

## 情動同調に基づく

# 人間とロボットのインタラクション手法の提案

A proposal of Human-Robot Interaction Design based on Emotional Synchronization

山野美咲<sup>1</sup> 薄井達也<sup>1</sup> 橋本稔<sup>2</sup>

Misaki Yamano<sup>1</sup>, Tatsuya Usui<sup>1</sup>, and Minoru Hashimoto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>信州大学大学院 工学系研究科 感性工学専攻

<sup>1</sup>Department of Kansei Engineering, Faculty of Textile Science and Technology, Shinshu University

<sup>2</sup>信州大学大学院 総合工学系研究科 生命機能・ファイバー工学専攻

<sup>2</sup> Department of Bioscience and Textile technology, Interdisciplinary Graduate school of Science and Technology, Shinshu University

**Abstract:** In human-human interaction, it has been found that happy facial expressions are promoted and anger and sadness expressions are weakened by synchronized reactions of partner's emotional expression [1]. This emotional synchronization can be utilized to human-robot interactions to influence human psychological condition. Then, in this paper we propose a human-robot interaction design based on emotional synchronization. We conducted experiments of human-robot interaction based on the emotional synchronization using a facial expression robot KAMIN (KANSEI Mind Robot) to evaluate the effectiveness of the proposed method. The results of the experiments revealed the validity of the proposal technique.

## 1 はじめに

エンターテインメントロボットをはじめとする人間とインタラクションを行うロボットが盛んに研究開発され、最近では一般の家庭においても普及しつつある。例としてペット代替やセラピーを目的とするアザラシ型メンタルロボット「パロ」[2]やコミュニケーションロボット「PaPeRo」[3]などが挙げられる。これらロボットに対して人間がどのような印象を抱くか、飽きられないためにはどうすればよいかなどまだまだ多くの課題が残されている。しかし人間との関わりにおいて、まずはロボットが人間に受け入れられることが重要になってくると考えられる。そのためには人に危害を加えないことはもちろんのこと不快感も与えないようにロボットの情動を生成する必要がある。さらにはインタラクションにより人間の情動をよりポジティブで快適な方向へ変化させることが理想である。実際ロボットの情動モデルを作成し学習により情動を発展させるそれに基づいて表出するというインタラクション手法を用いた研究[4]は多い。しかし人間の情動を理解し、適切な反応

を返せる、より人間に近い自然なインタラクションを実現する研究は少ない。

一方、人間同士のインタラクションにおいては同調がコミュニケーションスキルの1つと考えられている。そこで、本研究では人間をより快適にすることを視野に入れ、ロボットの情動を人間の情動に同調させるインタラクション手法を提案する。

本論文の構成は次の通りである。次の章において同調の役割や効果を研究事例から議論する。3章において情動同調に基づくインタラクション手法を提案する。4章において情動同調のためのシステム構成を示す。5章において情動認識に関する予備実験の結果を示す。6章で人間とロボットのインタラクション実験を行い、7章でその結果について考察する。最後に8章で本研究をまとめる。

## 2 同調性に関する研究事例

### 2.1 人間同士のインタラクション

人間のインタラクションにおける同調は先天的側面と後天的側面があると考えられる。生後数日の新生児が他者の口開けや舌出しといった顔動作を模倣

する新生児模倣[5]がある。これは他者の顔の動きが乳児の類似した顔の動きを誘発しており同調における先天的側面の1つの例といえる。また同調の後天的側面として、我々は他者とのコミュニケーションにおいて話す速度や話の間合いを合わせることがある。さらにFeldsteinらは、聴取評定実験と音読の分析によって、スピーチの聞き手は、自分とだいたい同じ発話速度で話す話者をより有能でより魅力的に感じる傾向があることも示している[6]。

また表情による同調の例としては、相手の顔面表情と同じ顔表情を被験者がすること[7]や、他者の表情刺激を見せられた被験者は、その表情と同じ表情をつくる顔面筋電位が活動する[8]ことが報告されている。つまり自分の表情を完全に抑えたまま他人を直視することは難しいといえる。さらにDimbergは他者(送信者)の怒りと笑顔の表情が、個人(受信者)の表情反応や自律神経系反応にそれぞれ異なる影響を及ぼす[9]と報告している。送信者の怒りの表情は受信者に興奮効果を与え、喜びの表情は抑制効果を与えている。Ekman, Levenson & Friesenらは、6つの情動について被験者を特定の表情を生成するように操作したとき、情動経験を想起させたときのそれぞれにおいて生理計測を行った。両方に共通して、喜びよりも怒りと恐れで心拍が増加し、喜びよりも怒りで皮膚温度が上昇する[10]ことが報告されている。これらのことより不快感情に関する表情に比べ快感のときは生理的に悪い影響を与えていないと思われる。また、表情の同調は相手の心理状態をポジティブにする効果があると考えられる。

## 2.2 人間とエージェントのインタラクション

羽田、竹内らは人とCG人物との共感が人に与える影響とその後の行動を心理実験により明らかにした。自身の心理状態が「angry」であり、相手(CG人物)の表出も自分と同じ「angry」であるときに親和動機の結果生じたと思われる援助行動回数がより多かった[11]。自分の情動に近い表出を相手がすることで共感が生まれ、相手がCG人物であっても親和的な関係性を構築できる可能性が見出された。また相手の心理状態に合った反応を返すことで、相手をより快適な状態にすることができるという同調の重要性に関する報告もある。ドライバーの心理状態にあった合成音声でインタラクションを取ると、ドライバーの態度やドライビングパフォーマンスが向上し、インタラクションの量も増え、安全運転をするようになる[12]ことや、相手に合わせた表情表出を行うと相手の幸福表情は促進され、悲しみ・怒り表情は抑制される[1]ことなどが知られている。

これらの実験における同調は、相手の心理状態に合わせているという点で、情動レベルの同調といえる。相手に同調するという受容的な構えは、適切な場面で用いることで、効果を発揮すると考えられる。同調により相手との間に感情的なつながりをもたらす、親しみや社会性や魅力があるといったポジティブな印象を与えることができる。そこで人間とロボットにおいても、ロボットの情動を人間の情動に合わせているという同調に基づいたインタラクション手法を実現させることで同等の効果が得られることが予想される。

同調を用いて人間とインタラクションをするロボットとして渡辺らのInterRobot[13]がある。聞き手や話し手として、うなずきや身ぶりなどの身体によるリズムを同調させている。聞き手としてうなずきを推定し、そのうなずきとまばたき・頭部・胴体・腕部動作の関連性から身体全体で反応する。また話し手として音声情報に含まれる身体性から身体動作を生成する。人間とロボットのインタラクションに同調を用いるという観点では、渡辺らの研究と本研究は同じである。しかし、渡辺らは同調の対象を「身体動作」としているのに対し、本研究においては「情動」を対象としている。次のセクションにおいてインタラクション手法を詳細に示す。

## 3 情動同調によるインタラクション手法

情動同調に基づく人間とロボットのインタラクション手法を提案する。同調には行動や発話のタイミングや速度などの同調も含まれるが、ここでは特に情動レベルでの同調を情動同調と呼ぶ。図1は提案したインタラクション手法をモデル化したものである。人間の情動を検出してロボットの情動をそこに引き込み、さらに人間も引き込まれることによって同じような情動状態が形成されていく。このようなお互いのインタラクションを通じて、情動レベルで同調し、ロボットは人間と共感することができる。具体的にはまず人間の情動にロボットの情動を同調させるというインタラクションを行う。このことにより、人間もロボットに親しみを持ちポジティブな印象を持つようになると考えられる。その結果、人間はロボットに対して感情移入し、インタラクションを通して共感が生まれるというモデルである。

提案した手法を人間とロボットのインタラクション実験により検討する。実験に用いたロボットはKAMIN[14]で、感性情報を受発信し自然なインタラクションを実現することを目的に作られた頭部ロボ

ットである。インタラクション実験において、人間の情動を音声感情認識ソフト RobEsense[15]により認識する。その結果に同調するようにロボットの情動を生成し、人間の感情に同調した表情を表出させる。SD 法による印象評価や観察結果からこの手法を検討する。

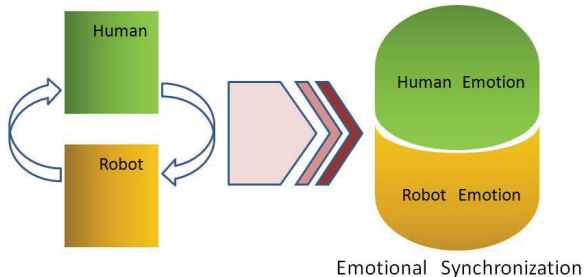


図 1: 情動同調に基づくインタラクション

## 4 情動同調のためのインタラクションシステム

### 4.1 インタラクションシステム

本章では、情動同調を実現するためのインタラクションシステムについて述べる。KAMIN を用いたインタラクションシステムのイメージを図 2 に示す。ロボットのインタラクションシステムは認識部、情動生成部、表出部から構成され、人間の音声から情動を認識し、それに基づきロボットの情動および表情を決定して表情表出を行う (図 3)。認識部ではマイクから音声を入力し情動音声分析ソフト RobEsense により人間の情動を認識する。情動生成部では力学系ベクトル場を用い、同調性に基づいてロボットの情動を生成する。表出部は、先行研究[16]で提案された記号空間を用いた表情表出法を用いる。ベクトル場の計算を C 言語で処理し、その数値の変化から Processing[17]で表情画像を変化させる。

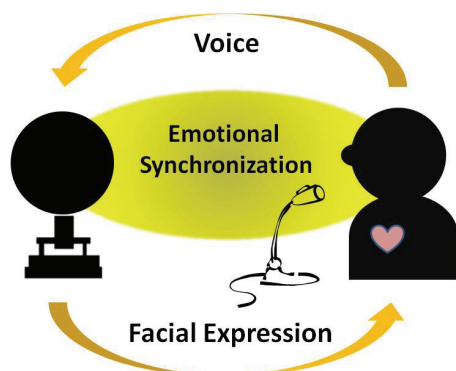


図 2: KAMIN を用いたインタラクションシステム

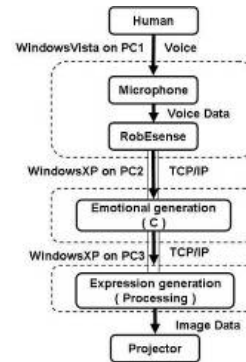


図 3: システムのブロック線図

### 4.2 外観

図 4 に KAMIN の外観を示す。本ロボットは人間の顔をリアルに模倣したものではなくアニメのような表情を用いることで、親しみやすさや豊かな表現力を持たせている。

顔としてドーム状スクリーンが設置され、頭部内にある投影装置からの投影光は魚眼レンズを通し表情画像が内部からスクリーンへと投影される。概観を Fig.9 に示す。スクリーンには直径 0.34[m], 半透明灰色のアクリルドームを使用している。首はモータによる制御で前後・左右・回転・あごの上下の 4 自由度ある。図 4 に装置の外観と図 5 に内部構造を示した。スクリーンに映し出される顔は、親しみやすさとかわいらしさを相手に与えるものが望ましい。大坊[18]の女性の好ましい顔「大きな目で目つきがきつなく、清潔で質がよく、あまり長くない髪、大きくない鼻、小さく丸みを帯びた顔型、やさしい明るい表情」に近い顔を実現できるよう作成した。

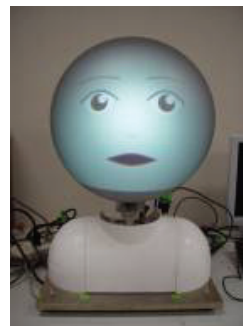


図 4: KAMIN の外観

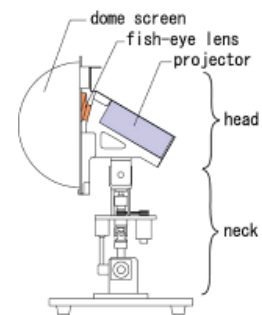


図 5: 内部構造

### 4.3 認識部

認識部で使用する RobEsense は音声分析により、約 300 のパラメータに分けて分析し、19 の情動のパラメータが導出される[15]。そのうち Atmosphere と Excited の数値の組み合わせにより人間の情動を認識する。Atmosphere は会話中の感情的な気分を示す一般値で、Excited は被験者の興奮度がどの程度プラスかあるいはマイナスかを示す。

## 4.4 情動生成部

情動部では情動を二次元上で表現するために Russell の感情の円環モデル (図 6) を利用する[19]. このモデルは横軸に快-不快, 縦軸に覚醒-眠気をとおり, 先の RobEsense の Atmosphere と Excited をそれぞれ対応させる. この二次元平面を力学系ベクトル場とすることで, 情動同調を行う情動空間を形成している. 認識結果から得られた値を情動空間へ人間の情動として入力し, 人間の情動をアトラクタとするベクトル場を作成し逐次的に更新する. また同調性の調整は逐次設計の際に忘却係数と入力負荷係数の設定と調節を行い, ベクトル場の引き込みの度合いを変化させることで可能となる. 人間の情動状態をアトラクタとするベクトル場を用いて, ロボットの情動を遷移させる. これによりロボットの情動が同調性に応じて人間の情動に引き込まれる(図 7).

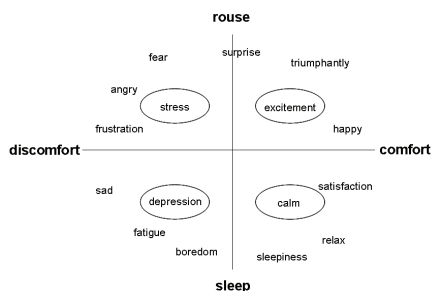


図 6: ラッセルの感情円環モデル

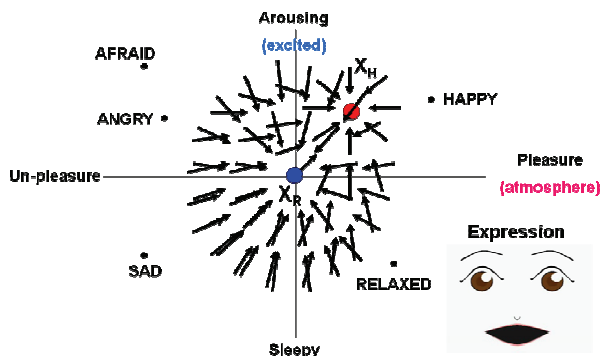


図 7: ベクトル場による情動引き込みの様子

## 4.5 表情表出

人間の表情表出について, 山田ら[20]は表情表出に伴う顔の特徴点の相関的変位構造と被験者の基本情動カテゴリー判断の関係性を調べる実験を行い, 「傾斜性」と「湾曲・開示性」という2種類の顔の構造変数の存在を見出した. 本研究ではこの顔の表情表出モデルを参考にした.

まず, 傾斜性と湾曲性をそれぞれ軸とする二次元平面上でベクトル場を作成する. このときのベクトル

ル場は, 各感情(喜び, 怒り, 悲しみ, 驚き, 平静)がとる位置[20]を参考に作成した. 情動に対応する表情は動的に変化するため, その点のまわりに円軌道を設け, それに収束するようにベクトル場を設計した. 感情ごとに全部で5つのベクトル場を設計し, これを特徴量空間とした.

特徴量空間を記号化し, 複雑なベクトル場をひとつの点として表現する. 記号空間は4次元で構成した. 情動生成部で決定されたロボットの情動を, 表出部の記号空間上の状態に変換し, さらに特徴量空間を生成して, ロボットの表情を表出する. これらの処理を連続的に処理し, 入力情報に対してのロボットの情動および表情を動的に変化させる. よってロボットの表出を同調性に基づいて変化させることが可能であると考えられる. パラメータを用いて顔表情を表現できる (図 8).

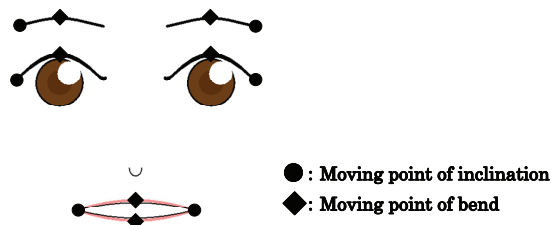


図 8: 顔モデルと制御点

## 5 予備実験

RobEsense の Atmosphere と Excited をそれぞれ Russell のモデルの快-不快軸, 覚醒-眠気軸に対応させ, 話者の情動を認識した場合, その正答率がどの程度かを調べた. 喜・怒・哀・楽・平常の5つの情動に対してそれぞれ10個の音声サンプルを準備した. 同じ音声人間が聞いて判断した結果と RobEsense によって得られた結果を Russell のモデル上で比較した.

Russell のモデルの快-不快軸, 覚醒-眠気軸において, RobEsense の値が情動ごとにどの程度認識できているかを表 1 に示した. それぞれの情動の認識率を平均すると, 快・不快判定と覚醒・眠気判定においてどちらも約 70% の認識率であることがわかった. 一方, 怒り音声については, 各軸とも認識率は低く 40% 程度であった. 喜・怒・哀・楽はそれぞれ Russell の円環モデルの第 1~4 象限に対応することから, 各認識結果が同一象限上に存在する割合を計算した.

表 1: 感情ごとの認識率

情動	喜	怒	哀	楽
快・不快判定	100%	40%	80%	60%
覚醒・眠気判定	80%	50%	70%	90%

## 6 インタラクション実験

人間とロボットのインタラクション実験において、ロボットの情動を人間に同調させて表情表出した場合と、同調させないで表情表出した場合での人間に与える影響を比較した。同調させない場合には人間の情動認識結果に関係なくあらかじめ定めた表情を表出させ続けた。

過去の事例から同調性の有効性は明らかになってきているので、本実験においても同様に同調によりロボットの印象はポジティブに評価されるであろうという仮説がたてられる。

実験条件、評価方法は以下の通りである。被験者 10 名、被験者と KAMIN の距離 100cm、インタラクション時間は 1 回 1 分以上という条件の下、被験者は KAMIN に対して自由に話しかける。被験者 1 人につき、同調・非同調 2 回のインタラクション（順序はランダム）をとった。KAMIN の同調性の変化については被験者に伝えずに行い、インタラクションが終了するごとに SD 法のアンケートに答える。同調の場合は被験者の情動変化に同調する表情表出し、非同調の場合は被験者の情動変化に関係なく、ロボットの表情表出を続ける。実験風景を図 9 に示す。評価は SD 法による印象評価と被験者が自由に設定するインタラクション時間により行う。SD 法では、親しみやすさや積極性、感じのよさなどの計 20 項目について質問した。



図 9: 実験風景

### 6.1 同調性による KAMIN の表情変化

ある被験者のインタラクション時における情動の変化とそれに伴うロボットの情動と表情の変化を図 10 と図 11 に示す。図 10 は同調の場合、図 11 は非同調の場合である。同調の場合、人間の情動の変化に伴ってロボットの情動と表情が変化している。非同調の場合は、人間の情動の変化に関係なく、ロボットの情動と表情が変化している。

さらに同調・非同調の場合について、インタラクション時間と RobSense の成分（Atmosphere, Excited）の最大値と最小値の差を表 2 に示す。これらの値は 10 名の被験者の平均をとったものである。

同調の場合の方が非同調の場合に比べインタラクション時間は約 44%増加している。また、各パラメータの値の差は同調する場合の方が高い値を示しており、被験者の情動を快適な方向に変化させた可能性がある。

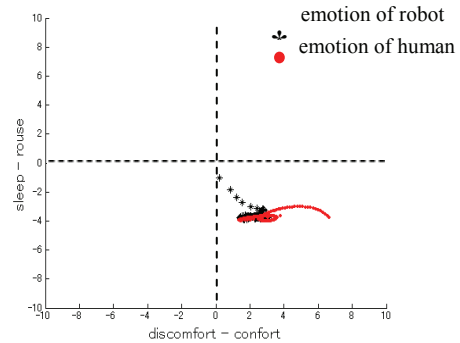


図 10: 同調の場合のロボットの情動と表情の変化

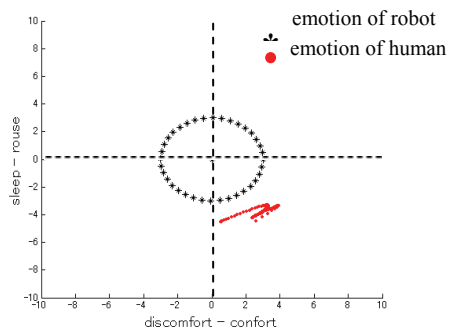


図 11: 非同調の場合のロボットの情動と表情の変化

表 2: 平均時間と成分ごとの最大値と最小値

	Synchronization		Unsynchronization	
	Atmosphere	Excited	Atmosphere	Excited
Average period (s)	122.2		84.8	
Difference of max. and min.	6.4	7.7	5.8	6.6

### 6.2 印象評価

KAMIN が同調するときと同調しないときの印象を SD 法により評価した結果を図 12 に示す。同調しないときに比べ同調する場合の方が、active, happy, friendly など良い印象を与えた項目が多いことがわかる。Positive と Active で 5%有意, Happy で 1%有意であった。

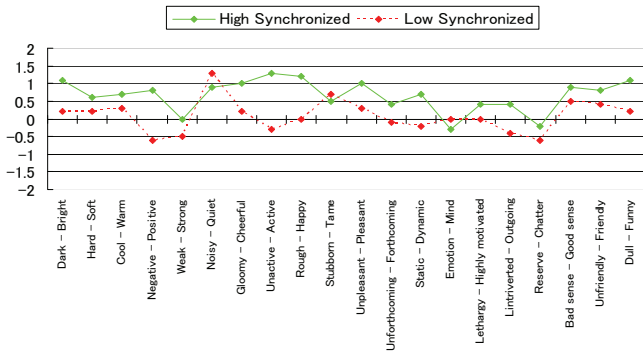


図 12: SD 法の結果

## 7 考察

人間の情動に同調させた際に同調しない場合よりもインタラクション時間が長くなり、ポジティブな印象が強まったことがわかり仮説は立証された。さらに人間の心理状態が快適な方向に変化した。インタラクション時間の増加はロボットの情動を人間に合わせたことで話者に共感性を与えたことによるものと考えられる。また同調により人間がロボットに対して良い印象を持つ傾向が見られた点に注目したい。ロボットが受け入れられるかどうかやどのように感じるか、接するか否かの決定権は人間にあるのでSD法による主観評価の結果はロボットと人間のインタラクションにおいて非常に重要となってくる。

インタラクションにおいて、人間の表情も自然とロボットの表情に同調していた可能性も考えられる。人間の音声から喜びの情動を認識しロボットが笑顔を浮かべたことにより、人間も笑顔になっていたかもしれない。今後はロボットの表出と人間の表情も細かに観察していく必要がある。

## 8 まとめ

同調に関する研究事例を挙げ、相手に同調することは、親しみを与えポジティブな印象を持たせることができる可能性が高いことを示した。この事例に基づいて本研究では情動同調に基づく人間とロボットのインタラクション手法を提案した。行動や発話のタイミングや速度の同調もあるが、ここでは情動を同調させる手法を提案した。さらにインタラクション実験に応用した結果、インタラクション時間が44%増加し、SD法を用いた心理実験によりPositive,Active,Happyの項目で有意差があった。これらのことより提案したインタラクション手法により人間の情動を変化させることができた。

## 謝辞

本研究の一部は(株)豊通エレクトロニクスのご協力のもと、実現したものです。音声分析ソフト RobEsense(イスラエル Nemesysco 社製)は、日本の代理店であるアレグリア社、ビジネスデザイン研究所の協力により使用したものです。ここに深くお礼申し上げます。

## 参考文献

- [1] 市川寛子, N.P.チャンドラリシ, 原島博, 牧野順四郎: 相手の同調的反応が観察者表情に及ぼす影響, 電子情報通信学会信学技報, Vol. 2002-210, pp59-64, (2002)
- [2] <http://intelligent-system.jp/>
- [3] <http://www.nec.co.jp/robot/>
- [4] 加藤雄貴, 橋本稔: 力学的情報処理を用いた連続的に変化発展するロボットの情動システム, 日本感性工学会研究論文集, Vol. 7, No.4, pp.779-789, (2008).
- [5] Meltzoff A. N. and Moore M.K.: Imitation of facial and manual gestures by human neonates, Science, Vol. 198, pp. 75-78, (1977)
- [6] Feldstein S., Dohm F. A. and Crown C. L.: Gender and speech rate in the perception of competence and social attractiveness, Journal of Social Psychology, Vol. 141(6), pp.785-806, (2001)
- [7] Gump B. B. and Lulik J. A.: Stress, affiliation, and emotional contagion, Journal of Personality and Social Psychology, Vol. 72, pp.305-319, (1997)
- [8] Dimberg U.: Facial reaction to facial expressions, Psychophysiology, Vol. 19, pp.643-647, (1982)
- [9] Dimberg, U., Facial expressions and emotional reactions: A psychobiological analysis of human social behavior. In H.L. Wagner (Ed.), Social psychophysiology and emotion: Theory and clinical applications (pp.131-151). New York: John Wiley, (1988)
- [10] Ekman P., Levenson R. W. and Friesen W. V.: Autonomic nervous system activity distinguishes among emotions, Science, Vol. 221, pp.1208-1210, (1983)
- [11] 羽田拓朗, 竹内勇剛: 共感を呼ぶCG顔表情に関する研究, 社会法人電子情報通信学会信学技報, Vol. 48, pp.7-12, (2003)
- [12] I.M.Jonsson, C.Nass, H.Harris, L.Takayama: Matching In-Car Voice with Driver State Impact on Attitude and Driving Performance, Proceedings of the Third Informational Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design, pp.173-180, (2008)
- [13] 渡辺富夫: 身体的コミュニケーションにおけるエンブレインメント, 身体性とコンピュータ, 岡田美智雄, 三嶋博之, 佐々木正人 編, 共立出版, pp.246-256, (2000)
- [14] M.Hashimoto, D.Morooka: Robotic Facial Expression Using a Curved Surface Display, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol. 18, No. 4, pp.504-510, (2006)
- [15] <http://www.nemesysco.com/>
- [16] 薄井達也, 糸一臣, 橋本稔: 同調性に基づくコミュニケーションシステムの構築, Proceedings of the 2008 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, Nagano, Japan, 1P1-G12, (2008),
- [17] 前川峻志, 田中孝太郎: Built with Processing, BNN, (2007)
- [18] 大坊郁夫: 共感を呼ぶCG顔表情に関する研究容貌の構造的特徴と対人魅力, 化粧文化, Vol. 24, pp.55-68, (1991)
- [19] J.A.Russell: A circumplex model of affect, Journal of Personality and Society Psychology, Vol. 39, pp.1161-1178, (1980)
- [20] 山田寛: 顔面表情の知覚的判断過程における説明モデル, 心理学評論, Vol. 43, pp.245-55, (2000)