



振動に基づく速度感制御の研究

立入泉樹¹⁾, 田中由浩²⁾, 佐野明人³⁾

1) 名古屋工業大学 大学院工学研究科 (〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町, 25516503@stn.nitech.ac.jp)

2) 名古屋工業大学 電気・機械工学専攻 (〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町, tanaka.yoshihiro@nitech.ac.jp)

3) 名古屋工業大学 電気・機械工学専攻 (〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町, sano@nitech.ac.jp)

概要: 運転時の速度認識は安全や環境の点で重要である。人は速度を視覚、聴覚、触覚刺激から認知するが、刺激の変化量や変化率が小さいと気づきにくい。例えば、道路のサグではよく渋滞が発生する。これは上り坂で速度低下に気づかず、後続車両が速度を落とすためである。我々は振動による速度感に注目、従来研究よりシート振動による速度感制御手法を提案した。本報はドライビングシミュレータで、実在の道路を一定速走行した時の速度感制御の効果を評価した。結果、速度感制御により速度変化に気づきやすくなり、一定速を保つ可能性を示した。

キーワード: 速度感, 振動, 触覚, 運転

1. はじめに

我々は車両を運転するドライバーの速度感について研究している。ドライバーは自動車の挙動や周辺の障害物を視覚や聴覚、触覚で認知し、安全に注意して運転する。運転操作の中でドライバーが認知する重要な自動車の挙動の一つが速度である。

自動車の速度が安全や環境、ドライバーに与える影響は大きい。例えば道路の制限速度を超過することは事故の原因となりえる。また上り坂と下り坂が連続した所謂サグと呼ばれる道路では、ドライバーが気づかないうちに車両の速度が低下し、さらに後続車両が次々に減速するため渋滞が発生しやすいことが知られている[1][2]。一方、適切な速度でドライブを楽しむように、ドライバビリティにも速度は影響を与える。

このように安全、環境、娯楽の観点で重要な速度だが、ヒトはこの速度を直接認識することはできない。そのため、正確な速度を認識するために、車両には品質管理された速度計が搭載されている。しかし、実際にヒトは速度計だけで速度を認識しているわけではないことは容易に想像できる。例えば、道路の流れる風景や白線の変化等の視覚刺激はヒトが感じる速度(以下、速度感)に大きく影響する[3]。

この実際の車両速度(以下、実速度)と、ヒトが認識する速度感が異なることを意識することは重要である。これは実速度よりも速度感が速く感じたり、遅く感じたり、錯覚することを意味する。例として、道路にドットパターン配列

の描き方により人の速度感を変化させる研究が発表されている[4][5][6]。これは実速度を変化させずに速度感を制御できる可能性を示している。速度感を自由に制御することができれば、前述した事故や渋滞の防止や、ドライバビリティ向上に活用できると考えられる。

次にヒトの速度感を構成する要素を考える。前述したように視覚刺激は速度感に影響を及ぼす。一方、視覚刺激が無くても、車両の加速度やエンジン音、振動で車両の動きを感じ取れることから、聴覚、触覚も速度感に寄与している。よって、ヒトの速度感は視覚、聴覚、触覚刺激の組み合わせで構成されていると考えられる。

その中で我々は触覚による速度感とその制御に注目している。なぜなら、触覚が視覚や聴覚に加えて以下のようなメリットが考えられるためである。

- ・ 視覚刺激は道路等のインフラを管理する必要があり、高コストになりやすい。
- ・ 運転負荷を考慮すると視覚情報の増加は好ましくない。
- ・ 運転中は、音楽やラジオ、同乗者との会話を楽しむため、聴覚刺激が付与しにくい。
- ・ 触覚刺激はドライバーにシート振動などから、個人的に直接的に付与できる。

以上より、我々は、環境負荷低減や安全、楽しさの向上を目的として、触覚刺激による速度感制御を研究している。従来研究では、AURIS(トヨタ自動車製)を用いたシート振動測定評価から、シート振動の周波数がエンジン回転数に比例する特性を見出し、さらにシート内に振動スピーカを有したドライビングシミュレータ(以下、DS)を用いて、振動周波数を変化させることで、実際の速度に対して、ヒトの

Motoki TACHIIRI, Yoshihiro TANAKA, and Akihito SANO

速度感を制御できる可能性を報告した[7]. 具体的には周波数を高くすることで速度が速くなったように感じ、周波数を低くすることで速度が遅くなったように感じる傾向を示した.

本報では、シート振動の振動周波数による速度感制御を活用することで、ドライバが速度変化に気づき、速度を一定に保つ効果について、検証したので報告する.

2. 実験方法

2.1 実験概要

本実験は、DS を用いて渋滞の発生しやすい現実の道路を評価路として、被験者が速度計を見ずに一定速度を保つ運転を行う。運転中、速度が基準に対して一定速度以上変化した時、速度感制御の触覚刺激を付与し、自然と速度が速く、または遅くなったように感じさせることで、変化に気づき一定速度を保つ効果について評価する。

2.2 実験装置

本実験は FORUM8 製 DS を用いて実施した。DS はステアリング、アクセル、ブレーキ、シートを含むコックピットと道路等の映像を表示する表示器、および制御用 PC から構成される。

図 1、図 2 に評価路の標高および経路をそれぞれ示す。評価路は伊勢湾岸自動車道:豊田東 IC から東名高速道路:蒲郡 IC まで約 41km 中、28~34km の上り区間を抽出した。抽出した区間は渋滞が発生しやすい道路として知られた範囲である[8]。上記区間の標高および経路はルートラボ (LatLongLab)[9]から入手した。図 3 に走行する道路を示す。片側 2 車線の高速道路を模した道路である。

図 4 に本実験装置のシステムブロックを示す。構成要素は DS、制御用 LabView(National Instruments 製)である。DS から車両の速度信号を LabView へ伝え、その速度に応じた振動波形を PC のオーディオ端子から DS の振動スピーカに入力する。

図 5 に DS の振動スピーカに入力する振動波形を示す。振動波形はホワイトノイズと sin 波で構成されている。この sin 波は DS の車両速度に応じて周波数が変化する。これら振動周波数、振幅特性は従来研究[7]で測定した AURIS の振動特性に合わせている。

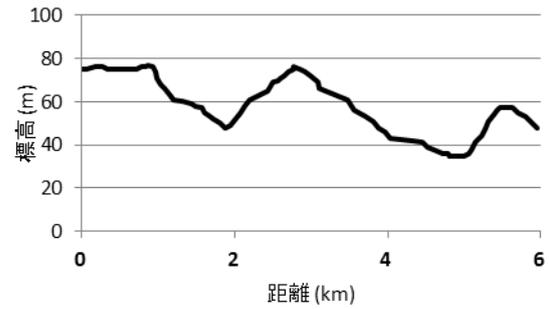


図 1 評価路の標高

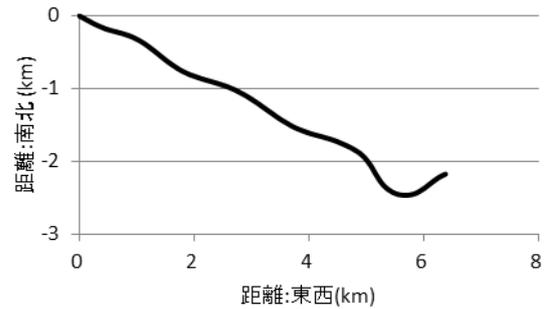


図 2 経路(上面視)



図 3 走行路:片側2車線

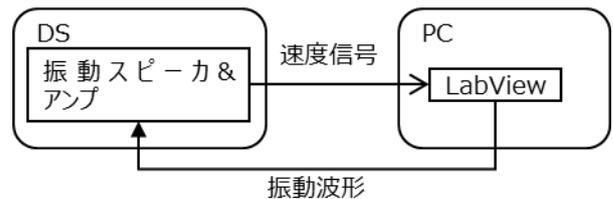


図 4 システムブロック

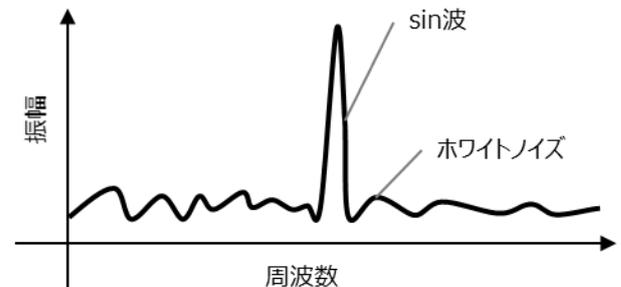


図 5 振動波形

図6に速度感制御の速度と振動周波数の特性を示す。前述したようにヒトの速度感は周波数が増加するに従い速く、減少するに従い遅く感じると考えられる。そこで、実速度が一定以上変化した時、それ以上の周波数を変化させることで、より速度が変化したように感じさせる。速度感制御有り時はその振動周波数が式(1)、式(2)、式(3)で表され、速度感制御無し時は式(4)で表される。ここで v_t : 車両速度(km/h), f_t : 振動周波数, 係数 $\alpha=2.34$, $\beta=1.0$, $v_0=80$ (km/h), $v_1, v_2=3$ km/h である。

【速度感制御有り】

$$f_t = \alpha \cdot v_t \quad (v_0 - v_1 \leq v_t \leq v_0 + v_2) \quad \text{式(1)}$$

$$f_t = \alpha \cdot (v_t + \beta(v_t - (v_0 + v_1))) \quad (v_t > v_0 + v_1) \quad \text{式(2)}$$

$$f_t = \alpha \cdot (v_t - \beta((v_0 - v_2) - v_t)) \quad (v_t < v_0 - v_2) \quad \text{式(3)}$$

【速度感制御無し】

$$f_t = \alpha \cdot v_t \quad \text{式(4)}$$

2.3 実験方法

本評価では、運転免許を取得した男女10名の被験者(年齢 32 ± 6 , 最大年齢 45, 最小年齢 27)が、速度計を見ずに速度 80km/h を保持しながら評価路を運転した。この時、被験者はアクセルとステアのみ操作し、ブレーキは行わない。以下にその手順を説明する。

- ① 最初に被験者は勾配のない長さ 3km の直線路にて、慣熟運転を行う。この時、被験者は目標速度の 80km/h および、その前後の加減速感を体感しておく。慣熟運転時の速度と振動周波数特性は式(4)を採用する。
- ② 次に速度感制御無し(式(4))で、評価路を速度計を見ずに 80km/h 一定になるように走行する。
- ③ 次に速度感制御有(式(1), (2), (3))で、評価路を速度計を見ずに 80km/h 一定になるように走行する。

ここで、慣熟運転は全被験者が最初に行うが、5人の被験者は②、③の順序で行い、残り5人の被験者は③、②の

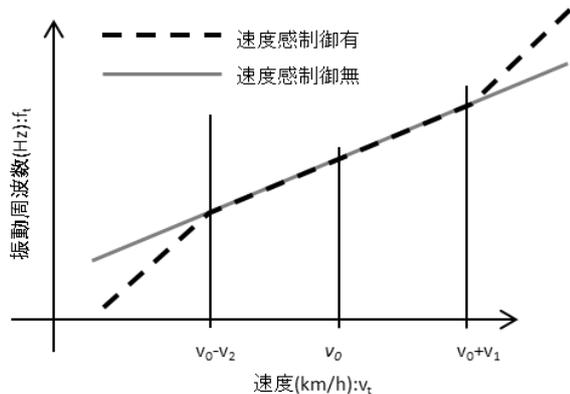


図6 速度感制御の振動周波数特性

順序で実施する。上記①, ②, ③を1セットとして、被験者は1セットだけ評価する。

評価は単位時間(0.05sec)ごとの速度データを測定し、目標速度 80km/h に対するずれの二乗平均平方根(RMS)を比較しその平均値の差を検定する。RMS は式(5)で示される。検定はウィルコクソンの符号順位検定を用い、有意水準を 0.05 とした。

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{t=0}^N (v_t - 80)^2} \quad \text{式(5)}$$

3. 結果

図7に、全被験者の速度感制御有/無による目標速度 80km/h に対する RMS を示す。全 10 人の被験者の内、速度感制御により速度差が小さくなった人数が7人、速度差が大きくなった人数が3人であった。評価後の意見交換では、②と③の評価の違いを認識できた被験者はいなかった。

図8に、速度感制御有り、無しの場合の平均と標準偏差を示す。速度感制御有り、無しでウィルコクソンの符号順位検定では、有意差は認められなかった(p = 0.16)。

4. 考察

本報では、DS を用いて速度を一定に保ち、運転するタスクにおいて、速度感制御により被験者が速度変化に気づきやすくなり、一定速度を保つ効果の評価した。平均の比較から、有意差は認められなかったが、各被験者の傾向として速度の RMS が大きい被験者(subject2,3,8,9: RMS > 10km/h)は速度感制御を入れることで、一定速度に抑える

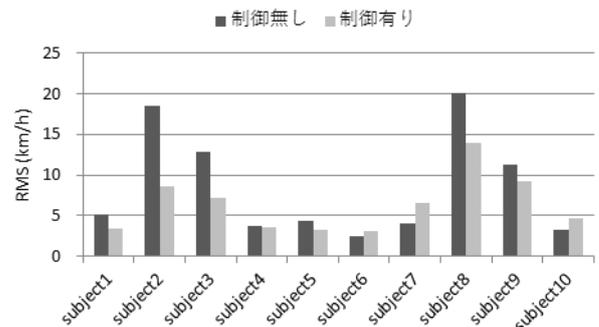


図7 速度感制御有無による速度差 (RMS)

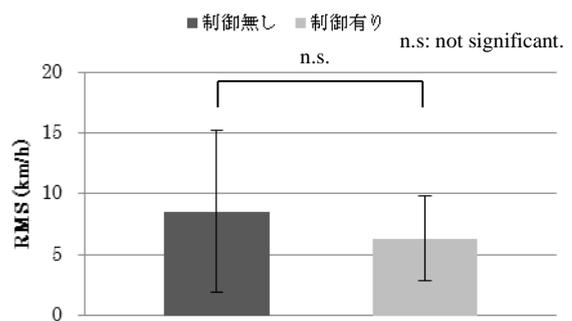


図8 速度感制御有無による速度差 (RMS) の平均

効果がみえる。一方、速度感制御無しでも速度を一定に保つことができている被験者(subject1,4,5,6,7,10: RMS < 10km/h)は、速度感制御による効果は見られない。これは今回速度感制御が 80km/h に対して±3km/h 以上速度に差が生じた場合、その速度差に応じて振動周波数をシフトさせる仕様であり、 $v_t = 80\text{km/h}$ 付近では速度感制御の効果が薄まるためだと考えられる。これは、本報の速度感制御が運転に慣れているドライバーより、むしろ速度感の変化に気づきにくい、例えば運転経験の浅いドライバーに効果的である可能性を示している。図9に subject8 の速度感制御有り、無しのアクセルのスロットル開度と標高を示す。1800m 付近の下り勾配では速度が上昇するが、スロットル開度一定なため、速度変化に気づいていない。一方、制御有りでは、スロットル開度を0にしているため、速度変化に気づき調整しているのがわかる。同様に距離が 2400m, 3200m, 6200m でも、制御有りでは道路勾配に合わせてスロットル開度を制御しているように見える。

次に、今回の評価を実車で実施する課題を考察する。実車両で速度感制御の評価を行う場合、周辺車両の影響の除去が必要である。本報では DS を用いて、自車両の前方含めて周辺に車両はない環境で行った。よって、速度変化を強く意識しながら評価できた。しかし、現実には周辺に車両が存在し、それらが速度感に影響を及ぼすことが容易に考えられる。この課題を解決するためには、車両が限定されたテストコースでの評価が必要である。特に縦断勾配と曲率を有した道路で行うことが望ましい。

5. 結言

本研究では、DS を用いて実際の道路の勾配、曲率を模した評価路を一定速度で走行するという評価において、シート振動刺激による速度感制御の効果を被験者評価した。その結果、速度感制御の有無で有意差は認められなかったが、速度感制御により速度を一定に保つ傾向は見られた。今後は本機能を実車搭載したときの課題を解決し、その効果を実証する研究を進める。

6. 謝辞

本研究にあたり、DS 等の設備を貸していただき、また評価にご協力いただいた(株)SOKEN, (株)デンソーに感謝します。

参考文献

- [1] 越 正毅, 桑原 雅夫, 赤羽 弘和: 高速道路のトンネル, サグにおける渋滞現象に関する研究, 土木学会論文集, Vol.1993, No.458 pp.65-71, 1993.
- [2] Koshi Masaki, Masao Kuwahara, Hirokazu Akahane: Capacity of Sags and Tunnels on Japanese Motorways, ITE JOURNALS, MAY, pp.17-22, 1992.
- [3] Warren, William H: Self-motion: Visual Perception and Visual Control, pp.263-325, 1995.
- [4] 韓 亜由美, 小野 晋太郎, 佐々木 正人, 他: 視知覚情報にもとづく道路シークエンスデザインによる走行制御効果の検証, 生産研究, Vol.63, No.2, pp.247-252, 2011.
- [5] Han Ayumi, Ono Shintaro, Ikeuchi Katsushi, Suda Yoshihiro, Masato Sasaki: Road Marking ‘Optical Dot System’ for Controlling the Speed--Development and Four Years Empirical Analysis, 20th ITS World Congress, 2013.
- [6] Han Ayumi, Ikeuchi Katsushi, Masato Sasaki: ‘Optical Dot System’ as Assistance for Drivers to Visualize Affordance of Road Environment, SEISAN KENKYU, 66.2, pp.147-154, 2014.
- [7] Tachiiri Motoki, Yoshihiro Tanaka, Akihito Sano: Vibrotactile Stimulation to Change Velocity Perception in Automobiles, SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration, 10.3, pp.177-183, 2017.
- [8] NEXCO 東日本: 平成 27 年度 年末年始期間の高速道路における主な渋滞発生予測, http://www.e-nexco.co.jp/pressroom/press_release/head_office/h27/1127c/pdfs/01.pdf
- [9] ルートラボ: <https://latlonglab.yahoo.co.jp/route/>

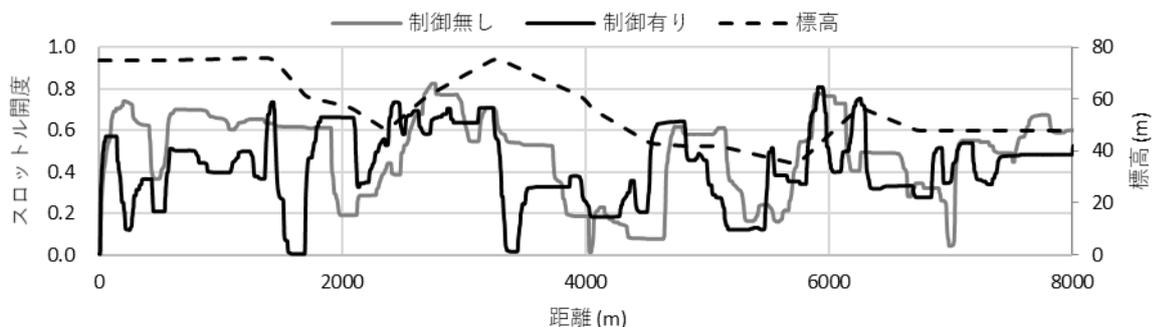


図9 評価路走行時の標高とスロットル開度(制御無し, 制御有り:subject8)