

走行支援道路サービスにおける DSRC の安全性信頼性設計

井上 洋[†] 牧野 浩志[‡]

[†]技術研究組合 走行支援道路システム開発機構

[‡]国土交通省 国土技術政策総合研究所 ITS 研究室

[†]〒105-0003 東京都港区西新橋 2-8-6 住友不動産日比谷ビル 11 階

[‡]〒305-0804 茨城県つくば市旭 1 番地

E-mail: [†]inoue@ahsra.or.jp, [‡]makino-h87bh@nilim.go.jp

あらまし 走行支援道路サービスを提供する AHS には高度な安全性及び信頼性が求められている。しかしながら、走行支援道路サービスに相応しいシステム評価指標がなく、どのような目標を設定してシステム設計を行えばよいか課題であった。本論文は、まず、AHS における安全性の考え方を示し、AHS を構成する路車間通信システムに対する安全性信頼性設計の目標値について示す。次に、AHS における路車間通信の特徴を示し、DSRC による路車間通信の安全性を脅かす危険要因とその対策について述べる。最後に、危険要因の中で、シャドウイング、マルチパス、基点位置精度について、路車間通信システムに要求される安全性信頼性の仮目標値の達成見込みを実験により検証したことを述べる。

キーワード ITS, AHS, DSRC, 安全性

Safety and Reliability Design of DSRC for AHS

Hiroshi INOUE[†] Hiroshi MAKINO[‡]

[†]Advanced Cruise-Assist Highway System Research Association (AHSRA)

[‡]National Institute for Land and Infrastructure Management (NILIM)

[†]2-8-6, Nishi Shinbashi, Minato-ku, Tokyo 105-0003, Japan

[‡]Asahi-1, Tsukuba-City, Ibaraki-Pref. 305-0804, Japan

E-mail: [†]inoue@ahsra.or.jp, [‡]makino-h87bh@nilim.go.jp

Abstract High safety and reliability design is required of an AHS system which offers a cruise-assist service. However, there was no index by which a suitable system is evaluated in the cruise-assist service, and was a subject whether we set up what target and perform a system design. First, this paper shows the view of the safety in an AHS system, and shows the required target of the safety to the road-to-vehicle communication system in an AHS system. Next, we shows the feature and configuration of a RVC system in an AHS system, and describe the dangerous factor which threatens the safety of RVC by DSRC, and its measure. Lastly, the occurrence probability was searched for by experiment about shadowing, a multipath, and an accuracy of the marker position in the dangerous factors. And we show that a chance of attaining the safety and reliability target value required of RVC was verified.

Keyword ITS, AHS, DSRC, Safety

1. はじめに

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）は、1996 年に発足し、国土交通省国土技術政策総合研究所（以下、国総研）の研究委託により、走行支援道路システム（以下、AHS）の実用化に

向けて研究開発に取り組んでいる。AHS は、スマートカー（知能化された自動車）とスマートウェイ（知能化された道路）が協調して、障害物や車両等の情報をリアルタイムに提供することにより、事故の削減を図ることを目的としている。発見の遅れ、判断の誤り、

操作の誤りという事故原因に対応して情報提供、警報、操作支援の3つの機能によりドライバーにサービスを提供する。

AHS 研究組合は路側と車両との情報伝達手段として狭域通信（以下、DSRC：Dedicated Short Range Communications）を提案し、その技術的な評価とともに、走行支援道路サービス（以下、AHS サービス）の安全性信頼性をどう設計するかについて、研究を進めてきた。

この論文は、AHS における路車間通信システムの安全性の考え方について示し、安全性を脅かす危険要因とその対策について述べる。

2. AHS の概要

2.1. AHS サービス

AHS の研究開発は7つの AHS サービスを検討している。これらの AHS サービスは、過去の事故発生件数を分析し、事故削減効果の高いサービスから選択したものである。

初期の実用化サービスとして、単路部を対象とする発見の遅れを解決する情報提供サービス（AHS-i）を選択し、実道実証実験評価まで進めてきた。

2.2. AHS の構成

AHS は、道路上の障害物や停止車両を検出する道路状況把握センサ、乾燥・湿潤・水膜・積雪・凍結等路面の状態を監視する路面状況把握センサ、センサからの情報を処理する路側処理システム、及び車両にリアルタイムに情報を伝える路車間通信システムから構成される。（図1）

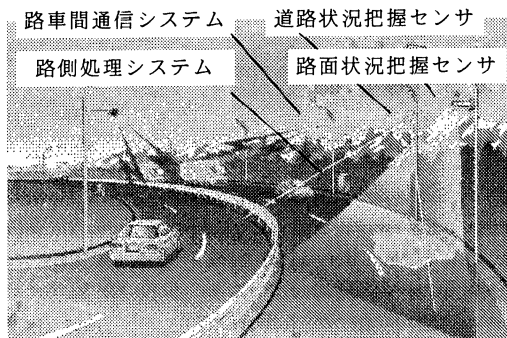


図1 AHSシステムの構成

3. 路車間通信システムの概要

AHS は、汎用性、即時性、安全性の観点から DSRC を採用する。DSRC による路車間通信システムの特徴を以下に示す。[1]

- ・利用者の位置に対応したサービス提供が可能

- ・通信の遅れ（遅延時間）が小さいため高速走行時のリアルタイム通信が可能
- ・サービスを受けているユーザの識別が可能

DSRC は、路側に設置した無線設備（基地局及びアンテナ）と、車両に搭載する車載器により構成する。無線信号の届く範囲は、数十m程度に限られており、その範囲内で情報を送受信する。

図2に路車間通信システムの構成を示す。

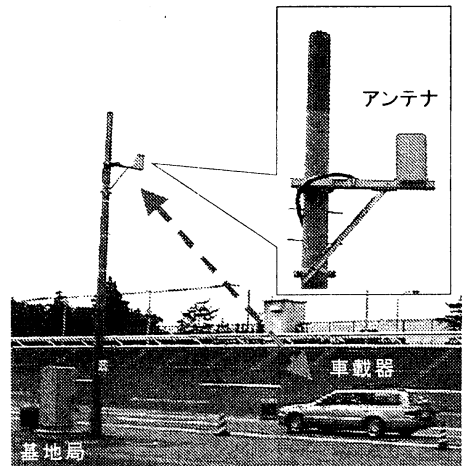


図2 路車間通信システムの構成

路車間通信システムは、AHS サービス区間の開始点で基点情報を、情報伝達地点で走行支援情報を、走行する車両が必要とする位置とタイミングで提供する。

一般に人間の単純反応時間は約 0.3 秒といわれている。また、AHS サービスは人間以上の応答速度が要求され、路側の AHS 全体の動作時間を 0.3 秒に設定した。これから AHS を構成するセンサ、情報処理、路車間通信の各々に 0.1 秒ずつ配分した。従って、路車間通信システムがドライバーに提供する走行支援情報の更新周期を 0.1 秒とした。

また、AHS は GPS 等自車位置を検出する設備がなくてもサービスを提供できることを前提とし、DSRC によりサービス区間の開始点（以下、基点）を車両に識別させることとした。また、基点位置で提供する情報を基点情報と呼び、基点情報を受信した位置を事象発生位置の相対位置の原点とする方式とした。ここで、基点位置の認識精度をセンサの識別誤差と同じ $\pm 5\text{m}$ とした。

図3に DSRC の配置を示す。

DSRC は国内無線標準規格（ARIB STD-T75）に準拠する双方向無線通信方式を採用した。主な諸元を表1に示す。

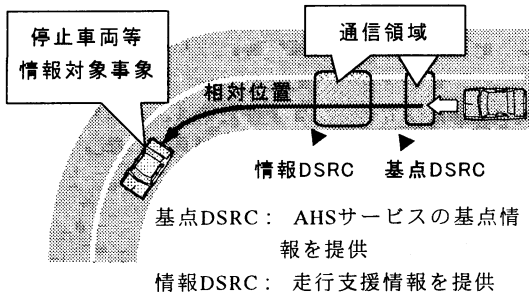


図3 DSRCの配置

表1 DSRCの諸元 (ARIB STD-T75)

キャリア周波数	5.8GHz 帯
変調方式	ASK
無線出力	クラス1 : 10mW 以下 クラス2 : 300mW 以下
伝送速度	1,024kbps

4. 安全性の考え方

4.1. AHSの安全性

AHSの安全性は、想定する条件下で危険なくシステムが機能する能力であり、サービスが成功する割合を示す安全度を指標とする。AHSサービスに必要な機能は「危険な状態の情報を正しく伝えること」であり、「伝えられない場合は伝えられない状態にあることを車両側が判断できるようにする」ことである。

従って、路車間通信システムの安全性は、「路側処理システムから入力した危険な状態の情報を発信し、無線区間を経由して車両側へ伝達する能力である。また、故障が発生したとしても路車間通信システムが故障であることを車両で判断できる状態になることである」と定義する。

一方、安全性を評価する尺度として安全度があり、JIS C 0508-4:1999において安全度を「ある安全関連系が、定められた期間、すべての定められた条件で、要求される安全機能を果たす確からしさ」と定義しており、次のように表すことができる。

安全度 = 1 - 危険側故障 (の発生) 確率

ここで、危険な状態とは、例えばカーブの先に障害物がある状態であり、危険側故障とは路車間通信システムがドライバーに障害物がある(危険な状態である)という情報を伝達しないことである。安全機能は、危険な状態を伝達する機能、誤った情報を検出し排除する機能、通信が途絶えたことを検出して表示する機能、通信が成立している状態と成立していない状態を区別してドライバーに認識させる機能、サービスが停止したことを検出しドライバーへ伝える機能等であり、基本的に路車が協調して果たす機能である。

4.2. 安全度目標値

単路系サービスの実証実験システムの安全性信頼性の仮目標値から路車間通信システムの目標値を配分した。

安全度は正しく情報を伝達する機能を果たす割合を示し、以下に定義する。

安全度 = 1 - 危険側故障確率

= 1 - 危険な事象を検知伝達できない回数 / 総機会数

AHSのシステム全体が目標とする安全度95%に対し、危険側故障確率は5%となる。過年度の実験結果からセンサ系システムの危険側故障確率が4%以下であることが明らかになっている。また、路側処理システムの危険側故障確率を通常の情報処理システムと同様の0.1%とした。

従って、路車間通信システムは安全度:99.1%以上、危険側故障確率:0.9%以下を仮目標値とした。(表2)

表2 安全度* (危険側故障確率)

	仮目標値	危険側故障確率
AHS	95%以上	5%以下
道路・路面センサ	96%以上	4%以下
路側処理システム	99.9%以上	0.1%以下
路車間通信システム	99.1%以上	0.9%以下

*: 前方停止車両・低速車両情報提供支援サービスを対象とする場合

4.3. 路車間通信システムの安全性

路車間通信システムの安全性は「路車間通信システムが安全機能を果たす確からしさ。すなわち、危険な状態にあるときにドライバーに危険な状態であるという情報を伝達する機能を果たすことのできる確からしさ」である。

ここで、路車間通信システムが“情報を伝達する機能を果たす”とは、対になる基点DSRCと情報DSRCの通信が共に成功することである。(表3)

表3 路車間通信の成立

	基点DSRC	情報DSRC	通信の成否
1	○	○	通信成立
2	○	×	通信不成立
3	×	○	通信不成立
4	×	×	通信不成立

○: 通信成功、×: 通信失敗

基点DSRCまたは情報DSRCのどちらか、または共に通信を失敗した場合には、ドライバーに何も伝えることができない。また、上位の路側処理システムが故障した場合にも情報を伝えることができない。ドライバーに情報を伝えることができない場合にドライバーが“事象がない”と誤判断することのないようにAHSは以下のように考えている。

AHSは、伝える事象がある場合にはドライバーに

「この先停止車あり」等の事象を伝達し、伝える事象がない場合には「事故多発地点につき走行注意」等の注意喚起情報をドライバーに伝えることとしている。また、路車間通信システムに不具合が発生したときのようにドライバーに何も情報を伝えることができない場合には、ドライバーに何も情報を伝えない。この3つの場合を設定することによりドライバーの誤判断を防ぐことを考えている。なお、道路センサや路面センサが故障した時にはドライバーに正しく事象を伝えることができなくなる。

センサで検出した情報が、路側処理システム、路車間通信システムと順次伝わり、無線区間を経て車載器に到達する。その過程でシステムの故障と現実の事象の関係から安全側故障、危険側故障を分類して表4に示す。

表中①から⑥は、路側処理システムから入力した情報をそのまま車両に伝達している状態、④はセンサの誤り情報をそのまま伝達することを示す。

⑦、⑧は路側処理システムの故障であり、路車間通信システムが検出し、故障中の状態を通知している状態を示す。

⑨、⑩は路車間通信システムが故障した場合で、通信が停止するため故障した状態を通知する状態を示す。

⑪、⑫は定期保守による停止で、表示等により事前にドライバーへ通知する手順に従って作業すると

いう予定された範囲の状態を示す。

⑬、⑭は無線区間（電波伝搬路）が原因で車両に情報が正しく伝わらない状態を示す。

路車間通信システムの安全性対策は、⑩の路車間通信システムの故障と⑭の無線区間が原因となっている危険側故障の状態を対象とする。

5. 安全性を脅かす危険要因

5.1. 危険側故障要因

路車間通信システムが失敗となる要因を分析すると、発生確率が小さく、機器の設計性能に依存し、机上で論理的に計算することにより検証が可能な要因と、その発生確率がある大きさで存在し、実験による検証が必要な要因がある。

以下に、想定する危険側故障要因について説明する。

(1) 機器故障

電源断等を含む通信装置の故障により、情報が送出されず、サービスインしない。通信領域に入った後、通過中に故障が発生するとサービスインした後で通信断が発生する。機器の設計性能に依存し、机上で検証できる。

(2) シャドウイング

電波が他車両により遮られ通信できない状態になる。発生すると通信失敗となる。机上計算することが難しい。

表4 路車間通信の状態の分類

	サービス提供すべき時間（一般車通行可）					サービス 不要時間				
	路車間通信の正常動作時間		故障修理中の時間		保守休止 時間				運用停止 時間（通行 止等）	
	サービス 提供時間	システムの 判断による サービス断 念時間	車両に故障 だと伝わる 故障	車両に故障 だと伝わら ない故障						
システム 動作 現実の 事象	危険がある という情報 を発信する	危険がない という情報 を発信する	サービスを 断念したこ とを車両に 伝える	車両が故障 だと判断で きない	車両が故障 だと判断で きない	動作停止	動作停止	危険がある なしの情報 が所定時間 内に正確に 車両に伝わ らない		
危険が ない状態	①△	③○	⑤○	⑦○	⑨△	⑪○	—	⑬△		
危険が ある状態	②○	④× (センサ)	⑥○	⑧○	⑩×	⑫○	—	⑭×		
	インフラ							無線区間		

凡 例

○：正常に機能している状態、△：機能していないが安全側故障の状態

×：機能してなくて危険側故障の状態（危険な状態であること及び機能していないことを車両に伝えられない故障）

(3) 周辺車両によるマルチパス

マルチパスの影響等により、電波伝搬路におけるランダム誤りやバースト誤りが発生する。車両の位置関係により発生し、机上計算することが難しい。

(4) 構造物によるマルチパス

定常的にマルチパスの影響により電波伝搬路におけるランダム誤りやバースト誤りが発生する。通信領域の設計を工夫することにより抑えることができる。

(5) ランダム誤り

同じ情報を3回送信する3連送等通信品質向上対策により、発生しても必ずしも通信失敗にならないようにできる。

(6) 電波漏れ

対向車線、立体交差の下にある車道、あるいは並走する側道等に電波が漏れると車両に誤った情報を伝えることになる。通信領域外への無効電波は、設置場所に対応した設計により、抑えることが可能である。また、基点 DSRC と情報 DSRC を順次通過したことを検出する等論理的な方法で対応する。

(7) 基点位置精度

通信領域の設計により位置誤差が大きくなることを抑えることができる。

5.2. 危険側故障確率の配分

路車間通信システムは、安全度：99.1%以上（危険側故障確率：0.9%以下）を仮目標値とする。ここで、路車間通信システムにおける安全度は、正しく情報を伝達する機能を果たす割合、すなわち基点 DSRC と情報 DSRC の通信が共に成功する割合と定義する。

機器故障、シャドウイング、及び周辺車両によるマルチパス以外の要因は通信領域の設計により無視できる程度に抑えることが可能と考え、配分を“0”とした。

機器故障は、ETC 路側機の信頼度設計目標値（MTBF5 万時間）から危険側故障確率：0.1%を割当て、危険側故障確率：0.8%をシャドウイングとマルチパス等無線通信に関する要因に配分した。シャドウイング及び周辺車両によるマルチパスのそれぞれの試算値：0.12%と0.02%に準じて、その比率に応じて0.68%と0.12%とした。

従って、路車間通信システムの危険側故障率(0.9%)を以下のように割当てる。

・ 機器故障	：	0.1%
・ シャドウイング	：	0.68%
・ 周辺車両によるマルチパス	：	0.12%

6. 検証実験

路車間通信の安全度は、「1 - 通信失敗確率」で定義する。従って、通信失敗確率が許容値以下であるか否か、つまり統計上の規定通信回数内に発生する通信

不成立（通信失敗）回数を調査検証する。

AHS サービスの実道実証実験で行われた実験結果を以下に述べる。

6.1. 機器故障

機器故障は、安全性信頼性目標値を機器設計の段階で設定する。実験期間内（延べ144日）に機器故障は1件も発生していない。

6.2. シャドウイング

路側アンテナはシャドウイングが起きないように設置高を設計している。2車線道路の場合を図4に示

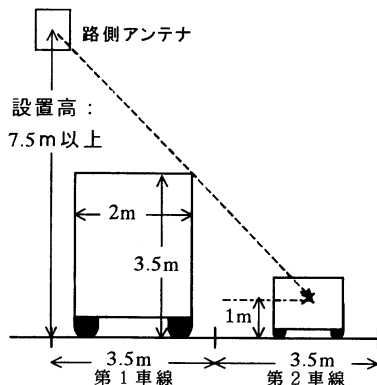


図4 路側アンテナの設置高

す。しかしながら、第1車線あるいは第2車線の車両の走行位置が車線幅方向にゆらぐことがあり、シャドウイングが発生する恐れがある。

シャドウイングの検証は、路側アンテナの設置位置から撮影したビデオ映像によって、車両の窓が見通せるかどうかで測定した。(図5)

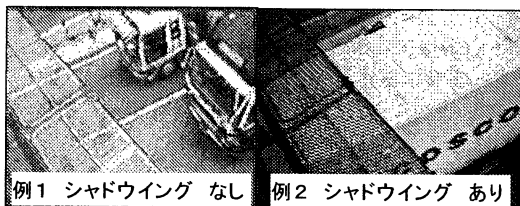


図5 シャドウイング実験

実道実験では、60,000のサンプルに対し、36件のシャドウイングが発生し、シャドウイング発生率は0.06%となった。

シャドウイングに求められる危険側故障率：0.68%は、基地局あたり0.34%となる。基地局あたりのシャドウイング率が20,000サンプルのとき0.24%以下であれば、信頼水準99%で0.34%以下であるといえるので、シャドウイングに起因する通信失敗率は0.68%以下であることを検証したといえる。

6.3. 周辺車両によるマルチパス

周辺車両によるマルチパスは車両の位置関係により発生し、以下のように定義した。

危険側故障発生確率

$$= \text{マルチパス状況発生確率} \times \text{通信失敗確率}$$

ここで、マルチパス状況発生確率は周辺車両によるマルチパスの影響を受ける状態が発生する確率をいい、交通流データから算出する。通信失敗確率はマルチパス状況が発生している状況で通信が失敗する確率をいう。

(1) マルチパス状況発生確率

マルチパス状況は車両が通信領域を走行中に周辺車両によるマルチパスの影響を受ける状況とし、第2車線を走行する車両が第1車線を走行する車両に影響を与えると仮定し、マルチパス状況発生確率を6.2%と設定した。

実道実験米谷地区の最繁時交通量を表5に示す。

表5 米谷地区の最繁時交通量データ*

第1車線の全車両 [台/h] X	第2車線の全車両 [台/h] Y	第2車線の車速 [km/h] V	第2車線の車両占有率 Z	第1車線のマルチパス状況発生確率
1.007	1.724	52.6	16.8%	6.2%

*: 休日 18:00~19:00 の1時間

(2) 通信失敗確率

通信失敗確率は基点 DSRC と情報 DSRC の通信領域を通過中に両 DSRC の情報を共に取得できない確率をいう。

マルチパスによる通信失敗確率は、危険側故障発生確率許容値: 0.12%、マルチパス状況発生確率: 6.2% から、通信失敗確率 = $0.12\% \div 6.2\% = 2.0\%$ となり、通信失敗確率の目標許容値を2.0%とする。

(3) 走行実験の結果

周辺車両によるマルチパスに起因する通信失敗確率は、500以上のサンプル数を取得したとき通信失敗回数が2回以下であれば、通信失敗確率: 0.5%以下、すなわち信頼水準99%で通信失敗確率が2.0%以下であるといえるので、この通信失敗回数を走行実験で検証した。

実道での実験車両走行によるデータ測定は十分なサンプル数を取得することができないため、試験走路上でデータを取得することとした。(図6)

マルチパスの検証は、マルチパスが発生している条件下を実験車両が通過することによって測定した。マルチパスが発生する走行条件を表6に示す。

マルチパス実験結果は、時速100kmで550回の試験走行に対し、基点 DSRC の基点情報と情報 DSRC の走行支援情報を共に取得できない通信失敗確率は0.36%となり、通信失敗確率が500サンプルのとき0.5%以下

下、すなわち、周辺車両によるマルチパスに起因する通信失敗確率は0.12%以下であることを検証できた。



図6 マルチパス実験

表6 マルチパス走行実験条件

項目	設定条件
送信周波数	周波数によるマルチパスの影響の差は小さい。
反射車両と実験車両の車両位置	反射面と車載アンテナの距離に近いほど、かつ路側アンテナに近い車線を走行するほどマルチパスの影響が無線ゾーン内に発生する。
反射車両車種	側面が平面の方がマルチパスの影響が大きい。反射面が平板と波板によるマルチパスの影響の差は小さい。
反射車両速度	反射車両が停止したときと並走したときの差は小さい。実験車両が安全な高速走行をするため、反射車両を停止させる。
実験車両車種	ボンネットがある車種の方が大きな影響が発生する。
実験車両速度	実験車両は通信領域を走行する時間が短いほど路車間通信に成功する確率が厳しくなる。

6.4. 構造物によるマルチパス

各実道実験場所の電波伝播データを取得し、構造物によるマルチパスの影響を調査した。周辺に特別な電波反射物が無く構造物によるマルチパスの影響は小さい、または遮音壁が強化プラスチック製であったため構造物によるマルチパスの影響は小さい等、構造物によるマルチパスの影響は無視できる状況であった。

6.5. ランダム誤り

無線規格 (ARIB STD-T75) は、通信領域を規定どおりに設計したとき受信器の性能を $BER \leq 10^{-5}$ に規定し、このビット誤り率を保証する。

この条件で、基点 DSRC (情報量 ≤ 55 バイト) 及び情報 DSRC (情報量 ≤ 440 バイト) は同じ情報を更新周期内 (0.1 秒) に3回送信することにより、パケット損失率: $PER \leq 10^{-5}$ となり無視できる程度であることがわかった。

実験車両による実道実証実験では、1000回を越える実道実験数に対しランダム誤り等による情報損失は全く発生しなかった。

6.6. 電波漏れ

無線通信の電波は、対向車線にも漏れるため、対向車線を走行する車両が誤って情報を受信し、ドライバーに混乱を与える恐れがある。このため、車両に走行方向を識別させ、不要な情報を廃棄させる必要がある。

基点 DSRC と情報 DSRC は、図 3 に示すように連続して配置する。基点 DSRC が提供する基点情報には組み合わせとなる情報 DSRC 番号を含み、組み合わせとなる情報 DSRC の走行支援情報には基点 DSRC 番号を含む。車載器は基点 DSRC に引続いて情報 DSRC の順に情報を受信したことを識別し、DSRC 番号を照合することにより、AHS サービスが有効であるかどうかを判定する。従って、対向車線を走行する車両も情報を受信した場合、車両は走行方向を識別することにより受信した情報を廃棄し、誤った情報によるドライバーの運転操作を回避できる。

実道実験では、対向車線、高架の下を走る道路、あるいは並走路で電波漏れによる誤ったサービス提供が発生しないことを確認した。

6.7. 基点位置精度

基点位置誤差が生じる要因として、以下の要因がある。

- ① 走行条件によるもの（車両速度、走行車線）
- ② 車載受信器によるもの（受信感度、車載器アンテナ取付け角度、取付け位置）
- ③ 基地局、無線区間によるもの（設置誤差、経年変化）

ここでは、走行車線による基点位置の分布を実道実験施設で求めた。全ての実験場所で基点位置精度を実測した結果、目標値±5m 以下であることを確認できた。

7. まとめ

AHS の路車間通信システムの安全性について定義し、安全度を指標とした。

路車間通信システムには、安全度：99.1%を割り当て、危険側故障要因を分析し、想定される危険側故障要因のうち無視できる程度に抑えることのできない 3 つの要因：①機器故障、②シャドウイング、③マルチパスに対し、危険側故障確率を配分した。

これら 3 つの要因に対し、実験を通して安全度の仮目標値を達成できるかどうかを検証し、安全度の仮目標値を満足することを確認した。

文 献

- [1] DSRC システム研究会編, ITS インフォメーションシャワー—DSRC システムのすべて（電気通信技術審議会答申より）, pp.16-17, クリエイトクル

ーズ, H12.12.21

- [2] "AHSRAREPORT" vol.12 2003 年 9 月
- [3] Masakazu Oda, "Dedicated Short Range Communications (DSRC) for Advanced Cruise-Assist Highway System (AHS)", 9th World Congress in Chicago, USA 2002