

本田 学

国立精神・神経センター神経研究所疾病研究第七部・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3年次にあたる平成21年度は、当初計画どおり、これまで各研究機関で個別に開発していた要素がほぼ完了し、すべての開発要素を評価用シミュレータ内に統合して実証試験を開始できる段階に到達した。磁気共鳴画像-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、頭皮上自発脳波と基幹脳活性との時間的関連性を明らかにし、後頭部から記録された脳波 α 波の 25 秒以上のゆっくりとした周期をもった変動が特異的に基幹脳活性と平行することを明らかにした。ウェアラブルセンサシステムでは、前年度に試作した RF-EEG 送受信モジュールを基に、心電・脳波同時計測と多人数相関計測に必要な同期制御システムの試作と、日常生活空間での装着を想定したデザインの検討及び基幹脳活性指数導出のための信号処理機能実装の検討を進め、ヘアバンド型脳波センサーの一次試作を完了した。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、基幹脳活性変動効果をもった音響映像情報呈示システム構築を完了し、シミュレーションが可能になった。同時に、低拘束度化改造をおこなった PET 装置によって人脳ファントム画像を撮像することに成功した。

今後は、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実施しながら、各開発要素にフィードバックをかけていく予定である。

§ 2. 研究実施体制

(1)「国立精神・神経センター」グループ

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)「情報通信研究機構」グループ

① 研究分担グループ長:片桐 祥雅(独立行政法人 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

●センサー基本技術

●基幹脳活性指標再構成技術の実装

●多人数同時計測システム開発

●最適意匠の設計・製作

(3)「国際科学振興財団」グループ

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、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フトウェア構築

(4)「放送大学」グループ

① 研究分担グループ長:仁科 エミ(放送大学、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)「アクション・リサーチ」グループ

① 研究分担グループ長:前川 督雄(株式会社アクション・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)「神戸高専」グループ

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

§ 3. 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、今年度に実施した1～3について平成 21 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 21 年度は、前年度に構築した磁気共鳴機能画像(fMRI)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、頭皮上の後頭部から記録される自発脳波 α 帯域成分と基幹脳活性との時間的關係に着目して解析をおこなった。

fMRI との同時計測により後頭部から導出された自発脳波について、3 秒ごとに α 帯域(8–13 Hz)成分のパワーを算出し、その 20 分間の α 成分時系列の中にどのような変動成分が含まれているかを周波数解析した。その結果、概ね 0.04Hz 以下のゆっくりした変動成分と、0.05Hz 以上の速い成分、およびその中間の成分の3つに分けられることが示唆された。そこで、脳波 α 波パワーの変動を、その周期に応じて、0.04Hz 以下の遅い変動、0.04Hz から 0.05Hz の中間の変動、0.05Hz 以上の速い変動に分離し、それぞれの変動成分と正の相関を示す脳活動を fMRI から抽出した。

fMRI によって計測された視床、脳幹など基幹脳の活性は、後頭部から記録された α 波の時系列のうち、0.04Hz 以下の変動成分、すなわち 25 秒よりも長い周期でゆっくりと変動する成分に対してのみ、選択的に正の相関を示すことが示された。情報入力に対して瞬時に反応する感覚運動系とは異なり、脳幹部に高密度で含まれるモノアミン系神経などの情動神経系は、情報の入力に対して反応の立ち上がりも消失も数秒から数十秒くらいの遅れをもつことが知られている。今回の検討によって得られた結果は、脳波 α 波から基幹脳活性指標を再構成するにあたっては、モノアミン神経系の活動を反映する周期 25 秒以上のゆっくりとした変動成分に注目して指標化する必要があることを示している。

2. ウェアラブルセンサシステムの開発

平成 21 年度では、前年度に試作した RF・EEG 送受信モジュールを基に、心電・脳波同時計測と多人数相関計測に必要な同期制御システムの試作と、日常生活空間での装着を想定したデザインの検討及び基幹脳活性指数導出のための信号処理機能実装の検討を進めた。

同期制御技術では、タイミング信号配信法(特願 2009-113547)並びに極低消費電力化のための MPU バースト制御法利用により、市販リチウムイオン電池(ボタン型)を搭載した

16bit・256Hz/ch サンプルング×全4チャンネルのモジュールで約1週間の4人同時計測が可能となった。この結果により、人と人との相互作用を解明するための手段を得た。

また、このモジュールをスケーラブルに拡張することにより、てんかんの在宅診断などの臨床医療や神経科学的研究においても応用可能な医療・研究用ウェアラブル多チャンネル脳波計を開発した。具体的には、4チャンネルのモジュールを同一被験者に3個ないし4個装着して同期運転し、国際10-20法に準拠した頭皮上12チャンネルないし16チャンネルの脳波を同時にモニタするシステムを開発した。

また、送受信モジュール及び制御PC各々に搭載されたMPU/CPUを用いて時間周波数空間で脳波信号の処理・解析を並列展開して行うアルゴリズムにより、基幹脳活性指数をリアルタイムに導出できる見通しを得た。なお、このような同時計測技術を用いれば複数の異なるヴァイタル信号の相関計測も可能であることを、肢誘導あるいは胸部誘導に相当するベクトル心電計測を行うことにより確認した。

デザイン検討では、試作した送信モジュール基板(32×35mm)と医療用脳波電極を組合せた簡易型実装タイプをデザインするとともに、遮断周波数0.5Hz以下の急峻なハイパスフィルタをデジタル信号処理で実装することで基線変動を除去し、臨床試験実施への見通しを得た。今後、一般社会実装を狙いに、被験者が直接リアルタイムに状態をモニタするのに必要な小型PDAへのシステム実装を進めるとともに、医療応用を狙いに、フレキシブル基板技術等を利用した長期装着可能な実用脳波計の実現を目指す。

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・臨床評価用シミュレータ内で呈示するために必要な、基幹脳活性変動効果をもった超高周波成分を豊富に含む音源を収録するために、カメルーン・ジャール国立公園にて熱帯雨林環境音収録を実施した。加えて、基幹脳活性変動効果をもつ高密度映像素材を呈示するためのハードウェアとソフトウェアを整備した。これらにより、シミュレータ内で基幹脳活性変動効果をもった音響映像情報の呈示が可能になり、シミュレータとして稼動状態になった。

また、シミュレータ内で使用する被験者の拘束度を低減した状態で計測可能なPET装置の開発を行った。帽子のように装着して測定でき、被験者の動きに合わせて装置自身も自由に動くことで被験者の動きの撮像データに対する影響をなくし、拘束感の少ない測定を可能にするPET装置である。



図1 開発した PET-Hat、正面 (a)と側面 (b)

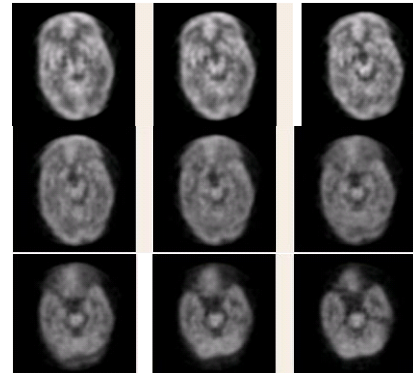


図2 得られた脳ファントム画像

ウェアラブルな装置を実現するために、図1(a),(b)に示すように、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。また装置の計測、制御をノート型パーソナルコンピュータで可能とし、被験者自身が測定制御を行うこともできる。この PET 装置の検出器部分が帽子 (Hat) に似ているので PET-Hat と命名した。

空間分解能は 4mmFWHM 程度、感度は視野中心で 1%程度であった。また図2に示すように、良好な脳ファントム画像を得ることができた。さらに装置の音響的騒音は 40dB 程度に抑え、市販の PET 装置と比較して 20dB 程度低くすることができた。機能測定における、聴覚刺激に対して効果的であることが期待される。この PET-Hat は、第 31 回国立精神・神経センター神経研究所研究発表会において、The most promising presentation 賞を受賞した。

§ 4. 成果発表等

(4-1) 知財出願

- ① 平成21年度特許出願件数(国内 2 件)
- ② CREST 研究期間累積件数(国内 6 件)