

磁気インピーダンスセンサの P300 speller への 適用可能性に関する基礎的検討

A basic study on applicability of the magneto-impedance sensor to P300 speller

竹市幸弘^{*1} 吉川大弘^{*1} 古橋武^{*1}
Takahiro Takeichi Tomohiro Yoshikawa Takeshi Furuhashi

^{*1}名古屋大学工学研究科
Graduate School of Engineering Nagoya University

P300 speller is a Brain-Computer Interface (BCI) that can input characters by user's thought based on electroencephalogram (EEG). Generally, in P300 speller, it is used by measuring EEG with EEG electrodes attached to user's head skin. However, it takes time to prepare the experiment, touching EEG electrodes onto user's head skin, which is a burden to the user. In this paper, we consider a P300 speller using magneto-impedance (MI) sensor to measure brain waves. Using MI sensor is expected to lighten the burden imposed on users.

1. はじめに

日本には、四肢麻痺患者や筋萎縮性側索硬化症 (ALS) 患者が 1 万人以上存在している^{*1}。患者の病状が軽いときは、文字盤などを用いた文字入力方法を用いて意思伝達を行うことができるが、病状の悪化に伴い、身体動作が困難になり、重度の患者ではまばたきや視線移動すら困難になる。

そこで近年、ユーザの思考のみで機器の制御や、他者とのコミュニケーションを可能にする Brain-Computer Interface (BCI) の研究が行われている。BCI は、四肢麻痺患者や ALS 患者のように、四肢を動かすことはできないが、正常な脳活動を持つ人に対して、コミュニケーションを支援する 1 つのツールになることが期待されている。

BCI の一つに P300 speller [Farwell 88] がある。P300 speller は、脳波の一種である事象関連電位 P300 を用いる文字入力型 BCI である。P300 とは、オドボール課題 [Debener 05] のような 2 種類以上の刺激を呈示したとき、意識している低頻度の刺激呈示の約 300ms 後に生じる陽性の電位変化である。

現在、P300 speller には Electroencephalogram (EEG) が用いられている。実際に P300 speller の臨床応用に関する検討が行われており、ALS 患者に対して平均文字入力正答率が 8 割、平均文字入力時間が約 15 秒と、高い文字入力性能であることが報告されている [吉川 14]。

しかし、ALS 患者等への実応用を考えた場合、電極の装着はユーザへの負担になると考えられる。そこで、非接触磁気センサでこの問題を解決することを考える。本稿では、特に非接触の磁気インピーダンス (MI) センサを用いて検討を行う。

2. 関連研究

2.1 非接触磁気センサ

非接触の磁気センサでは、主に超電導量子干渉素子 (SQUID) が用いられている。視覚識別課題を用いた実験により、Magnetoencephalogram (MEG) での P300 が確認されている [Mecklinger 98]。しかし、装置を動作させるのに、液化ヘリウムや液体窒素を用いたり、磁気シールドを設ける必要があるた

連絡先: 竹市幸弘, 名古屋大学大学院工学研究科, 名古屋市千種区不老町, 052-789-2793, 052-789-3166, takeichi@cmlplx.cse.nagoya-u.ac.jp

^{*1} JALSA <http://alsjapan.org/>

め、SQUID のような装置は大掛かりになってしまう [小谷 88]。したがって、SQUID を P300 speller に適用し、実際の患者で用いることは現実的ではない。そこで磁気センサの中で、非接触で小型な磁気インピーダンス (MI) センサを用いた P300 speller への適用を考える。

2.2 磁気インピーダンスセンサ

MI センサでは、軟磁性アモルファスワイヤと CMOS 電子回路を用いて、磁気インピーダンス効果 (MI 効果) を発生させる [Mohri 07]。MI 効果とは、軟磁性素子にパルス電流を通電させることで、表皮効果が生じ、磁界によって、素子インピーダンスが変化する現象である [Panina 94]。

この MI センサを用いて生体情報を計測する研究が行われており、実際に MI センサを用いて、P300 を観測した事例が報告されている [Wang 14]。ただしこの報告では、臥位で聴覚性オドボール課題が用いられている。しかし本研究の目的に沿えば、坐位で視覚性オドボール課題により P300 speller の使用が可能になることが望ましい。そこで、文献 [Wang 14] を報告した名古屋大学内山研究室と共同研究を行い、MI センサを用いて、坐位で視覚性オドボール課題を呈示し、P300 が観測できるか確認するための基礎実験を行う。

3. 視覚性オドボール課題と MI センサを用いた P300 の計測

3.1 実験

MI センサを用いて、視覚性オドボール課題により P300 を計測する実験を行った。被験者は健康で視力正常な 20 代男性 4 名 (subA~subD) で、実験に関する十分な説明を行い、同意を得た上で実験を行った。使用した MI センサ装置を図 1 に示す。装置の詳細については文献 [Wang 14] を参照されたい。装置は、実応用を見据えて、国際 10-20 法に従い、坐位での計測時に固定が容易である T4 付近に設置した。サンプリング周波数は 1000Hz とした。

呈示した刺激は、表 1 に示すターゲットとスタンダードの直径比 (難易度) が 50% と 80% のものを用いた。これはオドボール課題の難易度によって、P300 の振幅や頂点潜時に違いが生じるという EEG での知見 [Comerchero 99][Takakura 16] を MEG でも確認するためである。刺激呈示回数は、各難易度に対して、ターゲット 28 回、スタンダード 112 回を 1 セットと

して2セット行った。刺激呈示間隔は、点灯時間 400ms、消灯時間 400ms の 800ms とした。またその際、被験者に計数課題(ターゲットが表示されたとき、ターゲットの数を数えるように指示)を課した。

また、比較対象として、EEG を同時に計測した。国際 10-20 法に基づき、5 電極 (Fz, Cz, Pz, O₁, O₂)、及び基準電極として A₁, A₂(耳朶)に電極を配置した。サンプリング周波数を 1000Hz とし、60Hz のノッチフィルタを適用した。

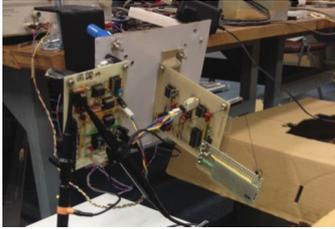


図 1: 実験に用いた MI センサ

表 1: 実験に用いた呈示刺激

直径比	50%	80%
ターゲット		
スタンダード		

3.2 データ処理

MEG データを 1Hz から 5Hz のバンドパスフィルタにかけた。その後、刺激呈示から 800ms 分のデータを抽出した。そして、波形の最大値から最小値を引いた値が 20mV より大きくなるデータを、アーチファクトとして除去した。この除去により、各被験者の各難易度の平均でターゲット 10 個、スタンダード 47 個の波形が除去された。最後に残ったデータをターゲット、スタンダードそれぞれで加算平均を行い、その差分を出力した。EEG データについても同様の処理を行った。

3.3 結果と考察

EEG (Pz 電極) での計数課題の結果を図 2 に示す。実線が難易度が 50%、破線が難易度が 80% のときである。図 2 より、全ての被験者で P300 が誘発されていることが確認できる。また、オドボール課題の難易度の変化に対して、P300 と難易度の違いによる頂点潜時の違い(難易度が高いほど頂点潜時が遅い)も確認できる。これは従来の知見 [Comerchero 99][Takakura 16] と一致する結果であり、EEG により P300 が正しく計測されていることを表している。

次に MI センサで計測をした MEG の結果を図 3 に示す。図 3 は、図 2 で示した計数課題の EEG の波形に MEG の波形を重ねたものであり、破線が EEG を、実線が MEG をそれぞれ表している。図 3 において、上段が難易度 50%、下段が難易度 80% のときである。subA の難易度 50% では、EEG と比較して振幅は小さいが、MEG においても P300 が確認できる。また、難易度 80% に関しても、頂点潜時が少しずれてはいるが、P300 が確認できた。subB に関しては、両難易度で P300 が確認された。しかし、P300 が確認できた subA, subB に関

して、難易度の違いによる頂点潜時の違いを確認することはできなかった。また、subC, subD に関しては P300 を確認できなかった。これは頂点潜時と振幅がずれている波形を含んだまま加算平均を行ったことにより、P300 波形を打ち消してしまったことが原因だと考えられる。

4. SWLDA によるターゲット波形とスタンダード波形の判別

3.3 では、MEG のデータにおいて、P300 が確認される被験者もいたが、確認できない被験者もいた。P300 speller を使用するにあたって、ターゲット波形で P300 が誘発されていることが望ましいが、ターゲット波形とスタンダード波形に P300 以外での違いがあれば、判別をすること自体は可能であると考えられる。そこで、EEG において P300 判別に多く用いられている SWLDA [Krusienski 06] により、単一のターゲット波形を判別できるかについて実験を行い、MI センサの P300 speller への適用可能性を検討する。

4.1 実験

3.1 の実験で得られた MEG データに 3.2 のデータ処理を行った後、ターゲット波形とスタンダード波形の判別を行った。3.2 のデータ処理により残ったターゲット波形の個数を K 個とする。その後、波形データに対し、50ms ずつの移動平均を取り、16 次元のデータを抽出した。ターゲット波形とスタンダード波形の数に偏りがあるため、スタンダード波形をランダムに抽出し、スタンダード波形の数を K 個に合わせた。

ターゲット波形とスタンダード波形の各 1 波形をテストデータとし、残りを学習データとして、K-fold cross-validation を行った。SWLDA において、 p 値が 0.1 未満を判別に用いる変数として選択した。

4.2 結果と考察

判別を行った結果を表 2, 3 に示す。ターゲット波形とスタンダード波形の判別を行ったが、そもそも正しく学習を行うことができない場合があった。そのため、表 2, 3 では、そもそも学習データで判別器を作成することができた割合を示している。表 2, 3 より、残念ながら全ての被験者において、判別器を作成することができない場合が多かった。これは、判別器を生成する際の SWLDA の p 値が、0.1 未満を満たす変数が無かったためである。したがって、収集した MEG データにおいて、ターゲット波形とスタンダード波形に違いがなく、単一波形での判別はできないと考えられる。

3.1 のスタンダードとターゲットの差分をとった波形では P300 が確認されていたが、これは加算平均を行って差分をとった結果であり、実験 4 で単一のターゲット波形とスタンダード波形には違いがなかったことから、ある程度加算を行った波形で判別を行う必要があり、今後データをさらに収集して検討を行う必要があると考えられる。

5. まとめ

本稿では、MI センサを用いた視覚性オドボール課題を課す実験を行い、MEG のデータを収集した。一部の被験者で MEG で P300 を観測することはできたが、単一のターゲット波形とスタンダード波形では多くの場合で判別器を作成できなかった。

今後は、レベルリジェクトで取り除けない波形の除去や、さらに MEG のデータを収集し、加算を行った波形での判別を行い、MI センサの P300 speller への適用可能性を引き続き模索していく予定である。

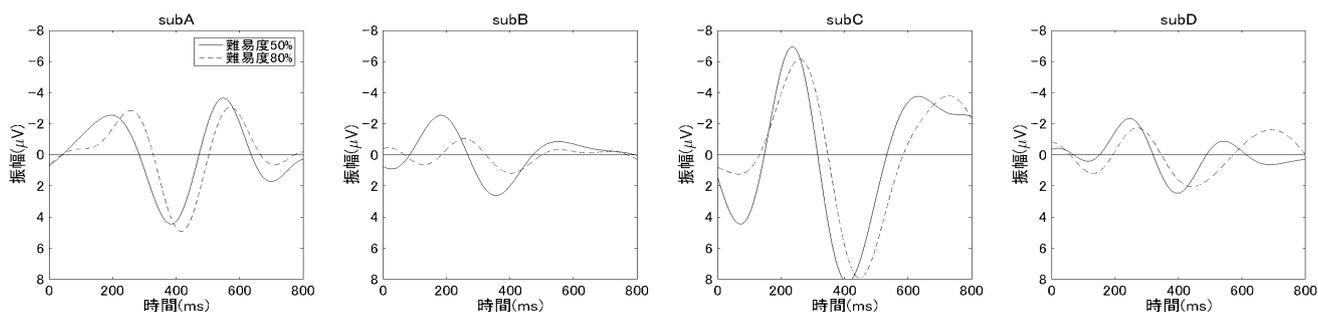


図 2: EEG の波形

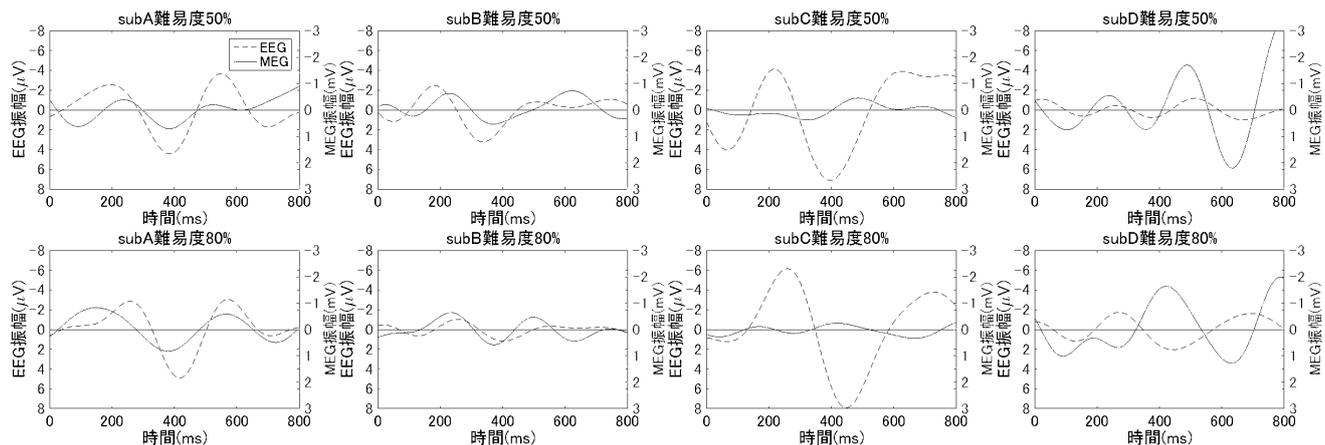


図 3: MEG の波形と EEG

表 2: 難易度 50% の判別結果

難易度 50%	subA	subB	subC	subD
判別器作成率	0.33	0.73	0.52	0.5

表 3: 難易度 80% の判別結果

難易度 80%	subA	subB	subC	subD
判別器作成率	0.14	0.85	0.68	0.46

謝辞

本研究の一部は、独立行政法人科学技術振興機構 (JST) の研究成果展開事業「センター・オブ・イノベーション (COI) プログラム」の支援によって行われた。名古屋大学大学院工学研究科電子情報システム専攻内山研究室の王可望氏、浅野光平氏、西田貴樹氏、内山剛准教授らの実験の協力を感謝の意を表す。

参考文献

- [Comerchero 99] Comerchero, M. D.: P3a and P3b from Typical Auditory and Visual Stimuli, *Clinical Neurophysiology*, Vol. 110, No. 1, pp. 24–30 (1999)
- [Debener 05] Debener, S., Makeig, S., Delorme, A., and Engel, A. K.: What Is Novel in the Novelty Oddball Paradigm? Functional Significance of the Novelty P3 Event-Related Potential as Revealed by Independent

Component Analysis, *Cognitive Brain Research*, Vol. 22, No. 3, pp. 309–321 (2005)

- [Farwell 88] Farwell, L. A. and Donchin, E.: Talking off the Top of Your Head: Toward a Mental Prosthesis Utilizing Event-Related Brain Potentials, *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, Vol. 70, No. 6, pp. 510–523 (1988)
- [Krusienski 06] Krusienski, D. J., Sellers, E. W., Cabestain, F., Bayouthe, S., McFarland, D. J., Vaughan, T. M., and Wolpaw, J. R.: A comparison of classification techniques for the P300 Speller, *Journal of neural engineering*, Vol. 3, No. 4, p. 299 (2006)
- [Mecklinger 98] Mecklinger, A., Maess, B., Opitz, B., Pfeifer, E., Cheyne, D., and Weinberg, H.: A MEG analysis of the P300 in visual discrimination tasks, *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology/Evoked Potentials Section*, Vol. 108, No. 1, pp. 45–56 (1998)
- [Mohri 07] Mohri, K. and Honkura, Y.: Amorphous Wire and CMOS IC Based Magneto-Impedance Sensors-Origin, Topics, and Future, *Sensor Letters*, Vol. 5, No. 1, pp. 267–270 (2007)
- [Panina 94] Panina, L. and Mohri, K.: Magneto-Impedance Effect in Amorphous Wires, *Applied Physics Letters*, Vol. 65, No. 9, pp. 1189–1191 (1994)
- [Takakura 16] Takakura, K., Yoshikawa, T., and Furuhashi, T.: A study on relationship between age and

oddball-task difficulty on peak latency of P300, in *Neural Networks (IJCNN), 2016 International Joint Conference on*, pp. 2076–2080 (2016)

[Wang 14] Wang, K., Tajima, S., Asano, Y., Okuda, Y., Hamada, N., Cai, C., and Uchiyama, T.: Detection of P300 Brain Waves Using a Magneto-Impedance Sensor, in *2014 the 8th International Conference on Sensing Technology, Liverpool, UK*, pp. 2–4 (2014)

[吉川 14] 吉川大弘, 山本裕也, 河合康平, 古橋武: P300 spellerの実適用における評価, 日本知能情報ファジィ学会 ファジィシステム シンポジウム 講演論文集 第 30 回ファジィシステムシンポジウム, pp. 274–277 (2014)

[小谷 88] 小谷誠: 生体磁気計測, 計測と制御, Vol. 27, No. 3, pp. 205–211 (1988)