

# 令和7年度 XRデバイスを安全で快適に利用できる環境整備に資する技術の実証事業

## 実証成果の報告

**課題名: VR酔いの予兆検出・アラートシステムに係る実証研究**

代表団体: 情報通信研究機構(NICT) 未来ICT研究所 脳情報通信融合研究センター

共同提案: 京都大学 大学院人間・環境学研究科

実証研究実施期間: 令和7年6月24日 ~ 令和8年3月19日

報告日: 令和8年6月5日

## ① 課題と目的、実施体制

### 実証研究が必要とされる背景と現状の課題

- VR酔いは、XR普及の大きな障壁の一つといわれる。VR酔いは、様々な感覚、例えば眼と前庭感覚(バランス)が矛盾することによって生じるとされる(身体は座っているのに眼に映るVR映像は高速で動く等)。
- 従来は主観報告などに基づき、酔った後の事後対応しかできなかった。しかしながら、酔ってからは手遅れ。
- 本研究では、酔う前に現れる生体の変化(=酔いの予兆)を捉え、予防につなげる技術の確立を目指した。

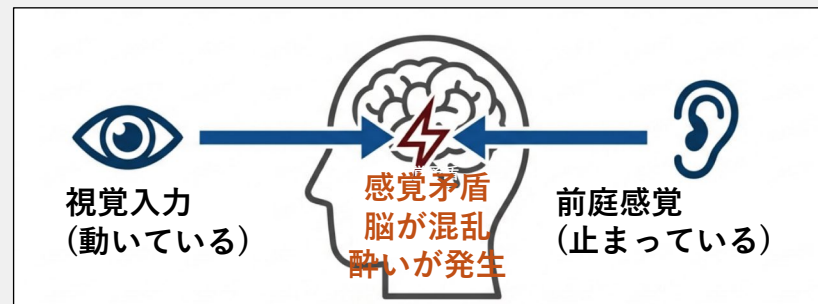
### 実証研究体制と規模

- 視覚の心理行動実験、脳機能計測を得意とする情報通信研究機構(NICT)と、身体計測を伴う心理行動実験、計測手法に強い京都大学が密に連携し、多角的に実証を行う。

### 費用対効果を高める戦略

総予算：約3,899万円

- 既存設備の有効活用  
NICTのMEG、視線計測機器、京大のVR実験技術を有効活用
- ソフトウェア資産  
視界安定化の特許技術(京大)、NICTの4K VRライブラリを活用



感覚矛盾仮説のイメージ

## ② 本研究のアプローチ

### 対症療法から「予兆検出・予防」へのパラダイムシフト

#### VR使用中の状態の変化

Phase1 : 平常状態  
Phase2 : 予兆 **本研究のターゲット**  
Phase3 : VR酔い発生



安定状態

自覚症状(吐き気、めまい)  
従来の手法はここで検知  
遅すぎる!

身体に現れる無意識な生理反応等の変化(視線、瞳孔、ふらつき(重心))から、VR酔いのサインを「酔う前」に検出

→ アラートで休憩を促し、VRの安全な継続利用へ

#### 検証対象

##### 脳 - NICT

作業仮説：左右脳の連携(同期率低下)

##### 眼 - NICT&京大

作業仮説：瞳孔のばらつき、前提動眼反射(VOR)の変化

##### 身体・行動 - NICT&京大

作業仮説：重心動揺(体のふらつき)、歩行安定性

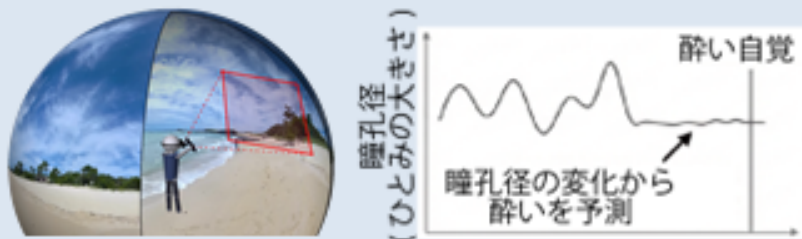
アピールポイント：眼、脳、身体の多角的検証により、酔いを見逃すことなく検出



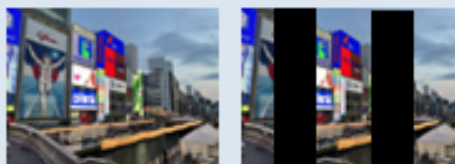
## ③ 実証研究内容

### 情報通信研究機構 (NICT)

研究1: 視線・瞳孔・頭部運動の変化から酔いを予測

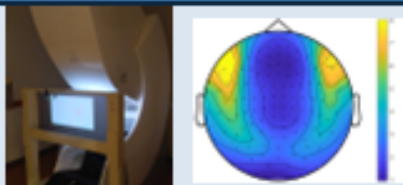


研究2: 視界の遮蔽が酔いに与える影響を検証



視野の遮蔽は酔いを増幅させる？

研究3: 脳活動から酔いの予兆を検出



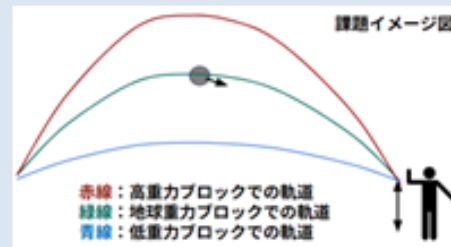
MEG(脳磁図)を用いて、時々刻々と変化する脳活動を可視化

### 京都大学

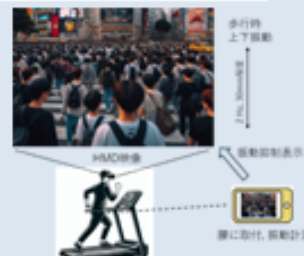
研究1: 重力適用(浮遊感や重心動揺)から酔いの予兆を検出



捕球動作の変化から酔いを検出



研究2: 眼、頭部と身体の協調運動の乱れから酔いを検出



歩行時XR計測システム

研究3: 有効視野の変化から酔いを検出



有効視野

GC-UFOV実験

## ④ 発見されたVR酔いの予兆と将来の展望

### 眼

視線、瞳孔径は酔いの直前に大きく変化  
 瞳孔径の大きさとばらつき(分散)が増大、瞬き頻度の増加、サッケード(高速眼球運動)の増加、視線のスピードの増大

### 脳

MEG脳活動に酔いの予兆が反映  
 アルファ波帯域の活動同調が増大、左右のhMT+野(視対象の動きを追う機能)のベータ波帯域の活動の非同期化

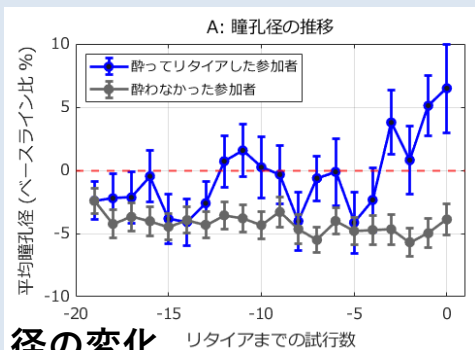
### 体

身体の姿勢制御と身体一眼の協調制御の変調  
 身体の緩やかな揺れの増大、身体振動と同期した眼球運動の低下

### 視野

視野：注意機能の低下

有効視野の縮小、再固視率の増加



酔いの予兆の例：瞳孔径の変化  
 酔う前からすでに変化が生じていることが分かる

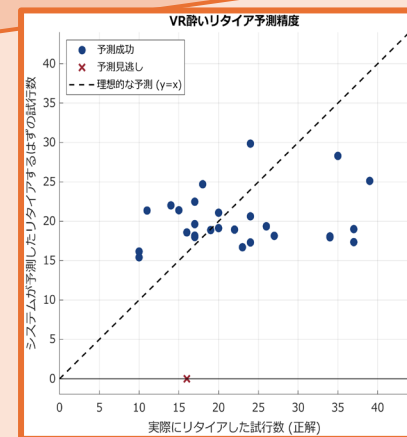
未来の社会実装のイメージ：リアルタイム予兆検出と休憩アラート

瞳孔径・重心・体の挙動を、VRヘッドマウントディスプレイ等のハードウェアを利用しリアルタイム計測

AI等により視線や瞳孔径の変化を検知し、酔いのタイミングを推測

VR視聴画面への介入、音声等で休憩を推奨するアラートを掲出

【応用分野】遠隔医療(手術支援)、遠隔重機操作、没入型教育(酔いや疲労を軽減)、メタバース、e-Sportsの安全な運営



プロトタイプ予測モデルは、既にVR酔いの予測に一部成功

# 本研究の目的

VR酔いの予兆を捉える技術を確立し、酔いを未然に防ぐ技術を確立する

## 本研究のアプローチ

仮説： VR酔いを自覚する前に、すでに生体には観察可能な変化が生じているはずだ。

目標： VR利用者が明確な不快感を自覚する前に生じている生体の変化、すなわち「予兆」を検知し、VR酔いを未然に防ぐための技術的基盤を確立する。

手段： 感覚矛盾は起きているがVR酔いは生じていない前段階において、ヒトの無意識下の生体反応(眼球運動、瞳孔反応、脳活動、身体動揺、注意を向けられる視野の範囲の変化など)にどのような特異的な変化が現れるかを、心理学・神経科学的手法を用いて精密に計測・特定する。

# 検証内容の詳細

「眼」「脳」「身体」「注意」の4つの視点から、酔いの予兆を徹底的に探索

## 1. 眼球運動・視聴環境による検証(NICT・京都大学)

**仮説:** 酔いが生じると、眼球や瞳孔の自律的な調整機能の阻害が起きる。また、視野の遮蔽が視線誘導を妨げ、酔いに影響する。

**検証内容:** 映像のズレに対する眼球の追従性、視野の遮蔽が不快感に与える影響、歩行振動時の視線安定性を計測。

**該当実験:** 研究1、2(NICT) / 研究1、2(京大)

本日はここに集中してお話をいたします

## 2. 脳活動による検証(NICT)

**仮説:** 主観的な不快感が現れるよりも早く、脳内ネットワーク(左右の脳の通信等)の連携に乱れが生じる。

**検証内容:** 脳磁計(MEG)を用い、酔いを誘発する映像視聴時の脳活動をミリ秒単位で計測。予兆となる脳内ネットワークの変調(過剰同期や連携崩壊)を探索。

**該当実験:** 研究3(NICT)

### 【用語解説・根拠】

**MEG** … Magnetoencephalography; 脳磁図。脳活動(神経細胞間を流れる電気信号)によって生じる磁場を検出することで、間接的に脳活動を計測する装置。特に時間分解能に優れ、非常に高速に時々刻々と変化する記録できる。

# 研究1: 視線-映像遅延による眼球運動変化からのVR酔いの予兆検出

頭部や視線の動きと映像とにズレを与えることで感覚矛盾を人工的に引き起こし、酔いを誘発  
酔う直前の眼球運動、瞳孔径の値を平常時と比較して、酔いの予兆の特定を試みた。

参加者の許可を得て掲載



# 研究1の詳細

酔いの指標を計測中の課題：映え写真撮影課題  
360度の3D VR空間を自由に動きながら、映えシーンを写真に収める

実験中に参加者が写真を撮影する様子をリプレイした動画  
(白い点が注視点、緑の四角形がシャッターフレーム、赤くなった時に写真撮影)



参加者はVRヘッドマウントディスプレイ(HTC Vive Pro Eye)を装着し、VR空間を自由に動きながら、コントローラーを操作して画角を決め、ボタンを押して美しいと思ったシーンを切り取る



この課題の遂行中、頭部の移動(視線の移動)と画面の遷移との間にラグ(ずれ)を入れることで、身体と眼の間の「感覚矛盾」を引き起こしてVR酔いを湯発

# 研究1を遂行中の実験参加者の様子 酔う前に行動に変化が生じることを目視で確認！<sup>10</sup>

課題遂行中、徐々に頭部の運動が過剰に検出され、頭部の動き以上に映像が動く(その後、少しの遅延をはさんで正しい視界に戻る) → 身体の動きと視界の感覚矛盾を人工的に引き起こす



酔っていない際には、積極的に動いて写真撮影課題をこなす

頭部運動の過剰検出がない段階



リタイア直前には、頭の動きが減少する

頭部運動の過剰検出→酔う直前の様子



リタイア直前には、直立できなくなり、背もたれに寄りかかっている

参加者の許可を得て掲載

# 酔い前に生じる変化(=酔いの予兆)を定量的に計測

感覚矛盾が起き、課題をリタイアする前後の生体指標を記録し、酔いの予兆として利用可能か検証

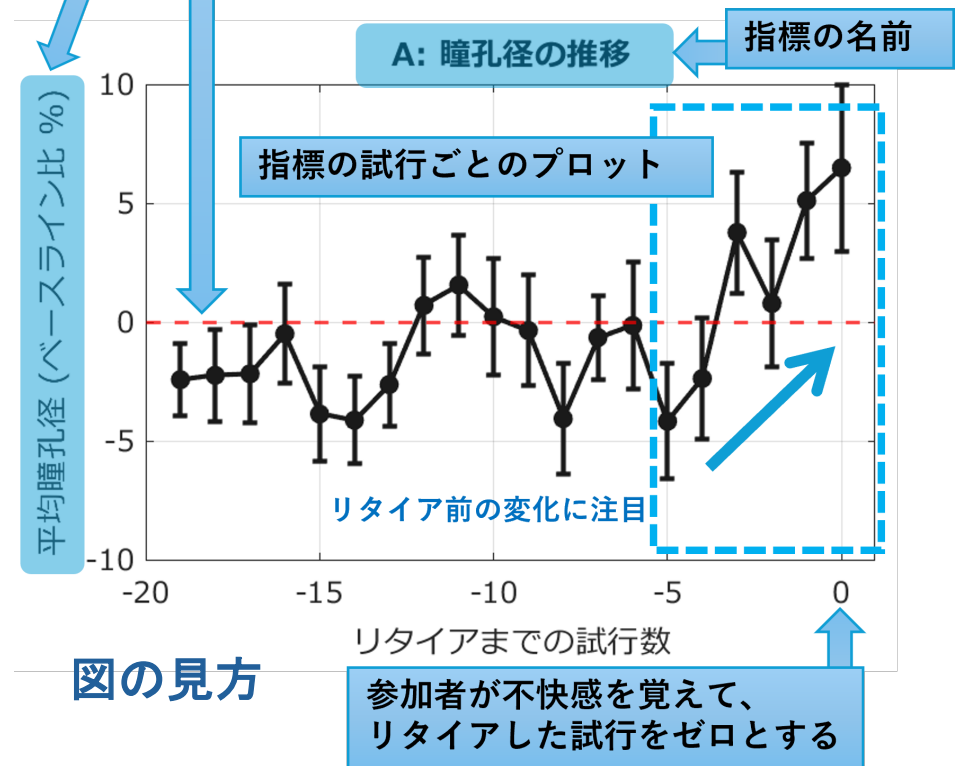
## 記録および検証した指標

写真撮影課題(30-60秒)の試行ごとの

1. 瞬きの頻度
2. サッカード(高速眼球運動)の頻度
3. 眼球運動の速度の変化
4. 瞳孔径の平均サイズ
5. 瞳孔径のばらつき(標準偏差)
6. 頭部運動の速度
7. 頭部運動から算出した身体の揺らぎ(動揺)

を酔いの予兆を示す指標の候補として、これらの指標の平時の値とリタイア直前の値の変化に注目して解析

基準(ベースラインと呼ぶ)。課題をスタートしてから最初の10試行分のデータを平均したもの。そこから増加率で酔いの予兆を検出



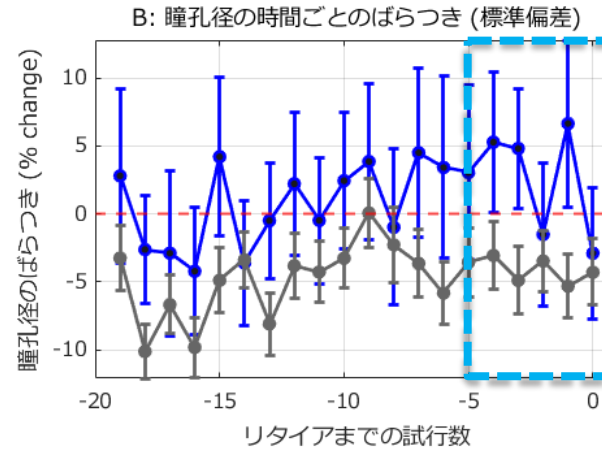
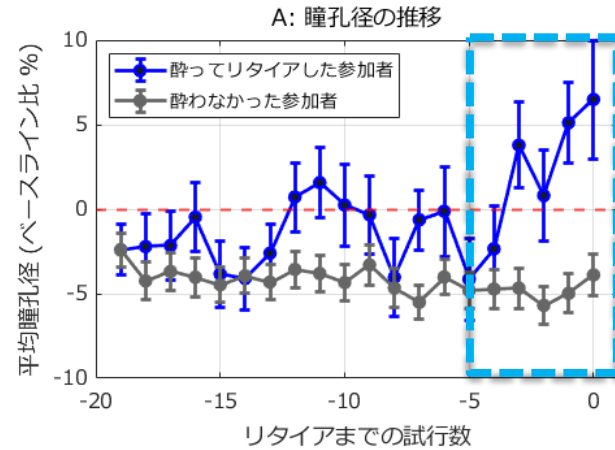
### 【用語解説・根拠】

サッカード(高速眼球運動): 視線を瞬間的に移動させる跳躍的な眼球運動。酔いにより映像を滑らかに追従できなくなるなどした場合、この頻度に変化が現れると仮説を立てて検証した。

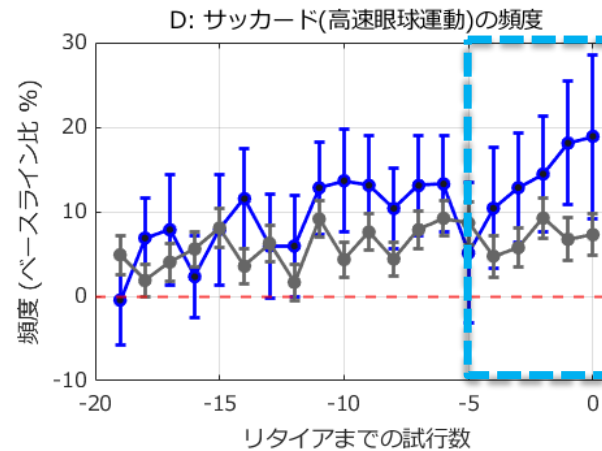
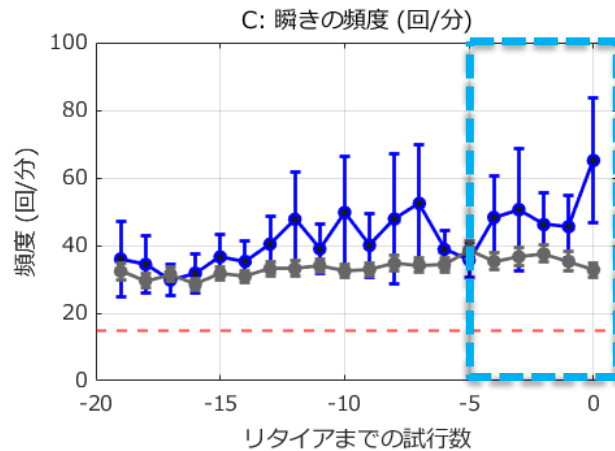
# 代表的な実験結果

まとめ: 酔い高感度参加者と低感度参加者の比較 **酔いを感じた参加者のみ、瞳孔径や瞬きに大きな変化**

VR酔いを訴えた参加者と訴えなかった参加者の比較



瞳孔径のばらつき以外、両グループに統計的有意差有り

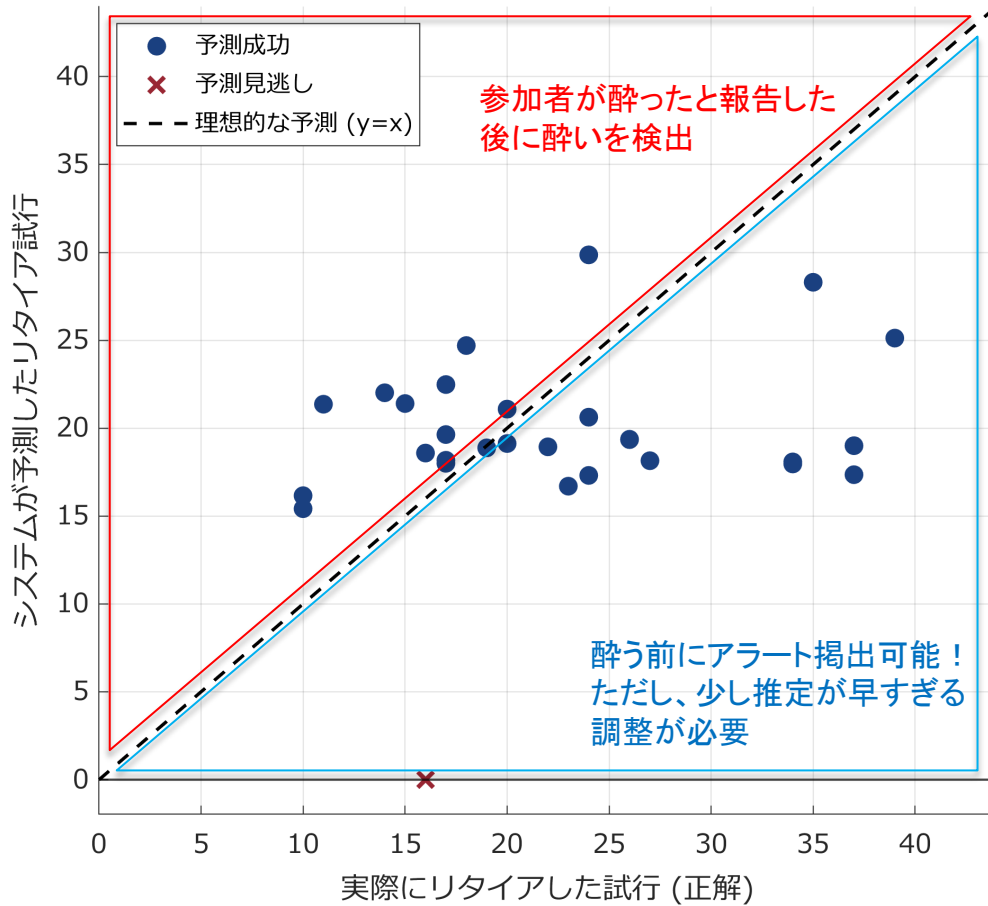


**瞳孔径、瞬き、サッカーの頻度等は酔いの予兆として利用可能！**

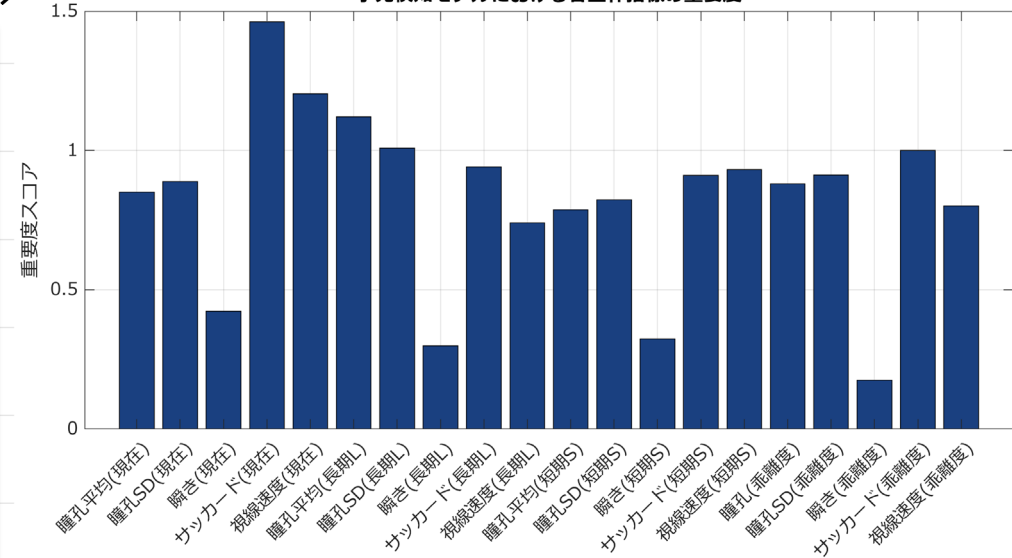
# 生体指標の変化に基づくVR酔い限界予測モデルの構築

実験データを用いて、機械学習法(ランダムフォレスト回帰)によりVR酔い予測モデルを構築。  
モデルはVR酔いをよく予測できた。ただし、改善の余地あり

VR酔いリタイア予測精度



予兆検知モデルにおける各生体指標の重要度



- 26名の参加者のうち、25名の酔いを検知(見逃し1名のみ)
- 12名は酔う直前にアラートの掲出に成功
- 3名は酔いの主観報告とほぼ同じタイミングでアラートを掲出
- 残りの10名の参加者については、主観的な酔いを報告した後に遅れてアラートを掲出
- アラートのタイミング判断にはサッカーード頻度や瞳孔径が寄与

## 【用語解説・根拠】

ランダムフォレスト回帰…機械学習の手法の1つで、多数の「決定木(条件分岐で予測を行うモデル)」を集めて「森(フォレスト)」を作り、それらの結果を総合(平均)して予測を出すアルゴリズム。イメージとしては、ひとりの専門家の意見に頼るのではなく、多数の専門家の意見をすり合わせて結論を出すような仕組みであるため、ノイズ(生体データのばらつき)に非常に強い。また、それぞれの特徴が予測にどの程度寄与したかを可視化できる点でも優れている。本実証研究では、個人差の大きい「あと何分(何試行)で限界が来るか」という数値を高精度に予測するために、このモデルを採用した。

## 4.1. 社会実装に向けた展開 実証研究成果の応用例

「VR酔いの予兆検知・予防技術」は、産業・医療・教育など幅広い分野での活用が期待される

### 1. 建設・物流・製造分野における「労働力不足」の解消と労働安全

- 深刻な人手不足対策として、遠隔操作ロボットや遠隔操作重機の導入が進められている。
- しかし、カメラ映像に依存する遠隔操作は、視覚と前庭感覚の矛盾が生じやすく、オペレーターに重度の酔いや疲労を引き起こす課題があった。
- 本技術を遠隔操作コックピットに実装し、オペレーターの「眼や頭部の動き(あるいは将来的には脳の活動)」の状態を常時モニタリングすることで、集中力低下による事故を未然に防ぐ「バイオロジカル・フェイルセーフ機能」を実現できる。高齢者や障がい者を含む多様な人材が、安全かつ長時間にわたり遠隔就労できる環境を整備し、労働力不足の解消に寄与する。

### 2. 製造・伝統産業における「技能継承」の加速

- 若手技術者がVR空間で熟練工の技を追体験することで技能を習得する「VR OJT (On-the-Job Training)」において、VR酔いは学習効率を著しく低下させる要因となりうる。
- 本研究の成果と、実証グループがすでに実施してきた前身の研究で開発した「振動抑制技術」や「視界制御技術」をトレーニングシステムに組み込むことで、訓練生は不快感を抑えつつ長時間の反復練習に取り組める。これにより、熟練工から若手への「技能の形式知化・体得」を加速させ、日本のものづくり産業の競争力維持に貢献する。

## 4.1. 社会実装に向けた展開 実証研究成果の応用例

「VR酔いの予兆検知・予防技術」は、産業・医療・教育など幅広い分野での活用が期待される

### 3. 医療分野における「遠隔手術支援」の安全性向上

- 過疎地における医師不足対策として遠隔手術支援が期待されるが、遠隔手術において執刀医のVR酔いは許容されないリスクである。
- 本実証結果を応用し、執刀医の生理的負荷を可視化し、限界を超える前にアラートを出したり、手術支援ロボットの操作感度を自動調整(手ぶれ補正の強化等)したりすることで、医療過誤のリスクを最小化する高度医療支援システムへの応用が可能となる。

### 4. 教育現場における「没入型学習」の安全性担保と普及拡大

- 学校教育では、仮想空間での理科実験や歴史遺産の疑似体験など、没入感の高いXR教材の導入が期待される。しかし、発達段階にある児童・生徒への「VR酔い」による身体的影響への懸念が、教育現場へのXR技術の積極的な導入を躊躇させる一因となっていた。
- 本実証研究の成果を教育用XRシステムに応用できれば、児童・生徒の眼球運動や姿勢の変化から酔いの予兆を客観的に検知して自動的に休憩を促したり、不快感を軽減する視界制御を行ったりすることで、保護者や教職員の安心感が大きく向上する。XR利用が加速し、地域や環境の制約を超えた質の高い「体験型学習」をすべての子どもたちに提供する教育インフラとしての貢献が期待される。

## 5.1. 結論

### VR酔いを克服し、XR技術の安全性と信頼性を担保する基盤技術を確立

#### 実証研究内容のまとめ:

本実証研究では、感覚矛盾に起因するVR酔いの発生メカニズムに着目し、主観的な不快感が生じる前の「予兆」を、眼球運動、身体動揺、有効視野、脳活動という多角的な生理・行動指標から客観的に検知する技術の実証を行った。

#### 本実証研究でわかったこと:

VR酔いは突発的な現象ではなく、その発生直前に身体の様々な変調を伴うプロセスであり、これらの予兆指標が、視線計測機能などの一般入手可能な汎用XRデバイスで取得可能であることが確認された。

さらに本実証研究の特筆すべき成果として、酔いを未然に防ぐリアルタイム予測システムは十分に実現可能な技術であることが証明された。

#### 本実証研究結果の意義:

本実証研究は、VR酔いという生理現象の解明にとどまらず、XR技術がエンターテインメントの枠を超え、教育現場の改善やリスクリング、労働力不足や技能継承といった我が国の根幹に関わる社会課題を解決する「産業インフラ」として定着するための、安全性と信頼性を担保する基盤技術を確立した点において重要な意義を持つものである。