

呼吸・心拍・体温の非侵襲な計測に基づく 生理現象表現ロボット介在型コミュニケーション

Robot-mediated communication through human's breath, heartbeat and temperature

吉田直人^{1*} 米澤朋子^{1,2}
Naoto Yohida¹ Tomoko Yonezawa^{1,2}

¹ 関西大学大学院

¹ Kansai university graduate school

² 関西大学

² Kansai university

Abstract: The purpose of this study is to enable human-human communication with robot's mediation by expressing users' physiological phenomena. In this paper, we introduce a communication framework with measuring users' physiological phenomena into robots' fake-physiological expressions. The system measures user's breath and heartbeat by depth camera and the body temperature is measured by low-resolution thermography camera module for non-invasive and non-fixed measurements. The robot system expresses breathes by abdominal motions and air flow from its mouth using air pump, and heartbeat and body temperature are expressed by vibration motor and film heater for each. The proposed method is expected to support in remote user's communication through multimodal and physiological expressions of the robots.

1 はじめに

現代の高齢社会では、生活環境や家族構成の変化などの理由から、医療や介護現場の人材不足と同時に、介護施設の不足や費用負担が問題となっている。

特に、1人暮らしの高齢者の増加が問題となっている。メンタルケアや見守りの観点から、第三者によるコミュニケーションの支援が求められている。このことから、訪問介護業務の効率化や経済的負担の軽減を目的とし、情報通信技術を活用した遠隔での在宅ケア（以下テレケアという）が注目されてきた。

自律性を有したロボットによって、高齢者のケアを自動化する試みがある [11]。ユーザは自由な姿勢でロボットとコミュニケーションをとることができ、ストレスなくコミュニケーションを継続できる。しかしながら、ロボットによる高齢者に合わせた傾聴や会話の提供、健康状態などの把握は、人間による見守りに比べ対話性が低く、不十分な点が多いといえる。

一方で、テレビ電話を用いた高齢者のケアは相手の顔を見て話すことができ、相手の様子の把握ができること

から、安心感を与えやすく、会話も容易である [9, 13]。また、高齢者がモニタを通して傾聴を行う際に相手への注意が低下するため、一時的にロボットが代理となって傾聴するシステムなども提案されている [6]。

しかしながら、画面を介したコミュニケーションでは会話の間や空白は対面時よりも気まずさを感じやすく、集中的に相手を見ながら傾聴し続けるのは困難であり、場所や姿勢も制限されるため、特別な機会ではない日常的な利用には向かない。

また、音声や画面で確認できる情報以外の非言語情報の伝達には制約があるため、実際に触れて人の温かみを感じたり、息遣いを間近で感じたり、沸き起こる感情による胸の高鳴りなどをリアルに感じ取ることはできない。認知症や聴覚の衰えにより言語能力が低下した場合、より言語情報に頼らない感情コミュニケーションが必要であると考えられる。

そこで本研究では、音声とともに遠隔の介護者の生理現象をロボットによって代理表現することで、感情の伝達をより豊かにするとともに、遠隔地の被介護者や家族・友人との感情的なコミュニケーションの支援を目指す。

感情は、自律神経や骨格筋に由来する様々な生理現象を伴って生じる [2, 4]。そのため、生理現象を介して、

*連絡先：関西大学大学院総合情報学研究科
〒569-1095 高槻市霊仙寺町 2-1-1
E-mail: k463362@kansai-u.ac.jp

相手の感情を感じ取ることが可能であると考え、呼吸・心拍・体温は人間の内部状態によって変化が起ることが示されている [17, 7, 14]。

我々はこれまでに、様々な生理現象表出機構を持ったロボットを設計し、ロボットの身体状態や感情の表出の可能性を示した [8, 5]。これらの生理現象は、視覚・触覚・聴覚でマルチモーダルに相手の状態を感じ取ることのできる要素である。

本稿では、遠隔ユーザの呼吸・心拍・体温などの生理現象をロボットによって再現し、相手の生理現象の変化に触れながら会話するシステムを提案する。生理現象の表現を介した感情伝達を目指し、ユーザへの負荷が少ない非接触・非侵襲での呼吸・心拍・体温の取得および生理現象再現機構を持ったロボットによる再現手法を設計した。これにより、ビデオ通話などの視覚や音声に限定されたモダリティでは不可能だった相手の生きた存在とリアルタイムに変化する生々しい様子を遠隔で感じることができ、相手がすぐ側にいるような安心感を与えることができると考える。

2 関連研究

2.1 遠隔での感情コミュニケーション

ロボットを用いて、音声とともに非言語情報を伝達しながら、コミュニケーションを支援する試みがある。

RobotPHONE[3] は、ぬいぐるみの外観を持ち、腕や頭部を遠隔ユーザが動かした通りに、同じ動きを再生するシステムである。遠隔ユーザの操作によってロボットの動きからも、相手の意図や感情を伝達することが可能である。

西尾ら [12] は人に似た外観を持たせた遠隔操作ロボットを用いて、コミュニケーションを支援する手法を提案した。より人間らしい外観を持たせることにより、あたかも遠隔の人間が自分の側にいるような存在感を伝達することが可能である。

これらの研究は、ユーザの意図的なロボット操作によって、自らの存在感を相手に伝達するものであるのに対し、本研究は、遠隔ユーザの生理現象をありのままに伝達することで、受け手が相手の存在や状態を自然に感じ取ることが目的とする。そのため、送り手が何も喋らずロボットを操作しない場合でも、生理現象を介して相手がすぐ側にいるような安心感を与えることができると考える。また、生命と直接的に関係のある生理現象を感じ取ることによって、生きている人間の存在感を感じ取ることができると考える。加えて、感情や体調などのさまざまな身体状態に伴って変化する生理現象を用いることで、相手の身体状態・精神状態の詳細な伝達を目指す。

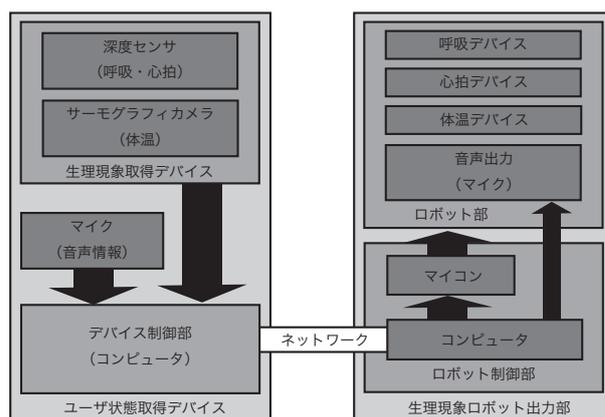


図 1: システムの全体構成。

2.2 感情と生理現象の関係性

体温は、交感神経・副交感神経の働きによって血管が収縮・弛緩することで変化することが明らかになっている [7]。

山田ら [10] は恐怖の情動を感じた際に、およそ 0.4 ~ 1.4 の鼻部の皮膚温の下降が見られることを示した。善住ら [14, 16] は、鼻部皮膚温度変化から、人間の快・不快情動を推定すること可能であると示した。梅沢ら [17] は、ストレス刺激が呼吸のパターンに変化をもたらすことを明らかにした。また、下野ら [7] は、ストレスによってイライラや嫌気などの情動とともに心拍の変動が見られることを明らかにした。

これらの研究は人間は感情によって、異なる生理現象の変化を示すことを明らかにしており、呼吸・心拍・体温などの変化を感じ取ることによって、相手の感情を推測できる可能性を示唆している。

3 システム

3.1 システム構成の概要

システムの構成イメージを図 1 に、外観を図 2 に示す。本システムは、複数の生理現象取得デバイスと音声処理部で構成されるユーザ状態取得部と、複数の生理現象再生デバイスを内蔵したロボット部とロボット制御部で構成される生理現象ロボット出力部に分けられる。生理現象取得部は主に呼吸、心拍、体温の取得のためのデバイスの制御を行う。音声処理部はマイクから入力された音声を処理し、相手ユーザから受信した音声を再生する。ネットワーク部では取得した各生理現象の値と入力音声を送信に適した値に変換し、相手ユーザのコンピュータに送信する。生理現象再現ロボットは受信した値に合わせて、呼吸スピード、吐息の強さ、心拍、体温を変化させる。



図 2: システムの外観.

3.2 ユーザ状態取得部

3.2.1 生理現象取得デバイス

生理現象取得デバイスの設置例を図 3 に示す。生理現象処理部は、ユーザの呼吸状態と心拍を取得する深度センサと、体温を取得するサーモグラフィカメラから成る複数のデバイスで構成される。

呼吸、心拍、体温の生理現象は全て非侵襲、非接触で検出する。呼吸、心拍の検出には Microsoft® KINECT for Windows v2 の ToF 方式デプスカメラを用い、上田 [15] による胸部のデプス観測による非接触呼吸・心拍センシングを参考に構築し、ソケット通信による取得データの送信部を付加した。

上田 [15] による非接触呼吸・心拍センシングの概要は次の通りである。胸部デプスによる非接触呼吸・心拍センシングは次の通りを行う。まず、骨格情報を元に胸部の測定領域を決定する。測定領域は、上端を背骨肩、左右の両端を左肩、右肩とし、下端を背骨中央とした矩形内とする。領域内のデプス値に対しノイズ除去を行った後、基底遷移アルゴリズム [1] とローパスフィルタ処理によって呼吸変動を、ハイパスフィルタによって心拍変動を抽出する。抽出した値から、心拍数 (回/秒)、呼吸に伴う胸部 Depth 値の増加量を算出する。

体温の変化はサーモグラフィカメラ¹ によって検出する。温度情報は縦 4 × 横 16 ピクセルで取得し、フレームレートは 10[frame/sec] で固定する。サーモグラフィカメラは頭部領域が完全に収まるようにカメラの設置した後、ピーク検出処理を行い、顔表面の最高温度を抽出する (図 4)。

抽出した、心拍数、呼吸の変化量、体温を UDP プロトコルを用いてロボット制御部に送信する。

¹USB サーモグラフィモジュール OTK-THG03, 榎ノ木技研 <http://oaktree-lab.com/index.html>



図 3: 生理現象取得デバイス.

USB Thermography sample																	
34.2	33.4	32	31.9	32.2	35.1	35.3	34.0	35.4	34.0	34.4	34.4	35.9	35.2	32.5	33.6		
31.5	30.2	31.6	30.8	29.9	32.9	32.9	33.9	32.7	33.9	33.4	33.4	34.6	33.7	32.3	32.8		
32.8	30.8	30.2	29.7	30.9	32.1	32.5	32.8	33.1	32.3	33.5	33.5	34.2	32.4	31.6	31.7		
31.6	30.4	29.8	31.1	31.1	31.6	32.8	33.6	33.1	33.2	33.1	35	35	32.1	32.6	32.8		
average: 32.8																max: 35.9	

図 4: 4x16 ピクセルの取得温度とピーク温度.

3.2.2 音声処理

マイクからの音声入力は 16 ビット 44100Hz で行い、Processing² 上で minim ライブラリを用いて取得する。取得した音声はサイズを 1/2 に圧縮した後、UDP プロトコルを用いてロボット制御部に送信する。

3.3 生理現象ロボット出力部

3.3.1 生理現象再現ロボットのシステム構成

ロボット構成デバイスは、肺を模した風船、エアポンプ (定格: DC6V 230mA, エアフロー: 2L/分, 圧力: 400mmHg), ソレノイドバルブ (定格: DC6V 90mA) 圧力センサから成る呼吸制御デバイス, 振動モータを用いた心拍表現デバイス, フィルムヒータを用いた体温表現デバイス, 小型スピーカを用いた発声装置によって構成される。ロボット制御部にはマイコン Arduino³ を用いる。

3.3.2 ロボット制御部

ロボット制御部では、受信した心拍数、呼吸の変化量、体温データと音声データをもとにロボットの動作を制御する。

まず、受信した心拍数データからは、ロボットの心拍タイミングを決定する。次に、受信した呼吸に伴う胸部 Depth 値の増加量を移動平均により平滑化し、この値に合わせてロボットの呼吸状態を制御する。同時に、増加量の大きさに合わせて排出される空気の流量を調

²Processing <http://www.processing.org/>

³Arduino <http://www.arduino.cc/>

節する。また、体温データに合わせてフィルムヒータの値を変化させ、ロボットの体温を調整する。

ユーザの情動が興奮状態へと変化し、心拍数上がり、呼吸のテンポが早まり、体温が上昇するにつれて、ロボットの心拍数、体温が上昇し、実際のユーザの呼吸と同期したテンポの早い呼吸を再現する。対照的に、ユーザの情動が落ち着いた状態へと変化し、心拍数が平常に戻り、呼吸のテンポがゆっくりになり、体温が下降するにつれて、ロボットの心拍数が減少し、体温が下降し、実際のユーザの呼吸と同期したゆっくりとした呼吸を再現する。

3.3.3 ロボットの生理現象再現手法

図5にぬいぐるみロボットの内部構造を示す。ロボットの外観には一般的なユーザの日常生活にとけ込みやすく親しみやすいクマのぬいぐるみを用いた。ぬいぐるみロボットは腹部運動と呼気の排出を伴う呼吸、発声、体温の調節、心拍の提示を行うことが可能である。

呼吸の制御手法を図7に、ロボットの呼吸時の吐息の排出の様子を図6に示す。

呼吸の制御は、腹部に内蔵された擬似肺への空気の送り込みと、蓄積した空気の口からの排出を共通制御することで実現する。擬似肺の膨張収縮によって呼吸時の腹部の動きを再現できる。

呼吸は擬似肺から口腔内に接続されたシリコンチューブから排出される。擬似肺と口の間にはシリコンチューブ内の気流を遮断するソレノイドバルブが取り付けられ、バルブを開閉することにより、吐息をコントロールする。また、サーボモータによってシリコンチューブの折り曲げ角度を変化させることによって、排出される空気の流量を変化させることができる。

空気圧センサによって擬似肺内の空気の蓄積量を検出することで、吸入時に空気圧の最大値を超えた場合に空気ポンプを停止し、擬似肺の過剰な膨張を防止する。一方で、吐息の排出が長く続き、擬似肺の空気圧が一定を下回った場合には空気ポンプを稼働し、吐息の排出を継続する。

体温はぬいぐるみロボットの両脇の下と背面の布の裏に取り付けられたフィルムヒータによって提示する。フィルムヒータは表面温度が35℃になるように初期値を設定する。ユーザの体温変化に伴うロボットの温度変化を知覚しやすいよう、ユーザの体温が1℃上がるとフィルムヒータの温度が3℃上がるように設定する。

心拍はロボット胸部内部に取り付けた大型の振動モータによって提示する。

ロボットの頭部にはスピーカを内蔵しており、相手のユーザの声をスピーカから出力できる。同時に発声と同期した呼気の提示を行う。スピーカを頭部に設置

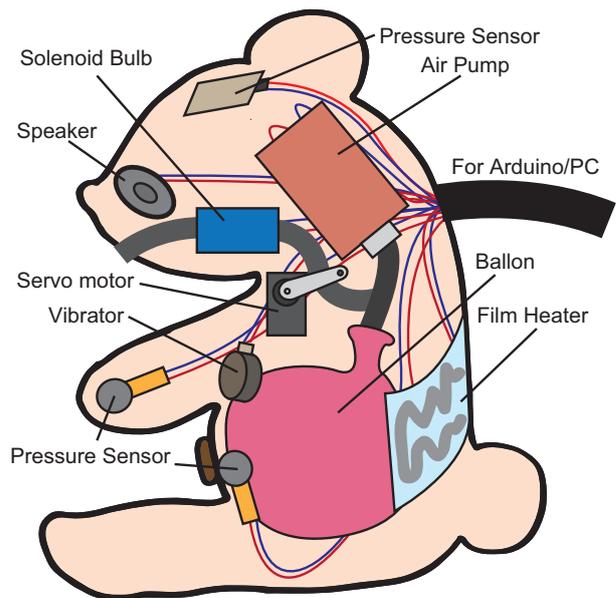
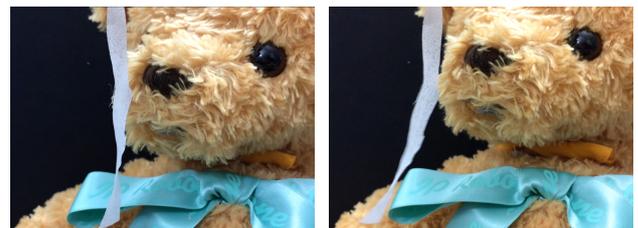


図5: ぬいぐるみロボットの内部構造。



a) 吐息なし

b) 吐息あり

図6: 呼吸時の吐息の排出。

することで、ユーザが耳を口元に近づけば、声と吐息を同時に感じる事が可能である。

3.3.4 発話に伴う吐息提示

ユーザの発話時には、相手ユーザの実際の腹部運動に合わせた吐息提示から、発声に合わせた吐息提示への切り替える。

まず、ユーザの音声入力検出と音声部分に合わせた吐息提示のための閾値を式1ののよう決定する。受信した音声の周波数の領域を1:3に分割し、それぞれの総和をvolume1とvolume2に代入する。Volume2が0以上であれば、volumeにvolume1/volume2を代入し、volumeとvolume1を掛け合わせる。これが、10以上であれば、音声区間であると判定し、発話に合わせた吐息提示へと切り替える。

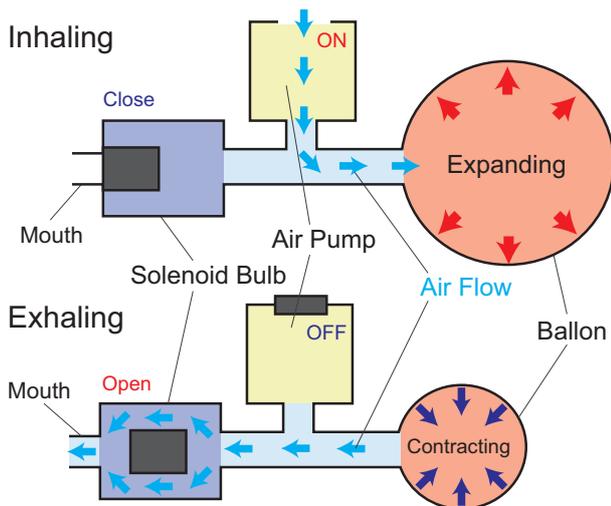


図 7: 装置内部の空気の流れ。

3.4 システムの動作

3.5 動作環境

動作の確認は、窓から 4[m] ほど離れた室温およそ 23 度の室内で蛍光灯を点灯した上で行った。テーブル上に生理現象取得デバイスとコンピュータを設置し、ユーザはテーブルの正面に配置した椅子に着席した。深度センサおよびサーモグラフィカメラとユーザの距離がおよそ 1[m] となるよう調整した。マイクは指向性のあるものを使用し、生理現象取得デバイスの横にユーザの顔に向くように設置した。

ロボットの動作は生理現象の検出対象とは別のユーザが行った。ユーザはロボットを両手で胸の高さに持ち、ロボットの顔とユーザの顔が 30[cm] ほどの距離になるような位置に合わせた。

3.6 システムの動作結果

ユーザの平常時のシステム動作を確認した。まず、生理現象取得デバイスの動作結果について述べる。ユーザが着席した後、およそ 0.5[sec] でユーザの骨格情報を検出した。ユーザが静止した状態において、また、深度センサの情報からは心拍数(回/秒)および胸部 Depth 値を、サーモグラフィカメラからはユーザ顔部表面の最大値を安定して取得できた。一方で、ユーザが着席したまま前後に体を揺らした場合には、胸部 Depth が実際の呼吸状態と異なり大きく変動した。ユーザが再び静止すると、胸部 Depth の値は安定した変動に戻った。ユーザが動いたことによって検出範囲内の Depth 値に大きな変動が生じたことが原因と考えられる。また、ダウンジャケットのような厚手の上着を着用した場合には、ユーザの心拍変動が不安定な値を示した。

次に生理現象ロボット出力部の動作結果について述べる。ユーザは手でロボットの腹部運動と心拍、体温を確認し、ロボットの腹部運動を視認した。また、ロボットの吐息が顔にかかるのを確認した。空気の吸入時には、ロボットに内蔵された空気ポンプの動作音が聞こえた。音声に同期した吐息の排出については、長い文章を音読した場合に、擬似肺内の空気が不足し吐息中に空気ポンプが稼働した。また、発声の状況などによって呼吸時の平均的な腹部の大きさに違いが見られることがわかった。排出される空気量の調整や、空気ポンプの出力の制御などが必要だと考えられる。

4 おわりに

本研究は、ロボットの生理現象表現を介した遠隔ユーザ同士の感情的コミュニケーションを目的とし、音声とともに遠隔の介護者の生理現象をロボットによって代理表現することで、感情の伝達をより豊かにするとともに、遠隔地の被介護者や家族・友人との感情的なコミュニケーションの支援を目指すものである。

本稿では、深度センサ、サーモグラフィカメラモジュールを用いて、呼吸・体温・心拍や視線をユーザの負荷の少ない非接触・非侵襲で計測し、ロボットの生理現象表現によってユーザの生理状態を伝達しながら対話するシステムを提案した。

このシステムにより、遠隔ユーザの呼吸・心拍・体温などの生理現象をロボットによって再現し、相手の生理現象の変化に触れながら会話することで、相手がすぐ側にいるような安心感を与えると同時に、直感的な感情の伝達が可能であると考えられる。

実際の動作では、ユーザが静止した状態であれば呼吸・心拍・体温の安定した取得を確認した。一方で、ユーザの姿勢や動作、着衣による検出精度への影響が見られた。ロボットによる生理現象再現については、ロボットの呼吸・心拍・体温をユーザが視覚的・触覚的に認識することができた。課題としては、人間の呼吸と同期させるためのロボットの呼吸の調整などが挙げられる。このことから、様々な環境での実験を行うとともに、ロボットの吐息の量や擬似肺の容量などの調整が必要である。

今後、遠隔ユーザの生理現象の変化が伝達されるかについて検証を行うとともに、生理現象によるユーザの感情伝達に関する検証を行い、ロボット介在型コミュニケーションの実現を目指す。

謝辞

本研究は科研費 15H01698,24300047 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] トランジスタ技術 2012年08月号 [雑誌]. CQ出版, 月刊, 7 2012.
- [2] Luc Ciompi. *Die emotionalen Grundlagen des Denkens: Entwurf einer fraktalen Affektlogik*. Vandenhoeck Ruprecht, 1997.
- [3] Dairoku Sekiguchi, Masahiko Inami, and Susumu Tachi. Robotphone: Rui for interpersonal communication. In *CHI'01 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, pp. 277–278. ACM, 2001.
- [4] Martin Voracek, Paul Gumhalter, Gerhard Stumm, and Alfred Pritz. *Wörterbuch der Psychotherapie*. Springer-Verlag, 2007.
- [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*, pp. 322–323. ACM, 2014.
- [6] Tomoko Yonezawa, Hirotake Yamazoe, Yuichi Koyama, Shinji Abe, and Kenji Mase. Assisting video communication by an intermediating robot system corresponding to each user's attitude. *Information and Media Technologies*, Vol. 6, No. 4, pp. 1269–1281, 2011.
- [7] 下野太海, 大須賀美恵子, 寺下裕美. 心拍・呼吸・血圧を用いた緊張・単調作業ストレスの評価手法の検討. *人間工学*, Vol. 34, No. 3, pp. 107–115, 1998.
- [8] 吉田直人, 大中谷友香梨, 久保嶋健人, 米澤朋子. 吐息と腹部運動を伴う呼吸表現に関する因子分析に基づいた生物的な身体感情インタラクションの設計. *Proceedings of the 2014 HAI シンポジウム 2014*, pp. G–2, 2014.
- [9] 桑原教彰, 安部伸治, 安田清, 田村俊世, 桑原和宏. Tv 電話とコンテンツ共有を用いた高齢者への遠隔からの対話や回想法を可能とするシステムの実現と評価. *ヒューマンインタフェース学会論文誌*, Vol. 9, No. 2, pp. 111–122, may 2007.
- [10] 山田貴志, 渡辺富夫. 顔面皮膚温計測に基づく恐怖の情動下での顔色の分析と合成. *ヒューマンインタフェース学会論文誌*, Vol. 7, No. 4, pp. 547–554, nov 2005.
- [11] 柴田崇徳. アザラシ型ロボット・パロと人との相互作用に関する研究. *日本ロボット学会誌*, Vol. 29, No. 1, pp. 31–34, 2011.
- [12] 西尾修一, 山崎竜二, 石黒浩. 遠隔操作アンドロイドを用いた認知症高齢者のコミュニケーション支援 (<特集> 医療福祉ニーズに応えるシステム制御情報技術). *システム/制御/情報: システム制御情報学会誌*, Vol. 57, No. 1, pp. 31–36, 2013.
- [13] 川上千春, 島内節, 友安直子. 在宅ケアにおけるテレビ電話の利用意志と有用性に関する研究: 利用者と訪問看護師の比較. *日本看護科学会誌*, Vol. 23, No. 4, pp. 51–60, jan 2004.
- [14] 善住秀行, 野澤昭雄, 田中久弥, 井出英人. 鼻部皮膚温度変化による快-不快状態の推定. *電気学会論文誌. C*, Vol. 124, No. 1, pp. 213–214, 2004.
- [15] 中村薫, 杉浦司, 高田智広, 上田智章. KINECT for Windows SDK プログラミング Kinect for Windows v2 センサー対応版. *秀和システム*, 5 2015.
- [16] 田中久弥, 野澤昭雄, 井出英人. C209 鼻部熱画像処理に基づいた感情の可視化. *可視化情報学会誌*, Vol. 23, No. Supplement1, pp. 353–354, 2003.
- [17] 梅沢章男. ストレス刺激に対する呼吸活動の変容. *Japanese Journal of Physiological Psychology and Psychophysiology*, Vol. 9, No. 1, pp. 43–55, 1991.