

ロボットの情動行動が人間に与える影響の脳波解析

EEG Analysis of Influence Given to Human by Emotional Behavior of Robot

滝 僚平 前田 陽一郎 高橋 泰岳

Ryohei Taki Yoichiro Maeda Yasuteke Takahashi

福井大学大学院 工学研究科

Graduate School of Engineering, University of Fukui

Abstract: Recently, opportunities when a robot contacts human is increasing. Thereby the technology for interactive communication with human is gradually needed. In this research, we aim to realize “Interactive Emotion Communication (IEC)” which is a bidirectional communication based on emotional behaviors between human and robot. The purpose of IEC is to raise the personal affinity which the robot gives to the human by interactive emotional behaviors between both of them. In this research, we try to measure an effect of IEC by brain waves as objective evaluation. Moreover the semantic differential (SD) method was employed as a subjective evaluation. The purpose of this research is to confirm how much a robot decreases the unpleasantness of human or vice versa. In this paper, the experiment to investigate the impression in the human when the robot expresses emotional behaviors is also reported.

1 はじめに

近年、ペットロボットなどの開発が進みロボットが人間と接する機会が増加してきている。両者が同じ空間で生活するためには、ロボットが人間の声や表情などから心理状態を理解し [1, 2]、自らも心理状態を表出できる [3, 4] ような双方向コミュニケーション能力が要求される。ロボットやエージェントと人間とのインタラクションに関する研究は、HAI(Human-Agent Interaction) や人間共生システム (Human Symbiotic System) と呼ばれる分野で活発に進められており、インタラクションやコミュニケーションに関する課題は数多く存在する。現状では人間と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、円滑に人間と意思疎通を行うロボットはほとんど存在しない。

本研究室では、ロボットと人間のインタラクション手法としてノンバーバル・コミュニケーションの中から身体動作を取り上げ、両者が情動を伴う行動を基に双方向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 Emotion Communication: IEC) を実現することを研究目的としている。IEC の最終目標は、人間とロボットが行動を介して相互に情動を伝え合うことで、ロボットが人間の情動を緩和・増幅し、対人親和性を高めることである。

筆者らはこれまで、人間の身体動作をラバン理論に基づいて解析し、ファジィ情動推論 (Fuzzy Emotion Inference System: FEIS) を用いて基本心理尺度値を求め、そこから得られた値を Russell の円環モデルに適用して、人間の情動を喜怒哀楽の 4 感情で推定する研究 [5] を進めてきた。また、人間とロボットの情動反応の組み合わせを検証し、個人の嗜好を考慮したロボットの「有効反応モデル」を構築した [6]。

本稿では、これまで研究を進めてきた IEC の有効性について解析する。人間が何らかの情動を感じている状況で、ロボットがある情動行動を表出することにより、人間の情動に変化を与える。本研究では人間の不快感を取り除き癒し効果を与えるような情動表出や、逆に不快感を増幅するような情動表出に注目した。これらの状況において、SD 法による印象評価 (主観的評価) 及び、脳波解析による情動の変化 (客観的評価) を調査した。

2 インタラクティブ情動コミュニケーション

本研究室では言語によらないノンバーバル・コミュニケーション手法の一例として、人間とロボットが情動を媒介として情動行動でコミュニケーションを行う「インタラクティブ情動コミュニケーション」(Interactive Emotion Communication: IEC) を提案している。IEC をロボット上で構築するには、以下に述べる「情動認識」、「情動生成」、「情動表現」の 3 つのプロセス (図 1 参照) をロボットに搭載する必要がある。

情動認識 (Recognizing Emotion) 人間がロボットに示した情動行動をロボットが視覚で認識を行う。

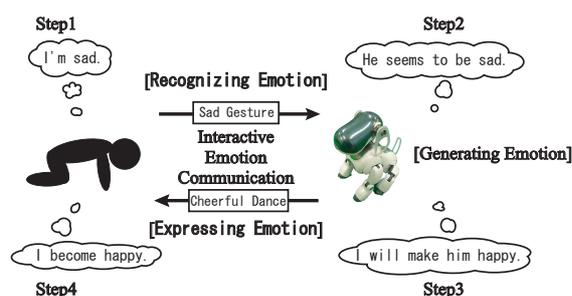


図 1: インタラクティブ情動コミュニケーション (IEC)

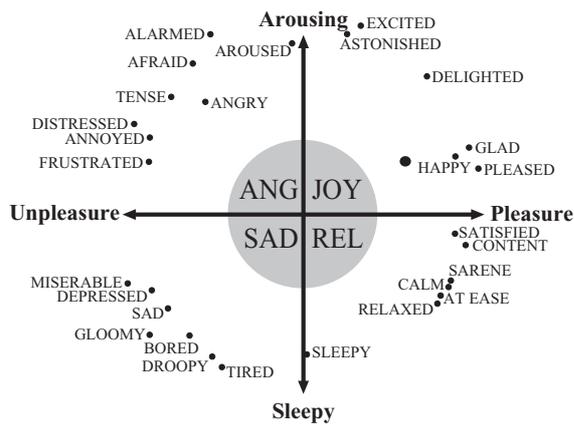


図 2: Russell の円環モデルに基づく基本情動

情動生成 (Generating Emotion) 人間の情動を緩和、増幅させるようなロボット自らの情動を生成する。

情動表現 (Expressing Emotion) 生成された情動を人間に対して行動で示す。

図 1 では、人間が悲しんでいるときにロボットが励ますような例を示している。このような 3 つのプロセスを、ロボットに埋め込み IEC を実現することで、人間とロボットの情動のやり取り、および心のコミュニケーションが可能となり、人間に与える親しみを増すことができると考えている。

3 ラッセルの円環モデルに基づく基本情動

J. A. Russell によって提唱された円環モデル [7] は、「快-不快」、「覚醒-眠気」の 2 軸で表現される 2 次元平面状に全ての感情を円環状に並べて表現する感情モデル (図 2 参照) である。Witvliet と Vrana ら [8] は、ラッセルの円環モデルを代表とするグラフ軸を 45 度回転させることにより、各象限に基本的な情動を当てはめることができるとしている。

以上のことから本研究室では、円環モデルの第 1 象限から第 4 象限を図 2 のように JOY、ANG(ANGER)、SAD(SADNESS)、REL(RELAXATION) と置き、これら 4 つの情動を基本情動とした。またこれ以降、被験者の感じた情動を JOY-H、ANG-H、SAD-H、REL-H、ロボットの情動行動を JOY-R、ANG-R、SAD-R、REL-R とし、後述する感性スペクトル解析の出力を JOY-E、ANG-E、SAD-E、REL-E とする。

4 感性スペクトラム分析法による脳波測定

本実験では IEC の効果を計る客観的評価として脳波解析による情動計測を行う。脳波は周波数帯域によって

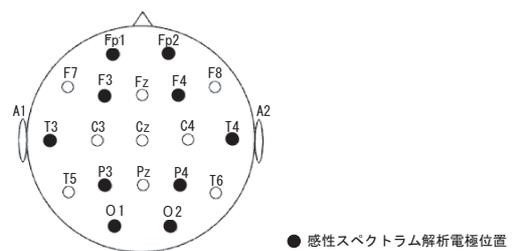


図 3: 本実験で使用した電極位置

分類することができ、それぞれ精神状態や意識状態と強い関係があると言われている [10]。

4.1 脳波の特徴

脳波の周波数帯域による分類は主に、 δ 波、 θ 波、 α 波、 β 波が挙げられる。脳波計測時にどの帯域の脳波が強く出ているのかを知ることで、意識状態が睡眠状態であるか覚醒状態であるか、または集中しているかリラックスしている状態であるかを解析することができる。脳波によって感性を評価する方法の一つに武者らの研究があるが、以下ではこれについて概説する。

4.2 感性スペクトラム分析法 (ESAM)

武者ら [11] は「感情(感性)」を工学的に計測するために、感性スペクトラム分析法 (Emotion Spectrum Analysis Method: ESAM) を提案した。ESAM は人の感性を脳波計によって数値的に解析し、客観的に表現しようとするものである。

この手法では脳波による数値的解析を行うために、頭皮に電極を装着して計測を行う。脳波計測を行う電極位置は国際的な基準である 10-20 法に従うケースが多い。どれだけの電極をどの配置で行うかは取得したい情報によって異なり、多いときには 60 個の電極数を使用することもある。武者らは事前実験を繰り返し、10 個の電極位置で十分な感性分析ができるという結論を下した。図 3 に本実験で使用した電極位置を黒丸によって示している。これは ESAM で推奨されている脳波を計測するときに推奨されている位置である。

本実験では ESAM を使用して、ロボットの情動行動が被験者に与える効果を解析した。被験者に日常で感じるようなストレスを与え、ロボットの情動行動が与えた影響等について検証を行う。

5 人間の心理計測に基づく感性評価実験

これまでの研究ではロボットの情動行動が人間にどのような心理的影響を与えられるのかを、SD 法による主観的評価のみで検証を行ってきた。だが、さらに IEC の有効性を実証するためには主観的評価のみではなく

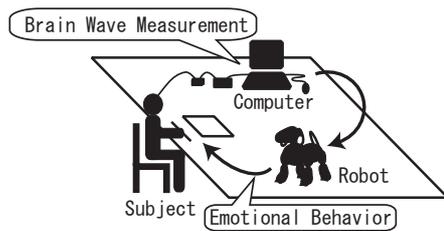


図 4: 実験環境 (実験 1、実験 2 共通)

客観的に評価する方法を検討する必要がある。

そこで本実験ではロボットの情動行動による客観的な影響を調べるために、4.2 章で述べた脳波による解析を試みた。最初の実験では人間とロボットが簡単なインタラクションを図り、ロボットの情動行動が人間の脳波にどのような影響を与えるのかを検証した (実験 1)。さらに、実験 1 後に実験方法を検討し直し、SD 法による主観的な評価も行い脳波による情動計測の結果と比較する実験を行った (実験 2)。

5.1 インタラクティブ情動コミュニケーションとの関連

IEC による情動を介したコミュニケーションによって、本当に人間とロボットの心のコミュニケーションが実現可能かどうかは未だ検証されていない。本研究では人とロボットのインタラクションを検証する予備実験として以下に示すような実験を行った。

本実験は最終的な目標である IEC のような、双方が情動行動でコミュニケーションを図るコミュニケーションではない。しかし被験者がある情動を感じているときに、ロボットがどの情動行動を返すことが被験者にとって有効であるかを検証することが出来る。ロボットの情動行動が被験者にとってどれほど有効であるのか、どの行動を返すのが最適なのかを見極めることで、IEC の情動生成プロセスを考察するきっかけとなる。

5.2 実験環境 (実験 1)

被験者に不快感を誘発し、ロボットが情動を表現することにより不快感を軽減させるという状況を想定した実験環境の模式図を図 4 に示す。本実験の被験者として本研究室の学生一人に協力を依頼し、図 3 に従い電極を装着した。被験者は脳波計を装着し、椅子に座ってタスク (簡単な作業) をこなす。被験者から得た脳波情報は感性スペクトル解析基礎システム (脳機能研究所・ESA-16Basic) によって処理され、リアルタイムで情動の計測を行った。

実験では被験者にストレスがたまっているとされるときにロボットに情動行動を表出させ、脳波による感性解析を行い、被験者の情動の遷移を確認した。また、本

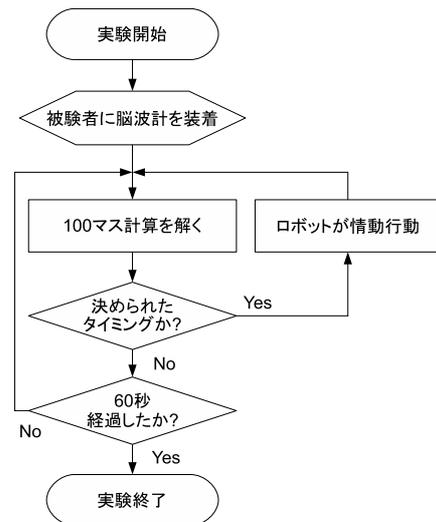


図 5: 実験手順 (実験 1)

実験で使用するロボットは SONY 製の AIBO を使用した。ロボットは被験者のタスクの邪魔にならない程度の位置に配置し、脳波計測を行っているコンピュータから情報を送信し、その情報に従い情動表現を行う。ロボットに表現させる情動行動は、実験をシンプルにするために JOY-R (両手、尻尾を振る)、ANG-R (両手を叩き付ける)、SAD-R (うなだれる)、REL-R (手足をゆっくりと大きく伸ばす) のみに限定し実験を行った。

5.3 実験手順 (実験 1)

本実験では被験者に不快感を誘発させるタスクとして 100 マス計算を解いてもらい、図 5 に示す手順で実験を行った。ロボットが情動行動を開始するタイミングはあらかじめ固定とし、時間を判断してコンピュータから指令を送信した。またロボットの情動行動は快情動 (REL-R と JOY-R) のみに限定した。

5.4 実験結果と考察 (実験 1)

本実験でロボットが情動行動を表現したときの被験者の情動の推移 (ESAM の出力の推移) を図 6 に示す。図は 4 つに分かれており、上から順に JOY-E、ANG-E、SAD-E、REL-E の出力値 (縦軸の値) の推移を示している。横軸が時間軸を示し、4 つの図は全て同じ時間軸であり本実験では約 60 秒の計測を行った。各図中に示されている網掛け部分はロボットが情動行動を表現していた時間帯を示している。

0 秒から 17 秒付近まで被験者が計算問題を解いているとき、ANG-E の値が強く出力されていることが確認できる。その後ロボットが REL-R を表現している時間

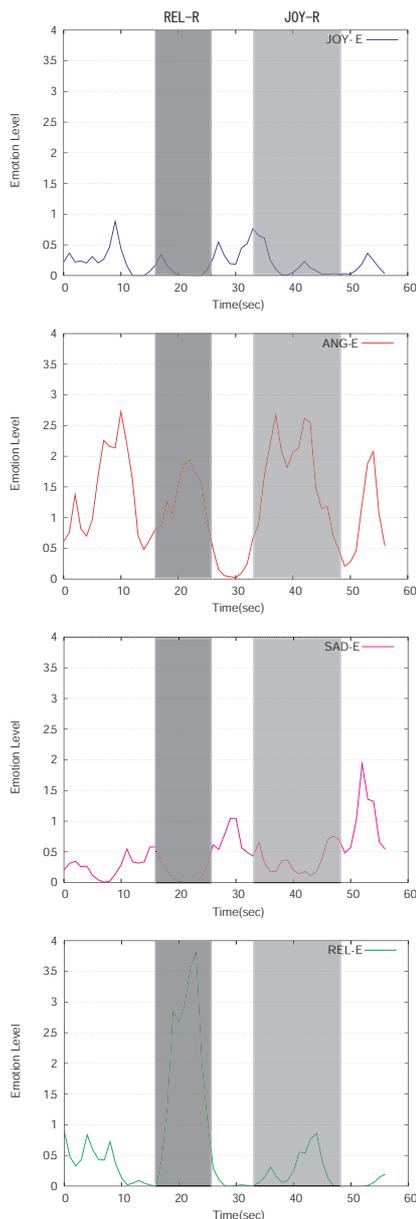


図 6: ESAM による情動値の出力 (実験 1)

帯も ANG-E の値が出ているが、それ以上に REL-E の値が強く出力されていることが見て取れる。REL-E の値はロボットの情動行動表現時から徐々に上がり始め、ロボットの情動行動が終わるより前に出力が下がり、そのまま情動行動が終わる頃に出力されなくなっている。再び計算問題を始めたときには、前半で強く出力された ANG-E が抑えられ、SAD-E がやや出力される傾向にあった。次にロボットが JOY-R を表現したときには、JOY-E や REL-E を誘発することもなく、逆に ANG-E が強く出力されている。被験者の感想によると、ロボットの情動行動に不快を感じた様子もなかったが、計算問題でいらいらしている時にロボットが喜びの動作をとっ

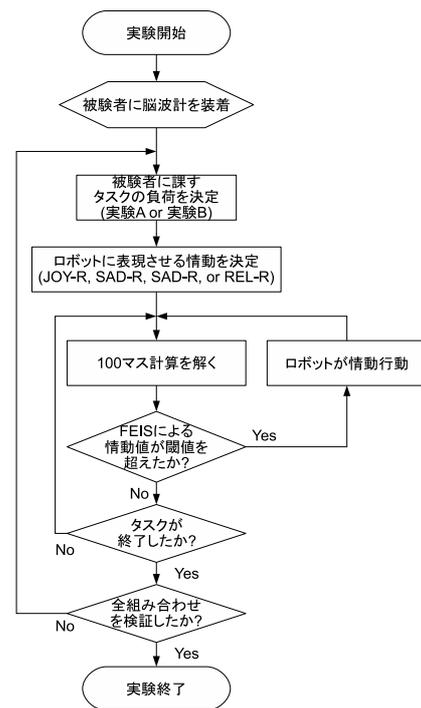


図 7: 実験手順 (実験 2)

たため、やや怒りの感情が沸いたものと思われる。最後に計算問題を再開したときには、再び ANG-E が出力される傾向にあった。

REL-R の動作中に被験者にも REL-E を誘発させることに成功したが、REL-R の動作が終わるよりも前から出力が下がり始めていたため、これが飽きによるものなのかどうかの検証を行う必要がある。さらに、ロボットが JOY-R を表現していたときに ESAM の出力が ANG-E を出力したことについては、前述のように人間の心理状態によってはロボットの情動行動がマイナス方向に働く可能性を示唆しており、非常に興味深い。

5.5 実験環境 (実験 2)

実験 1 では JOY-R と REL-R の情動行動反応のみの影響を検証した。実験 2 では被験者が負荷の異なるタスクを実行中に、ロボットが基本 4 情動をそれぞれ表現したときの印象評価を検証した。実験環境は 5.2 章で述べた図 4 と同様であるため、説明を省略する。

5.6 実験手順 (実験 2)

今回の実験は図 7 の手順で行った。本実験は 2 種類の負荷の異なるタスクを考慮しているため、合計 8 回 (2 種類 × ロボットの基本情動 4 パターン) 繰り返した。被験者の与えるタスクには 100 マス計算を採用し、異なる負荷には実験 A: 1 桁 + 1 桁 (100 マス)、実験 B: 2 桁 + 2 桁 (50 マス) を選定した。今回協力をお願いした

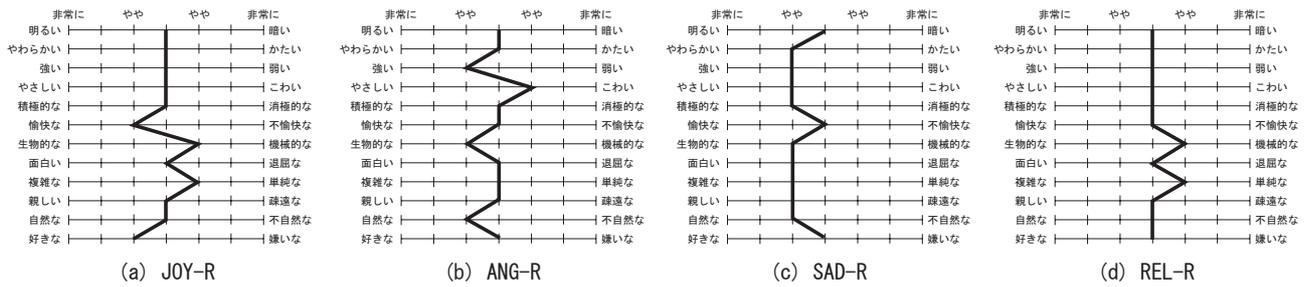


図 8: 印象評価 (実験 A)

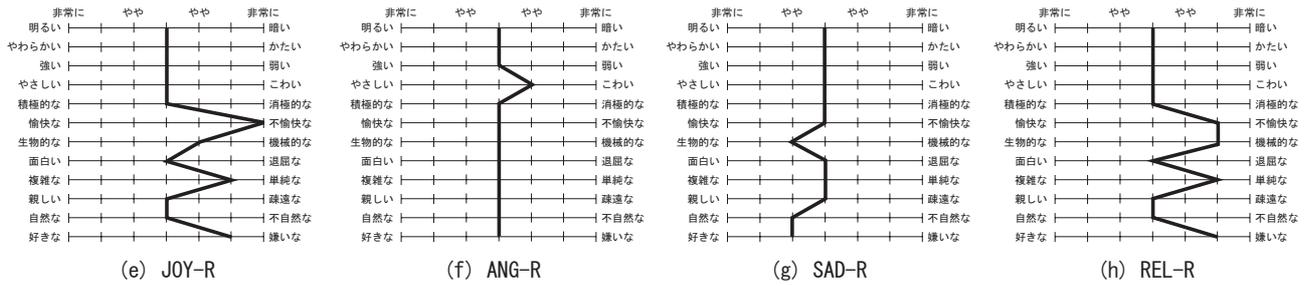


図 9: 印象評価 (実験 B)

被験者は実験 A のタスクは楽しみながら、実験 B のタスクはストレスを感じながら行ったという感想を得ることができ、実験 A よりも実験 B の負荷が大きいことが確認できる。

SD 法による印象評価には過去の研究例をもとに 12 形容詞対を用いて 7 段階評価をしてもらった。また実験 1 ではロボットに情動行動を表現させるタイミングは固定していたが、実験 2 では被験者の情動に応じてタイミングを決定する。被験者が強く情動を感じていると判断されるときにロボットが情動表現を行うように設定した。ESAM により一定区間ごとに最も多く出力された情動をロボットにも表現させた。本研究ではこのように人間が今最も感じている情動と同じ情動をロボットに発生させることを、同一情動行動反応と呼んでいる。事前実験により、この反応は長期間のコミュニケーションにならなければ、高い好感度を得ることが可能であることが確認できた [13]。

5.7 実験結果と考察 (実験 2)

SD 法による印象の違いを図 8、図 9 に示す。上段には実験 A: 1 桁+1 桁 [(a) から (d)]、下段には実験 B: 2 桁+2 桁 [(e) から (h)] のタスクを、また左から順にロボットが JOY-R、ANG-R、SAD-R、REL-R を表現したときの印象評価を並べている。図 8、図 9 の編集時に被験者にとってポジティブな形容詞を左側に、ネガティブな形容詞を右側に配置して示した。SD 法による評価で印象が悪かった (h)REL-R のときの ESAM による情動計測の出力を図 10 に示す。この図は計算を開始してから終了するまでの JOY と SAD の出力値を示してお

り、垂線はロボットが REL-R を表現したタイミングを示している。前半では REL-R 表現後に被験者が JOY を感じていることが見て取れるが、後半では SAD の出力が表れた。被験者はロボットが常に REL-R を表現し続ける様子から馬鹿にされている印象を受けたと述べた。この感情が印象評価につながったと思われ、図 9 の (h) のような悪印象につながったと推測される。

また、それぞれのタスク実行にかかった時間を表 1 に示す。この表を見ると、実験 A では ANG-R を表現したとき、実験 B では JOY-R を表現したときに最も早く処理が終わっていることが確認できる。被験者によると実験 A では ANG-R を表現されることで叱咤されていると感じ、それが作業効率向上につながったと思われる。だが同じ ANG-R でも負荷の重い実験 B では、ただ怖く感じただけであった。実験 B で最も効率がよかったものは JOY-R を表現されたときであった。だが被験者が不快を感じているときに嬉しそうにしていることが悪印象を与え、どの組み合わせよりもネガティブな印象を持っていることが確認できる。これは非常に不愉快であったため早く終わらせようという意識が働いたものと推測される。しかし軽い負荷の実験 A では、自分が応援されていると捉えられていた。

これらの結果から被験者の心の状態により、適切なロボットの情動行動が作業効率をあげる可能性が示された。しかしこれらはまだ条件がシンプルであり、今後はさらに複雑な実験をすることにより適切なロボットの情動表現の組み合わせ、タイミング、パターンを求めていく必要がある。

表 1: タスク終了までにかかった時間 (sec)

	JOY-R	ANG-R	SAD-R	REL-R
(実験 A) 1 桁+1 桁	85	73	99	85
(実験 B) 2 桁+2 桁	125	142	133	195

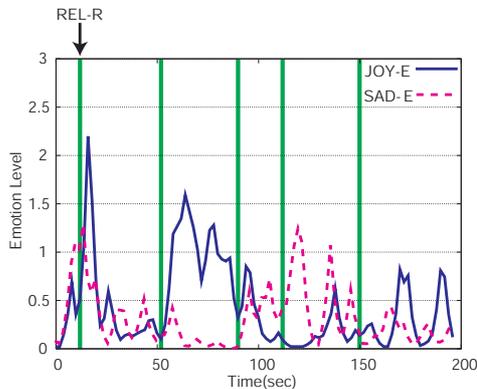


図 10: ESAM の出力値 [実験 B(h)]

6 おわりに

本研究では今まで提案してきた IEC の応用例を考察する一例として、人があるタスクに集中しているときのロボットのインタラクションによる印象評価を試みた。本実験では脳波計測でリアルタイムに感性分析を行い、被験者がロボットの情動行動から受ける影響を検証した。その結果、人間が不快感を誘発させる状況においても、ロボットの REL-R の行動に対し、被験者に REL-H を誘発させることに成功した。また、負荷の異なる 2 種類のタスクを課すことにより、被験者の心のゆとり具合を変化させ IEC の有効性を検証した。

このような実験の検証を続けることにより客観的に感性評価を行い、効果的な IEC の実現を可能にすることができるものとする。また今後は、脳波計測による感性評価のみではなくアンケートによる評価も取り入れ、双方の結果の違いを検証していく必要がある。

謝辞

本研究は、平成 22 年度科学研究費補助金 (基盤研究 (c): 課題番号 20500203) の助成を受けて行われたものである。

参考文献

- [1] 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)
- [2] 佐々木豊, 田島淳, 中澤基, “顔特徴量追跡による表情情報を用いた感性推定の検討,” 農業情報研究,

Vol.16, No.4, pp.205-211 (2007)

- [3] 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)
- [4] 柴田寛, 加納政芳, 加藤昇平, 伊藤英則, “感性ロボット ifbot の感情空間を用いた感情遷移に伴う表情変化の主観的影響,” 知能と情報, Vol.21, No.5, pp.630-639 (2009)
- [5] 田辺奈々, 前田陽一郎, “生物型ロボットによるインタラクティブ情動コミュニケーションの基礎研究,” 計測自動制御学会論文集, Vol.42, No.4, pp.359-366 (2004)
- [6] 滝僚平, 前田陽一郎, “人とロボットのインタラクティブ情動コミュニケーション,” 第 19 回インテリジェント・システム・シンポジウム, pp.1-4 (2009)
- [7] J. A. Russell, “A circumplex model of affect,” *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol.39, pp.1161-1178 (1980)
- [8] C. V. O. Witvliet, and S. R. Vrana, “Psychophysiological responses as indices of affective dimensions,” *Psychophysiology*, 32, pp.436-443 (1995)
- [9] 濱治世, 鈴木直人, 濱保久, 感情心理学への招待-感情・情緒へのアプローチ, サイエンス社 (2001)
- [10] 三上章允, 脳の世界, http://web2.chubu-gu.ac.jp/web_labo/mikami/brain/index.html
- [11] 武者利光, “「こころ」を測る,” 日経サイエンス, Vol.26, No.4, pp.20-29 (1996)
- [12] R. Laban, *The Mastery of Movement*, Plays, Inc. (1971)
- [13] 滝僚平, 前田陽一郎, “インタラクティブ情動コミュニケーションにおけるロボットの情動行動が与える心理的影響,” 日本知能情報ファジィ学会合同シンポジウム (第 6 回 HSS 研究会), N2-1(HSS-6-3) (2009)