

移動パターンによる複数ロボット間の関係性表現と印象変化

濱中 文緒^{1,a)} 吉田 峻亮^{1,b)} 山添 大丈^{1,c)}

概要: ヒューマン・ロボット・インタラクションにおいて、ロボットの振る舞いは人にとって予測しやすく理解しやすいことが重要である。感情などのロボットの内部状態を表出する際、人型ロボットでは人にとって理解しやすい表情やしぐさを用いる。しかし、非生物型ロボットは表情やしぐさを表出できる表現機構を持たない。本研究では、小型の非生物型ロボットが共同でタスクを行う場面を想定し、移動速度や衝突回避動作の有無を利用して内部状態や関係性を表現する手法を提案する。3台のロボットを用いた印象評価実験の結果、衝突回避動作や移動速度の違いがロボット自身の印象に影響があることを確認した。さらに、ロボットの速度が他のロボットの印象にも影響を及ぼすといった関係性による影響も確認した。

1. はじめに

ヒューマン・ロボット・インタラクションにおいて、人にとって予測しやすく理解しやすいロボットの挙動を設計することは重要である。人型のロボットは意図や感情といった内部状態の表現機構として、表情やしぐさを用いる。一方、非生物型のロボットはそのような表現機構を持たないため、内部状態の表現方法を考える必要がある。

これに対し、非生物型ロボットの内部状態の表現を目指した多くの研究が行われている [1], [2]。1台のロボットの加速度や走行経路の曲率の変化を用いる手法 [1] や、複数台ロボットにおいて各ロボットが共通／個別のゴールを目指す動作により意図や生物性を表現する手法などが存在する [2]。しかし、複数ロボットの群としての印象評価は行われているが、個別のロボットの印象評価やロボット同士の関係性を通じた内部状態の表現は行われていない。

本研究では、小型の非生物型ロボットが共同でタスクを行う場面を想定し、移動パターンによるロボット間の関係性の表現手法を提案する。従来手法で行われている速度などの変化に加え、走行経路が交差するときに進路を譲る動作を加えた移動パターンを設計する。ロボット同士の衝突を考慮して、ロボットの前部に警戒領域 [3] を設け、他のロボットによる警戒領域への進入があった場合に停止する／停止しないロボットを設定し、これらの移動パターンの違いでも、印象の変化や関係性を表現することを目指す。

2. 関連研究

人が非生物型のロボットに生物性を感じる現象は、しばしばアニメーション知覚により説明される。Heider らの研究はアニメーション知覚の代表例であり、円と大小2つの三角形の動きを変化させることで、幾何学図形であっても人に意図や生物性を感じさせることを示した [4]。

非生物型ロボットの内部状態の表現手法は、これまでに多く提案されてきた [5], [6]。1台の非生物型ロボットの内部状態を表現する方法として、その場での回転を利用した手法が存在する。Song らは怒り、驚き、嫌悪、悲しみ、喜び、恐怖、無表情の7つの感情を人や動物から着想を得た回転の動作とライトの色・波形の組み合わせを変化させることで、ロボットが表現している感情を被験者に正確に伝える手法を提案した [7]。また、同様のロボットの回転数や被験者との距離を変化させることで興奮、苦痛、憂鬱、満足の感情を表現する手法が存在する [8]。

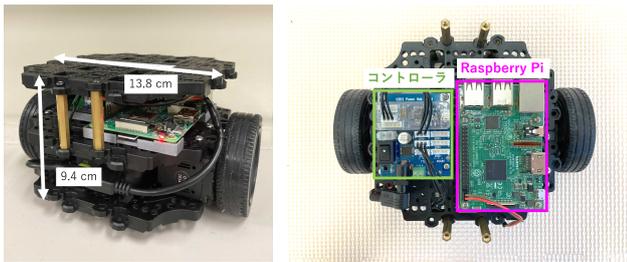
複数台の非生物型ロボットの内部状態を表現する方法としては、速度、速度の均一さ、各ロボットの動作の同期に着目した手法が存在する。Dietz らはこれらの要因を組み合わせることで移動パターンを作成し、速度はロボットの沈静-興奮の印象、速度の均一さは快-不快の印象に相関があることを示した [2]。

3. 実験環境

3.1 システム構成

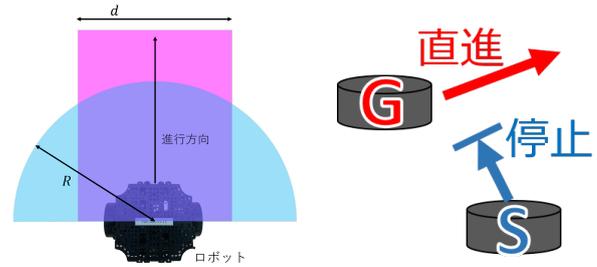
本研究の目的である移動パターンを実現可能な機構を持ち、かつ非生物型である条件を満たすロボットとして図 1a に示すロボットを作成した。ロボットの天板の直径

¹ 兵庫県立大学
University of Hyogo, Himeji, Hyogo, 671-2280, Japan
a) eo17d094@steng.u-hyogo.ac.jp
b) eo17u130@steng.u-hyogo.ac.jp
c) yamazoe@eng.u-hyogo.ac.jp



(a) 作成したロボット (b) 内部構成

図 1 ロボットの構成



(a) 警戒領域 (b) 回避動作

図 4 移動パターンの設計

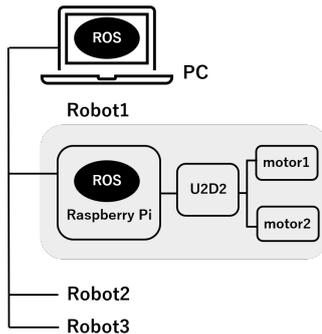


図 2 システム構成

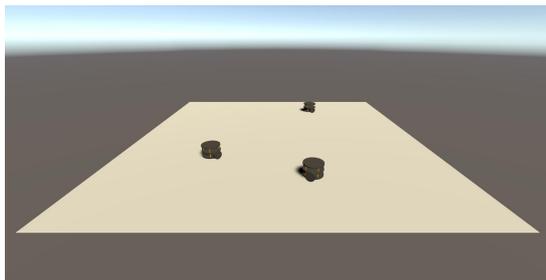


図 3 シミュレータ

は 13.8cm, 高さは 9.4cm である. 図 1b に内部構成を示す. ロボットは Raspberry Pi, ROBOTIS 製のサーボモータ (Dynamixel XL430-W250-T) とコントローラ (U2D2) から成る. また制御用 PC と各ロボットはネットワーク経由で接続され, ROS (Robot Operating System) を利用して PC から各ロボットに移動パターンの指示を送信する (図 2).

3.2 シミュレータ

移動パターンを設計する上で, 様々な移動パターンを試行するため, Unity でシミュレータを実装した (図 3). 本シミュレータは実機のロボットにおける移動パターンの生成にも利用する. まず, 作成したシミュレータを用いて 3 台のロボットの移動パターンを設計する. その後, シミュレータでロボットの動きを生成すると, 各時刻におけるロボットの速度, 角速度のデータを取得できる. これを前節で述べた制御 PC から送信される移動パターンとして利用することで, 実機の移動を実現している.

4. 実験

4.1 実験条件

本研究では, [2] を参考にした予備実験の結果も踏まえ, ロボットの動作を構成する要因としてロボットの速度 (Speed) を用いる. また, ロボット同士の衝突を考慮して, ロボットの前部に警戒領域 [3] を設ける. 図 4a に本研究で用いるロボットに警戒領域を適用した様子を示す. 水色の半円は, ロボットに生物性を付加するための 180° の視野であり, ピンク色の長方形はロボットの進行方向を範囲で表している. 視野の半径 $R = 30\text{cm}$, 進行方向の範囲の横幅 $d = 30\text{cm}$ とする. 紫色で示す範囲は, 視野と進行方向の範囲が重なる部分であり, これを警戒領域とする.

他のロボットが警戒領域に入った場合の回避動作の有無を Behavior とし, 図 4b のように停止するロボット S, 直進するロボット G を設定する. 3 台のうち 1 台をロボット G, 2 台をロボット S と割り当て, ロボット G の速度を Speed_G, ロボット S の速度を Speed_S とし, それぞれ高速 (20cm/s) と低速 (10cm/s) の 2 種類の速度を設定する.

図 5 に実機による実験の様子を示す. 表 1 に示す Behavior (G,S), Speed_G (H_g,L_g), Speed_S (H_s,L_s) の組み合わせによる 8 種類の移動パターンを作成し, 被験者 (15 人, 20 代前半) に見てもらう. その後, SAM と 27 種類の形容詞対について 7 段階で回答してもらう. SAM ではロボット全体の印象と指定の 1 台のロボット (G または S) の印象について, 形容詞対では指定の 1 台のロボットについての質問項目を作成した. 表 2 に SAM の評価項目を示す. Valence を不快-快, Arousal を沈静-興奮, Dominance を従属的-主体的と表し, 各 7 段階とした. また, 使用した 27 種類の形容詞対を表 6 に示す. これらは, 形容詞対の使用頻度を調べた研究 [9] より, 使用頻度上位 30 個のうち本研究に適さない 9 種類を除いた 21 種類を選出し, x22~x27 の 6 つの形容詞対は独自に追加した.

ロボットが移動する床の大きさは 2.4m×2.4m であり, 床から被験者までの距離は 1m である. 各ロボットはランダムに出現する個別のゴールに向かって移動し, 到達すれ

表 1 移動パターン

	Speed_G	Speed_S	Behavior
1	Hg	Hs	G
2	Lg	Hs	G
3	Hg	Ls	G
4	Lg	Ls	G
5	Hg	Hs	S
6	Lg	Hs	S
7	Hg	Ls	S
8	Lg	Ls	S

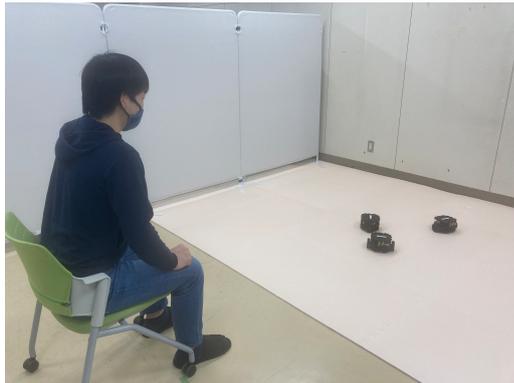


図 5 実験の様子

ば次のゴールに向かう。ゴールの更新回数は5回であり、ゴールの位置はロボットの移動範囲の中央2m×2mに出現させる。

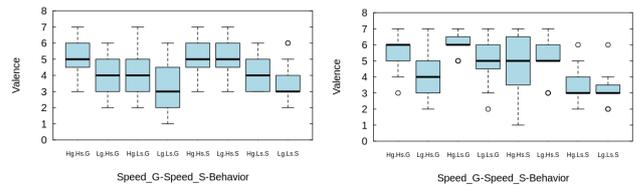
4.2 結果

4.2.1 SAMによる印象評価の結果

図6～8に移動パターンとValence, Arousal, Dominanceの値の関係を示す(横軸は表1に示す移動パターンである)。この結果に対し、3要因分散分析を行った。その結果を表3～表5に示す。なお、Speed_GはSpG, Speed_SはSpSと省略している。

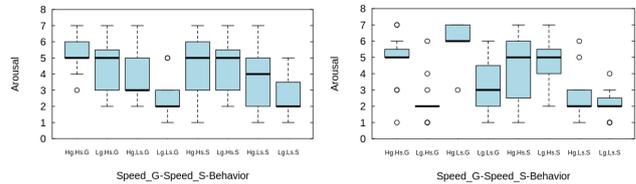
ロボット全体の印象である表3a, 4a, 5aと個別のロボットの印象である表3b, 4b, 5bを比較すると、Valence, Arousal, Dominanceのいずれの項目についてもBehaviorはロボット全体の印象には有意差がなく、個別のロボットの印象にのみ有意な影響を与えていることが分かる。よって、被験者が着目する対象のロボットのBehaviorの停止/直進によらず、ロボット全体の印象は速度によってのみ変化するといえる。

表3b, 4bより個別のロボットのValenceとArousalの値についてSpG:Behavior, SpS:Behaviorの交互作用が出ていることが分かる。また、表5bより個別のロボットのDominanceの値についてSpS:Behaviorの交互作用が出ていることが分かる。図9にValenceにおける交互作用を、図10にArousalにおける交互作用を、図11にDominance



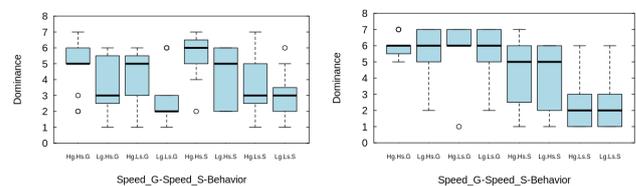
(a) ロボット全体の印象 (b) 個別のロボットの印象

図 6 移動パターンと Valence の値の関係



(a) ロボット全体の印象 (b) 個別のロボットの印象

図 7 移動パターンと Arousal の値の関係



(a) ロボット全体の印象 (b) 個別のロボットの印象

図 8 移動パターンと Dominance の値の関係

における交互作用を示す。また、交互作用に対して分散分析を行った結果を表12～13に示す。

図9aと表11a, 図10aと表12aより、被験者の着目対象のロボットのBehaviorがG(直進)であるとき、ロボットGの速度Speed_Gが上がればロボットG自身のValence(快適度), Arousal(覚醒度)が上がっている。一方で、Speed_Gが変化してもロボットSのValenceとArousalは変化しない。

図9bと表11b, 図10bと表12bより、被験者の着目対象のロボットのBehaviorがS(停止)であるとき、ロボットSの速度Speed_Sが上がればロボットS自身のValence(快適度), Arousal(覚醒度)が上がっている。さらに、被験者の着目対象のロボットのBehaviorがG(停止)であっても、ロボットSの速度Speed_Sが上がればロボットGのValence, Arousalが下がっている。したがって、ロボットGに着目している時であっても周辺を走っているロボットSの速度の影響を受けてロボットGの印象が変化していることから、関係性による影響が出現したといえる。

図11と表13より、ロボットSの速度Speed_Sが上がればDominance(支配度)は上がる。一方、Speed_Sが変化してもロボットGのDominanceは変化せず、常に高い。この結果にはロボット同士の進行方向が交差したときにロボットGはロボットSに進路を譲られるという動作設計が反映されたと考えられる。

表 2 SAM の評価項目

SAM の要素	ロボットの様子	1	7
Valence (快適度)	ロボットは心地良さそうか	不快	快
Arousal (覚醒度)	ロボットは落ち着いているか	沈静	興奮
Dominance (支配度)	ロボットは自由に動いているか	従属的	主体的

表 3 Valence の値の分散分析結果

(a) ロボット全体の印象

要因	Df	SS	MS	F	Pr
SpG	1	9.633	9.633	5.592	0.033 *
SpS	1	32.03	32.03	22.75	<.01 *
Behavior	1	2.70	2.700	2.217	0.159
SpG:SpS	1	0.53	0.5333	0.201	0.661
SpG:Behavior	1	2.133	2.133	1.213	0.289
SpS:Behavior	1	1.20	1.200	1.155	0.301
SpG:SpS:Behavior	1	0.833	0.8333	0.733	0.406

*:Pr<0.05

(b) 個別のロボットの印象

要因	Df	SS	MS	F	Pr
SpG	1	9.633	9.633	4.928	0.0434 *
SpS	1	7.5	7.500	6.562	0.0226 *
Behavior	1	26.13	26.133	17.12	<.01 *
SpG:SpS	1	0.533	0.5333	0.293	0.597
SpG:Behavior	1	12.03	12.033	5.816	0.0302 *
SpS:Behavior	1	45.63	45.63	40.27	<.01 *
SpG:SpS:Behavior	1	0.533	0.5333	0.404	0.535

*:Pr<0.05

表 4 Arousal の値の分散分析結果

(a) ロボット全体の印象

要因	Df	SS	MS	F	Pr
SpG	1	28.03	28.033	16.55	<.01 *
SpS	1	64.53	64.53	65.87	<.01 *
Behavior	1	2.13	2.133	0.754	0.4
SpG:SpS	1	3.33	3.333	1.063	0.32
SpG:Behavior	1	2.133	2.1333	2.367	0.146
SpS:Behavior	1	1.633	1.633	1.011	0.332
SpG:SpS:Behavior	1	0.30	0.300	0.111	0.744

*:Pr<0.05

(b) 個別のロボットの印象

要因	Df	SS	MS	F	Pr
SpG	1	63.08	63.08	36.34	<.01 *
SpS	1	9.075	9.075	18.68	<.01 *
Behavior	1	11.41	11.408	4.047	0.0639
SpG:SpS	1	3.68	3.675	0.958	0.344
SpG:Behavior	1	57.41	57.41	50.34	<.01 *
SpS:Behavior	1	75.21	75.21	63.17	<.01 *
SpG:SpS:Behavior	1	0.41	0.4083	0.133	0.721

*:Pr<0.05

表 5 Dominance の値の分散分析結果

(a) ロボット全体の印象

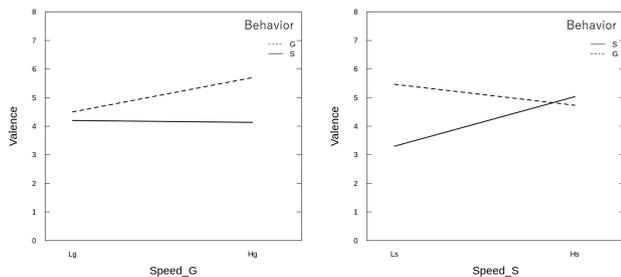
要因	Df	SS	MS	F	Pr
SpG	1	45.63	45.63	31.76	<.01 *
SpS	1	43.20	43.20	15.29	<.01 *
Behavior	1	0.53	0.5333	0.186	0.673
SpG:SpS	1	0.033	0.0333	0.019	0.892
SpG:Behavior	1	0.30	0.300	0.117	0.738
SpS:Behavior	1	2.13	2.133	0.805	0.385
SpG:SpS:Behavior	1	1.633	1.633	0.735	0.406

*:Pr<0.05

(b) 個別のロボットの印象

要因	Df	SS	MS	F	Pr
SpG	1	2.7	2.700	0.938	0.349
SpS	1	26.13	26.133	12.25	<.01 *
Behavior	1	172.8	172.80	46.79	<.01 *
SpG:SpS	1	0.03	0.0333	0.013	0.912
SpG:Behavior	1	0.833	0.8333	0.551	0.47
SpS:Behavior	1	26.13	26.133	11.85	<.01 *
SpG:SpS:Behavior	1	0.3	0.300	0.066	0.8

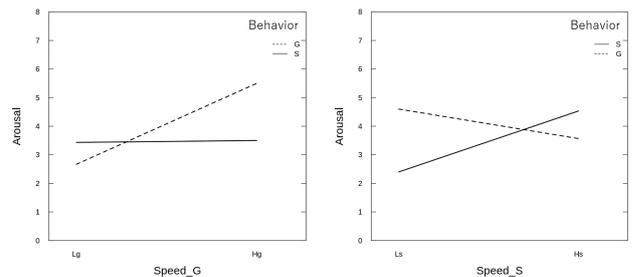
*:Pr<0.05



(a) Speed_G:Behavior

(b) Speed_S:Behavior

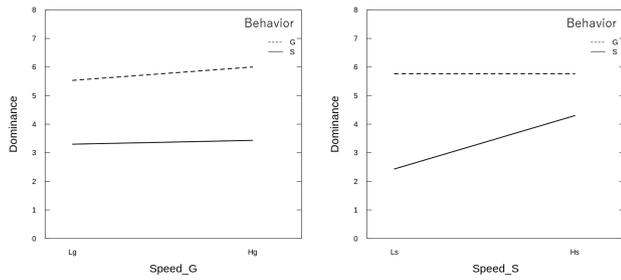
図 9 Valence おける交互作用



(a) Speed_G:Behavior

(b) Speed_S:Behavior

図 10 Arousal における交互作用



(a) Speed_G:Behavior (b) Speed_S:Behavior
図 11 Dominance における交互作用

表 6 因子分析の結果

形容詞対		ML1	ML2	ML3	ML4
因子 1 活動性					
x11	おだやかな-はげしい	1.06	0.01	-0.22	-0.18
x6	静かな-うるさい	1.05	0.08	-0.18	-0.06
x13	地味な-派手な	1.04	0.06	-0.12	-0.05
x9	不活発な-活発な	0.92	0.12	0.08	0.03
x7	陰気な-陽気な	0.91	0.06	-0.05	0.11
x4	消極的な-積極的な	0.79	-0.06	0.11	0.03
x23	受容的な-攻撃的な	0.75	-0.29	0.00	-0.20
x1	暗い-明るい	0.71	0.01	0.10	0.22
x8	重い-軽い	0.65	0.14	-0.13	0.13
x15	鈍い-鋭い	0.64	0.25	0.08	0.12
x5	弱い-強い	0.62	-0.13	0.47	-0.29
x14	つまらない-面白い	0.51	-0.11	0.26	0.30
x12	苦しい-楽しい	0.51	-0.06	0.33	0.23
x26	受動的な-能動的な	0.41	-0.40	0.17	0.11
因子 2 社会性					
x22	非協力的な-協力的な	0.07	0.92	-0.06	0.05
x10	不親切な-親切な	0.08	0.85	-0.11	0.16
x25	非社交的な-社交的な	0.30	0.81	-0.04	0.23
x21	だらしない-きちんとした	0.03	0.69	0.41	-0.16
x19	ふまじめな-まじめな	-0.48	0.54	0.20	0.16
x24	偶発的な-計画的な	-0.02	0.49	0.20	-0.04
因子 3 安定性					
x20	不安定な-安定した	-0.22	0.24	0.67	-0.07
x17	頼りない-頼もしい	0.39	0.14	0.60	-0.01
x18	弱々しい-たくましい	0.53	-0.09	0.57	-0.11
x16	気持ちのわるい-気持ちのよい	0.33	-0.06	0.49	0.19
因子 4 生物性					
x2	かたい-やわらかい	0.15	0.17	-0.10	0.69
x3	冷たい-あたたかい	0.07	0.34	-0.07	0.65
x27	機械的な-動物的な	0.08	-0.43	0.03	0.45

4.2.2 形容詞対による印象評価の結果

次に、形容詞対への回答に対して因子分析を行った。初期解における固有値の減衰状況から、4因子を採択した。表6に因子分析結果を示す。表6の形容詞対より第1因子ML1は活動性、第2因子ML2は社会性、第3因子ML3は安定性、第4因子ML4は生物性を表すグループと考えられる。また、因子スコアを求めた結果を図12~15に、因子スコアの分散分析結果を表7~10に示す。

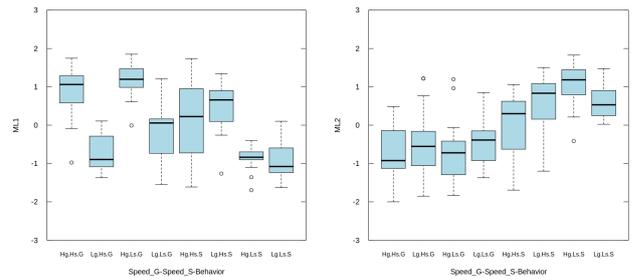


図 12 ML1 図 13 ML2

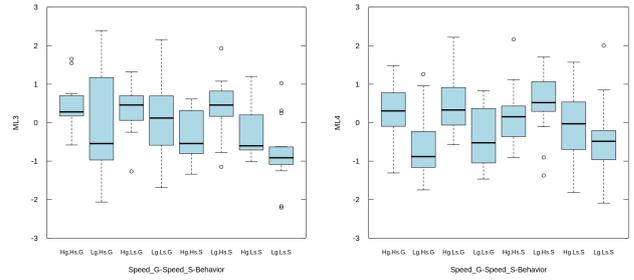


図 14 ML3 図 15 ML4

表7, 10より、ML1とML4ではSpG:Behavior, SpS:Behaviorの交互作用が出ていることが分かる。また表8, 9より、ML2とML3ではSpG:SpS:Behaviorの2次の交互作用が出ていることが分かる。ML2, ML3の2次の交互作用に対し分散分析を行った結果、Behavior=Sに対してSpG:SpSの交互作用が出たため、以下では、これら1次の交互作用について説明する。

図16~19にML1~ML4の交互作用を示す。また、交互作用に対して分散分析を行った結果を表14~17に示す。図16aと表14a, 図19aと表17aより、被験者の着目対象のロボットのBehaviorがG(直進)であるとき、ロボットGの速度Speed.Gが上がればロボットG自身の活動性(ML1), 生物性(ML4)が上がっている。一方で、Speed.Gが変化してもロボットSの活動性, 生物性は変化しない。

図16bと表14b, 図19bと表17bより、被験者の着目対象のロボットのBehaviorがS(停止)であるとき、ロボットSの速度Speed.Sが上がればロボットS自身の活動性, 生物性が上がっている。さらに、被験者の着目対象のロボットのBehaviorがG(停止)であっても、ロボットSの速度Speed.Sが上がればロボットGの活動性, 生物性が下がっている。したがって、ロボットGに着目している時であっても周辺を走っているロボットSの速度の影響を受けてロボットGの印象が変化していることから、ロボット間関係性による影響が出現したといえる。ML2とML3の結果に着目すると、図17と表15より、被験者の着目対象がSであるときに印象変化が生じ、ロボットGの速度Speed.Gが速く、ロボットSの速度Speed.Sが遅いときに社会性(ML2)が低下し、ロボットSの速度Speed.Sが遅

表 7 ML1 の因子スコアの分散分析結果

要因	Df	SS	MS	F	Pr
SpG	1	12.257	12.257	28.96	<.01 *
SpS	1	4.200	4.200	14.18	<.01 *
Behavior	1	10.018	10.018	19.66	<.01 *
SpG:SpS	1	0.057	0.0572	0.08	0.782
SpG:Behavior	1	19.403	19.403	38.62	<.01 *
SpS:Behavior	1	19.533	19.53	97.51	<.01 *
SpG:SpS:Behavior	1	0.810	0.8099	1.713	0.212

*:Pr<0.05

表 8 ML2 の因子スコアの分散分析結果

要因	Df	SS	MS	F	Pr
SpG	1	0.532	0.5315	0.67	0.427
SpS	1	2.881	2.8812	4.733	0.0472 *
Behavior	1	36.28	36.28	55.41	<.01 *
SpG:SpS	1	1.553	1.5526	3.136	0.0983
SpG:Behavior	1	0.183	0.1833	0.353	0.562
SpS:Behavior	1	1.916	1.9158	4.176	0.0603
SpG:SpS:Behavior	1	2.128	2.1276	5.15	0.0396 *

*:Pr<0.05

表 9 ML3 の因子スコアの分散分析結果

要因	Df	SS	MS	F	Pr
SpG	1	0.167	0.1675	0.334	0.572
SpS	1	2.758	2.7581	3.473	0.0835
Behavior	1	6.827	6.827	4.621	0.0496 *
SpG:SpS	1	2.65	2.6503	3.575	0.0795
SpG:Behavior	1	1.178	1.1783	1.298	0.274
SpS:Behavior	1	2.377	2.377	3.597	0.0787
SpG:SpS:Behavior	1	2.928	2.9276	7.317	0.0171 *

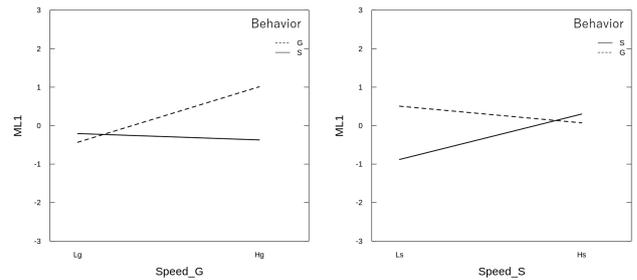
*:Pr<0.05

表 10 ML4 の因子スコアの分散分析結果

要因	Df	SS	MS	F	Pr
SpG	1	4.505	4.505	5.768	0.0308 *
SpS	1	1.015	1.015	3.095	0.1
Behavior	1	0.202	0.2016	0.192	0.668
SpG:SpS	1	0.577	0.5769	1.396	0.257
SpG:Behavior	1	5.996	5.996	4.765	0.0466 *
SpS:Behavior	1	6.058	6.058	14.19	<.01 *
SpG:SpS:Behavior	1	0.829	0.8287	1.259	0.281

*:Pr<0.05

く、ロボット G の速度 Speed_G が速いと社会性 (ML2) が向上している。また、図 18 と表 16 より、被験者の着目対象が S であるときに印象変化が生じ、ロボット G の速度 Speed_G が遅く、ロボット S の速度 Speed_S が速いとき、安定性 (ML3) が向上している。したがって、着目対象がロボット S であってもロボット G の速度の影響を受けて印象が変化していることから、ロボット間の関係性による影響が出現したといえる。



(a) Speed_G:Behavior (b) Speed_S:Behavior

図 16 ML1 における交互作用

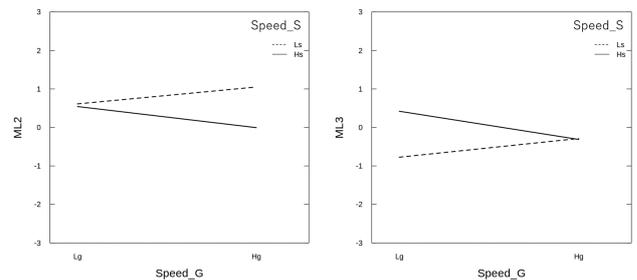
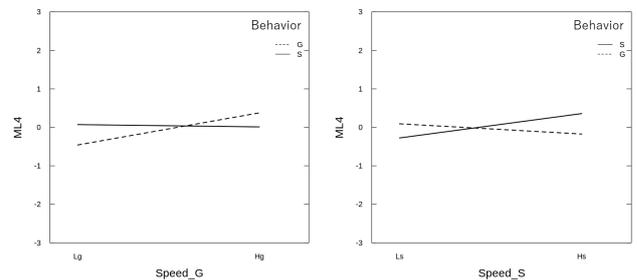


図 17 ML2 における交互作用 図 18 ML3 における交互作用



(a) Speed_G:Behavior (b) Speed_S:Behavior

図 19 ML4 における交互作用

4.3 考察

ここでは、ロボット単体に関する印象変化について、SAM と形容詞対に関する因子分析の結果から考察する。

Speed_G が上がればロボット G 自身の Valence, Arousal と、活動性 (第 1 因子)、生物性 (第 4 因子) が向上し、Speed_S が上がればロボット S 自身の Valence, Arousal と活動性 (第 1 因子)、生物性 (第 4 因子) が上がるという傾向が確認できた。これらは、速度の変化によってロボット自身の印象変化が起こるという傾向を示しており、従来研究 [2] でも見られた傾向である。一方、Speed_S が上がると、ロボット G の Valence, Arousal, 活動性 (第 1 因子)、生物性 (第 4 因子) が低下する傾向も確認できた。以上より、Valence, Arousal, 活動性 (第 1 因子)、生物性 (第 4 因子) に関して、基本的にはロボットの速度は、自身の印象のみに影響があるものの、回避動作と関連して、進路を

譲られるロボット G の印象は、進路を譲るロボット S の速度にも影響されることが分かった。

また、ロボット S における社会性（第 2 因子）と安定性（第 3 因子）に関しても、ロボット間の関係性による影響が見られた。ロボット G の速度（Speed_G）が高いときに、ロボット S の速度（Speed_S）が速くなると社会性が低下していた。これは、前を通過する速いロボットに対して、速いスピードで接近する行動が望ましくないと判断されたものと考えられる。

Dominance に着目すると、ロボット S の速度が上がると、S の Dominance は向上するのに対し、ロボット G の速度の影響は受けておらず、ロボット S の Dominance は自身の速度（Speed_S）のみが影響することが分かる。一方で、ロボット G の Dominance は、ロボット G、S の速度によらず常に高い値となっていた。これは、ロボット G が、衝突回避動作において進路を譲られる側であるためと考えられ、譲られる動作を行うことが、ロボット G が常に自由に動いているように見せていると考えられる。

このように、ロボット間の関係性が人のロボットに対する印象に影響を与えることが確認された。

5. まとめ

本論文では、移動パターンによる複数ロボット間の関係性の表現手法を提案した。移動パターンの設計にあたっては、ロボットの前方に警戒領域を設け、ロボット同士の衝突回避動作の有無と速度を用いた。被験者実験による印象評価を行い、得られた結果に対して分析を行ったところ、衝突回避動作有り／無しロボットの速度は互いのロボットの印象を変化させることが確認できた。この結果から、本研究の目的である関係性の表現の可能性が示された。ただし、本手法の警戒領域は広さを仮定しているため、警戒領域の広さの変化に伴う印象の変化が起こる可能性がある。したがって、警戒領域を Social force model などに基づいて設計することで、より詳細な印象変化につながれると考える。

謝辞 本研究は、JSPS 科研費 18K11383 の助成を受けて実施したものである。

参考文献

- [1] Martin Saerbeck and Christoph Bartneck. Perception of Affect Elicited by Robot Motion. In *Proceedings of the 5th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, pp. 53–60, 2010.
- [2] Griffin Dietz, Jane L. E, Peter Washington, Lawrence H. Kim, and Sean Follmer. Human perception of swarm robot motion. pp. 2520–2527, 05 2017.
- [3] Yusuke Tamura, Dai le, Kentarou Hitomi, Naiwala Chandrasiri, Takashi Bando, Atsushi Yamashita, and Hajime Asama. Development of pedestrian behavior model taking account of intention. 10 2012.

- [4] Fritz Heider and Marianne Simmel. An Experimental Study of Apparent Behavior. In *The American Journal of Psychology*, Vol. 57, pp. 243–259, Apr 1944.
- [5] Kirsch A Papenmeier F, Uhrig M. Human understanding of robot motion: The role of velocity and orientation. *International Journal of Social Robotics*, Vol. 11, pp. 75–88, 2019.
- [6] Trenton Schulz, Patrick Holthaus, Farshid Amirabdollahian, Kheng Lee Koay, Jim Torresen, and Jo Herstad. Differences of human perceptions of a robot moving using linear or slow in, slow out velocity profiles when performing a cleaning task. In *2019 28th IEEE International Conference on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)*, pp. 1–8. IEEE Press, 2019.
- [7] Song Sichao and Yamada Seiji. Designing Expressive Lights and In-Situ Motions for Robots to Express Emotions. In *The American Journal of Psychology*, Dec 2018.
- [8] Genta Yoshioka, Takafumi Sakamoto, and Yugo Takeuchi. Inferring affective states from observation of a robot's simple movements. In *2015 24th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)*, pp. 185–190, 2015.
- [9] 井上正明, 小林利宣. 日本における sd 法による研究分野とその形容詞対尺度構成の概観. *教育心理学研究*, Vol. 33, No. 3, pp. 253–260, 1985.

表 14 ML1 における交互作用の分散分析結果

(a) SpG:Behavior

要因	Df	SS	MS	F	Pr
SpG(Behavior=G)	1	31.252	31.25	94.73	<.01*
SpG(Behavior=S)	1	0.409	0.4085	0.686	0.422
Behavior(SpG=Hg)	1	28.653	28.65	68.23	<.01*
Behavior(SpG=Lg)	1	0.769	0.7685	1.298	0.274

*:Pr<0.05

(b) SpS:Behavior

要因	Df	SS	MS	F	Pr
SpS(Behavior=G)	1	2.809	2.8086	13.43	<.01 *
SpS(Behavior=S)	1	20.924	20.924	72.81	<.01 *
Behavior(SpS=Hs)	1	0.787	0.7868	1.747	0.207
Behavior(SpS=Ls)	1	28.764	28.76	110.8	<.01 *

*:Pr<0.05

表 11 Valence における交互作用の分散分析結果

(a) SpG:Behavior

要因	Df	SS	MS	F	Pr
SpG(Behavior=G)	1	21.6	21.600	20.3	<.01 *
SpG(Behavior=S)	1	0.07	0.0667	0.023	0.883
Behavior(SpS=Hg)	1	36.82	36.82	25.86	<.01 *
Behavior(SpS=Lg)	1	1.35	1.350	0.622	0.444

*:Pr<0.05

(b) SpS:Behavior

要因	Df	SS	MS	F	Pr
SpS(Behavior=G)	1	8.067	8.067	10.82	<.01 *
SpS(Behavior=S)	1	45.07	45.07	29.44	<.01 *
Behavior(SpS=Hs)	1	1.35	1.350	0.974	0.34
Behavior(SpS=Ls)	1	70.42	70.42	55.28	<.01 *

*:Pr<0.05

表 12 Arousal における交互作用の分散分析結果

(a) SpG:Behavior

要因	Df	SS	MS	F	Pr
SpG(Behavior=G)	1	120.42	120.42	94.53	<.01 *
SpG(Behavior=S)	1	0.067	0.0667	0.042	0.841
Behavior(SpG=Hg)	1	60	60.00	26.25	<.01 *
Behavior(SpG=Lg)	1	8.817	8.817	5.267	0.0377 *

*:Pr<0.05

(b) SpS:Behavior

要因	Df	SS	MS	F	Pr
SpS(Behavior=G)	1	16.017	16.017	27.23	<.01 *
SpS(Behavior=S)	1	68.27	68.27	62.74	<.01 *
Behavior(SpS=Hs)	1	14.02	14.017	5.492	0.0344 *
Behavior(SpS=Ls)	1	72.6	72.60	49.82	<.01 *

*:Pr<0.05

表 13 Dominance における交互作用の分散分析結果

要因	Df	SS	MS	F	Pr
SpS(Behavior=G)	1	0	0.000	0	1
SpS(Behavior=S)	1	52.27	52.27	30.83	<.01 *
Behavior(SpS=Hs)	1	32.27	32.27	9.987	<.01 *
Behavior(SpS=Ls)	1	166.67	166.67	62.5	<.01 *

*:Pr<0.05

表 15 ML2 における交互作用の分散分析結果 (Behavior=S の場合)

要因	Df	SS	MS	F	Pr
SpG(SpS=Hs)	1	2.258	2.2584	2.633	0.127
SpG(SpS=Ls)	1	1.444	1.4445	7.229	0.0176 *
SpS(SpG=Hg)	1	8.370	8.370	13.54	<.01 *
SpS(SpG=Lg)	1	0.036	0.0355	0.076	0.787

*:Pr<0.05

表 16 ML3 における交互作用の分散分析結果 (Behavior=S の場合)

要因	Df	SS	MS	F	Pr
SpG(SpS=Hs)	1	4.031	4.031	8.066	0.0131 *
SpG(SpS=Ls)	1	1.773	1.7726	3.955	0.0666
SpS(SpG=Hg)	1	0.005	0.0046	0.008	0.93
SpS(SpG=Lg)	1	10.698	10.698	22.21	<.01 *

*:Pr<0.05

表 17 ML4 における交互作用の分散分析結果

(a) SpG:Behavior

要因	Df	SS	MS	F	Pr
SpG(Behavior=G)	1	10.45	10.447	9.793	<.01 *
SpG(Behavior=S)	1	0.053	0.0532	0.055	0.818
Behavior(SpG=Hg)	1	1.999	1.999	1.902	0.19
Behavior(SpG=Lg)	1	4.198	4.198	3.337	0.0891

*:Pr<0.05

(b) SpS:Behavior

要因	Df	SS	MS	F	Pr
SpS(Behavior=G)	1	1.057	1.057	4.635	0.0493 *
SpS(Behavior=S)	1	6.016	6.016	11.42	<.01 *
Behavior(SpS=Hs)	1	4.235	4.235	5.854	0.0297 *
Behavior(SpS=Ls)	1	2.025	2.0246	2.683	0.124

*:Pr<0.05