

平成 30 年 6 月 4 日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2017

課題番号：16K21141

研究課題名(和文) 生体適合電極シートを有するパッチ式ワイヤレス脳波計測システム

研究課題名(英文) Wireless EEG Patch Sensor on Forehead using Biocompatible and Stretchable Electrode Sheet

研究代表者

吉本 秀輔 (Yoshimoto, Shusuke)

大阪大学・産業科学研究所・招へい教員

研究者番号：80755463

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、装着感・機能拡張性といった問題を解決する、ストレッチャブル電極を備えたパッチ式脳波センサを開発した。パッチ式脳波センサは、生体適合性ゲルを有する柔軟電極シートと無線計測が可能な高精度センサシステムから構成される。電極シートは、印刷技術により製造可能なため、計測者及び被験者の用途に応じて電極の形を任意に変更可能である。安価な印刷技術によって製造されるため、低コストかつ使い捨て可能な電極シートが実現出来る。高精度センサシステムは、おでこに収まるサイズに設計されており、電極シートとの組み合わせを考慮した開発を行った。

研究成果の概要(英文)：This work presents a patch-type EEG sensor using biocompatible and stretchable electrode sheet. The system has advantage of installation in measuring EEG signals. The patch-type EEG consists of stretchable electrode sheet and wireless sensor system. The electrode sheet is developed by screen printing technique and on-demand fabrication. The sheet is also disposable to ensure the safety of subjects. The system was optimized to fit the stretchable electrode sheet.

研究分野：電気電子工学

キーワード：脳波 柔軟電極 アルツハイマー 無線システム 医工連携 接触抵抗計測 低ノイズ

1. 研究開始当初の背景

近年、世界的な高齢化社会の広がりに伴い、ウェアラブルな常時ヘルスケアデバイスに注目が集まっている。特に、日本は 2050 年には人口の 40%が 65 歳以上になると予測されており、早急な高齢化対策が望まれている [1]。厚生労働省「国民生活基礎調査」によると、要介護となった原因の内訳のうち、半分以上が脳関連疾患であると報告されている [2]。その中でも、アルツハイマー性認知症によって生じる社会的なコストは年間 14.5 兆円にも上り、早期の認知症予測・予防技術確立が望まれている [3]。

脳の電気的活動を巨視的に計測する手法として、頭皮上に配置した電極から非侵襲的に計測を行う、脳波 (Electroencephalogram, EEG) が広く用いられる [4, 5]。近年、導電ペーストのようなウェットな接着媒体を必要としないドライ電極を始めとして、ウェアラブルな脳波計が多く提案されている [6-8]。しかし、従来の簡易型脳波計の課題として、1) 硬いドライ電極によって頭皮にストレスが加わり長期的な脳波計測が困難、2) ヘッドセットのような固定具が必要となり、個々人の頭の大きさに合わせたサイズが準備出来ない、3) 脳波以外の生体信号 (心電、眼電、筋電、など) を取得する場合は計測者が別途センサと同期機構を用意する必要があり機能拡張性に乏しい、といった問題があった。

2. 研究の目的

本研究では、従来型の簡易脳波計の課題であった、装着感・機能拡張性といった問題を解決する、ストレッチャブル電極を備えたパッチ式脳波センサを提案する。パッチ式脳波センサは、生体適合性ゲルを有する柔軟電極シートと無線計測が可能な高精度センサシステムから構成される。電極シートは、印刷技術により製造可能なため、計測者及び被験者の用途に応じて電極の形を任意に変更可能である。安価な印刷技術によって製造されるため、低コストかつ使い捨て可能な電極シートが実現出来る。高精度センサシステムは、おでこに収まるサイズに設計されており、電極シートとの組み合わせを考慮した開発を行った。電極と皮膚の接触インピーダンスを計測可能な機能を備えており、脳波計測だけでなく電極と肌の接触状況を事前に把握出来る。

3. 研究の方法

図 1 に、パッチ式脳波センサ装着時の外観とソフトウェア及び開発したシステムの全体像を示す。提案するパッチ式センサは、柔軟電極シートとセンサシステムが一体化した構成となっており、電極の長さを最小化出来るためノイズの影響を受けづらい。さらに、電極シート上に形成された生体適合性を有するゲルによってシステムごと肌に密着するため、従来の脳波計で必要であったヘッド

ギア・ヘッドバンドのような固定具を必要としない。

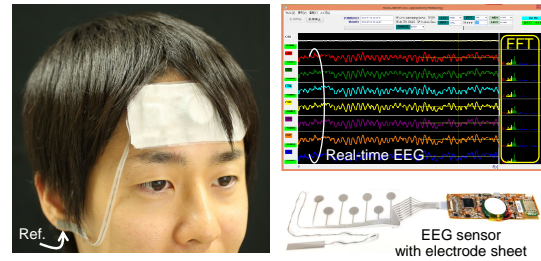


図 1. パッチ式脳波センサの外観

本研究で開発したセンサシステムは、24bit の電圧分解能を有する 8 チャンネルアナログデジタル変換器 (ADC)、電圧レギュレータ 3.7V 200mAh のリチウムイオンバッテリー、Bluetooth 4.0 low energy (BLE) 通信モジュールから構成される。図 2 に、システムの全体像を記す。センサシステムは、おでこに収まる 3 cm × 9 cm × 6 mm のサイズで設計され重さはわずか 12g である。電圧レギュレータは、アナログ回路に 5V、デジタル回路に 2.5V を供給し ADC の測定可能電圧範囲は ±2.5V である。8 チャンネルの内 1 つはリファレンス用参照電極として動作し、通常は筋肉の少ない耳朶に接続する。本システムでは、電極を全て脳波計測に使うことも可能であるが、電極形状を変えることによって他の生体信号も同時に計測可能であるため、チャンネルの一部を脳波以外の計測に用いることが可能である。本システムの消費電流は、動作時 22.9mA であり、連続して 9 時間の計測が可能である。サンプリングレートは、チャンネル数によって可変であり、1 チャンネル 500Hz、2-3 チャンネル 250Hz、4-6 チャンネル 125Hz、7-8 チャンネル 83.3Hz で計測を行う。

脳波計測結果を可視化・保存するため、PC・タブレットで動作が可能なソフトウェアの開発を行った。本システムと BLE で通信し、リアルタイムに波形と周波数解析結果を表示出来る。

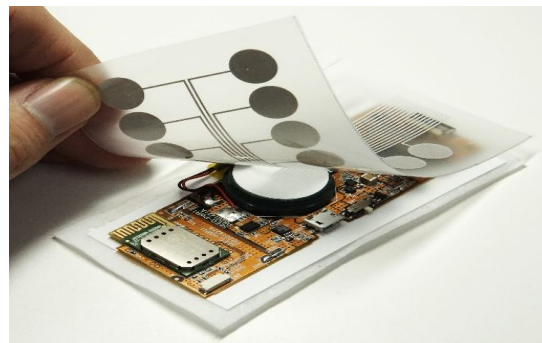


図 2. ワイヤレスセンサシステム

電極シートは、スクリーン印刷技術によって形成され、低コストでの製造が可能である。150%までの伸縮に対応し、抵抗値の変化が少ないといった特徴がある。電極の配線抵抗は、最も長い配線でも 1.5kΩ以下に収まっている。透湿率は、2700 g/m²/day (25 μm 厚、

JIS Z0208 準拠, 40 ° C and 90%湿度)と高く, おでこに貼っても蒸気を通しやすいためムレにくい.本電極シートは,印刷技術によって製造されるため,ユーザの要望に応じたオンデマンド電極が実現できる.心電,眼電,筋電といった脳波以外の生体信号をモニタリングする場合は,必要な電極構造を印刷によって形成することで,医師やユーザが任意の形状の電極を作成出来る.また,生体適合性を有するゲルを電極シート上に形成しており,従来必要であった導電性のペーストなどが不要であると言ったメリットがある.

図3に接触インピーダンス計測回路の概念図を示す.10Hzの方形波をターゲットとなるチャンネルに印加し,リファレンス電圧となる電極との電圧差を,ボルテージフォロワ及び差動増幅器を通じて増幅し,半波整流してDC電圧として取り出す.図3に,出力電圧と接触インピーダンスの関係を示す.

本接触インピーダンス計測回路は,電極と肌の間のインピーダンス値を計測出来る.提案する回路は,PCBボード上に製造され,3cm x 5cm x 3mm,5.6gの小型サイズに設計されている.計測回路は,リファレンスチャンネル選択マルチプレクサ・波形生成器・増幅回路・半波整流回路・LEDインジケータから構成され,LED点灯時に7.50mA,LED非点灯時に4.74mAで動作する.10Hzの方形波はターゲットとなるチャンネルに接続され,チャンネル7または8がリファレンスのチャンネルとなる.本回路は,1.5-70kΩの範囲の接触インピーダンスを計測出来,LEDインジケータはそれぞれ3k,5k,20k,50kを超えると点灯する.

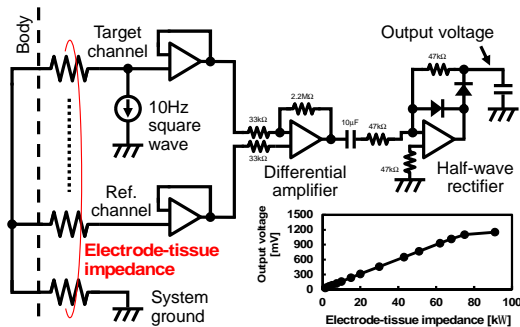


図3. 接触インピーダンス計測回路

4. 研究成果

本研究で行われた生体信号取得実験は,金沢大学附属病院子供の心の発達センターにて実施され,倫理委員会の認承を得て実施されたものである.

図4に,アルコール脱脂綿で額を拭く前と拭いたあとの接触インピーダンスの実測値を示す.拭く前に比べて,接触インピーダンスの値が平均で73%減少し,10kΩ以下になっている事が分かる.このように,計測時においては,低ノイズな脳波計測を実施するた

め,額の角質や皮脂を充分に取り除く事が望まれる.

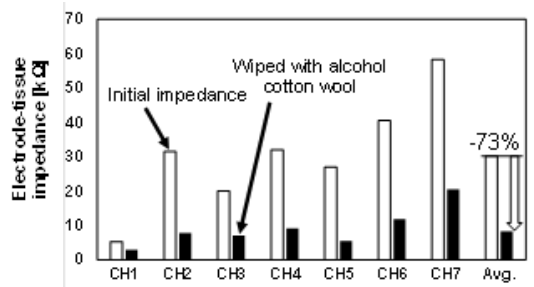


図4. 接触インピーダンス計測回路を用いた電極と皮膚の間のインピーダンス値

図5は30代女性と60代男性の脳波をパッチ式脳波計にて計測した結果を示す.本計測は,電磁シールドは施されていない静寂な実験室にて実施された.被験者はそれぞれ30秒間目を閉じた状態と目を開けた状態を維持し2秒毎のセグメントで分離した上でFFTをかけ,30秒間の中の15セグメントで平均をとった周波数スペクトルを求めた.目を開けた状態と閉じた状態で,波に相当する7.5Hz-12.5Hzのスペクトルにおけるパワーが変化していることが分かる.

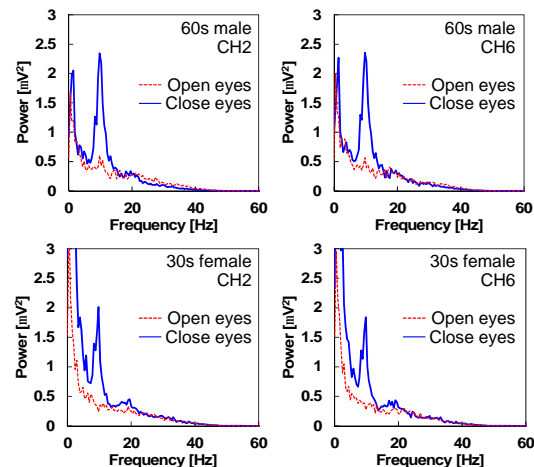
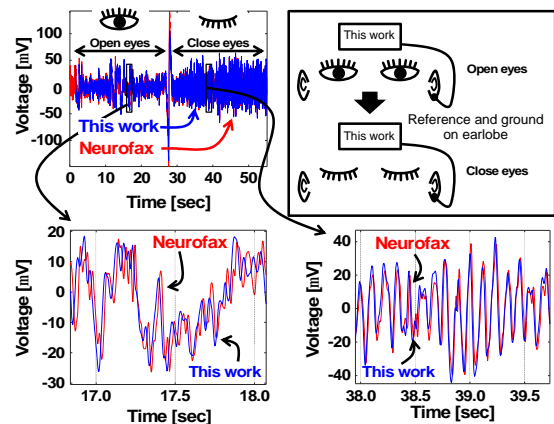


図5. 60代男性と30代女性の脳波(開眼時と閉眼時の周波数スペクトル情報を比較)

本研究で作成したパッチ式脳波センサと,従来技術である日本光電社のNeurofaxとの比較を行った.Neurofaxのサンプリングレ



Neurofax: Commercial EEG system of Nihonkohden

トは 500 Hz, パッチ式脳波センサのサンプリングレートは 250Hz で比較を行った。計測点は, Fp1 の近傍で, 1cm 以内の距離で脳波計測を行った。図 6 に示すとおり, 従来の脳波装置と比べても, 高い整合性が確認出来る。

額に装着可能なパッチ式脳波センサを用いて, アルツハイマー診断の可能性を示す。従来型の 10-20 システムを使って計測した脳波のうち, フロントール(Fp1, Fp2, Fz)での計測データを抽出した [9]。

被験者は, 無響かつ照明の制御が可能な部屋において計測され, 10-20 法で脳波計測を行った。脳波は耳朶をリファレンスとして計測され, 0.1Hz-60Hz のバンドパスフィルタを通して記録された。それぞれの被験者は 10-15 分間目を閉じた状態で脳計測を行い, 瞬きによるアーティファクトは手動で除去した。

図 7 に, アルツハイマー病患者と健常者の Fp1 における脳波について, 5-8Hz のパワースペクトルと 19-21Hz のパワースペクトルの関係をプロットした。実測結果から, アルツハイマー病と健常者から得られたスペクトル情報を元に簡易的な診断を行う事が可能であることがわかる。ただし, 2 名の健常者がこの場合アルツハイマー病と診断されることとなるなど, 高精度化及び得られた結果を使った診断方法の確立が今後の課題である。

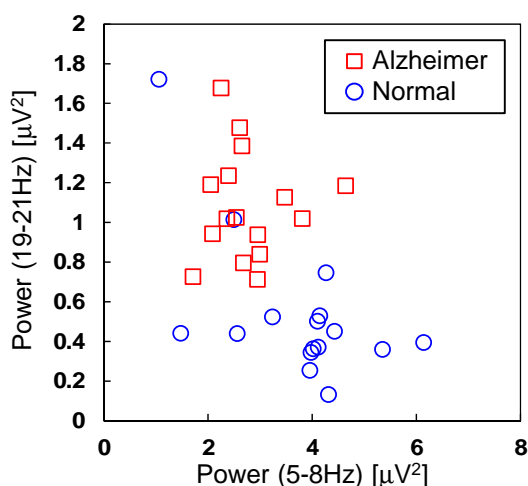


図 7 . Fp1 の脳波を用いたアルツハイマー病診断

[1] 内閣府, 平成 28 年度版高齢社会白書

http://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2016/zenbun/28pdf_index.html

[2] 厚生労働省, 国民生活基礎調査, <http://www.mhlw.go.jp/toukei/list/20-21.html>

[3] 佐渡充洋, "わが国における認知症の経済的影響に関する研究," 平成 26 年度厚生労働科学研究費補助金(認知症対策総合

研究事業)。

[4] A. Primavera, D. Audenino, and L. Cocito, "Emergent EEG: Indications and diagnostic yield," *Neurology*, vol. 62, p. 1029, 2004.

[5] C. T. Lin, L. W. Ko, M. H. Chang, J. R. Duann, J. Y. Chen, T. P. Su, and T. P. Jung, "Review of wireless and wearable electroencephalogram systems and brain-computer interfaces a mini-review," *Gerontology*, vol. 56, pp. 112-119, 2010.

[6] A. Ghomashchi, Z. Zheng, N. Majaj, M. Trumpis, L. Kiorpes and J. Viventi, "A Low-Cost, Open-Source, Wireless Electrophysiology System," *IEEE EMBS*, pp. 3138-3141, 2014.

[7] J. A. Lovelace, T. S. Witt and F. R. Beyette, "Modular, Bluetooth Enabled, Wireless Electroencephalograph (EEG) Platform," *IEEE EMBS*, pp. 6361-6364, 2013.

[8] V. Nathan and R. Jafari, "Characterizing Contact Impedance, Signal Quality and Robustness as a Function of the Cardinality and Arrangement of Fingers on Dry," *IEEE EMBS*, pp. 3755-3758, 2014.

[9] M. Kikuchi, Y. Wada, T. Takeda, H. Oe, T. Hashimoto, and Y. Koshino, "EEG harmonic responses to photic stimulation in normal aging and Alzheimer's disease: differences in interhemispheric coherence," *Clinical Neurophysiology* 113, pp. 1045-1051, 2002.

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 5 件)

Masaya Kondo, Takafumi Uemura, Takafumi Matsumoto, Tepei Araki, Shusuke Yoshimoto, and Tsuyoshi Sekitani, "Ultraflexible and Ultrathin Polymeric Gate Insulator for 2 V Organic Transistor Circuits," *Applied Physics Express*, volume 9, number 6, 061602-1-4 May 2016.

Y. Umeki, K. Yanagida, S. Yoshimoto, S. Izumi, M. Yoshimoto, H. Kawaguchi, K. Tsunoda, and T. Sugii, "A Counter-based Read Circuit Tolerant to Process Variation for 0.4-V Operating STT-MRAM," *IPSS Transactions on System LSI Design Methodology (TSLDM)*, vol. 9, pp. 79-83, Aug. 2016.

Haruki Mori, Yohei Umeki, Shusuke Yoshimoto, Hiroshi Kawaguchi, Shintaro Izumi, Koji Nii, and Masahiko Yoshimoto, "A 28-nm 484-fJ/writecycle

650-fJ/readcycle 8T Three-Port FD-SOI SRAM for Image Processor," Vol.E99-C, No.8, pp.901-908, Aug. 2016.

Y. Umeki, S. Izumi, H. Kitahara, T. Nakagawa, K. Yanagida, S. Yoshimoto, H. Kawaguchi, M. Yoshimoto, H. Kimura, K. Marumoto, T. Fuchikami, and Y. Fujimori, "A Novel Test Scheme for Detecting Faulty Recall Margin Cells for 6T-4C FeRAM," Memoirs of the Graduate Schools of Engineering and System Informatics Kobe University, no. 8, pp. 5-8, Feb. 2017.

Shusuke Yoshimoto, Teppei Araki, Takafumi Uemura, Yuki Noda, and Tsuyoshi Sekitani, "Flexible electronics for bio-signal monitoring in implantable applications," IEICE Electron. Express, Vol. 14, No. 20, pp. 1-12, 2017.

〔学会発表〕(計9件)

Shusuke Yoshimoto, Takafumi Uemura, Mihiko Akiyama, Yoshihiro Ihara, Satoshi Otake, Tomoharu Fujii, Teppei Araki, Tsuyoshi Sekitani, "Flexible Organic TFT Bio-Signal Amplifier using Reliable Chip Component Assembly Process with Conductive Adhesive," IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, pp. 1849-1852, July 2017 (韓国).

Shusuke Yoshimoto, Teppei Araki, Fumiaki Yoshida, Takafumi Uemura, Toshikazu Nezu, Hiroki Hamanaka, Takafumi Suzuki, Masayuki Hirata, and Tsuyoshi Sekitani, "Implantable ECoG Sensor with Flexible Electrode Sheet and Optogenetics Probe," The 20th SANKEN International Symposium, p. 46 Dec. 2016. (大阪)

Shusuke Yoshimoto, Teppei Araki, Takafumi Uemura, and Tsuyoshi Sekitani, "Wearable and implantable bio-signal monitoring systems," 2016 Workshop on Innovative Nanoscale Devices and Systems (WINDS), p. 32, Dec. 2016. (米国)

Shusuke Yoshimoto, Teppei Araki, Fumiaki Yoshida, Takafumi Uemura, Toshikazu Nezu, Takafumi Suzuki, Masayuki Hirata, and Tsuyoshi Sekitani, "Implantable Wireless 64-Channel System with Flexible Ecog Electrode and Optogenetics Probe," IEEE Biomedical Circuits and Systems Conference (BioCAS), pp. 476-479, Oct. 2016. (上海)

S. Yoshimoto, T. Araki, T. Uemura, T. Nezu, M. Kondo, K. Sasai, M. Iwase, H. Satake, A. Yoshida, M. Kikuchi, and T. Sekitani, "Wireless EEG Patch Sensor on Forehead using On-Demand Stretchable Electrode Sheet and Electrode-Tissue Impedance Scanner," IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), pp.

6286-6289, Aug. 2016. (米国)

吉本秀輔, 植村隆文, 秋山実邦子, 井原義博, 大竹智史, 藤井朋治, 荒木徹平, 関谷毅, "フレキシブル基板上への高信頼チップ部品実装技術を用いた生体信号増幅可能な有機トランジスタアンプ," 第34回センサ・マイクロマシンと応用システムシンポジウム, 広島, 2017年10月

吉本秀輔, 荒木徹平, 植村隆文, 根津俊一, 濱中裕喜, 吉田史章, 鈴木隆文, 平田雅之, 関谷毅, "生体埋込型64チャンネル皮質脳波無線計測システム," LSIとシステムのワークショップ2017ポスターセッション, 東京, 2017年5月.

吉本秀輔, "【招待講演】異分野連携によるフレキシブルセンサの開発と応用," 信学技報 Vol. 116, No. 364, ICD2016-55, pp. 25-28, 東京, 2016年12月.

吉本秀輔, 荒木徹平, 植村隆文, 根津俊一, 近藤雅哉, 笹井謙一, 岩瀬雅之, 佐竹秀樹, 吉田暁生, 菊知充, 関谷毅, "【招待講演】生体適合性柔軟伸縮電極ゲルシートを有するパッチ式脳波センサ技術とその応用," 信学技報, vol. 116, no. 172, SDM2016-56, p. 63 2016年8月, 大阪.

〔図書〕(計1件)

吉本秀輔, "ストレッチャブル電極を用いた生体計測システム," バイオテクノロジーシリーズ IoTを指向するバイオセンシング・デバイス技術, p. 181-187, 2016年11月.

〔産業財産権〕

出願状況(計5件)

名称: 電極シート
発明者: 関谷毅, 吉本秀輔
権利者: 同上
種類: 特許
番号: 特願 2018-088572
出願年月日: 2018年5月2日
国内外の別: 国内

名称: ケージ
発明者: 関谷毅, 吉本秀輔
権利者: 同上
種類: 特許
番号: 特願 2018-059695
出願年月日: 2018年3月27日
国内外の別: 国内

名称: 配線シート, シート状システム, 及び構造物運用支援システム
発明者: 関谷毅, 植村隆文, 吉本秀輔, 他4名
権利者: 同上
種類: 特許
番号: 特願 2017-142222
出願年月日: 2017年12月5日

国内外の別： 国内

名称：生体信号測定装置及びプログラム
発明者：関谷毅，植村隆文，荒木徹平，吉本
秀輔，他 8 名
権利者：同上
種類：特許
番号：特願 2017-200831
出願年月日：2017 年 10 月 17 日
国内外の別： 国内

名称：電極シート
発明者：関谷毅，植村隆文，荒木徹平，吉本
秀輔，他 5 名
権利者：同上
種類：特許
番号：PCT/JP2017/035835
出願年月日：2017 年 10 月 2 日
国内外の別： 国際

〔その他〕

ホームページ等

http://www.sanken.osaka-u.ac.jp/labs/ae/d/japanese/yoshimoto_publication.html

6．研究組織

(1)研究代表者

吉本 秀輔 (YOSHIMOTO, Shusuke)
大阪大学・産業科学研究所・招聘教員
研究者番号：80755463