

%
% このファイルはヒューマンインタフェース学会論文誌用スタイルファイル
% his.cls(ver.1.0) を利用した「原稿執筆の手引き」です。
% Revised in September, 2021 by Kohei Oka & Masafumi Matsuda
% Revised in March, 2021 by Takashi Nagamatsu & Kyoko Ito
% Revised in April, 2020 by Hirotake Ishii
% Revised in September, 2017 by Hirotake Ishii
% Revised in June, 2012 by Yutaka Ishii
% Revised in June, 2011 by Hirotake Ishii
% Revised in December, 2006 by Hirotake Ishii
% Revised in September, 2002.

¥documentclass{his}
¥usepackage[dvipdfmx]{graphicx}
¥usepackage{epsfig} ¥let¥epsfile=¥epsfig
¥usepackage{booktabs}
¥usepackage{url}
¥usepackage{here}
¥makeatletter
¥newcommand¥newblock{¥hskip .11em¥@plus.33em¥@minus.07em}
¥makeatother

%和文タイトル 論文のヘッダ部分にも出力されます。
¥title{パーソナルスペースを感じるロボットのふるまいによる親密度への影響}

%著者日本名
¥jauthor{
廣川 徳也¥thanks{関西大学 総合情報学部}
}

%英文タイトル
¥etitle{Influence on intimacy by the behavior of a robot that perceives personal space}

%著者英文名
¥eauthor{
Tokuya Hirokawa¥thanks{Graduate School of Engineering, Human University}
}

%投稿時には ¥YEAR{2002} ¥VOL{0} ¥NO{0} としてください。
¥YEAR{2022}
¥VOL{0}
¥NO{0}

%原稿の種別により以下のうち、1つの「%」をはずしてください。
¥TYPE{原著論文}
%¥TYPE{総説論文}
%¥TYPE{技術報告}

```

%¥TYPE{ショートノート}
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%   英語の種別では{¥small }を使う
%
%
%¥TYPE{Original Paper}
%¥TYPE{Review Paper}
%¥TYPE{Technical Report}
%¥TYPE{Short Note}

%原稿受付日, 再受付日
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%   日本語の場合
%       年, 月, 日
%
%投稿時には ¥received{2002}{1}{1} としてください.
¥received{2002}{1}{1}
¥revised{2002}{1}{1}
%

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%   英語の場合
%       月(英語)日, 年の表示に
%
%投稿時には ¥received{2002}{Jan.}{1} としてください.
%¥received{2002}{Jan.}{1}
%¥revised{2002}{Jan.}{1}
%

¥begin{document}

%maketitle は abstract と keyword の後に入れてください.

¥begin{abstract}
本研究は, ロボットが人間に適切な距離感を暗に主張することを目的とし, パーソナルスペース
を感じ取れるロボットを提案する. ロボットのふるまいや人間に近づく際の距離や速度の変化に
よって, ロボットのパーソナルスペースを感じ取れるかを検証した結果, ロボットの感情的なふる
まいや近づく際の距離の違いによってロボットの持っているパーソナルスペースを感じ取れること
ができる可能性が示唆された. また, ロボットの移動速度からはロボットのパーソナルスペースを
感じ取ることはできなかったが, ロボットの移動速度はユーザのロボットに対する距離感に影響し
た可能性も示唆された.
¥end{abstract}

¥begin{keyword}

```

ヒューマンロボットインタラクション, コミュニケーションロボット, パーソナルスペース, 感情
¥end{keyword}

¥maketitle

%%
%%

¥section{はじめに}

%%
%%

近年, コミュニケーションロボット市場の拡大とその発展は目覚ましい¥cite{market1,market2}. 国際ロボット連盟(IFR)は「World Robotics 2022」¥cite{market3}において, 2021年の世界におけるサービスロボットの新品は前年度に比べて37%増加し, 12万台販売されたと発表している. 中でも, 接客用のサービスロボットは85%も増加しており, コミュニケーション機能を持ったロボットの需要は高まっている. また, 個人用のサービスロボットは9%増の1900万台が販売されており, 業務用サービスロボットに比べて遥かに多く製造されている. サービスロボットの需要はますます高まっており, 様々なコミュニケーションロボットが開発されている

¥cite{crexe1,crexe2,crexe3,crexe4,crexe5}. 日常生活の中にコミュニケーションロボットが存在していることは当たり前となりつつある. ¥par

社会の中でロボットと人が共存していくには, ロボットは人間のストレスにならないよう適切な距離を保つ必要がある¥cite{crdis1,crdis2,crdis10}. 人間は他人に接近されると不快に感じる空間, パーソナルスペースがそれぞれ個々に存在しており, Sommerはパーソナルスペースを「他人が侵入することができないような, 個人の身体を取り巻く目に見えない境界線で囲まれた領域」としている¥cite{ps1}. Hallはパーソナルスペースを密接距離, 個人距離, 社会距離, 公衆距離の4段階に分類した¥cite{ps2}. 密接距離は0cm~45cmで家族や恋人などのごく親しい人にのみ許される距離, 個人距離は45cm~1.2mで友人などにおける距離, 社会距離は1.2m~3.5mで知らない人同士や仕事先の相手と話す場合に用いられる距離, 公共距離は3.5m~7mで講演者と聴衆者のような個人的でない関係の距離となっている. この対人距離は一般的に女性よりも男性の方が広い傾向があることや, 前方の空間がいずれの方向の空間よりも大きいことなどがわかっている¥cite{ps3,ps4,ps5,ps6}. ロボットに対するパーソナルスペースについての研究事例も存在しており, 人がロボットに対して感じるパーソナルスペースの形状は, 人に対して感じるパーソナルスペースの形状に近いことや¥cite{crdis3,crdis4}, ロボットの移動速度に応じてこれ以上近づいてほしくないと感じる距離が伸びることなどがわかっている¥cite{crdis5,crdis6}. ¥par

ロボットと人が共存する社会において, 人が不快に感じないロボットのシステムを開発することが必要である一方で¥cite{crdis7,crdis8,crdis9}, 人間側もロボットを丁寧に扱う必要があり, 人とロボットの双方が互いを尊重し合あわなければならない. ロボットと人の相互作用(HRI:Human-Robot-Interaction)の研究は盛んに行われており, 人間同士が触れ合う際に起こる感情の変化がロボットと触れ合うときも同様に起こる場合があることや¥cite{touch1,touch2,touch3,touch4,touch5}, ロボットと相互構成的な関係を築けることなどが明らかとなっている¥cite{mutual1,mutual2,mutual3,mutual4,mutual5}. ロボットとのコミュニケーションから人が受ける影響について研究されている中で, さまざまなコミュニケーションロボットが提案されており¥cite{crsugg1,crsugg2,crsugg3}, その中にはロボットと人の距離や空間配置に注目した研究事例が存在するが, 人がストレスや邪魔さを感じないようなロボットのシステム提案など, 人間側の快適な距離感を扱うものがほとんどである. そこで本研究では, ロボット側の快適な距離感に注目し, ロボットが快適と感じる距離を暗に主張することで, パーソナルスペースを感じ取れるコミュニケーションロボットを提案する. ロボットのふるまいや人に近づく際の距離や速度

の違いによって、ロボットの持っているパーソナルスペースを感じ取ってもらうことを狙った。また、人がロボットのパーソナルスペース内に侵入したとき、ロボットが持っている感情に応じたふるまいを行う。ロボットが自身の感情に応じたふるまいをすることにより、自身の持っているパーソナルスペースを強く主張できるとともに、ロボットにより親しみを持ってもらえると考えた。¥par

%%%

¥section{関連研究}

%%%

¥subsection{ロボットに対する対人距離}

人は他人に接近されると不快に感じるパーソナルスペースという空間を持っている。これは他人に近づいてほしくないという防衛的な距離であるが、この防衛機能がロボットとコミュニケーションを取る際にどのような影響を及ぼすのかを調査したさまざまな研究がある。¥par

神田らは、科学館の来場者が展示されているコミュニケーションロボットにどこまで近づくのか、またどの距離でどのような行動をするのかを観察した¥cite{study1}。その結果、ロボットの周囲に立ち止まる人はロボットからの距離が2mまでの範囲で見られたが、ロボットに話しかけるような行動は25m以内でのみ見られた。また、物理的な接触と会話の双方が生じるのは0.75m以内の場合であった。Hallが明らかにした対人距離の分類と同様に、人間とロボットとのコミュニケーションにおいても、相手との距離によって異なる相互作用が生じる可能性が示唆された¥cite{study2}。¥par

安本らは、人がロボットに対するときのパーソナルスペースの形状を明らかにした¥cite{crdis3}。実機ロボットを用いた実機実験とVRで作成したロボットを用いたVR実験のそれぞれにおいて、人がヒューマノイドロボットに対して感じるパーソナルスペースは人間に対して感じるパーソナルスペースと同じ形状をしており、その大きさはHallによる対人におけるパーソナルスペースの友人などにおける距離である個人距離の範囲に含まれることを明らかにした。実験参加者にとって実験に用いられたロボットが初対面であるにもかかわらず、個人距離まで近づいたロボットに不快感を感じなかった要因として、ロボットの外見が親しみやすくかわいらしいことや、身長が1.2mとすべての参加者よりもひとまわり小さかったことから、幼い子どものような印象を受けたからではないかと考えられる。また、ロボットが歩いた距離と人に近づくまでの時間がロボットに対するパーソナルスペースの感じ方に変化をもたらす可能性が示唆されたほか、実機とVRではパーソナルスペースの感じ方に違いがなかったことから、ロボットの印象評価実験をVRで行うことができることが示されている。¥par

Huttenrauchらの研究でも初対面の人以上に初対面のロボットに近づくことが確認された¥cite{study3}。この研究では、ロボットとの対話の際に過半数の実験参加者がHallによる対人におけるパーソナルスペースの個人距離や社会距離の範囲が快適な対話距離だと答えた一方で、40%の実験参加者は初対面であるにもかかわらず45cm以下の親密距離が好ましいと答えている。初対面の人間に対して必要とする防衛的な距離をロボットに対しては必要としない可能性が考えられる。¥par

Obaidらは、ロボットや人の姿勢が対人距離に与える影響について調査した¥cite{study4}。直立・着座した状態の人やロボットにもう一方が接近する実験を4条件について行った結果、人間はロボットが座っているときには対人距離を短く取る傾向があり、立ったまま接近されたときにはより多くのスペースを空けることを明らかにした。また、性別、身長、年齢の影響は有意な結果を

得られなかった一方で、過去にロボットとの交流経験があることや、ロボットに対する否定的な態度も対人距離に影響を与えることも明らかとしている。¥par

ロボットの接近による心理的影響に関する研究として中島らは、対面した移動ロボットが人間に接近する速度を変えた時の心理的影響を調べる実験を行った¥cite{crdis5,crdis6}。この実験では、実験参加者に「これ以上近づいて欲しくない」と感じた距離の申告と被験者の心拍数の変化から個体距離の導出を試みている。実験結果から、個体距離は個人によって差が大きいものの、移動速度に比例して大きくなる傾向がすべての実験参加者に共通して認められた。Horowitzの静物に対する接近実験では人だけでなく、無生物との間にも防衛的に働く固有の距離があり、この距離は人間に対してよりも脅威的でない無生物に対しての方が短いことを確認している¥cite{study5}。Horowitzの実験では静物に対して0.5mの距離を置いていたが、中島らの移動するロボットに対する被接近実験では、参加者はこれよりかなり大きな距離を取っている。また、中島らの調査では正面からの接近に限定されていたが、Dautenhahnらは正面から接近する場合に比べて角度をつけて接近した場合の方がロボットに対する恐怖感が少ないことを示唆している¥cite{study6}。

人間が自律移動するロボットと共存していくための一つの指標を提案することを目的に、自律移動するロボットが人間に対して邪魔さを感じさせない走行位置や移動方向を明らかにした研究がある。林田らによると、ロボットが体から離れるにしたがいロボットに対する邪魔さ感は低下するが、前方方向の邪魔さ感の低下率は低いことが示唆された¥cite{study7}。また、男性よりも女性の方が、ロボットが体から離れた地点においても邪魔さ感を高く感じていることが明らかとなった。¥par

¥subsection{ロボットの感情提示}

本研究ではロボットが快適と感じる距離を人に主張することで、パーソナルスペースを感じ取れるコミュニケーションロボットの作成を目的としている。ロボットのふるまいや人に近づく際の距離や速度の違いによって、ロボット自身の感情を提示しているが、他のさまざまな方法でもロボットの感情を提示できることが示唆されている。¥par

山内らは、ロボットの色彩輝度を動的に変化させることで、ロボットの感情を表現する新たな手法を提案している¥cite{emotion1,emotion2}。この研究では、感情を表現するための色と動きのパラメータを特定するために、24の感情を表現する色相値と点滅の周波数と波形を被験者に選択させた。その結果、色相値は怒りの赤、期待の琥珀、喜びの黄、信頼の緑、恐怖の紫、驚きの赤、悲しみの青、嫌悪の紫という基本的な感情の種類を表し、周波数が高く矩形の波形は激しい感情を表すことが分かった。¥par

ロボットと人が円滑にコミュニケーションを取るためには心理的な相互作用が必要であり、表情は本当の感情や気持ちを表すため、コミュニケーションにおいて非常に重要である。後藤らは、アンケートに基づいた人間の主観的な判断によって表情を生成する手法を開発し、自分自身の感情を考えて人とコミュニケーションを取るロボット「Ifbot」を提案している¥cite{emotion3}。Ifbotは表情を対応付けるために感情空間を生成し、自動連想ニューラルネットワークを適用することで感情空間を主観的に評価し、その結果に基づいた感情領域を用いることで、ロボットの感情的な表現を生成した。

%%
%%

¥section{システム}

¥section{実験}

%%%

¥subsection{実験の概要}

ロボットのふるまいや人に近づく際の距離・速度の違いによって、ロボットの持っているパーソナルスペースを感じ取ることができるのかを検証するために、20~23歳の男女24人(男性20人, 女性4人)を対象に実験を行った。実験は全部で3に分け、実験1ではロボットの移動速度と距離を伴う行動からロボットのパーソナルスペースを読み取ることができるかの検証を行う。次に、実験2ではロボットが人に近づく際の距離や移動速度の違いによってロボットのパーソナルスペースを読み取ることができるかの検証を行う。最後に、実験3ではロボットが人に近づいてきた後の行動の変化によってロボットのパーソナルスペースを読み取ることができるかの検証を行う。 ¥par

¥subsection{実験の仮説}

¥begin{itemize}

¥item ロボットのふるまいや移動速度, 距離の違いによって, ロボットの持っているパーソナルスペースを感じ取ることができる

¥item ロボットのふるまいや移動速度, 距離の違いによって, ロボットの感情を読み取ることができる

¥item ロボットが持っているパーソナルスペースの大きさと, 人がロボットに対して感じているパーソナルスペースの大きさが一致すると, ロボットにより親しみを感じる

¥end{itemize}

¥subsection{実験の条件}

実験1では、ロボットの移動速度と距離を伴う行動の違いは、人が知覚するロボットのパーソナルスペースにどのような影響を与えるのかを調査するために以下の要因を2つ設定し、2要因4条件の被験者内実験計画を実施した。 ¥par

¥begin{enumerate}

¥item[a)] 移動速度要因A(A1: 素早く移動する, A2: ゆっくり移動する)

¥item[b)] 行動要因B(B1: 喜んで被験者に15cmの距離まで近づく, B2: 嫌がって被験者から80cmの距離まで離れていく)

¥end{enumerate}

実験2では、ロボットが人に近づく際の距離や移動速度の違いは、人が知覚するロボットのパーソナルスペースにどのような影響を与えるのかを調査するために以下の要因を2つ設定し、2要因4条件の被験者内実験計画を実施した。 ¥par

¥begin{enumerate}

¥item[a)] 距離要因A(A1: 個人距離(50cm)まで近づいて様子見をした後に再度直進する, A2: 密接距離(25cm)まで近づいて様子見をした後に再度直進する)

¥item[b)] 移動速度要因B(B1: 素早く移動する, B2: ゆっくり移動する)

¥end{enumerate}

実験3では、人に近づいた後のロボットの行動の変化が人の知覚するロボットのパーソナルスペースに与える影響に焦点を当て、以下の要因を2つ設定し、2要因6条件の被験者内実験計画を実施した。 ¥par

¥begin{enumerate}

¥item[a)] 距離要因A(A1: 個人距離(50cm)まで近づいて様子見をした後に再行動を取る, A2: 密接距離(25cm)まで近づいて様子見をした後に再行動を取る)

¥item[b)] 行動要因B (B1: 停止する, B2: 再度参加者に向かって進む, B3: 参加者とは反対の方向に進む)
¥end{enumerate}

¥subsection{実験の手順}

まず初めに, ロボットは感情を持っており, 実験参加者がロボットのパーソナルスペース内に侵入すると, ロボットは自身の持っている感情に伴う行動を取ることを実験参加者に伝えた. 実験の説明が終了すると実験へと移り, 参加者は実験1の4試行に取り組み, 続いて実験2の4試行, 実験3の6試行に取り組んだ. なお, 実験条件の提示順はラテン方各法に基づいてカウンタバランスを考慮して決定している. 各試行が終了し, ロボットが停止した時点で実験ごとに設定した各種評価項目に答えてもらった. ¥par

各実験の具体的な手順について説明する. まず実験1では, 参加者はロボットから150cm離れた位置に直立する. 実験開始の合図を受けると, 参加者は机の上で静止しているロボットに向かって真っ直ぐに進み, ロボットのパーソナルスペース内に侵入し, ロボットが行動を取り始めた時点で静止する. パーソナルスペースを侵害されたロボットは, 2要因4条件を組み合わせた行動をする. ロボットが行動を取り終わり静止した後に設定した評価項目の解答を求めた. これを実験条件分繰り返し行った. ¥par

実験2と実験3では, ロボットから100cm離れた位置に静止してもらい実験を開始した. その後, ロボットは直立している参加者に向かって直進し, 各実験条件を組み合わせた行動を取る. ロボットが行動を取り終わり停止した後に各種評価項目の解答を求めた. これを実験条件分繰り返し行った. ¥par

¥subsection{評価項目}

実験1では, ロボットのふるまいから推測できるロボットの感情に対する印象(Q1, Q2)とロボットとの距離感に対する印象(Q3), ロボットから感じた親しみに対する印象(Q4)に関する評価項目を設け, Q5ではロボットが持っているパーソナルスペースの大きさを推測してもらい, 両手を広げた幅でパーソナルスペースの大きさを表現してもらった. Q1-Q4の設問に関しては, 感覚尺度として評価値を用いるために, VAS法¥cite{vas1, vas2}に基づき評価項目に当てはまる度合いを0-99(0:まったく当てはまらない, 50:どちらでもない, 99:非常に当てはまる)の100段階で求めた. 以下に実験1における評価項目を記載する. ¥par

¥begin{enumerate}

¥item[Q1] ロボットは近づかれることを喜んでいた

¥item[Q2] ロボットの性格は社交的だった

¥item[Q3] ロボットとの距離は適切だった

¥item[Q4] ロボットに親しみを感じた

¥item[Q5] ロボットのパーソナルスペースとして, どのくらいの距離を心地よく感じていたと思いますか. 自分から何センチくらいかを教えてください。

¥end{enumerate}

実験2と実験3では, ロボットの感情に対する印象(Q1, Q4)とロボットの性格に対する印象(Q2), ロボットとの距離感に対する印象(Q3)に関する評価項目を設け, 実験1と同様に, Q5ではロボットが持っているパーソナルスペースの大きさを推測してもらった. Q1-Q4の設問はVAS法に基づき100段階で求めている. 以下に実験2と実験3における評価項目を記載する. ¥par

¥begin{enumerate}

¥item[Q1] ロボットはあなたのことを好いている

¥item[Q2] ロボットのことを礼儀正しいと感じた

¥item[Q3] ロボットとの距離は適切だった

¥item[Q4] ロボットは、ロボットの持っている感情パラメータとあえて異なる行動を見せたように感じた

¥item[Q5] ロボットのパーソナルスペースとして、どのくらいの距離を心地よく感じていたと思いますか。自分から何センチくらいかを教えてください。

¥end{enumerate}

¥begin{figure}[h]

¥begin{center}

¥includegraphics[width=70mm]{IMG_0431.jpeg}

¥caption{実験時の様子}

¥label{fig3}

¥end{center}

¥end{figure}

¥begin{figure}[t]

¥begin{center}

¥includegraphics[width=70mm]{IMG_0436.jpeg}

¥caption{ロボットのパーソナルスペースを推測している様子}

¥label{fig4}

¥end{center}

¥end{figure}

¥subsection{実験結果}

実験により得られた各アンケート結果に対して、有意水準 $\alpha=0.05$ で分散分析を行った。表1に分散分析の結果を、図～に各アンケート項目の平均値および標準偏差を示す。¥par

実験1の結果より、ロボットの感情に対する印象(Q1, Q2, Q4)では、Q1, Q2, Q4のいずれも要因Aでは有意差が見られず、また交互作用も確認できなかった。よって、ロボットの移動速度からロボットの持っている感情や性格を読み取ることはできないことが示唆された。一方で、要因Bではいずれの項目でも有意差が見られた。いずれの項目も $B_1 \neq B_2$ であることから、ロボットの近づく・離れるという距離感を伴う行動から、ロボットの持っている感情や性格は感じ取ることができ、近づくされるとロボットが喜んでいと感じるということが示唆された。ロボットとの距離感に対する印象(Q3)では、要因Bでは有意差が確認され、 $B_1 \neq B_2$ であることから、ロボットの距離の変化を伴う移動は参加者の自覚する距離感に影響し、素早く移動するとより距離が適切だと感じるということが示唆された。一方で、要因Aでは有意差が見られなかったことから、ロボットの移動速度は人の距離感に影響を与えない可能性が示唆された。ロボットから感じた親しみに対する印象(Q4)では、ロボットが離れていく場合よりもロボットが近づいてきた場合の方がロボットに親しみを感じるということが示唆された。一方で、要因Aには有意差が確認されなかったため、ロボットの親しみやすさにおいてロボットの移動速度はそれほど関係がないことが示唆された。Q5では要因Bで有意差が確認され、 $B_1 \neq B_2$ であることから、ロボットが離れていく場合よりもロボットが近づいてくる場合の方が、人はロボットの持っているパーソナルスペースは小さいと感じ取ることが示唆された。しかし、ロボットの移動速度要因においては有意差は確認されず、ロボットの移動速度の差異からはロボットのパーソナルスペースを感じ取ることができないことが示唆された。いずれの評価項目においても要因Aでは有意差が確認されなかったことから、ロボットの移動速度がロボットの印象に与える影響は少ないと考えられる。¥par

実験2の結果より、ロボットの感情に対する印象(Q1, Q4)では、Q1, Q4のいずれも要因Aでは有意差が見られた。Q1では $A2 > A1$ が確認でき、ロボットとの距離が近いほど好意を持っていると示唆された。Q4では $A1 > A2$ が確認でき、ロボットとの距離が遠い場合では、距離が近い場合よりもロボットが本心で近づいていると感じない可能性が示唆された。一方で、要因Bでは有意差は見られず、また交互作用も確認できなかった。このことから、ロボットの移動速度は、ロボットの感情を推測するための判断材料にはなり得ないことが示唆される。ロボットの性格に対する印象(Q2)では、要因A要因Bともに有意差は見られず、ロボットとの距離と近づく速度からはロボットの礼儀正しさを読み取ることは難しいことが示唆された。ロボットとの距離感に対する印象(Q3)では、要因Aでは有意差が確認できなかった一方で、要因Bには有意差が見られたことから、ロボットの移動速度の違いが参加者の自覚する距離感に影響したことが示唆される。これは、実験1のQ3とは反対の結果となっている。また、交互作用も見られ、B2のときに $A2 > A1$ が有意であること、A1のときに $B1 > B2$ が有意であることが示された。つまり、ロボットの移動速度が遅い場合は密接に近づかれると距離が適切だと感じる傾向があり、密接に近づかれた場合は素早く移動すると距離が適切だと感じる傾向があることが示唆される。Q5では、要因A要因Bともに有意差は見られず、ロボットとの距離と近づく速度はロボットのパーソナルスペースを読み取る判断材料になり得ないことが示唆された。¥par

実験3の結果より、ロボットのふるまいから推測できるロボットの感情に対する印象(Q1, Q4)では、Q1, Q4のいずれも要因Aでは有意差が見られた。Q1ではB1とB3で $A2 > A1$ が確認でき、Q4では要因Bのすべてで $A2 > A1$ が確認できた。これは、ロボットが人に近づいた後にその場で停止する場合と人から離れていく場合では、再移動前に個人距離まで近づいた場合よりも密接距離まで近づいた場合でよりロボットに好かれていると感じると同時に、ロボットが本音を隠していると感じることを示唆している。一方で、再度参加者に向かって進んだときは、参加者の知覚するロボットの好意に与えた影響は少なかった可能性がある。また、Q1では要因Bでも有意差が見られ、A1とA2ともに $B2 > B1$ 、 $B3 > B1$ が確認できたことから、ロボットが離れていく場合よりもロボットが近づいてきた場合の方が、ロボットに好かれていると感じることが示唆される。ロボットの性格に対する印象(Q2)では、要因Aで有意差は見られず、ロボットとの距離からはロボットの礼儀正しさは読み取れないことが示唆された。しかし、要因Bでは有意差が見られ、 $B2 > B1$, $B3 > B1$ であることから、ロボットが再度近づいてくるとロボットに礼儀正しさを感じることを示唆される。ロボットとの距離感に対する印象(Q3)では、要因A要因Bともに有意差が見られ、ロボットとの距離や近づいた後の行動が参加者の知覚するロボットとの距離感に影響を与えた可能性を示唆している。交互作用も見られ、B1とB3では $A2 > A1$, A1では $B2 > B1$, $B3 > B1$, A2では $B2 > B1$, $B3 > B1$ であることが確認でき、近づいた後にさらにそれ以上近づいてこないときは密接距離よりも個人距離の方が適切だと感じ、停止する場合や離れていく場合よりもさらに近づいてくる場合の方がより距離感が適切だと感じることを示唆された。Q5では要因A要因Bともに有意差が見られ、ロボットとの距離や近づいた後の行動からロボットのパーソナルスペースを読み取ることができる可能性が示唆された。交互作用も見られ、B1とB3では $A1 > A2$ が確認でき、近づいた後にさらにそれ以上近づいてこないときは、再移動前に個人距離まで近づいた場合と密接距離まで近づいた場合では前者の方がロボットのパーソナルスペースを大きく感じることを示唆している。また、A1では $B3 > B1$, $B2 > B1$, A2では $B3 > B2$ が確認できた。これは、個人距離では離れる、その場で停止する、近づくの順にロボットのパーソナルスペースが大きいと感じ、密接距離では離れる、近づくの順にロボットのパーソナルスペースが大きいと感じることを示唆している。密接距離ではその場で停止する、近づくの間に有意差はなかった。

%%
%%

¥section*{考察}

%%%

ロボットの感情に対する印象では、いずれの実験でもロボットの移動速度要因に有意差が見られなかったことから、ロボットの移動速度の違いがロボットの感情に対する印象に与える影響は少ない可能性が示唆された。一方で、行動要因や距離要因に有意差が見られたことから、ロボットと人の距離やロボットの行動の違いがロボットの感情を読み取るための判断材料になっていることを示唆しており、ロボットの感情表現にはロボットの行動や人との距離感が重要になっている可能性がある。ロボットの性格に対する印象では、距離要因と速度要因に有意差が見られず、ロボットとの距離と近づく速度からはロボットの性格を読み取ることは難しい可能性が示唆された。しかし、実験3の行動要因では有意差が見られたため、ロボットの性格を読み取るにはロボットの行動が重要である可能性が示唆された。ロボットとの距離感に対する印象では、それぞれの実験で異なる結果となった。実験1ではロボットの行動要因で有意差が見られた一方で、移動速度要因では有意差が見られなかった。しかし、実験2では移動速度要因に有意差が見られ、ロボットの移動速度が人の知覚するロボットの距離感に影響を与えるという結果となった。実験1と実験2で異なる結果となったの理由として、ロボットが人に近づく場合と人がロボットに近づく場合では異なる相互作用が働いた可能性がある。実験3では、ロボットの行動要因と距離要因ともに有意差が見られ、ロボットとの距離感を形成する要素にロボットの行動と距離が重要な部分を占めている可能性がある。また、いずれの実験アンケートでも最後にロボットのパーソナルスペースを推測してもらった。いずれの実験でも移動速度要因に有意差が見られず、ロボットの移動速度の変化が被験者の知覚するロボットのパーソナルスペースに与えた影響は少ないと考えられる。一方で行動要因と距離要因では有意差が見られたことから、被験者はロボットが近づいてくる距離と行動からロボットのパーソナルスペースを推測したと考えられる。

%%%

¥section*{おわりに}

%%%

本研究では、ロボット側の快適な距離感に注目し、ロボットが人間に適切な距離感を暗に主張することを目的としたパーソナルスペースを感じ取れるロボットの提案を行った。ロボットのふるまいや人に近づく際の距離や移動速度の違いによってロボットのパーソナルスペースを感じ取ってもらうことを狙った。検証の結果、ロボットの感情的なふるまいや近づく際の距離の違いによってロボットの持っているパーソナルスペースを感じ取れることができる可能性が示唆された。さらに、本実験ではロボットの移動速度からはロボットのパーソナルスペースを感じ取ることはできなかったが、ロボットの移動速度はユーザのロボットに対する距離感に影響した可能性が示唆された。これらの結果に基づき、今後はロボットの持っているパーソナルスペースをより伝えやすい行動や移動方法、距離感について検討したい。また、本研究ではロボットと被験者は直面した状態でのみ検証を行ったが、対面以外の方向で接近する場合の検証も行うことで、より快適なロボットと人の距離感について模索したいと考えている。

¥begin{table*}[p]

¥centering

¥caption{実験1の分散分析表}

¥label{table1}

¥scalebox{0.8}{

¥begin{tabular}{||||||llc}

¥hline

```

¥multicolumn{2}{|l|}{アンケート} & A & & B & & AB & & ¥multicolumn{1}{|l|} {} ¥¥ ¥hline
& & ¥multicolumn{1}{|l|}{F} & p & ¥multicolumn{1}{|l|}{F} & p & ¥multicolumn{1}{|l|}{F} &
¥multicolumn{1}{|l|}{p} & ¥multicolumn{1}{|l|}{交互作用の単純主効果} ¥¥ ¥hline
Q1 & ロボットは近づかれることを喜んでいて & ¥multicolumn{1}{c|}{0.193} & 0.6645 &
¥multicolumn{1}{|l|}{119.163} & 0.0001 * & ¥multicolumn{1}{|l|}{1.546} &
¥multicolumn{1}{|l|}{0.2262} & なし ¥¥ ¥hline
Q2 & ロボットの性格は社交的だった & ¥multicolumn{1}{|l|}{0.070} & 0.7934 &
¥multicolumn{1}{|l|}{105.892} & 0.0001 * & ¥multicolumn{1}{|l|}{0.661} &
¥multicolumn{1}{|l|}{0.4247} & なし ¥¥ ¥hline
Q3 & ロボットとの距離は適切だった & ¥multicolumn{1}{|l|}{0.798} & 0.3809 &
¥multicolumn{1}{|l|}{16.766} & 0.0004 * & ¥multicolumn{1}{|l|}{1.411} &
¥multicolumn{1}{|l|}{0.2470} & なし ¥¥ ¥hline
Q4 & ロボットに親しみを感じた & ¥multicolumn{1}{|l|}{0.016} & 0.9009 &
¥multicolumn{1}{|l|}{88.007} & 0.0001 * & ¥multicolumn{1}{|l|}{0.690} &
¥multicolumn{1}{|l|}{0.4148} & なし ¥¥ ¥hline
Q5 & ¥begin{tabular}{c|@{}@{}}ロボットのパーソナルスペースとして, ¥¥ どのくらいの距離を
心地よく感じていたと思いますか。¥¥ 自分から何センチくらいかを教えてください。¥end{tabular}
& ¥multicolumn{1}{|l|}{0.565} & 0.4600 & ¥multicolumn{1}{|l|}{72.995} & 0.0001 * &
¥multicolumn{1}{|l|}{1.017} & ¥multicolumn{1}{|l|}{0.3237} & なし ¥¥ ¥hline
¥end{tabular}
}
¥end{table*}

```

```

¥begin{table*}[p]
¥centering
¥caption{実験2の分散分析表}
¥label{table2}
¥scalebox{0.8}{
¥begin{tabular}{|l|l|l|l|l|c|}
¥hline
¥multicolumn{2}{|l|}{アンケート} & A & & B & & AB & & ¥multicolumn{1}{|l|} {} ¥¥ ¥hline
& & ¥multicolumn{1}{|l|}{F} & p & ¥multicolumn{1}{|l|}{F} & p & ¥multicolumn{1}{|l|}{F} &
¥multicolumn{1}{|l|}{p} & ¥multicolumn{1}{|l|}{交互作用の単純主効果} ¥¥ ¥hline
Q1 & ロボットはあなたのことを好いている & ¥multicolumn{1}{c|}{6.449} & 0.0183 * &
¥multicolumn{1}{|l|}{1.595} & 0.2193 & ¥multicolumn{1}{|l|}{1.826} &
¥multicolumn{1}{|l|}{0.1897} & なし ¥¥ ¥hline
Q2 & ロボットのことを礼儀正しいと感じた & ¥multicolumn{1}{|l|}{0.495} & 0.4887 &
¥multicolumn{1}{|l|}{1.292} & 0.2673 & ¥multicolumn{1}{|l|}{0.011} &
¥multicolumn{1}{|l|}{0.9161} & なし ¥¥ ¥hline
Q3 & ロボットとの距離は適切だった & ¥multicolumn{1}{|l|}{1.116} & 0.3018 &
¥multicolumn{1}{|l|}{4.871} & 0.0376 * & ¥multicolumn{1}{|l|}{5.227} &
¥multicolumn{1}{|l|}{0.0318 *} & A(b2), B(a1) ¥¥ ¥hline
Q4 & ¥begin{tabular}{c|@{}@{}}ロボットは, ロボットの持っている感情パラメータと¥¥ あえて異
なる行動を見せたように感じた¥end{tabular} & ¥multicolumn{1}{|l|}{7.172} & 0.0134 * &
¥multicolumn{1}{|l|}{1.095} & 0.3063 & ¥multicolumn{1}{|l|}{0.042} &
¥multicolumn{1}{|l|}{0.8385} & なし ¥¥ ¥hline
Q5 & ¥begin{tabular}{c|@{}@{}}ロボットのパーソナルスペースとして, ¥¥ どのくらいの距離を
心地よく感じていたと思いますか。¥¥ 自分から何センチくらいかを教えてください。¥end{tabular}

```

```

& ¥multicolumn{1}{l}{1.251} & 0.2749 & ¥multicolumn{1}{l}{0.414} & 0.5265 &
¥multicolumn{1}{l}{0.739} & ¥multicolumn{1}{l}{0.3989} & なし ¥¥ ¥hline
¥end{tabular}
}
¥end{table*}

```

```

¥begin{table*}[p]
¥centering
¥caption{実験3の分散分析表}
¥label{table3}
¥scalebox{0.75}{
¥begin{tabular}{lllllllc}
¥hline
¥multicolumn{2}{l}{アンケート} & A & & B & & AB & & ¥multicolumn{1}{l}{} ¥¥ ¥hline
& & ¥multicolumn{1}{l}{F} & p & ¥multicolumn{1}{l}{F} & p & ¥multicolumn{1}{l}{F} &
¥multicolumn{1}{l}{p} & ¥multicolumn{1}{l}{交互作用の単純主効果} ¥¥ ¥hline
Q1 & ロボットはあなたのことを好いている & ¥multicolumn{1}{c}{17.627} & 0.0003 * &
¥multicolumn{1}{l}{22.982} & 0.0001 * & ¥multicolumn{1}{l}{4.370} &
¥multicolumn{1}{l}{0.0183 *} & A(b1), A(b3), B(a1), B(a2) ¥¥ ¥hline
Q2 & ロボットのことを礼儀正しいと感じた & ¥multicolumn{1}{l}{0.262} & 0.6137 &
¥multicolumn{1}{l}{18.096} & 0.0001 * & ¥multicolumn{1}{l}{1.749} &
¥multicolumn{1}{l}{0.1854} & なし ¥¥ ¥hline
Q3 & ロボットとの距離は適切だった & ¥multicolumn{1}{l}{20.349} & 0.0002 * &
¥multicolumn{1}{l}{47.928} & 0.0001 * & ¥multicolumn{1}{l}{8.434} &
¥multicolumn{1}{l}{0.0008 *} & A(b1), A(b3), B(a1), B(a2) ¥¥ ¥hline
Q4 & ¥begin{tabular}{c}{@{}@{}}ロボットは、ロボットの持っている感情パラメータと¥¥ あえて異
なる行動を見せたように感じた¥end{tabular} & ¥multicolumn{1}{l}{6.337} & 0.0192 * &
¥multicolumn{1}{l}{0.143} & 0.8671 & ¥multicolumn{1}{l}{2.212} &
¥multicolumn{1}{l}{0.1210} & なし ¥¥ ¥hline
Q5 & ¥begin{tabular}{c}{@{}@{}}ロボットのパーソナルスペースとして、¥¥ どのくらいの距離を
心地よく感じていたと思いますか。¥¥ 自分から何センチくらいかを教えてください。¥end{tabular}
& ¥multicolumn{1}{l}{22.449} & 0.0001 * & ¥multicolumn{1}{l}{14.214} & 0.0001 * &
¥multicolumn{1}{l}{9.127} & ¥multicolumn{1}{l}{0.0005 *} & A(b1), A(b3), B(a1), B(a2) ¥¥
¥hline
¥end{tabular}
}
¥end{table*}

```

```

¥begin{figure*}[t]
¥centering
¥label{result1}
¥includegraphics[scale=0.7]{fig1.png}
¥caption{実験1のVAS平均と標準偏差}
¥end{figure*}

```

```

¥begin{figure*}[t]
¥centering

```

```
¥label{result1}
¥includegraphics[scale=0.7]{fig2.png}
¥caption{実験2のVAS平均と標準偏差}
¥end{figure*}
```

```
¥begin{figure*}[p]
¥centering
¥label{result1}
¥includegraphics[scale=0.7]{fig3.png}
¥caption{実験3のVAS平均と標準偏差}
¥end{figure*}
```

%%%

¥section*{謝辞}

%%%

本研究を進めるにあたって，ご指導，ご鞭撻いただいた，関西大学総合情報学部米澤朋子教授，米澤ゼミの皆様，実験に協力いただいた皆様に深く感謝致します．また，論文の作成にあたり，参考にさせていただいた論文の著者の皆様に深く感謝いたします．

%%%

% 参考文献

%%%

%bibtex利用(ここから)

¥bibliography{hoge}

¥bibliographystyle{junsrt}

%bibtex利用(ここまで)

%%%

%%%

%%%

% 著者紹介

%%%

%¥profileの後の括弧には，m:正会員，s:学生会員，n:非会員のいずれかを入れてください．

¥end{document}