

研究報告書

「グループコミュニケーションの解明に基づく 車椅子型移動ロボットシステムの開発」

研究タイプ: 通常型

研究期間: 平成 23 年 10 月～平成 27 年 3 月

研究者: 小林 貴訓

1. 研究のねらい

車椅子利用者が同伴者と一緒に出かけるとき、車椅子が、まるで利用者が操作しているかのように、同伴者に自動的に追従すれば、車椅子を操作する精神的、身体的負担を軽減できる。また、介護施設などの現場では人手不足が深刻化しており、食事や入浴のために、多くの高齢者を居室から食堂や浴室に移動させるため、2台の車椅子を一人の介護者が移動させることも珍しくない。介護においては、顔をみて話しかけることが認知症の進行抑止や心身の健康維持に重要であることが知られているが、このような状況では、介護者と車椅子利用者間で顔を見ての会話もできないという。そこで、本研究では、車椅子が周囲の状況を認識し、車椅子利用者と同伴者のグループメンバー相互のコミュニケーションに配慮して車椅子が協調的に自動追従し、車椅子利用者と同伴者がグループで楽しく会話しながら移動できるシステムの開発と評価を行う。同伴者と車椅子利用者のグループでの会話を支援するため、移動時の同伴者と車椅子の適切な位置関係を社会学的分析手法(エスノメソドロジー)に基づいて明らかにする。また、同伴者との協調移動を可能とするため、レーザ測域センサとカメラを用いて車椅子周辺の人物行動を計測・理解する。さらに、複数の車椅子を協調移動させるため、複数の車椅子間でお互いの位置関係を取得・共有する技術を確認し、障害物検知機能などと組合せて、実際の介護施設で動作可能な試作機を作成し、その評価を行う。

2. 研究成果

(1) 概要

グループで移動する人々の様子をビデオに録画して分析すると、グループメンバーの位置関係は道幅などの周辺状況を第1に、会話の相手との会話しやすい位置関係を第2に優先して調整される。また、対面での会話と同様に、移動中でも相手の視線獲得、すなわち相手の顔が見える位置に居ることが会話の始めやすさに影響を与える。2台の車椅子を縦、横、斜めの3つのフォーメーションで移動させ、同伴者2人と一緒に移動する様子を分析すると、縦のフォーメーションで車椅子を移動させた場合には、4人全員が参与する会話が行われず、横、斜めのフォーメーションの場合には4人全員が参与する会話が行われた。このことから、グループメンバー間の距離よりも、相手の視線獲得の容易さが会話への参与のしやすさに重要な役割を果たしていることが明らかとなった。そこで、相手の顔が見えるフォーメーションで移動できるロボット車椅子システムの開発を行った。まず、車椅子周辺の人物の位置や身体の向き、顔向きを車椅子に取り付けたレーザ測域センサとカメラを用いて、実時間で計測する手法を開発し、車椅子が同伴者に自動追従できるようにした。また、ポールに取り付けたレーザ測域

センサを室内に複数配置し、得られる距離データを統合的に処理することで、観測領域内の全ての人物の追跡を可能とした。このとき、追跡に用いるパーティクルフィルタの仮説の評価に GPU を用いることで、20 人以上を実時間で追跡可能とした。さらに、複数人物の行動履歴から、互いの距離、移動方向、移動速度、身体の向きなどを手がかりとして、グループで移動する人物群を自動認識する手法を開発した。車椅子は周辺の人物とのグループ判定を行うことにより、自身が所属するグループを自動的に認識することが可能となった。また、グループメンバとフォーメーションを維持して移動するために、複数の車椅子が環境中の自己位置を認識し、得られた位置情報を共有することで、複数のロボット車椅子間の相互位置を把握する手法を確立した。これらの手法をパッケージングして、実際の介護施設で動作可能なシステムを開発した。

(2) 詳細

【車椅子を含めた移動中のグループコミュニケーションの解明】

2人の車椅子利用者に車椅子を操作してもらい、同伴者と一緒に移動しながら会話する際の位置関係(フォーメーション)を調査した。その結果、車椅子利用者は、道幅などの周辺状況を第1に、会話の相手との会話しやすい位置関係を第2に優先して自身の位置を調整していることが分かった。このことから、コミュニケーションとフォーメーションには密接な関わりがあることが分かった(図1)。

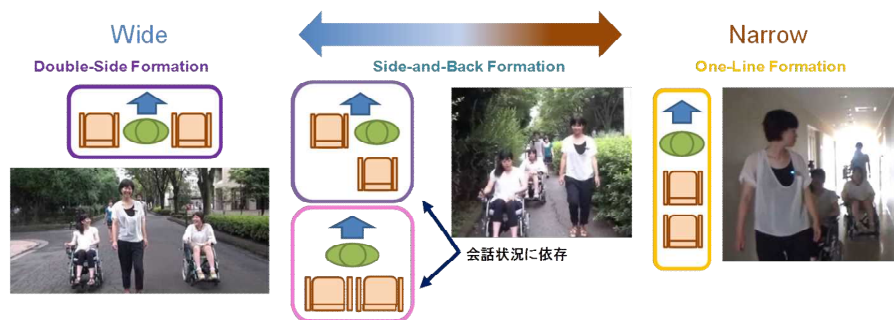


図1 周辺状況とフォーメーション

また、車椅子が同伴者の後ろにいる場合には、同伴者が車椅子を見ることができず不安となり、車椅子が同伴者の前には、車椅子搭乗者が同伴者を見ることができないため不安となることが分かった。このことは、介護施設における介護士との議論により得られた知見であるが、位置関係を変更できるロボット車椅子システムを開発し、被験者実験を行った結果、このことが定量的に裏付けられた(図2)。

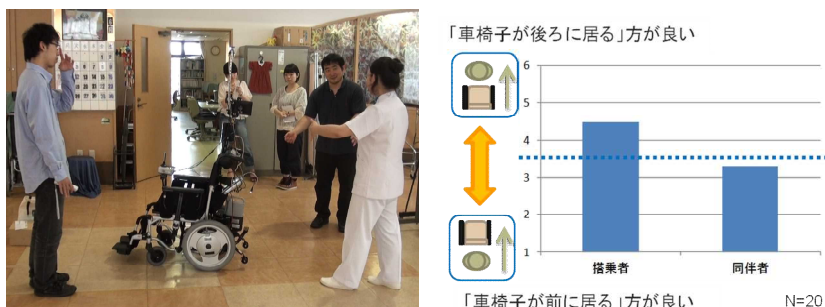


図2 車椅子と同伴者の位置関係

同伴者1人と車椅子1台が移動する場合の詳細な分析を行ったところ、対面で会話を開始する場合と同様に、移動中でも相手の視線獲得が会話の始めやすさに影響を与えることが分かった。すなわち、同伴者から話しかけるときの車椅子利用者から話しかけるときの、横並びの位置が良く、それ以外の位置関係では、最初の発話でスムーズに会話が始まらないことが分かった。また、同伴者と車椅子利用者が介護する人と介護される人というカテゴリで認識される場面があるが、これを身体配置との関係に着目して分析した。買い物時の身体配置と役割について観察したところ、車椅子利用者と同伴者がそれぞれの前方の空間(操作領域)を互いに共有する場合に、対等の関係と思われる会話がなされ、同伴者が車椅子利用者の操作領域を内包する場合は、同伴者が車椅子利用者の面倒を見ようとする振る舞いが観察された。このことから、同伴者は自身の役割に応じて身体配置を変えうることが分かった(図3)。



図3 位置関係と役割

グループでの移動の様子の分析では、車椅子をWoZ法により遠隔操作し、2台の車椅子を縦、横、斜めの3つのフォーメーションで移動させ、同伴者2人と一緒に移動の様子をビデオで記録した。同伴者には、位置取りについての指示は行わず、4人全員での会話を誘発するようなタスク(食材を4人に割り当て、すべてを使った献立を決める)を与えた。記録したビデオ映像を分析した結果、縦のフォーメーションで車椅子を移動させた場合には、4人全員が参与する会話が行われず、横、斜めのフォーメーションの場合には4人全員が参与する会話が行われることが分かった。実験実施前は、グループ構成員間で最も離れている人同士の距離が短いほど(グループが小さくまとまっているほど)全員の参与が促されるのではないかと考えていたが、実際には、お互いの距離よりも、視線獲得の容易さが会話への参与のしやすさに重要な役割を果たしていることが分かった。すなわち、2台の車椅子を縦のフォーメーションで移動させると、車椅子搭乗者同士の視線獲得が難しくなり、同伴者の2人は自由な位置取りで移動できるため、どちらかの車椅子搭乗者一人との会話は容易に行えるが、車椅子搭乗者2人が参与した会話は難しくなることが分かった。これは、車椅子1台と同伴者1人の場合と同様の性質をもつ結果であり、複数人から構成されるグループにおいても、相手の視線獲得を容易にする位置関係を維持することがコミュニケーションの支援に重要であることが分かった。特に、車椅子搭乗者は腰から下が固定されていることから、身体ひねりを行うことができず、複数の車椅子が縦一列に並んでしまうと非常に話しにくいいため、車椅子はお互いに少し横にずらすことが重要であることが分かった(図4)。

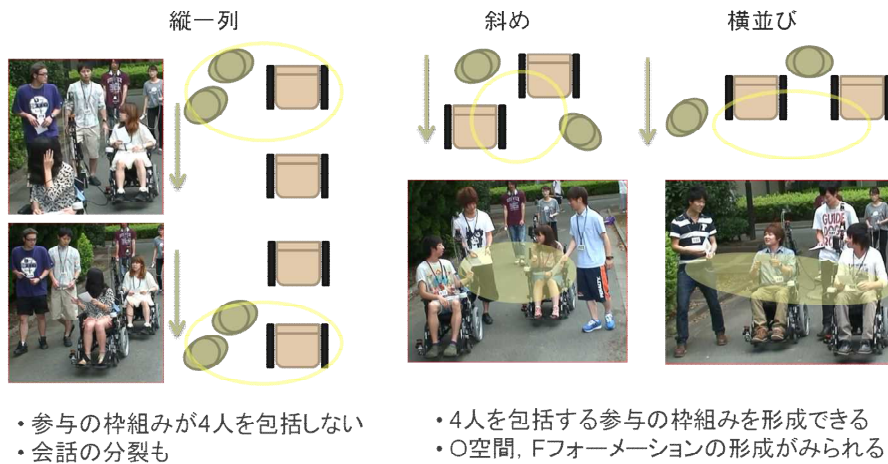


図4 グループのフォーメーションと参与の枠組み

【人物行動計測技術の開発】

レーザ測域センサとカメラを用いて、人物の身体の位置と向き、顔の向きを実時間で計測する手法を開発した。同伴者の肩の形状が計測できるように、レーザ測域センサを同伴者の肩付近の高さに水平に設置し、得られた距離データを画像上にマップすると、図5に示すような同伴者の肩の輪郭の一部が観察される。このとき、同伴者の肩の輪郭を楕円形と仮定すると、観察される肩の輪郭部分は、レーザ測域センサとの位置関係により向きが変化する楕円形の一部として観察できる。そこで、同伴者の肩あたりの高さを水平に切断したときの輪郭形状として予測される一定の大きさの楕円形を追跡対象モデルとして用い、運動モデルにランダムウォークを採用したパーティクルフィルタにより同伴者の身体の位置と向きを追跡する。

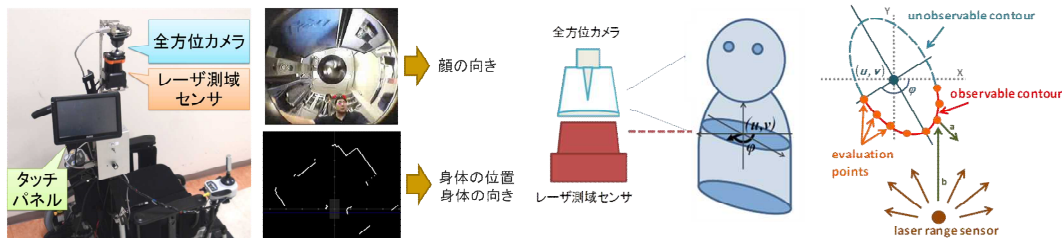


図5 レーザ測域センサとカメラを持ちた人物追跡

また、レーザ測域センサに加えて、全方位カメラを合わせて用いることで、同伴者のおおよその顔向きを計測できる。これには、画像から人物頭部7方向を検出する識別器を事前準備し、それらをパーティクルフィルタの仮説に基づいて選択的に用いることで尤度を評価し、頭部位置とともに顔向きを推定する。また、カメラによる見えを用いることで、身体の向きに紐付けた同伴者の服の色を記憶し、同伴者を見失った場合に再検出することも可能とした。

さらに、環境にセンサを設置することで、観測領域内の同伴者や他の歩行者など動きを実時間で計測する手法を開発した。具体的には、レーザ測域センサを取り付けたポールを室内に幾つか置くことで、複数のレーザ測域センサから得られる距離情報を統合し、観測領域内の全ての人物を追跡する。このとき、パーティクルフィルタの仮説の評価に GPU を用いることで、20人以上を実時間で追跡することを可能とした(図6)。

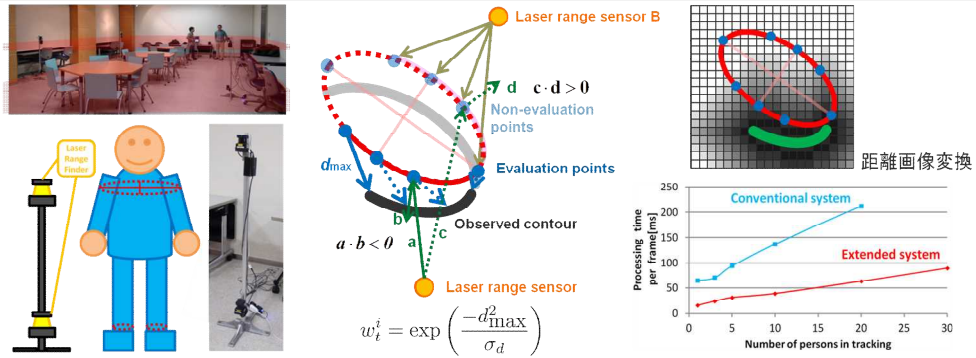


図6 センサポールを用いた実時間複数人物追跡

このようにして得られた複数人物の行動履歴から、グループで移動する人物の自動認識を行う手法を開発した。人物ペアを互いの距離、移動方向、移動速度、身体の向きなどを特徴量として同じグループに所属するかどうかの判定を行う識別器を構築する。そして、構築した識別器を追跡中の全ての人物ペアに適用し、人物グループの認識を行う。本システムの車椅子は自身の位置や移動方向などが既知であるため、本手法により、周辺の人物とのグループ判定を行うことで、自身が所属するグループを自動的に認識することが可能となった(図7)。

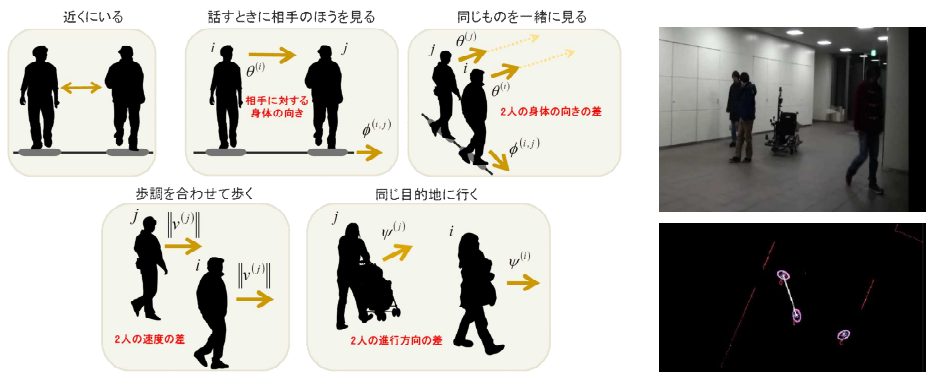


図7 人物グループの認識

【車椅子の自律移動機能の開発】

複数の車椅子それぞれが環境中の自己位置を認識し、得られた位置情報を共有することで、複数のロボット車椅子間の相互位置関係を把握する手法を確立した。具体的には車椅子に取り付けたレーザ測域センサから得られる距離データを、オドメトリや内界センサを用いて補正・蓄積し、事前に環境地図を作成する。そして、環境地図と現在の距離データの整合性をパーティクルフィルタにより評価することで、各車椅子で自己位置を推定する。これにより、複数の車椅子がフォーメーションを維持して移動することが可能となった(図8)。

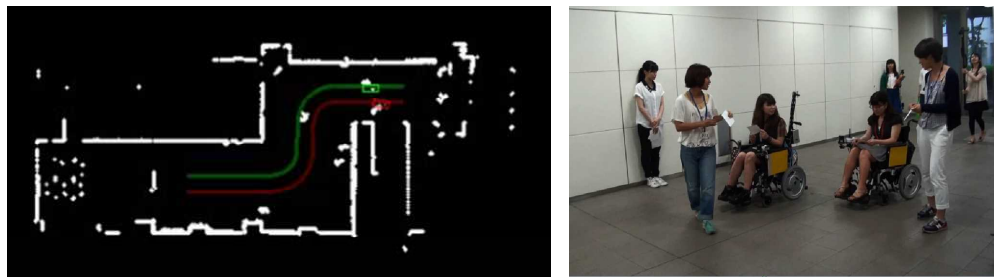


図8 環境地図に基づく複数車椅子のフォーメーションを維持した移動

3. 今後の展開

本研究により、移動時の同伴者と車椅子の位置関係を適切に制御することがコミュニケーションにおいて有用である明らかとなった。また、環境中での車椅子の位置や姿勢を推定する自己位置同定技術、同伴者や他の歩行者の位置や姿勢の計測技術の基礎を確立することができた。今後は、システムの実用化に向け、ロボット車椅子移動時の安全性の確保のため、比較的小さな障害物の出現検知や、テーブルや椅子などの位置が変わりやすく、複雑な形状をしている障害物の回避手法の開発などを進める。最終的には、超音波センサなどにより、車椅子の進行方向にある物体を検知することで障害物への接触を回避するが、本ロボット車椅子は同伴者と一緒に移動するため、同伴者や他の歩行者の振舞いを手掛かりとした障害物回避手法を取り入れたいと考えている。例えば、同伴者や他の歩行者は、ロボット車椅子が常に追跡しているため、環境中で人が良く通る場所や、人が通ったばかりの場所は障害物が無い可能性が高い。そこで、できるだけそのような場所を通ることで、障害物との接触を避けるようにすることを検討している。また、実際の介護施設での使用を考えると、システムの頑健性が重要となる。車椅子躯体やセンサ等電子機器を総合的にパッケージングすることで、実際の介護業務の一部で試使用が可能なレベルでの安定性や頑健性を確保し、実際の介護施設での実証実験を進める。さらに、公園などの屋外での長距離の移動を可能にするなど、個人型移動ロボットを日常生活環境に共在させるための研究を継続してゆきたいと考えている。

4. 評価

(1) 自己評価

当初からの目標に向かって研究開発を続けてきた結果、車椅子利用者を交えた移動時のコミュニケーションと身体配置の関係を明らかにすることができた。移動時は、通路幅などの周囲の状況に制約を受けつつ、メンバが身体配置を変化させるが、移動中においても相手の視線獲得がコミュニケーションにおいて重要な役割を果たす。特に、車椅子搭乗者は、歩行者に比べて上体をひねることが難しいため、相手の視線獲得のためにはフォーメーションが重要となることが分かった。また、コミュニケーションを支援するフォーメーションを自動構築可能なロボット車椅子システムを開発し、介護施設での実証実験を開始できる段階まで到達することができた。本研究を通じて、要素技術ではなく、複雑なシステムを作り上げて、実際の現場に投入することの難しさを痛感したが、一方で、実際にある程度使える状態にまでパッケージングしなければ、システムの評価できないことも分かった。今後、実際の介護施設での実証実験を通して、介護者の負荷軽減だけでなく、コミュニケーション支援におけるシステムの有効性について明らかにする予定である。これらの成果から、搭乗者がいる自律移動ロボットが日常生活環境に共在する社会にむけた先駆的な研究ができたと考えている。

(2) 研究総括評価(本研究課題について、研究期間中に実施された、年2回の領域会議での評価フィードバックを踏まえつつ、以下の通り、事後評価を行った)。

(研究総括)

本研究は、車椅子利用者と同伴者のコミュニケーションを支援するために、車椅子に自

動制御機能を加えようとするのである。そのために、様々なコミュニケーションの状況での、同伴者と車椅子の適切な位置関係を、エスノメソドロジーと呼ばれる研究方法を用いて分析している。また、分析のためのツールとして、身体の向き、移動方向・速度、互いの距離などから、グループの活動を自動認識するシステムを開発している。本研究の応用範囲は広い。介護施設などでは、少人数の介護者が多くの車椅子利用者を誘導する場合もある。老夫婦が共に車椅子利用者であり同伴者である場合もあるだろう。車椅子という機械に適切な情報環境を与えることによって、車椅子を操作する負担を軽減し、安全で快適な生活を支援できれば素晴らしい。技術開発に留まらず、介護施設と協働し、実証実験を開始できる段階にまで至ったことは高く評価できる。研究が継続され、社会に貢献する技術が生まれることを期待したい。

5. 主な研究成果リスト

(1) 論文(原著論文)発表

- | |
|--|
| 1. 小林 貴訓, 行田 将彦, 田島 知弥, 久野 義徳, 山崎 敬一, 渋谷 百代, 関 由起子, 山崎 晶子, “多人数場面において受容者の予期を支援するケアサービスロボット,” 情報処理学会論文誌, vol.52, no.12, pp.3316-3327, 2011. |
| 2. Y. Kobayashi, Y. Kinpara, E. Takano, Y. Kuno, K. Yamazaki and A. Yamazaki, “Robotic Wheelchair Moving with Caregiver Collaboratively,” International Conference on Intelligent Computing (ICIC2011), Lecture Notes in Computer Science, vol.6839, pp.523-532, 2012. |
| 3. 小林 貴訓, 高野 恵利衣, 金原 悠貴, 久野 義徳, 小池 智哉, 山崎 晶子, 山崎 敬一, “同伴者の振舞いの観察に基づいて自動併走するロボット車椅子,” 情報処理学会論文誌, vol.53, no.7, pp.1687-1697, 2012. |
| 4. Y. Kobayashi, R. Suzuki and Y. Kuno, “Robotic Wheelchair with Omni-directional Vision for Moving alongside a Caregiver,” Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON2012), pp.4177-4182, 2012. |
| 5. 鈴木 亮太, 新井 雅也, 佐藤 慶尚, 山田 大地, 小林 貴訓, 久野 義徳, 宮澤 怜, 福島三穂子, 山崎 敬一, 山崎 晶子, “複数同伴者とのグループコミュニケーションを考慮した複数ロボット車椅子システム,” 電子情報通信学会論文誌, vol.J98-A, no.1, 2015. |

(2) 特許出願

研究期間累積件数:2 件

(3) その他の成果(主要な学会発表、受賞、著作物、プレスリリース等)

【主要な学会発表】

1. Y. Kobayashi, M. Gyoda, T. Tabata, Y. Kuno, K. Yamazaki, M. Shibuya and Y. Seki, “Assisted-Care Robot Dealing with Multiple Requests in Multi-party Settings,” Proc. HRI2011 Late Breaking Report, 2011.
2. Y. Kobayashi, Y. Kinpara, E. Takano, Y. Kuno, K. Yamazaki and A. Yamazaki, “Robotic

- Wheelchair Moving with Caregiver Collaboratively Depending on Circumstances,” Proc. CHI2011 Extended Abstracts, pp.2239–2244, 2011.
3. R. Suzuki, Y. Sato, Y. Kobayashi, Y. Kuno, K. Yamazaki, M. Arai and A. Yamazaki, “Robotic Wheelchair Moving Alongside a Companion,” Proc. HRI2013 Demonstration, pp.D01, 2013.
 4. Y. Kobayashi, R. Suzuki, Y. Sato, M. Arai, Y. Kuno, A. Yamazaki and K. Yamazaki, “Robotic Wheelchair Easy to Move and Communicate with Companions,” Proc. CHI2013 Extended Abstracts, pp.3079–3082, 2013.
 5. Y. Sato, M. Arai, R. Suzuki, Y. Kobayashi, Y. Kuno, K. Yamazaki, A. Yamazaki, “A Maneuverable Robotic Wheelchair Able to Move Adaptively with a Caregiver by Considering the Situation,” International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (Ro-Man2013), pp.282–287, 2013.
 6. M. Arai, Y. Sato, R. Suzuki, Y. Kobayashi, Y. Kuno, S. Miyazawa, M. Fukushima, K. Yamazaki, A. Yamazaki, “Robotic Wheelchair Moving with Multiple Companions,” International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (Ro-Man2014), pp.513–518, 2014.

【受賞】

1. M. Yousuf, Y. Kobayashi, Y. Kuno, A. Yamazaki and K. Yamazaki, “Development of a Mobile Museum Guide Robot That Can Configure Spatial Formation with Visitors,” International Conference on Intelligent Computing (ICIC2012), Lecture Notes in Computer Science, vol.7389, pp.423–432, 2012. (Best Paper Award)
2. R. Suzuki, Y. Sato, Y. Kobayashi, Y. Kuno, K. Yamazaki, M. Arai and A. Yamazaki, “Robotic Wheelchair Moving Alongside a Companion,” Proc. HRI2013 Demonstration, pp.D01, 2013. (Best Demonstration Award)
3. T. Onuki, K. Ida, T. Ezure, T. Ishinoda, K. Sano, Y. Kobayashi, Y. Kuno, “Designing Robot Eyes and Head and Their Motions for Gaze Communication,” International Conference on Intelligent Computing (ICIC2014), pp.607–618, 2014. (Best Paper Award)