ICS-14B-007

視線コミュニケーションを考慮した
ロボット頭部のデザイン

指導教員　　久野 義徳教授

平成26年2月10日提出

工学部情報システム工学科

10TI007
井田 賢人

埼玉大学 理工学研究科・工学部
久野研究室
埼玉県さいたま市桜区下大久保255

概要

近年，人間と一緒に活動するロボットの登場に伴い，人間とロボットのコミュニケーションについての研究が進められている．人間は相手の視線を読み取ってコミュニケーションを行っている．このことから，人間にとって視線はコミュニケーションのために重要な機能であると言える．視線によるコミュニケーションにおいて，目のデザインや首を含めた動きは重要な要素であり，研究が行われてきている．しかし，ロボットの顔については、その形状の視線コミュニケーションへの影響は十分に考慮されてはいないと思われる．そこで本研究では，頭部形状の違いによる視線コミュニケーションへの影響を研究し，コミュニケーションに適した頭部をデザイン・作成することを目的とする．

謝辞

研究ならびに生活面においてご指導を賜りました久野教授，小林助教に深く感謝致します．

また，突然のお願いにもかかわらず，快く頭部のデザインを引きうけてくださった電気通信大学の児玉准教授，丹後氏に深く感謝いたします．

最後に，先輩としていつもよきアドバイスをくださいました，小貫氏をはじめとする研究室の皆様，そして同期学生の皆様，並びに私を暖かく見守って頂いた両親はじめとする周囲のすべての皆様に深く感謝致します．

目 次

概要 **i**

謝辞 **ii**

図目次 **vi**

表目次 **vii**

第 1 章　はじめに **1**

1.1　背景 1

1.2　コミュニケーションにおける視線 1

1.3　人間の視線方向の判断方法 2

1.4　目的 2

1.5　本論文の構成 2

第 2 章　注視の誘導に影響する待機動作の検討 **3**

2.1　待機動作の有無 3

2.2　待機動作の種類 3

2.3　比較する待機動作 3

第 3 章　待機動作の違いによる注視誘導実験 **4**

3.1　実験目的 4

3.2 使用するロボットの構成 4
3.3 待機動作の実装 4
3.4 実験方法 5
3.5 実験結果 7
3.6 考察 9

第 4 章 視線読み取りに影響する頭部形状の検討 10

4.1 平面と球面 10
4.2 凹凸の有無 10
4.3 顔のデザイン候補 11

第 5 章 3D プリンタによる実験用頭部の作成 12

5.1 CAD によるモデリング 12
5.2 3D プリンタによる造形 13
5.3 ロボットの顔の作成 14

第 6 章 首の振り向きを用いた顔形状の違いによる視線読み取り実験 18

6.1 実験目的 18
6.2 使用するロボットの構成 18
6.3 実験方法 19
6.4 実験結果 19
6.5 考察 21

第 7 章 視線読み取りに適した頭部の作成 22

7.1 頭部の作成 22
7.2 既存のロボットシステムへの組み込み 22

第 8 章　おわりに **25**

8.1　まとめ 25

8.2　今後の課題 25

参考文献 **26**

図 目 次

3.1 パンチルトユニット 5
3.2 待機動作実験の環境 5
3.3 実験環境俯瞰図 6
3.4 印象評価の結果 7

5.1 モデリングの様子 13
5.2 AGILISTA-3100 14
5.3 平面の顔 15
5.4 Nexus7 15
5.5 球面の顔 16
5.6 球面＋鼻の顔 16
5.7 マスクを外した様子 16
5.8 PEK2-HDMI 17
5.9 投影面として用いた LED 電球 17

6.1 視線方向読み取り実験の様子 19
6.2 被験者からロボットを見た様子 20

7.1 頭部デザイン 22
7.2 Robovie-R3 23
7.3 作成した顔 24

7.4　ロボビーに装着した様子 24

表 目 次

3.1 PTU-D46-17 の主な仕様 5
3.2 被験者がロボットの視線方向を見た割合 7
3.3 カイ二乗検定の結果 1 8
3.4 カイ二乗検定の結果 2 8
3.5 カイ二乗検定の結果 3 8
3.6 カイ二乗検定の結果 4 8

5.1 Creo Elements/Direct Modeling Express 4.0 の主な仕様 12
5.2 AGILISTA-3100 の主な仕様 13
5.3 Nexus7 の主な仕様 15
5.4 PEK2-HDMI の主な仕様 17

6.1 顔形状ごとの視線読み取りの平均誤差 20
6.2 平面×鼻なし半球の t 検定結果 20
6.3 平面×鼻付き半球の t 検定結果 21
6.4 鼻なし半球×鼻付き半球の t 検定結果 21

7.1 Robovie-3R の主な仕様 23

第1章　はじめに

本章では，コミュニケーションロボットの現状と，人間どうしが行っているコミュニケーションについて整理し，本研究の目的を示す．

1.1　背景

近年，人間と一緒に活動するロボットが次々と登場している．それと同時に，ロボットが人間と自然なコミュニケーションを取るための研究が進められている．人間同士のコミュニケーションにおいては，人間は相手の視線を読み取ることで意図を読み取り，コミュニケーションを取っている．このことから，視線コミュニケーションは人間同士でコミュニケーションを取る上で重要な機能の一つであると考えられる．しかし，現在の既存のロボットの顔は，のっぺりしたものや単純に人間に似せたリアルなものが多く，相手の人間にロボットの視線を読み取らせることは考慮されていないと思われる。そこで，人間とロボットでより円滑にコミュニケーションを取ることに適した頭部を検討し，作成する．

1.2　コミュニケーションにおける視線

コミュニケーションには，言語コミュニケーションと非言語コミュニケーションの2種類がある．言語コミュニケーションとは，名前の通り言葉を用いたコミュニケーションを指す．これに対し非言語コミュニケーションは，言葉以外の身振りや姿勢，表情などを用いたコミュニケーションである．視線によるコミュニケーションも非言語コミュニケーションに含まれ，相手の視線を追って同じものを見ようとする「共同注視」など，日常的に用いられている．

1.3　人間の視線方向の判断方法

人間は，どのように相手の視線を読み取っているのか．船津らの研究によると，人間の肩に対する顔の向きによって，視線方向をおおよそ判断できるそうだ [1]．また，小林の研究によって，人間同士のコミュニケーションにおいて視線方向を判断する時には，大人になるほど目の向きだけではなく頭の向きも関係していることがわかっている [2]．つまり人間は視線を読み取る時，相手の目だけではなく頭の向きからも視線方向を推測していることがわかる．したがって，ロボットと人間で自然にコミュニケーションを取りたい場合にも，ロボットの頭の向きが認識されることが重要である．本研究ではロボットの頭部の形状に着目し，相手に視線方向を認識させることに適した形状を検討していく．

1.4　目的

相手の注視を誘導することに適した待機動作を検討する．また，実験によって視線を読み取らせるのに適した頭部の形状を検討した上で，その結果に基づいて頭部をデザインし，作成することを目的とする．

1.5　本論文の構成

本論文は，本章及び以下に続く 7 章の 8 章からなる．本章ではコミュニケーションロボットの必要性，及びロボットが自然なコミュニケーションを行うために必要な要素について示し，本研究の概要を示した．第 2 章以下は次のような構成になっている．

第 1 章 はじめに
第 2 章 注視の誘導に影響する待機動作の検討
第 3 章 待機動作の違いによる注視誘導実験
第 4 章 視線読み取りに影響する頭部形状の検討
第 5 章 3D プリンタによる実験用頭部の作成
第 6 章 首の振り向きを用いた顔形状の違いによる視線読み取り実験
第 7 章 視線読み取りに適した頭部の作成
第 8 章 おわりに

第2章　注視の誘導に影響する待機動作の検討

本章では，待機動作のどのような違いが注視を誘導することに影響するのかを検討する．

2.1　待機動作の有無

ロボットが対象物の方を見るまでの間，ただじっと動かずに待っているか，それとも周囲を見回すような動作をしているかは，相手に与える印象に違いがあることが考えられる．

2.2　待機動作の種類

待機中に何らかの動作をする場合，それが一定速で動くような無機質な動きの場合と何らかの意図をもって動いているように見える場合とでは差が生じるのかを調査したい．

2.3　比較する待機動作

2.1，2.2 で挙げた 2 点を実験によって検討するため，次の 3 種類の待機動作を作成した．

- 静止 (待機動作なし)
- 一定速度で左右に首を振る
- 速度変化の付いた振り向きで，周囲を見回す

第3章　待機動作の違いによる注視誘導実験

本章では，待機動作の違いが注視の誘導に与える影響について実験を行って調査する．

3.1　実験目的

ロボットの待機動作の違いによって，相手の注視を誘導することにどのような影響があるのかを調査する．

3.2　使用するロボットの構成

待機中の首の動作による影響を調査するためには，首を自由に動かすことができるロボットが必要である．

ロボットの首にパンチルトユニットという装置を取り付けて振り向き速度を制御し，首振り動作を行った．使用したパンチルトユニットは図 3.1 に示した FLIR Motion Control Systems 社の PTU-D46-17[5] である．

3.3　待機動作の実装

いずれの待機動作の場合でも，最後に図 3.2 に黄色い丸で示した方向を振り向いて注視することとした．その上で待機動作として，一定速度で左右水平方向に往復する動きと，速度変化の付いた振り向きで空間内でサイエンシーの高い複数の物体を順番に見る動きを作成した．

図 3.1: パンチルトユニット

表 3.1: PTU-D46-17 の主な仕様

耐荷重量	2.72Kg
自由度	2
分解能	0.05143 °
パン速度	0.0123 ° ～ 300 ° /秒
チルト速度	0.0123 ° ～ 300 ° /秒
パン・レンジ	± 180 °
チルト・レンジ	± 31 ° ??80 °
本体寸法	176.2 W × 130.3 H × 108 D mm
本体質量	1.5Kg

複数点を順に見る動作は図 3.2 に番号で示した物体を順番にループして見るというものだが，実験の際は 2 巡目の途中までで終了し，また途中で被験者方向を一度見る．

図 3.2: 待機動作実験の環境

3.4 実験方法

実験は，ロボットがそれぞれの待機動作から振り向く様子を被験者に見てもらい，その後アンケートに答えてもらうという形式で行った．また，実験中の被験者の様子を動画で撮影し，観察を行った．被験者は，20 歳前後の男女 32 人である．各被験者には，3 種類の待機動作のうち 1 つだけを見てもらった．

アンケートの項目は以下の 5 つである．

1. ロボットの動作は自然な動きでしたか？
2. ロボットが最後に物体に注目しているように感じましたか？
3. ロボットが見ている方向を一緒に見たくなりましたか？
4. ロボットに親しみやすさを感じましたか？
5. ロボットに知性を感じましたか？

回答欄の項目はすべて 7 段階評価で以下の通りである．

- 非常に自然だった (感じた・そう思った)
- かなり自然だった (感じた・そう思った)
- やや自然だった (感じた・そう思った)
- どちらでもない
- やや自然でなかった (感じなかった・そう思わなかった)
- かなり自然でなかった (感じなかった・そう思わなかった)
- 非常に自然でなかった (感じなかった・そう思わなかった)

図 3.3 に青い円で示したように，被験者にはまずロボットから約 5m 離れた位置から 20 秒間，ロボットと部屋の様子を観察してもらった．その後ロボットから約 1m の位置まで近づき，観察を続けてもらった．ロボットが図 3.3 に赤い円で示した物体の方向を振り向き終わって 5 秒後に，実験を終了した．

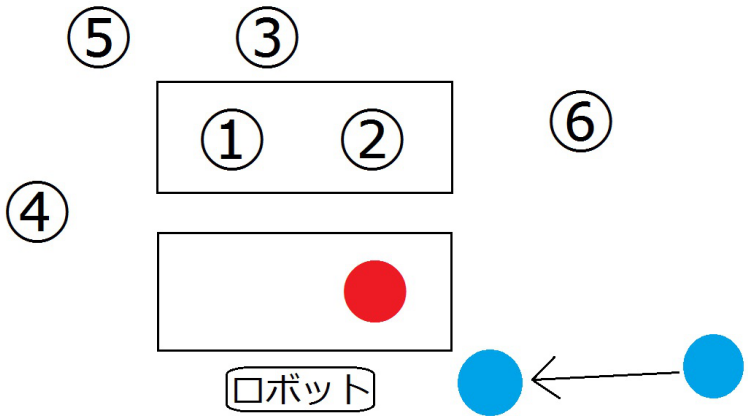

図 3.3: 実験環境俯瞰図

3.5　実験結果

実験で得られたアンケートを集計した結果は図 3.4 のようになった．

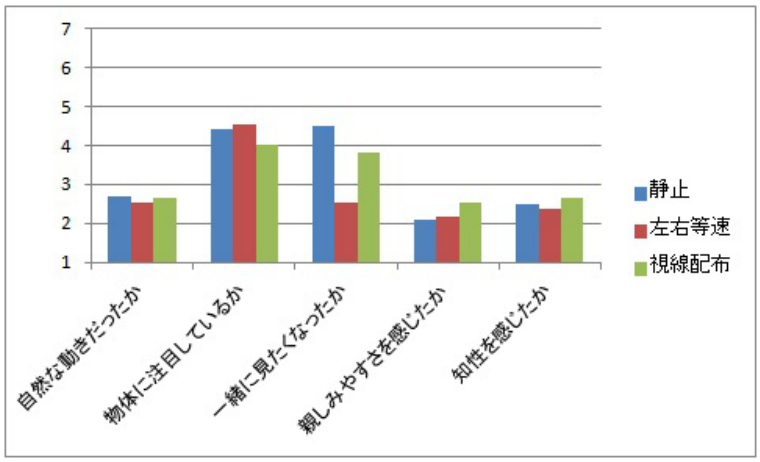

図 3.4: 印象評価の結果

いずれの項目についても，有意差を得ることはできなかった．

しかし実験中の様子を観察すると，静止した状態と周囲を見回す動作で待機した場合，一定速度で首を振って待機した場合と比較して被験者がロボットの視線方向を見ることが多かった (表 3.2)．

表 3.2: 被験者がロボットの視線方向を見た割合

	静止	一定速度	周囲見回し
被験者数	10	11	11
ロボットと同じ方向を見た人数	4	2	6
割合 (%)	40	18.2	54.5

ただし，この結果についてカイ二乗検定で確率の差を調べたところ，差は得られなかった (表 3.3-3.6)．

カイ二乗値が 3.14 となり，これはカイ二乗分布の値よりも小さい．よって帰無仮説が採択され，待機動作によってつられる確率に差がない．

表 3.3: カイ二乗検定の結果 1

観測度数	つられる	つられない	合計
静止	4	6	10
一定速度	2	9	11
周囲見回し	6	5	11
合計	12	20	32

表 3.4: カイ二乗検定の結果 2

期待度数	つられる	つられない	合計
静止	3.75	6.25	10
一定速度	4.125	6.875	11
周囲見回し	4.125	6.875	11
合計	12	20	32

表 3.5: カイ二乗検定の結果 3

カイ二乗値	つられる	つられない	合計
静止	0.016667	0.01	
一定速度	1.094697	0.656818	
周囲見回し	0.852273	0.511364	
合計			3.141818

表 3.6: カイ二乗検定の結果 4

カイ二乗分布		
自由度	0.05	0.01
2	5.99	9.21

また，ロボットが静止して待機している場合，何らかの動作をしながら待機する場合と比較して被験者がロボットを見ずに周囲を見回すことが多かった．

3.6 考察

待機動作の違いは，相手に与える印象には大きく影響しないことが考えられる．相手の視線を意図した方向へ誘導する目的のためには周囲を見回す待機動作が有効な傾向があるが，今回は被験者数が少なく，有意差を得られなかった．今後，さらに追加実験を行う必要がある．

第4章　視線読み取りに影響する頭部形状の検討

本章では，頭部形状のどのような違いが視線方向を読み取ってもらうことに影響するかを検討する．

4.1　平面と球面

レオナルド・ダ・ヴィンチによって描かれた絵画モナリザは，正面だけでなく斜めから見た場合でも，鑑賞者の方を見ているように感じる．こうした現象をモナリザ効果と呼び，絵画に限らず，映画やテレビを見ているときにも同じことが言える．このモナリザ効果は2次元的な顔の場合に生じるが，3次元的な顔では生じない [3]．よって，ロボットの顔が平面であるか球面であるかによって，視線読み取りの精度に差が出ることが考えられる．

4.2　凹凸の有無

完全な球面に目だけが付いた顔の場合，視線方向を判断する材料は目の位置だけということになる．しかし実際の人間の顔は，目の周りが少しくぼんだり鼻がつき出たりしている．これらの凹凸が視線方向を判断する助けになっている可能性がある．

4.3　顔のデザイン候補

4.1，4.2 で挙げた 2 点を実験によって検討するため，次の 3 種類の顔を作成していく．

- 平面に目だけが付いた顔
- 球面に目だけが付いた顔
- 球面に目と鼻が付いた顔

第5章　3Dプリンタによる実験用頭部の作成

本章では，CADを用いた3次元のモデリングと3Dプリンタによるモデルの造形，実験用の頭部の作成について示す。

5.1　CADによるモデリング

3Dプリンタで造形するために，3DのCADを用いてモデリングを行う必要がある．使用したCADソフトは，PTC社のCreo Elements/Direct Modeling Express 4.0である．主な仕様を表5.1に，実際にモデリングを行っている様子を図5.1に示す．

表 5.1: Creo Elements/Direct Modeling Express 4.0の主な仕様

自由度	3次元
分解能	1.0E-2 ∼ 1.0E-6 mm
出力データファイル形式	STL，VRML

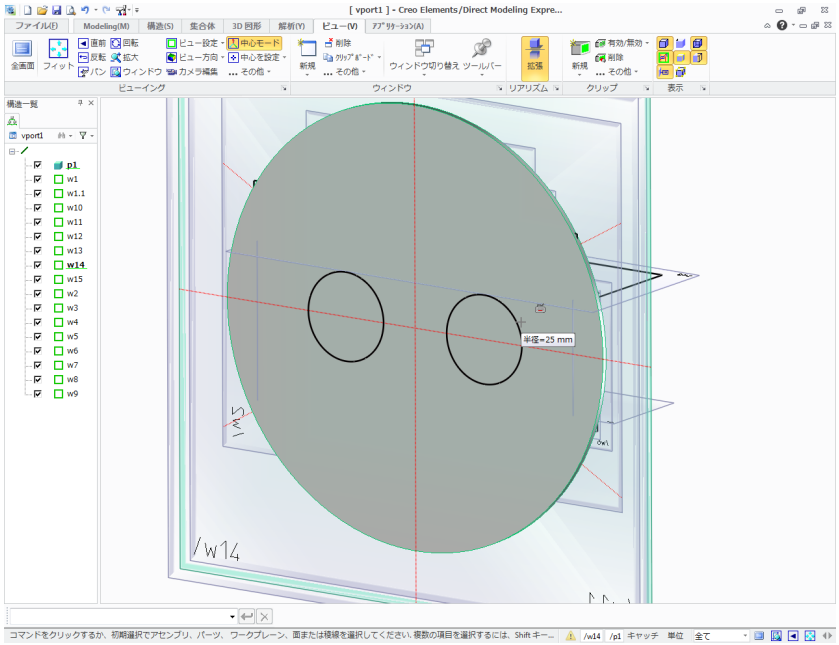

図 5.1: モデリングの様子

5.2　3D プリンタによる造形

CAD でモデリングを行ったデータを 3D プリンタに送信し，造形を行う．使用した 3D プリンタは，キーエンス社製の AGILISTA-3100 (図 5.2，表 5.2) である．

表 5.2: AGILISTA-3100 の主な仕様

造形サイズ	297 × 210 × 200mm(A4 サイズ× 200mm)
解像度	635 × 400dpi
Z 解像度	15 μ m，20 μ m
素材	AR-M2(透明樹脂)
入力データファイル形式	STL

図 5.2: AGILISTA-3100

5.3 ロボットの顔の作成

第 4 章で検討した，実験で実際に使用するロボットの顔のモデリングと造形を行った．今回の実験のために 3D プリンタによって作成するものは，平面の顔と，球面の顔に取り付けるための鼻の 2 つである．球面の顔については既存の発泡スチロール製のものを使用し，鼻を着脱することとする．

まず，作成した平面の顔の外観を図 5.3 に示す．顔の直径は 25cm，眼球の直径は 5cm，両目の中心間距離（ヒトで言う瞳孔間距離）は 10cm である．画面に目のテクスチャ画像を写したタブレット PC(Nexus7，図 5.4，表 5.3) を顔の裏側にはめ込み，目を表現した．

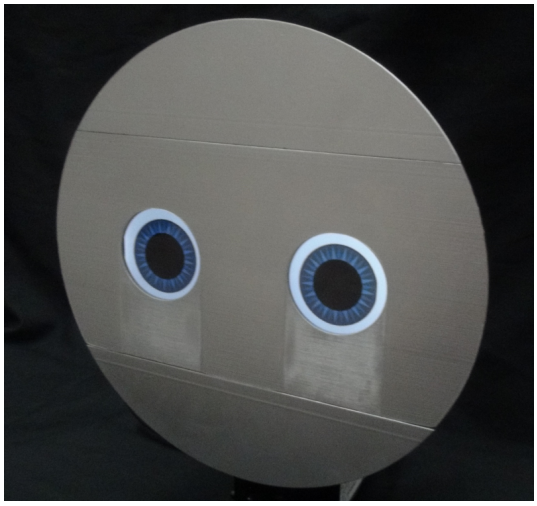

図 5.3: 平面の顔

図 5.4: Nexus7

表 5.3: Nexus7 の主な仕様

ディスプレイ	7 インチ IPS
解像度	1920 × 1200
ppi	323ppi
プロセッサ	1.5GHz クアッドコア
高さ	200mm
幅	144mm
厚さ	8.65mm
質量	290 グラム

次に，球面の顔の外観を図 5.5，5.6 に，マスクを外した様子を図 5.7 に示す．鼻は着脱可能になっている．平面と同様，顔の直径は 25cm，眼球の直径は 5cm，両目の中心間距離は 10cm である．プロジェクタは右目と左目のそれぞれに 1 台ずつ使用している．背後からプロジェクタを用いて CG で作られた眼球映像を半球のスクリーンに投影する．使用したプロジェクタは図 5.8 に示す PEK2-HDMI である．主な仕様を表 5.4 に示す．また，半透明の半球スクリーンとして LED 電球のカバー (図 5.9) を用いた．

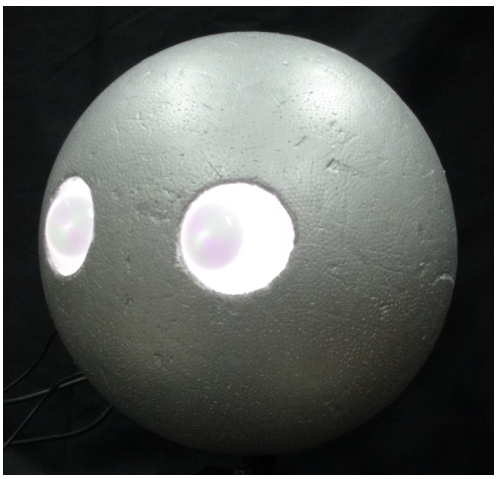

図 5.5: 球面の顔

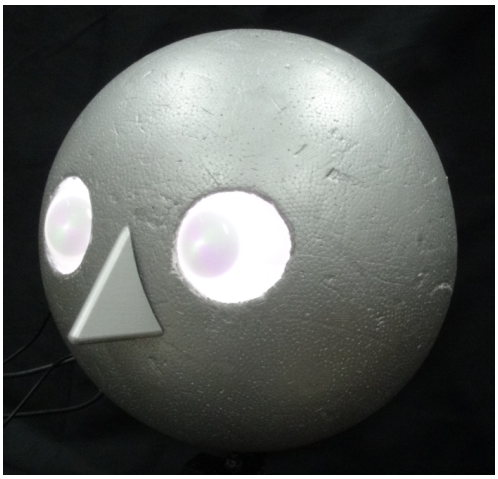

図 5.6: 球面＋鼻の顔

図 5.7: マスクを外した様子

図 5.8: PEK2-HDMI

表 5.4: PEK2-HDMI の主な仕様

本体寸法	118D × 60W × 14H(mm)
本体質量	約 122g
使用可能時間	約 2 時間
明るさ	15 ルーメン
画素数	848 × 480Pixels
アスペクト比	16 : 9
投影距離	150-2500mm
フォーカス	フリー
画像サイズ (対角)	6-100 型
リフレッシュレート	60Hz

図 5.9: 投影面として用いた LED 電球

第6章　首の振り向きを用いた顔形状の違いによる視線読み取り実験

本章では，作成した頭部を使用し，顔形状の違いが視線の読み取りに影響を与えるかどうかについて実験を行って調査する．

6.1　実験目的

ロボットの顔形状の違いによって，視線方向の読み取りにどのような影響があるのかを調査する．

6.2　使用するロボットの構成

視線方向の読み取りやすさを調査するためには，正しく目的物へと視線を向けることができるロボットが必要である．

第3章の実験と同様に，ロボットの首にパンチルトユニットを取り付けて振り向き速度を制御し，振り向き動作を行った．

6.3　実験方法

実験は，ロボットと被験者の間にマーカを設置し，ロボットの目がどのマーカを見ているかを被験者に答えてもらう形式で行った．被験者は，20 歳前後の男女 16 人である．

図 6.1 に示すように，ロボット頭部の回転軸からマーカまでは 50cm，マーカから被験者までの距離は 100cm とした．マーカは 0 番から 18 番までとし，10cm 間隔で中央が 9 番になるように設置した．実験で用いる目の形状は 4.3 節で示した 3 種であり，実験中に表示される視線方向は 4 番から 14 番のマーカの何れかとした．これは，両端にあるマーカ 0 番または 18 番をロボットが見た場合，被験者が例えそれらのマーカよりも外側を見ていると思ったとしてもマーカを見るはずと考え，0 番または 18 番と回答する可能性があるためである．なお，回答時に頭の位置が同じになるように被験者の顎を固定して実験した．

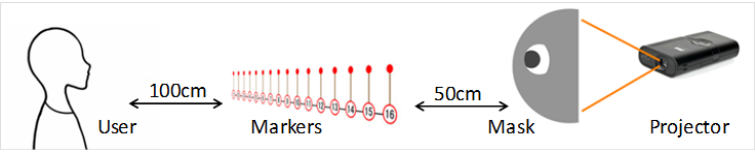

図 6.1: 視線方向読み取り実験の様子

一人の被験者につき，鼻が付いた球面の顔，鼻のない球面の顔，平面の顔の順で 3 種類の顔を体験してもらった．顔をランダムな順で特定のマーカ方向に向け，どのマーカをロボットが見ているように見えたかを聴取した．各マーカを見る時間は約 5 秒とし，その後は一度正面を向いてから次のマーカを向くようにした．正面から各マーカ方向への振り向きは速度変化あり，各マーカ方向から正面へ戻るときは一定速度での振り向きを行った．図 6.2 に被験者の位置から見たロボットの目の様子を示す．

6.4　実験結果

3 種類の顔ごとに正解からの誤差をとって平均値を計算したところ，表 6.1 のような結果となった．

さらに，3 種類から 2 つずつを取りだした 3 パターンの組み合わせについて，分散分析を行った．結果を表 6.2 -6.4 に示す．

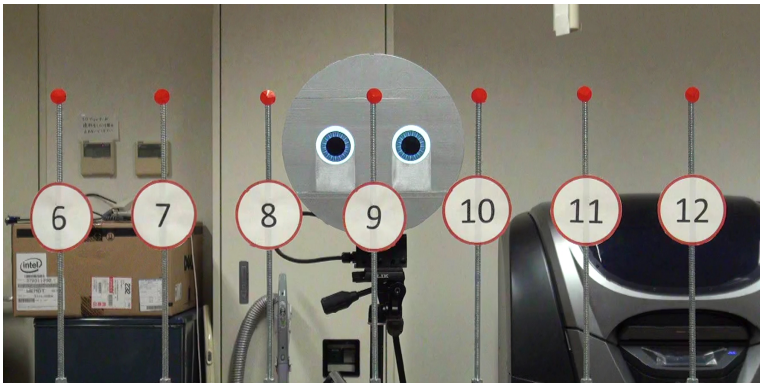

図 6.2: 被験者からロボットを見た様子

表 6.1: 顔形状ごとの視線読み取りの平均誤差

形状	平均誤差 (cm)
平面	19.25
半球	26.0625
半球＋鼻	9.3125

表 6.2: 平面×鼻なし半球の t 検定結果

	データ数	平均値	分散	自由度	p
平面	16	19.25	91.8	15	0.007466
鼻なし半球	16	26.0625	64.19583		

いずれの検定でも $p < 0.05$ となり，各組み合わせで有意差があることが示された．

表 6.3: 平面×鼻付き半球の t 検定結果

	データ数	平均値	分散	自由度	p
平面	16	19.25	91.8	15	9.08E-05
鼻付き半球	16	9.3125	17.1625		

表 6.4: 鼻なし半球×鼻付き半球の t 検定結果

	データ数	平均値	分散	自由度	p
鼻なし半球	16	26.0625	64.19583	15	8.12E-09
鼻付き半球	16	9.3125	17.1625		

6.5 考察

顔の形状は視線の読み取りやすさに影響していると考えられる．今回の実験結果から，滑らかな球面の顔だと平面の顔以上に向いている方向が伝わりにくいことが言える．平面の方が球面の顔よりも視線方向を読み取ってもらえたのは，被験者方向から見たときに顔の輪郭の変化が大きいことが要因として考えられる．

一方，同じ球面でも凹凸のある顔だと，相手が視線方向を読み取りやすいということが言える．これは，目の位置以外にも顔の凹凸が顔の向きを判断することに役立っているためと考えられる．

第7章　視線読み取りに適した頭部の作成

7.1　頭部の作成

第 6 章の実験結果に基づいた頭部のデザインを，電気通信大学の児玉准教授に依頼した．作成していただいた頭部のデザインを図 7.1 に示す．眼のスクリーンには，実験と同様に LED 電球の先端を使用している．

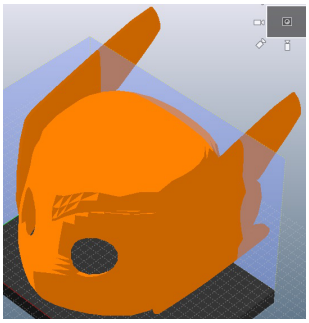

図 7.1: 頭部デザイン

7.2　既存のロボットシステムへの組み込み

人間とロボットのコミュニケーションについて扱うためには目以外の体の要素も不可欠である．今後， 目と体の他の要素を組み合わされることが想定されるため，体部分を含めたハードウェアを作成する必要がある．首から下の胴体部分は既製品ロボットを使用する．用いるロボットは，ヴイストン株式会社製の Robovie-R3(図 7.2，表 7.1) である．この Robovie- R3 に，作成した頭部を取り付ける．頭部の中

身については先行研究 [4] で改造されており，第 6 章の実験と同様，プロジェクタ PEK2-HDMI によって目が投影可能になっている．

図 7.2: Robovie-R3

表 7.1: Robovie-3R の主な仕様

外形	約 1080mm x 約 500mm x 約 520mm（H x W x D）
重量	約 35kg（バッテリ搭載時）
入出力	タッチセンサ x 11、画像入力 (USB カメラ)x2, 音声入力 (モノラルマイク)x2, スピーカ x1, 距離センサ (オプション)x2
電源	12V 28Ah 鉛蓄電池

作成した頭部と，それを Robovie-R3 に装着した様子を図 7.3，図 7.4 に示す．

図 7.3: 作成した顔

図 7.4: ロボビーに装着した様子

第8章　おわりに

8.1　まとめ

ロボットが人間とコミュニケーションを行うには視線が重要であることから，視線を読み取ってもらいやすいロボット，注視を誘導しやすいロボットについて検討した．視線方向を判断するには顔の向きが影響するため，顔の向きを読み取りやすい形状について検討した．その結果，顔に凹凸がある方が相手に視線方向を読み取ってもらいやすいことが分かった．また，この結果を基に，凹凸のあるロボットの頭部を作成した．

8.2　今後の課題

作成した頭部が実際に視線を読み取ってもらいやすいか，実験を行って確かめる必要がある．また，本研究で作成した動作や頭部と先行研究によって検討された首や目の動きを組み合わせ，伝えたい印象が相手に正確に伝わるロボットを作成していくことが今後の課題である．

参考文献

[1] 船津 暢宏，高橋 友和，出口 大輔，井手 一郎，村瀬 洋，“顔と体の姿勢情報を利用した人物動画像からの視線方向推定に関する検討”，第 15 回画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2012) 論文集, IS3-59, 2012

[2] 小林 春美，“共同注視成立時の視線移動”，東京電機大学総合研究所年報，vol.23，pp.219-222，2004

[3] 佐藤 隆夫，“ モナリザの視線 ”, 心理学ワールド, 54 号, pp. 17-20, 2011 年 7 月号.

[4] 石野田 貴文: 様々な眼の表現を可能とするロボット頭部の開発, 埼玉大学工学部情報システム工学科卒業論文, 2013 年 2 月.

[5] FLIR Motion Control Systems: Pan / Tilt Systems - PTU-D46-17, http://www.flir.com/mcs/products/ptu-d46/ptu-d-46-17/index.cfm.