの出来る視線表現の開発である。親近感には、外観や、非言語的行動による感情表出などの視覚情報が大きく関わっている。その中でも、目の表現、視線による意図表出が非言語コミュニケーションにおける印象形成に与える影響は非常に大きいという知見が得られている [3]。視線は、無意識のうちに多くの情報を伝える重要な伝達経路であり、視線量による好意の表出や、相互理解を測るアイコンタクトなど、一対一の対人関係で効果的に働いている [4]。視線を用いて心理表出を行うロボットに関しては、眼球ロボット [5] や、人物追従 [6] といった研究が行われている。本研究では、印象形成に与える影響が大きいという知見が得られている視線表現が、不気味の谷による嫌悪感を引き起こす原因の一つになっていると考え、人間がヒューマノイドに親近感を抱くことの出来る視線表現の開発を目的として、視線表現シミュレーションを行う顔モデルを制作する。

第2章 関連研究

親近感の獲得に関しては、人間的な印象を与えるロボットアームの動作 [7] や、音声対話ロボット [8]、相互作用モジュールを持つヒューマノイド Robovie、エンターテインメントロボットによる人物検出システム [9] など、様々な研究がなされている。また、コンピュータグラフィックスの分野では、瞬目率や視線制御の研究がなされ、目の表現を向上することで親近感の獲得に一定の効果を上げている [10][11]。しかし、これらの研究はロボットの特定の機能・動作に注目したものや、ロボットとしての実体を持たないコンピュータ上でのシミュレーション結果であり、実体を持つロボットの見かけの問題を評価するものではない。以下に、本研究と関連する先行研究の概要を記述する。

2.1 人間と相互作用する自律型ロボット Robovie

Robovie(図 2.1) は、コミュニケーション機能に重点を置き、擬人化しやすい外見を持つヒューマノイドロボットである。人間に威圧感を与えないために人間よりもひとまわり以上小さいサイズとなるように設計されている。Robovie プロジェクトでは、ロボットが日常社会に参加するために必要となる人とのコミュニケーション機能をハードウェア・ソフトウェア両面から研究しており、身振り・発話・スキンシップなど様々な手段で、人と違和感の無いコミュニケーションを実現することを目的としている。人間とロボットとのコミュニケーションにおいては、人間の行動に即座に応じるといった即応的な行動とコミュニケーションのコンテキストを保持した計画的な行動の双方が必要とされる。Robovie では、両方の行動が容易に実現できる状況依存モジュールを用いた開発手法に基づいて行動制御プログラムを開発している。

2.2 エンターテインメントロボットによる人物検出システム

エンターテインメントロボットによる人物検出システムでは、両眼にアクティブカメラを搭載したエンターテインメントロボット(図 2.2)による人物検出システムの構築を行っている。人間同士の対話的コミュニケーションを考えた場合、最初に行われるのはお互いが視線を向けることであると考え、視線を向ける行動による親近感のあるインタラクティブなエンターテインメントロボット開発を目指している。正面顔画像の4方向面特徴を使用したステレオマッチングにより奥行き情報を計測し、正規化された画像を用いて人物の検出を行う。



図 2.1: 自律型ロボット Robovie[1]

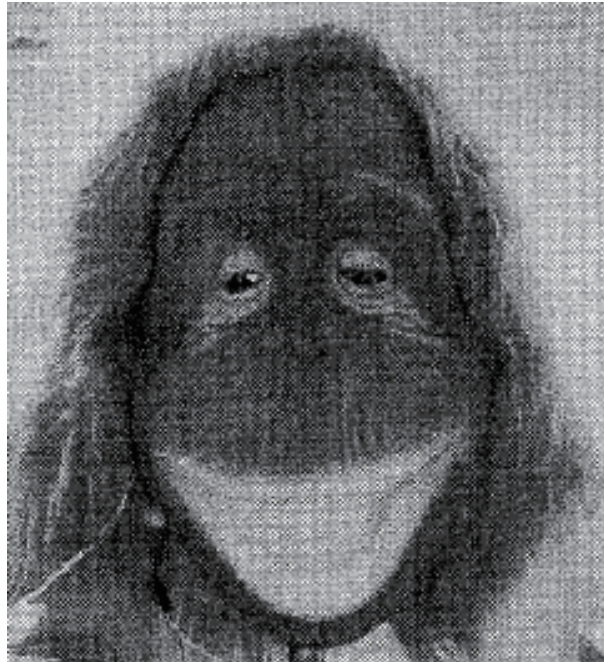


図 2.2: エンターテインメントロボットの外観 [9]

2.3 人の印象形成におけるキャラクタ瞬目率の影響

印象形成における瞬目率の影響を評価した研究では、キャラクタの瞬目率を制御することによってキャラクタの魅力や心理状態の表現を操作する手法を検討し、瞬目に関するキャラクタ設計指針を提案している。瞬目率とは、1分間当たりの瞬目の回数を表す。中程度のリアリティを持つキャラクタモデル(図2.3)とカートゥーンキャラクタ(図2.4)を用いて、キャラクタ瞬目率を変化させた場合の観察者の印象を印象評定実験によって評価している。結果、18blinks/minの瞬目率が最も親近性のあるキャラクタであると判断され、この傾向は人型キャラクタにおいて顕著であった。また、36blinks/minなどの高頻度の瞬目を行うキャラクタは活発でない印象を与え、9blinks/minといった低頻度の瞬目では知的な印象を与えることが分かった。

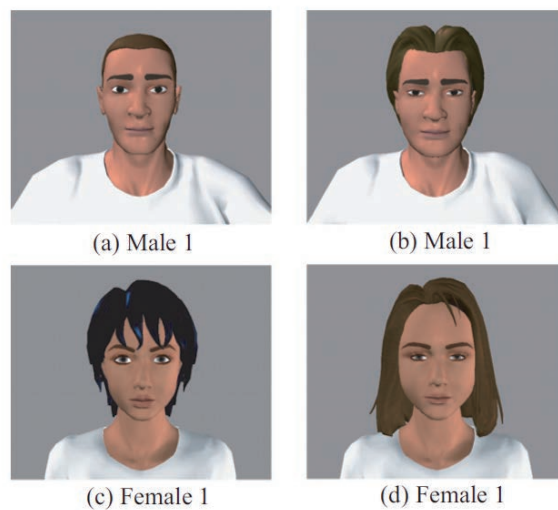


図 2.3: 中程度のリアリティを持つキャラクタモデル [10]



図 2.4: カートゥーンキャラクタ [10]

第3章 視線表現シミュレーションモデル

3.1 概要

人間がヒューマノイドに親近感を抱くことの出来る視線表現の検討のため、視線表現シミュレーションを行う顔モデルを制作した。本研究では、人間と似た姿形を持つ顔パーツに、眼球運動のアニメーションを投影することによって、視線表現のシミュレーションと検討を行う。視線表現については、瞬目率、眼球動作、眼球質感、インタラクション性の4つに着目し、実装・検討を行った。顔モデルは、眼球運動のアニメーションを投影する顔パーツとプロジェクター、顔認識を行う USB カメラによって構成されている。実装は、ヒューマノイドの顔となるパーツを制作するハードウェア部分、眼球運動のアニメーションを制作・制御するソフトウェア部分の2つに分けて行った。全体イメージを図 3.1 に示す。



図 3.1: 全体イメージ

3.2 視線表現の検討

視線表現の検討には、瞬目率、眼球動作、眼球質感、インタラクション性の4つに着目し、実装を行った。

3.2.1 瞬目率

先行研究に従い、18blinks/minの瞬目率のアニメーションを実装した[10]。瞬目の発生は、注意や興味、ストレスなどの心理的要因に影響されるといわれ、人の心理状態を反映しやすいという点から、主に精神心理学で研究対象とされてきた。瞬目という非言語の情報伝達は、キャラクタを介したコミュニケーションにおいても、印象形成に影響を与えると考えられ、先行研究により、CGキャラクタの瞬目率が被験者の印象形成にどのように影響を与えるかが調査された。その結果、18blinks/minの瞬目率が最も親近感のあるキャラクタであると報告されている。

3.2.2 眼球動作

眼球動作は、速度や回転軸など、人の視線運動の動作に従って実装した。コンピュータグラフィックスの分野では、キャラクタの視線アニメーションによる印象操作の研究が行われており、人の視線運動のモデルによる視線制御は、キャラクタの活気や信頼性を向上させると報告されている[11]。

3.2.3 眼球質感

眼球質感は、実際の人間の眼球イメージをテクスチャとして適用した(図3.2)。眼球質感のリアリティは、キャラクタの活気を表現する上で、非常に重要であると考えられる。リアリティの無い質感設定では、死体が動いているような印象を与え、親近感を低下させる可能性がある。ビデオゲームにおけるリアルタイムグラフィック技術の研究では、不気味の谷の克服を目的として、現実的な目のレンダリング手法の開発が進められている。

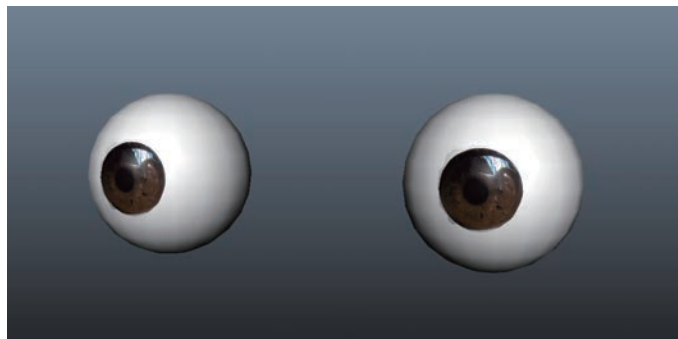


図 3.2: 眼球イメージテクスチャ

3.2.4 インタラクション性

現実的な視線表現, ロボットとの好意的なコミュニケーションを実現するため, 観察者の顔を検出し, 顔モデルと観察者の位置関係に応じたインタラクションを実装した. 視線量による好意の表出や, 相互理解を測るためのアイコンタクトを行い, 観察者のロボットに対する親近感の獲得を狙いとする. 先行研究から, アイコンタクトは通常好印象をもたらすと報告されている [12].

3.3 実装

3.3.1 ハードウェア

顔モデルを構成するハードウェアについて説明する.

顔モデルの制作

顔モデルは, 3D アニメーションソフトウェア「Autodesk Maya」を使用してリアリティを持つ人型 3D モデル (女) を制作し, 3D プリンターで造形した (図 3.3). 3D プリンターは Stratasys 社の「uPrint」を用いた. 眼球運動のアニメーションを投影するため, 顔モデルの眼孔部には半透明のメンディングテープを貼付した. 本研究では, 人間がヒューマノイドに親近感を抱くことの出来る視線表現の開発を目的としているため, 人間と同様の姿形を持つ人型モデルを選択した. また, 子供を含む万人に受け入れられやすいという観点から, 女性モデルを選択した.



図 3.3: 人型 3D モデル (左) と出力結果 (右)

機材構成

顔認識を行うための USB カメラと、顔モデルに映像を投影するためのプロジェクターを用いた。また、プログラムの制御と USB カメラの給電にはラップトップ PC を用いた。プロジェクターは、マイクロビジョン社製の「SHOWWX+ Laser Pico Projector」を用いた。PC の VGA 端子と接続するため、プロジェクターには SHOWWX+用 VGA アダプタを接続した。USB カメラは、ロジクール社製の「HD Pro Webcam C920t」を用いた。全体の機材構成を図 3.4 に示す。

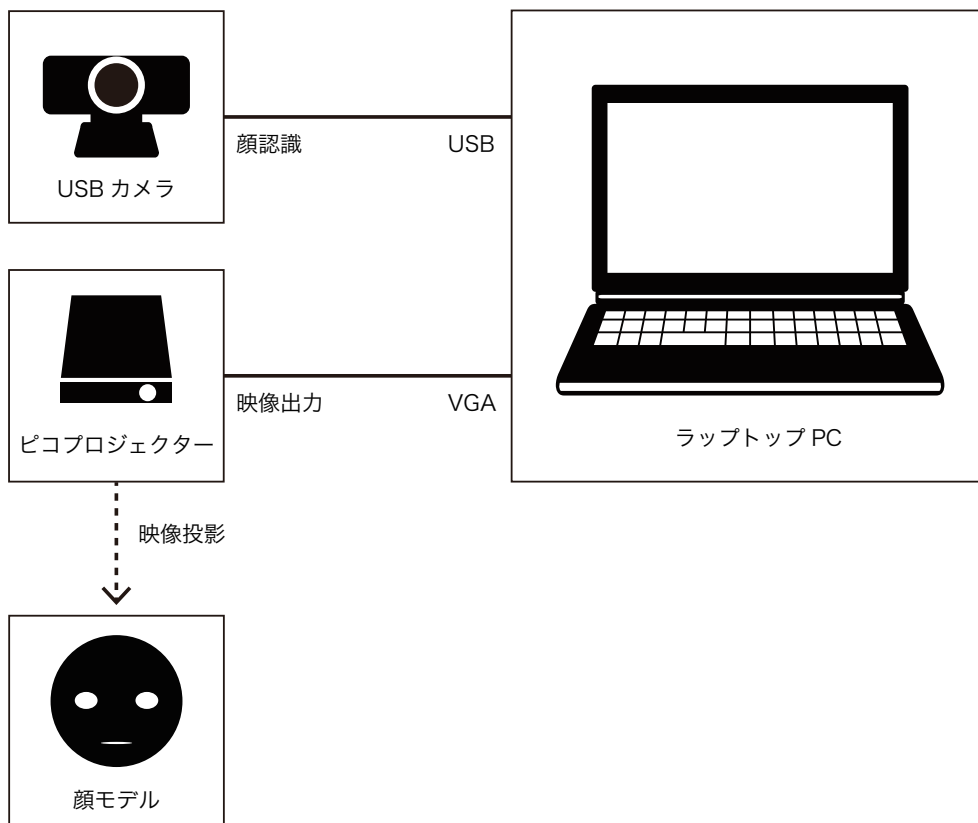


図 3.4: 全体の機材構成

機材設置

プロジェクターは顔モデル後方に設置し、顔モデルの内側から映像を投影した。投影する映像位置を安定させるため、顔モデルとプロジェクターの位置を固定した。固定器具は、3DCAD ソフト「Autodesk 123D Design」を使用して設計した(図 3.5)。設計した 3D モデルを、3D Systems 社の 3D プリンター「Cube」を用いて出力した。機材設置図を図 3.6 に示す。

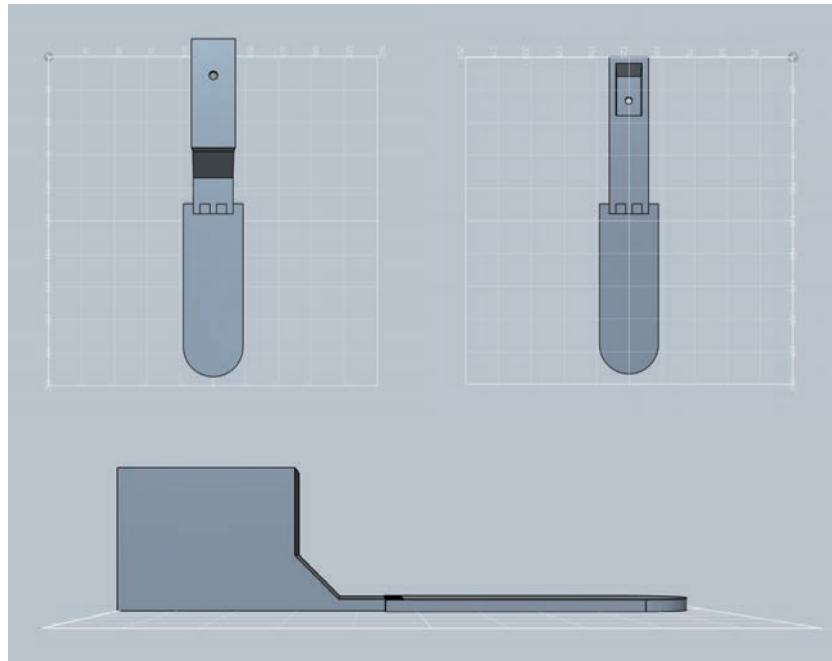


図 3.5: 固定器具設計図



図 3.6: 機材設置図

3.3.2 ソフトウェア

顔モデルを構成するソフトウェアについて説明する.

開発環境

映像制作に3Dアニメーションソフトウェア「Autodesk Maya」を使用し、プログラムの開発にC++用のフレームワークである「openFrameworks」を用いた. openFrameworksを使用するための統合開発環境としては、「Microsoft Visual C++ 2010 Express」を用いた.

3Dアニメーションソフトウェア Autodesk Maya は、3D コンピュータアニメーション、モデリング、シミュレーション、レンダリング、合成のための包括的な機能を備えており、高品質なコンテンツを素早く作成できる生産性を持っている.

openFrameworks は、インタラクティブコンテンツやメディアアートの制作に特化したフレームワークである. 2D, 3D の図形描画, アニメーション, サウンドや動画のキャプチャと再生, マウスやキーボードによるインタラクションなど, マルチメディアコンテンツを制作するための様々な機能が提供されている.

アニメーション制作

Autodesk Maya を使用し、顔モデルへの投影を行う 3DCG アニメーションを制作した. アニメーションは、眼球と目蓋部分のみを描画し、8 方位+正面の 9 種類の視線運動パターンを制作した (図 3.7). 人間の眼球運動は、眼軸上で角膜頂点より約 13mm 後方にある眼球の回旋点を中心として 3 つの軸のまわりの運動からなる. そのため、眼球 3D モデルの回旋点に位置するピボットを設置し、人間と同様の眼球運動を再現した (図 3.8). また、1 回の瞬目の早さは平均 100-150ms であることから、30fps のアニメーションでは、3 フレーム程度で目蓋の開閉運動を再現した. 瞬目率は 18blinks/min となるように、100 フレームに 1 回瞬目を行っている.

顔認識プログラム

openFrameworks とそのライブラリである「ofxFaceTracker」を使用し顔認識プログラムを制作した.

ofxFaceTracker は、C++版の顔パーツ追跡ライブラリ「FaceTracker」の openFrameworks アドオンである. FaceTracker は、Constrained Local Model というアルゴリズムによる顔検出を行うライブラリである. Constrained Local Model 方式では、従来の Active Appearance Model を用いたアルゴリズムと比較して、計算量が少ないため、動作速度が向上している [12].

カメラから取得した映像データを ofxFaceTracker によってリアルタイムに解析し、顔の検出を行っている. ofxFaceTracker では、目や鼻、口など顔の各パーツの情報を取得することが可能なため、検出された顔から左目をバウンディングボックスで囲み、その左上頂点



図 3.7: 視線運動パターン

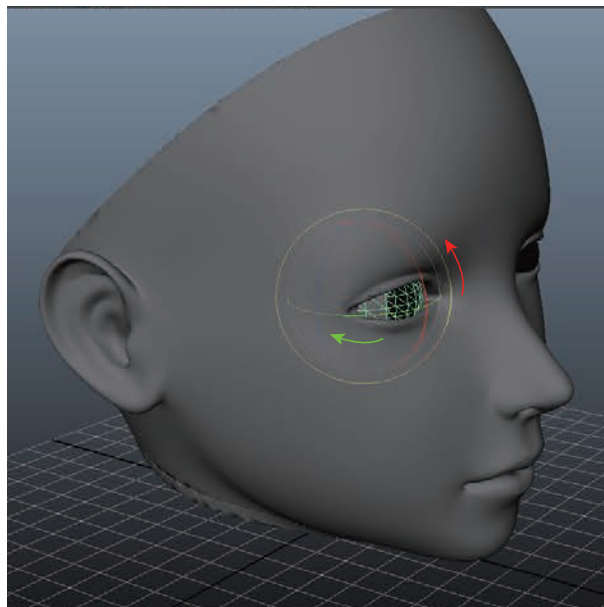


図 3.8: 回旋点位置するピボット

座標を取得している (図 3.9). プログラム開始時に 9 種類の視線運動パターンのアニメーションをロードし, 左目の座標に応じてアニメーションを切り替えることで, インタラクティブなアイコンタクトを再現した. アニメーション再生中は, 動作の遅延や意図しない地点でのアニメーション切り替えを防ぐため, 顔検出を停止している. アニメーションの 1 ループが終わると, 顔検出を再開し, 再び観察者の左目の座標を取得する. 顔認識プログラムの動作フローを図 3.10 に示す.



図 3.9: 顔認識・左目座標取得

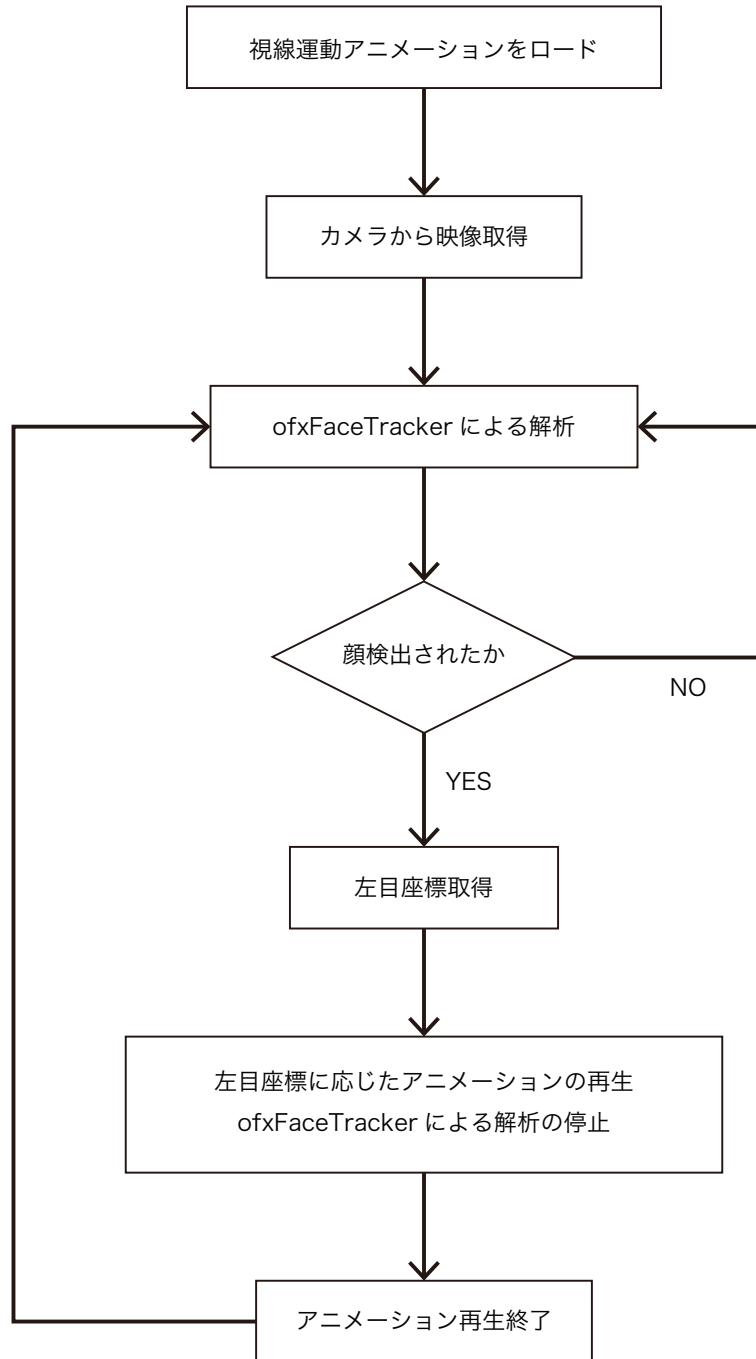


図 3.10: 顔認識プログラム動作フロー図

第4章 実験

4.1 実験概要

本実験では, 本研究で検討を行った, 瞬目率, 眼球動作, 眼球質感, インタラクシオン性について, ヒューマノイドの印象形成に及ぼす効果の検証を行った. 検証のため, 瞬目率, 眼球動作, 眼球質感, インタラクシオン性といった視線表現に関する4つの条件の改善前と改善後の刺激モデルを用いて対照実験を行った. 結果の分析には, 間隔尺度を用いた質問紙による評定結果を用いた.

4.2 実験目的

瞬目の有無, 眼球動作の違い, 眼球質感設定, アイコンタクトの有無が, ヒューマノイドに対する親近感の向上に影響を与えるのか, という検証を目的とした.

4.3 実験方法

4.3.1 刺激モデル

刺激モデルとして, 本研究で制作した視線表現シミュレーションモデルを用いた. 瞬目の有無, 眼球動作の違い, 眼球質感設定, アイコンタクトの有無といった, 実験目的に沿った5つの刺激パターンを用意した(表 4.1).

表 4.1: 5つの刺激パターン

	瞬目	眼球動作	眼球質感	アイコンタクト
刺激モデル1	○	○	○	○
刺激モデル2	×	○	○	○
刺激モデル3	○	×	○	○
刺激モデル4	○	○	×	○
刺激モデル5	○	○	○	×

4.3.2 被験者

被験者は、22～60歳の男性9人、女性5人であった。被験者には、本実験がヒューマノイドに対する親近感の向上効果を検証する実験であることは教示しなかった。

4.3.3 手続き

実験は1人ずつ行い、被験者は、異なる5つの刺激モデル(瞬目の有無、眼球動作の違い、眼球質感設定、アイコンタクトの有無)を、それぞれ20秒間提示された。刺激モデルの提示順による影響を打ち消すために、刺激モデルの提示順はランダムに設定した(カウンタバランス)。被験者は1つの刺激モデルが提示される毎に、刺激モデルに対する印象を、間隔尺度を用いた質問紙(図4.1)によって評定した。被験者は実験を通して、1つの刺激モデルに対して1回、計5回の評定を行った。

アンケート記録用紙1

モデルの親近感について評定してください

	非常に	かなり	やや	どちらとも いえない	やや	かなり	非常に	
親しみにくい	1	2	3	4	5	6	7	親しみやすい

図 4.1: 質問紙

第5章 結果と考察

5.1 瞬目の有無による印象評定

5.1.1 結果

瞬目の有無における親近感の評価得点をもとに平均値と標準偏差を算出した。瞬目の条件毎に、得られた平均値と標準偏差を表 5.1 に示す。2 群間の平均値の差の検定と、その前提条件となる正規性と等分散性について、それぞれ異なる検定を行った。

データの分布が正規分布に従うか検定するため、Kolmogorov-Smirnov 検定を行った。この検定の帰無仮説は「データが正規分布をなす」である。Kolmogorov-Smirnov 検定の結果、瞬目有り条件において、 $p = 0.77 > 0.05$ 、瞬目無し条件において、 $p = 0.16 > 0.05$ であった。従って、有意水準 5%において帰無仮説を採択する。

2 群の母分散が等しいか等分散性を検定するため、F 検定を行った。この検定の帰無仮説は「2 群の母分散は等しい」である。F 検定の結果、 $p = 0.08 > 0.05$ であった。従って、有意水準 5%において帰無仮説を採択する。

2 群間の平均値の差が、偶然的な誤差の範囲にあるかどうかを判断するため、t 検定を行った。この検定の帰無仮説は「2 群の母平均は等しい」である。t 検定の結果、瞬目無し条件 ($M = 1.86, SD = 0.66$) より瞬目有り条件 ($M = 4.50, SD = 1.09$) のほうが評価得点が高いことが明らかになった、 $t(26) = 7.74, p < 0.05$ 。従って、有意水準 5%において帰無仮説を棄却する。

表 5.1: 瞬目の有無における評価得点の平均値と標準偏差

	瞬目有り	瞬目無し
平均値 (M)	4.50	1.86
標準偏差 (SD)	1.09	0.66

5.1.2 考察

結果から、18blinks/min の瞬目を行うことでヒューマノイドに対する親近感が向上したと言える。本研究では CG 分野での先行研究から得られた、18blinks/min の瞬目率をヒューマノイドに実装することで、ヒューマノイドにおいても親近感が向上すると考え、その影響を検証するために実験を行った。検証には t 検定と、t 検定を行うための前提条件が成り立つかどうかを判断するための Kolmogorov-Smirnov 検定、F 検定を行った。

Kolmogorov-Smirnov 検定と, F 検定の結果から, 瞬目条件により得られたデータが, 正規性と等分散性を満たしていると示唆された. 従って本データ群の平均値の差の検定において, t 検定が適切な検定方法であると判断された.

t 検定による検証の結果, 瞬目無し条件より瞬目有り条件のほうが親近感の評価得点が有意に高いという結果が得られた. この結果から, CG だけではなく実体を持つヒューマノイドにおいても, 18blinks/min の瞬目を行うことで親近感が向上することが示唆された. これは, 本研究の目的を支持する結果である.

5.2 眼球動作の違いによる印象評定

5.2.1 結果

眼球動作の違いにおける親近感の評価得点をもとに平均値と標準偏差を算出した. 眼球動作の条件毎に, 得られた平均値と標準偏差を表 5.2 に示す. 2 群間の平均値の差の検定と, その前提条件となる正規性と等分散性について, それぞれ異なる検定を行った.

データの分布が正規分布に従うか検定するため, Kolmogorov-Smirnov 検定を行った. この検定の帰無仮説は「データが正規分布をなす」である. Kolmogorov-Smirnov 検定の結果, 速い眼球動作条件において, $p = 0.77 > 0.05$, 遅い眼球動作条件において, $p = 0.15 > 0.05$ であった. 従って, 有意水準 5% において帰無仮説を採択する.

2 群の母分散が等しいか等分散性を検定するため, F 検定を行った. この検定の帰無仮説は「2 群の母分散は等しい」である. F 検定の結果, $p = 0.18 > 0.05$ であった. 従って, 有意水準 5% において帰無仮説を採択する.

2 群間の平均値の差が, 偶然的な誤差の範囲にあるかどうかを判断するため, t 検定を行った. この検定の帰無仮説は「2 群の母平均は等しい」である. t 検定の結果, 遅い眼球動作条件 ($M = 1.64, SD = 0.74$) より速い眼球動作条件 ($M = 4.50, SD = 1.09$) のほうが評価得点が有意に高いことが明らかになった, $t(26) = 8.09, p < 0.05$. 従って, 有意水準 5% において帰無仮説を棄却する.

表 5.2: 眼球動作の違いにおける評価得点の平均値と標準偏差

	速い眼球動作	遅い眼球動作
平均値 (M)	4.50	1.64
標準偏差 (SD)	1.09	0.74

5.2.2 考察

結果から, 実際の人間に近い速度での眼球動作を行うことで, ヒューマノイドに対する親近感が向上したと言える. 本研究では人の視線運動モデルに従って, 速度・回転軸といった眼球動作をヒューマノイドに実装することで親近感が向上すると考え, その影響を検証

するために実験を行った。検証にはt検定と、t検定を行うための前提条件が成り立つかどうかを判断するためのKolmogorov-Smirnov検定、F検定を行った。

Kolmogorov-Smirnov検定と、F検定の結果から、眼球動作条件により得られたデータが、正規性と等分散性を満たしていると示唆された。従って本データ群の平均値の差の検定において、t検定が適切な検定方法であると判断された。

t検定による検証の結果、遅い眼球動作条件より速い眼球動作条件のほうが親近感の評価得点が有意に高いという結果が得られた。この結果から、人の視線運動モデルに従った眼球動作を行うことで親近感が向上することが示唆された。これは、本研究の目的を支持する結果である。

5.3 眼球質感の違いによる印象評定

5.3.1 結果

眼球質感の違いにおける親近感の評価得点をもとに平均値と標準偏差を算出した。眼球質感の条件毎に、得られた平均値と標準偏差を表5.3に示す。2群間の平均値の差の検定と、その前提条件となる正規性と等分散性について、それぞれ異なる検定を行った。

データの分布が正規分布に従うか検定するため、Kolmogorov-Smirnov検定を行った。この検定の帰無仮説は「データが正規分布をなす」である。Kolmogorov-Smirnov検定の結果、現実的な眼球質感条件において、 $p = 0.77 > 0.05$ 、非現実的な眼球質感条件において、 $p = 0.10 > 0.05$ であった。従って、有意水準5%において帰無仮説を採択する。

2群の母分散が等しいか等分散性を検定するため、F検定を行った。この検定の帰無仮説は「2群の母分散は等しい」である。F検定の結果、 $p = 0.18 > 0.05$ であった。従って、有意水準5%において帰無仮説を採択する。

2群間の平均値の差が、偶然的な誤差の範囲にあるかどうかを判断するため、t検定を行った。この検定の帰無仮説は「2群の母平均は等しい」である。t検定の結果、非現実的な眼球質感条件 ($M = 3.64, SD = 0.74$) より現実的な眼球質感条件 ($M = 4.50, SD = 1.09$) のほうが評価得点が有意に高いことが明らかになった、 $t(26) = 2.43, p < 0.05$ 。従って、有意水準5%において帰無仮説を棄却する。

表 5.3: 眼球質感の違いにおける評価得点の平均値と標準偏差

	現実的な眼球質感	非現実的な眼球質感
平均値 (M)	4.50	3.64
標準偏差 (SD)	1.09	0.74

5.3.2 考察

結果から、現実的な眼球質感設定をする事で、ヒューマノイドに対する親近感が向上したと言える。本研究では眼球質感のリアリティが、ヒューマノイドの親近感を向上する上

で非常に重要であると考え、その影響を検証するために実験を行った。検証には t 検定と、t 検定を行うための前提条件が成り立つかどうかを判断するための Kolmogorov-Smirnov 検定、F 検定を行った。

Kolmogorov-Smirnov 検定と、F 検定の結果から、眼球質感条件により得られたデータが、正規性と等分散性を満たしていると示唆された。従って本データ群の平均値の差の検定において、t 検定が適切な検定方法であると判断された。

t 検定による検証の結果、非現実的な眼球質感条件より現実的な眼球質感条件のほうが親近感の評価得点が有意に高いという結果が得られた。この結果から、活気のある現実的な眼球質感設定を行うことで親近感が向上することが示唆された。これは、本研究の目的を支持する結果である。

5.4 アイコンタクトの有無による印象評定

5.4.1 結果

アイコンタクトの有無における親近感の評価得点をもとに平均値と標準偏差を算出した。眼球質感の条件毎に、得られた平均値と標準偏差を表 5.4 に示す。2 群間の平均値の差の検定と、その前提条件となる正規性と等分散性について、それぞれ異なる検定を行った。

データの分布が正規分布に従うか検定するため、Kolmogorov-Smirnov 検定を行った。この検定の帰無仮説は「データが正規分布をなす」である。Kolmogorov-Smirnov 検定の結果、アイコンタクト有り条件において、 $p = 0.77 > 0.05$ 、アイコンタクト無し条件において、 $p = 0.32 > 0.05$ であった。従って、有意水準 5%において帰無仮説を採択する。

2 群の母分散が等しいか等分散性を検定するため、F 検定を行った。この検定の帰無仮説は「2 群の母分散は等しい」である。F 検定の結果、 $p = 0.54 > 0.05$ であった。従って、有意水準 5%において帰無仮説を採択する。

2 群間の平均値の差が、偶然的な誤差の範囲にあるかどうかを判断するため、t 検定を行った。この検定の帰無仮説は「2 群の母平均は等しい」である。t 検定の結果、アイコンタクト無し条件 ($M = 2.93, SD = 0.92$) よりアイコンタクト有り条件 ($M = 4.50, SD = 1.09$) のほうが評価得点が有意に高いことが明らかになった、 $t(26) = 4.12, p < 0.05$ 。従って、有意水準 5%において帰無仮説を棄却する。

表 5.4: アイコンタクトの有無における評価得点の平均値と標準偏差

	アイコンタクト有り	アイコンタクト無し
平均値 (M)	4.50	2.93
標準偏差 (SD)	1.09	0.92

5.4.2 考察

結果から、観察者の位置に応じてアイコンタクトを行うことで、ヒューマノイドに対する親近感が向上したと言える。本研究ではヒューマノイドが人間に対してアイコンタクトのようなインタラクション性を持つことで、親近感が向上すると考え、その影響を検証するために実験を行った。検証にはt検定と、t検定を行うための前提条件が成り立つかどうかを判断するためのKolmogorov-Smirnov検定、F検定を行った。

Kolmogorov-Smirnov検定と、F検定の結果から、眼球質感条件により得られたデータが、正規性と等分散性を満たしていると示唆された。従って本データ群の平均値の差の検定において、t検定が適切な検定方法であると判断された。

t検定による検証の結果、アイコンタクト無し条件よりアイコンタクト有り条件のほうが親近感の評価得点が有意に高いという結果が得られた。この結果から、ヒューマノイドが観察者の位置に応じてアイコンタクトを行うといったようなインタラクション性を持つことで、親近感が向上することが示唆された。これは、本研究の目的を支持する結果である。

第6章 結論と展望

6.1 結論

ヒューマノイドにおける親近感の向上という観点から、視線表現に関する実験と分析を行ってきた。分析結果から、視線表現の向上が、ヒューマノイドの親近感獲得に一定の効果を上げることが示唆された。

また、条件間においても平均値の差が見られ、眼球質感の違い、アイコンタクトの有無と比較して、瞬目の有無、眼球動作の違いが親近感に与える影響が大きいということが考えられる。これは、瞬目と眼球の動作が改善されていない場合に、非人間的な特徴が強く露見してしまうという可能性を示唆している。

しかし、本実験で得られた実験結果は一般的であるとは断定できず、今回の実験条件に依存する部分がある可能性も否定出来ない。ヒューマノイドにおいては、外見、特に顔の造形が印象評定に大きな影響力を持つと考えられる。本研究では、視線表現に比重を置いて実験を進めてきたため、顔の造形については予備実験を行わずに決定した。また、全ての顔の造形を網羅して実験を行うのは非常に困難である。

しかしながら、視線表現をいくつかの条件に分け、親近感に与える影響を検証した今回の実験結果は、ヒューマノイドの親近感向上を行う際の有効な足がかりになるものとする。

6.2 今後の課題

ヒューマノイドの親近感をより高めるためには、視線表現以外の、眉や口などの表情を構成する部分や、首動作についても、検討を行う必要がある。また、今回は顔のみを用いて検討を行ったが、全身像のあるモデルを用いた場合、印象形成に影響を与える可能性があるため、体部分の制作を進めることで、より正確な結果を得ることが出来る。

実現可能性から、本研究では映像投影による視線表現シミュレーションを行った。しかし、物理的な眼球パーツを用いて同様の動作を行った場合に、同様の結果が得られる確証は無い。そのため、将来的に物理的な眼球パーツを用いた上で、アニメーションと同水準の動作が可能になった際には、再度検討を行う必要がある。

6.3 まとめ

本研究では、人間がヒューマノイドに親近感を抱くことの出来る視線表現の開発を目的として、ヒューマノイドの顔パーツに眼球運動のアニメーションを投影することによる視線表現のシミュレーションと検討を行った。瞬目率、眼球動作、眼球質感、インタラクション性の4つに着目、実装を行い、その評価実験を行った。その結果、親近感獲得に一定の効

果を上げる視線表現の開発を行うことが出来た。ヒューマノイドの親近感獲得という観点では、今後、眉や口、首、体など視線表現以外の部分で印象形成に影響を与える可能性のある要素の制作・検討を行う必要がある。また、将来的には物理的な眼球パーツを用いた際の影響についても考えなければならない。

謝辞

本研究の機会を与えてくださり、数々の貴重なご指導をいただいた迎山和司准教授(公立はこだて未来大学システム情報科学部情報アーキテクチャ学科)に深く感謝いたします。また、本研究に多くの助言を頂いた迎山研究室の八城朋仁さん、小林真幸さん、Alexandre Ghozzi さん、川又康平さん、内藤皓子さん、織田幸博さん、三田村梨花さんに感謝いたします。

参考文献

- [1] 神田 崇行, 石黒 浩, 小野 哲雄, 今井 倫太, 中津 良平 : “人間と相互作用する自律型ロボット Robovie の評価”, 日本ロボット学会誌 Vol.20 No.3, pp.315-323, 2002
- [2] 森政弘 : “「不気味の谷」『Energy』7巻4号”, エッソスタンダード石油 (株), pp.33-35, 1970
- [3] 遠藤利彦 : “読む目・読まれる目 視線理解の進化と発達心理学”, 東京大学出版会, 2005
- [4] 大坊郁夫 : “しぐさのコミュニケーション”, サイエンス社, pp29-30, pp118-122, 1998
- [5] Yoichi Yamazaki, Fangyan Dong, Yukiko Uehara, Yutaka Hatakeyama, Hajime Nobuhara, Yasufumi Takama, Kaoru Hirota : “Mentality Expression in Affinity Pleasure-Arousal Space using Ocular and Eyelid Motion of Eye Robot”, SCISIS2006, 2006
- [6] K. Nakadai, K. Hidai, H. Mizoguchi, H.G. Okuno and H. Kitano : “Real-Time Auditory and Visual Multiple-Object Tracking for Robots”, Proc. Int. Joint Conf. on Artificial Intelligence, pp.1425-1432, 2001
- [7] S. Shibata and H. Inooka : “Psychological evaluations of robot motions,” International Journal of Industrial Ergonomics, vol.21, pp.483-494, 1998
- [8] 松坂要佐, 東條剛史, 久保田千太郎, 田宮大介, 古川賢司, 早田啓介, 中野裕一郎, 小林哲則 : “複数話者による対話システム”, インタラクション '99, pp.33-34, 1999
- [9] Munemoto Hirako, Hirotaka Ohta, Kazuhiko Yamamoto, Kunihito Kato, Kentaro Hayashi : “The Person Detection System on the Entertainment Robot”, 電子情報通信学会, 2006
- [10] Kazuki Takashima, Yasuko Omori, Yoshiharu Yoshimoto, Yuichi Itoh, Yoshifumi Kitamura, Fumio Kishino : “Effects of Character's Blinking Rate on Humans' Impressions”, 情報処理学会インタラクション 2008, 2008
- [11] Nowak, K.L. and Rauth, C. : “The influence of the avatar on online perceptions of anthropomorphism, androgyny, credibility, homophily, and attraction”, J. Computer-Mediated Communication 11 (1), article 8, 2005
- [12] Cook, M. and Smith, J. M.C. : “The role of gaze in impression formation, British Journal of Social and Clinical Psychology”, Vol.14, pp.19-25, 1975

- [13] D. Cristinacce and T. Cootes : “ Feature detection and tracking with constrained local models ” , BMVC, 2006

目 次

1.1	不気味の谷 [2]	1
2.1	自律型ロボット Robovie[1]	4
2.2	エンターテインメントロボットの外観 [9]	4
2.3	中程度のリアリティを持つキャラクタモデル [10]	5
2.4	カートゥーンキャラクタ [10]	5
3.1	全体イメージ	6
3.2	眼球イメージテクスチャ	7
3.3	人型 3D モデル (左) と出力結果 (右)	8
3.4	全体の機材構成	9
3.5	固定器具設計図	10
3.6	機材設置図	10
3.7	視線運動パターン	12
3.8	回旋点に位置するピボット	12
3.9	顔認識・左目座標取得	13
3.10	顔認識プログラム動作フロー図	14
4.1	質問紙	16

表 目 次

4.1	5つの刺激パターン	15
5.1	瞬目の有無における評価得点の平均値と標準偏差	17
5.2	眼球動作の違いにおける評価得点の平均値と標準偏差	18
5.3	眼球質感の違いにおける評価得点の平均値と標準偏差	19
5.4	アイコンタクトの有無における評価得点の平均値と標準偏差	20