

# 安全運転支援通信システムの 研究開発課題

株式会社 国際電気通信基礎技術研究所  
適応コミュニケーション研究所

# 内容

---

1. ATRにおけるこれまでの研究開発の紹介
2. 5.8GHz帯と700MHz帯の基本特性比較
3. 安全運転支援通信システムの研究開発課題
  - ① 実用化に向けた課題(初期バージョン)
  - ② 安全運転支援性能の向上および電波有効利用にむけた課題(次期バージョン)
4. おわりに

# ATRにおけるこれまでの研究開発の紹介

## 安全運転支援システム(出会い頭衝突事故, 右折衝突事故, 追突事故, …)における要求条件

### ■ 確実に相手車両にパケットを届かせること (高信頼性)

- ASV要件: サービスエリア内において 1パケット当りの到達率80%以上
- サービスエリア内におけるパケット到達率が 80%以上の場所の割合(場所率)が100%

### ■ 瞬時に相手車両にパケットを届かせること (低遅延性)

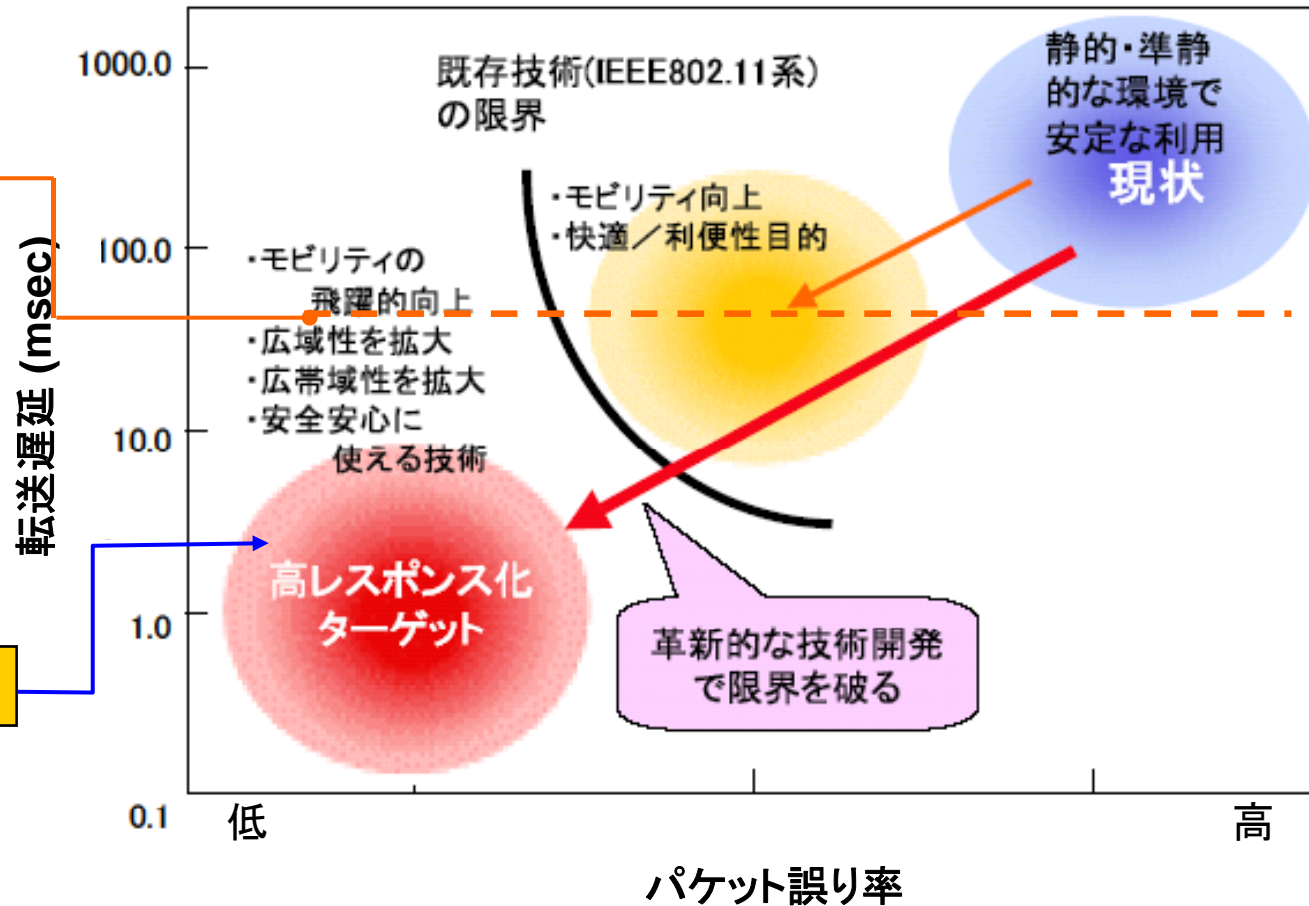
- できるだけリアルタイムで情報を届けるため、パケット送信から受信まで(エンドツーエンド)の パケット到達遅延時間が数ミリ秒以下

# 技術目標: 自律分散型車車間通信システムの低遅延化

**従来技術**  
無線LAN版車車間通信の遅延を**50 msec**以下に低減  
WAVE (IEEE 802.11pベース)  
日経BP記事 2008/07

↓  
**1ケタ以上の改善**

**ATR MM-SA方式**



**MM-SA: マルチキャリア・マルチコード・スプレッドアロハ**

# 車車間通信における従来のアクセス制御方式 — (CSMA/CA方式) の特長と課題

## 特長

CSMA/CA: Carrier-Sense Multiple Access/Collision Avoidance

- 無線LANで広く利用されており, 実現が容易
- トラフィックが比較的少ない場合に, 1つの帯域を複数の信号で共有できる

## 課題

- キャリアセンスにより空き時間を探して通信するため, トラフィックが混雑してくると送信が開始できない場合が増加, パケット到達遅延時間が増大(さらされ端末問題)
- 送信端末がキャリアセンスできない場所からのパケットによる干渉の回避が困難(隠れ端末問題)
- パケットが衝突した場合, 任意の待ち時間を設定して再送信するため, パケット到達遅延時間が増大
- 上記問題を回避するため, 伝送速度を向上しパケット長を短くすれば衝突確率は低減 ⇒ ただし, 帯域の利用効率は低下

## スプレッドアロハベース アクセス制御方式

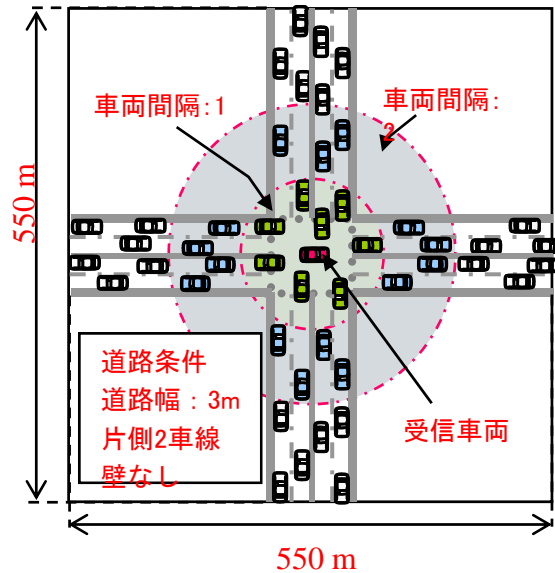
### 特長

- 拡散符号でチャネルを分割(直交化)することにより**パケット衝突確率が軽減**,  
さらされ**端末問題**, **隠れ端末問題が軽減**
- スペクトル拡散信号がもつ遠近効果により, 遠方から到達する信号は抑圧され,  
**近接した車両間のパケットがより確実に伝達**, 隠れ端末問題解決に寄与
- **待ち時間がない**ため, **パケット到達遅延時間がほぼパケット長のオーダーで決定**,  
高速なレスポンスが可能
- 相手車両との間に**他車がない場合は通常の伝搬**, 他車がいる場合はその  
車の中継転送(ホッピング)させれば, 相手車両に**確実にパケットが届く**(CSMA  
ベースよりは中継転送が容易)

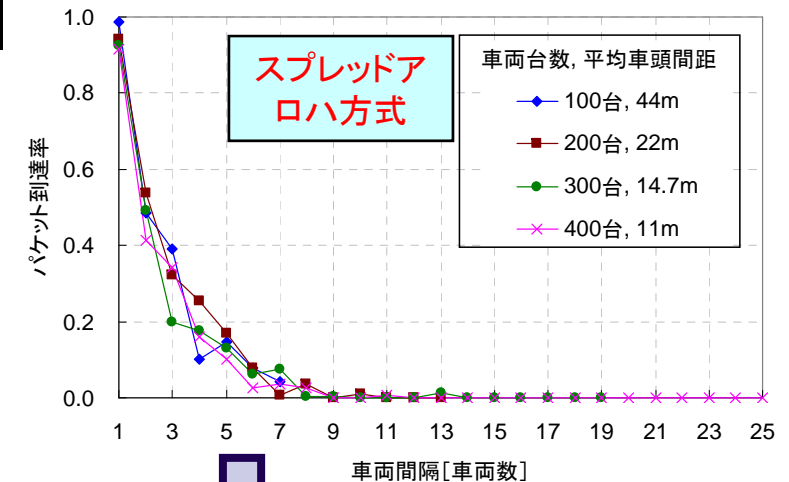
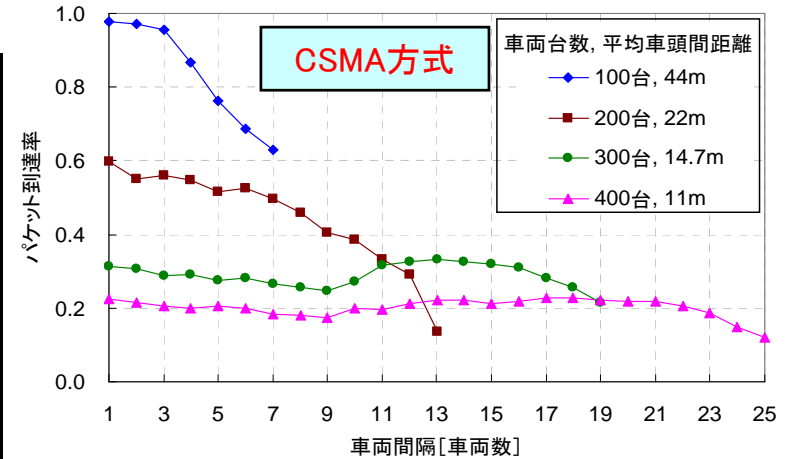
### 課題

- 中継転送方式の一般的な課題として, **無制限な転送はトラフィック爆発の原因**となる。(⇒無駄な転送を避けるためのアルゴリズムや送信タイミング制御の導入で回避可能)

# CSMAとスプレッドアロハの基本特性比較



シミュレーション条件	値
送信周期 (msec)	100
パケット長 (bit)	1112
拡散率 (倍)	7
誤り訂正符号	なし (CDMA) ターボ符号 (CSMA) (符号化率 1/3)
転送制御	なし
伝搬路モデル	自由空間ロス



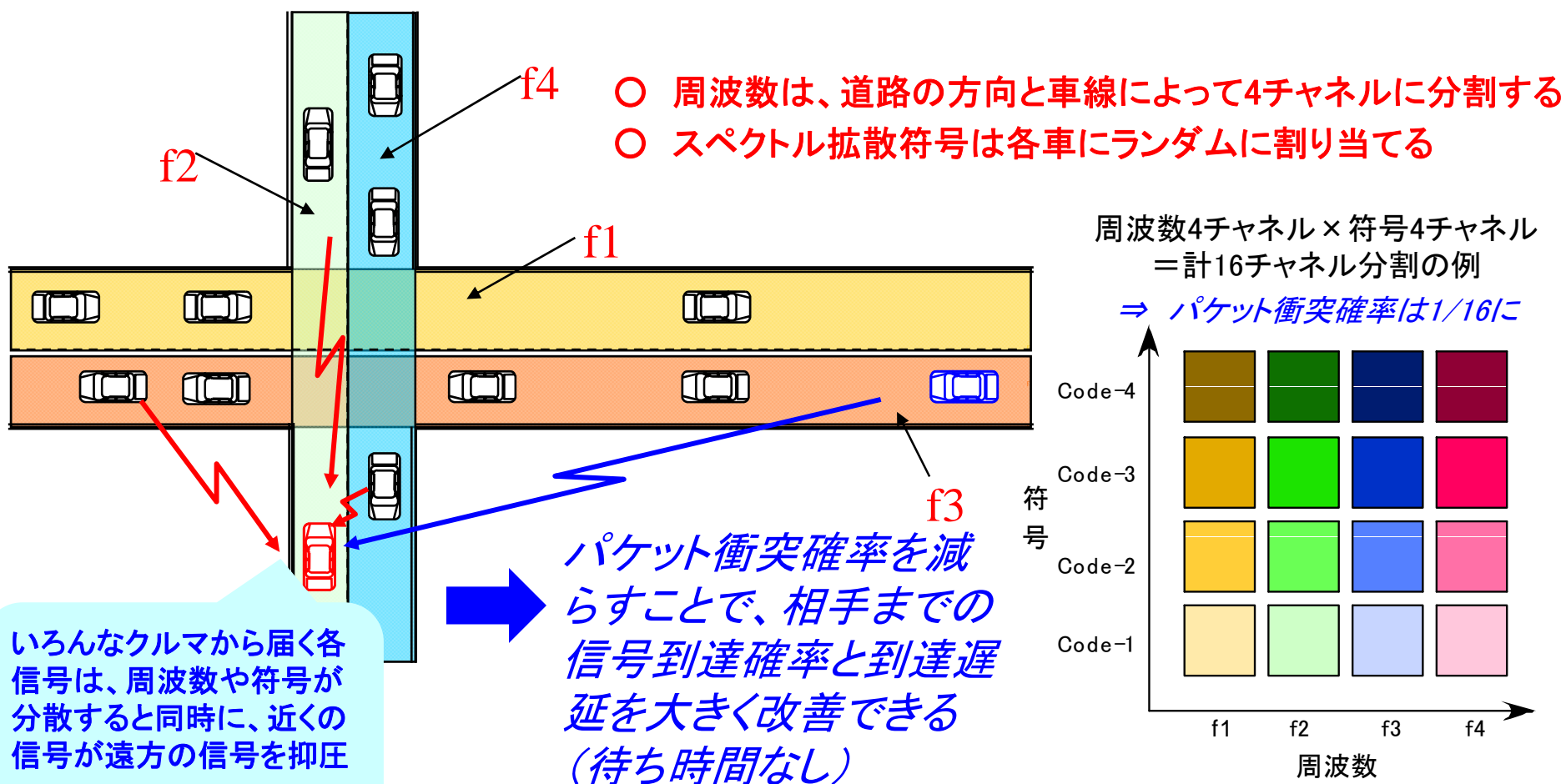
- CSMA
  - パケット到達率が車両台数に依存
- スプレッドアロハ
  - パケット到達率が車車間の相対位置に依存
  - 車両台数には依存しない

- ・近隣車両間の情報交換が重要
- ・遠くの車両の影響を受けない

# MM-SA方式

## Multi-carrier Multi-code Spread ALOHA

周波数分割とスペクトル拡散技術を併用して無線チャネルを分割し、パケット衝突を軽減するとともにレスポンスの高速化を図る





# シミュレーションによる性能評価

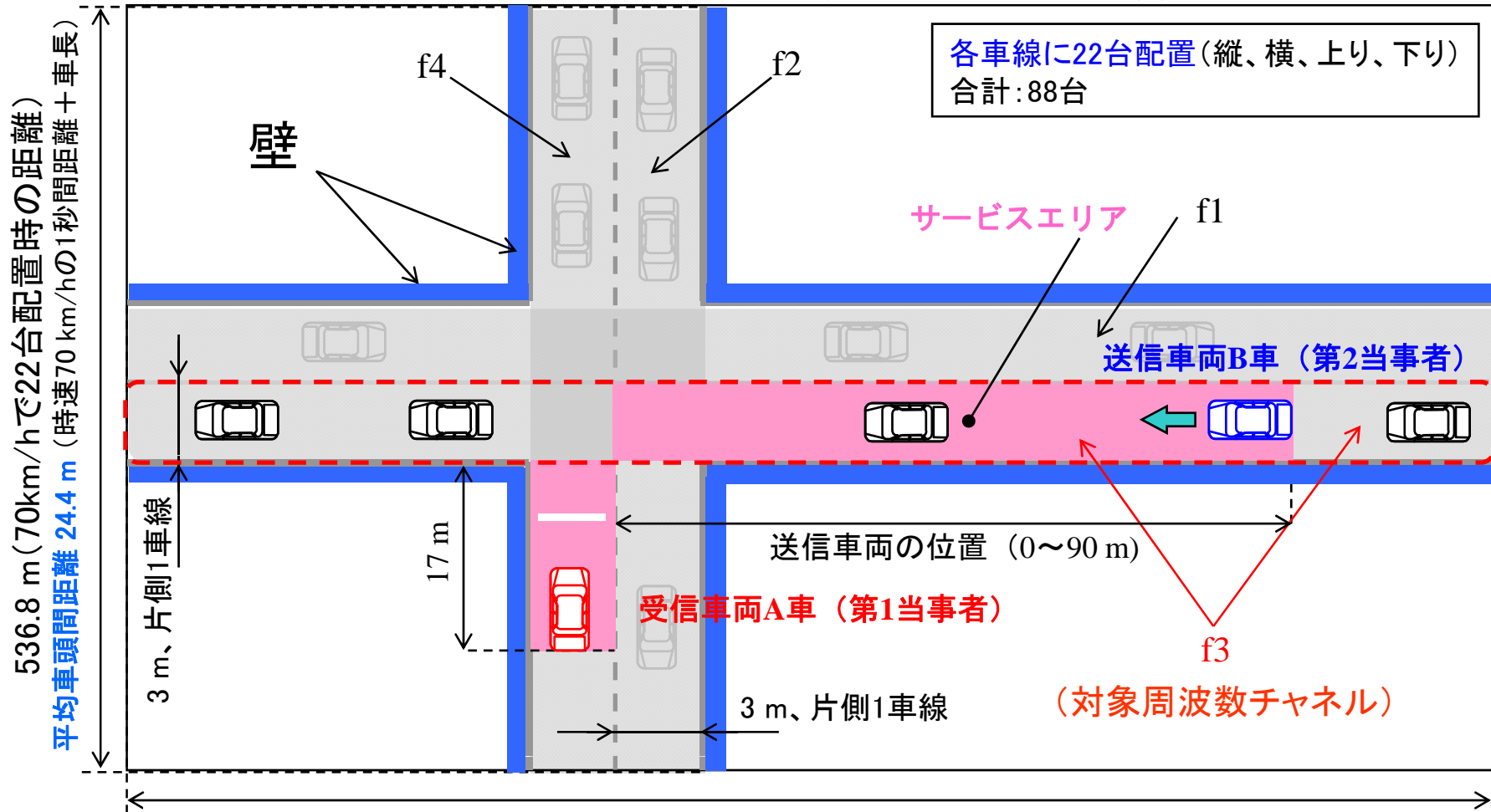


送信車両  
(第2当事者)



受信車両  
(第1当事者)

出会い頭衝突防止アプリケーション  
(ASV※モデルより)



536.8 m (70km/hで22台配置時の距離)

平均車頭間距離 24.4 m (時速70 km/hの1秒間距離+車長)

※ASV (Advance Safety Vehicle): 先進安全自動車  
国交省が自動車業界とともに検討を進めている

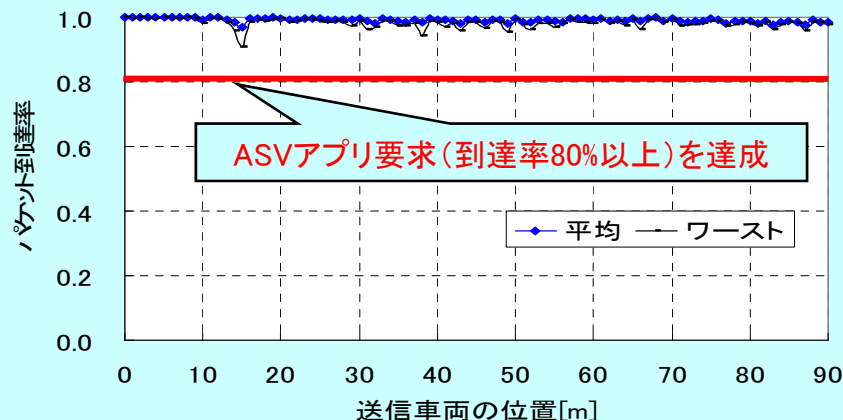
# シミュレーション条件

シミュレーション条件	値	備考
周波数帯	5.8GHz帯	RC005準拠
送信電力 (mW)	10	RC005準拠
変復調方式	$\pi/4$ shift DQPSK方式	RC005準拠
チップレート (Mcps)	2.048	
拡散率(倍)	1, 7, 15	拡散符号: Gold符号
伝送速度 (kbps)	4096, 585, 273	
周波数チャンネル数	4ch	縦車線/横車線/上り車線/下り車線で別チャンネルを割当 中心周波数: 5780 (D6), 5790 (D4), 5820 (U6), 5830 (U4) MHz
誤り訂正符号	なし	
パケットサイズ (bit)	1112	パケット長(誤り訂正なし)
送信間隔 (msec)	100	RC005準拠
転送方式	エリアベース方式	転送エリア(前方100m)、重複パケット廃棄、生存期間(100msec)
送信タイミング制御	直近の前方車両特定	直近の前方車両と送信タイミング制御を行なう
車両台数(台)	88、176	送信周期100msec、時速70km/h相当時のASVアプリ要求台数88台 (平均車頭間距離 = 24.4 m (時速70km/hの1秒間距離+車長))
電波 伝搬 モデル	伝搬路モデル	レイトラッキング法
	反射回数(回)	5
	回折回数(回)	1
	壁面条件	コンクリート
車両配置エリア	536.8 m × 536.8 m	平均車頭間距離24.4 m(時速70km/hの1秒間距離+車長)

# パケット到達率・遅延評価

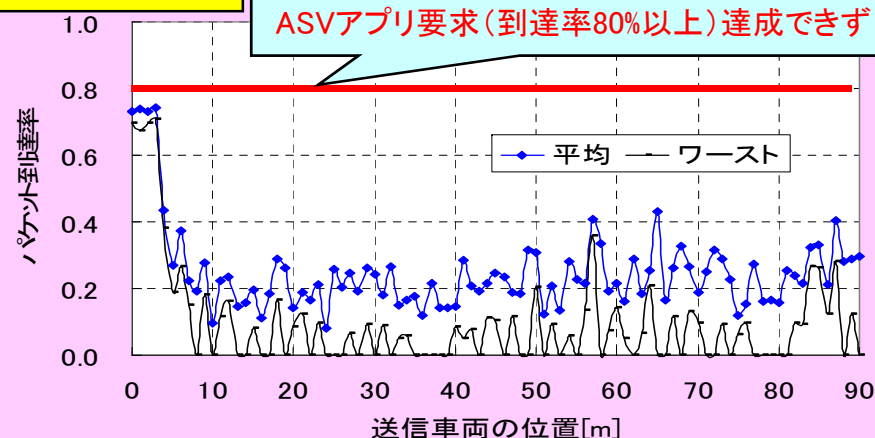
## MM-SA方式

### パケット到達率



## 無線LANベース(CSMA/CA方式)

### パケット到達率

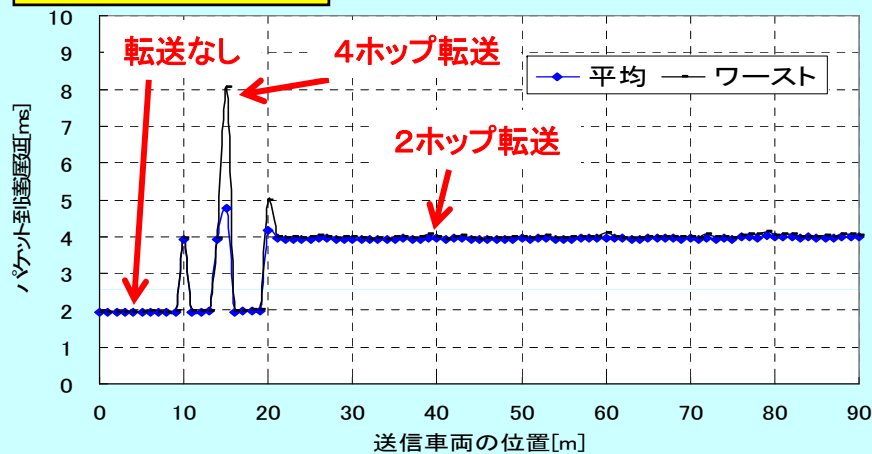


※ 「パケット到達率80%以上」

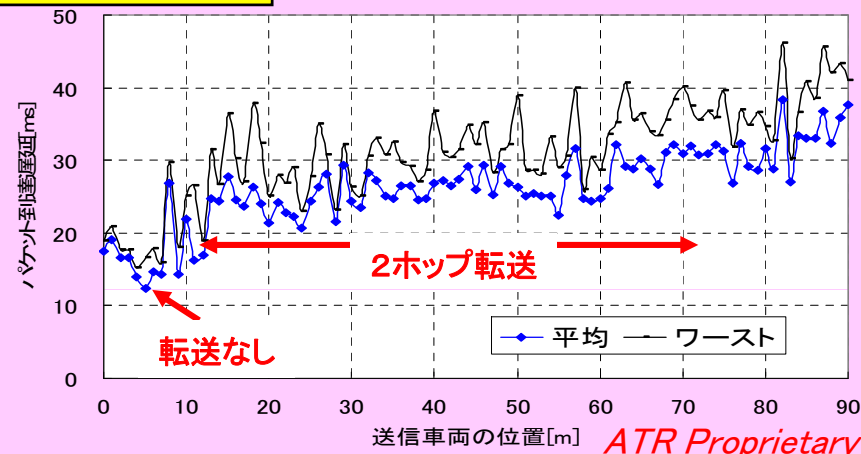
= パケットを2回連続送信した時、少なくともどれかが到達する確率 96%以上 (時速70kmで走行する車が進む距離=4m)

= パケットを3回連続送信した時、同確率 99.2%以上 (同 距離=6m)

### パケット到達遅延



### パケット到達遅延



# MMSA方式と従来方式（CSMAベース）の比較のまとめ

## 実際の交通環境

電波到達範囲における  
車両台数の増大

隠れ端末問題

### 従来方式

(CSMAベース)

車両台数が増えると待ち時間増大

事故に関係する直近の車両間  
でのパケット到達率が低下

遅延保証が必須ではない  
アプリに適す

### MMSA方式

ほとんど待ち時間なしで送信可

直近の車両からのパケットを取りこぼさない(SSの効果)

遠方の車両からのパケットは


- 間に車がない場合: 通常の伝搬
- 間に車がある場合: その車が中継※  
(中継しても遅延時間は従来の1/10以下)


安全アプリが要求する信頼性条件を満たす可能性高い

※ RC-005、RC-006では車車間通信における転送は行わない

## 5.8GHz帯と700MHz帯の基本特性比較

	5.8GHz帯	700MHz帯
電波の到達範囲	小	大
利用可能帯域	5MHz × Nチャネル (DSRCバンドを想定)	10MHz (前後5MHzずつのガードバンド除く)
隠れ端末数、さらし端末数 (CSMAベースの場合)	中	大 (広範囲に分布)
ARIB実験用ガイドライン	RC-005	RC-006

- 
- 高密度な環境での近距離を中心とした高信頼・低遅延なシステムが構築可能。
  - 近接した車両間における信頼性・遅延特性にクリティカルな安全運転支援アプリに適す。

- 
- 中・長距離を中心とした広域システムが構築可能。
  - 比較的信頼性・遅延特性に自由度がある安全運転支援アプリおよび快適系アプリに適す。
  - 隣接チャネル間干渉問題の解決が必要

どちらか一方のバンドのみで安全運転支援アプリの要求をすべて満足することは困難。シミュレーション評価、実験評価をすすめ、路車間・車車間連携も含め、各バンドの最適な活用方法を検討する必要あり

# 700MHz帯における隣接チャネル干渉

参考: 平成19年度ITSフォーラム車車間通信システム専門委員会無線方式検討WG活動報告(平成20年3月31日)

なお、引き続きITSフォーラムにおいて詳細調査中

## 干渉経路

地上デジタル放送(～710MHz)

TV受信機  
(家庭用TV、車載TV、ワンセグ携帯など)

放送局  
(親局、中継局、キャップファイバーなど)



ITS車載端末

715-725MHz

(前後各5MHzにガードバンド)

携帯電話システム(730MHz～)

携帯電話端末機  
(車内での使用など)

携帯電話基地局  
(マクロセル、マイクロセル)

## 干渉種類

- 与干渉機の不要波成分(スプリアス)による干渉
- 被干渉機の受信帯域外の強い受信信号による干渉
- 被干渉機のイメージ周波数成分の受信による干渉

## 研究開発課題の検討にあたって前提とするシナリオ

- ① 2012年に実現可能な仕様で実用化・運用開始（初期バージョン）
  - 実用化までに必要な研究開発を早急に進める
  - システム導入の効果の検証と次世代バージョンに向けた課題を明確化
- ② 上記①の実用化と並行して、次期バージョンの研究開発を並行して実施
  - 安全運転支援性能の向上（高負荷にも対応）
  - 電波の有効利用
- ③ 適切な時期に、より高い安全運転支援性能および電波利用効率を実現する次期バージョンに切り替え

# 実用化にむけた研究開発課題の例（１）

## （5.8GHz帯、700MHz帯）

### 安全運転支援アプリの要求を満足するアクセス制御方式の研究開発

- 海外方式（CSMAベース）ではまだ安全運転支援アプリ要求を満足する規格がない
  - 当初は通信トラフィックは少ないと想定し、まずはCSMAベースで実用化
  - ARIBではCSMAベースで実験用ガイドライン作成中
- CSMA干渉対策技術（隠れ端末対策、タイミング同期方式、送信タイミング制御方式など）
  - 路車間用の方式、車車間用の方式、車路車間の方式およびそれらの連携技術
  - 中継転送を導入する場合は、トラフィックの爆発を回避する効率的な転送方式
  - 初期バージョンから次世代バージョンへの切り替えを考慮したシステム構成技術



## 実用化にむけた研究開発課題の例（２） （700MHz帯）

### 隣接チャネル干渉対策技術

#### （地上デジタル放送、携帯電話）

- 現在ARIBにて隣接チャネル干渉レベルおよび対策技術を調査中
- 特にスプリアス発射、感度抑圧による干渉が深刻
- ガードバンドは各5MHzのままを想定
- 実用化当初は10MHz以下の狭帯域での使用も検討
- スプリアス発射低減技術（送信フィルタ、増幅器の線形補償、階層化変調など）
- 感度抑圧低減技術（受信フィルタ）

干渉レベルが極めて高い場合（例えば50dBなど）、上記技術では対応困難。  
場所による停波、サービス中断などもやむなしとなる可能性あり。

また、地上デジタル放送側、携帯電話側にも与干渉低減を要望していく必要あり。

## 安全運転支援性能の向上および電波有効利用（次期バージョン）に向けた研究開発課題の例（1）

### 高負荷環境でも安全運転支援アプリ要求を満足でき帯域の有効利用を可能とするアクセス制御技術の研究開発

- 車載端末や路側設備の普及、さらには歩行者端末も含めた車車間・路車間・歩車間通信など将来のトラフィックの急増に備え、CSMAの帯域利用効率の限界（隠れ端末、さらされ端末、バックオフ時間）を超える高負荷対応低遅延アクセス制御方式。同じ帯域での時間軸方向のリソースの利用効率、多重数の大幅改善が必須。
- 正確な車両位置情報により誤警報を回避し、アクセス制御の効率化を図るための高精度位置測定技術。（1m以内の位置精度を得るための高精度GPS利用技術、準天頂衛星利用技術、高精度ジャイロ技術）

## 安全運転支援性能の向上および電波有効利用（次期バージョン）に向けた研究開発課題の例（2）

### ガードバンド縮小化技術の研究開発（700MHz帯）

- 5.8GHz帯と700MHz帯の連携活用技術  
（例：TV送信局の近傍では5.8GHz帯に自動切り替え）
- 適応スプリアス干渉回避技術  
（例：スプリアス干渉を検出し通信帯域を変更）
- フィルタ技術およびアンテナ指向性による干渉軽減技術  
（例：できるだけ車載アンテナ指向性を水平面近傍に集中する。放送局、基地局など高いアンテナ高をもった干渉局による干渉を緩和。）

### その他の研究開発課題

- マルチパス活用技術（例：MIMO、Rakeなど）
- エコ運転（隊列走行、渋滞回避など）や高齢者運転支援応用のための車車間通信における帯域有効利用技術

## おわりに

- 実用化当初は通信トラフィックはそれほど多くなく、通信の輻輳はあまり問題にならないが、普及が進むにつれ、通信の信頼性、レスポンス性が低下する懸念。
- とくに700MHz帯は伝搬距離が長い分、影響が深刻。比較的レスポンス条件の厳しくないアプリに適す。
- 5.8GHz帯は近接車両間を中心としたレスポンス条件の厳しい安全運転支援アプリに向いているが、遮蔽の影響を受けやすい。
- どちらか一方のバンドのみで安全運転支援アプリの全ての要求を満足するのは厳しく、両バンドをアプリケーションの要求条件に応じて有効に活用することが妥当。
- 実用化と並行して高負荷環境にも耐えうる低遅延かつ電波を有効利用する次期バージョンへ向けた研究開発の継続が必要。
- 初期バージョンから次期バージョンへスムーズに移行するための仕組みが必要。