

S I P (戦略的イノベーション創造プログラム)
自動走行システムの研究開発

総 1 . ICTを活用した次世代ITSの確立

課題 I .

自動走行システムに必要な車車間通信・路車間通信技術の開発

研究開発期間： 平成26年~28年度

平成29年10月03日

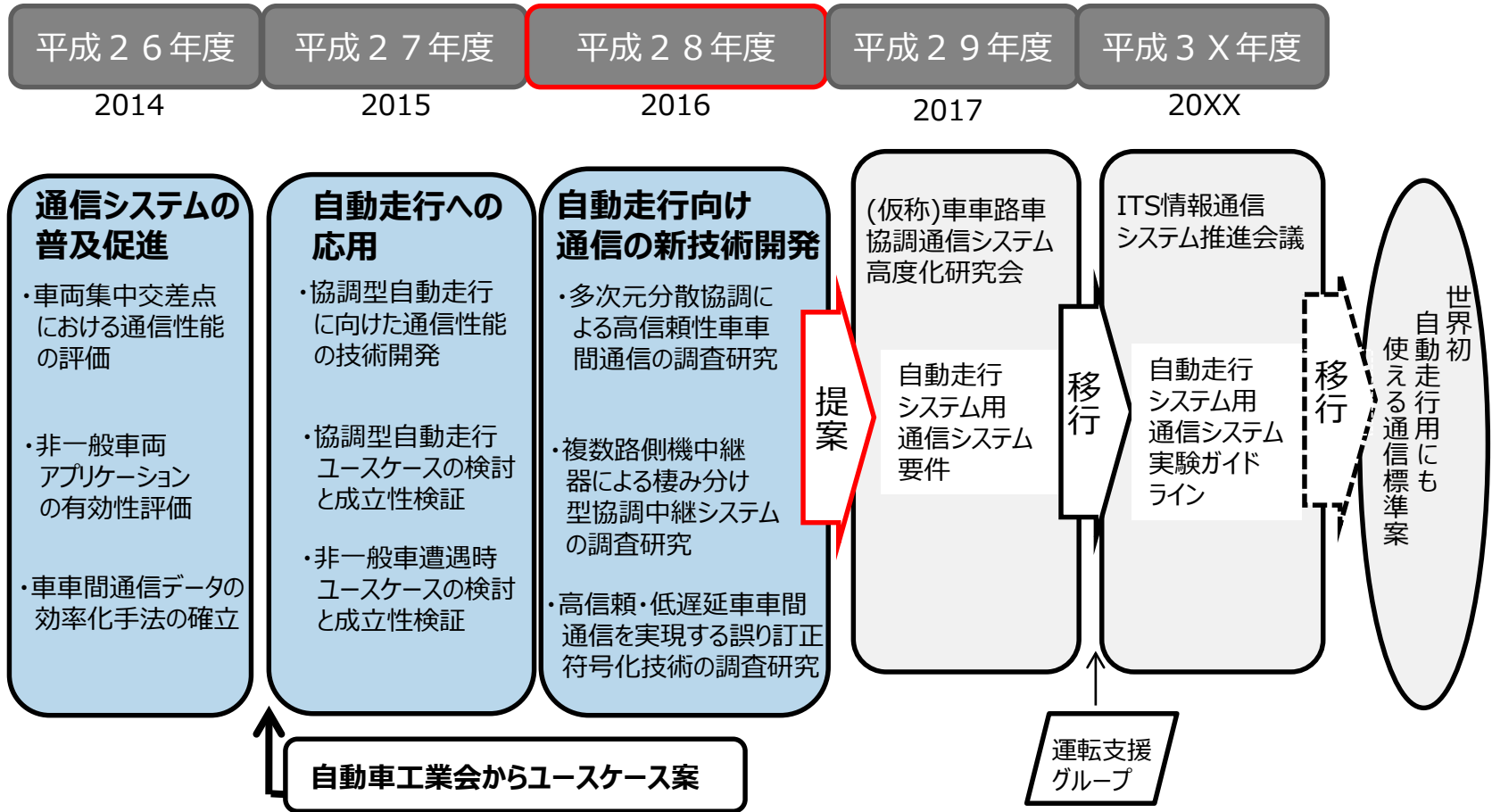
研究代表者 難波秀彰 (株式会社 デンソー)
研究分担者 畑山佳紀 (パナソニック株式会社)
矢部一夫 (パイオニア株式会社)
山尾 泰 (電気通信大学)

報告内容

1. 研究開発の内容
2. 研究開発の成果（詳細）
3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への
取り組み

1. 研究開発の内容

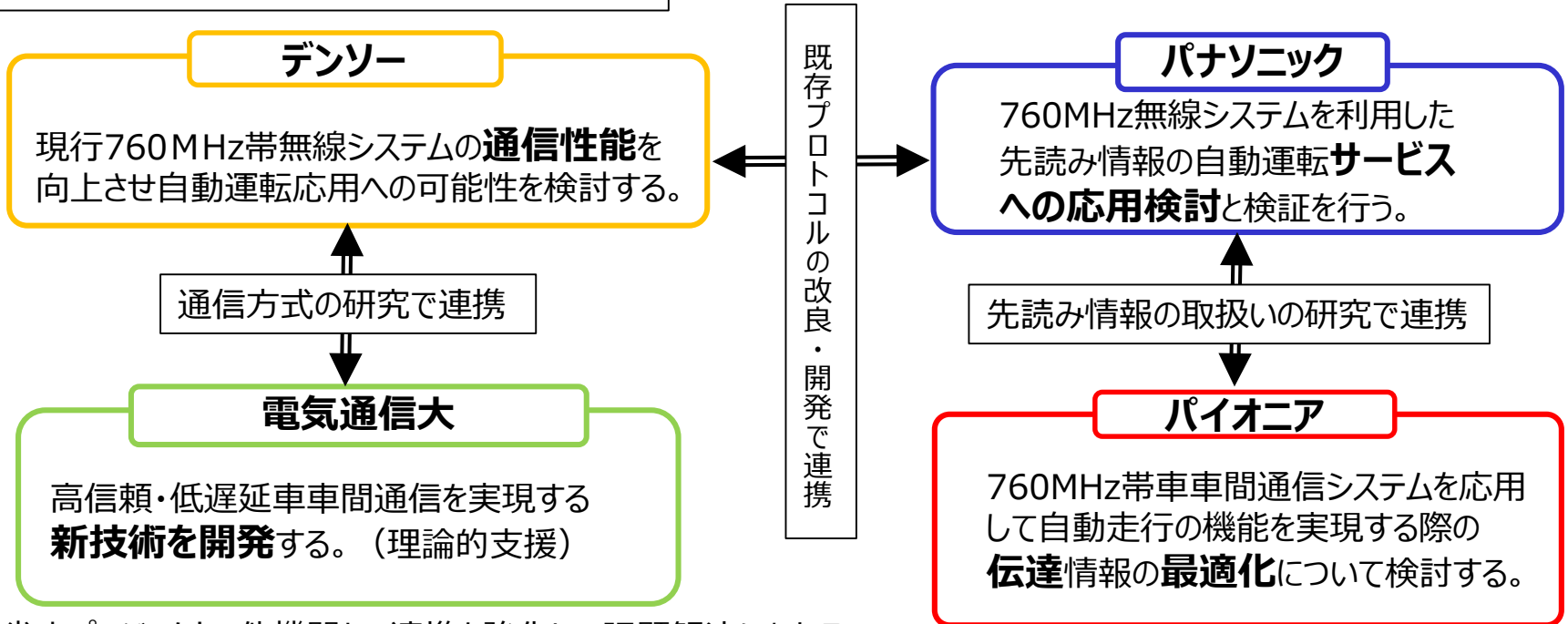
研究開発計画



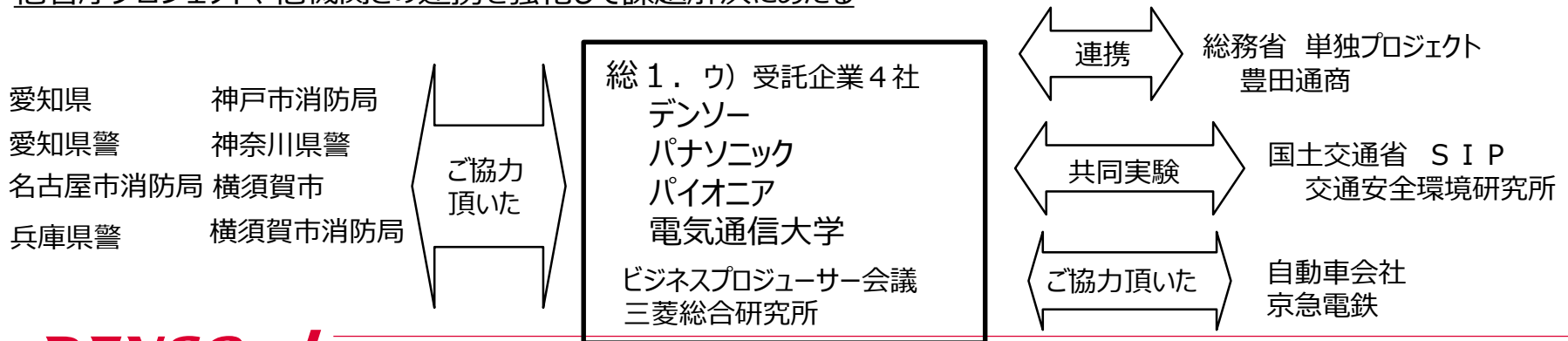
研究開発の体制と方針

総1. 課題I 受託機関の作業方針

4社は、連携を強化して課題解決にあたる



他省庁プロジェクト、他機関との連携を強化して課題解決にあたる

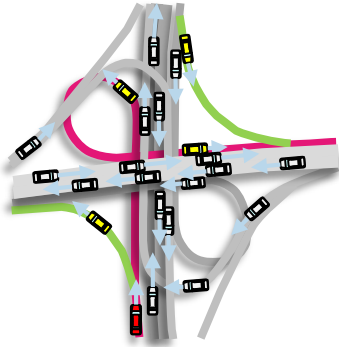


各研究課題成果の自動運転にむけた適用イメージ

自専道

(パイオニア)

- ・従来地図を使った車両の認識検討

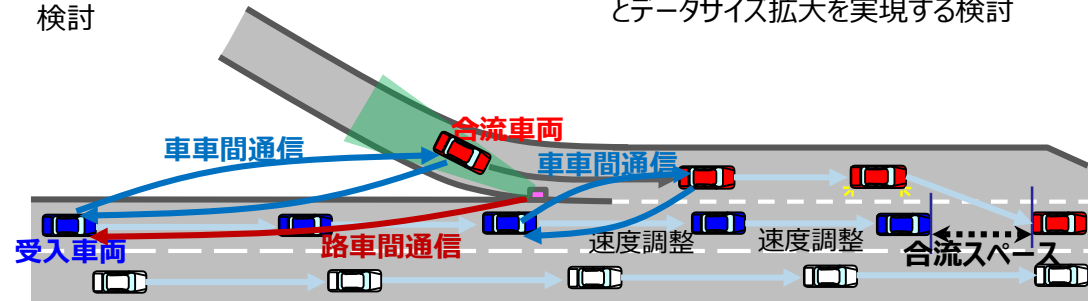


(パナソニック)

- ・合意形成ロジック（車車間・路車間）の検討

(デンソー)

- ・協調型合流支援に必要な高信頼通信品質とデータサイズ拡大を実現する検討



高速道での合流シーン

自動走行普及の段階

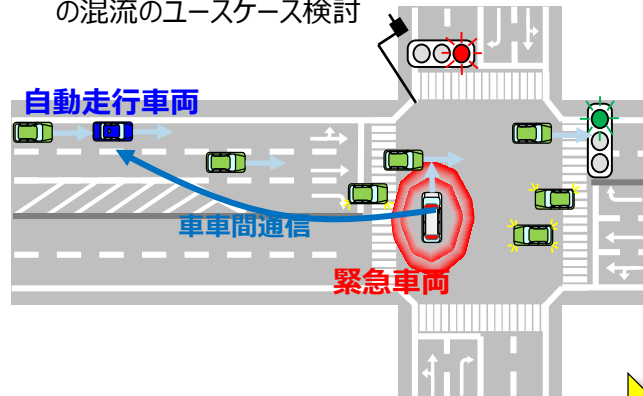
自動走行の黎明段階

自専道での自動走行の発展段階

一般道

(デンソー)

- ・一般道で緊急車両や路面電車と自動走行車両の混流のユースケース検討

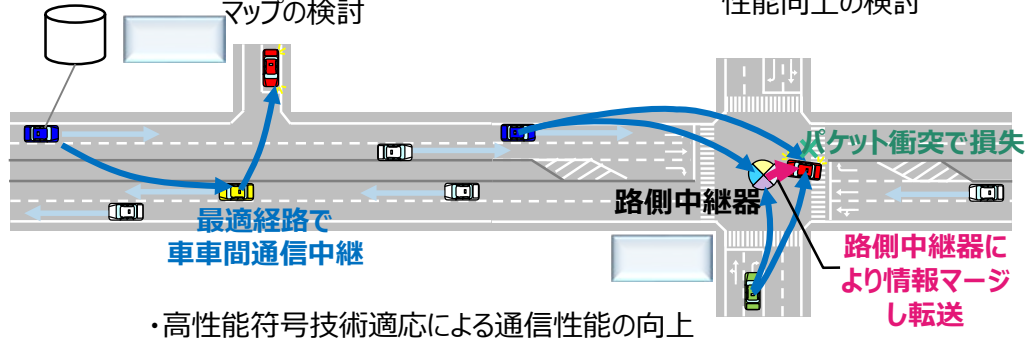


(電気通信大学)

通信信頼度マップ

- ・通信到達率予測のための電波マップの検討

- ・中継無線機設置による性能向上の検討



- ・高性能符号技術適応による通信性能の向上

一般道での自動走行の黎明段階

自動走行の普及・一般化段階

2. 研究開発実施結果（詳細）

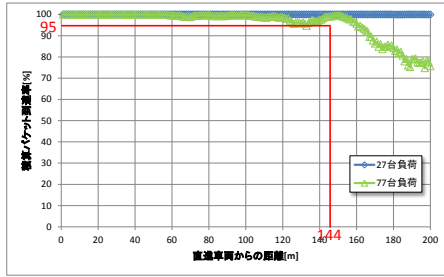
研究開発課題と担当

研究開発課題		研究開発概要	担当
課題1 通信システムの普及促進	ア) 車両集中交差点における通信性能の評価	広く車両に無線機が搭載されていく為に、有効性と性能の確認を行った。	デンソー
	イ) 非一般車両アプリケーションの有効性評価		デンソー
	ウ) 車車間通信データの効率化手法の確立		パイオニア
課題2 自動走行への応用	ア) 協調型自動走行に向けた通信性能向上技術の開発	協調型自動走行システムに応用する場合の課題とユースケースの検証を実施した。	デンソー
	イ) 協調型自動走行ユースケースの検討と成立性検証		パナソニック
	ウ) 非一般車遭遇時ユースケースの検討と成立性検証		デンソー
課題3 自動走行向け通信の新技术開発	ア) 多次元分散協調による高信頼性車車間通信の調査研究	協調型自動走行システムに要求されるより高信頼な通信の新技术を開発した。	電気通信大学
	イ) 複数路側機中継器による棲み分け型協調中継システムの調査研究		
	ウ) 高信頼・低遅延車車間通信を実現する誤り訂正符号化技術の調査研究		

課題1 ア) 車両集中交差点における通信性能の評価

【研究実施主体：(株)デンソー】

- 交通・通信環境の異なる3地域で**100台規模の車載機**を用いた**公道実験**を実施し、普及時を想定した通信特性を評価
- さらに車両が集中する大規模交差点の通信特性をシミュレーションにより把握



公道実験の通信性能結果例

実験地域	横須賀	名古屋	神戸
走行ルート例			
車載機台数	77台	93台	8台
車両台数	17台(16台停車)	33台(30台ランダム走行)	8台
路側機数	1基	1基	6基
分析ケース	交差点での トラフィック集中時	実交通流 ランダム走行時	車路車による 情報伝達

各地域での公道実験の実験条件

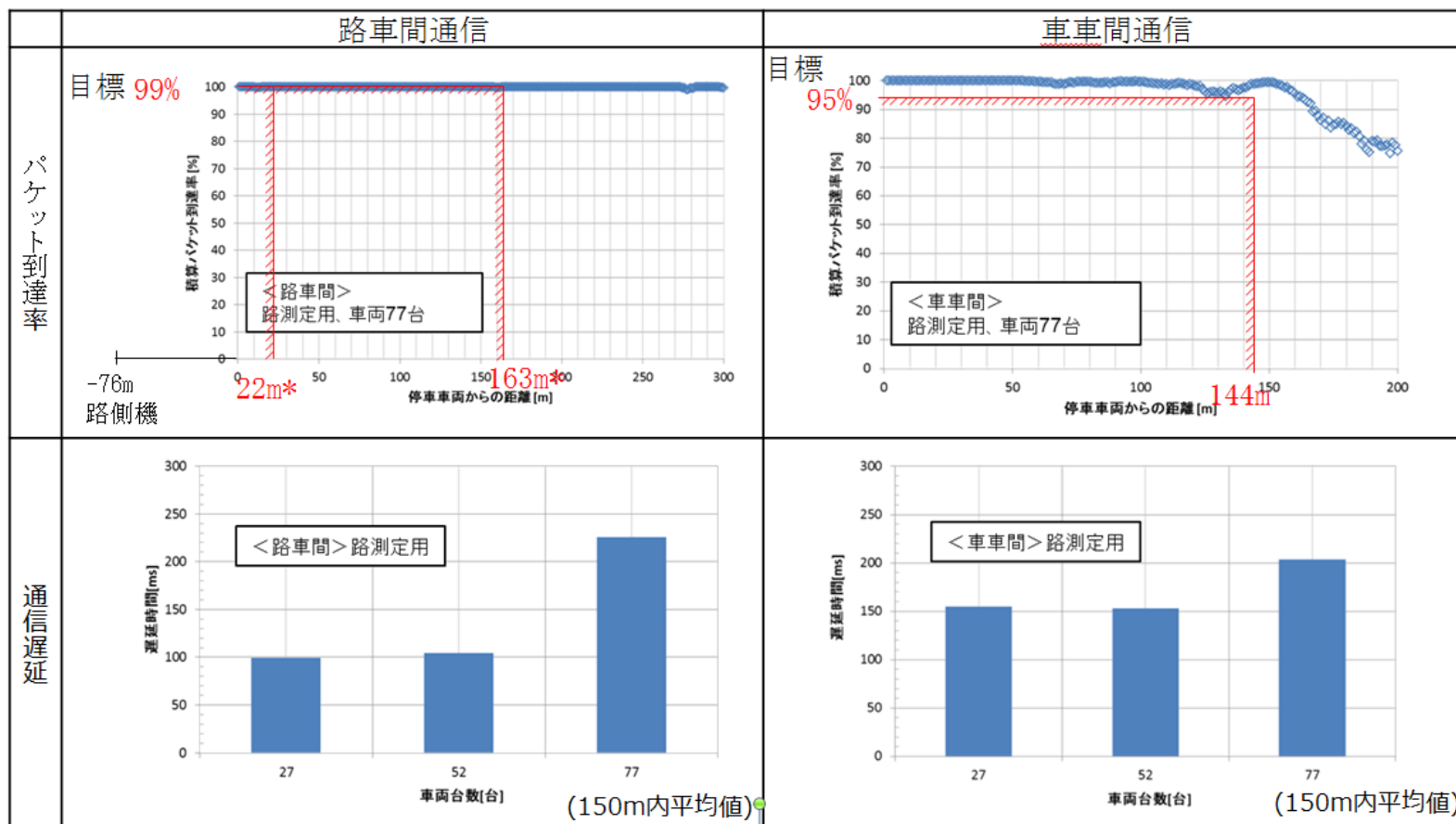
実験の規模	車両	無線機
タミーの救急車	1	1
指示可能な走行車両	15	15
計測用リース車	2	2
小計	18	18
救急車	32	32
一般車両/ 業務車両	34	34
ランダム走行車両	15	75
小計	81	141
総計	99	159

制御可能

制御不可能

名古屋実験の規模

課題1 ア) 横須賀実験の結果 (特定交差点トラフィック集中時)

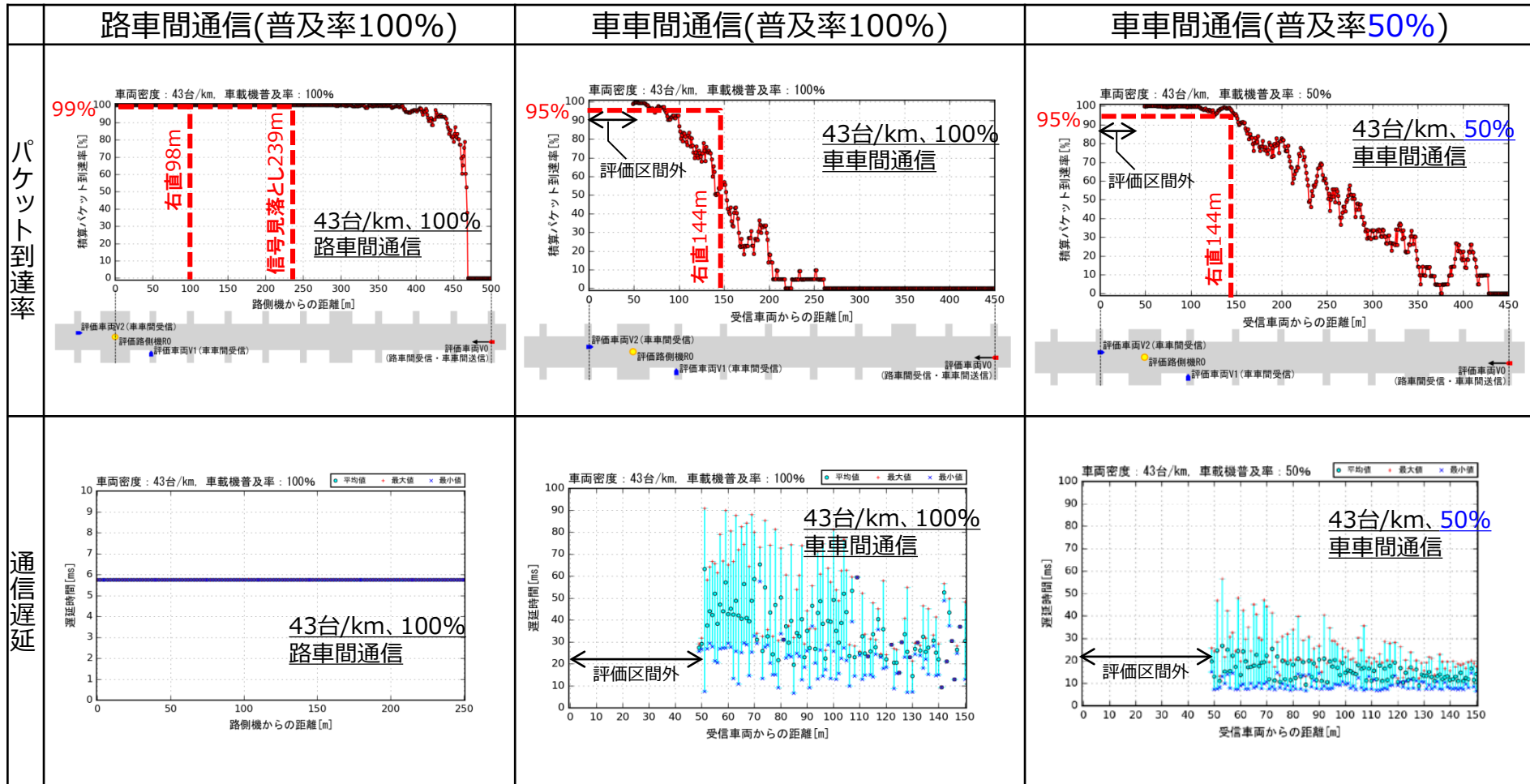


車々間通信：提供情報受信区間を10m走行する間の積算パケット到達率95%以上
 路車間通信：提供情報受信区間を5m走行する間の積算パケット到達率99%以上

パケット到達率については、要件(路車間:99%以上、車車間:95%以上)を所要エリアで満足。
 通信遅延についても300ms以下を満足。

*路側機からの距離では右折衝突防止支援が98m、信号見落とし防止支援が239mに相当。

課題1 ア) シミュレーション結果 (大都市交差点モデル)



パケット到達率については、路車間は、渋滞状態(43台/km)、普及率100%で要件(99%以上)を満足。

車車間は、渋滞状態(43台/km)、普及率50%で要件(95%以上)を満足。

遅延については、路車間、車車間ともに300ms以下を満足*。

*セキュリティ処理遅延は路車間通信で4.7ms/1パケット、車車間通信で0.03ms/1パケットとした。

課題1 イ) 非一般車両アプリケーションの有効性評価

【研究実施主体：(株)デンソー】

〈実施内容〉

救急車に無線機を搭載し、走行中に周辺車両と車車間通信を実施する。サイレン音認識、赤色灯視認と車車間通信での情報提供のタイミングを比較する。データ収集による情報到達タイミング等を確認する。



名古屋市消防局の救急車への車載機器搭載と評価車両を用いた車車間通信データ取得実験場所

- (1) 見通しのよい大きな幹線道路 … 名古屋市中区大津通り
- (2) 見通しの悪い中基幹道路 … 名古屋第二赤十字病院周辺道路

課題1 イ) 実験結果 (救急車認知のタイミング)

評価車両を名古屋市内の病院付近に停車させ、救急車からの車車間通信成立とサイレン音や目視での認知タイミングの関係について確認。



地図データ ©2015 Google, ZENRIN



地図データ ©2015 Google, ZENRIN

■ 実験により求めた通信成立距離とサイレン音聴取距離

収集場所		名古屋医療センター (LOS)			名古屋第二赤十字病院 (NLOS)		
		後方接近	側方接近	北→南	南→北	東→西	西→東
通信成立 距離	平均距離	554m	441m	278m	359m	549m	565m
	サイレン音 聴取距離	259m	137m	168m	150m	183m	225m

見通しの良い悪い環境に関わらず、サイレン音聴取距離よりも100~200m以上手前で通信が成立している。

課題1 イ) 実験結果 (周辺車両の回避動作のタイミング)

救急車に取り付けた記録装置で収集したログデータから、実環境における車車間通信可能エリアと一般車の挙動変化の事例を確認。

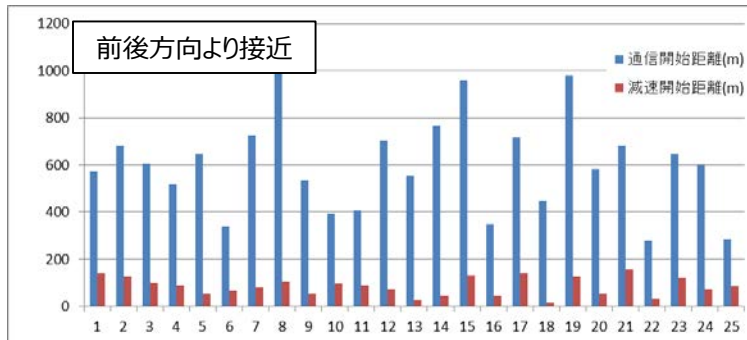
前方向より接近



後方向より接近



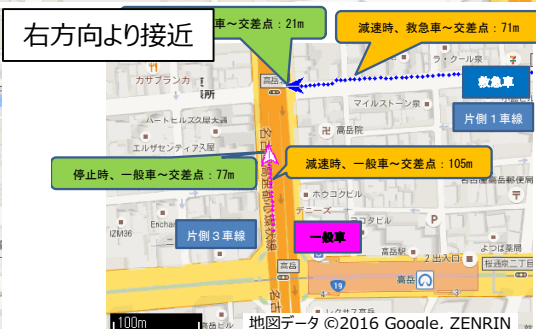
前後方向より接近



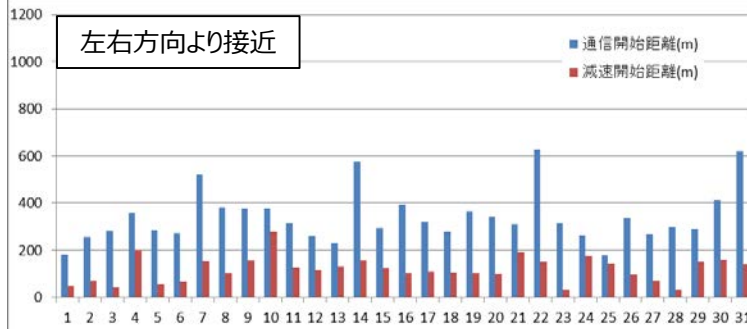
左方向より接近



右方向より接近



左右方向より接近



■ 救急車のログ装置から求めた通信開始距離と周辺車両減速開始距離

	接近方向	前方接近	後方接近	左方接近	右方接近
通信成立距離	平均	591m	608m	332m	360m
回避行動開始距離	平均	84m	85m	120m	115m

いずれの接近パターンでも、通信により早い認知があったとしても、ドライバーは、回避行動を早く開始するわけではない。

◆ 早い認知が、早い回避行動にストレートにつながるわけではない。 ⇒ ドライバーの行動モデルの精査が必要

課題1 イ) ドライビングシミュレータを用いた運転者モデル構築

【ドライビングシミュレータによるデータ収集実験】

ドライビングシミュレータに車車間通信による通知アプリを組み込み、ドライバー行動データを取得した。



ドライビングシミュレータ
(UC-win/Road)

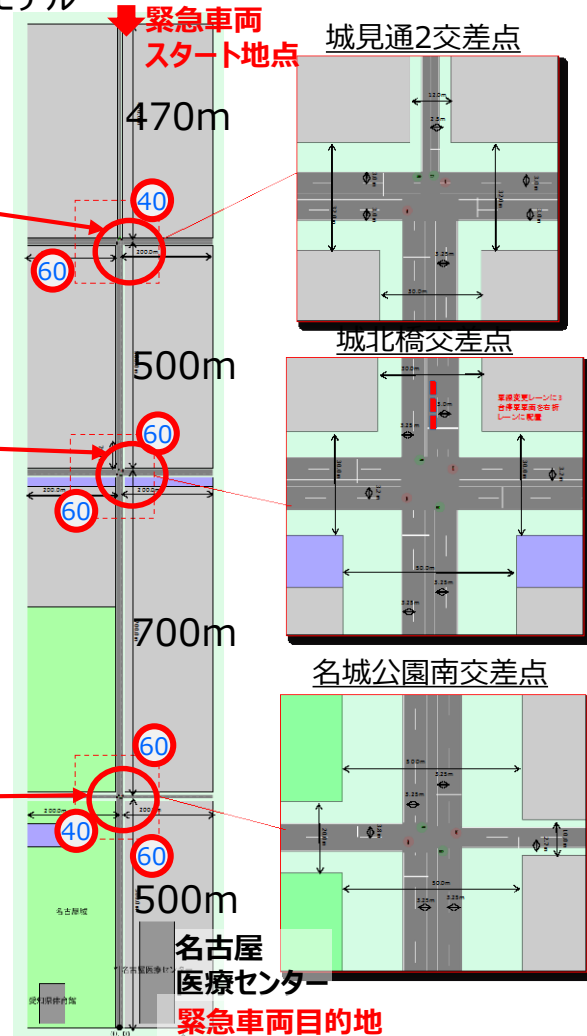
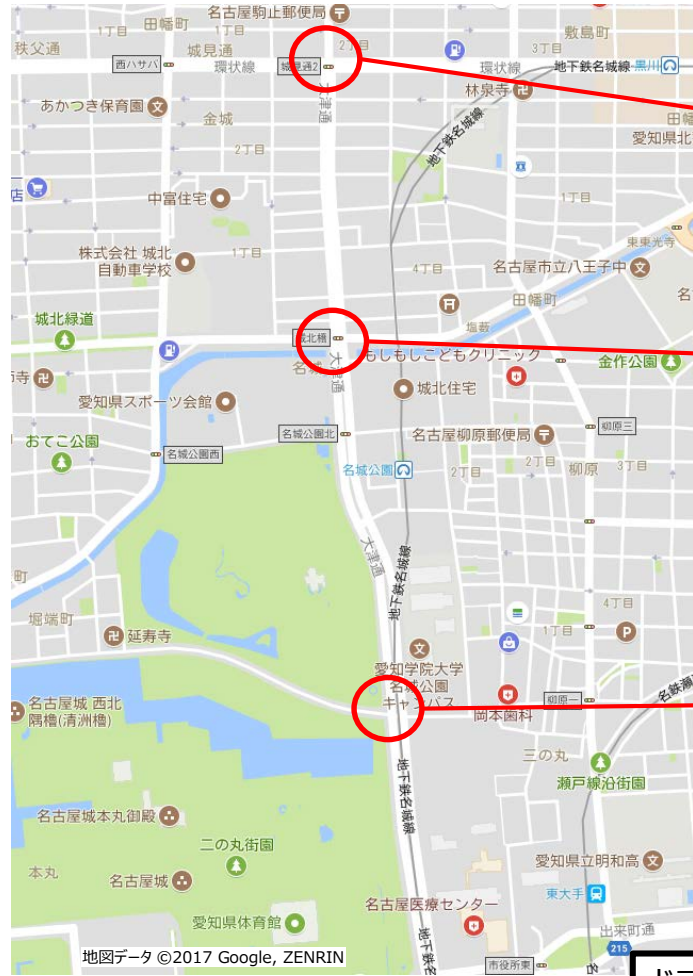


ドライビングシミュレータの景色例
とナビ画面

課題1 イ) 緊急車両到着時間短縮効果のシミュレーション検証

■ 道路モデル

- 名古屋市大津通り付近 -



ドライバー行動モデルを組み込み、複数交差点を含む道路モデル上で交通流シミュレーションを実施し、緊急車両の到着時間の短縮効果を検証

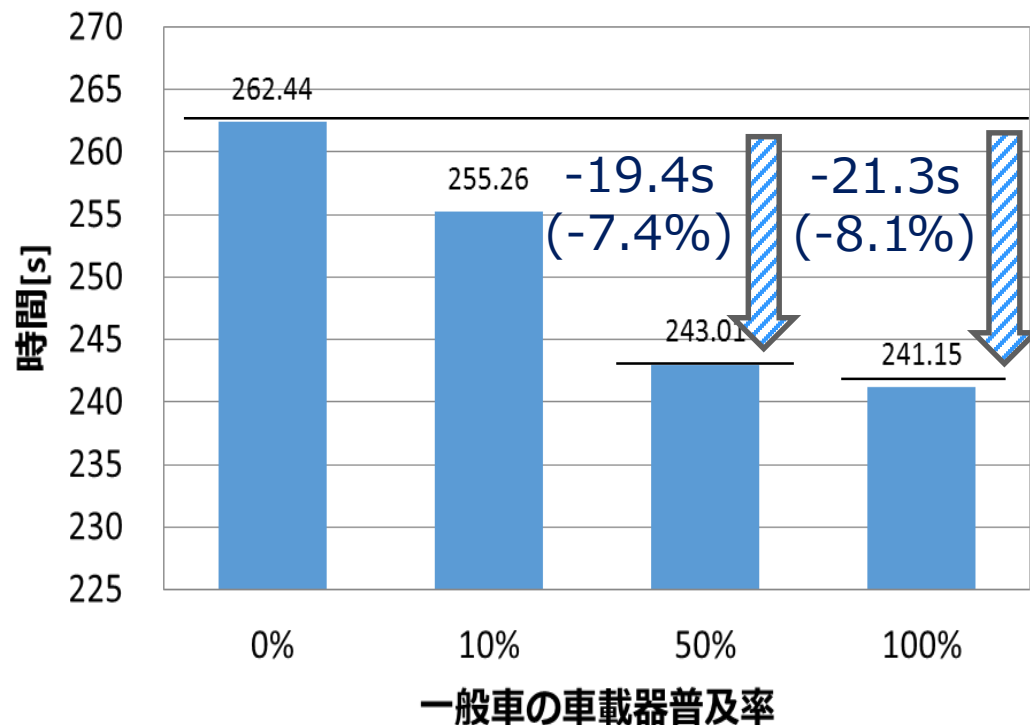
課題1 イ) シミュレーション検証結果

名古屋市大津通付近の3つの交差点を含む道路をモデル化し、信号機のサイクル、車両の配置/発生タイミング等をランダムに変化させ、緊急車両の移動時間をシミュレーションにより検証した。

■ シミュレーション実行画面の例



■ 緊急車両到着時間(45試行平均)

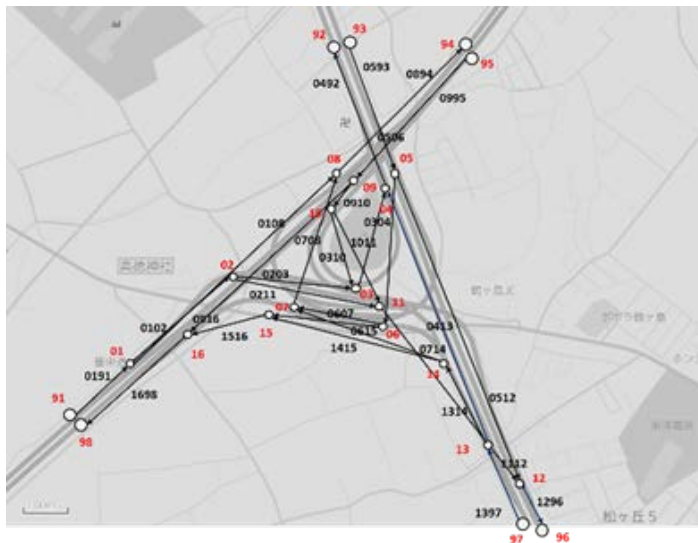


車載機普及率0%と比較して普及率50%で19.4秒(7.4%)、100%で21.3秒(8.1%)到着時間短縮の可能性を得る

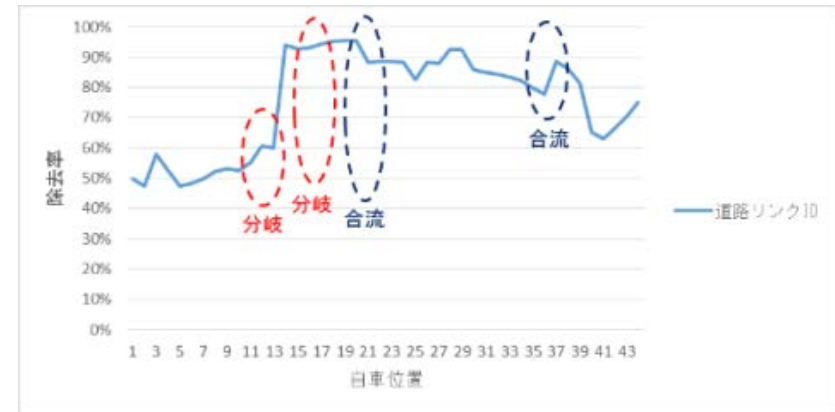
課題1 ウ) 車車間通信データ処理の効率化手法の確立

【研究実施主体：パイオニア】

- 送信メッセージに道路特定情報を付加することで、複雑な道路形状周辺であっても、複数の受信データの中から自車にとって継続監視すべき相手車両のデータを効率的に絞り込む手法の効果をシミュレーションにより確認



道路特定情報として道路リンクIDを用いた場合の模式図例



実走行データによるシミュレーション結果例



実走行データによるシミュレーション例

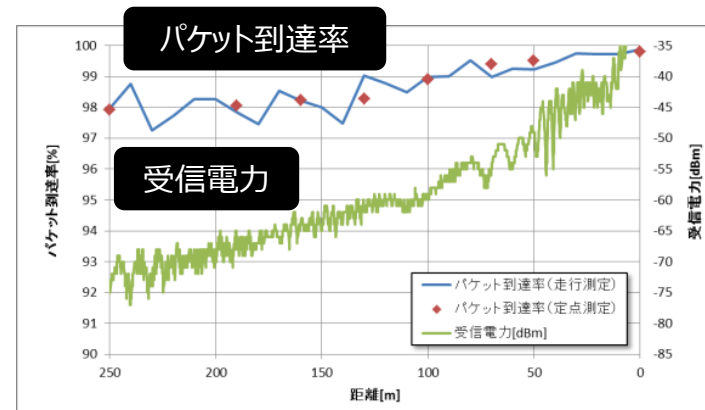
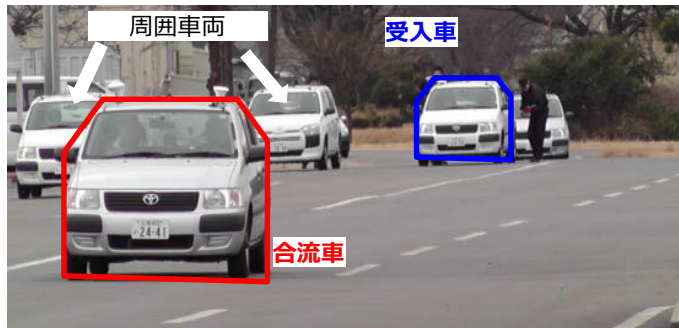
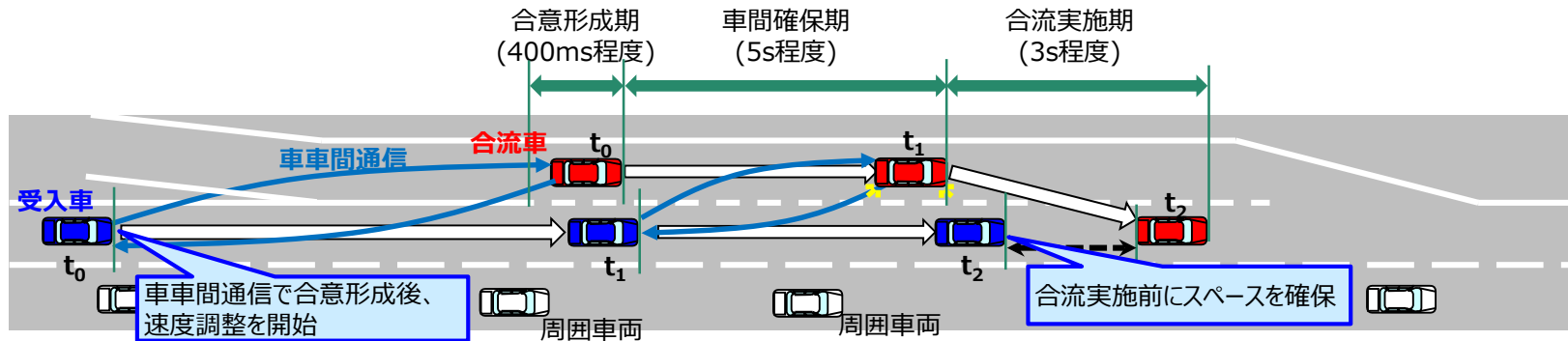
課題2 ア) 協調型自動走行に向けた通信性能向上技術の開発

【研究実施主体：(株)デンソー】

自動車工業会より提供いただいた自動合流シナリオでの通信性能の検討

【手法】 自専道合流シーンで合流地点までの通信特性を検証する。

【要件】 確実性の高い相互通信とするため、通信の到達率としては、99%（仮）を想定する。

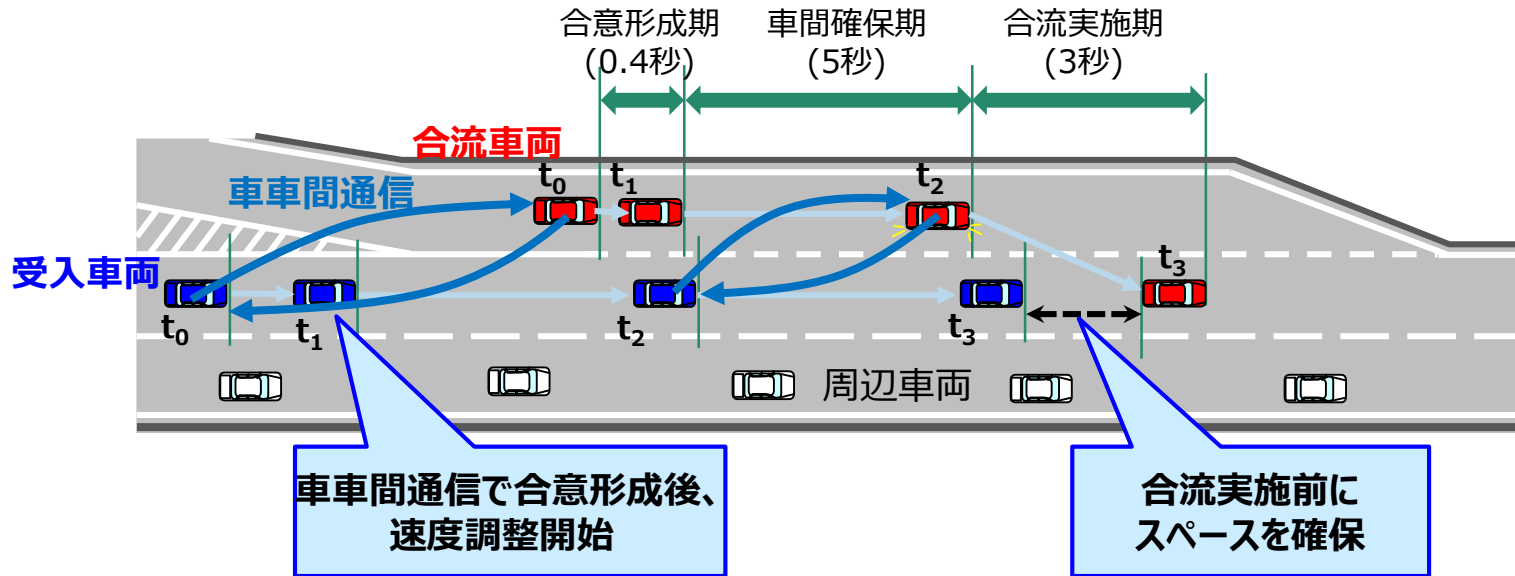


周辺車両が通信する中での通信特性（パケット到達率等）を車載機77台※を用いテストコース実験により評価
 （周辺車両が2秒車間(100km/h)で走行している時、通信範囲(±350m)の車両台数は、6車線分で約72台）

課題2 ア) 協調型合流支援ユースケースと通信への課題

自動走行UCへ700MHz帯ITS通信適用時の課題に対する対策技術の開発

－ 自専道における協調型合流支援イメージ－ （自動車工業会殿作成のユースケース資料に基づく）



	暫定要件 (自工会殿)	700MHz帯ITS通信 (現状)
送信データ サイズ	320byte	100byte
パケット 到達率	99%以上	95%以上 (10m積算)

(課題)



(1) 通信容量の拡大



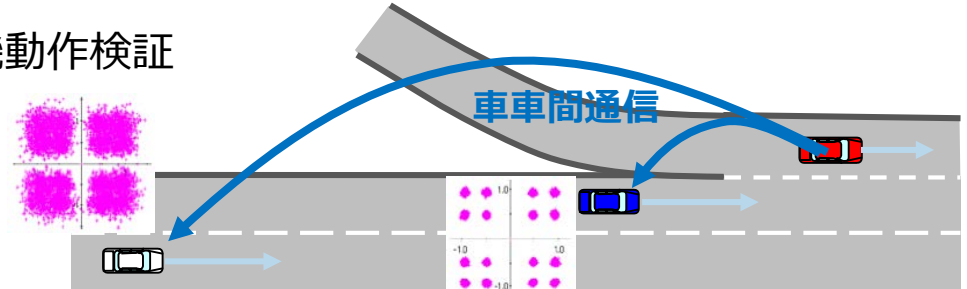
(2) 通信品質の安定化

課題2 ア) 通信容量(送信データサイズ)の拡大技術

多重伝送方式(階層変調技術)の適用と実機動作検証

■ 階層変調の特徴

- ・ 近距離の相手に対してデータサイズを増加可能
- ・ 従来の変調方式と**互換性を維持**



遠い距離(=低SNR)の相手

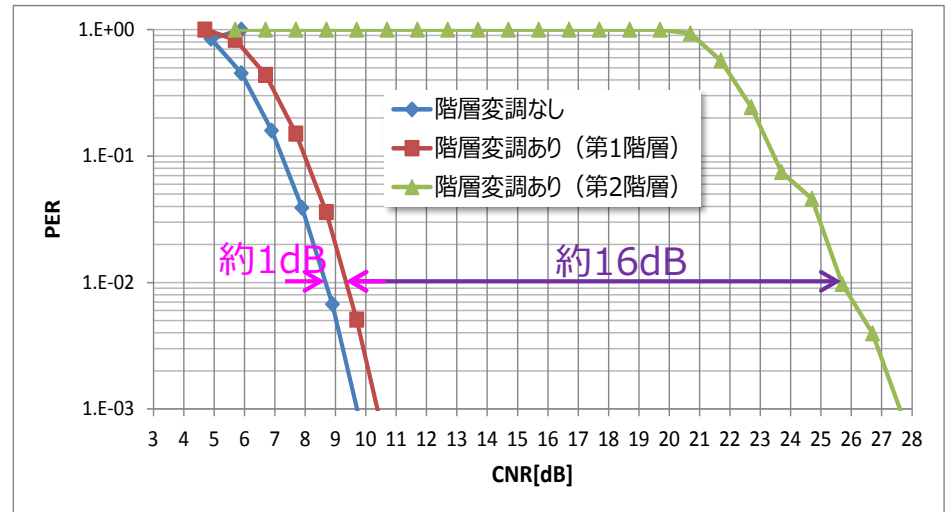
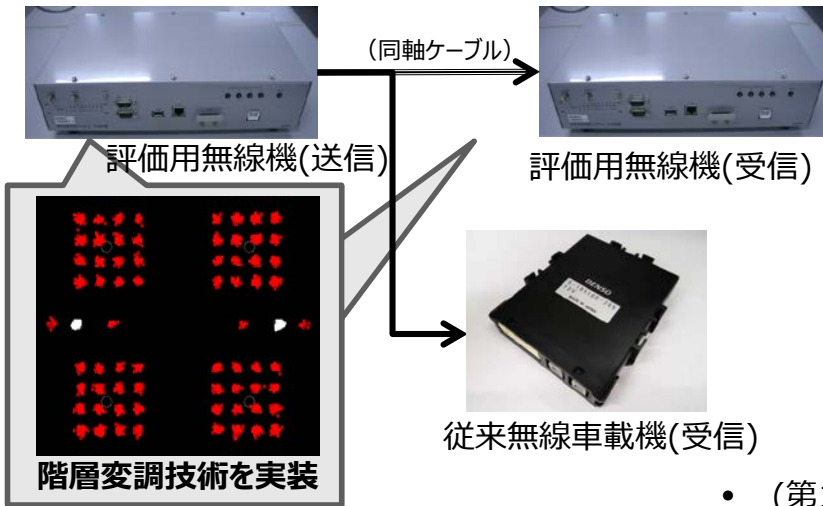
第1階層(従来データ)のみ復調可能

近い距離(=高SNR)の相手

第1階層(従来データ)

+ 第2階層(追加データ)を復調可能

320byteのデータサイズ拡大が見込める設定(第1:QPSK、第2:16QAM)において、実機検証(有線接続でのPER測定)を実施

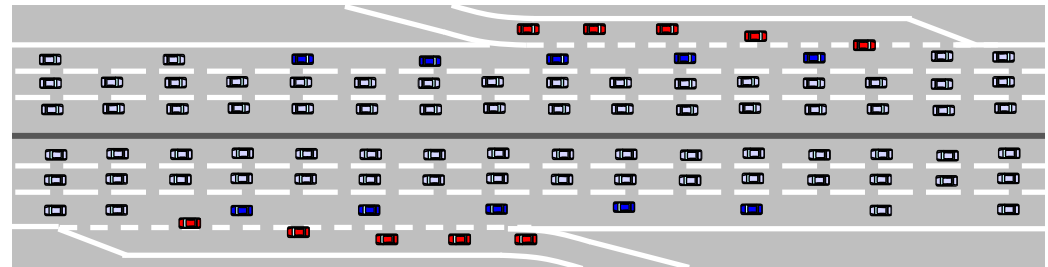


- ・ (第1階層)階層変調の有無による特性差は約1dB
- ・ (第2階層)第1階層と比較して約16dB高いCNRが必要
- ・ (互換性)従来無線車載機に階層変調信号を入力し、第1階層の正常受信を確認

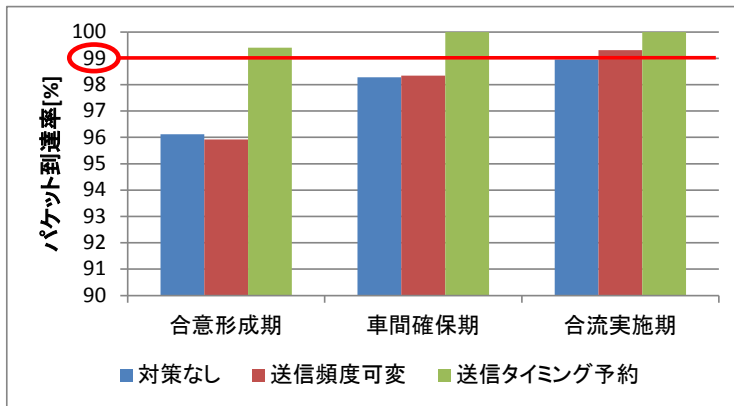
課題2 ア) 通信品質の安定化技術

- ①送信頻度可変機能(自律分散輻輳制御)
 - ・ 北米(SAE)、欧州(ETSI)では車車間/路車間通信に適用済み
- ②送信タイミング予約機能

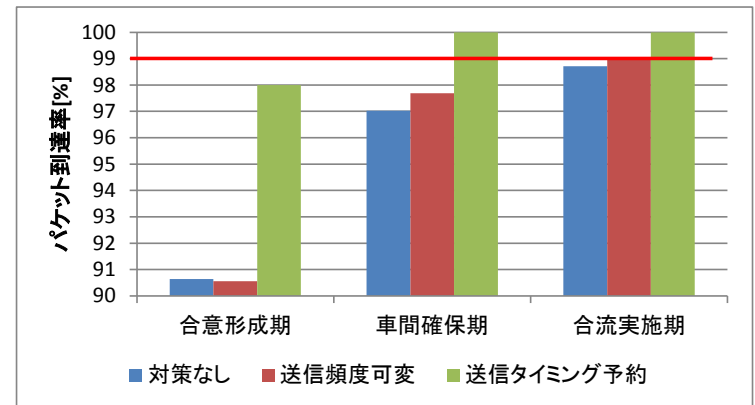
	送信頻度	送信タイミング
: 合流車両 : 受入車両	100ms 周期固定	予約タイミング
: 周辺車両	送信頻度可変	予約タイミング以外



シミュレーション結果(階層変調なし100byte)



階層変調を適用した場合(第2階層320byte)



送信タイミング予約機能により、従来データサイズでは要件99%以上を満足。データサイズ拡大と併せた場合はわずかに未達。

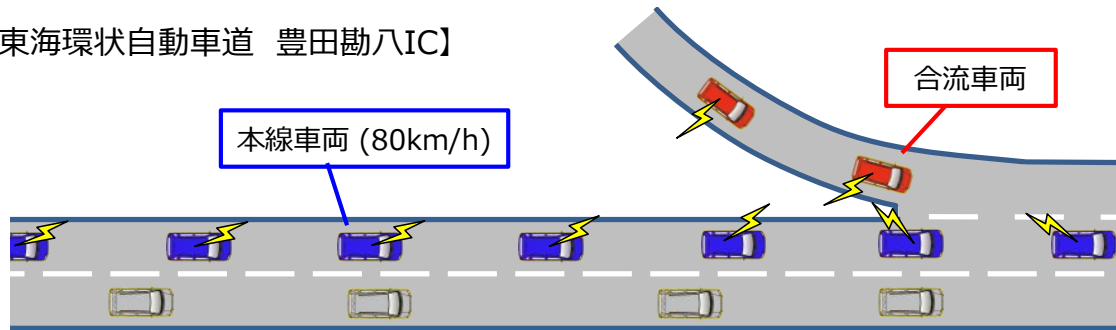
課題2 イ) 協調型自動走行ユースケースの検討と成立性検証

【研究実施主体 パナソニック】

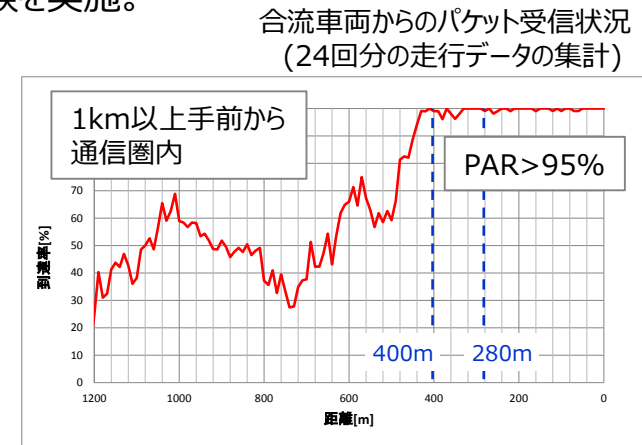
自動走行システムへの通信情報の活用検討（先読み情報活用検討）

- ・合流/車線変更、ハザード検知情報の共有といったユースケースにおいて、スムーズな自動走行を実現するための先読み情報活用モデルを検討。
- ・モデルの実現性の基礎評価として、700MHz帯ITS無線機を用いた通信実験を実施。

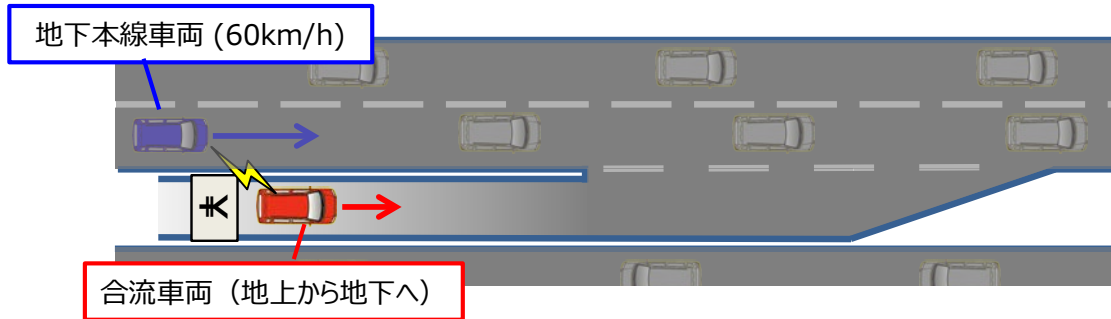
【東海環状自動車道 豊田勘八IC】



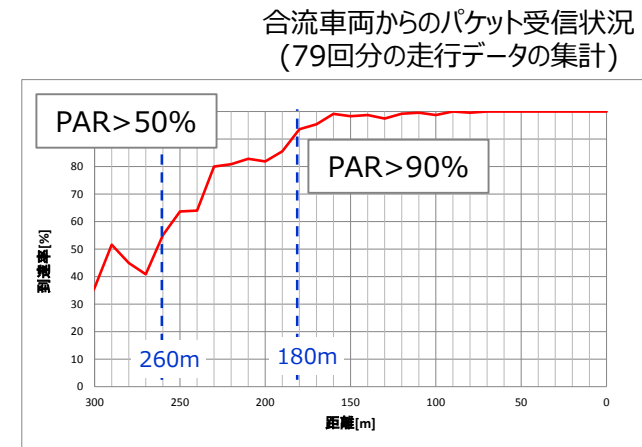
※ 合流地点より約280m, 400m手前地点までの通信性能を確認



【名古屋高速 四谷入口】



※ 合流地点より約180m, 260m手前地点までの通信性能を確認



課題2 イ) 車車間・路車間通信を利用した合流支援モデル

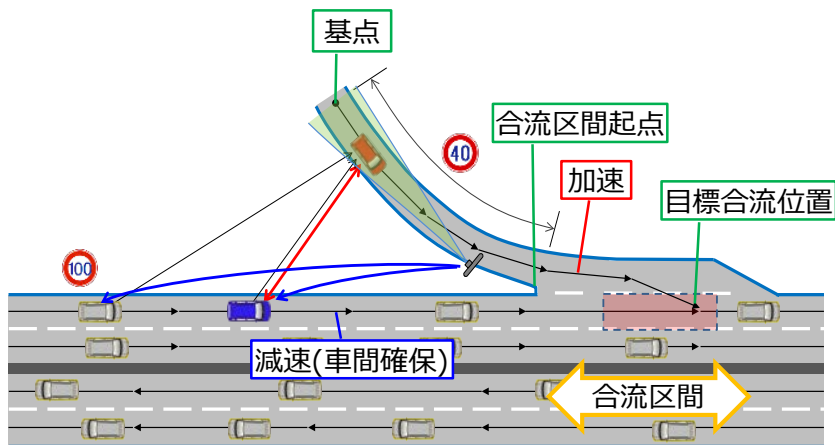
車車間情報または路車間(合流検知)情報を利用する場合

【本線車両】

車車間通信・路車間通信で得られる合流車両の情報と、
自車両の情報をもとに干渉予測を行い、必要に応じて
緩やかに減速して合流車が進入する車間を確保

【合流車両】

加速タイミング等を判断し、合流



- ・事前に合流受入の準備ができるため安全性は高い
- ・普及が進んで対応車が増えないと実現不可
- ・条件によっては本線の交通流に影響を与える可能性

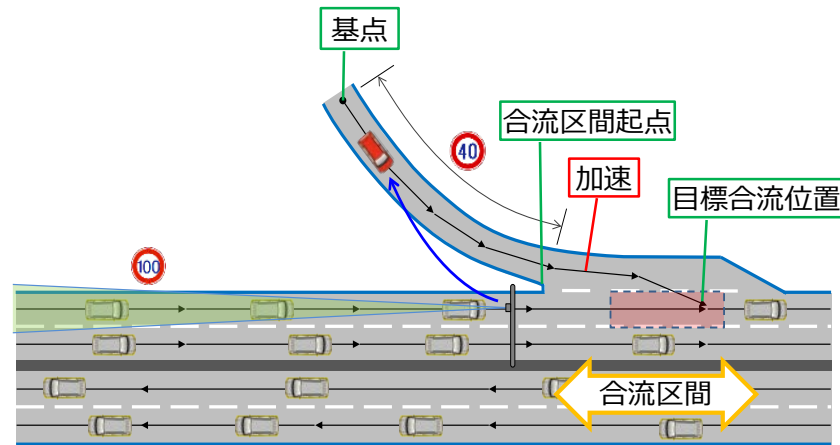
路車間(本線検知)情報を利用する場合

【本線車両】

特に事前に車間確保等の対応はしない。

【合流車両】

路車間通信で得られる本線車両の情報と、自車両
の情報をもとに干渉予測を行い、加速するタイミング
や加速の度合いを事前に予測しておいた上で合流



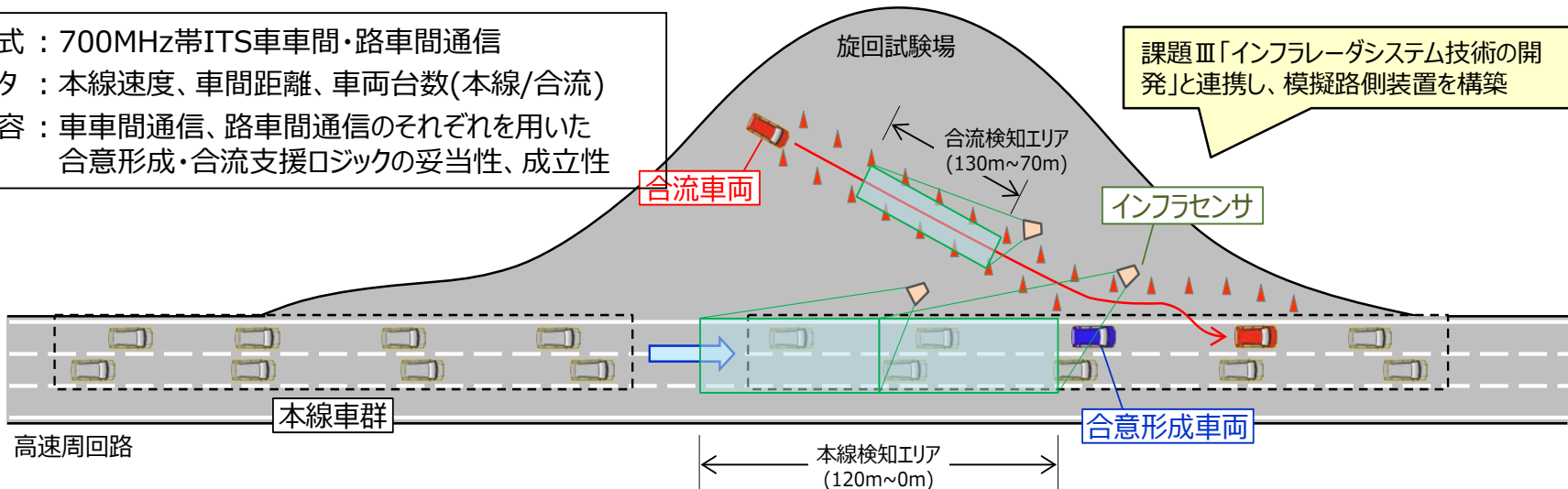
- ・普及が進んでいない段階でも一定の効果は期待できる
- ・合流検知に比べ、広い車両検知エリアが必要
- ・受入が担保されていないため合流に失敗するリスクあり

課題2 イ) 実証実験

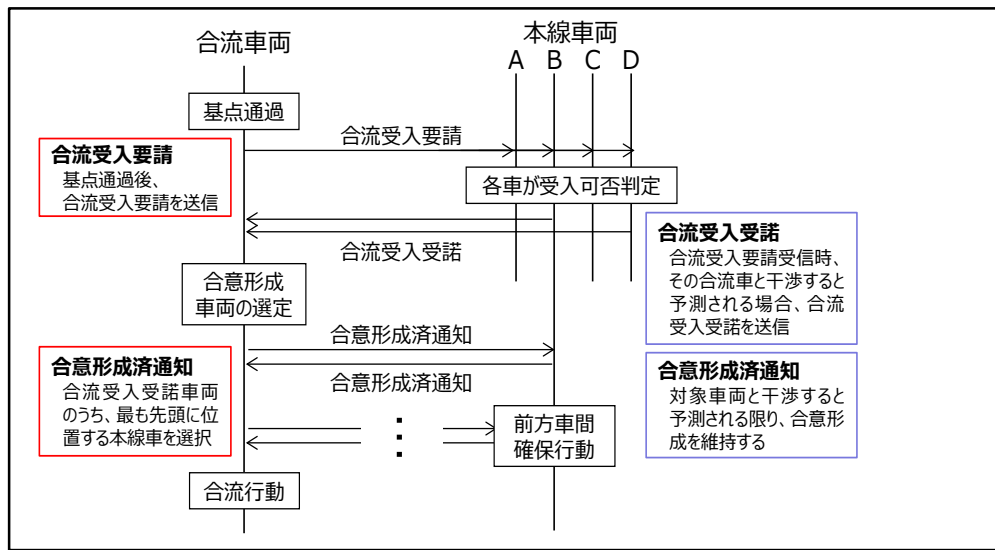
(日本自動車研究所 城里テストコースにて実施)

無線方式 : 700MHz帯ITS車車間・路車間通信
 パラメータ : 本線速度、車間距離、車両台数(本線/合流)
 評価内容 : 車車間通信、路車間通信のそれぞれを用いた合意形成・合流支援ロジックの妥当性、成立性

課題Ⅲ「インフラレーダシステム技術の開発」と連携し、模擬路側装置を構築



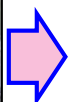
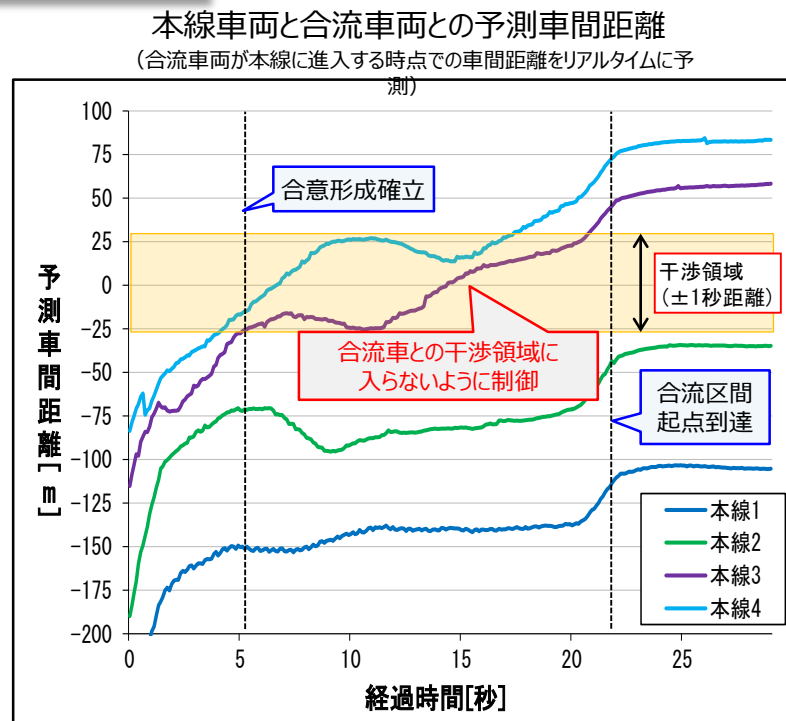
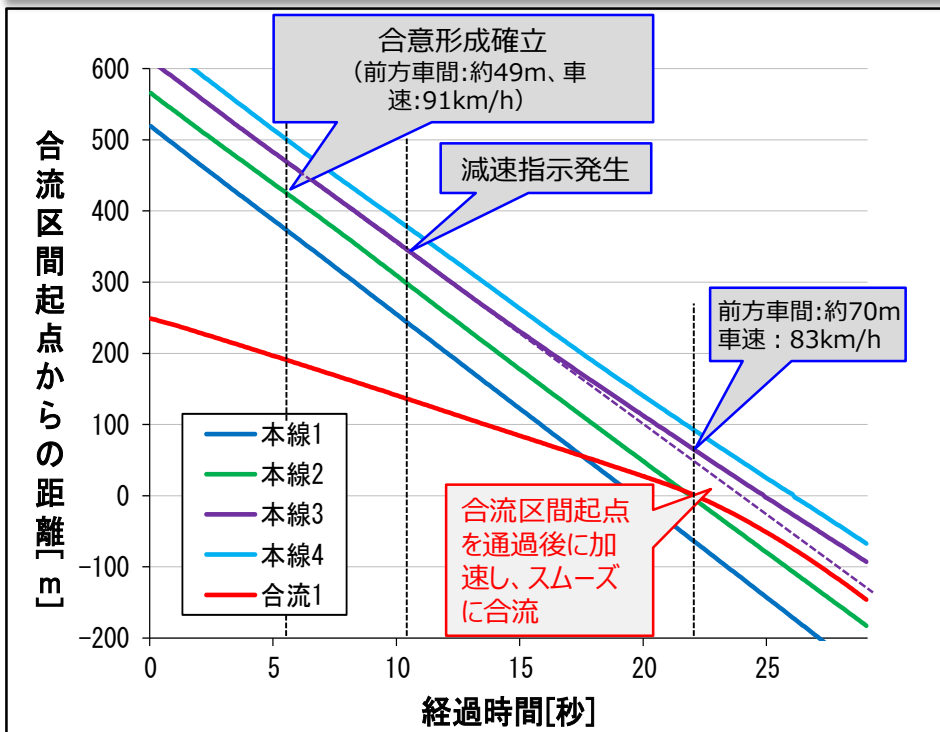
車車間合意形成シーケンス



課題2 イ) 車車間通信による合流支援

【本実験の前提】 本線車両、合流車両ともに通信機能を有しており、車車間で情報共有して合意形成や判断を行う。

【実験条件】 本線：規制速度 = 100km/h、車両台数 = 4台（先頭から本線1,2,3,4）
合流：規制速度 = 40km/h、車両台数 = 1台（合流1）



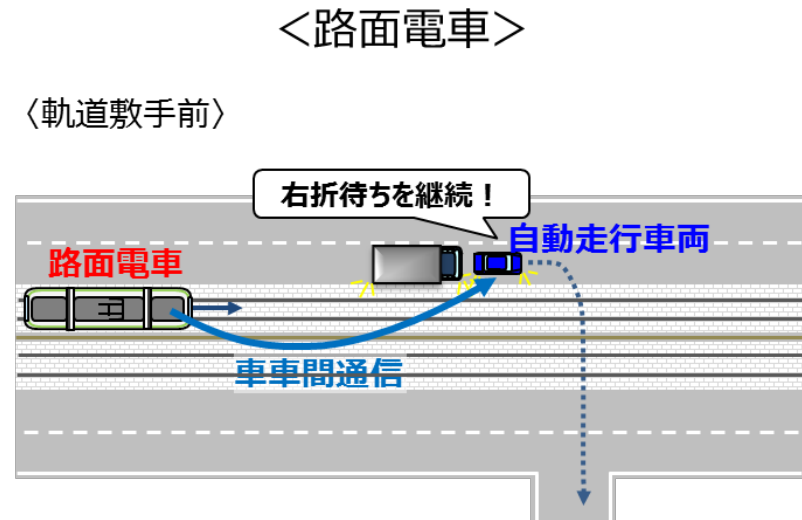
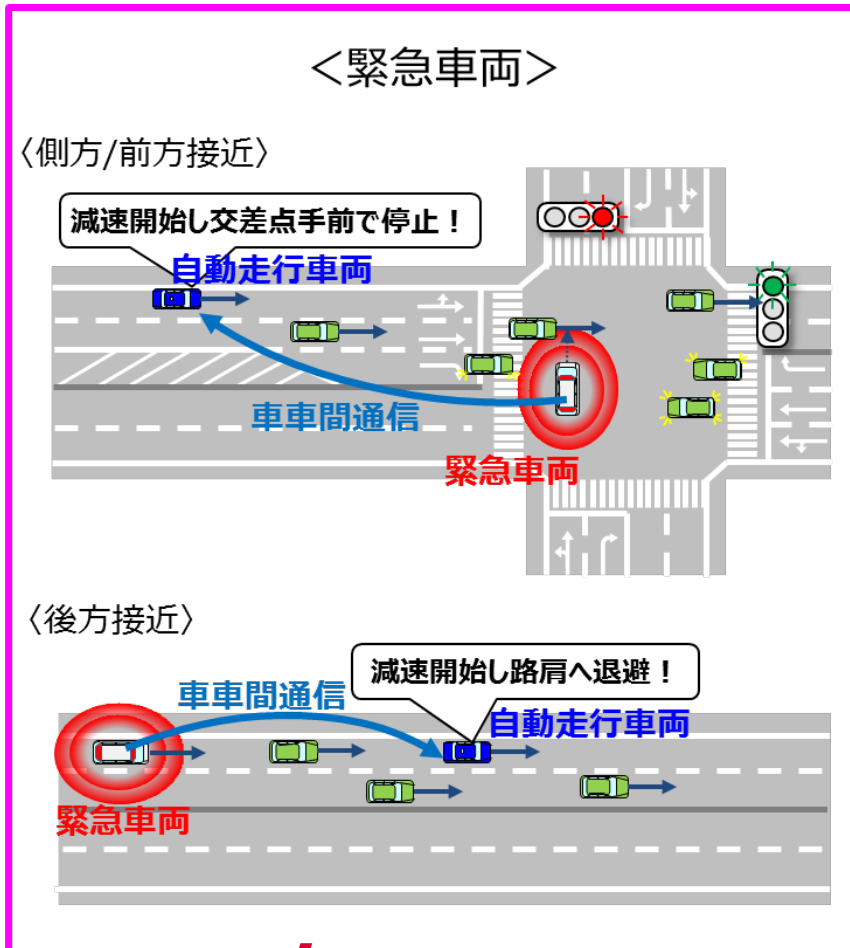
通信情報による合流支援効果は確認できたが、合意形成対象 (対処する本線車) を選択する手法は改善の余地あり

⇒ 合流台数が増えた場合でも、合流車を効率的に捌きつつ、本線交通流への影響を最小限にする。

課題2 ウ) 非一般車遭遇時ユースケースの検討と成立性検証

【研究実施主体：(株)デンソー】

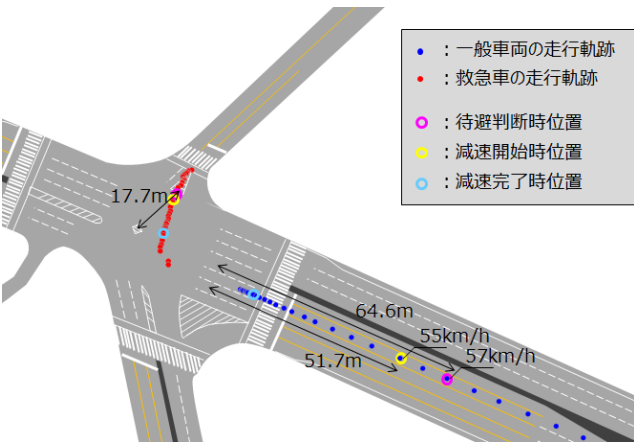
自動走行車が、優先車両と遭遇した時の通信ユースケースの検討と成立性検証
(緊急車両や路面電車を想定、車車間通信を活用したユースケースを検討)



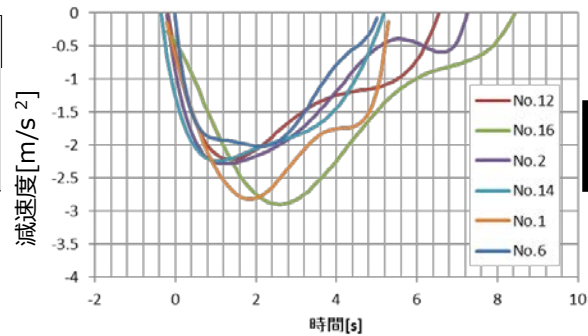
既に実用化されている安全運転支援と同様に、自動走行車両に対しても車車間通信で緊急車両や路面電車の接近を通知することが有効な手段であると思われる。

特に他車両でブラインドとなるような条件で通信が有効である。

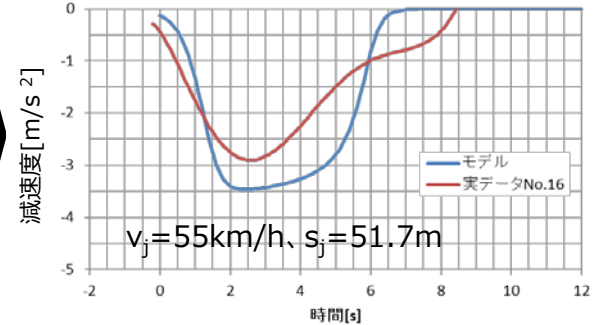
課題2 ウ) 待避減速モデル作成とユースケース成立性シミュレーション



名古屋市本山交差点で通信データを取得

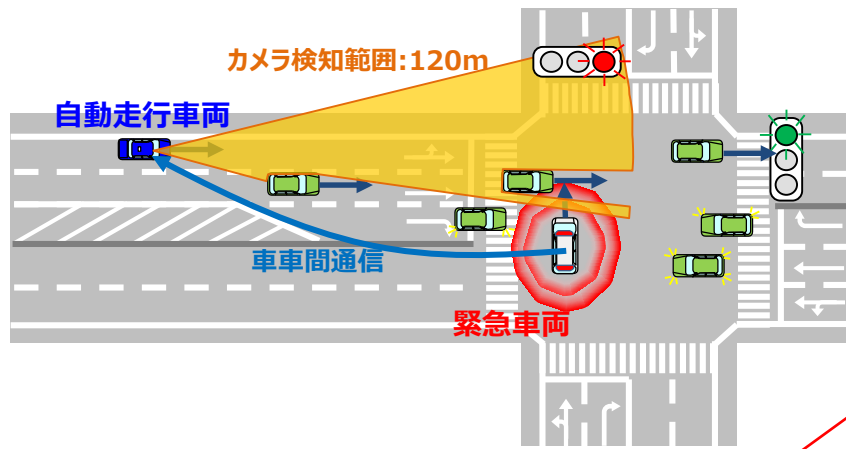


路車間通信の車両検知情報を用いて、待避走行時の減速度を算出



待避判断時の速度(v_j)と目標停止位置までの距離(s_j)に応じて決まる減速度モデル式を導出

■シミュレーション (緊急車両遭遇時ユースケースの成立性検証(側方接近時))



交通量：20台/min/車線

車線数	通信の有無	待避成功率	待避成功率 (最大減速度 0.25G以下)
片側2車線 × 片側2車線	通信なし	98%	75%
	通信あり	100%	100%
片側3車線 × 片側3車線	通信なし	92%	62%
	通信あり	100%	100%
片側4車線 × 片側4車線	通信なし	83%	54%
	通信あり	100%	97%

遭遇タイミング、車線数を複数変化させ、通信の有無による退避成功率を比較

カメラ、マイクを具備した自律自動走行車を想定

通信の活用により、確実かつ余裕のある待避走行が期待出来る

課題3 ア) 多次元分散協調による高信頼性車車間通信の調査研究

【研究実施主体：電気通信大学】

複数車両が分散協調通信を行う通信技術と、通信信頼度データベースに基づく送信電力制御及び中継車両選択する手法を開発し、通信の電波不感エリアをカバーする高信頼な車車間通信を効率的に実現可能であることを確認

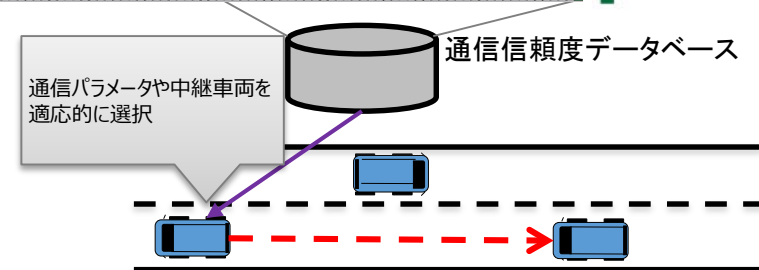
実験結果の一例：RSSIマップ（車車間通信の例）



東京都三鷹市周辺

通信信頼度マップ

（通信到達率予測のための電波マップの検討）

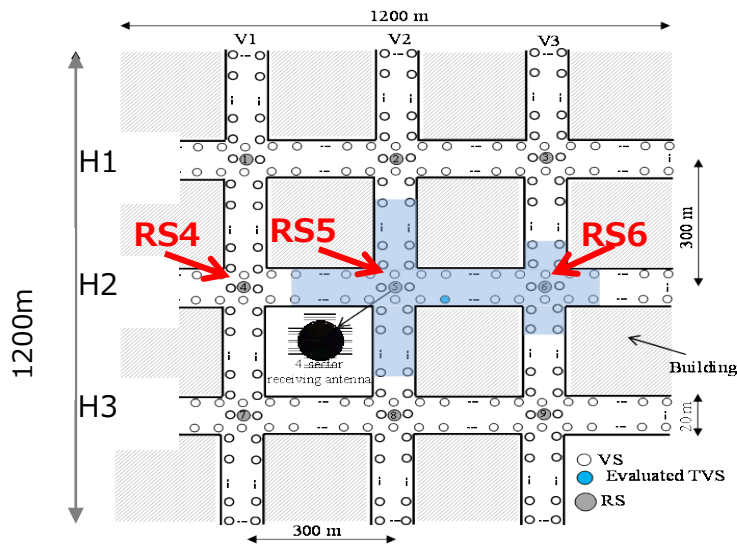


通信信頼度データベースを用いた分散協調通信

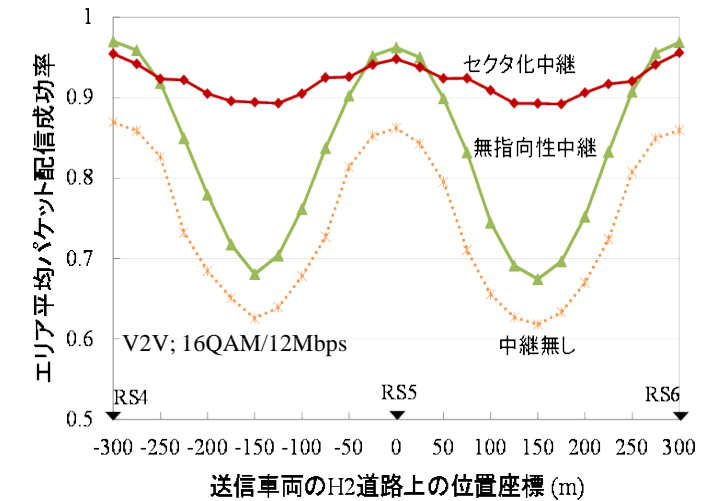
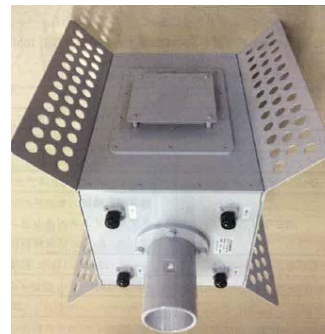
課題3 イ) 複数路側機中継器による棲み分け型協調中継システムの調査研究

【研究実施主体：電気通信大学】

路側中継無線機を用いる**セクタ受信化とパケット合成中継技術**を開発し、パケット衝突による通信成功率の低下を低減する高信頼な車車間通信を効率的に実現可能であることを確認



シミュレーションでの市街地ノード配置 (4車線)



セクタ受信路側中継のシミュレーション結果

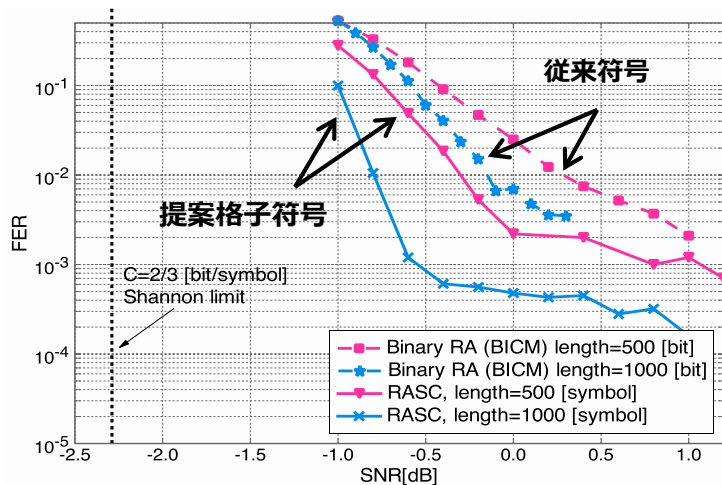
試作したセクターアンテナ

課題3 ウ) 高信頼・低遅延車車間通信を実現する誤り訂正符号化技術の調査研究

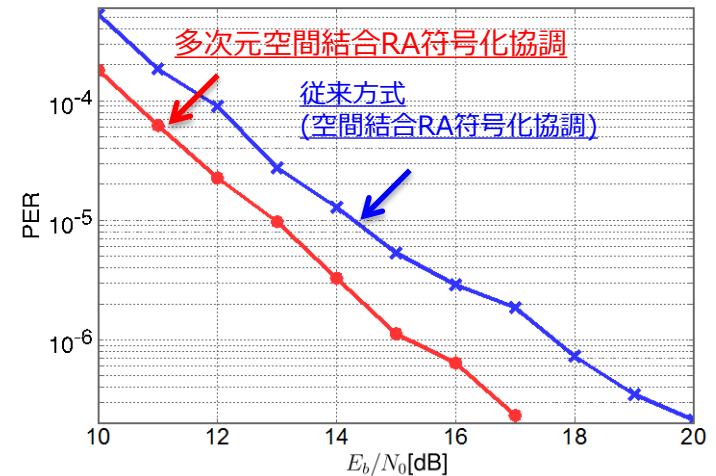
【研究実施主体：電気通信大学】

強力な誤り訂正能力を持つRA符号を用いた符号化技術の開発と、複数の符号と階層変調技術を組合せた適応的変調技術を開発し、現行よりさらに高信頼な通信が実現可能であることを確認

- ✓ 現行規格に近い環境で高信頼と遅延のトレードオフを満足する新たな誤り訂正符号化技術を検証
- ✓ 車車間協調通信技術についてより現実的なシナリオで評価



提案Repeat-Accumulate信号符号の復号誤り率特性



多次元空間結合RA符号化技術のシミュレーション結果

3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取り組み

政策目標(アウトカム目標)の達成に向けた計画

- 本研究成果(開発技術)を標準化団体や運用管理主体にインプットし、車車間通信・路車間通信を用いた安全運転支援の高度化に向け、標準化活動を進める。
- 自動走行システムの検討を行う団体(自動車工業会等)へ研究成果(実験等による検証結果)を展開し、**自律型自動走行システムに通信を利用することによる機能拡大の方向性**の決定に寄与する。
- 自動走行レベルや適用走行範囲の実現時期に合わせて、成果を活用し必要な技術開発とその標準化を進めていく。

【研究開発成果の社会展開に向けた計画】

実現時期	2017~2020	2020~2025	2025~
想定実現レベル	レベル2(運転支援)	レベル2+, 自専道レベル3	一般道レベル3+, 協調型
安全運転支援高度化	通信・メッセージ標準化	→	
協調型自動走行	(システム・サービス仕様議論)	→ 通信・メッセージ標準化	→

ご清聴ありがとうございました。