

すれ違い時に移動ロボットが提示する横向き矢印の認知

桑宮 陽¹ 築館 多藍² 阿部 花南² 武井 秀憲² 小林 稔¹

概要：人が移動ロボットとすれ違いを行う際、見た目からでは回避方向の予測が難しいため衝突の危険がある。我々は、すれ違い時の衝突回避のためのコミュニケーション手法として、移動ロボットが進む方向を進行方向に垂直な面に提示される横向き矢印を用いて示すという手法を検討している。この手法が抱える問題として、矢印はロボットの進む方向を示しているという解釈と、すれ違う歩行者を誘導しているという解釈に分かれてしまうという問題がある。本稿では、本手法の実現が可能な矢印の提示方法の解明のため、矢印の提示タイミング・提示位置という観点から、ロボットとのすれ違いの主観映像を用いた実験によって、すれ違い時に移動ロボットが提示する横向き矢印の認知を調査した。実験の結果、すれ違いの直前に提示された矢印は「すれ違う歩行者を誘導している」という解釈をされる傾向にあった。

Recognition of the Horizontal Arrow Presented by the Mobile Robot when Passing Each Other

YO KUWAMIYA¹ TAAI TSUKIDATE² KANAN ABE² HIDENORI TAKEI² MINORU KOBAYASHI¹

1. はじめに

近年、少子高齢化に伴う産業分野での人手不足の解消や、感染症の拡大防止を目的とした人同士の接触機会削減のために、多様な環境に存在し、人と積極的にインタラクションを行う人間共存型ロボット [1] の利用機会が増加している。この人間共存型ロボットが人の生活圏内で動作するためには、ロボットの移動する方向を外見から判断できるようにする必要がある。特に人とロボットのすれ違いという状況下においては、ロボットの動作の予測ができなければ、すれ違う人に恐怖感を覚えさせ、衝突を招いてしまう危険があるため、明確に進む方向を伝えることは重要である。

これまで移動ロボットの動作予告の手法について扱った研究は数多く行われている。これらの研究には、顔や目玉などの生物のアナロジーを利用して動作予告を行う手法 [2,3] や、光と音声アナウンスによって伝える手法 [4]、ウィンカーという人間の常識、経験知を利用した手法 [5]

など様々なものが存在する。特に、用途やデザインでの個体差が大きいロボットに対して適用させることが容易である“矢印”を用いた手法が数多く検討されている [6-8]。これらの既に提案された矢印を用いた手法では、ロボットの上部や前方の床面にロボットの後方から前方へと伸びる矢印を表示させる手法が取られていた。

本研究では、進行方向に垂直な面に横向き矢印を提示することでロボットの進む方向を示す手法を検討している。提案手法のイメージを図1に示す。この手法には矢印の提示にロボットの胴体を使用できることや、奥行き方向を

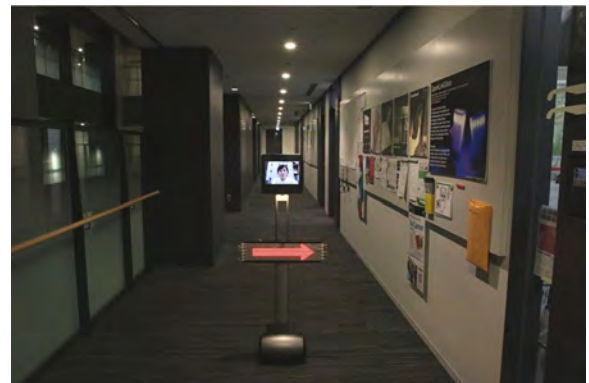


図1 提案手法のイメージ

¹ 明治大学総合数理学部
Faculty of Interdisciplinary Mathematic Science at Meiji University

² 明治大学大学院先端数理科学研究科
Graduate School of Advanced Mathematical Sciences, Meiji University

もった矢印に比べ視認性が高いという利点がある。しかし、この手法が抱える問題として、移動ロボットが提示する矢印の解釈が定まらないという問題がある [9]。具体的には、図 1 のように右向き矢印を提示しながら向かってくる移動ロボットとすれ違いを行う場合、「矢印はロボットとすれ違う人を誘導している」と解釈し右に避ける人と、「矢印はロボットの進む方向を示している」と解釈し左に避ける人に分かれてしまう。

我々はこの問題に対して、矢印の提示の仕方によって解釈を統一できると考えた。そこで本稿では、人の矢印に対する認知への理解を深めることを目的として調査を行った。本稿で調査した仮説は以下の 2 つである。

1. ロボットの矢印の提示がすれ違いの直前であると、矢印はロボットの進む方向だと認識される
2. 矢印の始点がロボットの重心に近い位置で提示すると、ロボットの進む方向だと認識される

これらの仮説に対して、ロボットとすれ違うまでの主観映像を用いた実験によって検証を行い、移動ロボットが様々な条件で横向き矢印を提示したときの認知について調査した。

本稿では 2 つの検証実験の結果とそれに対する考察を報告する。2 章では移動ロボットの方向提示に関する既存の研究を紹介し、3・4 章では本研究の課題や目的、仮説について述べる。5・6 章では仮説に対する検証実験の結果と考察を述べる。最後に 7・8 章で全体の考察と今後の展望、まとめを述べる。

2. 移動ロボットの進行方向提示

2.1 人が行う非言語コミュニケーションを用いる方法

人はすれ違いを行う際、目線や顔の向きといった非言語コミュニケーションによって、進もうとしている方向をすれ違う相手に伝達している。このような人同士でのすれ違いの際のコミュニケーション手法をロボットに適用させて動作予告を行う事を提案した先行研究が存在する。

松丸ら [2] は全方向ディスプレイ Magicball(R) をロボットの頭頂部に設置し、ディスプレイに表示される目玉の開閉度合いで移動速度を、表示位置で移動方向を伝達するシステムを提案している。山下ら [3] はロボットにぬいぐるみを搭載し、ぬいぐるみの顔の向きを移動方向に向けることによって、ロボットが移動する方向をすれ違う相手に伝える手法を提案している。

これらの顔や目をロボットに搭載することにはロボットの情緒的親和性を向上させる効果があり、特にロボットが自律移動を行い、人と多くのインタラクションを行う場合にはこの手法が用いられることが多い。しかし、全てのロボットに対してこのような手法を適用させることは難しいと考える。それはロボットの形状や用途が個体により様々であるからである。例を挙げると、本研究で実験に使用し

たテレプレゼンスロボット Beam [10] (図 1 のロボット) は画面にユーザの顔を表示させて周囲の人とインタラクションを行う。このロボットの“顔”と認識される部分はユーザの顔であり、進行方向を伝達するための目玉を表示しても、それは注目されないか、人とのインタラクションに混乱を生じさせる恐れがある。

2.2 矢印を用いた手法

個体差が大きいロボットに広く適用可能な方向提示手法として、ロボットが次に行う動作の予告に矢印を用いる手法を提案している研究がある。

松丸らは、ロボットの前方の床面にプロジェクターで矢印を表示する方法 [6]、上面に取り付けられた平面パネルディスプレイに矢印を表示する方法 [7] を提案している。同様に村松ら [8] はロボットの頭頂部に進行方向に合わせて回転する矢印型の立体装置で進行方向を伝達する手法を提案している。

矢印を用いることの利点として、ウィンカーのように社会的なルールや一般常識を基にしたコミュニケーション手法ではないため、形状や用途、動作の仕方に個体差がある様々なロボットに適用可能であり、音声で伝える手法 [4] に存在するような、言語や文化といった地域の差による課題も存在しないという点が挙げられる。また矢印の太さや長さなどを柔軟に変えることによって移動速度のような方向以外の付加的な情報を伝えられる利点がある。

3. 提案手法と研究課題

3.1 提案手法

本研究では移動ロボットが進む方向を進行方向に垂直な面に提示される横向き矢印を用いて示す手法を提案する。具体的には、移動ロボットが人とすれ違う前に、回避する方向を横向き矢印で示すことで、円滑なすれ違いを実現することを検討している。この手法には以下のような利点が挙げられる。

- ロボット開発に導入することが容易な装置を用いて実現可能であること
 - 矢印の表示にディスプレイを使用するため、大きな装置や複雑なシステムを必要とせず実現可能である。
- 矢印の表示位置にロボットの胴体を用いることが可能であること
 - 矢印を用いた関連研究 [6-8] では、ロボットの上面や上部の空間、床面を使用する手法が提案されていた。それに対し提案手法では、ロボットの胴体に矢印を表示させることが可能である。これにより、ロボット開発において出力装置の設置位置や矢印の表示位置に制約がないという利点がある。
- 案内板のように表示させるため、視認性が高いこと

- 提案手法では、矢印を地面と水平に表示させる手法 [6–8] に比べ視認性が高く、周囲の広い範囲にいる人がロボットの動作に注意を払うことが可能である。

3.2 研究課題：横向き矢印に対する認知の課題

提案手法の実現のためには、矢印が何に関する方向なのかを明示的に示す必要がある。2.2 節の矢印を用いる関連研究では、始点をロボット側、先端を進む方向に向けた矢印を地面と水平に描くことで矢印がロボットの進む方向を示していることとしている。一方、提案手法の場合には矢印が、「ロボットが進む方向」なのか、「すれ違う歩行者が進む方向」なのかの解釈が定まらず、却ってロボットと人の衝突を誘発させてしまう恐れがある。このことを示した結果を我々は先行研究にて得ている。

我々は先行研究 [11] において、LED テープから成るサインによって歩行者同士のすれ違いを円滑化することを検討した。検討過程で歩行者の胸部に右向き矢印を提示したときの、対向歩行者の矢印に対する認知を調査する実験を行った。実験の結果、参加者の半数が矢印に対して“右に行く”という解釈をし、残り半数が“右に行け”という解釈をした。

3.3 研究課題に対する検討

提案手法によってロボットの進行方向を伝達するためには、すれ違う人の矢印に対する解釈が「ロボットの進む方向を示している」という解釈に統一されるような提示をすることが必要となる。我々は、矢印の提示の仕方によってその解釈に影響を与えることができると考えた。そこで移動ロボットが横向き矢印を提示したときの、矢印に対する人の認知について知る必要がある。しかし、矢印は普段静止物体に取り付けられて用いられることが多いため、動作する物体に取り付けられた矢印の認知について調査した研究例は知られていない。そこで本研究では移動ロボットに取り付けられた矢印の認知について、提示タイミング・提示位置という観点から調査し、研究課題を解決する矢印の提示方法の解明を目標とする。4 章では研究目的とそれに向けた仮説について述べる。

4. 研究目的と仮説

4.1 研究目的

本研究の目的は、すれ違い時に移動ロボットが進む方向を進行方向に垂直な面に提示される横向き矢印を用いて示すことで、人とロボットのすれ違いを円滑化することである。そこで本稿では、移動ロボットが提示する横向き矢印の認知について、2つの仮説を基に調査する。また、その結果から「矢印はロボットの進む方向を示している」と認識される提示条件の解明を試みる。以降では本研究で立てた2つの仮説について、関連研究によって得られている知

見や静止物体に設置される矢印の使われ方などを交えて述べる。

4.2 仮説1：矢印を提示するタイミング

仮説：ロボットの矢印の提示がすれ違いの直前であると、矢印はロボットの進む方向だと認識される

理由：矢印を用いた関連研究 [6–8] での提示タイミングについて得られている知見からこの仮説を立てた。2.2 節で列挙した提示方法での矢印の提示タイミングは、どの手法もロボットの1秒後から3秒後の動作を示すシステムとなっていた。特に矢印型の立体装置を用いた手法 [8] では、2秒後の進行方向を示したときの実験参加者の感性評価が高い値を示し、最も適したタイミングであるという知見を得ている。ここから、矢印提示と動作開始までの時間が短ければ、「矢印はロボットの進む方向を示している」という解釈に結びつきやすいと考えた。従って、すれ違う歩行者との距離が近い段階で提示すると、矢印はロボットの進む方向を示しているという認識がされると推測する。一方で、標識や看板のような、静止物体に取り付けられ人を誘導する目的の矢印は提案手法のように突然現れることはなく常に提示されており、人との距離が離れた段階からその存在が認識される。これらより、ロボットがすれ違う歩行者と離れた位置から矢印を提示した場合には、それは歩行者を誘導していると認識され、近い位置で矢印を提示するとロボットが進む方向だと認識されると推測する。以上が仮説1を立てた理由である。

4.3 矢印を提示する位置

仮説：矢印の始点がロボットの重心に近い位置の場合、ロボットの進む方向だと認識される

理由：図面上での矢印の表現方法からこの仮説を立てた。近藤 [12] は、“矢印は「方向」や「動き」を表現するために使用される”と述べている。動きを表した矢印の例として、右に進むボールの動きを矢印で表した図を図2に示す。右に進むボールの動きを図面上で表す場合、矢印の始点をボールの中心に位置させる。これはボールの重心が移動する様子を視覚的に表しているためだと考えた。移動ロボットによって提示された矢印が「ロボットの進む方向である」と認識されるためには、「矢印はその後とる“動き”

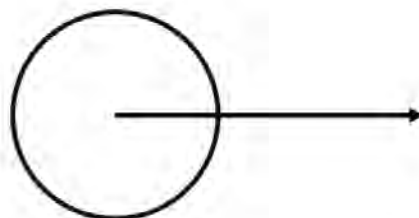


図2 動きを表す矢印（右に進むボールの動き）

を表している」とすれ違う歩行者が認識するような提示をする必要がある。従って、移動ロボットが提示する矢印において、矢印を進行方向だとすれ違う人に認識させるには矢印の始点をロボットの重心と思われる位置に配置させることが重要であると予想した。

5. 実験1：提示タイミングによる認知の調査

本研究では2つの仮説の検証のために、矢印を提示する移動ロボットとのすれ違いを行うまでの主観映像を作成し、提示される矢印に対する認知を調査する実験を行った。本章では仮説1を検証した実験1の詳細と結果、それに対する考察を報告する。

5.1 実験目的

本実験の目的は、移動ロボットが提示する横向き矢印の認知について、提示するタイミングという観点から調査することである。また、「仮説1：ロボットの矢印の提示がすれ違いの直前であると、矢印はロボットの進む方向だと認識される」を検証する。

5.2 実験手法

本実験では矢印を提示する移動ロボットが直進してくる動画を視聴し、参加者が避けようと思った方向を Microsoft Forms [13] を用いたアンケートによって回答する実験を行った。具体的な手続きは以下の通りである。

実験参加者：20代の学生19名、50代の教員1名の計20名（男性14名、女性6名）

実験環境：実験参加者所有のPCによって Microsoft Forms [13] で作成されたフォームに回答する。

使用ロボット：移動型テレプレゼンスロボット Beam [10] を用いた。本ロボットはユーザが操作することで自由に移動をして周囲の人とコミュニケーションをとることが可能である。本来ロボット上部の画面に操作端末のカメラで撮影されているユーザの顔を表示して使用するが、実験では顔の向きや視線に影響される可能性を排除するため、画面を黒い紙で隠した。また、ロボットの中心に矢印を提示するためのLEDパネルディスプレイを搭載した。ディスプレイは M5Stack 社製の M5Stack で制御された、縦 11pixel・横 72pixel の LED から実装されている。使用ロボット、ディスプレイ及び提示した矢印の寸法を図3に示す。

実験動画環境：明治大学中野キャンパス11階の通路で撮影した。通路の長さや矢印の提示開始位置を示した実験動画の構成を図4に示す。通路幅は1.8m、通路の長さは8.5mである。ロボットと撮影者は動画開始と同時に両端から同じ速さで中心線に沿って直進する。ロボットは撮影者との距離が2.5mから6.5m（1.0m間隔）のいずれかのタイミングで矢印を提示する。ロボットの速度は約0.5m/秒である。従って、提示開始位置はロボットがすれ違いの回避動

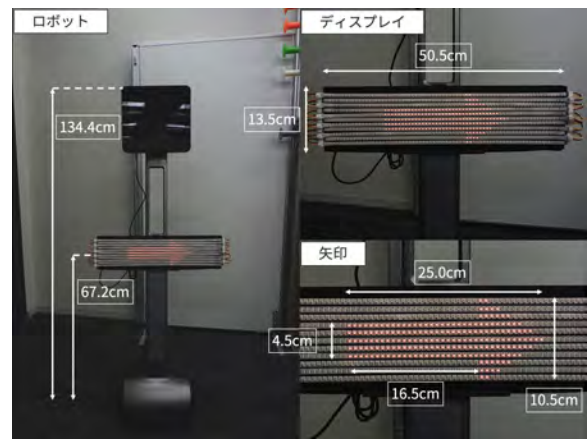


図3 実験で使用したロボット・ディスプレイ・矢印

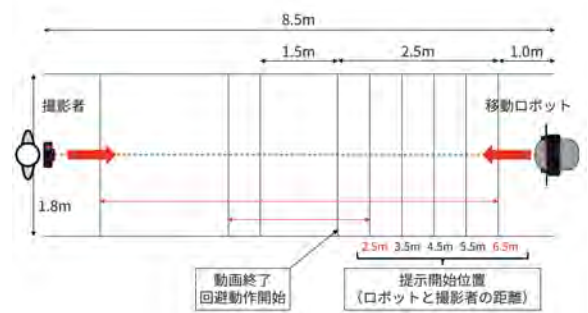


図4 実験1動画の構成

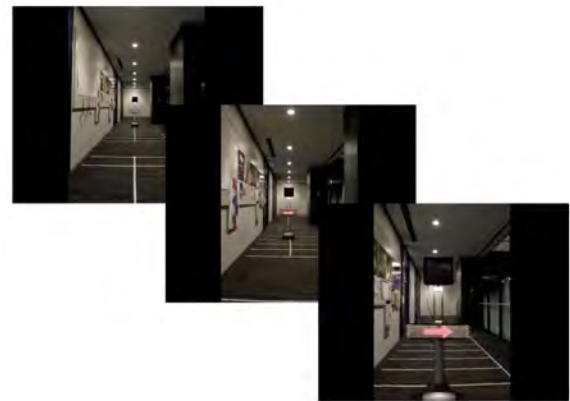


図5 実験1動画のキャプチャ画像

作を開始する1秒前から5秒前に対応している。動画は中島ら [14] の研究を参考に、人が速度約0.5m/秒で進むロボットにこれ以上近づいて欲しくない距離である1.5mにまで接近した段階で終了した。参加者には動画終了時にロボットが回避動作を開始することを事前に教示した。実験動画のキャプチャ画像を図5に示す。

教示内容：実験参加者には、事前に実験動画の状況を説明する以下の教示を行った。

- あなたは移動ロボットとすれ違いを行います。
- ある距離まで近づいた時、ロボットが横向き矢印を提示します。（矢印を提示しない動画もあります）

- その矢印は「あなたを誘導している」のかもしれませんが、「ロボットの進行方向を示している」のかもしれませんがありません。
- 動画が終了した後、ロボットはあなたを避けてすれ違えます。

実験手順：実験は以下の手順から行われた。

- (1) 参加者は実験動画を視聴する。尚、動画は参加者ごとにランダムな順番で提示される。
- (2) 参加者はロボットに対してどちらの方向に避けようと思ったかを [左, どちらかといえば左, 判断できない, どちらかといえば右, 右] の5つの選択肢から回答する。
- (3) 各提示タイミングに右向き矢印を提示する動画5本、同様に左向き矢印を提示する動画5本、矢印を提示しない動画2本の計12本の動画を1セットとし、参加者はこの過程を計3セット繰り返す(1人あたり計36試行)。尚、セットごとに動画はランダムな順番になっている。また、1セットが終わるごとに自由記述欄で意見や感想を任意で回答する。

評価方法：5つの選択肢を順に [-2, -1, 0, 1, 2] で重み付けを行い、各提示タイミングでの回答の平均値と割合を算出した。

5.3 予測と結果

本節では、仮説が立証された場合、回答の平均値がとると予測される値と実験の結果を述べる。本実験ではすれ違う歩行者との距離が2.5mから6.5mまで(1.0m間隔)の各タイミングで矢印を提示するロボットに対して、[左, どちらかといえば左, 判断できない, どちらかといえば右, 右] の5つの選択肢から自身が避けようと思った方向を回答してもらった。回答の各項目を-2から2で重みづけを行った値に関して、仮説に基づいた予測と実際の実験結果の分析を行う。また、これ以降で用いる「距離」はロボットと歩行者の距離のことを示す。

予測：右向き矢印を提示した場合、距離が4.5mより近い位置で提示したときの平均値は0を下回り、左向き矢印を提示した場合、同様の位置で提示したときの平均値は0を上回る。即ち、回避直前に矢印を提示した場合、矢印が示す方向と逆の方向に避けられる傾向にある。

結果：回答の平均値を図6に、タイミングごとの回答の割合を図7、図8に示す。右向き矢印を提示したときに0を下回ると予想した4.5mより近い位置である2.5m, 3.5m, 4.5mの回答の平均値は1.0, 0.93, 0.55と0を上回っており、右側に避けると回答する人が多い傾向にあった。同様に左向き矢印を提示した場合は-0.73, -0.80, -0.68と0を下回っており、左側に避けると回答する人が多い傾向にあった(図6)。一方、距離が5.5m, 6.5mの位置で矢印を提示したときには0に近い値となっていることが読み取れる。

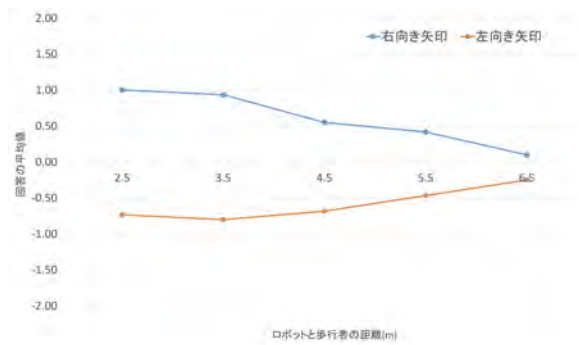


図6 提示タイミングごとの回避方向の平均値

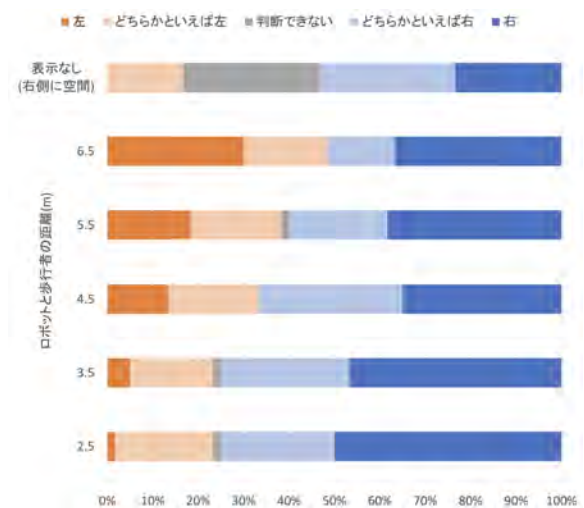


図7 提示タイミングごとの回答の割合(右向き矢印)

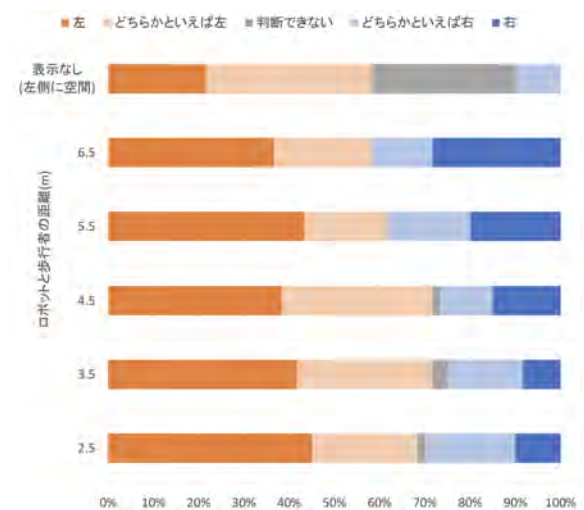


図8 提示タイミングごとの回答の割合(左向き矢印)

この値は“判断できない”を選択した参加者が多数を占めたのではなく、左と回答した参加者と右と回答した参加者の数が同程度になったため、0に近い値を取ったことが図7, 8から読み取れる。

5.4 実験1の考察

本節では、仮説1について実験1の結果から考察を行う。実験1では、距離が4.5mより近い位置で矢印を提示

したときの回答の平均値は矢印の方向に従う結果となっていた。ここから、すれ違いを行う直前で矢印を提示すると、すれ違う歩行者は矢印の方向に従って避けようとするのが読み取れる。つまり、「矢印はすれ違う歩行者を誘導している」という認識をされた。これは予測とは異なっており、本実験において仮説1は支持されなかった。この理由として、普段の矢印の用途と実験動画に使用した通路の問題点が挙げられる。

まず、人が普段歩行時に目にする矢印の用途は、特定の場所への方向を示す誘導の目的を持った矢印がほとんどである。そのため、すれ違いの直前に矢印を提示された場合には、その経験から反射的に誘導されていると判断しやすいと考察する。一方、距離が離れている段階から矢印を提示すると矢印の意味を判断できる時間が増えるため、多数の人が矢印はロボットの進行方向を示しているという可能性を認識し始める。そして、その解釈をする人が増加し、結果として矢印への解釈が二分されたと考察する。

また、本実験で使用した通路は図5に示したように、片側が吹き抜けになっており、空間が存在する。さらに本実験では右向き矢印を提示する動画を左右反転して左向き矢印を提示する動画を作成したため、全動画において矢印が指す方向に空間がある状況となっていた。本実験では矢印を提示しないパターンを2回試行したが、両動画とも空間がある方向に避ける傾向が見られた(図7・8表示なし)。さらに自由記述欄で得られたコメントにも、「通路が非対称のため、スペースが空いている方を選んだ」という回答があり、この問題点が結果に影響を与えた可能性も考えられる。

6. 実験2：提示位置による認知の調査

本章では仮説2を検証した実験2の詳細と結果、それに対する考察を報告する。

6.1 実験目的

本実験の目的は、移動ロボットが提示する矢印の認知について、提示する位置によってどのように変化するかを調査することである。また、「仮説2：矢印の始点がロボットの重心に近い位置の場合、ロボットの進む方向だと認識される」について検証する。

6.2 実験手法

本実験では実験1と同様に、ロボットとのすれ違いを想定した主観映像を視聴し、参加者が避けようと思った方向をMicrosoft Forms [13]を用いたアンケートによって回答する実験を行った。具体的な手続きは以下の通りである。

実験参加者：20代の学生19名、50代の教員1名の計20名(男性17名、女性3名)

使用ロボット：実験1と同様にBeam [10]を用いて行った。矢印を表示するLEDパネルディスプレイを{上, 中心, 下

}に設置可能である。右向き矢印の場合、矢印はディスプレイの{左：ロボットの軸に矢印の先端, 中心：ロボットの軸に矢印の中心, 右：ロボットの軸に矢印の始点}の位置に表示可能である。左向き矢印の場合はこれを反転したものである。ディスプレイの設置位置を図9に、矢印の表示位置を図10に示す。

実験動画環境：明治大学中野キャンパス多目的室にて撮影した。実験1での問題点を修正するため、左右が対称となり、壁がない場所を撮影場所を選択した。実験動画の構成を示したものを図11に示す。ロボットと撮影者は動画開始と同時に両端から同じ速さで中心線に沿って直進する。

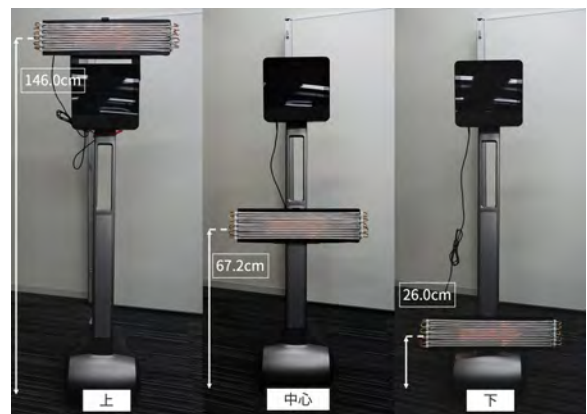


図9 ディスプレイの設置位置



図10 矢印の表示位置

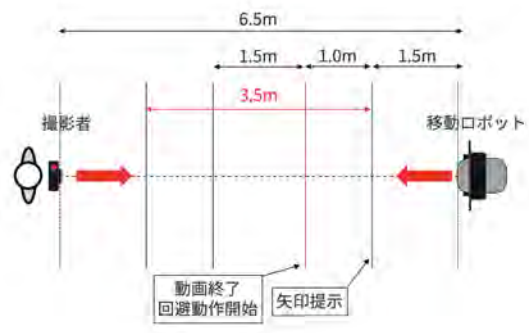


図11 実験2 動画の構成

ロボットの速度は約 0.5m/秒である。ロボットは撮影者との距離が 3.5m になったタイミングで矢印を提示する。これは実験 1 の参加者から、「遠い場所から矢印を提示すると見辛く、自分に向けて提示していると思えない」という意見を得たため、E. T. Hall [15] の対人距離に関する知見のうち、社会距離を参考として決定した。提示する矢印の位置は { 上, 中心, 下 } の上下の位置と, { 左, 中心, 右 } の左右の位置を組み合わせた計 9 ヶ所の位置のいずれかである。動画は実験 1 と同様に、撮影者とロボットが 1.5m の距離まで近づいたら終了し、参加者には終了時にロボットが回避動作を開始することを事前に教示した。実験動画の状況を説明した教示内容は実験 1 と同じである。実験 2 で使用した動画のキャプチャ画像を図 12 に示す。

実験手順: 実験の手順は実験 1 と同じである。9 ヶ所のそれぞれの位置に右向き矢印を提示する動画 9 本と同様の左向き矢印の動画 9 本に、矢印を提示しない動画を 3 本加えた計 21 本の動画をランダムに提示する。これを 1 セットとし、計 3 セット行った (1 人あたり計 63 試行)。

評価方法: 実験 1 と同様に、参加者が避けようと思った方向を [左, どちらかといえば左, 判断できない, どちらかといえば右, 右] の 5 つの選択肢から回答してもらい、順に [-2, -1, 0, 1, 2] で重み付けを行った値の平均値と割合を算出した。

6.3 予測と結果

本節では、仮説が立証された場合の回答の平均値がとると予測される値と実験の結果を述べる。本実験では 9 ヶ所のいずれかの位置に矢印を提示したロボットに対して、避けようと思った方向を [左, どちらかといえば左, 判断できない, どちらかといえば右, 右] の 5 つの選択肢から回答してもらった。回答の各項目を -2 から 2 で重み付けを行った値に関して、仮説に基づいた予測と実際の実験結果の分析を行う。

予測: 始点がロボットの軸に位置する右向き矢印はロボットの進行方向だと認識され 0 を下回り、同様に位置する左向き矢印は 0 を上回る。即ち、始点がロボットの軸に位置する矢印を提示した場合、矢印が示す方向と逆の方向に避

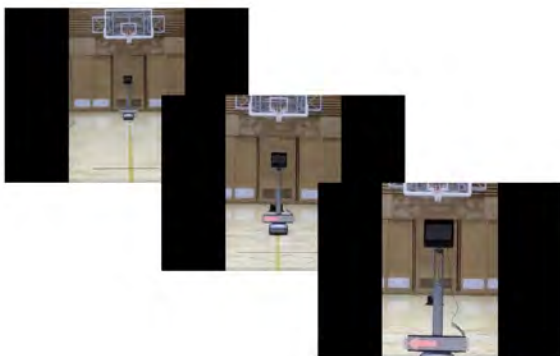


図 12 実験 2 動画のキャプチャ画像

けられる傾向にある。また、本実験で使用したロボットの見た目の重量感から重心が位置すると予測されやすい下側に提示すると、さらにその傾向が顕著に現れる。

結果: 回答の平均値を表 1, 表 2 に、提示位置ごとの回答の割合を図 13, 図 14 に示す。右向き矢印をどの位置に提示した場合も回答の平均は 0 を上回っており (表 1), 矢印の方向に従って右に避けると回答した人が多い傾向にあった。同様に左向き矢印を提示した場合も、いずれの位置においても 0 を下回っており (表 2), 左に避けると回答した人が多い傾向にあった。矢印の始点がロボットの軸に位置

表 1 提示位置ごとの回避方向の平均 (右向き矢印)

	左	中心	右
上	0.733	0.417	0.533
中心	0.067	0.750	0.883
下	0.450	0.500	0.667

表 2 提示位置ごとの回避方向の平均 (左向き矢印)

	左	中心	右
上	-0.733	-0.333	-0.633
中心	-0.783	-0.650	0.000
下	-0.583	-0.683	-0.450

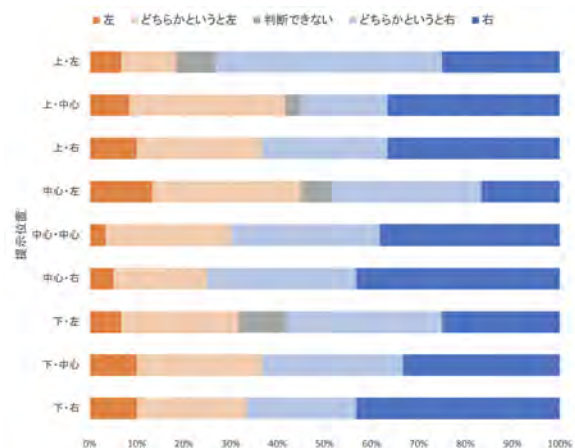


図 13 提示位置ごとの回答の割合 (右向き矢印)

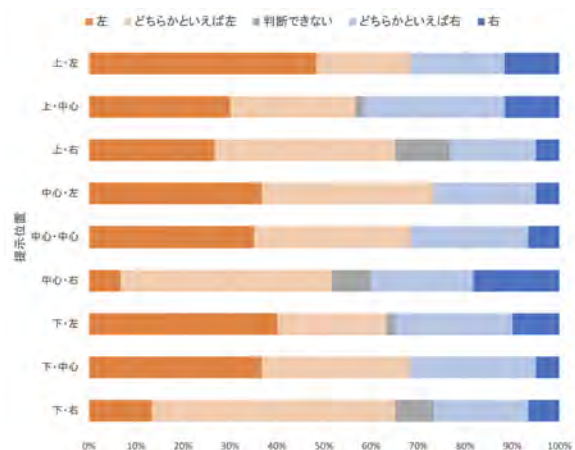


図 14 提示位置ごとの回答の割合 (左向き矢印)

している矢印（表1・右，表2・左）では，右向き矢印を提示した場合は回答が0を下回ると予測したが，他の位置よりも大きく0を上回っており，右に避けると回答した人が多い傾向にあった．これは左向き矢印の場合も同様であり，予測した結果とは反するものとなっていた．

また，自由記述欄から「右向き矢印を左に，左向き矢印を右に提示されたときは分かりにくかった」というコメントが得られた．図13，図14からも右向き矢印を左に，左向き矢印を右に提示したときには「判断できない」を選択した参加者が数名存在し，さらに“右”や“左”という確信のある回答をした参加者も少ない結果となっていた．このことから，ロボットの軸に矢印の先端を位置させる提示（図10・左）は，矢印の解釈が難しいことが読み取れる．

6.4 実験2の考察

本節では仮説2について実験2の結果から考察を行う．実験2では，始点が軸の位置にある場合，矢印の方向に従う結果となっていた．ここから，始点がロボットの軸に位置する矢印を提示したときに，すれ違う歩行者は矢印の方向に従って避けようとする事が読み取れる．これは予測とは異なっており，本実験において仮説2は支持されなかった．この理由について，矢印を提示する前までの直進時の重心移動を表示していないためだと考える．2.2節で挙げた関連研究[6-8]では，奥行きをもつ矢印を用いることで直進時にも前方を指す矢印を表示させていた．ロボットの重心移動を矢印で表すのであれば，直進時の重心移動も何らかの形で表すべきだと考える．本実験のようにすれ違う歩行者との距離が3.5mにまで近づいたときに横向き矢印を提示しただけでは，これがロボットの重心移動を表すとは見做されず，実験1の“普段の矢印の用途から反射的に矢印の方向に従う”と同様の理由で「矢印はすれ違う相手を誘導している」と反射的に認識されると考察する．

実験2の結果はどの位置に矢印を提示した場合も矢印の方向に従って避けようとする傾向にあった．実験1において矢印の方向に従って避けようとした参加者が多いという結果には通路の片側にあった空間が影響した可能性があると考えたが，実験2の結果においても中心に矢印を提示したときには矢印の方向に従った参加者が多かった．本実験では矢印を提示しない動画を3本用意したが，それらの回答の平均値は-0.1, 0.0, 0.1となっており，実験動画環境による影響はないことが確認できた．これらより，空間による影響を排除した場合もロボットがすれ違う直前に矢印を提示すると，その矢印を「すれ違う相手を誘導している」と捉えられることが多いということが明らかになった．

7. 考察

本章では2回の実験で得られた結果から，本提案手法と仮説について考察を行う．

まず，提案手法の考察から行う．当初は我々の先行研究から移動ロボットが横向き矢印を提示すると，解釈が半分ずつに分かれると推測していた．しかし結果は，2回の実験とも矢印の方向に誘導される人が多い傾向にあった．この理由について，ロボットの与える印象が影響を与えていると考える．先行研究では人同士のすれ違いを対象としていたため，実験では向かってくる歩行者が横向き矢印を提示していた．この研究の実験では，回答者が歩行者に対して避けようと思った方向は半分ずつに割れていた．つまり，すれ違う相手が，身に付けているディスプレイの矢印表示を操作しているということが認識しやすい状況では，それが相手の進む方向を示す意思表示であると認識しやすいと考える．本実験では，本来画面にユーザの顔を表示して使用するBeam[10]を用いたが，実験時には画面を隠していた．しかし，ユーザの顔を表示し，ロボットやディスプレイの矢印が操作されているという印象を与えた場合，矢印が進む方向を示しているという認識をする人が増加すると考える．従って今後の実験では，ロボットが操作されているのかどうかや，ロボットそのものの印象についても考慮する必要がある．

次に本研究での仮説についての考察を行う．本研究では提示するタイミング・提示する位置という観点から，矢印を「ロボットの進む方向を示している」という認識に統一させることを試みたが，いずれの仮説も支持されなかった．これらに共通して，何も表示されていないディスプレイに横向き矢印を突然表示させたことが理由の1つであると考えられる．移動ロボットが進む方向として矢印を提示するためには，すれ違う直前に提示するのではなく，事前に矢印の意味について類推できるようにしなければならない．2.2節の関連研究[6-8]では，直進時に矢印で前方を指すことによって，すれ違う前から矢印がロボットの進行方向を表していることを示していた．従って，移動ロボットが横向き矢印で進行方向を表すためには，それまでの表示からの連続性が重要であると考えられる．しかし，提案手法ではロボットの進行方向に垂直な面を使用するため，前方を矢印で指すことは難しい．そこで今後は，直進時の矢印の状態をどのように表示するかについて検討する予定である．

8. まとめ

我々は，人とロボットのすれ違いを円滑化するため，移動ロボットが進む方向を進行方向に垂直な面に横向き矢印を用いて示す手法を検討している．本稿では，本手法の課題となる矢印の解釈が人によって分かれる問題に対して，移動ロボットが提示する矢印の認知を調査することで，解釈に差異がない矢印の提示方法の解明を試みた．具体的には，矢印の提示タイミング・提示位置という観点からロボットとのすれ違いの主観動画をを用いた実験によって矢印の認知を調査した．その結果，すれ違いの直前に提示され

た横向き矢印は「すれ違う歩行者を誘導している」という認識をされる傾向にあった。その理由について、矢印表示の連続性という要素を挙げ、今後の方針を示した。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 18K11410 の助成を受けたものです。また、本実験にご協力頂いた参加者の方々に心より謝意を表します。

参考文献

- [1] 人間共存型ロボット研究専門委員会：人間共存型ロボットシステムにおける技術課題，日本ロボット学会誌，Vol.16, No.3, pp.288-294 (1998).
- [2] Matsumaru, T., Iwase, K., Akiyama, K., Kusada, T. and Ito, T.: Mobile Robot with Eyeball Expression as the Preliminary-Announcement and Display of the Robot's Following Motion, *Autonomous Robots*, Vol.18, No.2, pp.231-246 (2005).
- [3] 山下翔平, 岩田徹志, 篠澤一彦, 岩城敏：移動ロボットの顔向きによるすれ違いやすさの評価，ロボティクス・メカトロニクス講演会公演概要集 (2019).
- [4] Muramatsu, S., Higashi, S., Chugo, D., Yokota, S. and Hashimoto, H.: Consideration of the preliminary announcement function for the human friendly service robot, *Industrial Electronics Society, IECON 2016 - 42nd Annual Conference of the IEEE*.
- [5] M. C. Shrestha et al.: Exploring the use of light and display indicators for communicating directional intent, *2016 IEEE International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM)*, pp.1651-1656 (2016).
- [6] 松丸隆文, 干場祐, 平岩慎司, 宮田泰広：プロジェクトを用いて次の動作を予告表示する機能を持つ移動ロボットの開発，日本ロボット学会誌，Vol.25, No.3, pp.410-421 (2007).
- [7] Matsumaru, T.: Mobile Robot with Preliminary-announcement and Indication Function of Forth-coming Operation using Flat-panel Display, *2007 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation (ICRA' 07)*, ThA4.4, pp.1774-1781 (2007).
- [8] 村松聡, 山本耕介, 中後大輔, 横田祥, 橋本洋志：人間—ロボット間の安全性向上のためのロボット行動提示デバイスの開発，*東海大学紀要*, p.9-14 (2018).
- [9] 桑宮陽, 築館多藍, 阿部花南, 小林稔：右向き矢印は“右に行く”か“右に行け”か，*サイバースペースと仮想都市研究会*, Vol.26, No.CS-4, pp.17-21 (2021).
- [10] Beam：入手先 (<http://www.nihonbinary.co.jp/Products/Robot/BeamPlus.html>) (参照 2022-05-12)
- [11] 桑宮陽, 築館多藍, 小林稔：歩行時のすれ違い行動を円滑化する LED 点灯パターンの検討，*研究報告グループウェアとネットワークサービス*, Vol.2021-GN-113, No.12, pp.1-8 (2021).
- [12] 近藤晶：矢印にみる日本の方向指示表記の変遷，*意匠学会*, Vol.60, pp.98-99 (2012).
- [13] Microsoft Forms：入手先 (<https://www.microsoft.com/ja-jp/microsoft-365/online-surveys-polls-quizzes>) (参照 2022-05-17)
- [14] 中島浩二, 佐藤陽彦：移動体ロボットに対するヒトとの個体距離，*人間工学*, Vol.35, No.2, pp.87-95 (1999).
- [15] E. T. Hall.: *The Hidden Dimension*, Doubleday, New York (1969). 日高敏隆, 佐藤信行 (訳)：かくれた次元, みすず書房 (1970).