

ユーザビリティ評価のための脳波計測手法構築へ向けた実験的検討

木村 昌樹^{*1} 上野 秀剛^{*1} 大平 雅雄^{*1} 松本 健一^{*1}

An Experimental Study toward Constructing an Electroencephalogram Measurement Method for Usability Evaluation

Masaki Kimura,^{*1} Hidetake Uwano^{*1} Masao Ohira^{*1} Ken-ichi Matsumoto^{*1}

Abstract – This paper describes our pilot study toward constructing an electroencephalogram (EEG) measurement method for usability evaluation. Some previous studies have proposed quantitative measurement methods using EEG in order to complement qualitative usability evaluation. The proposed methods basically consist of the two steps: (1) measuring EEGs of subjects for several tens of seconds after events or tasks which are targets to evaluate, and (2) analyzing how much components of the α and/or β rhythm are contained in the measured EEGs. However, there only exists an empirical rule on measurement time length of EEGs for usability evaluation. In this paper, we conduct an experiment to reveal the optimal time length of EEGs for usability evaluation, by analyzing changes of EEGs over time. From the results of the experiments, we have found that EEGs from 45.84 seconds (10 seconds for relax + 35.84 seconds) to 56.08 seconds (10 seconds for relax + 46.08 seconds) after tasks are the most suitable for usability evaluation and that usability evaluation with less effect of artifacts on EEGs can be performed by measuring EEGs for over 46.08 seconds time length.

Keywords : Electroencephalogram, Usability evaluation, Quantitative analysis

1. はじめに

ソフトウェアの規模が大きくなり構成が複雑化するに伴い、ソフトウェアの機能的な面だけでなく、ソフトウェアの使いやすさが重要になっている。従来、ソフトウェアや Web サイトのユーザビリティを評価する方法として、インタビューを用いる方法や、利用中の思考状態をリアルタイムに発話してもらう発話プロトコル法^[1]、利用後に質問票（アンケート）に回答してもらう方法^{[2]~[4]}などが用いられている。これらの手法は計測のために特別な機器を必要とせず、比較的容易に計測できるためユーザビリティの評価によく用いられているが、得られたデータの分析や評価に多大な時間がかかることや、再現性が低く、主観的な評価となってしまふという欠点も存在する。

このような主観的評価における問題点を補うために、人間の心理状態を定量的・客観的に評価する方法として、人間の生理状態を外部から測る生体計測についての研究が行われている。生体計測では心拍変動や脈波、発汗、筋電、脳波といった人間の生体情報を専用の機器を用いて計測し、その変化や違いを分析する。生体情報は人間の心理状態と密接な関係があるといわれており^[5]、評価対象となるシステムを利用している際の生体情報を用いることで、定量的なデータによる心理

状態の計測を行うことができる。

本研究では、これら生体情報計測手法のひとつである脳波に着目し、ソフトウェアや Web サイトのユーザビリティ評価のための脳波計測手法の構築を目指す。脳波の周波数成分である α 波と β 波はリラックス状態や精神活動状態によって変動するとされている^[6]。また脳波計測は、人間の中枢神経系を非侵襲に計測する方法の中でも比較的安価な装置を用いて行うことができ、他の計測方法と比べてユーザの姿勢に制限が少ないため、コンピュータ利用時や安静時のユーザの妨げにならないという特徴がある。

脳波を用いた研究では一般に計測したい事象（実験タスク）が起きた後の脳波を数十秒間計測し、 α 波や β 波がどの程度含まれているかを分析する方法が用いられる。このとき、脳波を計測する時間を変化させることで得られる結果が異なることが考えられる。タスク終了後、被験者の脳波はタスクの内容によって変化しているが、時間が経過すると共に通常の脳波に戻っていく。そのため、脳波を計測する時間が長すぎるとタスクの影響によって変化した脳波の割合が減少することになる。一方、計測時間が短すぎるとノイズの影響などにより精度の低い脳波しか得られない可能性が生じる。したがって、脳波の計測時間は実験結果に影響を与える重要な要因と言える。

しかしながら、従来脳波を計測する時間については経験的な基準しか存在しておらず、脳波の時系列な変

*1: 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

*1: Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology

化に着目した分析は行われていない。ユーザビリティの定量的な評価や比較を行うにあたって、計測手法の標準化が必要不可欠であり、ユーザビリティ評価に適した脳波の厳密な分析対象時間を明らかにする必要がある。そこで本実験では、ソフトウェア利用後のユーザの脳波を測定しその変化を時系列に分析することによって、ユーザビリティ評価に適した脳波の分析対象時間を得ることを試みる。以下2章では、心理状態の定量的な計測についての関連研究を述べる。3章では、タスクによって変化する脳波を計測する実験について述べる。4章では実験によって得られた結果について述べる。5章では得られた結果について考察する。6章では、本稿のまとめと今後の課題について述べる。

2. 関連研究

人間の心理状態を定量的に計測するために、さまざまな生体情報を対象として研究が行われている。工学分野でよく使われている生体情報は大きく末梢神経系、中枢神経系の2つに分類される^[6]。

末梢神経系の活動を観察する指標として、心電図、皮膚表面温度、眼球運動、筋電図などがある^{[7]~[10]}。中枢神経系の活動として計測することができる生体反応には脳波 (EEG)、脳磁気図 (MEG)、機能的核磁気共鳴画像 (fMRI)、コンピュータトモグラフィ (CT) などがある。この中でも脳波は他の方法と比べて計測時の姿勢・動作が比較的自由、コンピュータ利用時にも計測が可能、計測装置が安価であることから、ディスプレイ上に表示されたソフトウェアを利用している際の心理状態を計測するのに適している。本研究では脳波の周波数成分のうち、国際脳波学会によって定められた α 波および β 波を用いてソフトウェア利用時における心理状態の定量的評価を行う。

人間の心理状態を観察するための脳波計測においては脳波に対して離散フーリエ変換することで得られた α 波、 β 波のパワースペクトルや、 α 波、 β 波の脳波全体に対する割合、 α 波と β 波の比率である β/α が指標としてよく用いられている^[11]。松永らは脳波により人間の満足感を評価する満足感計測システムを開発し、実験により脳が扱う情報処理量が小さいと快が生じ、反対に情報処理量が大きいと不快が生じるという仮説を検証した^[12]。林らは高品位映像の客観的評価指標として脳波を計測し、 α 波のパワースペクトルが主観的評価と相関があることを示している^[13]。Oohashiraらは可視聴域を超える高周波成分を含む音を聞いた際に α 波成分が増大し、高周波成分を除去するとそれが弱まることを示している^[14]。

本研究では α 波と β 波それぞれの脳波全体に対する比率と、 β/α を指標として用いる。これらの指標は従

来、脳波を用いた研究でよく使われているため、過去の研究で得られた知見と容易に比較することができる。

3. 実験方法

3.1 概要

本実験では Microsoft 社製のスプレッドシート作成ソフトウェアである Microsoft Office Excel 2003 及び Microsoft Office Excel 2007 を用いて被験者に 8 つのタスクを行ってもらい、その各タスク終了後の脳波を計測した。Excel 2003 と Excel 2007 はそれぞれ 2003 年、2007 年にリリースされたバージョンの異なるソフトウェアである。両バージョンは同程度の機能を持つが、Excel 2007 では新しいインタフェースが導入されており、メニューやツールバー、作業ウィンドウのデザインが変更されている。そのため同一の機能を利用する際にそれぞれのバージョンで異なる位置・名称のメニューやボタンを選択しなければならない場合がある。また、メニューの位置や名称が変化していなくても、メニュー選択後に表示される作業ウィンドウのデザインが変更されていることがある。これらのことから、両バージョンにおける慣れの違いによって主観的評価に有意差が現れると考えられ、それと同時に脳波においても同様に快・不快の傾向が現れると考えられる。

3.2 被験者

本実験の被験者は、奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科に在籍している大学院生 10 名である。被験者の Excel 2003 及び Excel 2007 の利用頻度について集計した結果を表 1 に示す。Excel 2003 については全ての被験者に利用経験があり、基本的な操作方法や機能については理解していた。Excel 2007 については半数の被験者が一度も利用したことが無かった。

3.3 タスク

あらかじめ与えられたデータファイルに対して、4 種類の作業を 2 つのバージョンで行ってもらうタスク (計 8 タスク) を設定した。表 2 に実験で使用したタスクの一覧を示す。全てのタスクは Excel 2003 または Excel 2007 のどちらでも実行が可能であり、全てのタスクで使用するデータファイルは同一のもの (架空の成績表) とした。各タスクの制限時間は 5 分とし、時間以内に終了できなかった場合は、作業を中断しても

表 1 Excel 2003 及び 2007 の利用頻度
Table 1 Subject's Use Frequency of Excel 2003 and 2007.

利用頻度 (人数)	Excel 2003	Excel 2007
一度も無い	0	6
年に数回	2	1
月に数回	3	2
週に数回以上	5	1

らった。また、実施するタスクの選択や、タスクを行う順序については学習効果を考慮し、カウンターバランスを行った。

以下の4つの項で各タスクの種類について詳細に説明する。

3.3.1 Same Place タスク

Same Place タスクは両バージョンで同様のメニュー位置・名称をもつ機能を選択するタスクである。指定された機能を実行するためのメニューやボタンを選択すればタスクは完了となる。

3.3.2 Different Place タスク

Different Place タスクではバージョン間で異なるメニュー位置・名称をもつ機能を選択する。*Same Place* タスクと同様に指定された機能を実行するためのメニューやボタンを選択すればタスク終了となる。

3.3.3 Same Interface タスク

Same Interface タスクで用いられる機能は、メニューを選択した後に表示される設定や必要な情報を入力するための作業ウィンドウの構成が、両バージョンでほぼ同一である。このタスクでは作業ウィンドウを表示するためのメニュー位置や名称について、タスク説明時に与えられる。メニューを選択してから表示された作業ウィンドウ上でタスク内容に沿った設定を完了させるまでをタスクとする。

3.3.4 Different Interface タスク

Different Interface タスクはメニュー選択後に表示される作業ウィンドウの構成がバージョンによって異なるタスクである。*Same Interface* タスクと同様にウィンドウを表示するためのメニュー名称・位置については事前に与えられる。

3.4 実験環境

脳波計測装置は、脳機能研究所製の感性スペクトル解析装置 ESA-16 を用いた。脳波の記録は、サンプリング周波数を 200Hz、タスク終了後の閉眼安静状態を 2 分間として行った。脳波計測においては、国際脳波学会が標準方式として推奨している、図 1 に示す国際式 10/20 法の電極配置に基づいて行った。グラウンド電極を額の中心 (Fpz) とし、導出法については基準電極導出法 (片側耳朶法) を用いて、基準電極を右耳 (A2) とした。計測用電極は後頭部 (Pz) に配置した。これは後頭部には筋電位など脳波以外の生体現象によるアーチファクト (ノイズ) が入りにくいからである。また、心電 (ECG) を計測するために両前腕の内側にも電極を配置した。その他のアーチファクトに対しては、脳波計測に不要な電子機器の電源を抜く、電極の装着不良を防ぐため被験者に頭部用ネット包帯を着用してもらうなどの対策を行った。

被験者はヘッドレスト付きの椅子に座り、デスクトッ

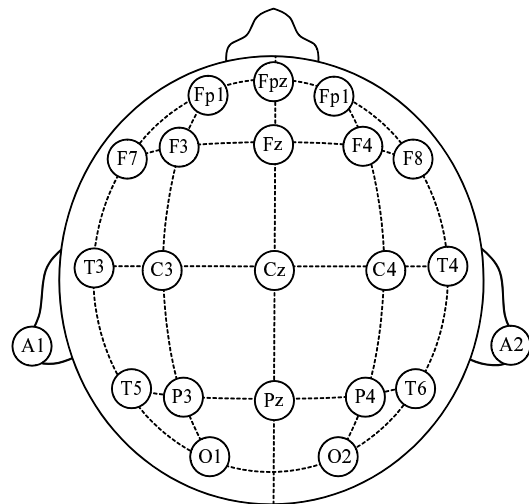


図 1 国際式 10/20 法における電極配置
Fig.1 Electrode Locations in the International 10-20 System

プ PC 上で Excel 2003 と Excel 2007 をマウスとキーボードを用いて操作してもらった。事前にキーボードやマウスの位置、椅子の高さなどを調整してもらい、筋電位が入りにくいようにした。

3.5 手順

実験の手順を以下に示す。

1. 実験説明・準備
実験についての説明と、脳波計測時の注意を行う。
2. 装置の設定
3 章で説明した 5 箇所電極をつけ、脳波計測装置の設定を行う。また、脳波が正常に取られているかを確認するため、2 分間、閉眼安静状態の脳波を計測し、アーチファクトの確認を行う。
3. 練習タスク
実験の流れを理解してもらうため、2 種類の練習タスクを行う。練習タスクにおける脳波は分析対象としない。
4. タスクの実施
タスクの内容を説明し、実施してもらう。タスクの内容を記した用紙を渡し、解答例がある場合は表示する。
5. タスク後脳波計測
タスク終了後、閉眼安静状態の脳波を 2 分間計測する。
6. 全タスクの実施
手順 4, 5 を繰り返す。
7. アンケート
全タスク終了後、次節で示すアンケートについて記入してもらう。

表 2 実験で使用したタスク一覧
Table 2 Task List Used at The Experiment.

タスク種類	タスク名	タスク内容
Same Place	クリップアートの挿入	クリップアートを挿入するための選択ウィンドウを開く。
	オートフィルタ	各項目の値でフィルタ表示できるように、フィルタを設定する。
Different Place	Version 情報の表示	Excel のバージョン情報を表示する。
	マクロの記録	新しいマクロの記録を開始する。
Same Interface	セルの書式設定	日付表示を”MM 月 DD 日”から”MM/DD”に変更する。
	ページ設定	印刷時に A4 横向きになるよう設定する。また印刷時における左右の余白を 3.0 に設定する。
Different Interface	条件付書式の設定	60 点未満か”欠席”のセルを赤字で表示する。
	グラフの作成	各学生の点数を積み上げ縦棒グラフで表示し、軸とグラフのタイトルを設定する。

3. Excel2007 について			
• 利用頻度	全く利用していない	年に数回	月に数回
• 各機能の使い方は理解しやすい	まったく思わない	1 2 3 4 5 6 7	強くそう思う
• 作業効率がよい (生産性が高い)	まったく思わない	1 2 3 4 5 6 7	強くそう思う
• 表示される情報 (ポップアップやメニュー名など) が明確で分かりやすい	まったく思わない	1 2 3 4 5 6 7	強くそう思う
• インタフェースが好ましい	まったく思わない	1 2 3 4 5 6 7	強くそう思う
• 全体として使いやすい	まったく思わない	1 2 3 4 5 6 7	強くそう思う
• 全体として満足している	まったく思わない	1 2 3 4 5 6 7	強くそう思う

図 2 本研究で使用したアンケート
Fig. 2 Questionnaire Sheet.

3.6 アンケート

全タスク終了後に、Excel の利用頻度や、各タスクで利用した機能についてのアンケートを行った。アンケートは Questionnaire for User Interaction Satisfaction (QUIS) [3] を参考に、各機能や Excel の各バージョンにおけるユーザビリティについての主観的評価や各バージョンの利用頻度を測るための項目を設定した。各アンケート項目は利用頻度について 4 段階、ユーザビリティについて 7 段階の選択式とした。アンケートの一部を図 2 に示す。

4. 脳波データの解析方法

PC に取り込まれたサンプリング周波数 200Hz の脳波に対してパワースペクトル解析を行った。安静開始直後は姿勢が変化しがちなため、筋電位の影響を受けやすい。よって脳波の切り出しは安静開始 10 秒後からとした。本実験では時間の経過と共にどのように脳波が変化するかを明らかにするために、計測した脳波データに対して (1) 分析開始位置を変化させた分析と、(2) 分析する時間長を変化させた分析の 2 種類を行った。図 3 にそれぞれの分析において対象とする脳波の範囲を示す。

(1) 開始位置を変化させた分析

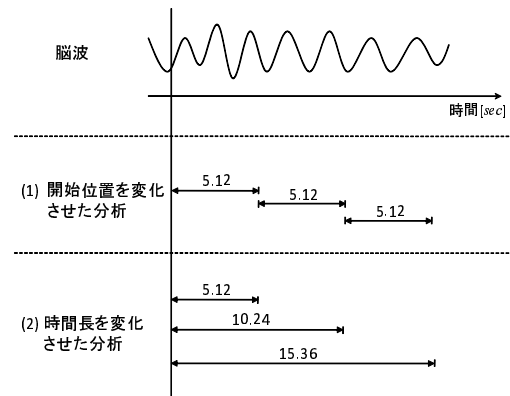


図 3 2 種類の脳波の解析方法
Fig. 3 Two Kinds of Analysis Methods for Electroencephalogram

本分析は、時間の経過によって脳波がどのように変化していくかを観察することを目的としている。分析範囲が重複しないように分析開始位置を 5.12 秒ずつ変化させ、5.12 秒間隔の脳波を分析する。10 秒から 5.12 秒毎に脳波を切り出し、91.92 秒までの計 16 区間を分析対象とする。

(2) 時間長を変化させた分析

本分析は、分析対象とする脳波の時間長を変化させたとき、分析結果がどのように変化するかを観察することを目的としている。分析開始位置を変化させずに、時間長を 5.12 秒ずつ増やして脳波を分析する。5.12 秒間ずつ時間長を増やして脳波を切り出し、最終的に 81.92 秒間まで時間長を増やした 16 種類の脳波を分析対象とする。

次に切り出した脳波に対して、アーチファクトを除去するためのフィルタ処理を行った。用いたフィルタはハイパスフィルタ (遮断周波数 3Hz, 減衰傾度 +6dB/oct), ローパスフィルタ (遮断周波数 60Hz, 減衰傾度 +6dB/oct), バンドエリミネーションフィルタ (中心周波数 60Hz, 遮断域 47.5Hz ~ 72.5Hz, 次数 2) である。バンドエリミネーションフィルタは交流電流による影響を取り除くために用いた。これらのフィ

ルタ処理を行った脳波に対してハミング窓をかけ、高速フーリエ変換 (FFT) を施し、パワースペクトルを求めた。

2種類の分析方法によって得られた脳波のパワースペクトルから、その区間内での α 波、 β 波の比率(以降、単に α 波、 β 波)と、 β 波を α 波で割った β/α を求めた。 α 波と β 波の周波数成分は国際脳波学会による分類に従い、それぞれ8Hz以上13Hz未満及び13Hz以上30Hz未満とした。また、脳波全体の範囲を3Hz以上30Hz未満とした。 α 波と β 波の比率は脳の活動を見るための指標としてよく用いられており、本研究でも β/α をタスク後の心理状態を測るための指標として用いる。しかしながら α 波と β 波の比率や強さは個人差が大きく、絶対値による比較は妥当ではない。そこで本研究では、各被験者のパワースペクトルの平均値で正規化した値を用いる。

5. 実験結果

5.1 開始位置を変化させた分析結果

分析開始位置を変化させた脳波における、Excelのバージョン別の α 波の平均値及び標準偏差を図4に、 β 波を図5に、 β/α を図6に示す。各グラフにおいて、左軸は全被験者のExcel 2003とExcel 2007それぞれにおける平均値、右軸は標準偏差を示している。

図4は35.84秒以降に切り出した α 波についてはExcel 2003が安定して高いことを示しており、Excel 2003とExcel 2007の差が71.68秒に最も大きくなることを示している。また、標準偏差については、全区間において比較的小さく、40.96秒から46.08秒で最も小さかった。

図5は35.84秒以降に切り出した β 波についてはExcel 2007が高いことを示しており、71.68秒から76.80秒に最もExcel 2003とExcel 2007の差が大きくなることを示している。標準偏差については、 α 波と比べて、全体的に高い傾向が見られた。最も標準偏差が小さくなるのは30.72秒であった。

図6に示した β/α でも α 波や β 波と同様に35.84秒以降、安定した傾向が見られ、Excel 2007の方がExcel 2003よりも高い傾向があった。Excel 2003とExcel 2007の差は71.68秒で最も大きかった。標準偏差は α 波や β 波と比べて大きい値を示しており、30.72秒で最も小さかった。

5.2 時間長を変化させた分析結果

脳波を切り出す時間長を5.12秒ずつ増加させた際の、Excelのバージョン別の α 波の平均値及び標準偏差の推移を図7に、 β 波を図8に、 β/α を図9に示す。

図7は30.72秒以上の長さの脳波を分析した際にExcel 2003が安定して α 波が高くなることを示して

いる。また、分析対象とする時間長を長くするほど、 α 波が大きくなると同時に、標準偏差が小さくなる傾向も見られる。

図8から、46.08秒以上の脳波を分析対象とした場合、Excel 2007の方が β 波が大きくなることを示している。標準偏差については α 波と同様に時間長を長くするほど小さくなる傾向が見られた。

図9に示された β/α から、40.96秒以上の脳波を分析した際にExcel 2007のほうが値が大きくなる傾向が見られた。標準偏差についても α 波や β 波と同様に、分析対象とする時間長を長くするほど小さくなる傾向が見られた。

5.3 アンケート結果

表3にアンケート結果について平均値と標準偏差、およびt検定による検定結果を示す。この表はアンケート項目の「作業効率」、「インタフェース」、「使いやすさ」、「満足感」においてExcel 2003とExcel 2007で有意な差があったことを示しており、Excel 2007の方がアンケートによる評価が低かったことを示している。

6. 考察

開始位置を変化させて切り出した脳波の分析結果からいずれの指標も35.84秒以降、安定した傾向を見せており、 α 波はExcel 2003が高く、 β 波と β/α はExcel 2007のほうが高かった。標準偏差についても、すべての指標で30.72秒から46.08秒の間で最も小さい値を示している。この結果は、35.84秒から46.08秒の範囲の脳波がすべての被験者で安定しており、ノイズの影響が最も小さく、適切にExcelのバージョンによる影響を計測しているといえる。したがって、タスク終了後、45.84秒(安静時間10秒+35.84秒)から56.08秒(安静時間10秒+46.08秒)の範囲の脳波がソフトウェアのユーザビリティ評価に最も適していると考えられる。

分析対象とする時間長を増加させて分析を行った結果から、 α 波はExcel 2003が30.72秒以上において安定して高く、 β 波はExcel 2007が46.08秒以上において安定して高く、 β/α はExcel 2007の方が40.96秒以上において安定して高かった。また、標準偏差についてはいずれの指標においても分析対象とする時間長が長くなるほど小さくなる傾向が見られた。したがって、分析対象とする脳波の時間長を46.08秒以上にすることで、ノイズの影響を受けずに分析を行うことができると思われる。

本実験で得られた結果では、 α 波はExcel 2003で高く、 β 波と β/α はExcel 2007で高い傾向があった。過去に行われてた脳波を用いた研究において、精神的負荷が高いときや、不快に感じている際に α 波が減少

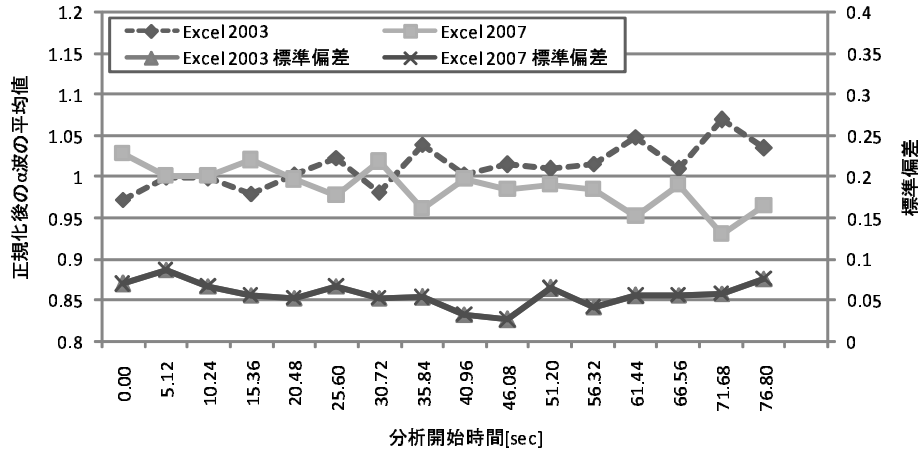


図4 5.12秒ごとの α 波の変化
Fig. 4 Changes of the α Rhythm by 5.12 Seconds

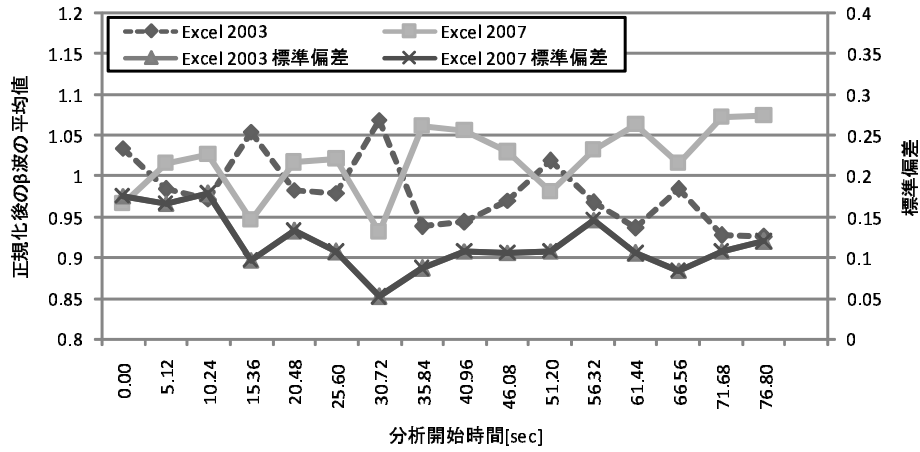


図5 5.12秒ごとの β 波の変化
Fig. 5 Changes of the β Rhythm by 5.12 Seconds

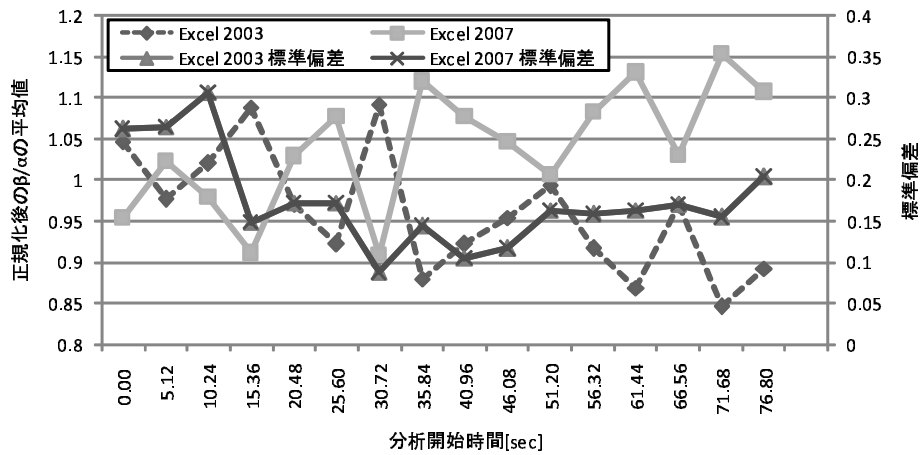


図6 5.12秒ごとの β/α 波の変化
Fig. 6 Changes of β/α by 5.12 Seconds

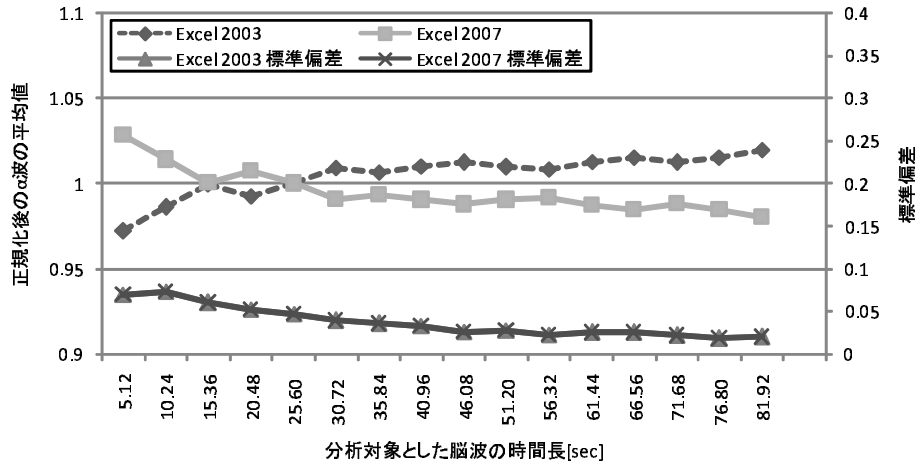


図 7 5.12 秒ずつ時間長を増やしたときの α 波の変化
 Fig. 7 Changes of the α Rhythm by Incrementing 5.12 Seconds

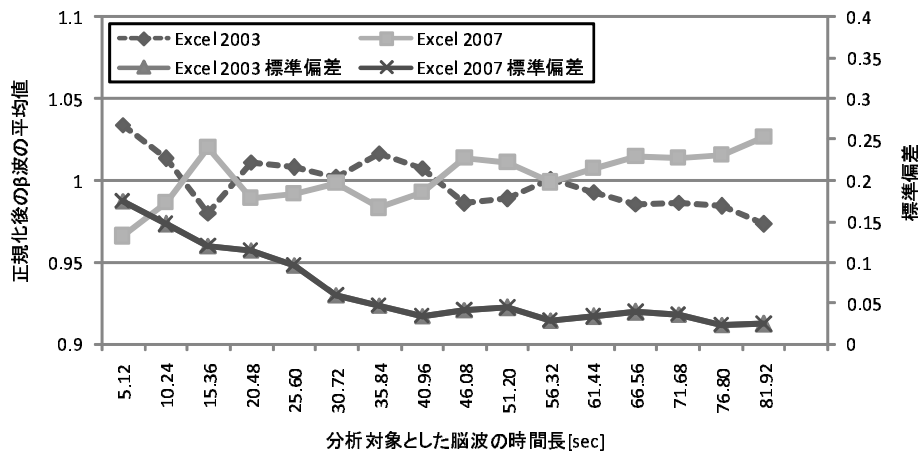


図 8 5.12 秒ずつ時間長を増やしたときの β 波の変化
 Fig. 8 Changes of the β Rhythm by Incrementing 5.12 Seconds

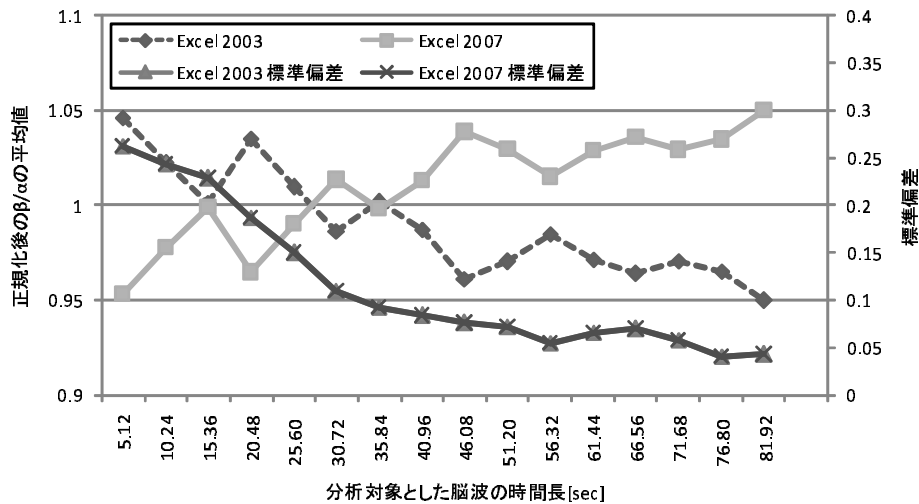


図 9 5.12 秒ずつ時間長を増やしたときの β/α 波の変化
 Fig. 9 Changes of β/α by Incrementing 5.12 Seconds

表3 アンケート結果
Table 3 A Result of Questionnaire

	利用頻度	理解が容易	作業効率	情報が明確	インタフェース	使いやすさ	満足感
Excel 2003 平均値	3.3	5.0	5.4	4.8	4.9	5.3	5.0
標準偏差	0.82	1.33	1.26	1.32	1.45	1.34	1.15
Excel 2007 平均値	1.8	3.5	3.5	4.0	3.1	3.4	3.3
標準偏差	1.14	2.17	1.72	1.63	2.13	1.90	1.95
$p < 0.05$	yes	no	yes	no	yes	yes	yes

し、 β 波と β/α が増加することが明らかにされている^{[12],[13]}。本実験の終了後に行ったアンケートの結果から、Excel 2007よりExcel 2003のほうが使いやすいという結果が得られている。このアンケート結果と脳波の分析結果は、従来の脳波を用いた研究と一致しており、ソフトウェアのユーザビリティを計測するための手法として、脳波計測が有効である可能性を示している。

7. まとめと今後の課題

本稿では、ソフトウェアのユーザビリティ評価に適した脳波の厳密な分析対象時間を明らかにすることを目的に実験を行った。実験の結果、以下の知見が得られた。

- タスク終了後、45.84秒（安静時間10秒+35.84秒）から56.08秒（安静時間10秒+46.08秒）の範囲の脳波がソフトウェアのユーザビリティ評価に最も適していること
- 分析対象とする脳波の時間長を46.08秒以上にすることで、ノイズの影響の割合を減らしたユーザビリティ評価が可能であること

今後の課題として、実験結果の信頼性を高めるために被験者の数を増加させることと、タスクによって変化した脳波が通常の脳波へ戻り始める区間を求めるために計測時間を延長した実験を行う必要がある。

謝辞

実験の被験者としてご協力下さった奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科の皆様へ深く感謝します。また、本研究の一部は、文部科学省科学研究補助費（若手B：課題番号20700028）による助成を受けた。

参考文献

- [1] Ericsson, K. A., Simon, H. A.: Protocol analysis: Verbal reports as data; MIT Press,(1993).
- [2] Osgood, C. E., Suci, G. J., Tannenbaum, P. H., The measurement of meaning, University of Illinois Press,(1957).
- [3] Chin, J. P., Norman, K. L., Shneiderman, B.: Subjective user evaluation of CF PASCAL programming tools, Technical Report (CAR-TR-304),(1987).
- [4] Hart, S. G., Staveland, L. E.: Development of

- NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research; Human Mental Workload (ed. Hancock, P. A., Meshkati, N.), Elsevier, pp.139-183,(1988).
- [5] 岡田, 西田, 葛岡, 中谷, 塩澤: ヒューマンコンピュータインタラクション, オーム社,(2002).
 - [6] 宮田, 藤澤, 柿木, 山崎: 新生理心理学 - 生理心理学の基礎, 北大路書房,(1998).
 - [7] 村田: 情報検索作業における精神的な作業負担の測定; 電子情報通信学会論文誌. A, 基礎・境界, Vol.74, No.4, pp.706-714,(1991).
 - [8] 水野, 野村, 野澤, 井出: メンタルワークロードにおける情動ストレスの評価; 信学技報, HIP2007-27, Vol.107, No.60, pp.143-147,(2007).
 - [9] Hazlett, R. L.: Measurement of user frustration: A biologic approach; CHI '03: Extended abstracts on human factors in computing systems, pp.734-735,(2003).
 - [10] Nakayama, M., Takahashi, K., Shimizu, Y.: The act of task difficulty and eye-movement frequency for the 'Oculo-motor indices'; ETRA '02: Proceedings of the 2002 symposium on Eye tracking research & applications, pp.37-42,(2002).
 - [11] 上野, 石田, 松田, 福嶋, 中道, 大平, 松本, 岡田: 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, Vol.10, No.2, pp.233-242, (2008).
 - [12] 松永, 中沢: メンタルワークロードと脳波により評価される満足感との関係; 日本機械学会論文集. C 編, Vol.66, No.648, pp.2884-2890,(2000).
 - [13] 林, 國藤, 宮原: 高品位映像の評価: 脳波を指標とする客観評価法; 映像情報メディア学会誌, 映像情報メディア, Vol.56, No.6, pp.954-962,(2002).
 - [14] Oohashi, T., Nishina, E., Honda, M., Yonekura, Y., Fuwamoto, Y., Kawai, N., Maekawa, T., Nakamura, S., Fukuyama, H., Shibasaki, H.: Inaudible high-frequency sounds affect brain activity: Hypersonic effect; The Journal of Neurophysiology, Vol.83, No.6, pp.3548-3558,(2000).