

# モノづくり教育における身体知育成のための脳波活用の研究

北原 立朗\*

Research on the application of brain waves  
for enhancing embodied wisdom during manufacturing education

Tatsuro KITAHARA

## Abstract:

In the age of digital technology, the significance of manufacturing education should not be overlooked. Engineering knowledge and skills are the basis. However, embodied expertise is more important when operating the manual processing machine, which requires delicate adjustment. Cultivating physical sense or "embodied wisdom", such as intuition, imagination, concentration, judgement, inspiration, and sensibility, is an essential pillar of engineering education. This work-in-progress research focuses on student brain activity during manufacturing activities. Using the portable, headband-type devices called "MUSE," this study collected data on student brain activity during different types of manufacturing activities. The current study includes a relatively small sample size (N=5); however, it does identify some preliminary trends. Different reactions were observed in the computer-based study and manufacturing activities. This exploratory study provides a foundation for future studies and the potential for such a portable device to provide insight into educational effects that manufacturing activities may have.

**Keywords:** Manufacturing Education, Embodied Wisdom, Manual Processing Machine, EEG

## 要旨

デジタル化が急速に進展する今日、身体感覚を育むモノづくり教育の重要性を忘れてはならない。

モノづくりにおける手作業や機械加工は、単なる工学的な知識や技能の習得だけでなく、微妙な力加減や、精度を見極める感覚、危険を伴う処置など、直感力・想像力・集中力・判断力・閃き・感性といった様々な「身体知」を必要とする。しかし、個人固有の感覚に基づく「身体知」を抽出し、評価することは極めて難しく、教育現場においてこれらを客観的に判断する指標はない。

本研究は、モノづくり活動中の学生の脳波波形に着目し、ヘッドバンド型簡易脳波計「Muse」を用いて検証を試みた。その結果、PC操作時の活動と身体を使うモノづくり活動が異なる特徴を持つことが脳波の波形から見出された。これらの結果から、教育現場で脳波測定の活用の可能性についても報告する。

**キーワード:** モノづくり教育, 技術教育, 身体知, 機械加工, 脳波測定

## 1. はじめに

技術・工業教育における手加工や機械加工の実践の重要性は、多くの知るところである。しかしデジタル機器を活用した教育が隆盛する今日において、技術・工業教育で行われている身体を使ったモノづくり活動は減少傾向にある。現代のモノづくりは

3D-CAD による自動設計や、CNC マシンによる自動制御加工が主流のため、身体活動によるアナログ的なモノづくりの技能・知識が実用的かと問われれば、その返答には苦心する。

一方で、身体を使ったモノづくりの教育実践は単に加工方法や工具・機械の使用法を習得するだけではなく、仕組みや原理を身体で理解する「身体知」の育成を担っていることを忘れてはならない。「身体知」とは、長い時間をかけて訓練し、練り上げた身体感覚に基づく知識、あるいは技能である。このように記す

---

\*湘南工科大学 工学部 総合デザイン学科 講師

と、職人やトップアスリートの持つ特殊な技巧である「体験知」あるいは「暗黙知」といった言葉を思い浮かべがちであるが、「身体知」の示す意味はもっと広義である。「身体知」とは単に概念的に理解している知識や情報ではなく、身体に宿した知を指す。また、身体と心と社会のすべてに根ざして存立する「知」とされている<sup>(1)</sup>。

したがって、日々の中で培われた習慣や身体所作、特有の生活様式やそこから派生する思想体系も含まれる。場の空気を読む力や、想いを共感し、共同活動を行うといった社会性も内包している。特に「身体を通して腑に落ちて理解し体得した」という感覚こそが「身体知」の大きな特徴であり、大切な要素である<sup>(2)</sup>。こうしたことは科学技術に対するリテラシー能力に密接に関連する。例えば、今日のエネルギー課題を考える上で、その具体的なメリットやデメリット、製造や設備維持にかかるコスト、地域住民の生活や経済の影響への配慮、老朽化や廃棄処理の課題など、多岐に渡る要素を統合し、総合的に理解する必要がある。これらはまさに「身体知」から生み出されるリアルな想像力や、システム全体を鳥瞰できるガバナンス的な視点が必要となる。

このような視点の育成は、近年技術・工業教育においても重要視され始めている。中学校技術科においては、理系領域を横断的に学習する「STEM 教育」の導入や<sup>(3)</sup>、NIRS（近赤外線分光法）を用いた評価の研究<sup>(4)</sup>がなされるなど、試行錯誤が見られる。いずれにしても、そうした視点を育成するためには、身体活動による学びが重要とされ、それは言い換えれば「身体知」をいかに育成するかが、今日の技術・工業教育の課題と言える。

しかし、これまでモノづくりにおける「身体知」は、主観や経験則によって評価されたものであり、どのような活動をすれば、どのような「身体知」が養われるのかという明確な因果関係を示すものはなかった。そのため評価方法も、作品の完成精度、あるいは学生のレポートといった成果物からでしか見出せず、身体の微妙な感覚や動き、機械操作時の判断といった本質的な「身体知」の評価をすることは極めて難しいのが実状である。そこで本研究は、手加工や機械加工などモノづくり活動中に現れる脳波に着目し、ヘッドバンド型簡易脳波計「Muse」を使って脳波波形の測定を試みた。その結果から、モノづくり活動が心理や情動に与えるデータを取得し、「身体知」を客観的に評価・判断する指標を提示することが研究の狙いである。

## 2 研究方法と内容

### 2-1 脳波計「Muse」について

モノづくり時における脳波を、ヘッドバンド型簡易脳波計「Muse」<sup>(4)</sup>を用いて検証する。(Fig.1)

「Muse」は、カナダの InteraXon 社が開発したブレインテックデバイスである。坐禅やヨガなどの瞑想を行う際、自らの脳波波形が可視化されることで、日々の練習効果を確認することができるという機器である。



Fig. 1 ヘッドバンド型脳波計「Muse S」

これまでの脳波計は、多くの電極を頭部に取り付け、そこから数多くの配線が本体に繋がるため、大きな身体動作を伴う活動の計測には適さない。しかし、本機はハチマキのようなヘッドバンドの中央に超小型の脳波計が取り付けられたシンプルな構造となっており、外見はスタイリッシュである。ヘッドバンドは柔軟性に富んだ素材でできており、取り付けは頭部背面でサイズを調節し、マグネットで容易に固定できる。そのため、モノづくり活動など身体動作を伴う活動中においても計測することができ、頭部へのストレスも少ない。このことは従来の脳波計に比べて画期的なことであり、教育現場での使用を想定する上でも特筆すべき点である。

ヘッドバンド裏面には脳波を検出するための電極が 4 カ所取り付けられており、脳波研究分野で広く用いられる「国際 10-20 法」<sup>(6)</sup>の電極配置において、AF7、AF8（前頭部側面）、TP9、TP10（耳の後ろ）に対応している。さらに「Muse」にはジャイロとアクセルメータも内蔵されており、これにより頭部の傾きや動きを検出することもできる。本研究では頭部の動きまでは検証しないが、今後の研究対象にしていく方針である。

なお、本機は技適未取得機器であるため、総務省の特例制度を申請した上で実験している。

## 2-2 専用アプリ「Mind Monitor」について

脳波計「Muse」の一般的な使い方としては「Muse」の開発元である InteraXon 社が提供している専用アプリ「Muse: Meditation & Sleep」をスマートフォンやタブレットでダウンロードして行う。アプリを立ち上げると、様々な瞑想のコースがあり、それに従って瞑想をすることで、深い瞑想時には鳥の鳴き声が聞こえるなど、効果を確認しつつ日々の練習を行うことができる。瞑想終了時は瞑想効果を表すリラックスレベルが数値として評価され、効果の指標となり、毎日習慣的に行う上での励みにすることができる。

しかし専用アプリ「Muse: Meditation & Sleep」は、開発した「InteraXon 社」の独自のアルゴリズムによって瞑想効果を図るものであり、個別の脳波の強弱や優位性を表示することはできない。

そこで今回は、「Muse」から検出された生の脳波データを取得できるアプリ「Mind Monitor」を使用する<sup>7)</sup>。「Mind Monitor」は、プログラマーの James Clutterbuck 氏が個人で開発したアプリケーションである。「Mind Monitor」は先述の「Muse」専用アプリ「Muse: Meditation & Sleep」と異なり、「Muse」で測定した脳波そのものを抽出することを目的としている。脳波検出には様々な表示モードがあり、主要 5 脳波（ $\delta$  波・ $\theta$  波・ $\alpha$  波・ $\beta$  波・ $\gamma$  波）のパワースペクトル密度の優位性、脳波電圧の強弱を約 1 秒毎にリアルタイムで観測できる。（Fig. 2）「Muse」本体で検出された脳波は Bluetooth を介して「Mind Monitor」に送信され、測定中の脳波は随時記録されて Dropbox に保管される。本研究では、被験者数分のスマートフォンを用意し、被験者毎に脳波データを受信できるようにした。

取得した脳波データは、CSV ファイル形式として保存されている。このデータを「Mind Monitor」の Web サイト（Fig. 3）にアップロードすることで即座に脳波解析をすることができる。解析内容は脳波パワースペクトル密度を時間の変化とともにグラフ化する。（Fig. 4）また解析パラメータも複数用意されており、Absolute（脳波パワースペクトル密度の絶対値）の他、Relative（主要 5 脳波の相対値）、指定単位時間における平均値、取得した全脳波値表示に切り替えることもできる。各脳波は必要に応じて表示/非表示の切り替えができる。さらに脳波の強弱の平均は数値としても表示され、それらは脳の前後あるいは左右の偏りの分布も分かるように分類される。

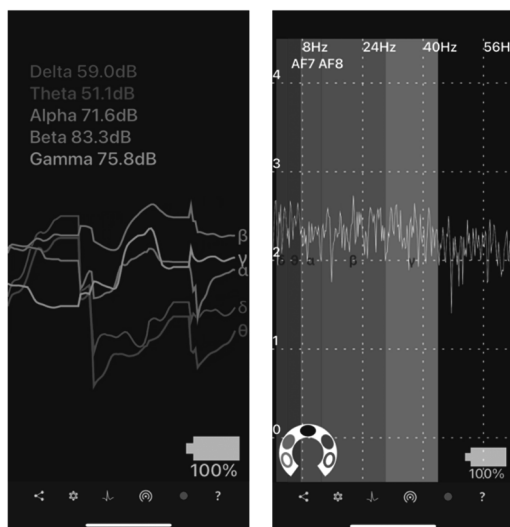


Fig. 2 「Mind Monitor」の脳波測定時の画面

このように、脳波計「Muse」と測定用アプリ「Mind Monitor」を使うことによって、非常に簡易に身体活動中の脳波を測定することから、本研究内容において適した特性を持つ機器と言える。

ここで肝心の「Muse」で得られる脳波データの精度の信頼性について言及する。「Muse」はそもそもコンシューマ向けのフィットネス機器という性質上、医学や生理学の分野で用いられる脳波計に比べると精度が劣るということは否めない。特に検出された脳波データが、開発元の独自のアルゴリズムで評価されることから、脳波パワースペクトル密度値をそのまま使用することには課題が残る。他方、「Muse」は高い品質が求められる事象関連電位の分析に適用可能であるとの検証が既になされているとの報告もある。

国内では「Muse」を用いた研究事例は限られているが<sup>(8-12)</sup>、海外では、ポータブルかつ低価格という特性から様々な研究が行われ<sup>(13-14)</sup>、Google Scholar における検索では約 6000 件の論文が該当するなど、研究手法としての活用が活発化している様子が伺える<sup>(15-16)</sup>。しかし、「Muse」の教育分野への活用に特化した研究事例はほとんど存在しない。

以上のことを総合的に考えると、「Muse」で計測した脳波値そのものをデータとして扱うことは現段階では支障がある。しかし本研究においては、個々の脳波値を検証するのではなく、脳波全体の波形パターンを対象とする。これにより、脳波値の精度に関係なく検証できるため、本研究において「Muse」を活用

することは妥当であると判断する。同時に個々の脳波値データにおいては、あくまで参考データとして提示することを強調しておく。

「Muse」のデータ精度の検証については、今後改めて行なっていく予定である。

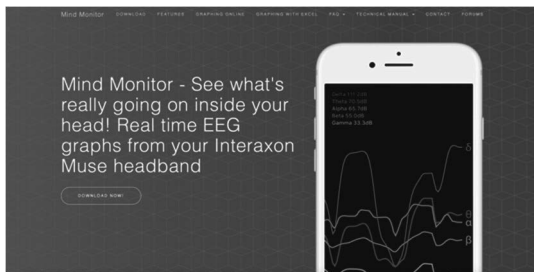


Fig. 3 「Mind Monitor」 Web Site

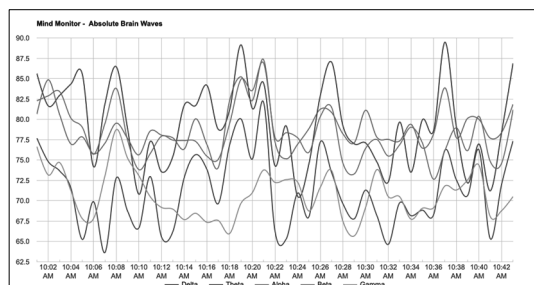


Fig. 4 脳波パワースペクトル密度グラフ

## 2-3 脳波を測定する具体的な内容

脳波計「Muse」と専用アプリ「Mind Monitor」を使用してモノづくり活動中の脳波を計測する。被験者は S 大学の 3・4 年次生 5 名を対象とした。被験者は、モノづくりに関する実習授業において、工具や工作機械の基本的な知識と技能は学んでいるが、あくまで与えられた課題を、指導者の指示のもとで扱うレベルであり、技能レベルは初学者といえる。本研究は教育現場に活かすことを主たる目的としているため、今回の被験者は条件として適していると言える。

なお、本研究の脳波測定については、執筆者の所属機関である湘南工科大学の研究倫理規定審査会による事前承認の下、実施している。また研究対象者に対しては、研究目的と内容を書面にて十分に説明し、個人情報外部に特定されないよう厳重に取り扱うことを理解してもらい、署名による実施への同意を得た上で実施したことをここに記しておく。

具体的に計測した活動内容は以下の 3 種類である。

### 脳波測定①：PC 操作による課題レポート作成時

初めに、モノづくり活動に対する比較実験として、PC 作業中の脳波測定おこなった。具体的には必修科目の授業課題レポートを Microsoft Word を使用して作成している時の脳波を測定した。PC 作業は今時の学生は小中学生から慣れ親しんでおり、特別な説明は不要である。各自の自由形式でレポートを作成している状態の脳波を計測し、所要時間は概ね 30 分から 40 分で全ての被験者が作業を終了した。計測中は静かに作業に集中してもらいが、日常の授業の状態と同様にするため、質問や多少の意見交換、おしゃべりは自由とし、水分補給も許可するなど、自然な授業の雰囲気となるように心がけた。



Fig. 5 PC 作業時の脳波計測の様子

### 脳波測定②：機械加工による簡易なパーツ製作時

次に小型フライス盤（東洋アソシエイツ社製 Little Milling 9）と、卓上ボール盤（マキタ社製 TB131）を使用し、簡易なアルミパーツを製作している時の脳波を測定した。作業自体は基礎的な内容であり、比較的短時間で行うことができる。モノづくり作業の中でもライトな内容として、今回の脳波計測の条件に取り込んだ。作業時間は概ね 10 分程度で完了するため、被験者には同じ作業を 3 回おこなってもらい、合計作業時間は 30 分程度とした。製作するアルミパーツは、予め市販の L 型アルミアングルをおおよそ 70mm 程度に切り分けておき、これを初期加工材として配布した。作業手順と製作物図面は以下の通りとなる。(Fig. 6)

- (i) フライス盤による端面切削（基準面加工）
- (ii) ハイトゲージによる全長とキリ穴位置けがき
- (iii) フライス盤による反対端面の仕上げ切削
- (iv) センターポンチによるキリ穴位置のマーク
- (v) 卓上ボール盤によるキリ穴空け加工
- (vi) バリ取り、仕上げ



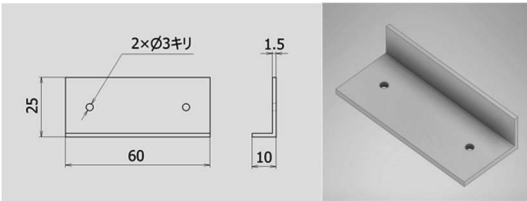


Fig. 6 小型フライス盤と手加工による製作物図面



Fig. 7 小型フライス盤作業時の脳波計測の様子

### 脳波測定③：汎用旋盤によるアルミ材の加工

最後に、本格的な機械加工である汎用旋盤加工作業時の脳波を計測した。材料はアルミ丸棒φ30mmを予め100mmの長さにカットして用意し、下記に示すパーツを2個製作した。(Fig. 8)

1 個のパーツを製作するための所要時間はおおよそ40分前後であった。被験者には同じ作業を2回行なってもらい、それぞれの作業中の脳波を分けて測定した。使用した旋盤は教育機関で一般的に用いられる機種である「WASHINO 社製4尺汎用旋盤」を用いた。旋盤加工の主な作業手順を以下に示す。

- (i) 作業準備・材料チャッキング
- (ii) 端面仕上げ切削・外形切削(φ30からφ29)
- (iii) 段切削(φ29→φ18, 長さ18)
- (iv) 穴空け(センタドリル, 下穴φ6, 穴空けφ13)
- (v) 高速切断機による切断
- (vi) 反対面仕上げ端面切削

なお、被験者は以前に一度同じパーツを製作しており、大まかな手順は経験済みである。

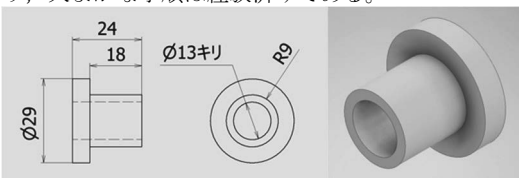


Fig. 8 汎用旋盤による製作物モデルと図面



Fig. 9 旋盤加工時の脳波測定の様子

## 3 検証方法

以上の3種の活動から得られた脳波をグラフ化する。そこから主要となる脳波の波形パターンを比較し、特徴や類似性について検証する。主要5脳波の特徴は一般的に周波数帯によって分類されている<sup>(17)</sup>。下記にその分類内容を示す。

脳波名称	周波数帯	主な情動・状態
デルタ波 (δ)	1-4Hz	睡眠時
シータ波 (θ)	4-8Hz	睡眠導入時・瞑想時
アルファ波 (α)	8-13Hz	リラックス・閉眼時
ベータ波 (β)	13-30Hz	論理思考・知的活動時
ガンマ波 (γ)	30-44Hz	興奮時・緊張時

Table 1 主要5脳波の分類

「Mind Monitor」によって、これら5脳波が色別されてグラフ表示される。1秒毎に計測した全データを表示することもできるが、データ数が多すぎて波形パターンが逆に見づらいため、一定時間毎の平均を表示するAverageモードを使用する。このグラフに現れる脳波パターンと各脳波の特徴を用いて、それぞれの活動を分析していく。なお、「Mind Monitor」によるグラフは、脳波の変化を詳細に表示するエクセルマクロモードもあるが、今回は実際の教育現場でも容易に脳波を調べられることを想定しているため、Webモードによる簡易グラフを使用することとする。

## 4 結果と検証

### 4-1 脳波測定①：PC によるレポート課題作成時の脳波グラフ

被験者は 5 名であったが、1 名分のデータが脳波計の通信エラーで上手く取得できなかったため、4 名分のグラフを提示する。(Fig. 6-9) グラフは 5 種の脳波推移で構成され、それぞれ下記の色で示される。

【赤： $\delta$  波，紫：シータ波  $\theta$ ，水色：アルファ波  $\alpha$ ，黄緑：ベータ波  $\beta$ ，橙：ガンマ波  $\gamma$ 】

なお、 $\delta$  波に関しては深い睡眠時における脳波であり、ノイズも入りやすいため、今回の検証の対象から外すこととする。

縦軸は脳波パワースペクトル密度の数値であり、各脳波の強さを示す。単位は dB である。「Mind Monitor」Web サイトによるグラフ化は、縦軸のスケールが脳波値に対してオートで調整がなされるため、グラフによっては縦軸の目盛りが若干異なってくる。しかし今回は、脳波の正確な値ではなく、脳波の波形に注目しているため、結果を検証する上で大きな支障はない。横軸は時間を示し、被験者がレポート作成を開始から完了するまでの時間である。被験者によって測定時間も異なるが、どのグラフも概ね 30～40 分前後となっている。

グラフ波形から読み取れる内容として、全てのグラフにおいて、各脳波の強弱の変動が顕著であり、各種の脳波の優位性の入れ替わりが激しいことが挙げられる。これは脳の活動全体に常に揺らぎがあると言え、思考・集中・緊張・リラックスなどの情動が入り混じった状態とも言える。

個々の脳波種については、被験者によってその優位性が異なるため、一概に情動の変化や心理状態を検証することはできない。また先述の通り、「Muse」が検出する個々の脳波値には精度について課題が残るため、以下の検証はあえて参考にとどめておく。

特徴としては、思考状態を司る  $\beta$  波は常に高いことから、PC 作業の中でも常に考えながら作業を行っていたと言える。逆にリラックスや瞑想状態で現れる  $\alpha$  波・ $\theta$  波の活性はあまり見られないことから、脳の動きはむしろ活発であったと言える。特に被験者 M のグラフは  $\beta$  波と共に、 $\gamma$  波が高い値を示している。これは緊張や興奮状態であったことを示している。

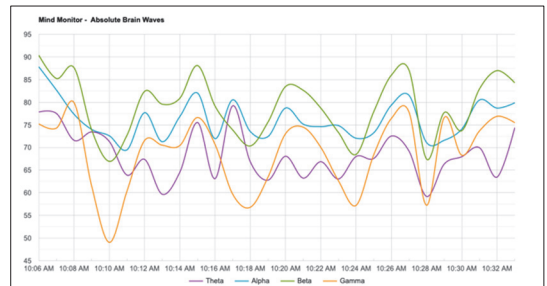


Fig. 6 脳波測定①：被験者 I

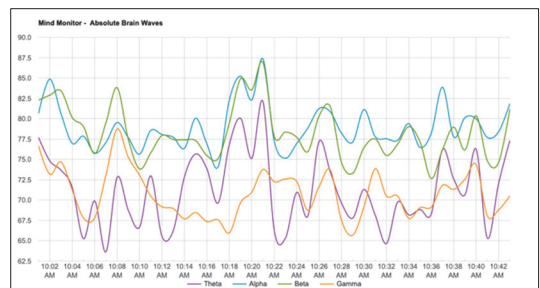


Fig. 7 脳波測定①：被験者 T

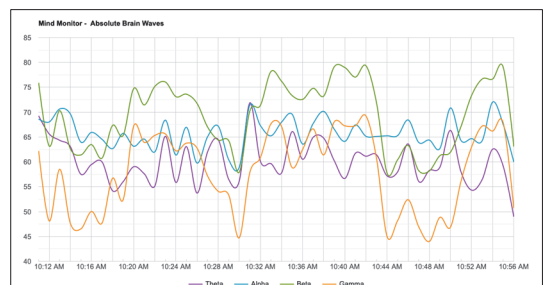


Fig. 8 脳波測定①：被験者 S

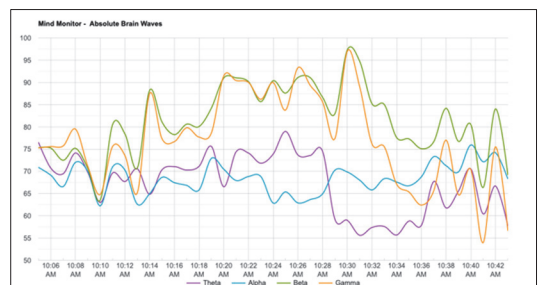


Fig. 9 脳波測定①：被験者 M

#### 4-2 脳波測定②：機械加工による簡易なパーツ製作時

この計測は、被験者が同作業を3回行ったため、5名×3回＝15種の脳波グラフを取得した。今回はうち2名分のグラフを抜粋して提示する。1回あたり概ね10分程度で終了する作業を3回繰り返したので、1名の被験者の測定時間は合計で30分前後となる。ただし、計測自体は作業毎に分けて測定した。よって1名につき3回分のグラフを以下に示す。(Fig. 10, 11)

グラフから特徴として、前半と後半に大きな山が見て取れるが、これは作業の前半のフライス盤加工、後半のボール盤の穴あけ加工という機械作業のタイミングと脳波の山が一致している。このことから、機械加工を行う際は、脳波全体のパワースペクトル密度が上がる事が分かる。

グラフ波形はPC作業に比べて、緩やかなカーブで構成されている。また脳波の優位性が一定であり、3回とも揺らぎがほとんど見られない。これはここに提示していない他の被験者3名のグラフにも同様の特徴が見られた。このことから、簡易な加工作業時は、脳波が落ち着いていて一定であり、よって情動も安定していることが窺える。

また1回目の作業よりも、2回目あるいは3回目になるにつれて脳波全体のパワースペクトル密度も低減している。これは、1回目は作業に慣れていないため緊張し、作業工程を考えながら加工するために脳が活発に働いた一方で回数を重ねるうちに作業内容を体で覚えて、その分脳内の思考自体が減少して脳波全体のパワー値が下がったのではないかと推察する。

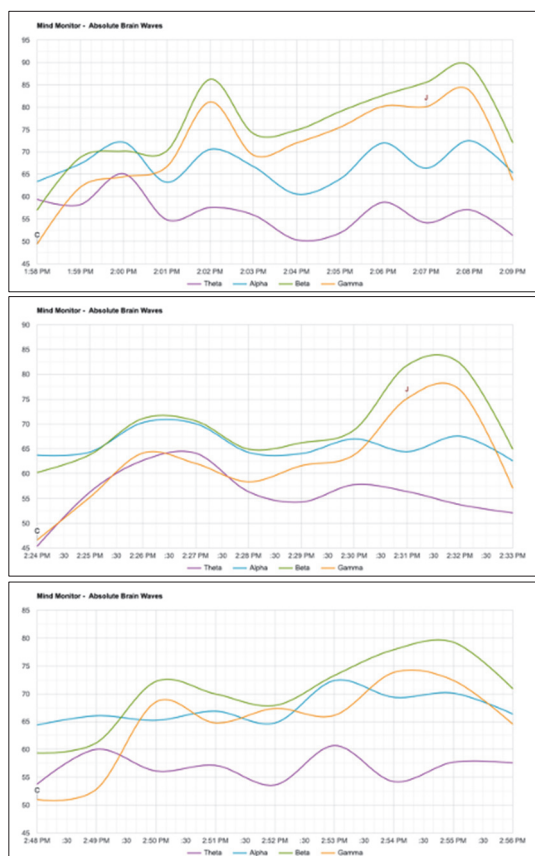


Fig. 10 脳波測定②：被験者 T (1/2/3 回)

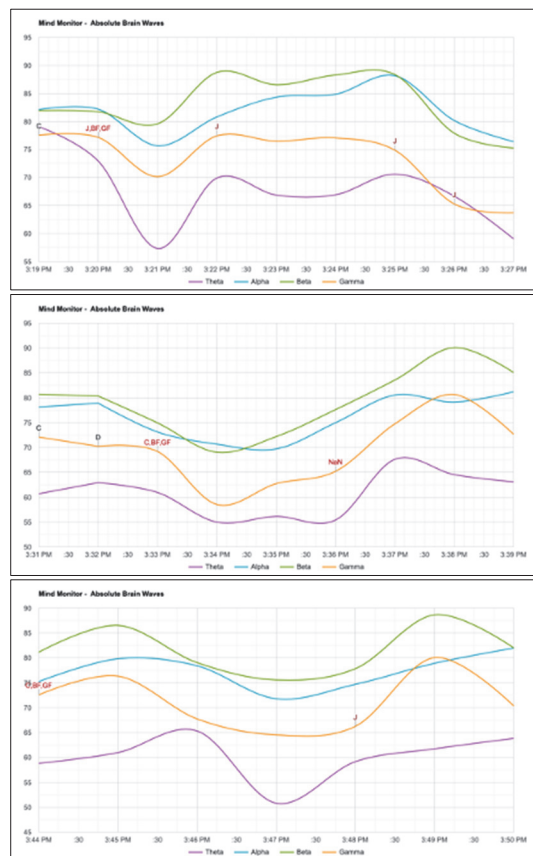


Fig. 11 脳波測定②：被験者 I (1/2/3 回)

#### 4-3 脳波測定③：汎用旋盤によるアルミ材加工時の脳波グラフ

この測定については、被験者は同作業を 2 回行ったため、5 名×2 回=10 種の脳波グラフがある。今回はその中から 3 名分を抜粋して提示する。(Fig. 12-14)

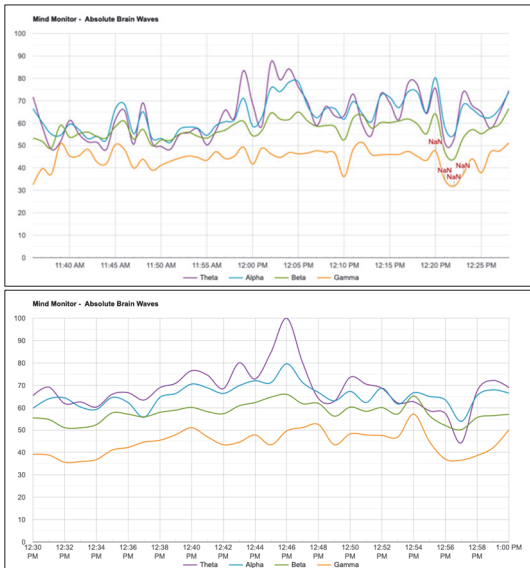


Fig. 12 脳波測定③：被験者 T (1 回目/2 回目)

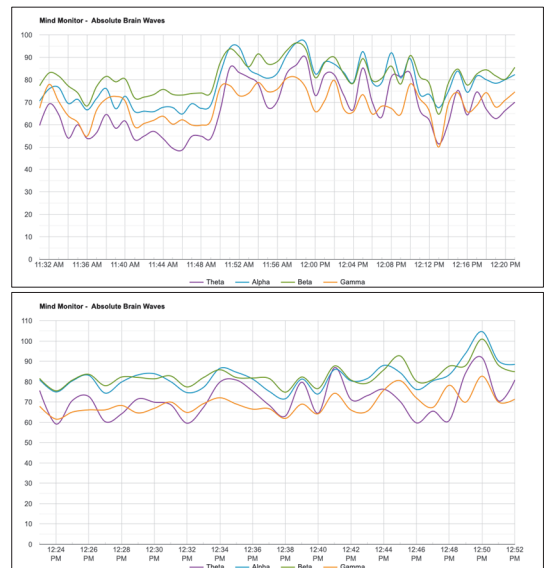


Fig. 14 脳波測定③：被験者 M (1 回目/2 回目)

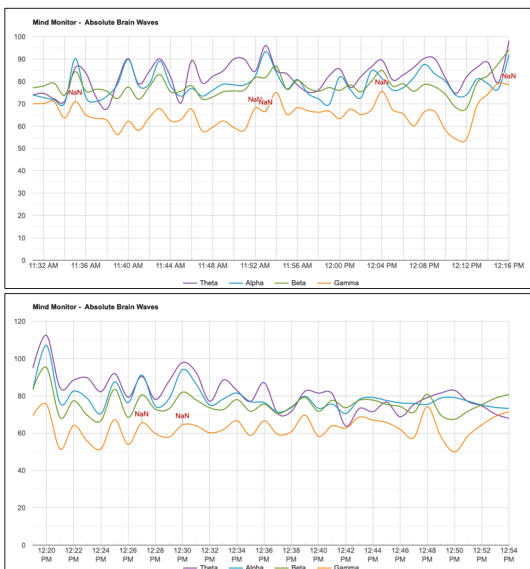


Fig. 13 脳波測定③：被験者 S (1 回目/2 回目)

測定時間は、作業に入ってからパーツを完成させるまでなので、被験者によって若干異なる。しかし、1 回目の作業は概ね 45 分程度かかるのに対し、2 回目は 30 分程度で終了した。これは明らかに 2 回目の方が作業に慣れて効率化したことが伺える。

被験者である学生にとって、汎用旋盤による加工は、機械加工の中でも難易度と危険性が高く、誤った使用法や操作ミスによっては大事故にも繋がる可能性がある。そのため、被験者から測定される脳波がどのような波形になるか非常に興味を持って測定に臨んだ。

結果としては、「脳波測定②：機械加工による簡易なパーツ製作時」に比べ、波形に多少の揺らぎはあるが、脳波種の優位性に大きな入れ替わりの変化はなく、それぞれ一定の間隔のまま推移していた。また、どのグラフも 1 回目の作業より、2 回目の方が脳波全体のパワースペクトル密度値も減少し、揺らぎも落ち着き、緩やかなカーブを描いている。時間軸を見ても 2 回目の方が完成までに要した時間が少ない。このことから、「脳波計測②」と同様に、回数を重ねることで作業に慣れ、余計な思考や脳の全ての働きが減少し、グラフ全体の値が下がったのではないかと考えられる。



## 5 考察

本研究を通して以下の点を明らかにすることができた。

①脳波計「Muse」と計測用アプリ「Mind Monitor」を活用して、モノづくり活動中の脳波波形を測定し、比較検討することができた。またこのことから、「Muse」を実際の教育現場においても利用できる可能性を見出すことができた。

②PC 作業によるレポート作成時と、旋盤やフライス盤など工作機械を使用してモノづくりをしている時の脳波波形は明らかに異なる結果となった。特に PC 作業中は脳波の揺らぎが顕著であり、脳の活動が落ち着いていないことが分かった。

③モノづくり時の脳波波形は作業内容によって程度の差はあれ、大きな揺らぎがなく、一定の状態で推移していた。このことからモノづくり時の脳の状態は比較的落ち着いているということが言える。

④モノづくり時において、作業の回数が増える毎に、脳波パワースペクトル密度の全体値は下がる傾向にあった。このことから作業回数をこなすことで作業自体に慣れ、その分思考活動が減少したのではないかと推察される。

⑤「Muse」が検出する主要 5 脳波の精度や信頼性においては更なる検証が必要である。そのため本研究では各脳波の強弱や波形から検証するといったことは避け、作業別に現れる脳波全体の波形の検証に特化した。個々の脳波データの信頼性については、他種類の脳波計と比較するなどし、精度を高めていきたい。

## 6 結言

簡易脳波計「Muse」を用いてモノづくり教育活動時の脳波波形を計測し比較検証を試みた。結果として、「Muse」から活動毎に特徴的な脳波波形を取得することができ、「Mind Monitor」を使用した実際の測定プロセスも確立することができた。今後は、様々なモノづくり活動において脳波波形パターンを収集することで、新たな発見がなされる可能性もある。さらには、脳波波形パターンの分類を「興味関心」の観点や「創意工夫」の観点など、教育現場で使われる評価指標と組み合わせることで、これまで主観的に捉え

られていた評価観点に、脳波波形という客観的根拠を持たせて活動に臨めるといった活用も期待できる。

海外では、「Muse」など、ポータブル脳波測定器（PEEGT）の教育的活用に関する研究が蓄積されつつある。そこから、エビデンスベースの教材開発や研究に役立つ一方で、測定エラーなどの課題もあるため、使用の際には複数の研究データの収集が不可欠であることが指摘されている。それらの成果によって、普通教育などへ、広く活用が期待される<sup>(18)</sup>。

今回脳波測定をモノづくり教育現場に活用するという試みは達成できた。しかし、研究の大きな主旨は、モノづくりにおける「身体知」の育成及び評価であるため、あくまで基礎的研究として位置付けておく。引き続き本研究を深めていきたい。

## ＜参考文献＞

- (1)(2) 諏訪正樹, 「身体知という研究領域」, 人工知能 32 巻 2 号, pp.215-217, pp.247-25, 2017.
- (3) 「次世代の学びを創造する新しい技術教育の組み」日本産業技術教育学会, 2021, pp.1-2.
- (4) 竹野英敏「NIRS を用いた鉄工やすりによる平面仕上げ非熟練者における脳活動の評価」, 産業技術教育学会全国大会要旨集, 2021.
- (5) Muse 公式サイト: <https://choosemuse.com>
- (6) 開一夫, 他「脳波解析入門 EEGLAB と SPM を使いこなす」東京大学出版会, 2020.
- (7) Mind Monitor 公式サイト: <https://mind-monitor.com/#page-top>
- (8) 長嶋洋一「脳波センサ”MUSE”は新楽器として使えるか」情報処理学会研究報告 (2015-MUS-110) 1-6, 2016.
- (9) 長嶋洋一「脳波バンド “MUSE”による心理計測の可能性について」, 日本音楽知覚認知学会春 2016 季研究発表会資料, 2016.
- (10) 長嶋洋一「脳波センサ “Muse 2”・“Muse S”は新楽器として使えるか」, 研究報告音楽情報科学, pp.1-8, 2020.
- (11) 井藤 元, 山下 恭平「脳波測定をつうじたシュタイナー教育における「手仕事」の分析」, 東京理科大学教職教育研究第 7 号, pp.3-12, 2021.
- (12) 井藤元, 山下恭平, 徳永英司「シュタイナー教育における楽器演奏時の脳波の分析」, 東京理科大学教職教育研究第 6 号, pp.13-23, 2020.

- (13) Simar, Cédric, Mathieu Petieau, Anita Cebolla, Axelle Leroy, Gianluca Bontempi, and Guy Cheron. 2020. "EEG-Based Brain-Computer Interface for Alpha Speed Control of a Small Robot Using the MUSE Headband." IEEE Xplore. July 1, 2020. <https://doi.org/10.1109/IJCNN48605.2020.9207486>
- (14) Peining Pan, Gary Tan, and Aung Aung Phyto Wai. 2017. "Evaluation of Consumer-Grade EEG Headsets for BCI Drone Control." IRC conference on science, engineering, and technology. August 2017. [https://www.researchgate.net/publication/323692301\\_Evaluation\\_of\\_Consumer-Grade\\_EEG\\_Headsets\\_for\\_BCI\\_Drone\\_Control](https://www.researchgate.net/publication/323692301_Evaluation_of_Consumer-Grade_EEG_Headsets_for_BCI_Drone_Control)
- (15) Sawangjai, Phattarapong, Supanida Hompoonsup, Pitshaporn Leelaarporn, Supavit Kongwudhikunakorn, and Theerawit Wilaiprasitporn. 2020. "Consumer Grade EEG Measuring Sensors as Research Tools: A Review." IEEE Sensors Journal 20 (8): 3996–4024. <https://doi.org/10.1109/jisen.2019.2962874>
- (16) Przegalinska, Aleksandra, Leon Ciechanowski, Mikolaj Magnuski, and Peter Gloor. 2018. "Muse Headband: Measuring Tool or a Collaborative Gadget?" Studies on Entrepreneurship, Structural Change and Industrial Dynamics, 93–101. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-74295-3\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-319-74295-3_8)
- (17) 平井富雄「座禅の科学 脳波からみたそのメカニズム」, ブルーボックス, 1982.
- (18) Xu, Jiahui, and Baichang Zhong. 2018. "Review on Portable EEG Technology in Educational Research." Computers in Human Behavior 81 (April): 340–49. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2017.12.037>