

TEALION 洗面台見守りサービスの提案

吉川 昌秀^{*1} 寺田 佳代子^{*1} 江口 佳紀^{*1} 飛田 博章^{*1}

Abstract — カメラ、センサや、水道や電気メーターといった様々な情報を利用して、離れた家族の生活を見守る「見守りサービス」が数多く提案されている。本論文では、洗面台に設置したデバイスから、手洗いなどの生活音を検知・認識する見守りサービス、TEALION について述べる。洗面台からの生活音を検知することにより、プライバシーリスクを抑えながら、見守り対象である独居者の生活リズムを把握するシステムのプロトタイプを実現した。

Keywords : ユーザーインターフェイス、洗面台、見守り、生活音、音声認識、生活リズム

1 はじめに

近年、日本においては、学業や労働の場が都市部に集中することに加え、未婚者や高齢者の増加に伴い独居世帯数が増加している。特に東京都では、全世帯者数における独居世帯の割合は、現在 45%を超えており、2030 年には半数にまで増加すると予測されている [1]。こうした世帯の細分化により、離れた場所で暮らす高齢者や単身赴任者、子供などが無事に生活できているかを心配する家族が増えている。また、心理学の研究においても [2]、社会的孤立により 29 %、孤独感により 26 %、1 人暮らしでは 32 % 死亡リスクが高まるという調査結果があり、独居者のヘルスケアの重要性が高まっている。

これに伴い、カメラ、センサや、水道や電気メーターといったさまざまな情報を利用して、日常生活を問題なく送っているかを知るための「見守りサービス」が提供されている。見守りサービスを利用することにより、遠隔地にいながら、見守り対象となる独居者の生活状況を知ることが可能となった。しかし、ニーズも高く、技術的にも進歩している反面、見守りサービス自体はあまり普及していない。

こうした背景には 2 つの理由があると考えられる。1 つ目は、設置が難しい点である。独居者が見守りサービスにプライバシーの侵害を感じ、見守りサービスの設置を受け入れないためである。特に、監視カメラなどの映像記録情報については、プライバシーの侵害度が高く、記録情報の取り扱いに関連してプライバシー権をめぐる裁判が行われてきた [3, 4]。また、水道や電気メーターを利用したサービスの様に、法律上の制約により、設置希望者の居住する地域の自治体がサービスを提供していなければ設置不可能な場合もある。加えて、専門の業者による設置工事費が必要であるため、

高価なサービスとなっている。もう 1 つは、多くのシステムが生活を見守ることだけを考えているため、独居者の生活改善に直接寄与することができない。見守りサービスから得られたデータをもとに家族や医師が改善を促しているのが現状で、システム自体がその場で改善を促す手法が必要である。

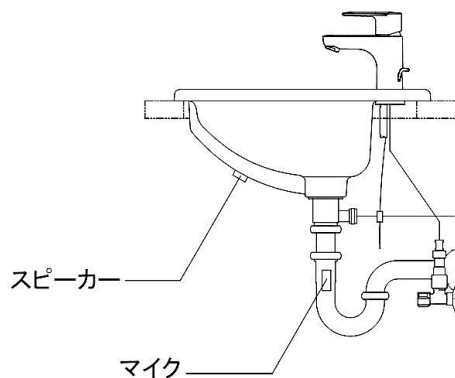


図 1 システム設置概要図

そこで、我々は洗面台見守りサービス、TEALION を考えた。提案するシステムは、洗面台につながる U 字管から生活音を集音し、洗面台のボール部分をスピーカーの振動板として音を拡大させて発話を行うことができる対話型見守りシステムである (図 1)。洗面台内部に取り付けることでさりげない見守りと、独居者との音声による対話手法により生活改善や強制的なコミュニケーションを目指している。本サービスは、オープンなハードウェアにより構成され、安価かつ手軽に設置ができる点に特徴を持つ。

まず、システムを洗面台下に設置し、手洗いなどの生活音を検知し認識する。洗面台からの生活音のみの検知に範囲を限定することで、プライバシー侵害リスクを最低限としつつ独居者の生活リズムを把握できる。

^{*1}産業技術大学院大学

また、同時に設置デバイスに発話機能を実装し、洗面台と独居者が音声によりコミュニケーションを行う機能を実現した。本機能は、行動に対するリアルタイムな返答が行われることで、独居者の生活を改善し、孤独感を解消する効果を見込んでいる。

2 TEALION システム概要

TEALION は、見守り対象である独居者宅に設置された集音、生活音認識および、発話を行う設置デバイスと、ログ集積サーバにより構成される。本システムでは、独居者宅設置デバイスで収集した情報をログ集積サーバに送信す。ログ集積サーバは、見守りを行う家族等に対して、独居者の生活音を認識した時刻などの情報を閲覧できる Web サービスを提供する。

2.1 認識する生活音

生活音とは、室内の日常生活において発生する音と定義している。本論文では、洗面台下に設置したデバイスにおいて検知可能な範囲の生活音として、手を洗う音、顔を洗う音、歯を磨く音、髭を剃る音、ドアの開閉音、洗面台を掃除する音や、ドライヤーを使用する音を生活音として想定した。今回のプロトタイプによる評価実験では、手洗い音を認識対象としている。

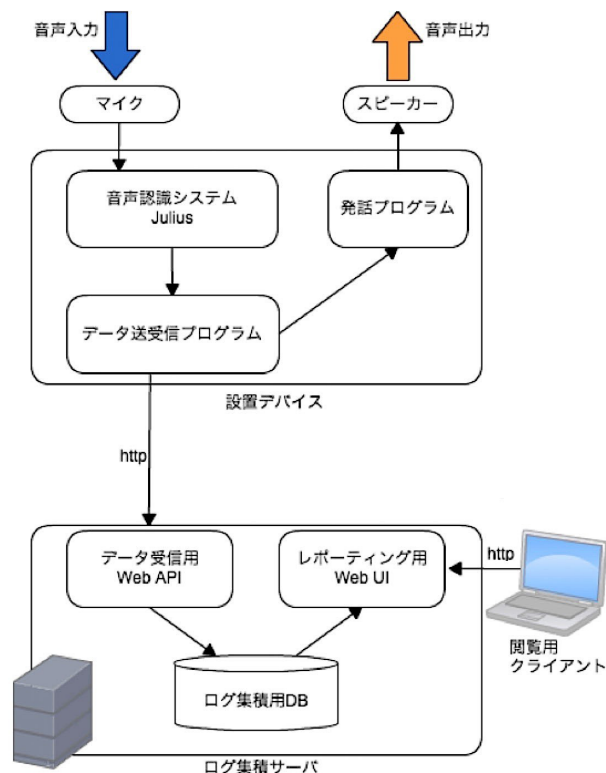


図2 ソフトウェア構成

2.2 ソフトウェア構成

設置デバイスでは、マイクから受け取った生活音を認識する音声認識システム、スピーカーから音を発

生させる発話プログラムおよび、各ソフトウェアコンポーネント間のデータのやり取りを仲介するデータ送受信プログラムの3つのコンポーネントが動作する。ログ集積サーバでは、データの蓄積とデータ表示のコンポーネントが動作する（図2）。



図3 FRISK ケースに格納されたマイク

2.3 デバイス構成

TEALION の設置デバイスのプロトタイプは、小型コンピュータ、マイクと、スピーカーにより構成されている。音声認識、発話および、データ送受信を行う小型コンピュータとしてボードコンピュータ（Raspberry Pi 2 Model B）を使用した。集音用マイクには、USB マイクロホン（サンワサプライ社 MM-MCUSB21BK）を分解しマイク部分を取り外し、コンデンサーマイク（C9767）に付け替えたものを FRISK ケースに収納した（図3）。スピーカーには骨伝導スピーカー（DeviceNet 社 DN-B002BU）を用いた。また、ネットワークを利用するために、WiFi アダプタ（PLANEX GW-USNANO2A）を使用した。

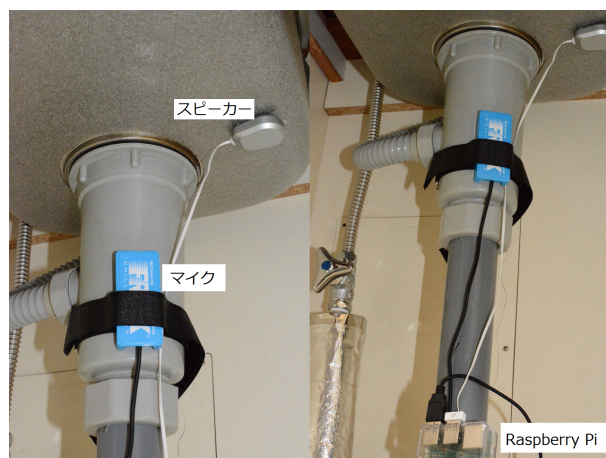


図4 プロトタイプの設置例

2.4 デバイスの設置

デバイスの設置には、洗面台の U 字管部にマジックテープを用いて小型マイクを取り付け、洗面台のボー

ル部分に両面粘着シートを用いてスピーカーを貼付した。ボードコンピュータも洗面台内部に設置し電源に接続した(図4)。TEALIONの設置作業には工具等の必要はなく容易に設置が可能である。

2.5 音声認識システム

音声認識モデルにはHidden Markov Model (HMM)を、音声認識エンジンにはJulius[5]を採用した。認識モデル構築手法に関しては、フリーソフトでつくる音声認識システム[6]を参考にした。

2.6 音声認識モデル

HMMは確率的にある特徴を出力し、また自己ループを含めて確率的に状態遷移を行う。自己ループを行うため、入力音の長さが一定でなくても認識を行うことが可能である。音声認識においては、認識する音のクラスごとにそれぞれHMMを用意し、設置デバイスから入力された音データがどのクラスに属するかの確率を求め、もっとも確率の高いクラスを認識結果とする。認識する音のクラスとして、プロトタイプにおいては4種類(無音状態、ドアの開閉音、手洗い音および、その他ノイズ)を定義した。

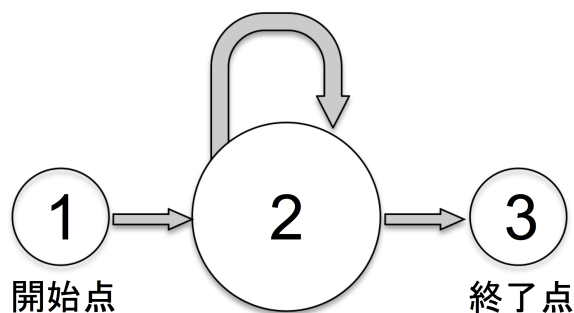


図5 採用HMMのオートマトン図。状態2のみが出力状態

本研究では3状態のleft-to-right HMMを採用した(図5)。このうち中心の状態である状態2のみが出力を行う。各クラスにおける特徴の出力確率、状態遷移確率は、推定した初期値を機械学習によって調整することにより精度を向上させた。この作業は、オープンソースのHMM構築ツールであるHTK(The Hidden Markov Model Toolkit)[7]を用いて行った。

2.7 教示データの用意

事前学習を行うための教示データは、ポータブル録音デバイスを用いて収集した。教示データとして用いるために、収集したデータを分割し、各時間帯の音が前掲の認識音のどのクラスに対応しているかを示す正解ラベルの設定を行った。このラベル付けは音声編集ツール(Audacity)を用いて行った。

2.8 教示データからの特徴抽出

正解ラベル付けを行った各教示データから、認識に用いる特徴量を抽出した。本研究では、特徴量として人の音声知覚を考慮した特徴量であるメル周波数ケプストラム係数(MFCC)を用いている。MFCCは、音スペクトルをメル尺度を用いてメル周波数スペクトラムに変換したうえで、離散コサイン変換を行った結果(ケプストラム)の低次成分である。本研究では、低次成分のうち12次元を取り出し、さらに音声の平均パワー、MFCCの変化量(Δ MFCC)を加えた合計26次元を特徴ベクトルとして利用した。

2.9 音声認識エンジン

リアルタイムの音声認識は汎用音声認識エンジンであるJuliusを用い、HTKで構築した音声認識モデルを読み込ませて使用した。Juliusは認識モデルに従い、入力音声の前掲のどのクラスに属するかを認識し、その結果を出力する。出力に生活音として本研究で定義している音が含まれていた場合、ログ集積サーバへ情報の送信が行われる。前掲のクラスのうち生活音はドア開閉音の2つだが、このうち、ログ集積サーバに送信を行うのは、有意な生活音である手洗い音のみとした。

2.10 発話プログラム

デバイスは生活音を認識した際に発話を行う。発話の内容は、プロトタイプでは2種類とした。まず、認識した生活音に対し、対応した言葉を発話する。プロトタイプにおいては手洗い音のみを対象とした。また、洗面台を使った時間に対し、対応した挨拶を発話する。今回のプロトタイプでは試験的に、朝には「おはよう」、夜には「おかえりなさい」などの挨拶を台詞として用意し、音声合成ツールで音声ファイルを用意しておいた。発話は予め用意した音声ファイルをaplayコマンドにより再生することにより実現した。

2.11 データ送受信プログラム

Juliusで認識した結果を適切に振り分けるプログラムである。例えば、手洗いを認識した場合は、発話プログラムとデータ集積サーバに通知を行う。その他の認識の場合は通知を行わない。

2.12 ログ集積サーバ

Ruby on Railsで製作したWebアプリケーションが動作しており、設置デバイスからの情報を受け取るAPI、生活音認識ログを集積するデータベースおよび、ログをWeb表示するWeb UIが動作している。このサーバを閲覧することにより、見守り者は独居者の行動を把握することができる。

2.13 処理フロー

本システムの処理フローを図6に示す。

- 1). 音声認識システム(Julius)とデータ送受信プロ

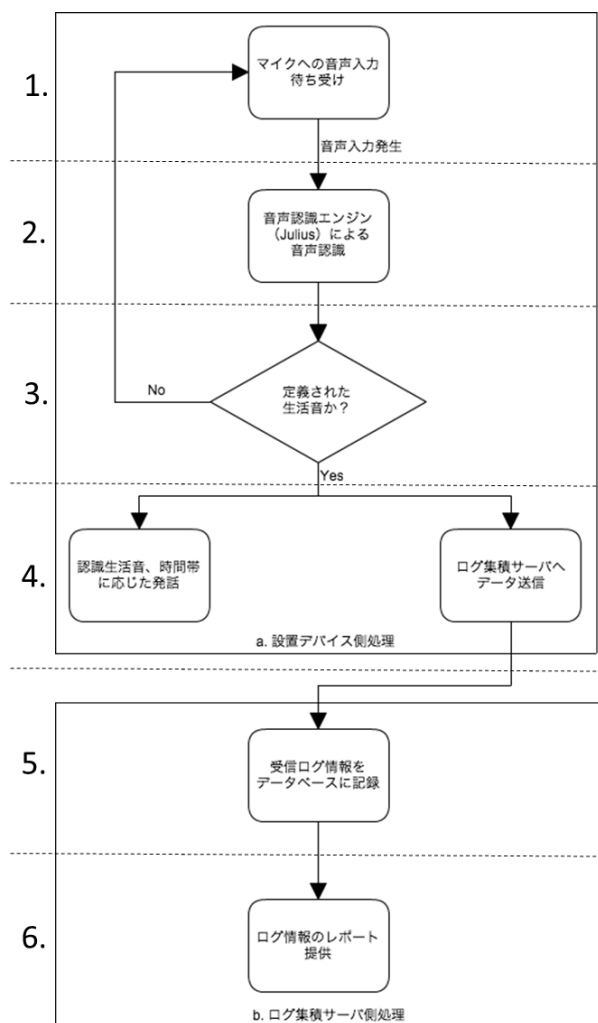


図6 処理フロー

グラムの各プロセスは、OS (Raspbian) 上に常駐し音声入力を待ち受ける。

- 2). マイクから音声が入力されると、Julius で音声認識を行い、その結果をデータ送受信プログラムに送信する。
- 3). データ送受信プログラムは、音声認識データに生活音（現行では手洗い音のみ）が存在するかを確認する。
- 4). 生活音が認識されていた場合、データ送受信プログラムは認識結果を発話プログラムとログ集積サーバへ送信する。
- 5). 発話プログラムは、メッセージがあれば再生を行う。ない場合は、時間に合わせた挨拶を行う。
- 6). メッセージサービスは、再生時の反応を記録しログサーバに通知する。
- 7). ログ集積サーバは、設置デバイスから認識結果

を受信すると、そのデータを受信時の時刻と共にデータベースに記録する。

- 8). ログ集積サーバは、クライアントからの HTTP アクセスを受け付ける。クライアントがアクセスするデータベースからログ情報を取り出し、クライアントに対し HTML 形式で提供する。



図7 生活音認識システムが生活音を検知し（上）、認識した結果をログ集積サーバに通知している（下）

3 実行例

プロトタイプによるデモンストレーションを、研究室の流し台にて、自宅に帰宅した独居者が手を洗うというシナリオで実施した。デモンストレーションでは、手洗いと同時に生活音認識システムが認識処理を行い、認識結果をデータ送受信プログラムがログ集積サーバに通知する（図7（上））。ログ集積サーバは、手洗い音を認識したログを HTML 形式で作成するの

で、クライアント PC 上で閲覧できた (図 7 (下))。また、この例では、手洗い後に流し台から、女性の声により「おかえりなさい」の挨拶が発話された。

4 考察

現在のシステムはプロトタイプであるが、試験運用や、デモンストレーションから得られた知見をもとにシステムを考察する。

4.1 システムデザイン

現状のシステムで生活音認識に関しては、手洗い限定であるが高い正解率を示した。開発したシステムのプロトタイプを複数台製作し、研究室メンバー全員の自宅の洗面台及び研究室の流し台に取り付け、生活音の音声認識の継続評価を実施した。評価の結果、手洗い音は 80 % 以上の精度で認識に成功した。自宅に加え、研究室などの異なる環境で試験運用したが、同様の精度で認識できた。

現在、生活音の認識は、手洗い、ドア音、ノイズおよび、無音であるが、生活音の種類を増やして欲しいというコメントが多く聞かれた。現状のプロトタイプでは、認識対象を増やすことで認識精度が低下してしまうため、音声認識モデルを拡張し、認識させる生活音の種類の増加と認識精度の向上を同時に行う必要がある。一方で、電動でない歯磨きや髭剃り音のように明瞭に集音できない音もある。発生音源の音量が小さく、洗面台下に設置したマイクからの距離がある生活音については、明瞭に集音ができない。従って、認識するためには、歯ブラシや髭剃りにセンサをつけるなど工夫が必要になる。

洗面台の発話に関しては、発話は認識時に事前に決まった台詞を再生するだけであり、健康の改善への貢献度は低い。近年、話す掃除機などが製品としてリリースされていることなどから、機能に関しては多くのユーザに好意的に受け入れられた。この機能を使用者の健康の改善に役立てることが我々の目的の 1 つであるが、発話の内容やタイミングなどに改善が必要である。例えば、玄関のドアの開閉により帰宅を検知し、帰宅後に手洗いを行っていないければ手洗いをデバイスの発話により促すことができれば、外出後の手洗いの習慣化を促すことができ、健康の増進に貢献できると考える。また、声色や発話スピードをカスタマイズしたいというコメントも聞かれた。より柔軟に対応するために、音声合成などとの連携を考えていきたい。

また、スピーカーは洗面台の材質により音質や音量が依存する。我々は、デバイスによる発話時の洗面台水平面における音圧レベルを、レベルメータで計測した。ステンレスの流し台の音圧レベルに対して、陶器の洗面台の音圧レベルは高くなった。ステンレスの流

し台と比較して、陶器の洗面台では音質の違いを感じた。洗面台毎の特性を生かしてより効果的に音を伝える手法を考える必要がある。

4.2 課題と今後

認識結果の Web 表示については、手洗いなどの生活音を認識した時間のログを簡単に表示している。今後は、情報の見易さなどを考慮した上で、PC だけではなく、スマートフォンやタブレット等でも利用できるように向上させることを考えている。また、傾向分析などの解析機能をつけることにより、取得データを活用し、日常生活に変化がないか容易に確認できるように工夫するつもりでいる。



図 8 O-TEALION (トイレによる見守りサービス) への応用

また、TEALION デバイスの数を増やすことや、設置場所を工夫することでシステムの発展性について検討していきたい。例えば、TEALION デバイスを増やし、デバイス同士が通信をすることにより、的確な見守りサービスを提供することを考えている。加えて、TEALION を洗面台以外へ設置することや、既存の見守りサービスとの組み合わせにより柔軟なサービスを提供することも検討している。例えば、提案手法はトイレに対しても取り付け可能で、生活音を認識し、音声を発話する見守りトイレ (O-TEALION) が可能になる (図 8)。

システムをソフトおよび、ハードの両面から向上させ、システムを評価することを考えている。現状では、認識精度や、発話パターンに制約が多く、試験運用に限られている。今後は、ユーザテストや長期間運用から TEALION を評価する。

4.3 関連研究

生活音の認識に関する研究も報告されている。Bathroom でのトイレやシャワーなどで発生する生活音を取得、認識させ、1 日の行動記録を要約するシステムが提案されている [8]。また、マイクとなる圧電素子を

家具や日用品に貼りつけ、生活音を認識させる研究もある [9]。前述した研究においては、いずれも複数の種類の生活音の認識に成功している。しかし、システムは音の認識までにとどまり、認識した情報を見守り者などに通知する仕組みがないため、見守り者が独居者の行動情報をリアルタイムに知ることはできない。また、ポットの使用状況を送信する i ポット [10] を用いた見守りサービスが提供されている。こちらについては、ポットを使用したという情報はリアルタイムに知ることができるが、見守り者が独居者に対して何かアクションを取ることはできない。スマート洗面台 [11] においては、各種センサーを用いて洗面台周りの状況を把握している。本研究では、マイクとスピーカという音に関するインターフェイスだけで、見守り者が独居者の行動をリアルタイムに知ることができるだけでなく、独居者の行動に対して、直接的に音声で励ます機能があり、独居者の生活改善や孤独感解消が期待できる。

独居者のモチベーションの向上については、ロボットを使ったアプローチが効果をあげている。高齢者向けセラピーロボットは、小型ではあるが様々な効果が認められている [12]。また、Pepper に代表される感情認識ヒューマノイドロボットは、人と直接対話することに加え、ジェスチャーによりコミュニケーションが行える [13, 14]。このような移動が可能な等身大のヒューマノイドロボットは、日本の狭小な単身住宅においては、設置スペースを十分に確保できない。人のそばにいて毎日行う行動のし忘れを思い出させるロボットの研究がなされている [15]。また、子供の見守りようにロボットを通じたコミュニケーションサービスが行われている [16]。

一方、身につけて生活のリズムを記録するウェアラブルデバイスも紹介されている [17]。こうしたデバイスは身につけていれば非常に詳細な情報を集められる一方、使用者が常にデバイスを身につけなければ情報を取得できないという問題がある。目的や特性に応じて設置型とウェアラブル型とは使い分けが必要である。また、加速度センサとマイクを組み合わせた装置を携帯させることで生活行動をリアルタイムに認識する研究もある [18]。

5 おわりに

本研究では、手洗い場で発生する生活音に着目し、洗面台には設置したデバイスから、手洗いなどの生活音を認識し、独居者の行動を見守るシステムを構築した。手洗い音を認識しログとして記録することにより、独居者の生活リズムが取得できた。また、行動に対する音声による返答により、独居者に対する対話手法の

提案を行った。

参考文献

- [1] 東京都 世帯数の予測概要;
<http://www.toukei.metro.tokyo.jp/syosoku/sy14rf0006.pdf> (2014.3)
- [2] J. Holt-Lunstad, T. B. Smith, M. Baker, T. Harris, D. Stephenson: Loneliness and Social Isolation as Risk Factors for Mortality; A Meta-Analytic Review, *Perspectives on Psychological Science* 2015, Vol.10, 227231 (2015)
- [3] 石村修: 判例研究コンビニ店舗内で撮影されたビデオ記録の警察への提供とプライバシー -損害賠償請求控訴事件- ; 専修大学ロージャーナル第 3 号, 1932 (2008)
- [4] 山谷テレビカメラ監視事件, 東京高判昭和 63 年 4 月 1 日
- [5] 汎用大語彙連続音声認識エンジン Julius, <http://julius.osdn.jp/>
- [6] フリーソフトでつくる音声認識システム - パターン認識・機械学習の初歩から対話システムまで -, 荒木雅弘
- [7] HTK, <http://htk.eng.cam.ac.uk/>
- [8] J. Chen, A. H. Kam, J. Zhang, N. Liu, L. Shue: Bathroom Activity Monitoring Based on Sound; *PERVASIVE* 2005, 4761 (2005)
- [9] 根岸佑也, 河口信夫: Instant Learning Sound Sensor: ユビキタス・コンピューティングのための柔軟なイベント音学習センサ; *DICOMO '07 論文集*, 1700-1711 (2007)
- [10] i ポット, 象印マホービン株式会社, <http://www.mimamori.net/index.html>
- [11] スマート洗面台, 株式会社セラク, <http://smart-washbasin.seraku.co.jp/>
- [12] M. Tanaka, A. Ishii, E. Yamano, H. Ogikubo, M. Okazaki, K. Kamimura, Y. Konishi, S. Emoto, Y. Watanabe: Effect of a human-type communication robot on cognitive function in elderly females living alone; *Med. Sci. Monit.*, 18 (9), 550557 (2012)
- [13] 田中文英, 一色恭輔, 高橋史樹, 植草学, 清るみこ, 林要: 子どもと共に学ぶ Pepper ~教育志向アプリケーションの開発~; 第 20 回ロボティクスシンポジウム, 軽井沢, 558590 (2015)
- [14] 田中一晶, 宇野弘晃, 山下直美, 中西英之, 石黒浩: ロボット操作者の偽存在感によるソーシャルプレゼンスの生成, *インタラクシオン '15 論文集*, 2837 (2015)
- [15] 見守り思い出し支援ロボット Mamoru, <http://www.jsk.t.u-tokyo.ac.jp/research/irt/mamoru-j.html>
- [16] BOCCO, ユカイ工学, <http://www.ux-xu.com/product/bocco/>
- [17] Tempo, <http://carepredict.com/>
- [18] 大内一成, 土井美和子: 加速度と音で日々の生活行動を認識する; *Activity Analyzer*, 情報処理学会シンポジウム論文集, 255-258 (2011)