

車両周辺状況提示のための自動車用シート 振動パターン設計及びその効果評価に関する研究

日大生産工(院) ○ZHANG XINYUE 日大生産工 栗谷川 幸代

1. まえがき

漫然運転による前方不注意は、近年においても交通事故原因の上位に挙げられている⁽¹⁾。従来、ドライバーへの情報伝達には視覚情報や聴覚情報が多く用いられてきたが、視覚情報は視線移動を伴い、聴覚情報は状況によって煩わしさを生じる場合がある。Gaffaryらは、車載情報提示システムにおける触覚インタフェース技術を整理し、シート・ステアリング・ペダルなど身体接触部位を用いた警報方式が、視聴覚情報の補完手段として有効であると指摘している⁽²⁾。また、Mengらは、触覚警報のレビューにおいて、前方衝突警報などの安全運転支援において、振動刺激がドライバーの注意喚起と反応時間短縮に寄与することを示している⁽³⁾。これらの先行研究において、触覚情報が運転支援手段として有効性を持つことを示している。

Fitchらと上村らは、シート座面の振動で注意対象の方向を提示する方式を提案し、触覚提示が直感的な方向理解を促すことを報告している⁽⁴⁻⁵⁾。

また、大桑らと中村らは大腿部への振動刺激の強度や周波数、断続周期を変化させることで緊急性や重大性を制御できることが報告されている⁽⁶⁻⁸⁾。しかしながら、これらの先行研究における振動刺激は正弦波であるため、筆者らが想定する自動運転や先進運転支援で用いる報知振動としては、正弦波だけでなくアンプ等を介して振動波形をスイープ波等に変化させることで、報知状況に応じた様々な印象をドライバーに与えることができると考えた。そこで本研究では、緊急性と重大感が段階的に変化する車両周辺状況を想定し、正弦波およびスイープ波を用いて、振動パラメータの設定と認知特性との関係性を明らかにした上で、客観的指標及び主観的評価により、各運転場面に対して、適切な運転支援手段を検討した。

2. 実験概要

2.1 実験環境

シート振動刺激装置を図1に示すようにRECARO製シート（SR-7 KK100BK）にアルプスアルパイン社製 haptic reactorがシートの背面部に7個、座面部に10個の合計17個を配置されており、振動デバイスをアルプスアルパイン社製のソフトウェアで制御するアンプを介することで正弦波に加えてスイープ波を実現できるようにした。

なお、実験時は実験参加者に運転状況を想定させるため、普通自動車の車室内レイアウトを参考にして、

図2に示すようにハンドルやペダルを配置して運転席を模擬した。



Fig.1 実験装置

Fig.2 実験風景

2.2 基準波の設定

本実験では、正弦波とスイープ波の振動刺激に対する認知特性を把握するため、予備実験を実施してそれぞれの振動波形における基準波を設定した。本実験では正弦波に対して主観的な振動強度が徐々に大きくなる場合と徐々に小さくなる場合を実現するため、開始周波数と終了周波数を変化させることにした。

基準波の提示時間の設定に対して、Mengら⁽⁹⁾の研究を参考にして、提示時間はドライバーが前向き衝突の場面で振動を認識でき、ブレーキや加速の応答反応が有効と報告された0.15s固定とした。次に、開始周波数と終了周波数を様々変化した予備実験を実施した結果、振動周波数を5Hzから5Hz刻みで増加させた場合、85Hzの振動は気づけるまたとても不快を感じられない、また50Hzであれば多くの人が振動を気づけるかつあまり煩わしくない周波数であったため、正弦波である基準波Aは開始周波数及び終了周波数を85Hzとして、徐々に振動強度を弱く感じる基準波Bは開始周波数を正弦波と同じ85Hzとして終了周波数は50Hz、徐々に振動強度を強く感じる基準波Cは開始周波数を基準波Bの終了周波数である50Hzとして終了周波数は正弦波及び基準波Bの開始周波数と同じ85Hzとした。

2.3 実験項目

シート振動刺激による報知において、車両周辺状況を提示し、走行状況に応じて重大度や緊急度を効果的に伝達するため、振動パラメータの設定と主観的な振動が伝えた緊急性と重大感などの認知特性の関係性を検討する。振動刺激は基準波A, B, Cを振動シートの背面部7か所、座面部10か所にそれぞれに提示した。しかしながら、実験参加者の体型等の違いから背面部や座面部の位置に応じて強さ等の感覚に個人差があることがわかった。そこで本報告では多くの実験参加者にお

A Study on the Design of Automotive Seat Vibration Patterns
for Surrounding Situation Awareness and Their Effect Evaluation

Xinyue ZHANG and Yukiyo KURIYAGAWA

いてシート接触面が安定していたと思われる太もも部の中心部（座面⑪と⑫）で同時に振動された結果を示す。

本研究では、振動パラメータの設定と認知特性との関係を明らかにすることを目的として、「振動周波数」「振動の繰り返し回数」と「1 サイクル当たりの振動提示時間」の3つの条件に着目して検討を行った。

2.3.1 振動周波数と認知特性の関係

振動周波数と感じた緊急感と重大感の関係を把握するため、正弦波及びスイープ波の周波数を変化させた場合の緊急感と重大感の把握を行った。周波数変化は以下の3種類を設定した。

1 つ目は、基準波 A の場合に、正弦波の開始及び終了周波数を 50Hz, 67.5Hz, 85Hz, 102.5Hz と 17.5Hz の等間隔で増加させる条件を設定した。

2 つ目は、基準波 B もしくは基準波 C において、開始周波数もしくは終了周波数は固定として、もう片方の周波数を 17.5Hz の等間隔で減少させる条件である。これより、基準波 B では、開始周波数は 85Hz 固定として終了周波数は 67.5Hz, 50Hz, 32.5Hz として 17.5Hz の等間隔で減少させる条件とした。一方で、基準波 C では、終了周波数は 85Hz 固定として開始周波数を 67.5Hz, 50Hz, 32.5Hz とした。

これらの実験において、実験参加者は提示された振動の“緊急感”と“重大感”について前述の VAS 評価を行った。

2.3.2 振動繰り返し回数と認知特性の関係

振動の繰り返し回数と感じた緊急感と重大感の関係を把握するため、正弦波及びスイープ波の繰り返し回数を変化させた場合の緊急感と重大感の把握を行った。ここでは、基準波 A, B, C の繰り返し回数を 1 回と 5 回で、提示時間が 0.15 s という条件を設定した。実験参加者は提示された振動の“緊急感”と“重大感”について VAS 評価を行った。具体的には、「提示された振動は緊急感 もしくは 重大感を感じる」に対して、回答の左端を「感じない」として 0 点、中央を「やや感じる」として 50 点、右端を「すごく感じる」として 100 点として算出した。

2.3.3 振動パラメータの提示時間と認知特性の関係

振動の提示時間と感じた緊急感と重大感の関係を把握するため、正弦波及びスイープ波の提示時間を変化させた場合の緊急感と重大感の把握を行った。予備実験の結果、0.15 s を基準とした場合に正弦波で振動提示時間の違いを分別できる最小時間差は 0.05 s であることが確認された。そこで本実験では、基準波 A, B, C の提示時間を 0.10 s, 0.15 s, 0.20 s とし、振

動の繰り返し回数を 5 回とする条件を設定した。実験参加者は提示された振動の“緊急感”と“重大感”について前述の VAS 評価を行った。

2.3.4 基準波から感じた振動強さと長さ対比

同じ提示時間で基準波 A, B, C から感じた緊急感と重大感が異なる原因を検討するため、基準波 A, B, C に対して、実験参加者は提示された振動の“強さ”と“長さ”について VAS 評価を行った。強さと長さの程度を評価しやすいように、実験では各条件における基準位置③と比較する形で評価させた。さらに条件間の比較ができるように基準位置③における基準波 A に対する基準波 B と基準波 C の程度を評価させることで、回答結果の絶対値化を行った。「弱い もしくは 短い」を -100 点、「どちらとも言えない」を 0 点、「強い もしくは 長い」を 100 点として算出した。

2.4 実験参加者

実験参加者は 20 代の男子大学生で身長 170~178cm, 体重 55~85kg の 10 名である。

3. 実験結果

3.3.1 振動周波数と認知特性の関係

図 3, 図 4 に各振動パターンの周波数を変化させた場合に座面部⑪⑫に対する振動の“緊急感”“重大感”の回答結果を示す。図より、周波数が 85Hz まで高いほど、緊急感と重大感が感じやすい。フリードマン検定の結果、振動周波数が 85Hz まで、同じ振動波形で各振動パターン間で有意差が認められた (** : $p < 0.01$, * : $p < 0.05$)。

振動周波数が高い方が緊急感や重大感を感じやすいのは、高周波振動が人の感覚神経により鋭く・瞬発的に伝わるためである。高周波では短時間で多くの刺激が伝えて、危険信号として脳が反応しやすくなる。また、高周波振動は警報音などと同様に緊張や注意を促す効果があり、危険や異常を即座に知らせる信号として知覚されやすい。そのため、低周波振動に比べて、高周波振動はより強い緊急感・重大感を引き起こす傾向がある。

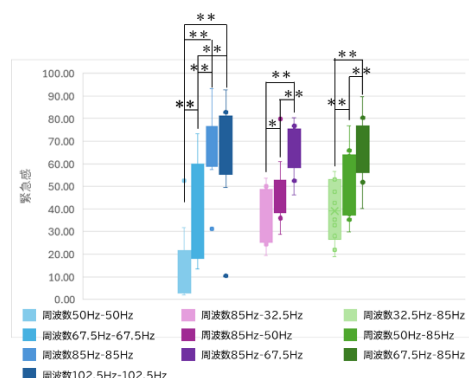


Fig.3 振動周波数と緊急感の関係図

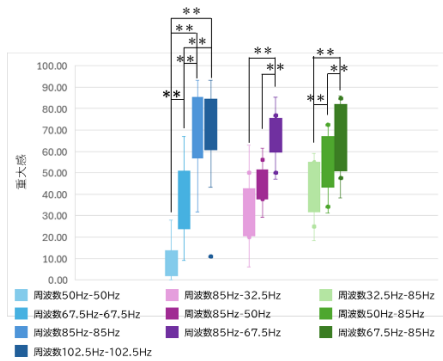


Fig.4 振動周波数と重大感の関係図

3.3.2 振動繰り返し回数と認知特性の関係

図5, 図6に基準波A, B, Cを振動刺激として1回と5回振動が座面部⑪⑫に対する“振動の緊急感”“振動の重大感”の回答結果を示す。図より、振動の緊急感, 重大感の感じ方は, 1回振動に比べて5回振動では緊急感と重大感を感じる事が示唆された。また, スイープ波に比べて, 正弦波の方が緊急感と重大感を感じられる。フリードマン検定の結果, 各振動波形の1回振動と5回振動の間, 基準波Aと基準波Bの間及び基準波Aと基準波Cの間で有意差が認められた (**: $p < 0.01$, *: $p < 0.05$)。

5回振動は1回振動に比べてドライバの注意を喚起しやすく, より強い緊急感と重大感を与える傾向がみられた。これは振動波形の総エネルギーが大きく, 刺激が強いためである。さらに, 正弦波は周期が一定で安定しており, 継続的な危険信号として知覚されやすい。一方, スイープ波は周波数変化するため瞬間的な注意喚起には有効だが, 刺激が一過的で危険の持続性を伝える効果は弱いと考えられる。

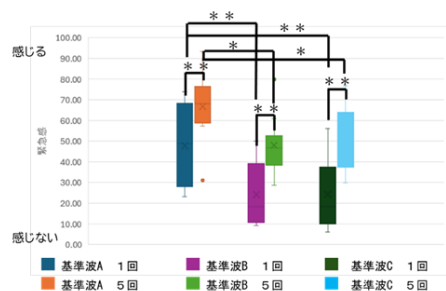


Fig.5 繰り返し回数と緊急感の関係図

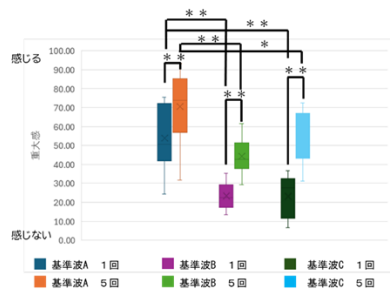


Fig.6 繰り返し回数と重大感の関係図

3.3.3 振動パラメータの提示時間と認知特性の関係

図7は緊急感の評価結果を示しており, 提示時間が短いほど参加者が感じる緊急感が高まる傾向がみられた。特に基準波Bでは提示時間の違いによって有意差 (**: $p < 0.01$, *: $p < 0.05$) が確認され, 提示時間が短いほど緊急感が強く評価された。これは, 短時間提示条件では振動が瞬発的かつ強く知覚されやすく, 警報刺激として認識されやすいためと考えられる。一方, 図8の重大感評価では, 提示時間による明確な差は見られず, 提示時間が長くなっても重大感はほぼ一定であった。これは重大感が振動の持続時間よりも, 波形や周波数, 強度などの刺激特性に強く影響されるためであると推察される。すなわち, 緊急感は瞬間的な刺激強度によって変化しやすいが, 重大感は刺激全体の印象や安定性により形成される傾向があることが示唆された。

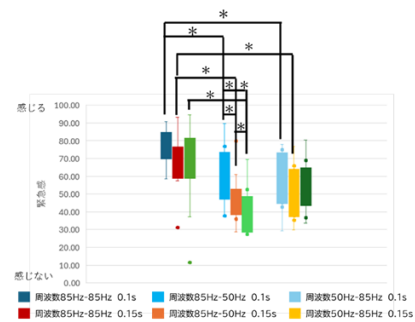


Fig.7 振動提示時間と緊急感の関係図

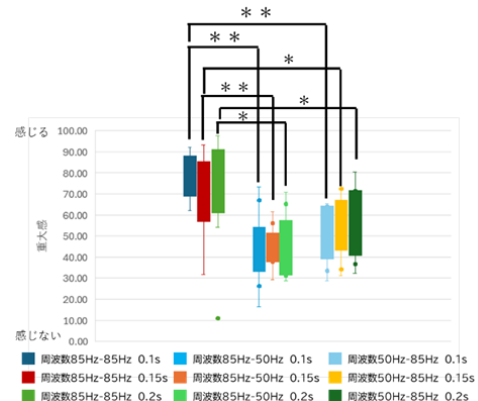


Fig.8 振動提示時間と重大感の関係図

3.3.4 基準波から感じた振動強さと長さ対比

図9に振動パターンA, B, Cにおける「振動の強さ」の評価結果を示す。図より, “振動の強さ”を感じたのは基準波A, 基準波C, 基準波Bの順となる。フリードマン検定の結果, 振動パターンAとBの間, BとCの間で有意差が認められた (**: $p < 0.01$, *: $p < 0.05$)。これは, パターンAが振動強度の変化が少なく安定しており, 全体的に高いエネルギーを持つため, より強い刺激として知覚されたと考えられる。一方, パターンBは時間とともに振動強度が減少するため, 全体的

に弱く感じられた。パターンCは後半に強い振動を含むため、Bより強く感じられるが、Aほどの持続的な強度は示さなかった。

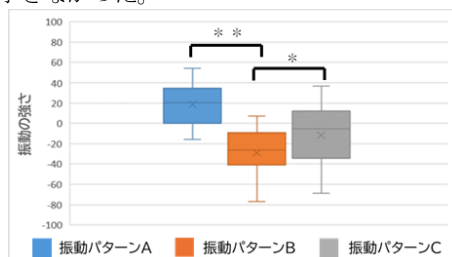


Fig.9 基準波における“振動の強さ”の回答結果

図10は座面部⑪⑫における「振動の長さ」の評価結果を示す。基準波Aに比べ、基準波BおよびCでは振動を短く感じる傾向があり、個人差も大きかった。これは、振動波形の強度分布や持続時間などの物理特性が影響しており、弱い振動が知覚されにくいいため、実際の体感時間が短くなるためと考えられる。また、基準波Bでは初期の強い振動を基準に後続の振動を相対的に弱く感じるため、全体の体感時間が短くなる。一方、基準波Cは後半に強い振動が現れるため、比較的長く感じられた。

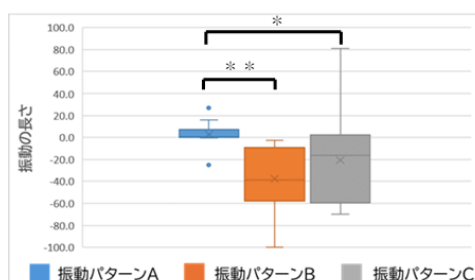


Fig.10 基準波における“振動の長さ”の回答結果

4. 結言

本研究から得られた成果を以下にまとめる。

- 1) 周波数が85Hzまで高いほど、緊急感と重大感が感じやすい。
- 2) 振動の繰り返し回数が多いほど、実験参加者はより強い緊急感および重大感を感じる事が確認された。
- 3) 振動提示時間が短いほど、感じる緊急感が高まる傾向が示された。特に、減少型スイープ波においてはこの傾向が顕著であり、短時間の提示でも初期に強い刺激が集中することで、瞬発的な警報感を喚起したと考えられる。

本研究の結果を踏まえ、今後は緊急感と重大感をより効果的に制御するため、振動の繰り返し回数を細かく設定し、回数と主観的認知特性の関係を詳細に検討する。さらに、各回数に対して体感的に最も効果的な総振動時間を明らかにし、注意喚起性と快適性を両立する提示条件を探る。また、刺激間間隔や振動時間のDuty比が認知特性に与える影響も検証する。

これらの検討を通じて、感じられた緊急性および重大性の結果に基づき、異なる運転場面に適した振動パ

ターンを提案した。さらに、反応時間などの客観的指標および主観的評価の結果から、ドライバが走行状況に応じた自車両周囲情報をより直感的かつ快適に受け取ることが可能であることを示し、最適なシート振動提示設計指針の構築を目指すものである。

参考文献

- 1) JAF メディアワークス. (2025). 漫然運転とは？死亡事故につながる危険性 | 原因や対策について解説. JAF 交通安全トレーニングコラム. 取得元 <https://jafraining.jp/column/distracted-driving/>
- 2) Gaffary, Y., & Lécuyer, A. (2018). The use of haptic and tactile information in the car: A review of current technologies and future challenges. *Frontiers in ICT*, 5, 5.
- 3) Meng, F., Spence, C., & Ho, C. (2015). Tactile warning signals for in-vehicle systems: A review. *Applied Ergonomics*, 46, 76–87.
- 4) Fitch, G. M., Kiefer, R. J., Hankey, J. M., & Kleiner, B. M. (2007). Toward developing an approach for alerting drivers to the direction of a crash threat. National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) / CDC Technical Report.
- 5) 上村 洋介, 北川 哲也, 古舞 隆司, 西崎 友規子 「振動と注意対象の位置対応を利用したシートによる注意喚起方法の検討」 自動車技術会論文集 2025 年 56 巻 3 号 p. 588–594
- 6) 大桑 政幸, 倉橋 哲郎, 藤枝 延維, 津田 太司, 服部 彰 「シート振動刺激による運転支援情報提示法の検討」 自動車技術会論文集 2008 年 39 巻 6 号 p. 6_59–6_64
- 7) 大桑 政幸, 中嶋 敦史, 藤枝 延維 「自動車用シート振動刺激による運転支援情報提示法の開発」 ヒューマンインタフェース学会論文誌 2008 年 10 巻 3 号 p. 363–372
- 8) 中村 美和, 中島 洋幸, 平尾 章成, 美記 陽之介 「ステアリング振動を用いた警報情報提示技術の開発」 自動車技術会論文集 2017 年 48 巻 2 号 p. 445–450
- 9) F. Meng, R. Gray, C. Ho, M. Ahtamad, and C. Spence, "Dynamic vibrotactile signals for forward collision avoidance warning systems, " **Human Factors**, vol. 57, no. 2, pp. 329–346, 2015,