

論文・解説

26

マツダAHS安全運転支援システムの開発 Development of Mazda AHS Safety Driving Support System

山本 雅史*¹ 為貝 仁志*² 千葉 正基*³
Masashi Yamamoto Hitoshi Tamegai Masaki Chiba
藤田 健二*⁴
Kenji Fujita

要 約

車載センサで車両周辺の危険な状況をいち早く検知し、情報提供・警報・操作支援などによりドライバの安全運転を支援したり、衝突事故による被害を軽減したりするASV (Advanced Safety Vehicle: 先進安全自動車) 技術や、インフラセンサで道路状況を検知して車に伝達し、それをもとに車側で情報提供・警報・操作支援を行い、安全性を向上させるAHS (Advanced cruise-assist Highway System: 走行支援道路システム) 技術の研究開発が進められている。

2001年にはASVとAHSが協力して、ASV車両とAHS道路インフラが協調することにより安全運転を支援する「路車協調型安全運転支援システム」の実証実験システムを構築し、2002年10月から2003年3月には国土交通省国土技術政策総合研究所テストコース (以下、国総研テストコース) と実道3ヶ所においてASV/AHS共同実証実験が実施された。

我々は、ドライバの認知負担、分かりやすさの観点からドライバ受容性の高いHMI (Human Machine Interface: ヒューマン・マシン・インターフェース) を設計すること、および路車協調システムの有効性を検証することを目的に、障害物衝突防止や右折衝突防止など7システムを開発し、上記のASV/AHS共同実証実験に参加、検証実験を行った。本稿では、ASV/AHS共同実証実験におけるマツダAHS安全走行支援システムとHMIのドライバ受容性に関する基礎実験の結果を報告する。

Summary

Automobile manufactures have been aggressively conducting researches on ASV (Advanced Safety Vehicle) technologies, which prevent traffic accidents and reduce damage from the accidents. Electric-appliance makers and infrastructure manufacturers also have been making researches on AHS (Advanced cruise-assist Highway System), which employs infrastructure support for safer driving.

In 2001, automobile manufacturers, electric-appliance makers, and infrastructure manufacturers cooperated in constructing a prototype of safety driving support system with AHS road infrastructure. From Oct. 2002 to Mar. 2003, joint verification tests were conducted on a proving ground and public roads.

In order to design HMI (Human Machine Interface) which is highly acceptable to a driver, and to verify effectiveness of safety driving support system with AHS road infrastructure, we developed a test vehicle equipped with seven driving support systems such as a forward vehicle information system and a right turn collision prevention advisory system, and participated in verification tests. This paper reports an overview of Mazda AHS safety driving support system, and the results of fundamental tests for driver's acceptability of HMI.

*1~4 技術研究所
Technical Research Center

1. はじめに

最先端の情報通信技術を用いて、「人」、「道路」、「車両」を一体の交通システムとして構築することにより、道路交通の安全性、輸送効率、快適性の飛躍的な向上を実現するITS(Intelligent Transport System:高度道路交通システム)の研究開発が活発に行われている。この中核をなす技術領域としてASV技術とAHS技術がある。

ASV技術は、車載センサで車両周辺の危険な状況をいち早く検知し、情報提供・警報・操作支援などによりドライバの安全運転を支援したり、衝突事故による被害を軽減したりする技術である。各自動車メーカーは国土交通省が主導するASVプロジェクト中で様々なシステムの研究開発を進めており、マツダもこれに参加している⁽¹⁾。

AHS技術は、インフラセンサで道路状況を検知して車に伝達し、それをもとに車側で情報提供・警報・操作支援を行い、安全性を向上させる技術である。民間企業21社が設立した技術研究組合走行支援道路システム開発機構(以下、AHS研究組合)が中心となって、道路状況を検知する技術や検知した情報を車両に伝える路車間通信技術の研究開発が進められている。

2001年にはASVとAHSが協力して、ASV車両とAHS道路インフラが協調することにより安全運転を支援する「路車協調型安全運転支援システム」の実証実験システムを構築し、2002年10月から2003年3月には国総研テストコースと実道3ヶ所(東名高速道路、国道25号線、国道246号線)においてASV/AHS共同実証実験が実施された⁽²⁾。

路車協調システムにおける車側の課題の一つは、ドライバから視認できない危険状況や複数の危険対象を、短時間で正確にドライバに伝達するHMIを構築することである。我々は、ドライバの認知負担、分かりやすさの観点からドライバ受容性の高いHMIを設計すること、および路車協調システムの有効性を検証することを目的に、障害物衝突防止や右折衝突防止など7システムを開発し、上記のASV/AHS共同実証実験に参加、検証実験を行った。本稿では、ASV/AHS共同実証実験におけるマツダAHS安全走行支援システムとHMIのドライバ受容性に関する基礎実験の結果を報告する。

2. 実験システムの構成

路車協調型安全運転支援システムの狙いは、見通しの悪い道路や悪天候などの視界不良などにより、ドライバから視認できない障害物や歩行者を路側センサで検知し車両へ伝え、車側ではドライバに情報提供することでドライバに危険状況を認知させ、事故を未然に防止することである。今回、AHS道路インフラと協調した7システム(Table 1)を開発し、国総研テストコースおよび実道で行われた

Table 1 Mazda AHS Safety Driving Support Systems

Systems		Complex system		
On roads	Forward vehicle and traffic jam information system	●		
	Road surface condition information system	●		
	Curve overshooting prevention advisory system	●		
At intersections	Right turn collision prevention advisory system		●	
	Crossing pedestrian collision prevention advisory system		●	
	Intersection stopping advisory system			●
	Crossing collision prevention advisory system			●

ASV/AHS共同実証実験に参加し、検証実験を行った。本章では、実験で使用したインフラ実験システムの概要と実験車のシステム構成について述べる。

2.1 インフラ実験システムの概要

Fig.1に示すように、インフラ実験システムは車両、歩行者、路面状況を検出する路側センサシステムと、インフラと車両の間でデータ通信を行う路車間通信システムから構成される。

車両・歩行者の検出には画像センサとレーザレーダが、路面状況の検出にはレーザセンサが用いられている。車両センサは車両の位置・速度を、分解能それぞれ1m、1km/hで検知する。歩行者センサは歩行者・自転車の位置を分解能1mで検知する。路面センサは、路面状況を凍結、積雪、水膜、湿潤、乾燥の5状態に識別する。

インフラから車両への情報伝達は、5.8GHz帯を使用するDSRC(Dedicated Short Range Communication:狭域通信システム)によるスポット通信方式を用いており、基点ビーコンと情報ビーコンが対となって路側に設置されている。基点ビーコンは車両や歩行者の位置を表すときの原点(基点)を伝達する役割を持ち、±5mの精度で基点を検知できる。情報ビーコンは路側センサで検出された車両や歩行者の情報を伝達する役割を持つ。1基の情報ビーコンは30m程度の通信範囲を持ち、100ms周期でデータを受信する。

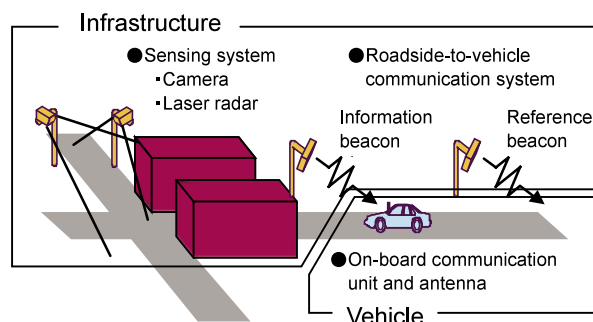


Fig.1 System Configuration of AHS Infrastructure



Fig.2 Mazda AHS Test Vehicle



Fig.4 On-board Antenna



Fig.5 Information Display

2.2 実験車のシステム構成

アンテナをベースに実験車 (Fig.2) を開発し、7システムを搭載した。実験車のシステム構成図をFig.3に示す。

(1) 車載通信機・アンテナ

路車間通信の車載通信機・アンテナは、AHS研究組合が実証実験用に試作したものを搭載した。アンテナは設置要件に基づきダッシュボード上の車体中央、できるだけ前方に、アンテナ面がフロントガラス面と平行となるように設置した (Fig.4)。

(2) 車両センサ

ベース車両に搭載されているセンサを活用し、車速信号、ブレーキ信号、ウインカ信号を検出している。

(3) 情報提示装置

ドライバーに情報提供を行う提示装置は、HMI制御ユニットとナビゲーションシステムから構成される。ドライバーへの情報提供は、ナビゲーションシステムのディスプレイを2画面に分割し、ドライバー側の画面にAHSの安全情報を、助手席側にナビゲーションの地図情報を表示する (Fig.5)。このとき、走行状況に応じてナビゲーションシステムの経路案内とAHS安全情報を選択する。

3. システム開発

システム開発にあたりドライバー受容性の高いHMIの構築に注力した。路車協調システムにおける車側の課題の一つは、ドライバーから視認できない危険状況や複数の危険対象を、短時間で正確にドライバーに伝達するHMIを構築することである。特に、同一地点で複数の情報提供システムが作動する複合システムではドライバー受容性の高いHMIがより重要となる。そこで本章では、マツダAHS安全運転支援システムの中から、単路での複合システム (前方障害物情報提供支援、路面状況情報提供支援、カーブ進入危険防止支援) と、交差点での複合システム (右折衝突防止支援、横断歩道歩行者衝突防止支援) について詳述する。

3.1 単路での複合システム

見通しの悪いカーブなどで停止車両や渋滞末尾の位置情報を獲得し、ドライバーに情報提供する前方障害物情報提供支援システム、凍結や積雪など悪路面状況を獲得し、ドラ

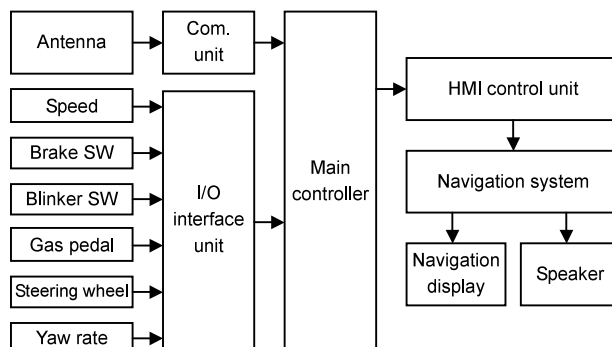


Fig.3 System Configuration of AHS Test Vehicle

イバに情報提供する路面状況情報提供支援システム、前方カーブまでの距離と半径を獲得し、カーブへの進入速度超過の場合に情報提供することでドライバーに注意喚起するカーブ進入危険防止支援システムを開発した。同一地点でこれら3システムのインフラ設備が設置されている場合、情報提供開始のタイミングは以下のロジックにより決定する。

(1) 情報提供ロジック

同一地点で複数の情報提供システムが作動する場合、走行中に多くの情報を提示するとドライバーが情報を正確に理解できない、あるいは情報を誤って理解する懸念がある。例えば、路車間通信で受信した時点で3つの危険対象の情報を同時に提供する方法は、一度に提示される情報量が多いため認知の負担が増大し、短時間で正確に内容を理解することが難しくなると考えられる。また、それぞれの開始タイミングで各危険対象の情報を提供する方法は、危険対象の位置によっては次々と情報が提供される場合がありドライバーが全ての情報を正確に理解することは困難となる、あるいは2番目の情報提供が行われた時点で最初の情報内容が頭に残らない懸念がある。そこで、緊急度に応じて最優先でドライバーに伝えるべき危険状況を1つ選択し情報提供するという考えで情報提供ロジックを設計した。

具体的には、式(1)~(3)に基づいて危険対象ごとに情報提供の開始タイミングを算出し、開始タイミングが最も早い危険対象を1つ選択してその情報提供を行う。その危険対象を通過後に次に開始タイミングが早い危険対象の情報提供を行うこととした (Fig.6)。

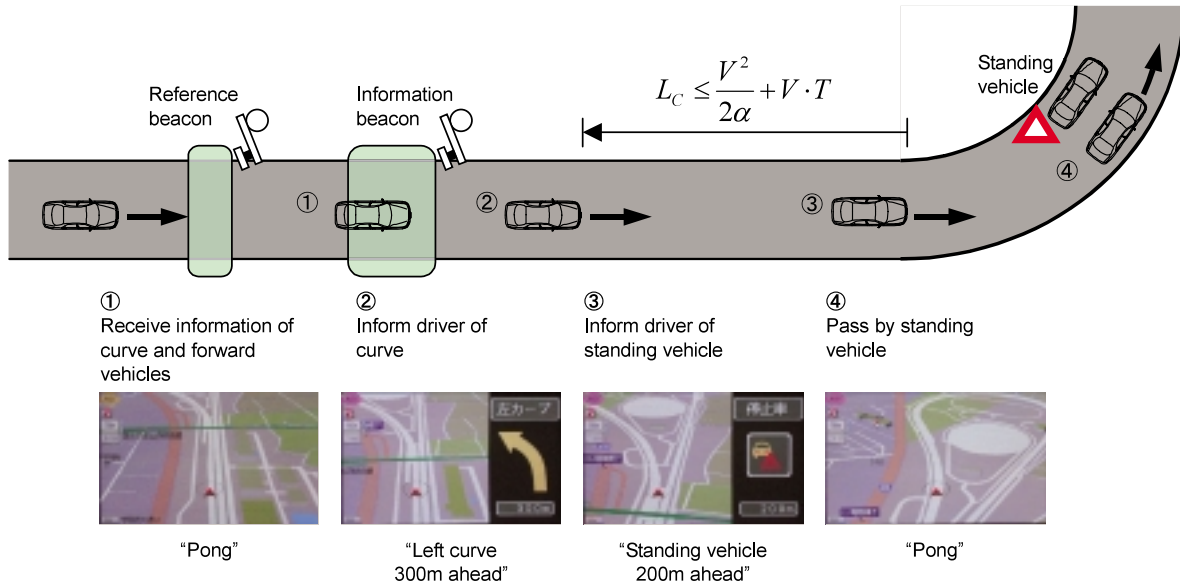


Fig.6 Complex System Operating on Roads

[前方障害物] $L_V \leq \frac{V^2}{2\alpha} + V \cdot T$: 情報提供 (1)

[路面状況] $L_R \leq \frac{V^2}{2\alpha} + V \cdot T$: 情報提供 (2)

[カーブ進入] $L_C \leq \frac{V^2 - V_t^2}{2\alpha} + V \cdot T$: 情報提供 (3)

ここで、

L_V : 停止車両までの距離 (m)

L_R : 凍結箇所までの距離 (m)

L_C : カーブ入口までの距離 (m)

V : 自車速 (m/s)

V_t : カーブの安全走行速度 (m/s)

: 通常時の減速度 (m/s²)

T : 情報提供時間 + ドライバ反応時間 (s)

(2) 実験結果

定常円部の半径が222mのカーブ途中で路側構造物があるために停止車両が視認しにくい状況において、車速 27.8m/s {100km/h} でカーブに向かって走行したときの、システム動作の検証結果をFig.7に示す。カーブ入口は基点から623m、停止車両は857mの地点にある。カーブ入口の手前279mでカーブの情報提供が開始され、カーブ入口を通過した時点で停止車両の情報提供が開始しており、設計どおりにシステムが動作していることを確認できた。このときドライバーは、通常時の減速度レベルである2.0m/s²以下でカーブ手前での減速と停止車両手前での停止ができた。この結果から、本システムの情報提供方法によりドライバーはカーブと停止車両の情報提供を正しく理解できていると考える。また、本システムはドライバーから視認できな

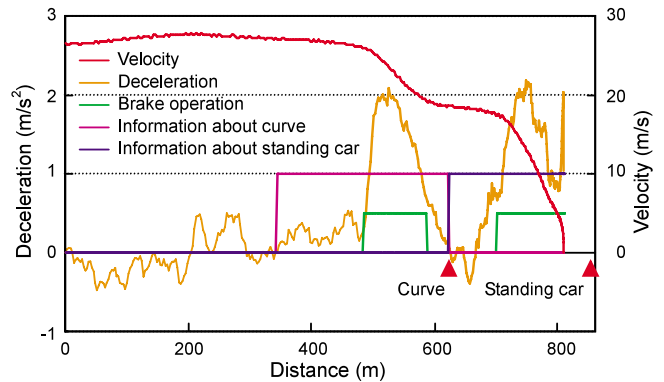


Fig.7 Experimental Result (Complex System on Road)

い危険状況を事前にドライバーに伝えることができ、余裕ある運転操作を行う上で有効であると考え。

() 事前に危険対象を認知し余裕をもって停止するときの減速度

3.2 交差点での複合システム

対向車両とすり抜け車両の位置・速度を獲得し、交差点で右折する車両のドライバーに対向車・すり抜け車両の接近状況を情報提供することで、目視確認のための頭出しを支援する右折衝突防止支援システムと、横断歩道とその周辺の歩行者の位置情報を獲得し、右折時に歩行者が見えにくい場合や対向車に気を取られている場合に、歩行者の存在を情報提供してドライバーに注意喚起する横断歩道歩行者衝突防止支援システムを開発した。同一交差点でこの2システムのインフラ設備が設置されている場合、情報提供開始のタイミングは以下のロジックにより決定する。

(1) 情報提供ロジック

単路での複合システムと同様に交差点での複合システムにおいても、両方のシステムの情報を同時に提示すると理解に時間がかかったり、ドライバーを混乱させたりする懸念

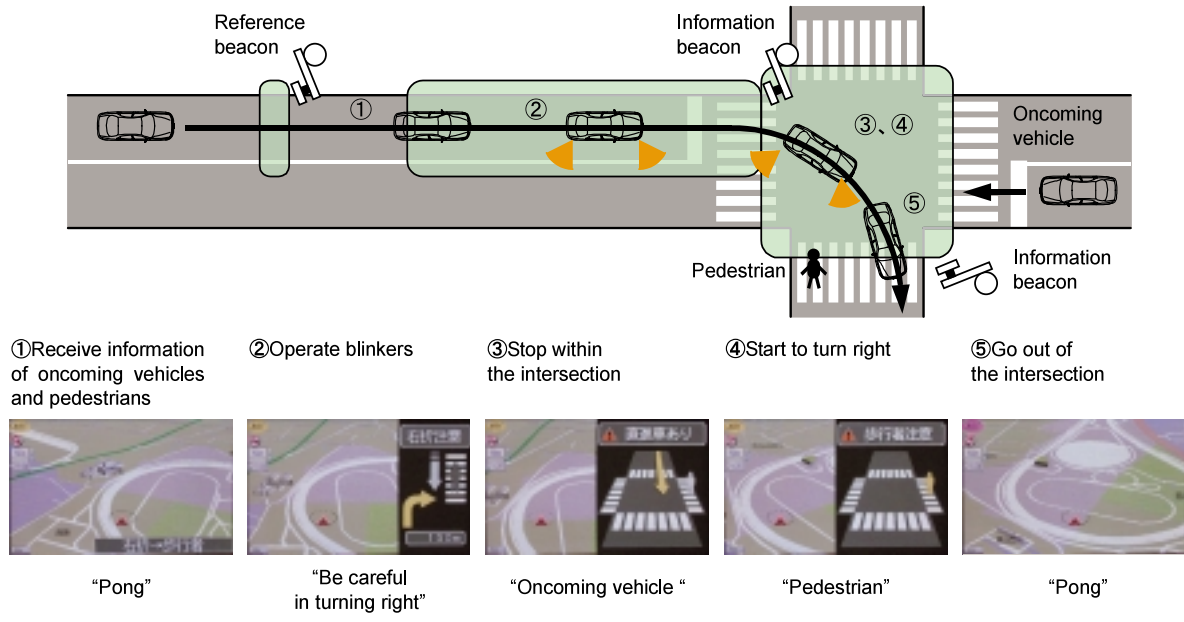


Fig.8 Complex System Operating at Intersections

がある。そこで、必要となる順に提示する情報を切り替えるという考えで情報提供ロジックを設計した。

具体的には、まず右ウインカONかつ交差点内で停止(車速5.6m/s(20km/h)以下で停止と判断)した時点で右折衝突防止支援の情報提供を行い、右折を開始した時点で横断歩道歩行者衝突防止支援の情報提供へ切り替える(Fig.8)。

この情報提供ロジックでは、右折開始を遅れなく正確に検出することが重要となる。そこで、右折開始を検知するために、ベイジアンネットを適用したドライバの運転意図推定手法を開発した。ベイジアンネットは、複数の観測可能な変数を用いて、観測できない事象の発生確率を推定できるネットワーク状の確率モデルである。今回は、ステアリング操作量、アクセル操作量、アクセル操作速度、車両のヨー角を入力変数として用いて右折発進意図を推定するネットワークを設計した(Fig.9)。

式(4)のベイズの定理において、右折発進するという事象を y 、センサがある値を出力するという事象を X とすることで、センサ出力がある値をとるときに右折発進している確率 $p(y=T | X)$ を求めることができる。

$$p(y = T | X) = \frac{p(y = T) \cdot p(X | y = T)}{p(y = T) \cdot p(X | y = T) + p(y = F) \cdot p(X | y = F)} \quad (4)$$

ただし、 $p(X | y=T)$ は右折発進後のセンサ出力分布、 $p(X | y=F)$ は右折発進前のセンサ出力分布で、走行データから予め用意しておく。

ステアリング操作量 X_1 、車両ヨー角 X_2 、アクセル操作量 X_3 、アクセル操作速度 X_4 に対する $p(y=T | X_i)$ 、およびベ

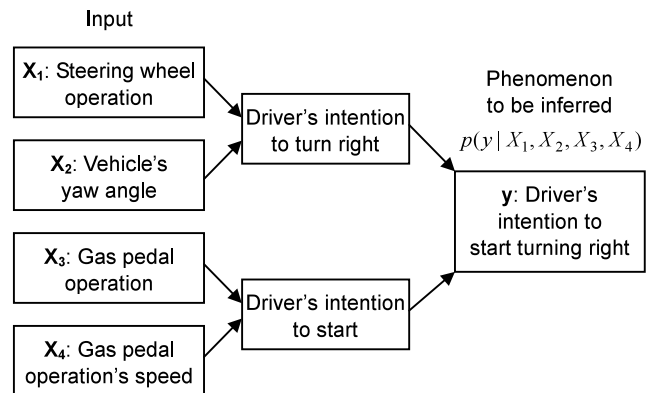


Fig.9 Designed Bayesian Network for Inferring Driver's Intention

ズの定理から導いた式(5)を用いて、右折発進の意図を確率 $p(y=T | X_1, X_2, X_3, X_4)$ の形で推定した。

$$p(y = T | X_1, X_2, X_3, X_4) = \frac{p(y = F) \cdot \prod_{i=1}^4 p(y = T | X_i)}{p(y = T) \cdot \prod_{i=1}^4 p(y = T | X_i) + p(y = F) \cdot \prod_{i=1}^4 p(y = F | X_i)} \quad (5)$$

本手法の性能検証のため、実走行による評価実験(交差点29ヶ所、被験者4名、のべ走行回数100回)を行った。センサ出力分布 $p(X | y=T)$ 、 $p(X | y=F)$ は、交差点内で一旦停止後に右折発進したときの走行データ(形状の異なる8交差点、ドライバ1名)から作成した。本手法による推定結果の一例をFig.10に示す。評価実験の結果、検知遅れがなく(走行回数の90%で検知時間が0.4秒以内)、未検知・誤検知のない高精度な推定が可能であることを確認できた。

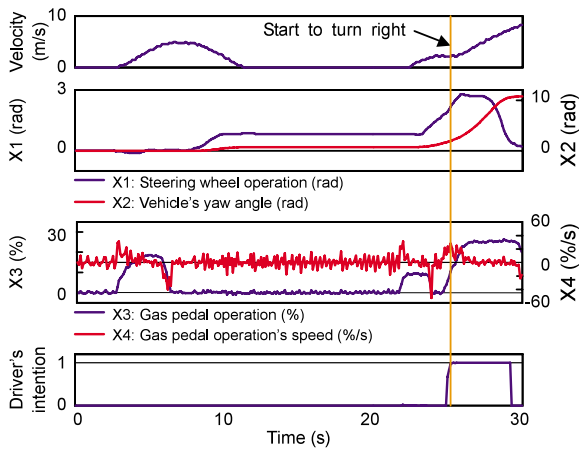


Fig.10 Result of Inferring Driver's Intention

(2) 対向車の情報提供インターフェース

右折衝突防止支援では、ドライバーが視認できない対向車を車載提示装置からの情報提供によって短時間で正確に把握する必要がある。そこで、全ての対向車の情報を提示するのではなく、最も危険度が高い対向車の情報のみを提示することにより短時間で正確な認知が可能になるという考えのもと、交差点に最も早く到達する対向車の情報を提示することとした。

また、目視確認のための頭出しが可能であるかを判断するためには、対向車の接近状況を短時間で正確に理解できる表示方法とする必要がある。そこで、位置と速度の両方を含んだ情報を提示することで対向車の接近状況を短い時間で正確に判断できるという考えのもと、対向車を矢印図形で表示し、対向車が交差点へ到達するまでの時間に応じて矢印の長さを変化させる表示方法を採用した。

(3) 実験結果

信号機のある交差点に車速11m/s(40km/h)で進入し右折したときのシステム動作の検証結果をFig.11に示す。右ウインカONかつ交差点内で車速が5.6m/s(20km/h)以下となった時点で右折衝突防止支援の情報提供が開始され、ドライバーの右折発進意図を検出した時点で横断歩道歩行者衝突防止の情報提供へ切り替わっており、設計どおりにシステムが動作していることが確認できた。

このときドライバーは、歩行者の情報が提示されてから2.1秒後にブレーキ操作を行い、横断歩道手前で停止でき

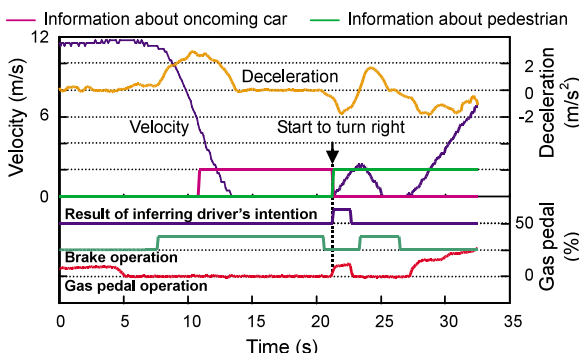


Fig.11 Experimental Result (Complex System at Intersection)

た。このときの減速度は 1.6m/s^2 以下であり、通常時の減速度のレベルであることが確認できた。この結果から、本システムでは必要となる順に情報を切り替えることで分かりやすい情報提供とすることができ、情報の切り替えタイミングは、歩行者の情報提供により余裕を持ったブレーキ操作が可能であったことから適切であると考えられる。

4. まとめ

本稿では、AHS道路インフラと協調した安全運転支援システムの開発について述べた。①緊急度に応じた情報の優先付け、②ドライバーの運転行動に応じたシステムの切り替え、③到達時間に応じた接近車両の図形表示によって、ドライバーから視認できない危険状況や複数の危険対象を、正確かつ短時間でドライバーに注意喚起できるドライバ受容性の高いHMIを構築することができた。

開発した7システムは安全運転を行う上で有効であり、特に交差点系サービスは車載センサによる実現が困難なことから路車協調システムに対するニーズは高いと考える。

最後に、本研究の多くは2002年のASV/AHS共同実証実験に参加して行われたもので、参加の機会を与えていただいた国土交通省ASV事務局、国土技術政策総合研究所、AHS技術研究組合の皆様方に深く感謝いたします。

参考文献

- (1) 山本ほか：マツダASV-2の開発，マツダ技報，No.19，p.64-72 (2001)
- (2) 技術研究組合 走行支援道路システム開発機構：第6回AHS研究報告会 資料，p.32-45 p.74-89 (2002)

著者



山本雅史



為貝仁志



藤田健二