

感性ロボットの表情変化による性格付け

Making Character Using Facial Expressions of Communication Robot

柴田 寛† 加納 政芳‡ 加藤 昇平† 中村 剛士† 伊藤 英則†
 Hiroshi Shibata Masayoshi Kanoh Shohei Kato Tsuyoshi Nakamura Hidenori Itoh

1 はじめに

現在ロボットの研究が盛んに行われているが、産業用ロボットの普及に比べると、家庭用ロボットはまだ新しい分野といえる。Roomba[1]や番竜[2]に代表される掃除や警備など、特定の分野に特化した機能を有するロボットをのぞけば、ロボットがパートナーとして家庭内で人と共生するためには、外見的な親しみやすさとともに、ユーザに馴染みやすく、人が他の人に対して行う方法に近いインタフェースを備える必要がある。これは、ロボットと人との意思伝達にも同様のことがいえる。つまり、インタフェースを介して様々なことをロボットに代行させる以外にも、感情のやり取りを伴ったインタラクションを家庭内のパートナーロボットに求めることも、自然であると考えられる。そこで本研究では、ロボットの表情変化を用いて、人間とのインタラクションを円滑化させることを目指す。

人と人とのコミュニケーションにおいて、表情は、言葉と同様に重要な要素を占めている。ロボットとのインタラクションにおいても、人がロボットの感情を判断する材料として、表情が重要であると考えられる。顔が作り出し表現する情報は、以下の3つに大別される[3]。

- (1) その人の人格を表すもの
- (2) その人の心理状態を表すもの
- (3) その人の生理状態を表すもの

これまで、我々は、恒等写像学習ネットワークを利用し、感性ロボットの感情的な表情生成の研究を進めてきた[4, 5, 6, 7]。これは、上記の分類でいえば、主に(2)(3)に当てはまる。しかし、今後、ロボットの表情研究を進める上では、(1)の情報が重要になると考える。性格は、その人が生まれつきもっている感情や意志などの傾向[8]のことであり、性格の一致や不一致が二者間の関係に大きく影響する。つまり、ロボットと人との間に一種の信頼関係を築くためには、ロボットの性格を作り出し、人とのインタラクションに導入することが重要と考える。そこで、本稿では、表情変化によるロボットの性格付けを試みる。具体的には、感情領域を用いて表情を生成する際に、異なる軌跡を用いることで、表情変化に意味を持たせる。実験の結果、ロボットの情緒安定性に変化を与えることができることを確認した。

2 感性会話型ロボット ifbot

図1にifbotの外観を示す。ifbotは身長45cm、重さ9.5kgであり、2つの腕を有し、車輪によって移動する。ifbotは表情表出のために、10のモータおよび101のLEDを持つ。

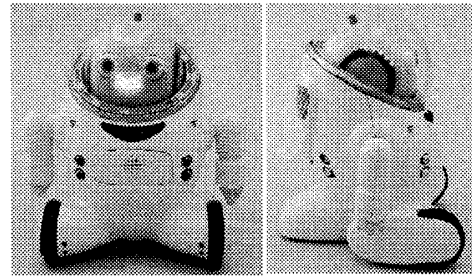


図1 ifbotの概観

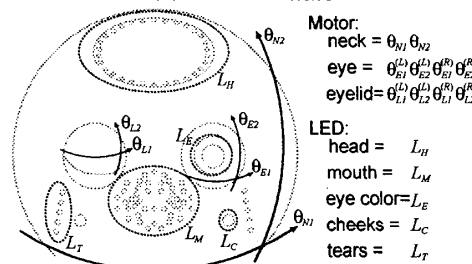


図2 ifbotの表情表出機構

図2にifbotの表情表出機構の概要を示す。モータは、首を2軸(同図 θ_{N1}, θ_{N2})、左右の目を2軸($\theta_{E1}^{(L)}, \theta_{E2}^{(L)}, \theta_{E1}^{(R)}, \theta_{E2}^{(R)}$)、左右のまぶたを2軸($\theta_{L1}^{(L)}, \theta_{L2}^{(L)}, \theta_{L1}^{(R)}, \theta_{L2}^{(R)}$)の方向へ動作させる。LEDは、頭部(L_H)、口部(L_M)、目部(L_E)、頬部(L_C)、涙部(L_T)、耳部に配置される。本稿では、モータの制御パラメータを M 、LEDの制御パラメータを L とし、以下の表情制御パラメータ S を用いてifbotを制御する。

$$S = (M, L). \quad (1)$$

3 ロボットの表情生成

3.1 感情空間と感情領域[5]

ifbotの感情を表情にマッピングするために恒等写像学習を利用する。恒等写像学習ネットワークは、5層で構成され、第3層のユニット数は入出力ユニット数より少なく、砂時計型の形状を有する。学習は、入力データを教師信号として与えることで行われる。本稿では、表情制御パラメータ S を入力データとすることで第3層に表情の特徴を抽出し、この特徴空間を2次元感情空間として利用する。

まず、恒等写像学習ネットワークのユニット数を15, 45, 2, 45, 15とし、怒り、驚き、喜び、悲しみの4つの作り込み表情[6]を使用して学習する。つぎに、学習によって構築された感情空間に、文献[5]と同様に、主観評価に基づいて感情領域を設定する。具体的には、計121の表情を感情空間から抽出し、これらが基本6感情[9]のうちのどれに対応するかを20人に対してアンケートする。表情の抽出は、感情空間の座標点を恒等写像学習ネットワークの第3層に入力し、第5層から表情制御パラメータを

† 名古屋工業大学, Nagoya Institute of Technology

‡ 中京大学, Chukyo University

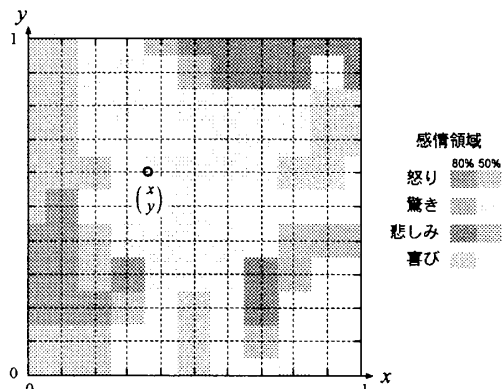


図3 感情空間と感情領域

出力することで行う。つぎに、アンケート結果において、50%以上80%未満の支持率を得た座標点と、80%以上の支持率を得た座標点に注目する。これらの座標点周りの一定範囲では同一の感情を表出していると考え、50%以上80%未満の支持率を得た座標点の周りを弱い感情表出領域、80%以上の支持率を得た座標点の周りを強い感情表出領域と設定する。設定された感情領域を図3に示す。同図において、濃色が強い感情表出領域、淡色が弱い感情表出領域である。本稿では、この感情領域を用いて表情を生成する。

3.2 単一感情表情の生成 [5]

ロボットがある1つの感情を、継続して表情表出する場合、一定の表情で静止するよりも、表情に適度な動きを伴う方が自然である。本稿では、文献 [5] と同様にして、自然な表情表出のために間欠カオスを用いて、表情にゆらぎを持たせる。

3.3 感情間遷移表情の生成 [10]

感情空間を用いて、2つの異なる感情間の表情遷移を行う。まず、開始表情および目標表情を恒等写像学習ネットワークに入力して、第3層から感情空間上のそれぞれの座標点 $(x_s, y_s)^T$, $(x_e, y_e)^T$ を取り出す。つぎに、この2点を対角線とする正方形を感情空間上に取り、各辺を N 等分して格子状に区切る。この格子の交点 (以下、格子点) から出力される表情を表出表情とする。格子点から得られる表情制御パラメータの変化量 (経路コスト) を計算することで、隣り合う格子点で表情変化の少ない経路を探索する。対角上の格子点も隣り合う格子点とする。経路の探索は、動的計画法で行う。隣り合う2つの格子点 $(x_i, y_i)^T$, $(x_j, y_j)^T$ 間の経路コスト $C(i, j)$ は、以下の式で与えた。

$$C(i, j) = \alpha(|\beta M_i - M_j| + (1 - \beta)|L_i - L_j|). \quad (2)$$

ただし、

$$\alpha = \begin{cases} \sqrt{2} & (\text{対角経路の場合}) \\ 1 & (\text{それ以外}) \end{cases}. \quad (3)$$

ここで、 M はモータの制御パラメータ、 L はLEDの制御パラメータ、 β はモータとLEDの制御値の荷重比を決めるパラメータである。また、 α は対角経路の調整定数である。この経路コストをもとに、経路探索を行い、最低コストの経路 $r(k)$, $k = 0, \dots, K$ (K は路の長さ) で表情を

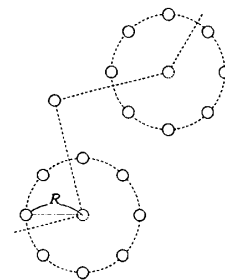


図4 周辺表情の生成法

作成する。すなわち、時刻 t [ms] における感情空間上の座標点 $(x(t), y(t))^T$ は以下の式で表現できる。

$$\begin{pmatrix} x(t) \\ y(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{r(Kt/T)} \\ y_{r(Kt/T)} \end{pmatrix}. \quad (4)$$

ここで、 T [ms] は表情の変化時間である。

4 ロボットの表情変化による性格付け

4.1 性格と主要5因子モデル

主要5因子モデルとは、基本的な性格の次元が、情緒安定性 (Neuroticism)、外向性 (Extroversion)、協調性 (Agreeableness)、勤勉制 (Conscientiousness)、知性 (Openness for Experience) の5つであるという仮説である。本研究では、情緒安定性、外向性を表情変化で表出可能な性格因子と考え、これらをロボットの表情で表現することを目指す。主要5因子が表情にどのように表れるかは、表1のように考えた。本稿では、特に、情緒安定性の表情表現について評価する。

4.2 情緒安定性の属性付けの概要

情緒の安定とは、一時的な感情の変化が少なく、表情で表れる部分では、表情が安定することである。これは感情の変化の傾向であり、表情変化自体とは無関係であるように思われる。しかし、恐れや不安で落ち着かずおどおどしていたり、平静さを失ってうろたえ、あわてて、どきまぎしていたりといった表情についていえば、表情が落ち着かず、情緒安定性が低いととらえることができる。そこで、情緒安定性を、表情の落ち着かないさま、すなわち、表情変化の激しい表情と定義する。次節では、情緒安定性を付加する方法について述べる。

4.3 情緒安定性の付加

感情空間上では、類似した表情は空間内の近い場所にマッピングされるという特徴を持つ。この性質を利用し、3.2節および3.3節の方法で得られた座標点列の周辺座標を用いて表情を生成することで、情緒安定性に影響する表情を生成する。具体的には、軌跡の周辺に円を描くことで行う。図4に周辺表情の生成方法を示す。円の生成パラメータは、円の発生頻度 F 、円周上の表情数 D 、円の半径 R とした。本稿では、これらのパラメータを性格パラメータと呼ぶ。

3.2, 3.3節の方法で生成された軌跡を図5(a)に示す。この軌跡に、上述の方法を、性格パラメータを $F = 2$, $D = 8$, $R = 0.025$ として付加した軌跡を図5(b)に示す。

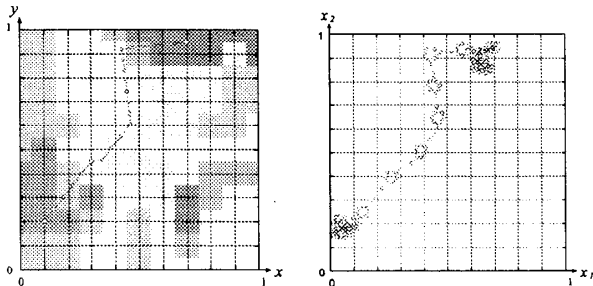
5 性格付けの評価

5.1 主観評価の方法

性格パラメータによって変化する表情によってロボットの性格を変化させることができるか、アンケートを用い

表1 性格因子と表情・感情・意志の関係

性格因子	表情(情緒・情動)	感情	意志の決定
情緒安定性	落ち着いた表情	感情の変化が少ない	—
外向性	感情をよく表に出す	喜び・驚きが多い	外部への興味に基づく
協調性	—	相手に応じた感情	自制や協力を志向する
勤勉制	—	—	集中力や向上心に基づく
知性	—	—	理性や知識に基づく



(a) 性格パラメータ付加前 (b) 性格パラメータ付加後
図5 感情空間上の性格付け処理前の座標点列と、性格付け処理後の座標点列

表2 表情生成に使用したパラメータ。表情 m1, m4, m7 は性格付けが行われない表情となる。

表情番号	情緒安定パラメータ			
	頻度 F	持続時間 D	表情差 R	時間 T[ms]
m1	0	-	-	1000
m2	2	8	0.025	1000
m3	2	8	0.05	1000
m4	0	-	-	1500
m5	2	8	0.025	1500
m6	2	8	0.05	1500
m7	0	-	-	2000
m8	2	8	0.025	2000
m9	2	8	0.05	2000

て評価する。本実験では、図6の怒りから悲しみへの表情変化に対して性格付けを行う。性格パラメータ F, D, R および表情遷移時間 T として表2の9通りを考え、以下の手順で9つの表情を生成した。

- (1) 3.2節の方法で1500[ms]の怒りの表情の軌跡を作成
- (2) 3.3節の方法で T[ms]の遷移表情の軌跡を作成
- (3) 3.2節の方法で1500[ms]の悲しみの表情の軌跡を作成
- (4) (1)から(3)の軌跡を接続し、これに対して表2の性格パラメータを用いて軌跡を変化させて、表情を生成

アンケートでは、被験者はロボットの表情変化を見て、表3の各項目について答える。各回答に-2から2のスコア(5点系)を与えた。被験者は19歳から27歳の大学生の男女15名とした。

5.2 結果と考察

アンケートの結果を、図7に示す。

まず、情緒安定性のスコアに注目する。表情 m1 をのぞけば、性格パラメータ R が大きくなるにしたがってスコアが低下していることがわかる。このことから、性格パラメータ R は、情緒安定性を低下させる効果があると考

表3 性格付け評価の設問(かっこ内の数字はスコア)

項目 A	選択肢					項目 B
情緒安定	2(2)	1(1)	0(0)	1(-1)	2(-2)	情緒不安定
外交的	2(2)	1(1)	0(0)	1(-1)	2(-2)	内向的
人間的	2(2)	1(1)	0(0)	1(-1)	2(-2)	機械的
面白い	2(2)	1(1)	0(0)	1(-1)	2(-2)	つまらない
複雑	2(2)	1(1)	0(0)	1(-1)	2(-2)	単純

える。表情 m1 は、性格パラメータが付与されておらず、T = 1000 の表情の中では表情が最も速く変化するように見える。このような感情間のすばやい表情変化によって情緒の不安定さが評価されたと思われる。この結果から、表情変化があまりに速いと、性格パラメータによる表情変化の評価が適切に得られない可能性が示唆された。

つぎに、外向性に関しては、性格パラメータ R とは相関はみられないが、パラメータ T と相関してスコアが低下することがわかる。表情の変化がすばやいほど、外交的であると受け取られると考える。また、すべての表情のスコア平均は、0 以下であった。これについては、評価に用いた表情変化が怒りと悲しみを用いているため、内向的に見えるという指摘が被験者からあった。この指摘について、他の感情間の表情変化を評価することで検証する必要がある。

人間らしさの項目については、性格パラメータとの相関はみられなかった。面白さ、複雑さについては、T = 1500, 2000 の表情については、パラメータ R によって、表情の面白さ・複雑さが増すことがわかった。エンタテインメントロボットとしては、情緒が安定しており面白みのあるロボットが、一般的には、需要があると考えられる。今回の実験では、情緒安定性を高めつつ、表出表情の面白いロボットを作るためのパラメータの組み合わせは見つからなかったが、今後、この条件を満たすパラメータを調査する必要がある。

6 おわりに

本稿では、感情空間を用いて表情生成する際に、性格パラメータによってロボットの表情に変化をつけることで、ロボットに性格を持たせる手法について提案した。実験結果から、性格付けパラメータの値によって、情緒安定性を付加できることが示された。本稿では、1組の感情間の表情変化のみを用いて実験したが、その他の組合せについても評価するなどして実験量を増やし、外向性への影響などを確認したい。また、性格パラメータ F および D を変化させたときの影響や、表情の変化速度を非線形にしたときの影響などについても調査する必要がある。

謝辞

ifbot は株式会社ビジネスデザイン研究所の製品企画・総合プロデュースのもと、特に、形状デザイン、表情制御

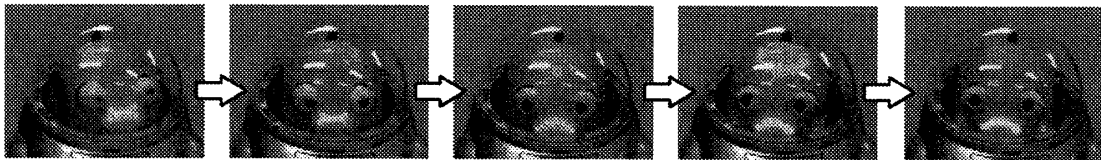
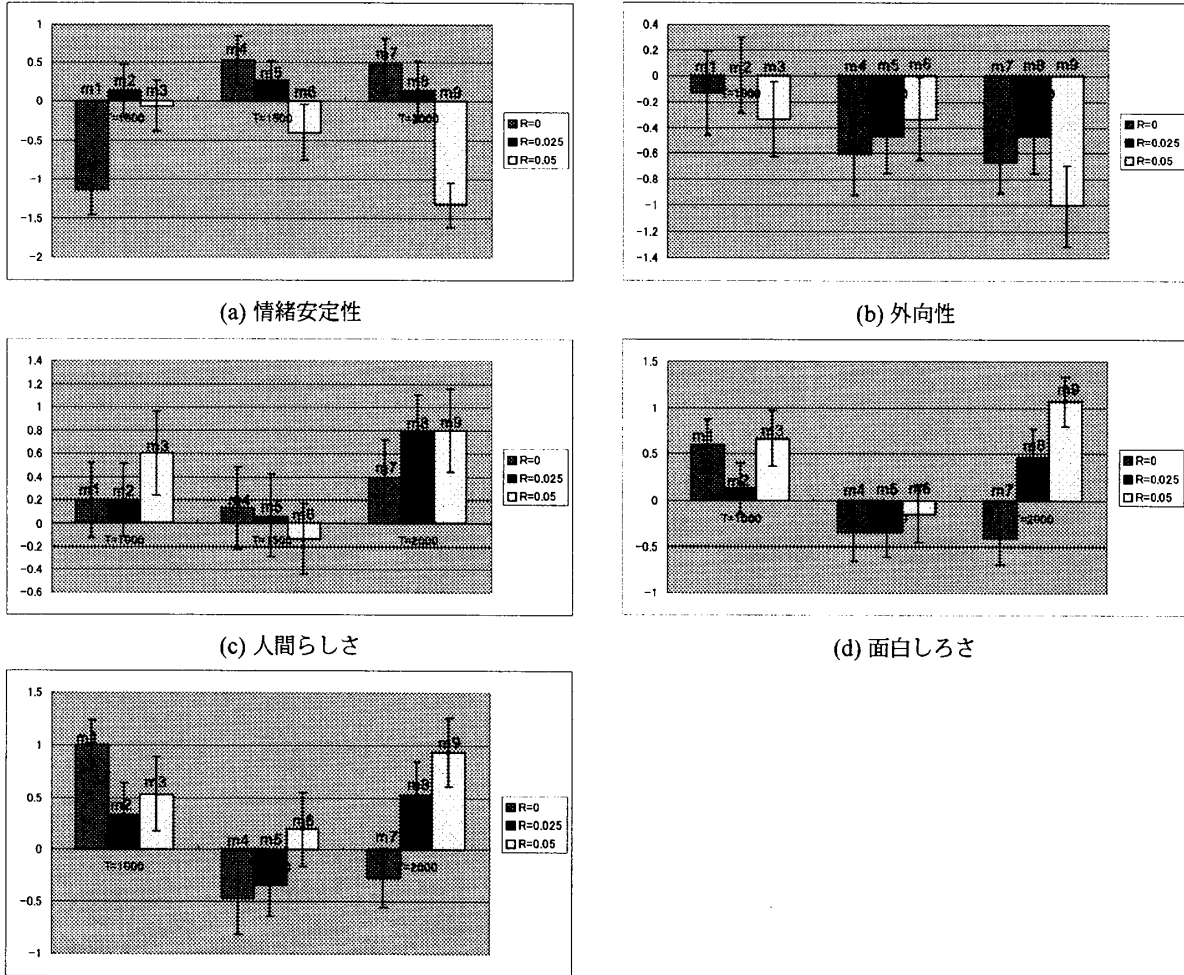


図6 性格付けを行う表情



(e) 複雑さ

図7 アンケート結果。縦軸はスコアの平均値、ひげは標準誤差を表す。

メカニズムはブラザー工業株式会社、および、表情制御ソフトはブラザー工業株式会社、ロボス株式会社、名古屋工業大学が共同開発した。関連各位に感謝する。本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金若手研究(B) (課題番号 17700160)、および、人工知能研究振興財団研究助成による。

参考文献

[1] Roomba. <http://www.irobot.com/>.
 [2] BANRYU. <http://www.banryu.jp>.
 [3] 原文雄, 小林 宏: 顔という知能, 共立出版 (2004).
 [4] 柴田 寛, 加納政芳, 加藤昇平, 国立 勉, 伊藤英則: 感情指定パラメータからの感性ロボットの表情生成, 電気学会論文誌 C, Vol. 125, No. 12, pp. 1852-1860 (2005).
 [5] 後藤みの理, 加納政芳, 加藤昇平, 国立 勉, 伊藤英

則: 感性ロボットのための感情領域を用いた表情生成, 人工知能学会論文誌, Vol. 21, No. 1, pp. 55-62 (2006).

[6] Kanoh, M., Iwata, S., Kato, S. and Itoh, H.: Emotive Facial Expressions of Sensitivity Communication Robot "Ifbot", *Kansei Engineering International*, Vol. 5, No. 3, pp. 35-42 (2005).
 [7] 加納政芳, 後藤みの理, 加藤昇平, 中村剛士, 伊藤英則: ロボットの混合感情表出のための表情制御手法, 知能と情報, Vol. 17, No. 2 (2005).
 [8] 松村 明(編): 大辞林, 三省堂, 第二版 edition (1995).
 [9] Ekman, P.: *Unmasking the Face*, Prentice-Hall (1975).
 [10] 松井裕紀, 柴田 寛, 加納政芳, 加藤昇平, 中村剛士, 伊藤英則: 感性ロボットの感情空間を用いた表情変化によるインタラクション効果, FIT2007 第6回情報科学技術フォーラム (2007). (掲載予定).