

自動車・交通分野 における人工知能技術

07

斎藤 徹 ((株)本田技術研究所) : toru_saito@n.t.rd.honda.co.jp

辻野広司 ((株)ホンダ・リサーチ・インスティテュート・ジャパン) : tsujino@jp.honda-ri.com

07

自動車・交通分野における人工知能技術

最先端の「情報化・知能化」技術により、「人」と「道路」と「車両」を一体のシステムとすることで、道路交通が抱える事故や渋滞、環境対策などの諸問題を抜本的に解決するのが ITS (Intelligent Transport Systems) の取り組みである。運転者に地図上の自車位置や目的地までの経路などの情報を提供するカーナビゲーションシステム (以下カーナビと記す)、道路の混雑状況や事故の発生を知らせる交通情報インフラ、車両そのものの知能化ともいえる自動運転への挑戦と、情報化・知能化はそれぞれの軸から個別に始まった。「高度情報通信社会推進に向けた基本方針」¹⁾の中で ITS が国家プロジェクトとして位置付けられた頃から、それらの取り組みが相互に関連し合うようになり、ITS 実現に向けての本格的な推進がなされている。本稿ではこれら ITS の取り組みの概要と、実用化されている車載システムの機能について紹介し、交通や自動車における「知能化」技術について展望する。

我が国におけるITSの歴史

はじめに ITS 実現に向けての我が国の代表的取り組みを概観する。

最初に実現した ITS は、1996年にサービスを開始した VICS (Vehicle Information Communication System) である。渋滞や事故、工事などの交通情報に加え駐車場情報などを、カーナビを車両側の受け皿として提供するもので、道路と車両のコミュニケーションが始まった。高速道路の料金所での渋滞緩和を目的とした ETC (Electronic Toll Collection) は、2001年にサービスを開始すると2005年末には700万台に普及し、首都高速道路では約半数の車両が利用している。

車両にカメラやレーダなどのセンサを搭載し運転支援することで、事故の削減や事故被害の低減を狙った ASV (Advanced Safety Vehicle)²⁾ は、1991年より5年を一区切りとして活動が続いている。第2期には実用化に向けたシステムの開発と環境の整備が推進され、ここ数年の間に自律型の予防安全・運転支援のシステムが次々と商品化されている。また第3期からは、車両同士が通信しあう(車々間通信)ことで見えない危険にも対応できるシステムの開発も進められている。

道路側からの包括的な取り組みとしては、主に高速道路においてインフラが検知・収集した情報を通信にて車両に提供(路車間通信)することで、ITSの目的である安全性、快適性の向上や交通円滑化への寄与を狙

い、1996年には AHS 研究組合 (Advanced cruise assist Highway System) が、1999年にはスマートウェイ推進会議が発足し検討を進めていると同時に、一般道での同様の取り組みとして UTMS 協会 (Universal Traffic Management System) が発足し検討推進されている。

これらの取り組みは VICS の発展と位置付けられ、車両から情報を利用するプローブシステムなどの検討も含まれている。

カーナビの進化

1981年に誕生した世界初のカーナビは、地図のフィルムをディスプレイに差し込み、そこに自車の位置を表示する単純な機能であった(図-1)。

カーナビにおける最初の転機は1990年の地図データ・デジタル化である。地図をノードとリンクで扱うことが可能となり、目的地までの経路を道案内し、施設を検索する「賢さ」が発揮されるようになった。

次の進化は外部との通信機能を持ったことである。1996年にサービスを開始した VICS のほかに、携帯電話を利用した双方向のテレマティクスサービスが導入されて、カーナビは単なる道案内の道具から車両における情報ステーションの役割を有するようになり、多機能・高度化、システム化が進んでいる。

カーナビの機能が多様化、高度化するにつれて操作も複雑化し、その対応として2000年代になって音声認識



図-1 世界初のカーナビゲーションシステム

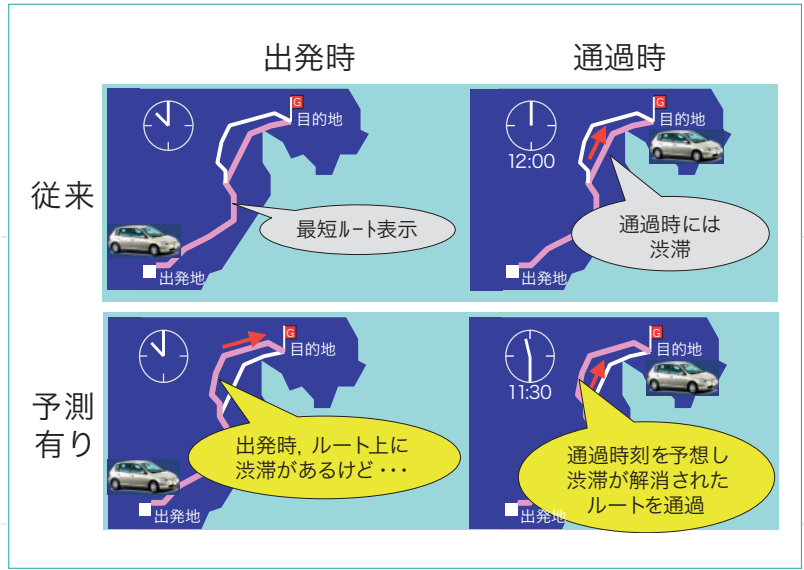


図-2 渋滞予測による経路誘導の例

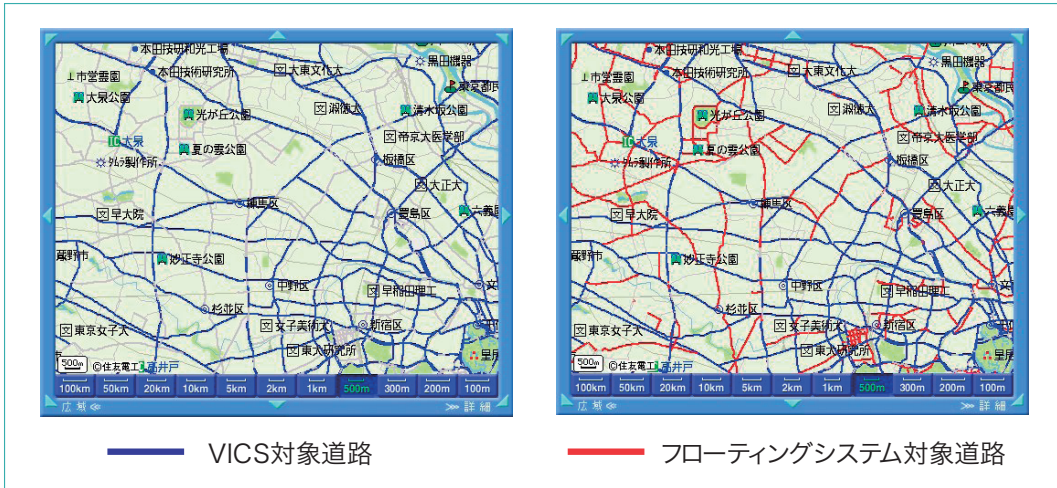


図-3 情報提供路線 (例)

や音声合成の機能を有するようになった。音声による操作対象はカーナビのみにとどまらず、エアコンやオーディオをはじめ車両のさまざまな機能にまで及んでいる。

2002年にVICISデータが民間にも提供され、テレマティクス事業者などはこのデータの2次加工を行い利用者に提供することが可能となった。従来のVICISはエリアを越えた情報や到着時刻における渋滞情報は得られなかったが、この規制緩和により前述のテレマティクスサービスと連携してエリア外の交通情報はもちろん、VICISの過去の履歴情報を分析して時間帯や曜日などを加味した経路の通過予定時刻における予想渋滞情報の提供が可能となり、より最適な経路とより精度の高い到着予想時刻が提供できるようになっている(図-2)。

またVICISが提供する交通情報に加え、車両の走行データから渋滞状況を把握するフローティングカーシステムも実用化されている。従来のVICISでは、道路上に設置

した通過車両センサにより検知される交通状況データを情報センタで集め処理することで、ユーザに提供する交通情報を生成していた。そのため、インフラ設置がない道路については交通情報を提供することができなかった。フローティングカーシステムにおいてはインフラ設置のない道路においても車両の走行データ収集ができるため、情報提供可能な道路が格段に増える(図-3)。さらには、分岐手前における車線ごとの混雑状況など、よりきめ細かい情報提供サービスも実現している。

このようにカーナビはITSの発展の中で中心的存在であり、今後のITSセカンドステージの実現に向けてますますの進化が期待されている。

自律型運転支援システム ASV

日本国内の交通事故の人的被害状況(図-4)を見て

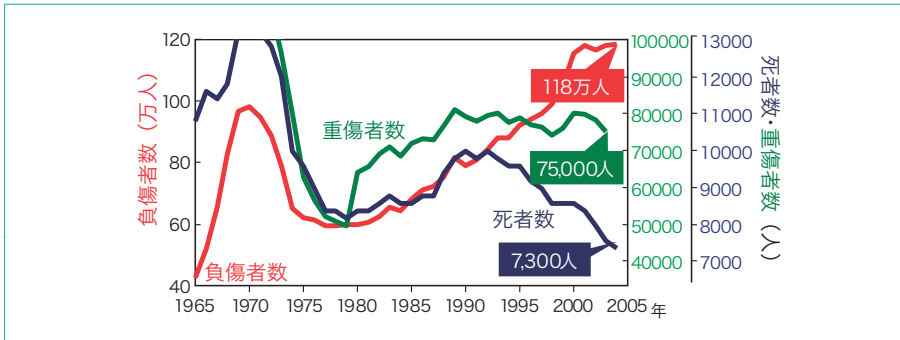


図-4 負傷者数、重傷者数、死者数の推移
(警察庁資料・平成17年版交通安全
白書より抜粋)

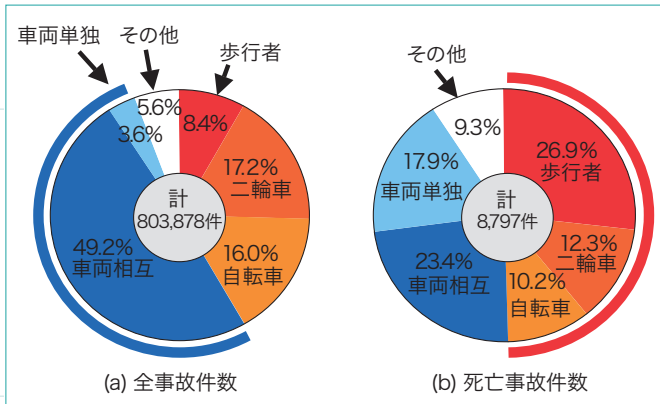


図-5 交通事故の分析 (1998年ITARDA年報より抜粋)

みると、死者の数は近年横ばいから減少傾向にあるものの、重傷者数は横ばい傾向、負傷者数にいたっては依然として増加傾向に歯止めがかかっていない。死者数の低減については、シートベルトやエアバッグ、衝撃を吸収するボディ構造などの衝突安全技術が寄与していると考えられるが、これらはぶつかってから被害を低減する技術であり、負傷者数や事故の発生そのものを低減するためには新たな抜本的取り組みが必要と考えられる。

ASV計画がスタートした1991年頃は、交通事故の死者数がまさにピークにあった。上記抜本的対策として「エレクトロニクス技術等の新技術活用により車両を高度知能化し、安全性を格段に高めること」を目的としたASVはまさに渴望された技術であるといえる。

5年を一区切りとして推進しているASVの第1期(1991～1995年度)は、「予防安全の技術的可能性の検証」をテーマに、その時点で考えられるさまざまな機能に実験的に取り組んだ。第2期(1996～2000年度)は、「予防安全の実用化に向けた環境整備」をテーマに、より高い事故低減効果の期待できる実用的な技術の研究を行った。

我々は、第2期ASVの研究を進めるにあたり、「どのような事故を対象とするのが効果的で、その事故を防ぐにはどんな技術が必要か」を出発点として計画に参加した。

図-5に示された当事者相関別交通事故発生割合の分析により、全事故件数のうち四輪が関係する追突と逸脱の事故が約半数を占め、死亡事故においては歩行者、二輪車、自転車といったいわゆる交通弱者が関係する割合が同様に約半数を占めていることが分かった。さらに詳細分析すると、車両相互事故では追突が第一要因で約3割を占め、単独事故では運転者の認知判断の誤りによる工作物衝突や路外逸脱事故が多い。

一方、交通弱者の死亡事故は夜間が約7割を占め、そのうち歩行者では横断中が最も多く、二輪車の事故では出会い頭と右直事故が約7割を占めることも確認できた。そして、その発生原因を見てみると、これら事故の多くが、安全の不確認や前方不注意により危険の発見や認知が遅れたことに起因している。

以上の分析に基づき、追突や車線逸脱事故低減を目指した運転操作支援の研究として、

- カメラを用いて白線を認識し車線維持支援を行う「車線維持支援・車線逸脱警報システム」
- レーダを用いて前走車を認識し発進から停止までを車間距離を保って追従する「渋滞追従制御付きアダプティブ・クルーズコントロール」
- 前方車との追突可能性がある場合と判断した場合に緊急ブレーキ作動による衝突速度の低減をはかる「追突軽減システム」

歩行者や二輪車のような交通弱者の事故低減を目指した交通弱者の認知性向上の研究として、

- 遠赤外線カメラで夜間の歩行者を検知し運転者に知らせる「インテリジェント・ナイトビジョンシステム」
- 操舵等に連動して車両の進行方向を照らし夜間の視界を確保する「アクティブ・ヘッドライトシステム」
- 通信システムを用いて互いの情報をやりとりし運転者に情報提供する「二輪車・四輪車情報通信システム」を搭載した実験車を製作し、その効果を検証した³⁾。

図-6に実験車の外観を示す。

ASVが目指す「エレクトロニクス技術による車両の高度知能化」のキー技術が、走行環境を手前から認識するいわゆる外界センシング技術であることはいうまでも



図-6 ASV-2 実験車の外観

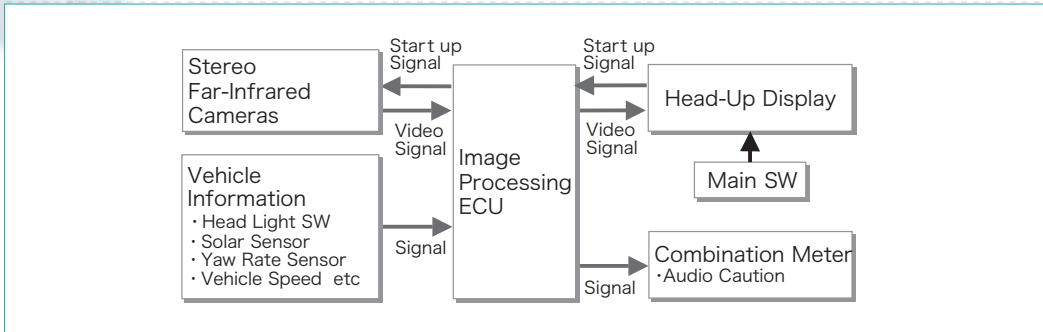


図-7 システム構成

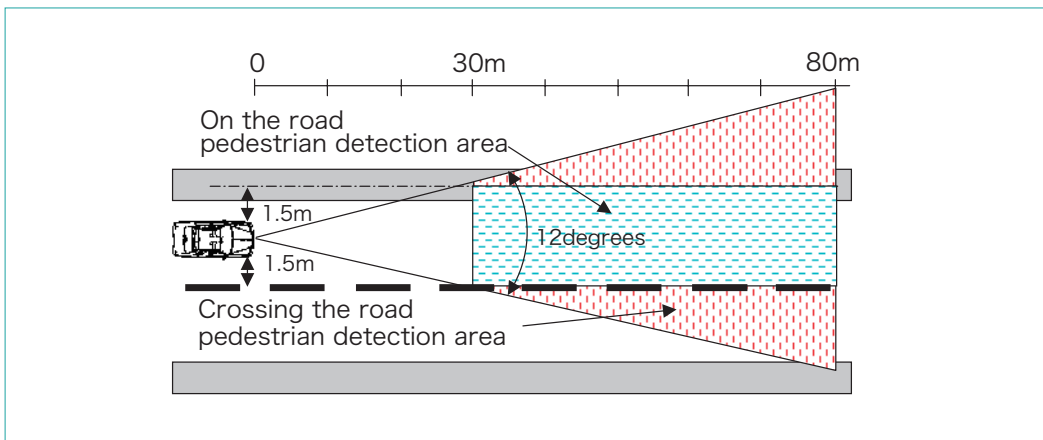


図-8 歩行者検知エリア

ない。以下では、上記の技術の中から画像処理による外界認識技術を利用して運転を支援するインテリジェント・ナイトビジョンシステムについて、実現した機能と効果検証の結果について述べる。

⇒ インテリジェント・ナイトビジョンシステム

事故分析の結果、国内における交通死亡事故の2割は夜間の歩行者であり、まっすぐな道路で運転者が歩行者の存在に気付くのが遅れ事故が発生している。

そこで我々は、横断中の歩行者や進路付近の歩行者を車両に検知し、その存在を運転者に知らせるシステムが夜間の歩行者事故に対して有効であると考え、インテリジェント・ナイトビジョンシステムの開発を行った⁴⁾。

図-7 にシステム構成を示す。本システムは前方の遠赤外線映像をヘッドアップディスプレイに表示するとともに、横断歩行者や路上の歩行者を検出すると、注意喚起音と映像上の歩行者部位にオレンジ色の強調枠で歩行者の存在を運転者に知らせる。図-8 に注意喚起を行う歩行者検知エリアを示す。

● 歩行者検知のための画像処理

図-9 は歩行者検知の処理フローである。映像取得には、表-1 に示す遠赤外線カメラを2個装備し、画像処理には、画像処理 ECU 内の VLIW (Very Long Instruction Word) 型プロセッサコアを3個内蔵した汎用画像処理プロセッサを用いた。映像入力は 30fps、8bit 階調で、処理サイクルは 33 ~ 100ms の可変レートである。

以下では、大きく3ステップに分けて処理の詳細を述べる。

<対象物抽出処理>

歩行者を含む熱源対象物の抽出は、遠赤外線カメラの映像特性を利用し、右側カメラの映像を二値化処理によって行い、二値化閾値の設定はフレームごとのヒストグラム分布からリアルタイムに行う。抽出された対象物の映像上の位置および大きさをもとにフレームごとに同一性を判定し、時間追跡を行う。

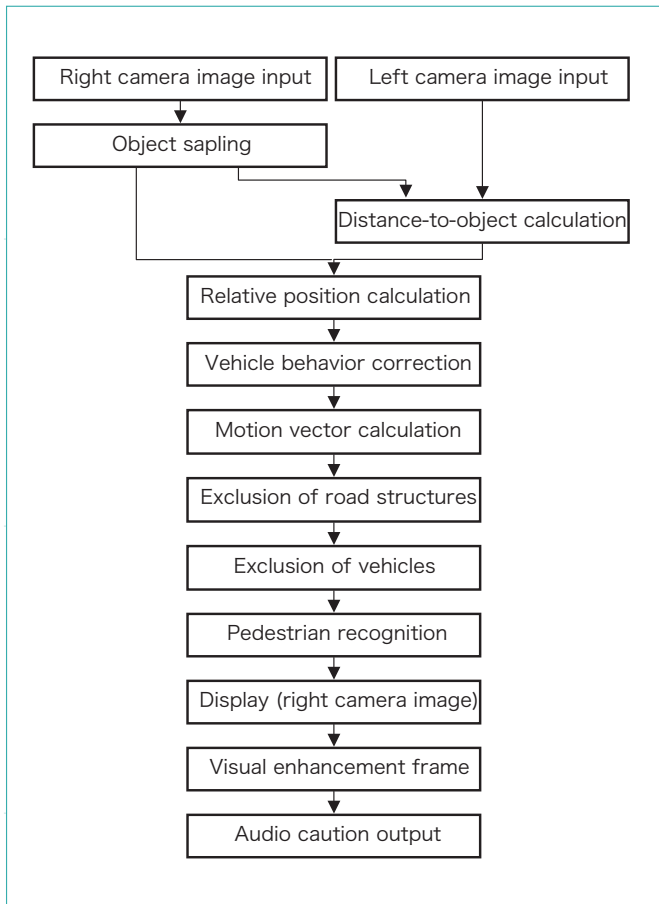


図-9 歩行者検知の画像処理フロー

IR Sensor Type	Passive IR Uncooled Ferroelectric Device
IR Spectral Range	8 μm to 12 μm
Base Length	740 mm
Field of View (H \times V)	18deg \times 9deg
Focal Length	37.5 mm
Sensor Array Size	240 \times 120pixels
Minimum Resolvable Temperature Difference	0.55degC (at f0)

表-1 赤外線カメラの仕様

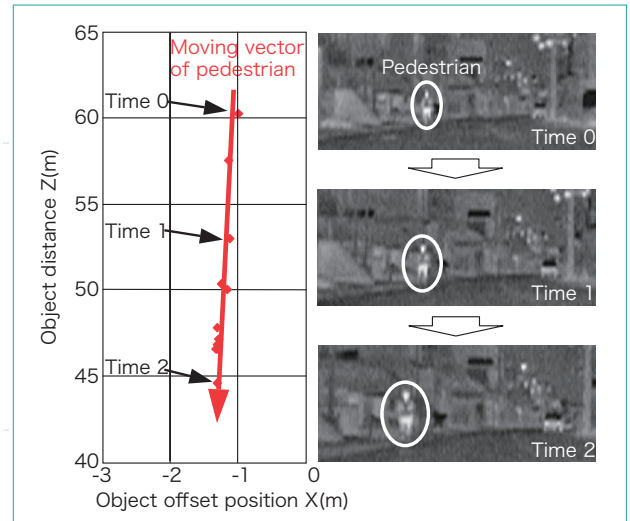


図-11 歩行者移動ベクトルの算出例



図-10 二値化処理の例

<位置と相対移動ベクトル算出および判定処理>

次に、二値化処理により抽出した対象物までの距離を、左右の遠赤外線映像上の投影位置差（視差）から、三角測量の原理を用いて距離を算出する。視差算出のためには、二値化対象物を含む右画像領域を切り出し、左画像との間で SAD (Sum of Absolute Difference) による相関演算を用いている。算出された距離と映像上の位置から実空間における対象物の位置を算出し、車両の回頭運動を補正しながら相対的な移動ベクトルを求め、注意喚起すべき対象物であるか否かを 1 秒間の時系列データを基に判定する。図-10 に遠赤外線映像の二値化処理の例を、図-11 に路上歩行者の位置と相対移動ベクトル算出結果の例を示す。

<形状判別処理>

抽出された対象物が歩行者か否かを識別するために、形状判別処理を行う。形状判別処理は、歩行者以外の熱源に対する除外処理と、歩行者形状認識処理の 2 つに分類され、それぞれ対象物の距離情報に基づいた大きさや高さ、映像上の輝度変化、その他の組合せ情報等を用いて、道路構造物や車両といった歩行者以外の対象物の除外と歩行者の抽出処理を行う。

日本の道路環境においては、歩行者を検知する範囲に遠赤外線映像上で白く見える電柱やコンクリート壁、夜間点灯して熱を持っているランプ等の熱源道路構造物が多数存在するため、それらを確実に除外する必要がある。そこで、電柱に対しては遠赤外線映像の二値化抽出対象物近傍領域に垂直エッジ検出フィルタを施し、検出された垂直エッジの連続した長さにより電柱の特徴である直線形状を認識し除外する（図-12）。

また、立体交差道路の分岐点に存在するランプに対しては、二値化対象物近傍にプロジェクションエリアを設定し、横方向の輝度プロジェクション平均値を算出し、輝度プロジェクションパターンにより、上下に同一輝度で高輝度のピーク位置が存在し、かつ、上下のピーク位置間が所定値で存在するという形状特徴を認識し除外す

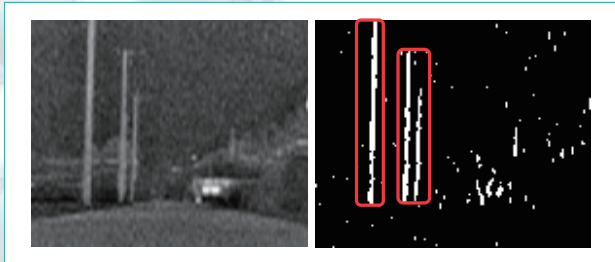


図-12 道路構造物除外処理の例（電柱）

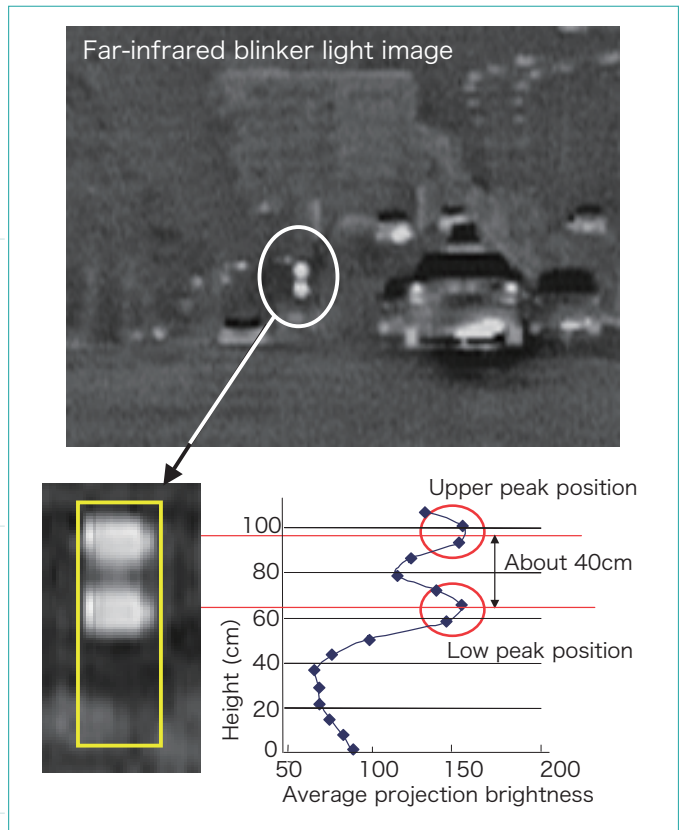


図-13 道路構造物除外処理の例（ランプ）

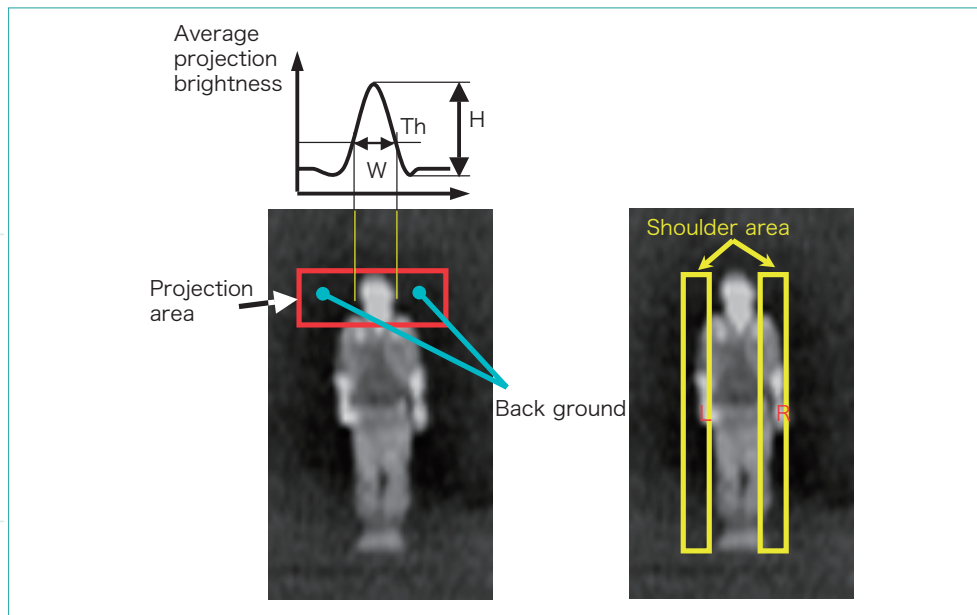


図-14 歩行者頭部と肩の認識手法

る（図-13）。

一方、歩行者形状判別処理では、抽出対象物上方エリアの縦方向プロジェクション平均輝度を算出し、高輝度部位の幅 W と背景領域との輝度差 H より頭部の存在を判別する。さらに、判別された頭部の左右に肩部判別エリアを設定し、エリアの距離が頭部と等しい場合、肩部が存在すると判別する（図-14）。

●注意喚起の効果検証

本システムでは歩行者の認知性向上手法として、音声案内と歩行者部の強調枠表示の機能を搭載しており、これらの機能の効果を常時映像表示のみの場合と比較し検証した。テスト手法は以下のとおりである。

まず前方スクリーン上に1.5秒間隔で変化する0～9の数字を表示し、被験者にこれを読み上げさせることにより視線方向を拘束し、実際の走行時に近い注視状況を再現させた。次にこの状態でヘッドアップディスプレイ



図-15 効果検証のテスト状況

に走行中の映像を映し出し、被験者は映像上の横断歩行者を発見した場合に、その出現方向に合わせてハンドル上の左右のスイッチを押すものとし、その応答時間を測定した。図-15 にテスト状況を示す。

テスト映像では5分間の走行映像中に10人の横断歩行者が現れるものとし、年齢性別の異なる10人の被験者に対し、常時映像表示のみのシステムと本システムとについて応答時間を計測し比較した。

テスト結果として図-16 に平均応答時間測定結果を示す。前方注視時においては、映像表示のみに対して本システムは平均応答時間が約50%短縮され、衝突可能性のある歩行者を検出し音声や強調表示で運転者にその情報を提供する本システムが、歩行者認識性の向上に効果があることが確認された。

交通・自動車分野における知能化技術研究の今後

1980年代にエキスパートシステムを中心に産業界に普及した人工知能技術は、今、かたちを変えて発展を遂げている。当時課題となっていた、計算能力不足、記憶容量不足は、CPUやメモリの進展とネットワーク技術の進化により、かなり解決されている。特に、インターネットでは、検索エンジンや知的なインタフェースなど身近なところで知能化技術の実用が進んでいる。

交通・自動車分野においても、カーナビなどを代表に知能化技術は着実に実用化が進んでいるが、それはやはりCPU・メモリ・ネットワークの進展により制約がゆるくなった結果に負うところが大きい。一方、交通・自動車分野で重要な「安全」のための知能化技術実用には、従来の知能化技術を超えるブレークスルーが必要である。そのような意味で、交通・自動車分野における知能化技術研究は大きく2つの方向をもって進展すべきと考える。

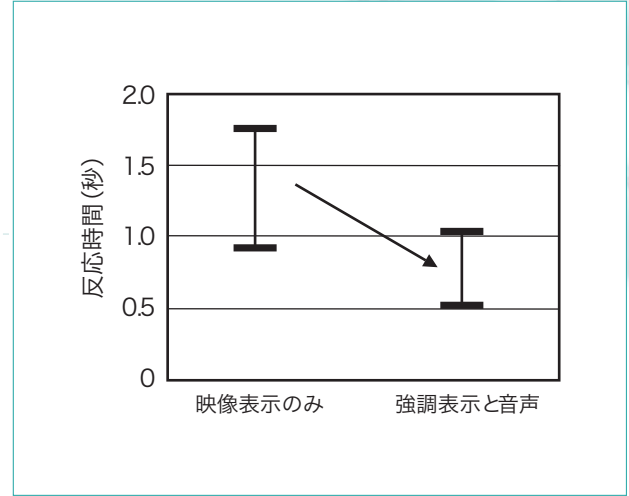


図-16 注意喚起の効果

1つは、ITSを超え、ユビキタスコンピューティングなどと一体化した社会システム応用研究であろう。たとえば、車を含めた多くのものにICタグなどによるタグ付けがされると、それは大規模な実世界知識ベースとなる。移動する環境の中でダイナミックに変化する実世界知識ベースを用いて最適な意思決定を支援し、より安全で、より便利なサービスを実現することは夢ではない。

もう1つは、人間並みあるいは動物並みの認識機能研究であろう。前述したASV技術のように、安全な車を実現するには間違いなく認識機能が求められる。従来の人工知能が「コンピュータという機械」をベースに記号処理型の知能化技術を進展させたように、人や実環境とかかわることが必須な「自動車という機械」が、実環境と記号を結びつける新たな知能化技術を探る突破口になるかもしれない。

McCarthyらがDartmouthで人工知能 Summer Project⁵⁾を提案して50年。今まで築かれてきた人工知能の基礎技術を礎に、脳で行われている情報処理を取り入れるような進化を遂げられれば、何十年か後には現在の概念を超えた新たなかたちの安全で快適なモビリティ社会が実現化されるだろう。

参考文献

- 1) 高度情報通信社会推進に向けた基本方針、高度情報通信社会推進本部 (Nov.1998).
- 2) 先進安全自動車 (ASV) の紹介、国土交通省、<http://www.mlit.go.jp/jidosh/a/anzen/asv/index.html>
- 3) 浅沼信吉、川合 誠、高橋昭夫、辻 孝之：ホンダ ASV-2 の紹介 (乗用車)、Honda R&D Technical Review, Vol.12, No.2, pp.1-8 (2000).
- 4) 辻 孝之、服部 弘、渡辺正人、長岡伸治：ナイトビジョンシステムの開発、自動車技術会論文集、Vol.33, No.3, pp.203-209 (2002).
- 5) McCarthy, J., Minsky, M. L., Rochester, N. and Shannon, C. E. : A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence (Aug.1955).

(平成 18 年 6 月 5 日受付)