



2020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研究開発」

成果報告書

2020年11月

一般社団法人UTMS協会
住友電気工業株式会社

「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協会及び住友電気工業株式会社が実施した「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研究開発」の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	事業目的	1
1.2	事業概要	1
1.3	研究の方法	2
2.	自動運転車両向けの信号情報を提供する ITS 無線路側機の機能・技術要件 の詳細化	5
3.	自動運転用インフラに求められる信頼性の確保について	7
3.1	フェールセーフ機能要件について	7
3.2	既存のフェールセーフ機能と課題について	7
3.3	自動運転用インフラにおけるフェールセーフ仕様案	7
3.4	異常判定処理について	8
3.5	一次試作仕様書の作成	9
3.6	一次試作検証実験の概要	10
3.7	検証実験の内容	12
3.8	検証実験結果	16
3.8.1	実験 1 の検証	16
3.8.2	実験 2 の検証	19
3.8.3	計測結果の考察	29
3.8.4	計測結果のとりまとめ	29
4.	自動運転車両に提供される信号情報の可用性向上について	31
4.1	特殊な信号制御の検討	31
4.2	信号情報の可用性における課題の抽出	31
4.3	対応方針の検討	32
5.	新たな技術要件の検討	35
5.1	F A S T 制御実行中の信号情報提供	35
5.1.1	想定シーン 1	35
5.1.2	想定シーン 2	36
5.2	リコール制御交差点における信号情報提供	36
5.2.1	リコール 1 機能の概要	36

5.2.2	リコール機能における信号情報提供仕様について	37
5.3	路車間メッセージセットの見直し	40
5.3.1	データ項目追加の目的	40
5.3.2	二次試作における追加データ仕様案	40
5.4	二次試作検証実験の概要	42
5.4.1	検証実験の内容	43
5.4.2	リコール1機能対応の検証	45
5.4.3	FAST感応時残秒数提供対応	49
5.4.4	ステータス変更時の特定制御動作中フラグ対応	54
5.5	検証まとめと今後の検討課題	57
6.	実証実験結果のフィードバック	58
6.1	テストコース実験の概要	58
6.2	実験方法	60
6.2.1	信号制御の設定	61
6.3	実験結果	63
6.3.1	実験1、2、3、4（感応制御時の試験）	63
6.3.2	実験5、6、7（現示変化時の試験）	63
6.4	テストコース実験結果の検証	64
6.4.1	信号情報提供の遅延時間に関する考察	64
6.4.2	信号現示切り替わり時の信号情報提供について	65
6.4.3	検証後の課題	66
6.5	東京臨海部実証実験の課題	67
6.6	テストコース検証結果及び実証実験を踏まえた機能・技術要件の詳細化	68
7.	自動運転用インフラ仕様書の見直し	69
8.	信号情報提供手法の比較検討	70
9.	まとめ	72
9.1	研究成果	72
9.2	今後の課題	74

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研究開発」において、自動運転車両に特化した信号情報提供に係る路側インフラの高度化に向けて、路側インフラの機能・技術要件の詳細化、試作機の作成・検証等を踏まえた仕様書の見直しに係る検討を目的として実施するものである

研究開発の成果と達成状況

1. 研究事項

本調査研究において実施した研究事項を示す。

- ① 自動運転車両向けの信号情報を提供する ITS 無線路側機の機能・技術要件の詳細化

【担当 一般社団法人 U T M S 協会】

- ② 第一次検証のための仕様書等の作成

【担当 一般社団法人 U T M S 協会】

- ③ フェールセーフ機能等の新たな機能の第一次試作及び検証

【担当 住友電気工業株式会社】

- ④ 特殊な信号制御実行時における信号情報の評価

【担当 住友電気工業株式会社】

- ⑤ 第二次検証のための仕様書等の作成

【担当 一般社団法人 U T M S 協会】

- ⑥ 特殊な信号制御実行時における信号情報提供機能の第二次試作及び検証

【担当 住友電気工業株式会社】

- ⑦ 試作検証結果及び東京臨海部実証実験等を踏まえた自動運転向けインフラ仕様書案の策定

【担当 一般社団法人 U T M S 協会】

- ⑧ ITS 無線以外の信号情報提供手法との比較

【担当 一般社団法人 U T M S 協会】

2. 成果と達成状況

2.1 ①について

2018 年度に検討した自動運転車両向けの信号情報を提供する ITS 無線路側機（以下「自動運転用 ITS 無線路側機」という。）の仕様書案を踏まえ、自動運転用の信号情報の主な機能要件として以下の 3 項目を定義し、それぞれの実現に向けたインフラ路側機器（交通信号制御機及び自動運転向け ITS 無線路側機）における技術課題の導出を実施した。

- ・ 信号情報と実際の灯色の誤差を $\pm 300\text{ms}$ 以下とすること
- ・ 灯器状態と信号情報の一致を確認し、異常発時に車両に通知するフェールセーフ機能を実装すること
- ・ 様々な信号制御方式において信号情報提供を実現すること

2.2 ②について

自動運転用インフラに求められる信頼性を担保する新たな機能として、信号灯器の点灯状態と交通信号制御機から出力された信号情報の一致、整合性を検証するフェールセーフ機能要件を導出し、自動運転用 ITS 無線路側機及び交通信号制御機それぞれにおける機能分担・技術仕様を整理し、一次試作仕様書として取り纏めを実施した。

2.3 ③について

②項の技術仕様に基づく一次試作として、交通信号制御機、自動運転用 ITS 無線路側機への機能追加を行った。また、試作開発したインフラ機器を用いて、所定のフェール状態（信号情報と灯色の不整合状態）に対して異常を検出可能かの機能検証及びフェール状態発生から検出されるまでの遅延時間の計測実験を実施した。以下に測定結果の概要を示す。

- ・新規開発した現在灯色情報の伝送遅延は約 40ms±30ms であった。2018 年度に計測した信号情報の伝送遅延（約 150～300ms）と比較して十分に小さいことが確認された。

- ・実際の信号灯色変化から無線 RF 出力までの遅延時間について、2018 年度に計測した機能追加以前の遅延時間（約 400ms）から、ほぼ変化がないことが確認された。

- ・フェール状態（信号情報と灯色の不一致）を発生させた時に、当該の異常状態を検出し、信号情報を無効化できることが確認された。

- ・フェール状態（信号情報と灯色の不一致）発生時から信号情報が無効となるまでの時間の測定を行った結果、通常 3 色状態において、およそ 500ms 以下、閃光状態において、およそ 1 秒以下の遅延時間内にて、フェールセーフの判定を行うことができることを実証した。

2.4 ④について

(1) 実験参加者へのヒアリング

2019 年 10 月から開始された「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）」における東京臨海部実証実験に参加し、本調査委員会にも参加いただいている日本自動車自工業会や信号機メーカーと意見交換を実施するとともに、警察庁のご協力の下、全国都道府県警殿における信号制御の運用状況についてヒアリングを行い、黄色信号時間の全国標準化、感応制御実行時は黄色開始の数秒前に青時間を確定することが望ましいといった現状システムにおける信号情報の要望事項を取り纏めた。また、東京臨海部実証実験で明らかになった GPS 同期異常の発生状況等の ITS 無線路側機の課題を共有した。

(2) テストコース実験

感応制御や閃光制御等といった特殊な信号制御時における信号情報について、現行仕様の ITS 無線路側機等を用いて、その配信状況をテストコースにて再現し、提供される信号情報が自動運転の制御活用に資するかについての検証を実施した。テストコース実験結果より、青信号を即時打ち切りする感応制御実行時において、提供遅延による信号情報誤差が 500ms 発生し、機能要件が未達となることを確認した。この対策としては、該当する信号制御を実施している交差点において、その事象発生を事前通知する路車間メッセージの改訂仕様案等を検討した。

2.5 ⑤について

自動運転用インフラに求められる信号情報の可用性向上を目的として、信号情報提供が困難と考えられる特殊な信号制御として、緊急車両を優先する FAST 制御、歩行者押しボタン等によって青信号を呼び出すリコール制御を抽出し、FAST 制御中に提供可能な信号情報仕様及び特殊制御モードの運用状態を車に通知するための追加データ項目の仕様案を作成し、車側での利用方法について検討した。また、複数の方式が存在するリコール制御については、実態調査の結果、運用数が最も多い方式 1 を対象として、信号情報仕様について検討を実施した。

上記の検討結果に基づいて、交通信号制御機における技術仕様を整理し、二次試作仕様書として取り纏めを実施した。

2.6 ⑥について

⑤項の技術仕様に基づく二次試作として、交通信号制御機への機能追加を行った。また、試作開発したインフラ機器を用いて、所定の信号制御状態において仕様に沿って信号情報が出力されることを確認した。

2.7 ⑦について

一次及び二次試作機より得られた検証結果、テストコース実験及び東京臨海部実証実験から得られた知見を踏まえ、自動運転を実現する信号情報提供インフラの最終技術仕様を決定し、本調査研究の成果物として以下に示す仕様書案・規格案を策定した。

- ・「交通信号制御機 仕様化検討提案書（2020 警 a 改訂案）」
- ・「ITS 無線路側機仕様化検討提案書（2020 警 a 改訂案）」
- ・「路車協調型 DSSS 用交通信号制御機通信アプリケーション規格（2020 警 a 改訂案）」
- ・「ITS 無線路側機 DSSS 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（2020 警 a 改訂案）」

2.8 ⑧について

2019年度に実施された調査研究「ITS無線路側機等の路車間通信以外の手法による信号情報の提供に係る研究開発」の結果と当研究開発の結果を基に、信号情報提供手法の機能、コストなどの観点からメリット・デメリットについて比較検討を実施した。

和文要約

本調査は、2018年度に実施した、路側インフラからの信号情報提供に係る国内外の調査及び自動運転車両に特化した信号情報提供に係る路側インフラの高度化方策の検討結果を踏まえ、路側インフラの更なる機能・技術要件の詳細化、試作機の作成・検証等を踏まえた仕様書の見直しに係る検討を行うことを目的として実施したものである。

本調査研究において達成すべき自動運転用信号情報の主な機能要件として、以下の3項目を定義した。

- ・ 信号情報精度は、信号情報と実際の灯色の誤差を±300ms以下とすること
- ・ 信頼性向上として、灯器状態と信号情報の一致を確認し、異常発時に車両に通知するフェールセーフ機能を実装すること
- ・ 可用性向上として、様々な信号制御方式において信号情報提供を実現すること

自動運転用インフラに求められる信頼性を担保する新たな機能としては、信号灯器の点灯状態と交通信号制御機から出力された信号情報の一致、整合性を検証するフェールセーフ機能要件を一次試作仕様書として取り纏め、試作開発したインフラ機器を用いて、所定のフェール状態（信号情報と灯色の不整合状態）に対して異常を検出可能かの機能検証及びフェール状態発生から検出されるまでの遅延時間の計測実験を実施した。

可用性向上に向けては、本調査委員会にも参加いただいている日本自動車工業会や信号機メーカーと意見交換を実施するとともに、警察庁のご協力の下、全国都道府県警殿における信号制御の運用状況についてヒアリングを行い、黄色信号時間の全国標準化、感応制御実行時は黄色開始の数秒前に青時間を確定することが望ましいといった現状システムにおける信号情報の要望事項を取り纏めた。その他、テストコース実験として、感応制御や閃光制御等といった特殊な信号制御時における信号情報について、現行仕様のITS無線路側機等を用いて、その配信状況をテストコースにて再現することで、提供される信号情報が自動運転の制御活用に資するかについての検証を実施した。また、信号情報提供が困難と考えられる特殊な信号制御として、緊急車両を優先するFAST制御、歩行者押しボタン等によって青信号を呼び出すリコール制御を抽出し、これらを対象に信号情報提供機能の拡張について検討を実施、二次試作として交通信号制御機への機能追加を行った。これらの一次及び二次試作より得られた検証結果、テストコース実験及び東京臨海部実証実験から得られた知見を踏まえ、自動運転を実現する信号情報提供インフラの最終技術仕様を決定し、本

調査研究の成果物として、自動運転用インフラ仕様書案・規格案を策定した。

なお、2019年度に実施された調査研究「ITS無線路側機等の路車間通信以外の手法による信号情報の提供に係る研究開発」の結果と当研究開発の結果を基に、信号情報提供手法の機能、コストなどの観点からメリット・デメリットについて比較検討を実施した。路車間通信以外の手法については、2020年以降にモデル実験が計画されており、これらの結果を踏まえ、信号制御方式や信号情報を活用したユースケースに応じた適切な提供方式棲み分けの整理が期待される。

英文要約

This research was conducted based on the previous research in FY2018, which are domestic and overseas surveys on the usecases of provision of signal information from roadside infrastructure and the examination of the roadside infrastructure related to the provision of signal information specialized for automated driving. The purpose of this research is to revise the specifications by clarifying functional and technical requirements as the roadside infrastructure specialized for automated driving and developing prototype systems for its verification. Firstly, we defined the following three requirements for traffic signal information for automated driving.

- Accuracy. The error between signal information and the actual traffic light status should be $\pm 300\text{ms}$ or less.
- Reliability. To implement a fail-safe function that confirms the consistency between traffic light status and signal information and to notify abnormality occurrences to vehicles immediately.
- Availability. To realize provision of signal information in various signal control methods.

In order to secure the reliability required to the infrastructure for automated driving, we defined technical requirements as a fail-safe function that verified the consistency between the traffic light status and signal information and drafted new specifications for roadside infrastructure, which are for traffic signal controller and ITS radio roadside unit. In addition, based on these new specifications, 1st step prototype system was developed to verify this fail-safe function. And functional evaluation of whether or not a fail status could be detected and measurements of delay time from occurrence of a failure state to detection were performed.

Furthermore, in order to improve the availability of signal information required for automated driving, we exchanged opinions with Japan Automobile Manufacturers Association and signal controller manufacturers who were also participating in this investigation committee, we also collected opinions from prefectural police departments with the cooperation of the National Police Agency. Then we summarized the issues related to signal control for automated driving, such as appropriate yellow time and operational conditions of actuated control. In addition, a review was conducted on experiment plans on a test course to verify these issues. At the test course experiment, infrastructure system was built outdoors simulating a real road. There, various signal control such as actuated control and flash control

were performed, and the history of signal information was collected with experimental equipment. By doing so, we verified whether the signal information could contribute to the utilization of automated driving. We also specified special signal control methods that are considered to be difficult to provide signal information, such as “FAST control” giving priority to emergency vehicles, “Recall control” emerging green light according to the request from pedestrian push buttons. Then we examined the expansion of the signal information provision function for these controls, and revised infrastructure specifications for a secondary prototype system. Based on the verification results obtained from primary and secondary prototypes, the knowledge obtained from the test course experiment and from FOT in Tokyo waterfront area, the final technical specifications of the signal information provision infrastructure that realizes automated driving were determined.

Furthermore, based on the results of a research related to provision of signal information via the cloud conducted in 2019 and the results of this research, we compared the advantages and disadvantages of both methods from the technical and operational viewpoints. As for the provision method via the cloud, model experiments are planned after 2020, and based on these results, it is expected that the appropriate provision method of signal information according to both the use case and signal control methods will be sorted out.

本文

1. はじめに

1.1 事業目的

交通事故の低減や交通渋滞の削減、高齢者や移動制約者の方々のモビリティの確保といった社会的課題の解決に加え、物流や移動に係る新たなサービスやビジネスの創出など自動運転がもたらす社会変革への大きな期待があることを背景に、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）においては、自動運転を実用化し普及拡大していくことにより、交通事故の低減、交通渋滞の削減、交通制約者のモビリティの確保、物流・移動サービスのドライバー不足の改善・コスト低減等の社会的課題の解決に貢献し、すべての人が質の高い生活を送ることができる社会の実現を目指している。

SIP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。

本調査では、2018年度に実施した、路側インフラからの信号情報提供に係る国内外の調査及び自動運転車両に特化した信号情報提供に係る路側インフラの高度化方策の検討結果を踏まえ、路側インフラの更なる機能・技術要件の詳細化、試作機の作成・検証等を踏まえた仕様書の見直しに係る検討を行うことを目的とした。

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、2018年度に検討した自動運転車両向けの信号情報を提供する路側インフラ（ITS無線路側機、交通信号制御機等）の仕様書案を踏まえ、次の事項を実施した。

- ①自動運転車両向けの信号情報を提供するITS無線路側機の機能・技術要件の詳細化
- ②第一次検証のための仕様書等の作成
- ③フェールセーフ機能等の新たな機能の第一次試作及び検証
- ④特殊な信号制御実行時における信号情報の評価
- ⑤第二次検証のための仕様書等の作成
- ⑥特殊な信号制御実行時における信号情報提供機能の第二次試作及び検証

⑦ 試作検証結果及び東京臨海部実証実験等を踏まえた自動運转向けインフラ仕様書案の策定

⑧ ITS 無線以外の信号情報提供手法との比較

1.3 研究の方法

警察庁、信号機等のインフラメーカー、カーメーカー、日本自動車工業会の参画を得た委員会(以下「委員会」)を一般社団法人 UTMS 協会(以下「協会」)内に設置し、委員からの提案、ヒアリング等を通じて研究開発を行った。表 1.3.1 に委員会参加団体及び企業、図 1.3.1 に研究開発体制を示す。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
インフラメーカー	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 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
カーメーカー等	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(以下、自工会)
行政機関 業界団体	一般社団法人 UTMS 協会 警察庁交通局

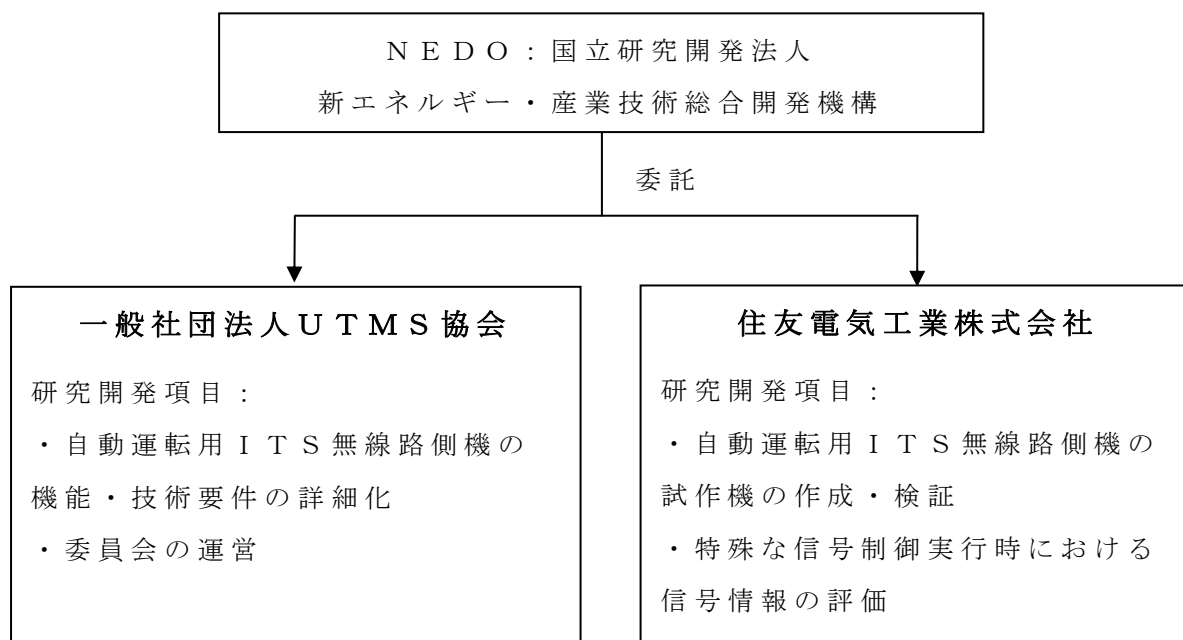


図 1.3.1 研究開発体制

表 1.3.2 委員会の開催時期、議事

開催時期		主な議題
第 1 回	2019/7/26	・調査研究実施計画案レビュー
第 2 回	2019/8/29	・一次試作機仕様書案レビュー
第 3 回	2019/9/24	・一次試作試験仕様書案レビュー ・テストコース実験方法案について
第 4 回	2019/11/11	・一次試作試験仕様書見直し ・アンケート調査結果について
第 5 回	2019/12/20	・フェールセーフ機能詳細化 ・テストコース実験計画
第 6 回	2020/2/14	・リコール制御等、特殊な制御における信号情報仕様について
第 7 回	2020/3/13	・一次試作検証結果レビュー ・テストコース実験結果レビュー ・中間年報レビュー (書面審議)
第 8 回	2020/4/24	・一次試作検証結果(追加)レビュー ・2020年度実施計画案レビュー (書面審議)

第 9 回	2020/6/5	・ 二次試作方針案レビュー (書面審議)
第 10 回	2020/7/28	・ 二次試作の進捗報告 ・ 最終仕様書案レビュー ・ 信号情報提供手法の比較について
第 11 回	2020/10/23	・ 成果報告書のレビュー

2. 自動運転車両向けの信号情報を提供する ITS 無線路側機の機能・技術要件の詳細化

2018 年度に実施した調査研究を踏まえた委員会審議に基づいて抽出した信号情報への主な要望事項を表 2.1 に示す。ITS 無線路側機による信号情報提供においては、1 項及び 2 項については既に要求される機能要件を満足することを概ね確認できている。これより、本調査研究においては、「信号情報の信頼性確保」及び「信号情報の可用性確保」を主とする調査研究及び「テストコース等における信号情報検証結果のフィードバック」を実施した。

表 2.1 信号情報への主な要望事項

項番	項目	概要	機能要件
1	信号灯色情報の精度	信号灯色切り替わりタイミングにおけるずれ（提供遅延時間）の許容時間	誤差±300ms 以内
2	信号残秒数情報の確定タイミング	ジレンマゾーン進入回避のための青信号中に予備減速を実施することを不要としたい。これより、黄色開始 Δt 秒前に青残時間を確定 （一般車両では、規制速度 50km/h 以上の場合にジレンマゾーンが発生）	一般車両、規制速度 60km/h における試算結果 $\Delta t=8.9$ 秒（黄 3 秒） $\Delta t=4.9$ 秒（黄 4 秒）
3	信号情報の信頼性確保	信号灯色と無線通信で配信される信号情報の一致を確認し、異常発生を即時に通知するフェールセーフ機能の実装	不一致状態の検出、通知ができること （許容される検出遅延時間は未定）
4	信号情報の可用性確保	多様な信号制御方式において、信号情報を提供可とする	既存の路車協調型安全運転支援システムである D S S S

			(Driving Safety Support Systems) では提供対象外となっている特殊な信号制御を実行している場合においても、信号情報が提供できること
--	--	--	---

3. 自動運転用インフラに求められる信頼性の確保について

3.1 フェールセーフ機能要件について

自動運転車両に信号情報を提供するためには、路側機に故障等の異常が発生した場合に、即時に異常発生を検出して、自動運転車両に通知するフェールセーフ機能を備えることで、自動運転用インフラに資する信頼性を確保する必要があると考えられる。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の路側機仕様を分析対象として、現状のフェールセーフ機能の課題を抽出するとともに、その機能拡充に向けた検討を行った。

3.2 既存のフェールセーフ機能と課題について

DSSS用の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チェックの機能を備えている。

上記仕様の課題としては、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が挙げられる。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、少なくとも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信号）に拡張することが必要と考えられる。

3.3 自動運転用インフラにおけるフェールセーフ仕様案

現状の仕組みのまま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、少なくとも全ての青灯器、青矢灯器、黄点滅灯器に拡張することを要件として定義した。

図3.3.1に新たに追加するフェールセーフ仕様の概要を示す。交通信号制御機が持つ全ての灯器（最大36点）を対象として、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、信号情報出力IFとは独立した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、独立する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。

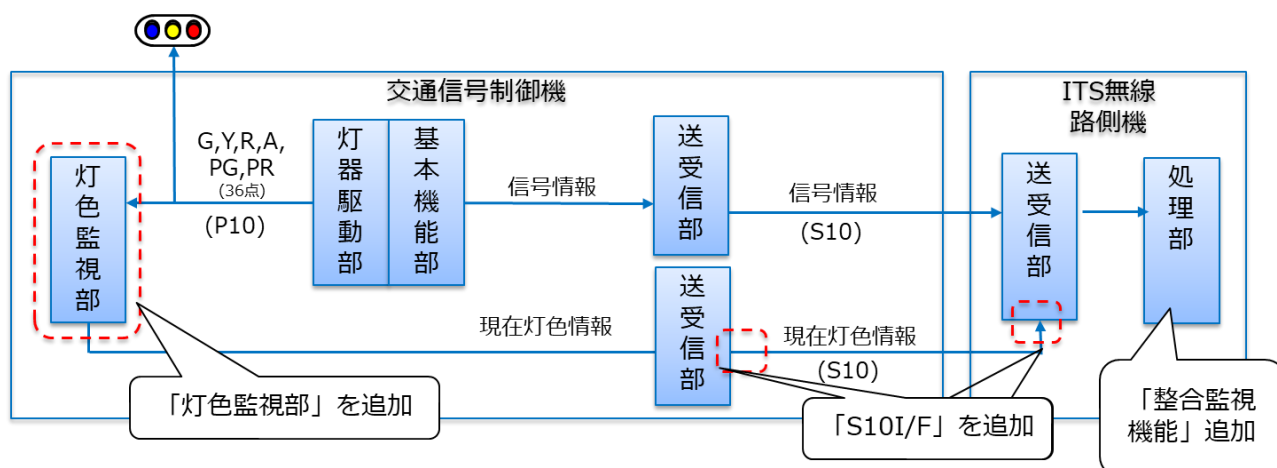


図 3.3.1 フェールセーフ機能の概要

3.4 異常判定処理について

異常判定処理の詳細について記述する。

(1) 信号情報

交通信号制御機においては、信号情報を生成するための処理時間及び I T S 無線路側機に信号情報を送信するための伝送時間により生じる遅延時間を考慮し、信号残秒数を補正した上で信号情報を出力する。一方、I T S 無線路側機においては、受信した信号情報を自身の内部処理により 100ms 周期でカウントダウンを実行する。これより、I T S 無線路側機において、灯器状態変化のタイミングを正確に推定することができる。カウントダウン処理においては、車両提供向けの 100ms 周期データへの補完に加え、定常的な情報遅延の補正も同時に行い、灯色の推定を行う処理を行っている。

(2) 現在灯色情報

現在灯色情報は、灯器出力 I / F (A C 100 V) を監視することで得られる物理的な電圧変化に基づいて生成される。よって、I T S 無線路側機が現在灯色情報を取得するまでには、交通信号制御機において、灯器状態変化の発生から現在灯色情報を生成 (シリアル変換) するまでの処理時間及び I T S 無線路側機に現在灯色情報を送信するための伝送時間により生じる遅延時間が発生する。

(3) 異常判定処理

I T S 無線路側機において、信号情報にカウントダウン処理を実施することで取得される灯色状態と現在灯色情報より取得した灯色状

態を比較し、両者が一致しない時間幅が設定許容範囲を逸脱した場合に異常と判定する。また、異常判定時は、即ちに信号情報の状態フラグを「無効」として車両に送出する。図 3.4.1 に異常判定処理のタイミングチャートを示す。これより、異常検出結果が車両に通知されるまでには一定の遅延時間が発生する。遅延時間の詳細については、3.8 項の実験結果に示す。

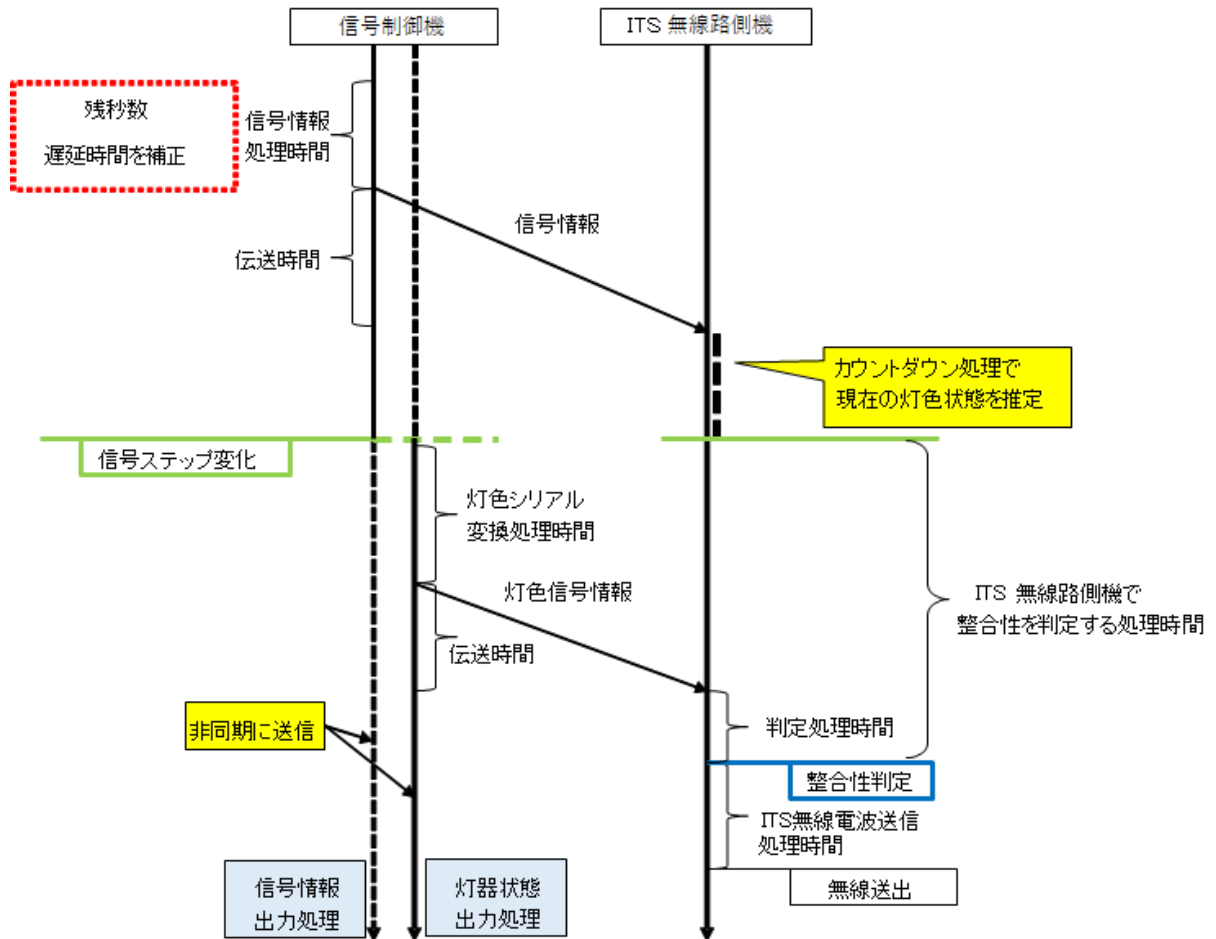


図 3.4.1 異常判定処理のタイミングチャート

3.5 一次試作仕様書の作成

検討結果に基づき、2019 年度の成果として、交通信号制御機、ITS 無線路側機にフェールセーフ機能を追加するため、下記に記載する一次試作仕様書案を作成した。

- ・ 交通信号制御機仕様化検討提案書（2019 警 a 改訂案）
- ・ ITS 無線路側機仕様化検討提案書（2019 警 a 改訂案）
- ・ S10 通信アプリ規格改訂方針

3.6 一次試作検証実験の概要

一次試作仕様書に基づき、フェールセーフ機能に対応した交通信号制御機、ITS 無線路側機の試作開発を行った。また、試作した路側機器において、フェールセーフ機能に関する動作確認検証、フェール事象が発生してから、フェールを検出して車両に通知するまでに必要となる遅れ時間の測定を行った。

なお、委員会で実施した一次試作仕様の検討においては、車両が通過可能な全ての現在灯色状態を I T S 無線路側機に伝送するために、交通信号制御機で用いられている標準的なシリアル伝送インタフェースである S10 形インタフェース（以下、S10 I/F という）を追加実装し、交通信号制御機が備える最大灯色出力数（36 点）の整合性判定を行うことが合意された。これより、検証実験においては、S10 I/F での灯色伝送によって、AC100V 灯器線を引き込む従来の方法と比較して同等の整合性確認が可能であることを実証することが必要となる。このため、交通信号制御機、ITS 無線路側機の情報入出力 I/F の各所における情報の送受信タイミングを測定し、信号情報や灯色信号情報の伝送における遅延、ゆらぎ時間を測定し、測定結果より、I T S 無線路側機におけるフェール判定のための「誤差許容時間」の想定を行うこととした。

なお、対象とする車両通行可灯色としては、従来、整合性判定を行っていた青、青矢のみでなく、黄閃光（黄点滅）も含める必要があるため、整合性判定における閃光灯色の判定にかかる遅延、ゆらぎ時間も併せて検証した。

一次試作で開発した、灯色信号情報の伝送を行う装置「灯色監視部」を図 3.6.1 に示す。また、測定の状況を、図 3.6.2 に示す。

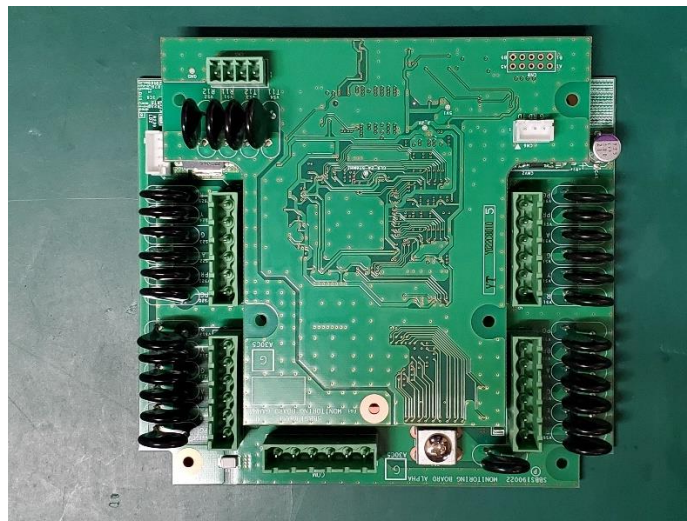
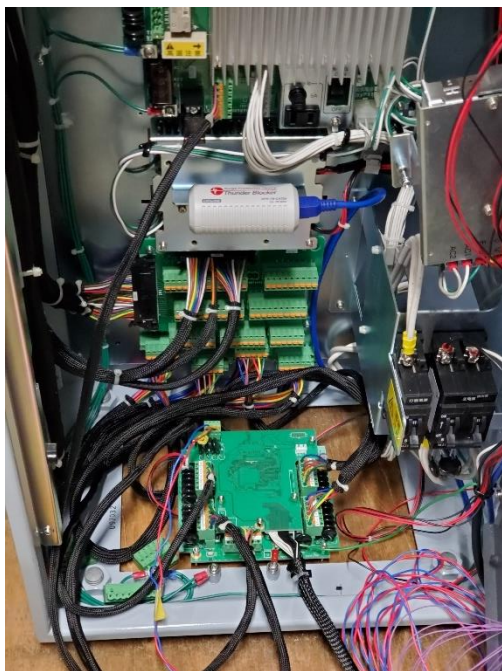
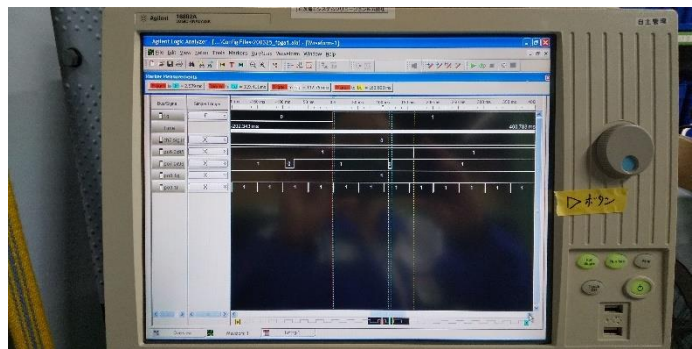


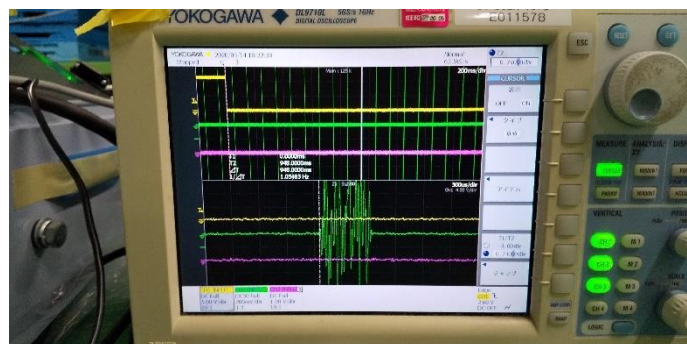
図 3.6.1 灯色監視部



灯色監視部と信号制御機の接続



ロジックアナライザによる計測

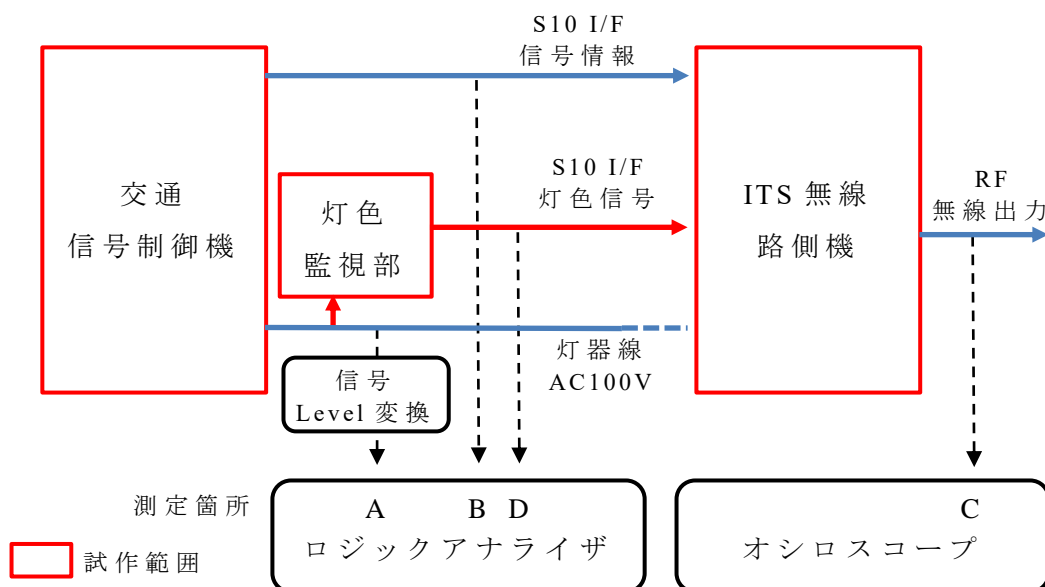


オシロスコープによる計測

図 3.6.2 測定の状況

3.7 検証実験の内容

検証実験の測定環境概要と測定箇所等の概要を図 3.7.1 に示す。また、従来の ITS 無線路側機における、信号情報出力のシーケンスを図 3.7.2 に示す。



【測定箇所】

- A : 交通信号制御機の灯色変化タイミングの取得
- B : 交通信号制御機から ITS 無線路側機への信号情報送信タイミングの取得
- C : ITS 無線機からの無線による信号情報送信タイミングの取得
- D : (新規 I/F) 交通信号制御機から S10 I/F にて送信される灯色信号情報の送信タイミング取得

【評価項目】

- A ~ B : 交通信号制御機が出力する信号情報の送信遅延時間
- A ~ C : 信号灯色が変わってから、ITS 無線路側機が無線情報を出力するまでの遅延時間
- A ~ D : 試作で新規に開発した、灯色信号情報の送信遅延時間

図 3.7.1 検証実験の測定環境概要

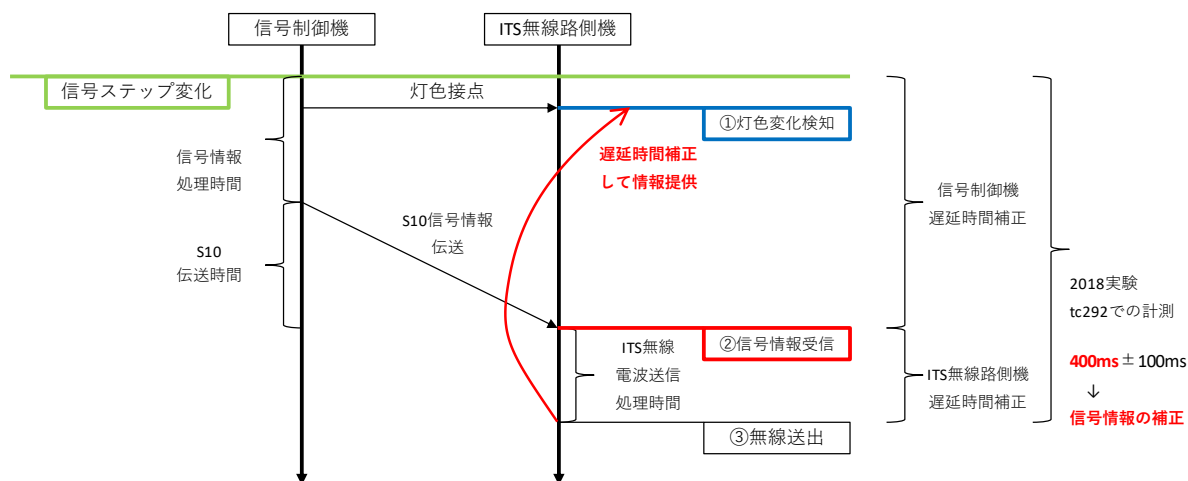


図 3.7.2 信号情報出力シーケンス

従来、ITS 無線路側機においては、情報伝送の遅れやタイミングを吸収・補正するため、受信した信号情報について、定常的な設計遅延時間を考慮しながら自身で灯色残秒数をカウントダウンし、灯色をリアルタイムに把握する機能が定義されている。今回の一次試作においては、灯色信号情報をシリアル通信で伝送することとしたため、この処理で増加する遅延（A～D）が、最終的な無線出力（A～C）にどのように影響するかを測定し、遅延補正への影響を確認する必要がある。

なお、従来の ITS 無線路側機における、A～C の遅延については、2018 年度の調査研究における測定結果が存在する。これによると、A～C（信号灯色の変化してから、従来型 ITS 無線路側機が無線情報を出力するまでの遅延時間）は、およそ $400\text{ms} \pm 100\text{ms}$ であった。

なお、信号情報出力処理における定常的な遅れ時間（400ms）は、上述の補正処理によって補正することで、吸収することができる。このため、車両に提供する信号情報の誤差としては、主としてゆらぎ時間（ $\pm 100\text{ms}$ ）に相当すると考えられる。ここで、今回の一次試作におけるフェールセーフ機能のシーケンスを図 3.7.3 に示す。

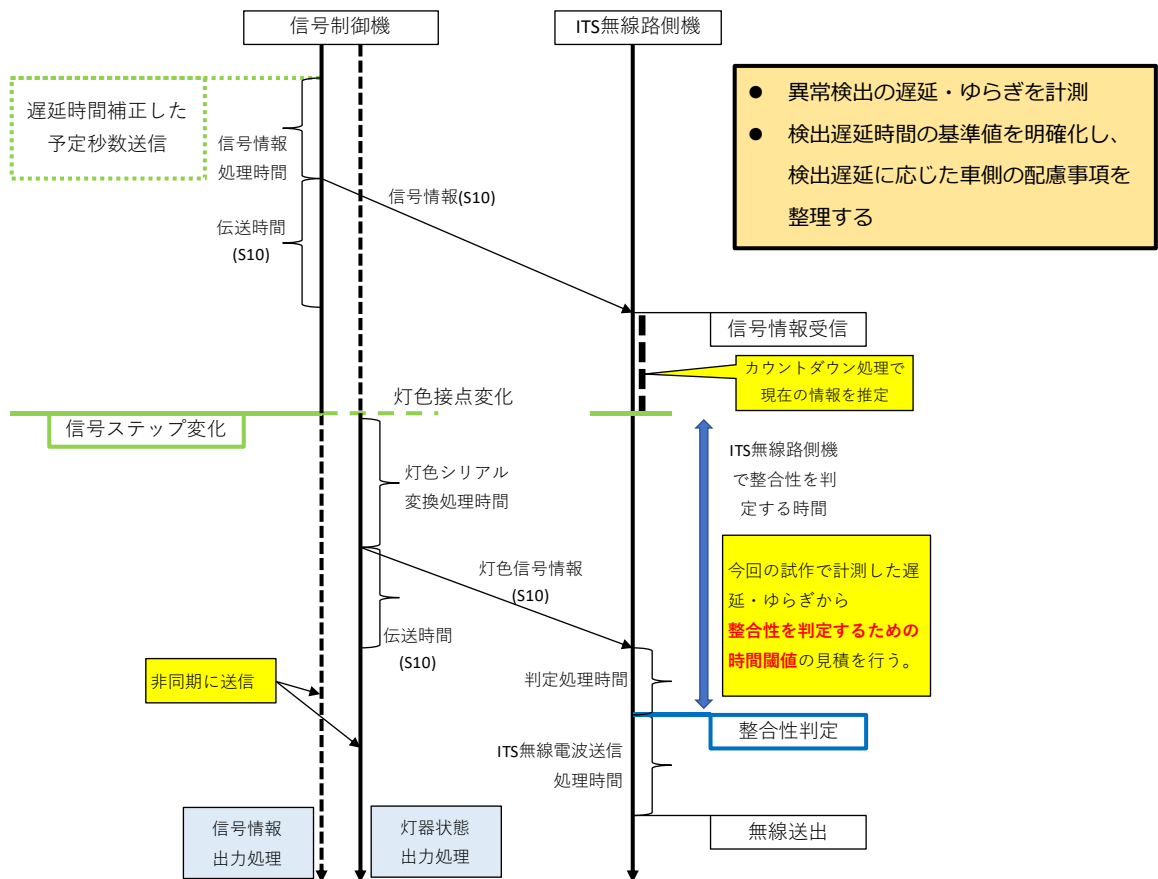


図 3.7.3 フェールセーフ機能の処理シーケンス

ITS 無線路側機において、カウントダウン処理にて推定された信号情報と灯色情報の整合性を確認し、誤差が生じている時間が許容範囲の設定値（誤差許容時間）を逸脱した場合に、信号情報異常と判定する。灯色情報を灯色信号情報（S10 I/F）から得ることとした場合の遅れ時間は、誤差許容時間に加算する必要があると考えられるため、S10 I/F の灯色信号情報に関する遅延・ゆらぎを測定し、誤差許容時間に対する影響を確認する必要がある。（図 3.7.4 参照）

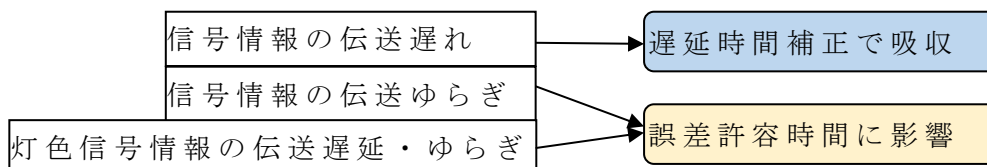


図 3.7.4 遅れ・ゆらぎの影響

以上の考察により、実験における検証項目を以下のように決定した。

【実験 1】

交通信号制御機の灯色変化(A)から、S10 I/Fによる灯色信号情報の ITS 無線路側機への送信(D)までの遅延・ゆらぎ測定と、信号情報の送信タイミング確認、無線による信号情報送出完了(C)までの遅延・ゆらぎ測定

【実験 2】

交通信号制御機からの信号情報と灯色信号情報が整合しない状況(フェール事象)を模擬的に設定し、灯色変化から、無線出力において信号情報が無効化されるまでの遅延・ゆらぎ測定

ア 通常 3 色表示の信号現示の場合の灯色不整合

→実験 2 - 1 , 実験 2 - 2

イ 信号現示が閃光の場合(通常 3 色→閃光、閃光→通常 3 色の遷移)の場合の灯色不整合

→実験 2 - 3 ①、2 - 3 ②、2 - 3 ③

ウ 感応制御を実行している場合

交通信号制御機において感応制御(とくにギャップ感応など車両感知器の入力に応じて即時に灯色を打ち切り、次現示に変化するケース)において、感応後の灯色が信号情報と灯色信号情報で不一致となる場合について測定

→実験 2 - 4

3.8 検証実験結果

3.8.1 実験1の検証

前項で示した実験1の測定項目は、以下のように設定した。

(1) 計測箇所 (A, B, C, Dは図3.7.1参照)

A	灯器線出力 (信号機の第1階梯灯色の立ち上がり時) AC100V出力を、ロジックアナライザ入力にレベル変換して測定
B	交通信号制御機のS10 I/Fによる信号情報出力 第1階梯の内容を含むフレームの最終フレーム出力完了時をロジックアナライザにて測定
C	ITS無線路側機からの無線による信号情報出力 無線送信完了時をオシロスコープにて測定
D	交通信号制御機のS10 I/Fによる灯色信号情報出力 最終フレーム出力完了時をロジックアナライザにて測定

(2) 計測結果

測定回路にて、A~Dの各測定箇所における事象検出時刻を測定し、A点(交通信号制御機の灯色変化時点)を基準として、B、C、Dまでの経過時間(遅れ時間)を算出した。実験結果を図3.8.1及び表3.8.1に示す。

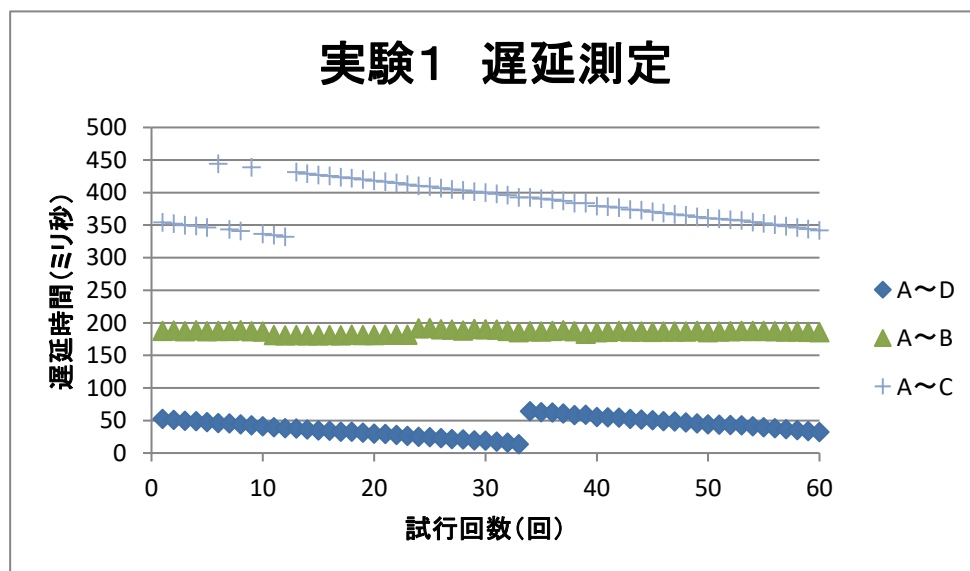


図 3.8.1 実験1測定結果

表 3.8.1 実験 1 測定結果

試行：60回	遅延時間（ミリ秒）		
	平均値	最小値	最大値
A～B	185.9	180.5	191.7
A～C	385.4	332.3	444.3
A～D	40.4	13.5	64.1

- ① 信号情報の遅延（A～B）について
交通信号制御機が送信する信号情報のタイミングは、信号機の灯色変化（A）に同期して実施されるため、200ms 以下の安定したタイミングで受信できている。
- ② これに対し、信号情報とは非同期で動作する灯色信号情報の送信（D）については、設定された送信周期に起因する 50ms 間隔のゆらぎが発生する。但し、遅延は周期的で安定しており、おおよそ $40\text{ms} \pm 25\text{ms}$ の結果であった。
- ③ 無線送信の遅延（C）については、測定試行の間隔と、機器の周期処理タイミングに起因すると考えられる周期性がみられ、試行回数としては、C の 1 周期分（54 回）を測定することで十分と考えられる。また、C の遅延に関しては、おおよそ $385\text{ms} \pm 60\text{ms}$ となり、従来の ITS 無線路側機における遅延と同等であった。

(3) 計測結果の考察

灯色信号情報の遅延 D が信号情報 B に比べて十分に小さく、信号情報の整合性判定のタイミングに間に合っていること、新たに発生した灯色信号情報の処理時間についても、既存の周期処理（無線のスロット待ち時間 100ms 等）に隠ぺいされ、全体の遅延に影響を及ぼしていないことが読み取れる。このため、従来の ITS 無線路側機で行われていた、灯器線の引き込みによる整合性判定と同様に、シリアル伝送による灯色信号情報を用いた整合性判定が可能であることが実証された。

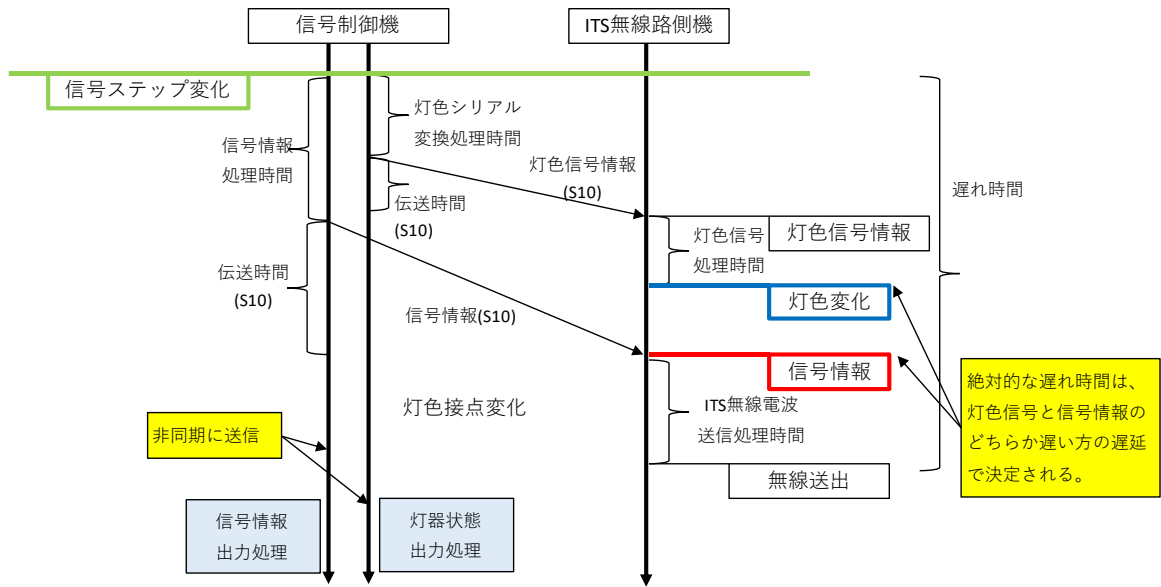


図 3.8.2 実験 1 のまとめ

3.8.2 実験2の検証

実験2の測定項目は、以下のように設定した。

(1) 計測箇所

A	灯器線出力（信号機の第1階段灯色の立ち上がり時） AC100V出力を、ロジックアナライザ入力にレベル変換して測定
C	ITS無線路側機からの無線による信号情報出力 無線送信完了時をオシロスコープにて測定

実験2の目的は、フェールセーフ機能の検証であるため、信号情報と灯色信号情報の不整合を起こす必要がある。このため、灯色信号情報を送信する灯色監視部において、テストツールを用いて実際の灯色とは異なる情報を送信可能とし、不整合の発生時点（A）を基準として、信号情報が、フェールセーフ機能により無効化されるまで（C）の遅延時間を測定した。

なお、信号情報が無効となったことの判定は、信号情報の無効化時におけるデータサイズの変化をオシロスコープで観測することにより行った。図3.8.3に実験2の測定箇所、図3.8.4に実験2における処理シーケンスを示す。

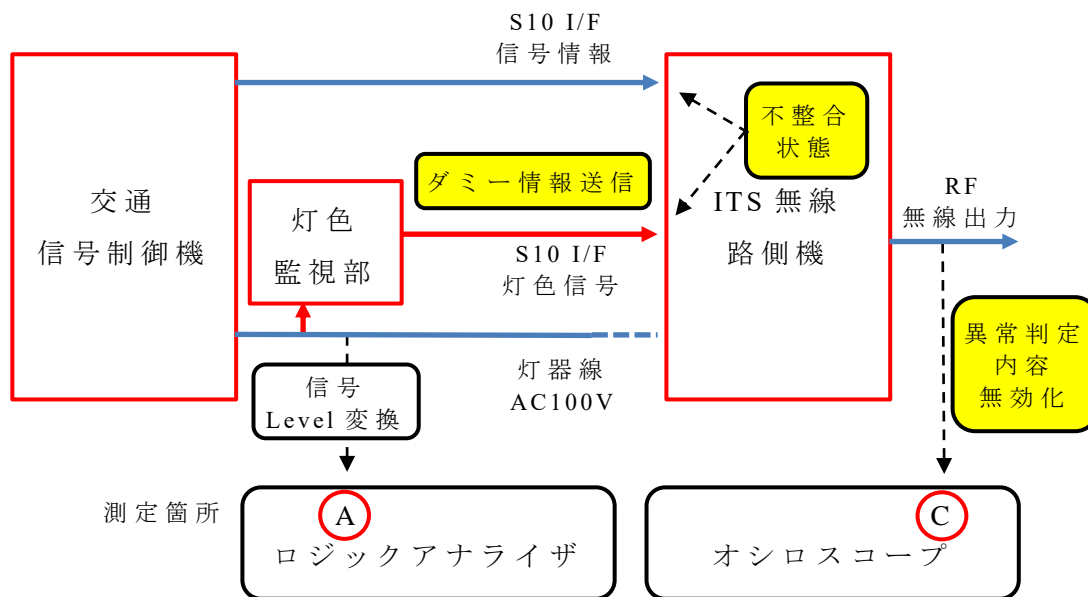


図 3.8.3 実験2の測定箇所

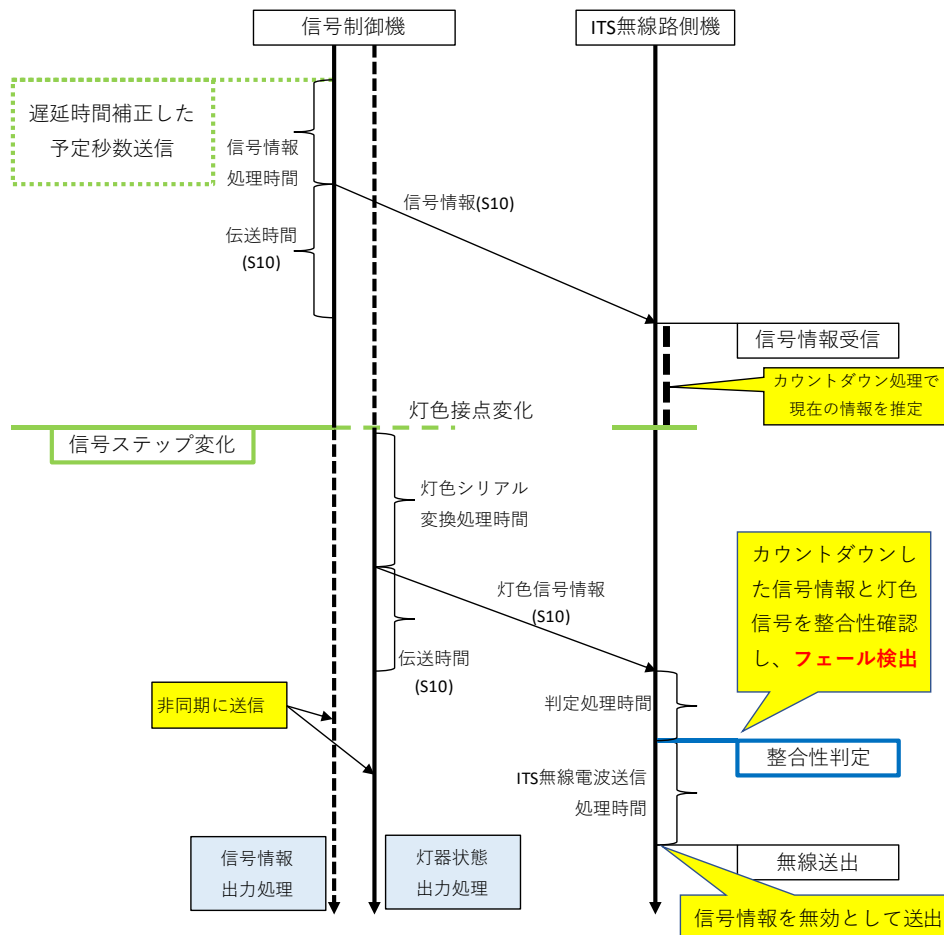


図 3.8.4 実験 2 のシーケンス

(2) 計測結果

(a) 実験 2 - 1 : 青灯器でのフェールセーフ判定

「信号情報では車両通行可を示すが、灯色は車両青でないケース」として、車両灯器が赤から青に変化するタイミングで、ダミーの灯色信号情報にて「赤」を継続することで、不整合状態を作り出し、不整合発生時から信号情報が無効となるまでの時間を計測した。実験結果を図 3.8.5 及び表 3.8.2 に示す。この実験結果より、不整合の発生後、平均 350ms、最大で 411ms にて、不整合を判定し、信号情報を無効化できることが示された。

ここで、実験 2 - 1 においては、ITS 無線路側機での不整合判定時間（誤差許容時間）を「100ms」とし、ITS 無線路側機で不整合が 100ms 間継続したときに信号情報を無効とする設定とした。

なお、誤差許容時間を 100ms よりも小さく設定すると、正常時にも異常判定を行うケースがあることが観測されている。

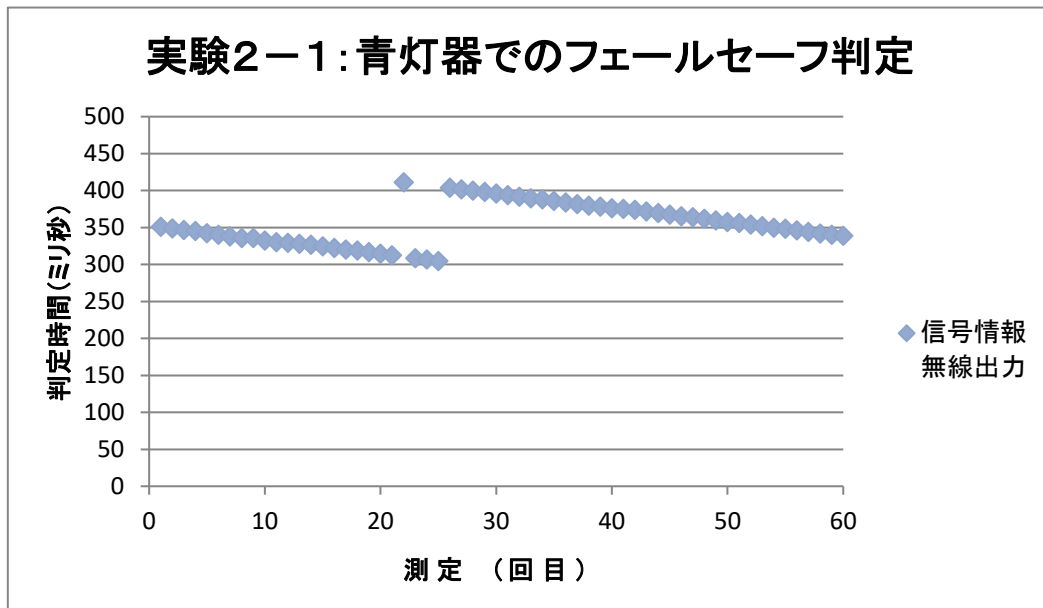


図 3.8.5 実験 2 - 1 測定結果

表 3.8.2 実験 2 - 1 : 測定結果

試行：60回	遅延時間（ミリ秒）		
	平均値	最小値	最大値
フェールセーフ 判定時間	354.4	304.6	411.1

(b) 実験 2 - 2 : 黄灯器でのフェールセーフ判定

「信号情報では黄色を示すが、灯色は黄色でないケース」として、車両灯器が青から黄に変化するタイミングで、ダミーの灯色信号情報にて「青」を継続することで、不整合状態を作り出し、不整合発生時から信号情報が無効となるまでの時間を計測した。実験結果を図 3.8.6 及び表 3.8.3 に示す。

なお、黄灯器の判定においては、青灯器の判定よりも誤差許容時間を大きくしないと、安定なフェールセーフ判定ができない結果が観測された。このため、不整合発生時から信号情報が無効となるまでの時間はおよそ 100ms 増加し、平均 455ms となっている。

この原因について考察する。交通信号制御機の灯器線出力においては、一般に、点灯（出力信号の立ち上がり）よりも、滅灯（出力信号の立ち下がり）において、状態遷移に時間を要する傾向にある。一方、ITS 無線路側機の整合性判定処理においては、黄色灯色の判定に、「青灯色の滅灯」をトリガとして判定するロジックとなっている。これらより、判定に要する時間が増加し

たことが原因と考えられる。

なお、本実験における灯色信号情報において、「青」と「黄」が同時点灯している（青が即時に滅灯にならない）瞬間が存在することが観測されている。このようなケースは、複数の信号線（灯器線）を扱う場合には回避することが難しく、灯色の滅灯タイミングを利用するケースにおいては、誤差許容時間を大きくする必要があると考えられる。

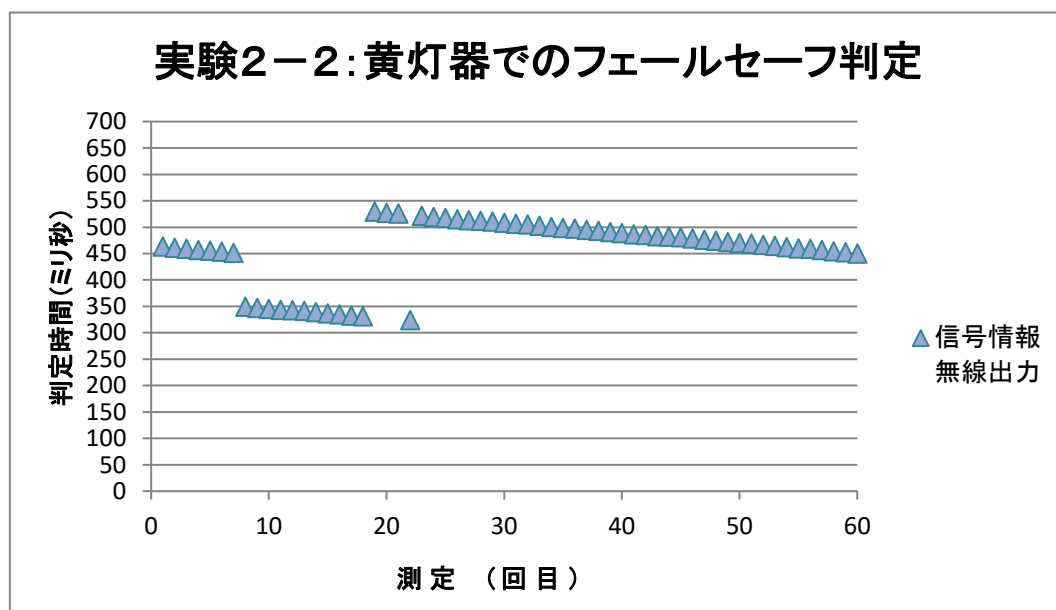


図 3.8.6 実験 2 - 2 測定結果

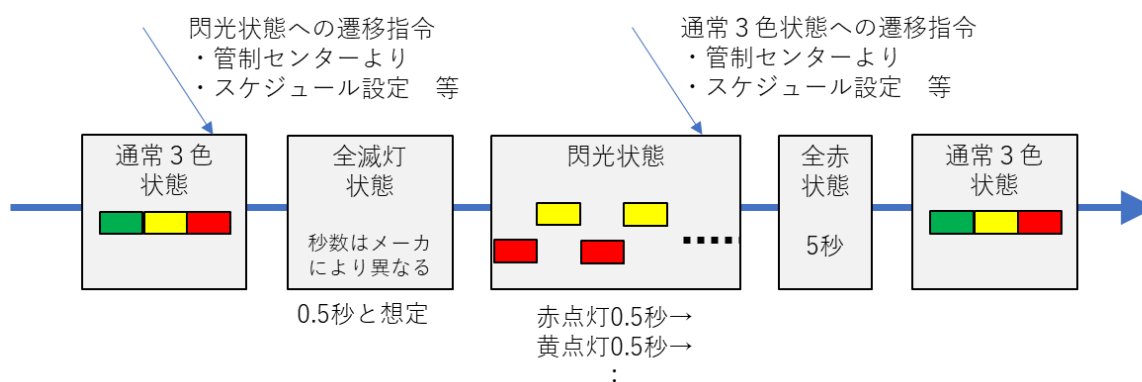
表 3.8.3 実験 2 - 2 : 測定結果

試行 : 60 回	遅延時間 (ミリ秒)		
	平均値	最小値	最大値
フェールセーフ 判定時間	455.4	323.7	529.2

(c) 実験 2 - 3 : 閃光動作時のフェールセーフ判定

交通信号制御機が、青→黄→赤の一般的な順序で灯色変化を行っている場合（通常 3 色状態とする）について、実験 2 - 1、2 - 2 の確認を行った。一方、夜間時間帯等に運用されている、主道路は黄点滅、従道路は赤点滅の状態（閃光状態）においても、黄点滅は車両通行可であるため、フェールセーフ判定の対象とすることが必要となる。

閃光状態の動作は、一般に以下のように遷移する。閃光状態は、灯色の点滅が行われるため、通常 3 色状態とは異なる判定ロジックが必要と考えられる。

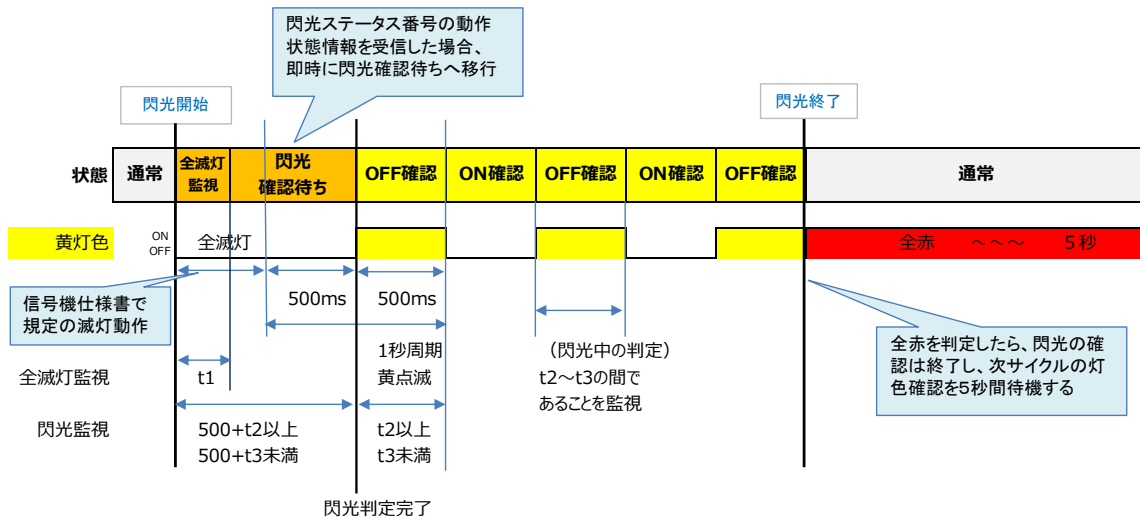


閃光状態では、まず赤点灯から開始し、赤と黄の灯器が交互に 0.5 秒点灯する。また、閃光状態に入る前に、秒数は既定されていないが、すべての灯器が滅灯する時間（全滅灯時間）がおかれる。（実験では 0.5 秒とした）

このため、閃光状態の黄灯色を整合性判定するためには、閃光状態開始後少なくとも全滅灯時間 + 赤点灯時間の 1 秒間は待たなければならない。また、「点滅」の判定を正しく行うためには、複数回の点滅を待つ必要がある。このため、閃光状態のフェールセーフ判定時間は、通常 3 色状態と比べて非常に長い、数秒単位となることが想定される。

この判定時間を低減するためには、閃光状態の直前に存在する「全滅灯時間」の存在や、別途交通信号制御機から、信号情報とともに送信される「信号動作状態情報」における現示状態（通常 3 色状態か閃光状態を判別可能）を利用して、閃光状態となることを把握し、閃光状態専用の判定ロジックを設けることが考えられる。今回の検証実験においては、全滅灯時間をまず検出し、閃光状態専用の整合性判定を行うこととした。処理の概要を以下に示す。

【閃光の場合の判定方法】



図中の監視秒数（定数で変更可能とする）

- ・ t1:全滅灯判定までの時間 : ex. 200ms
 - ・ t2:点灯・滅灯最小時間 : ex. 300ms
 - ・ t3:点灯・滅灯最大時間 : ex. 700ms
- 全滅灯時間以下、かつ、通常時のフェールセーフ判定許容時間以下とする
- 点滅周期 500msのゆらぎ許容時間

処理フロー

- ・ 灯色状態情報から、全滅灯をt1時間以上検出したら、閃光確認待ち状態とする。
- ・ 黄点滅は「OFF」から開始するため、500+t2以上、500+t3未満で黄点灯が確認されれば、**閃光判定**とする。
- ・ 閃光判定以降は、点滅間隔がt2以上t3未満であることを監視する。

フェールセーフ判定

- ・ 通常時は、「**通常時フェールセーフ判定許容時間**」灯色が不一致であれば、異常判定する。 ※現行仕様通りの動作
- ・ 全滅灯または閃光ステータスの動作状態情報を受信した場合、「**閃光時フェールセーフ判定許容時間**」を利用する。
(閃光前に、通常の許容時間で異常判定しないための措置)
- ・ 閃光判定完了時、または許容時間内に閃光への遷移がない場合は、「通常時フェールセーフ判定許容時間」に戻す。

上記の条件に基づき、閃光状態の場合のフェールセーフ判定について確認を行うにあたり、測定ケースとして、以下の3種について実験を行った。

- ① 通常3色状態から閃光状態へ遷移時のフェールセーフ判定
- ② 閃光状態から全赤状態へ遷移時のフェールセーフ判定
- ③ 全赤状態から通常3色状態へ遷移時のフェールセーフ判定

【実験2-3①】閃光状態へ遷移時のフェールセーフ判定

信号情報が閃光を示すが、灯色情報が閃光と異なる場合として、全滅灯時間開始を基準として、閃光時間となっても黄、赤が点灯しないようなダミーの灯色信号情報を与えることで、不整合状態を模擬した。実験結果を図3.8.7及び表3.8.4に示す。

実験結果より、不整合発生時から信号情報が無効となるまでの時間は1秒以下であった。ただし、今回の実験で使用した全滅灯判定時間、点灯・滅灯の最大・最小時間などのパラメータは、今回の実験機器固有の仕様によるものであり、今後、これらの標準仕様化の検討が求められる。

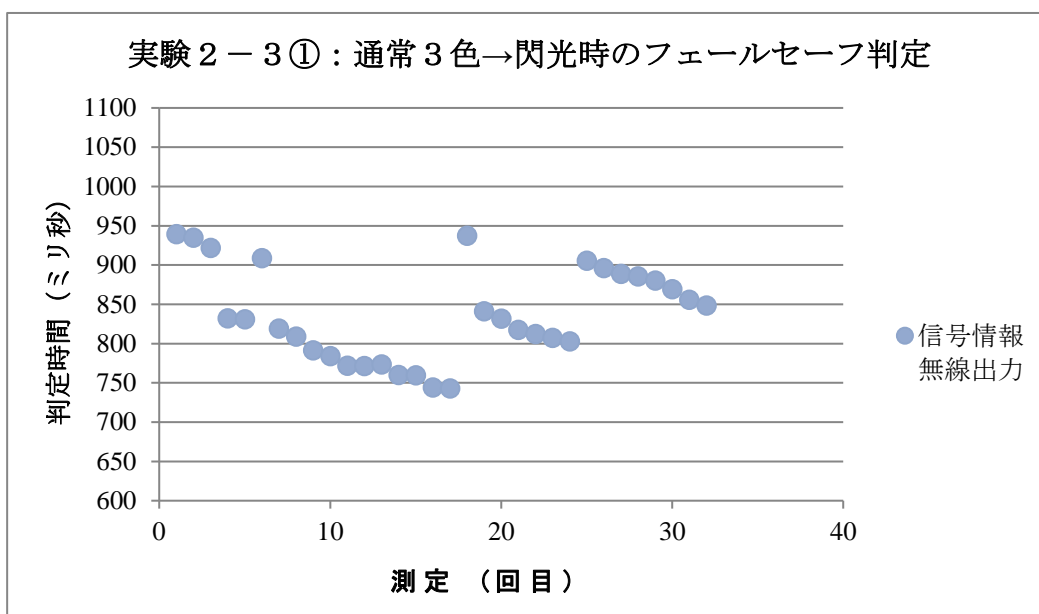


図 3.8.7 実験 2 - 3 ① 測定結果

表 3.8.4 実験 2 - 3 ① 測定結果

試行：32 回	遅延時間 (ミリ秒)		
	平均値	最小値	最大値
フェールセーフ 判定時間	836.6	742.7	939.2

なお、実験 2 - 1、2 - 2 と比較して遅延時間が増加している要因として、3 色状態、閃光状態等を切り替える「ステータス変更」の際には、信号現示の切替に際して、カウントダウン処理による灯色予測ができなくなるため、新たな現示の信号情報が到着するまでの伝送遅延分が加算されるためと考えられる。また、この遅延により、全滅灯時間（500 ミリ秒）の期間中にはフェールセーフ判定が完了せず、閃光開始後に異常と判定された。

カウントダウン処理による灯色予測ができないケースは、他にも、閃光から通常 3 色に戻るケースや、感応制御により灯色が即時に打ち切られるケースも同様と考えられ、後述の実験結果も含め、これらの場合には、カウントダウン処理有効な場合（実験 2 - 1、2 - 2 にて、350～450 ミリ秒程度）よりも、400～500 ミリ秒程度多くの時間を要する結果が観測された。

【実験 2 - 3 ②】 閃光状態から全赤状態へ遷移時のフェールセーフ判定

信号情報が閃光後の全赤状態を示すが、灯色情報が全赤と異なる場合とし

て、全赤時間開始を基準として、閃光状態が継続するようなダミーの灯色信号情報を与えることで、不整合状態を模擬した。実験結果を図 3.8.8 及び表 3.8.5 に示す。

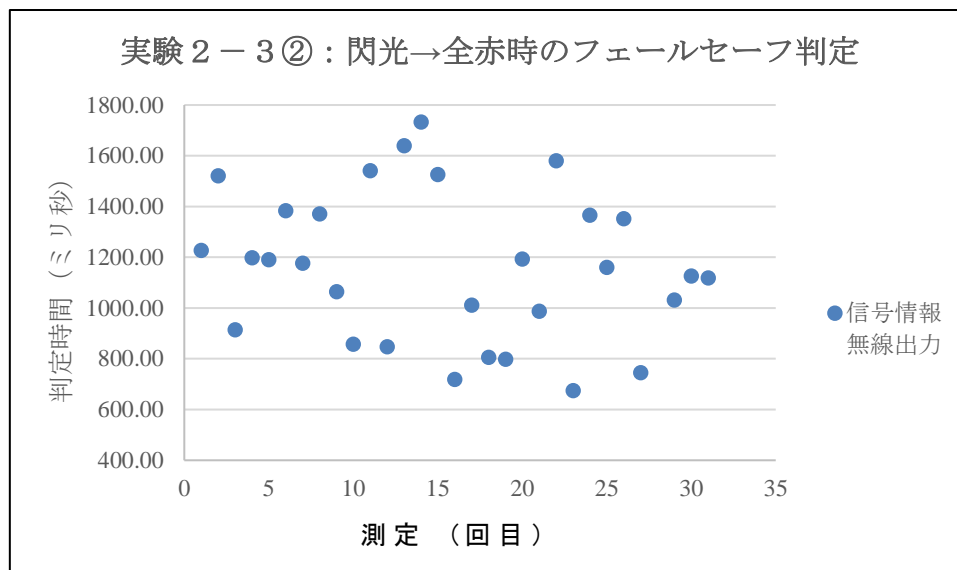


図 3.8.8 実験 2-3 ② 測定結果

表 3.8.5 実験 2-3 ② 測定結果

試行：30回	遅延時間 (ミリ秒)		
	平均値	最小値	最大値
フェールセーフ判定時間	1125.4	673.9	1732.3

実験 2-3 ②の結果は、これまでの計測結果と比べて、判定時間が大きく、かつ非常にばらつきの多い値となったため、動作の詳細検証を行った。

その結果、以下のことが判明した。

- ① 実験 2-3 ①でも述べた、「ステータス変更」の際にカウントダウンによる予測が出来なくなることによる判定遅延増加
- ② 閃光中の「赤」点灯と、全赤状態の「赤」点灯が区別できないため、黄色の点滅によってフェールセーフ判定が行われる。状態遷移のタイミングにより、黄色のフェールセーフ判定が開始できるタイミングが毎回異なるため、判定時間のばらつきが発生する。

判定時間のばらつきに関しては、フェールセーフ判定ロジックの見直し等、今後の実用化にむけて改善の余地がある項目となっている。

【実験 2 - 3 ③】 全赤状態から通常 3 色へ遷移時のフェールセーフ判定

信号情報が閃光後の全赤状態から通常 3 色に遷移したが、灯色情報が通常 3 色と異なる場合として、通常 3 色状態開始を基準として、全赤状態が継続するようなダミーの灯色信号情報を与えることで、不整合状態を模擬した。実験結果を図 3.8.9 及び表 3.8.6 に示す。

実験に使用した信号制御機の実装においては、全赤状態の灯色予定時間は不定（時間変化があり得ることを示す幅付き表現）となっている。このため、実験 2 - 3 ①と同様、カウントダウンによる灯色予測が働かないため、フェールセーフ判定時間は 1 秒程度の結果が得られた。

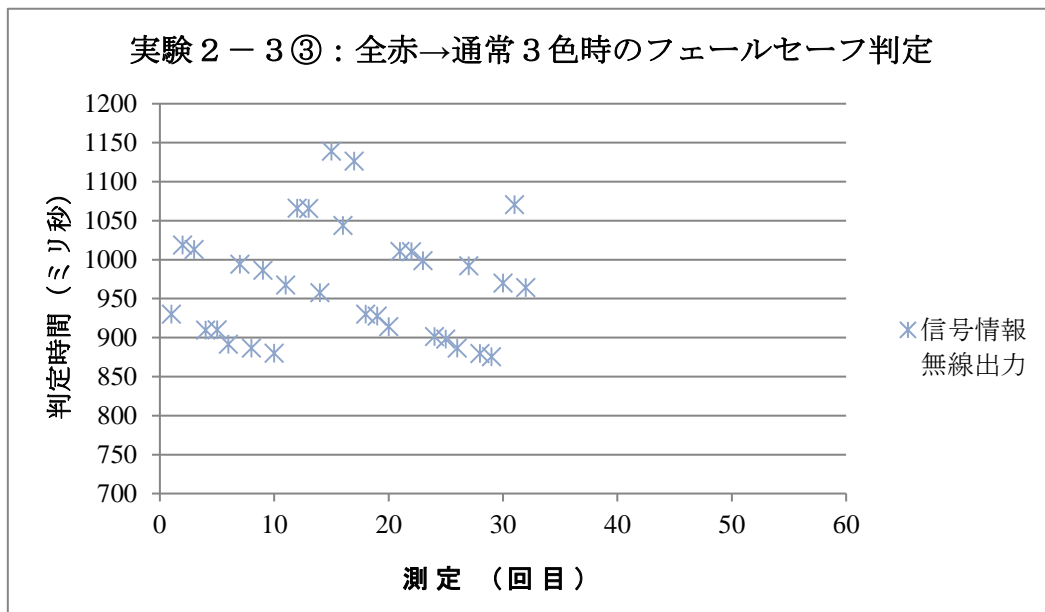


図 3.8.9 実験 2 - 3 ②測定結果

表 3.8.6 実験 2 - 3 ②測定結果

試行：32 回	遅延時間（ミリ秒）		
	平均値	最小値	最大値
フェールセーフ 判定時間	969.2	875.4	1139.0

【実験 2 - 4】 打ち切り感応時のフェールセーフ判定

交通信号制御機において、感応制御（とくにギャップ感応など車両感知器の入力に応じて即時に灯色を打ち切り、次現示に変化するケース）においては、カウントダウン処理による灯色の推定が不可能なため、フェールセーフの判定に時間がかかることが想定された。このため、打ち切り感応後の灯色が信号情報と灯色信号情報で不一致となる場合について、フェールセーフ判定時間を測定した。

感応制御により青が打ち切られ、黄に遷移する際に、青灯器点灯が継続するようなダミーの灯色信号情報を与えることで、不整合状態を模擬した。

実験結果を図 3.8.10 及び表 3.8.7 に示す。灯色の変化としては実験 2 - 2 と同様であるが、推測のとおり、実験 2 - 2 の結果よりもおよそ 500 ミリ秒判定時間が増加している。感応時の信号情報の伝送遅延は、6.4 項で測定されたように、約 500 ミリ秒と考えられることと符合する結果となっている。

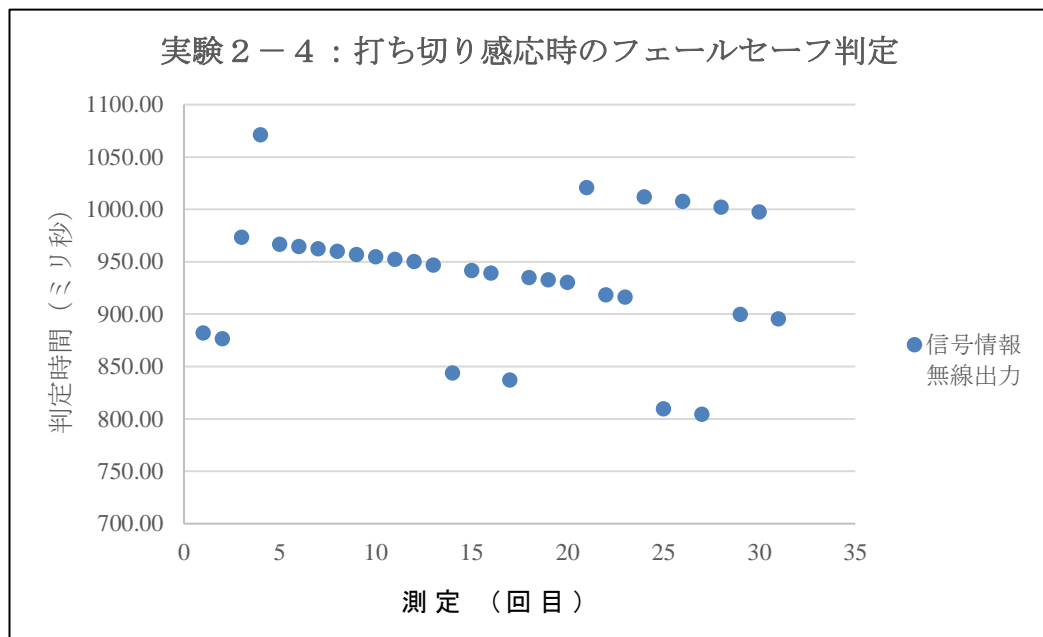


図 3.8.10 実験 2 - 4 測定結果

表 3.8.7 実験 2 - 4 測定結果

試行 : 31 回	遅延時間 (ミリ秒)		
	平均値	最小値	最大値
フェールセーフ判定時間	937.5	804.4	1071.2

3.8.3 計測結果の考察

不整合発生時から信号情報が無効となるまでの時間の測定を行った結果、以下の判定時間にて、フェールセーフの判定を行うことができることを実証した。

- 通常3色状態：およそ500ミリ秒
- 閃光状態：およそ1秒
- ステータス変更時、即時打ち切り感応時等、灯色予定秒数によるカウントダウン灯色予測ができない場合：上記におよそ500ミリ秒加算

なお、今回の実験結果より、交通信号制御機の実装や回路設計による動作の差異をふまえて、誤差許容時間等の設定をすべきことが判明した。

実験で判明した一例として、以下の点が考えられる。

- ① 灯器線の信号立ち上がり・立下りの速度には差異があるため、交通信号制御機の実装によって調整する必要がある。
- ② 全滅灯時間はメーカー間で異なるため、場合によっては、今回の実験で使ったような全滅灯時間の存在を利用するロジックは使用できないことがある。
- ③ 閃光状態における、点灯・滅灯時間のゆらぎ許容値を別途見積もる必要がある。

これらの問題は、今後、各メーカーの交通信号制御機の実情にあわせ、調整項目の明確化、ないし、一般的な設定値の確立を行っていく必要があるとともに、交通信号制御機やITS無線路側機の仕様書に対し、必要な性能値や規定値を明記する必要がある。このため、7章に示す成果物として、二次試作の内容に加え、本項の実験結果についても反映した仕様書案を作成した。

3.8.4 計測結果のとりまとめ

信号情報に関するフェールセーフにおいては、制御状況や灯色状態、異なりうる灯色等により異なる判定ロジックを必要とすることが分かった。但し、信号現示の変化パターンにより、判定ケースは多岐に渡る。また、実験環境として再現が難しい判定ケースも存在するため、すべてのケースについて判定時間測定を行うことは現実的でない。

このため、灯色の変化に着目して判定ケースを網羅し、実験測定したケースを明示するとともに、未測定のケースについては、ロジック上同等と思われる測定結果（判定時間）を記述することにより、本項のとりまとめとしての判定時間対応表を作成した。

判定時間については実装ロジックにより異なると想定されるため、対応表は、判定時間を標準的に示すものではないが、判定ケースの分類と確認すべき項目を示すものとして、フェールセーフ機能の実用化において参考とすべき内容と考えられる。

別紙として、「信号現示変化とフェールセーフ判定の対応表」を示す。

4. 自動運転車両に提供される信号情報の可用性向上について

4.1 特殊な信号制御の検討

交通信号制御機の動作モードや信号制御方式によっては、信号情報を生成、提供することが困難な場合がある。このため既存の信号情報提供システムであるDSSSにおいては、信号情報の提供内容や提供対象交差点が限定される場合がある。一方、自動運転の実現に向けては、自動運転の対象区間における全ての信号交差点において、常時での信号情報が必要になると想定される。これより、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。

4.2 信号情報の可用性における課題の抽出

既存の信号情報提供システムであるDSSSの仕様を分析対象として、信号情報提供に影響がある事象を抽出した。抽出した事象を表4.2.1に示す。

表 4.2.1 信号情報提供に影響がある事象

No	信号動作の種類	信号動作の概要	現状の信号情報仕様 (DSSS仕様)
1	感応制御機能 (共通事項)	車両感知器により検出した車両の存在や速度に応じて、青時間の延長や短縮を実行する機能	感応制御によって青時間が変動するため、その時間幅として、最小秒数及び最大秒数を提供 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する。
2	FAST機能	救急車等の緊急車両の信号交差点接近を検出し、青時間延長、赤時間短縮等を実行することで緊急車両の交差点通過を支援する機能	FAST感応実行中(緊急車接近中)は、信号情報の活用シーンが不明確のため、現在灯色状態のみを提供
3	リコール機能	横断歩道に設置されている押ボタンの押下等による要求発生時にのみ、特定の信号現示を	信号動作の先読みが困難なため、当該交差点は信号情報提供の対象外

		呼び出す機能	
4	現示切替機能	時間帯などに応じて信号表示の内容や表示順序（ステータス）を切り替える機能 （夜間の赤点滅／黄点滅など）	次サイクルの信号情報は、同じ信号表示順序を継続する前提で提供される。このため、現示切替の直前まで、実際の動作と異なる信号情報が提供される。
5	連動子機機能	隣接する信号機（親機）に同期して動作する機能	子機には、信号動作を主体的に決定する機能がなく、信号情報生成が不可能。よって、子機交差点は信号情報提供の対象外
6	手動動作／階梯保持	手動動作：手動の操作によって信号表示を切替 階梯保持：中央装置等から解除指令を受信するまで信号表示を固定	信号動作の先読みが困難なため、現在灯色状態のみを提供
7	保安動作／異常閃光	フェール発生時に実行されるバックアップモードの動作	フェール状態においては動作保証が困難なため、信号情報提供を停止

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。

4.3 対応方針の検討

信号情報提供に影響がある各事象への対応方針について、交通信号制御機の機能面及び信号制御の運用面の両方の観点から、委員会メンバーである信号機等のインフラメーカー、カーメーカーを対象にヒアリング調査を実施した。ヒアリング調査結果のまとめを表4.3.1に示す。対応方針案の多くは、信号制御の運用見直しに係わる要望であった。これらの運用見直しの可否については、信号制御機能が十分に発揮できないことなどによる交通流円滑化への悪影響といったデメリットも想定されるため、各都道府県警における運用指針に応じた適用条件の検討が必要と考えられる。

これより、本調査研究においては、交通信号制御機として新たに機能追加

が必要となる要望事項について検討し、具体化検討の対象としては、下記の2項目を抽出した。

- ・FAST制御実行中の信号情報提供
- ・リコール制御交差点における信号情報の提供

なお、その他の要望事項として挙げられた「歩行者信号」の情報提供については、自動運転における用途や効果など、今後の実証の中で必要性が明らかになることが必要として、将来の検討課題とした。

表 4.3.1 自動運転における信号制御運用に係わる要望事項

項番	大分類	小分類	インフラ整備対象交差点における要望事項	要望理由（メリット）等	想定されるデメリット等	その他
1	信号機	灯器	電球玉切れによる滅灯状態発生を低減させるため LED 灯器を使用 なお、電球玉切れ等の滅灯は異常検出対象外とすることを仕様書等に明記する。	電球玉切れによる滅灯状態を検出することは、技術面・費用面他で負担大	導入箇所の制約となる 灯器更新等によって初期投資費用が大きくなる場合がある	
2	信号制御	黄色時間	規制速度 50km/h 以上の交差点において、黄色時間を 4 秒以上あるいは一律 4 秒とする。	信号灯色変化時におけるジレンマゾーンの発生を抑制するため	交通条件、道路条件等に応じた柔軟な信号制御の運用に制約が生じる懸念がある	大型車を支援対象とする場合、対象とする規制速度が低くなる
3		感应制御機能（共通）	規制速度 50km/h 以上の交差点において、青信号の感应階梯と黄色階梯を連続させず、黄色階梯の前に固定秒数の青階梯を設定する。	信号灯色変化時におけるジレンマゾーン発生を抑制するため なお、固定階梯秒数は規制速度、黄色時間の組み合わせ別に指定する。また、右折感应制御等、車両速度が低速となる場合を除く	無駄青時間が増加する等、交差点処理容量が低下する懸念がある	大型車を支援対象とする場合、対象とする規制速度が低くなる。
4		F A S T 機能	FAST 制御実行中においても、最小秒数、最大秒数を提供する	緊急車両通過後の冗長な待避を軽減し、速やかな交差点通過が期待される。	対応するための開発コストが発生する。	二次試作にて動作検証を実施
5		リコール機能	規制速度 50km/h 以上の交差点において、提供対象とするリコール制御方式を限定する。または方式含めた運用箇所の情報公開を行う。	全てのリコール制御方式で信号情報（残秒数）を生成することは、技術面・費用面他で負担大。一方、リコール制御の運用方式を限定することで信号情報を提供可能とし、信号灯色変化時におけるジレンマゾーンの発生を抑制することが期待される	導入箇所の制約となる 交差点個別の交通条件、道路条件等に応じた柔軟な運用に制約が生じる懸念がある 設定変更等が必要になる	大型車を支援対象とする場合、対象とする規制速度が低くなる。 二次試作にて動作検証を実施
6		現示切替機能	現示（ステータス）切替時におけるサイクル終了階梯は全赤が運用されていること または、各ステータスのサイクル開始時の車両通行権付与方向（青信号方向）が共通で同じであること	インフラから提供される次サイクル情報と信号制御の動作が異なることによる悪影響を防ぐため	導入箇所の制約となる 設定変更等が必要になる	赤→青の発進時は、残秒数による先読み制御では無く、現在灯色を確認後に発進することを前提とする
7		連動子機機能	連動子機の連動方式を限定する または I T S 無線の路路間通信機能を活用し、子機を集中制御化する	連動方式によっては、信号情報提供が技術的に困難な場合があると思われるため	導入箇所の制約となる 信号機の更新や設定変更等が必要になる	
8		手動動作/階梯保持	現状の仕組みのまま			
9	異常閃光/保安動作	現状の仕組みのまま				
10	その他	情報公開について ダイナミックマップへの反映	右直分離、歩車分離、リコール制御（方式含む）、ステータス制御、連動子機、複数交差点制御連動等が行われている交差点の公開 ダイナミックマップへの情報提供等	左記の制御が行われている交差点では、自動運転の難易度が変化する。自動運転制御での先読み活用や走行経路計画などに反映が期待される。	制御内容の変更時におけるメンテナンス、情報通知フロー、責任分解点、コスト負担等	

5. 新たな技術要件の検討

5.1 FAST制御実行中の信号情報提供

FAST制御実行中における信号情報提供については、技術的な面での課題は大きくないと見込まれる。一方、FAST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、FAST感応動作中は信号情報の有用性が低いとも考えられる。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、FAST感応動作中に信号残秒数を活用で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る。以下に、FAST制御感応中における信号情報の活用シーンの検討結果を示す。

5.1.1 想定シーン1

FAST制御感応中であっても、緊急車両が待避している自動運転車両を追い越した時点以降であれば、青時間残秒数と自車位置の情報により交差点通過可否を判断し、速やかに発進することができる。図5.1.1に想定シーンの概要を示す。

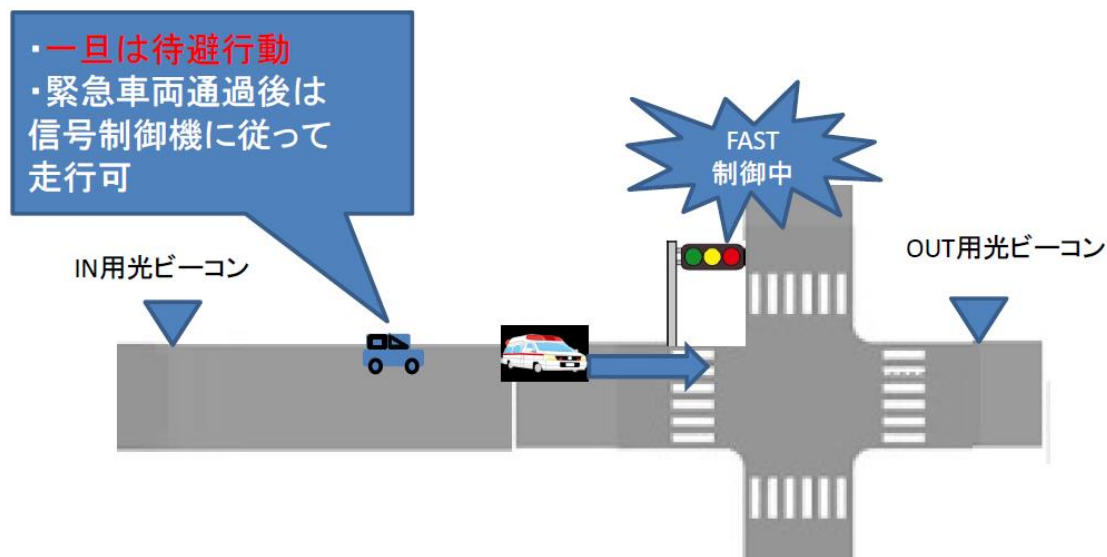


図 5.1.1 想定シーン1

5.1.2 想定シーン 2

F A S T制御感応中であっても、緊急車両の走行方向対向方向等、退避行動が不要な場合、緊急車両が交差点通過完了を確認でき次第、青時間残秒数と自車位置の情報により交差点通過可否を判断し、速やかに発進することができる。図 5.1.2 に想定シーンの概要を示す。

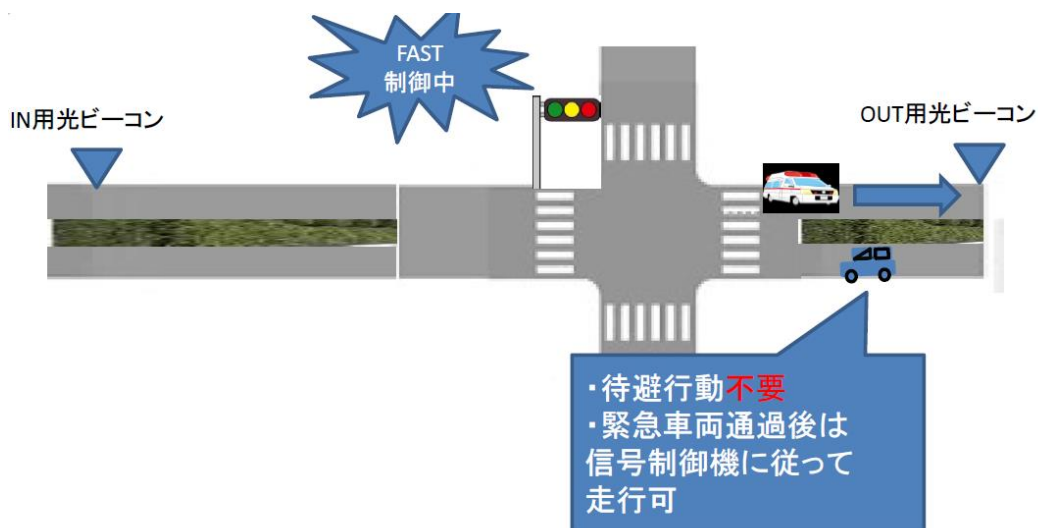


図 5.1.2 想定シーン 2

5.2 リコール制御交差点における信号情報提供

リコール制御には複数の方式が存在し、各都道府県警により、交通条件や道路構造条件に適した方式が選定されて運用が実施されている。一方、全てのリコール制御方式で信号情報（残秒数）を生成することは、技術面、費用面の両方で負担が大きい。よって、リコール制御交差点における信号情報の可用性への影響を定量的に評価することを目的として、警察庁殿のご協力の下、リコール制御方式毎の運用実態調査を実施した。本調査結果より、現状はリコール1機能と呼ばれる方式が運用箇所数の大多数を占めていることが明らかになった。これより、本調査研究においては、リコール1機能を対象に限定して信号情報提供仕様について検討を実施することとした。

なお、リコール2、3制御については、灯色変化パターンが複雑になるため、信号情報提供の実現に関してさらなる研究開発が必要となる。

5.2.1 リコール1機能の概要

呼び出しの対象となる信号現示の数によって、リコール方式は区別されている。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、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。

5.2.2 リコール機能における信号情報提供仕様について

リコール1機能、回転型を対象として、各動作状態に応じて提供される信号情報の仕様について検討した。

(1) 前提条件

仕様検討対象とした前提条件を図5.2.1に示す。

- ・通常時は、幹線側に常時で青現示を表示
- ・押しボタンによる要求信号があった場合、従道路側に青信号現示（リコール現示）を表示
- ・リコール方式（リコール1機能、回転型）

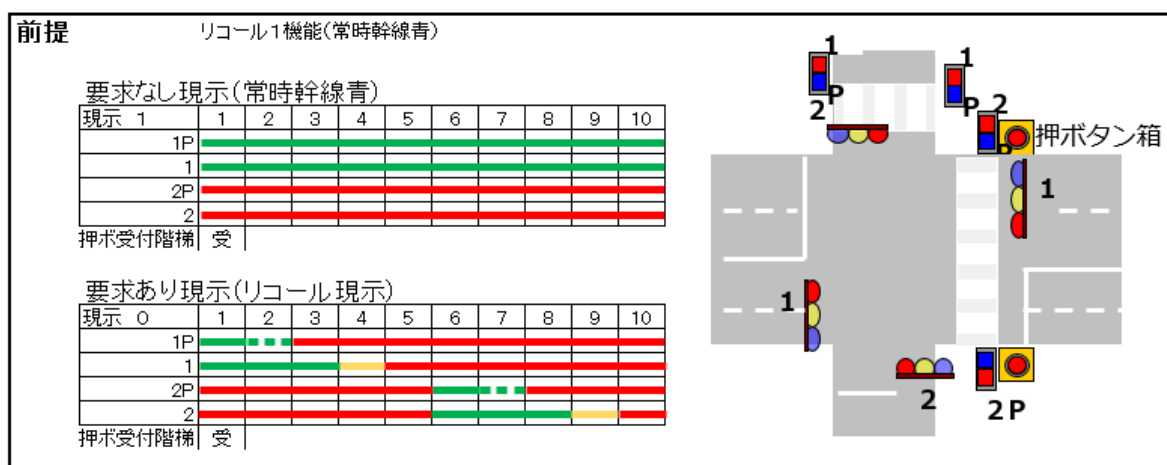


図 5.2.1 前提条件

(2) リコール要求前の信号情報

リコール要求前の信号情報の概要を図5.2.2に示す。リコール要求前は、信号機内部で実行中の階梯に応じて、押しボタン要求が有る場合、無い場合の両方での信号動作を推定する必要がある。このため、幹線側（灯器1）の青時間及び従道路側（灯器2）の赤時間の最小残秒数が増減する。

リコール 要求前

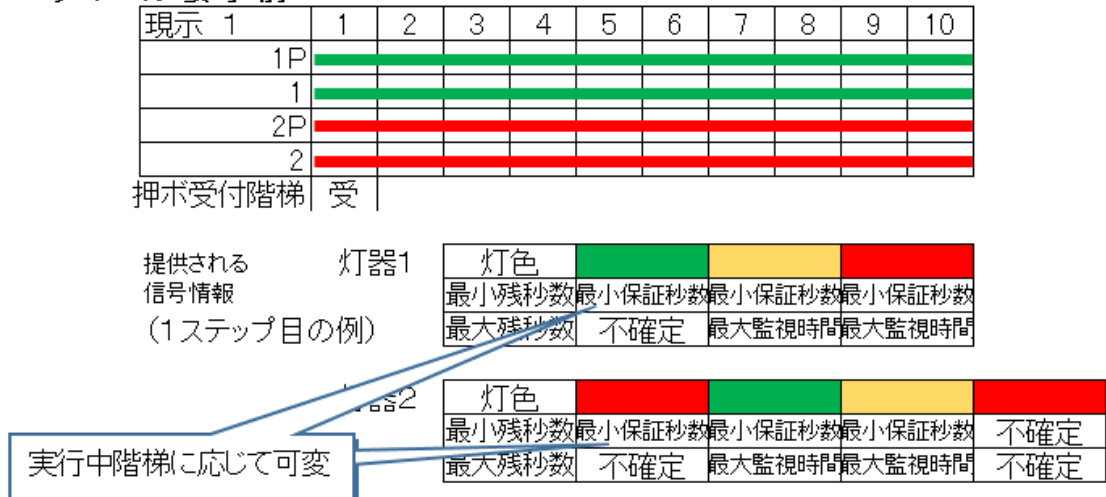


図 5.2.2 リコール 要求前

(3) リコール 要求入力時

リコール要求が入力された時点で、当該サイクルの信号動作が確定する。一方、次サイクルの信号秒数は、中央装置からの指令により変動するため、信号秒数は確定しない。

リコール要求入力時

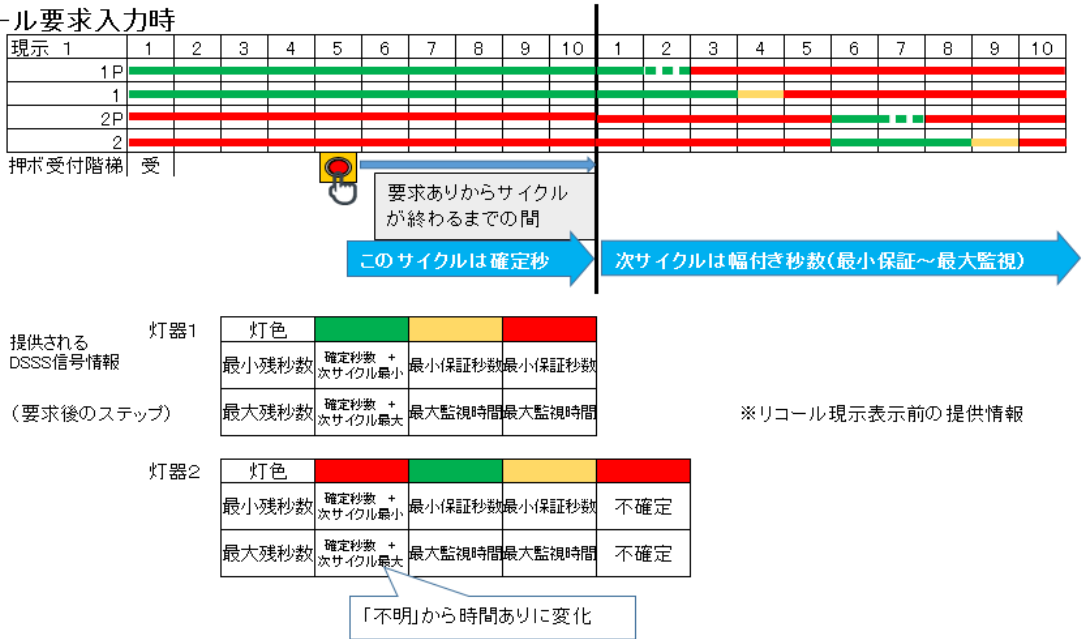


図 5.2.3 リコール 要求入力時

(4) リコール 制御実行中

リコール制御実行中サイクルの信号動作が確定する。一方、次サイクルの信号秒数は、中央装置の指令により変動するため、信号秒数は確定しない。

リコール現示表示中

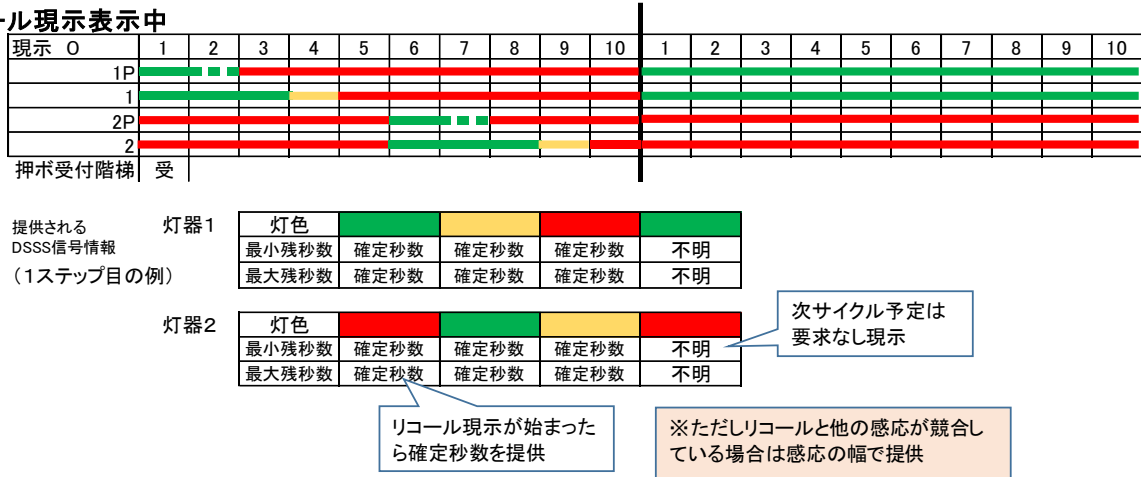


図 5.2.4 リコール制御実行中

(5) リコール再要求

リコール制御実行中サイクルに再要求があった場合、次サイクルの信号現示が確定する。ただし、次サイクルの信号秒数は、中央装置の指令により変動するため確定しない。

リコール実行中に再要求あり

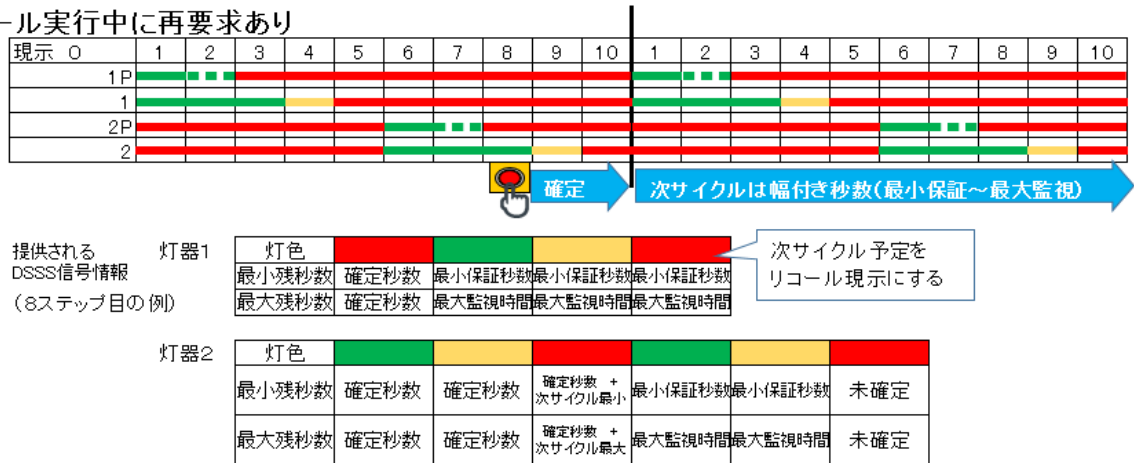


図 5.2.5 リコール再要求時

5.3 路車間メッセージセットの見直し

5.3.1 データ項目追加の目的

F A S T制御では信号残秒数が不連続に変化し、現示切替制御では灯色順序が不連続に変化する。これらのような特殊な信号制御が運用されている交差点で信号情報メッセージを提供する場合には、提供情報の連続的な整合性を維持することができない。そのため、自動運転車両にとっては、インフラシステムの異常なのか正常動作の範疇なのかを判断することができないという懸念がある。

これより、これらの特殊な信号制御の対象交差点であること及び特殊な信号制御が動作状態であることを車載機に通知するデータ項目について検討した。

5.3.2 二次試作における追加データ仕様案

(1) データ格納位置

「ITS無線路側機 DSSS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」において、信号情報における予約領域とした「DE_感応制御種別及び特定制御動作中フラグ」を活用する。(図 5.3.1 参照)

7.4.3 信号情報

信号情報の構成を表7.3に示す。

表7.3 信号情報の構成

構成DF/DE	表現形式	コード	備考
DF_提供点管理番号			
DE_都道府県コード	bin(8)	E-2	
DE_提供点種別コード	bin(1)	E-4	
DE_交差点ID/半踏ID	bin(15)	E-2	
DE_感応制御種別及び特定制御動作中フラグ	bin(8)	D-8	予約領域
DE_システム状態	bin(8)	H-1	
DE_イベントカウンタ	bin(8)	H-2	
DE_車灯器数	bin(8)	H-3	
DE_歩灯器数	bin(8)	H-4	「0」を格納
DE_接続有線数(T)	bin(8)	H-11	

図 5.3.1 データ格納位置

(2) データ構成

データ構成案を示す。対象ビットをONとする。



※備考 D7、D6、D3、D2は、登録予備とする。

図 5.3.2 データ構成

(3) データ定義

(a) 残秒数変動あり

信号情報の車両／歩行者灯器情報において、前回タイミングで提供された最小残秒数と最大残秒数の範囲を逸脱して残秒数が変動する信号制御の対象交差点であることを示す。具体的には、FAST制御を対象とし、FAST制御が感応許可されている状態であることを示す。

なお、異常閃光等の機器故障等による残秒数変動は対象外とする。

(b) 灯色順序変動あり

信号情報の車両／歩行者灯器情報において、前回タイミングで提供された灯色出力変化の順序が変動する信号制御の対象交差点であることを示す。具体的には、ステータス制御対象交差点、リコール制御対象交差点であることを示す。

なお、異常閃光等の機器故障等による灯色順序変動は対象外とする。

(c) 残秒数変動中

「残秒数変動あり」交差点において、対象とする制御が動作中であることを示す。具体的には、FAST感応動作中であることを示す。

(d) 灯色順序変動中

「灯色順序変動あり」交差点において、対象とする制御が動作中であることを示す。

ステータス制御の場合、ステータス変更直後のサイクル動作中であることを示す。サイクルが特定できない閃光ステータスにおいては、動作開始から所定秒以内であることを示す。また、リコール制御の場合、呼び出されたリコール現示を表示中であることを示す。

5.4 二次試作検証実験の概要

5.1 項～5.3 項で示した新たな技術要件について、2019 年度に委員会で検討、合意した内容に基づき、FAST 制御実行中の信号情報提供、リコール 1 実施対象交差点における信号情報の提供、路車間メッセージへのデータ項目追加について、仕様改訂方針を 2020/7/28 開催の第 10 回委員会において合意した。この仕様に基づき、二次試作の実施と動作検証を行った。

二次試作の内容は、交通信号制御機の信号情報生成処理に関するソフトウェア改修となる。改修されたソフトウェアを導入した交通信号制御機と、FAST の実行指令やリコール制御の許可を行うための模擬的な中央装置、FAST 感応やリコールの実施をトリガするための模擬的な車両感知器や押し釦装置を準備し、交通信号制御機に S10 インタフェースで接続された ITS 無線路側機にて、出力された信号情報の内容確認を行った。

試作・動作検証を行った項目と、実験システム構成を図 5.4.1 に示す。

No.	項目	内容
1	特定フラグ対応	信号情報メッセージに、特殊信号制御の実施状況を示す「特定フラグ」を追加する。
2	リコール 1 機能対応	リコール制御実施時に、リコール要求有無に応じた信号情報を提供できるようにする。 なお、リコール種別は、「リコール 1」方式を対象とする。
3	FAST 感応残秒数提供対応	FAST 感応で延長/短縮動作を実施している時に、最大/最小残秒数を提供するように対応する。

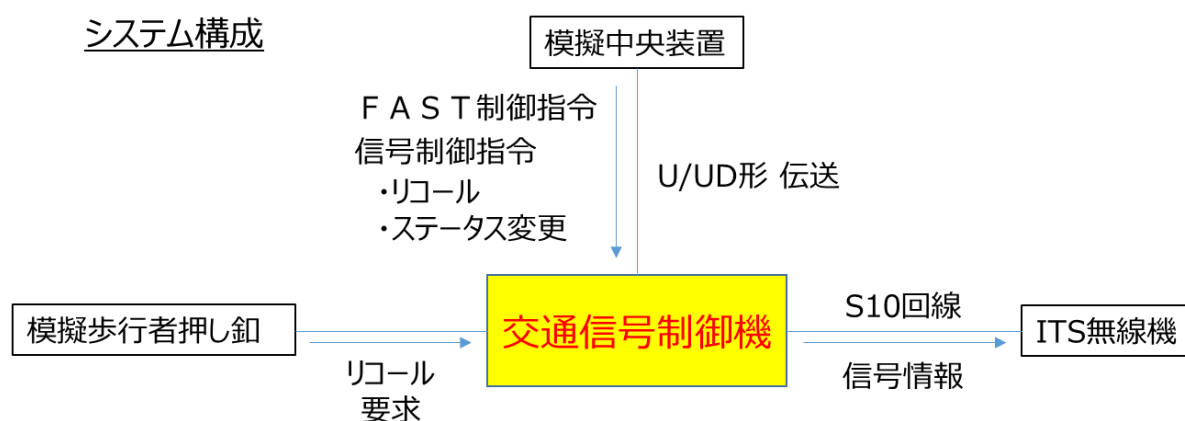


図 5.4.1 二次試作実験システム構成

5.4.1 検証実験の内容

動作検証については、ITS 無線路側機にて、交通信号制御機から受信した信号情報をモニタし、内容の変化を確認することで行った。

なお、特定制御動作中フラグの定義は、図 5.3.2 に示した仕様となっている。

測定ケースは、以下のようにした。

(1) リコール 1 機能対応

交通信号制御機に接続した押し釦により、リコール要求を発生させ、リコール 1 制御を実施した前後の信号情報を確認し、リコール 1 制御の際にも信号情報の生成が行われていることを確認する。

また、リコール 1 制御に対応した、特定制御動作中フラグが設定されていることを確認する。

(2) FAST 感応時残秒数提供対応

模擬中央装置から FAST 信号指令を送出し、FAST 感応を実施した前後の信号情報を確認し、FAST 感応の際に最大・最小残秒数の設定が行われていることを確認する。

また、FAST 感応に対応した、特定制御動作中フラグが設定されていることを確認する。

(3) ステータス変更時の特定制御動作中フラグ対応

模擬中央装置から、ステータス変更を行う信号制御指令を送出し、交通信号制御機の現示変化前後の信号情報を確認し、特定制御動作中フラグが設定されていることを確認する。

二次試作での動作検証の状況を、図 5.4.2 に示す。

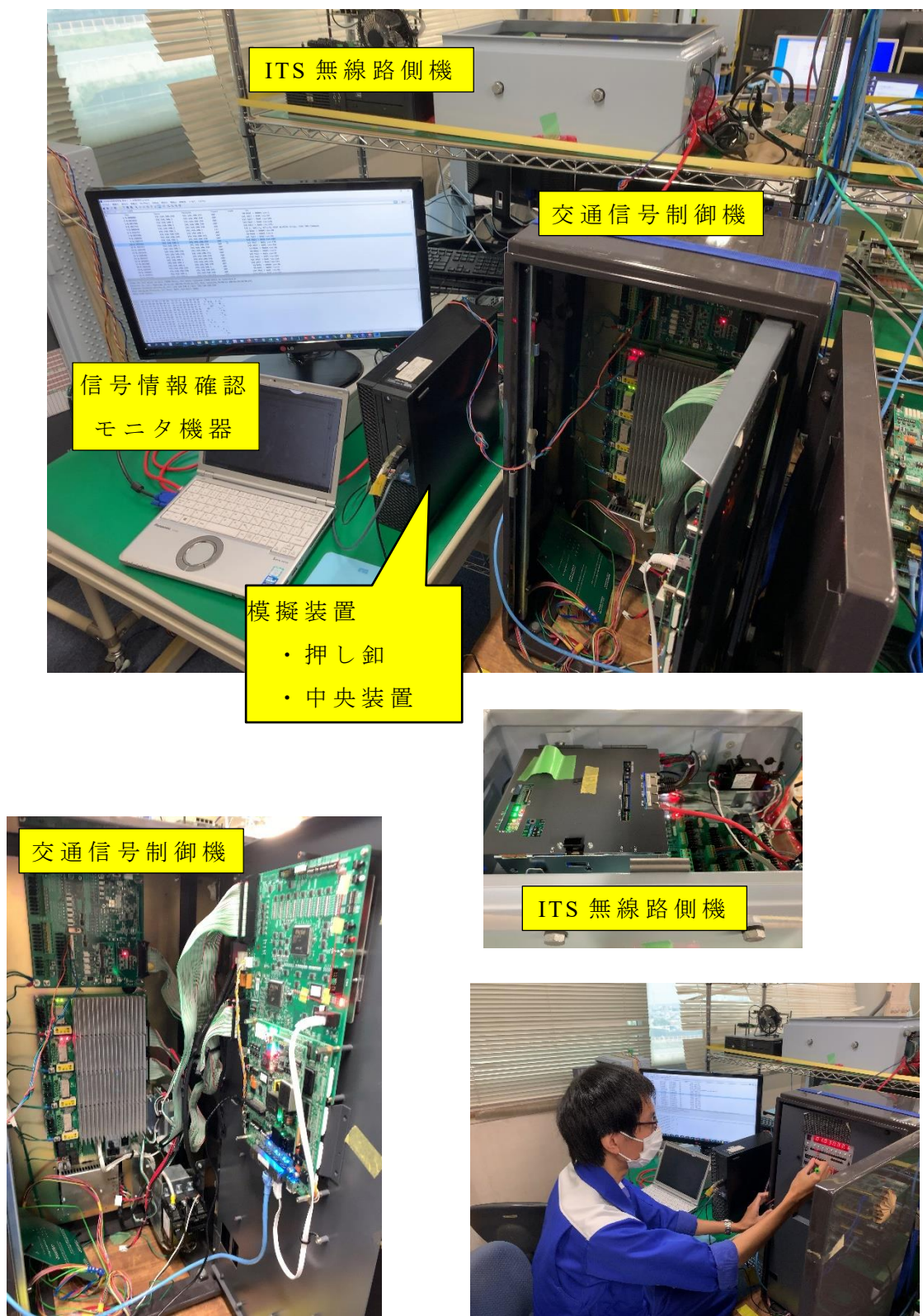


図 5.4.1 二次試作動作検証

5.4.2 リコール 1 機能対応の検証

交通信号制御機に、図 5.4.2 のような現示設定を行い、模擬押し釦を入力して、リコール 1 制御が動作する前後の信号情報を観測した。

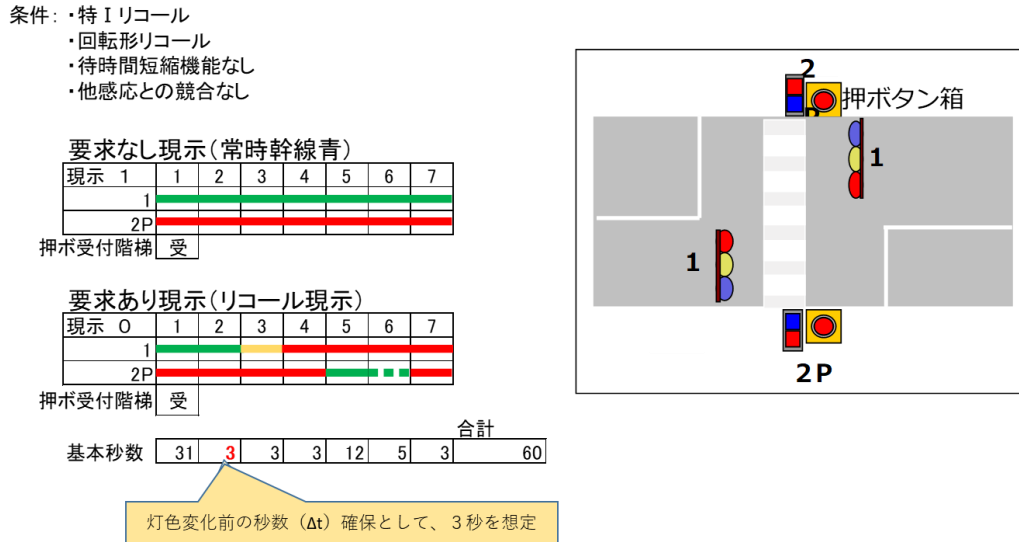


図 5.4.2 リコール 1 検証信号現示

交通信号制御機のリコール機能（歩行者押し釦や車両検知による感応）を行った場合、信号灯器の点灯パターンが変化するため、情報提供された車両で混乱を来す恐れがある。このため、「信号灯器の点灯順序が変化する場合」について、「灯色順序変動あり」の特定制御動作中フラグをセットする機能を二次試作で実装した。

信号情報は、交通信号制御機より送信されたデータを ITS 無線機側で受信し、パケットモニタでキャプチャし、ツールでデコード（テキスト化）したものを示す。

なお、ツールでのバイナリデータのデコードに関しては、標準規格

「路車協調型 DSSS 用交通信号制御機通信アプリケーション規格」の内容に対応しているものであるため、二次試作で追加定義した「特定制御動作中フラグ」に関してはデコードできないが、該当する領域 1 バイトの値を確認し、注釈表示で示した。

① リコール要求なし時（待機中）

押し釦によるリコール要求がない場合の信号情報は以下のとおりである。

信号情報(57byte)	
データ識別子	: 3
0000 0010 = 予備 8	: 2
バージョン情報	: 255
交差点方路数	: 2
信号情報出力対象方路数	: 2
出力方路[#1](4byte)	
出力方路[#2](4byte)	
総灯器数	: 1
信号予定情報[#灯器 1](19byte)	
0001 = 灯器番号	: 1
.... 0011 = 灯器出力変化数	: 3
灯色情報[#1](6byte)	
0... = カウントダウン停止要求フラグ	: 0
.000 0000 0010 1001 = 最小残秒数	: 41
最大残秒数	: 65535
灯色情報[#2](6byte)	
灯色情報[#3](6byte)	
出力方路[#1](1byte)	
出力方路[#2](1byte)	
総歩行者灯器数	: 1
信号予定情報[#歩行者灯器 1](21byte)	

特定制御動作中フラグ
「灯色順序変動あり」

灯色残秒数：不定

図 5.4.3 リコール要求なし時（待機中）信号情報

リコール制御を行う交差点であるので、「灯色順序変動」の可能性のあることを示すフラグをセットしている結果となっている。また、リコール制御の場合、灯色変化タイミングが不明であるので、最大残秒数が不定となっている。

なお、リコール要求待機中も、1 サイクル分（青→黄→赤）分の灯色変化分の信号予定情報を設定する実装としている。（灯器出力変化数 = 3）

② リコール制御実施中

押し釦によるリコール要求を入力し、リコール制御が開始した後の信号情報は以下のとおりである。

信号情報(63byte)	
データ識別子	: 3
0010 0010 = 予備 8	: 34
バージョン情報	: 255
交差点方路数	: 2
信号情報出力対象方路数	: 2
出力方路[#1](4byte)	
出力方路[#2](4byte)	
総灯器数	: 1
信号予定情報[#灯器 1](25byte)	
0001 = 灯器番号	: 1
.... 0100 = 灯器出力変化数	: 4
灯色情報[#1](6byte)	
丸信号灯色表示	: 青 (1)
青矢信号表示方向	
0... .. = カウントダウン停止要求フラグ	: 0
.000 0000 0010 0101 = 最小残秒数	: 37
最大残秒数	: 37
灯色情報[#2](6byte)	
灯色情報[#3](6byte)	
灯色情報[#4](6byte)	
出力方路[#1](1byte)	
出力方路[#2](1byte)	
総歩行者灯器数	: 1
信号予定情報[#歩行者灯器 1](21byte)	

特定制御動作中フラグ
「灯色順序変動あり」
「灯色順序変更中」

灯色残秒数：確定秒数 3.7 秒

図 5.4.4 リコール制御実施中信号情報

リコール受付階梯後、リコール 1 制御が発動し、「灯色順序変更中」を示すフラグがセットされる。また、灯色変化時期が確定したため、灯色残秒数も確定値に変化している。

③ リコール終了時

リコール制御が終了した後の信号情報は以下のとおりである。

信号情報(57byte)	
データ識別子	: 3
0000 0010 = 予備 8	: 2
バージョン情報	: 255
交差点方路数	: 2
信号情報出力対象方路数	: 2
出力方路[#1](4byte)	
出力方路[#2](4byte)	
総灯器数	: 1
信号予定情報[#灯器 1](19byte)	
0001 = 灯器番号	: 1
.... 0011 = 灯器出力変化数	: 3
灯色情報[#1](6byte)	
丸信号灯色表示	: 青 (1)
青矢信号表示方向	
0... .. = カウントダウン停止要求フラグ	: 0
.000 0000 0001 0100 = 最小残秒数	: 20
最大残秒数	: 65535
灯色情報[#2](6byte)	
灯色情報[#3](6byte)	
出力方路[#1](1byte)	
出力方路[#2](1byte)	
総歩行者灯器数	: 1
信号予定情報[#歩行者灯器 1](21byte)	

特定制御動作中フラグ
「灯色順序変動あり」

灯色残秒数：不定

図 5.4.5 リコール制御終了後信号情報

リコール制御サイクル終了後、待機状態に戻り、「灯色順序変更中」を示すフラグのみの状態に変化した。

5.4.3 FAST 感応時残秒数提供対応

交通信号制御機に、図 5.4.6 のような現示設定を行い、模擬中央装置から FAST 信号指令を交通信号制御機に送信し、FAST 制御が実行される前後の信号情報を観測した。

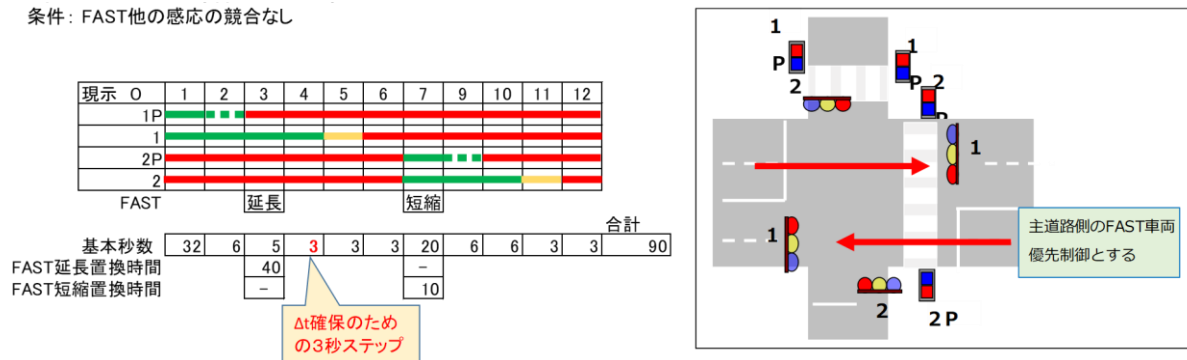


図 5.4.6 FAST 制御検証信号現示

信号情報の観測は、リコール制御の場合と同様の環境で実施した。

(このため、「灯色順序変動あり」フラグも設定されている)

① FAST 感応（延長動作）を実施した場合の動作

FAST 感応が中央装置から許可されているが、現在感応制御を実施していない場合の信号情報は以下のとおりである。

信号情報(177byte)	
データ識別子	: 3
0000 0011 = 予備 8	: 3
バージョン情報	: 255
交差点方路数	: 4
信号情報出力対象方路数	: 4
出力方路[#1](5byte)	:
出力方路[#4](5byte)	:
総灯器数	: 2
信号予定情報[#灯器 1](37byte)	
0001 = 灯器番号	: 1
.... 0110 = 灯器出力変化数	: 6
灯色情報[#1](6byte)	
丸信号灯色表示	: 青 (1)
青矢信号表示方向	
0... = カウントダウン停止要求フラグ	: 0
.000 0000 0010 1000 = 最小残秒数	: 83
最大残秒数	: 83
灯色情報[#2](6byte)	:
灯色情報[#6](6byte)	:
信号予定情報[#灯器 2](43byte)	
出力方路[#4](2byte)	
総歩行者灯器数	: 2
信号予定情報[#歩行者灯器 1](31byte)	
信号予定情報[#歩行者灯器 2](31byte)	

特定制御動作中フラグ
「灯色順序変動あり」
「残秒数変動あり」

灯色残秒数：固定値 8.3 秒

図 5.4.7 FAST（延長動作）未実施時信号情報

FAST 感応が発動前のため、青秒数は固定値となっているが、実際に FAST 感応した場合は幅付き秒数に変更される。このような残秒数の不連続な変化がありうることを示すため、「残秒数変動あり」フラグをセットして提供している。

上記の信号情報の直後、中央装置から FAST 信号指令を送信し、FAST 感応（青延長）が実施された場合の信号情報は以下のとおりである。

信号情報(167byte)	
データ識別子	: 3
0001 0011 = 予備 8	: 19
バージョン情報	: 255
交差点方路数	: 4
信号情報出力対象方路数	: 4
出力方路[#1](5byte)	
:	
出力方路[#4](5byte)	
総灯器数	: 2
信号予定情報[#灯器 1](37byte)	
0001 = 灯器番号	: 1
.... 0110 = 灯器出力変化数	: 6
灯色情報[#1](6byte)	
丸信号灯色表示: 青 (1)	
青矢信号表示方向	
0... .. = カウントダウン停止要求フラグ	: 0
.000 0000 0100 1111 = 最小残秒数	: 79
最大残秒数	: 429
灯色情報[#2](6byte)	
:	
灯色情報[#6](6byte)	
信号予定情報[#灯器 2](43byte)	
:	
出力方路[#4](2byte)	
総歩行者灯器数	: 2
信号予定情報[#歩行者灯器 1](31byte)	
信号予定情報[#歩行者灯器 2](31byte)	

特定制御動作中フラグ
「灯色順序変動あり」
「残秒数変動あり」
「残秒数変動中」

灯色残秒数：
FAST 設定に合わせた幅付き
秒数提供 7.9 秒～42.9 秒

図 5.4.8 FAST 感応（延長動作）信号情報

FAST 感応（延長）が発動した場合、最大残秒数が発動前から不連続となる。このため、「残秒数変動あり」に加えて、実際に変動したことを示す「残秒数変動中」のフラグをセットして提供している。

② FAST 感応（短縮動作）を実施した場合

延長の場合と同じく、感応直前・直後の信号情報は以下のようになる。

信号情報(167byte)	
データ識別子	: 3
0000 0011 = 予備 8	: 3
バージョン情報	: 255
交差点方路数	: 4
信号情報出力対象方路数	: 4
出力方路[#1](5byte)	
:	
出力方路[#4](5byte)	
総灯器数	: 2
信号予定情報[#灯器 1](25byte)	
0001 = 灯器番号	: 1
.... 0110 = 灯器出力変化数	: 4
灯色情報[#1](6byte)	
丸信号灯色表示: 赤 (3)	
青矢信号表示方向	
0... .. = カウントダウン停止要求フラグ	: 0
.000 0001 1100 0111 = 最小残秒数	: 455
最大残秒数	: 455
灯色情報[#2](6byte)	
:	
信号予定情報[#灯器 2](37byte)	
:	
出力方路[#4](2byte)	
総歩行者灯器数	: 2
信号予定情報[#歩行者灯器 1](31byte)	
信号予定情報[#歩行者灯器 2](21byte)	

特定制御動作中フラグ
「灯色順序変動あり」
「残秒数変動あり」

灯色残秒数: 固定値 45.5 秒

図 5.4.9 FAST 感応（短縮動作）未実施時信号情報

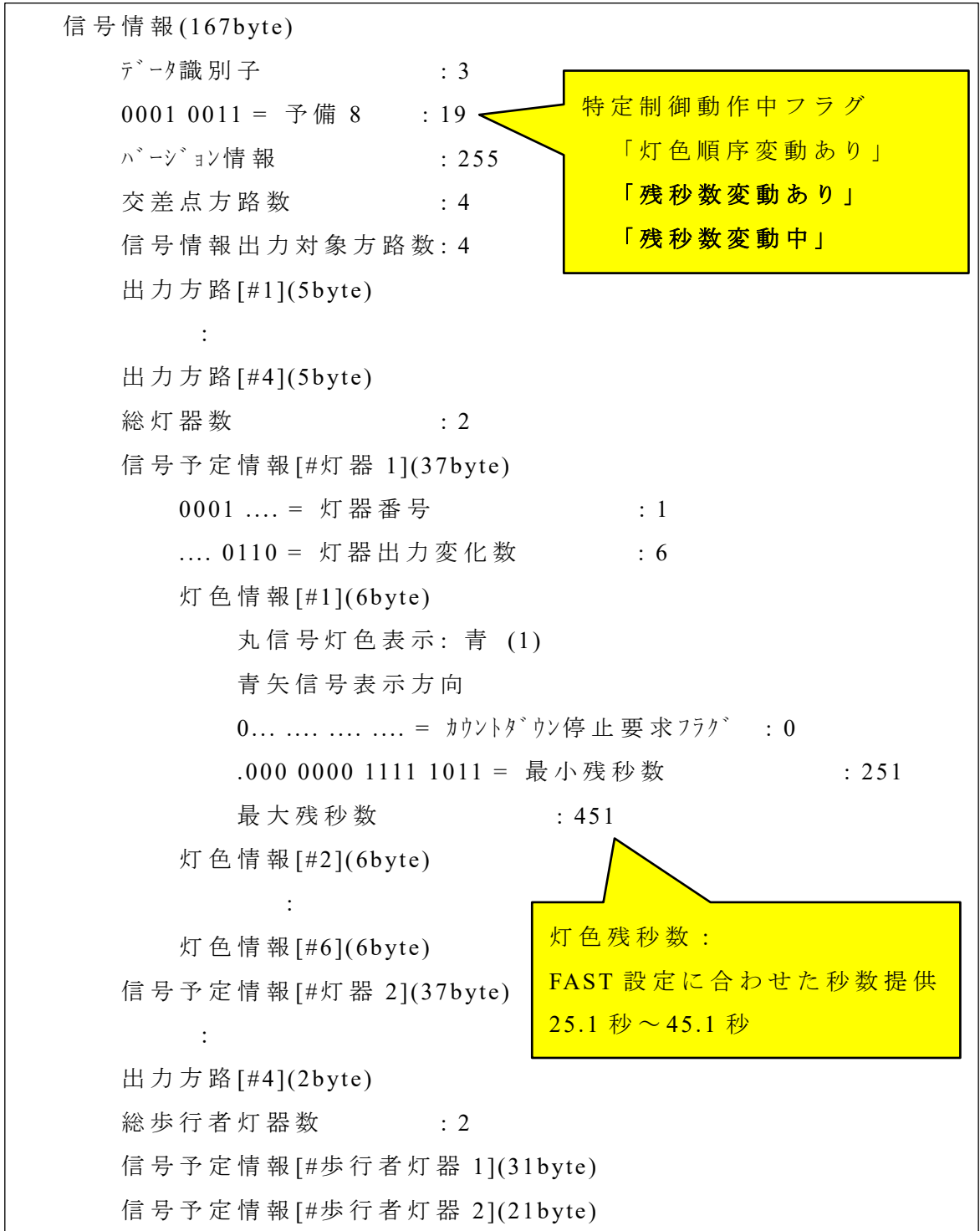


図 5.4.10 FAST 感応（短縮動作）信号情報

FAST 制御発動前は固定値による残秒数提供だが、FAST 短縮動作が発動した場合、最小残秒数が発動前から不連続となる。このため、「残秒数変動あり」に加えて、実際に変動したことを示す「残秒数変動中」のフラグをセットして提供している。

5.4.4 ステータス変更時の特定制御動作中フラグ対応

交通信号制御機のステータス変更（複数の信号現示設定を切り替える機能）を行った場合、リコール制御時と同様、「信号灯器の点灯順序が変化する場
合」について、「灯色順序変動あり」の特定制御動作中フラグをセットするよ
うに試作を行った。

なお、ステータス変更時の「灯色順序変動中」フラグは、セット後信号機
1 サイクル継続するが、閃光中は信号機サイクルが停止しているため、閃光
開始後一定時間（90 秒設定）で変動中フラグをリセットする仕様としている。

模擬中央装置から、ステータス変更を示す「信号制御指令」電文を交通信
号制御機に送信し、ステータス変更前後の信号情報を観測した。

ステータス変更の例として、信号制御機の通常 3 色現示から閃光現示に変
化させる場合、閃光現示から通常 3 色現示に変化させる場合について、フラ
グの変化を確認した。いずれの場合も、ステータス変更サイクル開始時に、
想定するフラグがセットされること、1 サイクル経過後ないし一定時間後、
フラグがリセットされることが確認できた。

① 通常 3 色ステータスから、閃光ステータスに変更した場合



図 5.4.11 ステータス変更 (3 色→閃光) 信号情報

② 閃光ステータスから、通常3色ステータスに変更した場合



図 5.4.12 ステータス変更 (閃光→3色) 信号情報

5.5 検証まとめと今後の検討課題

5.4 項の結果から、D S S S では適用範囲外であったリコール 1 制御時、FAST 感応時において、信号情報提供が可能となっていることを確認し、5.1 項、5.2 項で示した信号情報の可用性向上が実現できることを実証した。また、5.3 項で示した、信号情報に対するデータ項目追加（特定制御動作中フラグ）に関しても、想定通りに設定されることを確認し、特殊な信号制御の対象交差点であること及び特殊な信号制御が動作状態であることを車載機に通知することで、自動運転車の制御判断に役立てることができることを実証した。今後に向けては、これらの新しい信号情報が自動運転車において有用であることを、フィールド実験等を通じて検証することが望まれる。

6. 実証実験結果のフィードバック

6.1 テストコース実験の概要

実道路を模擬した屋外にインフラシステムを構築し、感応制御や閃光制御といった様々な条件での信号制御を実施し、信号情報がどのような変化するかを実験機器で履歴収集することで、信号情報が自動運転の制御活用に資するかについての検証を実施した。

なお、使用する ITS 無線路側機については、現行の警察庁標準仕様の機器を使用し、現行装置において車両に提供される信号情報の情報内容を検証した。

① 実験日時

令和 2 年 2 月 13 日（木） 13 時 15 分～16 時 30 分

② 実験場所

既に信号灯器等の設備が設置されており、ITS 無線路側機の通信エリア確認等も実施済であることから、以下の場所を選定した。

【住友電気工業(株)横浜製作所内テストベッド】

〒244-8588 横浜市栄区田谷町 1

③ 実験環境

実験環境の概観を図 6.1.1 に示す。

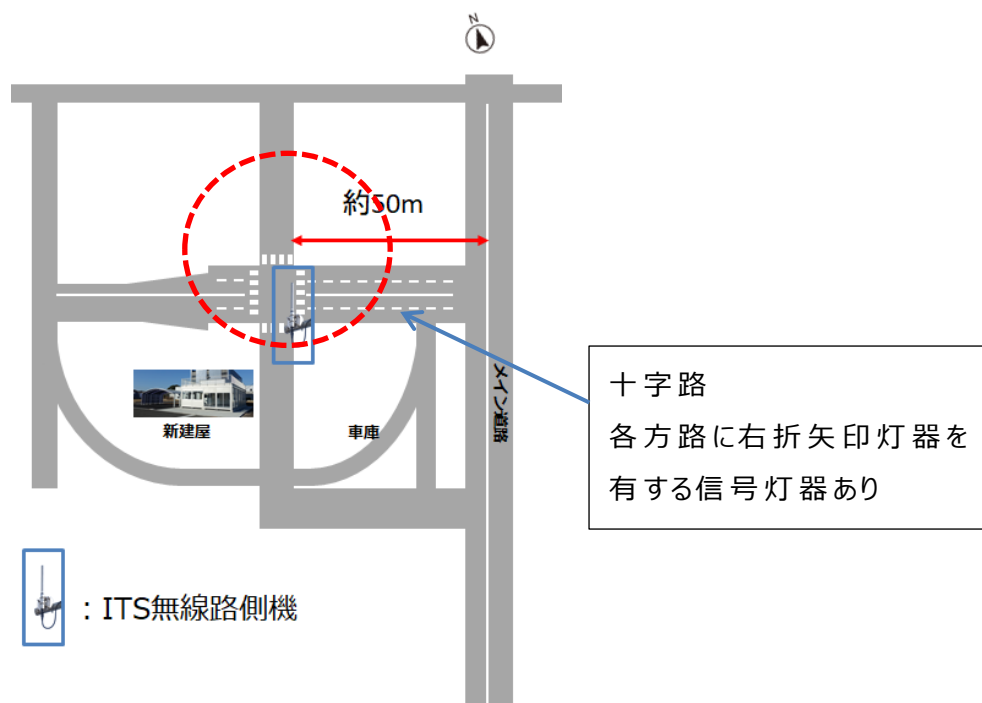


図 6.1.1 実験環境概観①



図 6.1.1 実験環境概観②

④ 実験システム構成

実験向けに設定変更の必要があることから、交通信号制御機、ITS 無線路側機については実験用の機器を持ち込み、現地の信号灯器や ITS 無線アンテナを接続して実験を行った。また、信号情報の変動状況を検証するという実験目的を鑑み、実験車両による走行試験は特に行わず、実験用 ITS 無線車載機によるデータ収集を実施した。

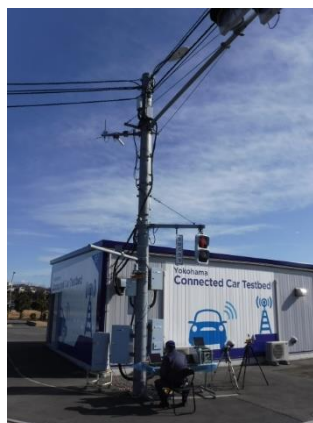
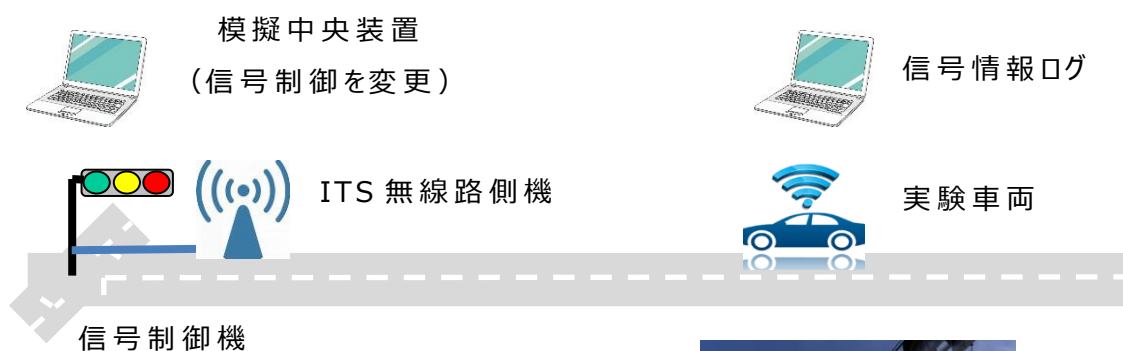


図 6.1.2 実験システム構成

6.2 実験方法

特殊な信号制御のケースとして、表 6.2.1 に記載ケースを抽出し、該当の制御が発動する前後での信号情報を ITS 無線車載機（以下、車載機という）で記録蓄積した。

表 6.2.1 実験対象とした信号制御のケース

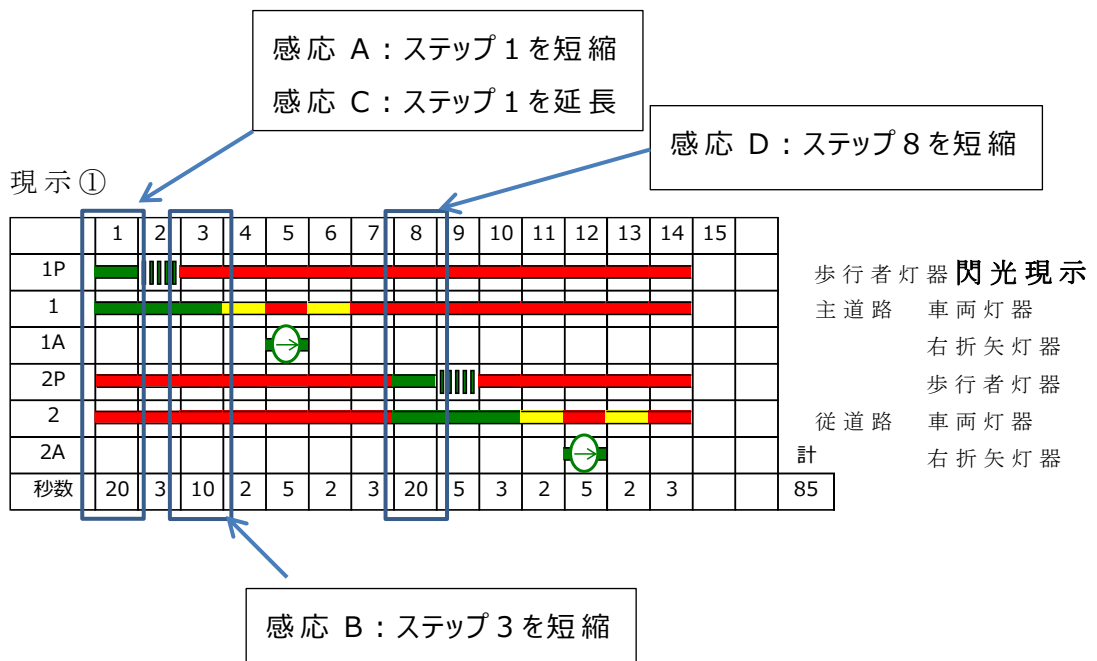
実験	信号制御	制御内容	現示/感応
1	感応制御 (事前秒数置換のケース) 例：ギャップ感応 (歩行者青階梯感応)	車両が存在しない時点で青信号を打ち切る感応制御。 対象階梯が歩行者青階梯の場合(青時間確定 Δ 秒後に黄開始)	現示① →感応 A
2	感応制御 (秒数打ち切りのケース) 例：ギャップ感応 (歩行者赤階梯感応)	車両が存在しない時点で青信号を打ち切る感応制御。 対象階梯が歩行者赤階梯の場合(幅付き秒数から即時で黄開始)	現示① →感応 B
3	PTPS 制御 (青延長バス感応)	交差点手前でバスを感知したとき、青時間の延長により、バスを通過可能とする。	現示① →感応 C
4	PTPS 制御 (赤短縮バス感応)	交差点手前でバスを感知したとき、赤時間の短縮により、続く青時間でバスを通過可能とする。	現示① →感応 D
5-1	信号現示の変更 (通常→閃光)	通常 3 色状態から閃光状態へのステータス変更を実施した場合	現示① →現示②
5-2	信号現示の変更 (固定現示→閃光)	通常 3 色状態(最終ステップが全赤ではないケース)から閃光状態へのステータス変更を実施した場合。 ※灯色を固定した現示設定を用い、模擬的に実施	現示③ →現示②
6	信号現示の変更 (閃光→通常)	閃光状態から通常 3 色状態へのステータス変更を実施	現示② →現示①

		した場合	
7	信号現示の変更 (通常→通常)	通常3色状態から灯色パターンの違う通常3色状態にステータス変更した場合。	現示① →現示④

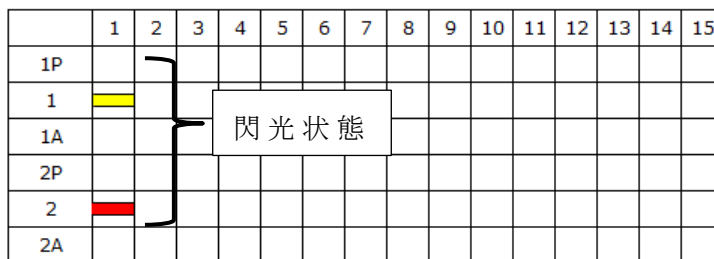
注) テストコースでは、車両感知器を用いた車両検知による感応制御ができないため、模擬的な感知器信号を信号制御機に入力することにより感応制御を実施した。

6.2.1 信号制御の設定

各実験で用いた信号現示及び感応制御の実行対象ステップを図6.2.1に示す。



現示②



現示③

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1P	[Green bar]														
1	[Green bar]														
1A	[Empty]														
2P	[Red bar]														
2	[Red bar]														
2A	[Empty]														

現示④（現示①の主道路、従道路を逆とした）

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1P	[Red bar]														
1	[Red bar]														
1A	[Empty]														
2P	[Red bar]														
2	[Red bar]														
2A	[Empty]														
秒数	20	3	10	2	5	2	3	20	5	3	2	5	2	3	
	計														
	85														

図 6.2.1 信号動作の設定

実験ケース毎に、感応制御及びステータス変更を実施したタイミング前後における以下のデータを収集した。

- a. 信号制御機：制御実行履歴ログ（csv ファイル）
- b. 路側機：信号制御機からの受信ログ※
- c. 路側機：車載機への送信ログ※
- d. 車載機：路側機からの受信ログ

※：b, c のデータは、情報が洩れ欠けなく出力されていることの確認目的で取得した。

b, c, d の各データは、一般的なパケットキャプチャツールによる記録を現地にて実施した。

6.3 実験結果

本年度の作業範囲としては、テストコースでの検証実施とデータ整理までとし、カーメーカ等の意見集約については、次年度の作業とした。以下に実験結果を示す。

6.3.1 実験 1、2、3、4（感応制御時の試験）

感応制御が実施される場合、感応制御によって信号秒数が確定されるまでは、青時間の最小残秒数と最大残秒数が異なる値（幅付き秒数）で提供され、感応制御によって信号秒数が確定した時点で、青時間の最小残秒数と最大残秒数が等しい値（確定秒数）で提供される。

なお、感応制御は、事前にその動作を予測することが困難である。一方、感応制御の前後で同じ灯色が継続する場合（実験 1、3、4）においては、信号情報出力処理における定常的な遅れ時間を、前述の補正処理（3章参照）によって、信号残秒数を補正することができる。しかし、感応制御の前後で灯色が変わる場合（実験 2）においては、灯色状態の補正はできないため、車両に灯色変化が通知されるまでのれ時間が大きくなる。表 7.3.1 に信号制御機の動作記録と車載機での動作記録を示す。両者を比較すると、実験 3 のパターンでは、車両に灯色変化が通知されるまで約 0.5～0.6 秒の遅れがあることが観測された。

表 6.3.1 実験 1、2、3、4（感応制御時の試験）

No	変化するステップ	サイクル先頭時刻							変化ステップ先頭時刻						
		制御機ログ			車載機ログ			誤差	制御機ログ			車載機ログ			誤差
		時	分	秒	時	分	秒		時	分	秒	時	分	秒	
実験1	2 (1ステップを感応)	14	6	59.2	14	6	59.1	-0.1	14	7	14.2	14	7	14.7	0.5
実験2	4 (3ステップを感応)	14	32	21.8	14	32	21.8	0.0	14	32	49.9	14	32	50.5	0.6
実験3	2 (1ステップを感応)	14	13	59.4	14	13	59.4	0.0	14	14	25.7	14	14	26.2	0.5
実験4	9 (8ステップを感応)	14	22	36.2	14	22	36.2	0.0	14	23	31.4	14	23	31.9	0.5

この間、直前ステップ（感応したステップ）の灯色情報が継続

6.3.2 実験 5、6、7（現示変化時の試験）

現示変化時については、感応制御と同様に、事前にその動作を予測することが困難である。各実験における信号情報の変動内容を下記に示す。表 7.3.2 に信号制御機の動作記録と車載機での動作記録を示す。両者を比較すると、約 0.3～0.6 秒の遅れがあることが観測された。

① 実験 5 - 1 :

0.4 秒間、直前の信号現示である通常 3 色の 1 ステップ灯色情報が出力された後、灯色不明となった。

② 実験 5 - 2 :

0.5 秒間、直前の信号現示である固定灯色が出力された後、灯色不明となった。(灯色変化のない個所は「—」で記述)

③ 実験 6 :

交通信号制御機の仕様に基づき、一旦主道路・従道路とも赤灯色(全赤)となり、5 秒後に通常 3 色状態の 1 ステップ灯色情報が出力された。

④ 実験 7 :

0.5 秒間、現示①の 1 ステップ灯色情報が出た後、現示②の 1 ステップ灯色情報が出力された。

表 6.3.2 実験 5、6、7 (現示変化時の試験)

No	現示変化	サイクル先頭時刻							現示変更が信号情報に反映される時刻						
		制御機ログ			車載機ログ			誤差	制御機ログ			車載機ログ			誤差
		時	分	秒	時	分	秒		時	分	秒	時	分	秒	
実験5-1	標準→閃光	13	55	20.5	13	55	20.4	-0.1	13	55	20.5	13	55	20.9	0.4
実験5-2	固定現示→閃光	14	45	2.0	—	—	—	—	14	45	2.0	14	45	2.5	0.5
実験6	閃光→標準	14	1	14.2	14	1	14.2	0.0	14	1	14.2	14	1	14.5	0.3
実験7	標準→標準②	14	39	22.0	14	39	22.0	0.0	14	39	22.0	14	39	22.5	0.5

6.4 テストコース実験結果の検証

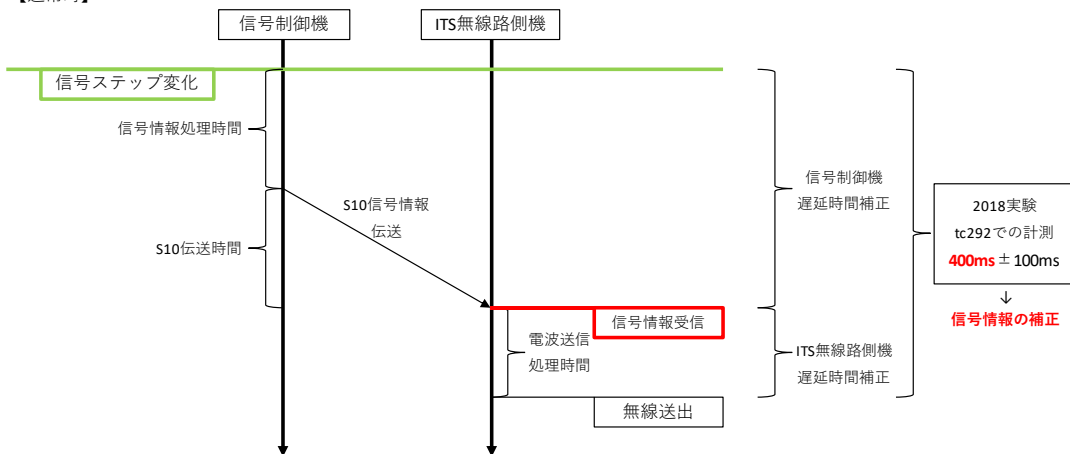
6.4.1 信号情報提供の遅延時間に関する考察

2018 年度の調査研究で実施された実験結果では、信号機のサイクル開始時(1 ステップ開始時)から ITS 無線路側機の無線送出が完了するまでの遅延時間は 400ms±100ms であった。それに対して今回実施した実験では 500ms 前後(最大 600ms)の結果となっている。遅延時間が 100ms~200ms 程度長くなっている理由としては、交通信号制御機が感応制御等の処理をする際、灯色が正しく変化したかのセルフチェック(感応確認処理)を実施しており、この処理に 100ms~200ms 程度の時間を費やしていることが原因と考えられる。

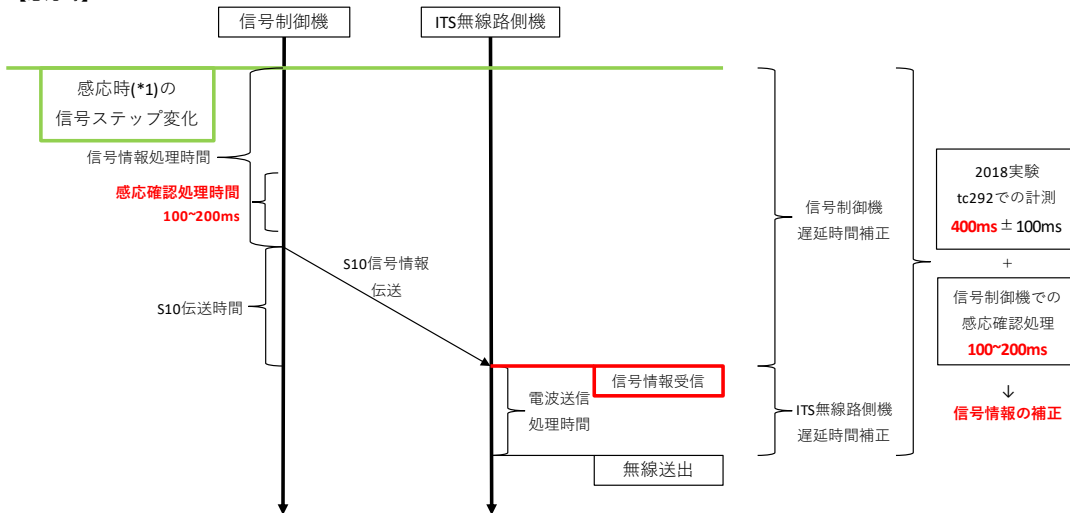
なお、この遅延時間については、交通信号制御機側で補正を行っており、事前に予測可能なステップ変化(固定秒数のステップ等、サイクル開始含む)においては、遅延時間を補正することで、ほぼ正確なステップ変化を把握できる。しかし、感応制御のように事前予測不能なステップ変化では、感応ステップ変化を反映した信号情報の伝送遅延による遅れは避けられず、今回測定された遅延分(500ms 前後)遅れて送出され、その間、感応しなかった場合の信号情報が継続して提供される現象と考えられる。

ただし、ステップ変化後の信号情報は、感応確認処理時間も含めた遅延時間を考慮して補正されており、カウントダウン処理による灯色残秒数は正確に車両へ提供されている。

【通常時】



【感応時】



*1: 前のステップが感応等により時間が変化した場合

図 6.4.1 感応制御時の信号情報提供について

6.4.2 信号現示切り替わり時の信号情報提供について

実験 5、6、7 においては、いずれも、信号サイクルの切り替わり時に、一時的に、本来のサイクルのものでない信号情報が出力されていることが観測された。これは、現行の交通信号制御機における信号情報生成処理の仕様によるものとなっている。

信号情報は、現在実施中の信号サイクルに加え、次サイクル分の情報も出力されているが、次サイクルの情報は、現在実行中サイクルの現示が引き続き継続する前提で生成されている。これは、交通管制センタの中央装置から信号制御機に対し、非同期で次サイクルの信号制御指令が指示されるため、信号制御機では次サイクルの制御内容を事前に確定できないことによる。

次サイクルの開始時、ITS無線路側機は、既に受信している信号情報に基づいてカウントダウン処理を行い、想定される信号情報を設定する。このため、次サイクルの信号制御内容が大きく変化した場合（通常3色から閃光など）、次サイクル分の（確定した）信号情報が受信されるまで、前サイクルの現示に基づく内容を車両に提供することとなる。今回の実験結果より、「現示切り替わり前の信号情報」が提供される期間が、0.3秒～0.5秒存在することが確認された。

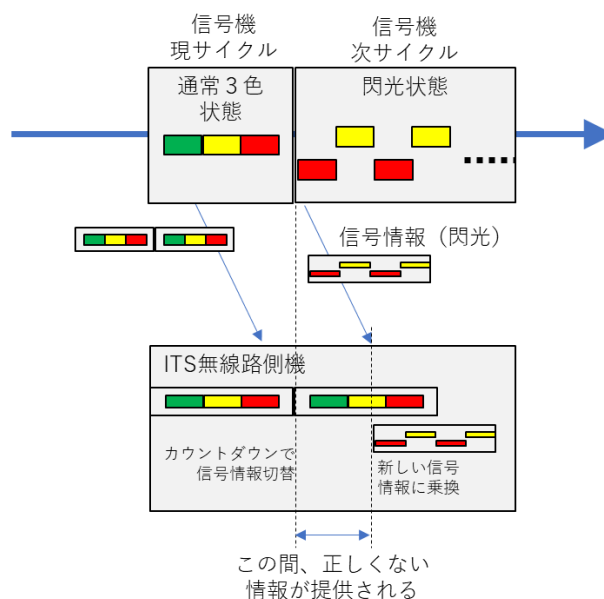


図 6.4.2 信号現示切り替わり時の信号情報

6.4.3 検証後の課題

感応制御実行時や信号現示切り替わり時の信号情報を検証した結果より、予め想定できない信号動作変化時には、信号情報はその動作変化に追従するまで、一定の遅延時間があることが確認された。

この遅延についての自動運転への影響等については、カーメーカ等の意見を踏まえて、フィールドでの影響を別途検証等行うとともに、避けられない遅延時間については、信号現示の見直しなど、運用面での対応も必要と考えられる。

6.5 東京臨海部実証実験の課題

本件で検討したシステムと同様、ITS無線路側機を用いた自動運転実証実験を行っている、東京臨海部実証実験において、ITS無線路側機の仕様に関するいくつかの課題が把握されており、本件における影響を把握し、課題を踏まえた検証を行うため、2020/2/4に実施された第6回委員会において、東京臨海部実証実験の担当者と課題を共有する場を設定した。

委員会において紹介された事例は、以下のものであった。

表 6.5.1 東京臨海部実証実験におけるITS無線路側機の課題

No	課題の内容
1	「ITS無線路側機 路車間通信アプリケーション規格」の「DE_インクリメントカウンタ」の取り扱いについて、全てのメッセージ共通のカウンタとするか、メッセージ毎のカウンタとするかが明確に定義されていない。
2	押ボタン制御信号機等、信号制御機から灯色信号のみ受信可能な場合、路車間で提供する信号情報は、「DF_サービス方路信号情報」までとし、「DF_車灯器情報」や「DF_歩灯器情報」は含まないことが明確になっていない。 また、灯色信号のみ接続する場合における「DSSS登録メッセージ状態」で中央装置に通知する情報（メッセージ未登録、タイムアウト発生中）の送信条件が明確になっていない。
3	ITS無線路側機のGPS同期、エア同期の切り替えに関する仕様同期異常を発生させずに切り替えること、同期方法の優先度など
4	残秒数のカウントダウン方法の明確化 感応階梯終了後の最大残秒数、最小残秒数の減算処理例を示すなど
5	ITS無線路側機の鍵切替についての手順、データフォーマットの明確化

第6回委員会での議論の結果、いずれの課題も、ITS無線路側機に関連した仕様規格の明確化を行うことが恒久対策であると合意された。

このため、UTMS協会において、ITS無線路側機の仕様化検討を行った、「ネットワーク検討作業部会」にて本件の対応を実施することで、UTMS協会の合意を頂いた。

6.6 テストコース検証結果及び実証実験を踏まえた機能・技術要件の詳細化

テストコース実験等により、感応制御実行時や閃光動作時における提供遅延等の課題が明らかになった。これらの対策として、車両メーカーへのヒアリングを実施した結果、特定制御動作中フラグ仕様についての見直しを行った。

フラグ定義の変更案を図 6.6.1、変更後のデータ内容を表 6.6.1 に示す。

なお、灯色順序変動制御交差点として通知対象とするステータス制御は、夜間閃光など定められた時間帯など事前計画に沿って実施されるものとし、介入などによって実施されるものは除く。

「DE_特定制御動作中フラグ」

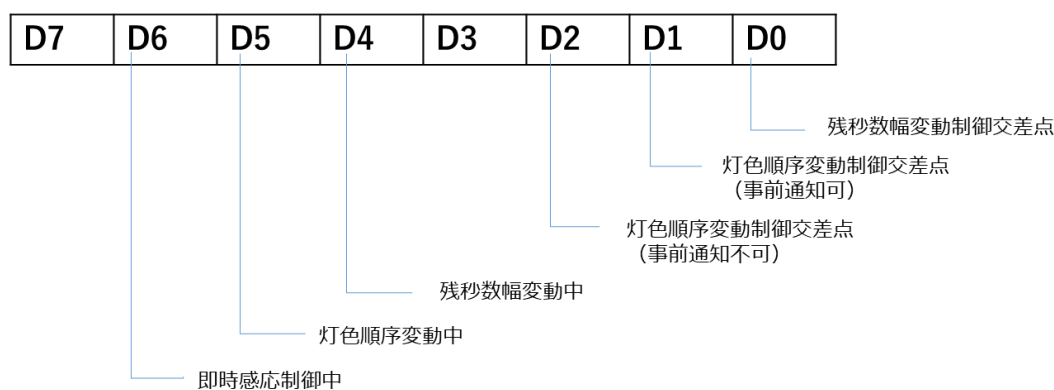


図 6.6.1 特定制御動作中フラグ定義変更案

表 6.6.1 特定制御動作中フラグ変更内容

項番	動作状態	対象制御方式	フラグ名称 (案)	フラグ開始条件	フラグ終了条件
1	前回タイミングで提供された最小残秒数と最大残秒数の範囲を逸脱して残秒数が変動する信号制御	FAST制御	残秒数幅変動制御交差点	感応許可時	—
			残秒数幅変動中	FAST信号あり	FAST信号なし
2	前回タイミングで提供された灯色出力変化の順序が変動する信号制御の対象交差点	・リコール制御 (押しボタン等) ・ステータス制御 (閃光等)	灯色順序変動制御交差点 (事前通知可) (※1)	感応許可時(リコール制御)	—
			灯色順序変動制御交差点 (事前通知不可) (※1)	常時 (ステータス制御)	—
			灯色順序変動中	灯色順序変化確定時	灯色順序変化開始から所定秒数間
3	規定以上の遅延が発生	Δt 秒を確保できず青信号が即時打ち切りとなる感応制御 (右折感応等、最小秒数=0として提供される可能性のある交差点)	即時感応制御中	対象階梯開始	対象階梯終了

※1 灯色順序の変更開始時に、実際の灯色状態と信号情報の不整合の一定時間発生が不可避な交差点を「事前通知不可」とする。
(例) ステータス制御、特殊なリコール制御などを想定
なお、灯色順序の変更開始より Δt 秒以上前に信号情報を更新できる場合は「事前通知可」とする。

7. 自動運転用インフラ仕様書の見直し

これまでの検討の結果、交通信号制御機、ITS無線路側機の機能について追加すべき提案項目と、関連する通信規格の見直しについて、現行仕様書の改訂案を作成した。

作成した文書は以下の通りである。

- (別添1)「交通信号制御機 仕様化検討提案書(2020警 a改訂案)」
- (別添2)「ITS無線路側機仕様化検討提案書(2020警 a改訂案)」
- (別添3)「路車協調型 DSSS 用交通信号制御機通信アプリケーション規格(2020警 a改訂案)」
- (別添4)「ITS無線路側機 DSSS 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(2020警 a改訂案)」

8. 信号情報提供手法の比較検討

信号情報提供手法としては、本調査研究で対象とした ITS 無線路側機の他に、2019 年度に実施された調査研究「ITS 無線路側機等の路車間通信以外の手法による信号情報の提供に係る研究開発」がある。ここでは、両研究結果を基にした比較検討を実施した。ただし、同研究開発は、2020 年度よりモデル実験が計画されているなど研究途上にあり、ここで示す内容は現時点における暫定的な検討結果である。

ここで、「ITS 無線路側機等の路車間通信以外の手法による信号情報の提供に係る研究開発」においては、LTE 等のモバイル回線を活用したクラウドによる信号予定情報生成の実現方法として、下記の 3 方式の検討が実施されている。

・管制方式

交通信号制御機（集中）を対象とする。交通信号制御機（集中）から受信する信号制御実行情報、交通管制センタから配信する信号制御指令に基づき、信号予定情報を生成する。

・集中方式

交通管制センタで即時信号制御指令及び即時信号動作状態情報から信号予定情報を生成する方式と交通信号制御機（集中）にて信号予定情報を生成する方式が想定され、同研究開発にて前者を集中方式①、後者を集中方式②とすることとした。

・制御機方式

交通信号制御機（非集中）は、設定されている動作時限表により各階段の実行秒数を決定している。決定した情報を基に信号予定情報を生成する。

本調査研究においては、信号情報提供手法として「ITS 無線」、「管制方式」、「集中方式②」、「制御機方式」を対象として、機能面やコスト面などの観点から、メリット・デメリットについて比較した。比較結果を表 8.1 に示す。

表8.1 信号情報提供手法の比較について

区分	分類	機能面からの要求事項						整備・運用に係わる費用負担												
		信号情報 データコンテンツ	信号情報の 提供タイミング /提供場所	セキュリティ (各ノード間)	信号情報の データ精度	信号情報提供 遅延・ゆらぎ	可用性		信頼性	イニシャルコスト					ランニングコスト					
							場所 提供対象信号制御方式	時間 一時的に不明となる条件		路側端末	管制センタ	信号情報センタ	サービス 事業者	ユーザ	路側端末	管制センタ	信号情報センタ	サービス 事業者	ユーザ	
共通	要件	・現在灯色+次灯色開始までの残秒数 ・次灯色+最小/最大残秒数 ・次灯色開始をΔt秒前に確定 ・ダイナミックマップとの紐づけ ・歩行者用信号	停止線に安全停止できる距離/時間を確保できる ように信号情報を提供 (停止線からΔt秒×車両速度)	情報の機密性が確保されていること 情報が改ざん・破壊されていない正しい状態であること	(許容誤差) ±300ms以内	・左記を満足すること	・常時(異常時、手動時除く) ・上記を満たせない場合、感応制御別特定制御中フラグで、事前通知すること (パラメータ切替時等における提供連続性の維持)	・現在灯色状態について、二重化等により不整合等の異常状態を検出できること ・異常発生を検出したら速やかに通知できること	信号制御機の更新要否及びその他に設置を必要とする端末設置	現状のCS標準機能が他に新規追加が必要となる機能	信号情報を集約・管理するシステムの設定	信号情報を配信するシステムの設定	専用車載機等の要否	費用項目 (Ex.回線費、保守費など)	費用項目 (Ex.回線費、保守費など)	費用項目 (Ex.回線費、保守費など)	費用項目 (Ex.回線費、保守費など)	費用項目 (Ex.回線費、保守費など)	費用項目 (Ex.通信費、サービス契約料など)	まとめ
警 a	ITS無線	・現在灯色状態 ・次灯色開始までの残秒数 ・次灯色+最小/最大残秒数 ※PR階梯の感応制御時に次灯色開始をΔt秒前に確定するためには、感応階梯以降にΔt秒以上の固定階梯追加が必要	・提供場所・方法:交差点に設置したITS無線路側機よりブロードキャストで信号情報を送出 ・提供エリア:ITS無線路側機を設置した周辺200~300m範囲	・管制センタ~路側端末:専用回線により接続 ・路側端末~車載機:秘密鍵による暗号化(ITS connect)	・誤差=提供遅延のゆらぎ±100ms未満	・遅延:残秒数の補正により相殺 なお、補正ができないPR階梯での感応制御時は固定階梯1秒の追加が必須(Δtの内数) ・ゆらぎ:同左	・非集中:× (管制センタが無線監視するための回線が必要) ・中央感応制御:○ ・端末感応制御:○ ・リコール制御:○ ・FAST制御:○ ・表示切替制御:○ ・連動子機制御:× ・保安動作・異常閃光:×	原則として、提供対象の信号制御方式・動作状態であれば、故障等の下記の異常時を除き、提供情報が不明になることはない。 ・信号機異常時 ・ITS無線路側機異常時 ・中央装置との通信タイムアウト発生時	・信号情報提供の付加機能が指定された交通信号制御機への更新 ・ITS無線路側機の設置	DSSS機能として、ITS無線管理機能等が標準仕様化済み。自動運転向けに追加されたダイナミックマップと紐付ける路側機メッセージ「交差点識別情報」の管理機能追加が必要	-	-	ITS無線対応車載機	・ITS無線路側機を管制センタと接続するための回線費 ・故障・異常時等における従来以上の早期対応のための保守対応費	・セキュリティ鍵切替などの保守費	-	-	-	機能要件(精度・可用性・信頼性等):○ ①主な課題 ②インフラ整備・普及方策 ・整備計画(対象路線・工程) ・信号機更新など都道府県の財政負担軽減 ・運用保守体制 ③Δt秒固定階梯など信号制御の運用見直し	
警 b	管制方式				従来の交通信号制御機は時刻が正確ではなく(秒単位補正のため通常時で1秒程度、ずれ幅が誤差となるため、要件を満足するためにはGPS等による時刻同期機能を交通信号制御機に追加することが必要となる	・遅延:絶対時刻による提供により相殺 なお、先読み通知ができないPR階梯での感応制御時は見込まれる最大提供遅延時間以上の固定階梯の追加が必要 ・ゆらぎ:同左	・非集中:× ・中央感応制御:○ ただし、オフセット変化時などに交通信号制御機で実行される追従動作を正確に推定できない場合がある。 ・端末感応制御:× ・リコール制御:× ・FAST制御:× ・表示切替制御:○ ・連動子機制御:× ・保安動作・異常閃光:×	・サイクル開始時/ステータス(表示)切替時から情報更新まで ・故障時や保守時など	-	・信号情報生成のための設定と機能及び信号情報センタへの配信のための設定と機能の追加が必要 ・ダイナミックマップと紐付ける路側機メッセージ「交差点識別情報」の管理機能追加が必要	各都道府県警備管制センタと接続し、全国の信号情報を集約するセンタ サービス事業者が運営する配信センタへ信号情報を配信する。	ユーザが契約するサービスセンタ。各OEMセンタや交通情報配信事業者などを想定 ※車からの要求応答又は車の走行位置や信号情報更新状況などに応じて信号情報を提供する	車載機仕様は、サービス事業者に依存	・故障・異常時等における従来以上の早期対応のための保守対応費	・信号情報センタと接続するための回線費 ・故障・異常時等における従来以上の早期対応のための保守対応費	・信号情報センタと接続するための回線費 ・信号情報購入費用 ・故障・異常時等における早期対応のための保守対応費 ・ユーザ窓口などの対応費	機能要件(精度・可用性・信頼性等):× ①主な課題 ②要件の緩和又はユースケースの見直し ③信号情報/配信センタの運用主体、責任分界点等の整理			
	集中方式②	・現在灯色状態 ・次灯色開始の時刻(絶対時刻) ・次灯色+最小/最大残秒数 ※PR階梯の感応制御時に次灯色開始をΔt秒前に確定するためには、感応階梯以降に(Δt秒+見込まれる最大提供遅延時間)以上の固定階梯追加が必要	車との通信仕様は、サービス事業者に依存	・管制センタ~路側端末:専用回線により接続 ・その他区間:閉域網でのVPN構築などを想定	GPS等の時刻同期機能は有する交通信号制御機又は信号情報編集装置にてタイムスタンプを付与(交通信号制御機における誤差=ゆらぎは警aと同等)	・遅延:絶対時刻による提供により相殺 なお、先読み通知ができないPR階梯での感応制御時は見込まれる最大提供遅延時間:信号情報センタ→サービス事業者→車載機の各区間の遅れは警bの検討対象外のため、別途検討結果のフィードバックが必要	非集中:× 集中:警 a と同等	非集中:× 集中:警 a と同等	GPS等による時刻同期機能、中央への信号情報送信機能等を有する交通信号制御機への更新	・信号情報生成のための設定と機能及び信号情報センタへの配信のための設定と機能の追加が必要 ・ダイナミックマップと紐付ける路側機メッセージ「交差点識別情報」の管理機能追加が必要	各都道府県警備管制センタと接続し、全国の信号情報を集約するセンタ サービス事業者が運営する配信センタへ信号情報を配信する。 ダイナミックマップと紐付ける路側機メッセージ「交差点識別情報」の管理機能追加が必要	ユーザが契約するサービスセンタ。各OEMセンタや交通情報配信事業者などを想定 ※車からの要求応答又は車の走行位置や信号情報更新状況などに応じて信号情報を提供する	車載機仕様は、サービス事業者に依存	・故障・異常時等における従来以上の早期対応のための保守対応費	・信号情報センタと接続するための回線費 ・信号情報購入費用 ・故障・異常時等における早期対応のための保守対応費 ・ユーザ窓口などの対応費	機能要件(精度・可用性・信頼性等):△ ①主な課題 ・整備計画(対象路線・工程) ・信号機更新など都道府県の財政負担軽減 ②信号情報/配信センタの運用主体、責任分界点等の整理 ③(Δt秒+最大遅延)固定階梯など信号制御の運用見直し ④灯色異常検出など信頼性(フェールセーフ)の対応				
	制御機方式				GPS等の時刻同期機能は有する交通信号制御機又は信号情報編集装置にてタイムスタンプを付与(交通信号制御機における誤差=ゆらぎは警aと同等)	非集中:○ 集中:警 a と同等	非集中:○ 集中:警 a と同等	非集中:○ 集中:警 a と同等	集中:信号情報提供の付加機能が指定された交通信号制御機への更新 ・信号情報編集装置の設置	・集中:信号情報提供の付加機能が指定された交通信号制御機への更新 ・信号情報編集装置の設置	全国の交通信号制御機と直接接続し、信号情報を集約するセンタ サービス事業者が運営する配信センタへ信号情報を配信する。 ダイナミックマップと紐付ける路側機メッセージ「交差点識別情報」の管理機能追加が必要	集中:信号情報提供の付加機能が指定された交通信号制御機への更新 ・信号情報編集装置の設置	集中:信号情報提供の付加機能が指定された交通信号制御機への更新 ・信号情報編集装置の設置	・信号情報編集装置と信号情報センタを接続するための回線費 ・故障・異常時等における従来以上の早期対応のための保守対応費 ・非集中の場合は、信号パラメータ設定変更により連動した信号情報の設定更新が必要	-	機能要件(精度・可用性・信頼性等):○ ①主な課題 ②信号情報編集装置、信号情報/配信センタの運用主体、責任分界点等の整理 ③(Δt秒+最大遅延)固定階梯など信号制御の運用見直し				

9. まとめ

9.1 研究成果

本研究における研究成果を示す。

①自動運転のための信号情報の要件定義

自動運転用の信号情報の主な機能要件として以下の3項目を定義し、それぞれの実現に向けたインフラ路側機器（交通信号制御機及び自動運转向けITS無線路側機）における技術課題の導出を実施した。

- ・信号情報と実際の灯色の誤差を±300ms以下とすること
- ・灯器状態と信号情報の一致を確認し、異常発時に車両に通知するフェールセーフ機能を実装すること
- ・様々な信号制御方式において信号情報提供を実現すること

②第一次検証のための仕様書等の作成

自動運転用インフラに求められる信頼性を担保する新たな機能として、信号灯器の点灯状態と交通信号制御機から出力された信号情報の一致、整合性を検証するフェールセーフ機能要件を導出し、自動運転用ITS無線路側機及び交通信号制御機それぞれにおける機能分担・技術仕様を整理し、一次試作仕様書として取り纏めを実施した。

③フェールセーフ機能等の新たな機能の第一次試作及び検証

②項の技術仕様に基づく一次試作として、交通信号制御機、自動運転用ITS無線路側機への機能追加を行った。また、試作開発したインフラ機器を用いて、所定のフェール状態（信号情報と灯色の不整合状態）に対して異常を検出可能かの機能検証及びフェール状態発生から検出されるまでの遅延時間の計測実験を実施した。フェール状態（信号情報と灯色の不一致）発生時から信号情報が無効となるまでの時間の測定を行った結果、通常3色状態において、およそ500ms以下、閃光状態において、およそ1秒以下の遅延時間内にて、フェールセーフの判定を行うことができることを実証した。

④特殊な信号制御実行時における信号情報の評価

・実験参加者へのヒアリング

日本自動車自工業会や信号機メーカーと意見交換を実施するとともに、警察庁のご協力の下、全国都道府県警殿における信号制御の運用状況についてヒアリングを行い、黄色信号時間の全国標準化、感応制御実行時は黄色開始の数秒前に青時間を確定することが望ましいといった現状システムにおける信号情報の要望事項を取り纏めた。また、東京臨海部実

証実験で明らかになった GPS 同期異常の発生状況等の ITS 無線路側機の課題を共有した。

・テストコース実験

感応制御や閃光制御等といった特殊な信号制御時における信号情報について、現行仕様の ITS 無線路側機等を用いて、その配信状況をテストコースにて再現し、提供される信号情報が自動運転の制御活用に資するかについての検証を実施した。テストコース実験結果より、青信号を即時打ち切りする感応制御実行時において、提供遅延による信号情報誤差が 500ms 発生し、機能要件が未達となることを確認した。この対策としては、該当する信号制御を実施している交差点において、その事象発生を事前通知する路車間メッセージの改訂仕様案等を検討した。

⑤ 第二次検証のための仕様書等の作成

自動運転用インフラに求められる信号情報の可用性向上を目的として、信号情報提供が困難と考えられる特殊な信号制御として、緊急車両を優先する FAST 制御、歩行者押しボタン等によって青信号を呼び出すリコール制御を抽出し、FAST 制御中に提供可能な信号情報仕様及び特殊制御モードの運用状態を車に通知するための追加データ項目の仕様案を作成し、車側での利用方法について検討した。また、複数の方式が存在するリコール制御については、実態調査の結果、運用数が最も多い方式 1 を対象として、信号情報仕様について検討を実施した。また、上記の検討結果に基づいて、交通信号制御機における技術仕様を整理し、二次試作仕様書として取り纏めを実施した。

⑥ 第二次試作及び検証について

⑤項の技術仕様に基づく二次試作として、交通信号制御機への機能追加を行った。また、試作開発したインフラ機器を用いて、FAST 制御中及びリコール 1 制御中において、二次仕様案に沿って信号情報が出力されることを確認した。

⑦ 試作検証結果及び東京臨海部実証実験等を踏まえた自動運转向けインフラ仕様書案の策定

一次及び二次試作機より得られた検証結果、テストコース実験及び東京臨海部実証実験から得られた知見を踏まえ、自動運転を実現する信号情報提供インフラの最終技術仕様を決定し、本調査研究の成果物として以下に示す仕様書案・規格案を策定した。

- ・「交通信号制御機 仕様化検討提案書（2020 警 a 改訂案）」
- ・「ITS 無線路側機仕様化検討提案書（2020 警 a 改訂案）」

-
- ・「路車協調型 DSSS 用交通信号制御機通信アプリケーション規格（2020 警 a 改訂案）」
 - ・「ITS 無線路側機 DSSS 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（2020 警 a 改訂案）」

⑧ ITS 無線以外の信号情報提供手法との比較

2019 年度に実施された調査研究「ITS 無線路側機等の路車間通信以外の手法による信号情報の提供に係る研究開発」の結果と当研究開発の結果を基に、信号情報提供手法の機能、コストなどの観点からメリット・デメリットについて比較検討を実施した。

9.2 今後の課題

ITS 無線による信号情報提供は、安全運転支援システムとして世界に先駆けて実用化済である。また、2020 年よりは、東京臨海部における実交通環境下において、ITS 無線路側機を活用した自動運転の実証実験が、国内外の実験参加者により進められている。本調査研究では、これらの先行技術や実証実験の成果を活用しつつ、自動運転インフラとしての高度化について研究を進め、技術的な課題整理については概ね完了した。今後の課題は、インフラの整備・普及の方策として下記が挙げられる。

- ① インフラ整備計画（対象路線・工程）の立案
- ② 自動運転用インフラに求められる運用保守体制の確立
- ③ 感応制御方式や実施箇所など、信号制御運用の見直し
- ④ 信号機更新など路側機整備を実施する都道府県の財政負担軽減

ここで、①インフラ整備計画の検討と②自動運転用インフラに求められる運用保守体制の確立について考察する。①について、一般道における自動運転設計領域（**ODD：Operational Design Domain**）においては、高精度 3 次元地図が整備されていることが前提の条件となる。加えて、信号情報が確実に取得できる走行環境の構築が不可欠であると考えられる。特にインフラからの信号情報提供による自動運転支援が必要な道路環境としては下記が想定される。

・車両自律センサ（画像認識）単独では信号灯色情報を確実に認識することが困難と想定される走行環境。例えば、カーブやクレストの出口にあり、車からの見通し範囲に制約がある交差点、一定以上の大型車混入があり、車からの見通し範囲に制約が起き得る可能性がある交差点、信号交差点が近接する都心部など、多数の信号灯器から自車が対象とすべき信号灯器の識別が困難な交差点、画像認識が相対的に難しい矢灯器による信号制御が実施され

ている交差点、信号灯器の背景にある構造物、逆光や西日など道路周辺環境が画像認識に影響を与える懸念がある交差点などが挙げられる。

・ジレンマゾーン進入回避のために青信号残秒数が必要となる走行環境。例えば、実勢走行速度が50km/時以上など、走行速度が高く、ジレンマゾーンの発生条件が成立する交差点、青信号から黄信号に切り替わるタイミングにおいて、車両の交差点到着が一定以上の頻度で見込まれる交差点（サブエリア境界にある交差点、系統制御区間であってもオフセット設計の制約から、上記タイミングでの車両到着が避けられない交差点など）が挙げられる。

なお、早期に一定レベルの信号情報提供を大きな規模で実現する手段として、整備の時間、コスト面で比較的優位と期待されるクラウドの活用についての調査研究が並行して進められている。本調査研究で行った暫定の比較検討結果より、本書の方式、クラウド活用の方式、それぞれにメリット・デメリットがあり、信号制御方式や信号情報を活用したユースケースに応じた適切な提供方式棲み分けの整理が期待される。

次に、②自動運転用インフラに求められる運用保守体制の確立について考察する。自動運転用インフラにおいては、本調査研究で実施した、路側機故障等の異常を早期に検出し、自動運転車両への即時通知を可能とするフェールセーフ機能の実装に加え、MaaS等における自動運転車両運用への影響を低減するため、故障した路側機器を迅速に復旧させる運用保守体制を確立することが必須と考えられる。また、信号制御の現示変更時など、高精細3次元地図と信号情報の紐付け情報に影響がある運用上の設定変更があった場合などを対象として、関係機関との迅速な情報共有のための情報管理フローなどを整理することが急務と考えられる。