

安全運転評価結果に基づく触力覚情報提示による運転支援システム

Haptic driver-assistance system based on safe driving evaluation scores

早川将史*¹ 平岡敏洋*¹ 野崎敬太*¹ 川上浩司*¹
 Masafumi Hayakawa Toshihiro Hiraoka Keita Nozaki Hiroshi Kawakami

*¹京都大学大学院情報学研究科
 Graduate School of Informatics, Kyoto University

In a previous study, a system for providing haptic feedback based on potential collision risk to the driver's right thigh was proposed, and it was confirmed that a faster preparation for deceleration behavior was encouraged. However, it is possible that effects such as dependence on the system and decreased acceptability due to botheration of the system could occur in long term use of the system. In order to solve these problems, a system which changes the haptic feedback to the driver based on safe driving evaluation results is proposed in the present study.

1. はじめに

自動車事故を未然に防ぐ運転支援システムとして、衝突の危険性が高まった際に警報や自動制御による操作介入を行う技術などが盛んに導入されつつある。さらに、運転者自身の行動が安全側へシフトするように促すことを狙いとした情報提示システムの研究も進みつつある。

先行研究 [1] では、触力覚情報を用いて潜在的衝突リスクを提示する安全運転支援システムを提案し、平常運転時の煩わしさを低く抑えつつ、先行車との衝突危険性が高まった際の減速反応時間が短縮されることを実験によって確認した。

しかし、この研究では、システムの長期利用に関する検討が不十分であり、システムの継続的な利用が運転行動の変化に与える影響については考察されていなかった。

また、運転者による状況認識を高めるシステムの長期的利用においては、リスク補償行動の発現によって長期的には十分な効果が得られないという指摘 [2] もある。そこで本研究では、動機づけを高めて長期間の利用でも効果が持続するような仕組みを取り入れた触力覚情報提示による安全運転支援システムを提案する。

2. 安全運転を促す運転支援システム

2.1 触力覚による潜在的リスク提示

平常運転時における支援では、システムの動作が煩わしく感じられる場合に運転行動そのものを妨げてしまう恐れがある。また、視覚や聴覚は通常運転時に多用されており、運転者の負荷を高めないためには触力覚による情報提示が有効であるとされている [3]。

早めの段階の予防的安全運転支援の一策として、先行研究 [1] では触力覚による潜在的リスク情報提示法 (図 1) を提案した (以下、旧システム)。旧システムは早めの減速準備行動、すなわち早めのアクセルオフを促すことを目的としており、運転者の右腿にあたる部分のシートを潜在的衝突リスク量に応じて隆起させる方法を採用した。シート隆起量が最小の状態と最大の状態を図 2 に示す。このシステムにおいて、隆起による動きの方向と促される右足の動きの方向は概ね一致しており、S-R 適合性 [4] における運動的適合性を満たしているといえる。

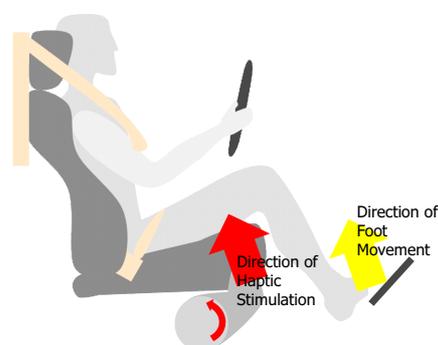


図 1: 触力覚による潜在的衝突リスク提示法

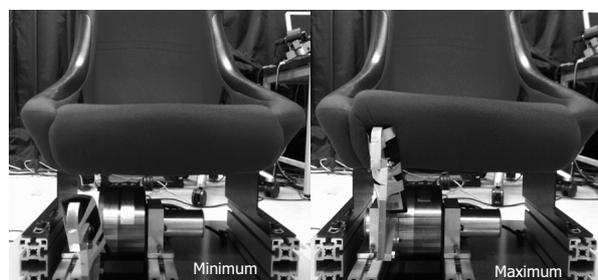


図 2: シート隆起量最小および最大の状態 [1]

ドライビングシミュレータを用いた実験 [1] では、触力覚による潜在的衝突リスク提示によって、先行車減速時の減速反応時間が短縮され、運転者の主観評価においてもシステムの煩わしさが低く抑えられたという結果となった。しかし、システムの長期的利用が運転行動に及ぼす影響については十分な検討がされていなかった。このようなシステムは、短期的には運転者の状況認識を高めて安全性向上に貢献するが、長期的には運転者のリスク補償行動によってシステムの効果が十分に得られないという指摘もある [2]。そのため、長期的なシステム利用においても運転者による自発的な安全運転を継続的に促すためには、運転者のリスク補償行動を抑制する工夫が必要である。

また、旧システムの主観評価結果では煩わしさは低く抑えられたものの、触力覚による刺激が小さ過ぎたことを示唆する意見も同時に得られた。したがって、触力覚情報提示法を改良することによってさらに効果的な情報提示が期待できる。

連絡先: 早川将史, 京都大学, 京都市左京区吉田本町, TEL: 075-753-5042, E-mail: hayakawa@sys.i.kyoto-u.ac.jp

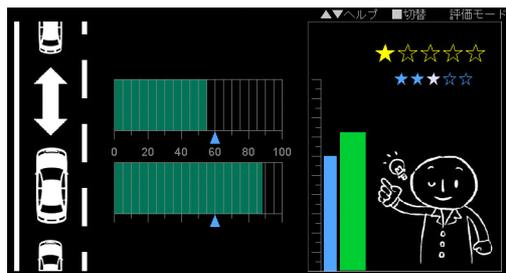


図 3: 動機づけ向上を促す運転支援システム [6]

2.2 安全運転を促すシステム設計指針

平岡 [5] は、安全運転を促すためのシステム設計指針として以下の 6 項目を提案している。

- 指針 1) 安全運転に対するインセンティブ
- 指針 2) 有能感を促進する娯楽性
- 指針 3) 連続的かつマルチモーダルな情報提示
- 指針 4) S-R 適合性を満たすインタフェース
- 指針 5) 直感的なシステムの制御則や仕組み
- 指針 6) 錯覚利用による知覚リスク量増加

指針 3, 4 および 5 は旧システムの触力覚情報提示法の長所をそのまま活かすことで実現可能であるが、一方で指針 1 や 2 などは旧システムにおいて考慮されていなかった。本研究では指針 1 や 2 に基づいて旧システムの不足点を解消するためのシステム設計を行う。

2.3 安全運転に対する動機づけ

Wilde によって提唱されているリスクホメオスタシス理論 [2] によれば、運転者は知覚リスク量を一定に保つ性質を有するとして、新たな安全技術の導入によって一時的に近くリスク量が低下しても運転車の目標リスク水準そのものが低下しない限り、知覚リスク量が目標に達するまで不安全行動を行うとされている。そのため短期的のみならず長期的にも運転の安全性を高めるためには、安全運転に対する動機づけによっても目標リスク水準を低下させる方が重要である。

2.4 動機づけを高める安全運転評価システム

先行研究 [6] において、安全運転に対する運転者の動機づけを高めるために、心理学分野の自己決定理論やゲームの設計論の一つであるゲーミフィケーションに基づいて安全運転評価システムを提案した (図 3)。このシステムでは、安全運転を促す仕掛けとして、1) 実環境と対応した表示内容、2) 予防的な安全運転に焦点化する、3) 達成可能な目標の提示、4) 安全運転の継続に対する報酬、5) 段階的な習熟の促進、6) 取扱説明書の不要化、7) 自由意志でのシステム利用、といった特徴を有する。これらの仕掛けの効果として、安全運転に対する動機づけが高まり、リスク補償行動がより効果的に抑制されることがドライビングシミュレータ実験により確認された。

3. 自発的な安全運転を促す触力覚情報提示

本研究では、2.4 節で述べた安全運転評価システムにおいて導入した“5) 段階的な習熟の促進”という特徴とそのシステムにおいて用いた評価指標を導入することによって、2.1 節で述べた触力覚情報提示法を改良する。この改良によって、煩わしさを低く抑えつつも安全運転に対する動機づけを高めるといった従来の効果を一層高めることを狙う。

以下本章では、本研究で提案するシステムの概要を述べ、前述の設計理論との関係を示していく。

3.1 設計方針

本研究で扱うシステムは、先行車追従中の衝突に対して事前準備的な構えを促すものである。すなわち、先行車との潜在的な衝突リスクを提示することで、危険な追従状態に近づかないような運転行動を促すものである。このようなシステムは、自動ブレーキや警報などの従来の運転支援システムと相補的に組み合わせることで、多段階支援の一部として使用されることを想定している。開発環境としては先行研究 [1, 8] と同じドライビングシミュレータを用いる。

3.2 安全運転評価のフィードバック

旧システムでは、潜在的衝突リスクを表す指標である潜在的衝突回避減速度 (PDCA: Potential Deceleration for Collision Avoidance) [7] とシート隆起量の関係が一意的に定められていた。しかしながら、その設定では、運転者の安全技能向上に対するフィードバックが存在せず、運転者の安全運転技能向上に対する動機づけが与えられていなかったことを意味する。

そこで本研究では、段階的な習熟を促進するように、次節で説明する安全運転評価指標に基づいた運転者の安全運転技能の評価結果を触力覚刺激の提示法に反映する。このような仕掛けにより、運転者の安全運転に対する動機づけを高め、長期的で継続的な効果が期待される。

3.3 安全運転評価指標

先行研究 [7] では、衝突回避減速度 (DCA) を用いた安全運転評価指標として、以下の四つを提案した。I: 適切な減速 (I_F)、II: 後続車に配慮した減速 (I_B)、III: 無理のない加減速 (I_A)、IV: 安全な車間距離 (I_D)。各指標は 0~1 の数値で表され、大きい値ほど安全性の高い運転を表す。本研究では、安全な車間距離 (= 先行車の急減速した場合でも余裕を持って対応できる車間距離を維持できたか) を先行車に対する潜在的な衝突危険性を表す指標として用いる。

3.4 触力覚情報提示法

触力覚情報提示に、潜在的危険に対する安全運転評価指標に基づいた成績を反映させる。車両が停車するたびに、 I_D のインターバル成績^{*1}に基づいて触力覚情報提示方法を変更する。成績が良ければ触力覚による刺激は小さくなり、成績が悪ければ触力覚による刺激が大きくなる。なお、停車直前の追従走行時間が 30 秒未満である場合は、追従走行中の安全性を十分に評価できないため、運転評価成績を更新しない。

運転者の技能が向上するにつれて刺激を小さくすることにより煩わしさを低く抑えることが可能となる。さらに運転者自らの技能向上がシステムの動作に反映され直接感じ取れることによって、安全運転を通じて動機づけの源泉となる有能さと自律性を感じられることが期待される。一方、技能が再び低下した場合であっても、刺激が大きくなることで意識的に安全運転を促すことができると期待される。

3.5 触力覚刺激の変化

初期状態および評価レベルが最も低い状態では、最も触力覚刺激が強い設定となっている。旧システムでは、明示的な振動提示を行っておらず、運転者による主観評価において「刺激が少ない」という指摘があった。そこで提案システムでは、運転評価が低い状態かつ潜在的衝突リスクが高い場合のみ、シートの隆起に加えて振幅上下 10[mm]、周期 0.5[s] の振動を加える。

指標 I_D のインターバル成績に基づく 5 段階の評価レベルに応じて、不感帯の大きさ、最大隆起量、振動の有無を変化させる。図 4 に、評価レベルごとの PDCA[m/s²] と隆起量に

*1 発進から停車までの区間 (インターバル) での平均成績のこと。

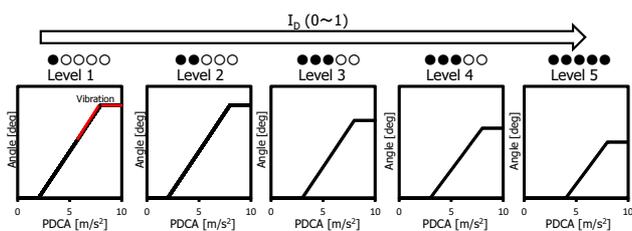


図 4: 触力覚情報提示設定の変化

表 1: レベルごとの触力覚情報提示法

Level	I_D	Dead Zone (PDCA[m/s ²])	Max. Protrusion	Vibration
1	0~0.7	0~2	100%	at PDCA 6 [m/s ²] or more
2	0.7~0.8	0~2	100%	None
3	0.8~0.9	0~3	83%	None
4	0.9~0.95	0~3	75%	None
5	0.95~1.0	0~4	60%	None

応するモータ制御角度 [deg] の大きさの関係を示す。いずれのレベルにおいても、潜在的衝突リスクを表す PDCA の値が大きくなるにつれて隆起量が大きくなるように設定されている。また、表 1 において I_D のインターバル成績と評価レベルの対応、および各レベルにおける触力覚情報提示法の設定を示す。以下に各レベルごとの特徴を示す。

レベル 1: 初回利用時および I_D のインターバル成績が 0.7 未満の場合に適用される。最も触力覚刺激が強く、PDCA が 6[m/s²] 以上で隆起に加えて振動が提示される。PDCA が 2[m/s²] まで不感帯が設けてあり、PDCA が 6[m/s²] 以上になると隆起とともに振動が加わり、PDCA が 8[m/s²] で飽和隆起量 (=最大隆起量) に達し飽和する。

レベル 2: I_D のインターバル成績が 0.7 以上 0.8 未満の場合に適用される。PDCA が 2[m/s²] まで不感帯が設けてあり、PDCA が 8[m/s²] で飽和隆起量 (=最大隆起量) に達する。ただし、レベル 2 以上では、レベル 1 とは異なって振動は提示されない。

レベル 3: I_D のインターバル成績が 0.8 以上 0.9 未満の場合に適用される。PDCA が 3[m/s²] まで不感帯が広がり、PDCA が 8[m/s²] で飽和隆起量に達するが、飽和隆起量をシステムの最大隆起量の 83%に抑える。

レベル 4: I_D のインターバル成績が 0.9 以上 0.95 未満の場合に適用される。PDCA が 3[m/s²] まで不感帯が設けてあり、PDCA が 8[m/s²] で飽和隆起量に達する。このときの飽和隆起量を最大隆起量の 75%まで抑える。

レベル 5: I_D のインターバル成績が 0.95 以上の場合に適用される。PDCA が 4[m/s²] まで不感帯が広がり、PDCA が 8[m/s²] で飽和隆起量に達するが、その量を最大隆起量の 60%まで抑える。

レベルが上がるにつれて、振動は無くなり、不感帯が広がり、最大隆起量は小さくなるといったように、成績を触力覚情報提示法に反映することで、情報提示法が段階的に変化する。すなわち、評価レベルが高くなるにつれて刺激が小さくなり、煩わしさが低減されることが期待される。

また、現時点での評価レベルは図 5 で示すように、メータ画面内のレベルインジケータによって常時確認できる。

3.6 他運転支援システムとの組合せ

本研究のシステムでは、動機づけを高めるグラフィカルユーザインタフェースを用いた先行研究 [6] と同じ運転評価指標が用いられているため親和性があり、組み合わせて使用すること



図 5: 運転技能のレベルインジケータ

によって運転者の状況認識と動機づけがさらに強化される可能性がある。さらに、自動ブレーキや前方障害物衝突警報システムなど、緊急な状況において作動するシステムと組み合わせて使用することで、それらのシステムによってもたらされる安全性をさらに高めることが期待される。

4. おわりに

先行研究での反省点を活かし問題点を解決するために、安全運転評価成績に基づいて触力覚情報提示方法を変化させるシステムを提案し、提案システムが長期的な利用においても継続的に効果を発揮できる可能性を示した。

今後の展望としては、運転評価成績に基づいた触力覚情報提示法の詳細設定、ドライビングシミュレータによる有効性評価、他運転支援システムとの組み合わせ利用による効果の検討などが考えられる。

参考文献

- [1] M. Hayakawa, T. Hiraoka, H. Kawakami: " Haptic Interface to Encourage Preparation for a Deceleration Behavior Against Potential Collision Risk ", Proceedings of the SICE Annual Conference 2013 (2013)
- [2] Wilde, G. J. S. (芳賀繁訳): 交通事故はなぜなくなるのか, 新曜社 (2007).
- [3] J.Chun et al.: Evaluation of vibrotactile feedback for forward collision warning on the steering wheel and seatbelt, International Journal of Industrial Ergonomics Vol.42 443-448 (2012).
- [4] P.M. Fitts and C.M Seeger: S-R compatibility: spatial characteristics of stimulus and response codes, Journal of Experimental Psychology, 46-3, 199/210 (1953)
- [5] 平岡敏洋: ドライバに安全運転を促す運転支援システム, 計測と制御, Vol.51, No.8, pp.742-747 (2012).
- [6] 野崎敬太, 平岡敏洋, 高田翔太, 川上浩司: 安全に対する動機づけ向上と行動変容を促す安全運転評価システム, 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会 2013 講演論文集, pp.291-292 (2013).
- [7] 平岡敏洋, 高田翔太, 川上浩司: 自発的な行動変容を促す安全運転評価システム (第 1 報) 衝突回避減速度を用いた評価指標の提案, 自動車技術会論文集, Vol.44, No.1, pp.665-671 (2013).
- [8] 高田翔太, 平岡敏洋, 野崎敬太, 川上浩司: 自発的な行動変容を促す安全運転評価システム (第 2 報) 評価システムが運転行動に与える影響, 自動車技術会論文集, Vol.44, No.1, pp.673-678 (2013).