

歩行者と歩道を共用する環境で円滑な交通を実現するための自動配送ロボットのデザイン検討

林 慶彦¹ 山本 景子¹

概要：物流業界の人手不足解消に向けて、ラストワンマイルを担う重要なピースとして自動配送ロボットの導入が進んでいる。しかし、現状はロボットの挙動意図が伝わらず歩行者との間で膠着状態や不快感を生じさせるという問題点がある。そこで本研究では、歩行者と共存する自動配送ロボットの円滑な走行を実現するための情報提示手法を提案する。まず提案1として、進行方向を提示する耳型装置を搭載し評価実験したところ、提示しない場合に比べ進路の予測が有意に容易になるが、ウイাকাと同程度であり、受容性の向上には予測可能性が強く影響することがわかった。そこで提案2として、アニメーション制作における「予備動作」と「伸縮」の表現を耳型装置の動作に応用するデザインを提案し、VRシミュレーションによって評価した。その結果、待機や発進の意図は非言語的かつ直感的に伝達可能であることが確認された。一方で、進路譲歩の要求については、単発の動作では周囲への関心提示と誤認される可能性が示された。

1. はじめに

近年、物流業界では人手不足や交通網の弱体化などにより買い物機会が不足している買い物弱者の問題が深刻化しており、特に「ラストワンマイル」と呼ばれる目的地付近での輸送能力の拡充が課題となっている。日本ロジスティクスシステム協会（JILS）「ロジスティクスコンセプト 2030[1]」によると、道路貨物運送業の運転従事者数は2000年の約100万人から減少傾向にあり、2015年には約76万人、2030年には約50万人まで減少すると予測されている。また、国土交通省が作成した「令和5年度宅配便等取扱実績関係資料 [2]」によれば、年間宅配便取扱個数は2010年から2023年まで増加傾向にあり、2010年には約32億個であったが、2023年には約50億個まで増加している。これらのことから、将来的に物流業界において深刻な人手不足が発生すると考えられる。

この課題に対し、自動配送ロボットの導入が進められている [3]。2023年4月に道路交通法の一部が改正され、翌年3月からはUber Eatsによる自動配送ロボットを用いたサービスが東京都の一部地域において開始された [4]。現在は届出制で事前の申請が必要となっているが、将来的には自動配送ロボットが普及し、自律的に歩道を走行することが予想される。

既存の自動配送ロボットとして「DeliRo[5]」「ハコボ [6]」「Cartken Courier[7]」「Avride 社製自動配送ロボット [8]」

などが挙げられる。これらは利用者の受容性向上を目的に、目を模したディスプレイや音声機能を有している。しかし、本来人間同士のすれ違いでは、体の向きなどの身体的合図を手掛かりに譲り合いの意思疎通を行うため、このような機能は「ロボット自体の受容性」の向上には寄与するものの、「ロボットの動作に対する受容性」の向上には不十分である。箱型の形状をしたロボットは独自の基準に従い走行するため、人間同士のすれ違いとは異なり、歩行者が読み取れる手がかりが乏しい。その結果、歩行者はロボットの次の挙動（発進や回避のタイミング）を予測できず、困惑や不快感を生じる要因となるのである。

特に、日本の都市部のような狭い歩道やすれ違いが多い環境では、ロボットが歩行者に接近しすぎた場合に安全のために停止する状況が頻繁に発生してしまい、配送効率が著しく低下してしまう。これでは本来、物流のラストワンマイルを担うことを期待されている自動配送ロボットのデザインとして問題である。そこで本研究は、歩行者と歩道を共有する環境での自動配送ロボットの円滑な走行を実現するための情報提示手法を提案する。

2. 提案1：耳型装置を用いた進路の提示

通常のロボットよりも受容性が高く、かつ歩行者にとって進路の予想が容易になることを目指し、自動配送ロボットに動物に似た身体的特徴や振る舞いを取り入れることを提案する。動物の身体的特徴や振る舞いは、特定のルールを介さずともその意図や内的状態を直感的に想起させる性

¹ 東京電機大学



① 交差点前まで走行 ② 耳型装置で提示



③ 交差点を曲がる

図 1 提案手法の動作例

質があり、これらをロボットに付与することで、周辺の歩行者がロボットを動物の個体に似た存在として認識できるようになると考えられる。周辺の歩行者にとって、ロボットが自律的に判断し走行を行っているように感じさせることができれば、それにより衝突の危険や不安感、不快感が低減することが期待できる。

ロボットの具体的な特徴や振る舞いとしては、耳を予定している進路方向へ向けるという手法である(図 1)。提案手法として耳を選択した理由は、動物の身体的特徴の中で向きの要素があるため方向提示に利用することができる点、耳の向きはウインカ等の道路交通法に定められた方向指示器と比較して、ルールを理解していなくても意味が直感的に理解できる可能性があるという点である。

3. 実験 1

3.1 目的

提案 1 の自動配送ロボットに対する受容性及び方向提示の意味が伝わるか検証する。具体的には次に述べる二つの仮説を検証することが本実験の目的である。

そのために、実際の道路環境における歩道を想定した通路を設定し、曲がり角において 2 種類の方向提示(提案である耳による提示を行う条件、ウインカによる提示を行う条件)と方向提示を行わない条件の 3 条件を比較する。

- 仮説 1

歩行者が耳型装置の動作が方向を提示するものであると解釈し、ロボットの進路予想がしやすくなる

- 仮説 2

耳型装置があることによってロボットの受容性が向上する

3.2 実験方法

本実験のためにロボット上部に左右に動く耳型の装置



図 2 プロトタイプ

(図 2) を実装し、交差点の右左折時の進路予測可能性と受容性についてアンケート [9] を用いて評価する。

実験環境については、歩行者が自動配送ロボットの進路を予測する場面が発生する環境を想定して、交差点を模した十字路の環境を設定する。この環境で、自動配送ロボットを模した実験装置を走らせ、歩行者とすれ違いを行う。ロボットの動作について、ロボットは交差点の手前で停止し、進路を提示する装置がある条件では装置を動作させる。関連事例において採用の多いウインカによる進路提示手法と比較するために、「耳を曲がる方向に向ける」・「曲がる方向のウインカを点滅させる」・「提示を行わない」の 3 条件を設定する。評価基準については、進路予測可能性と受容性についてアンケートを用いる。進路予測可能性については、ロボットがどちらに曲がろうとしているか、もしくは直進しようとしているか、歩行者にアンケートで調査を行う。受容性については、Godspeed Questionnaire Series[9] を使用し評価を行う。

3.3 結果

仮説 1 「歩行者が、耳型装置の動作が方向を提示するものであると解釈し、ロボットの進路予想がしやすくなる」について、ロボットの進路予測に関するアンケート結果をもとに算出した進路予測の正誤について t 検定を行った結果、提示なし条件と耳型装置提示条件間には有意差が見られた ($t(11) = 7.41, p < .001$) (図 3)。このことから、仮説 1 は成立すると考えられる。また、仮説 2 「耳型装置があることによってロボットの受容性が向上する」について、受容性評価アンケートの結果である「擬人観」「有生性」「好感度」「知性の有無」「安心感の有無」の 5 要素の平均値について t 検定を行ったところ、提示なし条件と耳型装置提示条件間では有意差が見られた ($t(11) = 4.33, p < .001$) (図 4)。このことから、仮説 2 は成立すると考えられる。

ただし、いずれの条件においても、提示なし・ウインカ

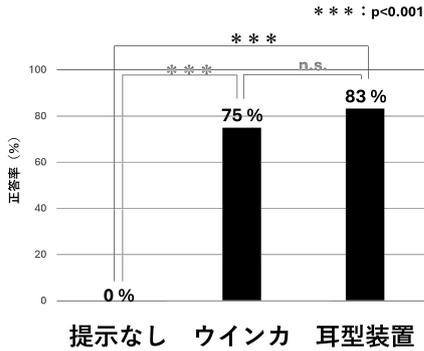


図3 進路予測の正誤

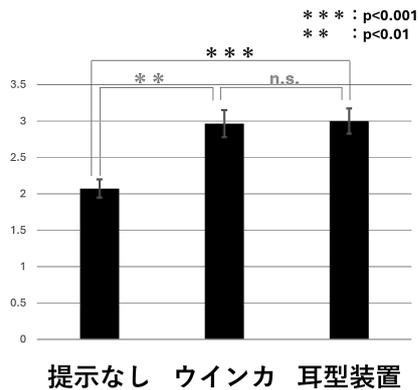


図4 受容性評価アンケート平均値

間でも有意差が見られ、耳型装置・ウインカ間では有意差が見られなかったことから、現状ではウインカと同程度の結果となった。ウインカと比較して耳型装置の方がよかった点としては、「擬人観」「有生性」「好感度」の項目で評価平均値が高かったが、有意差は見られなかった。

3.4 考察

実験結果から、進路予測可能性のスコアと受容性のスコアには同様の傾向が見られた。このことから、ロボットが社会的に受け入れられるためには、「ロボットが次にどう動くか」という意図を明確に提示することが本質的な要件であると考えられる。

実験映像や既存事例の歩行者の行動を観察したところ、歩行者がロボットに対して警戒心（大きく避ける、立ち止まる等）を抱くのは、「発進・停止・待機」といったロボットの挙動が変化するタイミングに集中していることがわかった。さらに、ロボットが意図（例：道を譲ってほしい、先に行きたい）を伝達できないために、歩行者と膠着状態に陥り、本来の目的である配送タスクが遅延する事例も確認された。したがって、従来の提案において検討した「進行方向を示す耳型装置」に加えて、「動き出しの予兆」や「譲り合いの意思」を伝えるための動的なインタフェースが必要であると考えられる。



図5 走り出す際の予備動作の表現例

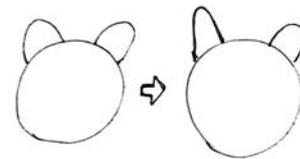


図6 耳の伸ばし表現の例

4. 提案2：耳型装置を用いた意図の提示

先の実験及び調査において観察された課題を解決するためには、ロボットの次の行動を、言語的な説明や事前の知識共有なしに直感的に伝達する必要がある。そこで本研究では、アニメーション制作においてキャラクターの感情や動作を強調するために用いられる手法に着目し、これを耳型装置の動作に応用する。具体的には、図5のような「予備動作」と図6のような「伸縮」の表現を取り入れる。予備動作とは、キャラクターが動き出す前兆として、実際には行われぬが、のちに行う動作を示唆するような表現を行う手法である。伸縮の表現は、実際にはない伸び縮みの動きを強調して表現する手法である。これらの動き出す前に行う動作や、伸び・縮みによる形状の変化を表現することで、歩行者に対して非言語的な意図の伝達を行うことを狙いとする。

● 発進・加速時

ロボットが停止状態から発進する際、移動開始に先立って耳を後方へ倒す動作を行う（図7）。これは動物が走り出す際に耳を伏せる動作や、風を切る流線形を想起させ、周囲に「これから動き出す」という意図を伝達する。

● 進路譲歩の要求

狭い通路などで歩行者に道を空けてほしい場面で、耳を垂直方向へ伸ばす動作を行う（図8）。これによ



図 7 発進・加速時の動作イメージ

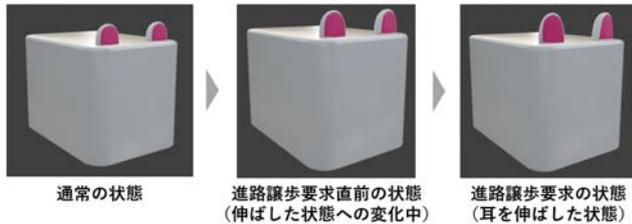


図 8 進路譲歩の要求の動作イメージ

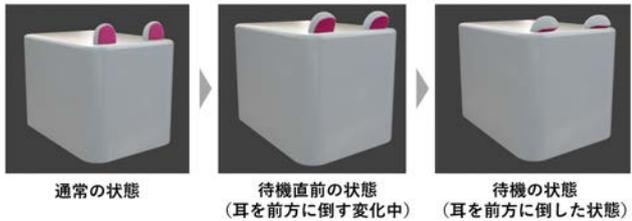


図 9 待機時の動作イメージ

て対象への強い関心や緊張状態を表現することで、ロボットが能動的に注目していることを伝達する。

● 待機時

ロボットが待機中の場面では、耳を前方へ伏せ、力が抜けたような表現を行う(図9)。これは生物のリラックス状態を模することで、歩行者に対して「発進の意図がない」ことを伝達する。

5. 予備実験

5.1 目的

提案手法による意図の伝達が可能であるかを予備的に検証することを目的とする。

5.2 方法

提案2の手法について、実機の実装に先立って、VR空間上で3Dアニメーションを見てもらい、インタビューを通じて正しく意図が伝達できたか検証する。

5.3 結果

進路譲歩を意図した「耳を伸ばす」動作(図8)については、被験者から周囲の探索や自身の存在アピールと解釈され、単発の動作では「どいてほしい」という特定の要求が伝わりにくいことが示唆された。一方で、待機を意図した

動作(図9)は、スリープ状態や力の抜けた様子として直感的に正しく理解され、発進の意図がないことを伝える手法として高い有効性が確認された。発進の予兆である「耳を後ろに倒す」動作(図7)についても、動き出しの前触れとして概ね肯定的に捉えられたが、正面にいる場合などの視点位置によっては変化が視認しにくいという課題も明らかになった。

6. おわりに

本研究では、物流業界における人手不足の深刻化やラストワンマイルの輸送能力拡充が喫緊の課題となり、自動配送ロボットの導入が進んでいる。しかし、現状のロボットのデザインでは都市部の狭い歩道等においてロボットの挙動意図が歩行者に伝わらず、円滑な交通が阻害される可能性がある。そこで、自動配送ロボットが歩行者と歩道を共用する環境において、円滑な交通を実現するためのデザイン検討を行った。本研究の成果および今後の課題を以下にまとめる。

まず提案1として、動物的な身体的特徴を応用し、進路方向へ耳を向ける提示手法を提案した。評価実験の結果、耳型装置による方向提示は、提示がない場合に比べて歩行者の進路予測を有意に容易にし、かつ擬人観や好感度といったロボットの受容性を向上させることが明らかとなった。

実験を通じて、ロボットが社会的に受容されるためには「ロボットが次にどう動くか」という意図が明確に伝達されることが本質的に重要であると示唆された。その上で、動物的な身体的特徴(耳型装置)をロボットに取り入れることは、進路予測を容易にするだけでなく、歩行者の受容性を向上させる上で有効なアプローチであることが確認された。

提案1では、既存のウインカによる提示との差別化として、単純な進路提示に留まらない意図伝達の必要性を考察した。歩行者の行動観察から、ロボットに対する警戒心や膠着状態は「発進・停止・待機」といった挙動が変化するタイミングに集中していることが分かった。また、従来のウインカでは表現が困難であった「動き出しの予兆」や「譲り合いの意思」を、耳型装置の動的な表現によって補完する手法が必要であることが分かった。

これらの意図伝達をより直感的かつ分かりやすくするために、提案2として、アニメーション制作における「予備動作」や「伸縮」の技法を耳の動作に応用するデザインをした。これにより、言語的な説明や事前の知識なしに、ロボットの「発進の予兆」や「能動的な注目」といった内的状態を非言語的に伝えられる可能性があることが示唆された。

今後は、まずVR空間上でのシミュレーション実験を通じて、これら提案手法の有効性を詳細に検証する。その後、実機を用いたより現実に近い道路環境での実験を行い、実

用性を検証することが課題である。

参考文献

- [1] 日本ロジスティクスシステム協会, “ロジスティクスコンセプト 2030” .
<https://www1.logistics.or.jp/date/concept.html>, (参照 2025-12-22)
- [2] 国土交通省, “令和 5 年度宅配便等取扱実績関係資料” .
<https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001759881.pdf>, (参照 2025-12-22)
- [3] 経済産業省, “自動配送ロボットを活用した新たな配送サービスについて” .
<https://www.meti.go.jp/policy/economy/distribution/deliveryrobot/index.html>, (参照 2025-12-22).
- [4] Uber Newsroom, “Uber Eats、三菱電機、Cartken が AI 活用の自律走行ロボットデリバリーサービスで業務提携 3 月中に都内でロボットによる料理配達を開始予定” . <https://www.uber.com/ja-JP/newsroom/robot-delivery-launch/>, (参照 2025-12-22)
- [5] 株式会社 ZMP, “搬送ロボット配送ロボット DeliRo (デリロ)”, <https://www.zmp.co.jp/products/lrb/deliro>, (参照 2025-12-22)
- [6] Panasonic Group, ”自動走行配送ロボット — 事例紹介 — Robotics Hub — Panasonic” .
<https://tech.panasonic.com/jp/robot/case/delivery.html>, (参照 2025-12-19)
- [7] Cartken, ”Cartken - Autonomous Robot Deliveries” .
<https://www.cartken.com/>, (参照 2025-12-19)
- [8] Avride, ”Avride — Delivery Robot” .
<https://www.avride.ai/robot>, (参照 2025-12-19)
- [9] Christoph Bartneck, ”Godspeed Questionnaire Series” .<https://www.bartneck.de/publications/2023/god-speed/bartneckGodspeedChapter2023.pdf>, (参照 2025-12-22)