



# 5. 次世代交通・運輸システムにおける 通信の役割

電気通信大学

先端ワイヤレス・コミュニケーション研究センター

山尾 泰



# 目次

1. 自動走行の必要性と達成レベル
2. 国を中心とした取り組み
3. 自動走行のシステムモデル
  - ドライバーの視点 vs. 交通の視点 -
4. 自動走行における通信の役割と要求条件
  - ブロードキャスト型通信とユニキャスト型通信 -
5. ブロードキャスト型車車間通信の課題
  - 高信頼化・低遅延化と大容量化 -

# 1. 自動走行の必要性と達成レベル

- ◆ 交通事故の抑止
- ◆ 高齢化社会への対応
- ◆ 地方での交通利便確保
- ◆ 渋滞の解消と省エネ
- ◆ 人間を運転作業から解放
- ◆ 新しい産業の創出
- ◆ etc.

# 第10次交通安全基本計画概要(2015)

## 第1 道路交通の安全

交通事故死者数の15年ぶりの増加や安全運転義務違反に起因する死亡事故の割合が相対的に高くなっていることなどから、本計画の目標を達成し、世界一安全な道路交通を実現していくためには、これまでの対策の深化とともに、日々進歩する交通安全に資する先端技術や情報の活用を一層促進していくことが重要。

### 【目標】

- ① 24時間死者数を**2,500人(※)以下**とし、世界一安全な道路交通を実現する。  
(※30日以内死者数約3,000人)
- ② 死傷者数を**50万人以下**にする。

### 【対策】

#### <視点>

1 交通事故による被害を減らすために重点的に対応すべき対象

- ① 高齢者及び子供の安全確保
- ② 歩行者及び自転車の安全確保
- ③ 生活道路における安全確保

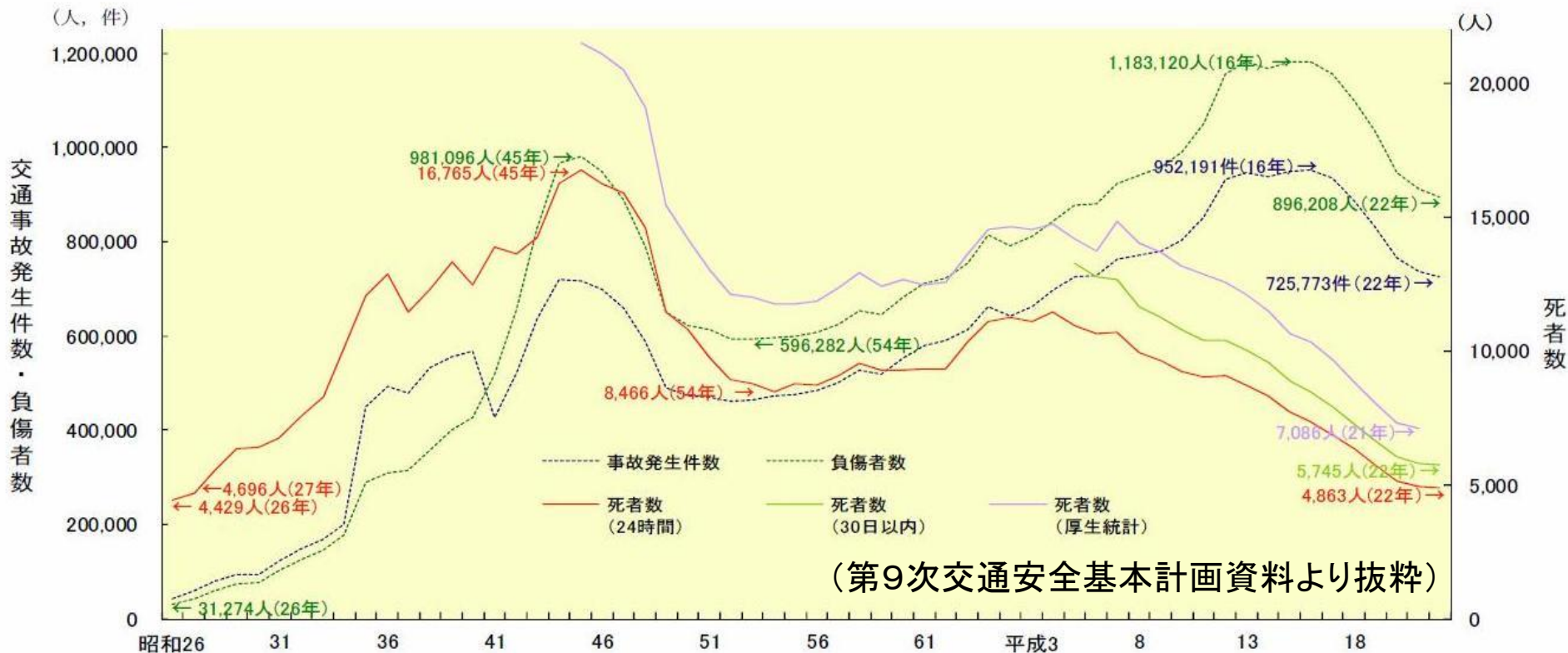
2 交通事故が起きにくい環境をつくるために重視すべき事項

- ① 先端技術の活用推進
- ② 交通実態等を踏まえたきめ細かな対策の推進
- ③ 地域ぐるみの交通安全対策の推進

#### <対策の柱>

- ① 道路交通環境の整備
- ② 交通安全思想の普及徹底
- ③ 安全運転の確保
- ④ 車両の安全性の確保
- ⑤ 道路交通秩序の維持
- ⑥ 救助・救急活動の充実
- ⑦ 被害者支援の充実と推進
- ⑧ 研究開発及び調査研究の充実

# 交通事故件数と死亡者数の推移



注 1 警察庁資料による。

2 昭和41年以降の件数には、物損事故を含まない。また、昭和46年までは、沖縄県を含まない。

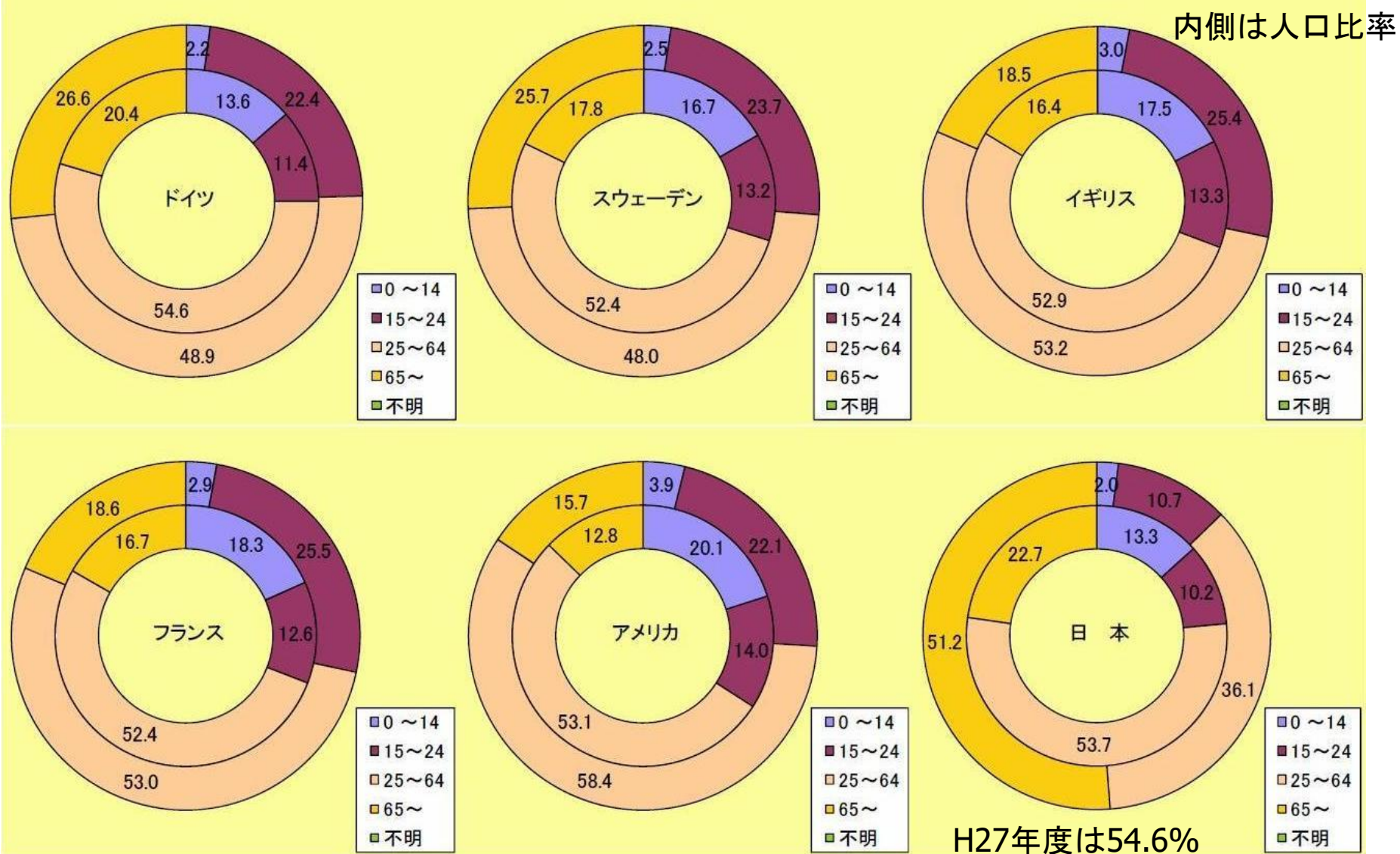
3 「24時間死者」とは、道路交通法第2条第1項第1号に規定する道路上において、車両等及び列車の交通によって発生した事故により24時間以内に死亡したものをいう。

4 「30日以内死者」とは、交通事故発生から30日以内に死亡したものを(24時間死者を含む。)いう。

5 「厚生統計の死者」は、警察庁が厚生労働省統計資料「人口動態統計」に基づき作成したものであり、当該年に死亡した者のうち原死因が交通事故によるもの(事故発生後1年を超えて死亡した者及び後遺症により死亡した者を除く。)をいう。なお、平成6年までは、自動車事故とされた者を、平成7年以降は、陸上の交通事故とされた者から道路上の交通事故ではないと判断される者を除いた数を計上している。

平成27年死亡者数(4,117人)は前年度比+4人で増加に転じた

# 年齢別交通事故死者数の国別比較(2009年)



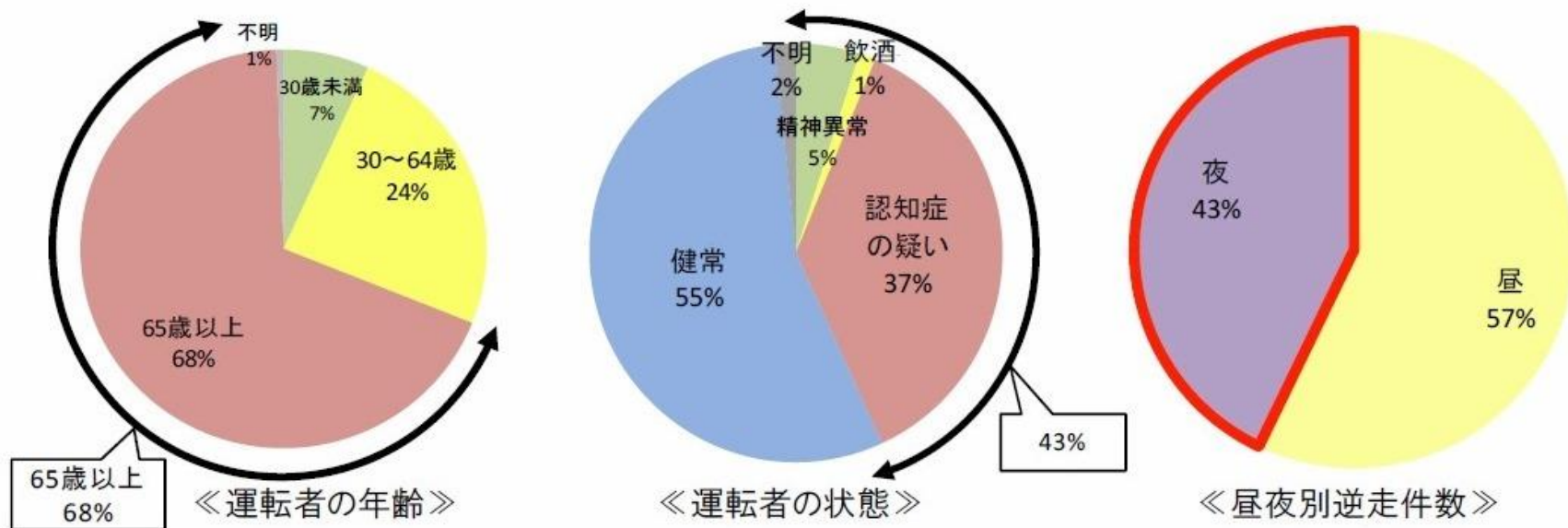
欧米諸国と比べて、日本では高齢者死者数の占める割合が極めて高い

# 高齢者の増加と交通事故

高齢化による身体機能の低下(視力・聴力・認識力・判断力・運動能力など)

高齢者は被害者になり易いと共に、加害者になる可能性も大

例) 認知症の疑いのあるドライバによる高速道路逆走事故の増加



※それぞれ H23~25 年の逆走(541 件)  
(警察庁・高速道路会社調べ)

高齢者向けの運転サポート・自動走行システムが重要課題

## 2. 国を中心とした取り組み



# 日本の公的なITS政策・研究開発・標準化機関

【内閣官房】 IT総合戦略本部／ITS推進協議会；ロードマップ作成と省庁間とりまとめ

## 【総務省】

- ◆ 情報通信審議会；無線システム技術基準 → 電波法改正
- ◆ 「ITS無線システムの高度化に関する研究会（H20～21）」
- ◆ 各種調査研究委託・技術試験事務

【電波産業会（ARIB）】 民間標準規格（無線システム；STD-T109）

- ◆ 情報通信システム推進会議

## 【国土交通省】

- ◆ 交通政策審議会／陸上交通分科会
- ◆ 先進安全自動車（ASV）推進検討会

自動走行ビジネス検討会（合同）

## 【経済産業省】

- ◆ NEDO（エネルギーITS）、産総研（自動走行）
- ◆ ISO 自動車技術会 ITS標準化委員会

## 【警察庁】

（社）新交通管理システム協会（UTMS協会）

→ DSSSシステム（Driving Safety Support Systems）



## ～2020 年までの高速道路での自動走行及び限定地域での無人自動走行移動サービスの実現に向けて～

取りまとめ；

内閣官房

高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部 (IT総合戦略本部)

新戦略推進専門調査会 道路交通分科会

1. はじめに・定義
2. ITS・自動走行の位置づけと将来の方向
3. ITS・自動走行に係る社会、産業目標と全体戦略
4. 自動走行・安全運転支援システムの市場化等に向けた取組
  - (1) 高速道路での自動走行車(システム)
  - (2) 限定地域での無人自動走行による移動サービス
  - (3) その他の自動走行システム
  - (4) 安全運転支援システム等の普及
5. ITS・自動走行のイノベーション推進に向けた取組
6. ロードマップ
7. 今後の進め方・体制

# 先端技術の活用推進の具体的施策

【新たな視点】  
「交通事故が起きにくい環境をつくるために重視すべき事項」

## ①先端技術の活用推進

- 運転者の不注意や高齢運転者の身体機能の低下等に起因する事故を未然に防止する安全運転支援システム
- いち早く救助・救急を行うシステム
- 世界をリードする技術の研究開発、新たな技術の有効活用

## 主な具体的施策

- 衝突被害軽減ブレーキ等、市場化された技術の義務化も含めた保安基準の拡充・強化
- ドライバー異常時対応システム等、実用化間際である新技術の開発・普及促進
- 開発が進められている自動走行技術等の開発・普及のための環境整備
- 安全な自動走行の実現のための制度の在り方に関する調査研究
- 事故自動通報システム(ACN)等の普及・高度化
- 安全運転支援システム(DSSS)の導入・整備、ETC2.0サービスの普及・促進



## 国家戦略特区

完全自動走行（レベル4）の実現に向けた  
具体的プロジェクト

平成27年10月1日

内閣府大臣政務官 小泉 進次郎

我が国の経済成長を牽引する近未来技術の自動走行システムについては、「官民ITS構想・ロードマップ2015」（平成27年月30日 IT総合戦略本部決定）における自動走行システム、いわゆる「**レベル4（完全自動走行）**」までの**技術開発を目指し、適切に実証実験を実施し、その効果を検証していくことが必要である。**（中略）特区等においてレベル4を見据えた**安全性に関するデータ収集等に必要な公道実証実験を積極的かつ安全に行うための環境を整備**するとともに、自動走行に関する**国際的な基準作り**に積極的に取り組む。

# 自動走行の達成レベルの定義(2015)

自動化レベル	概要	左記を実現するシステム		市場化時期
レベル4	加速・操舵・制動を全てドライバー以外が行い、ドライバーが全く関与しない状態	完全自動走行システム*5)	自動走行システム	2020年代後半以降
レベル3	加速・操舵・制動を全て自動車が走り、緊急時のみドライバーが対応する状態	準自動走行システム		2020年代前半
レベル2	加速・操舵・制動のうち複数の操作を同時に自動車が行う状態			2017年
レベル1	加速・操舵・制動のいずれかを自動車が走る状態	安全運転支援システム		—

\*5) ここで完全自動走行システムが「有人か無人か」は定義していない。

日本政府および米国運輸省道路交通安全局(NHTSA)でほぼ同一内容

# 自動走行の達成レベルの定義(2016)

分類		概要	法(責任関係)	左記を実現するシステム	
情報提供型		ドライバーへの注意喚起	ドライバー責任	「安全運転支援システム」	
自動制御活用型	レベル1 :単独型	加速・操舵・制動のいずれかの操作をシステムが行う状態	ドライバー責任		
	レベル2 :システムの複合化	加速・操舵・制動のうち複数の操作をシステムが行う状態	ドライバー責任 ※監視義務及びいつでも安全運転できる体制	「準自動走行システム」	「自動走行システム」
	レベル3 :システムの高度化	加速・操舵・制動を全てシステムが行い、システムが要請したときのみドライバーが対応する状態	システム責任(自動走行モード中) ※特定の交通環境化での自動走行(自動走行モード) ※監視義務なし(自動走行モード:システム要請前)		
	レベル4 :完全自動走行	加速・操舵・制動を全てシステムが行い、ドライバーが全く関与しない状態	システム責任 ※すべての行程での自動走行 ※遠隔制御によるものも含む	「完全自動走行システム」	

# IT総合戦略本部が強力に推進している分野

## 高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部（IT総合戦略本部）

電子行政オープンデータ実務者会議

eガバメント閣僚会議

各府省情報化統括責任者(CIO)連絡会議

新戦略推進専門調査会

H28.4.12 官民ITS構想・ロードマップ2016(案)

ITコミュニケーション活用促進戦略会議

パーソナルデータに関する検討会

情報セキュリティ政策会議

IT利活用セキュリティ総合戦略推進部会

データワーキンググループ

ルール・普及ワーキンググループ

電子行政分科会

農業分科会

医療・健康分科会

防災・減災分科会

新産業分科会

道路交通分科会

人材育成分科会

規制制度改革分科会

マイナンバー等分科会

技術検討ワーキンググループ

# 戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)

- 閣議決定された「**科学技術イノベーション総合戦略2014**」, 「**日本再興戦略**」に基づき, 府省・分野の枠を超えて基礎研究から出口に至るまでをも見据えた研究開発を推進
- 総合科学技術・イノベーション会議が司令塔機能を発揮し, 関係府省の取組を俯瞰して**推進すべき課題・取組**を特定し, 予算を重点配分(500億円/年)

## 4分野

## 10課題

エネルギー

革新的燃料技術, 次世代パワーエレクトロニクス  
革新的構造材料, エネルギーキャリア(水素社会)

次世代インフラ

**自動走行システム**,  
インフラ維持管理・更新マネジメントシステム,  
レジリエントな防災・減災機能の強化

地域資源

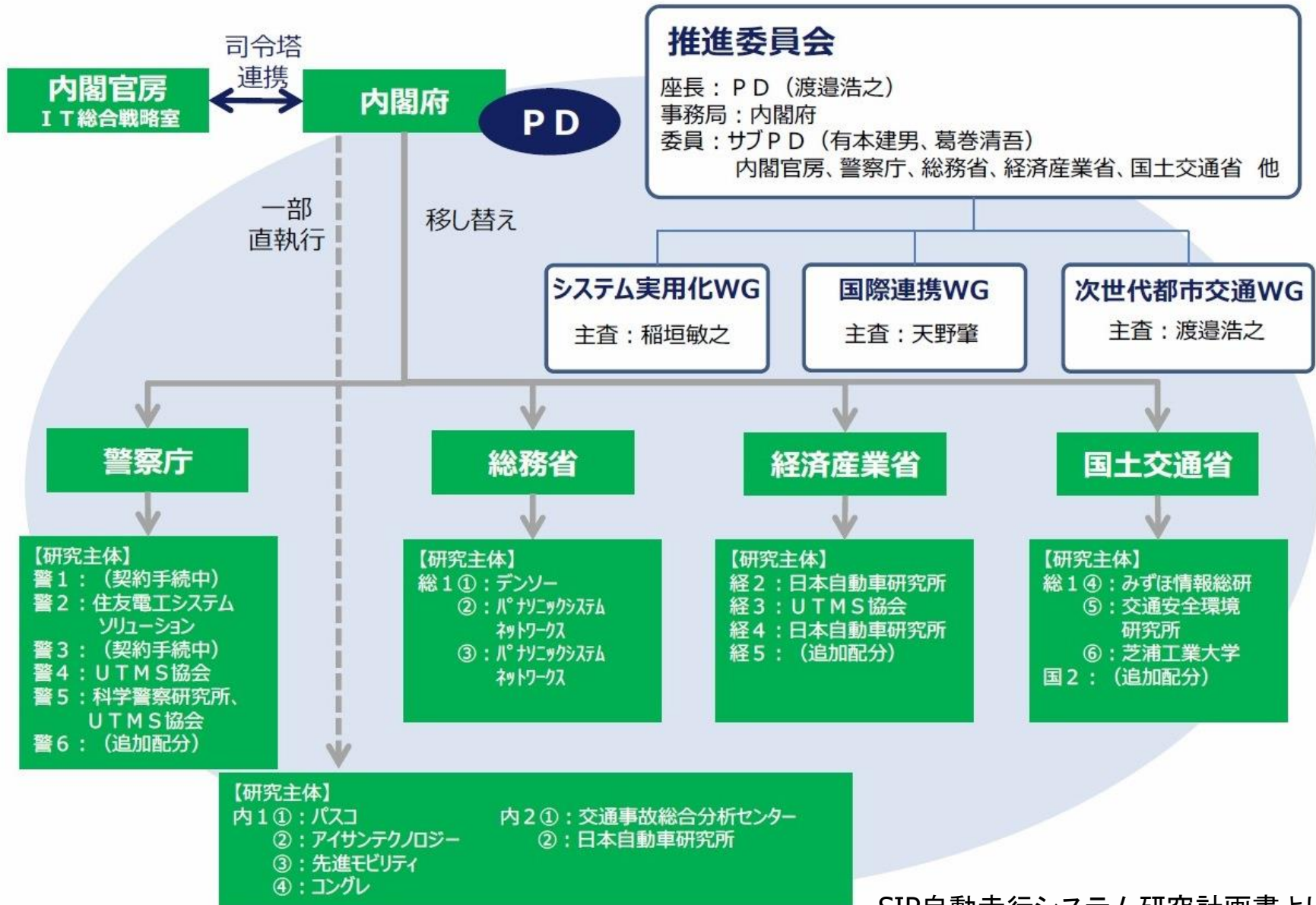
次世代海洋資源調査技術, 革新的設計生産技術  
次世代農林水産業創造技術

健康医療

(別課題)

項目毎に  
PDを配置

# SIP自動走行システムの開発体制





### 3. 自動走行のシステムモデル

# 自動走行の概念

## ● 自律型自動走行(ロボット移動体)

代表例: 自動運転／操縦システム(オートパイロット)、ドローン

実現手段: レーダ、周囲画像認識、MAPマッチング、GPS

課題: 認識の信頼度、複数の認識結果のコンフリクト

## ● 従属型自動走行

代表例: 自動運転列車(ゆりかもめ等)

実現手段: ATC, ATS, 列車無線、ACC(自動追従走行)

課題: 軌道がない場合の走行制御(レーン制御)

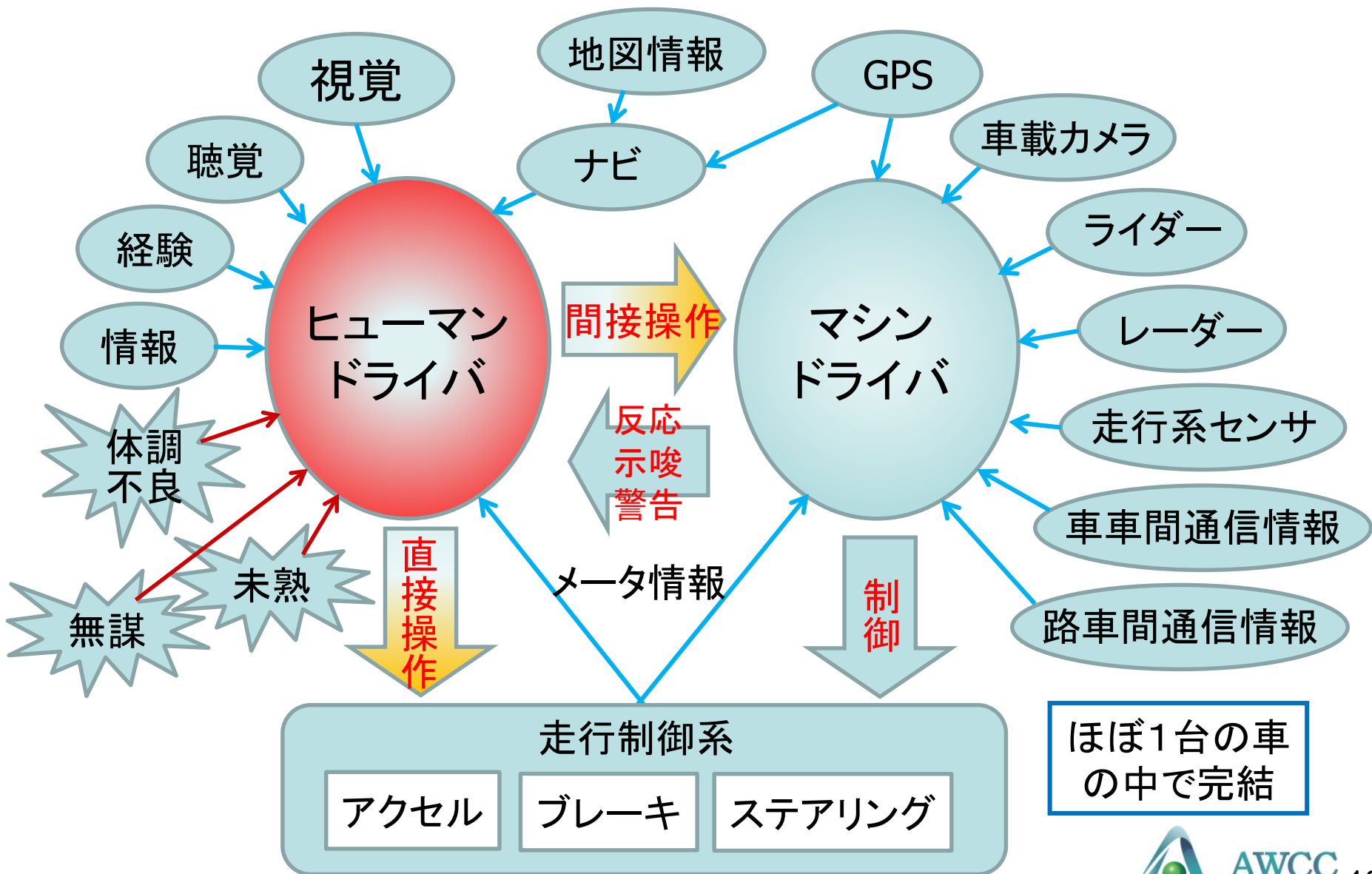
## ● 協調型自動走行(交通流を意識)

代表例: ITS自動走行(将来)

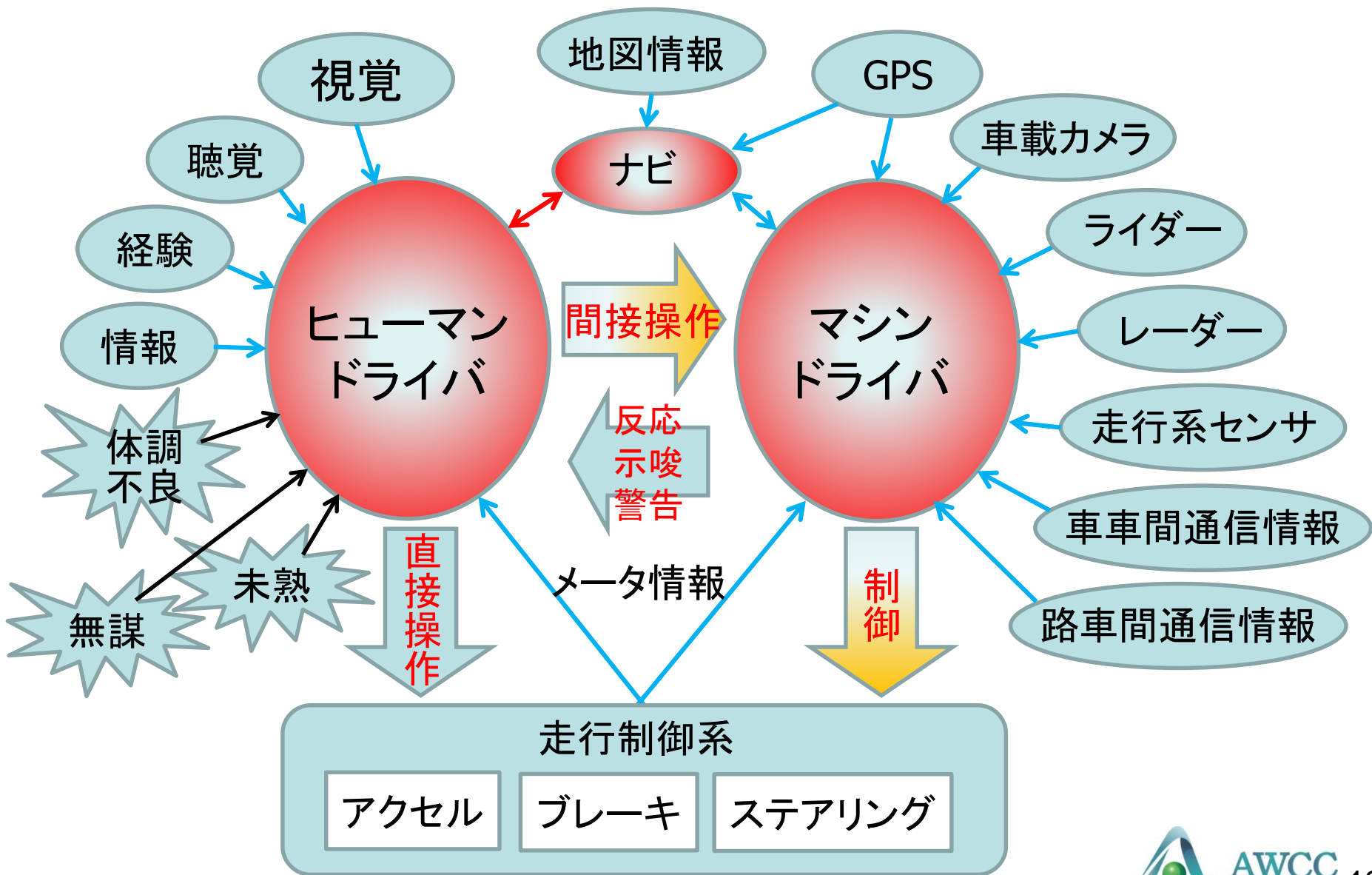
実現手段: 自律型自動走行のための手段 + 車車／路車／歩車間通信

課題: 通信の信頼度と遅延時間

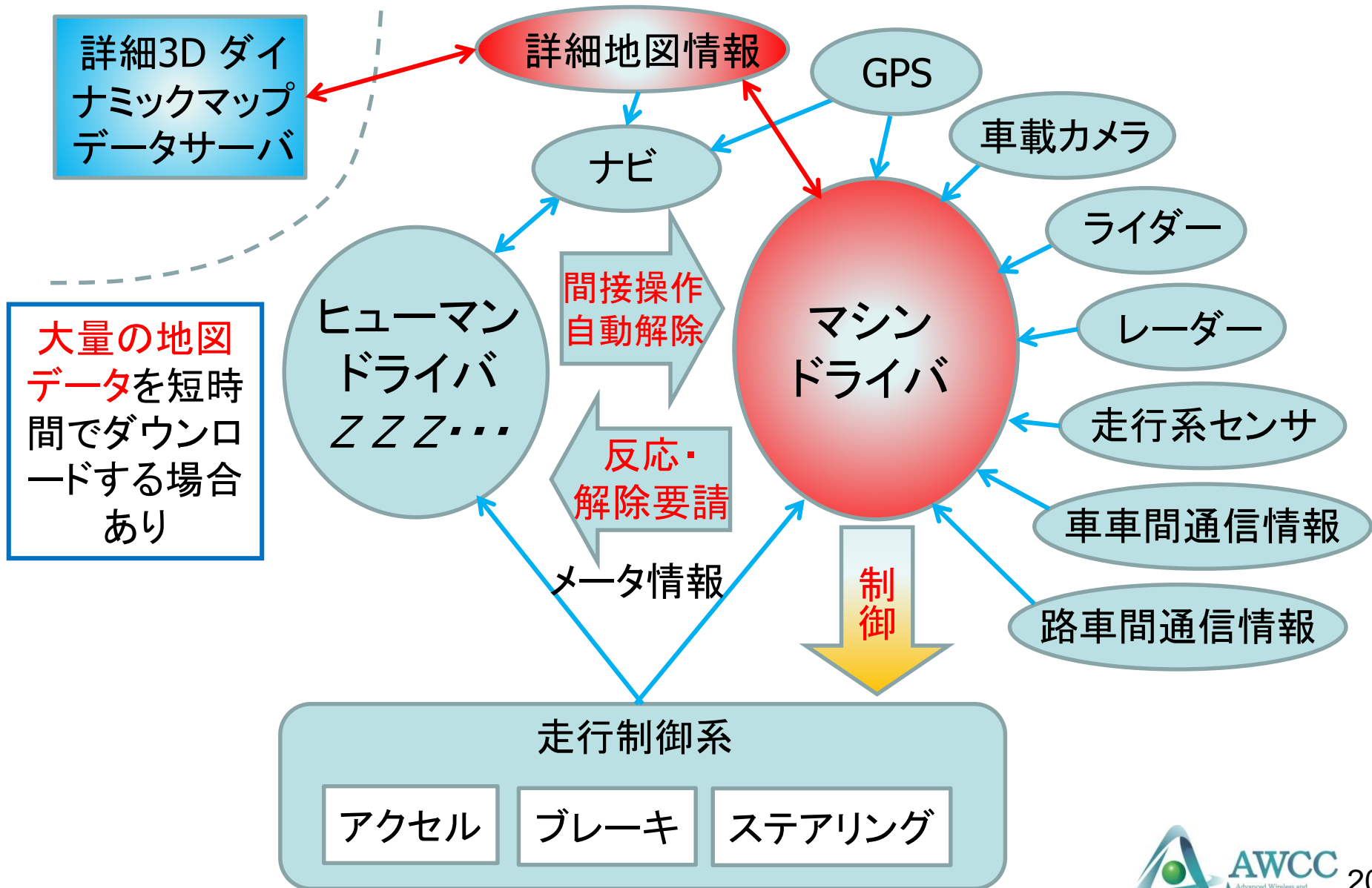
# 自動走行のシステムモデル(運転支援1)



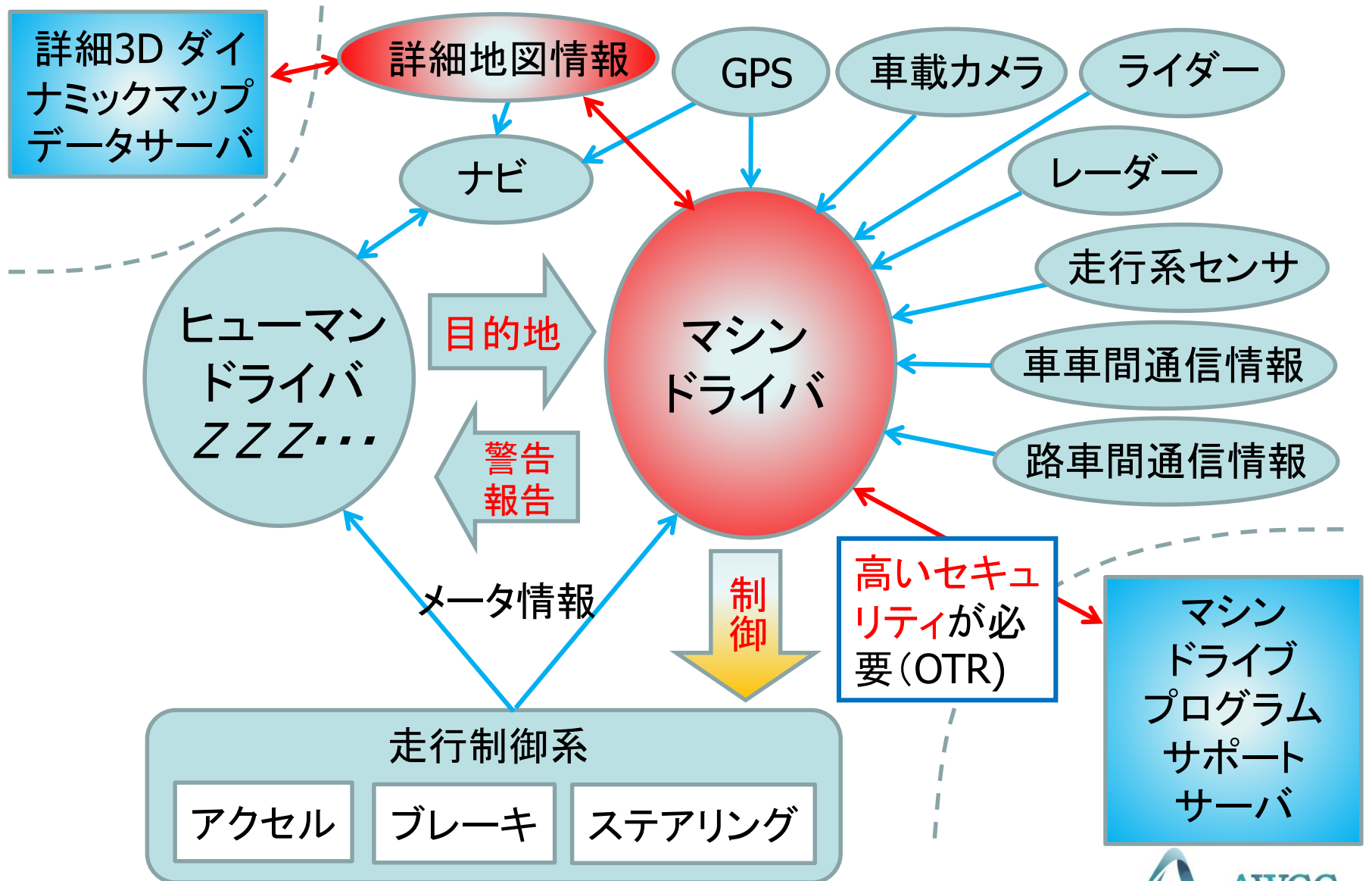
# 自動走行のシステムモデル(半自動走行)



# 自動走行のシステムモデル(準自動走行1)



# 自動走行のシステムモデル(準自動走行2)



# 自動運転 vs. 自動走行

## ● 自動運転 → ドライバ(自動車)の視点

- ◆ 目的地に早く、経済的、安全に到達したい
- ◆ 運転の疲労を軽減したい

## ● 自動走行 → 交通(自動車+道路+歩行者)の視点

ドライバの視点に加えて、

- ◆ 渋滞や事故をなくし、スムーズな交通流を実現
- ◆ 環境負荷の軽減、高効率的なモビリティ社会を実現

両者には微妙ではあるが制御目的意識に差がある

# ドライバーの視点 vs. 交通の視点

- 目的地に早く、経済的、安全に、かつ楽に到達するには、**個々の車の制御**を考えれば十分であるように思える。
- しかしながら、そのためには**道路インフラをうまく活用**できることが大前提。個々の車の制御のみで最適な走行が可能かどうかは不明。
- **スムーズな交通流**を実現するには、**複数の走行車両を協調制御**することが有効と考えられる。(例CACC(協調自動追従走行))
- さらに、自車のセンサのみでは**見通し外(NLOS)の物体を検知**することはできないので、見通しのある**他車の検知結果を共有**することで、より検出能力を高め、自動運転の信頼度を向上することができる。

協調型自動走行が自動走行の理想形では？



## 4. 自動走行における通信の役割

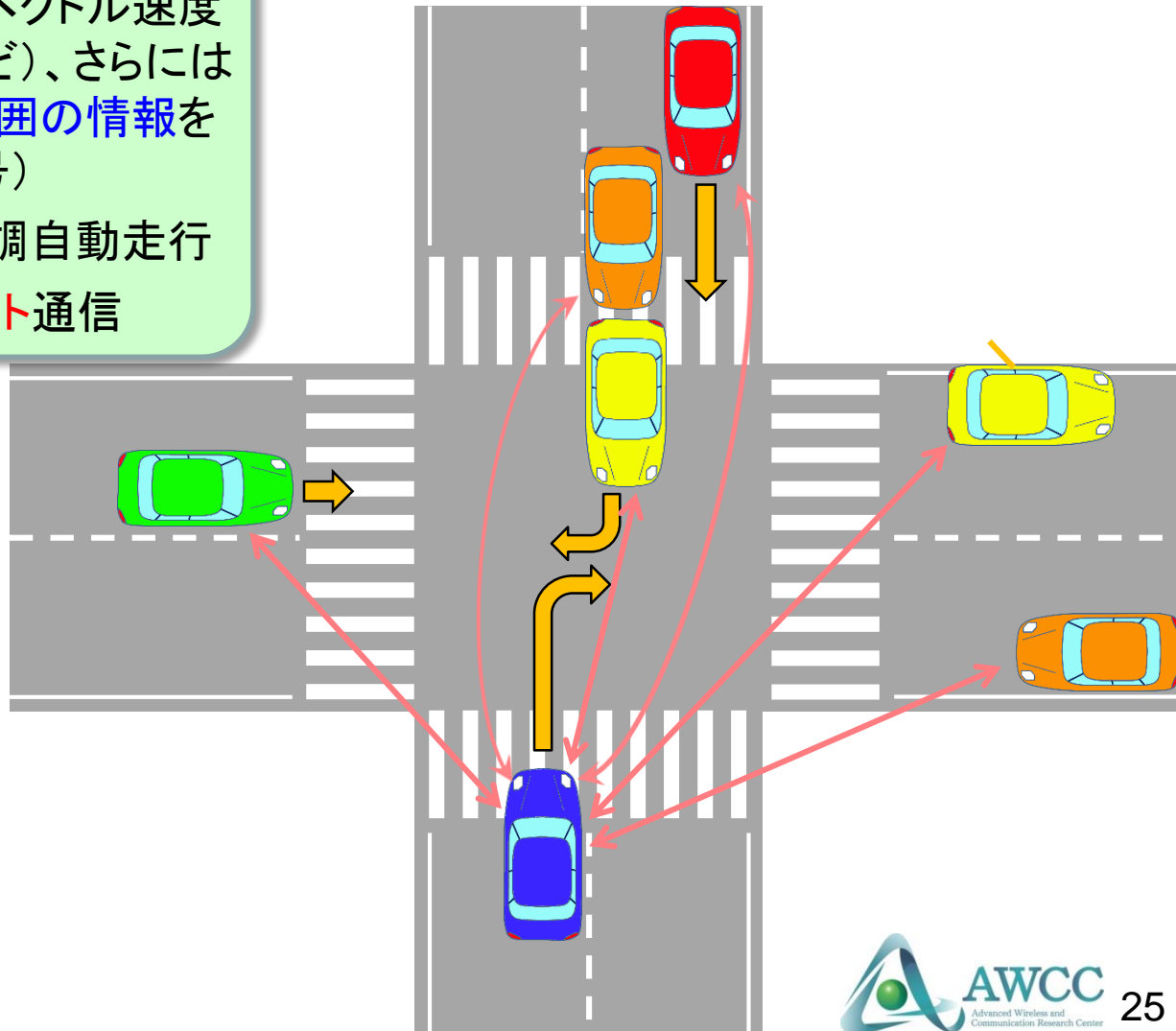
- ブロードキャスト型通信とユニキャスト型通信 -

# 自動走行環境\*での通信(1)

## 車車間通信

- ◆ 自車の走行情報(位置、ベクトル速度、加速度、右左折予告など)、さらには自車のセンサーで得た周囲の情報を他車に周知(ビーコン信号)
- ◆ 衝突防止、隊列走行、協調自動走行
- ◆ 車両による**ブロードキャスト**通信

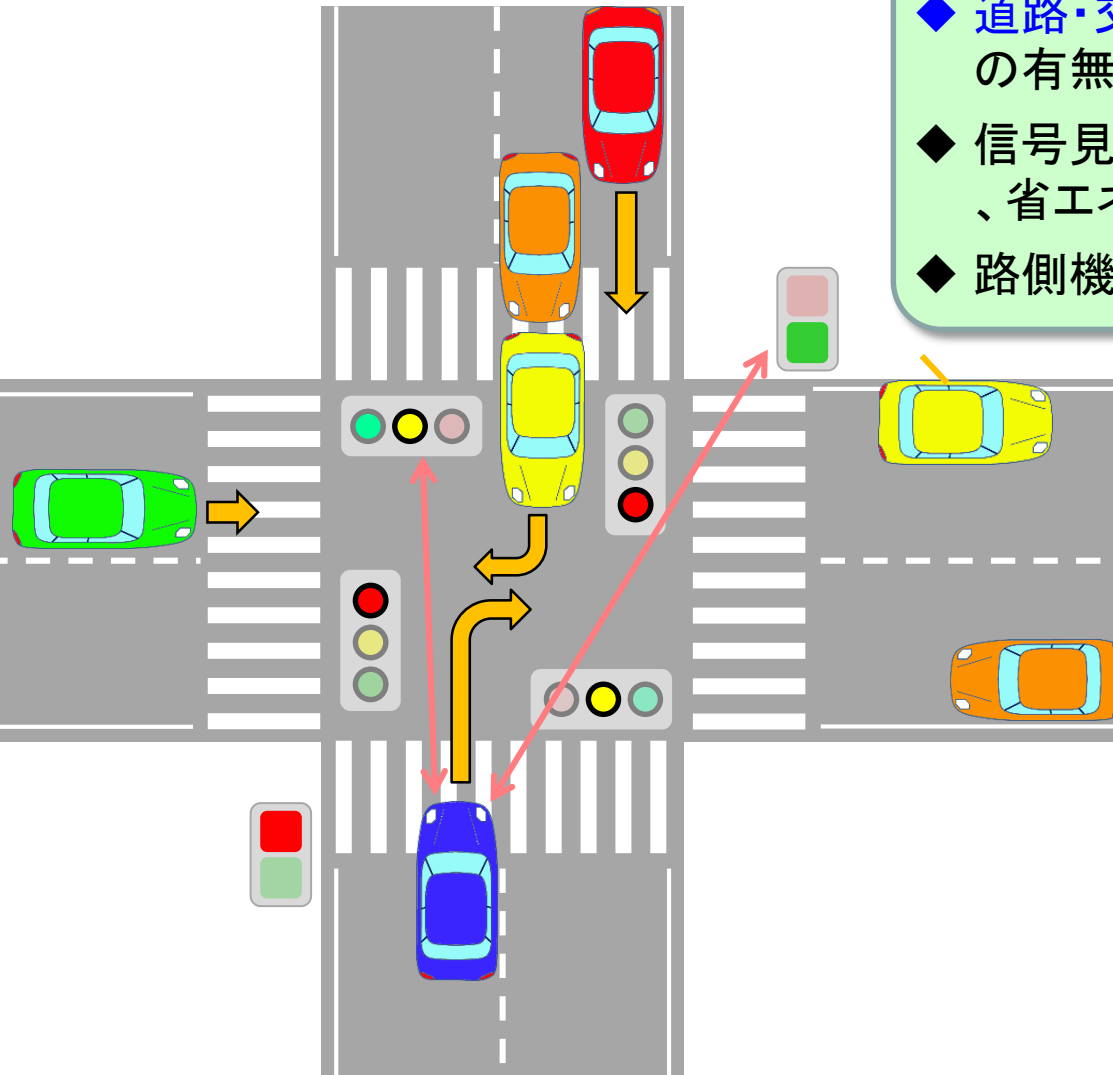
\*非自動走行車両有りの環境を想定



# 自動走行環境\*での通信(2)

## 路車間通信

- ◆ 道路・交通情報(信号、規制、歩行者の有無など)を付近の車に周知
- ◆ 信号見落とし防止、歩行者事故防止、省エネ
- ◆ 路側機による**ブロードキャスト**通信

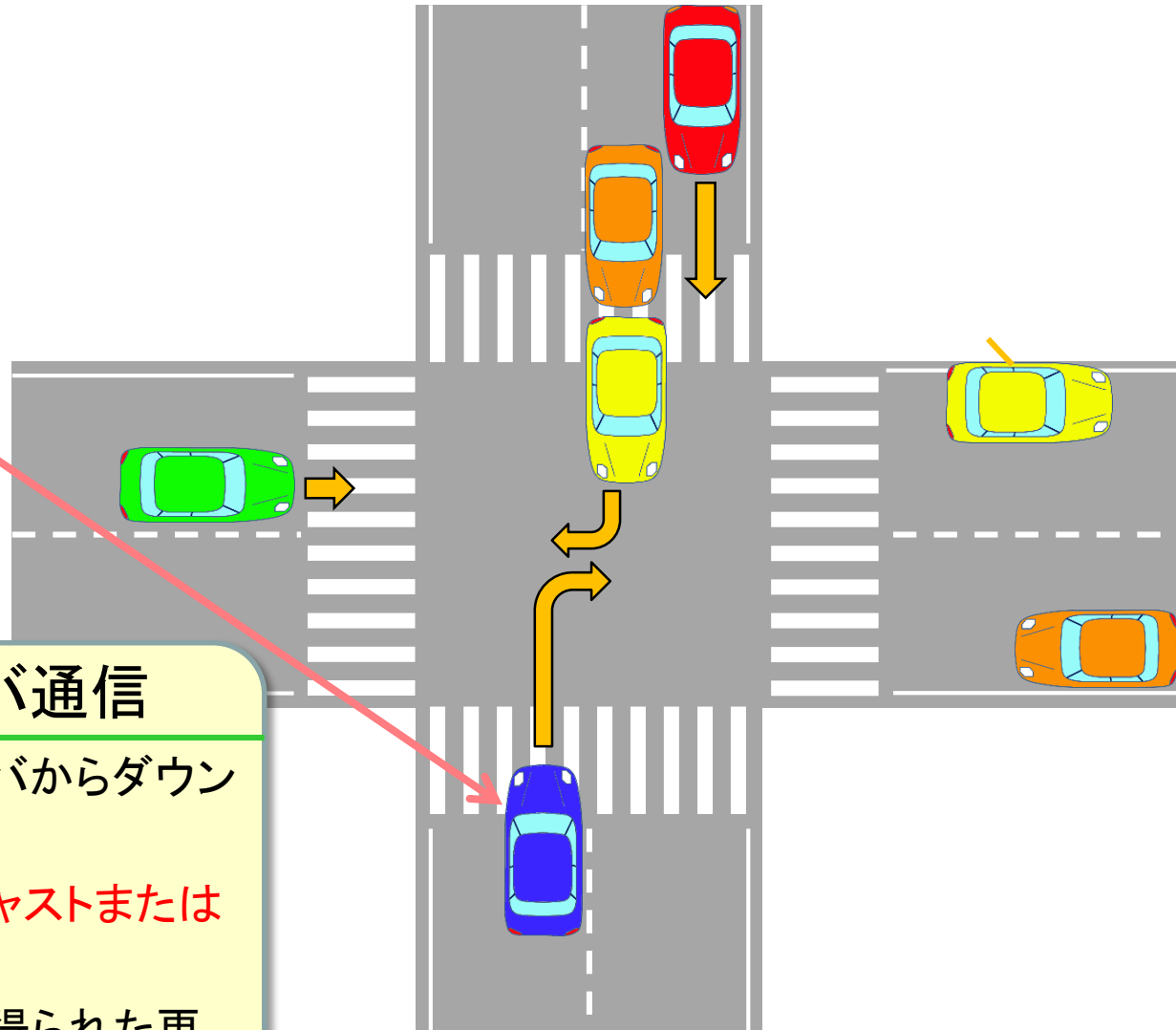


# 自動走行環境\*での通信(3)

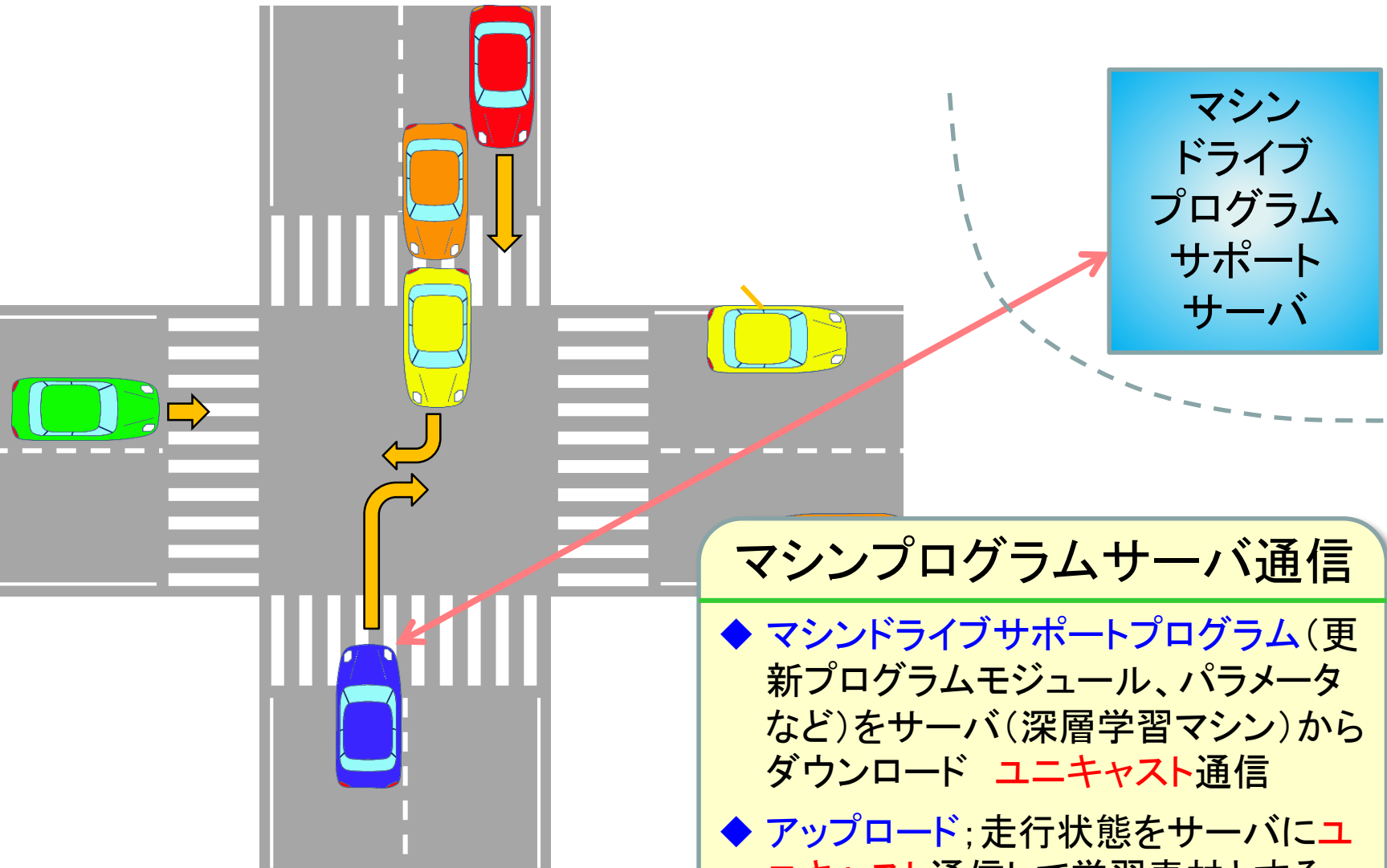
詳細3Dダイ  
ナミックマップ  
データサーバ

## マップデータサーバ通信

- ◆ 3D詳細地図情報をサーバからダウンロード／アップロード
- ◆ ダウンロード;ブロードキャストまたはユニキャスト通信
- ◆ アップロード;走行により得られた更新情報をユニキャスト通信



# 自動走行環境\*での通信(4)



# 自動走行における通信への要求

## 車車間通信

- ◆ 自車の走行情報のみ; 100byte  
周囲環境情報も含める場合;  $x$ 倍?
- ◆ 車両による**ブロードキャスト**通信が主
- ◆ 低遅延 < 20ms?)
- ◆ 直接通信範囲 ~ 300m
- ◆ ARIB STD-T109, IEEE802.11p

## 路車間通信

- ◆ 道路・交通情報(信号、規制、歩行者の有無など)を付近の車に周知
- ◆ 路側機による**ブロードキャスト**通信
- ◆ 直接通信範囲 300-500m
- ◆ ARIB STD-T109で車車間通信と一体運用可

## マップデータサーバ通信

- ◆ 3D詳細地図情報; > 1Gbyte?(面積による)
- ◆ ダウンロード; **ブロードキャスト**または**ユニキャスト**通信
- ◆ ダウンロード時間; 短いこと(数秒以内?) → **超高速移動通信(5G?)**

## マシンプログラムサーバ通信

- ◆ 更新プログラム、走行データサイズ ~ 数Mbyte?
- ◆ ダウンロード/アップロード; **ユニキャスト**通信(車両毎に異なる)
- ◆ 遅延時間は問題にならない
- ◆ **セキュリティが最優先**

## 5. ブロードキャスト型車車間通信の課題

# ブロードキャスト型車車間通信の役割

- **協調型自動走行**では各車が周囲の道路、車両、歩行者、障害物をいかに正確に把握できるかが、最初に重要。
- **現在の安全運転支援のための車車間通信システム**は、自車の位置、速度、方向、加減速などの**自車走行情報**を周囲車両にブロードキャストし、各車両で衝突可能性を予測して警告あるいは制動動作を行うことを想定。
- この走行情報はそのまま**協調型自動走行**での重要情報となる。
- さらに自車の走行情報に加えて、**自車のセンサーで得た周囲の情報**を他車に周知することで、**より広範囲をカバーする信頼度の高い有効な情報**とすることができる。



カーネットワークセンシング

車車間通信機能は車のセンシング能力を高めるための手段



# ブロードキャスト型車車間通信の技術課題(1)

## 高信頼化

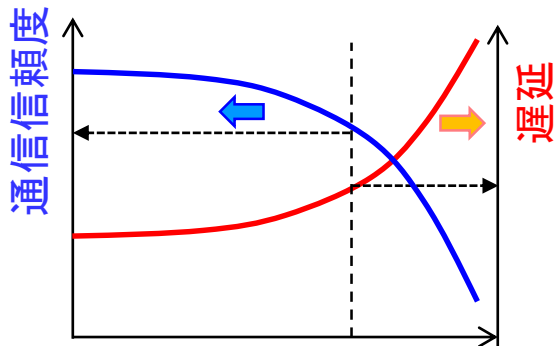
## 低遅延化

- ◆ ブロードキャスト通信ではARQ(自動再送)は使用できないので、現在の車車間通信では、**周期的な複数回送信**によって高信頼化(累積パケット受信率95%以上)を図っている。
- ◆ この場合、**通信品質の悪い場所**(NLOS環境など)では、正しく受信されるまで、最大数回の受信が必要であり、**送信周期の数倍の遅延**が生ずる。
- ◆ この遅延を減らすには、以下の対策がある
  - ① **ダイバーシチ受信**、送信電力増加で通信品質を向上する  
ただし、送信電力増加は**隠れ端末問題**に対して効果が無い
  - ② **セクタ化受信**、干渉キャンセラによって隠れ端末の影響を軽減する
  - ③ **送信周期**を短くする(例えば100ms→50ms)
- ◆ ただし送信周期を短くすると、**キャパシティ(収容台数)**が反比例して低下する問題がある。

# ブロードキャスト型車車間通信の技術課題(2)

## キャパシティ(収容台数)

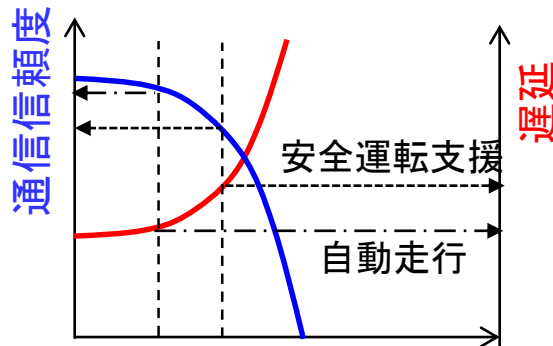
- ◆ エアトラヒックは、送信車両台数と送信頻度の積に比例
- ◆ 協調型自動走行実現のために送信周期が短くなると、収容台数が減少し  
隠れ端末によるパケット衝突で受信率が低下



~300台

エリアあたり車両台数(密度)

<安全運転支援のみ(100byte, 100ms)の場合、現行システム>

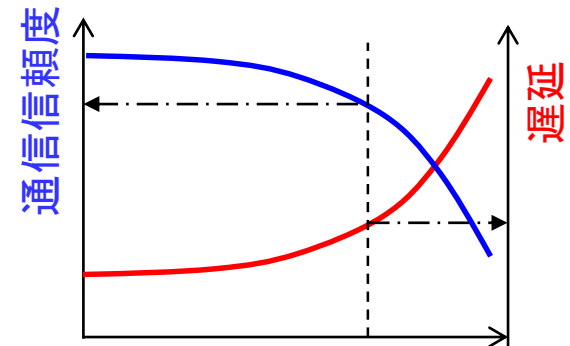


<<300台

エリアあたり車両台数(密度)

<安全運転支援+自動走行、現行システム>

自動走行車両が多くなった場合、自動走行車両のみならず、安全運転支援車両にも影響



~300台

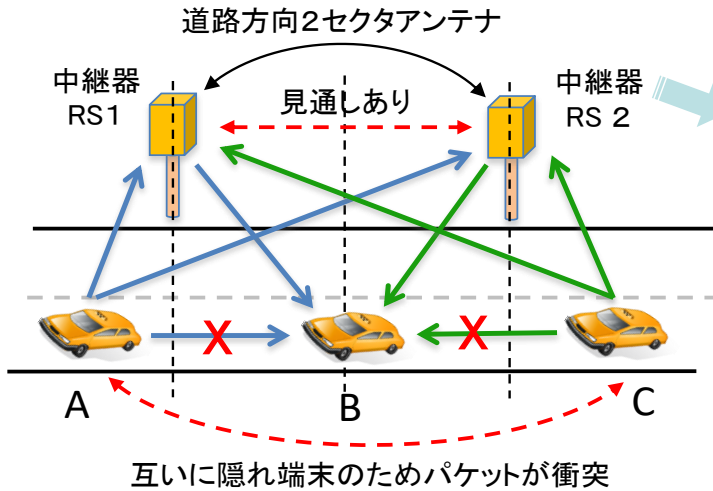
エリアあたり車両台数(密度)

<安全運転支援+自動走行、分散協調車車間NWシステム>

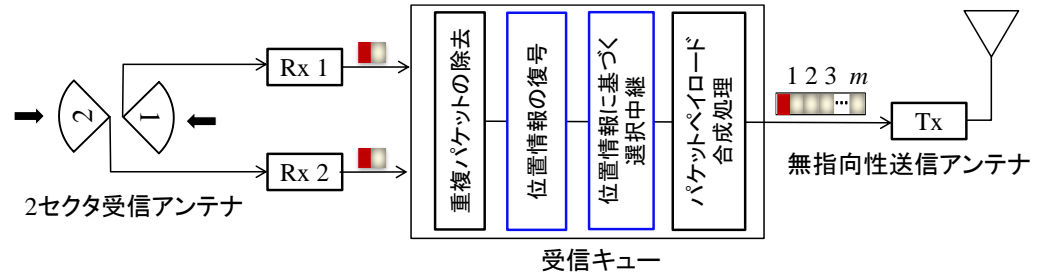
自動走行で要求される信頼度と低遅延を新しい技術で達成できるか？

# 高信頼ブロードキャスト車車間通信技術の例(1)

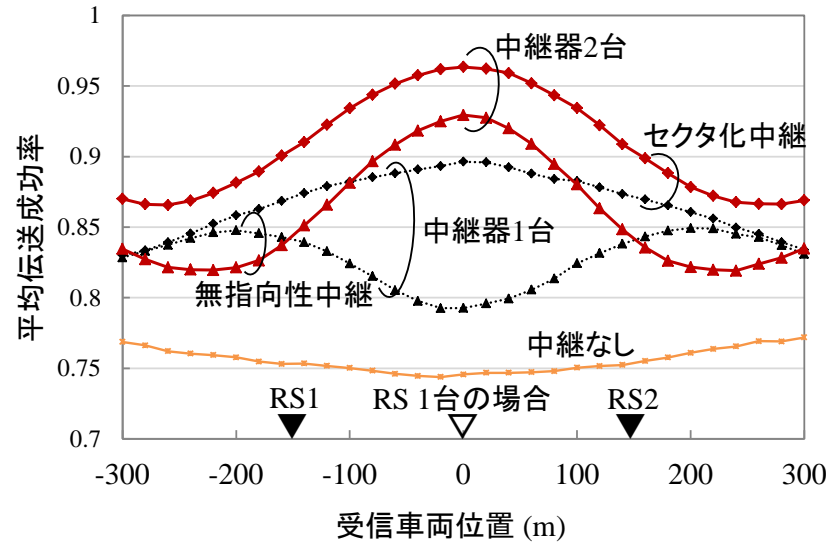
## セクタ化受信中継アシストによる車車間パケット伝送成功率の改善



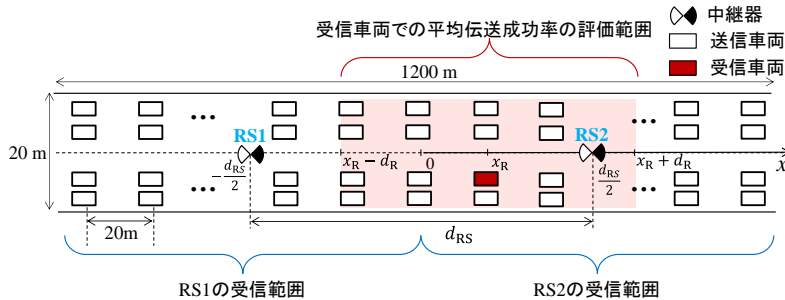
AとCからの車車間パケットは中継器のセクタアンテナで分離して受信することで隠れ端末の影響軽減  
無駄な中継を避けるため、車両位置でパケットを選択し棲分け中継することでエアトラヒックの増加を抑制



セクタ化受信CSMA/CA中継器(RS)の構成



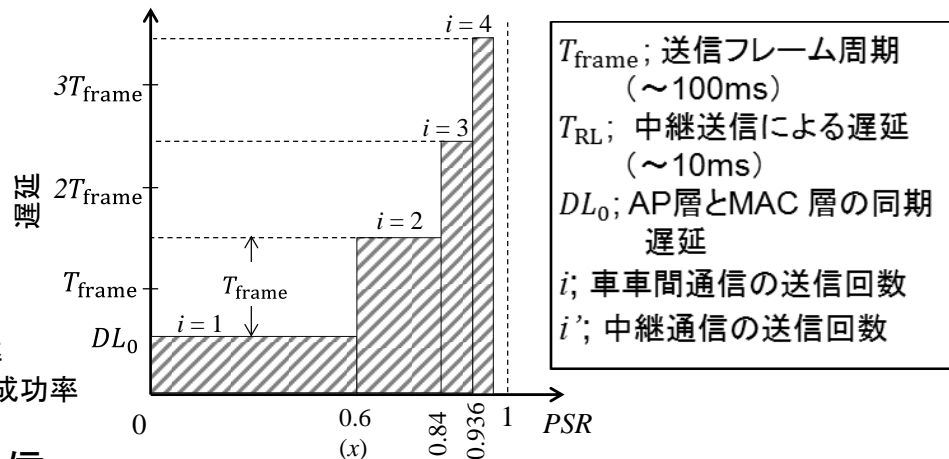
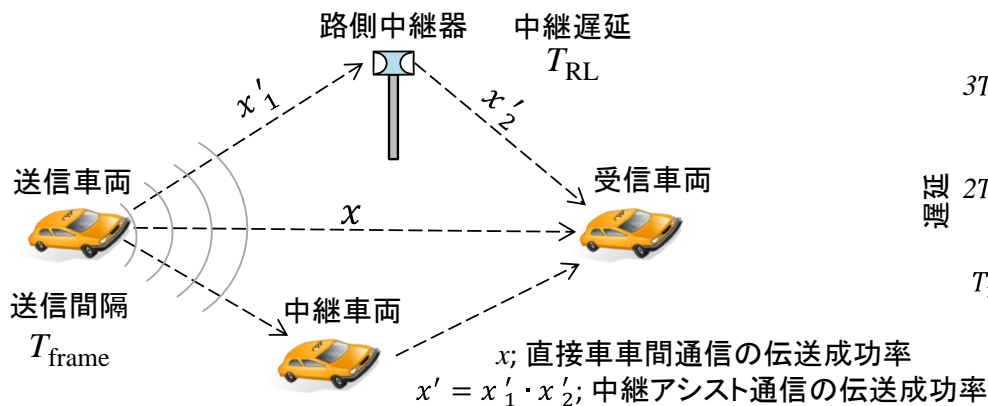
車車間パケット伝送成功率のシミュレーション結果  
(中継器高;6m, セクタ間分離度 20dB)



シミュレーション車両配置(中継器2台の場合)  
(車間間隔20m, 片側2車線、車両総台数240台、中継器間隔 300m)

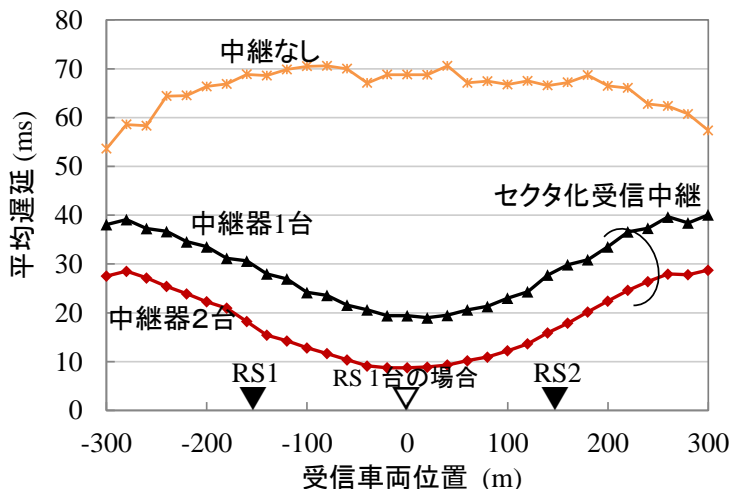
# 高信頼ブロードキャスト車車間通信技術の例(2)

## 複数回送信時の遅延特性の解析と中継アシストによる改善

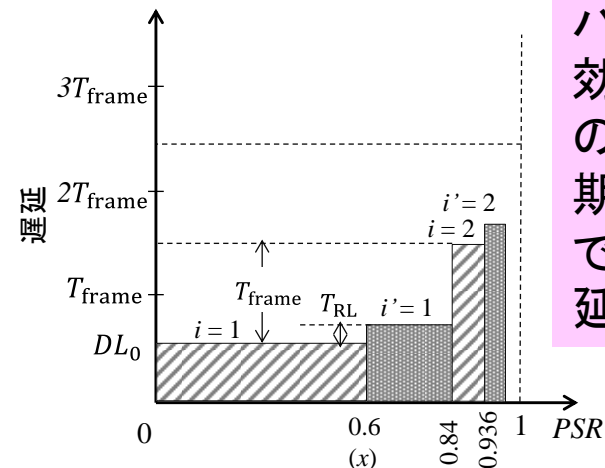


(a) 直接車車間通信

### 一般化した中継アシスト車車間ブロードキャスト通信



路側中継器アシストによる平均遅延の改善効果  
 (シミュレーション結果;  $T_{\text{frame}}=100\text{ms}$ ,  $T_{\text{RL}}=10\text{ms}$ ,  $DL_0 = 0\text{ms}$ )



(b) 中継アシスト車車間通信 ( $x = x'$ )

パスダイバーシチ効果と、中継器での遅延を送信周期より短くすることで、高信頼・低遅延を同時に達成



ご静聴  
ありがとうございました

