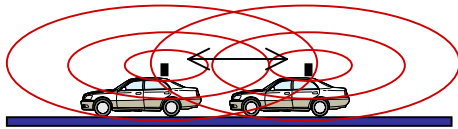
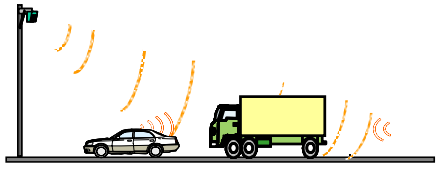


情報量(伝送容量)と事故の減少効果との関係

2007年3月22日
トヨタ自動車株式会社

アプリケーション		イメージ図	伝送容量	通信要件
車車間通信	接近車両情報 (出会い頭事故、 右折事故、正 面衝突事故、 追突事故等)他		10.68Mbps	通信距離:直線約450m、200m前方交差点から、見通し外(回折)25m 通信方式:CSMA等 収容車両台数:1780台
路車間通信 (路路間含む)	信号情報、規制情報、歩行者情報、停止低速車情報、死角画像情報他		3.0Mbps (画像情報 2.4Mbps含 む)	通信距離:~2km 通信方式:OFDMA等 収容車両台数:制限無し

本ITSインフラ協調システムは、車車間通信、路車間通信システムから成り、上の表に示すような種々のアプリケーションを実現することによって事故の減少を図るものである。

本システムの所要伝送容量については、第5回委員会(07/2/9)において、以下のように報告している

- ・車車間伝送容量:
車両台数1780台 x データ量(100 x 8)bit / 送信周期100msec x 送信周期制御・MAC等 効率3/4 = **10.68Mbps**
- ・路車間伝送容量: (路路含む): **3.0Mbps**
- ・全伝送容量: 車車間10.68Mbps + 路車間(路路含む)3.0Mbps = **13.68Mbps**

1.1 車車間通信の所要伝送容量 (その1)

*ASV3 (先進安全自動車プロジェクト-第3期)の検討結果に基づく

(1) 車両台数

必要通信エリア: 対象事故類型の事故件数の90%タイル値**をカバーするため、
車車間通信で右上図のような通信エリアが必要と想定 1.2で詳細説明

- ・車両前方(見通し): 410m
- ・車両後方(見通し): 410m
- ・交差点回折: 前方200m伝搬後、回折25m

道路環境: 東京都銀座市街地の道路配置を参考とし、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/高速道路と、片側2車線の主要道路を200m毎に配置

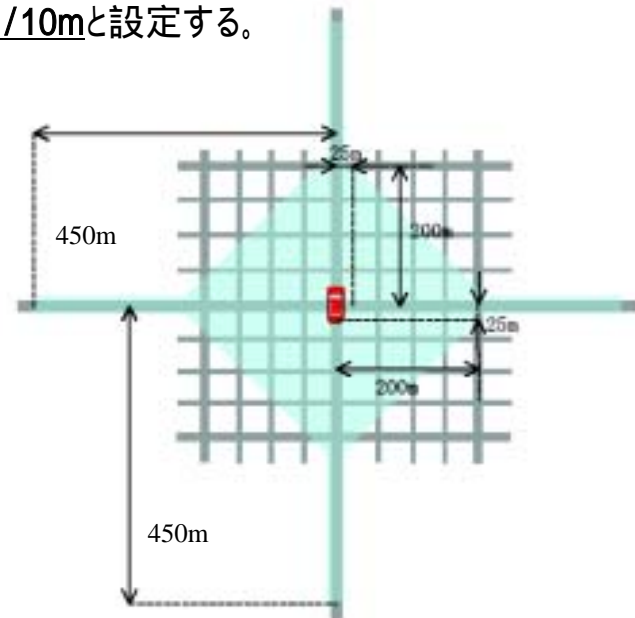
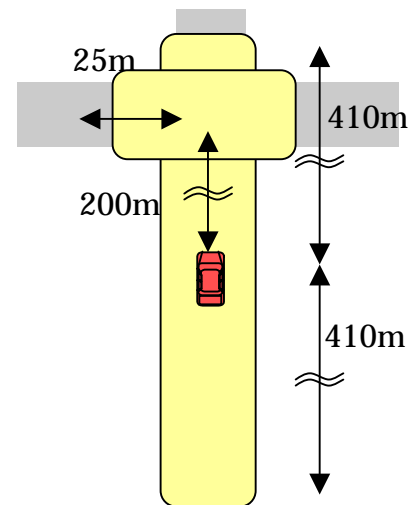
車両密度: 東京都の平均旅行速度20km/hを用い、車両間隔時間0.5秒として、
車両間隔距離を5mと仮定。車両長を5mとして、車両密度を各車線1台/10mと設定する。

通信可能範囲:

800MHz帯の電波伝搬特性から、前方200m + 回折25mを実現する場合の見通し通信可能距離 (=電波が届いてしまう距離)を450mと設定。

通信可能エリアと車両台数:

の道路環境において、通信対象車両台数が最大になるよう、
自車は片側3車線の幹線道路同士の交差点にあるものと仮定すると、
通信可能エリアは右下図の様になり、エリア内の車線総延長は17800m、
車両密度1台/10mより、エリア内車両台数は1780台となる。

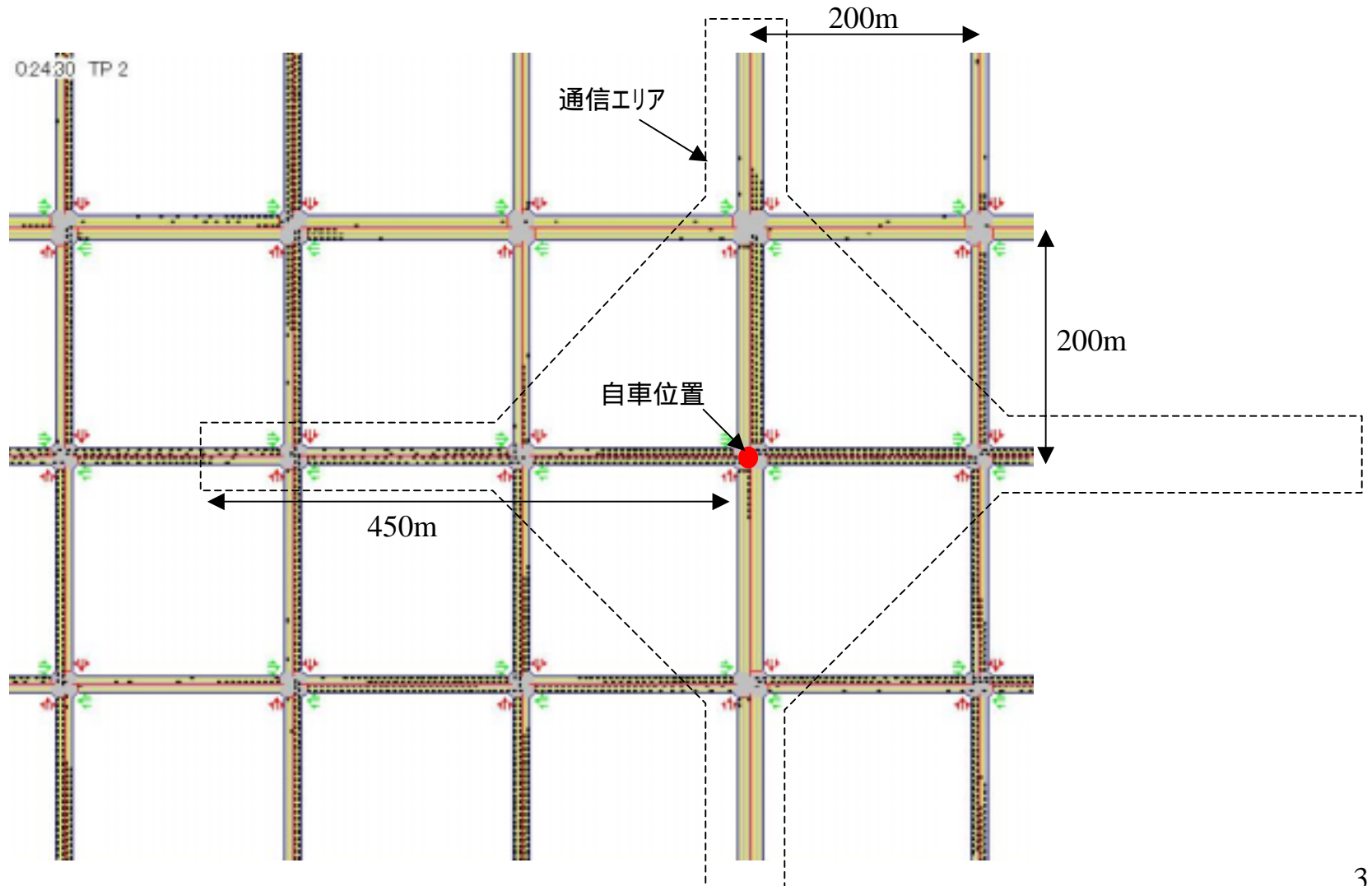


車両台数は、車車間通信サービスが、対象事故類型の事故件数の何パーセントをカバーするかによって変化する

1.1 車車間通信の所要伝送容量 (その2)

・交通流シミュレーション画像(シミュレーションソフト:NETSIM)

前記道路モデルに、車両密度1台/10mを発生させた場合のスナップショットの一例 (細街路(50m間隔)除く)



1.1 車車間通信の所要伝送容量 (その3)

(2) 車車間通信の1回の送信データ量

情報種別	内容	単位情報量(Byte)
管理情報	データバージョン等	2
基本データ	自車ID、相手車両ID、車両種別 現在の位置、車速、進行方位	27
車両装置状態	シフトポジション、ブレーキ状態、ウinker状態、ハザード状態	2
車両相互状態	緊急車両や路線バスの走行状態	5
相互位置関係	進行方向直近交差点位置等	22
定型メッセージ	譲り合い、進路通知、減速、注意情報(路面、前方渋滞等)	2
自由データ	用途を問わずに自由に使用できるデータ	20
合計		80

セキュリティ(なりすまし防止)や、安全性向上のための将来の機能拡張を想定し、送信データ量は100Byte必要

(3) 送信周期

- ・システムの適用上限速度(120km/h)において、車両1台分の長さ(5m程度)の分解能を確保する必要有り。
- ・100msec毎に送出すれば、1つのパケットを取りこぼしても次のパケットを取得できれば、6.6mの分解能を確保できる。



2回のうち1回はデータが衝突なく受信できる確率が95%以上確保するため、所要パケット到達率を80%とする

1.1 車車間通信の所要伝送容量 (その4)

(4) 送信周期制御・MAC効率

走行速度に応じた送信周期制御

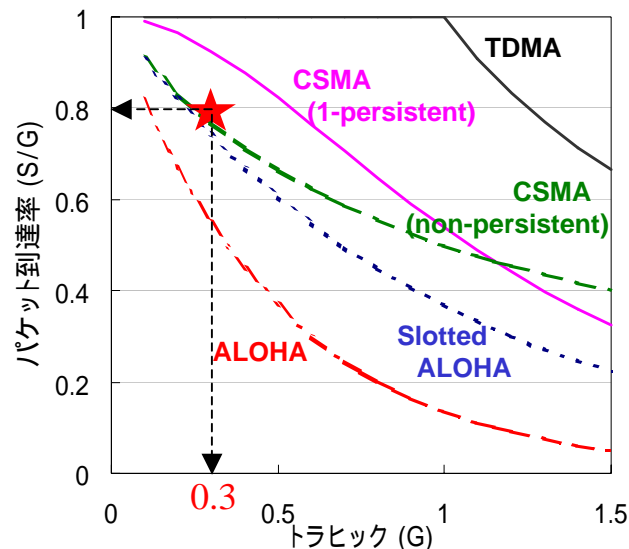
- 適用上限速度(120km/h)に対する送信周期100msecを基本として、同等の位置精度(5m程度)が得られるように送信周期を制御する。(右上表)

車速(km/h)	送信周期 (msec)
110 ~	100
100 ~	110
90 ~	120
80 ~	130
70 ~	150
60 ~	170
50 ~	200
40 ~	240
30 ~	300
20 ~	400
10 ~	600
10未満	1200

東京都の平均旅行速度(20km/h)を想定すると、送信周期は400msecとなり、送信間隔100msec一定の場合と比較して、速度に応じた送信周期制御により、伝送容量は概ね1/4に削減可能。

隠れ端末問題によるMAC効率の低下

- 車車間通信のアクセス制御方式にCSMAを用いた場合、送信車両同士が物理的に離れている、あるいは建物等に遮蔽されることにより、「隠れ端末問題」が発生する。
- 隠れ端末問題が頻発する市街地環境では、MAC効率は、CSMAとALOHAの中間的な特性となると推定される。(右下図)
- パケット到達率80%を実現するためには、伝送容量を1とした場合にトラフィックを0.3程度にする必要がある



伝送容量は、送信する情報速度の3倍程度が必要

、より、送信周期制御・MAC等の効率は3/4程度

1.2 車車間通信の必要通信エリア

(1) 必要通信エリア (通信距離) の算出

安全アプリケーションに必要な通信エリアは、以下4項目に基づいて算出される。

適用上限速度： 交通事故統計(死亡/重傷事故)の「危険認知速度」の90%タイル値*を基準に設定

減速度： 情報提供によって運転者が目標速度までに減速するまでの「通常減速度」

乗用車、二輪車： 2m/s^2 、* 大型バス・トラック： 1m/s^2 *

情報提供・反応時間： システムが情報提供開始してから運転者が反応するまでの時間 3.7秒*

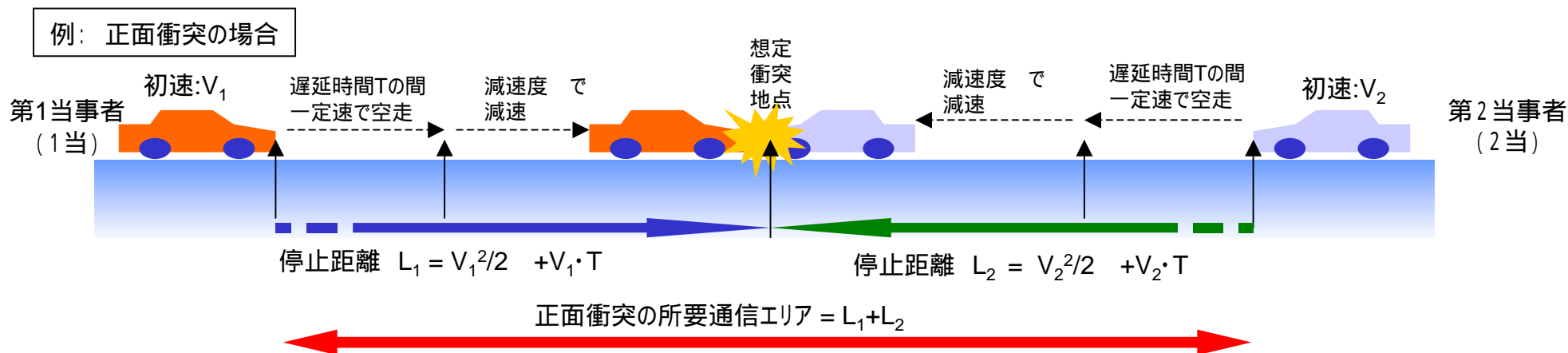
システム遅延時間： データが送出されてから、そのデータを受信し情報処理するまでの遅れ時間 0.3秒*

*各データは、ITARDA((財)交通事故総合分析センター)、JARI((財)日本自動車研究所)の調査に基づき、ASV3にて設定した値

以上の数値から、必要な通信エリアは以下の式により求められる

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

L: 通信エリア(m), V: 適用上限速度(m/s), V_t : 目標车速(m/s) (停止の場合は0), : 車両の減速度(m/s^2),
T: 情報提供・反応時間とシステム遅延時間の和

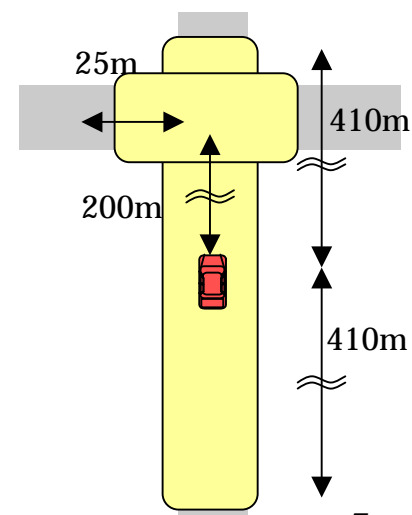


1.2 車車間通信の必要通信エリア (その2)

(2) 対象事故類型別の適用上限速度と通信エリア

事故類型	車種	第1当事者			第2当事者		
		種別	適用上限速度	通信エリア	種別	適用上限速度	通信エリア
右折事故	乗用車 大型車	右折側	30km/h	交差点中央から50m " 70m	直進側	70km/h	交差点中央から170m " 270m
出会い頭事故	乗用車 大型車	規制側	15km/h	交差点端部から20m " 25m	優先側	60km/h	交差点端部から135m " 200m
歩行者事故	乗用車 大型車	車両側	60km/h	交差点端部から135m " 200m	歩行者側	4km/h	交差点端部から5m
正面衝突事故	乗用車 大型車	車線逸脱側	60km/h	車両間最大距離270m " 410m	走行側	60km/h	
追突事故	乗用車 大型車	走行側	120km/h 90km/h	車両間最大距離410m " 410m	停止側	120km/h 90km/h	
左折事故	乗用車 大型車	左折側	30km/h	車両間最大距離 75m " 105m	直進側	70km/h	
車線変更に伴う事故	-	車線変更側	80km/h	車両間最大距離 75m	直進側	120km/h	

上記7つの事故類型をカバーするために必要な通信エリアをまとめると、右図に示すように車両前方が410m、車両後方が410m、車両前方200mまで伝搬し更に25m伝搬するエリアとなる。



1.3 路車間通信の所要伝送容量

路車間通信サービス(路車同報型通信)の情報量と伝送容量(試算)

サービス	情報種別								
	低速				高速				
	サービス通知	道路	規制	路面	システム情報	信号	車両	歩行者	画像
信号情報利用(路路含む)									
規制情報利用(一旦停止)									
規制情報利用(速度規制)									
接近車両検知情報提供									
停止低速車両情報提供									
歩行者・自転車検知情報提供									
死角画像情報提供									
単位情報量(Byte)	8827	9424	3904	23	896	552	1259	164	30001
送信周期(秒)	0.5				0.1				
伝送容量(bps)	76800	108800	62464	368	51200	32000	100720	13120	2400080
" 全体合計(bps)	2984608								

- ・一つの路側機において、上記の全ての種類の路車間サービスを提供する場合、必要な伝送容量は**約3Mbps**
- ・路車間サービスの場合、無線ゾーンが隣接ゾーンと重ならなければ、**同一周波数帯域を繰り返し利用可能**



路車間サービスの事故削減効果は主に路側機設置箇所数に依存し、所要伝送容量は3Mbps一定

1.4 伝送容量と事故減少効果の関係

(1) 対象事故件数

平成7年から平成12年までの全国交通事故統計データに基づき、**死亡事故・重傷事故**を対象に、前記7つの事故類型において**情報提供で事故低減効果が見込めるケース***(該当する事故件数)の調査および集計を、ITARDAにて実施

*信号無視/酒酔い運転/過労/共同危険行為など、システムの効果が望めないケースを除外

削減可能性が有る対象事故件数 (1年間あたりの事故件数に換算)

対象事故類型	死亡事故	重傷事故
右折事故	261	4,802
出会い頭事故	480	8,233
歩行者事故	1,041	4,676
正面衝突事故	373	2,112
追突事故	310	4,136
左折事故	57	1,689
車線変更時事故	13	179
計	2,535	25,827
全体の事故件数	9,192	72,212
全体に対する割合	28%	36%

1.4 伝送容量と事故減少効果の関係 (その2)

(2) 事故減少効果の試算

a) 車車間通信の場合*

伝送容量: **10.68Mbps** (右図の通信エリアの場合)

事故低減効果: 適用上限速度に依存

(例) 適用上限速度を**危険認知速度の90%マイル値**から求めているため
対象事故件数の**90%**が削減可能性がある、と仮定

削減可能性のある死亡事故件数: 2,281件 / 年

〃 重症事故件数: 23,244件 / 年

伝送容量を低くした場合、適用上限速度が低下するため、**対象事故件数が減少**

b) 路車間通信の場合*

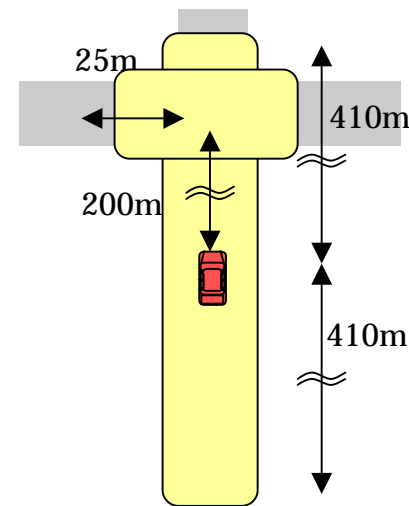
伝送容量: **3.0Mbps**

事故低減効果: 路側機設置箇所数に依存

(例) 全国約**20万箇所**の交差点のうち、**事故多発交差点1万箇所**(5%)に路側設備を設置と仮定
事故多発交差点の事故発生率が平均の2倍だと仮定した場合、前記対象事故件数の**10%**

削減可能性のある死亡事故件数: 253件 / 年

〃 重症事故件数: 2,583件 / 年



安心・安全のためのシステムとして、十分な事故減少効果を得るためには、上記伝送容量が必要

*a), b)の試算には重複分有り

(付録1) 車車間通信(ASV情報交換型運転支援システム)データ仕様(抜粋)

FIELD	UNIT	element	長さ(bit)	
ADMINISTRARATION		data version	8	
		reserve	8	
STANDARD INFORMATION		vehicle id	24	
		reserve	4	
		destination id	24	
		reserve	4	
		vehicle class	4	
		reserve	4	
		POSITION	datum	2
		HORIZONTAL LATITUDE	availability	1
			degree	9
			minute	6
		LONGITUDE	second	13
			reserve	4
			degree	9
		VERTICAL	minute	6
			second	13
			reserve	4
		MOTION	horizontal error range	8
			reserve	7
			availability	1
			height	14
			vertical error range	8
reserve	9			
reserve	6			
availability	1			
speed	8			
direction	9			
reserve	6			
reserve	8			

(付録1) 車車間通信(ASV情報交換型運転支援システム)データ仕様(抜粋) 続き

FIELD	UNIT	element	長さ(bit)
EQUIPMENT STATUS		shift position	3
		brake	2
		winker	2
		hazard	2
		reserve	7
VEHICLE STATUS	SPECIAL VEHICLE STATUS	emergency attention	1
		start attention	1
		stop attention	1
		reserve	5
		reserve	32
REFERENCE	NEAREST INTERSECTION LATITUDE	availability	1
		degree	9
		minute	6
		second	13
		reserve	4
	LONGITUDE	degree	9
		minute	6
		second	13
		reserve	4
		reserve	7
reserve	104		
MESSAGE		message	8
		reserve	8
INDIVIDUAL DATA		individual data	160
		合計	640

(付録2) 車車間通信 交通流(平均車速)と所要伝送容量との関係について

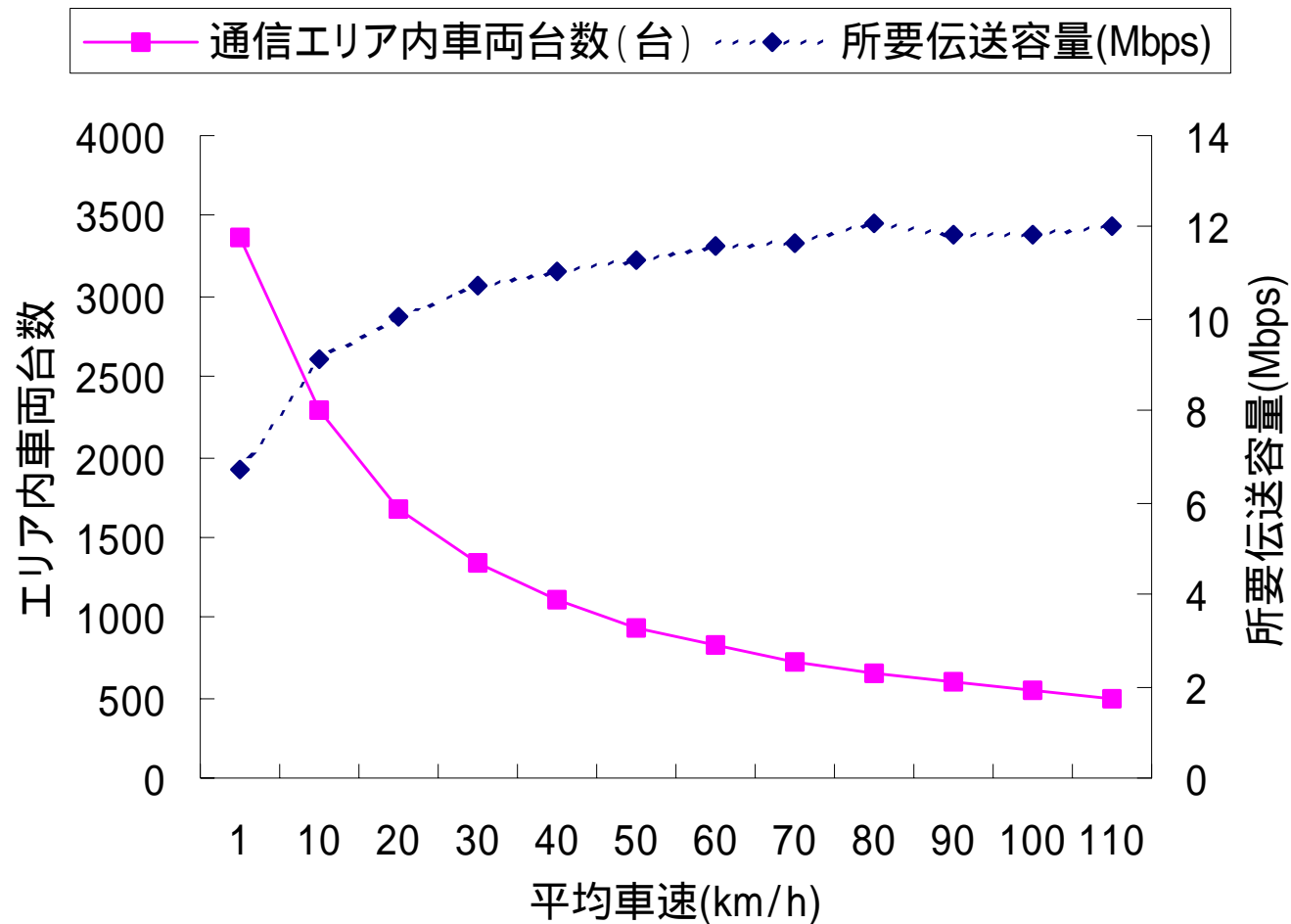
1.1(4) 『走行速度に応じた送信間隔制御』(スライド5)により、
交通流(平均車速)と、通信エリア内の総通信トラフィック、所要伝送容量の関係は以下のように表される

計算条件: 平均車間時間間隔は1秒、車両の長さは5m/台と想定
各速度域の最低速度(20~30km/hの場合は20km/h)を用いて車頭間隔/車両密度を算出
通信エリアの総車線長は17800m(スライド2)、1回の送信データは100Byte(スライド4)、MAC効率は1/3(スライド5)を想定

平均車速(km/h)	送信周期(msec)	車頭間隔(m)	車両密度(台/km/車線)	通信エリア内車両台数(台)	総通信トラフィック(Mbps)	所要伝送容量(Mbps)(MAC効率を考慮)
110~120	100	35.6	28.1	500.2	4.002	12.01
100~110	110	32.8	30.5	542.9	3.948	11.84
90~100	120	30.0	33.3	592.7	3.951	11.85
80~90	130	27.2	36.8	655.0	4.031	12.09
70~80	150	24.4	41.0	729.8	3.892	11.68
60~70	170	21.7	46.1	820.6	3.862	11.59
50~60	200	18.9	52.9	941.6	3.766	11.30
40~50	240	16.1	62.1	1105.4	3.685	11.06
30~40	300	13.3	75.2	1338.6	3.570	10.71
20~30	400	10.6**	94.3	1678.5**	3.357	10.07
10~20	600	7.8	128.2	2282.0	3.043	9.13
10未満*	1200	5.3	188.7	3358.9	2.239	6.72

* 平均車速1km/hとして計算 **スライド2では車頭間隔10.0mとして計算しているため、通信エリア内車両台数は1780台

(付録2) 車車間通信 交通流(平均車速)と所要伝送容量との関係について(続き)



平均車速が20km/hよりも高い場合、通信エリア内の車両台数は1780台より大幅に減少するが、送信周期が短くなるため、所要伝送容量はほぼ11～12Mbpsで一定となる。
(渋滞時は車両台数がさらに増加するが、所要伝送容量は却って減少する)