

「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」

2020年度分 成果報告書

概要版

一般社団法人UTMS協会
住友電気工業株式会社

2020年11月

1. 調査研究の概要

1.1 研究開発の目的・概要

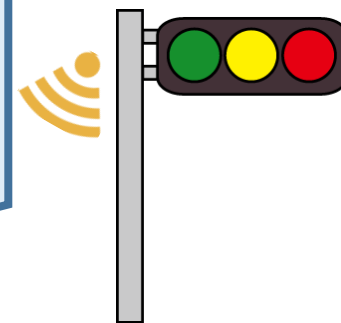
【目的】

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送ることができる社会の実現を目指す。



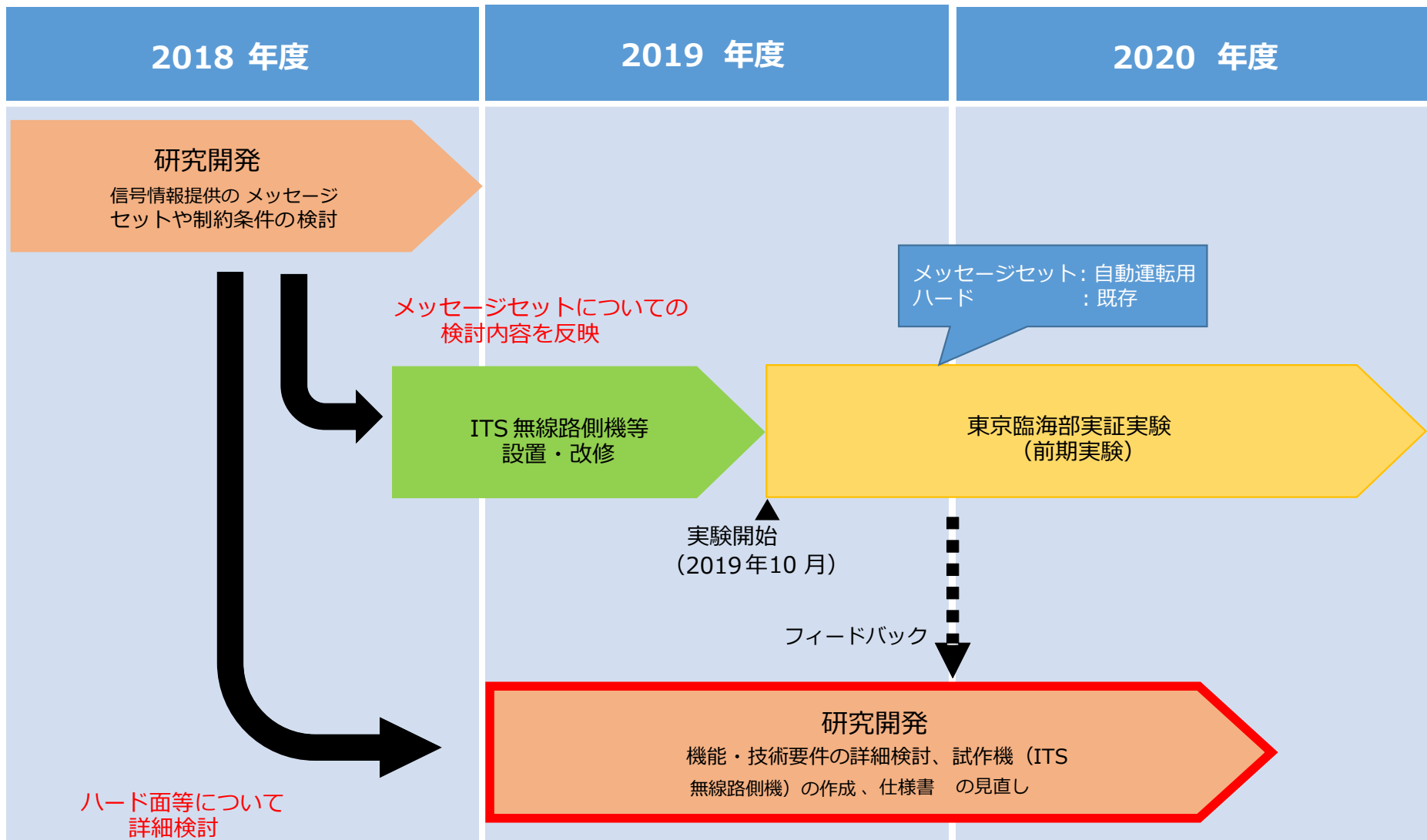
自動運転の実用化に向けて
信号情報提供を
路車通信で実現



【概要】

H30年度に実施した調査研究成果を踏まえ、**自動運転の実用化に向けた信号情報提供に資する路側インフラの機能・技術要件の詳細化、試作機の作成・検証を実施し、自動運転を実現する信号情報提供インフラの技術仕様を決定する。**

1.2 SIPにおける本研究開発の位置付け



1.3 調査研究項目の概要

【想定アウトプット】 自動運转向け信号情報提供路側インフラ仕様書の見直し・最終決定

東京臨海部実証
実験参加者等

意見交換

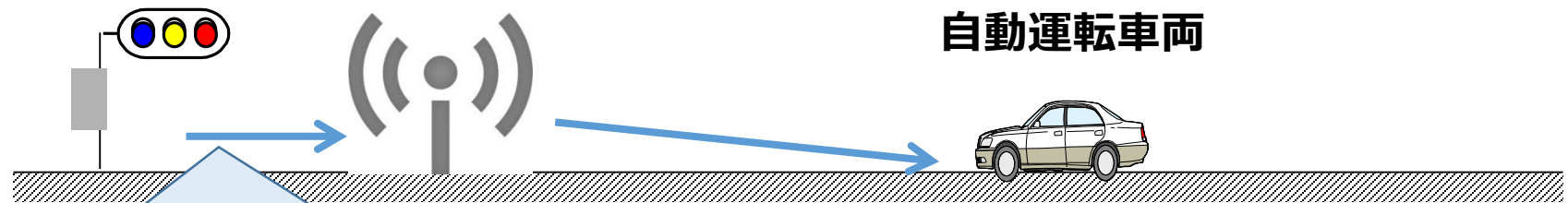
【実証実験結果等の反映】

・ 自動運転用メッセージセットへのフィードバック

信号制御機

ITS無線路側機
(760MHz帯ITS無線)

自動運転車両



【自動運転用インフラの高度化】

- ・ 路側機故障時フェールセーフ機能の試作・検証
⇒ 試作機作成、機能評価、検出遅延時間計測等
- ・ 感応制御等における信号情報提供方法の決定
⇒ 運用対策の整理、信号制御機仕様の見直し等
- ・ その他、特殊な信号制御モードの扱い
⇒ 試作機作成、信号情報出力機能拡張の検証等
- ・ 他方式との比較検討

【インフラ要求仕様の妥当性検証】

信号情報提供遅延の許容可否検証、
ジレンマを回避するための信号情報の
要件検証等（テストコース等）

2. 自動運転における信号情報要件定義

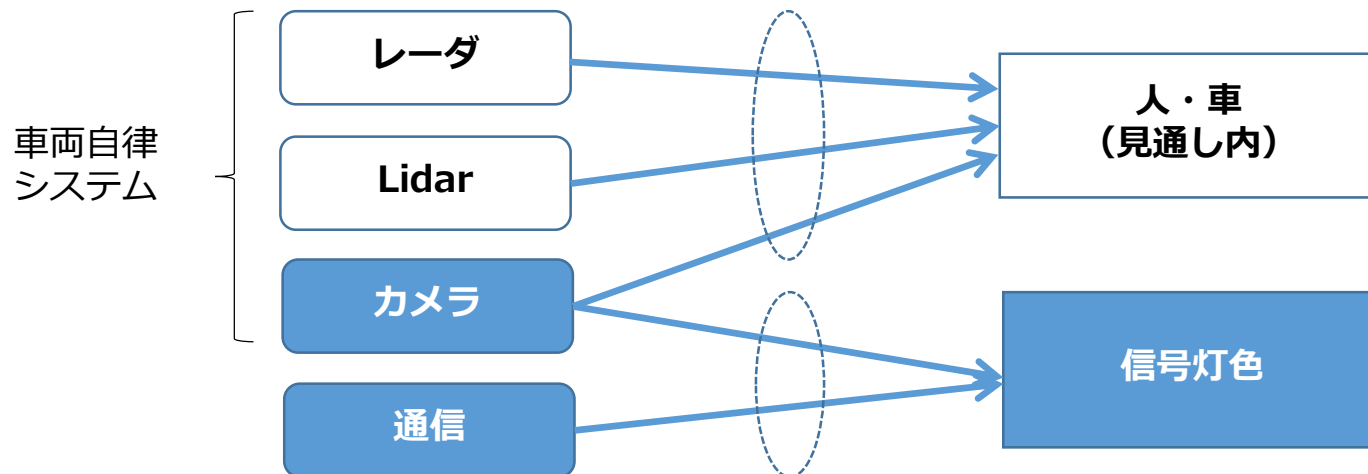
2.1 自動運転におけるインフラ信号情報の必要性

- ・安全な自動運転制御には確実な周辺環境認識が不可欠
→ 認識方法の「**多重化**」により、確実性を確保
- ・車両自律で信号灯色を認識できるのはカメラのみ
→ 自律カメラと通信情報の二重化により確実に信号灯色を認識

■ 運転プロセス

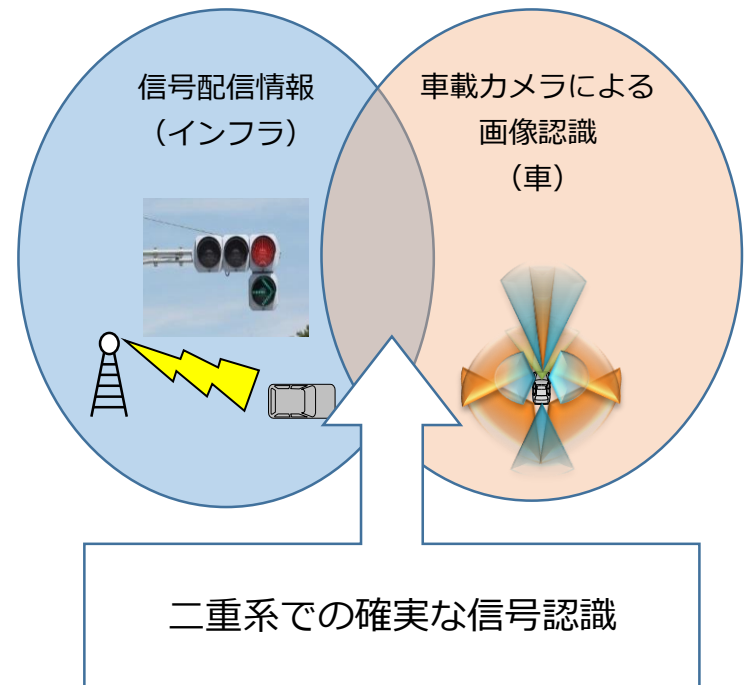
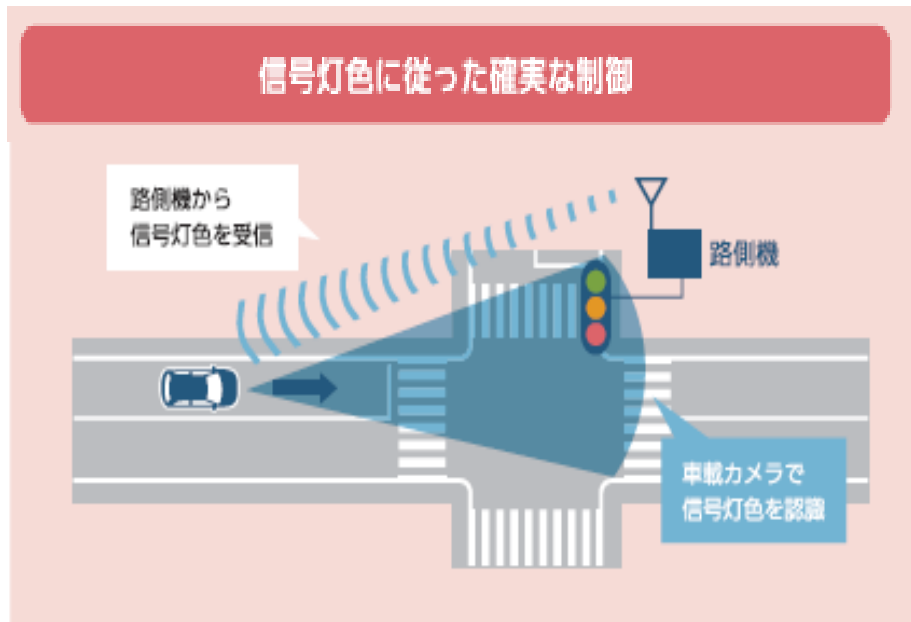


■ 多重系による認識



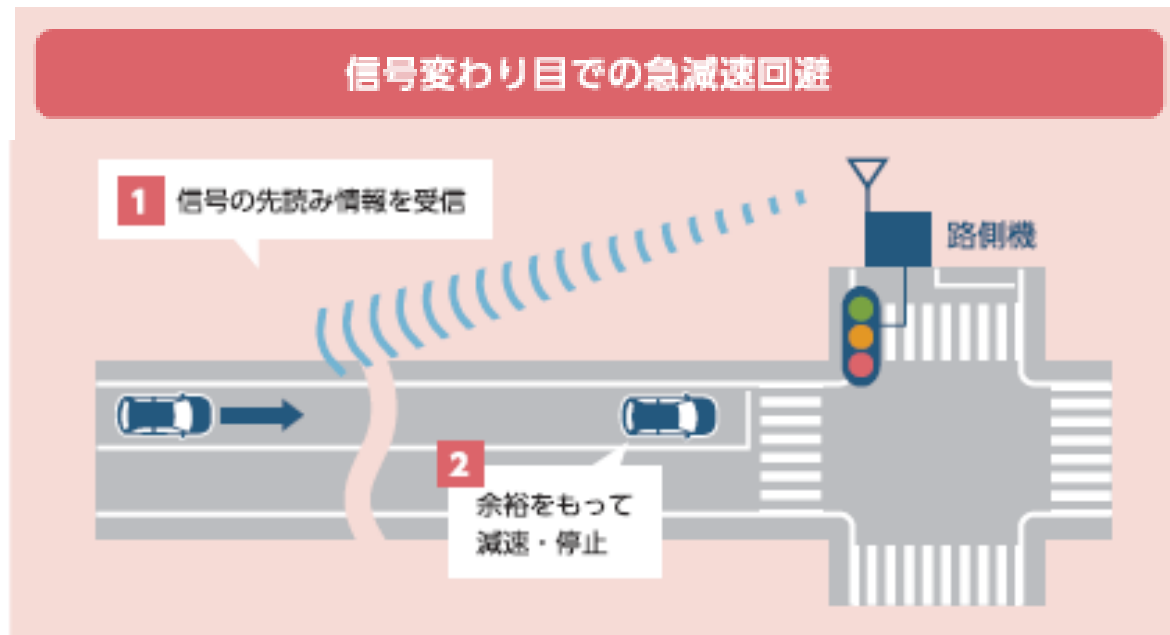
2.2 現在灯色情報の活用シーン

インフラから配信される信号情報（V2I/V2N）と、車載カメラの二重系により、確実に信号灯色を認識し、安全な交差点通過を実現



2.3 信号先読み情報（残秒数）の活用シーン

信号先読み情報を取得し、停止線手前で青信号が黄／赤信号に替わることを予測して予め減速（ジレンマゾーンへの進入回避）
⇒急減速を回避し、追突リスクを軽減



青から黄（赤）灯へ変化する一定時間前に、信号サイクルが確定している必要がある

2.4 信号情報の要件定義（JAMAとの合意内容）

- 信号情報の精度

灯色切り替わり時の情報誤差 $\pm 300\text{ms}$ 以下とすること

- 信号情報の信頼性確保

信号灯色と配信情報の一致を確認し、異常発生を即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

- 信号情報の可用性確保

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

3. ITS無線を用いた信号情報提供の高度化

3.1 ITS無線を活用した信号情報提供

項目	概要
通信方式	周波数：760MHz帯（755.5-764.5MHz） 通信規格：ARIB STD-T109 通信形態：ブロードキャスト（100ms周期／約300m四方） セキュリティ：非公開
提供情報	SPaT（現在灯色と信号残秒数： ISO/TS19091 AnnexF ProfileB 準拠）
ITS無線の運用事例	安全運転支援システム（DSSS）として、10都府県、100交差点以上にシステムが導入され、市販車両に向けサービスを提供中
交差点位置参照方法	高精細3D地図（ダイナミックマップのレイヤ1）と連携
信号残秒数参照方法	提供時刻を基準とした残秒数（相対方式） （絶対時刻を持っていないDSSS車両向け信号情報提供に対応）

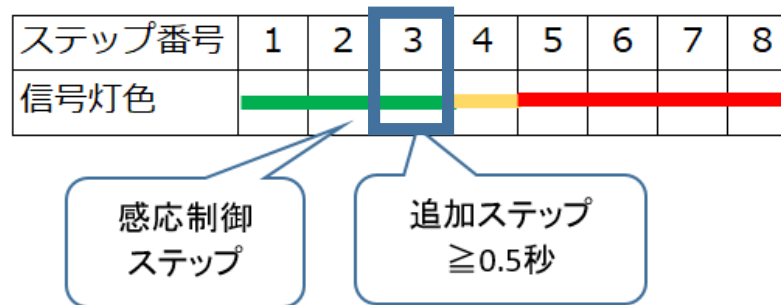


3.2 ITS無線における信号情報精度の検証結果

分類	対象事象例	情報誤差	補足
信号残秒数が事前に確定できる場合	通常制御時	±100ms	固定的に発生する遅延時間を減算した補正残秒数を提供することで要件を満足
信号残秒数が事前に確定できない場合	車両検出結果に応じて青時間の即時打ち切りを実行する感応制御	500ms (遅延)	±300ms以下の要件未達 (テストコース検証実験より)

【感応制御における対策方針案】

- ・ 青信号時間を分割。感応制御ステップと黄信号ステップの間に遅延相当（0.5秒程度）以上の青信号を実行することで青時間を事前確定
- ・ 信号制御運用上の制約で上記対応ができない場合（提供遅れが発生）は車に事前通知



(参考) テストコース実験 (信号情報内容が変動する状況の評価)

住友電気・横浜製作所テストベッド

【実験実施方法】

- 実道路を模擬した屋外にインフラシステムを構築 (図参照)
- 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
 - 感応制御による青信号確定タイミング変化時
 - 信号表示順序切替制御の実施前後 等
- 解析結果から、委員 (自工会殿を中心) に課題抽出を依頼中

【実験日時】

2020年2月13日 13:15-16:30

【実験場所】

住友電気・横浜製作所テストベッド

【実験参加者】

自工会4名、警察庁4名、NEDO2名、U協1名



実験状況



データ測定装置

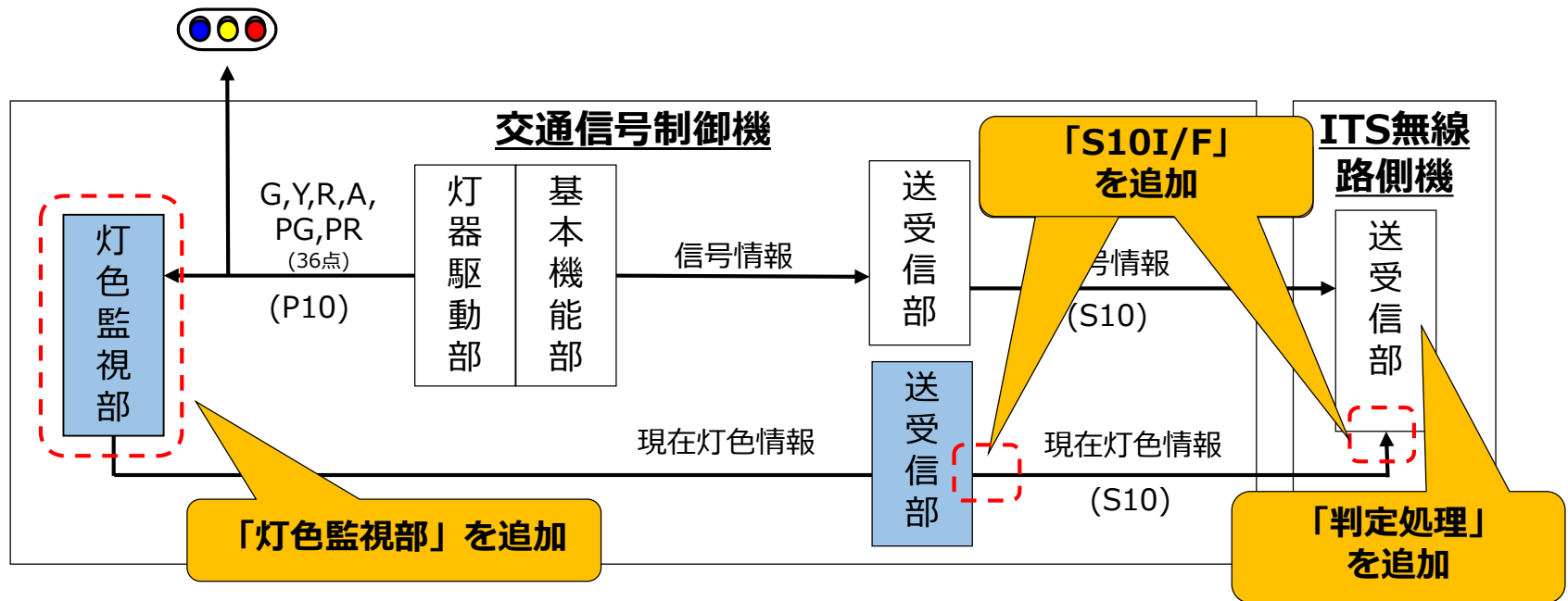


テストベッド概観



3.3 信号情報の信頼性確保について

分類	補足
フェールセーフ仕様の検討結果	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 交通信号制御機：信号灯器の点灯状態（電圧）を監視。監視結果を現在灯色情報としてITS無線路側機に送信。 ➤ ITS無線路側機：信号情報と現在灯色情報の整合を判定
試作機による動作検証結果	フェール発生から車両通知までの遅延時間：600ms → 車両側の異常処理における設計情報としてインプット

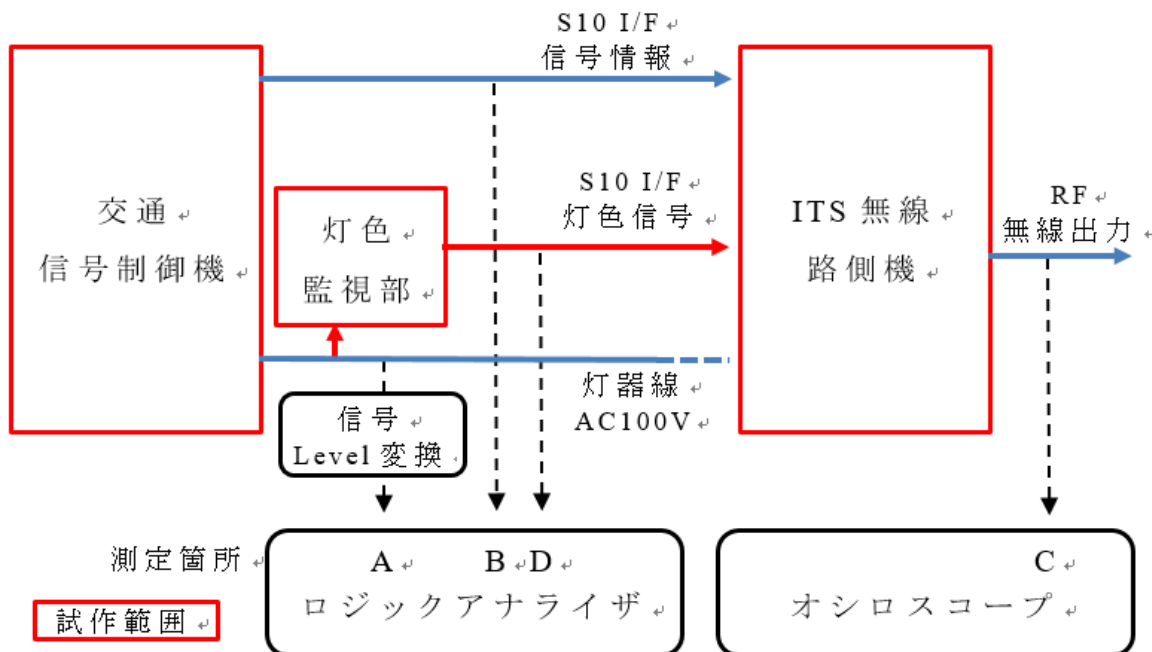
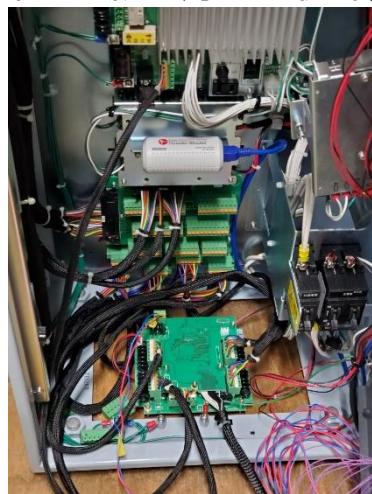


(参考) 一次試作機によるフェールセーフ機能検証実験

- ・一次試作仕様書に基づいてフェールセーフ機能の試作を実施
- ・試作した交通信号制御機、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ロジックアナライザ等により測定し、信号情報や灯色信号情報の伝送における遅延、ゆらぎ時間の測定を実施

信号機

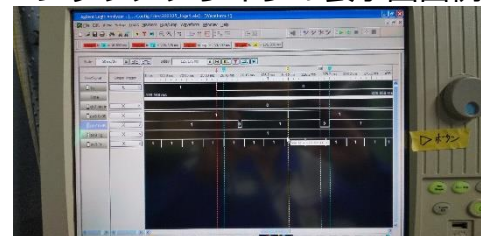
(下部の基板が灯色監視部)



【測定箇所】

- A : 交通信号制御機の灯色変化タイミング
- B : ITS無線路側機への信号情報送信タイミング
- C : ITS無線機から無線による信号情報送信タイミング
- D : (新規I/F) 灯色信号情報の送信タイミング

ロジックアナライザの表示画面例



3.4 信号情報の可用性向上について

【可用性向上に向けた検討内容】

信号情報提供に影響がある事象を抽出。機能面・運用面の両面から対策方針を検討

【研究成果】

信号制御の運用に対する要望事項を整理

信号情報提供機能を拡張（①緊急車優先制御実行中、②押しボタン制御）

No	項目 (抜粋)	現状の課題	対策案／要望事項等
1	黄色信号	・ 標準の3秒ではジレンマゾーンが発生 ・ 交差点毎に異なる運用	所定規制速度以上の交差点は、黄色時間を4秒以上あるいは一律4秒とする（運用への要望）
2	感応制御	黄色開始を事前に確定できないため、ジレンマゾーンが発生する	所定規制速度以上の交差点は、感応対象の青信号と黄信号の間に固定青時間を設定（運用への要望）
3	押しボタン制御	信号情報提供の対象外	二次試作により信号情報提供機能の検証実施（仕様改訂）
4	緊急車両優先制御	感応実行中は現在灯色のみ提供（残秒数が不明）	二次試作により信号情報提供機能の検証実施（仕様改訂）
5	情報公開	信号情報が急変するような特殊な信号制御を実行している交差点で、信号情報の異常／正常が車では判定できない	信号制御の運用情報公開（運用への要望） 路車間メッセージに信号制御モードを追加（仕様改訂）

3.5 メッセージ仕様の見直し結果

◆ データエレメントの追加：「特定制御動作中フラグ」

- ・通常時と異なる動作をする特定制御について、信号情報の異常と識別可とする
- ・遅延により、信号情報精度（要件±300ms）を満足できない旨を事前通知する

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	<ul style="list-style-type: none"> ・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。

3.6 東京臨海部実証実験からのフィードバック

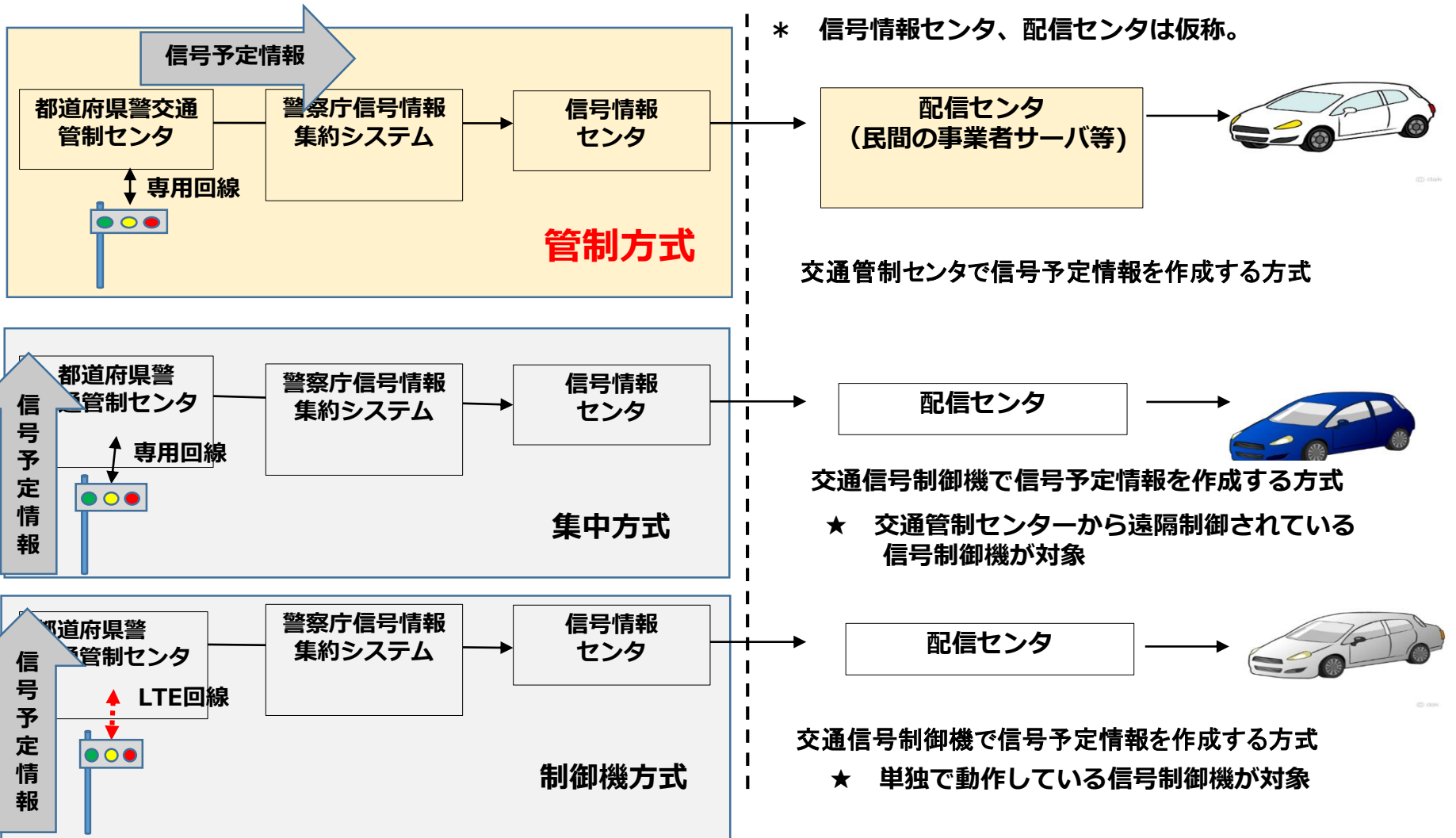
臨海部実証実験におけるITS無線路側機の課題を共有

→ UTMS協会内の対象作業部会に仕様見直し等の詳細検討を依頼

	課題	警 a よりの検討依頼内容
1	ITS無線路側機を密に設置した場合の電波干渉対策	事前のロット設計、設置時の留意事項等、既存の「ITS無線路側機 運用ガイドライン」の改訂要否の確認
2	GPS同期異常対策	GPS同期～エア同期への動作遷移における条件や機能要件の整理
3	その他	既存仕様・規格における曖昧な記述の抽出

4. 他方式 (V2N)との比較検討

4.1 V2N実現のためのシステム構成案



4.2 V2IとV2Nの比較（機能面の想定）

機能要件	V2I	V2N		
		管制方式	集中方式	制御機方式
データ誤差 ±300ms以下	○ 残秒数補正により ±100ms以下	○ GPS等、時刻同期機能付きの交通管制センタへ更新 GPS等、時刻同期機能付きの信号機へ更新		
	感応制御時の提供遅延対策として、感応スリップ～黄信号間に0.5秒以上の青信号実行が必要	－	V2Iよりも大きくなる遅延時間対策が必要 → 数秒以上遅延の場合、信号制御への影響評価が必要	
可用性 (対象交差点)	集中(感応無) : ○ 集中(感応有) : ○ 非集中 : －	集中(感応無) : ○ 集中(感応有) : × 非集中 : ×	集中(感応無) : ○ 集中(感応有) : ○ 非集中 : ×	集中(感応無) : － 集中(感応有) : － 非集中 : ○
可用性(信号情報不明となる事象)	○ 故障等の異常除く	信号サイクル切り替り等における不明発生時間の評価が必要	○ 故障等の異常除く	非集中 : パラメータ切替時等は要検証
信頼性(二重化による信号情報不整合の検出)	○ フェールセーフ機能を実装	×	×	灯色を監視するためV2Iと同等のフェールセーフ機能の実装可能
まとめ	集中交差点において要件を満足 (非集中は対象外)	要件未達のため、要件緩和又はユースケース見直しが必要	提供遅延対策による信号制御への影響評価が必要 ／二重化による信号情報不整合の検出が必要	提供遅延対策による信号制御への影響評価が必要 ／非集中対応時の詳細な仕様検討が必要

4.3 V2IとV2Nの比較（整備コスト・運用面の想定）

機能要件	V2I	V2N		
		管制方式	集中方式	制御機方式
イニシャルコスト品目	<ul style="list-style-type: none"> ・信号機更新 ・ITS無線路側機新設 	<ul style="list-style-type: none"> ・交通管制センタ改修 ・信号情報センタ構築（サービス配信事業者の負担は検討外） 	<ul style="list-style-type: none"> ・信号機更新 ・交通管制センタ改修 ・信号情報センタ構築（サービス配信事業者の負担は検討外） 	<ul style="list-style-type: none"> ・信号情報編集装置新設 ・信号情報センタ構築（サービス配信事業者の負担は検討外）
ランニングコスト品目	<ul style="list-style-type: none"> ・センタ端末間回線費 ・運用保守費 ・セキュリティ鍵管理費 	<ul style="list-style-type: none"> ・センタ-センタ間回線費 ・運用保守費（サービス配信事業者、1-ガ負担は検討外） 		<ul style="list-style-type: none"> ・センタ端末間回線費 ・センタ-センタ間回線費 ・運用保守費（サービス配信事業者、1-ガ負担は検討外）
主な課題	<ul style="list-style-type: none"> ・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 ・自動運転インフラ対応の運用保守体制 	<ul style="list-style-type: none"> ・設備改修・普及方策 ・信号情報センタ/サービス事業者の運用主体、責任分解点等の整理 	<ul style="list-style-type: none"> ・インフラ整備・普及方策 ・信号情報センタ/サービス事業者の運用主体、責任分解点等の整理 	<ul style="list-style-type: none"> ・インフラ整備・普及方策 ・非集中交差点の運用管理見直し ・信号情報センタ/サービス事業者の運用主体、責任分解点等の整理

4.4 まとめ

【研究成果のまとめ】

- ◆ 信号情報要件の精度、信頼性、可用性を高いレベルで実現
 - 自動運転用インフラ最終仕様書案（交通信号制御機仕様書及びITS無線路側機仕様書）を成果物として起草
 - 整備・普及に向けた路側機を整備する都道府県（警察）の財政負担軽減等が課題
- ◆ V2Nは低コストで広域エリアの信号情報提供が期待される。
 - 信号情報要件の達成に向け、モデル事業等による提供遅延時間などの技術課題の検証、対象交差点条件等を整理される見込

【今後に向けて】

- ◆ 検討結果に基づき、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V2IとV2Nの棲み分け（ベストミックス）を導出