

完全閉じ込め状態に近い ALS 患者による単語発信の実験 — 近赤外光による Yes/No 意思伝達装置の研究 —

小澤 邦昭[†] 内藤 正美[†] 田中尚樹^{†,§} 和田始竜[‡]

[†] 東洋大学工業技術研究所 § 東洋大学理工学部生体医工学科 〒350-8585 埼玉県川越市鯨井 2100

[‡] ダブル技研株式会社 〒252-0013 神奈川県座間市栗原 920-7

E-mail: [†] {ozawa, naito}@m.ieice.org ^{†,§} n_tanaka@toyo.jp [‡] s-wada@j-d.co.jp

あらまし 意思疎通が困難な ALS 患者等が質問を受けたとき、回答を Yes/No で伝える、近赤外光利用の意思伝達装置の研究を続けてきた。今回、Yes/No では答えられないオープンな質問に ALS 患者が単語で答える実験をした。具体的には単語のうちの母音（最大 3 母音）を患者が発信し、介護者はその母音を母音辞書に入力して、単語候補を検索する。その中から質問に適した単語を介護者が選び、それらの単語を患者が Yes/No 回答で決定する。実験では、意思疎通困難な 4 名の ALS 患者に、家族がオープンな質問をして、患者が単語を発信し、家族が納得できる回答を得ることに成功した。

キーワード ALS, 意思伝達, Yes/No 回答, 近赤外光, 脳血液量, 単語発信

An Experiment of expressing a word by ALS Patients in Almost Completely Locked-in State

— Research on Yes/No Communication Aid by Near-infrared Light —

Kuniaki OZAWA[†] Masayoshi NAITO[†] Naoki TANAKA^{†,§} and Shiryu Wada[‡]

{ [†] Research Institute of Industrial Technology, § Department of Biomedical Engineering }, Toyo University

2100 Kujirai, Kawagoe-shi, Saitama Prefecture, 350-8585 Japan

[‡] DOUBLE Research and Development Co.,LTD.

920-7 Kurihara, Zama-shi, Kanagawa Prefecture, 252-0013 Japan

E-mail: [†] { ozawa, naito } @m.ieice.org ^{†,§} n_tanaka@toyo.jp [‡] s-wada@j-d.co.jp

Abstract We have been studying a Yes/No communication aid utilizing near-infrared light for almost completely locked-in ALS (Amyotrophic Lateral Sclerosis) patients. We report here the successful results of an experiment, for four patients as subjects, on expressing a word for each of open questions that are not answered by Yes/No. Each subject selected vowels (max 3) contained in the word they wanted to express in a sequential way using the Yes/No aid, then his/her caregiver entered them into a software which showed candidates of the word having those vowels. The caregiver selected words appropriate to the question, read them one by one, and the subject decided the word using the Yes/No aid.

Keyword ALS, communication, Yes/No answers, near- infrared light, cerebral blood volume, word expression

1. はじめに

神経難病の筋萎縮性側索硬化症 (ALS: Amyotrophic Lateral Sclerosis) 患者は、症状が進むと、動かせる身体部位が完全になくなることがある (完全閉じ込め状態)。この状態の患者は介護者からの質問を理解はしても回答する手段がなく、答えたくても意思伝達ができない。

近赤外光利用による脳血液量・心拍数の変化に着目して、完全閉じ込め状態に近い状態の患者が、介護者からの質問に対して答える Yes/No 回答を、正しく判定

する研究を我々は続けてきた [1] - [15]。

今回の実験で、完全閉じ込め状態に近く、意思伝達が困難な ALS 患者 4 名を対象に、「～についてどう思うか」のオープンな質問をして、回答となる単語の発信をしていただいた。具体的には、患者は発信単語の最初 3 文字の母音を Yes/No 回答で選択する。介護者が最大 3 母音を母音辞書に入力し、それらの母音を含む単語候補の中から、質問に適した単語を選択し、患者に Yes/No で確認した。4 名の実験結果を報告する。

2. Yes/No 意思伝達装置「新心語り」

「新心語り」の概観を写真 1 に示す。装置の説明は文献[11]の参照をお願いする。



写真 1 「新心語り」(ダブル技研株式会社製品)

3. 単語発信の実験方法

3.1. 被験者の意思伝達状況

事前に実験目的及び内容について被験者本人と代諾者に説明し、代諾者の署名により ALS 患者男性 3 名 女性 1 名が実験に参加した(東洋大学倫理審査委員会承認)。なお、ダブル技研株式会社が依頼した倫理審査委員会(公益財団法人パブリックヘルスリサーチセンター)からは代諾者のみならず本人の同意確認を取るように要請があった。このため、瞬きがかろうじてできる被験者には家族が瞬きによる「同意」を読み取った(1名)。身体の動きで意思伝達が困難な被験者 3 名は、Yes/No 意思伝達装置「新心語り」を利用し、肯定形「同意?」と否定形「同意しない?」の質問をそれぞれ 3 回~4 回し、3 名とも 75%以上の「同意」回答を得た。Yes/No 回答の両方で確認を取るのは、被験者が Yes/No の一方のみの回答しか出ない場合への対策である(仮に Yes 回答しか出ない状況のときに肯定形「同意?」の質問だけでは不十分であり、否定形「同意しない?」で、No 回答による確認が必要となる)。

次に被験者の意思伝達状況を表 3.1 に示す。この表で、「発話不可」は人工呼吸器装着を意味する。人工呼吸器の空気が喉頭に行かなくなるので、発話ができなくなる。その後は、手が動けば筆談で意思伝達を行い、手の動きが悪くなれば、身体の一部を動かすことにより、市販の意思伝達装置を操作して文章を作成する。さらに身体の動きが悪くなり、意思伝達装置が使えなくなると、介護者が文字盤(五十音表)を読み上げて、望みの平仮名が読み上げられたときに患者が身体部位で合図して(瞬き等)、その平仮名を選択する。この方法で平仮名選択による単語発信が可能である。

さらに患者の身体部位の動きが困難になると、平仮名選択の Yes/No 回答を介護者が読み取れなくなるケースが増えて「単語発信困難」となる。表 3.1 の「単

表 3.1 被験者 4 名の意思伝達状況

氏名	年齢	発病年齢	発話不可	単語発信困難(手段)	意思伝達の現状
A	71	54	55 歳	68 歳(瞬き)	瞬き可能と不可の日あり
B	51	35	37 歳	48 歳(薬指)	薬指, 目の動き殆ど不可
C	30	17	18 歳	数年前(口角)	口角殆ど不可
D	67	62 頃	64 歳	66 歳(視線)	瞬き殆ど不可

(注) A~C: 男性, D: 女性

単語発信困難」は生体信号(脳波, 脳血流等)による意思伝達装置を試み始めた年齢である。

3.2. 回答数の削減

五十音表から文字を選ぶとき、まず「あ」「か」「さ」…「わ」行の選択をする。次に母音「あ」…「お」に対応した列を選ぶ。その聞き取りは、「あ」~「わ」の 10 行について Yes/No を聞くことになり、患者の聞き取り回答の期待値は平均 5.5 回と考える。同様に母音「あ」…「お」の 5 列について聞き取り回数の期待値はおおよそ 3 回である。すなわち、一文字を選ぶ聞き取り回数の期待値は約 8.5 回である。

文字を正しく選ぶためには、8.5 回の連続正答が必要であるが、これは現状の「新心語り」ではかなり困難である(例えば「新心語り」の正答率 80%とすると、8.5 回連続正答の確率は約 15%である)。

3.3. 母音文字盤

連続正答数をできるだけ小さくするために、ここでは、患者の言いたい単語の母音のみを被験者が発信する方法を採用した。母音を選ぶ母音文字盤を図 3.1 に示す。

あ	い	う	え	お	終り
---	---	---	---	---	----

図 3.1 母音文字盤

上の母音文字盤を利用すると、母音を選ぶ回数は、2.7 回に減る(「あ」, 「終り」…2 回, 「い」~「お」…3 回)。母音は 2 分法で介護者が聞いていく。2 分法では、最初に母音文字盤の二重線||で分割し、次に太線|で分割、最後に細線|で分割する。例えば「い」を発信するときは『あいう』ですか?の質問に Yes, 『あ』ですか?に No, 『い』ですか?に Yes と回答する。

別の見方では、母文字盤と Yes/No 回答の関係は表 3.2 のようになる(モールス信号的な考えである)。

表 3.2 母音文字盤対応の Yes/No 回答

あ	い	う	え	お	終り
Y, Y	Y,N,Y	Y,N,N	N,Y,Y	N,Y,N	N, Y

(注)単語 1 文字目は「終り」がないので、え=N, Y, お=N, N となる。

なお、母音選択ルールは次の通りである。

- ①「ん」の母音は便宜上「お」とみなす。
- ②「ば」「ぱ」等は「^h」「^o」なしの母音とする。
- ③「ぁ」「っ」等は「あ」「つ」と考える。
- ④長音は無視する。例えば『ローマ』『ホラー』の母音はどちらも「おあ」となる。

3.4. 母音辞書

最大で3母音を入力すると、それらの母音を含む単語候補を表示する母音辞書を作成した。単語数は約1万語である。これは「ふつう、大人の方は、およそ四万語のことばがわかり、一万語ほどのことばを使って生活しているといわれます」(小学国語新辞典[第四版]旺文社)に基づいている。

例えば、患者が発信した母音「いあい」を母音辞書に入力すると、それらの母音を含む単語候補「痛い」「機械」「二階」「久しぶり」「南」等となる。介護者が質問の回答に適した単語を選び、それらの単語を被験者が Yes/No 回答で選択する。

4. 単語発信の実験結果

4.1. 実験の概要

被験者4名に質問するテーマは、家族と実験者(小澤)が相談して、次表のように設定した。

表 4.1 各被験者の単語発信テーマ

被験者	テーマ	回答	単語確定時の実験回数
A	好きな生き物	メダカ	5回
B	実験装置感想	不安定	3回
C	好きな本の分野	歴史	4回
D	帰省の交通手段	汽車	1回

測定は原則として週1回実施した。毎回判定線を作成し、試験データの正答率や分離度から、判定線の特徴量を選択した。測定時間は30分程度(最大でも45分)とし、その時間内で被験者は3母音を選んだ。実験期間は2018年11月24日~2019年1月31日である。

4.2. 実験結果

4名の単語発信の経緯を表4.2に示す。各被験者の単語発信経緯について、以下に補足説明する。

【A氏】

【1回目】「おお(終り)」を母音とする生き物は、母音辞書にはなく、ご家族が『トド』を思いついた。ただ、『トド』が好きとは考えにくかったので、「おお(終り)」が正しいか1回確認してNo回答だった。実験終了後に「おお」の1母音が誤りと仮定して他の母音に変更すると、鳩、人、猫、虎等14の単語候補があることが分かった。

【2回目】14の単語候補から、配偶者、介護者、作業療法士、実験者が候補となる単語を一つずつ選び4択

表 4.2 単語発信の実験経緯(1)

実験回数	被験者A	被験者B	被験者C
	好きな生き物	実験装置感想	読書分野
1	「おお終」 候補単語なし	「うあお」 『不安』OK	「いえお」OK 『自然』等 NG
2	修正「えお」等 『猫』等 NG	「うあお」OK 『不安定』OK	「おあ終」NG 『ローマ』NG
3	「えああ」OK 『メダカ』NG	『不安定』OK	『ローマ』NG 「えいあ」 『映画』NG
4	「えあえ」 候補単語なし 修正「えああ」 『メダカ』OK		修正「えいい」 『歴史』OK
5	『メダカ』OK		

表 4.2 単語発信の実験経緯(2)

実験回数	被験者D
	帰省の交通手段
1	「いいい」 単語候補なし 修正「いいあ」 『汽車』OK

『猫、鳩、人、その他』とした(猫は2名が選択)。これらの単語を2分割法で質問しA氏が Yes/No で回答したが、整合性のある答えは得られなかった(『猫または鳩?』に対し Yes, 『人またはその他?』に対しても Yes)。『猫』に対しては No 回答だった。

【3回目】再試行でA氏が始めから3母音を発信し「えああ」だった。母音辞書ではこれらの母音を含む生き物は『メダカ』のみだった。しかし、『メダカ』の確認が取れなかった(肯定形・否定形質問にどちらも Yes)。

「母音数は2?」に Yes 回答、そこで単語候補を拡張して『メダカ、猫、イカ、馬』を選んだ。この4択では、『メダカ』が選ばれた。しかし、確認の『メダカ?』で No 回答となり、好きな生き物を決められなかった。

【4回目】再びA氏が3母音を発信し「えあえ」だった。しかし「えあえ」を母音に含む生き物は母音辞書にはなかった。1母音を修正し、前回の「えああ?」の質問に Yes, 『メダカ?』に Yes, 確認の『メダカ?』に Yes だった。この時点で『メダカ』の可能性大だった。

【5回目】『メダカ』が正しいか、肯定形と否定形でそれぞれ4回ずつ質問した。その結果は8回の質問中6回で『メダカ』の回答が得られ、『メダカ』と判断した。

【B氏】

【1回目】B氏の発信した母音は「うあお」だった。「うあお」は肯定形の質問で Yes であり(1回の質問)、単語候補の中から『不満』と『不安』を選んだ。『不満』は No 回答、『不安』は Yes 回答だった(それぞれ1回の質

問). ここで測定時間の制限から, 実験を終了した.

[2回目]「うあお」が正しいか否か, 肯定形と否定形で合計4回質問し, 3回で「うあお, が正しい」との結果となった. 単語候補として『不満, 不安, 不安定, その他』を選び4択とした. 2分割法で単語候補を絞り, 『不満, 不安』はNo, 『不安定』はNo, 『その他』はYesだった. 『その他』として, 母音辞書を検索し『負担』を選んだ. しかし, 『負担』の確認で, 肯定形と否定形の質問で, 両方ともYes回答となった(不整合).

そこで, 再度『不安定, 負担, 不満, 不安』の4択を確認した. 『不安定, 負担』でYes, 『不安定』でYes回答となった. さらに肯定形と否定形の質問で1回ずつ確認したところ, どちらも『不安定』の回答だった.

[3回目]前回の『不安定』の再確認をした. 肯定形と否定形の質問を合計4回し, そのうち3回で『不安定』が正しい」との結果になり, 『不安定』と判断した.

なお, 『不安定』の回答の背景には, 3年前に「新心語り」デモ機をB氏が試用したとき, 初めは高い正答率だったのに, 時間経過とともに正答率が低下して落胆したことがある. その原因は, 最初に測定したモデルデータを使い続け(最初に作成した判定線を使い続け), 日時の経過とともに, 試験データが最初の状態から変化して正答率が低下したと考えられる. 今回の実験では, 毎回モデルデータを測定して判定線を作成したので, 高い正答率だった. 「実験後もこの装置を使い続けたいか?」の家族の質問に, 肯定形と否定形合わせて4回中3回で「使い続けたい」との回答を示した.

【C氏】

C氏は読書好きで, 介護者から本を読んでもらっている. これまでの読書分野は, 歴史(世界史), 哲学, 倫理等とのこと. この好みに変化があることも考えられるので, テーマは「好きな本の分野」となった.

[1回目]発信母音は, 「いえお」だった. 肯定と否定形の質問(1回ずつ)でも「いえお」が正しいとの回答だった. 母音辞書に「いえお」を入力して, 『自然』と『紀元前』を候補単語として検索したが, どちらの単語候補も否定された(それぞれ1回の質問でNo).

[2回目]再試行で最初から3母音の発信で, 「おあ(終り)」だった. 「おあ(終り)」が正しいか, 肯定形と否定形の質問で, 「おあ(終り)」は「正しくない」との回答だった.

次に母音を1つずつ肯定形と否定形で確認した. その結果は「お」は正誤不明, 「あ」は誤り, 「終り」は誤りだった. ただし, これまでの経験から, 母音確認が間違えていることもあるので「おあ(終り)」の単語候補を調べた. 単語候補として『ホラー』『ローマ』『ヨガ』があり, 「ローマ帝国」に関する読書体験があることから, 『ローマ』を候補とした. しかし, 肯定形と否

定形のどちらにもNo回答で『ローマ』に決められなかった. さらに, 前回の回答「いえお」から, C氏が興味を持っている『倫理』の可能性を思いついた. しかし, 『倫理』について, 肯定形と否定形で『倫理』は否定された.

[3回目]前回の『ローマ』が正しい可能性を捨てきれず, 肯定形と否定形で質問を交互に4回繰り返した. その結果は8問中6問で「ローマでない」との回答だった. そこで再々試行により, C氏が最初から3母音の発信をし, 結果は「えいあ」だった. 候補単語として『映画』『経済』『星座』などが母音辞書から検索された. ご家族は『映画』はあり得るとのことで, 『映画』を肯定形と否定形で1回ずつ質問したがどちらも「映画でない」との回答だった(制限時間により実験終了). 実験後に, 一母音が誤りと仮定して「えいあ」を「えいあ」に修正した場合には, 現在の読書分野である『歴史』が候補単語となることに気づいた.

[4回目]『歴史』でよいかどうか, 肯定形と否定形で8回質問した. その結果, 8回中5回で『歴史』の回答だった. 『歴史』の可能性は高いが, 確実性を高めるならば, もう一度, 確認実験をするのが良いと考える.

【D氏】

テーマは「帰省時に希望する交通手段」となった.

[1回目]発信母音は「いいい」だった. 単語候補の中で乗り物に関係するものはないとみなした(5.1(2)参照). 家族の提案により, 母音修正を「いいあ」とし, 単語候補を『汽車』とした. 肯定形と否定形の確認の質問で, 4回中3回『汽車』で良いとの回答があり, 『汽車』と判断した. ただし, これまでの経験から, 母音発信に引き続いて行う単語確認では, 誤りがあったケースが散見され, 慎重を期するならば, 別の機会に『汽車』を再確認することが望ましい.

5. 考察

5.1. 母音誤りの見つけ方と修正

3母音を発信する場合, Yes/No回答数は6回~9回となる. 「新心語り」の平均正答率は約80%なので, 1母音以上の誤りがある確率が高い. その誤りを見つける方法として次が考えられる.

- (1) 3母音が正しいか質問して否定される.
- (2) 単語候補の中に, 質問の答になる単語がない.
- (3) 選択した単語候補が否定される.
- (4) 肯定形と否定形の質問に回答が同じである.

以下, 具体的に説明する.

(1) は, A氏が1回目実験で「おあ(終り)」を否定したケースである. この場合, 1母音の違いと仮定して, 1母音ずつ別の母音に入替え単語候補を検索した. その結果, 14個の単語候補が得られた. しかし, 2回

目の実験ではこの中に単語候補はなかった。正解が分かった後に気づいたことだが、そもそも1母音と仮定したことが誤りであり、2母音、3母音が誤りのケースを考慮に入れなくてはならなかった。そうすると、母音の入替え回数が多くなり、むしろ最初から3母音を取り直した方が効率的であると一般的に言える。

(2)はA氏の4回目の実験で回答が「えあえ」であり、単語候補は「眼鏡」「目覚め」などで生き物の単語がなかった。別の例では、D氏の1回目の実験で、「いい」の単語候補の中に乗り物に関する単語は1個あり、『一輪車』だった。しかし、常識的に帰省時の利用はあり得ないので、「単語候補なし」と見なした。

(3)は、C氏の回答「おあ(終り)」の単語候補が『ローマ』『ホラー』等だった。C氏は「ローマ人の物語」全15巻や『ローマ帝国衰亡史』上下巻を介護者に朗読してもらった経験があるので、『ローマ』の可能性が高いと思われた(これは実験者の思い込みであった)。『ローマ』で良いか、肯定形・否定形の8回の質問に対して、「ローマではない」の回答が6回あり、「ローマでない」と判断した。「ローマはもう十分に読んだ」の意思表示とも考えられる。文献[16]に紹介されている思い込み例として、植物状態の娘に、娘が好きだった歌手のアルバムを母親が聞かせ続けた。幸い意識を回復した娘が最初に母親に語ったのは、その歌手のアルバムにはうんざりで、聞きたくなかった、だった。

(4)は、B氏2回目で『不満、不安、不安定、その他』の4択で『その他』が選ばれ、『負担』を単語候補とした。肯定形と否定形の質問に、どちらもYes回答となった。論理的に不整合なので、どちらも決めかねた。この時点で①さらに回数を増やして『負担』を肯定形・否定形で質問するか、②『負担』が正しいと仮定して『不満、不安、不安定、負担』とするか、判断が必要となった。実験回数が少ないので断定できないが、不整合のときは②のように仮に「正しい」として進んだ方が「無駄足」を踏まないように思える。

5.2. 確認の頻度

確認が常に正しいとは限らないので、確認をどの程度の頻度で行うか、検討を要する。例えば、1母音選択した時点で次に進まずに、その母音でよいかどうか確認した場合、仮にNo回答が得られたとすると、やり直しとなる。やり直しで、違う母音が選ばれても、確認でNo回答になると、通常は、それ以上続ける意欲を失いがちになる。このため、3母音を続けて発信していただいた後に、確認することになっている。ただし今回の実験で、母音発信後の確認は、誤りのケースが多く、日を変えて改めて確認することを推奨する。

6. おわりに

意思伝達が困難なALS患者4名が、家族の設定したテーマについて、単語発信をし、家族が納得する回答を得ることに成功した。

単語発信の主要なメリットは、ご家族が考え付かない回答を被験者が発信することであり、互いに意思疎通が図れることである。本実験では「好きな生き物」について、被験者の回答「メダカ」が、まさにご家族や介護者が予想もしなかった回答だった。

今後は、被験者数を増やして、単語発信の有効性を検証する予定である。さらには、完全閉じ込め状態の患者による単語発信は難しいといわれているが[17]、機会を見つけて試す考えである。

謝辞:本研究において、実験にご協力いただいたALS患者(木村暁雄氏、清水尽氏、園田百合子氏、等)およびご家族・介護の方々、実験装置を貸与いただいた社団法人日本ALS協会、被験者をご紹介いただいた北里大学東病院、研究について議論をしていただいた東京都医学総合研究所 難病ケア看護プロジェクト中山優季プロジェクトリーダーに感謝します。

本研究に関連して、NEDOの「平成29年度福祉用具実用化開発推進事業」の助成をダブル技研株式会社が受けました。

文 献

- [1] M. Naito, Y. Michioka, K.Ozawa, Y. Ito, M. Kiguchi and T. Kanazawa, A Communications Means for Totally Locked-in ALS Patients Based on Changes in Cerebral Blood Volume Measured with Near-Infrared Light, IEICE Trans. Inf. & Syst., E90-D, 1028-1037, 2007.
- [2] 内藤正美, “筋萎縮側索硬化症患者の意思伝達技術,” 光学, vol.36, no.12, pp.707-711, 2007.
- [3] 小澤邦昭他, “NIRSを用いたALS患者の意思伝達装置,” NIRS—基礎と臨床—, 酒谷薫監修, pp.268-269, 新興医学出版社, 2012.
- [4] 小澤邦昭, 仙石淳子, 内藤正美, 小幡亜希子, 木戸邦彦, 尾形勇, 金澤恒雄, “生体信号を利用したALS患者のYes/No意思伝達法,” 信学技報 IEICE Technical Report HCS2013-45, pp.67-71, August 2013.
- [5] 小澤邦昭, 仙石淳子, 内藤正美, 尾形勇, 金澤恒雄, “生体信号を利用したALS患者のYes/No意思伝達法—判別分析法とサポートベクターマシンの比較検討—,” 信学技報 IEICE Technical Report WIT2013-35, pp.65-70, August 2013.
- [6] 小澤邦昭, 仙石淳子, 内藤正美, 尾形勇, 金澤恒雄, “ALS患者のYes/No意思伝達方法の改良—ケーススタディによる課題の把握と解決策—,” 信学技報 IEICE Technical Report WIT2013-74 pp.43-48, March, 2014.
- [7] 小澤邦昭, 仙石淳子, 内藤正美, 尾形勇, 金澤恒雄, “Yes/No意思伝達方法の改良の提案,” 可視化情報シンポジウム講演論文集, pp.43-48, July,

2014.

- [8] 小澤邦昭, 内藤正美, 田中尚樹, 尾形勇, 金澤恒雄, “脳血液量を利用した ALS 患者の Yes/No 意思伝達方法の改良－左額と右額の測定による分離度の差の検討－,” 信学技報 IEICE Technical Report WIT2014-22 pp.19-23, September, 2014.
- [9] 小澤邦昭, 内藤正美, 田中尚樹, 尾形勇, 金澤恒雄, “ALS 患者の Yes/No 意思伝達装置における正答率向上の実証－総合的な試作と実験による検証－,” 信学技報 IEICE Technical Report WIT2014-92 pp.39-43, March, 2015.
- [10] 小澤邦昭, 内藤正美, 田中尚樹, 尾形勇, 金澤恒雄, “ALS 患者の Yes/No 意思伝達装置における正答率向上の分析,” 信学技報 IEICE Technical Report WIT2015-48 pp.1-6, October, 2015.
- [11] 小澤邦昭, 内藤正美, 田中尚樹, “Yes / No 意思伝達装置の意識障害者への応用,” 信学技報 IEICE Technical Report WIT2015-103 pp.83-88, March, 2016.
- [12] 小澤邦昭, 内藤正美, 田中尚樹, “Yes / No 意思伝達装置による ALS 患者の単語選択の試み,” 信学技報 IEICE Technical Report WIT2016-37 pp.23-28, October, 2016.
- [13] 小澤邦昭, 内藤正美, 田中尚樹, “Yes/No 意思伝達装置における ALS 患者の触覚利用による正答率向上の試み,” 信学技報 IEICE Technical Report WIT2016-76 pp.1-4, March, 2017.
- [14] 小澤邦昭, 内藤正美, 田中尚樹, 和田始竜, “ALS 患者の触覚利用による正答率向上の再実験,” 信学技報 IEICE Technical Report WIT2017-81 pp.125-128, March, 2018.
- [15] 末岡慶伸, 岩上智弘, 小澤邦昭, 内藤正美, 田中尚樹, “生態信号の変化に基づいた Yes/No 意思伝達システム,” 信学技報 IEICE Technical Report WIT2017-80 pp.121-124, March, 2018.
- [16] エイドリアン・オーウェン, 生存する意識, みすず書房, 東京, pp.179-180, 2018
- [17] U jwal Chaudhary, Bin Xia, Stefano Silvoni, Leonardo G. Cohen, Niels Birbaumer, Brain-Computer Interfac-Based Communication in the Completely Locked-In State, PloS Biology, 15(1), pp.1-25, January 31, 2017.