

安全運転支援のための車々間通信 ～高密度端末環境でのアクセス方式～

情報通信研究機構/ATR適応コミュニケーション研究所

三浦 龍

ATR適応コミュニケーション研究所

小花 貞夫

内容

1. 研究開発の目標
2. CDMAをベースとしたアクセス制御方式の特徴
 - － CSMA/CAと比較して
3. 高レスポンス車車間通信方式MM-SA
4. 歩車間通信におけるアクセス方式
5. おわりに

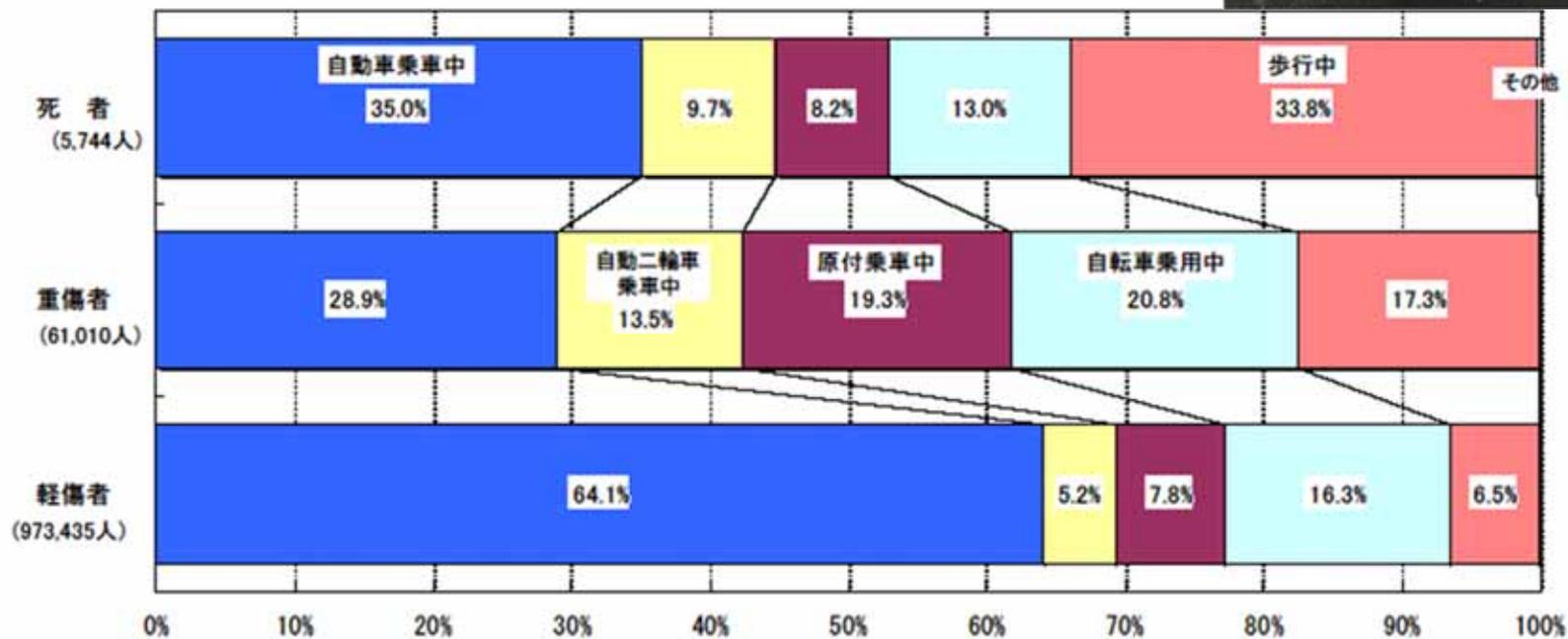
1. 研究開発の背景と目標

背景

IT新改革戦略【IT戦略本部、平成18年1月】

世界一安全な道路交通社会をめざして

目標:2012年末の年間交通事故死者数5,000人以下を達成
(現在 約7,000人／年)

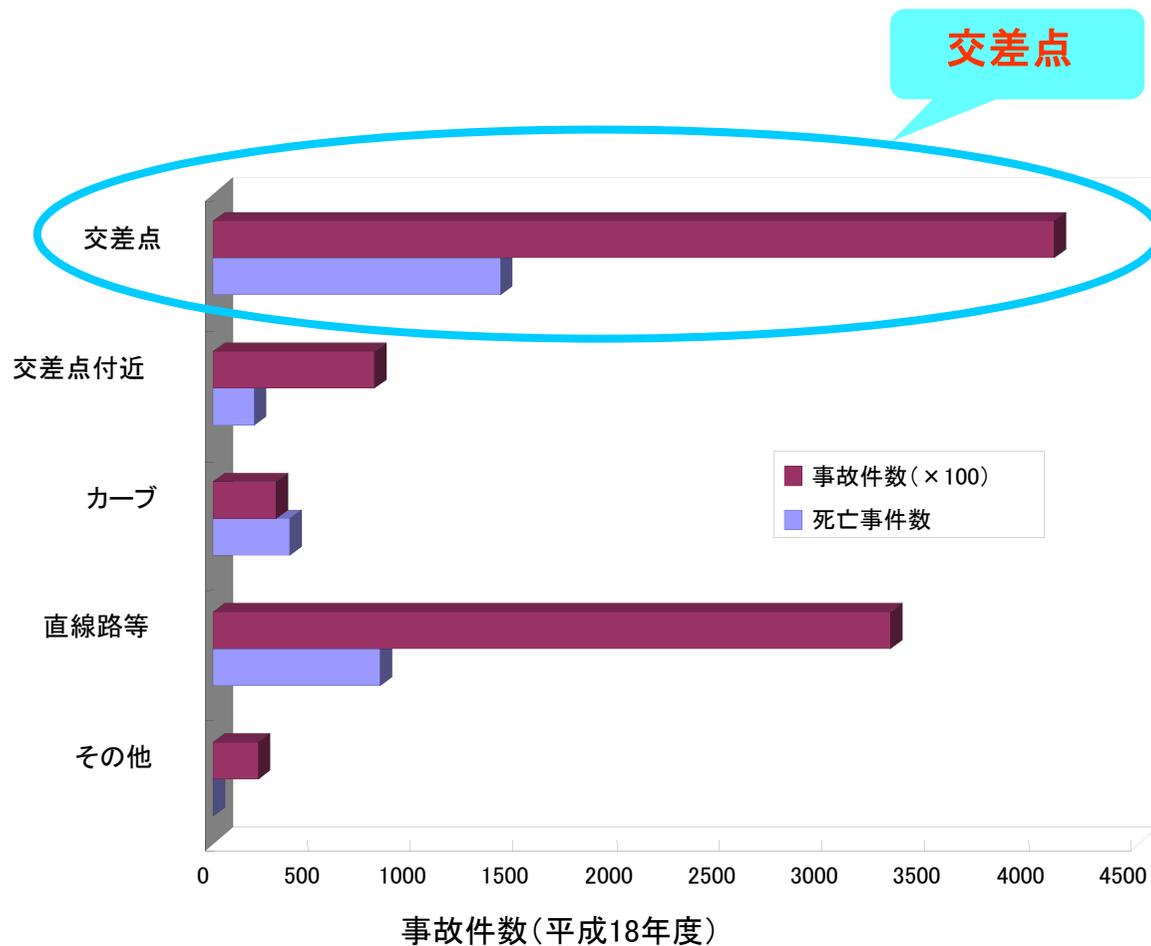


警察庁ホームページ

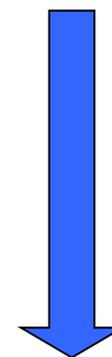
警察庁交通局 平成20年2月27日

「平成19年度中の交通事故の発生状況」から抜粋

交通事故発生場所と事故原因



事故原因：
運転手の
「発見」「判断」「操作」の遅れ
が原因の大半

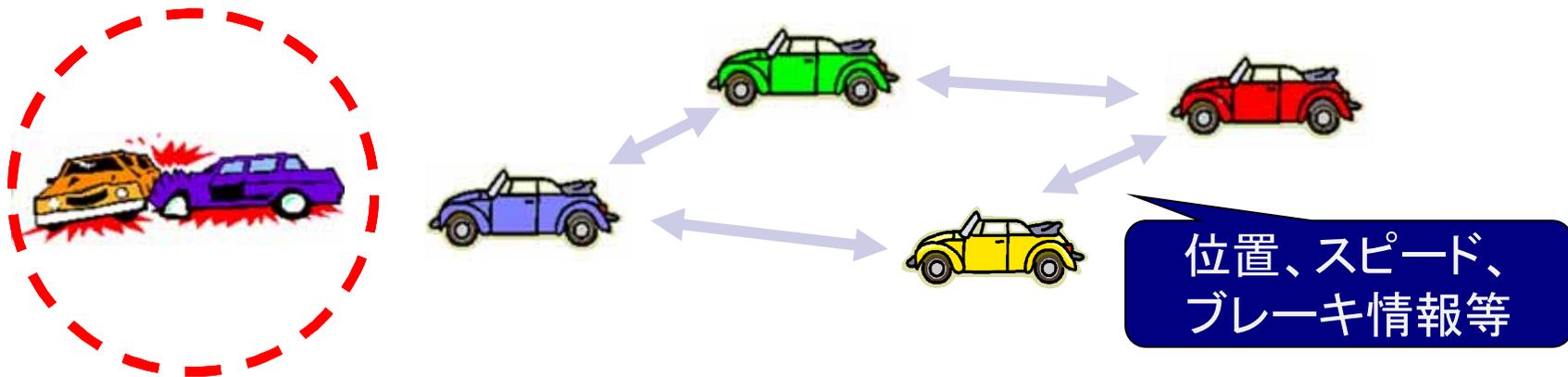


車車間通信は有力な解決手段
のひとつ

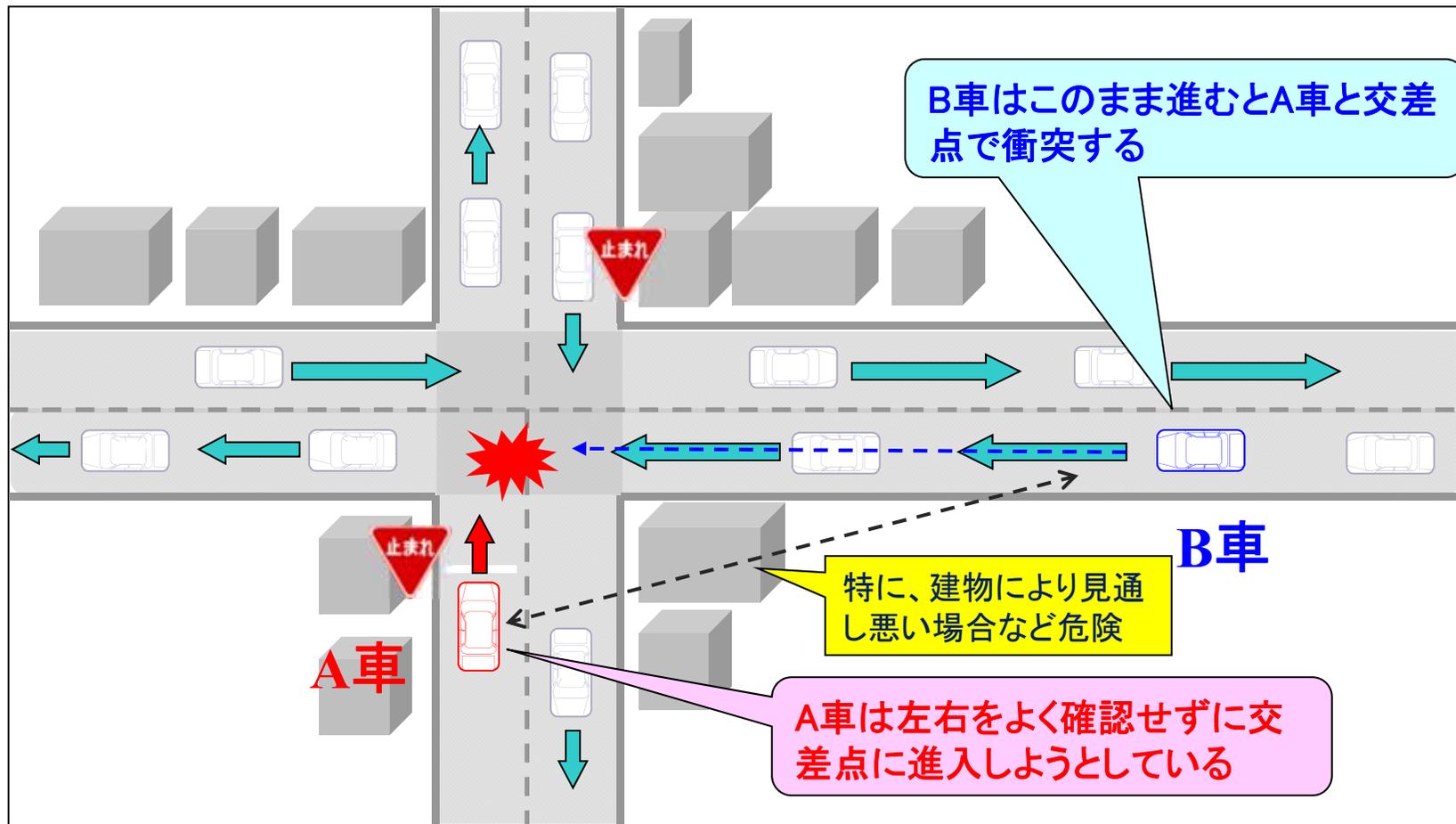
交通安全マップ(<http://www.kotsu-anzen.jp>)
の事故集計情報を引用

高いレスポンス性と信頼性を備えた移動体端末間のマルチホップ自律無線通信システム

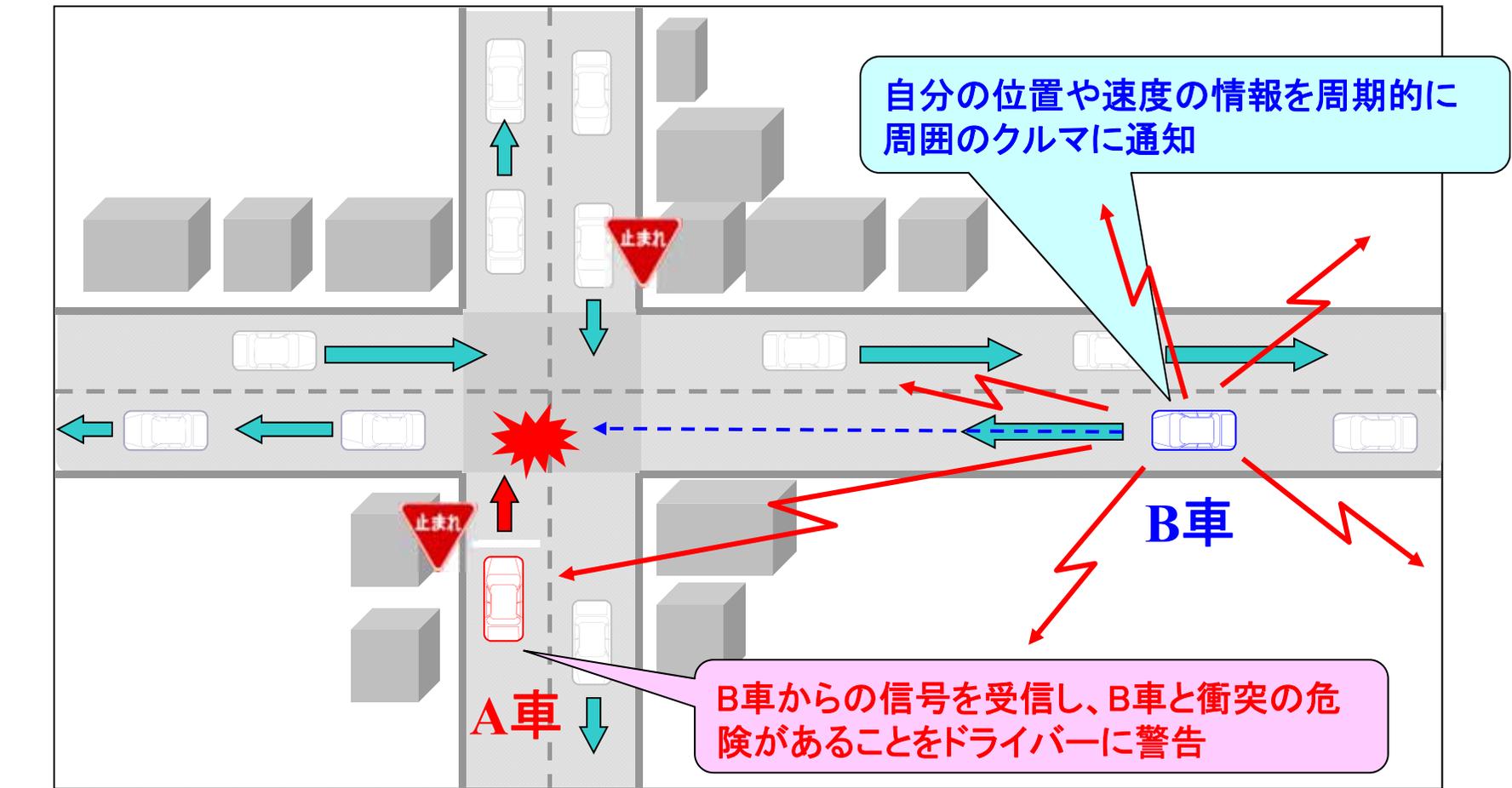
- 安全運転を支援するための車々間通信への応用を想定
- 従来技術(CSMA/CA方式)では高い車両密度環境への対応が困難



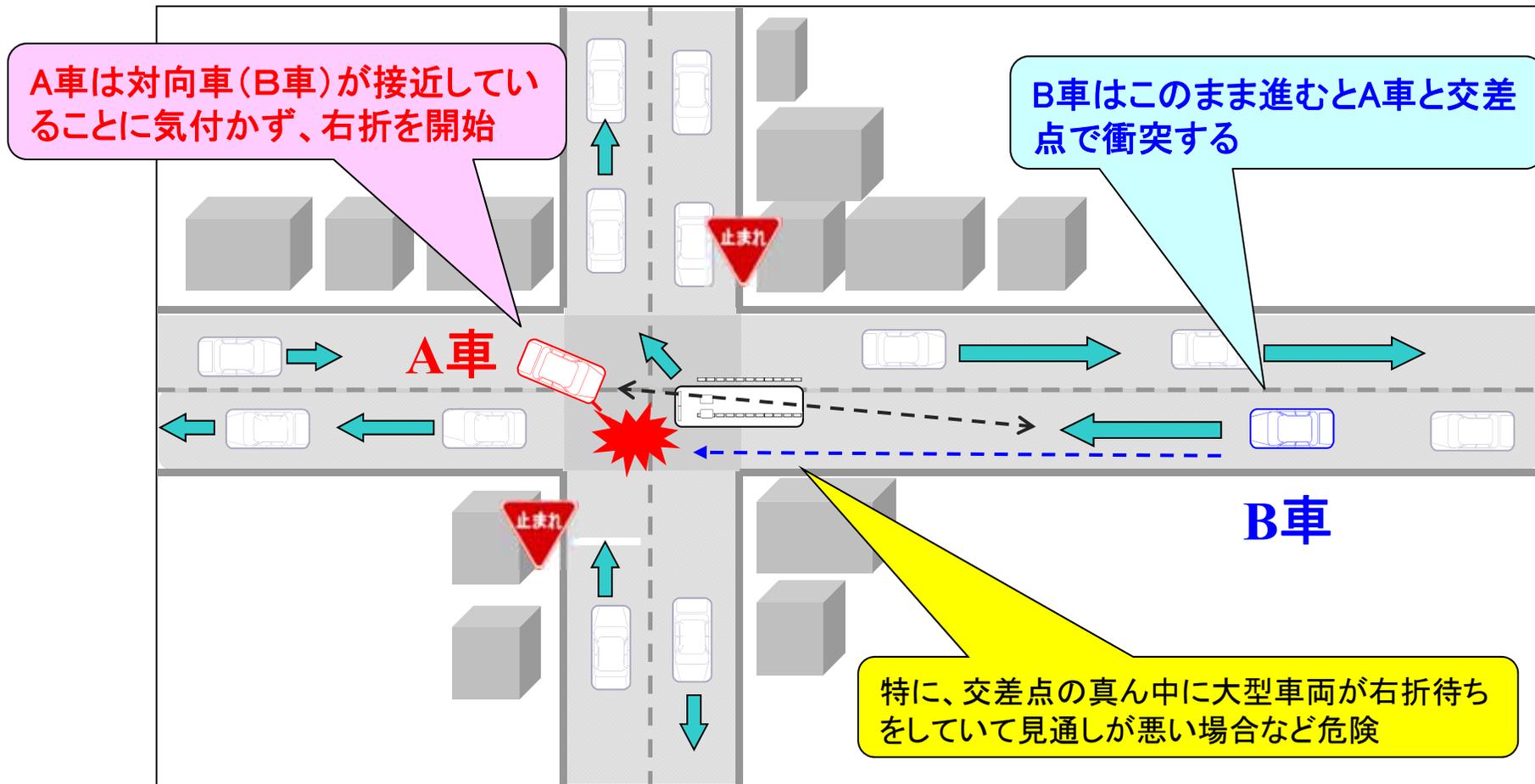
交差点での出会い頭衝突



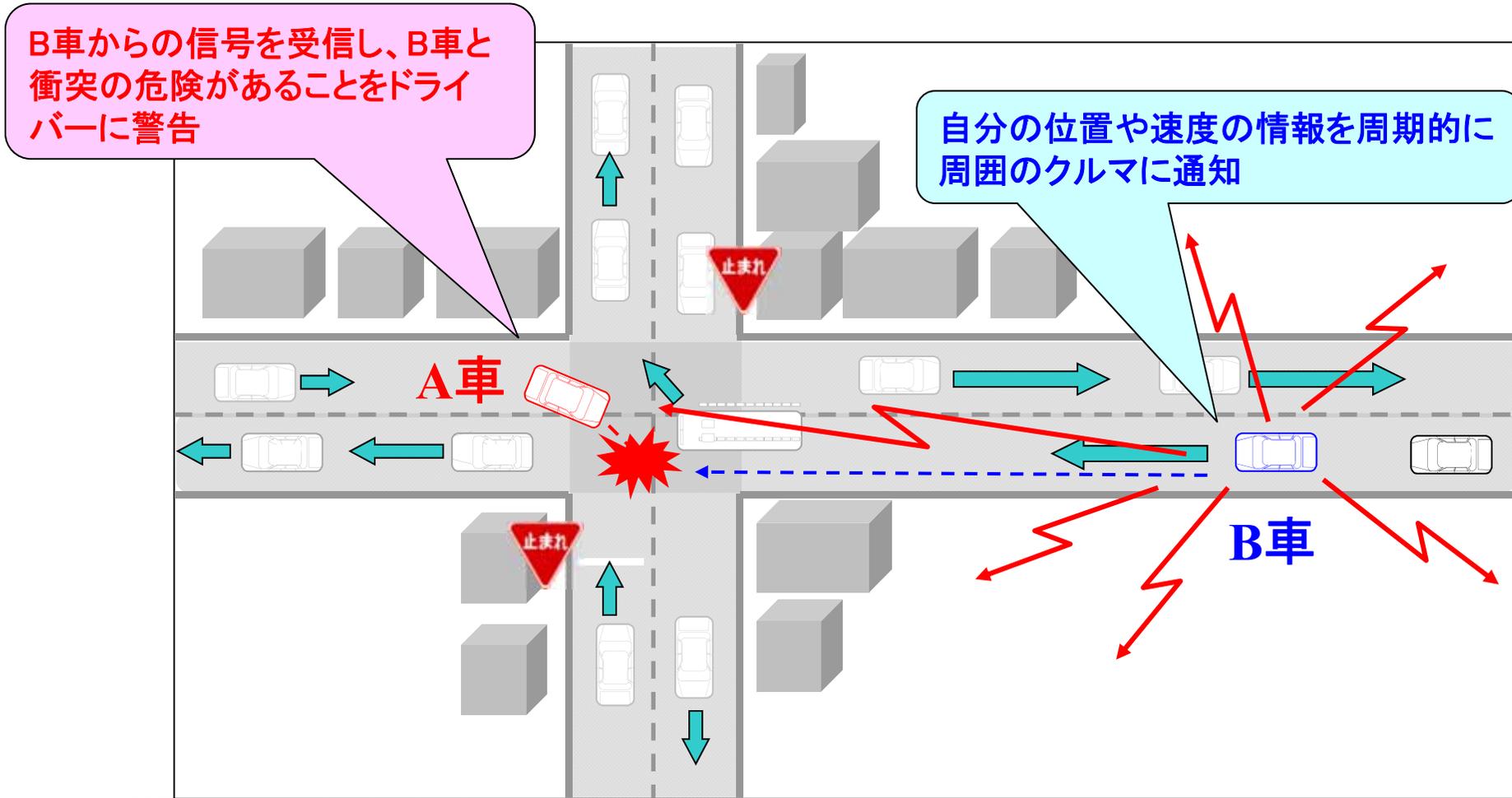
車車間通信による出会い頭衝突防止シナリオ



交差点での右折衝突



車車間通信による右折衝突防止シナリオ



車車間通信の標準化動向

欧米: IEEE 802.11p/1609-WAVE

MAC 方式: CSMA/CAベース

周波数: 5.9 GHz 帯 (10 MHz × n ch)

- 米国と欧州はIEEE802.11p/1609の採用を検討。
- 安全運転支援のための具体的な通信要件は規定されていない。

日本: ITS情報通信システム推進会議

実験用ガイドライン(RC-005/RC-006)

MAC 方式: CSMA/CAベース

周波数: (RC-005) 5.8 GHz 帯 (4.096 MHz × 14 ch)

(RC-006) 700 MHz 帯(10 MHz × 1 ch)

- ASV(*)において安全運転支援のための通信要件を詳細に規定。
- IEEE802.11p と一部技術を共通化。
- 国内での標準化作業は進行中。

研究開発がめざす性能目標

- 多数の車両が自律分散的にパケット送信する環境
- 建物などによる遮へいやマルチパスフェージングが発生する環境

において、

■ 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(レスポンス時間)が数ミリ秒以下



CSMA/CA以外のアクセス方式によるアプローチ

…にチャレンジ

従来技術

CSMA/CA方式がベース

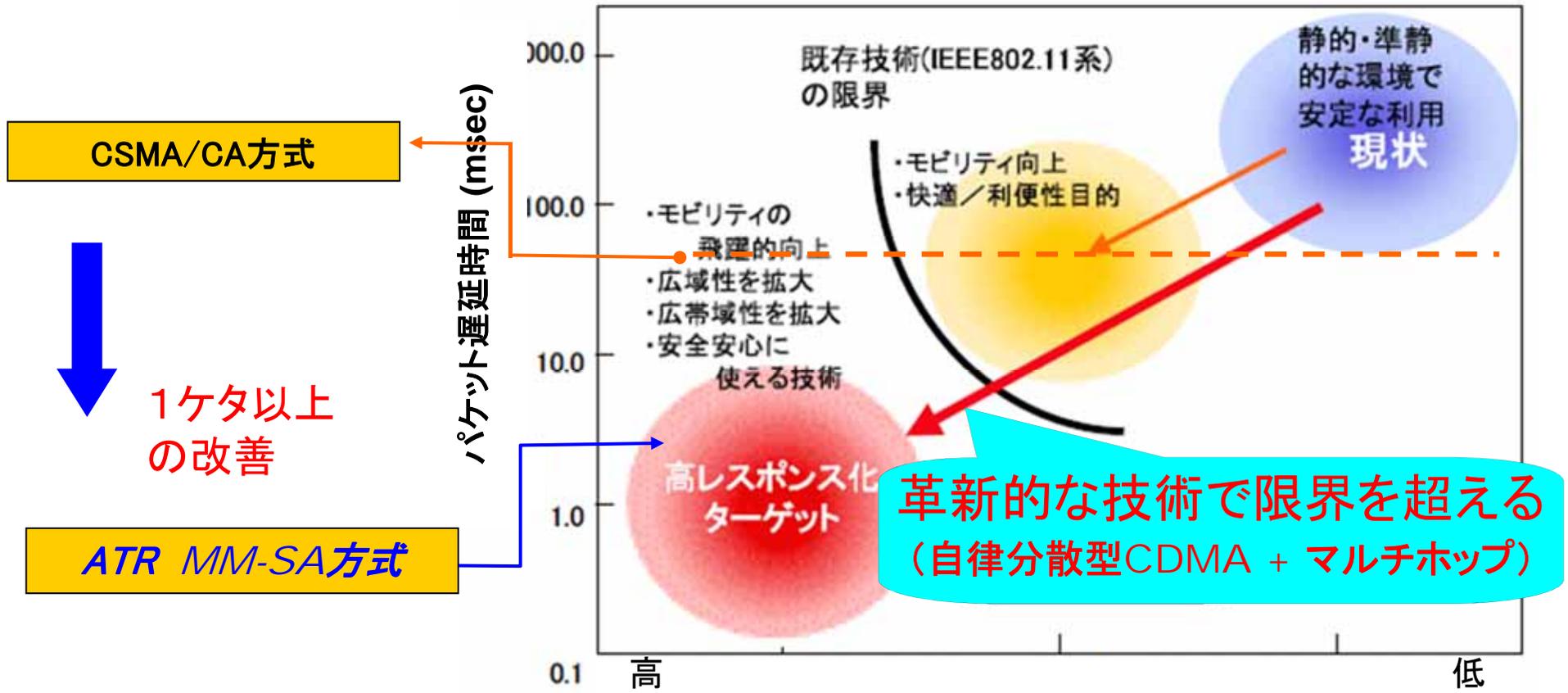
- 無線LANに広く利用 (IEEE802.11)
- キャリアセンスに基づくアクセス制御
- 高密度端末環境では遅延時間やパケット到達率の特性が低下

開発した技術

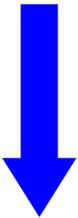
自律分散型 CDMA方式がベース
(送信電力制御なし)

- CDMAをベースに、周波数チャネル制御、パケット転送制御、送信タイミング制御の技術を開発、効果的に組み合わせ — 「マルチキャリア・マルチコード・スプレッドアロハ (MM-SA)方式」と呼称
- マルチホップ転送制御との親和性が高い
- 高密度端末環境での遅延時間とパケット到達率が著しく改善
- 次世代の車々間通信方式として、国内標準化活動に反映

車車間通信システムの低遅延化と高信頼性化の両立



CSMA/CA方式



1ケタ以上の改善

ATR MM-SA方式

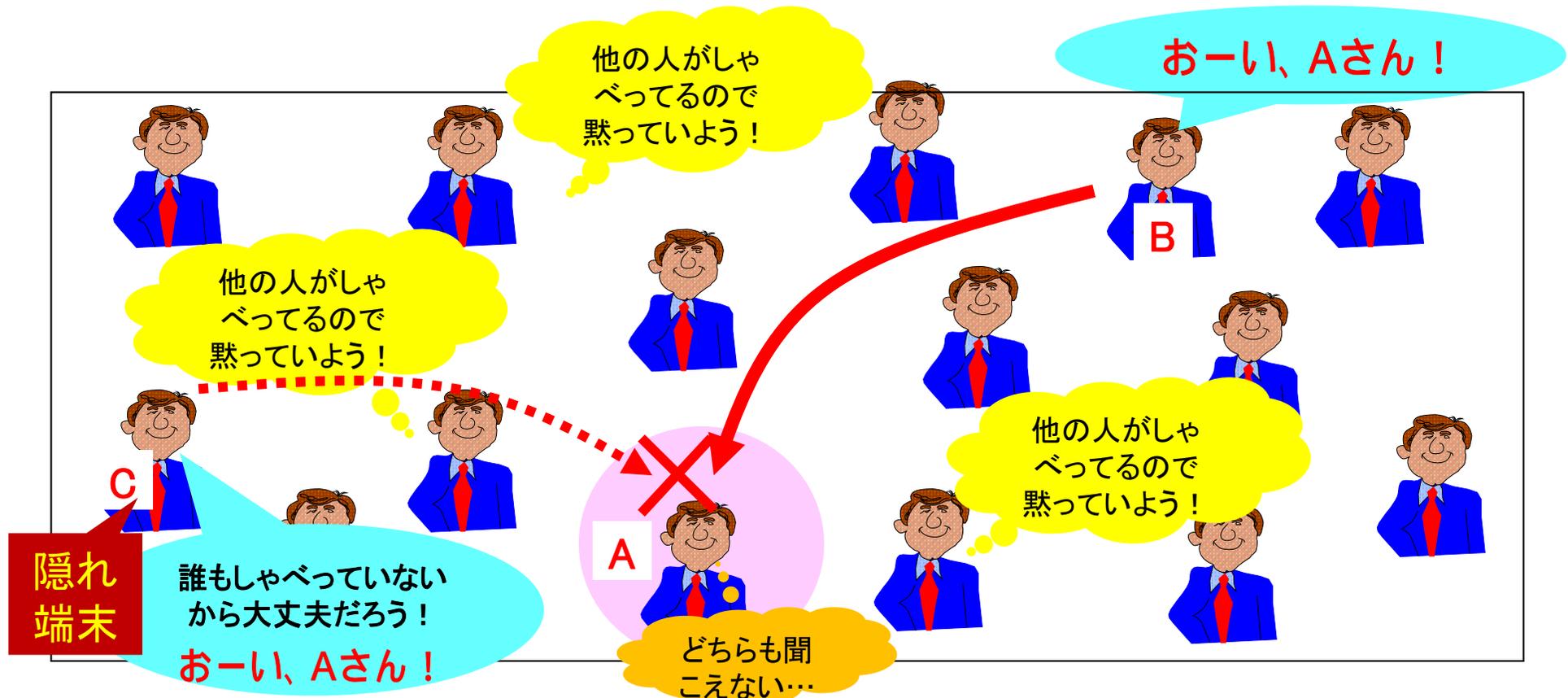
対象サービスエリア内
で80%以上を実現 ← パケット到達率

MM-SA: マルチキャリア・マルチコード・スペルッドアロハ
(CDMAをベースとしたアクセス制御方式)

2. CDMAをベースとした アクセス制御方式の特徴

- CSMA/CAと比較して

従来方式がベースとするCSMA/CAの原理

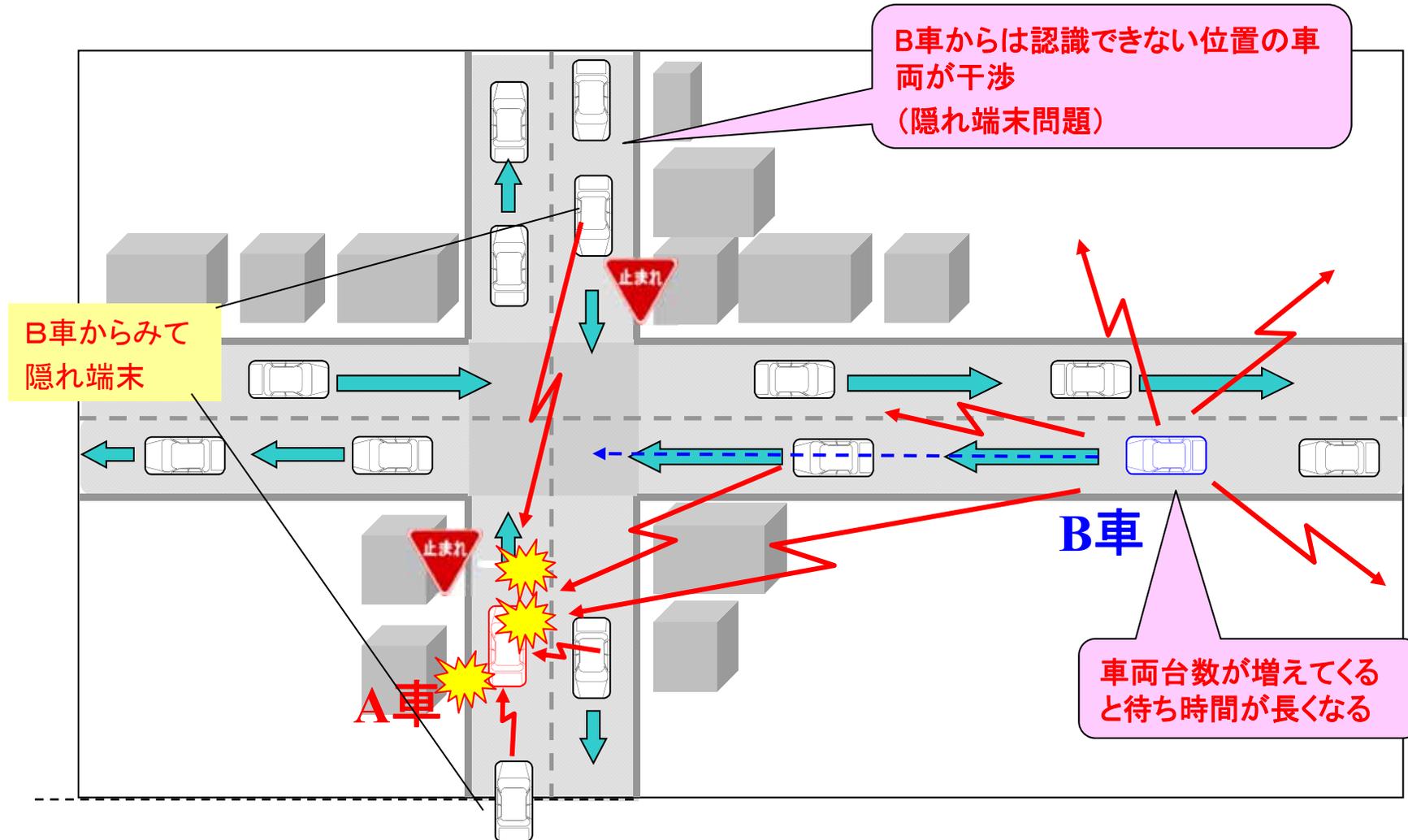


1つの広い部屋を多人数で使用するイメージ(全員が日本人で、日本語を喋る)

- 喋る前に「耳を澄まして」誰も喋っていないか確認する。
- 誰も喋っていなければ喋る。
- みんなが同時に喋らない。

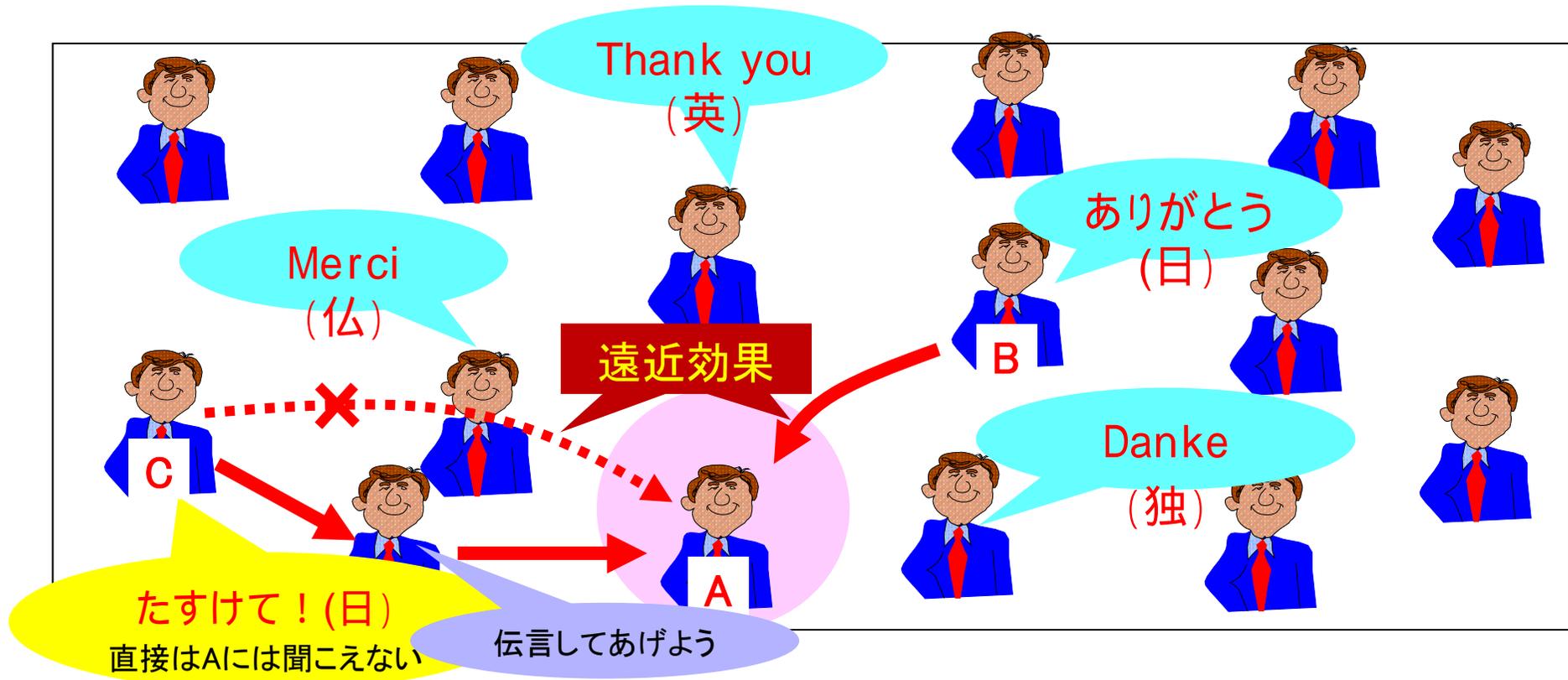
- 人数が増えてくるとなかなか喋れるタイミングがない。沢山待たないといけない。
- 近くの人と喋る場合も待たないといけない。
- 互いに離れた別々の人(BとC)が同時に喋ってしまい、どちらも聞き取れなくなってしまうことがある。

CSMA/CA方式車車間通信の問題点



周辺車両台数が増えて負荷が高くなると、パケットどうしの衝突や信号の到達に大きな遅延が発生し、事故に間に合わない！

提案方式がベースとするCDMAの原理

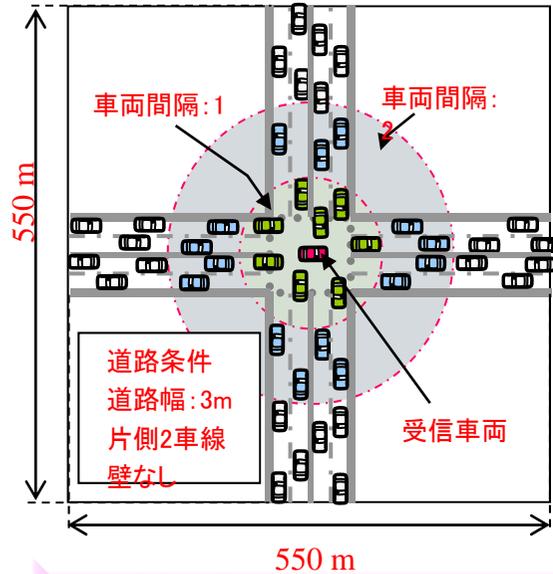


1つの広い部屋を多人数で使用するイメージ(A,B,Cが日本人、他の人は別の言語)

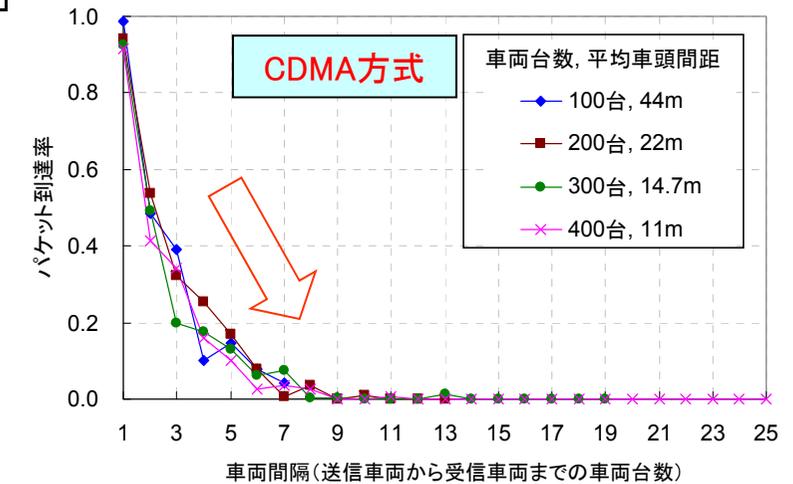
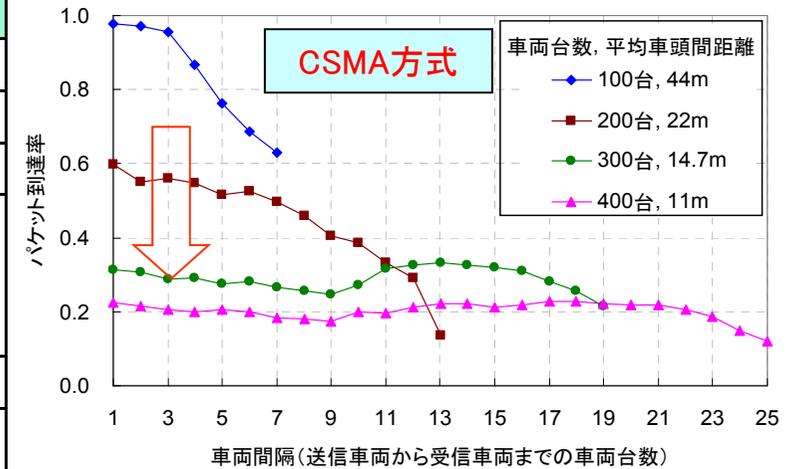
- 喋りたい時は、待つことなくいつでも喋れる。
- 言語が違えば、同時に喋られても聞き分けられる。
- 人数が増えても近くの人とは必ず喋れる。
(遠近効果の活用)

- 近くの人が喋ると遠くにいる人(C)の声が聞こえない。
=> 近くの人が伝言してくれると遠くの人とも喋れる。

CSMAとCDMA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 (見通し伝搬)

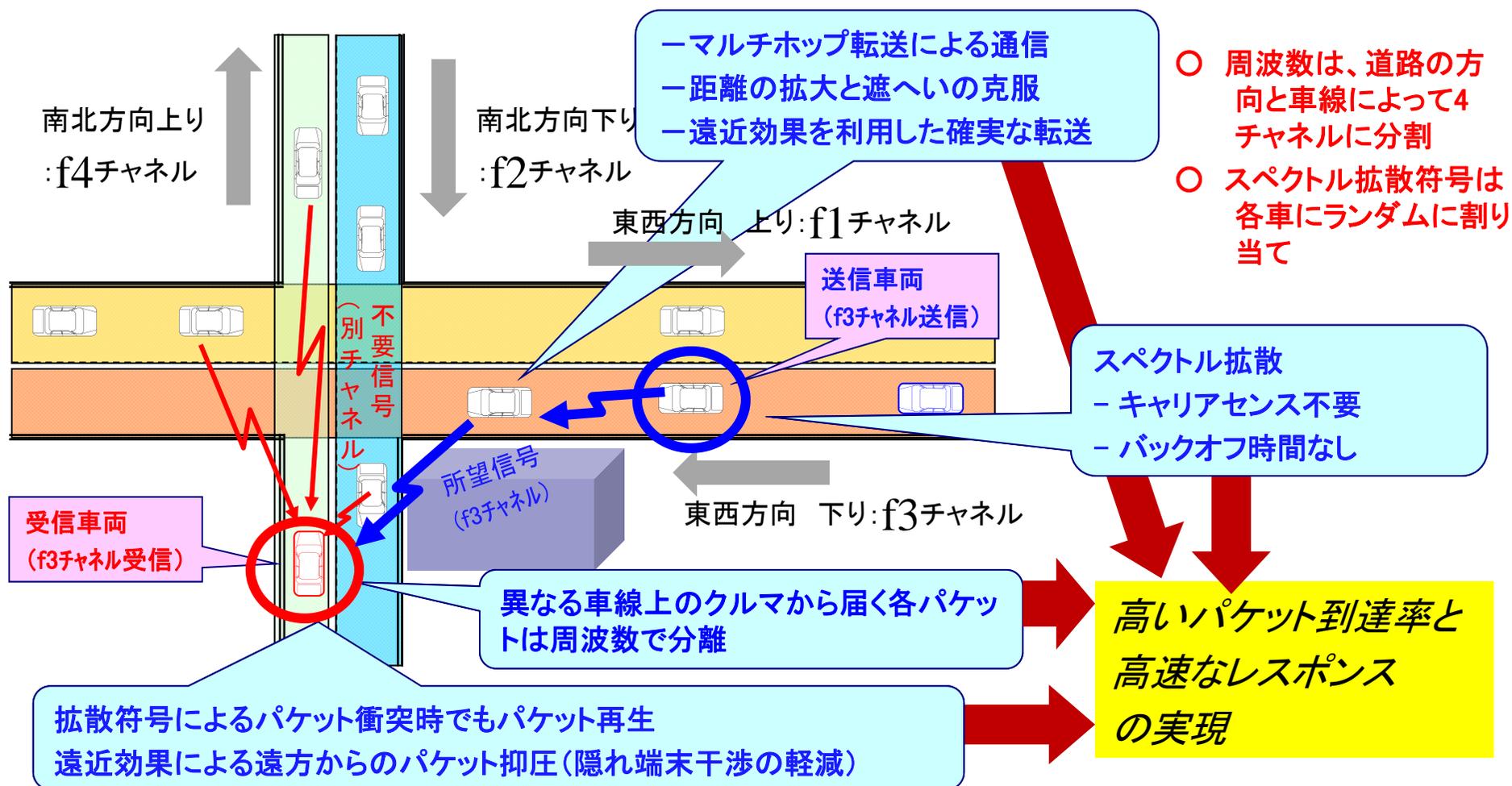


- CSMA
 - パケット到達率が車両台数に強く依存 (近くの車両からの信号も届かない可能性)
- CDMA
 - 遠方より近傍の車両の影響を強く受ける (遠近効果)
 - 近くの車両からの信号は確実に届く
 - 車両台数には依存しない
 - マルチホップとの親和性が高い

3. 高レスポンス車車間通信方式 MM-SA

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
- ✓ マルチホップ転送により遠近効果を制御して他車からの干渉を抑制



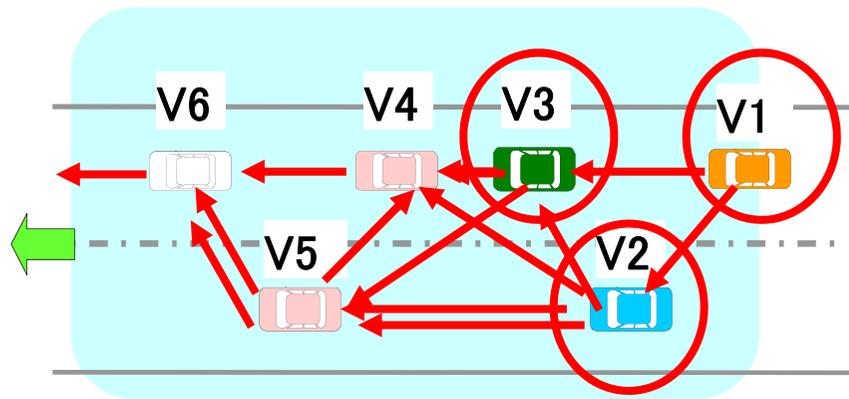
MM-SA: 中継転送と送信タイミング制御

～同時にパケットを生成・送信する車両どうしの干渉を回避しつつ遠くにパケットを届ける～

冗長な中継転送の抑制と転送パケットの衝突を回避

エリアベース中継転送

- 車両前方の特定のエリア内でかつ同一進行方向の車両のみ転送(例えば、車両の前方 100m x 10m)
- 重複パケットや一定時間経過したパケットは廃棄



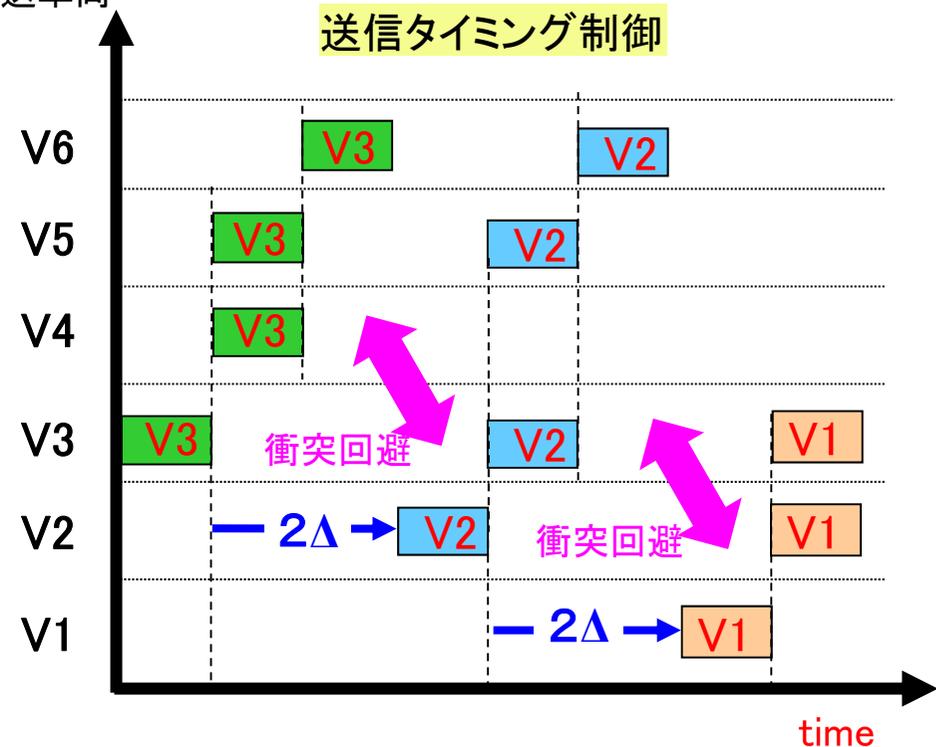
車両V1が生成したパケットの転送エリア

Δ : パケット長

近接車両間の送信タイミング制御

- 自車両が生成したパケットと他車からの転送パケットの送信タイミングをずらし、相互のパケット衝突を回避

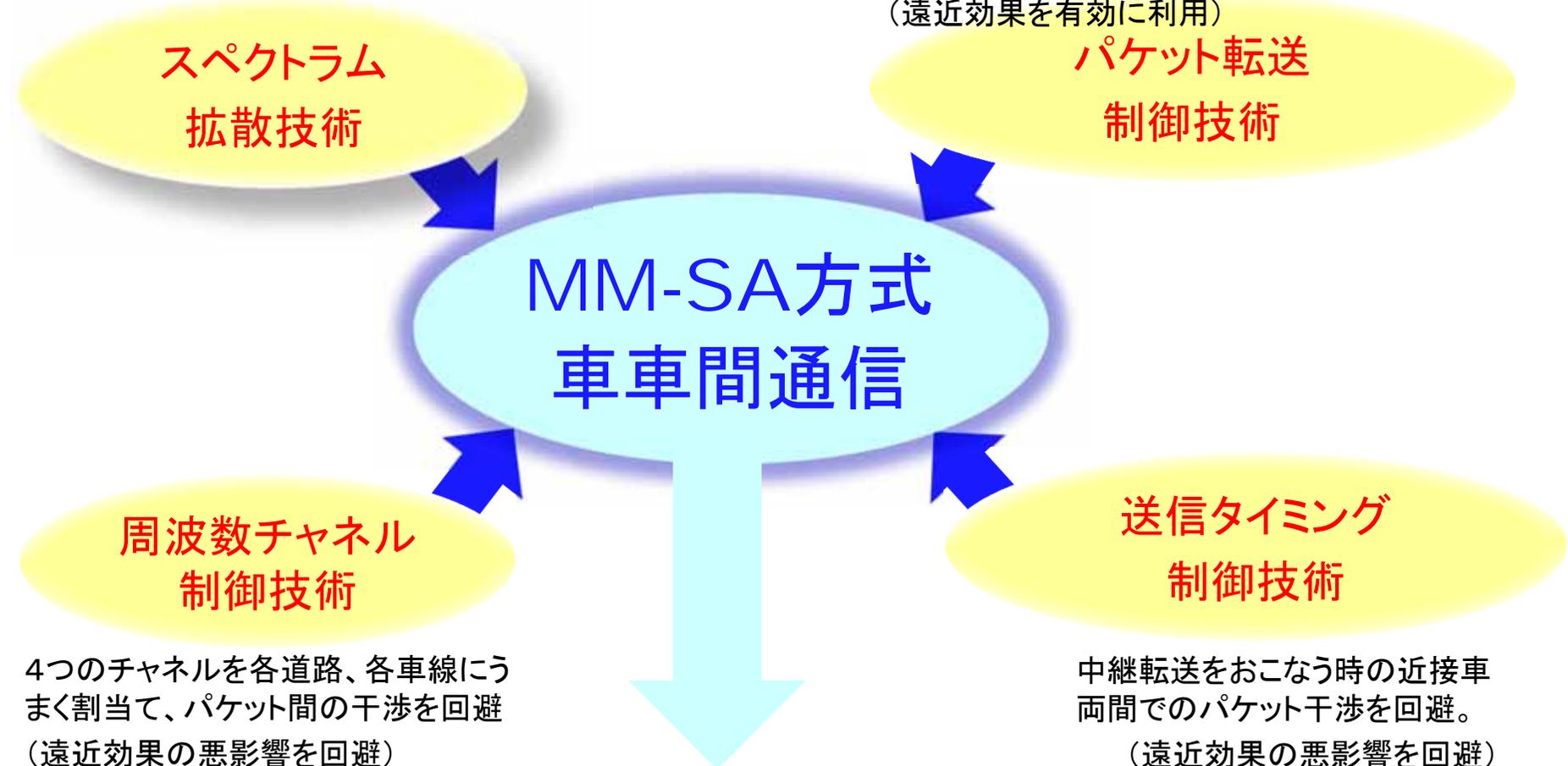
パケット生成
／転送車両



NICT MM-SA方式が性能を発揮するための コア技術の連携プレー

パケット衝突によるロスを軽減、隠れ端末問題を克服。
待ち時間不要、高レスポンス実現。

マルチホップにより遠方車両との間で確実に通信し、通信距離を拡大。建物などの遮へい克服。
(遠近効果を有効に利用)



4つのチャンネルを各道路、各車線にうまく割当て、パケット間の干渉を回避
(遠近効果の悪影響を回避)

中継転送をおこなう時の近接車両間でのパケット干渉を回避。
(遠近効果の悪影響を回避)

車両が高密度な都市環境などでも高いパケット到達率と低遅延(高レスポンス性能)を実現

シミュレーションによる性能評価

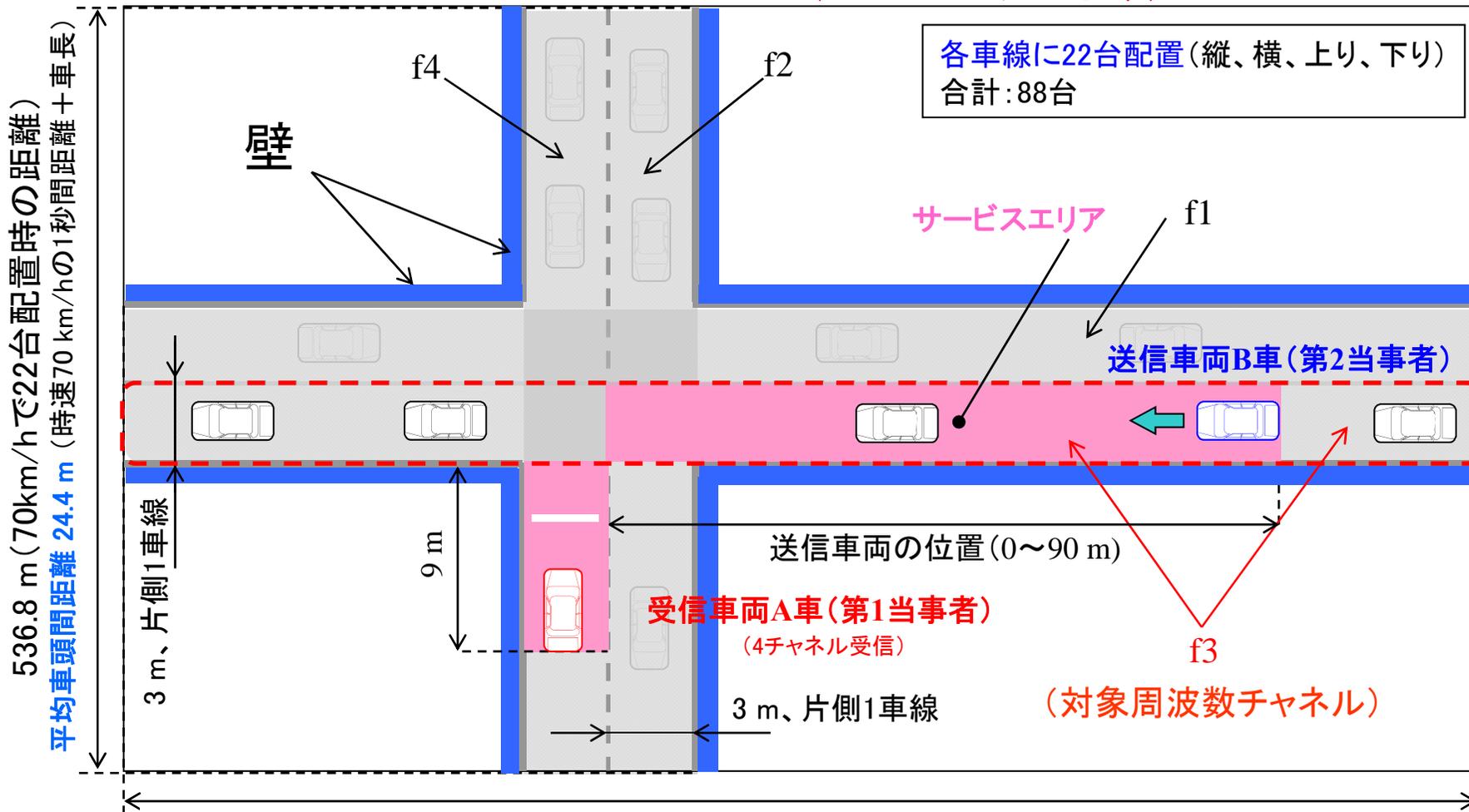
出会い頭衝突防止アプリケーション (ASV※モデルより)



送信車両
(第2当事者)



受信車両
(第1当事者)



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)

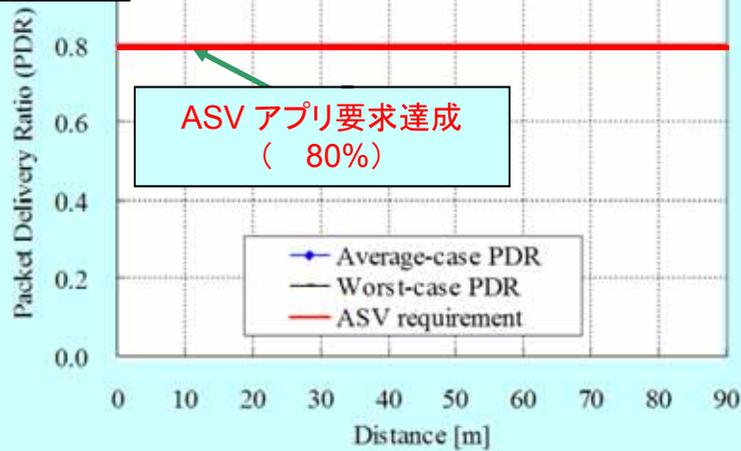
※ASV(Advance Safety Vehicle):先進安全自動車
国交省が自動車業界とともに検討を進めている

パケット到達率・遅延評価

出会い頭衝突防止シミュレーション
 車両台数88台、片側1車線交差点

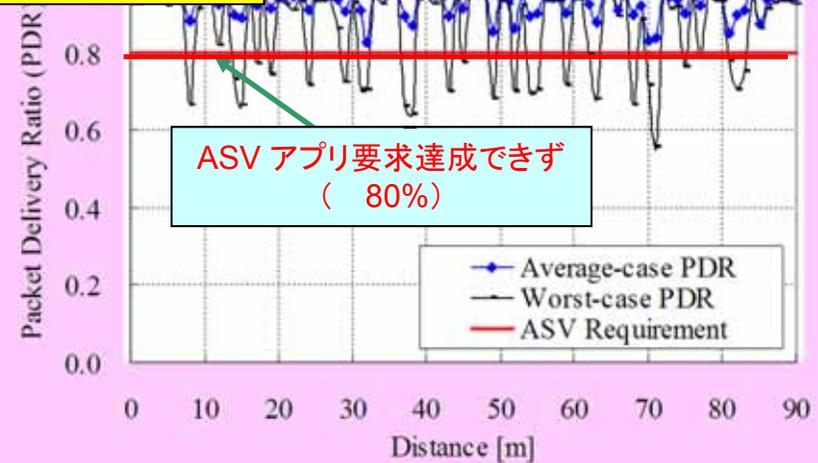
MM-SA方式

パケット到達率

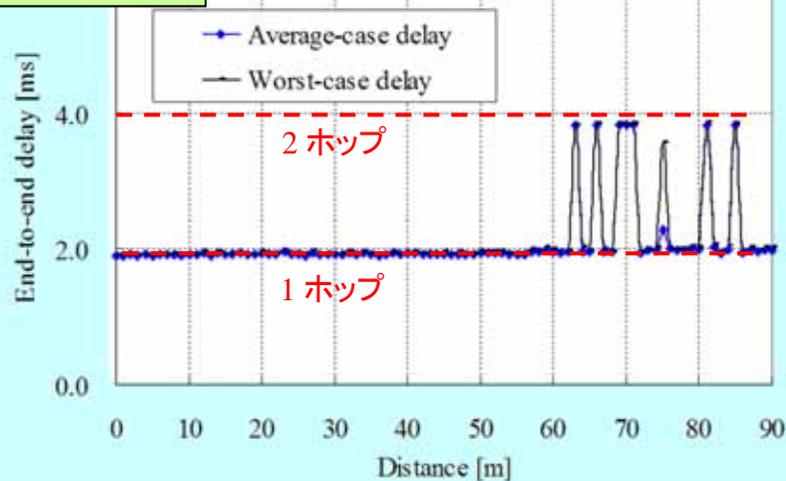


無線LANベース(CSMA/CA方式)

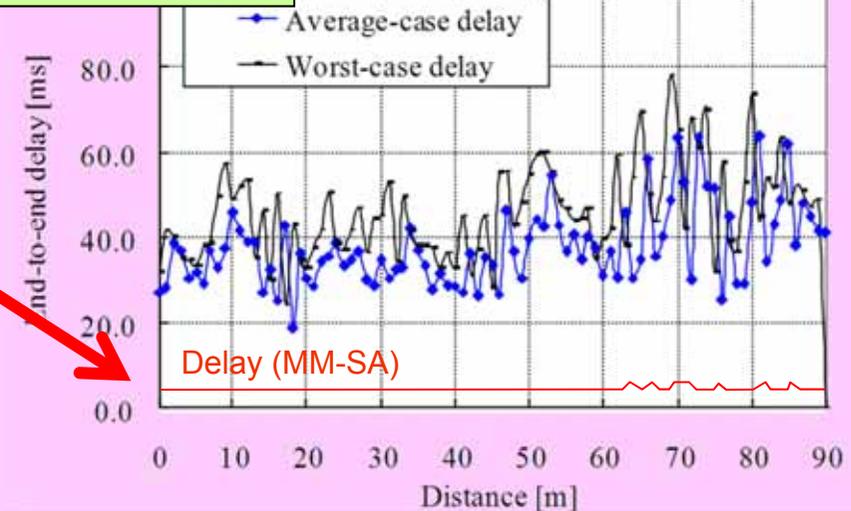
パケット到達率



パケット到達遅延



パケット到達遅延



大規模都市環境でのモンテカルロ解析

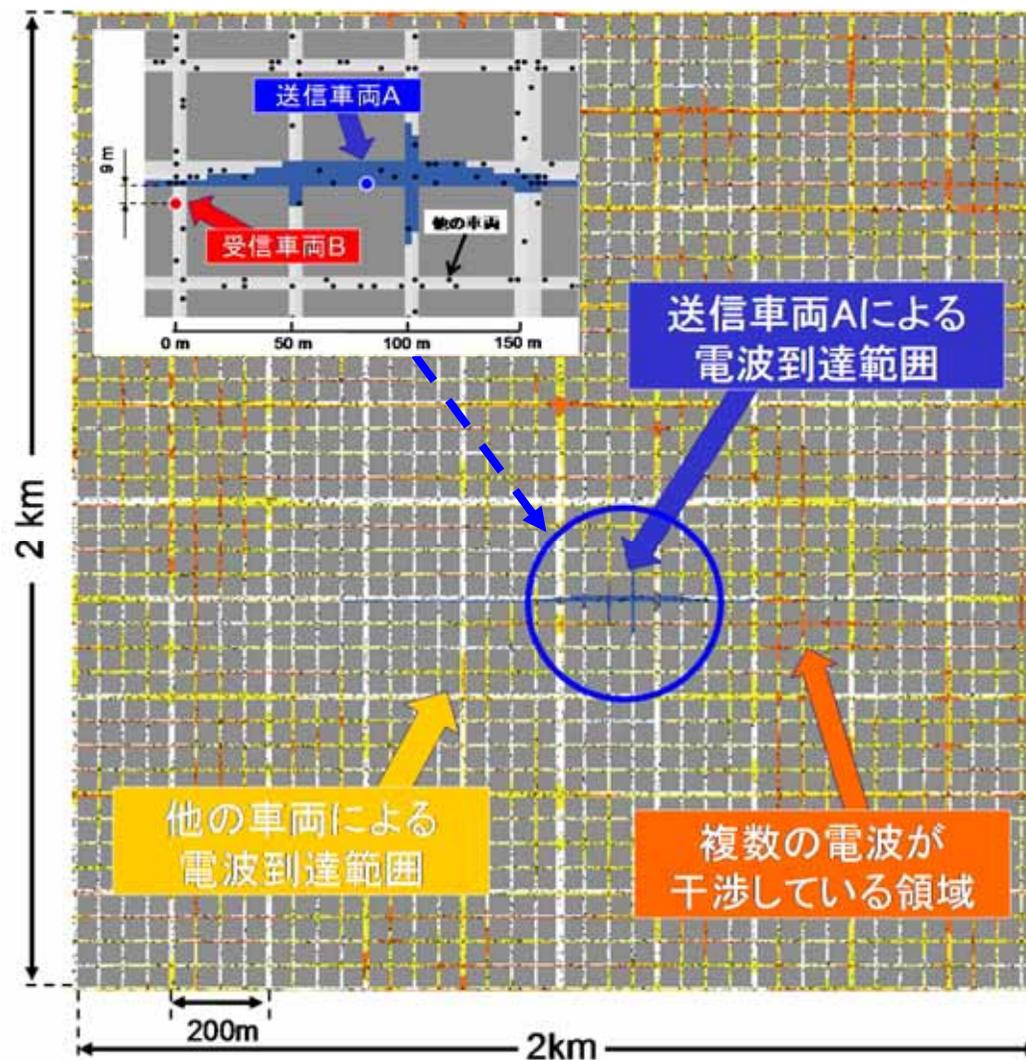
- ネットワークシミュレータ+レイ
トレース解析
 - 計算負荷が重い
 - 数100m四方で車両数100台
の規模までの評価が限界



- マルチエージェントシミュレータ
+統計的モデルに基づく解析

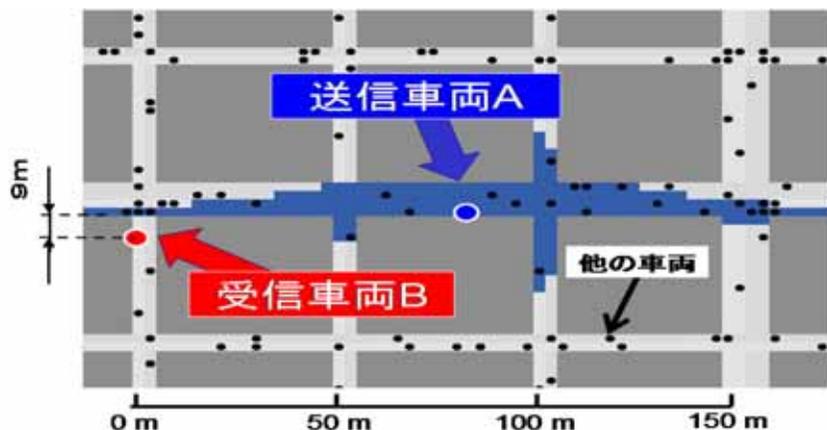


**数km四方、車両数万台規模の
解析が短時間で可能に！**

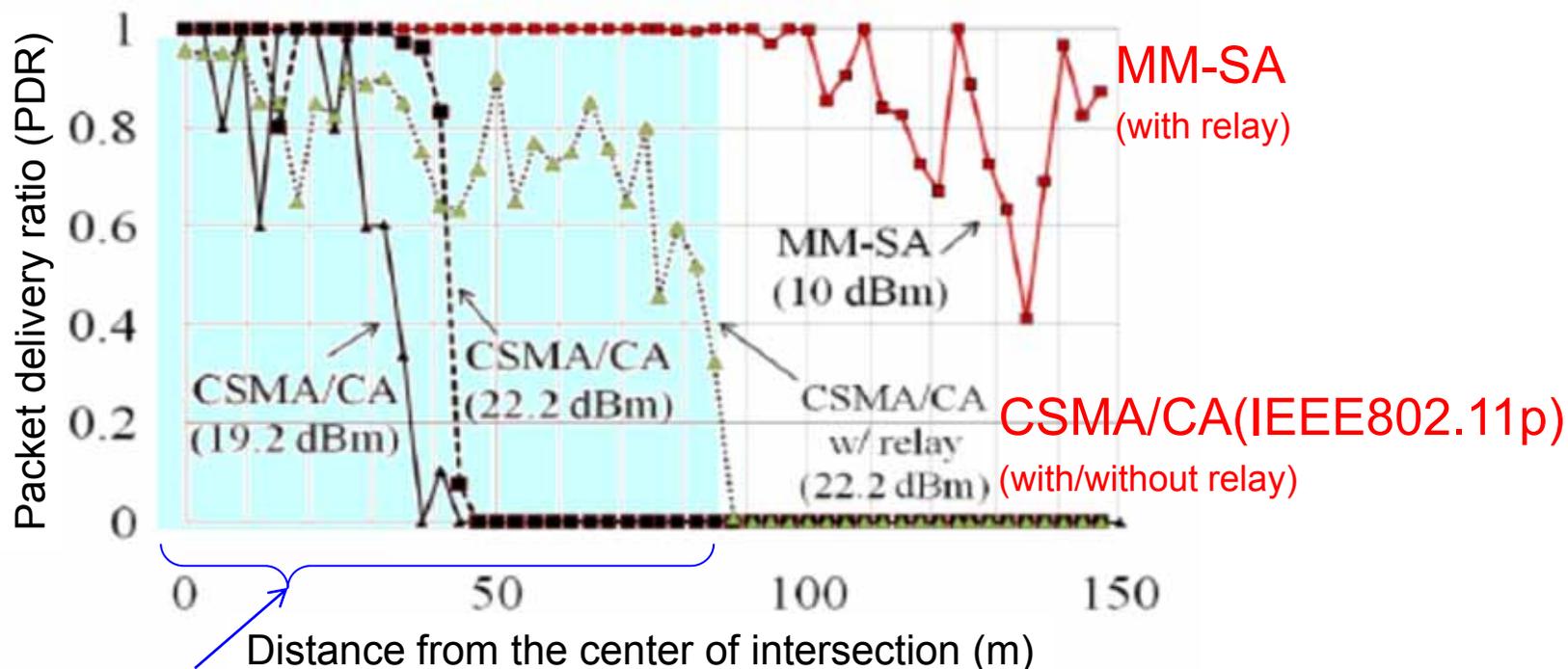


解析例: MM-SA と CSMA/CA (IEEE802.11p) の比較

- 出会い頭衝突防止シナリオ、2kmx2km 範囲、車両台数20,000 台



- パケット転送エリア: 120 m
- 最大ホップ数: 2
- 1データ当たりの試行回数: 20



サービスエリア

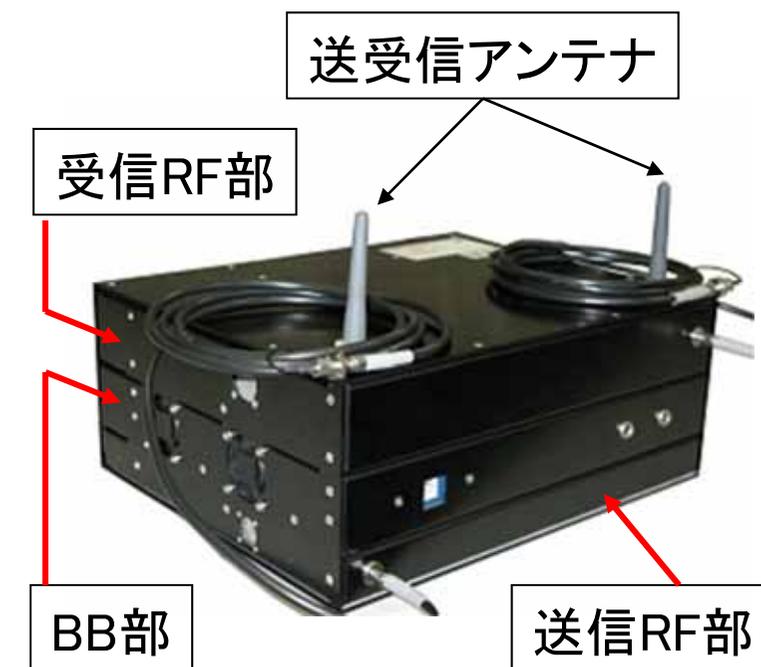
Distance from the center of intersection (m)

MM-SA プロトタイプ

- MM-SAコア技術を搭載
 - スペクトル拡散技術
 - 周波数チャネル制御技術
 - パケット転送制御技術
 - 送信タイミング制御技術

プロトタイプ主要緒元

周波数	5780, 5790, 5820, 5830 MHz
伝送速度	4.096 Mbps
拡散率	7倍
情報伝送レート	585 kbps
変調方式	$\pi/4$ シフトQPSK
検波方式	遅延検波



サイズ: 320(W) x 258(D) x 125(H)

BB: Base Band
RF: Radio Frequency

プロトタイプ装置

送受信アンテナ GPSアンテナ

制御装置 無線装置 GPS装置

各車両における受信パケットのホップ数内訳

受信パケットホップ数内訳時系列表示

パケット発生

干渉電力

通信状況モニタ画面

ATTENTION!!

注意喚起画面

APL層
自車両情報
他車両情報

MAC層
マルチホップ転送制御
タイミング制御

PHY層
スペクトラム拡散
周波数チャンネル制御

周辺車両位置管理テーブル

車両ID
送信元識別
タイミング
位置
方向
拡散コード
...

無線装置 機能ブロック図

BBユニット RFユニット

① タイミング制御 MOD 拡散 TX

② 周波数制御 中継転送 DEM 逆拡散 RX1

③ 転送制御 DEM 逆拡散 RX2

周辺車両位置管理 DEM 逆拡散 RX3

GPS

クロスレイヤ 周辺車両位置管理アーキテクチャ

送受信アンテナ

受信RF部

BB部

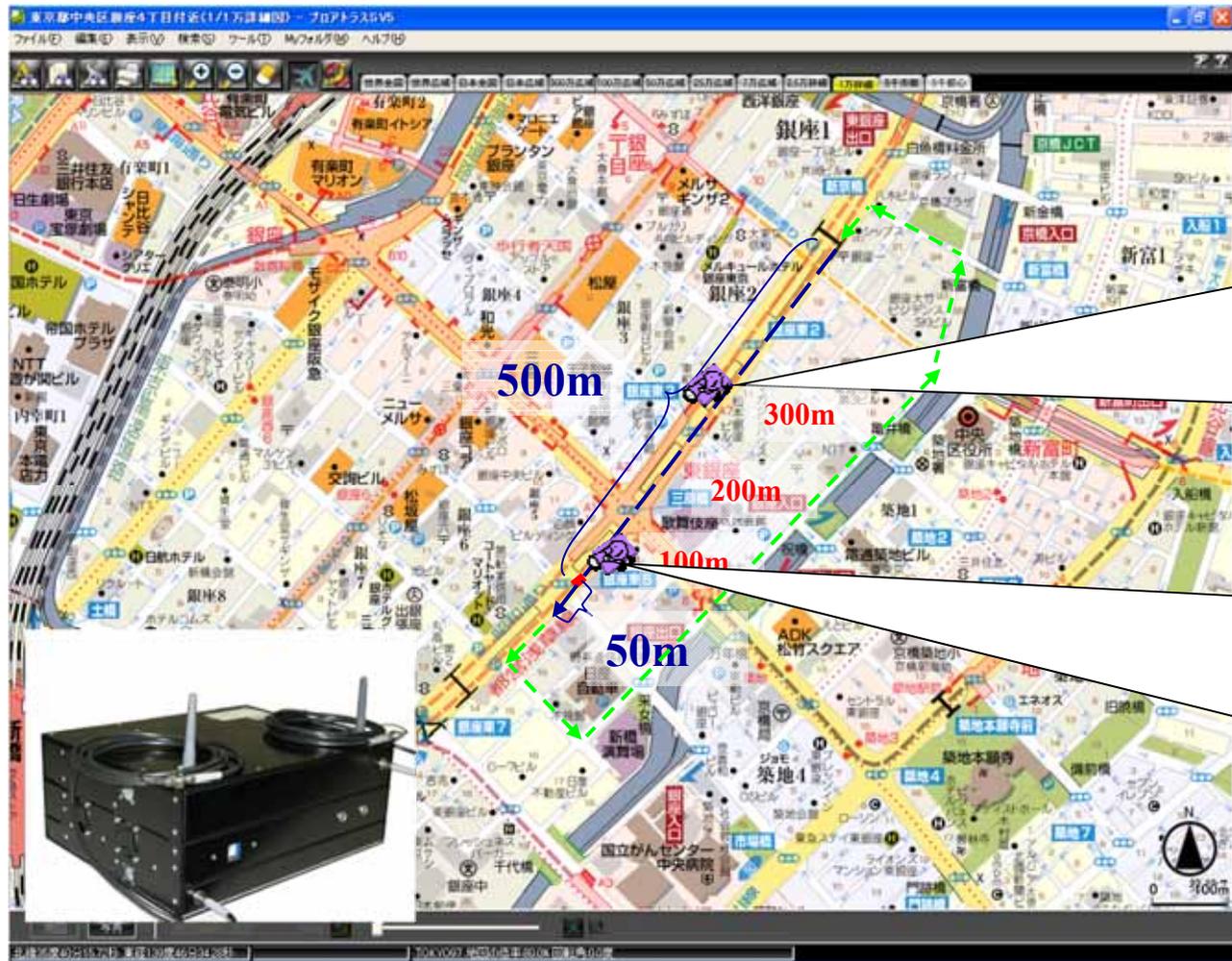
送信RF部

320(W) × 258(D) × 125(H) mm
(注: アンテナ、コネクタ等突起物含まず)

プロトタイプ装置

プロトタイプ装置を用いた銀座・月島でのフィールド実証実験

2010年1月25日～2月5日



- 建物等が密集した都市環境での伝搬・通信品質の測定
- 見通し／非見通し、中継転送あり／なし
- 他の車両による遮へいの影響

車内ディスプレイによる注意喚起

車内ディスプレイ



↑ ビルの陰から接近する車両を知らせる
(出会い頭衝突防止シナリオ)



← 交差点で右折待ちをする大型車両
の後ろから接近する車両を知らせる
(右折衝突防止シナリオ)

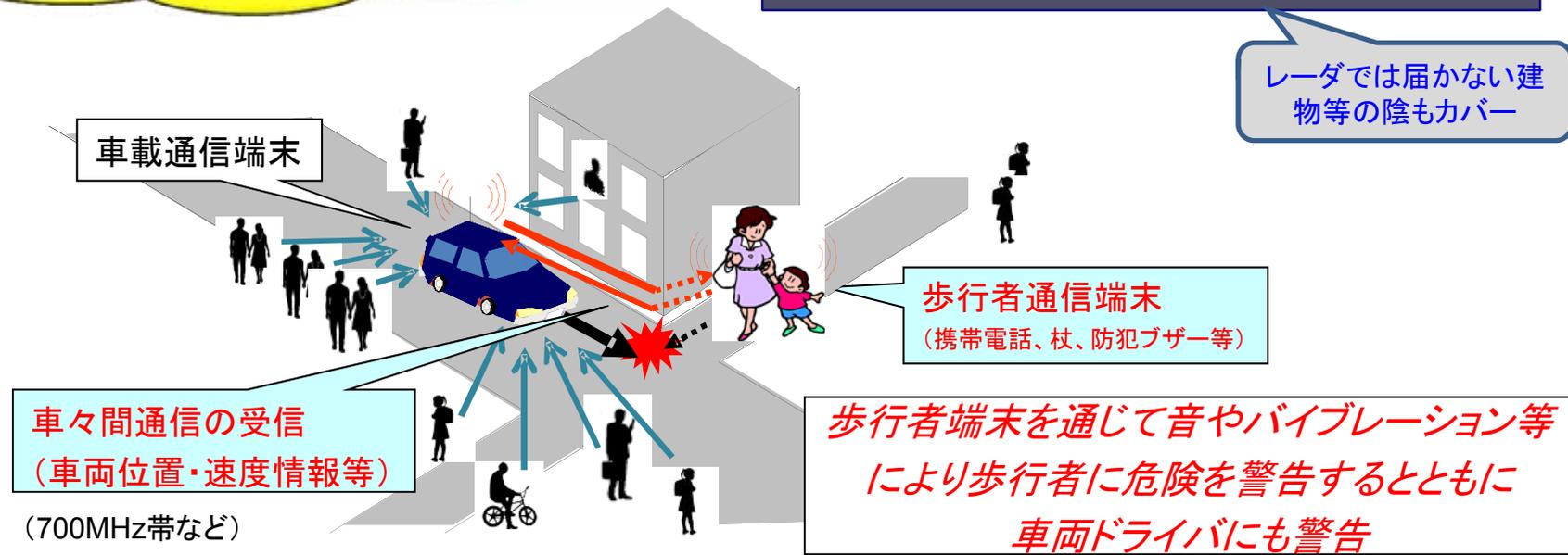
4. 歩車間通信におけるアクセス方式

コンテキスト情報に基づく歩車間アクセス方式

少子・高齢化社会に向けて電波利用技術ができること

車両と歩行者が双方で位置情報交換することにより、交差点での歩行者の飛び出しを事前に互いに検知し、防止する

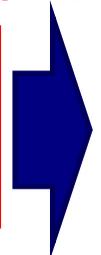
レーダでは届かない建物等の陰もカバー



課題

- 車両と接触する危険の少ない他の歩行者端末からの電波が多数干渉、通信効率・品質が低下
- 人体や建物による遮へいで伝搬環境が劣悪
- マルチパスによるGPS位置誤差の増大

解決するには...

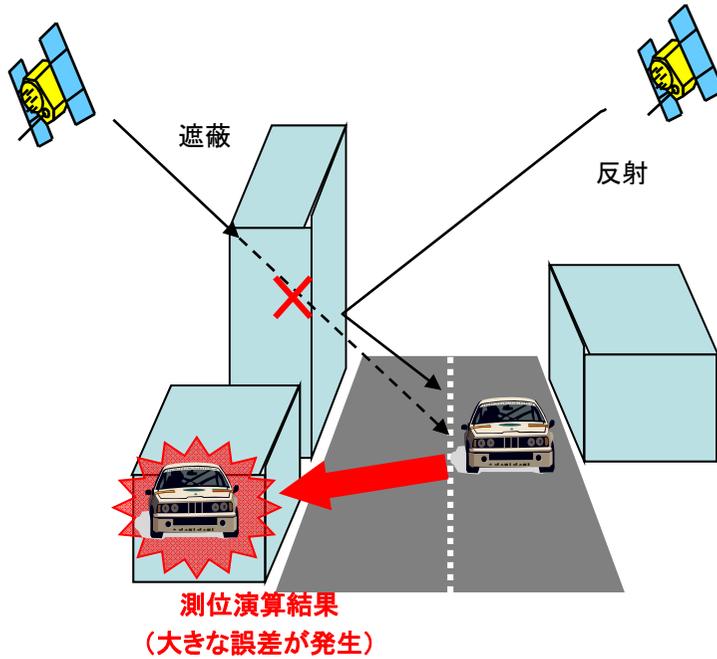


各歩行者端末のセンサと車両側から得られる各コンテキスト情報により衝突の危険度を判定し、それに応じて不必要な電波を抑制

周辺他の歩行者端末と連携した協調型マルチホップ通信の導入

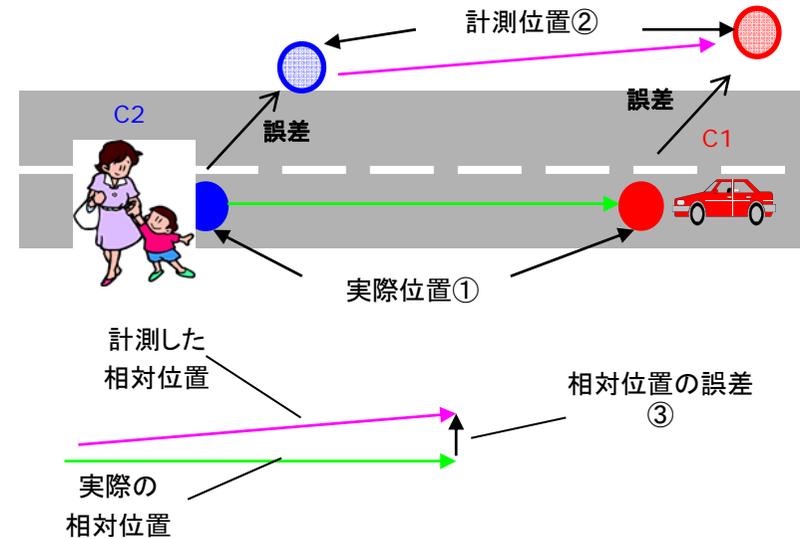
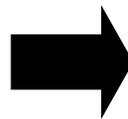
歩行者端末測位の高精度化

衝突事故防止のための 移動体端末間の協調衛星測位方式



【現状の課題】

都市部では反射や遮蔽が発生し、測位誤差が増大



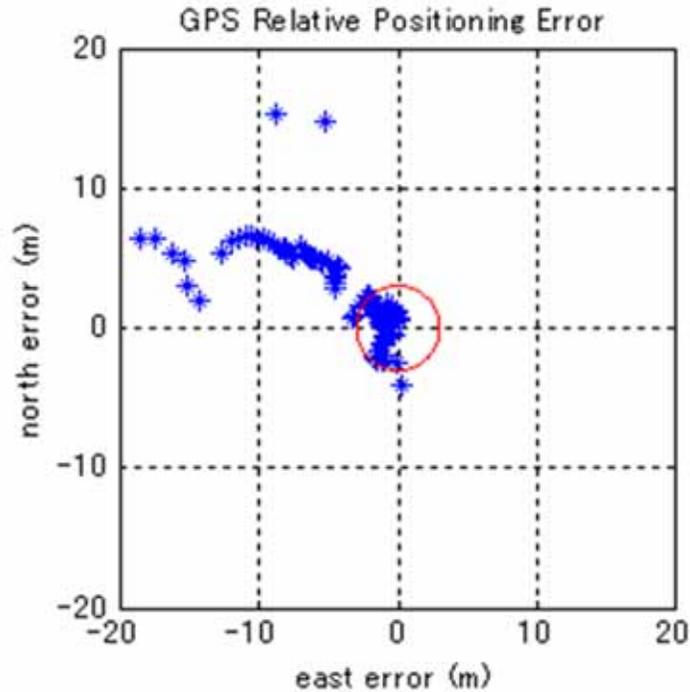
【本技術】

移動体間通信を利用した協調測位により、相関性の高い誤差を相殺

- ✓ 2つの移動体間の通信で衛星情報を交換
- ✓ 両者が共通に利用できる衛星で相対測位
- ✓ 高感度受信機を想定し、反射波も利用し衛星数確保
- ✓ 移動体間が接近するほど高精度(衝突防止に有効)

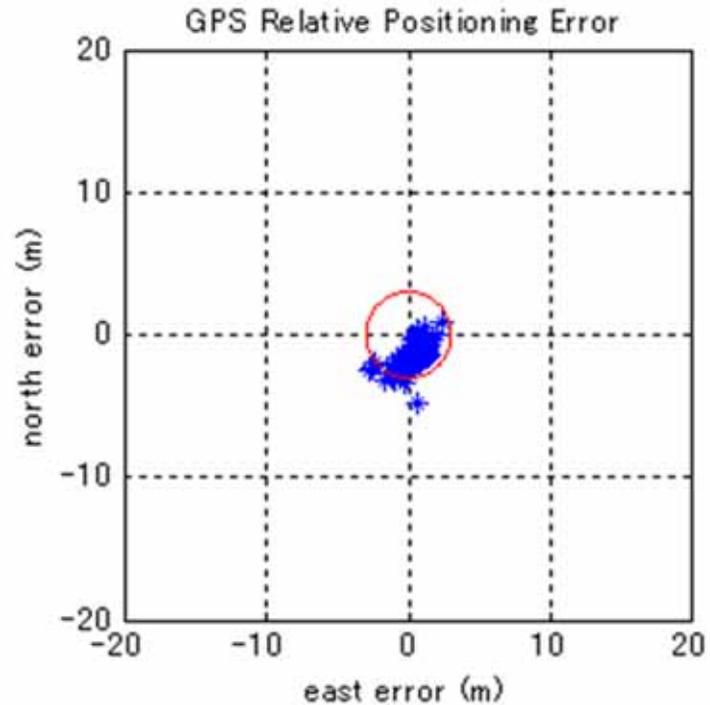
協調衛星測位方式の検証例

東京・月島での走行データに基づき計算処理



従来方式

(各移動体の測位結果から求めた相対位置)



提案方式

(各移動体の共通衛星を用いた協調測位による相対位置)

※ 赤丸は誤差3mの範囲

5. おわりに

まとめ

- ATRでは、安全運転を支援する車車間通信への適用を想定し、従来方式(CSMA/CA)に比べ、低遅延(高レスポンス)で確実な情報伝達を可能とする新しい通信方式(MM-SA方式)を考案。
- MM-SA方式はCDMAをベースとし、周波数チャネル制御、マルチホップ転送制御、送信タイミング制御を効果的に組み合わせ、遠近効果を有効に活用して隠れ端末干渉を抑制。
- 周辺車両台数が100台以上の環境での出会い頭衝突、右折時衝突等のシナリオにおいて、サービスエリア内の1パケット当たりの到達率はほぼ100%、到達遅延時間は数ミリ秒以下を実現。
- また2km四方、車両2万台の大規模都市環境でもIEEE802.11pを上回る性能を発揮する見通しを確認
- 歩車間通信の実現には、不要なトラフィック抑制、信号減衰対策、測位精度の高精度化が必要

ご静聴ありがとうございました。