

# 心の理論の枠組を利用した人工物から人間への意図伝達

寺田 和憲<sup>\*1</sup> 社本 高史<sup>\*1</sup> 伊藤 昭<sup>\*1</sup>

Utilization of Theory of Mind Mechanism in Intention Transmission from Artifact to Human

Kazunori Terada<sup>\*1</sup> Takashi Shamoto<sup>\*1</sup> and Akira Ito<sup>\*1</sup>

**Abstract** – We propose a novel framework for intention transmission from artifacts to human by utilizing *theory of mind*. Attribution of intentions to others is a central element of theory of mind. Many researchers revealed that the intention attribution relates to specific brain region and is automatically driven by cues such as gaze, head, body and locomotion. Direction of attention detector (DAD) is a specialized brain function used to determine the attention target by combining information from separate detectors for these cues. We conducted two psychological experiments to investigate the effect of artifact's DAD stimulating actions on intention transmission from artifacts to human by using a remote controlled chair. In order to make the subjects sit on the chair, we designed DAD stimulating movements representing attentions to the subject. In experiment 1, we examined effects of human's psychological stance on intention transmission. In experiment 2, we examined the effects of DAD stimulating actions on the stance and intention transmission. The result showed that (1) whether the subject can discern the artifact's intention or not depends on the subject's basic stance to the artifact and (2) the DAD stimulating actions changed the subject's psychological stance and enabled them to discern the artifact's intention.

**Keywords** : artifact, intentionality, bodily communication, direction of attention, theory of mind

## 1. はじめに

知的人工物や知的環境の出現はキーボードやディスプレイと言った固定化されたインターフェースにとらわれないインタラクティブな世界を予感させる。そのような環境では身体的・非言語的インタラクションが人間-機械の円滑なコミュニケーションを成立させる鍵となる。明確なプロトコルが存在しない自由度の高いインタラクションの場でコミュニケーションを成立させるためには人間が機械の振舞いをどのように理解するかが問題となり、そこでの工学的課題は人間に理解されやすい振舞いを設計することである。

コミュニケーションロボットの考え方は、ロボットの外見を人間に模することで親しみやすさを演出し、対人と同様の自然な反応を引き出そうというものである<sup>[31] [13]</sup>。しかし、Media Equation<sup>[24]</sup>の概念によると、外見的な人らしさや人格を備えなくても意味のある反応など人らしさを示唆する手がかりがあれば容易に対人的反応が引き起こされるという。対人反応を引き起こさせる要因としては、お世辞や称賛<sup>[7]</sup>、チームワーク<sup>[19]</sup>、礼儀正しさ<sup>[20]</sup>、互恵性<sup>[8] [32]</sup>、責任<sup>[17]</sup>などについて研究されている。これらの研究は人がコンピュータに対しても社会的規範を適用し得るかどうか

を調べたものであり、多くの実験はコンピュータディスプレイ上にテキストを表示することによって行われ、刺激の質よりも相互作用そのものに対人性を見出すかどうかに焦点を当てた研究と言える。

他方で、三角形や円など一見すると全く生物に見えない単純な図形であっても、特定の運動パターンを生成することで、意図を持った存在として認識されることが知られている<sup>[12] [11] [4]</sup>。他者が自分とは異なる心を持っていることを理解し、他者の振舞いに対して意図性を付与することで、他者の信念、願望、意図を推測することは**心の理論**(theory of mind)の中心的機能である<sup>[9] [23]</sup>。意図性の付与が生後早い段階で行われることから心の理論が生得的に脳に埋め込まれた機能であり<sup>[27]</sup>、このような処理は自動的に行われていると言われている<sup>[2]</sup>。すなわち、ひとたび対象を意図的な存在だと仮定すると、全ての発話や動作に意図を帰属させざるを得ず、それによって自動的に意図を読むことが可能になるのである<sup>[10]</sup>。

人間が心の理論を機械に対しても適用することができれば直観的かつ自然に機械の意図をユーザに伝えることができる。しかし、心の理論をヒューマンインターフェースに積極的に利用しようとする試みは少ない。ヒューマノイド型ロボットを用いた研究では、心の理論を有するロボットの実現<sup>[25]</sup>、構成論的に心の理論の仕組みを解明しようとする試み<sup>[16] [18]</sup>や、心を感

\*1: 岐阜大学 工学部

\*1: Gifu University, Faculty of Engineering

じさせるための枠組についての研究があるが<sup>[14]</sup>, 非ヒューマノイド型ロボットにおいて心の理論を考慮した研究は非常に少ない。我々は, 機械, 特に非ヒューマノイド型ロボットから人間への意図伝達において心の理論の機能を利用する枠組を構築することを目標とする。

本研究では非ヒューマノイド型ロボットとして駆動輪を有する椅子を用いる。Wizard of Oz 方式によって, 実験者が椅子の注意の方向が人間に向いているように動かすことによって意図性を表現し, 人間と椅子とのインタラクションを分析することによって注意方向の表出が意図伝達に果たす役割を明らかにする。

本論文の構成は次の通りである。2章では意図スタンスと注意方向検出器について述べる。3章では, 比較的自由なインタラクションを行う中でスタンスと意図伝達の関係について明らかにする(実験1)。4章では条件を統制することによって注意方向検出器を刺激するような椅子の動作が人間への意図伝達に有効に働くかを検証する(実験2)。5章で議論をおこない6章でまとめる。

## 2. 意図スタンスと注意方向検出器

Dennett<sup>[5]</sup>によると, 他者の振舞いの心的原因を信念, 欲求, 目的に帰属させることを意図スタンスの採用と言う。Dennettはその他にも他者の振舞いを解釈するための二つのスタンス(設計スタンス, 物理スタンス)を提案している。例えば, 寝ているときに誰かに体を振り動かされたら, その人が自分を起こそうという目的のもとにその行動を行っていると解釈するだろう。しかし, アラームが鳴っている目覚し時計に対してそれが自分を起こそうとしているとは思わない。目覚し時計が鳴るのは, 目覚し時計が人を起こすという目的で設計され, アラームが鳴る時間を事前に設定したからだと解釈する。このように, 対象の振舞いがなんらかの設計原理に基づいていると考えるスタンスを設計スタンスと言う。寝ているときに物体が落下して体に当たったとしよう。物体の落下は重力によるものであり, 誰かが落してやろうと思ったからでもなければタイマーが設定されていて時間になったから落ちて来たわけでもない。このように対象の振舞いを物理的法則や構造によって理解するスタンスを物理スタンスと言う。

意図スタンスの採用は脳内の特定の部位の活動に関係している<sup>[9]</sup>。Baron-Cohen<sup>[1]</sup>は心の理論の理論的なモデルを提案した。このモデルは意図検出器, 視線方向検出器, 共同注意機構, 心の理論機構の4つのモジュールによって構成される。この中で特に視線方向検出器(eye direction detector: EDD)は生物の生存に

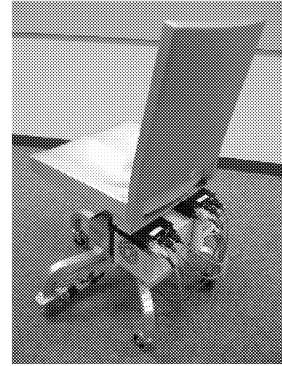


図1 遠隔操作椅子 (RCC).  
Fig. 1 Remote controlled chair (RCC).

とって重要な役割を果たす。他者の視線方向をいち早く検出することは補食者や補食対象の次の動作を推測する重要な手がかりとなるからである。Baron-Cohenは進化心理学の観点からEDDが生得的な機能であると主張している。EDDが脳に埋め込まれた機能であるという神経心理学的な証拠として, サルの上側頭溝(superior temporal sulcus: STS)のニューロンが視線の方向に選択的に反応する<sup>[21]</sup>ことやSTSの損傷によって視線方向を見分けることが出来なくなること<sup>[3]</sup>が報告されている。また, 社会生活を営む上でもEDDは重要な役割を果たす。アイコンタクトはコミュニケーションを行う上で最も基本的かつ強力な手段である。乳児が生後早い段階で他者の視線を追いかけたりアイコンタクトを好んで行ったりすることはEDDが生得的な機能であることを裏付ける<sup>[6]</sup>。

Perrettら<sup>[22]</sup>はSTSが同様に身体の方向にも反応することから, 視線検出器を拡張し, 視線, 頭部, 身体, 動作の方向を検出する注意方向検出器(Direction of Attention Detector: DAD)を提案した。本研究ではこのDADに注目し, DADを刺激するような動作(DAD誘発動作)を人工物が生成することによって人工物から人間への意図伝達が可能になるかを調べる。

## 3. 実験1:スタンスと意図伝達

本実験では, 椅子と人間のインタラクションを観察することによってスタンスと意図伝達の関係を明らかにする。また, スタンスの違いがどのように行動に表れるかを調べる。

### 3.1 実験装置・環境

我々は市販のアルミニウム製の椅子を改造し, 遠隔操作椅子(Remote Controlled Chair, 以下 RCC)を作成した(図1参照)。RCCは, 二つの駆動輪を持つ。使用したモータはmaxon A-max 32, 出力は20Wである。駆動輪はコンピュータのRS-232Cポートに接続されたモータドライバ(maxon mip 20)によって左

## 心の理論の枠組を利用した人工物から人間への意図伝達

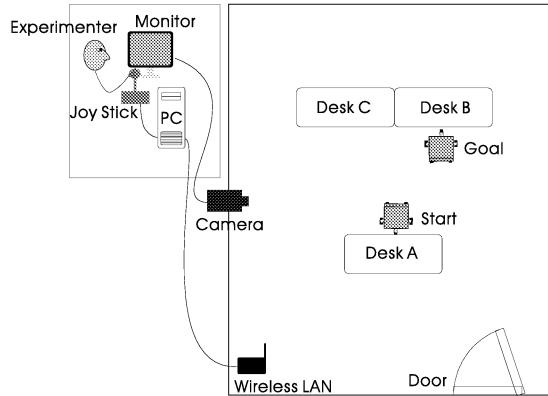


図 2 実験環境  
Fig. 2 Experimental environment.

右独立に制御される。

図 2 は実験に使用された環境の概略図である。実験者は別の部屋から実験室の天井に取り付けられたカメラを通じて実験室の様子を監視することができる。実験者は RCC をジョイスティックによって操縦している。この PC と RCC は無線 LAN によって接続しているため、遠隔操作が可能になる。ジョイスティックによって生成可能な動作は前進、後退、右回転、左回転の簡単な行動要素である。回転半径は真地回転から直進に近い大きいものまでジョイスティックのアナログ値によって制御される。

### 3.2 実験手順

被験者は入室後感じた通りに行動するように指示される。それ以外の事項、例えば実験の目的や部屋の中には何があるかについて一切知らされない。

実験者に課せられた目標は、机 B の前で被験者を RCC に座らせることがある。操作の習熟による RCC の動作のばらつきを無くすために全実験を通じて同一の実験者が RCC を操作する。実験は被験者が目的地点(図 2 の Goal 地点)で椅子に座った場合、もしくは入室から 4 分経過した時点で終了する。

### 3.3 RCC の動作

表 1 に RCC が生成する 11 種類の動作を示す。これらの動作は、DAD 誘発動作、着座誘導動作、その他の動作の三つのカテゴリーに分類される。

#### DAD 誘発動作

DAD 誘発動作は、被験者に対して RCC が注意を向けているように思われるための動作である。これらは RCC が被験者の方を向くことによって実現する。我々は椅子の背もたれの前面、すなわち人間が椅子に座ったときに背中が当たる面を前、その裏を後と仮定した。被験者の方を「向く」というのは、前面を被験者の方に向ける動作である。

表 1 RCC の動作カテゴリーと動作要素  
Table 1 Action categories and units for the RCC.

分類	No.	動作
DAD 誘発動作	ac1	被験者の方を向く
	ac2	被験者の方を向いたまま停止
	ac3	被験者に向かって移動
	ac4	被験者の動きに追従してその場で回転
着座誘導動作	ac5	着座に必要な動作を仮想的に生成
	ac6	目的地点と被験者の方に交互に向く
その他の動作	ac7	被験者から逃げる
	ac8	前進
	ac9	後退
	ac10	回転
	ac11	停止

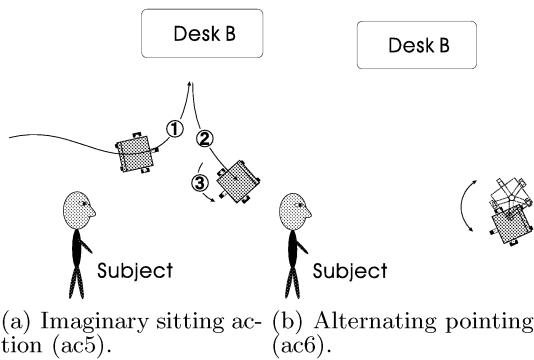


図 3 着座誘導動作  
Fig. 3 Sitting induction actions.

#### 着座誘導動作

このカテゴリーの動作は被験者を RCC に座るように誘導するためのものである。図 3(a),(b) にそれぞれ ac5, ac6 の動作を示す。ac5 は通常人間が椅子に座るときに必要とされる椅子の動きを仮想的に生成するものである。ac6 は目的地点と被験者に交互に向くことによって、椅子の注意が被験者と目的地点の両方にあることを表現する。

#### その他の動作

RCC を操作する上で発生する雑多な動作であり、その動作自体に特別な意味があるわけではない。

実験者は主観によって被験者の行動を解釈し、適切な動作を選択する。被験者の入室時 RCC は机 A の前で停止しており、被験者が机 A の横を通過した時点で動作を開始する。最初の動作は机から後退し (ac9), 被験者の方を向く (ac1) ことである。

被験者が目的地点以外で着座しようとした場合には、被験者から椅子を遠ざけるように動かし、回避行動を取る。

表 2 被験者の動作カテゴリーと動作要素  
Table 2 Action categories and units for the subject.

No.	Action
無関心	as1 RCC 以外のものを見て静止する
	as2 RCC 以外のものを見て移動する
観察	as3 RCC から離れる
	as4 RCC を見たまま静止する
	as5 RCC と等距離を保って移動する
	as6 RCC の後部に移動する
	as7 RCC の側部に移動する
	as8 RCC の機構を観察する
積極	as9 RCC に向かって移動する
	as10 RCC の前方に移動する
	as11 RCC に触れる
	as12 RCC に着座する(試みる)

### 3.4 被験者

被験者は 21 歳から 41 歳までの男性 14 人、女性 7 人の計 21 人である。どの被験者もこれまでに RCC に接した経験がなく、今回の実験が RCC を見る初めての機会である。

### 3.5 観測

被験者の行動はハードディスクレコーダに記録される。映像は実験室の天井に取り付けられたカメラから送られたもので、実験者が見ている映像と同じものである。

### 3.6 アンケート

実験終了後アンケートを行った。アンケートではすでに提案されている尺度<sup>[28]</sup>を用いて、被験者の対人態度や対人関係における傾向を調べた。具体的には、他者の情動や感情に対する共感性を測定するための尺度である情動的共感性尺度、他者への注意の向けやすさや注意を向ける方向を測定するための尺度である他者意識尺度、対人関係を円滑にはこぶために役立つスキル(社会的スキル)を身につけている程度を測定するための尺度である KISS-18 の三つの尺度についてアンケートを行った。

また、被験者が RCC に対して Dennett の提案する三つのスタンスのうちどれをとったかについて質問した。質問の際には具体例を用いてそれぞれのスタンスについて被験者が十分理解できるように配慮した。

### 3.7 行動分析

我々は、記録された映像を詳細に調べ、RCC と被験者の動作をそれぞれ動作要素に分類した。動作分類はフレームレートの精度で行い、全ての時間においていずれかの動作に分類されているようにした。RCC の振舞は表 1 の 11 個の動作要素に分類される。RCC を操作した人物と分類を行った人物は異なっており、RCC の動作出力時に意図していたものと異なった分類をされることもある。被験者の振舞は表 2 の 12 個

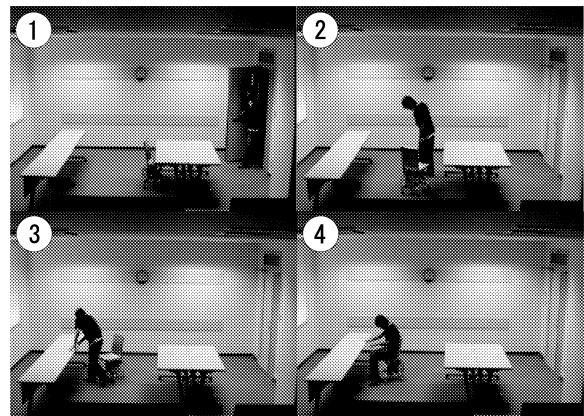


図 4 実験風景

Fig. 4 An example of the experiment sequence.

表 3 着座誘導の成否とスタンスの関係

Table 3 Success or failure of sitting induction by stance.

	人数	着座誘導成功 (目的地以外)	着座成功率 (%)
物理スタンス	3	0 (0)	0
設計スタンス	7	5 (1)	71
意図スタンス	11	10 (2)	90
合計	21	15 (3)	71

の動作要素に分類される。これらの動作は無関心、観察、積極の三つのカテゴリーに大別される。動作分類の基準は次の通りである。まず RCC に関わっているかどうか(RCC の方を向いているかどうか)によって分類し、関わりのない動作を無関心動作とする。次に、RCC に関わっている動作の中から RCC に向かって移動する動作と着座に関する動作を抜き出し積極動作として定義する。残りの動作は RCC に対するニュートラルな姿勢を表し、観察動作とする。さらに、観察動作を RCC との位置関係と動きのあるなしによって 6 種類に分類する。また、「機構を観察する」を観察動作のひとつとして定義した。

### 3.8 実験 1 の結果

21 人の被験者のうち 15 人の被験者が目的地点で RCC に着座したが 6 人の被験者は 4 分経過しても着座しなかった。図 4 に実際に天井のカメラで撮影された映像から切り出した画像を示す。①は入室直後である。この被験者は早い段階で着座を試みた(②)が、椅子の着座拒否行動により着座することができず、しばらく椅子の動作を観察した後に、目的地点で着座した(③④)。

被験者が RCC に対して採用したスタンスは物理スタンスが 3 人、設計スタンスが 7 人、意図スタンスが 11 人であった。以下では、被験者を採用したスタンスによって 3 群に分類し、群間の比較を行う。

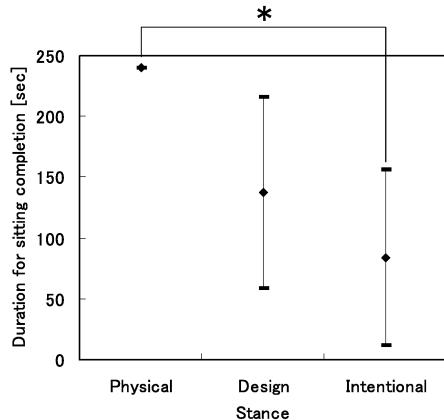


図 5 スタンスと着座に要した時間の関係  
Fig. 5 Mean duration for sitting completion by stance.

情動的共感性尺度、他者意識尺度、KISS-18についてのアンケート結果を分析したところ、いずれについても群間に統計的に有意な差は見られなかった。

### 3.9 スタンスと意図伝達

着座誘導の成否とスタンスの関係を表3に示す。これによると、着座誘導の成否は被験者の採用したスタンスに関係し、物理スタンスを採用した被験者に対しては失敗、意図スタンスを採用した被験者に対しては成功する傾向があることが分かる。

着座した被験者群が着座するまでに要した時間は平均で1分18秒である。スタンスと着座に要した時間の関係をグラフに表したもののが図5である。物理スタンスを採用した被験者が240秒経過しても着座しなかったのに対して、意図スタンスを採用した被験者は約84秒で着座している。また、設計スタンスを採用した被験者は着座までに平均137秒要している。一元配置分散分析(ANOVA)を行った結果、群間で着座に要した時間の平均値に差があることが確認された( $F = 5.314, p < 0.05$ )。また、Scheffeの方法による多重比較によって物理スタンスと意図スタンスに有意差があることが確認された。これらの結果から、被験者が意図スタンスを採用することによって、椅子の着座誘導意図の理解が促進されることが分かる。

### 3.10 スタンスと行動の特徴

スタンスの違いは行動に表れている。以下では採用したスタンスによって行動がどのように異っていたかを統計的に明らかにする。表4は表2のカテゴリーを用いて行動を分析した結果である。上の3行は三つのスタンス群においてそれぞれの動作要素の発生頻度(1分あたり何回発生したか)を示している。下の3行は三つのスタンス群において、それぞれの動作の累積時間が全ての動作の累積時間(入室から着座までに要した

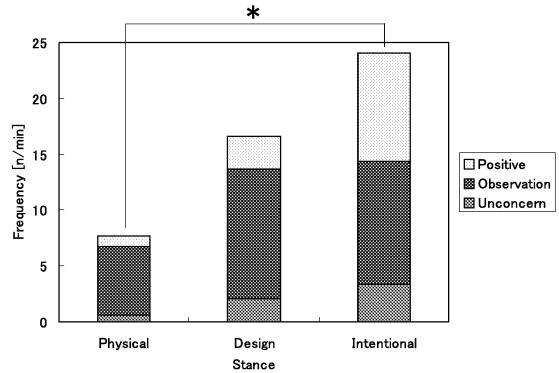


図 6 スタンスと動作頻度の関係  
Fig. 6 Mean frequency of subjects' actions by stance.

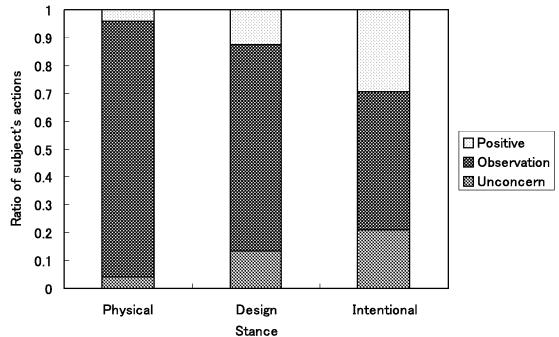


図 7 スタンスと累積動作時間の割合の関係  
Fig. 7 Mean ratio of summed duration of actions by stance.

時間に相当)に対してどれくらいの割合を占めているかを示している。一元配置分散分析(ANOVA)によって各動作についてグループ間で平均値に差があるかどうかの検定を行った。Bartlett検定の結果等分散分析手法の一つである Kruskal-Wallis 検定を行った。また、有意差が確認された動作要素については Scheffe 法による多重比較を行った。その結果を表中に示す。表4中の\*印は有意水準5%で有意差が認められるもの、\*\*印は1%で有意差が認められるものをあらわす。

図6は動作頻度について表2の各カテゴリーごとにまとめたものである。一元配置分散分析(ANOVA)を行った結果、群間で動作頻度の平均値に差があることが確認された( $F = 6.357, p < 0.01$ )。また、Scheffeの方法による多重比較によって物理スタンスと意図スタンスに有意差があることが確認された。これを見ると、動作の発生頻度は物理スタンス群が最も少なく1分あたり8回、意図スタンス群が最も多く24回と物理スタンス群の3倍である。また、動作の内訳を見ると、意図スタンス群で積極カテゴリーの動作割合が高く、物

表 4 動作解析結果  
Table 4 Motion analysis result.

		Unconcern		Observation					Positive				total		
		as1	as2	as3	as4	as5	as6	as7	as8	as9	as10	as11	as12		
Frequency [n/min]	Physical	0.3	0.3*	0.8	3.1	1.8	0.1	0.0	0.4	0.3	0.3*	0.3	0.1*	7.7	
	Design	0.9	1.1	1.5	6.1	3.1*	0.2	0.1	0.6	0.7	0.7	0.9	0.7	16.6	
	Intentional	1.3	2.1	2.1	7.1	0.9	0.3	0.0	0.6	1.4	3.4	1.8	3.2	24.0	
		*	*	*	*	*	*	*	*	**	**	*	*		
Ratio [%]		Physical	0.7	3.3	1.4	69.5*	14.8	0.4	0.0	5.8	1.5	1.3	1.0	0.4*	100
		Design	4.9	8.7	4.4	47.1	14.1	1.1	0.3	6.9	4.5	2.1	3.7	2.3*	100
		Intentional	5.1	15.9	4.7	32.0	4.1	0.9	0.0	7.7	5.7	7.7	6.5	9.5	100

\*: p<0.05, \*\*: p<0.01

理スタンス群で低い。これらは、意図スタンスを採用した被験者が積極的に RCC と関わる行動をしたのに対して、物理スタンスを採用した被験者が積極的な行動をしなかったことを意味する。物理スタンスを採用した被験者群の消極性は「椅子を見ながら静止」(as5) の累積動作時間の割合が 2/3 を超えていることからも裏付けられる。

観察カテゴリー動作の累積動作時間の割合は物理スタンス群が最も高く、意図スタンス群が最も低い。しかし、この動作の内訳を見ると、物理スタンス群ではほとんどが as4 であるのに対し、設計スタンス群では他の動作も行っている。また、統計的に有意な差はないが、観察カテゴリー動作の中で積極的な観察行動(as5, as6, as7, as8) は設計スタンス群で高い値を示している。これは、同じ観察動作であっても、設計スタンス群が積極的な観察であるのに対して物理スタンス群が単に眺めているだけという消極的な観察行動であることを意味している。

積極カテゴリー動作については動作頻度、累積動作時間の割合ともに意図スタンス群が高い値を示している。これは何度も着座を試みたことを意味している。実際には、意図スタンス群と設計スタンス群は両群ともに入室直後の椅子の初動によって着座動作を誘発されて着座を試みた。しかし、その後の RCC の着座拒否動作に対する反応が両群で異っていた。意図スタンス群はそのまま着座を試みようとしたのに対し、設計スタンス群は着座を試みることを中止し観察行動に移行した。

以上をまとめると、各スタンス群の特徴は、意図スタンス群が積極、設計スタンス群が観察、物理スタンス群が消極と言える。

### 3.11 被験者と RCC の相互作用

次に、被験者と RCC の相互作用についての分析を行った。図 8 は RCC の生成した全ての動作要素に対する各動作要素カテゴリー(表 1 参照)の生成割合を示している。誘導動作の割合は物理スタンス群で高く、意図スタンス群で低い。実際に実験時間中に生成された誘導動作(ac5, ac6 の合計)の平均回数は意図スタンス群が 9 回、設計スタンス群が 13 回、物理スタンス群が 30 回であった。これらのことは物理スタンス群に対して何度も繰り返し誘導動作を行い行動を促したとしても、意図を伝えることが困難であったことを意味する。一方で、意図スタンス群は誘導動作の割合が比較的低いにもかかわらず短時間で着座している。

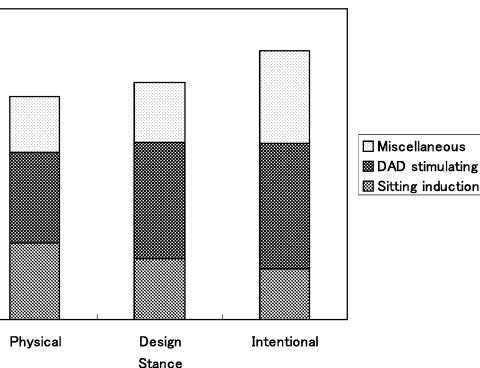


図 8 RCC が三つの被験者群に生成した動作頻度と動作カテゴリーの割合

Fig. 8 Mean ratio of RCC's actions by stance.

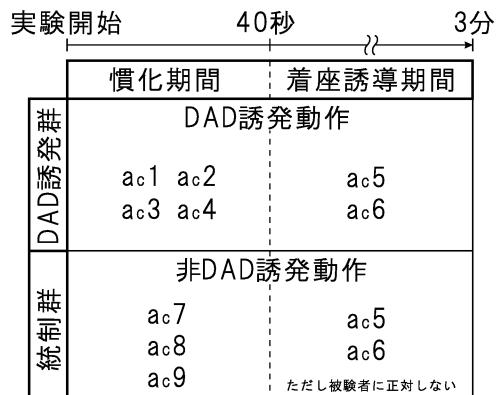


図 9 実験 2 の時系列  
Fig. 9 Time line of the experiment 2.

ンス群が 9 回、設計スタンス群が 13 回、物理スタンス群が 30 回であった。これらのことは物理スタンス群に対して何度も繰り返し誘導動作を行い行動を促したとしても、意図を伝えることが困難であったことを意味する。一方で、意図スタンス群は誘導動作の割合が比較的低いにもかかわらず短時間で着座している。

### 4. 実験 2: DAD 誘発動作と意図伝達

先の実験では RCC の動作生成は実験者の主觀に頼つてインタラクティブに生成されていた。本実験では系統的な手順を用いることによって DAD 誘発動作が被

験者のスタンスと意図伝達に寄与するかどうかを調べる。

#### 4.1 実験手順

基本的な実験手順は実験1と同様であるが以下の点で異なる。実験は40秒間の慣化期間とその後に続く2分20秒間の着座誘導期間(合計180秒)から成る(図9参照)。両群ともに全期間に渡って動作の間には2秒間の停止を入れる。DAD誘発条件と統制条件の二つの条件を設定する。DAD誘発群に対してはDAD誘発動作を含む動作を被験者に提示し、統制群に対してはDAD誘発動作を含まない動作を提示する。

#### 4.2 DAD誘発群に対する動作提示

DAD誘発群に対する慣化期間では常に被験者の2m以内に接近し、被験者の方を向き続ける動作を生成する。具体的にはac1からac4までの動作を被験者の動きに合わせて以下の基準に従って生成する。

1. 被験者が RCC の正面にいない場合、ac1 を生成する。
2. 被験者が RCC の正面にいる場合、ac2 を生成する。
3. 被験者が RCC を見ながら移動している場合、ac4 を生成する。

被験者と RCC の距離が 2m 以上離れている場合は上記 3 つの動作に加えて ac3 を生成する。

着座誘導期間では ac5, ac6 をランダムに生成する。動作間の停止は DAD 誘発群に対しては ac2 に相当する。

#### 4.3 統制群に対する動作提示

統制群に対する慣化期間では ac7, ac8, ac9 をランダムに提示する。着座誘導期間では DAD 誘発群と同様に ac5, ac6 を提示するが、被験者に正対しないように動くことが異なる。動作間の停止は統制群に対しては ac11 に相当する。

#### 4.4 アンケートとインタビュー

実験終了後、アンケートとインタビューを行った。アンケートでは被験者が椅子からどれくらい視線を感じていたかについて調べた。これは以下に示す 4 項目について 5 段階で評価をしてもらった。1. 椅子はあなたに視線を送っていた。2. 椅子はあなたの様子をうかがっていた。3. あなたが椅子を見たとき、椅子もあなたの方を向いていた。4. 椅子の背もたれの前面すなわち、人が椅子に座ったときに背中が当たる面を前、その裏を後と考えた。

また、被験者が RCC に対して Dennett の提案する 3 つのスタンスのうちどれを採用したかについて質問した。

インタビューでは、座った(座らなかった)理由や、椅子の動作をどう感じたか(遠隔操作 or 自動)等について聞いた。

表 5 実験条件と着座誘導の成否の関係  
Table 5 Success or failure of sitting induction by condition.

	着座誘導成功 (目的地以外)	着座成功率 (%)
DAD 誘発群	6 (3)	75
統制群	2 (2)	25
合計	8 (5)	50

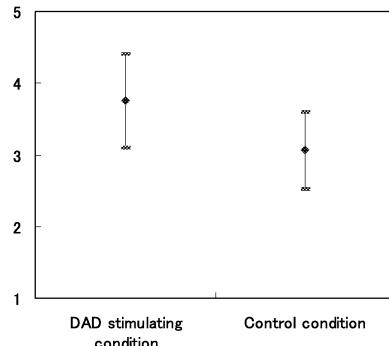


図 10 被験者の椅子に対する視線感知性  
Fig. 10 Subjective feeling of RCC's gaze.

#### 4.5 被験者

被験者は 19 歳から 25 歳までの男性 13 人、女性 3 人の計 16 人である。どの被験者もこれまでに RCC に接した経験がなく、今回の実験が RCC を見る初めての機会である。被験者は、DAD 誘発群が男性 6 人、女性 2 人、統制群が男性 7 人、女性 1 人の二群に分けた。

#### 4.6 実験 2 の結果

表 5 に各条件における着座の成否、着座成功率を示す。これによると、DAD 誘発群で着座成功率が高いことが分かる。また、目的地点での着座は DAD 誘発群では 3 人なのに対して、統制群では 0 人である。この結果は DAD 誘発群で着座誘導の意図が伝達されやすかったことを意味する。

#### 4.7 DAD 誘発動作による視線表現

図 10 に被験者の視線感知性を示す。縦軸は各項目について「全くそう思わない」を 1、「あまりそう思わない」を 2、「どちらともいえない」を 3、「そう思う」を 4、「強くそう思う」を 5 としたときの平均値を表している。t-検定によって二グループ間に有意な差があることが確認された ( $t = 2.31, p < 0.05$ )。これによって、DAD 誘発群の被験者が統制群の被験者よりも RCC の注意を感じていたと言える。またこれは、DAD 誘発群の被験者は、実験後のインタビューにおいて、「椅子が自分の方を向いた」とか「椅子が自分の方を見ていた」といった表現を多用していたことからも裏付けられる。

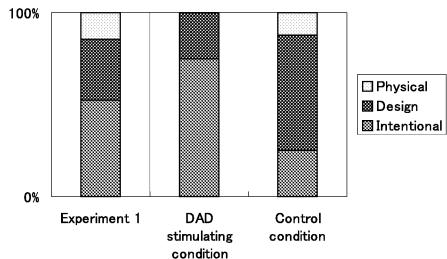


図 11 被験者が RCC に対してとったスタンス  
Fig. 11 Subjects' stance against RCC by condition.

#### 4.8 DAD 誘発動作がスタンスに与える影響

図 11 に被験者が実験中に RCC に対して採用したスタンスの分布を示す。 $\chi^2$  検定によって 2 グループ間でスタンスの分布に有意差があることは確認されなかつた ( $\chi^2_{(2)} 4.24, p = 0.12$ ) が、図から DAD 誘発群では意図スタンスを採用した被験者が多く、統制群では設計スタンスを採用した被験者が多いことが分かる。

図中左に実験 1において全ての被験者が採用したスタンスの分布を示す。実験 1 の結果と実験 2 の結果を比較すると、実験 2 におけるスタンスの分布の偏りが実験 1 よりも顕著であることが分かる。すなわち、実験 2 の DAD 誘発条件では、実験 1 より多くの被験者が意図スタンスを採用し、統制条件ではより多くの被験者が設計スタンスを採用したことを意味する。実験 2 における DAD 誘発条件において RCC が output した動作と実験 1 で RCC が output した動作の違いは、実験 1 における動作出力が操作者の主観に委ねられていたのに対し、本実験では 40 秒間の慣化期間や動作出力基準を設けた系統的なものであったことである。これらの要因が DAD 誘発群で意図スタンスを採用する被験者を増やした要因として考えられる。また、逆に統制群では動作出力がランダムで単調なものであったために意図スタンスを採用する被験者を減少させる効果があったと考えられる。

#### 4.9 DAD 誘発動作が行動に与える影響

図 12 に実験条件と動作頻度の関係を示す。動作頻度の平均値に統計的に有意な差は認められなかった。これは本実験で設定した二つの条件によって被験者の動作頻度に有意な差を生じさせることができなかつたことを意味する。RCC の動作生成基準が異なるので実験 1 の結果と一概に比較することはできないが、実験 1 における意図スタンス群の動作頻度と本実験の DAD 誘発群のものを比較すると、本実験の DAD 誘発群の方が低い値を示している。動作頻度は RCC に対する能動性を表すので、この結果は、本実験の DAD 誘発群が実験 1 の意図スタンス群よりも消極的であったこ

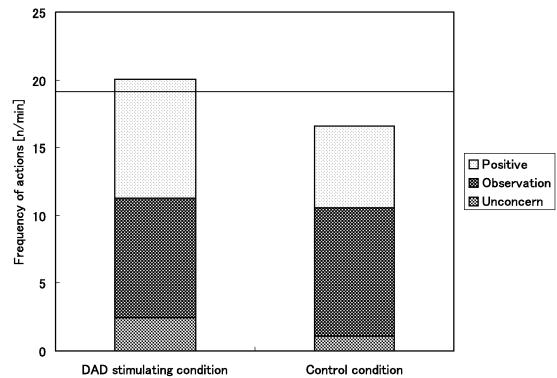


図 12 実験条件と動作頻度の関係  
Fig. 12 Mean frequency of subjects' actions by condition.

とを意味する。これらの理由は、行動様式が個人の特質に依存するところが大きいので、DAD 誘発動作が行動に与える影響はスタンスに対する影響ほど大きくなかったためだと考えられる。

## 5. 議論

実験 2 の後のインタビューにおいて、椅子がどのような仕組みで動いていたかについての問い合わせに、DAD 誘発群では 5 人の被験者が「遠隔操作」、2 人が「自動」と答えた。その理由については「椅子の動きが人間らしかった」、「センサーで反応しているような単純な動作ではなかった」と述べた。一方、統制作群では 6 人の被験者が「自動」、1 人が「遠隔操作」と答えた。その理由については「椅子に人の動きを感じできるセンサーが備わっており、人の動きに反応してランダムに動作を生成していたと感じた」と述べた。興味深いことに、「自動」と答えた被験者の 70% は設計スタンスを、「遠隔操作」と答えた被験者の 90% は意図スタンスを採用していた。操作者の意図に対して意図スタンスを採用したのか、RCC が表出する動作そのものに対して意図スタンスを採用したのかは不明であるが、この結果は、背後に操作者の存在を仮定しながらも意図スタンスを採用することによって人工物の振舞いを解釈可能であることを意味する。

実験 1 において意図スタンスを採用した被験者は RCC が着座誘導意図を表出する以前の早い段階で目的地以外の場所で着座しようとした。また、着座誘導動作を提示した後にも目的地以外の場所で着座を試みることが観察された。これらの結果は被験者の着座が RCC の着座誘導意図の表出と無関係であったことを示唆する。関連性理論<sup>[26]</sup>によると、そもそもコミュニケーションとはプロトコルの存在を前提としたコードモデルのように意図伝達を保証するものではなく、

表出された信号から互いに意図を推測するに過ぎない。本実験では椅子というアフォーダンスの強い人工物を用いたため、被験者が意図を推測する過程で「座る」というアフォーダンスに強く影響されたために着座誘導意図に容易に推論することができたと考えられる。しかし、物理スタンスを採用した被験者がほとんど動かず着座行動を起こさなかったことを考慮すると、単にアフォーダンスが存在するだけではそのような推論は行われず、意図スタンスの採用との相乗的効果により「着座誘導意図」の理解が可能であると考えられる。このことは、非ヒューマノイドの人工物であってもアフォーダンスと意図的な行動を組み合わせることによって意図伝達が可能であることを示唆する。

コミュニケーションがシンボルなどの共通の媒体に対するエンコード／デコードによって行われているというコードモデルを前提とすると、プロトコル不定な状態で意図伝達を行うためには、適当なシンボルに対して共通の意味を割り当てる作業が必要である。小松ら<sup>[30]</sup>は、二人の被験者が協調的なタスクを遂行する中で、未知の音声に対して意味付けを行う過程について分析を行った。その中で彼らは、結果を報酬によって評価するような強化学習的な意味付のプロセスと、両者がともに相手の行動に応じて戦略を変化させることによって相手のことを学習するという相互適応的なプロセスの重要性を指摘している。また、そのような内部状態のマッピングの学習においては、自身の行動出力に対する相手の反応を逐次評価する必要がある<sup>[29]</sup>。本研究において設定した状況はプロトコルが未知な状態であるが、自身の行動出力に対する相手の反応を観察するという相互適応的なプロセスは見られなかつた。この理由は、アフォーダンスの存在やタスクが容易だったために強化学習的なプロセスが必要なかつとも考えることができるが、それ以上に、心の理論によって自動的に意図が推測可能だつたためだと考えられる。

本実験で RCC が表出した意図には「特定の場所」で「着座してほしい」というように、場所の指定と動作の指定の両方が含まれていた。「着座してほしい」という意図はアフォーダンスの効果もあって早い段階で理解されたが、場所の指定を理解するためには目的地点を指し示すことや実際にその場所に移動することによって表現される比較的複雑な動作を「観察」する必要があった。意図スタンス群が早い段階で目的地以外の場所で着座しようとしたのは、意図スタンスの採用によって直ちに意図を読み始めた結果「着座してほしい」という読みが先行したためだと考えられる。

我々は、被験者の人工物に対する姿勢が人間に対するものと類似であり、対人傾向がそのままスタンスに

表われることを予想して実験 1において対人関係の傾向についてのアンケートを行った。しかし、結果が示すようにスタンスと対人傾向の間に相関は見られなかつた。これは、人工物に対するスタンスが人間に対するものとは異なることを意味するとともに、これらの尺度がスタンスを測る尺度にならないことを意味する。本研究では被験者に三つのスタンスを理解させた上で RCC に対して採用したスタンスを直接聞いた。質問に際しては具体例を用いて三つのスタンスについて十分理解できるように配慮したが、適切な尺度を用いて、被験者の内省に頼ることなく直観的かつ容易な方法でスタンスを測ることが望ましい。機械に対する擬人化的傾向を測定する尺度<sup>[15]</sup>が提案されているがスタンスを測る尺度は我々の知る限り提案されていない。スタンスを客観的に測る尺度を構築することは今後の課題である。

## 6. おわりに

我々の長期的な目標は、非ヒューマノイドロボットと人間の間で円滑な意図伝達を実現することである。この目的に対して、意図性を付与して他者の振舞いを理解するという心の理論を利用するなどを提案し、人工物の表出する注意方向が意図性の付与に効果的に働くことを示した。実験 1 の結果から分かることは、被験者が RCC に座るかどうかは RCC がどのような動作を生成するかによるよりむしろ被験者の RCC に対する基本的なスタンスに依存しているということである。これに対し、実験 2 で DAD 誘発動作を制御することで被験者が採用するスタンスに影響を与え、意図の理解が促進されることが確認された。

我々は非ヒューマノイド型のロボット（人工物）の例として椅子を取り上げた。その結果、人間に伝達するべき意図が「特定の場所に着座して欲しい」というものになったが、これを一般論として展開すると次のようになる。人工物と人間の間のコミュニケーションの目的はコミュニケーションすること自体ではなく、人工物の持つ機能を顕在化させることにある。特化した機能を有する人工物は一般的に機能に基づいた外観を有する。特定の外観はそれだけでアフォーダンスを持つが、物理スタンスを採用した被験者がほとんど動かず着座しなかつたように、アフォーダンスを持つだけでは適切に機能を顕在化させることはできない。しかし、本研究の結果から分かるように、アフォーダンスに意図性を持った動きを付加することでアフォーダンスを加速させ、適切な機能顕在化が行われるのである。

本研究では心の理論を利用して機械から人工物への意図伝達が容易になることを Wizard of Oz 方

式を用いた心理実験によって示した。工学的立場からは、この結果を反映した自律的なシステムを構築することが求められる。

## 参考文献

- [1] Simon Baron-Cohen. *Mindblindness: An Essay on Autism and Theory of Mind*. The MIT Press, 1995.
- [2] Sarah-Jayne Blakemore and Jean Decety. From the perception of action to the understanding of intention. *Nature reviews, Neuroscience*, Vol. 2, No. 8, pp. 561–567, 2001.
- [3] R. Campbell, C.A. Heywood, A. Cowey, M. Regard, and T. Landis. Sensitivity to eye gaze in prosopagnosic patients and monkeys with superior temporal sulcus ablation. *Neuropsychologia*, Vol. 28, No. 11, pp. 1123–1124, 1990.
- [4] Fulvia Castelli, Chris Frith, Francesca Happé, and Uta Frith. Autism, asperger syndrome and brain mechanisms for the attribution of mental states to animated shapes. *Brain*, Vol. 125, No. 8, pp. 1839–1849, 2002.
- [5] Daniel C. Dennett. *The Intentional Stance*. Cambridge, Mass, Bradford Books/MIT Press, 1987.
- [6] Teresa Farroni, Gergely Csibra, Francesca Simion, and Mark H. Johnson. Eye contact detection in humans from birth. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol. 99, No. 14, pp. 9602–9605, 2002.
- [7] B. J. Fogg and Clifford Nass. Silicon sycophants: the effects of computers that flatter. *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 46, pp. 551–561, 1997.
- [8] BJ Fogg and Clifford Nass. How users reciprocate to computers: An experiment that demonstrates behavior change. In *CHI '97 Conference on Human factors in Computing Systems*, pp. 331–332, 1997.
- [9] Helen L. Gallagher and Christopher D. Frith. Functional imaging of ‘theory of mind’. *TRENDS in Cognitive Sciences*, Vol. 7, No. 2, pp. 77–83, 2003.
- [10] Helen L. Gallagher, Anthony I. Jack, and Christopher D. Frith. Imaging the intentional stance in a competitive game. *Neuroimage*, Vol. 16, No. 3 Pt 1, pp. 814–821, 2002.
- [11] György Gergely, Zoltán Nádasdy, Gergely Csibra, and Szilvia Bíró. Taking the intentional stance at 12 months of age. *Cognition*, Vol. 56, pp. 165–193, 1995.
- [12] Frits Heider and Marianne Simmel. An experimental study of apparent behavior. *The American Journal of Psychology*, Vol. 57, pp. 243–259, 1944.
- [13] Pamela J. Hinds, Teresa L. Roberts, and Hank Jones. Whose job is it anyway? a study of human-robot interaction in a collaborative task. *Human-Computer Interaction*, Vol. 19, No. 1&2, pp. 151–181, 2004.
- [14] Akira Ito and Kazunori Terada. Producing intentionality in eye-contact robot. In *11th International Conference on Human-Computer Interaction, HCI International*, pp. 22–27, 2005.
- [15] Sara Kiesler and Jennifer Goetz. Mental models of robotic assistants. In *CHI 2002 Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 576–577, 2002.
- [16] Hideki Kozima, Cocoro Nakagawa, and Hiroyuki Yano. Using robots for the study of human social development. In *AAAI Spring Symposium on Developmental Robotics*, pp. 111–114, 2005.
- [17] Youngme Moon and Clifford Nass. Are computers scapegoats? Attributions of responsibility in human-computer interaction. *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 49, No. 1, pp. 79–94, 1998.
- [18] Yukie Nagai, Koh Hosoda, Akio Morita, and Mi-noru Asada. A constructive model for the development of joint attention. *Connection Science*, Vol. 15, No. 4, pp. 211–229, 2003.
- [19] Clifford Nass, B. J. Fogg, and Youngme Moon. Can computers be teammates? *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 45, No. 6, pp. 669–678, 1996.
- [20] Clifford Nass, Youngme Moon, and Paul Carney. Are people polite to computers? responses to computer-based interviewing systems. *Journal of Applied Social Psychology*, Vol. 29, No. 5, pp. 1093–1110, 1999.
- [21] D. I. Perrett, P. A. J. Smith, D. D. Potter, A. J. Mistlin, A. S. Head, A. D. Milner, and M. A. Jeeves. Visual cells in the temporal cortex sensitive to face view and gaze direction. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B*, Vol. 223, pp. 293–317, 1985.
- [22] David I. Perrett and Nathan J. Emery. Understanding the intentions of others from visual signals: neurophysiological evidence. *Current Psychology of Cognition*, Vol. 13, pp. 683–694, 1994.
- [23] D. Premack and G. Woodruff. Does the chimpanzee have a theory of mind? *The Behavioral and Brain Sciences*, Vol. 1, No. 4, pp. 515–26, 1978.
- [24] Byron Reeves and Clifford Nass. *The Media Equation: How People Treat Computers, Television, and New Media Like Real People and Places*. CSLI Publications, 1998.
- [25] Brian Scassellati. Theory of mind for a humanoid robot. *Autonomous Robots*, Vol. 12, pp. 13–24, 2002.
- [26] Dan Sperber and Deirdre Wilson. *Relevance: Communication and Cognition*. Oxford: Blackwell, 1986.
- [27] Michael Tomasello. Joint attention as social cognition. In Chris Moore and Philip J. Dunham, editors, *Joint Attention: Its Origins and Role in Development*, chapter 6, pp. 103–130. Lawrence Erlbaum Associates, 1995.
- [28] 堀洋道監修／吉田富二雄編. 心理測定尺度集 II. サイエンス社, 2001.
- [29] 山田誠二, 山口智浩. 人間とロボットの相互適応 - AIBO をしつける -. 第 58 回人工知能学会「知識ベースシステム」研究会, 2002.
- [30] 小松孝徳, 鈴木健太郎, 植田一博, 開一夫, 岡夏樹. パラ言語情報を利用した相互適応的な意味獲得プロセスの実験的分析. 認知科学, Vol. 10, No. 1, pp. 121–138, 2003.
- [31] 神田崇行, 宮下敬宏, 長田拓, 配川有二, 石黒浩. 人口ボット相互作用における人型ロボットの外見の影響. 日本ロボット学会誌, Vol. 24, No. 4, pp. 497–505, 2006.
- [32] 竹内勇剛, 片桐恭弘. 人－コンピュータ間の社会的インタラクションとその文化依存性-互恵性に基づく対

人的反応-. 認知科学, Vol. 5, No. 1, pp. 26-38, 1998.

(2006年2月6日受付, 6月30日再受付)

### 著者紹介

寺田 和憲 (正会員)



1995年大阪大学工学部精密工学科卒業.  
2001年奈良先端科学技術大学院大学報  
科学研究科博士後期課程修了. 2000年  
独立行政法人通信総合研究所特別研究  
員. 2002年岐阜大学工学部応用情報学  
科助手. 博士(工学). エージェントや  
ヒューマンインターフェースにおける身  
体性の問題に興味をもつ. 人工知能学  
会, ロボット学会, ヒューマンインタ  
フェース学会など会員.

社本 高史



2006年岐阜大学工学部応用情報学科卒  
業. 現在, 同大学院博士前期課程在学  
中. コミュニケーションの認知科学, 人  
とロボットとのインタラクションに興  
味を持つ.

伊藤 昭



昭47京大・理・物理卒. 昭54同大大学  
院理学研究科博士卒(理博). 同年郵政  
省電波研究所(現通信総合研究所)入  
所. 平10山形大学工学部教授. 平12  
岐阜大学工学部教授. 現在に至る. 人工  
知能, マルチエージェント学習, コミュ  
ニケーションの認知科学, の研究に従  
事. 電子情報通信学会, 情報処理学会,  
人工知能学会, 日本認知科学会, 日本ソ  
フトウェア科学会各会員.

