



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

櫻井 皓介¹⁾, 澤邊 太志¹⁾, 神原 誠之¹⁾, 萩田 紀博^{1,2)}

- 1) 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 (〒630-0192 奈良県生駒市高山町 8916 番地の 5)
2) 株式会社 国際電気通信基礎技術研究所 (〒619-0288 京都府相楽郡精華町光台二丁目 2 番地 2)

概要: 自動走行化に伴い、動揺病を発症する人が増加すると考えられている。これは、従来運転手であった人が搭乗者の一人となることで、自車挙動を予測することが困難となり、発生する加速度刺激に対して適切な姿勢を維持できないことで、感覚の矛盾が発生することが原因として挙げられる。本研究では、動揺病の発症の軽減を目的とし、搭乗者が運転手と同様の姿勢になるように誘導する座面傾け装置の開発と軽減手法の効果検証を行う。また、動揺病の評価指標として、アンケートによる主観的評価や生理指標による客観的評価指標を用いて、効果の分析を行う。

キーワード: 自動走行酔い、座面傾け装置、動揺病の軽減、快適化知能

1. はじめに

近年では、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開発が多く研究されている。それらは、走行データやエンジン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や交通事故の防止に向けた安全性、渋滞緩和や最適な経路選択を行う効率性に注目されている。しかし、自動走行化された車両を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、搭乗者が安心して楽しく搭乗できる快適性を備えることが必要不可欠である [1]。

自動走行時の快適性を高めることで、搭乗者が自動走行車両を継続的に利用することにつながると考えられる。しかし、この快適性を阻害する要因として、初めて自動走行車に搭乗することで感じるストレスや動揺病の発症が挙げられる。自動走行車両に搭乗すると、搭乗者は自車の挙動や外的環境要因などに対しストレスを感じ快適性が阻害される [2, 3]。このようなストレスは、自動走行ストレスと定義されている [4]。既存研究では、自動走行ストレスの軽減手法とし、車両挙動の制御や情報提示手法が提案されている。また、自車挙動の予測が困難となることで、搭乗者はより高い確率で動揺病を発症し、結果的に快適性を損なう要因の一つとなる。これらの快適性の阻害要因を軽減することで、自動走行車両の継続的な利用へとつなげることができる。

自動走行時では手動走行時よりも動揺病が増加すると考えられている。まず、動揺病が発症する要因を運転手と搭乗者の頭部の傾きと加速度の関係から考察すると、カーブを走行する際に運転手と搭乗者の頭部の傾きと加速

度は図 1 のようになる [5, 6, 7]。カーブ走行時は運転手、搭乗者ともに受ける力は重力と遠心力である。手動走行時においては、運転手は自車挙動を制御しているので、あらかじめ遠心力が発生するタイミングや大きさを予測できる。この予測から頭部をカーブの旋回方向へ傾けることにより、頭部の水平方向の加速度が小さくなり、動揺病の発症を抑えることができると考える。それに対し、自動走行時においては、運転手は搭乗者の一人となることで、遠心力の予測が困難となる。搭乗者は、遠心力により頭部がカーブの遠心方向へ傾いてしまうので、頭部の水平方向の加速度が大きくなり、強い動揺病が発症する。このことから事前に加速度刺激を予測し、準備することによって、運転手は搭乗者より酔いにくいと状態になっている。自動走行時では、運転手は搭乗者となることで、動揺病を発症する人が増加すると考えられる。

また、自動走行車両では AR 技術を用いた HUD への情報提示の手法などが研究されている [8]。これに伴い自動走行時では、従来の動揺病と AR・VR による情報提示による VR 酔いが併発して発生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ている。このような新しい動揺病を磯部らは、自動走行酔いと定義している [9]。以上から、自動走行時は手動走行時よりも様々な種類の動揺病が増加すると考えられる。本研究では、自動走行時に増加する動揺病を軽減する手法を提案する。

頭部座標系での左右方向の力

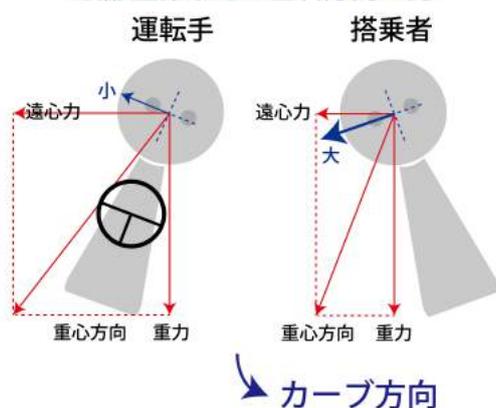


図 1：運転手と搭乗者の頭部の傾きと加速度の関係

2. 自動走行時における動揺病の関連研究

和田らによって、搭乗者を傾ける装置を用いた動揺病の軽減手法が提案されている [5]。運転手が搭乗者より動揺病が発症しづらい要因として、カーブ走行時の頭部ロール角が車両の横加速度と逆方向であることが考えられる。そこで、搭乗者を運転手と同じ方向の頭部ロール角へ誘導する装置を用いて動揺病を軽減する実験を行っている。動揺病の軽減装置はエアバックを搭乗者の大腿部下に配置して、カーブ進入時にカーブの遠心方向のエアバックを膨らませて運転手のような頭部運動を誘導する。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、最大頭部ロール角は減少している。搭乗者の頭部ロール角を減少することで動揺病の軽減に効果があると考えられるが、運転手と同じ方向の頭部ロール角へ誘導することはできていない。

また、澤邊らは視覚による動揺病の軽減手法として、視覚誘導性自己運動感覚（ベクション）を用いて運転手と同様の重心移動を誘発する手法を提案している[10]。運転手は自車の挙動変化による加速度刺激を事前に予測して、自身の身体バランスを調整することで加速度刺激の軽減を行っている。実験では、加速度刺激が発生する直前にベクションを提示し、運転手と搭乗者の頭部の傾きの差を計測している。その結果、ベクションを用いた手法の方が頭部の傾きの差が小さくなり、加速度刺激を軽減することができているが、人によってベクションの誘発時間は異なっており、個人差を考慮したベクションを提示する必要がある。また、ベクションによる VR 酔いの誘発にもつながる危険性がある。

3. 座面傾け装置による動揺病の軽減

本研究では、自動走行時の快適性を阻害する要因の一つである動揺病を軽減する手法として、座面を傾ける装置を用いて搭乗者を運転手のような姿勢へ誘導する手法を提案する。運転手はカーブ走行時に遠心力のタイミン

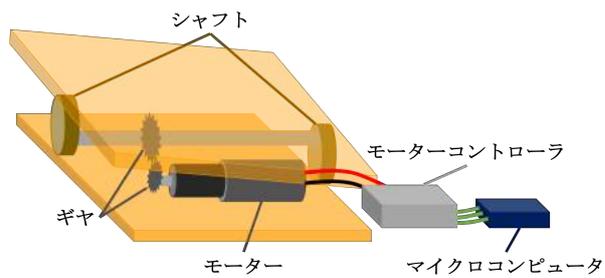


図 2：座面傾け装置の概要図



図 3：座面傾け装置の内部構成



図 4：座面傾け装置に座っている状態



図 5：座面傾けの制御を行う装置

グや大きさを予測して、頭部をカーブの旋回方向へ傾けている。これにより、頭部の水平方向の加速度は小さ

くなり動揺病の発症を抑えられる。それに対して、搭乗者は遠心力のタイミングや大きさを予測することは困難であり、頭部がカーブの遠心方向へ傾いてしまう。そのため、頭部の水平方向の加速度が大きくなり強い動揺病が発症する。そこで、搭乗者の姿勢を運転手の姿勢のように頭部をカーブの旋回方向へ傾けるよう誘導できれば、動揺病が軽減されると考え、座面を傾ける装置を用いて誘導することを提案する。

4. 搭乗者の頭部加速度の計測実験

本実験では、座面傾け装置を用いて運転手のような姿勢へと誘導し、搭乗者の頭部の水平方向の加速度を小さくすることを目的とする。今回の実験では、座面を傾けた場合と傾けない場合で、搭乗者の頭部の水平方向のうち左右方向の加速度を測定する。

4.1 座面傾け装置の構成

座面傾け装置を図2に示し、座面傾けの制御を行う装置を図5に示す。座面傾け装置はモーター、ギヤ、シャフト、円盤カムで作成し、制御装置はモーターコントローラとマイクロコンピュータで構成する。円盤カムを左右で高低差をつけてシャフトに取り付け、シャフトとモーターにそれぞれギヤを固定し接続する。モーターはモーターコントローラと接続し、マイクロコンピュータで制御を行う。また、モーターコントローラから外部電源を供給する。モーターコントローラは Pololu シンプルハイパワーモーターコントローラ 24v12 を用い、マイクロコンピュータは Arduino Uno を使用する。モーターを回転させる制御を行うと円盤カムが回転し、座面の左右で高さが変化し座面を傾けることができる。

4.2 実験条件

今回の実験では、カーブ走行時における頭部の左右方向の加速度を対象とする。搭乗者は座面傾け装置に座り、頭部と車両のダッシュボードには加速度計（ATR-Promotions TSND151）を装着する。搭乗者には実験中、前を見てもらうように伝える。図3に実験で走行した環境を示す。はじめは、座面を傾けていない状態で30秒停止してから走行を開始する。実験中の走行速度は20[km/h]で一定にし、カーブ時の車両の速度に差が生じないようにする。座面傾け装置の制御は、カーブに進入する前に旋回方向へ座面を5度傾け、カーブ走行中の3秒間は傾けた状態を維持する。そして、カーブを通り抜けた後に座面の傾けを走行開始前と同じ状態に戻す。被験者1人当たり、座面を傾けた場合と傾けない場合でそれぞれ2回、計4回ずつ計測を行う。



図6：実験で走行したカーブ

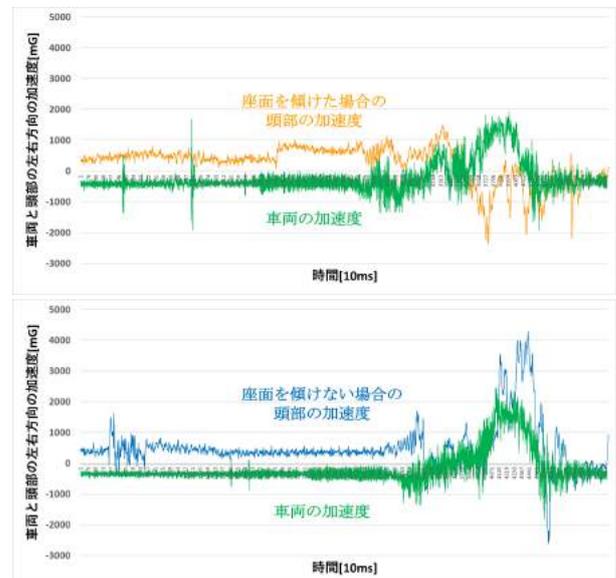


図7：座面の傾けの有無による頭部の左右方向の加速度

5. 実験結果と考察

図7に座面の傾けありとなしでの頭部の左右方向の加速度を示す。横軸が時間 [sec]、縦軸は座面の傾けの有無それぞれの頭部の左右方向の加速度 $[m/s^2]$ を表している。オレンジ色のグラフは座面を傾けた場合の頭部の左右方向の加速度を、青色のグラフは座面を傾けない場合の頭部の左右方向の加速度を、緑色のグラフは車両の加速度を表している。

座面を傾けない場合の頭部の左右方向の加速度を見ると、カーブ走行の前半では、カーブの遠心方向に車両の加速度に近い大きさの加速度が発生している。カーブ走行の後半では、車両の加速度以上に大きな加速度が発生している。座面を傾けた場合だと、カーブの旋回方向に頭部の加速度が発生していることを確認できた。他の搭乗者では、座面を傾けてもカーブの遠心方向へ頭部の加速度が発生していたが、座面を傾けない場合よりも頭部の加速度は減少している結果が得られた。また、搭乗者へのアンケートでは、座面の傾きに対して違和感などは特に感じなかったと回答を得た。

以上の結果から、座面を傾けることでカーブの旋回方向へ頭部の加速度が発生するように誘導することができた。したがって、座面を傾けることは搭乗者を運転手のような姿勢へ誘導するのに有効な手法であり、頭部の左右方向の加速度を小さくすることができたと示唆できる。

6. まとめと今後の展望

自動走行時の快適性を阻害する要因である動揺病を軽減するために、座面傾け装置を用いて運転手のような姿勢へと誘導する手法を提案した。実験では、座面の傾けの有無で搭乗者の頭部の左右方向の加速度を測定、比較を行った。実験結果から、座面を傾けた方が傾けない場合より、カーブの旋回方向へ頭部を誘導することができた。このことより、座面を傾けることで搭乗者を運転手のような姿勢へ誘導することができるということが示唆された。

今後は、搭乗者ごとの座面の傾け角度やタイミングの調整、動揺病の軽減効果を主観的評価と客観的評価を用いてその手法の有効性を検証していく。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] T. SAWABE, M. KANBARA, and N. HAGITA : Comfortable Intelligence for Evaluating Passenger Characteristics in Autonomous Wheelchair, *IEICE TRANS. FUNDAMENTALS*, VOLE101-A, NO.9 SEPTEMBER 2018
- [4] 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, 篠沢一彦, 萩田紀博 : 自動走行ストレス ~生体情報を用いた自動 走行車両搭乗者のストレスに関する検討~, *信学技*, Vol. 114, No. 369, pp. 87-92, 2014.
- [5] 藤澤智, 和田隆広, 今野寛之, 土居俊一 : 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.
- [6] T. Wada : Motion Sickness in Automated Vehicles, *International Symposium on Advanced Vehicle Control (AVEC2016)*, 2016.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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