

論文・解説

22

## 車車間通信を利用した安全運転支援システムの開発 Development of Safe Driving Assistance Systems with Inter-vehicle Communications

山本雅史<sup>\*1</sup> 岩下洋平<sup>\*2</sup> 藤田健二<sup>\*3</sup>  
Masashi Yamamoto      Youhei Iwashita      Kenji Fujita

### 要約

出会い頭事故や右左折時の衝突事故など交差点で発生する事故は、車載センサで交差車両や対向車を発見することが難しい場合が多く、自律型の安全運転支援システムでは対応が困難である。そこで、車同士が無線で情報交換を行う「車車間通信」を利用した安全運転支援システムの研究開発が進められている。

我々は、車車間通信を利用した安全運転支援システムにおけるキー技術の一つである、衝突判定アルゴリズムを開発することを目的に、出会い頭衝突防止支援や右折衝突防止支援など7つの支援機能を持つ車車間通信利用型安全運転支援システムを開発し、検証実験を行った。本稿では、開発したシステムの概要と、ナビゲーションシステムの道路地図データベースを利用して衝突判定を行うアルゴリズムとその検証結果を報告する。

### Summary

Since it is not easy for onboard sensors to detect oncoming and crossing vehicles at intersections, it is difficult for autonomous driving assistance systems to prevent crossing collisions and right-turn/left-turn collisions. Thus, Japanese auto manufacturers are studying safe driving assistance systems with inter-vehicle communication technology.

In order to develop an algorithm for collision judgment that is one of the key technologies of safe driving assistance systems with inter-vehicle communications, we developed a test vehicle equipped with seven safe driving assistance systems such as a right turn collision prevention system and a crossing collision prevention system. This paper describes an overview of the systems. Test results are reported with a description of the algorithms utilizing digital road map database of a conventional navigation system.

### 1. はじめに

日本では、交通事故の死者数は減少傾向にあるものの、事故の発生件数はここ数年90万件前後で横ばいしており、依然として大きな社会問題となっている。事故件数を事故類型別に見ると、出会い頭事故や右左折時の衝突事故など交差点で発生する事故の割合が約40%と高いという特徴がある。ところが、これらの事故では車載センサで危険事象を発見することが難しく、自律型の安全運転支援システムでは対応が困難である。そこで、国土交通省が主導し、自動車メーカー全社が参加するASV (Advanced Safety

Vehicle : 先進安全自動車) プロジェクトにおいて、車同士が互いに無線通信を行うことで情報を交換する「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。これは、車載センサの検知エリア外に存在する他車両と通信を行うことで、見えにくい接近車両の情報を事前にドライバーに伝えたり、交差点で出会い頭に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を狙いとしている。

効果的でドライバー受容性の高いシステムとするために、システムは通信内容をもとに危険状況を認識し、適切なタイミングでドライバーに情報を提供しなければならない。こ

\*1~3 技術研究所  
Technical Research Center

のためには、無線で情報を交換している多数の車両の中から衝突可能性のある車両を抽出するとともに、相手車両が到達するまでの時間（以下、到達時間）を正確に算出することが重要課題の一つである。従来研究では、カーブしている道路が交わる交差点や立体交差で、誤判定をしたり衝突判定が不正確になったりする問題がある。そこで、道路形状・構造に依存しない衝突判定を実現するために、ナビゲーションシステムのデジタル道路地図データベース（以下、DB）から得られる道路属性情報を利用する方法に着目した。

我々は、ASVプロジェクトに参加しながら車車間通信を利用した安全運転支援システムの研究開発に取り組んでおり、システムを搭載した実験車を開発、検証実験を通してアルゴリズム検証やドライバ受容性の評価を行ってきた。本稿では、出会い頭衝突防止システムに焦点をあてて、デジタル道路地図DBを利用して出会い頭に衝突する可能性のある車両を抽出する方法と、デジタル道路地図の位置誤差を補正することで到達時間の精度を向上させる方法について述べる。また、アルゴリズム性能の検証結果を報告する。

## 2. 実験システムの構成

ASVプロジェクトでは、車車間通信を利用した安全運転支援システムのコンセプト設計を行い、Table 1に示す7つのシステムを提案した。更に、車車間通信システムの要件、通信データ内容の検討などを行ったうえで、2005年7月から10月に（独）北海道開発 土木研究所 苫小牧寒地試験道

路で実験を行い、7システムの機能検証を行った。本章では、車車間通信システムと実験車システムについて述べる。

### 2.1 車車間通信システム

システム検証実験を行うにあたり、ASVプロジェクトにおいて、実験に用いる車車間通信機を設計した。主要な仕様をTable 2に示す。必要な通信エリアは、交通事故統計データから得られる事故発生直前の速度分布の上限値、ドライバに情報提供の際に必要な時間、情報提供に対するドライバの反応時間、平均減速度を用いて、対象事故シーンごとに停止に必要な距離から求めた。その結果、7つのいずれのシーンでも満足する通信エリアとして、見通しの良い直線道路では410m、見通しの悪い交差点では200m + 25mと設定した（Fig.1）。

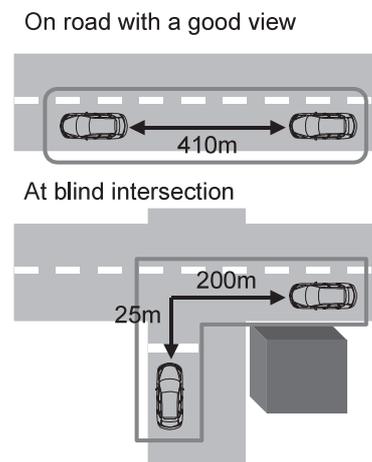


Fig.1 Communication Range

Table 1 Driving Assistance Systems with Inter-vehicle Communications

Place where system is activated	Safe driving assistance systems
On roads	Head-on collision prevention advisory system
	Lane changing collision prevention advisory system
	Multiple pileup prevention advisory system
At intersections	Right-turn collision prevention advisory system
	Left-turn collision prevention advisory system
	Crossing collision prevention advisory system
	Crossing pedestrians collision prevention advisory system

Table 2 Specification of Inter-vehicle Communications

Transmission method	Constantly broadcast, CSMA (Carrier Sense Multiple Access)
Communication band	5.8GHz-band
Minimum communication cycle	100ms
Communication data size	100bytes
Contents of communication data	ID, vehicle type, position (latitude and longitude), direction, velocity, driver's operation information such as turn signal and brake pedal, etc.



Fig.2 Test Vehicle



Fig.3 Onboard Antenna



Fig.4 Information Display

## 2.2 実験車システム

マツダASV-3実験車 (Fig.2) に、車車間通信機とアンテナ (Fig.3)、ナビゲーションシステム、メインコントローラを搭載した。システム構成図をFig.5に示す。車車間通信機を用いることで、他車両と位置、方位、速度などの情報を送受信することが可能となる。また、ナビゲーションシステムに自車両及び他車両の位置情報 (緯度・経度) を入力すると、道路地図DBを参照して、当該車両が走行している道路に関する情報を出力できるように改造した。また、ドライバーへの情報伝達手段としてナビゲーションシステムのディスプレイとスピーカを使用した。音声でメッセージを伝えるとともに、ディスプレイの地図上に自車両とともに他車両のアイコンを表示できるようにした (Fig.4)。

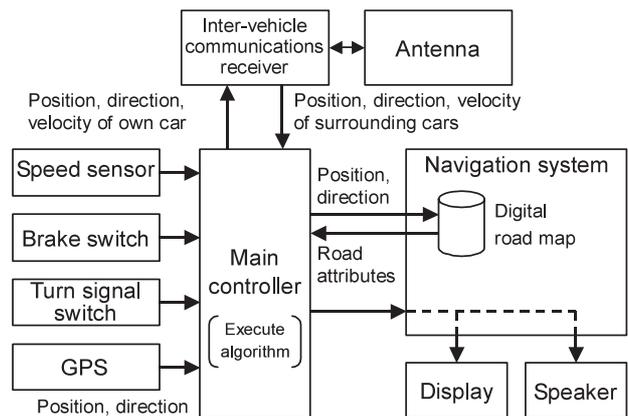


Fig.5 System Configuration

## 3. 車車間通信を利用した安全運転支援システム

本章では、出会い頭衝突防止支援システムを例として、交差点における交差車両との衝突判定について述べる。

### 3.1 システム機能の概要

はじめに、出会い頭事故衝突防止システムの支援機能を説明する (Fig.6)。システムを搭載した車両が、信号のない交差点の一時停止線で停止したとき、このシステムの機能が起動する。システムは通信相手車両の中から接近する優先車両を抽出し、その車両が交差点に到達するまでの時間を算出する。到達時間がある所定値以内になった時点で、音声メッセージとともにディスプレイ上に交差車両のアイコンを表示することで、ドライバーに注意を喚起する。

### 3.2 取り組む課題

従来研究として、通信で受信した相手車両の位置、速度、ヨーレートから将来軌跡を推定することで交差車両との衝突を判定する研究がある<sup>(1)~(3)</sup>。これらの研究で用いられている方法では、直角に交わる交差点では比較的精度よく衝突の判定と到達時間の算出が可能であるが、カーブしている道路が交わる交差点 (Fig.7のケース1) や立体交差 (Fig.7のケース2) では、誤判定をしたり衝突判定が不正確になったりすることがある。これは、カーブ走行中の車両の将来軌跡を正確に推定することが難しいこと、道路の立体構造に対応できないことが原因である。これを解決するためには、走行道路の情報が有用であると考えられる。

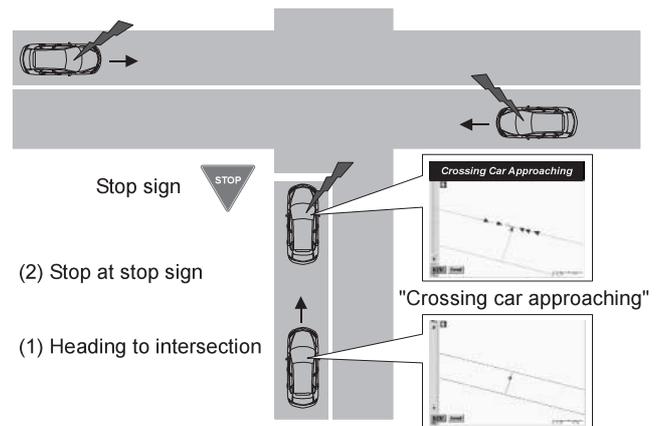


Fig.6 Crossing Collision Prevention Advisory System

そこで、ナビゲーションシステムの道路地図DBから取得した自車両及び他車両が走行する道路の情報を利用して、将来経路が交錯するか否かを判定し、交差車両を抽出するアルゴリズムの開発に取り組んだ。

また、交差車両の到達時間から注意喚起のタイミングを算出するにあたって、道路地図DBから道のり距離を求める必要がある。しかし、道路地図DBの誤差に起因する道のり距離誤差のため、注意喚起のタイミングがずれる問題がある。そこで、道のり距離の誤差を補正するアルゴリズムの開発に取り組んだ。

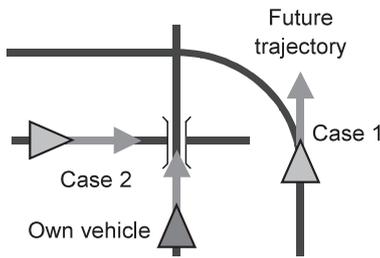


Fig.7 Issues of Future Trajectory Method

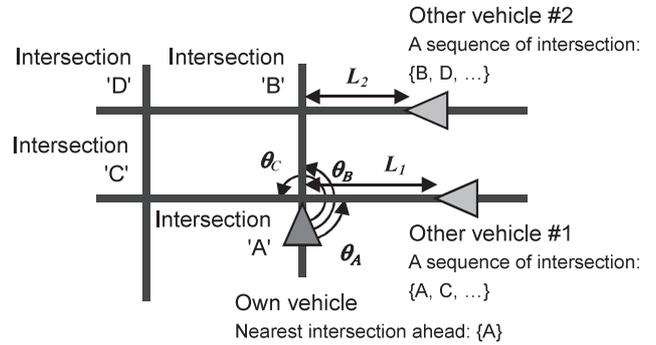


Fig.8 Collision Judgment with Road Attributes

3.3 交差車両検出アルゴリズム

メインコントローラの演算能力上、処理できる車両の数には制限があるため、自車両と各通信相手車両の位置情報を用いて直線距離を算出し、自車両周辺の車両について以下の処理を行う。

実験システムのナビゲーションシステムに車両の位置情報（緯度・経度）を入力すると、道路地図DBを参照して進行路前方の交差点に関する情報（交差点の座標位置、交差点までの距離、交差点に接続する道路の交差角度など）を獲得することができる。まず、自車両の位置情報をナビゲーションシステムに入力し、直近交差点の情報を獲得する。次に、車車間通信で得た周辺車両の位置情報を入力し、各周辺車両の前方経路上に存在する交差点に関する情報を得る。自車両の直近交差点（Fig.8の交差点A）が、各周辺車両の前方交差点列に含まれるかを探索することで、交差点に接近する車両を特定できる。次に交差点に向かってくる車両の方位と接続道路の方位（自車両の方位+道路の交差角度）を用いて、その車両がどの道路から接近してくるかを求め、交差道路を交差点に接近してくる車両を特定する。

以上のようにして抽出した接近車両について、道路地図DBから得た交差点までの道のり距離と車車間通信で受信した車速に基づき、到達時間を算出する。

3.4 道のり距離の誤差補正

道路地図DBから得た交差点までの道のり距離は、実際

の距離よりも長く、誤差があった。我々は、誤差が発生する要因を次のように考えた。一般的なナビゲーションシステムの道路地図DBは、ノードとリンクで表現されている。Fig.9に示すように、ノードの位置が実際の道路位置からずれており、リンク長が実際の道のり距離よりも長くなる。このため、道路地図DBから得た交差点までの道のり距離が実際の距離よりも長くなると想定される。そこで、ノードの誤差分布に基づいて実際の道のり距離を見積もることで、道のり距離の誤差を補正するアルゴリズムを開発した。

ノードが、実際の道路をn等分するように配置されており、各ノードが誤差 xを含んで分布していると仮定し、誤差を見積もるモデルを設計した。このモデルにおいて、両端のノードが道のり方向の外側に位置し、中間のノードが道のりに対して垂直方向に、かつ、奇数番めのノードと偶数番めのノードが互い違いとなるように位置しているとき、リンクL1~Lnの長さの和は最大となる。このとき、式(1)が成り立つ。

$$L + \Delta L = 2 \sqrt{\left(\frac{L}{n} + \Delta x\right)^2 + \Delta x^2} + (n-2) \sqrt{\left(\frac{L}{n}\right)^2 + (2\Delta x)^2} \quad (1)$$

ここで、Lは実際の道のり距離、Lは道のり距離の誤差、nはリンク数、xはノードの位置誤差の標準偏差である。右辺第1項は、両端リンクのリンク長を、右辺第2項は中間リンクのリンク長を表している。式(1)に事前に実験

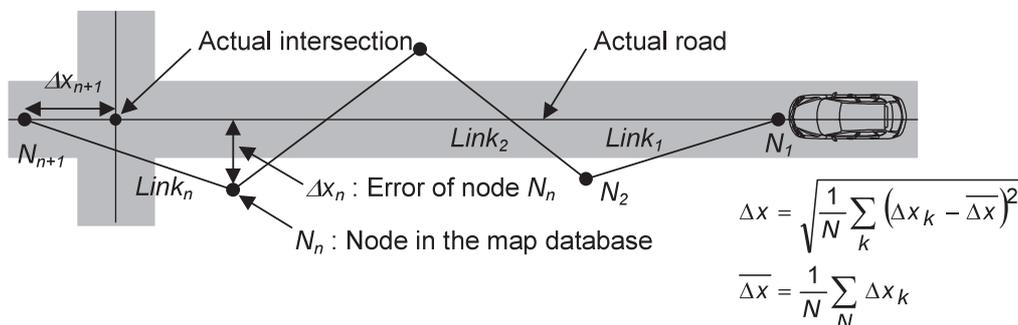


Fig.9 Location Errors of Nodes

$$\Delta x = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_k (\Delta x_k - \overline{\Delta x})^2}$$

$$\overline{\Delta x} = \frac{1}{N} \sum_k \Delta x_k$$

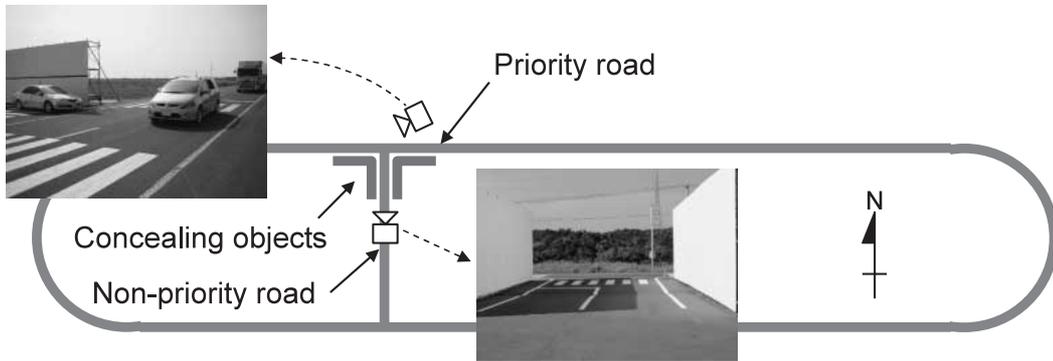
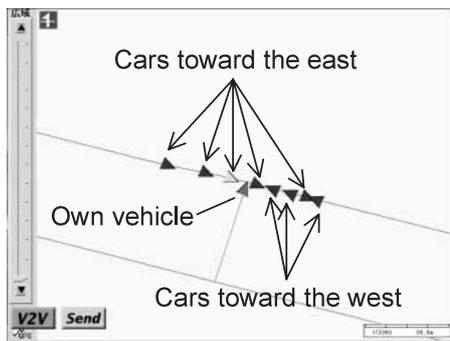
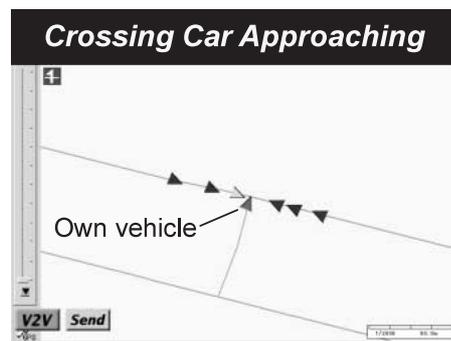


Fig.10 Test Site



(a) Every vehicles around is displayed



(b) Only approaching vehicles are detected

Source: Sumitomo Electric System Solutions Co., Ltd.

Fig.11 Detected Cars on Collision Course

で求めたノードの位置誤差の標準偏差を  $x$  に代入することで、実際の道のり距離を推定した。

#### 4. 検証実験

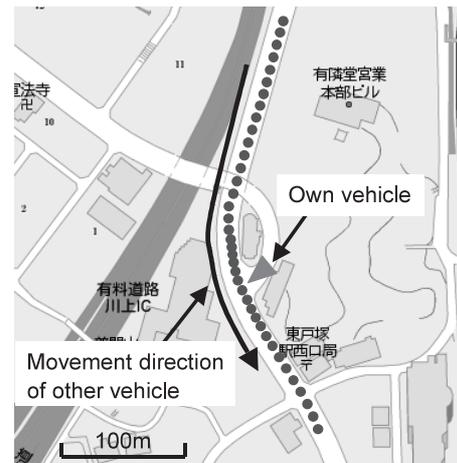
本章では、アルゴリズム検証実験の結果について述べる。

##### 4.1 交差車両検出アルゴリズムの検証

アルゴリズムの機能検証を行うために、テストコースの実験サイトで実験を行った。Fig.10に実験サイトの概略を示す。外周路を優先道路に見立てた、信号のない交差点を模擬した実験サイトを設営した。交差点には遮蔽物を設置し、優先道路の様子が確認しにくい状況を作った。

外周路を複数の車両を走行させ、接近する交差車両を検出できるか検証した。Fig.11 (a) は、ディスプレイの道路地図上に全ての周辺車両が表示されている様子を示す。交差道路には、東進する車両が5台、西進する車両が3台あった。この場合に、アルゴリズムがどのように機能するかをFig.11 (b) に示す。この図より、本アルゴリズムにより接近する車両のみが選別され、遠ざかる車両は削除されていることが分かる。以上のように、アルゴリズムは実時間で接近する交差車両を検出できることが確認できた。

次に、実道路を走行して収集したデータを用いて、アルゴリズムの機能検証を行った。データ収集場所として、従来方法では正確な衝突判定が困難である「カーブした道路が交わる交差点」を選んだ (Fig.12)。非優先側道路の停



Source: Google Maps

Fig.12 Functional Verification in Real Field

止線で一旦停止した状態の自車両、及び、優先側道路を40km/h前後で交差点に向かって走行したときの相手車両それぞれについて、緯度、経度、方位、速度のデータを収集し、オフライン処理でアルゴリズムの機能を確認した。

本アルゴリズムで算出した交差点までの道のり距離、到達時間を表したグラフをFig.13に示す。また、注意喚起を発報したときのディスプレイ表示の様子をFig.14に示す。これらの図から、本アルゴリズムは、相手車両の交差点までの道のり距離と到達時間を算出し、算出した到達時間に基づいて注意喚起を行うことができていることが分かっ

た。このことは、カーブした道路が交わる交差点においても、本アルゴリズムは接近する交差車両を正しく検出できることを示しており、道路形状に依存せず正しく衝突判定できることが確認できた。

4.2 道のり距離の誤差補正の検証

位置誤差を補正しない場合、道路地図DBから算出した交差点までの道のり距離の誤差は、交差点から200m付近で約22mであったが、アルゴリズムを適用することで約6mに減少させることができた。これにより、約60km/hで走行している場合で注意喚起のタイミングが平均1.0秒遅れていたものを、0.3秒以内の遅れにすることができた (Fig.15)。この結果より、本アルゴリズムで道のり距離を補正することができ、注意喚起タイミングを大幅に改善できることが分かった。

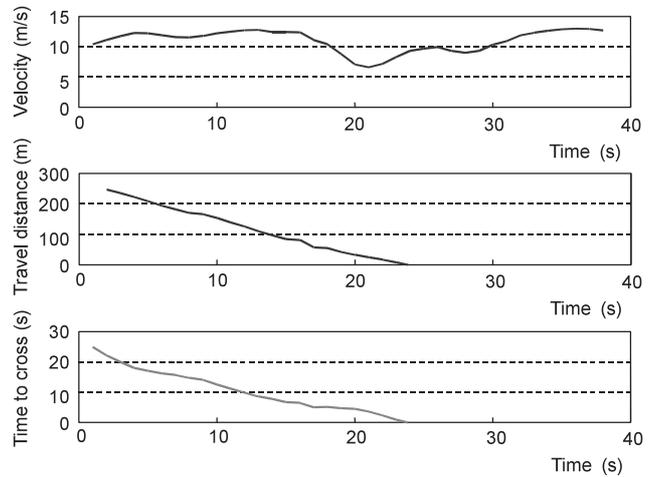


Fig.13 Calculate Time-to-Cross

5. まとめ

本稿では、ナビゲーションシステムの道路地図DBから得られた道路の属性情報を利用して、交差車両を検出するアルゴリズムと、道路地図DBの位置誤差に起因する道のり誤差を補正するアルゴリズムについて述べた。アルゴリズムは、道路形状に関わらず周辺車両の中から交差点に接近する車両を正確に検出し、交差車両の到達時間を補正できることが分かった。本アルゴリズムを安全運転支援システムに適用することで、注意喚起のタイミングが適切で、ドライバ受容性の高いヒューマン・マシン・インターフェースを構築できる可能性があると考えられる。

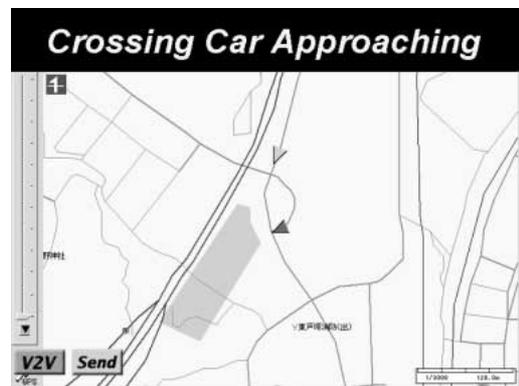


Fig.14 Detected Car in Real Field

参考文献

- (1) Qingfeng Huang, et al. : Development of a Peer-to-Peer Collision Warning System, Ford Technical Journal, Vol.5, No.2 (2002)
- (2) Ronald Miller, et al. : An Adaptive Peer-to-Peer Collision Warning System, Vehicular Technology Conference, VTC Spring 2002. IEEE 55th, pp.317-321 (2002)
- (3) Hidetaka Miyatake, et al. : Prevention method of head-on collision using inter-vehicle communication in VHF region, Proceedings of 7th ITS World Congress, Paper No. 3190 (2000)

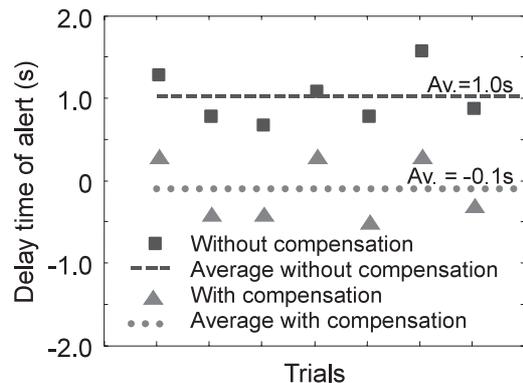
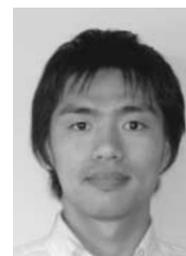


Fig.15 Effect of Compensation

著者



山本雅史



岩下洋平



藤田健二