

平成 30 年 5 月 18 日現在

機関番号：13903

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H02768

研究課題名(和文) 聴導犬をモデルにした接触コミュニケーションロボット

研究課題名(英文) Touch Communication Robot modeled on Hearing Dog Behavior

研究代表者

中村 剛士 (Nakamura, Tsuyoshi)

名古屋工業大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：90303693

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 8,600,000円

研究成果の概要(和文)：聴導犬は、インターホンの音や火災報知器の音のような生活に必要な通知音を検知し、難聴者に情報を伝達する役割を持つ。聴導犬による難聴者支援は非常に有用であるが、難聴者人口に対し実働頭数が非常に少ない。そこで代替手法として、生活上重要な音を検知し、ユーザを探索して能動的接触によって伝達する聴導犬ロボットを提案する。本研究では、聴導犬ロボットの行動モデルを構築し、それを確認するための実験を行った。その結果、モデルの有効性を確認した。また、ロボットの接触によってユーザを起床させる実験も行い、既存の機器と同等に起床させることが可能なことを確認した。

研究成果の概要(英文)：Hearing dogs play a role of assisting hearing-impaired people. The touch of the dog to the people can alert the people to important life sounds, such as doorbells and fire alarms. Hearing dogs are useful to assist the people, but the working number of the dogs are insufficient all over the world. Our study proposed a hearing-dog robot which is expected as an alternative assistant. In this paper we proposed and constructed a behavior model for the hearing-dog robot. We conducted an experiment to evaluate the proposed model. As the result, we achieved the usefulness of the model. Addition to that, we conducted another experiment to wake users up using the robot bumping action. As the result, we confirmed the bumping action can wake the users up as well as the existing wake-up equipment.

研究分野：ヒューマンロボットインタラクション

キーワード：接触コミュニケーション HRI 聴覚障害

1. 研究開始当初の背景

(1) 本研究では、難聴者に対する生活支援対策問題に注目し、中でも聴導犬による生活支援に着目する。聴導犬とは、難聴者の生活を安全で安心できるものにするために、メールの着信音やインターホンの音等のような生活で発生する通知音を、ユーザに接触することで伝達し、音源に導く役割を持つ補助犬である。聴導犬は、通知音の発生を人の居場所まで移動し接触することで伝達するため、難聴者の視界に聴導犬が入っていない場合や、難聴者が睡眠している場合にも対応できる。このように、聴導犬による支援は非常に有効であるが、聴導犬の訓練や育成にかかるコストが高いことから、聴導犬の現在の実働頭数は 65 頭(厚生労働省調査 H28 年 5 月 1 日現在)と非常に少なく、支援が行き届いていないという課題がある。

(2) 一方、聴覚障がい者が現在利用している主な情報伝達支援機器としては、光で生活音を知らせる機器や、ウェアラブル端末、スマートフォン等があるが、それぞれに次のような問題がある。光で生活音を知らせる機器は視覚刺激を用いた情報伝達であり、睡眠時やその機器が視界に入っていない状況では情報伝達を行うことができない。また、ウェアラブル端末の振動刺激は、機器の振動が弱い場合が多く、機器の状態を強く意識していないと認識が難しいという点や、肌に直接装着する為アレルギーを持つ人は利用しづらいという問題がある。スマートフォンについても、ウェアラブル端末同様の問題を有する。このように、現在利用されている支援機器は、利用環境やユーザの状態等により、情報伝達が難しい場面が多い。

2. 研究の目的

(1) 本研究では、聴覚障がい者の生活支援を目的として、緊急な情報を伝達する聴導犬ロボットを提案する。先に述べたように、聴導犬の特徴は、身体性を利用した接触を有効に利用した情報伝達であり、接触は人の触覚に作用する。また、当然ながら、犬は四脚歩行による移動が出来るため、人が離れた場所においても、人の居る居場所まで移動し情報伝達することが出来るという特徴もある。身体性と移動機構は、多くのロボットが備える特徴であり、聴導犬と類似している。

(2) その一方、聴導犬は動物であるため、人と生活環境を共にすることが困難な場合があり、ロボットの方が適しているであろう場合が容易に想像できる。そこで、本研究では、聴導犬をモデルとしたロボットを開発することで生活支援を行うことを目指す。

(3) 聴導犬をモデルとしたロボットの関連研究としては、聴導犬の人の視覚に訴える振舞に注目し、視覚情報を用いて人とコミュニケーションをとるロボットがある。しかし、これも視覚情報を用いているため、視界にない状況や睡眠時等では情報伝達が難しい。そ

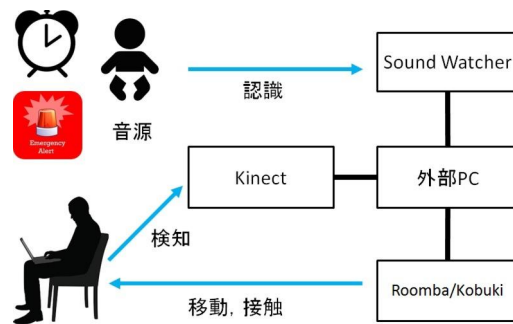


図1 システム構成

ここで、本研究では、聴導犬の接触により生活音情報を伝達する手法に注目し、「ロボット側から人に能動的に接触を行い、情報伝達をする」ことを提案する。

3. 研究の方法

(1) 本研究で研究開発する聴導犬ロボットのプロトタイプには、YujinRobot社製のTurtlebotを採用した。TurtlebotはiRobot社製のRoombaと類似したロボットであり、二つの車輪による移動機構とバンパーに内蔵された接触センサを備える。これらの装備は、機能面として聴導犬が移動・接触を行うための最低限必要な要素であり、プロトタイプ開発としては十分であると考えられる。本研究で提案・研究開発するロボットのシステム構成を図1に、ロボットの外観を図2に示す。



図2 ロボットの外観

(2) ロボットの機器構成は、ベースであるTurtlebotに外部PCをUSB接続し制御を行う。また、同PCにMicrosoft Kinect, Sound Watcherを接続し、ユーザの探索及び生活音の検知を行う。ユーザ発見後、ユーザに直接、もしくはユーザが着座している椅子やベッド等の接触可能な部分へ接触し、力学的作用を与えることで生活音の発生をユーザへ伝達する。

(3) 行動モデルは決定性有限オートマトンによって構築され、各種センサからの情報に基づいて状態を遷移する。図3に示すように、

聴導犬ロボットは「待機」、「探索」、「追跡」、「接触」の四つの状態から構成される。通知音が検知されるまでの間、ロボットは待機する。通知音を検知すると通知音フラグを立て「探索」へ遷移し、通知音の発生を伝達すべきユーザの探索を開始する。「探索」内でユーザを発見すると、「追跡」へ状態を遷移し、ユーザを追跡して接近しようと試みる。一定距離内までの接近に成功すると、「接触」へ状態を遷移し、接触動作を実行する。この接触動作は、ロボット自身のボディをユーザに直接、またはユーザの座る椅子などにぶつけるものである。接触動作は、ユーザからロボットに対し伝達完了の指示があるまで行われる。無事接触による伝達が成功した場合、通知音フラグを無効にし再び「探索」へ遷移する。「探索」において、他の通知音フラグが有効でない場合は、ホームベースへ移動を開始し、「待機」へ遷移する。

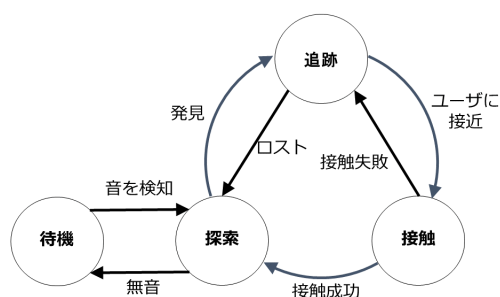


図3 聴導犬ロボットの行動モデル

4. 研究成果

(1) 聴導犬ロボットの有用性検証実験を行った。実験としては、被験者が眠るベッドの脚に対してロボットを繰り返して接触させ、その接触振動により起床を促すものである。仮説としては、「強度が強くかつ周期の短い接触は、起床に要する時間が短い」とし、これを検証するものとした。実験では、被験者が起床までに要する時間を計測し評価した。今回の被験者は耳栓をした健聴者であり、本実験は聴覚障がい者を模したシミュレーションに位置付けられる。

(2) 聴導犬ロボットの起床アラームとしての効果を確認するため、16名に対して実験を行った。ロボットは、参加者の眠るベッドの脚に対して、前進後進を繰り返す周期的な接触動作を行った。今回、ロボットの接触動作における「接触強度」と「接触周期」に注目し、接触強度については強弱の二水準を設定し、強い接触は平均接触荷重を約 26.0N、弱い接触は平均接触荷重を約 10.0N とした。接触周期については長短の二水準を設定し、先行研究[1]の結果を参考に、長い周期は4秒、短い周期は1秒とし、各周期に一回ベッドの脚に接触するものとした。今回、これらの強度・周期の二水準を組み合わせた四種類の接触動作を設計した。実験では、実際にベッドで眠っている人間を起床させることが

できるのかの検証を行った。実験風景を以下の図4に示す。



図4 実験風景

(3) また、同様の環境において、スマートフォンとウェアラブル端末を用いた実験を12名に対し行った。本実験で使用した支援機器は、プリンストンテクノロジー株式会社が製造販売する「ぶるっとゥース (PTM-ICN)」と呼ばれる腕時計型の端末と、Apple社が製造販売する「iPhone6」である。実験時、ぶるっとゥースは参加者の利き手と反対の手首に装着、スマートフォンは直接体に固定することが難しいため、枕の下の頭に当たる位置へ設置し、電話着信による振動を頭へ伝えることで起床を促すものとした。

(4) 今回、これらの起床アラーム伝達開始のタイミングとして、参加者の睡眠開始から40分後という時間を設定した。これは、人間の睡眠は睡眠開始から約30分～1時間の間に一番眠りが深い状態に入るとされ、この時間帯に睡眠状態にある人間は、起床が最も困難であると考えられるためである。また、本実験では参加者が覚醒した際「起きました」と発言するよう指示し、情報伝達開始から「起きました」の発言までの時間を計測した。なお、5分間情報伝達を続けても参加者が起床しない場合は、起こすことができないとの判断を行った。

(5) ロボットの接触では、実験参加者全員を起床させることに成功した。また、今回設定した四種類の接触における、参加者を起こすまでに要した時間の平均は、「短-強 (周期が短く、強度が強い接触)」の接触では25.36秒、「短-弱」の接触では38.40秒、「長-強」の接触では21.07秒、「長-弱」の接触では29.79秒となった。これら4種類の平均時間に、ウェアラブル端末とスマートフォンの平均時間結果を加えたグラフを図5に示す。

(6) ウェアラブル端末・スマートフォンの起床効果の実験では、ウェアラブル端末では2名、スマートフォンでは1名の参加者を起床させることができなかった。今回、ウェアラブル端末が起床した10名を起こすまでに要した時間の平均は24.20秒、スマートフォンが起床した参加者11名を起こすまでに要した時間の平均は20.53秒となった。実験後、起きなかった参加者へ口頭によるアンケートを行ったところ、ウェアラブル端末に関しては、2名とも「振動に全く気付かなかった」

という意見が得られた. ここから, 今回使用したウェアラブル端末の振動は睡眠時に情報伝達を行うには十分ではないことが考えられる. スマートフォンを用いた実験で1名を起こすことができなかつた原因は, 寝返り等の体動によってスマートフォンが枕の下から移動してしまい, 振動を伝えられなかつたことが考えられる.

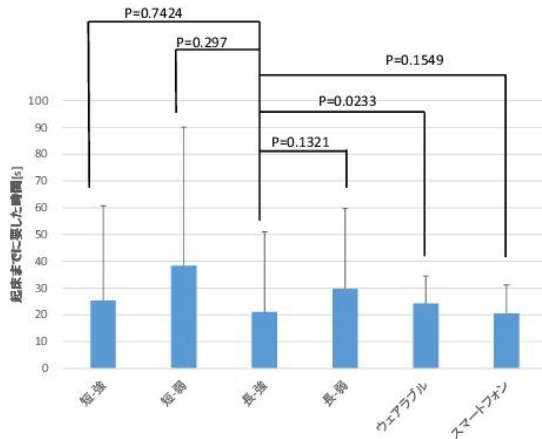


図5 起床までに要した時間

(7) ロボットの接触動作の中で「長-強」の接触が最も起床させるまでの平均時間が短くなる結果となった. このような結果が出た原因の一つとして, 各実験を実施する順番が考えられる. 本実験は, 全参加者通して, 「短-強」「短-弱」「長-強」「長-弱」の順番で行った. これにより, 全ての参加者が初回の実験で「短-強」の接触を体験していることとなる. 実験後に口頭による主観調査を行ったところ, 「初回実験の時, ベッドの揺れがロボットのものと同じか戸惑った」という意見を数人から得た. この意見から, 初回実験では目は覚めているが「起きました」と発言するまでに多少の時間差があり, その時間差が実験を重ねるにつれ減つたのではないかと考えられる.

(8) 四種類の接触動作中, 最も平均時間が短かつた「長-強」の接触法と他の三種類の接触法の間について, Brunner-Munzel 法を用いた検定を行い, 「長-強」接触の有効性を確認した. その結果, 「長-強」接触と他の三種類の接触法の間には有意差は見られなかつた. この結果から, 接触強度の強弱, 接触周期の長短に関わらず, ロボットの接触が人間に起床を促す効果に大きな差が無いことが分かる. そのため, 弱い強度の接触であっても, 強い強度と同様に起床を促す効果があると考えられる. したがって, ロボットの実働を想定した際, 常に強い強度の接触を行う必要はなく弱い強度でも起床効果があることから, ロボットの耐久性についてのコストを削減できることが考えられる.

(9) また, 「長-強」の接触法とスマートフォン・ウェアラブル端末間についても, Brunner-Munzel 法を用いた検定を行った. 結果としては, ウェアラブル端末・スマート

フォンとの間にも有意差は見られなかつたことから, 支援機器と起床の効果に大きな違いがないと考えられる. ロボットの接触では, 参加者全員を起床させることに成功しており, ロボットの接触は起床アラームとして有効な手段の一つであると考えられる.

(10) 次に, 図2に示した聴導犬ロボットの行動モデルの動作検証を行った. 実機による実験を行う前段階としてシミュレータによる実験を行った. Gazebo と呼ばれるシミュレータ上で簡易的な空間を作成し, その中でユーザの探索を行わせた. また, 実生活で聴導犬ロボットを利用する場合を想定し, ユーザの位置を一か所に固定するのではなく, 三つの地点のいずれかにランダムに配置するものとした. この条件下で各地点にいるユーザの探索を行う. 行動モデルの「探索」については, 接触すべきユーザが居る位置に関する確率モデルを用いたベイズ推定による探索行動を行う. そこで, 確率モデルによって効率的にユーザを探索できるかどうかを検証するため, 提案した確率モデルを用いる場合と, 事前知識を使用せず尤度のみを用いた場合, それぞれの条件で300回ずつ探索を行い, ロボットが探索を開始してからユーザに接触するまでに要した時間を記録した.

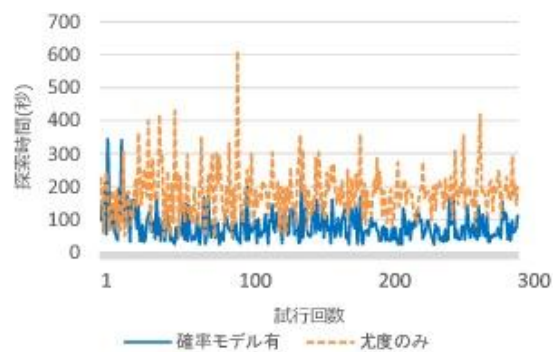


図6 探索時間の推移(シミュレータ)

(11) 図6に探索時間の推移を示す. 青色の実線グラフが確率モデルを用いた場合の推移を, 橙色の破線グラフが尤度のみを用いた場合の推移を表している. 結果から, 確率モデルを用いた場合の方が短い時間でユーザに接触できていることが見て取れる. また, 探索回数を重ねるほど, より安定して短い時間で探索可能になっていることが確認できる.

(12) 提案手法による探索が機能することが, シミュレータ上での実験によって確認されたため, 次に現実世界でも簡易的な空間を作成し, 実機による実験を行った. 異なる条件として, ロボットとユーザ以外に, ユーザと同じような熱情報を持つダミーを同環境内に設置している. またシミュレータによる実験結果から, 20回前後の探索を行うことで効率的な探索が可能になることが確認されたため, 実機の実験では, 確率モデルを用いる場合と尤度のみの場合それぞれで30回ずつ

探索を行い、シミュレータの実験と同様に、ロボットが探索を開始してからユーザに接触するまでに要した時間を記録した。結果のグラフを図7に示す。実機による実験においても、確率モデルを用いることで効率的な探索が可能になることが確認された。

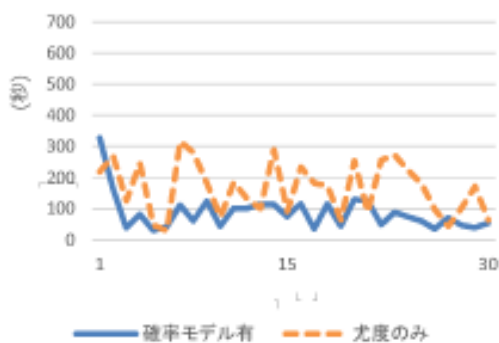


図7 探索時間の推移(実機)

(13) 二つの実験を通して、提案した行動モデル及び確率モデルによって効率的なユーザの探索が可能という結果が得られた一方で、問題点も確認された。

(14) まず、ロボットの自己位置推定や、ユーザまでの推定距離のずれによって、ユーザが位置するセルの周辺にも確率が与えられてしまい、ロボットが移動不可能であるセルにも確率が与えられていることが確認された。よって、事前知識を更新する際、確率の付与が可能なセルか判別する過程が必要であると考えられる。他にも、実機の実験の際に設置していたダミー周辺にも比較的高い確率が付与されてしまっていたため、検知した対象がユーザであった場合にのみ事前知識を更新するという処理を追加する必要がある。

(15) また、目的地を指定するときに確率モデルを使用しているが、確率モデルに従ってランダムに指定しているため、学習回数を重ねた場合でも、多少探索時間が長くなってしまいう例が見受けられた。よって、より効率的な探索が可能となるような目的地の選択手法を考えていく必要があると言える。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1件)

1. Daimu Oiwa, Shinji Fukui, Yuji Iwahori, Tsuyoshi Nakamura, Boonserm Kijssirikul, M. K. Bhuyan, "Probabilistic Background Model by Density Forests for Robust Tracking", International Journal of Software Innovation (IJSI), Volume 5, Issue 2, pp.1-16, DOI: 10.4018/IJSI.2017040101, April-June 2017.

[学会発表] (計 26件)

1. 亀田悠爾, 片上大輔, 中村剛士, 山崎洋一: 聴導犬ロボットにおける感情表出機構 SHI PPO の開発, HCG シンポジウム 2017, B-4-5, 2017
2. 亀田悠爾, 片上大輔, 中村剛士, 山崎洋一: 聴導犬ロボットにおける感情表出機構 SHI PPO の開発, HSS-22-18, HSS デザインコンテスト 2017, 2017.
3. Daimu Oiwa, Shinji Fukui, Yuji Iwahori, Boonserm Kijssirikul, Tsuyoshi Nakamura, M. K. Bhuyan, "Tracking with Extraction of Moving Object under Moving Camera Environment", Procedia Computer Science, KES 2017, 2017.
4. Yukihiro Yoshida, Daiiki Sekiya, Tsuyoshi Nakamura, Masayoshi Kanoh and Koji Yamada: Hearing-Dog Robot to wake People up using its Bumping Action, International Conference on Computational Science/Intelligence & Applied Informatics, Hamamatsu, Japan, July 9-13, 2017.
5. Daiiki Sekiya, Tsuyoshi Nakamura, Masayoshi Kanoh and Koji Yamada: Can a Robot Wake a Sleeping Person Up by Giving Him or Her a Nudge? ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI 2017), in USB Memory, Vienna, Austria, March 6-9, 2017.
6. 大岩大夢, 福井真二, 岩堀祐之, 中村剛士, "確率的背景モデルによる移動カメラ環境に対応した物体追跡", C-3, 知的画像処理 2, 第 15 回情報学ワークショップ(WINF 2017), pp.1-4, 2017.
7. 吉田行宏, 工藤星人, 中村剛士, 加納政芳, 山田晃嗣: 聴導犬ロボットにおける行動モデルの構築, 第 43 回東海ファジィ研究会, 2017.
8. 田中智, 工藤星人, 中村剛士, 加納政芳, 山田晃嗣, 大岩大夢, 岩堀祐之, 福井真二: 聴導犬ロボットにおける Ir カメラを用いた人物検出の提案, 第 4 回人間共生システムデザインコンテスト(HSS-DC)&第 22 回 HSS 研究会, HSS-22-1, 2017.
9. 田中智, 工藤星人, 中村剛士, 加納政芳, 山田晃嗣, 大岩大夢, 岩堀祐之, 福井真二: 聴導犬ロボットにおける熱情報を導入した人物検出手法の提案, 第 42 回東海ファジィ研究会, P3-11, 2017.
10. Daimu Oiwa, Shinji Fukui, Yuji Iwahori, Tsuyoshi Nakamura and M. K. Bhuyan, "Tracking with Probabilistic Background Model by Density Forests", Proc. of IEEE/ACIS ICIS 2016, pp.391-396, 2016.
11. Shinji Fukui, Sou Hayakawa, Yuji Iwahori, Tsuyoshi Nakamura, M. K.

- Bhuyan, "Particle Filter Based Tracking with Image-Based Localization", *Procedia Computer Science*, Elsevier, Vol.96, Pages 977-986, 2016.
12. 亀田悠爾, 片上大輔, 中村剛士, 山崎洋一: 共感アンテナ AHOGI に基づく聴導犬ロボットの感情表出機構の開発, HAI シンポジウム 2016, P19, 2016.
 13. 大岩大夢, 福井真二, 岩堀祐之, 中村剛士, "聴導犬ロボットのための距離画像を用いた人物追跡", 平成 28 年度情報学ワークショップ WiNF 2016, B-21X, 2016.
 14. 工藤星人, 田中智, 中村剛士, 加納政芳, 山田晃嗣: 聴導犬ロボットの行動モデルの設計と実装, 第 14 回情報学ワークショップ(WiNF), 2016.
 15. 工藤星人, 中村剛士, 加納政芳, 山田晃嗣: 聴導犬ロボットの行動モデルの提案と設計, 第 41 回東海ファジィ研究会, 2016.
 16. 工藤星人, 中村剛士, 加納政芳, 山田晃嗣: 聴導犬ロボットにおける行動モデルの提案, 電子情報通信学会「人工知能と知識処理」研究会, 2016.
 17. 野々村篤, 中村剛士, 加納政芳, 山田晃嗣: 聴導犬ロボットの音源認識性能に関する調査, 第 40 回東海ファジィ研究会, p. P2-01, 2016.
 18. 関屋大樹, 中村剛士, 加納政芳, 山田晃嗣: 聴導犬ロボットによる起床アラーム: 接触強度と接触周期に関する調査報告, ヒューマンエージェントインタラクションシンポジウム, 2016.
 19. 関屋大樹, 中村剛士, 加納政芳, 山田晃嗣: 聴導犬ロボットによる起床実験の報告, 第 32 回ファジィシステムシンポジウム, in CD-ROM, 2016.
 20. 古橋道彦, 関屋大樹, 中村剛士, 加納政芳, 山田晃嗣: 聴導犬ロボットの接触動作による起床アラーム, 第 30 回人工知能学会全国大会, 2N3-4, 2016.
 21. Mi chi hi ko Furuhashi, Tsuyoshi Nakamura, Masayoshi Kanoh and Koji Yamada: Haptic Communication Robot for Urgent Notification of Hearing-Impaired People, ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI 2016), Christchurch, New Zealand, March 7-10, 2016.
 22. Mi chi hi ko Furuhashi, Tsuyoshi Nakamura, Masayoshi Kanoh and Koji Yamada: Touch-Based Information Transfer from a Robot Modeled on the Hearing Dog, 2015 IEEE International Conference on Fuzzy Systems, Istanbul, Turkey, August 2-5, 2015.
 23. 古橋道彦, 中村剛士, 加納政芳, 山田

晃嗣: 聴導犬ロボット AcToR による緊急情報伝達支援, 福祉情報工学研究会, 2015.

24. 古橋道彦, 中村剛士, 加納政芳, 山田晃嗣: 聴導犬ロボット AcToR における緊急情報伝達のための接触動作設計, ヒューマンエージェントインタラクションシンポジウム, 2015.
25. 古橋道彦, 中村剛士, 加納政芳, 山田晃嗣: 聴覚障がい者の情報伝達支援を目指したロボット AcToR に関する報告 その 2: 聴覚障がい者による実験評価事例, 平成 27 年度 電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会, in CD-ROM, 2015.
26. 古橋道彦, 中村剛士, 加納政芳, 山田晃嗣: 聴覚障がい者の情報伝達支援を目指したロボット AcToR に関する報告, 第 31 回ファジィシステムシンポジウム, in CD-ROM, 2015.

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中村剛士 (NAKAMURA, Tsuyoshi)
名古屋工業大学・大学院工学研究科・
准教授

研究者番号: 90303693

(2) 研究分担者

加納政芳 (KANOH, Masayoshi)

中京大学・工学部・教授

研究者番号: 90387621

岩堀祐之 (IWAHORI, Yuji)

中部大学・工学部・教授

研究者番号: 60203402

片上大輔 (KATAGAMI, Dai suke)

東京工芸大学・工学部・教授

研究者番号: 90345372

山田晃嗣 (YAMADA, Koji)

情報科学芸術大学院大学・

メディア表現研究科・准教授

研究者番号: 30405138

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

岩田彰 (IWATA, Akira)

黒柳奨 (KUROYANAGI, Susumu)

高橋泰岳 (TAKAHASHI, Yasutake)