

車載器ベースの合流部安全走行支援システムのHMIに関する研究*

A Study on Human Machine Interface for the In-vehicle Driver Assistance System at Merging Sections*

清水哲夫**・左磊***

By Tetsuo SHIMIZU**・Lei ZUO***

1. はじめに

2004年のスマートウェイ推進会議による“セカンドステージITS”の提言に基づいて、2007年10月にDSRC技術を活用したスマートウェイ実証実験が首都高速道路において行われた。この中に、合流部の安全走行支援システムが含まれている。これは、特定の合流部に接近する本線走行車両に対して、DSRC技術により専用車載器に合流車の接近情報が提供されるサービスである。このサービスは「情報を与えても重大なエラーが生じない」ことを初期の目標に、リスクの相対的に小さい本線走行車両への情報提供が行われる予定である。そのため、サービス開始後に車載器の利用率が増加する局面でどのようなコンテンツを提供すればよいのか、その戦略を検討しておく必要がある。

筆者らは、過去に首都高合流部等における走行支援情報システムの一連の研究^{1)~5)}を実施してきたが、車載器型サービスよりはガイドランプや可変情報板等のインフラ設置型サービスに力点を置き、また、情報提供先は本線走行車両ではなく合流車両に特化してきた。なお、先行研究⁵⁾ではインフラ設置型サービスと車載器型サービスの効果比較を初期的に行い、車載器や可変情報板よりはガイドランプの方が交通流の円滑化を実現できる可能性が高いことを示している。

本研究は、車載器型サービスが実道展開する現状を鑑みて、車載器型サービスに特化してそのHMIのあり方を検討するための分析を行うことを目的とする。

2. サービスのHMI検討

(1) HMI検討の論点

先行研究⁵⁾では、車載器を用いた情報提供のHMI設計の留意点について整理している。煩雑な操作をしながら

一瞬の判断をさせる必要があることから、視線が頻繁に移動するようなサービスは極力避けるべきであり、文字や画像による情報提供だけでなく、音声によるものと併用する必要がある。

次に、提供情報レベルを検討する必要がある。情報レベルは、大別して存在情報、警告情報、位置情報、推奨情報の4種類があると考えられる。

存在情報は、合流車への対応の必要性を瞬時に判断させるのに役立つ。合流車がいなくてわかっているだけで、さほど速度を落とすことなく合流部を通過することが可能であり、いるとわかっているだけで、早期の対応行動を促すことが可能である。

警告情報は、「いるか、いないか」という存在情報に、さらに「いるから注意しなさい」というようにより注意レベルを引き上げる効果が期待できる。しかし、情報に敏感なドライバーの必要以上の対応を促してしまう可能性も考えられる。

位置情報は、存在情報にさらに「いる場合はどこにいるか」という要素を加えたより複雑な情報と位置づけられる。運転スキルのあるドライバーにとっては、より高度な判断が可能となり、合流車がある場合でも最低限の運転操作でスムーズに合流できるなどの効果が期待できる半面、スキルのないドライバーの場合は情報が複雑すぎてネガティブな影響が出ることも予想される。

推奨情報は、「いないから減速しなくてよい」や「いるから減速しなさい」というように、存在情報に併せてそれに対応する具体的な行動まで提示をするより高度な情報である。ただし、後者については、警告情報と同様の過敏な対応行動を促す可能性は高い。前者については、情報の信頼性が非常に高くないと、逆に危険な情報になってしまう恐れがある。

(2) 分析対象とするHMI

以上の考察を踏まえて、本研究では以下に示すように、「存在情報」と「警告+推奨情報」の2つの情報レベルを比較対象として設定した。

図-1(a)は合流車に対するHMI、図-1(b)は本線車に対するHMIを示す。これらのデザインはスマートウェイ実証実験の合流支援情報のそれをベースとしている。存在情

*キーワード：ITS、交通制御

**正員、博(工)、東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻准教授（東京都文京区本郷 7-3-1, Tel: 03-5841-6128, e-mail: sim@civil.t.u-tokyo.ac.jp)

***非会員

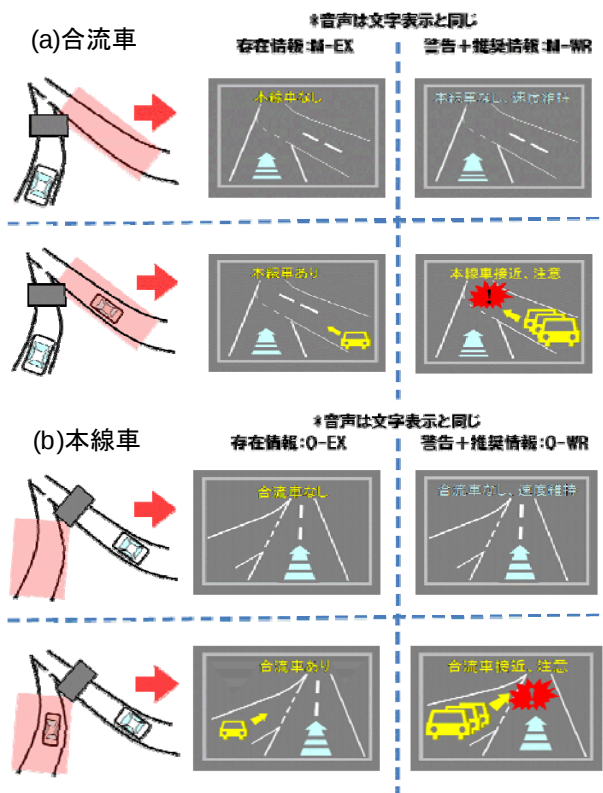


図-1 車載器画面と音声

報は単に本線車（合流車）がいるかいないかのみの情報を提示する。警告+推奨情報は、本線車（合流車）がない場合には減速せずに流入させることを目的に「本線車（合流車）なし、速度維持」という情報を提示し、いる場合には注意を喚起するために「本線車（合流車）接近、注意」という情報を提示する。これらの画像情報とともに、文字表示と同じ音声情報を同時に提供する。

3. 被験者による走行実験の概要

(1) 分析対象の合流部と利用システム

本研究が対象とした合流部は、先行研究^{4,5)}と同様に首都高谷町ジャンクションの3号渋谷線入りから都心環状線外回り方向の合流部である。

安全走行支援システムの効果分析には、やはり先行研究^{4,5)}と同様にドライビングシミュレータ(DS)を用いる。図-2のように、装置中央に実物と同じ車体を配置し、映像スクリーンは前方3画面、左右側方2画面、右後方1画面、左後方1画面、後方1画面からなる8画面で構成され、これらのスクリーンに対して10台の映像用プロジェクタから走行映像が投影され、周囲に360度に8面のスクリーンを設置したものである。各スクリーンには、模擬視界発生装置(PCVSL) 10台により走行場面の画像をリアルタイムで作成し、プロジェクタを通じて投影する。車体には油圧の6軸動揺装置(モーション機構)が取り付けられており、運転操作や線形条件に合わせて車体を

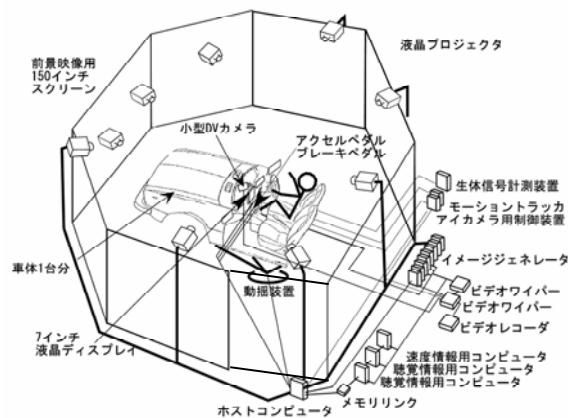


図-2 使用したDSシステム

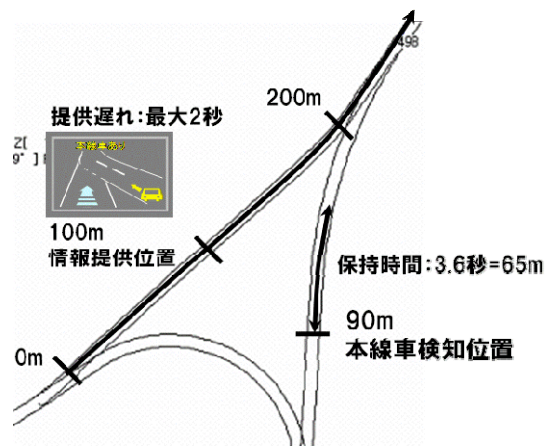


図-3 情報提供位置の設定状況(合流車の場合)

自由に動かすことが可能である。DS車内のダッシュボードに車載画面を取り付け、走行支援システムの提供情報として後述の画像と音声を提供される。

(2) 車載器HMIのDSへの実装

情報提供位置の設定については、先行研究やスマートウェイ実証実験での設定を考慮して、概ねハードノーズに到達する5秒前に情報が提供されるようにした。その概要を図-3に示す。情報はスマートウェイ実証実験と同じ方法で提供するように情報提供プログラムを作成した。すなわち、合流車線および本線車線それぞれについて、図-3の100m地点にDSRCビーコンを設置し、本線車線は90m、合流車線は110mの位置に通過車両を検知するセンサーがある。100m地点にDSRCビーコンを設定した意図は、DSシステムの計算負荷等により、情報提供遅れが最大2秒と確認されていたためである。本線車（合流車）を検知したときの情報の保持時間（情報の誤提供を防ぐために車両の通過情報を記憶しておく時間）は3.6秒とした。

(3) 実験内容

DSの走行実験は17名の被験者(A~Q)に参加してもら

表-1 実験のシナリオ設定状況

1日の走行シナリオ×2回の48回走行

情報内容	交通密度	走行回数
M-WO	小	2(1度目だけ遭遇)
M-EX	小	2(1度目だけ遭遇)
M-WR	小	2(1度目だけ遭遇)
M-WO	大	2(1度目だけ遭遇)
M-EX	大	2(1度目だけ遭遇)
M-WR	大	2(1度目だけ遭遇)
O-WO	小	2(1度目だけ遭遇)
O-EX	小	2(1度目だけ遭遇)
O-WR	小	2(1度目だけ遭遇)
O-WO	大	2(1度目だけ遭遇)
O-EX	大	2(1度目だけ遭遇)
O-WR	大	2(1度目だけ遭遇)

WO: 情報なし

アンケート③: 支援システムの総合評価
アンケート④: 運転経験・個人属性

- ← 質問①: 情報の有無の評価
- ← 質問②: 「存在」と「警告+推奨」の評価
- ← 質問③: 密度が評価に与える影響
アンケート①: 合流車情報の総合評価
- ← 質問④: 情報の有無の評価
- ← 質問⑤: 「存在」と「警告+推奨」の評価
- ← 質問⑥: 密度が評価に与える影響
アンケート②: 本線車情報の総合評価

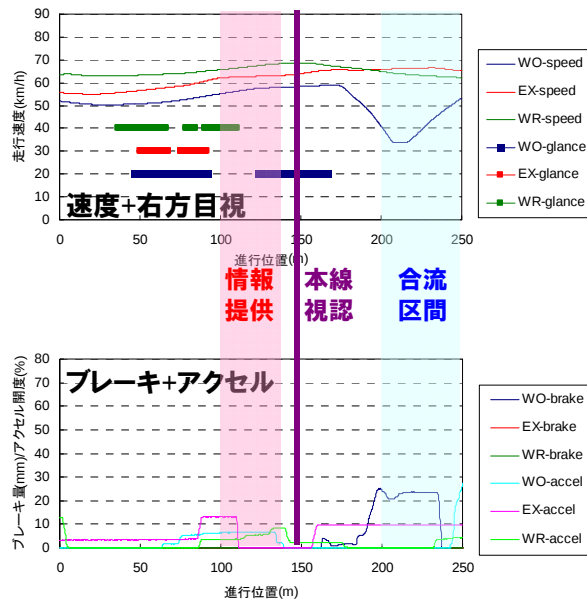


図-4 車両挙動・運転操作関連図
(被験者Q, 合流車, 密度小, 本線遭遇なし)

った。平成19年11月～平成20年1月にかけて、各被験者は2日間で48回の対象合流部の走行を実施した。被験者は、年間走行距離が100kmの人から20,000km程度の人まで幅広い構成となっており、首都高の走行経験については、「無」が6名含まれている。以降の分析では、必ずしも運転歴にはこだわらず運転頻度や高速道路利用状況等を考慮して、5名(A～E)を“運転が上手(Skilled)”，12名(F～Q)を“運転が下手(Unskilled)”と分類している。

表-1に実験のシナリオ設定状況を示す。走行車線（合流車線・本線車線）、情報内容（無:WO・EX・WR）、交通密度（大・小）、遭遇条件（ハードノーズ到達時の遭遇の有無）で分類している。実験中に6つの質問と4つのアンケートを実施し、情報レベルに対する理解度や選好について詳細に主観評価データを取得した。

交通密度については、本線・合流車線ともに、大は25台/km(車頭距離40m)、小は10台/km(同100m)と設定した。被験者には各シナリオにおける密度の大小は事前に

伝え、流入先の混雑レベルを意識させる。各密度条件とも、車種を適度にばらつかせた等間隔の車列を形成し、これらが本線では65km/h、合流車線では60km/hで定速走行するように設定した。被験者車両の前方100m(密度小)または40m(密度大)の位置に先行車両があり、これと距離を保って追従するように指示した。車両が谷町ジャンクション区間に入り、ある地点を通過したら、予め設定されている位置から上記車列を発生させることにより、合流車および本線車への遭遇の有無を適切にコントロールすることを試みた。

4. 被験者の走行状況に関するマイクロ分析

(1) 車両挙動・運転操作関連図

全被験者による全走行を図-4に示すように表現する。これはある被験者が合流車として走行した場合のものであり、横軸が図-3の位置を示し、位置別の走行速度と右方目視（被験者の顔面を録画し、右ミラーを見たり振り向いて右側後方を直接確認したりした状況を抽出）を上側のグラフに、位置別のブレーキ踏み込み量とアクセル開度を下側のグラフに示したものである。本研究ではこれを「車両挙動・運転操作関連図」と称す。

(2) 合流車：運転スキルの影響

図-4は、Unskilledの被験者Qが密度小で結果的に本線車と遭遇しないシナリオで合流車として走行した場合の、WO・EX・WRの走行状況を示している。解釈を容易にするために、情報提供位置、本線視認可能位置、合流区間位置が示されている。WOの場合には、本線視認後に遭遇する本線車がないにもかかわらず合流区間までの間で比較的大きく減速しているが、急なブレーキ操作は見られていない。EXやWRでは、本線車がないという情報を確認してスムーズに合流を完了したことが見て取れる。この時、情報を信頼して150m地点での右方目視が行われていない。

グラフは割愛するが、Skilledについては基本的にどの情報レベルでも著しい速度減少は見られず、情報提供によって確認作業がおろそかになることはなかった。本線車が来ないという情報により、合流区間までの走行速度も徐々に上昇するケースが多い。

(3) 本線車：運転スキルの影響

グラフは割愛するが、Unskilledは警告的な情報を入手して実際に合流車を間近で確認するとやや過剰な減速反応を示す可能性を確認された。

表-2 客観指標・項目による評価の結果

目的	評価指標・項目	存在情報				警告+推奨情報			
		密度小		密度大		密度小		密度大	
		S	US	S	US	S	US	S	US
安全	危険事象	無	無	無	無	無	無	無	無
快適	全区間での最大減速度	◎	△	○	×	○	○	○	○
渋滞緩和	本線車との速度差	○	△	◎	×	○	○	○	△

◎:問題ない, ○あまり問題ない, △望ましくない, ×避けるべき

5. 集計分析

(1) 情報提供レベルに対する主観評価

表-1のように、情報提供レベルに関する被験者の主観評価を尋ねている。情報内容に対する理解度と信頼度に関する評価についてSkilledとUnskilledで比較した。グラフは割愛するが、Skilledは情報提供レベルによる理解度と信頼度の相違はなく、一方Unskilledは「警告+推奨情報」の理解度と信頼度の評価が高く、単にいる・いないだけの情報では具体的にどのように対応すればよいのか分からないと感じている可能性がある。

(2) 客観指標・項目による評価

サービスの目的は安全性と快適性の向上および渋滞緩和である。DSから発生事象、車両挙動、運転操作に関するデータを取得して、それぞれの目的の達成度合いを示す評価指標や項目を検討した。

安全性については、情報に驚いた急激な運転操作といった危険事象の有無、快適性については、0～250m地点での最大減速度、渋滞緩和については、200m地点での本線車との速度差、を具体的指標・項目とする。これらを全被験者の全走行について抽出して、平均等で評価を行った。紙面の制約上数値の提示は省略するが、表-2に合流車の結果を簡略化して示す。今回の実験では、情報提供自体に驚いて危険な行動をしたケースは確認できなかった。主観評価と同様に、客観評価においてもSkilledは「存在情報」が望ましく、Unskilledは「警告+推奨情報」が望ましい結果となっている。

なお、表は割愛するが、本線車の場合にも基本的には同様の評価結果である。しかし、合流車と比べて効果は小さくなっている。

6. おわりに

本研究は、DSによる被験者走行実験を通じて、車載

器ベースの合流部安全走行支援システムのHMIの評価を実施した。

その結果、情報提供が原因で危険事象は発生せず、SkilledとUnskilledでは情報レベルにより、効果に差異が生じる可能性が明らかになった。また、本線車への警告情報はUnskilledの過剰反応を誘発する可能性が確認された。さらに、合流車と本線車では、合流車への情報提供の方が、より効果が大きいことを把握した。今後のサービス展開においては、本線車ではなく合流車への情報提供を検討し、ドライバーのスキルに応じてHMIを使い分ける可能性を検討すべきであろう。

今後は、今回の実験では被験者に含めることができなかった高齢者についても、同様の実験を行い、特に危険事象の有無について注意深く観察する必要がある。また、これまでの知見から情報提供下の合流部におけるミクロ行動モデルを構築し、これを交通シミュレーションに実装し、交通流レベルでの効果分析を実施する必要がある。特に、利用率の増加に伴い、HMIをどのように変更していくべきか評価するためには、このようなシミュレーションが不可欠である。

本研究は国土技術政策総合研究所の委託研究「ITS新サービス導入に係るHMI検討手法及び導入効果に関する先端的研究」（研究代表者：川嶋弘尚慶應義塾大学教授）の支援を受けて実施した。また、実験には被験者を始め、走行支援道路システム研究機構、小代文彦氏（東日本旅客鉄道(株)）、橋川淳氏（東京大学大学院工学系研究科）、藤生慎氏（(株)企画開発）の協力を頂いた。記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 清水哲夫, 飯島雄一, 屋井鉄雄: 高速道路合流部における走行支援情報提供に関する一考察, 土木計画学研究・論文集, Vol. 19, No.4, pp.839-846, 2002.
- 2) 清水哲夫, 屋井鉄雄, 三室徹: AHSへの対応行動を考慮した都市高速道路合流部の運用評価分析システムの開発とその適用, 土木学会論文集, No. 758, pp.11-21, 2004.
- 3) 清水哲夫, 安藤拓也: ドライビングシミュレータを用いた合流部走行支援情報システムの効果分析, 土木計画学研究・論文集, Vol.23, No. 4, pp.833-840, 2006.
- 4) 藤生慎, 清水哲夫: ドライビングシミュレータを用いた合流部走行支援情報システムの評価, 土木計画学研究・講演集, No.34(CD-ROM), 2006.
- 5) 清水哲夫, 小代文彦: 合流部安全走行支援システムのHMIに関する効果分析, 土木計画学研究・講演集, No.36(CD-ROM), 2007.