

親密さの創出に向けた人とロボットの文脈共有を伴うソーシャルタッチの実現 Context Sharing Social Touch for Bringing Familiarity in Human-Robot Communication

精密工学専攻 46号 緑川凌

Ryo Midorikawa

1. はじめに

人の生活環境に介入して支援を行うロボットは、高齢者の介護や看護、自閉症児の対人スキルトレーニング、精神的ストレスのケアなど人とのコミュニケーションに重点を置いた活用法が目立つようになってきた。人に寄り添うパートナーとしてのロボットは、人と社会的関係を構築できることが求められる。しかし現状では、人がロボットに対して抱く印象は、設計されたとおりに動く機械としての意識が強く、そのような「モノ」としてのロボットに対して人と同じようにコミュニケーションをとることは抵抗があることが報告されている⁽¹⁾。そのため、人共存ロボットは人や動物のように主体的に行動を生成する「活動体」としての性質を備え、人と親密な関係を創出する能力が必要であると考えられる。

人-ロボット間に親密な関係を構築することは、人と活動体とのコミュニケーションの取り方を基にロボットの行動を設計することで達成できると考える。関連研究には、動物行動学に基づきロボットのふるまいを設計したものや、情動同調を人-ロボット間のコミュニケーションに応用したものがある⁽²⁾⁽³⁾。一方で人間同士のコミュニケーションにおいては、互いの関係を深め合う手段としてソーシャルタッチが一般的に知られている。ソーシャルタッチとは、感情の伝達や思考の表現などコミュニケーションの手段として行う身体接触のことである。心理臨床においてもソーシャルタッチには施行者と受容者の間に絆や親密感を形成する効果があることが報告されている⁽⁴⁾。また、ロボットはCGキャラクターなどと異なり物理的な実体を有するため、ソーシャルタッチが持つ効果を再現できると考えられる。これらの理由から本研究では、人-ロボット間のインタラクション(Human-Robot Interaction, HRI)にソーシャルタッチを取り入れることで、親密な関係を創出できると考える。

ロボットによる身体接触に関する研究には、ロボットと触れ合うこと自体に対する印象や、個々の身体接触動作を設計し、その印象を評価したものがある⁽⁵⁾⁽⁶⁾。一方でHRIにソーシャルタッチを取り入れた研究は十分に行われていない。いくつかの研究においては、インタラクション中の特定のタイミングでロボットが人に接触する場合、人が行動の意図を理解できなかったためにロボットに対する信頼性が低下したことや、人間同士のソーシャルタッチで確認された効果が得られなかったことが報告されている⁽⁷⁾⁽⁸⁾。先述のように、人-ロボット間の関係構築ではロボットの行動主体性が重要であるため、ソーシャルタッチの効果を利用する場合には人やインタラクションの状態をロボットの行動に反映する必要がある。このことからHRIにソーシャルタッチを取り入れるためにはロボットが適切なタイミングを理解して行動する必要があると考えられる。

本研究ではロボットによる身体接触をソーシャルタッチとして実現するため、HRIにおいてロボット自身が両者の置かれた状況、すなわち文脈を考慮した上で身体接触を行うことを提案し、人との関係性に与える効果を評価する。

2. HRIにおけるソーシャルタッチの実現要件

ソーシャルタッチは関係構築に有益な効果を持つ反面、実施方法によっては相手のパーソナルスペースを侵害し関係を悪化させる側面を持つ。さらに先行研究により、HRIにおいては単純な物理的接触が発生するだけではソーシャルタッチとしての効果を得られないことが確認されている⁽⁷⁾⁽⁸⁾。本研究ではHRIにおけるソーシャルタッチの実現要件として適切な場面の選択と、文脈の共有を提案する。

適切な場面というのは、人間同士のコミュニケーションの中で身体接触が発生し得る場面をいう。しかし、身体接触がソーシャルタッチとして受け入れられるタイミングは場面のみでは決定しない。例えばある人が、落ち込んでいる人に対して軽く触りながら慰めるような場合を考える。もしも両者が初対面のような関係が浅い場合には、接触した相手に馴れ馴れしさや不快感を与え関係が悪化する可能性がある。また、相手が落ち込んだ経緯によっては独りにしてほしいと思っている可能性もある。

このような問題は両者の間に一定の信頼関係が存在していれば解決されると考えられる。しかし本研究の目的は人-ロボット間の親密さの創出であるため、文脈を考慮することで確実に身体接触が受け入れられるタイミングを理解し、ソーシャルタッチの効果を利用することに主眼を置く。

2.1. 身体接触による感情共有

人間同士のコミュニケーションの中で身体接触が発生する条件の一つとして感情の共有(共感)が知られている。そのため共感の手段として身体接触を用いることで、HRIにソーシャルタッチを応用できると考えられる。しかし先行研究においては、人に生じる感情はインタラクションの場面に依存すると仮定してロボットが身体接触を行った結果、ソーシャルタッチのポジティブな効果が現れなかった⁽⁷⁾⁽⁸⁾。これは、ロボットが人と共有しようとした感情が実際には人に生じていなかったことから、人がロボットの行動意図を理解できなかったことが原因と考えられる。ある出来事によって人に生じる感情というのは、その有無および大小のほかに、文脈によって様々な種類が生じ得ると考えられる。このことから提案手法では、ロボットがインタラクションの場面と人の状態の双方を観測することで人に生じている感情を理解し、それを身体接触によって共有することを提案する。

身体接触にはハイタッチを用いる。ハイタッチは、一般的に人間同士が喜びや達成感を共有する行為だが、激励などネガティブな感情を緩和する目的でも行われる。そのため文脈を考慮することにより、共有する感情の質に則した意味をもたせることが可能と考えられる。

2.2. 身体接触動作の設計

本研究ではロボットの身体接触動作をFig. 1のようにモデル化し、三段階に分けて設計する。まずロボットはふるまひにより身体接触の意図を人に伝達する。これは、ソーシャルタッチの成立には互いに接触の意思を持てることが重要

であり、言語による一方的な要求ではなくふるまいによって直感的に意図を共有できることが重要と考えたためである。続いてロボットが人からの接触を認識すると、その行動に対する反応として反応行動を行う。以上の流れによりロボットによる身体接触をコミュニケーションとして成立させる。



Fig. 1 Modeled Flow of Touch Performing by a Robot

2.2.1. ハードウェア

コミュニケーションロボットのハードウェアには Pepper (ソフトバンクロボティクス) を用いる。Pepper は、高い上半身の自由度を持ち、カメラやマイクのほか手部に静電容量式のタッチセンサを搭載していることから身体接触を行うインタラクションにも対応可能である。Pepper の制御は、専用開発ツールを用いて作成したプログラムにより行う。

2.2.2. ハイタッチ動作の設計

- PHASE1: 要求動作
ロボットは右手を挙げてハイタッチの意図を示す。ロボットは手を挙げる前に一度自身の手へ視線を向けてから再び相手の顔を向く。これにより相手の注意を自身の手に向けると同時に、腕を挙げる動作に意図を感じさせることができる。
- PHASE2: 接触認識
要求動作の実行後、ロボットは相手と自分の手のひらが接触したことを認識する。接触は手部タッチセンサの反応、もしくは指と肘のモータの角度変化により検出する。
- PHASE3: 押し返し動作
人間同士のハイタッチを分析した研究⁽⁹⁾によると、ハイタッチは互いの手が触れ合うだけでなく手を押し付け合う相互作用とされる。そのため相手からのハイタッチに応じる反応行動として相手の手を押し返す動作を行う。これにより、ロボットは接触を認識したことを相手に伝える。

3. 人の感情推定システムの設計

3.1. 感情推定システム

ロボットが人と文脈を共有するためには、インタラクション中に人にどのような感情がどの程度発生しているかを理解できる必要がある。人はコミュニケーションにおいて相手の感情を 55% の割合で表情から推定している⁽¹⁰⁾。そのため提案システムでは表情を人の感情を反映する指標として選定する。表情の分析には Pepper に搭載されている表情分析エンジン (オムロン OKAO Vision) を使用する。表情分析

エンジンでは、顔特徴量から求められた基本五感情 (中性、喜び、驚き、怒り、悲しみ) に対する尤度 (これらを表情値と呼ぶ) が出力される。提案システムではこの表情値を、表情に含まれる各感情の含有率を表す値として扱い、Fig. 2 に示す Russell の円環モデル⁽¹¹⁾を基に快活度と覚醒度の 2 変数 (これらを感情値と呼ぶ) に置き換える。それらを合成することで表情に含まれる感情成分を二つの変数で評価する。

以下に提案手法による感情値の導出手順を示す。まず中性 (NEU)、喜び (HAP)、驚き (SUR)、怒り (ANG)、悲しみ (SAD) が持つ感情値を、Fig. 3 に示す基準座標 $\mathbf{P}_i^{\text{ref}}$ に設定する。ただし中性の基準座標は原点とする。 i は基本五感情のうちの一つを表す添え字である ($i = \text{NEU}, \text{HAP}, \text{SUR}, \text{ANG}, \text{SAD}$)。次に、表情分析エンジンより得られた表情値 $\mathbf{p} = (p_{\text{NEU}}, p_{\text{HAP}}, p_{\text{SUR}}, p_{\text{ANG}}, p_{\text{SAD}})^T$ を入力とし中性を除く四つの表情値を式 (1) により、感情値座標系において原点から各基準座標に向かう線分上の一点 \mathbf{P}_i に変換する。

$$\mathbf{P}_i = p_i \mathbf{P}_i^{\text{ref}} \quad (1)$$

これらの点を式 (2) のように合成することで、感情ベクトル $\Sigma \mathbf{P} = [\Sigma P_a, \Sigma P_v]^T$ を求める。

$$\Sigma \mathbf{P} = \mathbf{P}_{\text{HAP}} + \mathbf{P}_{\text{SUR}} + \mathbf{P}_{\text{ANG}} + \mathbf{P}_{\text{SAD}} \quad (2)$$

さらに中性の表情値 p_{NEU} は $\Sigma \mathbf{P}$ の原点からの距離を表すため、式 (3) のように $\Sigma \mathbf{P}$ のノルムを正規化することで推定感情値 $\hat{\mathbf{P}}$ を求めることができる。

$$\hat{\mathbf{P}} = C \Sigma \mathbf{P} \quad (3)$$

$$C = \sqrt{\frac{(1 - p_{\text{NEU}})^2}{\Sigma P_a^2 + \Sigma P_v^2}}$$

$$\text{ただし } C = \begin{cases} 0.0 & \text{if } p_{\text{NEU}} = 1.0, \\ C & \text{otherwise.} \end{cases}$$

Fig. 3 には上記の手順により $\Sigma \mathbf{P}$ と $\hat{\mathbf{P}}$ を算出した例を示してある。使用した表情値は $\mathbf{p} = [0.32, 0.42, 0.13, 0.11, 0.02]^T$ である。四つの表情値の割合により感情の方向が、中性の値によって感情の大きさがそれぞれ決定されている。

3.1.1. 静止画表情からの感情値推定実験

提案手法で求めた感情値の妥当性を検証するため、人による主観評価値付きの表情画像データセット⁽¹²⁾を用いて実験を行った。実験方法は基本五感情が複合された感情として“興奮”、“恐怖”、“嫌悪”、“平穏”を表現している表情画像を、主観評価値を基に選択し提案手法により感情値を求める。使用する表情画像は、“恐怖”と“嫌悪”はそれぞれの主観評価値が最も高いもの、“興奮”は喜びと驚きの評価値が、“平穏”は喜びと悲しみの評価値が高いものを選択した。

感情値算出結果と使用した表情画像の一部を Fig. 4 に示



Fig. 2 Russell's Circumplex Model⁽¹¹⁾

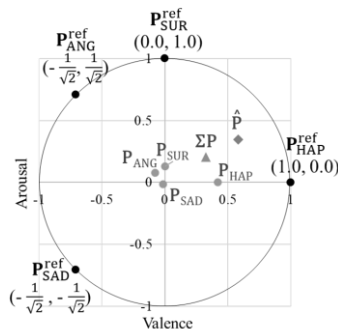


Fig. 3 Derivation of Emotional Value by Proposed Method

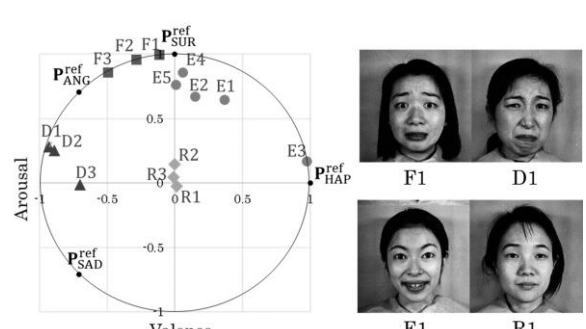


Fig. 4 Result of Emotion Value Extract from Facial Images and Sample of Used Images⁽¹²⁾

す。“興奮”，“恐怖”，“嫌悪”に相当する表情画像では，Fig. 2 の円環モデルに示すそれぞれの感情が属する領域に座標がプロットされている．一方で“平穩”の表情画像はほとんど中性と認識され，感情値は原点付近にプロットされた．これは，データセットの画像には，喜びと悲しみの評価値が高いものが存在せず，平穩の感情が十分に表現されていなかったためと考えられる．したがって，提案手法により表情から推測できる感情値を正しく抽出できることが確認された．

3.1.2. HRI における人の感情値推定実験

次に，提案システムの動的な感情推定への対応性を，タスクを行っている間の人の表情からロボットが提案システムにより感情値を求めることで評価する．被験者はタスクとしてブロック崩しゲームを Pepper のディスプレイで行う．タスクの途中には被験者に感情の変化を引き起こすようなイベントを発生させ，提案手法により求められた感情値の時系列データから感情の変動が確認できるかを検証する．被験者は 20 代男性 5 名である．

実験結果の一例として被験者 2 名の結果を Fig. 5 に示す．グラフ中の縦線のうち実線はミスをした時刻，破線はグラフ上部の表に示すイベントが発生した時刻を表す．また，グラフ中の薄く網掛けされた領域は“最も興奮した”，濃く網掛けされた領域は“最もイライラした”と被験者が回答した時間帯を表す．被験者 A は，序盤から中盤にかけては覚醒度の変動が激しく，イベント発生時には快活度も大きく変動している．しかし，終盤で課題の進行が停滞し，“最もイライラした”と回答した時間帯では感情値の変動が小さくなっている．被験者 B についてもイベント発生時や，“最も興奮した”と回答した場面では覚醒度が急激に上昇していることが確認できる．このことから，提案システムによりインタラクション中の人の感情変動を認識できることが確認された．

4. ロボットによる文脈共有を伴う身体接触の評価実験

4.1. 実験目的

適切なソーシャルタッチの実施形態として，文脈を考慮した上で身体接触により人と感情を共有することが，人とロボットの関係性にどのような影響を与えるかを検証する．

4.2. 実験設定

想定するシナリオとして人がロボットと一緒にタスクを遂行する状況を用意する．被験者は合計 17 問（練習 5 問，本番 12 問）のフラッシュ暗算を Pepper のディスプレイで行う．ロボットはタスクの出題や正解判定など実験を補助するパートナーとして被験者のタスク遂行に介入し，以下の条件でハイタッチにより被験者と感情を共有する．

(A) 単純タッチ条件（統制条件）

ロボットはインタラクション中の場面のみから被験者に生じる感情を推定し，推定された感情をハイタッチにより共有する．今回の実験では，ロボットはタスクの成功時に喜び，不正解時に悲しみの感情が被験者に発生すると判断する．ハイタッチを行うタイミングは各タスクの終了時とする．

(B) 共感タッチ条件（提案条件）

ロボットはインタラクションの場面と，3 章で設計した感情推定システムにより得られた感情値からタスク中の被験者の感情を推定し，推定された感情をハイタッチで共有する．ハイタッチを行うタイミングは統制条件と同様に各タスクの終了時とする．

被験者は条件 (A) で実験を行うものと条件 (B) で実験を行うものに半数ずつ割り当てる．本実験では二つの条件間で人とロボットの関係性の変化を比較する．

4.3. 実験手順

以下に実験手順として，被験者が行うインタラクションの流れを示す．

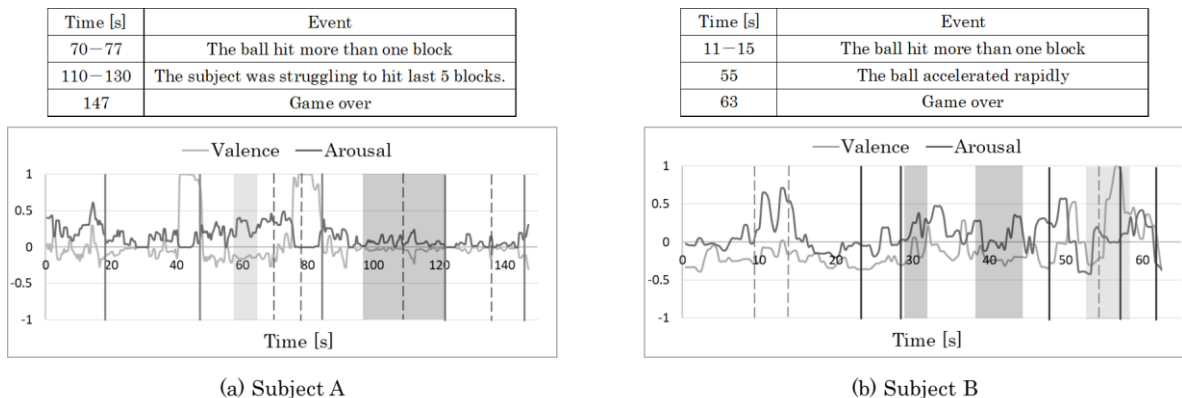
- (I) 被験者はロボットの正面まで移動する
- (II) ロボットが握手により挨拶をする
- (III) ロボットがタスクの説明を行う
- (IV) 被験者は練習タスクを行う
- (V) ロボットが被験者に，現在までの自身に対する印象をアンケートで回答するように指示する
- (VI) 被験者は本番タスクを行う
- (VII) 本番タスク終了後，ロボットが出口を指し退室を促す

先行研究において，ロボットとの接触に対して人が感じる印象は経験に大きく左右されることが確認されている⁽¹³⁾．そのため，手順 (II) において人との初対面時に握手によりロボットとの接触経験を与えることでロボットへの接触そのものに対する印象を統制する．

被験者のタスクは練習タスクと本番タスクにより構成される．練習タスク中は，ロボットは身体接触を行わずにインタラクションを進める．本番タスク中では，ロボットは 4.2 節で述べたそれぞれの行動計画によりハイタッチを行う．各被験者は手順 (V) で身体接触を行わないロボットに対する印象を記録した上で，Table 1 に示す内容のアンケートに回答する．これにより各条件でインタラクションに導入した身体接触がロボットへの印象，関係性に与える影響を評価する．

4.4. 結果

合計 8 人の被験者による主観評価結果を Fig. 6 に示す．主観評価はロボットに対する受容性，親密さ，行動主体性，共感性の変化をそれぞれ +3 から -3 までの 7 件法で評価する．また，Table 2 には実験中に被験者がとった行動を示す．



(a) Subject A

(b) Subject B

Fig. 5 Estimation Results of Emotion Transition of Working Subjects

Table 1 Questionnaire Contents

Question	Evaluation Content
Q1 "Did you want to continue interaction with the robot?"	Acceptance
Q2 "Has the robot's familiarity become better?"	Friendliness
Q3 "Has the robot's action become matched to situation?"	Activeness
Q4 "Did the robot empathize with you?"	Empathy

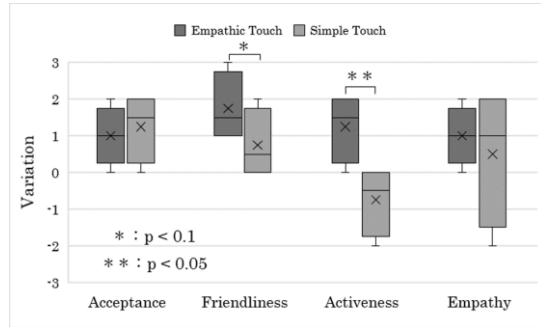


Fig. 6 Questionnaire Results

Table 2 Subject's Action in the Interaction

Subject's Action	Empathic Touch	Simple Touch
Responded to a handshake	4 / 4	4 / 4
Request high five from him / her	0 / 4	0 / 4
Refused high five even once	0 / 4	0 / 4
Touch the robot from him / her while the task	0 / 4	0 / 4
Touch the robot from him / her after the interaction	3 / 4	0 / 4
Frequency that the robot suggests high five (Denominator is the total number of tasks that all subjects engaged, numerator is the total number of times the robot suggested high five)	38 / 63	60 / 60

4. 5. 考察

Fig. 6 より行動主体性の項目に着目すると、単純タッチ条件では行動が主体的でなくなったことを意味する負の回答が表れている。一方で共感タッチ条件では正または変化なしの回答のみとなっている。また、各印象に対して両条件間で t 検定による有意差検定を行った結果、親密さの変化量に対して有意傾向、行動主体性の変化量に対して有意差が確認された。このことから提案手法によるロボットとの身体接触は、単純な物理的接触ではなくコミュニケーションとして人に認識されたといえる。

さらに Table 2 より、共感タッチ条件の被験者ではインタラクション終了後実験室を出る際に、出口を指し示すロボットの手に触れるという行動が確認された。これに対し単純タッチ条件の被験者は、共感タッチ条件の被験者よりも多くロボットとの接触を経験したにも関わらず同様の行動をとったものは現れなかった。これは提案手法では被験者がロボットからのソーシャルタッチを経験したことで、自身からも身体接触によりコミュニケーションを取ろうとする意志が発生したためと考えられる。このことから提案手法では HRI をより相互的なものにする可能性が確認された。

以上より提案手法ではロボットとの身体接触がソーシャルタッチとして成立し、ロボットをコミュニケーション可能な活動体としての印象を高める傾向が確認された。

5. おわりに

本研究では人-ロボット間の親密な関係構築のための方策として、文脈を考慮した身体接触を提案した。評価実験により、ロボットが人の状態とインタラクションの場面の双方を観測して身体接触を行うことにより、物理的な接触ではなくコミュニケーションとしての身体接触、ソーシャルタッチが成立することが確認された。その結果、人のロボットに対する親密さ、行動主体性の印象が有意に増加し、HRI をより相互的なものにする傾向が確認された。

今後は評価実験を引き続き実施し、今回の結果で得られた知見の一般性を検証していく。

参考文献

- (1) 佐久間路子, コミュニケーションロボットとの関わり の現状と課題: 否定的意識に着目して, 白梅学院大学・短期大学紀要 (2018), pp. 119-134.
- (2) R. Numakunai, T. Ichikawa, M. Gácsi, P. Korondi, H. Hashimoto, M. Niitsuma, Exploratory Behavior in Ethologically Inspired Robot Behavioral Model, The 21st IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, (2012), pp. 577-582.
- (3) M. Hashimoto, M. Yamano, T. Usui, Effects of Emotional Synchronization in Human-Robot KANSEI Communications, The 18th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, (2009), pp. 52-57.
- (4) 今野義孝, 発達心理臨床におけるタッチの意義, 文教大学教育学部紀要, (1999), pp. 37-47.
- (5) T. Miyashita, T. Tajika, H. Ishiguro, K. Kogure, N. Hagita, "Haptic communication between humans and robots," Robotics Research, (2007), pp. 525-536.
- (6) M. Jindai, T. Watanabe, "Development of a handshake request motion model based on analysis of handshake motion between humans," IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, (2011), pp. 560-565.
- (7) H. Cramer, N. Kemper, A. Amin, and V. Evers, The Effects of Robot Touch and Proactive Behaviour on Perceptions of Human-Robot Interactions, The 4th ACM/IEEE international conference on Human robot interaction, (2009), pp. 275-276.
- (8) C.J. Willemsse, A. Toet, and J.B.F van Erp. Affective and Behavioral Responses to Robot-Initiated Social Touch: Toward Understanding The Opportunities and Limitations of Physical Contact in Human-Robot Interaction, Frontiers in ICT, (2017), pp. 4-12.
- (9) E. Okahara, F. Tanaka, Design of a Robot that is Capable of High Fiving with Humans, 26th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, (2017), pp. 704-711.
- (10) Mehrabian, A, Communication without Words, Psychological Today 2, (1968), pp. 53-55.
- (11) J. A. Russell, A Circumplex Model of Affect, Journal of Personality and Social Psychology 39, (1980), pp. 1161-1178.
- (12) The Japanese Female Facial Expression (JAFFE) Database, <http://www.kasrl.org/jaffe.html>, (参照 2019-1-23)
- (13) R. Midorikawa, M. Niitsuma, Effects of Touch Experience on Active Human Touch in Human-Robot Interaction, 12th IFAC Symposium on Robot Control, (2018), pp. 154-159.