

ロボットによる身体ねじりが対話者の身体配置に与える影響に関する研究

川口 一画^{†1} 葛岡 英明^{†1} 山下 淳^{†1} 鈴木 雄介^{†2}

概要: ガイドロボットは、説明を行う人とロボットとの間に適切な身体配置を構成することが重要である。本研究では身体配置に関する社会的な概念である“F 陣形”と“身体ねじり”という概念に基づき、ガイドロボットによる説明タスクにおいて、ロボットの身体ねじりが F 陣形の再構築にどのような影響を持つかの評価を行った。実験の結果、ロボットが全身を回転させた場合は対話者が移動を伴って F 陣形の再構築を行うのに対し、身体ねじりによる注意誘導を行った場合は、立ち位置を維持したままで F 陣形の再構築を行うことが示された。

Study on Effect of Robot's Body Torque on Participants Spatial Formation Arrangement

IKKAKU KAWAGUCHI^{†1} HIDEAKI KUZUOKA^{†1} JUN YAMASHITA^{†1}
YUSUKE SUZUKI^{†2}

Abstract: — An information-presenting robot is expected to establish an appropriate spatial relationship with people. Drawing upon sociological studies of spatial relationships involving “F-formation” and “body torque,” we examined the effect of robot's body torque on the reconfiguration of the F-formation arrangement. The results showed that a robot can reconfigure the F-formation arrangement without moving visitor's position by instruction using body torque. On the other hand, in the case that a robot rotates the full body to instruction, then subjects move the position to reconfigure the F formation.

1. はじめに

近年のロボット研究から、人間とコミュニケーションを行うロボットの非言語的表現の重要性が明らかになってきた。特に、人間同士が対話するときには身体動作が音声情報以上に情報を伝達するという知見をもとに[1]、ロボットにおいて様々な研究がなされており、ロボットが身体を使ってインタラクションすることで、人間と自然で円滑なコミュニケーションを行うことができることが明らかになっている[2]。こうしたロボットの応用分野として、美術館や商業施設で案内を行うガイドロボットの研究が多数行われている[3,4,5,6]。このようなガイドロボットは、説明を行う人とロボットとの間に適切な身体配置を構成することが重要となる。

身体配置の構成に関して、社会学の分野において“F 陣形 (F-formation)”という概念が定義されている。F 陣形は、複数人が向かい合って会話を行う際に、互いの間に一定の空間が維持されるという現象を説明するための概念として、Kendon により定義された[7]。また Schegloff は、F 陣形の研究に基づき、上半身と下半身を別の方向に向けることで複数方向へ異なる度合いの関与を示すという“身体ねじり (body-torque)”という概念を定義した[8]。人間同士のコミュニケーションにおいては、これらの概念に基づく身体配置の調整が無意識に行われ、会話への参加度や関心の

方向を互いに伝達しあうことにより、円滑なコミュニケーションが達成される。

これまで、F 陣形をガイドロボットに取り入れた研究が行われており、ガイドロボットが適切な F 陣形を維持することの効果を示されている[9]。また、ロボットの身体方向が人間の立ち位置に影響を及ぼし、F 陣形が再構築されることが示されている[10]。このような、ロボットによる F 陣形の再構築はガイドロボットが対話者の関心を説明対象に導く上で有用である。なお、この研究[10]では上半身と下半身を独立して制御する身体ねじりについても評価を行っているが、それぞれの部位の指向性が明確ではない外観であったことにより、身体ねじりの効果は示されていない。そこで本研究は、自然な身体ねじりを表現可能なヒューマノイドロボットを用いて身体ねじりにより注意誘導を行った場合に、対話者の身体配置がどのように変化するかを定量的に評価することを目的とする。

2. 関連研究

2.1 F 陣形と身体ねじり

F 陣形は、複数人が向かい合って会話を行う際に互いの間に一定の空間が維持されるという現象を説明するための概念として、Kendon によって定義された[7]。Kendon によれば、人間とその人間が関与しようとする対象との間に広がる空間を操作領域 (transactional segment) と呼び、複数

^{†1} 筑波大学 システム情報工学研究科
Graduate School of System and Information Engineering, University of Tsukuba
^{†2} 沖電気工業株式会社 研究開発センター
Oki Electric Industry Co.,Ltd. Corporate Research and Development Center

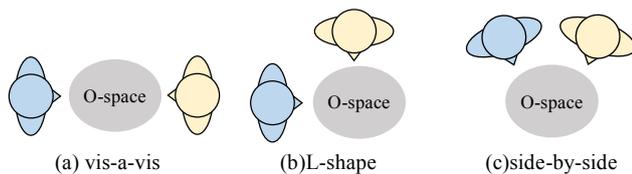


図 1. F 陣形の空間的配置

Figure 1. F-formation arrangements.

人で会話する際には参与する人々の操作領域が重なり下半身方向によって O 形の空間が構成される。これを O 空間 (O-space) と呼び、参与者は通常この O 空間を相互に維持しようとするという。このような、会話集団を空間的に規定する相互行為レベルの行動単位のことを F 陣形と呼ぶ。F 陣形の空間的配置としては、参与者が 2 人の場合は、vis-a-vis (対面)、L-shape (L 字型)、side-by-side (隣り合わせ) があり、その配置によって O 空間が形成され、インタラクションが行なわれている (図 1)。また、McNeill によれば F 陣形は人間だけにより構成される社会的 F 陣形 (social F-formation) と、人間同士だけでなく指示対象物を介する道具的 F 陣形 (instrumental F-formation) に細分化されるという [11]。道具的 F 陣形においては O 空間内に指示対象物が存在し、これにより O 空間の変形が起こるといふ。この分類によれば、本研究の対象はガイドロボットと対話者に加えて指示対象である展示物が存在するため、道具的 F 陣形となる。

身体ねじりは F 陣形の研究に基づき Schegloff によって定義された [8]。ここで身体ねじりとは下半身を固定したまま上半身をねじるという身体の分岐的振舞いを示しており、人間はこの身体ねじりによってどの活動にどの程度関与しようとしているかを表しているという。この際、安定性の高い下半身の方向付けは主要関与 (main involvement) を示しており、一時的な上半身の方向付けは副次的関与 (side involvement) を示している。例えば人物 A が何らかの作業を行っている最中に人物 B から声をかけられた場合に、下半身は作業対象に向けたまま上半身のみで B の方を向いたとする。これは A の主要関与が作業対象であることを示しており、B との会話はすぐに終了することが予想される。一方、話しかけられた際に下半身ごと体を B の方向に向けた場合、主要関与が作業対象から B に移ったことを示し、A は B との会話を続けることを志向していると考えられる。

2.2 ロボットを用いた身体配置に関する研究

Yamaoka らは、ガイドロボットが人間に対して物の説明を行う際に、適切な O 空間を形成するための立ち位置モデルを実装し、ロボットが適切な O 空間を維持することで、ロボットの印象が向上することを示した [9]。この研究では、人と物の位置に基づいてロボットの立ち位置を調整することを目的としており、ロボットの動作が人間の身体配置に影響を与えるかの検証は行われていない。また、ロボット

の身体方向調整に当たっては常に全身を回転させており、身体ねじりの概念には触れられていない。

Kuzuoka らは、上半身と下半身を独立して制御可能なロボット GestureMan-4 を開発し、ロボットの身体回転が人の立ち位置にどのような影響を与えるかの評価を行った [10]。その結果、ロボットが説明対象に全身を向けることで人が対象物の方に移動し、F 陣形が再構成されることが示された。すなわち、ロボットの身体回転という非明示的な行為により、人の身体配置を無意識に調整させることが可能であることを示した。このような手法は、例えばガイドロボットが複数の対象物を順番に説明していく際に、それぞれの説明に適した位置に鑑賞者を誘導する上で有効であり、より効果的な説明が可能となる。なおこの研究では、上半身と下半身を独立して制御する身体ねじりについても評価を行っているが、それぞれの部位の指向性が明確ではない外観であったことにより、身体ねじりの効果は示されなかった。身体ねじりを用いることでロボットは人と説明対象の両方に関心を向けることが可能であり、全身を回転させた場合と異なる身体配置の調整を促すことが期待される。

そこで筆者らは、上半身と下半身の指向性が明確に示され、かつ自然な身体ねじりを表現可能なヒューマノイドロボット TalkTorque-2 (以後、TT2) の開発を行った。なお、TT2 のシステム構成については、3.1 節にて説明を行う。本研究に先立ち、山崎ら [12] は TT2 を用いて科学技術館の一般来場者を対象とした実験を行い、ロボットによる身体ねじりが鑑賞者の行動に与える影響について社会学的な分析を行った。その結果、ロボットが身体ねじりを行う場合にも、人が身体ねじりを行う場合と同様に、相互行為の上での効果をもつことが示唆された。ただし、ロボットの身体方向が被験者の行動にどのような影響を与えるかについての統計的な分析は行われていない。

そこで本研究は、自然な身体ねじりを表現可能なヒューマノイドロボット TT2 を用いて身体ねじりにより注意誘導を行った場合に、対話者の身体配置がどのように変化するかを定量的に評価することを目的とする。また、ロボットの上半身と下半身それぞれの効果の違いについても比較を行う。検証に当たっては、以下の 3 点の仮説を設定した。

- I. ロボットが全身を対象物の方に回転させる場合、被験者は対象物の方に移動し、F 陣形の再構築が行われる。
- II. ロボットが上半身のみを対象物の方に回転させる場合、被験者の立ち位置は維持されたまま、身体の回転により F 陣形の調整が行われる。また、下半身のみを回転させる場合には、全身を回転させる場合と同様な傾向が見られる。
- III. 被験者の立ち位置が維持される場合、被験者がロボットを見る時間が長くなる。

仮説Ⅰについては、従来研究で示された結果[10]を再確認するものである。仮説Ⅱは、身体ねじりの概念に基づき[8]、ロボットが上半身を向けた対象物には副次的関与、下半身が向けられた被験者には主要関与が向けられていると判断され、被験者はロボットとの位置関係を維持したまま、身体の回転により対象物を交えた道具的 F 陣形を再構築すると考えられる。一方で、下半身のみを対象物に向けた場合は、主要関与が対象物に移ったと判断され、全身を回転させた条件と同様に、移動を伴った F 陣形の再構築が行われると考えられる。仮説Ⅲについては、被験者の立ち位置が維持されるのは、被験者がロボットの主要関与が自分に向いていると判断した場合であり、そのような状況においては被験者のロボットに対する関心も高くなると考えられる。その結果、被験者がロボットを見る時間が増加すると考えられる。

これらの仮説が実証されることで、ガイドロボットにおける上半身・下半身の動作指針が得られる。そしてこの動作指針に基づき、ガイドロボットは被験者の立ち位置と身体方向、および関心の方向を自由に制御することが可能になり、より円滑なコミュニケーションが実現される。

3. 実験

本研究では上半身と下半身を独立して回転可能なヒューマノイドロボット TT2 (図 2) を用いて、被験者に絵画の説明を行う研究室内実験を実施した。本章では実施した実験の内容について説明する。

3.1 システム構成

本実験で用いたヒューマノイドロボット TT2 は頭部 3 自由度、腰部 2 自由度、腕部各 4 自由度×2 の計 13 自由度を

有し、上半身と下半身を独立して回転させることが可能である。各可動部はロボット用サーボモータにより駆動され (KRS788HV・KRS4014HV (近藤科学), SRM1422Z (三和電子)), コントロールボード RCB-3J (近藤科学) を介して PC から制御を行った。制御に当たっては、一連の説明動作を自動で再生するため、VC++で作成した制御プログラムを用いた。この制御プログラムでは、特定の書式で動作と発話の脚本文を記述したテキストファイルを読み込み、一連の説明を自動で再生することが可能である。なお再生する音声はフリーの音声合成ソフト AquesTalk[13]を用いて作成した。

ロボットの外装は、展示案内という知的活動にふさわしく、また上半身・下半身を始めとする身体各部の指向性が明示された外観となるよう、デザイナーと連携して設計を行った。特に上半身・下半身の指向性については、先行研究において形状による影響が示唆されていたことから[10]、より人間に近い形状とし、自然な身体ねじりを再現するための設計を行った。具体的には、上半身・下半身の断面形状を人間に近い楕円形とした上で、間を滑らかに接続する調整フレームを配置し、さらに外側を伸縮性をもった服で覆う構成とした (図 2)。これにより、人間に近い自然な身体ねじりの提示が可能である。なお、各部の外装は、熱溶解積層方式の 3D プリンタを用いて出力し、表面処理と塗装を行った。

実験の際には、測域センサ URG-04LX (北洋電機) を用いて被験者位置のログを取得した。位置取得に当たっては、まず初期値を取得し (図 3-①)、予め定めた閾値以上のずれが生じた部分を人がいる領域として認識する (図 3-②)。なお今回行った実験では鑑賞者は一名とし、測域センサは

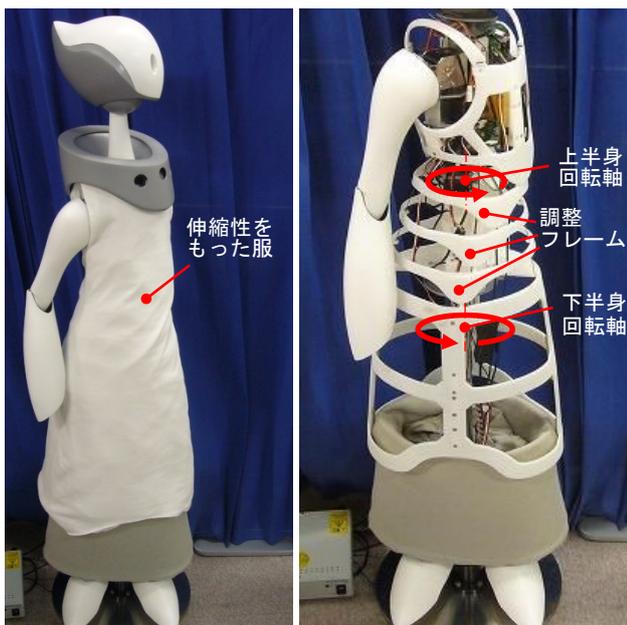


図 2. TalkTorque-2 の構成
 Figure 2. Configuration of TalkTorque-2

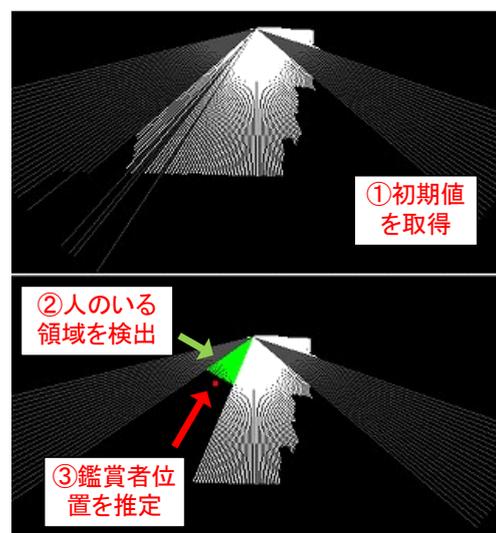


図 3. 測域センサによる被験者位置の推定
 Figure 3. Estimation of the subject position by Laser Range Scanner

鑑賞者の胸の高さ（約 1400mm）に設置しているため、検出される領域は一つの連続したデータ群となる。そこで領域の中央を被験者角度とし、その角度の距離に体の中心を求めため 100mm を足した値を被験者位置と推定している（図 3-③）。

3.2 実験環境

本実験では、大学の研究室（200cm×250cm）を実験空間とし、TT2 を用いて左右の壁に設置された 2 枚の絵画についての説明を行った。実験環境の詳細を図 4 に示す。2 枚の絵画はそれぞれ、クロード・モネ作「睡蓮」（以後、絵画 1）とポール・セザンヌ作「風景」（以後、絵画 2）を用いた。実験環境は高さ 160cm のパーティションを用いて構成した。被験者の行動を記録するためのカメラを図 4 のカメラ 1, 2 の位置に設置し、俯瞰から実験環境の撮影を行った。また被験者の初期位置を統一するため、ロボットから 70cm の位置に目印をつけ、実験開始時にはその位置に立つよう指示を行った。この制限は開始時のみとし、その後は自由に行動して良いこととした。また、ロボットの後方 20cm の位置に測域センサを設置し、被験者の位置検出を行った。

3.3 実験条件

上半身と下半身の指向性による影響と身体ねじりの効果について調べるため、実験は以下の 4 条件で行った（図 5）。それぞれの条件では、説明の最初に展示物を向くときの動作が下記のように異なる。

head 条件：頭のみを動かす。

both 条件：上半身と下半身の両方を動かす。頭部は上半身とともに回転し展示物の方を向く。

upper 条件：上半身のみを動かす。頭は上半身とともに回転し展示物の方を向く。

under 条件：下半身と頭を動かす。

被験者数は各条件に対してそれぞれ 10 名ずつ、合計 40 名であり（男 30 名、女 10 名）、平均年齢は 21.8 歳であった。

3.4 実験タスク

実験タスクは、「導入」、「絵画 1 説明」、「絵画 2 説明」、「終了」の 4 つのステージからなる。まず「導入」ステージでは、ロボットが起動、挨拶を行い、今から説明を始めるということを被験者に告げる。次に「絵画 1 説明」ステージでは、最初に実験条件ごとの動作によって絵画の方を向き、それ以降は体の方向は動かさずに説明を行う。「絵画 2 説明」ステージにおいても、「絵画 1 説明」ステージ同様、最初に絵画の方を向きそれ以降は体の方向を動かさずに説明を行う。最後の「終了」ステージでは、ロボットが体の向きを正面に戻し、お辞儀をして説明を終了する。なお、分析に当たっては、「絵画 1 説明」のみを評価区間として用いた。これは「絵画 2 説明」ステージにおいては、「絵画 1

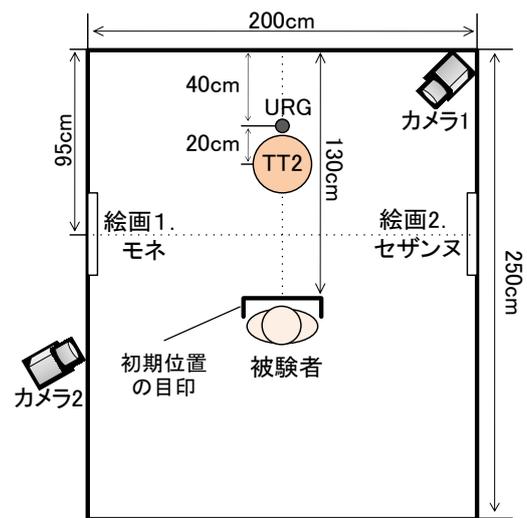


図 4. 実験環境

Figure 4. Experiment setup.

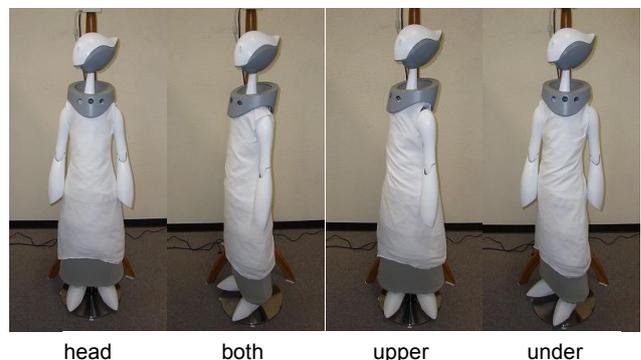


図 5. 動作条件

Figure 5. Experimental conditions.

説明」中の移動による初期値のずれや、タスクへの慣れによる影響が懸念されたためである。

評価区間における発話・動作の詳細とそれぞれの所要時間を表 1 に示す。ここで、説明開始直後の、条件動作により注意誘導を行う発話区間を「注意誘導フェーズ」、その後絵画の説明を行う一連の発話区間を「説明フェーズ」と定義し、評価に利用した。評価区間において、ロボットは最初に条件動作により絵画の方向へ注意誘導を行う。体の方向はこの動作以降固定し、頭と腕のみを動かしながらその後の説明を行う。なお、表中動作欄の「A → B」という形式の記載は、ロボットの部位 A を B の方向に向けたことを表す。

3.5 評価項目

ロボットの上半身および下半身の方向がロボット-被験者間の F 陣形に与える影響を分析するため、実験の様子を図 4 で示した位置に設置した 2 台のビデオカメラによって記録し、被験者が体の配置（位置、方向）を調整するために足を動かした歩数（以後、調整歩数）と、視線方向の分析を行った。また、測域センサにより取得された実験中の被験者の位置データをログとして保存し、被験者の立ち位

表 1. 評価区間のスクリプト

Table 1. Script in the evaluation section.

フェーズ	発話内容(発話時間)	動作	時間(sec)
注意誘導フェーズ (7.8 sec)	まず、こちらの絵は、クロード・モネによって描かれた「睡蓮」です。(5.2 sec)	条件動作	2.0
		停止	2.6
		頭→被験者	2.1
		停止	1.0
説明フェーズ (32.9 sec)	モネは印象派の画家で、同じモチーフを時間毎に描き分け光と色の変化を追った連作と呼ばれる作品を数多く制作しています。(11.8 sec)	停止	13.0
		停止	13.0
	この「睡蓮」はその中でも代表的な作品で、200点以上も制作されたうちの1点です。(7.6 sec)	頭→絵画 腕→絵画	2.0
		停止	3.6
	頭→被験者	停止	1.9
		停止	1.9
	明るい色彩で丹念に描きこまれた画面からは、時々刻々と変化する続ける水面の様子が伝わってくるようです。(9.1 sec)	頭→絵画	2.0
		停止	3.3
		腕下ろす	3.9
		停止	1.2

置座標の推移について分析を行った。さらに、実験後には質問紙を用いてロボットの動作および説明内容についての印象評価を実施した。ただし、印象評価についてはいずれの条件間にも有意差が見られなかったため、本論文では割愛する。

3.6 実験結果

3.6.1 調整歩数

ビデオ映像から、注意誘導フェーズと説明フェーズそれぞれにおける調整歩数の確認を行った。まず、各フェーズの終了時点までに被験者が身体方向を調整した割合を図6に示す。ここで、被験者が身体方向を調整した割合の算出にあたっては、先行研究における定義をもとに[10]、2歩以上足を動かした場合に身体方向を調整したと判定した。得られた割合について、各フェーズで χ^2 乗検定を行ったところ、注意誘導フェーズにおいて有意差が見られた($\chi^2=10.128, df=3, p=0.018$)。下位検定としてライアンの方法による多重比較を行ったところ、head-both条件間において有意差が見られた($\chi^2=9.899, df=1, p=0.012$)。図6より、注意誘導フェーズ終了時点においてboth, upper, under条件では過半数の被験者が身体方向を調整しているのに対し、head条件ではほとんどの被験者が身体方向を調整していないことが示された。なお、説明フェーズ終了時においてはhead条件でも6割の被験者が身体方向を調整している。

次に各フェーズにおける調整歩数についての分析を行

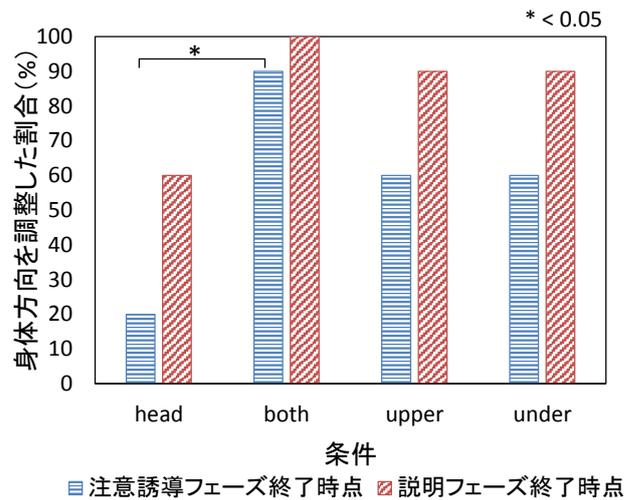


図 6. 各フェーズ終了時点で身体方向を調整した割合
 Figure 6. Proportion of the subjects who moved more than two steps at the end of each phase.

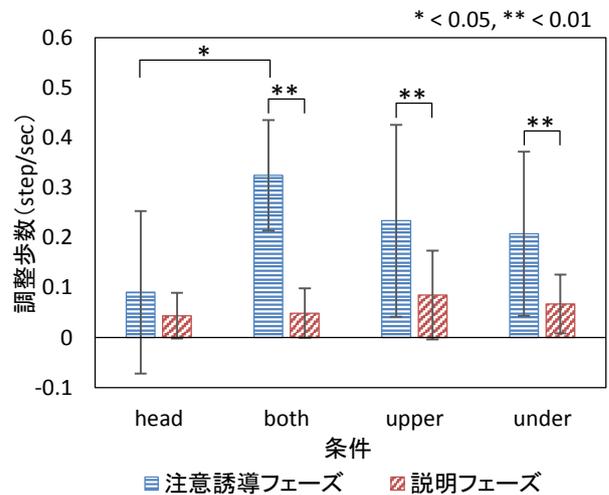


図 7. 各フェーズにおける平均調整歩数
 Figure 7. Average steps of subjects in each phase.

った。解析に当たっては、注意誘導フェーズと説明フェーズで所要時間に差があるため、それぞれのフェーズにおける調整歩数を所要時間で割った値を用いた。そして、条件(4水準)、フェーズ(2水準)を要因として、2要因の分散分析を行った。その結果、フェーズ要因と条件要因の主効果、および条件-フェーズ間の交互作用が有意であった($F(1,36)=39.241, p<0.001, F(3,36)=2.964, p=0.045, F(3,36)=3.698, p=0.020$)。そこで下位検定として、各フェーズにおける条件間の多重比較と、各条件におけるフェーズ間の比較を行った。それぞれの結果をまとめたグラフを図7に示す。各フェーズにおける条件間の多重比較では、注意誘導フェーズにおいてboth条件の調整歩数がhead条件に比べて有意に多いことが示された($p=0.014$)。また、各条件におけるフェーズ間の比較では、head条件を除く3条件(both, upper, under)において、注意誘導フェーズにおける調整歩数がその後の説明フェーズに比べて有意に多いことが示された($p<0.001, p=0.007, p=0.004$)。

これらの結果から、head 条件を除く 3 条件 (both, upper, under) では注意誘導フェーズにおいて調整歩数が増加し、身体方向が調整されているのに対し、head 条件では調整歩数の増加は見られず、身体方向も調整されていないことが示された。

3.6.2 被験者と絵画の距離

被験者位置のログデータより、説明開始時と注意誘導フェーズ後、および説明フェーズ後の各時点における被験者と絵画の間の距離を測定した。なお、検定に当たってはログデータの取得に失敗した試行を除外したため、被験者数は head, both, upper 条件それぞれ 9 名、under 条件 10 名の計 37 名であった。ここで、条件 (4 水準)、フェーズ (3 水準) を要因として、2 要因の分散分析を行った。その結果、フェーズ要因の主効果、および条件 - フェーズ間の交互作用が有意であった ($F(2,32)=32.637, p<0.001, F(6,66)=2.659, p=0.023$)。そこで下位検定として、各フェーズにおける条件間の多重比較と、各条件におけるフェーズ間の比較を行った。それぞれの結果をまとめたグラフを図 8 に示す。

各フェーズにおける条件間の多重比較では、いずれの条件間でも有意差は見られなかった。各条件におけるフェーズ間の比較では、まず both 条件において説明開始時 - 注意誘導フェーズ後間、および説明開始時 - 説明フェーズ後間で有意差 ($p=0.001, p=0.030$) が見られた。また upper 条件においては説明開始時 - 説明フェーズ後間で有意差 ($p=0.009$)、注意誘導フェーズ後 - 説明フェーズ後間で有意傾向 ($p=0.091$)、under 条件においては説明開始時 - 説明フェーズ後間および注意誘導フェーズ後 - 説明フェーズ後間で有意差 ($p=0.001, p=0.001$) が見られた。なお、head 条件においてはフェーズ間で有意差は見られなかった。これらの結果から、both 条件では注意誘導直後に被験者が絵画に近づき説明終了までそのままの距離を維持するのに対し、upper・under 条件では注意誘導直後には被験者は移動せず、その後の説明フェーズにおいて移動が行われていることが示された。

3.6.3 視線方向

ビデオ映像から、絵画 1 説明中の各時刻に被験者がロボットの方を見ていたかを 1 フレーム (1/30sec) ごとに判定し、説明中にロボットを見ていた総時間を測定した。図 9 に、各条件におけるロボットを見た時間の平均を示す。ここで、各条件に対して一元配置の分散分析を行ったところ、有意差が見られた ($F(3,36)=4.131, p=0.013$)。そこで下位検定として各条件間での多重比較を行ったところ、head-upper 条件間と head-under 条件間でそれぞれ有意差、head-both 条件間で有意傾向が示された ($p=0.036, p=0.001, p=0.056$)。このことから、身体のいずれかの部位を動かす条件では (both, upper, under)、head 条件と比べてロボットを見る時間が減少することが示された。

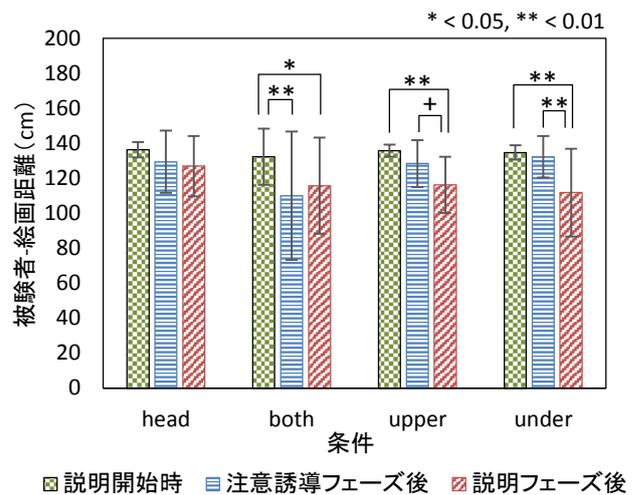


図 8. 各フェーズにおける被験者-絵画距離の平均
 Figure 8. Average distance between subjects and picture in each phase.

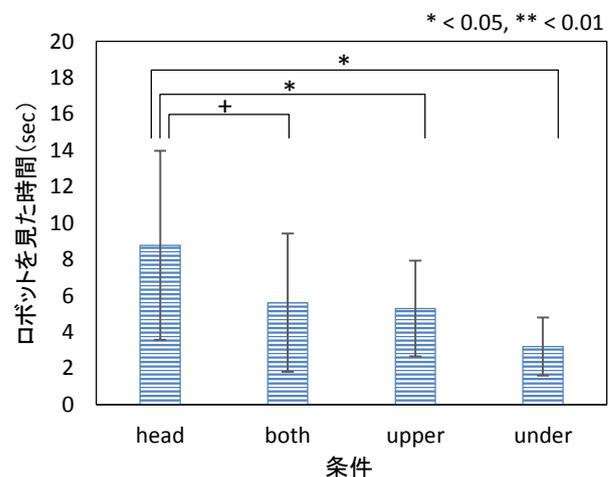


図 9. 各条件におけるロボットを見た時間の平均
 Figure 9. Average time to see the robot in each condition.

4. 考察

4.1 F 陣形の再構築に関する考察

3.6.1 調整歩数, 3.6.2 被験者と絵画の距離の評価結果より、ロボットの各部位の回転が F 陣形の再構築にどのような影響を与えたかの考察を行う。まず調整歩数の結果より、head 条件を除く 3 条件 (both, upper, under) では注意誘導フェーズにおいて身体方向が調整され、F 陣形の再構築が行われていると考えられる。この際、被験者と絵画の距離の評価結果より、both 条件においては移動を伴った F 陣形の再構築が行われたのに対し、upper, under 条件においては移動を伴わず、その場で回転し F 陣形の再構築が行われたと考えられる。これらの結果より、本研究の仮説 I は実証され、仮説 II については一部が実証された。仮説 II においては、下半身が主要関与、上半身が副次的関与を示すとする Schegloff の定義に基づき [8]、upper 条件でのみ移動を伴わない F 陣形の再構築が行われると予測したが、本実験の

結果においては upper 条件と under 条件の間に異なる傾向は見られなかった。この原因として、今回の under 条件動作が実際の人間の動作と異なる動きであったことが挙げられる。通常、人間が下半身を動かす場合は上半身を含めた全身の回転が伴うため、上半身のみを回転する場合と比べて動作が大きくなる。そのため、大きな動作を伴う下半身の動作がより大きな意味を持ち、主要関与を示すこととなる。これに対して、今回用いたロボットは2足歩行型ではなく、固定された台座上で上半身・下半身の外装を回転させることで体の回転を表現しているため、upper, under 条件間の動作の大きさはほぼ等しい。そのため、upper, under 条件共に同様な傾向となったと考えられる。なお、説明終了時の被験者と絵画の距離の評価結果より、upper, under 条件においても最終的には移動が行われていることが示された。これは、上半身、もしくは下半身の回転を長時間（説明フェーズ中約 30 秒間）維持したためであると考えられる。Schegloff によれば、身体ねじりは副次的関与を一時的に示す場合に使われるとされており [8]、今回の実験では身体ねじりを長時間維持したことで、主要関与が絵画に移ったと判断されたと推測される。そのため、被験者の移動を長時間抑制するためには、上半身・もしくは下半身の方向を定期的に被験者の方向へ戻すことが有効であると考えられる。

これらの結果から、注意誘導の際に上半身・下半身のいずれか一方のみを回転させることで、被験者の立ち位置を維持したままで F 陣形の再構築を促すことが可能であることが明らかになった。この知見に基づき、ロボットの身体方向を適切に変化させることで、説明タスクをより円滑に進めることが可能となる。例えば、複数の対象物が存在する状況において、一つのものに集中して説明を行う場合には全身を回転させ、移動を伴う F 陣形の再構築を促すことが有効である。一方、途中で説明対象を切り替えながら複数のものを説明する場合には、上半身・下半身のいずれか一方を回転させ、移動を伴わない F 陣形の再構築を促すことが有効である。このように、状況に応じて回転させる体の部位を使い分けることで、説明タスクをより円滑に進めることが可能になる。

4.2 被験者の視線方向に関する考察

3.6.3 視線方向の評価結果より、身体の内側のいずれかの部位を動かす条件 (both, upper, under) と、head 条件の間で有意な差が示された。仮説 III では、被験者の立ち位置が維持される場合、被験者がロボットを見る時間が長くなると予測したが、被験者の立ち位置が維持された upper, under 条件と both 条件の間の差は示されなかった。これは、上半身もしくは下半身の方向を長時間維持したことで被験者が移動したことによる影響であると考えられる。そのため、今後は 4.1 節で提案したように上半身もしくは下半身の方向を定期的に被験者の方に戻すことで被験者の移動を抑制した状

態で、視線の評価を行う必要がある。

5. おわりに

本研究では、適切な外観を持つロボットを用いて身体ねじりにより注意誘導を行った場合に、対話者の身体配置がどのように変化するかの評価を行った。評価に当たっては、自然な身体ねじりを提示可能なヒューマノイドロボット TT2 を用い、被験者に絵画の説明を行う研究室内実験を実施した。この際、身体の内側の各部位の回転による効果を比較するため、頭だけを回転させる head 条件、全身を回転させる both 条件、上半身のみを回転させる upper 条件、下半身のみを回転させる under 条件という 4 条件で比較を行った。実験の結果、both 条件においては先行研究同様に、被験者が移動を伴って F 陣形の再構築を行ったのに対し、upper 条件と under 条件では、被験者は立ち位置を維持したままで F 陣形の再構築を行うことが示された。ただしこれらの条件においても、身体の内側の方向を長時間維持することで徐々に被験者は移動を行っており、被験者の立ち位置を維持し続けるためには定期的に体を被験者の方向へ向ける必要があると考えられる。なお、身体ねじりの概念に基づき、upper 条件と under 条件との間で何らかの差が生じることを予想したが、今回の研究では差が見られなかった。これは、今回用いたロボットの機構及び動作の内容によるものであると考えられる。

本研究で得られた知見に基づき、状況に応じて回転させる体の部位を変化させることで、対話者の立ち位置と方向を制御し、F 陣形を再構築することが可能となる。これには、対話者の注意誘導において重要な役割を果たし、説明タスクをより円滑に進めることが可能となると考えられる。今後は、案内タスクにおいて、状況に応じて回転させる身体部位を適切に使い分け、その効果の実証を行っていく。また、今回の知見に基づく F 陣形の再構築は、案内タスクだけでなく、複数人で対話を行う際の各話者の役割調整にも影響を与えられるため、案内タスク以外の会話タスク等への適用を検討していく。

参考文献

- 1) マジョリー・F・ヴァーガス: 非言語コミュニケーション, 新潮選書(1987).
- 2) 渡辺富夫, 大久保雅史, 小川浩基: 発話音声に基づく身体的インタラクションロボットシステム, 日本機械学会論文集, C 編, Vol. 66, No. 648, pp. 2721-2728(2000).
- 3) F. Yamaoka, T. Kanda, H. Ishiguro and N. Hagita.: How close?: Model of proximity control for information-presenting robots, in Proc. of HRI 2008, IEEE Press, pp. 137-144(2008).
- 4) H. Huettenrauch, K. S. Eklundh, A. Green and E. A. Topp.: Investigating spatial relationships in human-robot interaction, in Proc. of IROS 2006, pp. 5052-5059(2006).
- 5) Y. Nakauchi and R. Simmons.: A social robot that stands in line, in Proc. of IROS 2000, pp. 357-364(2000)
- 6) S. Satake, T. Kanda, D. F. Glas, M. Imai, H. Ishiguro and N. Hagita.: How to approach humans?: Strategies for social robots to initiate

- interaction, in Proc. of HRI 2009, IEEE Press, pp. 109–116(2009).
- 7) A. Kendon,: Conducting interaction - patterns of behavior in focused encounters, Cambridge University Press(1990).
 - 8) E. A. Schegloff,: Body torque, Social Research, Vol.65, No.3, pp. 535–596(1998).
 - 9) Yamaoka, F., Kanda, T., Ishiguro, H. and Hagita, N.: Developing a model of robot behavior to identify and appropriately respond to implicit attention-shifting, in Proc. of HRI 2009, IEEE Press, pp.133-140(2009).
 - 10) Kuzuoka, H., Suzuki, Y., Yamashita, J., & Yamazaki, K.: Reconfiguring spatial formation arrangement by robot body orientation, in Proc. of HRI 2010, IEEE Press, pp.285-292(2010).
 - 11) D. McNeill.:Gesture, gaze, and ground., In Machine Learning for Multimodal Interaction, Springer Berlin Heidelberg, pp. 1-14(2006).
 - 12) 山崎晶子, 荻野洋, 山崎敬一, 葛岡英明: 科学博物館における身体ひねりを用いたロボット (TalkTorque-2) と観客との相互行為の分析, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J97-D, No.1, pp.28-38(2014).
 - 13) 株式会社アクエスト:テキスト音声合成ミドルウェア AquesTalk, <http://www.a-quest.com/products/aquestalk.html>