

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 14 日現在

機関番号：33302

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2015

課題番号：25560292

研究課題名(和文)脳神経活動信号を用いた聴覚機能支援装置の開発

研究課題名(英文)Towards implementation of the smart hearing aid for selective listening by using brain signals

研究代表者

樋口 正法(Higuchi, Masanori)

金沢工業大学・先端電子技術応用研究所・教授

研究者番号：50288271

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は脳磁図や脳波等を用い選択的聴取能力を支援する装置を開発することを目指している。その目的達成のため、脳磁図を用いて選択的聴取の脳神経メカニズムを調べた。主な知見として、注意している音に対する脳信号のコヒーレンス値が注意していない音に対するそれよりも大きく、言語音では音の方向に関わらず左半球のコヒーレンス値が増加する傾向が得られた。実用性を視野に入れ、ウェアラブルEEGデバイスの評価を行った。

研究成果の概要(英文)：In this study, we aim to develop the smart hearing aid for selective listening by using brain signals such as MEG and EEG. For this purpose, we investigated the neural mechanism of the selective listening with the coherence function between a sound envelope and MEG signals. As some of obtained knowledge, we found that the coherence values of the noticed sound became higher than the unnoticed sound and the voice sound showed comparatively high coherence values in the left hemisphere regardless of the sound source direction. For practical use, we tested the possibility of wearable EEG devices.

研究分野：生体磁気計測

キーワード：医療・福祉 脳・神経 計測工学 情報工学 アルゴリズム

1. 研究開始当初の背景

これまで EEG や MEG、fMRI、PET、NIRS など多様な脳機能イメージング装置が開発され、脳科学や医学等に利用されてきた。近年このような脳機能イメージング装置の新たな応用として、BMI (Brain Machine Interface) や BCI (Brain Computer Interface) などと呼ばれる脳信号を用いてロボットアームやコンピュータを制御する研究が注目を集めている。これまでの BMI や BCI の応用の多くは障害者や患者を対象としており利用者が限定されていたが、より多くのニーズを得るには健常者にも利用できるものが望ましい。その一つとして脳機能の低下による認知機能の補助や感覚機能の補助を目的とした脳機能をアシストするような BCI システムの実現を目指す。その具体例として複数の音から聴きたい音を聞き分ける能力を補助する装置を開発する。人間には、カクテルパーティー効果などでよく知られているように、複数の音から希望の音を聞き分ける能力を有しており、希望の音だけを聞き分けて聴くことができる (選択的聴取能力)。これは主に脳で処理される機能である。

2. 研究の目的

(1) アルゴリズムの高精度化

本研究の目的達成のためには脳信号からの音に注意を向けているかを判断する技術が重要である。従来の BMI・BCI では α 波や β 波など自発性脳波の周波数や振幅の変化を用いて符号化する手法が多く用いられてきたが、他の感覚刺激や計測環境などの影響を受けやすく判断が難しい。本研究では直接的に聴覚に関連する脳活動を捉えることによってその符号化を行う。具体的には音のエンベロープ波形と脳信号とのコヒーレンス関数を用いて評価する。

コヒーレンス関数 $\gamma^2(f)$ は、音のエンベロープ波形を $x(t)$ 、その時に観測された脳磁図波形を $y(t)$ とすると以下の式で表現される。

$$\gamma^2(f) = \frac{|W_{xy}(f)|^2}{W_{xx}(f) \cdot W_{yy}(f)}$$

上式において、 $W_{xx}(f)$ および $W_{yy}(f)$ はそれぞれ信号 $x(t)$ 、 $y(t)$ のパワースペクトル、 $W_{xy}(f)$ は信号 $x(t)$ と $y(t)$ とのクロススペクトルを表す。0 に近い場合その周波数において両者の相関性は低く、1 に近い場合は非常に相関性が高いことを意味する。

本アルゴリズムの高精度化を目指し、より多くの音源を用いて選択的聴取に関する実験を行い、アルゴリズムの精度向上に必要な知見を得る。

(2) 実用化を目指した EEG デバイスの検討

本研究で実現しようとしている装置は実用性を考慮すると脳磁図よりも脳波による構

成が望ましい。図 1 はその完成イメージを示す。近年、デザイン的に優れたウェアラブル脳波デバイスが商品化されている。それらを幾つか購入し、適応可能性について検討する。



図 1 本研究の完成イメージ

3. 研究の方法

(1) 音源位置が異なる場合の選択的聴取の検討

ステレオ音を用いて音源の場所的な違いがある場合について検討する。2つの音をそれぞれ左方および右方から聞こえるように左右の耳に重みを付けて提示し、一方の音に集中しているときの脳磁図を計測した。一回の計測で提示した音の長さは3分間で、磁気シールドルームの外からイヤチューブを用いて被験者の両耳に提示した。記録した脳磁図はオフラインフィルタ処理、ダウンサンプリング処理等の前処理を行い、音のエンベロープ波形とのコヒーレンス(関数)値を計算した。関心周波数帯域を2-6Hzとして、その積分値を脳磁図センサ配置図に基づいて等高線表示した。

(2) 音源位置が同じで聞き取り条件が異なる場合の選択的聴取の検討

音は2つの朗読音声 mixes したもの(音声 mixes)と2つの楽曲音楽を mixes したもの(音楽 mixes)を用いた。ミキシングの仕方は、(A)聞き取る音が小さい場合(聞き取り:悪)、(B)均等の場合(聞き取り:中)、(C)聞き取る音が大きい場合(聞き取り:良)の3通りである。これらの mixes 音を磁気シールドルームの外からイヤチューブを用いて被験者の両耳に提示した(モノラル)。一つの mixes 音の長さは3分である。被験者にはあらかじめ指定された音を聞き取るように指示し、その時の脳磁図を計測した。

(3) 脳磁図と脳波の比較

(2)と同じ実験を脳波を用いて行った。脳波は Cz と左耳朶および Cz と右耳朶の2つの電位を計測した。

(4) 選択的聴取における視覚情報の効果

選択的聴取における視覚情報の効果を検討

した。ただし、動きのある視覚情報はそれ自身による視覚誘発反応が脳磁図に混入し、視覚情報ありとなしにおける選択的聴取の比較を行う場合、単純には比較することができない。そこで、視覚的ヒントとして注意する朗読音声のテキストをスクリーン上に表示することにした。テキストは静止画像であり、これにより視覚の反応を極力を抑えることができる。

音は約4分間の2つの朗読音声をモノラル・ミキシングして、磁気シールドルーム内に設置した静電スピーカーを用いて被験者に提示した。朗読音声のテキストを表示するためのスクリーンは被験者の目から約85cm斜め下前方に設置し、表示領域は縦30cm横48cmの大きさを約600文字が一度に映し出される。被験者には事前に注意すべき朗読音声を示し、その朗読音声のテキストをスクリーン上に投影する。コントロールとして同じ朗読音声をを用いテキストなしの計測を行った。

(5) ウェラブル EEG デバイスの評価

市販のウェアブル EEG デバイスを購入し、その性能評価を行った。これらは専用アプリケーションで動作するため本研究の最終目標装置で利用するにはインタフェースの改造や制御ソフトウェアの開発が必要である。限られた研究期間内ではこれらを実施することは困難であるため、専用アプリケーションで実施可能なトーンバーストを用いた聴覚誘発反応や自発性脳波の計測を行った。

4. 研究成果

(1) 音源位置が異なる場合の選択的聴取の検討

図2に音楽の場合の結果を示す。音楽Aとして右側よりピアノ曲、音楽Bとして左側よりギター曲を提示した。(a), (b)の等高線図はそれぞれ音楽Aおよび音楽Bに対するコヒーレンス値を示している。音楽Aに集中した場合、音楽Aに対するコヒーレンス値は左半球において増加が見られ、音楽Bに対するコヒーレンス値は右半球に増加が見られた。ただし、その大きさは音楽Aに対するコヒーレンス値の方が大きかった。逆に音楽Bに集中した場合、音楽Bに対するコヒーレンス値が右半球で増加しているのに対し、音楽Aに対しては左半球においてもあまり顕著な増加は見られなかった。次に、朗読音声を聞いた場合の結果を図3に示す。朗読Aとして右側より女性の朗読音声、朗読Bとして左側より男性の朗読音声を提示した。(a), (b)は朗読Aおよび朗読Bに対するコヒーレンス値を示している。朗読Aに集中した場合、朗読Aに対するコヒーレンス値は左半球に増加が見られ、朗読Bに対するコヒーレンス値も右半球に増加が見られるが明らかに朗読Bに比べると小さかった。朗読Bに集中した場合、朗読Aに対するコヒーレンス値は全体的に小さく、朗読Bに対するコヒーレンス値は右半球だけで

なく左半球においても比較的大きかった。以上の結果より、共に集中している音に対して音源の方向と対側半球にあるセンサのコヒーレンス値の増加がみられた。被験者はトーンバーストを用いた聴覚誘発磁場計測においていわゆる対側優位タイプであり、集中している音に対して対側の聴覚野の反応が増加したものと思われる。

なお、朗読音声の場合、集中している音が左側の音であっても同側すなわち左半球のコヒーレンス値も比較的高かった。言語野の在る左半球にコヒーレンス値の増加が見られたと思われる。

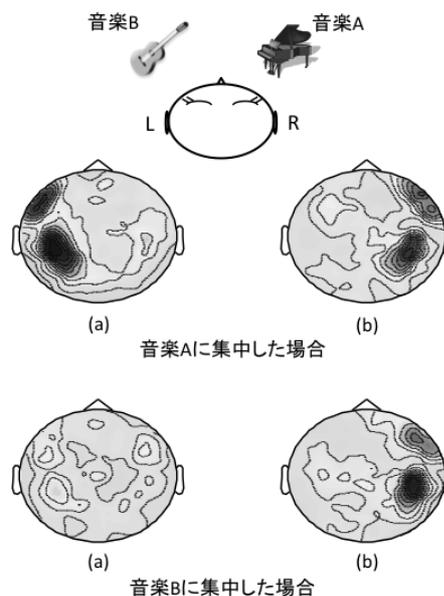


図2. 音楽の選択的聴取実験結果

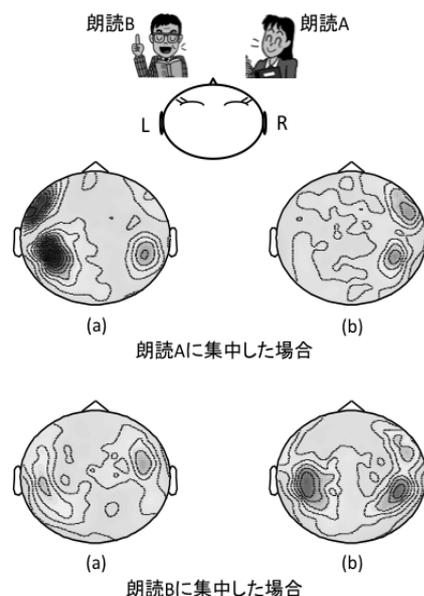


図3. 朗読音声の選択的聴取実験結果

(2) 音源位置が同じで聞き取り条件が異なる場合の選択的聴取の検討
 音声ミックスの結果を図4に示す。(a)は女性の朗読音声聞き取る場合で、Mix A, B, Cの順に対して聞き取り条件は悪、中、良となる。(b)は同じミックス音を用いて男性の朗読音声聞き取る場合で、聞き取り条件は逆順すなわち良、中、悪になる。中段に各ミックス音に対するコヒーレンス値マップを示す。両者とも聞き取りが良のときにコヒーレンス値の増加が見られ、その分布は主に左半球の脳磁図センサにおいて顕著であった。音楽ミックスの場合、同様に聞き取りの容易さによってコヒーレンス値が増加する傾向が得られたが、その頭表面上の分布は右半球の方が顕著であった。また、分布の形状は聞き取り対象を変えると変化した。
 以上、音声ミックスおよび音楽ミックスともに聞き取り条件が良くなるに従ってコヒーレンス値が増加することが示された。これは提示している音が聞き取る音に一致するほどコヒーレンス値が高くなることを意味しており、言い換えるとコヒーレンス値が高くなるように提示する音を選択することにより聞きたい音に近づけることが可能となる。音声ミックスにおいては主に左半球のコヒーレンス値の変化が顕著であったが、これは言語的に聞き分けていることによるものと思われる。それに対して音楽ミックスの場合は、メロディー、リズム、音色等で聞き分けるため複数の脳部位が関与しているものと思われる。そのためコヒーレンス値マップの形状が聞き取る対象によって変化するものと思われる。



図4 聞き取り条件によるコヒーレンス値マップの変化

(3) 脳磁図と脳波の比較

図5 上段に脳波(L:Cz-左耳朶、R:Cz-右耳朶)、図5 下段に脳磁図(L:左半球センサ、R:右半

球センサ)のコヒーレンス値を示す。脳波においても注意する音楽が大きいほどコヒーレンス値が増加する傾向が得られた。ただし、脳磁図では左右半球間でコヒーレンス値の違いが見られたが、脳波は左右間の違いがあまり見られなかった。

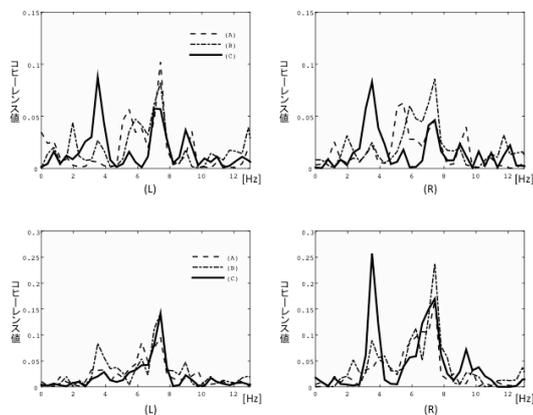


図5 脳波と脳磁図のコヒーレンス値の違い

(4) 選択的聴取における視覚情報の効果

図6に注意している音に対するコヒーレンス関数を示す。左図は左半球上、右図は右半球上のそれぞれ脳磁図センサとのコヒーレンス関数を示している。実線はテキストあり、破線はテキストなしの場合を示し、左右両半球の脳磁図チャンネルにおいてテキストありの方が2-6 Hzの帯域でコヒーレンス値が大きいことが示されている。テキストありとなしの両方の結果において、左半球のコヒーレンス値が高かった。これは言語の聞き分けということで、言語野が左半球にあることに関係しているものと思われる。テキストありの場合、右半球でのコヒーレンス値も比較的大きく、これはより選択された音として聞き分けていることを意味しているものと思われる。これらの結果は視覚情報を併用することにより選択的聴取能力が向上することを脳神経活動的に示しているものと思われる。

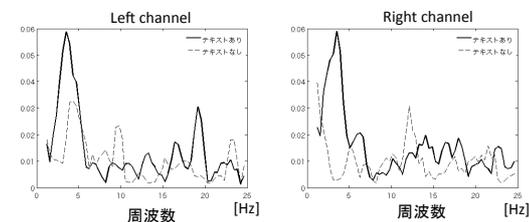
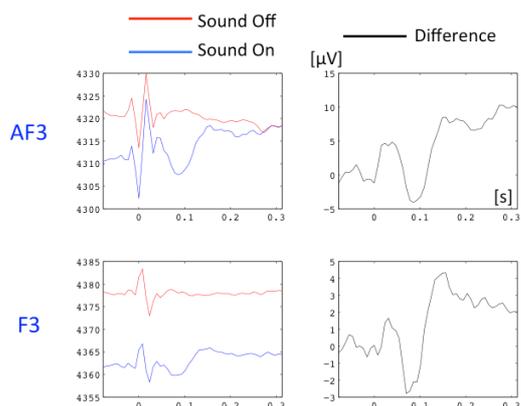


図6 視覚情報(テキスト)が選択的聴取に与える影響

(5) ウェラブル EEG デバイスの評価

図7は Emotiv 社の EPOC(14 EEG channels, Wet type sensor)を用いての聴覚誘発反応を計測した結果である。明瞭な N100 反応を計測することができた。ただし、髪の毛による

電氣的接触不良を起しやすく、アーチファクトの影響を受けやすい。また、ウェットタイプ電極のため電極水の注水が必要で、装着性に課題がある。図8は NeuroSky 社の MindWave Mobile (1ch EEG channel, Dry type sensor) を用いて自発性脳波を計測した結果である。α波の周波数スペクトルを認めることができた。本 EEG デバイスは Bluetooth で携帯端末とのデータのやり取りを行うことができ、本研究で目標としている装置に近い。また、EEG センサもペーストレスで使い勝手も良い。ただし、聴覚反応が強く検出される頭頂部付近にセンサがないため、なんらかの



工夫が必要である。

図7 ウェラブル EEG デバイスによる聴覚誘発反応の測定

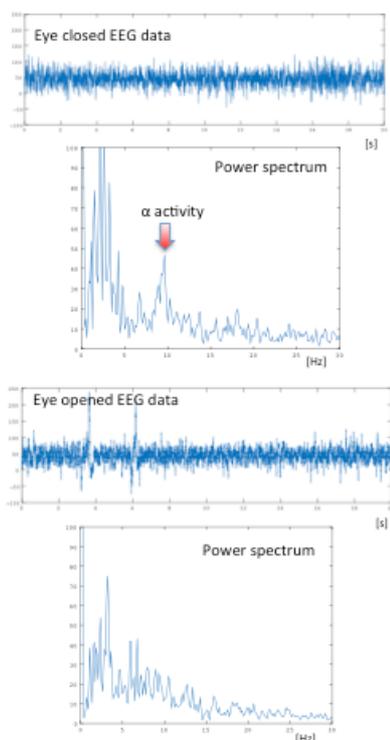


図8 ウェラブル EEG デバイスによる自発性脳波の測定

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計4件)

- (1) 樋口正法、鈴鹿有子、音の強弱波形とのコヒーレンス関数を用いた聴性誘発反応の評価、Audiology Japan、査読有、Vol. 56、2013、P276-282
- (2) 樋口正法、鈴鹿有子、小山大介、上原弦、音のエンベロープ波形と脳磁図波形とのコヒーレンス関数を用いた選択的聴取に関する検討、第29回日本生体磁気学会大会論文集、査読無、Vol. 27、2014、P76-77
- (3) 樋口正法、鈴鹿有子、小山大介、上原弦、明るさの時間変化波形とのコヒーレンス関数を用いた視覚誘発脳磁場の検討、第30回日本生体磁気学会大会論文集、査読無、Vol. 28、2015、p132-133
- (4) 樋口正法、鈴鹿有子、小山大介、上原弦、選択的聴取における音のエンベロープ波形とのコヒーレンス関数：脳波と脳磁図の比較、30回日本生体磁気学会大会論文集、査読無、Vol. 28、2015、p94-95

[学会発表] (計7件)

- (1) Yuko Suzuka, Masanori Higuchi, Measurements and an Analysis of Cocktail-Party Effect with Magnetoencephalography, Thirteenth Meeting of the International Otopathology Society, 2013年6月9日～11日、米国・ボストン
- (2) 鈴鹿有子、樋口正法、聴性誘発磁場を用いたカクテルパーティー効果の検討：ステレオ音による評価、第58回日本聴覚医学会総会・学術総会、2013年10月24日～25日、長野県松本市
- (3) Masanori Higuchi, Yuko Suzuka, Daisuke Oyama, Gen Uehara, Comparison of EEG and MEG coherence functions between a brain signal and a sound envelope in a selective listening study, The 19th International Conference on Biomagnetism (Biomag 2014)、2014年8月24日～28日、カナダ・ハリファックス
- (4) Yuko Suzuka, Masanori Higuchi, Daisuke Oyama, Gen Uehara, An MEG study of the cocktail-party effect using the coherence function between a brain signal and a sound envelope, The 19th International Conference on Biomagnetism (Biomag 2014)、2014年8月24日～28日、カナダ・ハリファックス
- (5) 鈴鹿有子、樋口正法、聴性誘発脳磁場を用いたカクテルパーティー効果の検討：視覚情報の効果、第59回日本聴覚医学会総会・学術講演会、2014年11月27日～28日、山口県下関市

- (6) 鈴鹿有子、樋口正法、聴性誘発脳磁場を用いたカクテルパーティー効果の検討：聞き取りの評価、第60回日本聴覚医学会総会・学術講演会、2015年10月21日～23日、東京都新宿区
- (7) Masanori Higuchi, Towards implementation of new concept BCI : Brain assist suites, CNLiT-KIT joint workshop on MEG Application, 2015年10月7日～8日, 石川県野々市市
〔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〕

研究内容紹介ホームページ

コヒーレンス関数を用いた聴覚反応の評価

http://www2.kanazawa-it.ac.jp/higuael/basic_basic.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

樋口正法 (HIGUCHI MASANORI)

金沢工業大学・先端電子技術応用研究所・教授

研究者番号：50288271

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

河合淳 (KAWAI JUN)

金沢工業大学・先端電子技術応用研究所・教授

研究者番号：10468978

小山大介 (OYAMA DAISUKE)

金沢工業大学・先端電子技術応用研究所・准教授

研究者番号：60569888

鈴鹿有子 (SUZUKA YUKO)

金沢医科大学・医学部・教授

研究者番号：30148530