

利用上の注意事項:

ここに掲載した著作物の利用に関する注意 本著作物の著作権は情報処理学会に帰属します。本著作物は著作権者である情報処理学会の許可のもとに掲載するものです。ご利用に当たっては「著作権法」ならびに「情報処理学会倫理綱領」に従うことをお願いいたします。

Notice for the use of this material The copyright of this material is retained by the Information Processing Society of Japan (IPSJ). This material is published on this web site with the agreement of the author (s) and the IPSJ. Please be complied with Copyright Law of Japan and the Code of Ethics of the IPSJ if any users wish to reproduce, make derivative work, distribute or make available to the public any part or whole thereof.

All Rights Reserved, Copyright (C) Information Processing Society of Japan.

Comments are welcome. Mail to address editj@ipsj.or.jp, please.

簡易脳波計測を用いた課題遂行時の 脳波の推移について

梅澤 克之¹ 石田 崇² 齋藤 友彦³ 中澤 真⁴ 平澤 茂一⁵

概要: 学習コンテンツの出来の良し悪し, 学習内容そのものの難易度, 学習の習熟度など, 学生の学習時のつまずきのポイントは多く存在する. 学習コンテンツの閲覧履歴や編集履歴, 学習時の脳波や視線などの生体情報を計測することによって, そのような学習時のつまずきのポイントを検出できる場合がある. 課題の難易度によって異なる脳波が測定できれば, eラーニング時に出題する課題の難易度を脳波に合わせて動的に易くしたり難しくしたりでき, 個々の学生に対して最適な学習効果を得られることが期待できる. 本報告では, 課題を解決していく過程で被験者が徐々に習熟していくような課題を与えて, 脳波がどのように変化していくかを計測し, 低 β 波/低 α 波の値が課題の困難度を表していることを示す.

A study on transition of the brain waves when executing a task using simple electroencephalograph

KATSUYUKI UMEZAWA¹ TAKASHI ISHIDA² TOMOHIKO SAITO³ MAKOTO NAKAZAWA⁴
SHIGEICHI HIRASAWA⁵

Abstract: There are many causes of failure in study such as quality and difficulty of learning content, and learning proficiency. It would be possible to detect such causes by measuring browsing history, edit history, and biological information such as brain wave or eye tracking information. If the different brain waves depending on degree of difficulty of a task can be measured, the degree of difficulty of a task at the time of e-learning can be changed dynamically according to the brain waves. And we can expect to be able to get the most suitable learning effect to each student. In this study, we used a task to which examinees are getting used gradually and measured a change in brain waves. We show that the value of (low β wave) / (low α wave) represents the degree of difficulty of the task.

1. はじめに

Web教材の効果的な活用法 [1] やデジタル教科書と e-Learning システムの統合 [2] に関する従来研究がある. また我々は, 大学基盤教育用の教科書としての電子教材の試作を行い, 電子教材の視覚効果が, 授業の分かりやすさに

どのように影響するのかを評価してきた [3]. また, 学習時の編集履歴を参照可能とするシステムの構築 [4] と, それを用いた英語教育への活用 [5][6] やプログラミング教育への活用 [7][8][9][10] を行ってきた.

本研究の最終的な目標は, 今まで行ってきた学習履歴情報の活用に加えて, 学習時の脳波や視線を測定することにより学習時 (特に自習時) のつまずきのポイントを検出することを目指している. また, つまずきポイント別の補助教材の自動提示や補助教材の有効性評価を行うこのも目標の1つである. さらに最終的には総合的な理解度を測定し, 有効性の評価を行うことを目標とする.

従来研究として, α 波と β 波を計測し, β/α の値を評価することにより人の脳の活性度や活動度が測れることが示

¹ 湘南工科大学, Shonan Institute of Technology, Fujisawa, Kanagawa 251-8511, Japan

² 高崎経済大学, Takasaki City University of Economics, Takasaki, Gunma 370-0801, Japan

³ 東京都市大学, Tokyo City University, Setagaya, Tokyo 158-8557, Japan

⁴ 会津大学短期大学部, Junior College of Aizu, Aizuwakamatsu, Fukushima 965-0003, Japan

⁵ 早稲田大学, Waseda University, Shinjuku, Tokyo 169-8555, Japan

され、難しい問題を解くほど負荷が高くなり β/α の値が大きくなることが報告されている [11]。また、我々の従来研究 [12] では低 β 波/低 α 波の値が課題の困難度を最も良く表していることを報告している。

本報告では、課題を解決していく過程で被験者が徐々に習熟していくような課題を与えて、脳波がどのように変化していくかを計測する。具体的には被験者が今までで経験したことがない 3D モーションキャプチャを用いてロボットを組み立てるゲームを行い、徐々に慣れていく際の脳波を計測し、低 β 波/低 α 波の値が課題の困難度を表していることを確認する。

このように、課題遂行の難易度によって異なる脳波が測定できれば、e ラーニング時に出題する課題の難易度を脳波に合わせて動的に易しくしたり難しくしたりでき、個々の学生に適応させ最適な学習効果を得られることが期待できる。

2. 従来研究

2.1 脳波に関する研究

脳波の波形を関連事象とともに観測すると精神状態の指標として用いることができるということは従来から心理学や脳科学の研究で経験的にわかっている。また、人間の精神状態を観測するために、得られた脳波に対して離散フーリエ変換を施して得られた α 波や β 波を用いた研究がなされている。

2.2 脳波の学習への応用

β 波は思考状態と関連性が高いとして、Giannitrapani らは知的作業と脳波の関係を調査し、知能テストを受けている最中の健常者の脳波を測定した [13]。その結果、 β 波の低周波成分が読解テスト、数学テスト、図形整理テスト中に優勢となることを示し、 β 波が思考状態を推定する指標としてある程度有効であることを示した。

また、人間の思考状態を観測するために α 波や β 波のパワースペクトルや、 α 波や β 波の脳波全体に対する割合、あるいは、 α 波と β 波の比率を測ることが有効とされている [14][15]。さらに、簡易脳波計を使って α 波と β 波を計測し、 β/α の値を評価することにより人の脳の活性度や活動度が測れることが示され、また、全般的に計算問題より言語問題の方が、 β/α の値の変化が大きくなり負荷が高いことが報告されている [11]。

また、記憶に関しても脳波を用いた研究がなされており、低 γ 波が記憶の度合いを測る指標として有効であることが報告されている [16]。さらに、記憶作業に反応する低 γ 波とワーキングメモリと呼ばれる短期記憶領域で反応を示す θ 波の 2 つの脳波の関係性を分析し、 $(\theta$ 波 + α 波) / 10 と低 γ 波が同期した波長であることを突き止め、記憶の度合いを測る指標として $(\theta$ 波 + α 波) / (10 × 低 γ 波) が有効であ

ることを示している [17]。

3. 実験の方法

3.1 3D モーションキャプチャ

今回の実験では、手のジェスチャーを赤外線カメラで感知し認識する LeapMotionTM コントローラーを用いた。この装置は 3D 空間で手や指を動かすと、それを察知して「指差し」「手を振る」「手を伸ばす」「つかむ」といった動きや何かを持ち上げたり降ろしたりという動作を認識することができる。LeapMotion 用に様々なアプリケーションが開発されているが、今回は四角いブロック（ロボットの頭）を掴んで、動き回っているロボットの胴体に乗せる、というゲームを用いた。四体のロボットを完成させるとゲームクリアとなる。LeapMotion の様子を図 1 に示す。

3D 空間で手だけを動かし、コンピュータ内の仮想 3D 空間でモノを掴まんだり動かしたりする操作には慣れが必要である。このように課題を遂行していくにつれて習熟して行く過程を簡易脳波計を使って計測し分析を行うことが本研究の目的である。

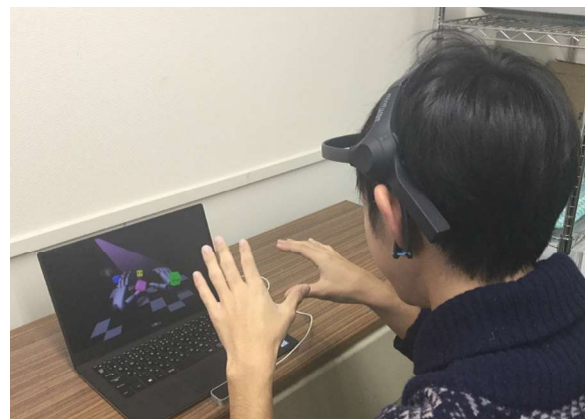


図 1 3D モーションキャプチャ (LeapMotion) の様子
Fig. 1 Experimenting 3D motion capture (LeapMotion)

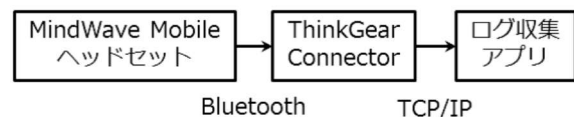


図 2 脳波計測の概要

Fig. 2 Outline of measurement of brain waves

3.2 脳波計測方法

脳波の測定は、NeuroSky 社製脳波コントロール MindWave[®] Mobile ヘッドセットを利用した。図 2 に示すようにヘッドセットと ThinkGear Connector 間を Bluetooth で接続した上で、ログ収集アプリが ThinkGear Connector と TCP/IP 通信を行うことにより脳波のログを

収集する。ここで、ThinkGear Connector とは、NeuroSky 社が提供する MindWave Mobile との通信機能を提供するドライバである。また、取得できる脳波の種類は表 1 に示す 8 種類であり、各値は単位のない 4 バイトの浮動小数値である。

3.3 被験者と実験方法

新潟県立松代高校を中心に、近隣の高校生を対象に「まつだいサイエンス講座」を開催し、サイエンス講座内で実験を行った [18]。今回の実験の被験者は、21 名の高校生を対象とした。1 人に対して、LeapMotion を用いて 4 体のロボットを完成させるゲームを行う際の脳波を計測した。

表 1 取得できる脳波の種類 [19]

Table 1 The kind of brain waves which can be acquired

種類	周波数 (Hz)
δ 波	0.5-2.75
θ 波	3.5-6.75
低 α 波 (α_l)	7.5-9.25
高 α 波 (α_h)	10-11.75
低 β 波 (β_l)	13-16.75
高 β 波 (β_h)	18-29.75
低 γ 波	31-39.75
中 γ 波	41-49.75

4. 実験の結果

図 3 にある被験者 (ID3) 一人分の脳波の計測結果を示す。縦軸は β 波/ α 波の値である。ただし、表 1 に示した通り、今回計測に用いた簡易脳波計では α 波と β 波はそれぞれ高周波と低周波の 2 種類の脳波を計測可能である。つまり、 α 波と β 波の比である β/α を考える際に、 β_l/α_l 、 β_h/α_h 、 β_l/α_h 、 β_h/α_l の 4 種類の組み合わせが考えられる。さらに低周波と高周波の平均の比 $(\beta_l+\beta_h)/(\alpha_l+\alpha_h)$ (以降 β_{l+h}/α_{l+h} と表す) も加え全 5 種類の β/α を記載している。

なお、我々は文献 [12] で、課題の難易度をより良く表しているのは β_l/α_l という報告を行った。これに従って β_l/α_l を太線の実線で示した。

5. 結果の分析および考察

5.1 実験の結果の整理

図 3 に被験者一人分の脳波の計測結果を示したが、このままでは波形の分析は困難である。もともと本実験は、時間とともに徐々に習熟していくような課題を解決する際の脳波の計測を目的としているので、時間軸を四等分にして全実行時間の四分の一ずつの時間間隔で平均をとることとした。これにより時間とともに変化する脳波の傾向を把握できると考えた。

図 4 に 21 人分の結果を示す。縦軸は図 3 と同様である。

横軸は時間軸であるが、前述のように LeapMotion の実行中にどのように脳波が変化していくかの傾向をつかむために、各被験者ごとに全実行時間 (ゲームクリア時間) を 4 分割した。図中の β/α は、区間内での平均値である。

5.2 課題遂行時間との関係

図 4 をよく観察すると、図 5 に示す 4 つのタイプに分類できることがわかる。

文献 [12] に従って β_l/α_l に着目して 21 人の被験者を 4 つのタイプに分類したうえで、課題の困難さを表す実行時間 (ゲームクリア時間) を併せて表 2 に示す。

表 2 脳波 β_l/α_l の推移の型と課題遂行に要した時間

Table 2 Transition type of β_l/α_l and required time for playing game

型	ID	時間 (秒)	平均
最後に上がるタイプ	1	144	303.0
	4	386	
	6	207	
	11	475	
最後に下がるタイプ	5	155	240.1
	8	188	
	12	297	
	13	133	
	15	287	
	16	441	
	26	180	
徐々に上がるタイプ	3	248	389.3
	7	460	
	9	612	
	23	237	
徐々に下がるタイプ	21	254	189.0
	22	156	
	24	237	

5.3 考察

今回、時間間隔を 4 分割した。これは実行した課題が 4 体のロボットを組み立てるという課題であったため 1 体のロボットを完成させる時間が完全に 4 分の 1 になるわけではないが、近似的には 4 分割にするのがちょうど良いのではないかと考えた。 β/α の値が「最後に上がるタイプ」の被験者は、最後の 4 体目を完成させたらゲームクリアになるということで緊張したりすでに完成させたロボットが動き回って 4 体目を完成させるのに邪魔になったりすることが難しいと感じたのではないかと考えられる。また、「最後に下がるタイプ」の被験者は、初めの 3 体の試行錯誤の結果、最後は慣れてきたのではないかと考えられる。この「最後に上がるタイプ」と「最後に下がるタイプ」に関しては、前半でどのように課題に対応していたかによって合計時間が変わってくるので、課題遂行時間と脳波の関係を考

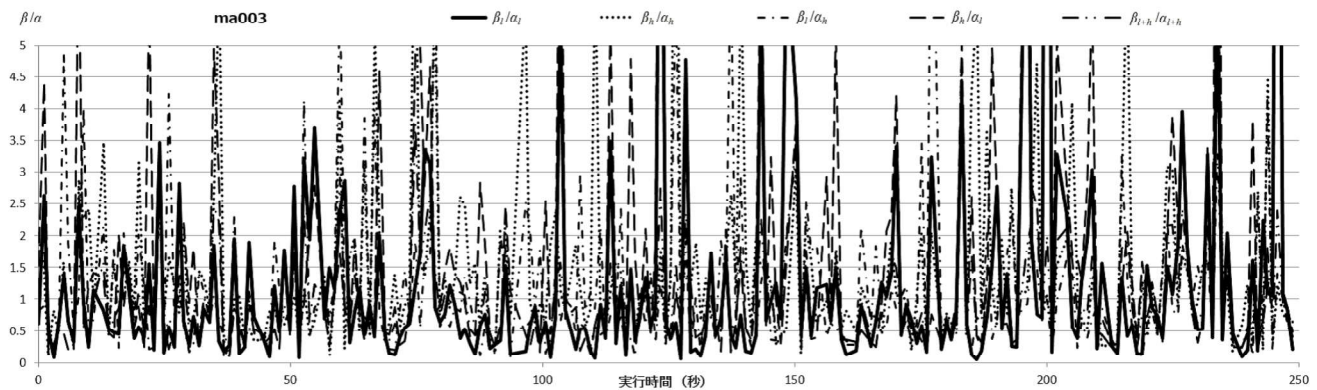


図 3 ある被験者 (ma003) の LeapMotion 実行時の β 波/ α 波の値

Fig. 3 The value of β wave/ α wave of an examinee (ma003) at the time of playing the LeapMotion

察するのは難しい。

これに対して、「徐々に上がるタイプ」の被験者は、課題を始めてみたがやはり自分の手の動きとコンピュータの中の手の動きの不一致感に最後まで慣れることが出来ない状況を表していると考えられる。課題遂行時間もすべてのタイプの中で最大となっており、脳波の β/α の値の推移が課題の困難性をよく表しているといえる。また、「徐々に下がるタイプ」の被験者は 3D の感覚に慣れている被験者でこの課題は被験者にとって簡単な課題となっていたのではないかと考えられる。課題遂行時間もすべてのタイプの中で最小となっており、このタイプも β/α の値の推移が課題の困難性をよく表しているといえる。

6. まとめと今後の課題

今回の本報告では、課題を解決していく過程で被験者が徐々に習熟していくような課題を与えて、脳波がどのように変化していくかを計測し、低 β 波/低 α 波の値が課題の困難度を表していることを確認することができた。

今後は、数学や英語、プログラミング教育における脳波について計測および分析を進めるとともに、学習時のつまづきポイント別の補助教材の自動提示方法の確立や補助教材の有効性評価を行う必要があると考える。さらに最終的には総合的な理解度を測定した有効性の評価を行う必要があると考える。

謝辞 本実験の実施にあたり新潟県立松代高等学校・長谷川雅一先生には多大なるご協力を頂いた。また、(有)早稲田松代協力会 代表 木戸一之氏には、現地と大学の間の調整、講座の運営など数々の支援を頂いた。

本研究の一部は独立行政法人日本学術振興会学術研究助成基金助成金基盤研究 (C) 16K00491 の助成による。

商標等に関する表示

- Leap Motion は Leap Motion, Inc の商標です。
- MindWave はニューロスカイインコーポレーテッドの登録商標です。

参考文献

- [1] 杉村藍, 尾崎正弘, 武岡さおり, 足達義則, “授業における Web 教材の効果的な活用法について,” 電子情報通信学会技術研究報告, ET, vol.108(470), p.p.7-12, (2009).
- [2] 鈴木靖, “デジタル教科書と e-Learning のシームレスな統合とその効果,” 私立大学情報教育協会 論文誌 ICT 活用教育方法研究 第 14 巻 第 1 号, p.p.31-35, (2011.11).
- [3] 梅澤克之, 石田崇, 小林学, 平澤茂一, “大学教育のための電子教材の試作と授業への活用方法の評価,” 経営情報学会 (JASMIN) 2013 年秋季全国研究発表大会予稿集, pp.45-48, (2013.10).
- [4] 荒本 道隆, 小林 学, 中澤 真, 中野 美知子, 後藤 正幸, 平澤 茂一, “編集履歴可視化システムを用いた Learning Analytics~システム構成と実装,” 情報処理学会第 78 回全国大会予稿集, pp.4-527-4-528, 横浜, (2016.3).
- [5] 中野 美知子, 荒本 道隆, 吉田 諭史, 荊 紅涛, “編集履歴可視化システムを用いた Learning Analytics~英文ライティング教育への適応: 文法エラーの難度と訂正時間の関係~” 情報処理学会第 78 回全国大会予稿集, pp.4-531-4-532, 横浜, (2016.3).
- [6] 中野美知子, 荒本道隆, 吉田諭史, “プログラミング学習の学習ログ収集ソフトウェアを活用した文法矯正練習の試み,” 日本経営工学会 2015 年秋季大会予稿集, pp11-12, (2015.11)
- [7] 後藤 正幸, 三川 健太, 雲居 玄道, 小林 学, 荒本 道隆, 平澤 茂一, “編集履歴可視化システムを用いた Learning Analytics~C プログラミング科目における編集履歴と評価得点データを統合した分析モデル,” 情報処理学会第 78 回全国大会予稿集, pp.4-533-4-534, 横浜, (2016.3).
- [8] 中澤 真, 荒本 道隆, 後藤 正幸, 平澤 茂一, “編集履歴可視化システムを用いた Learning Analytics~ Scratch を用いた初等教育向けプログラミング教育における学習者の思考パターン分析,” 情報処理学会第 78 回全国大会予稿集, pp.4-531-4-532, 横浜, (2016.3).
- [9] 中澤 真, 荒本 道隆, 後藤 正幸, 平澤 茂一, “ビジュアルプログラミング言語「Scratch」のための学習履歴分析環境とその可能性—初等教育からのプログラミング教育に向けて—,” 日本経営工学会 2015 年秋季大会, (2015.11).

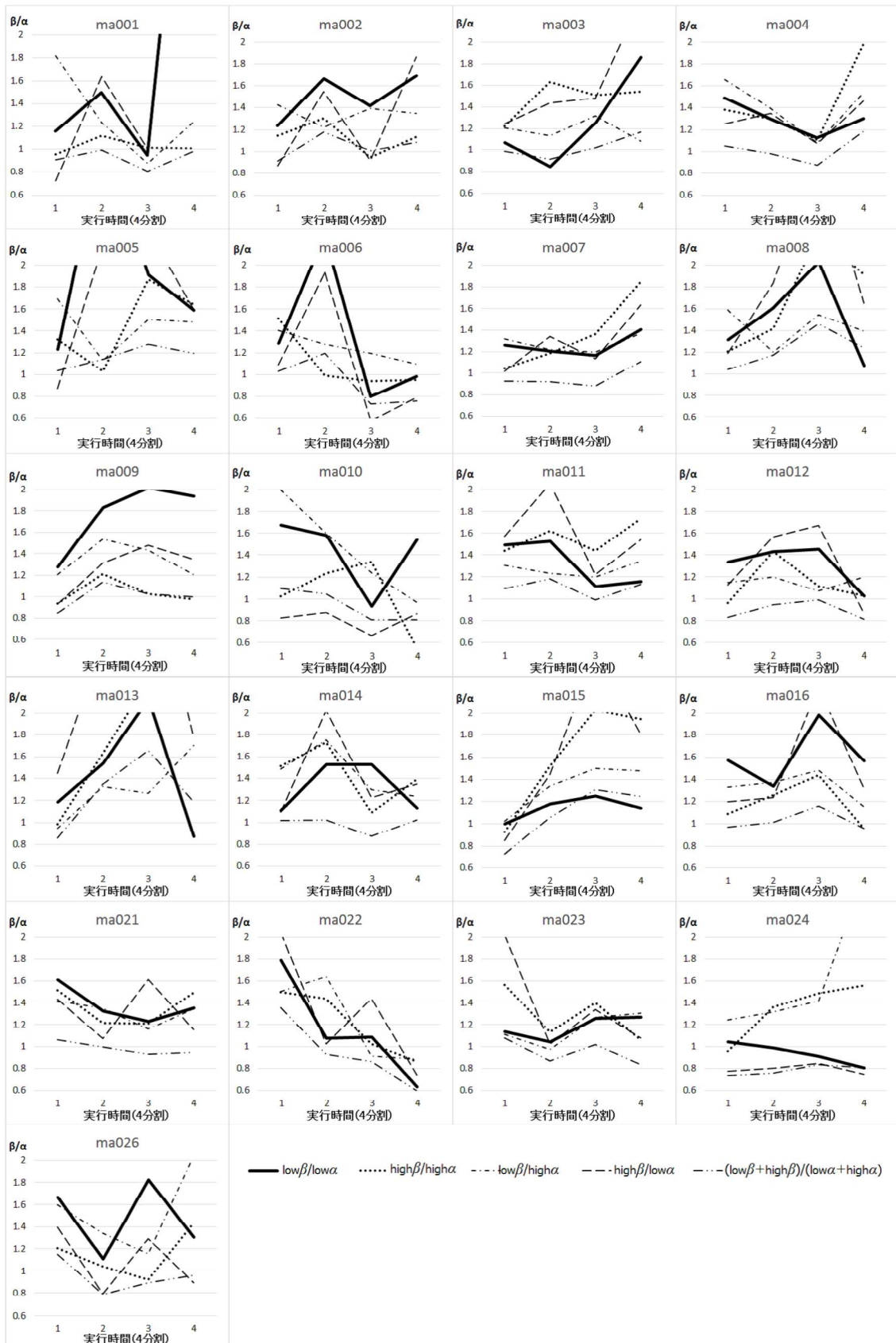


図 4 LeapMotion 実行時の β 波/ α 波の値

Fig. 4 The value of β wave/ α wave at the time of playing the LeapMotion

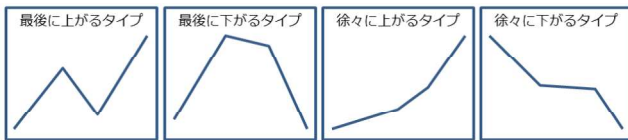


図 5 β 波/ α 波の値の推移の型

Fig. 5 Transition type of value of β wave/ α wave

- [10] 小林 学, 後藤 正幸, 荒本 道隆, 平澤 茂一, “プログラミング編集履歴可視化システムとその実践,” 日本経営工学会 2015 年秋季大会, (2015.11).
- [11] 吉田 幸二, 坂本 佑太, 宮地 功, 山田 困裕, “簡易脳波計による学習状態の脳波の分析比較,” 電子情報通信学会技術研究報告. ET, 教育工学 112(224), p.p. 37-42, (2012.09)
- [12] 梅澤 克之, 石田 崇, 齋藤 友彦, 中澤 真, 平澤 茂一, “簡易脳波計測を用いた学習者にとっての課題難易度の判定方法,” 情報処理学会コンピュータと教育研究会 137 回研究発表会 (2016.12)
- [13] D. Giannitrapani, “The role of 13-hz activity in meditation,” The EEG of Mental Activities, p.p. 149-152, (1988).
- [14] 上野 秀剛, 石田 響子, 松田 侑子, 福嶋 祥太, 中道 上, 大平 雅雄, 松本 健一, 岡田 保紀, “脳波を利用したソフトウェアユーザビリティの評価: 異なるバージョン間における周波数成分の比較,” ヒューマンインタフェース学会論文誌 10(2), p.p. 233-242, (2008.5)
- [15] K. Yoshida, Y. Sakamoto, I. Miyaji, K. Yamada, “Analysis comparison of brain waves at the learning status by simple electroencephalography,” KES'2012, Proceedings, Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems, p.p. 1817-1826, (2012).
- [16] 平井 章康, 吉田 幸二, 宮地 功, “簡易脳波計による学習時の思考と記憶の比較分析,” マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2013) シンポジウム, p.p. 1441-1446, (2013.07)
- [17] 平井 章康, 吉田 幸二, 宮地 功, “簡易脳波計による記憶作業における脳波状況フィードバック学習システムの試作,” マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2014) シンポジウム, p.p. 633-638, (2014.07)
- [18] 梅澤 克之, 中澤 真, 石田 崇, 齋藤 友彦, 平澤 茂一, “高校生を対象とした学習時の閲覧編集履歴と生体情報の収集とその分析,” 経営情報学会 (JASMIN) 2016 年秋季全国研究発表大会, D2-1, (2016.9)
- [19] ThinkGear Serial Stream Guide,
http://developer.neurosky.com/docs/doku.php?id=thinkgear_communications_protocol
(参照 2016/11/08)