

人工物に対する意図性の付加が機能発現に及ぼす影響

寺田 和憲[†] 社本 高史^{††} 伊藤 昭[†]

^{††} 岐阜大学大学院工学研究科 〒 501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1

[†] 岐阜大学工学部 〒 501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1

E-mail: [†]{terada,ai}@info.gifu-u.ac.jp, ^{††}shamo@elf.info.gifu-u.ac.jp

あらまし 人工物が能動的に動くことは、人間と人工物の間のインタラクションの可能性を増大させる。行為の多様性に起因する問題を解消するための方法としてはこれまで、人間の意図を理解しそれに対して適切な動作を出力するという考え方が主流であった。しかし、人工物の動作がより複雑になると、人工物の意図を明確に示しながら動作することが求められる。この実現には意図をいかに表出するかが鍵となる。人間の意図理解に関する研究は進化心理学、発達心理学の分野で行われている。我々は、それらの研究の知見を応用して、人間に理解されやすい人工物の行動を設計することを目指している。本稿ではこれまでに我々が動く椅子を題材として行ってきた一連の研究を振り返りながら、能動的な人工物と人間の間にある問題点を再検証し、意図性を付与することによってどのように解決されるかを議論する。

キーワード 意図性、能動的な人工物、心の理論、機能

Effects of Intentionality on Function Realization of Active Artifacts

Kazunori TERADA[†], Takashi SHAMOTO^{††}, and Akira ITO[†]

^{††} Graduate School of Engineering, Gifu University Yanagido 1-1, Gifu-shi, 501-1193 Japan

[†] Faculty of Engineering, Gifu University Yanagido 1-1, Gifu-shi, 501-1193 Japan

E-mail: [†]{terada,ai}@info.gifu-u.ac.jp, ^{††}shamo@elf.info.gifu-u.ac.jp

Abstract The degrees of freedom of interaction between human and artifacts become greater as the artifacts more actively move. The main strategy for solving the problem of complex interaction was to understand the human intention and generate appropriate behaviors to it. We propose intention presentation approach to solve this problem. To help people to understand artifact's complex behavior, the artifacts should show obvious intentionality. So, the key point is how to represent artifact's intentionality. Many researches on cognitive foundation of intention understanding is carried out in evolutionary psychology and developmental psychology. We employ the result of these researches to design understandable behavior of artifacts. In this paper we review our researches in which we use a mobile chair as an example of an active artifact. We will then review problems existing between human and active artifacts and argue the effects on intentionality on interaction between them.

Key words intentionality, active artifact, theory of mind, function

1. はじめに

コンピュータやアクチュエータの小型化、高性能化は人工物が知能と能動性を獲得することを可能にする。知的、能動的な人工物が多数存在する環境ではインタラクションの自由度が増大し、その結果発生する多数の選択肢は人間の意思決定を困難にする。そのような場において人間の認知負荷を軽減し、作業の停滞を回避するための方法を確立することが求められる。

人工物が能動的に動くことは、両者の間に存在する行為の可

能性を増大させる。人工物が有用なモノとして機能するには、人間の意図に合致し適切な時期に動作する必要があり、そうすることで、両者の間に存在する行為の多様性が解消される。小林ら [17] は意図そのものを推定するのではなく行為そのものを動作命令として扱う行為に埋め込まれたコマンドモデルを提案した。このモデルは人間の行為そのものを人工物に対する命令とみなすことで、人間が命令を意識することなく自然に振る舞うだけで目的の機能が実現される。自動ドアや自動水栓はその単純な例で、人間の身体の近接が命令となって人工物の動作が



図 1 移動椅子.
Fig. 1 Mobile chair.

生成される。自動ドア程度の複雑さだと人工物の動作の引き金となる人間の動作をあらかじめ決定し、それを知覚するセンサを装備することは容易である。しかしより複雑な機能を有する人工物の場合は、命令 - 動作 - 機能の関係を一意的に決定し事前に埋め込むことは困難である。

先に述べたように、能動的な人工物と人間の間に存在する行為の多様性に起因する問題を解決するための一つの方法は人間の意図を正しく理解することである。これに対し、我々は、人工物の方から意図を表出することによって、この多様性を解消することを提案している [13] [16]。人工物が意図を表出することは、これまで人間が握っていた主導権の一部を人工物側に委ねることを意味する。人工物から人間に対して意図を表出する場合、人工物が意図的な存在として認識されることが重要である。人間がどのようにして対象を意図的な存在として認識するかは進化心理学、発達心理学において多数研究されている。

本稿ではこれまでに我々が動く椅子を題材として行ってきた一連の研究を振り返りながら、能動的な人工物と人間の間に存在する問題点を再検証し、意図性を付与することによってどのように解決されるかを議論する。まず、自由度の高い人工物と人間が対峙したときに起こる問題を示し、次に意図性を付与することでそれがどのように解消されるかについて説明する。

2. 自動的に動作する人工物と人間のインタラクション観察

我々はまず、自動的に動く人工物と人間のインタラクションの観察を行った [15]。その中で、人工物が人間の動作を引き金として動作する場合、人工物の動作が複雑な場合にはシナリオ通りに機能が実現されないことを明らかにした。

能動的な人工物の例として我々は移動する椅子を想定した (図 1 参照)。この椅子は市販のアルミニウム製の椅子にモータ付きキャストを装着し、コンピュータを搭載することによって実現された。

本実験では、我々は椅子に座らなければならない状況で椅子を探すという状況を作りだした。被験者に対して「椅子に座らなければならない」かつ「椅子が近くにない」状況を、明示的に指示することなく強制的に作り、実際に行動してもらった。

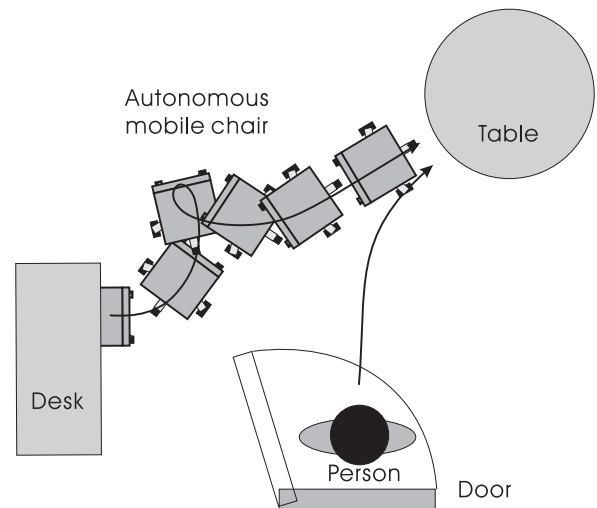


図 2 自動的に動く移動椅子と人間のインタラクション実験
Fig. 2 Experiment on interaction between human and automatic mobile chair.

その状況において、被験者は椅子を探す動作を行い、その動作を引き金として、椅子が被験者に向かって移動を開始し、着座を補助するように動く。このようなシナリオのもとで実験を行い、被験者が椅子の動作に対してどのように振る舞うかについて調べた。

2.1 実験方法

被験者に次の指示を行うことで先に述べた状況を作った。なお、被験者には、事前に移動椅子を用いた実験であることは伝えていない。

(1) 実験室外で、室内に入り、丸いテーブルの上にある紙に書かれた指示に従うように伝える。扉と移動椅子、机、テーブルの位置関係は図 2 の通りである。

(2) テーブル上の紙には、椅子に座って課題を解くように指示が書かれている。課題は複数ページからなり、1 ページ目にはダミーの簡単な計算問題が数問ある。次ページ以降では、椅子に対する印象を 5 段階で評価するように求められる。

指示書に着座して問題を解くように指示が書いてあるが、テーブルの近くには椅子がない。必然的に被験者は椅子を探す動作を行う。移動椅子は被験者の後方で停止しており、被験者が椅子の方を注目した段階で動き出す。被験者の動作は椅子に搭載された全方位カメラからの映像を処理することで検出した。

実験終了後に質問紙によって、意図が伝達されたかどうかについての調査を行った。これは、「意思疎通ができた」「以心伝心である」「心を読まれたような気がした」のそれぞれの項目について「非常にそう思う」から「全くそう思わない」までの 5 段階で評価を求めることで行った。また動作遮断を指標に用いた評価を行った。

被験者は、大学の情報系学科 4 年生の学生 14 名であった。

2.2 実験結果

2.2.1 意図伝達性能

質問紙による調査によって、被験者が意図伝達性能について否定的な印象を持っていたことが明らかになった。適切なタイ

ミングで動作を生成したにも係らずこのような結果になった原因は意図理解における相互作用のプロセスの欠如と考えることができる。本実験における意図伝達では、人間の「座りたい」という意図は、特定の動作と状況を知覚することにより、一方的に機械が理解するというものであった。人間同士のコミュニケーションにおいて、双方が合意に達するために、複数回の情報の相互伝達が必要であると同様に、人間と人工物との間に発生すべき機能を決定するためにも、相互に意図を伝達することが必要だと考えられる。

2.2.2 動作遮断による評価

実験において次の例に示すような動作の遮断が観察された。

- 椅子に向かって歩き出すが、椅子が動き出すことによって歩行が停止し、その場に立ちすくんでしまう。
- 近付いて来る椅子の進路上に立っていたため、接触を回避するために後ろに下がる。

これは、被験者が計画した一連の動作に対して、移動椅子の生成した動作が割り込んだ結果、計画中止を強いられたことが原因と考えられる。実験後のアンケートにおいて、半数の被験者は、椅子が動くことは予想していなかったと答えた。椅子が受動的な場合、椅子に座るといふ一連の動作は外乱が発生しない限り自動的に遂行される。しかし、椅子が能動的な場合、人間の動作計画に「椅子が動く」ということが織り込まれていなければ、椅子の動作は動作遂行の妨げとなる。我々が無意識に行う身体動作は、一旦動作を始めると、その動作を継続させようとして連続的にある点まで自動的に進んでしまう。本実験において発生した動作遮断は被験者の一連の動作に移動椅子の動作が割り込むことによって引き起こされたものと考えられる。

2.3 考察

実験のビデオを観察することによって、椅子との調和的行動が全く取れない被験者の存在が明らかになった。ある被験者は椅子の動作を理解できず、椅子が後方の机からテーブルに移動するまでの間に何度も着座を試みた。実験後のインタビューによって、椅子の初期の動作を机への着座誘導だと解釈したことが分かった。このことから分かるように、次のような場合には人工物の能動的な動きによる機能実現は正常に働かないことが分かる。

- 人間が強い信念のもとに立てた行動計画を遂行する場合。
- 人工物の動作生成のタイミングが不適切な場合。
- 人工物の行動目的が効果的に提示されない場合。

上述したように、椅子の生成した動作は人間の意図に合致して動いているにもかかわらず、実験はうまくいかなかった。本実験では、被験者の座りたいという意図は半ば強制的に作り出されたものだが、被験者は着座したいという意図を確実に持っていたと考えられる。椅子に視線を向けることによって椅子の動作は開始し、椅子は比較的単純な経路を通して、被験者の後方に移動し、着座を促した。この一連の意図理解-動作生成は一見適切に機能しているように見える。しかし、それにもかかわらず良好な結果を得られなかった原因の根底には意図理解に基づくインタラクションデザインの限界が存在していると考えられる。

我々は、ここで視点を切り替え、意図理解に基づくデザイン原理から意図表出に基づくデザイン原理へと方針を転換する。

3. 人工物に意図性を付加するという事

Dennett [4] 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揺り動かされたら、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して解釈するだろう。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して解釈する。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。

スタンスを制御する特定のキューの存在について議論されている。例えば、多くの研究者が行為主体性 (agency) や自発行動 (self propelled motion) が意図スタンスを引き起こす原因になり得ると述べている [1][12][8]。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 [6][11]。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 [6]。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 [14]、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 [2]。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 [7]。Baron-Cohen [1] 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 [9] 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 [3] 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

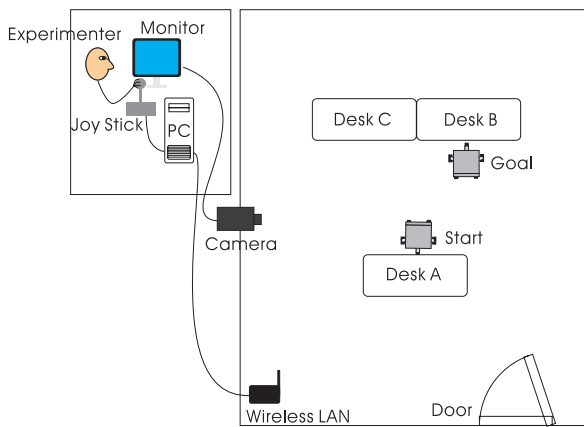


図 3 実験環境

Fig. 3 Experimental environment.

表 1 移動椅子の動作カテゴリと動作要素

Table 1 Action categories and units for the mobile chair.

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

りすることは EDD が生得的な機能であることを裏付ける [5].

4. 注意を向けることによる意図伝達促進

Perrett ら [10] は STS が同様に身体の方角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、動作の方角を検出する注意方向検出器 (Direction of Attention Detector: DAD) を提案した。本章では、人工物が DAD を刺激するような動作 (DAD 誘発動作) を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た実験について述べる [13].

我々は椅子の表出する DAD 誘発動作を次のように定義する。

- 人間の方を向く、
- 人間の方を向いて静止する。
- 人間の方に向かって動く。
- 人間の動きに追従してその場で回転する。

本実験では 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。実験条件は DAD 誘発、統制の 2 条件の被験者間 1 要因計画であった。

4.1 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何があるかについては一切知らされない。

移動椅子は実験者が遠隔操作することによって動かされる。実験者に課せられた目標は、机 B の前で被験者を移動椅子に座らせることである。操作の習熟による移動椅子の動作のばらつきを無くするために全実験を通じて同一の実験者が移動椅子を操作する。実験は被験者が目的地点 (図 3 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。椅子の動作は表 1 に示す動作を実験者が状況に応じて選択し、ジョイスティックによって制御することで生成する。これらの 11 種類の動作は、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に分類される。DAD 誘発動作は、被験者に対して移動椅子が注意を向けているように思わせるための動作である。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。着座誘導動作は被験者を椅子に座らせるように誘導するためのものである。ac5 は通常人間が椅子に座るときに必要な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。その他の動作は椅子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。

実験は 40 秒間の慣化期間とその後続く 2 分 20 秒間の着座誘導期間 (合計 180 秒) から成る。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。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。

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) 被験者が移動椅子の正面にいない場合、ac1 を生成する。
- (2) 被験者が移動椅子の正面にいる場合、ac2 を生成する。
- (3) 被験者が移動椅子を見ながら移動している場合、ac4 を生成する。

被験者と移動椅子の距離が 2m 以上離れている場合には上記 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、被験者が移動椅子に対して 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。

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

表 2 実験条件と着座誘導の成否の関係

Table 2 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

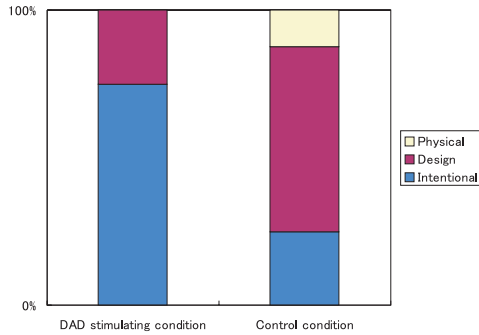


図 4 移動椅子に対してとったスタンス

Fig. 4 Subjects' stance against mobile chair by condition.

人である。どの被験者もこれまでに移動椅子に接した経験がなく、今回の実験が移動椅子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 実験結果

表 2 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 誘発動作がスタンスに与える影響

図 4 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。 χ^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った ($\chi^2_{(2)} 4.24, p = 0.12$) 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かったことが分かる。

5. 同調的振舞がスタンスに与える影響

先の実験では、DAD 誘発動作が意図伝達に寄与することが明らかになった。本実験では人工物が人間と同調的に振る舞うことが意図的な存在として認識されることに貢献するかどうか調べた [16]。本実験では椅子の同調的振舞を被験者の動作直後 (本実験では 0.5 秒後) に椅子が動作を行うことと定義した。被験者の動作はカメラからの映像に閾値以上のオプティカルフローが検出された場合と定義した。

実験室には椅子しか存在せず被験者は感じた通りに行動することを求められた。

実験条件は同調、統制の 2 条件の被験者内 1 要因計画であっ

表 3 着座の成否

Table 3 Success or failure of sitting.

	着座人数	着座率 (%)	着座までの時間 (sec)
同調条件	12/16	75	89
統制条件	10/16	63	103

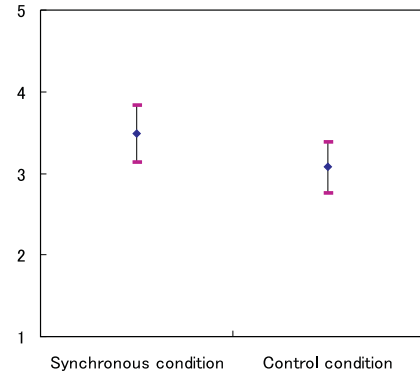


図 5 被験者の椅子に対する同調感受性

Fig. 5 Synchronous sensitivity of subject.

た。同調条件では椅子は人間に対して同調的に振舞い、統制条件では椅子は規則的に振る舞った。生成する動作系列はあらかじめランダムに生成された系列であるが、どちらの条件においても同一であり、生成するタイミングだけが異なる。生成される動作要素は 6 種類であり、前進、後退、回転等の単純なもので、持続時間は 1 秒または 2 秒である。

5.1 被験者

被験者は 20 歳から 27 歳までの男性 15 人、女性 1 人の計 16 人である。各被験者に対して、同調条件と統制条件のもとで実験を行う。

5.2 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が同調的に振舞っているように感じていたか (同調感受性)、また、椅子に対してどのような印象を持ったか (親和性) について調べた。同調感受性は 5 項目、親和性は 3 項目についてそれぞれ 5 段階で評価してもらった。また、被験者が移動椅子に対して 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。

5.3 実験結果

表 3 に各条件における着座人数、着座率、着座までの時間を示す。なお、着座しなかった被験者は 3 分として計算した。16 人の被験者のうち、同調条件では 12 人の被験者が移動椅子に着座し、統制条件では 10 人の被験者が移動椅子に着座した。統制条件のみで着座する被験者は見られなかった。

図 5 にアンケートから求めた被験者の同調感受性を示す。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 ($t = 4.05, p < 0.05$)。これにより、被験者は、統制条件より同調条件で、より同調性を感じていたといえる。

図 6 にアンケートから求めた被験者の椅子との親和性を示す。統計的に有意な差は検出されなかったが、同調条件の値が統制

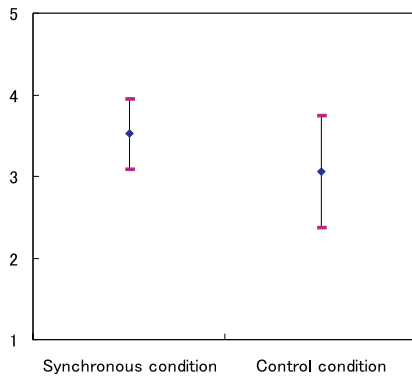


図 6 被験者の椅子に対する親和性

Fig. 6 Subject's familiarity.

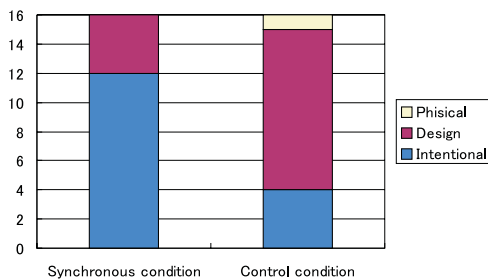


図 7 移動椅子に対してとったスタンス

Fig. 7 Subjects' stance against mobile chair.

条件の値よりも高くなっていることが分かる。これにより、被験者は、統制条件より同調条件で、より移動椅子に親和性を感じていたといえる。

図 7 は実験中に被験者が採用したスタンスの割合を示している。McNemar 検定によって同調条件と統制条件において、被験者の採用したスタンスの比率に有意な差があることが確認された ($\chi^2_{(3)} = 8.00, p < 0.05$)。これにより、被験者は統制条件より同調条件で、より意図スタンスを採用していたといえる。

また、実験後のインタビューにおいて被験者は、統制条件では「椅子はランダムに動いているようにしか感じなかった」と述べた。一方、実験条件では「椅子は座らせないように逃げていた」とか「自分の方に向かってきた」と述べた。統制条件と実験条件で生成する動作列は全く同じである。にもかかわらずこのような違いが生じたのは椅子が被験者と同調的に振舞うことによって被験者が椅子の動きに意図性を付与しようとしたためと考えられる。

6. まとめ

本稿では、これまでの意図の理解に基づくインタラクション設計ではなく、意図の表出によるインタラクション設計について議論した。人工物が意図的な存在になるということは、人間側に全ての決定権を付与するのではなく、人工物の側がある程度の主導権を持ち、人間の行動、思考を誘導することである。そして、そのような誘導が能動的な人工物と人間の間のインタラクション

クシオンに存在する多様性を解消し、人工物の存在意義である、機能実現という収束点に向かって進む手助けとなる。

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] Daniel C. Dennett. *The Intentional Stance*. Cambridge, Mass, Bradford Books/MIT Press, 1987.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] Frits Heider and Marianne Simmel. An experimental study of apparent behavior. *The American Journal of Psychology*, Vol. 57, pp. 243–259, 1944.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] David Premack and Ann James Premack. Intention as psychological cause. In Dan Sperber, David Premack, and Ann James Premack, editors, *Causal Cognition: A multidisciplinary debate*, pp. 185–199. Oxford: Clarendon Press, 1995.
- [13] Kazunori Terada, Takashi Shamoto, and Akira Ito. Utilizing theory of mind on human agent interaction. In *The 15th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN 2006)*, 2006.
- [14] 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.
- [15] 寺田和憲, 伊藤昭. 能動的な人工物における協調的動作補完. 人工知能学会第 62 回知識ベースシステム研究会合同エージェントワークショップ&シンポジウム (JAWS)2003 特別セッション「HAI (Human Agent Interaction)」, pp. 419–425, 2003.
- [16] 社本高史, 寺田和憲, 伊藤昭. 人工物の同調的な振舞いが意図理解に与える影響. ヒューマンインタフェースシンポジウム, 2006.
- [17] 小林一樹, 山田誠二. 行為に埋め込まれたコマンドによる人間とロボットの協調. 人工知能学会論文誌, Vol. 21, No. 1, pp. 63–72, 2006.