

特集 「認知的インタラクシオンデザイン学」

# 人の適応性を支える環境知能システムの構築

## Design of Ambient Intelligent System for Supporting Human's Natural Adaption

今井 倫太  
Michita Imai

慶應義塾大学  
Keio University.  
michita@aillab.ics.keio.ac.jp, <http://www.ayu.ics.keio.ac.jp/>

小野 哲雄  
Tetsuo Ono

北海道大学  
Hokkaido University.  
tono@ist.hokudai.ac.jp, <http://chaosweb.complex.eng.hokudai.ac.jp/>

篠沢 一彦  
Kazuhiro Shinozawa

ATR 知能ロボティクス研究所, 大阪教育大学  
ATR Intelligent Robotics Laboratories./Osaka Kyoiku University.  
shino@atr.jp, <http://www.irc.atr.jp/>

大澤 博隆  
Hirotaka Osawa

筑波大学  
The University of Tsukuba.  
osawa@iit.tsukuba.ac.jp, <http://hai.iit.tsukuba.ac.jp/>

飯塚 博幸  
Hiroyuki Iizuka

北海道大学  
Hokkaido University.  
iizuka@complex.ist.hokudai.ac.jp, <http://autonomous.jp/>

硯川 潤  
Jun Suzurikawa

国立障害者リハビリテーションセンター研究所  
Research Institute, National Rehabilitation Center for Persons with Disabilities.  
suzurikawa-jun@rehab.go.jp, <http://www.rehab.go.jp/ri/indexj.html>

**Keywords:** adaptation, contingency, human-agent interaction.

### 1. はじめに

我々は、新学術領域研究「認知的インタラクシオンデザイン学」の中のC02班として、人-人工物のインタラクシオンのデザインに関する研究を行っている。人工物に対して人がもつ他者モデル（他者の行動を理解・予測するための認知モデル）に応じてサービスを行うシステムの設計論を確立する。人-人工物のインタラクシオンを、アンビエントモデル（部屋・建物が対象）、身体化モデル（道具・車椅子・車・テレプレゼンスロボットが対象）、他者モデル（自律エージェント・ロボットが対象）の三つに分類し、それぞれの人工物の設計論を、人-人インタラクシオンおよび人-動物インタラクシオンの研究で得られる知見を参考に実現する方法を明らかにする。特に、車や車椅子を移動の道具として見る場合や、擬人化して捉える場合があることに着目し、使用状況によって同一の人工物とのインタラクシオンが異なる可能性も考慮する。本研究では、インタラクシオンが変化することを鑑み、人工物の使用状況に応じて適応的に他者モデルを変更する方法についても明らかにする。

人は、相手の心的状態を読み、適応的に行動し、相手と円滑にコミュニケーションを行う。動物に対しても同様であり、時として車やコンピュータといった道具に対しても、あたかも心をもつものとして扱うことがしばしば見受けられる [Reeves 96]。相手の心的状態を読みながら行動することは、人工物に対しても行われるのに対して、人工物側から人の心的状態を読み、それに答える方法については確立されていない。人と人工物の間で心的状態を読み合うインタラクシオンが実現されたとしたら、既存のユーザインタフェースの枠組みを超え、より円滑なコミュニケーションや機器の操作環境が構築できると期待できる。

人と人工物のインタラクシオンの研究は、古くより行われ、1980年代より国際会議 ACM CHI でコンピュータサイエンス・インタフェースデザイン・ヒューマンファクタ・認知科学といった観点から学際的に行われている。また、2006年より国際会議 IEEE/ACM HRI が始まり、ロボットなど人に近い形で自律的に行動する人工物と人のインタラクシオンに関する研究が行われている。しかしながら、多くの研究は、コンピュータソフトウェアやロボットを使いやすくするデザインに関して、

ヒューマンファクタ（人への刺激と人の行動の対応関係の探求）の観点からアプローチしている。人工物とのインタラクションを引き起こす人の心的状態を無視し、インタラクションを単純な入出力問題として外部から観測し、表層的に扱っているのが現状である。人工物に対する人の心的状態の変化や人の心的状態を人工物が読む原理やモデルにまで迫る研究は皆無である。

本研究では、ヒューマンファクタの検証による単純な人工物のインタラクションデザインという枠組みから一歩踏み出し、人工物の振舞いから人工物の意図や心的状態を人がどのように読むのか、また、人工物の側も、人の心的状態をセンサ情報から推測し、振る舞う方法について研究を行う。他者モデルをもち、真の意味で人と円滑なコミュニケーションをとることのできる人工物の構築方法を探る。

研究代表者の今井および分担者の小野は、これまで、ロボットの心的状態を人に読ませ、ロボットとの円滑なコミュニケーションを実現する方法について研究を行ってきた。人が感じている感覚についてロボットが発話したり [Imai 03]、人が所有するパーソナル CG エージェントがロボット上のディスプレイに現れたりすることでロボットに対する関係性を人に感じさせる手法を提案した [Ono 00]。関係性を基本としたインタラクションを通して、人は、ロボットの心的状態を自然と推測するようになり、ロボットの意図や状態を勘案しながら、コミュニケーションの文脈にふさわしい行動をとるようになる。しかしながら、ロボットの心的な状態を人が読む条件を見つけ出したにすぎず、動的に進行するコミュニケーションにおける問題を扱っているわけではない。特に、ロボット側から人の心的状態を推定しておらず、真の意味で相互に適応してコミュニケーションすることはできない。本研究では、タスクや役割の決まった自律ロボット・テレプレゼンスロボット・CG エージェント・電動車椅子・自律走行車を想定しつつ、人工物の側から人の心的状態を推定する方法および人に人工物の心的状態を推測させ、真に相互に適応し、持続的なコミュニケーションを実現する方法を研究する。

A01・02 班の人-人インタラクションのモデルおよび B01 班の人-動物インタラクションのモデルで得られた知見を人工物の設計に取り入れることで、人の心的状態に応じて適応的に行動できる機械に関する研究分野が確立できると期待できる。人の心的状態自体と、センサで計測できる人の行動を対応付けるためには、さまざまな状況における人のインタラクションを観察・分析する必要があり、領域内の有機的な結合があって初めて推進可能な研究である。さらに、人工物は、同じインタラクションを正確に再現することができ、再現性の低い人-人インタラクションや人-動物インタラクションの研究に対して、他者モデルを搭載した人工物を用いることで、再現性の高い実験環境を構築でき、より深いインタラク

ション原理の理解に到達できると期待できる。

## 2. C02 班の構成と研究内容

C02 班の計画班メンバは、本稿の著者でもある今井・小野・篠沢・大澤の4名である。また、C02 班に関連する公募班メンバとして飯塚・硯川の2名が所属している。

C02 班の研究は、A01・A02・B01 班の知見を参考にしつつ人工物とのインタラクションのデザインを考案することであるが、本稿では、各班の成果をフィードバックする前段階として現在までに我々が取り組んでいる研究について紹介する。

今井・篠沢は、人と一体となって行動する人工物と人のインタラクションを研究する計画研究の一環として人に適応的に行動する自律車椅子の研究を行っている。小野・大澤は、人と別の身体をもち、人とインタラクションする人工物の研究を行っている。

また、公募班では、硯川が障害者・高齢者の症状の違いから車椅子の個人適応の研究に取り組んでいる。また、飯塚は、インタラクションの中で他者がどのように立ち現れるのかという課題について研究を行っている。

以降の章で現状の取組みを簡単に紹介する。

## 3. 計画班の取組み

### 3-1 車椅子の個人適応

車椅子の個人適応の研究として、安心・安全という観点から行っている研究と、自律車椅子の動作の個人適応の研究の二つを紹介する。

**車椅子の安心・安全性：**自律車椅子は、自ら地図を作成し最短経路で目的地まで人を乗せて移動することができる。自律車椅子は、車体に取り付けられたセンサと SLAM によって地図を構築、さらに、自己の位置を把握し、目的地までの最短経路に沿って移動する。この経路は、経路長が短くなるように選択されるとともに、障害物などに衝突することはないため安全な経路である。この経路に沿うことができる最大の速度で自律車椅子が移動すれば、最も短い時間で目的地に到達することが可能である。自律車椅子は、飛行機、電車やバスなどと異なり、人の生活環境内で活動する。搭乗者は移動中に周囲の状況が見えやすく、近づく危険に対する恐怖感が容易に生じる。通路の壁際を移動する経路などは安全とわかっていても、高速で通過する場合には恐怖感が伴う。見通しの悪い角、十字路のような人の飛出しが予想される場所を通る経路、床面や路面の凹凸で車体の振動を伴う経路も恐怖感や不快感が誘発される可能性が高い。さらに、すれ違う人にとって、自律車椅子は、移動障害物となり、近づき方などによっては恐怖感を与えたり、場合によっては、人の流れに逆らう経路になったりするなど、最短経路であることが、移動経路として適切とは限らない。

十分に遅い速度で安全に移動するロボットであれば、危険にあうこともなく、安心感は大きくなると考えられる。しかし、目的地まで到達するまでに多くの時間を費やし、焦燥感が誘発され、快適とは言い難い。そこで、経路上での位置や向きで人が感じる安心感を推定し、安心な経路を計画する方法を提案している [Morales 14, Morales 15]。これらの方法は、壁からの距離に依存した安心感の分布モデルや、見通しの良さを評価する **Visibility index** と安心感の関係をモデル化する。二つのモデルに基づいた安心感の地図を作成し、地図を利用して経路計画を行うことで、安心感を考慮した経路を計画することができる。経路要因以外に、安心感には馴化の効果が考えられる。同じ経路を数回繰り返して安全に体験することによって、恐怖感は減少し安心感は大きくなる。

ロボットの動きによって生じる搭乗者の視覚的変化と体性感覚は、搭乗者の感覚として統合される。人の自己身体イメージは、視覚と触覚などの多感覚の刺激が同時（ある一定時間内）に与えられることによって形成される [Gentile 13]。その形成には多感覚間の予測も関わっているといわれている。搭乗者の視覚的刺激と体性感覚の刺激が、自己身体イメージとして捉えられる刺激の条件を満たせば、車椅子型ロボットは身体の延長（一体感）と認識されるのではないだろうか。一体感が増えれば、馴化が早期に進む可能性があり、より安心と思える状態になり得ると考える。

**個人に適応した命令生成**：状況依存表現を含んだ走行命令を実行可能な自律走行車椅子システムの開発を行い、適応的に振る舞う人工物実現の最初の課題として取り組む。ここでいう状況依存表現とは、「大きく曲がる」や「速く進む」といった行動を修飾する表現と定義し、以下状況依存表現と呼ぶ。

車椅子の音声操作に関する研究は従来より行われている。前進、後進、停止、左右の回転に加え左右の曲がりに関して、二つの曲がるコマンドを用意することで、音声により車椅子の細かな動きが可能なシステムを実装した研究がある [Simpson 02]。詳細な命令は可能ではあるが、ユーザや環境により異なる「大きい」や「速い」といった状況依存表現の命令を実現することはできない。また自律走行する電動車椅子においてユーザにとって快適な経路を求める研究もある [Morales 13]。しかしながら、従来の研究では車椅子は状況依存表現を含んだ走行命令を実行できない。なぜなら、一つの状況依存表現に対して乗車するユーザのイメージや周囲の環境により水準は異なり、一意に定まらないからである。状況依存表現を含んだ走行命令を実行するにあたり、ユーザごとのイメージの違いを認識し環境が変化しても、その場にふさわしい走行を行うことが必要である。

本研究では使用する個人や使用される環境に応じて水準が変化する状況依存表現の命令に対し、車椅子が自律走行を実行するシステムを実装する。ユーザや環境に

よって水準が異なる状況依存表現をユーザのコントロールによって得られた軌跡、スピードの特徴を地図とともにデータベースに保存する。そして、未登録の環境で参照に適した地図データを DP マッチングにより選択しデータをもとに軌跡、スピードを決定し自律走行を実行する。似ている環境で学習した行動軌跡を読み出すことで、環境に依存した形で状況依存表現が車椅子の自律走行として再現される。また、個人ごとに学習データを集めることで、呼び出される走行命令は、そのユーザが想定する自律走行となるため、個人に適応的に走行できる。

DP マッチングにより似ている環境の地図データを選び取り、似ている環境で学習した走行軌跡を読み出すことで、その環境に当てはまる状況依存表現を含む走行命令が実行可能となり、環境に適応した形で走行できる。

学習した状況依存表現を含む命令を実行し実際に車椅子が走行した軌跡を地図上に示した。図 1 に慶應義塾大学矢上キャンパス 14 棟 4 階で学習結果を再現し走行した軌跡、図 2 に 14 棟 7 階で学習結果を再現し走行した軌跡を示す。4 階と 7 階は環境として酷似しているため、ユーザの直接のコントロールにより学習した結果を再現すると非常に精度良く再現できた。

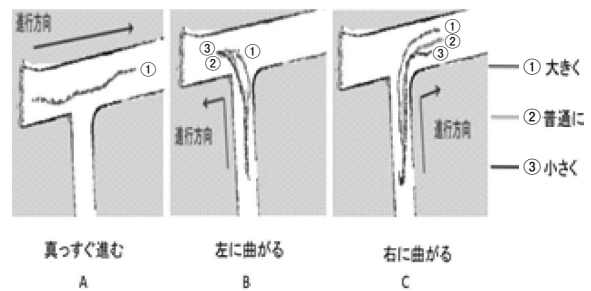


図 1 14 棟 4 階の自律走行軌跡

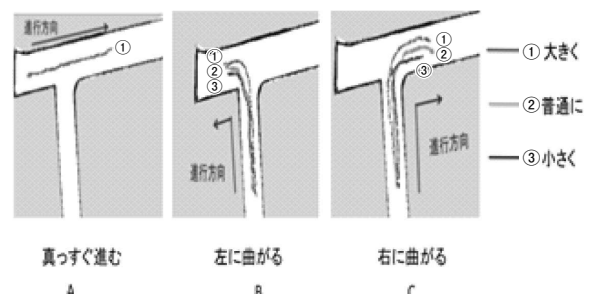


図 2 14 棟 7 階の自律走行軌跡

酷似している環境においては、学習結果からその環境に当てはまる状況依存表現を含む走行命令が実行可能となり、環境に適応した形で走行できるといえる。

本システムは、酷似しているまたは似ている特徴をもつ環境において学習結果からその環境に当てはまる状況依存表現を含む走行命令が実行可能であるといえる。

### 3.2 愛着を伴った関係の構築と意図伝達

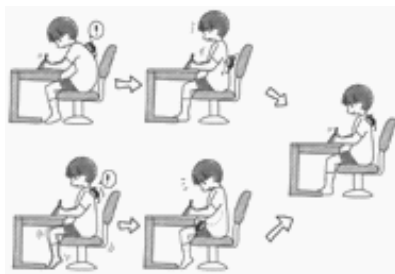
本研究では、子供が身につけることにより、子供を「し

つける」ことができるウェアラブルロボットを提案する。このロボットは、通常のウェアラブル端末が有する見守り機能や情報提示機能とともに、状況に応じて子供の身体上を移動しながら、悪い癖（猫背や貧乏ゆすりなど）をロボットが振動によって注意し、子供を「しつける」機能を有する。ロボットがこの機能を実現するためには技術的に、ユーザの身体姿勢の認識、ユーザの文脈の推定、インタラクションによる表情の変化、ユーザとの関係の構築と意図伝達の方法の確立が必要となる。本研究ではこれらの技術開発を行うことによりロボットを実装し、フィールドでの検証実験を行う。

すでに実装したプロトタイプシステム（図3 (a)）およびコンセプト図（図3 (b)）を用いて、本研究の目的を述べる。本研究で提案するウェアラブルロボットは、状況に応じて子供の身体上を移動しながら、悪い癖をロボットが振動によって注意し、子供を「しつける」ことを目的としている。図3 (b) の上段は、子供が猫背であることをロボットが認識したため、振動により注意を与え、正しい姿勢にさせている。さらに、図3 (b) の下段は、子供が貧乏ゆすりをしていることをロボットが認識したため、振動により注意を与え、その動作を止めさせている。ロボットがこの機能を実現するためには技術的に、子供の身体姿勢の認識、子供が現在いる文脈の推定、子供との関係の構築、触覚を用いた意図伝達の方法の確立が必要となる。



(a) プロトタイプ



(b) 研究のコンセプト図

図3 実装したウェアラブルロボット

ユーザがウェアラブルロボットからの注意を受け入れて振舞いを変えらるということは、今後の人とロボットが共生する社会を考えるうえで、重要な要因を含んでいる。つまり、なぜユーザが人工物であるロボットの注意を受け入れるかという点である。この点に関しては、さまざ

まな観点からの議論が可能であるが、本研究では、「愛着を伴った関係の構築」という観点から考える。

Nagasawa ら [Nagasawa 15] が指摘するように、人と伴侶動物である犬の絆は、人の母子の間に共通に認められる化学物質（オキシトシン）と視線を主とした愛着行動との正のループにより促進されることが明らかとなった。つまり、「愛着を伴った関係の構築」により、人と犬は生活環境を共有し、共生することが可能となったのである。

同様に、今後、人とロボットが共生する社会を考える場合、この「愛着を伴った関係」をいかに構築するかが重要な研究テーマとなる。本研究ではこれを、「触覚を用いたインタラクション」に求める。つまり、ロボットが身体上を移動しながら身体の姿勢を認識し、また、人がロボットをなでることにより表情を変化させるという触覚を用いたインタラクションを通して、「愛着を伴った関係」の構築を目指す。この関係の構築により、ユーザは人工物であるロボットの注意を受け入れるのではないかと考える。

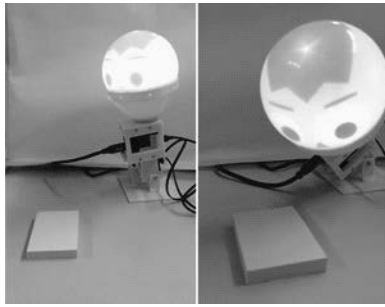
人と犬が3万年ともいわれる長い期間、生活環境を共有し、共生することができたように、「愛着を伴った関係」を構築することにより、人とロボットの共生も可能となるのではないだろうか？ 本研究はこの観点から、人とロボットのインタラクションデザインを考える第一歩になると考えている。

### 3.3 人-エージェント関係性デザインのための エージェントロボットのプロトタイプ

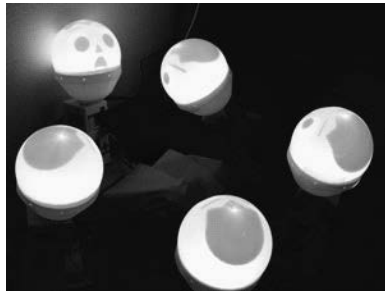
我々人類はロボットや計算機のように、内的状態もち入力と出力を合わせて、人間に対し自律的に振る舞う機械を設計できるようになった。人間はこうした自律的な人工物に対し不可避免的に意図を検出してしまう。このような人間対人工物のインタラクション設計は、人間対人間のインタラクション手法に学ぶこともできるし、人間対動物のようなインタラクションに学ぶこともできる。一方で、それらの知見を応用した全く新しいインタラクションデザインを設計できる可能性をも秘めているといえる。

本研究では、他班で得られる人とエージェントとのインタラクションにおけるモデル・知見を応用し、その可能性を検討するために、画像投影による高速な表情変化と、アクチュエータによる身体行動を行うエージェントロボットのプロトタイプを開発している。開発中のエージェントは図4のように投影を併用し、シンプルな動きからさまざまな表出をユーザに与えることが可能となっている。また、エージェント同士の集団対話を模した演出も可能となる。我々はこのプロトタイプをいくつかのコミュニケーションゲーム、小学校における教育用途に応用し、人間に与える影響を評価している。

また、人対人、人対動物間の研究から得られた意図の



(a) 投影テクスチャと実世界動作による興味表現



(b) 投影型ロボットエージェントによる集団対話・社会性の演出

図 4

モデルの応用として、こうしたモデルの一部をユーザに対し装着することで人間のもつ社会性を補強するような用途も可能となる。

応用の例として、我々は人間の感情労働の一部を代替することを想定している。感情労働とは労働者が自らの感情を制御することを求められる種類の労働であり、客室添乗員や看護師、教師といった職業が例としてあげられる。Hochschild は技術発達による肉体労働、頭脳労働のコモディティ化が、こうした新しい形の労働を生むことを指摘した。これらの職業は労働者自身の感情と表出しなければならない感情が異なるため、労働者の精神的負荷が生じやすい職業である。

我々はこの感情労働、相手の感情に合わせて振舞いを変化させる「エージェント化された目や口」として、図 5 のような AgencyGlass, AgencyMask を作成し、感情表現の一部自動化による効果を検証している。AgencyGlass や AgencyMask は、視線表現や共同注視、感情同調といった動作を可能としている。例えば



図 5 AgencyGlass (左), AgencyMask (右) による感情表現の代替

AgencyGlass はカメラと連動し、対話者が見ているものを装着者が見ているように振る舞うことができる。また、AgencyMask はカメラを使って対話者の感情を認識し、それと同調した表情を表現することができる。このような感情表現の同調による効果は他班の研究や関連研究で行われているが、こうした効果が人間の補佐技術として使われた場合に、どのような効果を与え得るのか、検証している。

#### 4. 公募班の取組み

##### 4.1 症状に応じた適応

福祉機器はその高度化・情報化が進む一方で、症状や残存機能が一律でない障害者・高齢者をターゲットユーザとするため、「安全・安心」を設計・評価することが極めて難しく、統一的なアプローチが存在しないことが問題となっている。そこで硯川らは、日常生活環境下での利用状態を網羅的に計測・収集する「ライフログ」を活用し、福祉機器とユーザのインタラクションを定量的に評価する試みを進めてきた。図 6 に、開発した車椅子ライフログシステム WELL-SphERE (Wheelchair Everyday Life Logging with a Smartphone-based Electronic Recording Equipment) の概要を示す。同システムは、スマートフォンとそこに接続される小型のセンサユニットで構成される。電動車椅子やセニアカーなどの移動支援機器に搭載し、操作ログを含む多様な情報を収集できる。収集したライフログを分析することで、操作能力の個人差や操作の慎重さといった、従来は測ることが難しかった特性を数値化することに成功した。また、路面状況・車体挙動・操作入力という環境・車椅子・ユーザ間の刻々と変化するインタラクションを同時計測することで、ユーザの心理的状态や機器の操作性など、機器とユーザの間に生じている随伴性を評価できる。

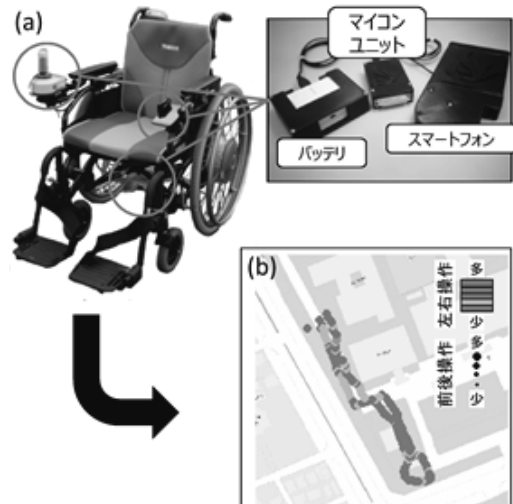


図 5 車椅子ライフログシステムの概要。  
(a) システムの構成, (b) 地図上に描画された操作動態

## 4.2 他者性の発生原理

自分の身体に対して、「今、自分が動かしている」という感覚（運動主体感）は、視覚と体性感覚の間で時間遅れによる齟齬が発生した場合には、その感覚は失われていく [Blakemore 00, Shimada10]。これは、自分の知覚と運動のループにおいて生じるものであるが、二者の相互作用の知覚と運動のやり取りにおいても、同様のことを考えることができる。相互作用において、そのやり取りに齟齬が生じると相手と相互作用を続けることが難しくなる。母親と乳児の相互作用においては、録画映像を用いることで、乳児の社会的随伴性について示された [Murray 85]、同様の実験方法を用いて、雄と雌の鳩においても示されている [Ware 11]。ロボットやエージェントが人と相互作用するときこのやり取りの社会的随伴性に齟齬が生じないように振る舞うためにはどのように振る舞うべきなのだろうか。このことが、人がロボットと相互作用したときに感じる違和感の原因になっていると考えられる。

ここでは、この問題に対して、人と人の相互作用を極限まで単純化した知覚交差実験において明らかにしたい。知覚交差実験では、人の運動は一次元の左右方向に限定され、何かと接触したときに生じる知覚だけが振動で与えられる。相互作用を単純化することで、今まで理論化が困難であった相互作用において、ロボットやエージェントに応用可能な知見を得る。このような限定的な運動と知覚の相互作用においても、人らしさの検出が可能であることが示されている [Auvray 09, Froese 14]。この人らしさの検出には適切な社会的随伴性がなされなければならない。そこで、このやり取りに時間遅れを挿入することで、相互作用の安定性や社会的随伴性に必要な相互の適応的振舞いを明らかにする。この時間遅れは、ロボットが人と相互作用しているときにロボットの反応動作が遅い状況を再現している。ロボットの動作の反応が遅い場合にも相互作用を安定に保つための振舞いや相互作用のデザインを明確にすることができる。これらの実験を行い人と人の社会的随伴性について明らかにすることで、ロボットが人と円滑に相互作用するための振舞いの設計指針を明らかにしていく。

## 5. まとめと今後の展望

本稿では、新学術領域認知的インタラクシオンデザイン学 C02 班の研究事例を紹介した。今後は、A01・A02・B01 班からの研究成果との連携を考えている。自律走行車椅子は、B01 班の人と馬のインタラクシオン研究成果をフィードバック可能であると考えている。また、人型ロボットやエージェントといったキャラクターをもつ人工物とのインタラクシオンには、A01・A02 班の研究成果をフィードバックする予定である。

## ◇ 参考文献 ◇

- [Auvray 09] Auvray, M., Lenay, C. and Stewart, J.: Perceptual interactions in a minimalist virtual environment, *New Ideas Psychol.*, Vol. 27, pp. 32-47 (2009)
- [Blakemore 00] Blakemore, S-J., Wolpert, D. M. and Frith, C. D.: Why can't you tickle yourself?, *NeuroReport*, Vol. 11, pp. 11-16 (2000)
- [Froese 14] Froese, T., Iizuka, H. and Ikegami, T.: Using minimal human-computer interfaces for studying the interactive development of social awareness, *Frontiers in Psychology*, Vol. 5, p. 1061 (2014)
- [Gentile 13] Gentile, G., Guterstam, A., Brozzoli, C. and Ehrsson, H. H.: Disintegration of multisensory signals from the real hand reduces default limb self-attribution: An fMRI study, *J. Neuroscience*, Vol. 33, No. 33, pp. 13350-13366 (2013)
- [Imai 03] Imai, M. and Narumi, M.: Generating common quality of sense by directed interaction, *2003 IEEE Int. Workshop on Robot and Human Interactive Communication, ROMAN*, pp. 199-204 (2003)
- [Morales 13] Morales, Y., Kallakuri, N., Shinozawa, K., Miyashita, T. and Hagita, N.: Human-comfortable navigation for an autonomous robotic wheelchair, *IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, pp. 2737-2743 (2013)
- [Morales 14] Morales, Y., Jani, E., Kallakuri, N., Ikeda, T., Shinozawa, K., Kondo, T. and Hagita, N.: Visibility analysis for autonomous vehicle comfortable navigation, *Proc. 2014 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation (ICRA)*, pp. 2197-2202 (2014)
- [Morales 15] Morales, Y., Watanabe, A., Ferreri, F., Even, J., Ikeda, T., Shinozawa, K., Miyashita, T. and Hagita, N.: Including human factors for planning comfortable path, *Proc. 2015 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation (ICRA)*, pp. 6153-6159 (2015)
- [Murray 85] Murray, L. and Trevarthen, C.: Emotional regulations of interactions between two-month-olds and their mothers, *Social Perception in Infants*, Field, T. M. and Fox, N. A., eds., pp. 177-197, Norwood, NJ: Ablex Publishing (1985)
- [Nagasawa 15] Nagasawa, M., et al.: Oxytocin-gaze positive loop and the coevolution of human-dog bonds, *Science*, Vol. 348, pp. 333-336 (2015)
- [Ono 00] Ono, T. and Imai, M.: Reading a robot's mind: A model of utterance understanding based on the theory of mind mechanism, *Proc. AAI-2000, AAI*, pp. 142-148 (2000)
- [Reeves 96] Reeves, B. and Nass, C.: *The Media Equation: How People Treat Computers, Television, and New Media Like Real People and Places*, Cambridge University Press (1996)
- [Saga 14] Saga, T., Munekata, N. and Ono, T.: Daily support robots that move on me, *SIGGRAPH Asia 2014, Emerging Technologies* (2014)
- [Shimada 10] Shimada, S., Qi, Y. and Hiraki, K.: Detection of visual feedback delay in active and passive self-body movements, *Exp. Brain Res.*, Vol. 201, No. 2, pp. 359-364, doi: 10.1007/s00221-009-2028-6 (2010)
- [Simpson 02] Simpson, R. C., Simon, S. and Levine, P.: Voice control of a powered wheelchair, *IEEE Trans. on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, Vol. 10, No. 2, pp. 122-125 (2002)
- [Ware 11] Ware, E.: Interactive Behaviour in Pigeons: Visual display interactions as a model for visual communication, Ph.D thesis, Queen's University (2011)

2015年11月10日 受理

---

 著者紹介
 

---

今井 倫太 (正会員) は, 前掲 (Vol. 31, No. 1, p. 10) 参照.

小野 哲雄 (正会員) は, 前掲 (Vol. 31, No. 1, p. 10) 参照.



#### 篠沢 一彦

1988年慶應義塾大学工学部電気工学科卒業。1990年同大学院理工学研究科修士課程修了。同年、日本電信電話株式会社 (NTT) 入社。ニューラルネットワークの研究に従事したのち、1998年～NTTコミュニケーション科学研究所にてコミュニケーションロボットの研究に従事。2003～12年ATR知能ロボティクス研究所、現在、大阪教育大学教授、ATR知能ロボティクス研究所連携研究員、博士 (情報学)。



#### 大澤 博隆 (正会員)

2009年慶應義塾大学大学院理工学研究科開放環境科学専攻博士課程修了。2009年慶應義塾大学訪問研究員および米国マサチューセッツ工科大学 AgeLab 特別研究員。2010年日本学術振興会特別研究員 PD に採択され、国立情報学研究所へ出向。同年から2011年にかけて、JST さきがけ専任研究員に従事。2011年より2013年まで、慶應義塾大学理工学部情報工学科助教。2013年より現在まで、筑波大学大学院システム情報工学研究科助教および、JST さきがけ兼任研究員。ヒューマンエージェントインタラクション、人工知能の研究に従事。情報処理学会、日本ロボット学会、IEEE、ACM などの各会員。博士 (工学)。



#### 飯塚 博幸 (正会員)

2004年東京大学大学院総合文化研究科博士課程修了。博士 (学術)。2005年日本学術振興会特別研究員 (PD, 公立はこだて未来大学)、イギリスサセックス大学客員研究員。2008年大阪大学大学院情報科学研究科研究助教。2013年北海道大学大学院情報科学研究科准教授。専門は人工生命、複雑系科学、人間情報工学。



#### 硯川 潤

2009年東京大学大学院情報理工学系研究科博士課程修了。博士 (情報理工学)。同年、東京大学先端科学技術研究センター特任研究員を経て、国立障害者リハビリテーションセンター研究所福祉機器開発部研究員。2013年同福祉機器開発室長、現在に至る。2011年より (独) 科学技術振興機構 さきがけ研究者を兼任 (「情報環境と人」領域, 2015年3月まで)。先端的福祉機器の開発・評価、情報通信技術を活用した福祉機器の臨床評価支援手法の開発などに従事。