

◆ 特集：走行支援道路システム ◆

走行支援道路システム (AHS) の安全性・信頼性に関する検討

川名万寿雄* 小林 寛** 吉永智広***

1. はじめに

AHS (Advanced cruise-assist Highway Systems: 走行支援道路システム) は、道路と車が連携して個別の状況をリアルタイムにドライバに情報提供することで、事故直前での危険回避を図るシステムである。

AHS は、1) 発見の遅れ、2) 判断の誤り、3) 操作の誤りといった大半の事故原因に対応し、「情報提供」、「警報」及び「操作支援」の3つの機能でドライバにサービスを提供する。具体的には、道路に設置したセンサが停止車、低速車、渋滞末尾等の障害を検知して車に伝達し、それを基に車側で走行速度に合わせてドライバに画面表示や音声等で情報を伝える (図-1)。このように、AHS はドライバの安全走行を支援するためのものであるため、AHS が誤った情報を提供したり、情報提供すべき時に情報を提供できないと、ドライバが危険な状況に陥ることが懸念される。そのため、AHS の実用化にあたっては、システムが具備すべき安全性及び信頼性の検討が必要である。

本稿では、AHS の実用化に向けて、技術的な達成可能性や経済性を踏まえた現実的な安全性・信頼性の確保についての検討結果、及び安全性・信頼性を 100% 確保できない場合の対策の考え方について報告する。

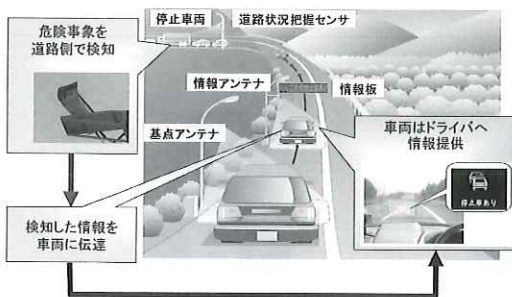


図-1 AHS の情報伝達の流れ

Examination of Advanced Cruise-assist Highway Systems (AHS) Safety and Reliability

2. 研究の目的

AHS は、センサ装置、路側処理装置、路車間通信装置 (ビーコン)、車載装置の組合せで基本的に構成されており、これらが相互に適切に作動して初めてシステムとして成立する。AHS の実用化に際しては、利用者ニーズからはできるだけ高い安全性と信頼性が要求される。しかし、インフラの技術的かつ経済的な観点からは、100%の安全性と信頼性を達成することは極めて困難である。

そこで、本研究では、AHS の実用化に向けて、技術的な達成可能性や経済性を踏まえた現実的な安全性・信頼性の確保について検討し、実証実験システムの仮目標値の設定を行う。さらに、安全性・信頼性が 100% に満たない部分については、車両や人間 (ドライバ) も含めたより広い範囲で対策のあり方を検討し提案することを目的としている (図-2)。

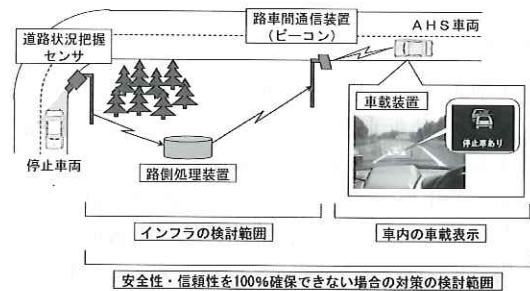


図-2 安全性・信頼性を 100% 確保できない場合の対策の検討範囲

3. 安全性・信頼性の定義

3.1 用語の定義

AHS の安全性・信頼性に関する用語について、JIS 規格 (JIS B9705-1) ¹⁾ の中で定義されている用語の考え方を参考に次のように定義した (表-1)。

3.2 危険側故障の明確化

AHS における危険側故障を明確にするため、システムの動作状態と危険状態の有無の関係について整理した (表-2)。

表-1 安全性・信頼性関連用語の定義 (抜粋)

用語	AHS に適用した場合の用語の定義
安全性	AHS システムが提供する情報により、ドライバーが危険な状態に陥らないようなシステムの能力。
信頼性	AHS システムが故障しないで、所定の情報を必要とする期間にわたって提供できる機能。
システム稼働率	サービスを提供すべき時間に対する、AHS システムの装置が故障しない時間の割合。
サービス稼働率	サービスを提供すべき時間に対する、AHS システムが実質的なサービスを提供する時間の割合。
危険側故障	ドライバーが危険な状態に陥る可能性があるようなシステムの不具合。
安全度	危険な状態がある時に、AHS システムの情報によりドライバーが危険な状態にならない確率。(= 1 - 危険側故障の発生確率)

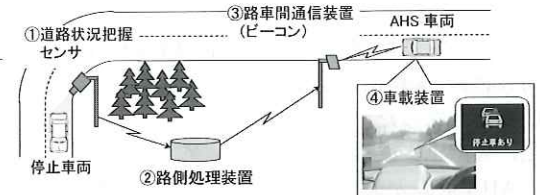
この中でドライバーが危険な状態に陥る可能性があるのは、「危険事象の検出に失敗し、危険があるという情報を車両に伝えられない (センサの未検出)」、「電波が大型車両等により遮られて、危険有無の情報が車両に届かない (大型車によるシャドウイング)」、「システムに故障が発生し、かつ故障状態を車両に伝えられない (システム故障)」の3つである。但し、状況に応じた判断と操作はドライバーが行うことを前提としているので、危険側故障の発生が即事故につながるということではない。

なお、表-2 中の△印については、直ちにドライバーが危険な状態に陥るというわけではないが、情報を正しく伝えておらず、このような状態が頻発するとユーザがシステムに不信任を抱く恐れがあるため、極力少なくする必要がある。

4. 安全度・稼働率の仮目標値設定

4.1 危険側故障の発生原因

単路系の AHS サービスである「前方停止車両・低速車両情報提供支援システム」を例に、危険側故障の発生原因とその確率について試算した。システム構成と機能を図-3 に示す。



- ①カーブなどでドライバーから見えない前方位置に存在する停止車両や低速車両を、路側に設置した道路状況把握センサで検出する。
- ②センサからの情報やシステムの稼働状況等を路側処理装置が収集・処理する。
- ③センサ等の情報は路側処理装置で処理された後、路車間通信装置（ビーコン）を通して車両に伝えられる。
- ④車載装置は受信した情報を、車載モニタ及びスピーカーを通してドライバーに伝える。

図-3 システム構成と機能

AHS の動作状態一覧 (表-2) で明らかになった危険側故障の発生原因とその確率について、実測調査結果等をもとに試算した。

(1) センサの未検出

道路状況把握センサが停止車両及び低速車両を検出できない原因は、主に道路の環境条件 (夜間の照度不足や降雨等によるコントラスト不足等)、に起因するものである。東名高速道路・足柄サービスエリアにおける道路状況把握センサの性能実験結果を用いて、道路状況把握センサの未検出割

表-2 AHS における状態一覧図

現実の事象	サービスを提供すべき時間 (一般車両通行可能)							通行止時間
	サービス提供時間 (正常動作時間)			システムによるサービス断念時間	運用停止時間		保守休止時間	運用停止時間
	危険があるという情報を車両に伝える	危険があるという情報は車両に伝えない	危険有無の情報が時間内に車両に伝わらない		故障状態が伝わる故障	故障状態が伝わらない故障		
システム動作				動作停止	故障状態を車両側に伝える	車両側に故障状態が伝わらない	動作停止	動作停止
危険なし	△	○	△	○	○	△	○	-
危険あり	○	×	×	○	○	×	○	-

○：現実の事象が正確に車両に伝わるか、AHS システムが正確な情報を伝達できないことを車両に伝えられる。

△：現実の事象に危険はないが、状況を正しく車両に伝えていない。

×：現実の事象に危険があるとき危険でないと車両に伝わるか、AHS システムが故障であることを車両に伝えられない。

表-3 道路状況把握センサの未検出割合

未検出の原因となる事象	未検出割合
樹木等の縞模様の影による影響	1.00%
西日がカメラに直接入ることによる影響	0.22%
薄暮時や夜間の照度不足による影響	1.39%
降雨によるコントラスト不足及び視程不足	0.78%
車両の色等の影響による道路とのコントラスト不足	0.02%
未検出割合計	3.41%

合を試算した結果、検出対象車両 1,800 台のうち約 3.4% の未検出が発生する可能性があることが明らかとなった。(表-3)

(2) 大型車によるシャドウイング

AHS 車両が大型車両等の陰に入ってしまうことにより、路車間通信装置（ビーコン）からの電波が遮断される確率について、首都高速道路湾岸線での実測データを基にシミュレーションにより試算した。図-4 に示す条件の下、平均時速 100km/h、大型車混入率 80% として計算した結果、シャドウイングの発生確率は 0.1% となった。一般道路等では車線幅員が 3.5m よりも狭く隣接車両との間隔が狭くなるため、シャドウイングの発生確率が高くなることが想定されるが、そのような場合においてもシャドウイングが発生する確率は 1% 未満であると推定される。

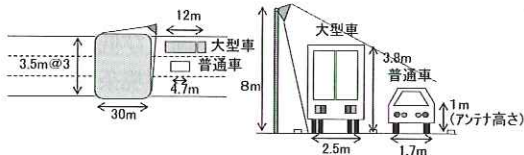


図-4 シミュレーションの前提条件

(3) システム故障

路車間通信装置（ビーコン）に故障が発生する確率について、通信装置の平均故障間隔（MTBF: Mean Time Between Failure）と平均修理時間（MTTR: Mean Time To Repair）を用いて試算した結果、路車間通信装置の年間故障修理時間は 5 時間と推計されるため、危険側故障の発生確率は 0.0004%（5（h）／8,760（h））となる。

4.2 稼働率に関わる指標の推定

システムを構成する道路状況把握センサ、路側処理装置、路車間通信装置（ビーコン）の自己診断機能によるサービスの断念時間、故障修理時間、及び保守点検時間について、既存システムの実績

値から設定した（表-4）。

表-4 稼働率に関わる指標の設定（年間）

	サービス断念時間	故障修理時間	保守点検時間
道路状況把握センサ	278 時間	5.8 時間	6.0 時間
路側処理装置	0 時間	6.0 時間	8.0 時間
路車間通信装置	0 時間	5.0 時間	0.2 時間
システム全体	278 時間	16.8 時間	14.2 時間

4.3 安全度・稼働率の仮目標値の設定

以上の分析結果を踏まえ、システム構成機器の現状の技術レベルやコスト等を勘案した結果、前方停止車両・低速車両情報提供支援システムにおける安全度及び稼働率の仮目標値を表-5 の通り設定した。これは、国際規格の安全度水準（SIL: Safety Integrity Level）を規定する JIS C 0508²⁾ の SIL1 レベルを満たしており、安全関連系システムとして社会通念上許容できるレベルであるといえる。

表-5 安全度・稼働率の仮目標値
（前方停止車両・低速車両情報提供支援システム）

	安全度	システム稼働率	サービス稼働率
道路状況把握センサ	96% 以上	99.8% 以上	96.1% 以上
路側処理装置	99.9% 以上	99.8% 以上	99.8% 以上
路車間通信装置	99.1% 以上	99.9% 以上	99.1% 以上
システム全体	95% 以上	99% 以上	95% 以上

4.4 実証実験による仮目標値の検証

実証実験システムの安全度及び稼働率の仮目標値の達成状況について、実道における実証実験により検証を行った。実験の結果、安全度、稼働率ともに仮目標値以上であることを確認した（表-6）。なお、本実験は約 1 ヶ月間という短期間の実証実験

表-6 実証実験結果（東名阪道・上社 JCT）

	安全度		サービス稼働率	
	仮目標値	実験結果	仮目標値	実験結果
道路状況把握センサ	96% 以上	100%	96.1% 以上	99.9%*
路側処理装置	99.9% 以上	99.9%*	99.8% 以上	99.8%*
路車間通信装置	99.1% 以上	99.8%*	99.1% 以上	99.8%*
システム全体	95% 以上	99.7%	95% 以上	99.5%

*既存システムの実績値や机上検討による理論値からの推定結果

であるため、システム稼働率の検証は行っていないが、実験期間中は故障することなく連続稼働したことを確認した。

5. 危険側故障の発生に対する対策の考え方

安全性・信頼性を100%確保できない場合の対策について検討した。なお、残存するリスクに対してインフラシステムのみで対応することは技術的に困難であり、また経済的な視点からも実用的でなくなる恐れがある。そのため、車両やドライバーも含めた範囲で安全対策を検討した。

ドライバーがAHSに依存している状況で、道路状況把握センサが停止車両等の検出に失敗した場合や故障が発生した場合の車内画面表示が「無表示」であると、ドライバーが「無表示＝危険がな

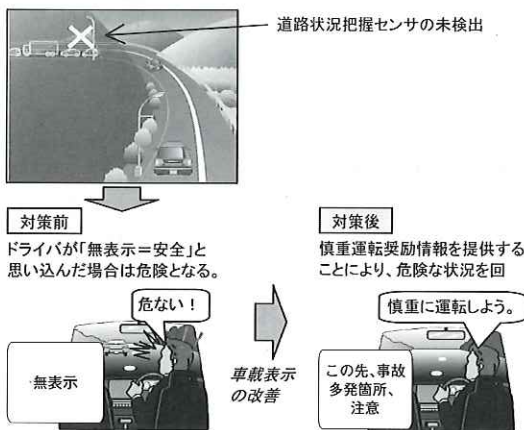


図-5 慎重運転奨励情報の提供による対策の考え方

い」と思い込んでいる場合は危険な状態に陥る可能性がある。そこで、停止車両等の有無に関わらず慎重運転を奨励する情報（「この先事故多発地点、注意」等）や故障を知らせる情報（「調整中」等）を提供することにより、停止車両等の未検出時に想定される危険な状況を回避することができると考えられる（図-5）。

6. ドライビングシミュレータを用いた実証実験

慎重運転奨励情報や調整中情報の提供によるリスク低減の可能性について、ドライビングシミュレータ（以下、DSと記す）を用いた実証実験を2002年度に実施した。DS実験の内容は以下の通りである。

- (1) 被験者を「情報反応グループ」と「情報無視グループ」に分類し、停止車両情報の提供による効果を把握。
- (2) 道路状況把握センサが停止車両を検知できなかった場合の対策の効果を把握。
 - 1) 慎重運転奨励情報の提供による効果
 - 2) 調整中情報の提供による効果

DS実験では、曲線半径250mのカーブ（左右各2回）と直線を組み合わせた仮想コースを作成した。カーブ手前の直線部には路側情報板が2箇所設置しており、ドライバーには2箇所の路側表示板による情報と、車載モニタによる情報表示及び音声による情報を与えた（図-6）。なお、いずれかのカーブ中央地点には車両が停止しており、停止車両の手前100mの地点（停止車両が確認で

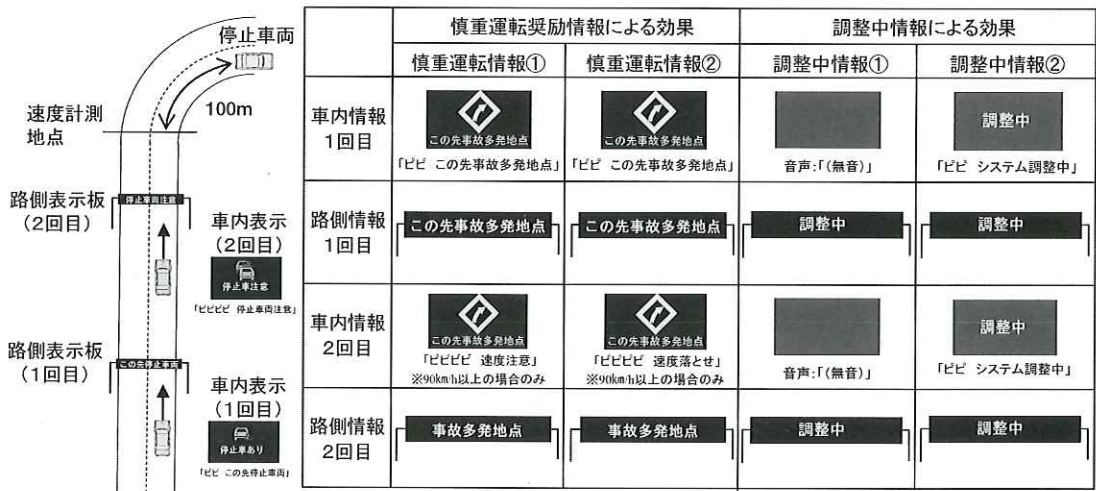


図-6 DSによる実験コースの概要と情報提供の表示内容

きる直前の地点)における被験車両の走行速度を測定し、リスク低減の効果を評価した。被験者数及び走行条件は以下の通りである。

- ・被験者数：20名（男性15名、女性5名）
- ・走行条件：直線部は120km/hで走行し、カーブではドライバの裁量で走行。

7. 実験結果

7.1 被験者特性の分類

情報提供に対しては、比較的素直に反応しすぐに減速などの反応がみられるドライバと、情報提供の内容を認知しても、運転行動にあまり変化がみられないドライバがいると想定される。そこで、情報提供に対する被験者の特性を踏まえた分析を行うため、停止車両情報提供時の速度が通常時（サービス無し時）の速度の80%未満の被験者を「情報反応グループ」、80%以上の被験者を「情報無視グループ」と分類した。各グループの被験者数は以下の通りである。

- ・情報反応グループ：14名
- ・情報無視グループ：6名

路側表示と車内表示の双方で停止車両情報を提供した場合の実験結果を図-7に示す。平均値の差の検定を行った結果、95%の信頼度で以下のことが言える。

- ・情報反応グループ、情報無視グループともに、停止車両情報による減速効果がみられた。

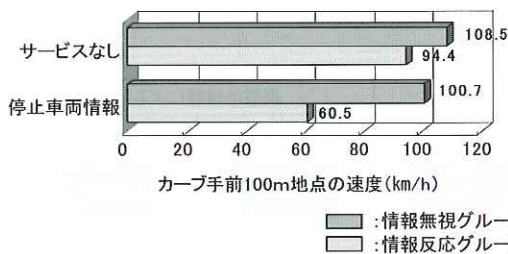


図-7 停止車両情報の提供による減速効果

7.2 慎重運転奨励情報の提供による効果

何も情報を提供しない（無表示）場合と、路側表示と車内表示の双方で慎重運転奨励情報を提供した場合の実験結果を図-8に示す。平均値の差の検定を行った結果、95%の信頼度で以下のことが言える。

- (1) 何も情報を提供しない（無表示）場合、サービスが無い場合とほぼ同じ速度となっており、

無表示では減速効果はない。

- (2) 情報反応グループについては、慎重運転奨励情報（「速度注意」及び「速度落とせ」）の提供による減速効果がみられた。
- (3) 情報無視グループについては、「速度注意」よりも強い警告である「速度落とせ」という情報提供において減速効果がみられた。

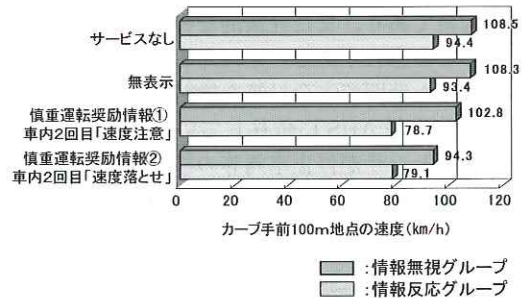


図-8 慎重運転奨励情報の提供による減速効果

7.3 調整中情報の提供による効果

何も情報を提供しない（無表示）場合と、路側表示のみ「調整中」とした場合、さらに、路側表示、車内表示とも「調整中」の情報提供を行った場合の実験結果を図-9に示す。平均値の差の検定を行った結果、95%の信頼度で以下のことが言える。

- (1) 情報反応グループについては、路側表示のみ「調整中」とした場合でも速度低下が見られた。路側表示、車内表示とも「調整中」とした場合、さらに速度は低下した。
- (2) 情報無視グループについては、路側表示、車内表示とも「調整中」とした場合でも速度低下はみられなかった。

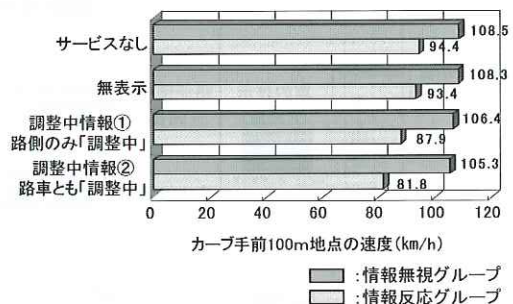


図-9 調整中情報の提供による減速効果

以上の結果から、慎重運転奨励情報の提供は、

何も情報を提供しない場合に比べて速度の抑制効果があることが分かり、センサの未検出時やシステムの故障時の対策として有効であることが確認できた。

8. まとめ

AHSの実用化に向けて、技術的な達成可能性や経済性を踏まえた現実的な安全性・信頼性の確保の方策について検討し、さらに、安全性・信頼性を100%確保できない場合の対策の考え方について検討した結果、次の成果を得ることができた。

- (1) 実証実験システムにおける安全度と稼働率の仮目標値を設定し、実道実験により検証した結果、安全度、稼働率ともに仮目標値が達成されていることを確認した。
- (2) インフラシステムに留まらず、車両や人間（ドライバ）まで含めた広い範囲で安全性・信頼性を100%確保できない場合の対策を検討し、慎重運転奨励情報及び調整中情報の提供を提案した。ドライビングシミュレータを用いた実証実験により検証した結果、慎重運転奨励情報の提供が有効であることを確認した。

なお、本検討で設定した安全度と稼働率の日標値は、現状の技術水準や経済性を考慮して設定した値であり、実証実験システムにおける仮目標値という位置付けである。今後は、実道実験の実施によりさらなる安全性・信頼性に関するデータを取得し、安全度と稼働率の仮目標値に対する社会的受容性や、AHSの誤作動等が原因で発生した事故に対する法的責任の問題、慎重運転奨励情報等が常時表示された場合の有効性等について、長期

的な検証を行う必要があると考える。

参考文献

- 1) 社団法人日本機械工業連合会：機械類の安全性制御システムの安全関連部 第一部 設計のための一般原則，日本規格協会，2000.
- 2) 社団法人日本電気計測工業会：電気・電子・プログラマブル 電子安全関連系の機能安全 第一部 一般要求事項，日本規格協会，2000.

川名万寿雄*



国土交通省国土技術政策
総合研究所高度情報化研
究センター高度道路交
通システム研究室主任研究
官
Masuo KAWANA

小林 寛**



国土交通省国土技術政策
総合研究所高度情報化研
究センター高度道路交
通システム研究室主任研究
官
Hiroshi KOBAYASHI

吉永智広***



国土交通省国土技術政策
総合研究所高度情報化研
究センター高度道路交
通システム研究室交流研究
員
Tomohiro YOSHINAGA