

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月15日現在

機関番号：13903

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2008～2011

課題番号：20700199

研究課題名（和文）感性情報のグラフィカルモデルに基づいた感性ロボットのための感情制御モデル

研究課題名（英文）Graphical Model-based Emotion Control for *Kansei* Robot

研究代表者

加藤昇平（KATO SHOHEI）

名古屋工業大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：70311032

研究成果の概要（和文）：

本研究では、ロボットと人間のより豊かなコミュニケーションを実現するための要素技術を研究し、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、感情認識および感情表現の工学的制御手法を提案した。具体的には、ロボットの感情表現および感情認識のための基本技術の確立、ならびに、ロボットの感情空間の構築についての理論と技術を研究・開発し、感性ロボットのための感情制御モデルを構築し評価した。

研究成果の概要（英文）：

In this research project, as a novel control method for humanoids (anthropomorphic robots) based on *Kansei* information processing, we proposed a computational intelligence-based approach to emotion recognition and emotive expression. Specifically, we proposed some fundamental algorithms for emotion recognition and emotive expression, and studied theory and methodology for constructing an emotion space in robots, and then developed several emotion control models for *Kansei* robots.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

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：感性ロボティクス、ロボットの感情認識・生成・制御、グラフィカルモデル、感情身体動作表出、感性インタラクション

1. 研究開始当初の背景

人間とのコミュニケーションを目的と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。また、コンピュータと機械制御を融合して人工的知能を持つようなロボットの開発も近年振興

が著しい。特に、ハードウェアを小型化したコンピュータの認識・判断・学習機能を利用する方法である。これらの機能は小型化されたカメラやセンシング機器を有効に利用している。すなわち、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。これに対して、本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。

申請者らは、本研究で対象とするロボットのプロトタイプを既に開発・製作している。プロトタイプ機は、話者とのコミュニケーションおよび感情認識に必要な不可欠な装備として、マイクセンサ、スピーカおよびCCDカメラを内蔵している。また、自らの感情表現のために顔表情の制御に重点をおいたハード設計を行っており、研究開発の当初は、これらのハード機構を制御するドライバーソフトウェアの開発・実装が終了した段階であった。また、感情認識および感情表現の制御技術を搭載するための土台として、基本的な会話処理を行うプログラムが実装された段階であった。そこで本研究では、この試作ロボットの機能および知能を拡張・高度化することにより、感性情報処理に基づく感情の制御技術を研究した。

2. 研究の目的

本研究の技術的課題は、ロボットの高度な擬人化を実現する要素技術として、会話や画像認識・通信の基本処理の中に、感情認識、感情制御、感情表出、の3つが整合された感性情報処理を実現することである。これにより、本研究にて開発するロボットは、生活支援や情報提供などユーザーに利便性を提供するのみならず、会話を通じたロボットとのコミュニケーションにおいてユーザーに心的作用をもたらす。

先行研究において開発したロボットを本研究の基盤ツールとして、本申請研究の期間内に、ロボットを擬人化して、以下の制御方式を明らかにする。

- 1) ロボットが対話相手の感情を認識する。
- 2) 人間と同様に心理的な内部感情が移り変わる機能を持つ。
- 3) 発話と表情が整合性に富んでいてかつ自然観を有する。

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させる手法を数理モデル化しソフトウェアとしてロボットに搭載する。

3. 研究の方法

(1) ロボットの感情認識のための要素技術の確立

まず、ロボットが感情を自動認識するための基本処理として、以下の2つを実現する感性情報処理方式およびプログラミング技法を確立する。

①音声・言語からの感情要素の抽出

ロボットが音声認識した話者の発話音声から、感情を認識するための情報を抽出するリアルタイム処理を実現する。言語的要素としては、発話文に含まれる自立語の感情語との類似度や、発話文の文型を計算・識別する。非言語的要素としては、発話音声の高さ、音量、発話時間等の韻律特徴を抽出する。音声認識エンジンおよび音声合成については既存のソフトおよび開発キットを利用し、本研究では音声の感情付与要素に関する研究を重点的に行う。

②感情認識のための推論アルゴリズム

話者の発話動作から抽出された上記の入力情報をもとに話者の感情を認識するための推論処理について検討する。現段階では、不確実性を伴う入力情報の下でも合理的な推論を行うことができる、ベイジアンネットワークを採用する予定である。本研究では感情認識に特化したベイジアンネットワークの学習アルゴリズムおよび推論アルゴリズムを考案する。

(2) ロボットの感情表現のための基本技術の確立

①表情表出の基礎データの特性分析

本研究の準備として現在までに試作したロボットにおいて、人間の喜怒哀楽等に伴う顔表情の変化を模擬した基本表情の制御技術を確立する。基本表情制御プログラムのソフトウェアを実装し、表情制御の基礎データを抽出する。

②感情語の音声制御技術

上記に併行して感情を表現する発話音声の制御技術について調査・検討する。II-①と同様のアプローチで、単音および複合音の発話音声から感情表現のための基礎データを抽出する。

(3) ロボットの感情空間の構築

①ロボットの感情表現の感性空間への対応付け

ここでは、ロボットが表出する表情変化や音声表現を人間が持つ感性空間へマッピングするための理論と技術について検討する。すなわち、ロボットが表出・発話する顔表情・音声表現について、人間がそれを受けて感じ取る感性定量（感情の種類とその強さ）との対応付けを行う。この対応付けを利用することにより、ロボット内部に搭載した感情パラメータの推移によってロボットの顔表情や音声発話を駆動させる。この結果、ロボットが認識した感情とそれに対する反応によって生じた自らの感情に応じて、適切かつ豊かな感情表現を行うことができるようになり、ロボットの感性豊かな動作制御が可能になる。

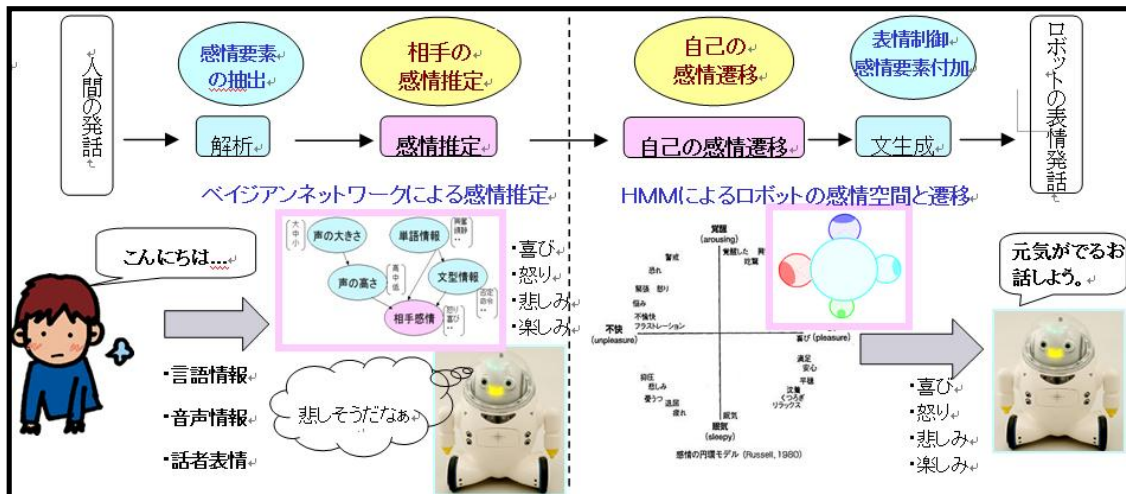


図1 エモーションエンジンの概念図

②恒等写像学習を用いた感情空間の構築

対応づけのための要素技術としては、现阶段では、砂時計型ニューラルネットワークを用いた恒等写像学習を応用することを考えている。砂時計型ニューラルネットワークを用いた恒等写像学習の手法には、与えられた時系列データの次元数を圧縮する特性があり、本研究ではこれを利用してロボット表情変化や音声表現のための制御パラメータを次元圧縮し、感情空間を構築する。同空間において、ロボットが表出・発話した表情変化と音声表現に対して人間が受ける感性の主観評価値を利用して感性空間クラスタを分類・形成する。

(4) エモーションエンジンの構築

エモーションエンジンは、以下の感情認識部と感情遷移部から構成される。

①感情認識部

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。上記研究Iの成果を統合し、感情認識エンジンを構築する。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実現する。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(I) - ①及び②の研究成果を活用し抽出する)を訓練事例として与えることで学習を行う。

②感情遷移部

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のモデルを考案する。现阶段では、隠れマルコフモデル(HMM)を応用することを考えている。HMMとは、有限オートマトンを拡張して状態遷移に確

率の概念を加えた確率オートマトンの一種であり、状態遷移の様子は直接には見えず、隠れ層として扱われる特徴をもつ。Ekmanの基本6感情(怒り、恐れ、嫌悪、喜び、悲しみ、驚き)を、マルコフ過程にそって遷移する内部状態と捉え、ロボットが表出する表情を外部に現れる出力と捉えれば、HMMによって感情遷移をモデル化できる。

(5) 感情遷移の性格付け

エモーションエンジンの数理モデルを拡張しロボットの感情制御に性格付けを可能にする。短期的な感情である「情動」と中長期的な情動の蓄積としての「気分」の概念を加え、性格心理学の側面からこれらの数値化と計算モデルを考案する。簡易的な記憶に基づきロボットの生起感情を活性・抑制する制御手法としての感性情報処理モデルを提案する。

4. 研究成果

【平成20年度】初年度の研究として、ロボットの感情表現および感情認識のための基本技術について研究・調査し、以下の要素技術を確立した。

まず、ロボットが音声認識した話者の発話音声から、感情を認識するために有用な特徴量情報として音声韻律特徴を抽出する基礎プログラムを作成した。そして、特徴選択のアルゴリズムとして、主成分分析や判別分析の多変量解析計算技術を組み込んだベイジアンネットワークモデル、ならびに、同グラフィカルモデル上での他段階推定アルゴリズムを考案し、音声からの感情推定のプログラムを試作した。

これに併行して、ロボットの全身運動を用いた感情表出を実現する本研究目標に対して、今年度では、まずモーション情報から動

作の特徴量を抽出する手法を提案し、ヒューマンフォームロボットの身体動作と動作体から受ける感情との関係を明らかにした。

【平成21年度】2年目の研究では、20年度の研究で得られた、ロボットの感情表現および感情認識のための基本技術の確立、ならびに、ロボットの感情空間の構築についての理論と技術の研究成果を基にして、以下の感情制御モデルの理論と技術を構築した。

性格付けを考慮したロボットの感情遷移モデル：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のモデルを考案した。対話者との音声会話からロボット内部の快—不快および覚醒—眠気のレベルを数値化する計算方法を考案し、内部に設定した4つの状態（「喜怒哀楽」に相当）間を自律遷移する数理モデルを実現した。

【平成22年度】3年目の研究では、21年度までの研究で得られた研究成果を基にして、以下の感情制御モデルの理論と技術を構築した。

ベイジアンクラシファイアにもとづく話者音声・顔表情からの感情推定：話者の発話音声からの感情推定では、ペアワイズクラシファイアモデルを構築し感情対毎に適切な特徴量を選択できる機能を考案した。各感情対の分類器における勝者確率和の投票集計方法を考案し感情推定正答率の向上を実現した。顔表情からの感情推定では、部位間の因果関係をベイジアンネットワークで構築した後に感情推定ノードとのリンク結合をナイーブベイズ法で与える方法を考案し、隠蔽に頑健な推定モデルの構築に成功した。

ラバン特徴量を用いた身体運動への感情付与：ロボットの関節軌道と角速度、四肢先端の方向ベクトル・加速度を用いてラバン身体運動理論に基づいた運動の特徴量計算法を確立し、これを身体運動における感情表出へ応用した。

【平成23年度】最終年度では、これまでの研究で得られた研究成果を基にして、以下の感情認識部と感情遷移部の機能拡張および高度化した。

感情認識エンジンの高度化：人間の音声や顔表情による感情表出は複数の要素から組合せられていると考えられる。例えば、同じ「喜び」として認識される音声についても、発話者によっては異なる韻律特徴を持つことが確認されている。顔表情も同様である。これらのことが、不特定話者に対する感情認識が困難になる要因となっている。本計画では、重要度重付きなどの転移学習の概念と感情クラスの細分化の技術を融合することにより、個人差の影響を受けにくい感情認識アルゴリ

ズムを提案した。

インタラクションによる感情遷移の性格付け：ロボットが対人のインタラクションに応じて独自の個性を獲得することは、人間のロボットに対する感情移入度を向上させると考えられる。本計画では、個性を決定付ける要因として「性格」に着目し、サイモンズの養育態度尺度と対人感情の心理モデルを基に、ユーザの行動選択傾向からロボットの性格付けを行う手法を提案した。

人間とロボットのインタラクションの枠組み提案：本研究で開発した機能を有するロボットと人間の望ましいインタラクション枠組みを模索した。

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28件)

1. 宮越喜浩, 加藤昇平, 重み付き学習ベイジアンネットワークを用いた欠損値補完手法, 電気学会論文誌, Vol. 132-C, No. 2, pp. 299-305, 2012.2, 審査有
2. 伊藤雄哉, 山西良典, 加藤昇平, 音楽ゆらぎ特徴を用いた楽曲印象の推定, 日本音響学会誌, Vol. 68, No. 1, pp. 11-18, 2012.1, 審査有
3. 加藤昇平, 遠藤英俊, 鈴木祐太, 課題実行時 fNIRS 脳機能計測データのベイジアンマイニングに基づく認知機能障害の3群判別, 人工知能学会論文誌, Vol. 27, No. 2, pp. 28-33, 2012.1 審査有
4. 豊田薫, 宮越喜浩, 山西良典, 加藤昇平, 発話状態時間長に着目した対話雰囲気推定, 人工知能学会論文誌, Vol. 27, No. 2, pp. 16-21, 2012.1 審査有
5. 伊藤雄哉, 山西良典, 加藤昇平, 伊藤英則, 楽曲に対する感性評価と音響ゆらぎ特徴との対応付け, 日本感性工学会論文誌, Vol. 10, No. 3, pp. 341-348, 2011.6, 審査有
6. 増田 恵, 加藤昇平, 伊藤英則, ラバン理論に基づいたヒューマンフォームロボットの身体動作の動作特徴抽出と表出感情推定, 日本感性工学会論文誌, Vol. 10, No. 2, pp. 295-303, 2011.3, 査読有
7. 奥澤悠樹, 加藤昇平, 加納政芳, 伊藤英則, 運動の知識化に基づく模倣ロボットの運動認識と応用生成, 電気学会論文誌, Vol. 131-C, No. 3, pp. 655-663, 2011.3, 審査有
8. 加藤昇平, 鈴木祐太, 小林朗子, 小島敏昭, 伊藤英則, 本間昭, 高齢者音声韻律特徴を用いたHDS-Rスコアとの相関分析 - 音声を用いた認知症の早期スクリーニングをめ

- ざして -, 人工知能学会論文誌, Vol. 26, No. 2, pp. 347-352, 2011.1, 審査有
9. 石田稔, 加藤昇平, 加納政芳, 伊藤英則, 関節制御の多重動的受動化を用いた二足ロボットの歩容生成, 電気学会論文誌, Vol. 130-C, No. 12, pp. 2124-2134, 2010.12, 審査有
 10. 山西良典, 加藤昇平, 国立勉, 伊藤英則, Effect on EEGs When Listening to Harmony, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, Vol.13, No. 4, pp. 366-372, 2009.7, 審査有
 11. 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.
 12. 趙章植, 加藤昇平, 伊藤英則, ペイジ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.

[学会発表] (計 134 件)

1. Shohei Kato, Hidetoshi Endo, Yuta Suzuki, Bayesian-Based Early Detection of Cognitive Impairment in Elderly Using fNIRS Signals during Cognitive Tests, International Joint Conference on Biomedical Engineering Systems and Technologies, pp. 118-124, 2012.2.1, Algarve, Portugal, 審査有
2. Yohei Fujita, Atsuko Mutoh, Shohei Kato, Birdsong Acquisition Model by Sexual Selection Focused on Habitat Density, Lecture Notes in Artificial Intelligence Vol. 7106 (AI2011: Advance in Artificial Intelligence), pp. 687-696, 2011.12.5, Perth, Australia, 審査有
3. Akinori Wakabayashi, Satona Motomura, Shohei Kato, Communicative Humanoid Robot Control System Reflecting Human Body Movement, 2011 International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science, pp. 122-127, 2011.11.6, Nagoya, 審査有
4. Ryosuke Yamanishi, Yuya Ito, Shohei Kato, Automated Song Selection System Complying with Emotional Requests, Lecture Notes in Computer Science Vol. 6972 (Entertainment Computing -ICEC2011), pp. 367-370, 2011.10.5, Vancouver, Canada, 審査有
5. Jangsik Cho, Shohei Kato, Probabilistic Pairwise Classification using Selective Tree Augmented Naive Bayes, 12th International Symposium on Advanced Intelligent Systems, pp. 291-294, 2011.9.28, Suwon, Korea, 審

査有

6. Kaoru Toyoda, Ryosuke Yamanishi, Shohei Kato, Song Selection System with Affective Requests, 12th International Symposium on Advanced Intelligent Systems, pp. 462-465, 2011.9.28, Suwon, Korea, 審査有
7. Jangsik Cho, Shohei Kato, Detecting Emotion from Voice using Selective Bayesian Pairwise Classifiers, IEEE Symposium on Computers & Informatics, pp. 90-95, 2011.3.21, Kuala Lumpur, Malaysia, 審査有
8. Yoshihiro Miyakosi, Shohei Kato, Facial Emotion Detection Considering Partial Occlusion of Face Using Bayesian Network, IEEE Symposium on Computers & Informatics, pp. 96-101, 2011.3.21, Kuala Lumpur, Malaysia, 審査有
9. Shohei Kato, Yuta Suzuki, Akiko Kobayashi, Toshiaki Kojima, Hidenori Itoh, Akira Homma, Statistical Analysis of the Signal and Prosodic Sign of Cognitive Impairment in Elderly-Speech: A Preliminary Study, 4th International Joint Conference on Biomedical Engineering Systems and Technologies, pp. 332-337, 2011.1.27, Roma, Italy (審査有)
10. Megumi Masuda, Shohei Kato, Motion Rendering System for Emotion Expression of Human Form Robots Based on Laban Movement Analysis, The 19th IEEE International Symposium in Robot and Human Interactive Communication (Ro-Man2010), pp. 344-349, 2010.9.14, Viareggio, Italy, 審査有
11. Ryosuke Yamanishi, Keisuke Akita, Shohei Kato, Automated Composing System for Sub-melody Using MHH: a support system for composing music, The 9th International Conference on Entertainment Computing (ICEC2010), pp. 425-427, 2010.9.10, Seoul, Korea, 審査有
12. Megumi Masuda, Shohei Kato, Hidenori ITOH, A Laban-Based Approach to Emotion Rendering for Human-Robot Interaction, The 9th International Conference on Entertainment Computing (ICEC2010), pp. 372-380, 2010.9.10, Seoul, Korea, 審査有
13. Satona Motomura, Shohei Kato, Hidenori ITOH, Generating Association-Based Motion through Human-Robot Interaction, Lecture Notes in Artificial Intelligence, Vol. 5925 (The 12th International Conference on Principles of Practice in Multi-Agent Systems), pp. 389-402, 2009.12.16, Nagoya, 審査有
14. Takanori Hayashi, Shohei Kato, Hidenori ITOH, A Synchronous Model of Mental Rhythm Using Paralanguage for Communication Robots, Lecture Notes in

- Artificial Intelligence, Vol. 5925 (The 12th International Conference on Principles of Practice in Multi-Agent Systems), pp. 376-388, 2009.12.16, Nagoya, 審査有
15. Megumi Masuda, Shohei Kato, Hidenori ITOH, Emotion Detection from Body Motion of Human Form Robot Based on Laban Movement Analysis, Lecture Notes in Artificial Intelligence, Vol. 5925 (The 12th International Conference on Principles of Practice in Multi-Agent Systems), pp. 322-334, 2009.12.14, Nagoya, 審査有
 16. Shohei Kato, Sachio Hanya, Akiko Kobayashi, Toshiaki Kojima, Hidenori Itoh, Akira Homma, Effectiveness of Speech Prosody for Early Detection of Cognitive Impairment in the Elderly: A Preliminary Study, The International Symposium on Early Detection and Rehabilitation Technology of Dementia (DRD2009), pp. 129-132, 2009.12.12, Okayama, 審査有
 17. Chika ITOH, Shohei Kato, Hidenori ITOH, Mood-transition-based Emotion Generation Model for the Robot's Personality, IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC209), pp. 2957-2962, 2009.10.13, TX, USA, 審査有
 18. Jangsik CHO, Shohei Kato, Hidenori ITOH, Comparison of Sensibilities of Japanese and Koreans in Recognizing Emotions from Speech by using Bayesian Networks, IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC209), pp. 2945-2950, 2009.10.13, TX, USA, 審査有
 19. 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, 2008.12.18, Hanoi, Vietnam, 審査有

[図書] (計 4 件)

1. Shohei Kato, Minoru Ishida, Intech, Biped Robots (chap. 11), 322 pages, 2011
2. Shohei Kato, Sachio Hanya, Akiko Kobayashi, Toshiaki Kojima, Hidenori Itoh, Akira Homma, IGI-global, Early Detection and Rehabilitation Technologies for Dementia: Neuroscience and Biomedical Applications (Chap 24), 480 pages, 2011

[産業財産権]

○出願状況 (計 2 件)

名称: 認知機能障害危険度算出装置, 認知機能障害危険度算出システム, 及びプログラム

発明者: 加藤昇平, 小林朗子, 小島敏昭, 伊藤英則, 本間昭

権利者: 名古屋工業大学, イフコム, 本間 昭

種類: 日本国特許

番号: 特願 2010-134403

出願年月日: 2010. 6. 11

国内外の別: 国内特許

名称: 認知機能障害判別装置, 認知機能障害判別システム, およびプログラム

発明者: 加藤昇平, 遠藤英俊

権利者: 名古屋工業大学

種類: 日本国特許

番号: 特願 2011-121241

出願年月日: 2011. 5. 31

国内外の別: 国内特許

○取得状況 (計 2 件)

名称: sound generation method, computer-readable storage medium, stand-alone type sound generation/reproduction device, and network distribution type sound generation/reproduction system

発明者: 伊藤英則, 加藤昇平, 水野雅紀

権利者: 同上

種類: 大韓民国特許

番号: Patent No. 10-0971858

取得年月日: 2010. 7. 15

国内外の別: 外国特許

名称: 認知機能障害危険度算出装置, 認知機能障害危険度算出システム, 及びプログラム

発明者: 加藤昇平, 小林朗子, 小島敏昭, 伊藤英則, 本間昭

権利者: 名古屋工業大学, イフコム, 本間 昭

種類: 日本国特許

番号: 特許第 4876207

取得年月日: 2011. 12. 9

国内外の別: 国内特許

[その他]

ホームページ等

<http://www.katolab.nitech.ac.jp>

6. 研究組織

(1)研究代表者

加藤昇平 (KATO SHOHEI)

名古屋工業大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号: 70311032