

平成 30 年度

戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 第 2 期／

自動運転 (システムとサービスの拡張) ／

自動運転の実現に向けた信号情報提供技術等の高度化に係る調査

平成 31 年 3 月

一般社団法人 UTMS 協会

本報告書は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託業務として、一般社団法人UTMS協会が実施した「戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）第2期／自動運転（システムとサービスの拡張）／自動運転の実現に向けた信号情報提供技術等の高度化に係る調査」の平成30年度成果を取りまとめたものです。従って、本報告書の著作権は、NEDOに帰属しており、本報告書の全部又は一部の無断複製等の行為は、法律で認められたときを除き、著作権の侵害にあたるので、これらの利用行為を行うときは、NEDOの承認手続きが必要です。

目次

1. はじめに.....	1
1.1 調査研究の目的.....	1
1.2 事業概要.....	1
1.3 研究の方法.....	1
2 国外の事例調査.....	3
2.1 調査対象箇所.....	3
2.2 調査項目.....	4
2.3 調査結果.....	5
2.3.1 米国ラスベガス市.....	5
2.3.2 米国アリゾナ州.....	7
2.3.3 米国ニューヨーク市.....	9
2.3.4 オーストリア国ウィーン市.....	11
2.3.5 北京市自動運転試験場（北京知能車連産業創新センター）.....	13
2.3.6 ITS China.....	15
2.3.7 中国公安部.....	17
2.3.8 上海（安亭）国家知能網連汽車示範区.....	19
2.3.9 上海交通情報センター.....	21
3 自動運転のための信号情報提供.....	23
3.1 信号情報の必要性について.....	23
3.1.1 現在灯色情報の活用.....	23
3.1.2 信号残秒数の活用.....	24
3.2 ITS無線路側機を活用した信号情報提供における課題と対策.....	26
3.2.1 信号情報の可用性向上について.....	26
3.2.2 信号情報の信頼性向上について.....	33
3.2.3 自動運転車両向け路車間メッセージセットの検討.....	34
3.3 ITS無線路側機による信号情報提供に係る制約条件の整理.....	39
3.3.1 DSSSにおけるシステム適用対象交差点.....	39
3.3.2 信号情報におけるゆらぎの扱い.....	40
3.3.3 信号残秒数を提供できない場合の対応.....	40
4 自動運転車両向けに信号情報配信を行う路側機の仕様書案.....	41
5 今後の課題.....	42
5.1 東京臨海部実証実験での課題.....	42
5.2 将来の課題.....	42

まえがき

本調査は、「戦略的イノベーション創造プログラム（S I P）第2期 自動運転（システムとサービスの拡張）」のうち、「自動運転の実現に向けた信号情報提供技術等の高度化に係る調査」において、路側インフラから提供される信号情報を活用した自動運転の実現に向けた技術的課題を明確にし、路側インフラの機能要件とその高度化に向けた方策を洗い出すために実施したものである。

研究開発の成果と達成状況

1. 平成 30 年度の研究事項

平成 30 年度に実施した 7 項目の研究事項を示す。

- ①自動運転を見据えて、路側インフラからリアルタイムに信号情報提供を実施している事例調査
- ② I T S 無線路側機から提供する信号情報が不定となる場合の対策案の検討
- ③ I T S 無線路側機における自動運転車両向けメッセージセットの検討
- ④道路線形情報提供に関するダイナミックマップとの連携に関する検討
- ⑤ I T S 無線路側機のフェールセーフ機能の拡充に向けた検討
- ⑥ I T S 無線路側機による信号情報提供に係る制約条件の整理
- ⑦自動運転車両向けに信号情報配信を行う I T S 無線路側機の仕様書案等の作成

2. 成果と達成状況

2.1 ①について

米国、欧州、中国を対象として、路側インフラからリアルタイムに信号情報提供を実施している事例について、現地に調査員を派遣し、実施主体へのヒアリングや現地調査を実施した。

2.2 ②について

I T S 無線路側機を活用した既存の信号情報提供システムである D S S S (Driving Safety Support Systems) 仕様を分析対象として、信号残秒数が不定となる事象を抽出した。また、現状は信号残秒数情報が提供されていない「リコール制御」及び「F A S T 感応機能」について、自動運転車両に向けた信号情報提供の可能性についての考察を行った。

2.3 ③、④について

自動運転車両向け路車間メッセージセットの検討においては、ダイナミックマップとの連携によって、D S S S の整備・普及において課題となっている道路線形情報の作成及び道路工事等に伴うデータ保守に係わるシステム管理者の負担を軽減すること、また、既に普及が立ち上がりつつある D S S S 向けと自動運転車両向けの共存を可能とすることを要件と定義し、路車間メッセージセット案を策定した。

2.4 ⑤について

I T S 無線路側機のフェールセーフ機能の拡充に向けては、全ての青、青矢灯器の点灯状態と信号情報の整合性をチェックすること及び不整合の検出時は、速やかに信号情報提供を中止することを要件と定義し、その実現方策案を検討した。

2.5 ⑥について

I T S 無線路側機による信号情報提供に係る制約条件の整理として、信号情報提供における遅延時間及びそのゆらぎ時間にかかわる計測実験を実施するとともに、遅延時間を考慮した自動運転モデル例及び路側インフラから信号残秒数が提供できない状況を考慮した自動運転モデル例を考察した。

2.6 ⑦について

前項までの検討結果に基づいて、東京臨海部実証実験に向けた以下の仕様書案、関連規格案を策定した。

【仕様書案】

- ・ I T S 無線路側機仕様化検討提案書 東京臨海部実証実験版

【関連規格案】

- ・ I T S 無線路側機通信アプリケーション共通規格 東京臨海部実証実験版
- ・ I T S 無線路側機 D S S S 及び自動走行システム用路車間通信アプリケーション規格 東京臨海部実証実験版
- ・ I T S 無線路側機 D A T E X - A S N メッセージ共通規格 東京臨海部実証実験版
- ・ I T S 無線路側機 D S S S 及び自動走行システム用 D A T E X - A S N メッセージ規格 東京臨海部実証実験版

また、フェールセーフ機能の高度化方策案に基づいて、東京臨海部実証実験向け仕様書の改定を行い、以下の仕様書案を策定した。

【仕様書案】

- ・ I T S 無線路側機仕様化検討提案書
- ・ 交通信号制御機仕様化検討提案書

和文要約

自動運転の実現に向けては、車両周辺環境を高い精度で確実に認識することが不可欠である。車両周辺の移動体をセンシングする技術では、カメラ、ミリ波、LiDAR等、多様な技術の開発が進められており、それらを併用することによって、自動運転に求められる高い信頼性が得られると期待されている。一方、一般道路を自動運転車両が走行するためには、交差点に設置されている信号灯器を認識し、信号灯器に従って安全に走行することが求められる。現状の車両自律センシング技術において、信号灯器を認識できるのはカメラのみであり、信号灯器と太陽光が重なった場合等、カメラ単独では信号灯器の認識精度が低下する事象の発生が懸念される。よって、自動運転車両が信号灯色を正しく認識し、安全に走行するためには、路側インフラ等の無線通信を活用した信号情報の提供による情報の多重化が不可欠である。さらに、車両自律センシング技術では取得できない信号残秒数等の先読み情報を路側インフラ等から提供することで、より高度な自動運転の実現が期待される。

本調査では、ITS無線路側機より自動運転車向けに信号情報を提供することを前提として、信号情報を活用した自動運転技術の実用化に向けて、以下の研究調査を実施した。

自動運転を見据えて、路側インフラからリアルタイムに信号情報提供を実施している事例調査として、米国、欧州、中国に調査員を派遣し、路側インフラからリアルタイムに信号情報提供を実施している事例について、現地実施主体へのヒアリングや現地調査を実施した。

ITS無線路側機から提供する信号情報が不定となる場合の対策案の検討として、ITS無線路側機を活用した既存の信号情報提供システムであるDSSS (Driving Safety Support Systems)仕様を分析対象として、信号残秒数が不定となる事象を抽出した。また、現状は信号残秒数情報が提供されていない「リコール制御」及び「FAST感応機能」について、自動運転車両に向けた信号情報提供の可能性についての考察を行った。

ITS無線路側機における自動運転車両向けメッセージセットの検討として、ダイナミックマップとの連携によって、DSSSの整備・普及において課題となっている道路線形情報の作成及び道路工事等に伴うデータ保守に関わるシステム管理者の負担を軽減すること、また、既に普及が立ち上がりつつあるDSSS向けと自動運転車両向けの共存を可能とすることを要件と定義して、路車間メッセージセット案を検討し、東京臨海部実証実験に向けた仕様書案、関連規格案を策定した。

ITS無線路側機のフェールセーフ機能の拡充に向けた検討として、全ての青、青矢灯器の点灯状態と信号情報の整合性をチェックすること及び不整合の検出時は、速やかに信号情報提供を中止することを要件と定義し、その実現方策案を検討し、仕様書案を策定した。

ITS無線路側機による信号情報提供に係る制約条件の整理として、信号情報提供における遅延時間及びそのゆらぎ時間にかかわる計測実験を実施するとともに、遅延時間

を考慮した自動運転モデル例及び路側インフラから信号残秒数が提供できない状況を考慮した自動運転モデル例を考察した。

これらの調査研究の結果、ITS無線路側機等の路側インフラに求められる機能要件とその高度化に向けた課題が明らかになった。2019年度及び2020年度に実施が計画されている東京臨海部実証実験により、路側インフラから提供される信号情報の有用性、本報告書で仮定した自動運転モデルの受容性等の検証実施が期待される。

英文要約

To realize automated driving, highly-accurate and reliable recognition of a vehicle's surrounding conditions is essential. In order for automated vehicles to travel on public roads, they must be capable of recognizing traffic lights. Cameras are currently the only autonomous sensing technology that can recognize traffic lights, and there is a concern about the occurrence of an event in which the accuracy of recognizing traffic lights using camera alone declines. Therefore, it is essential to multiplex information by providing traffic light information utilizing the radio communication system. Further, more sophisticated automated driving is expected to be achieved by providing look-ahead information such as the remaining seconds of green light which cannot be obtained by the vehicle's autonomous sensing technology. In this research, the following research and investigation were implemented aiming at the practical use of automated driving technologies, on the assumption that traffic light information is provided from the ITS RSU (roadside unit).

Case studies for the provision of traffic light information from roadside units were implemented by dispatching investigators to the U.S., Europe and China and holding field surveys and hearings with local responsible entities.

For the examination of specified signal control events that traffic light information cannot be predetermined were extracted from the analysis of the specifications of DSSS (Driving Safety Support Systems) which are existing traffic light information provision systems.

For the examination of message sets between automated vehicles and ITS RSU, draft message sets were examined and draft specifications and related draft standards for the demonstration experiment in the Tokyo Rinkai Area were developed, including enabling the co-existence of the DSSS message and linking Dynamic Map. For the examination of the enhancement of the fail-safe function for the ITS RSU, requirements were defined, consisting of the checking of the consistency between the state of green lights and traffic light information.

To identify constraints on the ITS RSU, measurement experiments were carried out on delay time in the provision of traffic light information, and examination was conducted for examples of automated driving models; one that takes delay time into account, and the other that takes into account the situations where the remaining green light cannot be provided by RSU.

Results of the research and investigation identified functional requirements needed for roadside infrastructure such as the ITS RSU and issues to be addressed for their enhancement. It is expected that the verification of the utility of traffic light information provided by IRS RSU and receptivity of automated driving

models assumed in this report will be carried out in the Tokyo Rinkai Area demonstration experiment scheduled to be implemented in fiscal year 2019 and 2020.

本文

1. はじめに

1.1 調査研究の目的

S I P第2期では、自動運転を実用化するための多岐に渡る技術的課題を克服するため、協調領域として自動運転車両が走行可能な環境の整備及び安全性確保に必要な基盤技術開発に重点を置き開発を進め、走行環境の整備等の検討の中で、自動運転に必要な道路交通情報のフォーマットや通信要件を決め、それらの標準化を目指している。

その中で本事業は、自動運転車両に特化した信号情報提供技術等の高度化に資することを目的とする。

1.2 事業概要

本調査では、上記事業目的を達成するために、路側インフラからリアルタイムに信号情報提供を実施している事例や技術動向に係る調査及びカーメーカ等の意見・要望を踏まえた、路側インフラの高度化方策の調査検討を行い、I T S無線路側機^[1]を核とする路側インフラの仕様書を策定する。具体的には下記項目を実施する。

- ①自動運転を見据えて、路側インフラからリアルタイムに信号情報提供を実施している事例調査
- ②I T S無線路側機から提供する信号情報が不定となる場合の対策案の検討
- ③I T S無線路側機における自動運転車両向けメッセージセットの検討
- ④道路線形情報提供に関するダイナミックマップとの連携に関する検討
- ⑤I T S無線路側機のフェールセーフ機能の拡充に向けた検討
- ⑥I T S無線路側機による信号情報提供に係る制約条件の整理
- ⑦自動運転車両向けに信号情報配信を行うI T S無線路側機の仕様書案等の作成

1.3 研究の方法

UTMS協会の会員である信号機等のインフラメーカ、カーメーカ、自工会、ダイナミックマップ関係企業及び警視庁の参画を得た委員会を設置する。表1.3.1に委員会参加団体及び企業を示す。また、表1.3.2に委員会の開催実績を示す。

表 1.3.1 委員会参加団体及び企業

	企業・団体・政府機関
インフラメーカ	オムロンソーシアルソリューションズ株式会社 株式会社京三製作所 京セラ株式会社 コイト電工株式会社 住友電気工業株式会社 日本信号株式会社 日本電気株式会社

	企業・団体・政府機関
	日本無線株式会社 パナソニックシステムソリューションズジャパン株式会社 信号電材株式会社
カーメーカ等	トヨタ自動車株式会社 日産自動車株式会社 本田技研工業株式会社 株式会社デンソー パイオニア株式会社 一般社団法人 日本自動車工業会
ダイナミックマップ関係企業	ダイナミックマップ基盤株式会社
行政機関	警察庁交通局 警視庁交通部

表 1.3.2 委員会の開催時期、議事

開催時期		議題
第1回	2018/10/17	・調査研究実施計画レビュー ・自動運転のための信号情報の要件について
第2回	2018/11/16	・東京臨海部実証実験仕様案について ・信号情報提供における課題と対策について
第3回	2018/12/18	・信号情報提供における課題と対策について ・路側機のフェールセーフ機能について
第4回	2019/2/12	・同上 ・仕様書改定案
第5回	2019/3/5	・成果報告書レビュー

2 国外の事例調査

自動運転車両への信号情報の提供に向け、ITS無線路側機の高度化に係る検討に資するため、海外で行われている、路側インフラからのリアルタイムな信号情報提供を実施している環境整備事業について、複数箇所を対象に実施主体へのヒアリングや現地調査を行った。現在、米国ではSPaT Challengeと呼ばれる信号情報を活用したシステムの運用が各州で推進されており、欧州では欧州委員会がDay-1 serviceとしてGLOSA（Green Light Optimized Speed Advisory）など信号情報を活用したシステムの展開を推奨するなどの機運にあり、今回の調査においてもそれらの機運の核となる地域を訪問することとした。

2.1 調査対象箇所

本件事例調査では、下表の9箇所を対象箇所とした。各箇所での取組内容の概要と選定理由を以下に示す。

表 2.1.1 調査対象箇所

調査箇所	概要	選定理由
米国 ラスベガス市	ラスベガス市内で複数の SPaT Challenge パイロット実験が実施され、観光エリアにて、自動車だけでなく歩行者・自転車等の低速交通も含め実施。路側装置(DSRC)の設置も拡大の方向で、ラスベガス市により維持・管理が行われる。	AudiとTTSの取り組み等、民間によるサービス及びラスベガス市による公共主導によるサービスの両方が盛んな場所であり、2019年にはスマートシティプロジェクトに選定され、連邦政府予算も用いられ、今後の自動運転関連サービス拡大に期待。
米国 アリゾナ州	ARIZONA 大学、MARICOPA COUNTY DOT、ARIZONA DOTにより官学連携で実施されているCONNECTED VEHICLE TEST BED。7つの交差点を対象に、実験車両により、DSRCを用いた信号情報の路車間通信実験を実施。緊急車両優先信号等のユースケースを含む。	訪問を許諾いただいたARIZONA大学Larry Head教授は信号系交通工学研究の権威であり、信号情報を活用したMMITSS (Multi Modal Intelligent Traffic Signal System) 推進の中心人物である。2007年からプロジェクトが開始され官学連携の好事例として多数の研究実績を誇る。
米国 ニューヨーク市	US DOT Connected vehicle programの一つ。300を超える交差点と8000台を超える車両を利用し、RLVW(赤信号無視警告)等のユースケースを含む。	Connected vehicle programへの先駆的な取り組みを通じて、米国では注目度の高い地点であり、2015年のプロジェクト開始以来、豊富なデータが蓄積されている。また、関連する各種ドキュメントも整備されている。
オーストリア ウィーン市	欧州各地の協調ITSのハーモナイズを目的とするC-Roadsプロジェクトの一貫であり、GLOSA(交差点通過支援)等のユースケースを含む。	オランダ、ドイツ、オーストリアは欧州内でもITS先進国であり、3ヶ国を結ぶ線はCooperative ITS Corridorとよばれ、国家間での連携、情報共有が図られており、またC-Roadsプロジェクト推進の中心地でもある
中国 北京市自動運転試験場	センサー等を活用したインフラ協調型の自動運転の実験施設で、安全、円滑系のユースケースが想定される。	信号機を含む豊富な実験設備を備え、データの蓄積量も豊富だと考えられる。
中国 ITS China(北京)	中国政府機関、有識者等とともに自動運転や信号情報提供等について検討・研究している。	中国における自動運転や信号情報提供の技術開発や政策動向について、幅広い知見を有すると考えられる。
中国 中国公安部	中国政府内で交通管理や信号制御・情報を担う。	中国の自動運転、交通管理や信号制御・情報管理について、法制度や政策等の知見を有していると考えられる。
中国 上海(安亭)国家智能网联汽车示范区	センサー等を活用したインフラ協調型の自動運転の実験施設で、安全、円滑系のユースケースが想定される。	信号機を含む豊富な実験設備を備え、データの蓄積量も豊富だと考えられる。また、日本のメディアでも紹介されるなど、注目度も高い。
中国 上海交通情報センター	上海の道路交通情報や信号情報をはじめ、様々なリアルタイム交通情報を収集・分析し、集約した情報の活用・提供を行っている。	交通情報センターにおいてどのような交通情報や信号情報等を収集・管理し、どのように情報提供を行っているのか等について、技術や知見を有していると考えられる。

2.2 調査項目

本件事例調査では、下表の項目を対象に調査票を作成し、関連資料の受領及びヒアリングにより情報収集を行った。

表 2.2.1 調査項目

大項目	調査項目
信号情報システムの概要	システム構成概略(システム構成、機能概要、データフロー等)、信号制御概略、信号制御の特徴
信号情報提供プロジェクトの概要	対象エリア、目的と位置付け、プロジェクト期間、実施体制、予算、事業進捗状況、成果・課題、将来計画(次期フェーズ)
信号情報提供サービス内容	サービスレベル、ユースケース、整備状況、非集中交差点での信号情報提供手法、今後の整備計画
通信仕様	周波数・帯域、チャネル、送信電力、通信距離、プロトコル、国際標準対応、セキュリティ仕様
信号制御の運用状況	各制御方式の整備状況、提供データ(通信規格)、標準データサイズ、データ更新周期、提供遅延時間(最短～最長)、遅延を最小限にするための手法(手段)、フェールセーフ仕様、ジレンマゾーンの発生を抑制する手段
標準・運用・保守の仕組み	仕様化(信号制御機と無線路側機の国内標準化の仕組み)、整備予算、整備執行者、運用・保守の予算、運用管理者、セキュリティ管理者、これらに関連して官民の役割分担、法制度等、主な民間事業者
信号情報の提供についての問題点・課題、その対策	—
信号情報以外に使用している情報とその用途	—
自動運転に関する法制度	—

2.3 調査結果

2.3.1 米国ラスベガス市

(1) 調査概要

SPaT Challenge パイロット実験が実施されている米国ラスベガス市を対象に次のとおりヒアリング調査を行った。

表 2.3.1 調査概要

訪問日	2018年12月11日(火)
訪問場所	米国ネバダ州ラスベガス市役所
調査対象機関	・ Las Vegas City Information Technologies Department
アジェンダ	・ ラスベガス市 Presentation(昨今の SPaT Challenge プロジェクトの紹介) ・ 警察庁 Presentation (警察庁の概要、日本の信号情報提供プロジェクトの紹介)
調査状況	

図 2.3.1 ヒアリング実施状況

(2) 調査結果概要

ヒアリングにて得られた情報について概要を以下に示す。

<市の活動概要>

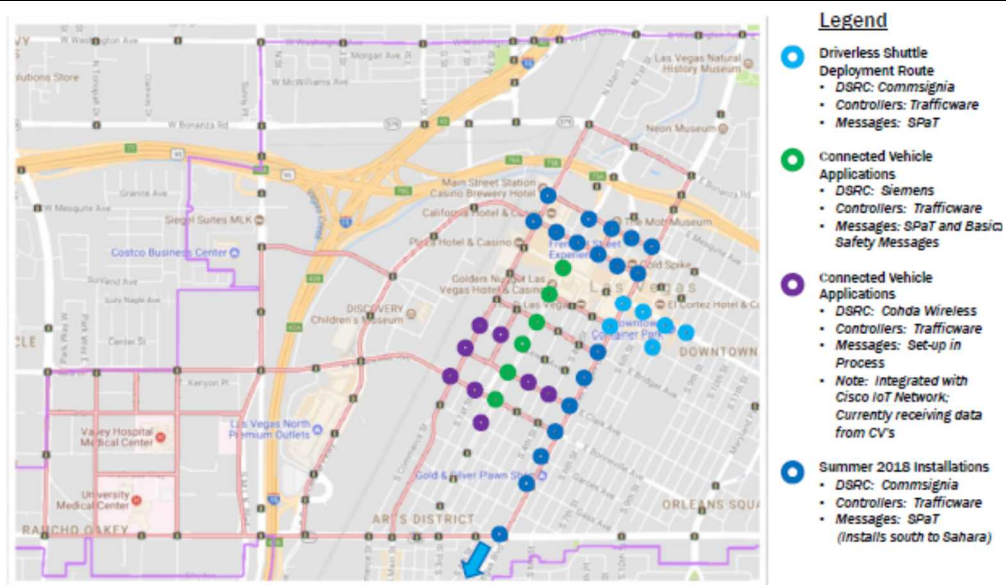
- ・ ラスベガス市による SPaT Challenge パイロット実験 (自動シャトルバス等) の多くはインフラも新しく、歩行者・自転車等の低速交通も多いことからイノベーション地区にも指定された旧ダウンタウン地区にて実施。
- ・ 対象範囲は、観光の中心地のラスベガス・ブルーバードまで拡大され、路側装置 (DSRC) は現在 47 箇所に整備されている。ラスベガス市はこれらの路側装置の維持・管理を担っている。
- ・ ラスベガス市では無線通信周波数は 800Mhz を使用。将来的には、携帯電波網の 4G、5G の使用を想定し現在試験を行っている。路側装置は、Wifi、Bluetooth、DSRC、4G、5G など複数に対応させる方針。

<活動予算>

- ・ 現在、プロジェクト費用はラスベガス市予算で賄うが、2019 年はスマートシティプロジェクトに選出されたため連邦予算が用いられる。

<今後の展開>

- ・ 将来的に市が集中管理システムを持ち、遠隔的に路側装置 (DSRC) を操作・トラブルシューティングできる環境を構築したい。また、歩行者や自転車向けにスマートフォンを活用したシステムとしたい。



出典：調査対象機関提供資料

図 2.3.1 パイロット実験実施状況マップ

2.3.2 米国アリゾナ州

(1) 調査概要

ARIZONA 大学、MARICOPA COUNTY DOT、ARIZONA DOTにより官学連携で実施されている CONNECTED VEHICLE TEST BED のある米国アリゾナ州を対象に次のとおり、視察及びヒアリング調査を行った。

表 2.3.2 調査概要

訪問日	2018年12月12日(水)	
訪問場所	米国アリゾナ州 Phoenix 近郊: 1. Anthem Test Bed/2. Maricopa County DOT	
調査対象機関	アリゾナ大学、Maricopa County DOT	
アジェンダ	<ul style="list-style-type: none"> ・アリゾナ大学 Presentation ・SMART Drive Connected Vehicle Test Bed 視察 ・Connected Vehicle Demonstration (V2I) ・警察庁 Presentation (警察庁の概要、日本の SPaT/Map プロジェクトの紹介) ・MCDOT Traffic Management Center 視察 	
調査状況		
		
	図 2.3.2 ヒアリング実施状況	

(2) 調査結果概要

視察及びヒアリング調査にて得られた情報について概要を以下に示す。

<プロジェクト概要>

- ・ MMITSS は、2007 年からプロトタイプシステムの開発・テストが実施され、現在 Anthem(フェニックスから車で北へ1時間ほどの場所)の TEST BED に、11 箇所の交差点に路側装置 (DSRC) を設置し、公道での実証実験を実施。
- ・ 主要なユースケースは、緊急車両や公共交通の優先、横断歩道・スクールゾーンでの注意喚起、スマートな工事情報提供に適用。
- ・ Anthem は、ベットタウンであるため通勤時間以降の昼間交通量が少ないため、公道実験の実施に適していた。
- ・ プロジェクト実施体制は、研究・開発フェーズをアリゾナ大学が担い、公共施策として実現するフェーズを行政機関が担う官学での良好なパートナーシップ (アリゾナ大学と

MCDOT の提携は 20 年来) のもと構築されている。

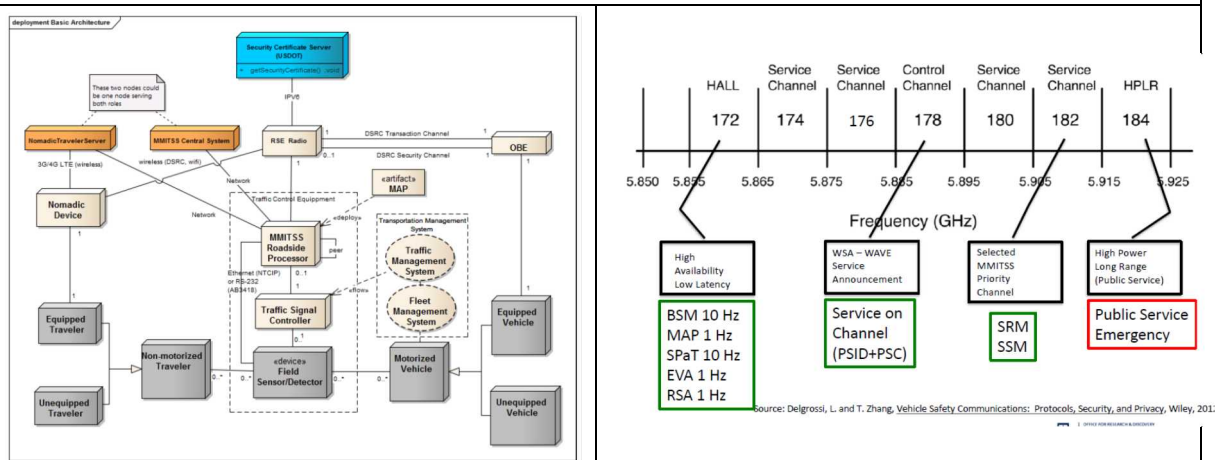
- Connected vehicle Data(SAE J2735 で規定される BSM,MAP<SRM,SSM、SPaT)を利用し、鉄道、緊急自動車、貨物、バス、歩行者など異なるモードの信号利用者に階層的に優先度を与え、信号を制御している。
- RT-TRACS,RHODES,COP,OPAC などの適応型信号制御(Adaptive Control)に対応

<予算>

- MCDOT 予算の大半は、ガソリン税からなる Highway Users Revenue Fund (HURF) による。一部、連邦助成金を得て、ITS システムを整備。

<今後の展開>

- Anthem Test Bed の成果を、緊急車両優先、次に公共交通やトラック優先、そして最終的に一般車に実展開することを目指す。



出典：調査対象機関提供資料

図 2.3.3 システム構成

2.3.3 米国ニューヨーク市

(1) 調査概要

ITS に関して米国では最も注目度の高い地点であり、2015 年のプロジェクト開始以来、豊富なデータが蓄積されている米国ニューヨーク市を対象に次のとおりヒアリング調査を行った。

表 2.3.3 調査概要

訪問日	2018 年 12 月 14 日 (金)	
訪問場所	米国ニューヨーク市 New York City DOT オフィス	
調査対象機関	New York City DOT	
アジェンダ	<ul style="list-style-type: none"> ・ New York City DOT Presentation ・ 警察庁 Presentation (警察庁の概要、日本の SPaT/Map プロジェクトの紹介) ・ New York City/State Traffic Management Center 視察 ・ V2V Demonstration on the public road 	
調査状況		
	図 2.3.4 ヒアリング実施状況	

(2) 調査結果概要

ヒアリングにて得られた情報について概要を以下に示す。

<ニューヨーク市の TMC に関する取組みの概要>

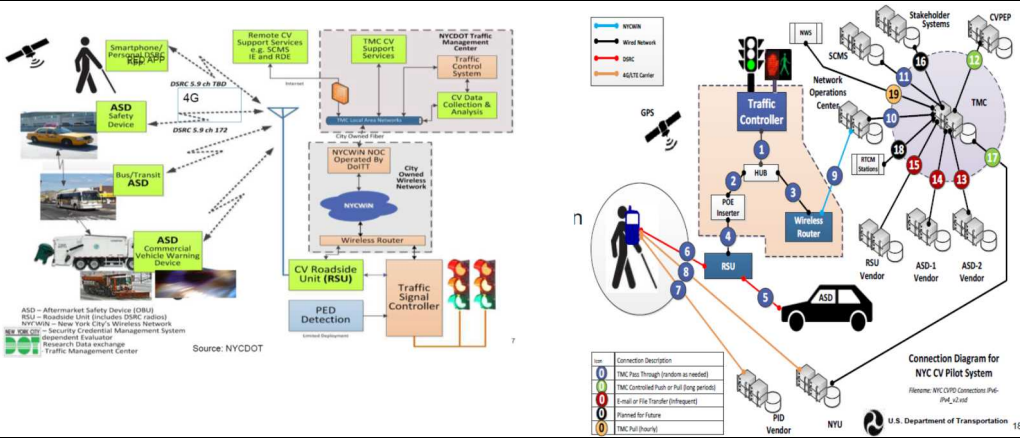
- ・ ニューヨーク市では、10 年前に、公共サービス専用のワイヤレス・ネットワーク (信号制御機を含む) が整備された。IP 式の信号機システムにより、TMC が全ての信号機を遠隔操作できる。

<プロジェクトの概要>

- ・ パイロット実験はマンハッタンのミッドタウンとブルックリンの一部で実施され 350 箇所の交差点に RSU が設置済。ニューヨーク市内には、Aftermarket Safety Device (ASDs) が搭載された 8000 台のコネクテッドカーが存在。その内、およそ 3000 台はタクシー、700 台は Metropolitan Transportation Authority (MTA) のバス。現在 70~80 種のプロトタイプのコネクテッドカーによる実験が進行中。また、視覚障害者向けのサービスも含まれる。
- ・ 信号情報は、ニューヨーク市のコネクテッドカー・プログラムにおいて、Vision Zero プロジェクト (2024 年までに交通事故による死亡者を無くすことを目標とした取り組み) に沿って赤信号違反警告等に使用。
- ・ サイバーセキュリティは connected vehicle 整備の重要課題である。(エンドとエンドのセキュリティも検討課題)

<今後の展開>

- より広範囲での路側装置の設置を準備中（インフラの設計、設置計画及び手続きは終了し、調達段階）また、DOTにより交差点 MAP メッセージの開発進行中。2年後まで続く実験結果を見て今後の政策判断を見込む。



出典：調査対象機関提供資料



図 2.3.5 システム構成とセキュリティの仕組み

2.3.4 オーストリア国ウィーン市

(1) 調査概要

欧州各地の協調ITSのハーモナイズを目的とするC-Roadsプロジェクトの一貫であり、GLOSA（交差点通過支援）等のユースケースを含むオーストリア国ウィーン市での取組を対象に次のとおりヒアリング調査を行った。

表 2.3.4 調査概要

訪問日	2019年1月9日（水）	
訪問場所	オーストリア国ウィーン市	
調査対象機関	(1)Federal Ministry Republic of Austria Transport, Innovation and Technology, (2) AustriaTech	
アジェンダ	<ul style="list-style-type: none"> ・ Austrian C-ITS deployment with a specific focus on SPaT/Map ・ C-Roads – harmonised C-ITS deployment across Europe ・ 警察庁 Presentation（警察庁の概要、日本のSPaT/Mapプロジェクトの紹介） ・ Test Drive – live demonstration of C-ITS services with a specific focus on SPaT/Map 	
調査状況		
	図 2.3.6 ヒアリング・視察実施状況	

(2) 調査結果概要

ヒアリングにて得られた情報について概要を以下に示す。

<p><C-Roads の概要></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 欧州での C(協調)-ITS サービスの整備を目的に欧州及びそれ以外の国を含め 18 カ国で活動をしており、オーストリアは初期（2016年）コアメンバーとして参加。 ・ 全ての C-ITS の整備を連携させるために共通技術仕様を整備し、相互運用性を検証するための集中的なクロステストを計画。 ・ ETSI ITS-G5 とセルラーネットワークを組み合わせたハイブリッド通信に焦点を当て共通の通信プロファイルに基づいてシステムテストを開発。（ただし、セルラーは message transmission delays の関係で、信号情報提供への適用は進んでいない。） ・ C-Roads の仕様として <ul style="list-style-type: none"> ・ Common C-ITS Service Definitions Version 1.4 ・ C-ITS Infrastructure Functions and Specifications ・ Roadside ITS G5 System Profile が公開されている。 ・ 欧州のセキュリティの仕組みに関して
--

・ Draft report on European security mechanism

も公開されている。

<オーストリアの信号情報提供システムに関する取組の概要>

- ・ オーストリアの信号制御施策は、3つを対象に実施している。
 - ✓ 高速道路の管理者向け交通円滑化施策
 - ✓ アルプスでの長大トンネルの安全性確保施策
 - ✓ いくつかオーストリアの主要都市における歩行者安全確保のための優先施策

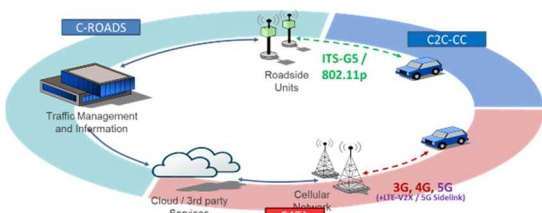
<プロジェクトの概要>

- ・ C-ITS の主要な適用事例として Urban C-ITS 及び SPaT/MAP は、ECo_AT と呼ばれるオランダ、ドイツ、オーストリアの国家プロジェクトである、ロッテルダム、フランクフルト、ウィーンを繋ぐ「The European Cooperative Corridor Project」の環境下で実施されている。この取り組みは、2013年に始まり、フェーズ1は2017年に完了し、フェーズ2として、2018年に整備に向けた入札が実施された。
- ・ サービスレベルはドライバーへの信号情報提供を基本とする。ミニシャトルバスを用いて固定路線での自動運転車両制御に信号情報を使用する事例もある。
- ・ ユースケースは公共交通車両を含んだものであり、Time to RED/GREEN、GLOSA: (Green Light Optimum Speed Advisory)、RLVW (Red Light Violation Warning) 等がある。

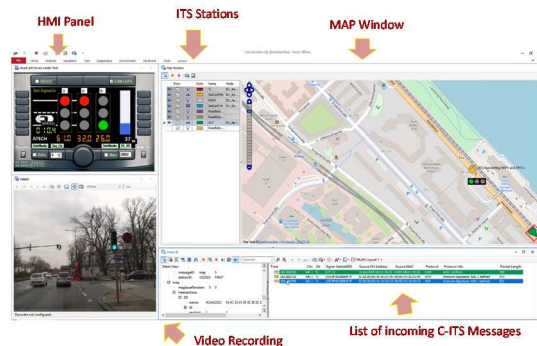
<今後の展開>

- ・ ウィーン市での実証プロジェクトは 2020 年までに路側インフラの整備を進め 2020 年以降実用運用開始予定。
- ・ 今後 C-Roads 参画都市と C-ITS ユースケースの議論を継続。新たなユースケースの例として、新たなメッセージタイプとして優先信号制御 (SSM,SRM) の活用した公共交通だけではなく警察車両・消防車等の優先信号等を想定。
- ・ ウィーン市での SPaT/MAP 配信可能な信号機の整備拡張 (自動運転ミニシャトルバスサービス拡張に向け)

C-ITS based on hybrid communication mix



ただし、セルラー経由の信号情報提供は未実施



出典：調査対象機関提供資料






図 2.3.7 システム構成・デモ画面

2.3.5 北京市自動運転試験場（北京知能車連産業創新センター）

(1) 調査概要

政府と連携し、信号情報提供等のパイロット実験を実施している北京知能車連産業創新センターにヒアリング調査を実施するとともに、公道上のテストコースにおける実験状況及び新規建設中の民間企業実験向け自動運転閉鎖試験場を視察した。

表 2.3.5 調査概要

訪問日	2019年3月4日（月）	
訪問場所	中国北京市南部（公道上のテストコース及び自動運転試験場）	
調査対象機関	北京知能車連産業創新センター	
アジェンダ	<ul style="list-style-type: none"> ・ 日本側：警察庁・UTMS協会等の自動運転開発に関する概要及び調査背景・目的の説明 ・ 中国側：中国の官民連携による自動運転開発概要の紹介、北京市におけるモデルコースによる信号情報提供等の実験概要の説明 ・ 質疑・意見交換 ・ テストコース（栄京東街試験公道）のデモンストレーション視察 ・ 新規建設中の閉鎖試験場（M-ZONE）視察 	
調査状況		
	 	
図 2.3.8 ヒアリング・視察実施状況		

(2) 調査結果概要

ヒアリングにて得られた情報について概要を以下に示す。

<中国における自動運転技術開発の概要>

- ・ 自動運転開発に注力しはじめたのは 2015～2016 年頃で、政府の工業・情報化部がモデル地区（中国自動運転示範区）を設定し、5 プラス 2 地域・都市のプロジェクトを開始した。
- ・ 国レベルでは、工業・情報化部、公安部、交通運輸部が連携し 2018 年 4 月に実験の基準・評価方法等を示すガイドラインを公表している。
- ・ 現在は 2 都市（地域）が追加され 9 箇所となっており、それは、①北京市+河北省、②重慶市、③浙江省、④長春市、⑤無錫市、⑥上海市、⑦武漢市、後で追加された 2 つの地域は、⑧雄安新区、⑨長沙市である。

<北京知能車連産業創新センターの概要>

- ・ 北京市+河北省のプロジェクトを推進する機関が当組織であり、当組織は 9 つの企業（交通、

OEM、通信、IT 企業等）が投資して設立・運営されている。

- ・ 政府と企業間の調整も担う。
- ・ 実験環境・体制を整備し、2017 年 6 月に公道の試験道路をオープンした。

<評価基準・ルールづくり>

- ・ 北京市は第一号のガイドライン（基準）を 2017 年 7 月に公表した（それが全国のもの参考になった）。
- ・ その中で、様々なユースケースを想定しつつ、いかに安全性を走行させる前に確保するか考えながら評価項目を設定している。
- ・ 基準はまだ成熟していないが、大まかな枠はできており、改善しながらやっていきたい。
- ・ これまで、57 台の車に実験のためのライセンスを出しており、北京市で許可を得たテスト可能な企業は 9 つある。
- ・ 現在相談中の企業もあるが、ダイムラー、Audi は既に許可を得ている。日本のメーカーも問い合わせに来ている。

<信号情報提供技術について>

- ・ ダイレクトとセルラーの 2 つの通信手段に対応している。
- ・ V2X 管理ためプラットフォームの実験は推進しており、高層ビルがあり見通しがよくない箇所におけるレーザーによる路車間通信や冠水・道路工事情報等含めて行っている。
- ・ 路車間通信のテスト情報提供の目的は、現状では運転補助情報として送っている。

<北京におけるテストコース整備と実験の概要>

- ・ 2018 年に北京で延長 123km、44 本の道路をテスト道路として指定した。
- ・ 北京では、2018 年に閉鎖式試験場（テストコース）をオープンし、もう 1 つの閉鎖式試験場についても建設が完了し、2019 年にオープン予定である。また、4 つのエリアが公道上のテストコースとして指定されてきた。

<公道上の実験について（デモ視察）>

- ・ 信号機に設置した機器から信号情報を発信し、車載器が受け取ってドライバーの運転を支援する技術開発を推進している。
- ・ 実験デモでは、次に通過する信号の情報（信号灯色変化までの秒数、青信号中に通過するために維持すべき速度）や規制速度超過によるアラートが車内設置のタブレット画面に表示された。道路を横断する歩行者や工事現場情報等に対する注意も表示されるとのことだった。

<建設中の閉鎖試験場（M-ZONE）の概要>

- ・ 2018 年 9 月から建設中。北京では最大規模、道路延長 7.8km である。
- ・ 北京周辺（北京市、天津市、河北省）の 85%の都市街路、90%の高速道路での利用ケース（道路走行環境）を含むように設計されている。
- ・ 道路の構造基準等が異なるため（例えば北京と上海の標準的な車線幅員は違う）、他地域の対応は別コースでの検討必要。
- ・ 現状、案内板や信号は新しいが、様々なユースケースを想定し、状況次第で加工等しながら実験を行う予定である。
- ・ 実験のため、5G の電波塔を 3 本整備し、試験場内全体をカバーしている。
- ・ テストコース中で 5G の V2X の状況も設定し、路車間協調等を考えている。
- ・ 路側の機械は当機関が整備し、道路は国が整備費用を支援している。

<今後の予定>

- ・ 試験エリアをさらに拡大し、今後 4 つのエリアをオープンする予定。
- ・ 今後 3 年間で公道上のテストコースは延長 2,000km、運営エリアは 500 平方 km まで拡大することを目標にしており、2022 年冬季北京オリンピックで Intelligent-connected car の全面的利用を開始したいと考えている。

2.3.6 ITS China

(1) 調査概要

中国政府機関、有識者等とともに自動運転や信号情報提供等について検討・研究している ITS China にヒアリング調査・意見交換を実施した。

表 2.3.6 調査概要

訪問日	2019年3月5日(火)	
訪問場所	中国北京市南部(北京自動車技術研究センター)	
調査対象機関	ITS China	
アジェンダ	<ul style="list-style-type: none"> ・警察庁・UTMS協会等の自動運転開発・信号情報提供に関する概要及び調査背景・目的の説明(日本側) ・中国の交通管制システム概要、信号情報提供の開発状況等の説明(中国側) ・質疑・意見交換 	
調査状況		
	図 2.3.9 ヒアリング・視察実施状況	

(2) 調査結果概要

ヒアリングにて得られた情報について概要を以下に示す。

<自動運転開発のロードマップ>

- ・ 2016年に中国自動車工程学会(SAE-China)が中国の自動運転のロードマップを作成しており、2020年にL3とL4を実験的に実現するという開発目標を立てた。
- ・ しかし、L3の量産は実現しているがその上のレベルの当初の目標は厳しいと認識してきている。車自体のインテリジェント化は、路車間協調から始まるのではと認識するようになってきている。政府も示しているとおおり、人、車、道路の知的協調をしっかりと推進するという方針になってきている。
- ・ 現在は路車間協調について進める方向になっているが、まだ協調性の低いレベルの実現にとどまっている。
- ・ 路車間協調の実現にはレベルの高い調整組織が必要で、それがなければ、組織調整、技術・基準の調整が難しい。

<中国政府によるルール・規定づくりについて>

- ・ 国の規定は、2018年4月に工業・情報化部、公安部、交通運輸部が連携してテストするための基準ガイドライン「知能網連自動車の道路テストに関する管理規範(試行)」を試験的レベルだが作成し、テスト車の条件、運転手の規定等の枠組みが定められた。

- ・ 交通安全法等関連法規について、法律改正までの動きは見ておらず、自動運転に関連した改正の予定は現時点ではわからない。

<高精度地図について>

- ・ 高精度地図の更新は簡単ではなく時間、費用がかかる。
- ・ 単純に自動運転は、インフラや地図等の技術の開発を待つではなく、お互いに推進することでうまくいくのではないかとされる。

<自動運転・路車間協調のための通信技術>

- ・ アメリカの DSRC、5G について、中国でも研究・期待しているが、まだどれになるかは明確になっておらず論議中である。

<LTEV 5.9GHz の通信について>

- ・ LTEV はあくまでも一つの方式だが、5.9GHz が標準となっている。
- ・ 今は強制的な通信方法の決まりはなく、企業の意見を聞きながら検討しているところである。

<中国の信号機メーカーと規格統一について>

- ・ 信号制御機メーカーは中国に約 130 社あり、各自のプロトコルがあるため、統一基準を作ることは容易ではない。中国では、中国自動車工程学会で信号情報のフォーマットを作成中だが、まだ公開されていない段階である。

2.3.7 中国公安部

(1) 調査概要

自動運転開発や信号情報提供に関する政策や推進状況、問題点・課題等を把握するため、政府内で交通管理や信号制御・情報を担う中国公安部にヒアリング調査を実施した。

表 2.3.7 調査概要

訪問日	2019年3月5日(火)		
訪問場所	中国北京市中心部(東長安街)		
調査対象機関	中華人民共和国公安部		
アジェンダ	<ul style="list-style-type: none"> - 中国側：中国の自動運転技術開発に向けた政策、法制度面での検討等に関する概要説明 - 日本側：日本の自動運転技術開発に向けた政策、法制度面での検討等の概要及び調査の背景・目的の説明 - 質疑・意見交換 		
調査状況			
			
図 2.3.10 ヒアリング・視察実施状況			

(2) 調査結果概要

ヒアリングにて得られた情報について概要を以下に示す。

<p><中国のV2X開発の概要></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 特に国としてのトップデザインが重要で、政策、法律、規定づくりの重要性を認識している。2016年4月に政府として設定した開発項目の一つとして自動運転が挙げられている。 ・ 国としての政策があり、実現に向け、関係省庁で協力する組織を作っている。例えば車連網(V2X)について、中国の工業・情報化部を責任者として、国家発展改革委員会、公安部、交通運輸部など20以上の省庁を組織して連合グループを作った。 ・ このグループでは、政策づくり、技術開発、今後の産業発展について皆で一緒に研究検討している。毎年1回会議を開催し、重点的にやるべきことを決めている。 ・ このグループでは主に2つの仕事をしている。一つは規範化、テストのための規範づくり。もう一つはV2Xの標準化技術の研究を行っている。 ・ 2018年公安部、工業・情報化部、交通運輸部は連携して道路上のテストのための要求規定の書類を作成した。 ・ 道路上でテストしたい自動車メーカー等の資格条件、車の中の運転手の条件、事故が万一発生

した場合の責任認定について簡単に決めた。

- ・ 条件が合うメーカーに対して、市はその車種に対して特別なナンバーライセンスを配布する。
- ・ 工業・情報化部の国家標準化委員会が主体となり、産業の高度化のガイドラインを作成しており、その中で自動運転が挙げられている。
- ・ 省庁間の協調性を保つために、標準化担当部署同士で連携して意見交換する場を作った。

<公道や閉鎖型テストコースでの実験の概要>

- ・ 現状でテストコース用ライセンスを取得した車種は約 100 台程度である。
- ・ 実験は、都市道路、都市エリアからはじめており、高速道路はまだである。
- ・ テスト車両は外から見てすぐわかるようにしている。

<自動運転（無人運転）の責任の所在>

- ・ 責任は、今の有人運転と同じように考えており、基本的に運転手に責任があるようにしている。

<無錫の実験場>

- ・ 無錫の V2X の信号・実験範囲は大きい範囲の方である。
- ・ 無錫で準備しているのは全ての道路環境を備えたテスト環境の整備を推進している。
- ・ 中国は閉鎖的実験場を様々な場所で整備しており、現在 16 箇所ある。無錫はその一つである。
- ・ 公安が整備しているため、安全面の基準を重視したテストコースである。
- ・ 無錫の研究所は、当初日本のサポートがあって設立されたものである。

2.3.8 上海（安亭）国家智能網連汽車示範区

(1) 調査概要

民間の開発企業用に運転支援・自動運転のために公共サービスとして実験場を整備・運営している安亭の閉鎖型試験場を視察し、ヒアリング・意見交換を実施した。

表 2.3.8 調査概要

訪問日	2019年3月6日（水）
訪問場所	上海市安亭
調査対象機関	上海（安亭）国家智能網連汽車示範区(Shanghai Intelligent Connected Vehicle Innovation Center)
アジェンダ	<ul style="list-style-type: none"> ・ 安亭実験場の概要についてプレゼン（中国側） ・ 閉鎖試験場（F-ZONE）のデモンストレーション視察 ・ 警察庁・UTMS協会等の自動運転開発に関する概要及び調査背景・目的の説明（日本側） ・ 質疑・意見交換
調査状況	
図 2.3.11 ヒアリング・視察実施状況	

(2) 調査結果概要

ヒアリングにて得られた情報について概要を以下に示す。

<安亭試験区の概要>

- ・ 当該試験区開発のアイデアは2014年に提案され、2015年に工業・情報化部から開発許可が出てエリア建設を推進した。運営開始から概ね2年半になる。
- ・ 国・上海市からの指示を受けながらICV(Intelligent Connected Vehicle)産業の試験開発、サービス提供を実施してきた。
- ・ 国際協力関係にも力を入れおり、例えば2016年11月に米国ミシガン州と協力の覚書を結んでいる。また、2017年8月に5GAA連携に加盟もした。
- ・ 試験区は6つのプラットフォームと3つのサービス基地から構成される。
- ・ 6つのプラットフォームは、①先進的共生力のある研究開発、②テスト・認証、③基準・標準づくり、④データ情報安全管理、⑤技術成果の実用化、⑥統合イノベーションとアプリのデモンストレーションである。
- ・ 国際標準については、5GAAの通信の標準化実験に参加し、国際的標準作りを牽引している。
- ・ 当該試験場は様々な機能を有し、中国の中でも規模が大きく先進的で影響力の大きい場所となっており、中国で初の車同士の通信テストも実施した。

<視察対象の閉鎖式テストコース（Fゾーン）の概要>

- ・ 視察する閉鎖式テストコースは、面積約 2km²、道路延長約 4km で都市内状況を再現している（道路構造、トンネル等）。
- ・ 通信手段は DSRC と LTE-V の主に 2 種類がある。この内、将来 5G に代わる想定で LTE-V 通信による技術開発を重視している。
- ・ 色々な設備を用いて安全管理、情報サービス、新エネルギー利用等のテストが可能である。
- ・ この閉鎖式コースでは研究開発サポートの他、テスト試験（一般車が公開道路に入る前に閉鎖式でテストを受ける）に対応しており、これまで多くのメーカーにサービス提供してきた。

<実験場の設備環境の仕様>

- ・ 自動運転については 2 つやり方があり、車のセンサーによるものと V2X によるものがあるが、公共サービスを提供しているプラットフォームであり、全ての方法に対応できるようにしている。
- ・ DSRC と V2X について、プラットフォームとして公平な立場で、あくまで企業の方が開発、競争していくことになる。しかし、自動運転実現に向けて大きな武器が 5G になるとみんな期待している。DSRC は成熟期にある標準で、将来的には 5G が重要と想定される。

<公道でのテスト環境整備（ライセンス要件等）>

- ・ 2018 年 3 月に上海市における自動運転実験のための公道でのテスト管理方法をまとめた。
- ・ 既に 5 つの企業（上海汽車、BMW、図新未来 momenta 等）に 7 ライセンスを与えた。
- ・ 路上でライセンスを得るための要件には企業評価（歴史、技術蓄積）もある。もう一つは中国で登録している企業である必要がある。また費用は必要で、テスト項目によって料金は異なる。
- ・ 上海の ICV は一つの推進指導グループを設置し、17 項目の能力試験が閉鎖コースで実施されている。専門家評価会を開催し、評価を得れば一般道に出られるライセンスが公安局より与えられる。
- ・ ライセンスを得た車は、公道を走行する際、車の位置情報、速度、加速度データをセンターに送る必要があり、データは安全管理に活用される。
- ・ テストは機能と項目ごとに実施しており自動運転レベルでの区別はない。

<公道でのテスト環境整備（信号情報提供等）について>

- ・ 公道のテストエリアでは、6 つの交差点で信号情報を提供している。
- ・ 公安から関係情報をもらい、信号機メーカーからプロトコルをもらい、自動車メーカーに説明している。
- ・ 信号情報は、サイクル情報、方向別カウントダウン情報をもっている。
- ・ 実験に参加する自動車メーカーは上海汽車、GM、フォードで、協力しお互い情報交換しながら進めている。

<信号情報と想定するユースケース>

- ・ 中国の汽車工程学会が V2X 協力式アプリの通信プロトコルを作成した。
- ・ まだ国・地方の公式的な標準ではないが、全てのメーカー等が検討した業界の標準となっている。
- ・ 17 種類ユースケースを決め、それごとのデータフォーマットを決めている（UTMS 協会の動画で描かれていたケースは含まれている）。
- ・ 信号情報の通信方式について、ダイレクトとクラウド経由の双方を実施している。現状、どちらが良いかなどは決まっておらず、テストデータを収集し、分析する段階にある。

2.3.9 上海交通情報センター

(1) 調査概要

上海の道路交通情報や信号情報をはじめ、様々なリアルタイム交通情報を収集・分析し、交通マネジメント施策に反映するとともに、集約した情報の活用・提供を行っている上海交通情報センターにヒアリング調査を実施した。

表 2.3.9 調査概要

訪問日	2019年3月7日(水)
訪問場所	中国上海市
調査対象機関	上海交通情報センター
アジェンダ	<ul style="list-style-type: none"> - 中国側：上海交通情報センターにおける交通情報管理の説明 - 日本側：警察庁・UTMS協会等の自動運転開発に関する概要及び調査背景・目的の説明 - 質疑・意見交換
調査状況	
図 2.3.12 ヒアリング・視察実施状況	

(2) 調査結果概要

ヒアリングにて得られた情報について概要を以下に示す。

<上海交通情報センターの概要>

- ・ 上海市の総合交通情報プラットフォームとして2006年に設立され、公安の協力を得て交通関係情報を収集、共有している。
- ・ 情報データは道路交通データ、公共交通データ、対外交通データ（市と他地域との流出入、長距離バス、列車情報等）の3種である。
- ・ この他、例えば上海市内64の気象観測所の情報を有しており、交通予測に活用している（短期予測は2時間先、長期予測は1日・2日先など）。
- ・ 環境局ともデータ交換し、交通起因の排気ガス影響を分析している。
- ・ これらの情報を集めて分析することで、交通管理の最適化、緊急対応に活用している。それを市民に提供している。

<交通情報管理システムの説明>

- ・ 渋滞状況分析では、昨年との状況、過去1年の平均、現状を比較して示し、一見して問題の有無が直感的にわかるようにしている。
- ・ 路線別混雑状況の情報収集について、400m間隔で埋めているループコイルで流量、車速、車

間距離を計測するとともに、警察のナンバープレートのデータも併用し、渋滞状況を計算、渋滞情報データを収集している。

- ・ 渋滞は指数で表し、道路運行状況を管理するとともに市民へ情報提供する。
- ・ 過去の渋滞箇所数、時間もすぐに確認できるデータベースとなっている。
- ・ これらの数値によって上海の通行制限、政策も検討している。
- ・ 警察のカメラの情報も全て集めている。
- ・ 画像情報は自動運転用に使えると考えている。
- ・ 路上案内板で渋滞情報、渋滞予想時間、警察のカメラ情報も用いて事故状況等を示している。
- ・ 道路の工事状況も、警察から伝達され、管理・把握している。
- ・ 信号情報については、オーストラリアの SCATS をずっと前から利用しており、現在は改善を加え、基本的に自動制御を実現している。
- ・ 交差点ではループコイルから交差点飽和度を把握し、自動信号制御を実施している。
- ・ カメラ画像認識、ナンバープレート情報も参照し、信号制御を行っている。
- ・ 公共交通についての路線別混雑度、異常発生状況等も把握している。
- ・ 地下鉄利用・乗り換え状況、バス路線網・運行情報、タクシー5万台の動き、シェアサイクル利用状況（現在70万台あり、20万台/日が利用）、をリアルタイムに把握可能である。
- ・ 対外交通として、外側からの進入数、流出数を把握しているとともに、空港等の施設別利用状況も把握している。
- ・ リアルタイムで信号があと何秒で信号が変わるといった情報はここでも見ることは可能で、警察がコントロールしている。
- ・ 収集・分析した情報は、関係政府部門、40以上の企業に公開している。
- ・ 加工した情報は提供しているが、元の信号情報はまだ提供していない。
- ・ システムの安全性を確保するため、2種類の情報を常に使っており、ループコイル情報とプローブ情報を見ている。
- ・ ループコイルに故障があればプローブデータで補完するようにしており、双方のデータ（例えば旅行速度）はほぼ一致する。
- ・ 使用しているプローブデータはタクシーがメインで、約4万台、1.8-2万台が有効である。携帯網/無線で情報通信している。

<自動運転/ICV(Intelligent Connected Vehicle)の開発>

- ・ 路側とメーカの役割分担・費用分担は検討中である。
- ・ 上海では市内の繁華街でのテストは危ないためまだ実施しておらず、安亭のように人・交通が少ないところから始めている。
- ・ 次は高架道路・高速道路のテストの許可をしていくことになり、その上で市内繁華街で許可していくことになると考えている。
- ・ メーカはクローズ（閉鎖型）の試験場におけるテストを通過してからはじめて公道のテストができるようになっている。公道にでてテストを実施するために、閉鎖型の試験場でどのくらいの時間・距離を走行したかという条件もある。
- ・ 昨日視察したテスト道路（公道上）では6つの交差点で信号情報を提供している。信号機に通信設備をつけ、DSRC方式と4Gの2つを使っている。

<ビッグデータ等について>

- ・ 上海では今後 MaaS の実験を推進していくことになった。
- ・ AI はあまり検討しておらず、ビッグデータの分析・活用を重視しており、研究室を設置し、10数社と連携しビッグデータの活用を検討している。

3 自動運転のための信号情報提供

3.1 信号情報の必要性について

自動運転の実現に向けては、車両周辺環境を高い精度で確実に認識することが不可欠である。車両周辺の移動体をセンシングする技術では、カメラ、ミリ波、LiDAR等、多様な技術の開発が進められており、それらを併用することによって、自動運転に求められる高い信頼性が得られると期待されている。一方、一般道路を自動運転車両が走行するためには、交差点に設置されている信号灯器を認識し、信号灯器に従って安全に走行することが求められる。現状の車両自律センシング技術において、信号灯器を認識できるのはカメラのみであり、路側インフラ等の無線通信を活用した信号情報の提供によって情報を多重化することが考えられる。また、車両自律センシング技術では取得できない信号残秒数等の先読み情報を路側インフラ等から提供することで、より高度な自動運転の実現が期待される。

3.1.1 現在灯色情報の活用

自動運転車両は、車両に搭載される車載カメラ等により、車両自律で信号灯色を認識する技術や機能を保持していることが想定される。しかし、自動運転に求められる信頼性や可用性を担保するためには、路側機等のインフラ支援が必要なシーンがあると考えられる。例えば、図3.1.1に示すように、車載カメラのみでの信号灯色を認識する場合、信号灯器と太陽光（朝日/夕日）が重なった場合や逆光時には、特に矢灯器等の認識精度が低下するおそれがある。また、自動運転車両の前方をバスや大型車両等が走行する場合、先行車両によって信号灯器が車載カメラの死角となる場合がある。このような場合、先行車両に追従走行していると、先行車両が、黄色信号又は赤信号の表示中に交差点に進入した場合、追従する自動運転車両自身が信号無視違反となったり、出会い頭事故に巻き込まれたりといった事象の発生が懸念される。

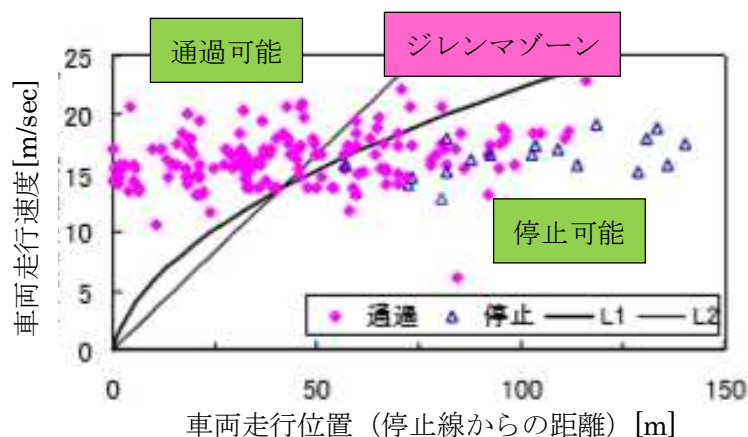


図 3.1.1 インフラから信号灯色情報の提供が必要なシーンの例

上述したような一般道における自動運転の課題を車両自律単独で回避するには、自動運転から一時的に手動運転に切り替えることや、車載カメラが信号灯色を認識できるまでは、減速や一時停止による安全確認といった運転行動が必要になることが想定される。これらの冗長な運転行動は、自動運転車両としての商品価値を損ねたり、交通流を阻害して渋滞を引き起こす等によって社会受容性を損ねたりする懸念がある。これらを解決する手段として、信号灯色情報を無線通信（700MHz帯ITS無線、モバイル回線等）によって車両に提供することが必要であると考えられる。

3.1.2 信号残秒数の活用

現在の信号灯色情報を安定して取得でき、信号灯色が黄色に切り替わったことを瞬時に認識できたとしても、所定の減速度以下では停止線手前に停止することができず、かつ、黄色の表示時間中に交差点に進入することもできない、いわゆるジレンマゾーンの状態に陥る場合がある。所定の減速度を超える急制動による停止挙動は、乗車中の怪我や後続車との追突事故を引き起こすおそれがある。また、黄色信号終了後の交差点進入は信号無視違反となるだけでなく交差側車両との出会い頭事故を引き起こすおそれがある。これらを解決する手段としては、青信号の残秒数等の先読み情報を無線通信によって車両に提供することが有効であると考えられる。ここで、ある交差点における一般車両のジレンマゾーン発生状況についての事例^[2]を図 3.1.2 に示す。



L1：黄信号を認識して、停止線に安全停止できる位置と速度の関係
L2：黄時間内に停止線通過可能な位置と速度の関係

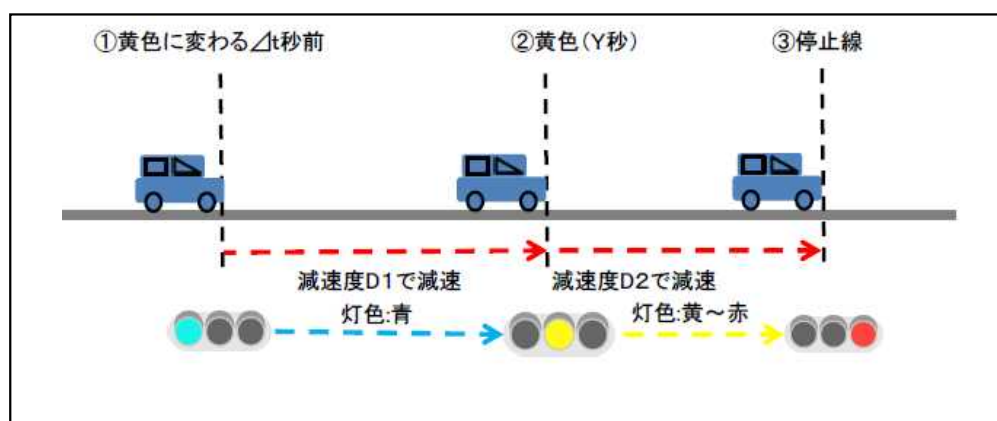
図 3.1.2 信号切り替わり時に発生するジレンマゾーンの例

図 3.1.2 の縦軸は車両走行速度、横軸は停止線からの距離を示している。曲線 L 1 は、信号灯色が黄色に変化したことを認識してから停止線に停止できる速度と距離の関係を示しており、L 1 よりも速度が高い又は位置が停止線に近い場合は所定の減速度以下では停止線手前に停止することができないことを示す。また、直線 L 2 は黄色時間内に停止線を通過できる速度と距離の関係を示しており、L 2 よりも速度が低い又は位置が停止線より遠い場合は、黄色の表示時間中に交差点に進入することもできないことを示す。図 3.1.2 の例では、ジレンマゾーン内に位置する車両の大多数が交差点に進入していることから、ジレンマゾーンへの進入が加速しながらの無理な交差点進入や信号無視といった危険な運転行動を誘発している懸念がある。社会受容性の観点から、一般車両と同等以上の安全性が求められる自動運転車両においては、L 1 と L 2 に挟まれたジレンマゾーンへの進入を回避することが不可欠であると考えられる。

ジレンマゾーンへの進入を安全に回避する方法の一例として、2 段階で減速を行うモデルが考えられる。このモデルに従ってジレンマゾーンへの進入を回避するためには、灯色が青

色から黄色に変化する Δt 秒前に、確定した信号残秒数を車両に提供する必要がある。動作概要を図 3.1.3 に示す。また、特定の前提条件を置いた場合の Δt 秒の算出結果を参考として表 3.1.1 に示す。速度が高くなるほど又減速度が小さくなるほど Δt 秒が大きくなり、黄信号に変化するまでの青信号秒数を早く確定する必要がある。よって、車両の検知状態によって青信号の即時打ち切りを決定するような感応制御の運用等に制約を与える可能性がある。一方、黄色時間を長くするとジレンマゾーンの発生が抑えられ Δt 秒が小さくなる。これより、自動運転における黄色時間の運用についても考慮が必要になると考えられる。

なお、これらの信号制御への制約付与は、交通流円滑化とのトレードオフの関係になる恐れがある。よって、自動運転の効果や普及の度合いに応じた検討が求められる。



- ①現在の速度のままだとジレンマゾーンに進入してしまう場合、灯色が黄色に変化する Δt 秒前に減速度D1で減速開始
- ②信号灯色が黄色に変化後、減速度D2で減速開始
- ③停止線手前で停止

図 3.1.3 2段階で減速を行うジレンマゾーン回避モデルの例

表 3.1.1 Δt (秒) の試算例

車両	黄色時間	規制速度		
		40km/h	50km/h	60km/h
一般車両	3秒	2.75秒	5.98秒	8.93秒
	4秒	—	1.20秒	4.91秒
大型車両	3秒	5.67秒	8.84秒	11.90秒
	4秒	2.04秒	5.69秒	8.98秒

※試算条件

車載機処理時間： 0.3秒

信号情報のゆらぎ：0.3秒(定常的に発生する既知の遅延時間は補正する前提)

一般車両 (D1 = 0.03G、D2 = 0.2G)、大型車両 (D1 = 0.03G、D2 = 0.15G)

3.2 ITS無線路側機を活用した信号情報提供における課題と対策

3.2.1 信号情報の可用性向上について

交通信号制御機^[3]の動作状態や信号制御の内容によっては、信号情報を生成、提供することが困難な場合がある。一方、自動運転の支援に資する信号情報提供の実現に向けては、信号情報の可用性を明らかにし、その向上に向けた方策を検討する必要がある。本節では、信号情報が提供不可あるいは信号残秒数が不確定となる事象を抽出し、それらの事象発生の低減に向けた対策について検討する。

(1) 信号残秒数が不確定となる事象の抽出

ITS無線を活用した既存の信号情報提供システムであるDSSS(Driving Safety Support Systems)^[4]の仕様を分析対象として、提供される信号情報が不確定となる事象等を抽出した。抽出した事象とそれぞれの対策検討方針を表3.2.1に示す。

表 3.2.1 信号残秒数が不確定となる事象と検討方針

No	信号機の動作	現状 (DSSS仕様)	検討方針
1	リコール機能 (押ボタン等の要求信号により信号現示を呼び出す機能)	信号情報提供不可	現在灯色 (信号通行方向情報) を提供、提供可能な残秒数情報の分析と自動運転車両での活用可否を検討
2	連動子機機能 (隣接する親機に同期して動作する機能)		ITS無線を活用した路路間通信により子機を集中化 (連動子機機能を使用しない)
3	手動動作 階梯保持		現在灯色 (信号通行方向情報) のみを提供
4	保安動作 異常閃光 (フェールモード)		フェールモードのため信号情報提供を停止
5	各種の感応機能	最小秒数、最大秒数を提供 (PR感応 ^(注1) の場合、青最小秒数=0秒から即時で黄色に変化)	規制速度が高い (ジレンマゾーン進入が発生しやすい) 交差点を対象に下記の運用を推奨 ・PG感応 ^(注1) の実施等、感応階梯と黄色階梯を連続させない。 ・黄色時間を可能な範囲で長く設定する。
6	FAST感応機能 (緊急車両の優先制御)	感応中は現在灯色のみを提供	現在灯色 (信号通行方向情報) を提供、提供可能な残秒数情報の分析と自動運転車両での活用可否を検討
7	現示 (ステータス) 切替機能	次サイクルも同ステータスが継続する前提で	(案1) 現示切替を実施している交差点の情報を公開

<ul style="list-style-type: none"> ・夜間点滅制御 ・特定時間帯における時差制御 (信号表示順序を切り替える機能) 	信号情報を提供	(案2) 現示切替の時間帯前後で一時的に運用を停止
--	---------	---------------------------

注1：車両青時間は、歩行者青(PG)、歩行者点滅(PF)、歩行者赤(PR)で構成される。

表 3.2.1 における検討方針として、提供可能な信号残秒数情報の分析と自動運転車両での活用可否について更なる検討が必要とした「リコール制御」及び「FAST感応機能」について詳細に考察することとする。

(2) リコール制御について

(a) 検討の目的

押ボタンや車両感知に基づいて現示¹が要求される「リコール制御」を実施している交差点では信号灯色の表示順序や表示タイミングを事前に確定することが困難である。このため、現状の交通信号制御機仕様では、信号情報の提供が困難かつ安全運転支援システムでの利用価値が低いと判断し、「リコール制御機能」と「DSSS信号情報出力機能」は競合不可の扱いとしている。

一方、自動運転の実現に向けては、ITS無線路側機から提供される信号情報の可用性を向上することが期待される。本節ではリコール制御交差点における信号情報提供の可能性や信号情報活用における課題について検討する。

(b) リコール制御の概要

リコール動作とは、指定された現示要求信号により現示を呼び出す動作をいう。

リコール動作には、孤立交差点等で、隣接交差点間と信号タイミングを連携させる系統動作を行っていない場合において、所定の信号階梯²を保持して現示要求信号を待つ「停止型」、隣接交差点との系統動作実行中の場合において、信号階梯を歩進しながら所定の灯色を保持する「回転型」の2つの方式がある。ITS無線路側機の整備対象である交通管制センタから遠隔制御される集中交差点においては、系統動作が実行されている場合が大多数であると想定される。よって、「回転型」での信号情報提供の可用性の検討が重要と考えられる。

なお、現示要求信号の数によって、1現示要求の場合はリコール1機能、2現示要求の場合はリコール2機能として区別される。また、運用されている交差点数は限定的であるが、車両現示要求あり時と歩行者現示要求あり時を区別して、それぞれのリコール現示を実現するリコール3機能がある。本節の事例考察においては、ITS無線路側機の整備対象の中心となる集中交差点を想定した回転型かつ「リコール1機能」を包含する拡張機能であり、動作が複雑で信号情報を活用する上で課題が多いと想定される「リコール2機能」を対象として、信号情報提供の可能性について検討する。

¹ 交差点における信号表示の組み合わせ単位

² 現示を構成する信号表示の切替最小単位

(7) 検討対象の区分

検討対象方式を表 3.2.2 に示す。

表 3.2.2 検討対象

	停止型	回転型
リコール1機能		
リコール2機能		○

(4) 信号現示の例

考察に用いる信号現示を図 3.2.1 に示す。

青  黄  赤 

階梯番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
主道路灯色									
リコール現示1									
リコール現示2									

図 3.2.1 信号現示

(5) 信号制御の動作

- ・リコール要求1、2とも記憶時

第1階梯終了までに要求を記憶した場合は、第1階梯終了時点で直ちに次階梯に進み、リコール現示1、リコール現示2の順に要求現示を実現する。

階梯番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
主道路灯色									
リコール現示1									
リコール現示2									

図 3.2.2 リコール要求1、2とも記憶時

- ・リコール要求1のみ記憶時

第1階梯終了までにリコール要求1のみが記憶状態のときは、第1階梯終了時点で直ちに次階梯に進みし、リコール現示1を実現する。

階梯番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
主道路灯色									
リコール現示1									
リコール現示2									

図 3.2.3 リコール要求1のみ記憶時

なお、リコール現示1を終了するまでに、リコール要求2が記憶状態になったときは、リコール現示1に続きリコール現示2を実現する。

階梯番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
主道路灯色	—	〰	—	—	—	—	—	—	—
リコール現示1	—	—	—	—	〰	—	—	—	—
リコール現示2	—	—	—	—	—	—	—	〰	—

図 3.2.4 リコール要求1記憶後、リコール要求2記憶時

・リコール要求2のみ記憶時

第1階梯終了までにリコール要求2のみが記憶状態のときは、リコール現示2のみ実現する。この時の動作はメーカー等によって異なり、2種類の表示方法が存在する。

階梯番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
主道路灯色	—	〰	—	—	—	—	—	—	—
リコール現示1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
リコール現示2	—	—	—	—	—	—	—	〰	—

図 3.2.5 リコール要求2のみ記憶時（リコール現示2を先出）

階梯番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
主道路灯色	—	—	—	—	〰	—	—	—	—
リコール現示1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
リコール現示2	—	—	—	—	—	—	—	〰	—

図 3.2.6 リコール要求2のみ記憶時（主道路を延長表示）

なお、図 3.2.5 の方式において、主道路現示を終了するまでに、リコール要求1が記憶状態になったときは、リコール現示2の前にリコール現示1を実現する。

階梯番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
主道路灯色	—	〰	—	—	—	—	—	—	—
リコール現示1	—	—	—	—	〰	—	—	—	—
リコール現示2	—	—	—	—	—	—	—	〰	—

図 3.2.7 リコール要求2記憶後、リコール要求1記憶時

・要求信号の記憶がないとき

第1階梯終了までにリコール要求1及びリコール要求2が共に記憶状態にならない場合は、第1階梯の灯色を保持する。

階段番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
主道路灯色									
リコール現示1									
リコール現示2									

図 3.2.8 要求信号の記憶がないとき

(エ) 提供可能な信号情報について

リコール制御交差点における信号情報提供についての課題を考察するため、典型的な条件における提供可能な信号情報を考察する。

「第1階段終了後 かつ リコール要求未受信」

多くの時間帯が本条件になると想定される。主道路の青時間については、次サイクルの第1階段が終了するまでの時間が最小秒数となる。また、最大秒数は確定できないため不明となる。

最小秒数は、実行中サイクルのサイクル開始から時間経過とともに減少し、第1階段終了時には、即時での灯色変化を表す0秒まで減少する。その後、非連続に増加し、次サイクルの第1階段終了までの秒数が提供される。

なお、次サイクルの動作は未確定のため、次サイクルの秒数には、固定の設定値である最小青時間を適用することが想定される。これより、次サイクルの開始時点で第1階段秒数が確定し、最小秒数が再び非連続に増加することとなる。

表 3.2.3 第1階段終了後かつリコール要求未受信

区分	灯色	最小秒数	最大秒数	灯色変化数	留意事項
主道路	青	サイクル終了まで＋ 第1階段（最小保障秒数）	不明	不明	最小秒数が非連続に変化する。 最大秒数及び次 サイクル終了ま での灯色変化数 は確定しない。
リコール 現示1	赤	サイクル終了まで＋ 階段1～3（最小保障秒数）	不明	不明	
リコール 現示2	赤	サイクル終了まで＋ 階段1～3（最小保障秒数）	不明	不明	

「第1階段終了前 かつ リコール1要求のみ受信」

主道路及びリコール現示1については残秒数が確定するため、信号情報を有効に活用できると考えられる。

表 3.2.4 第1階段終了前かつリコール1要求のみ受信

区分	灯色	最小秒数	最大秒数	灯色変化数	留意事項
主道路	青	階段1終了まで	階段1終了まで	不明	次サイクル終了までの灯色変化数は確定しない。
リコール現示1	赤	階段3終了まで	階段3終了まで	不明	
リコール現示2	赤	階段6終了まで	不明	不明	

「第1階段終了前 かつ リコール2要求のみ受信」

図 3.2.5 に示した方式の場合、主道路の青時間が確定するため、信号情報を有効に活用できると考えられる。しかし、第3階段の終了までにリコール要求1があればリコール現示1が実現されるため、リコール現示2の秒数は確定しない。

表 3.2.5 第1階段終了前かつリコール2要求のみ受信

区分	灯色	最小秒数	最大秒数	灯色変化数	留意事項
主道路	青	階段1終了まで	階段1終了まで	不明	第3階段終了まで、リコール現示2の秒数は確定しない。次サイクル終了までの灯色変化数は確定しない。
リコール現示1	赤	階段3終了まで	不明	不明	
リコール現示2	赤	階段3終了まで	階段6終了まで	不明	

(オ) まとめ

リコール現示要求信号の受付状態や受付タイミングによって提供可能な信号情報が変化する。そのため、信号残秒数の提供においては、最小秒数が非連続に増減すること、多くの場合で最大秒数が不明となること、次サイクル終了までの灯色変化数は確定できないこと等、通常とは異なる信号情報となる。自動運転車両側での情報処理が複雑となるため、リコール制御における信号情報を有効に活用するためには、実証実験等を通じた検証が必要と考えられる。

(3) F A S T 感応機能

(a) F A S T 感応機能の概要

F A S T 感応機能とは、F A S T 信号指令（緊急車両接近情報と緊急車両通過情報）を受信し、緊急車両を優先する様に感応階梯³（延長階梯及び短縮階梯）の表示時間をあらかじめ設定した置換時間に置き換える動作をいう。

延長階梯で当該のF A S T 信号が有りの場合は、延長用の置換時間に置き換えて、延長動作を行う。その延長動作中に当該のF A S T 信号が無しになった場合は、直ちに設定時間に戻す。その際、設定時間に達していない場合には、設定時間の計時が終了した時点で次階梯に進む。また、既に設定時間の計時が終了している場合には、直ちに次階梯に進むこと。

短縮階梯で、当該でないF A S T 信号が有りの場合は、短縮用の置換時間に置き換えて、短縮動作に入る。短縮用の置換時間の計時が終了した場合は、直ちに次階梯に進む。ただし、保証青時間の計時が終了していなければ計時が終了した時点で歩進する。短縮動作中に当該でないF A S T 信号が無しになった場合は、直ちに設定時間に戻す。その際、設定時間に達していない場合には、設定時間の計時が終了した時点で次階梯に進む。また、既に設定時間の計時が終了している場合には、直ちに次階梯に進む。図 3.2.9 に F A S T 感応機能の動作概要を示す。

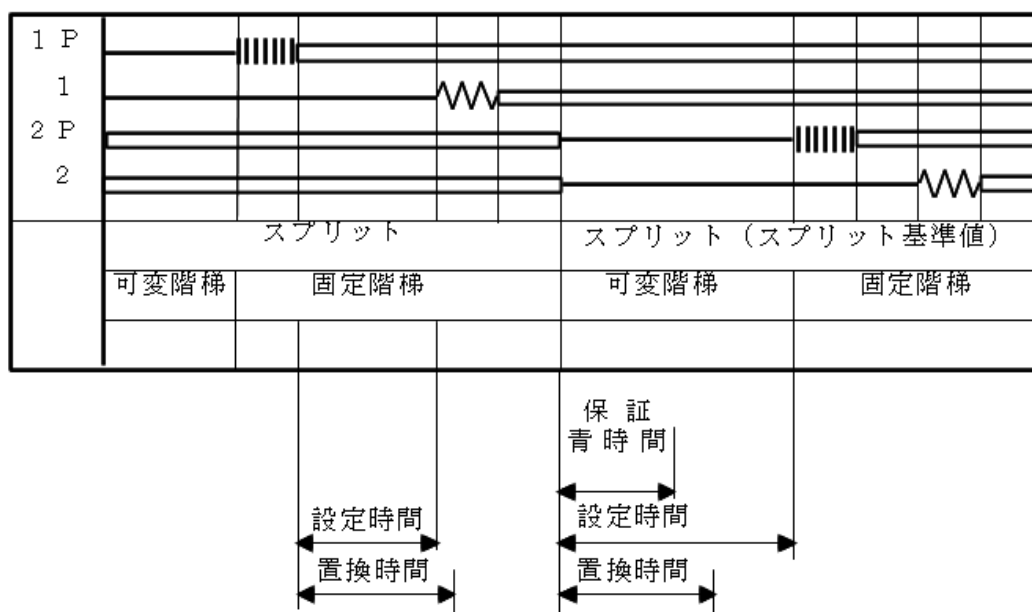


図 3.2.9 F A S T 感応機能の動作概要

(b) F A S T 感応中における信号情報提供について

F A S T 感応機能が実行されるシーンでは、当該交差点に緊急車両が接近中の状態にあり、一般車両は、信号灯色の状態によらず交差点への進入を回避するとともに、緊急車両の通行を妨げることがないように路側帯等に待避する義務がある。これより、F A S T 感応機能中は信号情報の有用性が低いと考えられるため、現状のD S S S 仕様では、信号残秒数を提供せず、現在灯色状態を表す「信号通行方向情報」のみを提供している。よって、自動運転車両のために信号残秒数を提供する仕様変更の検討に当たっては、F A S T 感応中に信号残秒数を活用で

³ 信号表示時間の延長又は短縮動作を行う階梯

きるシーンを抽出し、実証実験等を通じて、その活用機会の頻度等の有用性を明らかにする必要がありと考えられる。

3.2.2 信号情報の信頼性向上について

自動運転車両に信号情報を提供するためには、路側機が故障した場合等に対応したフェールセーフ機能を備えることで、その信頼性を確保する必要がある。これより、ITS無線を活用した既存の信号情報提供システムであるDSSS仕様を分析対象として、現状の課題を抽出するとともにフェールセーフ機能の拡充に向けた検討を行った。

(1) 現状のフェールセーフ機能と課題について

ITS無線路側機における信号情報提供のフェールセーフ機能としては、灯器の点灯・滅灯を制御している交通信号制御機の灯器出力I/F(AC100V)をITS無線路側機に引き込み、その電圧状態を監視することによって、灯器の点灯・滅灯に係わる物理状態を把握し、その灯器状態と信号情報が一致しない時間が設定許容範囲を逸脱した場合に、信号情報を異常と判定する二重化チェックの機能を備えている。

一方、現状仕様の課題は、監視できる灯器数が最大4点までに限定されていることである。自動運転車両に向けた信号情報提供に資する信頼性を担保するためには、監視対象灯器を、車両に通行権を付与する全ての灯器(青灯器、青矢灯器及び夜間等を実施される黄点滅、赤点滅)に拡張することが必要と考えられる。

(2) フェールセーフ仕様の見直しについて

監視灯器数を単純に増やした場合、灯器出力I/Fの工事結線が煩雑となること、ITS無線路側機の筐体開口部の大きさが限られ、接点入力端子数の増加は筐体の大型化等が必要となること等より、機器コスト増、工事コスト増が懸念される。よって、機器コスト増、工事コスト増を最小限に抑えながら、監視対象灯器を、全ての青灯器、青矢灯器にまで拡張することを要件と定義した。図3.2.10にフェールセーフ仕様見直しの概要を示す。全ての車両通行可灯色(青丸灯器、青矢灯器)について、交通信号制御機の灯器出力I/Fが出力する信号をシリアル通信に変換し、信号情報とは異なる独立したS10形回線を用いてITS無線路側機に出力する。ITS無線路側機では、これより取得した灯器状態と、別回線より取得した信号情報が一致しない時間が設定許容範囲を逸脱した場合に、信号情報を異常と判定する。

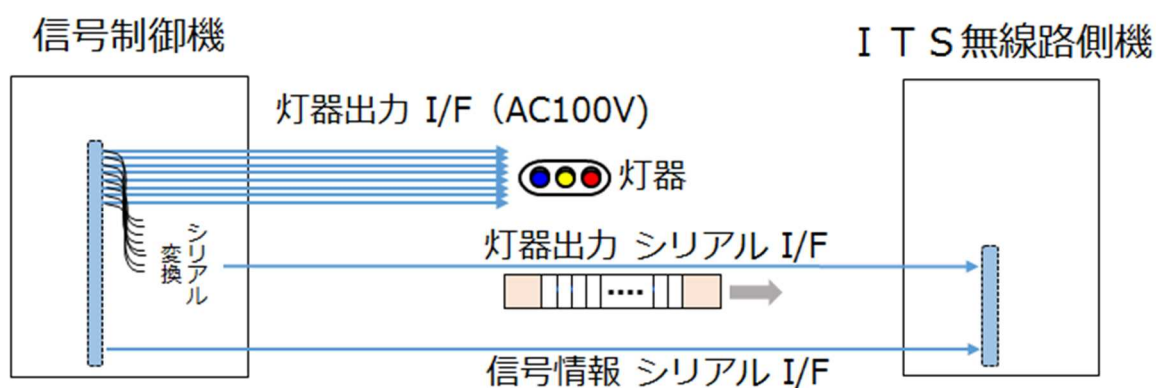


図 3.2.10 高度化フェールセーフ仕様の概要

3.2.3 自動運転車両向け路車間メッセージセットの検討

自動運転車両向け路車間メッセージセットの検討においては、ダイナミックマップとの連携によって、DSSSの整備・普及において課題となっている道路線形情報の作成及び道路工事等に伴うデータ保守に係わるシステム管理者の負担を軽減することを要件とした。また、現在、既にDSSS用に信号情報を提供するITS無線路側機の整備が始まっており、DSSS対応車載機の普及が立ち上がりつつある。これより、近い将来において、同一の交通信号制御機を情報源として、DSSS用信号情報^[5]と自動運転車両用信号情報が混在する状況が発生する。同一情報の二重提供は無駄であるだけ無く、無線通信帯域の圧迫、管理負荷等から避けるべきと考えられる。よって、DSSS向けメッセージと自動運転車両向けメッセージの共存を可能とすることを、もう一つの要件とした。表3.2.6にDSSSと共存する自動運転向けメッセージセット案を示す。今後、実証実験等を通じて、メッセージの混在等について問題がないかの検証が望まれる。

なお、現時点では、ダイナミックマップ側とITS無線路側機を運用管理する都道府県警察において、交差点ID等に係わる情報共有の範囲や規約等が未確定である。このため、東京臨海部実証実験では、ダイナミックマップとの連携に係わる技術検証を目的として、ITS無線路側機より提供される「交差点識別情報」に格納される交差点IDとダイナミックマップで規定された交差点IDとを紐付ける関連テーブルを車載機に保持することとした。

表 3.2.6 DSSS及び自動運転システムの共用について

No	区分	補足	提供するメッセージ
1	DSSS 専用時	DSSS仕様による。	道路線形情報 (ID=1) サービス支援情報 (ID=2) 信号情報 (ID=3)
2	DSSS 及び 自動運転 システム 併用時	信号情報をDSSSと自動運転システムの両システムで共用する。 自動運転用にダイナミックマップと連携するための交差点識別情報を提供する。 なお、DSSS対象方路を限定する場合は、サービス支援情報で対象方路を指定する。	道路線形情報 (ID=1) サービス支援情報 (ID=2) 信号情報 (ID=3) 交差点識別情報 (ID=10)
3	自動運転 システム 専用時	GPS電波受信環境等、DSSS導入の要件を満たしていない交差点を対象とする。 (3.3.1項参照)	信号情報 (ID=3) 交差点識別情報 (ID=10)

3.2.4 信号情報提供における遅延時間測定実験

(1) 実験の目的

I T S無線路側機より提供される信号情報には、実際の信号灯器における灯色変化と信号情報が車両に到達するタイミングの間に遅延時間が存在する。自動運転の実現に向けては、信号情報提供における遅延時間とそのゆらぎ時間の定量化とともに遅延時間の発生場所を特定し、自動運転に適用させる上での課題を明確にする必要がある。

本実験においては、既存のD S S Sシステムを対象として、交通信号制御機及びI T S無線路側機における遅延時間の計測を実施した。

(2) 実験機器構成

交通信号制御機単独の遅延時間計測に用いる実験機器構成を図3.2.11、システム全体（交通信号制御及びI T S無線路側機）の遅延時間計測に用いる実験機器構成を図3.2.12に示す。

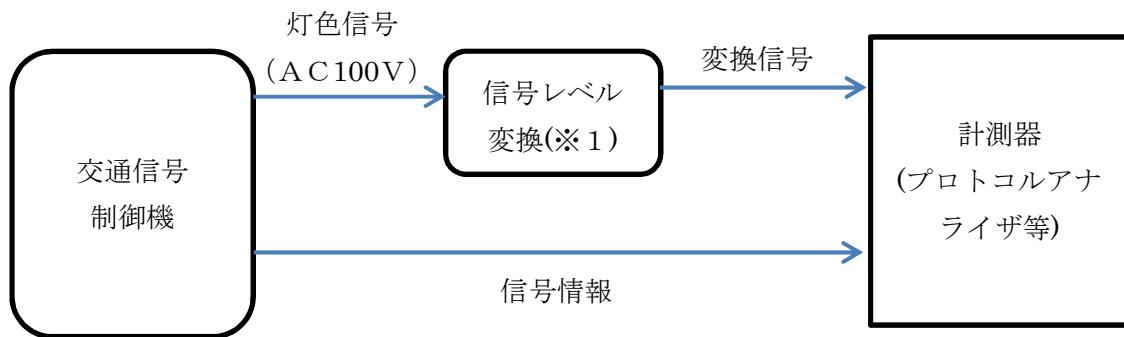
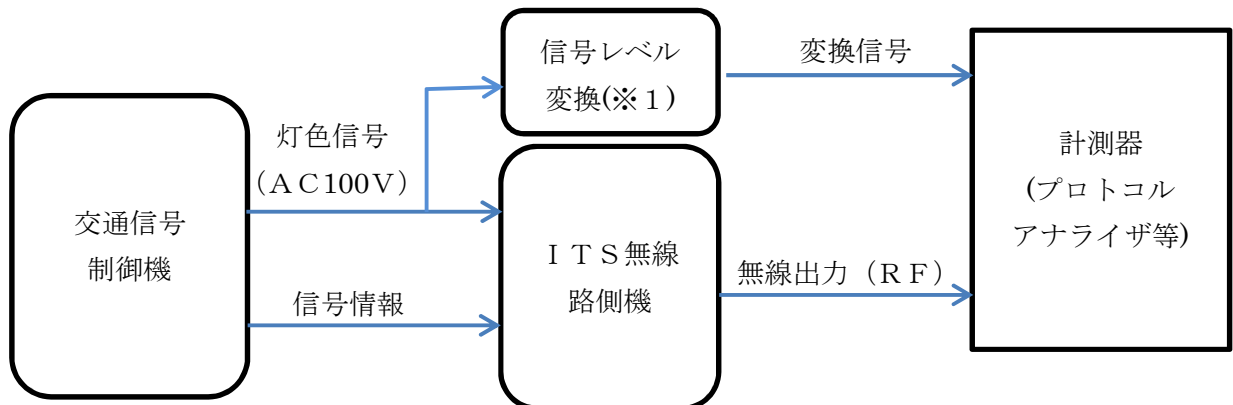


図 3.2.11 実験機器構成 1



※1：灯色信号(AC100V)を計測器で測定可能な信号レベルに変換する

図 3.2.12 実験機器構成 2

(3) 実験の条件

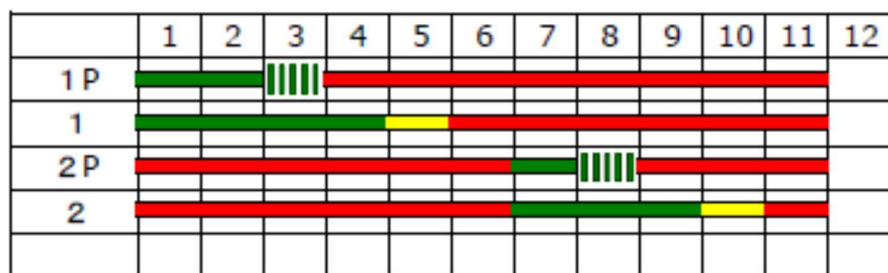
(a) 共通条件

①計測分解能は 10ms 以上とする。

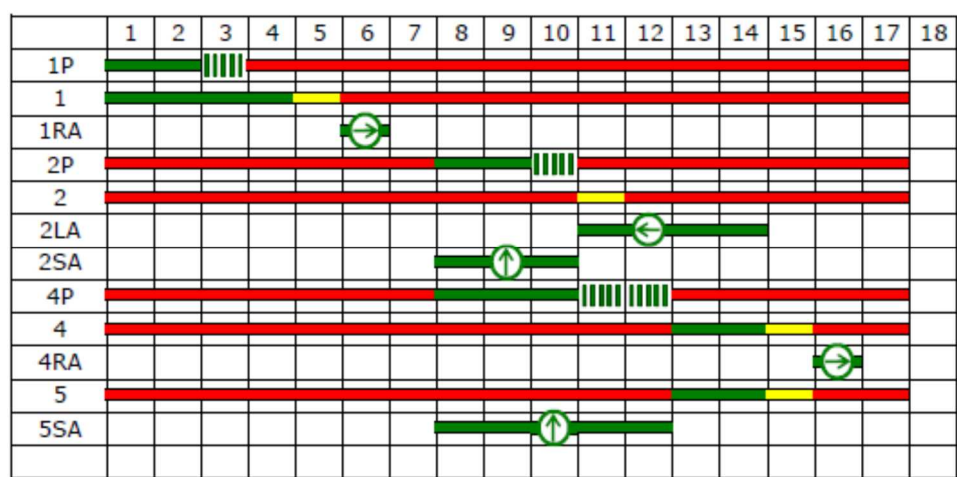
②実験用信号情報データ

信号情報のデータサイズは、標準的なデータサイズであるデータ 1 及び現実的にあり得る大きなデータサイズとなるデータ 2 の 2 種類を用いて計測を行う

データ 1 (実データ部 471byte / 4 方路交差点)



データ 2 (実データ部 543byte / 5 方路交差点)



(b) 交通信号制御機特有の条件

灯色信号においては、サイクル先頭の信号変化である「1 G信号」を出力する。

(c) I T S 無線路側機特有の条件

(ア) 変調方式は 16QAM1/2 を用いる。

(イ) 無線送信スロットはスロット 1 を用いる。

(ウ) スロット 1 の通信期間長は、実験で使用する信号情報が送信可能な通信期間長(最大の 3024 μ s 推奨)を用いる。

(エ) 信号情報は全方路を対象として提供する。また、信号情報のみを無線送信する。

(オ) 交通信号制御機の 1 G 開始タイミングと I T S 無線路側機の送信タイミング(G P S から得られる 1 P P S 信号タイミングに同期して、100ms 周期で送信)とのずれによる影響を評価するため、下記の 2 パターンにて計測を行う。

- ・ 100ms タイミング開始の 0 から 50ms にて 1 G 信号が O N になる場合

・100ms タイミング開始の 50~100ms にて 1 G 信号が ON になる場合

(d) 計測省略箇所について

(ア) 計測タイミング

信号情報の出力タイミングのうち、サイクル開始である 1 G タイミング（第 1 階梯）の立ち上がりは、灯色信号立ち上がりタイミングが確実に一致し、もっとも直接的に信号情報の遅延時間を計測できる。これより、信号制御のサイクル開始である 1 G タイミングのみを計測対象とする。

(イ) 信号レベル変換の時間

灯色信号（AC100V）から計測器計測用信号への変換時間は、ハードによるレベル変換のみであり、計測分解能と比較して十分小さいと考えられる。これより計測対象外とする。

(ロ) 交通信号制御機の灯色信号出力から車灯器点灯までの時

LED 灯器を前提とすれば、車灯器の点灯までの時間は計測分解能と比較して十分小さいと考えられる。これより計測対象外とする。

(ハ) ITS 無線路側機の送信スロット位置による影響時間

送信スロットは $\pm 16 \mu s$ の同期精度を持つ。スロット位置のずれは机上計算可能なことから先頭のスロット 1 のみの計測に限定する。

(ニ) ITS 無線路側機の無線出力以降の時間

無線出力から車載機で受信されるまでの時間は、路側機の動作に依存しない。これより計測対象外とする。

(ホ) 交通信号制御機の 1 G 信号と ITS 無線路側機の 1 P P S 信号のずれ時

送信周期と 1 P P S 信号は $\pm 16 \mu s$ の同期精度を持つ。送信スロット 1 番を使う本実験条件下では、無線送信開始位置が送信周期のタイミングとなる。送信開始位置を計測することで 1 G とのずれは机上計算可能となる。これより計測対象外とする。

(4) 計測内容

(a) 交通信号制御機

(ア) 計測箇所

灯色信号（1 G）の立ち上がりから信号情報の出力完了までを計測する。

(イ) 計測方法

計測器にて、灯色信号の立ち上がりを計測開始トリガーとし、信号情報の出力完了（分割フレーム含め、最終フレームの送信完了）までの時間を計測する。

(ロ) 計測パターンと回数

各現示パターンにおいて、それぞれ 30 回計測する。

(b) ITS 無線路側機

(ア) 計測箇所

灯色信号（1 G）の立ち上がりから無線出力完了までを計測する。

なお、参考情報として、送信周期と交通信号制御機の 1 G 信号とのずれの影響を確認するため、無線出力開始までについての計測も行う。

(イ) 計測方法

計測器にて、灯色信号（1 G）の立ち上がりを計測開始トリガーとし、信号情報の無線出力完了までの時間を計測する。

(ウ) 計測パターンと回数

2種類の現示パターンと2種類の1Gタイミングを組合せた4パタンのケースにおいて、それぞれ30回計測する。

(5) 計測結果

交通信号制御機については4ベンダーの機器、システム全体（交通信号制御機及びITS無線路側機）については2ベンダーのシステムを対象として計測を行った。表3.2.13及び表3.2.14に計測結果を示す。

表 3.2.13 交通信号制御機における遅延時間 (ms)

機種	信号データ	最小値	最大値	平均値	分散
A	データ1	137	150	141	8
	データ2	185	197	188	7
B	データ1	150	173	162	43
	データ2	234	259	246	47
C	データ1	190	230	206	103
	データ2	270	350	296	230
D	データ1	126	248	234	27
	データ2	296	320	309	6

表 3.2.14 システム全体（交通信号制御機及びITS無線路側機）における遅延時間(ms)

機種	信号データ	最小値	最大値	平均値	分散
A	データ1	291	393	339	935
	データ2	341	439	393	663
B	データ1	221	330	268	941
	データ2	258	379	324	944

(6) 実験結果のまとめ

交通信号制御機における平均遅延時間は約150ms~300ms、平均値に対する最小値と最大値のゆらぎ幅は最も大きい機種において±100ms程度であった。

一方、ITS無線路側機を含めたシステム全体における平均遅延時間は約250ms~400ms、平均値に対する最小値と最大値のゆらぎは概ね±100ms未満に収まっていた。

3.3 ITS無線路側機による信号情報提供に係る制約条件の整理

既存の信号情報提供システムであるDSSSではシステム適用対象交差点に対して制約条件がある。自動運転に向けてはこれらの制約条件の見直しが必要と考えられる。また、前節までの検討結果より、信号情報には提供遅延のゆらぎに起因する誤差があること、交通信号制御機の動作状態や信号制御の内容によっては、信号残秒数情報を提供することが困難な場合があることが明らかになった。ここでは、信号情報提供におけるこれらの課題が、自動運転に与える影響について考察する。

3.3.1 DSSSにおけるシステム適用対象交差点

DSSSでは、表 3.3.1 に示すように、主に車載機側の処理負荷や自車位置標定精度の制約からシステム適用対象交差点・適用対象方に制約条件を設けている。これより、自動運転車両の実現に向けては、システム適用対象交差点の拡大が課題になると考えられる。

表 3.3.1 DSSSにおけるシステム適用対象交差点について

区分	DSSSにおける主な制約	制約理由
道路構造	交差点間の道程距離が、通常の走行速度から停止に必要な距離を確保できていること	車載機において、複数交差点の信号情報に対する同時並行処理が困難なため
	サービス対象道路と並走する車両通行道路がある場合は、適用対象外とすること	サービス対象交差点の誤認識の影響があるため
無線通信	通常の走行速度から停止に必要な無線通信エリアが確保できていること	信号情報を受信した地点をサービス起点として、安全に停止できる距離を確保するため
GNSS環境	GNSS衛星からの電波が物理的に届かない場所（高架下、トンネルなど）や電波受信状態が悪い場所は適用対象外とすること	サービス対象交差点の誤認識の影響があるため

3.3.2 信号情報におけるゆらぎの扱い

信号情報におけるゆらぎに関する考え方を、図 3.3.1 に示す。インフラから配信される信号灯色の切り替わりタイミングにゆらぎが発生した場合、車両センサー等での認知結果と不整合が発生し、信号灯色を確定できない状態である、グレーゾーン①及びグレーゾーン②が存在してしまう。グレーゾーン①においては、信号灯色が青色か黄色かが判断できないため、停止に向けた減速が開始できなくなり、事前の予備減速を早く実施する必要性が発生するといった課題が生じる。グレーゾーン②においては、信号灯色が黄色か赤色かが判断できないため、本来であれば交差点を通過できていた車両も停止側に倒さざるを得なくなってしまうといった課題が生じる。

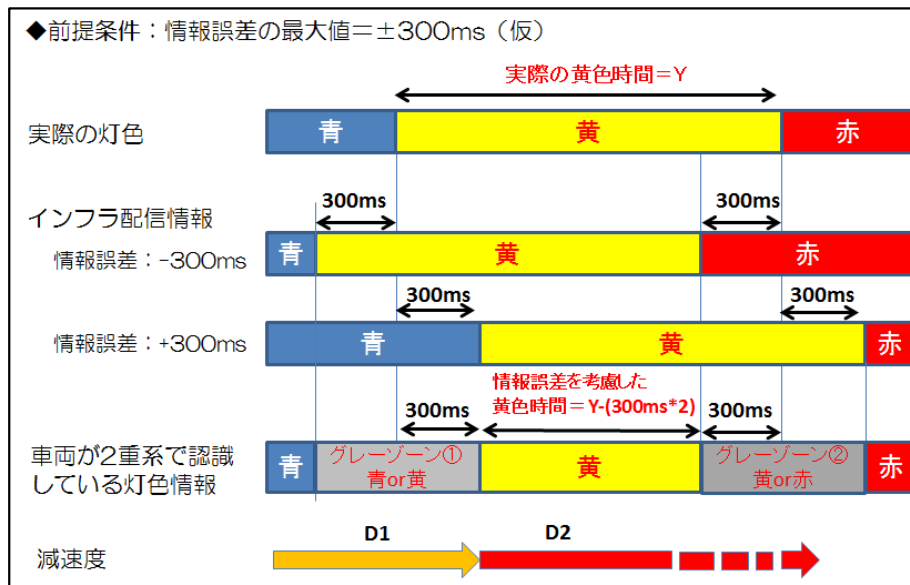


図 3.3.1 信号情報のゆらぎに関する考え方

3.3.3 信号残秒数を提供できない場合の対応

特定の条件においては、信号残秒数を確定値として提供できない状態が発生する。このような状態においては、車両単独の自律制御によって減速をして、ジレンマゾーンへの進入を回避する必要がある。

運転モデルの一例を図 3.3.2 に示す。ジレンマゾーンが発生する下限速度を V_2 、下限位置を X_2 とした場合、 X_2 に到達するまでに V_2 まで減速を開始し、 X_2 到達前に黄色になった場合は停止、青信号が継続している場合は加速して交差点を通過するということが考えられる。

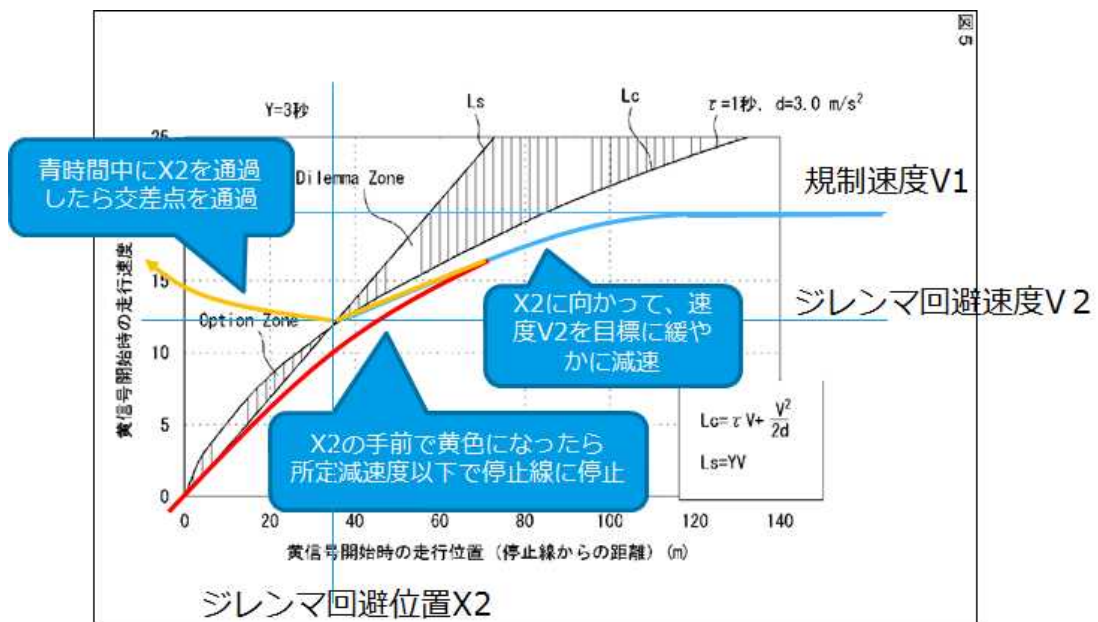


図 3.3.2 ジレンマゾーンを回避する運転モデルの例

4. 自動運転車両向けに信号情報配信を行う路側機の仕様書案

東京臨海部実証実験に向けた仕様書案、関連規格案として、別添1、4、5、6、7を策定するとともに、これらにフェールセーフ機能の高度化方策を追記した仕様書案として、別添2及び別添3を策定した。

【仕様書案】

- 別添1 ITS無線路側機仕様化検討提案書 東京臨海部実証実験版
- 別添2 ITS無線路側機仕様化検討提案書
- 別添3 交通信号制御機仕様化検討提案書

【関連規格案】

- 別添4 ITS無線路側機通信アプリケーション共通規格 東京臨海部実証実験版
- 別添5 ITS無線路側機DSSS及び自動走行システム用路側機通信アプリケーション規格 東京臨海部実証実験版
- 別添6 ITS無線路側機DATEX-ASNメッセージ共通規格 東京臨海部実証実験版
- 別添7 ITS無線路側機DSSS及び自動走行システム用DATEX-ASNメッセージ規格 東京臨海部実証実験版

5. 今後の課題

路側インフラから提供される信号情報を活用した自動運転技術の実用化に向けては、今後も継続した調査研究や実証実験等を通じた検証が必要と考えられる。下記に想定される主な課題を示す。

5.1 東京臨海部実証実験での課題

- ・自動運転におけるITS無線路側機から提供される信号情報の有用性に関わる検証
 - 安全への寄与：信号停止における急減速の減少等
 - 円滑への寄与：青信号発進遅れの減少等
- ・仮定した自動運転モデルについての受容性等の検証
 - 予備減速等の自動運転モデルの社会受容性、周辺車両に与える影響

5.2 将来の課題

- ・路側インフラの高度化に係わる要件の確定、試作及び検証
 - フェールセーフ機能の拡充
 - 信号残秒数が不定となる場合の対策
- ・自動運転混在に対応した感応制御の運用ルールや黄色時間の設定等、信号制御の運用に関わるガイドラインの整理

結び（総括および結論）

本調査を通じて、路側インフラから提供される信号情報を活用した自動運転の実用化に向けた技術的課題を抽出するとともに、路側インフラの機能要件とその高度化に向けた方策を洗い出すことができた。

本事業で策定した仕様書・関連規格による路側インフラは、車両OEM各社が参加される東京臨海部実証実験によって、その有用性が検証される計画である。また、将来に向けて策定したフェールセーフ高度化仕様についての検証も実施が見込まれている。これらの検証結果を通じて得られた成果は、将来の自動運転システムにおける路側インフラの標準とすることが求められる。

最後に、本調査にあたり、ご協力を賜った関係者各位、自動運転における信号情報の活用について専門的な知見をご提供いただいた委員会メンバ各位に深く感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 警察庁, “警交仕規第 1030 号 I T S 無線路側機 仕様書”
- [2] 片岡源宗ほか, “地域差を考慮した信号切り替わり時における停止判断挙動分析”, 土木計画学研究・講演集(CD-ROM) 2005 年 06 月
- [3] 警察庁, “警交仕規第 1012 号 交通信号制御機 仕様書”
- [4] (一社) U T M S 協会, “安全運転支援システム (D S S S レベル II) システム定義書 - 電波システム編 - “
- [5] (一社) U T M S 協会, “I T S 無線路側機 D S S S 用 路車間通信アプリケーション規格 “

