

# Alfred: 脳波計測値のリアルタイム解析による声かけロボット

白岩 玄気<sup>†1</sup> 小笠原たけし<sup>†2</sup> Peeraya Sripian<sup>†1</sup>  
中川友梨<sup>†1</sup> 菅谷 みどり<sup>†1</sup>

**概要:** 近年、パーソナルなサービスを行うパートナーロボットが注目され、教育を対象としたロボットの開発・研究が進められている。しかし、学習者に対するロボットの声かけは、その効果について期待がされているが、十分な議論がされていない。そこで本研究では、学習状態を脳波計測によりリアルタイムに解析し、その値に応じてロボットによる声かけを行う方法を提案する。集中度が低下したタイミングで声かけを行うことで効果的に脳波の定量的データ分析での評価を行うことを目的とした。目的の実現のため、脳波の解析プログラムを開発した。本プログラムは、学習時にリアルタイムに学習者の脳波を解析し、集中度を算出し非集中時の判別を行い、その結果に応じた声かけをロボットが行う。評価実験では実験協力者 10 名に対しその効果を測定した。その結果、非集中回数の多い人に対するロボットの声かけが集中度を高めることに有効であることが示唆された。

## 1. はじめに

近年、コミュニケーションロボットが広く普及し、パーソナルなサービスを行うパートナーロボットが注目されており、教育を対象としたロボットの開発・研究も進められている。しかし、ロボットの声かけによる学習意欲の向上の効果は詳細な調査や研究が十分行われているとはいえない。例えば学習意欲向上の研究については、様々な研究があり[1]、中でも教授者の授業者に対する声かけが、授業者の学習意欲に有効であることが示されている[2]。また、教授者と授業者の親密度が声かけの効果に大きく関係するとされている[3]。さらに、松本らはリハビリ時に、患者の集中度を考慮した声かけが有効であるとした[4]。しかし、学習時にロボットを用いた声かけを行なった場合の効果については十分に評価および議論がなされていない。また、既存時研究での評価方法は、主に記述式アンケートや形成的授業での事後評価である。声をかけられた時の精神状態の変化を自己で判断するのは難しく、本人が回答する主観的データの評価では、信憑性を主張するのが困難である。

そこで本研究では、松本らが提案したリアルタイムに集中度を考慮した声かけを行うロボットを開発し、その評価を客観的に行うものとした。目的の実現のために脳波をリアルタイムに解析する解析プログラムを開発した。プログラムは、学習時にリアルタイムに学習者の脳波を解析し、集中度を算出し非集中時の判別を行い、その結果に応じた声かけをロボットが行う。評価実験では実験協力者 10 名に対しその効果を測定した。その結果、非集中回数の多い人に対するロボットの声かけが集中度を高めることに有効であったことが示唆された。

論文の構成は、2 節にて脳波による学習状態の計測について、3 節にて提案する声かけロボットの設計と実装、4 節にて評価、5 節にてまとめと今後の課題について述べる。

## 2. 脳波による学習状態の計測

### 2.1 脳波による計測

脳波は生体情報として脳の情報処理過程の評価指標として用いられ、脳波のもつ各周波数の特性が学習や言語や知覚などの認知過程に密接に関連することが示されている[4,5,6,7]。このことから、本研究では、人の学習時の状態を脳波から計測し、その状態の変化に応じてロボットが声かけすることを考えた。人間の精神状態を観察するためには、脳波と関連事象と共に観測を行うことにより、一つの指標として用いる事ができると、従来の心理学や脳科学の研究で経験的にわかっている[6,7]。本研究では、学習意欲を評価することを目的とし、日常生活でも装着可能な EEG(Electroencephalogram)による簡易脳波計を用いた EEG による計測での脳波は大脳皮質のニューロンで発生している樹上突起のシナプス後電位の総和を頭皮上から観察し、計測する方法である。計測結果の電位値データを対象に、フーリエ解析を行うことで、複数の周波数帯域でパワースペクトルのピークを観察することができる[7]。

### 2.2 集中/非集中の評価

集中・非集中の評価には $\alpha$ 波と $\beta$ 波の比率を測る事が有効とされている[8]。しかし、 $\alpha$ 波は 7.5-11.75Hz、 $\beta$ 波は 13-29.75Hz と周波数帯域が広く、これらの値は個人によって分離することが困難であることから、Low  $\alpha$  波、High  $\alpha$  波、Low  $\beta$  波を用いるものとした(表 1)

表 1 各周波数成分の値域と心理状態

名称	測定(Hz)	心理状態
Low $\alpha$ 波	7.5 - 9.25	リラックス、平穩、意識的(気だるくはない)
High $\alpha$ 波	10 - 11.75	旧 SMR(感覚運動リズム)、統合的、リラックスしているが、集中している
Low $\beta$ 波	13 - 16.75	思考、自己および環境の認識
High $\beta$ 波	18 - 29.75	警戒、動揺

<sup>†1</sup> 芝浦工業大学 工学部情報工学科

<sup>†2</sup> 女子美術大学 芸術学部 アート・デザイン表現学科

また、一般的に  $\alpha$  波はリラックス成分、 $\beta$  波は集中成分とされているが、High  $\alpha$  の心理状態の「リラックスしているが集中している」は学習時において集中成分になると考え調査を行った。そのために脳波解析を行うための脳波解析プログラムの実装を行った。

### 2.3 脳波解析プログラムの設計と実装

本研究では、NeuroSky 社の MindwaveMobile2 を用いた。しかし、NeuroSky 社が提供するソフトウェアではリアルタイムでの脳波解析による声かけが困難である。声かけタイミングを判定し、その結果をリアルタイムに反映する必要である。本課題を解決するために、脳波解析プログラムを開発するものとした。本研究で用いる脳波計は、Electroencephalogram (EEG) と呼ばれるもので、基準導出法 (referential recording) により、電気的に 0 に近い点 (耳朶) を基準 (基準電極, reference electrode) にして、頭部の電極と耳朶の電極 (活性電極, active electrode) を記録する方法により、電極 (脳) から得られた電位を、アンプ、AD 変換器を通じて PC にデータを取り込む形式となっている。

また、鼻根と後頭結節、および左右耳介前点をそれぞれ計測し、それぞれの中点より vertex (Cz) を求め、鼻根と後頭結節の間、および左右耳介前点の間を 10% に分割し、電極を配置する 10% 法 (拡張 10-20 法) に準拠し、特定のチャンネルから脳の機能局在に対応した特定のチャンネルから電位差を取得した。対象とした NeuroSky 社 Mindwave mobile では、前頭葉の AF3 からデータを取得する。前頭葉は、思考や判断を行う部位であり、今回の研究目的の意欲を示す継続的な集中を計測するためにふさわしいと考えた。

脳波のサンプリング周波数に関しては、解析しようとする最高周波数の 2 倍以上の周波数でサンプリングしないと正確な解析ができない (サンプリング定理) 一般的に、電位差のデータ周波数解析を行なった。プログラムは、Python2.7 系のオープンソースである NeuroPy を使い、生データを取得した。臨床脳波記録では、65Hz 以上の周波数成分が記録される事が望ましく、サンプリング周波数が原信号の 2 倍より低い場合、エイリアシングノイズが発生してしまうため、サンプリング周波数は 256Hz とした。

学習時とリラックス時における、Low  $\alpha$  波、High  $\alpha$  波、Low  $\beta$  波の値を計測し、学習時において High  $\alpha$  が優位となるか確認を行った。実験協力者は成人男性 1 名、実験方法は学習とリラックスをそれぞれ計測時間 10 分で行った。実験環境は外的要因を少なくするために周囲に誰もいない静かな部屋で耳栓をつけた状態で行った。確認方法は、学習時とリラックス時における Low  $\alpha$  波、High  $\alpha$  波、Low  $\beta$  波の時系列のスペクトルデータを比較し High  $\alpha$  波が優位であることを確認した。

## 3. 集中判定を用いた声かけロボット

### 3.1 集中判定式

予備実験により精神状態のリアルタイムな反知恵を脳波解析に行えることが確認できた。声かけ時のタイミングを判定するための指標を検討するものとした。指標は、単位時間あたりの各成分のスペクトルを計算し、(集中を示す成分)/(非集中を示す成分)の割合で集中か非集中かの判定を行う。集中を示す成分として  $\beta$  波、非集中の成分として  $\alpha$  波を用いることが主とされるが、本研究では学習時における集中を扱うため、集中を示す成分は High  $\alpha$  波と Low  $\beta$  波、非集中を示す成分として Low  $\alpha$  波を用いることとし、以下の (式 1) で集中かの判定を行うものとする。集中時には集中成分である High  $\alpha$  波と Low  $\beta$  波が優位になり、スペクトルの値が高まるため (式 1) の値が 1 を超えた時を集中状態とした。

$$1 < \frac{High\alpha}{Low\alpha} \text{ or } 1 < \frac{Low\beta}{Low\alpha} \quad (\text{式 1})$$

### 3.2 声かけシステム

声かけは学習時に行うため、集中時の声かけは学習の妨げとなり不適切と考え、非集中時に声かけを行うものとした。また、一定時間非集中と判定されなかった場合に声かけを行う仕様とした。ロボットには Raspberry Pi4 とスピーカーを搭載した。Raspberry Pi4 は非集中時に PC と通信を行い、声かけの指令を受け取り、音声ファイルを再生しスピーカーから声かけを実現する (図 1)

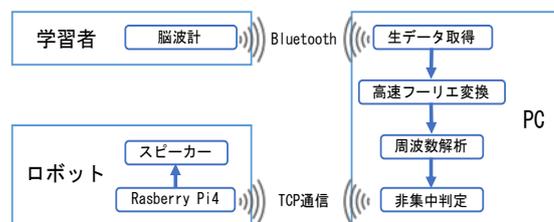


図 1 声かけシステム概要

### 3.3 ソフトウェアの実装

脳波計は取得した生データに対して高速フーリエ変換を行い、時間軸成分から周波数成分にする。その周波数成分を Low  $\alpha$  波、High  $\alpha$  波、Low  $\beta$  波の各周波数成分に分解し、(式 1) に当てはめ集中状態かを判定する。非集中状態が連続で 30 秒・50 秒続いた時に声かけを行う仕様とした。声かけ時に Raspberry Pi4 側に声かけの信号を送るものとし、PC と Raspberry Pi4 との通信にはソケット通信を用い、TCP プロトコルで行った。

### 3.4 ハードウェアの実装

人とロボットとの親密度は、印象度の高いロボットを用

いた方が高まると考え、かわいいロボットの製作を行った。最もかわいい3次元オブジェクトは「球」であり、かわいいと感じるテクスチャは「ふわふわする」、「触りたくなる」である[9]。これらに注目し「Alfred」という犬を模したロボットを作製した(図2)。ボディは3Dプリンターで作製し顔側にはスピーカーの音が籠らないようにする為、直径3mmの穴を9個空けた。また、小型コンピュータのRaspberry Pi4とスピーカーを内蔵した。Raspberry Pi4の電圧供給ではスピーカーの音量が小さく、ロボットからの声かけが聞こえないため、バッテリーが内蔵されたスピーカーを用いた。



図2 Alfred: 声かけロボットの外観

### 3.5 声かけ言葉とタイミング

本ロボットでは、声かけは経過時間によって、声かけ言葉を変えるものとした。以下に声かけのタイミングとそこで行われる声かけ言葉を示す(表2)。非集中が30秒継続した場合に番号1の声かけを行い、非集中が50秒継続した場合に番号2の声かけを行う仕様とした。声かけには非集中が30秒継続時には「頑張って」や「ファイト」という励ましの声かけとして、非集中が50秒継続時には「集中!集中!」と繰り返し言うことで注意喚起の声かけとした。

表2 声かけ言葉とタイミング

(分)	声かけ言葉
0	はじめまして! 僕の名前はアルフレッド, 実験に協力してくれてありがとう! それじゃあはじめよう
2-5	1.ここから集中して頑張って 2.集中集中
5-10	1.最後まで頑張って 2. 集中集中
10-15	1.あと残り少しだよ, ファイト 2. 集中集中
15-20	1.あとちょっとだよ, 頑張って 2. 集中集中
20	お疲れ様です! これからも勉強頑張ってね! 応援しているよ!

## 4. 声かけ効果の評価実験

本実験では、学習時の脳波の測定とアンケートの集計を行い、ロボットの声かけが学習意欲に対しどのような影響が生じるのかを評価する。

### 4.1 実験方法

実験協力者(10代:2名, 20代:9名)を対象にした。学習時間20分で行い、学習成果を測るための確認テスト絵お時間12分で行った。また、実験は以下の2種類のパターンで行い、その内容を以下に示す。

I:学習(声かけあり)と確認テスト

→ 学習(声かけなし)と確認テスト

II:学習(声かけなし)と確認テスト

→ 学習(声かけあり)と確認テスト

実験の学習内容には、今後必要となる総合適性検査の非言語を対象とした。実験後にロボットの声かけについて8項目とロボットの印象度について6項目の評価をアンケート形式で行った。また、実験風景を以下に示す(図3)。



図3 実験風景

### 4.2 評価方法

各人から得られた脳波データを声かけ脳波の評価指標を用いて分析を行なった。分析においては、実験時の脳波データをFFTにより周波数帯域に分離し、その結果から、式1の判定指標で非集中の判定を行った。この時、非集中の回数が10回を超えた人達のグループを、集中が低いグループとし、10回未満の人達のグループ集中が高いグループをとした。

ロボットの声かけ効果の評価にあたり、非集中判定が行われた前30秒と後30秒の値をそれぞれ区別して分析するものとした。具体的には、式1による非集中判定の前の30秒をBefore、後の30秒をAfterとし、この二つの値の差分を集中の差分とした場合、ロボットによる声かけの効果はBefore-Afterの差分で求められる。さらに、この値を、声かけありの時の非集中判定時の値、声かけなしの非集中判定時の差分として求めることで真の効果値を得るものとした。

### 4.3 結果：集中度の差

我々は脳波から取得する生データに、FFT を行い、式 1 により算出した集中・非集中状態を表す High  $\alpha$ /Low  $\alpha$  の値を算出した。算出した値をもとに、集中、非集中の判定を行い、非集中の場合にはロボットが声かけを行うアルゴリズムにより、声かけを行なった。

非集中回数の多いグループと少ないグループを対象に、声かけの効果を検証した。検証は、それぞれのグループについて、4.2 で示した評価値をそれぞれ算出し、その差について、対応のある t 検定を行なった。片側検定の結果 0.0472 で  $p < 0.05$  (自由度 3)が有意という結果になった(図 4)。

High  $\beta$ /Low  $\beta$ 、またそれぞれの単体の指標では、有意差は見られなかった。非集中回数の多いグループに対する声かけ効果については、さらに、声かけ後、集中度の値が増加傾向にあり、非集中回数の少ないグループは声かけ後、集中度が減少傾向にあることが分かった。

このことから、声かけ効果は、非集中グループに対しては有効であること、逆に、集中グループに対しては逆に集中が悪化する影響があることがわかった。声かけをする対象を選ぶことが重要である。

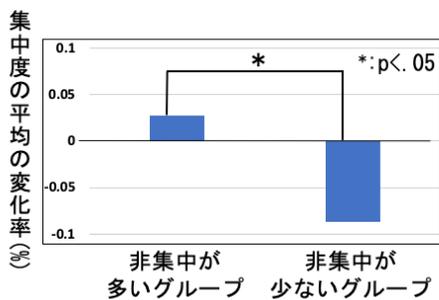


図 4 非集中回数別のグループの差

また、記述式アンケートの結果のうち、ロボットの印象について評価の高い人と低い人、声かけあり時の非集中判定が行われた前 30 秒と後 30 秒の集中度の平均の差分を対象にして差の検定を行った。

#### 4.4 集中度に関するアンケート

主観アンケートでは、「ロボットの声かけがあった方が集中して勉強をする事ができた」という項目について、被験者は、非常に思う、全く思わない、の間をリッカー尺度に従い 7 段階に分けて評価をおこなった。分析では、平均点よりも評価の高いグループと、評価の低いグループを分け、そのグループごとの式 1 で算出した集中度の平均の値を取得し (High  $\beta$ /High  $\alpha$ )、評価値にて算出した値を対象に、声かけを評価するグループと評価しないグループで差が有意であるかを検証した。対応のある t 検定を行なった結果、片側検定の結果 0.041 で  $p < 0.05$  (自由度 3)が有意という結果になった(図 5)。評価の高いグループの方が、声かけ後の脳波の集中度の値の変化(差分)量が有為に高いとい

う結果が得られた。

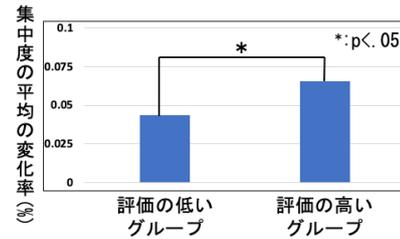


図 5 集中度に関するアンケートの評価の高いグループと低いグループの差

#### 4.5 ロボットの印象度に関するアンケート

「一緒にいて楽しい」というロボットの印象度に関する項目について評価の高いグループと低いグループにおいて、集中成分である High  $\alpha$  波と Low  $\beta$  波のスペクトルを比較した。対応のある t 検定を行なった結果、High  $\alpha$  のスペクトルの差については、片側検定の結果 0.0445 で  $p < 0.05$  (自由度 4)で有意という結果になった (図 6)。また、High  $\beta$  のスペクトルの差については、同様に片側検定の結果、0.0221 で  $p < 0.05$  (自由度 4)で有意差がみられた (図 7)。

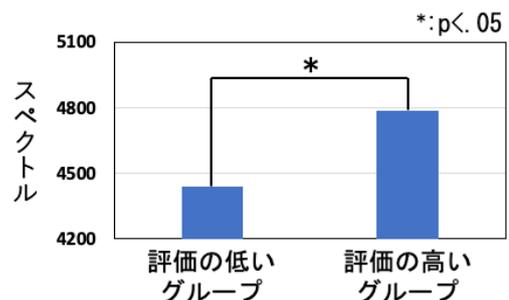


図 6 High  $\alpha$  のスペクトルの差

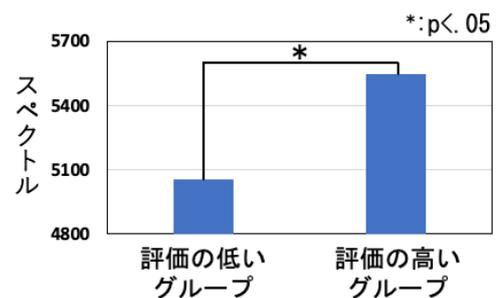


図 7 Low  $\beta$  のスペクトルの差

#### 4.6 考察

非集中の回数が多い人に対し、声かけが集中力を高めることに有効であることが示唆されたと考える。また、脳波による定量的データとアンケートによる主観的データに整合性があることが分かった。このことから、脳波による定量的評価は有効であると考えられる。また、声かけロボットの印象度の「一緒にいて楽しい」という項目が印象度の中で最も重要であることが分かった。これは、過去の研究報告による結果と一致していることがわかった[10]。

## 5. まとめと今後の課題

本実験では、ロボットの声かけによる学習意欲の向上が見られるかを、脳波解析による定量的評価による検証を行った。その結果、全ての人に共通する学習意欲向上を示唆する結果は得られなかったが、非集中の回数が多い者と少ない者でグループを分けた時、前者は声かけ後の集中度が増加傾向にあり、後者は声かけ後の集中度が減少傾向にあった。また差の検定により、2つのグループの声かけの効果の差は有意であるという結果となった。このことから、集中力の低い者に対する非集中時の声かけが集中度を高めることに有効であることが示唆され、脳波による定量的評価は有効であるということが分かった。

本研究では集中/非集中の閾値を集中度の割合が5割の時としているが、閾値の境界間際では集中/非集中に差はない。実験後の被験者に対しての聞き取りでも、「集中していたのに声かけがされた」という意見を聞き、閾値の検討や、集中/非集中の2つの分類にするのではなく、集中/非集中の間にどちらにも属さない無の状態を設定し、3つの分類にするといった解決策が必要だと考える。

学習内容が人により不要な者もいたため、学習内容を見直す必要があると考える。また、先行研究の検証では、小・中・高等学校を対象としている。このことより、今後の研究では年齢別での声かけの効果の検証を行なっていき、効果の違いがあるかについて検証が必要であると考え。

今後は実験協力者を増やすと共に学習時間を伸ばし、分散分析や重回帰分析を行いより統計的にロボットの声かけ効果を調査と、ロボットの声の好感度を高めるため、声の種類と早さの調整、声かけ言葉の改良などを行っていく。

学習意欲の向上を確認するには、短期的な集中ではなく、長期的な集中がみられると考え、継続的な調査を行い検証していく。また今後は、一緒にいて楽しいと思わせるロボットの製作を行っていく。

## 参考文献

[1] 木下陽子, “学習意欲を高める教師の関わり —数学科の授業における子供の意欲を伸ばす言葉かけ—”, 東京学芸大学教職大学院年報, 第3巻, pp.203-211, 2004

[2] 岡崎奏斗, 阿部隆幸, “教師の言葉かけが生徒の学習意欲に与える影響”, 上越教育大学教職大学院研究紀要, 第6巻, pp.43-50, 2018年

[3] 木村美奈子, “教師のことばかけによる学習意欲の向上あるいは喪失1—中学時代を振り返って—”, 名古屋芸術大学研究紀要, 第35巻, pp.115-139, 2014年

[4] Kodai Matsumoto, Reiji Yoshida, Feng Chen, Midori Sugaya: Emotion Aware Voice-Casting Robot for Rehabilitation Evaluated with Bio-signal Index. HCI (37) 2019: 241-250.

[5] 坂本佑太, 吉田幸二, 宮地功, “簡易脳波計による学習状態の思考比較分析, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル”(DICOMO)2012 シンポジウム論文集, pp. 724 - 729, 2012年

[6] 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

理学会研究報告, CE-137 No.4, 2016年

[7] 北城圭一, 山口陽子, “脳波位相同期解析による視知覚の研究”, Vision 19, No.4, pp193-200, 2007年

[8] 吉川正剛, 三宮真智子, “生徒の学習意欲に及ぼす教師の言葉かけの影響”, 鳴門教育大学情報教育ジャーナル, 2007, 4巻, pp.19-27

[9] 大倉典子, 「かわいい」工学, 朝倉書店 2017年

[10] 白岩玄気, 菅谷みどり, 意欲向上のための声かけロボットの支援効果の検証, 組込みシステムシンポジウム 2019 論文集, 2019, 88-89 (2019-08-29).