

令和 2 年 6 月 17 日現在

機関番号：15501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06462

研究課題名 (和文) 確率共鳴を用いた聴覚型ブレインマシンインターフェースの開発

研究課題名 (英文) Auditory Brain Machine Interface with Help of Stochastic Resonance

研究代表者

西藤 聖二 (Nishifuji, Seiji)

山口大学・大学院創成科学研究科・准教授

研究者番号：60253168

交付決定額 (研究期間全体) : (直接経費) 2,700,000 円

研究成果の概要 (和文) : 本研究課題では、確率共鳴を用いた聴覚定常反応による聴覚型BMIを中心に、非視覚型BMIの研究開発を行った。まず、確率共鳴の雑音特性への依存性を調べて、ピンク雑音が最も確率共鳴を誘発しやすいことを見出した。雑音を付加した聴覚刺激を用いたBMIでは、雑音無付加時に比べて判別精度が10%改善され、被験者平均が77%となった。さらに、体性感覚誘発電位を用いた触覚型BMIと、 α 波を用いた自発型BMIの可能性を検討した。その結果、触覚型BMIでは低変調周波数で振幅変調された振動刺激によるBMIの判別精度の改善と、自発型BMIでは言語 (しりとり) 課題による効率的な α 波の変調と80%を超える判別精度を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ブレインマシンインターフェース (BMI) は、脳波を用いて他者に自らの意思を伝えることができる。従来のBMIでは点滅光を用いた視覚型が主流であるが、光による疲労や視覚障害者では利用できない場合があることが課題である。本研究では聴覚型BMIを始めとした非視覚型BMIの研究を行った。特に、雑音が脳波の振幅を増幅する確率共鳴を利用して、適切に雑音を加えることによって聴覚型BMIの精度を改善できた。触覚刺激を用いたBMIと、 α 波を用いたBMIの可能性についても明らかにした。これらによって、視覚機能が不要なBMIの可能性が広がった。

研究成果の概要 (英文) : We developed non-visual brain machine interfaces (BMIs) including mainly an auditory BMI based on auditory steady-state response (ASSR), ASSR-BMI, with help of stochastic resonance. Stochastic resonance in ASSR depended on the frequency characteristics of noise, and in particular pink noise was most effective to elicit stochastic resonance in ASSR. The classification accuracy of ASSR-BMI with help of stochastic resonance was raised up to 77 % in average of subjects, 10 % higher than the conventional ASSR-BMI without noise. In addition, We examined the feasibility of tactile BMI based on steady-state somatosensory evoked potential (SSSEP-BMI) and independent BMI based on alpha wave. The classification accuracy of SSSEP-BMI was improved by introducing the mechanical oscillation modulated with lower frequency. A language task "shiritori", similar to word chain game, was seen to contribute to the achievement of the classification accuracy of the independent BMI higher than 80 %.

研究分野：生体信号処理

キーワード：ブレインマシンインターフェース ブレインコンピュータインターフェース 確率共鳴 聴覚定常反応 定常状態体性感覚誘発電位 アルファ波 視覚機能に依存しないBCI 視覚機能に依存しないBMI

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

1. 研究開始当初の背景

(1) ブレインマシンインターフェース (BMI) の動向

BMI は、脳波を用いて自らの意思を他者に伝えるシステムである。本来、BMI は、筋委縮性側索硬化症 (ALS) などの重度の運動障害を持つ患者向けに研究・開発されてきたが、最近では、リハビリ、ゲーム、家電、意思決定や運転支援などの多様な分野に応用が広がっている（文献①）。

BMI に用いられる脳波の中で、フリッカー刺激により誘発される定常状態視覚誘発電位 (Steady-State Visual Evoked Potential; SSVEP) は、訓練不要で高い振幅と良好な再現性を有するため、SSVEP を用いる BMI (SSVEP-BMI) は、他の脳波成分を用いる BMI よりも BMI の性能指数である情報転送速度 (Information Transfer Rate; ITR) に優れており、BMI の主流の一つになっている（文献②）。

ところが、殆どの BMI では脳波以外の機能を要する。例えば SSVEP-BMI では刺激を注視する能力が必須である。従って、眼球運動の制御に難があるユーザや、進行した ALS 患者は利用できず、注視不要の BMI が望まれている。ただし、注視不要の SSVEP-BMI の先行研究には、判別精度や、眼球の動きが排除されていないなど、様々な課題がある（文献③、④）。また、視覚型以外の BMI として、聴覚型や触覚型などが提案されているが、いずれも視覚型に比べて判別率で 30% 程度低く、ITR は 1/10 以下と、性能が大きく劣っている（文献⑤）。聴覚誘発電位や体性感覚誘発電位は視覚誘発電位に比べて一般に振幅が小さく、聴覚型 BMI が視覚型 BMI に比べて性能が劣っている要因の一つになっている。

(2) 聴覚型 BMI の課題と本研究の視点

研究代表者は、聴覚型 BMI に用いる脳波信号として、周期音刺激に同調する聴性定常反応 (Auditory Steady-State Response; ASSR) に注目した（文献⑥）。ASSR は、SSVEP と同様に持続時間が数秒程度持続するため、SSVEP-BMI と同様の高い判別性能と情報転送速度 (Information Transfer Rate; ITR) を実現することが期待できる。ただし、上述のように振幅が SSVEP と比較して小さい上に、持続性についても試行毎のばらつきが大きい。

そこで、研究代表者は、確率共鳴を用いて ASSR を増幅することを着想した（文献⑦、⑧）。ASSR の振幅を大きくすることができれば、高い判別性能を持った聴覚型 BMI (ASSR-BMI) を開発できると考えた。以前、研究代表者は脳波の非線形特性に関する研究を行う中で確率共鳴現象の知識を得ており、本研究課題で確率共鳴を用いて ASSR を増幅することによって高性能の聴覚型 BMI を開発することを目指した。

(3) バックアップを念頭に置いた触覚型 BMI、自発型 BMI の開発

ASSR-BMI においても、SSVEP-BMI などと同様に、断続的に提示される音刺激に対する疲労や慣れに伴う応答の鈍化が起こり、BMI illiteracy と呼ばれる状態に陥ることが懸念される。BMI illiteracy とは、意思に伴う脳波の変調が減少または不安定化して BMI が意思を正しく判別できなくなる (BMI を有効に操作できなくなる) ことであり、どんな BMI でも少なくとも 30% 程度は起きるとされている。このことを考慮して、聴覚以外のモダリティによる BMI を複数準備し、聴覚型 BMI で BMI illiteracy に陥った場合でも、これらの BMI が一時的にでもコミュニケーションを継続できるようなバックアップシステムが必要である。バックアップ BMI として、振動刺激に対する体性感覚誘発脳波の応答を用いた触覚型 BMI (文献⑨) と α 波を用いた自発型 BMI の開発に着手した。

2. 研究の目的

本研究の主目的は、「確率共鳴現象を用いた聴覚型ブレインマシンインターフェース (BMI) の開発」である。BMI のの中では、視覚刺激を用いる視覚型 BMI の性能が比較的高いが、本研究では、確率共鳴現象 (図 1) を用いることにより、視覚型 BMI に遜色のない性能を持つ注視不要の聴覚型 BMI を開発する。あわせて、聴覚型 BMI とのハイブリッド化を念頭に、触覚型 BMI と自発型 BMI を提案し、実現可能性を検証する。具体的には次の 3 項目を執り行う。

- (1) ASSR における確率共鳴の特性調査
- (2) 確率共鳴を用いた聴覚型 BMI の開発
- (3) 触覚型 BMI と自発型 BMI の検討

3. 研究の方法

上記の(1)～(3)の各項目に関して、次のような方法で研究を執り行った。

(1) ASSR における確率共鳴の特性調査

最初に ASSR において確率共鳴が誘発されることを検証した後で、ASSR の確率共鳴がどのような雑音で起こりやすいのかを明らかにするために、雑音特性に対する依存性を調査した。

① ASSR における確率共鳴の調査：健康成人被験者 (7 名、21~25 歳) を対象として、振幅変調音 (変調周波数 35~45Hz、搬送周波数 500~4kHz、変調度 100%、音圧 60dB) に白色雑音 (音

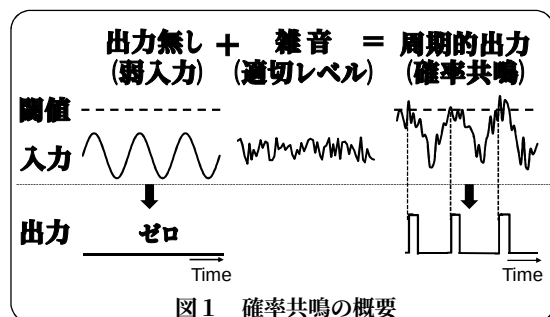


図 1 確率共鳴の概要

圧 30～55dB)を加えた刺激音を提示した時の ASSR の振幅の雑音強度 (音圧) 依存性を高速フーリエ変換によって推定し、確率共鳴の有無と確率共鳴が起こりやすい条件を調査した。

②ASSR の確率共鳴の雑音特性に対する依存性の調査:健常者(6 名、21～24 歳)を対象として、搬送周波数 (音の高さ) 500Hz、変調周波数 (ピッチの頻度) 40Hz、音圧 (音の大きさ) 40～50dB の振幅変調音に各雑音を付加した聴覚刺激を、両耳に 10s 与えた。このとき、付加する雑音について、周波数特性が異なる 3 種類の雑音 (白色雑音、ピンク雑音、ブラウン雑音 (周波数 f としたとき、それぞれ $1/f^0, 1/f^1, 1/f^2$ の特性を有する)) を選定し、それぞれの雑音の音圧を 0 (雑音付加なし) ～56dB の範囲で変えた。聴覚刺激によって誘発される、変調周波数に同調する聴性定常反応 ASSR の振幅対雑音比の雑音強度依存性を調べた。

(2) 確率共鳴を用いた聴覚型 BMI の開発

2 値の意味を想定した 2 つの振幅変調音に雑音を付加した聴覚刺激を各耳にイヤホンを通じて提示し、一方に選択的注意を払ったときの ASSR の変調を用いた聴覚型の ASSR-BMI を提案して性能評価を行った (図 2)。健常成人 (9 名、21～25 歳) を対象として、2 つの振幅変調音 (左耳: 変調周波数 44Hz、搬送周波数 770Hz、右耳: 変調周波数 40Hz、搬送周波数 500Hz、共に音圧 60dB) に白色雑音 (約 30dB) を加えた音刺激を左右から 10s 提示した。得られた脳波から高速フーリエ変換により ASSR の振幅を抽出して機械学習 (Support Vector Machine; SVM) によって被験者の選択した音 (左右) を判別した。

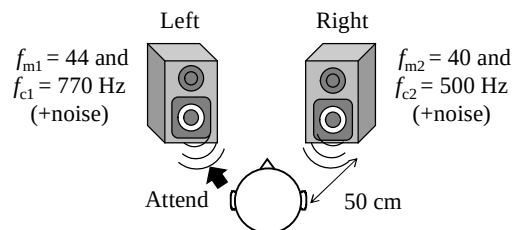


図 2 ASSR-BMI

(3) 触覚型 BMI と自発型 BMI の検討

いずれも基本的なシステム構築のための刺激条件や課題設定を以下の方法で行った。

①触覚型 BMI: 健常被験者 (6 名、21～24 歳) を対象として、最初に触覚 (振動) 刺激の振動周波数を探索した。次に、選定した 2 つの振動刺激を左右の人差し指に別々に 13s 間提示し、選択的注意を払ったときの定常状態体性感覚誘発電位 (Steady-State Somatosensory Evoked Potential; SSSEP) の変調を用いた触覚型 BMI (SSSEP-BMI) の判別性能を調べた。振動周波数の探索においては、左右の人差し指の片方ずつに振動刺激 (搬送周波数 20, 22, 24, 26, 28 Hz) を与えて得られた脳波から高速フーリエ変換により SSSEP の振幅を推定して被験者ごとに信号対雑音比の比較的大きな SSSEP が誘発される周波数を 2 つ選定した。SSSEP-BMI の試行においては、注意を払う刺激に意識を集中しやすくするため、それぞれの振動刺激を、その半分の周波数で変調して提示した。SVM を用いて、被験者がどちらの刺激に意識を向けたのかを判別した。

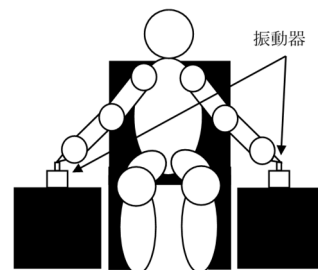


図 3 SSSEP-BMI

②自発型 BMI: 健常被験者 (6 名、21～25 歳) を対象として、精神作業課題の実行に伴う α 波 (8～13 Hz) の変調を用いて 2 値の意味を判別する自発型 BMI を提案して性能評価を行った。 α 波は安静閉眼時の脳波の支配的な成分であり、暗算などの精神作業により減少することが知られている。しかし、 α 波には不規則な揺らぎがあり、上記の周期刺激に対する定常的な事象関連電位よりも安定性に欠けるという問題がある。このため、 α 波を用いた BMI の研究は少なく、BMI としての性能を上げるためには、 α 波の変調を強く誘発する精神作業課題が必要である。

本研究課題では、精神課題として、言語に関連する課題 (四字熟語の分類、文字制限のあるしりとり) を考案した。言語野を賦活することにより、課題に対する意識集中が誘発され、優勢部位である後頭部の α 波に変調が大きく表れるのではないかと予想した。被験者には試行毎に、言語課題の実行/非実行を指示し、2 値の意味に対応させた。四字熟語の課題では、与えた熟語の分類を提示してどれにあてはまるのかを考えさせた。1 試行の時間長を 5s とした。

一方、しりとり課題では、最初の 1 文字を与えた後に、5s の間、2 文字から 5 文字まで 1 文字ずつ増やしながらしりとりを続け、5 文字の後は再び 2 文字に戻るよう指示した (例: 「あ」を提示: あき→きかい→いきつぎ→きりぎりす→すみ)。課題提示後の α 波の振幅を特徴量として、SVM により課題実行/非実行を判別した。

4. 研究成果

2 節の(1)～(3)の各項目の成果を記し、総括する。

(1) ASSR における確率共鳴の特性調査

①ASSR における確率共鳴の調査: 7 名中 4 名の被験者から、ASSR の振幅の雑音強度依存性がベル型の特性を示し、特定の雑音強度で振幅が増加する確率共鳴が示唆された (図 4)。いずれの被験者においても、ASSR の振幅が増加する雑音音圧は 50dB 以下であった。

②ASSR の確率共鳴の雑音特性に対する依存性: 振幅の雑音依存性をのべ 720 個調べた結果、ベル型の他にも単調減少型 (雑音無付加時の信号対雑音比が最大) や U 型など、いくつかの特性パターンが確認された。

そこで、k 平均法によるクラスター分析を用いて特性を分類した。その結果、背景雑音によっ

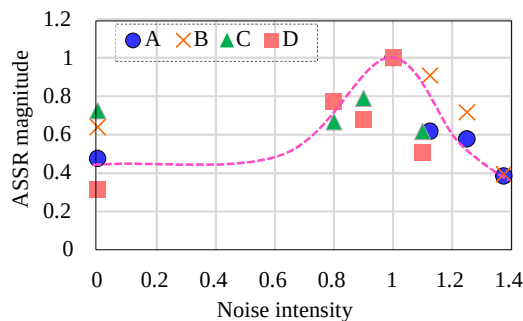


図 4 雑音強度依存性

表 1 ASSR-BMI の判別精度 (%)
(LDA; 線形判別分析、NAN:雑音無付加、
AN:雑音付加)

Subject	LDA		SVM	
	NAN	AN	NAN	AN
1	55	70	65	80
2	50	50	60	70
3	35	85	50	90
4	40	70	85	75
5	50	50	70	65
6	53	45	71	90
7	50	65	85	75
8	65	75	65	70
9	45	55	50	80
Average	49	63	67	77
S. E.	4	4	4	3

表 2 SSSEP-BMI の判別精度 (変調無, %)
(F3(4): 左(右)前頭部、C3(4): 左(右)中心部)

Subject	F3-F4	C3-C4	Average
A	65	80	73
B	65	65	65
C	60	63	62
D	53	65	59
E	58	58	58
F	63	63	63
Average	61	66	63

表 3 SSSEP-BMI の判別精度 (変調有, %)

Subject	F3-F4	C3-C4	Average	Difference
A	63	63	63	-10
B	75	80	78	+13
C	60	65	63	+1
D	65	78	72	+13
E	70	60	65	+7
F	65	63	64	+1
Average	66	68	67	+4

て雑音無付加条件でも確率共鳴の誘発の可能性がある単調減少型依存性を除いた、のべ 499 の雑音依存性データのうち、78%がベル型依存性を示した。雑音別では、ピンク雑音で 87%のデータがベル型依存性を示し、白色雑音では 78%、ブラウン雑音の場合は 71%であり、ピンク雑音の $1/f$ 特性が最も確率共鳴を誘発しやすい特性であることが分かった。

(2) 確率共鳴を用いた聴覚型 BMI の開発

被験者の選択した音を判別したときの判別精度の被験者平均を表 1 に示す。付加雑音なし (表中で NAN) の場合が 67%、付加雑音あり (AN) の場合が 77% (それぞれ左半球上の 4 部位または右半球上の 4 部位に渡る判別精度の平均で高い方を採用) となり、10%の改善がみられた。判別精度の被験者間の差 (個人差) は小さくないが、雑音付加時には SVM による判別精度は 65%を下回る被験者がいなくなり (無付加時には 3 名)、聴覚刺激の選択に伴う ASSR の変調が安定化していることが推定される。

(3) 触覚型 BMI と自発型 BMI の検討

いずれも基本的なシステム構築のための刺激条件や課題設定を行った結果、以下のような知見を得た。なお、これらの BMI については、今後、確率共鳴を利用することを検討している。

①触覚型 BMI: 表 2, 3 に触覚型 SSSEP-BMI の判別精度を示す。表 2 の振動刺激を振幅変調していない従来型の SSSEP-BMI の判別精度は被験者 A を除いて 60%前後が多く、50%前半に留まる部位の組み合わせもある (被験者 D の F3-F4)。これに対して表 3 の振幅変調された振動刺激の場合の判別精度は、被験者・部位の組み合わせの総平均では 67%と、振幅変調なしの場合の 63%から大きくは改善されていないが、被験者 B, D では 13%ほど増加した。のみならず、全ての被験者・部位の組み合わせで判別精度が 60%以上となり、振幅変調刺激が刺激の選択的な意識集中作業における底上げの役割を果たしているものと推察される。なお、主観的な評価では、すべての被験者で振幅変調刺激の方が左右の振動刺激の一つを選択しやすくなったとの感想を得ており、被験者 A のように主観的な評価が客観的な判別精度の向上に直接つながらない原因を探っていくことが今後の課題である。

②自発型 BMI: 図 5 にしりとり課題実行の有無を α 波の変調を用いて判別したときの精度の被験者平均を示す (α 波の変調は主に後頭部～頭頂部で強く観測されるため、用いた部位は他の型の BMI と異なる)。図から、特に左右後頭部の判別精度は 80%以上を示し、言語課題が効率的に α 波の変調を誘発していることが伺える。

対して、四字熟語分類の課題に対する判別精度は、被験者・部位によっては 90%になる場合も

あったが、被験者平均では 60～65% に留まった。提示された四字熟語を知らない場合には、分類まで考えるに至らないことが多いのではないと思われる。一方、しりとり課題は、単純で日本語を話す成人の被験者であればだれでもできるものの、文字制限と時間制限(5s)のため、ある程度意識を集中してしり通りの単語を思い浮かべる必要α波の抑制につながったと考えられる。

以上、本研究課題では、確率共鳴を用いた聴覚型 BMI の開発を中心に研究を執り行った。確率共鳴は視覚型 BMI の性能改善に導入された報告はある(文献⑩)ものの、聴覚型 BMI に関する報告は、研究代表者の知る限り、他に見られない(文献⑪)。また、どのような特性の雑音が確率共鳴を誘発しやすいのかという点に関しても、少なくとも ASSR に関する報告はない。

この点で、本研究で得られた知見である、確率共鳴による ASSR-BMI の判別性能の改善とピンク雑音の優位性は国内外を問わず新規性があり、今後の聴覚型の BMI の性能向上に寄与するものと期待される。現時点では、確率共鳴の援用による ASSR-BMI の精度は、実用的にはまだ不十分であるが、付加する雑音の特性、強度、タイミング等のパラメータのユーザ毎の最適化を行うことにより、さらなる精度の改善が見込まれる。

なお、本研究課題では確率共鳴の雑音特性への依存性と確率共鳴による ASSR-BMI の開発を並行して行ったため、後者は白色雑音を使用した。現在はピンク雑音を用いて研究を進めている。雑音付加のない場合に比べてピンク雑音付加時には約 15%の判別精度改善がみられており、白色雑音との比較を行う予定である。また、意思の判別に用いる識別器についても、畳み込みニューラルネットワーク(NN)と長・短期記憶ユニットを持つ回帰型 NN を組み合わせた識別器を用いることにより、SVM を用いた場合よりも判別精度が 10%程度改善された。NN の学習のために相当数の脳波データが必要になるが、本格的に導入することも検討している。

また、聴覚刺激に対する脳波の変調応答が鈍化した場合に備えて、触覚型と自発型の BMI についても検討し、前者では振動刺激の振幅変調の効果、後者では言語課題によるα波の変調が自発型 BMI に有望であるとの成果を得た。振動刺激については、先行研究では 100Hz 以上の搬送周波数の振動に対して 25Hz 程度の周波数で変調する場合がほとんどであり(文献⑫)、本研究課題のように低い搬送周波数(25Hz 程度)とその半分の変調周波数を採用した例は見当たらない。本研究課題では、左右の振動を感じ分けると共に、倍調波の応答も SSSEP に取り込むためにこのような組み合わせを用いた。SSSEP-BMI では ASSR-BMI よりも刺激の選択が一層難しいという課題があり、低周波数での変調は対応策の一つと考えられる。今後、判別精度の底上げに加えた全体的な性能向上のために、振動の提示様式や雑音の負荷などの方策を検討中である。

自発型 BMI に関しては、言語(しりとり)課題によるα波の変調が自発型 BMI に有用であるとの成果を得た。前述したように、α波は自発的なゆらぎがあるため、α波を用いた BMI の開発は国内外問わずほとんど進んでいない。この点で、本研究課題の成果は、日本語に特有の課題を用いてはいるが、自発型 BMI の今後に新たな一石を投じる可能性がある。他の言語であっても、韻を踏んだ単語の連続想起など、言語課題の枠組みで物理刺激に依存しない BMI を開発できる可能性がある。

今後は、ASSR-BMI を中心としながらも、脳波の応答に応じて SSSEP-BMI や自発型 BMI を切り換えて使用する、疲労の少ない非視覚型 BMI システムの開発を進めていく予定である。

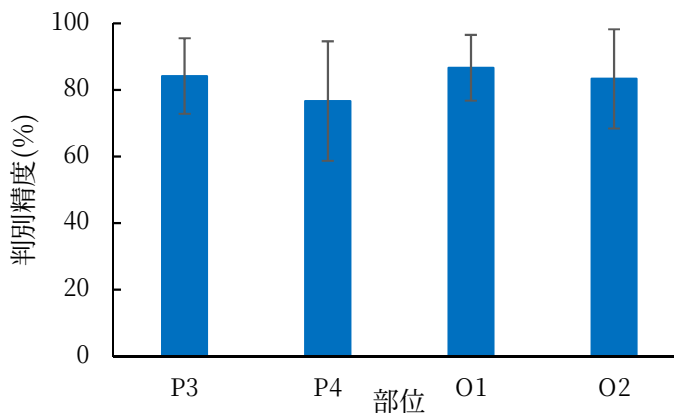


図5 自発型 BMI の平均判別精度(しりとり課題)
(P3(4): 左(右)頭頂部、O1(2): 左(右)後頭部)

<引用文献>

- ① J. R. Wolpaw, E. W. Wolpaw (編)、Brain-Computer Interfaces, OUP, 2012.
- ② Nicolas-Alonso 他, Sensors, Vol. 12, pp. 1211-1279, 2012.
- ③ Allison 他, Clin. Neurophysiol., Vol. 119, pp. 399-408, 2008.
- ④ Lim 他, J. Neural Eng., Vol. 10, 026021, 2013.
- ⑤ Riccio 他, J. Neural Eng., Vol. 9, 045001, 2012.
- ⑥ R. Galambos 他, Proc. Natl. Acad. Sci. USA, Vol. 78, no. 4, pp. 2643-2647, 1981.
- ⑦ L. Gammitoni 他, Rev. Mod. Phys., Vol. 70, No. 1, pp. 252-287, 1998.
- ⑧ T. Mori and S. Kai, Phys. Rev. Lett., Vol. 88, No. 21, 21801, 2002.
- ⑨ G. R. Muller-Putz 他, IEEE Trans. Neural Syst. Rehabilitation. Eng. Vol. 14, No. 1, pp. 30-37, 2006.
- ⑩ J. Xie 他, Sci. Rep., Vol. 4, 4953, 2014.
- ⑪ H. Nakamura 他, Proc. IEEE GCCE2017, pp.322-326, 2017.
- ⑫ Ahn 他, Front. Hum. Neurosci., Vol. 9, 716, 2016.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 7件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 K. Monobe, A. Matsubara and S. Nishifuji	4. 巻 -
2. 論文標題 Impact of characteristics of noise added to auditory stimulus on auditory steady-state response	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of 2019 IEEE 8th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE)	6. 最初と最後の頁 842-845
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 —

1. 著者名 K. Yasunaga, A. Matsubara and S. Nishifuji	4. 巻 -
2. 論文標題 Independent brain computer interface using modulation of spontaneous EEG rhythms by semantic recall of four-character idioms	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the SICE Annual Conference 2019	6. 最初と最後の頁 1148-1151
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 —

1. 著者名 川口 貴大, 松原 篤, 西藤 聖二	4. 巻 -
2. 論文標題 精神作業時の脳波に匂い刺激がもたらす効果	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 第36回センシングフォーラム	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 —

1. 著者名 S. Nishifuji, H. Nakamura and A. Matsubara	4. 巻 -
2. 論文標題 Brain Computer Interface Using Modulation of Auditory Steady-State Response with Help of Stochastic Resonance	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of 40th Annual International Conference of the IEEE EMBS (EMBC2018)	6. 最初と最後の頁 2028-2031
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 —

1. 著者名 S. Nishifuji, H. Nakamura, A. Matsubara	4. 巻 -
2. 論文標題 Auditory Brain Computer Interface Based on Steady State Response to Amplitude Modulated Tone Using Neural Networks	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of SICE Annual Conference 2018	6. 最初と最後の頁 1292-1295
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 —

1. 著者名 H. Nakamura, A. Matsubara and S. Nishifuji	4. 巻 -
2. 論文標題 Auditory Brain Computer Interface Using Neural Network	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of 2018 IEEE 7th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2018)	6. 最初と最後の頁 487-491
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 —

1. 著者名 中村 宏貴, 松原 篤, 西藤 聖二	4. 巻 -
2. 論文標題 ニューラルネットワークを用いた聴覚脳波によるインターフェース	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 第35回センシングフォーラム	6. 最初と最後の頁 125-130
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 —

1. 著者名 S. Nishifuji, A. Matsubara, Y. Sugita, A. Iwata, H. Nakamura and H. Hirano	4. 巻 -
2. 論文標題 Eyes-closed brain computer interface using modulation of steady-state visually evoked potential and auditory steady-state response	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of the SICE Annual Conference 2017	6. 最初と最後の頁 1138-1143
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 —

1. 著者名 H. Nakamura, A. Matsubara and S. Nishifuji	4. 巻 -
2. 論文標題 Noise-assisted auditory brain computer interface	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of 2017 IEEE 6th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2017)	6. 最初と最後の頁 322-326
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 —

1. 著者名 中村 宏貴, 松原 篤, 西藤 聖二	4. 巻 -
2. 論文標題 確率共鳴を用いた聴覚型ブレインコンピュータインターフェース	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 第34回センシングフォーラム	6. 最初と最後の頁 303-313
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 —

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件／うち国際学会 0件）

1. 発表者名 松岡 聖人, 神村 勇登, 松原 篤, 西藤 聖二
2. 発表標題 脳波における定常状態体性感覚誘発電位のコミュニケーションへの応用
3. 学会等名 第36回センシングフォーラム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 神村 勇登, 松岡 聖人, 松原 篤, 西藤 聖二
2. 発表標題 振動の選択的注意による脳波の変調に基づいた意思表現
3. 学会等名 第28回計測自動制御学会中国支部学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 浜田 勇紀, 松原 篤, 西藤 聖二
2. 発表標題 定常状態体性感覚誘発電位の変調を用いた意思表現
3. 学会等名 第35回センシングフォーラム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 安永 一貴, 松原 篤, 西藤 聖二
2. 発表標題 言語課題遂行に伴う脳波リズムの変調
3. 学会等名 第35回センシングフォーラム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中村 宏貴, 松原 篤, 西藤 聖二
2. 発表標題 ニューラルネットワークを用いた聴覚脳波のコミュニケーションへの応用
3. 学会等名 第62 回 システム制御情報学会研究発表講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 物部 魁士, 中村 宏貴, 松原 篤, 西藤 聖二
2. 発表標題 音刺激に付加する雑音の特性が聴性定常反応に与える影響
3. 学会等名 第35回センシングフォーラム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西藤 聖二, 中村 宏貴, 岩田 晃, 松原 篤
2. 発表標題 眼球制御が不要なブレインコンピュータインターフェース
3. 学会等名 第26回計測自動制御学会中国支部学術講演会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

—

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	松原 篤 (Matsubara Atsushi)	山口大学・工学部・技術専門職員 (15501)	