

## ◆ AHS の実用化に向けて特集 ◆

## AHS(走行支援道路システム)を構成する要素技術について

森 昌文\* 鈴木武彦\*\* 佐々田敬久\*\*\*

## 1. はじめに

我が国における交通事故の大半は、ドライバーによる発見の遅れや、判断・操作の誤りといった人的ミスによって発生している。交差点部での照明設置、カーブ区間でのガードレール設置をはじめとするインフラ側の交通安全対策事業やエアバック・ABS(4輪アンチロックブレーキシステム)等の自動車本体の安全対策により、近年、死者数が1万人を下回るようになったものの、事故件数や死傷者数は、高齢者を中心として未だ著しい増加傾向にある。

従来の安全対策は事故発生時及び事故後のドライバーへの被害軽減を目的として進められてきた。

AHS(走行支援道路システム)は、ドライバーや車両側センサでは検出できない様々な危険事象を道路インフラセンサにより検出し、その情報を高度通信技術を利用してドライバーへ提供することにより、車両走行時の安全性の飛躍的な向上を目指すシステムである。事故時の被害軽減対策ではなく事故の事前対策、すなわち事故そのものを

減少させる対策として大きく期待されている。

また、AHSは安全運転の支援だけではなく、道路の情報化を支え、それらの共通基盤となる中核的なサービスとして整備され、センシング技術、システム化技術、情報通信技術、情報処理技術等はITSの様々なアプリケーションへの応用が期待されている。

ここでは、AHSを構成する各要素技術に関する研究開発の概要を述べるとともに、既に実用化が進められている走行支援パイロットシステム(突発事象検知、対向車検知システム)や道路管理の効率化・高度化への利活用が期待されている道路状況把握センサと路面状況把握センサについて、平成12年度実道フィールド実験中間結果を踏まえて報告する。

## 2. AHSを構成する要素技術の概要

AHSを構成する要素技術は図-1に示すとおりであり、これらに対してリクワイアメント(表-1)による開発目標を設定し幅広い調査研究を実施してきた。

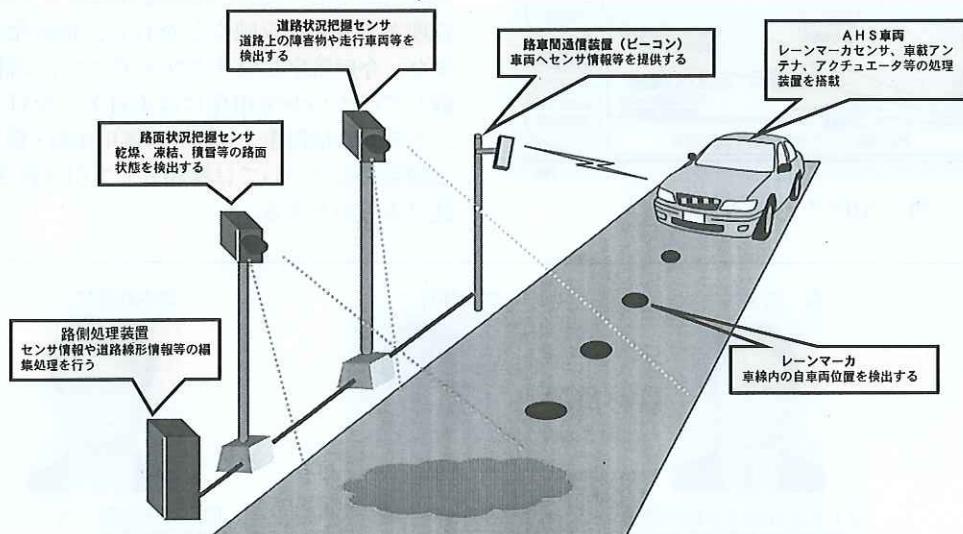


図-1 AHSを構成する要素技術

以下に各要素技術の概要を述べる。

表-1 要素技術のリクワイアメント  
(a) 道路状況把握センサ

要求性能	内容	
検出対象	走行車両検出	歩行者検出
位置計測精度	進行方向 ± 5m 横 方向 ± 1m	進行方向 ± 0.8m 横 方向 ± 0.8m
速度計測精度	± 10% or 10km/h の大きい値	—
検出時間性能	100ms	500ms

(b) 路面状況把握センサ

要求性能	内容
検出路面状況	乾燥・湿潤・水膜・積雪・凍結の 5 状態
検出範囲	道路幅員方向全幅、及び路線方向監視範囲で車両挙動に影響を与える場所
検出状態	5 状態以上
出力単位範囲	サービスに影響を与える最小区間に区切り、その区間に代表する状態を出力する
検出時間性能	検出周期 1 分

(c) 位置検出装置 (レーンマーカ)

要求性能	内容
検出位置	車線内横位置 ± 5cm 以内 車線内縦位置 ± 1m 以下
対象速度	120km/h 検出可能
環境条件	路面冠水・積雪・凍結時、及び圧雪厚 5cm 以上迄は安定して動作すること
設置条件	路面中への埋設が望ましい
基準点情報量	9bit 以上

(d) 路車間通信装置

要求性能	内容
通信対象速度	車両走行速度 120km/h
通信領域	自専道 片側 3 車線以上 一般道 往復 6 車線以上
通信方式	双方向個別通信
情報更新周期	100ms

## 2.1 道路状況把握センサ

道路状況把握センサの研究開発では、道路上の障害物検出(歩行者、自転車等を含む)、走行車両検出等を行うための各種センサ(可視画像式センサ、赤外画像式センサ、ミリ波式センサ、歩行者レーザレーダ式センサ)の機器開発やアルゴリズムの開発を行い、これらのセンサの性能検証を実施している。センサの種類及び諸元は表-2 に示すとおりであり、それらのセンサの特徴を以下に述べる。

(1) 可視画像式センサは、道路管理用途に一般的

表-2 道路状況把握センサ諸元

センサ名称	センサ諸元
可視画像式センサ	撮像素子 インターライン転送方式 CCD 有効画素数 640(H) × 480(V) 以上 フレームタイム 1/30sec
赤外画像式センサ	赤外線波長帯 8~12μm 有効画素数 320(H) × 240(V) 以上 温度分解能 0.1°C フレームタイム 1/30sec
ミリ波式センサ	送信波周波数帯 60-61GHz 電波形式 F3N 変調方式 FM-CW 送信出力 3mW 以下
レーザレーダ式センサ	波長 1.5μm 帯 繰返し周波数 50kHz

に使用されている CCTV カメラの映像を利用し、背景画像と検出物体の動きを比較処理することにより障害物や車両等の位置や速度を検出する。

センサヘッドは安価であるが雨や霧、日照等の環境条件の影響を受けやすい。

(2) 赤外画像式センサは、可視画像式センサと比較してセンサヘッドは高コストであるものの、雨や霧等の環境条件に対し安定した検出が可能なセンサである。

可視センサと同様に画像の比較処理により車両等の検出を行う。なお、波長帯は太陽光線の影響が少ない遠赤外線(8μm~12μm)である。

(3) ミリ波式センサは、電波の送受信による電波の位相差やドップラ周波数により車両等の位置や速度を検出する。画像系センサと比較して直接映像を確認できないため道路監視用としては利用できないが、積雪寒冷地の吹雪地帯や霧多発地帯等の厳しい環境下においても安定した検出が可能である。

(4) レーザレーダセンサ

パルスレーザ光を照射し、反射光の行程時間差により歩行者や障害物等を検出する。

時間更新周期が 500ms であるため、高速車両の検出には不向きであるが歩行者等の検出精度が高く、レーザ光の人体への安全性も保障されている。

## 2.2 路面状況把握センサ

路面上の摩擦係数を検出するためではなく、路面の凍結、水膜、積雪等の状態を判別するための各種センサ(可視画像式センサ、レーザレーダ式センサ、電波放射計、光ファイバ式)の機器開発、及びアルゴリズム開発を行い、これらのセンサの性能検証を実施している。センサ種類及び諸元を

表-3 に示すとおりであり、それらのセンサの特徴を以下に述べる。

- (1) 可視画像式センサは、道路状況把握センサと同様に道路管理用途に幅広く利用されている固定式 CCTV カメラから取得された画像の色相、彩度、明度、及び光の 3 原色等の特徴量に基づき路面状態を判別する。
- (2) レーザレーダ式センサは、パルスレーザ光を路面に照射し、反射光の行程時間差と反射強度等により路面状態を判別する。道路状況把握センサのレーザセンサと同様に人体への影響等はない。
- (3) 電波放射計は路面から放射される 95GHz 帯の電波のエネルギー特徴量により路面状況を判別するパッシブセンサである。
- (4) 光ファイバ式センサは道路に埋設した光ファイバにより路面温度を計測するとともに、気象計器計測値を利用した熱収支計算に基づいて、路面状態を推定するセンサである。

表-3 路面状況把握センサ諸元

センサ名称	センサ諸元
可視画像式センサ	撮像素子 インターライン転送方式 CCD 有効画素数 640(H) × 480(V) 以上 フレームタイム 1/30sec センサ分解能 2×2m～2×20m
レーザレーダ式センサ	発光方式 パルスレーザ発光 レーザ光波長 890nm 行程時間差分解能 0.5nsec 以下 センサ分解能 25cm
電波放射計	受信周波数帯 95GHz 周波数帯域 1.8GHz センサ分解能 2×8m
光ファイバ式センサ	外径 4mm 構造 SUS 管被覆光ファイバ 光ファイバ芯線型式 GI-50/125 センサ分解能 10m

### 2.3 路側処理装置

路側処理装置の開発では道路に設置されたセンサから道路状況や路面状態を収集し、交通状況に応じてドライバーへの情報提供、警報を行うためのアルゴリズム開発を行っている。

### 2.4 レーンマーカ

レーンマーカは車線内の自車両位置の特定を行う位置マーカと各サービスの開始位置をはじめとする基点情報を提供する基点マーカに区分される。

- (1) 位置マーカは、道路上に埋設されたレーンマーカの電界分布や磁界分布強度を車載のレーンマーカ検出器により検出することで車線内の自車両位置の検出を行うものである。

埋設されるレーンマーカについて、動的性能、対環境性、コスト、設置・保守性等の観点から評価を行い、現在、磁気式マーカと電波式マーカの比較、絞り込みを行っている。

- (2) 基点マーカは、AHS サービスに必要な基点情報を提供するものであり、アクティブ電波式基点マーカ、パッシブ電波式基点マーカを及び磁気マーカ配列+DSRC 方式等について詳細実験による比較検証を行う予定である。

### 2.5 路間通信装置(ビーコン)

路間通信装置は、路側処理装置で加工された道路状況や路面状況等の情報を車両側へ提供する装置である。AHS では国際標準化を考慮し、5.8GHz 帯双方向通信方式を採用している。この方式により、高速かつ大量の情報授受能力、及び高い信頼性が確保され、多様な ITS サービスでの活用が可能となる。平成 12 年 10 月 23 日付けの電気通信技術審議会諮問第 111 号「DSRC (専用狭域通信システムの無線設備等の技術的条件)」の答申により、ETC (ノンストップ自動料金収受システム) との汎用性を確保した ASK 変調方式で、通信ゾーン 30m 程度を形成する無線方式を利用することが示されたため、現在、スポット通信サービスからはじまる AHS の初期的サービスの検討を進め、将来拡張性のある連続通信サービスへの発展を目指した路間通信装置の開発を実施している。

## 3. 道路状況把握センサ実道フィールド実験

### 3.1 実験概要

道路状況把握センサの実道フィールド実験は、現道における日本道路公団との共同実験として、東名高速道路の足柄 SA に可視画像式センサ、赤外画像式センサ、ミリ波式センサを設置し、センサ性能の検証評価を行った。

図-2 にセンサ設置概要を示す。

#### (1) 設置箇所：東名高速道路

静岡県御殿場市足柄 SA 下り車線

(2) 道路構造：6 車線(片側 3 車線)

(3) 交通量：約 5 万台/日

(4) 大型車混入率：50%(平日)

(5) センサ設置台数：可視センサ 1 台

赤外センサ 2 台

ミリ波センサ 1 台

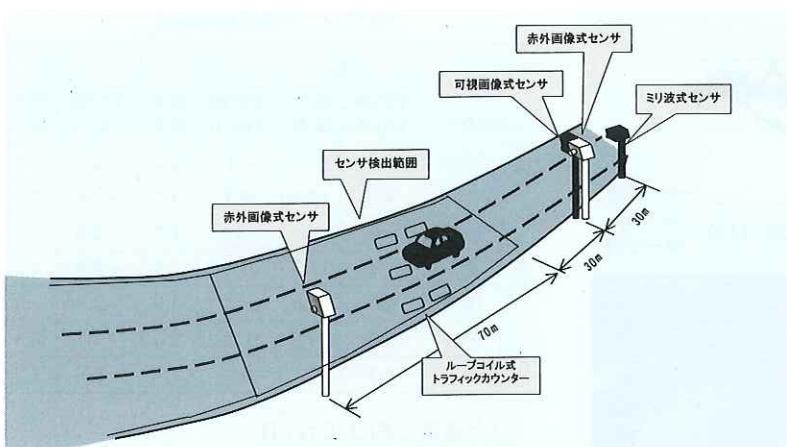


図-2 道路状況把握センサ設置概要

表-4 道路状況把握センサ検出率(ループコイル設置点)(%)

項目	検出率							
	晴			曇		雨		雪
時間帯	昼間	薄暮	夜間	昼間	夜間	昼間	夜間	薄暮
可視	90 (84)	80 (84)	76 (81)	89 (93)	87 (89)	89 (93)	90 (95)	87 (91)
赤外				95 (98)			95 (97)	97 (99)
ミリ波				93 (97)			95 (97)	93 (96)
サンプル数	17,046			4,614		1,422		472

\* 表中の( )内は、片側3車線の内、(第1車線+第2車線)を表す。  
ここで、第1車線とは、センサの直近の車線を表す。

(6) センサ設置高さ：可視・赤外 10m  
ミリ波 5m

### 3.2 評価概要

各センサの性能評価は、センサの出力した車線毎の検出データとリファレンス計測装置(既設置のループコイル式トラフィックカウンターデータを加工)の検出結果を比較することにより、通過車両台数の検出率、検出位置精度、速度精度について検証評価を行った。

### 3.3 実験結果

#### 3.3.1 検出率

検出率は以下の式で表される。

$$\text{検出率} (\%) = \frac{\text{センサ出力台数}}{\text{ループコイル式トラフィックカウンター値}} \times 100$$

なお、センサが1台の車両を2台と検出した場合、及び検出できなかった場合は、それぞれセンサ出力値には計上していない。表-4に各センサの検出結果を示す。

(1) 可視画像式センサ(可視センサ)は、晴天の

午前から正午間では、路面にかかる木立の影の影響、晴天午後では西日の影響を受け、十分な画像特徴が得られないことにより、検出率低下が著しい(図-3参照)。

また、降雪時のデータでは、視程が500m以下になった場合、検出が不可能となり、可視センサの対環境特性の弱さが浮き彫りとなった。

(2) 赤外画像式センサは全般的に比較的安定した検出率を示している。

図-4における検出率低下は、雪による視程障害ではなく、シャドーイングによる検出もが主要原因であり、中央帯側の車線の検出率が大型車等により大きな影響を受ける結果となった。

#### (3) ミリ波式センサ

全ての天候において、検出率が安定している。特に、視程が500m以下となる降雪時においても、他の天候と同等の検出率を示しており、アクティブセンサの優位性が現れている。ただし、検出画像を詳細に検討すると、大型車1台を2台に分離検出する傾向が見られる。

#### 3.3.2 位置、速度

位置、速度についても検出率と同様な傾向が見られた。晴天・雨天・曇天・降雪の4条件に分け、個別の車両速度精度、及びばらつきを検証した結果、速度計測精度のばらつきはミリ波センサが最も少くなっている。アクティブセンサであるミリ波センサの速度計測精度は天候による影響はあまりなく、いずれの場合も平均誤差+標準偏差で4%以内の結果となった。

赤外センサは、曇天、晴天時に比べて雨天降雪時には若干ばらつきが増えるが、全般に、平均誤差+誤差標準偏差で4%以内となっている。

可視センサは、全体で平均誤差+標準偏差が、

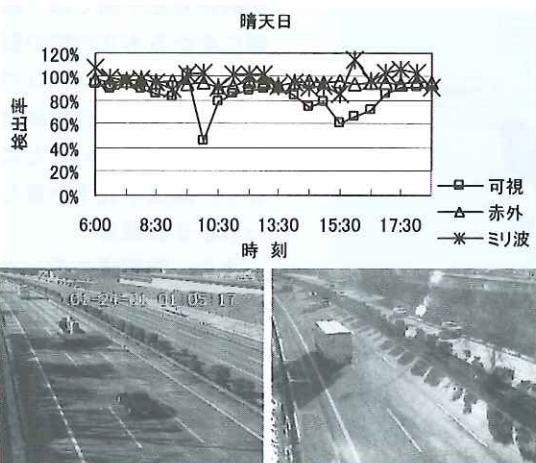


図-3 晴天時道路センサ検出率

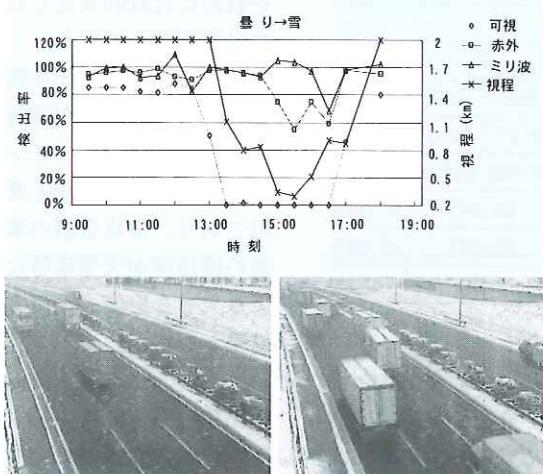


図-4 降雪時道路センサ検出率

10%以内となっている。降雪時に速度のばらつきが増え、また速度を計測できない(車両を検出できない)ケースが発生した。

#### 4. 路面状況把握センサ実道フィールド実験

##### 4.1 実験概要

路面状況把握センサの実道フィールド実験は、現道における北海道開発局及び日本道路公団との共同実験により、一般国道230号喜茂別町中山峠及び名神高速道路伊吹PAに可視画像式センサ、レーザレーダ式センサ、電波放射計、光ファイバ式センサを設置し実験を行った。中山峠における実験概要を図-5に示す。

##### (1) 一般国道230号 中山峠

①設置個所：北海道喜茂別町中山峠

②道路構造：3車線(片側1車線+登坂車線)

表-5 センサ速度精度誤差

計測条件	可視		赤外		ミリ波	
	平均値 (km/h)	標準偏差	平均値 (km/h)	標準偏差	平均値 (km/h)	標準偏差
車種	普通車	0.8	6.7	0.1	2.2	-2.3
	大型車	4.2	11.3	0.3	4.3	-2.8
天候	晴天	-2.7	6	-1.8	1.7	-2.6
	曇天	-1	11.7	0.1	2.4	-2.6
	雨天	4.1	7.2	0.3	3.9	-2.5
	降雪	2.3	14.2	1.1	3.6	-2.7
総計		1.7	7.7	0.2	3.4	-2.6
						1.2

③交通量：約2万台/日

④大型車混入率：50%(平日)

⑤センサ設置台数：可視センサ 1台

レーザレーダ式センサ 1台

電波放射計 1台

光ファイバー式センサ 1台

##### (2) 名神高速道路 伊吹PA

①設置個所：名神高速道路

滋賀県山東町伊吹PA上り車線

②道路構造：4車線(片側2車線)

③交通量：4万台/日

④大型車混入率：30%(平日)

⑤センサ設置台数：中山峠と同様

#### 4.2 検証評価概要

路面の目視判定結果とセンサ出力結果を10分毎に比較することで検証を行った。路面判定は現地でのヒアリングや文献などを基に一定の基準を設定し実施した。路面状態判別は乾燥、湿潤、水膜、積雪、凍結の5状態を基本として実施した。

ただし、電波放射計、光ファイバ式センサについては、わだち部と非わだち部の危険側の路面状態を真値として比較を行った。

#### 4.3 実験結果

路面状況の検出率を表-6に示す。

- 1) レーザレーダ式センサは、水膜の検出率が低いものの、全般的に良好な検出結果となった。データ更新周期1分毎の検出最小単位が25cmであることから、今後のアルゴリズムの改良等により、更なる検出率の向上が可能と考えられる。
- 2) 可視画像式センサは、HSB方式とRGB方式とも安定した検出結果となった。ただし、画像による判別のため水膜等の検出率は低い結果となった。

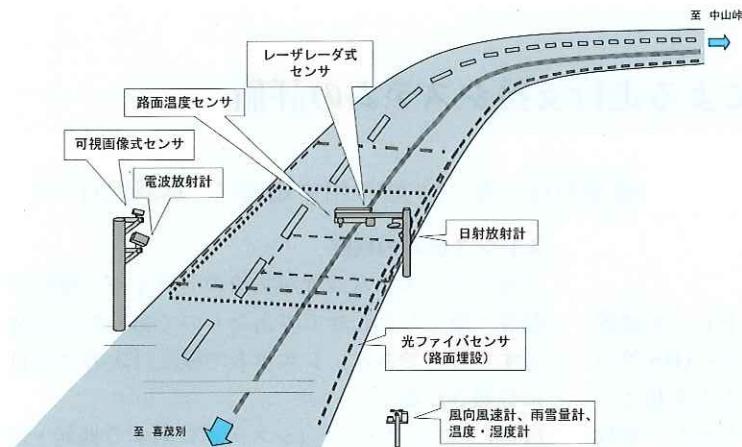


図-5 路面状況把握センサ設置概要

表-6 路面状況把握センサ検出率

5状態	センサ出力 (検出率 %)								
	センサ名	全データ数	乾燥	湿潤	水膜	積雪	凍結	欠測	故障
レーザレーダ式	3,438	80.2	85.5	21.4	75.9	89.9	なし	なし	79.6
電波放射式	1,176	78.9	54.5	0.0	58.0	55.6	4.8	なし	64.3
可視画像式 (HSB)	2,308	91.5	58.6	77.2	54.2	86.7	3.6	なし	80.8
可視画像式 (RGB)	2,309	91.5	77.2	64.0	54.2	86.7	3.7	なし	80.7
光ファイバ式	1,731	95.1	61.9	37.2	88.1	64.8	なし	なし	80.5

- 3) 電波放射計は、データ更新周期 1 分間でのセンサの検出最小単位が  $2 \times 8m$  であることから、わだち部と非わだち部の判別が困難である。このことが要因となって検出率が低下した。
- 4) 光ファイバ式センサは区画線(外側線)の直ぐ内側に埋設されていることから、除雪により常時積雪がある状況になり正確な路面状況が把握できない現象が発生する。このため、乾燥以外は検出率の低下が見られる。今後、設置位置等の検討が必要と考えられる。

れた。

今回の実験データは短期間のものであり、今後、様々な条件下における実験評価を行い、長期的なデータの取得が必要不可欠と考えられる。平成 13 年度は、引き続き実地での長期的データの取得を行うとともに、検出アルゴリズムの改良を行い、詳細評価を行う予定である。

#### 参考文献

- 1) 走行支援道路システム開発機構：走行支援道路システム技術研究開発研究成果報告書, 2000.

森 昌文\*



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長  
Masafumi MORI

鈴木武彦\*\*



同 高度道路交通システム研究官  
Takehiko SUZUKI

佐々田敬久\*\*\*



国土交通省中国地方整備局  
広島国道工事事務所広島維持出張所  
Yukihisa SASADA

#### 5. まとめ

AHS を構成する要素技術開発の概要を報告し、道路状況把握センサ、路面状況把握センサについては、実道フィールド実験の中間結果に基づき各センサの評価を行った。

今回の実験によって、次の結果が得られた。

- 1) 道路状況把握センサでは、赤外画像式センサが対環境性等の面で安定した検出結果を示した。
- 2) 路面状況把握センサでは、可視画像式センサとレーザレーダ式センサにおいて比較的安定した検出精度が得ら