

Dreamachine VR : サイケデリック体験を誘発する脳波駆動型 VR

亀田 美裕^{1,a)} 寺田 博亮¹ 松本 朋己¹ 岩崎 李音¹ 平林 真実¹ 前田 真二郎¹ 飛谷 謙介¹
小林 孝浩¹

概要：本研究では、体験者の脳波状態に応じて VR 空間内の映像と音響を動的に変化させることで、安全かつ効果的に変性意識状態 (altered state of consciousness, 以下 ASC) を誘導可能な脳波駆動型の VR 体験設計を提案する。本研究では、明滅する光刺激 (フリッカ) によって ASC を誘発する装置として Brion Gysin が考案した Dreamachine に着目する。Dreamachine やその再現コンテンツのような従来の手法は、体験者の状態に関わらず一定のタイムラインで刺激を与え続ける。しかし、体験の質は単なる物理刺激のみならず、体験者の内部状態 (セット) と環境 (セッティング) の相互作用によって変化しうると考えられる。そこで提案手法では、体験者の α 波成分をトリガとして視聴覚刺激の展開を制御するバイオフィードバック機構を採用した。これにより、体験者の生理状態に適応した、従来手法よりもスムーズな没入体験の提供が期待される。また本手法の有効性を検証するため、具体的な視聴覚演出を実装した VR 環境を構築し、現在調査を進めている。

1. はじめに

1.1 背景と目的

本研究の目的は、非薬理的な手法を用いて、安全かつ効果的に変性意識状態 (Altered States of Consciousness, 以下 ASC) を誘発するインタラクション設計の手法を確立することである。近年、サイケデリック物質が脳の可塑性を高め、メンタルヘルスケアや創造性拡張に寄与する可能性が再評価されているが、物質に伴う法的・身体的リスクを回避しつつ同様の治療的効果を得る手段として、没入型メディアである VR (Virtual Reality) の活用が注目されている [1]。ASC を誘発する非侵襲的な装置の先駆的な例として、1960 年代に Brion Gysin, Ian Sommerville によって考案された Dreamachine がある [2]。これは閉眼状態で 8-13Hz の点滅光 (フリッカ) を浴びることで、幾何学的な擬似幻覚やトランス状態を促すものである。近年行われた研究において、Glowacki らの Isness[3] において、マルチユーザ VR 空間での神秘的体験 (Mystical Type Experiences, 以下 MTEs) が、薬物による体験に匹敵する強度の実在感 (is-ness) や自己超越感をもたらすことが実証されている。

1.2 関連研究と課題

サイケデリック体験の質を決定するのは、物質そのものの薬理作用だけでなく、受容者の期待や意図といった内的要因であるセット (Set) と、物理的・社会的環境であるセッティング (Setting) の相互作用である [4], [5]。近年の脳科学知見によれば、サイケデリックな体験において脳は内的・外的なコンテキストに対して極めて敏感な状態になるため、これらの管理が不可欠である [6]。従来の物理的な Dreamachine やサイケデリック体験コンテンツは、体験者の生理状態に関わらず一定のタイムラインで刺激を与える場合が多い。しかし、フリッカ刺激による脳波の引き込み強度は、刺激周波数が個人のアルファ周波数 (IAF) に近いほど強まるということが証明されている [7]。また、個人の視覚的イメージ能力の違いが、誘発される擬似幻覚の鮮明さや複雑さに有意な差をもたらすことも明らかになっている [8]。前述した Isness などは高度なコンテキスト設計を備えているが、体験の進行は事前に設計された時間軸に依存している。没入までの所要時間や刺激に対する感受性には大きな個人差があるため、時間に依存した進行では、体験者のセットが整わないまま強力なセッティング (刺激) へ移行し、不快感や意図しない体験 (バッド・トリップに類する状態) を招くリスクが残されている。

¹ 情報科学芸術大学院大学

^{a)} miyuk25@iamas.ac.jp

1.3 対象とする ASC

本研究では、様々な ASC の中でも、特に Dreamachine の明滅刺激によって引き起こされる「擬似幻覚 (Pseudo-hallucinations, 以下 PH)」に着目する。一般に、ASC は薬理学的手法や瞑想、感覚遮断など多岐にわたる要因で生じ、その内容は自己超越感や一体感といった情緒的・存在的変容から、知覚的な視覚ハルシネーションまで幅広い。前述した Isness は、主に自我の溶解や一体感を特徴とする神秘的体験 (MTEs) の誘発を目的としていた。これに対し、本研究が着目する Dreamachine の体験の本質は、閉眼状態で 8-13Hz のフリッカ光刺激を受けることで、脳波がフリッカ周期と同期し、結果として色彩豊かな幾何学的パターンや万華鏡のような動的映像が、内因的に生成される点にある。この現象は、精神疾患に伴う制御不能な幻覚とは異なり、刺激の提示や除去によって制御可能であり、かつ体験者がそれが非現実であることを自覚しているため、科学的に擬似幻覚 (PH) と定義される [8]。近年の研究によれば、PH の内容は単なる幾何学模様にとどまらず、個人のイメージ能力の高さに応じて、顔や風景、物語性を帯びた鮮明かつ複雑な視覚体験へと発展することが示されている [9]。神経科学的な観点からは、これらの幻覚は、脳内の予測的処理 (Predictive Processing) におけるボトムアップの感覚入力とトップダウンの予測のバランスが崩れ、内部モデルが感覚データに対して過剰に重み付けされた結果であると解釈できる [10]。すなわち、PH の発生と深度は、物理刺激というセッティングだけでなく、体験者の心理的・生理的な準備状態というセットに強く依存している。したがって、本研究では PH を単なる視覚的なノイズとしてではなく、セットとセッティングが最適に統合された結果として現れる現象と捉える。ニューロフィードバックを用いてこの PH の導入プロセスを動的に制御することで、より確実かつパーソナライズされた ASC 体験の構築を目指すものである。

1.4 ニューロフィードバック

ストロボ誘発性幻覚 (Stroboscopically Induced Visual Hallucinations: SIVH) は Purkinje によって報告された現象であり [11]、閉眼時に発生し、不定形な色、幾何学模様、色鮮やかな万華鏡のようなイメージの強烈な視覚体験をもたらす。また、放射状、螺旋状、グリッド状といった幾何学的パターンの視覚体験はフリッカー周波数によって決定されることが知られている。Mauro らの研究によれば 10Hz 未満のストロボ刺激は放射状パターンを、10~20Hz の刺激は渦巻きパターンを誘発する傾向があり、これらの幻覚は特に 5 から 20Hz の範囲で顕著に現れることが確認されている [12]。

さらに、Deep Dream を使用した幻覚に類似した映像と音響の提示により、シロシビン投与下のサイケデリック状態



図 1 Dreamachine 再現機による脳波計測実験

と類似する主観的体験が誘発可能であることが報告されている [1]。また、Lange らは『Bridging Psychedelic VR and BCI』において、リアルタイムのニューロフィードバックを用いてサイケデリック VR 体験と BCI (Brain-Computer Interface) を橋渡しする試みを行っている [13]。彼らの研究では、 α 波の変化を映像変調のパラメータとして用い、サイケデリック状態の特徴の一つであるデフォルトモードネットワーク (DMN) の抑制、すなわち α 波パワーの減少を促進するような適応的な体験提示が行われた。

以上を踏まえ、本研究では EEG を用いて ASC を誘発することに加え、導入プロセスを最適化することを目的とした脳波駆動型 VR アニメーションシステムを構築する。

1.5 本研究のアプローチ

本研究では、体験者の脳波 (EEG) をリアルタイムにモニターし、生理的な準備状態が整ったことを判定して初めて次のフェーズへ移行する VR システムを提案する。具体的には、Brion Gysin が Dreamachine の着想を得たとされるバス移動中の木漏れ日体験 [14] という物語を VR 空間内で追体験させ、ASC を誘発する音を採用することで、ASC へのスムーズな導入を図る。この物語体験は単なる映像演出ではなく、体験者のセットを調整するためのキャリブレーション・フェーズとして機能する。本システムは、著者らが並行して実施している物理的な Dreamachine 再現機による EEG 計測実験の知見 [15] を基に設計されており、後述する脳波駆動型 VR システムを実装することで、セットとセッティングの最適化を実現する。図 1 は EEG 計測実験の様子である。

2. 体験の設計

2.1 コンセプト

本システムは、体験者が Brion Gysin (あるいは Ian Sommerville) のアバターと身体的に同調し、Dreamachine 発明に至るプロセスを一人称視点で追体験するものである。

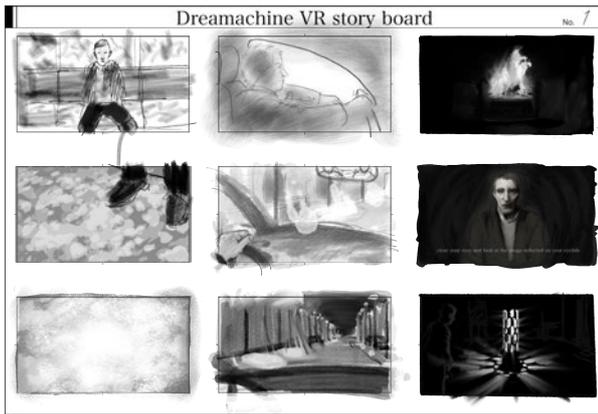


図 2 ストーリーボード

体験は5~10分程度で構成され、HMDを着脱することなく、物語世界（VR映像）から内面世界（PH）へとシームレスに接続する。従来のDreamachineが単なる光刺激装置であったのに対し、本提案ではそこに至るコンテキストをVRで提示することで、スムーズなASCへの導入を図る。

2.2 シナリオとシーン構成

体験は大きく導入（物語）と覚醒（光刺激）の2つのフェーズで構成される（図2）。

(1) 導入：バスの移動（物語の追体験）

窓から差し込む太陽光が街路樹によって遮られ、断続的な明滅となるシーン。これがDreamachineの原体験となる。エンジンの重低音と環境音、後述するバイノーラルビートを採用した音を提示し、当時のGysinの身体感覚を再現する。

(2) 変遷：アトリエへの移動

バスを降り、Gysinが運転する車に乗りDreamachineが設置されたアトリエへと移動する。

(3) クライマックス：閉眼と光の儀式

アトリエでDreamachineの前に座り、体験者は目を閉じる。ここでVR映像による視覚情報から、HMD内部のLEDによる純粋なフリッカ光刺激へと切り替わる。物理的な光の明滅と、音が同期することでPH体験へと移行する。

2.3 音響設計

視覚刺激に加え、聴覚刺激（立体音響）を設計する。特に光の明滅が始まる前のVRパートにおいて、音響に特定のリズム（ α 波帯域など）を埋め込むことで、脳波の同調を促す効果を狙う。フリッカへの没入をより効果的なものとするため、聴覚刺激においてもセットとセッティング理論に基づいた動的な設計を行う。

2.3.1 環境音と同調音の多層化

本システムでは、物語世界を構成する環境音層と、脳波

同調を促す同調音層の二層構造を採用する。環境音層では、バスのエンジン音や走行音、車内の微細なノイズを配置し、リアリティのある空間表現（距離減衰・遮蔽・残響）を行う。同調音層では、河野らのASCを誘発する音刺激に関する研究[16]を参照し、左右の耳に異なる周波数を提示することで生じるバイノーラルビート、特定の周波数帯域における振幅変調成分を生成する。これらを環境音に対して薄く重ねることで、体験者の注意を外界（バスの車内）から内界（PH）へとスムーズに移行させる導入用サウンドスケープを構築する。

2.3.2 EEGによる演出連動

バスのエンジン音や環境音に対し、脳波データやシーン進行度に応じてリアルタイムな反映、例えば α が安定して増えるほど同調音層の強度（位相差・AM深度・帯域の明瞭さ）を段階的に上げ、緊張・覚醒が高い兆候（変動増大や β 優位）が見られる場合は刺激的成分を自動的に抑えて環境音中心に戻すなどのことを行い、安全にASC導入を最適化したインタラクションを設計する。

3. 実装

3.1 システム概要

本研究のシステム構成を図3に示す。本システムは、体験者の生理状態に応じて視覚・聴覚・光刺激を統合的に制御する脳波駆動型VR体験システムであり、ASC、特にPH状態へ移行するための導入プロセスをリアルタイムに最適化することを目的として設計されている。本研究においてVRは、単なる視覚呈示装置ではなく、PH体験に至るための心理的・生理的準備状態（セット）を形成するための体験的インタフェースとして位置づけられている。導入フェーズにおけるVRアニメーションは、VR体験を通じて体験者の注意と身体感覚を徐々に内側へ向け、PH体験へと移行するための橋渡しとして機能する。システムの基幹部にはUnreal Engine 5 (UE5)を用い、VR映像のレンダリングに加え、音響およびLED制御を含む全刺激を単一の状態遷移ロジックに基づいて管理する。これにより、あらかじめ設計された一定のタイムラインに従って体験を進行させるのではなく、体験者の生理状態を入力とした状態遷移型のインタラクションを実現している。UE5側では、リアルタイム取得したEEG指標（ α 波活性度）を用いて、VRアニメーションの動作パラメータ調整、シーン遷移判定、および覚醒フェーズにおける光および音刺激制御を行う。これにより、本システムは体験者ごとの準備状態に応じて、安全かつ段階的にASCへ導入することが可能となる。

3.2 ハードウェア構成

本システムは、展示環境において安定かつ安全に運用可能な構成を前提として設計した。HMDのイメージ画は

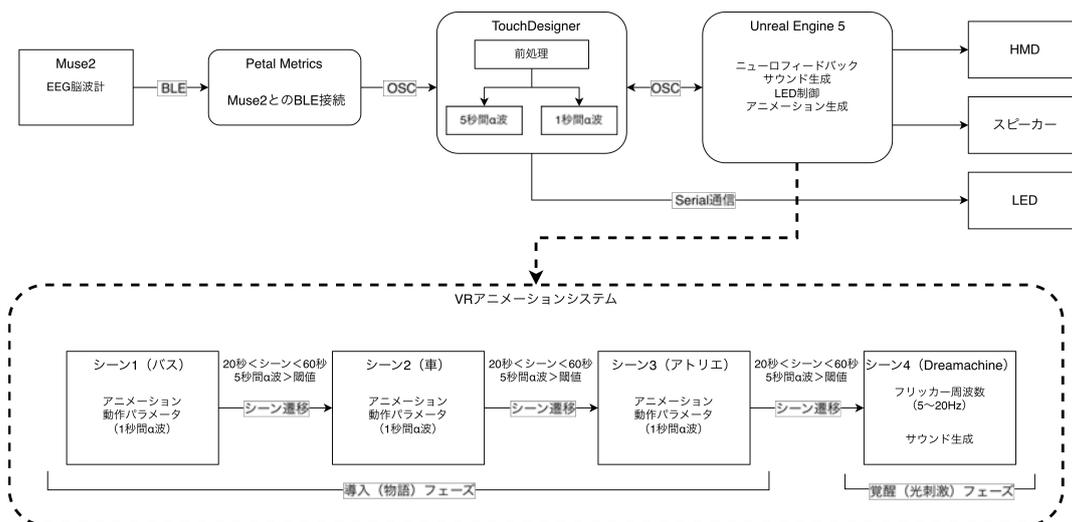


図 3 システム構成図

図 4 を添付した。体験者はすべてのフェーズにおいて椅子に着座した状態で体験を行い、身体移動を伴わないインタラクションとすることで、ASC における転倒や動作による脳波へのノイズリスクを低減している。HMD には Meta Quest 3 を使用し、VR 空間の視覚呈示を行う。VR 映像は Unreal Engine 5 (UE5) によりリアルタイムに描画され、導入フェーズにおける環境提示および覚醒 (光刺激) フェーズを制御する。覚醒フェーズにおける視覚刺激には、VR 映像のみでは再現が困難な高輝度かつ高速な明滅刺激を呈示するため、HMD 内部のデッドスペースに アドレス サブル LED (NeoPixel) を内蔵した。この LED は外部マイコン (M5Stick) によって制御され、閉眼状態の体験者の顔越しにストロボ刺激を呈示する。呈示するフリッカー刺激の周波数は 5–20 Hz の範囲に制限し、過度な刺激を避けるため輝度および変調幅に上限を設けている。脳波計測には前頭部および耳周辺に電極を有する簡易脳波計 (Muse 2) を用い、体験中の脳波信号を取得する。取得した脳波データは Bluetooth 通信により Windows 11 搭載 PC 上の TouchDesigner へ送信され、リアルタイムで周波数解析および特徴量抽出が行われる。抽出された脳波特徴量は OSC 通信を介して UE5 に送信され、映像、音響、および光刺激制御の入力として用いられる。また、脳波状態が不安定な場合には刺激強度を抑制または停止する設計とすることで、安全性を確保している。

3.3 ソフトウェア・アセット構築

VR 空間のモデリングには Blender を使用し、1960 年代のバス車内、並木道、アトリエ等の空間を構築した。作成したアセットは FBX 形式で UE5 へインポートし、Unreal Engine 上でマテリアル調整およびライティングを行った。アニメーションとしては、車窓を流れる影の速度や、アトリエ内のオブジェクトの挙動など ASC への移行を暗示す

る演出を作成している。

3.4 ニューロフィードバック

本システムでは EEG を用いて ASC を誘発することに加え、導入プロセスを最適化することを目的とした脳波駆動型 VR アニメーションシステムを構築した。具体的には、以下の 3 段階のアプローチを採用している。

第一に、導入フェーズにおけるパラメータ変調である。体験者の EEG 指標を VR アニメーションの動作パラメータとして用いる。具体的には相対 α 波パワーを入力として、バスの走行速度、環境音のリズムや周波数成分、あるいは炎や光源の揺らぎといった演出に微細な変動を与える。これにより、単調なループ再生ではなく、体験者の生理状態に応じた有機的な揺らぎを持つシーン生成を実現する。

第二に、VR アニメーションのシーン遷移トリガとしての利用である。導入フェーズにおいて、体験者の α 波成分が所定の閾値を超えたタイミングで、次のアトリエのシーンへ自動的に遷移させるゲーティング機構を実装する。これにより、体験者がリラクセス状態 (セットの確立) に至っていない場合は導入シーンが継続され、十分に準備が整った段階でのみ進行する。なお、体験の停滞を防ぐため、各シーンの滞留時間は脳波状態に関わらず最小 20 秒から最大 60 秒の範囲に収まるよう設計し、体験の全体的な構成を保つ。

第三に、覚醒 (光刺激) フェーズにおける幻覚体験の制御である。体験者の α 波出力強度に応じてフリッカー周波数を 5Hz から 20Hz の範囲でリアルタイムに変動させる。先行研究 [12] に基づけば、この周波数帯域の変化は放射状から渦巻き状への幻覚パターンの変化に対応するため、体験者の生理状態によって知覚される幾何学的パターンを動的に変容させることを意図している。

4. 評価実験計画

提案手法の有効性を検証するため評価実験を実施する予定である。当該実験の概要を以下に述べる。

4.1 実験概要

提案する導入の効果を検証するため、以下の2条件で比較実験を行う。

条件 A (提案手法) VRによるストーリー体験(バス〜アトリエ)を経て、閉眼・光刺激へ移行する。

条件 B (対照群) 導入なしで、最初から閉眼・光刺激のみを体験する(LEDのみの刺激)。

4.2 評価指標

- **主観評価:** アンケートおよびインタビューにより、「幻覚の鮮明さ」「没入感」「時間の感覚(主観的時間が現実より短く/長く感じたか)」を調査する。
- **生理指標:** 脳波計を用い、 α 波の増強や脳波同調の早さを計測することで、導入によるプライミング効果を定量的に評価することを目指す。

4.3 展望

条件 A (導入あり)の方が、条件 Bと比較してより短時間で深いASCへ移行し、主観的な幻覚体験の強度が向上すると仮説を立てている。また、導入部のアニメーションと音による同調が、光刺激への感受性を高めることが期待される。

5. おわりに

本研究では、体験者の生理状態(セット)と環境(セッティング)の相互作用に着目し、脳波駆動型のVR体験システムを提案・実装した。従来のDreamachineやその再現コンテンツが固定的なタイムラインで刺激を提示していたのに対し、本システムは体験者の α 波活性度をトリガとした進行制御システムを採用した。具体的には、Brion Gysinの原体験であるバス移動の物語をVRで再構築し、これをASCへ移行するためのキャリブレーション(セットの構築)として機能させた。また、Unreal Engine 5と簡易脳波計、およびHMD内蔵LEDを連携させ、視覚・聴覚・光刺激をリアルタイムに統合制御する環境を構築した。本アプローチは、薬理学的手法を用いずに、個人の特性に最適化された安全なASC体験を提供する新たなインタラクションデザインの指針となるものである。今後は、予備的検討で示した比較実験を通じて、提案手法が主観的な幻覚体験の深度や生理的な同調効果に与える影響を定量的に検証する。また、展示空間における物理的なセットアップ(振動デバイスや空間演出)を含めた体験設計の更なる洗練を進



図 4 HMD イメージ画像および実際に作成した HMD

めていく予定である。

参考文献

- [1] Suzuki, K. et al.: The Hallucination Machine: A Deep-Dream Virtual Reality Platform for Studying the Phenomenology of Visual Hallucinations, *Scientific Reports* (2017).
- [2] Gysin, B.: Dreamachine Plans (1960). Created by Brion Gysin, System for inducing alpha waves.
- [3] Glowacki, D. R. et al.: Isness: Using Multi-Person VR to Design Peak Mystical-Type Experiences Comparable to Psychedelics, *Scientific Reports* (2022).
- [4] Leary, T., Metzner, R. and Alpert, R.: *The Psychedelic Experience: A Manual Based on the Tibetan Book of the Dead*, University Books (1964).
- [5] Hartogssohn, I.: Set and setting, psychedelics and the placebo response: An extra-pharmacological perspective on psychopharmacology, *Journal of Psychopharmacology* (2016).
- [6] Carhart-Harris, R. L. et al.: Psychedelics and the essential importance of context, *Journal of Psychopharmacology* (2018).
- [7] Notbohm, A., Kurths, J. and Herrmann, C.: Modification of brain oscillations via rhythmic light stimulation provides evidence for entrainment, *Frontiers in human neuroscience*, Vol. 10, p. 10 (2016).
- [8] Reeder, R. R. et al.: The Ganzflicker experience: High probability of pseudo-hallucinations with limited cognitive demand, *Cortex* (2021).
- [9] Hewitt, T. et al.: Stroboscopically induced visual hallucinations: A review of 200 years of history and the neurobiological mechanisms, *Neuroscience & Biobehavioral Reviews* (2025). (Preprint or Upcoming).
- [10] Corlett, P. R. et al.: Hallucinations and Strong Priors, *Trends in Cognitive Sciences* (2019).
- [11] Purkinje, J. E.: *Beiträge zur Kenntniss des Sehens in subjektiver Hinsicht*, Vetterl, Prague (1819).
- [12] Mauro, F., Raffone, A. and VanRullen, R.: A Bidirectional Link between Brain Oscillations and Geometric Patterns, *Journal of Neuroscience*, Vol. 35, No. 20, pp. 7921–7926 (online), DOI: 10.1523/JNEUROSCI.0390-15.2015 (2015).
- [13] Lange, L., Yenney, J. and Wu, Y. C.: Bridging Psychedelic VR and BCI: Enhancing User Experience through Adaptive EEG-Guided Neural Modulation, *Proceedings of the Nineteenth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction (TEI '25)*, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 1–7 (online), DOI: 10.1145/3689050.3705999 (2025).
- [14] Gysin, B. and Wilson, T.: *Here to Go: Planet R-101*, Re/Search Publications (1982).
- [15] Institute of Advanced Media Arts and Sciences: Augmented State Project, https://www.iamas.ac.jp/master_projects/augmented-state-project/ (2025). Accessed: 2025-12-22.
- [16] 河野貴美子, 坂本政道, 世一秀雄, 高木治, 小久保秀之, 山本幹男: 両耳聴性変則音刺激と変性意識, 国際生命情報科学会誌, Vol. 31, No. 1, pp. 34–39 (オンライン), DOI: 10.18936/islis.31.1_34(2013).