

RobotMeme: 模倣による人—ロボットの周近的相互適応

駒込 大輔^{*1} 鈴木 道雄^{*1} 小野 哲雄^{*2} 山田 誠二^{*3}

RobotMeme: Peripheral mutual adaptation between human and robot by imitation

Daisuke Komagome^{*1}, Michio Suzuki^{*1}, Tetsuo Ono^{*2} and Seiji Yamada^{*3}

Abstract - In this paper, we propose a concept of RobotMeme and peripheral mutual adaptation between human and robot based on the meme theory. Moreover, we carried out interaction experiment I and II between human and robot. From the results of the experiment I, it was proved that human tended to imitate robot unconsciously. It was also emerged that human tended to evaluate robot's original behavior (RobotMeme) more rational by imitating robot. Furthermore, from the results of the experiment II, it was emerged that robot's original behavior (RobotMeme) spread to other people successively through humans' imitation. From these results of the experiments in this paper, it is suggested that robot's original behavior (RobotMeme) will spread to human society. Henceforth, in order to realize peripheral mutual adaptation between human and robot, we plan to consider the process of meme spreading and create robot systems, also plan to carry out the interaction experiments between human and robot.

Keywords: Human-Robot Interaction, communication robot, meme, interaction design and experiments

1. はじめに

「人間社会に適応するロボットを創りたい」という強い思いを持つロボット研究者は多く、近年様々な形態のロボットが開発されるようになってきた。その過程で、人の知能や発達モデルを構築し、ロボットに適用することでより人間社会に適応可能なロボットの実現が目指されてきた^[1]。しかし、従来の人工知能では人との対話においてその能力を発揮することはできなかった。そのため、我々が持つ何気ないコミュニケーション能力や身体性に関心が寄せられ始めている^[2]。そのような背景を受け、近年では ASIMO をはじめとした腕や頭部などの物理的身体を持ち、実空間を移動するコミュニケーションロボットの研究が盛んに行われている^[3]。ロボットが擬人化された身体を持つ意義として、人間社会への適応が挙げられる。Brooks はロボットが人型の身体を持つことで、人の為にデザインされた環境を共有しながら、豊かな非言語情報による自然で円滑な対話を可能にすると述べている^[4]。

また、擬人化された身体を持つことで、人はロボットを社会的な存在として捉えることが報告されている。坂本らは、人とロボットの三者関係によりバランス理論が成立することを示し、ロボットが社会的存在として人間関係にも影響を与える可能性を示唆した^[5]。つまり、社会的な知能を持つロボットを実現する為には、ロボット

の振る舞いを人間社会に適応するようにデザインする必要がある、ロボットが環境に適した社会性や社会的スキルを身につけることが望ましいといえる。具体的な研究事例としては、環境内で活動する人の行動を把握・予測するシステムを構築し、その行動状況を元に、その人が次に行うべき行動を音声やジェスチャによって指示をする自律移動ロボットの開発などが行われている^[6]。

しかし、社会的なメディアであるロボットの設計は従来のメディアの設計とは違うアプローチをとる必要があるだろう。従来のメディアデザインでは、人間工学や認知工学に基づいて人工物を人に適応させることを主目的としていた。しかし、人とロボットが友好的な関係を築く上で、ロボットが人に対し一方的に適応する図式だけでは不十分である。そこで、人とロボットの相互適応を目指す必要があると考える。相互適応とは人とエージェントが長い時間をかけてそれぞれの行動パターンを変えながら長期的な関係を形成してゆく適応学習のことである^[7]。植田らは、相互適応学習を通じて二者がスムーズな関係を成立させることを示した実験から、人と人工物もお互いが適応し合う形で、共発達が進む可能性について言及している^[8]。このことから、二者間の相互適応現象はヒューマンエージェントインタラクション技術を考える上でも重要になってくると考えられる。

しかし、我々の目標は人とロボットの個体間での相互適応学習ではなく、何気ないインタラクションから得られた適応的な知識や方法論を共有することによるロボットの集合的な知能の実現にある。そこで我々は、人とロボットのインタラクションデザインにおいて新たに Dawkins が提唱した「ミーム(meme)」と呼ばれる概念^[9]を用いて人とロボットの関係を考えることとする。園山

*1: 公立はこだて未来大学大学院システム情報科学研究科

*2: 公立はこだて未来大学

*3: 国立情報学研究所

*1: Graduate School of Future University-Hakodate, Department of System Information Science Research

*2: Graduate School of Future University-Hakodate

*3: National Institute of Informatics

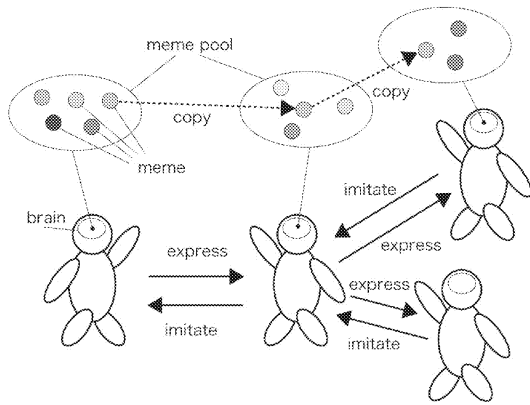


図1 ミーム概念
Fig.1 Concept of meme

は、ロボットの存在意義は直接的・物理的なサービスに人を与えるだけでなく、人間社会に何らかの新たな価値を提供することにあると述べている^[10]。そこで、ミーム理論をメタファーとした人とロボットのインタラクションデザインを取り入れることで、ロボットの存在価値を高めることができると考える。

本研究では周辺のインタラクションを通して、人がロボットのインタラクションスキルを模倣により獲得するかどうかを検証する為に2つの実験を行った。周辺のインタラクションとは、直接的な対話ではなく、他者の対話を第3者的視点からの観察を通して、情報（ミーム）が伝播する過程と定義する。もし、人が機械であるロボットを模倣し、ロボット独特の身体動作が人から人へ伝播されるのであれば、今後ロボット独自のあらゆる行動は人間社会に模倣される可能性がある。また、ミーム概念に基づいた模倣行為を誘発する人—ロボットのインタラクションデザインが、人とロボットの長期的関係を構築する上で重要になると考えられる。

本稿では、次節で我々が主張するミーム理論に基づく人とロボットの周辺の相互適応について述べ、3節にて我々の提案を検証する為の実験的手法について説明する。4節、5節では、ロボットから人へのミーム伝播実験の方法と結果について述べ、6節、7節で実験結果の考察からミーム理論に基づく人とロボットの周辺の相互適応の可能性と今後の課題について議論する。

2. ミーム理論と人—ロボットの周辺の相互適応

2.1 ミーム理論

ミーム(meme)とは、「模倣によって伝えられる文化の一要素」という意味として、Dawkins によって初めて名付けられた^[8]。ミームは、保持・変異・淘汰を繰り返すという遺伝子と同様の振る舞いをしながら模倣によって伝播される情報の単位として位置づけることができるだろう。ミームの例として、道具の使い方や踊りなどの身体的スキルや、家族や友人同士などのコミュニティで共有されている口癖や挨拶などが挙げられる。ミームは遺伝子と同様に自己保存の意思を持ち、本人の自覚の有無

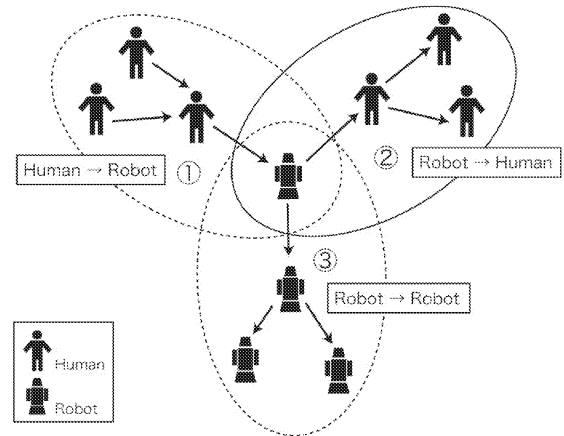


図2 ミーム概念に基づく人—ロボットの周辺の相互適応
Fig.2 Peripheral mutual adaptation between human and robot based on concept of meme

に関わらず、ウィルスのように脳から脳へ伝播してゆくと考えられている。Blackmore はミームの影響を受けて進化してきたからこそ人が他の動物と異なっているのであり、ミームこそが巨大な脳や言語などの特別な能力を獲得した要因であると主張している^[11]。図1で示すように、道具の使い方や画期的なアイデアなど、ある人が発見的にその状況に適応した知識や技術を獲得したときに、模倣という学習手段によって他の人へ無意識的に伝播される。つまり、人同士は模倣によって相互依存的な関係を構築していると考えられる。本研究では、このことをミーム概念の最も重要なエッセンスとして、模倣行為を誘発することで、相互依存的な関係を創出する人—ロボットのインタラクションデザインに応用してゆく。

2.2 人—ロボットの周辺の相互適応

我々が提案する周辺の相互適応の概念と、その実現に必要な3つのミーム伝播過程について述べる(図2参照)。

周辺の相互適応

2.1節で述べた例のように、我々は日常生活の中で非直接的対話を通じて周辺の多くの文化的情報(ミーム)を無意識のうちに模倣によって獲得している。本研究ではロボットが人の何気ない行動を獲得するだけでなく、人も無意識的にロボットの身体動作を模倣によって獲得することを人—ロボットの周辺の相互適応と呼ぶこととする。

①人からロボットへのミーム伝播

人とロボットの相互適応を目指すには、ロボットが人間社会(コミュニティ)に根付く文化やルールを学習する必要がある。本研究では、非言語コミュニケーションにおいて重要な身体動作を含めたコミュニケーションスキルを学習する方法として、モーションキャプチャシステムによりその動作をロボットが獲得するシステムを構築する。(図2の①に対応)

②ロボットから人へのミーム伝播

本研究における大きな目標として、ロボットの文化的

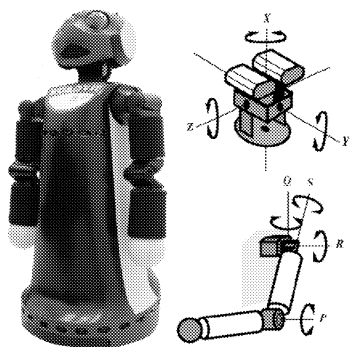


図3 コミュニケーションロボット Robovie-R ver.2
Fig.3 Communication robot (Robovie-R ver.2)

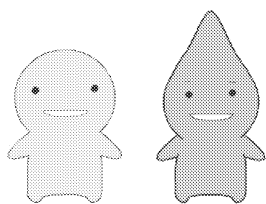


図4 インタフェースエージェント
Fig.4 Interface agents (used in the experiment II)

な身体動作が模倣によって人間社会に伝播していくことが挙げられる。そこで、ロボット独自の身体動作と人の一般的な身体動作を対比することによって、人がロボット独自の身体動作を模倣するかどうかを検証する実験を行う。(図2の②に対応)

③ロボットからロボットへのミーム伝播

我々はロボット単体の知能ではなく、集合的なロボット全体としての知能を構築することを目指す。そのためには、複数のロボットがその社会やコミュニティに適応する必要がある。そのため、ロボットが有する適応的スキルを他のロボットに伝播させることが必要となる。(図2の③に対応)

本研究ではミームを「模倣によって発現する状況に適応的な振る舞い」として定義し、社会的インタフェースとしてロボットの工学的応用に向けて限定的に扱うものとする。また、模倣を「他者の動きを覚覧し、再現すること」と定義し、人からではなく、身体を持つロボットから伝わる身体動作を RobotMeme と呼ぶこととする。また、RobotMeme というコンセプトのもとで、ロボットから発せられた状況的振る舞いが模倣によって人々にとっても規範的な振る舞いとなることを目標としている。そのため、ロボットの振る舞いが周知的に模倣されることによって、適応的手段を伝達する社会的インタフェースとして物理的身体を有するロボットが有用であることを示す。そこで、本研究では図2の②のミーム伝播過程に関する2つのインタラクション実験を行った。1つ目は人がロボット独自の身体動作(RobotMeme)を模倣によって獲得するかどうかを検証する実験であり、2つ目は人を媒介することによってロボットの身体動作(RobotMeme)が人間社会に広まる可能性を検証する。①と

③のミーム伝播については別の論文で報告する予定である。

2.3 人の模倣能力

日常的なコミュニケーションにおけるミームの伝播には、人の模倣能力が大きな役割を果たしているが、必ずしも意識的に模倣しているとは限らない。例えば、挨拶の仕方や敬語の使い方などのコミュニケーションスキルをはじめ、他者の鼻歌や口癖がいつの間にか自分自身にうつってしまったことにふと気づいた経験がある人も多いだろう。つまり、ミームは当事者が意識しないレベルで獲得される。我々はミームが受け渡される非直接的対話を周知的インタラクションとして定義する。また、過去の研究から直接的対話による人-ロボットの同調動作が確認されている^[12]。我々はそのような同調動作を同時模倣であるとし、ミームとして獲得していると考えない。ミームは、非直接的対話による周知的インタラクションによって、一定時間後に発現する延滞模倣によって伝播してゆくと仮定する。

では、人が人以外のものを延滞模倣することがありえるだろうか。例えば、人はペットや動物の物まねをする。しかし、それらは動物の身体動作の形態を模倣したのであって、その動作の意図までを汲み取ってはいないと考えられる。Meltzoff は生後 18 ヶ月の幼児が単純なアームロボットの動作の意図を理解し模倣するかどうかを検証する実験を行った。その結果、模倣対象が人だと行為の意図を理解し模倣するが、アームロボットだと模倣しないということが分かった^[13]。しかし、コミュニケーションロボットはより擬人化された身体を有している。そのため、我々はロボットの外観が表現している情報量が増えることで、人はロボットの意図を理解し、模倣すると考える。また、Lave らは、学習は状況に依存しており、切り離すことはできないと述べている^[14]。つまり、ロボットの身体動作が、その状況において自然かつ合理的であれば人がロボット独自の身体動作を模倣する可能性があると考えられる。

3. 実験の概要と設定

3.1 実験概要

本研究では、人・ロボット・環境を考慮した実験を行い、その結果を人-ロボットのインタラクションデザインに適用することを目的としている。特に、今回の実験では周知的インタラクションによって人がロボットを延滞模倣するかどうかを検証する。

3.2 実験で使用するシステム

実験 I, 実験 II で使用したロボットとインタフェースエージェントについて説明する。

Robovie-R ver.2

本実験で使用したコミュニケーションロボットについて簡潔に述べる(図3参照)。Robovie-R ver.2 は人との

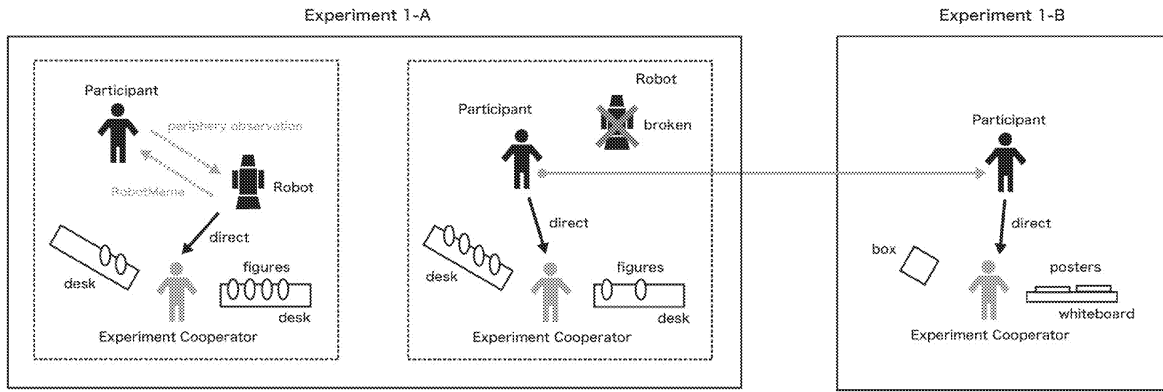


図5 実験Iの流れ
Fig.5 Flow of the experiment I

コミュニケーションを目的とした上半身人型のヒューマノイドロボットであり、高さ1.2m、半径0.5m、重量40kgである。頭部3自由度、肩腕4自由度で2輪独立駆動方式の車輪で移動することができる。本実験では、あらかじめATR-Robotics社のロボビメーカーを使用して、ロボットのモーションを作成した。今回はWoZ(Wizard of Oz)法と呼ばれる方法で実験者が実験シナリオに沿ってモーションファイルを再生することで、インタラクション実験を行った。

インタフェースエージェント

実験IIで使用したインタフェースエージェントシステムについて簡潔に述べる(図4参照)。エージェントシステムはAdobeシステム社のFLASH MX 2004により実装した。エージェントには擬人化した顔や身体を持たせている。実験では、被験者のエージェントに対する対話方法を観察するため、被験者とジャンケンする場面のみに対話機能を持たせている。

4. 実験I: 人—ロボット間の模倣実験

本節では、人がロボット独自の指示方法(RobotMeme)を、周辺のインタラクションを通して模倣獲得するかどうかを検証した実験Iについて述べる。

4.1 実験目的

模倣による人とロボットの周辺の相互適応を実現する為には、まず、人が機械であるロボットに対して模倣行為をするかどうかを検証する必要がある。そこで、3段階の実験から、ロボットの特殊な行動を被験者が非直接的対話を通じて延滞模倣するかどうかを検証した。また、実験終了後、被験者に対してロボットの指示方法、被験者自身の指示方法に関するアンケート調査を実施した。

4.2 実験方法

本実験では、被験者に対して実験協力者にある対象物(図6参照)を移動させるように依頼することが実験のタスクであると教示した。本実験における実験協力者は、被験者と言葉が通じないという設定(ヘッドフォンで大音量の音楽を聴いている状態)にしており被験者は身体

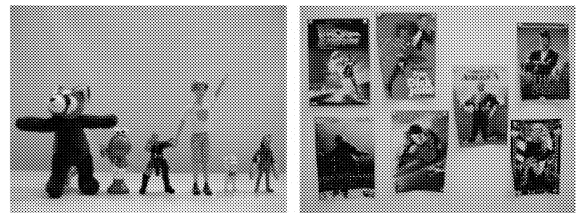


図6 移動対象物：フィギュア(左、実験I-Pre,I-A)、ポスター(右、実験I-B)
Fig.6 Object moved: figures (left, used in the experiment I-Pre and I-A), posters (right, used in the experiment I-B)

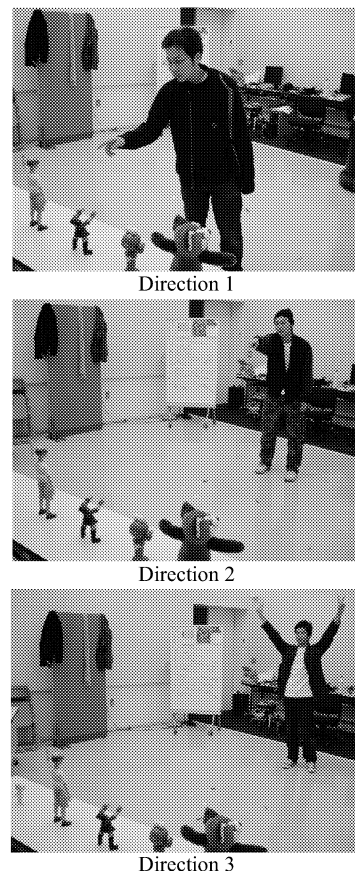


図7 実験I-Preから推測される人の指示方法：最も一般的な近づいて指差し(上)、遠くから指差し(中央)、遠くからオブジェクトと同じポーズ(ジェスチャー)(下)
Fig.7 Projected direction ways of human by experiment I-Pre: closing and pointing as the general way(left), stay and pointing(center), stay and gesture(right)

表1 ロボットの発話と身体動作例

発話	身体動作
「こんにちはー」	お辞儀をする
「まずはねえ、これー」	フィギュアと同じポーズをする
「うん」	うなづく
「オッケー」	両腕で大きく OK サインを出す

表2 ビデオ記録による被験者の指示方法の結果

実験	I-Pre	I-A	I-B
被験者数	12	13	9
Direction 1	11	0	1
近づいて指差し	(92%)	(0%)	(11%)
Direction 2	1	2	1
遠くから指差し	(8%)	(15%)	(1%)
Direction 3	1	11	7
遠くからジェスチャー	(8%)	(85%)	(78%)
OK サイン	0	10	2
	(0%)	(77%)	(22%)

表3 アンケートの質問内容

質問	内容
質問群 Q1	ロボットの指示に関する評価
Q1-1	ロボットの指示は分かりやすいと感じましたか？
Q1-2	ロボットの指示の仕方は最適だったと思いますか？
Q1-3	ロボットの指示の仕方は自然だったと思いますか？
質問群 Q2	被験者自身の指示に関する評価
Q2-1	あなたの指示が相手に伝わったと思いますか？
Q2-2	あなたの指示は最適だったと思いますか？
Q2-3	あなたの指示は自然だったと思いますか？
質問群 Q3	ロボットの印象評価
Q3-1	ロボットに対してどんな印象を持っていますか？
Q3-2	ロボットを信頼できますか？
Q3-3	ロボットを欲しいと思いますか？

表4 アンケート結果 (実験 I-A,I-B はロボット模倣者のみ)

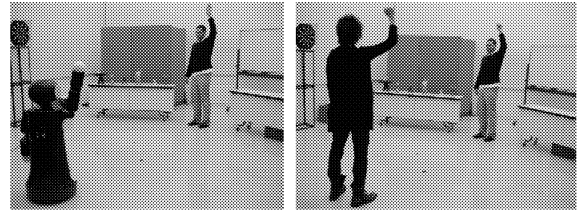
実験	I-Pre	I-A	I-B
被験者数	12	11/13	7/9
質問群 Q1 の平均	-	3.82	-
質問群 Q2 の平均	3.75	4.09	4.14
質問群 Q3 の平均	-	3.64	-

動作により上記の依頼を行うと想定した。本実験は、3つの実験で構成される。実施の流れは、予備実験 I-Pre→実験 I-A→実験 I-B の順である。実験 I-A,I-B の流れを図5に示す。また、被験者は大学生・大学院生の男女25名で、すべての被験者が今回使用した Robovie-R ver.2 を見たことも対話したこともない。

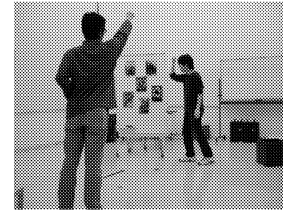
4.3 予備実験 I-Pre

本実験を行う前に、以下を目的とした予備実験を行った。その結果を本実験のデザインに適用する。

- ・目的：人間の一般的な指示方法を検証する
- ・条件：被験者および実験協力者により実験を行い、被験者が言葉の通じない実験協力者にフィギュアを移動させるよう依頼を行う
- ・環境：図5の実験 I-B と同じ実験環境で行った。指示対象としてフィギュアを用いた(図6左参照)
- ・教示：被験者に「男性(実験協力者)の左側にある机の上のフィギュアのうち、好きなものを2つ選



Experiment I-A



Experiment I-B

図8 実験 I の様子

Fig.8 Scenes of the experiment I

んで右側の机に移動させるように、その男性に指示してください」と教示する

予備実験 I-Pre の結果

予備実験 I-Pre の結果から、図7に示されている指示方法を想定した。表2から、9割強の被験者がフィギュアに近づいて指差しで指示をする方法(Direction 1, 図7上写真参照)を選択した。つまり、今回の実験状況では Direction 1 による指示方法が人にとって一般的な方法であると考えられる。この結果を踏まえて、本実験 I-A,I-B を行った。

4.4 本実験

実験 I-A

- ・目的：ロボット独自の指示方法(RobotMeme)を被験者が模倣するかどうかを検証する
- ・条件：まず、ロボットがジェスチャー(図8の左写真参照)により実験協力者への依頼を行う。その後、ロボットが突然故障したことを理由に、被験者がロボットの代わりに実験協力者への依頼を行う
- ・環境：図5の左に実験環境を示す。また、ロボットの発話と身体動作例を表1に示す。ロボットは実験者による WoZ 法によってシナリオに基づいて動作する
- ・教示：まず、被験者に「ロボットが男性(実験協力者)の左側の机の上の6つのフィギュアのうち、5つを右側の机に移動させるように指示します」と教示する。その後、実験途中でロボットが動かなくなった時、被験者に「ロボットが壊れてしまったみたいなので、代わりに男性(実験協力者)に指示して残り2つのフィギュアを移動させてください」と教示する

実験 I-B

- ・目的：ロボット独自の指示方法(RobotMeme)が被験者に定着しているかどうかを検証する
- ・条件：上記の実験 I-A の被験者を対象にして、1〜2週

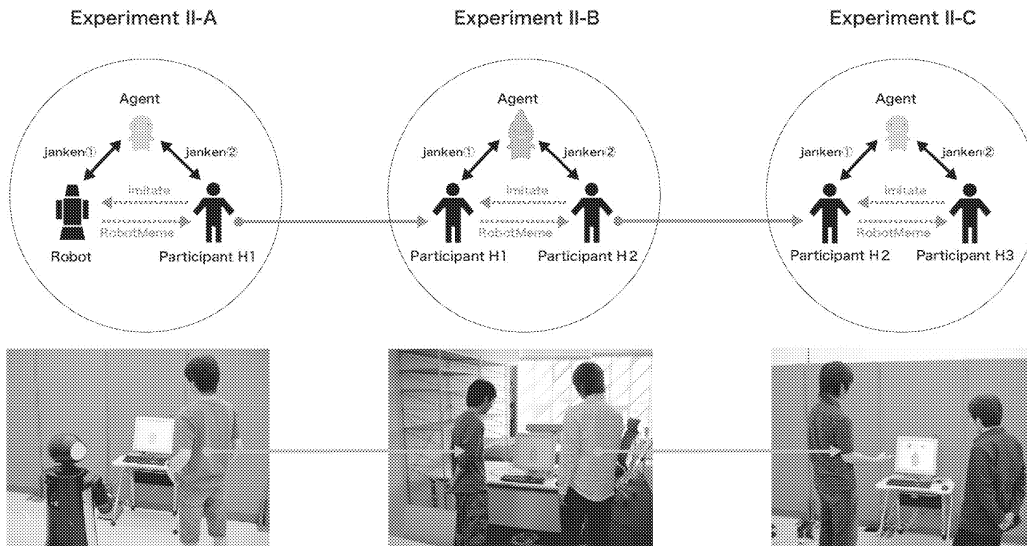


図9 実験 II の流れと様子
Fig.9 Flow and scenes of the Experiment

間後に実験 I-A に類似した実験を行う

- ・ 環境:図 5 の右側に実験環境を示す. 指示対象として映画のポスターを用いた(図 6 右参照)
- ・ 教示:被験者に「男性 (実験協力者) の左側にあるホワイトボードに貼ってある 7 枚の映画のポスターのうち好きなものを 2 枚選んで男性の右側のボックスに入れるように, その男性に指示してください」と教示する

4.5 実験 I の評価方法

被験者がロボット独自の指示の方法(RobotMeme)を模倣したかどうかをビデオ記録から確認する. また, 質問紙による主観評価を行った. 質問はいずれも 5 段階で評価してもらう. Q1 群ではロボットの指示の方法, Q2 群では被験者本人の指示の方法を「わかりやすかったか」, 「最適だったか」, 「自然だったか」の 3 項目で質問した(表 3 参照). 最後に, Q3 群として, その人のロボットに対する印象について質問した.

4.6 実験 I の仮説と予測

予備実験 I-Pre の結果から, 我々は本実験における人の一般的な指示方法として次の 3 つをより一般的であると考えられる順に指示 1-3 とした(図 7 参照).

- ・ 指示 1: 選択する対象物まで近づいて指差す
- ・ 指示 2: 対象物とある程度の距離を置いて指差す
- ・ 指示 3: 対象物とある程度の距離を置いて対象物の形態と同じポーズをする(RobotMeme)

上記の指示方法のうち, 指示 1 を人にとって最も合理的な指示方法とし, 逆にロボットにとって最も合理的な方法を指示 3 と考えた. その理由として, 本実験で使った Robovie-R ver.2 の場合, まずバッテリーや電源ケーブルの問題によりなるべく移動しないで仕事をすることが望ましい, それに加え, 指などの細かな指示伝達に用いる身体を有しておらず, 人のような細かな身体動作を行えないため, 指差しよりもジェスチャーの方がロボット

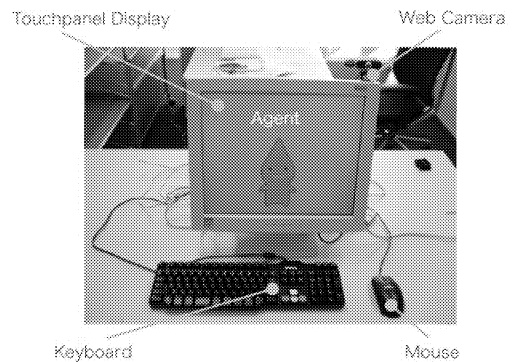


図 10 被験者が選択可能なインタフェース
Fig.10 Interfaces which enable the participants to select the way of interaction

表 5 ロボットとエージェントのインタラクション例
Table.5 Examples of interactions between robot and agent

Agent	Robot
「こんにちはー, 初めましてー」	「こんにちはー」
「僕, なんでもできるんだよー」	「へー」
「ジャンケンしよーよ」	「いいよ」
「わーい, 勝ったあ」	「負けちゃったあ」

にとって合理的な指示方法であるとした. また, 相手の行動を肯定する方法として与えた OK サインもロボット独特の身体動作であるとした. 本実験では, 以下の仮説に基づき予測の検証を行う.

仮説

ロボット独自の指示方法(RobotMeme)を被験者が延滞模倣する. さらに, そのロボットの指示方法がその被験者に定着し, 似たような環境でも発現する.

予測

ビデオ記録により, 実験 I-A, 実験 I-B で被験者から上記の指示 3 (RobotMeme) が発現したことを確認する.

4.7 実験 I の結果・考察

実験 I のビデオ記録, 被験者へのアンケートから得た結果を分析し, 考察する.

模倣と RobotMeme の定着 (ビデオ記録)

表 2 から、実験 I-A では約 8 割強の被験者がロボットと同じ指示方法を選択したことがわかった。このことから、被験者は未知の状況において機械であるロボットですらも無意識的に模倣してしまうことが明らかとなった。また、実験 I-B では、8 割弱の被験者が再びロボットと同じ方法で指示をしている。このことから、被験者に RobotMeme が定着しており、多少状況が異なっても、ロボットの指示方法が状況をまたいで転用可能であるならば、被験者は類似した状況でロボット独自の身体動作を無意識的に選択することが明らかとなった。

OK サイン

本実験では、指示方法以外の特徴的な身体動作として OK サインを取り上げた。実験 I-A で、ロボットの指示に実験協力者が従ったとき、その行為を肯定するために両腕で大きな輪を作るポーズ (OK サイン) をロボット独自の身体動作 (RobotMeme) として定義した。一般的な OK サインは指で形作る方法をとると思われるが、ロボットは指が無いので両腕を使用するかたちを採用した。実験 I-A では、77% の被験者がロボットの OK サインを模倣した身体動作を表出したことが分かった。しかし、実験 I-B では 22% の被験者のみにとどまった (表 2 参照)。このことから、インタラクションの目的に合ったコミュニケーションスキルほど人は模倣するが、コミュニケーションの成立を左右しないスキル (ミーム) に関しては淘汰される傾向にあることが明らかとなった。

RobotMeme の合理性に対する評価 (質問紙結果)

また、表 4 より実験 I-A においてロボットの指示を模倣した被験者はロボットの指示 (Q1 群) よりも被験者自身の指示 (Q2 群) を高く評価する傾向にあった。つまり、被験者はロボットの指示方法を模倣することにより合理的な方法として思い込んでしまった可能性がある。また、実験 I-B において RobotMeme を発現した被験者は実験 I-A での自身の指示 (Q2 群) よりも実験 I-B での自身の指示 (Q2 群) を高く評価していることがわかった。このことから、人間社会にとって普遍的でないコミュニケーションスキルが、ロボットを模倣することによって獲得・発現され、ひとたび自らの身体をもって再現することによって、その方法を合理的であると判断してしまう可能性がある。つまり、ロボットのインタラクションスキルがその状況において合理的であると感じられたならば、人に模倣されると理解できる。

5. 実験 II: 人から人への連続的模倣実験

実験 I では、ロボット独特の身体動作 (RobotMeme) が周辺のインタラクションを通して被験者によって模倣され、定着するかどうかを検証した。しかし、実験 I では模倣行為が確認されたが、一人の被験者のみを観察対象としていた。そのため、ロボットの身体動作 (RobotMeme) が模倣によって人を介して連続的に伝播されてゆくかどうか

を観察する必要がある。そこで、本節ではロボットの身体動作がどのように人から人へと連続的に伝播してゆくのかを検証した実験 II について述べる。

5.1 実験目的

ロボットの行為が模倣によってどのように人から人へ伝播してゆくのかを検証する。そこで、予備実験を含めた 4 つの実験を通じて、ロボットの状況に適応的な行為が模倣される過程を観察・検証する。

5.2 実験方法

本実験では、被験者に対してインタフェースエージェント (図 4 参照) とジャンケンをするのが実験のタスクであると教示した。その際、エージェントとのコミュニケーション方法として、タッチパネルディスプレイ、マウス、キーボード、ジェスチャーなどの選択肢を被験者に与えておく (図 10 参照)。ジェスチャーは普段人が行うような手の形態を用いた方法である。本実験は 4 つの実験で構成されている。実験実施の流れは、予備実験 II-Pre → 実験 II-A → 実験 II-B → 実験 II-C の順である。図 9 に実験 II-A, II-B, II-C の実験環境と様子を示す。また、被験者は大学生・大学院生の男女 40 名で、すべての被験者が今回使用した Robovie-R ver.2 とインタフェースエージェントを見たことも対話したこともない。

5.3 予備実験 II-Pre

本実験を行う前に、以下を目的とした予備実験を行った。その結果を本実験のデザインに適用する。

- 目的: ディスプレイ上のインタフェースエージェントとジャンケンを行う際、被験者が選択する一般的な対話方法を検証する
- 条件: 被験者とインタフェースエージェントがジャンケンをする。エージェントは、実験者が WoZ 法で制御している
- 環境: 図 9 の実験 II-A (左) の実験環境でロボットがいない条件で行われる
- 教示: 被験者に「これから少しの間キャラクターの相手をしてください」と教示する

予備実験 II-Pre の結果

6 割の被験者がマウスを、3 割の被験者はキーボードを選択した (表 6 参照)。このことから、対話相手が擬人化されたエージェントとはいえ、人は普段使い慣れた入力装置 (キーボードやマウス) を使用する傾向があると言える。つまり、インタフェースエージェントとのジャンケンでは、人同士において一般的に見られるジェスチャーによるジャンケンではなく、情報機器を用いた方法が一般的であると考えられる。これらの結果を踏まえて、本実験 II-A, II-B, II-C を行った。このとき、実験 II-A, II-B 両方に参加した被験者群を H1、実験 II-B, II-C 両方に参加した被験者群を H2 として結果の分析を行った。

5.4 本実験

実験 II-A

表6 ビデオ記録による被験者のジャンケン方法の割合
Table.6 Percentage of the Janken methods of the participants from video records

実験	II-Pre	II-A(H1)	II-B(H1)	II-B(H2)	II-C(H2)
被験者数	10	15	15	15	15
タッチパネルディスプレイ	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
マウス	6 (60%)	3 (20%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
キーボード	3 (30%)	5 (33%)	6 (40%)	6 (40%)	6 (40%)
ジェスチャー	1 (10%)	7 (47%)	9 (60%)	9 (60%)	9 (60%)

- ・ 目的：被験者がロボットのジェスチャーによるジャンケン方法(RobotMeme)を模倣するかどうかを検証する
- ・ 条件：被験者(H1)とロボットとエージェントとの3者で対話を行う。まず、ロボットがエージェントとジェスチャーによるジャンケンをした後、被験者(H1)とエージェントがジャンケンを行う
- ・ 環境：図9の左に実験環境を示す。ロボットとエージェントはあらかじめ決められたシナリオで対話を進める(表5参照)
- ・ 教示：被験者(H1)に「ロボットとディスプレイ上のキャラクターの相手をしてください」と教示する

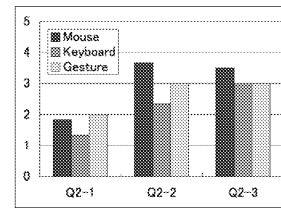
実験 II-B

- ・ 目的：ロボットのジェスチャーによるジャンケン方法(RobotMeme)が他者へ伝播するかどうかを検証する
- ・ 条件：実験 II-A の被験者(H1)と実験内容を知らない別の被験者(H2)とエージェントの3者でジャンケンをする。最初に、被験者(H1)とエージェントが、その後被験者(H2)とエージェントがジャンケンをする。実験が恣意的にならないようにするため、エージェントは実験 II-A と違うデザインにした(形状, 声, 発話内容を変更した)

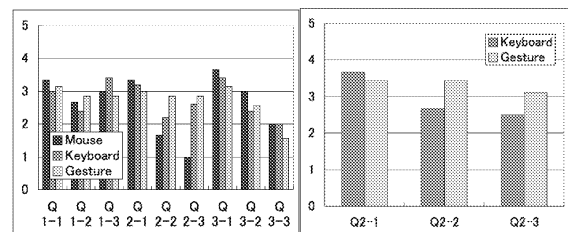
- ・ 環境：図9の中央に実験環境を示す。また、実験 II-A と実験場所を変更した
- ・ 教示：両方の被験者に「これから二人に、ディスプレイ上のキャラクターの相手をしてもらいます」と教示した

実験 II-C

- ・ 目的：ロボットのジャンケン方法(RobotMeme)が人を介して他の人へ伝播するかどうかを検証する
- ・ 条件：上記の実験 II-B の被験者(H2)と実験内容を知らない別の被験者(H3)とエージェントの3者でジャンケンをする。最初に、被験者(H2) とエージェントが、その後被験者(H3)とエージェントがジャンケンをする
- ・ 環境：図9の右に実験環境を示す。実験 II-B と実験場所を変更した
- ・ 教示：両方の被験者に「これから二人に、ディスプレイ上のキャラクターの相手をしてもらいます」と教示した

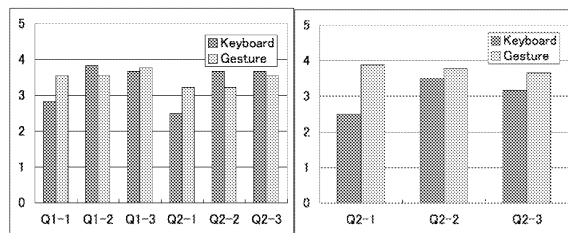


Experiment II-Pre



Experiment II-A (H1)

Experiment II-B (H1)



Experiment II-B (H2)

Experiment II-C (H2)

図11 質問紙の結果

Fig.11 Results of the questionnaire

と教示した

5.5 実験 II の評価方法

ロボットのジャンケン方法(RobotMeme)が被験者を介して連続的に伝播したかどうかをビデオ記録から確認する。また、質問紙による主観評価を行った。質問内容は実験 I とほぼ同じである(表3参照)。質問はいずれも5段階で評価してもらう。Q1 群ではロボットのジャンケン方法(実験 II-A)もしくは自分以外の実験参加者のジャンケン方法(実験 II-B), Q2 群では被験者本人の対話方法を「相手に伝わったか」、「最適だったか」、「自然だったか」の3項目で質問した。Q3 群では、その人のロボットに対する印象について質問した(実験 II-A)。実験 II での評価対象は被験者群 H1 と被験者群 H2 のみとする。

5.6 実験 II の仮説と予測

予備実験 II-Pre の結果から、本実験における人間のインタフェースエージェントとの対話方法として次の3つをより一般的であると考えられる順に方法1~3とした。

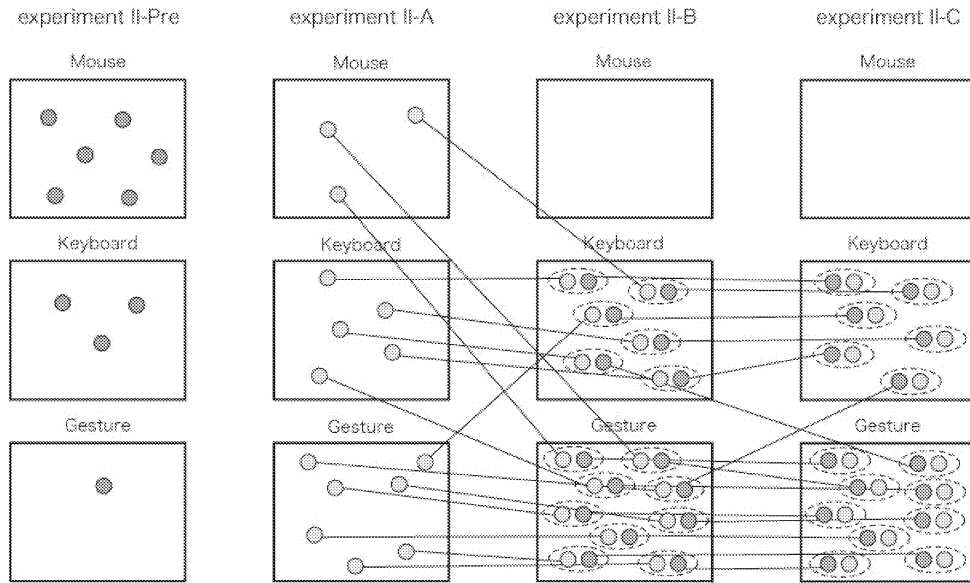


図 12 実験 II でのミーム伝播過程
Fig.12 Process of meme diffusion in the experiment II

- ・ 方法 1 : マウス
- ・ 方法 2 : キーボード
- ・ 方法 3 : ジェスチャー(RobotMeme)

我々は方法 1, 2 によるジャンケンの仕方を人のインタフェースエージェントに対する一般的な対話方法であると考えた。しかし、本来のジェスチャーによるジャンケンが人にとって最も直感的で適応的な方法であると言えるだろう。そこで、もしロボットのジェスチャーによる方法が人に模倣され、人を介して伝播するならば、人とエージェントのような知的なインタフェースとの関係を変化させることが可能であると言えるだろう。実験 II では以下の仮説に基づき予測の検証を行う。

仮説

被験者はロボットのジェスチャーによるジャンケン方法を最適で自然であると評価する。また、被験者は人を介して RobotMeme を模倣によって伝播する。

予測

マウスやキーボードによってジャンケンをする被験者よりも、ジェスチャーでジャンケンをした被験者の方が質問 Q2-1~Q2-3 で高い評価を得る。また、ビデオ記録により、実験 II-A, 実験 II-B, 実験 II-C にて被験者(H1), 被験者(H2)の多くがロボットの方法を模倣する。

5.7 実験 II の結果・考察

実験 II の結果を詳述し、考察する。

RobotMeme の連続的伝播

表 6 から、実験 II-Pre ではほとんどの被験者がマウスかキーボードを使用したのに対し、実験 II-A では、被験者(H1)の 47%がロボットを模倣したジェスチャーによる方法を選択した。さらに、実験 II-B で被験者(H1)の 60%がロボットの方法を改めて選択していることが分かる。図 12 はそれぞれの対話方法(ミーム)が 3 つの実験を通して、模倣によってどのように伝播したかどうかを示し

た図である。図 12 を見ると、数名が実験 II-A とジャンケンの方法を変えている。この結果とは対照的に、実験 II-B のすべての被験者(H2)は被験者(H1)と全く同じ方法を選んでおり、実験 II-C でもほとんど同じ方法を選択している。このことから、人はロボットを模倣するが、模倣対象が人の場合の方がその影響は大きいと言える。

行為選択の迷い

実験 II-A では何名かの被験者(H1)に迷いの動作が確認された。エージェントとジャンケンをする際に、マウスやキーボードに手がのびるがとっさにジェスチャーに切り替えるという動作をしていた。一方で、実験 II-B や実験 II-C では、被験者に迷いの動作は見られず、むしろ事前に腕まくりをしてジャンケンに望むという動作が確認された。このことから、ロボットは人のような信頼性や社会性を未だ獲得できてはいないことが理解できる。

RobotMeme の合理性に対する評価(質問紙)

まず、図 11 から実験 II-Pre での質問紙で被験者自身のジャンケン方法の評価をみると、対話方法での大きな差はない。しかし、実験 II-A では被験者(H1)のうち、ロボットの対話方法(ジェスチャー)を模倣した被験者の方が、自らの方法を最適であると評価している(Q2-3 で有意傾向 $F=3.22, p<.10$)。また、実験 II-B でも被験者(H1)は同様の評価をしていることが分かる(Q1 で有意差 $F8.69, p<.05$)。このことから、状況が変化しても、その状況においてロボットの行為に合理性を感じたならば、模倣獲得することを示しており、実験 I の結果を支持する。

また、実験 II-B で被験者(H1)を通してロボットの方法を模倣した被験者(H2)の方が、ロボットの方法を模倣しなかった被験者(H2)よりも自分自身の方法をわかりやすく直感的であると評価した(Q2-1)。さらに、実験 II-C でも被験者(H2)は同様の評価をしていることから、ロボ

ットの方法の合理性、直感性が人を介しても模倣によって伝播することが確認された。

6. 議論

本節では、本研究の最初のステップとして実施した実験Ⅰと実験Ⅱの結果を議論し、RobotMemeの有用性と今後の研究課題を述べる。また、相互依存的な関係を創出することを目的とした人—ロボットのインタラクションデザインにおいて、人の模倣行為を誘発する為に必要な要因を考察する。

実験結果と関連性理論

まず、本実験結果を関連性理論の観点から議論する。関連性理論とはコミュニケーション研究において Sperber らによって提案された推論モデルである^[15]。彼らは関連性を文脈効果と処理労力とによって規定する。つまり、発言それ自体がもたらす文脈含意が多いほど、また認知コスト（処理労力）が少ないほど関連性を持つというものである。関連性理論から本実験を解釈すると、被験者（聞き手）にとってロボット（話し手）の行為の関連性が高いために、ロボットに対する模倣行為が起こったものと推定する。このことは質問紙の結果からも言及できるだろう。実験Ⅰでは、言葉の通じない人には指示対象と同じポーズをとることが状況依存的で認知コストが低かったものと考えられる。また、実験Ⅱでは、ロボットのジャンケン方法が被験者にとって直感的であったため、認知的負荷を低減させたと考えられる。

新たな適応的スキルを伝達する身体メディア

実験Ⅰの結果、人はロボット独自の方法(RobotMeme)を模倣した。ロボットの身体動作がその状況において適応的であると被験者が感じたこと、また、ロボットの行動がその状況において被験者にとって関連性が高かったことが理由として挙げられる。そのため、ロボットの行為がその状況において適応的であると人が感じるのであれば、ロボットの身体動作は模倣され、RobotMemeは新たな文化知として人間社会のスタンダードとなる可能性があるだろう。例えば、本実験Ⅰのような普段とは違うモダリティで対話しなければならない状況や異国での挨拶の仕方といった今までに経験したことのない状況では、ロボットを模倣することによって適応的なコミュニケーションスキルを暗に学習することができるだろう。このとき、物理的身体を持つロボットは社会的インタフェースとして我々にその状況における適応的なスキルを与える存在となる。

ロボットの社会的影響力を評価する指針

ロボットの社会的影響力を評価するフレームワークとして RobotMeme 概念を適用できると考える。ロボットから発せられた表現が人に移り、日常生活の中で自然に発現される様子を観察することで、ロボットの社会的影響力を評価する。もし、人が普段の生活の中で、ロボット

独自の行為を模倣獲得し、表出するならば、模倣されたロボットは信頼でき、社会的な評価が下されたと言えるだろう。無意識な行為を観察することによって、ロボットの影響を調べ、その結果をロボットの外観デザインやインタラクションデザインに還元することが可能だろう。

RobotMemeの伝播要因

実験Ⅰ、実験Ⅱを通して、人がロボットを模倣することによって RobotMeme が人に伝播した要因を議論し、今後のインタラクション実験での検証課題とする。

(A)環境の類似性

環境の類似性とは、その空間に含まれる情報の類似度のことである。例えば、指示する対象物（実験Ⅰではフィギュアとポスター、実験Ⅱではエージェントの外見、発話内容、声質）やその場所そのもの（実験Ⅱでは実験場所）がミーム伝播の要因になると考えられる。

(B)模倣対象の類似性

本研究では、ロボットが人の模倣対象となる。Meltzoffの実験では、アームロボットがあまりにも人とかけ離れた様態をしていたため、幼児が模倣しなかったと思われる^[11]。そこで、我々は異なった状況でのロボットの身体類似度が模倣に影響を及ぼすと考えている。

(C)模倣行為そのものの状況適応性

行為がその状況に適応的であるかどうか、ミーム伝播の要因になると考えられる。今回の実験では、どちらの実験も被験者はロボットのインタラクション方法を適応的・合理的であると評価していたことがわかった。そのことは、被験者がロボットの身体動作を模倣した要因であると考えられる。また、OKサインが定着していなかった理由も状況適応性の要因と考えられる。

(D)模倣行為そのもののインパクト

ロボットの行為自体に何かしらの面白さや新しさを感じることで、人に大きな印象を残すとも考えられる。実験Ⅰでは、ジェスチャーによる指示方法は実験Ⅰ-Bでも多くの被験者に定着していたが、OKサインはあまり定着していなかった。その要因は、状況適応性だけではなく、フィギュアと同じポーズをとることによって指示をするという行為そのものの新しさやインパクトにも起因すると考えられる。

被験者に RobotMeme が伝播する要因として、上記の4つを挙げた。これらをパラメータとして、ミーム理論に基づいた人—ロボットの周代的相互適応の実現を考える。また、今後は被験者の年齢（成人、子供）やロボットの外見などを変えて実験し、模倣を引き起こす原因を模索する必要がある。

7. まとめ

本稿において、我々はミーム理論に基づく人とロボットの周代的相互適応と RobotMeme という概念を提案した。また、それらの理論に基づいた人とロボットのイン

タラクション実験を行った。実験 I の結果、人が機械であるロボットを模倣することが示された。また、人はロボットを模倣することで、ロボット独自の身体動作を合理的であると評価する傾向にあることも明らかになった。さらに実験 II の結果、ロボット独自の身体動作 (RobotMeme) は人を介すことで連続的・安定的に伝播することが明らかとなった。今回の実験結果を受け、人とロボットの周近的相互適応を実現するため、人の模倣行為を誘発しながら相互依存的な関係を創出する人とロボットのインタラクションデザインを考える必要がある。そこで、今後は図 2 に示した①と③のミーム伝播過程に関する実装とインタラクション実験を行う予定である。

謝辞

本研究における実験を実施するにあたり、公立はこだて未来大学の板垣祐作氏、大矢一恵氏、MIT 大学の Michael Fowler 氏の協力に感謝致します。

参考文献

- [1] 瀬名秀明, 他, けいはんな社会的知能発生学研究会編: 知能の謎, 講談社 (2004).
- [2] Kanda, T., Ishiguro, H., Imai, M., Ono, T.: Body Movement Analysis of Human-Robot Interaction, International Joint Conference on Artificial Intelligence (2003).
- [3] 井上博允, 他: ロボット学創成, 岩波書店 (2004).
- [4] Brooks, R, A: Flesh and Machine: How Robots Will Change Us, Vintage Books (2002).
- [5] 坂本大介, 小野哲雄: ロボットの社会性: ロボットが対話者間の印象形成に与える影響評価, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.8, No.3, pp.61-70 (2006).
- [6] 中内靖: 環境知能化による行動認識とロボットによる支援, 電子情報通信学会技術報告 (ヒューマンコミュニケーション基礎), Vol.105, No.220, pp.23-28 (2005).
- [7] 山田誠二, 角所孝, 小松孝徳: 人間とエージェントの相互適応と適応ギャップ, 人工知能学会誌, Vol.21, No.6, pp.648-653 (2006).
- [8] 植田一博, 小松孝徳: 共発達の構成論, 知性の創発と起源(鈴木宏昭編), pp. 179-203, オーム社 (2006).
- [9] Dawkins, R.: The Selfish Gene, Oxford University Press (1976).
- [10] 園山隆輔: ロボットデザイン概論, 毎日コミュニケーションズ (2007).
- [11] Blackmore, S.: The Meme Machine, Oxford University Press (1999).
- [12] Sakamoto, D., Kanda, T., Ono, T., Kamashima, M., Imai, M., Ishiguro, H.: Cooperative embodied communication emerged by interactive humanoid robots, International Journal of Human-Computer Studies, Vol.62, No.2, pp247-265 (2005).
- [13] Meltzoff, A, N.: Understanding the Intentions of Others: Re-Enactment of Intended Acts by 18-Month-Old Children, In Developmental Psychology, Vol.31, No.5, pp.838-850 (1995).

- [14] Lave, J. and Wenger, E.: Situated Learning, Cambridge University Press (1991).
- [15] Sperber, D. and Wilson, D.: Relevance: Communication and Cognition, Harvard University Press (1986).

(2007年8月9日受付, 11月29日再受付)

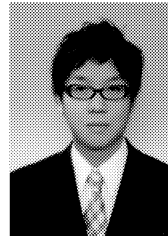
著者紹介

駒込大輔



2007年公立はこだて未来大学システム情報学部情報アーキテクチャ学科卒業。現在、公立はこだて未来大学大学院システム情報科学研究科メディアデザイン領域博士前期課程在学中。知的メディアおよび情報メディアとのインタラクションに伴う人間の創造的行為に関心を持つ。情報処理学会、ヒューマンインタフェース学会、日本デザイン学会各会員。

鈴木道雄



2007年公立はこだて未来大学システム情報学部情報アーキテクチャ学科卒業。同年、公立はこだて未来大学大学院システム情報科学研究科メディアデザイン領域博士前期過程入学、現在に至る。ヒューマンロボットインタラクションに興味を持つ。情報処理学会会員。

小野哲雄



1997年北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士後期課程終了。同年、(株)ATR 知能映像通信研究所客員研究員。2001年、公立はこだて未来大学情報アーキテクチャ学科助教授。2005年より同学科教授。2002年より(株)ATR 知能ロボティクス研究所非常勤客員研究員。博士(情報科学)。認知情報科学、人工知能一般に興味を持つ。特に、ヒューマンロボット(エージェント)インタラクション、インタラクティブシステム、感情の計算モデル、共通言語の進化などに関する研究に従事。情報処理学会、人工知能学会、認知科学学会、ヒューマンインタフェース学会、ACM、各会員。

山田誠二



1984年大阪大学基礎工学部卒業、1989年同大学博士課程修了。工学博士。同年大阪大学基礎工学部助手。1991年同大学産業科学研究科講師。1996年東京工業大学大学院総合理工学研究科助教授。2002年国立情報学研究所教授、現在に至る。人工知能特に、ヒューマンエージェントインタラクション、知的 Web に興味を持つ。人工知能学会、情報処理学会、AAAI、IEEE、ACM 各会員。

