

# 修士論文

## 自動走行時における車酔い抑制の座面傾け制御

櫻井 皓介

2019 年 3 月 13 日

奈良先端科学技術大学院大学  
情報科学研究科 情報科学専攻

本論文は奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科に  
修士（工学）授与の要件として提出した修士論文である。

櫻井 皓介

審査委員：

萩田 紀博 教授 （主指導教員）

清川 清 教授 （副指導教員）

神原 誠之 教授 （副指導教員）

# 自動走行時における車酔い抑制の座面傾け制御\*

櫻井 皓介

## 内容梗概

近い将来に実現される自動走行運転環境では、運転手も搭乗者の一人となり、読書やテレビ鑑賞などの自由行動をとるようになることが知られている。しかし、搭乗者は運転手と異なり、自車挙動を予測することが難しいため、車酔いを発症する人が増加し、快適性を阻害する要因の一つとして考えられている。従来、運転手はカーブ走行での自車挙動の変化によって生じる遠心力を予測して、遠心力と反対方向へ身体を傾けることで発生する向心力により、頭部の横加速度を減少させ、車酔いを抑制している。この原理に基づいて、視覚提示やハプティクス提示によって、搭乗者の身体を遠心力と反対方向へ傾けるように誘導して車酔いを抑制する研究がされているが、傾ける角度やタイミングを厳密に制御する手法はない。

そこで、本研究では、座面傾け制御を実装できる座面傾け装置を用いて、搭乗者の頭部の横加速度を減少させ、車酔いを抑制することを目的として、搭乗者が受ける遠心力を打ち消す向心力を発生させる座面の傾けの角度やタイミングの制御方法を提案する。予備実験ではカーブ走行で発生する遠心力を測定し、提案手法から座面の傾け角度やタイミングを定める。提案手法である遠心力に基づいた座面傾け実験では、運転手と搭乗者の頭部の横加速度を加速度センサにより測定する。6名の被験者の実験結果から、搭乗者の頭部の横加速度を分類し、提案手法の有効性を検証する。これらから、遠心力に基づいた座面傾け制御は搭乗者の車酔いの抑制に有効であることを示す。

## キーワード

自動走行酔い，車酔いの抑制，ハプティクス提示，座面傾け制御

---

\*奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 情報科学専攻 修士論文, 2019 年 3 月 13 日.

# Seat Tilt Control to Prevent from Car Sickness in an Autonomous Vehicle\*

Kosuke Sakurai

## Abstract

In the future autonomous vehicles, it is known that a passenger has more free time to spend on their leisure activities such as reading books and watching TV. However, since it is difficult for passengers to predict vehicles' behavior the number of passengers suffers from car sickness. It is considered as one factor to make passengers discomfort. Conventionally, driver relieves car sickness by predicting a centrifugal force from vehicle' s behavior in a curve running. This prediction reduces head lateral acceleration by tilting body in opposite direction to generate a centripetal force that is opposite to the centrifugal force. Based on this principle, studies have been made to prevent car sickness by guiding passenger' s body to tilt in the opposite direction to the centrifugal force by a visual presentation or haptics. However, there are not enough haptics studies for controlling the tilt angle and timing for each passenger for preventing car sickness.

Therefore, we propose a control method of tilt angle and timing of active seat that generates the centripetal force to cancel the centrifugal force based on the principle of car sickness. In the preliminary experiment, we determine the tilt angle and timing from the proposed method by measuring the centrifugal force generated by curve running. In the seat tilt experiment, the driver' s and passenger' s head lateral acceleration is measured by acceleration sensors. From experimental results of 6 subjects, we classify subjects from passenger' s head

---

\*Master's Thesis, Department of Information Science, Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology, March 13, 2019.

lateral acceleration and verify the effectiveness of the proposed method.

This study shows the seat tilt control method based on the centrifugal force is effective in preventing from car sickness of passengers.

**Keywords:**

Autonomous Vehicle Motion Sickness, Prevent from Car Sickness, Haptic Presentation, Seat Tilt Control Method

# 目次

|       |                                      |    |
|-------|--------------------------------------|----|
| 図目次   |                                      | vi |
| 第 1 章 | はじめに                                 | 1  |
| 第 2 章 | 自動走行時における車酔いの関連研究および本研究の位置づけ         | 4  |
| 2.1   | 自動走行車両における搭乗者の快適性 . . . . .          | 4  |
| 2.2   | 動揺病の関連研究 . . . . .                   | 6  |
| 2.2.1 | 動揺病の発症メカニズムとその対策 . . . . .           | 6  |
| 2.3   | 自動走行時における車酔い . . . . .               | 8  |
| 2.3.1 | 車酔いの発症メカニズム . . . . .                | 8  |
| 2.3.2 | 自動走行時における車酔いの増加 . . . . .            | 8  |
| 2.3.3 | 車酔いと VR 酔いが併発する環境下での自動走行酔い . . . .   | 10 |
| 2.4   | 自動走行時における車酔い抑制手法 . . . . .           | 11 |
| 2.4.1 | 視覚提示を用いた車酔い抑制手法 . . . . .            | 11 |
| 2.4.2 | ハプティクス提示を用いた車酔い抑制手法 . . . . .        | 13 |
| 2.5   | 本研究の位置づけ . . . . .                   | 14 |
| 第 3 章 | 座面の傾けによる車酔いの抑制                       | 15 |
| 3.1   | 自車挙動から発生する加速度に基づいた座面傾けの制御手法 . . . .  | 15 |
| 3.2   | カーブ走行時における遠心力測定の予備実験 . . . . .       | 16 |
| 3.2.1 | 実験環境 . . . . .                       | 17 |
| 3.2.2 | 実験結果 . . . . .                       | 18 |
| 3.3   | カーブ走行時に発生する遠心力にもとづいた座面傾け制御 . . . . . | 21 |
| 3.4   | 座面傾け装置の構成 . . . . .                  | 23 |
| 第 4 章 | 座面傾け装置を用いた搭乗者の頭部の横加速度測定実験            | 25 |
| 4.1   | 遠心力に基づいた座面傾け実験 . . . . .             | 25 |
| 4.1.1 | 実験環境 . . . . .                       | 25 |
| 4.1.2 | 評価対象 . . . . .                       | 26 |

|       |                              |    |
|-------|------------------------------|----|
| 4.1.3 | 実験結果 . . . . .               | 27 |
| 4.1.4 | 考察 . . . . .                 | 30 |
| 4.2   | 被験者に個人適応した座面傾け実験 . . . . .   | 38 |
| 4.2.1 | 被験者に個人適応した座面傾け制御方法 . . . . . | 38 |
| 4.2.2 | 実験環境 . . . . .               | 38 |
| 4.2.3 | 実験結果 . . . . .               | 39 |
| 第 5 章 | おわりに                         | 44 |
|       | 謝辞                           | 46 |
|       | 参考文献                         | 47 |
|       | 発表リスト                        | 52 |

## 図目次

|      |                                             |    |
|------|---------------------------------------------|----|
| 2.1  | 自動走行車両における搭乗者の快適性 [21]                      | 5  |
| 2.2  | 感覚矛盾説に基づいた動揺病の発症機序モデル [30]                  | 7  |
| 2.3  | 運転手と搭乗者の頭部の傾きの違い [38]                       | 9  |
| 2.4  | 自動走行酔いの影響を評価するための比較実験パターン [19]              | 10 |
| 2.5  | ベクション提示を用いた重心誘導発生の仕組み                       | 12 |
| 2.6  | エアパック型姿勢制御装置                                | 13 |
| 3.1  | 頭部座標系における遠心力と向心力の関係                         | 16 |
| 3.2  | ATR-Promotions 社製の加速度センサ                    | 18 |
| 3.3  | 走行経路                                        | 18 |
| 3.4  | 右カーブ走行時に発生する遠心力                             | 20 |
| 3.5  | 左カーブ走行時に発生する遠心力                             | 20 |
| 3.6  | 右カーブ走行時に発生する遠心力と座面傾け角度の関係                   | 22 |
| 3.7  | 左カーブ走行時に発生する遠心力と座面傾け角度の関係                   | 22 |
| 3.8  | 座面傾け装置                                      | 24 |
| 3.9  | 座面傾け装置の概要図                                  | 24 |
| 4.1  | 運転手と被験者の頭部に装着する ATR-Promtions 社製の加速度<br>センサ | 26 |
| 4.2  | 座面傾け装置に被験者が搭乗しているときの車内環境                    | 27 |
| 4.3  | 座面の傾けなしで右カーブにおける頭部の横加速度                     | 28 |
| 4.4  | 座面の傾けありで右カーブにおける頭部の横加速度                     | 28 |
| 4.5  | 座面の傾けなしで左カーブにおける頭部の横加速度                     | 29 |
| 4.6  | 座面の傾けありで左カーブにおける頭部の横加速度                     | 29 |
| 4.7  | 座面の傾けありとなしでの搭乗者の頭部の横加速度                     | 30 |
| 4.8  | 被験者 3 の座面の傾けなしでの頭部の横加速度の平均                  | 33 |
| 4.9  | 被験者 3 の座面の傾けありでの頭部の横加速度の平均                  | 33 |
| 4.10 | 被験者 3 の座面の傾けなしでの頭部の横加速度の一例                  | 34 |

|      |                                                      |    |
|------|------------------------------------------------------|----|
| 4.11 | 被験者 3 の座面の傾けありでの頭部の横加速度の一例 . . . . .                 | 34 |
| 4.12 | 被験者 5 の座面の傾けなしでの頭部の横加速度の平均 . . . . .                 | 36 |
| 4.13 | 被験者 5 の座面の傾けありでの頭部の横加速度の平均 . . . . .                 | 36 |
| 4.14 | 被験者 5 の座面の傾けなしでの頭部の横加速度の一例 . . . . .                 | 37 |
| 4.15 | 被験者 5 の座面の傾けなしでの頭部の横加速度の一例 . . . . .                 | 37 |
| 4.16 | 頭部座標系における遠心力，向心力，頭部の横加速度の関係 . . . .                  | 39 |
| 4.17 | 右カーブ走行時に発生する遠心力と被験者 5 に個人適応した座面<br>傾け角度の関係 . . . . . | 41 |
| 4.18 | 左カーブ走行時に発生する遠心力と被験者 5 に個人適応した座面<br>傾け角度の関係 . . . . . | 41 |
| 4.19 | 遠心力に基づいた座面の傾け制御を用いた右カーブでの頭部の横<br>加速度の平均 . . . . .    | 42 |
| 4.20 | 個人適応した座面の傾け制御を用いた右カーブでの頭部の横加<br>速度の平均 . . . . .      | 42 |
| 4.21 | 遠心力に基づいた座面の傾け制御を用いた左カーブでの頭部の横<br>加速度の平均 . . . . .    | 43 |
| 4.22 | 個人適応した座面の傾け制御を用いた左カーブでの頭部の横加<br>速度の平均 . . . . .      | 43 |

## 第 1 章 はじめに

自動車やパーソナルモビリティなどの車両の自動走行化の実現に向けた研究開発が多く行われている [1, 2]. 超高齢社会である日本においては、動体視力や瞬時の判断能力の低下などの身体機能の変化により、ハンドルやブレーキの操作ミスなど高齢者が関与する事故の増加が報告されている [3, 4]. また、生産年齢人口の減少が見込まれる中、地域における公共交通網の維持、人手不足が深刻化している物流分野への対応が課題となっており、このような社会課題を解決するために、自動走行車両の普及が望まれている [5]. 自動走行ビジネス検討会が取りまとめた、自動走行の実現に向けた取組方針では、2020 年東京オリンピック・パラリンピック競技大会に向けて、無人自動走行による移動サービスや、高速道路での自動運転を可能にするために、制度やインフラを整備するとしている [6]. また、一部地域において自動走行レベル 4 を実現し、順次対象地域を拡大していくことを目指している [7]. 自動運転の実用化に向けては競争が激化しており、国内や海外の大手自動車メーカーだけでなく、IT 企業も参入して実証実験が行われている. トヨタは首都高速道路での合流、車線維持、レーンチェンジ、分流を自動運転で行うデモ走行を実施しており、2020 年ごろの実用化を目指している [8]. ダイムラーはボッシュやメルセデスベンツと提携して、自動運転車を使用してカーシェアリング、配車サービス、マルチモーダルプラットフォームなどのモビリティサービスの実証テストを行うと発表している [9]. Waymo は完全自動走行を目指して、安全性を確保しながらドライバーレスの走行テストを行おうとしている [10]. このように国内だけでなく、世界的に自動運転の実用化に向けた研究開発が盛んに行われている.

企業などによって行われている自動走行車両の研究の多くは、他の車両や物体と衝突を避けることによる交通事故の防止や、走行データや制御システムを第三者から閲覧・操作されないようにするサイバーセキュリティに関する「安全性」、目的地に早く到着するための渋滞緩和や最適な経路選択を行う「効率性」に注目して行われている. しかし、AAA（全米自動車協会: American Automobile Association）が 2018 年に公開した調査結果によると、「米国のドライバーの 73% が完全自動運転の自動車に乗ることを恐れている」と報告されており、その割合は、前年の調査よりも増加している [11]. よって、今後自動走行車両が社会に普及していくために

は、「安全性」や「効率性」だけでなく、搭乗者の「快適性」を考慮していることが必要不可欠である [12].

自動走行にはレベル分けがされており、表 1.1 に示すように、自動走行レベル 0 からレベル 5 まで定義されている [13]. 特に、自動走行レベル 4 と 5 ではシステムがすべての運転タスクを実施することから、従来は運転手であった人も搭乗者の一人となる。搭乗者が自動走行車両に初めて搭乗してから継続的に利用するまでに、障害はないように思われる。しかし、実際には搭乗者の快適性を阻害する要因が発生すると考えられ、ストレスによる精神的要因と車酔いによる生理的要因が挙げられる。搭乗者が初めて自動走行車両に搭乗すると、システムに対して信頼していないことによる不安や疑いを持つ。そして、搭乗者は自車挙動や周囲環境からストレスを感じる [14, 15]. このように、自動走行車両に乗車することで発生する新しいストレスを「自動走行ストレス」と呼ぶ [23]. 挙動制御や情報提示によるストレス軽減手法を用いて搭乗者の自動走行ストレスが軽減されると、搭乗者の多くは車内で仕事、映画やテレビなどの動画視聴、ゲームなどのエンターテインメントで自由に時間を過ごすようになる。しかし、このような自由行動は搭乗者は自車の挙動を予測することが困難となり、手動走行時よりも車酔いを発症しやすい環境になると考えられる [16]. また、自動走行車両内で VR や AR を用いた新たな情報提示の手法が増加すると予測されている [17, 18]. VR や AR による情報提示は遅延した映像が提示されやすいため、走行している車内で遅延映像を視聴すると、感覚器官間で矛盾が発生しやすい環境となり、搭乗者は VR 酔いを発症してしまうことも考えられている。よって、自動走行時では、従来の車酔いと VR 酔いが併発する環境になると予想され、従来の動揺病より重症化すると考えられる。このような新しい動揺病は「自動走行酔い」と呼ぶ [19]. 視覚提示やハプティクス提示などの車酔いの抑制手法を用いることで、搭乗者の車酔いを抑制する。これらの快適性を阻害する要因を取り除くことで、搭乗者は自動走行車両を継続的に利用することができる。

従来、運転手は車両を自身で運転し、自車挙動の変化によって生じる加速度刺激を予測して、加速度刺激を軽減できる方向へ身体を傾けることで発生する向心力により、頭部の加速度を減少させ、車酔いを抑制している [20]. この原理に基づいて、搭乗者を加速度刺激を軽減できる方向へ身体を傾けるように誘導して車酔いを抑制するために、視覚提示やハプティクス提示による手法が提案されている。しか

し，搭乗者の身体を誘導する際の傾ける角度やタイミングを厳密に制御する手法はない．そこで，本研究では，搭乗者が受ける加速度を打ち消す座面の傾け角度やタイミングの制御方法を提案する．提案手法による座面傾け制御を実装できる座面傾け装置を用いて，提案手法の有効性を運転手と搭乗者の頭部の加速度を比較して検証する．

本論文の構成は以下の通りである．2章では，車酔いの発症メカニズムや自動走行時における車酔いの増加，車酔いの抑制手法について述べ，本研究の位置づけについて説明する．3章では，提案する遠心力に基づいた座面の傾け制御方法を説明し，予備実験であるカーブ走行時における遠心力の測定と，座面傾け装置の構成について述べる．4章では，遠心力に基づいた座面の傾け実験を通して，提案手法の有効性を示し，考察を述べる．5章では，本研究のまとめと今後の展望について述べる．

表 1.1 自動走行レベルの定義と概要 [13]

| レベル   | 概要                                         | 運転の対応主体 |
|-------|--------------------------------------------|---------|
| レベル 0 | 運転手が全ての運転タスクを実施                            | 運転手     |
| レベル 1 | システムが前後，左右のいずれかの車両制御を運転タスクを実施              | 運転手     |
| レベル 2 | システムが前後，左右の両方の車両制御を運転タスクを実施                | 運転手     |
| レベル 3 | 限定領域内において，システムが全ての運転タスクを実施するが緊急時にはドライバーが対応 | システム    |
| レベル 4 | 限定領域内において，システムが全ての運転タスクを実施する               | システム    |
| レベル 5 | システムが全ての運転タスクを実施する                         | システム    |

## 第 2 章 自動走行時における車酔いの関連研究および本研究の位置づけ

搭乗者が自動走行車両に初めて搭乗し、継続利用するまでに、搭乗者の快適性を阻害する要因として、自動走行ストレスと車酔いの発症が挙げられる。本章では、本研究に関連する研究として、はじめに自動走行時の搭乗者の快適性について説明する。次に、動揺病の発症原理として有力な感覚矛盾説（感覚不一致説）について述べ、従来の車酔いの要因および自動走行時に車酔いが増加する要因について説明する。最後に、車酔いの発症を抑制する手法として、視覚提示およびハプティクス提示による手法を紹介し、本研究の位置づけについて述べる。

### 2.1 自動走行車両における搭乗者の快適性

自動走行車両が社会に普及していくためには、他の車両や物体への衝突を避ける安全性や渋滞緩和や最適な経路選択といった効率性だけでなく、搭乗者が心地よく感じる快適性についても考慮する必要がある。澤邊らは、搭乗者が自動走行車両に初めて乗車してから継続的に利用するまでの快適性をコンフォート・インテリジェンス（快適化知能）と提言している [21]。図 2.1 は搭乗者が自動走行車両に初めて搭乗してから継続的に利用するまでの流れを示している。搭乗者が快適に自動走行車両を利用することが望まれるが、実際は快適性を阻害する要因が存在すると考えられる。

従来、手動走行時では、運転手だった人が自動走行時では一人の搭乗者となる。そのため、搭乗者は自車挙動の予測が難しくなりストレスが生じる。そこで、自動走行時に搭乗者が感じるストレス要因を推定する研究 [22] やストレス要因を分類する研究 [23] が行われている。自動走行車両に搭乗することで発生するストレス要因を環境の種類によって以下の 3 種類に分類している。

- (1) 自動走行車両の挙動
- (2) 静的な外部環境（例：壁や障害物への接近）
- (3) 動的な外部環境（例：歩行者や車などの移動体との接近や衝突予測）

# コンフォート・インテリジェンス (快適化知能)

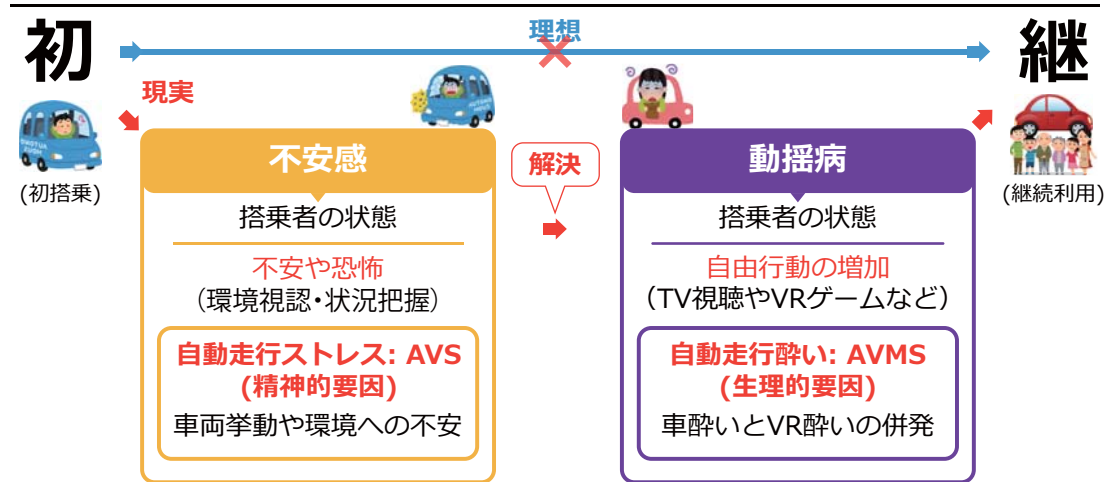


図 2.1 自動走行車両における搭乗者の快適性 [21]

(1) は、加減速によるタイミングや量、経路変更などの自動走行の挙動に起因するストレスが含まれる。これは、一般的に挙動制御の改善や搭乗者にフィードバックすることで解決できると考えられる。

(2) は、壁や障害物への接近などの静的外部環境との関係に起因するストレス要因が含まれる。これを軽減するには、挙動情報に加え、地図情報などの静的外部環境の情報が必要となる。

(3) は、歩行者や車などの移動体との接近や衝突予測などの動的外部環境との関係に起因するストレス要因が含まれる。これを軽減するには挙動情報、静的外部環境情報に加え、動的外部環境の情報が必要となる。

これらは、ストレス軽減に必要な情報が多いため、ストレス軽減を実現するには、高精度・広範囲なセンシング及び円滑で安定した情報共有の基盤が必要となる。また、これらの解決手法として、従来研究を、滑らかな動作や適切な速度などを行う車両挙動と、自車挙動の情報提示の2つに大別することができる。

挙動制御によるストレス軽減として、Gulati ら [24, 25] は、自動走行の望ましい動作に必要な要件として、安全性、滑らかな動作、適切な速度、直感的な操作の4つ

を定義している．また，滑らかな動作と適切な速度による 2 つの観点から，シミュレーションにより評価している．さらに，その制御手法を実装した車椅子ロボットを用いて実環境での検証を行っている．

情報提示によるストレス軽減手法の従来研究として，橋本ら [26] による，車両内部環境に起因するストレス要因については車椅子ロボットの挙動情報を搭乗者に提示することで，搭乗者のストレス軽減を行う研究が挙げられる．この研究では，急発進や蛇行，壁への接近などの複数のストレス要因から生理指標（心拍及び発汗）の反応を調べることで，ストレス要因の刺激の強弱や長さとの関係性を検証している．

## 2.2 動揺病の関連研究

### 2.2.1 動揺病の発症メカニズムとその対策

動揺病は，酔いの要因ごとに名称がつけられており，車酔い，船酔いなど乗り物の種類別の他に，シミュレータ酔い，VR 酔い，宇宙酔いなど広義の意味でも使用されている．1881 年以降は動揺病という用語が広く用いられるようになり，適応刺激が加速度であることから，加速度病とも言われている [34]．症状としては，あくび・気怠さ・頭重感・唾液分泌の亢進・心窩部違和感などから，次第に顔面蒼白・冷汗・悪心（吐き気）などの症状を伴い，最終的に嘔吐に至るといった経緯を辿る [27]．これまで，動揺病に関する研究は数多く行われてきたが，その原理については，未だ明確に解明されていない．しかし，現在，動揺病発生の原理について最も有力な説として感覚矛盾説もしくは感覚不一致説 (sensory conflict theory) がある [28, 29, 30, 31]．感覚矛盾説とは，視覚から得た情報や三半規管などを含む平衡感覚をつかさどる前庭器官から得た情報，ニューラルストアの情報などの複数の感覚器官が得た情報の差異によって，脳が混乱することにより，結果的に酔いが発生していると考えられる説である．このメカニズムは，人間が持つ防衛機制であり，複数の感覚器官から得た情報が異なっていることから，脳は体内に毒が発生していると幻覚しその症状を改善するために，その毒を身体外部へ排出するための仕組みとして，嘔吐を促すことで酔いが発生するという仕組みとなっている [35]．図 2.2 に感覚矛盾説の発症機序モデルを示す．以下に動揺病が発症するまでの流れを記述する．

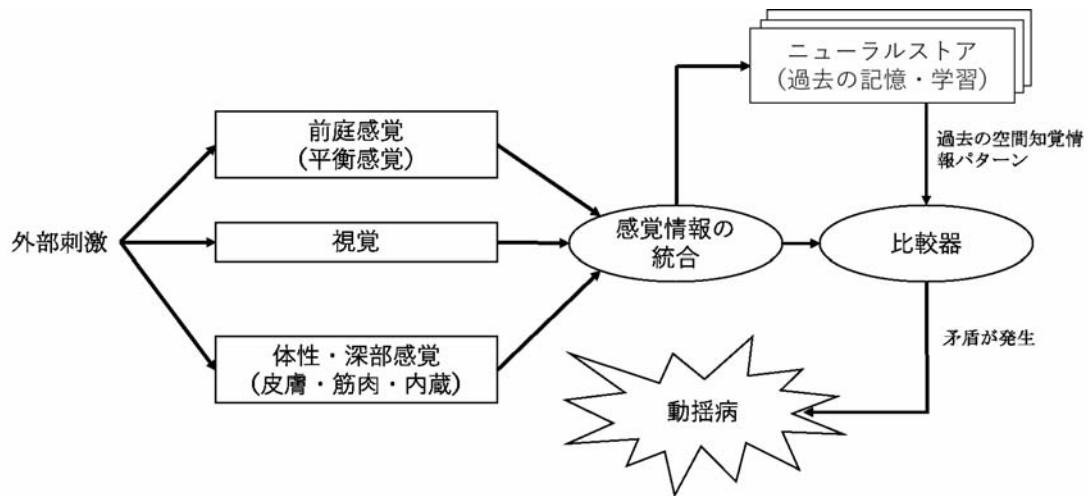


図 2.2 感覚矛盾説に基づいた動揺病の発症機序モデル [30]

1. 視覚，前庭感覚，体性感覚のそれぞれの感覚器官から得た運動感覚を統合させる
2. 現在の運動情報から脳内のニューラルストアと呼ばれる中枢神経系に記憶された過去の空間知覚情報のパターンと照合する
3. 両パターンの整合が取れない場合，ニューラルストアに新たな感覚情報パターンを記録する
4. 3 と同時にミスマッチ信号が発生し，自律神経系が不安定になる
5. 自律神経が不安定になることで，動揺病の症状である頭痛や吐き気などの症状が発生する

また，動揺病は上記の感覚の不一致以外にも精神的なストレスや体調も大きく影響している．これは，動揺病が一種の自律神経失調症とされており，直接的に受ける不快感によるストレスが自律神経に影響しているためである．例えば，睡眠不足や空腹・過食，車内の空気の匂いや温度，酔うかもしれないといった精神的不安などが挙げられる．そのため，自動走行車両による予測が困難である揺れや不安感は車酔いの要因となる [27]．

動揺病の発症に対する対策として，日頃からできるだけ多彩な身体の回転運動などを体験し，それぞれの感覚情報パターンを記憶しておくことが有効であると考え

られている．また，乗り物の運転手あるいは操縦者が動揺病を発症しにくい理由として，ある程度の緊張感を持って自ら予測しながらの能動姿勢で運転するので，予測可能な視覚情報や前庭情報が脳内のニュートラルストアに入り，ミスマッチ信号を発生させにくいからである．なので，乗り物で移動中は無闇に頭を動かしたり，読書やテレビ鑑賞，スマートフォン等の操作を避け，前方の遠くを見つめるか，目を閉じていたほうが良いとされている [32, 33]．

## 2.3 自動走行時における車酔い

### 2.3.1 車酔いの発症メカニズム

車酔いは，断続的な加速度刺激により，前庭感覚が刺激されているにも関わらず，景色の早い移り変わりによる視覚と身体は静止しているという体性感覚の矛盾からくる感覚の不一致によって発生する．具体的には，走行中の急な発進，停止やカーブ時では，搭乗者の身体は座席からほとんど動いていないにも関わらず，頭は前後左右に揺れている．そのため，体性感覚と前庭感覚で受ける加速度に違いが生じ，感覚の不一致が生じる [36]．

### 2.3.2 自動走行時における車酔いの増加

自動走行時では手動走行時よりも車酔いを発症する人が増加すると考えられている．理由として，自動走行車両に乗車すると，手動走行車両では運転手であった人が運転から解放されて搭乗者となることが挙げられる．運転手は搭乗者よりも車酔いを発症しにくい．以降ではその理由について述べる．

もし完全自動走行車両に乗ることになった場合，運転しないことでできた時間をどのように過ごすのかというアンケート調査を行った研究がある [16]．アンケート調査はアメリカや日本などの成人約 3000 人から回答を得られた．アンケート結果は，仕事を行う，読書，映画やテレビなどの動画を視聴する，ゲームなどのエンターテインメントを楽しむといった回答が得られている．このような自由行動によって，車酔いを発症する人が増加し，重症化にもつながる [37]．

また，車酔いが発症する要因を，運転手と搭乗者の頭部の傾きと，カーブ走行時

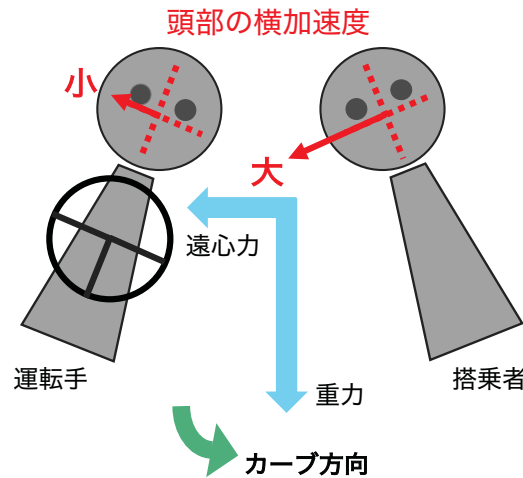


図 2.3 運転手と搭乗者の頭部の傾きの違い [38]

に発生する遠心力との関係から説明する．カーブを走行する際の運転手と搭乗者の頭部の傾きと遠心力の関係は図 2.3 のようになる [38, 39, 40]．カーブ走行時において運転手と搭乗者が受ける加速度は重力と遠心力で同一である．手動走行時では，運転手は自らハンドルを切るタイミングや量を制御しているので，遠心力が発生するタイミングや大きさをあらかじめ予測することができる．この予測に基づいて，運転手は頭部をカーブの旋回方向へ傾けて，頭部の鉛直方向と体を感じる重心方向を一致させている．これにより，運転手の頭部の横加速度は減少させており，車酔いを抑制できていると考えられる．それに対して，搭乗者はハンドル操作を行っていないので，遠心力のタイミングや量を予測することが難しくなる．予測が難しいと，搭乗者は頭部をカーブの旋回方向へ傾けられず，カーブの遠心方向へ傾いてしまう．すると，頭部の横加速度は大きくなり，車酔いを引き起こすと考えられる．また，アクセルやブレーキなどによる前後方向への加速度が発生する走行時においても，頭部の前後方向への加速度が大きいと車酔いの発症につながる [41]．

したがって，運転手は受ける走行時に発生する加速度に対してタイミングや量を予測することができるので，頭部の前後左右への加速度を減少させ，車酔いを抑制できていると考えられる．以上から，自動走行車両では運転手が搭乗者となることで，車酔いを発症する人が増加すると考えられる．



図 2.4 自動走行酔いの影響を評価するための比較実験パターン [19]

### 2.3.3 車酔いと VR 酔いが併発する環境下での自動走行酔い

自動走行車両内において VR（人工現実感）AR（拡張現実感）を用いた情報提示やゲームなどを行うようになると予測されている [17, 18]. VR や AR による情報提示は遅延した映像が提示されやすいため、感覚器官間で情報に矛盾が発生しやすくなり、搭乗者は VR 酔いを発症してしまうと考えられている. よって、自動走行時では、従来の車酔いだけでなく、VR 酔いも発症する環境になると予想される. この車酔いと VR 酔いが併発する動揺病を自動走行酔いと定義している [19], この新しい動揺病の影響を調査するために、車酔い環境、自動走行酔い環境、VR 酔い環境の各環境間での動揺病の症状の比較を行なっている. 図 2.4 は車酔い環境、自動走行酔い環境、VR 酔い環境の実験パターンである. 車酔い環境は従来の車内環境と同様で、実環境を見ながら走行する. 自動走行酔い環境は光学シースルーによる AR 映像を視聴する環境であり、映像の遅延や位置ずれを表現している. VR 酔い環境は実際の走行は行わず、揺れている車内で走行動画を視聴する. 動揺病の評価方法は、主観的評価である SSQ (Simulation Sickness Questionnaire) や、客観的評価である唾液アミラーゼと LF/HF を用いている. 結果として、車酔い環境より自動走行酔いの方が強い動揺病になりやすいことが明らかとなっている. また、自動走行酔いと VR 酔いでは、有意差は得られていない. 理由として、VR 酔い環境での没入感の不足や動揺病に対する個人差の影響が挙げられている. 以上から、自動走行車両では、従来の手動走行車両よりも強い動揺病になりやすいと考えられる.

## 2.4 自動走行時における車酔い抑制手法

自動走行時では、運転手が搭乗者の一人となることや、自車挙動を予測することが困難となることから、車酔いを発症する人が増加したり、自動走行酔いという新たな動揺病を発症することが考えられる [42]. 動揺病のうち、車の加速度に起因して発症する車酔いの分野では、運転手は車酔いを発症しにくいと考えられている。理由として、運転手は搭乗している自動車を自身で制御しているので、加減速やカーブ走行など自車挙動の変化から発生する加速度刺激の大きさやタイミングを事前に予測することができ、この加速度刺激に対して、加速度刺激の情報を受け取る前庭感覚がある頭部を身体と共に姿勢変化することで、加速度刺激を軽減して車酔いを発症しにくい状態を作っているからである [20]. そこから、搭乗者が加速度刺激を感じないようにするために、予測させることを実現できれば、自動走行化することで発症する車酔いの抑制を行える。自動走行時の車酔いを抑制する手法として、大きく分けて視覚提示とハプティクス提示が挙げられる。以下では、視覚提示とハプティクス提示の関連研究について述べる。

### 2.4.1 視覚提示を用いた車酔い抑制手法

視覚提示を用いた情報共有による自動走行時の酔いの軽減方法にはいくつか種類がある。例えば、スマートフォンや iPad などを用いて文字やキャラクターを画面に登場させ、そのキャラクターの動きを、車の左右の動作に合わせることで、搭乗者は車の挙動を認識できる手法がある [43]. また Michael らは、車内のサイドドア付近に点灯できるラインをつけ、車の挙動に合わせてラインを点灯させることで、搭乗者への情報共有を行っている [44]. これらの手法は、車の挙動が発生してから動作するものが多く、また直感的でないことから、自動走行時の酔いの軽減手法としてはまだ実用的ではない。そこで、車内で実際に加速度が発生する前に、ベクションを含む映像で搭乗者にあたかも加速度刺激が発生しているかのように錯覚させることで、事前に反射的な重心移動を誘導させる。この重心移動によって、車酔いの要因となっている加速度刺激を搭乗者に予測させることができ [46], 実際に発生した加速度刺激の影響を小さくできると考えられる。図 2.5 にベクション提示による重心誘導の仕組みを示す。搭乗者の頭部に加速度計測装置を設置し、ベクシヨ

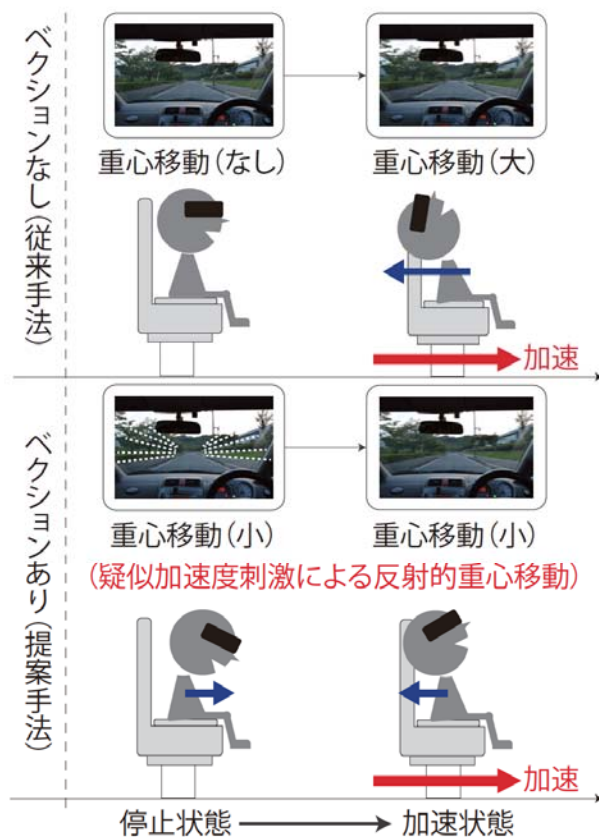


図 2.5 ベクション提示を用いた重心誘導発生の仕組み

ン提示の有無で頭部の移動量から重心移動を計測して、カーブ走行時のベクション提示による加速度刺激の軽減を検証している。実験結果では、ベクション提示により重心移動の変化値が減少した搭乗者は適切な量やタイミングのベクションを発生させることができていることが明らかとなっている。しかし、ベクション提示で重心移動が増加したり、ベクション効果が発揮されない搭乗者も存在しており、個人差を考慮してベクションの量、速度、濃さ、タイミングなどを調整する必要がある。また、実験時間が短時間であるため VR 酔いは発症していないが、長時間の使用を考えると VR 酔いの影響を考慮していく必要がある。

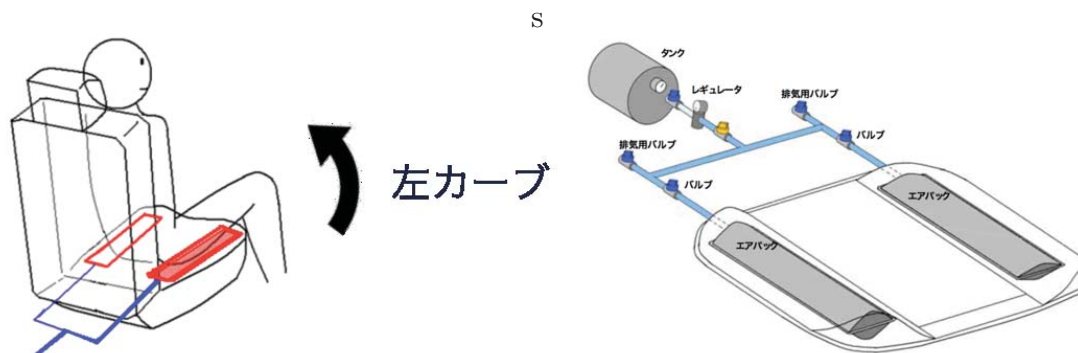


図 2.6 エアパック型姿勢制御装置

#### 2.4.2 ハプティクス提示を用いた車酔い抑制手法

ハプティクス提示を用いた車酔い抑制手法の一つとして、エアパック型姿勢制御装置が提案されている [38]。搭乗者の頭部運動から動揺病発症率を推定する数理モデルを用いて、エアパック型姿勢制御装置による動揺病の軽減を行なっている [39, 45]。運転手はカーブの旋回方向へ頭部を傾けており、動揺病の軽減に効果があると数理モデルから示している。そこから、運転手と類似した頭部運動を搭乗者に誘発するために、エアパック型姿勢制御装置を用いている。図 2.6 はエアパック型姿勢制御装置を示す。エアパックを搭乗者の大腿部下に設置して、カーブの進入時にカーブの遠心方向のエアパックをカーブの適した大きさに膨らませて傾きをつくる。実験結果では、搭乗者の頭部ロール角の波形は装置の有無で大きな変化は見られなかったが、装置を用いた場合だとカーブの遠心方向への最大頭部ロール角は減少しており、有意に頭部ロール角が減少できる傾向が示唆されている。搭乗者の頭部ロール角は減少できているが、運転手と同様にカーブの旋回方向へ頭部運動を行えていないことが課題としてあげられる。また、座面を傾ける角度やタイミングは被験者の主観評価をもとに制御しているため、座面の傾けの角度やタイミングを厳密に制御していない。

## 2.5 本研究の位置づけ

搭乗者が自動走行車両に初めて搭乗してから継続的に利用するまでの過程において、搭乗者の快適性を阻害する要因の一つとして、車酔いを発症する人が増加することが挙げられる。従来、運転手は車両を自身で運転し、カーブ走行での自車挙動の変化によって生じる遠心力の大きさやタイミングを予測することで、遠心力と反対方向へ身体を傾けて発生する向心力により、頭部の横加速度を減少させ、車酔いを抑制している [20]。この原理に基づいて、搭乗者を遠心力と反対方向へ身体を傾けるように誘導して車酔いを抑制するために、視覚提示やハプティクス提示による手法が提案されている。しかし、視覚提示であるベクション提示手法では、長時間の使用で VR 酔いを発症する可能性があること、ハプティクス提示であるエアバック装置による手法では、座面の傾けの角度やタイミングを厳密に制御していないことが課題として挙げられる。

自動走行車両は、発進や停止、カーブ走行等の自車挙動を事前に把握できているため、自車挙動から発生する加速度を予測することが可能である。運転手は自車挙動から発生する加速度の大きさやタイミングをあらかじめ予測して、身体をその加速度を打ち消す方向へ傾けていることから、自動走行車両においても、搭乗者を自車挙動から発生する加速度を打ち消す方向へ身体を傾けるように誘導することで、搭乗者の車酔いを抑制することが可能であると考えられる。そこで、本研究では、座面傾け制御を実装できる座面傾け装置を用いて、搭乗者の頭部の横加速度を減少させ、車酔いを抑制することを目的として、搭乗者を自車挙動から発生する加速度を打ち消すような加速度を発生させる座面の傾けの角度やタイミングの制御方法を提案する。予備実験ではカーブ走行で発生する遠心力を測定し、提案手法から座面の傾け角度やタイミングを定める。遠心力に基づいた座面傾け実験では、運転手と搭乗者の頭部の横加速度を加速度センサにより測定する。実験結果から、搭乗者の頭部の横加速度を分類し、提案手法の有効性を検証する。また、提案手法による座面の傾け度合いが適切ではないに分類される搭乗者に対しては、搭乗者に適応した座面傾け制御を行い、個人差を考慮した座面傾け制御方法について検証を行う。

## 第 3 章 座面の傾けによる車酔いの抑制

運転手は発進や停止，カーブ走行での自転車挙動から発生する加速度を予測して，身体をその加速度を打ち消す方向へ身体を傾けることで発生する加速度により，頭部の横加速度を減少させ，車酔いを抑制していると考えられている．そこで，自転車挙動から発生する加速度を打ち消す加速度を発生させる座面の傾け角度やタイミングの制御方法を提案する．本章では，提案手法である自転車挙動から発生する加速度に基づいた座面傾け制御方法，カーブ走行時における遠心力測定の予備実験，予備実験の結果に基づいた座面傾け制御方法およびハプティクス提示である座面傾け装置の構成について述べる．

### 3.1 自転車挙動から発生する加速度に基づいた座面傾けの制御手法

自動走行車両は，発進や停止，カーブ走行等の自転車挙動を事前に把握できている．そこから，車両速度やカーブの曲率を，自転車挙動で発生する加速度を予測することが可能である．また，運転手は自転車挙動から発生する加速度の大きさやタイミングをあらかじめ予測して，身体をその加速度を打ち消す方向へ傾けていることから，自動走行車両においても，搭乗者を自転車挙動から発生する加速度を打ち消す方向へ身体を傾けるように誘導することで，搭乗者の車酔いを抑制することが可能であると考えられる．そこで，座面を傾けて自転車挙動から発生する加速度を打ち消すような加速度を発生させることで，頭部の横加速度を減少させて車酔いの抑制につながると考えられる．まず，カーブ走行における頭部の左右方向について説明する．図 3.1 はカーブ走行で発生する遠心力と座面を傾けることで発生する向心力の関係を示す．カーブ走行で発生する遠心力を  $f[\text{G}]$ ，重力加速度を  $g[\text{G}]$  とする．頭部座標系の水平方向成分のみに注目すると，座面の傾け角度を  $\theta [^\circ]$  のとき，遠心力の分力は  $f \cdot \cos \theta$  となる．また，向心力は重力加速度の分力として  $g \cdot \sin \theta$  となる．そこから，頭部座標系での遠心力と向心力の大きさがつりあうときの角度は式 3.1.1 で求められる．

$$\begin{aligned} g \cdot \sin \theta &= f \cdot \cos \theta \\ f &= g \cdot \tan \theta \end{aligned}$$

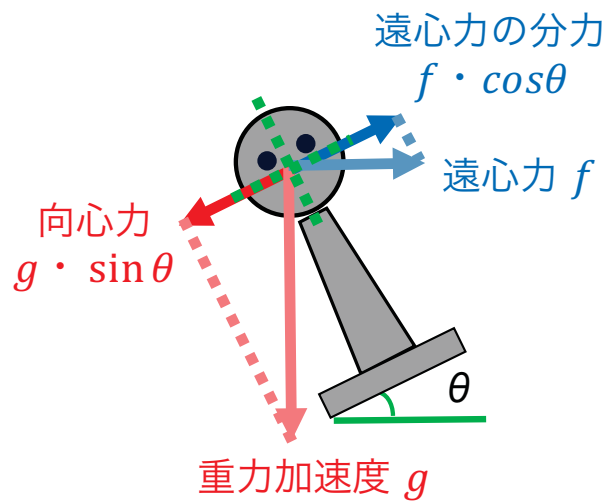


図 3.1 頭部座標系における遠心力と向心力の関係

$$\theta = \tan^{-1} \frac{f}{g} \quad (3.1.1)$$

式 3.1.1 から，座面を傾ける角度が  $\theta$  であれば，遠心力  $f$  を打ち消す向心力を発生させることができると導かれる．また，発進や停止の頭部の前後方向に対しても，上記の関係式が成り立つ．表 3.1 は，自転車挙動で発生する加速度を打ち消すような加速度を発生させる座面の傾け角度を表している．自転車挙動で発生する加速度が発生している間は，表 3.1 に示したような座面の傾け角度で制御することで，搭乗者の頭部の横加速度を常に 0[G] にすることができると考えられる．

### 3.2 カーブ走行時における遠心力測定の予備実験

予備実験では車両速度やカーブの曲率といった走行条件を定めた上で手動走行車両で走行しており，これを擬似自動走行環境とする．カーブ走行で発生する遠心力を測定し，遠心力を打ち消す向心力を発生させるための座面を傾ける角度，タイミングを決定していく．

### 3.2.1 実験環境

カーブ走行で発生する遠心力を測定するため，車両の左右方向の加速度を加速度センサを用いて測定する．加速度センサは車両のバックミラーの裏側と車両のハンドルに設置する．これらのセンサから，遠心力の大きさやタイミングを知ることができる．図 3.2 に示す通り，実験で使用する加速度センサは ATR-Promotions 社製の小型無線多機能センサ TSND151 である．図 3.3 に走行経路を示す．走行経路はカーブ内で曲率半径の変化量が少ないカーブのみを含む経路を選択する．曲率半径は約 17m である．経路のスタート地点で停止した状態から加速し始め，カーブを走行中は 20km/h で一定となるようにし，ゴール地点で停止する．右カーブと左カーブの走行を交互に繰り返し，それぞれ 5 回ずつ測定する．また，測定した遠心

表 3.1 自転車挙動で発生する加速度とそれを打ち消す加速度を発生させる座面の傾け角度

| 座面の傾け角度 $\theta$ [°] | 自転車挙動で発生する加速度 [G] |
|----------------------|-------------------|
| 1                    | 0.02              |
| 2                    | 0.04              |
| 3                    | 0.05              |
| 4                    | 0.07              |
| 5                    | 0.09              |
| 6                    | 0.10              |
| 7                    | 0.12              |
| 8                    | 0.14              |
| 9                    | 0.16              |
| 10                   | 0.17              |
| 11                   | 0.19              |
| 12                   | 0.21              |
| 13                   | 0.22              |
| 14                   | 0.24              |
| 15                   | 0.26              |



図 3.2 ATR-Promotions 社製の加速度センサ



図 3.3 走行経路

力の平均値を実験環境で発生する右カーブおよび左カーブでの遠心力とする。

### 3.2.2 実験結果

図 3.4 は右カーブ走行時に発生する遠心力，図 3.5 は左カーブ走行時に発生する遠心力を示す．グラフの横軸は時間 [sec] を表し，縦軸は測定した遠心力および平均をとった遠心力 [G] を表している．縦軸の正の値はカーブの遠心方向への加速度，負の値はカーブの旋回方向への加速度である．青，黄，灰，緑，紫色の線は実験で測定した 5 回の走行時の遠心力で，赤色の線は測定した遠心力の平均をとったものである．平均をとった遠心力の最大値は，右カーブでは約 0.15G，左カーブで

は約 0.2G まで上昇した。また，遠心力が発生するタイミングは，運転手がハンドルを切り始めるタイミングと一致していることがわかった。

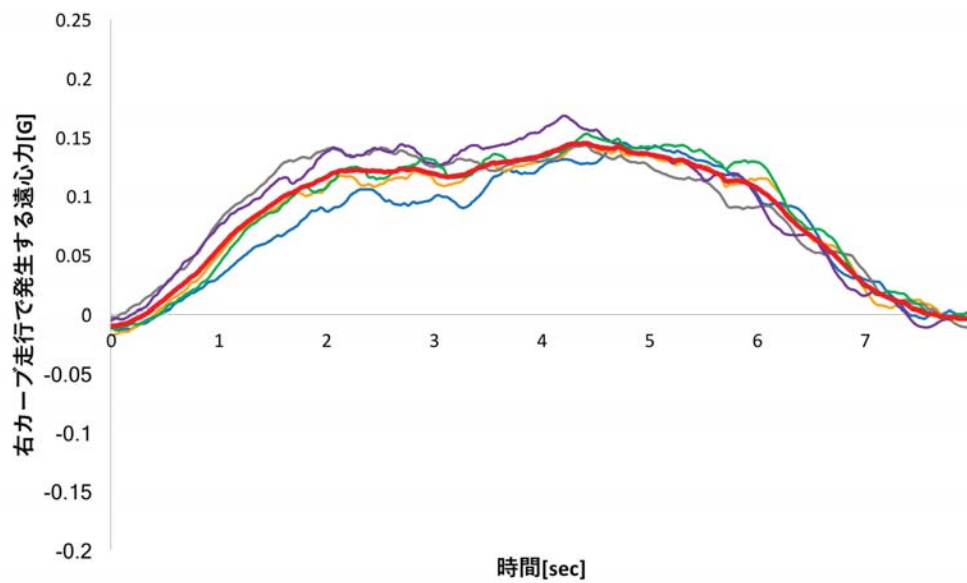


図 3.4 右カーブ走行時に発生する遠心力

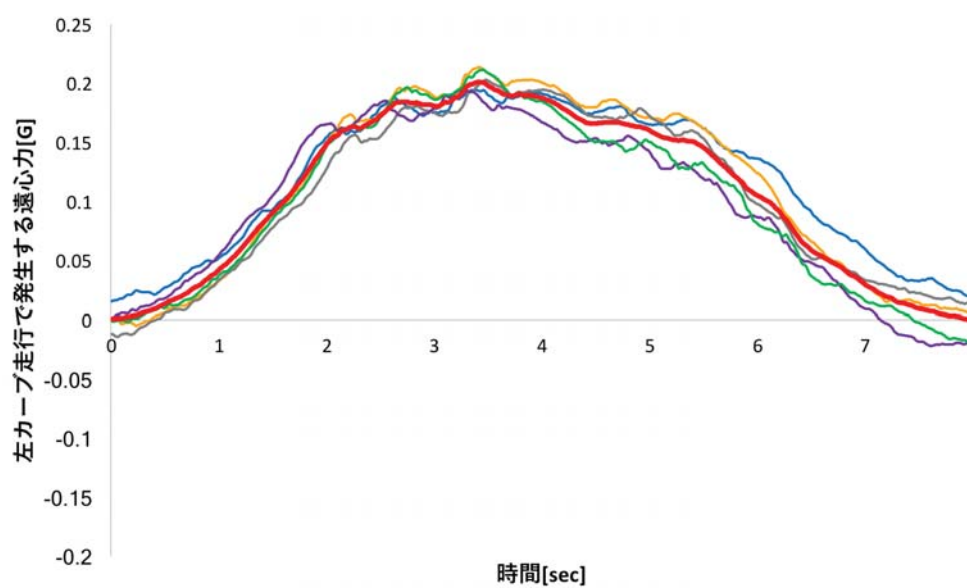


図 3.5 左カーブ走行時に発生する遠心力

### 3.3 カーブ走行時に発生する遠心力にもとづいた座面傾け制御

予備実験の結果から，節で提案した遠心力にもとづいた座面傾け制御として，遠心力とつりあう向心力を発生させる座面の傾け角度の推移について以下のグラフで表す．図 3.6 は右カーブ走行時に発生する遠心力と座面傾け角度の関係，図 3.7 は左カーブ走行時に発生する遠心力と座面傾け角度の関係を示す．グラフの横軸は時間 [sec] を表す．左側の縦軸はカーブ走行で発生する遠心力 [G] を表している．縦軸の正の値はカーブの遠心方向への加速度である．右側の縦軸は座面傾け角度 [°] を表している．縦軸の正の値はカーブの旋回方向への傾け角度である．座面の傾け角度は遠心力と向心力の大きさをできるだけ一致させるように制御を行う．

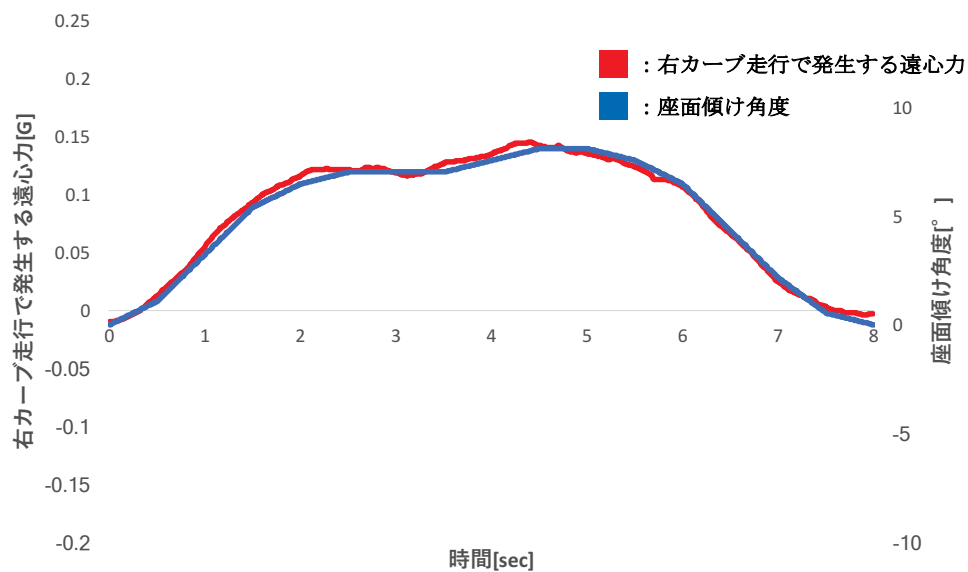


図 3.6 右カーブ走行時に発生する遠心力と座面傾け角度の関係

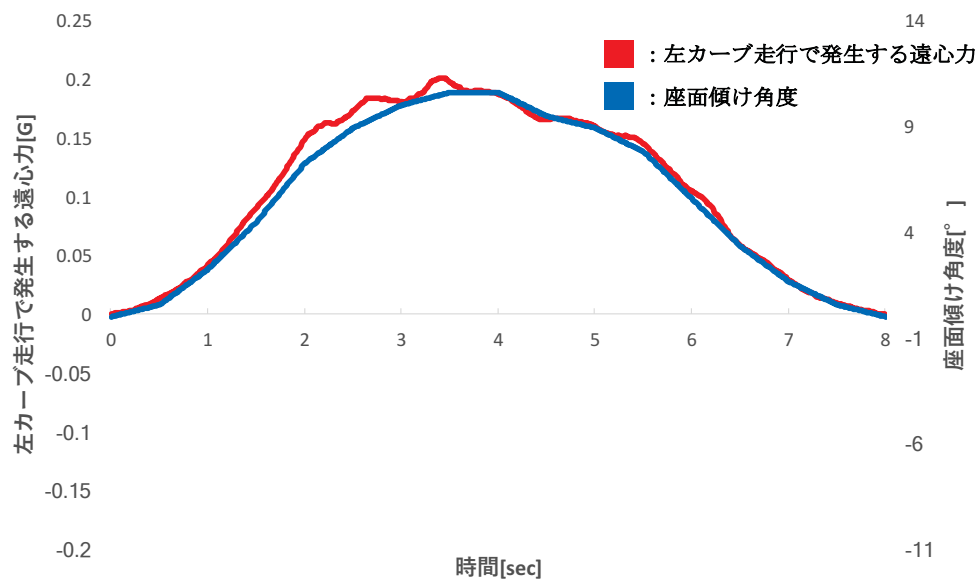


図 3.7 左カーブ走行時に発生する遠心力と座面傾け角度の関係

### 3.4 座面傾け装置の構成

提案手法である，自転車挙動から発生する加速度に基づいた座面傾け制御を実装できる座面傾け装置を作成する．作成した座面傾け装置を図 3.8 に，概要図を図 3.9 に示す．座面傾け装置は，座面，土台，座面の前後の支柱は木材で，モータ (Pololu シンプルハイパワーモータコントローラ 24v12)，モータドライバ (DimensionEngineering 回生モータドライバ SyRen 25A)，マイクロコンピュータ (Arduino Uno R3)，ギヤ，シャフト，円盤カムから構成されている．モータの先に取り付けたギヤをシャフトに固定したギヤに接続し，シャフトに左右で高低差をつけた円盤カムが取り付けられている．電源はモータドライバに接続した外部電源から供給している．マイクロコンピュータで座面の傾け制御を行う．座面を傾ける機構としては，モータに回転を加えるとシャフトが回転し，左右の円盤カムが座面に対して高さが変化することで座面の傾けを実現する．本研究で使用する座面傾け装置の限界値は，右方向への傾けは最大で  $9.5[^\circ]$ ，左方向への傾けは最大で  $11.1[^\circ]$  である．また，座面を傾ける最大速度は  $8[^\circ/\text{s}]$  である．3.3 節で求めた座面傾け制御はこれらの限界値を超えていないので，座面傾け装置で実装できる．



図 3.8 座面傾け装置

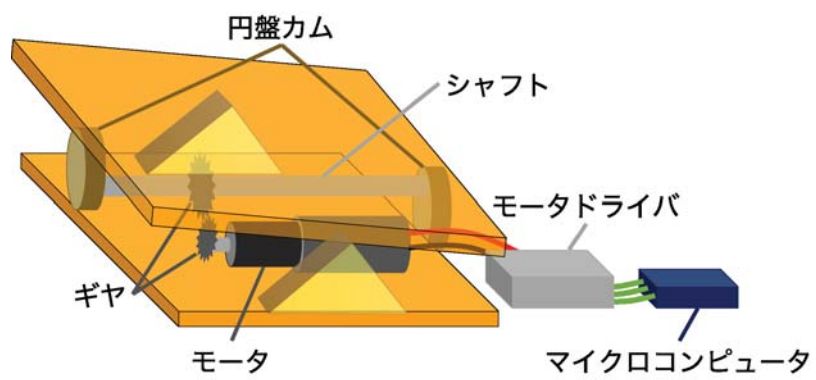


図 3.9 座面傾け装置の概要図

## 第 4 章 座面傾け装置を用いた搭乗者の頭部の横加速度測定実験

本章では、遠心力に基づいた座面傾け制御を用いた、運転手と搭乗者の頭部の横加速度の測定実験を行う。運転手と搭乗者の頭部の横加速度を比較し、提案手法の有効性について検証する。また、遠心力に基づいた座面傾けでは頭部の横加速度が減少されず、座面の傾け度合いが適切ではない被験者に対しては、被験者に個人適応した座面傾け制御を用いることで、被験者の頭部の横加速度が減少するか検証する。

### 4.1 遠心力に基づいた座面傾け実験

#### 4.1.1 実験環境

車両の横加速度、および運転手と被験者の頭部の横加速度を測定するため、加速度センサを車両のバックミラーの裏側に、運転手と被験者の頭部に装着する。加速度センサは 3.2.1 節と同じセンサを使用している。頭部に装着する加速度センサは、図 4.1 に示すように頭部に固定できるようにする。また、図 4.2 は車内に設置している座面傾け装置に被験者が搭乗しているときの車内環境である。座面傾け装置を車両の三列目の座席の位置に設置するために、車両の二列目と三列目の座席を折りたたんでいる。走行経路および走行条件は 3.2.1 節と同じである。図 3.3 を走行経路とし、経路のスタート地点で停止した状態から加速し始め、カーブを走行中は 20km/h で一定となるようにし、ゴール地点で停止する。実験手順は、まず座面の傾けなしで右カーブと左カーブの走行を交互に繰り返し、それぞれ 5 回ずつ測定する。次に、遠心力にもとづいた座面傾け制御を用いて、右カーブ、左カーブそれぞれで 5 回ずつ測定する。座面を傾ける制御についてであるが、座面を傾けるタイミングは手動で行っている。3.2.2 説で述べたように、遠心力が発生するタイミングは車両のハンドルを切り始めるタイミングと一致しているので、操作者はハンドルを切り始めるタイミングで座面の傾けを開始する制御を行う。座面の傾け角度は、図 3.6 と図 3.7 で示すように、遠心力を打ち消す向心力を発生させる傾け角度にな



図 4.1 運転手と被験者の頭部に装着する ATR-Promtions 社製の加速度センサー

るように制御を行う。被験者は 20 代の男性 6 名で実験を行う。

#### 4.1.2 評価対象

運転手と被験者の頭部の横加速度を評価対象とする。カーブ走行中における頭部の横加速度から平均値を算出し、運転手、被験者の座面の傾けあり、被験者の座面の傾けなしで比較を行う。また、実験後には被験者にアンケートを回答してもらう。質問内容に対して 5 段階評価を行ってもらい、最後に意見や感想などがあれば自由記述を行ってもらう。質問内容は以下に示す通りである。

1. 普段から運転を行いますか
2. 普段から車酔いになりやすいですか
3. 搭乗者として乗車する時、運転手のように遠心力と反対方向へ体を傾けますか
4. 座面の傾けを行わない実験と比べて、遠心力はどのように感じましたか
5. 座面を傾ける角度はどのように感じましたか
6. 座面を傾け始めるタイミングはどのように感じましたか
7. 座面を傾けることで運転手のように遠心力と反対方向へ体を傾けるように誘導されましたか



図 4.2 座面傾け装置に被験者が搭乗しているときの車内環境

#### 4.1.3 実験結果

以下のグラフでは、運転手と被験者のカーブ走行中における頭部の横加速度から平均値と標準偏差を算出したものである。図 4.3 は座面の傾けなしで右カーブ走行，図 4.4 は座面の傾けなしで左カーブ走行の結果を示す。そして，図 4.5 は座面の傾けありで右カーブ走行，図 4.6 は座面の傾けありで左カーブ走行の結果を示す。グラフの横軸は時間 [0.01sec] を表し，縦軸は測定した頭部の横加速度 [G] を表している。縦軸の正の値は頭部の右方向への加速度，負の値は頭部の左方向への加速度である。青色のグラフは運転手，オレンジ，グレー，黄，水，緑，ネイビー色のグラフは被験者の頭部の横加速度の平均値と標準偏差を表している。運転手は頭部の横加速度の平均で 0.02G 発生していた。

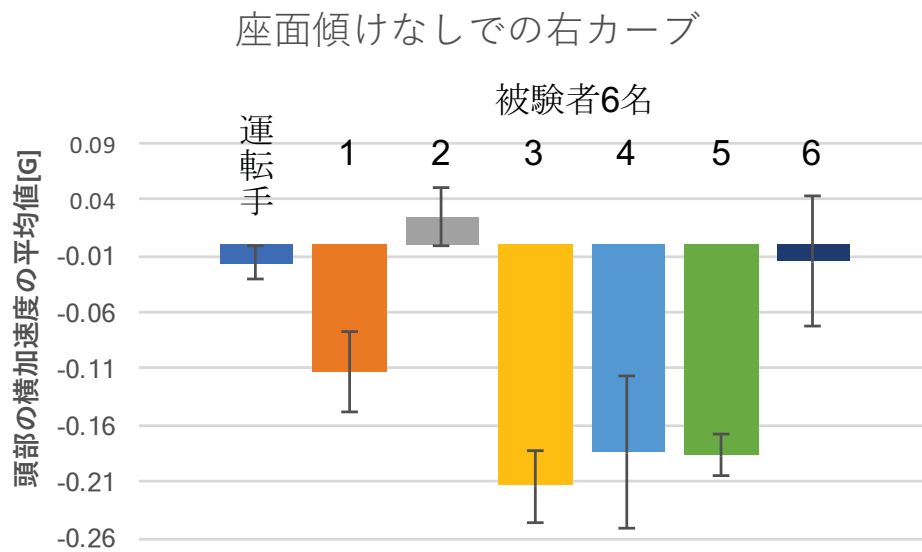


図 4.3 座面の傾けなしで右カーブにおける頭部の横加速度

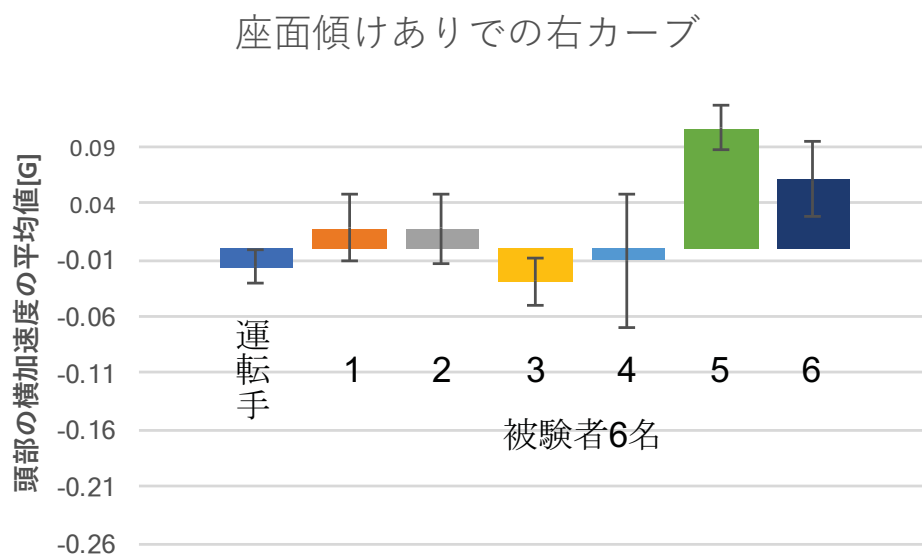


図 4.4 座面の傾けありで右カーブにおける頭部の横加速度

### 座面傾けなしでの左カーブ

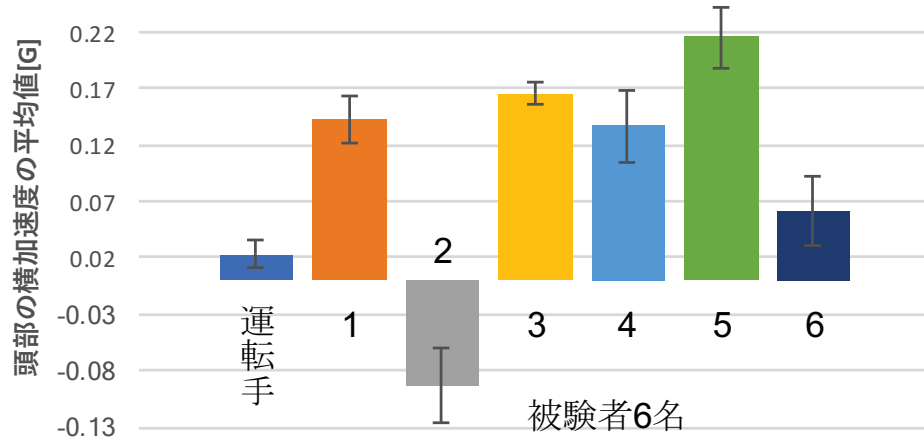


図 4.5 座面の傾けなしで左カーブにおける頭部の横加速度

### 座面傾けありでの左カーブ

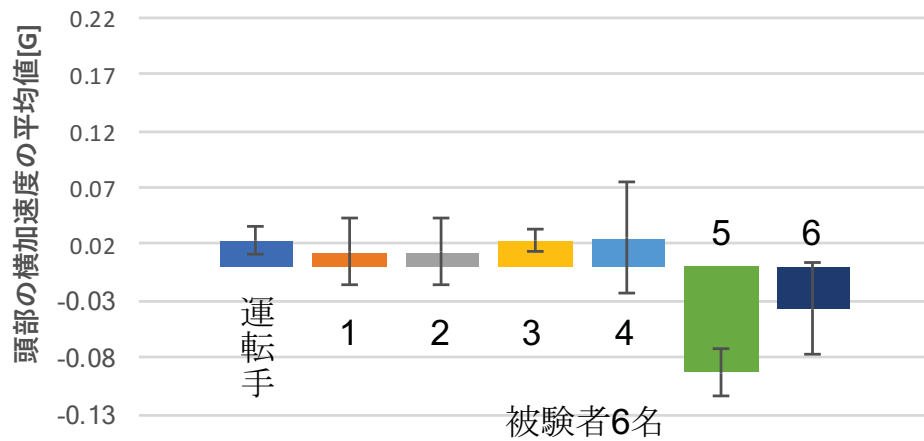


図 4.6 座面の傾けありで左カーブにおける頭部の横加速度

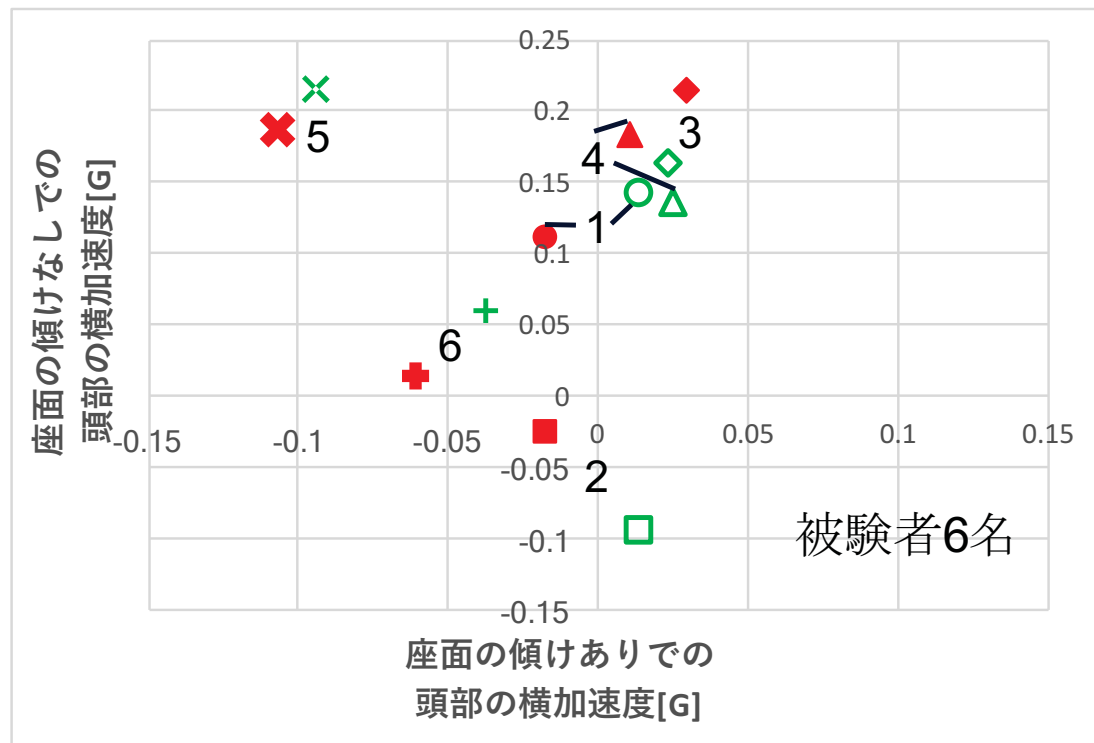


図 4.7 座面の傾けありとなしでの搭乗者の頭部の横加速度

また、搭乗者の頭部の横加速度の平均値を座面の傾けありとなしの 2 軸でプロットしたものを図 4.7 に示す。グラフの横軸は座面の傾けありでの頭部の横加速度 [G] を表し、縦軸は座面の傾けなしでの頭部の横加速度 [G] を表している。正の値はカーブの遠心方向への加速度、負の値はカーブの旋回方向への加速度である。各点の塗りつぶしおよび太線は右カーブ走行、塗りつぶしなしおよび細線は左カーブ走行時の頭部の横加速度を表している。被験者一人につき、右カーブと左カーブの 2 ヶ所プロットしており、被験者 6 名の計 12 ヶ所プロットしている。

#### 4.1.4 考察

搭乗者のカーブ走行中に発生する頭部の横加速度として、頭部座標系での遠心力と向心力の関係から 3 種類に分類することができる。

- (1) 遠心力 > 向心力
- (2) 遠心力  $\approx$  向心力
- (3) 遠心力 < 向心力

また、座面の傾けなしで搭乗者が遠心力を予測して身体を傾ける際に、カーブの旋回方向へ傾けすぎて、カーブの旋回方向へ頭部の横加速度が発生することは考えにくいので、座面の傾けありでの (1), (2), (3) と、座面の傾けなしでの (1), (2) の 6 グループに分類され则认为られる。遠心力に基づいた座面傾け制御を用いた運転手と被験者 6 名の頭部の横加速度の測定結果からは、そのうちの 4 グループに分類することができる。被験者を 4 グループに分類した表を、表 4.1 に示す。

次に、グループごとに考察する。まず、被験者 2 と 6 は座面の傾けなしで、頭部の横加速度は他の被験者に比べて小さい結果となった。これは、アンケートから「座面が動かない場合だと、進行方向を見てカーブを予測する必要があった」とあること、座面傾け装置に座る位置は前方の視界が良好であることから、被験者が遠心力を予測して頭部をカーブの旋回方向へ傾けることで、頭部の横加速度を減少させていることが考えられる。

また、被験者 1, 2, 3, 4 は座面の傾けありで傾け角度が適切であると分類された。そのうち、被験者 3 の右カーブ走行中における頭部の横加速度のグラフを示す。図 4.8 は座面の傾けなしで平均をとったグラフ、図 4.9 は座面の傾けありで平均をとったグラフである。また、その一例として、座面の傾けなしでのグラフを図 4.10 に、座面の傾けありでのグラフを図 4.11 に示す。座面を傾けないときは 0.21G 発生していたが、提案手法による座面の傾けで 0.03G まで減少していた。アンケートでは「タイミングが良かった」「座面がカーブに合わせてタイミングよく動いてく

表 4.1 被験者の頭部の横加速度の分類

|         |                   | 座面の傾け度合い（角度，タイミング） |       |
|---------|-------------------|--------------------|-------|
|         |                   | 適切                 | 過度    |
| 座面の傾けなし | 遠心力 > 向心力         | 被験者 1, 3, 4        | 被験者 5 |
|         | 遠心力 $\approx$ 向心力 | 被験者 2              | 被験者 6 |

れたので、進行方向を常に見てカーブを予測する負担がなくなった点が良かった。」とあり、提案手法を用いることで、搭乗者は自らカーブによる遠心力を予測をしなくても、カーブの旋回方向へ身体を傾けることができ、車酔いの抑制につながると考えられる。

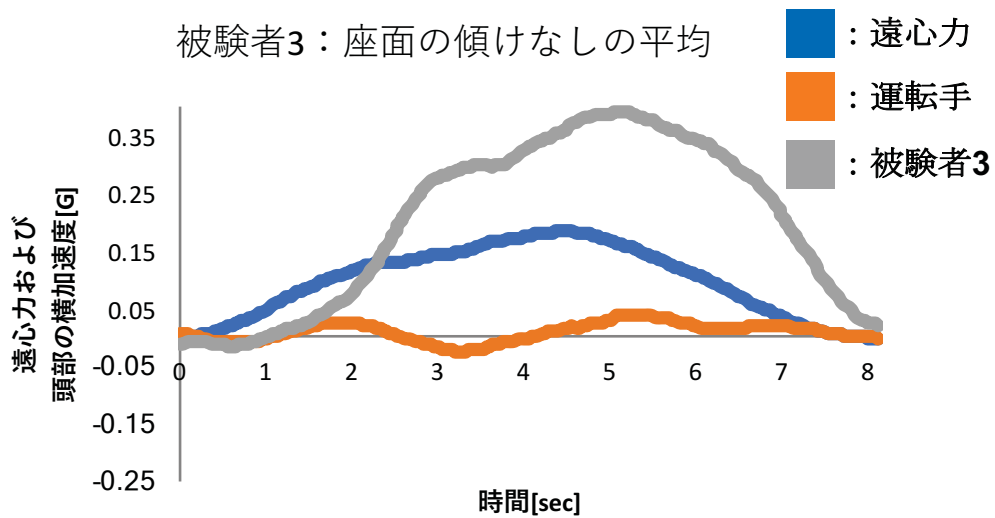


図 4.8 被験者 3 の座面の傾けなしでの頭部の横加速度の平均

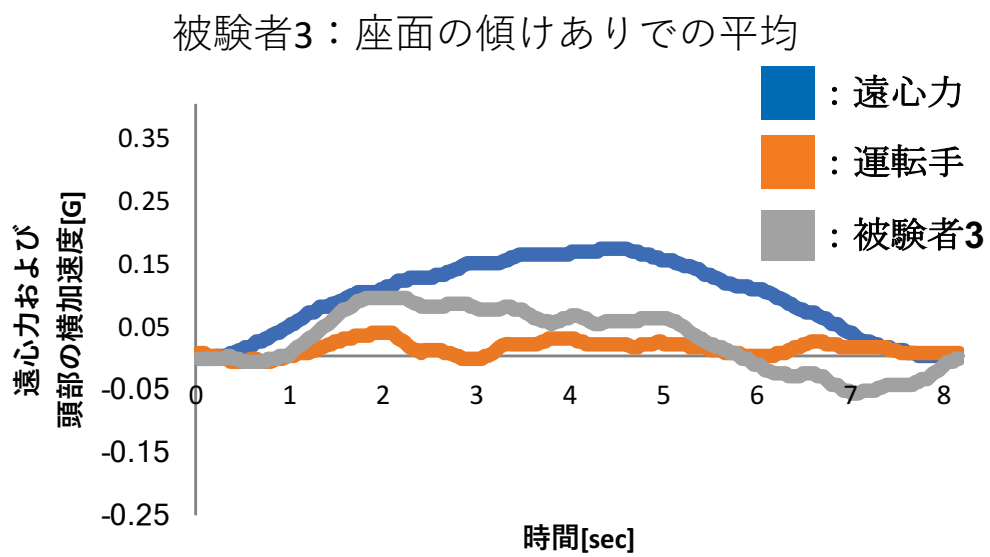


図 4.9 被験者 3 の座面の傾けありでの頭部の横加速度の平均

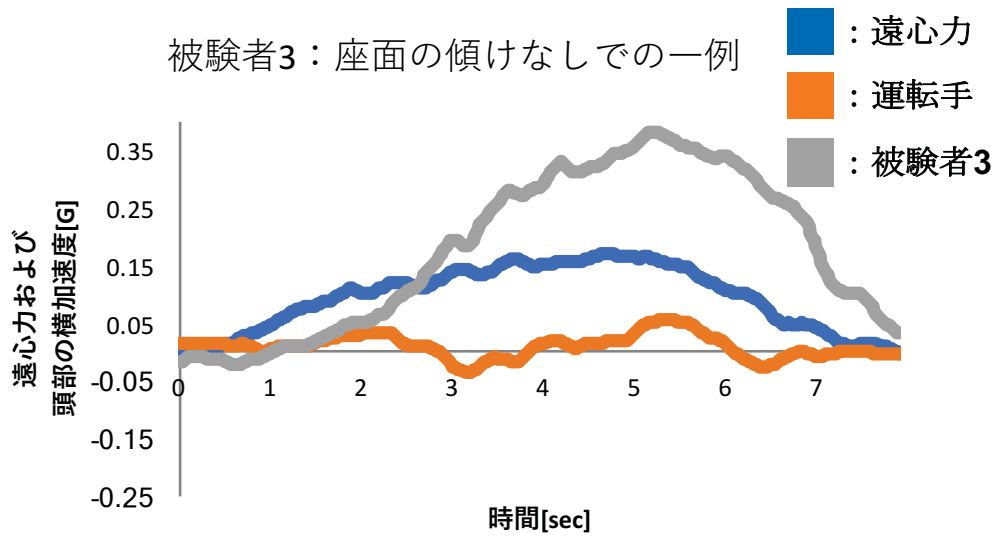


図 4.10 被験者 3 の座面の傾けなしでの頭部の横加速度の一例

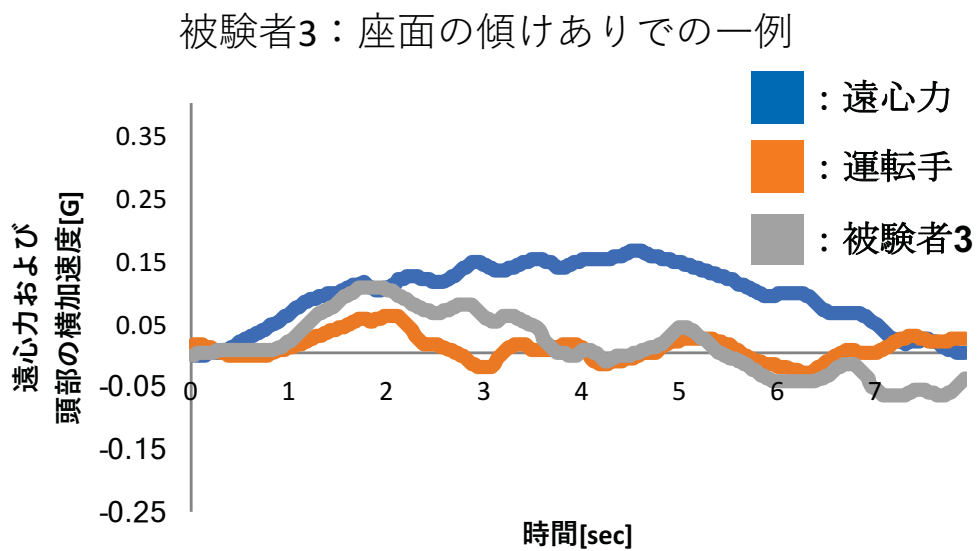


図 4.11 被験者 3 の座面の傾けありでの頭部の横加速度の一例

それに対して、被験者 5 と 6 は座面の傾けありで傾け角度が過度であると分類された。そのうち、被験者 5 の左カーブ走行中における頭部の横加速度のグラフを示す。図 4.12 は座面の傾けなしで平均をとったグラフ、図 4.13 は座面の傾けありで平均をとったグラフである。また、その一例として、座面の傾けなしでのグラフを図 4.14 に、座面の傾けありでのグラフを図 4.15 に示す。座面の傾けなしでは、カーブの遠心方向へ頭部の横加速度が平均で 0.22G であるが、座面の傾けありだと、カーブの旋回方向へ 0.09G 発生していた。これは、座面の傾けによる影響で被験者自身がカーブの旋回方向へ身体を傾けて、遠心力に基づいた座面傾け制御で誘導する以上に体が傾いてしまったのではないかと考えられる。そこから、遠心力だけでなく、被験者の体の傾け方を考慮した座面傾け制御が必要であると考えられる。

また、遠心力に基づいた座面傾け制御では、頭部加速度が常に 0G とすることはできなかった。理由として、主に二つ挙げられる。一つ目は、被験者は剛体ではないことである。遠心力にもとづいた座面傾け制御は剛体に対しては常に 0G になると考えられるが、被験者は自ら体を傾けることができる。遠心力などの加速度刺激だけでなく、被験者自ら体を傾けることで頭部加速度が 0G にならなかったと考えられる。二つ目は、手動運転による擬似自動走行車両で実験を行っていたことである。手動運転だと車両速度やカーブの曲がり方の走行条件を厳密にそろえられなかったため、座面傾け制御で想定した遠心力と差が生じてしまったと考えられる。

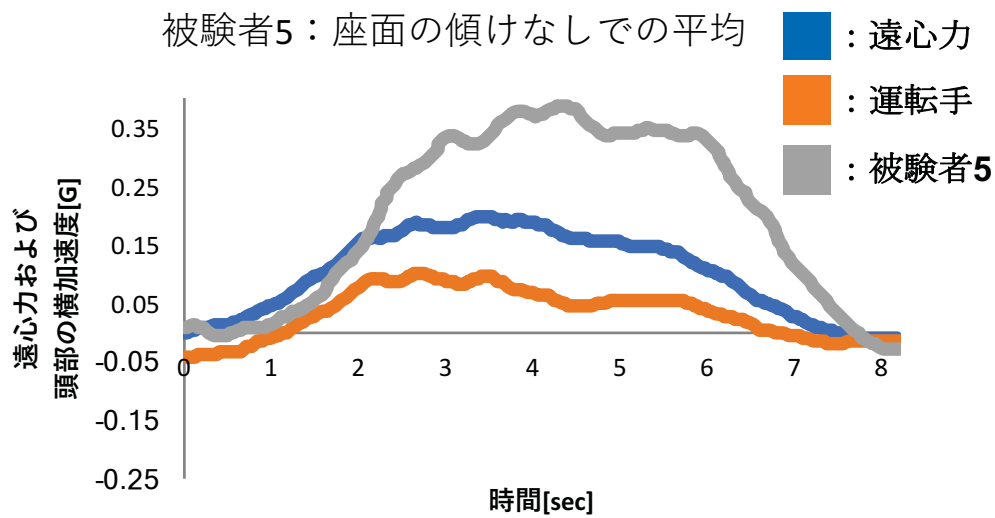


図 4.12 被験者 5 の座面の傾けなしでの頭部の横加速度の平均

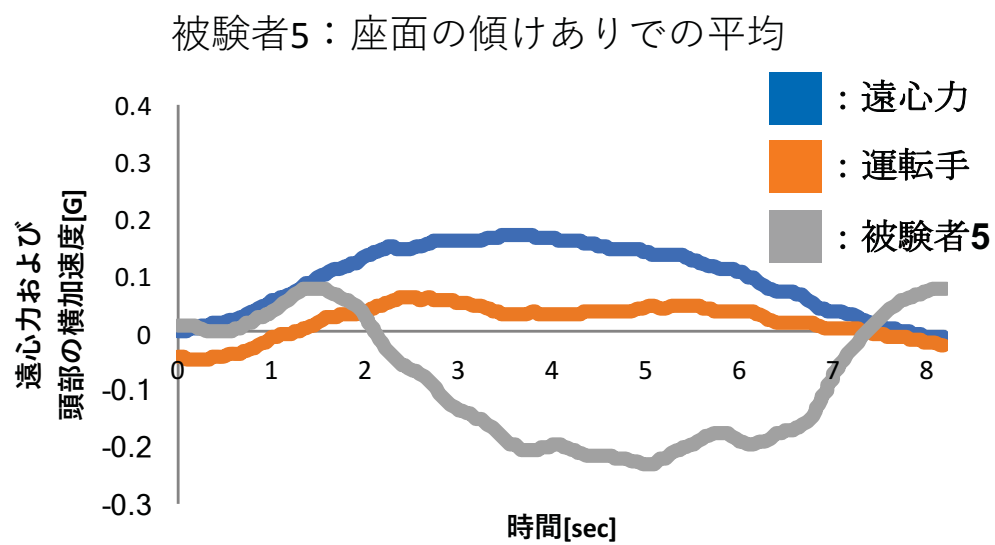


図 4.13 被験者 5 の座面の傾けありでの頭部の横加速度の平均

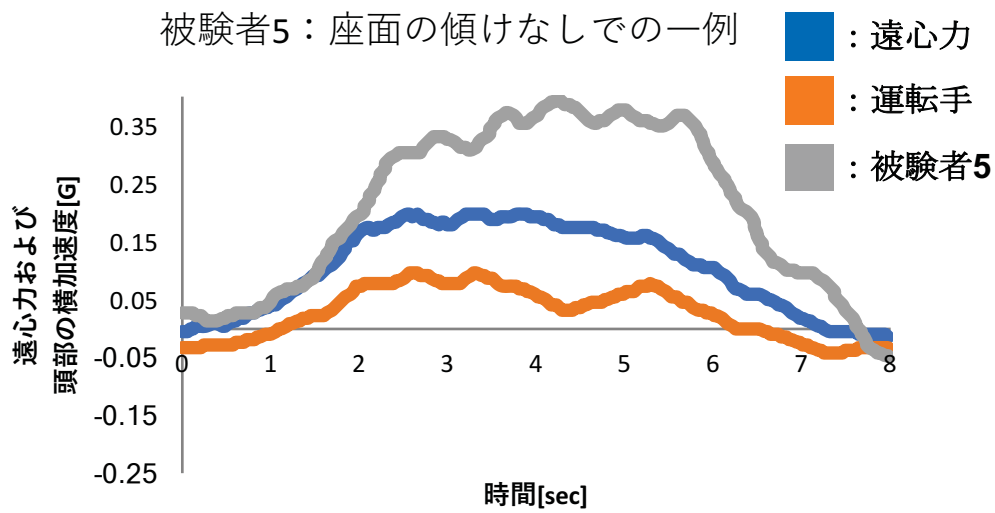


図 4.14 被験者 5 の座面の傾けなしでの頭部の横加速度の一例

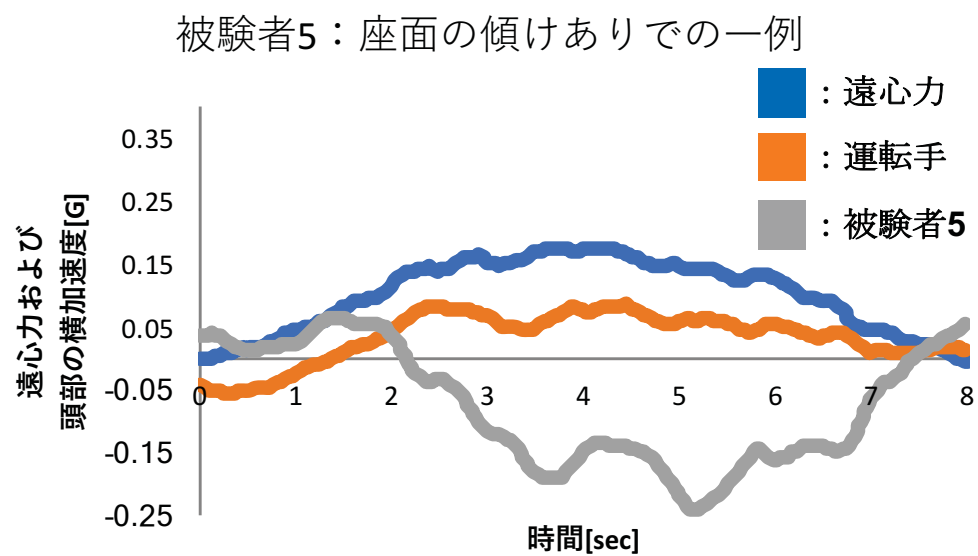


図 4.15 被験者 5 の座面の傾けありでの頭部の横加速度の一例

## 4.2 被験者に個人適応した座面傾け実験

遠心力に基づいた座面傾け制御による被験者実験では、被験者 5 と 6 に関して傾け度合いが過度であると分類された。これは、座面の傾けによって被験者自身がカーブの旋回方向へ体を傾けており、頭部の横加速度が減少されなかったことが原因であると考えられる。そこで、被験者自身が体を傾けることを考慮して、被験者に個人適応した座面傾け制御を実装して実験を行う。

### 4.2.1 被験者に個人適応した座面傾け制御方法

図 4.16 は被験者の頭部座標系の水平方向における、カーブ走行で発生する遠心力と座面を傾けることで発生する向心力、頭部の横加速度の関係を示す。また、座面を傾けることで発生する向心力を  $C[G]$ 、被験者の頭部の横加速度を  $M[G]$ 、座面傾け角度を  $A[^\circ]$  とする。被験者の頭部の横加速度を減少させるために、被験者に個人適応した座面傾けの調整角度  $x[^\circ]$  を式 4.2.1 で定義する。

$$x = \frac{|M|}{|C| + |M|} \times |A| \quad (4.2.1)$$

調整角度は、遠心力に基づいた座面傾け制御による座面の傾け角度に対して、式 4.2.1 で求まる  $x[^\circ]$  だけ傾け角度を増加・減少させる指標である。遠心力に基づいた座面傾け制御において、被験者の頭部の横加速度がカーブの旋回方向へ発生していれば、傾け角度を減少させる。反対に、カーブの遠心方向へ発生していれば、傾け角度を増加させる。式 4.2.1 を用いて調整角度を計算し、座面の傾け角度を増減することで、被験者に個人適応した座面傾け制御を構築する。

### 4.2.2 実験環境

座面の傾け制御方法以外は、4.1.1 節と同様にして実験を行う。被験者に個人適応した座面傾け実験では、遠心力に基づいた座面傾け実験において、傾け度合いが適切ではないに分類される被験者を対象とする。本実験では、4.1 節の実験で傾け度合いが過度に分類された被験者 5 を対象として実験を行う。遠心力に基づいた座面傾け実験における、被験者 5 の頭部の横加速度の実験結果を用いて、式 4.2.1 で

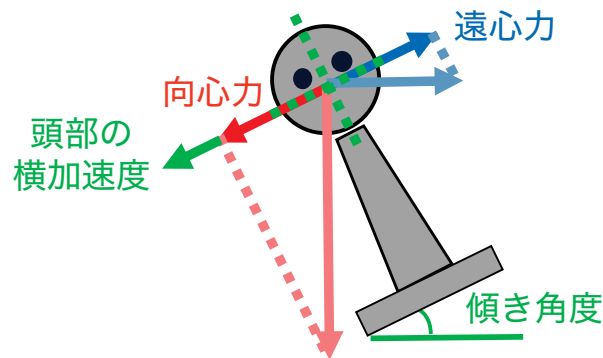


図 4.16 頭部座標系における遠心力，向心力，頭部の横加速度の関係

調整角度を計算する．計算結果を用いて座面の傾け角度を調整し，被験者 5 に個人適応した座面傾け角度の推移を図 4.17 と図 4.18 で示す．遠心力に基づいた座面傾け制御とは異なり，車両がカーブを曲がり始めて 2 秒後あたりから座面の傾け角度を減少し始めている，これは，遠心力に基づいた座面傾け制御では，車両がカーブを曲がり始めて 2 秒後あたりから被験者の頭部の横加速度がカーブの旋回方向へ増加していることから，傾け角度を減少させて被験者の頭部の横加速度が減少することを試みている．この被験者 5 に個人適応した座面傾け制御を用いて，座面傾け実験を行う．

#### 4.2.3 実験結果

被験者 5 に個人適応した座面傾け制御を用いた，右カーブと左カーブ走行中における頭部の横加速度の実験結果を以下のグラフに示す．右カーブ走行での実験結果として，図 4.19 は遠心力に基づいた座面の傾け制御，図 4.20 は被験者 5 に個人適応した座面の傾け制御で平均をとったグラフである．また，左カーブ走行での実験結果として，図 4.21 は遠心力に基づいた座面の傾け制御，図 4.22 は被験者 5 に個人適応した座面の傾け制御で平均をとったグラフである．実験結果のグラフから頭部の横加速度の絶対値の最大値を比較すると，遠心力に基づいた座面の傾け制御だと-0.25G まで発生していた．それに対して，個人適応した座面の傾け制御だ

と-0.15G まで減少していた。また，被験者の頭部の横加速度の平均値を算出すると，右カーブ走行では，遠心力に基づいた座面の傾け制御で-0.107G であるのに対し，被験者 5 に個人適応した座面の傾け制御では-0.017G まで減少されていた。左カーブ走行では，遠心力に基づいた座面の傾け制御で-0.094G であったが，被験者 5 に個人適応した座面の傾け制御では-0.043G まで減少されていた。頭部の横加速度のグラフと平均値の結果から，遠心力に基づいた座面の傾け制御による座面の傾け度合いが適切ではない被験者に対しては，個人適応した座面の傾け制御を用いることで頭部の横加速度を減少することができ，車酔いの抑制に有効であると考えられる。

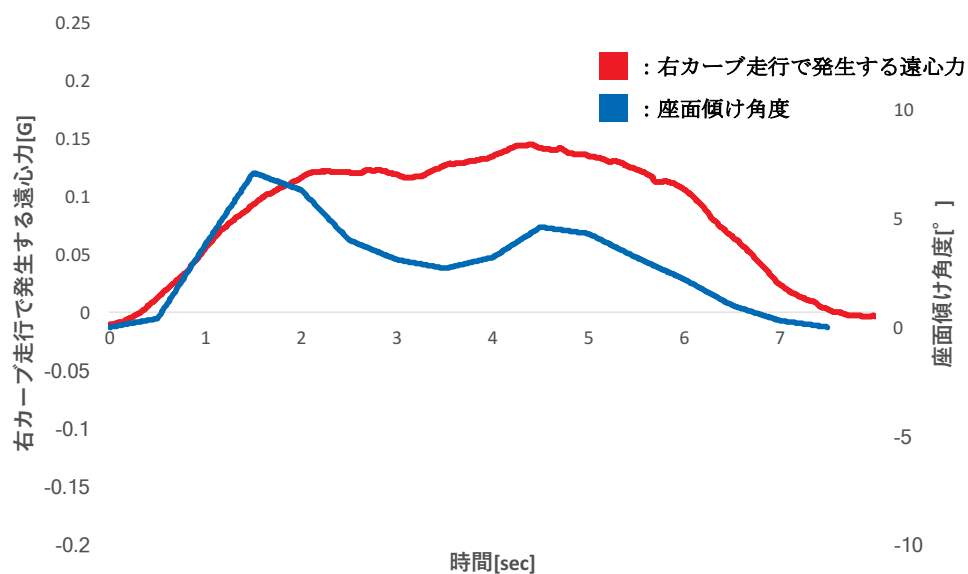


図 4.17 右カーブ走行時に発生する遠心力と被験者 5 に個人適応した座面傾け角度の関係

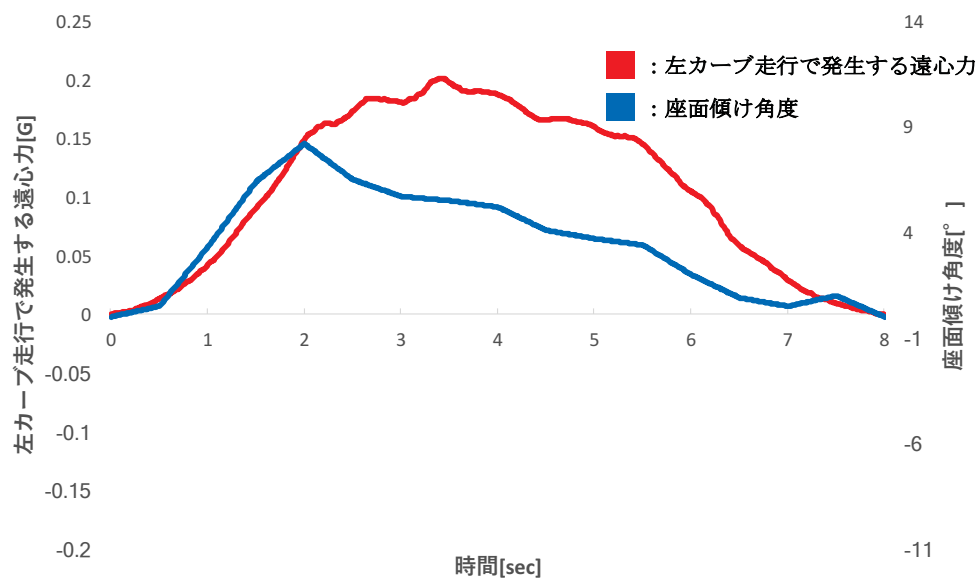


図 4.18 左カーブ走行時に発生する遠心力と被験者 5 に個人適応した座面傾け角度の関係

### 遠心力に基づいた座面傾け：右カーブ

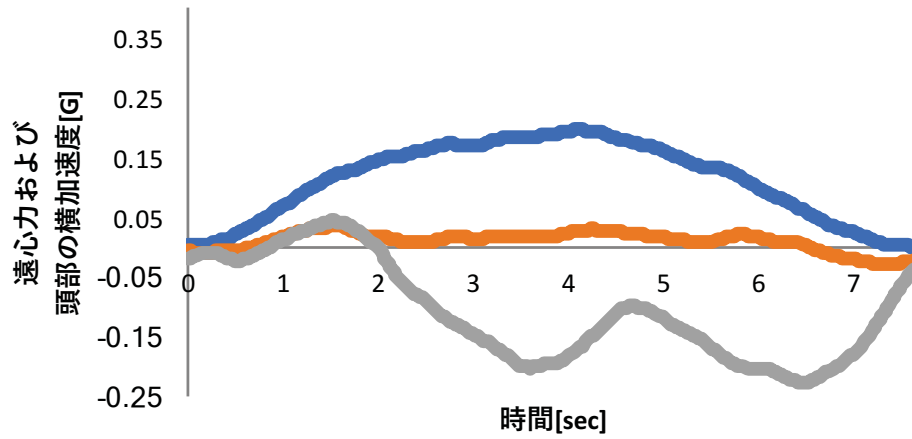


図 4.19 遠心力に基づいた座面の傾け制御を用いた右カーブでの頭部の横加速度の平均

### 個人適応した座面傾け：右カーブ

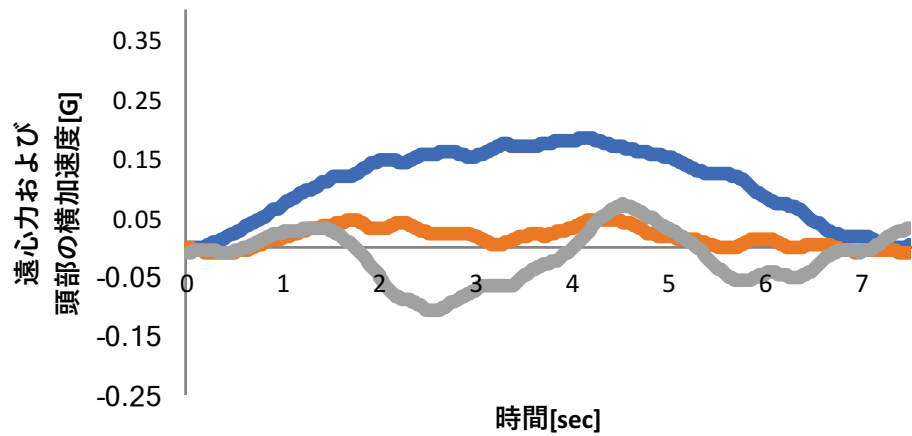


図 4.20 個人適応した座面の傾け制御を用いた右カーブでの頭部の横加速度の平均

### 遠心力に基づいた座面傾け：左カーブ

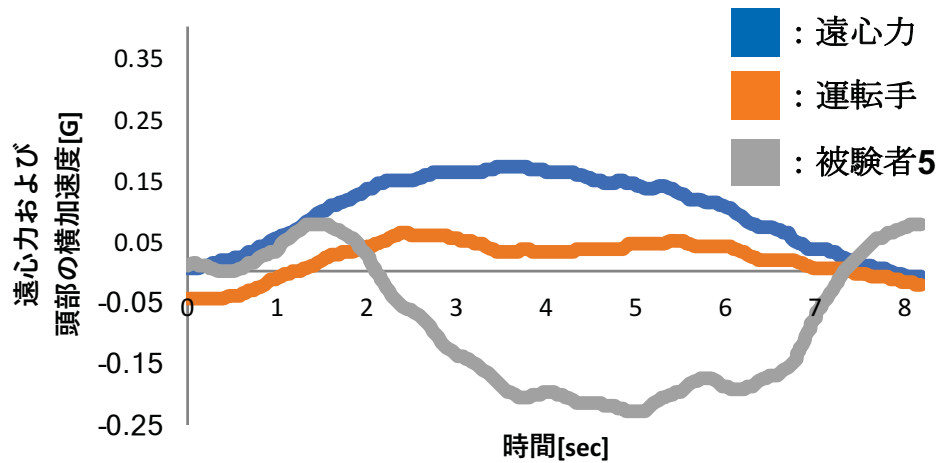


図 4.21 遠心力に基づいた座面の傾け制御を用いた左カーブでの頭部の横加速度の平均

### 個人適応した座面傾け：左カーブ

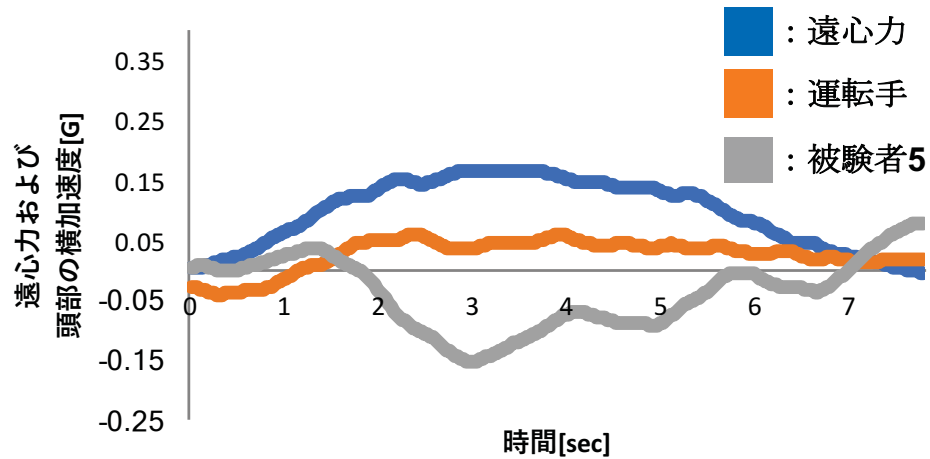


図 4.22 個人適応した座面の傾け制御を用いた左カーブでの頭部の横加速度の平均

## 第 5 章 おわりに

自動走行車両で車酔いが増加する原因の一つとして、運転手であった人が自由行動をとる搭乗者の一人となり、発進や停止、カーブ走行等の自車挙動で発生する加速度の大きさやタイミングを予測することが難しくなることで、頭部の横加速度が増加することが考えられる。また、運転手は自車挙動から発生する加速度の大きさやタイミングを予測して、身体をその加速度を打ち消す方向へ身体を傾けることで、頭部の横加速度を減少させ、車酔いを抑制している。自動走行車両は、発進や停止、カーブ走行等の自車挙動を事前に把握できているため、自車挙動から発生する加速度を予測することが可能である。運転手は自車挙動から発生する加速度の大きさやタイミングをあらかじめ予測して、身体をその加速度を打ち消す方向へ傾けていることから、自動走行車両においても、搭乗者を自車挙動から発生する加速度を打ち消す方向へ身体を傾けるように誘導することで、搭乗者の車酔いを抑制することが可能であると考えられる。そこで、本研究では、座面傾け制御を実装できる座面傾け装置を用いて、搭乗者の頭部の横加速度を減少させ、車酔いを抑制することを目的として、搭乗者を自車挙動から発生する加速度を打ち消すような加速度を発生させる座面の傾けの角度やタイミングの制御方法を提案する。提案手法による遠心力に基づいた座面傾け制御を実装するため、予備実験では擬似自動走行環境においてカーブ走行で発生する遠心力を測定した。提案手法による座面傾け制御を用いて、運転手と搭乗者の頭部の横加速度の測定実験を行った。運転手、被験者の座面の傾けあり、被験者の座面の傾けなしで比較を行い、提案手法の有効性を検証した。その結果、6名の被験者に対して、頭部の横加速度から4グループに分類することができた。そこから、提案手法による座面傾け制御の傾け度合いが適切である被験者が4名いることから、提案手法は搭乗者の頭部の横加速度を減少させ、車酔いの抑制の有効性を示すことができた。また、提案手法による座面傾け制御では頭部の横加速度が減少されず、座面の傾け度合いが適切ではないに分類される搭乗者に対しては、搭乗者に個人適応した座面傾け制御を構築して頭部の横加速度の測定実験を再度行った。その結果、搭乗者の頭部の横加速度を減少させることができ、車酔いの抑制に有効であることが示された。

今後の展望として、角度だけでなくタイミングも考慮した搭乗者に個人適応した

座面傾け制御の構築を行う。また、発進や停止などによる前後方向への加速度の発生、連続したカーブ走行など、実環境で起こりうる他の条件においても提案手法が有効であるか検証を行う。

## 謝辞

本研究の活動全般にわたり，懇切な御指導，御鞭撻を賜りました，奈良先端科学技術大学院大学先端科学技術研究科情報科学領域環境知能学研究室萩田紀博教授に厚く御礼申し上げます．副指導教員である奈良先端科学技術大学院大学サイバネティクス・リアリティ工学研究室清川清教授には，研究に関する的確な御指摘，御助言を賜りまして，深く感謝の意を表します．本研究の全過程を通じて，また研究に関してのみならず，研究室生活においても多くの御指導，御助言を賜りました，副指導教員である環境知能学研究室の神原誠之准教授に心から感謝致します．研究に関してのみならず，学生生活においても多くの御支援，御助言を頂きました，環境知能学研究室博士後期課程の澤邊太志さん，西村祥吾さんに深く感謝致します．環境知能学研究室同期である，坂田大直君，坂本大生君，津崎圭祐君，中村卓矢君，松本慎太郎君には研究に対する御支援だけでなく，研究室生活を充実したものにしてくれたことに感謝の意を表します．研究に関しての御助言や実験の御協力をして頂きました，木俣大樹君，栗田優輝君，本多克君に感謝致します．書類や出張申請等でお世話になりました，環境知能学研究室秘書の南あずささんに深く感謝致します．最後に，学生生活を支えてくださった家族に感謝致します．

## 参考文献

- [1] アーサー・ディ・リトル・ジャパン著, "モビリティ進化論 自動運転と交通サービス, 変えるのは誰か, 日経 BP 社, 2018.
- [2] 田中道昭. 2022 年の次世代自動車産業異業種戦争の攻防と日本の活路, 株式会社 PHP 研究所 PHP ビジネス新書, 2018.
- [3] 内閣府. 「平成 29 年交通安全白書」, Online:[https://www8.cao.go.jp/koutu/taisaku/h29kou\\_haku/zenbun/index.html](https://www8.cao.go.jp/koutu/taisaku/h29kou_haku/zenbun/index.html), [17 Dec, 2018 Accessed].
- [4] 鈴木春男. 高齢ドライバーに対する交通安全の動機づけ -交通社会学的視点-, 国際交通安全学会誌, Vol. 35, No. 3, pp. 194-202, February 2011.
- [5] 首相官邸. 「官民 ITS 構想・ロードマップ 2017」, 高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部 官民データ活用推進戦略会議, Online:<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/pdf/20170530/roadmap.pdf>, [10 Jan, 2019 Accessed].
- [6] 自動走行ビジネス検討会. 「自動走行の実現に向けた取組方針」 Version2.0, pp. 1-61, 2018.
- [7] 内閣府 経済産業省. 自動走行の実現に向けた取組方針, 内閣官房 IT 総合戦略室 内閣官房日本経済再生総合事務局 資料 4, pp. 1-27, 2018.
- [8] トヨタ自動車株式会社. トヨタの自動運転への取り組みービジョン, 戦略, 開発, pp.1-24, 2017.
- [9] Daimler Inc. Winnig The Future -by Building Outstanding Mobility Services -, Daimler Full-Year Disclosure, pp. 1-31, 2018.
- [10] Waymo Inc. Waymo Safety Report On the Road to Fully Self-Driving, pp. 1-33, 2018.
- [11] The American Automobile Association(AAA), Inc.Fact Sheet: VEHICLE TECHNOLOGY SURVEY - PHASE IIIB, pp. 1-2, 2018.
- [12] M.Elbanhawi, M. Simic, and R. Jazar, In the Passenger Seat: Investigating Ride Comfort Measures in Autonomous Cars, Intelligent Transportation Systems Magazine, Vol. 7, No. 3, pp. 4-17, 2015.

- [13] NHTSA, National Highway Traffic Safety Administration. Updated: Autonomous Driving Levels 0 to 5: Understanding the Differences, 2016.
- [14] T. Sawabe, M. Kanbara, N. Ukita, T. Ikeda, L. Y. M. Saiki, A. Watanabe, and N. Hagita, Comfortable Autonomous Navigation based on Collision Prediction in Blind Occluded Regions, 2015 IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety (ICVES), pp. 75-80, 2015.
- [15] T. Sawabe, M. Kanbara, and N. Hagita, Comfortable Intelligence for Evaluating Passenger Characteristics in Autonomous Wheelchair, IEICE TRANS. FUNDAMENTALS, VOL.E101-A, NO.9 SEPTEMBER 2018.
- [16] M. Sivak, B. Schoettle. "Motion Sickness in Self-Driving Vehicles", The University of Michigan Transportation Research Institute, Technical Report Documentation, pp. 1-15, 2015.
- [17] KDDI, 自動運転× VR の実証実験を開始 地域活性化狙う, KDDI プレスリリース, Online:<https://news.kddi.com/kddi/corporate/newsrelease/2018/10/24/3440.html>, [17 Dec, 2018 Accessed].
- [18] 藤田広大, 伊藤研治, 米山一也, 馬場智之, 川名正直, 原田恵介, 大島宗之, “自動車用ヘッドアップディスプレイの開発,” FUJIFILM RESEARCH & DEVELOPMENT, No. 62, pp. 51-55, 2017.
- [19] 磯部良太, 澤邊太志, 神原誠之, 萩田紀博, “自動走行酔い：車酔いと VR 酔いの併発環境におけるストレス評価,” 日本バーチャルリアリティ学会 複合現実感研究会, Vol.20, No.2, pp. 1-6, 2017.
- [20] Takahiro Wada, Shunichi Doi, "Can Passenger's Active Head Tilt Decrease the Severity of Carsickness? - Effect of Head Tilt on Severity of Motion Sickness in a Lateral Acceleration Environment", Article in Human Factors, The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society, 2012.
- [21] 澤邊太志, "自動走行時の搭乗者の快適性に関する研究", 奈良先端科学技術大学院大学博士後期課程論文, NAIST-IS-DD1661010, pp. 1-140, 2019.
- [22] 萩原康平, 浮田宗伯, 神原誠之, 萩田紀博, “自動運転車両の搭乗者のための車載映像を用いたストレス要因推定”, 信学技報, IEICE-ITS2016-88, Vol. 116, No. 502, pp. 69-74, 2017.

- [23] 太田翔平, 神原誠之, 浮田宗伯, 北原格, 亀田能成, 大田友一, 池田徹志, Yoichi Morales, 篠沢一彦, 萩田紀博, ” 生理指標を用いた自動走行車両の搭乗者のストレスに関する検討”, 日本交通心理学会第 80 回大会, pp. 54-57, 2015.
- [24] S. Gulati, and B. Kuipers, "High Performance Control for Graceful Motion of an Intelligent Wheelchair, " International Conference on Robotics and Automation(ICRA), pp.3932-3938, 2008.
- [25] S. Gulati, C. Jhurani, B. Kuipers, and R. Longoria, "A Framework for Planning Comfortable and Customizable Motion of an Assistive Mobile Robot", International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.4253-4260, 2009.
- [26] 橋本稜平, 野村亮太, 神原誠之, 浮田宗伯, 池田徹志, Yoichi Morales, 篠沢一彦, 萩田紀博, ” 生理指標に基づいた車椅子ロボットの挙動情報共有による搭乗者の快適性向上検証”, 電子情報通信学会技術研究報告 (CNR2014-14), Vol. 114, No. 227, pp. 27-32, 2014.
- [27] 平柳 要. 乗り物酔い（動揺病）研究の現状と今後の展望, 人間工学, Vol. 42, No. 3, pp. 200-211, 2006.
- [28] Money KE. "Motion Sickness", *Physiol Rev*, Vol.50, pp.1-39, 1970.
- [29] Reason JT. "Man in Motion. The Physiology of Travel", Weidenfeld & Nicolson, 1974.
- [30] Reason JT. Brand JJ, "Motion Sickness", Academic Press, 1975.
- [31] Reason JT. "Motion Sickness Adaptation: A Neural Mismatch Model", *J Ro Soc Med*, Vol.71, pp.819-829, 1978.
- [32] N.A. Webb, M.J. Griffin. "Optokinetic Stimuli: Motion Sickness, Visual Acuity, and Eye Movements", *Aviat. Space Environ. Med.*, 73, pp351-358, 2002.
- [33] M.J. Griffin, M.M. Newman. "Visual Field Effects on Motion Sickness in Cars", *Aviat. Space Environ. Med.*, 75, pp. 739-748, 2004.
- [34] 松永 亨, 武田 憲昭. 論説 動揺病と宇宙酔い, 大阪大学医学部耳鼻咽喉科科学教室, pp. 1095-1120, 1988.
- [35] 宇野 敦彦, 中川 あや, 堀井 憲昭, 久保 武. 動揺病発症に関わる脳内部位-特に

- 辺縁系の関与について, *Equilibrium Res*, Vol.65, No.4, pp. 13-222, 2006.
- [36] 野田 哲哉 (2013) , 「 乗り物酔い研究室 (のだ耳鼻咽喉科内) 乗り物酔いについて」 , <http://www.norimonoyoi.jp/about/> 2018 年 10 月 19 日アクセス.
  - [37] B. Schoettle, M. Sivak. "Public Opinion about Self-Driving Vehicles in China, India, Japan, the U.S., the U.K., and Australia", The University of Michigan Transportation Research Institute, Technical Report, 2014.
  - [38] 藤澤 智, 和田 隆広, 今野 寛之, 土居 俊. “ドライバの頭位制御戦略の解析と姿勢制御装置への応用” , 計測自動制御学会論文集, Vol. 48, No. 1, pp. 60-66, 2012.
  - [39] T. Wada. "Motion Sickness in Automated Vehicles", International Symposium on Advanced Vehicle Control (AVEC2016), 2016.
  - [40] K. Vitatoe, J. Shinkle, M. Capistrano, E. Taute, R. Burgard, and L. J. Smart. "Why the Driver is Never Sick: The Role of Control and Gender in V.I.M.S.", Department of Psychology, MIAMI University, 2006.
  - [41] J.F. Golding, W. Bles, J.E. Bos, T. Haynes and M.A. Gresty. "Motion Sickness and Tilts of the Inertial Force Environment: Active Suspension Systems vs. Active Passengers", *Aviation Space and Environmental Medicine*, Vol.74, No.3, pp. 220-227, 2003.
  - [42] J. Smyth, P. Jennings, A. Mouzakitis, S. Birrell, "Too Sick to Drive: How Motion Sickness Severity Impacts Human Performance", 2018 21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), pp. 1787-1793, 2018.
  - [43] 株式会社ロジック. 車酔いトレーニング Yoitore(よいトレ), 特許出願公開番号 特開 2008-230575(JPN), Online:<https://www.logic-soft.jp/yoitore/>, [20 Dec, 2018 Accessed].
  - [44] Michael Sivan, Brandon Schoettle. Universal Motion Sickness Countermeasure System, United States Patent Application Publication, pp. 1—10, 2017.
  - [45] Takahiro Wada and Keigo Yoshida, "Effect of Passengers' Active Head Tilt and Opening/Closure of Eyes on Motion Sickness in Lateral Acceleration

- Environment of Cars", Article in Ergonomics, pp. 1-28, 2016.
- [46] T. Sawabe, M. Kanbara, and N. Hagita, "Diminished Reality for Acceleration Stimulus: Motion Sickness Reduction with Vection for Autonomous Driving", IEEE Virtual Reality, pp. 277-278, 2017.

## 発表リスト

[1] 櫻井 皓介, 澤邊 太志, 神原 誠之, 萩田 紀博, "座面傾け装置を用いた自動走行時における動揺病の軽減に関する検討", 第 23 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集 (2018 年 9 月), pp. 1-4, 2018.

[2] 櫻井 皓介, 澤邊 太志, 神原 誠之, 萩田 紀博, "座面傾け装置を用いた自動走行時における動揺病の軽減", HCG シンポジウム 2018, pp. 1-5, 2018.