



自律から協調へ： 自動運転のための情報通信プラットフォームの構築と実証

情報処理学会 関西支部大会

2026/9/27

佐藤 健哉

同志社大学 モビリティ研究センター／情報工学専攻



概要

- (自律型)自動運転の現状と課題
- 通信を利用した情報共有（協調型自動運転に向けて）
 - 商用化サービス
 - 実証実験システム
- 情報通信プラットフォーム（DM2.0）特徴
 - 低遅延，高信頼の通信技術
 - 高速データ処理
 - セキュリティ・プライバシーの保護
 - 将来に向けた新たなアプリケーション
- まとめ

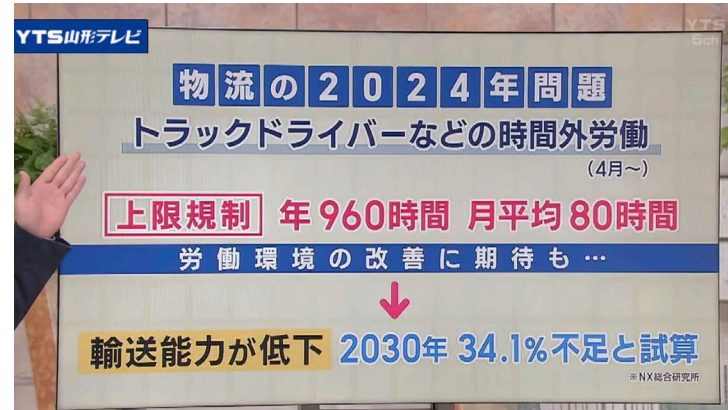
現在の日本における移動（モビリティ）の問題

- 中山間地域の路線バス廃止
 - バスドライバ不足と人口減少



出典：カンテレNews

- トラックドライバ不足
 - 時間外労働960時間上限規制

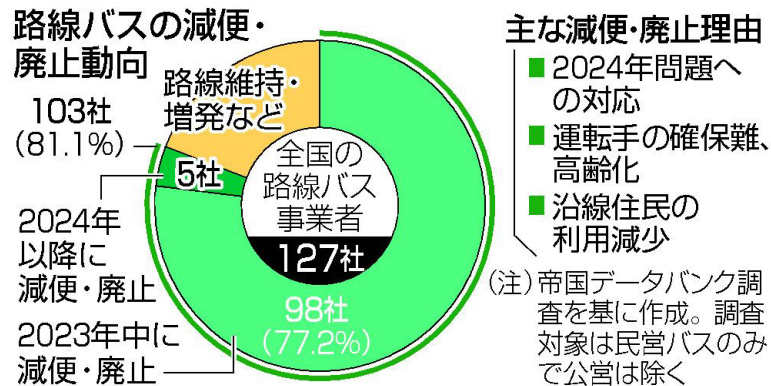


出典：山形ニュースチャンネル (YouTube)

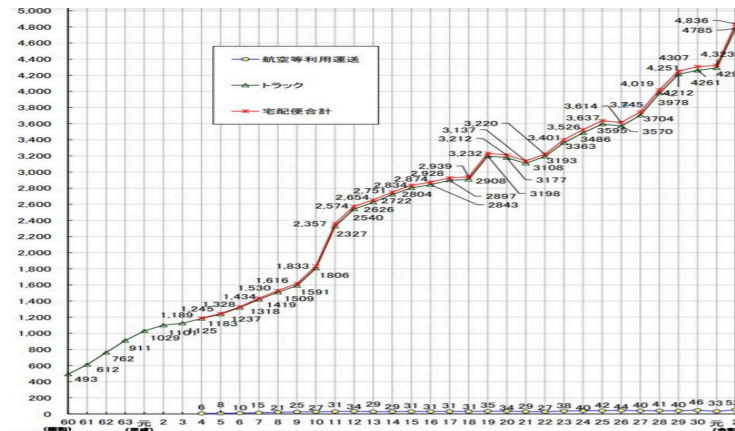
- 高齢運転者の事故
 - 免許返納による移動手段喪失



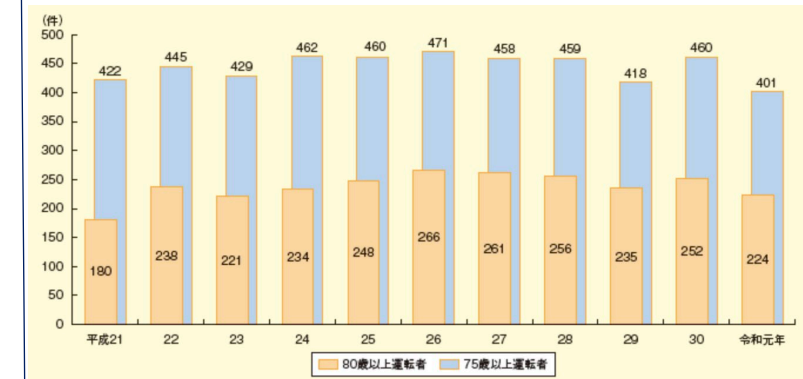
出典：福岡TNCニュース (YouTube)



出典：帝国データ：時事ドットコム



出典：国土交通省



出典：内閣府

ドライバ不足等に向けた自動運転（レベル4）への期待

- 自動運転移動サービスの実現（閣議決定）
 - 2025年度目途50か所程度
 - 2027年度100か所以上
- 全国各地で実証実験中
 - 国家プロジェクト：RoAD to the L4



新東名高速道路における自動運転トラック



千葉 柏の葉 実証実験風景



福井県 永平寺 実証実験風景

出典：経済産業省, 国土交通省 RoAD to the L4 Webサイト

自動運転実証実験（京田辺市） 国土交通省 地域公共交通確保維持改善事業費補助金

- 近鉄三山木駅から同志社山手を巡回するルートにおいてレベル2で走行

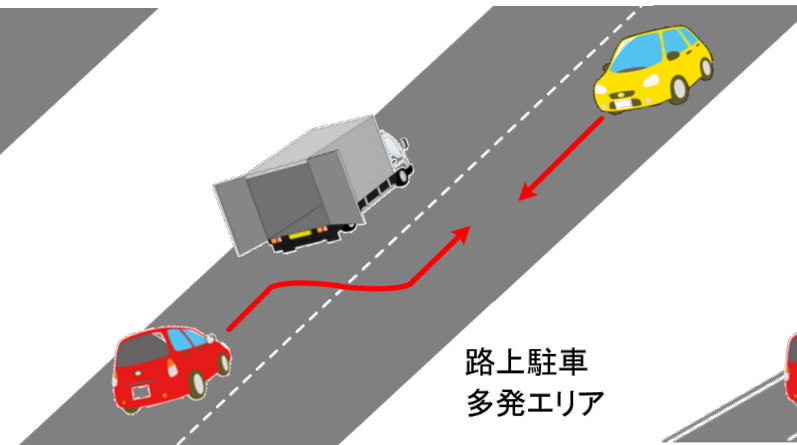
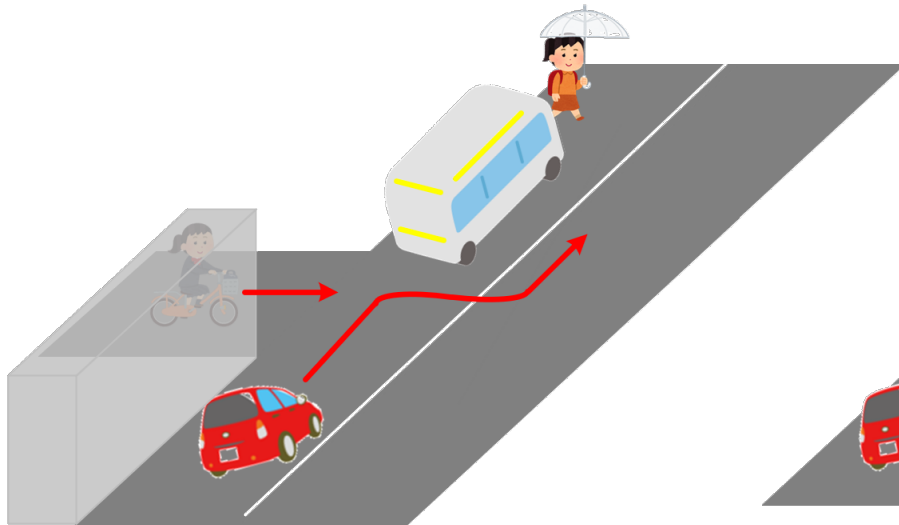
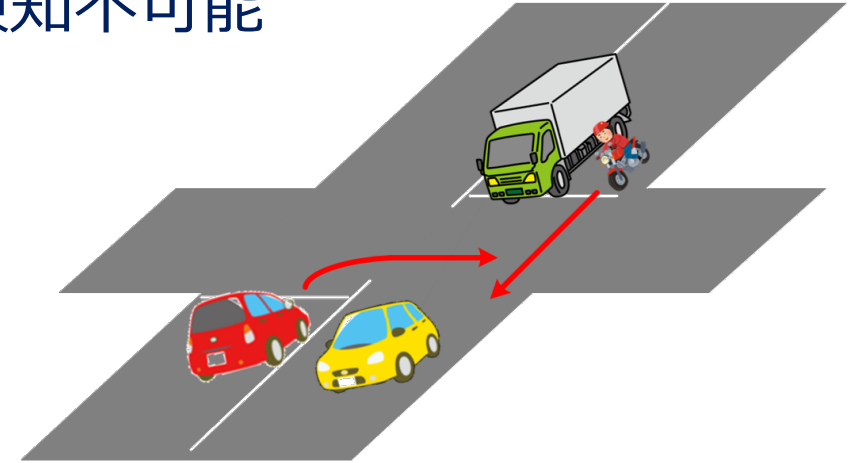


自動運転実証実験（京田辺市）

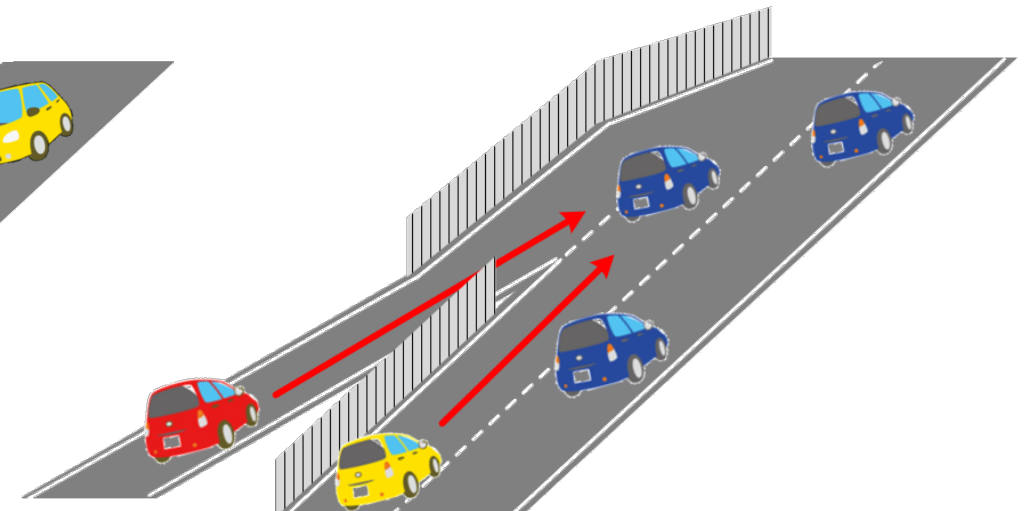


課題：センサの死角の走行環境認識

- 車載センサ検知可能エリアの外，障害物による死角は検知不可能
 - 交差点右折時の対向車両
 - 見通しの悪い交差点等の死角の歩行者・自転車
 - 高速道路合流
 - 路上駐車車両の回避

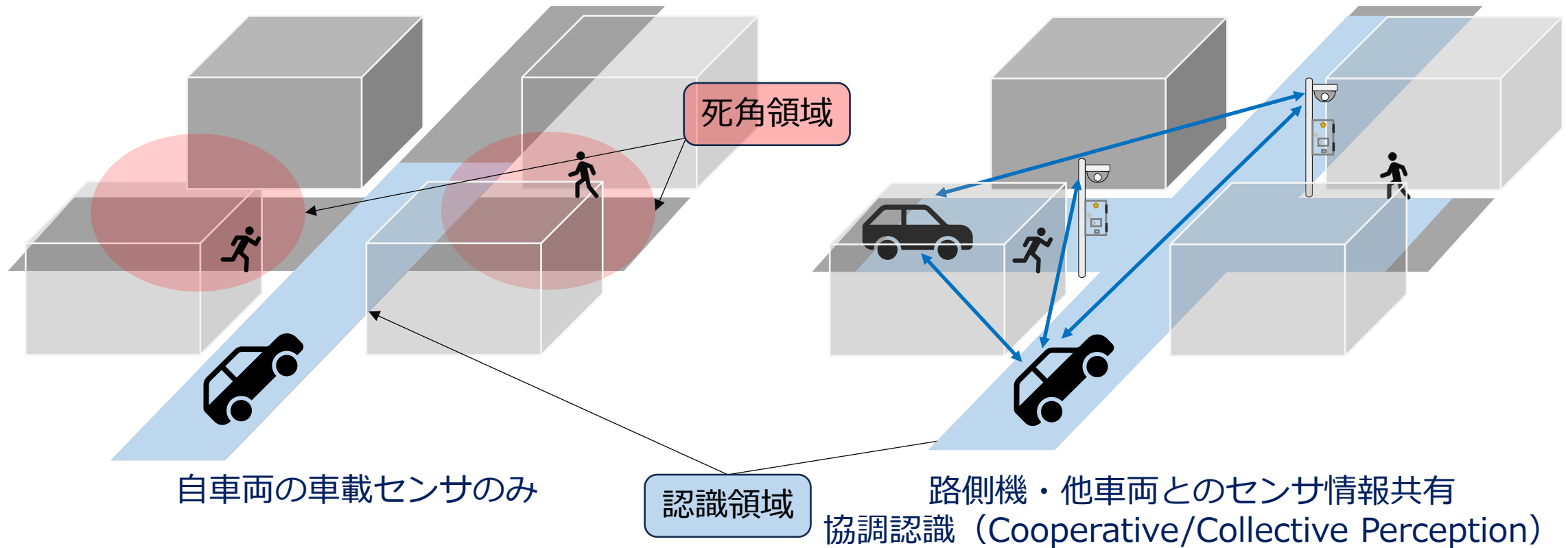


路上駐車
多発エリア



自動運転の安全性向上/円滑走行に向けた情報共有の必要性

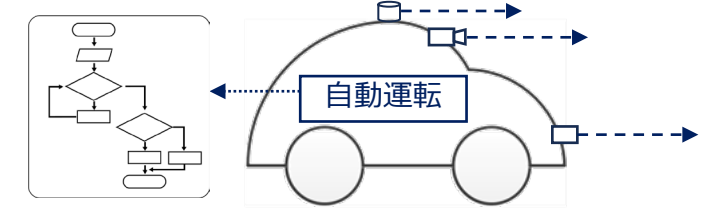
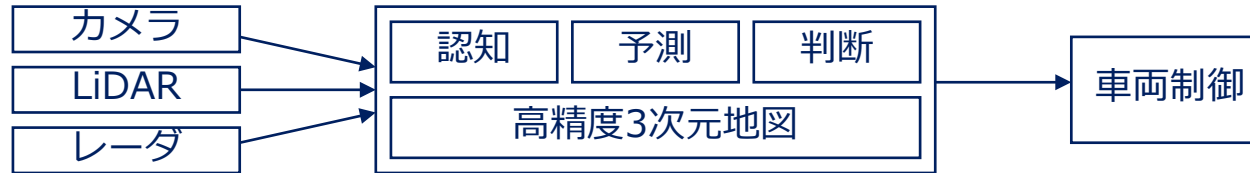
- V2X通信で車両／路側機の情報共有による安全性向上，走行調停による円滑化



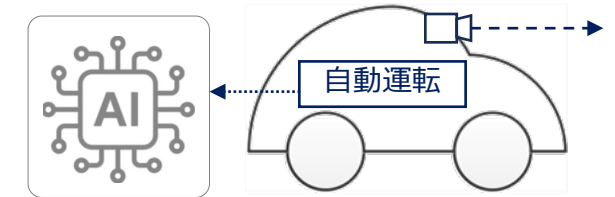
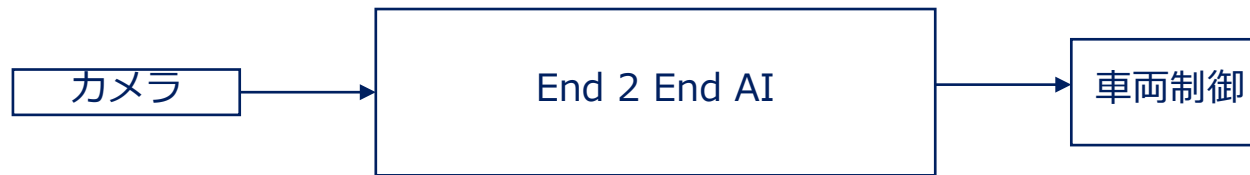
出典：佐藤 健哉, V2X通信を利用した協調型自動運転への流れ, 映像情報メディア学会誌, pp.249-254, Vol.74, No.2, 2020/2.

自動運転の発展形態（自律から協調へ）

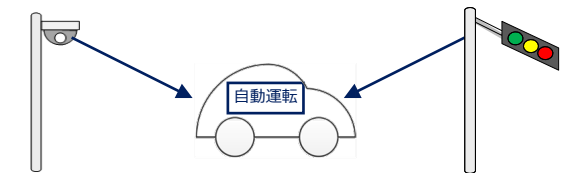
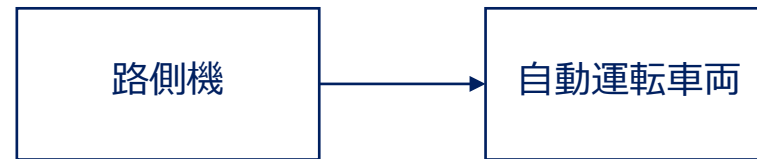
- **自動運転1.0**：複数車載センサと高精度3次元地図を利用し，ルールベースのアルゴリズムにより車両操作



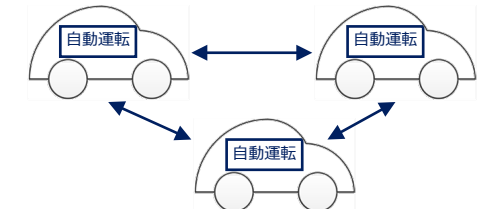
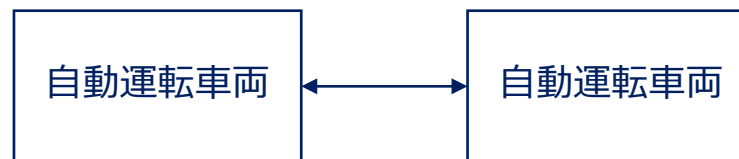
- **自動運転2.0**：主にカメラで車両周辺を監視し，すべてをAI系アルゴリズムにより車両操作



- **自動運転3.0**：車載センサに加えて，路側機センサ情報を利用することで広範囲を監視し，より円滑に走行



- **自動運転4.0**：自動運転車両間で相互に認識情報や走行経路を共有し協調して走行



安全運転支援：ITS Connect（車車間通信）CVSS

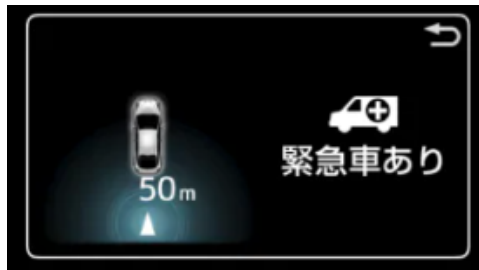
- 通信利用型クルーズコントロール
 - スムーズに前方車両を追従



- 出会い頭注意喚起
 - 交差点で左右から接近する車両を警告



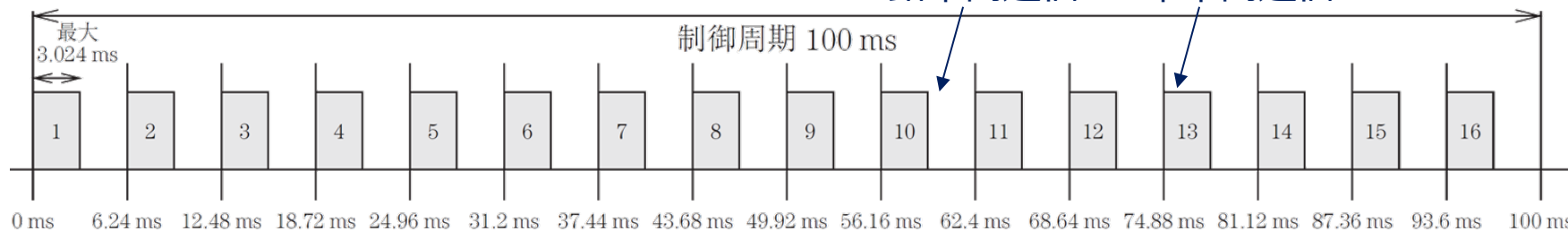
- 緊急車両存在通知
 - 周辺の緊急車両の方向・距離を表示



- 右折時注意喚起
 - 交差点右折時に対向直進車を警告



ARIB STD-T109

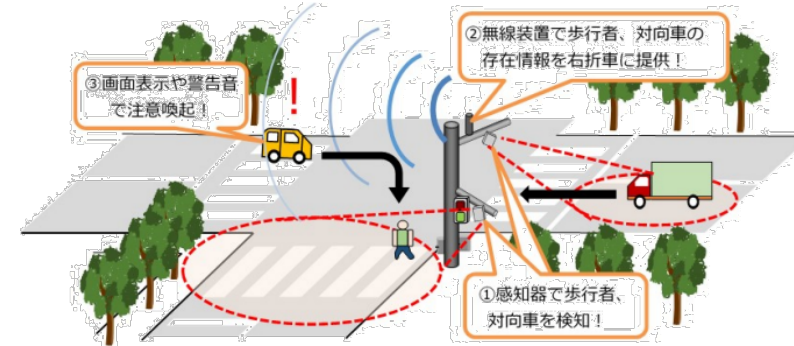


- 車車間通信：CSMA/CA方式
- メッセージ：ITS Connect TD-001, (最大サイズ100バイト)
- セキュリティが脆弱

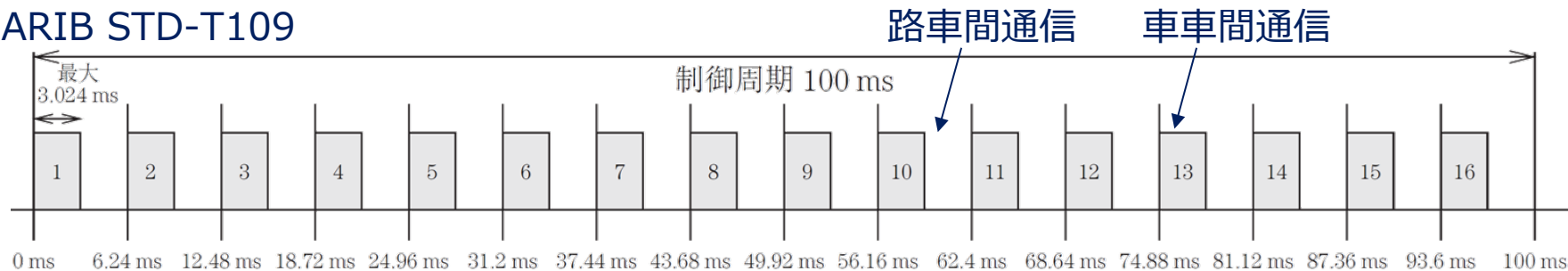
出典：ITS Connect推進協議会 Webページ

安全運転支援：ITS Connect（路車間通信） DSSS

- 信号情報提供
 - 赤信号注意喚起
 - 信号待ち時間情報
- 右折時注意喚起
 - 交差点右折待ち停車時に接近する対向車線の直進車や右折先の歩行者を注意喚起



ARIB STD-T109



- 路車間通信：TDMA方式
- メッセージ：UTMS協会
DSSS路車間通信メッセージ

出典：ITS Connect推進協議会 Webページ



安全運転支援：ETC2.0（路車間通信 ITSスポット）

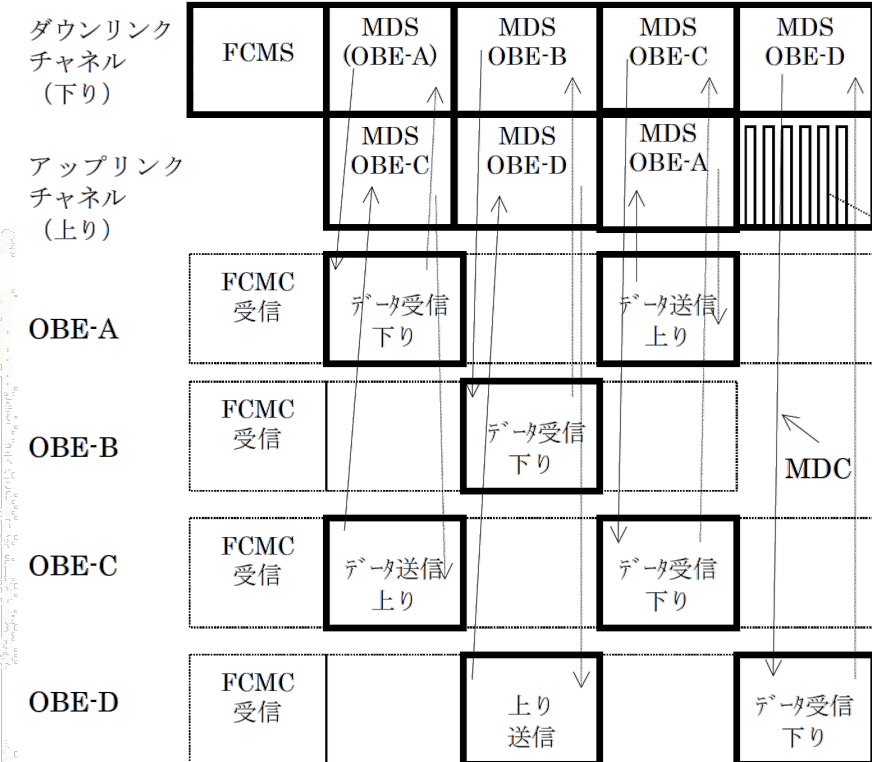
- ETCと同じ通信技術を用いて、自動車のドライバーを対象とした多様な情報サービスを受けられる道路上（高速道路上）のエリア

応用例

- 安全運転支援
 - 道路状況
 - 渋滞
 - 事故
 - 落下物など
- 動的経路案内
- 地域情報提供

安全運転支援

落下物や渋滞末尾情報、前方の静止画など危険事象に関する情報を提供



電波産業会：ARIB STD T75 狭域通信（DSRC）システム

道路新産業開発機構：5.8GHz帯DSRC情報接続サービス 路車間通信メッセージ

出典：国土交通省 ETC2.0 Webページ

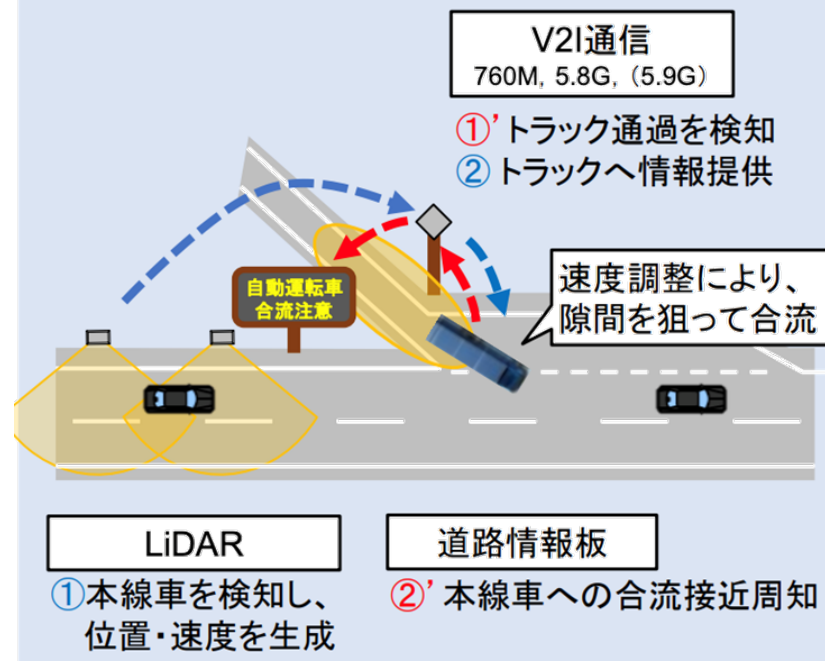
新東名自動車道 自動運転トラック合流支援（国交省）

・ 自動運転トラックに対しての合流支援情報提供

合流支援情報提供イメージ

自動運転トラックの本線合流を支援

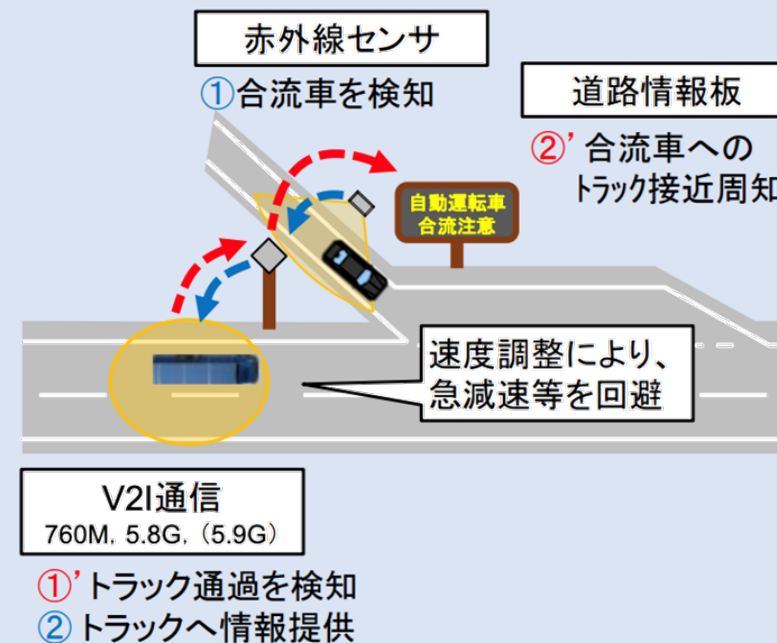
駿河湾沼津SA(下)、遠州森町PA(下)、浜松SA(上)



被合流支援情報提供イメージ

本線に合流する他車両への対応を支援

遠州森町PA(上)、浜松浜北IC(上)



周辺状況の情報提供のみ

合流時は車載センサによる制御

センサ

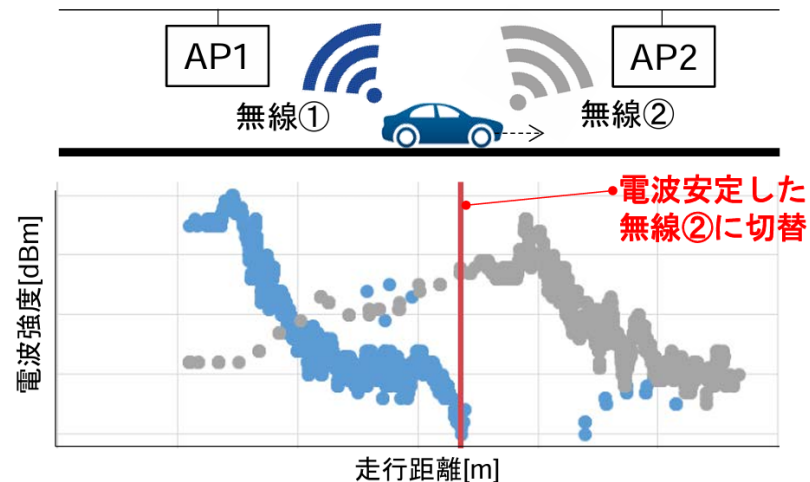
- ・ LiDAR
- ・ カメラ

通信手段

- ・ 携帯電話網
- ・ ITS無線 (760MHz)
- ・ ITSスポット (5.8GHz)
- ・ V2I (5.9GHz)

トヨタ自動車（元町工場）遠隔無人搬送（RCD）

- EV車両の重量増加
 - 人手による運転では作業者の負担増（歩行距離が1日あたり15km）
 - 車両組立工場から検査工場までの搬送コンベアの利用困難
- ダイアグ検査用無線通信を利用し，外部から遠隔制御による車両無人搬送

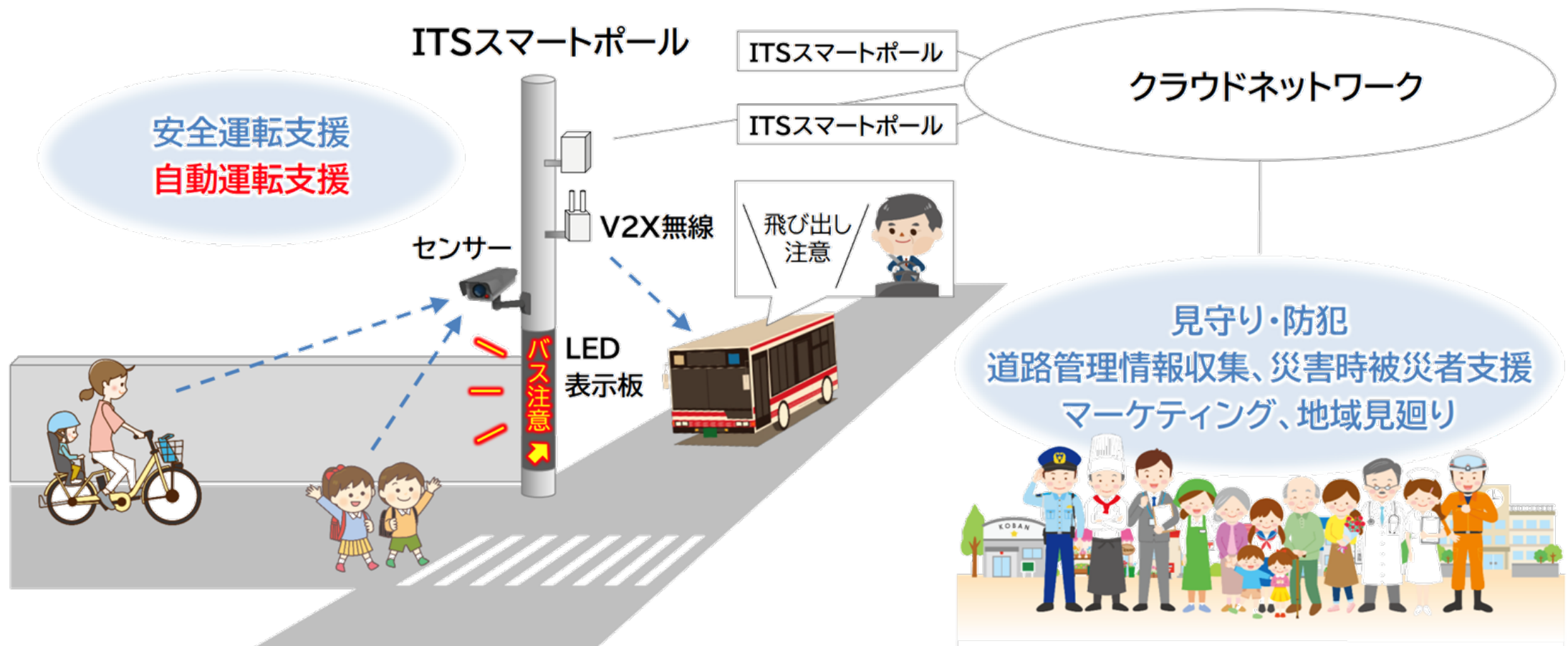


出典：岩堀 健人 ほか，車両遠隔制御自律走行搬送システムの開発，日本機械学会 第32回交通・物流部門大会 TL6-4, pp.1-10, 2023.

ITS Japan & スマートモビリティインフラ技術研究組合：ITSスマートポール

- 道路上の情報を収集し、接近車両に対して配信

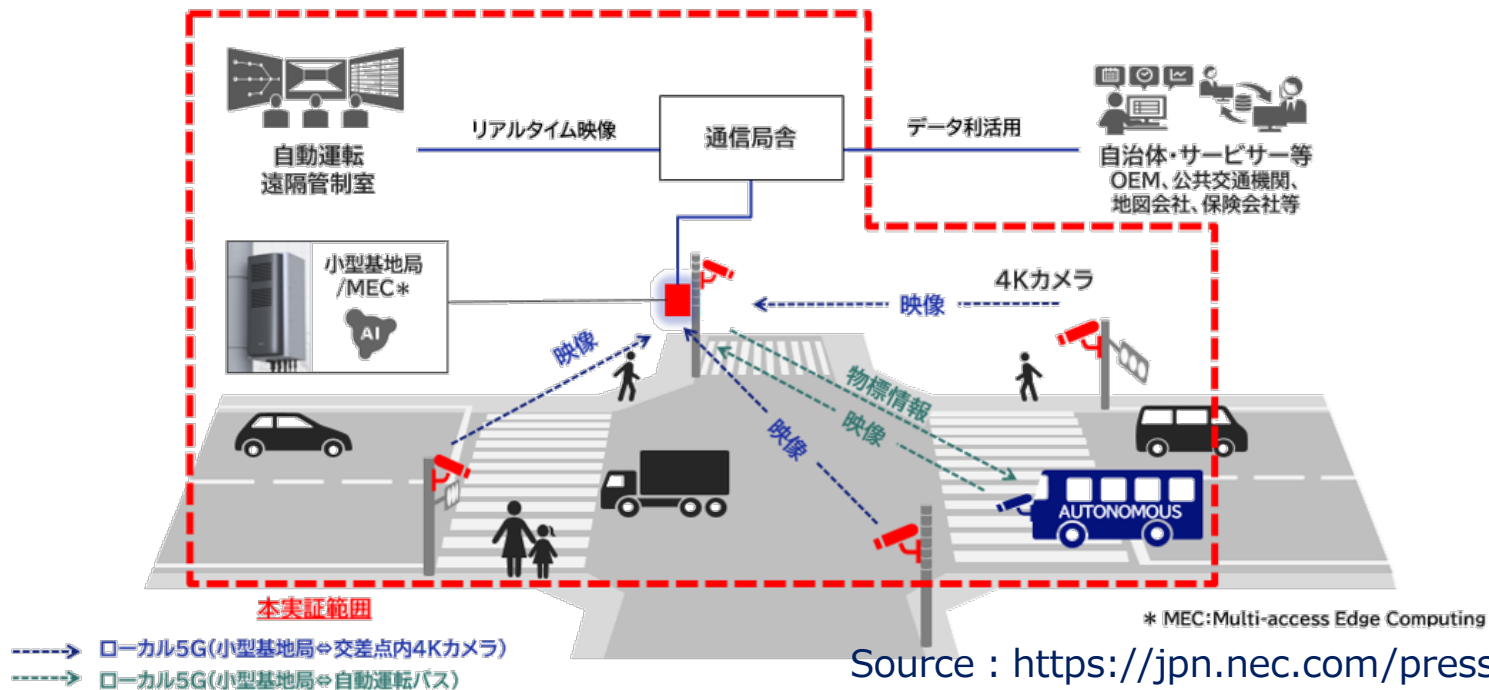
道路上の情報を集め、道路利用者や地域住民に **必要な情報** を **低コスト** で提供するもの



Source : https://www.its-jp.org/wp-content/uploads/member/soukai/soukai2024/soukai2024_symposium.pdf

NEC : 路車協調システム

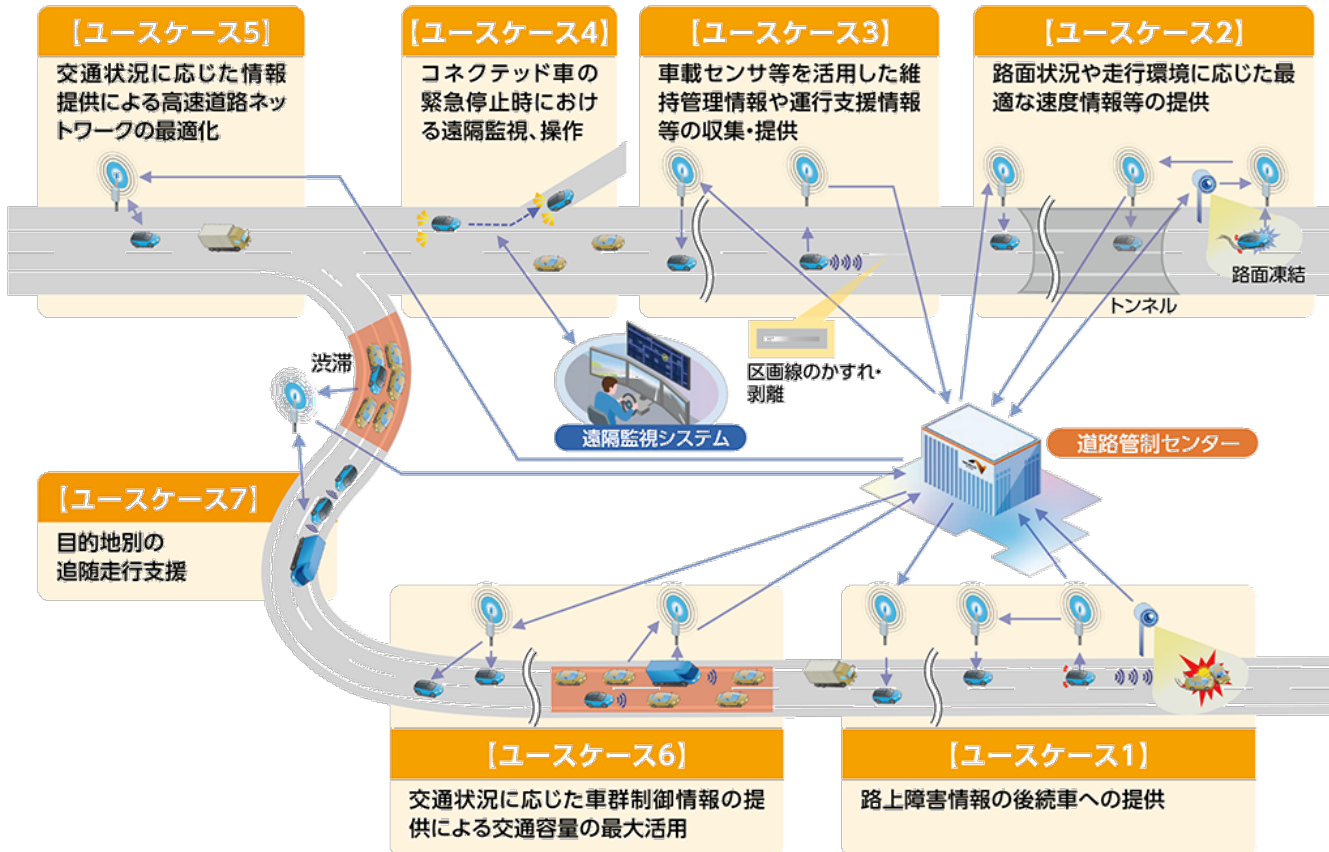
- 国土交通省道路局の公募「自動運転実証調査事業と連携した路車協調システム実証実験」
 - 茨城県つくば市 大学構内で交通参加者の横断が多い道路での運転判断
 - 群馬県渋川市 鋭角な右折時や歩道のない曲線路での運転判断
 - 新潟県佐渡市 一車線のトンネル内での対向車とのすれ違いの回避
 - 石川県小松市 交通参加者や車両の往来が多い駅前ロータリーなどでの衝突回避支援
 - 鳥取県鳥取市 一車線の道路での対向車とのすれ違いの回避
- 独自仕様



Source : https://jpn.nec.com/press/202401/20240116_01.html

NEXCO中日本：新東名自動車道 路車協調実証実験

- 車両と路側機との情報を集約し，路面状況や道路上障害物の監視などを実施



通信手段

- 携帯電話網
- ITS無線 (760MHz)
- ITSスポット (5.8GHz)
- V2I (5.9GHz)

実験結果を踏まえ将来の路車間通信の仕様等を検討

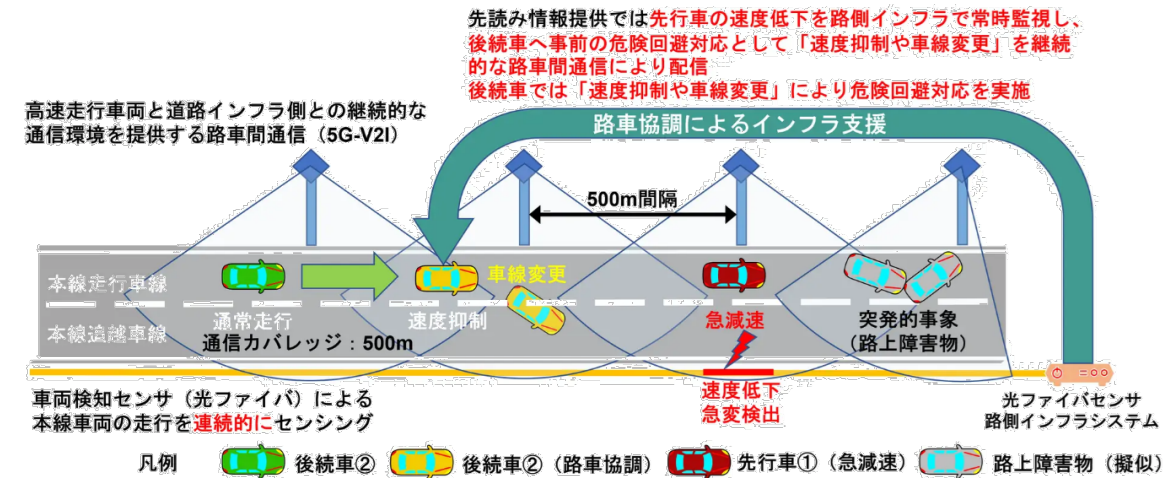


図6 ユースケース6 (前方突発的事象)：先読み情報提供イメージ (道路線形図)

出典: NEXCO中日本 <https://www.c-nexco.co.jp/corporate/operation/v2i/index2.html>

出典: <https://guide.jsae.or.jp/topics/445395/>

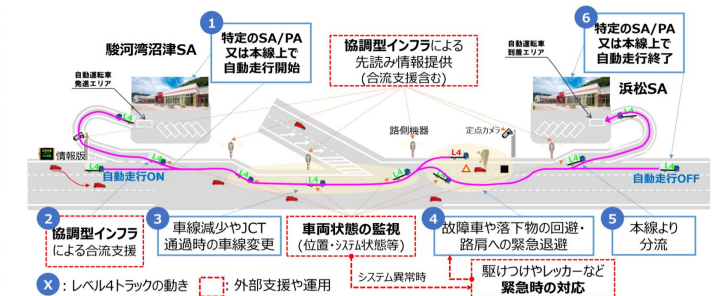
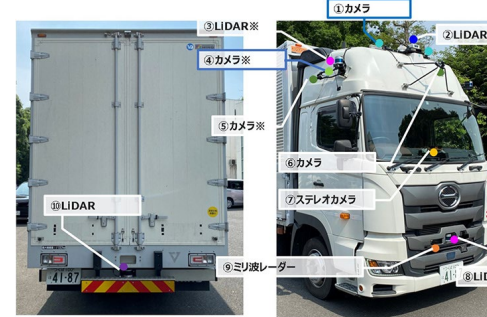
経産省・国交省（物流・自動車局）：RoAD to the L4（全4テーマ）

- 旅客と貨物輸送の双方における無人自動運転サービスの研究開発

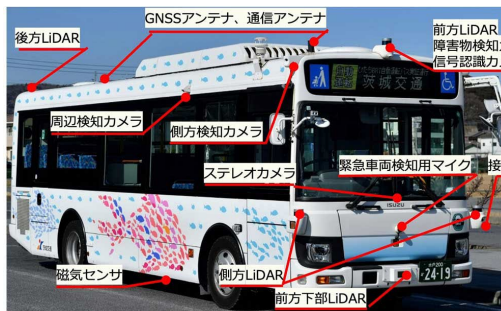
- テーマ1．遠隔監視のみ（レベル4）自動運転 サービスの実現に向けた取り組み



- テーマ3．高速道路における高性能トラックの実用化に向けた取り組み



- テーマ2．公道交差を含む専用道区間等におけるレベル4 自動運転サービスの実現に向けた取り組み



自動運転バス
 ・いすゞ・エルガミオの改造車両を使用
 ・ベース車両諸元
 全長：8.99m、全幅：2.48m、全高：3.04m
 定員：着座28名（うち乗務員1名）

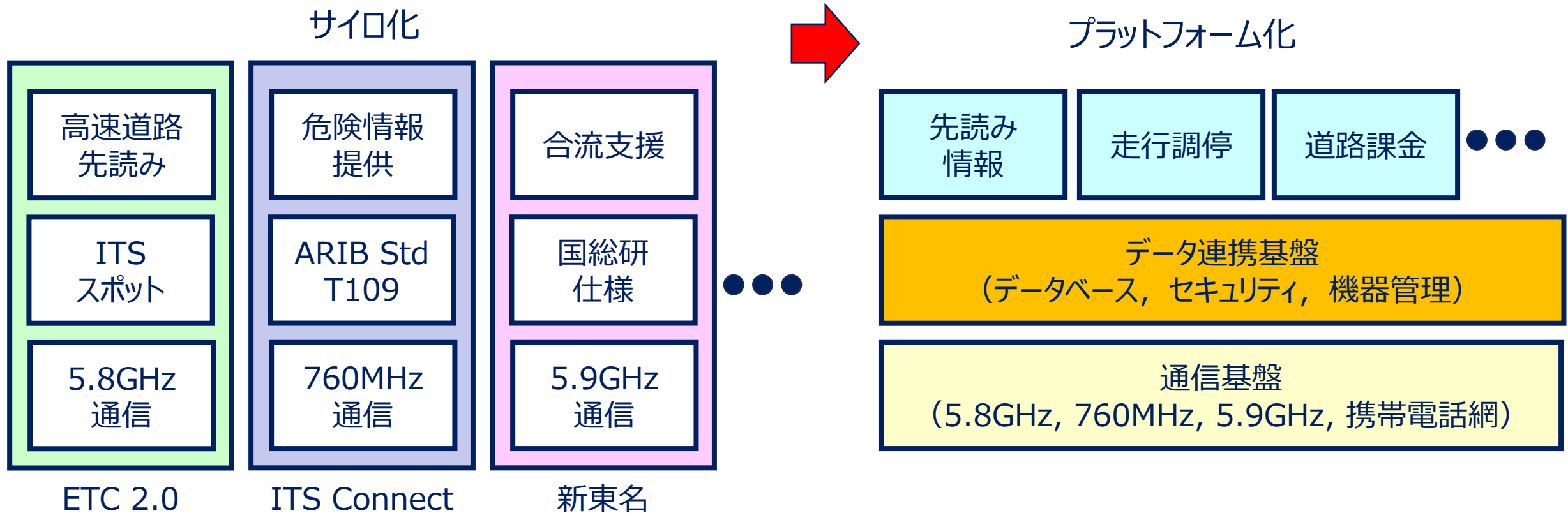
- テーマ4．混在空間でインフラ協調を活用したレベル4 自動運転サービスの実現に向けた取り組み



Source : <https://www.road-to-the-l4.go.jp/activity/>

次世代ITS実現のためのアプローチ

- 今できることの寄せ集め（サイロ化）ではなく，中長期的な次世代ITSを見据えた進め方

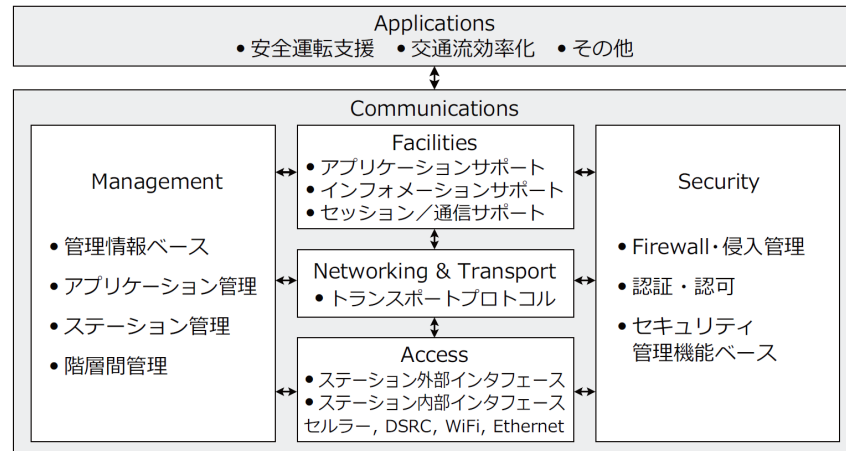


- サイロ化アプローチでは，アプリケーションごとの通信機を含むシステムが必要で，新規機能追加ごとにすべてを検討し開発する必要あり

出典: 佐藤 健哉, 自動運転技術の発展におけるITSの役割と標準化の必要性, 自動車技術会 ITSの標準化 2025, p.5-8, 2025/11.



協調型自動運転向け情報通信プラットフォーム構成



ITSステーション参照アーキテクチャ
国際標準化機構 ISO 21217

プラットフォーム



プラットフォームを利用しアプリケーション開発が容易

アプリケーションに共通の仕組みを提供

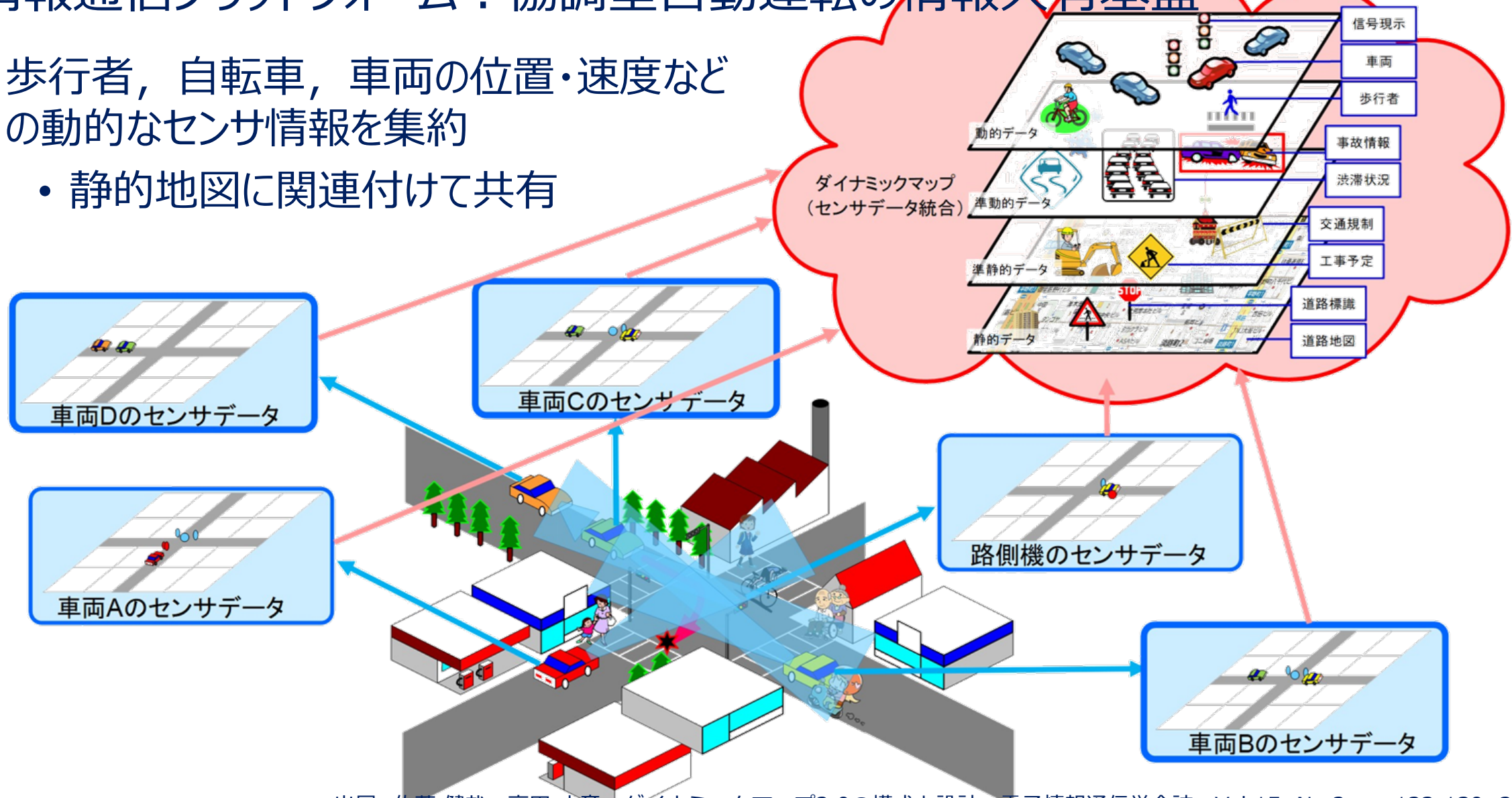
通信，データ管理におけるセキュリティ・プライバシー保護

複数の通信手段およびセンサに対応可能

通信方式やセンサが変わってもアプリケーションは意識せず利用可能

情報通信プラットフォーム：協調型自動運転の情報共有基盤

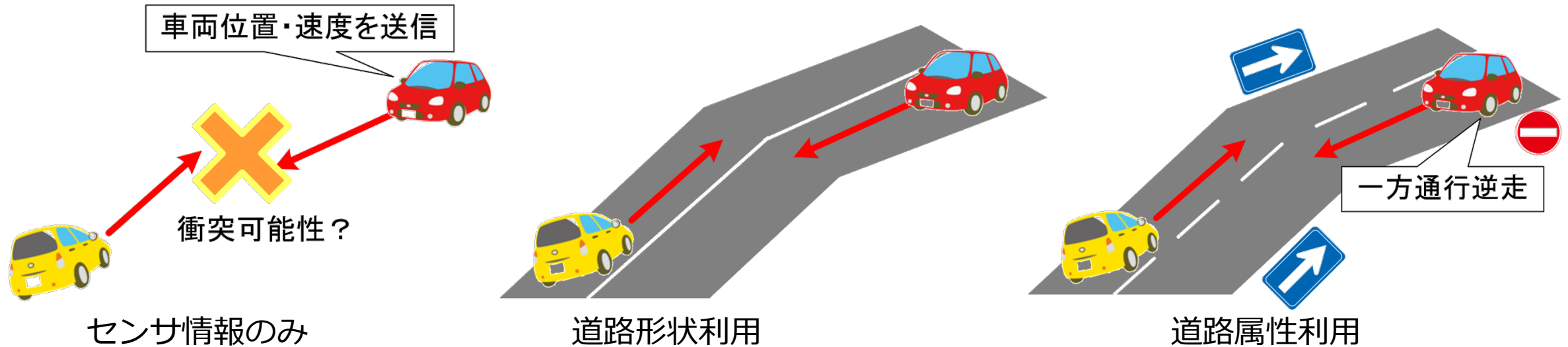
- 歩行者，自転車，車両の位置・速度などの動的なセンサ情報を集約
- 静的地図に関連付けて共有



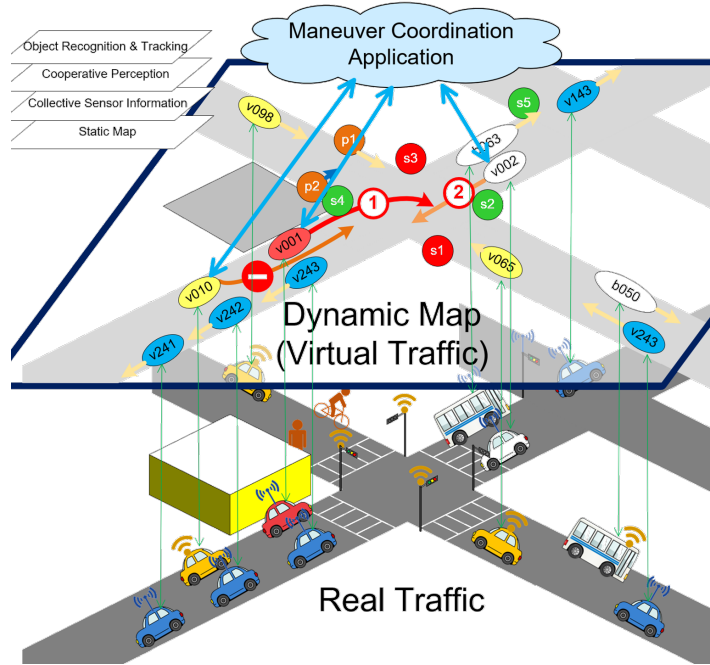
出展: 佐藤 健哉, 高田 広章, ダイナミックマップ2.0の構成と設計, 電子情報通信学会誌, Vol.15, No.2, pp.133-139, 2021.

道路属性情報との連携

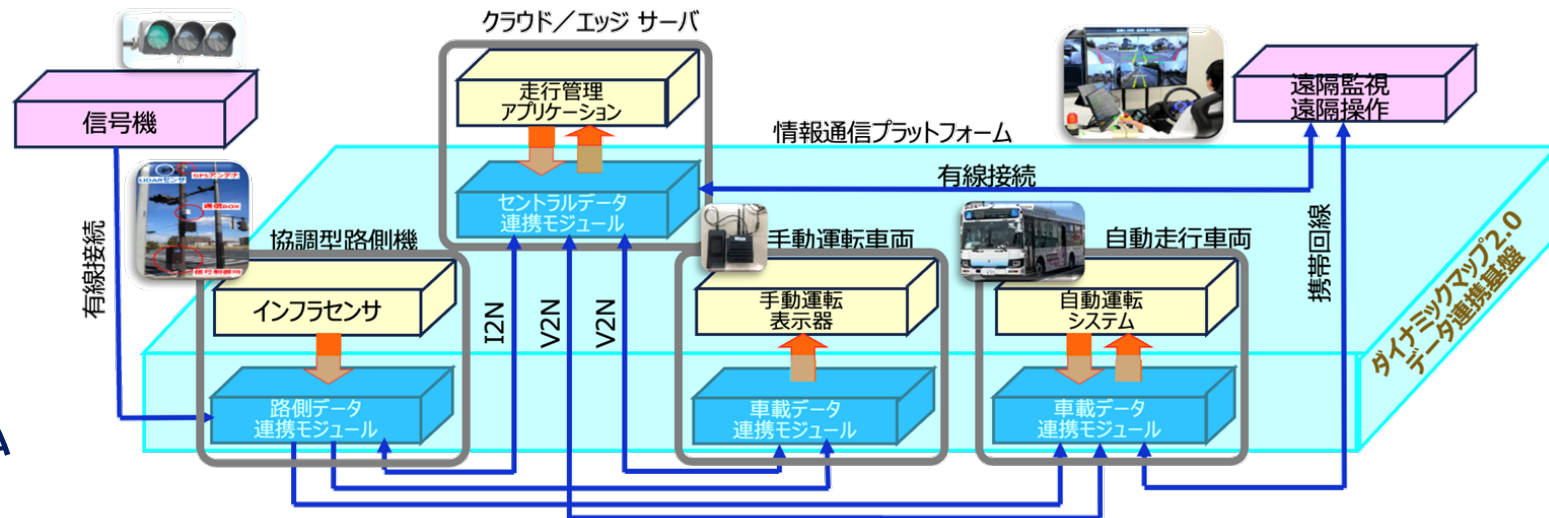
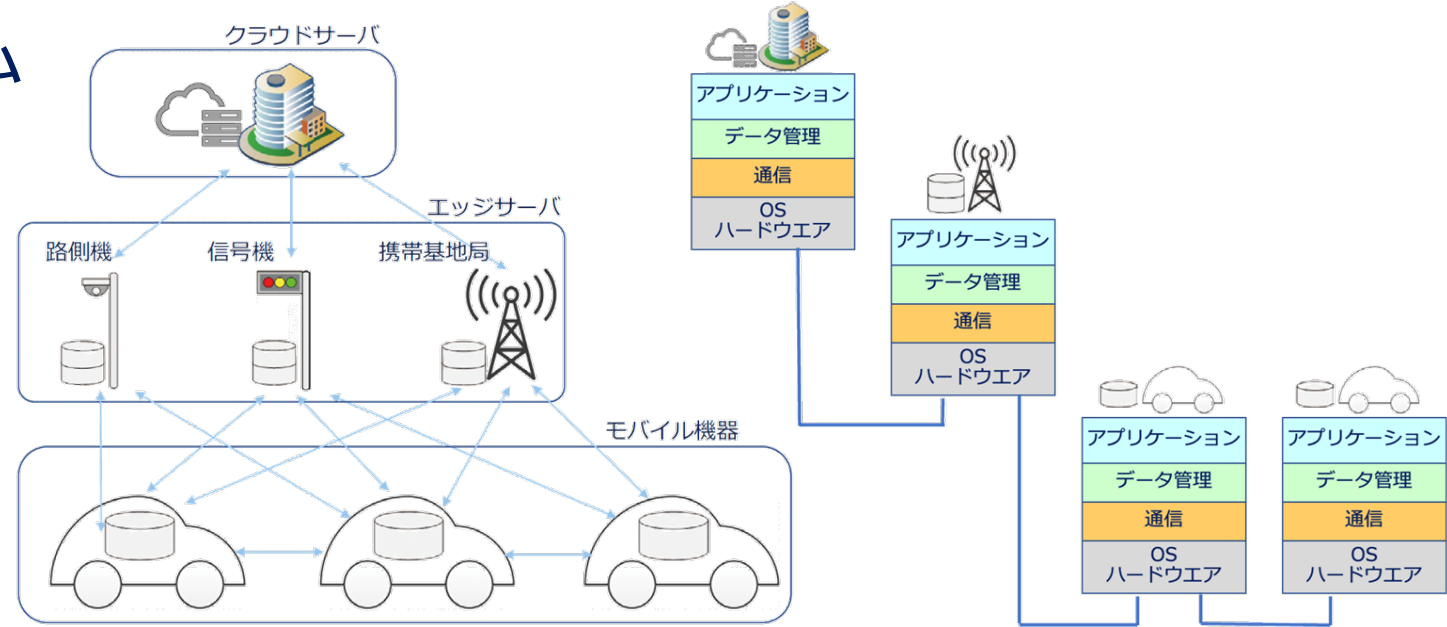
- 通信によるセンサ情報の取得だけでは不十分
 - 位置情報と速度ベクトルを通信で共有
 - 地図情報と重ねないとわからないことあり
- 例：衝突危険性判断



DM2.0 情報通信プラットフォーム



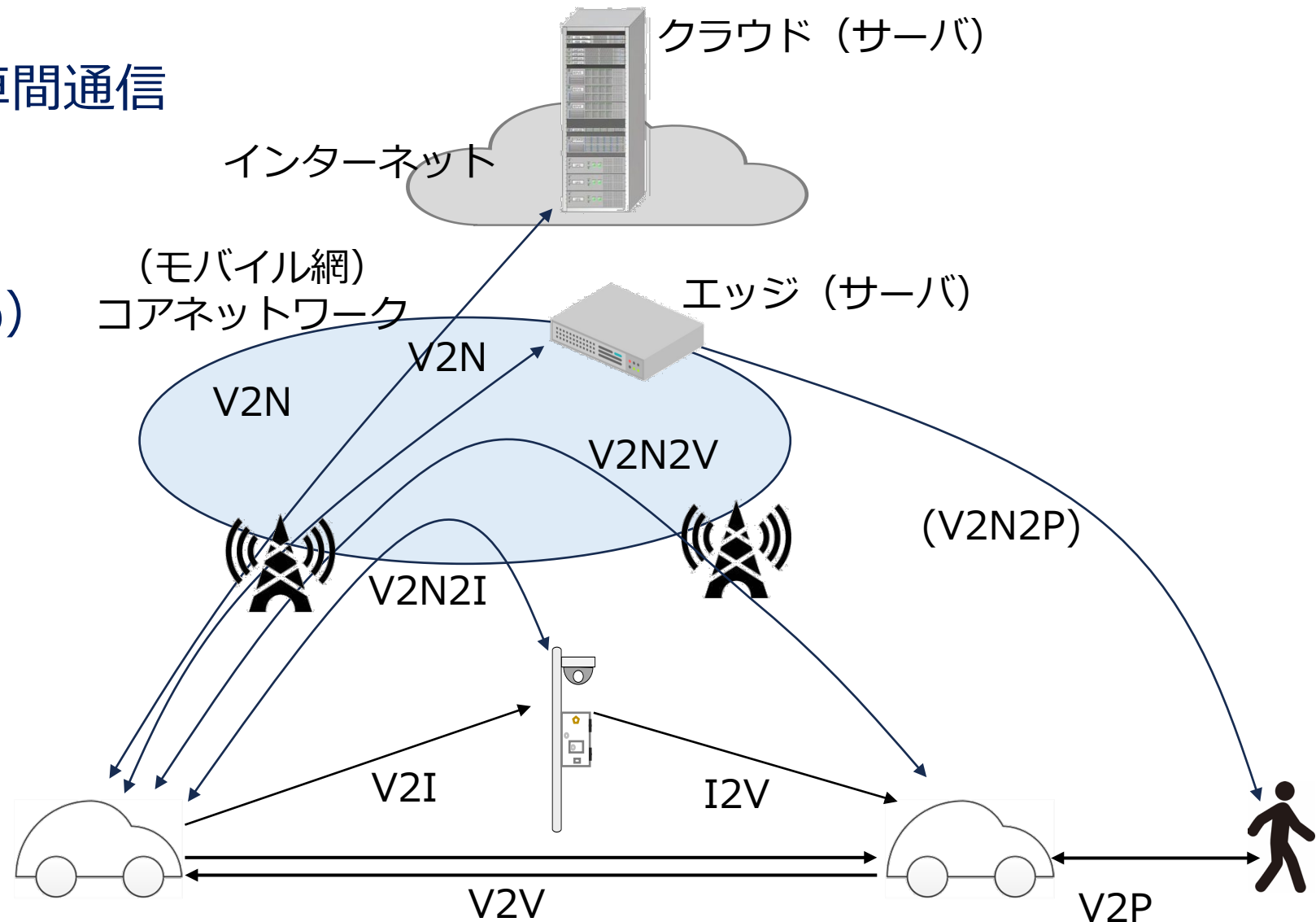
- 仮想空間の概念をもとにデータベース&通信システムを基盤に、各アプリケーションを開発するための分散型情報通信プラットフォーム



出典: Yousuke Watanabe, Kenya Sato, and Hiroaki Takada, DynamicMap 2.0: A Traffic Data Management Platform Leveraging Clouds, Edges and Embedded Systems, International Journal on Intelligent Transport Systems Research (Springer), pp.1-13, 2018/11.

V2X通信手段

- V2V/V2I：車々間／路車間通信
 - ITS無線
 - ITSスポット通信
 - DSRC (IEEE802.11p)
 - LTE-V2X
 - 5G NR-V2X
- V2N：携帯電話網
 - 4G／5G／B5G／6G
 - SA（ネットワーク制御）



出典: 河口 信夫, 高田 広章, 佐藤 健哉, つながるクルマ (モビリティイノベーションシリーズ3), コロナ社, 2020.

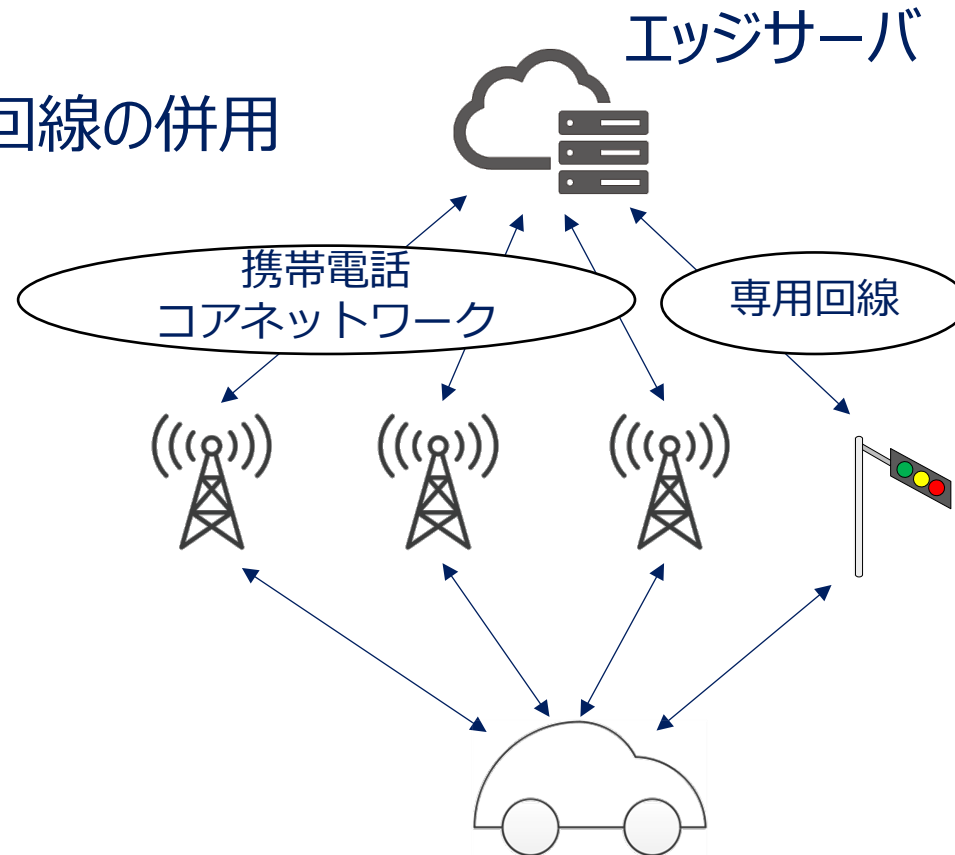


複数通信方式の併用による信頼性向上

- 複数の携帯電話回線, あるいは, 複数の通信方式を併用することにより, どれかの回線の品質が低下した際も, 継続して安定的に通信可能

複数の携帯電話回線の併用

- ドコモ
- au
- ソフトバンク
- 楽天
- など



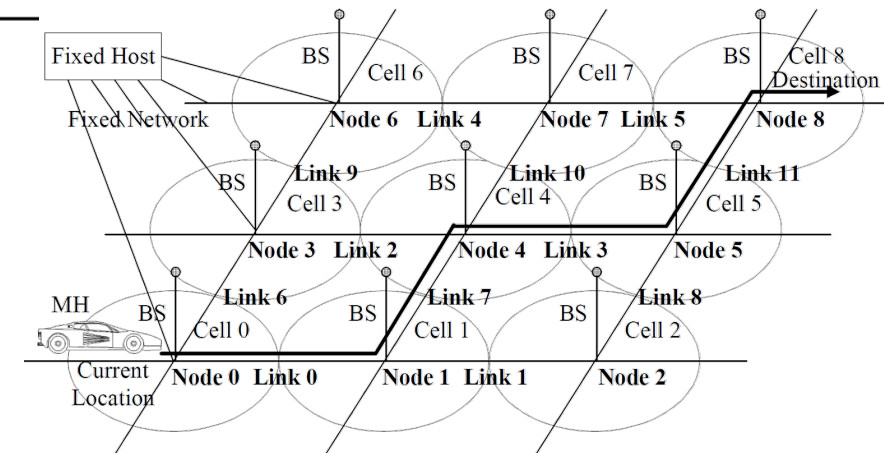
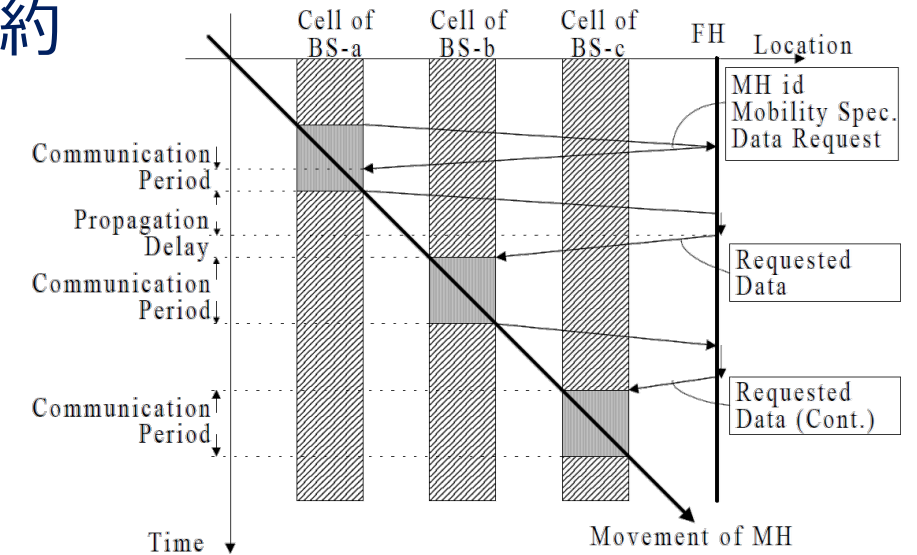
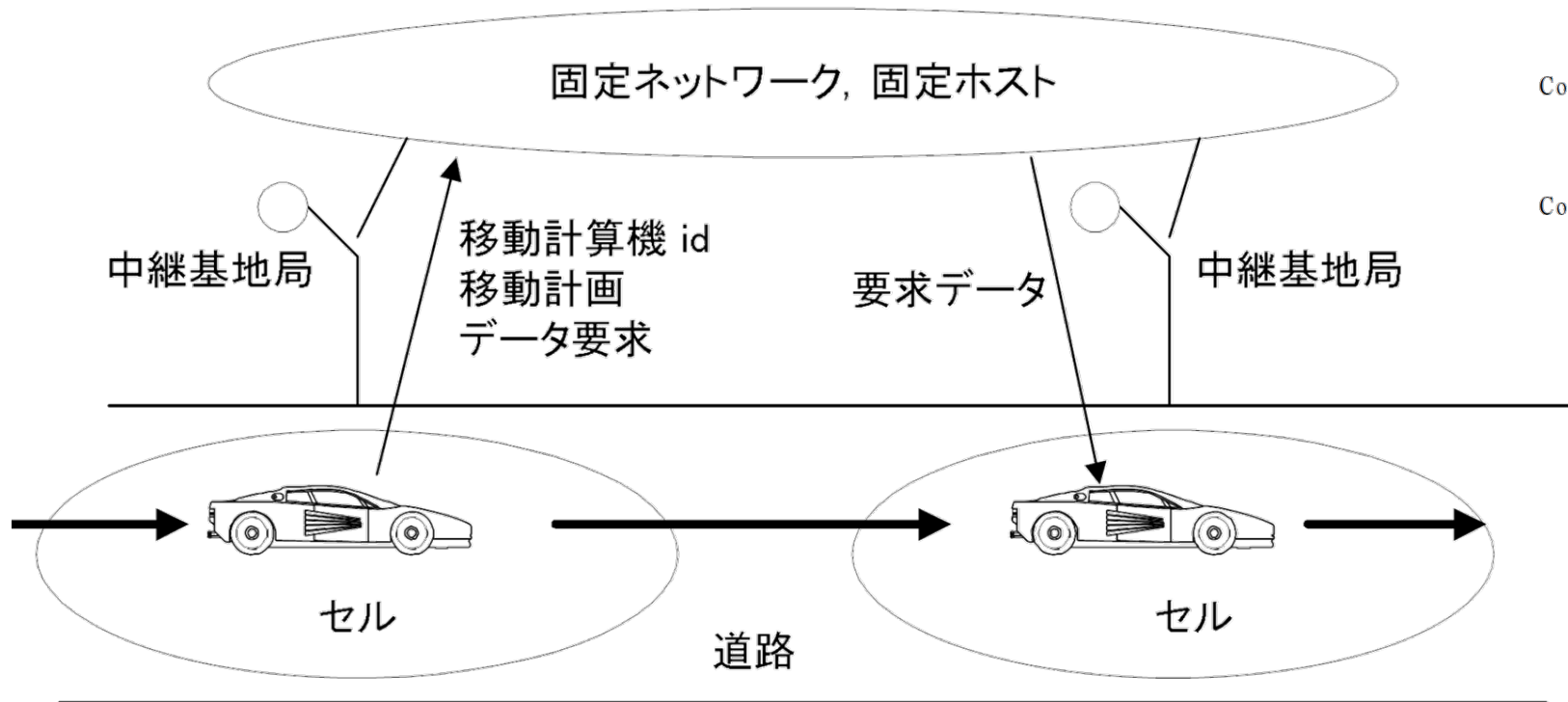
複数の通信方式の併用

- 4G (LTE)
- 5G
- C-V2X (5.9GHz帯)
- ITS無線 (760Mz帯)
- など

出典: Rui Teng, Kenya Sato, A Fundamental Study of Reliable Vehicle-to-Cloud Communication Using Multipath with Redundancy Mitigation, Applied Sciences, Vol. 14, No.7, pp.1-16, 2024/3.

通信の信頼性向上 (QoS 予測・予約)

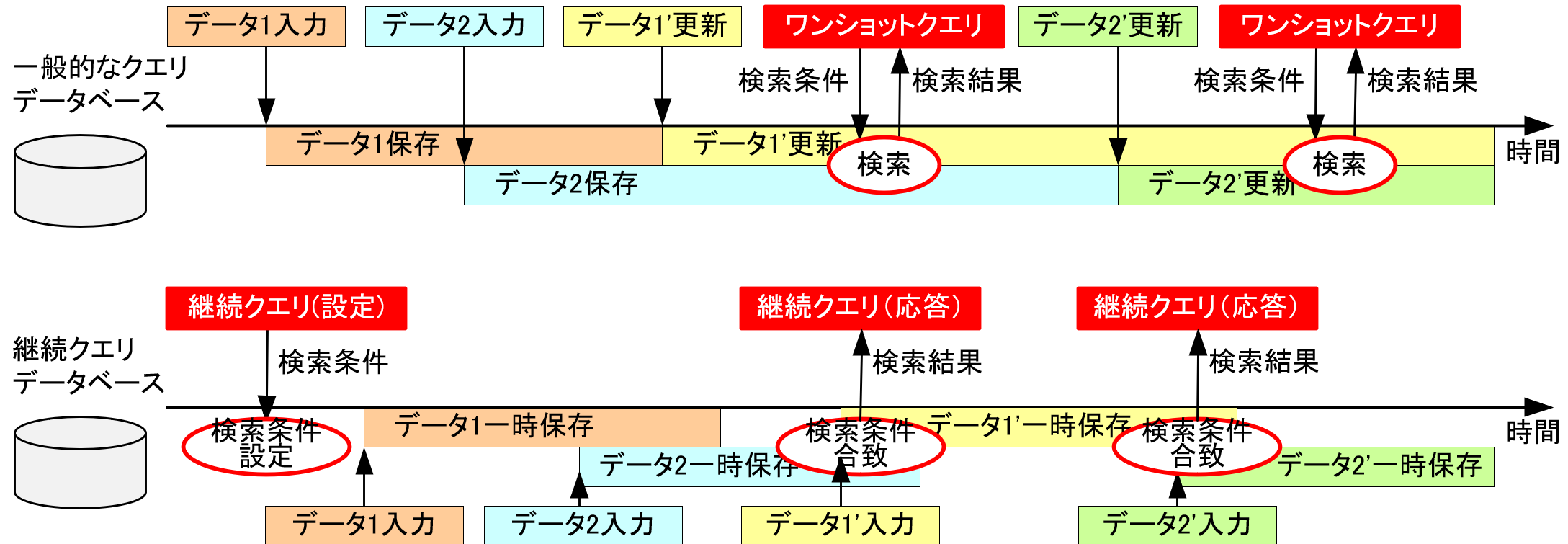
・ 移動経路情報を利用したV2X通信のネットワーク帯域予約



出典: 佐藤 健哉, 最所 圭三, 福田 晃, STRAP : 移動を考慮した空間的・時間的資源割当てプロトコル, 情報処理学会論文誌, Vol.40, No.1, pp.76-84, 1999/1.

処理遅延低減のためのデータ処理方式

- センサデータ処理にストリームの概念を採用
 - データ整合性維持機能はセンサデータには不要
 - 事前にクエリを登録しておいて継続処理させる検索方式（継続クエリ）

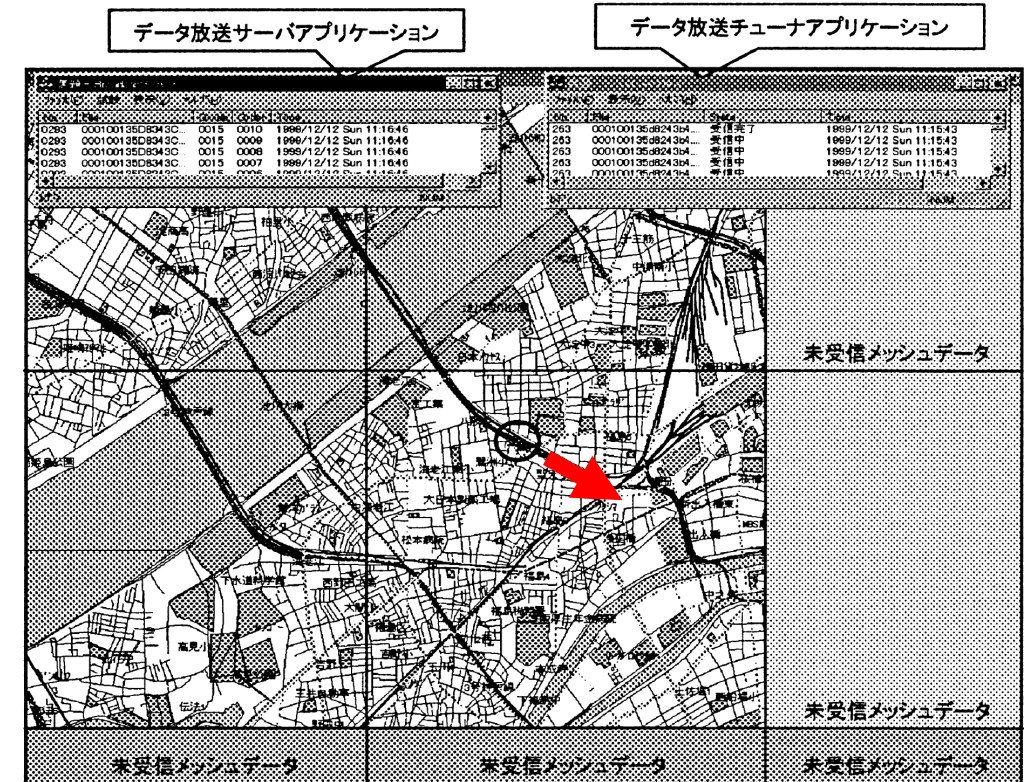
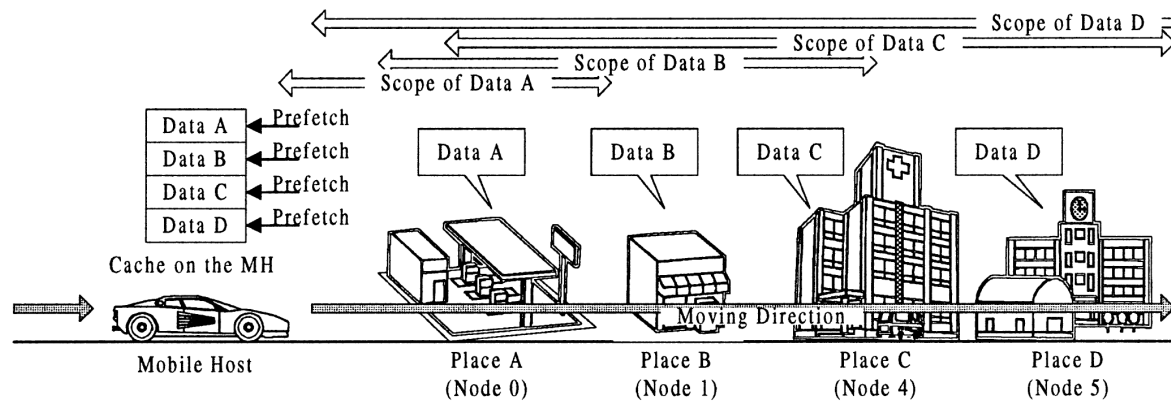
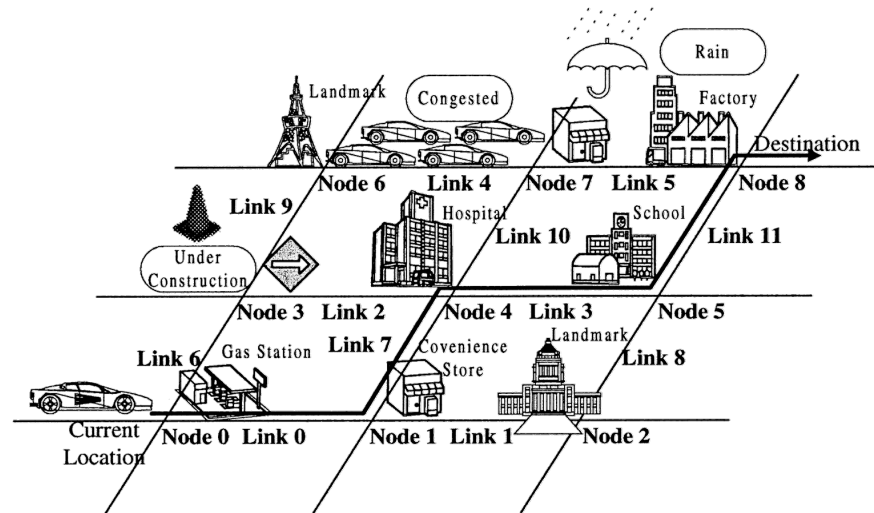


出典 : Kenya Sato, Hideki Shimada, Satoshi Katsunuma, Akihiro Yamaguchi, Masahiro Yamada, Shinya Honda, and Hiroaki Takada, Stream LDM: Local Dynamic Map (LDM) with Stream Processing Technology, The Science and Engineering Review of Doshisha University, Vol. 53, No.3, pp.28-35, 2012/12.



移動経路情報を利用したデータ取得

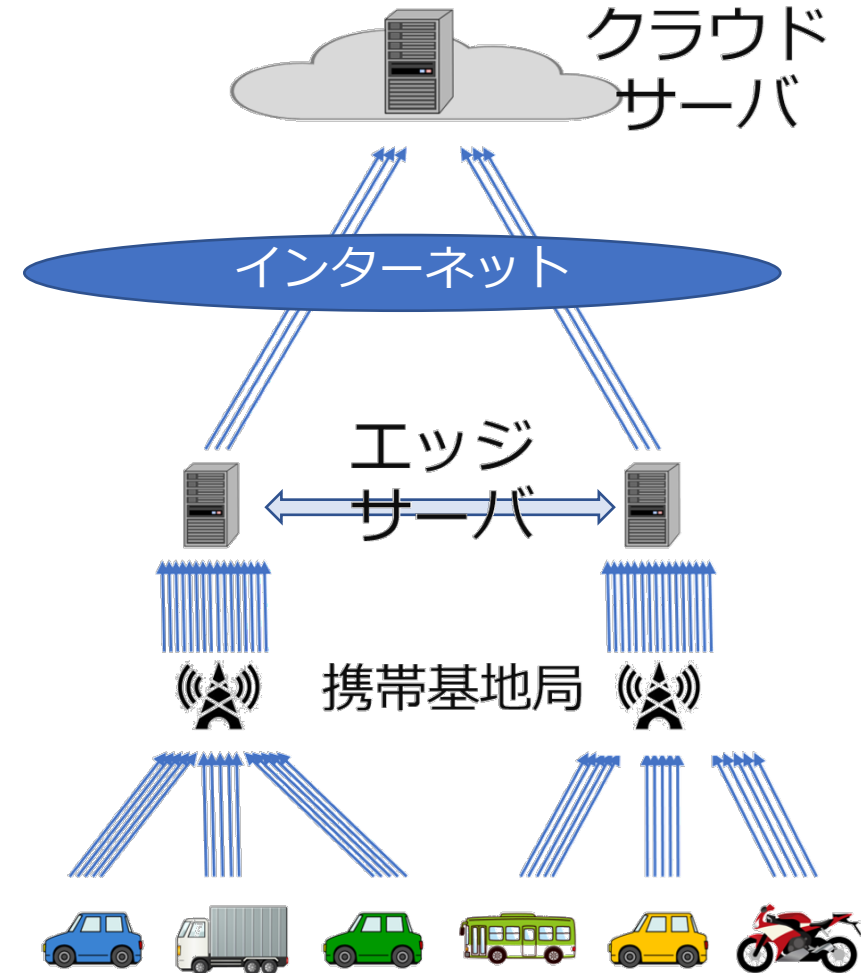
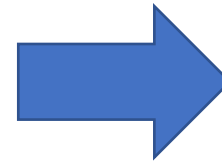
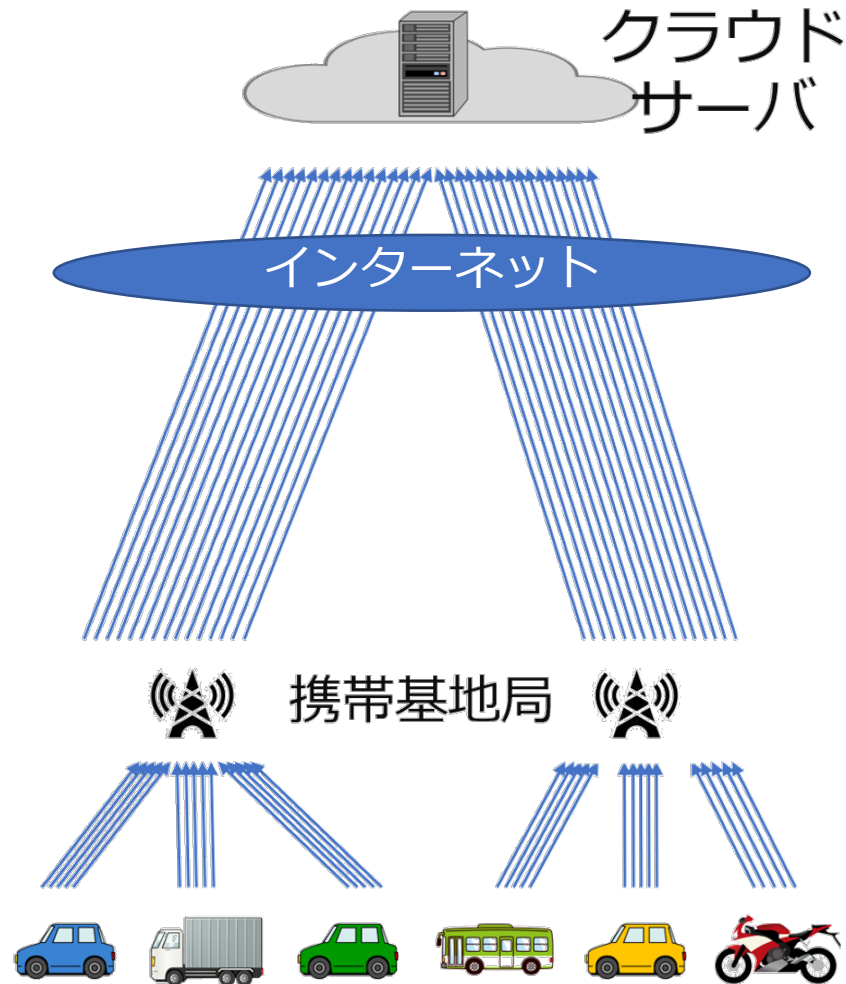
- 今後の移動予測経路に基づき，通信を利用して事前に最新地図データを取得



出典: 佐藤 健哉, 最所 圭三, 福田 晃, 放送により配信される位置依存情報のキャッシュ方式, 情報処理学会論文誌, Vol.41, No.9, pp.2434-2444, 2000/9.

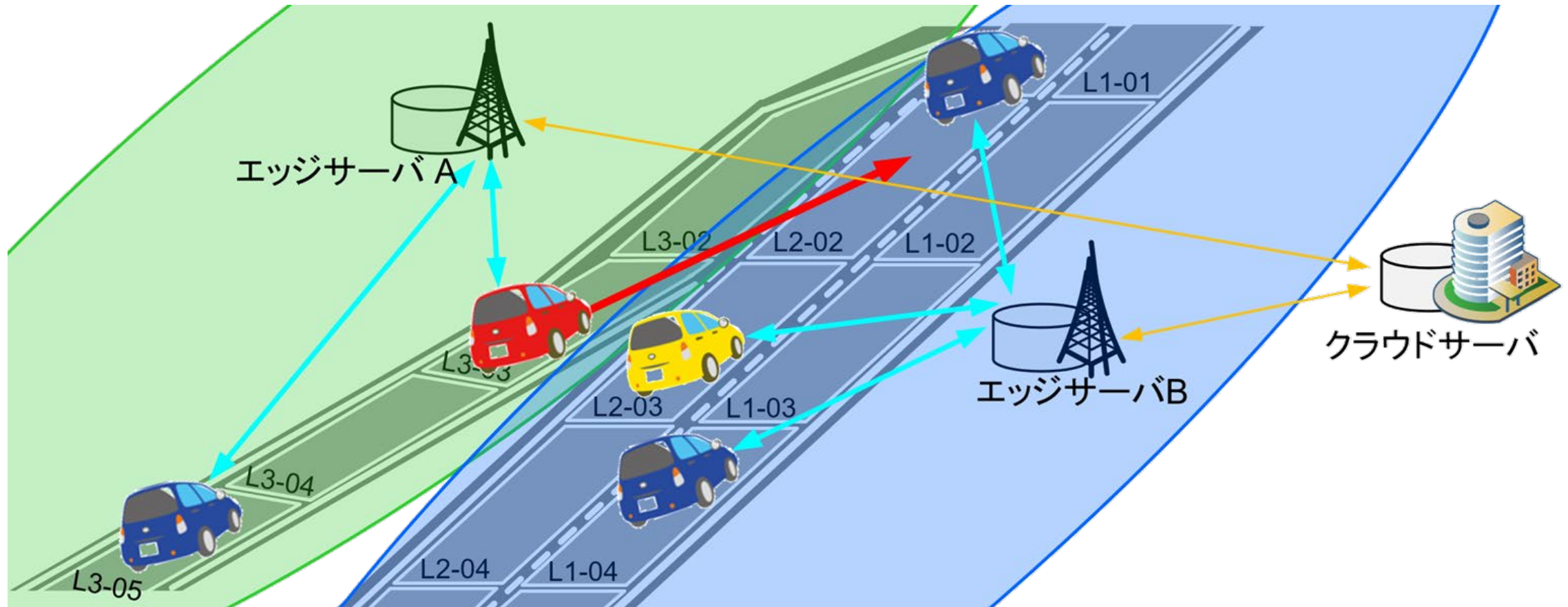
処理を地理的に分散（エッジサーバ）

- スケーラビリティの問題からクラウドに加えてエッジサーバを利用し処理を分散



車両↔エッジサーバの通信

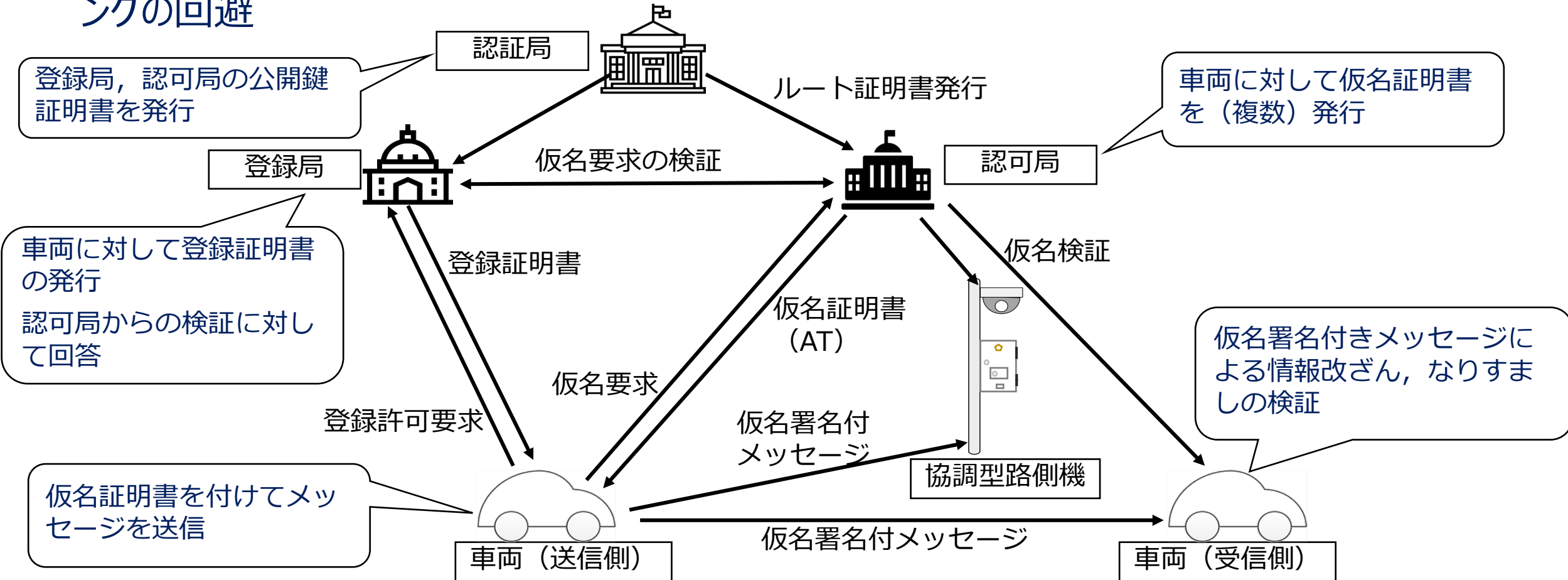
- 車線区間に分割し管理するエッジサーバを決定
- 調停する車両が異なるエッジサーバで情報管理されている場合は転送機能が必要



出典: 細野 航平, 榎 昌彦, 渡辺 陽介, 高田 広章, 佐藤 健哉, 車線分割に基づきエッジサーバを配置したダイナミックマップシステムのスケーラビリティ向上, 情報処理学会論文誌 Vol.62, No.5, pp.1261-1274, 2021/05.

通信セキュリティ確保と車両情報のプライバシー保護

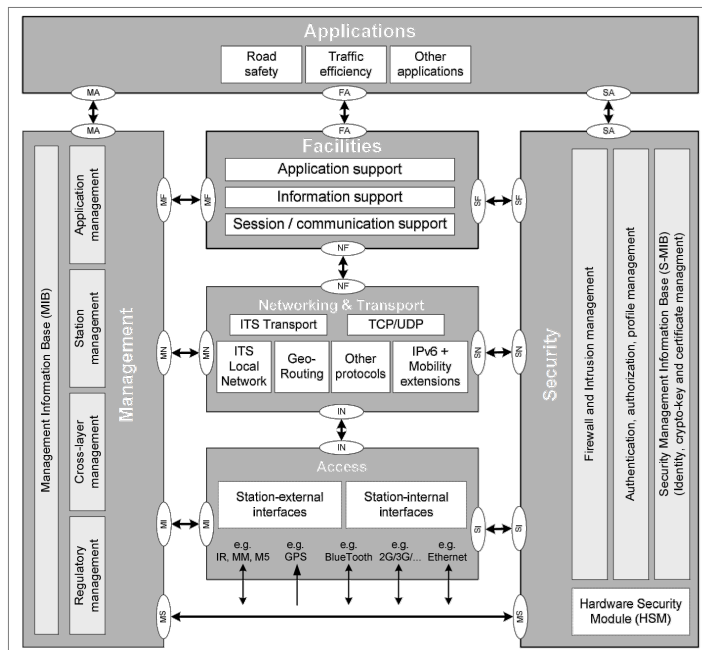
- 真正性・完全性の検証（なりすまし，情報改ざんの回避），盗聴によるロケーショントラッキングの回避



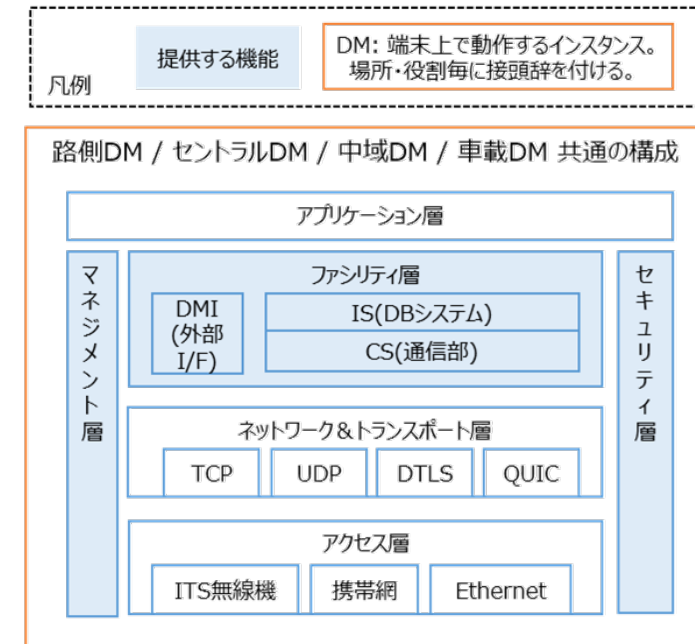
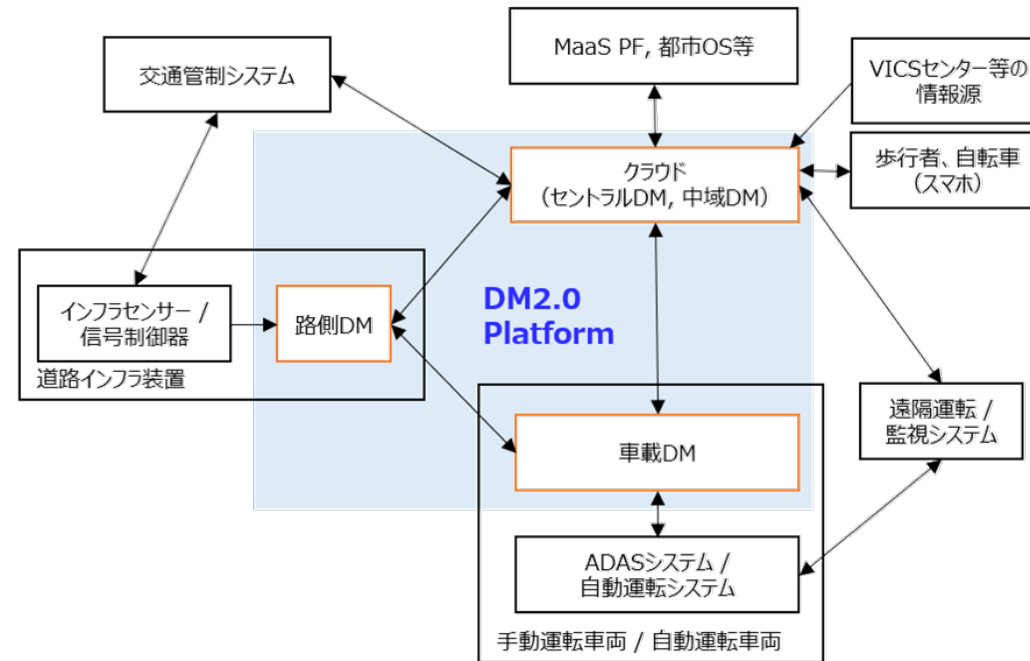
Source : 竹内 僚祐, 渡辺 陽介, 山田 峻也, 佐藤 健哉, 高田 広章, V2I認証高速化のための走行位置に応じたV2N経路証明書連携手法, 電子情報通信学会ITS研究会, 信学技報, Vol.ITS2025-69, pp.171-176, 2026/1.

DM2.0プラットフォーム オープンソース

- GitHub DM2.0 Platform (MITライセンス)
 - 車両、路側機、クラウドをつないだ情報連携のためのオープンソースのプラットフォーム
 - 国際標準化機構 ISO21217 (ETSI EN 302 665 V1.1.1) を参考に設計



ISO21217:2020 Architecture



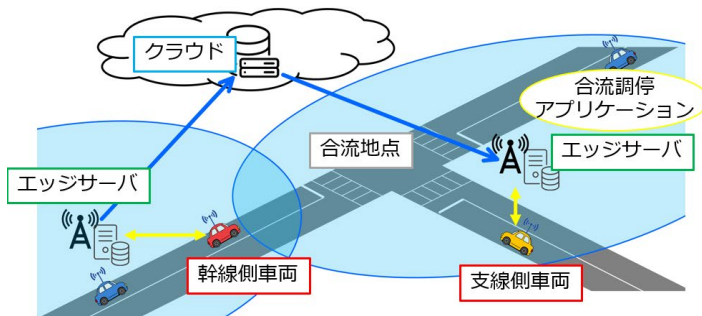
出典: <https://github.com/dm20-consortium/dm20>

実証実験（DM2.0 情報通信プラットフォームの利用）

- 千葉県柏の葉
 - 経産省，国交省：RoAD to the L4
テーマ4（CooL4）



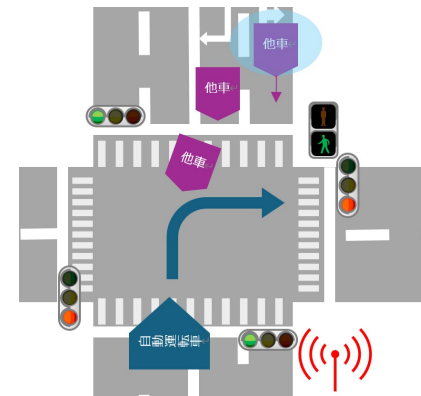
- 横須賀リサーチパーク
 - 総務省：自律型モビリティシステム（自動走行・自動制御技術等）の開発・実証



- 愛知県春日井市高蔵寺
 - 国土交通省 高蔵寺スマートシティプロジェクト



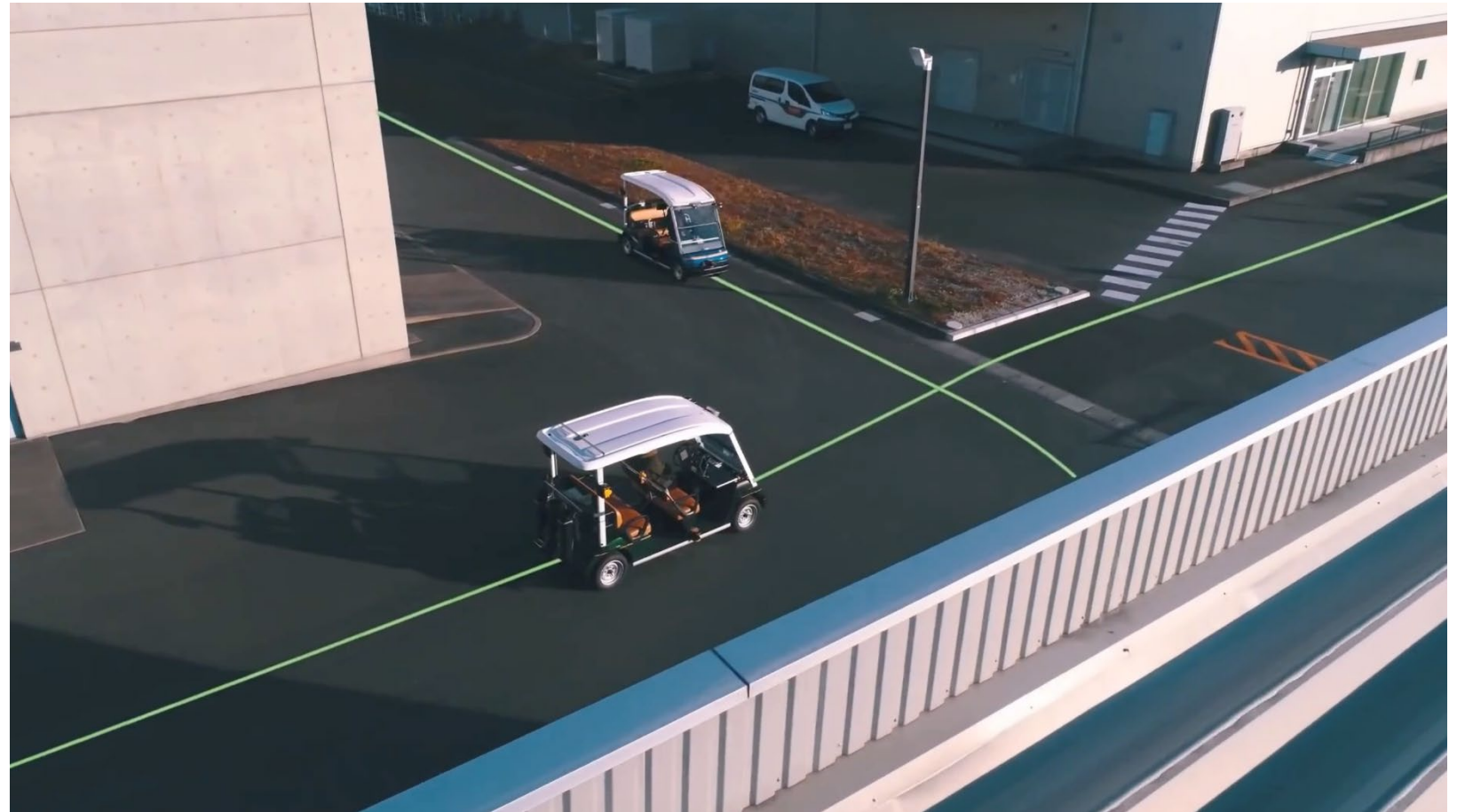
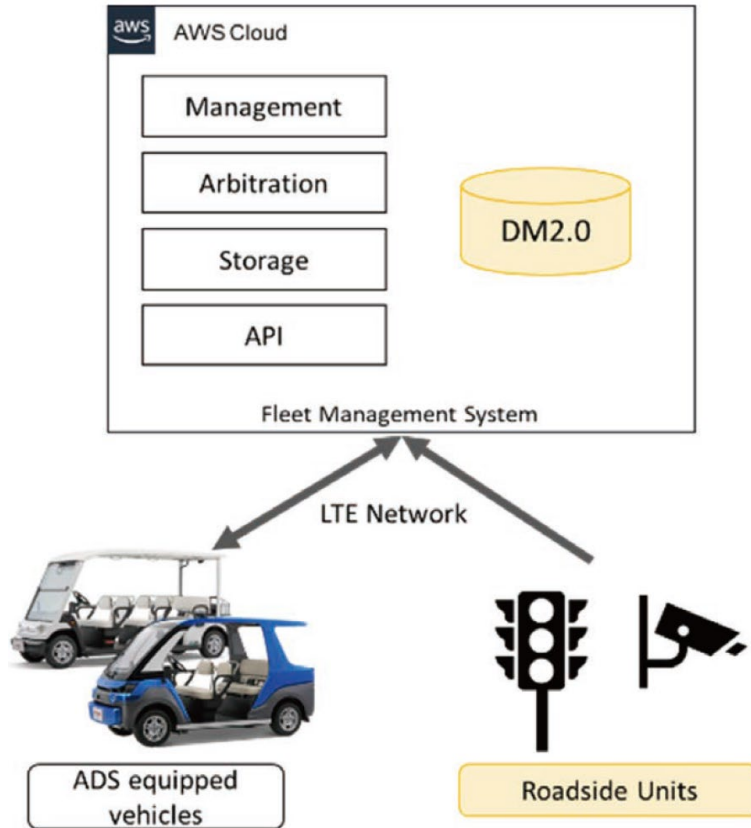
- 京都府けいはんな学研都市
 - デジタル庁：複数モビリティの分散協調運行基盤等の在り方に関する実証調査研究



ヤマハ：自動運転管制システム（DM2.0）

動画

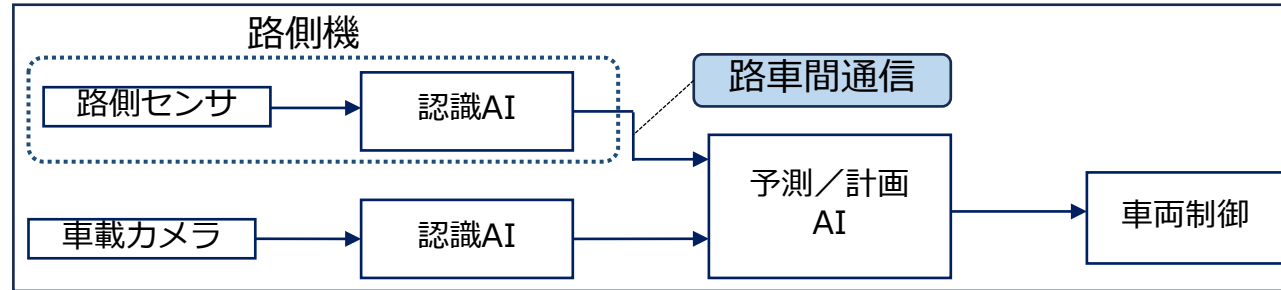
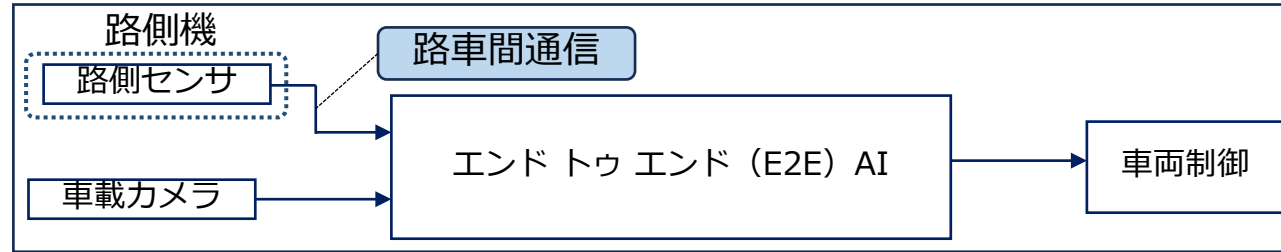
- 信号情報，物標情報等をLTEによりAWS上のダイナミックマップに集約



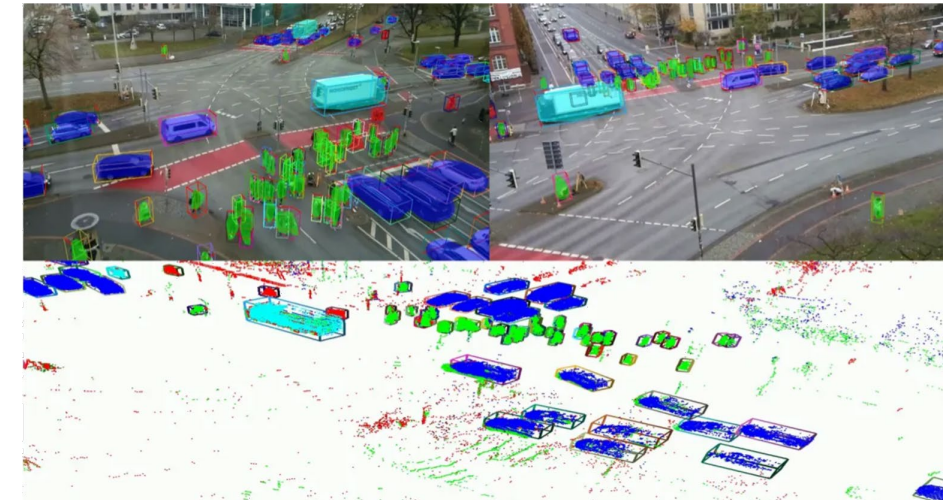
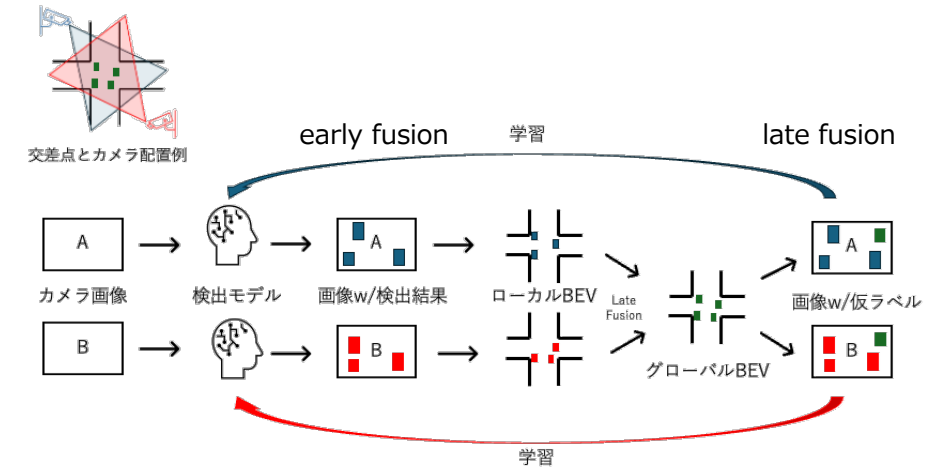
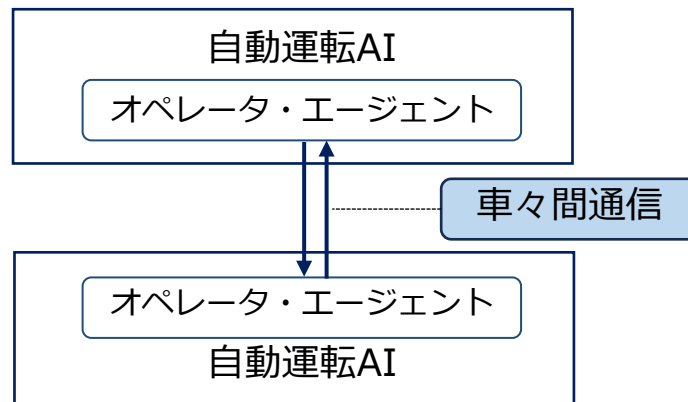
出典：今 健人, 渡辺 仁, ダイナミックマップ2.0を活用した自動運転車両に対するインフラ情報配信システム, Yamaha Motor Technical Review, No.56, 2021/12

自動運転の発展形態（自律から協調へ）

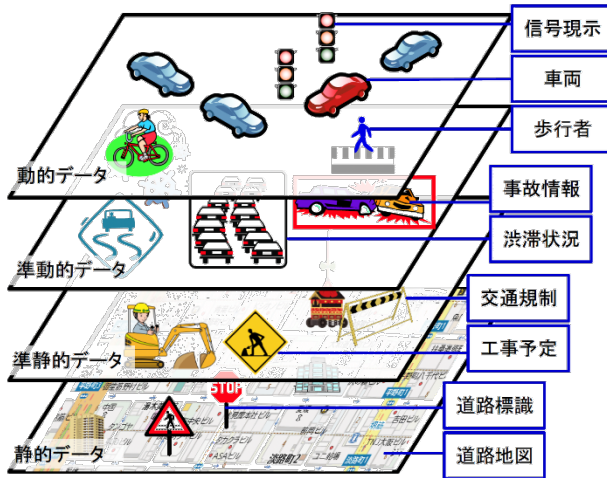
自動運転3.0：異地点複数センサ情報の融合



自動運転4.0：車両間で相互に将来の走行経路を共有し協調走行



DM2.0によるスマートシティ実現のための情報基盤確立

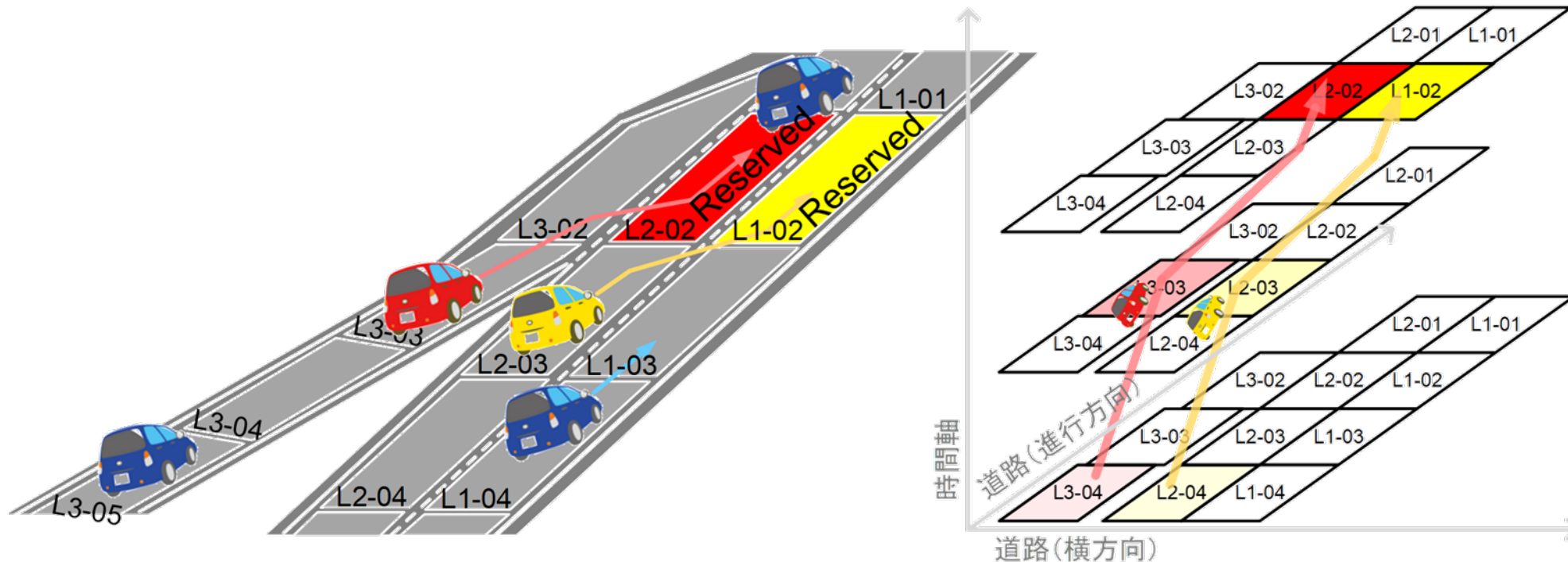


- 安全・安心・見守りサービスの精度やカバー範囲の増加**
 自動運転 運転者支援 デジタルコーナミラー 車両接近アラート
- 経路選択や移動予測などの正確性の向上**
 車線レベルナビ 渋滞・危険回避 旅行時間短縮 MaaS
- 交通管理・制御の効率化, 粒度の細かさや柔軟性の向上**
 合流調停 道譲り 仮想信号 渋滞制御 路面管理 道路課金



ダイナミックマップを利用した時空間予約に基づく走行調停 & 課金

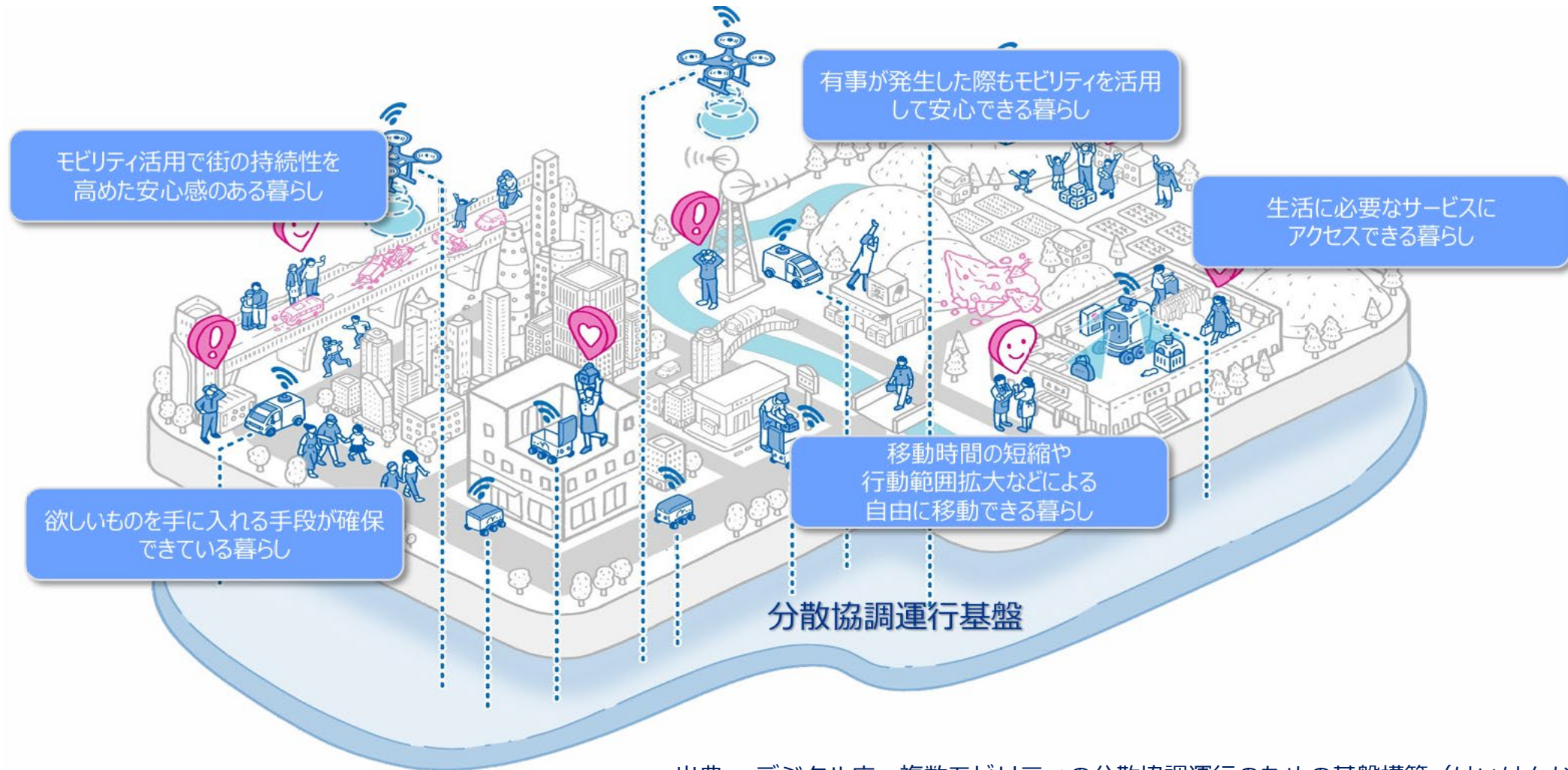
- 予約制マイクロロードプライシング
 - 多数の車両間で調停を実施するには通信負荷が大きい
 - ダイナミックマップ上の時間と空間をグリッドに分割して予約し排他制御
 - 予約に基づく道路課金（予約制マイクロロードプライシング）



出典：中田 輝, 東山 紘樹, Habibullah Babakarkhail, 佐藤 健哉, 走行調停のための時空間グリッド予約を実現する仮想通貨利用マイクロロードプライシング, 第18回ITSシンポジウム2020, 2-A-01, 2020/12.

デジタル庁：複数モビリティの分散協調運行のための基盤構築

- 主に自動走行する複数の輸送用小型ロボットの連携



出典：デジタル庁：複数モビリティの分散協調運行のための基盤構築（けいはんな学研都市）

時空間予約に基づく走行調停（配送用ロボット）



出典：デジタル庁：複数モビリティの分散協調運行のための基盤構築（けいはんな学研都市）

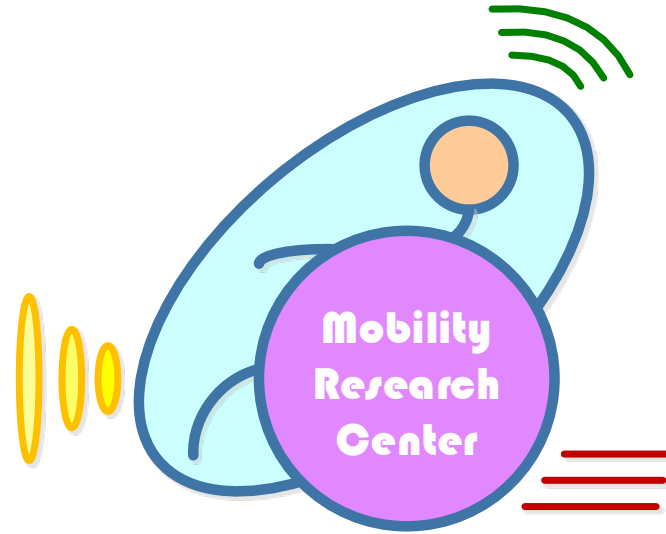
日本の現状と今後について

- ドライバ不足問題に対して自動運転（バス・トラック・ロボタク）への期待大
- 2025年から2027年に向けて、路車協調も含め各地で実証実験実施中（2030年に自動運転サービス車両1万台）
 - 様々な仕様で実験され一部には共通メッセージの規定もあるが、設計概念（アーキテクチャ）なし
 - 合流支援，車両・歩行者の接近警告に加えて，様々な応用例の登場の可能性あり
- ITSで利用可能な周波数帯域（5.9GHz帯）の新たな割り当てを検討中
 - 現状のITS無線（760MHz帯）では限界があり，セキュリティレベルの向上も必要



- 周波数の新たな割り当てを機会に，世界標準のアーキテクチャを採用し，共通のデータ連携プラットフォーム上にアプリケーションを構築する形態を検討する必要あり
 - 通信方式（5.9GHz NR-V2X）の利用
 - アプリケーションメッセージの共通化
 - 国際標準アーキテクチャ（セキュリティ機構を含む）の採用
 - 参照データ連携プラットフォーム（データ管理，データ表現）構築
 - 複数ベンダーによる相互接続性テストの実現

同志社大学 モビリティ研究センター Doshisha Mobility Research Center



Move to the Future 京都から未来へ

- URL <http://mrc.doshisha.ac.jp/>
- E-Mail rc-mblty@mail.doshisha.ac.jp

