

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 9 月 18 日現在

機関番号：13102

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2012～2014

課題番号：24300084

研究課題名(和文) アフェクティブインターフェースを用いた光スマートセンシング技術の開発

研究課題名(英文) On the Development of Optical Smart Sensing Technology with an Affective Interface

研究代表者

中川 匡弘 (Nakagawa, Masahiro)

長岡技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：60155687

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究においては、ヒト脳ダイナミズムの光計測に基づいた脳機能計測システムの開発を基軸とし、そのカオス・フラクタル性の観点から脳機能を工学的に究明し、利用者の感性・意思を読み取り、スマート制御に活用する感性志向型光スマートセンシング技術の開発を通して、QoLの向上に供する基盤技術を確立する。また、本研究で提案する近赤外・脳波同時計測で得られる生体信号をカオス・フラクタル解析し、感性・意思情報を同時に抽出するアフェクティブインターフェース技術は、これまで国内外を通じて報告されておらず、本申請課題は融合研究としての大きな特色を有しており、また、その遂行・達成意義は極めて高い。

研究成果の概要(英文)：In this research, we shall investigate the human brain functions on the basis of the near-infrared spectroscopy in terms of chaos and fractal properties of the corresponding physiological signals. In addition our interests are devoted to an integrated human interface related to sensibility as well as intention, which are considered to be under progress to be developed in the state of the art in this discipline.

研究分野：感性情報工学

キーワード：カオス フラクタル 脳 近赤外分光 感性 アフェクティブ インターフェース ロボット

## 1. 研究開始当初の背景

現代の科学技術の進展により高度な物質開発システムが生産され、その結果大量生産多量消費型産業社会が創り出され、多くの人々がその恩恵に浴してきた。また、地球温暖化や資源問題などを背景として、世界中で地球環境に配慮した持続可能な社会システムの構築への関心が高まっている。とりわけ、ICT(情報通信技術)を利用し効率的なエネルギーや資源利用を目指す都市づくり「スマートシティ」や家づくり「スマートエコハウス」等の様々な取組みが世界各国で進みつつある。こうした中、今年3月に東日本大震災により東京電力福島第一原子力発電所の事故が発生を受けて、被災者のメンタルケアを含めヒトのココロを計測し、QoLの向上に資する未来技術が渴望されている。しかしながら、エネルギー・環境問題の克服と共に、真に成熟した**安全・安心・快適・健康な持続型社会を実現**するため、“**脳機能ダイナミズムの解明(自然科学)**”と“**感性豊かで快適な持続可能社会(人文社会科学)**”の有機的融合技術の創出は、21世紀の研究者・技術者が取り組むべき重要な**異分野融合型課題**であり、その本質的なソリューションが望まれている。このような融合技術創製の観点から、申請者の研究グループは、脳波やヘモダイナミクスの生体計測により得られる生体信号波形に潜在する**複雑性に注目した新規な感性情報計測手法(2011年第63回新潟日報文化賞受賞(産業技術部門)、2011年第5回モノづくり連携大賞受賞、2011年ニッポンの稼げる技術100に選定(日経ビジネス,2011年10月10日)、NHK爆問学問(ニッポンの教養)(どんなココロもお見通し:2011年3月1日放送)他)**を提案し、フラクタル次元という普遍的な尺度で脳の活性に係る時空間ダイナミクスの研究を進めてきた。さらに、喜怒哀楽といった感情(浅い感性)のみならず、ストレスや軽快感、清涼感、安心感といった高次感性(深い感性)を計測し、**意思と感性を統合したブレインマシンインターフェースとしての次世代のアフェクティブインターフェースの技術開発に挑戦している**。また、申請者はヒトの脳内の分散記憶をモデル化し、シナプティックニューラルネットを拡張した多重連想型連想モデルを提案しており、従来困難であったOne to Manyの連想が可能な新規分散記憶モデルを構築(“A Circularly Connected Synergetic Neural Network”: M. Nakagawa, IEICE Trans. on Fundamentals, Vol.E83-A No.5 (2000)pp.909-922.他)しており、1つのキー情報(利用者のリクエスト)の入力により(アフェクティブ制御対象が)関連する複数の記憶情報を連想想起することを可能とする。このような技術は、例えば、高齢者が“新聞”を持ってくるようにロボットに指示した場合、ロボットは、単に新聞を取ってくるだけでなく、関連して必要となるであろう“老眼鏡”や“お茶”…にも

気配りできるようにするための基盤技術であり、さらに、カオスダイナミクスと融合することにより、ヒトの動的連想や思考ダイナミズムを具現化し、より安心・安全・快適な生活を提供する、**アフェクティブインターフェースを用いた感性指志向型光スマートセンシング技術**の実用化が期待される。

## 2. 研究の目的

本申請課題においては、フラクタル解析の時間分解能を向上させた新規フラクタル次元解析手法により、**ヒト脳ダイナミズムの非侵襲計測に基づいた感性・意思情報計測システムの開発とその具体的な応用として、アフェクティブインターフェースにバイオフィードバック機能を加えた、新規光スマートセンシング技術の開発に焦点を合わせる**。具体的には、フラクショナル微積分を併用した新規な最尤推定法によるフラクタル感性計測手法(“カオス・フラクタル感性情報工学”(2010,日刊工業新聞出版):中川匡弘,“光トポグラフィによる感性情報解析”:松下晋,中川匡弘,電子情報通信学会論文誌 A, Vol.J88, No.8(2005)pp.994-1001.脳機能計測装置:2007年3月30日特許取得第3933568号(レイティング A,パテントスコア 68.1(全国の300万余件の特許中上位3%以内の重要特許と査定されている)(:2007年(株)IPB調べ)他)を発展的に融合させた**多重連想型アフェクティブインターフェースを開発することにより、近赤外分光法を用いた光スマートセンシング技術**を創製する。

## 3. 研究の方法

【平成24年度】

初年度は、多チャンネルヘモダイダイナミクスのカオス・フラクタル性の高精度な抽出技術の確立、ならびに、多チャンネルデータの収集装置とヒトの感性に係る脳活性部位と発生メカニズム解明のための可搬型(総重量:1kg以下)の**近赤外分光感性・意思情報計測システムの開発**を主たる目的とし研究を進めた。具体的には、22Chの近赤外分光計測(WOT-220)で感性計測技術を構築した。ただし、多チャンネル(最大22Chで16bitsを想定)高速の専用A/D変換ボードを搭載した制御ボックスのため、専用の入出力プログラムをハードウェア記述言語(HDL)で開発した。さらに、全頭型近赤外分光装置(日立製作所:ETG-100,現有設備)で光学的に補完的計測を実施することにより、高次感性(深い感性)ならびに、意思情報(例えば、車椅子の方向制御)の計測精度補償を行った。

【平成25年度】

初年度の成果に基づき、喜怒哀楽といった比較的浅い感性(感情)に加えて、“心地よさ”や“安心感”、“くつろぎ感”、“不快感”、“緊張

感”，“疲労感”あるいは，“ストレス”等の比較的高次の感性解析をはじめ，睡眠時を含めた長時間に亘り非拘束で計測・弁別・処理するために，初年度で完成した光アフェクティブ計測技術を補完（クロスチェック意味も含む）する筋電等のアーティファクト除去技術を確立するため，可搬性の装置を併用した計測システムを創製し，また，ポリグラフとスリープアプニユニットによる可搬型アフェクティブインターフェースを構築した。さらに，ヘモダイナミクス of 学習・予測に適したカオスリカレントニューラルネットとの融合技術により，被介護者の気持ちや感性を汲み取り，さらにその感性を学習・予測し，スマート制御における最適な選択肢を自律的に決定し得る“感性志向型光スマートセンシング”の基盤要素技術を構築する。さらに，カオスリカレントニューラルネットを用いた予測型バイオフィードバック効果の解明を行い，ヒトのココロを豊かにし，グローバル化産業社会に埋没しないモノづくりの基軸となる，感性・安心・健康を付加価値とした製品開発のための光スマートセンシング技術を開発した。

#### 【平成 26 年度】

臨床実験の一環として，ビデオ記録装置を用いて，覚醒時のみならず睡眠中を含む長時間に亘る脳活動に関するカオス・フラクタル解析を進めると共に，学習部分のユニットであるリカレントカオスニューラルネットのハードウェア化を試みる。さらに，カオス性の尺度であるリアプノフスペクトルを特徴量として導入し，小型・軽量化を含めさらに完成度（分離能力，汎化能力，汎用性，信頼性）の高い感性計測装置を目指す。また，申請者はこれまでの予備研究で，RT-Linux を用いたリアルタイムのロボットや車椅子制御技術を開発（ニッポンの稼げる技術 100 に選定，日経ビジネス 2011 年 10 月 10 日）しており，5 動作（右拳手，左拳手，両拳手，歩行，静止）で 80% 以上のリアルタイム計測・動作を可能としている。そこで，最終年度では，25 年度に開発したリカレント NN の感性学習・予測システムからの出力をアフェクティブインターフェースへのバイオフィードバック信号として用いることにより，感性志向型スマートセンシング技術を構築した。さらに，このような技術の発展として，安心・健康関係の技術だけではなく，高齢者の介護・生活支援も含め，利用者の QoL を向上し，感性を豊かにする，ココロ通じる感性志向型光スマートセンシング技術の開発に成功した。具体的には，下の図 10 に例示するように，アフェクティブインターフェースを活用して感性志向型光スマートセンシングのための基盤技術を創製した。

本研究の結果，EFAM と ENIAS の両技術の長所を融合した次世代アフェクティブインターフェースに基づいた光電融合型の汎用性に富んだスマートセンシング技術が開発され，感情・感性の計測において，ヘモダイナミクス（光）と脳波（電気）の併用による相互補完性が確認された。

具体的には，第一に多チャンネル脳波・ヘモダイナミクスのカオス・フラクタル性の高精度な抽出方法の確立を行った。感性と測定部位の関連性の調査のため，時々刻々と変動するヘモダイナミクスのデータ解析精度を向上させるため高速なデータサンプリング周波数 667Hz（既存設備の約 10 倍の時間分解能）が可能な近赤外分光装置（LABNIRS：島津製作所製）を新たに導入した。また，脳波の取得に関しても同様に，データ解析精度をさらに向上させるため高速なデータサンプリング周波数 8kHz が可能な脳波計測装置も活用した。その結果，生体信号の特徴抽出に用いるマルチフラクタル解析の推定精度が実用的レベルまで向上し，さらに，実用レベルを実現するために必要な感性と計測部位のチャンネル数の絞り込みに成功した。チャンネル数を前頭葉の 2ch のみに絞り込んでも必要十分な実用化レベルでの感性計測が可能となった。

さらに，因子分析の結果，チャンネル数の削減が可能であることが判明したことを受け，さらに QoL の向上に資する高次感性計測技術の実現に向け，“心地良さ”や“安心感”，“くつろぎ感”，“不快感”，“緊張感”，“疲労感”あるいは“ストレス”といった比較的高次の認知・感性解析，睡眠時を含めた長時間の非拘束での計測・弁別・処理するための，筋電等のアーティファクト除去技術を確立するため，可搬性の装置を併用した光電融合型の統合スマートセンシング技術を実装した光電融合型スマートセンシング技術を開発した。計測箇所を前頭葉の 4ch に絞りこみ，かつ最少の資源でシステムを構成することで可搬性を実現することとした。具体的には，計測可能チャンネル数が最大 8ch のみに限定された小型脳波計測装置を新たに導入，また，既存設備である小型近赤外分光計測装置（既存設備：HOT121B，日立製作所）を活用し，脳波・光トポグラフィ同時計測用プロトタイプ機を試作した。これをプロトタイプ型ニューロトランスミッターと呼ぶ。

本プロトタイプ型スマートセンサーを用いて，安静，集中，怒り，喜びの 4 感性について光電同時計測による性能を評価した結果，それぞれ，100，98.4，70.0，86.8% の非常に高い感性識別率が得られた。以上より，必要最小限の計測チャンネル数に絞ることで，高い感性識別率を維持したまま，可搬型で汎用性のある光電融合型スマートセンシングシステムの開発に成功した。

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 15 件) 全て査読有り

- 1)大橋正 神保直樹, 篠崎亮, 中川匡弘:心拍変動と心電図のカオス解析に基づいた感性状態分類, 電子情報通信学会論文誌 基礎・境界ソサイエティ, Vol.J97-A,No.7(2014)pp.538-552.
- 2)中川匡弘:脳波のフラクタル解析による咀嚼効果の評価 “官能評価用ノウハウ・感覚の定量化・数値化手法”pp.304-309 技術情報協会(2014)
- 3)中川匡弘 脳波のフラクタル解析に基づいた感性製品開発 消費者インサイト(感情)を見つけ出し活用する方法～調査手法, 具体的手順とポイント～ pp.187-190 技術情報協会(2014)
- 4)川副智行, 中川匡弘:脳波解析を用いたスキンケア化粧品使用時の感性変化;コスメティックスステージvol8,No.1(2013)pp.40-44
- 5)中川匡弘:世の中のニーズを肌で感じる,産学官連携ジャーナル Vol.9, No.8 pp.31-32(2013)
- 6)大橋正, 中川匡弘,”線形回帰に基づいたエネルギー保存系におけるラグランジュ関数推定法,”電子情報通信学会論文誌,A, VolJ96-A,No.2, pp.75-89(2013)
- 7)中川匡弘 脳波のフラクタル解析を利用した感性志向型製品開発 ,Fragrance Journal,No.7 pp58-65(2013)
- 8)土生智恵美, 山元ひろみ, 宮澤清, 佐瀬匠, 中川匡弘:パンティライナーに求められる香り(～感性フラクタル解析手法を使って～) Aroma Research No.49 (Vol.13) pp.21-25(2012)
- 9)佐瀬匠, 中川匡弘:嗅覚と感性 Aroma Research No.49(Vol.13,No.1)pp.16-20(2012)
- 10)丸山貴司, 笹本裕美, 荒川尚美, 川副智行, 中川匡弘,”脳波のフラクタル性を用いた感性推定精度の向上に関する研究,”電子情報通信学会, Vol.95-A, No.4, pp.343-356(2012).

11)丸山貴司, 中川匡弘:“ヒト脳波のイメージタスクに対する周波数成分の変化”, ”電子情報通信学会, Vol.95-D, No.6, pp.1410-1420, 2012.

12)橋本公男, 中川匡弘:脳波解析技術を応用した清涼感の定量的感性測定, 日皮協ジャーナル第 67 号 February,pp.101-107(2012)

13)丸山貴司, 中川匡弘:脳波の高周波帯に着目した感性スペクトル解析手法

電子情報通信学会 レター J95-A,No.9 ,pp.716-719(2012)

14) 中川匡弘:脳波のフラクタル解析に基づいた嗅覚感性の計測、AROMA RESEARCH No.52(Vo.13,N0.4) pp.32-39(2012)

15)丸山貴司, 橋本公男, 上田俊吾, 中川匡弘:脳波のフラクタル次元を用いた感性解析～爽快系シャンプー使用時の検討～、日本知能情報ファジイ学会 Vol.24,N0.6,pp.1137-1153(2012)

[学会発表] (計 25 件)

- [1]池田将士, 近藤竹雄, 中川匡弘, 脳波とヘモダイナミズムの相関性に着目した解析手法の提案, IEICE-MBE2013-58, pp. 125-130, 2013. (新潟大学 駅南キャンパス ときめいと)
- [2]渡會慶次, 近藤竹雄, 中川匡弘, “フラクタル次元解析による視覚刺激の判別”, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 113, No. 222, pp. 89-94, 2013(新潟大学 駅南キャンパス ときめいと)
- [3]清水正大, 中川匡弘, 生体情報計測に基づいた 3DTV 視聴時の感性計測, 信学技報(IEICE Technical Report), Vol. 113, No. 222, pp. 13, pp. 16, 2013 年, (新潟大学 駅南キャンパス ときめいと)
- [4]武田美咲, 中川匡弘, “クラシック音楽を聴いた時の脳活動とそのクロスモダリティに関する研究”, 電子情報通信学会研究報告, vol. 113, no. 222, pp. 101-105, 2013, (新潟大学 駅南キャンパス ときめいと)
- [5]齋藤諒太, 中川匡弘, 「脳波のフラクタル性を利用した BCI へのドライ電極導入評価」, 信学技報, 113 巻, 222

- 号, 83p-88p, 2013年(新潟大学 駅南キャンパス ときめいと)
- [6] 六ヶ所洋平, 中川匡弘, “脳波の複数の帯域に注目した感性フラクタル解析手法 (Emotion Fractal Analysis Method : EFAM) の提案,” 信学技法 MBE2013-53 NC2013-39, pp. 95-100, 2013(新潟大学 駅南キャンパス ときめいと)
- [7] 渡會慶次, 中川匡弘, “BCI への応用を目的とした視覚刺激に対する脳波の周波数応答とフラクタル解析の試み”, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 113, No. 501, pp. 107-112, 2014, (東京大学本郷 キャンパス)
- [8] 清水正大, 六ヶ所洋平, 中川匡弘, “ヘモダイナミズム及び脳波計測による感性解析の簡易化に向けた検討, 信学技報 (IEICE Technical Report), Vol. 113, No. 501, pp. 83, pp. 87, 2014年, (東京大学本郷 キャンパス)
- [9] 武田美咲, 中川匡弘, “NIRS を用いた共感度の定量化に関する研究”, 電子情報通信学会研究報告, vol. 113, no. 501, pp. 41-46, 2014, (東京大学本郷 キャンパス)
- [10] 齋藤諒太, 中川匡弘, “脳波・脳血流同時計測インターフェースのハードウェア開発”, 信学技報, 113 巻, 501 号, 123p-128p, 2014年(東京大学本郷 キャンパス)
- [11] 池田将士, 中川匡弘, 計算タスクにおける正答率と脳波のフラクタル性の関係について, 平成 25 年度信越支部大会, 7D-1, 120, 2013(長岡技術科学大学)
- [12] 渡會慶次, 中川匡弘, “短時間視覚刺激における事象関連電位検出とフラクタル次元解析の検討”, 電子情報通信学会信越支部大会, 7C-1, Nov. 2013, (長岡技術科学大学)
- [13] 清水正大, 中川匡弘, 多数決型の感性近赤外光解析法 (Emotion Near Infrared Analysis System : ENIAS) の検討, 電子情報通信学会信越支部大会 IEEE 信越支部セッション 平成 25 年 講演論文集, pp. 108, 2013年, (長岡技術科学大学)
- [14] 武田美咲, 中川匡弘, “クラシック音楽を聴いた時の視覚と聴覚におけるクロスモダリティ”, 電子情報通信学会信越支部大会, 7C-2, Nov. 2013, (長岡技術科学大学).
- [15] 齋藤諒太, 中川匡弘, “脳波のフラクタル性を利用した BCI へのドライ電極の適用”, 電子情報通信学会信学支部大会 IEEE 信越支部セッション講演論文集, 122p, 2013年(長岡技術科学大学)
- [16] 六ヶ所洋平, 中川匡弘, “感性フラクタル解析手法 (Emotion Fractal Analysis Method : EFAM) におけるフラクタル次元推定に関する考察,” 平成 25 年度 電子情報通信学会信越支部大会 IEEE 信越支部セッション 講演論文集, pp. 121, 2013(長岡技術科学大学)
- [17] ウォンキンイン, 中川匡弘, GPU によるカオス解析の高速化に関する研究, 平成 25 年度電気電子情報通信学会信越支部大会講演論文集, p. 1, 2013-10-05(長岡技術科学大学)
- [18] 高橋広樹, 中川匡弘: 脳波のアーティファクト除去に関する研究, 平成 25 年度 電子情報通信学会信越支部大会講演論文集, p110, 2013(長岡技術科学大学)
- [19] 多田周作, 中川匡弘: 脳ダイナミクスのフラクタル性を用いたブレインアフェクティブインターフェースに関する基礎研究, 平成 25 年度電気電子情報通信学会信越支部大会講演論文集, p. 109, 2013-10-05(長岡技術科学大学)
- [20] 佐久間平輝, 中川匡弘: 可聴帯域を超えた聴覚刺激に対する感性計測, 第 16 回感性工学会大会 (2014) (中央大学)
- [21] 佐久間平輝, 中川匡弘: ガム咀嚼による集中への効果について, 第 16 回感性工学会大会 (2014) (中央大学)
- [22] 町田幸平, 中川匡弘: 脳波のフラクタル性に基づいたひらめき検出, 第 16 回感性工学会大会 (2014) (中央大学)
- [23] 清水健市, 中川匡弘: 前腕の筋電のフラクタル次元と感性計測による疲労感に関する研究 第 16 回感性工学会大会 (2014) (中央大学)
- [24] 佐久間平輝, 中川匡弘: 脳波解析に基づいた超可聴音源の感性計測, 第 10 回感性工学会春季大会 (京都女子大学)
- [25] 高橋広樹, 多田周作, ウォンキンイン, 中川匡弘, 岡田和也, 栗原信, 戸倉藍: 脳波のフラクタル解析に基づいた飲料の感性評価法 (京都女子大学)

[図書] (計 1 件)

中川匡弘他:次世代ヒューマンインターフェー  
ス NTS pp.355-380(2013)

[産業財産権]

○出願状況 (計 2 件)

名称:洞察力発揮状態判定装置及び洞察力発  
揮状態判定方法  
発明者:中川匡弘他  
権利者:長岡技術科学大学  
種類:特許  
番号:2014-102395号  
出願年月日:2014年5月16日  
国内外の別:国内

名称:感性状態判定装置、感性状態判定方法  
及び感性状態判定用コンピュータプログラ  
ム  
発明者:中川匡弘他  
権利者:長岡技術科学大学  
種類:特許  
番号:2013-138216号  
出願年月日:2013年7月1日  
国内外の別:国内

○取得状況 (計 4 件)

名称:Emotion State Det  
ermining Method  
発明者:中川匡弘  
権利者:長岡技術科学大学  
種類:特許  
番号:US 8571646B2  
出願年月日:2010年2月12日  
取得年月日:2013年10月29日  
国内外の別:国外

名称:感性状態判定装置  
発明者:中川匡弘  
権利者:長岡技術科学大学  
種類:特許  
番号:5448199号  
出願年月日:2010年2月12日  
取得年月日:2014年1月10日  
国内外の別:国内  
出願日 22年2月12日  
登録日 26年1月10日  
国内外の別:国内

名称:環境負荷濃度変化測定装置  
発明者:中川匡弘  
権利者:長岡技術科学大学  
種類:特許  
番号:5403575号  
出願年月日:2008年1月25日  
取得年月日:2013年11月8日  
国内外の別:国内

名称:眠気判定装置  
発明者:中川匡弘  
権利者:長岡技術科学大学  
種類:特許  
番号:5411653号  
出願年月日:2009年10月16日  
取得年月日:2013年11月15日  
国内外の別:国内

[その他]

ホームページ等  
<http://pelican.nagaokaut.ac.jp>

6. 研究組織

(1)研究代表者  
中川匡弘 (NAKAGAWA Masahiro )  
長岡技術科学大学  
工学部  
教授  
研究者番号:60155687

(2)研究分担者  
( )

研究者番号:

(3)連携研究者  
( )

研究者番号: