

皮膚上マルチモーダル生理現象を伴う手繋ぎ型ロボットハンド エージェント

孟 曉順^{1*} 吉田 直人¹ 上野 楓¹ 米澤 朋子¹

Xiaoshun MENG¹ Naoto Yoshida¹ Kaede Ueno¹ Tomoko Yonezawa¹

¹ 関西大学

¹ KansaiUniversity

Abstract: 本稿では、手を繋ぎながら寝るためのロボットハンドエージェントとして、皮膚上に現れる体温・汗・鳥肌・温度・震えといったマルチモーダル生理現象と手指の動きを組み合わせ、様々な情動・感情伝達を行うシステムを提案する。就寝前の寝たきり患者や子供の心身安定効果を狙う身体接触コミュニケーションを実現する。

1 はじめに

日本は超高齢化社会を迎え 2010 年の要介護高齢者は 360 万人となり 2001 年より 111 万人増加している [1]。また、それに伴い寝たきり高齢者数は増加の一途を辿っている。「寝たきり」とは「病気（老衰を含む）、怪我などで日常生活のほとんどを寝たきりで過ごしている者」を指す [14]。認知症や寝たきりの高齢者の中には、意思の伝達が困難な者もいる。そのような高齢者とコミュニケーションを行うために、ジェスチャーやスキンシップなどを取り入れたバリデーションという技法が用いられる [3]。その中でも、我々は人間にとって最も重要かつ根源的な感覚であるスキンシップ [18] に注目した。スキンシップは、親子間で行われるやり取りにおいて最も原始的な手法である [9, 13, 21]。例えば、手を握ったり、肌を撫でる、触れることによって、皮膚への心地よい刺激が脳神経細胞を活性化し、オキシトシンなどの神経伝達物質の合成を促し、シナプス活動を活発にするということは既に明らかになっている。さらに、身体接触が高齢者の認知症などの終末期の患者に対し、快の感情を抱かせることやリラックス効果があることも明らかになってきている [24]。例えば、栗延ら [7] は重度認知症高齢者 5 名（女性、58-83 歳）を対象とした実験を行い、声をかける際に、肩などに触れることで、その刺激が相手が意味のある信号として理解されやすいことを示した。

また、親密な人間関係の構築には接触コミュニケーションが効果的と言われており、認知症者に対するアプローチの一つであるユマニチュードでは、手の平で患者の背中や手を優しく触れることで安心感を与える

方法がとられている [23]。このことから、コミュニケーションが困難な対象者や終末期にある対象者に対し、接触によるコミュニケーションを提供することは重要なメンタルケア手段になると考える [2]。以上の関連研究から、認知症を持ち高齢者や寝たきりの高齢者など特に意思表示の困難な人に対して、接触を伴うコミュニケーションはより重要であると考えられる。

しかし、昨今の看護の場面では感染予防の観点や業務の効率化、機械化などにより時間をかけて意識的に患者に触れる機会が少なくなってきた [22]。そのため、高齢者とスキンシップを行うコミュニケーションロボットの研究が行われている [10]。その一方で、人間の手を模したロボットハンドによって人間と接触によるコミュニケーションを行う試みもある [25]。このように、手と手のコミュニケーションにロボットを用いることも有用と考えられる。我々はこれまでに、ロボットの生理現象について研究を行い生理現象によってロボットの感情や情動表現が可能であることを示してきた [5, 6]。そこで、我々はより自然な手への接触コミュニケーションを実現するために、人間の手の皮膚上の生理現象をロボットハンドに付与し、手を繋ぎながら寝るためのロボットハンドエージェントを提案する。ロボットハンドの表面に人間らしい皮膚表現を再現し、手指の動きと組み合わせることによって、感情や情動表現を伝達し、寝たきり患者の手と接触コミュニケーションを行うことで、ユーザの孤独を和らげ、精神を安定させることを狙う。

2 関連研究

高齢化社会に突入した日本の主な問題点として医療現場の人材不足があげられる。解決策の一つとして介

*連絡先：関西大学総合情報研究科知識情報学専攻
〒 569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町 2-1-1
E-mail: k568121@kansai-u.ac.jp

護ロボットが注目されており、様々な研究が行われている。山本ら [11] はぬいぐるみ型対話ロボットを設計した。対話ロボットに音声認識やマルチモーダル対話、デジタル通信などのソフトウェアを統合的に実装することにより、高齢者に対してペットのような存在になり、かつ生活情報を提供し、コミュニケーションという精神的側面での高齢者支援を試みた。

また、西尾ら [12] は人間に似た外観を持つ遠隔操作アンドロイド(テレノイド)によって、身体的な能力や自立度の低下を伴う認知症患者などに対し孤独感を和らげ、高齢者に対話のきっかけを与え、対話したいという意欲を向上させることを図った。しかし、ロボットのスキンシップによる認知症や寝たきりの高齢者のコミュニケーション支援はあまりみられない。

また、接触インタラクションを伴うロボットについては、HRI (Human Robot Interaction) や HCI (Human Computer Interaction) の分野で多くの研究が行われている。例えば、アザラシ型ロボット「パロ [15]」や、赤ちゃん人形型ロボット「babyloid [17]」などのロボットがあり、接触によって鳴き声のような非言語音や身体動作などを同時に表現することで、人間とコミュニケーションを取ろうとするものである。

接触したロボットの表面から与えられる刺激については、シリコンや布など触り心地は検討されているものの、皮膚上の表現そのものに関しては検討の余地がある。人間の皮膚感覚は、温度や接触などを得ることができるため、触れている相手の感情を感じとったり [20]、皮膚上に感情変化が現れる [16] とされている。さらに、ノンバーバルコミュニケーションの1チャネルとしても、皮膚上に現れる触覚がメッセージ性や信ぴょう性を高めると考えた。特に皮膚上の感覚は、同じ感情カテゴリでも様々なニュアンスを伝達できる [20]。したがって、寝たきり高齢者などのユーザに、実際の人間同士のような接触コミュニケーションを実現するために、皮膚上の触覚表現による情動の伝達が有用だと考えられる。さらに、擬人化技法によりユーザ自ら相手の状況を読み取ろうとすることでコミュニケーションの実感を生むことが期待される。そこで、人間のような情動表現を再現するため、皮膚上の身体徴候である汗・鳥肌・温度・震えといったマルチモーダルな生理現象と手と指の動きを組み合わせたロボットハンドにより、認知症や寝たきりの高齢者との接触において共感を生むことを狙う。本システムにより身体状態や精神安定の改善効果も期待される。

そこで、我々は人間のような情動表現を再現するため、皮膚上の身体徴候である汗・鳥肌・温度・震えといったマルチモーダルな生理現象と手と指の動きを組み合わせたロボットハンドにより認知症や寝たきりの高齢者との接触上の共感を生む。また、本システムにより身体状態や精神安定の改善効果を狙うものである。

3 システム

3.1 システム概要

本研究は人間が視覚的・触覚的に推測可能なロボットハンドの皮膚上の表現として、鳥肌、汗、震え、温度などの不随意表現と、ハンドジェスチャーによる随意的な表現を組み合わせた機構を提案する。まず、鳥肌に関しては寒い、緊張や感動など情動を表現することができると考えられる。人間の手の平は、体毛が生えていないため毛穴が無く、鳥肌が出ない。また、本研究の目的としてより人間らしい手を繋ぎ寝るために、鳥肌表現はロボットハンドの甲に表出させる。

3.2 システム構成

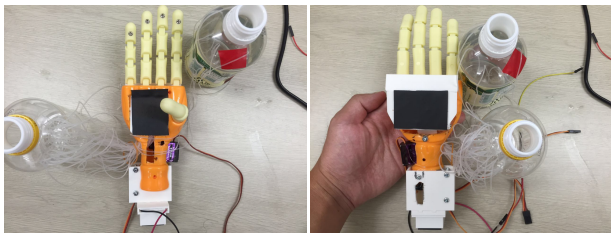
本稿では、ロボットハンドの手指の動きと、皮膚上に現れる鳥肌・汗・震え・体温の不随意表現を組み合わせた機構により、視覚的・触覚的に感情や情動を推測可能なデバイス機構を提案する。まず鳥肌に関しては、寒い時、緊張しているとき、および感動した時などの情動を表現することができると考えられる。本来人間の手の平は体毛が生えていないため、毛穴が無く鳥肌が立たない。そのため、鳥肌の表出はロボットハンドの手の甲に表出させることとした。

次に、発汗に関しては、暑い、緊張しているなどの情動を表現できると考えられる。発汗原因は、触れたものの温度に対する温熱性発汗、緊張や焦りなどの感情による精神性発汗、辛い・酸っぱいなどの味覚による味覚性発汗の3つがある。手には、温熱性と精神性の発汗がみられる [19] が、特に精神性発汗は手のひらで、温熱性発汗は手のひら以外の皮膚でそれぞれ起こる。本研究でもこのような手のひらと甲の使い分けを検討し、ロボットハンドの手のひらに精神性発汗、ロボットハンドの手の甲に温熱性発汗をそれぞれ割り当てた。

また、体温については、体調などと同時に、興奮状態や、怒り、愛などの感情を表現する可能性がある。さらに、震えについては、恐怖や感動などを伝えることができる可能性がある。このような様々なマルチモーダル不随意表現を用いて、手をつないで触れていることで、手の動きと皮膚上に表れる情動表出を組み合わせた表現を実現しようと考えた。

3.3 鳥肌ユニット

鳥肌ユニットの構造を図3に、鳥肌の表出の様子を図4に示す。鳥肌ユニットは、ロボットハンドの手の甲側に埋め込まれる。鳥肌は 50×36 [mm] の表面がシリ



(a) ロボットハンドの手の甲の汗腺 (b) ロボットハンドの手のひらの汗腺

図 1: ロボットハンドの外見

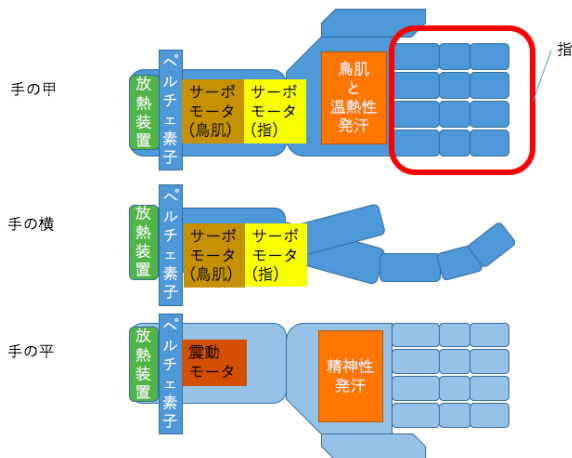


図 2: 手の領域

コンで加工されたゴム板シートに、4.5[mm]の等間隔で合計36本の突起を浮き上がらせることで再現する。

突起はユニットの内側から直径1.5[mm]の中空の鉄パイプを押し上げることで実現した。鉄パイプは上下に可動する台座に固定され、サーボモータによって台座を押し上げることで、ゴム表面に押し当てる構造である。鳥肌を無くす場合には、ユニットの四隅に設置されたバネの反発力により台座を押し下げる構造である。

鳥肌ユニットの構造を図3に、鳥肌の表出の様子を図3に示す。鳥肌ユニットは、ロボットハンドの手の甲側に埋め込まれる。鳥肌は50×36[mm]の表面がシリコンで加工されたゴムに、等間隔で合計36本突起を浮き上がらせることで再現する。鳥肌の突起の感覚はValboらの指先の触覚の分解能に関する研究に基づき4.5[mm]とした。突起はユニットの内側から直径1.5[mm]の鉄パイプによって押し上げることで実現した。鉄パイプは上下に可動する台座に固定され、サーボモータによって台座を押し上げることで、ゴム表面に押し当てる構造である。鳥肌を無くす場合には、ユニットの四隅に設置されたバネの反発力により台座を押し下げる構造である。

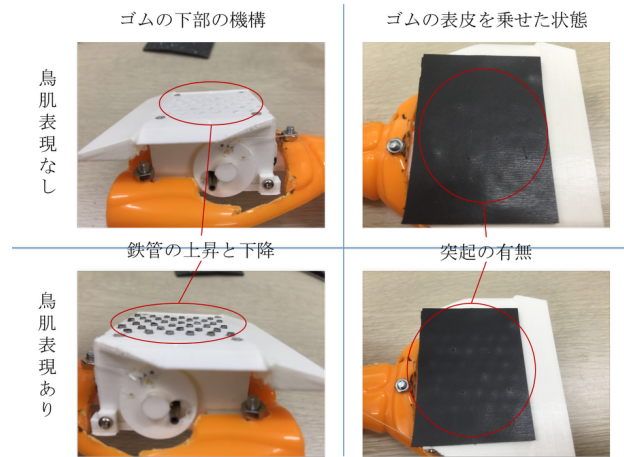


図 3: 鳥肌ユニットの構造

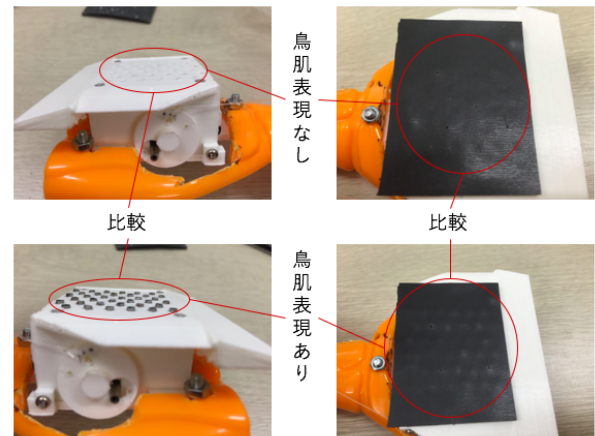


図 4: 鳥肌の表現

3.4 発汗ユニット

発汗ユニットの構造を5に示す。発汗ユニットは精神性発汗ユニットと温熱性発汗ユニットの2つで構成され、手の平と手の甲にそれぞれ取り付けられたシリコン付きゴム板シート表面の汗腺から水を出すことで再現する。水を保管し送り出すポンプ部はロボットハンドの外部に設置し、直径0.5[mm]、外径1[mm]のシリコンチューブで各発汗ユニットに繋がる。ポンプ部は水の入った容器内の圧力を空気ポンプによって高め、先端が水に浸されたシリコンチューブに水を送り込む構造である。人間のエクリン汗腺と同程度の大きさとするため、直径5[mm]のシリコンチューブを直径0.4[mm]、外径0.6[mm]のシリコンチューブに接続し汗腺へと繋がる。

精神性発汗ユニットは手の平側に取り付けられ、表面にシリコン加工が施されたゴムに4.5[mm]間隔で合計36個の汗腺が配置される。温熱性発汗ユニットは手の甲側に取り付けられ、鳥肌表現ユニットの36個の突

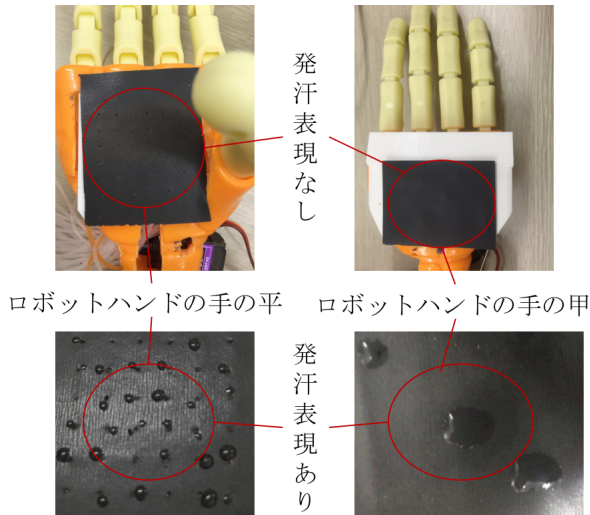


図 5: 鳥肌の表現

起うち等間隔に 12 個の突起の中心に汗腺が配置される。手の平の汗腺の数は手の甲の汗腺の数より多い [8] ことから、手の平の精神性発汗ユニットでは、汗腺同士の間隔を狭くし多くの汗腺を配置することで湿り気を表す細かな発汗を再現した。

3.5 震えユニット

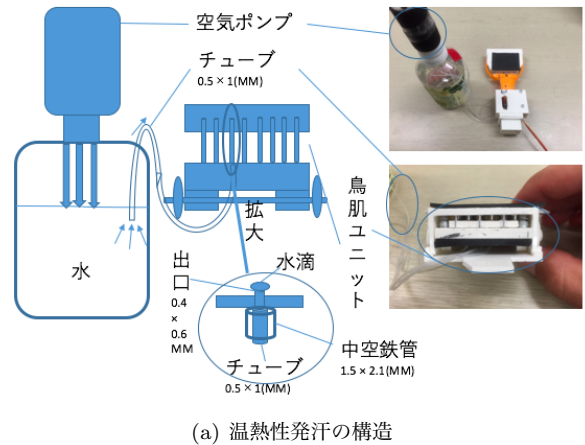
ロボットハンドの手首の内部に振動モータ (RF300, 回転速度 2830r/min, 22g) を配置し (図 7), 振動モータが動作することによってロボットハンドの震えを表現した。震えの表現は 1 回あたり 150[ms] とし、ロボットハンドが恐怖や感動などの情動を表現できるように設計した。

3.6 体温ユニット

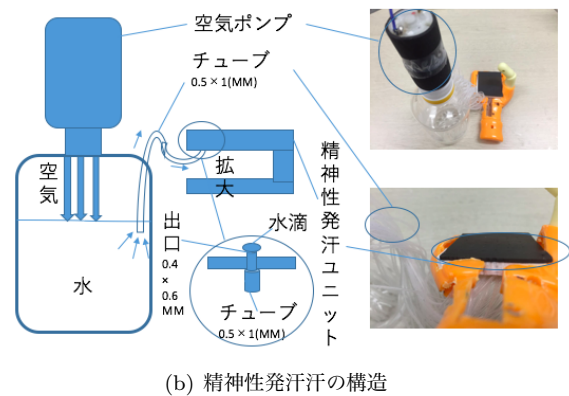
ロボットハンドの手首先端部ペルチェ素子 (TES1-12705, 30x30mm) を配置 (図 8) し、発生した熱をロボットハンド表面の放熱フィルムへの伝導させることで、体温を表現する。

3.7 把握ユニット

ロボットハンドの 5 本の指は親指を除いてそれぞれ 2 関節を持ち、人差し指から小指までを同時に内側に曲げることができる。ロボットハンドは市販品を用い、指付け根のプレートに腕側に引くことで 4 本の指が曲がる構造である。このプレートをサーボモータを用いて牽引することで、指を曲げる動作を制御した (図 9)。



(a) 温熱性発汗の構造



(b) 精神性発汗の構造

図 6: 発汗ユニットの構造

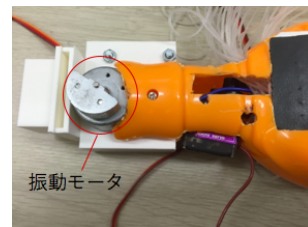


図 7: 震えユニット

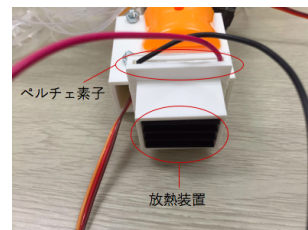


図 8: 手の体温ユニット

3.8 センサユニット

人差し指の内側に指に沿うように圧力センサを設置し、ユーザがロボットハンドを握る動作を検出する。ま

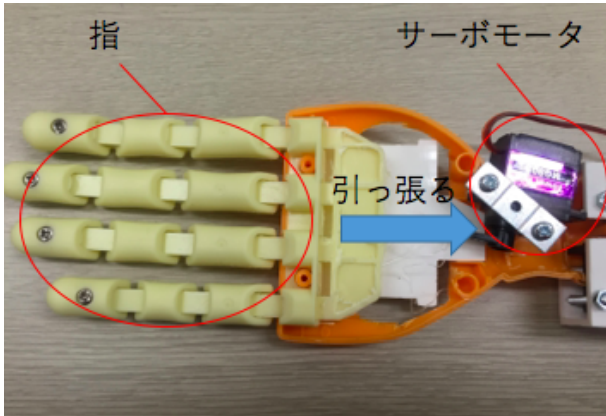


図 9: 把握ユニット

た、手の平側の親指に温度センサを設置し、ユーザの体温変化を検出する。これらのセンサで取得したデータはロボットハンドの外に設置されたマイクロコンピュータ (Arduino Uno R3) に送られ処理される。

3.9 手繋ぎコミュニケーションの例

本システムはユーザの状態に応じて、不随意表現である皮膚上の生理現象と随意表現である指の動きを組み合わせた複合表現によりゆるやかなコミュニケーションを行う。ユーザの状態を圧力センサの値と体温から取得しユーザ状態を推定すると同時に、ロボットハンドの状態に応じた皮膚上の反応を再現する。

本稿においては、暫定的なインタラクション設計を行った。まずセンサ値に応じたユーザ状態推定のパラメタマッピング例を図 10 に示す。

ユーザの状態はラッセルの情動円環モデル [4] を参考に、覚醒度と快-不快度の 2 軸上にマッピングされる。例えば、ユーザがロボットハンドを強く握りかつ体温が高い時には、「恐怖」、「怒り」などの覚醒度が高く不快な状態であるとされた。

次に推定したユーザ状態をもとに、ロボットの反応や動作を図 11 のように決定する。

例えば、推定したユーザ状態が「恐怖」である場合には、強い力で握り返すと同時に、鳥肌を表現し、体温を高め、手の平・手の甲ともに発汗を起こすことで、ユーザの共感を促す。

4 おわりに

本研究は、ロボットハンドにおけるマルチモーダル表現として、鳥肌、震え、汗、温度を組み合わせた不随意表現、および、随意表現として手指の動きによる、ノンバーバルな感情表現の複合的な組み合わせにより、

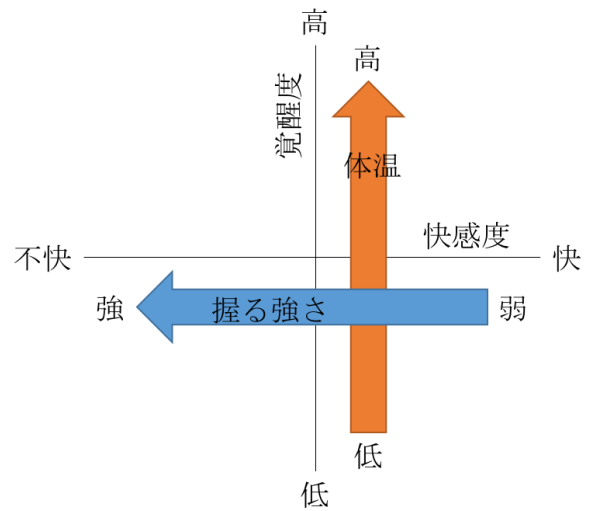


図 10: センサ値に応じたユーザ状態の推定

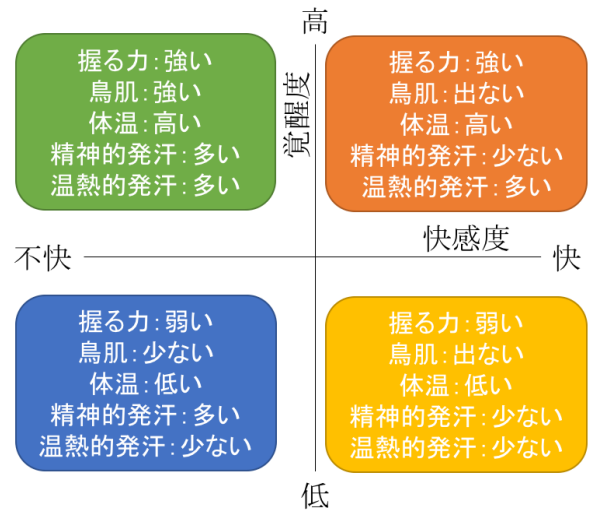


図 11: ロボットの動作

手を繋ぐだけで、本能的感情と意識的な感情を表すシステムを実装した。

さらに、ユーザの握力や温度を圧力センサと温度センサにより計測し、認知症や寝たきりの高齢者など、意思表示の困難な人と手を繋ぎ、より表現力のある接触コミュニケーションの実現が可能になると考える。

今後、提案したロボットハンドとの接触により情動と感情の伝達が可能になるかを調べるとともに、ストレス軽減や情緒安定効果を検証したい。

謝辞

本研究は科研費 15H01698 および 25700021 の助成の一部を受け実施したものである。

参考文献

- [1] 平成 28 年版高齢社会白書 (高齢者の健康・福祉) . http://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2016/html/zenbun/s1_2_3.html.
- [2] M. M. T. de Araujo, Maria Julia Paes da Silva, and M. C. P. B. Francisco. Inr selection 死にゆく人の看護:終末期患者ケアの必須要素. インターナショナルナーシング・レビュー, 第 28 巻, pp. 8-16. 日本看護協会出版会, 2005.
- [3] Naomi Feil and Vicki de Klarl-Rubin. *The Validation Breakthrough :Simple Techniques for Communicating with People with Alzheimers and Other Dementias*. Health Professions Press, 3 edition, 2012.
- [4] J.A. Russell. A circumplex model of affect. *Journal of personality and social psychology*, pp. 1161-1178, 1980.
- [5] Tomoko Yonezawa, Xiaoshun Meng, Naoto Yoshida, and Yukari Nakatani. Involuntary expression of embodied robot adopting goose bumps. In *Proceedings of the 2014 ACM/IEEE International Conference on Human-robot Interaction, HRI '14*, pp. 322-323. ACM, 2014.
- [6] 孟曉順, 中谷友香梨, 吉田直人. 皮膚上におけるクロスモーダル不随意表現を行うコミュニケーション (第 108 回ヒューマンインタフェース学会研究会インタラクションのデザインと評価および一般) . Vol. 16, pp. 1-5, 2014.
- [7] 孟栗延. 重度認知症高齢者に対する有効な働きかけについての一考察: 聴覚・触覚刺激を中心として. PhD thesis, 首都大学東京, 2014.
- [8] 清水宏. あたらしい皮膚科学. 中山書店, 第 2 版, 2011.
- [9] 川上康則. 発達の気になる子の学校・家庭で楽しくできる感覚統合あそび, pp. 12-13. ナツメ社, 2015.
- [10] 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.
- [11] 浩司山本, 研治水谷, 賢二岩野. 対話ロボットを用いた高齢者コミュニケーション支援システムの開発. 映像情報メディア学会誌: 映像情報メディア, Vol. 54, No. 6, pp. 798-801, jun 2000.
- [12] 西尾修一, 港隆史, 石黒浩. アンドロイドによる高齢者のコミュニケーション支援. ITU ジャーナル, Vol. 45, No. 9, pp. 18-21, Sep. 2015.
- [13] 坂本洲子. 赤ちゃんの心を育てるよい遊び 五感に働きかける 200 のレッスン. PHP 研究所, 1998.
- [14] 青木信雄, 橋本美智子. 「寝たきり」老人はつくれる一寝たきり大国からの“脱”処方箋. 中央法規出版, 1991.
- [15] 柴田崇徳. ロボット 2 ロボットと文化 2-2 ロボットと癒し. 映像情報メディア学会誌, Vol. 57, No. 1, pp. 38-42, 2003.
- [16] 森数馬, 岩永誠. 音楽による鳥肌感と涙感の同時生起がもたらす自律神経活動の多重変化. 感情心理学研究, Vol. 23, No. Supplement, pp. os15-os15, 2016.
- [17] 加納政芳, 清水太郎. なにもできないロボット babyloid の開発. 日本ロボット学会誌, Vol. 29, No. 3, pp. 298-305, 2011.
- [18] 仲谷正史, 寛康明, 三原聡一郎, 南澤孝太. 触楽入門 はじめて世界に触れるときのように. 朝日出版社, 2016.
- [19] 坂口正雄. 発汗の計測:一精神性発汗から多量発汗まで一. 繊維製品消費科学, Vol. 50, No. 4, pp. 303-308, 2009.
- [20] 山口創. 身体接触によるこころの癒し. 全日本鍼灸学会雑誌, Vol. 64, No. 3, pp. 132-140, 2014.
- [21] 太田篤志. 「発達障がい」が気になる子がよろこぶ! 楽しい遊び. PHP 研究所, 2016.
- [22] 守屋博. 病院の機械化について. 順天堂医学, Vol. 13, No. 3, pp. 400-402, 1967.
- [23] 本田美和子, ロゼット・マレスコッティ, イヴ・ジネスト. ユマニチュード入門. 医学書院, 2014.
- [24] 山本裕子. 触れるケアの効果. 千里金蘭大学紀要, Vol. 11, pp. 77-85, Dec. 2014.

- [25] 武田隆宏, 吉田尚悟, 松尾優成, 和田一義, 久保田直行. ロボットパートナーによるコミュニティ活性化への検討. 自動制御連合講演会講演論文集, Vol. 57, pp. 2008–2013, 2014.