

電子情報通信学会「著作権規程」の基本方針より

電子的利用については、著作者本人ならびに所属機関が著作者の著作物の全文を著作者の研究室や所属機関のホームページもしくはプレプリントサーバに掲載する場合、一定条件の下で出版社版 PDF もしくは早期公開版 PDF の掲載を許諾します。

※掲載条件等、詳細については「利用申請基準」を御覧ください。

本会出版物に掲載された論文等の著作物の利用申請基準より

条件 A : 権利表示 (例 copyrightc2013 IEICE)

条件 B : 出版社版 PDF(紙版をスキャンで作成したもの含) の掲載。著者最終版は不可。

条件 C : 出所の明示 (例 著作者名、書名 (題号)、雑誌名、巻、号、頁、発行年など)

条件 D : 著作者の了解

条件 E : IEICE Transactions Online トップページへのリンク

上記、公開基準に従い出版社版 PDF を公開いたします。

なお、IEICE Transactions Online トップページは下記になります。

<https://search.ieice.org/>

言語学習を対象とした自学自習システムの研究

～関連研究と脳波収集システムの開発～

梅澤 克之[†] 中澤 真^{††} 小林 学^{†††} 石井 雄隆^{††††} 中野美知子^{†††††}
平澤 茂一^{††††††}

[†] 湘南工科大学工学部 〒251-8511 神奈川県藤沢市辻堂西海岸 1-1-25

^{††} 会津大学短期大学部 〒965-0003 福島県会津若松市一箕町大字八幡門田 1-1

^{†††} 早稲田大学 データ科学総合研究教育センター 〒162-0042 東京都新宿区早稲田町 27

^{††††} 千葉大学教育学部 〒263-8522 千葉市稲毛区弥生町 1-33

^{†††††} 早稲田大学 教育・総合科学学術院 〒169-8050 東京都新宿区戸塚町 1-104

^{††††††} 早稲田大学 理工学術院 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1

E-mail: †umezawa@info.shonan-it.ac.jp, ††nakazawa@jc.u-aizu.ac.jp, †††{mkoba,nakanom,hira}@waseda.jp,
††††yishii@chiba-u.jp

あらまし 本研究の目的は、言語学習を統一的な枠組みで捉え、相手（学習者）を感じて助言を行う人工教師を搭載した自学自習システムを開発し、その評価を行うことである。「相手を感じる」とは、学習者の学習状況をシステム側が把握することを指す。本研究では、関連研究について述べるとともに、「相手を感じる」ための生体情報を脳波に限定し、学習者から効率的に脳波を収集するためのシステムを提案する。

キーワード eラーニングシステム, 言語学習, 学習状態, 脳波

A study on Language-Learning Self-Study System

–Related Work and Development of EEG Collection System–

Katsuyuki UMEZAWA[†],

Makoto NAKAZAWA^{††}, Manabu KOBAYASHI^{†††}, Yutaka ISHII^{††††}, Michiko NAKANO^{†††††}, and

Shigeichi HIRASAWA^{††††††}

[†] Shonan Institute of Technology Tsujido-Nishikaigan 1-1-25, Fujisawa, Kanagawa, 251-8511, Japan

^{††} Junior College of Aizu Monden 1-1, Yahata, Ikki-Machi, Aizuwakamatsu, Fukushima 965-0003, Japan

^{†††} Waseda University Waseda-cho 27, Shinjuku, Tokyo, 162-0042, Japan

^{††††} Chiba University Yayoicho 1-33, Inage-ku, Chiba-shi, Chiba, 263-8522, Japan

^{†††††} Waseda University Totsukamachi 1-104, Shinjuku, Tokyo, 169-8050, Japan

^{††††††} Waseda University Okubo 3-4-1, Shinjuku, Tokyo 169-8555, Japan

E-mail: †umezawa@info.shonan-it.ac.jp, ††nakazawa@jc.u-aizu.ac.jp, †††{mkoba,nakanom,hira}@waseda.jp,
††††yishii@chiba-u.jp

Abstract This research aims to develop a self-study system equipped with an artificial teacher who gives advice to students by detecting the learners and to evaluate language learning in a unified framework. “Detecting the learners” means that the system understands the learners’ learning conditions. In this study, we describe about related work and propose a system for efficiently collecting EEG (brain waves), which are biological information for “detecting the learners”, from learners.

Key words e-Learning System, Language Learning, Learning Condition, Brain Wave, EEG

1. まえがき

学習履歴を取得することにより、教育効果の最大化に結び付けようとする学習分析が行われている [1]。また、多様なプラットフォームにおいて学習履歴を収集できるようにするための標準化の取り組み (TinCan プロジェクト) も進みつつある [2]。また、情報工学は勿論、認知心理学など社会科学 [3] や工医学・脳科学の分野では生体情報を援用する研究が進んでいる。しかし、どのような学習者の履歴データを蓄積すべきなのか、どのような分析手法が有用であるのか、どのような分析結果が得られるように教育に役立てられるのか、といった点は体系的にはほとんど明らかにされていない。また、英語とプログラミング言語という相異なる二種類の言語学習において、記述式問題の解答過程を分析し、それぞれの関係性を明らかにするという研究はいまだかつてなされていない。加えて、テストの得点や成績と履歴の関係性に着目している研究は多いが、反転授業やアクティブラーニングなどの主体的学習の効果を向上させるために多様な学習者情報を厳密に分析し学習者にフィードバックしているシステムは見当たらない。

現在、さまざまな自学自習システムが存在し、個々のシステムからのデータ取得の方法は確立されつつある。しかし学習者の生体情報や学習履歴など複数種類の情報を取得し統合的に分析できる仕組みは存在しない。また、多くの学習システムはあらかじめ作成した静的な学習コンテンツを学習者全員に均一に配布する方法がとられており、学習者の個性や学習状況に依存したきめ細かな対応はとられていない。

本研究では、学習者の生体情報や学習履歴・学習記録を収集・分析し、分析結果をシステム側が自動的に学習者にフィードバックするエージェントを人工教師と呼ぶ。本研究では学習者を観察・分析し個々の学習者に適した学習コンテンツの提示や適切な指示を行う人工教師を搭載した自学自習システムを開発する。

2. 本研究の全体概要

本研究では、学習者の生体情報や学習履歴を取得したうえで、教師によるリアルタイムの対応が不可能な授業時間外でも個々の学生の学習状況に適する学習方法を提示できる自学自習システムを開発する。開発したシステムを用いて実証実験および評価を行う (図 1 参照)。

本研究は下記の 4 つの研究課題に大別できる。

- (a) 人工教師を搭載した自学自習システムの開発
- (b) 英語およびプログラミング言語を対象とした実証実験による評価
- (c) 英語とプログラミング言語という相異なる言語の学習履歴の統合的分析
- (d) 普及に向けての非装着型の計測器での代用可能性追求

ここで前述の (a) では、(i) ケアレスミスや脳波情報と解答時間から判定し、ケアレスミスをし易い問題を集中的に出題する機能。(ii) 単語 (英語における単語やプログラミング言語における予約語) の綴りや文法 (構文) の誤りが多い学習者に対

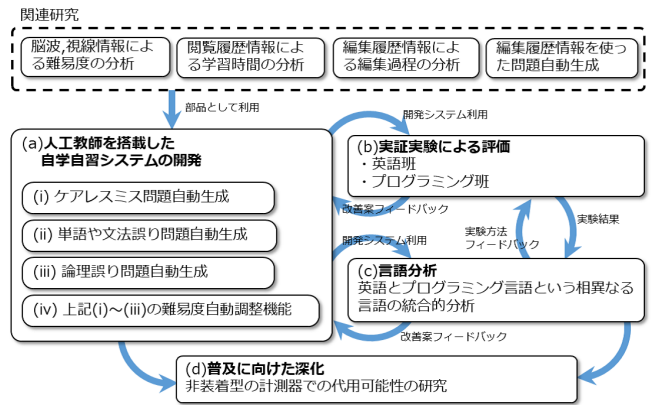


図 1 本研究の全体概要

しては単語や文法の理解を向上させる (単語の綴り間違いや文法誤りを修正させる) 問題を出題する機能, (iii) 文法的には正しいが論理的な誤りを含む問題を訂正させる問題を出題する機能, また, (iv) 上記 (i)~(iii) について脳波や視線などの生体情報や学習履歴情報を組み合わせて学習に集中できていない状態, 学習内容が簡単すぎる状態, 学習内容が難しすぎて理解できていない状態, 部分的に理解できない箇所がある状態を判別し, リアルタイムで課題の難易度を調整する機能を持った自学自習システムを開発する。

また, (b) では開発したシステムを用いて英語およびプログラミング言語という観点で実証実験により評価を行う。(c) では実証実験の結果を受けて個々の学習者の英語の学習過程とプログラミング言語の学習過程に何等かの相関があるのか, 双方の教育に活用することで相乗効果が見込めるか等の分析を行う。(d) では研究成果の普及のために, 脳波計での判定結果と同様の結果を示す非装着型の計測器 (例えば Web カメラでのまばたきの計測など) での代用可能性を追求する。

3. 関連研究

本章では, 図 1 に示した 4 つの関連研究について述べる。

3.1 脳波計による難易度の分析

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。

特に β 波は思考状態と関連性が高いとして, 知的作業と脳波を関係を調べた研究報告もある。特に 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康者の脳波を測定した [4]。その結果, β 波の低周波成分が読解テスト, 数学テスト, 図形整列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 [5] [6]。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 [7].

また、簡単な問題と難しい問題の設定ができるタイピング練習という課題を用いて、従来研究にあるように β 波/ α 波の値が高くなることを再度確認した (図 2 参照). さらに、 α 波と β 波は、周波数が異なる低 α 波と高 α 波、低 β 波と高 β 波が観測されるが、難しいタスクに取り組んでいるときには low β /low α の値が高くなることを示した [8] [9].

学習時間だけでは正確な学習者の状況を把握することは難しいため、上記の脳波計を用いた難易度の判定方法を自動化し、学習履歴と脳波情報を統合的に分析することによって、学習者の学習状況を把握する方法を提案した [10] [11].

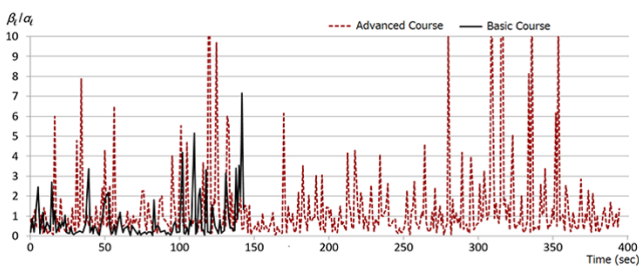


図 2 タイピング練習時の脳波

3.2 閲覧履歴による学習時間の分析

Web で PDF の閲覧ログを収集した場合、「PDF をダウンロードした」としか記録されず、どのページをどの位の時間をかけて見たかは分からない。また、Web のアクセスログにはユーザーの Web サイト内の行動が記録されるが、ブラウザのキャッシュが使われた部分はサーバにアクセスしないために記録されず、「どの PDF を何度見たか」を正確に把握できない。我々は閲覧履歴システムを開発・評価してきた [12]。このシステムは Web ベースの学習支援システムであり、ページを開いた時とページを閉じた時に「コンテンツ ID、ページ番号、開いた日時、閉じた日時、開いていた秒数」がログとして蓄積される機能を有する (図 3 参照)。また、Moodle システムと連携することにより学習者の認証機能を実現している。このシステムを用いて学習過程を分析することにより成績の良い学生が用いる学習時の閲覧ストラテジーを特定し、授業改善に役立たせることができる (図 4 参照)。

3.3 編集履歴による学習プロセスの分析

学習者がプログラムを完成させて行く過程や、その過程でどのような課題に直面し、どのように解決したかを知ることは難しく、それらを理解するためにはバージョン単位の履歴では不十分であり、どのように変更されてきたのかユーザの操作単位で詳細に記録を取ることの有効性が指摘されている [13] [14]。文献 [13] では、蓄積した学習履歴の活用として、操作履歴を表示する機能、表示機能に対して表示条件を設定してフィルタリングする機能、過去の任意の状態のソースコードを表示・復元

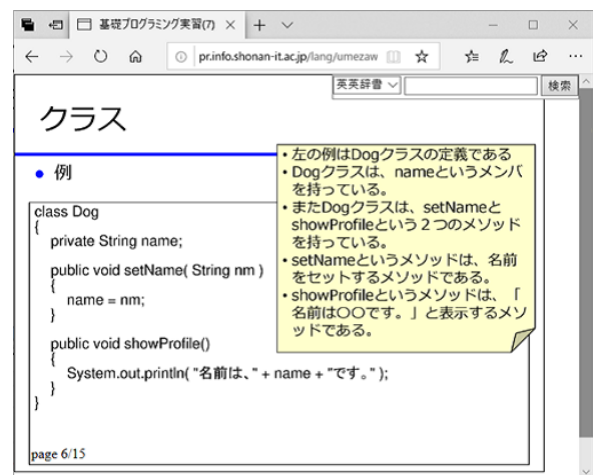


図 3 閲覧履歴可視化システム

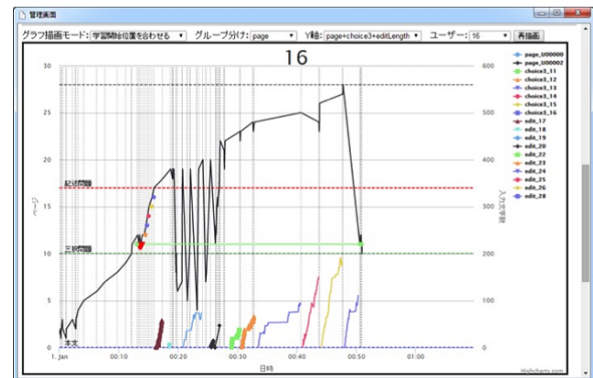


図 4 閲覧履歴可視化システムの閲覧時間分析

する機能を提案している。文献 [14] では、詳細な学習履歴をリアルタイムに蓄積し分析することで、該当の学習者への良い点、悪い点のフィードバックを可能にし、教師側は学習者の躓きの箇所がわかる機能を有しているが、蓄積した学習者全員の履歴を自動で分析したり、分析結果をもとに品質を向上させるまでには至っていない。

我々も上記に示したシステムと同様のコンセプトに基づいて、プログラミング言語学習の学習環境である編集履歴可視化システムを提案してきた [15]。編集履歴可視化システムは、プログラミング言語学習 (英語学習にも適用可能) の初学者に特化した学習環境である。このシステムで開発可能なプログラミング言語は、C/C++ [16]、Java、HTML/JavaScript、Scratch [17] などである。また英語のライティング問題にも対応している [18]。Java 言語版の編集履歴可視化システムの学習用画面を図 5 に、教師用の確認画面を図 6 に示す。

3.4 編集履歴を用いたプログラミング問題の自動生成

3.2 節で示した反転授業の実授業への適用の中で、3.3 節で示した Java 言語用編集履歴可視化システムを活用し膨大な学習ログを蓄積した。

プログラミングの授業を実際に行ったところ、エラー表示がされているにもかかわらず、そのエラー表示を読もうともせず、教員にヘルプを求める学生がとても多い事がわかった。編集履歴可視化システムでは、プログラムが完成するまでに修正

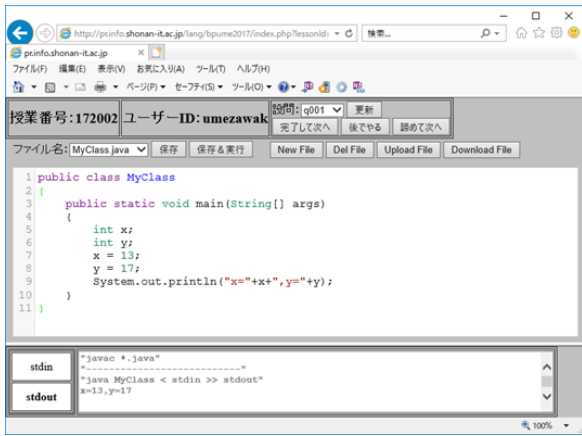


図 5 編集履歴可視化システムの学習用画面

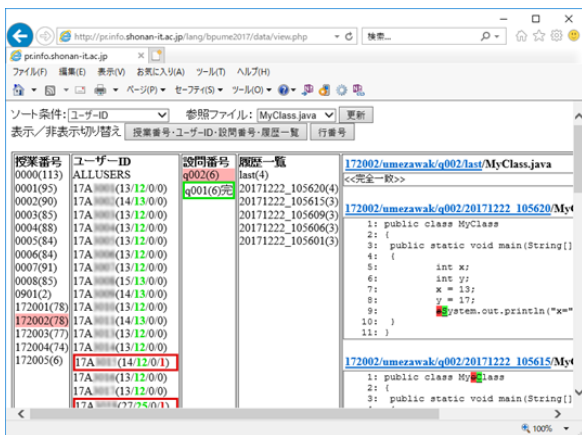


図 6 編集履歴可視化システムの教師用画面

されていく過程のソースコードをすべてログとして蓄積している。これらの情報を元にあえて間違いを含むソースコードを学習者に与えて、そこに含まれている間違いを修正するデバッグ練習用の問題を自動生成することが可能であると考え、開発を行った [19]。既存技術としての編集履歴可視化システムが蓄積するフォルダ構成と提案ツールが出力するフォルダ構成を図 7 に示す。図 7 に示すフォルダ構成に変換することで、誤りを含む個数とその誤りの長さによって難易度の異なる間違い修正問題を自動的に出題することが可能となる。

4. 自学自習システムの開発

本章では、図 1 に示した (a)~(d) の 4 つの研究課題のうち (a) の人工教師を搭載した自学自習システムの開発について述べる。

4.1 自学自習システムの最終形

本研究で目指す最終的な自学自習システムを図 8 に示す。このシステムはケアレスミスや文法誤り、論理的な誤りなどを含みそれらを訂正させる問題を出題する「出題サーバ」と、回答を受け付ける「回答サーバ」と、学習時の生体情報を収集する「学習者を感じるサーバ」を含む。また、脳波や視線などの生体情報と学習履歴情報を組み合わせて学習者の学習状態を分析する「分析サーバ」を持つ。分析サーバは、2. 節で示した通り、ケアレスミスや文法（構文）の誤り、論理的な誤りなどを検出

編集履歴可視化システムのフォルダ構成

- + 0001 (レッスン番号)
- + 0002 (レッスン番号)
- + 17Axxx1(学籍番号)
- + 17Axxx2(学籍番号)
- + q001(問題番号)
- + q002(問題番号)
- + 20171006_092309(履歴)
- + 20171006_092508(履歴)
- MyClass.class
- MyClass.java
- stdin
- stdout
- + last (最終履歴)
- MyClass.class
- MyClass.java
- stdin
- stdout
- last.info(完了ステータス)

提案ツールが出力するフォルダ構成

- + 0001 (レッスン番号)
- + 0002 (レッスン番号)
- + q001(問題番号)
- + q002(問題番号)
- + 01-01-000001(個所数-文字数-連番)
- + 01-01-000002(個所数-文字数-連番)
- + 01-01-000003(個所数-文字数-連番)
- + before
- MyClass.class
- MyClass.java
- + last
- MyClass.class
- MyClass.java
- + 02-01-000004(個所数-文字数-連番)
- + before
- MyClass.class
- MyClass.java
- + last
- MyClass.class
- MyClass.java

図 7 編集履歴可視化システムのフォルダ構成 (左) と提案ツールが出力するフォルダ構成 (右)

する機能と、脳波や視線などの生体情報や学習履歴情報を組み合わせることで学習に集中できていない状態、学習内容が簡単すぎる状態、学習内容が難しくすぎて理解できていない状態、部分的に理解できない箇所がある状態を判別する機能を持つ。

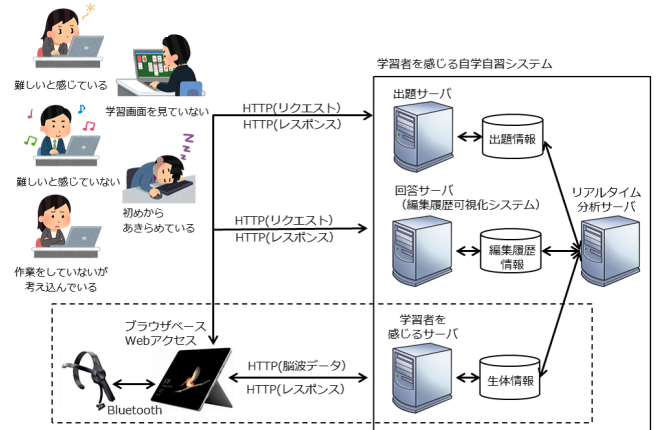


図 8 自学自習システムの全体像

5. 学習者を感じるサーバの開発

本論文では、図 8 の破線の部分の脳波情報を計測する「学習者を感じるサーバ」の開発について述べる。

5.1 従来システム

脳波計ヘッドセット (MindWave Mobile) を用いた学習時の脳波計測方法では、脳波の計測開始や終了に関して実験参加者本人あるいはサポートスタッフによって人手で行う必要があった。また、脳波がうまく取れていない (シグナルが弱い) 場合も気づかず、実験データが取れていない場合があった。取得した脳波データはそれぞれの PC に保存され、データ取得の正確な時間が各 PC でずれる可能性もあった。従来の脳波データ取得方法を図 9 に示す。

5.2 提案システム

前節で示した従来の脳波データ取得方法の欠点を克服するた

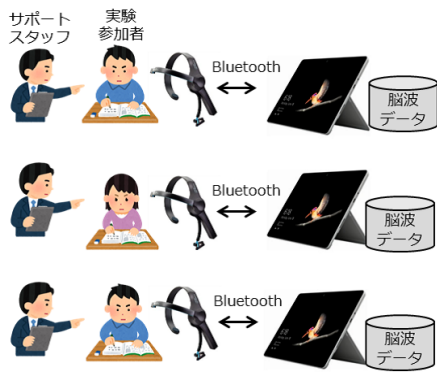


図 9 従来の脳波データ取得システム

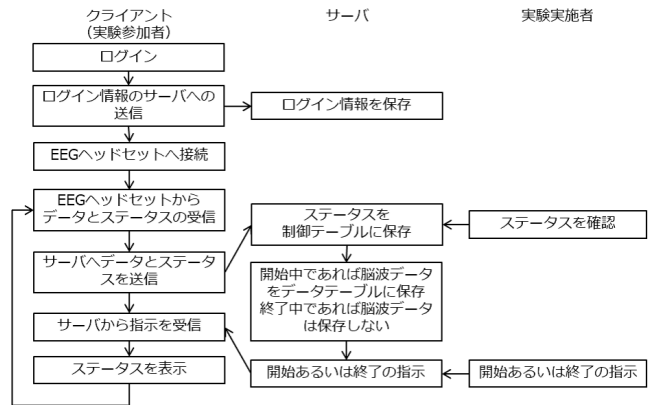


図 11 提案する脳波データ取得システムのアルゴリズム

めの提案システムを図 10 に示す。この提案システムにより、脳波の計測開始や終了は遠隔管理サーバから指示でき、脳波のステータス確認ができるので実験参加者をサポートする個別のスタッフは不要となる。また全脳波計のステータスを確認でき、確認後に脳波の取得開始を指示できるので、脳波がうまく取れていない（シグナルが弱い）ことに気づかず、実験データが取れていないというミスがなくなる。さらに脳波データはサーバに集積され、データ取得時間はサーバの時間で統一されるのでデータごとの時間のずれが生じないという利点も得られる。

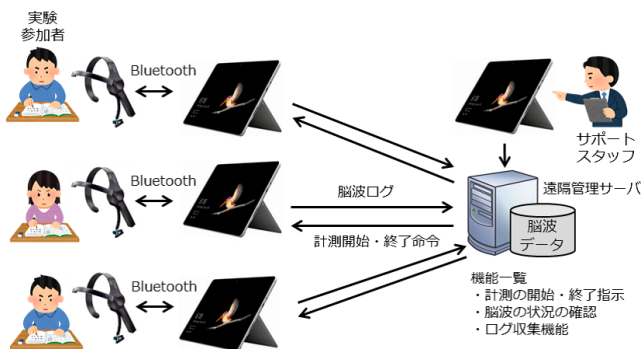


図 10 提案する脳波データ取得システム

5.3 提案システムのアルゴリズム

図 11 に提案システムのアルゴリズムを示す。クライアント（実験参加者）はまず実験用の ID とパスワードでログイン処理を実行する。ログイン情報はサーバに送られるとともにクライアントと EEG ヘッドセットへの接続が確立する。クライアントは EEG ヘッドセットから脳波データとステータスを取得しサーバへ送信する。サーバはステータスを制御テーブルに保存する。サーバは計測の状態が開始中であればクライアントから送信された脳波データをデータテーブルに保存する。計測の状態が終了中であればクライアントから送信された脳波データは破棄される。実験の実施者はサーバに保存されるステータスを確認し、すべての実験参加者の脳波レベルが正常値に達していたら計測開始の指示を出す。実験計画に基づいた時間が経過したら計測終了の指示を出す。

5.4 提案システムのユーザインタフェース

図 12 に実験参加者（ユーザ）側の起動画面を示す。1 秒ごと

に脳波計のステータスが表示される。ステータスが 200 は「接触不良その他の理由で脳波が取れていない状態」を表し、0 が「脳波計で正常に脳波が取れている状態」を表す。

```

コマンドプロンプト
Shonan Institute of Technology EEG System
device id UmeLab-PC
Enter userid: 11111111
Enter password:
logging to EEG server
logged in
connecting to ThinkGear Connector
connected
setting data from TGC
20200130130420 end 200
20200130130420 end 200
20200130130420 end 200
20200130130420 end 200
20200130130524 end 80
20200130130525 end 80
20200130130526 end 51
20200130130527 end 51
20200130130528 end 25
20200130130529 end 25
20200130130530 end 0
20200130130531 end 0
20200130130532 end 0
20200130130533 end 0
  
```

図 12 提案システムのユーザ側起動画面

また、図 13 に実験実施者が計測開始前に全実験参加者の脳波取得状況を確認するためのステータス確認画面の例を示す。

```

コマンドプロンプト - java EegStatus
Microsoft Windows [Version 10.0.18362.592]
(c) 2019 Microsoft Corporation. All rights reserved.
C:\Users\umeza>set CLASSPATH=.;\json-20190722.jar
C:\Users\umeza>cd C:\temp\client.new
C:\temp\client.new>
C:\temp\client.new>
C:\temp\client.new>java EegStatus
Shonan Institute of Technology EEG System
device id UmeLab-PC
Enter admin-id: ADMIN
Enter admin-password:
logging to EEG server
logged in
@MX0001,20200128171913,DESKTOP-SL87JJC,0,20200129188114,200,
11111111,20200130130414,UmeLab-PC,0,20200130130414,0,
22222222,20200129182729,UmeLab-XP513,0,20200129183114,200,
Shonan Institute of Technology EEG System
device id UmeLab-PC
Enter admin-id:
  
```

図 13 提案システムのステータス確認画面

実験実施者は、EegStatus コマンドでユーザの状態を確認することができる。図 13 を見ると、ユーザ 11111111 のステータスが 0 になっていることがわかる。その他のユーザは 200 のままである。全員のステータスが 0 になったことを実験実施者が

sdccrtdt	sdcupddt	attention	meditation	delta	theta	lowAlpha	highAlpha	lowBeta	highBeta	lowGamma	highGamma	HostSABNo	DevId
2020-01-29 18:17:43	2020-01-29 18:17:43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11111111	UaeLab-PC
2020-01-29 18:17:43	2020-01-29 18:17:43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11111111	UaeLab-PC
2020-01-29 18:17:43	2020-01-29 18:17:43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11111111	UaeLab-PC
2020-01-29 18:17:43	2020-01-29 18:17:43	57	61	366064	32937	12909	12179	6119	5337	4320	599	11111111	UaeLab-PC
2020-01-29 18:17:44	2020-01-29 18:17:44	41	44	142244	68443	2487	5417	10939	13522	4533	3628	11111111	UaeLab-PC
2020-01-29 18:17:45	2020-01-29 18:17:45	47	44	674140	42364	5187	15516	2325	10148	13378	2418	11111111	UaeLab-PC
2020-01-29 18:17:46	2020-01-29 18:17:46	57	34	64750	64942	5784	6066	16259	34241	23844	17508	11111111	UaeLab-PC
2020-01-29 18:30:45	2020-01-29 18:30:45	0	0	1681000	1202219	526685	23442	214614	57854	492786	567781	22222222	UaeLab-XPS13
2020-01-29 18:30:46	2020-01-29 18:30:46	100	20	1172089	729880	91692	50703	37211	97843	70474	19012	11111111	UaeLab-PC
2020-01-29 18:30:46	2020-01-29 18:30:46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11111111	UaeLab-PC
2020-01-29 18:30:46	2020-01-29 18:30:46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11111111	UaeLab-PC
2020-01-29 18:30:46	2020-01-29 18:30:46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11111111	UaeLab-PC
2020-01-29 18:30:46	2020-01-29 18:30:46	0	0	425373	548621	249872	234027	39364	143406	135219	158474	22222222	UaeLab-XPS13
2020-01-29 18:30:47	2020-01-29 18:30:47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11111111	UaeLab-PC
2020-01-29 18:30:47	2020-01-29 18:30:47	78	48	868616	164951	112799	37869	5301	13078	27162	6401	11111111	UaeLab-PC
2020-01-29 18:30:47	2020-01-29 18:30:47	0	0	33001	48136	19512	74989	25638	34913	28268	36047	22222222	UaeLab-XPS13
2020-01-29 18:30:48	2020-01-29 18:30:48	0	0	1659695	556822	793343	335719	483363	617801	384457	406100	22222222	UaeLab-XPS13

図 14 取得されデータベースに保存された脳波データ

確認した上で、スタートコマンドで脳波の計測を開始する。

5.5 取得されデータベースに保存された脳波データ

図 14 に簡易脳波計からネットワークを経由してサーバに集められデータベースに保管された脳波データを示す。複数の実験参加者（11111111 や 22222222 など）の複数種類の脳波（delta 波～highGamma 波）が取得できていることが分かる。

6. まとめと今後の課題

本研究では、言語学習を対象とした自学自習システムの研究に関する概要を説明するとともに本研究の背景としての関連研究について述べた。また、学習者の生体情報を脳波に限定して、脳波収集システムの開発を行い、複数ユーザの複数種類の脳波をサーバで一元的に取得できることを示した。

今後は、本研究課題として挙げているケアレスミスの判定、文法誤りの収集、論理誤りの検出、実証実験による評価、英語とプログラミング言語という相異なる言語の統合的評価、脳波以外の代替生体情報の検討等を進めていく予定である。

謝 辞

本研究成果の一部は早稲田大学理工総研プロジェクト研究「次世代 e-learning に関する研究」の一環として行われたものである。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)20K03082, (B)19H01721, (C)19K04914, (C)17K01101, 早稲田理工研特別勘定 1010000175806 NTT 包括協定共同研究、および、経営情報学会「ICT と教育」研究部会の助成による。

文 献

[1] Romero, C., et al. “Web usage mining for predicting final marks of students that use moodle courses,” *Comput. Appl. Eng. Educ.* J.21(1), pp.135-146, 2013.

[2] A del Blanco, et al., “E-Learning Standards and Learning Analytics,” *Global Engineering Education Conference (EDUCON)* 2013, pp.1255-1261, 2013.

[3] 寺澤悠理, “視線や表情を利用した他者の心的状態の理解と予測,” *慶應義塾大学社会学研究紀要*, 68, p.p. 135–150, 2010.

[4] D. Giannitrapani, 1988. “The role of 13-hz activity in mentation,” *The EEG of Mental Activities*, pp. 149–152.

[5] 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* vol. 10(2), p.p. 233–242, 2008

[6] 吉田幸二, 坂本佑太, 宮地功, 山田開裕, “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* vol. 112(224), p.p. 37–42, 2012.

[7] Kouji Yoshida, Yuuta Sakamoto, Isao Miyaji, Kunihiro and Yamada 2012. “Analysis comparison of brain waves at the learning status by simple electroencephalography,” *KES’2012, Proceedings, Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems*, pp. 1817–1826.

[8] 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*, p.p. 1–6, Sept. 2016.

[9] 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*, p.p. 1–6, Dec. 2016.

[10] Katsuyuki Umezawa, Tomohiko Saito, Takashi Ishida, Makoto Nakazawa and Shigeichi Hirasawa, “An Electroencephalograph-based Method for Judging the Difficulty of a Task given to a Learner,” *Proceeding of the IEEE 17th International Conference on Advanced Learning Technologies (IEEE ICALT 2017)*, p.p.384–386, July 2017.

[11] Katsuyuki Umezawa, Tomohiko Saito, Takashi Ishida, Makoto Nakazawa, and Shigeichi Hirasawa, “Learning State Estimation Method by Browsing History and Brain Waves During Programming Language Learning,” In: Rocha A., Adeli H., Reis L., Costanzo S. (eds) *Trends and Advances in Information Systems and Technologies. WorldCIST’18 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 746. Springer, Cham. p.p. 1307–1316, May 2018.

[12] 荒本道隆, 小泉大城, 須子純太, 平澤茂一, “PDF ファイルをベースとした電子教材作成支援システム,” *情報処理学会第 76 回全国大会, 講演論文集*, pp.4-359-4-360, 2014 年 3 月.

[13] 大森隆行, 丸山勝久, “開発者による編集操作に基づくソースコード変更抽出,” *情報処理学会論文誌*, Vol.49, No.7, pp.2349–2359, 2008.

[14] 森一樹, 田中昂文, 橋浦弘明, 樋山淳雄, 古宮誠一, “プログラミング演習支援のための細粒度履歴収集環境の開発,” *情報処理学会研究報告 (SE)*, 179(16), pp.1–6, 2013.

[15] 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, 横浜市*, pp.4-527–528, Mar. 2016.

[16] 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,” *日本経営工学会秋季大会予稿集*, pp.8–9, Nov. 2015.

[17] 中澤真, 後藤正幸, 荒本道隆, 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—,” *日本経営工学会秋季大会予稿集*, pp.10–11, Nov. 2015.

[18] 中野美知子, 荒本道隆, 吉田諭史, “プログラミング言語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,” *日本経営工学会秋季大会予稿集*, pp.12–13, Nov. 2015.

[19] Katsuyuki Umezawa, Makoto Nakazawa, Masayuki Goto and Shigeichi Hirasawa, “Development of Debugging Exercise Extraction System using Learning History,” *Proceeding of the 10th The International Conference on Technology for Education (T4E 2019)*, p.p.244-245, Dec. 2019.