

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月25日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2009～2011

課題番号：21760197

研究課題名（和文） ドライバの認知的・身体的特性に基づく間接型運転支援システムに関する研究

研究課題名（英文） Indirect driver-assistance system based on drivers' cognitive and physical characteristics

研究代表者

平岡 敏洋 (HIRAOKA TOSHIHIRO)

京都大学・情報学研究科・助教

研究者番号：30311749

研究成果の概要（和文）：

本研究は、情報提供のみを行うことでドライバー自身に判断を行わせて安全な操作を促す間接型運転支援システムを対象とする。ドライビングシミュレータ実験により、『どのように情報提示を行えばドライバーにわかりやすいか?』、『システムを積極的に使いたくなるような情報提示法とは?』、『負担の少ない情報とは?』といったことを明らかにした。さらに、本研究で得られた知見に基づく新しいインタフェースを提案した。

研究成果の概要（英文）：

The present study deals with an indirect driver-assistance system, which provides drivers with only information to encourage them to perform safe-driving based on their own judgments. A few driving simulator experiments were conducted to clarify "What kind of information provision is easily comprehensible to drivers?", "What kind of information provision makes the drivers continue to use the system?", and "What kind of information provision decreases the drivers' workload?" Furthermore, a new interface of the indirect driver-assistance system, which will be effective to encourage safe-driving, was proposed based on the knowledge obtained in the simulator experiments.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学，知能機械学・機械システム

キーワード：運転支援，知覚特性，触力覚情報，動機付け，生態学的インタフェース，安全運転，省燃費運転

1. 研究開始当初の背景

ドライバーが交通の流れに乗って車両を運転するとき、認知・判断・操作という一連の処理を行っている。事故原因の多くは、この

三過程のいずれかで生じるヒューマンエラーにある。したがって、認知・判断・操作の各過程において支援を行うことにより事故削減が期待される。

運転支援システムはさまざまな観点から分類可能であるが、ドライバとシステムの関わり合いに基づいて、直接型運転支援システムと間接型運転支援システムに分類することができる。直接型運転支援システムの例として、先行車との衝突危険性を判断して、システムが独自の基準(閾値)に基づいて警報音や警告表示する判断支援や、それでもドライバが危険回避操作を行わない場合には自動ブレーキをかける操作支援などを行う前方車両衝突警報装置(FOCWS)などがある。

それに対して、夜間走行時に赤外線カメラ映像を提示したり、先行車との衝突危険性をリアルタイムに視覚情報提示するなどの認知支援や、道路線形を改良したり、排水性舗装を施すなどの道路単体型の交通事故削減対策のように、ドライバに対して情報提示したり、走行環境を整えるだけで、運転に関する判断や操作には介入せず、あくまでもドライバ自身が判断および操作を行うシステムを間接型運転支援システムとよぶ。認知・判断・操作それぞれのエラーの比率はおおよそ10:2:1であるという報告があり、認知支援のみを行う間接型運転支援システムの効果は十分に期待できる。二種類の運転支援システムと上述の運転行動における三過程の関係を図1に示す。

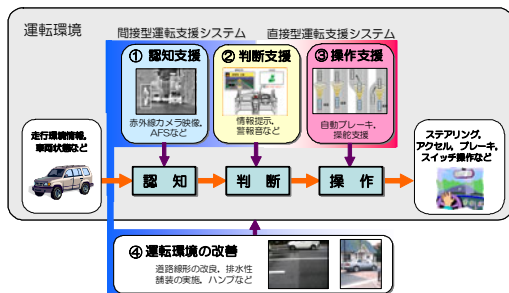


図1 運転行動における三過程と運転支援システム

2. 研究の目的

研究代表者は、これまでに間接型運転支援システムとして、1) 車両状態を反映した触力覚情報提示、2) ドライバの加速度指令値と車両実加速度を同時に提示する視覚情報提示系、3) 先行車との衝突回避に必要な減速度を実時間提示する視覚情報提示系、などを提案し、シミュレータ実験などによりその有用性を示している。しかしながら、これらの研究では、各種感覚刺激に対する刺激閾（刺激の存在を検知できるか否かの限界の刺激強度）や弁別閾（刺激量の相違・変化を検知できる限界の刺激変化量）など、ドライバの知覚特性に関する詳細な分析を行っていない。また、情報提示に基づく間接型運転支援システムでは、あくまでも行為の主体者はドライバであり、システムの効果が持続するためにはド

ライバの動機付けが重要である。そこで、以下に示す4項目を本研究の目的とする。

- (1) ドライバの認知過程における知覚特性の解明：『わかりやすい情報とは?』
- (2) 間接型運転支援システム使用時における負担の測定：『負担の少ない情報とは?』
- (3) 間接型運転支援システム使用時における動機付けの解明：『積極的に使いたくなるような情報とは?』
- (4) 間接型運転支援システムにおける新たな生態学的インタフェースの提案

3. 研究の方法

- (1) 触力覚情報に対する知覚特性の解明と負担の測定

任意の操舵反力を提示可能なステアリング型の触力覚インタフェース（図2）を含むドライビングシミュレータ（以下、DS）を用いて以下の実験を行う。

- ① 操舵反力トルクの飽和に対する知覚特性の解明
- ② パイロンスラロームと定常円旋回という実際の運転環境を模擬したDS実験を行い、操舵反力トルクの大きさの差異が運転行動および主観評価に与える影響の解明

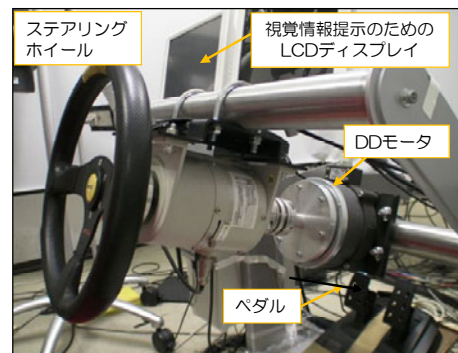


図2 DSにおける触力覚インタフェース

- (2) 視覚情報提示法の違いが負担ならびに運転行動に与える影響の解明

前方障害物との衝突リスクに応じて警報や視覚情報を提示する前方障害物衝突防止警報システム(FOCWS: Forward Obstacles Collision Warning System)において、1) ウィンドシールドディスプレイ(WSD: Windshield Display)を用いる手法(図3(a))、2) メータディスプレイ内に提示する従来手法(図3(b))の比較をDS実験により行う。なお、WSDの枠の色、ならびにメータディスプレイ内のバーの長さは、先行車との衝突リスクに応じて変化する。

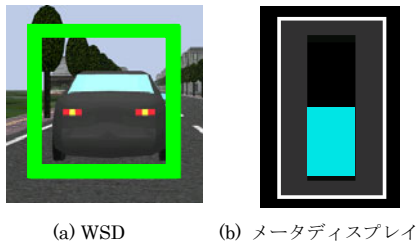


図3 二種類の視覚情報提示法

(3) 間接型運転支援システム使用時における動機付けの解明

省燃費運転を促すことを目的とした間接型運転支援システムを対象として、

- ① パーセントailsスケジュールを用いることでドライバの運転技能に応じた燃費の目標値を提示する
- ② 1分ごとの燃費を目標値と比較することで効力期待を高める
- ③ 燃費目標値の難易度をドライバ自身で設定できる
- ④ 瞬間燃費, 1分燃費, 目標値といった量的KR (Knowledge of Results)と, 通算燃費と過去5分間の目標達成履歴という質的KRの二種類の情報提示をドライバ自身で切替えることができる

といった特徴を有する間接型エコドライブ支援システム (図4) を提案した. このシステムを実装したDS実験を行い, 間接型運転支援システムがドライバの動機付けに与える影響について調べる.

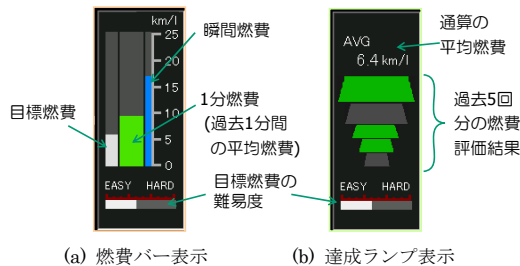


図4 間接型エコドライブ支援システム

(4) 間接型運転支援システムにおける新たな生態学的インタフェースの提案

安全運転を促す間接型運転支援システムとして衝突回避減速度 (DCA: Deceleration for Collision Avoidance) に基づく FOCWS のインタフェース (図5(a), DCA-FOCWS) を提案した. DCAとは前方障害物との衝突を回避するために必要な減速度であり, 本システムでは, DCAの値に応じてバーが伸縮する視覚情報提示と, 閾値を超えると警報が鳴る聴覚情報提示を備える. DCAの値とドライバが踏むべきブレーキペダルの操作量は相関が高く, ドライバは提示された情報と為すべき

行為を直感的に連想することができる.

代表的な衝突リスク指標の一つである衝突余裕時間 (TTC: Time-To-Collision) に基づく FOCWS (図5(b), TTC-FOCWS) と本研究で提案する DCA-FOCWS がドライバ行動に与える影響の違いを, 先行車が急減速する状況のDS実験により比較する (図6).

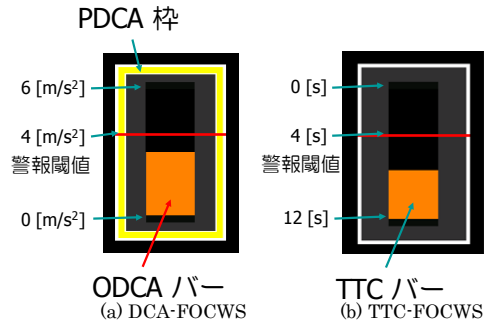


図5 FOCWSのインタフェース

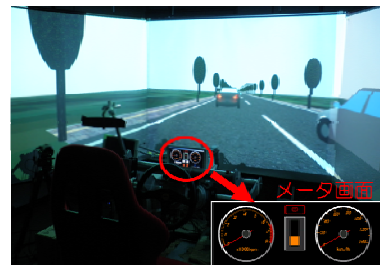


図6 ドライビングシミュレータ

4. 研究成果

(1) 触力覚情報に対する知覚特性の解明と負担の測定

① 操舵反力トルクの飽和に対する知覚特性

周期操舵時に操舵反力トルクが飽和する実験では, 操舵反力トルクが大きくなるにつれてトルクの飽和を知覚しやすいという結果が得られた. その傾向は操舵周波数が高い場合に顕著になるが, 飽和に気づいた場合の反応時間は操舵反力トルクの大きさの影響を受けない傾向にあった.

ステアリングホイールを保持させた状態で操舵反力トルクが減少する実験では, 操舵反力ゲインが極端に小さい場合に, トルク減少の見落としが生じる, ドライバの反応が遅れる, といった結果が得られた.

操舵反力トルクの変化に対する反応時間については, 連続的にトルクが変化する場合には操舵反力トルクの大きさの影響は受けず, 不連続にトルクが変化する場合には操舵反力トルクが極端に小さいと反応時間が長くなるといった結果が得られた.

② 操舵反力トルクの大きさの差異が運転行動および主観評価に与える影響

ドライバが周期操舵を行う状況としてパイロンスラローム実験を行った結果、路面摩擦係数が小さくなることで運転が困難になるほど、操舵反力トルクが極端に小さくなる場合に車両挙動の安定性が低下するという結果が得られた。主観評価においても操舵反力トルクが極端に小さい車両は運転し難いという傾向にあった。

ドライバがステアリングホイールを保持する状況として定常円旋回実験を行った結果、パイロンスラローム実験とは異なり、操舵反力トルクの違いが車両挙動に与える影響は小さいが、操舵反力トルクが極端に小さくなる場合には精神的負担になるという結果が得られた。

以上より、車両挙動の安定性という観点からは、操舵反力トルクが極端に小さいと悪影響を与え、大きくなればなるほど安定性が増すという結果が得られた。主観評価結果も概ね実験結果を裏付けるものとなったが、一部の被験者から「ハンドルが重すぎると思うように動かせない」といった意見も出ており、操舵反力トルクゲインが身体的負担に与える影響については更なる検証が必要である。

車両状態を反映した触力覚情報提示系を有する間接型運転支援システムにおいて、本研究で得られた知見に基づく操舵反力トルクゲインの設定を行うことで、ドライバにとってより容易かつ確実に車両状態を把握できるような操舵反力提示が期待できる。

(2) 視覚情報提示法の違いが負担ならびに運転行動に与える影響

メータ上にバーを提示する従来の手法との比較では、WSD を用いることで衝突リスクの認知が早まり、回避行動も早まることが示された。また、システムについての主観評価では、WSD を用いた提示法の方が視認負荷が少ないという報告が多く得られた。

一方で、視覚情報提示システムに欠報が発生した場合、提示法によらず回避行動に大幅な遅れが生じることが示された。衝突の危険が高い場合に警報音を提示して減速行動を促すような直接型運転支援システムでは、ドライバが警報に対して過信することで欠報時に回避行動（判断）に遅れが生じることが報告されている。これに対して本研究で用いたDCAの視覚情報提示システムは、衝突リスクについて情報提示を行うのみで実際に減速を行うかどうかはドライバが判断する間接型運転支援システムとなっている。上述の結果は、衝突リスクの知覚（認知）の段階でシステムへの過信が生じうることを示唆するものである。

また、欠報時においては、従来のシステムよりもWSDを用いたシステムの場合に、回避行動が遅れてしまう可能性が高いことが示

された。これは、WSDを用いたシステムの方が正報時において有用性が高いため、システムに対する過信が相対的に高くなったことが原因と考えられる。このことは、WSDを用いた視覚情報提示は欠報時においても安全性が損なわれないという仮説に反する結果であり、欠報時の危険性については今後も検討が必要といえる。

(3) 間接型運転支援システム使用時における動機付けの解明

DS実験により、間接型エコドライブ支援システム使用時における動機付けならびに運転行動結果に関して以下に示す結果が得られた。

- ① 提案システムの提示によって、従来の燃費計だけでは省燃費運転を行わないドライバに対しても、省燃費運転が促される。
- ② ドライバ自身が難易度を選択できる場合には、より難しい難易度設定を好む傾向にある。
- ③ 従来の燃費計よりも提案システムの方を活用する。
- ④ 目標値を提示することで努力しようという動機付けが生じる。
- ⑤ 一部のドライバは、運転の習熟が進むにつれて量的KR情報の提示から質的KR情報の提示へ移行する。
- ⑥ 難易度設定や表示の切替操作は精神的負担にはならない。

以上より、ドライバに難易度や提示する情報の種類を選択可能にするという仕組みが、省燃費運転行動をより促しうることがわかった。この結果は、安全運転を促すことを目的とした間接型運転支援システムに対しても適用できることが期待される。

(4) 間接型運転支援システムにおける新たな生態学的インタフェースの提案

DS実験により、DCAに基づくFOCWS使用時において以下に示す結果が得られた。

- ① 先行車が加速した後に急減速するような危険な状況で、TTC-FOCWSよりもDCA-FOCWSの方が衝突回避に有効である。
- ② 一部のドライバにおいて、潜在的な衝突リスクを示すPDCA枠（図5(a)）が出ないように、車速と車間距離を調整するといった自発的な安全運転が促されて、衝突事故の危険性が低減する。
- ③ 「DCA-FOCWSは衝突リスクを適切に評

備できている」「警報のタイミングが適切である」といった主観評価結果が多く得られた。

- ④ 「運転しながら技術向上に励める」といったように、DCA-FOCWS を用いることで安全運転行動に対する内発的動機付けが生じうることを示唆する回答が得られた。

といったことが確認された。

本研究ならびに先行研究で得られた知見をまとめると、ドライバに安全運転を促す間接型運転支援システムにおけるインタフェースの設計指針として以下のような項目が挙げられる。

- ① 安全運転に対するインセンティブを高める。
- ② 有能感を促進する娯楽性を盛り込む。
- ③ 情報を連続的かつマルチモーダルに提示する。
- ④ S-R 適合性を満たすインタフェースにする。
- ⑤ システムの制御則や仕組みを直感的にわかりやすくする。
- ⑥ 錯覚などを利用して知覚リスク量を増加させる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

1. 高田翔太, 平岡敏洋, 川上浩司: , 衝突回避減速度に基づく前方障害物衝突防止警報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. 43, No. 2, pp. 619-625 (2012) [査読有]
2. 平岡敏洋, 熊本博光: 操舵反力トルクの大きさがステアパイワイヤ車両の状態判別性と運転行動に与える影響, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 12, No. 2, pp. 95-106 (2010) [査読有]

[学会発表] (計 10 件)

1. 高田翔太, 平岡敏洋, 川上浩司: 衝突回避減速度の視覚情報提示法に関する考察, 計測自動制御学会第 39 回知能システムシンポジウム, 千葉大学 (千葉市) 2012/3/16
2. 平岡敏洋, 西川聖明, 塩瀬隆之, 川上浩司: 自発的な省燃費運転行動を促すエコドライブ支援システム, 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会 2011, 国立オリンピック記念青少年総合セン

ター (東京都渋谷区), 2011/11/23

3. T. Hiraoka, S. Nishikawa, H. Kawakami: Driver-assistance system to encourage spontaneous eco-driving behavior, 18th World Congress on Intelligent Transport Systems, Orlando Orange County Convention Center (Orlando), 2011/10/21
4. 高田翔太, 平岡敏洋, 川上浩司: 衝突回避減速度に基づく前方障害物衝突防止警報システムが運転行動に与える影響, 自動車技術会秋季学術講演会, 札幌コンベンションセンター (札幌市), 2011/10/14
5. T. Hiraoka, S. Takada, H. Kawakami: Forward obstacles collision warning system based on deceleration for collision avoidance, SICE Annual Conference 2011, 早稲田大学 (東京都新宿区), 2011/9/14
6. 西川聖明, 平岡敏洋, 達成動機づけ理論に基づくエコドライブ支援システム, 第 9 回 ITS シンポジウム 2010, 京都大学 (京都市), 2010/12/11
7. 平岡敏洋: 安全運転行動を促す間接型運転支援システム, 平成 22 年度日本人間工学会関西支部大会, 大阪工業大学 (大阪市), 2010/12/5
8. T. Hiraoka, S. Nishikawa, S. Yamabe, S. Matsumoto: Sustainability verification of eco-driving behavior based on driving simulator experiments, 17th World Congress on Intelligent Transport Systems, BEXCO (韓国・釜山), 2010/10/26
9. 平岡敏洋, 草部英典, 熊本博光: 操舵反力トルクの大きさが SBW 車両の運転行動に与える影響, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2009, お茶の水大学 (東京都文京区), 2009/9/4
10. T. Hiraoka, H. Kusabe, H. Kumamoto: Experimental evaluation on effect of steering reactive torque of SBW vehicle on driving behavior, ICROS-SICE International Joint Conference 2009, 福岡国際会議場 (福岡市), 2009/8/21

[図書] (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況（計0件）
なし

○取得状況（計0件）
なし

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

平岡 敏洋 (HIRAOKA TOSHIHIRO)

京都大学・情報学研究科・助教

研究者番号：30311749

(2) 研究分担者

なし