

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2005～2008

課題番号：17500143

研究課題名（和文） 感性情報処理に基づくロボットの感情表現の工学的研究

研究課題名（英文） A Study of Emotional Expression Technology for Robots Based on the KANSEI Information Processing

研究代表者

伊藤 英則（ITO H H I D E N O R I）

名古屋工業大学・工学研究科・教授

研究者番号：80213073

研究成果の概要：

本研究では、ロボットに人間と同様の心理的な内部状態（感情）を持たせることを目的として、感性情報処理に基づいた擬人化ロボットの新しい制御手法として、感情認識、感情生成、および、感情表現の工学的制御手法を提案した。これらの研究結果は、研究代表者らが参画している産学共同プロジェクトにおいて過去に共同開発された感性会話型ロボット ifbot 上に試作実装され、会話実験等を行うことでその効果が検証されている。また、これらの研究成果は、18編の雑誌論文と11編の国際会議論文（いずれも査読有り）、ならびに、21編の国内学会発表論文と1冊の著書（分担執筆）として発表された。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2005年度	900,000	0	900,000
2006年度	1,000,000	0	1,000,000
2007年度	800,000	240,000	1,040,000
2008年度	600,000	180,000	780,000
年度			
総計	3,300,000	420,000	3,720,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：人工知能，情報工学，ロボット，感情認識，感情生成，表情，感性

1. 研究開始当初の背景

感情を持つロボットを株式会社ブラザー工業、ビジネスデザイン研究所、株式会社フタバなどとの共同研究により開発に着手してきた。我々はこのロボット開発を感性工学の研究活動の一環に位置づけている。このロボットは5歳程度の会話能力を持ち、五感として目、耳、口と手足に圧力センサーを持つ、初期バージョンを国際ロボット博（2003、

横浜）に出展している。我々は、このロボットの視覚機能と感情表現に整合のとれた表情制御ソフトウェアの研究開発を担当した。さらに、カメラからの映像をネットワークセンタに通信するソフトウェアを担当した。

人型ロボットの研究開発は人間の運動を疑似するロボットが主流である。これまでのロボット開発では運動機能と感覚機能と認識・判断・学習機能の融合化・高度化に止まっている傾向にある。ここでの研究課題は心

理的機能をロボットに持たせる試みである。

このためには、ロボットは顔と心を持ち、心はロボット内部に感情空間内に遷移有限状態オートマトンによりモデル化し、顔は感情空間からそのときの感情に合わせた顔表情を生成する。さらに、感情語の発話は特に感情的に発話する方法は国内外のロボットには例が少ない。とくに、現在のところ、脛、目の独立した2軸制御して感情を表現すること、内部の感情状態と顔と声を整合している試みのロボットはここでの研究が唯一である。

2. 研究の目的

このロボットを研究の基盤ツールとして、研究期間内に、ロボットを擬人化して、ロボットが人間と同様に心理的な内部感情の移り変わりにより、発話と表情が整合性に富んでいて、かつ自然観を持つ制御方式を明らかにする。これらの研究を通してロボットの普遍的感情表現と表情表現手法について明らかにする。さらに、ロボットの感情制御を時間的に自律進化する手法を遺伝的プログラミング技法を用いてモデル化し実現する。

3. 研究の方法

ロボットの顔のパーツは伝統文化である文楽人形流のデホルメ手法を採用している。これらのパーツは10個のモーターにより制御され、また4色の発光ダイオード約100個の点滅により表現する。これらのパーツの動きにより基本感情(Ekman 1992)動作を生成する。このために人間の基本感情の特性化に使った神経回路網計算手法を用いて、感情空間を発見してその空間内を移動させることにより、ロボットの基本感情の表現制御する試みは独創的である。また、ロボット内部の心理的感情が会話相手の発話言語に基づくベイジアンネットワークを用いた状態遷移オートマトンによるモデル化と、この状態と発話における感情語の音声制御手法と表情制御手法の3つの整合を採った提案は独創性がある。この実現により、人間型ロボットの構成方法の普遍化の一端を担うことになるかと予想される。感情をより厳密に表現するために気分(良い/悪い)・感情(快/不快)・情動(喜怒哀楽)にレベル分けして制御する。

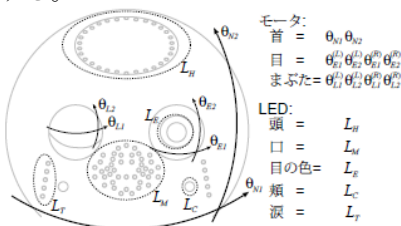


図1 ロボットの顔表情表出機構

4. 研究成果

まず、研究の初・中期段階として、平成18年度の研究では、前年度の研究で得られた感情認識および感情表現のための基本技術を基に、これらの改良・高度化とシステム統合を実現し、人間との心理的なコミュニケーションを行うことを可能にするロボット内部の感情制御エンジン(エモーションエンジン)のモデルを提案し、そのプロトタイプを試作した。エモーションエンジンの構築においては、話者から与えられる発話音声や表情・ジェスチャから抽出した感情要素の情報を基に話者の感情を推定する「感情認識部」と自らの内部モデルによって感情が生起し話者からのコミュニケーションに反応して変化する「感情遷移部」の基本アルゴリズムを考案した。

感情認識部の基本アルゴリズムでは、ベイジアンネットワークの確率推論の機能を応用した感情認識ネットワークを構築することで、これを実現した。ベイジアンネットワークの学習については、ロボットと人間との会話を想定したシナリオ(脚本)を人間に与えて感情移入させ、そのシナリオに沿って人間が抱いた感情と音声や表情から抽出した感情要素を訓練事例として与えることで学習を行った。

感情遷移部の基本設計としては、ロボット内部に自らの価値観としての語の好感度DBを構築し、会話中の相手とやり取りを通じて得られた質問文と返答語の言葉情報から会話相手に対して抱く好感度(対話者好感度)を計算することで、自己に感情を生起させるモデルを考案した。

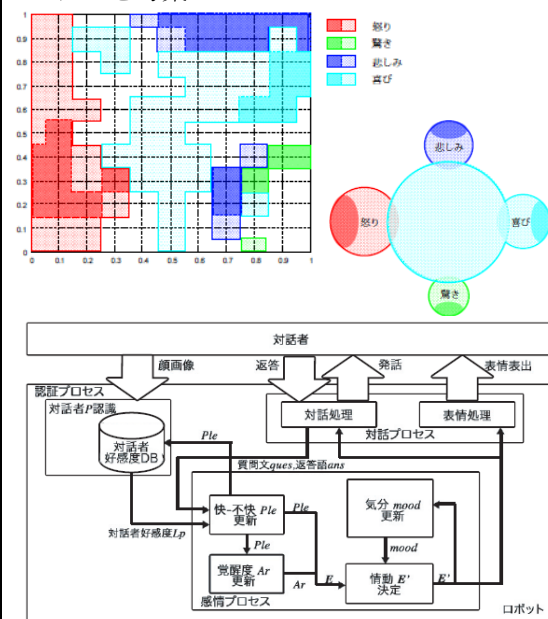
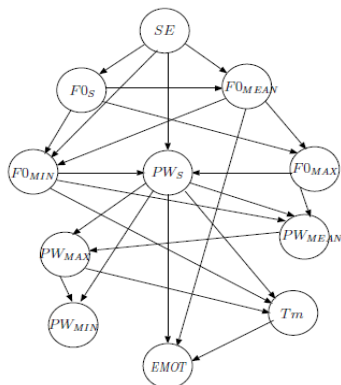


図2 感情空間、感情遷移および感情生起モデル

つづいて、平成19年度は、前年度の研究で得られた感情制御技術の高度化を中心に研究を行った。

まず、話者から与えられる発話音声や表情・ジェスチャから抽出した感情要素の情報を基に話者の感情を推定する「感情認識部」については、話者から与えられた発話音声の韻律特徴を用いたベイジアンネットワーク感情推定モデルを考案し、推定すべき感情種別（怒、哀、嫌、怖、驚、喜）と韻律特徴の部分観測要素（基本周波数（F0）、短時間パワー（PW）モーラ単位発話継続時間（Tm））との関連性について検討を行った。結果から、「怒」についてはF0, PW, Tmのいずれかが観測できれば比較的高い推定正答率を保てること、「嫌」「怖」「喜」については、それぞれ、F0, PW, Tmの韻律要素との関連性が強いことが示唆された。また、会話ロボットに実装するための計算処理時間についても検討し、提案手法が計算速度的に実現可能性を有していることを確認した。

つづいて、自らの内部モデルによって感情が生起し話者からのコミュニケーションに反応して変化する「感情遷移部」については、昨年度に考案した会話過程に出現する語の高感度に基づいた感情生起のモデルに気分概念を導入することで、感情制御の機能を高度化した。気分を情動の蓄積と捉え、気分遷移のグラフィカルモデルを考案し、同モデルのパラメタ設定を変更することによるロボットの性格付けのための基本アルゴリズムを考案した。



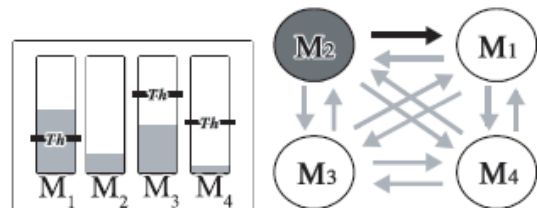
感情	正答率 (%)			
	提案 (BN) 手法			PCA
	全 (10) 証拠	6 証拠	4 証拠	
怒り	72.1	54.1	58.1	63.6
悲しみ	64.9	24.3	27.0	27.0
嫌悪	64.1	38.5	35.9	61.5
恐怖	55.6	37.0	37.0	48.1
驚き	59.3	48.1	44.4	44.4
喜び	63.0	40.7	44.4	22.2

図3 音声感情認識ネットワークと推定正答率

研究の最終段階である平成20年度は、前年度の研究で得られた感情制御技術の高性能化を中心に研究を行った。まず、話者から

与えられる発話音声や表情・ジェスチャから抽出した感情要素の情報を基に話者の感情を推定する「感情認識部」については、話者から与えられた発話音声の韻律特徴を用いたベイジアンネットワーク感情推定モデルにおける感情推定の高度アルゴリズムを考案した。ベイジアンネットワークが各感情毎に推定確率値を出力できることに着目し、多段階に感情推定を行うことで推定正答率を改善することに成功した。

つづいて、自らの内部モデルによって感情が生起し話者からのコミュニケーションに反応して変化する「感情遷移部」については、昨年度に考案した会話過程に出現する語の高感度に基づいた感情生起のモデルへの付加機能として、ユーザが希望する性格にロボットの性格付けが正しく付与できるように、感情生起モデルの性格設定パラメタと会話ユーザが受ける印象との相関を因子分析により分析した。結果、提案した感情生起モデルがロボットの性格において「穏-厳因子」「悲観-楽天因子」「感情-理性因子」の性格付け度合いを調節できることが確認された。



	Fac.1 穏-厳因子	Fac.2 悲観-楽天因子	Fac.3 感情-理性因子
ifbotA	-0.623	0.7317	-0.245
ifbotB	-0.129	-0.310	0.728
ifbotC	0.753	-0.421	-0.484

図4 感情遷移の性格付けとユーザによる性格評価

以上、本研究では、ロボットに人間と同様の心理的な内部状態（感情）を持たせることを目的として、感性情報処理に基づいた擬人化ロボットの新しい制御手法として、感情認識、感情生成、および、感情表現の工学的制御手法を提案した。

これらの研究結果は、研究代表者らが参加している産学共同プロジェクトにおいて過去に共同開発された感性会話型ロボット ifbot 上に試作実装され、会話実験等を行うことでその効果が検証されている。また、これらの研究成果は、18編の雑誌論文と11編の国際会議論文（いずれも査読有り）、ならびに、21編の国内学会発表論文と1冊の著書（分担執筆）として発表された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者, 研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 18 件)

- ① 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, Vol. 125-C, No. 12, pp. 1852-1860, 2005. 12, 査読有
- ② Masayoshi KANO, Susumu IWATA, Shohei KATO, Hidenori ITOH, Emotive Facial Expression of Sensitivity Communication Robot "Ifbot", Kansei Engineering International, Vol. 5, No. 3, pp. 35-42, 2005. 12, 査読有
- ③ 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. 12, No. 1, pp. 55-62, 2006. 1, 査読有
- ④ Atsuko MUTOH, Fumiki TANAHASHI, Shohei KATO, Hidenori ITOH, Efficient Real-Coded Genetic Algorithms with Flexible-Step Crossover, 電気学会論文誌, Vol. 126-C, No. 5, pp. 654-660, 2006. 5, 査読有
- ⑤ 柴田寛, 後藤みの理, 加納政芳, 加藤昇平, 中村剛士, 伊藤英則, 感性ロボットの表情表出モデルによる表情の分類・評価, 日本顔学会誌, Vol. 6, No. 1, pp. 77-88, 2006. 9, 査読有
- ⑥ 後藤祐司, 加納政芳, 加藤昇平, 伊藤英則, ロボットの感情表現のための発話・表情表出プランについて, 感性工学研究論文集, Vol. 6, No. 3, pp. 19-25, 2006. 11, 査読有
- ⑦ 桑山清丈, 加藤昇平, 伊藤英則, 経験からの知識獲得に基づくヒューマノイドの運動制御, 日本ロボット学会誌, Vol. 25, No. 3, pp. 402-409, 2007. 4, 査読有
- ⑧ 柴田寛, 加納政芳, 加藤昇平, 中村剛士, 伊藤英則, 感性ロボットの表情変化による性格付け, 情報科学技術レターズ, Vol. 6, pp. 323-326, 2007. 9, 査読有
- ⑨ 趙章植, 加藤昇平, 加納政芳, 伊藤英則, ベイジアンネットワークを用いた感性会話ロボットのための対話者感情の推定法, 情報科学技術レターズ, Vol. 6, pp. 327-330, 2007. 9, 査読有
- ⑩ Jangsik CHO, Shohei KATO, Hidenori ITOH, Bayesian-Based Inference of Dialogist's Emotion for Sensitivity Robots, IEEE International Symposium on Robot & Human Interactive Communication, pp. 792-797, 2007. 8, 査読有
- ⑪ 竹内将吾, 酒井あゆみ, 加藤昇平, 伊藤英則, 対話者好感度に基づく感性会話ロボットの感情生成モデル, 日本ロボット学会誌, Vol. 25, No. 7, pp. 1125-1133, 2007. 11, 査読有
- ⑫ 後藤みの理, 加納政芳, 加藤昇平, 中村剛士, 伊藤英則, ニューラルネットワークを用いた感性ロボットと人の表情対応付け, 日本感性工学会研究論文集, Vol. 7, No. 4, pp. 693-700, 2008. 6, 査読有
- ⑬ 田村謙次, 鳥居隆司, 武藤敦子, 中村剛士, 加藤昇平, 伊藤英則, ウイルス進化型遺伝的アルゴリズムにおける感染手法による個体進化の相違に関する一考察, 知能と情報 (日本知能情報フレンジ学会誌), Vol. 20, No. 5, pp. 791-799, 2008. 1, 査読有
- ⑭ Jangsik CHO, Shohei KATO, Masayoshi KANO, Hidenori ITOH, Bayesian Method for Detecting Emotion from Voice for Kansei Robots, JSKE journal of Kansei Engineering International, Vol. 8, No. 1, pp. 15-22, 2009. 2, 査読有
- ⑮ Genki MURAYAMA, Shohei KATO, Hidenori ITOH, Tsutomu KUNITACHI, Analysis of the Relationships between Pulses and Musical Tempo, and Their Effect on Relaxation, JSKE journal of Kansei Engineering International, Vol. 8, No. 1, pp. 91-98, 2009. 2, 査読有
- ⑯ 伊藤千加, 加藤昇平, 伊藤英則, 感性会話ロボットの性格付けとその心理評価, 日本感性工学会論文誌, Vol. 8, No. 3, pp. 899-906, 2009. 2, 査読有
- ⑰ 趙章植, 加藤昇平, 伊藤英則, ベイジアンアプローチに基づく感情発話音声からの感情推定における日韓感性の比較, 日本感性工学会論文誌, Vol. 8, No. 3, pp. 913-919, 2009. 2, 査読有
- ⑱ 武藤敦子, 徳原信哉, 加納政芳, 大星多聞, 加藤昇平, 伊藤英則, 同調遺伝子とミームを用いた性選択モデルにおける循環型流行の発現, 人工知能学会論文誌, Vol. 24, No. 2, pp. 214-222, 2009. 3, 査読有

[国際会議論文] (計 11 件)

- ① Shohei KATO, Hidenori ITOH, Soft Computing Approaches to Motion Control for Humanoid Robots, International Symposium on Micro-Nano Mechatronics and Human Science, pp. 47-52 (as an invited paper), 2005. 11, 査読有
- ② Tomoko NAKAMURA, Shohei KATO, Hidenori ITOH, Learning-based Motion Control for Biped Locomotion Considering Joint Stiffness, International Symposium on Robotics, CDROM WE4-2, 2005. 11, 査読有

- ③ Minori GOTOH, Masayoshi KANOH, Shohei KATO, Tsutomu KUNITACHI, Hidenori ITOH, Face Generator for Sensibility Robot Based on Emotional Regions, International Symposium on Robotics, CDRM WE31-6, 2005. 11, 査読有
- ④ Hiroshi SHIBATA, Masayoshi KANOH, Shohei KATO, Hidenori ITOH, A Facial Control Method Considering Internal Emotion of Sensibility Robot, Lecture Notes in Artificial Intelligence, Vol. 3809 (AI2005: Advances in Artificial Intelligence), Springer-Verlag, pp. 861-864, 2005. 12, 査読有
- ⑤ Hiroshi SHIBATA, Masayoshi KANOH, Shohei KATO, Hidenori ITOH, A System for Converting Robot 'Emotion' into Facial Expressions, IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 3660-3665, 2006. 5, 査読有
- ⑥ Shohei KATO, Yoshiki SUGINO, Hidenori ITOH, A Bayesian Approach to Emotion Detection in Dialogist's Voice for Human Robot Interaction, Lecture Notes in Artificial Intelligence, Vol. 4252 (Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems), Springer-Verlag, pp. 961-968, 2006. 1, 査読有
- ⑦ Minori GOTOH, Masayoshi KANOH, Shohei KATO, Hidenori ITOH, A Neural-based Approach to Facial Expression Mapping between Human and Robot, Lecture Notes in Artificial Intelligence, Vol. 4964 (Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems), Springer-Verlag, pp. 194-201, 2007. 9, 査読有
- ⑧ Yuki Matsui, Hiroshi SHIBATA, Masayoshi KANOH, Shohei KATO, Hidenori ITOH, Interaction Effects in Facial Expressions of Emotional Space-using Kansei Robot "Ifbot", International Conference on Kansei Engineering and Emotion Research (KEER-2007), CD-ROM, 2007. 1, 査読有
- ⑨ Jangsik CHO, Shohei KATO, Hidenori ITOH, A Biphasic-Bayesian-based Method of Emotion Detection from Talking Voice, Lecture Notes in Artificial Intelligence, Vol. 5179 (Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems), Springer-Verlag, pp. 50-57, 2008. 9, 査読有
- ⑩ Yuki Matsui, Masayoshi KANOH, Shohei KATO, Hidenori ITOH, Generating Interactive Facial Expression of Communication Robots Using Simple Recurrent Network, Lecture Notes in Artificial Intelligence, Vol. 5351 (Tenth Pacific Rim International Conference on Artificial Intelligence, PRICAI-08), pp. 1016-1021, 2008. 12, 査読有
- ⑪ Chika ITOH, Shohei KATO, Hidenori ITOH, A Characterization of Sensitivity Communication Robots Based on the Mood Transition, Lecture Notes in Artificial Intelligence, Vol. 5351 (Tenth Pacific Rim International Conference on Artificial Intelligence, PRICAI-08), pp. 959-964, 2008. 12, 査読有
- [学会発表] (計 21 件)
- ① 竹内将吾, 酒井あゆみ, 加藤昇平, 伊藤英則, 対話者への好感度を考慮した感性会話ロボットの感情生成モデル, 第 7 回日本感性工学会予稿集, p. 137, 2005. 09
- ② 中村智子, 加藤昇平, 伊藤英則, CPG を用いた二足歩行ロボットにおける関節ステイフネスを考慮した運動学習, 第 23 回日本ロボット学会学術講演会, p. 1G31, 2005. 09
- ③ 杉野良樹, 加藤昇平, 伊藤英則, ベイジアンネット混合モデルを用いた感性ロボットののための話者感情の推定法, 情報処理学会第 68 回全国大会論文集, 分冊 4, pp. 119-120, 2006. 03
- ④ 竹内将吾, 酒井あゆみ, 加藤昇平, 伊藤英則, 対話者好感度に基づく感性会話ロボットの感情生成モデル, 第 11 回ロボティクスシンポジウム, pp. 74-79, 2006. 03
- ⑤ 柴田 寛, 後藤みの理, 加納政芳, 加藤昇平, 伊藤英則, 感性ロボットの表情表出のための感情モデル, 第 1 回感性ロボティクスシンポジウム, pp. 11-12, 2006. 04
- ⑥ 杉野良樹, 加藤昇平, 伊藤英則, 感性ロボットののためのベイジアンネット混合モデルに基づく話者感情の推定法, 第 1 回感性ロボティクスシンポジウム, pp. 13-14, 2006. 04
- ⑦ 妹尾祐希, 加藤昇平, 伊藤英則, 好感度に基づいた感性会話ロボットの感情制御手法, 日本感性工学会第 8 回大会・総会, p. 137, 2006. 09
- ⑧ 日栄 悠, 加藤昇平, 伊藤英則, FF・FB 制御による包摂アーキテクチャにおける CPG 補償器を用いた歩行制御, 情報処理学会第 69 回全国大会, 分冊 2, pp. 471-472, 2007. 03
- ⑨ 中田尚吾, 加藤昇平, 伊藤英則, 確率的 2

- 分木の動的生成に基づく Actor-Critic によるヒューマノイドロボットの運動学習, 情報処理学会第 69 回全国大会, 分冊 2, pp. 443-444, 2007. 03
- ⑩ 趙 章植, 加藤昇平, 伊藤英則, 感性会話ロボットのためのベイジアンネットワークを用いた対話者感情推定法, 情報処理学会第 69 回全国大会, 分冊 4, pp. 235-236, 2007. 03
- ⑪ 松井裕紀, 柴田 寛, 加納政芳, 加藤昇平, 中村剛士, 伊藤英則, 感情空間を用いた感性ロボットの表情表出効果, 第 17 回インテリジェント・システム・シンポジウム, pp. 447-450, 2007. 08
- ⑫ 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, 第 6 回情報科学技術フォーラム, pp. 497-488, 2007. 09
- ⑬ 加納政芳, 後藤みの理, 加藤昇平, 伊藤英則, 遠隔コミュニケーションのための感性ロボットと人の表情対応付け, 第 6 回情報科学技術フォーラム, pp. 489-492, 2007. 09
- ⑭ 趙 章植, 加藤昇平, 加納政芳, 伊藤英則, ベイジアンネットワークを用いた感性会話ロボットのための対話者感情の推定法, 第 6 回情報科学技術フォーラム, pp. 323-326, 2007. 09
- ⑮ 柴田 寛, 加納政芳, 加藤昇平, 中村剛士, 伊藤英則, 感性ロボットの表情変化による性格付け, 第 6 回情報科学技術フォーラム, pp. 327-330, 2007. 09
- ⑯ 松井裕紀, 加納政芳, 加藤昇平, 伊藤英則, SRNを用いた感性ロボットのインタラクティブ表情生成, 第 24 回ファジィシステムシンポジウム, pp. 561-566, 2008. 09
- ⑰ 伊藤千加, 加藤昇平, 伊藤英則, 感性会話ロボットの性格付けとその心理評価, 第 10 回日本感性工学会大会, pp. 11B1-02 (7p), 2008. 09
- ⑱ 趙 章植, 加藤昇平, 伊藤英則, ベイジアンネットワークを用いた話者音声からの感情推定? 日韓の感情発話音声にみられる感性の比較?, 第 10 回日本感性工学会大会, pp. 11H-04 (7p), 2008. 09
- ⑲ 奥澤悠樹, 加藤昇平, 加納政芳, 伊藤英則, 運動知識の学習・再利用に基づくヒューマノイドの模倣運動生成, 第 26 回日本ロボット学会学術講演会, pp. 1N3-02 (4p), 2008. 09
- ⑳ 石田 稔, 加藤昇平, 加納政芳, 伊藤英則, 関節制御の動的受動化に基づいた二足ロボットの歩行運動生成, 第 26 回日本ロボット学会学術講演会, pp. 103-06 (4p), 2008. 09
- 21 島 一将, 武藤敦子, 加藤昇平, 伊藤英

則, 脳機能局在性を考慮した認知機構の進化モデル, 情報処理学会第 71 回全国大会, 分冊 2, pp. 355-356 (2p), 2009. 03

〔図書〕 (計 1 件)

- ① Koshiro NORITAKE, Shohei KATO, Hidenori ITOH, A Interpolation-based Approach to Motion Generation for Humanoid Robots, Informatics in Control, Automation and Robotics I, J. Braz, H. Ara'ujo, A. Viera and B. Encarna, c. ao (eds.), Springer, pp. 179-185, 2006. 4 (分担執筆)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

6. 研究組織

(1) 研究代表者

伊藤英則 (ITO HIDENORI)
名古屋工業大学・工学研究科・教授
研究者番号: 80213073

(2) 研究分担者

加藤昇平 (KATO SHOHEI)
名古屋工業大学・工学研究科・准教授
研究者番号: 70311032

武藤敦子 (MUTOH ATSUKO)

名古屋工業大学・工学研究科・助教
研究者番号: 90378240

(3) 連携研究者