

青山学院大学理工学部
情報テクノロジー学科
2024年度卒業研究論文

Immersion Neckwear:
動画体験拡張ネックウェア

2025年1月28日提出

指導教員 ロペズ・ギヨーム 教授

提出者 学生番号 氏名
15821009 岩本 空

Immersion Neckwear:

動画体験拡張ネックウェア

岩本 空 (15821009)

ロペズ研究室

1. はじめに

定額制動画配信サービスの普及により、有料動画配信サービスの利用者が増加している。これに伴い、動画視聴の形態も大きく変化し、インターネット回線を活用した動画鑑賞の市場規模が拡大している。一方、技術の進化により、映画館での視聴体験も新たな楽しみ方として提案されており、特に 4DX（Four Dimensional eXperience）技術の導入により、五感を刺激する没入型の体験が提供されている[1]。

よって、本研究の目的は、動画の映像に合わせて、五感を刺激するフィードバックを行い、自宅での動画体験を拡張することである。そのため、研究目標として、映像に合わせて振動・風の強弱・温冷感を提示する頸部装着型ウェアラブルシステム Immersion Neckwear を創作し、一人での動画鑑賞の没入感向上することを目指す。Immersion Neckwear を利用した動画鑑賞のイメージ図を図 1 に示す。



図 1 Immersion Neckwear を利用した動画鑑賞の例

2. 関連研究

岡本ら[2]は、ワイヤアクションゲームをプレイ中の風の強度が臨場感に与える影響を検証した。風なし、一定の風、ワイヤアクションで引っ張られるときの速度に応じた風の 3 つの条件で評価したところ、風力変化がある状態が最も臨場感が高いことが判明した。前田[3]らは、複数の体の部位に装着可能な熱フィードバ

ックシステム TherModule を提案した。実験では、TherModule を装着し、視覚と温度フィードバックを受けながら映画を鑑賞した被験者は、視覚のみの被験者に比べて「楽しさ」と「興奮度」が有意に高いことが確認された。Kim [4]らは、触覚刺激が映画鑑賞中の感情変化と没入感に与える影響を調査した。ポジティブなシーンで柔らかい刺激を受けるとポジティブな感情と没入感が増加し、ネガティブなシーンでは柔らかい刺激がネガティブな感情を軽減することがわかった。

上記のように、風や温度、触覚刺激が没入感や感情に与える影響は示されたが、多感覚フィードバック（振動、風、温冷感）の統合的な効果は十分に検証されていない。そのため、本研究では振動、風の強弱、温冷感を組み合わせた多感覚フィードバックシステム Immersion Neckwear を創作し、これが動画鑑賞における没入感やユーザ体験に与える影響を評価する。

3. Immersion Neckwear の概要

本研究で創作した頸部装着型の没入感向上デバイス、Immersion Neckwear、の画像は図 2 に示し、構成している主な要素は以下にまとめている。

- インターフェース部：nRF Connect
- 制御部：Arduino Nano 33 BLE
- 電源部：5500mAh リチウムイオンバッテリ
- 温冷部：ペルチェ素子 TEC1-03105
- 風部：ターボプロワファン B0DB5SDX91
- 振動部：振動モータ LBV10B-009



図 2 Immersion Neckwear の全体像

4. Immersion Neckwear の没入感効果検証実験

Immersion Neckwear の有無による動画体験の印象の違いを比較し、有効性を検証した。被験者は 20 代の男女 10 名（男性 8 人、女性 2 人）が、25 分程度のアクションアニメを視聴し、視聴後 SD 法を用いたアンケートで主観的な評価を収集した。実験手順として、表 1 に対応している、フィードバックを起こす場面の個数がほぼ等しい 2 つの動画を用意し、被験者は Immersion Neckwear の有無で動画鑑賞を行った。視聴後には SD 法によるアンケートに回答し、さらに Immersion Neckwear を使用した被験者には SUS アンケートを実施した。

表 1：場面とフィードバックの種類の対応

場面の種類	フィードバック
そよ風、爆風、向かい風	風
爆発、炎が出現するシーン	温感
氷が出現するシーン	冷感
戦闘シーン(攻撃が当たるシーン)	振動

5. 結果

表 2、表 3 は Immersion Neckwear の有無での SD 法に基づいた形容詞対による印象評価を因子分析した結果から、因子解釈を行った結果を示す。装着時に、評価性が高まるところから、動画視聴の没入体験が高まったと考えられる。

また、SUS アンケートによるユーザビリティ評価では、平均値が 65 点であり、本システムのユーザビリティは改善の必要があると考えられる。また、システムの装着および起動に技術的サポートが必要と感じた被験者、デバイスの重さおよび大きさが不快に感じる被験者もいた。

表 2：システムありの時の、因子解釈

因子	形容詞	因子の解釈
1	「好きな」、「良い」、「迫力のある」	評価
2	「興奮した」、「強い」、「気持ちのいい」	活力
3	「はっきりした」、「リアリティのある」	現実性

表 3：システムなしの時の、因子解釈

因子	形容詞	因子の解釈
1	「迫力のある」、「良い」、「興奮した」、「強い」	活力
2	「はっきりした」、「リアリティのある」	現実性

6. まとめ

本研究では、多感覚フィードバックを提供する没入感向上デバイス Immersion Neckwear を開発した。実験結果では、Immersion Neckwear を装着した動画鑑賞において、ユーザがよりポジティブな印象を抱き、動画の没入感が向上することが確認された。特に、SD 法によるアンケートの因子分析で、システムの装着により評価性が高まることが示された。一方、ユーザビリティをより向上させるためには、ユーザインターフェースの改善、デバイスの軽量化が必要である。

参考文献

- [1] 株式会社 I C T 総研:2023 年有料動画配信サービス利用動向に関する調査 . <https://ictr.co.jp/report/20230421.html>. (最終参照日 : 2025/1/3)
- [2] 岡本早織, 羽田久一: ゲームプレイ中の風の強度による臨場感の変化、エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2022 論文集, pp. 135–138 (Aug 2022).
- [3] 前田智祐, 倉橋哲郎: ウェアラブルな温冷覚多点提示システム TherModule の基礎検討, 第 23 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集 (Sep. 2018)
- [4] Kim. A, Bae. H, and Lee. K.: Effects of Tactile Perception on Emotion and Immersion to Film Viewing in a Virtual Environment, VRST '19: Proceedings of the 25th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology, pp.1–3 (Nov 2019)

目 次

第 1 章 序章	1
1.1 研究背景	1
1.1.1 映像体験の変化	1
1.1.2 映画館での視聴体験	2
1.1.3 映画館での視聴体験の拡張	2
1.2 研究目的と目標	3
1.3 本論文の構成	4
第 2 章 関連研究	5
2.1 コンテンツ体験の拡張	5
2.2 動画鑑賞時の感情推定	6
2.3 コンテンツ評価	7
2.4 フィードバックによるコンテンツ体験の変化	8
2.4.1 風による動画体験の拡張に関する研究	8
2.4.2 温度による動画体験の拡張に関する研究	9
2.4.3 振動によるコンテンツ体験の拡張に関する研究	10
2.4.4 香りによるコンテンツ体験の拡張に関する研究	11
2.5 映画鑑賞体験の拡張	12
2.6 評価実験によるコンテンツ評価	13
2.7 本研究の位置づけ	15
第 3 章 Immersion Neckwear:	
動画体験拡張ネックウェア	16
3.1 Immersion Neckwear の概要	16
3.2 Immersion Neckwear の基本設計	17
3.2.1 各要素の機能詳細	17
3.3 ハードウェアの設計	18
3.3.1 热源の選定と温度制御	18
3.3.2 その他電子部品の選定	22

第4章 Immersion Neckwear の没入感効果検証実験	25
4.1 実験概要	25
4.2 実験手順	25
4.3 SD 法	26
4.4 SUS	27
第5章 実験結果および考察	29
5.1 実験結果	29
5.1.1 SD 法の評価結果	29
5.1.2 SUS の評価結果	31
5.2 考察	31
5.2.1 SD 法の評価結果に関する考察	31
5.2.2 SUS の結果に関する考察	32
第6章 結論	34
6.1 まとめ	34
6.2 今後の展望	34
参考文献	37
付録A SD 法に基づいたアンケートフォーム	42
付録B SUS に基づいたアンケートフォーム	46

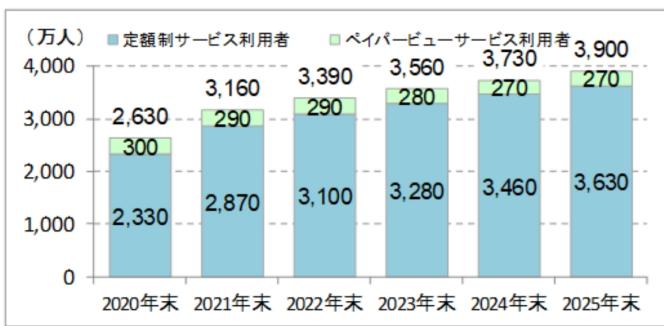
第1章 序章

本章では、本研究における研究背景、目的および本論文の構成について述べる。

1.1 研究背景

1.1.1 映像体験の変化

近年、定額制で利用可能なサービスの増加および、新型コロナウイルス感染拡大によって高まった巣ごもり需要によって有料動画配信サービスの利用者が増加している。図1-1の示すように、動画配信サービスの利用者数の需要予測では2025年には3900万人まで利用者が拡大すると予測されている[1]。



* ICT総研による利用者数推計。無料サービスは対象外とした。
* 定額制サービス … 月額料金で見放題となるサービス。
* ペイパービュー(PPV)サービス … 1本ごとに課金されるサービス。
* 1人のユーザーが定額制とPPVの両方を利用する場合は定額制サービス利用者としてカウント。

図1-1: 有料動画配信サービスの利用者の需要予測 ([1]より引用)

有料動画配信サービスの普及に伴い、動画視聴の形態も大きく変化している。好きなタイミングで視聴を開始でき、チケット代および交通費などのコストを削減可能なインターネット回線を活用した動画鑑賞が数年で市場規模を拡大している。図1-2で示すように、GEM Partners 株式会社が発表した、2023年の動画配信（VOD）市場規模推計と、その後2028年までの各年の市場規模を3つのシナリオで予測した「動画配信（VOD）市場5年間予測（2024-2028年）レポート」によると、有料配信の市場規模はコロナ禍前の2019年と比較するとほぼ倍に成長すると予測されている。さらに、2028年には7371億円に増加することが予測されており、更なる成長が期待されている。有料配信の市場規模の拡大と付随して、特定の配信サービスのみで視聴可能なオリジナルコンテンツも増加している[2]。

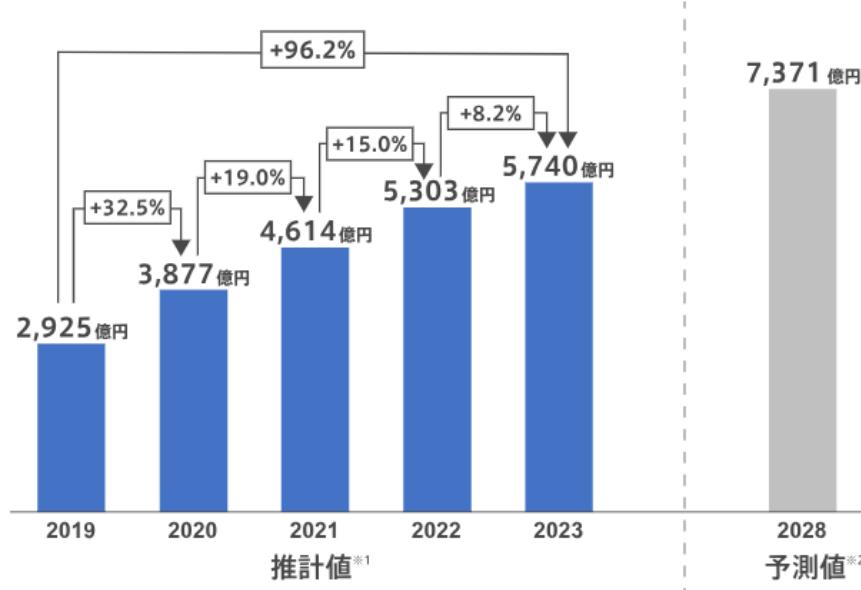


図 1-2: 動画配信サービス 国内の市場規模の推移と予測（[2] より引用）

1.1.2 映画館での視聴体験

株式会社プラネットが実施した映画に関する意識調査によると、図 1-3 から、映画を見るときに、映画館で映画を見たい人が全体の 3 割を占めており、特に 20 代については男女ともに自宅で映画を見たい人より映画館で見たいと回答した人の方が上回っている。映画館で見たいと回答した人の中には映画館で見ることのメリットとして「観客の笑い声や泣き声などに包まれ、一体感をもたらしてくれるところ」と回答している [3]。他の調査でも映画を映画館で見たい理由として、非日常感を味わえることおよび、没入感を感じられることが上げられている [4]。

株式会社スパコロが実施した映画館の利用意識調査によると、「コロナ禍の映画館においてみたいと思う作品はどんな作品か？」の問い合わせに対して、図 1-4 で示すように、回答結果を分析・可視化したところ「アクション」「迫力」「SF」「サスペンス」「映像」「臨場感」「アニメ」など語句が目立っており、劇場だからこそそのダイナミックな映画体験が感じられる作品が映画館で観たい作品と考えられていることがわかる [5]。

1.1.3 映画館での視聴体験の拡張

近年、映画館での視聴体験は大きく変化しており、技術の進化とともに新たな楽しみ方が提案されている。特に注目されるのが 4DX (Four Dimensional eXperience) 技術の導入である。映像と連動して座席が動く、水しぶきおよび風、香りなどの特殊効果を体感可能なシステムで、観客に五感を刺激する没入型の体験を提供する。本技術により、単に映画を「見る」だけでなく、まるで映画の中に入り込んだかのような臨場感を楽しむことが可

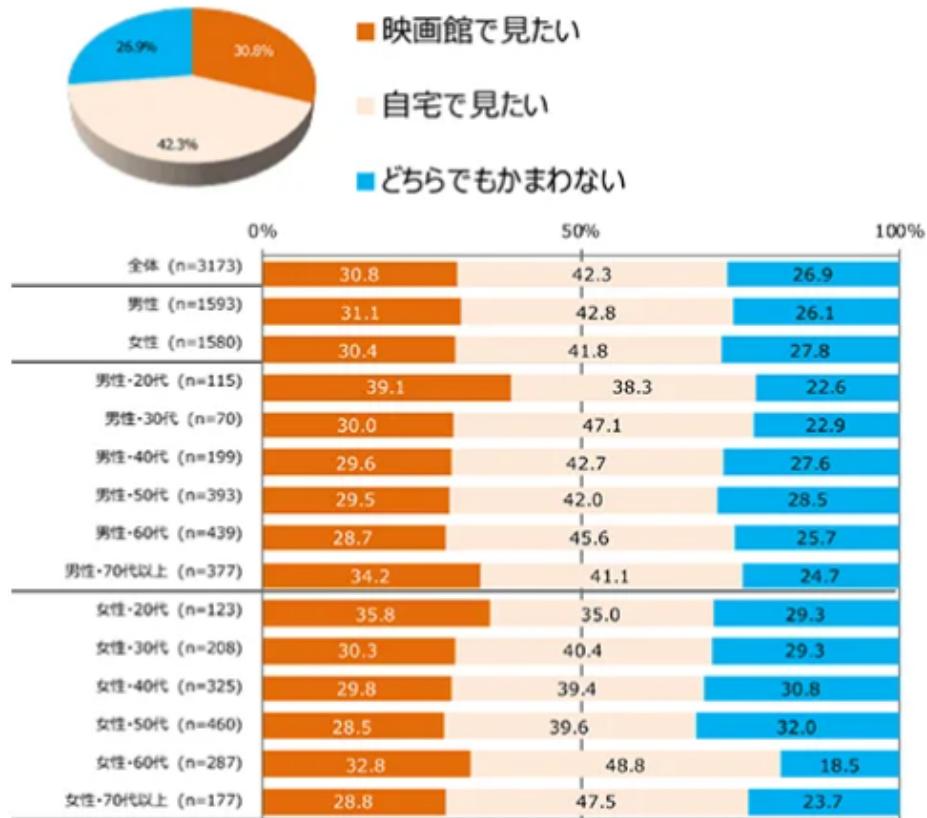


図 1-3: 映画を見る際の、映画館鑑賞と自宅鑑賞の比率（[4] より引用）

能である。図 1-5 は、MediaMation 社が開発した体験型 4D シアターシステムの概要図である。また、IMAX および Dolby Atmos などの大画面・高音質技術も進化しており、映像美と音響効果がよりリアルに感じられるようになっている。これにより、映画館での視聴体験は単なるエンターテインメントから、特別なイベントかつ記憶に残る体験へと変化してきている。

1.2 研究目的と目標

定額制で利用可能なサービスの増加および、新型コロナウイルス感染拡大によって高まった多くの需要に伴い、多くの人が配信を利用した自宅動画鑑賞に親しんでいる。一方で、映画館で映画を楽しんでいる人も大勢おり、その中には「没入感」および「一体感」の観点、映画のジャンルによって、映画館での映画鑑賞を好む人がいる。本研究では、動画の映像に合わせて五感を刺激するフィードバックを行い、自宅動画体験を拡張することを目的としている。本技術が実現すれば、自宅での動画体験の満足度の向上が可能となる。その目標に向けて、本論文では映像に合わせて振動・風の強弱、温冷感提示をするシステムを創作する。

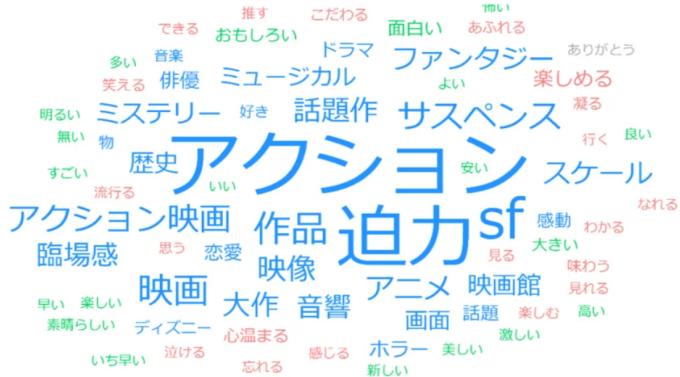


図1-4: 映画館で見たいと思う作品はどんな作品? : ワードクラウド(頻出語句)([5]より引用)



図 1-5: MediaMation 社「MX4D」（[6] より引用）

1.3 本論文の構成

第1章では、本論文の研究背景、研究目的及び論文の構成について述べる。第2章では関連研究について説明する。第3章では、システムの概要について説明する。第4章では、実験方法について説明する。第5章では、実験結果と考察について説明する。第6章では、本論文の結論と今後の展望について述べる。

第2章 関連研究

本章では、関連研究について述べる。

2.1 コンテンツ体験の拡張

代蔵らは、図2-1に示すような他者の存在を感じながら動画を鑑賞するシステム「ExciTV」を活用し、ユーザの興奮度を皮膚コンダクタンス反応で評価することを提案した。ユーザのSCRデータと動画に対する評価には相関が見られ、他者の反応を含めて動画を楽しむことが可能であることが確認された[7]。



図 2-1: ExciTV ([7] より引用)

松井らは、周辺視にエフェクトを提示することで、動画の印象および視聴体験がどのように変化するかを調査した。視線検出装置を使用して、エフェクト提示中の視線情報を取得し、アンケートで印象の変化を評価した。エフェクトの提示は動画の印象を変化させることができ確認され、特に現実空間を撮影した動画はアニメおよびゲームのような二次元空間を撮影した動画と比較して、印象変化が顕著にみられた。エフェクト提示により動画視聴体験の拡張が有効であることが確認された[8]。

三上らは、従来の音楽体験を向上のために、電気的筋肉刺激を用いて音楽に合わせた身体動作を外部から強制的に提示することシステムを提案した。音楽体験の印象を評価語に対して7段階で評定してもらったところ、「Interesting」「Enjoyable」「Exciting」「Lively」

「Light」「Fast」「Heavy」において、曲の文脈に合わせて電気的筋肉刺激を提示したとき（条件2）の方が、音楽だけのとき（条件1）及び一定の間隔で電気的筋肉刺激を提示したとき（条件3）よりも印象評価による評定得点が大きな値となった。特に「Interesting」「Exciting」において音楽のみの条件1と条件2および条件2と条件3との間に有意差が認められた[9]。

2.2 動画鑑賞時の感情推定

三ツ木らは、音楽ライブにおいて、生体反応センサーを用いて観客の感情的な盛り上がりを推定することを実現することで、観客間での盛り上がりの共有および演者へのフィードバックに有効であると考えた。図2-2で示すようなシステムで、脳波と皮膚電気信号を用いて、音楽ライブ中の観客の感情的な盛り上がりを推定するシステムを提案した。脳波とEDAデータから、音楽鑑賞中の盛り上がりおよび感情の推定が可能であることが示唆された[10]。

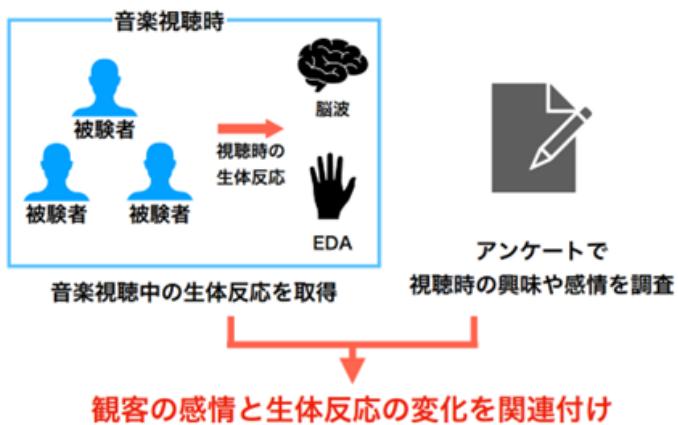


図2-2: 脳波と皮膚電気信号を用いたシステム概要図 ([10]より引用)

寺澤らは、脳波を用いて、映画鑑賞中の連続的な感情変化を追跡する手法を提案した。アニメ映画鑑賞の脳波データを収集し、感情状態を分類および予測を行ったところ、最良の分類精度は77.6%，最良の回帰モデルの相関係数は0.645であった。これにより、脳波ベースの方法で連続的な感情状態が概ね予測可能であることが確認された[11]。

平松らは、脈波と脳波を活用して、Russellの環状モデルを用いてユーザの気分変化を推定する手法を提案した。ジャグリングの実演を鑑賞中のユーザの気分推定を行ったところ、提案手法による感情分析と主観評価による感情分析には相関があることがわかった。結果から、生体情報を用いた感情分類手法が有効であることが認められた[12]。

角田らは、コメディ動画視聴によるユーザの気分変化を、心拍数と呼吸数の長期変動を

用いて低負荷で推定する手法を提案した。本手法から心拍数と呼吸数の長期変動の類似度が減少すると、ネガティブな気分が高まることがことが判明した。結果から、コンテンツ視聴中の生体情報を用いて、ユーザの気分変化を低負荷で推定可能であることが示唆された [13]。

2.3 コンテンツ評価

Liu らは、図 2-3 で示すシステムを用いて、映画の予告編の評価において脳波計とアイトラッカを同時に使用する新しいプラットフォームを提案した。YouTube での評判と専門家の評価によって良いと判断された予告編は悪いと判断された予告編よりも前頭葉と後頭葉エリアでの高い同期性を示し、シーンの変化の際に、眼球運動と脳の活動が同期することが判明した [14]。

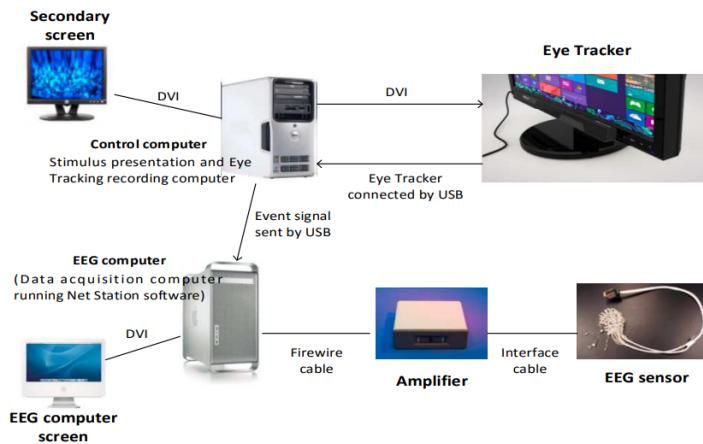


図 2-3: 脳波計とアイトラッカを用いたシステム概要図（[14] より引用）

He らは、ユーザの没入感の発生、関連要因、および脳波活動との関連を明らかにし、さらに脳波信号を使用して没入感を予測し、ユーザの満足度の指標として活用することを提案した。音質と没入感には有意な正の相関があり、ノイズ量、画面のコントラストと没入感には有意な負の相関があることがわかった。低周波帯では脳波信号と没入感に負の相関があり、前頭葉のガンマ波と没入感に正の相関がある。提案手法を用いることで、予測没入感スコアがユーザの満足度を評価するのに有効であることが示唆された [15]。

三角らは、音楽が前頭前野の脳血液量に与える影響を調査した。ユーザはリラックした音楽と騒々しい音楽を聴取し、その間の脳血液量の変化を測定した結果、図 2-4 のグラフのように、音楽聴取時に酸素化ヘモグロビンと総ヘモグロビンが増加し、その後減少。脱酸素化ヘモグロビンはほとんど変化がないことが判明した。音楽聴取は前頭前野の脳活動の一時的な活性化とその後の抑制を引き起こすことが示唆された [16]。

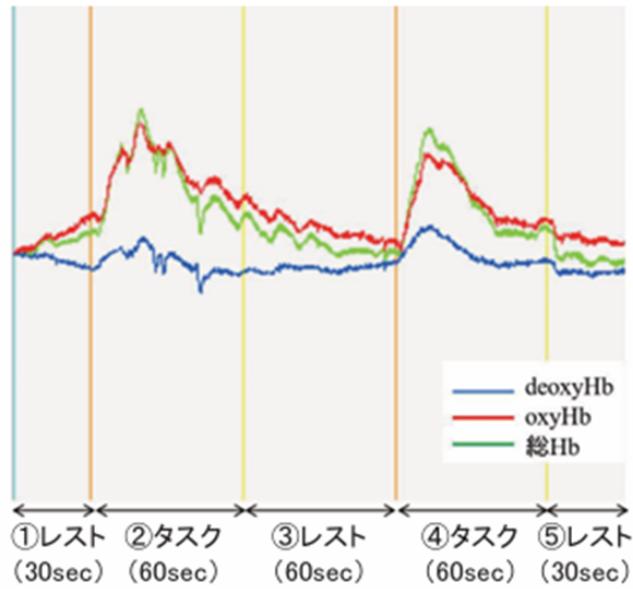


図 2-4: 脳血液量の変化を示すグラフ ([16] より引用)

宮本らは、動画レコメンドシステムがユーザの興味に沿った動画を推薦するために、生体信号を利用してユーザの動画に対する印象を評価する方法を提案した。皮膚電気活動、指尖皮膚温、心拍数などの生体信号を測定し、これらのデータを基にユーザの動画に対する嗜好性を推定した。実験の結果、興奮刺激の多い動画では皮膚電気活動の値が高くなることが判明した [17].

2.4 フィードバックによるコンテンツ体験の変化

2.4.1 風による動画体験の拡張に関する研究

岡本らは、ワイヤアクションゲームプレイ中の風の強度によって臨場感がどのように変化するかについて検証した。プレイヤに風を当てる条件を3つ設定（風なし、一定の風、ワイヤアクションで引っ張られるときの速度に応じた風）し、臨場感をアンケートで評価したところ、風がある状態の方が臨場感が高く、特に風力変化がある状態が最も臨場を感じやすいことが判明した [18].

伊藤らは、VR環境での現実感向上のため、風覚を利用して全周囲から風を感じる方法を提案した。HMDを装着した被験者に対し、特定の角度に配置した送風機から風を送る実験を実施したところ、4台の送風機を特定の角度に配置することで、被験者は全方向から風を感じる錯覚を体験した。本研究により、VR体験の没入感を高めるための新しいアプローチが示唆された [19].

村田らは、前方への自己運動を示唆する皮膚感覚がベクション（実際には静止している

人間が、視覚情報によって移動しているような感覚が引き起こされてしまう現象)を促進または抑制するかを調査した。被験者の顔に電気ファンを使用して風を送ることで、2つの条件(熱風と通常の温度の風)を設定した。通常の温度の風ではベクションの強度が増加し、熱風では抑制されることが判明した[20]。

小島らは、ユーザの移動を可能にし、狭い領域への風提示を実現する新しい風ディスプレイの構築を提案した。図2-5のように、軽量な自転車ヘルメットを使用し、耳近傍に風を提示するためのスピーカユニットを搭載した。本デバイスにより、速度感、爽快感の増強が実現可能と考えられた[21]。



図2-5: 耳近傍に風を提示するためのスピーカユニット ([21]より引用)

2.4.2 溫度による動画体験の拡張に関する研究

前田らは、複数の体の部位に装着可能なモジュール式の熱フィードバックシステム「TherModule」を提案した。実験では、図2-6のように、TherModuleを使用して、視覚と温度フィードバックを同期させた映画体験被験者が、TherModuleを手首、前腕、足首に装着し、視覚と温度フィードバックを受けながら映画を鑑賞したところ、視覚と温度フィードバックを受けた被験者は、視覚のみの被験者に比べて「楽しさ」と「興奮度」が有意に高かった。以上より、TherModuleは映画体験を強化することが判明した[22]。

牛尾らは、図2-7のようなシステムを用いて、温度感覚を利用し、ゲーム中のプレイヤーの情動(興奮、安静など)を制御する手法の効果を検証した。ゲーム「スプラトゥーン2」の映像に合わせて温感を表示し、情動の変化をアンケートとインタビューで評価した。実験の結果、楽しさ、面白さ、緊張感において有意な効果が確認されたが、冷静さ、興奮、焦りには効果が認められなかった。また、温感表示のタイミングおよび温度設定に個人差があり、長時間の温感表示は集中を妨げる可能性があると示唆された[23]。

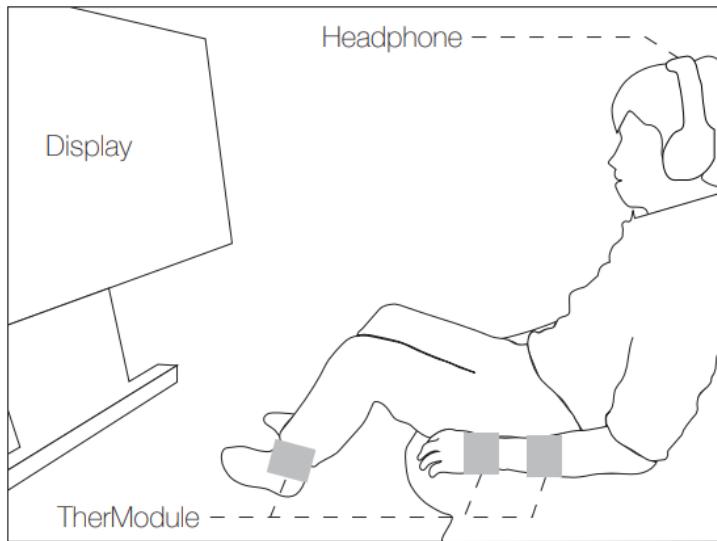


図 2-6: TherModule のシステム概要図（[22] より引用）

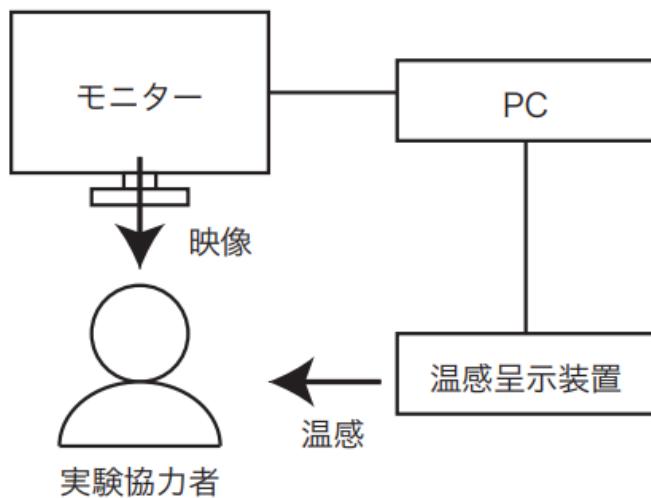


図 2-7: 温度感覚を用いたシステム概要図（[23] より引用）

2.4.3 振動によるコンテンツ体験の拡張に関する研究

安保らは、オンラインライブパフォーマンスにおける一体感を向上させるために、図 2-8 に示すような他人の盛り上がりの度合いを振動によるフィードバックを可能にする衣服型ウェアラブルデバイス「ONEParka」を提案した。振動が盛り上がりの認知に効果的であることが明らかになった [24]。

Kim らは、触覚刺激が映画鑑賞の感情変化と没入感との関連性を調査した。ポジティブなシーンで柔らかい刺激を受けると、他の条件よりもポジティブな感情と没入感が増加した。ネガティブなシーンでは、柔らかい刺激がネガティブな感情を軽減したが、トゲのある刺激は感情および没入感に影響を与えないことがわかった [25]。

Mazzoni らは、触覚刺激を通じて新たな映画体験を提供する手法を提案した。8つの振



図 2-8: ONEParka ([24] より引用)

動モータを手袋に取り付け、異なる強度と周波数の振動パターンを設計したところ、低強度・低周波数の触覚刺激はユーザに落ち着いを、低強度・高周波数の刺激は興奮を、高強度・高周波数の刺激は緊張感を高めることが示唆された。また、映画視聴中の触覚刺激は覚醒レベルが有意に高まることがわかった。映画視聴体験を触覚刺激によって強化可能であることが確認された [26].

久保らは、振動および揺動を「快」の視点から取り扱い、快感情を誘発する振動・揺動を生理・心理・物理の三指標から評価した。自発的揺動刺激実験により、血圧がその評価において有効な指標の一つであることが示唆された。また上下振動刺激実験から、ヒトは振動により消極的快と積極的快が誘発されることが明らかになり、その評価には血圧が有効な指標であることが示唆された [27].

久原らは、リモートコミュニケーションに振動触覚刺激を追加することで生じる心理的効果を調査した。振動触覚刺激による心理的効果を確認するために、感情的な合成音声に振動触覚刺激を追加する実験を行い、振動触覚刺激が合成音声のポジティブまたはネガティブに聞こえる度合いに影響を与えることを示唆した。遅いリズムでは音声はネガティブに、速いリズムではポジティブに聞こえることが確認された [28].

2.4.4 香りによるコンテンツ体験の拡張に関する研究

須佐見らは、映像と香りの相互作用が臨場感に及ぼす効果を検討した。「映像情報のみ」、「映像+映像にマッチした香り」、「映像+映像にミスマッチな香り」の3条件について、評価値の条件差をSD法を用いて測定した。その結果、「映像のみ」では遠隔的、空想的、外的な感じがするが、香りを付加すると映像のみの場合よりも女性的で、接近感、現実感、没入感が増す傾向が見られた。これらの結果から、映像に香りを付けると臨場感、特に近

空間への没入感が増加することが示唆された [29].

阿久津らは、香りが音楽によって引き起こされる感情に与える影響を調査した。参加者がペパーミントとラベンダの香りを嗅ぎながら、楽しい音楽と陰鬱な音楽を聴き、感情の評価を行った。楽しい音楽はラベンダによって誘発された楽しい気分を增幅し、陰鬱な音楽は両方のオイルによって誘発された楽しい気分を減少した。以上より、音楽がエッセンシャルオイルの香りによる感情に大きな影響を与えることが示唆された [30].

田中は、好きな香りが心理状態と知的作業遂行に与える影響について検討した。状態不安を低減する手段として、好きな香りが有効である可能性が示唆された。また、好きな香りが気分をいい方向に変化させる効果があることも示唆され、作業効率も向上されることも示唆された [31].

2.5 映画鑑賞体験の拡張

Oh らは、4DX 映画の観客が感じる臨場感について調査し、4DX 効果がどのように影響するかを分析した。7つのジャンルの映画を対象に、35名の観客に対して詳細なインタビューを実施し、グラウンド理論を用いて結果を解析した。4DX 映画はリアリズムとしての臨場感、没入感、メディア内での社会的役割、社会的豊かさ、共感的移動感、社会的存在としての臨場感の6つのタイプを引き起こすことが判明した。特に、モーションコントロールおよび振動、空気、匂いの効果が臨場感を高める重要な要因であることが示唆された [32].

Jeong らは、図 2-9 のような椅子を設定して、4DX 映画におけるモーション効果が観客の感情に与える影響を調査した。特に、共感レベルに応じた感情反応の違いを分析し、高い共感を持つ参加者が短いモーション効果でより強い恐怖を感じることを明らかにした。また、映画クリップとモーション効果の組み合わせが観客の感情を変化させることが示され、モーション効果の設計に関するガイドラインを提案し、感情体験の向上に寄与する方法を示唆している [33].

Lee らは、4DX 映画におけるモーション効果の迅速な設計を可能にするアルゴリズムを提案した。4DX 映画は視覚だけでなく、聴覚および触覚を通じて観客に没入感を提供するため、モーション効果が重要な役割を果たす。提案されたアルゴリズムは視聴者中心のレンダリング戦略に基づき、視覚的注意の動きに合わせて椅子の動きを調整した。これにより、観客の体験を向上が実現された。さらに、本アプローチは自動化されており、手動での作成に比べて 10 倍以上の速度で動き効果を生成することが可能になった。実験により、生成されたモーション効果の主観的品質が評価され、視覚的に妥当な効果を提供することが確認された。本研究は、4DX 映画の制作プロセスを効率化し、観客の体験をより



図 2-9: 3-DOF motion chair ([33] より引用)

豊かにするための新たな手法を示唆された [34].

Nicolae は、従来の映画館と VR 映画館の違いを分析した。VR 映画館はヘッドセットが周囲の気を散らすものを遮断し、観客は映画に集中することを求められるが、従来の映画館での鑑賞と比較して社会交流が減少すると分析した。また、VR 作品の質は様々で、強い感情的な没入感を提供するものもあれば、「そこにいる」効果のみに依存するものもあると述べた。VR 技術は従来の映画では実現できない強力な「臨場感」を生みだした [35].

Kim らは、VR が人々の感情に与える影響を調査した。ヘッドマウントディスプレイ (HMD) を使用した視聴条件と使用しない視聴条件 (No-HMD) を比較し、ホラーと共に感の 2 種類の感情的コンテンツを適用した。結果、HMD を使用してホラー映画を見た視聴者は、No-HMD の視聴者よりも恐怖を感じやすかったことが判明した。しかし、共感を誘発する映画では、HMD と No-HMD の視聴者の間に有意な感情の差は見られなかった。研究では、VR がホラー映画に対して特に感情反応を強化することを示し、没入感と感情の関係を確認した [36].

2.6 評価実験によるコンテンツ評価

杉原らは、音楽に対する感性がどのように表現されるかを探求した。音楽の聴取中に音楽が引き起こす印象を評価するために、SD 法を使用した実験を実施し、音楽の特徴が聴取者の感情に与える影響を示唆した。楽曲から受ける印象の程度は男性と女性で異なることおよび、感性語対によっても異なることが判明した [37].

仁科らは、観賞用の葉植物、花（バラ）、および香りが人間に与える生理的および心理的影響を、脳波（アルファ波とベータ波の比率）および SD 法を用いて分析した。その結

果、香りの存在によりアルファ波とベータ波の比率が高くなることが観察された。香りが人間の生理面に影響を与えることを示唆した。一方、バラの存在は高い評価得点をもたらし、花が人間の心理面に影響を与えることも示唆した [38]。

寺本らは、非研究者が「没入感」をどのように概念化しているかを探求した。調査の結果、因子分析により、「評価」「インパクト」「活動性」「機械的性質」の4つの因子が没入感の構成要素として抽出された。没入感が高いイベントは、好ましく、印象的で、動的であると評価される傾向があった [39]。

安藤は、図2-10で示すように臨場感は複数の感覚要素の複合体として捉えることが可能であると考えた。これらの感覚要素としては、立体感、質感、包囲感からなる空間要素、動感、リアルタイム感、同時感からなる時間要素、さらに自己存在感、インタラクティブ感、情感からなる「身体要素」を挙げられた。臨場感の評価手法として、主観評価、心理物理評価、脳活動計測、生体信号計測、行動計測の五つの手法を提案した。これらの手法を統合して臨場感を客観的・定量的に評価する必要があることを示唆した。映像の質感評価では、立体映像が質感を強調し、心理物理実験により光沢感の定量的評価が行われた [40]。

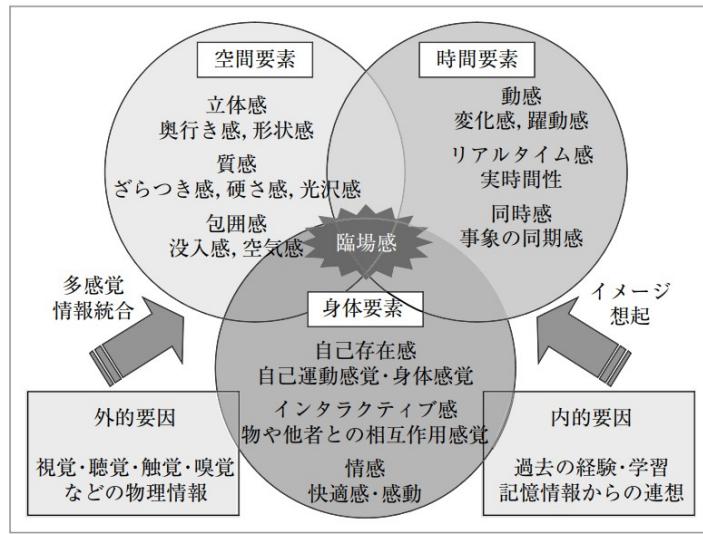


図2-10: 臨場感の構成要素と生起要因 ([40] より引用)

飯村らは、VRを用いたシステムに関する臨場感と現実感の評価を行った。印象調査の結果、臨場感は「動き」など視覚との結びつきが強く、映画またはゲームなどから感じ取れるもので、「その場にいるような感覚」と定義された。一方、現実感は視覚以外に痛覚との結びつきが強く、不安および痛みなどから感じ取れるもので、「非現実を現実と感じる」と定義された。因子分析の結果、臨場感には迫力因子と評価性因子、現実感には現実性因子があることがわかった [41]。

2.7 本研究の位置づけ

上記のように、風や温度、触覚刺激が没入感や感情に与える影響やコンテンツ体験の拡張・評価方法は示されたが、多感覚フィードバック（振動、風、温冷感）の統合的な効果は十分に検証されていない。そのため、本研究では振動、風の強弱、温冷感を組み合わせた多感覚フィードバックシステム Immersion Neckwear を開発し、これが動画鑑賞における没入感やユーザ体験に与える影響を評価する。

第3章 Immersion Neckwear: 動画体験拡張ネックウェア

3.1 Immersion Neckwear の概要

Immersion Neckwear では、映像に合わせて五感を刺激するフィードバックを行うことで、自宅での動画鑑賞者が映像により没入することを目指している。どこでも 4DX のような感覚刺激を楽しむことができ、利用者の自由度が高く、多感覚のフィードバックを提供する頸部装着型の没入感向上デバイスを創作した。Immersion Neckwear のイメージ図を図 3-1 に示す。

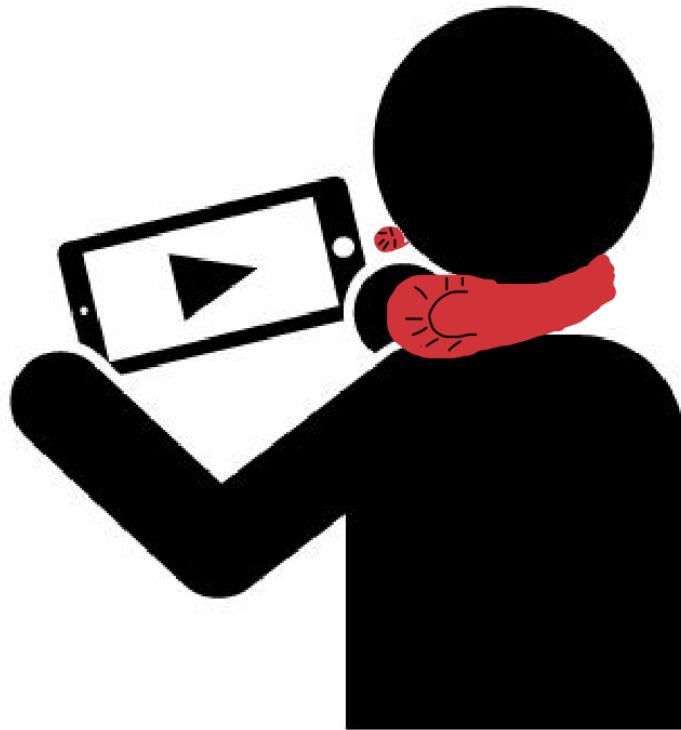


図 3-1: Immersion Neckwear を利用した動画鑑賞の例

図 3-2 は本研究で創作した頸部装着型の没入感向上デバイス Immersion Neckwear である。Immersion Neckwear とは、Immersion（没入）と Neckwear（ネックウェア）を用いて創作した今回のシステムの名称である。Immersion Neckwear の重さは約 844g であり、Immersion Neckwear が本実験中に不快感を与えるか調査した。



図 3-2: Immersion Neckwear の全体像

3.2 Immersion Neckwear の基本設計

表 3-1 は各構成要素の機能概要であり、図 3-3 に Immersion Neckwear の基本システム構成を示す。Immersion Neckwear は制御部を中心に、電源部、フィードバック部、インターフェース部の 4 つに分類される。

表 3-1: 各構成要素の機能概要

要素名	機能	構成部品
インターフェース部	開始時間の出力	nRF Connect
電源部	電源の供給	5500mAh リチウムイオンバッテリ
制御部	電子部品の起動時間の制御	ペルチェ素子 TEC1-03105
フィードバック部	映像に合わせたフィードバック	温冷部：ペルチェ素子 TEC1-03105 風部：ターボプロワファン B0DB5SDX91 振動部：振動モータ LBV10B-009

3.2.1 各要素の機能詳細

インターフェース部は、スマートフォンを用いてマイクロコンピュータと接続することで、映像に合わせてシステムの開始を出力する。

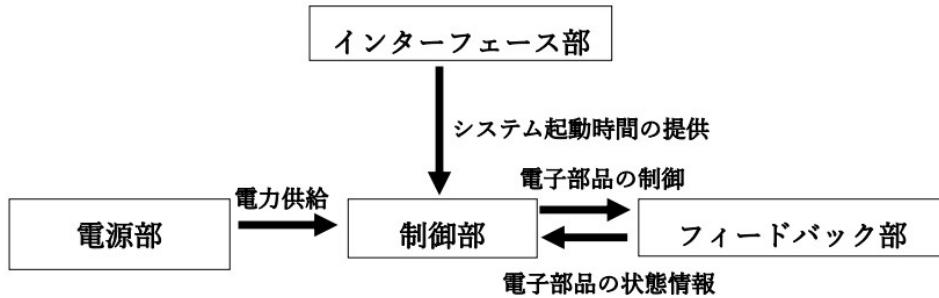


図 3-3: システムの基本設計

電源部は、制御部に電源を供給する。

制御部は、他の構成要素の制御を行う。映像に合わせて電子部品の起動時間の制御を行う。また、電源部からの電源供給により、フィードバック部に電源供給を行う。

フィードバック部は、制御部からの電源供給により、映像に沿ったフィードバックを行う。

3.3 ハードウェアの設計

Immersion Neckwear は、ペルチェ素子 TEC1-03105 (図 3-4), Arduino Nano 33 BLE (図 3-9), ターボプロワファン B0DB5SDX91 (図 3-10), 振動モータ LBV10B-009 (図 3-11), 超音波ミスト B0DBLL2TKL (図 3-12), バッテリは KeepPower 26650 リチウムイオンバッテリ 5500mAh (図 3-13) から構成する。

3.3.1 热源の選定と温度制御

Immersion Neckwear では、温刺激、冷刺激を瞬時に生じさせる必要があった。よって、エネルギー効率が電熱線より高く、電流の向きにより加熱と冷却が同一の電子部品で実現可能な、ペルチェ素子 TEC1-03105 を用いた。TEC1-03105 のサイズは縦横 15mm, 厚さ 3.1mm である。TEC1-03105 は、直流電流を流すことで一方の面が吸熱し反対面に発熱が起こる。電流の極性を逆転させると、特性が反転する [42]。



図 3-4: ペルチェ素子（[42] より引用）

温度提示面の温度検出として、NTC サーミスタを用いた（図 3-5）。NTC サーミスタは、温度上昇に対して抵抗値を減少させる性質があり、以下の式（1）を満たす[42]。よって、式変形した式（2）を用い、温度検出を行った。

$$R = R_0 \exp \left(B \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right) \quad \dots \quad (1)$$

$$T = \left(\frac{1}{\frac{1}{T_0} + \frac{1}{B} \log \left(\frac{R}{R_0} \right)} \right) \quad \dots \quad (2)$$

R_0 　温度 $T_0 [K]$ 時のサーミスタ抵抗 $[\Omega]$

R 　温度 $T [K]$ 時のサーミスタ抵抗 $[\Omega]$

B 　サーミスタ B 定数

T_0 　基準温度 $[K]$

T_1 　測定温度 $[K]$

温度制御は、マイクロコンピュータの PWM（Pulse Width Modulation）出力を用いて、



図 3-5: NTC サーミスタ

PID 制御を行った。 PWM 制御は、デジタル信号を用いてアナログ信号を模倣する手法であり、制御対象の平均電圧を調整することで精密な制御を実現する。これにより、デバイスはエネルギー効率を高めつつ、目的の動作を実現する。

PWM 信号は、デューティサイクルと呼ばれる高電圧状態と低電圧状態の比率によって制御される。

図 3-6 に示すように、PWM 信号は一定周期で ON と OFF を繰り返すデジタル波形である。デジタル波形を用いることで、加熱素子および冷却素子に供給されるエネルギーの平均を調整し、温度を適切に制御することが可能になる。

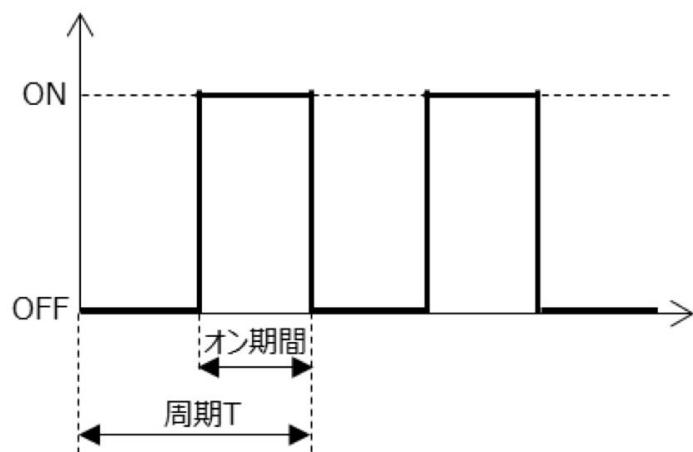


図 3-6: PWM 出力の概念図（[43] より引用）

また、本研究では、ペルチェ素子の同一面で温熱面と冷却面の両方を制御する必要があった。よって、モータに回転、逆回転、ストップ、ブレーキ等の制御を行うことができるモータードライバを用いた。モータードライバ TA7291P（図 3-7）と PWM 出力を用いてペルチェ素子の温度制御を行った。本研究では、温度センサを用いた PID 制御を行うことで、温熱面を 40 °C、冷却面を 20 °C に設定してフィードバックをした。



図 3-7: モータードライバ (TA7291P) ([44] より引用)

PID 制御とは、proportional (比例), integral (積分), differential (微分) の三つの制御要素を組み合わせた制御手法であり、設定温度に対する誤差を最小限に抑えるためのものである。PID 制御を用いることで、図 3-8 に示すように、目標とする温度に迅速かつ安定的に達成することが可能となる。具体的には、温度センサで検出した現在の温度と目標温度の差をもとに、ペルチェ素子への電力供給を調整する。これにより、過剰な温度変動を防ぎ、安定した温度制御が可能となった。

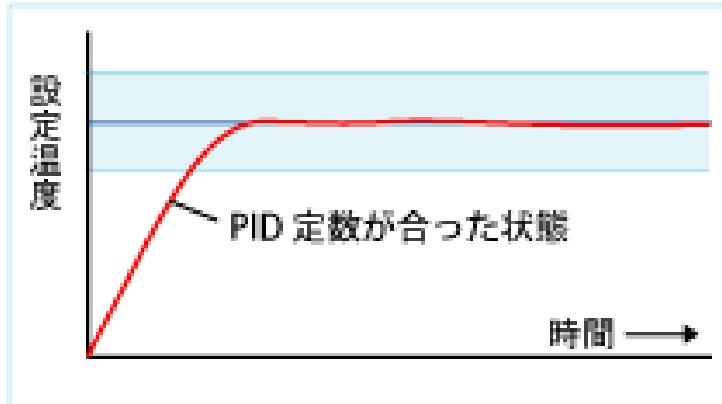


図 3-8: PID 制御による温度制御（[45] より引用）

3.3.2 その他電子部品の選定

Immersion Neckwear では、首にデバイスをかけて映像を見てもらうため、利用者の映像体験に影響を与えることを防ぐために軽量化する必要があった。また、インターフェース部と制御部を Bluetooth で接続可能なマイクロコンピュータを選定した。Arduino Nano 33 BLE は、Arduino が開発した長辺 40.64mm、短辺 17.76mm の小型のマイクロコントローラボードである。Bluetooth Low Energy (BLE) 機能を内蔵しており、スマートフォンおよび他の IoT デバイスとの無線通信が可能である。本研究では、提案ボードの低消費電力性と小型性を活かし、システム全体の制御に利用した [46]。

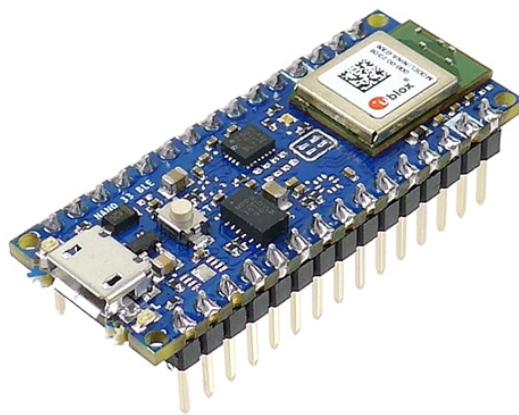


図 3-9: Arduino Nano 33 BLE（[46] より引用）

使用者の不快感を考慮し軽量化かつ、フィードバックの強い電子部品を選択した。風によるフィードバックとして利用するターボブロワファンは定格回転速度 6000RPM、風量 4.0CFM、静圧 6.61mmAq である [47]。

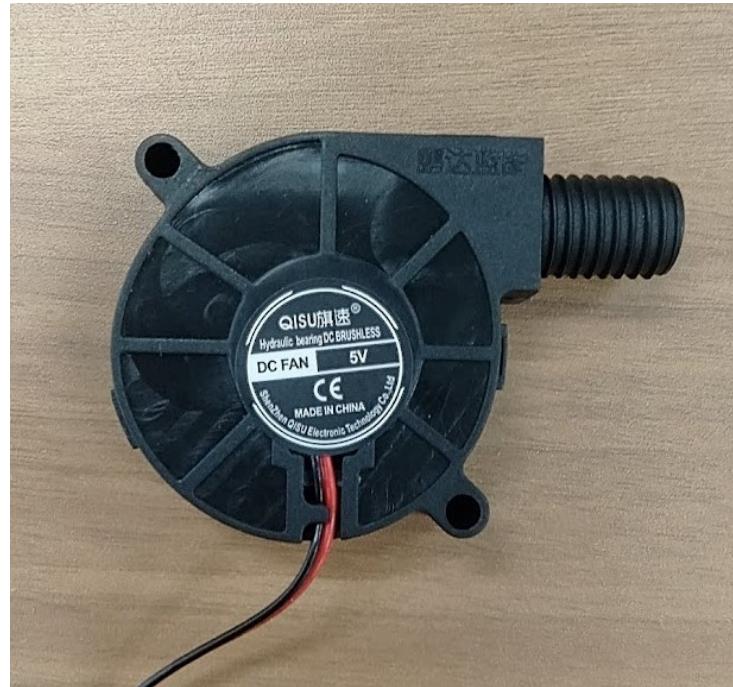


図 3-10: ターボプロワファン B0DB5SDX91

振動によるフィードバックとして利用する円盤形ブラシレス振動モータは、直径 10mm であり、バラスト重心の偏芯によって、高速回転時に強い振動を発生させた [46].



図 3-11: 振動モータ LBV10B-009（[46] より引用）

ミストによるフィードバックとして超音波霧化メーカを用いた。モジュールのサイズは長辺 29.5mm, 短辺 18.6mm, 厚さ 7mm, 共振周波数 108~110KHz である。また、提案デバイスを用いて香り付きの水を噴霧することで香りによるフィードバックを実現した [48].

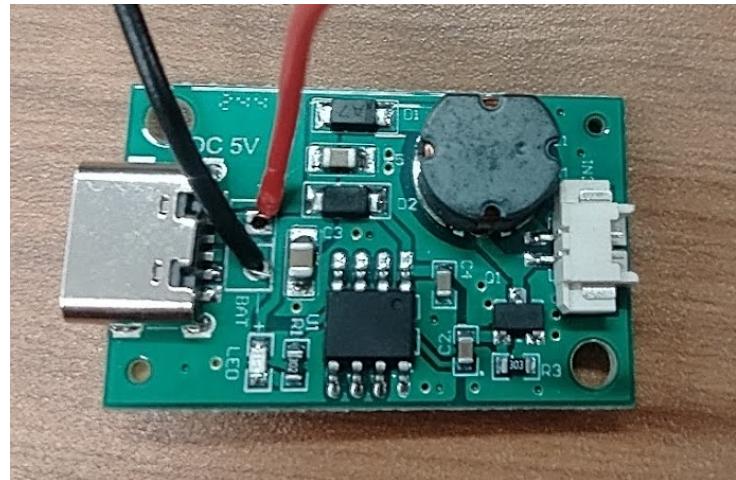


図 3-12: 超音波ミスト B0DBLL2TKL

本研究では、多くの電子部品を用いるので、電気容量が高いバッテリが必要であった。実験で使用する KeepPower-26650 は、定格容量 5500mAh であり、本研究の実験中の連続稼働が可能であることから選択した [49].



図 3-13: KeepPower 26650 リチウムイオンバッテリ 5500mAh ([49] より引用)

第4章 Immersion Neckwear の没入感効果検証

実験

本章では、Immersion Neckwear を用いた評価実験について述べる。

4.1 実験概要

第1章で説明したように、Immersion Neckwear の有無によって動画体験の印象を違いを比較し、有効性の検証を行うことを目的とする。

被験者は成人男性8名、成人女性2名の計10名（年齢層は22歳から26歳）に協力してもらった。実験では、25分程度の初めて視聴するアクションアニメを視聴してもらった。鑑賞終了後には、被験者にSD法（Semantic Differential Method）を用いたアンケートを記入してもらい、動画鑑賞に対する主観的な評価を収集した。また、正確な制御が困難であり被験者の実験中に怪我を負わせる可能性があったので、今回、超音波ミストの使用を中止した。

4.2 実験手順

本実験では、フィードバックを起こす場面の個数がほぼ等しい25分程度の2つの動画を用意し、被験者はImmersion Neckwearを使用した場合と使用していない場合で動画鑑賞を行った。表4-1は場面とフィードバックの種類の対応を示している。システム有無による動画鑑賞はそれぞれ別日に行なった。動画の視聴が終了後、被験者にはSD法によるアンケートに回答してもらい、視聴体験に対する主観的な評価を収集した。さらに、Immersion Neckwearを使用して視聴した被験者については、システムの使いやすさに関する評価を行うために、SUS（System Usability Scale）を用いてアンケートを実施した。SUSアンケートでは、システムの全体的な使いやすさおよび利便性、直感的な操作性などを評価した。図4-1はImmersion Neckwearを装着した場合の実験中の様子である。

表 4-1: 場面の種類に応じたフィードバックの対応

場面の種類	フィードバック
そよ風, 爆風, 向かい風	風
爆発, 炎が出現するシーン	温感
氷が出現するシーン	冷感
戦闘シーン(攻撃が当たるシーン)	振動

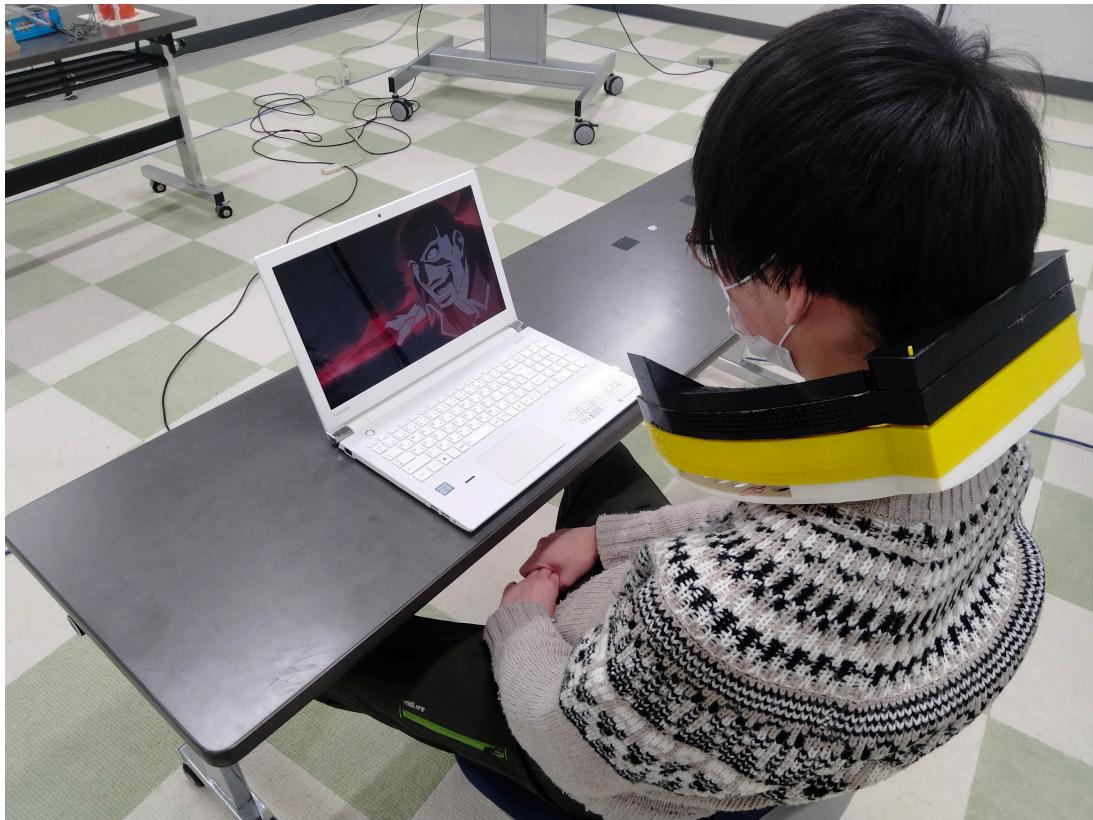


図 4-1: 実験の様子

4.3 SD 法

SD 法は各刺激に対して人が抱く印象、イメージを明らかにするために用いる手法で、相反する形容詞対を多数用いて刺激を評価することにより、人がその刺激に対して、どのように感じるかといった情緒的な印象を明らかにすることが可能となる [50].

以下に、アンケートに用いる印象語対を記す.

- 好きな _____ 嫌いな
- 良い _____ 悪い
- 気持ちの良い _____ 気持ちの悪い
- はっきりした _____ ぼんやりした

- 迫力のある _____ 迫力のない
- リアリティのある _____ リアリティのない
- 動的な _____ 静的な
- 弱い _____ 強い
- 興奮した _____ 落ち着いた

そして、各形容詞対を左から「非常に」、「かなり」、「やや」、「どちらでもない」、「やや」、「かなり」、「非常に」の7段階で評価した。付録Aは、本実験で使用したアンケートフォームである。

4.4 SUS

SUSは、製品およびサービスの使いやすさを評価するためのアンケートのことである。これは、ソフトウェア、ハードウェアを問わず、さまざまな新しいシステムのユーザビリティを評価し、洞察を得るために定量的な手法として使用される。リッカート尺度を使用して回答する10個の質問で構成される。本研究では、「強く同意する」から「強く同意しない」までの5段階で評価した[51]。

まず、SUS調査の各回答選択肢を対応する評定を割り当てる。回答が「強く反対」の場合は1点、「反対」の場合は2点、「どちらでもない」の場合は3点、「同意する」の場合は4点、そして「強く同意」の場合は5点とする。

各質問項目への回答（評点X）に基づき、以下の方法で得点を計算する。

- 奇数番目の項目： $X - 1$ 点
- 偶数番目の項目： $5 - X$ 点
- 未回答の項目：3点

これらの得点を合計し、その合計値に2.5を乗じることで、0-100点のSUSスコアが算出する。SUSスコアが高いほど、評価対象の製品、システム自体、およびその利用開始までの過程または利用後に期待される効果に対するユーザの満足度が高いと判断される[52]。

SUS(System Usability Scale)のスコアリングと解釈について、以下のようにまとめた。

- A+: 84.1–100 (96th–100th percentile)
- A: 80.8–84.0 (90th–95th percentile)

- **A -**: 78.9–80.7 (85th–89th percentile)
- **B+**: 77.2–78.8 (80th–84th percentile)
- **B**: 74.1–77.1 (70th–79th percentile)
- **B -**: 72.6–74.0 (65th–69th percentile)
- **C+**: 71.1–72.5 (60th–64th percentile)
- **C**: 65.0–71.0 (41st–59th percentile; 平均的なユーザビリティ)
- **C -**: 62.7–64.9 (35th–40th percentile)
- **D**: 51.7–62.6 (15th–34th percentile)
- **F**: 0.0–51.6 (0th–14th percentile; 低いユーザビリティ)

グローバル平均SUSスコアは約68で、これはCグレード(平均的なユーザビリティ)に相当する。50未満のスコアは欠陥があると見なされ、80以上のスコアを持つシステムは、平均以上のユーザエクスペリエンスを示し、優れたユーザビリティに関連している。65から80のスコアは受け入れ可能だが、改善の余地があることを示唆している。65未満のスコアは、ユーザビリティの問題があることを示しており、注意が必要である。

SUSは、その信頼性と有効性が広く認められており、さまざまな製品およびシステムのユーザビリティ評価に使用されている。さらに、SUSは柔軟性があり、軽微な文言変更にも影響されず、異なる言語、文化にも適用可能である。SUSの規範データは代表的なグループから収集され、スコアの解釈を強化するために使用される[53]。

付録Bは、本実験で使用したアンケートフォームである。

第5章 実験結果および考察

5.1 実験結果

5.1.1 SD 法の評価結果

動画鑑賞後に SD 法を用いたアンケートを実施した。本アンケートを「プロフィール分析」と「因子分析」を利用してデータの分析を行うことで、Immersion Neckwear の有無による映画体験の没入感の変化を評価した。

図 5-1 は被験者が回答したデータから、評定尺度ごとの回答平均値を算出して図式化したプロフィール分析の結果である。縦軸は各形容詞対を表し、横軸は形容詞対に対する 7 段階の評価尺度を表す。青線が Immersion Neckwear を装着をした場合の動画鑑賞時の印象を示しており、赤線が Immersion Neckwear を装着しなかった場合の動画鑑賞時の印象を示している。プロフィール分析によって、Immersion Neckwear を装着した場合としなかった場合の印象の違い、Immersion Neckwear の装着が被験者の印象に与える影響を視覚的に比較可能になる。

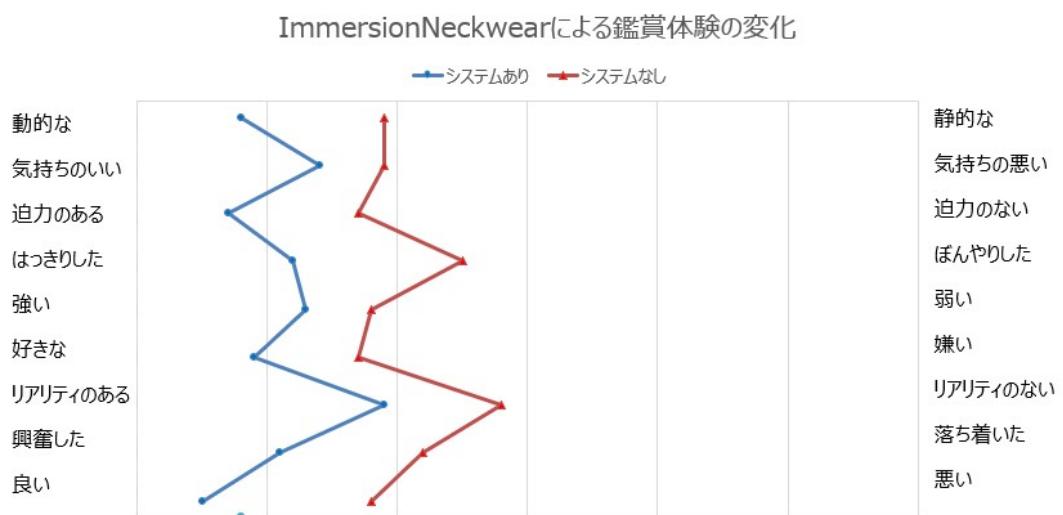


図 5-1: Immersion Neckwear のプロフィール分析

共通因子を特定するために、アンケートデータに対して因子分析を実施した。Immersion Neckwear を装着した場合の因子分析の結果を表 5-1 に示す。初期の固有値の大きさと減衰状況から、因子数は 3 と判断した。因子負荷量は、因子と変数の間に有意な相関がある

と言われている絶対値0.4以上とし、斜交回転法を用いて因子間の相関関係を考慮できるプロマックス回転を適用した。因子負荷量の絶対値が1に近いほど、因子との関係性が強いことを示す。因子1は「好きな」、「良い」、「迫力ある」などの形容詞と強く関連していることがわかった。また、因子2は「興奮した」、「強い」、「気持ちのいい」、因子3は「はっきりした」、「リアリティのある」などの形容詞と関連が深いことが判明した。

表 5-1: システムを装着する時の因子負荷量

形容詞1	形容詞2	因子1	因子2	因子3
嫌いな	好きな	0.888	-0.376	-0.073
悪い	良い	0.820	0.321	-0.043
迫力のない	迫力のある	0.744	0.317	0.189
落ち着いた	興奮した	-0.027	0.982	-0.245
弱い	強い	-0.080	0.651	0.107
気持ちの悪い	気持ちのいい	-0.278	0.505	0.207
ぼんやりした	はっきりした	0.062	0.055	0.998
リアリティのない	リアリティのある	-0.108	-0.024	0.824
寄与率		30.282	20.791	14.951
回転後の負荷量平方和		2.457	2.313	1.849

Immersion Neckwear を装着しなかった場合の因子分析の結果を表5-2に示す。因子負荷量の絶対値が1に近いほど、因子との関係性が強いことを示す。因子1は「迫力のある」、「良い」、「興奮した」、「強い」などの形容詞と強く関連していることがわかった。また、因子2は「はっきりした」、「リアリティのある」などの形容詞と関連が深いことが判明した。

表 5-2: システムを装着しない時の因子負荷量

形容詞1	形容詞2	因子1	因子2
迫力のある	迫力のない	0.953	0.157
良い	悪い	0.861	-0.066
興奮した	落ち着いた	0.669	-0.256
強い	弱い	0.500	-0.027
はっきりした	ぼんやりした	0.116	0.994
リアリティのある	リアリティのない	-0.232	0.842
寄与率		46.164	30.801
回転後の負荷量平方和		2.414	1.792

5.1.2 SUS の評価結果

Immersion Neckwear のユーザビリティを評価するために、SUSによるアンケートを行った。表5-3は被験者ごとのSUSによるアンケートの回答結果をまとめたものである。

表5-3: SUSのアンケート結果

被験者ID	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	スコア
1	5	2	5	2	2	2	4	4	4	4	65
2	4	3	5	3	1	2	5	4	4	3	60
3	4	1	5	1	4	4	5	1	5	5	77.5
4	5	2	5	2	2	3	5	2	5	4	72.5
5	4	1	5	4	5	5	5	1	4	4	70
6	5	3	4	1	5	2	5	1	4	5	77.5
7	4	3	4	5	3	4	4	3	4	5	47.5
8	3	4	3	5	2	3	3	2	1	2	40
9	5	2	4	4	4	2	4	4	4	3	65
10	5	3	5	2	5	3	5	2	5	5	75
平均値	4.4	2.4	4.5	2.9	3.3	3	4.5	2.4	4	4	65
標準偏差	0.63	0.87	0.64	1.38	1.35	0.95	0.64	1.14	1.04	0.95	11.48

また自由記述欄にて、「微妙な重さが少し気になった」、「デバイスが大きいと感じた」、「温度が人によっては暑すぎる」などの指摘がされた。一方で、「アニメに合わせて温度変化があり楽しかった」、「coolerとwarmer機能は実際に感じて、リアルタイム性も高いと思った」のようなImmersion Neckwearの使用にポジティブな意見もあった。

5.2 考察

5.2.1 SD法の評価結果に関する考察

プロフィール分析の結果、Immersion Neckwearを装着した場合と装着しなかった場合の印象に違いがみられた。Immersion Neckwearを装着した場合、各形容詞対全体で肯定的な評価が確認された。これにより、Immersion Neckwearはユーザのポジティブな印象を高める効果があると推察する。よって、動画鑑賞におけるImmersion Neckwearの装着が、動画の印象を向上させる要因となることが考えられる。特に、「動的な-静的な」に関して、Immersion Neckwearの有無によって印象の変化が推察される。これはImmersion Neckwearが画面に応じて起動されることを、「動的」と捉えたと考える。

表5-4と表5-5は、形容詞を使った印象の評価を分析した結果を示している。結果に基づき、Immersion Neckwearを使ったときの印象を整理した。

Immersion Neckwear を装着すると、因子1は「好きな」「良い」「迫力ある」といった言葉と強く結びつきことがわかる。これを「評価」とまとめた。因子2は「興奮した」「強い」「気持ちのいい」と関連が深かったため、「活力」とした。因子3は「好きな」「はっきりした」「リアリティのある」などの言葉と関係があるので、「現実性」とした。

結果から、Immersion Neckwear を装着した動画鑑賞において、「評価」「活力」「現実性」の印象を持つことが考えられる。

表 5-4: システムを装着した場合の、形容詞と因子の意味付け

因子	形容詞	因子の解釈
1	「好きな」, 「良い」, 「迫力のある」	評価
2	「興奮した」, 「強い」, 「気持ちのいい」	活力
3	「はっきりした」, 「リアリティのある」	現実性

Immersion Neckwear を装着しない場合、因子1は「迫力のある」「良い」「興奮した」「強い」といった言葉と強く結びつきことがわかる。これを「活力」とまとめた。因子2は「はっきりした」「リアリティのある」と関連が深かったため、「現実性」とした。

結果から、Immersion Neckwear を装着した動画鑑賞において、「活力」「現実性」の印象を抱くことが考えられる。

表 5-5: システムを装着しない場合の、形容詞と因子の意味付け

因子	形容詞	因子の解釈
1	「迫力のある」, 「良い」, 「興奮した」, 「強い」	活力
2	「はっきりした」, 「リアリティのある」	現実性

因子の解釈から、従来の動画鑑賞での印象を包括しながらも、「評価性」といった新たな肯定的印象が増えていることがわかる。よって、因子分析の結果として、Immersion Neckwear を用いた動画鑑賞は、Immersion Neckwear を使用しない場合よりも優れた鑑賞体験を提供することを推察する。また、寺本らの研究では、評価性が没入感の要素として抽出されており Immersion Neckwear を使った動画鑑賞がより没入感のある体験と考えられる [39]。

5.2.2 SUS の結果に関する考察

SUS によって評価されたシステム全体の平均値が 68 点であり、今回の SUS スコアが 65 点であることから、C グレードに相当する。よって、Immersion Neckwear のユーザビリティは改善の必要があると考える。質問4（技術的サポートの必要性）、質問8（操作性）では平均点が低く、回答にばらつきが見られた。実験では、被験者に動画を鑑賞することだけを指示し、システムの装着および起動は研究担当者が行ったため、一部の被験者はシ

システムの使用に技術的サポートが必要と感じたと考えられる。さらに、使用感に関しては一部の被験者から不満が出た。Immersion Neckwear の重さが 800g を超えており、これが動画鑑賞中の不快感につながり、システムの使用が面倒だと感じたと考えられる。以上の SUS に基づくアンケート結果から、システムのユーザビリティには改善の余地があると考えられる。ただし、「アニメに合わせた温度変化が楽しかった」、「cooler と warmer 機能がリアルタイムで感じられた」などのポジティブな意見もあり、Immersion Neckwear が動画鑑賞の没入感向上に有効であることが推察できる。

第6章 結論

6.1 まとめ

本論文では、自宅での動画鑑賞体験を拡張することを目的として、多感覚フィードバックを提供する頸部装着型没入感向上デバイス Immersion Neckwear を創作した。Immersion Neckwear は、映像に合わせて振動、風の強弱、温感、冷感などを提示することで、映画館での没入感に近い体験を自宅でも再現することを目指している。

実験結果から、Immersion Neckwear を装着した動画鑑賞では、被験者がよりポジティブな印象を抱き、動画の没入感が向上することが確認された。具体的には、SD 法によるアンケートの因子分析で、システムの装着により評価性が高まることが確認された。

一方、SUS によるユーザビリティ評価では、平均値が 65 点となり、技術的サポートの必要性およびシステムの重さ・大きさに関する不満が一部の被験者から指摘された。しかし、「アニメに合わせた温度変化が楽しかった」、「cooler と warmer 機能がリアルタイムで感じられた」といったポジティブな意見も多く、Immersion Neckwear が動画鑑賞の没入感向上に有効であることが示唆された。

6.2 今後の展望

今後の展望として、ユーザビリティの向上が必要である。SUS アンケート結果から示された技術的サポートの必要性およびシステムの重さ、大きさに関する不満を解消するため、ユーザインターフェースの改善、デバイスの軽量化、コンパクト化が求められる。具体的には、より直感的な操作が可能なインターフェースデザインを採用し、ユーザが簡単にシステムを操作可能にすることが挙げられる。また、使用する素材の見直しおよび電子部品の改良によって、デバイス全体の軽量化を図ることが考えられる。今回、映像に合わせて、風、振動、温冷部を実装したが、ミストや香りによるフィードバックの実装を目指す。これにより、ユーザが映像から感じる臨場感が向上すると考える。さらに、フィードバック機能の強化も重要な課題である。Immersion Neckwear は、振動、風の強弱、温感、冷感といった多感覚のフィードバックを提供しているが、これらのフィードバックの精度、リアルタイム性の向上が求められる。特に、映像に合わせたフィードバックのタイミング、強度をより正確に制御するための技術開発が必要である。これらにより、ユーザに

より一層没入感を感じさせることができると考えられる。また本研究では、20代の男女10名の被験者データのみ取得したが、より多くの被験者を対象にした大規模な実験を実施し、統計的に有意なデータを収集することで、Immersion Neckwearの効果をより明確に示す必要があると考えられる。また、異なる年齢層および文化背景を持つ被験者を対象にした研究を行うことで、ユーザビリティ、没入感に対する高度なシステムを実現したい。

謝辞

本研究を進めるうえで、親身に相談に乗って下さった青山学院大学理工学部情報テクノロジー学科ロペズ・ギヨーム教授に深く感謝をいたします。また、研究初期において、電子工作のやり方など助言を下さった青山学院大学理工学研究科理工学専攻知能情報コース博士前期課程1年ボデガ パロメケ ペドロ氏、3Dプリンタの使用をサポートしてくださった田崎研究室の山田様、研究環境の補助をしてくださった大熊氏、論文の添削を通してアドバイスをくださった高山先輩をはじめとするロペズ研究室の院生の方々、同期の方々に深く感謝いたします。また、実験に協力していただいた被験者の方々にも感謝いたします。

2025年1月24日
岩本空

参考文献

- [1] 株式会社 I C T 総研: 2023 年有料動画配信サービス利用動向に関する調査, <https://ictr.co.jp/report/20230421.html/>. (最終参照日: 2025/1/3).
- [2] GEMPartners 株式会社: 動画配信 (VOD) 市場 5 年間予測 (2024-2028 年) レポート, <https://gem-standard.com/columns/789/>. (最終参照日: 2025/1/5).
- [3] 株式会社プラネット: 映画に関する意識調査, https://www.planet-van.co.jp/shiru/from_planet/vol210.html. (最終参照日: 2025/1/5).
- [4] 株式会社宣成社: 映画離れする映画館, <https://senseisha.co.jp/useful/kiji.php?n=23>. (最終参照日: 2025/1/5).
- [5] 株式会社スパコロ: 映画館の利用意識調査 ~コロナ禍、映画館利用意識どう変わった?~, <https://prttimes.jp/main/html/rd/p/000000041.000060722.html>. (最終参照日: 2025/1/5).
- [6] TOHO シネマズ: MX4D™, <https://www.tohotheater.jp/service/mx4d/>. (最終参照日: 2025/1/5).
- [7] 代蔵巧, 棟方渚, 小野哲雄, 松原仁: 他者の存在を感じる動画鑑賞システム, 研究報告 エンタテインメントコンピューティング (EC), Vol. 2011-EC-19, No. 2, pp. 1–6 (2011).
- [8] 松井啓司, 中村聰史: 周辺視へのエフェクト提示による動画の印象変化に関する調査, 第 78 回全国大会講演論文集, Vol. 2016, No. 1, pp. 303–304 (2016).
- [9] 三上紀一, 小川剛史: 音楽体験向上のための電気的筋肉刺激を用いた感情増幅手法の検討, 研究報告グループウェアとネットワークサービス (GN), pp. 1–6 (2019).
- [10] 三ツ木萌, 丸山一貴: 脳波と皮膚電気活動を用いた観客の盛り上がり推定の試み, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム論文集, Vol. 2021, pp. 370–374 (2021).

- [11] Terasawa, N., Tanaka, H., Sakti, S. and Nakamura, S.: Tracking liking state in brain activity while watching multiple movies, *Proc. of the 19th ACM International Conference on Multimodal Interaction (ICMI '17)*, pp. 321–325 (2017).
- [12] 平松拓也, 池田悠平, 保科篤志, 馴晨, 高橋裕也, 菅谷みどり: 生体情報による感情推定手法とステージの観客反応による評価, マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2017 論文集, pp. 857–864 (2017).
- [13] 角田啓介, 江口佳那, 吉田和広, 渡部智樹, 水野理: 心拍と呼吸を用いたコンテンツ視聴による気分変化の推定: コメディ視聴における検討, 情報処理学会論文誌コンシューマ・デバイス&システム (CDS), Vol. 7, No. 1, pp. 44–52 (2017).
- [14] Liu, S., Lv, J., Hou, Y., Shoemaker, T., Dong, Q., Li, K. and Liu, T.: What Makes a Good Movie Trailer?: Interpretation from Simultaneous EEG and Eyetracker Recording, *MM '16: Proceedings of the 24th ACM international conference on Multimedia*, pp. 82–86 (2016).
- [15] He, Z., Zhang, S., Sun, P., Li, J., Xie, X., Zhang, M. and Liu, Y.: Understanding User Immersion in Online Short Video Interaction, *CIKM '23: Proceedings of the 32nd ACM International Conference on Information and Knowledge Management*, pp. 731–740 (2023).
- [16] 三角真, 折居英章, SHARMIN, T., 三島健司, 西原宏: fNIRS による音楽聴取時の前頭前野における脳血液量の測定と考察, 福岡大学工学集報, Vol. 96, pp. 25–28 (2016).
- [17] 宮本晴司, 代蔵巧, 棟方渚, 小野哲雄: 生体信号を用いた動画視聴中のユーザ評価の推定, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム, Vol. 2015, pp. 568–573 (2015).
- [18] 岡本早織, 羽田久一: ゲームプレイ中の風の強度による臨場感の変化, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム, Vol. 2022, pp. 135–138 (2022).
- [19] 伊藤亘輝, 小野龍一, 羽田久一: VR 空間で全周囲から風を感じる為の送風機の配置の検討, 研究報告コンシューマ・デバイス & システム (CDS), Vol. 2019, No. 48, pp. 1–5 (2019).
- [20] 村田佳代子, 妹尾武治: 風によるベクションの促進と抑制—温風の効果について—, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 22, No. 2, pp. 287–290 (2017).
- [21] 小島雄一郎, 橋本悠希, 梶本裕之: 頭部搭載型風ディスプレ, インタラクション, Vol. 2009 (2009).

- [22] Maeda, T. and Kurahashi, T.: Thermodule: Wearable and modular thermal feedback system based on a wireless platform, *Proceedings of the 10th Augmented Human International Conference 2019*, pp. 1–8 (2019).
- [23] 牛尾大翔, 黒田千晶, 水口充ほか: 温感表示による情動制御手法の効果の検証, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2022 論文集, Vol. 2022, pp. 102–105 (2022).
- [24] 安保友香梨, 松井遼太, 柳沢豊, 竹川佳成, 平田圭二: ONE Parka: オンラインライブパフォーマンス視聴のための一体感を促進する衣服型ウェアラブルデバイスの設計と実装, 情報処理学会論文誌デジタルコンテンツ (DCON), Vol. 12, No. 1, pp. 18–28 (2024).
- [25] Kim, A., Bae, H. and Lee, K.: Effects of Tactile Perception on Emotion and Immersion to Film Viewing in a Virtual Environment, VRST '19: Proceedings of the 25th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology, pp. 1–3 (2019).
- [26] Mazzoni, A. and Bryan-Kinns, N.: Mood Glove: A Haptic Wearable Prototype System to Enhance Mood Music in Film, *Media and Arts Technology Centre for Doctoral Training, School of Electronic Engineering and Computer Science, Queen Mary University of London*, pp. 1–8 (2016).
- [27] 久保光徳, 寺方将之, 寺内文雄, 青木弘行: 握動・振動刺激下における快感情評価, 日本デザイン学会研究発表大会概要集, Vol. 53, No. 0, pp. 99–99 (2006).
- [28] 久原拓巳, 細田千尋, 南角吉彦, 加藤昇平, 田中由浩: 感情付き合成音声を伴う振動触覚刺激の心理的影響の調査, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2022, pp. 2P2–B09 (2022).
- [29] 須佐見憲史, 安藤広志: 映像に対する香りの付加が臨場感に及ぼす効果 (日本基礎心理学第 26 回大会, 大会発表要旨), 基礎心理学研究, Vol. 26, No. 2, p. 225 (2008).
- [30] 阿久津洋巳, 市原茂, 石戸谷真由子: 香りの感情価に及ぼす音楽の影響, 日本官能評価学会誌, Vol. 9, No. 2, pp. 116–121 (2005).
- [31] 田中昭子: 香りによってもたらされる快適感の生理心理作用, 生活工学研究, Vol. 2, No. 1, pp. 18–19 (2000).
- [32] Oh, E., Lee, M. and Lee, S.: How 4D effects cause different types of presence experience?, VRCAI '11, Association for Computing Machinery, p. 375–378 (2011).

- [33] Jeong, D., Han, S. H., Jeong, D. Y., Kwon, K. and Choi, S.: Investigating 4D movie audiences' emotional responses to motion effects and empathy, *Computers in Human Behavior*, Vol. 121, p. 106797 (2021).
- [34] Lee, J., Han, B. and Choi, S.: Interactive motion effects design for a moving object in 4D films, Association for Computing Machinery, p. 219–228 (2016).
- [35] Nicolae, D. F.: Spectator perspectives in virtual reality cinematography. The witness, the hero and the impersonator, *Ekphrasis. Images, Cinema, Theory, Media*, Vol. 20, No. 2, pp. 168–180 (2018).
- [36] Kim, A., Chang, M., Choi, Y., Jeon, S. and Lee, K.: The Effect of Immersion on Emotional Responses to Film Viewing in a Virtual Environment, *2018 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, pp. 601–602 (2018).
- [37] 杉原太郎, 森本一成, 黒川隆夫: SD 法を通してみた音楽に対する感性の基本特性, 映像情報メディア学会技術報告 25.48, 一般社団法人 映像情報メディア学会, pp. 57–63 (2001).
- [38] 仁科弘重, 中本有美: 観葉植物, 花, 香りが人間に及ぼす生理・心理的効果の脳波および SD 法による解析, 日本建築学会計画系論文集, Vol. 63, No. 509, pp. 71–75 (1998).
- [39] 寺本涉, 吉田和博, 浅井暢子, 日高聰太, 行場次朗, 鈴木陽一: 臨場感の素朴な理解 (特集: VR 心理学 4), 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 15, No. 1, pp. 7–16 (2010).
- [40] 安藤広志: 2. 人が感じる臨場感の知覚認知メカニズムと評価技術, 映像情報メディア学会誌, Vol. 63, No. 12, pp. 1727–1730 (2009).
- [41] 飯村浩平, 中村広幸, 大倉典子, 小松剛: 臨場感と現実感の定量化と評価の実験, 日本人間工学会大会講演集, Vol. 48, No. 0, pp. 432–433 (2012).
- [42] 徳田貴拓, 磯山直也, ロペズギヨーム: Pico-Band: リストバンド型省エネ個別暖房デバイスの開発-温熱感を持続させる温度制御法の提案, *IEICE Conferences Archives* (2016).
- [43] Inc, M.: パルス幅変調とは?, <https://www.mathworks.com/discovery/pulse-width-modulation.html>. (最終参照日: 2025/1/8).
- [44] Key Electronics 合同会社: DigiKey, <https://www.digikey.jp/>. (最終参照日: 2025/1/8).

- [45] 株式会社モトヤマ：PID 制御とは，<https://www.motoyama.co.jp/engineer/engi106.htm>. (最終参照日: 2025/1/8).
- [46] 株式会社秋月電子通商：秋月電子通商，<https://akizukidenshi.com/catalog/default.asp>. (最終参照日: 2025/1/8).
- [47] 深セン鵬林オプトエレクトロニクス株式会社：PENGLIN，<http://www.szpelink.com/>. (最終参照日: 2025/1/8).
- [48] 株式会社スイッチサイエンス：スイッチサイエンス，<https://www.switch-science.com/>. (最終参照日: 2025/1/8).
- [49] キープパワー・テクノロジー株式会社：KEEP POWER，<https://www.keeppower.com/>. (最終参照日: 2025/1/8).
- [50] 福田忠彦，福田涼子，福田忠彦研究室：増補版 人間工学ガイド - 感性を科学する方法 -，株式会社サイエンティスト社 (2009).
- [51] Inc., Q.: System Usability Scale: What it is, Calculation + Usage，<https://www.questionpro.com/blog/system-usability-scale/>. (最終参照日: 2025/1/8).
- [52] 山内繁：人を対象とする研究計画入門: 科学的合理性と倫理的妥当性，丸善出版 (2015).
- [53] Lewis, J. R.: The system usability scale: past, present, and future, *International Journal of Human-Computer Interaction*, Vol. 34, No. 7, pp. 577–590 (2018).

付録A SD法に基づいたアンケートフォーム

動画鑑賞に関するアンケート

- 似たような項目を以前に回答したと感じるときがあるかもしれません、すべての項目は完全に別々のものですので、以前に回答した項目を読み返したり思い返したりしないでください
- この評価実験は能力を判定するものではありませんので、あまり考えこまらず、自分の感じた通りに評価を行ってください。



✉ 共有なし

* 必須の質問です

名前 *

回答を入力

動画鑑賞で感じたイメージについて最もよくあてはまると思うものをお選びください。

Please select the image that best describes your impression of the video.

1 非常にあてはまる
2 とてもあてはまる
3 ややあてはまる
4 どちらでもない
5 やあてはまる
6 とてもあてはまる
7 非常に当てはまる



*

1 2 3 4 5 6 7

動的な (dynamic)



静的な (static)

*

1 2 3 4 5 6 7

気持ちのいい (pleasant)



気持ちの悪い (geeky)

*

1 2 3 4 5 6 7

迫力のある (powerful)



迫力のない (vigorless)

*

1 2 3 4 5 6 7

はっきりした (clear)



ぼんやりした (obscure)

*

1 2 3 4 5 6 7

強い (strong)



弱い (weak)

*

1 2 3 4 5 6 7

好きな (preferred) 嫌いな (dislikable)

*

1 2 3 4 5 6 7

リアリティのある (realistic) リアリティのない (unrealistic)

*

1 2 3 4 5 6 7

興奮した (excitable) 落ち着いた (calm)

*

1 2 3 4 5 6 7

良い (good) 悪い (bad)

送信

フォームをクリア

Google フォームでパスワードを送信しないでください。

このコンテンツは Google が作成または承認したものではありません。 - [利用規約](#) - [プライバシー ポリシー](#)

Does this form look suspicious? [レポート](#)

付録B SUSに基づいたアンケートフォーム

ImmersionFanのユーザビリティに関するアンケート

Google にログインすると作業内容を保存できます。 [詳細](#)

* 必須の質問です

名前 *

回答を入力

ImmersionFanに関するあなたの経験に基づいて、次の記述に対する同意または不同意のレベルを記入してください

Based on your experience with immersionFan, please indicate your level of agreement or disagreement with the following statements

- | | | | | |
|--------------|------------|---------|-----------|-------------|
| 1
強く同意しない | 2
同意しない | 3
中立 | 4
同意する | 5
強く同意する |
|--------------|------------|---------|-----------|-------------|

このシステムを頻繁に使いたいです

*

ポイント

I think that I would like to use this system frequently.

1 2 3 4 5

強く同意しない (Strongly
disagree)



強く同意する (Strongly agree)

このシステムは不必要に複雑であると思います

*

1 ポイント

I found the system unnecessarily complex.

1 2 3 4 5

強く同意しない



強く同意する

システムはシンプルで使いやすいと思います

*

1 ポイント

I thought the system is simple and easy to use.

1 2 3 4 5

強く同意しない



強く同意する

このシステムを使用するには技術サポートが必要です

*

1 ポイント

Technical support is required to use this system

1 2 3 4 5

強く同意しない



強く同意する

システムにあるコンテンツやナビゲーションは十分に統一感があると感じました

* ポイント

I felt that the content and navigation in the system was sufficiently consistent

1 2 3 4 5

強く同意しない



強く同意する

システムには不規則性があると思います

*

1 ポイント

I think there is a sense of unity in the system.

1 2 3 4 5

強く同意しない



強く同意する

ほとんどの人はこのシステムをすぐに習得できると思います

*

1 ポイント

I thought most people can learn this system very quickly.

1 2 3 4 5

強く同意しない



強く同意する

システムはとても操作しづらいと感じます

*

1 ポイント

I find the system very difficult to operate.

1 2 3 4 5

強く同意しない



強く同意する

このシステムを使用することに自信をもっています

*

1 ポイント

I am confident in using this system

1 2 3 4 5

強く同意しない



強く同意する

このシステムを使い始める前に学ぶべきことがたくさんあると思います

* 1 ポイント

I thought there was a lot to learn before I started using this system

1 2 3 4 5

強く同意しない



強く同意する

デバイスに気づいたこと・気になったことを自由に記述してください

Please feel free to describe what you noticed/concerned about the device

回答を入力

送信

フォームをクリア

Google フォームでパスワードを送信しないでください。

このコンテンツは Google が作成または承認したものではありません。 - [利用規約](#) - [プライバシー ポリシー](#)

Does this form look suspicious? [レポート](#)

Google フォーム

質疑応答

戸辺 義人 情報テクノロジー学科 教授

Q	どのように PID 制御を行いましたか。
A	サーミスタを用いて温度制御を行いました。PID 制御についてのパラメータは先行研究を参考に、限界感度法を用いて決定しました。

伊藤 雄一 情報テクノロジー学科 教授

Q	振動はズレによって影響がありませんか。映像とのズレが気になったという人はいませんでしたか。
A	映像とのズレが気になったという人はいませんでしたが、リアルタイム性の向上については今後の課題と考えています。

伊藤 雄一 情報テクノロジー学科 教授

Q	温度変化について、温度の推移過程での視聴の影響はありませんか。
A	今回、推移時の視聴における影響は考慮していませんでした。今後の研究で反映します。

ロペズ ギヨーム 情報テクノロジー学科 教授

Q	目標温度に到達するまでの時間を教えてください.
A	5, 6秒ほどで目標温度まで到達します.

戸辺 義人 情報テクノロジー学科 教授

Q	風の刺激が局所的だと没入感に影響は与えないのでしょうか.
A	今後、局所的な刺激についての没入感の影響について調べたいと思います.

伊藤 雄一 情報テクノロジー学科 教授

Q	風覚に関する論文は参考にしましたか。風速などについて数値的な参考にしたものがあれば教えてください。
A	風覚に関する論文は拝読しましたが、システムに風速などの数値的な反映はできていません。今後の実装の参考にさせていただきます。