

# Sociable Dining Table: 「コンコン」 インタフェースにおける相互適応プロセスの分析

## Investigating the Paces of Mutual Adaption toward KonKon Interface

有田 悠<sup>1</sup> 廣田 真也<sup>1</sup> 吉池 佑太<sup>1</sup> P.Ravindra De Silva<sup>1</sup> 岡田 美智男<sup>1</sup>

Yu Arita<sup>1</sup>, Shinya Hirota<sup>1</sup>, Yuta Yoshiike<sup>1</sup>, P.Ravindra De Silva<sup>1</sup>, and Michio Okada<sup>1</sup>

<sup>1</sup>豊橋技術科学大学 情報・知能工学系

<sup>1</sup>Department of Computer Science and Engineering, Toyohashi University of Technology

**Abstract:** Meaning of the symbolic communication can be utilized to establish unique protocol communication to convey their sensing while interacting with each other. Therefore, we incite to explore how humans attain and sharing of symbolic communication between creature and human to communicate, and mutual adaption to encounter unique protocol communication on “KonKon” interface. In this paper, we explore different pattern of symbolic acquisition, paces of mutual adaption, and intersubjective verifiability on the KonKon interface in the context of human-human interactions.

## 1 はじめに

テーブルの上を「コンコン」とノックすると、テーブル上で動き回っていたお皿やポットたち (Sociable Creatures) がそのノック音に気づいて、こちらに近づいてくる。筆者らは、こうしたノック音を介してテーブル上のクリーチャと意志疎通を図ることのできるソーシャルなダイニングテーブル (Sociable Dining Table. 図1) を1つの研究プラットフォームとして構築し、人とシステムとの間における原初的なシンボルの獲得・共有に関する研究を進めている。

私たちの生活の中で、ノックは部屋のドアを叩いて相手の注意を引き出すなど、1つのコミュニケーションの手段として使われる。この時に、人と人との間では、そのノックの意味や役割はある社会・文化的な背景のもとで、すでに共有されたものだろう。その一方で、そのノックの意味や役割が十分に共有されていない Sociable Dining Table 上のクリーチャとの関わりではどのようなことが生じるだろうか。

とりあえず、私たちはそのノックの意味を確認するために、テーブルを叩いてみることをする。そしてそのノックに対するクリーチャの随伴的な振る舞いを確認しながら、先に持っていた「コンコン」の意味に対する仮説を修正していく (=人のシステムに対する適応)。一方、クリーチャは人の「コンコン」に対して、あらかじめ持っていた初期のプロトコルに従って動くことを試みつつ、それに対する人から



図1. Sociable Dining Table

の反応を伺いながら、そのプロトコルの修正を試みる (=システムの人に対する適応)。このように人とクリーチャがノックを介したインタラクションを繰り返すことで、相互にノックの意味の整合を取りながら、その意味を共有していくものと考えられる。

ここでの「ノック」という行為は、何かの合図を相手に「伝える」という伝達行為であると同時に、他者との関わりの中で自らの行為の意味を探るための知覚行為、あるいは相互に意味を構成しあうような間身体的な意味生成行為としても興味深い。

先の発表では、まず Sociable Dining Table 上のクリーチャを遠隔操作する WOZ 法[1]を用いて、人と人との間で相互適応を繰り返しながら「ノック音」のシンボルとしての意味を獲得し、共有可能なことを検証した。また、人とクリーチャ (=システム) との間で相互適応を成功させるための要件について整理し、この要件を踏まえた学習モデルをクリーチャに実装した[2]。そして、学習モデルを備えたクリーチャと人との間で相互適応を行いつつ、その間でオリジナルなシンボルの意味を獲得・共有できることを

確認した[3][4].

本論文では、これら人と人との相互適応実験および人とクリーチャ間での相互適応実験における相互適応プロセスを詳細に分析することで、「コンコン」のシンボルとしての意味の獲得・共有がどのように行われているのか、また、人と人との相互適応プロセスと人とクリーチャ間での相互適応プロセスとの違いを調べた。これらの結果とその考察について述べる。

## 2 研究背景

### 2.1 原初的なコミュニケーションにおける社会文化的アプローチ

幼児と養育者間のコミュニケーションのように、発達の初期段階にみられる、おもに非言語的なシンボルや手段を介して行われるコミュニケーションを、ここでは「原初的なコミュニケーション」と呼ぶことにする[5].

ヴィゴツキー(Vygotsky)は、原初的なコミュニケーションの一つである指さし行為の獲得プロセスを、次のように説明している。幼児はミルクを取ろうとして手を伸ばすものの、なかなかつかめないでいる。そうした様子を養育者は「ミルクを取ろうとしているのだな」という解釈をしつつ、そのミルクを取ってあげる。こうしたやり取りを繰り返す中で、幼児の手を伸ばすという行為は「ミルクを指し示すための行為」として養育者から解釈され、同時に幼児もその行為に「その対象を指し示す行為」としての役割を見出していく。そしていつの間にか「指さし行為」として変容させていくという。

この例にあるように、原初的なコミュニケーションにおけるシンボルの意味は幼児にあらかじめ備わったものではなく、他者との関係の中でたち現れるものであり、特に社会文化的な背景をもった養育者の解釈が重要な働きをしていると考えられている。さらに興味深いことには、自分の行為に対する相手の随伴的な応答によって行為を調整するのは幼児だけではなく、養育者もまた、幼児の適応の進度に応じて幼児の行動を制約するように、関わり方を調整していく点だろう[6].

### 2.2 相互適応における制約の重要性

人とシステムとが相互に適応を繰り返しながら、オリジナルなプロトコルを獲得・共有していくプロセスは、これまでもロボットやエージェントの概念獲得、相互適応の観点から関心が持たれてきた。

例えば、ロボット同士の言語創発の観点から、Luc Steels らは2つのロボット間での言語ゲームに基づ

くセンサ機能の分節化を試みている[7]. また、小松らの一連の研究では、相互適応に基づくコミュニケーションプロトコルの獲得・共有に関して、ローパスフィルタによって非分節化した音声を用いて、人と人との原初的なコミュニケーションにおける相互適応の可能性について調べている[8].

これらの研究で明らかにされたことは、相互適応を実現する上での、人とロボットの相互行為における様々な制約の重要性である。本研究のプラットフォームとして使用した **Sociable Dining Table** では、特に「コンコン」という原初的なシンボル性に着目している。一般的で広範なコミュニケーションにおける言語創発の問題を、原初的なコミュニケーションの領域に制約して議論することができる。

特に「コンコン」というノック音は、日常生活の中でも幅広く利用されているように、それぞれの社会文化的な制約を伴い、その意味や役割は何らかの偏りをもつ。さらに、人の身体的・物理的な制約を伴うものであり、「コンコン」のスピードや回数などもその制約の影響を受けている。クリーチャとして使用したテーブル上のコーヒーポットやお皿なども、テーブル上のいずれかの位置に配置され、相互に重なることはない。その動きもアクチュエータの能力やコーヒーポットの重力などの物理的な制約を伴う。これらの制約は、シンボルの意味の獲得・共有における身体性の役割について議論する上でも興味深い。

## 3 Sociable Dining Table

本研究でプラットフォームとして利用する **Sociable Dining Table** の概要と構成、およびインタラクションデザインについて述べる。

### 3.1 概要

ダイニングテーブル上のコーヒーポットやお皿が生き物らしさを備えていたら、どのような生活空間を生みだすだろう。**Sociable Dining Table** は様々なロボットメディアが生活空間で活躍することを想定した、未来志向のダイニングテーブルとして構想された。

このテーブル上やその周りには、「わずかな社会性を備えたモノたち(Sociable Creatures)」が自由に動き回っており、テーブルの上をノックすることでコミュニケーションをとることができる。

それぞれの **Sociable Creature** は、ミニマルデザインの考えに基づきデザインされており、特に手足や顔を備えることなく、ポットやお皿などの姿のままである。その内部にはアクチュエータやセンサなどを搭載しており、これらを利用して人に近づく、離

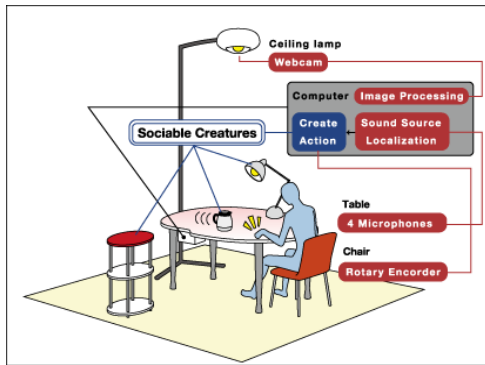


図 2. システム構成

れるというような身体配置の調整や、体を揺らす、何かに向かうなどの最小限の社会的表示を行う。これらの自律的な動きによって、「志向的な構え」を引き出すと同時に、シンプルなデザインにより、人の積極的な解釈を引き出すこととした[9] [10].

### 3.2 システム構成

システム全体の構成を図 2 に示す。Sociable Dining Table は、ポットやお皿の姿をしたクリーチャたちと、テーブルを中心とする環境に埋め込まれたセンサ、及びそれらを統制するホストコンピュータから構成される。またそれぞれのクリーチャは無線 LAN モジュール (WiPort), 1 チップマイコン (AVR ATMEGA128), サーボモータ, フォトリフレクタという必要最小の要素で構成されている。フォトリフレクタは、クリーチャとテーブルの接触を検知し、テーブルからの落下防止や、ポットが持ちあげられたことを検出する。

環境に埋め込まれたセンサは、クリーチャたちと人のコミュニケーションを成立させるための周辺情報を検出する。テーブルの裏にマイクを 4 つ埋め込み、音源位置推定によってノックの位置とパターンを検出する。ルームライトに並置された USB カメラとその動画像処理によって、クリーチャたちの位置と向きを検出し、無線 LAN を通してクリーチャの行動制御を行う。

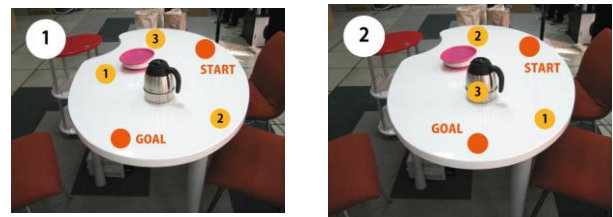
## 4 人同士の相互適応実験

### 4.1 概要

Sociable Dining Table において、相互適応により「ノック」のシンボルとしての意味を人と人の中で共有できるか、WOZ 法による人同士での相互適応実験を行った。また、この実験で生まれたオリジナルなプロトコルのタイプについて詳細な分析を行った。

### 4.2 実験内容

WOZ 法による実験は、クリーチャの 1 つである



(a) 第 1 試行

(b) 第 2 試行

図 3. 誘導タスク

スナックプレートに対してノックで指示を与える指示者と、別室でクリーチャを動かす操作者のペアに、スタート地点から 3 つの通過ポイントを通させ、ゴール地点に導く図 3 に示すような誘導タスクが設定された。また、制限時間 20 分のタスクを 2 回実施した。被験者 30 人 (19~24 歳までの大学生・大学院生, 男性 28 名, 女性 2 名) を 2 人 1 組のペアに分け、計 15 組のペアが編成された。

指示者は Sociable Dining Table のある部屋でノックによる指示を与えて、スナックプレートを目的の通過ポイントやゴールへと誘導した。指示者に対しての教示として、スナックプレートは

- ・ノックした場所やノックの強さはわからない
  - ・チェックポイントやゴールの場所がわからない
  - ・ノックの意味を解釈して行動を出力することを伝え、タスクの早い達成を目的に設定した。
- また、指示者には操作者がいることを知らせず、スナックプレートがコンピュータによってノックのパターンを学習していると教示した。

一方で操作者には PC の遠隔操作作用インタフェースによって、テーブル上でのスナックプレートの向き、ノックがあったことを示すアイコン点灯と音、そしてチェックポイントやゴールを通過した際に表示されるメッセージのみが与えられた。また、スナックプレートの操作は指示者のノックに従うこと、チェックポイントやゴールは見えないが、その到達時にはメッセージが表示されることを伝えた。

教示を与えた後、試行を開始した。毎試行終了時に操作者と指示者それぞれに対して質問紙を用い、共有したと思われるプロトコルについて自由記述で回答を求めた。チェックポイントとゴール地点は指示者にもみ通知され、操作者にはわからない。このため課題を速やかに達成するためには、被験者らはお互いの行為の意図を見出す必要がある。また、問題を単純化するため、ノックのパターンとして、ノックの回数のみを考慮することとし、操作者側の遠隔操作作用インタフェースについても、ノックが行われた場所やノックの大きさを表示する機能は持たない。また、スナックプレートの動作についても、キーボード上の方向キーに対応する、前進、後退、右旋回、左旋回の 4 パターンとした。

### 4.3 実験結果

15 組のうち、1 回目の施行でタスクを達成できたのは 14 組で、これらのペアは試行 2 回目でもタスクを達成できた。残りの 1 組(P10)はタスクを達成できないまま終了した。図 4 の左側には 14 組のペアのタスク達成時間を示した(1 ペアのみ PC の動作不良によりデータがとれなかった)。

各ペアの指示者と操作者が質問紙で回答した共有されたと思われるプロトコルの内容の比較を行ったところ、プロトコルが完全一致したペアが 4 組、一部一致したペアが 9 組、全く一致しなかったペアが 2 組存在した。プロトコルが共有されたペアの質問紙から、コマンド型、同調型、スイッチ型、否定型という 4 つのプロトコルのタイプを確認した。

コマンド型は、ノックのパターン(回数)によってスナックプレートに前進や右折、左折、後退といった具体的な動作を指示するタイプである。同調型は、ノックを続けている間はスナックプレートも同期、同調したように何らかの動作をし続けるタイプである。スイッチ型は、ノックの回数を殆ど変化させることなく、ノックをすることでスナックプレートの動作を切り替えるタイプである。否定型は、スナックプレートが望ましくない動作をした際にノックで現在の動作を否定するタイプである。

また、このプロトコルの分類は質問紙によるものであり、実際はそれぞれのペアが気付かない間に複数のプロトコルを共有し、シンボルを獲得していることを取得したデータから確認した。

### 4.4 考察

#### 4.4.1 ノック回数とクリーチャの動作の対応関係

第 1 試行と第 2 試行の間でノックの回数とクリーチャの動作の対応関係がどう変化したのかを相関分析を用い、検証した。また、コマンド型プロトコルを共有した P7 の分析データに注目した。その分析結果を図 5 に示す。図中の N1 はノック 1 回、N2 はノック 2 回といったノックの回数を表す。プロットされたそれぞれの点が近いほど互いに相関があるということを示している。

第 1 施行では、N2 と前進、N3 と右折動作の対応関係があるように見られた。第 2 施行では、指示者側で N1 と左折、N2 と前進、N3 と右折動作の対応関係がより顕著に見られた。第 1 試行から既に 2 つの対応関係が見られることから、第 1 試行の間にプロトコルの共有があったと考えられる。また、P7 の試行時間(図 4)から、第 2 試行のタスクの達成時間が比較的早くなっており、プロトコルをうまく共有できたペアと言える。

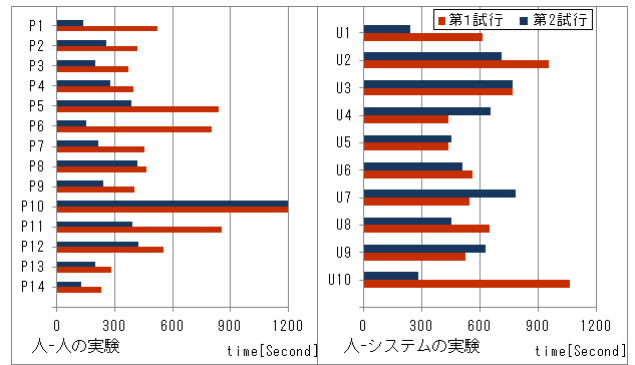


図 4. 2 つの実験におけるタスク達成時間

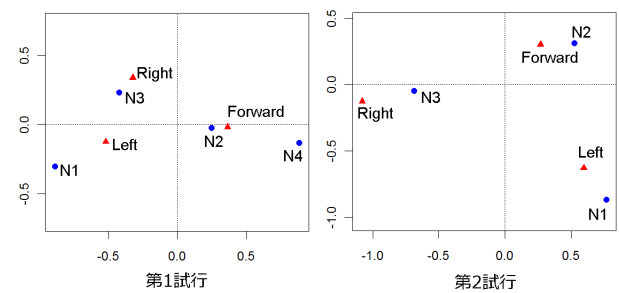


図 5. ノック回数とクリーチャの動作(コマンド型)

#### 4.4.2 プロトコル共有のプロセス

どのタイミングでノックの回数とクリーチャの動作が対応付けられたか。取得したデータからノックの回数とクリーチャの動作を時系列上で表わした詳細なチャートを作成し、録画したビデオとともに観察することで、分析を行った。

コマンド型では、操作者が一貫してノック回数と特定の動作を割り当てた場合、指示者がそのプロトコルに気づくことが出来れば、プロトコルは共有される。このとき、指示者のノックが 4 種類以上あると、操作者による動作の割り当ては困難になる。

前述した P7 の指示者は第 1 試行の初期のノックを試してみる段階で 1 回のみ用いたノック回数 N4 を除くと、N1, N2, N3 の 3 種類しか用いていなかった。また、操作者は第 1、第 2 試行共に後進動作を全く使わなかった。これらの P7 の間で作られたオリジナルな制約の中で、互いにノックの意味を探り合い、プロトコルの共有を進めていた。

スイッチ型、否定型の適応プロセスにおいて、重要なのは指示者のノックのタイミングである。コマンド型と違い、クリーチャの動作中に 1 回、または 2 回といった少数のノックを介入させることで、相手に何らかの不定な信号を送っていた。指示を受け取った操作者はこの信号に解釈を与えることになり、その解釈が否定やスイッチの意図として互いに共通していれば、プロトコルが共有されたと言える。

プロトコルが共有されなかった(タスクを失敗し

た) ペアは指示者の用いるノックの回数が多いことが分かった。クリーチャをゴールに向かわせることのみを目的とし、また、ノックを一方向的に送っているような時間帯が長く見られた。一方、共有されたペアでは、互いの動作を観察しつつ、試行錯誤しながらプロトコルを共有する様子が見られた。

#### 4.6 相互適応に必要な要件

これらの分析や考察から、相互適応に必要な要因について考察する。プロトコルを共有できたグループの指示者のノックは、1回、2回等、少ない回数のもので、なおかつ出現したノックパターンのバリエーションも少なかった。一方共有できなかったグループでは、いつ途切れるか予測できない回数の多いノックや、それに伴い多くのノックパターンが出現していた。これらのことから、本実験のような条件下では、ノックパターンの弁別として、ノックの回数を採用する被験者が多いと考えられる。

操作者についても、プロトコルを共有できたグループにおいては操作者の意図が伝わりやすいよう、法則性を持たせた振舞いが見られた。一つは指示者のノックに対する随伴性である。ノックがあった時に停止し、振舞いを変えることでノックと振舞いの相互関係を顕在化させていた。指示者もまた、クリーチャの動きを確認し、自らの行ったノックと照らし合わせながら、次のノックを試みる様子が見られた。これらから、相互行為には人同士の会話にみられるようなターンテイキング構造が必要であると考えられた。

コマンド型で主に見られた特徴である。共有できたグループにおいて、クリーチャが指示者の意図した振舞いを行った場合、指示者は何もせずに見守るという行動がよく見られた。また、間違った動作をしていた場合には、指示者はすぐに別の動作をさせようと、ノックを「否定」の意味で使うことが多くみられた。このように、コマンド型のプロトコルが共有されたペアでは、操作者は次のノックのタイミングを判断基準として共有していったと考えられる。自身の行動の後一定時間相手の反応がないこと (No News) を肯定的な評価とする判断基準を、左らは No News 基準と呼んでいる[11]。

#### 4.7 相互適応モデルの構築

ノックに対してクリーチャの振る舞いを適応させる学習アルゴリズムが既に実装されている。そこでは強化学習の Actor-Critic 手法が採用された。このモデルでは、ユーザからノックがあったとき、Sociable Creature の行動 (「前進」「後退」「右旋回」「左旋回」の4種類) を用いてターンテイキング構造に従って

反応を返す。このとき、適応に利用する報酬はノックをした時のクリーチャの行動に対する人の反応に基づき与えられ、人が見守り行為をした場合には正の報酬、すぐ (クリーチャの動作開始から2秒以内) にノックをして行動を中断した場合には負の報酬を与える。クリーチャの行動決定には正規分布を採用し、この正規分布は上記の報酬を基に更新される閾数から決定される。

## 5 人とシステムの相互適応実験

### 5.1 概要

構築した学習モデルによってシステムと人が、相互に適応し、プロトコルを共有できるかを検証する。また、評価実験として、人同士の相互行為実験と同様の誘導タスクを設定した。システムの動作を確認するとともに、人同士の実験との差異を比較することによって新たな知見を得ることを目的とする。

### 5.2 実験内容

実験は10人 (20~24歳までの大学生、大学院生、男性6名、女性4名) の被験者に対して行った。また、実験の条件は、人同士の相互行為実験と同様の設定で行った。教示においても、人同士の相互行為実験における指示者への同様の手続きで実験を行った。但し、被験者に教示する際、システムの要件としてノックは回数のみで弁別する旨を新たに教示した。

### 5.3 実験結果

実験の結果、10人全員が2回の試行を時間以内に達成する事が出来た。図4の右側にユーザ10人のタスク達成時間を示す。被験者によって様々なプロトコルが共有され、また、その共有のプロセスや共有の度合いも異なっていた。

### 5.4 考察

被験者の中でも、比較的システムとのプロトコルを巧く共有させていた U5 について考察を行った。図6のタイムチャートは U5 の第1試行と第2試行の初めの30秒に着目したものである。U5 は第1試行の前半はクリーチャの動きを観察し、思惑と異なる動作をしたときにすぐに否定または行為の切り替えを目的としたノックを行った。その結果、システムの学習によって、ノック1回と左折、2回と右折、4回と前進動作が対応づけられた。被験者はプロトコルが共有されてから、否定のノックをほとんど用いず、共有されたプロトコルを用いた切り替えのノックによってタスクを達成させた。U7 はシステムの

変化に対し、行為を調整し、柔軟な適応が行った。



図 6. 被験者 U5 のノック回数とクリーチャの動作の対応関係

## 6 相互適応プロセスの比較

人と人、人とシステムの2つの相互適応実験から相互適応のプロセスを比較する。図4のタスクの達成時間を見比べたところ、人同士の実験はプロトコルを共有できなかった1組を除いて、第2試行のタスクの達成時間が第1試行のそれを上回っている。人同士の場合、コマンド型のプロトコルが共有されるとき、その収束がシステムの学習モデルと比べて早いことが要因の1つであると思われる。コマンド型を共有したペアの操作者が1回と左折動作を対応付けたあと、限られた残りのノックパターンに特定のクリーチャの動作を固定させ、それに指示者が気づけば、プロトコルの共有は加速する。

また、初期の試行錯誤の段階でノックを多用することによって、モデルが偏って決定してしまうことや、システム側はノックの意味がスイッチであるか否定であるかをうまく判断できないといったシステム側の不備による可能性があることなども考えられた。

## 7 おわりに

「コンコン」インタフェースにおける相互適応プロセスについて知見を得るために、Sociable Dining TableでのWOZ法による実験の結果を分析し、被験者間でプロトコルの共有プロセスについて考察を行った。また、人の持つ適応能力に着目し、相互適応に必要な要件を備えた学習モデルを実装したシステムと人との間でいった相互適応実験でのプロトコル共有のプロセスについても分析、考察を行った。更に、両実験の相互適応プロセスを比較し、それらの差異を分析した。今後は、これまでに得られた知見をもとに、システムが人と相互行為をしよう中で行為の意味を獲得し、自身で行為の意味を分化させていくような、より自律的な学習モデルの構築を目指す。

## 謝辞

本研究の一部は、科研費補助金（基盤研究 B 2130083）によって行われている。ここに記して感謝

の意を表す。

## 参考文献

- [1] 岡本, 山中: Wizard of OZ 法を用いた対話型 Web エージェントの構築, 人工知能学会論文誌, Vol.17, No.3, pp.293-300(2002).
- [2] 角裕輝, 鴨田貴紀, 吉池佑太, 岡田美智男: “Sociable Dining Table: 「コンコン」インタフェースに向けた相互適応モデルの検討”, HAI シンポジウム, 2A-3,(2009).
- [3] 鴨田 貴紀, 角 裕輝, 竹井 英行, 吉池 佑太, 岡田美智男: Sociable Dining Table: 相互適応による「コンコン」インタフェースに向けて、ヒューマンインタフェース学会論文誌、12(1), pp.57-70 (2010).
- [4] Yuki Kado, Takanori Kamoda, Yuta Yoshiike, P. Ravindra De Silva and Michio Okada: Sociable Dining Table: The Effectiveness of a ”KonKon” Interface for Reciprocal Adaptation, Proc. of the 5th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction(HRI2010), pp.105-106 (2010).
- [5] 鯨岡 峻: 『原初的コミュニケーションの諸相』; ミネルヴァ書房 (1997).
- [6] Reed, E. S.: Encountering the World: Toward an Ecological Psychology, Oxford Univ. Press (1996).
- [7] Steels, L. : Perceptually grounded meaning creation, Proceedings of the International Conference on Multi-Agent Systems, pp. 338-344(1996).
- [8] 小松, 鈴木, 植田, 開, 岡: 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).
- [9] Daniel C. Dennett (土屋俊訳): 『心はどこにあるのか』; 草想社(1997).
- [10] 岡田美智男, 松本信義, 塩瀬隆之, 藤井洋之, 李銘義, 三嶋博之: ロボットとのコミュニケーションにおけるミニマルデザイン; ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.7, No.2, pp.189-197(2006).
- [11] 左祥, 田中一品, 嵯峨野泰明, 岡夏樹: “No news is good news” 規準を利用した行動教示の学習; 情報科学技術レターズ, LJ-009, pp. 319-322(2007).