

語彙の引き込み： ロボットは人間の語彙を引き込めるか？

飯尾 尊 優^{†1,†2} 塩見 昌 裕^{†2} 篠 沢 一 彦^{†2}
宮 下 敬 宏^{†2} 秋 本 高 明^{†2}
下 原 勝 憲^{†1} 萩 田 紀 博^{†2}

本研究では、人間とロボットの円滑な対話を実現するために、人間とロボットの言語的なインタラクションに注目する。これまで、ヒューマンロボットインタラクションの分野では、擬人的な身体を利用した非言語的なインタラクションに関する研究がさかんに行われてきた。こうした研究は、人間とロボットの間に、身体動作の引き込みのような同調現象が発生することを明らかにしてきた。一方、言語的なインタラクションにおいては、このような同調現象は報告されていない。そこで本稿では、ヒューマンコンピュータインタラクションで観測されている語彙の引き込み現象に関する知見を基に、ヒューマンロボットインタラクションにおける語彙の引き込みについて検討を試みる。語彙の引き込みとは、ある人間が対話をしているとき、その人間の使用する語が対話の相手の使用する語に引き込まれるという現象である。我々は、ヒューマンロボットインタラクションに特有な語彙の引き込み現象を見出すため、人間とロボットが環境中の物体についての対話を行うという状況を設定し、インタラクション評価実験を行った。その結果、ロボットは、人間の発話で使用される語彙を、自分の使用する語彙に引き込めることが明らかになった。この語彙の引き込みは、ロボットの効率的な音声認識を支援するための対話設計に応用可能だと考えている。

Lexical Entrainment in Human-Robot Interaction: Can Robots Entrain Human Vocabulary?

TAKAMASA IIO,^{†1,†2} MASAHIRO SHIOMI,^{†2}
KAZUHIKO SHINOZAWA,^{†2} TAKAHIRO MIYASHITA,^{†2}
TAKAAKI AKIMOTO,^{†2} KATSUNORI SHIMOHARA^{†1}
and NORIHIRO HAGITA^{†2}

In this paper, we focus on interaction of verbal information between a human

and a robot. Many studies discuss an importance of non-verbal interaction, for it provides us a smooth communication with a robot. However, after all, what we use to convey our meaning is verbal information, and so we believe that consideration for this verbal interaction is also as important for achievement of the smooth communication as the non-verbal interaction. This paper discusses lexical entrainment in human-robot interaction, which is a phenomenon that people are likely to adopt terms of their partners in dialogue. While the phenomenon has been more studied in human-computer interaction, few studies have been in human-robot interaction. To find lexical entrainment peculiar to human-robot interaction, we exhibited situations where a human and a robot have a dialogue about objects in an environment, and conducted verification and evaluation experiments for lexical entrainment in human-robot interaction. As the results, we revealed that lexical entrainment occurred in human-robot interaction and measured how often it occurred in several situations. We expect that our approach enables robots to improve performance of recognition of an indicated object.

1. はじめに

少子高齢化や単身生活者世帯の増加などの社会的背景を受けて、家事・雑事などの単純作業を支援する日常支援型ロボットの研究がさかんにになっている¹⁾。特に近年は、どのようにロボットが振る舞えば、効果的なサービス提供ができるか、というヒューマンロボットインタラクション(HRI)に焦点を当てた研究が多い²⁾⁻⁶⁾。神田らは、アイコンタクトや腕の動きの同調といった協調的動作を使って、道案内をするロボットシステムを構築し、身体動作や発話を行わない場合に比べて、人間の話し手の信頼感や共感に関する主観評価を向上させることを明らかにした²⁾。また杉山らは、複数の物体が存在する環境で、ロボットが対話相手の注意を目的の物体に誘導するための3段階注意誘導モデルを提案している³⁾。

これまで、HRIの分野では、ロボットの持つ擬人的な身体を利用した非言語的なインタラクションに注目した研究が多く行われてきた。なかでも興味深いのが、ロボットによる人間の身体動作の引き込み現象である⁷⁾⁻¹⁰⁾。Onoらはガイドロボットと人間のインタラクションにおいて、指差し動作の引き込みが起きたことを報告している⁷⁾。また、Ogawaらは人間の対話にうなずきを同調させるロボットを開発し、人間と対話させたところ、相手の

†1 同志社大学大学院工学研究科

Graduate School of Science and Engineering, Doshisha University

†2 ATR 知能ロボティクス研究所

ATR Intelligent Robotics and Communication Laboratories

うなずき動作を引き込むことに成功した⁸⁾。駒込らは RobotMeme という概念を提案し、ロボットから発せられた状況的振舞いが、人間にとっても合理的であるならば、それは人間に模倣され、周辺にも伝播しうること示した⁹⁾。この模倣も一種の引き込みと考えられる。このような非言語的なインタラクションにおける同調現象は、人間とロボットの間一体感を創出させ、インタラクションを円滑にする効果をもたらすと考えられる。

本研究では、人間とロボットの言語的なインタラクションに注目する。言語的なインタラクションもまた、非言語的なインタラクションと同様に、HRI の基盤であり、明示的な意図の伝達に不可欠な要素である。言語的なインタラクションに関する研究では、ロボットの音声認識を向上させるための新たなデバイスやアルゴリズムの開発に焦点が当てられてきた。しかしながら、我々の関心は、前述した非言語的なインタラクションで観測された同調現象が、言語的なインタラクションでも起きるかということにある。つまり、ロボットの動作が人間の動作を導くように、ロボットの発話が人間の発話を導くような現象について明らかにしたいと考えている。このような音声対話における引き込み現象は、ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI) では、語彙の引き込み現象として研究されてきたが、HRI ではあまり研究されていない。

そこで、本稿では人間とロボットの対話の分析を通して、語彙の引き込み現象について論じる。具体的には、HCI における語彙の引き込み現象の知見を基に、人間が身体構造を持つロボットに対して、環境中の物体を指示するという、HRI 特有の場面を設定した。そして、そこで起こりうる語彙の引き込みについて、仮説を立て、その検証実験を行った。さらに、いくつかの日常的に起こりうる状況で、どの程度の引き込みが起きるのか調査した。最後に、これらの実験結果から、語彙の引き込みを利用した HRI における対話デザインの応用について論じる。

2. 語彙の引き込み

2.1 関連研究

人間の発話語彙は非常に多様であり、同じ物体や行為について言及するときも、人によって、その言い方は様々である。この人間の語彙のばらつきは、Vocabulary Problem (語彙の多様性問題) と呼ばれ、ソフトウェアのコマンド名や音声対話システムのインタフェースのデザインにとって大きな障害となってきた¹¹⁾。

この語彙の多様性を減らす現象として注目されたのが、語彙の引き込みであった^{12),13)}。Brennan らは、2 人の人間がある物体について対話を繰り返すとき、互いにその物体に対

して同じ語を使用するようになる、ということを示した。Brennan らはこの現象を Lexical Entrainment (語彙の引き込み) と呼び、相手との対話を通じて相互作用的に行われる「概念化の共有」により発生する現象だと解釈した¹²⁾。

概念化とは、ある対象に特定の語を割り当てる過程のことである。ある 1 冊の本を指示するときの対話を例にあげる。1 人が最初にその本を「ロボットの漫画」と呼んだとき、その話者から対話相手に対して「話題の対象となっている物体 = ロボットの漫画」という概念化が提案される。この概念化を相手が受け入れ、共有したときに、概念化の共有が起きる。Brennan らによれば、概念化の共有が起きると、その本をもっと単純な語 (e.g. 「ロボットの本」や「漫画」など) で指示できる場合でも、互いに共有された語を使用する傾向が高くなるという。

この語彙の引き込みを、「人間が対話相手と協調するために、その相手の使用する語を、自身の発話に採用する現象」というように、一方向的な作用も含む現象であると解釈¹⁴⁾すると、HCI では、多くの語彙の引き込みが観測されてきた^{*1}。Brennan はデータベースクエリタスクを使った Wizard-of-Oz 実験 (WoZ 実験) を行い、人間が対話相手のコンピュータの使用する語を使って発話しやすくなることを明らかにした¹⁵⁾。また Gustafson らは旅行情報を提供する音声対話システムを用いた WoZ 実験を行い、システムが一般的に使われない動詞を使って人間に質問したとき、人間がその動詞を使って回答する傾向が高くなったと報告している¹⁶⁾。さらに Tomko らによれば、音声対話システムが人間の入力を拒否したとき、人間はそのシステムが行う単純な確認の形式を真似て、入力し直す傾向があったという¹⁷⁾。これらの結果は、人間と同様に、コンピュータもまた対話相手の語彙を引き込める、ということを示している。

一方、HCI に比べると少ないが、HRI において対話に注目した研究もある¹⁸⁾。たとえば、ロボットが対話中に主導権をとり、人間の発話の種類を絞り込む手法や、人間の緊張を緩和させることで自然な言葉遣いを促す手法が提案されている^{19),20)}。また Shinozawa らは、対話によって人間の意思決定に影響を与える推薦ロボットについて報告している²¹⁾。しかしながら、HRI における語彙の引き込みについて研究した例はほとんどない。

2.2 物体指示インタラクションにおける語彙の引き込み

ロボットは身体的な構造を持ち、指さしや視線などの身体動作を使ったマルチモーダルな

*1 本稿では、語彙の引き込みというとき、この拡張された解釈を用いる。ただし、HCI における 1 方向的な語彙の引き込みを、人間同士の相互作用的な語彙の引き込みと区別している論文もある。たとえば、この 1 方向的な語彙の引き込みを、Brennan は「Convergence (収束)」、Tomko は「Shaping (成形)」と呼んでいる。

インタラクションが可能である。しかし、これまで人間同士や HCI で研究されてきた語彙の引き込みは、音声対話のみのシングルモーダルなインタラクションに限られていた。たとえば、人間同士の語彙の引き込みの研究でよく扱われる、図形マッチング¹²⁾も音声のみのインタラクションである。このインタラクションでは、2人の被験者が異なる順番に並べられた図形のマッチングを行う。このとき、2人の被験者が衝立を挟んで対面している状態で図形のマッチングを行うため、音声のみのインタラクションとなる。したがって、対面での身振りをともなったマルチモーダルなインタラクションにおいて、語彙の引き込みが起きうるかどうかはまだ明らかにされていない。したがって、HRI において語彙の引き込みを応用展開するためには、マルチモーダルなインタラクションにおける語彙の引き込みについて検討すべきだと考える。

音声のみのインタラクションの場合、伝える情報は言語的な情報に限定される。したがって、対話相手と協調するためには発話単語を合わせることが効率的である、ということが容易に推測できる。しかしながら、対面でのマルチモーダルなインタラクションの場合、指さしと指示代名詞を用いて、物体を参照することも可能となる。すなわち、複雑な言語表現を用いなくても物体を直接的に参照できるため、発話単語を合わせることによって、対話相手と協調する必要性は減少すると考えられる。これらのことから、身体動作による参照表現が可能となったマルチモーダルなインタラクションにおいて、語彙の引き込みが短期間で起こりうるかどうかということについては、疑問が残る。

そこで本研究では、これまで検証されてこなかった、人間とロボットとのマルチモーダルなインタラクションにおいて語彙の引き込みが起きうるかどうかを検証する。特に、人間が環境中に存在している物体をロボットに指示するという、物体指示インタラクションに焦点を当てる。なぜならば、指示された物体の認識は、人間とその人間の生活を支えるロボットとのインタラクションの基盤要素の1つであり、物体指示インタラクションにおける語彙の引き込みは、この指示された物体の認識に役立つと考えるためである。このような物体指示インタラクションにおいて、語彙の引き込みが起きうる条件を明確にし、さらにそれが再現可能であることを示すことができれば、今後の人間とロボットとのインタラクションに十分な有用性があると考えられる。

2.2.1 語彙の引き込みの種類

HRI における物体指示インタラクションで起きる語彙の引き込みには、次の2種類が考えられる。

- ロボットが使用した語を、指示発話の語に採用する。

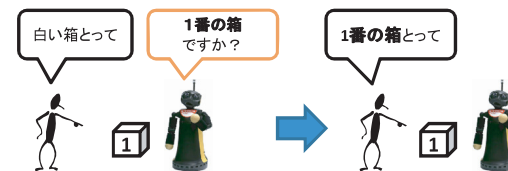


図1 特定語への引き込み

Fig. 1 Entrainment to a certain word.

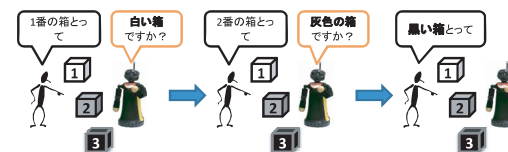


図2 特定カテゴリへの引き込み

Fig. 2 Entrainment to a certain category.

- ロボットが使用した語のカテゴリの中から、指示発話の語を選択する。

1つ目は、ロボットが物体 A に対して a という語を使用したという履歴を受けて、人間が物体 A を a という語で指示する、という引き込みを示している。図1に、この引き込みの例を示す。図1では、1番と書かれた白い箱をロボットが「1番の箱」と呼んだことで、人間もまた、最初は「白い箱」と指示したにもかかわらず、その箱を「1番の箱」と指示している様子を表している。

2つ目は、ロボットがいくつかの物体に対して、x というカテゴリに属する語を使用したという履歴を受けて、人間が他の物体もカテゴリ x に属する語で指示する、という引き込みを示している。具体的な例として、図2のように、人間から見て左から1, 2, 3と番号のつけられた白、灰色、黒の箱が並んでいる状況を考える。ロボットが1番の箱を「白い箱」、2番の箱を「灰色の箱」と呼んだとき、人間は、それまで別のカテゴリの語で箱を指示していたとしても、3番の箱を「黒い箱」と指示する傾向が増えるだろう。また同様に、ロボットが1番の箱を「あなたからみて左の箱」、2番の箱を「真ん中の箱」と呼べば、人間は3番の箱を「右の箱」と指示する傾向が増すと考えられる。

ここで、1つ目の引き込みを特定語への引き込み、2つ目の引き込みを特定カテゴリへの引き込みと呼ぶこととする。本研究では、これら2種類の語彙の引き込みが実際に起きるかどうかを検証する。

2.2.2 語彙の引き込みに影響を与える要素

HRI では人間、ロボット、指示対象となる物体が同一の環境に存在しているため、人間は、ロボットの音声情報以外に、ロボットの身体動作や物体の見た目、位置などの様々な情報にさらされることになる。以下に、HRI における物体指示インタラクションについて考慮すべき事柄をまとめる。

- ロボットの身体動作
 - － 身体動作があるか。
 - － その身体動作は物体を指示するのに関係のある動作か。
- 物体に関する情報の表記
 - － その物体に言語情報が記載されているか。
 - － その記載された情報は可読性の高い単純なものか。
- 物体の見た目
 - － 大きさ、形、色など目立つ特徴はあるか。
 - － その特徴は言語化しやすいか。
- 物体の位置
 - － 物体の周辺に別の物体はあるか。
 - － 指示する人間から見える位置にあるか。

ロボットの身体動作は、人間の指示発話の語彙を変化させる可能性がある。たとえば、ロボットが対話中に、物体に視線を向けたり、指をさしたりすると、ロボットによる身体動作の引き込みが発生し、指差しをともなった指示語が増えると推測できる。

物体に表記されている名称やその他の言語情報も、人間の指示発話に影響を与える。これらの情報はその物体の識別に役立つため、その記載内容をそのまま読み上げることで、その物体を指示することが多い。たとえば、本や CD を指示する際には、記載されている題名や著者、アーティスト名を使用する傾向がある。ただし、記載されている情報の可読性によって、この傾向は変化すると推測される。可読性は、記載情報の量、フォント、または使用言語などに影響される。たとえば、一般的な日本人にとって、英語で記載された情報は可読性が低い。その結果、簡単な単語で記載されている箇所を読みあげるか、記載情報以外の特徴を使って指示する傾向が高くなると考えられる。

一方で、上述したような、記載情報の可読性が低い物体や、机、椅子などのような、もともと言語情報が記載されていない物体では、その物体の大きさ、形、色などのうち、目立っていて、かつ言葉にしやすい特徴を使って指示する傾向が高くなるだろう。たとえば、複数

の机の中から 1 つを選択する場合、その色や大きさ、材質などを使って指示することが多いと考えられる。

言語情報や物体の特徴だけでなく、位置関係による指示もある。「ロボットから見て一番右の物体を取ってください」というような、人間、ロボットそして物体の相対的な位置関係を使った指示発話はしばしば起きうる。また、指示する人間から見える位置にある物体だけでなく、見えない位置にある物体を指示することも日常的にはありうる。たとえば、別の場所や棚の中などに片付けた物体をもう 1 度取ってくる、という状況が考えられる。このようなとき、人間は直接的にその物体の言語情報や特徴、位置関係を目視して把握することができないため、その記憶に残っている特徴のうち、確かだと思われるものを使って指示を行うであろう。

このように、物体指示のインタラクションでは、指示を聞くロボット、指示される物体、さらには指示する人間の主観が相互に関係し合うことで、様々な状況が起こりうる。本研究では、まず人間とロボットと指示対象物の空間を介したインタラクションにおける根本的な語彙の引き込みについて検討を試みる。そのため、ロボットの身体動作と語彙の引き込みの関係性について、細かく検証するよりはむしろ、語彙の引き込みが起こりにくいと推測される状況を設定し、その状況下で語彙の引き込みが起きうるかどうかを検証すべきだと考える。

物体の指示において、より基本的で、かつ引き込みが発生しにくいと考えられる状況を構成するために、次の 2 つの条件に注目する。

- 物体に可読性の高い言語情報が記載されている。
- 物体が、指示する人間から目視できる位置にある。

まず、物体の記載されている情報とその可読性が、指示発話の語彙の引き込みに与える影響について考察する。物体に言語情報が記載されており、かつその情報の可読性が高い場合には、そのままその記載情報を読み上げることで、指示する傾向が高いと予想される。Shinozawa らは、ロボットに本を持ってこようように指示するときに、人間はどのように指示するかを調査した¹⁸⁾。その結果、全体の指示のうち約半数が、本のタイトルを使った指示だったという。これは、人間が物体を指示するときは、色や大きさなどの非言語的な情報よりも、記載されているタイトルなどの、言語的な情報を利用する傾向が高いことを示唆している。したがって、物体に可読性の高い言語情報が記載されている場合には、その指示発話の語を別の語に変えることは難しいと考えられる。一方、物体に記載情報がない場合や、記載情報があっても、その可読性が低い場合には、指示の種類が多様になると予想される。

たとえば、何も情報が記載されていない複数の箱の中から、1つを選択する場合、箱の色や大きさなどの特徴を使って指示することができる。ほかにも、指示する人間と箱の位置関係や、指示代名詞と指さしを使った指示も可能である。このような状況における指示は、その物体によほど目立つ特徴がない限り、恣意的に行われる。恣意的に指示が行われる場合は、特定の語彙が使われる可能性は低くなり、その指示の種類はそのときの状況に応じて、容易に変化する。したがって、物体に可読性の高い情報が記載されていない場合には、可読性の低い情報が記載されている場合と比較して、その指示発話の語彙を引き込むことは、それほど困難ではないと考える。

次に、物体が目視できる位置にあるかどうか、指示発話の語彙の引き込みに与える影響について考察する。指示する物体がその場において、さらに目視できる場合、その物体の記載情報を読み上げたり、特長や位置関係を観察したりしながら、指示することができる。しかし、指示する物体がその場になく、目視できない場合、記載情報や物体の特徴、置いてあった場所などの情報を思い出し、その情報を使って指示することになる。その結果、物体が目視できる位置にある場合に比べ、その指示は、その人の記憶に左右された恣意的なものになる、ということが予想される。前述したように、恣意的な指示では、その指示の種類は変化しやすくなると考えられる。したがって、物体が目視できない位置にある場合には、目視できる位置にある場合と比較して、その指示発話の語彙を引き込むことは、それほど困難ではないと考える。

これらのことから、物体が目視できる位置にあり、可読性の高い言語情報が記載されている場合、すなわち、指示発話の語彙を引き込むことが困難な状況において、ロボットの発話による、人間の指示発話の語彙の引き込みが起きるとすれば、大部分の状況において、語彙の引き込みが起きうると考える。

2.3 仮説

本研究では、HRIでの物体指示インタラクションにおける語彙の引き込みについて、以下の仮説を設定する。

- 仮説1：物体に可読性の高い言語情報が記載されており、それが目視できる場合の指示でも、特定語への引き込みが起きる。
- 仮説2：物体に可読性の高い言語情報が記載されており、それが目視できる場合の指示でも、特定カテゴリへの引き込みが起きる。

前節で述べたとおり、物体に可読性の高い言語情報が記載されている場合、語彙の引き込みは発生しにくいと考えられる。そこで、この状況でも、特定語への引き込みと特定カテゴ

リへの引き込みが起きるかどうかを検証するために、仮説1と仮説2を設定した。

さらに本研究では、指示の語彙が多様になる状況での、語彙の引き込みの発生した割合についても検証する。実際の生活においては、言語情報が記載されていない物体や、記載されていても可読性が低い物体も多い。また、その場になく、目視できない物体を指示することもありうる。このような指示の語彙が多様になる状況で、どれくらいの割合で指示発話の語彙を引き込めるのかを知ることは、語彙の引き込みの有効な適用領域について議論するために重要である。言語情報の可読性は、その記載情報の量の多さ、フォントの見やすさ、または使用言語などに依存する。これらの要因のうち、量とフォントは人間の主観によるが、使用言語は客観的に扱うことができる。第1言語でない文字は読み上げられなくはないが、一般的に可読性は低いと考えられる。

次章で、これらの仮説を検証するために行った実験の概要を述べる。

3. 実験概要

我々は語彙の引き込みについて調査するために、WoZ法を使った人間とロボットのインタラクション実験を実施した。本章では、インタラクション実験のタスク内容、実験の手順、実験環境とオペレータの役割、ロボットの仕様について述べる。

3.1 実験設定

3.1.1 タスク

本実験では、実験環境中にある物体を移動するように被験者がロボットに指示を出す、というタスクを行った。ロボットはまず被験者に挨拶と自己紹介をした後、被験者にどの物体を移動させたいか尋ねた。被験者が物体を1つ選んだあと、ロボットはその物体の確認を行った。この確認は、その物体に視線を向け、指をさしながら、物体ごとに用意された確認用のセリフを発話するという方法で行われた。もし確認した物体が正しければ被験者は次の物体を指示し、そうでなければ再度同じ物体を指示した。図3にタスクを行う被験者とロボットを示す。

3.1.2 確認と語彙の引き込み

我々は、ロボットの確認を利用して、語彙の引き込みを起こすことを試みる。その理由は2つある。

1つ目は、HCIにおける語彙の引き込みの研究でも、コンピュータの確認を使って、語彙の引き込みを発生させていたということである^{15),17)}。これらの研究では、人間が情報検索システムをシミュレートしたコンピュータに質問を行い、コンピュータがその質問について



図3 実験の様子
Fig. 3 Images in the experiment.

表1 被験者とロボットの対話の例
Table 1 The dialogue example.

話者	対話
ロボット	本を指示して下さい。
被験者	じゃあ、あの雑誌取ってください
ロボット	あの赤い本ですか？
被験者	そうです。
ロボット	分かりました。次の本を指示して下さい。
被験者	うーん、じゃあその小説を取ってください。 (全ての本を選択するまでこのタスクが続く)

の確認を行うことで、次の人間の質問の語彙を変化させていた。

2つ目は、物体指示インタラクションにおいて、確認はごく自然な行為だということである。誰かがある物体を指示したときに、もう1人がその物体を相手に確認するという行為は、人間同士のインタラクションでもよく見られる。したがって、ロボットの確認によって、語彙の引き込みを発生させることができるとすれば、人間とロボットの対話の中に、語彙の引き込みを自然に導入することができると思う。

本研究では、被験者がロボットの確認に含まれる語を次の同じ物体の指示で採用したとき、語彙の引き込みが起きたと見なすこととする。

3.1.3 指示対象となる物体

本実験で用いる物体として、我々は本を採用した。本は一般的にどこの家庭にも置いてあるということ、そして様々な表現の方法（e.g. タイトル、著者、分類、表紙の色、大きさ、厚さ、置いてある場所など）があるということがその理由である。表1に本実験での被験者とロボットの対話の一例を示す。

3.2 手順

被験者はまず、実験の目的と手順の簡単な説明を受けた。実験の説明の後、被験者は実験同意書を読み、署名するように求められた。そして被験者は実験室に移動し、そこで実験のタスクについてより詳細な内容を教えられた。被験者には「私たちは人間が指示した物体を認識できるロボットを開発しています。今日はそのロボットの評価実験に参加してもらいます」と伝えた。すべての被験者に同じ教示がなされ、各実験での条件はランダムに割り当てられた。

3.3 環境

図4に本実験の環境を示す。実験は7.5m×10.0mの部屋の中で3.5m×3.5mの範囲で実施された。被験者はロボットの正面に座り、そこから本を指示した。本は図4に示すように被験者の周囲に配置された。

3.4 オペレータ

本実験では、自由な発話が可能で、被験者の指示発話がどのように変化するかということに焦点を当てている。しかし、現在の音声認識や画像認識技術では、被験者の音声を正確に聞き取ることや指差し動作を認識することが困難であり、実験を円滑に実施できない可能性がある。そこで、本実験では、現在の音声認識や指差し認識の技術の代わりに、人間のオペレータが被験者の指示を認識した。

オペレータは被験者の体に取り付けられたマイクから被験者の発話を聞き、ロボットの右後方に設置されたビデオカメラから被験者の身体動作を見ることができる。その発話と身体動作に基づいて、適切なロボットのモーションを再生する。オペレータは以下に示す3つの条件のうちどれか1つを満たす指示のみを認識し、それ以外の指示は拒否するようにした。具体的には、条件を満たす指示であった場合、オペレータはその指示された本に対する確認モーションを起動し、条件を満たす指示が出なかった場合は認識失敗モーションを起動した。これらのモーションの詳細は次節で説明する。このようにオペレータが認識できる指示を制限した理由は、この指示対象認識システムの自動化の実現を考慮に入れて、将来のロボットが実現できる範囲での認識を再現する目的があったためである。

- (1) 本のタイトルによる指示
- (2) 本の色による指示
- (3) 本を指差ししながらの指示

1番目の条件は、本のタイトルが本を一意に識別するのに最も有効な特徴である、という考えのもとに設定された。また正確なタイトルではなく、その一部の単語を使って指示した

ときも、本を一意に識別できる場合のみ、認識するようにした。たとえば、「歩く京都」という雑誌は「京都の本」という指示でも認識した。

2番目の条件は、将来ロボットが画像認識技術によって本の表紙の色を抽出できるようになるという仮定のもとに設定された。そのためオペレータは、被験者が各本の表紙の色で本を指示した場合も本を認識するようにした。ただし、同じ色を表す語でも、あらかじめ実験者が設定した語以外は認識しないようにした。たとえば、「灰色」の本に対して「ねずみ色」や「グレー」という語による指示は認識しないようにした。

3番目の条件もまた、2番目の条件と同様に、将来的には指差し認識が実現できる、という仮定の下で設定された。そのため、オペレータはビデオカメラの映像から、指差しによってどの本が指示されたのかを判断できれば、指示発話が上記の内容以外でも認識するようにした。

3.5 ヒューマノイドロボット

図5に、本実験で使用した Robovie-R ver.2 を示す。Robovie-R ver.2 は ATR の知的ロボティクス研究所で開発されたヒューマノイドロボットで、人間とのコミュニケーションのために、人間らしい上半身を持つ。Robovie-R ver.2 は頭部に目の代わりとなる2つの CCD カメラと口の代わりとなるスピーカを備えており、そのスピーカからは体内に内蔵された PC を経由して音声ファイルを再生することができる。頭部は3自由度、両腕はそれぞれ4自由度を持つ。この自由度によって人間らしいジェスチャを再現することが可能である。また独立2輪駆動型台車によって前後移動や回転移動も可能である。身長 1,100 mm、幅 560 mm、奥行き 500 mm で体重は 57 kg である。

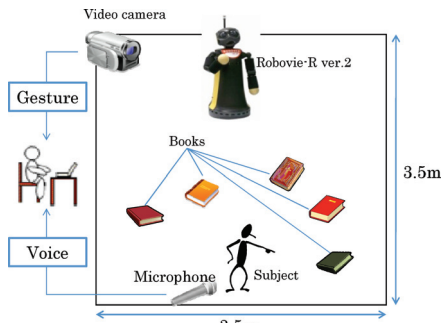


図4 実験環境

Fig. 4 The environment of the experiment.



図5 Robovie-R ver.2
Fig. 5 Robovie-R ver.2.

我々は ATR-Robotics 社の “Robovie-Maker” を使って Robovie-R ver.2 のモーションを作成した。作成したモーションを以下に示す：

- 自己紹介モーション
- 指示要求モーション
- 各本に対する確認モーション
- 認識失敗モーション
- タスク終了モーション

ここで、各本に対する確認モーションと認識失敗モーションについて説明する。各本に対する確認モーションでは、指示された本に顔を向け、指をさし、あらかじめその本に用意された確認発話を行う。視線と指さし、そして確認発話を組み合わせることで、被験者にロボットが認識した本を正確に伝えられるようにした。また認識失敗モーションでは、右手のひじから先を挙げ、首をかしげながら、「もう1度お願いします」と発話した。

4. 語彙の引き込みの検証

4.1 実験1 特定語への引き込み

ここでは、物体に可読性の高い言語情報が記載されており、それが目視できる場合の指示でも、特定語への引き込みが起きる、という仮説1を検証した実験1について述べる。

実験1では、被験者は5冊の本の指示タスクを2度行った。前半をセッション1、後半をセッション2とし、このセッション間には約7分の休憩時間が設けられた。休憩中、被験者は実験室とは別の場所で待機していた。被験者が指示した本とロボットの確認発話の一覧を表2に示す。

この実験において、被験者の状態は各セッションにおいて以下のように異なる。

- セッション1：被験者は5つの本を初めて指示する。すなわち、ロボットがそれらの本をどのような語で指示するのか知らない状態である。

表2 日本語の本の詳細とそれらの本の確認語（異なるカテゴリの語による確認）

Table 2 Description of the Japanese books and the confirmative terms of them (multiple types).

本	確認のカテゴリ	確認発話
タウンワーク	色	黄色い本ですか？
デカルトの密室	タイトル	「デカルトの密室」ですか？
アスクル	大きさ	大きい本ですか？
新世紀エヴァンゲリオン	分類	漫画ですか？
歩く京都	タイトルの一部	京都の本ですか？

表 3 日本語の本の詳細とそれらの本の確認語（色カテゴリの語による確認）

Table 3 Description of the Japanese books and the confirmative terms of them (only color type).

本	確認のカテゴリ	確認発話
タウンワーク	色	黄色い本ですか？
デカルトの密室	色	灰色の本ですか？
アスクール	色	白い本ですか？
新世紀エヴァンゲリオン	色	紫色の本ですか？
歩く京都	色	赤い本ですか？

- セッション 2：被験者はロボットの確認発話を聞いた後、再び同じ 5 つの本を指示する。すなわち、ロボットがそれぞれの本をどのような語で指示したのか知っている状態である。

我々は、各セッションにおいて、表 2 の確認発話の語を使用した被験者の指示回数を計測した。もし、セッション 1 よりもセッション 2 において、ロボットの確認発話の語を使用した指示回数が多ければ、特定語への引き込みが起きたといえるだろう。

4.2 実験 2 特定カテゴリへの引き込み

ここでは、物体に可読性の高い言語情報が記載されており、それが目視できる場合の指示でも、特定カテゴリへの引き込みが起きる、という仮説 2 を検証した実験 2 について述べる。

実験 2 では、被験者は 5 冊の本の指示タスクを 1 セッションのみ行った。被験者が指示した本は実験 1 と同じであるが、この実験では次の条件によって、ロボットの確認発話が異なる。

- 条件 1：ロボットは異なるカテゴリの語（表 2）を使って確認をする。
- 条件 2：ロボットは色カテゴリの語（表 3）を使って確認をする。

引き込むカテゴリに色を用いた理由は、タイトルに比べ語数が短いこと、大きさや厚さに比べて語彙数が多く、客観性があるため物体の識別が容易であること、そして単純で世間一般に認知されている語が多いということがあげられる。

特定カテゴリへの引き込みが起きたか検証するために、我々は、各条件において、色カテゴリの語を使って物体を指示した回数を計測した。この実験では、1 セッションのみタスクを行うので、被験者はそれぞれの本に対するロボットの確認発話を知らない状態である。したがって、条件 2 で色カテゴリの語を使用した指示回数が多くなれば、ロボットの色カテゴリを使った確認によって、色カテゴリへの引き込みが起きたといえるだろう。

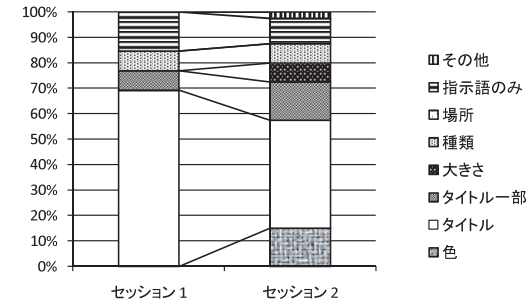


図 6 ロボットの確認の聞く前後での指示の内容

Fig. 6 The type of the indication before subjects receive the confirmation (Session 1) and after they received the confirmation (Session 2).

表 4 各本においてロボットの確認発話の語を使った指示の数

Table 4 The number of the indications including the confirmative terms.

本	確認のカテゴリ	セッション 1	セッション 2
タウンワーク	色	0	2
デカルトの密室	タイトル	5	5
アスクール	大きさ	2	3
新世紀エヴァンゲリオン	分類	0	3
歩く京都	タイトルの一部	1	4
ロボットの確認発話の語を使った指示		8	17

4.3 実験結果

4.3.1 実験 1

実験 1 には 8 人の被験者が参加し、40 回の指示が得られた。まず、各セッションでどのような種類の発話があったのかを図 6 に示す。セッション 1 では、約 70% の指示でタイトルが使われていたが、セッション 2 ではタイトルは約 40% に減少し、代わりに色や大きさのカテゴリを使った指示が増加した。次に、表 4 に各本のロボットの確認発話と同じ語を使って本を指示した被験者の数を示す。たとえば、本 1 は「黄色い本」と指示した被験者が、セッション 1 では 0 人、セッション 2 では 2 人いたことを示している。ロボットの確認発話を聞いた後、すなわちセッション 2 では、ロボットの確認発話の語（表 2）を使った指示が多くなった。たとえば、本 4 を「漫画」と指示した被験者は、セッション 1 では 0 人であったが、セッション 2 では 3 人に増えた。

さらに、これらのロボットの確認発話を使った指示の数を総合すると、セッション 1 で

は全 40 回の指示のうち、ロボットの確認発話と同じ語を使った指示は 8 回だけであったのに対し、セッション 2 では 17 回に増加した。評価の検定には対応のある 2 群の比率を比較するマクネマー検定を用いて、ロボットの確認発話の語を使った指示の割合をセッション 1 とセッション 2 で比較したところ、有意な差が見られた ($\chi^2 = 4.267, p < 0.05$)。

この結果から、物体に可読性の高い言語情報が記載されており、それが目視できる場合の指示でも、特定語への引き込みが起きるといふ仮説 1 の妥当性が示された。

4.3.2 実験 2

条件 1 には 8 人の被験者が割り当てられ、39 回の指示が得られた。また条件 2 には 11 人の被験者が割り当てられ、54 回の指示が得られた。この実験 2 では条件 1 と条件 2 の比較にカイ二乗検定を用いた。図 7 に各条件での指示の種類の内訳を示す。ロボットが異なるカテゴリの語で確認を行う条件 1 では、色カテゴリの語を使った指示は 1 度もなかった。一方、ロボットが色カテゴリの語で確認を行う条件 2 では、色カテゴリの語を使った指示は 18.5% に増加した。この条件 1 と条件 2 において、色カテゴリの語を使った指示の割合をカイ二乗検定を用いて比較したところ、有意な差が見られた ($\chi^2 = 8.092, p < 0.01$)。大きさカテゴリの語を使った指示や指示語のみを使った指示の割合も、条件 2 では増加しているが、これらの割合に有意な差は見られなかった。

この結果は、被験者はまだロボットの確認を聞いていない本でさえも、色カテゴリの語を使って指示するようになる可能性を示している。そして、物体に可読性の高い言語情報が記載されており、それが目視できる場合の指示でも、特定カテゴリへの引き込みが起きるといふ仮説 2 を支持している。

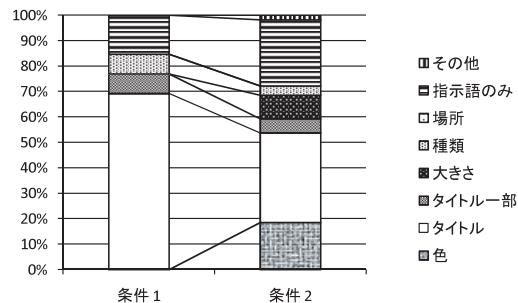


図 7 ロボットが異なるカテゴリの語で確認をする場合と色カテゴリの語で確認する場合における指示の内容
 Fig. 7 The type of the indication when the robot confirmed by use of the many types of terms (Condition1) and the color type of them (Condition 2).

5. 指示の語彙が多様になる状況での語彙の引き込みの検証

5.1 実験 3

前章の実験 1 と実験 2 の結果から、人間とロボットの物体指示インタラクションにおいて、物体に可読性の高い言語情報が記載されており、それが目視できる場合でも、特定語への引き込みと特定カテゴリへの引き込みという 2 種類の語彙の引き込みが起きることが明らかになった。本節では、指示の語彙が多様になる状況での、語彙の引き込みの割合について検証した実験 3 について述べる。

実験 3 では、被験者は 5 冊の本の指示タスクを 2 度行った。前半をセッション 1、後半をセッション 2 とし、このセッション間には約 7 分の休憩時間が設けられた。休憩中、被験者は実験室とは別の場所で待機していた。この間に実験者はセッション 1 で使用された本を被験者から見えない別の場所に隠した。

被験者が指示した本とロボットの確認発話は次の条件によって異なる。

- 条件 1: 被験者は日本語の本 (表 3) を指示する。
- 条件 2: 被験者は英語の本 (表 5) を指示する。

発話しにくいタイトルの本に英語の本を用いた理由は、被験者はすべて日本語を第 1 言語とする日本人であることから、英語で書かれたタイトルは読み上げにくいと考えたためである。

この実験でも、実験 1 と同様に、被験者の状態は各セッションで以下のように異なる。

- セッション 1 (実験 3-A): 被験者は 5 つの本を初めて指示する。すなわち、ロボットがそれらの本をどのような語で指示するのか知らない状態である。本は被験者の周囲に置かれている。
- セッション 2 (実験 3-B): 被験者はロボットの確認発話を聞いた後、再び同じ 5 つの

表 5 英語の本の詳細とそれらの本の確認語 (色カテゴリの語彙のみによる確認)

Table 5 Description of the English books and the confirmative terms of them (only color type).

本	確認のカテゴリ	確認発話
Intelligence as Adaptive Behavior	色	灰色の本ですか？
Robots for kids	色	茶色の本ですか？
Developing for Agents	色	白い本ですか？
Influence	色	緑の本ですか？
Human-Robot Interaction	色	黒い本ですか？

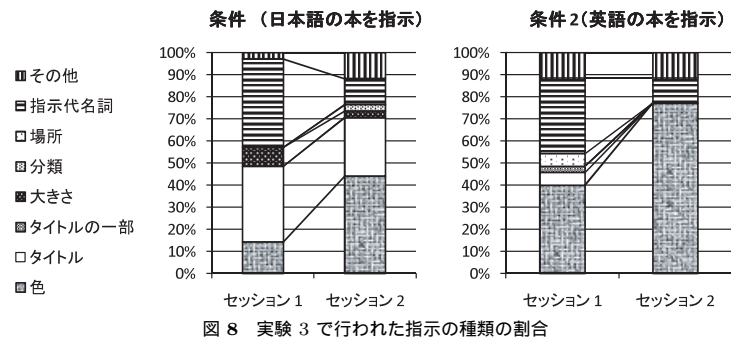


図 8 実験 3 で行われた指示の種類割合
Fig. 8 The proportions of the types of the indications in the experiment 3.

本を指示する。すなわち、ロボットがそれぞれの本をどのような語で指示したのかわっている状態である。ただし、指示する本はその場には置かれていない。

この実験 3 では、ロボットは色カテゴリーの語を使って確認する。我々は、条件 1 と条件 2 で引き込みが起きる度合いを比較するために、色カテゴリーの語を使用した指示回数を計測した。なお、実験 3 のセッション 2 では、本が被験者から見えない位置に隠されているので、被験者への教示とロボットの確認発話を少し変更した。具体的には、被験者に片付けた本をロボットに取ってくるようにロボットに指示するという状況を想定してもらい、セッション 1 で本を指示したときの記憶を頼りに、指示するように求めた。またロボットの確認発話は、「そこにあった灰色の本ですか？」というように、その場にはない本に対する確認として不自然にならないように変更した。

5.2 仮説 3 の検証

条件 1, 条件 2 とともにそれぞれ被験者は 7 人で 35 回の指示発話があった。このときの被験者はすべて日本語を母国語としていた。実験 3 のセッション 2 では、目の前に本が存在していなかったため、被験者はセッション 1 で本を指示したときの記憶を頼りに指示をした。被験者が本のタイトルや特徴を忘れてしまっており、ロボット（オペレータ）に何度か拒否される場合もあったが、その場合でも本のあった場所を指さすなどして、すべての本を最終的に指示することができた。図 8 は最終的に認識された指示の内容を示している。

まず、本を目視できない場合での、語彙の引き込みについて検証するため、各条件において、セッション 1 とセッション 2 を比較する。日本語の本の指示（条件 1）でロボットの確認発話の語と同じ色カテゴリーの語を使った指示は、本を目視できるセッション 1 において、

14.3%であったのに対し、本を目視できないセッション 2 では、42.9%であった ($\chi^2 = 8.100$, $p < 0.01$)。また、英語の本の指示（条件 2）でも、ロボットの確認発話の語と同じ色カテゴリーの語を使った指示は、セッション 1 では 40%であったのに対し、セッション 2 では 77.1%に増加した ($\chi^2 = 8.643$, $p < 0.01$)。

次に、可読性の低い場合での語彙の引き込みについて検証するため、各セッションにおいて、条件 1 と条件 2 を比較する。セッション 1 において、日本語の本の指示（条件 1）と英語の本の指示（条件 2）とで、ロボットの確認発話の語と同じ色カテゴリーの語を使った指示の数を比較すると、英語の本を指示する場合に、ロボットの確認発話の語と同じ色カテゴリーの語を使う割合が有意に高かった ($\chi^2 = 8.100$, $p < 0.01$)。さらに、セッション 2 においても、英語の本の指示において、ロボットの確認発話の語と同じ色カテゴリーの語を使う割合が日本語の本よりも有意に高かった ($\chi = 8.571$, $p < 0.01$)。

これらの結果は、指示する物体の可読性が悪く、さらに目視できない場合においては、語彙の引き込みがより起こりやすいことを示している。

6. 考 察

本章では、人間とロボットの物体指示のインタラクションにおける語彙の引き込みについて検証した実験 1, 実験 2, 実験 3 の結果から、語彙の引き込みの応用とその適用限界についても述べる。

6.1 語彙の引き込みの応用

本研究で述べた語彙の引き込みは、ロボットの音声認識を支援するための対話設計や、ロボットとの対話に人間が注意を向けている度合いを測る指針などに、応用可能だと考える。

特に、音声認識においては、ロボットは自身の音声認識辞書にない語を音声認識することができないという問題がある。しかし、語彙の引き込みを利用して、この問題を解決することが可能だと考える。たとえば、ロボットは自分の音声認識辞書の中にある認識しやすい語を使って物体を確認することによって、ロボットにとって認識しやすいその語を人間が使用する傾向を増やすことができる（特定語への引き込みの応用）。さらに、その確認発話の語のカテゴリーを限定することによって、人間の全体的な指示の語彙を絞り込むことが可能だと考える（特定カテゴリへの引き込みの応用）。

実験 3 では、このような語彙の引き込みによって、可読性の低い言語情報の記載された物体が目視できない位置にあるという状況において、77.1%もの指示発話で色カテゴリーが使用された。したがって、音声認識を向上させるために、ロボットの認識しやすい語に、人間の

指示発話の語彙を引き込むという手法は、状況によっては大きな効果をもたらすことが期待できると考える。

6.2 本研究の有効性

次に、このような語彙の引き込みが、一般的な物体指示においても実用性があるかについて議論する。本研究では、本を指示するというタスクにおいてのみ語彙の引き込みを調査した。しかしながら、我々は、本以外の他の様々な物体を指示するときにも、語彙の引き込みは起こりうると考えている。実験3の結果は、タイトルを読み上げにくい本やその場のない本を指示するときに語彙の引き込みがより発生しやすいことを示した。この傾向は、人間がはっきりと理解していない物体を指示する場合にロボットの使用した語を採用する傾向が高くなるということを示唆している。

さらに、語彙の引き込みを起こしやすい状況についても詳細に見てみる。図8を見ると、被験者は日本語の本を指示するとき、本が視界にあるセッション1、視界にないセッション2にかかわらず約30%の割合で本のタイトルを使った指示をしている。

このとき、セッション1において、主に本のタイトルで指示をした被験者は3人で、この3人は合計15回の指示のうち12回の指示において、本のタイトルを使用した。続くセッション2でも、この3人は合計15回中8回の指示において、本のタイトルを使用した。なお、色カテゴリの語を使用した指示は1回のみであった。このことから、セッション1において本のタイトルで指示をした被験者は、セッション2でも本のタイトルで指示する傾向が高かったといえる。

一方で、セッション1において本の大きさや指示代名詞で本を指示した被験者は、セッション2でロボットの確認発話の語と同じ色カテゴリの語を使用する割合が高かった。具体的には、セッション1で3人の被験者が合計15回の指示のうち14回の指示で本の大きさや指示代名詞を使用した。これらの被験者はセッション2では、合計15回の指示のうち、色カテゴリを使った指示を7回行った。

また、英語の本の場合は、セッション1において本のタイトルを使って指示した被験者もその他の語を使って指示した被験者も、セッション2ではロボットの確認語に引き込まれる割合が高かった。英語の本をタイトルで指示した被験者は1人で、その被験者はセッション1で3つの本をタイトルで指示したが、セッション2ではすべて色カテゴリの語を使った指示に変化した。また、主にタイトルと色カテゴリの語以外の指示を行った被験者は3人で、彼らはセッション1で合計15回中14回の指示において、本の大きさや指示代名詞を使用した。セッション2では、15回中8回色カテゴリの語を使った指示発話を行っ

た。これらの結果から、本のタイトルのように物体を唯一に識別できる明示的な語を別の語に引き込むことは難しいものの、曖昧な語を使って指示した場合や明示的な語でも記憶に残っていない場合はロボットの確認語に引き込みやすいという傾向が見られる。

このような傾向は、語彙の引き込み現象がより一般的な物体指示においても十分に実用的であることを示している。なぜなら、環境中には、一般人に馴染みのある物体ばかりだけでなく、タイトルを持つ本よりもむしろ適切な名前を設定しにくい物体も多くあるためである。このような物体を指示するときこそ、語彙の引き込みが役立つ可能性が高いといえるだろう。

また、本研究で得られた知見はHCIの分野にも適用可能であると考えられる。たとえば、モニタに表示されているアバタやアプリケーションを指示するときに、語彙の引き込みを利用することで、対話や操作を円滑に進めることが可能になると期待できる。

6.3 今後の課題

本研究では、環境を介したマルチモーダルインタラクションにおいて、ロボットによる言語的な引き込みが可能であることを明らかにした。今後、ロボットによる非言語的な引き込みと、言語的な引き込みの関係性を明らかにし、効果的な引き込み方法を検討する予定である。

7. おわりに

本研究では、人間とロボットの言語的なインタラクションにおける同調現象について検討した。これまでのHRIに関する研究では、身体動作の引き込みのような非言語的なインタラクションに関する同調現象が注目され、言語的なインタラクションに関する同調現象については、ほとんど議論されてこなかった。そこで本研究では、HCIで研究されてきた語彙の引き込みに関する知見を基に、身体構造を持つロボットに対して、環境中の物体を指示するという、HRIに特有な状況でも語彙の引き込みが起きうるかを検討した。

HRIでは、人間、ロボット、指示対象物が同一環境上に存在しているため、指示を行う人間は、ロボットの身体動作や物体の見た目、位置など様々な情報にさらされる。本研究では、i) 物体に可読性の高い情報が記載されており、ii) 物体が指示する人間から目視できる位置にある、という指示発話を引き込むことが困難な状況において、ロボットの発話による語彙の引き込みが起きるかどうかを検証した。また、可読性の低い物体を指示する場合や目視できない物体を指示する場合など、人間の指示発話の語彙が多様になる状況において、どの程度の割合で指示発話の語彙を引き込むことができるのかを調査した。その結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) 物体に可読性の高い言語情報が記載されており、それが目視できる場合においても、人間は、ロボットがその物体に対して使用した語を、自身の指示発話に採用する傾向がある。
- (2) 物体に可読性の高い言語情報が記載されており、それが目視できる場合においても、人間は、ロボットがあるカテゴリの語を使用し続けることで、その同じカテゴリに属する語を指示発話に採用する傾向がある。
- (3) 可読性が低く、また目視できない位置にある物体を指示するとき、全指示発話のうち、77.1%の指示発話において、ロボットと同じ語が使用された。

本研究で明らかになった、HRIにおける語彙の引き込み現象は、ロボットの効率的な音声認識を支援するための対話設計に応用可能だと考えている。

謝辞 本研究は、総務省の研究委託により実施したものである。

参 考 文 献

- 1) 独立行政法人新エネルギー・産業技術開発機構：技術戦略マップ 2008 (2008).
<http://www.nedo.go.jp/roadmap/2008/sys1.pdf>
- 2) 神田崇行, 鎌島正幸, 今井倫太, 小野哲雄, 坂本大介, 石黒 浩, 安西祐一郎：人間型対話ロボットのための協調的身体動作の利用, 日本ロボット学会誌, Vol.23, No.7, pp.898-909 (2005).
- 3) 杉山 治, 神田崇行, 今井倫太, 石黒 浩, 萩田紀博, 安西祐一郎：コミュニケーションロボットのための指さしと指示語を用いた3段階注意誘導モデル, 日本ロボット学会誌, Vol.24, No.8, pp.964-975 (2006).
- 4) Ishiguro, H., Ono, T., Imai, T., Maeda, T., Kanda, T. and Nakatsu, R.: Robovie: An interactive humanoid robot, *International Journal Industrial Robotics*, Vol.28, No.6, pp.498-503 (2001).
- 5) Breazeal, C., Kidd, D.C., Thomaz, L.A., Hoffman, G. and Berlin, M.: Effects of nonverbal communication on efficiency and robustness in human-robot teamwork, *International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp.708-718 (2005).
- 6) 山岡史享, 神田崇行, 石黒 浩, 萩田紀博：発達心理学的知見に基づいた生物らしいコミュニケーションロボットのための対人行動設計, 日本ロボット学会誌, Vol.25, No.7, pp.1134-1144 (2007).
- 7) Ono, T., Imai, M. and Ishiguro, H.: A Model of Embodied Communications with Gestures between Humans and Robots, *Proc. 23rd Annual Meeting of the Cognitive Science Society*, pp.732-737 (2001).
- 8) Ogawa, H. and Watanabe, T.: InterRobot: Speech-driven embodiment interaction robot, *Advanced Robotics*, Vol.15, No.3, pp.371-377 (2001).

- 9) 駒込大輔, 鈴木道雄, 小野哲雄, 山田誠二：RobotMeme: 模倣による人—ロボットの周縁的相互作用, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.10, No.1, pp.47-57 (2008).
- 10) Imai, M., Ono, T. and Ishiguro, H.: Physical relation and expression: Joint attention for human-robot interaction, *Proc. 10th IEEE International Workshop on Robot and Human Communication*, pp.512-517 (2001).
- 11) Furnas, W.G., Landauer, K.T., Gomez, M.L. and Dumais, T.S.: The vocabulary problem in human-system communication, *Comm. ACM*, Vol.30, pp.964-971 (1987).
- 12) Brennan, E.S. and Clark, H.H.: Lexical choice and conceptual pacts in conversation, *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, Vol.22, pp.1482-1493 (1996).
- 13) Garrod, S. and Anderson, A.: Saying what you mean in dialog: A study in conceptual and semantic co-ordination, *Cognition*, Vol.27, pp.181-218 (1987).
- 14) Porzel, R., Scheffler, A. and Malaka, R.: How Entrainment Increases Dialogical Effectiveness, *Proc. IUI'06 Workshop on Effective Multimodal Dialogue Interaction* (2006).
- 15) Brennan, E.S.: Lexical Entrainment in spontaneous dialog, *Proc. International Symposium on Spoken Dialogue*, pp.41-44 (1996).
- 16) Gustafson, J., Larsson, A., Carlson, R. and Hellman, K.: How Do System Questions Influence Lexical Choices in User Answers?, *Proc. Eurospeech, Rhodes, Greece*, pp.2275-2278 (1997).
- 17) Tomko, S. and Rosenfeld, R.: Shaping spoken input in user-initiative systems, *The 8th International Conference on Spoken Language Processing*, pp.2825-2828 (2004).
- 18) Shinozawa, K., Miyashita, T., Kakio, M. and Hagita, N.: User specification method and humanoid confirmation behavior, *IEEE International Conference on Humanoid Robots* (2007).
- 19) Kanda, T., Ishiguro, H., Imai, M. and Ono, T.: Development and Evaluation of Interactive Humanoid Robots, *Proc. IEEE*, Vol.92, No.11, pp.1839-1850 (2004).
- 20) Kanda, T., Iwase, K., Shiomi, M. and Ishiguro, H.: A tension-moderating mechanism for promoting speech-based human-robot interaction, *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp.511-516 (2005).
- 21) Shinozawa, K., Naya, F., Yamato, J. and Kogure, K.: Difference in effect of robot and screen agent recommendations on human decision-making, *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol.62, pp.267-279 (2005).

(平成 21 年 4 月 20 日受付)

(平成 21 年 11 月 6 日採録)



飯尾 尊優

2007年同志社大学工学部知識工学科卒業。2009年同大学大学院工学研究科情報工学専攻博士前期課程修了。現在、同大学院工学研究科情報工学専攻博士課程後期。人工知能、ヒューマンロボットインタラクション、社会情報学に興味を持つ。



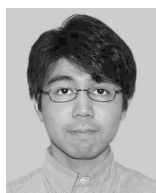
塩見 昌裕 (正会員)

2004年大阪大学大学院工学研究科知能・機能創成工学専攻博士前期課程修了。2007年同専攻博士後期課程修了。博士(工学)。現在、ATR 知能ロボティクス研究所研究員としてコミュニケーションロボットの研究に従事。ネットワークロボット、コミュニケーションロボット、集団とロボットの相互作用に興味を持つ。



篠沢 一彦

1988年慶應義塾大学工学部電気工学科卒業。1990年同大学大学院修士課程修了。同年NTT入社。以来、NTT ヒューマンインタフェース研究所において、ニューラルネットワークに関する研究に従事。1998年よりNTT コミュニケーション科学基礎研究所にて、コミュニケーションロボットの研究に従事。現在、国際電気通信基礎技術研究所知能ロボティクス研究所室長。博士(情報学)、電子情報通信学会、神経回路学会各会員



宮下 敬宏

1995年大阪大学大学院基礎工学研究科博士前期課程修了。2000年同大学院工学研究科博士後期課程単位取得退学。博士(工学)。1998年より日本学術振興会特別研究員、ERATO 北野共生システムプロジェクト研究員、和歌山大学システム工学部助手、ATR 知能ロボティクス研究所研究員を経て。2007年7月より同研究所室長。全身触覚を持つロボット、環境知能の研究に従事。日本ロボット学会、人工知能学会各会員



秋本 高明 (正会員)

1984年九州工業大学大学院修士課程修了。同年日本電信電話公社(現NTT)横須賀電気通信研究所入所。コンピュータグラフィックス等の研究開発に従事。NTT ヒューマンインタフェース研究所等を経て、現在、ATR 知能ロボティクス研究所ネットワークロボット研究室長。博士(工学)。電子情報通信学会、画像電子学会各会員。



下原 勝憲

1978年九州大大学院工学修士課程修了。同年4月電信電話公社横須賀電気通信研究所入所。NTT コミュニケーション科学基礎研究所研究部長、ATR ネットワーク情報学研究所長等を経て、2006年より同志社大学工学部情報システムデザイン学科教授。2008年より同大学院工学研究科情報工学専攻教授兼任。博士(工学)。関係性のデザイン、社会情報学の研究に従事。著書に『人工生命と進化するコンピュータ』(工学調査会、1998)等。IEEE、SICE、HI学会、AI学会等各会員。



萩田 紀博 (正会員)

1978年慶應義塾大学大学院工学研究科電気工学専攻修士課程修了。同年日本電信電話公社(現、NTT)武蔵野電気通信研究所に入所。文字認識や画像認識等の研究に従事。NTT 基礎研究所等を経て、現在、ATR 知能ロボティクス研究所所長。工学博士。IEEE、電子情報通信学会、人工知能学会各会員。