

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 11 日現在

機関番号：17104

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24650107

研究課題名(和文)脳型リズムベース回路を用いたウェアラブルデバイスの適応的自律支援

研究課題名(英文)A fundamental study on the adaptive assistive technology based on brain-inspired systems from the viewpoint of wearable devices and social interactions

研究代表者

我妻 広明 (Wagatsuma, Hiroaki)

九州工業大学・生命体工学研究科(研究院)・准教授

研究者番号：60392180

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円、(間接経費) 870,000円

研究成果の概要(和文)：本課題では、脳型技術をもとに脳身体の状態計測と連動し適応的な知的処理を行う装着型機器開発についての萌芽的研究を推進した。主な研究成果は、脳活動状態推定としてBCIの定常状態視覚誘発電位(SSVEP)のシステム開発、図地分離・アフォーダンス・情動誘起に影響されて変化する人認知の視線追尾による解析、脳波-眼電位混在の生体計測データから両者を分離するMCAの検討である。特に人工図形と自然画像に対する視線追尾反応については、高齢者うつ・認知症ケアのための園芸療法へ本技術が応用可能であることが示唆され、使用者の特性と状況に合わせた支援をウェアラブルデバイスに実装するための要素技術が得られた。

研究成果の概要(英文)：We focused on a spontaneous perception-action cycle in the human daily activity, as a clue to design a wearable device that cooperatively assists the activity by showing information on demand. As a fundamental study on such adaptive assistive technology, motivations to external objects, human counterparts and social communications were analyzed through eye tracking experiments that we designed from an inspiration from the Horticultural Therapy. The result revealed a significant difference between cases with artificial objects and natural scenes, which may help to know the human brain activity on visual attention and emotional bias. In addition, we built a BCI-based EEG stimulus presentation system and analyzed a possible application for EEG-EOG data segregation.

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：Brain-IS技術 分類・記憶・判断 ブレイン・マシン・インタフェース 定常状態視覚誘発電位 図地分離 アフォーダンス 情動誘起による選択方向付け 脳波EEG-視線追尾EOG

1. 研究開始当初の背景

近年のデバイス集積化技術で電子機器の小型化、省電力化が進み、携帯電話・情報端末(PDA)や頭部装着ディスプレイなどが普及する現代は、SFの近未来像で描かれてきた「ウェアラブルコンピューティング」や「人と機械の融合、サイボーグ」の実現への技術的障壁を着実に解消してきている。一方では、携帯機器の日常生活での利用が様々な社会問題も引き起こす。電車内の携帯電話通話の迷惑行為、運転中の通話による事故誘発、タブレット型端末注視で起こる転倒や衝突行為などはその一例である。デバイス使用に対する慣れや適応性という指摘もあるが、根本的な問題は「人」を理解していない「機械から人へ」の一方向的な機能提供にある。環境や状況に合わせて様々に振り向けるべき注意は、携帯デバイスに局在化し、あるいは注意が不意に奪われることで、ユーザあるいは周辺の人に対する不利益行為が誘発される場合もある。

人は一度に多数の情報提示を受けると混乱し、選択行為を妨げることが知られ、心理学では記憶のマジックナンバー 7 ± 2 [1] と呼ばれる。近年、意識の脳活動や即時的記憶形成の神経機構の研究が進み、中央処理に必要なワーキングメモリの動的リソース配分や選択的注意の影響(グローバル・ワークスペース理論 [2])、 7 ± 2 は脳内の異なるリズム活動の相互作用[3]などの報告がある。そこで、脳内の情報処理機構を反映してデバイス設計することで、人の脳が円滑に処理できる情報の量とタイミングを把握し、ユーザの状況に合わせて情報提示し、分類・記憶・外部参照などの判断の一部を代替して行う「相棒」「秘書」としての能力を実装することが期待された。

本課題研究代表者らはこれまで脳型の情報処理(数理)を工学システムとして実装する Brain-inspired Systems 理論・技術に取り組んでおり、特に脳内のリズム活動に基づく即時性の記憶形成と認知判断のロボット技術を応用して、装着型デバイスに組み込むことが可能と考えられた。その方法論により、変化する現実環境(実社会)で人が生活する中での支援する適応的知的処理のアーキテクチャが構築できる。取り組むべき課題として挙げられたことは、1) 当該脳型アーキテクチャを日常生活における情報提示や情報集約の機能として実装し、人が要求する実時間処理性能を検証する。2) 脳波や筋電位など生体情報計測についてデバイス化する場合の問題点を洗い出し、解決すること。ユーザの情報の許容量(ワーキングメモリ)の推定、現在状況に合わせた情報提示の快適さの評価も課題であった。3) 装着機器のユーザの経験や行動履歴を記憶蓄積し構造化する技術の一部として、嗜好の個人差や行動予測をある程度行い、自律的にインターネット参照し、ユーザが必要とする情報を整理統合す

る技術の検討。脳活動と連動した情報提示のタイミングと個人の履歴の構造化による情報の絞り込み(質)の二つが注目すべき点で、適応的知的装着機器の要件を明らかにすることが求められた。

学術的な特色と意義としては、脳科学—工学融合領域の問題として、人に親和性を持つデバイス開発という具体的課題に取り組むことで、人の意識や注意が環境(社会性)の中でどのように変化するかの特性の解明につながることであった。また本成果は、自動車の安全化技術の人状態特定や、仮想世界に没入するインターネット依存症などへの医学・臨床的側面、そして人—機械インタフェースの将来技術の在り方に有用な知見を与えるものとして期待された。

2. 研究の目的

ゆえに、課題として挙げられた 1) 当該脳型アーキテクチャを日常生活における情報提示や情報集約の機能として実装し、人が要求する実時間処理能力を検証、2) 脳波や筋電位など生体情報計測についてデバイス化する場合の問題点を洗い出し、およびユーザの情報の許容量(ワーキングメモリ)の推定、現在状況に合わせた情報提示の快適さの評価、3) ユーザの経験や行動履歴を記憶蓄積し構造化する枠組み、および嗜好の個人差や行動予測についてのモデル化、ユーザが必要とする情報を整理統合する機能の検討を中心に研究することを本課題の目的とした。

本課題では、「人」を理解する「機械」の設計原理を構築することで、人の脳が円滑に処理できる情報の量とタイミングなどを推定し、ユーザの状況に合わせて情報提示することで、その成果が環境(社会性)の中でどのように人の意識・注意が変化するかの特性解明に取り組んだ。その成果が、自動車運転の安全化技術や、うつや精神状態の推定による臨床心理への貢献につながることで学術的に意味のあるものであった。

3. 研究の方法

嗜好の個人差や行動予測のためのインターネット情報が集約される仕組みは、データマイニングなどの従来技術によってサーバーサイド(サービスの供給側)からの仕組みとしては、ある程度達成されている。一方、個人がインターネット検索するなどの履歴が平均化あるいはパターン化されることでは、ユーザサイドで本質的に必要とする情報を支援することにはならず、解決策としては個人的体験や記憶と関連づけられる必要がある。この認知・記憶過程については、本課題研究代表者らのこれまでの研究成果において、脳型リズムベース回路「海馬シタリズム位相コード理論」(Wagatsuma & Yamaguchi, 2007)から、その脳内過程と工学的実装方法(図1)が提案されている。更なる問題としては、この情報構造が、並列性と

ともに階層性があることが指摘されているが、情報の階層の中でどのレベルから意識に上るような意味単位になるかは未だ不明である。したがって、ウェアラブルシステムとしては、生体の計測情報、例えば脳内リズムなどから、個人の認知の時間単位（ここでは「時間粒度」と呼ぶ）を得て、人の状態特定を実現する基礎技術構築が必要となる。

また、脳内リズムから個人の「時間粒度」を得て、人の状態特定を実現することも有効な方策として考えられているが、これまでヒト脳波の実験は、実験室での固定状況に限定されてきたため、日常生活における脳波の正確な計測（ノイズ除去や不安定性解消）と行動推定に有効な精度の特定は十分でない。動作中においても十分な精度の脳波データ収集可能な技術が求められており、本課題においては、装置の小型化、電極の性能評価以前に、複数の計測技術が併用される中での脳波計測の運用の方法論確立が必要である。

最後に、ユーザサイド、つまり「個人」に本質的に迫る意味で、経験や行動履歴を記憶蓄積し構造化する枠組みを考える上で不可欠な問題は、嗜好の個人差や行動予測についてのモデル化、ユーザが必要とする情報を特定する方法論である。そのためには、環境（社会性）の中でどのように人の意識・注意が変化するかについて、基礎認知実験を含めて、検証する必要がある。

これらの前述の三点において研究を進めた。第一の点は、これまでの基盤があることから理論拡張を図り、第二の点は、脳波を用いた工学技術確立として解くべき問題（Brain-Computer Interface; BCIおよびノイズ除去の問題）に取り組み、第三の点においては、人の意識の顕在化や選択的注意についての基礎実験検証から解明に取り組んだ。

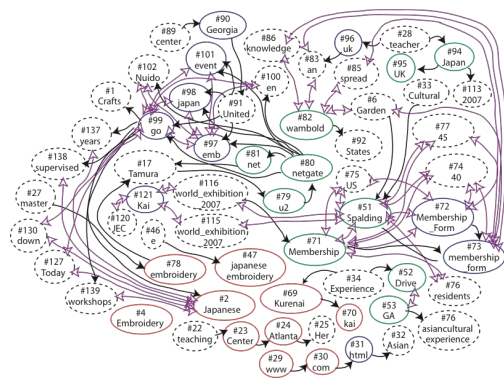


図1. 脳内リズム回路によるインターネット検索情報の構造化 (Dimitrova & Wagatsuma, "Web Agent Design Based on Computational Memory and Brain Research," 2011)

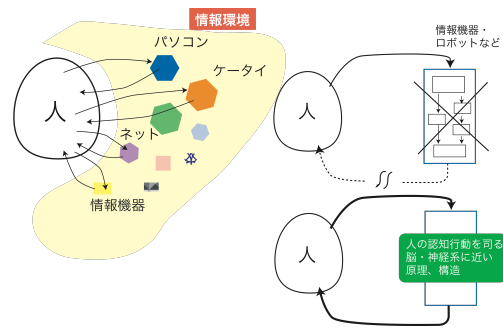


図2. 人の脳・神経系に近い原理や構造をもつシステム実装の必要性 (我妻広明, Brain-inspired systems のリズムベース回路技術にもとづく人親和型デバイス研究開発の現状, DOCMAS-JWEIN 合同秋合宿 2012)

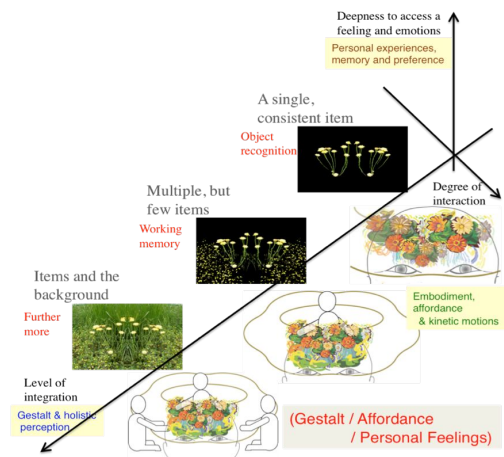


図3. ゲシュタルト認知、アフォーダンス、情動的気づきの三軸仮説 (Ai, Shoji, Wagatsuma, Yasukawa (2014), Structure of Recognition for Natural and Artificial Scenes: Effect of Horticultural Therapy Focusing on Figure-Ground Organization, Advanced Intelligent Systems, Advances in Intelligent Systems and Computing 268, pp.189-196.)

4. 研究成果

第一の点では、従来の工学技術で時間の階層性（粒度）を並列に扱うことは、ともしれば、処理時間の遅延につながり、人と機械の双方向性のあるタイミング同期というシステムは確立できないことに注目し、提案システムでは人の認知行動を司る脳・神経系に近い原理や構造を持つ必要があるというシステムの必要要件を明らかにした〔本研究成果（学会発表）〕。

ことに、連続時間を扱う数理モデルの実装と検証が不可欠であることが示された（図2）。

第二の点においては、脳で観察される波、波などの様々な脳波と記憶・学習過程との関係について研究を進める連携研究者とともに、脳波計測において共同研究を進めた。まず脳波による脳活動状態推定の推定としては、BCIの一手法として、定常状態視覚誘発電位（SSVEP）を誘発させる、フリッ

カー視覚刺激ソフトウェアを完成させた〔研究成果（その他；DBPF データベース登録コンテンツ）〕。この現象は、一定の周波数で変化する刺激を与えることで、大脳皮質視覚野に特定の周波数帯域の集団電位を誘発させるもので、脳内の複雑な経路を経ながらも刺激-反応の因果関係を比較的容易に推定可能にする方法論で、脳・認知科学の基礎実験では、高価な専門刺激提示装置によって行われていた。ここでは、当該刺激提示を一般に用いられる液晶モニタとPC (Windows OS)で、精度の高い刺激が再現できるように Direct X の機能を用いて実現することに成功し、その精度は高速度カメラを用いた検証によって確認された。

次の課題は、第三の点で必要な視線解析を脳波計測と併用するために解決すべき課題で、脳波-眼球運動電位 (EEG-EOG) 混在の生体計測データから両者を分離する必要性であった。この問題については、二種の時系列の特性の差から、Morphological Component Analysis (MCA) が有効であると仮説を立て、検証を進めたが、本研究期間内では解明に至らなかった。今後更なる検証および技術開発を進める。

第三の点である、嗜好の個人差や行動予測にモデル化、生体情報取得については、園芸療法における選択的注意の問題を、具体的な課題として取り組んだ。園芸療法は、高齢者うつ予防的側面から注目されており、同療法の被対象者が、環境の中で、操作対象（植物）、人、集団（関係）について段階的に認知し、関わることで、脳活動の変化が得られることが指摘されている。本研究課題では、段階的に変化する人の認知（脳活動）において、どのような生体情報がその指標となるかについて探求した。我々は、人（脳）の外界把握には、1) ゲシュタルト認知、2) アフォーダンス、3) 情動的気づき（嗜好性）の三軸が存在するものと仮説を立て（図3）、視線追尾の計測によって、その変化を解析した〔本研究成果（雑誌論文 および ）〕。

この仮説は、外界の情報を統合して認知するゲシュタルト認知[4]の考え方に加えて、環境が人に「行為」をどう促すか、環境と道具の影響を言及した J.J. Gibson[5] のアフォーダンスの概念にもとづく生態心理学と、D. Norman[6] によって指摘された情動に誘発されて選択性が変化するデザインの効力、Emotional Design の考え方から発展させたものである。



図4．視線追尾装置を用いた自然画像と人工画像における視線解析とゲシュタルト認知の分析

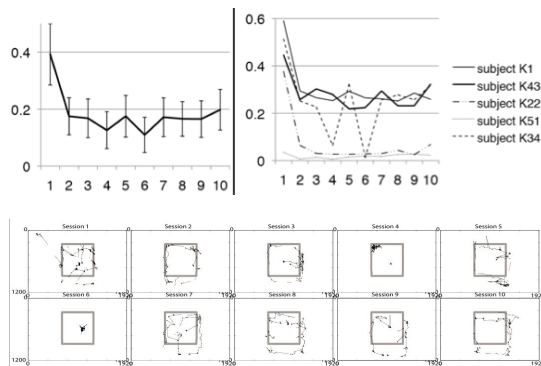


図5．人工図形（ ）の画像刺激に対する視線追尾の傾向。平均的には視線の動きは減衰する。被験者毎の異なる様相としては、ランダム（広範囲検索）特徴注目 ライトレース（線を辿る）の段階に遷移していることが示された。

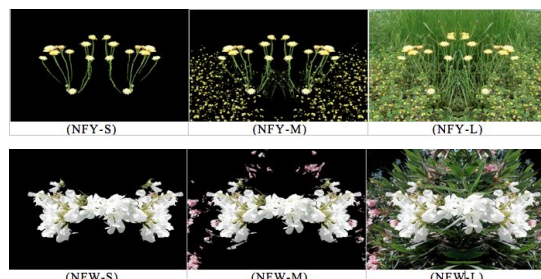


図6．自然画から得られた段階的ゲシュタルト認知の画像刺激セットの例（上段 Natural Flower with Yellow color (NFY)；下段 Natural Flower with White color (NFW)）

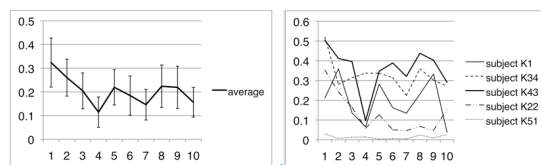


図7．自然画像刺激に対する視線追尾の傾向（NFY-S）

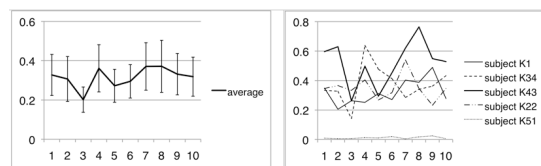


図8．自然画像刺激（NFY-M）に対する視線追尾の傾向

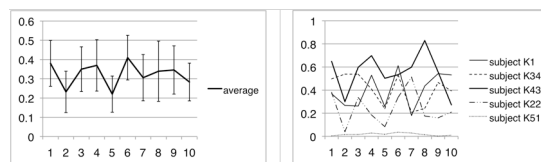


図9．自然画像刺激（NFY-L）に対する視線追尾の傾向

認知実験では、対照実験として人工図形（および ）に対する認知について、視線追尾計測を行った（図4）。人工図形と自然画像から得た段階的ゲシュタルト認知の画像刺激と比較実験を行ったところ、人工図形（図5）の視線変化は、ランダムに呈示されたおよび に対し、全10回の呈示各10秒；画像間の無呈示は5秒）のうち、最初の1,2回に対する視線変化範囲が大きいものの、以後は平坦な傾向が観測された。視線変化の頻度と範囲を興味関心の指標と仮定すると、人工物に対しての興味関心は、新奇性を失うと急速に減退することを示唆し、Kaspar[7]らは、視線変化の頻度と範囲について、人工物、自然物ともに基本的に単調現象を示すと仮説を立て検証したが、彼ら自身の結果における自然画像の視線変化範囲では一旦減少するものの、再び上昇する傾向が表れている。

本研究成果では、そのような自然画像に対する特性に注目し、自然画像の刺激呈示の際の視線変化範囲を分析した。刺激呈示は2種の植物の写真セット（NFY, NFW）を用い、主とする植物単体(S), 複数の植物(M), そして背景を元通りにする(L)の三条件を、人工図形と同様各10回呈示した（図6）。課題時間を全体の傾向は、S, M, Lで次第に範囲が広がって行く様子が観測された。NFY-S条件においては被験者平均で、単調減少が認められるが、個別の変化をみると一様でないことがわかった（図7）。NFY-Mは平均変化が平坦で、個人変化についても起伏があるものの、基本的には横ばいである傾向が見られる（図8）。さらにNFY-Lで全体画像が提示された場合（図9）では平坦さが増し、視線範囲という指標では差が認められない。視線追尾の様子ではその多様さが表れている（図10-12）。視線を呈示画像と重ねた図において、NFY-Sでは人工図形同様、対象物の輪郭を目で追う傾向が顕著で、NFY-Mでは興味深いことに、対象としての植物の輪郭を目で追う状態と、植物と植物の間の空間を見ている状態が交替的に観測される。刺激画像は、実験計測上、視線の左右差を軽減するために対称性の高い植物画像を中央で張り合わせてある。この事実はS, Mの条件では気づきにくい、Lの背景が入った場合で容易に気がつくことができる。この場合、NFY-L（Session3,4）で、繰り返し中央線に沿って視線を走らせる顕著な動きが見られ、画像張り合わせに気がついた様子がうかがえる。もう一点興味深いことは、Lの場合には、花卉、中央線、茎の線、花卉下の空間など、各10秒において注目する様相が様々に変化することである。

全体変化と、個人変化を比較して分析すると、人工図形では視線変化の範囲が減少し、既知の報告と整合性がある傾向が見られたが、自然画像の場合は単調減衰が起こりにくく、個人差が大きいことがわかった。視線変化の範囲を指標とした本解析では、単調現象は植物単一体を提示した条件Sに限られ、他

は平坦な傾向が見られた。一方、その平坦さは必ずしも同じ視線パターンを意味するのではなく、むしろ個人差、あるいは個人内セッション差として、多様な視線動作を自発的に生成していることが観測された。個人の特性やタイミングに合わせて、情報呈示する適応的知的装着機器開発に必要な実態解析の観点からは、視線動作が意図的であったか、情動・動機づけを含む潜在的なものか、今後、脳活動計測を合わせて、主観的感覚との整合性を検証する必要があることがわかった。

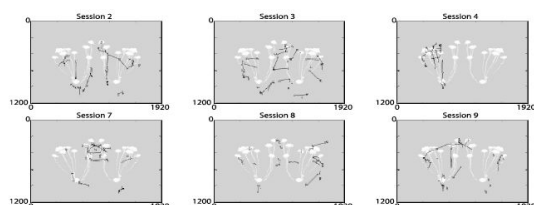


図10. NFY-Sの場合の視線追尾の変化の傾向(被験者 K43) . Session 2-4,7-9.

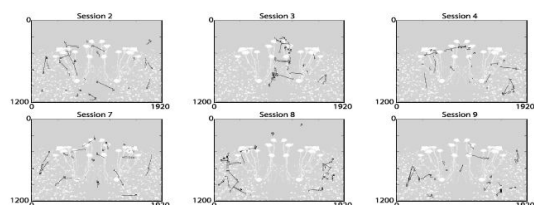


図11. NFY-Mの場合の視線追尾の変化の傾向(被験者 K43) . Session 2-4,7-9.

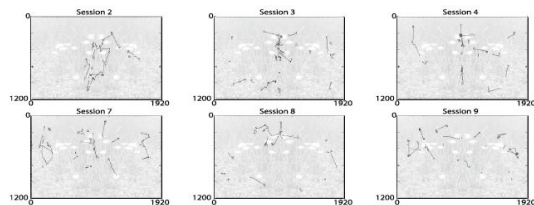


図12. NFY-Lの場合の視線追尾の変化の傾向(被験者 K43) . Session 2-4,7-9.

本課題では、脳型工学技術を基礎に脳身体の状態計測と連動し適応的な知的処理を行う装着型機器開発についての萌芽的研究を推進した。多種の刺激提示が人に与える影響が研究される中、本課題では使用者の特性と状況に合わせた支援を、同技術の観点から、その必要要件について探求を行った。

人の脳が円滑に処理できる情報の量とタイミングを推定し、ユーザの状況に合わせて分類・記憶・判断の一部を代替して行うデバイスの基礎技術の構築を目指したが、研究実施期間内においては、脳波実計測とBCI技術の確立、視線追尾解析にもとづく外部環境変化に対する個人の認知特性、脳波-視線追尾解析の併用化の技術的問題解決に力が注がれた。

達成された課題として第一に、脳波による脳活動状態推定の推定としては、ブレイン・マシン・インタフェース(BMI)の一手法で、定常状態視覚誘発電位(SSVEP)のシステム

開発, 第二に, 視線解析を脳波計測と併用するために, 脳波-眼球運動電位 (EEG-EOG) 混在の生体計測データから両者を分離する Morphological Component Analysis (MCA) の検討, 最後に, 自然画像における視覚刺激に対する視線追尾反応について解析し, 特に人工図形と自然画像の場合で, 図地分離, アフォーダンス, 情動誘起による選択方向付けの傾向が異なることを明らかにしたことである. この結果は, 高齢者うつ・認知症ケアのための園芸療法へ本技術が貢献することが示唆された. これらの成果は, 本研究目的に必要な不可欠な要素技術であったが, 統合し, システム化するには至らなかった.

本成果を萌芽とした今後の展望は, 統合化技術として, 判断の一部を代替して行う脳型デバイス構築で, 今後継続して研究を進める.

- [1] Miller, G. A. (1956) The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information". *Psychological Review*, 63(2), pp. 81-97.
- [2] Baars, B. J. (1988) *A Cognitive Theory of Consciousness*, Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- [3] Lisman, J. E. and Idiart, M. A. (1995) Storage of 7 +/- 2 short-term memories in oscillatory subcycles, *Science*, 267(5203), pp. 1512-1515.
- [4] E. Nevis, Introduction, in *Gestalt therapy: Perspectives and Applications*. Edwin Nevis (ed.). Cambridge, MA: Gestalt Press. p. 3, 2000.
- [5] J. J. Gibson, *The Ecological Approach to Visual Perception*, Boston: Houghton Mifflin, 1979.
- [6] D. Norman, *Emotional Design: Why We Love (or Hate) Everyday Things*, Basic Books, 2005.
- [7] K. Kaspar, P. König, "Overt Attention and Context Factors: The Impact of Repeated Presentations, Image Type, and Individual Motivation," *PLoS ONE*, 6(7), e21719, 2011.
- [8] R. P. Taylor, B. Spehar, P. Van Donkelaar, C. M. Hagerhall, "Perceptual and Physiological Responses to Jackson Pollock's Fractals," *Front. Hum. Neurosci.* 5: 60, 2011.

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2件)

Guangyi Ai, Kenta Shoji, Hiroaki Wagatsuma, Midori Yasukawa, Structure of Recognition for Natural and Artificial Scenes: Effect of Horticultural Therapy Focusing on Figure-Ground Organization, *Advanced Intelligent Systems, Advances in Intelligent Systems and Computing*, 査読有, 268 巻, 2014 年, 189-196
DOI: 10.1007/978-3-319-05500-8_18
アイコウイツ, 小路健太, 我妻広明, 安川緑, 園芸療法から発想を得た自然画像

と人工画像における視線解析とゲシュタルト認知の手掛かり, 電子情報通信学会ニューロコンピューティング(NC)研究技術報告, 査読無, 113 巻(500 号), NC2013-145, 2014 年, 329-334
<http://www.ieice.org/ken/paper/20140318fBIH/>

[学会発表](計1件)

我妻広明, Brain-inspired systems のリズムベース回路技術にもとづく人親和型デバイス研究開発の現状「ネットワークが創発する知能研究会」・「データ指向構成マイニングとシミュレーション研究会」合同秋合宿 2012, 2012 年 12 月 10 日 ~ 2012 年 12 月 12 日, 石川県加賀市

[図書](計0件)

[産業財産権]

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

[その他]

ホームページ等

本課題の支援を受けて開発された定常状態視覚誘発電位(SSVEP)のフリッカー視覚刺激ソフトウェアは, ダイナミックブレインプラットフォーム(DBPF)神経科学情報基盤データベースに登録されている.

1) SSVEP Stimulus Ver 1.0

https://dynamicbrain.neuroinf.jp/modules/xoonips/detail.php?item_id=8434

2) SSVEP Stimulus Ver 2.0

https://dynamicbrain.neuroinf.jp/modules/xoonips/detail.php?item_id=8435

3) SSVEP Stimulus Ver 3.0

https://dynamicbrain.neuroinf.jp/modules/xoonips/detail.php?item_id=8436

上記, DBPF データベースは, 脳の情報表現やその処理に関わるダイナミクスの研究に関わる研究データおよび研究者のメッセージを広く体系的に共有する場で, ニューロインフォマティクス国際統合機構(INCF)の日本拠点(Japan Node)の活動の一環として恒久的に研究成果公開される.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

我妻 広明 (WAGATSUMA, Hiroaki)

九州工業大学・生命体工学研究科・准教授
研究者番号: 60392180

(3) 連携研究者

夏目 季代久 (WAGATSUMA, Hiroaki)

九州工業大学・生命体工学研究科・教授
研究者番号: 30231492