事象関連電位 P300 を用いたコミュニケーションエイドの開発* (意思判定システムへの P300 の適用)

藤 尾 宣 幸^{*1}, 齊 藤 俊^{*2}

Development of Communication Aid using Event-Related Potential P300 (Application of P300 to Intention Judgement System)

Nobuyuki FUJIO and Takashi SAITO^{*3}

^{*1} Applied Medical Engineering Science, Graduate School of Medicine, Yamaguchi University,
2 16 1 Tokiwadai, Ube shi, Yamaguchi, 755 8611 Japan

We examine a method of decision judgment using Event-Related Potential P300 in Communication Aid (CA) for those who have motor neuron disease, ALS (Amyotrophic Lateral Sclerosis). Taking a practical situation into consideration, we try to extract the signal about P300 under not a shield but a usual room and by a single trial. We propose to evaluate the exact decision of the user who may hope something for someone. Introducing an improved Oddball Paradigm and appropriate moving averaging, we can realize the extraction of the wave of P300 under a usual room and by a single trial. Applying a modeled waveform with quantitative conditions used in clinical diagnosis, we can obtain successful results with a higher ratio in judgment about users' decision.

Key Words: Communication Aid, Event Related Potential, P300, Oddball Paradigm, Moving Average, P300 Model Waveform

1. 結 言

筋萎縮性側索硬化症 (ALS) は、運動ニューロンが変性し、運動機能が進行性に低下する疾患である。したがって、症状の進行により、随意運動が不可能となる。さらに、球神経破壊のために構語障害を生じると、言語によるコミュニケーションも困難となる^①。

このような場合、意思伝達補助としてコミュニケーションエイド (Communication Aid-CA: 意思伝達装置) とよばれる福祉機器が使用される。CA の定義は、筆談用のボードから PC を用いて処理を行うものまで幅広い^②。しかしながら、これらの CA は、手足・顎・呼吸など使用者の残存する運動機能を使用するものであり、これらが低下・消失する ALS 患者への適用は困難となる。

一方、ALS の症状の特徴として、脳機能は侵されず、認知・識別機能が残存する。そこで、CA の操作に脳電位を用いる技術が注目されており、β波の発現を利用した技術が実用化された例も報告されている^③。

しかし、その問題点として、β波の意識的な導出が必要であり、直接的な意思の反映がなされていない点、β波の発現に個人差が大きく、β波の意識的な導出にある程度の訓練が必要となるほか、意識的な導出自体が使用者の負担となり得る点、脳電位よりも振幅の大きい、瞬きや眼球運動による電位変化に反応し、誤作動を起こす可能性がある点、などが挙げられる。

そこで本研究では、事象関連電位 P300 を CA に適用する。P300 を CA に適用する利点としては、意思を反映し、導出に特別な訓練や意識の集中を必要としない点、認知・識別機能が正常である限りは出現するため、発現の有無が個人差に大きく左右されない点、瞬きや眼球運動による電位変化の影響を除去可能な点などが挙げられる。

P300 は、人間の選択的注意・認知・意思決定といった脳の高次機能を反映する電位といわれている^④。P300 測定では、オドボール課題 (Oddball Paradigm) とよばれる実験方法に基づき、2 種類の視覚・聴覚・体性感覚刺激を呈示する。そのうち、予め指定された 1 種類の刺激 (標的刺激) の呈示に対してのみ、一過性に発現する顕著な陽性電位である。P300 は、一般的に刺激呈示から最大陽性電位までの時間 (潜時)、最大陽性電位の振幅などを用いて判読を行う^⑤。

* 原稿受付 2003 年 6 月 11 日。

^{*1} 学生員、山口大学大学院医学研究科応用工学系専攻 (〒755 8611 宇部市常盤台 2 16 1)。

^{*2} 正員、山口大学大学院医学研究科応用工学系専攻。

E mail: tsaito@yamaguchi-u.ac.jp

P300 を用いた CA に関する先行研究としては、Farwell と Donchin によって開発され、山田が改良した脳波キーボードがある⁶⁰⁾。平均 3.0 文字/分の入力に成功している。井上らは、CA に適用する上で、使用者の負担軽減を考慮し、5 種類の単語による被選択項目の呈示を行うシステムについて検討している⁶⁾。しかし、P300 成分抽出のための信号処理手法が複雑な点や、加算平均を行うために刺激呈示回数が多く、使用者の疲労が懸念される。井出らは、この問題点に対して、2 種類の単語による被選択項目の呈示から、単一試行での P300 成分抽出による CA を提案している⁶⁾。この手法では、結果の評価を 1 試行毎に行うため、誤判定の確率が高く、CA に適用した場合、入力の誤りが 2, 3 回に 1 回の確率で生じると報告されている。

本研究では、P300 を用いた CA における中枢部分である、意思判定システムについて検討を行う。前述の問題点を踏まえた上で、CA に要求される性能である「正確性（正確な意思判定）」と「即時性（短時間での意思伝達）」を考慮し、検討を行う。

まず、P300 を CA に適用する上での実用上の問題点として、P300 の一般的な測定・解析法⁶⁰⁾が挙げられる。P300 は α 波、 β 波などに分類される背景脳波と比較して微弱であることから、刺激呈示環境としては、電気的なアーチファクト（雑音）が脳電位に混入することを防ぐため、電気的シールド及び遮音を施したシールドルームが推奨されている。また、解析法としては、複数回試行による加算平均により、P300 成分以外の背景脳波や雑音成分を除去する方法をとる⁶⁰⁾。しかしながら、実用を考えた場合、シールド環境の実現は困難である。また、複数回試行は呈示刺激に対する使用者の疲れや慣れの原因となり、効果的な P300 導出の妨げになるほか、呈示時間が長くなるため、短時間での意思伝達には不適である。

そこで、本研究では、シールド環境が施されているシールドルーム内を理想環境下、シールド対策を施していない実験室を一般的な環境下と考え、シールド環境にない実験室内での、単一試行による実現について検討する。すなわち、P300 を用いた CA の実現条件として、まず、測定・解析法に関する以下の 2 点を掲げる。

(1) 一般的な環境下での P300 抽出

(2) 単一試行での P300 抽出

さらに、CA 実現のためには、正確な意思伝達が要求されることから、さらに以下の条件を掲げる。

(3) 使用者の意思の正確な判定

Fig.1 Diagrammatic representation of Intension Judgment System

本研究では、オドボール課題の改良、移動平均処理、および、複数意思判定条件導入により、これらの条件を満たすことが可能であることを示す。そして、それらの手法を用いて、実用を想定した意思選択実験を実施し、実験結果の評価を行う。以上を踏まえて、P300 を用いた CA の実現性及び先行研究と比較した本システムの有効性を示す。

2 意思判定システム

2.1 本システムの特徴 図 1 に本システムの概要を示す。本システムは、前述の先行研究と比較して、以下のような特徴を有する。

(1) 写真による被選択項目の呈示

本システムでは、項目の呈示を写真による視覚刺激とする。これにより、刺激に対する判別が容易になる、使用者がより興味をもちやすくなり、注意を向けやすくなる、といった P300 の効果的な導出への効果と、イメージが容易になる、直感的な判断が可能となる、といった CA の実用面での効果が期待できる。

(2) 単一試行 P300 抽出による刺激呈示回数低減と測定時間短縮

単一試行での抽出により、使用者の負担軽減と P300 の効果的な導出を図る。なお、後述のように単一試行での意思判定は実施しない。

(3) 簡潔な P300 抽出処理

P300 抽出処理に関して、移動平均による高域遮断フィルタリングのみを用いる。処理が簡潔であり、処理時間の短縮が期待できる。

(4) 視察を反映した P300 出現判定

視察を反映した P300 出現条件の設定を行う。これらの設定値の目安は文献等に明示されているため、判定条件に一般性を有する。

(5) 単一試行毎の判定結果累積による最終意思判定

Fig.2 Outline of the measurement system

本システムでは、試行毎に P300 出現判定を行うものの、実際の意思判定においては、判定結果を欲求刺激の種類毎に累積する方法を採用し、判定精度の向上を図る。

以下、システムの各 Step について述べる。

22 Step1-被選択項目呈示～脳電位測定・記録部分

図 2 に、測定システムの概略図を示す。被験者は椅子に座り、刺激呈示用 PC にて欲求刺激の呈示を受ける。なお、脳電位の測定は、日本光電製 脳波計 (EEG-5532) を使用する。測定部位は国際 10-20 法に基づいている。P300 出現評価には、頭皮正中線上 Cz 及び Pz を用い、瞬き・眼球運動アーチファクトのモニタリング用として、前額部 Fp1 の記録を行う。脳電位は、両耳導結基準にて導出する。測定された脳電位は、脳波計内部のアナログフィルタで 0.16~60Hz に帯域制限される。脳波計からのアナログ出力は、サンプリング周波数 200Hz で A/D 変換後、記録用 PC に記録される。

本システムでは、欲求の一例 (テレビ・食事・睡眠・シャワー・飲料) を被選択項目とする (以後、欲求刺激と称する)。項目数を 5 種類としたのは、このとき最も P300 検出率が高いという報告による¹⁰⁾。欲求刺激は各 6 回、計 30 回ランダムに呈示される (総呈示時間約 70 秒)。使用者の欲求に最も近い 1 種類が標的刺激となり、これに注意を向けることで P300 が導出される。

一般的な導出法として、オドボール課題が用いられる。本システムでは、実現条件(1)(2)の達成のために、使用者からの効果的な導出を目的とした、オドボール課題の改良を行う。具体的には、被選択項目を 5 種類の写真による欲求刺激とする。また、刺激呈示環境に関しては、一般的な環境下である実験室にて測定を行うことから、電極リード線の整理や電極低抗の低減など、実用化に際して対応可能な最低限のアーチファクト対策にとどめる。また、使用者の意識が周囲へ転動

することを防ぐために、使用者の周囲に簡易的な衝立を設置する。

23 Step2-移動平均による P300 抽出 P300 の周波数は 3Hz 程度である。そこで、Step1 にて記録された脳電位に対し、移動平均による高域遮断フィルタリングにより、移動平均データ点数を 17 点として、52Hz まで帯域制限を行い、背景脳波 (α 波・ β 波) 及び雑音成分を除去する。これにより、波形の平滑化及び P300 成分の明瞭化を図る。

24 Step3-意思判定アルゴリズム Step2 にてフィルタリングされた脳電位データに関して P300 出現判定を行い、出現の有無から使用者の意思を自動判定するアルゴリズムを適用する。アルゴリズムの詳細に関しては、第 4 章にて述べる。

3. 一般的環境下・単一試行での P300 抽出

被験者 1 名 (23 歳・男性) について、Step1 及び Step2 の実施によって得られたデータから、P300 の測定・解析法に関する実現条件(1)(2)についての検討を行う。図 3 に、理想環境下で得られた単一試行波形を示す (以後脳電位のグラフは、横軸 (時間) 0 の部分を刺激呈示点とし、縦軸 (振幅) は下向きを陽性とする)。(a) は脳波計で記録された元波形、(b) は移動平均後の波形である。移動平均により波形が平滑化され、単一試行でも明瞭な P300 の抽出に成功している (図中○印)。図 4 には、各測定環境における移動平均後の測定結果を示す。測定環境の違いに関わらず、一般的な環境下でも明瞭な P300 の抽出に成功している。

Fig.5 Time-series data of brain potential to exhibiting stimulations

以上の結果から、理想環境下と同様に、シールド対策を施していない環境下において、単一試行での P300 抽出が実現可能であることが明らかとなった。

また、図 5(a)~(e)に、被験者に呈示した 5 種類の欲求刺激それぞれに対する一般的な環境下における単一試行での波形を示す。なお、被験者は測定前の欲求として「食事」を選択していたため、(a)が標的刺激、その他が標準刺激となる。この結果から、「食事」の呈示に対してのみ、P300 の陽性変動が出現していることがわかる。すなわち、P300 出現の有無から標的刺激を判定し、これを使用者の意思判定に適用することが可能となる。

4. 意思判定アルゴリズム

Step3 では、P300 出現の有無から、使用者の意思を自動判定する意思判定アルゴリズムを適用する。本アルゴリズムでは、即時性と正確性の双方を考慮した意思判定方法を採用している。つまり、単一試行波形の P300 出現判定を行うことで、刺激呈示回数低減と測定時間短縮を行い、使用者の負担軽減及び P300 の効果的な導出を図る。一方、意思判定においては、試行毎の判定結果を欲求刺激の種類毎に累積する。全 30 試行の出現判定終了後、最終的に最も「P300 出現あり」と判定された回数の多かった刺激を標的刺激、つ

Fig.6 Condition of P300 appearance judgement

Fig.7 Measurement data and model waveform

まり使用者の意思と判定する。これにより、単一試行での意思判定と比較して、試行毎の誤判定の影響を除去することが可能となり、判定精度向上が期待される。

図 6 に、P300 出現判定条件を示す。判定条件の設定においては、まず、臨床判読法⁽⁹⁾及び過去の研究⁽¹²⁾を参考に、(1)潜時、(2)振幅、(3)アーチファクトに関する以下の定量的条件を定義する。

- (1) 刺激呈示後 200~600msec に陽性頂点が存在
- (2) 評価区間内の最大陽性頂点の振幅 12 μV 以上
- (3) 瞬き・眼球運動によるアーチファクトの影響なし

さらに、P300 モデル波形に基づく、以下の定性的条件を定義する。

- (4) 測定データとモデル波形の相関係数 0.6 以上
- 本アルゴリズムでは、各試行・測定点の波形に対して、前述の判定条件を適用し、P300 出現判定を行う。条件(1)(2)(4)は Cz 及び Pz、条件(3)は Fp1 でのデータを基にする。各測定点のうち、条件(1)~(4)のすべての条件を満たしたとき、P300 出現と判定する。

P300 モデル波形に関しては、過去の研究において二次回帰曲線⁽⁹⁾、むだ時間を含む二次要素モデル⁽¹⁴⁾などが適用されているが、即時的に処理可能となるものは見当たらない。また、ウェーブレット関数を用いたフィルタリング処理なども行われているが⁽⁹⁾、処理の煩雑さに対してそれほど効果が上がっているようには思われない。本研究では、即時性を考慮して、二次曲線とパラメータ数が同じで、 $t \rightarrow \pm\infty$ で零に収束するガウス関数を基にした以下の式を採用する。

$$A = A_{\max} \exp\{-h(t - T_{\max})^2\} \quad (1)$$

ここで、 A ：振幅、 $A_{\max}$ ：最大陽性頂点の振幅、 t ：時間、 $T_{\max}$ ：潜時、 h ：波形の形状に関する定数である。本アルゴリズムでは、測定データから最小二乗法により各試行・測定点で未知パラメータ、 $A_{\max}$ ・ $T_{\max}$ ・ h を決定し、モデル波形を作成する。図 7 に、測定データとこれを基に作成したモデル波形の例を示す。P300 が出現している場合(a)においては、モデル波形が測定データとよく一致し、高い相関係数を示す。一方、P300 が出現しない場合(b)においては、これらが一致せず、相関係数も低くなることがわかる。

5. 意思選択実験

5.1 実験の目的と方法 本システムの総合的な検証を行うために、実用を想定した意思選択実験を実施した。本実験によって得られた結果から、本システムの実現性及び有効性についての検証を行った。

被験者は、22～24 歳の健康男性 8 名（被験者 A～H）とした。被験者にはインフォームドコンセントを行い、実験の主旨及び内容の説明と、それに関する同意を得た上で実験を実施した。また、測定直前にアンケートを実施し、5 種類の被選択項目（欲求刺激）から、自身の欲求に最も近いもの 1 種類を標的刺激として任意に選択させた。実験中は、選択した標的刺激のみに注意を向けるように教示した。

実験は、図 1 に示した流れに従って実施した。測定システムは図 2 に示した通りである。測定環境の相違による比較と意思選択の再現に関する検討を行うため、理想環境下及び一般的環境下で各 1 回実験を実施した。また、被験者のうち 5 名に対しては、オドボール課題の改良効果実証のための予備実験として、2 種類の図形（○、×）選択による課題を用いた実験を理想環境下及び一般的環境下で各 1 回実施した。

5.2 実験結果と考察

5.2.1 実験結果 表 1-1 及び表 1-2 に、意思選択実験における P300 出現判定結果を示す。表 1-1 は理想環境下、表 1-2 は一般的環境下での判定結果であり、表中の数字は各欲求刺激 6 試行中で「P300 出現あり」と判定されたポイント数である。また、色のついているマスはその実験における最高ポイントである。表 2 には、表 1-1 及び表 1-2 に示した P300 出現判定結果から得られた、最終的な意思判定結果を示す。表中の「○」は正答（被験者の意思を正確に判定）、「△」

Table 1-1 Point of P300 appearance in the shield room

(Under 6 trial each)

	A	B	C	D	E	F	G	H
TV	1	2	0	2	0	2	3	0
Food	3	4	1	1	2	1	4	2
Sleep	2	0	0	2	0	0	1	3
Shower	2	2	0	0	0	0	3	0
Drink	1	1	2	5	0	3	2	0

Table 1-2 Point of P300 appearance in the usual room

(Under 6 trial each)

	A	B	C	D	E	F	G	H
TV	3	1	2	1	1	0	1	0
Food	4	2	1	2	3	0	4	0
Sleep	1	1	1	0	1	0	1	3
Shower	2	1	0	2	1	2	1	0
Drink	0	1	4	3	0	2	1	0

Table 2 Final conclusion of intention selection experiment

	A	B	C	D	E	F	G	H
Shield room	○	○	○	○	○	○	○	○
Usual room	○	○	○	○	○	△	○	○

は判定不可能（標的刺激を含めた複数刺激で同一ポイント）である。被験者 8 名に対して実施したのべ 16 回の実験のうち、15 回で正確な意思判定に成功し、94%という高い正答率を得た。また、残る 1 回に関しても、同一ポイントによる判定不可能という結果であり、最終判定における意思の誤判定はみられなかった。

5.2.2 測定環境の相違による結果の検討 表 2 から、測定環境の相違に関わらず、良好な意思判定に成功していることがわかる。したがって、一般的な環境下における本システムの適用は十分可能であると考えられる。

5.2.3 意思判定の再現性 今回実施した 2 回の実験は、測定環境の相違以外は同一システム、同一測定日で実施した。また、実験間のインターバルは 15 分程度であった。表 2 に示すように、同一被験者の 2 回の実験において、その双方でほぼ正確に被験者の意思判定に成功している。したがって、P300 を用いた意思選択の再現性が確認された。

さらに、本実験に参加した被験者は、P300 測定はもちろん、脳電位測定も初めてである場合が大半であった。このような被験者に対して、事前の概要説明のみで P300 を用いた正確な意思判定が実現可能であることから、本システムの導入に際しては、P300 導出のための訓練が不要であることがわかる。したがって、個人差の少ないより汎用性の高いシステムの提供が可能であると考えられる。

Fig.8 Percentage of right answers according to experiment method

53 P300 を用いた CA の実現性 本システムでは被験者の意思判定において 94% という高い正答率を実現し、誤判定は見られなかった。したがって、意思判定の信頼性は高いといえる。また、測定環境に関わらず正確な意思判定が可能であり、同一被験者においても再現性があることがわかった。

以上のことから、実現条件の 1 つである「使用者の意思の正確な判定」は十分達成可能であるといえる。第 3 章における検討から、一般的環境下・単一試行での P300 抽出が実現可能であることが既に示されている。したがって、本研究で掲げた実現条件はすべて達成可能であり、P300 を用いた CA の実現性が示された。

54 本システムの有効性

54.1 オドボール課題の改良効果 本システムでは、P300 の効果的な導出を目的として、オドボール課題の改良を行った。そこで、2 種類の図形選択によるオドボール課題を実施した被験者 5 名 (C, D, F, G, H) を比較の対象として、本システムにおけるオドボール課題の改良効果について検証する。

評価方法としては、本システムの場合、標的刺激 (1 種類: 計 6 試行/回) と標準刺激 (4 種類: 計 24 試行/回) とする。また、図形選択の場合、標的刺激 (○: 計 6 試行/回) と標準刺激 (×: 計 24 試行/回) とする。正答率の計算は、各 2 回の実験結果を総合して行う。

Table 3 Percentage of right answers according to systems

	Average percentage of right answers
This system	94
System-A	90
System-B	69

Table 4 Percentage of right answers in single trial

	Average percentage of right answers (Target)	Average percentage of right answers (Standard)
This system	53	85
System-B	69	57

図 8 に各実験の正答率を示す。(a)は標的刺激、(b)は標準刺激の正答率である。オドボール課題の改良により、標的刺激の正答率が改善されていることがわかる。標準刺激に関しても、概ね正答率の改善がみられる。被験者 F では微減傾向にあるものの、高い正答率を維持している。したがって、本システムの適用により、効果的な P300 抽出が実現されるとともに、試行毎の誤判定の確率も低下していることが実証された。

54.2 先行研究との比較 実験結果を基に、先述の井上らのシステム (以下 System-A)、井出らのシステム (以下 System-B) との比較を行う。まず、意思判定正答率に関する比較を行う (表 3)。サンプル数に差があるため、同等での比較はできないものの、本システムの正答率が高い値を示しており、本システムの有効性が示唆された。とくに System-B との比較では正答率が大きく改善されている。これは、単一試行による意思判定ではなく、単一試行判定結果の累積を行うことで、判定精度が向上し、システムの信頼性が高まることを示している。

次に、試行毎の P300 出現判定正答率について、本システムと同様に単一試行での評価を行っている System-B との比較を行う (表 4)。本システムでは、標的刺激正答率は劣るものの、標準刺激の正答率で大きく上回っていることがわかる。CA において、標準刺激に対する誤判定は、正確な意思判定にとくに大きく支障をきたす。つまり、誤った意思を伝達する危険性が高まり、システムの信頼性が低下する。したがって、標準刺激の正答率の高い本システムの有効性が実証されたといえる。

最後に、判定時間について、本システムと同様に 5 種類の被選択項目を呈示する System-A との比較を行う。刺激呈示時間に限った場合、本システムは約 70 秒、System-A は約 80 秒と大差は無い。しかしながら、本システムが P300 成分抽出に移動平均のみを用いる

のに対し、System-A においては複数の処理を必要としているため、処理時間に差が生じることが予想される。処理時間は、ハードウェアの性能に依存するが、本システムで採用している移動平均はリアルタイム処理も可能であることから、総合的な判定時間に関しては、本システムは有効であると考えられる。また、刺激呈示回数に関して、本システムが計 30 回であるのに対し、System-A では加算平均を行う関係上、計 150 回の試行を要する。したがって、使用者の疲労や負担軽減の面でも、本システムはより効果的であると考えられる。

6. 結 言

本研究では、ALS 患者を対象とした CA として、事象関連電位 P300 を適用し、これを用いた意思判定システムに関する検討を行った。システム各部の検討及び総合的な検証のための意思選択実験を実施し、以下の結論を得た。

1. オドボール課題の改良、刺激呈示環境の整備、移動平均による波形処理を行うことで、一般的環境下・単一試行での P300 抽出に成功し、P300 を意思判定に適用可能であることが示された。
2. 正確性及び即時性を考慮した意思判定アルゴリズムを提案し、実用を想定した意思選択実験から、良好な意思判定結果を得た。
3. 以上の結果から、本システム適用により、P300 を用いた CA の実現性が示された。
4. 先行研究との比較において、本システムの有効性が示された。

今後の課題としては、さらなる判定精度向上のための試みや、ハードウェア部分などの CA 全般に関する検討などが必要となる。これら実用化に向けた各種検討を行っていく。

参考文献

- (1) “QOLe Lifeline” HP : <http://www.qole-acct.co.jp/>
- (2) “こころ Web” HP : <http://www.kokoroweb.org/>
- (3) 生体信号を機器の制御信号として応用する方法及びその装置、特開平 11-203022。
- (4) 日本生理人類学会計測研究部会、人間科学計測ハンドブック、(1996)、288-290、技報堂出版。
- (5) 加賀君孝・古賀良彦・大澤美貴雄・平松謙一、事象関連電位 (ERP) マニュアル-P300 を中心に、(1995)、10-19、篠原出版。
- (6) L.Farwell and E.Donchin, Talking off the top of your head : toward a mental prosthesis utilizing event-related potentials, *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 70(1988), 510-523.
- (7) 山田奨治、脳波キーボードの入力速度向上手法と評価、電気情報学会論文誌, J79-A-2(1996)、329-336。
- (8) 井上倫夫・中島健二・加納尚之、ハールウェーブレットを用いた高速フィルタ処理による P300 の検出、医用電子と生体工学, 38-1(2000)、57-66。
- (9) 寺田尚美・田中久弥・野澤昭雄・井出英人、重回帰分析を用いた単一試行事象関連脳電位の分析法、平成 14 年電気学会全国大会講演論文集, 2002-3(2002)、118。
- (10) 誘発電位検査法委員会・誘発電位測定指針 (案)、脳波と筋電図, 13-1(1985)、97-104。
- (11) 井上倫夫・中島健二・加納尚之、提示された項目の一つを選択するときの項目の数と P300 成分、医用電子と生体工学, 38-2(2000)、134-139。
- (12) 西田茂人・中村政俊・諏訪園秀吾・本田学・柴崎浩、単一試行誘発電位の波形特徴抽出のためのモルフォロジィフィルタ設計、医用電子と生体工学, 34-3(1996)、255-263。
- (13) 投石保広・下河内稔・小椋力・岸本朗、事象関連電位(ERP)による精神病患者の判別の試み、臨床脳波, 30-4(1988)、217-220。
- (14) 中村政俊・林真由美・西田茂人・諏訪園秀吾・本田学・長峰隆・柴崎浩、むだ時間を含む 2 次要素モデルを介在させた事象関連電位の単一試行記録処理法, 32-1(1994)、28-35。