

# 平成 31 年度事後事業評価書

政策所管部局課室名：国際戦略局 技術政策課 研究推進室

評価年月：令和元年 8 月

## 1 政策（研究開発名称）

膨大な数の自律型モビリティシステムを支える多様な状況に応じた周波数有効利用技術の研究開発

## 2 研究開発の概要等

### (1) 研究開発の概要

#### ・実施期間

平成 29 年度～平成 30 年度（2 か年）

#### ・実施主体

民間企業、国立研究開発法人

#### ・総事業費

1,740 百万円

平成 29 年度	平成 30 年度	総 額
940 百万円	800 百万円	1,740 百万円

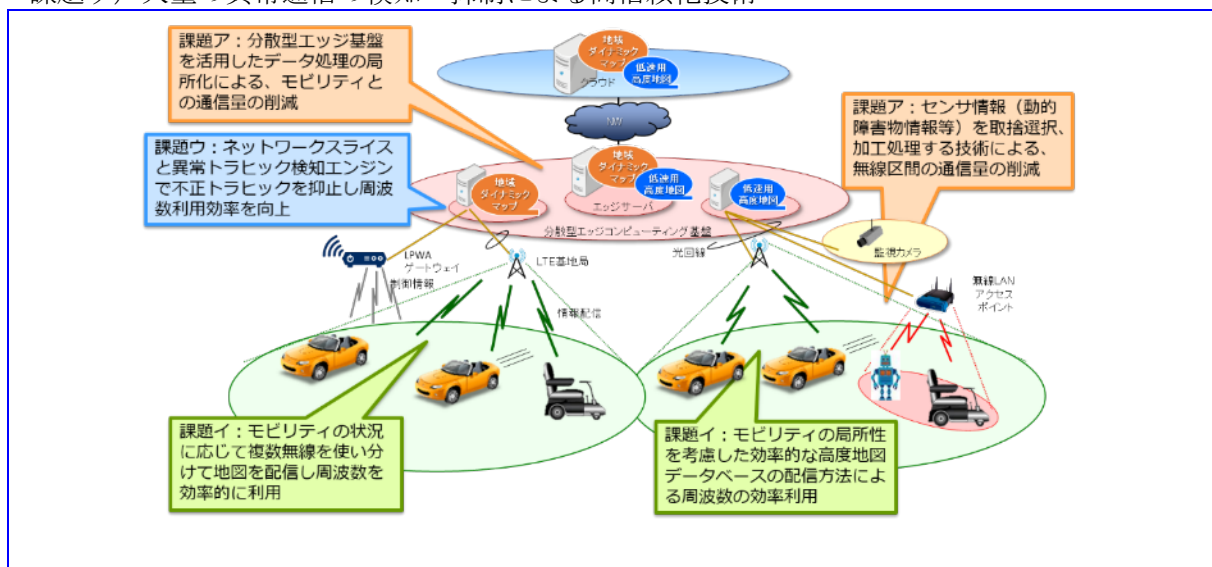
#### ・概 要

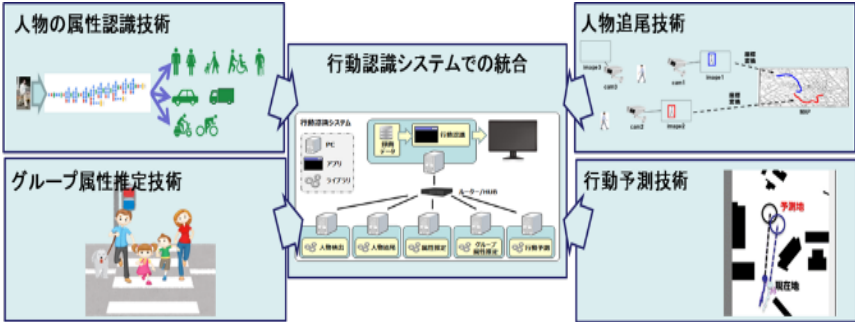
超高齢化と労働人口減少を迎える中、高信頼・高精度な自動走行を実現する自律型モビリティシステム（自動走行技術、自動制御技術等）の実現が期待されている。この自律型モビリティシステムの実現のためには、移動体自身に搭載するセンサーだけでなく、高度な自己位置推定や周辺環境認知を可能とする高度地図データベース等の情報を、遅延なくリアルタイムに収集・把握する通信技術の確立が極めて重要で必要不可欠となる。本研究開発では、自律型モビリティシステムを支える通信技術を確立するため、高度地図データベース等の多様で大容量な情報について、膨大な数の移動体との間でリアルタイムなやり取りを可能とする技術を確立するとともに、限られた電波資源を最大限に有効利用するための以下の技術を確立した。

課題ア) 分散型データ処理等による高効率な通信処理技術

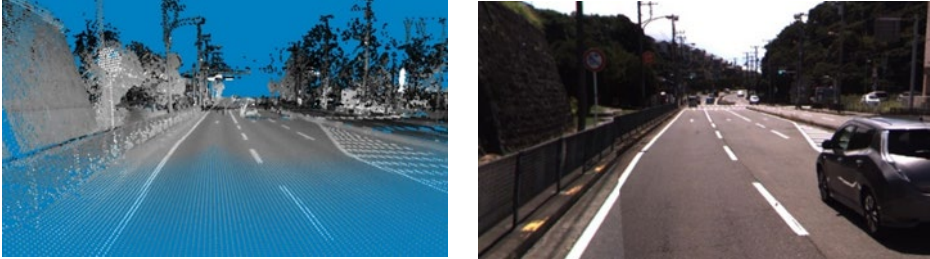
課題イ) 複数無線システムを用いた高度地図データベースの更新・配信技術

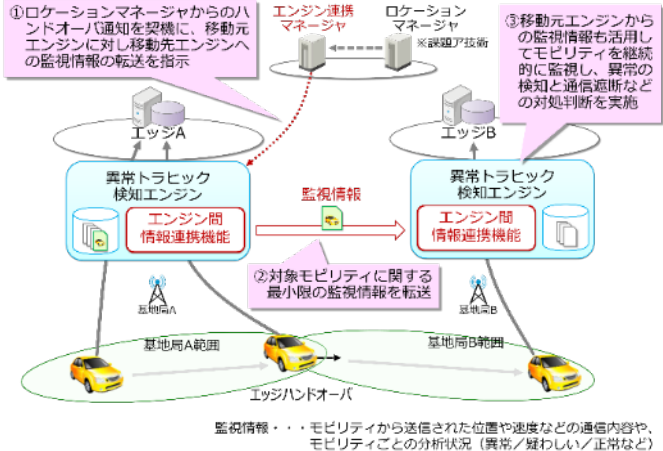
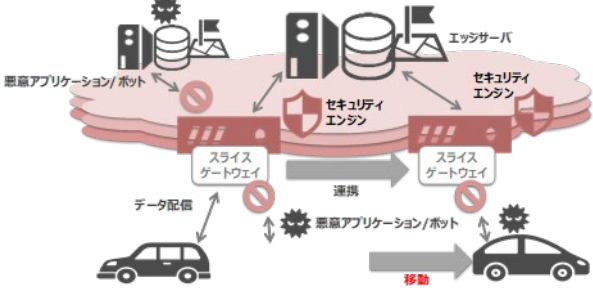
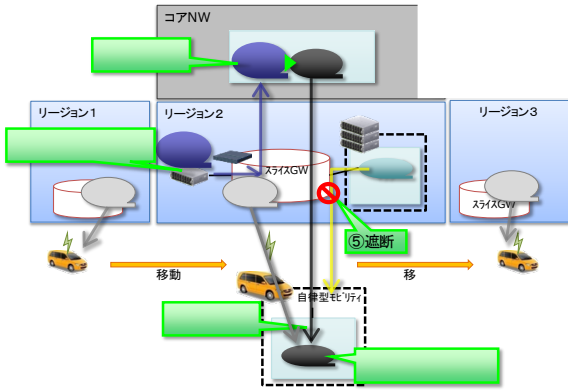
課題ウ) 大量の異常通信の検知・抑制による高信頼化技術



技術の種類	技術の概要
<p>課題ア-1-① 広域で高効率な通信処理を可能とするエッジコンピューティング技術の確立</p>	<p>エッジコンピューティング技術（従来のクラウドコンピューティングをネットワークのエッジにまで拡張し、ユーザやデータ発生源の近くで分散処理を行う技術）を用いて、ネットワークと端末間のデータ転送量の削減による電波の有効利用を目指す。エッジコンピューティングは、端末である自律型モビリティとの間のデータの送受信を行う中継地点となるため、無線区間のデータ転送量の削減を図るための基盤として活用することが可能である。このため、エッジコンピューティングを形成するノードであるエッジサーバと、端末の自律型モビリティの両端にデータ圧縮機能を持たせることで無線区間のデータ転送量を削減し、エッジコンピューティングによる分散処理に加えて更なるデータ転送量の削減を行うと同時に、転送時間を短縮することで更なるリアルタイム性の向上を図る。そして、エッジコンピューティングと自律型モビリティ間のデータ転送量を効率良く圧縮できる方式を通じ、電波の有効利用に繋げる。</p>
<p>課題ア-1-② 複数の分散型データ処理の協調制御を可能とするエッジサーバ技術の確立</p>	<p>エッジサーバに接続される自律型モビリティの密度変化への対応の研究開発を行う。自律型モビリティは端末が移動することに特徴があり、エッジサーバの収容設計も固定的に決定することはできず、車両の密度に応じて負荷が変動することが想定される。一方で、エッジサーバから提供される情報は自動走行に関わるクリティカルなものであり、収容限界に達したためにサービスが提供できないという事態は許容されない。このため、自律型モビリティの密度の変更に合わせたスケールアウトによる計算処理速度の維持や、周波数帯域が限界に達した場合は他の無線通信方式に切り替えて別のエッジサーバへフェイルオーバーするなどの非常時対応を検討し、電波資源の枯渇に対応する対策を検討する。</p>
<p>課題ア-1-③ 広域にまたがって様々な速度で走行する移動体の追従を可能とするエッジサーバ間ハンドオーバ技術の確立</p>	<p>アプリケーションレベルにおける自動走行車両との通信接続について、自動走行車両等の移動に追従したエッジサーバ間でのハンドオーバ性能を向上する技術と、エッジサーバ上におけるアプリケーション処理のマイグレーション効率化技術の確立を行い、実環境に即した実証実験を通して有用性及び実用性を検証する。</p>
<p>課題ア-1-④ リアルタイム情報収集を可能とするLPWAトラフィック制御技術</p>	<p>自動走行車両の位置情報のエッジサーバへの送信において、渋滞等により通信の輻輳が起きそうな領域に対し、位置情報の搬送とは別のLPWA（Low Power Wide Area）等のチャンネルにより、領域毎の制御情報をモビリティに送り込んで、送信頻度の制御を行うことにより、データ転送量を削減する。広域の制御情報を集約可能なLPWAゲートウェイを介して制御情報を送り込む方法と、割り込み合流などの協調動作を計画する車両から周囲の車両へ、直接、制御情報を送り込む方法を組み合わせることで、必要な位置情報の精度を確保しながら、柔軟な帯域制御が可能であることを、実証実験を通じて検証する。</p>
<p>課題ア-2-① 個人を特定しない環境センサーによる電波環境構造化技術</p>	<p>低速（6km/h以下）の自律型モビリティ（電動車いすや運搬ロボット等）が、高齢者、障がい者に移動支援サービスを安全・安心に提供するために不可欠となるモビリティの近傍状況（電波環境を含む）を把握するために、物理的な人の位置や壁などの障害物の位置と、環境内の受信電波強度を推定する動的電波環境情報構造化技術、及び複数のモビリティからの計測情報を統合した低速用高度地図データベースをエッジサーバ上に作成・共有する技術</p>
<p>課題ア-2-①-2 固定されたカメラからの映像解析による環境情報把握技術</p>	<p>自律型モビリティシステムの動的電波環境の計測のために、固定カメラ映像から高精度で歩行者を検出、検出された歩行者などの属性・種別を識別、画像上の検出位置を実世界の位置に正確に変換、カメラ内及びカメラ間で追尾することにより移動経路を認識すると共に将来の行動を推定する技術。</p>  <p>映像解析による環境情報把握技術の概要</p>

技術の種類	技術の概要
課題ア-2-②-1 低速の自律型モビリティシステムに適した無線ネットワーク構築・制御技術	多数の低速自律型モビリティが無線周波数のひっ迫を引き起こすことなく無線ネットワークを介して必要な情報をエッジサーバの低速用高度地図データベースにアップロード/ダウンロードすることを可能とする、移動している低速自律型モビリティに適した周波数利用効率の高い無線ネットワーク構築・制御技術
課題ア-2-②-2 低速の自律型モビリティシステムの協調連携制御技術	低速の自律型モビリティ（及び搭乗者）同士、または低速の自律型モビリティ（及び搭乗者）と周辺の人が対話できる距離 10m 程度の範囲で、半径 10m 以内に最大 10 名以内の人がいる混雑さを前提として、低速の自律型モビリティが衝突回避など安全・安心を確保して移動・回遊を実現しつつ、低速の自律型モビリティ（及び搭乗者）と周辺の人や他のモビリティとの間での対話を可能にするための、移動体の位置及び速度を適切に制御する技術
課題ア-2-③ 低速の移動体の高効率な通信処理技術の実証・標準化	低速の自律型モビリティが実際に一般市民にサービスを提供する環境に近い場所を活用して、低速の自律型モビリティの高効率な通信処理技術の実証実験を実施する。そのための場所として、（1）複合商業施設（ATC）、及び（2）オフィスビルエントランス（横須賀リサーチパーク（YRP））を利用する。国際標準化については、Object Management Group（OMG）で国際標準化が進められているロボット対話サービス（Robotic Interaction Service（RoIS））の仕様もしくはその後継となる仕様を対象として推進する。
課題ア-3 課題間の連携と実証	課題ア・イ・ウの各機能を統合した、高速・低速モビリティシステム共通のインフラを統合実証環境として構築し、各課題で開発した技術を統合した実証実験を行う。計算処理や通信処理において互いに悪影響を及ぼさないことを確認した上で、その状況でも単体と同等の周波数利用効率向上が可能なことを実証する。
課題イ-1 複数無線システムを連携して制御する技術	<p>現在広く普及しているスマートフォンは、無線 LAN システムとの親和性が高く、大容量のデータを受信する際に、無線 LAN システム環境での受信を推奨するような注意喚起機能や受信条件を無線 LAN システム接続時のみとするような設定機能が実装されている。これは、利用者側への配慮だけでなく、大容量データの受信による帯域逼迫を避けるという通信キャリア側のメリットにもなる。自律型モビリティへのダイナミックマップ（高精度な 3 次元地図情報と、渋滞情報や事故による通行規制などの位置情報を組み合わせたデジタル地図）配信に関しても、携帯電話システムと無線 LAN システムを組み合わせて利用することが効果的であると想定される。このような背景のもと、平成 29 年度では、複数無線システムを動的に切り替える技術（以下、動的切替技術とする）の実証及び同一のダイナミックマップを異なる無線システムを通じて受信する技術（以下、同時通信技術とする）の机上検討を実施した。</p> <p>平成 30 年度では、上記の平成 29 年度の検討結果を受けて、同時通信技術の研究開発、及び動的切替技術における切断ロジックの高度化、同時通信技術と動的通信技術を組み合わせ技術について実証を実施した。</p>

技術の種類	技術の概要
<p>課題イ-2-a 車両による情報 収集分析技術</p>	<p>自律型モビリティシステムの運用においては、基盤的地図の更新及びモビリティに対する配信が迅速に行われることが必要である。そこで、道路更新箇所を自動検知する手法に焦点をあて、一般車両に搭載したセンサーを用いて道路情報を収集する手法の検討、開発に取り組む。道路情報の収集にあたっては、車両から移動通信網を介してエッジサーバに送信する手法を検討する。</p> <p>センサーが収集するデータとして、レーザセンサーによる点群データ、デジタルカメラによるカメラ画像、GNSS/IMU (Global Navigation Satellite System/Inertial Measurement Unit) ※による位置姿勢情報が挙げられる。これらのデータ量は膨大であり、移動通信網で送信するには適さない。そこで、更新箇所の抽出という目的に適したデータのみ収集の対象とすることで、データ量の削減を図る。抽出の対象として、道路上の地物</p>  <p>のうち区画線、標識、路肩縁を採用する。</p> <p>センサーが収集するデータの例 (点群データ、カメラ画像)</p> <p>※ GNSS/IMU とは、航空機などの移動体の正確な位置情報と姿勢情報を算出する技術。航空機などが移動中に観測した GNSS データと地上基準点の GNSS データの解析を行ない、さらに移動体に搭載した IMU 装置で計測された機体の傾きデータと加速度データを合わせて解析することにより、ある瞬間における移動体の位置と姿勢を求めることができる。</p>
<p>課題イ-2-b 路側設備による 情報収集分析技術</p>	<p>路側に設置したカメラやレーダーによる准静的～准動的な道路事象の変化を車に効率的に適時通知配信することを可能とするため、カメラ情報に基づいた道路状態の変化とその状況 (対象種別、事象等) を交差点に限らない周辺道路も含むエリアのセンサーから効率的に情報を収集する方式を確立する。</p>
<p>課題イ-3 高度地図データ ベースを効率的 に配信する技術</p>	<p>自律型モビリティに対する高度地図データベースの配信において無線アクセス区間の通信トラフィックを削減するためには、自動走行が成立する範囲において配信データ量を削減することや、配信タイミングを最適化することが必要となる。これを踏まえ、平成 29 年度では、自律型モビリティの走行状態やデータの用途、容量に応じて、高度地図データベースの更新情報の差分を配信する差分配信技術や、必要な範囲を配信する分割配信技術を研究開発した。</p> <p>平成 30 年度では、上記の平成 29 年度の「配信制御技術の検討・実証」結果と平成 30 年に実施した「携帯電話システムと無線 LAN システムの連携制御技術を含む総合実証」の結果を結合し、無線 LAN システムにおいて通信時間の観点から有効性が高い同時通信技術 (方式 1 ハイブリッドダウンロード (MPTCP)) と無線 LAN 通信システムへの接続利用機会の観点から最も効率的な動的切替技術を効率的な高度地図データベースの配信技術と組み合わせて実証を実施した。</p>

技術の種類	技術の概要
<p>課題ウ-1 大量トラフィック 検知・判断技術</p>	<p>自律型モビリティのエッジ間移動のタイミングを捉えて移動元の検知エンジンから移動先の検知エンジンに対象モビリティの継続的な監視に必要な最小限の情報を転送することにより自律型モビリティのエッジ間移動に追従した継続的な監視が可能、異常トラフィック検知及び通信制御上の対処方法の判断を行う技術。</p>  <p>大量異常トラフィック検知・判断技術</p>
<p>課題ウ-2 大量異常トラフィックのネットワーク遮断技術</p>	<p>「課題ウ-1の異常トラフィック検知・判断」技術と連携し、自律型モビリティシステムに対する異常トラフィックの発生範囲に連動したネットワーク遮断を実行する技術。 具体的には、「課題ウ-1の異常トラフィック検知・判断」技術と連携し、移動体の基地局間移動に対応した自律型モビリティシステムに対する異常トラフィックの発生範囲に連動したネットワーク遮断を実行する。</p>  <p>ネットワーク遮断技術</p>
<p>課題ウ-3 正常ネットワークへの移動体接続及び安全動作への誘導提示技術</p>	<p>「課題ウ-2のネットワーク遮断」技術と連動し、正常なネットワークへの接続や手動運転への切り替え通知等の安全動作への誘導提示技術。 具体的には、「課題ウ-2における遮断制御」技術にて、異常となったエッジサーバから自動走行する自律型モビリティへの異常データを遮断する。自律型モビリティは自動走行に必要な情報を受信できなくなる為、スライス管理サーバから手動走行への切り替え通知を行う。 また、エッジサーバが復旧した際に、自動走行への切り替えが可能となる事を通知することにより、自動走行への復帰を促す。</p>  <p>安全動作への誘導を提示する技術</p>

・スケジュール

技術の種類	平年 29 度	平成 30 年度
課題ア-1-① 広域で高効率な通信処理を可能とするエッジコンピューティング技術の確立	基本方式の検討	実装及び通信削減効果の評価
課題ア-1-② 複数の分散型データ処理の協調制御を可能とするエッジサーバ技術の確立	課題ア内連携方式の検討・評価	課題間連携の実現と実証評価
課題ア-1-③ 広域にまたがって様々な速度で走行する移動体の追隨を可能とするエッジサーバ間ハンドオーバ技術の確立	基本方式の実装と初期評価	統合実証環境での評価
課題ア-1-④ リアルタイム情報収集を可能とする LPWA トラフィック制御技術	基本方式の実装と初期評価	拡張方式の実装と統合実証環境での評価
課題ア-2-①-1 個人を特定しない環境センサーによる電波環境情報構造化技術	基本処理検討	基本技術の確立
課題ア-2-①-2 固定されたカメラからの映像解析による環境情報把握技術	学習・評価データ収集方式 実装、評価	実証実験及び改善
課題ア-2-②-1 低速の自律型モビリティシステムに適した無線ネットワーク構築・制御技術	ネットワーク制御・連携 技術の基本検討	ネットワーク構築・制御 技術の確立
課題ア-2-②-2 低速の自律型モビリティシステムの協調連携制御技術	協調連携制御技術の基本検討	協調連携制御技術の実装・評価
課題ア-2-③ 低速の移動体の高効率な通信処理技術の実証・標準化	システム統合・構築・ 小規模実証、国際標準	システム統合・構築・ 大規模実証、国際標準
課題ア-3 課題間の連携と実証	課題ア内連携システムの 構築・実証	課題間連携の実証環境構築と 統合実証
課題イ-1 複数無線システムを連携して制御する技術	基本方式の実装と初期評価	統合実証環境での評価
課題イ-2-a 車両による情報収集分析技術	基本方式の実装と初期評価	統合実証環境での評価
課題イ-2-b 路側設備による情報収集分析技術	基本技術の確立と実装	統合実証環境での評価
課題イ-3 高度地図データベースを効率的に配信する技術	基本方式の実装と初期評価	統合実証環境での評価
課題ウ-1 大量トラフィック検知・判断技術	基本技術の確立	統合実証環境での評価
課題ウ-2 大量異常トラフィックのネットワーク遮断技術	試作・評価	改良・総合評価
課題ウ-3 正常ネットワークへの移動体接続及び安全動作への誘導提示技術	改良・評価	改良・総合評価

## (2) 達成目標

(課題ア) 分散型データ処理等による高効率な通信処理技術

日本の道路交通環境※ 及び歩行空間において、様々な利用シーンを想定してそれらに確実に対応出来るように、携帯電話システムや無線システム等の無線システムにおいて、移動体やエッジサーバ、周辺環境検知センサー等における複数のデータ処理技術と、広域で高効率な通信処理を可能とするエッジコンピューティング技術を組み合わせることによって、自動走行や自動制御を実現するうえで求められる位置把握精度（道路交通環境を走行する高速の移動体（電気自動車等）では誤差 30cm 程度、歩行空間を走行する低速の移動体（電動車いす、自律ロボット等）では誤差 5cm 程度）の確保を実現し、広域にまたがって様々な速度で走行する膨大な数の移動体の多様な状況に応じた正確な対応を可能とするとともに、無線アクセス区間における通信トラフィック量を 1/2 に削減することで、周波数利用効率について 2 倍以上の向上を実現する。

※日本の道路交通環境：走行速度は、「高速道路における法定速度：100km/h」を目安とする。また、交通量密度については、「東京都における交通量密度：128 台/km<sup>2</sup>」を目安とする。

交通量密度の出典：情報通信審議会 情報通信技術分科会 UWB 無線システム委員会（第 10 回）配布資料のうち委員会報告（案）（1）

[http://www.soumu.go.jp/main\\_sosiki/joho\\_tsusin/policyreports/joho\\_tsusin/uwb\\_wlssystem/20187\\_3.html](http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/policyreports/joho_tsusin/uwb_wlssystem/20187_3.html)

(課題イ) 複数無線システムを用いた高度地図データベースの更新・配信技術

日本の道路交通環境及び歩行空間において、携帯電話システムや無線 LAN システム等の複数無線システムを組み合わせ、移動体から収集される最大 2Mbps 程度のプローブ情報（位置、情報や速度、移動方向、交通状況等）を用いて必要最小限のトラフィック量で高度地図データベースを効率的に更新し、移動体の状態（位置、速度、移動方向、周囲の無線環境等）やデータの用途や容量に応じて、高精度な地図情報や変動情報を効率的に配信する技術を確立する。

これら複数無線システムを用いた高度地図データベースの更新・配信技術を確立することにより、無線アクセス区間における通信トラフィック量を 1/2 に削減することで、単位周波数帯幅あたりの収容台数について 1.5 倍以上の向上を実現する。

(課題ウ) 大量の異常通信の検知・抑制による高信頼化技術

携帯電話システムや無線 LAN システム等の無線システムにおいて、移動体とエッジサーバ等との間におけるトラフィックをモニタリングし、DoS 攻撃等の大量の異常トラフィックとその発生範囲を早期に検知・判断する技術を確立するとともに、当該範囲に応じて移動体の隔離やネットワークの部分的な遮断等を瞬時に行うことで、異常を伴う大量な不要通信の抑制により、無線アクセス区間における通信トラフィック量を 1/2 に削減することで、周波数利用効率について 2 倍以上の向上を実現する。

更に、大量の異常トラフィックの検知・判断に基づく移動体の隔離やネットワークの部分的な遮断等を行った際に、日本の道路交通環境及び歩行空間における移動体について、追隨しての正常なネットワークへの接続や手動運転への切り替え通知等の安全動作への移行を可能とし、多様な状況に応じて確実に対応可能な自律型モビリティシステムの高信頼化を実現する。

○政府の基本方針（閣議決定等）、上位計画・全体計画等

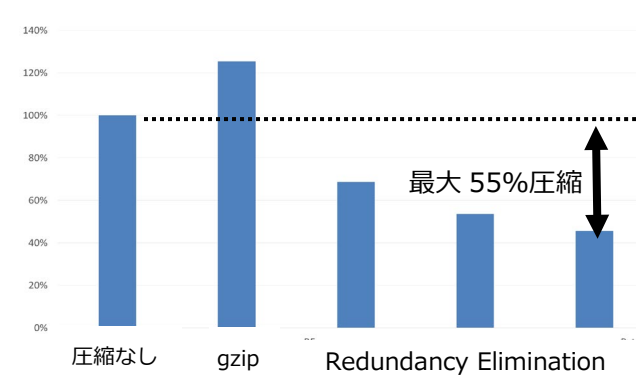
名称（年月日）	記載内容（抜粋）
「日本再興戦略改訂2016」（平成28年6月2日閣議決定）	「第2. I. 1. (2) i) イ) 無人自動走行を含む高度な自動走行の実現に向けた環境整備」において、「官民ITS構想・ロードマップ2016」に基づき、2020年東京オリンピック・パラリンピック競技大会までに、無人自動走行による移動サービスや高速道路での自動走行が可能となるよう、来年までに必要な実証を可能とする制度やインフラ面の環境整備を行う」とされている。
「科学技術イノベーション総合戦略2016」（平成28年5月24日閣議決定）	「第2章（1）II. ii) 高度道路交通システム」においては、「Society5.0の実現に向け、自動走行システムに関する研究開発を、本格的な「サイバーフィジカルシステム」の実現に向けた中核的な取組と位置付け、ダイナミックマップが様々なデータを地図基盤上に統合化するための共通プラットフォームとなるよう検討する。更に他分野との連携を積極的に進めるため、データ仕様やフォーマット等に関する情報共有・検討等を通じたユースケースの具体化、課題抽出等に取り組むこととする。自動走行システムの実現やそのデータ利活用については、様々な行政分野にまたがる取組であることから、SIPと各省庁取組等の緊密で効果的な連携が欠かせない」とされている。
「電波政策ビジョン懇談会最終報告書」（平成26年12月26日）	「第1章. 3. (5) 次世代ITSの実現に向けた電波利用の推進」において、「高精度かつ高信頼な無線技術等により、車両が自らの進路上の交通環境を常に把握、認識し、これによる状況判断、車両制御等を適切に行っていくことが可能となるよう、更に高度な協調型ITSの実現が必要となる」とされている。



### (3) 目標の達成状況

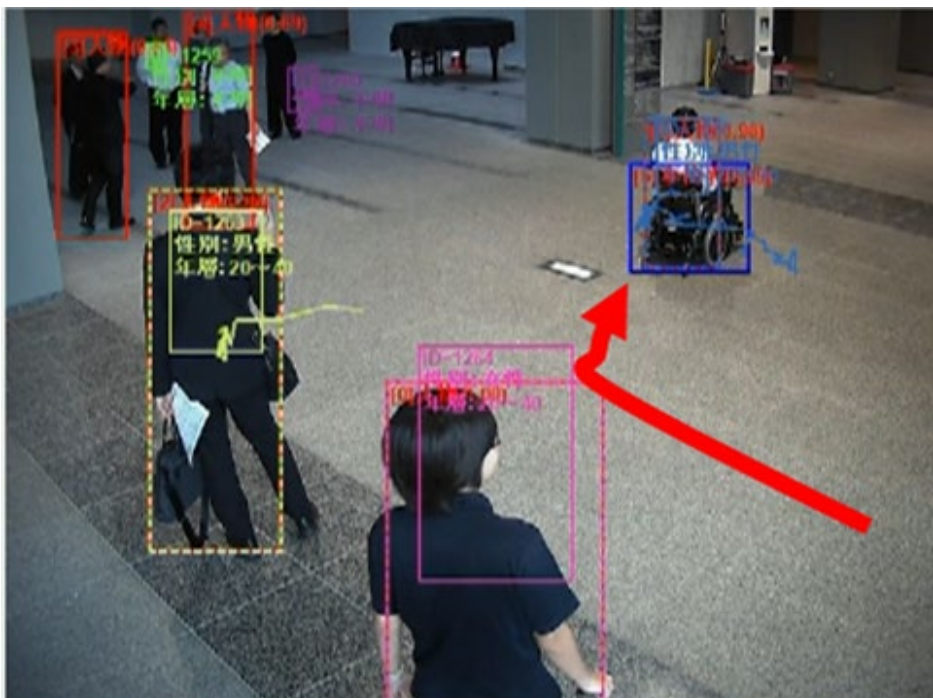
2年間の研究開発を通じて、自律型モビリティシステムの実現を目的とした各要素技術について、当初の目標どおり達成することができた。具体的には、課題ア) 分散型のデータ処理等による高効率な通信処理技術については、通信やデータ処理の局地性を活用可能な分散型エッジコンピューティング基盤を開発し、その基盤の上で多様なモビリティ（高速モビリティ：自動運転車両等／低速モビリティ：自動走行車椅子等）を収容する実証実験環境を構築し、高速・低速の各モビリティにおいて地域分散処理や通信量の削減が可能であることを実証した。課題イ) 複数無線システムを用いた高度地図データベースの更新・配信技術に関しては、自律型モビリティの走行状態やデータの用途や容量等に応じて、ダイナミックマップの差分配信や分割配信等を行う技術と、複数無線システムを連携した動的切り替えや同時通信技術の技術開発を行い、モバイル網に接続された高速モビリティに対して途切れることなく最新の情報を効率的に送ること、膨大な数のモビリティからの通信量を削減できることを確認した。課題ウ) 大量の異常通信の検知・抑制による高信頼化技術では、大量の異常トラフィックの検知からネットワークの部分的な遮断や安全動作への移行までの協調的な制御を実行する技術を確認し、自律型モビリティシステムの高信頼化を実現した。

課題ア・イ・ウの各課題で開発した技術は、高速・低速モビリティシステム共通のインフラとし構築した実証実験環境にそれぞれ実装し、各技術を組み合わせた実証シナリオをもとに統合実証実験を行った。これにより、自律型モビリティシステムの実現に必要な各技術が連携して動作する事、計算処理や通信処理において互いに悪影響を及ぼさず周波数利用効率向上の技術についても効果が発揮できることを確認し、当初の目標どおりの研究開発を達成できた。

技術の種類	目標の達成状況
<p>課題ア-1-① 広域で高効率な通信処理を可能とするエッジコンピューティング技術の確立</p>	<p>通信データを不可逆ハッシュに変換し送受信することで冗長トラフィックを削減する <b>Redundancy Elimination (RE)</b> 技術を実装し、移動端末（モビリティ）と固定端末（エッジサーバ）間でのトラフィックがどの程度削減されるか、実験環境内の LTE 試験網にセンサーデータ等を流して実験・評価した。想定したモデルトラフィックにおいて標準的なデータ圧縮技術である <b>gzip</b> よりも高い圧縮効果が得られ、無線アクセス区間における通信トラフィック量を <b>1/2</b> に削減できることを確認した。</p>  <p style="text-align: center;">Redundancy Elimination によるデータ圧縮</p>
<p>課題ア-1-② 複数の分散型データ処理の協調制御を可能とするエッジサーバ技術の確立</p>	<p>自律型モビリティの密度変化に対応できるエッジサーバ技術を開発した。モビリティの移動履歴を用いた密度変化の予測により、エッジサーバの地域収容範囲を動的に変更する方式を評価し、想定交通トラフィックで予測される車両密度変化に対応できることを確認した。また特定無線方式の周波数帯域が限界を迎えた場合にもサービスを継続するための環境構成を検討し、他の無線通信方式に通信を切り替えることでエッジサーバとの接続性を維持しサービス提供を継続する方式を後述のロケーションマネージャの API として実装した。LTE 及び無線 LAN の 2 つの無線方式について環境構築を行い、統合実証シナリオにおける動作を実証した。</p>

技術の種類	目標の達成状況
<p>課題ア-1-③ 広域にまたがって様々な速度で走行する移動体の追従を可能とするエッジサーバ間ハンドオーバ技術の確立</p>	<p>広域かつエリアをまたがって移動する自律型モビリティに対応し、接続先のエッジサーバが切り替わっても自動運転支援等の処理を継続できるようにするための分散エッジコンピューティング基盤を開発した。地域分散処理を実現するため、モバイル網内の制御情報と連携した「ロケーションマネージャ」と呼ぶサーバを分散エッジコンピューティング基盤に設置し、エッジサーバあるいはモビリティ上で動くアプリケーションが、現在位置に応じてどのエッジサーバと接続すればよいかをロケーションマネージャ API 経由で問い合わせる方式を確立した。また、地域を跨ぐ移動によって収容エッジサーバの切り替えが必要な場合も、ロケーションマネージャがモバイル網内の情報をもとにハンドオーバーが必要なことを各アプリに通知し、アプリ処理を移動先のエッジサーバにスムーズに引き継げるようにした (図)。これらの技術について、車速 40km/h の実車走行、及び 100km/h の走行を想定した検証を実施し、高速移動するモビリティに対しても適用可能であることを実証した。</p> <p>エッジ間アプリケーションデータ移行技術 (ロケーションマネージャによるエッジハンドオーバ)</p>
<p>課題ア-1-④ リアルタイム情報収集を可能とする LPWA トラヒック制御技術</p>	<p>LPWA を使って領域毎の誤差情報を車両に伝達し、この情報に基づいて位置情報をエッジサーバに送信する方式により、必要なエリアの位置情報精度を落とさずに輻輳を軽減・回避できることを、総合実証環境において実車両を用いて確認した。車-車間と GW 経由の制御情報の併用による実環境へ適用可能なスケーラビリティの確認を行い、最終的に位置情報のトラヒックを 1/2 以下に削減できることを確認した。</p> <p>領域ベースの制御命令による位置情報通信トラヒック制御</p>

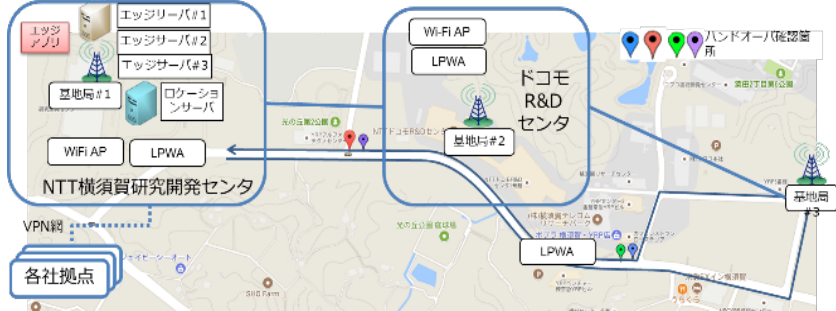
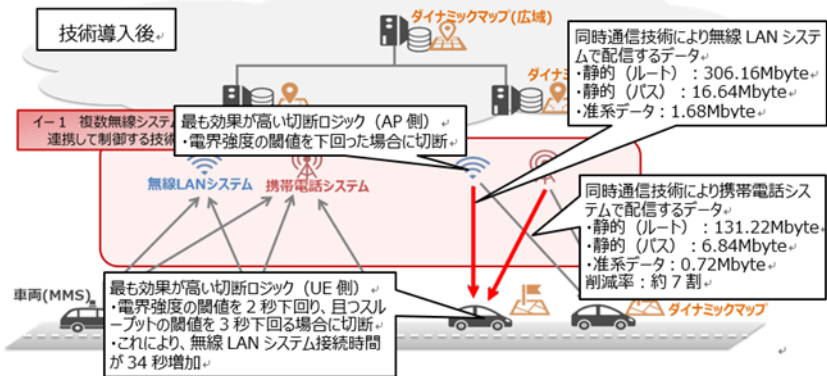
技術の種類	目標の達成状況
<p>課題ア-2-①-1 個人を特定しない環境センサーによる電波環境情報構造化技術</p>	<p>レーザー測域センサーなどによって人々や障害物の位置を計測し、その情報と、無線 LAN アクセスポイントの位置や部屋の壁の位置等の情報に基づいて電波強度を推定する技術を開発した。</p> <p>実験では、複数の低速自律型モビリティが近傍状況を認識し、アップロードすることで低速用高度地図データベースを作成し、そのデータベースから受信するセンサー情報を共有することで、単体のモビリティでは遮蔽の問題がある場合でも、近傍（半径 10m 以内）に 10 名程度の人々が存在する場合にも、周囲 10m 以内の人物や移動物体・動的な障害物の位置を検出できることを確認した。3次元空間に関する大量のセンサー情報を蓄積、解析することで、周囲環境の立体的地図を構築し、5cm 以上の段差や階段を含む危険箇所を検出できること、及び、それらの情報に基づいて電波環境情報構造化を行い、動的電波環境情報を低速用高度地図データベースに反映できることを確認した。以上により、当初の目標を全て達成した。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="459 551 863 748"> </div> <div data-bbox="863 551 1406 748"> </div> </div> <p>(a) 個人を特定しないセンサーの配置                      (b) 無線 LAN アクセスポイントの配置</p> <div style="text-align: center; margin: 20px 0;"> </div> <p>(c) 推定された受信電波強度</p> <p style="text-align: center;">実験環境でのセンサー及び無線 LAN アクセスポイントの配置 及び受信電波強度の推定結果</p>

技術の種類	目標の達成状況
<p>課題ア-2-①-2 固定されたカメラからの映像解析による環境情報把握技術</p>	<p>自律型モビリティシステムの動的電波環境の計測に必要な、固定カメラでの状況認識及び予測技術を確立するために、実環境を模した映像による評価と実証を行い、以下の成果を得た。</p> <p>人物の属性推定技術において、地形に応じた閾値の設定と、非混雑時の結果をより信頼する混雑環境対応を行うことで、松葉杖、車椅子、ベビーカーの所有者推定精度、及び年齢層・性別推定 90%を達成した。グループ属性推定技術においては、グループを構成する 2 者の関係性推定において精度 95.4%を確認した。人物追尾技術においては、Hungarian アルゴリズムを用いた追跡途切れ発生後の軌跡補完などの手法により、同一カメラ内での平均人物追跡率 96.39%を達成、また、異なるカメラ間での同一人物判定においても Matching Rate で平均 96.3%を実現した。行動予測技術の研究開発では、マップ領域制限処理や、移動経路平滑化処理等の導入により 3 秒後の予測位置誤差 1m 以内 90%を実現した。</p> <p>これらの成果を実証システム上に構築し、固定されたカメラで撮影された映像解析結果を、ユビキタスネットワークロボットプラットフォーム※（Ubiquitous Network Robot Platform（UNR プラットフォーム））を介して自律型電動車椅子と共有することにより、経路の最適化が可能であることを確認した。</p>  <p>固定カメラ映像からの環境情報により自律型電動車椅子が進路を変更する様子</p> <p>※ ユビキタスネットワークロボットプラットフォームは、ネットワークに接続されるロボット（スマートフォンや環境センサなども含む）が相互に連携してサービスを提供するためのプラットフォームであり、ロボットコンポーネント層、UNR-PF 層、サービスアプリケーション層の 3 層で構成される。UNR-PF 層では、接続されるロボットの情報や、共通して利用する地図情報（空間台帳内の空間情報）など、ロボットがサービスを提供する際に共通して利用するリソースが管理されており、ロボットやサービスアプリケーションからの要求に応じてリソースを提供する。この基本アーキテクチャと通信プロトコルは、国際電気通信連合（ITU）とオブジェクト・マネージメント・グループ（OMG）にてそれぞれ国際標準化されている。</p>

技術の種類	目標の達成状況																																	
<p>課題ア-2-②-1 低速の自律型モビリティシステムに適した無線ネットワーク構築・制御技術</p>	<p>低速の自律型モビリティに適した階層型無線ネットワークを構成することで、収容台数2倍以上を示すことを目標とした。下図に示す状態遷移に従い自動的にクラスタを構成するアルゴリズムを考案し、実機で構築した。周波数利用効率の更なる向上に向けて、階層型無線ネットワーク制御におけるクラスタの収容制御の詳細検討を行うとともに、クラスタ内直接通信における送信電力制御、チャンネル選択などの無線伝送パラメータの適応制御、ならびに効率的なクラスタを形成するアルゴリズムの最適化の検討を行い、実装した。他の技術課題で検討した技術との連携による検証評価を行うとともに、多数の自律型モビリティシステムが存在する大規模な無線ネットワークを模擬した計算機シミュレーションにより、IEEE802.11g相当の無線機の場合、下図に示すように従来の非階層型と比べて、接続台数が2.28倍となることを示した。以上により、当初の目標を全て達成した。</p> <div data-bbox="606 593 1252 1019" data-label="Diagram"> </div> <p style="text-align: center;">クラスタ構成の状態遷移</p> <div data-bbox="614 1108 1268 1534" data-label="Figure"> <table border="1"> <caption>収容台数の比較</caption> <thead> <tr> <th>移動体の数</th> <th>従来方式 (収容数)</th> <th>提案方式 (収容数)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>5</td><td>5</td><td>4</td></tr> <tr><td>10</td><td>8</td><td>8</td></tr> <tr><td>15</td><td>8</td><td>11</td></tr> <tr><td>20</td><td>8</td><td>14</td></tr> <tr><td>25</td><td>8</td><td>17</td></tr> <tr><td>30</td><td>8</td><td>19</td></tr> <tr><td>35</td><td>8</td><td>22</td></tr> <tr><td>40</td><td>8</td><td>24</td></tr> <tr><td>45</td><td>8</td><td>26</td></tr> <tr><td>50</td><td>8</td><td>28</td></tr> </tbody> </table> </div>	移動体の数	従来方式 (収容数)	提案方式 (収容数)	5	5	4	10	8	8	15	8	11	20	8	14	25	8	17	30	8	19	35	8	22	40	8	24	45	8	26	50	8	28
移動体の数	従来方式 (収容数)	提案方式 (収容数)																																
5	5	4																																
10	8	8																																
15	8	11																																
20	8	14																																
25	8	17																																
30	8	19																																
35	8	22																																
40	8	24																																
45	8	26																																
50	8	28																																

技術の種類	目標の達成状況
<p>課題ア-2-②-2 低速の自律型モビリティシステムの協調連携制御技術</p>	<p>動的電波環境情報構造化技術、及び無線ネットワーク構築・制御技術により、低速の自律型モビリティが安全に移動できるようになった上で、さらに安心・快適で自由に移動できるようにするために、モビリティ同士またはモビリティと人のコミュニケーション（対話）を実現するための協調連携制御技術を開発した。モビリティ同士、またはモビリティと人が対話できる距離を 10m 程度として、半径 10m 以内に最大 10 名以内の混雑さを前提として、モビリティが衝突回避など安全・安心を確保して移動・回遊しつつ、具体的な 3 種類の協調連携行動（「展示を見て回る」、「狭い通路を通り抜ける」「フォーメーションを維持して一緒に歩く」）を開発した。評価実験の結果、2 台のモビリティ同士での協調行動において実用的な速度（定速の 83.5%の速さ）で移動できる事を明らかにした。また、モビリティと人の協調行動についても、移動時間全体の 84.3%の間フォーメーションを維持して移動できる事を明らかにした。以上により、当初の目標を全て達成した。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div> <p>左：人型ロボットを用いた、人々と協調したモビリティ制御行動に関する評価実験の様子、右：複数モビリティ協調行動に関する評価で使用したテレプレゼンスロボット</p>

技術の種類	目標の達成状況
<p>課題ア-2-③ 低速の移動体の 高効率な通信処 理技術の実証・ 標準化</p>	<p>課題ア-2に関する技術を統合したシステム（下図）を構築し、まず、アジア太平洋トレードセンター（ATC）にある ATC エイジレスセンター内に本研究開発に用いる実験環境を構築し、利用場面を想定した動作検証実験（小規模実証）を行った。また、一般的なモビリティが、UNR プラットフォームをベースに構築した低速プラットフォームへの接続及びイベント制御の可否を検証した。検証対象として、一般に販売されている WHILL 株式会社製パーソナルモビリティ WHILL を採用した。横須賀リサーチパーク（YRP）にある YRP センターエントランスにて、本研究開発に用いる実験環境を構築し、高速プラットフォームと連携する統合実験（大規模実証）を実施した。また、一般的なモビリティである前述のパーソナルモビリティ WHILL に廉価なレーザ測域センサ（北陽製 UTM-30LX）を搭載することで、自律型モビリティ化し、実験環境内に設置した周囲の状況を把握する人位置追跡システムから獲得される人位置情報を、低速プラットフォームを介して取得し、経路を自律的に決定するナビゲーション実験を実施した。</p> <p>人々が行き交う環境における低速の自律型モビリティシステムの実証実験の安全性と社会的受容性を検討するため、倫理的・法的・社会的課題(ELSI : Ethical, Legal and Social Issues)にも配慮した国内外の動向調査、及び ELSI に関する研究開発運営委員会を各年度に 1 回ずつ開催した。</p> <p>国際標準化活動では、複数の低速型移動体の間で制御内容を相互に理解するためなどに必要となる知識記述(Robotic Service Ontology (RoSO))について、平成 29 年度は Object Management Group (OMG)での RFI (request for information) 提案とコメント集約を行い、平成 30 年度は RFP (request for proposal) を提出して実質的な標準化活動を開始した。OMG より平成 30 年 12 月に RFP が発行となり、令和元年 12 月を初期ドラフトの提案期日として公募が開始されている。RFP の発行を受け、OMG 内の他の task force 及び IEEE RAS (Robotics and Automation Society) で進める標準化活動との連携を進めることができた。</p> <p>ISO TC299/WG6 で進む Modularity for Service Robots の標準化活動では、既存の OMG RoIS (Robotic Interaction Service、ロボット対話サービス記述に関する標準化) 及び RLS (Robotic Localization Service、ロボット位置情報サービス記述に関する標準化) を参考に抽象的度の高い標準化を進めるよう国内委員会を通してコメントを送付するとともに平成 30 年 5 月に京都会議にはオブザーバとして参加し、平成 30 年 11 月に発行の CD2 (Committee Draft, 2nd)文書に修正を反映させることができた。</p> <p>低速自律型モビリティシステムの構成</p>

技術の種類	目標の達成状況
<p>課題ア-3 課題間の連携と 実証</p>	<p>課題ア・イ・ウの各機能を統合した、高速・低速モビリティシステム共通のインフラを横須賀リサーチパーク (YRP) に構築し、統合実証のシナリオを実行した。共通のインフラ上でシナリオ実行した場合も、計算処理や通信処理において互いに悪影響を及ぼさないことを確認した。これにより各課題で取り組んできた周波数利用効率向上の技術についてもシステム単体の動作時と同等の効果が発揮できることを確認した。また、統合実証のシナリオ動作の確認によって、膨大な数の自律型モビリティによるトラフィックを高速移動に対応可能な形で地域分散収容でき、高度な自動走行に必要なダイナミックマップの効率的な配信が可能で、高速・低速のモビリティの相互連携により外出困難者の長距離移動支援が可能で、悪意のあるモビリティを想定した場合でもシステム全体の信頼性を確保できることを実証した。</p>  <p>YRP に構築した統合実証実験環境</p>
<p>課題イ-1 複数無線システムを連携して制御する技術</p>	<p>同時通信技術の研究開発では、携帯電話システムと無線 LAN システムの同時通信技術 2 方式 (MPTCP 方式、ハイブリッドコミュニケーション方式) を構築し、MPTCP 方式の同時通信技術が有効であることを確認した。さらに、同時通信技術を活用することで、無線 LAN システムに約 7 割をオフロードできることを確認し、携帯電話システムの無線区間アクセスのトラフィックを 7 割削減できることが確認できた。</p> <p>動的切替の切断ロジック高度化の研究開発では、UE 側だけでなく、AP 側にも切断ロジックを組み込んだ切断ロジックにより、効率的な無線 LAN システムの切断が行われることを確認した。具体的には、UE 側の電界強度の閾値を 2 秒下回り、且つスループットの閾値を 3 秒下回った場合に、AP 側の電波受信強度閾値-73dBm を組み合わせた切断ロジックで、無線 LAN システムへの接続時間が、他の切断ロジックよりも平均 34 秒長く無線 LAN システムに接続した。</p>  <p>複数無線システムを連携して制御する技術の効果イメージ</p>



技術の種類	目標の達成状況																															
<p>課題イ-2-a 車両による情報 収集分析技術</p>	<p>車両によって収集した道路情報を、道路更新箇所の抽出が可能な品質を維持しつつ、100分の1のデータサイズまで圧縮することを目標に据えた。実証実験で収集した道路情報は、4.6kmのリンク長に対して約3.1ギガバイトであった。</p> <p>情報収集機能の研究開発として、地物の特徴点の抽出を行った。具体的には、レーザセンサーで収集した点群情報から路肩縁を示すベクトル情報の抽出を行った。また、カメラ画像から区画線、標識の抽出を行った。これらの抽出手法により、データサイズは0.023ギガバイトまで削減された。これは圧縮前のデータサイズの133分の1(0.75%)に相当し、目標に達している。</p> <p>情報分析機能の研究開発として、特徴点から変化点の自動検知を行った。特徴点が正しく抽出されている場合、道路更新箇所の抽出が可能であり、到達目標を達成した。</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th colspan="2">削減前</th> <th colspan="2">削減後</th> <th>削減比</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>位置姿勢</td> <td>309,946byte</td> <td>位置姿勢</td> <td>309,946byte</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>レーザ点群</td> <td>556,159,392byte</td> <td>路肩縁候補</td> <td>6,114,725byte</td> <td rowspan="2">0.90%</td> </tr> <tr> <td>走行軌跡</td> <td>121,254,930byte</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="2">カメラ画像</td> <td rowspan="2">2,657,619,390byte</td> <td>白線候補</td> <td>18,488,014byte</td> <td rowspan="2">0.69%</td> </tr> <tr> <td>標識候補</td> <td>41,309byte</td> </tr> <tr> <td>計</td> <td>3,335,343,658byte</td> <td>計</td> <td>24,953,994byte</td> <td>0.75%</td> </tr> </tbody> </table>	削減前		削減後		削減比	位置姿勢	309,946byte	位置姿勢	309,946byte	100%	レーザ点群	556,159,392byte	路肩縁候補	6,114,725byte	0.90%	走行軌跡	121,254,930byte			カメラ画像	2,657,619,390byte	白線候補	18,488,014byte	0.69%	標識候補	41,309byte	計	3,335,343,658byte	計	24,953,994byte	0.75%
削減前		削減後		削減比																												
位置姿勢	309,946byte	位置姿勢	309,946byte	100%																												
レーザ点群	556,159,392byte	路肩縁候補	6,114,725byte	0.90%																												
走行軌跡	121,254,930byte																															
カメラ画像	2,657,619,390byte	白線候補	18,488,014byte	0.69%																												
		標識候補	41,309byte																													
計	3,335,343,658byte	計	24,953,994byte	0.75%																												

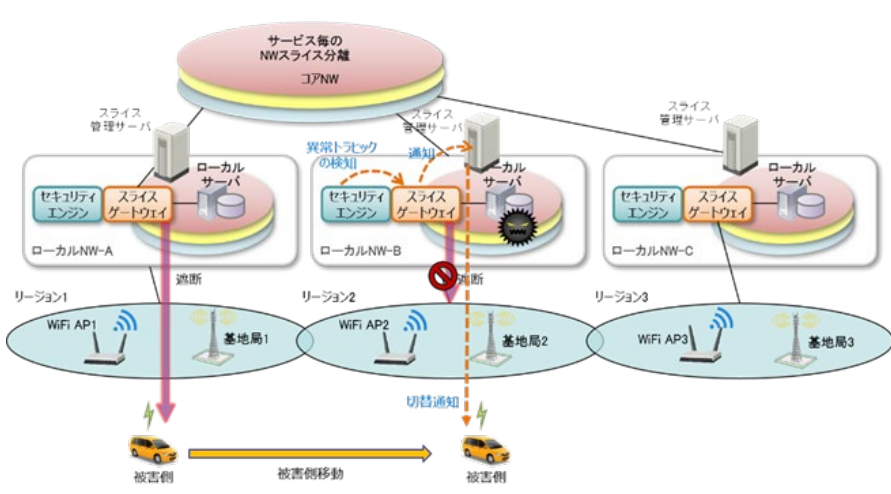
路側に設置したカメラやレーダーによる准静的～准動的な道路事象の変化を車に適時通知配信することを可能とするため、道路側にカメラやレーダーといった物体検出装置を設置し、道路側の状況変化を検出し、その情報を高度地図データベース(ダイナミックマップ)に効率的に更新を行うための研究開発を行った。

具体的には、複数の道路側物体検出装置(カメラ、レーダー等)を用いて、道路情報を取得し、道路上の物体(車、歩行者、パイロン等)の検出を行う。道路事情の変化情報をダイナミックマップにネットワークを介して更新する際、道路事情の更新の高効率化、及び通信ネットワークの負荷を軽減するため、情報圧縮方法を検討した。効率的な情報圧縮を行うため、道路側に設置した画像取得装置(カメラ)によって取得した元画像情報から道路状況の変化の有無を判断、及び対象物の存在を検出し、対象物のみを元画像から切り取りすることにより、データ削減を検証した。提案の情報圧縮手法により、元情報を1/18まで圧縮できることを確認でき当初トラフィック1/2削減の到達目標を達成した。

路側設備による情報収集分析技術の実証

情報圧縮によるトラフィック軽減の実証

技術の種類	目標の達成状況
<p>課題イ-3 高度地図データベースを効率的に配信する技術</p>	<p>開発した同時通信技術、動的切替技術、及び効率的な高度地図データベースの配信技術である差分配信、分割配信を組み合わせ、自律型モビリティの状況に応じたダイナミックマップの配信が、正常に動作することを確認した。更に、通常走行の状態でダイナミックマップの配信がサービス成立時間内に完了することを確認した。</p> <p>上記に加え、路側からのカメラ画像による准系データの生成・配信の仕組みを加えた課題イ全体の総合実証においても、自律型モビリティの状況に応じたダイナミックマップの配信が正常に動作することを確認した。</p> <p>更に、他課題との統合実証においても、正常にダイナミックマップが配信されることを確認した。</p> <p>今回の実証実験では、渋滞時（大混雑時）においては、通信帯域が小さくなることもあり、サービス成立時間内にダイナミックマップの配信を完了することができないケースがあった。渋滞情報の検知・生成は、ダイナミックマップの効率的な配信技術により路側センサーから取得する情報を元に生成される情報であり、本実証実験の範囲で実現されている技術である。そのため、生成された情報の内容に応じて、当該区間より前の区間で配信するなど仕組みを導入するなどの配信技術のさらなる高度化も望まれる。</p>
<p>課題ウ-1 大量トラヒック検知・判断技術</p>	<p>自律型モビリティ（移動体）とエッジサーバ間の通信を自律型モビリティのエッジ間移動に追従して連続的に監視し、異常トラヒックの検知及び対処方法の判断を行う技術を確認した。</p> <p>交通量密度 1000 台/km<sup>2</sup>（最高速度 100km/h の移動体を含む）の交通状態を模擬したシミュレーション環境を構築し、当該環境で自律型モビリティのエッジ間移動に追従した連続的な監視が可能であることを確認し、本技術の有効性を確認した。</p> <p>また、多数の車両から大量の通信（プローブ情報送信）が行われる状態（実車両 1 台を含む 351 台の車両が 100 ミリ秒毎にプローブ情報を送信し、1 秒間に約 3,500 プローブを監視・処理しなければならない状態）を模擬した実車両を用いた検証環境下で、異常なプローブ情報が送信されてから、本技術による検知及び対処方法の判断、さらに本技術による判断に基づく対処（課題ウ-2 による通信遮断）までを准動的情報の配信間隔として想定される 1 分を下回る 7 秒以内に完了できることを確認した。</p>
<p>課題ウ-2 大量異常トラヒックのネットワーク遮断技術</p>	<p>自律型モビリティシステムに対する異常トラヒックの発生範囲に連動したネットワーク遮断を実行する技術を確認した。</p> <p>具体的には、社会実装に向け、大規模エリアに対応したスライス管理（自律型モビリティサービスが収容された仮想ネットワークの管理（生成・監視・削除他））サーバの管理アーキテクチャとして、スケーラビリティを考慮した分割管理型アーキテクチャを採用した。</p> <p>スライス管理サーバ・スライス GW の振る舞いをエミュレータにて検証を行ない、最高速度 100km/h、或いは交通量密度：1000 台/km<sup>2</sup> の疑似環境において大量異常トラヒックに対するネットワーク遮断技術の妥当性の確認できた。</p> <p>ネットワーク遮断技術のシステム概要</p>

技術の種類	目標の達成状況
<p>課題ウ-3 正常ネットワークへの移動体接続及び安全動作への誘導提示技術</p>	<p>正常ネットワークへの移動体接続及び安全動作への誘導提示技術を実装したソフトウェアの評価を行い、正常ネットワークへの移動体接続及び安全動作への誘導が提示できる技術を確立した。</p> <p>具体的には、「課題ウ-3 正常ネットワークへの移動体接続及び安全動作への誘導提示」技術を実装したソフトウェアにて、正常ネットワークへの移動体接続、及び安全動作への誘導が提示できることを確認した。</p> <p>また、最高速度 100km/h、或いは交通量密度：1000 台/km<sup>2</sup> の疑似環境において正常なネットワークへの移動体接続及び安全動作への誘導技術を確認した。</p>  <p>安全動作への誘導を提示する技術のシステム概要</p>

### 3 政策効果の把握の手法

研究開発の評価については、各要素技術における目標の達成状況、論文数や特許出願件数などの指標が用いられ、これらを基に専門家の意見を交えながら、必要性・効率性・有効性等を総合的に評価するという手法が多く用いられている。この観点に基づき、「電波利用料による研究開発等の評価に関する会合」（令和元年6月）において、目標の達成状況等に関して外部評価を実施し、政策効果の把握に活用した。

また、外部発表や特許出願件数、国際標準提案件数等も調査し、必要性・有効性等を分析した。

## 4 政策評価の観点・分析等

○研究開発による特許・論文・研究発表・国際標準の実績からの分析

研究開発による特許・論文・研究発表・国際標準の実績から、各開発技術に関する特許を出願するなど成果展開に必要な技術を確実に確立しており、また、ETSI ISG MECにおける寄書提案を行うなど、国際標準化に貢献しており、本研究開発の必要性、有効性等が認められた。

主な指標	平成29年度	平成30年度	合計
査読付き誌上発表論文数	1件(0件)	0件(0件)	1件(0件)
査読付き口頭発表論文数 (印刷物を含む)	0件(0件)	7件(7件)	7件(7件)
その他の誌上発表数	3件(0件)	4件(0件)	7件(0件)
口頭発表数	28件(2件)	21件(3件)	49件(5件)
特許出願数	14件(1件)	12件(1件)	26件(2件)
特許取得数	0件(0件)	0件(0件)	0件(0件)
国際標準提案数	3件(3件)	1件(0件)	4件(3件)
国際標準獲得数	0件(0件)	1件(0件)	1件(0件)
受賞数	0件(0件)	0件(0件)	0件(0件)
報道発表数	2件(0件)	4件(1件)	6件(1件)
報道掲載数	0件(0件)	10件(0件)	10件(0件)

観点	分析
必要性	<p>我が国が超高齢化と労働人口減少を迎える中、過疎地も含めた高齢者の安全・安心な生活や観光、土木、福祉等の多様な経済活動の生産性確保等を図るため、高信頼・高精度な自動走行を実現する自律型モビリティシステム（自動走行技術、自動制御技術等）の実現が期待されており、主要国でも官民を挙げた大規模プロジェクトが始動している。</p> <p>自律型モビリティシステムの実現のためには、移動体（電気自動車、電動車いす、自律ロボット等）自身に搭載するセンサーだけでなく、高度な自己位置推定や周辺環境認知を可能とする高度地図データベース等の情報を、遅延なくリアルタイムに収集・把握する通信技術の確立が極めて重要で必要不可欠である。</p> <p>一方で、現在日本で走行している約8,000万台の車を含めた膨大な数の移動体が、無線通信を介して、大容量の情報をリアルタイムにやり取りするようになった場合には、膨大な通信需要が生じることが想定されるため、限られた電波資源を最大限有効利用するための周波数有効利用技術の確立も必要不可欠である。</p> <p>このように多様な分野への展開が期待されている自律型モビリティシステムを支える通信技術を確立するため、高度地図データベース等の多様で大容量な情報について、膨大な数の移動体との間でリアルタイムなやり取りを可能とする技術を確立するとともに、限られた電波資源を最大限に有効利用するための周波数有効利用技術を確立することが必要であることから、本研究開発には必要性があったと認められる。</p>
効率性	<p>本研究開発の実施に当たっては、高度道路交通システム（ITS）、移動通信システムに関する専門的知識や研究開発実績を有する受託者が蓄積したノウハウを積極的に活用することにより、効率的に研究開発が進められた他、外部の有識者から構成される本研究開発の運営委員会や、外部有識者による継続評価会において、研究開発の進捗状況の確認や今後の進め方等について助言を受けるなど、効率的な実施のための情報交換が積極的に行われた。</p> <p>予算要求段階、公募実施の前段階、提案された研究開発提案を採択する段階、研究開発の実施段階及び研究開発の終了後における、実施内容、実施体制及び予算額等について、外部専門家・外部有識者から構成される評価会において評価を行い、効率的に実施した。</p> <p>よって、本研究開発には効率性があったと認められる。</p>

観点	分析
有効性	<p>(日本電信電話)</p> <p>通信やデータ処理の局地性を活用可能な分散型エッジコンピューティング基盤を開発し、その基盤の上で多様なモビリティを收容する構成を実現した。それぞれの技術は到達目標で設定したモデル交通量やモデル通信トラフィックを想定した場合にも有効であることを評価によって確認した。</p> <p>また、各課題で開発した技術を統合した実証実験環境を YRP に構築して統合実証を行い、各技術が単独だけではなく統合して動作可能であることも確認した。これにより膨大な数の自律型モビリティからの通信を処理できるシステムの実現のための基本技術を確立できたと言える。</p> <p>ネットワークと連携した自動走行デモの様子をイベントで市民に体験してもらうなど、将来的な社会実装の姿を一般に広くアピールした。</p>
	<p>(NTT アドバンステクノロジー)</p> <p>車両の位置情報を収集する際の通信トラフィックを 1/2 以下に抑さえ、道の駅等の、郊外で車両が集まる地区で特に想定される LTE の輻輳を、回避・軽減するための基本技術を確立した。LPWA のゲートウェイを用いる制御と、車-車間で制御情報を伝達する制御を組み合わせることで、必要な部分の精度を落とさずに、広域にわたるトラフィック制御が可能であることを明らかにした。</p>
	<p>(国際電気通信基礎技術研究所)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・課題ア-2-①-1 個人を特定しない環境センサーによる電波環境情報構造化技術、課題ア-2-②複数の低速モビリティの安心安全を確保する協調連携のための高効率な通信処理技術を確立することにより、従来に比べて 2 倍以上の台数の低速・自律型モビリティ（電動車いす、案内ロボット、運搬ロボット）が、無線ネットワーク接続を確保しつつ、安心・安全な移動支援（特に屋内及び半屋外）を高齢者や障害者に提供できるようになるというアウトカムの実現に寄与した。</li> <li>・課題ア-2-③低速の移動体の高効率な通信処理技術の実証・標準化において、低速の自律型モビリティに関連する研究開発成果を確実に得るため、アジア太平洋トレードセンター（ATC）にある ATC エイジレスセンター内に、環境に設置するセンサーの位置や照明条件などを調整できる専用の実験環境を構築した。これによって、多種の環境条件での実験が可能になった。また、研究開発成果の社会的受容性を様々な観点から検討するため、倫理的・法的・社会的課題(ELSI：Ethical, Legal and Social Issues)に関する研究開発運営委員会を各年度末に実施した。この委員会により、研究開発成果の社会実装にともなう多くのステークホルダの視点から社会的受容性を検討することができ、研究開発の方向性を適宜改善することができた。</li> <li>・低速のモビリティ、特に電動車いすや屋内で活動する案内ロボットや運搬ロボットは、今後、自律化が進む。課題ア-2に関連する技術が活用されることによって、低速のモビリティが安全に移動できるようになるだけでなく、モビリティ（及び搭乗者）と人の対話が可能になり、これらのサービスを利用する人々の安心感の向上と、特に高齢者・障がい者の社会参加促進に寄与する。</li> </ul>
	<p>(パナソニック)</p> <p>固定されたカメラからの映像解析による環境情報把握技術により、防犯カメラなど既に普及しているセンサーの活用により効率的に人物の属性・位置及び移動の予測が可能になり、動的電波環境の計測及び低速型モビリティの行動の最適化に寄与した。</p>
	<p>(NTT ドコモ)</p> <p>複数無線システムを連携して制御する技術を確立することにより、自律型モビリティシステムのサービスが成立する範囲において、携帯電話システムの無線アクセス区間の通信トラフィックの約 7 割を無線 LAN システムにオフロードすることが可能になることが期待される。</p> <p>高度地図データベースの効率的な配信技術を確立することにより、自律型モビリティシステムのサービスが成立する範囲において、配信する地図(静的情報、准静的情報、准動的情報)の総データサイズの約 5 割を削減することが可能となり、携帯電話システムの無線アクセス区間の通信トラフィックの低減が期待される。</p>

	<p>(パスコ)</p> <p>高度地図データベースを効率的に更新する技術の研究開発のうち、車両による情報収集分析技術を確立することにより、道路の変化を自動検知できるようになる。このことにより、計測機材を搭載した一般車両による道路情報の収集が期待される。また、目視により実施していた道路変化箇所の検知を自動化することで、リードタイムの削減が期待される。</p> <p>(情報通信研究機構)</p> <p>車の往来があまり多くない通りや、見通しの悪いカーブや交差点、更に車の通行が減る夜間等の時間帯、また運用初期のカメラ等を有する車両があまり多くない時期においては、路側設備による情報収集分析技術を活用することで道路事情を十分反映することが可能である。</p> <p>(日立製作所)</p> <p>「課題ウ：大量の異常通信の検知・抑制による高信頼化技術」では、大量の異常トラヒックの検知からネットワークの部分的な遮断や安全動作への移行までの協調的な制御を実行し、限られた電波資源を最大限に有効利用するための技術をシミュレーションや実証実験を通じて確認した。</p> <p>大量の異常トラヒック検知後のネットワークの部分的な遮断技術、安全動作への移行までの協調的な制御技術を確立することにより、今後普及が見込まれる 5G 等の無線ネットワークにおける電波資源の有効利用に資することができた。</p> <p>(日本電信電話)</p> <p>移動通信のトラヒックは年々増え続けるため、攻撃により発生する大量の異常トラヒックが無線リソースを支配すると、限られた周波数資源が枯渇し、周波数有効利用の観点からは極めて重要な問題となる。そのような中、大量のトラヒックを効率的に分析して異常を検知する自律型モビリティ向けの異常トラヒック検知・判断技術を確立することにより、限られた電波資源を最大限に有効利用するために確立する技術の効果を高く保つことが可能な自律型モビリティシステムの高信頼化に寄与することができた。</p> <p>さらに、国内の学会や国際会議での発表や、国内のイベントへの出展、報道発表により、本研究開発技術の必要性を広く知らしめるとともに、本研究開発の成果を広くアピールした。</p> <p>よって、本研究開発には有効性があったと認められる。</p>
公平性	<p>本研究開発による分散型データ処理等による高効率な通信処理技術、複数無線システムを用いた高度地図データベースの更新・配信技術を確立し、無線アクセス区間における通信トラヒック量を 1/2 に削減することで、周波数利用効率について 2 倍以上の向上を実現することにより、広く無線局免許人や無線通信の利用者の利益となる。</p> <p>また、支出先の選定に当たっては、開示する基本計画に基づき広く提案公募を行い、提案者と利害関係を有しない複数の有識者により審査・選定をしている。</p> <p>よって、本研究開発には公平性があったと認められる。</p>
優先性	<p>自律型モビリティ、中でも自動走行は、国内自動車メーカーや海外自動車メーカー、Google などの IT 企業が開発や試験走行に取り組んでいるとともに、米国・欧州・韓国などの各国において、自動走行の実現に向けた研究開発・試験走行が推進されている状況である。我が国でも、自動走行は戦略的イノベーション創出プログラム (SIP : Strategic Innovation Promotion Program) の 11 の研究課題の一つとなっており、2020 年代前半の準自動走行システム (レベル 3) を目指して、内閣府の元で、警察庁、総務省、経済産業省、国土交通省 (道路局、自動車局) が協力して遂行しており、実用化の加速が期待される。一方で、米国 NSF (National Science Foundation)、及び欧州 HORIZON2020 で実施されている自動走行絡んで実施されている研究開発を調査したところ、そのほとんどは自動車が車両単体として動作する自動走行の実現に向けた取り組みであり、ネットワークを活用した取り組みは、多くないのが現状である。</p> <p>車両同士がネットワークを介してより高度に連携するモビリティ社会を他国に先駆けて実現することは、我が国が超高齢化と労働人口減少を迎える中、安全・安心な生活や多様な経済活動の生産性確保等を通じた国際競争力の向上に大いに資すると考えられる。そのためには無線システムの通信技術を用いた状況の把握や共有するためのシステムの研究開発が必要不可欠である。</p> <p>よって、本研究開発には、優先性があったと認められる。</p>

## 5 政策評価の結果（総合評価）

我が国のおかれた環境において、高信頼・高精度な自動走行を実現する自律型モビリティシステムが生活や産業全体に波及する効果は非常に大きく、他国に先駆けた実現に向けて優先して投資が必要とされる研究開発であった。

自律型モビリティシステムの実現に向け、分散型データ処理等による高効率な通信処理技術、複数無線システムを用いた高度地図データベースの更新・配信技術、大量の異常通信の検知・抑制による高信頼化技術について研究開発を行い、それぞれ計画時に設定した到達目標を達成し、設定したモデル交通量やモデル通信トラフィックを想定した場合に有効であることが確認された。また、各課題で開発した技術を統合した実証実験環境を横須賀リサーチパークに構築して統合実証を行い、各技術が単独だけではなく統合した場合にも効率的に動作可能であることも確認された。これにより膨大な数の自律型モビリティからの通信を処理できるシステムの実現のための基本技術を確立できたと言える。

イベントにおいてこれらの成果を用いたデモを行い、ネットワークと連携した自動走行の様子を市民に体験してもらうなど、将来的なモビリティ社会の姿を一般に広くアピールするなど、社会実装に向けた取り組みも進んでいる。

よって、本研究開発には有効性、効率性等があると認められた。

### <今後の課題及び取組の方向性>

(日本電信電話)

自律型モビリティシステム全体の社会実装に向けては、安心・安全に自律型モビリティシステムがネットワークに接続され、必要なデータを電波の有効利用を図りながら、授受できる基盤技術を実現するまでのロードマップ策定を行う必要がある。具体的には、官民 ITS 構想・ロードマップ 2018 に掲げられている高度自動運転システムの市場化・普及目標時期である 2025 年頃を目途に社会実装を進めていく想定で、関連する標準化団体などでの標準化による国際的な普及の推進や、自動運転の実用化に伴う社会のニーズに従った事業化を進め、技術開発を継続していく。

(NTT アドバンステクノロジー)

広い範囲で車両の渋滞の緩和を実現できる程には、LPWA 網が発展しない事も考えられるので、位置情報の搬送波の隙間に制御情報を埋め込む、あるいは自動運転車両に導入済みで利用可能なバンドで使えるように制御プロトコルを整理していく。

(国際電気通信基礎技術研究所)

Object Management Group (OMG) で国際標準化が進められているロボット対話サービス (Robotic Interaction Service (RoIS)) 仕様への反映、併せて ISO TC299 WG6 (Modularity for Service Robots) にも貢献していく。ロボットや IoT の関連企業の企業コンソーシアムである一般社団法人 i-RooBO Network Forum などを介して、第三者の企業や研究会発機関などに技術の利用を促しており、ショッピングセンターや公共施設等、高齢者も多く集う場所において、段階的なサービス導入を想定している。

(パナソニック)

固定されたカメラからの映像解析による環境情報把握技術は、多様な技術要素及び取得可能な情報を含んでおり、自律型モビリティへの活用だけでなく、安心安全・防災・都市計画・マーケティングなど様々な応用アプリケーションとして社会貢献していくと考えられる。そのためには、カメラ映像内の個人情報の取り扱いに対する社会的なコンセンサス形成が必要不可欠である。

(NTT ドコモ)

今回の実証実験では、混雑箇所（渋滞中 等）においては、通信帯域が逼迫する恐れもあり、サービス成立時間内に配信を完了することができないケースも存在した。ルート上の前方の渋滞情報が事前に分かっているのであれば、渋滞区間を避けるルート変更や、渋滞区間に到着するより

も事前に当該区間の情報を配信するなどの回避策が考えられる。いずれにしても、准静的・准動的情報の更新技術により生成した情報などと連携した配信技術のさらなる高度化も望まれる。

今後は、今回開発した技術が将来の自律型モビリティの実現だけでなく、高度地図データベースの普及などにも寄与する技術であり、関連団体や、事業者等に対して周知していくことが望ましい。なお、周知のためのツールとして、本実証実験の成果をまとめたガイドラインを作成している。

また、一般的には通信技術や IT 技術の進歩は自動車の開発やライフサイクルと比べて短いと言われている。実際に、今回対象とした第 4 世代携帯電話システムや無線 LAN システムでさえ、次世代の技術開発が進められている状況である。将来、自律型モビリティに無線通信を搭載させる際に、自動車とのライフサイクルの違いや、新たな技術の登場、既存技術の進展などの適用なども踏まえたシステム設計が求められる。

#### (情報通信研究機構)

カメラ等のセンサーを有する自動車が頻繁に往来する市街地の道路においては、車両センサー等により開発された技術によりダイナミックマップの更新が期待できる。しかし、車の往来があまり多くない通りや、車の通行が減る夜間等の時間帯、また運用初期のカメラ等を有する自動車があまり多くない時期においては、最新の道路事象の変化がダイナミックマップに十分に反映されない恐れがある。特に現状でも事故の発生が多い見通しの悪いカーブや交差点などにおいては、見通せない先に道路交通規制や静止車両などがあった場合には、その情報がダイナミックマップ上に反映されていることが望ましい。路側設備による情報収集分析技術を活用することで道路事情を十分反映することが可能である。しかし、路側設備を広範囲に広げることは初期運用において困難である。路側設備による情報収集分析技術の活用拡大に向けて、見通しの悪いカーブや交差点などの交通事故が多発する場所などにスポット的な運用を目指す。

#### (日立製作所)

「課題ウ：大量の異常通信の検知・抑制による高信頼化技術」においては、高度地図情報データを安全・安心に自動走行車両に伝達するために重要な技術であり、セキュアな仮想ネットワークを社会実装するためにも研究成果の意義は大きいと考える。今後、自動運転のみならず、エッジコンピューティングに配備される様々な IoT データの進展が予想され、限りあるネットワークインフラ上への複数サービスをセキュアにかつ経済的に提供するためにも、本課題で取り組んだ高信頼化技術による社会的効果は大きいものとする。

## 6 学識経験を有する者の知見の活用

「電波利用料による研究開発等の評価に関する会合」（令和元年 8 月 28 日）において、目標の達成状況や得られた成果等、実施体制の妥当性及び経済的効率性、実用化等の目途等について外部評価を実施し、外部有識者から以下の御意見等を頂いたため、本研究開発の評価に活用した。

- ・ 事前評価時に設定した達成目標や基本計画書に記載された到達目標はほぼ達成されている。
- ・ 実施体制は妥当であり、予算は効率的に使用されたと判断する。
- ・ 研究期間は 2 年間であるが、今後の展開も見据えた実用化計画となっている。
- ・ 各課題毎に通信トラヒックの削減が期待できる成果が得られている。また、各課題を連携させた統合実証実験においても同様の周波数利用効率の向上が得られており、道路だけでなく複合商業施設や空港などの施設内でも多数の移動体が安全・安心にサービスを提供できることが期待され、本研究開発は有益であったと判断する。



## 7 評価に使用した資料等

- 「日本再興戦略改訂 2016」（平成 28 年 6 月 2 日閣議決定）  
[https://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/pdf/2016\\_zentaihombun.pdf](https://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/pdf/2016_zentaihombun.pdf)
- 「科学技術イノベーション総合戦略 2016」（平成 28 年 5 月 24 日閣議決定）  
<https://www8.cao.go.jp/cstp/sogosenryaku/2016.html>
- 「電波政策ビジョン懇談会最終報告書」（平成 26 年 12 月 26 日）  
[http://www.soumu.go.jp/main\\_content/000334592.pdf](http://www.soumu.go.jp/main_content/000334592.pdf)
- 電波利用料による研究開発等の評価に関する会合 <電波利用料>  
<https://www.tele.soumu.go.jp/j/sys/fees/purpose/kenkyu/index.htm>