

# 人型ロボットの身体表現を伴った視線からの関心の推定

## Estimation of Robot's Interest Base on its Gaze Associated with its Posture

中村隼<sup>1\*</sup> 竹内勇剛<sup>1</sup>Shun Nakamura<sup>1</sup> Yugo Takeuchi<sup>1</sup><sup>1</sup> 静岡大学大学院総合科学技術研究科<sup>1</sup> Graduate School of Integrated Science and Technology, Shizuoka University

**Abstract:** In the communication between a human and a robot, it is assumed to distinguish between the gaze to turn to the object to perceive the outside and the gaze to express the interest in object from the robot is difficult. In this study, we hypothesized that humanoid robot's interest from its gaze is associated with its posture. The principal aim of this study was to verify the model of estimation of a humanoid robot's interest. As a result, it is suggested that humanoid robot's interest is influenced by naturalness of its posture.

### 1 はじめに

人間とコミュニケーションすることのできる自律型ロボットが増えつつある。このようなロボットが人間に対して何らかの働きかけをした時、人間がロボットの行動から、そのロボットが関心を向ける対象を推測することにより、相互なコミュニケーションへと発展すると考えられる。そのため、人間とロボットの円滑なコミュニケーションを成立させるためには、そのロボットが関心を向ける対象をコミュニケーションする人間が推測できるような工夫を施す必要がある。

人間同士のコミュニケーションでは、身体表現や視線方向、表情といった非言語行動が、他者の意図や関心を推測するための重要な要素となる。特に視線は、他者の意図や関心の対象の推測に関して重要な役割を持つことが知られている [1, 2]。これまでに、ロボットの視線を操作することで人間にそのロボットの意図や関心の対象を推測させる研究が行われてきた [3, 4, 5, 6, 7]。これらの研究により、人間がロボットの視線から意図や関心の対象を推測できることが示されている。

また人間は、視線の観察を通して他者の意図や関心を推測することで、その視線の発信者が視野内に存在する物体に無志向的に視線を向けているだけなのか（知覚機能としての視線）、その物体に対して志向的な内部状態を表現しているのか（表出機能としての視線）を判断することができる。これにより、人間は不必要なコミュニケーションの発生を防いだり、また積極的に

意図を伝え合う等の行動が可能になっていると考えられる。しかし、これまでのロボットの視線に関する研究ではこの2つの機能は区別されておらず、ロボットがある対象に視線を向けた場合、ロボットがその対象に関心を持ち、注視している状態であることを前提に行われていた。そのため、人間がロボットの視線を適切に判断出来ず、コミュニケーションが円滑に進まなくなる可能性が考えられた。

ここで我々は、視線が持つ志向性やその裏にある対象へ向ける関心の程度は、その視線の発信者の内部状態とは別に視線の観察者によって何らかの要因に基づいて推定されているという点に注目した。この判断要因を明らかにすることで、人間が視線が持つ志向性や関心の程度を推定し、2つの機能を適切に判断できるようなロボットの視線をデザインすることができると考えた。

そこで本研究では、他者の視線が持つ志向性や対象への関心の程度が判断される要因を調査する。特に、視線が持つ志向性の認知には眼球方向だけでなく頭部・胴体の方向も密接に関係していることが示唆されていることから [8, 9, 10]、眼球・頭部・胴体からなる身体要素間の相互作用系の構造をシミュレート及び分析し、視線の志向性の認知モデルを構築することを目的とする。

#### 1.1 視線が持つ志向性の認知要因

前述の通り、視線の持つ志向性の認知は、その視線の発信者の内部状態とは別に視線の観察者によって何らかの要因に基づいて行われており、眼球方向だけで

\*連絡先：静岡大学大学院総合科学技術研究科  
〒432-8011 静岡県浜松市中区城北 3-5-1  
E-mail: s09130.cs12507@gmail.com

なく顔方向や胴体方向が関係している可能性が様々な研究により示唆されている。しかし、眼球・頭部・胴体方向の各要素が視線の志向性の認知にどれだけ寄与しているかという点については諸説ある。Perrett らが顔方向が身体姿勢より優先され、また視線方向が顔方向より優先されるとしているのに対し [8]、他の研究では逆に視線方向よりも顔方向が優先される可能性が指摘されている。Todorović は、ウォラストン効果等と呼ばれる、ある人物の眼が同じ方向を向いていても顔方向が別の方向を向いている場合、その人物の注視方向は顔方向だと判断する現象を実験により確認している [9]。また、Corkum らは、乳児が他者の視線よりも頭部の向きに対して顕著な反応を示すことを報告している [10]。

本研究では、視線を対象に向けるための姿勢を取るためのコストが視線の志向性に関係していると仮定した。つまり、ある対象の観察者が、その対象に対して高い関心を持っていたり、その対象を見ることによる効果に期待したりしているならば、コストを費やしてでも姿勢を変化させてその方向を見ようとするだろうと考えた。このとき、眼球方向は頭部方向に従属しており、頭部方向は胴体方向に従属していることから、各身体要素が正面に対して同じ方向を向くためのコスト、すなわち視線の志向性の認知に対する影響力は胴体 > 頭部 > 眼球のようになると考えた。

他の研究では、ある 1 種類の視線に対して、その視線の送られる状況を変えることで、その視線を違った意味で認知する可能性が示唆されている [11]。また、視線を送る人物の姿勢が支配的に見えるか消極的に見えるかの違いによって、その人物への反応に変化が生じる可能性が別の実験により示されている [12]。そのため、視線の持つ志向性の認知には、眼球・頭部・胴体の向き等の身体的要因の他に、その視線を送った状況や視線を送る際の動作等の文脈的要因が関わっていると考えることができる。

ただし、文脈的要因には様々な外的要因が関与しており、これらを考慮した視線の志向性認知モデルの構築は非常に難しいことが予想される。また、文脈的要因を排除し姿勢のみを判断要因とした視線の志向性認知モデルは、文脈的要因を考慮した場合の視線の志向性認知モデルの構築に対する一つの判断材料となることが期待される。よって、本研究では文脈的要因は排除し、身体的要因のみを考慮した視線の志向性の認知モデルの導出を行う。

## 2 志向性認知モデル構築のためのシミュレーション

視線の志向性認知モデルを構築するために、眼球／頭部／胴体からなる身体要素間の相互作用系と視線の志向性との関連性に関するシミュレーションを行った。

### 2.1 仮説

本研究では、視線の志向性の強さが視線を対象に向けるための姿勢コストの高さに対して正の相関を示すと仮定した。本研究における姿勢コストは、対象に視線を向けた際の眼球・頭部・胴体が向いている方向によって決定される、その姿勢を作るためにかかる身体的な負担であると定義する。この時、頭部方向は胴体方向を中心とした相対的な変位を示し、眼球方向も同様に頭部方向を中心とした相対的な変位を示すものとする。例えば図 1 の 2 つの姿勢を比較した時、姿勢コストは右の図の例のほうが大きくなると考えられる。このような場合、右の姿勢の視線により強い志向性を感じると考えた。

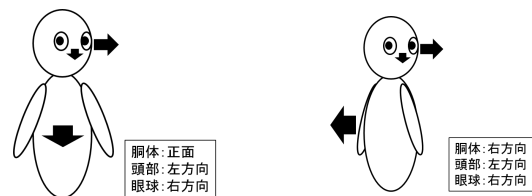


図 1: 姿勢コストと志向性

この仮説の元、身体要素と姿勢コストの関係を次のように考えた。

1. 眼球方向は頭部方向に従属しており、頭部方向は胴体方向に従属している。そのため各身体要素間で正面に対する同じ方向を向くコストは、胴体 > 頭部 > 眼球であると考えられる。
2. 頭部方向の変位にかかるコストは、胴体方向と同方向に変位していた場合は少なく、逆方向に変位した場合は多くなる。眼球方向と頭部方向の関係も同様と考えられる。

これらに基づき、視線の志向性の強さ（対象を見るための姿勢コスト）を導く評価関数  $I$  を次のように求めた。なお、眼球、頭部、胴体の各部はそれぞれ  $L$ （左方向）、 $C$ （中央）、 $R$ （右方向）の 3 方向を向くものとする。

$$I = s \cdot Dir_{body}(L|R) + t \cdot \{Dir_{head}(L|R) + Dis_{(head,body)}(L|R, L|R)\} + u \cdot \{Dir_{eye}(L|R) + Dis_{(eye,head)}(L|R, L|R)\}$$

s,t,u : 各身体要素の向きでの生成のための係数

$Dir_{part}(x)$  : 各身体要素が向いている方向

$Dis_{(part,part)}(x,y)$  : 身体要素間の向きが相反していた際の補正。第1変数と第2変数が同方向を向いていた場合はコストが少なく、逆ならば大きくなる。

この式に対し、各身体要素の向きの組み合わせすべて(3\*3\*3=27通り)について、式内の係数を変化させてシミュレーションを行った。このシミュレーションの結果と次節で述べる評価実験の結果を照合・分析することで、視線の志向性認知モデルを導出する。

## 2.2 シミュレーション

シミュレーション結果の一部を図2から図4のグラフに示す。なお、グラフの横軸は各身体要素の向きであり、「LCR」であれば胴体は左方向、頭部は中央、眼球は右方向を向いている場合の値を示している。また、グラフの縦軸は姿勢コストの大きさを示している。図2と図3は、 $Dis_{(part,part)}$ における第1変数と第2変数が同方向だった場合の補正値を0.5、逆方向だった場合の補正値を1.0に固定した状態で、パラメータs,t,uの値を変更したものである。また図4は、パラメータs,t,uの値をs=0.5,t=0.3,u=0.2に固定した状態で、 $Dis_{(part,part)}$ における第1変数と第2変数が同方向だった場合の補正値と逆方向だった場合の補正値を変化させたものである。

全体の傾向として、胴体に変化のないグラフ中央部は姿勢コストが少なくなるため、左右よりも評価値が低くなる傾向がある。また、姿勢が左右反転した姿勢を取るためのコストは同じであると設定したため、グラフは左右対称となっている。図2より、胴体の重みを大きくすることにより、身体要素が変位している場合とそうでない場合の評価値の差が小さくなるのがわかる。特に胴体のパラメータは変化域が大きいため、シミュレーション結果にも影響を与えやすいといえる。図4からは、ねじれによる評価値への影響を小さく設定することで、ねじれが発生している場合とそうでない場合の評価値の差が顕著になることがわかる。

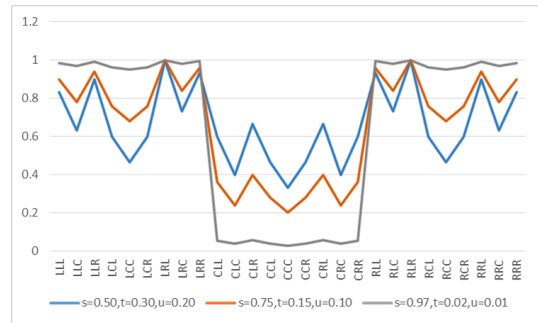


図 2: シミュレーション結果 1

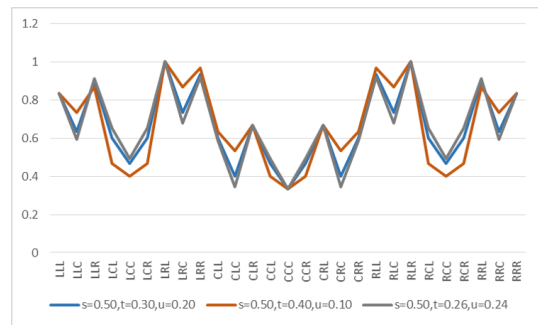


図 3: シミュレーション結果 2

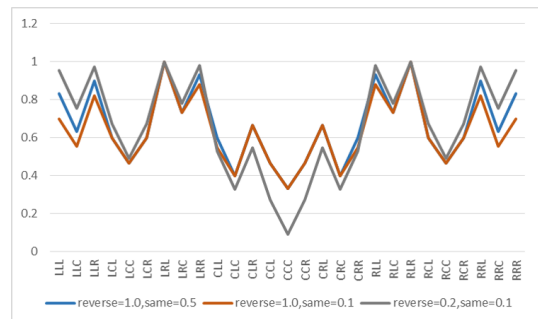


図 4: シミュレーション結果 3

### 3 志向性認知モデルの妥当性の検証実験

#### 3.1 実験目的

前節で導出した視線の志向性認知モデルを評価するために、眼球／頭部／胴体の各身体要素の向きの組み合わせすべてを表現できる人型ロボット（Robovie mR2：図5）を用いて実験を行った。

#### 3.2 実験システム

図6のような実験システムを用いて、実験参加者にロボットの視線の志向性の強さを評価させた。ロボットは、眼球・頭部・胴体がL,C,Rのいずれかを向いており、その眼球方向は参加者を指すよう設定した。

参加者はこの状態で、ロボットの視線の志向性の強さを評価した。このとき、各身体要素の変位量を一定にすることで、変位量の違いが視線の志向性認知に影響を与える可能性を排除している。なお、本実験で使用するロボットの眼球の可動範囲が±15ほどであったことから、本実験においては各部の変位量を15に設定した。また、本実験で使用するロボットは下半身が存在しないため、胴体方向の変位を参加者に認知させることが難しい。そのため、図8のようにロボットの腕を用いて下半身が向いている方向を示し、胴体方向の変位を認知させる方法を取ることにした。



図 5: Robovie mR2 全体像

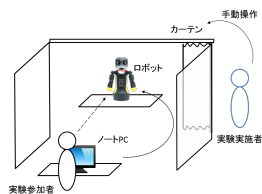


図 6: 実験環境

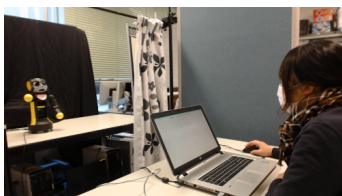


図 7: 実験風景

#### 3.3 実験方法

実験は、図9のフローチャートの手順に沿って行った。



図 8: 胴体方向が正面の場合（画像左）と左の場合（画像右）の比較

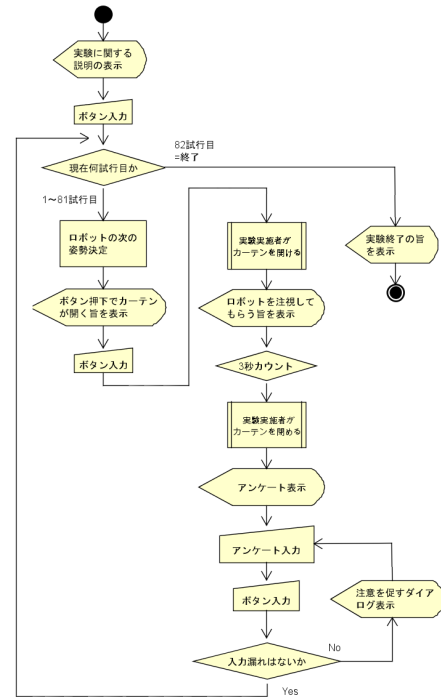


図 9: 実験手順フローチャート

実験参加者には、ディスプレイに表示された指示に従いプログラムを操作するよう教示する。参加者のボタン操作により、何らかの姿勢を取ったロボットが3秒間呈示される。参加者がその姿勢を取ったロボットの視線の志向性の強さを評価した後にボタンを押すことで、次の姿勢を取ったロボットの呈示を行う。ロボットが姿勢を変える際は、図6中のカーテンを用いて一度参加者の視界からロボットを隠し、次の姿勢を作った後にカーテンを開くことで参加者にロボットを呈示する。これは、ロボットの身体動作（即ち文脈的要因）が視線の志向性認知に影響を与えることを避けるために行う。

全27通りのロボットの姿勢に対して、参加者は各姿勢を3回ずつ評価する。また、ロボットの視線の志向性の強さは、「ロボットに見られているように感じたか」と「ロボットの視線に「意図」を感じたか」の2項目について参加者に7段階で評価させ、同一の姿勢3回の評価値の平均を算出し、その値を用いることとした。

### 3.4 実験参加者

本実験の参加者は、15名の大学生である。

### 3.5 予測

参加者はロボットの姿勢コストが大きくなるほど視線から強い志向性を感じる。つまり、身体要素の変位が多い場合や各身体要素の間にねじれが発生している場合により強い志向性を感じる。

### 3.6 実験結果・考察

実験結果を図10と図11のグラフに示す。図10は、実験参加者に評価させた2項目の姿勢ごとの平均値を比較したものである。また図11は、実験参加者に評価させた「ロボットの視線に「意図」を感じたか」の評価平均値を正規化し、シミュレーション結果（実験結果に最も値の近いもの）と比較したものである。なお、各グラフの横軸はロボットの示した姿勢を示しており、先頭文字から順に胴体方向・頭部方向・眼球方向を示している。

評価項目1と評価項目2の比較より、被視感の大きい姿勢のほうが意図を強く感じていることがわかる。しかし「LCC」、「CCC」、「RCC」の姿勢では、被視感が大きくなったにも関わらず意図はあまり感じられていない。これらの姿勢は、ロボットの身体要素が（見かけ上は）すべて参加者方向を向いているものである。そのため、参加者から見てロボットが特に姿勢を変化させていないように見えるこれらの姿勢では、ロボットが外界の情報を取得する「知覚機能」を用いていると参加者が判断した可能性が考えられる。この結果は、ロボットの視線が与える印象を、そのロボットの姿勢を操作することで意図的に変化させることができる可能性を示唆している。

評価項目2の平均値とシミュレーション結果を比較すると、シミュレーションで求めた視線の志向性の強さの評価値推移と実験結果における視線の志向性の強さの評価値推移との間に差異が存在することがわかる。特に、シミュレーションで志向性が強く感じられると評価された姿勢では参加者は意図を強く感じず、シミュレーションでは志向性が弱くと評価された姿勢では参加者が意図を強く感じる傾向にあるといえる。このことは、シミュレーションの前提条件として考えていた仮説や予測以外の要因が、視線の志向性の強さの評価に影響を与えている可能性を示唆している。

そこで、参加者の志向性評価の傾向を調べるために、評価項目2の実験結果をクラスタリングによりグループ化し（図12）、そのグループごとの特徴を抽出した

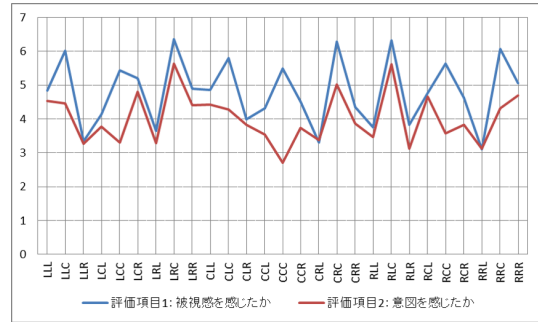


図10: 評価項目1と評価項目2の比較

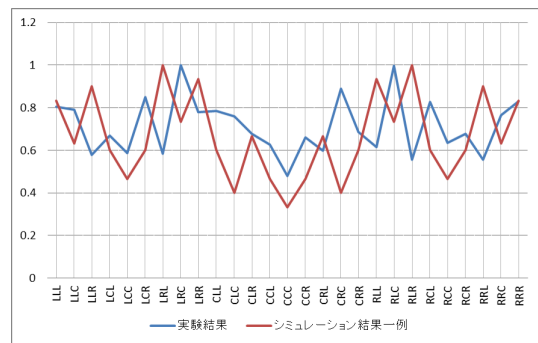


図11: 実験結果（評価項目2の平均値）とシミュレーション結果の比較

(表1, 2)。なお、クラスタリングはWard法を用いて行った。

クラスタリング結果から、参加者は「胴体以外の身体要素が同じ方向に変位している」ような姿勢により強く意図を感じる傾向があり、また「頭部と眼球の向く方向に齟齬が発生している（強いねじれが発生している）」、「身体要素すべてが参加者方向を向いている」などの姿勢では意図をあまり感じない傾向があるがわかる。このことより、身体要素間のねじれが逆に意図を感じさせない要因となっている事がわかる。

ここで、胴体以外の身体要素が同じ方向に変位している場合に強く意図を感じていることから、その姿勢が「自然」な姿勢であるかどうかの評価に影響している可能性が考えられる。胴体・頭部方向と視線方向の関係を調べた先行研究では、頭部方向が胴体方向と同じ方向を向いている場合、眼球方向は頭部方向と同じ方向を向くことが多く、頭部方向と胴体方向の間の角度が大きくなるにつれ、眼球方向と頭部方向の向きにズレが生じるようになるということが示されている [13]。このことから、頭部方向が左を指している場合、眼球方向も左を指している方が自然に感じるため評価が高くなり、頭部方向が左を指している場合に眼球方向が右を指している場合、その姿勢に不自然さを感じるため評価が低くなったのだと考えられる。

また、本実験において胴体の変位は腕の方向によって表していた。しかし、腕が参加者方向を向いている場合、グループにまとめられた他の姿勢よりも視線の志向性の強さの評価値が高くなる傾向があった。このことは、ロボットの腕方向が参加者に対して胴体方向の変位を適切に示しておらず、姿勢とは別に視線の志向性を強く感じさせる要因となっていることを示していると考えられる。

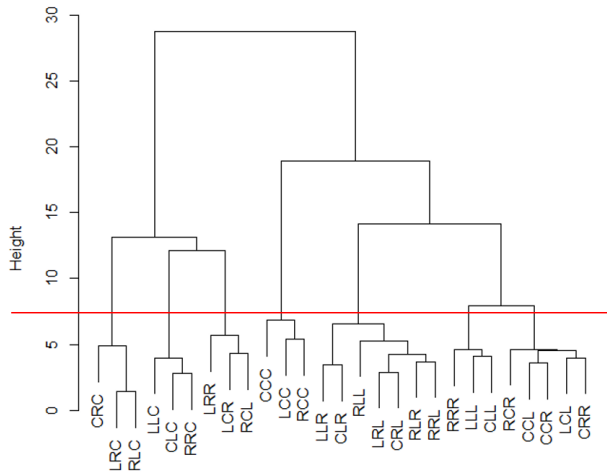


図 12: Ward 法を用いて評価項目 2 をクラスタリングしたもの

表 1: クラスタリング結果まとめ

クラスタグループ	姿勢	腕方向(被験者中心)	体-顔	顔-眼	評価値平均
グループ1	CRC	斜め右	なし	なし	5.02
	LRC	正面	ねじれ	なし	5.64
	RLC	正面	ねじれ	なし	5.62
グループ2	LLC	斜め左(強)	弱いねじれ	なし	4.47
	CLC	斜め左	なし	なし	4.29
	RRC	斜め右(強)	弱いねじれ	なし	4.31
グループ3	LRR	斜め右	ねじれ	弱いねじれ	4.40
	LOR	正面	なし	なし	4.80
	ROL	正面	なし	なし	4.67
グループ4	CCC	正面	なし	なし	2.71
	LOC	斜め左	なし	なし	3.31
	RCC	斜め右	なし	なし	3.58
グループ5	LLR	斜め左	弱いねじれ	ねじれ	3.27
	CLR	正面	なし	ねじれ	3.82
	RLL	斜め左	ねじれ	弱いねじれ	3.47
	LRL	斜め左	ねじれ	ねじれ	3.29
	ORL	正面	なし	ねじれ	3.38
グループ6	RLR	斜め右	ねじれ	ねじれ	3.13
	RRL	斜め右	弱いねじれ	ねじれ	3.13
	RRR	斜め右(強)	弱いねじれ	弱いねじれ	4.69
グループ7	LLL	斜め左(強)	弱いねじれ	弱いねじれ	4.53
	OLL	斜め左(強)	なし	弱いねじれ	4.42
	RCR	斜め右	なし	なし	3.82
グループ7	OCL	斜め左	なし	なし	3.53
	OCR	斜め右	なし	なし	3.73
	LCL	斜め左(強)	なし	なし	3.78
	ORR	斜め右(強)	なし	弱いねじれ	3.87

## 4 まとめ

視線の持つ志向性の強さと姿勢コストの高さの間に正の相関があるという仮説の元、眼球・頭部・胴体の各

表 2: クラスタリングされたグループごとの特徴

クラスタグループ	属する姿勢	評価値平均	グループごとの特徴
グループ1	CRC,LRC,RLC	高い	胴体が変位しており、顔が参加者方向を向いている 特に評価値が大きいものは腕が正面を向いている
グループ2	LLC,CLC,RRC	高い	胴体が変位しており、顔が参加者方向を向いている
グループ3	LRR,LOR,ROL	高い	体と顔が同じ方向を向き、眼のみが参加者方向を向いている (LRRを除く)
グループ4	CCC,LCC,RCC	低い	体、顔、眼が全て参加者方向を向いている
グループ5	LLR,CLR,RLL,LRL, ORL,RLR,RRR	低い	顔と眼の間に強いねじれが存在する (RLLを除く)
グループ6	RRR,LLL,OLL	高い	顔と眼が同方向に変位している(LRR,RLL,CRRを含む)
グループ7	RCR,OCL,OCR, LCL,CRR	普通	体と顔が同じ方向を向き、眼のみが参加者方向を向いている (CRRを除く)

身体要素の向きと姿勢コストに関する評価関数の導出とシミュレーションを行った。また、求めた評価関数に関する評価実験を行い、シミュレーション結果との比較・分析によって評価関数の妥当性を検証した。その結果、シミュレーション結果と実験結果との間に差異が見られたことから、我々の立てた仮説や予測とは別の要因が視線の志向性の強さの認知に寄与している可能性が示唆された。その原因を調べるために更に分析を行った結果、姿勢の自然さが視線の志向性の強さの認知に影響している可能性が示唆された。そのため、今後は姿勢の自然さと姿勢コストの双方を考慮した評価モデルの構築と評価実験を行う必要があると考えられる。

しかし、ここまでで得られた知見は、既にロボットが姿勢を構成した状態（静止状態）に対しての反応である。前述の通り、視線の持つ志向性の認知には、身体的要因の他にその視線を送った状況や視線を送る際の動作等の文脈的要因が影響している。特に、身体の動作という要因は身体方向の変化を示すという点で、文脈的要因であると同時に身体的要因に密接に関係していると考えられる。例えば、同じ姿勢でも静止状態で示された場合と何らかの音に随伴的に生じた場合とで、違った意味で認知されてしまう可能性がある。

そのため、今後本研究では、身体動作を伴ったロボットの姿勢が、視線の持つ志向性の認知に与える影響について調査することを考えている。具体的には、人間の振る舞いに対して随伴的に視線を伴う反応を示すロボットとのインタラクション環境において、ロボットの身体要素の動きが人間の視線認知に与える影響について調査し、そのモデルを構築する。これにより、身体動作を伴ったロボットの視線の持つ志向性が人間に認知される要因が明らかになると同時に、構築したモデル、人間とコミュニケーションできる人型ロボットのインタラクションデザインへ応用していく事が可能になると考えられる。

## 参考文献

- [1] 子安増生著：“心の理論”，岩波書店(2000)

- [2] Baron-Cohen, S. : “Mindblindness - An Essay on Autism and Theory of Mind”, MIT Press(1995)
- [3] 吉川雄一郎, 篠沢一彦, 石黒浩, 萩田紀博, 宮本孝典 : “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.48, No.3, 1284-1293(2007)
- [4] 北村裕貴, 湯浅将英, 武川直樹 : “「人の視線」と「ロボットの視線」が伝える意図の比較分析—ロボットの「コチラガホシイ」の視線動作デザイン—”, 電子情報通信学会技術研究報告.HCS, ヒューマンコミュニケーション基礎, Vol.109, No.457, 55-60(2010)
- [5] 米澤朋子, 山添大丈, 内海章, 安部伸治 : “ぬいぐるみロボットの視線行動を用いた視線コミュニケーションの分析”, 電子情報通信学会技術研究報告.HCS, ヒューマンコミュニケーション基礎, Vol.107, No.308, 5-12(2007)
- [6] 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, 3596-3606(2002)
- [7] Ito, A. & Terada, K. : “Producing intentionality in eye-contact robot”, 11th International Conference on Human-Computer Interaction, HCI International, pp.22-27(2005)
- [8] Perrett, D. & Emery, N.J. : “Understanding the intentions of others from visual signals:Neurophysiological evidence”, Cahiers de Psychologie Cognitive, 13, 683-694(1994)
- [9] Todorović, D. : “Geometrical basis of perception of gaze direction”, Vision Research, Vol.46, pp.3549-3562(2006)
- [10] Corkum, V. & Moore, C. : “Development of joint visual attention in infants.”, In C.Moore & P.J.Dunham(eds.), Joint attention: Its origins and role in development(pp.61-83), Lawrence Erlbaum Associates(1995)
- [11] Gobel, M.S., Kim, H.S. & Richardson, D.C. : “The dual function of social gaze”, Cognition, Vol.136, 359-364(2015)
- [12] Holland, E., Wolf, E.B., Looser, C. & Cuddy, A. : “Visual attention to powerful postures: People avert their gaze from nonverbal dominance displays”, Journal of Experimental Social Psychology, Vol.68, 60-67(2017)
- [13] 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”, 電子情報通信学会技術研究報告.PRMU, パターン認識・メディア理解, 112(495), 99-104(2013)