

「先進的統合センシング技術」
平成 19 年度採択研究代表者

本田 学

国立精神・神経センター神経研究所・部長

脳に安全な情報環境をつくるウェアラブル基幹脳機能統合センシングシステム

1. 研究実施の概要

情報環境と脳との不適合によって発生する特異なストレスは、生命活動を制御する基幹脳(脳幹・視床・視床下部などからなる生命の基幹的機能を担う脳部位)の機能異常を導き、情動・自律神経系や内分泌・免疫系の不調を介して様々な現代病の原因となる。本研究では、安全・安心な情報環境の創出に資するために、多チャンネルバイタルセンサからのシグナルを統合することにより、小型軽量で高確度なウェアラブル基幹脳機能センシング技術を創成し、日常生活空間で簡便に使用できるシステムの実用化を目的とする。

研究 2 年次にあたる平成 20 年度は、平成 19 年度に策定した基本設計に基づき、順調に研究開発が進行した。具体的には、昨年度構築した磁気共鳴画像一脳波同時計測システムを用いて人間を対象としたデータを収集し、基幹脳活性指標を再構成するために必要な頭皮上自発脳波を記録する電極位置、周波数成分にくわえて、特に時間的な関連性について集中的な検討をおこなった。その結果、基幹脳の活性変化と自発脳波との間に、特異的な時間的関連性があることが見出され、基幹脳活性指標算出の基本的原理を確立した。ウェアラブルセンサシステムでは、無線伝送方式検討用の一次試作、ならびに頭部への装着を可能にするウェアラブル化した試作機を開発し、良好な記録性能を得た。システム校正・臨床評価用シミュレータの構築については、国立精神・神経センターの中に昨年度設置した日常生活空間をシミュレートするブースの中に、基幹脳活性変動効果をもった視聴覚情報の呈示システムを実装して生理計測を実施するとともに、PET 装置の低拘束度化改造が完了した。

今後は、来年度後半からシステム校正・臨床評価用シミュレータを用いた実証試験を開始できるよう、各要素技術開発を同期して進める。

2. 研究実施内容

研究全体の4つの柱(1. 基幹脳活性指標再構成技術の開発、2. ウェアラブルセンサシステムの開発、3. システム校正・臨床評価用シミュレータを用いたシステム校正とフィードバック、4. 臨床試験の実施)のうち、今年度を実施した1~3について平成 20 年度の研究実施内容を項目ごと

に述べる。

1. 基幹脳活性指標再構成技術の開発

平成 20 年度は、前年度に構築した磁気共鳴機能画像と多チャンネル頭皮上脳波とを同時に計測するシステムをもちいて、人間から実際に基幹脳活性と脳波データを同時計測し、両者の関係について、特に時間特性に着目して解析をおこなった。

まず昨年度に開発したノイズ除去法を高度化することにより、高磁場磁気共鳴画像装置が誘導する非常に大きな電磁誘導ノイズもきれいに除去され、実用水準の SN 比で自発脳波を記録することが可能になった(図1)。

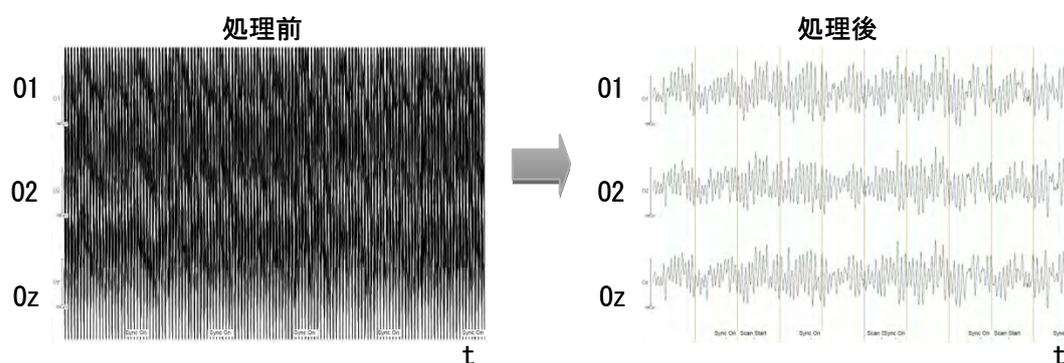


図1 磁気共鳴画像撮像中に頭皮上後頭部から同時記録された脳波

次に、基幹脳活性と正の相関を示す自発脳波の電極位置と周波数成分について検討をおこなった結果、後頭部の 3 電極から記録された自発脳波 α 帯域成分のパワー変動の特定成分が、基幹脳活性と正の相関を示すことを明らかにした(図2)。これにより、脳波を基本として基幹脳活性指標を算出するための原理が確立したといえる。

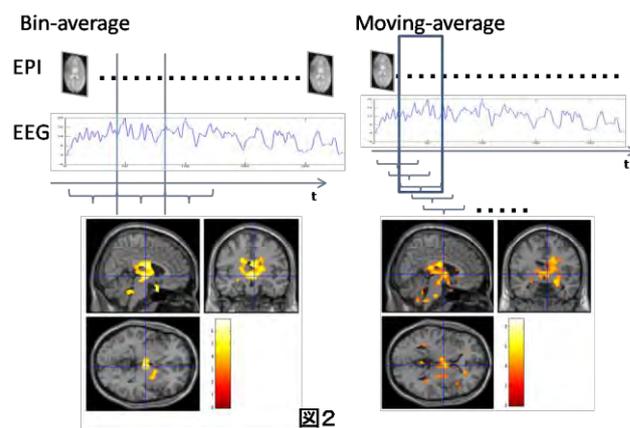


図2 後頭部 3 電極から記録した脳波 α 帯域成分のパワーと相関する脳部位

2. ウェアラブルセンサシステムの開発

基幹脳機能統合センシングシステムの設計と試作では、周波数多重技術を基に電極毎に無線データ転送ツールを搭載する分散配処理型の構成の採用により、室内で装着したまま

脳波センシングが可能なワイヤレス脳波センシングデバイスを実現した。試作したプリプロトタイプのウェアラブル脳波計を下記で構築したシミュレータ内で評価した結果、無線伝送方式による生体と計測機器との絶縁作用により浮遊電磁雑音を遮蔽できることを明らかにした上、十数メートルの範囲にわたり障害物の有無にかかわらず脳波の動態センシングが可能であることを実証し（図3）、臨床試験実施の見通しを得た。

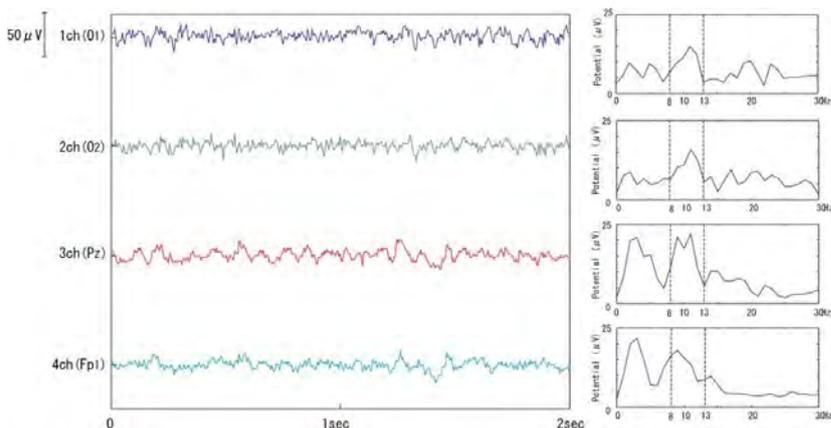


図3 一次試作機による実測脳波データとFFTスペクトル

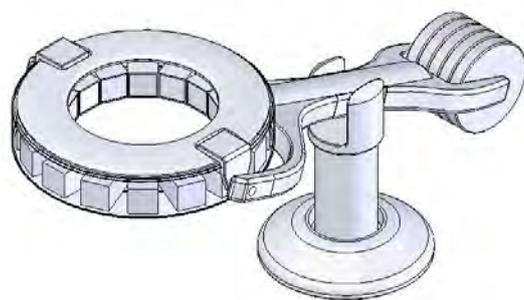
以上得られた成果を基に、自律神経系の信号（心電）を含めたウェアラブル生体情報センシングシステムの開発に着手すると同時に、通常の日常生活活動状態でもリンクの途切れない無線伝送を実現するための超高感度・小型アンテナの開発及び周波数多重方式を基に人と人の相互作用を評価することができる多人数同時脳波計測システムの基本設計と試作を実施した。送信モジュールは分解能16bit、サンプリング200Hzの計測をボタン電池で1週間連続稼働が可能な能力を有する。受信モジュールには高感度アンテナが搭載され、障害物のある実験室で半径約20mの範囲で送信モジュールからのデータ転送信号を受信できる。システム設計においてUSBによるホストPCとの接続方式により送受信モジュールセットで自由に増設可能なアーキテクチャを採用し、心電計等の機能や被験者数をスケラブルに増設可能である。

3. システム校正・臨床評価用シミュレータを用いたシステム校正とフィードバック

システム校正を行うためには、薬剤を用いずに視聴覚情報によって被験者の基幹脳機能を変動させてデータをサンプリングし、情報入力に対する基幹脳の応答特性を捉える必要がある。そのために、本研究グループが発見したハイパーソニック・エフェクト(人間の可聴域上限をこえる超高周波成分を豊富に含む複雑な音が基幹脳を活性化する現象)を応用する。平成19年度に国立精神・神経センターに構築したブース内に、ハイパーソニック・エフェクトによる基幹脳活性変動効果を導くために必要なハードウェアを実装し、シミュレータとして稼働させた。ハイパーソニック・エフェクトの基幹脳活性変動効果を十分に発揮するために必要な、100kHz以上に及ぶ超高周波成分を含むシステム校正用音響映像ソフトウェアの試作を行った。また、基幹脳活性と生体から記録した生理指標と情報構造の物理指標とを結びつけるために、基幹脳活性変動効果をもった情報の物理構造をフラクタル次元と情報エントロピーを用いて定量的に評

価する指標を開発し、特許出願をおこなった。

さらに、昨年度前倒しで開始した PET 装置を低拘束度化改造が完了した。被験者の動きに合わせて PET 装置自身も自由に動くことで拘束感の少ない測定を可能にするために PET 装置の検出器リングを 2 重のカウンターバランス方式にし、ある程度自由に被験者が動くことが可能な状態で PET 測定ができるように設計した (図 4 (A))。実際に改良試作した PET 装置を被験者に装着した写真を図 4 (B) に示す。従来の PET 装置に比べリラックスした日常生活に近い状態での測定が可能である。なおこの PET 装置は帽子 (Hat) に似ているので PET-Hat と命名し、特許出願をおこなった。来年度は PET-Hat の性能評価、ファントムと被験者での測定を目標とする。



(A)



(B)

図 4 頭部用 PET 装置 (PET-Hat) の概念図 (A) と試作機を被験者に装着した写真 (B)

3. 研究実施体制

(1) 本田グループ (国立精神・神経センター)

① 研究分担グループ長: 本田 学 (国立精神・神経センター 部長)

② 研究項目

基幹脳機能統合センシングシステムの開発と臨床評価

(2) 片桐グループ (情報通信研究機構)

① 研究分担グループ長: 片桐 祥雅 ((独) 情報通信研究機構 専攻研究員)

② 研究項目

基幹脳機能統合センシングシステムの設計と試作

(3) 大橋グループ (国際科学振興財団)

① 研究分担グループ長: 大橋 力 (財団法人国際科学振興財団 理事・主席研究員)

② 研究項目

基幹脳機能統合センシングシステム校正・評価用シミュレータにおける基幹脳活性化統合ソ

ソフトウェア構築

(4) 仁科グループ (メディア教育開発センター)

① 研究分担グループ長: 仁科 エミ((独)メディア教育開発センター 准教授)

② 研究項目

基幹脳機能統合センシングシステム校正・評価用シミュレータの視覚情報環境構築と運用

(5) 前川グループ (アクション・リサーチ)

① 研究分担グループ長: 前川 督雄((株)アクション・リサーチ 部長)

② 研究項目

基幹脳機能統合センシングシステム校正・評価用シミュレータ構築

(6) 山本グループ (神戸高専)

① 研究分担グループ長: 山本 誠一(神戸市立工業高等専門学校 教授)

② 研究項目

基幹脳機能統合センシングシステム校正用 PET の非拘束化設計と運用

4. 研究成果の発表等

(1) 論文発表 (原著論文)

1. Oohashi T., Ueno O., Maekawa T., Kawai N., Nishina E., Honda M. : Effectiveness of hierarchical model for the biomolecular covalent bond: An Approach Integrating Artificial Chemistry and an Actual Terrestrial Life System, Artificial Life, Vol15, 29-58, 2009.

(2) 特許出願

平成 20 年度 国内特許出願件数 : 4 件 (CREST 研究期間累積件数 : 4 件)