

ドライバの認知判断に関する支援システムについて

自動車安全研究領域 森田和元，関根道昭，岡田竹雄

1. はじめに

自動車の ITS 技術の普及に伴い，ドライバの利便性を高め，安全性を向上させる目的で，さまざまな支援システムが搭載されるようになってきている．この支援システムに関してはプリクラッシュセーフティのようなパッシブセーフティに関連するものから，アダプティブクルーズコントロール，レーンキープアシストシステム等のアクティブセーフティに関連するものまで幅が広い．このような各種支援システムが実際にドライバに使用されその機能を十分に発揮するためには，安全性に寄与することはもちろんのこと，ドライバが安心して利用できるような受容性の高いものである必要がある．

ここで，ドライバの運転行為は，認知・判断・操作の繰り返しから構成されており，その各段階での車両側からの支援が考えられる．本稿では，各種支援システムの中で，特に認知・判断にかかる支援システムをとりあげ，当研究所でのこれまでの研究成果を紹介しながら，その特徴，今後の検討課題について概説する．

2. 視覚援助システム

ドライバはその情報のほとんどを目からの視覚情報によって得ているといわれている．そこで，最初に認知に関する支援システムとして，視覚に関する支援システムの検討例を述べる．

2.1 アダプティブ・フロント・ライティングシステム(AFS)

夜間の前方視認性を向上させる目的で，カーブ走行時等において前照灯の照射方向を可変とする新しい技術が導入されている．カーブ走行時にドライバが見ようとするカーブの先の方向を照射するものであり，安全性を向上させることが期待できるものの，対向車ドライバにとって眩惑（以下「グレア」とい

う）を与えるものになってはいけない．従って，想定される AFS 搭載車に関して走行実験を行ってグレアの主観的な評価を行うとともに，実験データを基にしてシミュレーション解析⁽¹⁾を行い，グレアのレベルの評価を行った．

ここで，ドライバのグレアのレベルについては表 1 のものが一般に使用されている⁽²⁾．このグレア評価値については，値が小さくなるほどグレアが厳しいと評価されるものであり，4 以下であればグレアの問題があると考えられている．

Table 1 Scale for discomfort glare assessment

Assessment	Glare rating W
Unbearable	1
	2
Disturbing	3
	4
Just admissible	5
	6
Acceptable	7
	8
Noticeable	9

グレアに関する実験は図 1 に示すようなレイアウトで行った⁽³⁾．夜間のテストコースにおいて，停止した観測車両に，下記条件の前照灯（すれ違いビーム）を有する試験車両がカーブにそって接近する状況であった．ここで AFS 配光を想定した場合には，試験車両にとって右カーブ路走行となる場合よりは，左カーブ路走行となる場合の方が，対向車両に対するグレアがより大きくなるので⁽⁴⁾，このような実験レイアウトとした．前照灯の実験条件は，

(1)標準配光（カットオフラインが 0.57 度下のもの）

(2)AFS 配光（左右の前照灯とも左側へ 10 度照射方

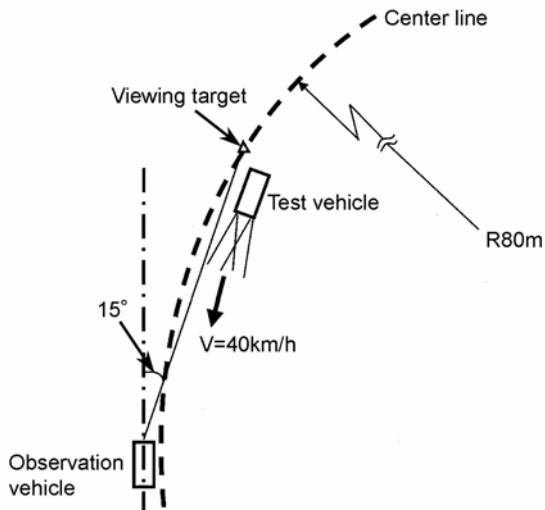


Fig.1 Layout of test conditions

向を向けたもの)

(3)上向き配光 (標準配光から1度上向きにしたもの)

の3種類として、観測車両に搭乗した観測者のグレアの主観的な評価のほか、配光特性を基にして下記の評価式によって解析を行った。

この式は H. -J. Schmidt-Clausen と J. Th. H. Bindels によるモデル式⁽²⁾であって、表1に示す de Bore の不快グレアの評価値Wを計算する。なお、計算時に式中使用する順応輝度は 1.0cd/m^2 と仮定した。

$$W = 5.0 - 2 \log \sum_{i=1}^n \frac{E_{Bi}}{C_{poo} \left[1 + \sqrt{\frac{L_u}{C_{pL}}} \right] \theta_i^{0.46}} \quad \dots(1)$$

ここで、

n : ランプの数

E_B : ドライバの眼前照度 (lx)

L_u : ドライバの順応輝度 (cd/m^2)

: ドライバの視線とランプ方向のなす角度 (min)

$C_{poo} = 3.0 \times 10^{-3} \text{ lx min}^{-0.46}$

$C_{pL} = 4.0 \times 10^{-2} \text{ cd/m}^2$

観測者6名によるグレアの主観的な評価結果に関しては、上向き配光が最もグレアを感じ、AFS配光が最もグレアを感じないという結果となった⁽³⁾。

また、シミュレーションによるグレアの計算結果を図2に示す。横軸に関しては対向車が100m前方

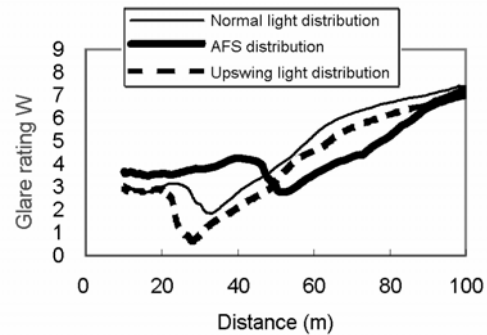


Fig.2 Simulation results of discomfort glare (Adaptation luminance: 1.0cd/m^2)

より接近してくる(横軸の右から左側方向)ことを表し、縦軸はグレア評価値である。この図から、グレア評価値が4以下となる部分について、AFS配光の場合の方が少ないことがわかり、観測者の評価結果と一致した。従って、グレアの観点からAFSの方が現行の前照灯よりも有利であることが確認できた。現在、カーブ走行時に照射方向を可変とするシステムは一部の車両に実用化されている。

なお、AFSに関しては、カーブ走行時に照射方向を可変とするシステム以外にも、高速走行時に上下方向の照射方向を変化させて、より前方まで照射させる配光であるとか、雨天等の悪天候時に路面の反射によるグレアを抑止するための配光であるとかが検討されている。この新しいAFS技術については、現在国際的な場での基準化作業が進められており、近い将来に市場に導入されることが予想される。このAFSの技術は夜間走行時の運転を容易にするものであり、視覚機能が低下する高齢ドライバーにとってより安全な車となることが期待できる。

2.2 夜間暗視システム

夜間走行時には対向車へのグレアを避ける目的ですれ違いビームで走行するケースが多いが、その場合には前方の照射範囲が短くなり、歩行者等の認知が遅くなるおそれがある。この点について改良するために、赤外線カメラを利用して歩行者等の検知を早い段階から行いドライバーに警報しようというシステムが開発されている。

このシステムで利用される赤外光に関しては、波長が800~1,200nmあたりの近赤外方式と6,000nm以上の遠赤外方式とがある。近赤外方式については対象物に向けて専用のランプにより近赤外光を照射して、その反射した近赤外光を感知するものであり、



Fig.3 Infrared images

一方、遠赤外方式については、対象物の放射熱を感じ取るものである。両者ともそれぞれ特徴があり、実際に両方式とも実用化されている。

ここで、著者らがテストコースにおいて撮影した3種類の画像(可視画像,近赤外画像,遠赤外画像)を図3に示す。必要なカメラ類は停止した自車両のボンネット上に置いて撮影した。実験時には、対向車両はすれ違いビームを点灯して自車両から100m離れた位置に停車させ、自車両から70mの地点を右から左方向に向かって歩行者が横断した。また、自車両はすれ違いビームを点灯していた。この実験条件では、肉眼で歩行者を認知することは困難であった。

この3枚の画像からそれぞれの特徴を記述すると、可視画像では70m離れた地点を横断する歩行者を検知することはほとんど不可能であるものの、近赤外画像、遠赤外画像では歩行者を検知することが可能である。ここでは、遠赤外画像よりも近赤外画像の方が歩行者が検知しやすい写真を示しているが、実験条件によるので一般的にどちらの方が検知しやすいとはいえない。近赤外画像に関しては、近赤外ランプにより前方を照射しているため、その照射可能範囲によって検知可能な距離が限定される。また、

遠赤外画像については、対象と背景の温度差が視認性に関係してくる。今回の実験条件では、撮影時の外気温は約28度であり、歩行者の温度と近い状況であった。外気温が低い場合には、歩行者との温度差が生じるので、画像として認識しやすくなると考えられる。また、対向車両の前照灯に関しては、遠赤外画像の場合にはハレーションを起こしていないものの、可視画像、近赤外画像については前照灯のハレーションが認められる。

この夜間暗視システムを利用して夜間走行時の安全性が向上すると期待できるものの、問題となるのは、検知技術よりもその検知情報をどのようにドライバに伝達するかということである。赤外カメラによる映像をそのままドライバに呈示することは、ドライバにとって注意すべき視対象の数が増加することになり、かえって認知判断の混乱の原因となることが考えられる。このため、歩行者について強調化する等の処理を行った方がドライバの認知に適するものと考えられる。ドライバに対する最適な情報の伝達手段については今後も検討の必要がある。

3. 情報提供システム

前述のAFSに関してはドライバが直接認知することを容易にするシステムであり、夜間暗視システムに関しては、ドライバの目の部分を車両側が代行する機能であるといえる。赤外線カメラ以外にも通常の可視カメラ、ミリ波レーダ、超音波センサ等によって認知機能を代行するシステムが導入されている。この場合に問題となるのは、車両側で検知した情報をどのようにドライバに提供するかということである。

最も初歩的なシステムは、車室内の液晶ディスプレイ等の表示装置に情報を視覚的に呈示するものである。しかし、この表示装置を見ることによって、わき見運転を誘発することにもなりかねない。従って、最初に、わき見による問題について実施した研究成果を示す。

3.1 わき見時の問題点

著者らが12名の被験者を用いて実施した走行実験によれば、市内を走行しているときのナビゲーション画面に対するわき見の頻度は図4に示すとおりであった⁽⁵⁾。そのときの表示画面に対するわき見時間の平均は0.94秒(SD:0.25秒)であった。

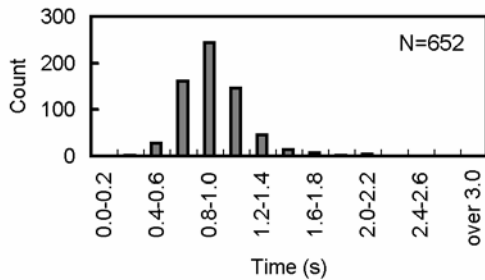


Fig.4 Histogram of glance duration time when looking aside to in-vehicle navigation display

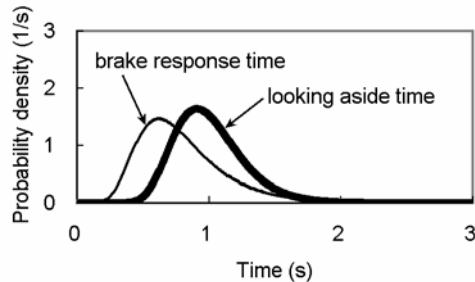


Fig.5 Probability density of looking aside time and response time after looking back to the front

この結果について、時間を常用対数に変換したときの頻度分布が正規分布であることが確認できたので、その確率密度を対数正規分布で近似した結果を図5の太線に示す。なお、今後、対数正規分布における平均と標準偏差とを対数平均と対数標準偏差ということにする。今回のわき見時間の分布を求めるための対数平均は-0.042、対数標準偏差は0.112であった。図5の太線から求めた実時間における平均は1.00秒であり、2秒以上のわき見をする確率は0.3%であった。また、正面前方に視線を戻してからブレーキペダルを踏むまでの時間の確率密度を、過去の実験結果⁽⁶⁾を基にして図5中の細線に示す。これは、表示装置から前方に視線を戻した時点からブレーキペダルを踏むまでの時間を対数正規分布（対数平均-0.206、対数標準偏差0.176）に基づく確率密度分布で近似したものである。

ここで、一般に、車室内の下方方向に取り付けられた表示画面を見ているときは前方の異常に気がつきにくいことを実験により明らかにしている⁽⁷⁾、正面前方に視線を戻して初めて異常に気がつく想定する。この前提の基に、わき見をすることがどの程度リスクになるのかの評価を行った。

図6に示すように、わき見を行っているときに実際に問題となるのは、前方の異常事態が発生して(図中B時点)から、ドライバがブレーキを踏む(D時

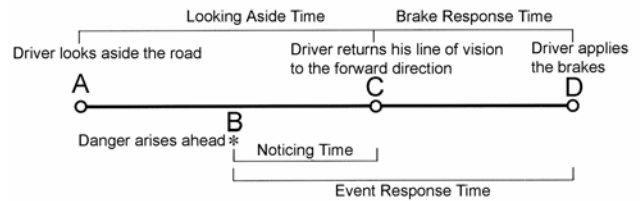


Fig.6 Time model for braking operations

点)までの時間である。この時間の分布を確率的に考慮することにより、前方で危険事態が発生したときから、ドライバが実際にブレーキペダルを踏むまでの時間を理論的に求めることが可能である^(6,8)。すなわち、図5に示すわき見時間の確率密度と、正面前方に視線を戻してからブレーキペダルを踏むまでの時間の確率密度とから、B時点とD時点との間の時間を求めることが可能である。

図7中の細線はこの計算結果を示す。この結果に関して、通常わき見を行っているときのブレーキ反応時間の遅れは平均で1.30秒であった。また、異常が発生してからブレーキペダルを踏むまでの時間が2秒を超える確率が7.6%ある。つまり、ドライバが危険がないと思っている程度の通常の短い時間のわき見であっても、ブレーキを踏むのが遅れる場合があると推測される。わき見時間が長い場合には、さらにそのリスクが高くなり、事故につながる事となる⁽⁹⁾。以下に、わき見によるリスクの低減方策を3つ示す。

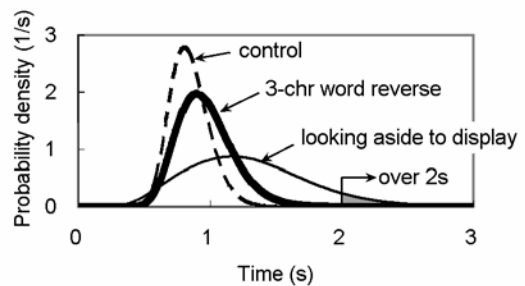


Fig.7 Probability density of brake response time

3.2 わき見によるリスク発生についての改善方策

3.2.1 視覚的改善方法(リスクの発生しにくい構造)

わき見によるブレーキ操作の遅れのリスクを低減させるための方策の一つは、表示位置をできるだけ正面前方に近い位置にすることである。視界の妨げにならない範囲で、上に設置するのが望ましい。

また、ウィンドシールドを利用して表示するヘッドアップディスプレイ(HUD)を使用すれば、視線が

前方方向になることから、さらに気づきやすくなると考えられる。

ただし、HUDの技術は潜在的な可能性を多く含んでいるものの⁽¹⁰⁾、明るい昼光下では十分なコントラストがとれないため像が見づらくなるという欠点や、ダッシュボード内部のスペースの確保が困難であるという欠点、あるいは、ドライバにとってコストに見合うだけの表示内容が考えにくいという問題により、現時点では広く普及が進んでいるわけではない。

しかし、将来的に見れば、ウィンドシールドの全面を使用して、警報あるいは道路ナビ等の表示を行うことにより、ドライバにとっての利便性を高めていくことが可能であり⁽¹¹⁾、そのためには、適切な表示色、背景と混色する場合の見え方、表示位置の許容範囲等についての検討が今後、必要であると考えられる。この点に関して、日本国内のみならず国際的にみても十分な議論が行われているわけではない。

3.2.2 わき見頻度の低減（リスクの発生頻度の低減）

前述の市内走行時の経路誘導を行う際に、カーナビゲーション装置を見させるという視覚的な情報だけを与える場合と、交差点の前で音声により経路誘導のための追加情報を与える場合との2種類を行っていた⁽⁵⁾。音声による補助がある場合でも、一回あたりのわき見時間は0.93秒（SD:0.25秒）となり、視覚情報だけの場合と同じであった。このことは、ドライバが一回のわき見で許容する時間が、平均で約1秒であるということを示す。

しかし、音声による補助を行った場合には、表示装置に対するわき見回数が大きく減少した。市内走行実験の結果では、視覚のみの場合には14.4秒に一回の割合でわき見を行い、音声補助のある場合には24.1秒に一回のわき見を行っていた⁽⁵⁾。わき見を一回行う際のリスクは変わらないにしても、わき見の発生頻度が約半分になったということであり、安全性向上に有効であったと考えられる。

3.2.3 負荷時の反応時間の遅れの短縮（一回あたりのリスクの低減）

視覚的に情報を呈示する場合には、ドライバの注意が表示装置の方に向くことになりわき見となるのは避けられない。しかし、音声によって情報を与える場合には、わき見行為を引き起こさないでリスクは低減する。しかし、「意識のわき見」といわれるような、ディストラクション(distraction)が発生する

という心配がある。この点について、著者らは、ドライビングシミュレータを用いて、14名の参加者に言語的負荷を与えたときの反応時間の遅れについて調査した⁽¹²⁾。

音声情報による負荷を与えているときに、先行車両のストップランプが点灯して減速するという状況を作り、そのときの後続車ドライバ（被験者）のブレーキ操作の遅れを解析した。先行車両のストップランプ点灯時からブレーキペダルを踏むまでの時間の分布を求めて、それを基にして確率密度を計算した。このときの音声情報の負荷については実験者側から呈示される単語に対して言語的に反応させるという課題とした。音声情報による負荷については、暗算を行わせるもの、日常的な会話を模擬したもの、ナビゲーションを想定した空間的内容を含むもの等が行われているが、今回は、純粋に言語的な負荷で実験を行った。

言語負荷のうち、3文字単語を逆さに回答させるという負荷（例：「ラジオ」という単語に対して「オジラ」と回答する）を与えたときの結果を図7の太線で示す。また、この図には言語的負荷を与えないときのコントロール条件（正面前方を向いているとき）の反応時間の結果例（破線）も示している。図7中には、前述のように、通常のみわき見時の反応時間の結果（細線）も示されている。

反応時間の平均を3者で比較すると、コントロール条件では0.85秒、言語的負荷の場合は0.97秒、通常のみわき見の場合には1.30秒となり、少しずつ大きな値となった。しかし、わき見を行っているときに特別に大きな値をとるわけではない。

しかし、わき見を行っているとき（図7中の細線）には、グラフが右方向に伸びている傾向がある。そこで、2秒を超える割合を見ると、コントロール条件では0.0%、言語的負荷の場合にも0.0%であるにもかかわらず、通常のみわき見の場合には7.6%の割合となった。

この点から考えると、わき見を伴わない音声情報を利用するほうが安全性向上に寄与することが理解できる。ただし、1.5秒以上の遅れという状況を考えてみると、音声情報の場合であっても2~3%の確率となり、コントロール条件（正面前方を向いているとき）と比較すれば危険度が増していると理解された⁽¹²⁾。

すなわち、音声情報による場合には、正面前方の

集中している場合に比べれば反応時間は遅れるものの、通常行われる実際のわき見と比較すると遙かに危険度は低いと考えられる。ただし、音声情報についても、理解しやすさ等の点から望ましい呈示方法が検討される必要がある。

3.2.4 わき見によるリスクの低減方策のまとめ

車載の表示装置に対するわき見によるリスクに関して、以下の方法によりそのリスクを低減することが望ましい。

- (1) 視覚的には表示位置を上の方に設置すること、あるいは、HUDを採用することにより、リスクが発生しにくい構造とする
- (2) 音声補助によってわき見の頻度を少なくして、リスクの発生回数を少なくする
- (3) 音声により理解しやすい情報を呈示することによってリスクのレベルそのものを低減させる

4. まとめ

認知に関係する支援システムについて、最初に、視覚機能を直接援助する AFS 技術、視覚機能を代行する夜間暗視システムについてその動向と研究成果を概説してその特徴を明らかにした。今後も車両側の周囲状況の検知技術についてはますます進展するものと考えられるが、その情報をどのようにドライバに伝達するかという問題が残る。この点に関して、わき見運転の問題について明らかにした。すなわち、視覚的に情報を提供する場合にはわき見運転を誘発するおそれがあるので、音声情報、警報等を有効に使用することが望ましく、また、ヘッドアップディスプレイ(HUD)を有効に使用するのも解決方策の一つと考えられる。

また、ドライバに対して警報を与えて注意喚起を行う場合に、安全性を重要視して警報を与える機会が多くなるような設定とすると、ドライバにとってはかえって煩わしいシステムとなり使用されなくなるおそれがある。ドライバの状態、意図を推定して、警報を呈示するタイミングを変更する等のきめ細かい支援システムとなることが望ましい。

最後に、本文中の赤外画像については、宇都宮大学阿山研究室との共同研究によって得た画像である。ここにあらためて阿山みよし教授ほか協力して頂いた方々に感謝の意を表したい。

参考文献

- (1) 益子, 森田, 岡田: 眩惑状況シミュレーション解析ソフトウェアの製作について, 平成 14 年度交通安全環境研究所研究発表会講演概要, pp.97-100 (2002)
- (2) H. -J. Schmidt-Clausen, J. Th. H. Bindels: Assessment of discomfort glare in motor vehicle lighting, *Lighting Research and Technology*, Vol. 6, No.2, pp.79-88 (1974)
- (3) 岡田, 森田, 益子, 関根: 可変配光前照灯 (AFS) が対向車ドライバに与える眩惑状況の解析 (第 2 報), 平成 15 年度交通安全環境研究所研究発表会講演概要, pp.89-92 (2003)
- (4) 益子, 森田, 岡田, 関根: 可変配光前照灯 (AFS) が対向車ドライバに与える眩惑状況の解析, 平成 14 年度交通安全環境研究所研究発表会講演概要, pp.79-84 (2002)
- (5) 森田, 益子, 岡田, 坂本: 自動車用ナビゲーション装置の表示画面に対する運転者の注視行動, 交通安全公害研究所報告, 第 29 号, pp.17-24 (2000)
- (6) K. Morita, J. Mashiko, T. Okada: Theoretical analysis of delay in braking operation when drivers looking away from the road ahead, *SAE technical paper No.2000-01-0173*, pp.1-10 (2000)
- (7) 森田, 益子, 岡田: 自動車の車室内表示装置を注視することによる反応時間の遅れについて, *照明学会誌*, Vol.82, No.2, pp.121-130 (1998)
- (8) 森田, 益子, 岡田: わき見運転時のブレーキ操作の遅れに関する考察, *自動車技術会論文集*, Vol.33, No.3, pp.161-166 (2002)
- (9) 田久保, 木平, 星, 小島: 運転者行動に及ぼすカーナビゲーション装置の影響, *自動車技術会学術講演会前刷集 No.106-01*, pp.9-12 (2001)
- (10) (社)照明学会発行: ヘッドアップディスプレイの技術評価に関する研究調査委員会報告書, (2005)
- (11) 浅田, 高橋, 寺村, 岡田, 中村, 神谷: ITS の進化に伴う HMI のあり方, *自動車技術*, Vol. 60, No.2, pp.70-75 (2006)
- (12) 森田, 関根, 岡田: ブレーキ反応時間に及ぼす発話思考負荷の影響, *自動車技術会学術講演会前刷集 No.102-06*, pp.5-10 (2006)