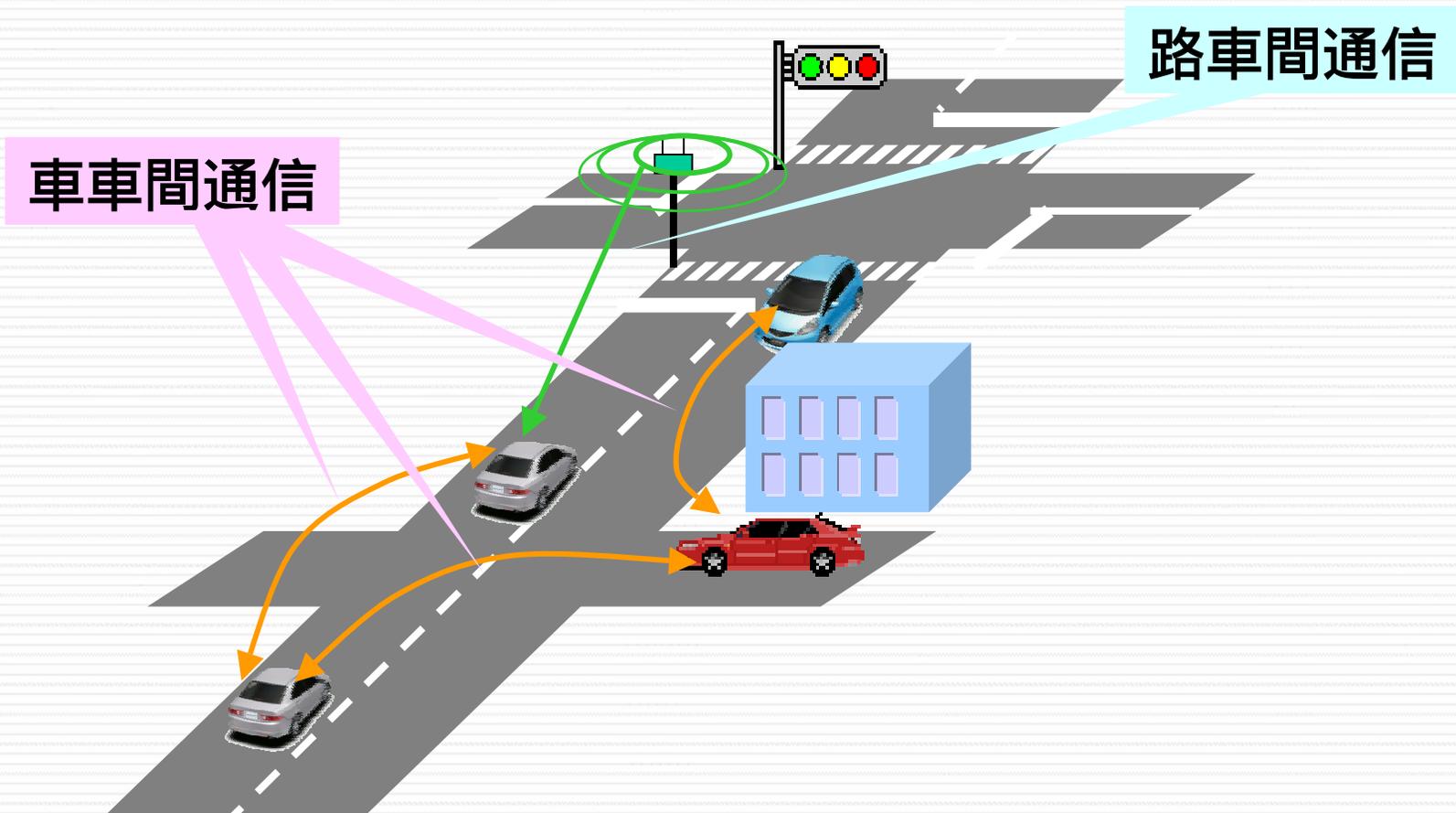


車車・路車共用方式のシミュレーション およびフィールド実験結果の紹介

株式会社デンソー 研究開発3部
松ヶ谷 和沖

- 700MHz帯 安全運転支援システムの概要
- 車車・路車通信共用方式の提案
- 実験で使用した無線機
- 700MHz帯 車車間 / 路車間通信の基本特性
 - 車車間通信の基本特性
 - 路車間通信の基本伝搬特性
 - 複数路側機が存在する状況下での路車間通信
- 車車・路車共用方式の特性
 - 検討の流れ
 - 通信トラフィック、隠れ端末の影響検討
 - 総合特性の検討

- 08/10 総務省・国土交通省共同実験
車車間通信のフィールド試験
- 09/2 ITS Forum RC-006 ver.1.0策定
700MHz帯安全運転支援システムの実験用ガイドライン
- 09/6 ITS無線システムの高度化に関する研究会報告
安全運転支援システム実用化に向けた課題の整理
- 09/7 ~ 情報通信審議会 ITS無線システム委員会作業班
700MHz帯安全運転支援システムの技術的条件に関する調査
- 車車間・路車間の共用通信方式
 - 隣接する周波数帯に存在する他システムとの共存条件
 - 電波防護指針への適合



車車間通信: 車が相互に情報伝達

路車間通信: 信号機や路側センサなどの情報を車に配信

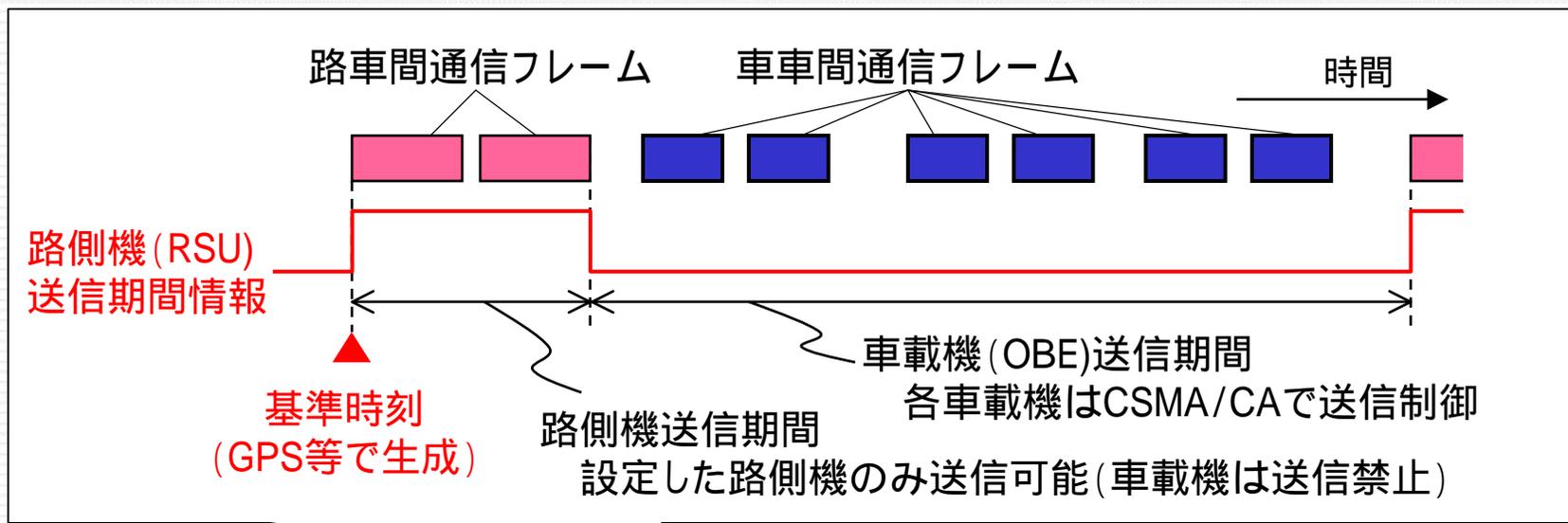
通信要件と無線方式

出典： ITS Forum RC-006 の記載内容を元に再構成

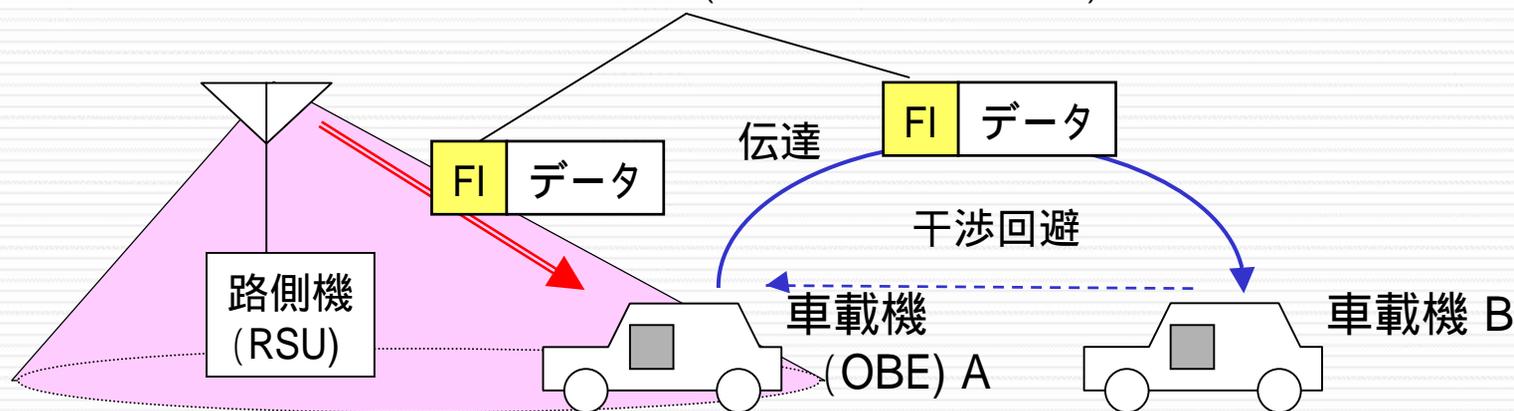
	車車間通信	路車間通信
通信内容	車両情報 (ex.車両ID、位置、速度、進行方向、制御情報等)	車両情報、歩行者・自転車情報、信号機、道路形状 など
通信距離	アプリケーション毎に検討を行い、電波特性を考慮した検討を実施中	
	<ul style="list-style-type: none"> ・右折衝突防止：見通し内 123m ・一時停止支援：見通し外 10m+84.7m 	<ul style="list-style-type: none"> ・追突防止：見通し内 124m ・信号見落とし防止：見通し内178m
通信品質	車両が5/10/15m走行する間にパケットが正しく受信できる確率が 95%以上	車両が5m走行する間にパケットが正しく受信できる確率が 99%以上
通信頻度	100ms周期を基本とする	
送信端末数	数百台程度 (通信エリアに存在する車両数)	数台～10台程度 (通信エリアに存在する路側機数)

無線周波数	700MHz帯の 単一周波数帯 (715MHz～725MHz)	
通信方式	同報通信方式 (ブロードキャスト)	
変調方式	直交周波数分割多重 (OFDM)	IEEE802.11p をベースとした規格
データ伝送速度	～18Mbit/s	
アクセス方式	CSMA/CA	

- 700MHz帯 安全運転支援システムの概要
- 車車・路車通信共用方式の提案
- 実験で使用した無線機
- 700MHz帯 車車間 / 路車間通信の基本特性
 - 車車間通信の基本特性
 - 路車間通信の基本伝搬特性
 - 複数路側機が存在する状況下での路車間通信
- 車車・路車共用方式の特性
 - 検討の流れ
 - 通信トラフィック、隠れ端末の影響検討
 - 総合特性の検討



FI (Frame Information)



すべてのパケットにFIを付加。FIの情報を周囲の車両が共有し、路車間期間は車載機が送信を止めることで、路車・車車の干渉を回避できる。

車車路車共用方式 - パケットフォーマット&タイミング -

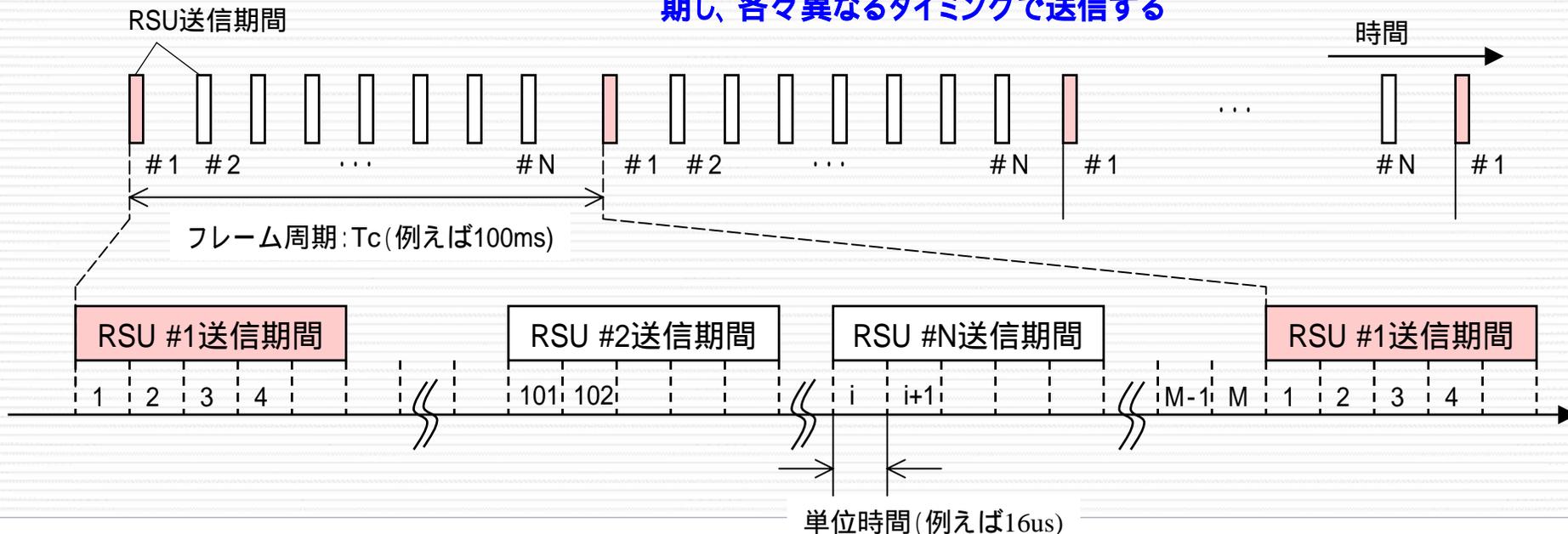
パケットフォーマットの例

ヘッダーフォーマットは一例 詳細は検討中



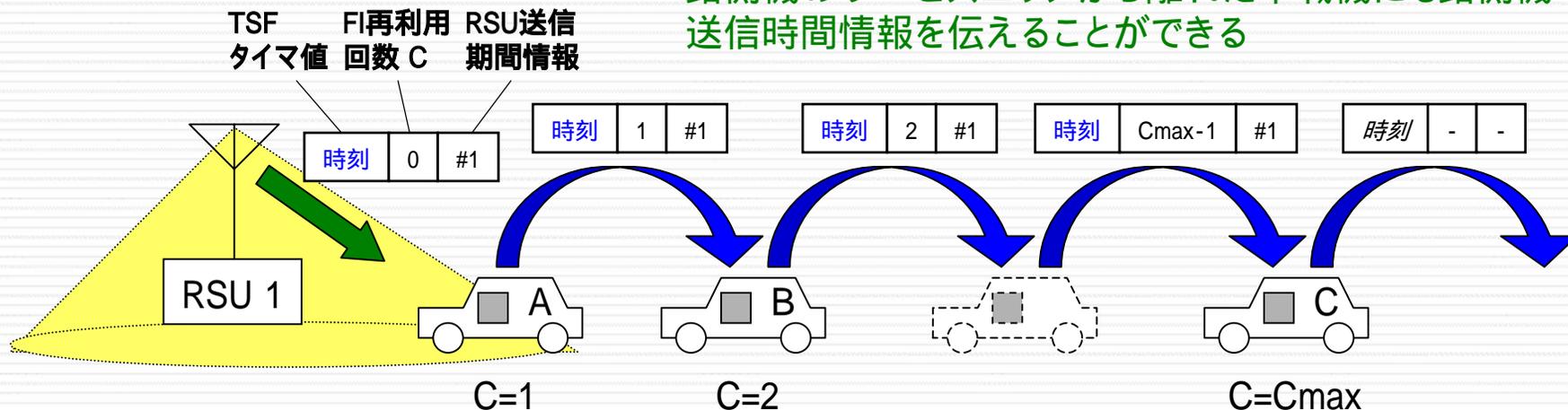
路側機の送信タイミング例

複数の路側機を用いる場合、相互に時刻同期し、各々異なるタイミングで送信する



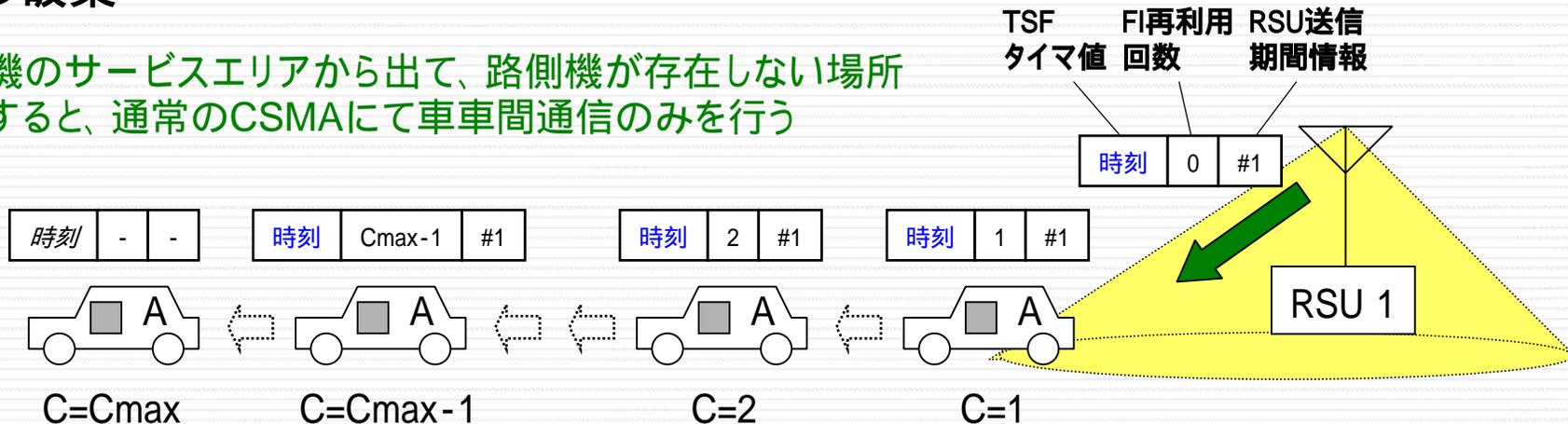
FIの転送

路側機サービスエリアから離れた車載機にも路側機送信時間情報を伝えることができる



FIの破棄

路側機サービスエリアから出て、路側機が存在しない場所に達すると、通常のCSMAにて車車間通信のみを行う



- 700MHz帯 安全運転支援システムの概要
- 車車・路車通信共用方式の提案
- 実験で使用した無線機
- 700MHz帯 車車間 / 路車間通信の基本特性
 - 車車間通信の基本特性
 - 路車間通信の基本伝搬特性
 - 複数路側機が存在する状況下での路車間通信
- 車車・路車共用方式の特性
 - 検討の流れ
 - 通信トラフィック、隠れ端末の影響検討
 - 総合特性の検討

- ・専用ポール先端にANT設置
- ・ANT設置高さ 5, 6, 7m



無指向性アンテナ

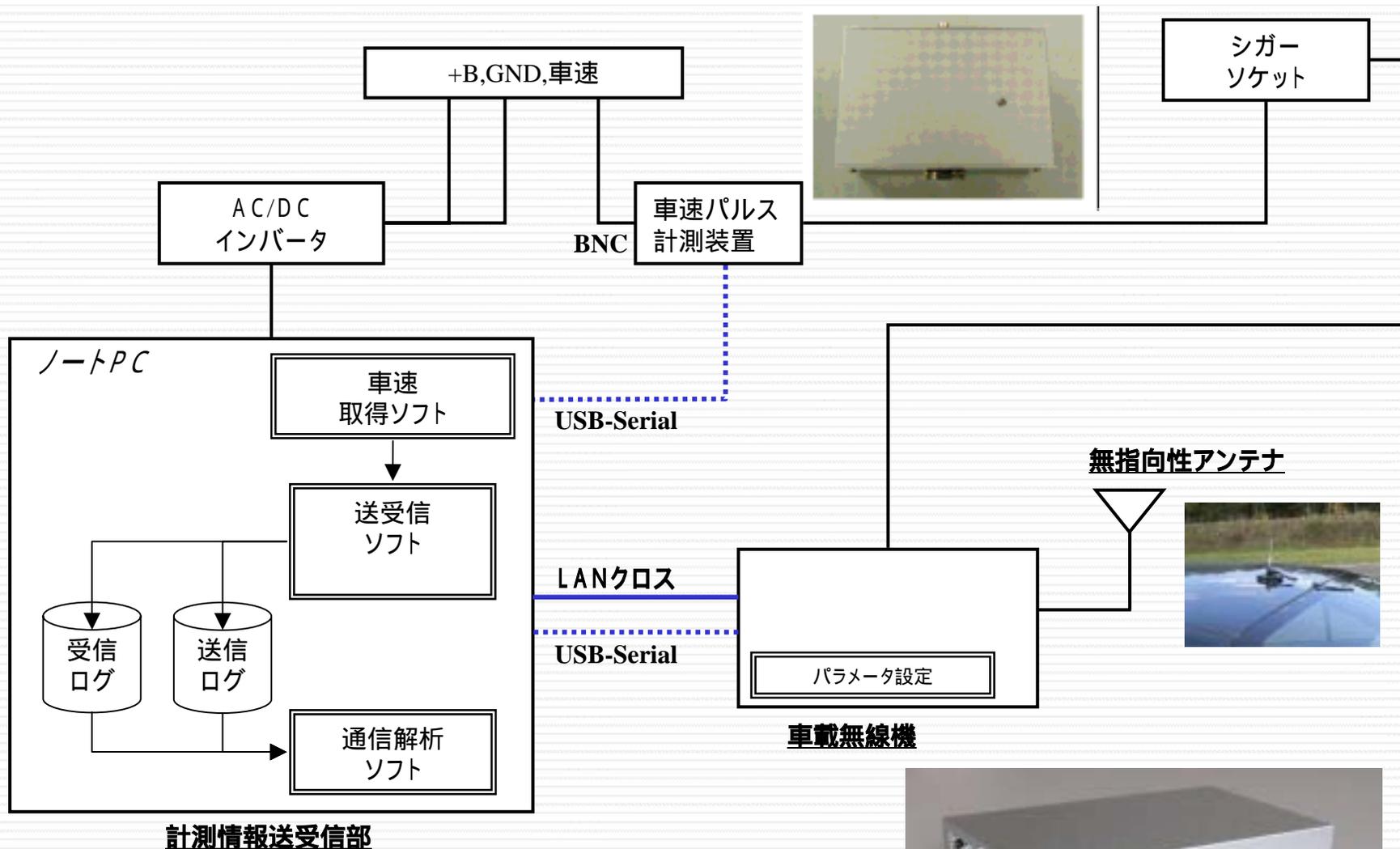


指向性アンテナ

路側無線機

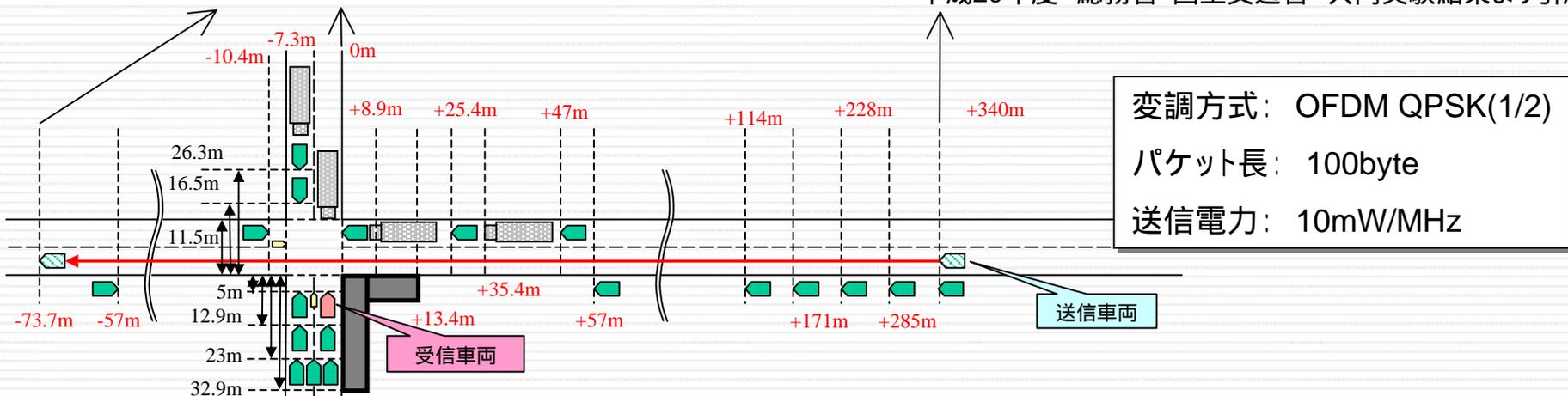


利得13dBi, 水平面ビーム幅20°
指向性有りの場合はATT13dB挿入しEIRPを揃えた



- 700MHz帯 安全運転支援システムの概要
- 車車・路車通信共用方式の提案
- 実験で使用した無線機
- 700MHz帯 車車間 / 路車間通信の基本特性
 - 車車間通信の基本特性
 - 路車間通信の基本伝搬特性
 - 複数路側機が存在する状況下での路車間通信
- 車車・路車共用方式の特性
 - 検討の流れ
 - 通信トラフィック、隠れ端末の影響検討
 - 総合特性の検討

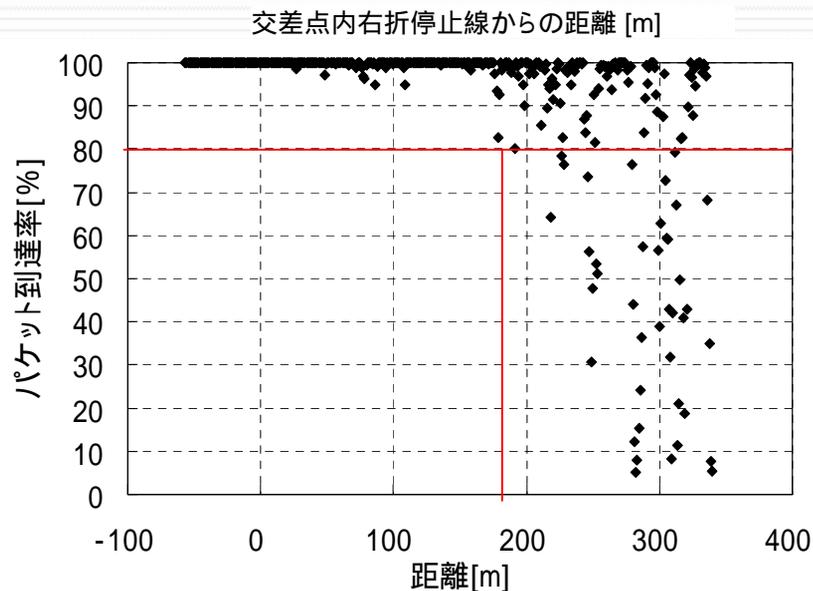
平成20年度 総務省・国土交通省 共同実験結果より引用



実験車両の配置 (日本自動車研究所 構内模擬市街路)

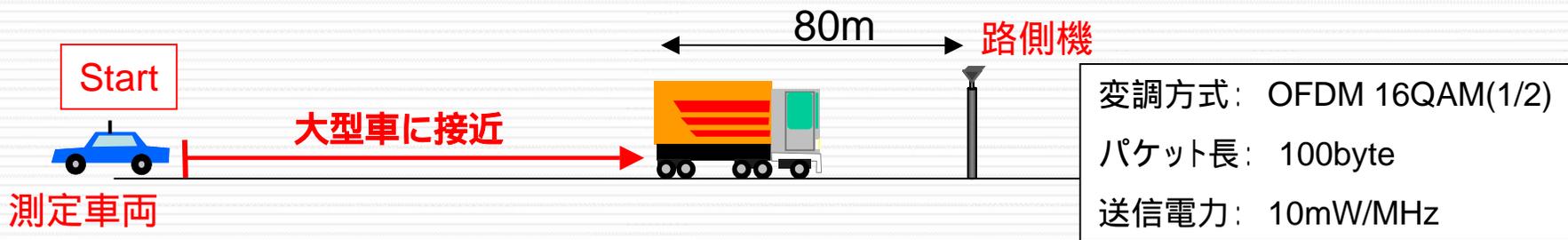


実験の様子



パケット到達率測定結果の例

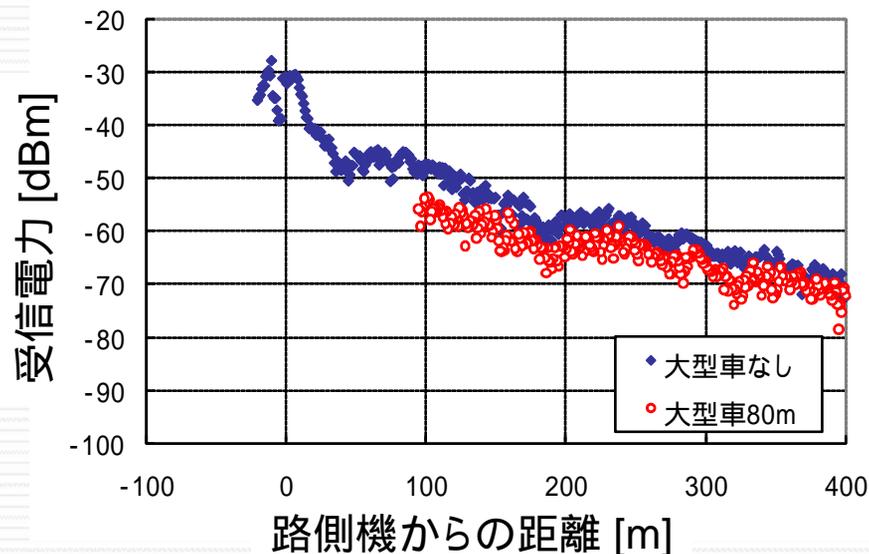
大型車による遮蔽の影響の評価実験



(路側機と大型車の距離が20m、40m、120m、200mの場合も実施)



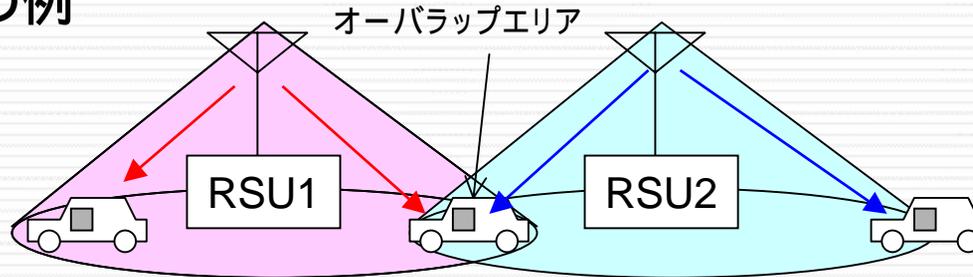
実験風景



測定結果 (路側アンテナ高 5mの例)

複数路側機が存在する状況下の課題

路側機配置の例



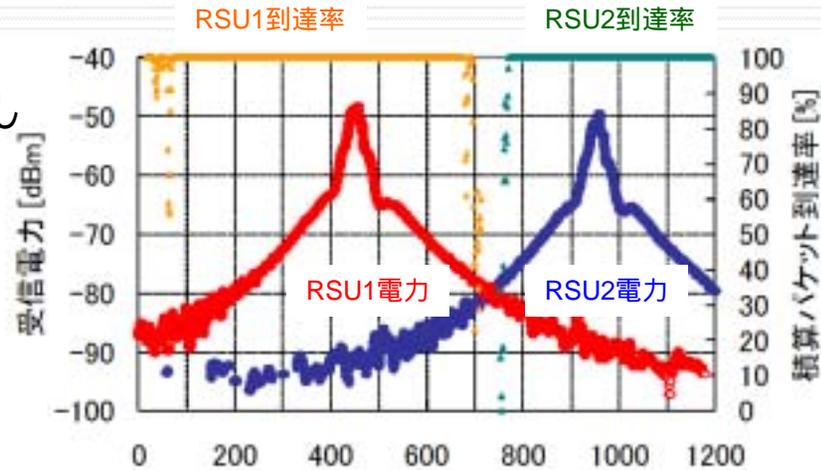
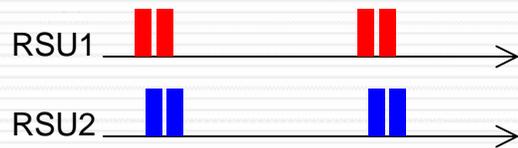
オーバーラップエリアでの路
車間通信到達率が課題

路側機送信タイミングの制御方法

路側機制御方式		各路側機の送信タイミング	各方式の メリット デメリット×
非同期方式	キャリア センスなし (最悪条件)		:路側機間の時刻同期不要、かつ、設置の制約なし。 ×:最悪、複数の路側機が同じタイミングで送信する恐れあり
	キャリア センスあり		:路側機間の時刻同期不要 ×:路側機がお互いの送信状態を検出できるように設置する必要あり。また、まれに送信の衝突あり
同期方式 (提案方式)			:路側機間の送信の衝突を完全に回避することができる ×:複数の路側機を時刻同期させ、送信タイミングを調整する必要がある

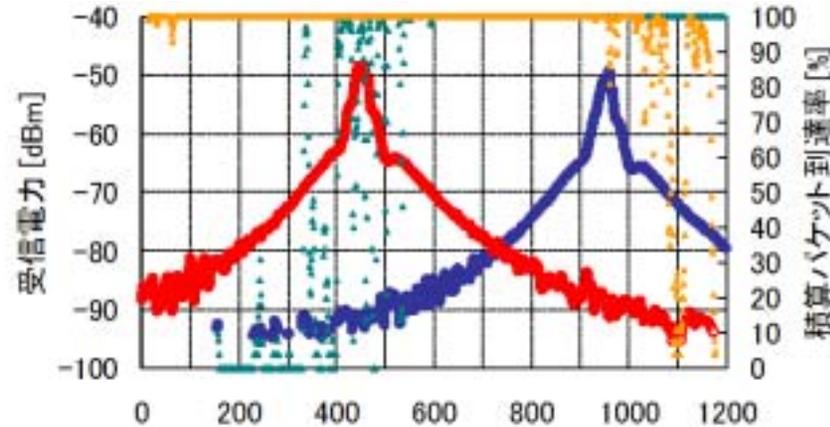
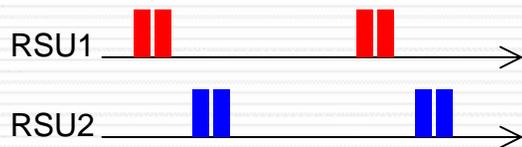
フィールド実験の結果 - 複数路側機からのパケット到達率 -

非同期方式・キャリアセンスなし
(最悪条件)



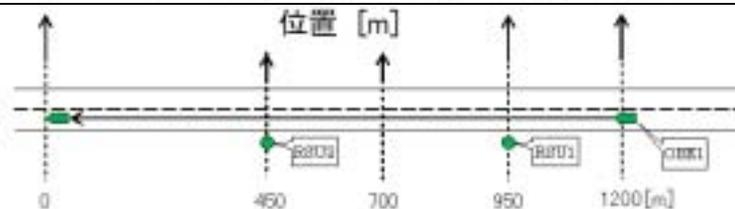
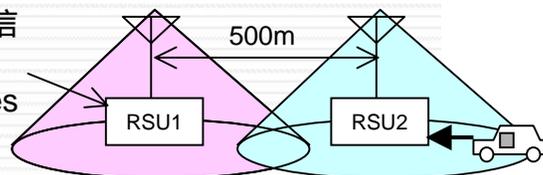
オーバーラップエリア
にて路側機パケット
受信できず

同期方式



オーバーラップエリアで
も受信可能
各路側機のサービス
エリア広がる

5dBm送信
16QAM
1000bytes



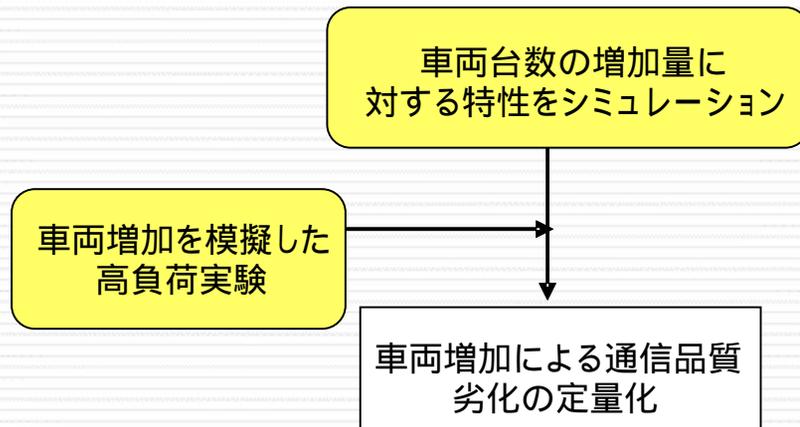
- 700MHz帯 安全運転支援システムの概要
- 車車・路車通信共用方式の提案
- 実験で使用した無線機
- 700MHz帯 車車間 / 路車間通信の基本特性
 - 車車間通信の基本特性
 - 路車間通信の基本伝搬特性
 - 複数路側機が存在する状況下での路車間通信
- 車車・路車共用方式の特性
 - 検討の流れ
 - 通信トラフィック、隠れ端末の影響検討
 - 総合特性の検討

車車・路車共用方式の成立性検討の進め方

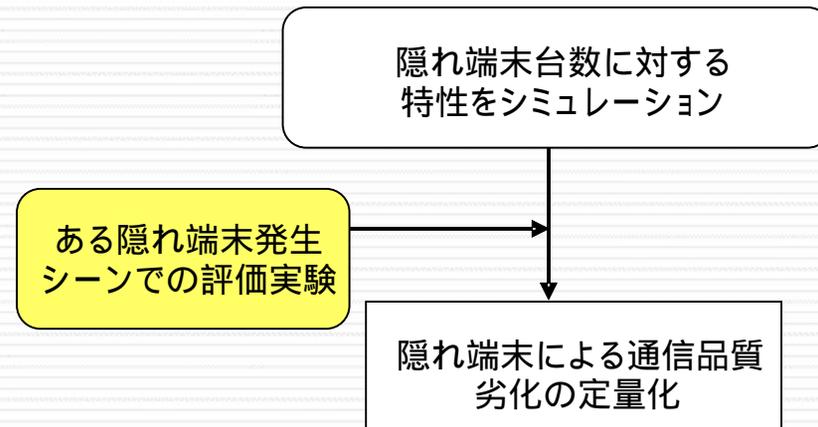
調査すべき課題

- ・限られた10MHzという帯域内で車車・路車を実現可能か？ 路側機台数, 車載機台数の容量
- ・路車間通信に対する隠れ端末問題の影響は？ 車載機台数, 配置の影響
- ・RC-006車車・路車共用方式の効果は？ 上記, 容量面, 隠れ端末影響面ともに

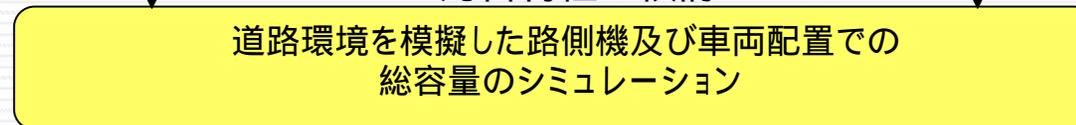
< 通信トラフィック増加の影響 >



< 隠れ端末の影響 >

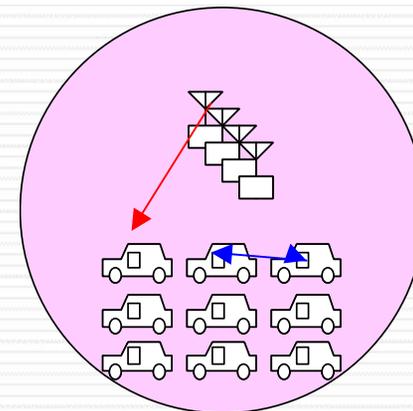


< 総合特性の検討 >



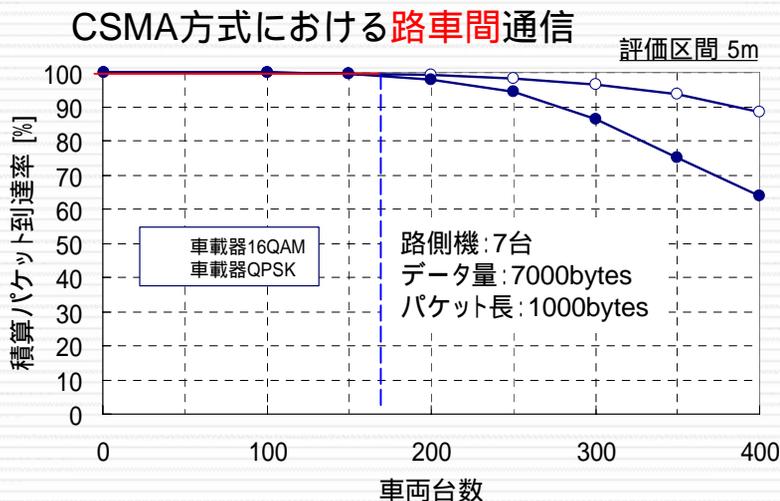
シミュレーション条件

項目	路側機	車載機
変調方式	16QAM	QPSK, 16QAM
データ量	1000, 4000, 7000 bytes	100bytes
パケット長	500, 1000bytes	100bytes
目標到達率	評価区間5mで99%以上	5 ~ 15mで95%以上

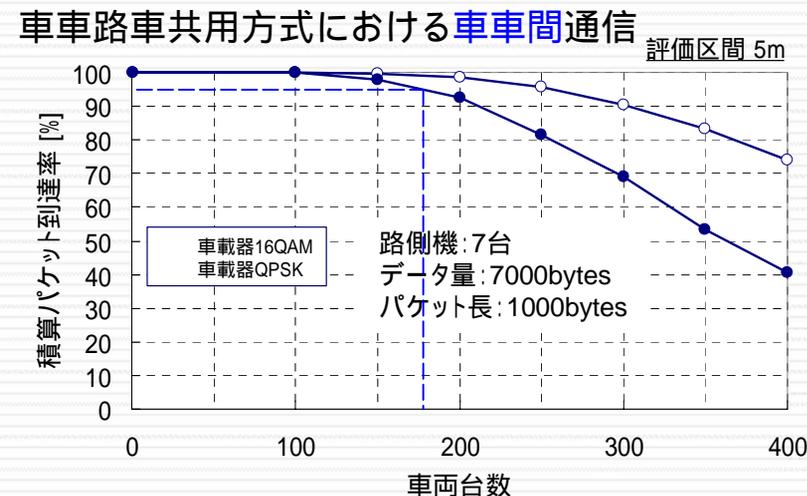


路側機および車両配置イメージ

結果例



路車間通信の到達率も車両台数と共に悪化
路車間通信の到達率が収容台数を決める



FIの機能により路車間通信は到達率100%
車車間通信の到達率が収容台数を決める

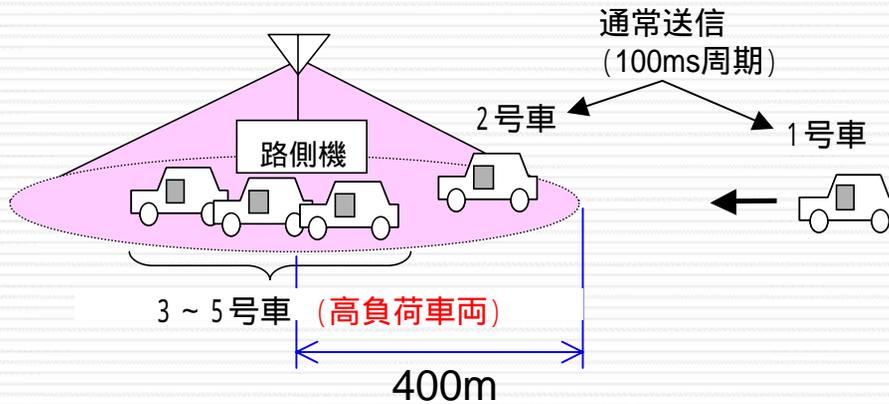
シミュレーション結果と確認実験

車車間通信と路車間通信が同時成立(*)する際の收容可能台数
 路側機7台 / 16QAM 7000bytes送信 車載機 QPSK 100byte送信での例

	車車間通信の評価区間		
	5m	10m	15m
CSMA方式	165台		
車車・路車共用方式	175台	260台	310台

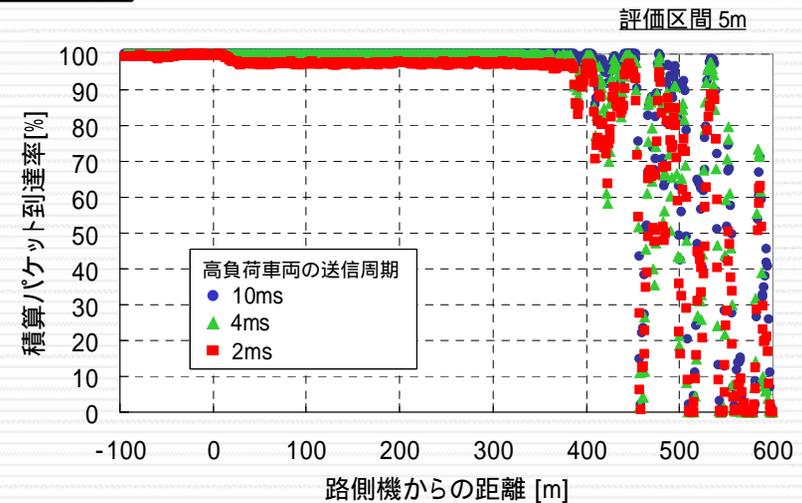
(*)成立条件
 積算パケット到達率
 路車間 99% かつ
 車車間 95%
 が成立する車両台数

確認実験の例



実験車両の配置

路車間:路側機 1号車 / 車車間:2号車 1号車の到達率を評価



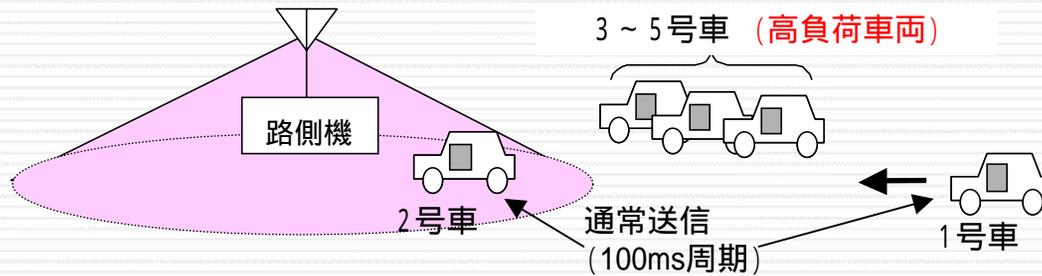
実験データの例

路側機 1号車の到達率 路側機は1000byte/100ms送信

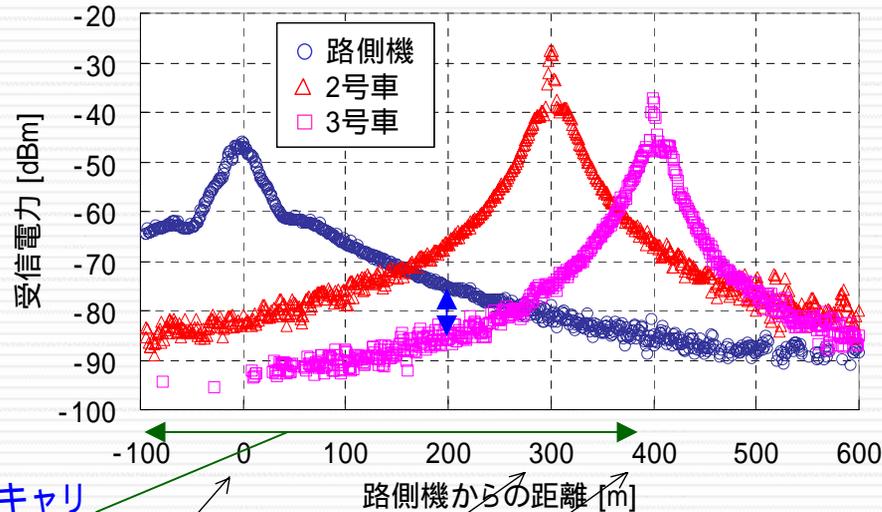
送信周期を短くした高負荷車両で複数の車両を模擬し、車両台数を増やした際の影響を検証。
 收容台数までの負荷は再現できなかったがシミュレーションと同様の傾向を確認した。

隠れ端末シーンでの評価実験

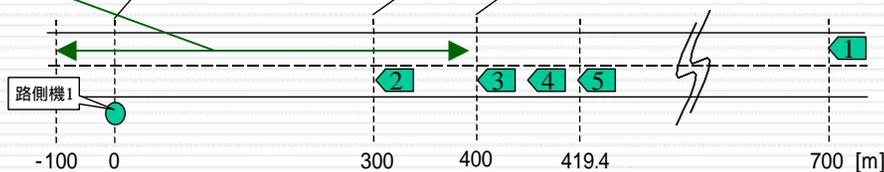
車両配置



受信電力特性



路側機のキャリア
アセスン範囲



車両配置の様子

- ✓路側機エリア内に2号車が存在
- ✓路側機エリア外に3~5号車が存在し短い頻度で送信を実施(高負荷車両)
- ✓この状態で1号車が路側機エリアに向かって走行

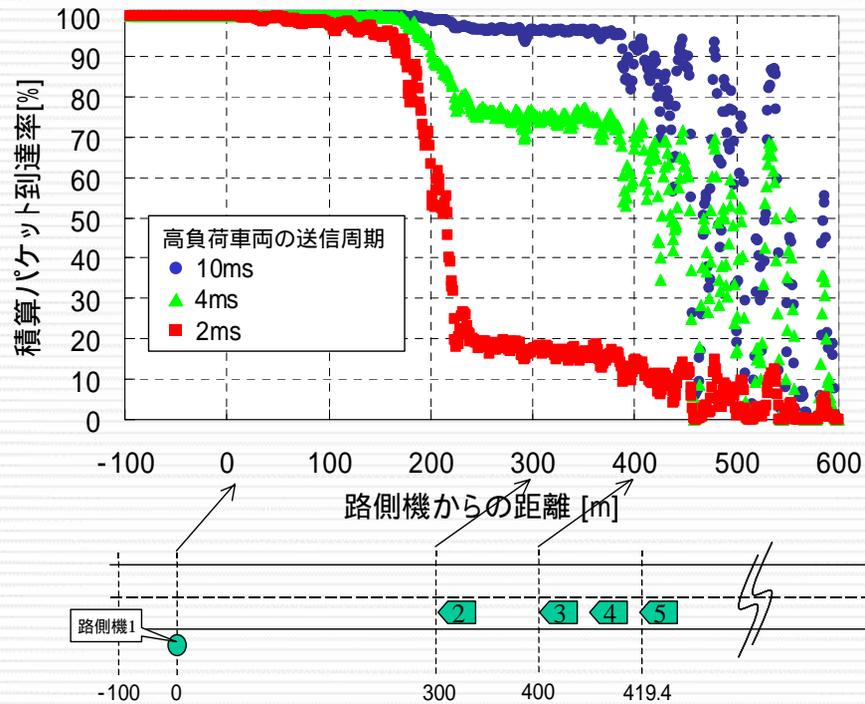
この状態で路側機 1号車の到達率を計測

隠れ端末が存在する場合の実験結果

路側機が送信したパケットの1号車への到達率実測結果

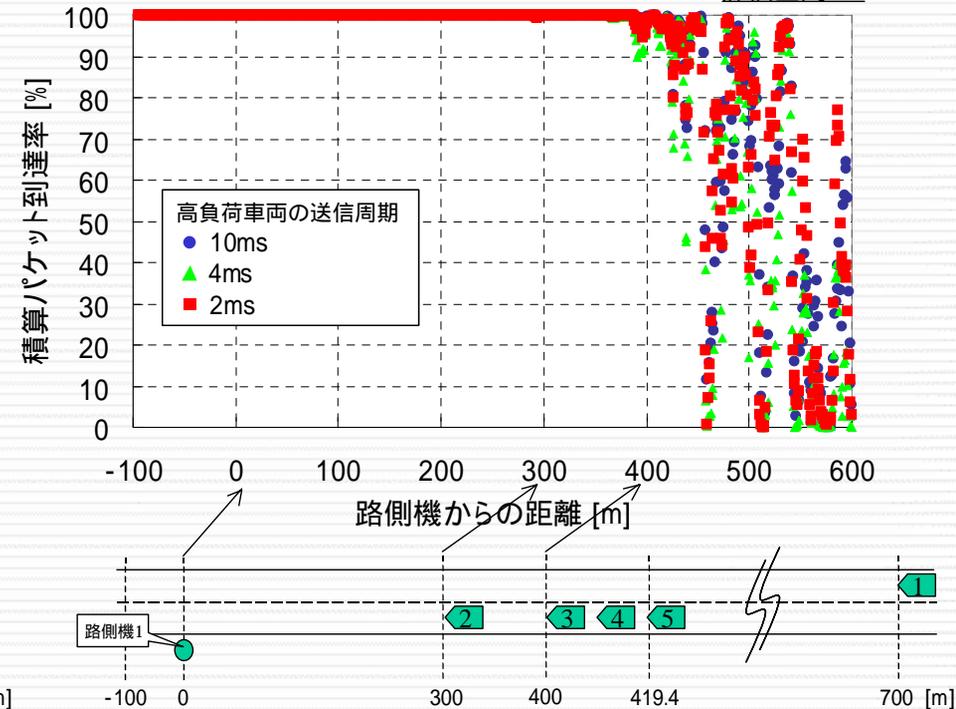
< CSMA方式 >

評価区間 5m



< 車車・路車共用方式 >

評価区間 5m



✓ 従来型CSMA方式では、高負荷車両の3～5号車が路側機に対して隠れ端末となり、200～400m地点で到達率が低下

✓ 車車・路車共用方式では、2号車がFIを転送し、3～5号車が路側機送信時間に自らの送信を止めるため、隠れ端末とはならず、到達率の低下を防止できる

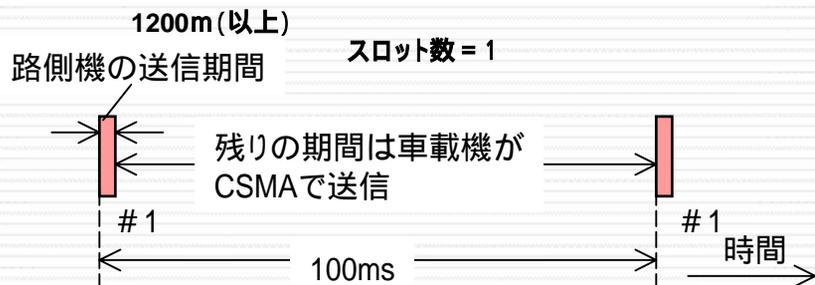
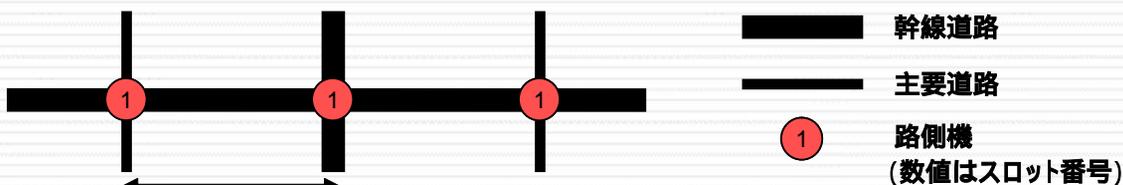
道路モデル

項目	条件	備考
道路条件		片側 1 車線 幅：10m 片側 2 車線 幅：38m 片側 3 車線 幅：50m
車両密集条件	<ul style="list-style-type: none"> 片側 1 車線：1 車線当り 16、30、44 台 / km 片側 2 車線：1 車線当り 23、43、63 台 / km 片側 3 車線：1 車線当り 23、43、63 台 / km 	

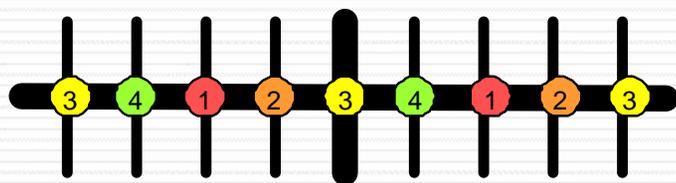
シミュレーション条件

シミュレータ	ns-2
電波伝搬損失モデル	ITU-R P.1411-4
路側配置	10種
アンテナ高	車載器:1.5m(車両)、 路側機:6m
周波数	720MHz
送信電力	19.2dBm
受信感度	-82dBm(QPSK)、-77dBm(16QAM)
キャリアセンスレベル	-85dBm
所要DUR	9dB(QPSK)、14dB(16QAM)
変調方式	車車間:QPSK ½、(16QAM ½) 路車間:16QAM ½
路側機からのデータ量	7000、(4000、1000)bytes
パケット長	車車間:100 bytes 路車間:1000 bytes
評価項目	積算パケット到達率

道路及び路側機の配置を考慮した総合的な特性を評価する

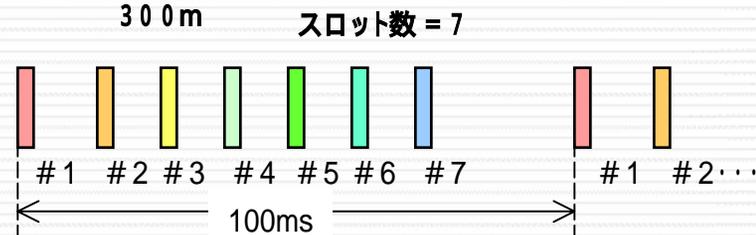
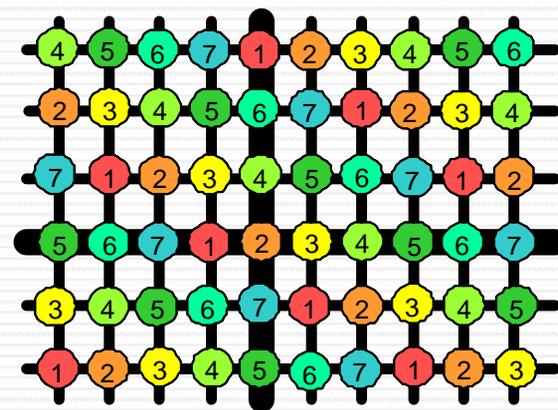


1) スポット配置



2) 線的配置

- ✓ 車車・路車共用方式の場合、隣接する路側機は異なる時間スロットを利用し、路側機送信パケットの相互干渉を避ける
- ✓ CSMA方式の場合は通常のキャリアセンスを行う



3) 面的配置

所要通信エリア端(*1)での積算パケット到達率(%)

< CSMA方式 >

【計算条件】

路側機配置 モデル	評価区間			
	路車間	車車間		
	5m	5m	10m	15m
スポット配置	83	97	100	100
線形配置	45	94	100	100
面的配置	29	93	99	100

- (*1)所要通信エリア:
路車:237.4m(最大カバーエリア長)
車車:84.7m(出会い頭衝突シーン)
- (*2)路側機からのデータ量:7000byte
- (*3)車両密度: 43台/km

< 車車路車共用方式 >

パケット到達率の要件が未達成の項目

路側機配置 モデル	路側機 スロット数	評価区間			
		路車間	車車間		
		5m	5m	10m	15m
スポット配置	1	100	96	100	100
線形配置	4	100	89	99	100
面的配置	7	100	78	95	99

車車路車共用方式を用いることで、路車間通信の要件はすべて満足し、車車間通信の要件も評価区間を10m以上にとればすべて満足する。

DENSO