

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 6月 5日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010 ～ 2012

課題番号：22500200

研究課題名（和文）

日本語入力BCIシステムの開発

研究課題名（英文）

Development of BCI speller for Japanese Language

研究代表者

古橋 武 (FURUHASHI TAKESHI)

名古屋大学・工学研究科・教授

研究者番号：60209187

研究成果の概要（和文）：

文字を想起するだけでコンピュータに入力できる日本語入力システムを開発した。信頼度に基づく自動再送要求法，誤り関連電位に基づく誤り訂正法，信頼度に基づいて候補刺激を絞る選択的自動再送要求法を提案した。途中までの入力から次の文字を予測して変換候補を提示する手法，次の文字への遷移確率を判別に利用する手法を提案した。実験により文章入力時間の削減効果を確認した。追加学習法を提案し，一週間後の再開時に事前学習が要らないことを確認した。

研究成果の概要（英文）：

A Brain Computer Interface (BCI) system for Japanese language, which enables us to input letters only by thoughts, was developed. Reliability Based Automatic Repeat reRequest (RB-ARQ), Error correction method based on error potential, and RB-Selective Repeat-ARQ (RB-SR-ARQ) that selects stimuli, were proposed. A method to predict candidate words based on the previous letters, a method to utilize transition probabilities from the previous letters for discriminant analysis were also proposed. Experimental results show significant enhancements of spelling speed. An incremental learning method, which does not require pre-training data at the re-start of letter input even a week later, was proposed.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
2012年度	800,000	240,000	1,040,000
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：BCI, P300 Speller, EEG, RB-ARQ, Ngram, 追加学習

### 1. 研究開始当初の背景

Brain-Computer Interface (BCI) は，脳信号に信号処理・機械学習手法を適用することで思考判別を行い，外部機器を制御するシステムである。思考するだけで車椅子制御や他者との意思疎通を可能にする夢のインターフェイスとして，運動障害をもつ人々に期

待されている。国内メーカーからも研究成果が報告されつつあり，実用化への期待の高さが窺えた。しかし，我が国における文字入力を目的としたBCI研究は立ち後れており，ひらかな入力インターフェイスを用いた基礎研究においてその端緒が開かれたばかりであった。

BCI では、熟練ユーザでも正答率 100%を達成することは非常に困難である。その原因の一つに脳信号の SN 比の低さがある。SN 比改善のため加算平均がとられることがあるが、判別までの速度が低下する問題が起きる。これに対し研究代表者らは、BCI を新たに通信の視点で捉え直し、誤り制御手法である信頼度（最大事後確率）に基づく自動再送要求法 (Reliability Based Automatic Repeat Request: RB-ARQ) を提案し、速度低下を抑えつつ、正答率を改善した。しかし、RB-ARQ では信頼度が一定の値に到達するまで、ユーザは例えば左手の運動想起を続けなければならない、それが長時間になると集中力が切れてしまい、期待通りの正答率が得られないという問題が生じていた。

一方、P300 speller は、ユーザが想起している文字と同じ文字を呈示すると、その約 300ms 後に出現する P300 という事象関連電位 (ERP) を利用した文字入力型 BCI システムである。P300 speller では、ユーザが当該文字を意識するだけで文字入力ができるが、SN 比が低いため一般に加算平均を用いる必要があり、ここにも判別速度低下の問題がある。研究代表者らは P300 speller に RB-ARQ を適用することで、P300 speller の判別速度を向上できると考えた。

ひらがな入力インターフェイスを用いた P300 speller は基礎研究が始められたばかりであり、ひらがなの出現確率などを考慮した正答率向上、および入力文字予測による文字入力速度向上の検討は本申請研究において初めて試みられた。また、P300 speller の判別性能は学習データ量、機械学習の手法などに依存する。事前学習データ量の影響、使用時の追加学習法などに関する検討はなされていなかった。

P300 speller に RB-ARQ を適用することで、正答率を維持しながら判別速度改善を期待でき、文字入力 BCI システム研究に大きく貢献でき、さらに、日本語入力 BCI システムの開発に大きく貢献できると期待した。

## 2. 研究の目的

本研究は文字入力 BCI システムの性能改善と日本語入力 BCI システムの開発を目的とした。当該文字を想起するだけで文字入力を可能とする P300 speller に RB-ARQ が適していると考えられること、そして、我が国における文字入力型 BCI 研究が遅れていることが主な理由である。実用的なシステムの構築のため、RB-ARQ 適用による P300 speller の性能改善、入力文字の N-gram 情報の利用、予測プログラムの組み込みによる入力速度の向上、追加学習法の導入による事前学習データ量の削減などを目指した。

## 3. 研究の方法

### 3.1 RB-ARQ の P300 Speller への適用

P300 speller は図 1 に示す 6 行もしくは 6 列が順番に合計 12 回点灯し、P300 が出現した行及び列を特定することでユーザが想起した文字を決定する。P300 の有無という 2 クラス判別問題から、行と

A	B	C	D	E	F
G	H	I	J	K	L
M	N	O	P	Q	R
S	T	U	V	W	X
Y	Z	1	2	3	4
5	6	7	8	9	

図 1 P300 speller

列それぞれ 6 クラス判別問題に拡張されている。日本語入力を想定すると、これが 5 行 13 列となり、それぞれ 5 および 13 クラス判別問題となるため、RB-ARQ を適用するためにこれを理論的に拡張・整理する。一方、誤り関連電位 (ErrP) とよばれるユーザの意図とは異なる判別結果を呈示したときに出現する電位が、誤り検出に利用可能である。そこで、RB-ARQ の誤り再送要求を早い段階で打ち切り、ErrP 検出を併用することでユーザの集中力切れの問題を改善する。本研究では RB-ARQ と併用した場合の性能を調査する。その後、併用手法の Utility を最大にする手法について検討する。

### 3.2 入力文字予測の検討

ひらがな文字の出現確率を P300 Speller の入力文字判定に適用し、正答率向上を計る。さらに、BCI のようなビットレートの小さい文字入力装置では、入力文字予測が有効である。BCI 開発用の汎用プラットフォームである BCI2000 をベースに日本語入力システムを開発し、Social IME を予測変換エンジンとして組み込み、文字入力速度の向上を図る。

### 3.3 Ngram 情報の利用

P300 の判別分析におけるベイズ推定の事前確率はこれまで均等確率が用いられていた。日本語ウェブコーパスを基に、コーパスの全ての文字をひらがなに変換し、日本語における各ひらがなの出現確率 (Unigram) を求め、事前確率を文字ごとにそれぞれの出現確率に置き換えて RB-ARQ の判別性能への効果を調べる。その後、2 文字目、3 文字目の遷移確率 (Bigram, Trigram) をそれぞれ求め、事前確率を遷移確率に置き換えて RB-ARQ の判別性能への効果を調べる。

### 3.4 追加学習の導入

P300 speller 使用時に正解と判別できた脳波データを追加学習に利用することで、被験者の疲れや集中力低下などによる脳波の経時的変化に対応できると期待される。正解であることを BS 入力の有無により判定し、脳

波データの追加の可否を決めらる。BS 入力の情報性を考慮した追加学習法を検討する。

#### 4. 研究成果

##### 4.1 RB-ARQのP300 Spellerへの適用

P300 spellerにRB-ARQを適用し、ベイズ推定による5および13クラス判別問題として定式化した。従来手法である加算平均法に対するRB-ARQの優位性を、P300 spellerにおいても示すことができた(業績③④)。さらに、RB-ARQと誤り関連電位に基づく誤り訂正法を組み合わせ、評価指標であるUtilityを最大化する閾値決定法を提案した。実験を行い、その有効性を示した(業績①④)。また、RB-ARQに、選択的自動再送要求の考えを導入した信頼度に基づく選択的自動再送要求(RB-SR-ARQ)を提案した。RB-SR-ARQが従来法に比べて文字入力速度を有意に向上させられることを確認した(図2)(業績③⑤)。また、RB-SR-ARQでは呈示刺激数を絞ることにより、近傍刺激を目標刺激と誤判別するケースが相対的に増えること、および、同じ刺激パターンが

繰り返されることによりP300信号が低下する問題があることを明らかにした。

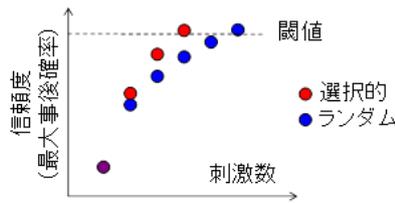


図2 RB-SR-ARQの効果

##### 4.2 予測変換

日本語入力システムに関しては、P300 spellerを用いて入力されるアルファベットから予測される変換候補を提示し、P300 spellerを用いて数字を入力することで、当該変換候補を選択させるシステムを開発した。

BCI開発用の汎用プラットフォームであるBCI2000をベースに日本語入力システムを開発した。Social IMEを予測変換エンジンとする日本語入力システムを用いた被験者実験を実施し、平均で21%、最大で33%の文章入力所要時間の削減効果を確認した(業績②)。

##### 4.3 Ngram情報による入力時間短縮

RB-ARQの性能改善を目指して、ひらがなの出現頻度を信頼度計算の事前確率として利用する手法を提案した。単語の1文字目(Unigram)に対する効果の検証に加えて、2文字目(Bigram)、3文字目(Trigram)に対してそれらの遷移確率を事前確率に反映する効果につ

いて被験者実験を行った。その結果、Unigram, Bigram, Trigramによりそれぞれ平均19%, 25% (図3), 38%の入力時間の短縮を実現した(業績②)。

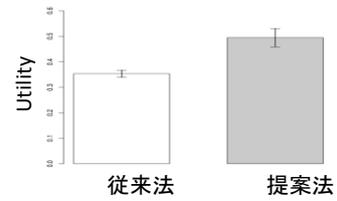


図3 ひらがなの出現頻度を用いた効果(Bigram)

##### 4.4 追加学習法

P300 Spellerにおける追加学習法を提案した。本手法により事前学習に必要なデータ数は2文字分でよく、データ取得における被験者の負担を大きく軽減できる可能性を示した。さらに、訂正文字(Back space)が入力された場合の追加学習の効果、使用開始から日時を経た後の追加学習の効果について詳細に検討した。その結果、Back spaceの信頼度は100%と仮定して実用上問題がないことを確認し、本手法により事前学習に必要なデータ数を従来法の50%にまで削減できることを示した。また、データ取得の一週間後にP300 spellerの使用を再開した場合には、本手法により再開時の事前学習を不要にできることを確認した。

図4はデータ取得の一週間後におけるUtilityの比較である。従来法では、再開時の事前学習なしでは文字入力がほとんどできない結果となった(業績①)。

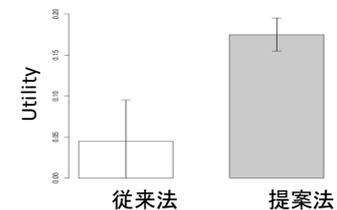


図4 データ取得1週間後におけるUtility

##### 5. 今後の課題

本研究により、実験室レベルでは日本語入力BCIシステムの文字入力速度を大きく向上させることができた。しかし、患者さんによる実験では、研究期間中に良い結果を得ることができなかった。名古屋大学医学部との連携により、国立東名古屋病院にて肢体不自由な患者さんによる被験者実験を行ったところ、高い判別性能を得ることができなかった。その後、実験室にて、初めて実験を体験した被験者に実験後のヒアリングを実施したところ、文字入力法の事前ガイダンスが不十分との指摘を得た。病院では患者さんに何をすべきかを理解させることが不十分であった可能性がある。肢体不自由な患者さんによる判別性能の向上は今後の大きな課題である。

また、脳波センサは頭皮にペーストを使って貼り付けなければならない、使用後には洗髪を要する。また、実験中は休憩中であってもセンサを外すことができない。名古屋大学工学研究科電子情報システム専攻内山剛准教授とミーティングを持ち、磁気センサーによりP300が測定できる可能性を確認したが、本研究期間中に十分な検討ができなかった。これも今後の大きな課題である。

## 6. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計5件)

- ① 「誤り関連電位に基づく誤り訂正と信頼度に基づく自動再送要求との組み合わせによる P300 speller の性能向上に関する研究」、高橋弘武, 吉川大弘, 古橋武, 電気学会論文誌 C, 132 巻 5 号, pp.713-720, 2012
- ② 「文章入力速度向上を目的とした P300 speller に対する入力文字予測システムの実装とその検討」、継岡恭子, 高橋弘武, 吉川大弘, 古橋武, 知能と情報, 24 巻 1 号, pp.553-559, 2012
- ③ "Error Control for Performance Improvement of Brain-Computer Interface: Reliability-Based Automatic Repeat Request", H.Takahashi, T. Yoshikawa, T. Furuhashi, IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems, Vol. E94-D, No.6, pp.1243-1252, 2011
- ④ "Reliability-Based Automatic Repeat reQuest with Error Potential-Based Error Correction for Improving P300 Speller Performance", H. Takahashi, T. Yoshikawa, T. Furuhashi, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 6444, pp.50-57, 2010
- ⑤ 「脳波を用いた手足の運動想起判別における準備電位の傾きを用いた特徴抽出法に関する検討」、中村翔太郎, 高橋弘武, 吉川大弘, 古橋武, 知能と情報, 22 巻 4 号 pp.427-433, 2010

[学会発表] (計5件)

- ① "Incremental Learning to Reduce the Burden of Machine Learning for P300 Speller", T. Yokoi, T. Yoshikawa, T. Furuhashi, SCIS-ISIS 2012 (The 6th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems, and the 13th International Symposium on Advanced Intelligent Systems), CD-ROM, Kobe, Japan, 2012.11.20-24
- ② "Improvement of spelling speed in

P300 speller using transition probability of letters", E. Samizo, T. Yoshikawa, T. Furuhashi, SCIS-ISIS 2012 (The 6th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems, and the 13th International Symposium on Advanced Intelligent Systems), CD-ROM, Kobe, Japan, 2012.11.20-24

- ③ "A Novel Selective Stimulus Presentation for P300 Speller", H. Takahashi, T. Yoshikawa, T. Furuhashi, Proc. of 33rd Annual International Conference of the IEEE EMBS, Boston, USA. pp.5770-5773, 2011.8.30-9.3
- ④ "Automatic Repeat reQuest for Brain-Computer Interfaces ~ Reliability -based Automatic Repeat reQuest and Selective Repeat Variant", H.Takahashi, Y.Kaneda, T. Yoshikawa, T. Furuhashi, Proc. of 2011 IFSA World Congress AFSS International Conference, Surabaya and Bali Island, Indonesia, 2011.6.21-25
- ⑤ "Combination of Reliability-based Automatic Repeat reQuest with Error Potential-based Error Correction for Improving P300 Speller Performance", H. Takahashi, T. Yoshikawa, T. Furuhashi, Proc. SCIS & ISIS 2010 (Joint 5th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 11th International Symposium on advanced Intelligent Systems), CD-ROM, Okayama, Japan, pp.987-990, 2010.12.8-12

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

ホームページ等

<http://www.cmplx.cse.nagoya-u.ac.jp/research-Nouha.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

古橋 武 (FURUHASHI TAKESHI)

名古屋大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号：60209187

(2)研究分担者

吉川 大弘 (YOSHIKAWA TOMOHIRO)  
名古屋大学・大学院工学研究科・准教授  
研究者番号：20302753

(3)連携研究者 なし