ドライバの信頼性を考慮したシステム限界時における 警報呈示の有効性評価*

鈴木桂輔^{*1}, 丸茂喜高^{*2}, 山田喜一^{*3}

Evaluation on Effectiveness of Warning Presentation in Critical Situation with Consideration of Driver Reliability

Keisuke SUZUKI^{**}, Yoshitaka MARUMO and Kiichi YAMADA^{**}Department of Mechanical Engineering, Daido Institute of Technology,
10-3 Takiharuto-cho, Minami-ku, Nagoya-shi, Aichi, 457-0819 Japan

We investigated drivers' braking behavior when the preceding vehicle unexpectedly brakes, and evaluated the effectiveness of forward vehicle collision warning signals during the use of adaptive cruise control systems. Then, we analyzed the total error frequency of the man-machine system with consideration of driver's over dependence on the warning signals. Finally, we calculated and evaluated the effectiveness of forward vehicle collision warning signals using this model. In the study, the increase of driver's braking latency or collision frequency to the preceding vehicle generated by the over dependence on the warning signals was observed. Even though the increase of driver's error frequency was observed, it was revealed that the total error frequency decreased to 1/500 when the warning signals were presented, compared to when they were not given, at a sleepiness level is high.

Key Words: Human Engineering, Human Interface, Intelligent Equipment, Over Reliance, Combined Reliability

1. 結 論

各種センサ技術の向上により、車間距離自動制御装置 (Adaptive Cruise Control system; ACC) ⁽¹⁾ 車線逸脱防止支援装置 (Lane keeping assistance system) ⁽²⁾ などの、ドライバの運転負荷軽減を目的とする様々な運転支援装置が実用化されつつある。これらの装置によりドライバの運転操作を支援中に、システムに定められた支援範囲を超える状況が発生した場合には、システムからドライバへ速やかに且つ円滑に運転を切り替える必要がある。このため、例えば、運転支援装置のみでは危険状態を十分に回避できない「システム限界」の状態に至る可能性がある場合には、ドライバに回避操作を促す警報の呈示が有効であると思われる。

このシステム限界状態をドライバに警報する機能は、低覚醒状態のようなドライバの運転注意力が低下している走行状態において、システム限界状態の判断を支援するという観点で大きな効果が期待される。一方で、筆者らの先行研究 ⁽³⁾ では、危険回避のための操作が必要な状態において、警報が呈示され

るまで、ドライバが十分な危険回避操作を行わず、警報の呈示タイミングの設定によっては、警報を呈示しない場合と比較して、ドライバの危険回避のための操作が遅延するといった運転行動として顕在化することが示唆されている。

本稿では、渋滞走行時において先行車両への追従走行を可能とする低速 ACC をとりあげ、ドライバの制動操作行動に着目し、警報の呈示による安全性向上への効果について、定量的に分析することを目的とする。実験には、(財)日本自動車研究所 (以下 JARI と記す) のドライビングシミュレータを用い、主として、警報を呈示する条件と呈示しない条件の双方において、通常覚醒から低覚醒に至る覚醒度別での先行車両の急減速に対するドライバの制動操作タイミングについて調査する。次いで、これらドライバの制動操作タイミングおよび先行車両への衝突の頻度から、運転支援装置とドライバを統合したシステム全体での衝突の危険性を意味する統合エラー確率 ⁽⁴⁾、⁽⁵⁾ について解析し、システム限界時における警報呈示の有効性について評価する。

2. システム限界時におけるドライバの運転特性

2.1 実験方法 JARI の動揺装置付きドライビングシミュレータを利用し、低速 ACC を使用して、先行車両に追従走行する場面を設定した。この走行場面に

* 原稿受付 2003 年 11 月 5 日。

^{*1} 正員、大同工業大学 (☎ 457 0819 名古屋市南区滝春町 10-3)。^{*2} 正員、(財)日本自動車研究所 (☎ 305 0822 つくば市荏苒 2530)。^{*3} (財)日本自動車研究所。

E-mail: ksuzuki@daido-it.ac.jp

において、先行車両を急減速させ、自車両に衝突の危険性がある状況を模擬し、前方車両衝突警報を呈示した場合のドライバの運転特性について調査した。

2・1・1 システム限界状況 本実験では、「ドライバの運転する車両が規定の加速度 ($0 \pm 2.5 \text{ m/s}^2$) で先行車両に追従走行中に、先行車両がこの規定の加速度より大きな加速度で急減速を行い、自車両に衝突の危険性がある状況」を設定した。

渋滞走行時を模擬して、車速 $0 \sim 12 \text{ m/s}$ ($0 \sim 43.2 \text{ km/h}$) で加減速を繰り返しながら走行中の先行車両に、自車両が (1) 式に示す車間距離で、自動追従する状況を設定した。上記の先行車両が自車両に衝突の危険性があるシステム限界状況として、先行車両および自車両ともに 12 m/s の一定速度で走行を行っている状況において、先行車両を減速度 6 m/s^2 で急減速させた。設定したシステム限界状況を図 1 に示す。

また、ブレーキランプ点灯に対する被験者の単純反応を防ぐため、システム限界状況に至るような急減速のほか、緩やかな減速を伴う場面（先行車両の減速度が 2.5 m/s^2 以下で、被験者が制動操作を行わなくても、システム側で十分に減速できるような状況）も設定した。被験者には、「先行車両との車間距離が短くなり、衝突の危険性を感じたら制動操作を行う」ように教示した。警報の呈示条件に関して、「システム側で十分な減速を行うことができず、先行車両に衝突の危険性がある場合に警報が呈示される」とだけ教示し、警報が即ち制動操作につながるのではなく、ドライバ自らの判断により危険と感じたタイミングで制動操作を行う様に教示した。

$$D_0 = V_1 \cdot 2.0 + 3.0 \quad \dots \dots \dots (1)$$

D_0 : 目標車間距離[m]

V_1 : 自車両の走行速度[m/s]

2.0 : 車間時間[s], 3.0 : 安全距離[m]

2・1・2 前方車両衝突警報 本実験では、ドライバにシステム限界状態を告知する警報として、前方車両衝突警報を呈示した。警報呈示アルゴリズムとして、以下の (2) 式に示す Stopping Distance Algorithm を用いた。

$$Dw = V_1 \cdot T + V_1^2 / 2a_1 - V_2^2 / 2a_2 + 3.0 \quad \dots \dots \dots (2)$$

Dw : 警報発生距離[m]

V_1 : 自車両の走行速度[m/s]

V_2 : 先行車両の走行速度[m/s]

T : 空走時間[s]

a_1 : 自車両の想定減速度 [m/s^2]

a_2 : 先行車両の想定減速度 [m/s^2]

Fig.1 “System limit situation” meaning the critical situation that the vehicle is facing the risk of collision

Table 1 Assumed delay time in the warning condition

Exp.#	Warning presentation	Assumed delay time
1	Without	---
2	With	0.6s
3	With	1.0s
4	With	1.4s

自車両の想定減速度 a_1 および先行車両の想定減速度 a_2 は 5 m/s^2 に設定し、空走時間 T として 0.6s, 1.0s, 1.4s の 3 水準を設定した。空走時間 T はドライバの反応遅れを考慮したパラメータであり、この値を大きく設定するほど早い時点で警報が呈示されることになる。つまり、空走時間を 1.4s に設定した場合に警報が最も早い時点で呈示される。

2・1・3 被験者 通勤等の目的で日常的に自動車を運転している男性ドライバ 16 名、女性ドライバ 8 名（年齢 26～54 歳、平均年齢：37.04 歳）の合計 24 名を被験者とした。

2・1・4 実験条件の構成

(1) 正常警報状態でのドライバの制動操作分析 低速 ACC を作動させた状態での運転に習熟するための練習走行の後、警報の有無／警報の呈示タイミング（空走時間）を組み合わせ、表 1 に示す合計 4 条件を実施した。これらの実験条件の順序は、できる限り順序効果を相殺するように、ランダムとした。この走行では、1 条件あたりの走行時間として設定した約 30 分間の走行の間で、被験者が低覚醒の状況に陥ったのを、オペレータがドライバの顔の表情を撮影するモニタ画像から判断して、システム限界状況のイベントを発生させた。また、イベントの発生に伴う自車両の停止の後、制動操作の直前の覚醒度を被験者に主観評価させた。覚醒度の主観評価の際に被験者に呈示した、覚醒度判定のための評点の詳細を表 2 に示す。被験者は、表 1 に示す各々の条件を 2 回ずつ体験した。

(2) 不警報状態でのドライバの制動操作調査 次いで、警報システムが不作動となり、システム限界状況において警報が呈示されない不警報状態のドライバの制動操作について調査した。この調査では、被験者を3群に分け、各々の被験者が一定の空走時間で前方車両衝突警報が呈示される状況(表1に示す実験条件 Exp. #2, #3, #4と同様のシナリオ)を体験させ、最後に警報を呈示すると教示している条件下で警報を呈示しない不警報の状態を体験させた。

2.2 実験結果

2.2.1 正常警報状態でのドライバの制動操作行動 先行車が減速を開始した後、被験者が制動操作を開始した時点での、車間距離を先行車両と自車両との相対車速で除して得られる衝突予測時間について集計した。衝突予測時間の平均値と標準偏差を図2(b)に示す。横軸は被験者の覚醒度の主観評価値、縦軸は制動開始タイミングを示す。なお、図2(a)は、先行車両が減速を開始したタイミング(0s)からの衝突予測時間の一例(空走時間Tが1.0sの場合)を示し、被験者が制動操作を開始したタイミングの衝突予測時間の定義を示している。制動操作を開始したタイミングでの衝突予測時間を集計した結果が図2(b)である。本実験での走行条件では、先行車両が減速を開始して、T=0.6sの場合では3.0s後、T=1.0sの場合では2.1s後、T=1.4sの場合では1.1s後に警報が呈示されている。空走時間Tが長い場合は前方車両衝突警報の呈示タイミングが早くなり、これに伴い被験者の制動開始タイミングが早く(衝突予測時間が長く)なっていることが分かる。例えば、覚醒度の主観評価値が1を示す条件において、空走時間Tが0.6s、1.0s、1.4sと増加するにつれて、制動開始タイミングの平均値は、衝突予測時間に換算して1.7s(①)、2.0s(②)、2.3s(③)と延長している。また、前方車両衝突警報を呈示しない場合の制動開始タイミング(④)と比較すると、空走時間Tが1.4sの場合における制動開始時の衝突予測時間の平均値(③)は延長しており(制動開始タイミングが早くなる)、空走時間Tが0.6sの場合(①)では短縮している(制動開始タイミングが遅くなる)ことが分かる。更に、前方車両衝突警報を呈示しない走行条件(白丸:○)と比較すると、前方車両衝突警報を呈示する走行条件では、覚醒度の低下に伴う制動開始タイミングの遅延の程度が小さいことが分かる。例えば、覚醒度の主観評価値が1と4での調査結果を比較した場合、前方車両衝突警報を呈示しない走行条件では、制動開始タイミングが衝突予測時間に換算して2.2s(④)から1.1s短縮し1.1s(⑤)を示している。この覚醒度の主観評価値が4を示した走行条件においては、制動操作開始タイミング

Table2 Subjective ratings for sleepiness level

Rating	Sleepiness	Concrete sleepiness level
1	Not at all	No sleepiness, fully conscious
2	Slightly sleepy	A little sleepiness, no influence on driving
3	Sleepy	Obvious sleepiness, manage to drive somehow
4	Very sleepy	Dangerous sleepiness, generally unable to drive

Fig.2 Time to collision at braking operation (n=48)

の遅れが著しく、8名の被験者のうち1名は先行車両に衝突している。これに対して、例えば、空走時間Tが1.4sの条件において前方車両衝突警報を呈示した場合には、制動開始タイミングは衝突予測時間に換算して2.3s(③)から2.2s(⑥)と変化しているものの、その変化量は0.1sの短縮に留まり、警報を呈示しない場合と比較して制動操作タイミングの遅延の程度が小さい。早期タイミングにおける、警報呈示の有効性が示されている。

実験を開始する前の被験者に対する教示として、前方車両衝突警報が呈示された直後に制動操作を行うのではなく、自らの判断で危険と感じた時点で制動操作を行うように教示した。しかしながら、被験者の制動操作タイミングは、警報の呈示タイミングに影響される傾向が観察された。システム限界が発生した状況において、被験者は先行車両の減速のみでは無く、警報の呈示も同様に制動操作の判断基準としていたものと推察される。

2-2-2 不警報状態でのドライバの制動操作行動

不警報状態における、ドライバの制動開始タイミングについて分析した。「警報無し」、「警報有り」⇒「不警報」に至る一連の被験者の制動操作タイミングを、その一例として、覚醒度が低下していない評価値が1の状態について空走時間別に集計した結果を図3に示す。この警報なしとは、警報装置が作動していない状況、不警報とは、警報装置が作動していると教示している状態で、故障等により警報が呈示されない状況を意味する。なお、今回の実験では、「警報有り」⇒「不警報」の走行と、「警報なし」の走行は、順序効果を低減するために、被験者毎にランダムとしており、これらの条件間での順序効果は低減できているものとする。

図3に示すように、不警報状態における制動開始タイミングは、警報の呈示タイミングが最も遅い空走時間 $T=0.6s$ の走行条件(⑦)において最も遅延している(衝突予測時間が短縮している)。また、この空走時間 $T=0.6s$ の走行条件においては、制動操作開始タイミングの遅れが著しく、8名の被験者のうち1名は先行車両に衝突している。

今回の実験では、各々の被験者は、不警報状態(Miss warning)を体験する前に、正常警報状態(With warning)を体験している。この正常警報状態において、空走時間 $T=0.6s$ の走行条件では、警報の呈示タイミングが非常に遅い。例えば、空走時間 $T=1.4s$ の走行条件では、先行車が減速を開始してから1.1s後に警報が呈示されるのに対して、空走時間 $T=0.6s$ の走行条件では、3.0s後に警報が呈示されている。この先行車が減速を開始してから3.0s後という遅い警報の呈示に習熟している走行状態において不警報(Miss warning)となった走行状況において、被験者は先行車両の急減速を十分に認識することができず、制動開始タイミングが遅延したものと推測される。

2-2-3 先行車両への衝突率

以上の調査実験で得られた、覚醒度と警報呈示タイミング別での先行車両への衝突率について集計した結果を表3に示す。前方車両衝突警報を呈示しない走行条件では、覚醒度の主観評価値が4を示す覚醒度が非常に低下した状態において、12.5%の頻度で先行車両に衝突している。これに対し、警報を呈示する走行条件では、主観評価値が4を示す状態においても、先行車両への衝突は発生していない(衝突率:0%)。被験者の覚醒度が非常に低下した状態において、前方車両衝突警報の呈示は、被験者の制動操作を促すうえで有効であったことが分かる。また一方で、空走時間 $T=0.6s$ で不警報となる走行条件では、制動操作開始タイミングの遅れが著しく、12.5%の衝突率を示

Fig.3 Drivers' braking latency at each warning condition (Normal arousal level)

Table 3 Frequency of the collision at each warning/sleepiness condition

	Sleepiness level			
	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
Without warning	0%	0%	0%	125%
With warning $T=0.6s$	0%	0%	0%	0%
With warning $T=1.0s$	0%	0%	0%	0%
With warning $T=1.4s$	0%	0%	0%	0%
Miss warning ($T=0.6s$)	125%	—	—	250%
Miss warning ($T=1.0s$)	0%	—	—	250%
Miss warning ($T=1.4s$)	0%	—	—	125%

— : Not measured

した。警報システムを使用中において何らかの原因で警報が呈示されない場合には、ドライバは先行車両の減速を十分に認識することができず、先行車両に衝突する危険性があるものといえる。

3. 前方車両衝突警報の有効性評価

本章では、前章のドライバの制動操作行動の調査結果を踏まえて、運転支援システムの支援を受けた場合のシステムとドライバの統合エラー確率を解析するモデルを用い、低速ACCのシステム限界時における前方車両衝突警報の有効性について分析した。

3-1 ドライバ・システム統合エラー確率検討モデル

運転支援システムを使用中におけるエラー確率は、運転支援システムとドライバとの相互の関係を考慮して解析すべきであると考え。本項では、山田^{(4)・(5)}により提案された手法を参考に、前方車両衝突警報装置を使用中における統合エラー確率について分析した。前方車両衝突警報装置を例とする場合のドライバ・システム統合エラーの解析モデルを図4に示す。

このモデルでは、ドライバと運転支援システムが共にエラーを起こした場合に事故が発生すると定義している。図中では、①、②の面積の合計が、共にエラーを起こす場合のエラー確率を示している。また、本稿

では、エラー確率の定義を、先行車の急減速時などの危険な状況が発生する回数に対する衝突が発生する回数の割合（衝突回数／危険事象発生回数）とした（注：表3の割合は、衝突回数／実験回数でありこの値と対応している）。

3・1・1 ①の面積で表されるエラー確率 ①の面積は、ドライバとシステムのエラーが重なった場合に発生するエラー確率を示している。例えば、システムが不警報となった場合に、ドライバはこれに気づいたにもかかわらず、制動操作が遅れるなどの理由で先行車両に衝突する確率を示している。また、このエラー確率は、横軸に示すドライバの操作エラー確率 E_d に、縦軸に示すシステムのエラー確率 E_s を掛け合わせることで算出することができる。この①の面積で表されるエラー確率は、(3)式のようなになる。具体的な算出例は、以下の項に示す。

$$Eds1 = Ed \cdot Es \quad \dots (3)$$

3・1・2 ②の面積で表されるエラー確率 ②の面積は、システムがエラーを起こした場合に、ドライバのシステムへの過信などにより、これをドライバが補完できないとき発生するエラー確率の、①の面積で表されるエラー確率からの増分を示している。また、このエラー確率は、横軸に示すシステム不動作時におけるドライバの操作エラー確率の正常警報時における操作エラー確率からの増分 a に、縦軸に示すシステムのエラー確率 E_s を掛け合わせることで算出することができる。この②の面積で表されるエラー確率は、(4)式のようなになる。

$$Eds2 = a \cdot Es \quad \dots (4)$$

3・1・3 パラメータの詳細 横軸は、ドライバの信頼性を、操作エラー確率と正常操作確率に分割して示している。このドライバ操作エラー確率 ($Ed+a$) と正常操作確率 ($1-Ed-a$) との和は 1.0 である。縦軸は、警報装置の信頼性を、エラー確率 ($Es+b$) と正常作動確率 ($1-Es-b$) に分割して示している。このシステムのエラー確率と正常作動確率との和は 1.0 である。それぞれのパラメータの詳細を以下に示す。

Ed : ドライバの操作エラー確率（先行車の急減速時など危険な状況が発生する回数に対する、衝突が発生する回数の割合）を示す。

Es : 警報装置が不動作となる累積時間の、累積走行時間に対する割合を示す。

a : a は、システム不動作時におけるドライバの操作エラー確率の正常警報時におけるドライバの操作エラー確率からの増分を意味する。

Fig.4 Model for the analysis of combined error frequency

3・1・4 衝突発生回数への換算 本稿では、エラー確率を、衝突回数／危険事象発生回数と定義している。従って、実際に衝突が発生する回数に換算するためには、危険事象が発生する頻度（通常は単位時間あたり）を掛け合わせる必要がある。現実の事象を考えると、衝突発生回数で評価したほうが直感的に分かりやすいことから、以下では単位時間あたりの衝突発生回数 [回/h] に換算して評価する。

3・2 衝突発生回数の評価

3・2・1 パラメータの推定

(1) ドライバの操作エラー確率 ドライバの操作エラー確率を意味するパラメータ Ed として、前章の調査結果より得られた、表3に示す値（Without warning / With warning における衝突率）を用いる。同様に、ドライバのエラー確率を意味するパラメータ $Ed+a$ として、表3に示す値（Miss warning における衝突率）を用いる。

(2) システム限界状況が発生する頻度 システム限界状況（危険事象）が発生する頻度としては、東京都の都心環状線において、先行車両の減速度が $2.5m/s^2$ 以上となる状態の累計時間の単位走行時間に対する回数を計測し、1.5 [回/h] を代表値とした。

(3) 警報装置のエラー確率 警報装置が不動作となる累積時間の、累積走行時間に対する割合を示すパラメータ Es としては、先行車両の不検出の確率を考慮した。本稿では、車両の前端部分に設置したレーザレーダを用いて同様に東京都の都心環状線において計測して得られた、 9.0×10^{-4} を代表値とした。

3・2・2 衝突発生回数の計算 以上のパラメータを用いて、前方車両衝突警報を呈示する場合と呈示しない場合での、衝突発生回数〔回/h〕を、警報の呈示タイミングおよび覚醒度別に分析した（表 4）。なお、今回の調査では、システム不作為時における、ドライバの操作エラー確率を示すパラメータ $Ed+a$ に関しては、覚醒度の評点が 1 と 4 の場合のみの調査結果しか計測していない。このため、衝突発生回数については、覚醒度の評点が 1, 4 の場合のみについて分析した。「Without warning」では、警報を呈示しない場合の衝突発生回数を示し、「With warning」では、警報を呈示する場合の衝突発生回数を、警報の呈示タイミング別に示している。

覚醒度の主観評価値が 1（No sleepiness, 全く眠くない）の走行条件では、空走時間 T を 0.6s に設定した場合を除いて、警報を呈示する場合の衝突発生回数は、警報を呈示しない場合と同等で非常に小さくなる。これに対して、覚醒度の主観評価評点が 4（非常に眠い）の場合では、警報無しの場合（ 1.9×10^{-1} 〔回/h〕）よりも警報を呈示する場合の衝突発生回数（ $T=0.6s$, $1.0s$ の場合： 3.4×10^{-4} 〔回/h〕, $T=1.4s$ の場合： 1.7×10^{-4} 〔回/h〕）は低下する。この衝突発生回数は、例えば、評点が 4 の状態（Dangerous sleepiness, 通常なら運転を諦めるほどに覚醒度が低下した状態）では、警報を呈示しない場合では、約 5.3 時間に 1 度の確率で前方車両に衝突する可能性があるのに対して、警報を呈示した場合では、約 2,900 時間に一度の確率にまで低下することを意味している。警報を呈示することにより、衝突の危険性が 1/500 程度以下まで低下することが分析結果より分かる。この調査結果から、前方車両衝突警報の有効性について判断すると、警報装置に対する依存がもたらすドライバ信頼性の低下を考慮しても、覚醒度の低下が著しい状態では、警報の有効性は極めて高いものと思われる。

本稿において示したドライバとシステムとの統合エラー確率モデルによる解析手法により、前方車両衝突警報の有効性について定量的な分析を実施できるものとする。また、本稿でのエラー確率の解析には、各々の条件において、通常警報時では 24 名×2 試行の合計 48 試行、不警報時では 8 名×1 試行の合計 8 試行の調査結果に基づいている。統合システムエラー確率のより定量的な解析を行うためには、実験誤差等を最小限に抑えるため、より多くの調査結果（ n 数）を取得する必要があるものと思われる。

Table4 Calculation results regarding the collision frequency

	Sleepiness Level 1 No sleepiness, fully conscious	Sleepiness Level 4 Dangerous sleepiness, generally unable to drive
Without warning	0	1.9×10^{-1}
With warning $T=0.6s$	1.7×10^{-4}	3.4×10^{-4}
With warning $T=1.0s$	0	3.4×10^{-4}
With warning $T=1.4s$	0	1.7×10^{-4}

4. まとめ

4・1 システム限界時におけるドライバの運転特性

システム限界が発生した状況において、被験者は先行車両の減速のみを制動操作の判断基準としているのでは無く、前方車両衝突警報の呈示タイミングも同様に制動操作の判断基準としている状況が観察された。また、何らかの原因で警報システムが不作為の状況に陥った場合には、タイミングの設定によっては、先行車両に衝突する危険性があることが示唆された。

4・2 警報呈示の有効性評価

覚醒度が低下している状態では、警報無しの場合の衝突発生回数（ 1.9×10^{-1} 〔回/h〕）よりも、警報を呈示する場合の衝突発生回数（ $T=0.6s$, $1.0s$ の場合： 3.4×10^{-4} 〔回/h〕, $T=1.4s$ の場合： 1.7×10^{-4} 〔回/h〕）は低下する。本調査において実施したドライバとシステムとの統合エラー確率の解析手法により、前方車両衝突警報の有効性について定量的な分析を行うことができるものとする。

参考文献

- (1) 山田喜一：車間距離制御システムの研究，自動車技術会論文集，Vol.31No.4, 61/66, 2000
- (2) P.Leelavansuk, K.Shitamitsu, H.Mouri, M.Nagai: Study on Cooperative Control of Driver and Lane Keeping Assistance System, 6th International Symposium on Advanced Vehicle Control 2002, 219/224, 2002
- (3) 鈴木桂輔，丸茂喜高：システム限界時におけるドライバの運転特性，日本機械学会論文集（C 編）69 巻 685 号，207/212, 2003
- (4) 山田喜一：運転支援システムの開発事例，IATSS Review, Vol.24, No.2, 47/52, 1998
- (5) 山田喜一ほか：走行支援システム（AHS）の安全設計指針の研究，自動車技術会論文集，Vol.31, No.4, 55/60, 2000