

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 5月 1日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22500502

研究課題名（和文） 骨伝導聴覚刺激による P300 応用意思伝達支援システムの実用開発

研究課題名（英文） Communication-assisted technology using a P300-based Brain-Computer Interface (BCI) by bone-conduction auditory stimulation

研究代表者

千島 亮（CHISHIMA MAKOTO）

信州大学・医学部・准教授

研究者番号：80252112

研究成果の概要（和文）：近年注目される脳波応用による生活支援機器の開発について、従来からの視覚刺激ではなく、聴覚刺激で導出される事象関連電位 P300 成分を応用した新たな意思伝達支援システムを独自に提案して開発に向けた基礎研究を進めた。骨伝導音（BC）の有用性について、気導音（AC）による P300 成分導出条件と比較検討した。波形解析はオフ・ラインで得られた7人の健康被験者の結果より検討した。全被験者で安定した P300 成分導出が AC 及び BC 刺激条件において可能であり、新たな脳波応用支援機器構築の可能性が示唆された。

研究成果の概要（英文）：The objective of our multi-disciplinary research is to develop BCI for cognitive P300 ERPs in a bone-conduction (BC) and air-conduction (AC) auditory oddball paradigm. Compared to previous P300-based BCI system using AC auditory oddball paradigm, our study aims at the possibility of using BC auditory oddball paradigm by arbitrary distinction of the tone burst sound stimulation at different frequencies. An off-line BCI system was tested in seven healthy subjects. The optimal condition for deriving the P300 ERPs wave by AC stimulation using standard headsets was compared with BC stimulation using headsets in contact with both sides of the temporal bone in subjects. Our results show that it is possible to deduce P300 ERPs by the AC and BC auditory stimulations with the potential to utilize it as a command signal in the healthy subjects.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
2012年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：身体障害系作業療法学

科研費の分科・細目：リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：脳波・骨伝導・事象関連電位 P300・支援技術・BCI・意思伝達・作業療法

1. 研究開始当初の背景

作業療法実践で展開する神経難病者・児の生活支援において、残存機能としての生体信号を有効に活用した支援技術（assistive

technology, AT) の導入は極めて有用である。著しく病態進行した筋萎縮性側索硬化症（ALS）に代表される神経難病においては、残存する随意筋の表面筋電図導出の困難や、開眼筋・外眼筋の病態進行した段階において

は、生活支援に活かす眼球電図などの生体信号の安定した確保が甚だ困難となる場合が多い。作業療法における支援技術提供による生活支援は、対象者の発症型や病態の進行程度が極めて個別的であることなどから、現存する支援機器での一律の支援提供では困難である。そのため、様々な生体信号応用においても、病態に則した個別的で即時的な支援方策の提案が極めて重要となる。また、病態進行に伴う球麻痺症状の出現や、医学的処置での人工呼吸器装着による発声の困難は、医療提供の自己選択はもとより身近な家族や社会との意思疎通すら瞬時に制限する状況にある。

重度身体障害者・児を対象とした作業療法実践の取り組み中에서도、より実践的な支援技術の検討や生体信号応用による新たな支援技術研究計画を立案し、基礎的研究から応用までの研究テーマを積極的に進めてきた。特に本研究課題では、身体運動を必要としない新たな脳波応用による支援技術研究に着目している。同様の研究分野は、従来までの支援技術提案では極めて困難であった神経難病者や上位頸髄損傷者の支援方策をより具体的に拡大できる新たな技術としてリハビリテーション医療においても注目されているところである。現行で支援技術研究に応用される非侵襲的脳波には、恒常状態の視覚誘発電位（steady-state visual evoked potential: S-SVEP）、運動想起による準備（RP, BP, movement-related cortical potential: MRCP）、上肢・下肢の運動想起により抑制されるミューリズム（ μ -rhythm）、基礎律動のアルファ波帯域（ α -ERD）とベータ波帯域（ β -ERS）のパワースペクトル変動、最も低い周波数帯の直流成分であるSCP（slow cortical potential）、事象関連電位 P300 成分などが応用されている。何れの特徴的な脳波についても、生活支援に注目した新たなヒューマン・インタフェース（Brain-Computer Interface: BCI）として、基礎研究だけではなく臨床活用へ向けた取り組みも国際的に積極的に推進されている。

2. 研究の目的

従来からの視覚刺激による P300 成分を応用したヒューマン・インタフェースだけではなく、P300 成分導出に聴覚刺激を用いた独自の BCI システム構築の可能性を検証する。研究進行では、脳波応用の支援技術研究では応用されていない音像定位させた弁別音を用いた P300 型 BCI 構築の可能性を実験により確認する。また健常被験者を対象に、骨伝導音刺激や気導音刺激の双方の条件においても安定した P300 成分導出が可能であることを実験により確認する。ヒトの受聴特性を活

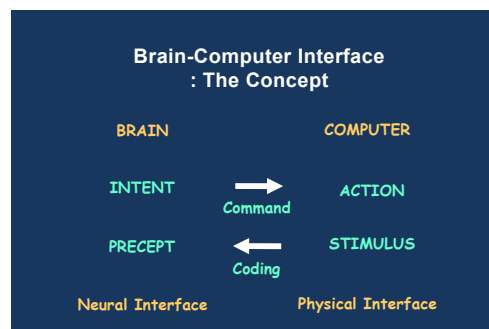


図 3-1 新たな生活支援技術として注目されている「Brain Computer Interface: BCI」の概念

かした独自のシステム構築を提案し、臨床活用を想定したフィードバック実験（操作精度と特徴抽出アルゴリズム構築）に発展させることを本研究の主要な研究目的として実施した。また、臨床応用する上で課題となる、病態進行に即応した個別的な支援、活用に伴う利用者負担の軽減、家族・介助者による機器調整の簡便さの確保など、想定される臨床実践に聴覚刺激を有効に活かした脳波応用支援システム構築に向けて考察した。BCI システムの概念図を図 3-1 に示す。

3. 研究の方法

事象関連電位 P300 成分の安定導出のための刺激呈示条件に注目し、健常被験者を対象に基礎的実験を実施した。従来の脳波応用技術に用いられてきた視覚刺激による導出ではなく、聴覚刺激による導出を検討した。特に P300 成分導出では用いられていない骨伝導音を呈示し、種々の選択的聴覚課題による独自の脳波応用支援システム構築の可能性を検討した。また、安定導出に関わる課題条件・因子について、骨伝導音の伝達特性により考察した。全ての健常被験者において骨伝導音でも有用な導出が可能であった。ヒトの注意、知覚、予測、探索、意思決定や記憶など、様々な認知過程での脳活動を反映するとされる P300 成分の導出が、気導と同様に骨伝導音においても可能であることが確認できた。骨伝導による伝達特性を活かした呈示条件によっても、利用者負担を軽減して臨床応用できることが示唆された。

両耳側からの気導聴覚刺激に水平面上の 3 方向に音像定位させた弁別課題を提示させた条件においても、有効な P300 成分の導出が可能であることを基礎的実験により検討した。周波数と音像方向を変化させた 6 種類までの聴覚刺激弁別による導出実験で、健常被験者全てで有効な P300 成分の導出が可能であった。仮想の方位情報を定位させた複数の聴覚刺激条件を用いた脳波応用支援システ

ムに応用できることを確認した。また、本刺激呈示条件を用いた簡易の脳波応用支援システムを構築し、健常被験者を対象に操作実験を実施した。全ての健常者において良好な選択精度が得られ、音像定位音を聴覚刺激に用いた P300 型脳波応用支援システム構築の可能性を確認した。臨床活用を想定した P300 成分の安定導出のための音像刺激条件を更に検討し、効率的な特徴抽出アルゴリズムの構築を含めた基礎的研究をさらに進めることが課題となった。

4. 研究成果

(1) P300 成分の安定導出にかかわる最適刺激条件の検討では、呈示音の音圧、刺激周波数、持続時間の 3 種のパラメータを変化させ、気導音と骨伝導音で得られた P300 成分の頂点振幅値の比較から検討した。結果、呈示音においては、音圧で約 50 dB の設定、刺激周波数条件では標的刺激 2000 Hz で頂点振幅値が増大する傾向にあった。持続時間は 100 ms 程度の持続時間が最適であると判断された。また、電極配置については、Pz (Pz-A1+A2) で十分な頂点振幅値が得られたことから、利用者への負担を軽減する上でも、最小の電極配置数で有用な P300 成分の同定が可能であることが確認された。ヒトでの「骨伝導」による伝達・知覚特性についての神経生理学的な解明は、有力な諸説による解釈は可能なものの、より有用な刺激条件の明確化にまでは至っていない。現在の医療における骨伝導音の応用は、極めて限定された研究領域で応用が進められている状況にある。今後、骨伝導音応用による BCI 開発を進めていく上では、基礎的研究分野での先駆的な研究成果情報をより密に把握し、P300 成分導出に最適な刺激条件についての検討が更に必要であると考えられる。刺激呈示に関する実験では、音圧、刺激周波数、持続時間の 3 種のパラメータで限られた条件設定での導出実験であり、更に多くの条件と組み合わせて検証していく必要があると考えられた。また、P300 成分は弁別課題遂行時の認知過程において導出可能な特徴成分であることから、実験で用いた純音に近いトーンバースト音だけでなく、様々な種類の弁別し易い音による導出を検討してゆく必要があった。今後もより多くの聴覚刺激音のパラメータを組み合わせ、利用者において不快とならない弁別音課題につい

て詳しく検討してゆくことが重要であると考えられた。最終目標とする骨伝導音による P300 型 BCI の基本構成を図 4-1 に示す。

(2) 重症な進行性神経筋疾患や高位頸随損傷など、自立的な日常生活活動 (activities of daily living; ADL) が極めて限定される対象者 (児) の生活支援機器開発に向けた基礎的研究を積極的に進めてきた。特に近年注目されている意思伝達支援を目的とした EEG 応用による BCI 構築に関し、ヒトの様々な認知過程での脳活動を反映するとされる P300 成分を複数の聴覚刺激音の弁別により導出し、新たな刺激条件による BCI 構築の可能性について検討してきた。音像定位と周波数の組み合わせで弁別選択出来る音像を複数に配置し、任意に選択した刺激条件で導出される P300 成分を応用した BCI システム構築の可能性について検討した。ヘッドホン装着させた被験者に、水平面上に複数の方位情報と周波数を変化させた音像を呈示し、任意に弁別した音像定位刺激ごとに得られる P300 成分を用いた BCI 構築の可能性を基礎的実験により検討した。

実験では、複数の音像定位させた聴覚刺激音を同頻度でランダム呈示し、被験者が任意の音刺激に注目する弁別課題を聴覚刺激条件とした。健常被験者に方位情報と周波数を変化させた弁別刺激音をバイノーラルに受聴させ、仮想に複数配置した音像の弁別選択で P300 成分が安定して導出可能であることを検討した。また、本機構による BCI の操作効率を検証するため、簡易の音像定位音の弁別による簡易 P300 型 BCI システムを試作し、オンライン上での操作実験を実施した。以上の実験結果から、聴覚刺激に音像定位聴覚刺激を用いた条件での P300 型 BCI 開発の可能性について考察した。

聴覚刺激を用いた P300 型 BCI の開発について、ヘッドホンからの複数の方位情報を定位させた弁別課題音による P300 成分の導出実験を実施した。仮想に複数配置した音像音の弁別選択による P300 成分の安定した導出が可能であることを検討した。今回の導出実験では聴覚刺激条件について、周波数を 2 kHz と 1 kHz とし、正中 0° と左・右 60° に定位させた 6 種類の課題選択として実施した。何れの健常被験者においても安定した目的成分の同定が可能であった。図 4-2、図 4-3、図 4-4 にそれぞれの条件で導出した P300 成分の結果の例を示した。また、Pz (Pz-A1+A2) による最小の電極配置においても十分な P300 成分の頂点振幅値が得られることが確認できた。弁別刺激音を被験者の水平面上に仮想に配置する条件での検討であった。有効な臨床活用に向けた研究・開発においては、デバイス制御信号を複数確保できることが

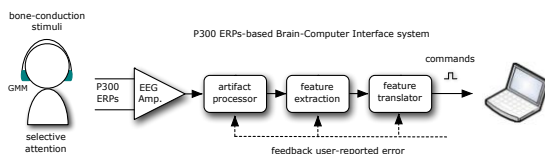


図 4-1 複数の骨伝導音の弁別で導出される P300 型 BCI システムの基本構成

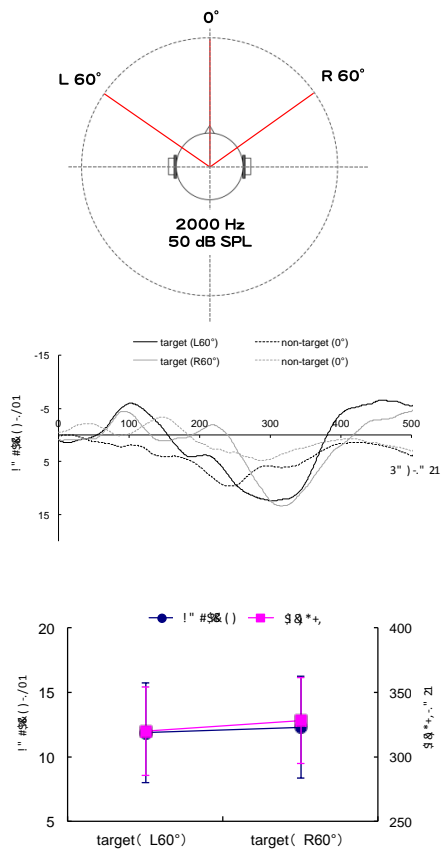


図4-2 口周波数を2 kHzに固定し、正中0°と左60°、正中0°と右60°に定位させた2種類での実験結果。上段は表示条件、中段は代表的な導出源波形、下段は15名の頂点振幅値と潜時の平均と標準偏差を示す。

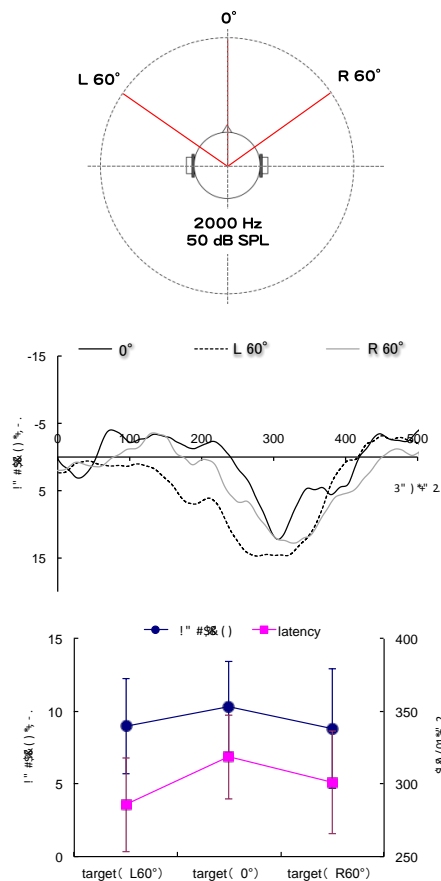


図4-3 口周波数を2 kHzに固定し、正中0°と左右60°に定位させた3種類での実験結果。上段は表示条件、中段は代表的な導出源波形、下段は15名の頂点振幅値と潜時の平均と標準偏差を示す。

重要な課題となる。実験に用いた弁別音の配置は水平方向に限ったものであり、今後は垂直方向（上下）を加味し、より複数の弁別音を定位させた応用についても検討してゆく必要があると考えられた。また、利用者において不快のない特徴的な弁別音として応用出来る刺激音条件についての検討を進めていくことが重要であると考えられた。

ヒトにおけるの音像定位する音の認知過程については、その受聴機構に関する基礎的研究から、純音については低い周波数では ITD により依存し、高い周波数では ILD に依存した空間上の受聴特性が明らかになっている (Rayleigh 1907)。こうした事実は、水平面上では左右側により変位させた（左または右側耳口に近い）特徴的な音像の識別認知がより優位に可能であると考えられる。弁別し易い音の組み合わせや種類について、音圧変化や周波数などのパラメータ設定を更に検討した実験計画が必要であると考えられる。また、これまでに明らかになっている空間上での音情報の特徴的な受聴機能と、識別認知に関わる先駆的成果を取り入れた検証が課題となった。

本研究課題で進めてきた脳波応用による新たな生活支援システム構築に向けた取り組みの実現は、現状での病院や施設での支援対応だけでなく、家族支援のもとにある在宅生活者や療養生活者においても、身体や経済性からの負担を軽減した極めて有用な支援技術となるものと考えられる。特に、脳波導出に有効な刺激条件についての検証は、脳波応用支援システム開発を目標とした先駆的研究領域において未だ明確で、最善の条件は見だせていない状況である。従来までの技術提案では極めて困難であった重症な病態進行や機能障害のある対象者において、脳波応用支援技術をさらに進展させることは、より自立的な社会参加を実現できる極めて有効な支援方策になるものと考えられた。

聴覚刺激に ITD, ILD を付加して左右方向に定位させた音像の弁別による P300 型 BCI 構築の可能性が示唆された。予備の実験に用いた聴覚刺激はそれぞれ、ヒトにおける音像定位の能力において極めて弁別し易い周波数帯域のトーンバースト音を用いている。刺激音の呈示時間は 100 ms で、呈示間隔は定常的な 2.0 sec と 1.0 sec でのランダム刺激

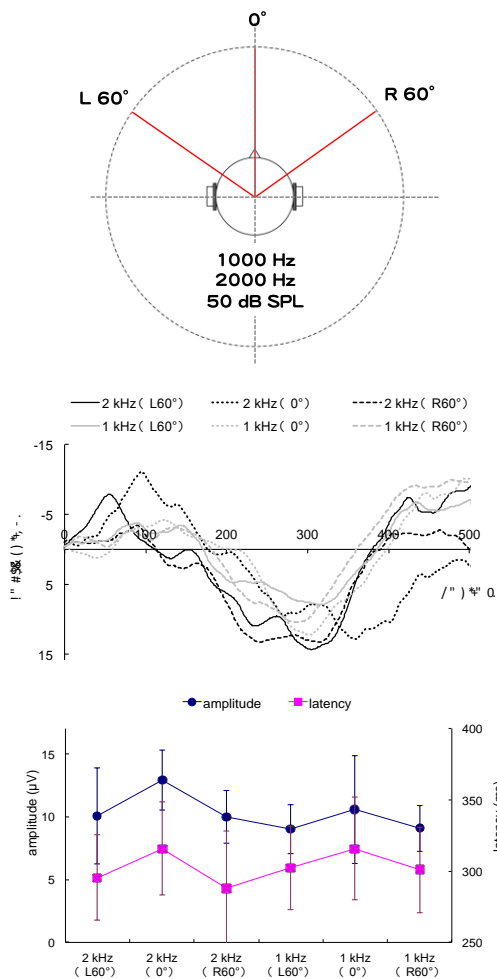


図4-4 □周波数を2 kHzと1 kHzとし、正中0°と左右60°に定位させた6種類での実験結果。上段は表示条件、中段は代表的な導出源波形。下段は15名の頂点振幅値と潜時の平均と標準偏差を示す。

であった。これは、極めて短い刺激時間で精度良く判別できる刺激呈示時間の指標であるとともに、本機構によるBCI操作効率の時間短縮の限界にもなりうる課題でもある。今後も、弁別可能な刺激音の呈示時間と呈示間隔に関する再考が必要であると考えられた。音像定位する聴覚刺激の呈示方法について、本研究では弁別し易い音像の調音については、正中間での上下方向を含めた音像刺激の呈示を検討し、個体差を加味したHRTFフィルタや弁別課題音の数や組み合わせなど、より詳細な比較検討から判断していく必要があると考えられた。ヘッドホン装着によるバイノーラル受聴での聴覚呈示については、利用者個々に得られるHRTFのスペクトルの特徴(spectral feature; SF)を加味し、弁別し易く負荷の少ない刺激条件についての検討を更に進めていく必要があると考えられた。

今回、健常者によるオンライン上での操作

実験では良好な選択精度が得られた。しかし今回の実験計画では、臨床応用を想定した具体的なデバイス制御による操作実験までの検討には至っていない。

今後も、より高速で効率的な多コマンド化を実現できる特徴抽出アルゴリズムを再検討し、臨床実験へ向けた聴覚刺激によるBCI構築の可能性を検証していく必要があると考えられた。

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8件)

- ① 坂井優亮, 青木洋康, 田口拓弥, 橋本昌巳, 千島 亮 (他4名), P300型BCIのための注視位置と事象関連電位に関する一考察. MEとバイオサイバネティクス, MBE2012-30, 1-4, 2012, 査読有
- ② 千島 亮, 原田裕也, 山鹿隆義 (他5名), 音像定位させた骨伝導音によるP300型意思伝達支援機器の検討, 計測自動制御学会, 中部支部シンポジウム2012, 講演論文集, 55-56, 2012, 査読無
- ③ 山鹿隆義, 櫻井 聡, 高田明子, 千島 亮, 骨伝導音によるP300型BCIシステム開発の可能性; 利用環境の基礎検討, 長野県作業療法学会誌, 第30巻, 129-134, 2012, 査読有
- ④ 岩松康太, 金田直樹, 千島 亮 (他5名), 聴覚刺激呈示によるP300型BCIのための刺激呈示間隔に関する基礎検討, 第31回日本生体医工学甲信越支部大会, 講演論文集(電子論文集), 27-28, 2011, 査読有
<http://jsmbe.eng.niigata-u.ac.jp/>
- ⑤ 千島 亮 (他6名), Fundamental research for development of P300-type Brain-Computer Interface using air conduction sound stimulation that localises the sound image, Proceedings of the 5th International Brain - Computer Interface Conference 2011, Verlag der Technischen Universität Graz Proceeding, 140-143, 2011, 査読有
- ⑥ 千島 亮 (他3名), 骨伝導音弁別によるP300型BCI開発に向けた最適刺激条件の検討, 長野県作業療法学会誌, 第29巻, 96-103, 2011, 査読有
- ⑦ 千島 亮 (他3名), Examination of optimum stimulus conditions for development of P300-type BCI system using bone conduction stimulus sound, International Journal of

Bioelectromagnetism, Vol.13, No.1, 9-10, 2011, 査読有
http://www.ijbem.org/

- ⑧ 小口弘貴, 千島 亮 (他 6 名), P300 型 BCI システム開発のための音像定位する音刺激の検討, ME とバイオサイバネティクス, MBE2010-23, 7-12, 2010, 査読有

[学会発表] (計 31 件)

- ① 千島 亮, 骨伝導聴覚刺激による事象関連電位 P300 型 BCI 構築に向けた検討, 第 2 回 神経難病リハビリテーション研究会シンポジウム, 2012.11.3, 北九州
- ② 千島 亮 (他 7 名), 音像定位させた骨伝導音による P300 型意思伝達支援機器の検討, 計測自動制御中部支部シンポジウム, 2012.9.25. 長野
- ③ 原田裕也, 山鹿隆義, 千島 亮 (他 5 名), 音像定位する聴覚刺激を用いた P300 型 BCI の検討; 音像定位させた気導音と骨導音による P300 成分導出の比較, 生体医工学シンポジウム 2012, 2012.9.7. 大阪
- ④ 櫻井 聡, 千島 亮 (他 3 名), 仮想音源の選択的聴取課題による P300 型意思伝達システム開発に向けた基礎的研究, 第 46 回日本作業療法学会, 2012.6.24, 宮崎
- ⑤ 山鹿隆義, 千島 亮 (他 3 名), 運動イメージを用いた運動関連脳電位導出と BCI 応用に向けた基礎検討, 第 46 回日本作業療法学会, 2012.6.24, 宮崎
- ⑥ 千島 亮 (他 4 名), 骨伝導音の伝達特性を活かした P300 型脳波応用支援機器開発; 利用者負担を軽減した骨伝導音呈示条件の検討, 第 46 回日本作業療法学会, 2012.6.24, 宮崎
- ⑦ 千島 亮 (他 3 名), 音像定位する気導音刺激を用いた意思伝達支援機器開発に向けた基礎研究; 仮想音源の弁別選択による事象関連電位 P300 成分の応用, 第 45 回日本作業療法学会, 2011.6.24. さいたま
- ⑧ 橋本昌巳, 千島 亮 (他 4 名), A basic study on P300 event-related potentials evoked by simultaneous presentation of visual and auditory stimuli for the communication interface, 12th International Multisensory Research Forum (IMRF), 2011.10.17. Fukuoka
- ⑨ 千島 亮 (他 5 名), Basic research for development of a communication support device using air-conducted sound localization, 12th International Multisensory Research Forum (IMRF), 2011.10.17. Fukuoka

- ⑩ 千島 亮 (他 6 名), Fundamental research for development of P300-type Brain-Computer Interface using air conduction sound stimulation that localises the sound image, 5th International Brain-Computer Interface Conference 2011, 2011.9.22. Graz, Republik Österreich
- ⑪ 金田直樹, 岩松康太, 千島 亮 (他 5 名), 音像定位する音刺激の弁別に基づく P300 型 BCI システムの検討, 生体医工学シンポジウム 2011, 2011.9.16, 長野
- ⑫ 千島 亮 (他 6 名), 新たな P300 型 BCI 開発に向けた聴覚刺激の検討, 第 9 回日本生体医工学会甲信越支部長野地区シンポジウム, 2011.3.8, 上田
- ⑬ 千島 亮 (他 6 名), 骨伝導音弁別による P300 型 BCI 開発に向けた最適刺激条件の検討, 第 27 回長野県作業療法学会, 2011.3.6, 松本
- ⑭ 千島 亮 (他 6 名), Examination of optimum stimulus conditions for development of P300-type BCI system using bone conduction stimulus sound, TOBI Workshop II, 2010.12.2. Rome, Repubblica Italiana
- ⑮ 千島 亮, 重度神経筋疾患者の意思伝達支援に向けたリハビリテーション医療と脳波応用技術の課題, 第 30 回生体医工学会甲信越支部大会, 特別講演, 2010.9.25. 長野
- ⑯ 小口弘貴, 千島 亮 (他 6 名), 音像定位する音刺激の弁別による P300 型 BCI システムの基礎的検討, 第 30 回生体医工学会甲信越支部大会, 2010.9.25. 長野
- ⑰ 千島 亮 (他 3 名), 意思伝達支援に向けた脳波応用技術; 骨伝導聴覚刺激音の弁別選択による事象関連電位 P300 の応用. 第 44 回日本作業療法学会, 2010.6.11, 仙台
- ⑱ 小口弘貴, 千島 亮 (他 6 名), P300 型 BCI システム開発のための音像定位する音刺激の検討. 電子情報通信学会 ME とサイバネティクス研究会 (MBE), 2010.2.28, 長野

[図書] (計 1 件)

- ① 千島 亮 (他 18 名), 株式会社三輪書店, アクティビティと作業療法, 2010, pp.12-21

6. 研究組織

(1) 研究代表者

千島 亮 (CHISHIMA MAKOTO)

信州大学・医学部・准教授

研究者番号: 80252112