Psychological Evaluation of Frisky Robot Motion

Hiroshi Hashimoto Member, Daisuke Takeda Non-member, Yasuhiro Ohyama Member

(Tokyo University of Technology, Japan, hiro-hashimoto@ieee.org, takeda@hlab.bs.teu.ac.jp, ohyama@cc.teu.ac.jp)

Chiharu Ishii Member (Department of Basic Engineering in Global Environment, Kogakuin University, Japan, c-ishii@cc.kogakuin.ac.jp)

Mihoko Niitsuma Student Member, Hideki Hashimoto Member (Institute of Industrial Science, University of Tokyo, Japan, {niitsuma, hashimoto}@hlab.iis.u-tokyo.ac.jp)

Keywords: frisky robot, omnidirectional mobile, psychological evaluation, SD method, biosignal, RRV method

This paper describes the emotional evaluation of a frisky robot that weaves around its human owner; the evaluation is based on the SD (Semantic Differential) method and the RRV(R-R wave variance) method using electrocardiograms (ECG) as the biosignal source.

The psychological evaluations are examined for the impression of the moving behavior. In the evaluation, the SD (Semantic Differential) method and the RRV (R-R interval variance) method using the electrocardiogram as biosignal are employed.

The omnidirectional mobile robot with four-wheel drive unit we have developed is shown in Fig.1.

Fig. 1. Omnidirectional mobile robot with four wheel drives

The results of the rating are shown in Fig.2. From the results, it is confirmed that the clinging motion considered as the moving behavior here is able to change the human impression from that in the case of the steady state. Thus, the motion has an important meaning to reveal some impressions.

In the experiments using the RRV method, the RRV grew as the robot be approaching, and then it became small as stopping. Thus, the positive correlation between

the way of the approaching and the sense of secure for the robot is revealed. The evaluation of the impression for the approach angle and the speed. From the results, the relationship between the RRV and sense of secure has positive correlation are revealed as the overall tendency for the results. This leads to that the RRV

method is able to be adopt as the real time evaluation method and also be index value for how the robot approach the human.

Fig. 2. Results of questionnaire based on the SD method

Fig. 3. Typical ECG waveform

まつわりつきロボット動作の心理的評価

正員 橋本 洋志* 非会員 竹田 大祐*
 正員 大山 恭弘* 正員 石井 千春**
 学生員 新妻実保子*** 正員 橋本 秀紀***

Psychological Evaluation of Frisky Robot Motion

Hiroshi Hashimoto*, Member, Daisuke Takeda*, Non-member, Yasuhiro Ohyama*, Member,
 Chiharu Ishii**, Member, Mihoko Niitsuma***, Student Member, Hideki Hashimoto***, Member,

This paper describes the emotional evaluation of a frisky robot that weaves around its human owner; the evaluation is based on the SD (Semantic Differential) method and the RRV(R-R wave variance) method using electrocardiograms (ECG) as the biosignal source. The SD method is effective to measure emotion, and the RRV method is suitable for investigating the physiological state from the heartbeat. The SD method shows that humans show a significant response only when the robot weaves, not when it simply shadows the human. Furthermore, we revealed that these methods are correlated which suggests that the RRV method supports real time evaluation.

キーワード：まつわりつきロボット，全方位移動，心理的評価，SD 法，生体信号，RRV 法

Keywords : frisky robot, omnidirectional mobile, psychological evaluation, SD method, biosignal, RRV method

1. はじめに

少子高齢化および人口減少⁽¹⁾が要因となって，家庭用ロボットの需要はますます高まるとの予測調査がある⁽²⁾⁽³⁾。この調査では家庭用ロボットのうち，現在では芝刈り機用や窓拭き用ロボットの需要が一番であるが，今後は家屋の中で人間の傍にいて，人間と共に共生するロボットの需要も増加すると予測している。共生ロボットに要求される仕様として，人間の良好な体調と活力を維持するためには，人間の生活活動を全て代替わりするのではなく，その人が有する能力を最大限に発揮できるような支援が望ましい⁽⁴⁾⁽⁵⁾。このためには，ロボットが人間の近傍で常に動いている状態を想定しなければならないと考える。この場合，ロボットの安全性を確保することはもちろんであるが安心感を人間

に与えることも共生する上において重要である。

ロボット動作の安心感に関する従来の研究について，ロボットアームの動きに対する安心感の心理的評価⁽⁶⁾⁽⁷⁾では人間は椅子に座って机上のロボットアームの動きが対象である。ロボットとの音声コミュニケーション^{(8)~(10)}や視線コミュニケーション⁽¹¹⁾⁽¹²⁾における心理的評価では，ロボットと人間はほとんど動くことなく主にコミュニケーションの観点からの心理的評価を行っている。しかしながら，先に述べたように人間の近傍での動作に対する心理的評価を行った研究は見当たらない。

ロボットの動き方について，人間は未知のものや未知の動き方について不安を感じるので，ロボットの動き方はよく知られていて親しみやすいものが良い感情を与えるものとする。最近の我が国では，ペットロボットがよく知られるようになったため，動物の動きに倣うことが得策と考える。動物の中でも，人間の近傍を離れずに動き回るものとして犬のじゃれつき動作があげられる。この動作は，人間に対するセラピー効果が高いことが知られており⁽¹³⁾，人間に良い感情を与えることが十分に期待できる。

そこで，本研究では，この動きをまつわりつき動作（ただし，人には接触しない）と称し，これを模倣する動きをロボットで実現し，この動作がどのような印象を人間に与えるかの心理的評価を行う。まつわりつき動作は四方八方

* 東京工科大学バイオニクス学部
 〒192-0982 東京都八王子市片倉町 1404-1
 School of Bionics, Tokyo University of Technology,
 1404-1 Katakura, Hachioji, Tokyo 192-0982

** 工学院大学 国際基礎工学科
 〒192-8622 東京都八王子市中野町 2647-2
 Dep. of Basic Engineering in Global Environment,
 Kogakuin University,
 2647-2 Nakano, Hachioji, Tokyo 192-8622

*** 東京大学 生産技術研究所
 〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1
 Institute of Industrial Science, The University of Tokyo
 4-6-1 Komaba, Meguro-ku, Tokyo 153-8505

に動き回るので、これを実現するには、現在の技術において、全方位移動ロボットが最も適していると考え。また、ロボットと人間との相対位置関係が常に変化することを考え、人間追従センサとして全方位ビジョンシステムを用いる。さらに、まつわりつき動作には人間に近づいたり離れたりして、あたかも、揺ら揺らとする動作が必要である。この動作の実現のため、仮想インピーダンス法を導入する(14)~(16)。

まつわりつき動作に対する心理的評価すなわち印象度の項目として、“好ましい”、“親しみやすい”などの複数の項目があげられる。この評価はよく知られている SD 法 (semantic differential method) (17)を用いて行う。この評価実験においては、初めに静止した状態のロボットに対する印象度評価を行い、この後に、自由に動き回る被験者にロボットが追従する様子を被験者が目で見てその印象度評価を行う。本論文は、この静止状態と追従状態を比較することにより、ロボットが動くことによる人間の心理変化について考察する。

まつわりつき動作において、ロボットの近づき方は予想がつかないことがある。このため、近づき方によっては被験者が衝突するかもしれないと思い、緊張して悪感情を抱く場合がある。このことは、まとわりつき動作全般が好ましい感情を与えるとしても、ときとして緊張させることは、安心動作実現の立場から望ましいものでない。そこで、どのような近づき方をすると緊張させるかを調べる必要がある。このため、近づき方の計測と共に緊張が生じた瞬間を実時間で計測しなければならない。しかし、SD 法は追従実験の後にはしか評価が行えず、追従している最中の緊張から生じる悪感情を実時間で評価できない。そこで、この評価について、緊張が人間の交感神経を働かせて生理状態を変化させる(25)ことに着目して、非侵襲で計測が比較的容易な心電図(ECG; electrocardiogram)を用いて緊張度を測ることとする。ただし、緊張により心拍が早まっても、その R-R 間隔(18)は単純には短くならず、ECG の波形は大きく乱れるため(26)(27)、R-R 間隔の分散値に基づく RRV 法を用いて行う。RRV 法は作業に対する心的負荷に対しての指標となりうるとの知見が示されている(19)。緊張は心的負荷が過剰な場合を指すことから、この RRV 法による結果を通して、どのような接近が安心感を損なうかの知見を得るものとする。

本論文の構成は次のとおりである。2 章では、まつわりつき動作の実現について説明する。3 章ではまつわりつき動作に対する SD 法の評価を行う。4 章では RRV 法を用いた評価を行う。

2. まつわりつき動作の実現

うろうろ動き回る人間の後からロボットが滑らかに追従できるようにロボットの移動機構を全方位とする。また、人間とロボットとの相対位置関係は常に変化するからロボットから見てどの方向に人間がいてもその位置を画像から特定できる全方位ビジョンシステムを採用する。さらに、まつ

図 1 四つの駆動系を有する全方位移動ロボット
Fig. 1. Omnidirectional mobile robot with four wheel drive units.

(a) Ominidirectional camera (b) Image from the camera

図 2 全方位ビジョン

Fig. 2. Omnidirectional vision.

わりつき動作を実現するため仮想インピーダンス法を導入する。これらを装備して開発したロボットの全容を図 1 (左図)に示す。サイズは約 1m(H)×45cm(W)×45cm(D)で質量は約 30kg である。また、図 1 に示す Control unit には CPU(Pentium III, 1GHz), Memory(256MB), HD(40GB)が搭載されており、Linux(Vine ver.2.6)上で各部を制御するソフトウェアを我々が全て開発した。以下、ロボットの各部位について説明する。

〈2・1〉 移動機構 全方位ロボットの移動機構は、図 1 に示すように、全方位車輪を有する四つの独立駆動系を搭載し、これにより全方位への移動を可能としている。ロボット移動性能は、最大速度 1.7 m/s, 最大加速度 0.7 m/s², 回転角速度 6.53 rad/s, 回転角加速度 1.05 rad/s² である。これより、人間の歩行速度を最大 4 km/h (約 1.1m/s) とするならば、人間がうろうろ動き回る後から充分に追従できる仕様である。

〈2・2〉 ビジョンシステム 搭載した全方位カメラを図 2 に示す。図 2(b)に示す画像から、目標物までの角度と距離を算出することができる(20)。ここでの目標物は、図 3 に示すように、人間の足に取り付けた赤色のマーカーとした。また、床は 6 m 四方の緑色とし、緑色と赤色以外はロボットが避けるべき障害物とみなすこととした。これについて

図3 赤いマーカの目標物

Fig. 3. Red marker as target on ankle.

図4 仮想インピーダンスの説明

Fig. 4. Schematic representation of virtual impedance.

は、次に詳しく説明する。

〈2・2〉 移動力の生成 実時間でまわり動作を実現するため、仮想インピーダンス法に基づいた移動を行う。目標物の位置がビジョンシステムにより得られたとしたとき、図4に示すように、仮想インピーダンスはロボットと目標物の間に張られる。図4の仮想インピーダンスでは粘性係数を導入していない。この理由は、人間が歩き回り、ほぼ停止した状態でも、ロボットのまわりつき動作としてゆらゆら揺れる動作を実現したいためである。

目標物への引力 f_a を次のように計算する。

$$\left. \begin{aligned} M \ddot{\mathbf{p}}_R &= \mathbf{f}_a \\ \mathbf{f}_a &= |\mathbf{f}_a| (\cos \theta, \sin \theta)^T \\ |\mathbf{f}_a| &= K(d - d_{std}) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 M はロボットの質量、 $\mathbf{p}_R$ はロボットの位置、 K は仮想バネ定数、 d はロボットと目標物との距離、 d_{std} は仮想バネの自然長である。

まわりつき動作を示すとき、安全第一の観点から人間などの障害物と衝突しないようにしなければならない。このため、障害物を避ける斥力は次のように計算する。図5に示すように、ロボットを中心とした円を考え、その最大半径 r_3 はビジョンシステムによる最大探査範囲とする。次に、 $r_1 < r_2 < r_3$ となる r_1, r_2 と θ_{seg} ($= 18^\circ$ とおいたので $m = 1 \sim 20$) を用いて図5のように円を幾つかのセグメントに分

図5 セグメント分割されたロボットを中心とする円領域

Fig. 5. Circular region, divided into segments, with center at robot location.

図6 ロボットの進行方向

Fig. 6. Direction where robot advances with attraction/repulsive forces.

割する。ビジョンシステムは、各セグメント内の色の頻度を調べ、最も頻度の多い色をそのセグメントの代表色とする。先に述べたように、代表色が赤ならば目標物と判断し斥力を計算する。緑ならば床と判断し、何もしない。これ以外の色ならば障害物と判断する。この場合、障害物は人間（赤のマーカ以外の部分）、床の外領域などが相当する。

障害物があると判断したセグメントに対し、ロボットと目標物間の斥力を次で計算する

$$\mathbf{f}_{rp}^{l,m} = -k_l r_l (\cos \theta_m, \sin \theta_m)^T \dots\dots\dots (2)$$

for each segment $l=1 \sim 3 \quad m=1 \sim 20$

$$\mathbf{f}_{rp} = \sum_{l,m} \mathbf{f}_{rp}^{l,m} \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 k_l はゲイン調整用定数である。

ロボットの進行方向 θ_{ref} は $\mathbf{f}_a$ と $\mathbf{f}_{rp}$ を用いて図6のようにして求める。すなわち

$$\theta_{ref} = \arg(\mathbf{f}_a + \mathbf{f}_{rp}) \dots\dots\dots (4)$$

ロボットの方向制御は文献(21)～(23)に基づき行う。その速度や角度変化の調整は、実験で使用する床面のすべりや人間の歩行速度を見て実験的に行うこととした。

3. SD 法に基づく評価

初めに、これまで説明してきたロボット構成でまっわりつき動作を実現できることを示す。次に、まっわりつき動作に対する心理的評価を SD 法を用いて行う。

〈3・1〉 評価実験の説明 実験において、これまで説明してきたパラメータの値を次のように決定した。予め選ばれた 5 人の実験者が代表して、彼らの主観的判断に基づき、衝突をしないという条件の下、良い印象を与えるまっわりつき動作となるようにパラメータ調整を行った。この結果、 $k = 20.0 \text{ N/m}$, $k_1 = 20.0 \text{ N/m}$, $k_2 = 8.0 \text{ N/m}$, $k_3 = 4.0 \text{ N/m}$, $r_1 = 0.5 \text{ m}$, $r_2 = 1.0 \text{ m}$, $r_3 = 1.5 \text{ m}$ とした。

実験では、実験者が五つの歩行状態；静止、直線歩行、L 字歩行、長方形歩行、円歩行を行い、それぞれに対するロボットの移動の軌跡を観測した。このうち、静止状態、円歩行状態の結果を図 7 に示す。この結果を見て、ロボットの慣性モーメントと仮想インピーダンス法に基づく引力と斥力が交互に変化することが要因となり、ロボットはゆらゆらと揺れながら人間に追従している様子が認められる。静止状態でもゆらゆらと揺れているのは、被験者が完全停止に至らず微動したり、また、仮想インピーダンスに粘性係数を考慮しなかったためと考えられる。

(a) In the case of steady state

(b) In the case of circular walking state

図 7 被験者とロボットの移動軌跡
Fig. 7. Trajectories of subject and robot.

ゆらゆらと揺れる様子は、他の例でも同様であった。5 人の実験者より、このような追従の仕方はまっわりつき動作と認識できるとの回答を得たので、この動作をまっわりつき動作とする。なお、本実験に参加した実験者は次のアンケート調査に参加させていない。これは、アンケート内容に予断を持って判断することを避けるためである。

〈3・2〉 アンケート結果 アンケートの方法は次のようにした。18 人の被験者（男女 18 歳～25 歳）それぞれは、初めに静止状態のロボットの視覚による印象をアンケートに答える。このアンケートを完了してから、次に、6m 四方の床を 5 分間自由に歩き、そのときロボットがまっわりつき動作をしながら追従する。追従状態の動作を視覚で観測し、終了後に同じアンケートに答える。アンケート項目は、図 8 に示すように、良い感情とその反対の悪い感情を対にした 27 項目に対し、7 段階の評価値を設定した。ここに、図 8 の表記は英語であるが、アンケートは日本語で行った。アンケート結果を図 8 に示す。図において菱形マークは静止状態、丸マークは追従状態での印象度の結果の平均値を示す。また、数値は各マークの標準偏差である。

この結果を見て、上から 20 項目は追従状態の方が静止状態より良い感情を与えており、下から 5 項目は静止状態の方が良い感情を与えていることがわかる。上から 20 項目の中には、“暖かい”、“親しみやすい”、“柔らかい”、“かわいらしい”があり、これら 4 項目に関する静止状態と追従状態のアンケート結果の分布を考える。この結果を見ると、

図 8 SD 法に基づくアンケート結果

Fig. 8. Results of questionnaire based on SD method.

それぞれの平均値の差に対する二つの標準偏差が十分小さいため、アンケート結果の分布の広がり具合を見る指標となる“平均値 $\pm n \times$ 標準偏差”(1 $\leq n \leq 3$)を考えると、片方が他方を完全に包含することはないことがわかる。すなわち、統計的には少なくともこの4項目について、静止状態と追従状態とは被験者が抱く感情が異なるものと考えてよいことが言える。このことを踏まえて、ロボットの外見が図1のように、機械的であるにも関わらず、このような良い感情を抱かせるのはロボットの動きが要因であると指摘できる。また、“動物的”という印象も強く認められ、少なくとも犬に代表されるような動物を印象付けられたことは、まっわりつき動作の導入目的が達成されたと考える。

下の5項目のうち、“力強い”、“落ち着いた”は静止した機械を視認したときに必然的に生じる感情と考えられる。“繊細”、“滑らかな”は移動の仕方や設計パラメータの設定に改善の余地があることを指摘している。

以上より、開発したロボットの外見が非常に機械的であるにも関わらず、動くことにより、人間は静止状態と異なる感情を抱くとの結果を得た。しかも、本実験のようにまっわりつき動作は人間に良い感情を与えることがアンケート結果から認められた。

しかしながら、“感じの悪い”、“気持ちの悪い”という悪感情に改善が認められず、このときの感情内容を実験後に問診すると、ロボットがぶつかるのではという不安感からの緊張が生じ、これを先の二つの言葉で回答したという問診結果を得た。そのため、このような悪感情が生じるのは、まっわりつき動作のうちのどのような動きに起因するかを調べる実験を次に行う。

4. RRV 法による評価

ECGの一般例を図9に示す。緊張が生じたときの人間のECGについて、正常時や安静時のときよりも心拍が早くなるが、図9の $RRI(t)$ は単純に短くならず、QRST間隔が大きく乱れて $RRI(t)$ も不規則に変動する⁽²⁶⁾⁽²⁷⁾。このため、 $RRI(t)$ の変動分の指標として、以下に説明する $RRV(t)$ を採用する。

ECG波形のR波の周期に関する短区間での分散値を用いる $RRV(t)$ を次に定義する。

図9 ECGの一般例
Fig. 9. Typical ECG waveform.

$$RRV(t) = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} (RRI(t-i) - \overline{RRI(t)})^2}{N-1} \quad \dots\dots\dots (5)$$

ここに、 $\overline{RRI(t)}$ は次で定義される時刻 t における周期の平均値である。

$$\overline{RRI(t)} = \frac{\sum_{i=t-N+1}^t RRI(i)}{N} \quad \dots\dots\dots (6)$$

また、標本数 N は、参考文献(19)を参考にして16とした。

被験者は3人とし、被験者の心臓周辺の皮膚に生体電極を取付け、この電極信号を実時間でコンピュータに取り込みECGを観測し、これから式(5),(6)を計算する。

次に、ロボットの被験者への接近方法について説明する。まっわりつき動作では、人間の心理が他者に及ぼす距離を考慮する必要があると考える。この距離を決める指針として、心理学のパーソナルスペースがある⁽²⁸⁾。これを参考にして移動ロボットは人間との距離を0.5m~3.5mの範囲で動くこととした。

図10に示すように、被験者から3.5m離れた地点で被験者に対し0°、30°、60°の3地点A、B、Cをロボットの出発点とする。ロボットは出発点から被験者に向かって直線上を移動し、0.5m手前で停止するようにした。このときのロボットの最大接近速度を高速(0.6m/s)とその半分であ

図10 ロボットの出発点と停止点
Fig. 10. Start and stop points for robot.

図11 接近速度パターン
Fig. 11. Patterns of approach speed.

図 12 被験者 I の実験結果, 進入角度 60° , 高速
度の場合

Fig. 12. Results of subject I, approach angle 60° , high speed.

図 13 被験者 II の実験結果, 進入角度 0° , 高速
度の場合

Fig. 13. Results of subject II, approach angle 0° , high speed.

る低速 (0.3m/s) の 2 種を用意した。移動距離が 3.5m から 0.5m までの 3m であることから, 図 11 に示すような速度パターンとなる。これらより, 1 人の被験者に対して, 出発点が 3 通り, 速度パターンが 2 通りの計 6 通りの接近実験を行った。

接近実験に先立ち, $RRV(t)$ の平静時波形を基準とするため, ロボットを Start 地点で停止させたまま, 被験者を 1 分間安静にした後に $RRV(t)$ を 2 分間計測した。この後に接近実験を行った。 $RRV(t)$ の波形に特徴的な変化が現れたのは, 高速の速度パターンで接近する場合であった。この例を図 12, 13 に示す。どちらも図(a)は平静時の $RRV(t)$ 波形, 図(b)はロボットが近づいてきたときの $RRV(t)$ とロボットと被験者との距離を示す。この二つの例を見て, $RRV(t)$ が平静時と明らかに異なる形状を示している。すなわち, 図(b)について, ロボットが近づき始める直前から被験者はロボットを注視しているため, 近づくことを意識し始めたことに起因して $RRV(t)$ が高い値を示す。これがグラフの初期値が高いことの原因である。その後, 一度 $RRV(t)$ が低下するのは, 心的または肉体的に過負荷がかかっていない状態では数秒以内 R-R 間隔と QRST 間隔を正常に戻そうとする人間の一般的な生理現象によるものである^{(25),(26)}。その次に, ロボットが接近を開始すると, 今までの中で最も高い $RRV(t)$ が観測され, 接近時に最も緊張が高まったものといえる。

他の例では, 平静時と接近時とで $RRV(t)$ の区別がつきにくい場合もあった。特に, 低速度接近の場合には, 有意な区別はできなかった。これは, 接近に対する感情は, 被験者の経験や背景さらには試行回数に依存するため, 接近時に必ずしも $RRV(t)$ に変化が生じるわけではないが, 少なくとも $RRV(t)$ が変化したならば, ロボットに対して緊張感を感じているという十分条件を指摘できる。

次に, 接近角度と速度という因子と「好感, 嫌悪」「安心, 緊張」の 2 項目 7 段階との相関性のアンケート調査した結果を図 14 に示す。図中の数字は標準偏差を表す。またグラフの表記は英語であるがアンケート調査では日本語を用いた。

図 14(a), (b) の結果を見ると, 悪い感情となるのは, 速度に関しては当然のことながら低速よりも高速の場合である。接近角度に関しては正面よりは横から接近するほうに強く出るという傾向が認められる。特に, 図 14(b) の緊張度についてみると, 接近速度が低い場合は, 接近角度が 60° までならば, “安心” 感が強いが, 接近速度が 2 倍になると接近角度が 0° でも, “緊張” が高いという傾向が認められる。これらのことをまとめると, 接近角度が大きくなるにつれて悪い感情が高まるが, 低速度であるならば, その度合いは低く良い感情を保てるといえる。したがって, 人間に安心感を与えるまつわりつき動作とは, 接近角度が大きくなった場合には速度の低減が必須といえる。

接近角度について, 駅前などでビラやティッシュを配る場合, 歩行者の進行を妨げない, また, 正面から接近すると殺傷などの不安感から身構えてしまう, という理由から,

図 14 アンケートによる印象度 v.s. 接近角度・速度
Fig. 14. Results of questionnaire: impression v.s. approach angles for high and low speed.

配る人は歩行者の横から接近する。しかし、この場合、配る人に対して一瞥して「配る」という動作だけを行う人間と認識すれば、正面にいない方が悪い感情は生じない⁽²⁴⁾。

一方、本実験結果ではこれと逆の結果を示している。視力は横に行くほど低下するため、人間ではない未知の物体が横から接近してくるのは悪い感情が生じやすいと考えられる。

5. おわりに

本論文は、全方位移動機構に基づくまつわりつき動作を示すロボットの実現を図り、この動作に対する心理的評価を行った。その実験結果に対する考察を通して得られた知見は、ロボットが静止しているときには機械的印象を与えていたが、動物を連想させるまつわりつき動作を示すことにより、当初に予想したとおり、人間に好印象を与えるという感情の変化が認められたことである。このことから、共生ロボットの設計因子には、外観、肌触り、鳴き声のみならず動き方も重要であることが指摘できる。

さらに、人間への近づき方について、横からの接近は悪い感情を与えるが、これも接近速度によりその度合いが異なるという結果を得た。一方、行為の意図が外観から明白な人間が他人に近づくときには横からの接近の方が安心感を得る場合もあるため、今後は、この要因をさらに分析して、ロボット動作に反映させることにより、ロボットの接近角度に対する悪感情の発生度を小さくして、まつわりつき

動作全般の安心感をさらに高める動作設計論を確立する予定である。

最後に、査読者からの貴重なご指摘により、本論文の内容を高めて頂いたことに感謝します。

(平成 17 年 3 月 23 日受付, 平成 17 年 9 月 12 日再受付)

文 献

- (1) Database of Ministry of Health, Labour and Welfare in Japan, <http://www.mhlw.go.jp/english/index.html>
- (2) United Nations Economic Commission for Europe, 国連欧州経済委員会, <http://www.unece.org/>
- (3) International Federation of Robotics, 国際ロボット連盟, <http://www.ifr.org/>
- (4) T.Matsunaga: "View of advanced interface technology which supports advanced activity of elderly in Japan", SICE Annual Conference of System Integration (2004) (in Japanese)
松永:「高齢者の高度活動を支援する高度インタフェース技術の展望」, SICE SI 部門講演会, (2004)
- (5) 藤原・碓井・立野: 身体機能の老化と運動訓練へリハビリテーションから健康増進まで, 日本出版サービス (2000)
- (6) R.Ikeura, H.Otsuka, and H.Inooka: "Study on emotional evaluation of robot motions based on galvanic skin reflex", Japan Ergonomics Society, Vol.31, No.5, pp.355-358 (1995) (in Japanese)
池浦・大塚・猪岡:「皮膚電気反射に基づくロボット運動の心理的評価に関する考察」, 日本人間工学, 31, No.5, pp.355-358 (1995)
- (7) Y.Yamamoto, S.Shibata, M.Jindai, and A.Shimizu: "Psychological Analysis of Avoidance Motion of RObots Using Semantic Differential Method", JSME(C), Vol.66, No.650, pp.3366-3372 (2000) (in Japanese)
山本・柴田・神代・清水:「SD 法を用いたロボットの人間回避運動の心理的分析」, 日本機械学会論文集 (C), 66, No.650, pp.3366-3372 (2000)
- (8) T.Shibata, et al.: "Artificial Emotional Creature for Human-Machine Interaction", Proc. IEEE System, Man, and Cybernetics, pp.2269-2274 (1997)
- (9) S.Shibata et al.: "Psychological evaluation of robot motions", Int. J. of Industrial Ergonomics, Vol.21, pp.483-494 (1998)
- (10) H.Kobayashi, et al.: "A Basic Study on Dynamic Control of Facial Expressions for Face Robot", Proc. IEEE Int. Workshop on Robot and Human Communication, pp.275-280 (1995)
- (11) T.Kanda, et al.: "Psychological Analysis on Human-Robot Interaction", IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp.4166-4173 (2001)
- (12) T.Kanda, et al.: "Development and Evaluation of Interactive Humanoid Robots (Invited paper)", Proc. of the IEEE, Vol.92, No.11, pp.1839-1850 (2004)
- (13) CENCHARE, Univ. of Minnesota (<http://www.censhare.umn.edu/>), Therapy Dogs International, Inc. (<http://www.tdi-dog.org/>) and so on
- (14) O.Khatib: "Real-Time Obstacle Avoidance for Manipulators and Mobile Robots", The Inter. Jour. of Robotics Research, Vol.5, No.1, pp.90-98 (1986)
- (15) T.Arai and J.Ohta: "Motion Planning of Multiple Mobile Robots Using Virtual Impedance", The Robotics Society of Japan, Vol.11, No.7, pp.1039-1046 (1992) (Japanese)
- (16) H.R.Everett: "Sensors for mobile robots: theory and applications", A.K.Peters, Ltd. (1995)
- (17) J.G.Snider, et al.: "Semantic differential technique", Aldine Publishig, (1969)
- (18) Y.Goshima and K.Ohbayashi: "ABC of ECG", Japan Medical Association (1999)
- (19) M.Hirose and T.Ishii: "A Method for Objective Assessment of Mental Work", JSME(C), Vol.51, No.471, pp.3153-3161, 1990 (in Japanese)

広瀬・石井：「知的作業の客観的評価の手法」，日本機械学会論文中（C），Vol.51, No.471, pp.3153-3158 (1990)

- (20) B. Krose, R. Bunschoten, S. T. Hagen, B. Terwijn, and N. Vlassis : "Household Robots Look and Learn" IEEE Robotics & Automation Magazine, pp. 45-53 (2004-12)
- (21) C. Belta : "Geometric Methods for Multi-Robot Planning and Control", Doctor thesis, Mechanical Engineering and Applied Mechanics, University of Pennsylvania (2003)
- (22) S. Fujisawa, K. Ohkubo, Y. Shidama, and H. Yamaura : "Kinematics and Moving Properties of a Four-Wheel-Drive, Omnidirectional Mobile Robot", The Japan Society of Mechanical Engineering, part-C, Vol.62, No.604, pp.149-156, 1996 (in Japanese)
- 藤沢・大久保・師玉・山浦：「四輪独立駆動型全方位移動ロボットの運動学と走行特性」，日本機械学会論文集（C），62, No.604, pp.4573-4579 (1996)
- (23) J. Tang, K. Watanabe, K. Kuribayashi, and Y. Shiraichi : "Autonomous Control for an Omnidirectional Mobile Robot with the Orthogonal-Wheel Assembly", The Robotics Society of Japan, Vol.17, No.1, pp.51-58, 1999 (in Japanese)
- 湯・渡辺・栗林・白石：「直交車輪機構を用いた全方位移動ロボット車の自律制御」，日本ロボット学誌，17, No.1, pp.51-60 (1999)
- (24) 吉森：人間関係の心理学ハンドブック，北大路書房（1996）
- (25) 自律神経機能検査（第3版），日本自律神経学会編，文光堂（2000）
- (26) 五島・大林・監修：改訂版心電図のABC，日本医師会発行（2003）
- (27) 藤原・外山：改定身体活動と体力トレーニング(15章)，日本出版サービス（2004）
- (28) 深田博巳：インターパーソナル・コミュニケーション，対人コミュニケーションの心理，北大路書房(2000)

橋本 洋志

（正員）1960年2月28日生。1988年3月早稲田大学大学院理工学研究科博士後期課程単位取得後退学。同年4月早稲田大学理工学部助手，1990年東京工科大学専任講師，1995年助教授，現在に至る。工学博士。1990年～1998年早稲田大学理工学総合センター客員研究員。2003年より理化学研究所客員研究員。バイオロボット，サイバネティックインタフェース，デジタル空間，福祉工学に従事。日本 e-Learning 学会理事。IEEE，計測自動制御学会，電子情報通信学会，日本ロボット学会各会員。（<http://www.teu.ac.jp/hiha/> 参照）

竹田 大祐

（非会員）1979年8月6日生。2004年3月東京工科大学大学院修士課程卒業。同年4月同大学大学院博士後期課程。群ロボット，生体インタフェースを用いたコミュニケーションの研究に従事。

大山 泰弘

（正員）1956年6月30日生。1985年3月東京工科大学大学院理工学研究科博士課程修了。同年(株)アドバンスコントロールラボラトリ入社，1987年取締役就任。産業用ロボットコントローラ，NCコントローラ，制御工学学習機器の開発に従事。1991年4月東京工科大学工学部機械制御工学科講師を経て，現在，東京工科大学バイオニクス学部教授。工学博士。福祉制御機器，ロボティクス，オンライン教育システムに関する研究に従事。

石井 千春

（正員）1969年5月22日生。1994年3月上智大学大学院理工学研究科博士前期課程修了。1997年3月同大学大学院理工学研究科博士後期課程修了。同年4月足利工業大学講師。2002年4月工学院大学工学部国際基礎工学科講師，2005年4月同大学同学部同学科助教授，現在に至る。博士（工学）。ロボスタ制御理論およびそのロボットへの応用，医療福祉機器の研究に従事。IEEE，計測自動制御学会，日本ロボット学会，日本機械学会各会員。

新妻 実保子

（学生員）1979年3月10日生。2003年3月東京工科大学大学院修士課程修了。2004年10月東京工科大学大学院理工学研究科博士後期課程入学。空間知能化，ロボットを用いたヒューマンインタフェースの研究に従事。計測自動制御学会，日本ロボット学会各会員。

橋本 秀紀

（正員）1957年8月15日生。1981年3月東京大学工学部電気工学科卒業。1987年同大学大学院工学系研究科電気工学専攻博士課程修了。工学博士。同年4月同大学講師。東京大学生産技術研究所勤務。1990年同大学助教授，現在に至る。1989-90年MIT客員研究員(LIDS, LEES)。知的制御システム，制御工学，Robotics及び空間知能化の研究に従事。IEEE，計測自動制御学会，日本ロボット学会各会員。（<http://dfs.iis.u-tokyo.ac.jp/> 参照）