

和歌山大学学生自主創造支援部門（クリエ） クリエプロジェクト  
＜2025 年度ミッション成果報告書＞

プロジェクト名：脳情報総合研究プロジェクト

ミッション名：Synapse Space Project (SSP)

ミッションメンバー：システム工学部3年 三谷 陸人、システム工学部3年 坂田樹

キーワード：脳波 (EEG)、混合現実(MR)、Meta Quest 3S、集中度計測、パーソナライズ

## 1. 背景と目的

本ミッションでは、ユーザの脳波 (EEG) から抽出した情報を使って、リアルタイムで MR 空間を制御する、EEG に基づいた「パーソナライズされた MR 体験」の実現を目指している。MR コンテンツは、現実世界に仮想情報を重ねることで、作業支援や教育などの現場で活用されており、ユーザに対して強いインパクトを与える特徴を持つ。ここに、非侵襲的でリアルタイム性に優れた脳波を組み合わせることで、デバイス側がユーザの状態を理解し、MR 空間を動的に変化させることが可能になると考えた。

本ミッションの到達目標は、脳波計と HMD (ヘッドマウントディスプレイ) を統合したシステムを構築し、脳波から抽出した情報 (集中度や瞬き) によって、MR 空間の色彩や UI、オブジェクトを操作できるようにすることである。

## 2. 活動内容

Meta Quest 3S と 8 チャンネル脳波計 (OpenBCI Cyton 8) を統合したシステムを構築した。

### 2.1 ハードウェアの選定と装着の工夫

脳波計には OpenBCI Cyton を採用し、国際 10-20 法に基づき、F3、F4、Fz、Cz、O1、O2、Pz の計 7 チャンネルの電極を配置した。計測に際しては、HMD のストラップが頭頂部の電極 (Fz、Cz、Pz) に干渉するという物理的課題が生じたが、HMD のトップストラップを取り外して装着することで、デバイス間の物理的干渉を回避した。

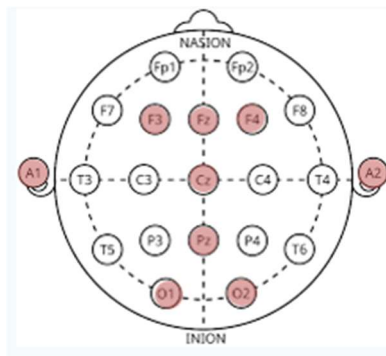


図 1：脳波計の電極の位置



図 2：実際に脳波計と HMD を装着した様子

### 2.2 ソフトウェア構成と信号処理

システムは、データ処理を担う Python と、MR 空間の描画・制御を担う Unity の 2 層構造で構築した。

- データ処理 (Python/Brainflow)：脳波計から送信された生の EEG データに対し、直流オフセット除去、3Hz~45Hz のバンドパスフィルタ、および西日本地域の商用電源ノイズを除去する 60Hz のノッチフィルタを適用し、解析に適したクリーンな波形を抽出した。
- データ伝送：処理済みのデータは、UDP 通信を用いてリアルタイムで Unity へ送信する

仕組みを実装した。

- 空間制御 (Unity/Meta XR SDK) : 受信した脳波データに基づき、MR 空間内のオブジェクトや視覚効果を動的に変化させるスクリプトを C# で記述した。



図 3 : システム構成図

### 2.3 実装した機能とできなかったこと

- 瞬き検知 : F3・F4 の電極から瞬き特有の電位変化を検出し、MR 空間でフラッシュのような演出を発生させる機能を実装した。
- 集中度の計測・メーター : F3 の脳波から  $\alpha$  波と  $\beta$  波を高速フーリエ変換 (FFT) で抽出し、その比率から集中度を算出した。集中度が高い時には空間の彩度を上げ、低い時には下げる。キャリブレーションを実装して、精度を上げることが出来た。実際に HMD をかけている時に計測したときは精度が落ちていると感じた。

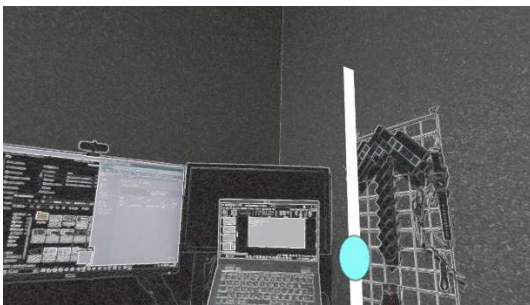


図 4 : 集中度が低い時のメーターと彩度



図 5 : 集中度が高い時のメーターと彩度

- Unity のみで動くシステムの構築 : 脳波計から Python を介さずに Unity に脳波を送信し、MR 空間を制御するシステムも構築した。C# で EEG データを扱うのは難しいと判断し、今回は簡単なデータ受信のシステムまでしか作成しなかった。
- 想起推定システムの構築 (未完) : 特定の色や果物を想像することで MR 空間を操作する「想起推定」の実装を試みた。SVM (サポートベクターマシン) を用いた学習を行ったが、リアルタイムでの判定精度が極めて低く、実用的なレベルには至らなかった。
- HMD による脳波影響の定量化 (未完) : HMD から発生する電磁波や物理的な圧迫が脳波データに与える影響を数値化しようと試みた。しかし、目視や簡易的な波形比較では有意な差を検出できず、定量的な解析手法を確立することができなかった。

### 3. 活動の成果や学んだこと

本ミッションを通じて、脳波を取得して、MR 空間を動的に動かすシステムを構築することができた。また、このシステムを構築するために、脳波に関する基本的な知識や、脳波の取得、処理手法を体系的に学ぶことが出来た。

#### 3.1 脳波の特性と生理学的知識の習得

活動開始当初はできるだけ多くの場所から脳波を取って分析すれば良いと考えていたが、具体的にシステムを設計する中で、脳の部位ごとの役割や脳波の信号の特性を学ぶ必要性に直面した。

- 部位別特性の理解： 国際 10-20 法に基づき、前頭葉 (F3, F4) が集中度といった感情・動作に関連し、後頭葉 (O1, O2) が視覚情報に関連するといった部位ごとの役割を理解した上で、必要な部位の脳波を選定することができるようになった。
- 信号の微弱さとノイズ： 脳波が極めて微弱な信号であり、瞬き (眼電位) や身体の動き (筋電位)、周囲の電子機器から発せられる環境ノイズに容易に埋もれてしまうということを、脳波処理のコーディングをする際に学んだ。

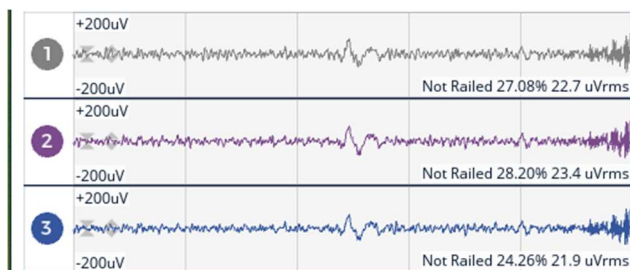


図 6 : F3、F4、Fz で検出した瞬きによるノイズ

#### 3.2 デジタル信号処理技術の実装と学び

生の脳波データから情報を抽出するため、以下のデジタル信号処理の手法を実装し、その原理を学んだ。

- フィルタリング技術の習得： 信号から不要な成分を除くため、直流オフセット除去に加え、特定の帯域のみを通す「バンドパスフィルタ (3Hz~45Hz)」や、商用電源のハムノイズをピンポイントで除去する「ノッチフィルタ (60Hz)」を実装した。

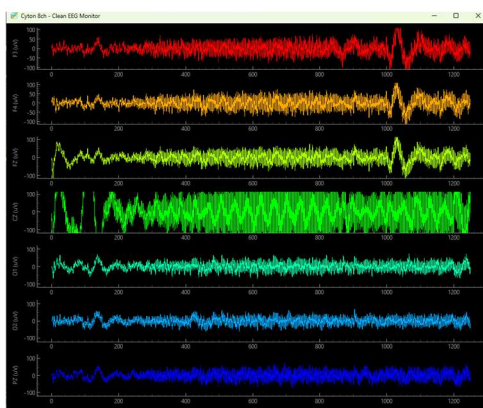


図 7 : ノッチフィルタなしの脳波

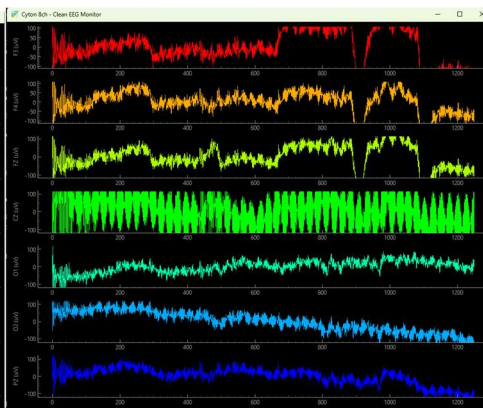


図 8 : バンドパスフィルタなしの脳波

- 周波数解析 (FFT) の応用：時間領域の波形を周波数領域へと変換する高速フーリエ変換 (FFT) を用い、 $\alpha$  波 (8Hz~13Hz) や  $\beta$  波 (13Hz~30Hz) のパワー値を算出する手法を学んだ。これにより、集中度を定量的な数値として扱うことができた。

### 3.3 技術不足の自覚と成長の糧

想起推定の実現においては、自身の知識不足を痛感する結果となった。

- 機械学習への理解：SVM (サポートベクターマシン) を実装したが、脳波のような複雑な時系列データから「色」や「形」といった情報を識別するには、現在保有している特徴量抽出の知識や学習モデルの構築技術が不足していることを自覚した。
- 脳波への理解の少なさ：リアルタイムで想起したものを識別するためには、どのようにデータセットを作ればよいのか、抽出した脳波をどう扱えばよいのかが分からなかった。先行研究を探す力も足りないと実感させられた。

## 4. 今後の展開

今回のミッションで構築した「脳波→Python→Unity」という基盤システムを土台とし、今後は以下の点に注力する予定である。

- リアルタイム想起推定の実装：脳波の時系列解析についてもっと学習して、リアルタイムに想起した内容を推定するシステムを構築したい。
- マルチモーダルによる感情推定： $\alpha$  波、 $\beta$  波に加えて心拍等の生体信号を用いて感情を分類するシステムを構築したい。
- HMD 影響の検証：HMD を装着することによって脳波に与える影響について検証する手法を確立し、HMD から発生しているであろうノイズを除去したり、物理的な干渉による影響を調べたりしたい。

## 5. まとめ

本ミッションでは、脳波を用いて MR 空間をパーソナライズするという、理想のシステムに向けて、瞬きによる操作、集中度による彩度の変化を実装することが出来た。ミッション活動を開始した当初は、今ある脳波計を使ってどのようなデータがとれるのか、現実的にどのようなことが可能なのか分からない状態で活動しており、ぼんやりとしたゴールに向かって、手探りでシステムを作っていくといった開発環境だった。

今回のミッションを通して、具体的なゴールを見据えて、ロードマップを作成し、地道に1つずつ調査をし、機能を実装していくことが大切であると実感した。実現できなかった機能もあるが、脳の部位ごとの役割や特性を深く学び、自分自身の技術不足を把握できたことは、今後の活動における大きな収穫だった。「Synapse Space Project」の最終目標である、脳波によるパーソナライズされた空間の実現に向け、今後も主体的に学び、技術的な挑戦を続けていきたい。