

4章 研究の成果

4.2 情報収集・処理道路システムに関する調査

4.2 情報収集・処理道路システムに関する調査

4.2.1 センサによる情報収集に関する調査

4.2.1.1 道路状況把握センサの性能検証及び改良

4.2.1.1.1 道路状況把握センサの評価・改良

道路状況把握センサに関してセンサ検出性能に及ぼす要因、センサ処理性能に及ぼす要因を、それぞれの影響について研究、実験で調査を行ってきた。

その結果いくつかの課題が明らかになった。それを表 4.2.1-1 に示す。課題には各センサ共通の課題として、

- 1) シャドウイング時の検出特性の向上
- 2) 実環境下における性能
- 3) 速度検出精度の向上
- 4) 信頼性・耐久性評価

があり、またセンサ固有の課題として可視画像式センサ、赤外画像式センサ、ミリ波式センサ、レーザレーダ式センサそれぞれの課題を整理した。

一方、実験場では得ることのできない条件、自然環境、道路構造や交通流、車種などの交通環境などがセンサの検出特性、性能に大きな影響を及ぼすことも判明した。

これらの要因が年間を通じてどの程度の頻度で検出特性、性能に影響するのかということをもふまえ、実道実験に供するセンサの目標性能を整理した。これを表 4.2.1-2 に示す。

この値を目標として性能の改良を実施した。

表 4.2.1-1 実用化に向けたセンサ課題

センサ		課 題
共 通		1 シャドウイング時の検出率向上
		2 実環境下における性能評価
		3 速度検出精度の向上
		4 信頼性・耐久性評価
セ ン サ 固 有	可視画像式	1 影による検出劣化の低減
		2 市販車の色に対する評価
		3 大型車検出性能の向上
		4 薄暮、夜間における計測
		5 雨天時の検出劣化の低減
	赤外画像式	1 大型車検出性能の向上
		2 コントラスト(温度)変動時の検出率向上
		3 画像の安定性向上
	ミリ波式	1 大型車両を含めた検出特性の向上
		2 実環境下におけるクラッタレベル確認
		3 実環境下におけるノイズ除去特性向上
	レーザ レーダ式	1 検出範囲の拡大
		2 歩行者検出時間の短縮
		3 車両と歩行者・自転車の識別
	統合装置	1 統合処理性能向上

表 4.2.1-2 道路状況把握センサ 目標性能一覧

センサ	検出率 (%)						速度検出精度			データ 更新レート (ms)	使用環境条件		
	晴・曇			雨			昼間	薄暮	夜間		雨 mm/h	視程(m)	
	昼間	薄暮	夜間	昼間	薄暮	夜間				霧		雪	
可視 画像式	96	90	93	90	85	85	± 10%	±15%		100	30 以下	200 以上	1000 以上
赤外 画像式	96			90			±10%			100	30 以下	200 以上	500 以上
ミリ波式	96			94			±10%			400	50 以下	50 以上	100 以上

注 1) 交通流は自由流 (1 分間平均速度 20km/h 以上)とする。

注 2) 検出率の定義は以下とする

$$\text{検出率} = (\text{1H 当たりの検出車両台数}) / (\text{1H 当たりの実通行車両台数}) \times 100\%$$

注 3) 速度検出精度は以下のように読むものとする。

±10% : ±10%または±10km/h の大きい方 ±15% : ±15%または±15km/h の大きい方

(a) アルゴリズムの改良結果と課題のまとめ

表 4.2.1-3 に平成 13 年度の 1 年間、センサごとに行ってきたアルゴリズムの改良と成果を示す。

残された課題としては以下の通りであった。

(i) 可視センサ

- 足柄実験では、道路照明が設置されていたため、道路照明の設置されていない場所での、夜間検出特性の評価が必要である。
- 環境変化を検出し、パラメータを選択設定するパラメータ選択機能により、道路上に落ちる樹木の影の影響（車体と路面とのコントラスト低下）を低減できたが、自車両の影が隣接車両と結合することにより、2 台の車両が分離できず未検出となる、自車両の影の影響に対する対策が必要である。

(ii) 赤外センサ

- 雨天時における低コントラスト車両の検出特性に関して、3 値化閾値の制御方法を背景画像の標準偏差に追従させることで、検出率を向上させることができたが、低温側、高温側それぞれの閾値ごとに一次式の定数を合わせこむ必要があり、通常のコントラスト車両と低コントラスト車両の検出性能のバランスを考慮して、この定数を最適化する必要がある。

(iii) ミリ波センサ

- 赤外センサ同様、雨天時における低コントラスト車両の検出率向上のために、クラッタレベルの閾値自動設定により、雨天時の検出特性改善が見られた。この動的閾値設定は、自動的にクラッタの維持をカットする閾値を増減させるが、その増減をどの程度の速度で制御するか、また、外的要因の変化の急峻さによって、増減を変動させる速さも変化させるべきか等、クラッタレベルの閾値自動設定の制御の最適化が必要である。

表 4.2.1-3 課題の整理と成果

季節	期間/評価台数/条件/取得データ	アルゴリズムの改良と結果 (パラメータ調整)			
		可視	赤外	ミリ波	統合
冬季	<期間> 1/24~2/3 <評価台数> 約15000台 <条件> 晴天/曇天/降雪/雨天(1mm/h) <取得データ> ポイント検出率0/計測範囲/速度検出精度/位置検出精度	<改良> (1) 車両の影と車両の識別処理の追加 (2) 夜間時のテールランプ検出処理の追加 <成果> (1) 影発生時の車両候補判定条件および判定パラメータの変更 <課題> (1) 影発生時の検出率向上 (2) 多重検出、誤検出の低減 (3) 速度計測精度の向上	<改良> ・特になし <成果> ・実走行環境下でのデータ収集 <課題> ・雨天時、赤外放射減少による低コントラスト車両の検出特性評価 ・シャドウイング時の車両候補判定パラメータの最適化	<改良> ・特になし <成果> ・実走行環境下でのデータ収集 <課題> ・特になし	<改良> ・下流センサデータとの結合条件の最適化 <成果> ・実走行環境下でのデータ収集 <課題> ・特になし
春季	<期間> 4/23~4/26 <評価台数> 約2000台 <条件> 晴天/曇天/雨天(1mm/h) <取得データ> ポイント検出率0、1、2/計測範囲/速度検出精度/位置検出精度	<改良> (1) 誤検出、多重検出車両低減のための改良 (2) 速度計測精度向上のための速度算出条件変更 <成果> (1) 誤検出、多重検出車両の低減 (2) 速度計測精度の向上 <課題> (1) 未検出車両の低減 (2) 車種判定精度の向上	<改良> ・特になし <成果> ・サービスの提供に必要な車両の検出特性評価 <課題> 雨天時、赤外放射減少による低コントラスト車両の検出特性把握。	<改良> ・特になし <成果> ・サービスの提供に必要な車両の検出特性評価 <課題> ・大型車両の多重検出低減	<改良> ・特になし <成果> ・実走行環境下でのデータ収集 <課題> ・特になし
夏季	<期間> 6/4、6/14、7/3~7/6 <評価台数> 約2200台 <条件> 晴天/曇天/雨天(36mm/hMAX) <取得データ> ポイント検出率0、1、2/計測範囲/速度検出精度/位置検出精度 未検出車両ID抽出	<改良> (1) 未検出車両低減のための改良 (2) パラメータ動的決定処理の追加(昼夜2パラメータ) <成果> (1) 未検出車両の低減(⇔多重検出増加) (2) 車種判定精度の向上 <課題> (1) 太陽光の影響(影、西日)の低減 (2) 未検出車両と多重検出低減の両立	<改良> ・特になし <成果> ・雨天時の計測データ収集 <課題> 雨天時の低コントラスト車両に対する3値化閾値車両候補判定条件の最適化。	<改良> ・特になし <成果> ・雨天時の計測データ収集 <課題> ・雨天時の低コントラスト(S/N比の劣化)車両に対する受信閾値、車両候補判定条件の最適化 (注)ミリ波の波長である数mmの雨粒はノイズ要因となる可能性があるが、雪、霧等は影響がほとんど無いと考えられる	<改良> ・特になし <成果> ・実走行環境下でのデータ収集 <課題> ・特になし
冬季(現状)	<期間> 12/13~12/14、12/17~12/18、12/29 <評価台数> 約2000台 <条件> 晴天/曇天/雨天(10mm/hMAX) <取得データ> ポイント検出率0、1、2/計測範囲/速度検出精度/位置検出精度 渋滞検出	<改良> (1) カメラハウジングの改良 (2) 環境変化に応じたパラメータ選択機能追加 <成果> (1) カメラハウジング改良による視野外太陽光の影響(特に西日)の低減 (2) パラメータ選択機能による太陽光の影響(路上に落ちる樹木の影)の低減、車体色に依存した未検出車両の低減 <課題> (1) 太陽光の影響(特に自車両の影)の対策 (2) 道路照明が設置されていない場所での夜間検出特性の評価 (3) 悪視程環境における検出特性の評価	<改良> (1) 3値化しきい値設定の最適化 <成果> (1) 雨天時(10mm/hmax)における3値化しきい値制御の改善効果確認(低コントラスト車両の検出率向上) <残された課題> (1) 悪視程環境下における3値化しきい値制御の最適化	<改良> (1) クラッタレベルのしきい値自動設定機能の追加 <成果> (1) 雨天時(10mm/hmax)における低コントラスト車両検出率の向上 <残された課題> (1) 外部環境によるクラッタレベルのしきい値自動設定機能の制御速度の最適化	<改良> ・特になし <成果> ・実走行環境下でのデータ収集 <残された課題> ・事象発生時のデータの取得

4章 研究の成果

4.2 情報収集・処理道路システムに関する調査

4.2.1.1.2 実道実験におけるセンサシステムの性能評価

(米谷、上社、名古屋西)

(1) 実験の目的

センサ安全度、センサシステム稼働率という視点から R25 米谷地区においては可視道路センサを、東名阪自動車道上社 JCT および名古屋西 JCT においては赤外道路センサを評価した。それぞれの地区について個別の問題はあるものの赤外センサにおいては基本的にセンサ安全度、システム稼働率ともに良好な結果が得られた。

(2) 実験で明らかになった課題

R25 米谷地区においては可視センサを使用した。以下の問題が発生した。

低コントラスト車両、およびシャドーイングによる検出性能低下

- 夜間において、照度不足から車両検出データが途切れることが多い。
- 雨天時の夜間は加えて、インテリジェントポールの窓枠濡れによる視界不良、デリニエータ光の路面反射の影響を受けていると考えられる。デリニエータについては、危険箇所の道路設備として不可欠のものであり、実道には設置されているものである。設置設計の際には十分に考慮されるべきである。(夜間のデリニエータ反射光の対策については、可視カメラでは限界がある)

また、上社 JCT、名古屋西 JCT においては赤外センサを使用した。以下の問題が発生した。

- ゼブラ領域の白線や橋梁の繋ぎ目によって発生する赤外反射成分による検出性能への悪影響(この反射成分は実態の赤外放射ではないため、そのまま連結処理すると検出車両の車尾位置が突然後退して速度が急に低下するなどの問題があった。)
- 道路の揺れによりカメラ映像が揺られて背景画像が大きく乱れる時がある。その場合ゴミが発生し、結果的に誤事象に結びつく可能性有り。

上記可視センサにおける対策としては以下を実施している。

- 1 車両そのものの事象が検出できる車幅のパラメータの調査。
- 年間を通した長期にわたり、晴天・昼間/曇天・昼間/雨天・昼間/晴天・夜間/雨天・夜間等の条件で運用することにより、車幅パラメータの変更によるシステム性能低下などの影響を含めた問題点の洗い出しと対応策の検討。

また赤外センサにおける対策としては以下を実施している。

- 赤外反射の起きる場所に抽出禁止領域を設定し、赤外反射成分を抽出および連結処理の前で取り除くことによって良好な車両検出結果を得ることができた。ただし、検出対象車両の形状と熱分布は個々の車両によって異なるため、まれに反射の影響の出る場合もありうる。
- カメラの設置に際し制震装置等を導入している。しかしながら揺れによってゴミが発生する場合がある。

(3) 実験の結果

実道実験評価結果について表 4.2.1-4 にまとめる。

- 赤外センサシステムにおいては誤検出は発生するものの、停止低速事象検出において未検出はほとんど無い。誤検出の頻度を考慮しても十分実用に耐えうるものと思われる。
- 実道においてはシステムの的に未検出事象をなくすことが重要であり、未検出を無くすためには誤検出が増える方向に調整せざるを得ないところがある。センサ調整の方向については個別に検討が必要である。

4章 研究の成果

4.2 情報収集・処理道路システムに関する調査

表 4.2.1-4 実道実験評価結果

○道路状況把握センサ評価

	仮目標値 (サンプル目標値)		米谷(可視)		上社JCT(赤外)		名古屋西JCT(赤外)		
			実験結果	改良見込	実験結果	改良見込	実験結果	備考	
道路センサ稼働率※	96.0%								
断念時間(率)	—								
検出特性	検出率	96%	晴れ昼		87%	96.1		98.8	
			晴れ夜			98.1			
			雨昼			---		96	
	誤検出率	(実力値を測定)	晴れ昼			6.2		2	
			晴れ夜			3.5			
			雨昼			---		4	
速度精度	普通車	±10km/h	晴れ昼		2.43	1.59		1.11	
			晴れ夜		3.45	---			
			雨昼		2.32	1.78		0.51	
	大型車	±10km/h	雨夜		7.33	---			
			晴れ昼		2.05	1.8		0.22	
			晴れ夜		3.11	---			
	重なり車両	±10km/h	雨昼		2.71	3.53		0.26	
			雨夜		8.1	---			
	事象	停止車	96%	晴れ昼		3.31	3.78		1.23
正解				20	100	100	100	100	
低速車		96%	誤報	0.07	0.07	0.4	0.01	0	
			正解	89.9	96.3	100	100	100	
稼働率※1	稼働率	96%	誤報	15.6	10	59	10	6.7	
			稼働率	99.90%	98.2	99.9	99.6	99.3	
安全度※2			89.00%	94.56	99.2	99.6	100		

※1: 道路センサ稼働率=1-(断念時間率+故障中時間率+保守休止時間率)

※2: 安全度は、道路センサ稼働中に発生した事象の検出率とした

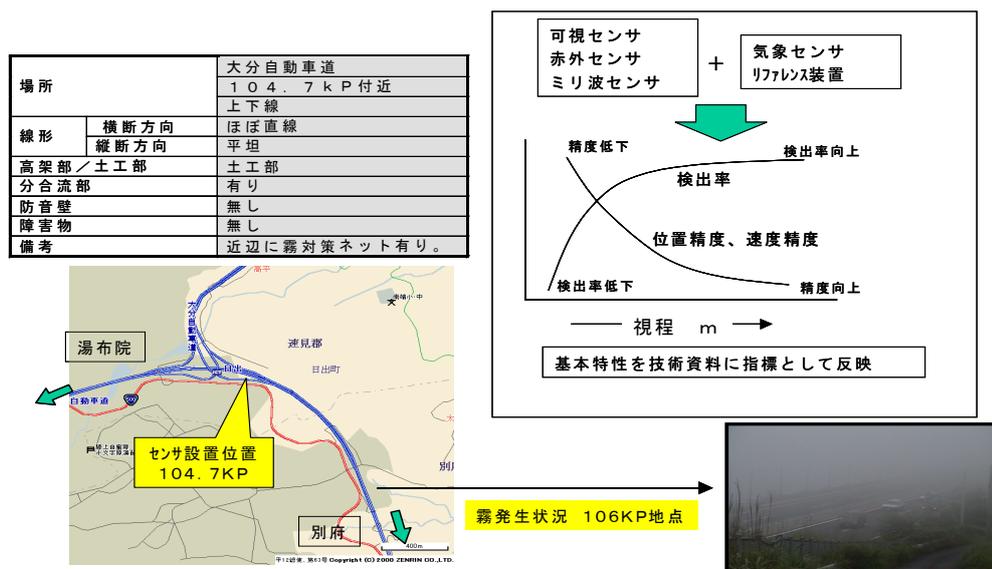
4.2.1.1.3 厳しい自然環境下におけるセンサ特性把握実験（大分日出）

(1) 実験の目的

本実験は、センサ性能を阻害する要因である霧および雨の悪視程環境が起こる実道において、AHSを構成する要素技術の一つである道路センサの機能と性能の検証・評価、さらにその結果を指標として、センサの実用化・実道配備のためのセンサ選択根拠等の基礎データを取得することを目的とした。

(2) 実験の概要（場所、期間等）

実験期間：平成14年4月～平成15年2月



(3) 実験の結果

大分日出JC（閑散流、排水性舗装）において、道路状況把握センサ（可視センサ、赤外センサ、ミリ波センサ）の検出特性把握を行い、センサ安全度・センサシステム稼働率の評価を行った。

(a) センサ安全度・センサシステム稼働率

センサ安全度・センサシステム稼働率に関する成果を以下に整理する。

(i) センサ安全度

(i) 検出率

ミリ波センサは安定した検出率を示した。視程と検出率については、検出率のばらつき、低下を考慮すると可視センサは視程 800m、赤外センサは視程 150m が検出限界と考えられる。

(ii) エリア検出率

エリア検出率はリファレンス地点における検出率を 100%としているので、検出終端位置では、例えば可視センサでは検出率 2 が $99\% \times 96\% = 95\%$ になる（晴天薄昼間）。

エリア検出率は今後のセンサシステム設計の指標として考えていく必要があることが分かった。

(iii) 速度計測精度

精度平均値は各センサともに 10%以下で目標値以内に収まっていることを確認できた。ただし可視センサでは降雨時、視程悪化時にばらつきが大きくなる傾向があるという結果となった。

(iv) 位置計測精度

位置計測精度は、各センサとも平均値は目標値の 5m 以内に

4章 研究の成果

4.2 情報収集・処理道路システムに関する調査

収まっている。ミリ波センサはばらつきが小さいが、可視センサ、赤外センサは天候条件によって3m以上になることがあった。

(イ) センサシステム稼働率

(i) センサシステム稼働率

センサシステム稼働率は霧発生、降雨日数を考慮して算出することにする。降雨強度と視程は一対一の関係にない。そこで以下のように仮定する。

- 降雨強度 10mm/h 以上の発生日数 19 時間/年間 (気象データから)
- 視程 50m 以下の日数 90 日/年間
視程 150m 以下の発生日数も同数とし、このうち視程が悪くなっている時間は 9/日時間とする。また視程が 800m 以下になる時間は 12 時間/日とする。ミリ波が影響を受ける時間を 4 時間/日とする。
- 年間故障時間を 8 時間、保守運用時間を 6 時間とし、稼働率計算から除く)
- 視程 50m 以下が長く続くと交通止めになるので、その時間は稼働率算出から除く。その時間は 6 時間とする。(年間時間数 8760 時間)

以上の仮定からセンサシステム稼働率を算出すると以下のように、可視センサ 86.7%、赤外センサ 90%、ミリ波センサ 95.6%となる。

可視センサシステム稼働率

$$= 1 - (19 + 12 \times 90) / (8760 - 6 \times 90 - 8 - 6) = 0.866$$

赤外センサシステム稼働率

$$= 1 - (19 + 9 \times 90) / (8760 - 6 \times 90 - 8 - 6) = 0.899$$

ミリ波センサシステム稼働率

$$= 1 - (4 \times 90) / (8760 - 6 \times 90 - 8 - 6) = 0.956$$

4.2.1.1.4 重交通環境下におけるセンサの評価

重交通環境下における道路状況把握センサ（可視画像式センサ、赤外画像式センサ、ミリ波式センサ、追跡処理部）の改良、調整後の年間を通じてのセンサの安全度、システム稼働率を評価するためのデータ採取を東名足柄サービスエリアで行い、以下の項目について検証を行った。

(ア) センサ安全度

(i) 検出率

(ii) エリア検出率

- (iii) シャドウイング率
- (iv) 多重検出特性
- (v) 速度計測精度
- (vi) 位置計測精度
- (vii) 渋滞検出

(4) センサシステム稼働率

センサ信頼度を、検出率 96%以上確保できる時間と定義して、以下の表 4.2.1-5 によりセンサシステム稼働率を定義した。

表 4.2.1-5 センサ信頼度と確信度

		センサ信頼度	
		検出率	
確信度	有り	A	B
	無し	C	D

- A : センサ信頼度有り & 確信度有り B : センサ信頼度なし & 確信度有り
 C : センサ信頼度有り & 確信度なし D : センサ信頼度なし & 確信度なし

$$\text{センサシステム稼働率} = (A+B) / T = 1 - (C+D) / T$$

ここで T は年間総時間 (365 日×24h) から故障時間 (8h)、保守運用時間 (6h) を引いた時間である。

各センサのセンサシステム稼働率を算出すると表 4.2.1-6 のようになる。表から全てのセンサにおいてセンサシステム稼働率が 96%以上となっている。

表 4.2.1-6 足柄におけるセンサシステム稼働率

センサシステム稼働率 (%)		
可視センサ	赤外センサ	ミリ波センサ
99	99.8	100

4.2.1.1.5 通年運用によるセンサの長期的性能検証

夏季、秋季、冬季において、平成 14 年度に実施したパラメータ変更による事象検出性能対策の評価、および誤検出や多検出などへの影響の評価を、実験装置を設置して実施した。具体的にはセンサ出力データ (個別車両データ)

4章 研究の成果

4.2 情報収集・処理道路システムに関する調査

と映像データを収集し解析した。また解析したセンサ出力データと映像データを突き合わせることでリファレンスを作成し、評価対象時間追跡できた車両検出率をもとに事象検出性能（正検出、誤検出、多検出）の評価を行った。渋滞中以外で停止事象検出データの収集を行い、停止事象の誤検出を評価した。また、長期の稼働率の評価を行った。

(1) 米谷地区実験

夏季、秋季、冬季の各季節を通した車両検出率、誤検出率、多検出率、未検出率の時間帯別、交通量別の評価を実施した。

車両検出率は目標値 96%以上を達成できなかった。これは、カーブ内側の白線を内寄りにはみ出して走行する車両挙動や、重交通流であるため次々と車両の重なりが発生し、車両検出データが安定しないといった現地特有の道路線形条件、交通流条件が影響していると考えられる。

多検出率は平均 0.2%程度発生していることを確認した。多検出の発生頻度は車両と影の分離が難しい午後に増加する傾向がある。また、大型車の分離検出による多検出が多かった。これは大型車の車体向きが進入時、カーブ走行時で急激に変化するため、車両分離が難しくなり、多検出してしまうと考えられる。

未検出件数が多い要因は、重交通流であるため、次々と車両重なりが発生し、車両検出データが安定しないといった現地特有の条件が影響している。

未検出率は車両検出率の裏返しであり、平均 19.6%程度となった。これは車両検出対象道路が片側二車線という道路線形に依存している可能性もあり、車線の増加や交通量の増加によって横方向のシャドウイングが増えたことが要因と考えられる。

(2) 名古屋西 JCT 実験

夏季、秋季、冬季において、平成 14 年度に実施した事象判定性能対策の評価、および誤検出や多検出などへの影響や、渋滞中以外で停止事象検出データの収集を行うことで停止事象の誤検出を評価した。また、長期の稼働率の検証を実施した。

名古屋西における赤外センサの夏、秋、冬の各季節を通した車両検出率、多検出率、未検出率の時間帯別、天候別、交通量別、気温別の評価を実施した。

車両検出率は全ての項目で安定した目標値以上の高い検出率が得られた。多検出率はどの評価項目においても数%程度発生していることを確認した。多検出の発生頻度は路面温度に対する車両温度の温度コントラストが低下する時に増加する傾向にあり、夏、冬よりも秋で、晴天よりも曇天、雨天で発生しやすい。

未検出率は車両検出率の裏返しであり、どの評価項目においても 1%以

下という非常に小さな値となった。

赤外センサシステム稼働率の評価では、各季節とも平均でほぼ 99% というシステム稼働率が得られた。確信度低下の要因は雨天や曇天など、温度コントラストの低下によるものであった。

また各季節を通じた停止事象の誤検出評価を実施し、平均で約 0.4 回/日という発生頻度となった。誤検出要因は路面反射によると考えられるものが一番多く、路面反射発生場所を抽出禁止領域設定すれば発生頻度を更に低下できる可能性がある。二番目に多い誤検出要因となった背景乱れは赤外カメラの画像安定性に依存するため、赤外カメラの品質のばらつきがより均一になればこの要因による発生頻度は低下すると考えられる。

(3) 参宮橋実験

渋滞中以外で適当なサンプルの停止事象検出データの収集を行い、停止事象の誤検出を評価することを目的とした。また赤外道路センサ据付後の基本性能を評価した。

(a) 車両検出性能評価

(イ) 車両検出率

車両検出率の例を表 4.2.1-7 に示す。

赤外センサの車両検出台数を精査するため、計測データはシャドウイング台数が比較的少ない夜間に取得した。

車両検出率は仮目標値以上の値が得られ、また多重検出が比較的多く検出されている。これは三値化処理による車両検出アルゴリズムを三値化後の白点のみを車両として追尾検出するアルゴリズムに変更したため、車両を分離検出しやすくなったためであると考えられる。

表 4.2.1-7 車両検出率

計測項目	計測値
実車両走行台数(15分あたり)	357
センサ検出台数	269
シャドウイング台数	77
多重検出台数	32
誤検出(壁高欄等による反射)	20
車両検出率	96.1 %
多検出率	11.4 %

(イ) 渋滞末尾検出

渋滞末尾車両とは、渋滞判定領域で渋滞判定条件が満たされた時の最上流に位置する停止車両または低速車両を指す。

4章 研究の成果

4.2 情報収集・処理道路システムに関する調査

統合処理装置では参宮橋カーブの渋滞判定領域を3つに分け、それぞれの領域で渋滞条件を満たすかどうかを100msおきに計算し、各々の平均時間間隔で渋滞判定している。

渋滞が開始すると渋滞末尾車両が下流側から上流側へ移動している状況が確認できた。また、渋滞解消に向かうと渋滞末尾車両が上流側から下流側へ移動しており、渋滞末尾車両の速度が設計どおり20km/h以下になっていることが確認できた。

以上の結果から、渋滞末尾車両が正しく検出できていると思われる。

(b) 停止事象検出評価

センサの停止誤検出にも、路上に検出対象物が全く無いのに停止事象を検出した場合と、路上に検出対象物が存在したために停止事象を検出した場合とでは誤検出の要因に差があると考え、両場合について誤検出の発生頻度を評価した。具体的には、路上に存在した発煙筒などの高熱源体の検出を誤検出に含めた場合と除外した場合である。

一日あたりの誤検出発生頻度は、約0.9~1.1回/日となった。データの分析結果から誤検出の要因を分類すると、表4.2.1-8に示す3点にほぼ分類できる。

表 4.2.1-8 誤検出要因の分類

要因	状況説明
路面反射	橋梁の繋ぎ目や白線等、路面上に赤外線を反射する物体があるときに、車両以外の反射成分が発生することに起因する。
対向車両の影響	対向車線側の車両の一部が検出領域に掛かることによって誤検出成分が発生する。
画像補正後の背景乱れ	赤外面像の温度ドリフトを補正する画像補正動作後に画像処理内部の背景画像が乱れることに起因する。

路面反射による誤検出は、車両底部の温度が橋梁の繋ぎ目などの金属部分や白線など、赤外線を反射しやすい部分で別車両として検出してしまうために発生する。防音壁など側壁での反射成分は予め車両検出領域から除外しており、路面反射しやすい場所も抽出禁止領域を設けるなど反射対策は実施しているが、車両によっては稀に反射対策実施場所の近傍で更に反射が発生する可能性があるために誤検出となったと考えられる。路面上の抽出禁止領域を更に広げると反射による誤検出は減少すると考えられるが、車両検出自体が不安定になる可能性が高く、現状の車両検出特性を保ったまま抽出禁

止領域を広げるのは難しいと考えられる。

件数は僅かであるが対向車両の影響があった。赤外カメラ設置位置が検出対象車線側ではなく対向車線側であり、撮像範囲に対向車線側の車両の一部が撮像される設置環境である以上、対向車両の影響を完全に無くすことは難しい。車両検出情報を出力する領域から可能な限り対向車の撮像されるエリアを除くなど、対向車両の影響を低減するための対策は実施済みである。

(c) まとめ

首都高速道路4号新宿線参宮橋カーブに赤外道路センサを据付調整し、サンプル評価ではあるが仮目標値以上の車両検出率が得られ、渋滞末尾車両も正しく検出できていることを確認した。

渋滞期間中を除く停止事象の誤検出はその要因がほとんど路面反射にあることが判明し、誤検出の発生頻度が平均0.9~1.1件/日程度であることを確認した。停止判定時間を数秒程度長くすることで誤検出を大きく低減できる可能性もあるが、正しい停止事象検出が未検出となる場合もあり、誤検出と未検出のバランスを考慮して事象判定時間を設定する必要があると思われる。

4.2.1.2 路面状況把握センサの性能検証及び改良

4.2.1.2.1 路面状況把握センサの評価・改良

(1) 研究目的

走行支援システムの構成機器である路面状況把握センサの実用化を図るため、安全性・信頼性を確保するために必要なセンサのアルゴリズムのパラメータ調整やアルゴリズム開発を行い、実道フィールドに設置し、実道環境下における様々なデータを取得して、センサ性能や安全性・信頼性について評価を実施した。

(2) 目標の設定

用途に供するレベルとして、路面状況把握センサに求められる到達目標を表4.2.1-9のように設定した。

4章 研究の成果

4.2 情報収集・処理道路システムに関する調査

表 4.2.1-9 センサの開発目標

	目標性能							備考	
	項目	路面判別精度	検出率	検出時間	検出範囲	分解能	耐久性		
	単位	(分類)	(%)	(分)	(m×車線)	(縦 m×横 m)	(年)		
目標値	9	100	1	-	(縦×2)	9	(交換部品)		
センサ名	可視画像式	昼間:8分類 乾燥、湿潤、水膜、新雪、シャーベット、圧雪氷板、氷膜 夜間:5分類 乾燥、湿潤、水膜、積雪、凍結	100	1	昼間: 100×3車線 夜間: 上記範囲の照明下部分	2m×2m～ 20m×2m	9	カメラケース内ファン等 (5年毎)	路面判別精度:水膜厚の判別は原理的に不可のため8分類。夜間はコントラストが低下するため5状態に下がる。 検出範囲:夜間は照明のあたる範囲のため狭くなる。 分解能:30m以上先の縦方向分解能は画素数の関係から段階的に粗くなる。
	レーザレーダ式	8分類 乾燥、湿潤、水膜、新雪、圧雪、シャーベット、圧雪氷板、氷膜	100	1	4m×3車線	2m×2m	9	レーザ発光素子 (1年毎)	路面判別精度:数mmの水膜厚の判別はできないため8状態。 検出範囲:設置位置(高さ、走路上/路側)によって、横断方向が狭くなる場合がある。
	電波放射計式	9分類 乾燥、湿潤、水膜小、水膜大、新雪、圧雪、シャーベット、圧雪氷板、氷膜	100	1	40m×3車線	2m×2m ～10m×2m	9	回転台可動部 (2年毎)	分解能:40m前方では、検出エリアが長楕円となるため長くなる。
	ファイバースコープ式	6分類 乾燥、湿潤、水膜厚小、水膜厚大、積雪、凍結	100	1	15km×0.5m	1m×0.5m	9	レーザ発光素子(4年毎) 気象センサ部品 (半年)	路面判別精度:積雪、凍結の詳細判別は不可のため6分類。 検出範囲、分解能:縦方向は、15km、10mで、横方向の検出範囲はファイバー上のため約0.5mとなる

(3) 平成13年度の改良と実験結果

各センサの課題に対するアルゴリズムの改良項目を整理して、具体的な設計を行った。改良内容を以下に示す。

(ア) レーザレーダ式センサ

乾燥状態から湿潤状態へ変化するときの反射強度のばらつき原因を調査し、判別基準値設定の最適化を行ない、湿潤判別精度を向上させた。また、路面温度データの統計処理により凍結判定精度を向上させた。以上2つのアルゴリズムの改良により、検出率5%の改善効果があった。

(イ) 電波放射式センサ

通過車両による影響を除去するため、垂直及び水平偏波の放射率算出において移動平均処理アルゴリズムを追加した。また、天球放射温度の計測回数を9回から5回に短縮し、機械式回転台の負担を軽減させた。さらに、乾燥から水膜、凍結から乾燥等のように通常起こり得ない路面状態の遷移を除去する時系列判定アルゴリズムを追加した。以上の3つのアルゴリズム改良により、検出率15%の改善効果があった。

(ウ) 可視画像式センサ

乾燥状態と湿潤状態の判別精度を向上させるため、補助センサ（感雨計）によるアルゴリズムを追加した。また、早朝や薄暮などの昼夜切替時における判別精度を向上させるため、日射条件を考慮したアルゴリズムを追加した。さらに検出率を向上させるため、画像特徴の分散度によるアルゴリズムを追加した。

前年度までに実施した2方式（HSB方式及びRGB方式）を統合させて検出率を向上させる画像特徴量追加による改良を実施した。以上の4つのアルゴリズム改良により、検出率12%の改善効果があった。

(エ) 光ファイバ式センサ

前年度までに得られたデータを解析し、その誤差要因を調べた。その結果、降雨開始時の湿潤状態判別精度低下及び熱計算誤差による判別精度低下が見られたので、感雨計を追加して湿潤検出感度の向上アルゴリズム、熱計算誤差を考慮した路面状態判別アルゴリズムを開発すると共に、実験データベースにより路面状態判定しきい値の最適化アルゴリズムの改良を実施した。以上の3つのアルゴリズム改良により、検出率11%の改善効果があった。

結果を表4.2.1-10～12に示す。

4章 研究の成果

4.2 情報収集・処理道路システムに関する調査

表 4.2.1-10 中山峠実験・8 状態結果 (H13 年度)

センサ名	センサ正解率(%)								総合正解率		安全度	
	乾燥	湿潤	水膜	シャー ベット	新雪	圧雪	圧雪 氷板	氷膜	目標	実績	目標	実績
レーザレーダ式	92.7	72.1	67.7	44.1	61.0	96.2	58.7	40.3	91.6	78.5	96.0	94.1
電波放射計式	95.5	73.1	80.3	42.8	43.9	78.0	88.0	25.8		84.8		94.1
可視画像式	89.3	56.4	76.0	47.9	27.1	37.2	46.2	88.9		68.4		91.3

表 4.2.1-11 中山峠実験・5 状態結果 (H13 年度)

センサ名	センサ正解率(%)					総合正解率		安全度	
	乾燥	湿潤	水膜	積雪	凍結	目標	実績	目標	実績
レーザレーダ式	92.7	72.1	67.7	97.1	62.2	91.6	86.6	96.0	95.0
電波放射計式	95.5	73.1	80.3	82.7	42.6		87.0		94/8
可視画像式	88.6	55.2	75.8	92.2	97.4		83.9		94.4
光ファイバ式	79.5	72.0	49.4	97.5	25.0		83.2		96.5

表 4.2.1-12 中山峠実験・稼働率結果 (H13 年度)

センサ名	システム稼働率		サービス稼働率	
	目標	実績	目標	実績
レーザレーダ式	99.6	89.8	96.0	89.8
電波放射計式		56.0		55.0
可視画像式		77.2		72.6
光ファイバ式		95.4		95.4

平成 13 年度実験の結果得られた課題と対策案及びその結果を以下に示す。

表 4.2.1-13 可視画像式センサの個別正解率向上対策案

路面状態	誤出力路面状態	主な個別正解率低下要因	個別正解率劣化割合	対応策	対策後予想劣化割合	対策後正解率
乾燥 (88.6%)	湿潤	影の影響	4.7%	補助センサによる	3.0%	93.5% (補助センサ使用)
	水膜	影の影響	5.4%	補助センサによる	3.0%	
	積雪	逆光の影響	1.3%	確信度出力パラメータの調整による	0.5%	
湿潤 (55.2%)	乾燥	乾燥から湿潤への状態遷移時に誤判定	15.0%	補助センサによる	1.0%	90.0% (補助センサ使用)
	水膜	湿潤と水膜の境界条件による誤判定	26.0%	判別データベースの調整による	8.5%	
	積雪	逆光の影響	3.8%	確信度出力パラメータの調整による	0.5%	
水膜 (75.8%)	乾燥	順光時の水膜で反射光が観測不可の影響	2.8%	—	2.8%	90.0%
	湿潤	湿潤と水膜の境界条件による誤判定	16.6%	判別データベースの調整による	6.6%	
	積雪	逆光の影響	4.7%	確信度出力パラメータの調整による	0.5%	
	凍結	不明	0.1%	—	0.1%	
積雪 (92.2%)	乾燥	黒シャーベット状態時に路側雪壁と路面とのコントラスト増大により路面輝度が得られず誤判定	1.1%	確信度出力パラメータの調整による	0%	93.3% 96.6% (補助センサ使用)
	湿潤	黒シャーベット状態時に湿潤と誤判定	4.9%	補助センサによる	2.3%	
	水膜	黒シャーベット状態時に水膜と誤判定	1.7%	補助センサによる	1.0%	
	凍結	積雪表面または下層の凍結時に誤判定	0.1%	—	0.1%	
凍結 (97.4%)	乾燥	黒シャーベット状態時に路側雪壁と路面とのコントラスト増大により路面輝度が得られず誤判定	1.4%	確信度出力パラメータの調整による	0%	98.8%
	湿潤	融雪剤の影響	0.5%	—	0.5%	
	積雪	積雪表面または下層の凍結時に誤判定	0.7%	—	0.7%	

表 4.2.1-14 レーザレーダ式路面センサの個別正解率向上対策案

路面状態	誤出力 路面状態	個別正解率劣化要因	個別正解率 劣化割合	対策案	対策後予想 劣化割合	対策後 正解率
乾燥 (92.7%)	湿潤	不明	7.0%		7.0%	92.7%
	積雪	不明	0.3%		0.3%	
湿潤 (72.1%)	乾燥	乾燥から湿潤への状態遷移時に誤判定	5.2%	補助センサ(感雨計)を用いて、湿潤への判定を早める。	1.0%	90.3%
	水膜	湿潤と水膜の境界条件による誤判定	16.0%	湿潤と水膜の境界領域を見直し、最適化する。	2.0%	
	積雪	不明	1.9%		1.9%	
	凍結	不明	4.8%		4.8%	
水膜 (67.7%)	乾燥	不明	2.0%		2.0%	90.5%
	湿潤	湿潤と水膜の境界条件による誤判定	20.0%	湿潤と水膜の境界領域を見直し、最適化する。	3.0%	
	積雪	不明	3.5%		3.5%	
	凍結	凍結路面の表面が融けて水膜状態となった路面を凍結と誤判定	6.8%	アルゴリズムの改良 (水膜時は反射光が少ないことから、指標“有効データ率”を新設して判定条件に加える。)	1.0%	
積雪 (97.1%)	湿潤	不明	0.3%		0.3%	90.0% 以上
	凍結	不明	2.6%	凍結と判定する路面温度判定値を見直す。	9.7% 以下	
凍結 (62.2%)	積雪	低温環境下で、凍結を積雪と誤判定	37.8%	凍結と判定する路面温度判定値を見直す。	9.5%	90.5%

表 4.2.1-15 光ファイバ式路面センサの個別正解率向上対策案

路面状態	誤出力路面状態	個別正解率劣化要因	個別正解率劣化割合	対策案	対策後予想劣化割合	対策後正解率
乾燥 (79.5%)	湿潤	蒸発(湿潤から乾燥状態へ変化する)時の時間遅れ	16.9%	熱定数の微調整とデータベースの見直しにより真の路面状態との時間差 Δt を無くする(安全側誤判定の低減)。	10.0%	90.0%
	凍結		3.6%		0%	
湿潤 (72.0%)	乾燥	熱量精度(温度精度)による影響	2.1%	—	2.1%	90.3%
	水膜	湿潤、水膜の境界(遷移過程)部分での誤判定	2.8%	降雨アルゴリズムの改良(感雨、雨量計で少量降雨時は湿潤とするなど)。	5.7%	
	積雪	①蒸発(湿潤から乾燥状態へ変化する)時の時間遅れ(蒸発しきらない内に温度低下で積雪)	18.8%	熱定数の微調整とデータベースの見直しにより真の路面状態との時間差 Δt を無くする(安全側誤判定の低減)。	0.5%	
			0.5%		—	
	凍結	①蒸発(湿潤から乾燥状態へ変化する)時の時間遅れ(蒸発しきらない内に温度低下で凍結)	3.0%	熱定数の微調整とデータベースの見直しにより真の路面状態との時間差 Δt を無くする(安全側誤判定の低減)。	0.2%	
			0.7%		—	
水膜	湿潤	湿潤、水膜の境界(遷移過程)部分での誤判定	31.1%	降雨アルゴリズムの改良(感雨、雨量計で多量降雨時は水膜とするなど)。	7.2%	90.1%

(49.4%)	積雪	①蒸発(湿潤から乾燥状態へ変化する)時の時間遅れ(蒸発しきらない内に温度低下で凍結)	11.8%	熱定数の微調整とデータベースの見直しにより真の路面状態との時間差 Δt を無くする(安全側誤判定の低減)。	0.7%	
		②熱量精度(温度精度)による影響	0.5%	—	0.5%	
	凍結	①蒸発(湿潤から乾燥状態へ変化する)時の時間遅れ(蒸発しきらない内に温度低下で凍結)	6.6%	熱定数の微調整とデータベースの見直しにより真の路面状態との時間差 Δt を無くする(安全側誤判定の低減)。	1.0%	
		②熱量精度(温度精度)による影響	0.5%	—	0.5%	
(97.4%)	積雪	湿潤	熱量精度(温度精度)による影響	0.0%	—	90.1%
		水膜	熱量精度(温度精度)による影響	0.1%	—	
	凍結	積雪、凍結の境界部分での誤判定	2.4%	路面状態判定(境界領域の最適化(データベース化))。	2.0%	
				凍結精度向上による劣化	7.8%	
(25.0%)	凍結	湿潤	熱量精度(温度精度)による影響	0.8%	—	90.6%
		積雪	積雪、凍結の境界部分での誤判定	74.2%	①路面状態判定(境界領域の最適化(データベース化))。 ②積雪継続時での路面温度しきい値等による凍結判定アルゴリズムの追加	

注：凍結と積雪との間の判定アルゴリズムの最適化を行うにあたり、「凍結」を「積雪」と誤る部分を低減するような閾値を設定するとき、逆に「積雪」を「凍結」と誤る部分が増加する。

(4) 平成 14 年度の改良と実験結果

各センサの課題に対するアルゴリズムの改良項目を整理して、具体的な設計を行った。改良内容を以下に示す。

(ア) 可視画像式センサ

画像特徴の統計量を持つように調整したデータベースを用いて判別する段階絞込み方法のアルゴリズムを開発した。適用前後の湿潤、水膜の個別正解率の評価を実施し、湿潤、水膜とも 8%向上し、本アルゴリズムの正解率における効果を確認した。

(イ) レーザレーダ式センサ

測定領域細分化手法を取り入れたシャーベット路面判定方法、反射強度変化を利用した水膜検出処理アルゴリズムを開発するとともに、霧検出による確信度判定アルゴリズムを開発した。

(ウ) 光ファイバ式センサ

蒸発熱量のパラメータ調整、感雨、降雨を考慮した判定アルゴリズムの開発を行うとともに、積雪、凍結の境界部分での誤判定については、気温、路温およびその変化率を用いてアルゴリズムを開発した。本アルゴリズムにより、各要因に対し検証した結果、正解率を向上できる見通しが得られた。

改良を行ったセンサを用いた中山峠実験の結果をまとめた。平成 14 年度の 5 状態結果を表 4.2.1-16 に、平成 14 年度のサービス稼働率とシステム稼働率を表 4.2.1-17 に示す。

表 4.2.1-16 中山峠実験・5 状態結果 (H14 年度)

センサ名	センサ正解率(%)					安全度	
	乾燥	湿潤	水膜	積雪	凍結	目標・実績	
可視画像式	98.0	89.0	89.6	92.7	89.2	96.0	96.8
レーザレーダ式	91.8	85.7	94.2	93.9	81.5		95.1
光ファイバ式	91.7	86.8	81.1	96.4	85.3		96.0

表 4.2.1-17 H14 年度の稼働率結果

センサ名	システム稼働率		サービス稼働率	
	目標	実績	目標	実績
可視画像式	99.8	94.9	96.1	92.9
レーザレーダ式		90.7		86.9
光ファイバ式		99.95		99.95

4章 研究の成果

4.2 情報収集・処理道路システムに関する調査

(5) 通年運用による長期性能検証

路面状況把握センサの実用化を図るため、パラメータ調整を中心にした通年運用におけるセンサの長期性能実験を宮古トンネル地区において実施した。平成15年度の実験結果を以下に示す。

(ア) 可視画像式センサ

表 4.2.1-18 検出率総合判定データ(H15年度四季+H14年度冬季【季節毎】)

		路面センサ判定出力(回数:回)							合計
		乾燥	湿潤	水膜	積雪	凍結	確信度なし	欠測	
観測路面状態	乾燥	47,170	1,791	68	372	2	1,772	0	51,175
	湿潤	841	13,871	444	26	1	748	0	15,931
	水膜	9	550	6,249	231	0	157	0	7,196
	積雪	5	112	62	3,702	0	161	0	4,042
	凍結	32	181	19	16	1,805	39	0	2,092
出力総計		48,057	16,505	6,842	4,347	1,808	2,877	0	80,436

表 4.2.1-19 個別正解率と安全度(H15年度四季+H14年度冬季【季節毎】)

		データ数	正解率(%)					安全度(%)	サービス稼働率	システム稼働率
			乾燥	湿潤	水膜	積雪	凍結			
観測路面状態	乾燥	51,175	95.5%	3.6%	0.1%	0.8%	0.0%	93.8%	96.4%	100.0%
	湿潤	15,931	5.5%	91.4%	2.9%	0.2%	0.0%			
	水膜	7,196	0.1%	7.8%	88.8%	3.3%	0.0%			
	積雪	4,042	0.1%	2.9%	1.6%	95.4%	0.0%			
	凍結	2,092	1.6%	8.8%	0.9%	0.8%	87.9%			
的中率			92.8%	79.8%	94.1%	95.0%	100.0%			

表 4.2.1-20 サービス稼働率・システム稼働率

月	期間	日数	データ数 (1分毎収集)	確信度なし数	故障時間 (分)	サービス稼働率	システム稼働率
7月	8日15時~31日	24	33,660	485	0	98.6%	100.0%
8月	1日~31日	31	44,640	767	0	98.3%	100.0%
9月	1日~30日	30	43,200	564	0	98.7%	100.0%
10月	1日~31日	31	44,640	711	0	98.4%	100.0%
11月	1日~30日	30	43,200	680	0	98.4%	100.0%
12月	1日~31日	31	44,640	722	0	98.4%	100.0%
1月	1日~31日	31	44,640	2,910	0	93.5%	100.0%
2月	1日~27日15時	26.625	38,340	3,412	0	91.1%	100.0%
合計		234.625	336,960	10,251	0	97.0%	100.0%

サービス稼働率の仮目標値 96.1%、システム稼働率の仮目標値 99.8%は達成した。

(イ) レーザレーダ式センサ

表 4.2.1-21 検出率総合判定データ(H15 年度四季+H14 年度冬季【季節毎】)

		路面センサ判定出力(回数:回)							合計
		乾燥	湿潤	水膜	積雪	凍結	確信度なし	欠測	
観測路面状態	乾燥	45,502	1,496	29	358	109	124	0	47,618
	湿潤	440	11,703	675	155	63	79	0	13,115
	水膜	28	367	3,990	120	0	25	0	4,530
	積雪	6	230	180	2,997	2	50	0	3,465
	凍結	44	43	130	0	1,880	0	0	2,097
出力総計		46,020	13,839	5,004	3,630	2,054	278	0	70,825

表 4.2.1-22 個別正解率と安全度(H15 年度四季+H14 年度冬季【季節毎】)

		データ数	正解率(%)					安全度(%)	サービス稼働率	システム稼働率
			乾燥	湿潤	水膜	積雪	凍結			
観測路面状態	乾燥	47,618	95.2%	3.8%	0.1%	0.8%	0.2%	93.5%	99.6%	100.0%
	湿潤	13,115	3.5%	87.1%	7.8%	1.2%	0.5%			
	水膜	4,530	0.6%	8.4%	88.3%	2.7%	0.0%			
	積雪	3,465	0.2%	6.7%	5.3%	87.8%	0.1%			
	凍結	2,097	2.1%	2.1%	6.9%	0.0%	88.9%			
的中率			93.7%	80.6%	81.5%	95.0%	99.1%			

表 4.2.1-23 サービス稼働率・システム稼働率

月	期間	日数	データ数 (1分毎収集)	確信度なし数	故障時間 (分)	サービス稼働率	システム稼働率
7月	8日~31日	24	34,560	823	0	97.6%	100.0%
8月	1日~31日	31	44,640	255	0	99.4%	100.0%
9月	1日~30日	30	43,200	145	0	99.7%	100.0%
10月	1日~31日	31	44,640	15	0	100.0%	100.0%
11月	1日~30日	30	43,200	52	0	99.9%	100.0%
12月	1日~31日	31	44,640	73	0	99.8%	100.0%
1月	1日~31日	31	44,640	204	0	99.5%	100.0%
2月	1日~27日15時	26.625	38,340	246	0	99.4%	100.0%
合計		234.625	337,860	1,813	0	99.5%	100.0%

サービス稼働率の仮目標値 96.1%、システム稼働率の仮目標値 99.8%は達成した。

(ウ) まとめ

- ・正解率の仮目標値 90%、安全度の仮目標値、96%はほぼ達成した。
- ・サービス稼働率の仮目標値 96.1%、システム稼働率の仮目標値 99.8%は達成した。
- ・さらなる精度向上のためには、新規アルゴリズム開発、きめ細かなパラメータ調整、補助センサ(塩分濃度計、湿潤センサ、

4章 研究の成果

4.2 情報収集・処理道路システムに関する調査

埋設型路面温度計など) を取り入れる方策も考えられる。

(エ) 課題と対策

路面センサ性能は検出場所の路面状態の発生状態、道路内での発生状況、外部環境特異性により、大きく影響をうけるため、短期的なデータによる調整でもある程度の性能は確保出来るが、最終的な性能を確保するためには、当該設置場所での年間を通じたデータによる最終調整が必要である。

4.2.2 情報処理・通信システムに関する調査

4.2.2.1 路車間通信システムの開発

4.2.2.1.1 開発する技術へのリクワイアメント

(1) 連続通信へのリクワイアメント

リクワイアメントの策定を踏まえた、路車間通信設備への要求仕様を以下のように定めた。

- (a) 通信対象：走行支援システム車両（自動二輪以上の車両・四輪車・大型車）
- (b) 通信対象速度：0～120km/h 以上(第一当事者の自専道危険認知速度から)

- 前方障害物衝突防止支援（一般道）：70km/h 以上
- 前方障害物衝突防止支援（自専道）：120km/h 以上
- 車線逸脱防止支援（自専道）：120km/h
- 車線逸脱防止支援・カーブ進入危険防止支援(一般道)：100km/h 以上
- 車線逸脱防止支援・カーブ進入危険防止支援(自専道)：120km/h 以上
- 出会い頭衝突防止支援：70km/h 以上
- 右折衝突防止支援：30km/h 以上
- 横断歩道歩行者衝突防止支援：70km/h 以上

(c) 通信領域：0～600m の通信領域

- 前方障害物衝突防止支援（一般道）：片側 290m、全長 420m 以上
- 前方障害物衝突防止支援（自専道）：600m 以上
- 車線逸脱防止支援：100m 以上
- 車線逸脱防止支援・カーブ進入危険防止支援(一般道)：100m 以上
- 車線逸脱防止支援・カーブ進入危険防止支援(自専道)：100m 以上
- 出会い頭衝突防止支援：片側 140.5m、両側で 281m 以上
- 右折衝突防止支援：片側 40m、両側で 80m 以上
- 横断歩道歩行者衝突防止支援：片側 175m、両側 305m 以上

(d) 対象車両：252 台以上に対する通信

自専道：600m 3 車線 車両密度 140 台/km として 252 台以上

一般道：290m 片側 2 車線 車両密度 140 台/km として

両側で 164 台以上

- 前方障害物衝突防止支援（一般道）：
290m 片側 2 車線 車両密度 140 台/km として 片側 82 台

4 章 研究の成果

4.2 情報収集・処理道路システムに関する調査

両側で 164 台以上

- 前方障害物衝突防止支援（自専道）：
600m 3 車線 車両密度 140 台/km として 252 台以上
- 車線逸脱防止支援：
100m 3 車線 車両密度 140 台/km として 42 台以上
- 車線逸脱防止支援・カーブ進入危険防止支援(一般道)：
100m 往復 4 車線 車両密度 140 台/km として 56 台以上
- 車線逸脱防止支援・カーブ進入危険防止支援(自専道)：
100m 3 車線 車両密度 140 台/km として 42 台以上
- 出会い頭衝突防止支援：
140.5m 片側 2 車線 車両密度 140 台/km として 40 台以上
両側で合計 80 台以上
- 右折衝突防止支援：
47m 1 車線 車両密度 140 台/km として 7 台以上
両側で合計 14 台以上
- 横断歩道歩行者衝突防止支援：
175m 片側 3 車線 車両密度 140 台/km として 75 台
両側で 150 台以上

(e) 伝送速度：1 台当たり必要な情報量を送受信できること

(f) 情報更新周期（通信周期）：100msec 以内

(g) 伝送速度に関してはシステム設計以降に定める

(2) スポット通信へのリクワイアメント

ETC に係る無線通信技術を応用して駐車場管理やガソリンスタンド代金支払等の様々な分野においても利用可能である DSRC システム実現のために、平成 12 年 1 月 24 日、郵政省（当時）より電気通信技術審議会に対し、諮問第 111 号「DSRC システムの無線設備等の技術的条件」が諮問された。

この諮問に対し、平成 12 年 10 月 23 日、電技審より郵政省（当時）に対し答申が行われた。この DSRC の特徴は以下の通り。

(ア) ETC 車載器と通信できる

ASK 変調方式（1Mbps）、無線ゾーン 30m

(イ) 波の数を最大 4 波（20MHz あたり）に増やすことができる

キャリア周波数間隔が ETC の 1/2 の 5MHz

(ウ) QPSK 変調方式（4Mbps）を選択できる

(エ) 車載器の受信感度を上げることにより、免許の不要な送信出力 10mW の路側無線機に対して、約 30m の無線ゾーンが構築できる

(オ) マルチアプリ対応のプロトコル機能を加える

①サービス識別、②同報通信、③バルク転送、④IP 接続

電技審答申概要を以下の(a)～(c)に示す。

(a) 電技審答申概要 一般的条件

表 4.2.2-1 一般的条件

	答申項目	答申内容	記事
1	無線周波数	5.8GHz 帯 送受信周波数(波の数)は未定	ETCと共用を図る
2	キャリア周波数間隔	5MHz	ETC(2波)以上の波数確保
3	変調方式	ASK または、QPSK 変調方式であること	二つの変調方式を指定
4	変調速度	ASK : 1024kbps(2048kbaud) QPSK : 4096kbps(2048kbaud)	大容量方式(QPSK)の追加
5	送受信周波数間隔	40MHz	
6	通信方式	<ul style="list-style-type: none"> ● 単向通信方式、半複信方式又は複信方式が適当 ● 多重方式は時分割多重が適当 	
7	空中線電力	路側機 : 300mW 以下(但し、距離 ≤30mの場合、10mW以下) 車載器 : 10mW 以下	ETC と同等の無線ゾーンサイズ
8	システム設計上の条件	<ul style="list-style-type: none"> ● 一つの筐体に収められること(空中線、電源等は除く) ● 通常起こり得る温度、湿度変化、振動に対応すること ● 干渉条件を満足する距離にある複数の路側機において、同一の無線周波数が同時に利用できること ● 複数の割当スロット、データスロットを有すること 	電波干渉に関する記述の追加
9	セキュリティ対策	番号付与、認証手順適用、情報秘匿などを必要に応じ実施	
10	電磁環境対策	端末機器は車両内の電子機器等との相互電磁干渉に配慮	
11	運用上の留意点	ISM(Industrial、Scientific、Medical)バンドであると言う特殊性を踏まえ、将来に渡り安定した運用を確保するため、必要に応じて適切な対応を講じること	

4章 研究の成果

4.2 情報収集・処理道路システムに関する調査

(b) 電技審答申概要 無線設備の技術的条件

表 4.2.2-2 無線設備の技術的条件

	答申項目	答申内容	記事
送信機特性	周波数の許容偏差	路側: ASK($\pm 20 \times 10^{-6}$) QPSK($\pm 5 \times 10^{-6}$) 車載: ASK($\pm 50 \times 10^{-6}$) QPSK($\pm 20 \times 10^{-6}$)	
	スプリアス発射強度の許容値	25 μ W 以下	
	占有周波数帯幅の許容値	4.4MHz 以下	ETC の約 1/2
	空中線電力の許容偏差	路側: (-50%~+20%) 車載: (-50%~+50%)	
	隣接チャンネル漏洩電力	路側機、車載器共に 隣接 : -30dB 以下 隣隣接 : -40dB 以下	
	キャリアオフ時の漏洩電力	路側機、車載器共に 2.5 μ W 以下	
	筐体輻射	路側機、車載器共に 2.5 μ W 以下	
	空中線利得	路側機 : 20dBi 以下、 車載器 : 10dBi 以下	
受信機特性	受信感度	路側機 : -65dBm以下 (但し、距離>30m : -75dBm 以下) 車載器 : -65dBm 以下	10mW 路側機を受信するために感度アップ(ETC -60dBm)
	スプリアス・レスポンス	ISM帯域内 : 28dB以上 ISM 帯域外 : 16dB 以上	
	副次的に発する電波強度	規定しない	
	筐体輻射	規定しない	

(c) 電技審答申概要 通信プロトコル

表 4.2.2-3 通信プロトコル

	検討項目	検討結果内容	記事
(1) 基本事項	プロトコルスタック	物理層(レイヤ1)、データリンク層(レイヤ2)、アプリケーション層(レイヤ7)の3層構造が望ましい	
	互換性	<ul style="list-style-type: none"> ● 互換性(新規格が旧規格を取り込み対応できる)を維持することが望ましい ● 互換性を得る為にアプリケーションサブレイヤーを設けることが望ましい 	
	複数無線チャンネル(*1)対応	複数の無線チャンネル(波)を想定した時、物理層では以下の点に配慮する <ul style="list-style-type: none"> ● 路側機はキャリアセンス機能を持つことが望ましい ● 1波を各端末機器が共通に受信可能とし、その波の情報により、QPSKに切り替えられることが望ましい (*1):無線チャンネル毎に変調方式(ASK あるいは QPSK)が変えられることを想定	電波干渉対策の指定 共通制御チャンネルの推奨
(2) 具体事項	チャンネルアクセス	コンテンツ型チャンネルアクセスを可能とする専用スロットを設けることが望ましい	
	フレーム構成	<ul style="list-style-type: none"> ● 複数データスロットを持った TDMA フレーム構成が望ましい ● 周波数制御専用チャンネルを設けず、周波数制御スロットと複数の通信スロットからなるフレーム構成が望ましい 	
	スロット長	TDMA フレームの制御スロット、通信スロット、チャンネルアクセススロット長は等しいことが望ましい	
(3) アプリ対応	個別通信	最適なフレーム長選択とレイヤ2での迅速なARQ機能付加が望ましい	
	バルク転送	大容量データのバルク転送はアプリケーションサブレイヤーにおいて対応することが望ましい	
	同報通信	IDファイル単位での同報通信(ポイントツーマルチポイント)はアプリケーションサブレイヤーにおいて対応することが望ましい	
	IP接続	データ転送要求を端末機器からも可能とするサーバクライアント機能が具備されていること	

また、AHSの安全性・信頼性検討によって設定された目標については、以下の通り

- 安全度 99.1%以上
- システム稼働率 99.9%以上
- サービス稼働率 96.1%以上

4 章 研究の成果

4.2 情報収集・処理道路システムに関する調査

4.2.2.2 連続通信システムの性能検証

4.2.2.2.1 連続通信システムの課題整理と目標設定

AHS システムを構成するセンサシステム、制御システム、車両システムに関する障害が AHS サービスに与える影響を FMEA (failure mode and effects analysis) により分析し、AHS サービス提供の機会損失の観点から情報通信システムの品質目標を各劣化要因に配分した。

情報通信品質目標の策定により求めた情報通信品質目標数値例は、以降の研究における情報通信品質目標の目安とした。

(1) FMEA 分析

安全 6 基本ユーザサービスに対し、サービスの動作から、衝突防止サービス（前方障害物衝突防止支援／出会い頭衝突防止支援／右折衝突防止支援／横断歩道歩行者衝突防止サービス）と車線逸脱防止支援／カーブ進入危険防止支援の 2 群に分類し、AHS システムの障害が AHS サービスに与える影響を、AHS-i および AHS-c に対して、FMEA により分析した。

(2) 情報通信品質目標の策定

FMEA の分析において、影響の大きい障害等級 (C3) をもつ障害モードは、①路車間通信の偽警報の発信／情報誤り②障害物センサ／衝突危険検知処理の誤警報の 2 つと想定される。これらの影響を抑えるために、情報通信システムに要求される品質目標の目安を設定した。

情報通信システムの劣化要因に配分した要求品質目標の数値例を表 4.2.2-4 に示す。

表 4.2.2-4 情報通信システムの要求品質目標の数値例

劣化要因	劣化配分の数値例
(1)パケット損失率(ビット誤り率)	0.01(0.000001)
(2)回線切断時間率	
・フェージングによる	0.005
・シャドウイングによる	0.005
(3)無線サービスエリアの非被覆率	0.005
(4)センサ／処理部の検知損失率	0.02
(5)その他の障害による不稼働率	0.005

4.2.2.2.2 検証結果

(1) 性能・信頼性の評価

(a) シャドウイングとマルチパスの影響

実証実験を実施し、路車間通信システム (DSRC) を実道で用いる際、通信エラーが起こりうる条件下において、通信品質を計測し、DSRC の性能や実道における配置の検討に資する基礎情報を収集した。

通信エラーの起こりうる条件として(ア)シャドウイング、(イ)マルチパスの 2 つの環境において実験を実施し、電波の受信レベル (受信した

電波の強さ)、および通信エラーを計測した。通信エラーは通信エラー率 (BER : Bit Error Rata) で評価するが、これは全通信回数に対し、エラーにより正常通信できなかった割合を示す。

なお、すでに実装されている ETC の DSRC の BER は 10^{-5} 以下であることがリクワイアメントとして規程されており、本実験でも同様の指標を用いる。

ここでシャドウイングとは、路側機と車載器の間に障害物がある場合、障害物が影となって電波をさえぎるため、出力が低下しその結果通信エラーが起きる状態である。

また、マルチパスとは受信器が直接波と、壁面等に反射した反射波の両方の電波を受信した時、双方の電波の干渉や位相の違い等によって、通信エラーが起きる状態である。

(7) シャドウイング

大型車により DSRC の通信が遮られる場合の通信エラーについて検証を行った。

シャドウイングの発生状況として、交差点部における大型車によるシャドウイング、及び大型車並走時のシャドウイングの2つの状況において検証を行った。

- (i) 実証実験の結果、交差点における大型車のシャドウイングにより、約 20dB の受信レベル低下が発生することが分かった。
- (ii) シャドウイングに対しては、規格感度 (車載器の受信感度) の向上により回避できる。すなわち、車載器の感度を 20dB 受信レベルが落ちても受信可能なレベルまで向上することにより、回避可能である。
- (iii) また、シャドウイングによる通信エラー率 (BER) を見ると、エラーはほとんど発生しておらず、現状でも十分な通信が可能である。
- (iv) 今後のシャドウイングの課題として、複数の DSRC を、シャドウイングが発生しないよう幾何学的に配置し、シャドウイングが発生する事象自体を減らすことも対策として必要である。

(4) マルチパス

前方走行車両や、大型車による DSRC 電波反射の影響について検証を行った。マルチパスの発生状況として前方走行車両により反射波が発生する状況と、大型車の側面で反射波が発生する場合の2通りについて検証を行った。

- (i) 前方車両の屋根により、反射波が発生する配置条件では、前方車両との車間が 2m の場合、基地局アンテナ近傍で (すなわち路側アンテナに近い時ほど) 干渉が生じている。

- (ii) また、大型車両による反射波は、大型車との車間 2m の場合、基地局アンテナ近傍、車間 10m では無線ゾーン中央付近で干渉が確認される。
- (iii) しかしながら、エラー率は十分リクワイアメントを満たしており、現状の性能で問題ないと言える。
- (iv) 今後、道路周辺構造物によるマルチパスについて、実証実験施設での評価はできないため、実道における実験により、その影響を確認することが必要である。

(b) 高速ハンドオーバー

走行支援システムにおける路車間通信システムに要求される高速ハンドオーバー機能実現を検討するため、実証実験システムにおける路車間通信システムのハンドオーバー時間の測定結果を分析し、実証実験システムのハンドオーバー機能の課題を抽出した。

走行支援システムにおいては、車両が、100ms で更新される同報データを連続した情報として提供を受ける必要があるため、同報チャンネルハンドオーバー時間に絞って評価結果を述べる。

表 4.2.2-5 は、同報チャンネルハンドオーバー時間の測定結果である。

表 4.2.2-5 同報チャンネルハンドオーバー時間の平均値

車両 速度	同報ハンドオーバー時間 [ms]		
	ハンドオーバー 検出／判定時間	プロトコル 処理時間	合計
10 Km/h	229	79	309
30 Km/h	179	79	257
50 Km/h	147	87	234
80 Km/h	106	83	188
120 Km/h	89	89	178

ハンドオーバー検出／判定時間は、高速時に比べて車両速度が低速時にはフレーム同期はずれとなる直前の CRC エラーが多発するため、車両速度が高速になるに従って減少している。

これは、ハンドオーバーゾーンに該当する区間では、受信電界強度が安定していないため、測定車両がハンドオーバーゾーン通過に要する時間が長いと、受信電界強度が不安定な区間に留まる時間が長くなり、CRC エラー多発による同報データ欠損時間が大きくなってしまい、同報チャンネルのハンドオーバー時間が増加してしまうものと思われる。

一方、プロトコル処理時間は車両速度に依存せず、ほぼ一定の値である。

(2) 課題

同報チャンネルハンドオーバー時間の実験結果から得られた、ハンドオーバー方式の問題点を、表 4.2.2-6 に示す。

表 4.2.2-6 ハンドオーバー方式の問題点

項番	問題点	内容
1	ハンドオーバー開始時の同報データ欠損時間	フレーム同期はずれのみをトリガとしているため、フレーム同期はずれ直前の同報スロット受信状況悪化による同報データの欠損時間が、車両速度によるハンドオーバーゾーン通過時間の違いによって生じる。 ※車両速度 10km/h 時は 120km/h 時に比べて約 5~6 フレーム区間 CRC エラーが多発。
2	フレーム同期はずれ～同期確立までのデータ受信不可能時間	フレーム同期はずれから、周波数設定／切替をへて次ゾーンのフレーム同期確立までの間、無線通信区間のデータ受信が不可能であり、最低でも約 80ms は同報データが受信不可能である。

実証実験における路車間通信システムは、ゾーン切替わり地点での車載端末の受信電界強度低下により FCMC の UW 連続未検出となってハンドオーバーを行うが、この前後は当然同報スロットの受信状況も悪化しているため、UW 検出可能でもハンドオーバー開始直前の同報データ欠損は避けられない。ハンドオーバー時の同報データ欠損時間は 0 となるのが理想であるが、現在の実証実験用路車間通信システムのハンドオーバー方式でこれを実現するのは困難である。

4.2.2.2.3 新たな連続技術の検討

前節までで検討した連続通信システムによる AHS システムの実現は、現状の技術レベルでは困難である理由により、早期実用化を図る AHS システムはスポット通信システムによる実用化を開始するという方針とした。その上で、より高度な AHS サービスの実現及び他アプリケーションとの共用に向けて、連続通信技術について下記の通り検討した。

(a) 連続通信方式の規格化作業に向けた作業項目を抽出し、社団法人電波産業会 (ARIB) の「5.8GHz 帯における移動業務と他業務の周波数共用技術の調査検討会」との作業分担を整理した。

- ・ ARIB の分担：電波伝播など無線通信に関する検討及び規格作成
- ・ AHSRA の分担：路車間通信システムに関する検討及び実用化設計

表 4.2.2-7 AHSRA/ARIB での検討内容の整理

検討項目	AHSRAでの検討内容	ARIBでの検討内容
リクワイアメントの整理	<ul style="list-style-type: none"> ・情報量、車両数、通信品質等 ・通信周期 ・許容通信断時間 ・システム導入箇所の環境と移行 ・無線ゾーン、波の数、空中線 	— — —
通信技術課題検討		
<ul style="list-style-type: none"> ・マルチパスフェージング 	要求項目の整理	・モデル化
<ul style="list-style-type: none"> ・シャドウイング 	<ul style="list-style-type: none"> ・単路、カーブ、交差点等道路構造 ・交通流モデル ・車両毎の継続時間 	<ul style="list-style-type: none"> ・単路の交通流モデル ・発生時間
<ul style="list-style-type: none"> ・ハンドオーバー 	・方式の整理と実現性評価	— — —
無線通信方式	— — —	<ul style="list-style-type: none"> ・無線ゾーン形成 ・新方式DSRCの伝搬特性評価（電界強度、BER） ・変調方式
干渉検討	— — —	<ul style="list-style-type: none"> ・自サービス間干渉 ・他サービスとの干渉

(b) 連続通信システムに関する技術課題として、マルチパス対策、シャドウイング対策、ハンドオーバー対策について机上検討した。

(ア) マルチパス対策

試算により、反射物が 10m 以上離れている場合には、電波の減衰差から反射波との電波干渉が問題とならないことがわかった。

(イ) シャドウイング対策

単路、カーブ、交差点に対する道路条件、交通流モデルを基にシャドウイング発生時間、継続時間のシミュレーションを実施した。シャドウイングの課題は、車載空中線を見通せるように路側空中線を設置することが必要で、効率的な設置位置を求めると共に、複数の空中線を配置することによる機器コスト増大の問題を解決する課題があることがわかった。

(ウ) ハンドオーバー対策

各種ハンドオーバー方式を分析した結果、ハンドオーバー時間を短くするには、車載器が 2 つの無線ゾーンから電波を受ける状態を作ることが必要で、OFDM、PSK-VP などの電波干渉を起こさない条件を満たす無線方式を要求する必要があることがわかった。

(c) 無線機の仕様

ARIB で検討されている新方式 DSRC を参考に、実道への配備、スポット通信から連続通信への移行を前提とした際に考慮すべき

内容を整理し、連続通信システムの評価実験に実験施設として使用する無線機の仕様について検討した結果、OFDM、PSK-VP などマルチパスフェージングに強く、複数の DSRC による送信が可能で、連続する無線ゾーンを同一の周波数を用いて構成できる方式が効果的であることがわかった。

- (d) 実道への配備、スポット通信から連続通信への移行時の併存を前提に、連続通信システムの今後検討すべき項目を以下の通りに整理した。
- (ア) 要件検討：システム設置条件の整理
- (イ) 技術課題検討結果の検証
- ・マルチパス：試験走路（交差路）、トンネル、立体交差等での評価
 - ・シャドウイング：試験走路、実道で通信断時間の測定
 - ・ハンドオーバー：試験走路、実道で通信断時間の測定
 - ・移行方式：試験走路でのスポット通信との干渉実験
 - ・通信の信頼性：試験走路、実道での伝送特性の評価
 - ・コスト低減：試験走路での効果の確認（伝送特性の測定）
- (ウ) システム検証
- ・国総研試験走路：新方式 DSRC を用いたシステムとしての性能評価
 - ・実道：新方式 DSRC を用いてシステムとしての性能評価

4.2.2.3 スポット通信システムの性能検証

5.8GHz 帯狭域通信（DSRC）の無線フレーム及び通信プロトコルなどの通信仕様に配慮し、ETC サービスと共用可能な振幅変調方式（ASK）のスポット通信を活用して実施可能な AHS サービスを明らかにした。

また、スポット通信を活用して部分的な AHS サービスを提供する場合の課題を抽出し、部分的な AHS サービスを提供するために路車間通信に要求される条件を明確にした。

4.2.2.3.1 スポット通信システムの基礎的検討

(1) スポット通信による AHS サービス

スポット通信用路車間通信としての利用が考えられる VICS ビーコン、ETC 用 DSRC、および電技審答申の DSRC について通信方式や通信プロトコルについての制約を検討し、スポット通信用に適した路車間通信を選定すると共に、その路車間通信を利用して提供可能な AHS サービスの範囲を明確にした。

表 4.2.2-8 に路車間通信の仕様を示す。

表 4.2.2-8 各路車間通信の仕様

種類	VICS ビーコン	ETC 用 DSRC	電技審答申 DSRC
周波数帯	2.5GHz	5.8GHz	5.8GHz
伝送速度	64kbps	1024kbps	1024kbps
変調方式	GMSK	ASK	ASK または QPSK
プロトコル	—	T-55	作成中
車両走行速度	120km/h	180km/h	180km/h
無線ゾーン長	70m	3m/10m/30m	最大 30m
ハンドオーバ機能	なし	なし	なし
通信チャンネル数	片方向 1CH	双方向 最大 4CH	双方向 最大 4CH
波の数	1 波(路→車のみ)	2 波	7 波

AHS サービスの適用には、VICS ビーコンは、情報伝送量、無線ゾーンを重ねる波の数、及びセキュリティで課題があり、ETC 用 DSRC は連送機能がないための通信品質、無線ゾーンを重ねる波の数で課題があり、電技審答申 DSRC の適用を前提とする。

表 4.2.2-8 に、スポット通信による AHS サービスの適性を示す。

表 4.2.2-9 スポット通信による AHS サービスの適性

AHS サービス		道路種別		支援 レベル	適性 (*)	備考
		自専 道	一般 道			
前方障害物 衝突防止支 援	○	○	情報提供	△	無線ゾーン通過後、突発事象が発生した 場合に通信できないので、警報や操作支 援は提供できない(情報提供レベルの効 果は半減)	
			警報	×		
			操作支援	×		
カーブ進入 危険防止支 援	○	○	情報提供	○		
			警報	○		
			操作支援	○		
車線逸脱 防止支援	○	○	情報提供	○		
			警報	○		
			操作支援	○		
出 会 い 頭 衝 突 防 止 支 援	接 近 支 援	-	○	情報提供	△	交差点の存在については情報提供できる が、無線ゾーン通過後、優先道路の交通 状況変化を情報提供できない
				警報	×	
				操作支援	×	
発 進 時 支 援	-	-	○	情報提供	○	
				警報	-	
				操作支援	-	
右折衝突 防止支援	-	-	○	情報提供	○	
				警報	-	
				操作支援	-	
横断歩行者 衝突防止支 援	-	-	○	情報提供	△	交差点直前および内部では横断歩道の 状況変化を情報提供できるが、交差点接 近時は情報提供できない
				警報	-	
				操作支援	-	
路面情報活 用 車間保持等 支援	○	○	情報提供	-		
			警報	○		
			操作支援	○		

(*) ○：スポット通信でよい △：スポット通信では効果が落ちる

×：スポット通信ではサービスできない -：サービスなし

(2) スポット通信仕様の特徴

ETC 車載器と通信できることを特長とする電技審答申と ETC 仕様(ARIB STD-T55)との主な違いを以下に示す。

- (a) 波の数を最大4波(20MHzあたり)に増やすことができる
キャリア周波数間隔がETCの1/2の5MHz
- (b) QPSK変調方式(4Mbps)を選択できる
- (c) 車載器の受信感度を上げることにより、免許の不要な送信出力10mWの路側無線機に対して、約30mの無線ゾーンが構築できる
- (d) マルチアプリ対応のプロトコル機能を加える

①サービス識別、②同報通信、③バルク転送、④IP接続

(3) 無線ゾーンおよびスポット通信から連続通信への移行形態例

スポット通信による部分的なAHSサービスから連続通信を利用したAHSを含むマルチサービスへ移行する際には、両者が併存可能となるようそれぞれのサービスの周波数配置を検討する必要がある。スポット通信から連続通信への移行性(無線ゾーンの併存)、及び新たな周波数帯が不用等の理由により、図4.2.2-1に示す移行形態を提案した。

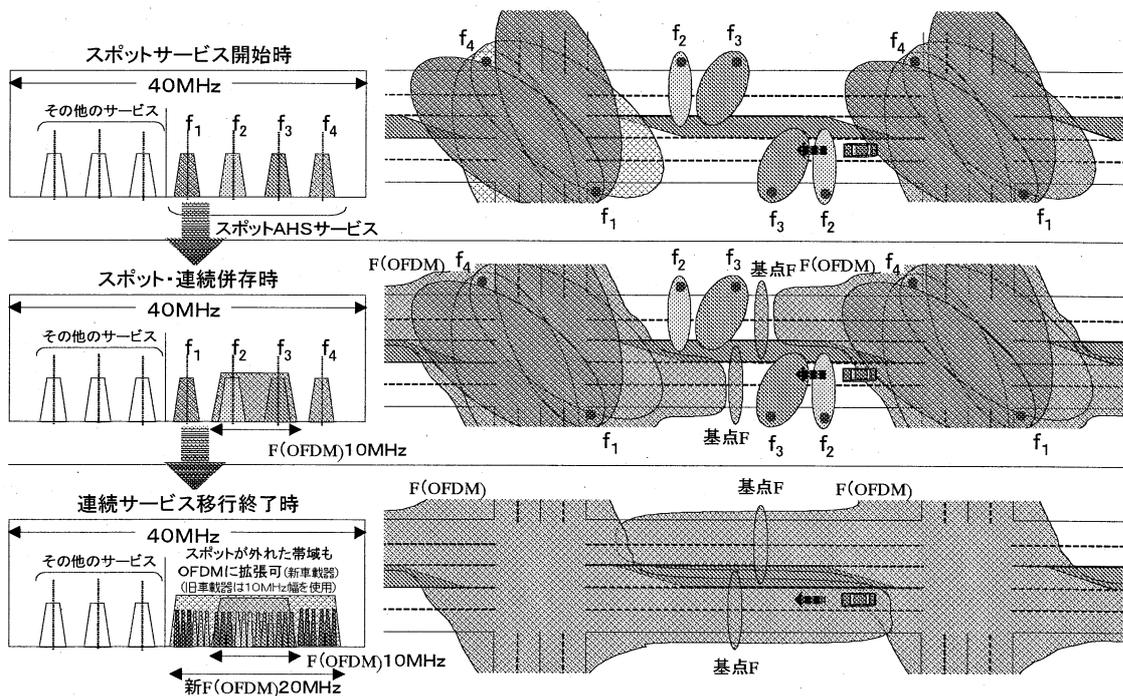


図 4.2.2-1 スポット通信から連続通信への移行形態例

4.2.2.3.2 スポット通信による単路系システムの評価

(1) ダブルデッキ構造・トンネルでの性能試験

走行支援システムを実現する為の路車間通信施設に求められる機能性能としては、情報伝達に必要な無線ゾーンが構成されているか、また情報伝達に必要な無線通信品質が得られているかである。ここではこの2点についての評価をするために実道実験を行い路車間通信施設の機能性能を評価することを目的とする。

実道実験では、併設道路への電波漏れが認められ、今後電波漏れを前提としたシステム検討が必要であることが判った。また、角形トンネルでの実験では、更なる実験評価が必要ではあるが、トンネル内での DSRC 適用が十分可能である見通しを得た。

(a) 実験計画

国総研試験走路では得られない実験環境下の実験を行う為に、平成13年8月首都高速王子線にてダブルデッキ構造における電波漏れの実験および11月に首都高速八重洲南トンネルにて通信品質および無線ゾーンの実験を実施した。

(b) ダブルデッキ構造での性能試験

首都高速王子線で実験を実施し、上層から下層への電波の漏れおよび下層から上層への電波は問題ないことが判った。

ただし、高架下への一般道への電波漏れが認められたとともに、下層においては激しい電界変動が認められた。

(ア) 実験目的

- (i) ダブルデッキ構造における併走路（一般道）への電波漏れの測定
- (ii) ダブルデッキ構造における上層・下層間の電波漏れの測定
- (iii) ダブルデッキ構造における上層・下層における無線ゾーンの測定

(イ) 測定条件

- (i) 測定車両：ステージア
- (ii) 空中線種別：情報提供 A、基点用
- (iii) 空中線設置高：上層の場合 8m、5m
下層の場合 7m、5m
- (iv) 路側無線機出力：情報提供 A 22dBm、基点用 9dBm
- (v) 車載空中線
 - 取付け場所：助手席前ダッシュボード上
 - 取付け角度：15°

(ウ) まとめ

表 4.2.2-10 まとめと今後の課題

実験で判ったこと	今後の課題・対策
1.高速道から高架下の一般道への電波の漏れが認められた。	漏れ電波をキャッチして他のサービスに乗り移るなどの混信を防ぐため、車載器が漏れ電波を無視するアルゴリズムを検討する。
2.上層から下層への電波漏れは認められるものの問題ないレベルである。また、下層から上層への電波漏れは問題ない。	問題なし。
3.下層の無線ゾーンは、反射の影響による激しい電界変動が認められたものの、無線ゾーンは確保できている。	通信プロトコルを含めた通信品質の評価を行い電界変動の影響を確認する。

(c) トンネルでの性能試験

首都高速八重洲南トンネルで実験を実施し、空中線を中央天頂に設置した場合、通信可能である見通しを得た。

(7) 実験目的

取得データにより、トンネル内での DSRC 適用可能性を評価する。

- 受信電力特性
- 無線ゾーンの大きさ
- 同報データ取得回数

(4) 測定条件

- (i) 測定車両：ステージア
- (ii) 路側無線機出力：13dBm
- (iii) 空中線種別：情報提供 B
- (iv) 空中線設置高：トンネル中央の場合 4.5m
トンネル路側の場合 4.2m
- (v) 車載空中線
 - 取付け場所：助手席前ダッシュボード上
 - 取付け角度：15°

(ウ) まとめ

- (i) 空中線を中央天頂に設置した場合、通信可能である見通しを得た。
- (ii) 今後、空中線設置条件等をさらに検討、実験評価する必要がある。

(2) 実道による機能性能評価

(a) 路車間通信システムの安全性・信頼性

(7) 路車間通信の安全性信頼性目標値

AHS システムは安全性信頼性目標値として安全度を 95%以上と設定し、危険側故障確率を道路・路面センサ、路車間通信システム、

及び路側処理システムに配分した。(表 4.2.2-10) ここで、安全度と危険側故障確率は以下の関係にある。

$$\text{安全度} = 1 - \text{危険側故障確率} \quad (\text{式 1})$$

表 4.2.2-11 安全性信頼性目標値

	安全度	危険側故障確率
AHS システム	95%以上	5%以下
道路・路面センサ	96%以上	4%以下
路車間通信システム	99.1%以上	0.95 以下
路側処理システム	99.9%以上	0.1%以下

(注) 前方停止車両・低速車両情報提供支援サービスを対象

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%以下を安全性信頼性目標値とする。

4章 研究の成果

4.2 情報収集・処理道路システムに関する調査

(イ) 路車間通信システムの危険側故障要因

路車間通信システムの安全性・信頼性を阻害する危険側故障要因毎に検証方法を検討した。(表 4.2.2-12)

表 4.2.2-12 危険側故障要因と検証方法

	危険側故障要因	要因と特性の分析	検証方法
1	機器故障	機器の設計性能に依存する	机上計算
2	シャドウイング	大型車の影で発生し、発生すると通信失敗となる	通信失敗確率を実験で測定
3	周辺車両によるマルチパス	車両の位置関係により発生する	通信失敗確率を実験で測定
4	構造物によるマルチパス	定常的にマルチパスは発生するが、通信領域の設計により抑えることが可能である (a)通常構造 路面反射等の影響も認められず、通信は成立する (b)トンネル内、高架下層 極めて強い影響が見られ、電波吸収体設置、空中線設置位置等の対策が必要 (c)防音壁構造 (a)と(b)の間と考えられる	各実道実証実験場所で電波伝搬特性を測定 (a)H13年度電波測定を実施 (b)H13年度電波測定を実施(実道実験場所に対象とする道路構造はない) (c)実道実験の該当箇所で電波測定を実施し、通常構造の場合の電波伝播波形と比較し、(a)か(b)に区分
5	ランダム誤り	3 連送等の対策により発生しても必ずしも通信失敗にならない	机上計算および実験車両で総合的に測定
6	電波漏れ	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	実道実験の該当箇所で電波測定を実施
7	基点位置精度	通信領域の設計により抑えることが可能である(目標値:±5m 以内)	実道実験の該当箇所で測定を実施

(ウ) 危険側故障確率の配分

路車間通信システムの危険側故障確率の目標値：0.9%以下に対し、要因毎に危険側故障確率を配分する。表 4.2.2-13 に危険側故障確率の配分値を示す。

表 4.2.2-13 危険側故障確率の要因別配分値

	危険側故障要因	基点+情報	基点 DSRC	情報 DSRC	記事
1	機器故障	0.1%以下	—	—	稼働率 99.9%以上
2	シャドウイング	0.68%以下	0.34%	0.34%	シミュレーション 0.12%/基地局
3	周辺車両による マルチパス	0.12%以下	0.06%	0.06%	試算値 0.02%/基地局
4	構造物による マルチパス	—	—	—	無視できる程度に 通信領域を設計
5	ランダム誤り	—	—	—	無視できる程度に 通信領域を設計
6	電波漏れ	—	—	—	無視できる程度に 通信領域を設計
7	基点位置精度	—	—	—	無視できる程度に 通信領域を設計
	計	0.9%以下	0.4%	0.4%	

目標とする稼働率：99.9%から機器故障に危険側故障確率：0.1%を割当て、機器故障を除く危険側故障確率：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。次に、既に求めたシャドウイング及びマルチパスの試算値の比率：0.12%/0.02%に準じて、0.68%と 0.12%に配分した。さらに、その危険側故障確率を基点 DSRC と情報 DSRC で二分し、基地局あたり 0.34%、及び 0.06%とした。

機器故障、シャドウイング、及び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仮定し、配分を 0 とした。

マルチパスによる危険側故障は、周辺車両によるものと構造物によるものがあるが、構造物によるマルチパスは通信領域の設計により抑えることが可能であり、周辺車両によるマルチパスによる危険側故障確率の許容目標値を、0.12%以下を設定した。

(b) 安全性信頼性目標値の検証

(ア) 機器故障

安全性信頼性目標値を機器設計の段階で設定する。実験期間内に

機器故障は発生していない。

(イ) シャドウイング

20,000 以上のサンプル数で測定し、通信失敗回数が 48 回以下であれば、通信失敗確率：0.24%以下、すなわち信頼水準 99%で通信失敗確率が 0.34%以下であるといえ、この通信失敗回数を基点 DSRC 位置にカメラを設置し、車の窓が見通せるかどうかで測定した。

表 4.2.2-14 シャドウイングの実測結果（路側空中線 8m 高）

実道実験	サンプル数	シャドウイング発生	シャドウイング率
米谷地区	20,012	33	0.16%
大沢川地区	20,597	3	0.015%
上社地区	20,064	1	0.005%
計	60,673	37	

基地局当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。

(c) 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＝マルチパス状況発生確率×通信失敗確率
(式 2)

(ア) 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 車線の車両が第 1 車線を走行する車両に影響すると仮定した。表 4.2.2-14 に米谷の最繁時交通量データを示す。

表 4.2.2-15 米谷の最繁時交通量データ（休日 18:00～19:00 の 1 時間）

第1車線の 全車両[台/h] X	第2車線の 全車両[台/h] Y(注 1)	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%

第2車線の車両占有率 Z

= 第2車線の (大型車両数×車長+小型車両数×車長+二輪車数×車長) / 1時間当たりの走行距離

対象車両が第1車線を走行する確率 = $X / (X + Y)$ とすると、
マルチパス状況発生確率 $M =$ 第2車線の車両占有率×対象車両が第1車線を走行する確率 = $Z \times X / (X + Y) = 6.2\%$

となる。マルチパス状況発生確率を、6.2% と設定する。

(イ) 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%として式2より、

$$\text{通信失敗確率} = 0.12\% \div 6.2\% = 2.0\%$$

となり、通信失敗確率の目標許容値を 2.0% とする。

(ウ) サンプル数

通信失敗確率を検証するためのサンプル数について求める。

信頼水準 99%における通信失敗確率とサンプル数の関係を図 4.2.2-2 に、通信失敗確率と通信失敗回数との関係を表 4.2.2-15 に示す。

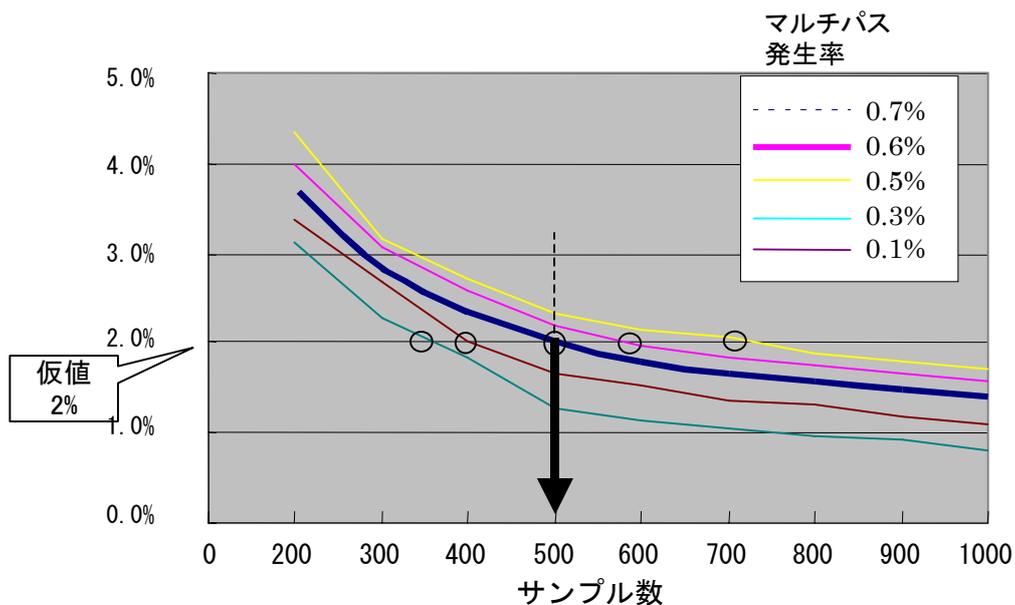


図 4.2.2-2 通信失敗確率 (信頼水準 99%)

表 4.2.2-16 通信失敗確率と通信失敗回数の関係

(信頼水準 99%で通信失敗確率が 2.0%以下)

通信失敗確率	0.1%	0.3%	0.5%	0.6%	0.7%
サンプル数	350	400	500	600	720
通信失敗回数	0 回	1 回	2 回	3 回	5 回

(エ) 走行実験条件

走行実験条件を表 4.2.2-17 に示す。

表 4.2.2-17 走行実験条件

項目	設定条件
送信周波数	マルチパスの影響の差は小さい。 基点 DSRC: 5795MHz 情報 DSRC: 5800MHz
反射車両と実験車両の車両位置	反射面と車載空中線の距離が近いほど、かつ路側空中線に近い車線を走行するほどマルチパスの影響が通信領域内に発生する。 走行パターン: 実験車両 1.5 車線、反射車両 2.5 車線
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: 波板箱型大型車
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。 反射車両: 基点 DSRC 1 台停止、情報 DSRC 2 台停止
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: 三菱グランディス(実道実験と同車種)
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。 実験車両速度: 安全走行の上限速度(100km/h 程度)

(オ) 走行実験の結果

表 4.2.2-18 に実験結果のまとめを示す。

表 4.2.2-18 実験結果

サンプル数	平均速度	通信失敗回数	通信失敗確率
550	107.8 km/h	2 回	0.36%

(注) 失敗の 2 回とも基点情報の取得ミスであった。

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、通信失敗率確率が 500 サンプルのとき 0.5% 以下であった。従って、周辺車両によるマルチパスに起因する通信失敗率は 0.12% 以下であることを検証できた。

(d) 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。

(ア) ランダム誤り

ランダム誤りによる通信失敗は情報損失率 (PER) で表す。図 4.2.2-3 は、情報損失率とビットエラーの関係を示したものである。

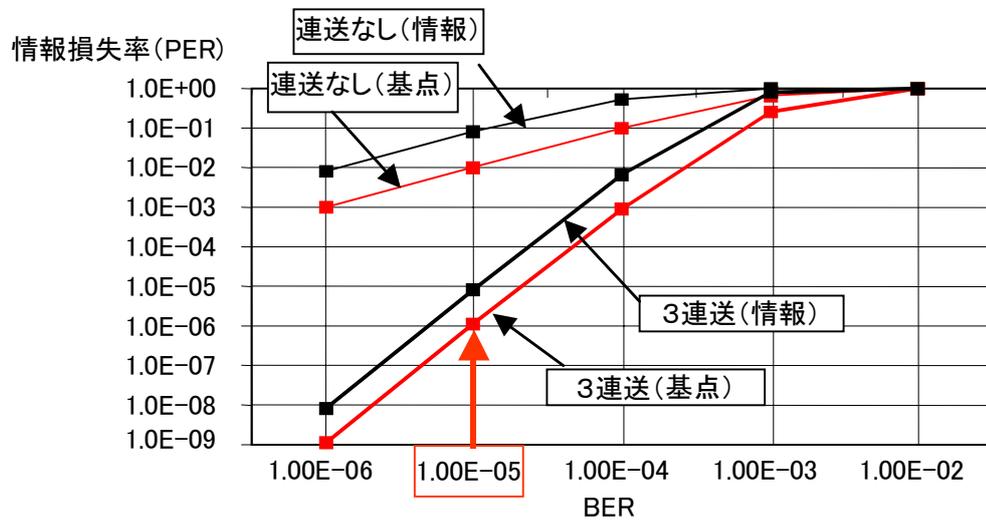


図 4.2.2-3 ビット誤り率 BER と同報通信の情報損失率 (PER) の関係

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。

実験車両による実道実証実験では、シャドウイングによる通信失敗だけであり、ランダム誤り等による情報損失は発生しなかった。

表 4.2.2-19 路車間通信の実測結果

実道実験	実験数	通信失敗数
米谷地区	298	1
大沢川地区	160	0
松田惣領地区	188	0
名古屋西地区		
上社地区		
計	646	1

(注)通信失敗はシャドウイングによる。

(イ) 電波漏れ

反対車線あるいは並走路で電波漏れによる誤ったサービスインが発生しないことを確認した。

(ウ) 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、車載器空中線取り付け角度、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。ビデオカメラを実験車両内に設置し、基点情報を取得した時刻と路側空中線柱の通過時刻から算出した。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した。

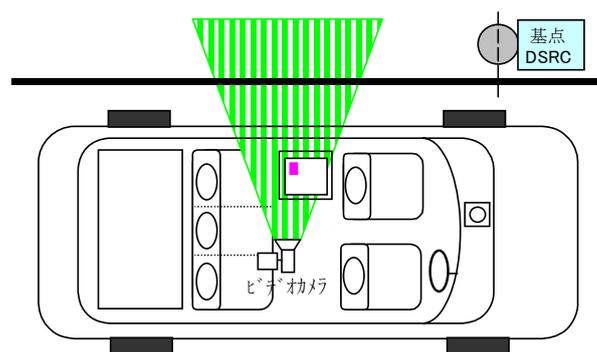


図 4.2.2-4 基点位置精度の測定

4.2.2.3.3 スポット通信による交差点系システムの評価

(1) 大交差点における通信状況

(a) 不具合発生状況

試験走路の大交差点において、車両右折時に通信の不具合が発生した。状況は以下の通りである。

- (ア) 車両が右折待ち停止すると、情報が取れない場合がある。
- (イ) 連続的に受信レベルを測定すると、極めて急激に落ち込んでいる。
- (ウ) この状態で車両が停止していると通信断となる。
- (エ) 固定した場所、同じ条件で不具合が発生するとは限らない。
- (オ) 交差路用の片側のみ、周辺の電波停止した単独の路側空中線でも発生する。
- (カ) 車載空中線を車室外に出すと不具合が発生しない。
- (キ) 車載空中線を変えても不具合が発生する。
- (ク) 車載空中線をフロントガラスに密着させると不具合発生が減少した。

(b) 通信状況の測定方法

(ア) 車両移動による実験

路側空中線に対する多様な条件により、測定車を移動して不具合の発生を調査した。

(i) 測定条件

- ①電波の入射方向（正面、斜め）
- ②フロントガラスの有無（フロントガラス単体）
- ③車室内設置の有無（車載空中線単体）

(ii) 測定パラメータ

- ①水平角（AZ）
- ②上下角（EL）
- ③車載空中線の取付角（ α ）

(イ) 車載空中線移動による実験

測定車を停止させ、フロントガラス面から 20cm 離れた位置から密着するまで距離を変えて、不具合の発生を調査した。

(i) 測定条件

- ①電波の入射方向（正面、斜め）
- ②フロントガラスの有無（フロントガラス単体）
- ③車室内設置の有無（車載空中線単体）

(ii) 測定パラメータ

- ①水平角（AZ）
- ②上下角（EL）
- ③車載空中線の取付角（ α ）

(iii) 測定機器諸元

①路側空中線

出力無線特性	送信周波数:5.8GHz 変調方式:無変調
設置高	8m

②車載空中線

指向性特性	1素子
設置高	1m

③受信レベル測定

サンプル密度	車両移動時:60ポイント/m 車載空中線移動時:30ポイント/cm
--------	--------------------------------------

④測定車両

測定車	トヨタ マーク2バン 2.0GL フロントガラス傾斜角:45°
フロントガラス 着脱可能測定車	ニッサン プリメーラ フロントガラス傾斜角:40°

(c) まとめ

(7) 調査結果の概要

調査結果の概要は以下の通りである。

(i) 電波の入射方向；①正面、②斜め

- 電波の入射方向に依存せず、斜め入射でも正面入射でも不具合が発生する。

(ii) フロントガラスの影響；③ガラスの有無、④ガラス単体（車体なし）

- フロントガラスがある場合、不具合が発生する。
- フロントガラスによる空中線特性の変化が、不具合発生の一因である。
- 不具合の発生しない車載空中線の位置（フロントガラスからの距離）を特定することができなかった。
- フロントガラスがない場合にも不具合が発生するので、他の要因もある。

(iii) 車室内反射波の影響；⑤車載空中線単体（ガラスなし、車体なし）、⑥反射波の方向

- 車載空中線単体（ガラスなし、車体なし）では不具合が発生しない。

- 車室内反射波による電波干渉が、不具合発生の一因である
 - 反射波の方向、及びどこで反射しているかを突き止めることはできなかった。
- (iv) 路面反射波の影響：
- 空中線面を上方に向けることにより回避できる。
- (1) 対策案の検討
- 対策案について検討を行った。概要は以下の通りである。
- (i) 路側空中線の設置位置では不具合を 100%解消することはできない。
- 不具合の発生が車両のフロントガラスあるいは車室内の電波反射によるものであり、路側から解消する手段がない。
- (ii) 車載空中線の車室内設置位置では不具合を解消することはできない。
- フロントガラスに近づけるとガラスの影響がでてくる。
 - フロントガラスから遠ざけると車室内反射の影響がでてくる。
- (iii) 不具合が発生することを前提に対策を立てる。
- 不具合発生の頻度を少なくするために、車載空中線の受信電力を現状設計より数 dB（検討中）多い受信マージンを見込んだ設計とする。
- 以下の項目で対応する。
- 路側空中線の設置位置を工夫し、車載空中線指向損失を低減する。
 - 路側空中線の設置位置を通信領域に近づけ電波伝播距離を短くする。
 - 路側空中線の送信出力を上げる。（通常時電波の飛びすぎとなるため、避けたい）
 - 車載器の受信感度を上げる。（通常時電波の飛びすぎとなるため、避けたい）
- (iv) さらに、シャドウイング発生時と同様な処理を規定する。
- 車載 CPU へ通信断状態の通知
 - 不具合状態が回復、車両の移動等で電波状態が復帰したときに再接続
- (v) 車載空中線の対策
- 車載空中線を車室外に設置する
 - 車載空中線を車室内に設置する場合には、ダイバーシティアンテナとする。

4.2.3 位置検出技術に関する調査

4.2.3.1 検討対象とするサービスの具体化

(1) 位置検出技術の調査・整理

最近利用されている位置検出技術、必ずしも位置検出のために利用されているものではないが結果として位置検出に利用可能な技術も含めて、調査、整理をした。調査項目は、測位精度、情報のリアルタイム性、サービスの場所、端末移動速度、端末の大きさ、端末コスト、端末の重量、システム構成、天候・路面・時間の条件、特徴（得手／不得手）、位置の表記方法（絶対／相対）、技術の展開などとした。調査した各技術の概要と結果（位置検出精度のみ）を表 4.2.3-1 に示す。

図 4.2.3-1 に信頼性と位置精度に対する各技術の位置付け（案）を示す。図では、AHS のサービスを念頭において、位置精度を路線レベル（数十 m）、車線レベル（数 m）、AHS レベル（数 cm）の 3 段階に分類した。信頼性は、対環境性も含めて利用可能な信頼度がどの程度かを考慮したものである。

図より、レーンマーカの精度、信頼性に並びうる技術は現時点ではないことがわかる。将来並びうるとすれば、GPS の高精度化、白線検知の高信頼化が進み、これらが複合されたシステムと考えられる。

表 4.2.3-1 位置検出技術の整理

技術	方式概要	測位精度
GPS 擬似衛星	4つ以上の衛星（または地上の擬似衛星）からの距離により、3次元位置を特定	単独：10m～30m D-GPS：1m～3m RTK-GPS：±5cm以下
PHS、携帯	3つ以上の基地局からの距離により位置を特定	10m～50m
レーン マーカ	路面敷設マーカをセンサで検出して位置を検知	5cm以下（横位置）
RFID	タグの情報を読取り器で取得して位置を検知	数m
白線検知	カメラの画像を処理して白線、形状を検知	10cm（横位置）
画像処理	路側カメラで車両を追尾して検知	1m（横位置） 10m（縦位置）
DSRC	情報提供ビーコンの無線ゾーンを狭小化	10m程度
DOA	端末からの電波の方向と距離を基地局で計算	1m程度

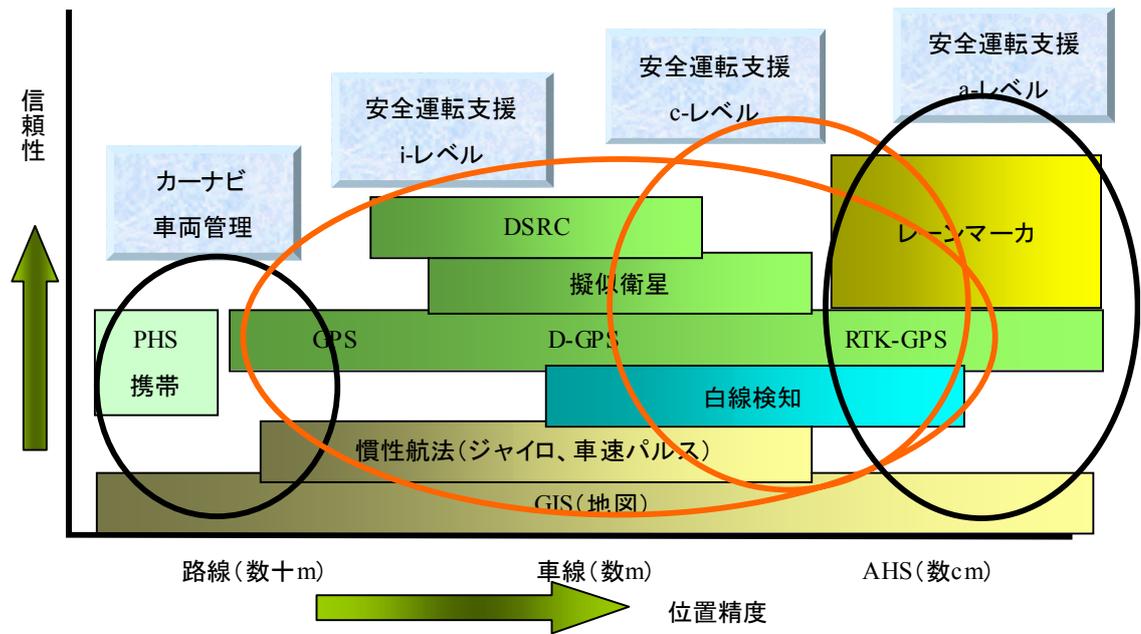


図 4.2.3-1 各位置検出技術の位置付け (案) (精度、信頼性)

(2) アプリケーションの整理と位置検出技術に対する要求条件

アプリケーションを分類し、位置検出に対する要求条件（位置精度、リアルタイム性）を整理した（表 4.2.3-2）。

本検討においては、位置特定（検出）機能を必要とするアプリケーションサービスとして、ITSに係るシステムアーキテクチャから、位置情報の検出を行うサブシステム（機能）を抽出し、これが用いられている全てのサブサービスを対象とした。さらに ITSに係るシステムアーキテクチャには明示的には示されていない道路管理関連アプリケーションサービスとして、現在検討が進められているプローブカーおよび除雪車運転支援を調査対象として追加した。整理の結果、位置特定（検出）機能を必要とするアプリケーションサービスは 86 であることが明らかとなった。これらを 10（8つのサービス群+プローブカー、除雪車管理）に分類し、これらのサービスの位置検出に対する要求条件（位置精度および情報のリアルタイム性）をまとめたものが表 4.2.3-2 である。

表 4.2.3-2 より、測位精度が路線レベル（数m）になれば適切な誘導が可能となり、AHSレベル（数cm）になれば操作支援が可能となることがわかる。また、車線レベル（数m）の測位精度が実現できれば、約7割程度のサービスに対応できることがわかった。リアルタイム性を要求するサービスは、約半数のサービスである。

4章 研究の成果

4.2 情報収集・処理道路システムに関する調査

表 4.2.3-2 アプリケーションと位置検出技術の要求条件

アプリケーション			位置検出技術に対する要求条件				
アプリケーション群	サブサービス		測位精度			情報のリアルタイム性	
			路線レベル (数十m 程度)	車線レベル (数m 程度)	AHSレベル (数cm 程度)		
1. ナビゲーションの高度化	1) 交通関連情報の提供	001. 最適経路情報の提供、005. 移動車両間の経路情報の交換	◎	○			
		002. 道路交通情報の提供、003. 渋滞時の所要時間情報等の提供、006. 他機関の運行状況情報の提供、007. 駐車場情報の提供、008. 駐車場の予約、009. トラブル遭遇時の公共交通機関への乗り継ぎ情報の提供	◎				
		004. 選択した経路への確実な誘導		◎		要	
		030. 気象情報の提供、031. 路面状況情報の提供		◎	○		
3. 安全運転の支援	4) 走行環境情報の提供	032. 道路構造情報等の提供、033. 前後方向の障害等情報の提供、034. 対向車情報の提供、035. 市街地交差点での情報の提供、036. 高速道路の周辺車両情報の提供、037. 踏切に関する情報の提供		◎	○	要	
		038. 交通信号機等に関する情報の提供		◎		要	
		039. 道路構造等の危険警告、040. 前後方向の車両の危険警告、041. 歩行者、障害物の危険警告、042. 車線変更の危険警告、043. 車線逸脱警告、044. 交差点危険警告、045. 分合流部の危険警告、047. 周辺車両に対する危険警告			◎	要	
	6) 運転補助	048. 道路構造等の危険性に対する運転補助、049. 前後方向の車両の危険性に対する運転補助、050. 歩行者、障害物の危険性に対する運転補助、051. 車間距離保持および定速走行の運転補助、052. 緊急一斉停止の運転補助、053. 車線変更時の運転補助、054. 車線逸脱時の運転補助、055. 交差点での運転補助、056. 分合流部の運転補助、057. ドライバー異常に対応した運転補助			◎	要	
		7) 自動運転	063. 清掃車等の自動運転、064. 除雪車の自動運転			◎	要
	4. 交通管理の最適化	8) 交通流の最適化	073. 駐車場誘導、083. 事故処理の効率化、087. 交差点信号制御、092. 交通管理ニーズに基づく経路誘導、093. 車種別車線誘導		◎		要
			080. 盗難車両等の発見・回収の支援	◎	○		
081. 警察業務車両等の管理の効率化			◎				
085. 自動探証記録、086. 危険運転の抑止・検知・警告				◎			
103. 交通調査の支援、108. 道路管理作業用車両の運行支援、109. 異常気象・災害情報の収集、112. 災害発生時の状況把握支援、113. 復旧用車両の配置支援			◎	○			
5. 道路管理の効率化	1) 0) 維持管理業務の効率化	107. 路面状況等の把握		◎	○		
	1) 1) 特殊車両等の管理	118. 危険物輸送車両の走行把握	◎	○			
6. 公共交通の支援	1) 3) 公共交通利用情報の提供	125. デマンドバスの利用支援、126. タクシーの利用支援	◎				
		1) 4) 公共交通の運行・運行管理支援	127. バス・軌道への優先信号の提示	◎		要	
		128. バスレーン等専用車線の運用監視		◎			
7. 商用車の効率化	1) 5) 商用車の運行管理支援	129. 道路交通情報等の提供、130. 公共交通の運行状況情報の提供、131. 公共交通の緊急事態発生情報の提供	◎				
		134. 運行状況情報の提供、136. 貨物輸送情報の提供	◎	○		要	
8. 歩行者等の支援	1) 7) 経路案内	135. 緊急事態発生情報の提供	◎	○		要	
		140. 現在位置および施設位置情報の提供	◎	○			
		141. 目的地までの経路情報の提供、143. 目的地までの経路誘導		◎			
	1) 8) 危険防止	142. 避難場所の案内情報の提供	◎			要	
		144. 視覚障害者への危険箇所回避の誘導、145. 車椅子利用者への経路誘導			◎	要	
146. 青信号時間の延長、待ち時間情報、信号灯色情報の提供、147. 歩行者等への自動車接近時の警告、148. 歩行者等に対する車両速度の抑制、149. 踏切における列車接近情報の提供、150. 車椅子利用者の安全な通行の確保			◎		要		
9. 緊急車両の運行支援	1) 9) 緊急自動通報	151. 緊急時における自動通報、152. 高齢者等の現在位置の自動提供	◎				
		153. 災害、事故時の通報	◎	○			
	2) 0) 緊急車両経路誘導・救援活動支援	154. 事故発生時の周辺車両への発信			◎	要	
		155. 緊急車両の最適経路による誘導、157. 一般車両への緊急車両接近の通報、158. 緊急車両の運行管理、159. 災害時の復旧・救援車両の走行支援	◎	○			
156. 緊急車両を優先誘導するための信号管理		◎		要			
プローブカー			◎	○			
冬期道路管理の高度化 (除雪車両管理)					◎		
合計			◎35	◎22○17	◎29○9	44	

<測位精度における凡例>◎：サービス実施に必須、○：実現すればサービスレベルが大幅に向上

(3) 各アプリケーションに対応した位置検出技術の有効性

前節のアプリケーションを車両系5、歩行者系3、合わせて8つに分類し、位置検出技術の対応を整理した。

位置検出技術については、その精度を基に路線レベル、車線レベル、AHSレベルの8つの技術に分類した（表4.2.3-3）。

表 4.2.3-3 位置検出技術の分類

路線レベル (数十 m 程度)	携帯電話・PHS
	GPS系(低レベル: 単独測位)
車線レベル (数 m 程度)	DSRC
	GPS系(高レベル: D, RTK-GPS、擬似衛星)
	DOA応用 (DSRC との組合せ)
AHS レベル (数 cm 程度)	レーンマーカ
	白線検知
	RFID

位置検出技術とアプリケーションの対応を整理した結果を、表 2.4.3.2-6 に示す。表より、下記のことわかる。

- ① 携帯電話・PHS、GPS（低レベル）は、精度の問題からアプリケーションが限定される。
- ② 位精度が車線レベル（数 m）である、DSRC、GPS（高レベル）、DOA は危険警告・操作支援以外のアプリケーションに広く利用できる。
- ③ レーンマーカは、M 系列配置により縦位置が検知できれば車両系のほとんどのアプリケーションに対応できる。
- ④ 白線検知は、危険警告・操作支援に限定される。
- ⑤ RFID は、歩行者のような低速移動体には有効であるが、高速移動時は利用できないため車両系のアプリケーションには対応できない。

表 4.2.3-4 アプリケーション群と位置特定技術の対応

名称		路線レベル		車線レベル			AHS レベル		
		携帯電話・PHS	GPS系 (低レベル)	DSRC	GPS系 (高レベル)	DOA応用 (DSRCとの 組合せ)	レーン マーカ	白線 検知	RF ID
車両系	1. 情報提供系 (情報提供・経路誘導・運行管理・メーデー)	路線レベル ○ 31	○ 31	○ 31	○ 31	○ 31	○ 31		
		車線レベル		○ 26 (16)	○ 26 (16)	○ 26 (16)	○ 26 (16)		
	2. 駐車マス誘導			○ 1	○ 1	○ 1	○ 1		
	3. 走行環境情報の提供			○ 9	○ 9	○ 9	○ 9		
	4. 危険警告・操作支援						○ <4>	○ 19	
5. 道路管理用車両 (除雪車・清掃車・パトロール車)						○ 3			
歩行者系	6. 情報提供系 (情報提供・現在位置自動提供)	路線レベル ○ 4	○ 4	○ 4	○ 4	○ 4			○ 4
		車線レベル		○ 3 (1)	○ 3 (1)	○ 3 (1)			○ 3 (1)
	7. 視覚障害者誘導・車椅子制御								○ 3
	8. 自動車接近警告								○ 4
提供可能アプリケーションサービス数		35	35	57	57	57	71 <4>	19	13

凡例○：技術的観点および技術の適用範囲からみて活用が考えられるもの

()内は内数、レーンマーカにおける< >内の数値は、M系列配置ではない場合の数

以上検討の結果、多様なアプリケーションサービスで活用可能な技術は、GPS (高レベル)、DSRC、DOA 応用 (DSRC との組み合わせ)、レーンマーカ (M 系列配置の場合) であることが明らかとなった。

4.2.3.2 AHSにおける位置検出技術 (方式) の実現可能性検討

表 4.2.3-3 に示した各位置検出技術を、AHS サービスの基点方式、位置検出方式にフォーカスして実現可能性を検討評価した結果を表 4.2.3-5 に示す。評価項目は、位置精度、共有化、他の用途への利用可能性、費用である。

以下に、各評価項目の考え方を示す。

- (a) 位置精度
車線逸脱防止支援などの横位置精度と、基点としての縦位置精度に分けて評価する。
- (b) 共有化
位置検出のための装置（インフラ側機器および車載側機器）が、他の用途にも利用（共有化）可能かを評価する。
- (c) 他の用途への利用可能性
得られた位置情報の共有化、AHSサービス以外のサービスへの利用可能性を評価する。
- (d) 費用
都道府県道レベル以上の全国の道路に展開することを前提として、インフラ整備費用、端末コスト、機器更新費用などのコストを評価する。
- 以上の評価定義に基づいて実現可能性の評価を行った。評価を絶対値で評価することは困難であるので、技術を選択するという観点で相対評価とした。実現可能性評価は、AHSサービスに利用できることを重点としている。

表 4.2.3-5 位置検出技術の実現可能性

技術	精度		共有性		他用途可能性	費用	実現可能性評価
	基点	横位置	インフラ	車載器			
携帯電話 PHS	×	×	◎	◎	◎	◎ (既設)	×
GPS系 低レベル	×	×	◎	◎	◎	◎ (既設)	×
DSRC	△	×	○	○	○	×	○
GPS系 高レベル	○	○	○	○	○	△	○
DOA	○	△	○	○	○	×	○
レーン マーカ	○	◎	△	×	×	×	△
RFID	×	×	△	×	×	×	×
	(高速不可)						
白線検知	×	○	△	○	△	◎	○

AHS サービスにフォーカスして各位置検出技術の実現可能性を評価した結果、可能性の高い技術として、GPS（高レベル：D,RTK-GPS、擬似衛星を含む）、レーンマーカ、DSRC、DOA、白線検知が抽

4章 研究の成果

4.2 情報収集・処理道路システムに関する調査

出された。尚、白線検知は基本的に車載側の技術でありインフラとして検討することは少ない。

次に上記5つの技術をベースに、現在の技術水準からみて、実現する可能性の高いと考えられる基本シナリオ(案)を表4.2.3-6のように試算した。また、アプリケーションの広がりを図4.2.3-2に示す。

表 4.2.3-6 位置特定技術展開の基本シナリオ(試案)

- ① GPS系は、郊外の自専道・主要幹線、幹線、歩道において、路線レベル(数十m程度)の様々なアプリケーションサービスで活用。
- ② 白線検知は、現在は自専道の直線で利用されているが、カーブ等でも自律走行が可能となる。また、比較的交差点の少ない郊外の主要幹線においても利用可能となる。
- ③ レーンマーカは除雪車等の道路管理車両のアプリケーションサービスから導入され、カーブ等での白線検知の補完にも活用。
- ④ DSRC、DOA応用は走行環境の提供など車線レベル(数m以下)のアプリケーションサービスで活用。
- ⑤ 携帯電話・PHS、RFIDは、歩行者向けアプリケーションサービスから展開。

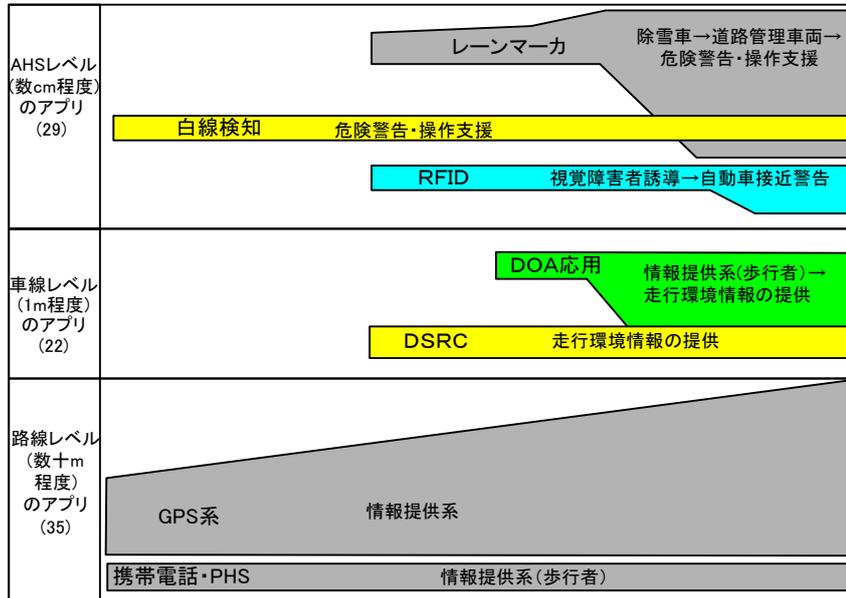


図 4.2.3-2 位置特定技術展開の基本シナリオ(試案)

(アプリケーションサービスの広がり)

4.2.3.3 位置検出技術の基礎評価

4.2.3.3.1 擬似衛星技術の評価

目的：GPS 測位範囲の拡大技術、インフラとしての適応可能性を評価

- (1) 都市部における GPS 環境の実態把握
→都市部での測位実験
- (2) 擬似衛星の配置仕様の明確化
→擬似衛星の配置を変更して評価

(1) 都市部における GPS 環境の実態把握

(a) 平成9年度測位結果の再整理

方法：平成9年度の測位結果を分析

川崎から羽田空港までのルートで測位実験を行った結果を以下に示す。下図に測定環境として、測定ルート、測位状況ならびに GPS 捕捉衛星数を示す。

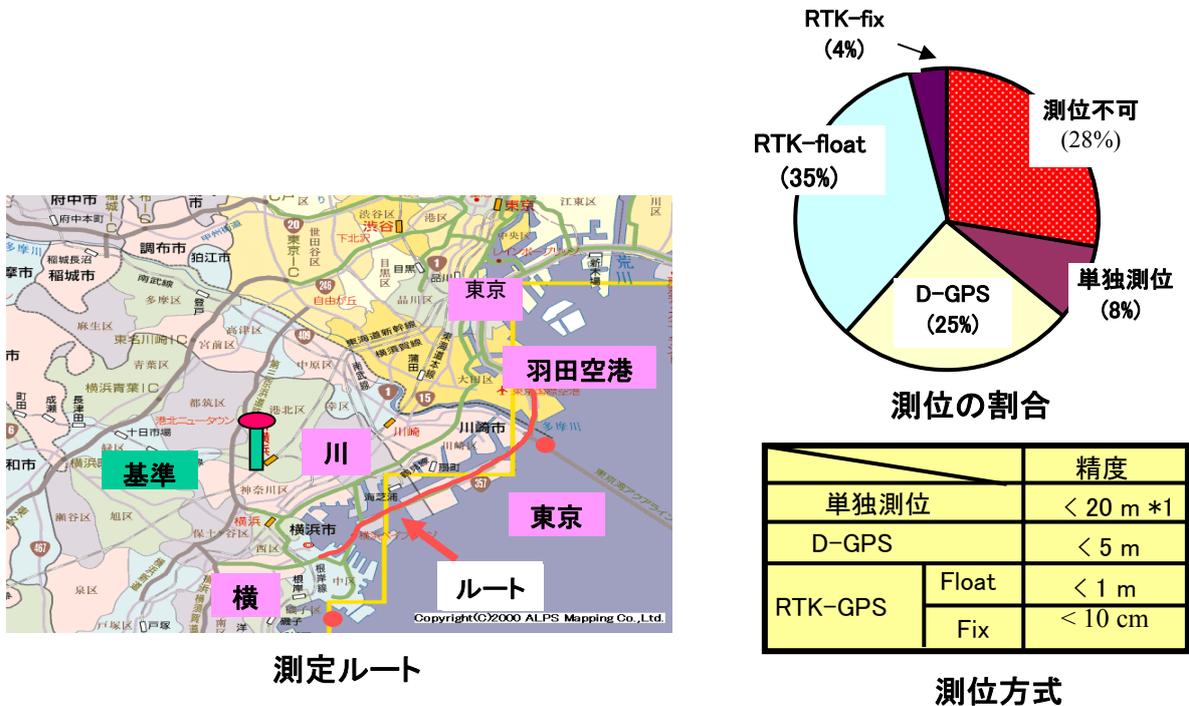


図 4.2.3-3 測定ルートと測位状況

4章 研究の成果

4.2 情報収集・処理道路システムに関する調査

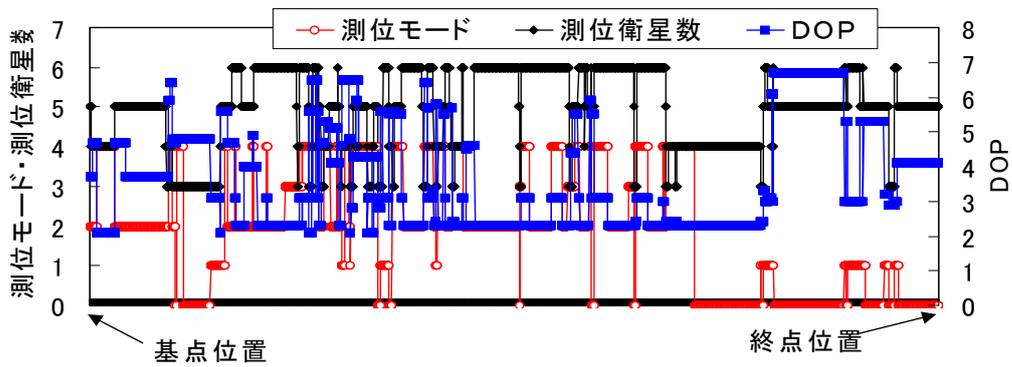


図 4.2.3-4 測位モードと測位衛星数の変化

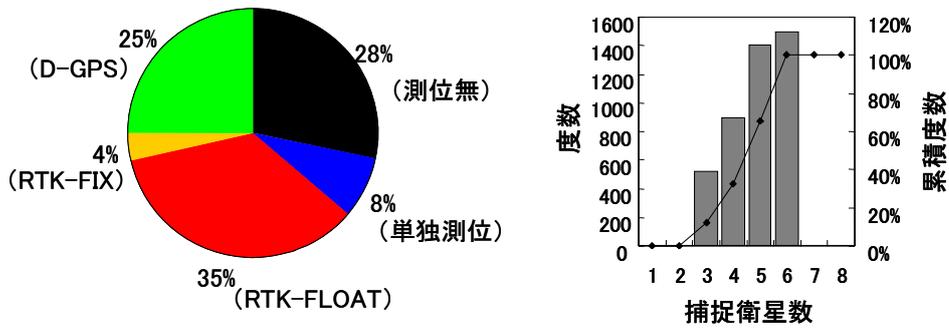


図 4.2.3-5 測位率と捕捉衛星数

結果：約 30%程度での割合で GPS 測位が不可能

(b) 都市部での実験評価

方法：渋谷駅周辺で、D-GPS による測位実験を行った。

下図は、D-GPS の測位状況と衛星捕捉状況を示した図である。

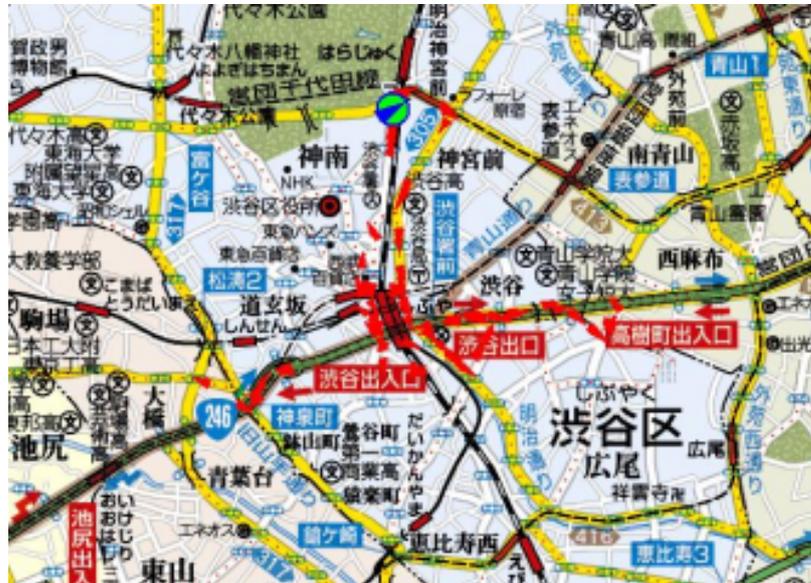


図 4.2.3-6 走行ルートと D-GPS 測位結果

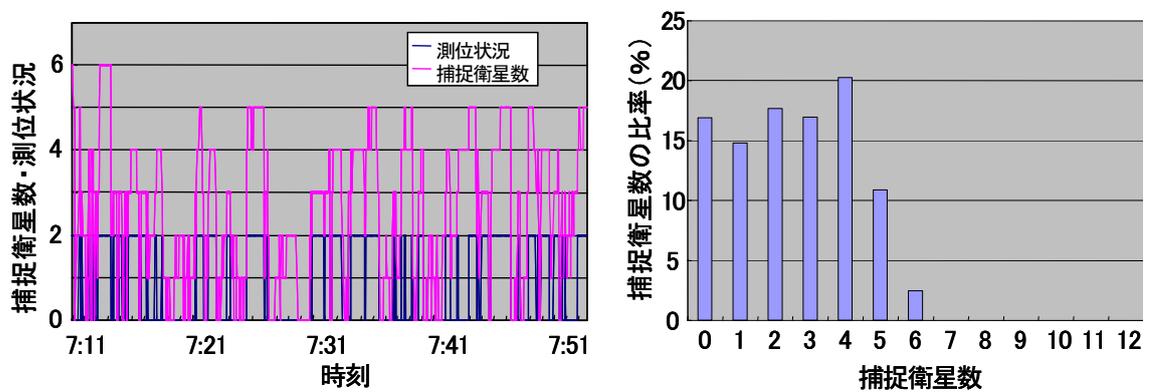


図 4.2.3-7 D-GPS の衛星捕捉状況

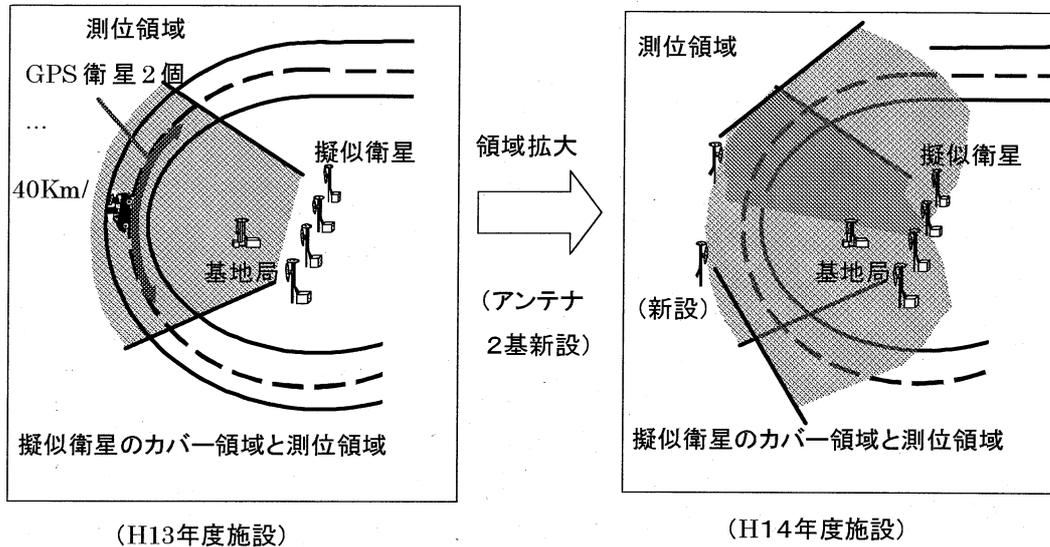
結果：66%の割合で捕捉衛星数が3個以下となり測位が不可能

4章 研究の成果

4.2 情報収集・処理道路システムに関する調査

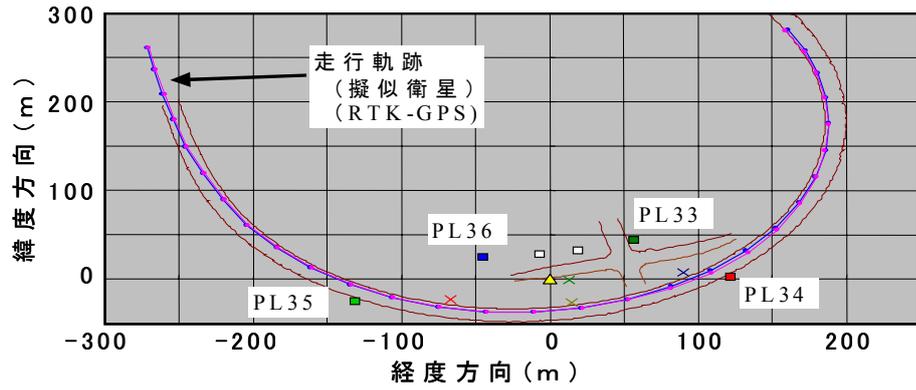
(2) 擬似衛星の配置仕様の明確化

方法：擬似衛星を南側ループの外側に 2 個設置し、擬似衛星のカバー領域を広くして、受信強度、測位精度などを実験評価した。以下の図に、擬似衛星配置による領域拡大のイメージ図と施設設置の概観、ならびに擬似衛星電波領域の測定結果を示す。

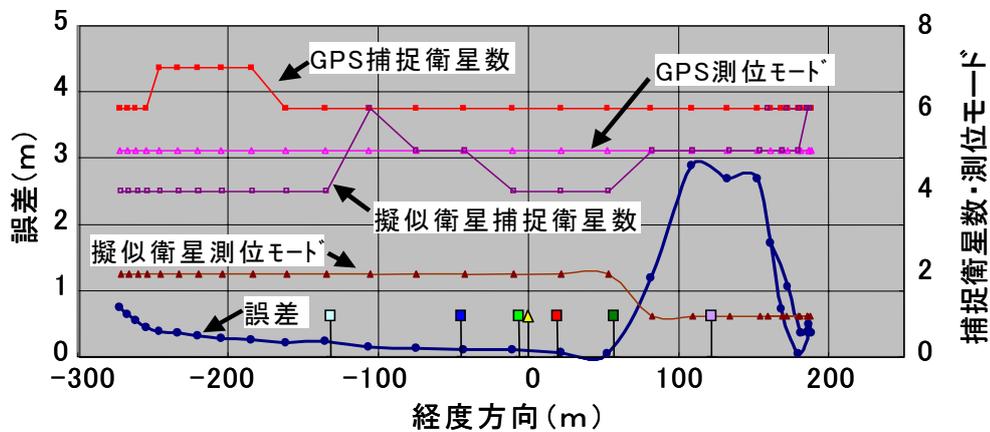


※合計6基のアンテナのうち4基を選択し、可搬形の擬似衛星送信機を移設する。

図 4.2.3-8 アンテナ配置とカバー範囲



(1) 走行軌跡



(2) 位置検出誤差と測位状況

図 4.2.3-9 走行時の位置検出精度

結果：

- ・各擬似衛星の受信強度測定によりカバー範囲が広がったことを確認。(基地局を中心として東西±100m→±200m)
- ・GPS衛星2個+擬似衛星2個での測位が可能。(測位精度20cm~40cm)
80km/h以上で擬似衛星領域に侵入した場合は測位不可。(H13と同様)

結論：

- ・都市部においてGPS測位の範囲は相当に狭い。
(東京都心部のビル街で30%、海岸部で70%程度)
- ・擬似衛星は、GPS測位範囲を拡大する手段として有効。
- ・現行の擬似衛星システムは、高速移動体向けには適さない。

4 章 研究の成果

4.2 情報収集・処理道路システムに関する調査

4.2.3.3.2 DOA 技術の評価

目的：基点ビーコンの代替、AHS サービスへの適応可能性を評価

(1) 単体精度検証

→受信感度、反射波などの位置精度への影響評価

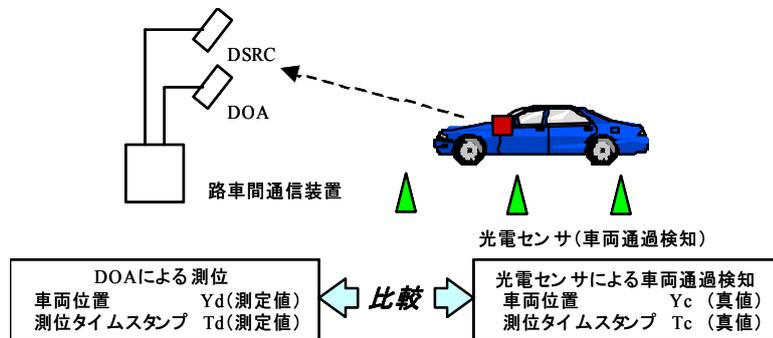
(2) 時間遅延検証

→位置演算時間、通信時間の検証と位置精度への影響評価

(1) 単体精度検証

方法：AHS 車載器に DOA 用ソフトウェアを追加し、実走行で評価

- 高速走行（～120km/h）
- マルチパス環境
- 受信感度を変更した場合の精度を測定



結果：単体精度は±1.5m

(2) 時間遅延検証

方法：DOA ユニットで測定した位置データを路車間通信装置（DSRC）を介して車載器に送信、DOA 測位開始から車載器が受信完了するまでの遅延時間を検証

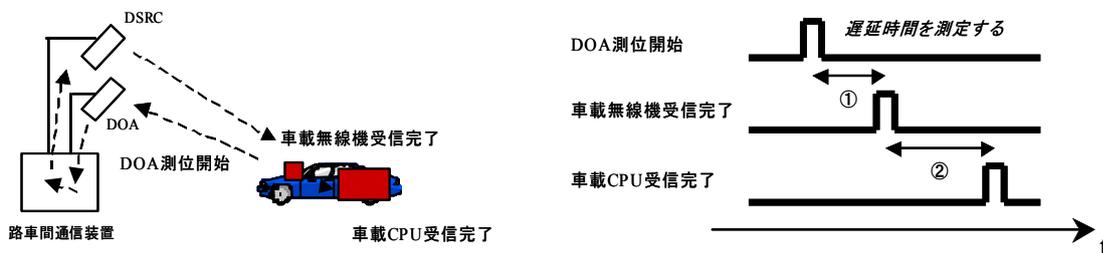


図 4.2.3-12 に時間検証結果をシーケンスで示す。

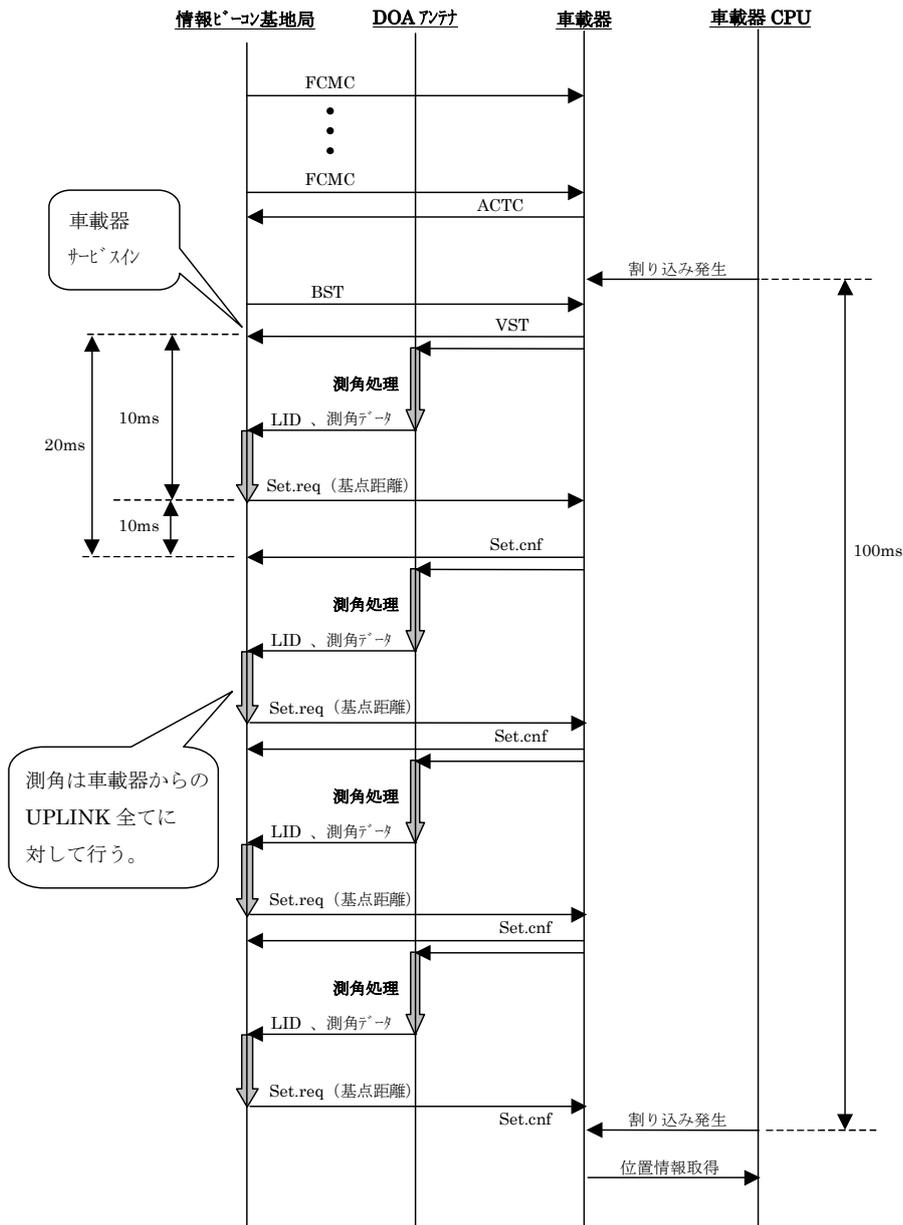


図 4.2.3-12 時間遅延検証の実験結果

結果：

- DOA 測位開始から車載無線機受信完了まで (図 2 の①)
約 10ms (120km/h で約 0.33m)
- 車載無線機受信完了から車載 CPU 受信完了まで (図 2 の②)
約 10ms 以下 (120km/h で約 0.33m 以下)

結論：単体精度および通信時間遅れからシステムとしてトータルの精度は
±2m 以下

→ 基点機能を実現する手段として DOA は有効

4章 研究の成果

4.2 情報収集・処理道路システムに関する調査

4.2.3.3.3 簡易 DSRC 技術の評価

目的：可搬型の安価な情報提供装置、AHS サービスとの協調性を評価

(1) 簡易 DSRC 通信性能評価

→電界強度、通信品質および範囲、通信データ量の測定

(2) 簡易 DSRC サービスの有効性評価

→試乗による調査

(1) 簡易 DSRC 通信性能評価結果

● 電界強度の測定

方法：台車による電界強度の測定、結果を図 4.2.3-13 に示す。

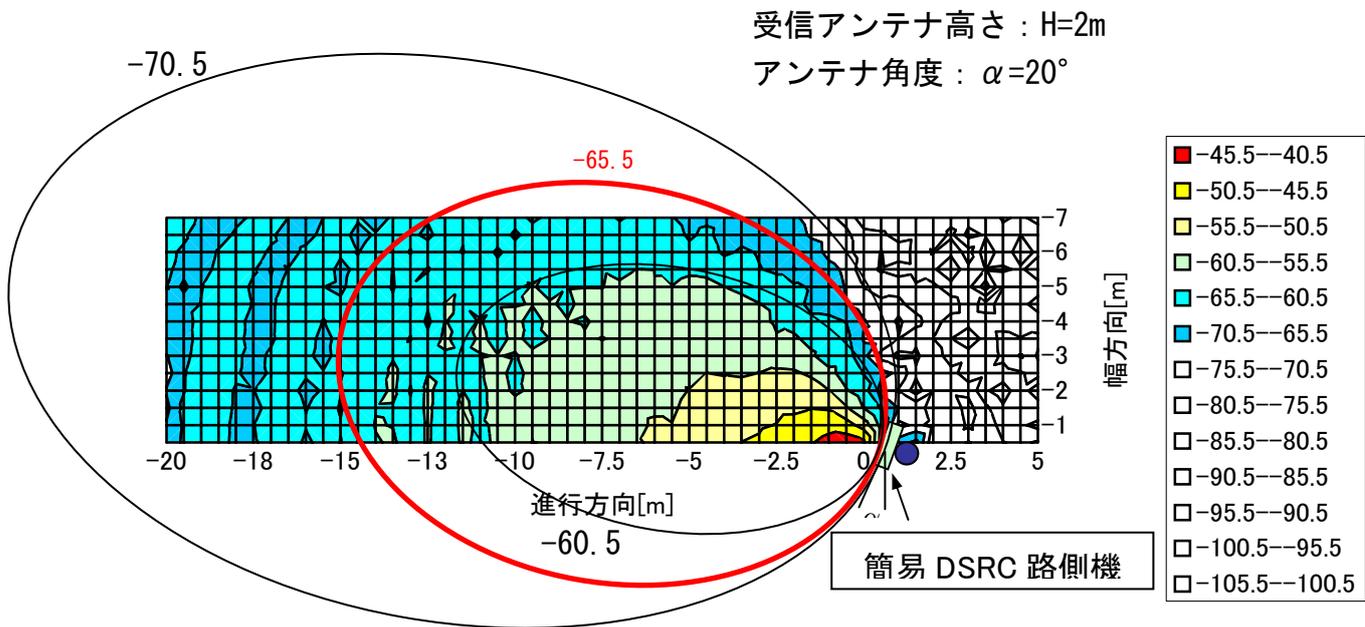


図 4.2.3-13 電界強度分布

結果：AHS 車載器では電界強度が-65.5dBm 以上の領域が安定通信領域

→進行方向で約 15m、車線幅方向で約 7m の通信領域

● 通信品質の評価

方法：台車による受信品質（BER: Bit Error rate）の測定、結果を図 4.2.3-14 に示す。

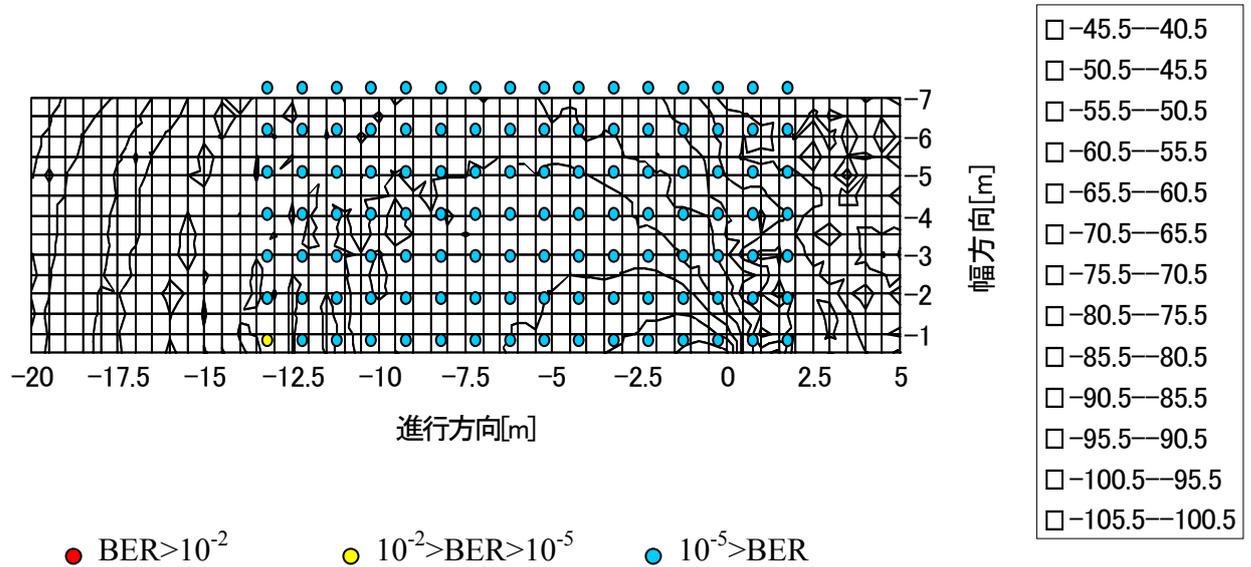


図 4.2.3-14 通信品質

結果： 10^{-5} 以下の BER 安定した通信領域
→車線進行方向で 14m、車線幅 7m の範囲

● 通信データ量の評価

方法：実走行でのパケットの受信回数をカウント、結果を表 4.2.3-7 に示す。

表 4.2.3-7 受信データ量（車線中央走行：10回の平均値）

項目	速度			
	40Km/h	60Km/h	80Km/h	100Km/h
受信フレーム数	1082	724	568	463
受信データ量 (バイト)	119,020	79,640	62,480	50,930

結果：100Km/h で約 50KB のデータを受信（約 30m の間受信）
→実用的な車載器の感度による通信領域（約 15m）、高信頼化のデータ
3 連送を考慮すると約 3KB 程度のデータ転送が可能

(2) 簡易 DSRC サービスの有効性評価

方法：試験走路に図 4.2.3-15 に示す通り簡易 DSRC を設置し、試乗による調査を実施、試乗走行パターンを図 4.2.3-16 に示す。

下記走行パターンを設定し、試験走路に被験者（主に AHS 関係者）を募り試験走行を実施し、アンケートによって以下を確認（被験者数 25 名）。

- AHS サービスと簡易 DSRC サービスを隣接する場所で受けて、混乱がないこと
- 簡易 DSRC サービスとして、その有効性を感じるかを確認
- 簡易 DSRC サービスのアイデア抽出

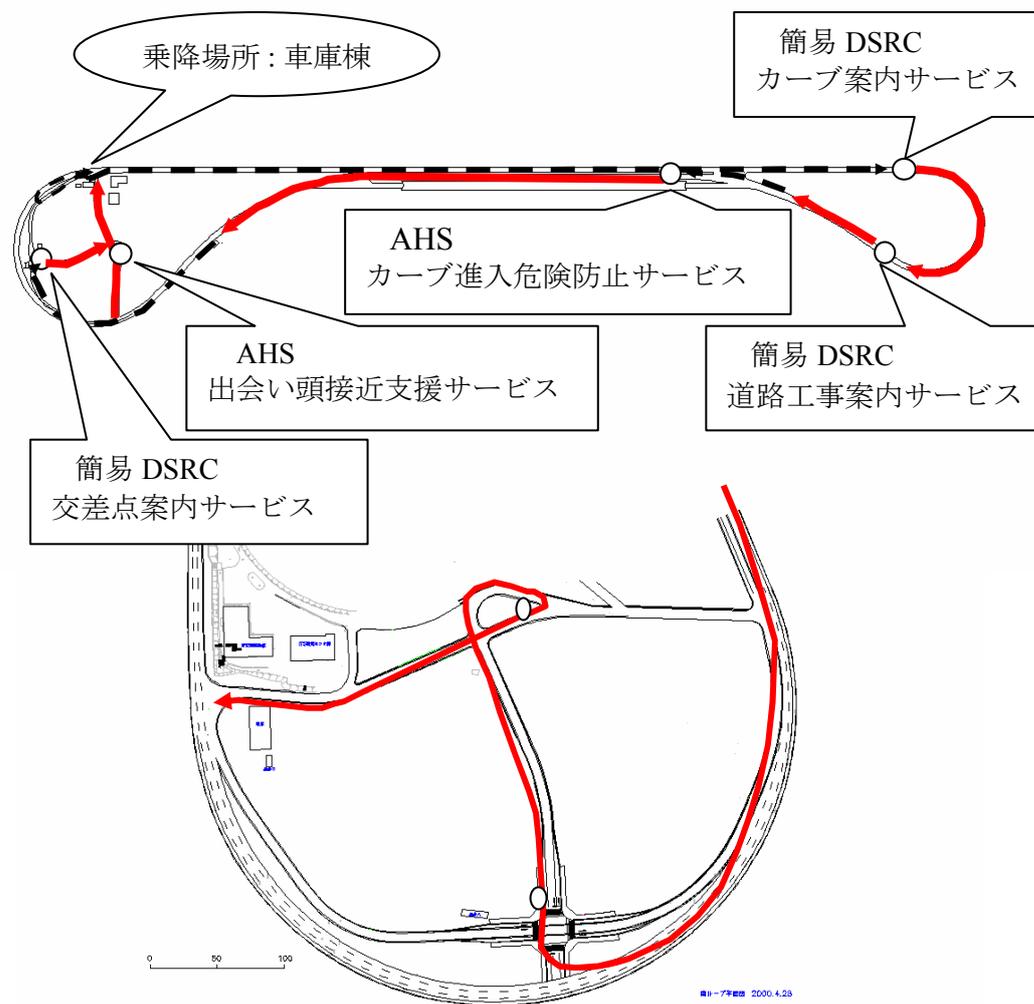


図 4.2.3-15 簡易 DSRC 試乗走行ルート

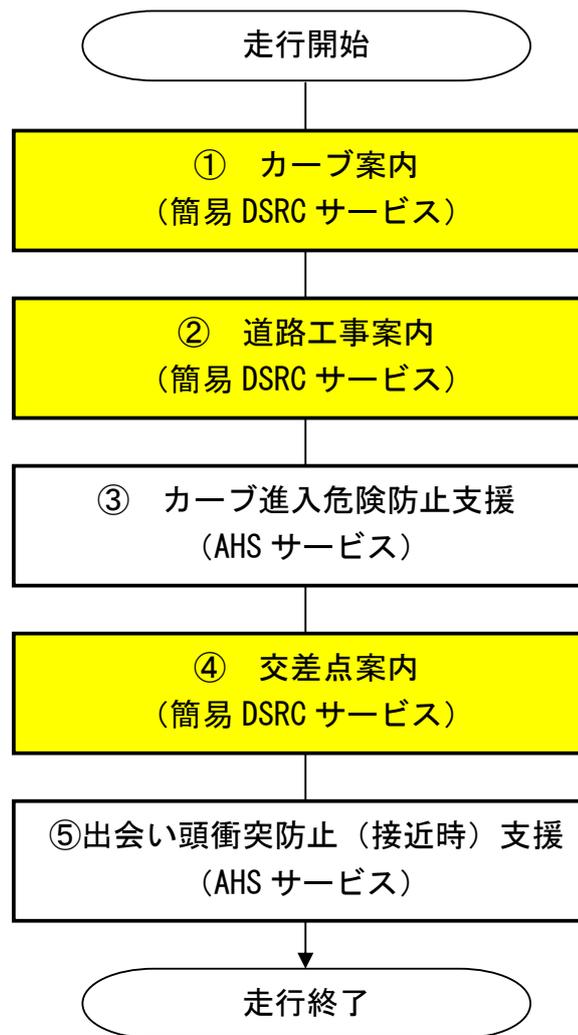


図 4.2.3-16 簡易 DSRC 試乗走行パターン

結果：

- 簡易 DSRC によるサービスは、AHS サービスに違和感を与えることなく、有効なサービスであるとの多数意見を聴取
- 隣接した AHS サービスと簡易 DSRC サービスの提供に関し、約 92% (23 人 / 25 人中) が違和感を感じない、あるいは違和感を感じなくなったと回答。
- 簡易 DSRC サービスの有効性については、約 96% (24 人 / 25 人中) が有効なサービスと感じると回答。

結論：簡易 DSRC は簡易図形を利用した情報を提供する手段としても有効
AHS サービスとの協調が可能でありサービス提供は有効

4.2.3.4 位置検出技術へのニーズ調査

カーメーカーおよびカーナビ関連メーカーにヒアリングを実施し、将来的なニーズも含めた位置検出技術および簡易 DSRC に関係した利用者ニーズを体系化するとともに、サービス実現にあたっての課題を整理した。

4.2.3.4.1 利用者ニーズの体系化

位置検出技術および簡易 DSRC について、ニーズを利用者向け、道路管理者向け、歩行者向けの3つに分けて体系化する。

(1) 一般利用者向けニーズの体系

(a) 位置検出技術

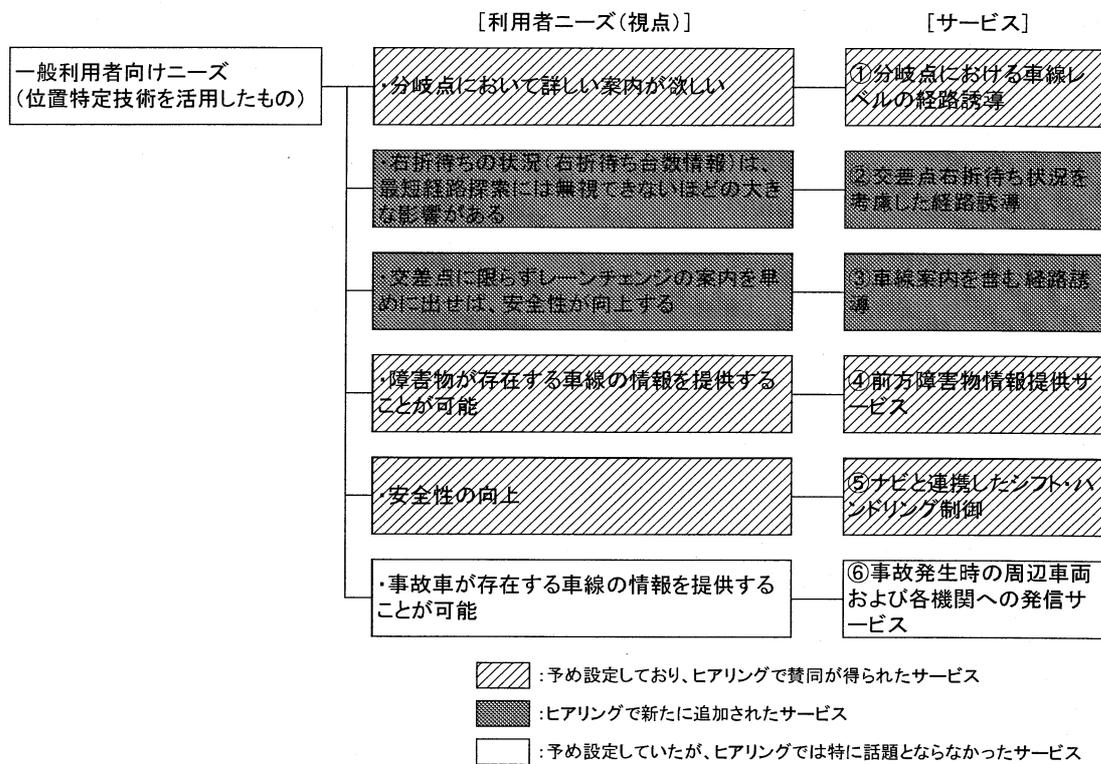


図 4.2.3-17 一般利用者向けニーズ（位置検出技術を活用したもの）の体系

(b) 簡易 DSRC

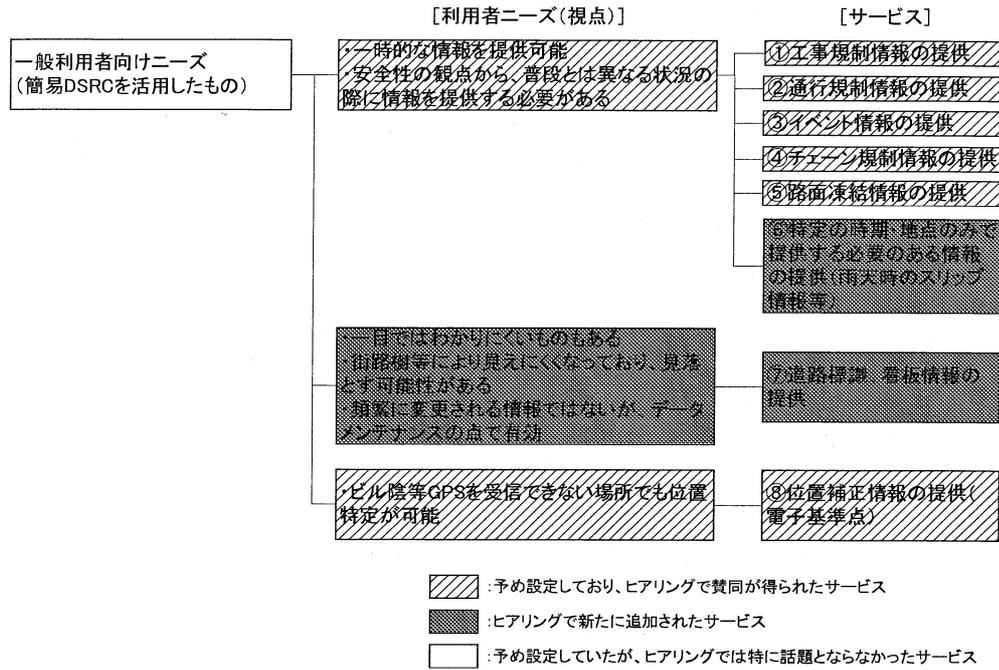


図 4.2.3-18 一般利用者向けニーズ (簡易 DSRC を活用したもの) の体系

(2) 道路管理者向けニーズの体系

(a) 位置検出技術

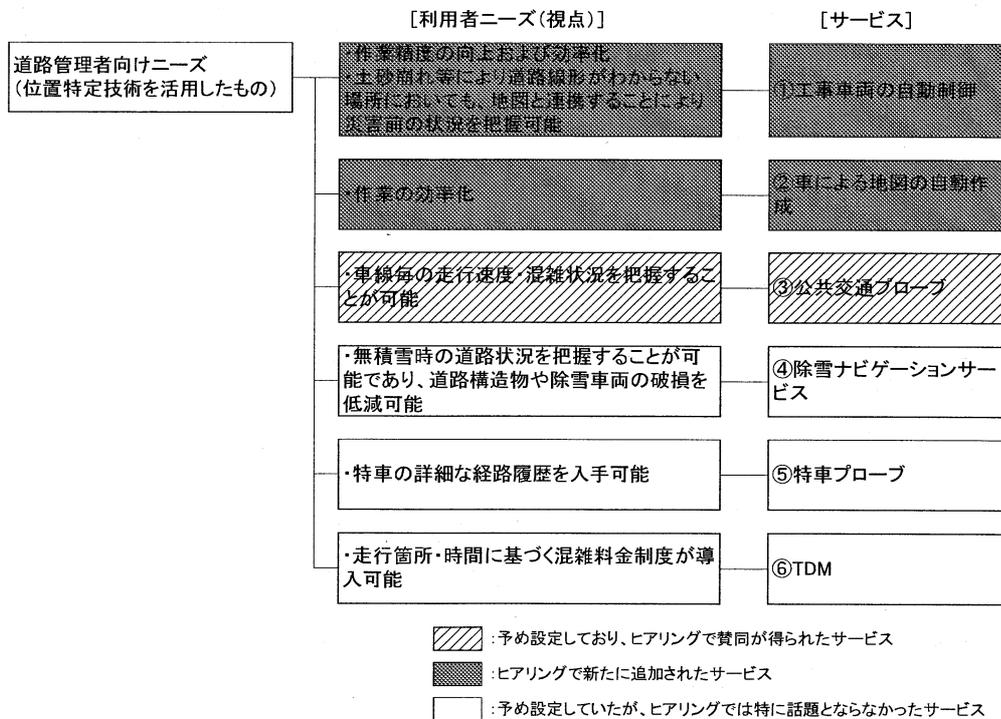


図 4.2.3-19 道路管理者向けニーズ (位置検出技術を活用したもの) の体系

(b) 簡易 DSRC

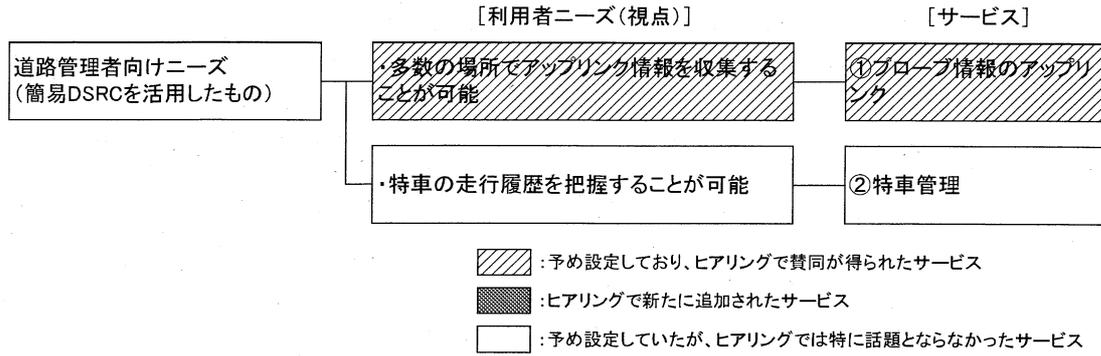


図 4.2.3-20 道路管理者向けニーズ (簡易 DSRC を活用したもの) の体系

(3) 歩行者向けニーズの体系

(a) 位置検出技術

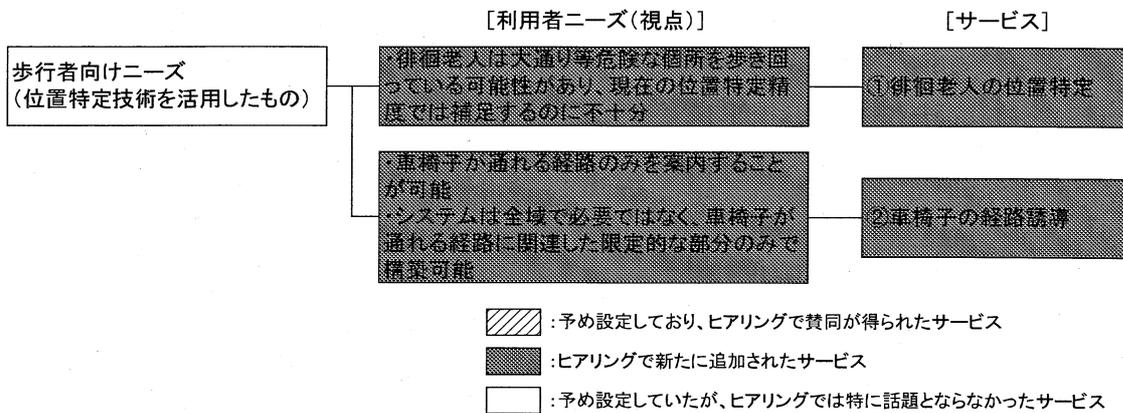


図 4.2.3-21 歩行者向けニーズ (位置検出技術を活用したもの) の体系

(b) 簡易 DSRC

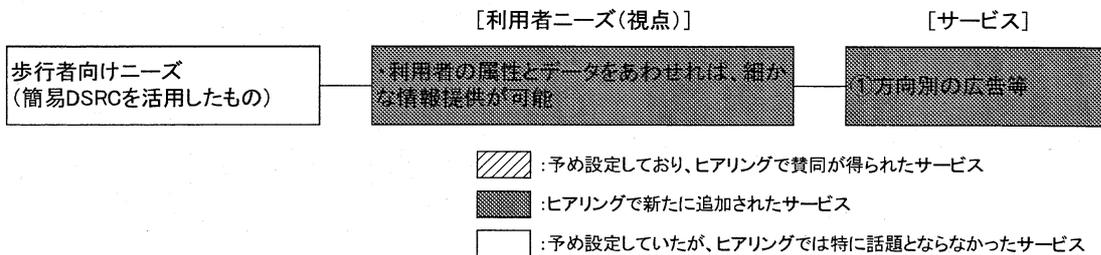


図 4.2.3-22 歩行者向けニーズ (簡易 DSRC を活用したもの) の体系

4.2.3.4.2 新たなサービスの実現に向けた課題等

(1) 位置検出技術

- ① 高精度の位置情報に耐えられる新たな地図データの整備
- ② 右折待ち台数等の把握および提供（センタ側のアルゴリズム・データ処理）
- ③ GPS 情報の更新頻度、演算処理速度の向上（1秒よりも細かい時間での更新）

(2) 簡易 DSRC

- ① ラジオ、携帯電話、VICS、ETC といった既存の通信手段に対する簡易 DSRC のニーズの明確化
- ② 端末の進んでいる方向の把握（方向がわからないと間違った情報を送る危険性あり）
- ③ ドライバへ提供する情報の取捨選択方法
- ④ 簡易 DSRC の多目的利用の可能性の検討（含む双方向通信、ネットワーク化）
- ⑤ 情報量の増加（55バイトでは活用できるサービスが限られる）
- ⑥ 歩行者用とした際の電源の確保（5.8GHZ では電池が持たない）

(3) 全般的な課題等

- ① コストに見合ったサービス内容の提供
- ② 利用者に情報提供のコストを感じさせない仕組みの構築
- ③ ETC との連携
- ④ 利用者が自身の情報を発信する際のプライバシーの確保
- ⑤ ヒューマン・マシン・インタフェースのあり方。特に、今後増加する高齢ドライバの特性をふまえた HMI のあり方
- ⑥ 事故等の際の情報収集の迅速化

4.2.3.4.3 ニーズ調査のまとめ

ニーズ調査から得られた結果をまとめると、以下の通りである。

- 位置検出技術を活用するサービスについては、設定したサービスに対し概ね賛同が得られた。また、特に経路誘導の高度化については、右折待ち車両情報の活用など、具体的に車線情報が必要となるシーンが明確化された。さらに、工事車両への適用など、道路管理者向けのサービスも有効であるとの意見が得られた。
- 簡易 DSRC を活用するサービスについては、臨時情報の提供など設定したサービスについては非常に積極的な賛同が得られた。特に、工事規制情報等一時的な情報を提供するサービスについては、ドライバへの情報提供に際して留意すべき点等、サービスの具体化における有益な情報が得られた。

4章 研究の成果

4.2 情報収集・処理道路システムに関する調査

- 新たなサービスとともに、サービスの実用化にあたっての課題が整理された。特に、位置検出技術の高度化に伴う高度な地図データの整備の重要性が強調された。また、今後高齢ドライバーが増える中にある情報の提供に際しての情報の取捨選択やヒューマン・マシン・インタフェースのあり方等についても言及があった。