

## 概要

国土交通省が推進している第3期ASV（先進安全自動車）では車車間通信を予防安全向上に資する運転支援システムの実用化に向けた検討を国内14自動車メーカー共同で取り組んでいる。車両相互の衝突事故、および横断歩行者との衝突事故を未然に回避する技術手段として通信技術を活用した運転支援システムの研究を推進している。

その検討結果を受けて社団法人日本自動車工業会は、迅速なシステムの普及拡大を狙い、車車間通信システムの標準化（周波数、プロトコル）及び条件整備を推進し、安全な交通社会の実現を目指す。

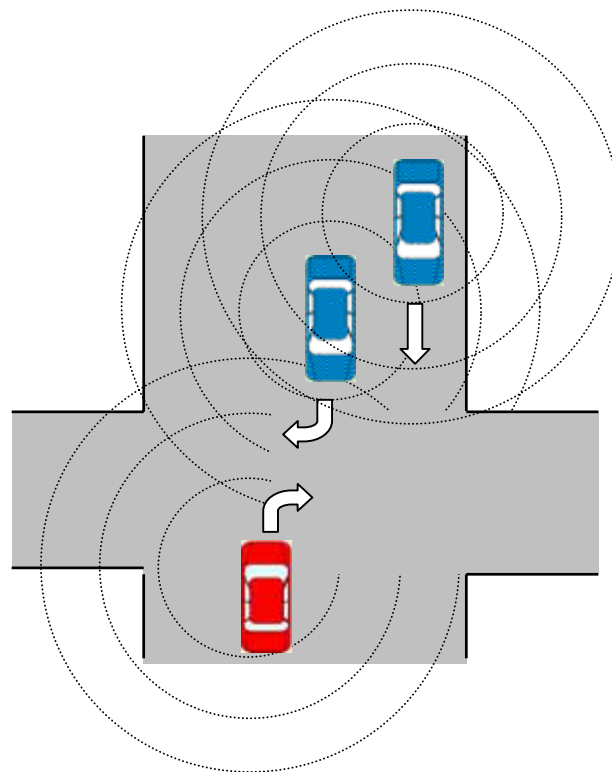


図 1 通信イメージ図

## システムの対象とする事故類型

現在ASVで行われている検討では、第2期ASVまでの技術（衝突安全技術、自律系予防安全技術）を用いたとしても救済が困難な交通事故を防ぐため車車間通信技術を用いたシステムについて検討を行い、事故数の多い事故4類型に、社会的要求として低減が期待される事故3類型を加えて合計7つの事故類型をピックアップした。

(1)右折事故

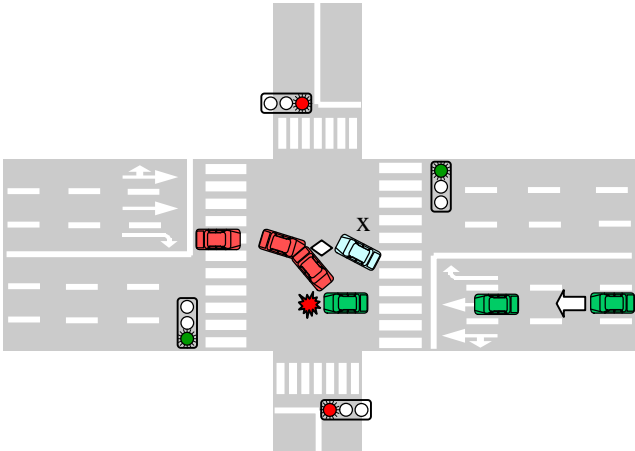
	対象	すべての車両、歩行者
	ケース	相手を認知無く発生した事故 相手の動静を不注視し発生した事故
	条件	信号機のある交差点の場合、信号機指示に従っていること
	情報	車両種別、位置、速度、右折意志情報

図2 右折事故

(2)出会い頭事故

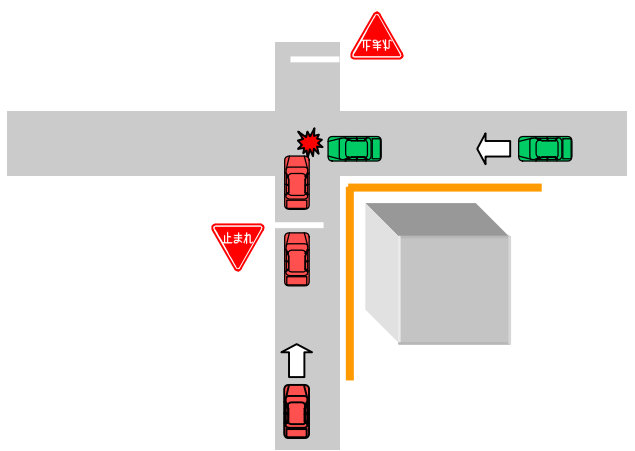
	対象	すべての車両、歩行者
	ケース	相手を認知無く発生した事故 相手の動静を不注視し発生した事故
	条件	信号機のない交差点
	情報	車両種別、位置、速度

図3 出会い頭事故

(3)歩行者事故

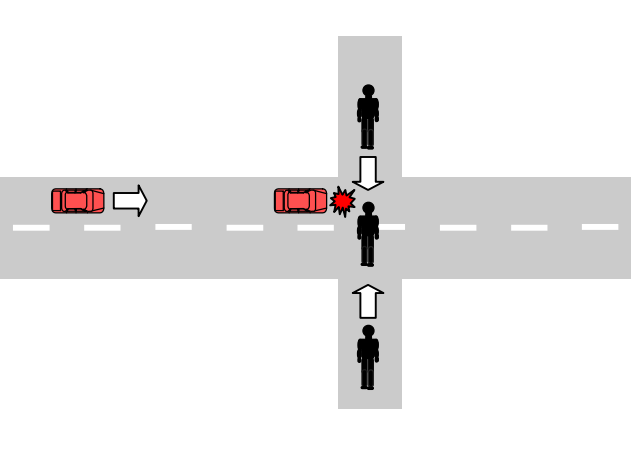
	対象	すべての車両、歩行者
	ケース	相手を認知無く発生した事故
	条件	信号機のない交差点 歩行者の飛び出しには対応不可能
	情報	歩行者の位置

図4 歩行者事故

(4)正面衝突事故

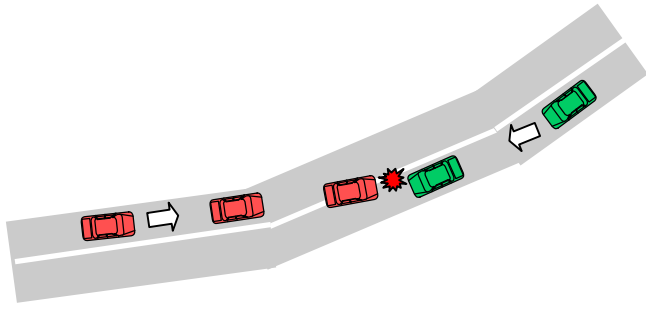
	対象	軽車両を除くすべての車両
	ケース	相手を認知無く発生した事故
	条件	
	情報	車両種別、位置、速度

図5 正面衝突事故

(5)追突事故


	対象	軽車両を除くすべての車両
	ケース	相手の停止を認知無く発生した事故 相手の動静を不注視し発生した事故
	条件	
	情報	車両種別、位置、速度、急制動情報

図6 追突事故

(6)左折事故

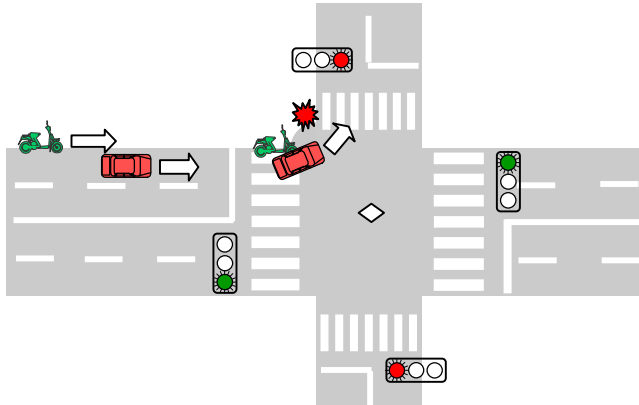
	対象	すべての車両、歩行者
	ケース	相手を認知無く発生した事故 相手の動静を不注視し発生した事故
	条件	信号機のある交差点の場合、信号機に従っていること
	情報	車両種別、位置、速度、左折意志情報

図7 左折巻き込み事故

(7)車線変更に伴う衝突事故

	対象	軽車両を除くすべての車両
	ケース	相手を認知無く発生した事故 相手の動静を不注視し発生した事故
	条件	
	情報	車両種別、位置、速度、車線変更意志 情報

図8 車線変更に伴う衝突事故

対象事故件数

システムの対象となる事故の件数を事故類型ごとに調査した結果、事故を防止できる可能性がある対象件数の合計は以下の通りである。

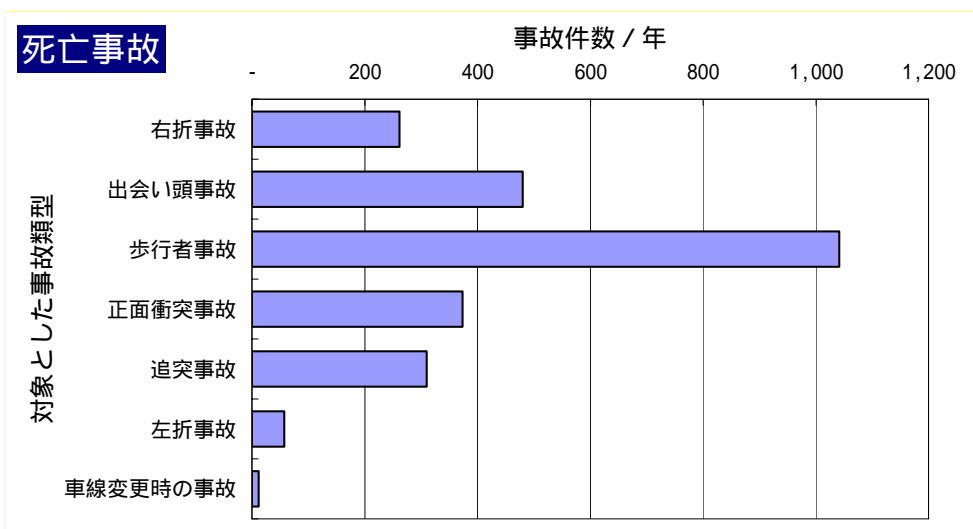
(1) A S V通信システムの支援対象とした7つの事故類型において、効果が見込める対象事故の合計件数

死亡事故：2,535件 / 年

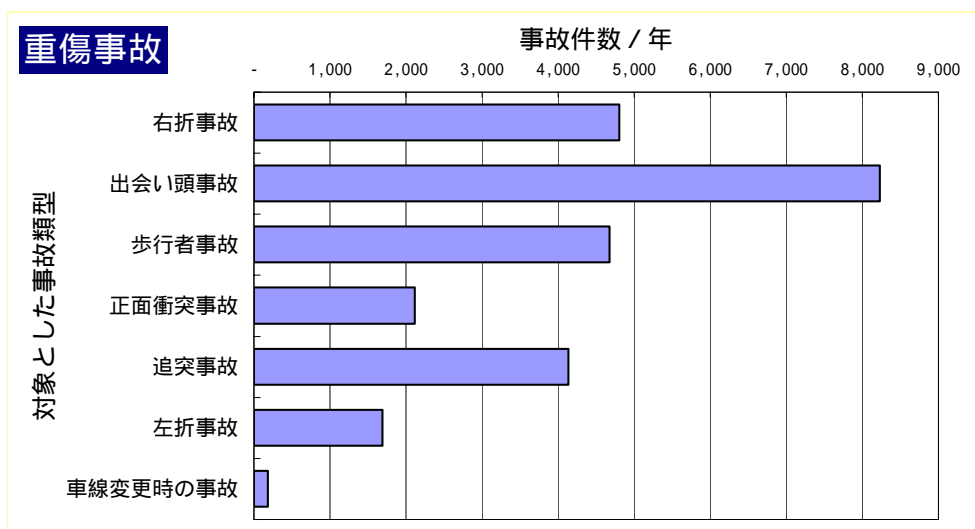
重傷事故：25,827件 / 年

(2) 事故類型別にみた事故件数

死亡事故では、「歩行者事故」の件数が多い。次いで「出会い頭事故」、「正面衝突事故」、「追突事故」の順に件数が多い。



重傷事故では、「出会い頭事故」の件数が多く、次いで「右折事故」、「歩行者事故」、「追突事故」の順に件数が多い。



(3) 全体の事故件数に対する対象事故の割合

死亡事故全体に対する対象事故の割合： 28%

\* 死亡事故全体の件数 (H7年～H12年の平均件数)： 9,192件 / 年

重傷事故全体に対する対象事故の割合： 36%

\* 重傷事故全体の件数 (H7年～H12年の平均件数)： 72,212件 / 年

事故類型別にみた対象事故の割合 (死亡事故のみ)

\* 人对車両事故の場合： 40%

・ 横断中に限定した場合： 54%

\* 車両相互事故の場合： 35%

・ 右折事故： 55%

・ 出会い頭事故： 33%

・ 正面衝突事故： 31%

・ 追突事故： 59%

・ 左折事故： 74%

## ASV 通信システムに対する技術的検討

ASV 通信システムの対象とする事故に対し、必要な通信エリアを検討し、そのエリアをカバーすることのできる通信方式についてアプリケーションを見据えた検討を行った。

### 1. 通信エリアに関わる数値

#### (1) 適用上限速度

ASV 通信システムは対象とする道路での事故削減を目的としているため、通信エリアの検討においては、交通実態に即した車速範囲（車速の上限）を設定する必要がある。ASV におけるこれまでの検討では、交通事故統計における当該死亡、重傷事故の危険認知速度データを基におよそ 90% タイル値程度までの速度がカバーされる必要があるとの考え方が採られ、「適用上減速度」として事故類型別に基礎データが収集されている。危険認知速度の 90% タイル値は、厳密には車種ごとに異なっており、全ての車両に対して一律に値を定義すると実態に合わないものになってしまう。とりわけ、旅客バスでは乗客の安全から規制速度を遵守する傾向が強いこと、大型トラックへのスピードリミッタ装着義務の法制化が決定されていること等から、詳細な通信エリアの検討にあたっては車種による適用上限車速の違いを十分留意する必要がある。

#### (2) 減速度

ASV では、情報提供によって運転者が目標速度（停止あるいは一定速度）に減速するまでの減速度を「通常減速度」として基礎データが収集されている。通信エリアの検討においては適用上限速度等とともにこの基礎データを用いることとした。減速度として定義されている値は乗用車、二輪車が  $2\text{m/s}^2$ 、大型バス・トラックが減速度は  $1\text{m/s}^2$  である。

#### (3) 情報提供・反応時間

システムが運転者に対して情報提供を開始する時間から運転者が反応を開始するまでの時間を知見による想定を基に暫定的に 3.7 秒とする。これは図 9 で示すように ASV の情報提供における運転者反応時間の仮値 3 秒に対し、音声や表示を用いた情報提供の時間についても見込んだ値である。ASV 通信システムは認知支援の機能であるため、情報提供の内容が比較的単純であり、情報提供のパターンも事象に応じて大きく変化しないと考えられ、様々な情報を提供する場合に比べ、情報提供・反応時間を少なく見積もることができると考えられる。

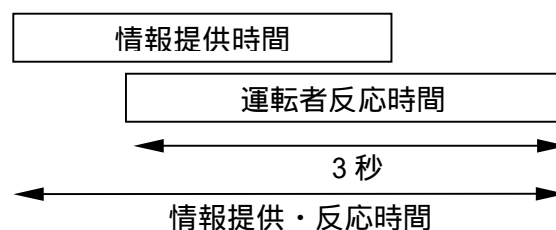


図 9 情報提供時間と運転者反応時間の関係

なお、ここで挙げた数値は、あくまで暫定であり、実際には表示と音声の情報分担の仕方、情報提供時の運転シーンなどにより必要な時間が変化すると考えられるが、現時点では、この数値を一義に決めることは難しい。今後の実験および開発途中で様々なヒューマンインターフェースの方式検討を行なうことにより最適な値に絞り込まれていくものと考えられ、これらの検討の後に精緻化した数値について改めて検討することとした。

#### (4)システム遅延時間

ある車両からデータが送出されてから、そのデータを受信し、情報処理するまでの時間が、遅れ時間として通信エリアの検討に関わることになる。ここではシステム遅延時間を知見による想定を基に0.3秒と仮設定する。

#### (5)必要な通信エリア

上述した数値を用い、以下の式により必要な通信エリアを算出した。

$$L = (V^2 - Vt^2) / 2 + (V - Vt) \times T$$

L:通信エリア(m) V:適用上限速度(m/s) Vt:目標車速(m/s) :車両の減速度(m/s<sup>2</sup>)

T:情報提供・反応時間とシステム遅延時間の和(s)

## 2. 通信エリアの検討

前節に述べた数値にしたがい、ASV 通信システムが対象とする事故類型について、必要な通信エリアを算出した。事故類型ごとに求めた必要な通信エリアは、図 10～図 16 のようになる。ここで、必要な通信エリアを求めるにあたっては、それぞれ減速度や適用上減速度の異なる乗用車とトレーラ/バス/トラック（以下便宜上「大型車」と略記する）を想定し行った（乗用車の場合のみ結果を示す）。適用上限速度に関しては、平成 13 年度の「実用化指針 WG 調査報告書 適用上限車速に関する検討調査」を参考にし、記載されていない事故類型については他の文献や SWG メンバの知見に基づいて暫定値を設定した。大型車に関してはスピードリミッタ装着義務の法制化を考慮し、適用上限車速は 90km/h を超えない範囲で設定することとした。

(1) 乗用車

(a) 右折事故

	パラメータ V: 30km/h(右折側) V: 70km/h(直進側) * 報告書の値による
	通信エリア 右折側: 交差点中央から約 50m 直進側: 交差点中央から約 170m

図 10 右折事故の通信エリア

(b) 出会い頭事故

	パラメータ V: 15km/h(規制側) V: 60km/h(優先側) * 規制側は文献を参照した暫定値 * 優先側は報告書の値による
	通信エリア 規制側: 交差点端部から約 20m 優先側: 交差点端部から約 135m

図 11 出会い頭事故の通信エリア

(c) 歩行者事故

	パラメータ V: 60km/h(車両側) V: 4km/h(歩行者側) * 暫定値。但し歩行者は別途考え方を規定する必要有り。今回は暫定的に車両と同様の算出式で計算を実施。
	通信エリア 規制側: 交差点端部から約 135m 優先側: 交差点端部から約 5m

図 12 歩行者事故の通信エリア

(d)正面衝突事故

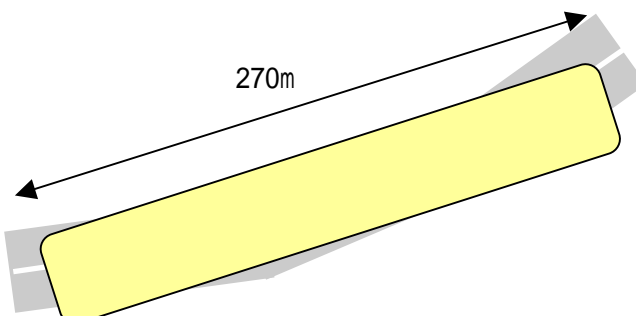
	パラメータ	V:60km/h(双方の車両) * 暫定値
	通信エリア	車両間最大距離 270m

図 13 正面衝突事故の通信エリア

(e)追突事故

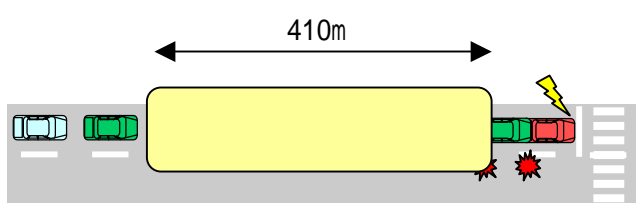
	パラメータ	V:120 km/h * 高速道を想定した暫定値
	通信エリア	車両間最大距離 410m

図 14 追突事故の通信エリア

(f)左折事故

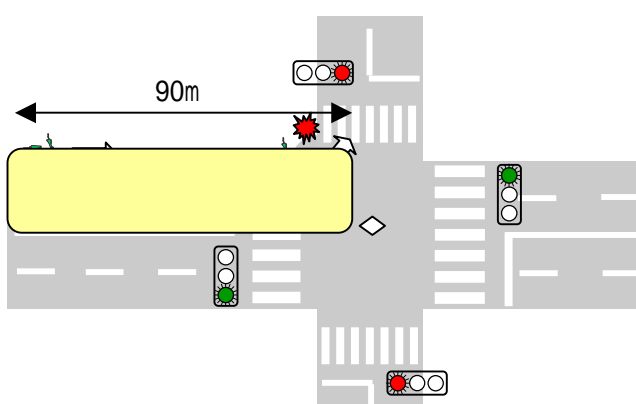
	パラメータ	V:30km/h(左折側) V:70km/h(直進側) * 暫定値、直進側の目標速度を 30km/h として算出
	通信エリア	車両間最大距離 90m

図 15 左折巻き込み事故の通信エリア

(g)車線変更に伴う衝突事故

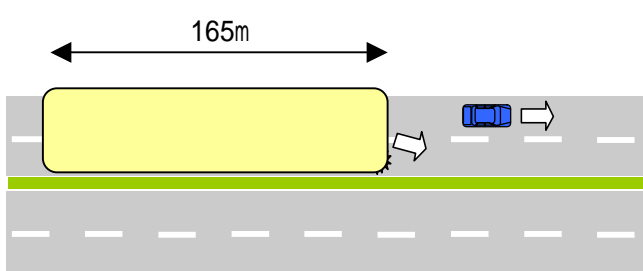
	パラメータ V:80km/h(車線変更側：大型車) V:120km/h(直進側：乗用車) * 高速道を想定した暫定値、直進側の目標速度を 80km/h として算出
	通信エリア 車両間最大距離 165m

図 16 車線変更に伴う衝突事故の通信エリア

以上の検討により得られた必要な通信エリアをまとめると、車両前方が 410m、車両後方が 410m、車両前方 200m まで伝搬後、回折し、更に 25m 伝搬するエリアとなる。なお、自由空間上では、車両を中心として、半径 410m の通信領域となる。

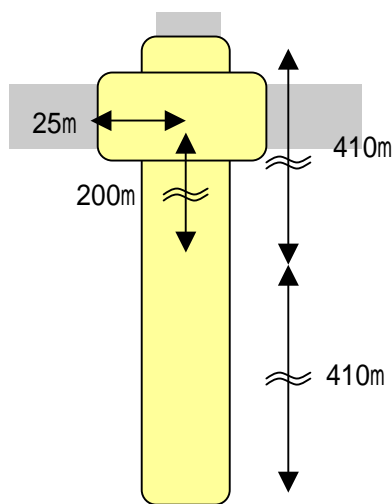


図 17 通信エリア

### 3. 検討結果

#### 3-1 周波数と出力電力

##### (1) 見通し内伝搬特性

平成 15 年度の電波伝搬実験結果を解析すると、150MHz については 2 波モデルによく合致すること、2.4GHz および 5.8GHz については周囲の反射の影響により 2 波モデルほどは減衰しないものの、ほぼ傾向は 2 波モデルに近いことが確認された。2 波モデルとは送受信機間における直接波と路面反射波の 2 波による伝搬モデルである。

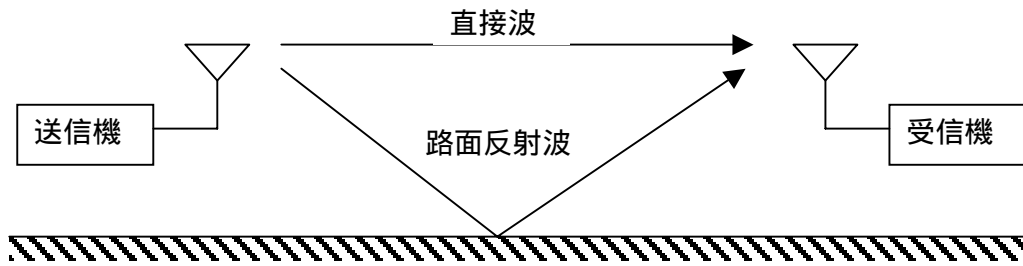


図 18 2 波モデル

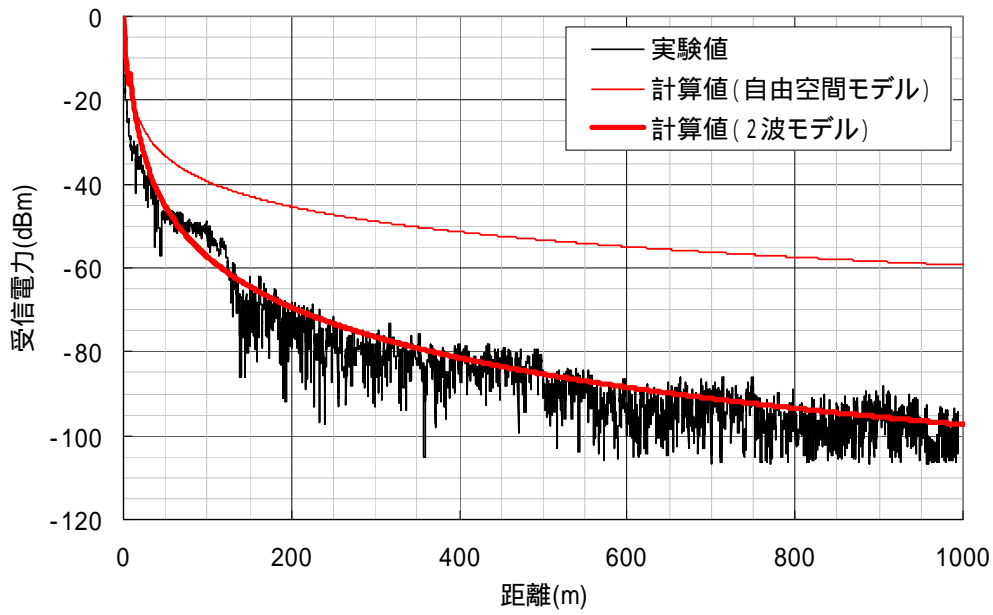


図 19 150MHz における伝搬特性

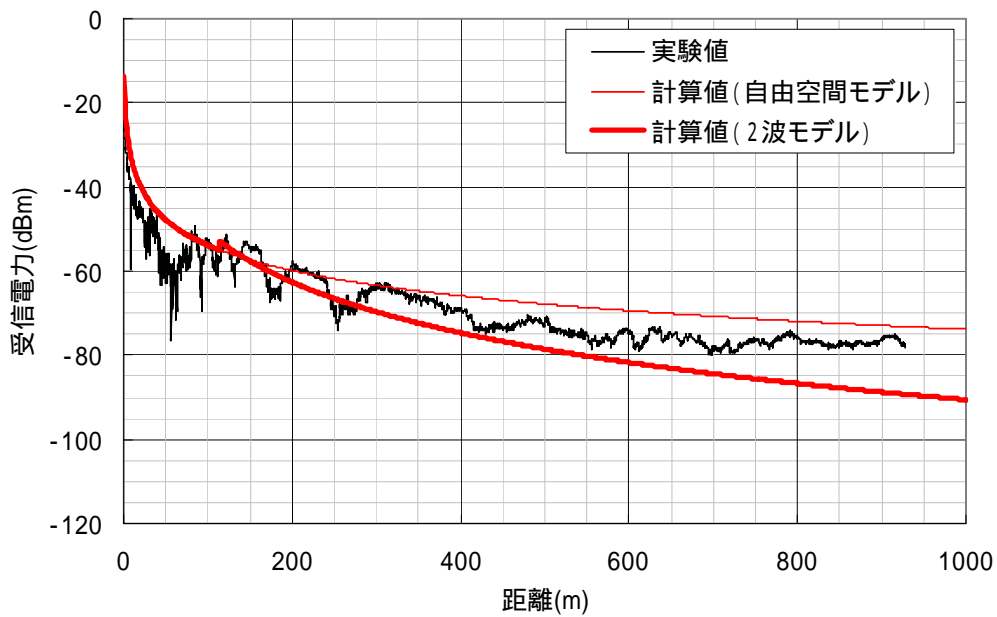


図 20 2.4GHz における伝搬特性

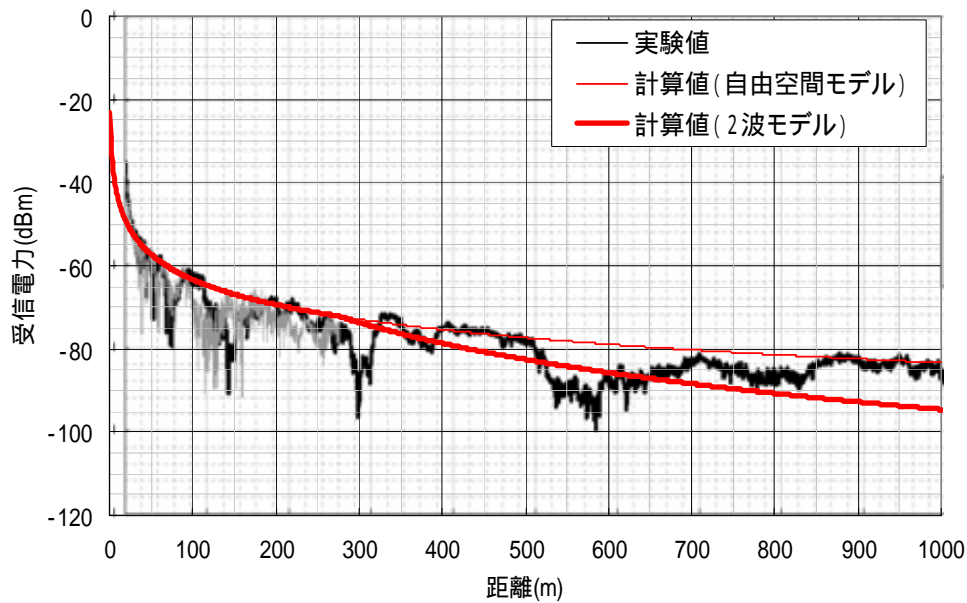


図 21 5.8GHz における伝搬特性

## (2) 見通し外伝搬特性

電波伝搬実験結果より、見通し外伝搬特性を損失の観点で解析すると、低い周波数ほど損失が少ないことが確認された。実験結果から得られた交差点回折損失<sup>1</sup>と遮蔽車両<sup>2</sup>の影響は以下のとおりである。

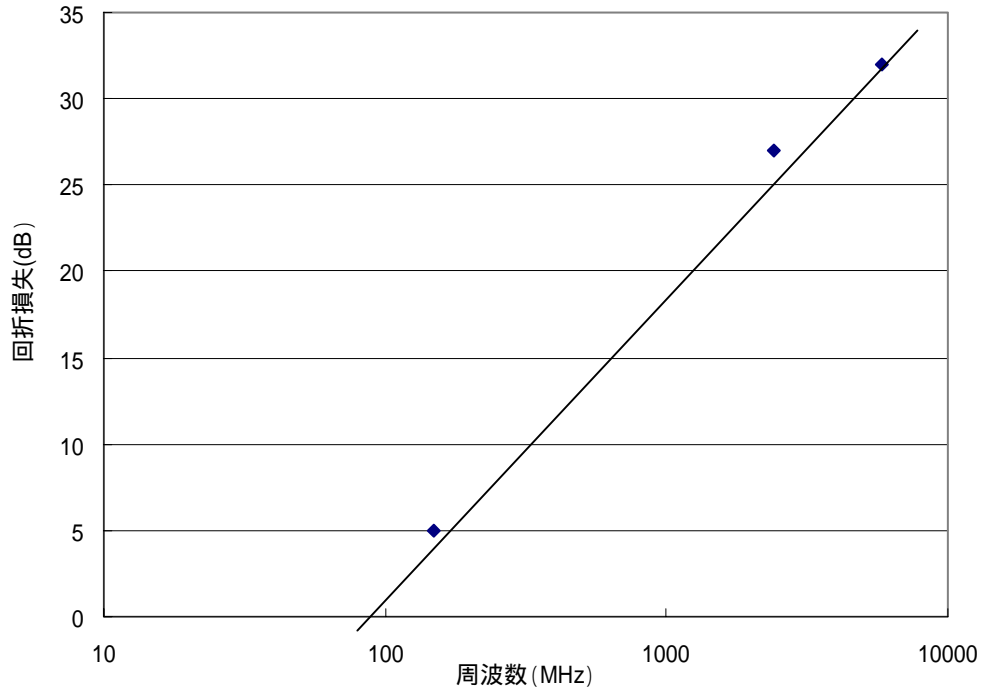


図 22 回折損失

<sup>1</sup> 直線路 200m 後、交差点を回折し 25m 伝搬した場合と直線路 225m 伝搬した場合との差とする。

<sup>2</sup> 送信から 20m の距離に見通しを遮る車両がある場合の 410m の直線路と車両が無い場合との差とする。

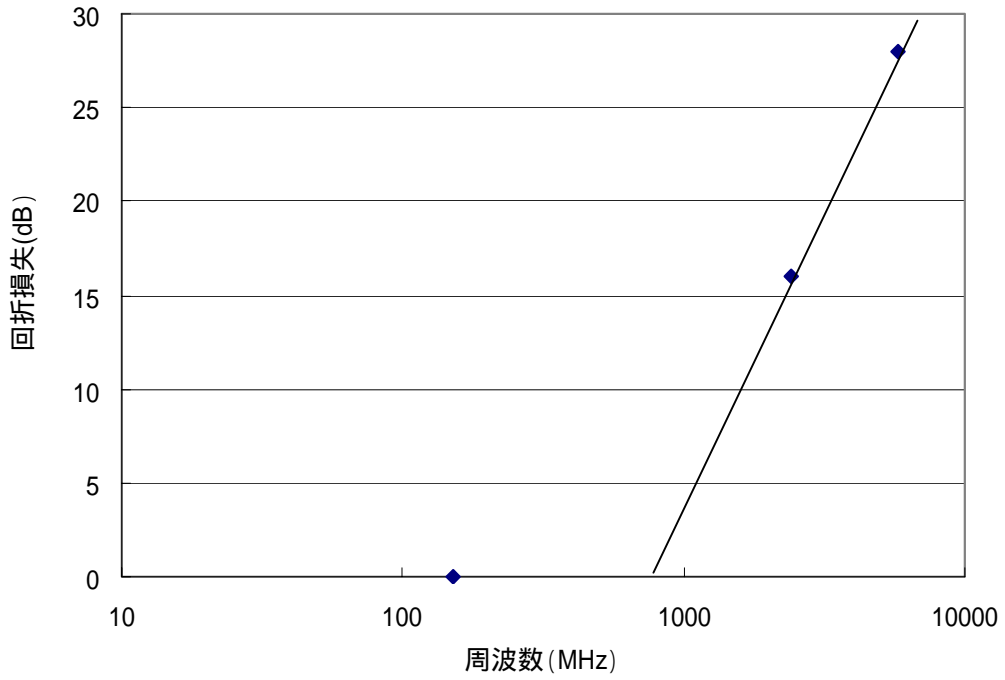


図 23 遮蔽車両による影響

### (3) 出力許容範囲

4.2 で示された伝搬特性と損失から、図 17 に示す ASV 通信システムの通信エリアをカバーするための必要な出力電力と周波数の関係を推定すると図 24 のようになる。

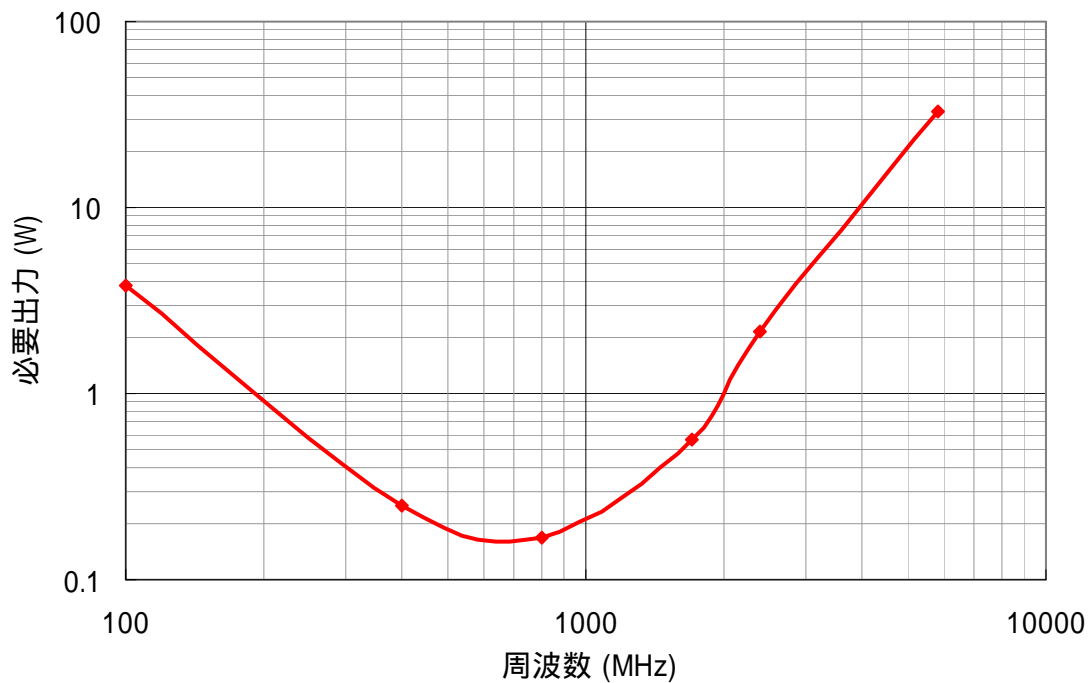


図 24 通信エリアを満足する周波数と出力

### 3-2 伝送容量

通信を実現するために、必要な伝送速度を確保することのできる伝送容量を求める。

#### (1) 前提条件検討

伝送速度を求めるため、通信エリアに存在する車両の最大台数、通信データ量、通信タイミングを想定する。そのための前提条件を検討する。

#### (2) 道路環境と通信車両台数

##### 道路環境

東京都銀座市街地の道路配置と車線数を参考にし、道路配置を 50m 方形メッシュの道路配置とし、片側 3 車線の幹線道路 / 高速道路と、片側 2 車線の主要道路を 200m 毎に配置する。

##### 自転車位置

見積もり対象である自転車の位置を、通信対象車両数が最大となるよう、片側 3 線の幹線道路同士の交差点内にあるものと仮定する。

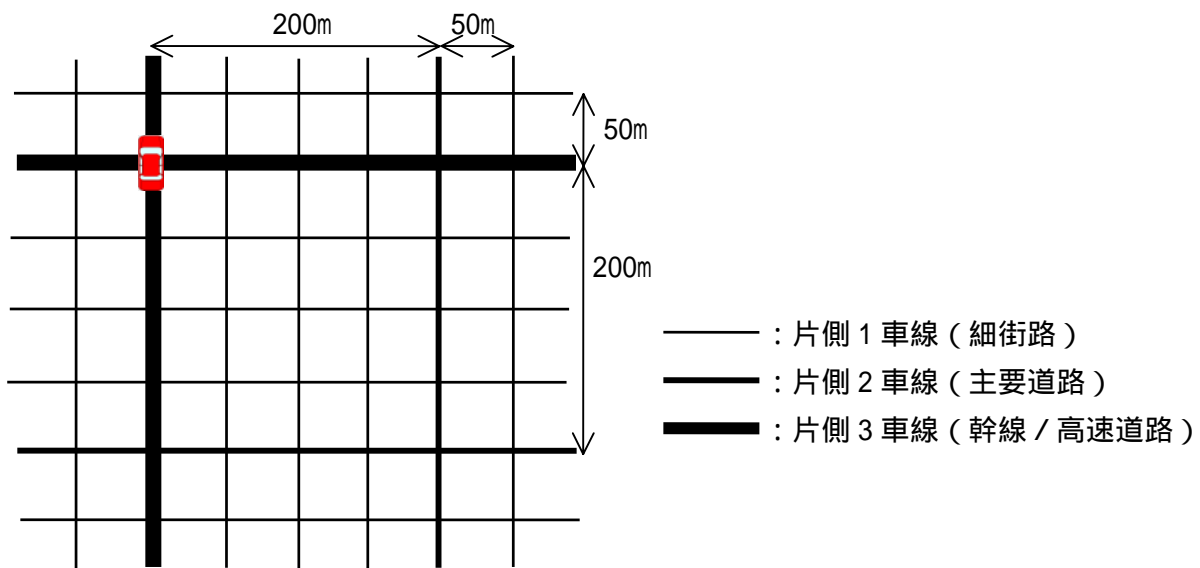


図 25 道路環境

##### 車両密度

東京都の平均旅行時間 20km/h を用い、車両間隔時間 0.5 秒として、車両間隔距離を 5m と仮定する。車両長を 5m とし、車両密度を各車線 1 台/10m と設定する。

##### 通信可能範囲

800MHz についての回線設計結果より、見通し内の伝搬を想定した場合、通信可能距離は 850m に設定する。また、2 台以上の遮蔽車両を介する場合、電波伝搬基礎実験結果より通信可能距離は 1 台の場合とほとんど変化がないことがデータから容易に予測することができるため、1 台以上の遮蔽

車両が在る場合、通信可能距離は一律 450m に設定することとする。

### 通信エリアと車両台数

周囲に遮蔽車両が少ない場合、通信エリアが広くなり、車両台数が増えることが予想される。逆に遮蔽車両が多い場合、通信エリアは狭くなるが、遮蔽状態の車両そのものの台数が多いと予想される。ここでは、どちらの条件の場合に車両台数がより多くなるのかを求め、車両台数の多い方、すなわち容量的に厳しい方を通信エリアと車両台数の前提とする。

- 遮蔽車両が多い状態

渋滞で車両が最大に詰まった状態を想定し、下図のエリア 1 を考え、全ての車線に密度 1 台 / 10m の車両を想定する。

- 遮蔽車両が少ない状態

下図のエリア 2 を考え、かつ中央よりの車線に車両がなく（図 27）、その他の道路は上記と同様に全ての車線に密度 1 台 / 10m の車両を想定する。

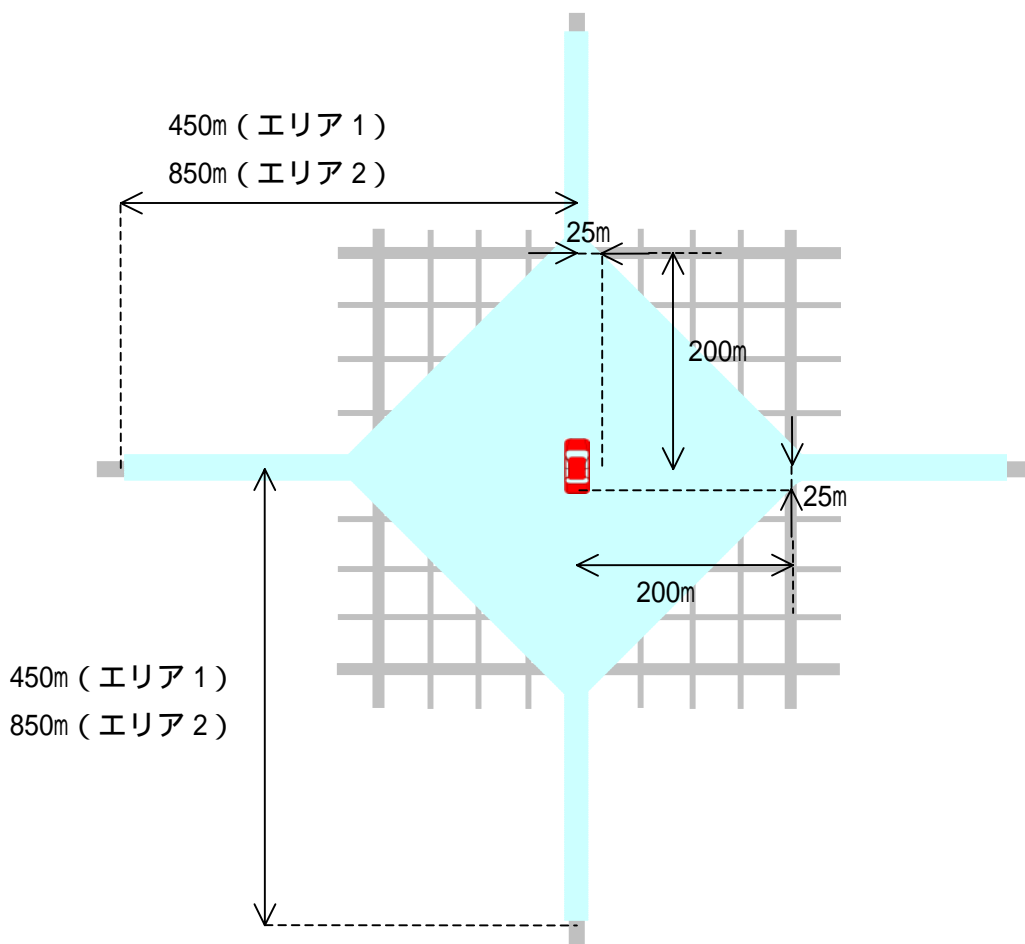


図 26 道路構造と通信エリア

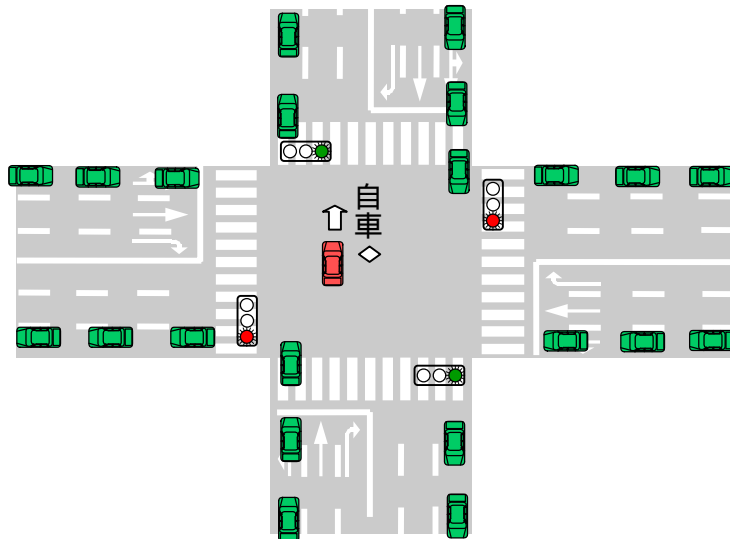


図 27 遮蔽車両が少ない状態

対象車両台数を算出すると、遮蔽車両が多い状態で通信エリアに 1780 台となる。一方遮蔽車両が少ない状態で 1400 台となる。つまり送信電力一定と仮定すれば見通しの飛びすぎより、渋滞時の方が通信容量に対して厳しい条件となる。よって遮蔽車両が多い状態となる通信エリア前後左右 450m、通信対象台数 1780 台を前提条件として以降の検討を行うこととする。

### (3) 通信データ量と通信頻度

コンセプト仕様書では通信データ量は暫定的に 100byte 程度と見積もられているが、通信品質確保のための誤り訂正や各プロトコルレイヤで必要なヘッダなどの冗長分を考慮しておく必要がある。ここではリクワイアメントの暫定値としてコンセプト仕様書の倍の値 200byte を回線上に流れるデータ量とする。また、通信頻度はコンセプト仕様書とおりの 100ms とする。

### (4) CSMA を用いた場合の伝送容量

これまでの前提条件を基にパケット到達率と伝送容量の関係を計算した結果を図 28 に示す。これによると CSMA を用い 20Mbps の通信路を使っても衝突なくデータが届く確率は 36%程度であることがわかる。また、CSMA のパケット到達率に与える改善効果が 10%程度あると言え、ASV 通信にとって効果のあるアクセス制御方式であることがわかる。以降の検討は CSMA の採用を前提として行う。

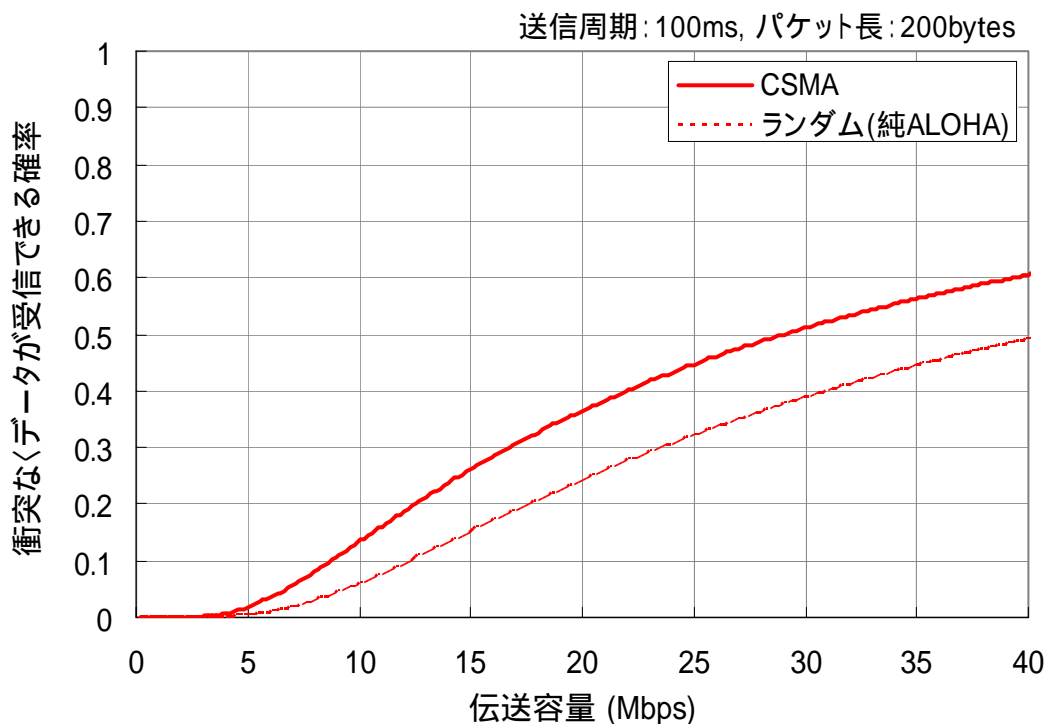


図 28 伝送容量とパケット到達率

伝送容量を増大させていけば、必要なパケット到達率は確保できるが、伝送容量を増大させることは広い帯域幅を必要とすることになり、効率的な周波数の利用という観点では問題が残る。コンセプト仕様書において言及されているように、ASV 通信システムは、アプリケーションの機能を損なわない範囲では速度に応じて送信周期の変更が可能であることが特徴である。これは、速度の低い車両ほど動静の変化が少ないため、データの更新頻度が少なくともアプリケーションが実現できるためである。以降、送信周期を可変させた場合に伝送容量がどのように変化するか検討する。

#### 車速に応じた送信周期制御の検討

##### (5) 前提条件

###### 車両速度

車両の平均速度を以下のように設定する。

- ・ 車両密度が低い状態は通信トラフィックが少ないため、伝送容量に与える影響はほとんど無視できる。したがって、車両密度が小となる条件は設定しない。
- ・ 車両密度が中の時、密度を満たすため交差道路側の車速を低速とし、進行方向側の車速を低速、中速、高速とした場合の条件を設定する。
- ・ 車両密度が大の時、密度を満たすため交差道路側の車速を微低速とし、進行方向側の車速を低速、中速、高速とした場合の条件を設定する。

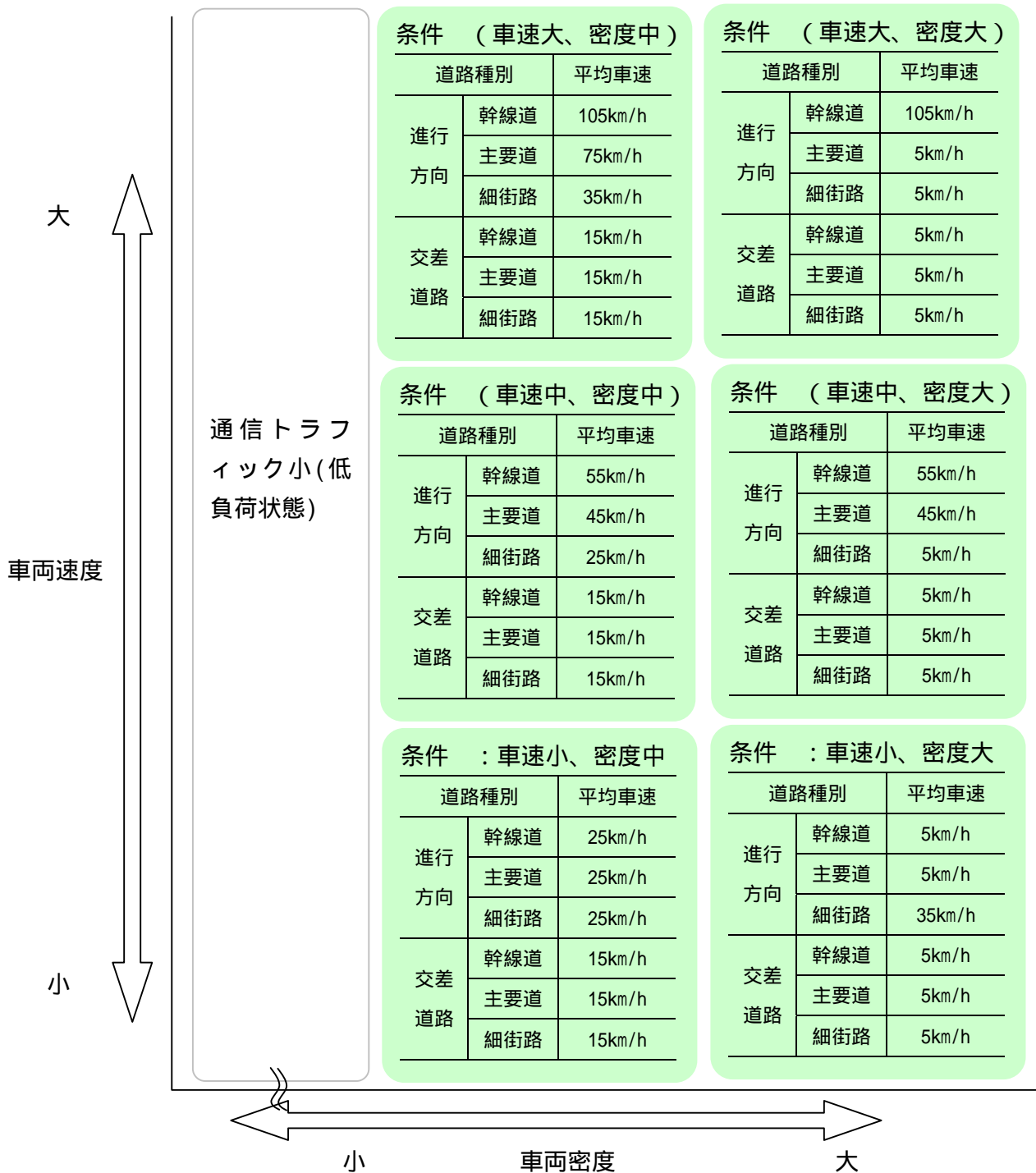


図 29 車両速度と車両密度

### 車両間隔

車両間隔については平成9年に(財)省エネルギーセンターがまとめた報告書『自動車省エネルギー走行技術と将来の展望』によれば実際の交通では平均的な車間時間は1秒を越える統計結果が報告されている。ここでは暫定的に平均車間時間を1秒と仮定して、必要な車両台数を算出することとする。

## 送信周期制御

コンセプト仕様書に記述される適用上限速度の 120km/h に対する送信周期である 100ms を基本として、与えられた速度域の最大速度についてほぼ同じ現在位置精度とマージンが得られるよう想定車両速度域毎に下式に従って決め、下表 3 種類の速度分解能について検討する。

$$\text{各速度域の上限速度} \times \text{送信周期} = \text{一定} (120\text{km/h} \times 100\text{ms})$$

表 1 車速に応じた送信周期変更制御パターン

車速 (km/h)	制御なし (ms)	制御 A (ms)	制御 B (ms)	制御 C (ms)	
110 ~	100	100	100	100	
100 ~				110	
90 ~				120	120
80 ~					130
70 ~		150	150	150	
60 ~				170	
50 ~				200	200
40 ~		240			
30 ~		300	300		300
20 ~				400	
10 ~				600	
10 未満		1200	1200	1200	

## 通信エリア

送信周期の制御に伴うパケットの遅延時間を考慮し、通信エリアの見直しを行う。コンセプト仕様書より必要な通信エリアを決定している出会い頭事故、正面衝突事故、追突事故について上記の遅延を含めて必要な通信エリアを下記のように算出する。

$$L = (V^2 - Vt^2) / 2 + V (T + Tp)$$

L:通信エリア(m) V:適用上限速度(m/s) Vt:目標車速(m/s) :車両の減速度(m/s<sup>2</sup>)

T:情報提供・反応時間とシステム遅延時間の和(s) Tp:送信周期制御によるパケットの遅延時間(s)

算出した結果を図 30 に示す。また、図 30 に示すエリアを、電波伝搬基礎実験から推定した周波数 800MHz の電波伝搬特性に当てはめた結果を図 31 に示す。

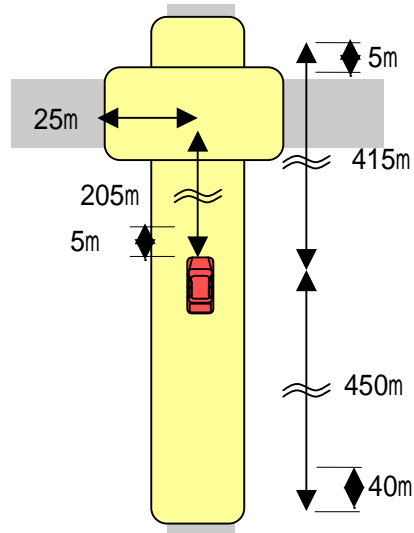


図 30 通信エリア

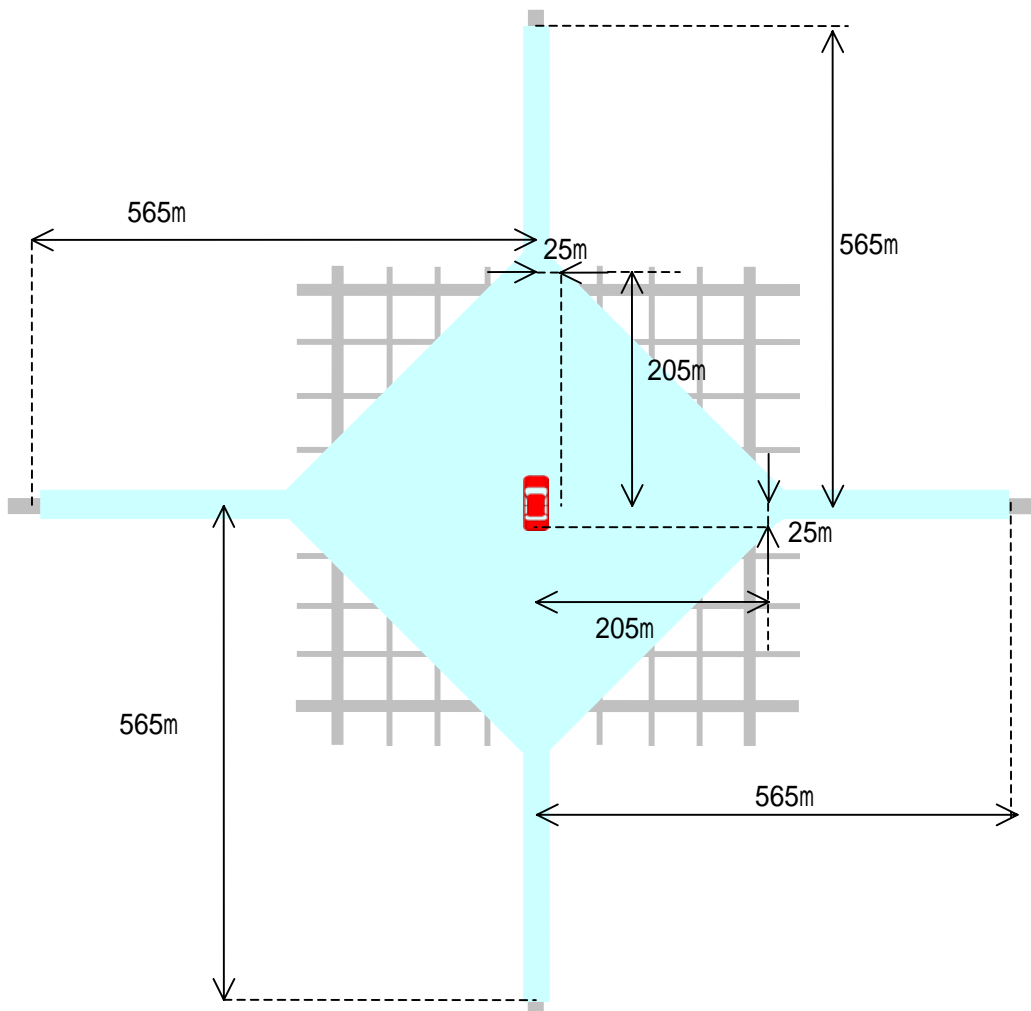


図 31 800MHz における通信エリア

(6) 送信周期制御による効果

この条件設定に基づいて、ある速度の車群の中で、低速、中速、高速の車群が存在する場合のパケ

ット到達率を算出する。図 5.22 にそれぞれの条件におけるパケット到達率と伝送容量の関係を示す。各々の単独の結果は付録に示す。

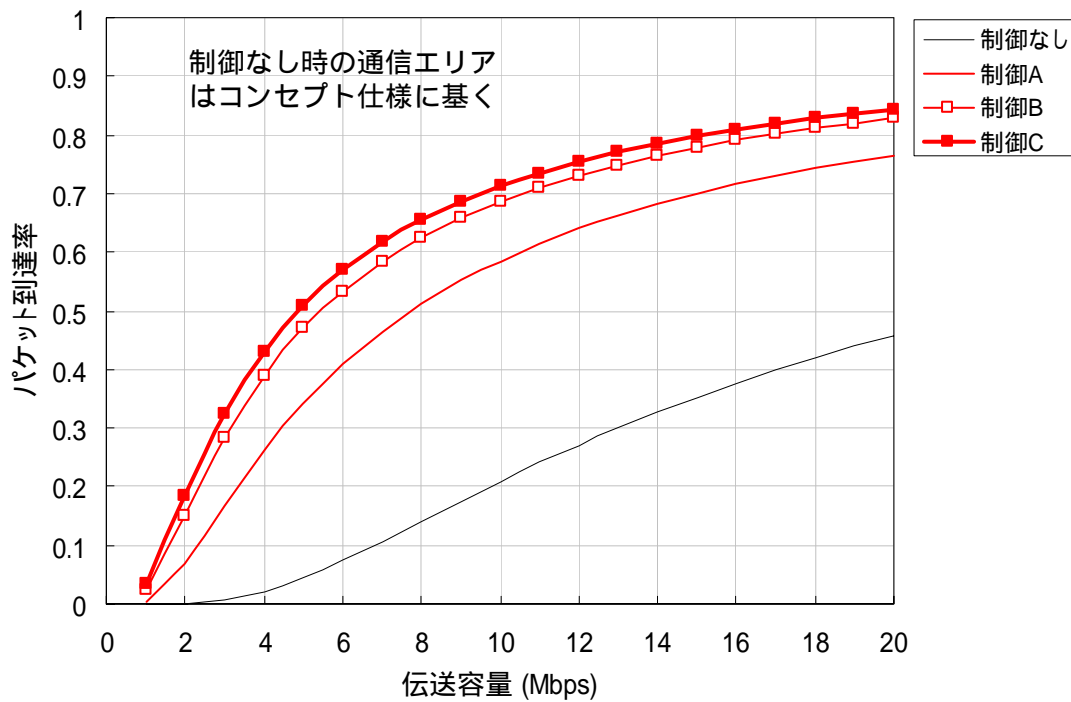


図 32 送信周期制御毎の最小となるパケット到達率

- ・ 実際の交通環境下を模擬した前提においても、送信周期制御を行うことで、パケット到達率改善効果は 50%以上を見込むことができ、送信周期の切り替えは、おおよそ車速 20km/h 毎に行えばよい。
- ・ 送信周期制御を車速 20km/h 毎に行った場合のパケット到達率は伝送容量 20Mbps において約 80% 強であり、16Mbps 以上の伝送容量でパケット到達率 80%を確保可能である。

### 伝送容量と物理層制御

これら検討結果より、車速による送信周期の可変制御を行うことによって伝送容量は 16Mbps ~ 最大 20Mbps 程度あれば、パケット到達率 80%を満足することが可能であると考えられる。その場合、車速による送信周期の可変制御は表 2 の仕様で行う必要がある。

表 2 車速による送信周期制御

車速 (km/h)	送信周期(ms)
100 ~	100
80 ~	120
60 ~	150
40 ~	200
20 ~	300
10 ~	600
10 未満	1200

### 3. 周波数帯域と伝送容量に関するまとめ

これら検討結果より、本システムには数 100MHz から 2GHz 程度の周波数帯域が適性が高い。また、伝送容量に関しては、車速による送信周期の可変制御を行うことによって 16Mbps ~ 最大 20Mbps 程度必要と考えられる。

但し、これらの検討は車車間通信のみを考慮した場合であり、これと併行して路車協調の安全運転支援が検討されている。将来の普及を考えた場合、両者の両立を考慮した対応が必要であるため、伝送容量は路車間通信を含めて議論されるべきである。