

インタラクティブ情動コミュニケーションにおける自己組織化マップによる混合情動行動生成手法†

滝 僚平 *1・前田 陽一郎 *2・高橋 泰岳 *2

人間と共生するためのロボットには、人間の意思を読み取り、自分の意図を伝える能力がロボットに必要とされ、人間共生システム (Human Symbiotic System: HSS) やヒューマン・エージェント・インタラクション (Human-Agent Interaction: HAI) と呼ばれる分野で盛んに研究されている。しかし、人間とロボットの双方向コミュニケーションを実現する技術は未だ確立されておらず、人間と円滑な意思疎通が可能なロボットがほとんど存在していないのが現状である。そこで筆者らは、ロボットと人間の両者が情動行動を通じて双方向インタラクションを図る「インタラクティブ情動コミュニケーション」(Interactive Emotion Communication: IEC) を提案してきた。IECでは、人間とロボットが相互に情動を伝え合うインタラクションを通じて人間の情動を増幅・抑制させることにより、ロボットの対人親和性を高めることを目標としている。本研究ではロボットの情動行動を画一的なパターンとして与えるのではなく、自己組織化マップによって多様な情動行動生成を試みる手法を提案した。本手法を用いることで複数の情動が混在した混合情動も表現できるようになり、より複雑なインタラクション実験が実現可能となる。次に、生成された混合情動行動を用いてインタラクション実験を行い、人間の情動にどのような影響を与えるのか検証した。その結果、今までよりも複雑なインタラクションが可能となり、さらに混合情動を発現するロボットの対人親和性が高くなることを確認した。

キーワード：情動，コミュニケーション，インタラクション，自己組織化マップ

1. はじめに

近年、産業用ロボットのように、ある特定の環境だけで活躍するロボットだけでなく、ペットロボットやサービスロボットなど直接人と接する機会の多いロボットが増加しつつある。そして、ロボットと人間が共生する社会が実現できるようなロボット技術が必要とされてきており、人間と円滑な意思疎通を図る技術が求められている。そのためロボットには、人間の意図を読み取る力、人間に自分の意思を伝える能力が必要になる。このような人間とのコミュニケーションに関する研究は人間共生システム (Human Symbiotic System: HSS) やヒューマン・エージェント・インタラクション (Human-Agent Interaction: HAI) と呼ばれる分野で盛んに研究[1, 2]されている。しかし、人間と双方向コミュニケーションを図るためのこれらの技術は数多くの課題を抱えており、いずれも未だ確立さ

れた技術であるとは言えず、円滑な意思疎通が可能なロボットはほとんど存在していないというのが現状である。

一方、人間の情動を推定する研究では声や動作、表情を用いる手法[3-5]がいくつか提案されている。情動を自ら生成する研究では、脳の機能を再現したニューラルネットワークを用いた手法[6]がある。情動を表現する研究には、ロボットやエージェントに人間の一部の機能を搭載し、顔の表情や動作を模倣、再現、もしくは自動生成する手法[7-10]などがある。しかし、これらの研究はロボットか人間が一方的に情報を伝えるのみであり、インタラクションを行っているわけではない。これに対し、目良らは感情を考慮した音声によるインタラクション[11]を行っているが、この種の研究では感情を表現する対象はCGエージェントであることが多い。

以上のように、実際のロボットと人間がインタラクションを行う研究は数少なく、インタラクションによる人間の心情の変化や評価を行う研究は十分になされていない。そこで筆者らは、ノンバーバル(非言語的)・コミュニケーションの中の身体動作に注目し、ロボットと人間が双方向にコミュニケーションを図る「インタラクティブ情動コミュニケーション」(Interactive

† Generation Method of Mixed Emotional Behavior by Self-Organizing Maps in Interactive Emotion Communication
Ryohei TAKI, Yoichiro MAEDA and Yasutake TAKAHASHI

*1 株式会社イーシーエス
ECS Co., Ltd

*2 福井大学 大学院工学研究科 知能システム工学専攻
Dept. of Human and Artificial Intelligent Systems, Graduate School of Engineering, University of Fukui

Emotion Communication: IEC)を実現する研究を進めている[12]. IECでは人間とロボットが相互に情動行動を示すインタラクションを通じて, 人間の情動を増幅・抑制させることによりロボットの対人親和性を高めることを目標としている.

筆者らのこれまでの研究では, ロボットの情動表現として画一的な情動行動のみを用いていたため単調なインタラクションしか実現できていなかった. そのため, より複雑なIECを実現するためにも情動行動の多様化を行う必要がある. そこで本研究では多様な情動表現の研究として, 自己組織化マップ(SOM)を用いて複雑な情動行動を生成する手法を提案する. 本手法によりロボットの情動行動の種類を増やし, 複数の情動が混ざり合った混合情動を表現できるようになる. さらに, 画一的な情動行動と混合情動行動を用いて人とのインタラクションを行い, IECによる人間の情動の影響を検証する実験を行ったので, これらについても報告する.

2. インタラクティブ情動コミュニケーション (IEC)

前節で述べたように, 人とロボットのコミュニケーションに関する研究は, どちらかが一方的に情報を伝えるものが多く, 双方向のコミュニケーションであっても, 人間の心理的影響や評価を行う研究は十分になされていない. 筆者らは両者が情動を有する行動をやり取りすることによって双方向のコミュニケーションを図るインタラクティブ情動コミュニケーション (IEC)を提案してきた.

2.1 IECについて

一般に, ロボットが人間との意思疎通を図る上で, 高度な自然言語処理機能を持たない限り言語を用いたバーバル・コミュニケーションを対等に行うことは困難であり, 自身の多関節動作による身振り手振りなどのノンバーバル・コミュニケーションを行う方が容易であると考えられる. そこで本研究では, ロボットのコミュニケーションの媒体として身体動作に注目する. IECを行うことでロボットと人間が何らかの情動や心を通じ合わせることができ, また, 単純な身体動作ではなく「情動」が伴うことによって, より意図が伝わりやすく, 親しみやすいコミュニケーションが行えると考えられる. 一般に「情動」とは短期的に発生して減衰していく比較的強い感情のことを指すことが多く, 本研究では複雑で定義が難しい「感情」ではなく「情動」を取り上げ, 特にロボットの行動で表現できる情動のみを限定して取り扱う.

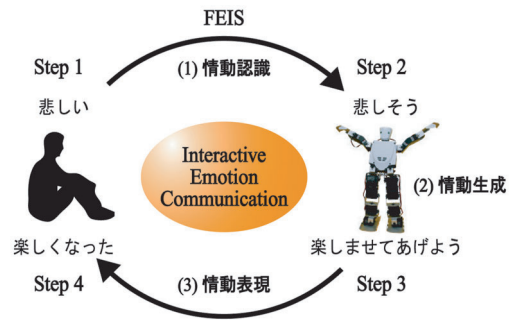


図1 IECの概念図

図1にIECの概念図を示す. IECを実現するためには, 以下の「情動認識」「情動生成」「情動表現」の3つのプロセスをロボットに搭載する必要がある.

- 1) 情動認識: 人間がロボットに示した情動行動をロボットが身体動作として認識する.
- 2) 情動生成: 人間の情動に対してロボットが増幅, 抑制させるような情動を発生する.
- 3) 情動表現: 生成された情動をロボットが人間に対して行動で示す.

ある情動が一方に生じ, それを行動で表現することにより, 相手はその視覚により得られた身体動作から情動を認識し, それに対する情動行動を返すことで, 情動による相互コミュニケーションが成り立つ.

以上のようなロボットと人間が行う双方向インタラクションを通じて, 人間の情動を増幅, 抑制することにより, ロボットの対人親和性を高める.

2.2 ラバン理論

ラバン理論[13]とは, R.Labanによって考案された身体動作の特徴量をマクロに捉え, それらを記述する方法であり, Effort-Shape Description, Structural Description, Motif Descriptionの3つの記述方法が提案されている. 中でもEffort-Shape Descriptionは人間の身体動作を感性特徴量によって分類する際に有効な記述方法であり, 本研究ではこれに基づいて人間やロボットの動作特徴量を記述している. この動作解析法は要素だけを抽出し身体運動を捉える点で工学的に使いやすく, 中田ら[10]もこの概念をロボットの身体動作表現に対する行動評価に用いている.

LabanはDarwinが提唱した敵意・服従という概念を基に, 人間の身体動作にはメリハリがあり活発な動きを伴う戦闘(Fighting)形態と, 優しく流れるような動

表1 Effortの分類 (文献 [13] より引用)

運動要素	Effort要素	測定できる局面	分類できる局面
Weight (重さ)	しっかりした ⇔優しい	抵抗	軽さ
Time (時間)	突然の ⇔ゆっくりした	スピード	持続(長い)
Space (空間)	まっすぐ ⇔うねる	方向(直線の)	持続(しなやか)
Flow (流れ)	束縛された ⇔自由な	流れ(停止)	流暢さ(流体)

表2 Shapeの分類 (文献 [13] より引用)

動きの形状要素	戦闘形態	陶醉形態
Table Plane (水平面)	狭まる	広がる
Door Plane (正面)	上に伸びる	下にうなだれる
Wheel Plane (側面)	後退する	前進する

きを伴う陶醉(Indulging)形態の2極構造があると考
えた。それらを細分化する際に用いる概念がEffort-
Shape Descriptionであり、表1、表2に4種類のEf-
fortと3種類のShapeの分類を示す。Effortは身体動作
を感性的な動的特徴を基に分類することに対して有効
であり、Shapeは細部の特徴は考慮しない全身的な形
状に関する静的特徴である。

2.3 ラッセルの円環モデル

J.A.Russellの提唱した円環モデル[14]とは、図2に
示すように快(Pleasure)-不快(Unpleasure)軸と覚醒
(Arousal)-眠気(Sleep)軸から成る2次元平面上に全
ての感情が円環状に整列しているとする感情モデルで
ある。この円環モデル上に配置されている2次元座標
軸上の各感情は、ベクトル方向と大きさとで表現され、
各感情間のベクトル方向の差が相関係数を表してい
る。この円環モデルでは、恐れ、警戒などのような類

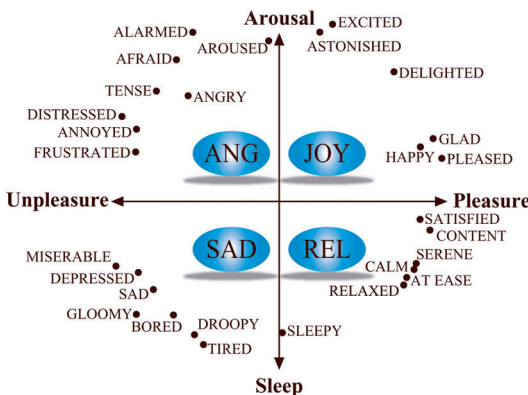


図2 ラッセルの円環モデルと基本情動

義語は近接した位置に、恐れとやすらぎのような反対
語は原点对称の位置に配置されている。

また、WitvlietとVranaらはラッセルの円環モデル
の誘発性の次元と覚醒の次元を45度回転させることに
より、ネガティブ感情とポジティブ感情で感情空間を
表現する有用性を報告した[15]。本研究では、この説
を参考に図2のように円環モデルを第1象限から第4
象限の各象限を代表する情動として、JOY・ANG(Anger)
・SAD(Sadness)・REL(Relaxation)の4つの情動を
本研究における基本4情動と定義した。なお、本研究
では説明の都合上、人間の表現した情動行動をJOY-
H, ANG-H, SAD-H, REL-H, ロボットの表現した
情動行動をJOY-R, ANG-R, SAD-R, REL-Rと呼ぶ
ことにする。

3. 情動行動生成手法

筆者らのこれまでの実験では、ロボットの情動行動
をJOY-Rなら手を挙げて喜ぶ動作と言うように、1つ
の情動に対して1つの情動行動を一意的に割り当てて
いた。そのため、どうしてもインタラクションが単調
になってしまい、IECが目指す自然なインタラクショ
ンや人間の情動の増幅・抑制効果の検証を十分に行う
ことができなかった。そこで、ここでは自己組織化
マップの一種であるトーラスSOMを用いた、より複
雑な情動行動を生成できる手法を提案する。

3.1 自己組織化マップによる情動行動学習

自己組織化マップ(SOM)は多次元データ入力群を
任意の次元に落として可視化を行うことができるクラ
スタリング手法である。通常の2次元平面SOMでは
マップ端のノードが勝者ユニットとなった際に、学習
領域がマップからはみ出し、情報が欠損する恐れがあ
る。これは入力される位置によって学習量が変わると
いうことであり、偏った学習を引き起こしてしまう
可能性がある。

そこで本研究では、トーラス型自己組織化マップ
(トーラスSOM)[16]を用いた。本手法ではSOMの平

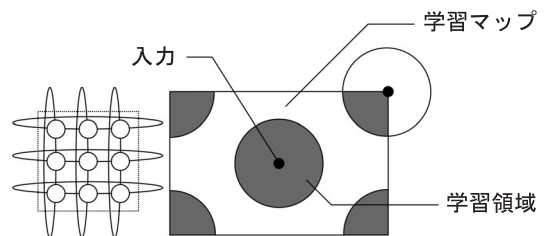


図3 トーラス SOM の概念図

面マップの上下と左右の端点同士が連続しているトラス型のSOM(図3参照)を使用している。そのため学習量の偏りが発生することなく、2次元平面においても全体が見渡せるようなマップを作成することが可能である。本研究では、学習マップ上のある1点を選択して情動行動を生成する手法を用いるため、どの点を選択しても必ず円形の近傍領域が存在するトラスSOMを用いた。

3.2 ロボットの情動行動

本実験ではヴイストン製のRobovie-Xを使用し、情動行動生成を行った。今回はラバン理論を参考に、ラバン特徴量のTime Effortをロボットの手の周波数 v 、Flow Effortを手の振幅 h 、Door Planeをロボットの投影面積 a と定義した(図4参照)。ロボットの情動行動の基となる動作は、単純に手を体の側面で上げ下げする動作とし、この動作を3つの要素(a, h, v)の[大], [中], [小]の組み合わせによって表現するものとする。ここで a 大とは両足を広げている状態、 a 中とは直立状態、 a 小とは足を曲げ身体を縮めている状態を示している。また、 h の小, 中, 大は手を下げた状態から肩を外転方向にそれぞれ20, 90, 150 [deg]動かす振幅、 v の小, 中, 大はロボットの状態遷移時間をそれぞれ2, 1, 0.4秒とする周波数、を基準としている。3種類の要素を3段階の強度で表現するため、合計27通りの基本情動行動を事前に作成する。作成された1つ1つの動きは大, 中, 小を l, m, s の記号を用い、投影面積 a 、手の振幅 h 、手の周波数 v の順に記号で表現する。例えば、 a 大、 h 中、 v 小の動きは lms のように表現される。

一般に入出力となる情動や身体動作はいずれも極めて数多く存在するので、本研究ではこれらの数を最小

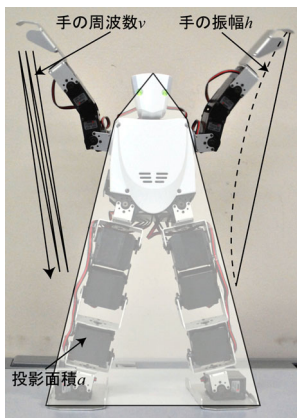


図4 Robovie-Xとラバン特徴量

限にして次元を減らすために、入出力の部分にラバン理論とラッセルの円環モデルを用いた。さらに、身体動作の要素については、表1, 表2の中から関節数となるべく少なく可動範囲の狭いロボットでも容易に再現できるものとして3つ(a, h, v)を選んだ。また、大, 中, 小についても動作要素と同様に最小限の強度を示す要素として3つを用いた。

3.3 情動行動生成アルゴリズム

ここではロボットの情動行動を生成する手法について述べる。ラバン理論に従い、投影面積、手の振幅、手の周波数の要素をそれぞれ大, 中, 小で組み合わせた基本情動行動を27通り生成する。これらの動きを被験者に提示し、それらの動きからJOY-R, ANG-R, SAD-R, REL-Rの強度をどの程度感じたかをアンケートによって回答してもらう。このアンケート結果をトラスSOMにかけることによりJOY-R, ANG-R, SAD-R, REL-Rの4つの情動の強度が混在した学習マップを生成する。SOMには類似しているものほど近くに配置されるという特徴があるため、ここでは明確な情動に対し、これに類似する混合情動はSOM上で近い位置に配置される、との仮定を置いた。具体的には、SOM上で可視化された距離を類似度と捉え、近くに配置されているものほど、表現したい混合情動を示しているものとし、重みとして計算することとした。

さらに学習マップを利用し、複数の情動が入り混じった混合情動も表現可能な情動行動の生成を試みる。学習後のマップには、各基本情動値のみしか記録されておらず、マップのある1点を選択してもロボットの情動行動のラバン特徴量が一意に決まるわけではない。そこで学習マップ上の1点を選択し、そこからラバン特徴量を算出する手法について提案する。

まず表現させたい情動(目標情動値: \bar{E})の各情動値(JOY-R, ANG-R, SAD-R, REL-R)の強度を設定する。このとき各値は[0, 1]の正規化された区間値をとるものとする。この値を持つノードを学習後のマップから検索するが、必ずしも値が一致するノードがマップ上に存在するとは限らない。そのため値が最も近いノード(最近傍目標情動値 \bar{E}^{near})を検索して、そのノードを中心に情動行動を生成する。

しかし、 \bar{E}^{near} が発見されても、そのノードは各ラバン特徴量の値を保持しているわけではない。そこでマップ上のラベルを参考にしてラバン特徴量を決定する。ラベルは全ノードの各情動値と、アンケート時に用いた sml のような27通りの情動行動(参照情動値: $E_k[k=1, 2, \dots, 27]$)の各情動値を比較し、最もユー

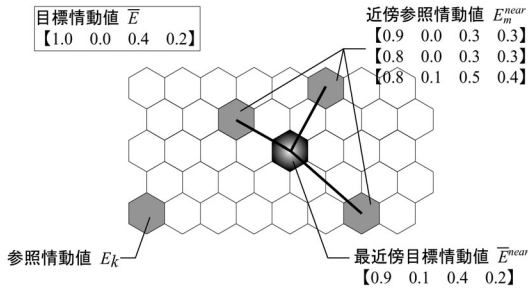


図5 学習マップ上の混合情動生成例

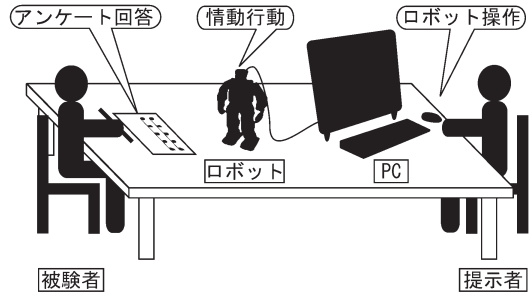


図6 実験環境

クリッド距離が近いノードに *sml* といったラベルを表記してある。そのため、このラベルを持つノードのみからラバン特徴量を算出できることになる。 \bar{E}^{near} 近傍の E_k の中で、最も \bar{E}^{near} に近い参照情動値(最近傍参照情動値: E_m^*)から順に M (最低3)点(近傍参照情動値: E_m^{near})を選択し、距離が近いほど重み係数が大きくなるように設定する。これは27個の参照情動の位置に偏りがあるため、3点の参照情動値までの距離に反比例した重みを与えることにより、目標情動値に最も近いラバン特徴量を一意に決定するためである。

これらの関係による混合情動の生成については図5に一例を示す。 $B_{j,m}$ を近傍参照情動値のラバン特徴量、 w_m を距離に反比例した重みとすると、以下の式(1)に従ってラバン特徴量の値 B_j が算出される。

$$B_j = \sum_{m=1}^M w_m B_{j,m} \quad (j = a, h, v) \quad (1)$$

以上の手順に従い、目標情動値に最も近いラバン特徴量が一意に決まるため、ロボットの情動行動が生成できる。

4. 情動行動生成実験

まず被験者のアンケート結果をもとにトーラスSOMにより情動行動をクラスタリングし、ロボットの情動行動の学習マップを生成する。

その後、学習マップよりロボットの情動行動を生成し、再度被験者に対しアンケートを行い、得られた情動行動を評価した。

4.1 実験方法

ラバン特徴量を組み合わせて作られた27通りのモーションを20代の男女10名(男9名, 女1名)に提示し、それぞれ4つの情動(JOY-R, ANG-R, SAD-R, REL-R)の得点を0~4点の5段階で評価してもらったアンケート調査を行った。アンケート調査の際には、5段

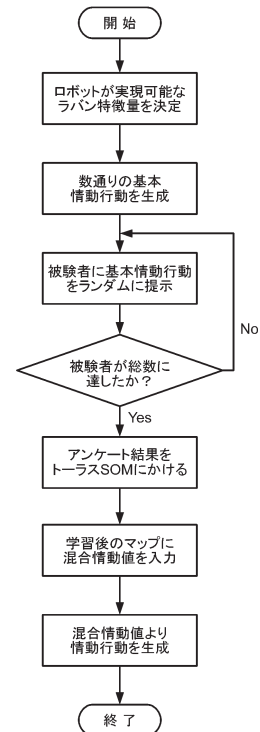


図7 情動行動生成実験の処理手順

階のラベル(4: かなり強く感じる, 3: 強く感じる, 2: 少し感じる, 1: やや感じる, 0: 全く感じない)の説明もアンケート用紙に記載して被験者に伝えた。実験環境は図6のようにアンケートに回答する被験者と、情動行動を表現するヒューマノイドロボット(Robovie-X)、ロボットに指示を送るロボット操作用パソコン、ロボットの情動行動表現のタイミングを制御する提示者から構成される。

尚、本実験に先立ち事前実験として、ロボットの情動行動を決定する際に人間が27通りのモーション(情動行動)で評価可能であるかどうかを数量化I類を用いて分析を行った。ロボット動作の3要素である $a, h,$

v と、それぞれの大きさである l, m, s をダミー変数と置くことにより、 $[a大]$ や $[v中]$ などの係数(カテゴリスコア)を求めることで、各ラバン特徴量が情動行動表現に及ぼす影響度を分析し、影響度の高い要素を用いて各情動を表現する基本情動行動を決定することが可能となることも確認している。

本実験は図7に示す実験処理手順に従って行われる。この実験では、ロボットの各情動行動表現における基本情動の強さを決定してもらうため、例えば、 lmm のような1つの情動行動がJOY-Rにも見えるが、少しだけANG-Rにも見えるとき、(JOY-R)4, (ANG-R)2, (SAD-R)0, (REL-R)0のように採点してもらう。各情動行動を提示する順番は被験者ごとに順不同であり、被験者が採点できるまで提示者が繰り返し提示した。アンケート結果は $[0, 1]$ の値に正規化した後、トラスSOMへ入力して学習を行った。以上の手順によって、アンケート調査によるロボットの情動行動のクラスタリングを行った。

4.2 クラスタリング結果

トラスSOMで学習した結果の情動行動マップを図8に示す。六角形の要素領域(ここではノードと呼ぶ)のうち、ラベルの書かれたノードは情動行動が存在するノードを示し、何も書かれていないノードはノード同士の距離を色で表している。距離が近ければ赤色、中くらいであれば緑色、遠ければ青色で表示される。ラベルは $[大]$, $[中]$, $[小]$ を示す l, m, s の3種類の記号で構成され、例えば $[a大][h中][v小]$ の動作は lms と記述される。JOY-R, ANG-R, SAD-R, REL-Rの各4情動において最も強い出力を示したとき(図8に白枠でマークしたノード)の4情動のSOM出力を図9に示す。これらの図では、それぞれ棒グラフの左から順にJOY-R, ANG-R, SAD-R, REL-Rの強度を示している。この図においても、各色は情動の強度を示しており、赤色であるほど値が大きく、緑色ならば中くらいで、青色であるほど値が小さいことを示している。以上の結果からSOMのクラスタリング能力により、ロボットの情動行動の分類ができ、その学習後のマップはラッセルの円環モデルを90度回転させたものと同じ情動配置になったことが確認された。

図9を見ると、JOY-R, SAD-R, REL-Rが最も強い時、他の情動は強くて1/2程度の値であり、明確にその情動が出力されていることが確認できる。しかしながら、ANG-Rのみ、同時にJOY-Rが強く出力されており、他の点においてもANG-Rが突出して強いという点は見られなかった。図8のANG-Rの山付近では、手の振幅(h)、手の周波数(v)が共に大きい動作

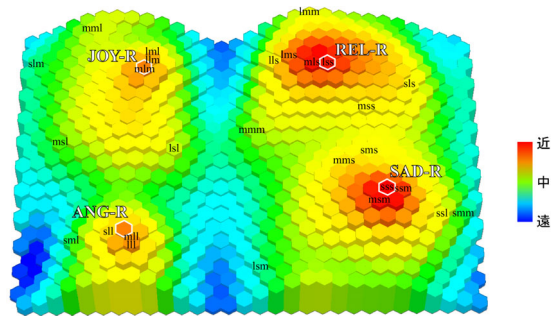


図8 SOMの出力

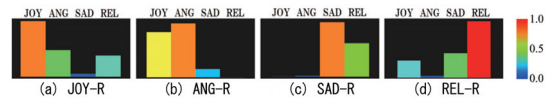


図9 各情動の情動値

が配置され、面積(a)はあまり重要ではないと考えられる。しかし図9を見ると突出してANG-Rのみ大きい強度も出力されておらず、ANG-Rの動作が今回の情動行動の中では最も識別が困難であり、被験者がロボットの表現していた情動とは異なる印象を受け取る可能性があることが示唆された。

4.3 情動行動生成結果

図8では山の最も高い位置のノードが各情動の強さが最も強いときを示している。しかし一般には混合情動で表されているため、単純な1つの情動を表現させようとすると、必ずしも最も高い位置にある情動行動のみが発生するわけではない。例えば、 $\bar{E}_j = 1.0$ のときは山頂の情動でもあるが、参照情動でもある mlm が発現した。また、目標情動値と最近傍目標情動値 \bar{E}^{near} の類似度 S を式(2)に従って計算し、生成された情動行動の評価を行った。

$$S = 100(1 - D_{\min}^{\bar{E}} / D_{\max}^{\bar{E}}) \quad (2)$$

ここで、目標情動値と最も距離が小さいものを最近傍目標情動値として選ぶため、 $D_{\min}^{\bar{E}}$ は全マップ中の最も小さい距離を示し、 $D_{\max}^{\bar{E}}$ は距離がとりうる値の最大値を示している。尚、本実験では、類似度の大きさが60%以上であれば「類似している」、80%以上であれば「強く類似している」という基準を設けた。

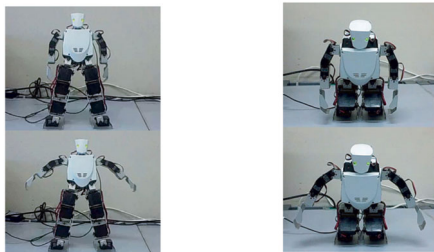
本稿では以下の2種類の混合情動行動を発現させた実験結果について述べる。

実験1 $\bar{E}_J=0.5, \bar{E}_A=0.5, \bar{E}_S=0.5, \bar{E}_R=0.5$

実験2 $\bar{E}_J=0.1, \bar{E}_A=0.1, \bar{E}_S=0.7, \bar{E}_R=0.5$

生成された情動行動を図10に示す。ロボットの情動行動はこの2種類のポーズを3回繰り返すものであるため、2種類のポーズだけを撮影した。各図の下に3回動作を繰り返した時にかかった時間も表記した。またこの2つのモーションがマップ上のどの点に配置されるかを表した平面図を図11に示す。実験1で生成された情動行動は全ての値が0.5で均等に混在した情動であるため、マップ上ではやや不快情動寄り、どの情動にも分類されない位置に配置された。このときの情動行動は面積、手の振幅、手の加速度全てが「中」に近い平均的な動作として生成された。

実験1では、すべての情動が同じ値になる完全な中立状態の実験であったが、実験2では、いずれかの情動が大きくなる場合を想定した実験を行った。但し、実験2の場合、すべての情動値が低い場合にはほとんど意味のない行動になってしまう可能性があるため、必ず最大の情動値が1となるように4つの情動値を強調するような正規化を施した。これにより、JOY, ANG, SAD, RELの4つの動きが明確に表現できるよ



上記の動きを約4秒で3回繰り返し (a) 実験1
上記の動きを約5秒で3回繰り返し (b) 実験2

(a) 実験1 (b) 実験2

図10 生成されたロボットの情動行動

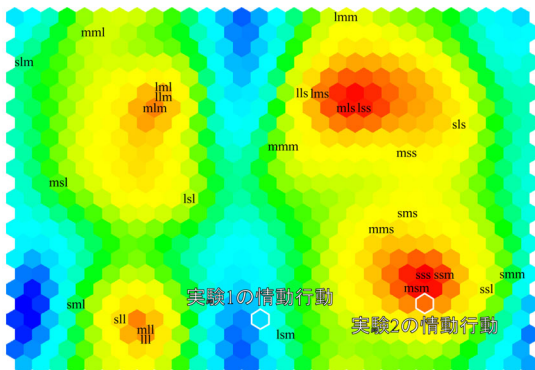


図11 最近傍目標情動のマップ上の位置

表3 生成した情動行動の類似度の比較

	JOY-R	ANG-R	SAD-R	REL-R	類似度 S(%)	類似度 S'(%)
単一情動	1	0	0	0	69	66
	0	1	0	0	65	49
	0	0	1	0	72	87
	0	0	0	1	72	76
混合情動	0.5	0.5	0.5	0.5	69	72
	0.1	0.1	0.7	0.5	69	80

うになった。

生成された各情動行動の情動値と目標情動 E_i の類似度 S 、および生成後に異なる被験者(20代の男子学生10名)に再び評価してもらった時の情動値の類似度 S' を表3に示す。 S には目標情動値と最近傍目標情動値の類似度を、 S' には生成された情動行動を見た被験者の情動値の平均と生成された時の最近傍目標情動値との類似度を示している。単一情動行動と比べ混合情動行動でもほぼ同程度の類似度を示したことから、複雑な混合情動においても人間が想定した情動行動を生成できることが分かった。

5. 混合情動を用いたインタラクション実験

情動行動生成実験によって、基本情動行動と混合情動行動が生成できることを確認した。ここではロボットと人間がインタラクションを行う中で、人間の身体動作から得られた情動推論値に応じて連続的に情動行動を生成する実験を試みる。インタラクションに応じてロボットが情動行動を徐々に変化させるため、より複雑なインタラクションが実現できることが期待される。

5.1 実験方法

Microsoft製のKinectによるマーカーレス情動認識システムによって本実験を行った。構築した実験環境を図12に示す。被験者とPCを一直線上に配置し、ロボットとモーションセンサをPCの裏側に配置することで、被験者の情動行動を正面で捉え、かつ被験者とロボットが正面で向き合っているインタラクションを図るような構成にした。

被験者の情動行動から情動を推論するために筆者らが以前の研究で提案したファジィ情動推論(Fuzzy Emotional Inference System: FEIS)を用いた(文献[12]参照)。今回の実験は、情動行動生成実験に参加した被験者のうち20代男子大学生2名に協力をお願いし、表4に示された16の実験(以後、表中の実験番号で表記)に対して、各被験者に図13のフローチャートに従って実施した。ロボットの情動行動を15秒間隔で

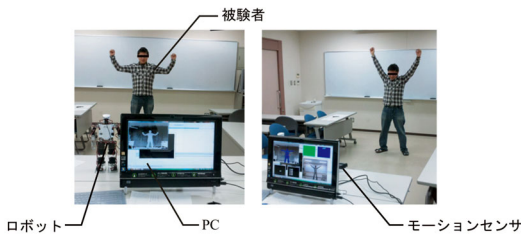


図 12 構築した実験環境

表 4 実施したインタラクション実験

ロボット	情動行動反応	開始情動	実験番号
R ₁ (基本情動)	同一	JOY-H	R ₁ 同J
		ANG-H	R ₁ 同A
		SAD-H	R ₁ 同S
		REL-H	R ₁ 同R
	対称	JOY-H	R ₁ 対J
		ANG-H	R ₁ 対A
		SAD-H	R ₁ 対S
		REL-H	R ₁ 対R
R ₂ (混合情動)	同一	JOY-H	R ₂ 同J
		ANG-H	R ₂ 同A
		SAD-H	R ₂ 同S
		REL-H	R ₂ 同R
	対称	JOY-H	R ₂ 対J
		ANG-H	R ₂ 対A
		SAD-H	R ₂ 対S
		REL-H	R ₂ 対R

発生するものとし、全体で120秒のインタラクションの中で、ロボットの発生する情動行動回数を固定とした。情動推論に必要な処理時間は約100[ms]以下であるため、動作のタイミングに与える影響はほとんどない。被験者には、あらかじめ、JOY-H、ANG-H、SAD-H、REL-Hを想起する状況を設定してもらい、それらを想定しながらインタラクション実験を行った。尚、被験者には実験前に任意の情動行動を表現してもらい、情動推論システムが正常な結果を出力するように事前確認も行っている。

表 4 に示したように、ロボットの情動行動反応には、同一情動行動反応(オウム返しの反応)と対称情動行動反応(ラッセルの円環モデルにおける対称位置にある情動を返す反応)の2種類を用意した。また数量化I類によって各情動を最もよく表現しているとされる4種類の基本情動行動のみを返すロボットR₁と、トラスSOMによって生成される混合情動行動を返すロボットR₂の2種類のロボットを用いた。これらの組み合わせにより合計16種類の実験を行い、本実験では、被験者にあらかじめどのような情動行動が返ってくるのかを告知せずに行った。

また今回、情動行動マップに入力する情動行動のJOY-R、ANG-R、SAD-R、REL-Rのそれぞれの入力値

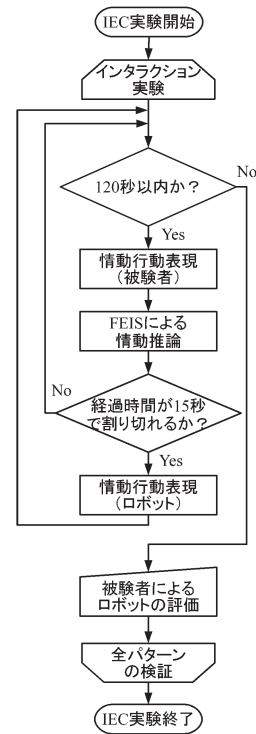


図 13 インタラクション実験のフローチャート

の決定方法として、必ずいずれかの情動値が最高値の1になるように正規化を行った。FEISによりそれぞれの情動値の秒平均値を求め、その中で最も値の大きいものを基準にして比率を求める方法である。

さらに、各ロボットの評価方法としてSD法による印象評価を試みた。本実験では、「明るい-暗い」、「可愛い-憎らしい」、「複雑な-単純な」、「優しい-冷たい」、「面白い-退屈な」、「積極的な-消極的な」、「親しい-疎遠な」、「生物的な-機械的な」、「好きな-嫌いな」、「賢い-愚かな」、「自然な-不自然な」の11形容詞対を各7段階で評価してもらった。ここでは、これらの11形容詞対に対して、あらかじめ被験者に各項目ごとにポジティブかネガティブかどちらの印象をもつかを事前アンケートで調べ、2名とも一致した形容詞対(それぞれ左側がポジティブ因子)のみを用いた。

5.2 実験結果

被験者Aと被験者Bに対する16種類のインタラクション実験における印象評価結果を1つの図に統合し、全体の平均値と中間値の印象評価にまとめたものを図14と図15に示す。このSD法による平均評価結果は左側がポジティブ因子、右側がネガティブ因子となってお

り、平均値と中央値のいずれもほぼすべての因子について、R₁よりもR₂のほうがポジティブ側にあるため被験者の印象が良かったと判断できる。

さらに、R₁とR₂の印象評価をマン・ホイットニーのU検定にかけて有意差検定を行った結果を表5に示す。ここでは、形容詞対をポジティブ因子とネガティブ因子に分け、それぞれ有意差の検定を実施した。両群とも有意水準5%で有意差が確認され、全体を通していてもR₁よりもR₂の方が有意に好印象を与えることが確認された。これより、情動行動を限定して発現するよりも、情動行動マップを用いて混合情動を表現した方が、人間にとってはより自然なインタラ

クションの印象を与えることが分かった。

同じ情動を返しているにもかかわらず、多くの組み合わせでロボットR₁よりもロボットR₂の混合情動の方が被験者に対して良い印象を与えることが確認できた。複数の情動が混在している混合情動を表現するロボットの方が、単一情動を表現するロボットよりも生物的であるとの印象を与え、好感度も高くなることが分かったが、賢さの項目ではわずかにR₁のポイントが高くなった。これは多くの情動の組み合わせで、はっきりとした情動表現をするロボットの方が自分の意志を持っているように見えたのではないかと考えられる。

これにより、IECに混合情動を用いることの有用性が確認され、今後、ロボットの人とのインタラクション時において行動生成のための一定の基準にできると考えられる。しかしながら、今回の実験は2名の被験者でしか検証を行っておらず、混合情動のより詳細な有効性については、今後さまざまな実験を継続して検証していく必要があると考えている。人間が普段発しているようなノンバーバル・コミュニケーションでも受け手が異なれば感じ方も異なるように、ロボットの混合情動も受け手によって感じ方が異なる。このような曖昧な情動行動も、自然なインタラクションを実現するためには必要である。

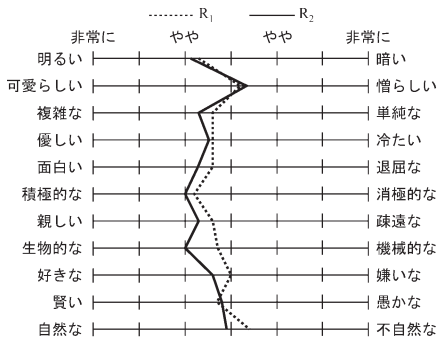


図14 R₁とR₂の印象評価 (平均値)

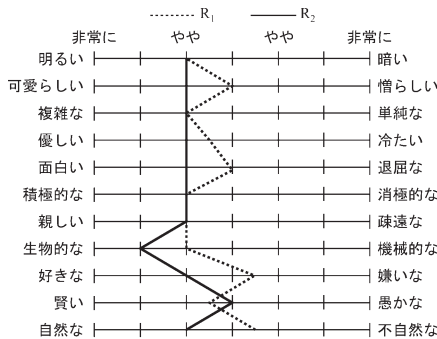


図15 R₁とR₂の印象評価 (中央値)

表5 R₁とR₂の2群有意差検定結果

情動の組み合わせ	検定統計量 U	分散 σ^2	検定統計量 Z	危険率 P	
同一情動行動	JOY-R	55.0	212.9	0.38	0.71
	ANG-R	7.5	205.1	3.70	0.0002
	SAD-R	10.0	207.6	3.51	0.0005
	REL-R	24.0	192.5	2.63	0.0085
対称情動行動	JOY-R	57.0	215.8	0.24	0.81
	ANG-R	0.00	202.8	4.25	0.000022
	SAD-R	56.5	214.4	0.27	0.78
	REL-R	27.0	191.7	2.42	0.016

6. おわりに

本研究では、トラスSOMによるロボットの混合情動行動生成手法として、情動行動マップの1点を選択し、そこから情動行動を生成するという手法を提案した。その結果、多くの状況で基本情動を表現するロボットより、混合情動を表現するロボットの方が、より生物的で好感度が高くなることを確認した。

今後は被験者を増やし、より多くのデータを収集することで、情動行動の精度が高まっていき、一般向けの情動行動マップのデータベースを生成することが可能となる。これができれば、ロボットと人間がインタラクションを行っている最中にも、人間がロボットにフィードバックをすることで学習マップを更新することも考えられ、柔軟な個人の嗜好に即した情動行動マップを生成できると考えられる。

参考文献

- [1] 論文特集「人間共生システム」、日本知能情報フェジ学会誌, Vol.21, No.5 (2009)
- [2] 論文特集「ヒトと関わり合う知的システム」、日本知能情報フェジ学会誌, Vol.24, No.5 (2012)
- [3] 澤井夏美, 樽松理樹, 羽倉淳, 藤田ハミド, “韻律に基づく音声からの感情推定に関する研究,” 電子情報

- 通信学会総合大会講演論文集, S103-S104 (2007)
- [4] Lourensa, R. Berkela and E. Barakova, "Communicating Emotions and Mental States to Robots in a Real Time Parallel Framework using Laban Movement Analysis," *Robotics and Autonomous Systems*, Vol.58, No.12, pp.1256-1265 (2010)
- [5] 小越康宏, 三橋美典, 小越咲子, 中井昭夫, 松浦慎也, 荒木睦大, "黒眼の形状と瞬きからの変化からの表情認識," *日本知能情報ファジィ学会誌*, Vol.23, No.2, pp.218-227 (2011)
- [6] S.Sonoh, S.Aou, K.Horio, H.Tamukoh, T.Koga and T.Yamakawa, "A Human Robot Interaction by a Model of the Emotional Learning in the Brain," *Journal of Automation, Mobile Robotics & Intelligent Systems*, Vol.4, No.2, pp.48-54 (2010)
- [7] 矢野良和, 山口淳嗣, 道木慎二, 大熊繁, "人間の感情評価をモデル化した感情表現ルールに基づく感情動作生成," *日本知能情報ファジィ学会誌*, Vol.22, No.1, pp.39-51 (2010)
- [8] Y.Matsui, M.Kanoh, S.Kato, T.Nakamura and H.Itoh, "A Model for Generating Facial Expressions using Virtual Emotion based on Simple Recurrent Network," *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics*, Vol.14, No.5, pp.453-463 (2010)
- [9] 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)
- [10] 中田亨, 森武俊, 佐藤知正, "ロボットの身体動作表現と生成される印象とのラバン特徴量を介した定量的相関分析," *日本ロボット学会誌*, Vol.19, No.2, pp.1-8 (2001)
- [11] 目良和也, 市村匠, 黒澤義明, 竹澤寿幸, "情緒計算手法と心的状態遷移ネットワークを用いた音声対話エージェントの気分変化手法," *日本知能情報ファジィ学会誌*, Vol.22, No.1, pp.10-24 (2010)
- [12] R.Taki, Y.Maeda and Y.Takahashi, "Personal Preference Analysis for Emotional Behavior Response of Autonomous Robot in Interactive Emotion Communication," *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics*, Vol.14, No.7, pp.852-859 (2010)
- [13] R.Laban, *The Mastery of Movement*, Plays, Inc. (1971)
- [14] J.A.Russell, "A circumplex model of affect," *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol.39, pp.1161-1178 (1980)
- [15] C.V.O.Witvliet, S.R.Vrana, "Psychophysiological responses as indices of affective dimensions," *Psychophysiology*, Vol.32, pp.436-443 (1995)
- [16] 伊藤正博, 三好力, 増山博, "トールラス状自己組織化マップの学習とその特徴," *第16回ファジィ・システム・シンポジウム*, Vol.16, pp.373-374 (2000)
(2012年4月1日 受付)
(2012年8月11日 採録)
- [問い合わせ先]
〒910-8507 福井県福井市文京3-9-1
福井大学 大学院工学研究科 知能システム工学専攻
前田 陽一郎
TEL: 0776-27-8050
FAX: 0776-27-8050
E-mail: maeda@ir.his.u-fukui.ac.jp

著者紹介



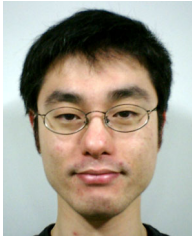
たき りょうへい
滝 僚平 [非会員]

2010年福井大学工学部知能システム工学科卒業。2012年同大学大学院工学研究科知能システム工学専攻博士前期課程修了。同年、株式会社フリーダムへ入社。その後、株式会社イーシーエスに異動。現在に至る。



まえだ りょういちろう
前田 陽一郎 [正会員]

1981年大阪大学基礎工学部機械工学科卒業。1983年同大学院修士課程修了。同年三菱電機(株)中央研究所入社。その後、産業システム研究所主事。1989年から3年間、国際ファジィ工学研究所へ出向。1995年より大阪電気通信大学総合情報学部情報工学科助教授。博士(工学)。1999年から1年間、カナダ・ブリティッシュコロロンビア大学客員研究員。2002年福井大学工学部知能システム工学科助教授。2007年同大学院教授。現在に至る。主として、人とロボットの双方向インタラクションに関する人間共生システム研究に従事。計測自動制御学会、日本ロボット学会、人工知能学会、電子情報通信学会などの会員。



たかはし やすたけ
高橋 泰岳 [正会員]

1994年大阪大学大学院工学研究科博士前期課程修了。2000年同大学博士後期課程中退、同年同大助手となり助教を経て、2009年から福井大学大学院工学研究科講師、2012年同大准教授となり現在に至る。博士(工学)、人工知能学会、日本ロボット学会など各会員。知能ロボットの行動獲得に関する研究に従事。

Generation Method of Mixed Emotional Behavior by Self-Organizing Maps in Interactive Emotion Communication

by

Ryohei TAKI, Yoichiro MAEDA and Yasutake TAKAHASHI

Abstract :

Some researches in the field of human symbiotic system and human-agent interaction have been actively performed. It becomes a background that the flexible understanding ability for human intent and the expressing ability of robot intension are required for the robot to live together with human. However the technology for realizing bidirectional communication between a human and a robot has not been established yet, therefore there are very few robots which are able to communicate to human smoothly. Therefore, the interactive emotion communication (IEC) – bidirectional interaction based on emotional behavior between a human and a robot has been proposed. We aim to give high interpersonal affinity to the robot for the amplification or relief of human emotion though the interaction by communicating emotional behavior mutually. In this research, we proposed the generation method of various robot emotional motions by using self-organizing maps because a robot emotional behavior has been defined uniformly until experiments. As a result, we were able to realize more complex interaction experiment which a robot expressed the mixed emotion by plural emotions. Next, we confirmed how human emotion changes by the interaction experiments with generating mixed emotional behavior. In consequence, more complex interaction as compared with the ordinary method was realized and the robot generating mixed emotional behavior became to grow the interpersonal affinity.

Keywords : Emotion, Communication, Interaction, Self-Organizing Maps

Contact Address : Yoichiro MAEDA

*Dept. of Human and Artificial Intelligent Systems, Graduate School of Engineering, University of Fukui
3-9-1, Bunkyo, Fukui-shi, Fukui, 910-8507, JAPAN*

TEL : 0776-27-8050

FAX : 0776-27-8050

E-mail : maeda@ir.his.u-fukui.ac.jp