

論文・解説

41

広島ITS実証実験における 路面電車-自動車間通信型ASVの機能検証 Functionality Tests of Advanced Safety Vehicle Using Vehicle-to-Tram Communication on Hiroshima Public Roads

山本 雅史*1 奥木 友和*2 岩下 洋平*3
Masashi Yamamoto Tomokazu Okugi Yohei Iwashita
岡崎 晴樹*4 是 治久*5 長谷川 智紀*6
Haruki Okazaki Haruhisa Kore Tomonori Hasegawa

要 約

路面電車と自動車との間の無線通信に車載センサを組み合わせることで、路面電車と自動車が道路空間を共用する場所において、自動車と路面電車双方の安全性が高まる先進安全運転支援システムを構築した。2013年に「広島における世界初の路面電車-自動車間通信型ASV (Advanced Safety Vehicle : 先進安全自動車)」として広島市内の公道で広島ITS (Intelligent Transport Systems : 高度道路交通システム) 実験を実施した。

本稿では、自動車と路面電車間の通信を利用した安全運転支援システムについて、システムの概要と支援機能の内容を述べるとともに、広島市内の公道で実施した機能検証実験とその結果について述べる。

Summary

To improve the safety of both vehicles and trams on their shared roads, an innovative safe driving support system was developed, which combines onboard sensors with the vehicle-to-tram radio-communications. Mazda Atenza ASV-5 (Advanced Safety Vehicle - Phase 5) was developed to verify the system as the “world’s first vehicle-to-tram cooperative ASV”, which was tested on Hiroshima public roads in 2013.

Five driving support functions were installed in the Mazda Atenza ASV-5, including the approaching tram information provision systems selected based on the tram-involving accident analysis.

This paper describes the overview of the ASV-5 system, the safe driving support functions, and the results of the functional verification tests conducted on the public roads.

1. はじめに

日本、米国、欧州では、無線通信を使って車同士が情報を交換する「車車間通信 (V2V : Vehicle-to-Vehicle Communication)」や、路側設備と車が無線通信する「路車間通信 (I2V : Infrastructure-to-Vehicle Communication)」を利用して、交通安全、環境問題、交通円滑化、利便性向上などの道路交通に係る諸問題の解決を目指した研究開発が行われている^①。

日本では、国土交通省が主導し、国内自動車メーカー全社が参加するASV-5プロジェクト (第5期先進安全自動車推進計画) があり、車車間通信を利用した安全運転支援システムの検討が行われている。また、2014年からは内閣府

に設置されている総合科学技術・イノベーション会議が主導する戦略的イノベーション創造プログラム (SIP : Cross-Ministerial Strategic Innovation Promotion Program) において、「自動走行 (自動運転) システム」の研究開発の取り組みが行われ、この中で、2017年ごろの実用化を目標として、V2V/I2Vを活用した安全運転支援技術の実証実験が実施される計画である^②。これらは、V2V/I2Vにより周辺車両の存在を検知することで、物陰に隠れて見えにくい接近車両の情報を事前にドライバに伝えたり、衝突する危険性がある場合に注意を喚起したりすることで、交通事故を未然に防止することをねらいとしている^③。

このような車車間通信、路車間通信を活用して交通事故

*1 Mazda North American Operations

*4, 5 車両システム開発部
Vehicle System Development Dept.

*2, 3 技術研究所
Technical Research Center

*6 (独)交通安全環境研究所
National Traffic Safety and Environment Laboratory

を減らそうとする取り組みは、自動車のみならず、道路空間を共有する他の交通参加者（鉄道や歩行者など）へ展開・適用することで、より安全・安心な道路交通社会の実現に資すると期待される。

広島市では、路面電車が市民の足として定着しており、一日平均約15万人の利用がある。近年、路面電車はエコな交通手段として世界的に見直されるなかで、自動車も自由な移動手段として発展を続けている。この二つの交通形態が、それぞれのメリットを活かしつつ共存できる交通体系を作るために、東京大学、マツダ(株)、広島電鉄(株)、(独)交通安全環境研究所が協働して、鉄道とクルマとの安全な連携を目指して共同研究に取り組んでいる。路面電車と自動車との間の無線通信に自律型車載センサを組み合わせることで、自動車と路面電車双方の安全性が高まるシステムを構築し、2013年に「広島における世界初の路面電車-自動車間通信型ASV」として広島市内の公道で広島ITS実験を実施した^{(4),(5)}。

本稿では、車車間通信を利用した路面電車-自動車間通信型の安全運転支援システムについて、システムの概要と支援機能の内容を述べるとともに、広島市内の公道で実施した機能検証実験とその結果について述べる。

2. 路面電車-自動車間通信型ASVの開発

広島ITS実証実験を実施するにあたり、「マツダアテンザASV-5」実験車（Fig. 1）、およびデモ路面電車を開発し、自動車と路面電車との間の車車間通信を利用した安全運転支援システムを搭載した。本章では、開発した安全運転支援システムの概要を述べる。



Fig. 1 Mazda Atenza ASV-5

2.1 システム構成

Fig. 2 に、マツダアテンザASV-5に搭載したデバイスを示す。カメラやレーダなどの車載センサに加えて、車車間・路車間通信を行う通信デバイスを搭載した。また、ドライバーへの情報提供デバイスとして、ウインドシールド投影型のHUD（Head-Up Display：ヘッドアップ・ディスプレイ）とスピーカを搭載した。

マツダアテンザASV-5と路面電車間の車車間通信は、



Fig. 2 System Configuration

Vehicle-to-Tram Communication at 700MHz Band



Fig. 3 Communication System

700MHz帯高度道路交通システム標準規格（ARIB STD-T109）に準拠した700MHz帯無線通信機を用いた（Fig. 3）。この車車間通信機を用いることで、マツダアテンザASV-5と路面電車は、GPSで測位した位置情報（緯度、経度）や進行方向、速度、ブレーキやウインカなどのドライバ操作情報などを、100msの間隔で送受信する。

3. 搭載した安全運転支援機能

自動車と路面電車の事故実態に基づき、自動車、路面電車に搭載する支援サービスを検討し、アプリケーション開発を行った。本章では、自動車と路面電車の事故実態の概要と、マツダアテンザASV-5に搭載した安全運転支援サービスの機能について述べる。

3.1 自動車と路面電車の連携による支援

路面電車に関与する衝突事故の内訳を表したグラフを

Fig. 4に示す。Fig. 4より、並走する自動車との衝突事故（40%）、右折待機中の自動車との衝突事故（31%）、直前を横断する自動車との衝突事故（9%）の割合が高いことが分かる。このことから、これら3つの事故類型に対応した安全運転支援サービスを開発することとした。すなわち、駐車車両や障害物を避けるために自動車が軌道敷内に進入してくる場面、路面電車の前方で自動車が右折しようとしている場面、見通しの悪い路地から自動車が出て軌道敷を横断する場面において、衝突の可能性を判断し、自動車のドライバ、路面電車の運転士双方に対して情報提供・注意喚起するサービスを構築した（Fig. 5, 6）。なお、路面電車側の支援機能の開発は、(独)交通安全環境研究所が取り組んだ。

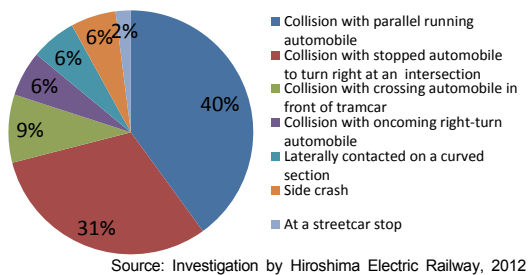


Fig. 4 Collision Types Involving Tram

3.2 システムの機能動作

本節では、Fig. 5 (a), Fig. 6(a) に示した見通しの悪い路地から自動車が出て軌道敷を横断する場面における支援を例に取り上げ、マツダアテンザASV-5、路面電車双方におけるシステムの機能動作について述べる。一連の機能の動作の流れをFig. 7に示す。

(1) マツダアテンザASV-5での支援

システムを搭載したマツダアテンザASV-5が、信号のない交差点から路面電車が走行する道路に進入するときに、接近する路面電車が存在すると、喚起音とともにFig. 7の右下に示す画像をHUDに表示することでドライバに路面電車が接近していることを注意喚起する。

マツダアテンザASV-5が、対象となる交差点に接近し十分に減速すると、支援機能がアクティベートされる。自車が交差点に接近し、十分に減速したことは、ドライバのブレーキ操作の有無、車速、交差点に対する自車の位置から判定する。このとき、路面電車が存在し、注意喚起する必要があるかを判断する。注意喚起を出すタイミングの判断は、路面電車のTTC (Time To Crossing: 交差点までの到達時間=交差点までの距離/速度) に基づいて行う。車間通信で獲得した路面電車の位置と走行速度、マツダアテンザASV-5に搭載した道路地図データベースを用いて逐次TTCを計算し、あらかじめ設定しておいた閾値を下回った時点で注意喚起を出す。注意喚起の終了タイミング

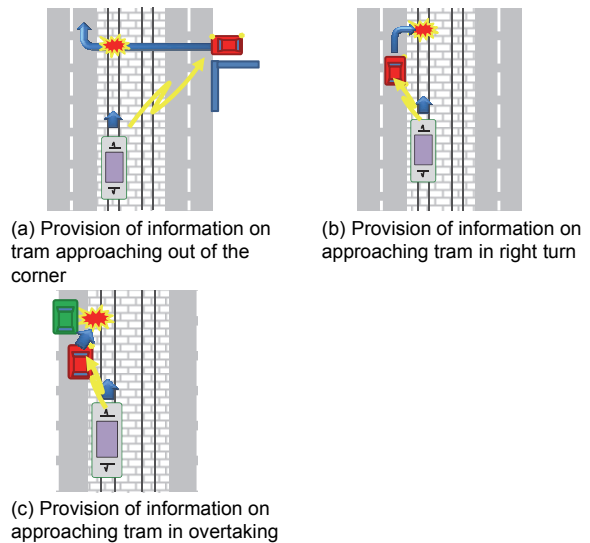


Fig. 5 Supports for Car Driver

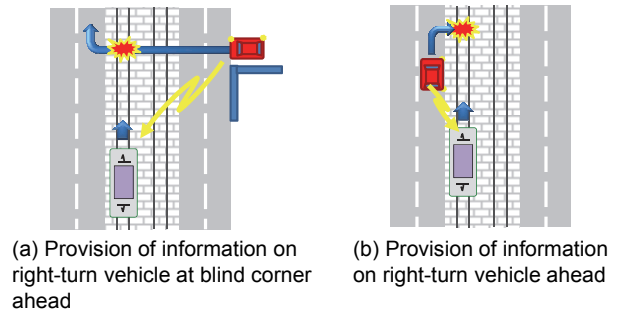


Fig. 6 Supports for Tram Driver

は、路面電車が交差点に到達したこと、もしくは自車が発進したことを判定して算出している。

(2) 路面電車での支援

システムを搭載した路面電車が交差点に接近したときに、交差する道路から直進、もしくは右折しようとする自動車が存在すると、音声メッセージを出力するとともにFig. 7の左下に示す画像をディスプレイに表示することで運転士に対して自動車が交差点に進入しようとしていることを知らせる。更に、自動車との距離が縮まり衝突の危険が高まったときには、Fig. 7の左上に示す画像で運転士に注意を喚起する。

以上のように、自動車と路面電車の双方で支援を行うことで、万が一、ドライバ、運転士のどちらかが認知ミスを起こした場合でも、他方がカバーすることで衝突を防ぐことができ、双方の安全性を高めることが期待できる。

4. 広島でのITS 公道実験

Fig. 5, 6 に示す7つの支援機能を確認するために、2013年9月から10月に広島市内の公道で走行実験を行った。実験は、Fig. 8に示す広島電鉄江波線（江波駅～舟入本町

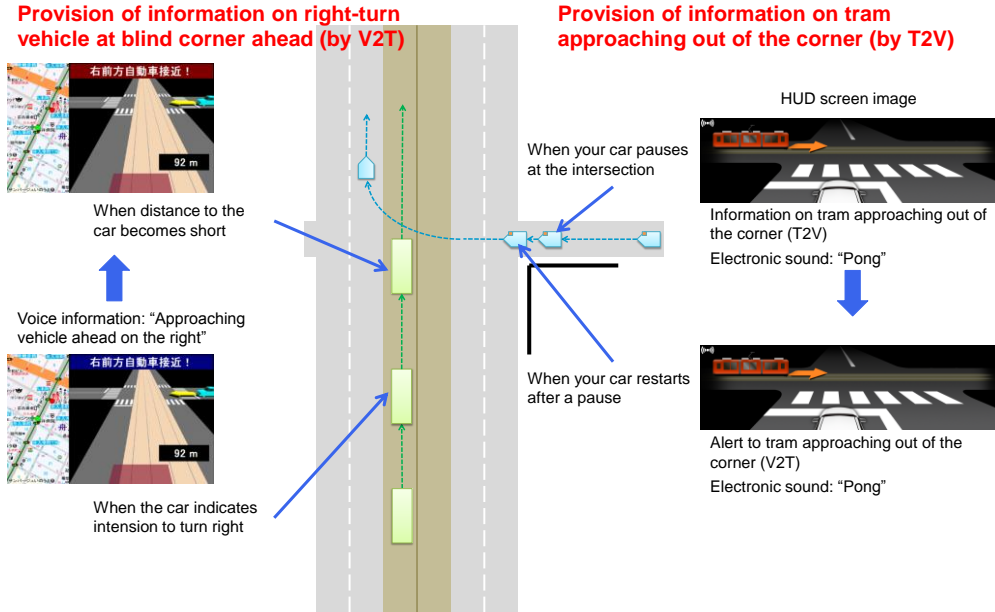


Fig. 7 Example of Support Scenario

駅) 沿いで行った。また、実験に用いたマツダアテンザASV-5、路面電車をFig. 9に示す。

実験では、それぞれの支援サービスについて実交通環境の中で設計どおりに機能・動作するか検証を行った。本章では、マツダアテンザASV-5に搭載した路面電車に対する支援サービス (Fig. 5) について結果を示す。

4.1 マツダアテンザASV-5の支援機能の検証

実験では、4日間でのべ25回の試験走行を行った。今回の実験の目的は、アプリケーションの機能検証であるため、マツダアテンザASV-5、路面電車の走行開始タイミングをコントロールすることでアプリケーションが作動する状況を作り出し、データを収集した。

(1) 軌道横断時の路面電車接近の注意喚起

Fig. 10に、軌道横断時に路面電車の接近を注意喚起する支援サービス (Fig. 5 (a)) の機能検証の結果を示す。Fig. 10 (a) のグラフにおいて、緑色線は路面電車の位置 (交差点までの距離) を、青色線はTTCを示す。Fig. 10 (b) のグラフにおいて、橙色線と紫色線は、それぞれマツダアテンザASV-5の速度と位置 (交差点までの距離) を示す。Fig. 10 (a), (b) のグラフにおいて、赤色線はマツダアテンザASV-5における路面電車接近の注意喚起支援のステータス (0 : 支援サービス終了, 1 : 支援サービス起動中 (接近路面電車なし), 2 : 注意喚起起動中 (接近路面電車あり)) を示す。

Fig. 10のグラフより、マツダアテンザASV-5が対象の交差点に接近した時点で、支援サービスがアクティブ状態 (支援ステータス1) となり、路面電車が交差点に近づいた時点 (路面電車の位置、もしくはTTCが所定の閾値を下回ったとき。掲載したデータでは路面電車の位置が50m以内となったとき) で注意喚起が開始された (支援

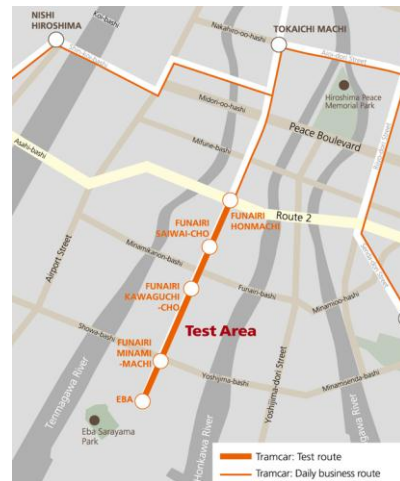


Fig. 8 Test Area



Fig. 9 Mazda Atenza ASV-5 and Test Tram Operation

ステータス2) ことが分かる。支援サービスは、路面電車が交差点に進入した時点で終了 (支援ステータス0) したことが分かる。

(2) 右折時の路面電車接近の注意喚起

Fig. 11に、右折時に後方からの路面電車の接近を注意

喚起する支援サービス (Fig. 5 (b)) の機能検証の結果を示す。Fig. 11 (a) のグラフにおいて、緑色線は路面電車の位置 (交差点までの距離) を、青色線はTTC (交差するまでの余裕時間=車と路面電車の相対距離/相対速度) を、灰色線はマツダアテンザASV-5と路面電車の相対距離を示す。Fig. 11 (b) のグラフにおいて、橙色線と紫色線は、それぞれマツダアテンザASV-5の速度と位置 (交差点までの距離) を、水色線はウインカ状態 (0:ウインカオフ, 1:ウインカオン) 示す。Fig. 11の上下のグラフにおいて、赤色線はマツダアテンザASV-5における後方からの路面電車接近の注意喚起支援のステータスを示す。

Fig. 11のグラフより、マツダアテンザASV-5が右ウインカを出して対象の交差点に接近すると、支援サービスがアクティブ状態 (支援ステータス1) となり、更に交差点に近づいたとき (今回は交差点から50m以内と設定) に後方から路面電車が接近すると注意喚起が開始された (支援ステータス2) ことが分かる。支援サービスは、マツダアテンザASV-5が交差点手前で右折待ちの間も継続され、路面電車が交差点に進入した時点で終了 (支援ステータス0) したことが分かる。

(3) 障害物回避時の路面電車接近の注意喚起

Fig. 12に、障害物回避時に後方からの路面電車の接近を注意喚起する支援サービス (Fig. 5 (c)) の機能検証の結果を示す。Fig. 12のグラフにおいて、緑色線はマツダアテンザASV-5と路面電車との相対距離を、青色線はマツダアテンザASV-5のウインカ状態を、赤色線はマツダアテンザASV-5における障害物回避時の路面電車接近の注意喚起支援のステータスを示す。

Fig. 12のグラフより、マツダアテンザASV-5が駐車車両などの障害物を回避することを模擬して右ウインカを出したときに、後方に路面電車が存在していたために注意喚起が開始された (支援ステータス2) ことが分かる (今回の検証実験では、支援サービスがアクティブとなる条件を満たすと同時に注意喚起を実行する条件を満たしていたため、支援ステータス1の状態は記録されていない)。

以上の結果から、路面電車に関する3つの支援サービスが、支援効果を発揮すると期待されるそれぞれの基本シナリオに相当する実交通環境下において、設計どおりにアプリケーションが作動し、路面電車の接近状況に応じてドライバに情報提供ができていたことが確認できた。

5. 今後の課題

5.1 複雑な交通状況への対応

今回の機能検証実験は、マツダアテンザASV-5と路面電車の走行開始タイミングをコントロールすることで、支援サービスの基本シナリオとなるように管理された条件下で行った。しかし、実交通環境下では刻一刻と複雑に交通環

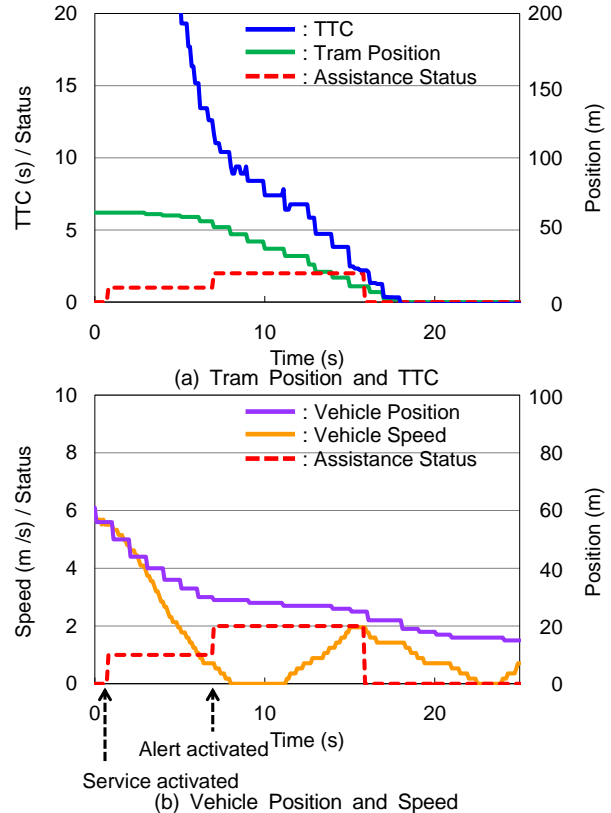


Fig. 10 Result of Function Verification (Alert to Tram Approaching out of Corner)

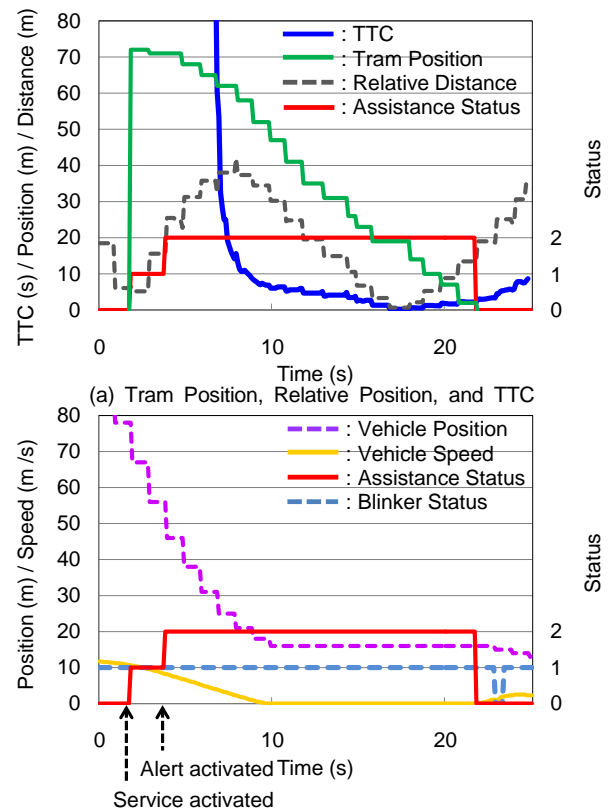


Fig. 11 Result of Function Verification (Alert to Approaching Tram in Right Turn)

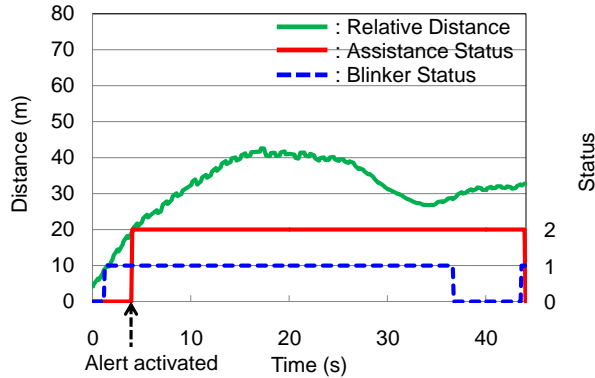


Fig. 12 Result of Function Verification
(Alert to Approaching Tram in Overtaking)

境が変化するため、実験条件を必ずしも統制できない場合があった。そのような場合でも危険判断ロジックが対応できたケースと、危険判断ロジックが対応できずに注意喚起が遅れる、出ない、またはタイミングが不適切となる場合があった。実交通環境下の実験では、ロジックのロバスト性を向上させるために有効な課題抽出につながる事が分かった。また、今回の判断ロジックは、接近する路面電車の存在を検知し、注意喚起する支援であるが、ドライバが路面電車の接近に気づいている場合に注意喚起が行われると、ドライバにとって不要な支援となる。

以上のような課題を解決するために、ドライバにとってどのようなシーンでどのような支援を受けるとありがたいか、きめ細かくシナリオ分析を行い、その状況を判断できるように状況判断技術を改善する必要がある。

5.2 位置推定精度の向上

車車間通信を利用した安全運転支援システムは、GPSで測位した位置情報を交換することで、自車と相手との相対的な位置関係を算出し、危険を判断する材料のひとつとしている。GPSの測位精度は、高い建物がある都市部ではマルチパスの影響で悪化する。この影響を少なくするために、マツダアテンザASV-5では、受信した位置情報をもとに搭載した道路地図データベース上で相手車両をマップマッチングする機能や、カメラやレーダ等の車載センサで相手車両との距離を計測した情報を活用して位置推定する機能を装備している。しかし、道路に対する車両の位置誤差は注意喚起タイミングが遅れたり、早まったりする原因となるため、より高精度な位置推定が必要となる。そのために、こうした機能の統合化や、カメラやレーダ等の車載センサで計測した路上構造物の位置情報と高精度地図データベースとを利用した自車位置の高精度特定や、マルチGNSS (Global Navigation Satellite System : 全地球航法衛星システム) の統合的利用等、さまざまな位置推定要素技術の研究開発とその全体最適な適用が必要となる。

6. まとめ

本稿では、車車間通信を利用した路面電車-自動車間通信型安全運転支援システムについて、システムの概要と支援機能の内容を述べるとともに、広島で実施した公道検証実験とその結果について述べた。今回の公道検証実験により、マツダアテンザASV-5に搭載した路面電車-自動車間通信型安全運転支援システムが、基本シナリオに相当する実交通環境下において、路面電車からの送信データと、自車の位置情報、車速、ドライバ操作情報をもとに状況・危険を判断し、必要な場合に表示、音でドライバに注意喚起する機能が設計どおりに動作することを確認した。今後、自動車と路面電車の連携支援の有効性評価、5章で挙げた課題の解決に取り組んでいく。

参考文献

- (1) 花井：ITS (高度道路交通システム)，自動車技術，Vol. 67, No. 8, pp. 170-177 (2013)
- (2) 内閣府：SIP (戦略的イノベーション創造プログラム) 自動走行システム研究開発計画，http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/keikaku/6_jidousoukou.pdf (2014)
- (3) 山本ほか：車車間通信を利用した安全運転支援システムの開発，マツダ技報，No. 26, pp. 131-136 (2008)
- (4) 山本ほか：先進安全自動車「マツダアテンザASV-5」の開発，マツダ技報，No. 31, pp. 118-123 (2013)
- (5) 渡辺ほか：路面電車と自動車の衝突防止を目的とした車車間通信による注意喚起サービスの検討，自動車技術会学術講演会前刷集，No.49-14 (2014)

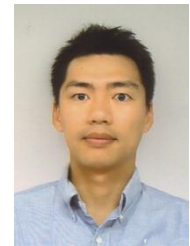
■ 著 者 ■



山本 雅史



奥木 友和



岩下 洋平



岡崎 晴樹



是 治久