

機械システム調査開発
28-D-3

ヘッドマウントディスプレイを中心とした
没入型映像システムに関する戦略策定
報 告 書

平成 29 年 3 月

一般財団法人 機械システム振興協会

委託先 一般財団法人 デジタルコンテンツ協会

序

現在、我が国では、第4次産業革命の推進に向け、革新的技術を核としたイノベーションを生み出すべく、ロボット、AI（人工知能）、IoTやビッグデータ等の新しい技術を活用した様々な試みが進められています。その動きをより強固なものにするには、長年培ってきた多種多様な技術革新の芽を大きく育てる仕組み、即ち具体的な戦略づくりが必要であります。

一般財団法人機械システム振興協会（以下、「協会」という。）では、平成26年度から調査開発事業の中核として「イノベーション戦略策定事業」を、外部組織の皆様とともに始め、3年目を迎えました。

本事業の目的は、機械システムによる新たな社会変革を目指す革新的・先進的技術を基にした戦略づくり、きっかけづくりであります。このため関連する複数の分野の関係者が一堂に会して議論を行い、現状の問題点や課題を検討・整理し、実現すべきシステムの姿およびその実現方策・道筋等を策定するものです。

「ヘッドマウントディスプレイを中心とした没入型映像システムに関する戦略策定」は、上記事業の一環として、ヘッドマウントディスプレイを中心とした没入型映像システムが人に与える効果についての検証及び映像産業のみならず様々な産業領域への応用可能性及び課題を総括的に捉え提言することを目指して、一般財団法人デジタルコンテンツ協会に委託して実施し、多様な分野の関係者とともに協会も参加して議論・検討を行いました。また、協会に「機械システム開発委員会」（委員長：（公財）ハイパーネットワーク社会研究所 理事長・所長、東京大学 名誉教授 大場 善次郎 氏）を設置し、そのご指導・ご助言を受けました。

この成果が、機械システムによる新たな社会変革の進展に寄与するきっかけとなれば幸いです。

平成29年3月

一般財団法人機械システム振興協会

はじめに

本報告書は、一般財団法人デジタルコンテンツ協会が、一般財団法人機械システム振興協会から平成 28 年度事業として受託した「ヘッドマウントディスプレイを中心とした没入型映像システムに関する戦略策定」の成果をまとめたものです。

ヘッドマウントディスプレイ (HMD) を中心とした没入型の体験ができる映像システムが話題となり、2016 年には相次いで製品版が発売されました。こうした没入型映像システムは、提示された映像空間にあたかも体験者自身が存在するような極めて高いリアル感に加え、映像空間内を移動しているような感覚を与えます。この再現力は、映像のみならず産業用に新たな多くの利用可能性を生み出すものと期待されますが、人体への負荷等、負の影響も懸念されています。

本事業では、ヘッドマウントディスプレイを中心とした没入型映像システムという新しい分野の新しい技術をどのように社会システムに組み込んでいくかについて検討することを目的として HMD 戦略策定委員会を設置しました。委員会において、没入感の要素とその手段の分析・整理や相関性の検証を行い、そうした結果を求められる要件としてまとめました。また産業分野での応用の可能性について、委員会メンバー以外 19 社に対するヒアリングを行い、本格普及のためには、HMD の性能・価格改善、利用者の安全確保等、解決すべき多くの課題があることを認識しました。

そうした成果を統合する形で、新たな産業領域での利活用を念頭に 3 つの提言をまとめております。

本事業の実施にあたり、ご指導、ご支援をいただいた関係機関、企業の各位に感謝の意を表します。

平成 29 年 3 月

一般財団法人デジタルコンテンツ協会

報告書目次

1. 背景と目的	1
2. 事業の実施体制	4
3. 事業の内容	7
第1章 没入感の要素と手段の分析・整理	8
1.1 調査方法	8
1.2 視覚刺激による臨場感や没入感の評価指標・事例	9
1.3 視覚刺激による不快感の評価指標・事例	12
1.4 ベクシオン（視覚誘導性自己運動感覚）に関する評価指標・事例	15
1.5 ユーザ体験の観点による視覚刺激の数値的枠組み	18
1.6 まとめ	21
第2章 没入感の要素と手段の相関性の検証	24
2.1 ユーザテストの目的と方法	24
2.1.1 ユーザテストの目的	24
2.1.2 ユーザテストで用いた機器と指標	24
2.1.3 ユーザテストで用いたコンテンツ	26
2.1.4 ユーザテストの条件	26
2.1.5 ユーザテストの手続き	27
2.2 ユーザテストの結果	27
2.2.1 結果：視線計測	27
2.2.2 結果：体動計測	31
2.2.3 結果：SAM（情緒反応）	33
2.2.4 結果：SSQ（不快感）	35
2.2.5 結果：IPQ（臨場感）	39
2.3 考察	42
第3章 没入型映像の利活用に求められる要件	44
3.1 目的	44
3.2 安全かつ快適な没入型映像の要件	44
3.3 まとめ	46
第4章 産業分野での応用可能性の調査	47
4.1 調査方法	47
4.2 調査結果分析	48
4.2.1 現状認識と将来予測	48
4.2.2 分野毎の状況	49
4.2.3 普及のための課題と対応	51
4.2.4 海外の状況	56
4.2.5 まとめ	57

第5章 戦略提言.....	59
4. 事業の成果.....	62
5. 事業の課題および今後の展開.....	68
参考資料 産業分野での調査結果.....	69
(1) A社.....	69
(2) ハコスコ.....	72
(3) KDDI.....	75
(4) 大日本印刷.....	77
(5) 凸版印刷.....	79
(6) ソリッドレイ研究所.....	80
(7) バンダイナムコエンターテインメント.....	82
(8) ソニー・インタラクティブエンタテインメント.....	85
(9) WOW.....	88
(10) 森ビル.....	90
(11) 国際医療福祉大学.....	92
(12) ソニービジネスソリューション.....	94
(13) 日産自動車.....	96
(14) me leap.....	98
(15) 愛知工科大学.....	100
(16) 長崎大学.....	102
(17) 東京大学.....	104
(18) コロプラ.....	105
(19) グリー.....	108

1. 背景と目的

昨今の映像関連技術の進化の中でも特に注目を集めているのが、ヘッドマウントディスプレイ(以下 HMD)を使った映像体験である。

HMD を利用した没入型映像システムは、現在はエンターテインメントの需要が最も多い。離れた場所にいたとしても、まさに自分の体ごと空間にいるような感覚、没入感を体験できる特徴を持っているため、様々な分野への応用が可能である。

例えば、訪れたことのない場所に高空から降りて観光したり、スポーツをフィールドのプレイヤーの視点から観戦したり、またライブをステージ上で視聴するなど、今までできなかった新しい体験を可能としてくれる。

本事業では、平成 26 年度から 4K 映像システム、没入型映像等の先端映像システムが持つ特性を検証するとともに、その特性を最大限に活かして様々な産業応用に資するための戦略を策定してきた。

平成 26 年度事業の「4K 映像に関する戦略策定」では、4K 映像の特徴(質感・構造の理解増進、能動体験の誘発、立体感・奥行き感の増幅等)を分析して、産業領域への展開施策を提言した。また、次のテーマとしてコンテンツへの没入感が抽出された。

平成 27 年度事業の「没入型映像システムに関する戦略策定事業」では、没入感の要素と手段を分析して、人への効果を①視覚、②視覚・その他の感覚、③物語への没入の観点から整理した (P2「没入感に寄与する要素の整理」参照)。また、本事業を実施する中で没入型映像の産業応用には映像酔いへの対応が急務であることが明らかとなった。なお、没入感、および没入型映像システムについて以下のように定義した。

用語	定義
没入感	システムによって提示された空間に実際に身をおいている感覚になること
没入型映像システム	実際に自身がいる目の前の現実空間に何らかの情報が重畳される (AR)、もしくは現実とは異なる空間が提示される (VR) ことによって、自身がまるでその空間に居て、本当にそうしたことが目の前で起きているかのような感覚をもたらすシステム。映像だけでなく聴覚や触覚などあらゆる刺激情報も含む。

AR (Augmented Reality) : 拡張現実。人が知覚する現実環境をコンピュータにより拡張して現実以上のものにする技術。

前述のように HMD を利用した没入型映像システムについては応用展開が大いに期待される一方で、没入型映像システムが人に与える効果についての検証は不十分で、どういった要素によって没入感が得られているのかが検証されていない。そのため、没入感の要素と手段を分析、整理し、戦略提言することが本事業の目的である。

(参考) 没入感に寄与する要素の整理

没入感に寄与する要素を整理するにあたり、全ての没入型映像システムを対象とすると、その特徴がとらえにくくなる可能性があるため、HMD を利用した没入型映像システムを対象とすることとし、特に視覚的な効果を中心に整理を行った。

没入型映像システムが人に与える効果を、「視覚を中心とした効果」「視覚・その他の感覚に対する効果」「物語（世界）への没入効果」に3分類した。さらに視覚を中心とした効果については「リアルな映像の視聴」「包囲感（仮想空間の中に自分が存在することを感じる）」「奥行き感」に分類、またそうした効果を生み出すための手段を整理した。その関係性を下表で表した。

没入感に寄与する要素とそれを実現するための手段

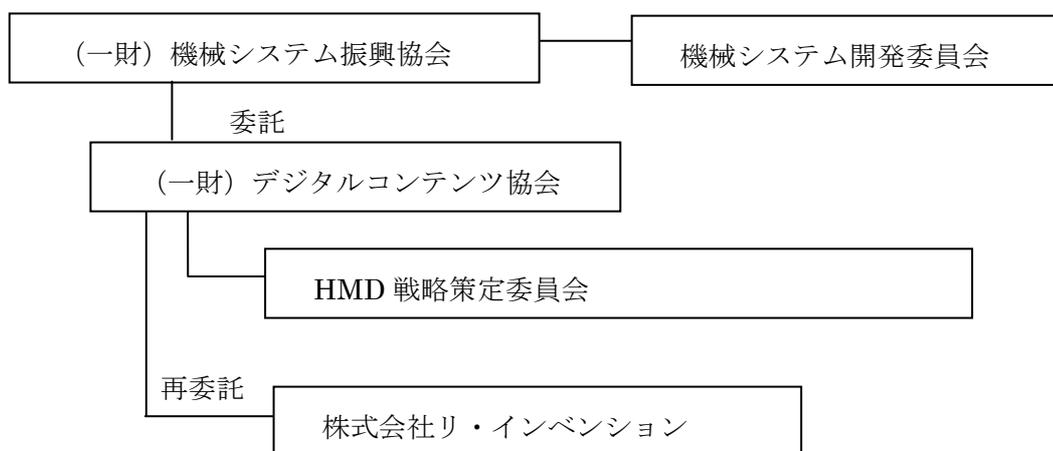
分類	没入感に寄与する要素（人に与える効果）		手段
視覚を中心とした効果	リアルな映像の視聴	人の視覚に近い、またはそれ以上の高い解像度など、違和感のない程度の十分な解像度が没入感を高めるのに必要である。 実際の物体と違い、VR 空間では物体の表面に画像を張り合わせたような印象のものは没入感を下げることにつながる。	高解像度映像、実写コンテンツ
		実写との解像度の乖離が大きいと違和感が生じるので、実写の解像度を下げて表現するか、バーチャルの解像度をなるべく高め、実写との乖離を小さくすると没入感が高くなる。	実写とコンテンツの解像度の乖離、解像度の調整
		ダイナミックレンジが低いと没入感が損なわれることがある。	ダイナミックレンジ
		VR 空間内の手前の物体にピントを合わせると背景がボケるライトフィールドを再現していると没入感が高まる。	ライトフィールドの再現性
	包囲感	包囲感とは、自己の周りに空間的な広がりを感じる感覚。空間に取り込まれる没入感、その場の雰囲気を感じる空気感など。HMD を装着して首を動かした際に、その方向に存在する映像が提示される。Oculus 社では20ms 以下の遅延をボーダーラインとしている。	360 度映像、映像の追随性、インタラクティブ性（時間的応答性）、遅延
		外界を遮断することで没入感が高まる。実世界が見えてしまうことによってバーチャルな空間への没入感やスクリーンの端では立体視が破たんする。 HMD 内での無限遠として表示されている部分では、実際は光を反射しないが、出力するディスプレイ上では黒を表示してもいくらかの反射は残っている。ディスプレイにおいては黒の反射と画面への映り込みが没入感を下げようになる。	実世界が見えない取り組み、HMD の密閉性、ディスプレイへの映り込み・反射
	奥行き感	両眼立体視について、右目で見える像と左目で見える像に視差（両眼視差）をつけることによって奥行きを知覚させることができる。	両眼立体視（輻輳、両眼視差）
		単眼立体視は、時間的な網膜像の変化やズレ（運動網膜像差）を計算して奥行きを感じるもので、片方の目でも知覚することができる。	単眼立体視（運動網膜像差）

視覚 ・ その他の感覚に対する効果	動きに対するリアクション：近づいていくことで、遠くではぼけていたものがはっきり見えるようになることが没入感を高める。遠近とピントによる没入感にも関連する。	ピント調整
	装置の一体感：装置の適切な重さのバランス。装置の落下防止用バンドの適切な強さ。	重み知覚、締め付け感
	身体的なインターフェースによる直観的な操作。	インターフェースの身体性
	その空間の中に自分が存在した場合の視点で映像を見ることで、自分自身がその空間にあることを感じる。自分の周囲の音により空間を把握することによっても没入感が高まる。	1人称視点、視点の位置、VR空間内の目の高さ、空間音響
	映像の中の物体に触ることに対するフィードバックや、移動する際に感じる風を再現することでより、自分自身の体とその空間内にあることを感じる。五感が他の感覚と混ざり合うクロスモーダル現象も没入感を高める。	触覚、フォースフィードバック、クロスモーダル
	体験者が自身の鼻や手や足を視覚的に認知できることで、仮想空間の中に自身がいると認識し、没入感が高まる。	自己身体の描画
	サイズ感：VR空間の物体が、現実世界と同じサイズで表示されること。	サイズ感、知覚の恒常性
	自己運動感(ベクシオン)：ベクシオンとは自己運動の知覚。列車の窓から隣の列車が動き出すとき自分が移動したものと錯覚する現象。	実際に経験したことがあるコンテンツ、現実空間に近いコンテンツ
物語 (世界) への没入効果	1人称(主観)視点の方が3人称視点より没入感が高い。通常、ユーザはシステムを第3人称的に眺めることが多いが、VRでは1人称視点が多い。	1人称視点
	「文脈」や「背景」を意図したコンテンツ制作。世界観の共有。	コンテキスト
	ユーザを誘導するよう設計することで没入感に影響する。視線誘導として、心理学的なものを利用しており、人だかりなど気になる仕組みを置くとそこに視線が誘導されユーザは誘導される。作り込みすぎなくとも没入させることが可能である。	移動空間を設計する技術
	物語に共感したり、物語を他人と共有したりすることで没入感が高まる。	共有・共感
	過去の体験・追体験の再現：ダイビングなど、行為を現実空間で体験したことがある人は、追体験(他人の体験を自分の体験として捉えること)も含めてより没入感が高くなるという傾向がある。	現実世界での類似経験
	外挿：外挿とは、あるところにリアリティのあるものがあつた時に他のところまで伝播すること。人間は外挿によって外側を補完するため、完全に作り込まなくても没入することは可能。	有効視野部分の高精細な映像

2. 事業の実施体制

一般財団法人 機械システム振興協会内に「機械システム開発委員会」を、一般財団法人 デジタルコンテンツ協会内に、学識経験者、業界関係者からなる「HMD 戦略策定委員会」を設置した。

また一部の業務については、一般財団法人デジタルコンテンツ協会より株式会社リ・インベンションに再委託を行った。



機械システム開発委員会名簿

委員長 大場 善次郎 (公財) ハイパーネットワーク社会研究所 理事長・所長
東京大学 名誉教授

委員 黒川 浩助 特定非営利活動法人再生可能エネルギー協議会 理事長

佐久間 一郎 東京大学大学院工学系研究科 附属医療福祉工学
開発評価研究センター長 教授

生田 幸士 東京大学大学院情報理工学系研究科システム情報学専攻 教授

車谷 浩一 東京農工大学 客員教授

佐藤 知正 東京大学 名誉教授

(順不同・平成28年度現在)

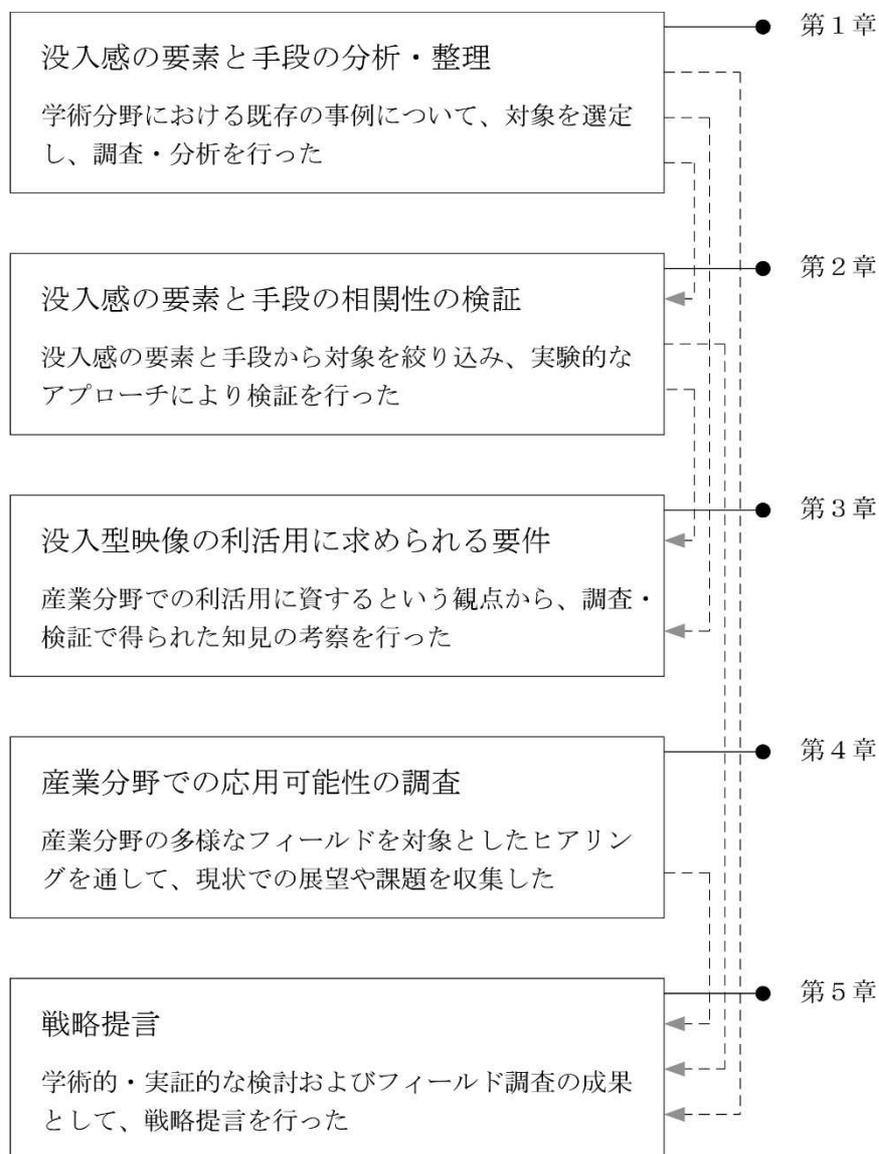
HMD 戦略策定委員会 委員名簿

(順不同・敬称略)

	役割	氏名	所属・役職
1	委員長	河合 隆史	早稲田大学 理工学術院 基幹理工学部 教授
2	委員	岩城 進之介	株式会社ドワンゴ ニコニコ事業統括本部 プラットフォーム事業本部 マルチデバイス企画開発部 先端演出技術開発セクション セクションマネージャ
3	委員	畑田 豊彦	東京工芸大学 名誉教授
4	委員	原田 勝弘	株式会社バンダイナムコエンターテインメント グローバル事業推進室 グローバル事業推進ディビジョン グローバルマーケティング部 ゼネラルマネージャー/チーフプロデューサー
5	委員	宮尾 益知	医療法人社団 益友会 どんぐり発達クリニック 院長 医学博士
6	委員	吉田 修平	株式会社ソニー・インタラクティブエンタテインメント ワールドワイド スタジオ プレジデント
7	委員	渡邊 克巳	早稲田大学 理工学術院 基幹理工学部 表現工学科 教授
8	オブザーバー	樋口 正治	一般財団法人 機械システム振興協会 専務理事
9	オブザーバー	水上 淳二	一般財団法人 機械システム振興協会 理事・技術統括役
10	オブザーバー	中尾 宏子	一般財団法人 機械システム振興協会 調査開発部
11	事務局	太田 啓路	株式会社リ・インベンション 代表取締役
12	事務局	塚田 将太	早稲田大学 基幹理工学研究科 表現工学専攻 河合研究室 修士1年
13	事務局	伴地 芳啓	早稲田大学 基幹理工学研究科 表現工学専攻 河合研究室 修士1年
14	事務局	市原 健介	一般財団法人デジタルコンテンツ協会 専務理事
15	事務局	須藤 智明	一般財団法人デジタルコンテンツ協会 技術部 部長
16	事務局	大塚 敏範	一般財団法人デジタルコンテンツ協会 技術部 主幹
17	事務局	大森 智永子	一般財団法人デジタルコンテンツ協会 技術部

3. 事業の内容

以下に、本事業における取り組みの概要と、本報告書の構成との関連について示した。



第1章 没入感の要素と手段の分析・整理

1.1 調査方法

本章では、没入感の要素と手段の分析・整理にあたり、学術データベースを用いた先行事例の収集・分析とまとめを行った。

調査対象の選定にあたっては、「没入感に寄与する要素とそれを実現するための手段」として、前年度にまとめられた、「視覚を中心とした効果」「視覚・その他の感覚に対する効果」「物語（世界）への没入効果」の中から、委員会で議論し、選定した（前年度の「没入感に寄与する要素の整理」の詳細を P2 に示す）。

具体的には、没入感や臨場感の捉え方として、積極的・消極的の両側面からの検討事例に加え、コンテンツの制作や利活用の観点から、以下の 4 項目を調査対象として選定し、これまでの知見や最近の傾向を把握することとした。

- ・ 視覚刺激による臨場感や没入感の評価指標・事例
- ・ 視覚刺激による不快感の評価指標・事例
- ・ ベクシオンに関する評価指標・事例
- ・ ユーザ体験の観点による視覚刺激の数値的枠組み

各項目について相当数の文献を収集・検討し、特に本調査と関連が深いと考えられたもの、それぞれ 10 件程度を選定し、分析・整理した。

まとめにあたっては、各項目で分析・整理された事例における実験の規模や測定項目などを一覧できる、表の作成を併せて行った。

1.2 視覚刺激による臨場感や没入感の評価指標・事例

本節では、没入型ディスプレイや高精細ディスプレイを用いて映像コンテンツを視聴した際に、生起される臨場感や没入感の構成要因に関する事例から 8 件を抽出し、分類・まとめを行った。和文論文については CiNii Articles を、英文論文については Google Scholar や Web of Science を、それぞれ用い、キーワードとして、「臨場感」「没入感」「HMD」「4K」「VR」「Presence」「Immersion」等を組み合わせて検索した。

本調査の範囲では、臨場感の構成要因に関する事例は、大きく内的要因と外的要因の 2 種類に分類された。以下に、そのまとめについて述べる。

まず、内的要因に関する取り組みにおいて、Mel らは、治療技術として知られている Neuro-Linguistic Programing (NLP) を用いた検討を行った[1]。NLP は、表現系（映像、音響、動き）と知覚の視点（主観・客観）から主観的体験を理解する概念である。20 例の参加者に対し、HMD を用いて VR 空間内での複数の表現系と視点を組み合わせて呈示し、実験後の言語的反応成分から好ましい組み合わせや、それらの相互作用について考察している。

福江らは、視聴覚コンテンツと臨場感について検討した[2]。40 種類の HD（高精細度）コンテンツを用い、因子分析と重回帰分析によって臨場感の多次元性を検討した結果、聴覚の臨場感については、活動性、評価性、心的負荷、日常性の 4 因子が抽出された。一方、視覚の臨場感については、評価性、心的負荷、活動性、日常性、装飾性の 5 因子が抽出されたが、臨場感の評価値を十分に説明することができなかった。視聴覚の臨場感に関しては、心的負荷、評価性、活動性、日常性、自然性の 5 因子が抽出され、特に心的負荷と活動性の 2 因子について臨場感の評価との関連が深いことを指摘している。

Baños らは、感情と臨場感について検討した[3]。30 例の参加者を対象として、HMD、プロジェクター、PC モニターの 3 種類と、感情的か（情緒反応を生起するか）どうかという 2 種類からなる 6 グループに各 10 例の参加者を割り付け、ITC-SOPI (ITC-Sense Of Presence Inventory) と PJPQ (Reality Judgement and Presence Questionnaire) を用いて評価を行った。結果から、没入感と感情的なコンテンツは、いずれも臨場感に影響を及ぼしたが、没入感に関しては感情的でないコンテンツとの関連が深いことを示唆している。

木下らも、感情と臨場感について検討を行っている [4]。40 種類の HD コンテンツを用意し、20 例の参加者を対象として、感情の時系列変化を SD (Semantic Differential) 法を用いて評価した。結果から、参加者の感情は、音のラウドネスや映像の彩度や輝度などの特徴量が関係し、臨場感と覚醒度（興奮・沈静）の間に強い相関があることを指摘している。

また Coxon らは、空間認知能力と臨場感について検討した[5]。53 例の参加者を対象として、HMD を用いた電車内、市街地の 2 種類の VR 空間を呈示した。評価指標として、

MEC-SPQ (MEC-spatial presence questionnaire) と SSQ (Simulator Sickness Questionnaire)、HMD 装着時の頭部運動を測定した。結果から、VR 空間の主観評価は臨場感の指標として有効であるが、空間把握能力との関連は明らかでないことを認めている。

次に、外的要因に関する取り組みにおいて、Bracken は、画質と臨場感について検討した[6]。95 例の参加者を対象として、13 分間の映像コンテンツを HD および SD (標準画質) の 2 条件で呈示し、ITC-SOPI と Lombard らによる質問紙[7]を用いて評価した。結果から、画質の向上が、臨場感を増進する影響源になり得ることを示した。

柳らは、映像呈示領域と臨場感について検討を行っている[8]。8 例の参加者に対し、水平・垂直 180° の領域に映像を呈示し、没入感の指標として重心動揺を測定した。また、主観指標として SDQ-S (Sense of Direction Questionnaire-Short, 方向感覚質問紙) を用いた。結果から、視野角が 100° を越える呈示領域によって移動に伴う没入感が生起されることや、下部の呈示領域の方が臨場感への影響が強いことを認めている。

さらに本田らは、視聴覚コンテンツによる臨場感と迫真性 (verisimilitude) の差異や要因について検討した[9]。35 例の参加者にオーケストラ映像を呈示し、視野角や音圧レベルを操作し、臨場感と迫真性について 6 段階で評定を求めた。結果から、視聴覚コンテンツの視野サイズや音圧レベルは、臨場感と迫真性の要因となり得るが、臨場感は刺激強度に、迫真性は視聴覚の時間的なずれに対して、それぞれ強く依存することを認めている。

参考文献

- [1] S. Mel : “Representation systems, perceptual positions, and presence in immersive virtual environments”, *Presence*, 2(3), pp.221-233, 1993.
- [2] 福江, 小澤, 木下 : “視聴覚コンテンツ臨場感の多次元性に関する検討”, *日本感性工学論文誌*, 11(2), pp.183-192, 2012.
- [3] R.M. Baños, C. Botella, M. Alcañiz, V. Liaño, B. Guerreo, B. Rey : “Immersion and emotion: their impact on the sense of presence”, *Cyber Psychology & Behavior*, 7(6), pp.734-741, 2004.
- [4] 木下, 伊藤, 小澤, 森勢 : “視聴覚コンテンツの臨場感評価のための視聴者の時系列感情分析および感情推定モデルの構築”, *日本感性工学論文誌*, 15(3), pp.407-414, 2016.
- [5] M. Coxon, N. Kelly, S. Page : “Individual differences in virtual reality: Are spatial presence and spatial ability linked?”, *Virtual Reality*, 20(4), pp.203-212, 2016.
- [6] C.C. Bracken : “Presence and Image Quality: The Case of High- Definition Television”, *Media Psychology*, 7(2), pp.191-205, 2005.
- [7] M. Lombard, T.B. Ditton : “Measuring presence: A literature-based approach to the development of a standardized paper and pencil instrument”, *Presence 2001: The third international workshop on presence*, 2000.

- [8] 柳, 橋本, 佐藤: “没入型ディスプレイの映像提示領域による没入感への影響”, 映像情報メディア学会誌, 59(7), pp.1051-1058, 2005.
- [9] 本多, 神田, 柴田, 浅井, 寺本, 坂本, 岩谷, 行場, 鈴木: “視聴覚コンテンツの臨場感と迫真性の規定因”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 18(1), pp.93-101, 2013.

1.3 視覚刺激による不快感の評価指標・事例

本節では、映像刺激によって生起される不快感の評価指標に関する先行事例から 10 例程度を抽出し、分類・まとめを行った。和文論文については CiNii Articles を、英文論文については Google Scholar を、それぞれ用い、キーワードとして、「不快感」「映像酔い」「評価」「HMD」「映像」「客観指標」「主観指標」を組み合わせて検索した。

本調査の範囲では、映像刺激による不快感の評価指標に関する事例は、大きく自覚症状や印象から主観指標を検討する取り組み、主観指標と客観指標を組み合わせた評価手法を検討する取り組み、特定の用途を想定して主観指標と客観指標を適用する取り組みの 3 種類に分類された。以下に、そのまとめについて述べる。

まず、主観指標を検討する取り組みにおいて、成田らは 2D 映像と 3D 映像を視聴した際の心理因子の違いについて検討した[1]。15 例の参加者を対象として、SD (Semantic Differential) 法を用いて評価し、因子分析を用いて解析を行った。評価項目は 37 種類の形容詞対から構成されており、因子分析の結果から、3D 動画像に特有の因子として「自然感」「生命感」「安定感」「現実感」の 4 種類を認めている。

大野らは、質問紙を用いて HMD 使用時の心身機能への影響を検討した[2]。30 例の参加者を対象として、HMD と通常のディスプレイ用いて 3D シューティングゲームをした際の疲労などを 7 件法で評価し、因子分析を用いて解析を行った。評価項目は、動揺病に関する既存の質問紙や VDT 症候群診断基準を参考に、眼の疲れ、身体の疲れ、動揺病などに関係する可能性がある 28 項目を用いた。因子分析の結果から、「眼精疲労」「動揺病」「眼の表面の状態」の 3 因子が抽出され、動揺病に関しては HMD に特有のものであることを認めている。

Keshavarz らは、動揺病の迅速な主観指標として FMS (Fast MS Scale) を提案した[3]。FMS とは、酔いの程度を 20 段階で口頭報告するものである。126 例の参加者を対象として、実写と CG による乗り物の映像を視聴した際の FMS と SSQ (Simulator Sickness Questionnaire) を測定した。結果から、FMS と SSQ の総合得点および吐き気に、高い相関を認めている。

次に、主観指標と客観指標を組み合わせた評価手法を検討する取り組みにおいて、中川らは軽度な酔いを客観指標で検出する手法を検討した[4]。13 例の参加者を対象として、ランダムドットパターンを視聴した際の主観・客観指標を測定し、特に軽度の酔いに着目して自律神経系の客観指標を検討した。主観指標として SSQ、STAI II (State-Trait Anxiety Inventory - II, 特性不安検査)、酔いの程度の 5 段階評価を、客観指標として心電図、呼吸、胃電図を、それぞれ測定した。酔いの程度によるグループ分けの結果から、軽度な酔いの場合に、呼吸周波数と心拍変動の特定の周波数成分が低下することを認めている。

また中川らは、物理的運動刺激と組み合わせた際の酔い評価についても検討した[5]。主観指標としてMSQ (Motion Sickness Questionnaire)、MSQのVR版であるMSQ-VR、SSQ、SDQ-S (Sense of Direction Questionnaire-Short, 方向感覚質問紙簡易版)、酔いの程度の5段階を、客観指標として心電図、呼吸、眼電図、血中酸素濃度を、それぞれ測定した。酔いの程度によるグループ分けの結果から、平均心拍数、心拍第二成分変動、基線変動低周波成分に、他の指標とは異なる傾向を認めている。

小野らは、VR酔いの傾向から参加者をスクリーニングし、映像の特徴や客観指標との関連を検討した[6]。115例からVR酔いの傾向がある14例の参加者を抽出し、ウォークスルー映像を視聴した際の主観・客観指標を測定した。主観指標として酔いの程度の7段階を、客観指標として心拍変動、血圧、脈拍数を、それぞれ測定した。結果から、VR酔いと眼精疲労の相関が高いこと、短時間の体験では自律神経系の働きに影響しないことを認めている。

さらに、特定の用途を想定して主観指標と客観指標を適用する取り組みにおいて、岩瀬らは長時間のHMD使用時の平衡機能に及ぼす影響について検討した[7]。8例の参加者を対象として、HMDを装着し、3Dゲームを180分間行った際のSSQと重心動揺を測定した。結果から、時間経過に伴う姿勢の安定性の低下と、SSQの得点上昇を認めている。

Sugitaらは、主観指標と客観指標間の時間差について検討した[8]。51例の参加者を対象として、20分間のアマチュア映像を視聴した際の主観評価と生理指標を取得し、時間的關係を調べた。主観指標としてSSQおよび酔いの程度の4段階を、客観指標として心電図および血圧を、それぞれ測定した。結果から、酔いの程度の上昇に伴う客観指標間の高い相関と、それによる酔いの予兆を推定する可能性を認めている。

Mossらは、HMDの表示遅延の酔いへの影響について検討した[9]。29例の参加者に対して、HMDを用いた視覚探索課題を求め、主観指標としてSSQを測定した。結果から、表示遅延よりも表示時間の方が酔いへの影響が顕著であること、頭部を繰り返し動かすことそのものが酔いの症状を生起することを認めている。

Pontonnierらは、VR空間での組立作業におけるパフォーマンスと物理的ナリスク要因を評価した[10]。16例の参加者を対象として、実空間とVR空間で簡単な組立作業を求め、その際の主観・客観指標を測定した。主観指標としてRPE (Rated Perceived Exertion : 主観的運動強度) と質問紙を、客観指標として上半身の動きと筋電図活動を、それぞれ不快感の指標として測定した。結果から、VR空間では実空間よりも筋活動の低下がみられたにもかかわらず、主観的な不快感は上昇することを認めている。

Eganらは、QoE (Quality of Experience) の観点からコンシューマ向けVRコンテンツを評価した[11]。33例の参加者を対象として、HMDと通常のディスプレイを用いて街並みを観察した際の、主観・客観指標を測定した。主観指標として没入感や使用感を、客観指標として心拍数および皮膚電気活動を、それぞれ測定した。結果から、皮膚電気活動にお

いて、HMD と通常のディスプレイの間での差異、および主観指標の一部との相関関係を認めている。

参考文献

- [1] 成田, 金澤 : “2D/3D HDTV 画像の心理因子分析と総合評価法に関する考察” , 映像情報メディア学会誌, 57(4), pp.501-506, 2003.
- [2] 大野, 鶴飼 : “Head Mounted Display をゲームに使用して生じる動揺病の自覚評価” , 映像情報メディア学会誌, 54(4), pp.887-891, 2000.
- [3] B. Keshavarz, H. Hecht : “Validationg an Efficient Method to Quantify Motion Sickness”, Human Factors, 53(4), pp.415-426, 2011.
- [4] 中川, 大須賀, 竹田 : “VE 酔い評価手法の開発に向けての基礎的検討” , 人間工学, 36(3), pp.131-138, 2000.
- [5] 中川, 大須賀, 竹田 : “映像と動きに誘発された「酔い」における生理反応の基礎的検討 : 大型 4 面立体映像提示装置と 6 軸モーションを用いて” , 日本バーチャルリアリティ学会, 6(1), pp.27-35, 2001.
- [6] 小野, 大山, 吉澤, 佐野, 平手 : “疲労と生理応答を対象とした VR 酔いの検討 : VR 技術を用いた居住環境の提示・評価に関する基礎的研究 その 2” , 日本建築学会環境系論文集, 594, pp.77-83, 2005.
- [7] 岩瀬, 村田 : “長時間の HMD 装着作業が平衡機能に及ぼす影響” , 電子情報通信学会, J85-A(9), pp.1005-1013, 2002.
- [8] S. Norihiro, Y. Makoto, T. Akira, A. Makoto, H. Noriyasu, C. Shigeru, Y. Tomoyuki, N. Shin-ichi : “Evaluation of temporal relationship between a physiological index and a subjective score using average mutual information”, Displays, 32(4), pp.201-208, 2011.
- [9] J.D. Moss, J.A. Salley, J. Coats, K. Williams, E.R. Muth : “The effects of display delay on simulator sickness” , Displays, 32, pp.159-168, 2011.
- [10] C. Pontonnier, A. Samani, M. Badawi, P. Madeleine, G. Dumont : “Assessing the Ability of a VR-Based Assembly Task Simulation to Evaluate Physical Risk Factors”, IEEE, 20(5), pp.664-673, 2014.
- [11] D. Egan, S. Brennan, J. Barrett, Y. Qiao, C. Timmerer, N. Murray : “An evaluation of Heart Rate and Electrodermal Activity as an Objective QoE Evaluation method for Immersive Virtual Reality Environments”, IEEE, pp.1-6, 2016.

1.4 ベクシオン（視覚誘導性自己運動感覚）に関する評価指標・事例

本節では、実際には静止しているにも関わらず、視覚情報などによって身体の移動感覚を引き起こす、ベクシオン（vection：視覚誘導性自己運動感覚）と呼ばれる錯覚現象に関する評価指標の先行事例を 10 例程度抽出し、分類・まとめを行った。ベクシオンは、自己運動を伴う臨場感の生起に深いかかわりがあると考えられる。和文論文については CiNii Articles を、英文論文については Google Scholar を、それぞれ用い、キーワードとして、「ベクシオン」「視覚誘導性自己運動感覚」「臨場感」「主観指標」「客観指標」を組み合わせ、検索した。

本調査の範囲において、ベクシオンに関する評価指標の事例は、視覚によるベクシオンの生起、聴覚によるベクシオンの生起、前庭感覚刺激によるベクシオンの生起、その他の要因によるベクシオンの生起、ベクシオンの応用例の 5 種類に大別された。以下に、そのまとめについて述べる。

まず、視覚によるベクシオンの生起に関して、妹尾がまとめた効率的なベクシオン駆動に関する調査がある[1]。多くの先行研究から、ベクシオンを効率よく誘導するには「視野位置」「大きさ」「奥行き感」「空間周波数」「認知的な要因」の 5 つの要因が重要であると述べている。ベクシオンを誘発する映像刺激が周辺視野にも存在し、その面積が大きく、空間認知的に奥にあり、低空間周波数かつ注意が向けられていないという条件がベクシオンを最も引き起こしやすい条件であると結論付けている。

Palmisano らは、ベクシオンを誘導するための視覚刺激であるオプティカルフロー（映像に含まれる移動ベクトル）に付加的な振動を与え、ベクシオン生起のしやすさについて検討した[2]。14 例の参加者に対し、付加的振動の有無からなる 2 種類の刺激を呈示し、ボタンの押下によるベクシオンの知覚状態について調査した。結果から、動きが直線的な従来のオプティカルフローに比べ、付加的な振動を与えた方が有意に潜時（刺激を開始してからベクシオンを知覚するまでの時間）が短くなり、持続時間も長くなることを認めている。

聴覚によるベクシオンの生起において、崔らは音刺激がベクシオンの強度に与える影響について検討した[3]。聴覚刺激として参加者の頭外を回転する音場を再現し、視覚刺激として回転ベクシオンを誘発するランダムドットパターンが用いられた。視覚刺激の条件として、画面の正中面から外側にかけての隠蔽範囲が 20%、40%、60% の 3 条件を設定した。5 例の参加者に対して、ME 法（マグニチュード推定法）を用い、各刺激のベクシオンの強度の評価を求めた。結果から、視覚刺激の信頼度が低い場合（隠蔽範囲が 60% の場合）のみ、聴覚刺激がベクシオンの強度を増進することが分かった。

Bernhard らは、立体音響の付加が VR 空間でのベクシオンに与える影響について検討し

た[4]。カーブスクリーンに投影した 360° 実写映像と、ヘッドフォンによる立体音響を呈示し、無音の場合とモノラル音響を付加した場合との差異を調べた。評価指標として、ベクションの潜時、持続時間、強度に加えて、臨場感の主観指標である IPQ (iGroup presence questionnaire) を用いた。20 例の参加者を対象とした実験結果から、立体音響を付加した場合、無音やモノラル音響に比べ、有意なベクションと臨場感の増進を認めている。同時に、立体音響の再現性（仮想音源の数など）は、ベクションと臨場感に大きな影響を与えないことも指摘した。

次に、前庭感覚刺激によるベクションの生起に関して、櫻井らは拡大縮小するランダムドットパターンを HMD 上に呈示し、左右方向に加速度を与える振り子型可動イスを用いて検討を行った[5]。10 例の参加者に対して、ベクションの知覚毎に報告を求めた結果から、視覚と前庭覚に与えた運動方向の中間の方向に運動感覚が知覚される傾向が示された。

Harris らは、HMD を用いて前進ベクションを生起する視覚刺激を呈示し、参加者をのせた台車が前進することで前庭刺激を加える実験環境を構築し、検討を行った[6]。17 例の参加者に対し、視覚刺激観察中の体感としての前進距離の報告を求めた。結果から、前方への加速度の付加はベクションに影響を及ぼし、進行距離を実際の移動距離の 2 倍ほど長く見積もる傾向を認めている。同時に、実際よりも強度の小さい前提刺激で、より強い自己運動感覚が得られる可能性を指摘した。

その他の作用によるベクションの生起に関して、畠山らは個人の知覚経験がベクションに与える影響について検討した[7]。運転免許取得者 3 例と未取得者の 3 例を対象として、大型スクリーンに拡散刺激と収束刺激を呈示することで前進もしくは後退するベクションを生起させ、参加者の保持するレバーにより潜時とベクション強度を測定した。結果から、全ての条件において運転免許保持者の潜時が短く、知覚経験の有無が関連するベクションの生起に影響を及ぼす可能性を指摘した。

Bubka らは、前進および後退ベクションの生起のしやすさと強度の差異について検討した[8]。15 例の参加者を対象として、大型スクリーンに拡散刺激と収束刺激を呈示し、ベクションの知覚時にレバー操作による強度の報告を求めた。結果から、後退ベクションにおいて顕著な潜時の短縮と強度の上昇を認めている。このことから、前進ベクションを抑制した要因として、日常生活における前進頻度の蓄積を指摘した。

さらに、ベクションの応用例に関して、川島らは速度感覚の変化を試みた[9]。高速道路の走行をシミュレートした CG を球面ディスプレイ上に立体呈示し、道路側面に配置した柱状物体を点滅させることで、任意の速度のベクションを誘導するよう意図した。19 例の参加者に対して、一対比較法によって、速度の異なる 2 種類の条件のうち高速に感じられたものの回答を求めた。結果から、ベクションの誘導により速度感覚を変化させることが

可能であることが示された。

Miles らは、ベクシオンと時間知覚の関係性について検討した[10]。前進および後退ベクシオンを生起する拡散収束刺激を大型スクリーンに呈示し、その際に想起された出来事の差異を調べた。26 例の参加者を対象として、VAS (visual analog scale) を用い、想起した出来事が過去か未来かの回答を求めた。結果から、後退ベクシオンは過去を、前進ベクシオンは未来を想起する傾向を認めている。

参考文献

- [1] 妹尾：“効率的なベクシオン駆動に関する知見と脳イメージング研究から得られたベクシオンの知見の VR コンテンツへの活用可能性”，日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 14(4), pp.481-490, 2009.
- [2] S. Palmisano, B.J. Gillam, S.G. Blackburn：“Global-perspective jitter improves vection in central vision”，*Perception*, 29(1), pp.57-67, 2000.
- [3] 崔, 柳生, 坂本, 岩谷, 鈴木：“回転する聴覚刺激が回転ベクシオン感覚に及ぼす影響”，電子情報通信学会論文誌, D97(4), pp.891-894, 2014.
- [4] R.E. Bernhard, A. Väljamäe, J. Schulte-Pelkum：“Moving sounds enhance the visually-induced self-motion illusion (circular vection) in virtual reality”，*ACM Transactions on Applied Perception*, 6(2), pp.7, 2009.
- [5] 櫻井，“視覚と前庭覚のクロスモーダルな自己運動知覚（一般セッション（4）, 「手」, 「感性情報処理」及びヒューマン情報処理一般）.” 電子情報通信学会技術研究報告. HIP, ヒューマン情報処理, 106(410), pp.161-164, 2006.
- [6] L. Harris, M. Jenkin, D.C. Zikovitz：“Vestibular cues and virtual environments: choosing the magnitude of the vestibular cue”，*Proceedings IEEE Virtual Reality (Cat. No. 99CB36316)*, 1999.
- [7] 畠山, 根岸, 金子：“視覚運動パターンの知覚経験が視覚誘導性自己運動知覚に与える影響”，電子情報通信学会技術研究報告, 109(261), 2009.
- [8] A. Bubka, F. Bonato, P. Palmisano：“Expanding and contracting optic-flow patterns and vection”，*Perception*, 37(5), pp.704-711, 2008.
- [9] 川島, 内川, 金子, 福田, 山本, 木屋：“道路側面に設置された点滅柱状物体により生起する視覚誘導自己運動感覚を交通工学的に応用した自動車運転者の速度感覚変化手法”，映像情報メディア学会誌, 65(6), pp.833-840, 2011.
- [10] L.K. Miles, K. Karpinska, J. Lumsden, C.N. Macrae：“The meandering mind: Vection and mental time travel”，*PLoS One*, 5(5), e10825, 2010

1.5 ユーザ体験の観点による視覚刺激の数値的枠組み

本節では、ユーザ体験の観点により視覚回転運動や視野角、フレームレートといった視覚刺激の数値的枠組み（域値）に関する先行事例から 10 例程度を抽出し、分類・まとめを行った。和文論文については CiNii Articles を、英文論文については Google Scholar を、それぞれ用い、キーワードとして、「映像酔い」「VR 酔い」「Simulator Sickness」「Cyber Sickness」「Motion Sickness」「閾値」などを組み合わせて検索した。

本調査の範囲では、ユーザ体験の観点による視覚刺激の域値に関する事例は、大きく回転運動やベクシオンといった刺激強度の影響を検討する取り組み、視野角やフレームレートといった呈示条件の影響を検討する取り組み、ユーザの年齢や性別といった属性の影響を検討する取り組みの 3 種類に分類された。以下に、そのまとめについて述べる。

まず、回転運動やベクシオンといった視覚刺激の強度による影響を検討する取り組みにおいて、氏家らは映像酔いと視覚回転運動の速度との関係を検討した[1]。参加者を中心として直交座標系のヨー軸、ピッチ軸、ロール軸に対して、回転速度によって映像酔いに対する影響の違いを明らかにすることを目的としている。ロール軸回転が映像酔いに最も影響するという知見に基づいて、39 例の参加者を対象とし、各回転軸に 7 種類の速度の一方方向回転の刺激を呈示した際の映像酔いとベクシオン強度に関する主観評価を行った。結果から、いずれの主観評価でも特定の速度帯域で上昇することが明らかになり、特に 30~60 deg./sec. の回転速度が顕著であった。

また氏家らは、上記事例で用いた視覚回転運動は一方向回転だったのに対し、各軸周りの往復回転運動の視覚刺激を用いた検討も行っている[2]。40 例以上の参加者を対象として 82×67 deg. の視野角で 1 分間刺激を呈示した。往復運動の条件は、2 種類の振幅（30, 90deg）、6 種類の周波数は（0.03, 0.06, 0.12, 0.24, 0.49, 1.0 Hz）を設定し、映像酔いに関する 11 段階の主観評価を行った。結果から、映像酔いの大きさは、映像中のグローバル運動の周波数成分ではなく、主として速度成分によって支配されることが明らかになった。また、ロール回転で 90 deg. の振幅において、映像酔いの主観評価の上昇を認めている。

Hu らは、回転運動によるベクシオンの生起と映像酔いとの関係について検討した [3]。回転ドラムを用いて 60 例の参加者を対象に、15、30、60、90 deg./sec. のヨー軸回転刺激を呈示し、その際の酔いと胃電図への影響を調べた。その結果、60 deg./sec. で酔いの主観評価と胃電図への影響が最大となることが明らかになった。

次に、呈示条件による影響を検討する取り組みにおいて、Lin らは視覚刺激の視野角の増加に伴う映像酔いおよび臨場感への影響を検討した[4]。10 例の参加者を対象とし、4 種類の視野角（60, 100, 140, 180 deg.）からなる呈示条件を設定し、ドライビングシミュレータを提示した。その際の映像酔いとプレゼンスへの影響を調査した結果、視野角の増加に伴

いどちらのスコアも増加することが明らかになった。ただし、視野角が 140° を越えると映像酔いのスコアの上昇は小さくなり、漸近線に近づく傾向が認められた。映像酔いの主観評価には SSQ (Simulator Sickness Questionarie) を使用している。

視野角の増加による影響について、Duh らは、姿勢の安定性について検討した[5]。10 例の参加者を対象に、6 種類の視野角 (30, 60, 90, 120, 150, 180 deg.) で観察した際の姿勢の安定性について調査を行った。姿勢の安定性の評価については、Balance platform (Chattecx) が使用されている。結果から、視野角の増加に伴い、参加者はバランスを崩しやすくなり、姿勢の安定性を失うことが明らかになった。特に 150~180 deg. の視野角の増加にかけて、姿勢の乱れが顕著となったことを報告している。

Meehan らは、フレームレートの増加による影響について検討した[6]。33 例の参加者を対象とし、4 種類のフレームレート (10, 15, 20, 30 fps) を設定し、VR 環境内での課題遂行時の心拍数を測定した。結果から、10 fps で顕著な生理的変化を認めており、フレームレートの低下に伴う遅延による不快感の上昇を、その要因として挙げている。

さらに近年では、視野角に制限を設けることによって、VR 空間での移動に伴い不快感を減少するという試みがなされている [7]。Fernandes らは、30 例の参加者を対象として、不快感の主観評価とゲームの継続時間を計測した。結果から、VR 空間での移動の際に視野角を制限した方が、制限を設けなかった条件よりも快適に感じ、ゲームの継続時間も延長することを認めている。

また藤木らは、VR 空間におけるコンテンツのクオリティが、映像酔いに及ぼす影響について検討した [8]。40 例の参加者を対象として、CG モデルの精度が 5 段階で高くなるコンテンツを用意し、コントローラを用いた 2 分間の歩行課題を求めた。ここで、CG モデルの精度とは、VR 空間内のモデルやテクスチャのクオリティを指す。結果から、精度の向上に伴い、映像酔いの減少傾向を認めている。

さらに、ユーザの属性の影響に関する取り組みにおいて、Arns らは年齢と映像酔いとの関係について検討した[9]。387 例の参加者を対象として、没入型の VR 空間を体験後の、映像酔いに関する主観評価を行った。結果から、高齢者は若年者よりも映像酔いを起こす傾向が高いこと認めており、年齢の増加に伴う、バランスやめまいに関する影響を指摘している。

一方、小野は、性別と映像酔いとの関係について検討した[10]。97 例の参加者を対象として、住宅 (居間) の VR 空間を体験後の映像酔い、立体感、没入感に関する主観評価を行った。結果から、10 分間前後の VR 空間の体験では、男性よりも女性の方が、時間経過に伴う映像酔い発症しやすいという傾向がみられた。とりわけ 20 才代の女性においてスコアの上昇が顕著であったため、映像酔いに対する感度の高さを指摘している。

参考文献

- [1] H.Ujike, T.Yokoi, S.Saida : “Effects of virtual body motion on visually-induced motion sickness”, Proc. IEEE EMBS 2004, pp.2399-2401, 2004.
- [2] H.Ujike, R.Kozawa, T.Yokoi, S.Saida : “Effects of rotation components of yaw, roll and pitch on visually-induced motion sickness”, Proc. HCLL 2005, pp.2353-2356, 2005.
- [3] S. Hu, R.M. Stem, M.W. Vasey, K.L. Koch : “Motion sickness and gastric myoelectric activity as a function of speed of rotation of a circularvection drum”, Aviation, Space, and Environmental Medicine, 60, pp.411-414, 1989.
- [4] J.J-W.Lin, H.B.L.Duh, D.E.Parker, H.Abi-Rached, T.A.Furness : “Effects of Field of View on Presence, Enjoyment, Memory, and Simulator Sickness in a Virtual Environment”, Proceedings of the IEEE Virtual Reality, pp.164-171, 2002.
- [5] H.B-L.Duh, J.J.W.Lin, R.V.Kenyon, D.E.Parker, T.A.Furness : “Effects of field of view on balance in an immersive environment”, Proceedings of the Virtual Reality 2001 Conference, pp.235-240, 2001
- [6] M.J.Meehan : “Physiological Reaction as an Objective Measure of Presence in Virtual Environments”, Doctoral Dissertation, Computer Science, University of North Carolina, Chapel Hill, NC, USA, pp.1-142, 2001
- [7] A.S.Fernandes, S.K.Feiner : “Combating VR Sickness through Subtle Dynamic Field-Of-View Modification”, IEEE Symposium on 3DUI, IEEE, pp.201-210, 2016.
- [8] 藤木, 市村, 寺嶋, 小清水 : “VR コンテンツの精度が現実感と酔いに与える影響” , 日本教育工学会, 36, pp.73-76, 2012.
- [9] L.L. Arns, M.M. Cerney : ”The relationship between age and incidence of cybersickness among immersive environment users”, Proceedings of the IEEE Virtual Reality, pp.267-268, 2005.
- [10] 小野, 大山, 森川, 吉澤, 佐野, 平手 : “VR を用いた住空間提示・評価に関する基礎的研究 –その5 性別・年齢差による評価”, 日本建築学会, 40360, pp.735-756, 2003.

1.6 まとめ

本章では、学術分野における没入感の要素と手段の分析・整理を行った。本節では、そのまとめとして、各項目の分析・整理で得られた知見の概要に加えて、対象とした事例の実験規模や測定項目などを一覧可能な表を表 1.1 から表 1.4 に示す。

まず、視覚刺激による臨場感や没入感の評価は、ユーザ体験の理解や情緒反応との連関といった内的な要因と、コンテンツとしての表現技術に関わる外的要因から検討されている。これらの多くは、内的要因と外的要因の相互作用の解明を目指したものである。

没入型映像システムの産業応用において懸念される、視覚刺激による不快感については、生理・心理反応を手掛かりとした実験的な検討が行われている。その評価指標や手法のコンセンサスは未だ確立されていないが、主観・客観指標を併用する事例が多く、近年では特定のコンテンツやアプリケーションを想定した評価が行われる傾向にある。

運動性の臨場感に関わるバクシオンは、視覚に加えて聴覚や前庭感覚による生起の他、その応用についても検討されている。そのアプローチとしては、バクシオンの生起する条件や強度に関する特性に着目したものが多く、条件設定も没入型映像システムとの関連が深い。

さらに、本委員会においても、とりわけコンテンツ制作者からの要望の多い閾値に関する事例では、刺激強度と呈示条件、ユーザの属性の観点から、特定の環境下における物理尺度と、それに対する生体反応の特徴について検討が行われている。

以上、本章で分析・整理した事例は、指標や対象も多岐に亘り、実験的な規模や手法もさまざまであるが、一種のエビデンスに基づいた没入型映像の制作・応用に関わる多角的な知見として捉えることができると考えられる。

また、本章で行った没入感の要素と手段の分析・整理の結果は、第 2 章での実験的なアプローチの手がかりとなると同時に、第 3 章および第 5 章での考察・検討に反映される。

表 1.1 まとめ：視覚刺激による臨場感や没入感の評価指標・事例

著者	発行年	N	客観指標					主観指標										
			頭部運動	重心動揺	時間同期	視野角	音圧レベル	MEC-SPQ	ITQ	PQ	SDQ-S	SSQ	BDI	ITC-SOPI	RJPQ	SD法	その他	
Melら	1993	20																X
Bañosaら	2004	60											X	X	X			
柳ら	2005	8		X							X							X
Brackenら	2005	95												X				X
福江ら	2012	21															X	
本田ら	2013	35			X	X	X											X
木下ら	2015	20															X	
Coxonら	2016	53	X						X				X	X				

表 1.2 まとめ：視覚刺激による不快感の評価指標・事例

著者	発行年	N	客観指標								主観指標							
			心電図	呼吸	胃電図	眼電図	皮膚電位	血中酸素濃度	重心動揺	血圧・脈拍数	筋電図	酔い	MSQ	MSQ-VR	SDQS	SSQ	RPE	FMS
大野ら	2000	30																X
中川ら	2000	13	X	X	X							X						X
中川ら	2001	16	X	X		X		X				X	X	X	X			X
岩瀬ら	2002	8							X							X		
成田ら	2003	15																X
小野ら	2005	115	X							X		X						X
Keshavarzら	2011	126														X	X	
Sugitaら	2011	51	X							X		X				X		
Mossら	2011	29														X		
Pontonierら	2014	16									X						X	X
Eganら	2016	33	X				X											X

表 1.3 まとめ：ベクションに関する評価指標・事例

著者	発行年	N	呈示刺激			評価指標							
			視覚刺激	聴覚刺激	前庭刺激	潜時	持続時間	ME法	IPQ	VAS	一対比較法	その他	
Harrisら	1999	17	X		X								X
Palmisanoら	2000	14	X			X	X						
櫻井ら	2006	10	X		X								X
Bubkaら	2008	15	X			X							X
妹尾ら	2009	-	X			X	X	X					
Bernhardら	2009	20	X	X		X	X		X				X
畠山ら	2009	6	X			X							X
Milesら	2010	26	X							X			
川島ら	2011	19	X								X		
崔ら	2014	5	X	X				X					

表 1.4 まとめ：ユーザ体験の観点による視覚刺激の数値的枠組み

著者	発行年	N	回転運動	視野角	フレームレート	年齢	性別	コンテンツ	生理反応
Huら	1989	60	X						X
Duhら	2001	10		X					
Meehanら	2001	33			X				
Linら	2002	10		X					
小野ら	2003	97				X	X		
Ujikeら	2004	39	X						
Himiら	2004	17							X
Ujikeら	2005	40	X						
Arnsら	2005	387				X			
藤木ら	2012	40		X				X	
Fernandesら	2016	30		X					

第2章 没入感の要素と手段の相関性の検証

2.1 ユーザテストの目的と方法

本章では、第1章で行った没入感の要素と手段の分析・整理を踏まえ、実験的なアプローチ(ユーザテスト)により検証を行った。

検証する要素と手段は、委員会での議論の結果から、以下の6項目を選定した。

- ・ 注視対象の有無と分布
- ・ 視点移動の大きさ
- ・ 再生空間の広がり
- ・ 両眼視差の有無
- ・ 映像表現(実写・CG)
- ・ 視聴環境(椅子の回転の有無)

2.1.1 ユーザテストの目的

本ユーザテストでは、現状、市販されているミドルエンドのヘッドマウントディスプレイ(HMD)を用いた、一般公開されている360°コンテンツの視聴体験を対象とした。

これは、第1章で収集した事例では、ほとんどみられなかった条件設定である。

本章では、現状に即した条件下において、ユーザの視覚・行動特性および心理反応について基礎的な知見を得ることで、没入型映像の利活用に求められる要素と手段ならびに戦略提言に資することを目的とした。

2.1.2 ユーザテストで用いた機器と指標

(1) HMD

呈示機器としてのHMDは、Samsung Gear VR(視野角96°、重量約318g)および内臓スマートフォン(解像度2560*1440ピクセル、重量約158g)相当を用いた。なお、ヘッドフォンを用いて音声を呈示した。

(2) 生理指標：注視点

360°コンテンツ視聴中の視線計測を、アイトラッキング装置 SMI Mobile Eye Tracking HMD

(測定可能視野角 96° , 測定周波数 60Hz) を用いて行った。

(3) 生理指標：椅子・身体部位の回転角

360° コンテンツ視聴中の体動を、アクションカメラ GoPro HERO4 (1080p, 60FPS) を用いて記録した。なお、記録結果の画像解析のために体動計測用のマーカを、椅子と参加者の肩に装着した。また、座面が回転できる状態とできない状態を切り替え可能な椅子を使用した。本ユーザテストにおける実験系の概要を、図 2.1 に示した。

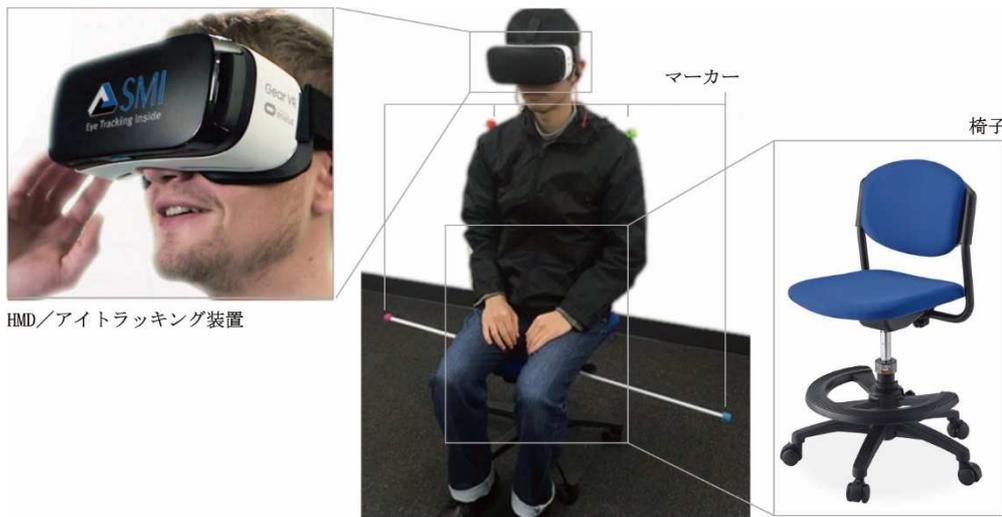


図 2.1 実験系の概要

(4) 心理指標：情緒反応

コンテンツ視聴後の覚醒度・情動価を、SAM (Self-Assessment Manikin) [1] を用いて評価した。SAM とは、快・不快の度合い (Pleasant) と覚醒度 (Arousal) を、図を用いて 9 段階で評価する質問紙である。

(5) 心理指標：不快感

コンテンツ視聴後の自覚症状を、SSQ (Simulator Sickness Questionnaire) [2] を用いて評価した。SSQ は、映像酔いの評価で広く用いられている質問紙であり、吐き気や不快感をあらわす Nausea、目の疲れをあらわす Oculomotor、めまいやふらつきをあらわす Disorientation の 3 因子から構成される。

(6) 心理指標：臨場感

各コンテンツの存在感・没入感・臨場感を、IPQ (Igroup Presence Questionnaire) [3] を用

いて評価した。IPQ は臨場感を評価する質問紙であり、一般的な臨場感 (General Presence)、空間的な臨場感 (Spatial Presence)、没入感 (Involvement)、現実感 (Experienced Realism) の 4 因子から構成される。

(7) 心理指標：内省報告

各コンテンツの好ましきなどの印象を、実験後にインタビュー法により取得した。

2.1.3 ユーザテストで用いたコンテンツ

YouTube 等から、再生時間が 1 分 30 秒以上で再生数が多いコンテンツを抽出した。それらを没入感の要素と手段の観点から分類し、表 2.1 に示す 5 種類を選定した。

表 2.1 選択した 360°コンテンツ

番号とタイトル	注視対象	視点移動	空間	両眼視差	映像
A Star Wars - 360°VR [4]	あり (全周)	多い	閉鎖	なし	CG
B Great White Sharks [5]	あり (全周)	少ない	開放	あり	実写と CG
C Dream Beach 360 [6]	なし	少ない	開放	なし	実写
D Divecoaster [7]	あり (前方)	多い	開放	なし	実写
E Waiting for Love [8]	あり (全周)	少ない	閉鎖	あり	実写

各コンテンツの概要は、以下の通りであった。

コンテンツ A 宇宙船の中を、走り回るロボットの視点から表現した 360 度の動画像

コンテンツ B ダイバーの視点で海中を泳ぎ回るサメ、魚を表現した 360 度の動画像

コンテンツ C 南国の美しいビーチの風景を表現した 360 度の動画像

コンテンツ D ジェットコースターに乗った人の視点で表現した 360 度の動画像

コンテンツ E ポップミュージックにあわせて踊る複数のダンサーを表現した 360 度の動画像

なお、各コンテンツには、冒頭に注視点 (十字) の付加されたブランク映像を挿入した。また、再生時間を 1 分 30 秒に統一し、音声は平均音圧を統制した。

2.1.4 ユーザテストの条件

本ユーザテストでは、5 種類のコンテンツと椅子の回転の有無からなる 2 要因を設定した。

実験参加者は、20 才代の男女 20 例であり、それぞれ 10 例ずつ、椅子の回転の有りと無しに割り付けを行った。

2.1.5 ユーザテストの手続き

本ユーザテストは、以下の流れで実施された。

- ① インフォームドコンセントの取得
- ② 参加者の属性の記入
- ③ 参加者の視覚機能（屈折値および立体視）の検査
- ④ 質問紙への回答方法および HMD の操作方法に関する事前説明
- ⑤ 練習試行の実施
- ⑥ SAM および SSQ への回答（PRE）
- ⑦ コンテンツの視聴（1分30秒）
- ⑧ SAM、SSQ（POST）および IPQ への回答
- ⑨ インタビュー、休憩
- ⑩ 上記⑥から⑨までを、ランダムな順序で5種類のコンテンツ分反復
- ⑪ 全試行終了後のインタビュー

2.2 ユーザテストの結果

2.2.1 結果：視線計測

20例の参加者のうち、正常にデータの取得できた14例（椅子の回転あり7例、なし7例）を対象として解析を行った。

解析にあたっては、仮想ディスプレイ内の視線移動（静止視野）と、頭部運動を伴う全周での視線移動（動視野）の2種類に分類した（図2.2）。

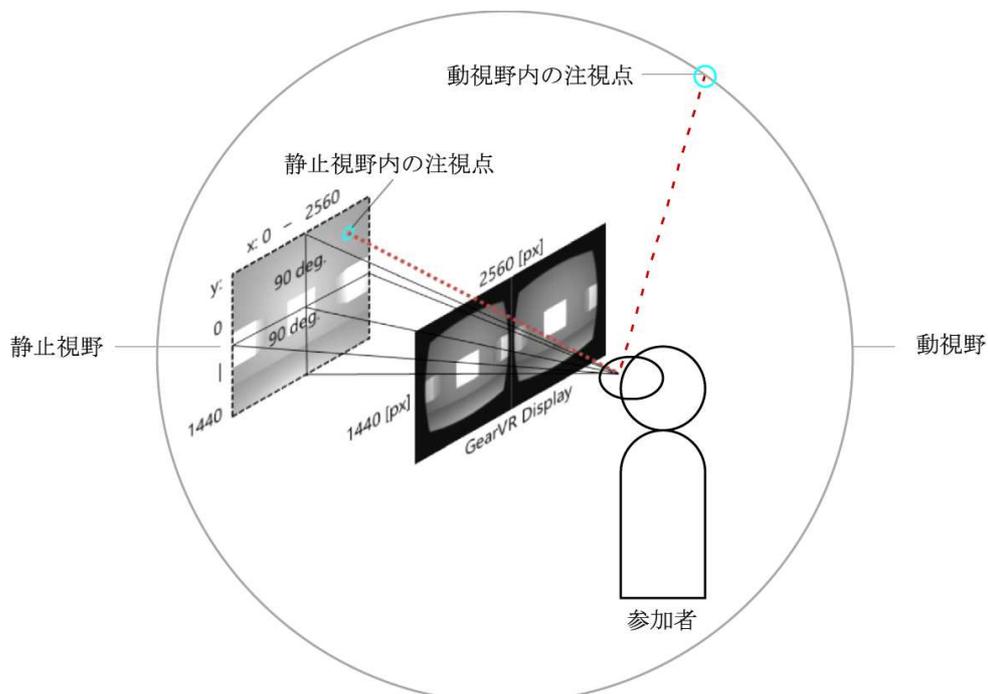


図 2.2 解析対象のイメージ

(1) 静止視野

まず、水平方向の注視分布をクラスタリングしたところ、静止視野内の広範囲に視線移動がみられるコンテンツ（B、C、E）と、仮想ディスプレイの中心に視線の集まるコンテンツ（A および D）とに分類された。図 2.3 から図 2.7 に、コンテンツ A から E の注視分布のヒートマップを示した。

図 2.3 から図 2.7 より、静止視野内での注視分布の差異が認められる。一方で、静止視野内での視線の総移動距離を算出した結果を図 2.8 に示した。2 要因の分散分析の結果から、有意差は認められなかったことから、視線移動量という点では、コンテンツおよび椅子の回転の有無による影響はみられなかった。

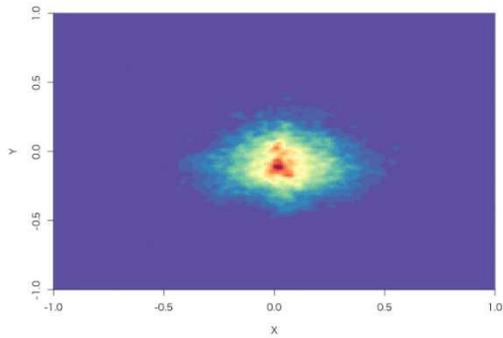


図 2.3 コンテンツ A のヒートマップ

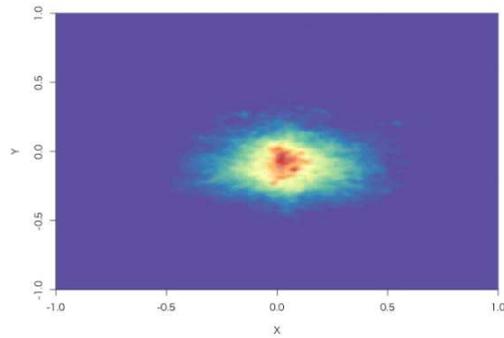


図 2.4 コンテンツ B のヒートマップ

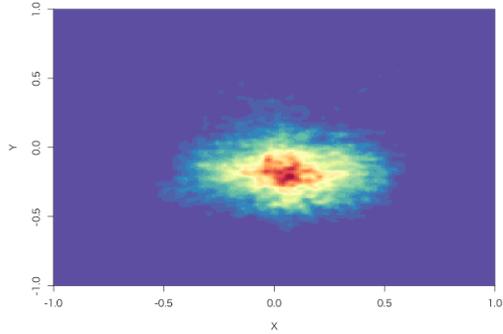


図 2.5 コンテンツ C のヒートマップ

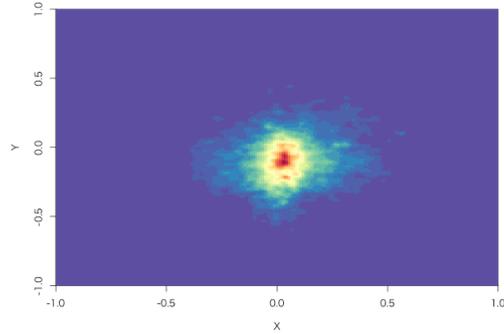


図 2.6 コンテンツ D のヒートマップ

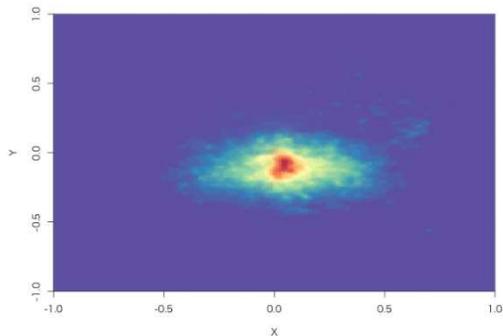


図 2.7 コンテンツ E のヒートマップ

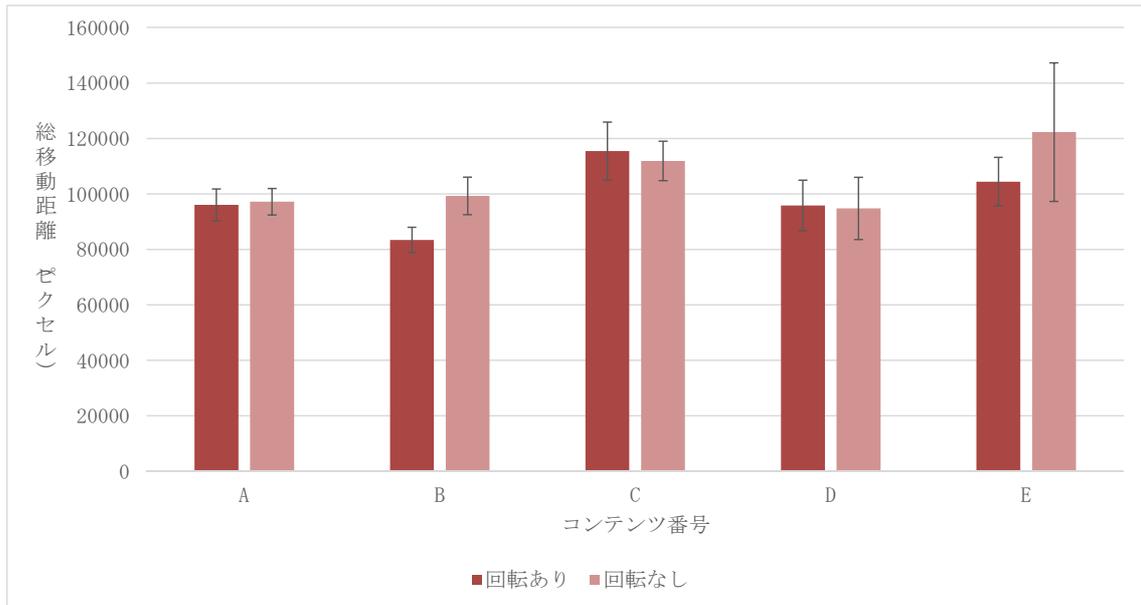


図 2.8 静止視野内での視線の総移動距離

(2) 動視野

解析にあたり、球面上に注視点をプロットし、算出された座標の分布範囲を求めた。図 2.9 から図 2.13 に、動視野内での参加者 1 例分の視線移動の例を示した。なお、図 2.9 から図 2.13 では、向かって右側が実験開始時の参加者の正面である。これらの結果から、静止視野と同様に、動視野内の注視分布のコンテンツ間での差異が認められる。

水平および垂直方向の注視範囲の算出結果を、図 2.14 および図 2.15 に示した。2 要因の分散分析の結果から、水平方向の注視範囲においてコンテンツの主効果に有意差 ($p < .01$ ※ p 値：仮説に反した統計量が観測される確率) が認められた。一方、垂直方向の注視範囲においては、コンテンツの主効果 ($p < .01$) および椅子の回転の有無の主効果 ($p < .05$) が、それぞれ認められた。水平方向に比べて垂直方向では、椅子が回転しない条件で視線移動が増加することが分かった。

なお、動視野内での視線の総移動距離を算出し、分散分析を行った結果、静止視野と同様に、有意差は認められなかった。

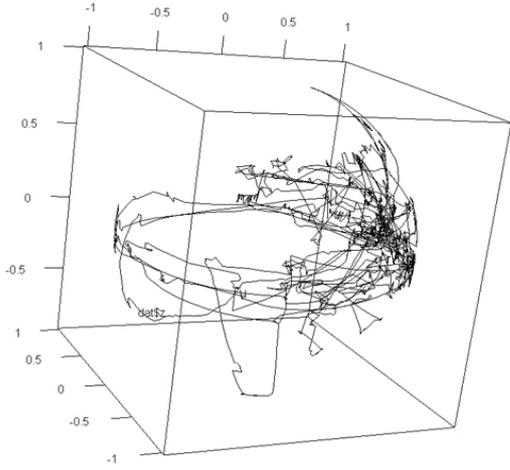


図 2.9 動視野内の視線移動例 (コンテンツ A)

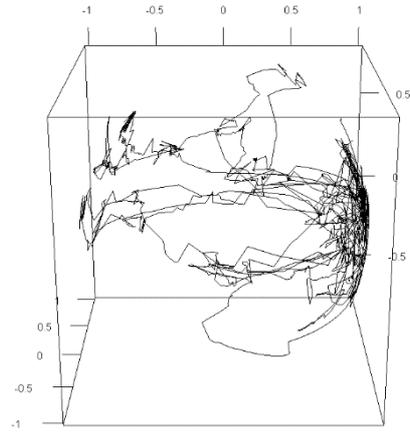


図 2.10 動視野内の視線移動例 (コンテンツ B)

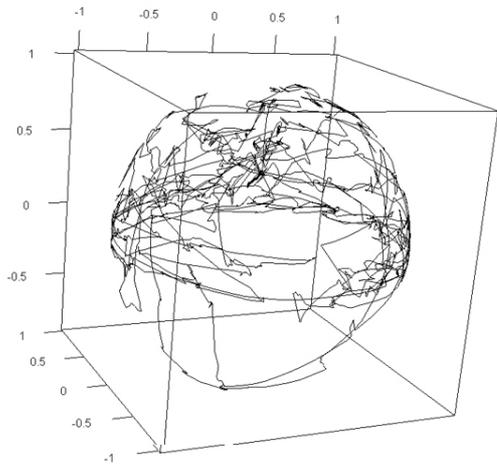


図 2.11 動視野内の視線移動例 (コンテンツ C)

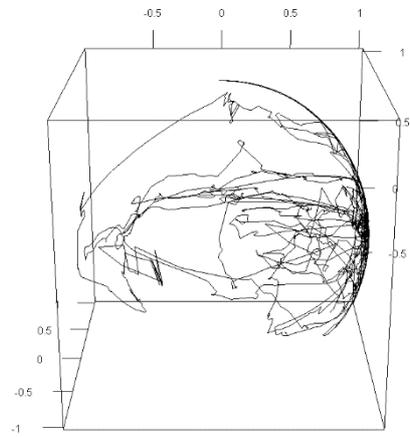


図 2.12 動視野内の視線移動例 (コンテンツ D)

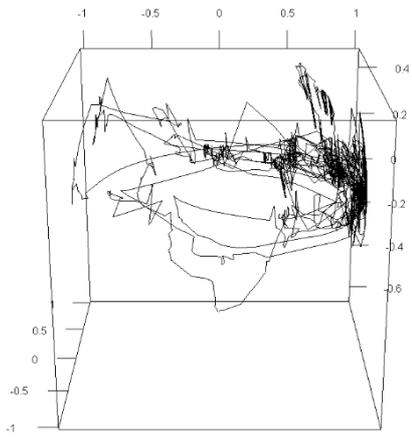


図 2.13 動視野内の視線移動例 (コンテンツ E)

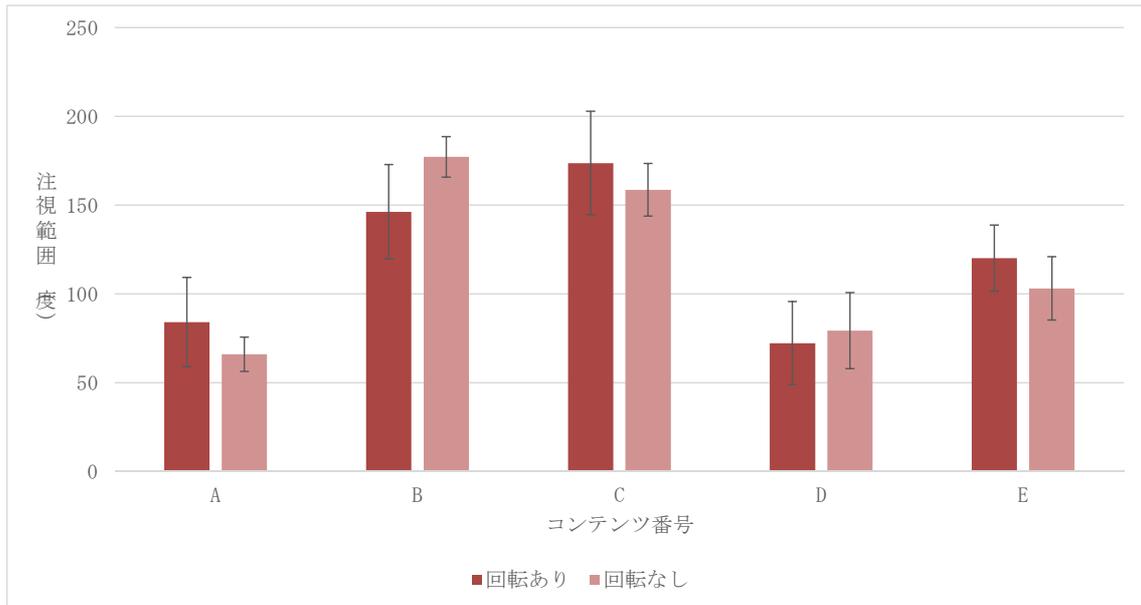


図 2.14 動視野内での水平方向の注視範囲

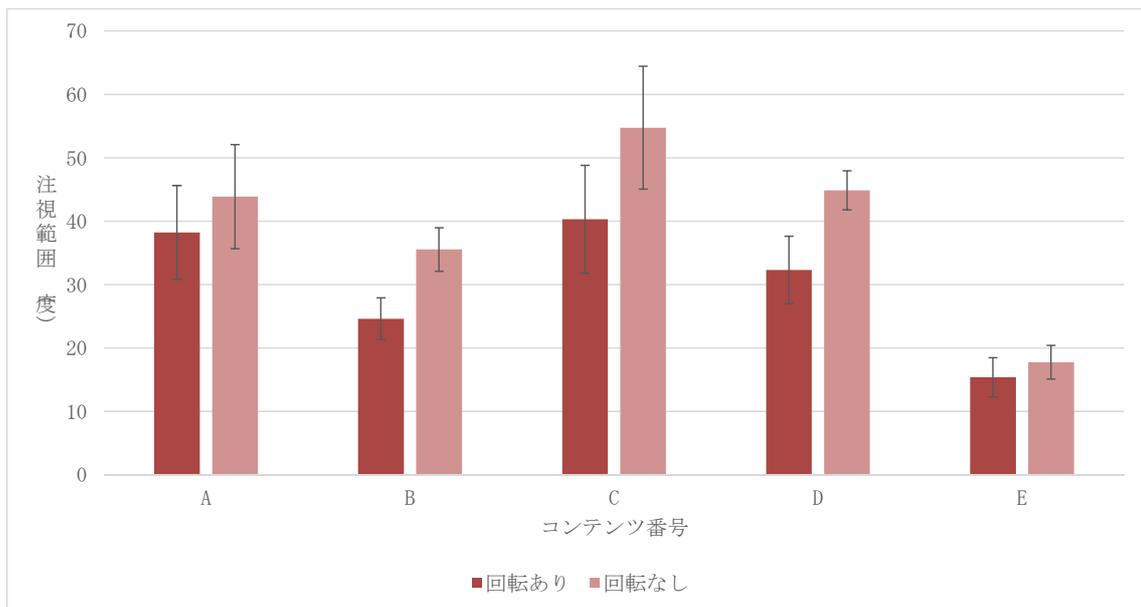


図 2.15 動視野内での垂直方向の注視範囲

2.2.2 結果：体動計測

体動計測の分析の様子を、図 2.16 に示した。椅子が回転する条件での、椅子および身体部位の平均回転量を図 2.17 に示した。2 要因の分散分析の結果、コンテンツ ($p<.05$) および回転部位 ($p<.05$) の主効果の有意差、ならびに交互作用 ($p<.05$) が認められた。

椅子が回転しない条件での、椅子および身体部位の平均回転量を図 2.18 に示した。2 要因の分散分析の結果、回転する条件と同様に、コンテンツ ($p < .05$) および回転部位 ($p < .05$) の主効果の有意差、ならびに交互作用 ($p < .05$) が認められた。

交互作用という点では、コンテンツ C の頭部の Yaw 角の回転量が、他の条件に比べ顕著であることから、これを椅子の回転の有無で比較を行った (図 2.19)。2 要因の分散分析の結果から、コンテンツ ($p < .05$) および回転の有無 ($p < .05$) の主効果に、有意差が認められた。

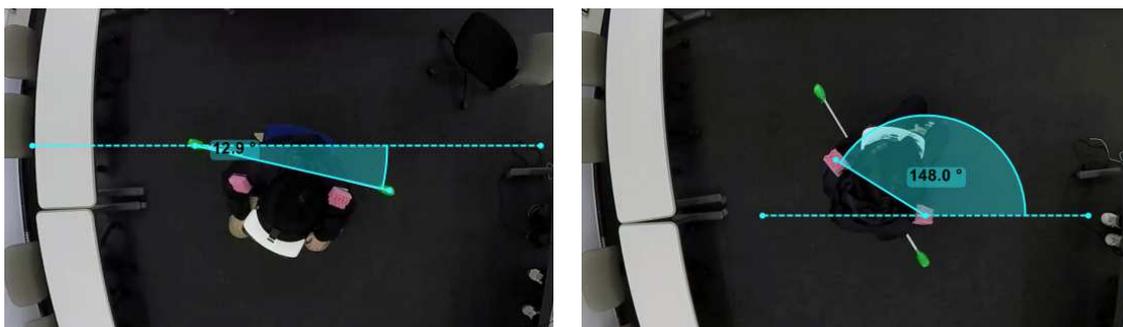


図 2.16 体動計測の分析の様子 (左：椅子の回転, 右：肩部の回転)

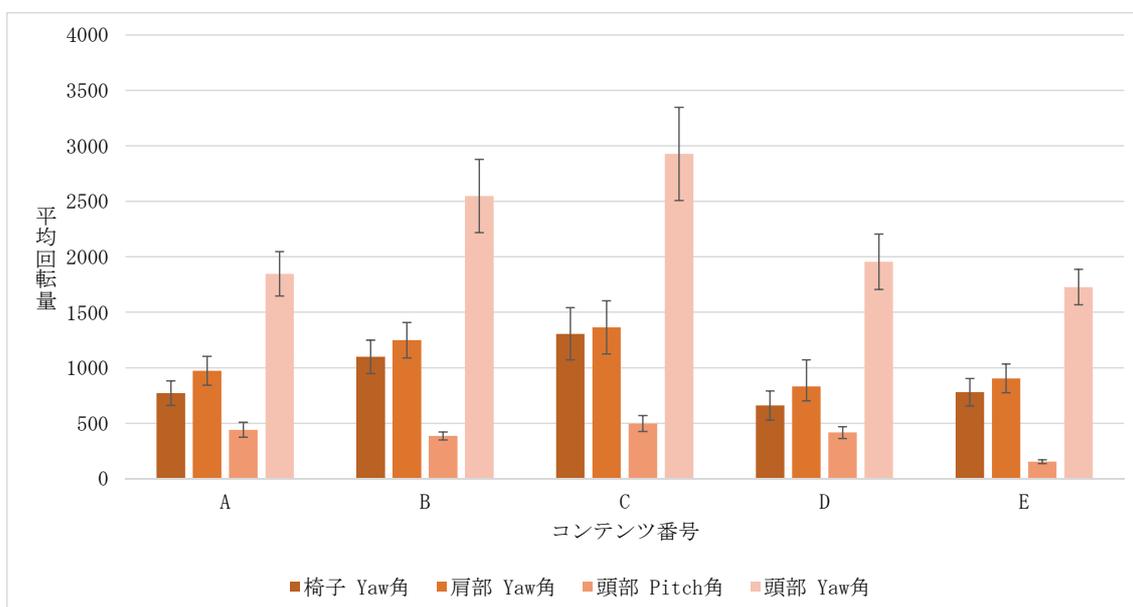


図 2.17 椅子が回転する条件における椅子・身体部位の平均回転量

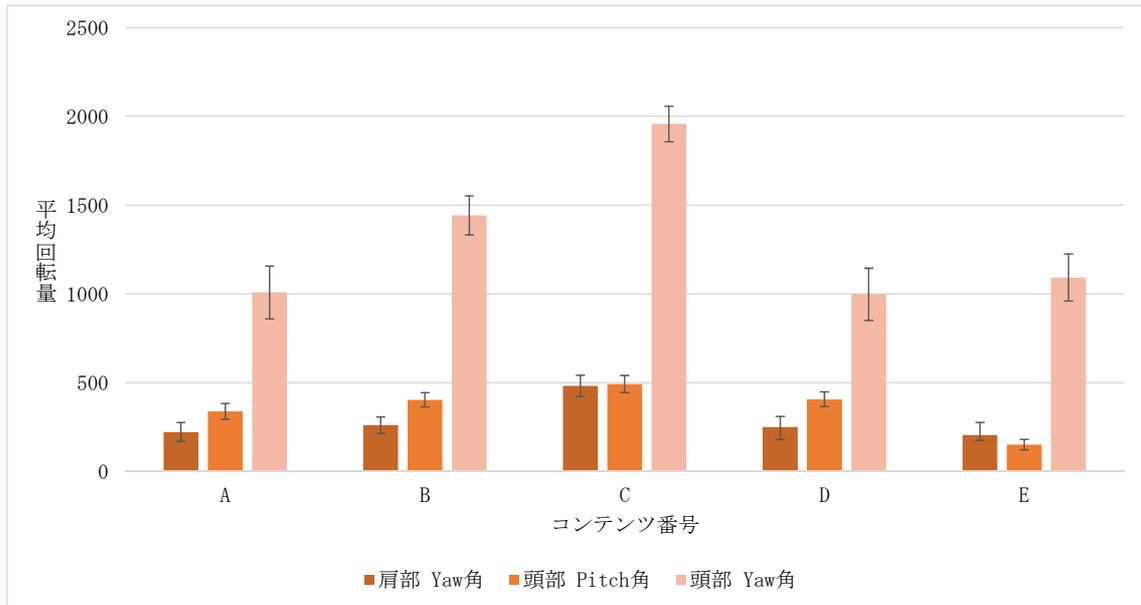


図 2.18 椅子が回転しない条件における身体部位の平均回転量

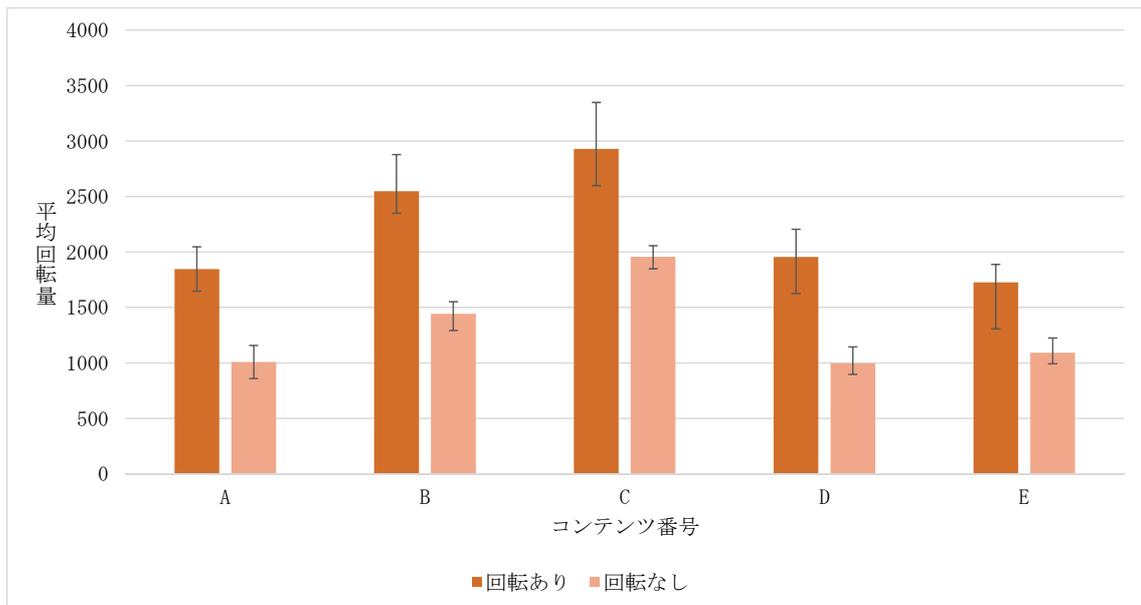


図 2.19 頭部の Yaw 角の平均回転量

2.2.3 結果：SAM（情緒反応）

試行前（PRE）のスコアをベースラインとした変化量に変換し、図 2.20 から図 2.23 に示した。

(1) Pleasant (快・不快の度合い)

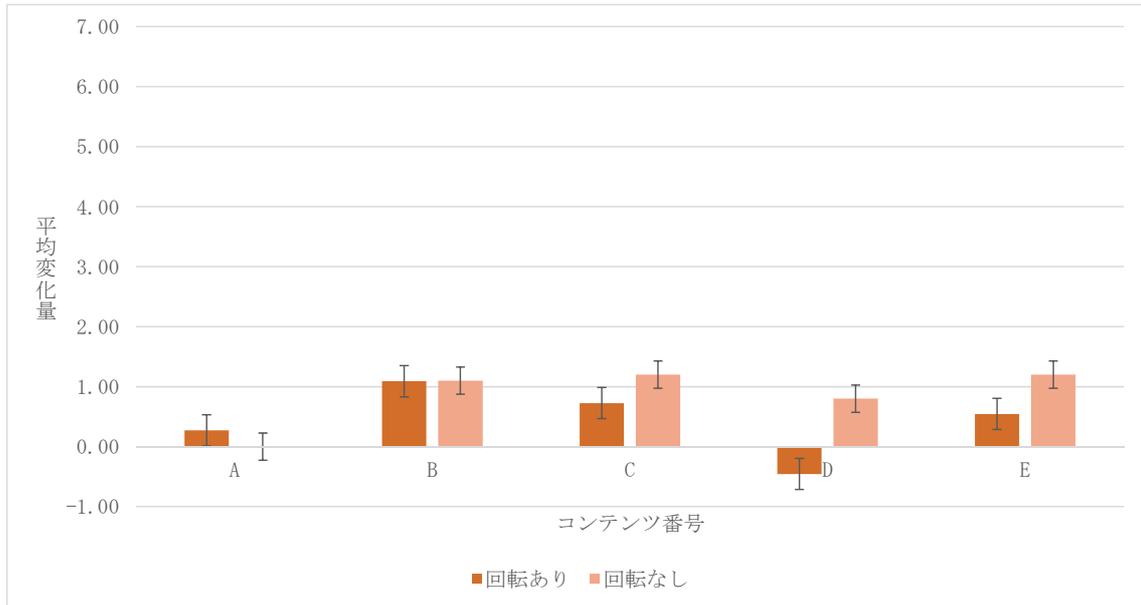


図 2.20 Pleasant の結果

2 要因の分散分析の結果、有意差は認められなかった。

(2) Arousal (覚醒度)

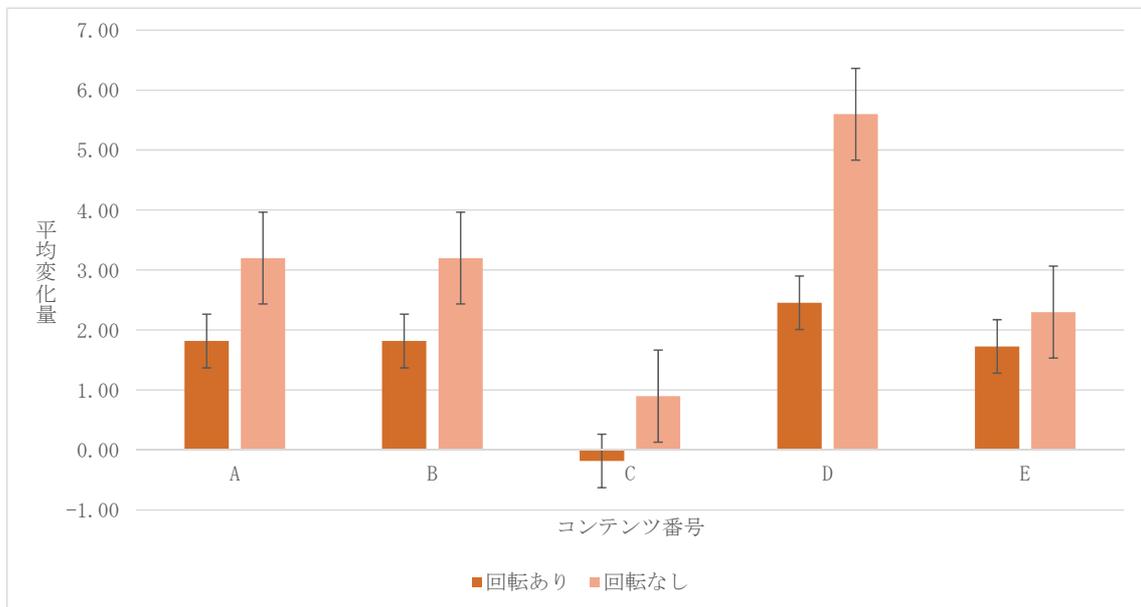


図 2.21 Arousal の結果

2 要因の分散分析の結果から、コンテンツおよび回転の有無の主効果に、それぞれ有意差 ($p < .05$) が認められた。

(3) Pleasant（快・不快の度合い）と Arousal（覚醒度）

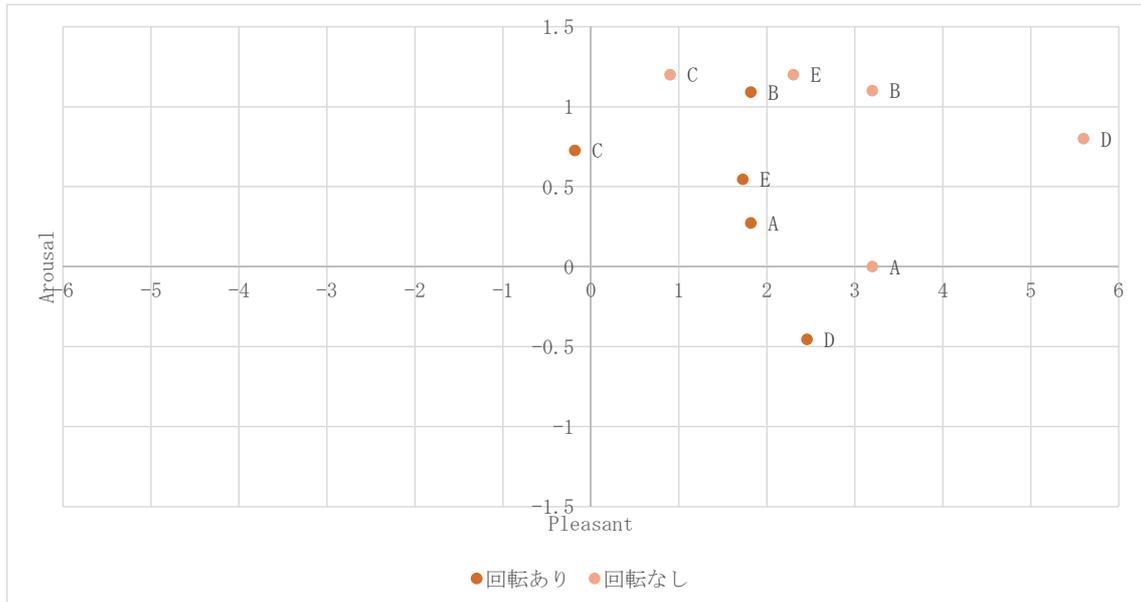


図 2.22 Pleasant と Arousal の散布図（正規化後）

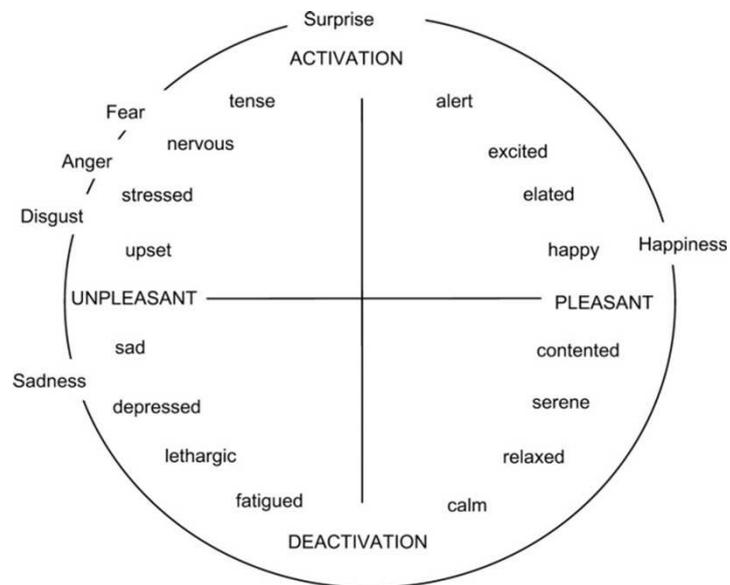


図 2.23 Russell の感情円環モデル（※図中 ACTIVATION=Arousal） [9]

2.2.4 結果：SSQ（不快感）

試行前（PRE）のスコアをベースラインとした変化量に変換し、因子毎に図 2.24 から図 2.27 に示した。

(1) Nausea (吐き気)

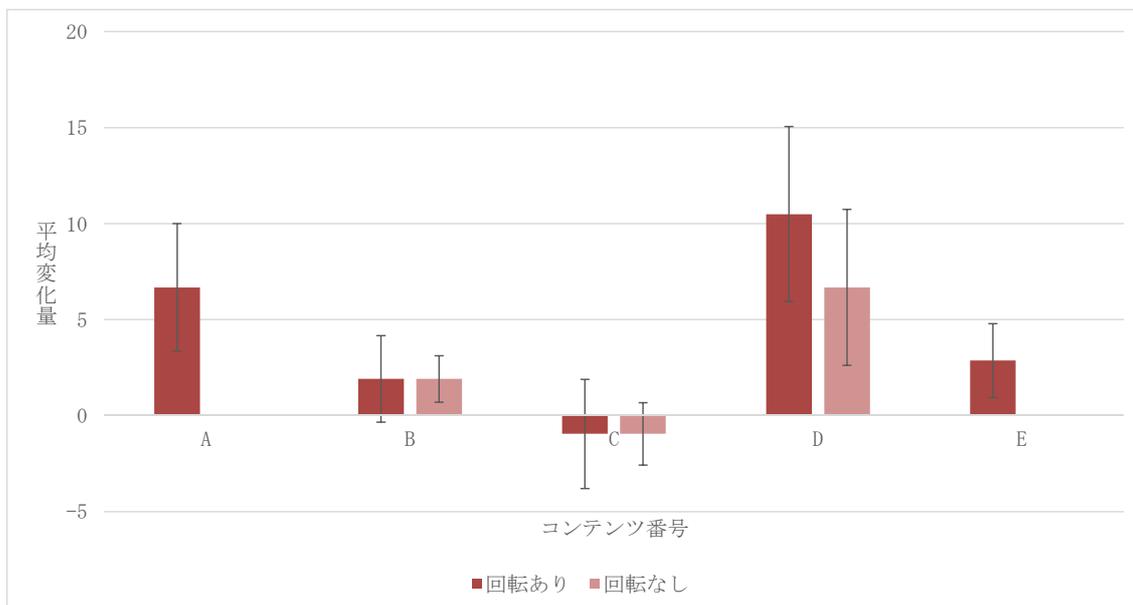


図 2.24 Nausea の結果

2 要因の分散分析の結果から、コンテンツの主効果に有意差 ($p < .05$) が認められた。

(2) Oculomotor (目の疲れ)

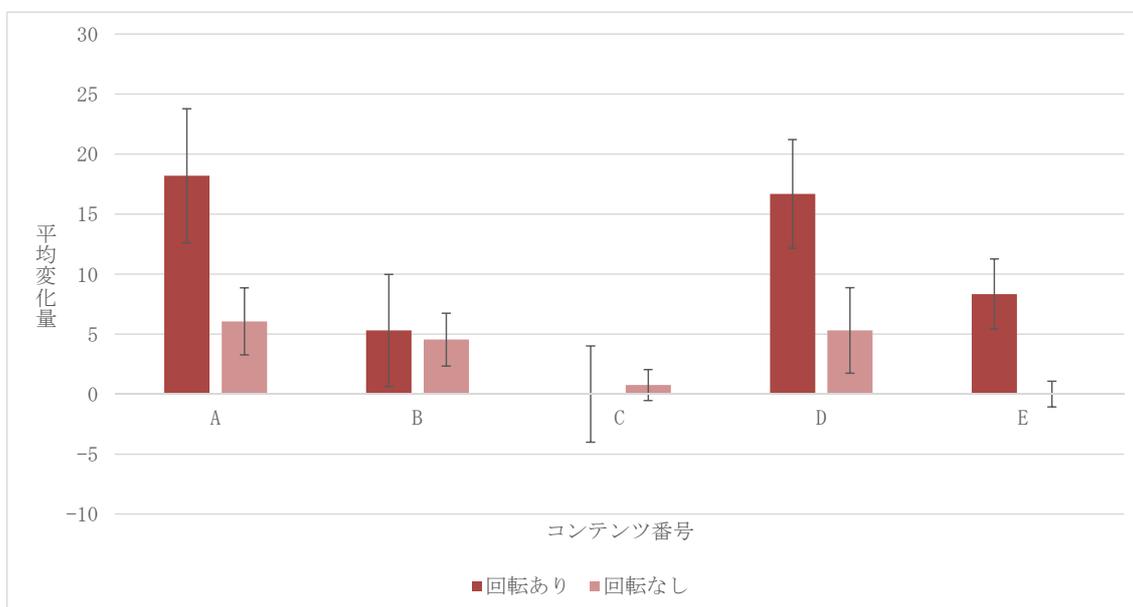


図 2.25 Oculomotor の結果

2 要因の分散分析の結果から、コンテンツおよび回転の有無の主効果に、それぞれ有意差 ($p < .05$) が認められた。

(3) Disorientation (めまい・ふらつき)

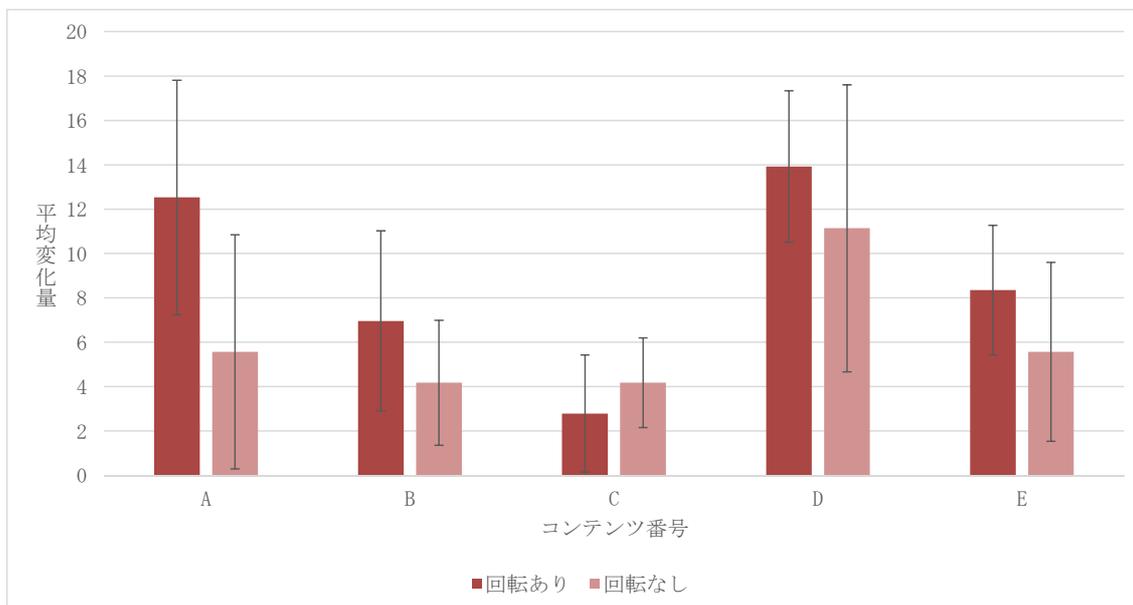


図 2.26 Disorientation の結果

2 要因の分散分析の結果、有意差は認められなかった。

(4) Total Score

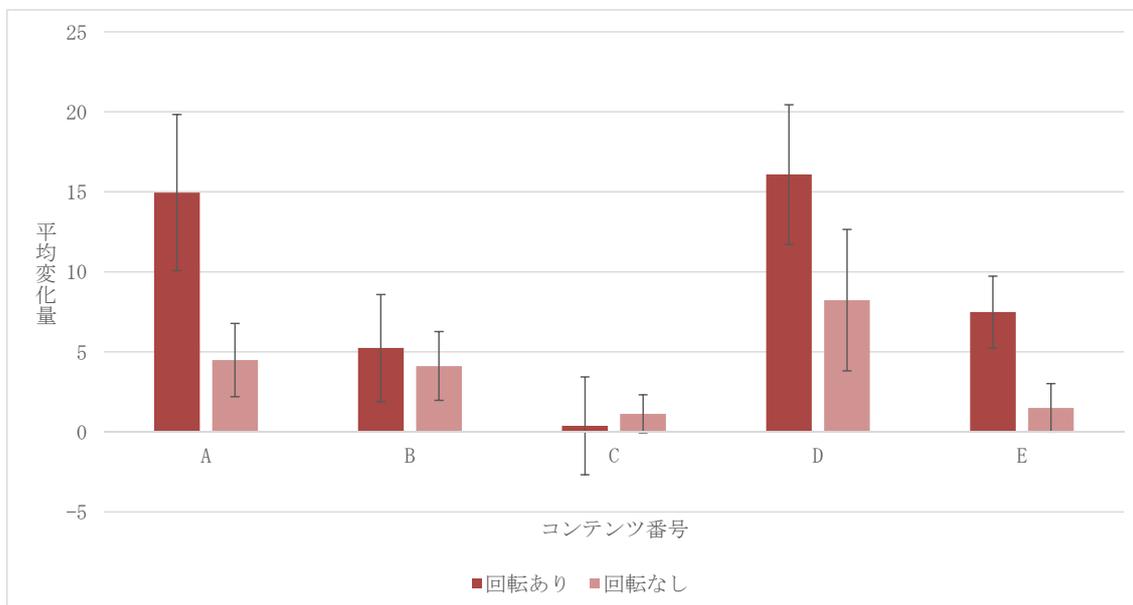


図 2.27 Total Score の結果

2 要因の分散分析の結果から、コンテンツおよび回転の有無の主効果に、それぞれ有意差 ($p < .05$) が認められた。

(5) 参加者のクラスタリング

SSQ の各因子のエラーバーから、他の指標と比較して、個人差が大きいことが分かる。そのため、SSQ の Total Score から参加者のクラスタリングを行った結果、高スコア群（7例）と低スコア群（13例）に分類することができた。各因子におけるクラスタリング結果の比較を、図 2.28 から図 2.30 に示した。

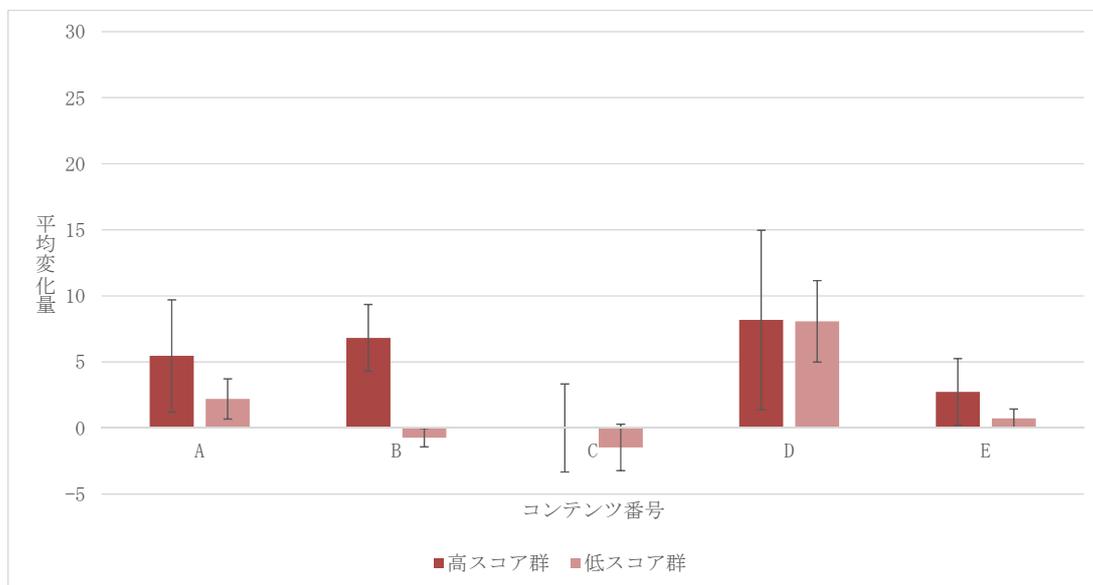


図 2.28 Nausea の（吐き気）結果

2 要因の分散分析の結果から、コンテンツの主効果に有意差 ($p < .05$) が認められた。

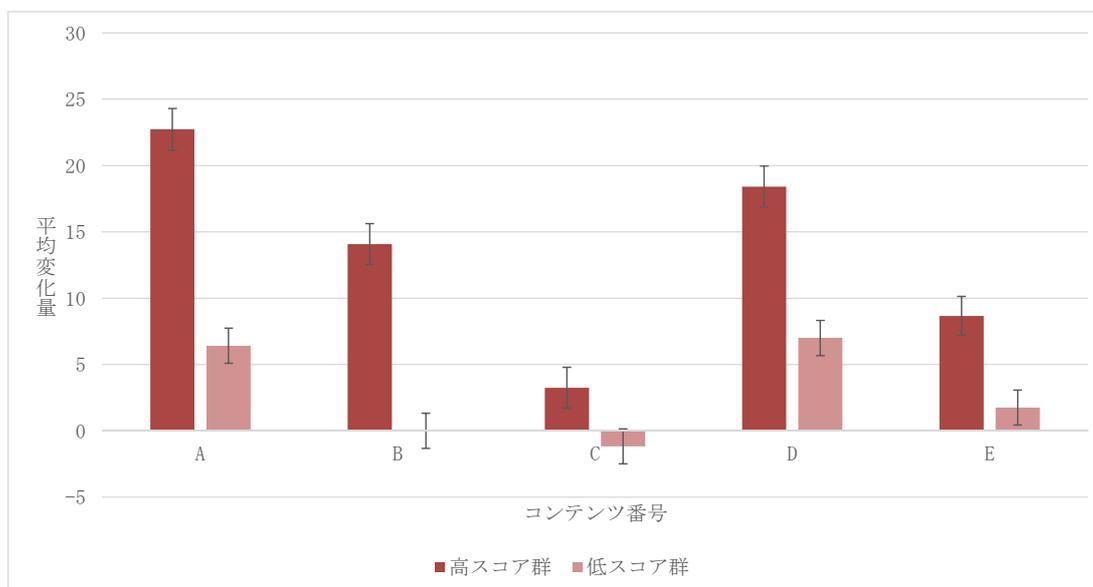


図 2.29 Oculomotor（眼の疲れ）の結果

2 要因の分散分析の結果から、コンテンツの主効果 ($p < .05$) およびクラスタリング結果の主効果 ($p < .05$) に、それぞれ有意差が認められた。

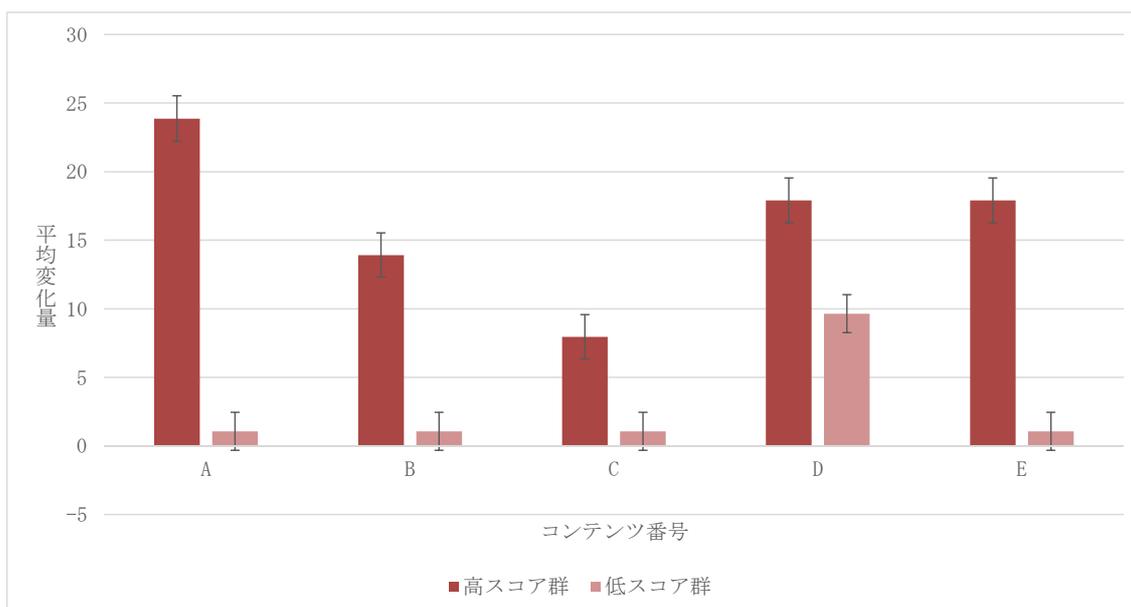


図 2.30 Disorientation (めまい・ふらつき) の結果

2 要因の分散分析の結果から、クラスタリング結果の主効果 ($p < 0.05$) に有意差が認められた。

(6) SAM との相関分析

SSQ と SAM の結果間での連関について、クラスタリング結果別に相関分析を行った。高スコア群の結果を表 2.2 に、低スコア群の結果を表 2.3 に、それぞれ示した。

表 2.2 高スコア群の相関分析の結果

	TotalScore	Nausea	Oculomotor	Disorientation	Pleasant	Arousal
TotalScore	1.00	0.72	0.93	0.67	-0.21	0.11
Nausea	0.72	1.00	0.56	0.19	-0.18	0.04
Oculomotor	0.93	0.56	1.00	0.50	-0.25	0.01
Disorientation	0.67	0.19	0.50	1.00	0.00	0.28
Pleasant	-0.21	-0.18	-0.25	0.00	1.00	0.12
Arousal	0.11	0.04	0.01	0.28	0.12	1.00

表 2.3 低スコア群の相関分析の結果

	TotalScore	Nausea	Oculomotor	Disorientation	Pleasant	Arousal
TotalScore	1.00	0.86	0.91	0.76	-0.46	0.26
Nausea	0.86	1.00	0.67	0.53	-0.45	0.19
Oculomotor	0.91	0.67	1.00	0.53	-0.44	0.22
Disorientation	0.76	0.53	0.53	1.00	-0.24	0.25
Pleasant	-0.46	-0.45	-0.44	-0.24	1.00	0.13
Arousal	0.26	0.19	0.22	0.25	0.13	1.00

2.2.5 結果：IPQ (臨場感)

試行後のスコアについて、因子毎に図 2.31 から図 2.34 に示した。

(1) General Presence (一般的な臨場感)

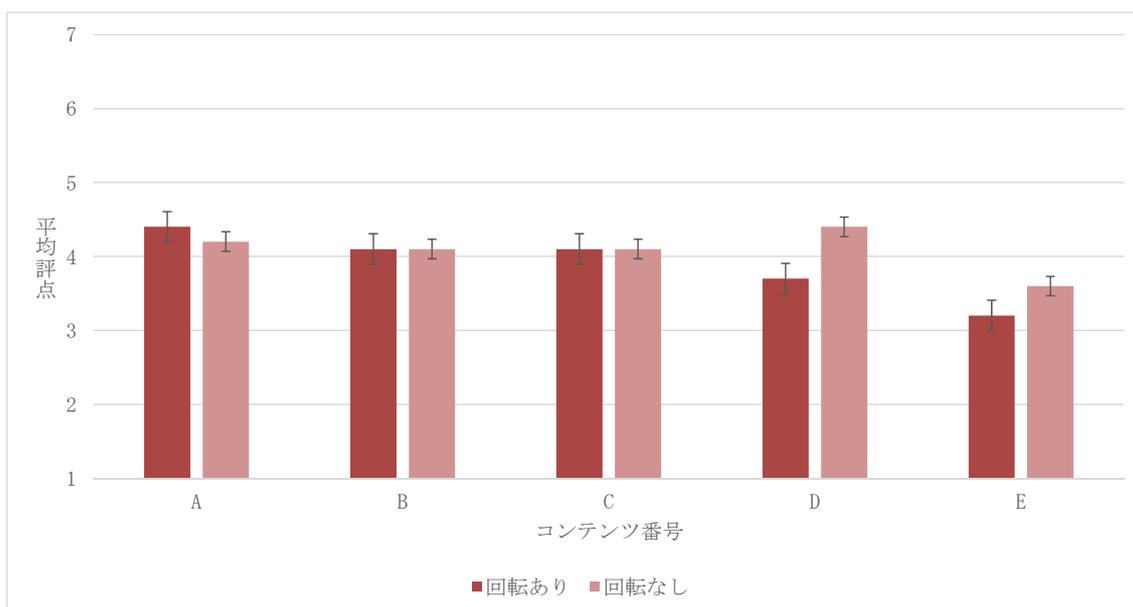


図 2.31 General Presence の結果

2 要因の分散分析の結果、有意差は認められなかった。

(2) Spatial Presence (空間的な臨場感)

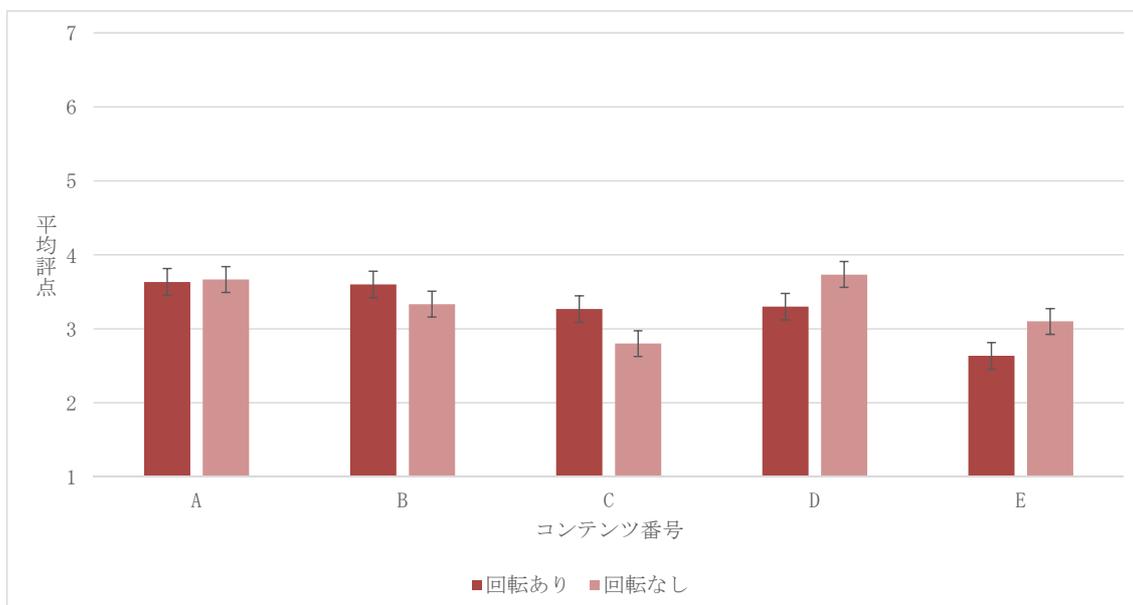


図 2.32 Spatial Presence の結果

2 要因の分散分析の結果、コンテンツの主効果に有意傾向 ($p < .10$) が認められた。

(3) Involvement (没入感)

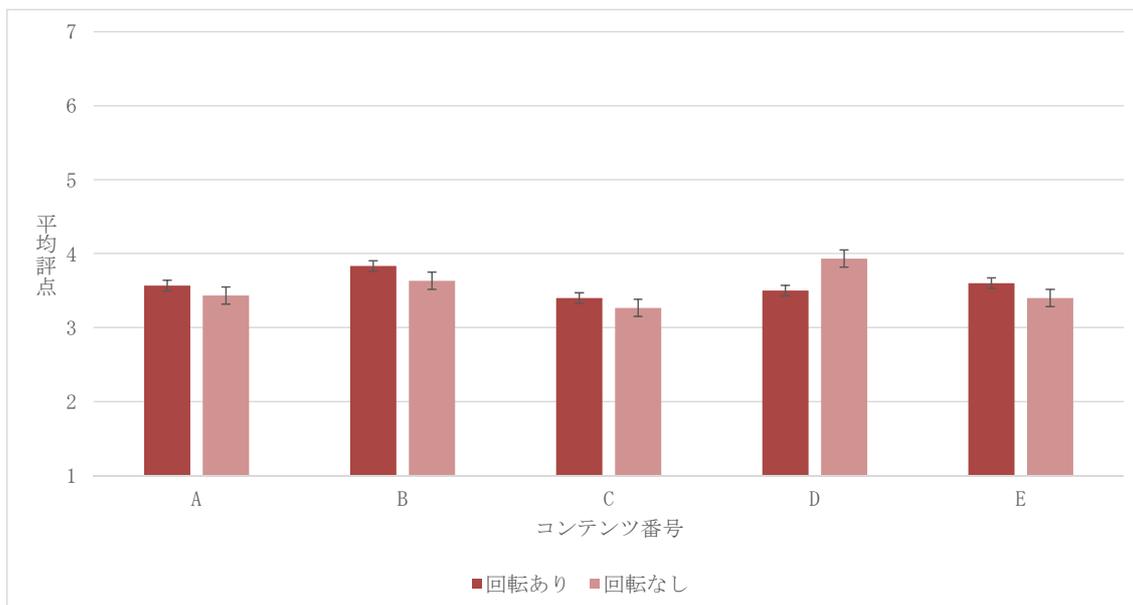


図 2.33 Involvement の結果

2 要因の分散分析の結果、有意差は認められなかった。

(4) Experienced Realism (現実感)

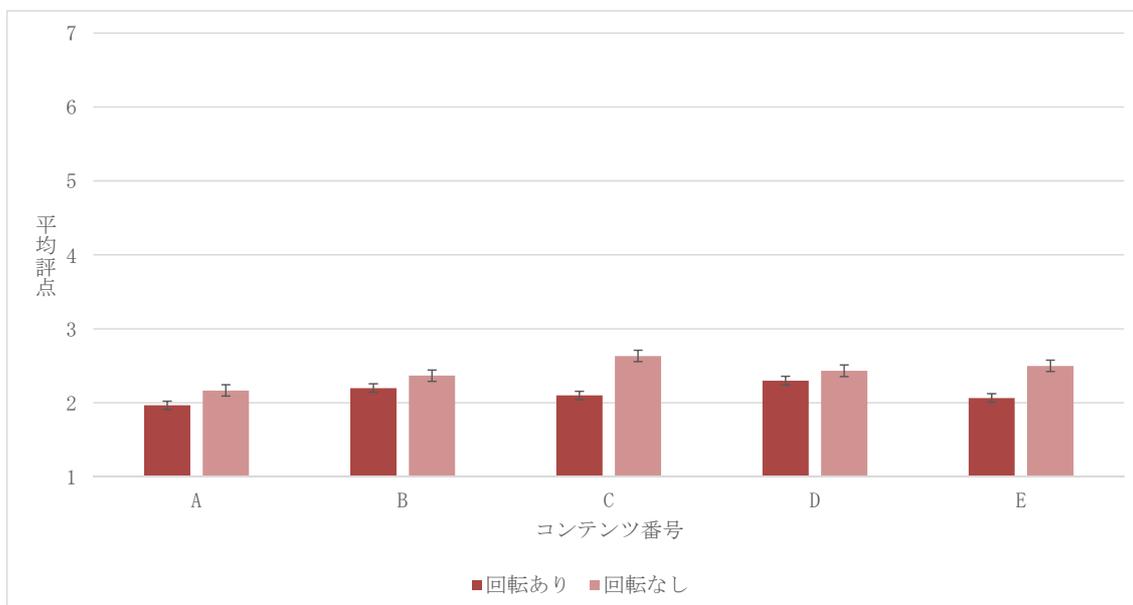


図 2.34 Experienced Realism の結果

2 要因の分散分析の結果、有意差は認められなかった。

2.3 考察

ユーザテストの結果から、以下の諸点が考察として挙げられた。

- ・ 視線計測については、コンテンツによる差異が認められた。具体的に、視点移動の多いコンテンツでは、画面の中心に視線が集中しやすい傾向がみられた。一方、椅子の回転は、垂直方向の視覚情報の受容に影響を及ぼすことが分かった。
- ・ 体動計測においても、コンテンツによる差異が認められ、頭部の水平回転運動への影響が顕著であった。また、頭部の水平回転量は、椅子の回転する条件において増大することが分かった。
- ・ 情緒反応では、覚醒度にコンテンツ間の差異がみられ、視点移動に加え注視対象や空間の性質の影響を受けると考えられた。いずれのコンテンツも、興奮や喜びといった、積極的な方向への変化を示していたが、それらの変化は椅子の回転によって抑制される傾向にあった。
- ・ 不快感は、覚醒度の変化に近いがコンテンツの視点移動の影響を受けやすく、椅子の回転によって眼の疲れなどが上昇することが分かった。不快感は、他の指標と比べ個人差が大きく、不快感のスコアが高い群と低い群とに分類することができた。平均的な不快感の程度は、主にスコアの低い群の反応が反映されていたが、スコアの低い群であってもコンテンツによっては上昇がみられ、情動価との中程度の負の相関も認められた。なお、不快感のスコアによる分類の影響は、視線計測や情緒反応でも同様に解析を行ったが、有意な差はみられなかった。
- ・ 臨場感については、空間的な臨場感にコンテンツの差がややみられたが、本ユーザテストで用いた質問紙が対象とする体験強度とのかい離から、明確な傾向は認められなかった。

以上、本章で行った没入感の要素と手段の相関性の検証により、現状に即した条件下における、ユーザの視覚・行動特性および心理反応について基礎的な知見を得ることができた。本章の結果は、第1章の結果と併せて第3章および第5章での考察・検討に反映される。

引用文献および URL

- [1] M.M. Bradley & P.J. Lang “Measuring Emotion: The Self-Assessment Manikin and the semantic differential,” *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, 25(1), pp.49-59, 1994.
- [2] R.S. Kennedy, et al. “Simulator Sickness Questionnaire: An enhanced method for quantifying simulator sickness,” *The International Journal of Aviation Psychology*, 3(3), pp.203-220, 1993.
- [3] <http://www.igroup.org/pq/ipq/>
- [4] <https://www.youtube.com/watch?v=6uG9vtckp1U>
- [5] https://www.youtube.com/watch?v=HNOT_feL27Y
- [6] <https://www.youtube.com/watch?v=gzJMqCVftKk>
- [7] 360度ストーリーミングサービス Vrideo (2016年11月21日閉鎖)
- [8] https://www.youtube.com/watch?v=edcJ_JNeyhg

- [9] J.A. Russell & L.F. Barrett, "Core affect prototypical emotional episodes and other things called emotion: Dissecting the elephant," *Journal of Personality and Social Psychology*, 76(5), 805-819, 1999.

第3章 没入型映像の利活用に求められる要件

3.1 目的

本章では、第1章で行った没入感の要素と手段の分析・整理、および、第2章で行った没入感の要素と手段の相関性の検証結果を、没入型映像の利活用という観点から考察・検討を加えることで、基礎的な要件を抽出することを目的とする。

なお、本章で対象とする没入型映像は、主として HMD を用いて視聴する、360 度映像を対象としている。

3.2 安全かつ快適な没入型映像の要件

安全かつ快適な没入型映像の要素と手段として、第1章および第2章の結果から、以下の6点が、今後の利活用において求められる要件として抽出された。

(1) コンテンツ

360 度の動画像を中心とした没入型映像は、多様な没入感の要素と手段が複雑に関連することで、ユーザの最終的な体験の形成に貢献している。

第2章の結果からは、

- ・ コンテンツ内の視点移動が、視覚情報の受容や不快感に影響を及ぼすこと
- ・ 注視対象の配置や空間の構成が、情緒反応、特に覚醒度に影響すること

などが示唆されている。

そのため、コンテンツの制作や利活用においては、どのような要素・手段が含まれているかを理解することが求められる。

(2) 数値的な枠組み

回転運動における角速度をはじめとして、感覚・知覚特性に基づいた数値的な閾値については、第1章の結果からも多様な報告がなされていることが分かる。

それらは、没入感の要素と手段の設定において参照し得るリソースといえるが、例えばフレームレートなど、他の要素や手段との相互作用に留意する必要がある。

なかでも視野角など、スペックの向上が、ユーザ体験の一部の低下につながり得る、あるいは一定の閾値で飽和するといった特性も知られていることから、数値的な枠組みの扱いについては、とりわけ注意を要する。

(3) 評価

第 1 章の結果から、没入型映像によるユーザ体験の評価においては、標準化あるいはコンセンサスの得られた手法は、まだ確立されていないことが分かる。

同時に第 1 章の結果から、主観指標と客観指標の併用や、特定の用途を想定した評価手法など、一定の傾向も見出すことができた。

これらのことから、例えば SSQ など、使用されることの多い指標を、共通して利用していくというアプローチも有効と考えられる。

(4) 利用環境

没入型映像の要素と手段に関わる環境要因として、第 2 章では椅子の回転を取り上げ、検討を行った。一般に、椅子の回転は、360 度の動画を「見回す」という行為を支える機能としてみなすことができるが、結果としてユーザの回転を過度に増幅することで、疲労や負担につながり得ることが示唆されている。

このような、没入型映像の利活用にかかる環境要因、特にユーザの姿勢や行為に直接影響する因子については、期待される効果との乖離に注意する必要がある。

(5) 個人差

第 1 章では、年齢や性差といった属性と、没入型映像による不快感との関連にかかる報告もみられたが、第 2 章では、近似な属性の集団でも不快感を覚えやすい群と覚えにくい群とに分類し得ることが分かった。

第 2 章における短時間の観察では、いずれの群も情緒反応として積極的な方向への変化がみられたが、コンテンツによっては不快感を覚えにくい群の方が情動価の低下が顕著であることも認められた。

没入型映像のユーザの多くは、自身の不快感の感度や特性について自覚していないことが予想されるため、コンテンツの制作・利活用においては多様な感受性のユーザを想定・配慮することが求められる。

(6) アプローチとしての枠組み

没入型映像において、視覚情報によって身体の移動感覚を引き起こすベクションは、臨場感の生起に深いかかわりがある。一方で、視覚からの運動情報と、静止している身体からの体性感覚とのずれは、没入型映像における不快感を生起する主な要因として考えられている。

日常生活における感覚統合の観点から、このずれは「感覚不一致 (sensory conflict [1], [2])」と呼称され、没入型映像における不快感は、その相異の程度に応じて生起される一種の不適応現象としてとらえることができる。第 1 章で整理・分析を行った多くの研究においても、実験条件

として、感覚不一致の度合いが扱われている。

換言すれば感覚不一致は、積極・消極のいずれの体験にも関与していることから、没入型映像の安全性と快適性を一つの枠組みで扱うのに適した概念といえる。安全性と快適性を一つの枠組みで扱うことが可能な概念は、没入型映像の制作・利活用のアプローチとして、重要な枠組みと考えられる。こうした観点で一部では没入型映像の質を示す概念として、「センス・オブ・プレゼンス」と表現することもある。

そのため、センス・オブ・プレゼンスを志向し、没入型映像の要素と手段の設計・評価をする上で、感覚不一致というアプローチとしての枠組みを、広く適用していくことが望ましい。

3.3 まとめ

本章では、第1章および第2章の結果から、以下の6点が、安全かつ快適な没入型映像の利活用における指針として抽出された。

- ・ コンテンツ
- ・ 数値的な枠組み
- ・ 評価
- ・ 利用環境
- ・ 個人差
- ・ アプローチとしての枠組み

上記の点は、第4章の産業分野での応用可能性の調査結果と併せて考察することで、第5章の戦略提言に反映される。

参考文献

- [1] J.T. Reason “Motion sickness adaptation: a neural mismatch model”, *Journal of the Royal Society of Medicine*, 71(11), pp.819–829, 1978.
- [2] C.M. Oman “Sensory conflict in motion sickness: an Observer Theory approach”, *Pictorial communication in virtual and real environments (2nd ed.)*, Taylor & Francis, pp. 362-376, 1993.