

複数ロボットの対話の活性度を用いた注意誘導システムの研究

Study for a Joint Attention System Using Communication Activity of Multiple Robots

一條剛志¹ 棟方渚¹ 小野哲雄¹

Takashi Ichijo¹, Nagisa Munekata¹, and Tetsuo Ono¹

¹北海道大学大学院情報科学研究科

¹Graduate School of Information Science and Technology, Hokkaido University.

Abstract: In this study, we investigate the mechanism of joint attention and its effect in group communications including robots. Recent studies recognize the importance of studies of "Communication Space". We believe density of "Communication Space" can be controlled by the activity of the robots' communication, and changing its activity can easily induce an alteration in human attention. Additionally, we see its control can strengthen the cognitive entrainment of the human to their communication.

1 はじめに

人とロボットの共同注視はコミュニケーションを円滑にするうえで重要である[1]. 協同で社会生活を営む集団のメンバー間で注意を共有することが円滑なコミュニケーションの実現には不可欠であり、視線においては共同注視がその役割を担っている[2]. 共同注視が成立する条件としては他者の視線を誘導できることが重要であり、それは人とロボットのコミュニケーションにおいても同様である。

また将来、ロボットが日常的に人間社会に参加する環境を想定すると、ロボットが人を1対1で支援する場合だけでなく、複数のロボットが連携して人を支援する環境も容易に想像できるだろう。そのような環境下では、人と複数のロボットが共同注視を成立させることが重要となる。複数人のインタラクションでは、片上ら[3]が提唱している雰囲気工学のように集団特有の暗黙的な制約が生じるため、それがメンバー間の注意の共有や視線の誘導に与える影響を検証する必要がある。

「コミュニケーションの場」は、近年研究の重要性が認識されつつある集団特有の要因である。コミュニケーションの場とは社会空間の概念のひとつであり、空間内のメンバーの結び付きに依存する。メンバーは効果的な振る舞いによってコミュニケーションの場を活性化させることができると同時に、この場から影響を受けるとされ、こうした背景からロボットやエージェントが社会空間を認識することが将来

のインタラクションにおいて重要だとされている。

本研究ではこのコミュニケーションの場を利用した注意誘導システムの構築を目指す。複数のロボットが連携して人の注意を誘導する環境ではロボットの構築するコミュニケーションの場が生じるため、この場を効果的に活用することができれば人の注意を容易かつ円滑に誘導できる可能性がある。

そこでシステム構築の前段階として、非言語情報（ジェスチャー・行動）を基にした対話の活性度制御が注意誘導に与える影響を検証する。対話活性度はコミュニケーションの場を制御し得る要因のひとつである。本研究ではロボット2体と人1名の環境を扱う。予備実験の結果、人はロボット2体に共同注視されることにより容易に視線を誘導されるようになり、ロボットの対話内容を積極的に理解しようとする認知的な引き込みが確認された。本稿ではこの引き込みと対話活性度の制御を通じたコミュニケーションの場の活用により、人の注意誘導が円滑になるかどうか検証する。

2 関連研究

本章では、本研究で扱う対話活性度の関連研究と対話活性度を高める要因として小野ら[4]の「共創対話」と喜多[5]の「一体感」を説明し、本研究との繋がりについて述べる。

まず、対話活性度はコミュニケーションの場を制御し得る要因と考えられており、主にトークとジェ

スチャー（行動）に分類され研究されている。トークに着目した研究では、対話中のトーク内容を解析し、発話や笑い声のオーバーラップ（重なり合い）やターンテイクから対話活性度を評価している[6].

一方、本研究が着目するジェスチャーや行動といった非言語情報を基に対話活性度を評価した研究は少ない。前田ら[7]は、頭部や腕にセンサーを装着した3名の被験者の対話から、非言語情報と対話活性度との相関を検証した。結果として手の加速度や頭部回転回数が対話活性度に影響を与えるという事実が得られた。この結果は、空間内のメンバの振る舞いがコミュニケーションの場を活性化させることができることを示している。

次に、エージェント同士の対話活性度の研究には伊藤ら[8]の雰囲気度の生成がある。伊藤らは言葉のニュアンスが場の雰囲気に依存するとして、視線や顔表情、頷きといった非言語情報と発話語数を組み合わせ、雰囲気度の定式化を行った。そして、TVML(TV program Making Language)を使用し、仮想的なスタジオでの擬人化エージェント同士の対話から雰囲気度の再現を行い、ユーザにエージェント間の雰囲気が伝わることを確認した。この研究はエージェントが構築するコミュニケーションの場をユーザへ効果的に活用できたことを示している。

次に、対話活性度を制御する要因として小野ら[4]の共創対話がある。小野らはロボットの身体表現を用いた道案内実験を通して、身体と同調的動作が人とロボットの関係を密にし、道案内の理解を促すことを示した。小野らはこれを共創対話と呼び、メンバの身体表現を引き出すことがインタラクションには重要だとした。この結果はメンバの相互作用がコミュニケーションの場に強い影響を与えることを示しており、行動のオーバーラップが対話活性度を制御できる可能性を示唆している。

行動のオーバーラップが対話活性度に影響を与える可能性は喜多[5]も示唆している。喜多は、コミュニケーションの参加者が同時にうなづくような同じ行動を取る現象によって、協応し合う「一体感」が生まれるとして、これを「きずな」と表現した。

本研究では前田らのように非言語情報に着目し対話活性度を定め、その活性度を行動のオーバーラップから制御し、伊藤らのようにロボット間のコミュニケーションの場を活用することで人の注意誘導を容易にしたい。

3 予備実験

予備実験[9]では、人が理解できない人工言語で対話するロボット2体が、対話の過程でアイカメラを

装着した被験者を共同注視する・しない条件を経て、その後被験者の前方に配置されたオブジェクトのひとつを共同注視するタスクを行った。結果としてロボット2体に共同注視された被験者は、ロボットの視線を頻繁に追従し、ロボット2体の対話内容を積極的に理解しようとする認知的引き込みが確認された。



図 1. 予備実験の様子

この実験ではロボット2体が被験者を共同注視することで2体のコミュニケーションの場への引き込みを仮定しており、結果として被験者は2体のコミュニケーションの場の影響を受けた振る舞いをした。したがって、このコミュニケーションの場を制御することで、より効果的な人の注意誘導が可能になると仮定できる。

4 本研究の概要

本研究は、非言語情報（特にオーバーラップ）を基にした対話活性度を提案し、その制御を活用した人の注意誘導を目的とする。そこで、まず対話活性度の分類やオーバーラップの定義を行い、その後モデル間で対話活性度の違いが生じるかどうか実験から検証する。

また、複数ロボットを利用した注意誘導の問題点として「共同注視感」がある。複数ロボットの視線が同じ方向・オブジェクトを指しているも、「複数ロボットが同じ物を見ている」という共同注視感をユーザが感じなければ、それはロボット1体の注意誘導と変わらない。そこでユーザに複数ロボットの共同注視感を強く認識させるため、非言語情報のオーバーラップによって一体感を表現し、共同注視感を高められるか併せて検証する。

4.1 対話活性度の分類

本研究では先行研究・関連研究から、非言語情報を基にして対話活性度を3段階に分類する。1つ目の状態はメンバの動きが少ない、または小さい場合である。2つ目の状態は、前田ら[7]の研究のようにメンバが対話活性度に関与する行動を取った場合で

ある. 3 つ目の状態はメンバ間の相互作用が働く場合とし, 今回は小野ら[4]の研究を踏まえ相互作用として行動のオーバーラップを考える.

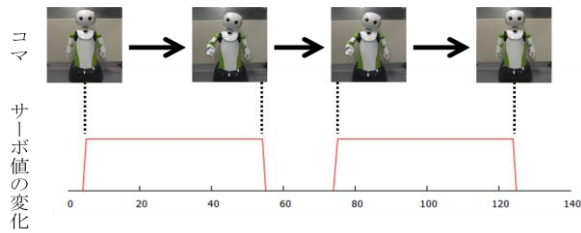


図 2. サーボ値の時系列変化

4.2 オーバーラップの定義

オーバーラップの定義には, ロボットのサーボ値を利用した. ロボットのモーションは図 2 のように, コマ間を補完する形で生成される. そこで, 閾値以上サーボ値を変化させるコマ間を対話活性度に関与する行動部と定義し (図 2 の山部分), この山がロボット 2 体で重なり合う状態をオーバーラップと定義する. すなわち, サーボ値を s_i ($i=1,2, \dots, \text{servo_num}$), サーボが閾値以上である判定を a_i ($i=1,2, \dots, \text{servo_num}$), モーションが対話活性度に関与する判定を A , オーバーラップの判定を O とすると以下の式で表せる.

$$a_i = \begin{cases} 1 & \text{if } (s_i \geq \text{threshold}) \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$

$$A = \bigcup_{i=1}^{\text{servo_num}} a_i$$

$$O = A_{\text{robot1}} \cap A_{\text{robot2}}$$

共同注視時には, 一方のロボットが被験者を注視し, その後にもう一方のロボットが注視することでオーバーラップを含まない共同注視を実現した.

5 実験

5.1 実験環境と実験設定

実験環境は図 3, 4 のように, パーティションで囲った内部に被験者-ロボット間, ロボット-ロボット間が 1.2m となるよう配置し, 被験者には椅子に座ってもらった. 被験者は普段からパソコンを利用して

いる 21~25 歳の男子大学生 10 名 (平均 23.3, 標準偏差 1.34) とした.

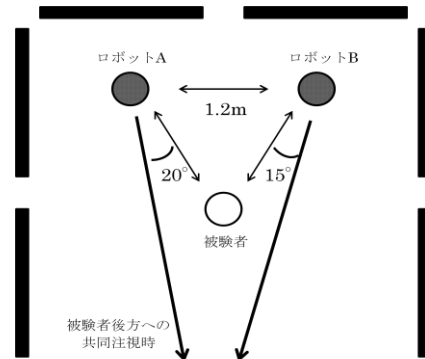


図 3. 実験環境



図 4. 実験風景

(実験開始: ロボットA, Bが対面)	
ロボットA:	こんにちは
ロボットA:	今日はどうしたの?
ロボットB:	プレゼントを決めたいんだけど
ロボットA:	何をあげるの?
ロボットB:	ハンカチなんだけど
ロボットB:	色で悩んでて
ロボットA:	白はどうか?
ロボットB:	でも黒もいいよね?
(ロボットA, Bが被験者を共同注視)・・・①	
ロボットA:	君は白と黒のどっちが好き?
(被験者が回答)例:	黒かな
ロボットA:	ありがとう
(ロボットA, Bが再び対面)	
ロボットB:	どっちがいいかな?
ロボットA:	あれはどうか?
(ロボットA, Bが被験者後方を共同注視)・・・②	
(ロボットA, Bが対面に戻る)	
ロボットB:	うん, 決めた!
(実験終了)	

表 1. 実験の対話

実験では、被験者に表 1 に示す簡単な対話に参加してもらった。表 1 内①の「ロボット 2 体が被験者を共同注視」するステップでは、予備実験で検証した認知的引き込みを行っている。また、表 1 内②の「ロボット 2 体が被験者後方を共同注視」するステップでは、「共同注視対象」が被験者後方になるようロボットの注視行動を図 3 のように設定した。また実験では、ロボット 2 体は以下の条件にしたがって行動している。

- 条件 1：オーバーラップを含む行動群
- 条件 2：オーバーラップを含まない行動群

オーバーラップの設定は、4 章で述べた定義に則り、サーボ値が一定値以上変化する時にもう一方のロボットがうなづく・首を動かすこととした。また、その他の行動群は両条件で同じものを採用した。

5.2 実験の流れ

実験は以下の流れで行った。

1. 条件 1(または 2)を受ける (1 回目の試行)
2. 1 回目の試行に関するアンケート
3. 条件 2(または 1)を受ける (2 回目の試行)
4. 2 回目の試行と実験全体に関するアンケート

質問紙では、「共同注視感」の調査を行うため「ロボット 2 体が同じ物を見ていたと感じたか?」、また、「ロボット 2 体の対話が盛り上がっていたと感じたか?」、「自分はロボットの対話相手だったか?」といった対話活性度に関する項目を用意し、1~7 の 7 段階で評価してもらった。

また、実験中は被験者の右斜め前方と左斜め後方から撮影を行い、被験者の視線がロボットの視線を追って被験者の推測した「共同注視対象」へ誘導されたかどうか確認した。

なお、ロボットの役割(表 1: ロボット A,B) は 1 回目と 2 回目の試行で反転している。また、各条件を受ける順番はランダムに設定した。

6 実験結果

被験者が 1 回目の試行で推測した共同注視対象については、10 名中 5 名の被験者が「自分の後方」と

答え、残り 5 名の被験者はこちらの想定と異なり「自分自身」と答えた。また、「2 体のロボットがバラバラな物を見ている」と答えた被験者はいなかった。推測した共同注視対象の違いによらず全ての被験者はロボットの視線を追って視線や頭部を動かし、後方や自分自身を確認していたことが動画からわかった。

一方、サンプル数が少ないものの、共同注視対象を「自分の後方」と答えた被験者 5 名と「自分自身」と答えた被験者 5 名の間には、「自分はロボットの対話相手だったか?」という質問で有意差が確認された(図 5, $t(8)=2.68, p<.05$)。これは、自分が見られていると答えた被験者が、実験環境から消去法で自分自身を選択した可能性を否定する結果である。

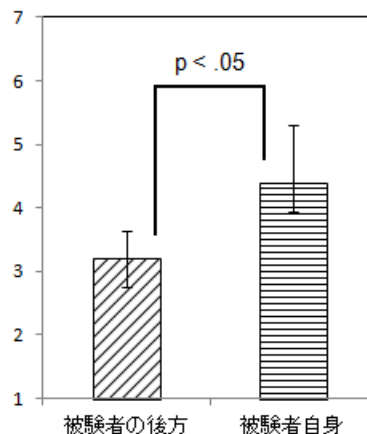


図 5. ロボットの対話相手としての自覚(被験者が推測した共同注視対象で分類)

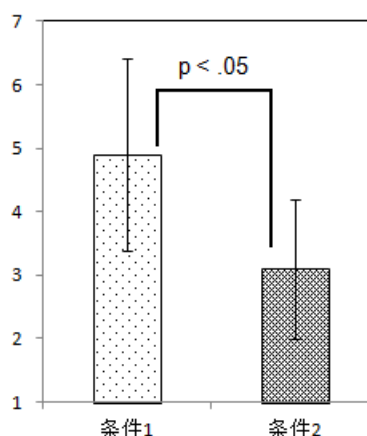


図 6. ロボット 2 体の対話の盛り上がり

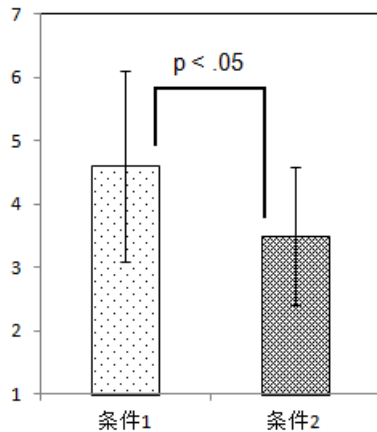


図7. ロボット2体の共同注視感

また2回目の試行では、1回目の試行で共同注視対象を「自分自身」と推測した被験者5名のうち2名が考えを変え、「自分の後方に共同注視対象があった」と答えた。統計的な議論はできないものの、この2名の被験者は1回目の試行では条件2（オーバーラップを含まない行動群）を受け、2回目の試行では条件1（オーバーラップを含む行動群）を受けた被験者であった。最終的に1回目と2回目の共同注視対象を「自分自身」と答えた被験者は3名で、どちらも1回目に条件1を受け、2回目に条件2を受けた群であった。

次に、「ロボット2体の対話の盛り上がり」を評価してもらったところ、オーバーラップを含む条件1と含まない条件2で有意差が得られた(図6, $t(9)=3.14$, $p < .05$)。被験者のコメントでは、オーバーラップを含む条件に対して「一体感があったから」と答えた者もあり、2章で述べた一体感が表現できた結果といえる。

また、「ロボット2体と同じ物を見ていたと感じたか？」という共同注視感に関する質問ではオーバーラップを含む条件1と含まない条件2で有意差が得られた(図7, $t(9)=2.40$, $p < .05$)。これは4章で述べた「共同注視感」に関する質問で、被験者の評価が高いほどロボット2体が共同注視をしている印象を強く与えている。結果として、オーバーラップを含む条件1では、ロボット2体の共同注視感が向上したといえる。

次に、「ロボット2体の対話の盛り上がり」と「ロボット2体と同じ物を見ていたと感じた」項目の条件を比較したところ、10名中9名の被験者が一致していた。ここでは「ロボット2体の対話の盛り上がり」を高く評価した条件を1、低く評価した条件を-1、差が無いと評価した場合を両条件0と設定し、また「ロボット2体と同じ物を見ていたと感じた」

を高く評価した条件を1、低く評価した条件を-1、差が無いと評価した場合を両条件0と設定して比較を行った。この結果から、対話活性度が高まることで、「共同注視感」を強く表現できることが確認された。

7 考察

表1内②のステップにおいて、ロボット2体の視線が被験者から大きく外れているにも関わらず被験者が「自分が見られている」と感じた結果は、ロボット2体に共同注視されることで起こる認知的引き込みが生じてしまった結果といえる。原因として、被験者が視線に順番付けをしてしまい、コンテキストから視線の意味を補完したことが考えられる。つまり、片方のロボットの視線から自分が見られていると感じ、そのロボットと同じ物を注視しているもう一方も自分を見ていると考えたと推測できる。

この仮説は、順番付けの難しい条件1を2回目の試行で受けた被験者2名が、「自分の後方に共同注視対象があった」と答えを変えたことから妥当であると考えられる。したがって、正しく共同注視対象を伝えるためにはロボットの視線の順序付けが難しいオーバーラップを含んだ注視行動が適していることが示唆された。

また、被験者の評価した対話の盛り上がりや共同注視感に条件間で有意差こそ確認されたものの高い評価ではなかった。これは、対話の長さやトーク内容に依存するものと考えられ、共同注視感を高め円滑な注意誘導を実現するためにはこれらの要因を踏まえた対話設計が必要となることが確認された。

8 まとめと展望

本研究ではコミュニケーションの場を活用した人の注意誘導システムの構築を目指し、その前段階として、非言語情報を基にした対話の活性度制御が注意誘導に与える影響を検証した。

具体的にはロボット2体のサーボ値を利用して行動のオーバーラップを定義し、オーバーラップを含む条件と含まない条件での検証実験を行った。

結果として、被験者はオーバーラップを含んだロボット同士の対話に盛り上がりを感じた。また、オーバーラップを含む条件下でのロボット2体の共同注視は被験者に強い共同注視感を与えた。また、ロボット2体の対話の盛り上がりと共同注視感には関連があることが示され、対話活性度の制御によって被験者の注意誘導が円滑になることがわかった。

今後の展望として、対話活性度を具体化し、コミ

コミュニケーション中の対話活性度の変化に対応した注意誘導システムの構築を目指していきたい。

参考文献

- [1] H. Kozima, C. Nakagawa, H. Yano, "Attention Coupling as a Prerequisite for Social Interaction," Proceedings of the 2003 IEEE international Workshop on Robot and Human Interactive Communication, pp.109-114, 2003
- [2] Scassellati, Brian. "Investigating models of social development using a humanoid robot." , Proceedings of the International Joint Conference on. Vol. 4, pp. 2704-2709, 2003.
- [3] 片上大輔: “雰囲気の工学的生成は不可能か?”, 人工知能学会全国大会, IJ3-OS-22a-100, 2013
- [4] 小野哲雄, 今井倫太, 石黒浩, 中津良平: 身体表現を用いた人とロボットの共創対話, < 特集> 次世代インタラクションのための情報技術, 情報処理学会論文誌, Vol. 42, No. 6, pp. 1348-1358, (2001)
- [5] 喜多壮太郎: ジェスチャーの認知科学 ひととはなぜジェスチャーをするのか, 認知科学, Vol. 7, No. 1, pp. 9-21, (2000)
- [6] 守屋悠里英, 田中貴紘, 宮島俊光, 藤田欣也: ボイスチャット中の音声情報に基づく会話活性度推定方法の検討, ヒューマンインタフェース学会論文誌 The transactions of Human Interface Society, Vol. 14, No. 3, pp. 283-292, (2012)
- [7] 前田貴司, 高嶋和毅, 梶村康祐, 山口徳郎, 北村喜文, 岸野文郎, 前田奈穂, 大坊郁夫, 林良彦: 3人会話における非言語情報と「場の活性度」に関する検討, 掲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 109 (457), pp. 73-78, (2010)
- [8] 伊藤淳子, 角所考, 美濃導彦: エージェント対話におけるノンバーバル表現間の相互依存性モデルの提案と対談テレビ番組による検証 (仮想環境の生成と活用). 電子情報通信学会技術研究報, MVE, マルチメディア・仮想環境基礎, 105(433), pp. 13-18, (2005)
- [9] 一條剛志, 棟方渚, 開一夫, 小野哲雄: ロボット2体の共同注視が与える引き込み効果の検証, HAI シンポジウム 2013, S-4, (2013)