

# 行動特性を考慮した犬の動物行動学に基づく 人とロボットのコミュニケーション

## Ethologically Inspired Human-Robot Communication Designed with Behavioral Characteristics

精密工学専攻 9号 市川拓也  
Takuya Ichikawa

### 1. はじめに

自律移動機能を有するロボットは、人共存環境において、人に情報提示を行ったり、物理的支援を提供したりする役割を実現しつつある<sup>(1)-(3)</sup>。同時に、人と共生するロボットには、人と人が築けるような社会的関係を築ける能力や愛着や安心感などが必要と考えられる。そこで本研究では、人と共生するロボットと人の関係に着目する。本研究は、人と長期間関わりを持って進化してきた犬に着目し、犬の動物行動学を応用したロボットの振る舞いを用いて人とロボットの社会的関係の構築を目指す。

現在、人やロボットが共生する空間を観測するために、ロボットに搭載したセンサだけに限らず、空間に分散配置したセンサを用いることで空間全体を観測する知能化空間 (iSpace) (Fig. 1) の研究が盛んに行われている<sup>(4)(5)</sup>。空間内にいるロボットは、この知能化空間の観測結果を利用して自律的に振る舞うことができ、人に対して情動的、物理的支援を提供することができる。このような人と共生するロボットを考える場合、ロボットが人の支援になるような機能を有することはもちろんのこと、人がロボットへの関心を喪失することなく長期的に安心感をもって使用し続けられる関係が重要である。そのために、人と人が社会的関係を築くのと同じように、人とロボットも社会的関係を築ける必要があると考える。これを実現するためには、ロボットは機能のための振る舞いだけでなく、他者との関係を考慮した社会的振る舞いが求められる。

他者との関係を考慮した社会的振る舞いを設計するために、本研究では人と犬の関係に着目した<sup>(6)</sup>。犬は長い年月をかけて人との関係の中で進化し、人と共存できる種として生み出されてきた。その結果、犬は自分自身の生理的欲求だけではなく、人を含む周辺環境の状況に応じて行動することができる。犬の動物行動学では、人は、犬の行動と周辺環境とを紐づけることにより、特別な知識が無くても犬の行動の意図を解釈することができる<sup>(7)(8)</sup>。以上より本研究では、犬の動物行動学の知見で得られている犬の振る舞いを応用し、人とロボットの社会的関係の構築を目指す。

これまで、犬の愛着行動として知られる動物行動学の知見を応用した行動モデルをロボットに実装し、人がロボットの行動を識別できるかどうかの検証を行ってきた<sup>(7)(8)</sup>。検証を重ねていくなかで明らかになった問題点として、行動特性の差異を表現できないこと、ユーザの嗜好をロボットの行動モデルに反映できないことなどがあげられた。そこで、動物行動学の知見<sup>(9)</sup>で示されている犬の行動特性の差を生む三つの因子 (attachment to owner / acceptance of stranger / sensibility of anxiety) を行動特性パラメータとして設定し、これらのパラメータをロボットの行動モデルに反映させるように再設計した。行動特性パラメータの組み合わせの違いから、被験者にどのような印象の違いが生じるか評価実験を行った<sup>(10)</sup>。その結果、行動特性パラメータの組み合わせの違いによって印象の違いに有意差が見られた。しかし、人と共生していく上で、ロボットは行動特性によって人との関係性が変化してはならない。そこで、本論文では異なる行動特性を有するロボットの振る舞いを人がみることにより、人は人とロボットの

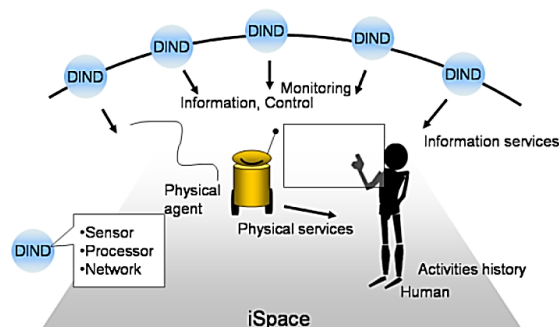


Fig. 1 Concept of iSpace

関係性を正しく理解できるかどうかについて検証し、行動特性パラメータの有効性を評価する。

続く2章では、動物行動学に基づく人とロボットのインタラクションについて述べ、3章においては本研究で用いる情報提示ロボットについて説明する。さらに4章では、検証実験について示し、5章ではまとめを述べる。

### 2. 動物行動学に基づく人とロボットのインタラクション

#### 2.1 動物行動学の知見に基づく社会的な振る舞い

犬の動物行動学を応用したロボットの行動モデルとして、本研究では、strange situation test<sup>(6)</sup>という観測実験から得られた犬の行動に着目する。

Strange situation testでは、犬にとって未知環境である実験空間を用意し、その空間に犬の飼い主 (owner) と飼い主以外の見知らぬ人 (stranger) が存在する場合、犬はどのように振る舞うかを観測している。空間で発生するイベントとして、owner と stranger の有無、二者間の位置関係の変化などが想定され、各状況に対して犬がどのように振る舞うかについて調べられている。その結果、例えば、初めて空間に stranger が入った場合、犬は owner から離れなくなる行動が見られた。また、owner が部屋内からいなくなり、部屋内に stranger がいる場合、犬はドアの前から動かなくなる行動が見られた。

この実験は、元々人間の乳児がその母親に対してどの程度愛着を持っているかを知るために行われていたもの<sup>(11)</sup>であることから、ここで得られた犬の行動を愛着行動と呼ぶ。また、ロボットに与える機能として考えられる人の案内や誘導などの機能は、ユーザにとって便利な機能の一つとして考えられる。その機能を実現するために、本研究では strange situation test に加えて、hidden food test<sup>(12)</sup>という観測実験から得られた犬の行動に着目した。この実験は、犬の好物を犬が自分自身では取ることでできない部屋の柵に隠した状況において、犬がどのように振る舞うかについて観測したものである。具体的には、飼い主の注意を引く行動 (以下 getting attention と呼ぶ) と、犬が飼い主に知らせたい場所を指し示す行動 (以下 directional signal と呼ぶ) がある。特に注目すべき点は、犬は飼い主の注意を引くことができるまで、directional signal と getting attention を繰り返し、飼い主と好

Table 1 Behaviors and the rule bases for each behavior

	Behavior label	Behavior
Attachment behaviors	explore to owner	Exploring to the owner
	explore to stranger	Exploring to the stranger
	explore to place	Exploring to the place
	play with person	Playing with person
	go to door	Standing by at the door
	greeting	Greeting owner
	go to owner	Standing by at owner's side
	passive behavior	Standing the base station
Leading behaviors	getting attention	Getting owner's attention
	directional signal	Showing the direction toward a target place

物が隠された場所の間を歩き来ることが知られている。すなわち、好物が隠された目的地へ向かいながらも飼い主の位置を確認し、飼い主がついてこなければ *getting attention* の行動に戻り、注意を引くことができれば目的地へ向かう *directional signal* の行動に移るということを繰り返しながら、飼い主を目的地まで誘導する。ここで得られた犬の行動を誘導行動と呼ぶ。

ここで示した二つの行動モデルは、ある状況における犬の行動を、その行動が観測された文脈と合わせて言語によって記述されている。行動モデルを Table 1 に示す。

## 2.2 動物行動学の知見に基づくロボットの行動モデル

前節で述べた言語形式の行動モデルを直接ロボットの行動モデルとして適用するためには、計算機モデルが必要である。本研究では、外界の状況がロボットの行動に影響を与える度合いを表現するための内部パラメータを導入した。すなわち、外界の観測結果に基づき内部パラメータを更新することによって、計算機システムは内部パラメータの値に応じて行動を選択できる状態遷移モデルといえる。内部パラメータは、*strange situation test* に基づき、外界の状況が犬に対して与えると考えられる三つのストレスから生じる要因を考慮して設定した。一つ目は未知環境に対して生じるストレスから起こる探索欲求 (*explore*)、二つ目はロボットと *owner* との距離に対して生じるストレスから起こる寂しさ (*miss*)、三つ目は *stranger* に対して生じるストレスから起こる不安さ (*anxiety*) である。本論文では、これらの内部パラメータはロボットの行動要因となることから行動要因パラメータと呼ぶこととする。

ロボットの行動モデルにおける行動要因パラメータの更新ルール (状態遷移ルール) を Table 2 に示す。また、Table 3 にロボットの行動項目と各行動が選択される際のルールを示す。 $\alpha \sim \mu$  は行動選択ルールにおける閾値を示す。実際には、各パラメータが増加、減少する際の変化量も設計パラメータとなる。

先行研究<sup>(8)</sup>で提案したロボットの行動モデルにおいて、人とロボットの長期間にわたるコミュニケーションを考えた場合、二つの問題点を解決する必要がある。一つ目は、現状の行動モデルでは犬の行動に対する特性を表現できない点

Table 2 Rule bases for the state-transition

[ <i>miss</i> ]
• owner is in the room. : <b>Decrease</b>
• owner is not in the room. : <b>Increase</b>
[ <i>anxiety</i> ]
• stranger is in the room in a minutes. : <b>Increase</b>
• owner / stranger hides the dog's toy. : <b>Increase</b>
• stranger is in the room for a while. : <b>Decrease</b>
[ <i>explore</i> ]
• Before the robot explores unknown areas/objects. : <b>Increase</b>
• After the robot explores unknown areas/objects. : <b>Decrease</b>

Table 3 Behaviors and rule bases for behavior generation

Behavior label	Rule
explore	otherwise
passive behavior	$\text{explore} \leq \alpha \%$ , $\text{miss} \leq \beta\%$ , and $\text{anxiety} \leq \gamma \%$
play with owner	owner's action
play with stranger	Stranger's action
go to door	$\text{miss} \geq \varepsilon \%$
greeting	$\zeta \% \leq \text{miss} \leq 100\%$ when <i>miss level is decreasing</i>
go to owner	$\text{anxiety} \geq \eta \%$ and $\text{explore} \geq \iota \%$
getting attention / directional signal	$\text{explore} \geq \mu \%$ when <i>explore level is decreasing</i>

である。犬には人間と同じように特性がある。例えば、初対面の人でもすぐ懐く犬や、飼い主以外は全く懐かない犬、また、不安な状態になりやすい犬、なりにくい犬など、その特性は三者三様である。二つ目は、ロボットを使用するユーザの好みをロボットの行動モデルに反映させられない点である。ロボットの行動がユーザにとって受け入れられない場合、ロボットへの関心度が低くなり、ロボットへの愛着が湧きにくくなるのが考えられる。

この二つの問題点を解決するために、本研究では、動物行動学の知見<sup>(9)</sup>で示されている犬の特性の差を生むための三つの因子に着目した。一つ目は *owner* への懐き度を示した “*attachment to owner*”, 二つ目は *stranger* への懐き度を示した “*acceptance of stranger*”, 三つ目は不安への感受性を示した “*sensibility of anxiety*” である。これらの因子を行動特性パラメータとして用いることで、それらの値によってロボットの行動特性を変化させるように設計した。具体的には、行動特性パラメータの値に応じて三つの探索行動における探索対象 (*explore to / owner / stranger / place*) の選択頻度および行動要因パラメータの *anxiety* の変化率が決定される。例えば、*attachment to owner* の値が高く、かつ *acceptance of stranger* の値が低い場合、ロボットは *owner* に懐きやすいことを示しているので、*owner* の周りを探索する行動である *explore to owner* が選ばれる頻度が高くなる。

## 3. 情報提示のためのコミュニケーションロボット

本章では情報提示に用いるロボットのハードウェア構成及び行動項目の実装について説明する。Table 1 で示したロボットの行動を示すために、Fig. 2 のような情報提示ロボットを構成した。情報提示ロボットは内部状態や行動の違いの表現や、搭載したカメラにより顔、ボールの認識を行うための頭部部分と移動機能を実現する移動プラットフォームから構成される。頭部部分は、ステッピングモータを二つ用いてパン、チルト両方向の角度制御が行えるように設計した。特にこの機能は、ロボットの視線を示すために重要である。犬が *directional signal* を行う際、誘導したい場所の方向に身体を向けながら、顔のみで飼い主の方向を向くことがわかっている。この行動は人が犬の行動の意図を読み取るために重要な行動であると考えられる。モータの上部にはカメラを搭載し、人の顔やボールを認識することができる。顔検出機能は人の正面の顔を検出できるため、ロボットが人の注意を引く *getting attention* を行う際、人の注意を引いたかどうかを検出するために使用する。また、ボール検出機能は、人とロボットのインタラクションの一つである *play with parson* にボール遊び機能を搭載した際に使用する。移動プラットフォームには、知能機動型ロボット Pioneer3-DX を用いる。

各行動項目におけるロボットの動作を以下に示す。

- *explore*  
ロボットが部屋内を探索する行動である。空間内にいる人物に対して、行動特性パラメータの値を用いたポテンシャル

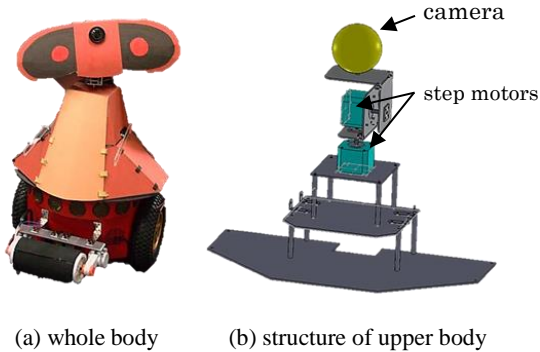


Fig. 2 Communication Robot

場を張り、ロボットの経路計画に用いる<sup>(10)</sup>。例えば、*acceptance of stranger* の値が低くなると、*stranger* を中心に斥力ポテンシャルの強度が強くなる。よってロボットが近寄れない領域が拡大するため、ロボットの行動によって *stranger* への懐き度を表現できると考えた。また、探索する対象物についても、行動特性パラメータの値によって確率的に選択されるようにした。

- **passive behavior**  
ロボットが人や物に対して何も興味を示さず、かつストレスを感じていないとき、ロボット自身がよく留まる場所 (base station) で待機する。
- **play with person**  
犬が人と遊ぶ行動である。人が犬と遊ぶ際、人は一般的に犬の目線に合わせようとよくしゃがむ。そこで、ユーザがしゃがんだときにロボットはユーザに近づき、これをロボットがユーザと遊ぶ行動とした。この行動が選ばれている間、ユーザに対して喜びを表現するため、右手を上下に動かす。
- **go to door**  
愛着行動において、犬の飼い主が室外へ出ているとき、犬はドアの前へ行き飼い主を待つという行動を取ることが知られている。したがって、この行動は *miss* が定められた数値以上になったとき選択され、*owner* が帰ってくるまでドアの前で待機する行動として表現する。
- **greeting**  
飼い主が室内に戻ったとき、飼い主に対して示す行動であり、戻ったことへの喜びを表現しているものと解釈する。そのため、*go to door* という行動のあと *miss* が定められた数値まで減少する間、ロボットが *owner* の後に付いて移動する行動として表現する。また、*greeting* が行われている間は、頭部部分は両手を上下に動かすことで、喜びを表すように工夫した。
- **go to owner**  
犬にとって見知らぬ人が室内に入ったとき、犬は飼い主のそばに寄り添う、または後に付いていく行動をとる。これは、飼い主に対して不安を表現しているものと解釈される。そのため、*anxiety* 及び *explore* の値がともに高いときに、ロボットは *owner* の後について移動する行動として表現する。ここで、*go to owner* は、*greeting* や *play with owner* のような喜びを表現することとは異なるため、頭部部分の頭が下を向くことにより不安である様子を表現することとした。
- **getting attention / directional signal**

2.1 節で述べた *getting attention / directional signal* という行動を再現する際の目的地の設定、及び二つの動作の切り替え条件について説明する。まず、誘導したい人の注意を獲得する (*getting attention*) ために、ロボットは、誘導したい目的地と誘導したい人との間の経路上で、かつ人から約 0.5m 離れた位置を目的地とする。directional signal として目的地へ向かう動作を行う際には、誘導したい人がロボットの後について一緒に移動しているかどうかが必要となる。したがって、ロボットと *owner* 間の距離を逐次求め、距離が狭まっていれば一緒に移動していると判断し、距離が広がっていれば一緒

Table 4 Implementation of robot behavior

Behavior	Movement of the mobile platform	Motion of the upper body
explore (explore to place / owner / stranger)	Move to a target	Rotate the head and gaze at the target
passive behavior	Go to the base station	Look the front
play with person (play with owner/ stranger)	Move to a person	Move one arm up and down
go to owner	Move close to owner and stay there	Lower the head
go to door (go to door, stand by door)	Go to the door and stand by.	Lower the head and arms, and look at the door
greeting (greet owner)	Follow owner	Move the arms up and down
getting attention / directional Signal (leading behavior)	Move to person, and then go to a target together. If owner does not come along, the robot returns to the person.	Turn head towards owner to get owner's attention. Look at a place to show the direction to the target.

に移動していないと判断する。その結果に基づいて、directional signal を続け目的地へ向かうか、getting attention を行うためにその場で停止し、主に頭部部分の頭を人の方向に向かせることで人の注意を引くかのどちらかの行動が選択される。これを誘導したい人がロボットと一緒に移動し、目的地へ到達するまで繰り返す。目的地に到着するとロボットはその場で回転し、誘導したい人が目的地まで約 0.5m の距離に近づいたとき十分に近づいたと判断しこの行動を終える。

## 4. 検証実験

行動特性の異なるロボットの行動から、被験者は人とロボットの関係性を正確に理解できるかについて検証を行った。本稿では、シミュレータを用いて行動特性別のロボットの振る舞いを再現し、被験者にシミュレータ上に表示されている人が、犬の *owner* なのか *stranger* なのかを答えさせ、回答を選択した理由も同時に記述させた。今回の実験でシミュレータを用いた理由は、実機を用いた実験よりも被験者に余計な先入観を与えないため、およびロボットの行動に対するシチュエーションの統一を図るためである。

### 4.1 環境設定

本実験では、10名の被験者 (男性:9名, 女性:1名, 21~24歳) で行った。被験者は全員、ロボットや犬の動物行動学については専門外である。

### 4.2 実験手順

ロボットの行動特性の違いとして、四つのケースを設定した。組み合わせは Table 5 に示す。各ケースの値に設定したシミュレータ映像をビデオカメラで撮影した。撮影したシミュレータの画像を Fig. 3 に示す。シミュレータには、長方形の部屋が描かれており、画面の左下には部屋の出入り口を示すドアが描かれている。VTR 中、実験者は 1, 2 と番号で示された人を示す三角形の記号を操作する。その位置関係によってロボットは適切に行動を選択する。四つの各ケースでロボットの行動のシナリオは同じにする。シナリオの詳細は Table 6 に示す。行動特性パラメータの設定別で四種類の VTR を作成し、実験を行った。実験者は被験者に対して簡単にシミュレータの説明した後、四種類の VTR を一通り見せ、その後、アンケート用紙の説明を行う。実験者は被験者に再び動画を一種類ずつ見せ、その都

Table 5 Parameter settings of four cases

	attachment to owner [%]	acceptance of stranger [%]	sensitivity to anxiety [%]
Case A	80	20	50
Case B	50	50	50
Case C	20	20	50
Case D	80	80	50

Table 6 Situation of the experiment

- (1) Person 1 is in the room with the robot.  
(If a participant sits down, the robot selects “play with owner”.)
- (2) Person 2 comes into the room.  
(The anxiety level increases provisionally. Therefore the robot selects “go to owner”.)
- (3) The Person 2 leaves the room.  
(The miss level increases. At this time, the robot selects “go to door”.)
- (4) The Person 1 comes back into the room again.  
(The robot selects “greeting” until the miss level decreases to a certain value.)
- (5) The Person 2 leaves the room.  
(It means that stranger hides the dog’s toy. The anxiety level increases. And then, the robot selects “leading behavior”.)

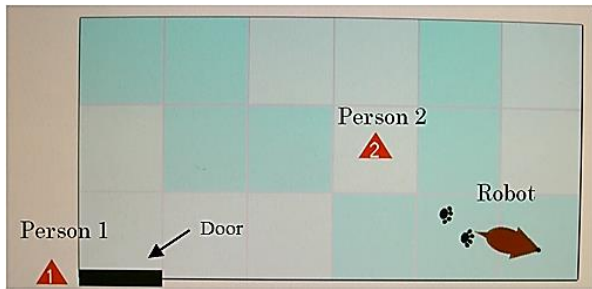


Fig. 3 Example of simulator screen

度アンケート用紙に記入させる。アンケートの内容は、

- ロボットの owner, stranger は 1 番, 2 番のどちらの記号の人 (記号) に該当すると思ったか
- その番号を選んだ理由

である。被験者に一種類ずつ VTR を見せる際には、結果に偏りが生じないようにするため、被験者によって VTR の再生順序を変更した。また、VTR によって、三角形記号の番号付けを逆にした。被験者は、アンケート記入中に VTR を何回見返しても良い。

#### 4.3 実験結果と考察

ケース別の正答数を Table 7 に示す。各ケースにおいて、10 問中 8 問以上の正答数が得られた。被験者が回答を選んだ理由として、「基本的にその人 (owner) の近くに居たため」や、「その人 (owner) が部屋の外に出ると、ロボットはドアの前で待っていた」「ドアの前で待っている人が他人だとは考えにくいから」と言う意見が多く挙がった。また、play with stranger を再現し、ロボットを stranger の近くに寄せる行動をさせても、ほとんどの被験者は、owner と stranger の違いを識別できていた。この理由として、被験者はロボットと人物が近づいている継続時間の違いを判別していることがわかった。一方、誤答した被験者の理由として、leading behavior で、被験者はロボットが外にいる人に向かって行動しているように見えたため、部屋の外にいる人がロボットの owner と誤って認識したと述べられている。これは、シミュレータが部屋の内外を表示しているため、人とロボットの状況を同時に確認することができることが理由として考えられる。

しかし、実際の空間内では、人は空間内と空間外の状況を一度に把握できないため、このような認識は起きないと考えられる。また、結果的には不正解であっても、ロボットの振る舞いから人とロボットの関係を解釈することは可能であることが示された。

Table 7 Result of the experiment

	The number of correct answers (on a scale of zero to ten)
Case A	9
Case B	9
Case C	8
Case D	10

## 5. おわりに

本研究では、人と犬の関係に着目し、犬の動物行動学で得られている行動を人と共生するロボットに応用することで人とロボットの社会的関係の構築を目指している。本稿では、動物行動学の知見で示されている犬の行動特性をロボットに適応するために、三つの因子を行動特性パラメータとして用いて行動を設計した。また、実験では、行動特性の違いによるロボットの動作から被験者は人とロボットの関係性を正確に理解できるか検証するため、ロボットや犬の動物行動学が専門外である被験者に対して、シミュレータ上の二人の人物のどちらがそれぞれ owner, stranger なのかを答えさせた。ロボットの行動特性の違いを示すために設定した四つのケース全てで正答数が 10 問中 8 問以上となった。よって本研究で設計したロボットの行動モデルは、行動特性の違いに関わらず、人が特別な知識を持っていなくても人とロボットの関係性を正確に理解させることができるといえる。今後は、実際の空間で人とロボットのインタラクションの実験を行い、再度検証を行う。

## 参考文献

- (1) 福田司, 中内靖, 野口勝則, 松原隆, 自律移動ロボットとタッチパネルを利用した調理作業支援システム, 日本機械学会論文集, **72-716** (2006) pp.201-208.
- (2) 塩見昌裕, 神田崇行, 石黒浩, 萩田紀博, 人々の興味を引きつける案内ロボット- 後ろ向きに移動する案内の効果, 情報処理学会論文誌, **52-4** (2010) pp.301-313.
- (3) F. Faber, M. Bennewitz, C. Eppner, A. G'or 'og, C. Gonsior, D. Joho, M. Schreiber, S. Behnke, The Humanoid Museum Tour Guide Robotinho, 18<sup>th</sup> IEEE Int. Symp. on Robot and Human Interactive Communication, (2009) pp.891-896.
- (4) B. Drazen , H. Hashimoto, Mobile Robot as Physical Agent of Intelligent Space, Journal of Computing and Information Technology, **17-1** (2009) pp. 81-94.
- (5) M. Niitsuma, H. Hashimoto, Observation of Human Activities Based on Spatial Memory in Intelligent Space, Journal of Robotics and Mechatronics, **21-4** (2009) pp. 515-523.
- (6) Á. Miklósi, Dog Behaviour, Evolution, and Cognition, Oxford University Press (2007).
- (7) 市川拓也, 別府航, コバーチシルベスター, コロンディペーター, 橋本秀紀, 新妻実保子, 動物行動学に基づく人とロボットのコミュニケーションの見守り支援システムへの応用, 平成 23 年電気学会産業応用部門大会講演論文集, (2011) pp.261-268.
- (8) T. Ichikawa, M. Yuuki, P. Korondi, H. Hashimoto, M. Gácsi , M. Niitsuma, Ethologically Inspired Human-Robot Communication for Monitoring Support System in Intelligent Space, IFAC Symp. on Robot Control, (2012) pp.58-63.
- (9) J. Topál, A. Miklósi, V. Csányi, and A. Dóka, “Attachment behavior in dogs (Canis familiaris): A new application of Ainsworth's (1969) Strange Situation test, Journal of Comparative Psychology, **112-3**, (1998) pp.219-229.
- (10) T. Ichikawa, M. Yuki, P. Korondi, H. Hashimoto, M. Gácsi, M. Niitsuma, Impression Evaluation for Different Behavioral Characteristics in Ethologically Inspired Human-Robot Communication, 21<sup>st</sup> IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, (2012) pp.55-60.
- (11) MD. Ainsworth, Object Relations, Dependency, and Attachment: A Theoretical Review of the Infant-Mother Relationship, Child Development, **40-4**, (1969) pp. 969-1025.
- (12) Á. Miklósi, R. Polgárdi, J. Topál, and V. Csányi, Intentional behaviour in dog-human communication: An experimental analysis of 'showing' behaviour in the dog, Animal Cognition, **3-3**, (2000) pp.159-166.
- (13) R. Numakunai, T. Ichikawa, M. Gácsi, P. Korondi, H. Hashimoto, M. Niitsuma, Exploratory Behavior in Ethologically Inspired Robot Behavioral Model, The 21<sup>st</sup> IEEE Int. Symp. on Robot and Human Interactive Communication, (2012) pp.577-582.