

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 8 月 24 日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2014～2016

課題番号：26705008

研究課題名（和文）持続可能な対ロボット関係を実現する連動的全身非言語行動による親密性表出モデル

研究課題名（英文）Intimacy Equilibrium Model focusing on whole-body behaviors for sustainable relationships between robots and humans

研究代表者

上出 寛子（Kamide, Hiroko）

名古屋大学・未来社会創造機構・准教授

研究者番号：90585960

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 19,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、異なる親密性のレベルに特徴的な動作を予測するモデルを構築し、それをロボットや3Dエージェントで実装することにより、異なる親密性を表現可能か検討した。友人関係と未知関係のペアの日常会話場面をモーションキャプチャにより測定し、動作を定量的に抽出・分類した上で、友人関係、未知関係にそれぞれ特徴的な非言語動作に基づくシナリオを作成した。それらのシナリオを、人間・ロボットの3Dエージェント、また、実機のヒューマノイドに実装し、どの程度親密性を表現出来ているか評価したところ、友人に特徴的とされる動作に基づくシナリオの方が、未知関係のそれよりも親密性が高く評価されることが明らかとなった。

研究成果の概要（英文）：The aim was to develop a model that predicts nonverbal behaviors that are implicit but specific to strangers and friends and to test the expressiveness of different levels of closeness using a robot. An experiment was conducted in which 48 pairs of participants had casual conversations about recent events for 10 min. Their body movements were recorded by a motion-capture system, and vectors were defined on the upper body to compute the cosine similarity for each frame in order to extract the motions. The motions specific to strangers and friends were identified and two scenarios were created using those motions. The scenarios were implemented using 3D agents of a female human and a humanoid robot, and also a real humanoid. Respondents were asked to evaluate the closeness that the agent seemed to express toward the counterpart. The results showed that agents and a robot performing friend motions were evaluated higher in expressiveness closeness than non-friend motions.

研究分野：ヒューマン・ロボット・インタラクション

キーワード：ヒューマン・ロボット・インタラクション 非言語行動

1. 研究開始当初の背景

人間とロボットとの関係の展開については、工学的な技術開発が盛んであるが、関係をより長期的に発展させるためには社会心理学的なコミュニケーション研究の知見の応用が必須である。具体的には、同じ動作を繰り返すロボットへの飽きやすさを低減し、人間とロボットとの親密さを時間的に変化・発展させる形での関係の持続性を実現する必要がある。この問題に取り組む社会心理学的な知見により、世界的な高水準を誇る日本のロボット工学を革新的に加速させることが強く期待されている。

対人コミュニケーションでは、親密性を反映する視線や笑顔、対人距離などのマルチ・チャンネルを同時に調整し、親密性を一定に保つ。これを親密性平衡モデル Intimacy Equilibrium Model (IEM; Argyle & Dean, 1965)と呼ぶ。たとえば、距離が近づくと同時に視線量を減らすことで、親密性を平衡に保つ。IEMは古典的なコミュニケーション理論ではあるが、性別や年代に関わらず広く観察される基本理論でもある。

ただし、IEMは、主に主観的な行動測定データに基づくという限界がある。そこで本研究では、人間の全身3次元モーションキャプチャデータを用いることで、IEMの原理を、全身マルチ・チャンネルの同時制御を予測する高精度な数理モデルとして革新する。

2. 研究の目的

これまでに、96人の男女日本人ペアを対象に、距離(1m/2m)と親密性(未知/友人)を条件として、一般的な会話中の全身非言語行動を、最新の3次元モーションキャプチャシステム(カメラ20台)とアイカメラにより取得した。その結果、未知ペアにおいてはIEMが予測する通り、距離が離れる程、全身の行動量が増加するという相補的なマルチ・チャンネルの関係性がある一方、友人ペアでは、相補関係性に加え、右の下半身と右腕は、距離が近いほど行動量が増加するという相乗的な関係性もあり、親密性のレベルにより連動の仕方が違うことが新たに発見された。

以上のように、親密性を射程に入れ、親密性に応じて、全身のどのチャンネルが、どのように調節されているのかを定量的に明らかにし、高精度な数理モデルを構築する。このモデルから、親密性を自律的に表現するロボットの動作の指針を提案することが本研究の目的である。

3. 研究の方法

【実験参加者】実験には48ペア98名の男女日本人(男性48名、平均年齢 = 37.99, SD = 9.38)が参加した。関係性条件として、半数のペアが未知、残りの半数が友人関係であった。本研究とは別の目的のため、各条件における半数の参加者は1m、残りは2mの距離で会話を行ったが、本報告では関係性のみ注目するため距離条件や性別は統制し解析する。

【手続き】自然な会話中の動作を測定するため、募集に際してカバーストーリを設定した。カバーストーリとして、2人が同時に物を運ぶなど協調作業をする際の動作を測定することが実験の目的であった。併せて、動作が正確に測定できているかの確認として作業前に任意の動作測定をする必要があることも同時に伝えた。任意の動作測定としては、最近の出来事について10分程度互いに自由に会話をしてもらおうとし、話す内容をあらかじめ考えてくるように依頼した。実際には協調行動は実施しなかった。

参加者は実験場所に到着後、実験の目的の説明を受けて同意書にサインをした。その後、測定用のスーツに着替え、質問紙(2.4)に回答を行った。次にマーカ等を気にせずいつものように動きながら相手と最近の出来事を話すように教示を受けた。10分の会話の後、実験は終了した。

【測定機器】モーションキャプチャのマーカの位置はSIMM (software for interactive musculoskeletal modeling) と Plug-in-Gait を合成したものを用了。全身43点のうち、本報告では上半身の16点の解析結果を報告する(図1)。モーションキャプチャにはMotion Analysis CorporationによるMAC 3Dシステムと20個のRaptor-E cameras madeを用い、オペレーションソフトウェアにはCortex v3.6、スーツは3X3 De-signsのMoCap Suit STDを用いた。

マーカの補完方法として、欠損フレームが連続で3フレーム以下の場合には、スプライン補間を行った。それ以外の場合には、ターゲットになるマーカと同一セグメント上あるいはターゲットのマーカと距離が安定している3つのマーカからの距離を計算して補間するリジッドボディ補間を行った。

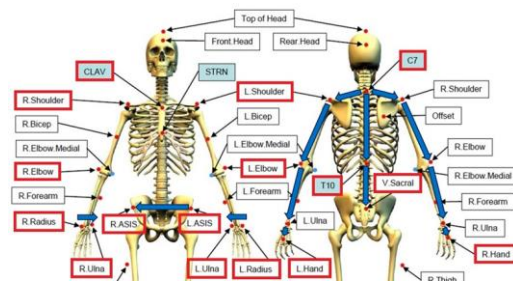


図1 全身16点のマーカを用いた13ベクトル

【質問紙】未知ペアと友人ペアの親密性の操作チェックのため、親密性を測定する質問紙を実験の最初に実施した。愛の三角理論のうち、友人同士の親密性を測定する親密性の因子(10項目、7件法、 $\alpha=.98$)を用いた。質問項目は、「その人とはうまくコミュニケーションをとれている」、「その人は必要な時には私を頼ることができる」などである。

4. 研究成果

【操作チェック】未知条件と友人条件における親密性の操作チェックを行った。2.4の10項目の尺度得点について関係性条件を独立

変数とし、性別と年齢を統制した共分散分析を行ったところ、関係性の効果が有意であった($F(1, 94) = 132.20, p < 0.001$)。友人条件(mean = 4.75, SD = 1.18)の方が未知条件よりも親密性が高い(mean = 1.88, SD = 1.26)ことが確認された。

【動作の抽出】 解析に用いたモーションキャプチャのデータは 10Hz である。上半身の 16 のマーカに基づき 13 のベクトルを定義した(図 1)。動作の抽出には、コサイン類似度 [17] を用いる。コサイン類似度は、2 つのベクトルのなす角のコサインを利用して求める。各ベクトルに関して、毎時刻におけるフレーム前後間のコサインを計算する。時刻 $t, t+1$ における i 番目($1 \leq i \leq 13$)のベクトルのコサイン類似度を $S_i(t)$ とし、式(1)により求める。

$$S_i(t) = \cos \theta = \frac{A_i(t) \cdot A_i(t-1)}{\|A_i(t)\| \|A_i(t-1)\|} \quad (1)$$

時刻 $t, t+1$ に関して、求めた各ベクトルのコサイン類似度の和を上半身のコサイン類似度 $S(t)$ とし、式(2)により求める。

$$S(t) = \sum_{i=0}^{13} S_i(t) \quad (2)$$

直前の姿勢と似ている(静止)ほど $S(t)$ は高くなり、似ていない(動)ほど $S(t)$ は小さくなる。設定した閾値より $S(t)$ が小さくなった時点から、再び大きくなるまでの間を一つの動作として抽出する(図 2)。

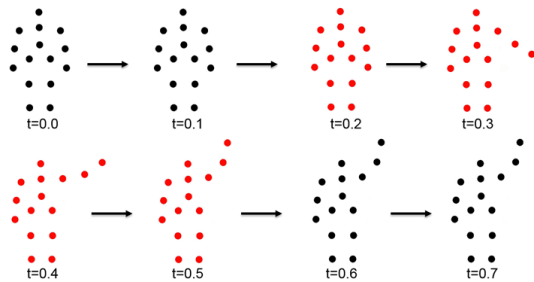


図 2 抽出される動作(例: $t=0.2$ から $t=0.5$) [17]

【抽出した動作を種類にまとめる】抽出した動作をペアにし、互いの全フレーム毎にコサイン類似度を計算する。データ長 m の動作データ X と、データ長 n の動作データ Y の各フレームの類似度 $S(x_a, y_b)$ ($1 \leq a \leq m, 1 \leq b \leq n$) を式(3)により求める。これを行列表示することで、時系列における動作の類似度を視覚化する。

$$S(x_a, y_b) = \sum_{i=0}^{13} S_i(x_a, y_b) = \sum_{i=0}^{13} \frac{X_i(x_a) \cdot Y_i(y_b)}{\|X_i(x_a)\| \|Y_i(y_b)\|}$$

類似度の計算結果の例を図 3 に示す。高類

似度のフレームを黒色で示している。これにより、姿勢の連続的な時系列における類似度を求める。二つの動作が類似している場合には、黒色のフレームが左上から右下まで直線的に現れる。

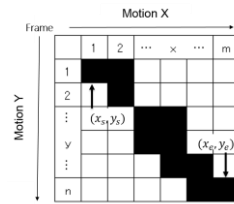


図 3 動作の類似度比較における行列計算結果例(柴田佳幸, 新妻実保子, “コサイン類似度を用いた人の姿勢の時系列データに基づく動作認識,”

Proceedings of the 2014 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, Toyama, Japan, (2014).)

類似度の高い要素の最初の始点 (x_s, y_s) から終点 (x_e, y_e) までの長さを L とし、式(4)により求める。

$$L = \frac{\sqrt{(x_e - x_s)^2 + (y_e - y_s)^2}}{\sqrt{(m-1)^2 + (n-1)^2}} \quad (4)$$

L が設定した閾値より大きければ、その二つの動作は類似と判別し、同じ種類の動作としてまとめる。図 4(a) は動作データ A と動作データ B が類似であることを示し、図 4(b) は動作データ C と動作データ D が正反対の動きで非類似であることを示している。

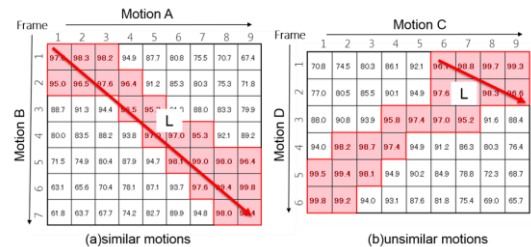


図 4 類似動作 A, B と非類似動作 C, D の例

使用した閾値は、実験動画を確認し、参加者が動いたと目視で判断できる閾値かを確認しながら決定した。また、3.3 で使用した閾値は、実験動画を確認し、実際に類似動作と判断可能な閾値であることを確認しながら決定した。

【関係性が動作回数と種類数に与える影響】96 人が 10 分間に行った全動作回数は 12,033 であり、それらは 811 種類の動作の種類にまとめられた。関係性(未知・友人)条件が、動作の回数と種類数に影響するかどうかを調べるため、回数と種類数のそれぞれに対して、関係性条件を独立変数とした一要因の分散分析を行った。

動作回数については関係性の効果が非有意であった(未知 mean=99.81, SD=67.55; 友

人 mean=121.04, SD=97.84)が、種類数に関しては、友人関係の方が未知関係よりも有意に動作の種類が多かった ($F(1,91)=6.04, p<.05$). 関係性が異なることで全体の動作回数が変わるとはいえない。一方で、未知関係よりも友人関係の方が行う動作の種類が多く、親密になることで動作の種類が増えることが示唆された(図 5)。

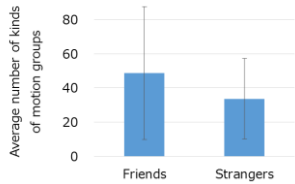


図 5 関係性における動作の種類数

3.5 関係性に特徴的な動作の特定

関係性で動作の種類数が異なることが明らかとなったが、より詳細に未知・友人関係それぞれに特徴的な個別動作を特定する。811 種類の動作のうち、一人当たり平均 0.5 回以上行動されている個別動作のそれぞれに対して、関係性が与える影響を検討した。その結果、関係性の主効果が有意な動作は 8 種類あり、全て友人関係の方が未知関係より回数が多いことが明らかとなった(表 1)。図 6 に、関係性により回数が異なる動作の具体的なしぐさを提示する。

表 1 関係性により回数が有意に異なる動作

Motion number	Friend		Stranger		Statistic
	M	SD	M	SD	
7	2.25	3.28	1.04	1.69	$F(1,91)=4.93, p<.05$
6	1.99	2.75	1.01	1.44	$F(1,91)=4.47, p<.05$
14	1.68	2.40	0.71	1.43	$F(1,91)=6.35, p<.05$
290	1.68	2.68	0.67	1.91	$F(1,91)=4.98, p<.05$
721	1.47	3.54	0.42	1.02	$F(1,91)=4.40, p<.05$
329	1.27	3.19	0.14	0.45	$F(1,91)=6.20, p<.05$
327	1.14	2.58	0.20	0.69	$F(1,91)=6.05, p<.05$
16	0.93	1.54	0.25	0.49	$F(1,91)=8.19, p<.01$

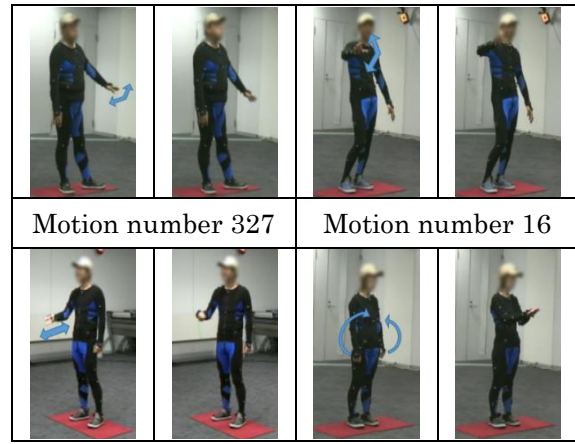
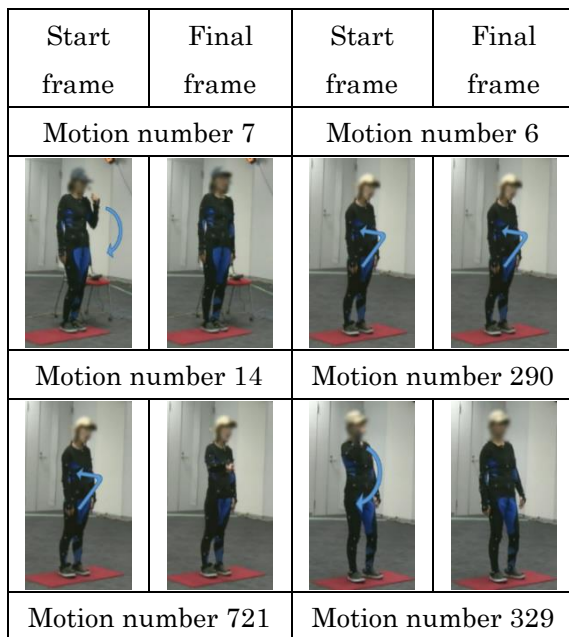


図 6 関係性により回数の異なる動作

【関係性に特徴的な動作に対する心理評価】
 で明らかとなった関係性に特徴的な動作を中心に各関係性の動作シナリオを作成し、親密性の違いを客観的に表現できているかどうか評価を行う。

【シナリオの作成】

評価用のシナリオは約 3 分間とした。シナリオには、3.5 で明らかとなった関係性により特徴的な動作を中心に、各関係で平均的によく行われる上位回数動作を用いる。

10 分間での平均動作回数を参考に、各関係で平均的によく行われる動作をリストアップした。未知条件は上位 15 位までを上位回数動作とし、友人関係は上位 20 位までとした(表 2)。上位回数動作のうち、未知・友人条件両方に共通する動作は 11 種類あり、これらを共通動作(表 2 の黄色セル)と呼ぶ。未知条件にのみ上位動作として特定された動作は 4 種類あり、これらを未知条件に特徴的な動作(青色セル)とする。友人条件にのみ上位動作として特定された動作は 9 種類あり、これらを友人条件に特徴的な動作(青色セル)とする。

表 2 各関係性における上位回数動作リスト

	Friend		Stranger	
1	498	498	11	81
2	25	25	12	9
3	2	10	13	188
4	10	2	14	290
5	4	4	15	14
6	34	34	16	64
7	1	502	17	15
8	7	1	18	604
9	5	5	19	721
10	6	9	20	463

表 2 のとおり、関係性で発現する動作の種類は全く異なるわけではなく、両条件で共通する黄色の動作が未知条件のほとんどを占めている。関係性が進展し友人になるにつれて、青色セルで提示された動作が追加されることが示唆されている。

動作の順番について、動作ナンバー 6 と 7 はそれぞれ右腕を上げる、下げるという動作であるため、6 と 7 は必然的に連続してシナ

リオに用いることとした。関係性が必然的に決まらない動作に関しては、ランダムに順序を設定した。

ロボットへの実装を考慮し、シナリオには人間とロボットのフィギュア 2 種類を用い、関係性(未知, 友人)とフィギュア(人間, ロボット)の 4 種類のシナリオを作成した(図 7)。

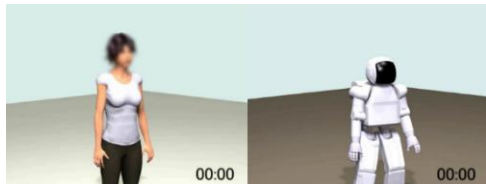


図 7 シナリオに用いた 3D フィギュア

【シナリオに対する心理評価】

各シナリオに対して 50 名, 合計 400 名の男女日本人(男性 200 人, 平均年齢 = 44.96, $SD = 13.85$)がシナリオを評価した。二人の会話場面のうち, 片方のみが提示された動画であると説明し, どの程度親しい人と会話していると思うかを評価するよう依頼した。予備調査の結果, 親密さの評価は好意と初対面らしさの 2 次元があることが明らかとなり, 評価項目は「この人は, 相手に対して好意をもっていると思う」等の好意密度 3 項目 ($\alpha = 0.87$)と, 「この人は, 初対面に近い人と会話していると思う」という初対面らしさ 3 項目 ($\alpha = 0.71$)を用いた。仮説として, 友人シナリオの方が未知シナリオよりも(1)好意度が高い, (2)初対面らしさが低い好意度の方が初対面らしさより(3)友人シナリオでは高い, (4)未知シナリオで低いことを検討する。

好意度と初対面らしさに関する繰り返しのある分散分析を関係性条件を独立変数として行ったところ, 人間フィギュアにおいても(Wilks's $\lambda = 0.963$, $F(1,198) = 7.71$, $p < 0.01$), ロボットフィギュアにおいても有意な交互作用が示された(Wilks's $\lambda = 0.942$, $F(1,198) = 12.27$, $p < 0.001$)(図 8)。

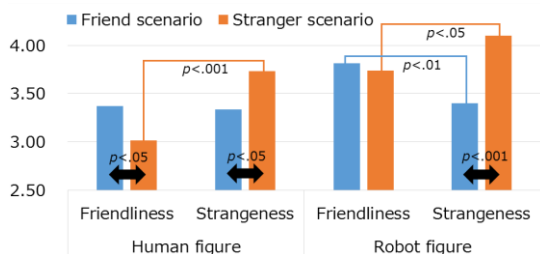


図 8 シナリオに対する印象評価

人間フィギュアの場合は, 仮説(1), (2), (4)が支持され, ロボットフィギュアの場合は仮説(2), (3), (4)が支持された。

【ロボットへの実装評価】

次に, シナリオを, 実機ロボットの HRP2

に実装し, 親密性に対する評価を行った。ところで, 人間の動きをそのままロボットで実行することはできない。ヒューマノイドロボットは人間を模倣して設計されているが, 実際には関節構造(自由度・可動範囲)や身体形状で異なる部分も多く, 身体能力(関節アクチュエータ性能)の点でも制約が多い。このような制約の中でも, 可能な限り人間の動きを再現し, 人間の対話中における非言語動作をロボットに実装することを試みた。

HRP2 は頭部 2 自由度, 腰部 2 自由度, 腕部が左右それぞれ 7 自由度をもつヒューマノイドロボットである。人間の動作は, 人体に取り付けられた 43 個のマーカ点の 3 次元位置として 0.1 秒間隔で取得している。このデータからロボットの動作を設計する。

上半身の動作設計には逆運動学を用いるが, 人間とロボットの関節構造が異なるため工夫を要する。HRP2 は頭部, 腰部においてそれぞれ横に傾ける関節が存在しないため, 自由度が異なる。そこで, その関節による動作を考慮せずに動作設計を行う。人間と同じ自由度をもつ腕については逆運動学を用いて関節の角度を決定する。

逆運動学を適用するため, 人間の体に基準となる座標系を固定する。右腕, 左腕の関節角度を求める際にはそれぞれ, 右肩, 左肩にあるマーカ位置を原点とし, X 軸体の真後ろへのベクトル, Z 軸は右肩から左肩へのベクトルとする。この座標系における肘の位置, 手首の位置を算出し, 位置が整合するようにロボットの関節角度を決定する。

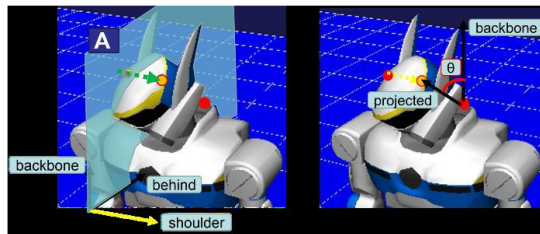


図 9 首のジョイント部分

頭部について, 首を横に傾ける成分は無視して動作を設計する。首のピッチ関節の角度 θ を決定するため, 図 9 のように首の付け根にある点から頭の頂上にある点へのベクトルをピッチ関節で移動する平面 A 上に射影する。さらに, 背骨のベクトルと射影後のベクトルがなす角を求めることで, 首のピッチ関節の角度を求める。首のヨー関節や腰の関節にも同様の方法により求める。

下半身の動作については, 転倒を避けるという絶対条件があるため, 人間の動きの再現よりもバランスをとることを重視した動作生成が必要となる。今回はキーフレームを指定することでその間の動きを補間することができるソフト choreonoi を用いて動作の生

成を行う。しかし、上述した関節の角度はロボットの関節可動域を考えられていないため、さらに変換が必要である。関節可動範囲を超える場合は、その関節角度値を限界値に保つこととしている。シミュレーション上でロボットに実装した結果を図 10 に示す。

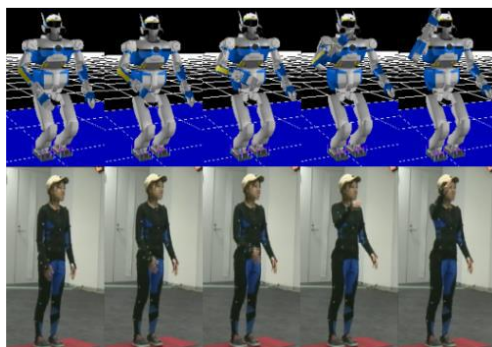


図 10 ロボットへの実装例

前述した設計方法に基づき、CG での評価で用いたシナリオにしたがって、非言語動作の実ロボットへの実装を行った。また、詳細な分析の結果、親密性の高いペアでは、全身の揺れが大きいこともわかったため、動作の種類の違いによる友人・未知の違いを想定したシナリオだけではなく、揺れがある条件と、ない条件での比較も加えた。ロボットでの実装の場合、人間に比べて平均で約 70% の速度が実現された。作成したシナリオについて、実機に実装したビデオを作成、それらに対する親密性の評価実験を行ったその結果、Q2「このロボットは自分に対する好意を表現していると思う」、Q3「このロボットは自分に対する親しみを表現していると思う」、Q9「このロボットはまるでお互いをよく知り合っている相手と話しているかのように見える」、Q11「友達同士で話しているように見える」という質問項目に対して、友人を想定した動作で、かつ、揺れがあるほど評価が高く、親密性が高く評価されることが示された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 4 件 すべて査読あり)

1. H. Kamide, and T. Arai, 2017, Perceived Comfortableness of Anthropomorphized Robots in U. S. and Japan, International Journal of Social Robotics, accepted
2. 上出 寛子・高嶋 和毅・新井 健生(2016). 日本語版擬人化尺度の作成. パーソナリティ研究, 25(3), 218-225.
3. H. Kamide, K. Kawabe, S. Shigemi, and T. Arai, 2015, Anshin as a concept of subjective well-being between humans and robots in Japan, Advanced Robotics,

29(24), 1-13

4. H. Kamide, K. Kawabe, S. Shigemi, and T. Arai "Nonverbal behaviors toward an audience and a screen for a presentation by a humanoid robot", Artificial Intelligence Research, Vol. 3, No. 2, 57-66, 2014.

〔学会発表〕(計 5 件)

1. Hiroko Kamide, Mihoko Niitsuma, Tatu Arai: "Implicit Nonverbal Behaviors Expressing Closeness by 4D Agents", International Conference on Social Robotics2015, 306-316, Paris, France, Oct. 26-30, 2015
2. 上出寛子・高嶋和毅・北村喜文・大坊郁夫・新井健生"ロボットとの関わりかたと人間の well-being", 第 33 回日本ロボット学会 学術講演会, RSJ2015AC1N2-01, 2015
3. 新井健生・上出寛子・福田敏男"ロボットの社会的価値を高める安心感", 第 33 回日本ロボット学会学術講演会, RSJ2015AC1N2-02, 2015
4. 上出寛子・Clement Chane Ching・太田圭亮・高嶋和毅・北村喜文・新妻実保子・新井健生"未知・友人関係に特徴的な非言語行動の特定と心理評価", 第 33 回日本ロボット学会学術講演会, RSJ2015AC3J1-01, 2015
5. Hiroko Kamide, Koji Kawabe, Satoshi Shigemi, and Tatsuo Arai: "Measure the Intimacy Equilibrium Model using Three-dimensional motion capture", The 15th Annual Meeting of the Society for Personality and Social Psychology, G203, Austin, Texas, Feb. 13 - 15, 2014

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕該当なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

上出寛子 (Hiroko Kamide)

名古屋大学・未来社会創造機構・特任准教授

研究者番号 : 90585960

(2) 研究分担者

該当なし

(3) 連携研究者

該当なし

(4) 研究協力者

該当なし