

歩行者を先導するコンパニオンロボットの間合いの調査

南雲 悠太[†] 宍戸 英彦[‡] 北原 格^{*} 亀田 能成^{*}

[†]筑波大学 大学院システム情報工学研究科 〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

[‡]*筑波大学 計算科学研究センター 〒305-8577 茨城県つくば市天王台 1-1-1

E-mail: [†]shishido@ccs.tsukuba.ac.jp, *{kitahara,kameda}@iit.tsukuba.ac.jp

あらまし ヒトの行動に付き従い様々なサービスを提供するコンパニオンロボットは今後の社会において重要な地位を占めると期待されている。我々は、小型の自走式コンパニオンロボットによって、歩行者を先導する形で誘導する方式について研究を進めている。本稿では、誘導中におけるロボットとヒトとの適切な間合いの取り方に対して、ロボットの背の高さが与える影響に注目した。実際に歩行者に合わせて歩行者の前で移動するコンパニオンロボットを用意し、主観評価実験により調査を行った結果を報告する。

キーワード 人物追跡, 対人距離, 誘導, 自走式ロボット, 2輪走行ロボット

1. はじめに

少子高齢化社会を迎えつつある現在、ヒトの行動に付き従い様々なサービスを提供するコンパニオンロボットは今後の社会において重要な地位を占めると期待されている。

我々は、小型の自走式コンパニオンロボットによって、歩行者を先導する形で誘導する方式について研究を進めている。この方式には主に二つの利点がある。一つはロボットが経路案内を担うため、歩行者は地図による所在確認等の雑事から解放されることである。もう一つは歩行者に先立って進むロボットによって、経路の安全確保が行えることである。

このようなロボットの先行による歩行者誘導の実現には、大きく分けて以下の三つが課題として挙げられる。一つ目は現在位置から目標地点までの適切な経路の算出、二つ目は誘導中の安全確保、三つ目はヒトとコンパニオンロボットとの間のインタラクションによる快適な誘導の実現である。はじめの二点については近年の自動走行技術の発展の成果が利用できると思われる。

三つ目として挙げた歩行者誘導を行うロボットにおけるインタラクションについて、歩行者の安心感を高めるような快適なインタラクションの検討が待たれている。特に、誘導中ロボットとヒトとの間に適切な間合いを取れることは、このような使い方におけるコンパニオンロボットにとって重要である。

人間同士の対話においては、安心感を左右する要因として対人距離がかねてから注目され、様々な研究が行われてきている[5][6][7][8]が、ロボットとヒトが共に移動中という状態での間合いの検討はなされていない。

本研究では、ロボットが歩行中の人に対して先導し

て誘導中という状況下で、ロボットとヒトとの適切な間合いの取り方について、プロトタイプロボットを用意し、実際に主観評価実験によって調査を行った結果を報告する。適切な間合いの取り方については、様々な要因が影響すると考えられるが、本報告ではロボットの背の高さが与える影響を調査した。

2. 関連研究

2.1. 歩行者誘導

現在、広く普及している歩行者誘導の手法として、GPS (Global Positioning System) により歩行者位置推定を行うものが挙げられる。GPS に代表される衛星測位システムには、屋内経路や高層ビル街などの電波の届き難い状況での使用に適さないという問題がある。GPS が使用不可能な空間での歩行者誘導を実現すべく、様々な歩行者位置推定の研究が行われている。

一例として、BLE (Bluetooth Small Energy) ビーコンを空間に複数個配置し、各ビーコンへの接近とビーコン間での移動を計測することで位置推定を行う手法[1]が挙げられる。また、地上部に敷き詰めるように高密度に配置された RFID タグと、歩行者の持つ受信機との電波交信によって位置推定を行う手法があり、駅や地下街などの環境で使用されている。

実際の歩行にあたっては、障害物や歩けない場所などを避けていく必要がある。歩行者には経路を頭に描きながら、障害物等を認識して歩いていくという負荷がかかる。

これらの負荷を軽減すべく、センサによって周辺的环境情報を取得し、歩行者に指示を行うことで安全な歩行を支援する研究が行われている。M. Kanbara ら[2]は、頭部装着ディスプレイ (HMD) を用いた情報提示による歩行者誘導を提案している。また、今井ら[3]は

RGB-D カメラによって歩行可能領域の検出を行い、歩行者に対して音声による提示を行うことで安全な歩行の支援を提案している。これらの支援では視覚が確保されているので、移動しながらでも安全な利用が可能である。

コンパニオンロボットの先行による歩行者誘導では、周辺環境の認識および精緻な経路決定をロボットが行わせることができるため、歩行者の負荷を大きく軽減することが期待できる。

2.2. 誘導のための人とロボットとの距離

人間同士のコミュニケーションにおいて、間合いはコミュニケーションの安心感を左右する重要な要因であり、予めから盛んに研究が行われている。E. Hall[4][5]らは、適切な対人距離をコミュニケーションの状況によって密接距離(0~45 cm)、个体距離(45~120 cm)、社会距離(120~360 cm)、公衆距離(360cm~)の4つに分類しており、状況に対して不適切な距離が選ばれた場合に人は不快感を感じるとしている。

対話の相手が人からロボットに変化した場合にも、対話距離は安心感を左右する重要な要因と考えられ、研究が行われてきた。神田[6]らは、コンパニオンロボットが展示されている科学館の来場者を対象に、距離に応じたふるまいの変化を観察することで対ロボットに対しても E. Hall の分類が適用可能であるか調査を行った。神田らの調査結果では、対ロボットとのコミュニケーションにおいても、接触や対話、観察などコミュニケーションの状況に応じて、対ロボット距離にも変化が見られたとしている。しかし、それぞれの距離の長さについては対ロボットの場合の方が対人距離と比べより短くなっていた。神田ら[7]の開発したヒューマノイドロボット Robovie に対する印象評価を行った同様の実験では、被験者と対ロボットの距離が平均 41.0[cm]であったとしており、こちらも被験者は Robovie に対して初対面であることを考えると、Hall の定めた社会距離に比べて小さい値となった。神田らはこれについて、対人時に生じる緊張などの心理的負荷が対ロボット時には生じないこと、ロボットの全高が子どもほどの大きさ(120 cm)ほどであり、圧迫感が小さかったことを要因として挙げている。海外での事例としては H. Huettnerauch ら[8]の行った、対ロボットのコミュニケーションにおける被験者の空間的ふるまいを Wizards-of-Oz 法を用いて調査したものがある。この調査によって、静的な状況においては E. Hall の分類における个体距離~社会距離にあたる 45~120 [cm]の距離が被験者に最も好まれることがわかった。

以上の実験はすべてロボットが走行していない静的な状況、またはロボットが人に追従して走行する場

合にて行われたものである。

人がロボットに追従して歩行する場合における適切な距離の取り方、すなわちよい間合いの取り方については調査が待たれている。

3. コンパニオンロボットの構成

本研究では、コンパニオンロボットのプロトタイプとして、Segwa 社の Loomo を使用する。loomo には Intel 社による RGB カメラやデプスセンサ等が統合されたセンサユニットが搭載されている。Intel 社からは、これらの機能を利用して、SLAM による位置推定、物体認識、および人物追跡を行うライブラリが公開されている。コンパニオンロボットの必要な機能を、これらのライブラリによって実現した。処理はすべて Loomo に組み込まれた Intel Atom Z8750 プロセッサ(4Cores, 2.4GHz, メモリ 4GB)上で行っている。

人物追跡に関しては、追跡が可能な範囲は 0.5~5.0 [m]、検出対象に許容できる最大移動速度は 1.5 [m/s]であり、最大毎秒 30 回の処理が可能である。これは通常 1.2~1.5[m/s]で移動する歩行者[9]の追跡には十分なものである。追跡にあたって対象者の事前登録は不要である。図 1 に人物追跡を行った際の例を示す。図中の赤枠が追跡対象の人物を示している。

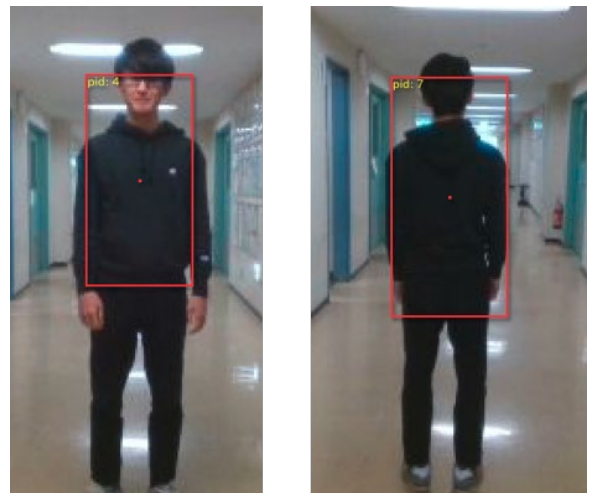


図 1. 人物追跡の様子

追跡時にはロボットから歩行者までの距離変化に応じてコンパニオンロボットに移動指示を与えることで、歩行者と一定距離を保った走行を実現する。

実験では、毎秒 10 回の頻度で歩行者の検出および追跡を行う。ロボットが歩行者に対して先行する形であることから、距離が指定値より小さくなった場合に、歩行者から離れるよう方向に 1.5 [m/s]で移動するよう指示を与える。実際にプロトタイプが距離を変えて歩行者に先行している様子を図 2 に示す。



図 2. 先導の様子

4. 間合いの調査

適切な間合いについて、被験者へのアンケート調査による評価を行う。

本研究では、歩行者誘導における対ロボット距離が誘導の安心感に影響を与えると考え、人がロボットに追従して歩行する状況での適切な対ロボット距離の検証を行う。過度の近接による圧迫感によって歩行者に不安感を与えない適切な距離を見出すことを目標とする。E. Hall の個体距離から社会距離までを考慮し、対ロボット距離が 45 [cm], 100 [cm], 200 [cm], 300[cm] の 4 通りの場合について歩行者の快適性の検証を行う。また、ロボットの全高が 65 [cm], 130 [cm] の 2 通りの場合についてもそれぞれ検証を行い、ロボットのサイズに応じた圧迫感の変化の調査を行う。

4.1. 実験概要

筑波大学キャンパス内の約 30 [m]の屋内経路にて調査を実施した。被験者は、開始地点から終了地点まで Loomo に向かって直線的に歩行を続ける。これを、Loomo からの対人距離が 45 [cm], 100 [cm], 200 [cm], 300[cm]の 4 通りの場合についてそれぞれ行う。また、Loomo が大きく見えるようなカバーを被せ、外見上の全高を大きくした場合についても 4 通りの距離で検証を行う。合計で 8 回繰り返す。通常時の Loomo のサイズは W45 × H65 × L31 [cm]であり、カバーを取り付けた場合のサイズは W45 × H130 × L31 [cm]である。図 3 にそれぞれの場合について外観を示す。経路上には、被験者以外の歩行者および障害物は存在しない。図 4 に経路の様子を示す。



図 3. コンパニオンロボットのサイズ



図 4. 実験に利用した経路

4.2. アンケート調査

被験者への質問項目について検討する。各サイズにおける被験者に好まれた距離について調査を行うため、各試行の対ロボット距離について、適切であったかどうかの質問を行う。

不適切な対ロボット距離としては、過度の近接および遠隔が考えられるが、過度の遠隔はそもそも先行による誘導という仮定に沿わないため、今回の実験からは除外している。本実験では、過度の近接により歩行者の安心感が損なわれる場合を考慮し、圧迫感の調査により歩行者の安心感の評価を行う。前節で述べた計 8 回の各試行について以下に示す Q.1 ~ Q.2 の質問を行い、1(とてもそう思う)から 7(全くそう思わない)までの 7 段階のリッカート尺度で回答を求めた。

質問項目：

- Q.1 ロボットとの距離は適切だったと思いますか？
- Q.2 ロボットから圧迫感を感じましたか？

更に、対ロボット距離とサイズの変化による圧迫感への影響について調査を行うため、以下の 4 つの質問

を行い、これらについても7段階のリッカート尺度で回答を求めた。

質問項目：

Q.3 ロボットとの距離が誘導の快適さに影響すると思いますか？

Q.4 ロボットとの距離が誘導の安全性に影響すると思いますか？

Q.5 ロボットのサイズによって圧迫感が変化したと思いますか？

Q.6 ロボットとの距離によって圧迫感が変化したと思いますか？

被験者数は15人で、内訳は20代男性が8人、20代女性が5人、50代男性と50代女性が1人ずつである。

4.3. 実験結果

Q.1 について考察する。アンケート結果を図5に示す。SmallはLoomoの全高を65[cm]とした場合、Tallは130[cm]とした場合を示す。最も好まれた対ロボット距離は両サイズ共に200[cm]の場合である。一方で、Smallの場合には平均値3.27と好まれる傾向にあった100[cm]が、Tallの場合では平均値4.27となっており、不適切に感じる割合が増加している。また、300[cm]の場合にはSmallでは3.93となった平均値がTallで2.73まで減少しており、ロボットのサイズが大きい場合にはより大きな対ロボット距離が好まれる傾向にあることが示された。

Q.2 について考察する。アンケート結果を図6に示す。すべての対ロボット距離についてTallの平均値がSmallの場合を下回っており、ロボットのサイズが大きいほど、圧迫感が大きくなる傾向にあることが示された。また、両サイズ共に対ロボット距離が大きくなるほど平均値は増加しており、対ロボット距離が小さいほど、圧迫感が大きくなる傾向にあることが示された。一方で、Smallの場合には100[cm]以上の場合、Tallの場合では200[cm]以上の場合には、回答者の過半数が6(感じない)と7(全く感じない)と圧迫感を受けないと回答している。

Q.3~Q.6 について考察する。アンケート結果を図7に示す。全ての質問項目について、1(とてもそう思う)から2(ややそう思う)までの回答者が10名以上であり、①歩行者が快適かつ安全な歩行のためロボットとの距離を重要視していること、②ロボットのサイズ及び対ロボット距離が圧迫感に影響を与えていることの2点が確認された。

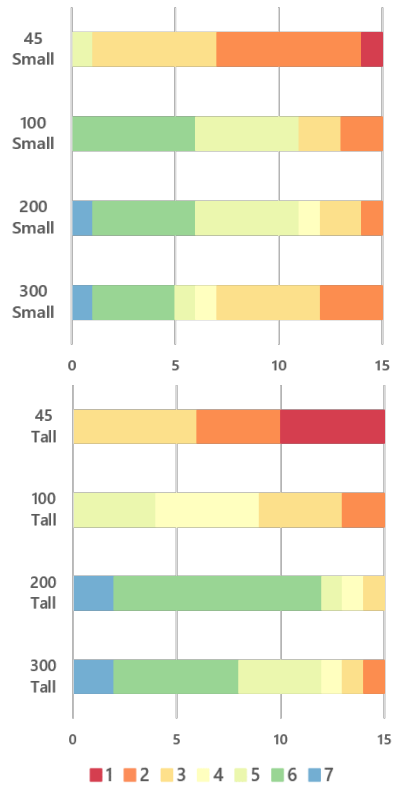


図5. Q.1の結果

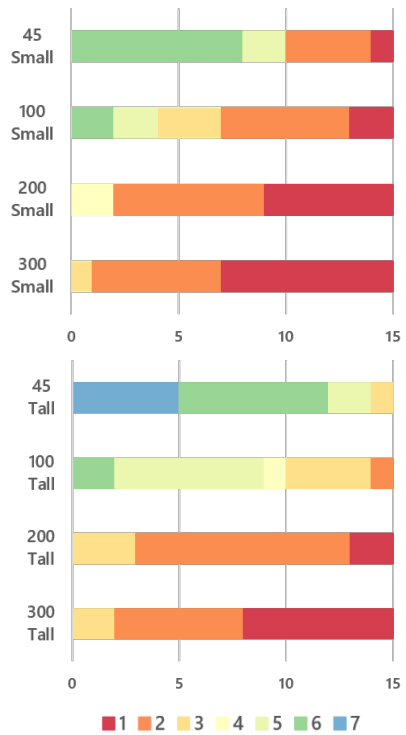


図6. Q.2の結果

5. おわりに

本稿では、誘導中におけるコンパニオンロボットとヒトとの適切な間合いの取り方に対して、ロボットの背の高さが与える影響を主観評価実験によって調査した。

今回の報告は歩行者を先導するコンパニオンロボットが満たすべき要件のごく一部を調査しただけであるため、今後はより広範な調査研究を進めていく必要がある。

本研究の一部は科研費 17H01773 及び 18H03504 の助成を受けた。ここに謝意を表する。

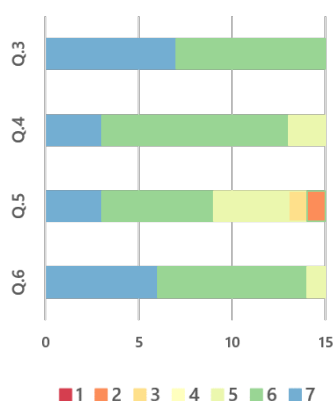


図 7. Q 3 から Q 6 の結果

文 献

- [1] 古館達也, 堀川三好, 工藤大希, 岡本東. “Bluetooth Small Energy ビーコンを用いた屋内測位手法に関する研究,” FIT, pp.311-312, 2015.
- [2] M. Kanbara, R. Tenmoku, T. Ogawa, T. Machida, M. Koeda, Y. Matsumoto, K. Kiyokawa, H. Takemura, T. Ogasawara, N. Yokoya, “Nara Palace Site Navigator: A Wearable Tour Guide System Based on Augmented Reality,” 3rd CREST/ISWC Workshop on Advanced Computing and Communicating Techniques for Wearable Information Playing, pp.7-14, 2004.
- [3] 今井健太, 北原格, 亀田能成, “RGB-D カメラを用いた歩行安全領域の検出と提示方法の検討,” 電子情報通信学会 HCG シンポジウム, 5 Pages, 2017.
- [4] E. Hall: The Hidden Dimension. Anchor Books/Doubleday, 1990.
- [5] E. Hall 著, 日高敏隆, 佐藤信行 訳, “かくれた次元,” みすず書房, 1970.
- [6] 神田崇行. “コミュニケーションロボットと人間との距離,” 情報処理, Vol. 49, No. 1, pp.24-29, 2008.
- [7] 神田崇行, 石黒浩, 小野哲雄, 今井倫太, 中津良平, “人間と相互作用する自立型ロボット Robovie の評価,” 日本ロボット学会誌, Vol. 20, No. 3, pp.315-323, 2002.
- [8] H. Huettenrauch, K.S. Eklundh, A. Green, and E.A. Topp, “Investigating Spatial Relationships in Human-Robot Interaction,” in Proceedings of the

International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.5052-5059, 2006.

- [9] 建部謙治, 中祐一郎, 青木俊幸: 4.2 歩行行動特性の分析, 産業技術総合研究所編, “人間計測ハンドブック,” 朝倉書店, pp.249-256, 2003.