

人間 – ロボットの生理現象を介した共同体験における積極性と親密性

Improvement of intimacy by co-experiences through robot's physiological phenomena

吉田 直人[†] 米澤 朋子[‡]
Naoto Yoshida Tomoko Yonezawa

1. はじめに

近年、産業・商業用ロボットだけでなく、家庭向けのペットロボット [1, 2] や、医療・福祉における日常的なコミュニケーションを目的としたもの [3, 4] など様々なロボットが開発されている。これらのロボットは体の動きや音声、表情など様々な表現モダリティを用いて人間に働きかけを行う。

その中で、どのようなモダリティを用いた人間とロボットのコミュニケーションが親密な関係を構築するかについて様々な議論が行われている。例えば、親密な関係構築に影響を及ぼす要因として「身体性」や「距離・空間配置」[5] などが挙げられている。その他には、「ロボット動き」[6] や「ロボットとの接触」[7, 4]、「ユーザ行動の学習」[8]、「表情」[9] などについても議論が行われている。

我々のこれまでの研究 [10] では、ロボットの内部状態の不随意的な表現モダリティとして呼吸や心拍、体温などの「生理現象」に着目し、ロボットの生理現象の状態を変化させることで異なる感情を表現できることが示唆された。このことから、ロボットの生理現象表現と親密さや愛着の関係に着目し、ユーザとロボットが密着した状態で生理現象を介してロボットの状態を感じ取ることで親密さや愛着が高まると考えた。

また、生理現象提示の有無や生理現象を持つロボットとの距離によりロボットとの親密さに影響があるか検証した [11] ほか、生理現象によるロボットの生命の有限性の提示が、ロボットに対する愛着を生じさせ、親密な関係構築を促すか [12] などの検討を行ってきた。

しかしながら、ユーザとロボットが置かれた状況の文脈なしにロボットの生理現象を提示するだけでは、ロボットに対して気持ち悪さを感じたり、呼吸を間近で感じることに不快感を生むという結果であった [13] ため、生理現象単独では、ユーザにロボットへの愛着を感じさせるのに不十分であると考えられた。これらの議論から、日常生活における共通の体験を通じて感情を共有することで、人間とロボットの関係に変化が生じるのではないかと考えた。

ここで、一般的に「吊り橋理論」と呼ばれる、体験に

おける恐怖などの覚醒度の高い感情の帰属錯誤により相手の好意などの印象に影響を与えたとした理論 [14] を取り上げる。我々のこれまでの研究 [?] では、呼吸・心拍・体温の変化によりロボットの感情的な覚醒度を高めることが示されており、ユーザとロボットが共通の感情的な状況を体験する中で、ロボットの生理現象に影響され、ユーザの体験に対する覚醒度が高まれば、ロボットに対する印象に変化が生じる可能性が考えられる。

本研究では、日常生活において人間がロボットとが体験を共有する例として、人間がロボットを抱いて一緒に映像を鑑賞するシチュエーションを取り上げることとした。これは、身体動作や発話などが少なく、ロボットの既存の表現モダリティモダリティによって親密さを高めることが難しいと考えられるからである。ロボットの生理現象を用いることで、日常生活における身体動作や発話が少ないシーンにおいても親密さを高めるコミュニケーションができると考える。

検証では、ユーザが映像を鑑賞する際、映像に合わせて呼吸・心拍・体温の生理現象を変化させて感情を表現するロボット、または生理現象を持たない(動作しない)ぬいぐるみロボットを抱き、視聴後にそれぞれの印象を評価する。ロボットとの共同体験を通じて愛着以外の様々な印象が変化する可能性も考慮し、感情や人格などの複数の形容詞対による SD 法を用いて印象評価し、因子分析により分析する。これにより、人間とロボットの関係にどのような影響が生じるか考察する。

2. 関連研究

Matsumoto ら [15] は、身体動作によって感情を表すロボットを使用し、ユーザがこのロボットと一緒に映像を見た時、ロボットの身体動作が映像に対する印象に影響を与えることを示した。この検証では、ロボットの印象については評価していないが、映像とロボットの表現する感情が一致することで共感を生むことの影響を示す一例である。本研究では、生理現象を用いてロボットが映像に対して感情を変化させている状況を作り出し、そのロボットに対する印象の変化を評価する。

Sefidgar ら [16] は、擬似的な呼吸の動きを含む身体的特徴を変化させることのできるロボットとの接触を介したインタラクションが、ユーザに与える影響を生理指標を用いて客観的に評価した。この研究の重要な点は、

[†] 関西大学大学院, Graduate School of Kansai University

[‡] 関西大学, Kansai University



図 1: めいぐるみロボットの外観

ロボットとの接触を介したインタラクションにおいてロボットの生理現象がユーザの生理状態を変化させることを示した点であり、ユーザの生理状態の変化によって抱いているロボット自体の印象が変化する可能性にも期待できる。

3. 検証用ロボット

検証では、我々がこれまでに提案 [10] した、擬似的な呼吸・心拍・体温の各表現機構を内蔵しためいぐるみロボットを用いる。ここでは、実験に用いるシステムについて簡潔に述べる。

まず、ロボットの外観を図 3. に示す。実験では、実験参加者がロボットを膝の上に座らせ、両手で抱きながら映像が表示される画面を見ることを想定し、ロボットは一般的な小型犬に近い体長約 55cm、重さ約 2.0kg とした。外装は市販のめいぐるみを用いて作成した。

次にロボットに内蔵される生理現象表出機構について述べる。生理現象表出機構は、呼吸・心拍・体温の 3 つ表出デバイスで構成され、呼吸数・心拍数・体温は、ロボットの感情における覚醒度パラメータの値により制御する。覚醒度パラメータは 0 から 100 の間で設定することができ、覚醒度パラメータが 0 あるいは 100 の時、呼吸数・心拍数・体温が下限値・上限値になるようマッピングされる。

呼吸は腹部の膨張・収縮と口からの空気排出の組み合わせにより表現する。呼吸数の下限値は 10 回/分、上限値は 20 回/分である。

心拍は振動モータにより表現する。一回の鼓動における振動モータの駆動時間は 50 ミリ秒であるが、惰性回転により振動時間の合計は約 150 ミリ秒である。心拍数はモータの振動から振動までの感覚を変化させることで可変し、下限値は 60 回/分、上限値は 75 回/分である。

体温は外装の布内部のフィルムヒータで表現し、下限

値は 35 ，上限値は 40 である。

4. 映像視聴時ロボット生理現象表現による印象変化の検証

4.1 実験概要

本実験の目的は、ユーザがロボットを抱いて映像を鑑賞する際、(1) ロボットの生理現象による感情表現がロボットに対するどのような印象に影響を与え、(2) それらの印象がどう変化するかわかるにすることである。本実験では、ロボットの印象を感情や人格などの複数の形容詞対による SD 法を用いて評価し、因子分析により分析することで (1) を明らかにし、因子ごとに生理現象表現のある場合と無い場合を比較することで (2) を明らかにする。

4.2 実験条件

映像に合わせ、感情の覚醒度に対応した生理現象表現を行うロボット条件 (WP 条件) と生理現象表現を行わないロボット条件 (NP 条件) の 1 要因 2 条件の被験者内実験計画である。

4.3 実験素材

WP 条件では、映像の覚醒度に合わせてロボットの生理現象を変化させる。このため、ラッセルの感情円環モデルにおける覚醒度の高い感情の中から、「恐怖」と「感動」の要素を含む映像を各 1 種類ずつ選定した。映像はいずれもアニメーションであり、各要素を含む 5 分間を抽出して用いた。映像の覚醒度は、実験協力者 1 名が 2 種類の映像を視聴し、0~100 の 101 段階でラベリングした。これを覚醒度パラメータとしてロボットを制御する。各映像のシーンの流れと覚醒度パラメータの推移を図 4.3 に示す。2 種類の映像の順序および実験条件は被験者間で順序交差を考慮した。

色の異なるリボンをロボットに取り付け、試行毎に取り替えることで、異なるロボットであるとした。また色による影響を考慮し、リボンの色は条件間で順序交差を行った。

4.4 実験参加者

19 歳から 24 歳の 25 名 (男性 14 名、女性 11 名、 $Mean = 21.4$, $SD = 2.01$) で行った。

4.5 実験手続き

実験環境の写真を図 4.5 に示す。実験参加者は、実験刺激の提示モニタ (24 インチ) の前に着席し、実験に関する説明を受ける。

実験内容については「ロボットに関する評価」であると事前に説明を行う。次に、ロボットの持ち方について説明し、「ロボットの腹部に両手のひらを乗せるようにして抱く」ように説明したのち、実際に実験参加者がロボットを抱き、実験協力者が抱き方を確認する。また、「実験中はロボットから手を話さない」よう指示する。実

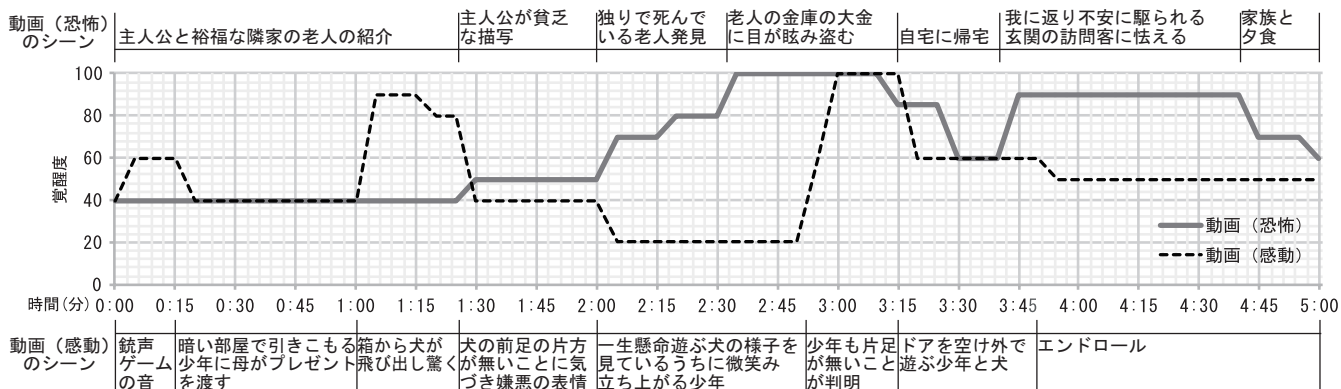


図 2: 映像のシーンの流れと覚醒度パラメータの推移



図 3: 実験環境

実験参加者からロボットを回収した後、「実験では 2 体のロボットを使用し、2 体のロボットはそれぞれ異なるロボットである」と教示する。

試行前に実験協力が者がロボットにリボンを取り付け実験参加者に渡す。実験参加者がロボットを抱きかかえたのを確認した後、5 分間の映像を提示する。映像終了後、実験協力が者がロボットを回収し、アンケートに回答するように指示する。これを 2 回繰り返す。

4.6 評価項目

「このロボットに対して抱く印象に当てはまる度合いを選択」するように指示した上で、表 1 の左列に示される形容詞対 29 対を用いた SD 法によってロボットの印象を評価した。

4.7 因子分析

得られた印象評価データを用いて、因子分析を行った。はじめに共通性の初期値を 1 とし、反復主因子法により因子を抽出した。スクリープロット(図 4.6) 後続因子との固有値の差に基づいて 2 因子解を適当と判断した。再度 2 因子解を仮定した反復主因子法を実行した結果、累積寄与率は 57.9% となった。バリマックス回転後の

固有値スクリープロット

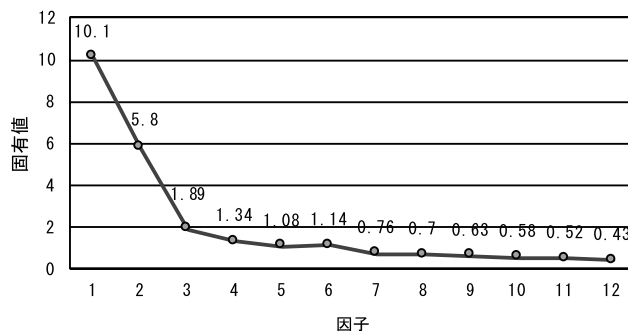


図 4: 固有値およびスクリープロット

各項目の因子負荷量を表 1 に示す。因子負荷量の絶対値 0.60 以上を示した項目(表 1 に太字および下線で表示)の内容を参考に各因子を解釈した。

まず因子 1 については「堅苦しい-打ち解けた」、「近づきたい-近づきやすい」、「親しみやすい-親しみにくい」、「退屈な-興味深い」などの実験参加者とロボットの関係を直接的に示すような形容対と、「冷たい-暖かい」、「暗い-明るい」、「空虚な-充実した」、「憎たらしい-可愛らしい」などの実験参加者とロボットの関係性のよし悪しを感情的に示す形容詞対において負荷量が高かった。このことから、因子 1 はロボットとの関係性に基づく実験参加者の感情であると解釈し、「感情的インテリマシー」因子と名付けた。

因子 2 については「おだやかな-はげしい」、「のろい-すばやい」、「鈍感な-敏感な」、「消極的な-積極的な」などロボットの行動の様子を表す形容詞対における負荷量が高かった。このことから、因子 2 は状況の変化に対応したロボットの感情変化の様子とその表出の積極性を表していると解釈し「行動積極性」因子と名付けた。

次に、検証の結果を参考に、実験参加者がロボットに対して抱く印象に関わる各因子が、実験要因の操作によ

表 1: 回転後の因子負荷量および因子得点係数

形容詞対	因子負荷量		因子得点係数	
	因子 1	因子 2	因子 1	因子 2
こわい-やさしい	0.754	0.032	0.081	-0.021
感じの悪い-感じの良い	0.881	-0.059	0.098	-0.039
親しみやすい-親しみにくい	0.778	0.083	0.082	-0.014
危険な-安全な	0.619	-0.442	0.083	-0.089
冷たい-暖かい	0.690	0.436	0.061	0.044
憎らしい-可愛らしい	0.830	-0.016	0.091	-0.031
堅苦しい-打ち解けた	0.805	0.198	0.081	0.003
分かりにくい-分かりやすい	0.481	0.387	0.039	0.043
近づきたい-近づきやすい	0.744	0.004	0.081	-0.025
暗い-明るい	0.793	0.313	0.076	0.021
わがままな-おもしろい	0.634	0.023	0.069	-0.018
機械的な-人間的な	0.381	0.331	0.030	0.038
空虚な-充実した	0.557	0.521	0.043	0.061
つまらない-面白い	0.489	0.676	0.030	0.087
不愉快な-愉快的な	0.795	0.104	0.083	-0.011
嫌いな-好きな	0.804	-0.067	0.090	-0.038
退屈な-興味深い	0.514	0.658	0.034	0.084
悪い-良い	0.841	0.115	0.088	-0.011
単純な-複雑な	0.000	0.685	-0.023	0.105
おそい-はやい	-0.055	0.773	-0.032	0.121
のろい-すばい	-0.071	0.896	-0.038	0.140
おだやかな-激しい	-0.444	0.673	-0.072	0.119
消極的な-積極的な	0.156	0.769	-0.009	0.113
弱気な-強気な	0.028	0.516	-0.015	0.078
地味な-派手な	0.265	0.556	0.010	0.076
陰気な-陽気な	0.749	0.318	0.071	0.023
鈍感な-敏感な	0.033	0.785	-0.023	0.120
愚かな-賢い	0.218	0.588	0.004	0.083
弱い-強い	0.050	0.670	-0.017	0.101

るものであるか、またどのように変化するか分析する。検証結果により現れた2つの因子をもとに、次の2つの仮説を設定した。

H1 ユーザが映像を見ながらロボットの生理現象の変化を感じ取ることが、ユーザとロボットの関係性に関わる良い印象を与える。

H2 ユーザが映像を見ながらロボットの生理現象の変化を感じ取ることが、ロボットの様子に関わる積極的な印象を与える。

4.8 因子に基づく実験条件間比較

実験条件間での印象の比較を行うため、標準因子得点を求める。因子得点は、標準得点係数を用いて、標準得点係数とは回転後の因子の得点を求めるための係数で、

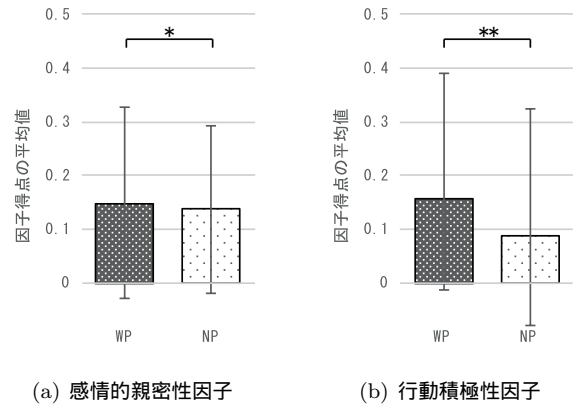


図 5: 因子ごとの実験条件間比較結果

分散が1になるように標準化されたものを指す。このように、2因子の因子得点を「感情的親密性因子得点」、「行動積極性因子得点」とし、実験条件における印象の比較対象として利用する。

図5に各因子についての実験条件(WP/NP)ごとに被験者が受けた印象についての因子得点の平均値と標準偏差、および条件間の有意差を示す。t検定の結果、WP/NP条件間で感情的親密性得点の差が有意(* $p < .05$)であり、行動積極性得点の差についても有意(** $p < .01$)であった。このことから、仮説H1、H2はともに支持されたと考えられる。

5. 考察

因子分析の結果抽出された「感情的親密性」および「行動積極性」の2因子について、映像に合わせて生理現象を変化させて感情を表現するロボットを抱く場合と、生理現象を持たないロボットを抱く場合とを比較した実験結果に基づき、生理現象がロボットの印象に与える影響について考察する。

まず、「感情的親密性」因子に関しては、映像の視聴を行いながらロボットの生理現象を感じることで、ユーザが抱くロボットとの関係に対する印象と、その関係に対するユーザの感じ方に影響を与えることを示唆している。これらは、ユーザとロボットの関係構築に関わる重要な要素であると考えられる。そして、生理現象による感情表現の有無の比較では、生理現象による感情表現を有するロボットに対して、それらの印象が向上することが示された。

次に、「行動積極性」因子に関しては、映像を見ながらロボットの生理現象を感じ、そのロボットの内部状態がどのような状態であるかを推測することが、映像に対するロボットの敏感さや、ロボットの感情表現の積極さの印象に影響を与える可能性が考えられる。これは、生

理現象が内部状態と密接に関わっており、表出される現象としては単なる生理的变化であってもロボットの性格を表す要素のひとつになる可能性を示唆している。

これらの考察から、映像を視聴する際に、ユーザがロボットを抱いてロボットの生理現象の変化を感じ取ること、ロボットとの親密な関係構築を促し、ロボット積極的な性格を感じさせる可能性が示された。

ただし、本稿での検証にあたって限定した条件において、今後より詳細な検証が必要である。例えば、本検証では共体験として映像の視聴というシーンを取り上げたが、食事や就寝などユーザの感情変化が少ないシーンでは、ロボットの生理現象を用いた感情表現の影響が異なる可能性もある。その他に、本検証では映像に合わせた感情変化として覚醒度を上げ、ロボットの生理現象を変化させたが、快-不快のパラメータを取り入れることで喜びや悲しみなどの感情変化の影響も考慮することができる。また、ロボットの感情表現が映像に合っていない場合や、変化が無い場合に親密な印象や積極的な印象が低下する可能性についても検討する必要があると考える。

6. おわりに

本研究の目的は、生理現象による感情表現を行うロボットと日常生活における体験を共有することで、ユーザとロボットの親密性を向上させることである。

検証では、人間がロボットを抱いて一緒に映像を鑑賞するシチュエーションを取り上げ、ユーザが映像を鑑賞する際、映像に合わせて呼吸・心拍・体温の生理現象を変化させて感情を表現するロボット、または生理現象を持たない(動作しない)ぬいぐるみロボットを比較した。

まず、ロボットの印象に関する因子分析の結果、2因子が抽出され、ユーザが抱くロボットとの関係に対する印象と、その関係に対するユーザの感じ方に関わる「感情的親密性」因子、およびロボットの敏感さや、ロボットの感情表現の積極さなどの性格に関わる「行動積極性」因子と名付けた。

次に、ロボットの生理現象による感情表現の有無を比較した結果、ユーザがロボットを抱いて映像を視聴する際に、映像に合った生理現象によるロボットの感情変化を感じ取ること、ロボットとの親密な関係構築を促し、ロボット積極的な性格を感じさせる可能性が示された。

今後、映像の内容や周囲の状況に合わない生理現象の提示や、喜びや悲しみなど様々な感情を喚起するシーンを設定し、親密性や積極性に与える影響の違いについても検討する。

謝辞

本研究は科研費 25700021, 科研費 15H01698 および特別研究員奨励費 17J00704 の助成を受け実施したものである。

参考文献

- [1] 藤田雅博ほか. 実世界に近づくインタフェース技術: Robot entertainment system aibo の開発. 情報処理, Vol. 41, No. 2, pp. 146–150, 2000.
- [2] 関口大陸, 稲見昌彦, 中野八千穂, 中野殖夫, 館暲. 「ip ロボットフォン」の製品化. 日本ロボット学会誌, Vol. 23, No. 2, pp. 159–164, 2005.
- [3] 二宮恒樹. コミュニケーションロボット「palro (パルロ)」の紹介とさがみロボット産業特区における取り組み. 日本ロボット学会誌, Vol. 33, No. 8, pp. 607–610, 2015.
- [4] Takanori Shibata and Kazuyoshi Wada. Robot therapy: A new approach for mental healthcare of the elderly—a mini-review. *Gerontology*, Vol. 57, No. 4, pp. 378–386, 2010.
- [5] 神田崇行. コミュニケーションロボットと人間との距離. 情報処理, Vol. 49, No. 1, pp. 24–29, 2008.
- [6] 美智男岡田, 信義松本, 隆之塩瀬, 洋之藤井, 銘義李, 博之三嶋. ロボットとのコミュニケーションにおけるミニマルデザイン. ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 7, No. 2, pp. 189–197, may 2005.
- [7] 中田亨, 佐藤知正, 森武俊, 溝口博. ロボットの対人行動による親和感の演出. 日本ロボット学会誌, Vol. 15, No. 7, pp. 1068–1074, 1997.
- [8] 藤田雅博ほか. ロボットエンターテインメントと人工知能 (<特集>「エンターテインメントと ai」). 人工知能学会誌, Vol. 16, No. 3, pp. 399–405, 2001.
- [9] 柴田寛, 加納政芳, 加藤昇平, 伊藤英則. 感性ロボット ifbot の感情空間を用いた感情遷移に伴う表情変化の主観的影響. 知能と情報, Vol. 21, No. 5, pp. 630–639, 2009.
- [10] Naoto Yoshida and Tomoko Yonezawa. Investigating breathing expression of a stuffed-toy robot based on body-emotion model. In *Proceedings of the Fourth International Conference on Human Agent Interaction*, pp. 139–144. ACM, 2016.

- [11] Naoto Yoshida, Yukari Nakatani, and Tomoko Yonezawa. Breathing expression for intimate communication corresponding to the physical distance and contact between human and robot. In *Proceedings of the 9th EAI International Conference on Bio-inspired Information and Communications Technologies (Formerly BIONETICS)*, BICT'15, pp. 65–68, ICST, Brussels, Belgium, Belgium, 2016. ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering).
- [12] Tomoko Yonezawa, Naoto Yoshida, and Kento Kuboshima. Design of pet robots with limitations of lives and inherited characteristics. In *Proceedings of the 9th EAI International Conference on Bio-inspired Information and Communications Technologies (Formerly BIONETICS)*, BICT'15, pp. 69–72, ICST, Brussels, Belgium, Belgium, 2016. ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering).
- [13] 久保嶋健人 米澤朋子吉田直人. 吐息と腹部運動の共通制御による発声や呼吸表現をする生物的なぬいぐるみロボットの提案. 2014 年度情報処理学会関西支部支部大会, C05(6 pages), 2014.
- [14] Donald G Dutton and Arthur P Aron. Some evidence for heightened sexual attraction under conditions of high anxiety. *Journal of personality and social psychology*, Vol. 30, No. 4, p. 510, 1974.
- [15] T. Matsumoto, S. Seko, R. Aoki, A. Miyata, T. Watanabe, and T. Yamada. Towards enhancing human experience by affective robots: Experiment and discussion. In *2015 24th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)*, pp. 271–276, Aug 2015.
- [16] Yasaman Sefidgar, Karon MacLean, Steve Yohanan, HF Machiel Van der Loos, Elizabeth Croft, et al. Design and evaluation of a touch-centered calming interaction with a social robot. *IEEE Transactions on Affective Computing*, Vol. 1, pp. 1–1, 2015.