

簡易EEGによるBMIの実現可能性

長尾 光悦 海部 剛士 伊藤 浩一
北海道情報大学

Feasibility of BMI based on Simplified EEG Device

Mitsuyoshi NAGAO, Tsuyoshi KAIBE and Kouichi ITO
Hokkaido Information University

平成26年11月

北海道情報大学紀要 第26巻 第1号別刷

〈研究ノート〉

簡易 EEG による BMI の実現可能性

長尾光悦* 海部剛士† 伊藤浩一†

Feasibility of BMI based on Simplified EEG Device

Mitsuyoshi NAGAO* Tsuyoshi KAIBE† Kouichi ITO †

要旨

脳波によって機器を動作させることを意図した技術はブレインマシンインターフェース（以下、BMI）と呼ばれる。近年、高度な専門知識を有していなくとも、安価に脳波計測が可能な簡易脳波計即装置（以下、簡易 EEG）が開発され、これを機に、玩具やゲーム分野において BMI が開発され始めている。本論文では、簡易 EEG による BMI の実現可能性を検証する。実験においては、対象の動作を思考する場合と、情動に対する脳波の時間的变化を分析する。これにより、簡易 EEG に適した BMI を検討する。更に、実験結果に基づき簡易 EEG に基づく BMI のプロトタイプシステムを構築し、動作確認を行う。

Abstract

The technology that device can be operated by electroencephalograph (EEG) is called Brain Machine Interface (BMI). Recently, simplified EEG device which is inexpensive and does not require advanced technical knowledge has been developed, and then the BMI using simplified EEG device has begun to be realized in the fields of toy and game. In this paper, we investigate the feasibility of BMI using simplified EEG device. Here, we analyze temporal variability of EEG obtained by device when user think the movement of target and when user feel emotions. From experimental results, we discuss about appropriate BMI for simplified EEG device. Moreover, we develop prototype of BMI using simplified EEG device, and then perform operation test.

キーワード

簡易 EEG BMI 脳波

* 北海道情報大学経営情報学部システム情報学科准教授, Associate Professor, Department of Systems and Informatics, Faculty of Business Administration and Information Science

† 北海道情報大学経営情報学部システム情報学科 B4, B4, Department of Systems and Informatics, Faculty of Business Administration and Information Science

1. はじめに

脳は人間において重要な器官であり、思考と記憶をコントロールしている。脳に関する研究の歴史は長く、近年は脳の活動を把握するために、脳内の電気現象である脳波に関する研究が多様な分野において行われている。更に、脳波の応用研究として、頭で思考したとおりに機械を操作するというブレインマシンインターフェース (Brain Machine Interface, 以下, BMI) の研究が進んでいる[1].

これまでの BMI に関連する研究としては、義手や車いすの操作、視覚や聴覚を補助する装置など、医療、福祉、介護分野を中心に研究が実施されてきた。また、これら研究において利用される脳波計測装置 (以下, EEG) は、非常に高価なものであり、かつ、計測には高度な専門知識を必要とするものであった[2][3].

一方、近年、高度な専門知識を有しなくても、安価に脳波計測が可能な簡易 EEG が開発され、これを機に、脳波を用いたゲームや玩具が開発され始めている[4]. しかしながら、医療分野において利用されるような高度な EEG は、正確に脳波を取得することが可能であるが、このような簡易的な EEG により、どのような脳波が取得可能であるかは明確ではない。簡易 EEG により、多種多様な状況において、どのような脳波を取得可能であるかを明確にすることは、簡易 EEG に見合った BMI を検討する上で必要不可欠なものである。

本論文では、簡易 EEG による BMI の実現可能性を検証する。本研究では、簡易 EEG として NeuroSky 社製の MindWave Mobile を採用し、対象の動作を思念する場合の脳波と、情動に対する脳波の 2 種類の脳波の時間的变化を計測、分析する。実験結果に基づき簡易 EEG に適した BMI について検討を

行う。更に、この結果に基づきプロトタイプシステムの構築を行い、動作確認を行う。

2. BMI とは

人の脳では、生命体としての統括的な働きを維持するために、神経系を介して常に情報伝達が行われている。こうした情報伝達は、神経細胞であるニューロン間において神経活動に関わる接合部位であるシナプスを介し、電気信号を伝達する活動により行われる。脳波とは、このような電気活動の総和である。

BMI とは、このような脳波情報を基に機器を動作させる研究や技術を指す。BMI を可能とするための脳波の計測方式として、侵襲式と非侵襲式の二つの方法が存在する。

侵襲式は、頭部を切開し、硬膜下などの比較的安全な脳の部位、または、直接脳に電極を設置する方法である。侵襲式は、正確な脳波を取得することが可能であるが、脳を損傷するといったリスクがある。

一方、非侵襲式は、頭部を切開する必要がなく、頭部に脳波計測用の電極が取り付けられたヘッドギアを装着することにより脳波計測を行う。電極を手軽に取り扱うことができるが、頭蓋骨や瞬きなどの影響により脳波が変化するといった、計測の正確性の問題が存在する。

侵襲式の EEG は、従来、医療、福祉、介護向けの研究において利用されており、脊椎の損傷などにより麻痺となった患者が、コンピュータ上のカーソルを操作する BMI などが実現されている[5]. しかしながら、侵襲式の EEG は、脳に直接施術するという観点から一般ユーザへの敷居が高く、現在もまだ臨床研究と実験の段階にある。

これに対して、非侵襲式の EEG を用いた BMI の場合には、ユーザの心理的障壁が低い。加えて、近年、非侵襲式 EEG のローコスト化や小型化がなされ、コンシューマ向けの玩具

やゲームに用いられている。例えば、図 1 は、2009 年に Uncle Milton Industries 社から発売された、スターウォーズシリーズをテーマにした BMI 玩具「Force Trainer」である。利用者は、脳波を取得するヘッドセットを取り付け、集中を高めると、管の中のボールを吹き上げるためのファンが動作し、集中している限りボールが高い位置で留まるといものである。また、同様な玩具として、Mattel 社から集中を高めることで動く BMI 玩具である「Mind Flex」が 2009 年に発売されている（図 2）。

このように、非侵襲的 EEG の低価格化、小型化により、多様な研究開発に利用され始めている。しかしながら、このような簡易的な EEG は、さまざまな状況において取得可能な脳波が明らかとなっていないため、どのような BMI のために利用可能であるかは不明確である。そこで、本論文では、多様な状況において簡易 EEG により取得可能な脳波の確認を行い、これを用いた BMI の実現可能性についての検討を行う。

3. 簡易 EEG による BMI の実現可能性

3-1 使用デバイス

本研究において、検証を行う簡易 EEG として、図 3 に示す NeuroSky 社製 MindWave Mobile（以下、MindWave）を採用した。医療分野などで利用される EEG では、多数の電極を国際 10-20 法と呼ばれる電極配置に基づき配置する必要がある。MindWave は、電源は単四形電池 1 本で、電極が耳たぶと額の二箇所のみで動作する簡易 EEG である。

脳波の判読には、基礎律動とよばれる脳波の大部分を形成している特定の脳波活動の周波数帯域を用いる。基礎律動は、周波数帯域の低い方から、 δ 波、 θ 波、 α 波、 β 波、 γ 波と定義されている。また、基礎律動は α 波を基準に、 α 波より周波数の遅い波形を徐波、



出典：<http://power-engine.blogspot.jp/2010/03/star-wars-force-trainer-9999.html>

図 1 Force Trainer



出典：<http://www.engadget.com/2009/01/05/mattels-mind-flex-teaches-kids-fake-telepathy/>

図 2 MindFlex

周波数の早い波形を速波と呼ぶ。一般的な健康者では平常時に α 波が多く現れ、睡眠・安静時には徐波、集中状態や興奮状態では速波が出現するとされている。

表 1 に、MindWave で計測可能な脳波を示す。表に示されるように MindWave では、 δ 、 θ 、Low α 、High α 、Low β 、High β 、Low γ 、Mid γ の 8 つの脳波が計測可能となっている。それに加え、脳波の質と、瞬きを取得可能となっている。また、各脳波の値は、符号なしの 3 バイトの整数によって表現される。しかしながら、その値に単位は定義



図3 MindWave (上: デバイス, 下: 装着時)

されておらず、計測された値の相対的な時間変化を比較することに意味があるものとして[6].

更に、各脳波に加え、MindWaveでは、AttentionとMeditationの2つのパラメータの値を取得することが可能となっている。これらAttentionとMeditationは、脳内における集中レベルとリラックスレベルを表す値であり、MindWaveにより取得された脳波に基づきeSenseというNeuroSky社独自のアルゴリズムを用いて算出されるものである。これら二つの値は1から100の間で表され、1から20が強く低下しているレベル、21から40が低下しているレベル、41から60がニュートラルなレベル、61から80がわずかに上

表1 MindWaveにより計測可能な脳波

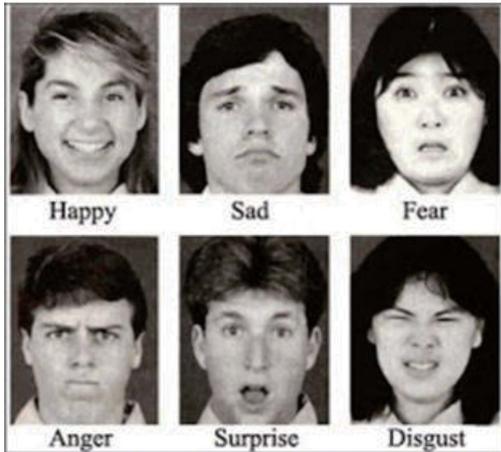
脳波	周波数帯域	名称	説明
δ	0.5 - 2.75 Hz	徐波	無意識状態, 深い睡眠状態
θ	3.5 - 6.75 Hz		深い瞑想状態, 睡眠状態
Low α	7.5 - 9.25 Hz	基準	リラックス状態, 閉眼状態
High α	10 - 11.75 Hz		
Low β	13 - 16.75 Hz	速波	平常時から緊張・集中状態
High β	18 - 29.75 Hz		
Low γ	31 - 39.75 Hz	速波	イライラしている状態, 集中状態.
Mid γ	41 - 49.75 Hz		
Attention			集中度 (0 - 100)
Meditation			平穏度 (0 - 100)

昇したレベル, 81から100が上昇したレベルとして定義される.

3-2 実験方法

本研究では、二種類の実験を行った。一つ目は、対象の動作を思考する直接的な思考に対する脳波計測である。これは、BMIの目的である機器の制御に最も密接である思考である。実験では、左に移動と右に移動という思考を行い、その際に発生する脳波波形の時間的変化の差異を検証する。直接的な思考に対する脳波の計測手順としては、20秒間通常状態の脳波の測定を行う。次に、感情を落ち着かせるため5秒間の瞑想を行い、1秒間の間隔を開け、右に移動、または、左に移動という思考を10秒間行うという手順で実施した。

二つ目は、情動に対する脳波計測である。これは、Ekmanの6基本表情に対応した感情表出時の脳波波形の時間的変化を計測するものである。Ekmanの6基本表情とは、表情認識の研究などにおいて頻繁に用いられるものであり、図5に示されるように「喜び」、「怒り」、「悲しみ」、「驚き」、「恐れ」、「嫌悪」の



出典：MIT OpenCourseWare [7]

図5 Ekmanの6基本表情

6つの表情を表す。Ekmanは、感情が表情に現れることを手がかりとし、これら6基本表情が人種や文化、地域に依存せず認識することができる普遍的な特徴であるとして提唱している[7]。実験では、この6基本表情の中で、怒りと恐れを除外した喜び、「悲しみ」、「驚き」、「嫌悪」の4つ情動に対する脳波波形の時間的変化の差異を分析する。

また、これらの感情を想起するために、「喜び」では、お笑いコンビであるサンドウィッチマンのライブツアー2012の映像、「悲しみ」では、中島みゆきの「荒野より」の公式ミュージックビデオ、「驚き」では、瞬間的に音と映像で驚かせる典型的な吃驚動画、「嫌悪」では、ネガティブなニュース映像をそれぞれ視聴するものとした。

脳波波形を計測するためのツールとして、MindWaveから取得された脳波を1秒ごとにリアルタイムにグラフとして表示するBrain Grapher、更に、脳波の値を2秒毎にリアルタイムにバックグラウンド上でCSV形式に保存するMindStreamの二つを利用した。これら二つはいずれもオープンソースソフトウェアとして公開されている[8][9]。

3-3 実験結果

3-3-1 直接的な動作思考に対する実験結果

図6、及び、図7に直接的な動作思考に対する脳波の検証結果を示す。図6は右に移動という思考を行った脳波の時間的変化、図7は、左に移動という思考を行った脳波の時間的変化を表す。グラフにおいては、全脳波が急上昇、急下降する状態が存在する。これは、目の瞬きや顔の筋肉による体積伝導によるものであるため、ここでは、各脳波の連続性が重要となる。

図6に示すグラフは、右に移動の思考を3回行った脳波の時間的変化である。最初の5秒間の瞑想の際は、全試行において δ 波や θ 波の徐波が速波と比較して高い値を示している。また、これに伴い、MeditationがAttentionよりも連続的に高く、瞑想状態の脳波が適切に取得できていると考えられる。一方、右へ移動の思考を行っている際には、集中状態を表す、 α 波より高周波数帯域である速波の上昇傾向が確認された。更に、これと同時にAttentionが2試行目及び3試行目の実験において上昇している。このため、思考を実施している際の集中状態を、速波、及び、Attentionの状態から推定可能であると考えられる。

図7は、左に移動の思考を3回行った脳波の時間的変化である。こちらの場合においても、実験開始直後の5秒間の瞑想時においては、徐波が速波よりも高い値を示し、かつ、Meditationの値がAttentionよりも高い状態となったため瞑想状態に対応した脳波が観測できていると考えられる。また、左への思考を行っている場合は、3回目の試行において、高いMeditationの値が観測された。これは、被験者において瞑想状態から思考状態へ切り替えが適切に行われなかった可能性、繰り返しの実験による集中力の低下により発生したものと推察される。しかしながら、他の試行においては、速波が他の脳波よりも高い状態が観測されていることから、左へ移動の思考

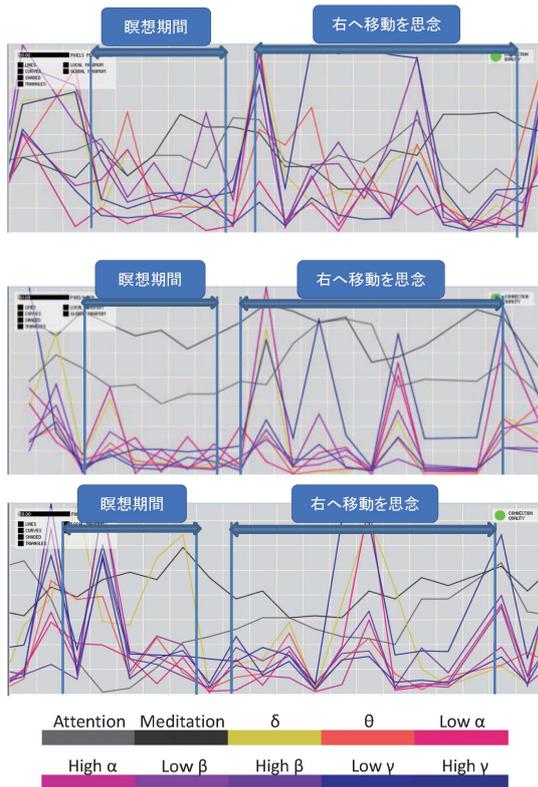


図6 右へ移動の思考に対する脳波

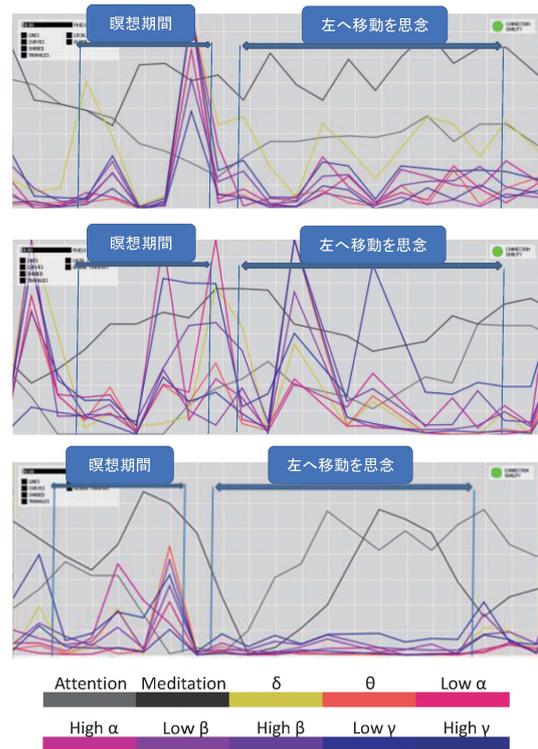


図7 左へ移動の思考に対する脳波

においても集中状態を捉えることはできているものと考えられる。

これら二つの直接的な移動思考に対する脳波の計測結果から、左右の思考に対する特徴的な差異を確認することができなかった。しかしながら、瞑想時には徐波が計測され、思念時には速波が観測可能であることが確認された。また eSense アルゴリズムに基づく Meditation と Attention の値が平穏状態、及び、集中状態と一致することが確認された。

3-3-2 情動に対する実験結果

図8に嫌悪、図9に喜び、図10に悲しみ、図11に驚きの情動に対する脳波の時間的変化を示す。各感情において3試行を行っているため3つのグラフを示している。図11の驚きの情動に対する脳波は、他の感情とは異なり突発的に抱くものであるため、恐怖映像により、驚きの感情を抱いたと思われる時間帯を中心に脳波の計測結果を示している。

図8における嫌悪の情動に対する脳波の結

果から、徐波と比較し、速波が高い割合を示している。速波は集中度だけではなく、興奮状態やストレス状態にも関係している脳波である。このため、映像への集中状態とその視聴により発生する嫌悪感によるストレス状態に関係する速波が観測されたものと考えられる。また、同時に Attention の値が高い傾向が確認され、これからも集中度が高まっていることが確認された。

図9に示す喜びの情動に対する結果では、全試行において徐波の優位傾向が確認できる。徐波はリラックスに関連する脳波であるため、喜びの情動によりリラックス状態となったことにより、これらの脳波が計測されたものと考えられる。また、これらの脳波と同時に、Meditation の値が高い傾向を示した。

図10は、悲しみの情動に対する脳波である。結果から、全試行において、徐波である δ 波、 θ 波が高い割合で出現していることが確認できる。徐波は、リラックス状態や瞑想状態の場合に出現する脳波である。近年、涙を流す

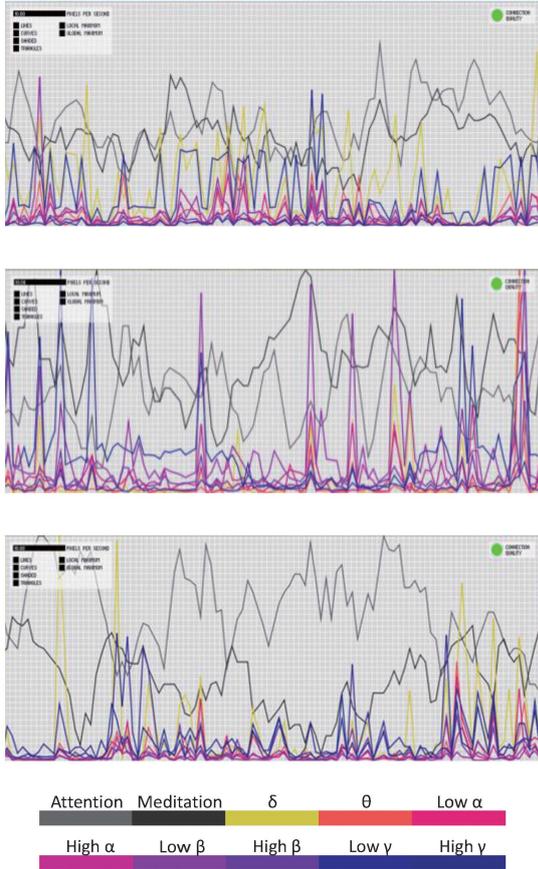


図 8 嫌悪の情動に対する脳波

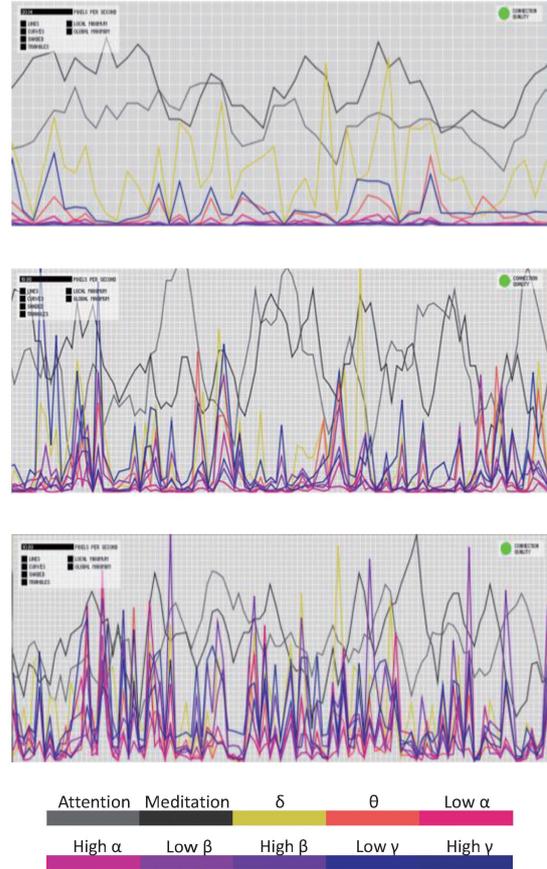


図 9 喜びの情動に対する脳波

行為がストレス解消に繋がるとして「涙活」と呼ばれる活動が行われている[10]. このことからわかるように、涙を伴う悲しみの情動により徐波が出現したものと考えられる. 更に, eSense による Meditation の値も, 高い値が示されることが確認された. 実験結果においては, 体積伝導が多く出現したが, これは, 動画視聴時に被験者が涙を流していたためと考えられる.

図 11 に驚きの情動に対する脳波を示す. 実験結果から, 全体として β や γ とした速波が高い割合で出現している. これは動画視聴に対する集中と, 恐怖映像による緊張が影響しているものと考えられる. また, Attention が高い状態になったことが確認された.

以上の実験結果から, 嫌悪, 及び, 驚きにおいては, 速波が高い値を示し, また, Attention の値も高い値を示した. 一方, 喜び,

及び, 悲しみにおいては, 徐波が他の脳波よりも高い状態となり, Meditation が大きな値を示した. このことから感情カテゴリーごとに脳波の差は確認できるため, 感情に基づく BMI の実現可能性はあるものと考えられる. しかしながら, 全ての感情を分類可能な特徴的差異を確認することはできなかったため, 簡易 EEG では, 詳細なレベルでの感情に基づく BMI を実現することは困難であると考えられる.

一方, いずれの感情においても集中状態では速波が優勢となり, 瞑想またはリラックス状態では, 徐波が優勢脳波となった. このため, MindWave を利用した場合には, 徐波と速波の優勢状態に基づく BMI, すなわち, 集中状態とリラックス状態に基づく BMI を実現することは可能であると考えられる.

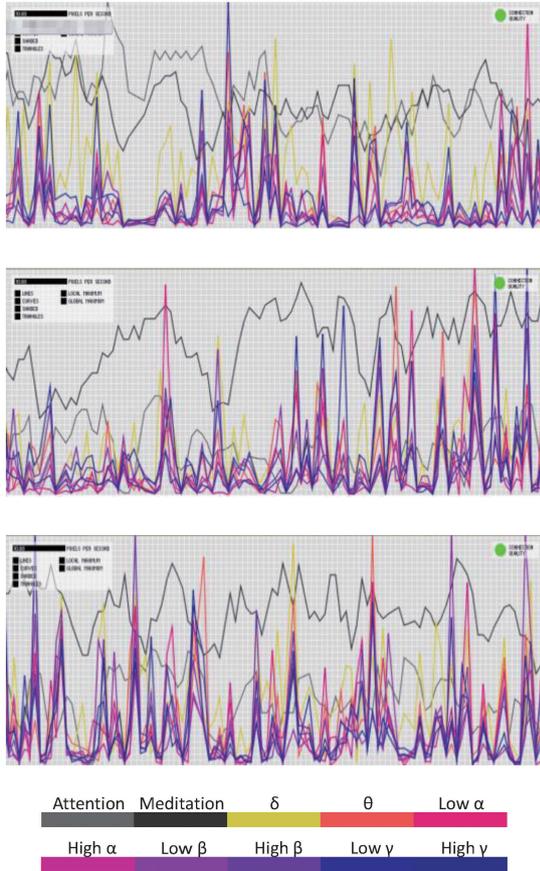


図 10 悲しみの情動に対する脳波

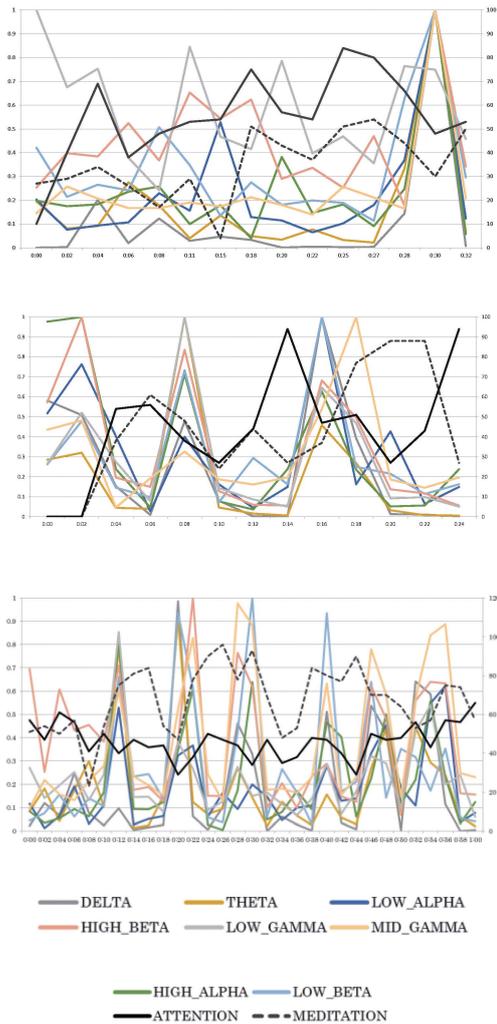


図 11 驚きの情動に対する脳波

4. 簡易 EEG による BMI の実装

実験結果から、MindWave を利用した BMI の実現可能性として、集中状態とリラックス状態に基づく BMI の実現可能性が示された。そのため、本研究では、これに基づき、ロボット開発ツールである LEGO MINDSTORMS NXT (以下、NXT) を動作させるプロトタイプシステム、及び、Microsoft Kinect (以下、Kinect) と連動した AR (Augmented Reality) プロトタイプシステムの二種類の BMI の実装を行い、動作確認を行った。

プロトタイプシステムにおいては、徐波と速波に基づき集中状態とリラックス状態を識別することは可能であるが、簡単化のため、eSense アルゴリズムに基づき算出される Attention と Meditation の一次元データを利

用することにより、これらの状態の判別を行うものとした。

4-1-1 NXT を利用したプロトタイプ

図 12 に NXT を示す。NXT は、LEGO 社から発売されているロボティクス学習のための教材製品である。NXT は、ロボットを設計・製作するために、レゴブロック、ギア、車軸、タイヤといった部品と共に、音や距離といった環境計測をすることが可能なセンサー群、動力となるサーボモーター、更に、プログラミングを行うことによって、これらセンサー群やサーボモーターを制御することができるインテリジェントブロックと呼ばれる



図 12 LEGO MINDSTORM NXT

部品から構成される。これらのインテリジェントブロック、サーボモーター、各種センサー、ブロックを組み合わせ、ロボットを設計・製作し、プログラミングを行うことによって、自由でユニークな動作が可能な自律型ロボットを製作することができる。

本研究では、図 12 に示されるように、インテリジェントブロックと、二つのサーボモーター、車輪、光センサーから構成される移動体ロボットを作成し、これを脳波に基づき動作させるものとした。

システム実装のための開発環境としては、Microsoft Windows 7, Visual C++ 2010, プログラミング言語は C 言語を利用した。また、MindWave への接続と脳波データの取得は NueroSky 社により公開されている C/C++ 向け API, NXT の操作は LEGO 社により公開されている Bluetooth Developer Kit 利用し、Bluetooth 通信に基づきサーボモーターの制御や内部に格納されているプログラムの実行が可能となるようにした。

プロトタイプでは、MindWave により取得される Attention と Meditation の値に基づき、NXT の左右のモーターの駆動、及び、予め機体内に格納されたライントレースプログラムを実行させる。ライントレースは、NXT 前部に取り付けた光センサーによって、黒いラインを判別し、識別したラインに従い NXT を進行させるものである。実装した BMI の動作の詳細は以下の通りである。

- Attention ≤ 40 以下 & Meditation ≤ 40 then 停止
- Meditation ≤ 40 & Attention ≥ 40 then 左旋回
- Attention ≤ 40 & Meditation ≥ 40 then 右旋回
- Attention ≥ 60 & Meditation ≥ 60 then ライントレース

これらの脳波に基づく条件分岐と対応する動作の確認を行った。確認の結果、計測された脳波データに基づき移動体ロボットが適切に動作することが確認された (図 13)。

4-1-2 Kinect を利用したプロトタイプ

Kinect は、Microsoft 社が販売する Xbox360 という家庭用ゲーム機の周辺機器として販売されている人間の動きを検出する、いわゆる、モーションキャプチャのためのデバイスである (図 14)。従来、モーションキャプチャを行うためには、高額な専用デバイスを必要とし、加えて、動きを取得したいユーザの身体部位に専用のマーカーと呼ばれる球状の物体をつけることが必要とされた。しかしながら、Kinect は、動作認識のためにマーカーを必要とせず、人体における関節部位の動きを取得することが可能であるため、ユーザに負担をかけることなく動作情報の取得を行うことが可能である。

本研究では、このような Kinect と MindWave を組み合わせたプロトタイプシステムを構築する。具体的には、Kinect により取得される動作情報と、MindWave により取得される脳波情報の中の Attention の値を組み合わせ、これらに基づきカメラにより取得された実空間映像に CG エフェクトを描画するシステムを実現する。ここでは、漫画「ドラゴンボール」の作品内で登場する必殺技の一つ「魔貫光殺砲」を動作と脳波に基づき描画するものとした (図 15)。



図 13 NXT を利用したプロトタイプ



図 14 Microsoft Kinect

プロトタイプシステムの構成を図 16 に示す。図に示されるように、本システムは、入力インターフェースとしての Kinect, MindWave に加え、頭認識モジュール, 手認識モジュール, 脳波認識モジュール, 判定モジュール, 出力インターフェースから構成される。以下、各モジュールの詳細を示す。

頭認識モジュール

頭認識モジュールにおいては、Kinect により取得された映像内においてユーザの頭部の位置の認識を行う。頭部が認識された際には、その座標値を出力する。

手認識モジュール

手認識モジュールは、ユーザの右手の位置を認識し、手の中心位置を座標値として出力する。

脳波認識モジュール

脳波認識モジュールは、MindWave から一秒ごとに Attention の値の取得を行う。



出典：鳥山明作「ドラゴンボール」より

図 15 魔貫光殺砲

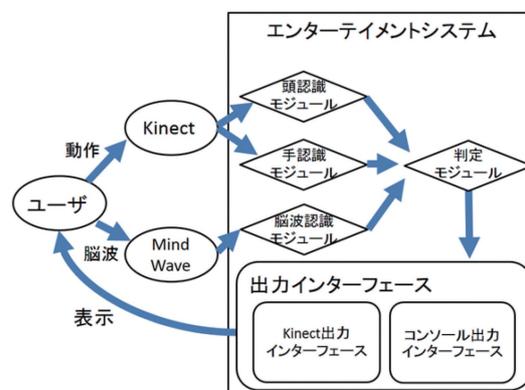


図 16 システム構成

判定モジュール

判定モジュールにおいては、頭認識モジュールによる頭部座標、手認識モジュールによる手中心座標、脳波認識モジュールによる Attention 値に基づき、ユーザが特定のモーションを実施しているか、更には、脳波の状態が特定の条件を満たしているかの判定を行う。条件が満たされている場合には、出力インターフェース上でユーザの位置に合わせた CG の描画が行われる。ここでは、頭部位置と手の位置の比較を行い、X 及び Y 座標が 20 以下の値、かつ、Attention の値が 60 以上の場合、すなわち、頭部と手の位置が近くにあり、更に、脳波が集中状態にある場合に、カウンターを増加させる。カウンターの値が 5 秒以上となり、かつ、頭部と手の位置が一定以上離された場合に CG の描画が行われる。

出力インターフェース

出力インターフェースは、Kinect インターフェース、コンソール出力インターフェースから構成される。コンソール出力インターフェースには、Attention の値、頭部・手の位置情報、カウント情報が出力される。Kinect 出力インターフェースは、ユーザの映像、及び、CG エフェクトが描画されるインターフェースである。

このようなプロトタイプを構築し、動作検証を実施した。プロトタイプシステムの実装には、Kinect for Windows SDK 1.8, NeuroSky Developer Tools 2.1, CG 描画のために OpenCV 2.4.6 を使用した。構築したプロトタイプシステムを図 17 に示す。動作確認を実施した結果、動作、及び、脳波情報に基づく CG の描画が適切に行われることが確認された。

5. おわりに

本論文では、簡易 EEG による BMI の実現可能性を検討した。実験では、動作を思考する直接的な思考に対する脳波と、情動に対する脳波の時系列データを取得し、それぞれに対する特徴的な状態が存在するかの確認を行った。実験結果として、直接的な思考では、左右の移動の思考において脳波の顕著な差異を確認することはできなかった。しかしながら、移動を思考することにより生じる集中状態により、速波と Attention の値が上昇することが確認された。

一方、情動に対する脳波においては、各感情を全て分類可能な特徴的な脳波を確認することはできなかった。しかしながら、嫌悪と驚き、及び、喜びと悲しみのグループにおいて、速波、及び、徐波が一方のグループの特徴と異なることが確認された。これにより、ある程度分類された感情グループに対する BMI の実現可能性が示された。

更に、簡易 EEG を使用したプロトタイプと



図 17 Kinect を利用したプロトタイプ

して、MindWave と NXT を利用したプロトタイプシステム、加えて、MindWave と Kinect を用いたプロトタイプシステムの二つのシステム実装を行った。これらにおいて、それぞれ動作確認を行い、簡易 EEG に基づく BMI が適切に動作することを確認した。

本研究においては、実験は 1 名の被験者により実施されたものである。今後、多くの被験者を用いた実験を行い、簡易 EEG を用いた汎用的な BMI の実現可能性について検証する必要がある。これは今後の課題である。

参考文献

- [1] 長谷川良平:ブレインマシン インターフェースの現状と将来, 電子情報通信学会誌, Vol.91, No.12, pp.1066-1075 (2008)
- [2] 小池康晴: 非侵襲ブレインマシンインターフェース, <https://bmi.neuroinf.jp/column/BCI.pdf> (平成 26 年 5 月 26 日参照)
- [3] 田中一男: ロボット探訪 (1) 脳波でロボットを動かすという試み, インターフェース, Vol.31, No.1, pp.139-145 (2005)
- [4] 岡本達也, 夏目季代久: ブレイン・コンピュータ・インターフェースを用いたゲームの実用化に向けて, 信学技法, NLP2011-164, pp.131-135 (2012)
- [5] D.Orenstein, "BrainGate neural interface reaches 1,000-day milestone", News from

- Brown University, <http://news.brown.edu/pressreleases/2011/03/braingate> (平成 26 年 6 月 28 日参照)
- [6] NeuroSky, "thinkgear_communications_protocol", http://developer.neurosky.com/docs/doku.php?id=thinkgear_communications_protocol (平成 26 年 6 月 30 日参照)
- [7] MIT, "Discussion: Emotion | MIT Open CourseWare", <http://ocw.mit.edu/courses/brain-and-cognitive-sciences/9-00sc-introduction-to-psychology-fall-2011/emotion-motivation/discussion-emotion/> (平成 26 年 6 月 30 日参照)
- [8] Eric Mika, "BrainGrapher", <https://github.com/kitschpatrol/BrainGrapher> (平成 26 年 6 月 30 日参照)
- [9] Eric Blue, "MindStream", <https://github.com/ericblue/MindStream> (平成 26 年 6 月 30 日参照)
- [10] 日本経済新聞: ストレスから解放 自ら泣いて癒す「涙活」とは, http://www.nikkei.com/article/DGXNASFK1900T_Z10C13A2000000/ (平成 26 年 6 月 6 日参照)