



2019－2020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）／羽田空港と臨海副都心等を結ぶ首都高速道路におけるインフラ整備、事前検証及び維持・管理」

成果報告書

2021年5月

三菱電機株式会社

「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、三菱電機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）／羽田空港と臨海副都心等を結ぶ首都高速道路におけるインフラ整備、事前検証及び維持・管理」の2019年度及び2020年度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。」



1. 本研究開発の事業目的

1.1 東京臨海部実証実験 首都高速道路上実証実験の背景と全体概要

国家的に重要な課題の解決を通じて、我が国産業にとって将来的に有望な市場を創造し、日本経済の再生を果たしていくことが求められているなか、「戦略的イノベーション創造プログラム」（以下、「SIP」という）は、各府省の取組を俯瞰しつつ、更にその枠を超えたイノベーションを創造するべく、総合科学技術・イノベーション会議（以下、「CSTI」という）が、戦略的に鍵となる技術の開発等の重要課題の解決のための取組に対して、推進費を原資として、府省の枠にとらわれず自ら重点的に予算を配分するプログラムである。

SIP 第 2 期は、当初計画を前倒しして、平成 29 年度補正予算により平成 30 年度より開始し、府省・産学官連携、明確な出口戦略、厳格なマネジメント等の優れた特徴を維持しつつ、国際標準化、ベンチャー支援等の制度改革の取組をさらに強化したものである。

SIP 第 2 期において、CSTI は、取り組むべき課題として 12 分野を定めており、そのうちの一つである自動運転（システムのサービスの拡張）においては、自動運転に係る激しい国際競争の中で世界に伍していくため、自動車メーカーの協調領域となる世界最先端のコア技術（信号・プローブ情報をはじめとする道路交通情報の収集・配信などに関する技術等）を確立し、一般道路で自動走行レベル 3 を実現するための基盤を構築し、社会実装することを内容としている。

また、未来投資会議（2018 年 3 月）において、安倍前総理より「東京オリンピック・パラリンピックで自動運転を実現する。信号情報を車に発信し、より安全に自動運転できる実証の場を東京臨海部に整備するなど多様なビジネス展開を視野に一層取組を強化する」との発言があった。

これらの実現に向け、（一社）日本自動車工業会をはじめ関連の産業界、東京都、関係省庁等と連携して、東京臨海部における実証実験を実施する具体的な地域、必要な交通インフラの機能や配置場所等について、調査検討が進められてきた。この東京臨海部実証実験の全体概要と本研究開発委託の対象を以下に示す。



図 1.1-1 東京臨海部実証実験インフラ協調技術実証実験の概要
(内閣府資料より)

また、併せて東京臨海部実証実験の首都高速道路での実証実験ルート図及び本研究開発委託の対象となる具体的な実施エリアを（1号羽田線 空港西入口）を以下に図示する。



図 1.1-2 羽田空港と臨海副都心等をつ結ぶ首都高速道路実証実験ルートと本委託の実験対象エリア（内閣府資料より）

1.2 本研究開発委託の目的

本事業は、交通インフラから提供される信号情報や合流支援情報等の交通環境情報利活用のしくみを構築し、インフラ協調型の高度な自動運転を早期に実用化することを目的に実証実験を行う。そのために必要となる実証実験環境（インフラ）の整備、事前検証及び維持・管理を行う。

以下に示す具体的な実施項目につき、関係各機関と連携し、推進した。

- (1) 高速道路への合流支援・ETCゲート通過支援に関わる実証実験の実施、
検証を行うため必要となるインフラ設備の開発
- (2) 実験参加者が自動運転技術を実験しうる実環境を首都高速道路上へ設置
- (3) 合流支援・ETCゲート通過支援に関わるインフラ設置条件等の検証

2. 東京臨海部実証実験の実施及び検証のために必要となる設備の開発 【2019年度成果】

2.1 本研究開発にて開発・構築した設備の全体構成

高速道路への合流支援・ETCゲート通過支援に関わる実証実験の実施、検証を行うため必要となるインフラ設備を下記項目の通り、開発・構築した。

- ・合流支援情報を提供するインフラ設備
- ・ETCゲートの開閉情報を提供するインフラ設備
- ・交通状況を記録する映像蓄積設備

次に、各設備の概要及び全体構成図と機器手配分担を以下に示す。

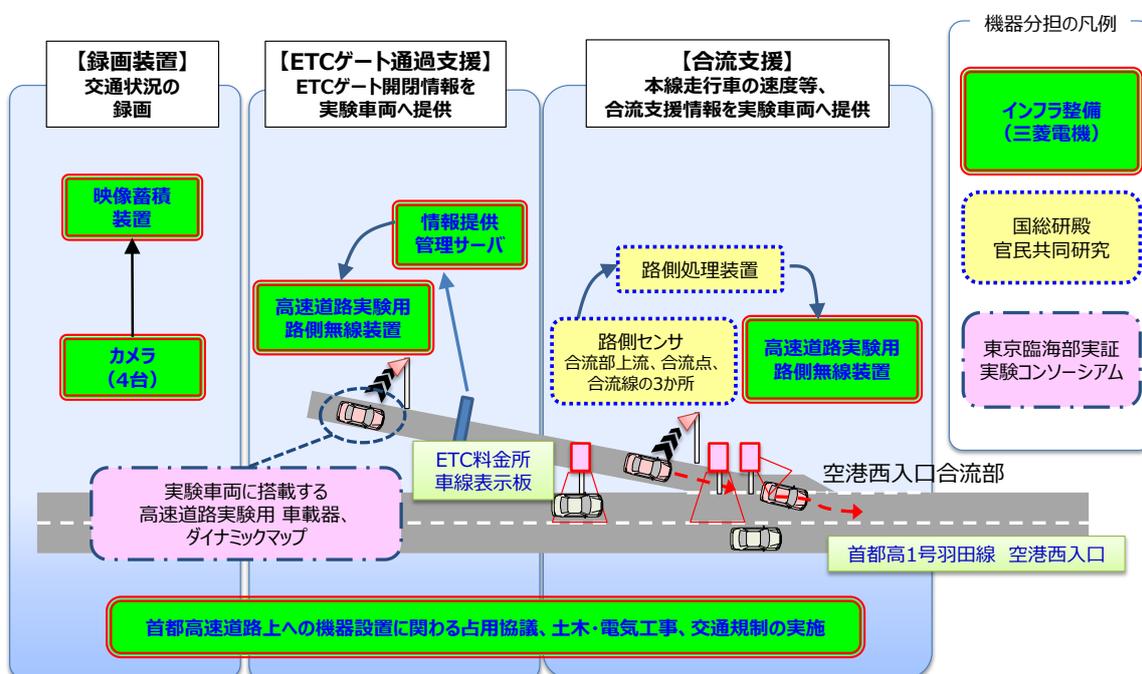


図 2.1-1 首都高速道路空港西入口における実験設備の構成と機器分担

上図に示すシステムの実際の動作として、①ETCゲート通過支援情報を送信する路側無線装置にて情報を実験車両に送信するとともに、実験車両の通過を検知、②実験車両の走行を検知した時のみ、ETC料金所通過後の路側無線装置にて合流支援情報を送信する。③実験車両の通過がない時は電波を停止する。このシステム動作イメージを下図に示す。

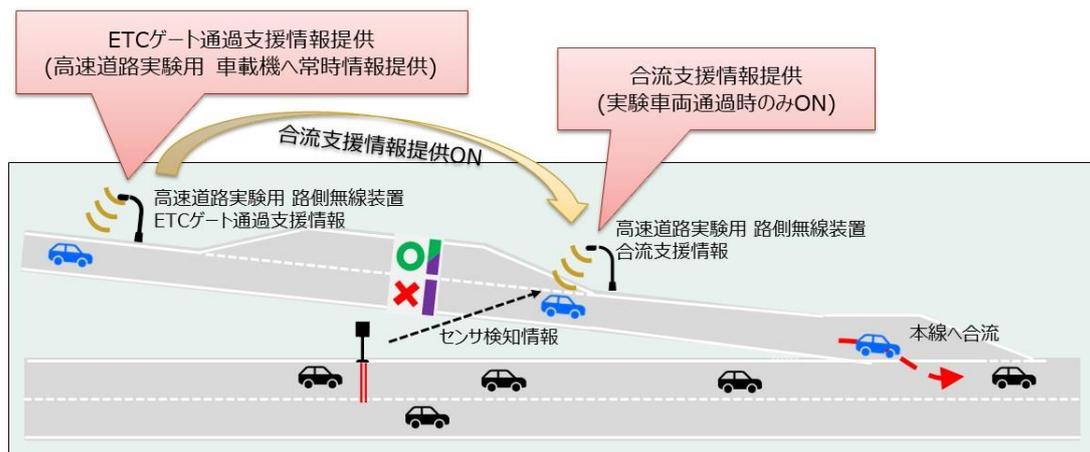


図 2.1-2 首都高速道路空港西入口における実験のシステム動作イメージ

2.2 合流支援情報を提供するインフラ設備の開発

本設備は、本線走行車の速度等をセンサにて検知し、情報処理した合流支援情報を自動運転車へ高速道路実験用路側無線装置を用いて提供するシステムである。本設備は、下表に示す機器より構成される。

表 2.2-1 合流支援におけるシステムの構成機器

機器名称	役割	備考
路側センサ	高速道路本線を走行中の一般車両から当該車両の情報(車速、車長)を検知する	国総研 共同研究より提供され、インフラ設備として組み合わせる。
路側処理装置	路側センサの検出結果から高速道路本線を走行中の一般車両が合流地点に到達するまでの時間を算出する	
高速道路実験用路側無線装置	合流車線を走行している実験用車両に搭載している高速道路実験用車載器に対してのみ、当該情報を配信する	

本設備は、本線合流部より手前に設置された路側センサが本線走行中の車両情報を取得し、路側処理装置にて当該車両が合流部に到達する時刻を算出。算出結果を高速道路実験用路側無線装置経由で合流車線走行中の実験用車両に配信することでスムーズな本線合流の支援を目的とする。

(1) 路側センサ／路側処理装置

国総研共同研究より提供される機器であり、国総研にて策定された「本線走行中の車両情報」のデータフォーマット仕様を国総研・自工会と共同で確認、当該仕様に基づき高速道路実験用路側無線装置との接合試験を三菱電機社内で実施・完了した。また、5社分の路側センサ関係機器を格納、現地設置するための屋外盤を製作した。

(2) 高速道路実験用路側無線装置

合流支援に関するデータ処理や高速道路実験用車載器との個別通信等の機能を実装した高速道路実験用路側無線装置を開発した。本装置に実装した主な機能は次の通りである。

- ① 路側処理装置と高速道路実験用路側無線装置間は、国土交通省国土技術政策総合研究所 ITS 研究室路側センター間インタフェース仕様書(案)で接続。
- ② 実験用車両に搭載する高速道路実験用車載器と高速道路実験用路側無線装置間は、国土交通省国土技術政策総合研究所 ITS 研究室路側センター間インタフェース仕様書(案)で接続。
- ③ 実験用車両通過時のみ電波放出するように、電波出力の ON/OFF 切替を制御。

また、本装置と路側センサ／路側処理装置との接合試験を三菱電機社内で完了した。尚、試験内容の詳細は後述の別項「インフラ設備各機器の試験」に記載する

2.3 ETC ゲートの開閉情報を提供するインフラ設備の開発

本設備は、ETC 料金所から得られる ETC ゲート開閉情報を、自動運転車へ高速道路実験用路側無線装置を用いて提供するシステムである。本設備は、下表に示す機器より構成される。

表 2.3-1 ETC ゲートの開閉情報提供におけるシステムの構成機器

機器名称	役割
ETCゲート設備	料金所の車線表示板から信号を引いて、ETCゲートの開閉状態を示す表示情報を取得
ETCゲート通過支援情報提供装置	上記ETCゲート設備より得られるETCゲートの表示情報を受信し、自動運転車両に配信する情報を生成

高速道路実験用 路側無線装置	料金所手前のランプを走行中の自動運転車両に搭載して いる高速道路実験用車載器に対してのみ当該情報を配信
-------------------	--

本設備は、料金所手前のランプを走行中の実験用車両に対して ETC ゲート開閉情報を提供することで、実験用車両が通過すべき ETC ゲートのレーンを選択、スムーズに通過することの支援を目的とする。

(1) ETC ゲート設備

空港西入口の既存ゲート表示板に表示される「ETC」、「一般/ETC」、「閉鎖中」、等の ETC ゲートの運用状態（図 2.3.1 に ETC ゲートの運用状態の詳細を示す）の情報を ETC ゲート開閉情報提供装置に取り込むため、信号分岐装置の追加改造を実施した。

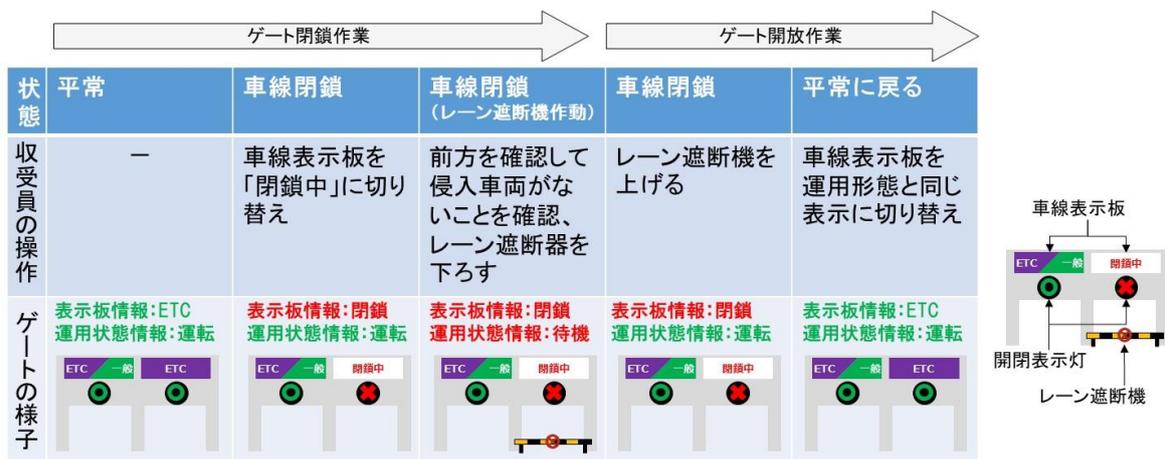


図 2.3-1 ETC ゲートの運用状態毎の収受員の操作とゲート表示の様子

信号分岐装置を追加する改造仕様を首都高速道路(株)、および表示板既設メーカーである名古屋電機工業(株)と取りまとめ、名古屋電機工業(株)に現地設備改造委託を外部発注し、改造完了した。また、表示板信号分岐改造後の設備健全性確認を首都高 ETC メンテナンス(株)に外部発注し、健全性確認を完了した。

(2) ETC ゲート開閉情報提供装置

ETC ゲート設備より表示板の情報を取得し、実験車両へ配信するための開閉情報を生成、開閉情報を高速道路実験用路側無線装置へ送信する情報提供装置を開発した。本装置に実装した主な機能は次の通りである。

- ① 表示板（2レーン分）より、表示情報を取得するための通信インタフェース機能。

- ② ETC ゲート開閉情報提供装置と高速道路実験用路側無線装置間は、国土交通省 国土技術政策総合研究所 ITS 研究室 路側センター間インタフェース仕様書(案)で接続。
- ③ 国総研にて策定された「料金所情報」のデータフォーマット仕様に基づいたゲート開閉情報の生成処理機能。

また、本装置と高速道路実験用路側無線装置との接合試験を三菱電機社内で実施・完了した。尚、試験内容の詳細は後述の別項「インフラ設備各機器の試験」に記載する

(3) 速道路実験用路側無線装置

ETC ゲート開閉情報に関するデータ処理や高速道路実験用車載器との個別通信等の機能を実装した高速道路実験用路側無線装置を開発した。本装置に実装した主な機能は次の通りである。

- ① 路側処理装置と高速道路実験用路側無線装置間は、国土交通省国土技術政策総合研究所 ITS 研究室路側センター間インタフェース仕様書(案)で接続。
- ② 実験用車両に搭載する高速道路実験用車載器と高速道路実験用路側無線装置間は、国土交通省国土技術政策総合研究所 ITS 研究室路側車間インタフェース仕様書(案)で接続。

また、本装置と ETC ゲート開閉情報提供装置との接合試験を三菱電機社内で実施・完了した。尚、試験内容の詳細は後述の別項「インフラ設備各機器の試験」に記載する

2.4 交通状況を記録する映像蓄積設備の構築

本設備は、ETC ゲート通過支援、および合流支援の実証実験を行うフィールドである 1 号羽田線 空港西入口の合流部付近に設置した 4 台のカメラによって交通状況を撮影し、この録画データを蓄積するシステムである。本設備は、下表に示す機器より構成される。

表 2.4-1 映像蓄積設備の構成機器

機器名称	役割
カメラ (4台)	空港西入口の合流部付近に設置し、交通状況を撮影
映像蓄積装置 (2台)	映像蓄積装置は、登録されたカメラのライブ映像を取得するとともに、取得した映像をカメラ単位に蓄積
表示端末 (2台)	カメラ映像のモニタ、蓄積した映像データを取得

上記機器の製造、組み合わせ、設備全体の機能試験を三菱電機社内で実施・完了した。

2.5 インフラ設備各機器の試験

インフラ設備の事前検証として、実証実験の参加者等が本委託業務で整備するインフラ設備を使用した実験を行うことに向けて、スムーズな検証を開始できるよう、インフラ設備のシステム動作等の事前検証を行った。また、システムの品質確保に向けた屋内環境下（実験室）での試験と、屋外環境下（当社テストフィールド）での試験、及び現地（首都高速 空港西入口）での試験を下図のとおり段階的に実施した。

各試験のフェーズと試験内容の詳細を以下に示す。

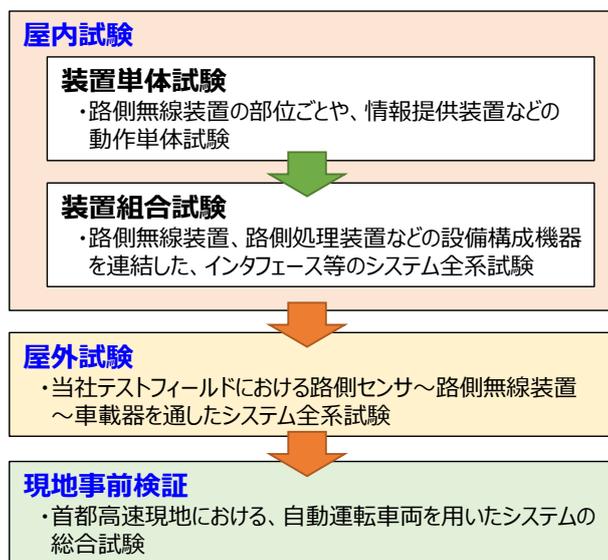


図 2.5-1 インフラ設備の事前検証に関わる試験フェーズ

(1) 路側インフラ設備の各機器における屋内組合試験

当社工場内における、屋内試験環境を以下のとおり構築し、それぞれ「① ETC ゲート通過支援」、「② 合流支援」に関わる装置間の組合試験を完了した。

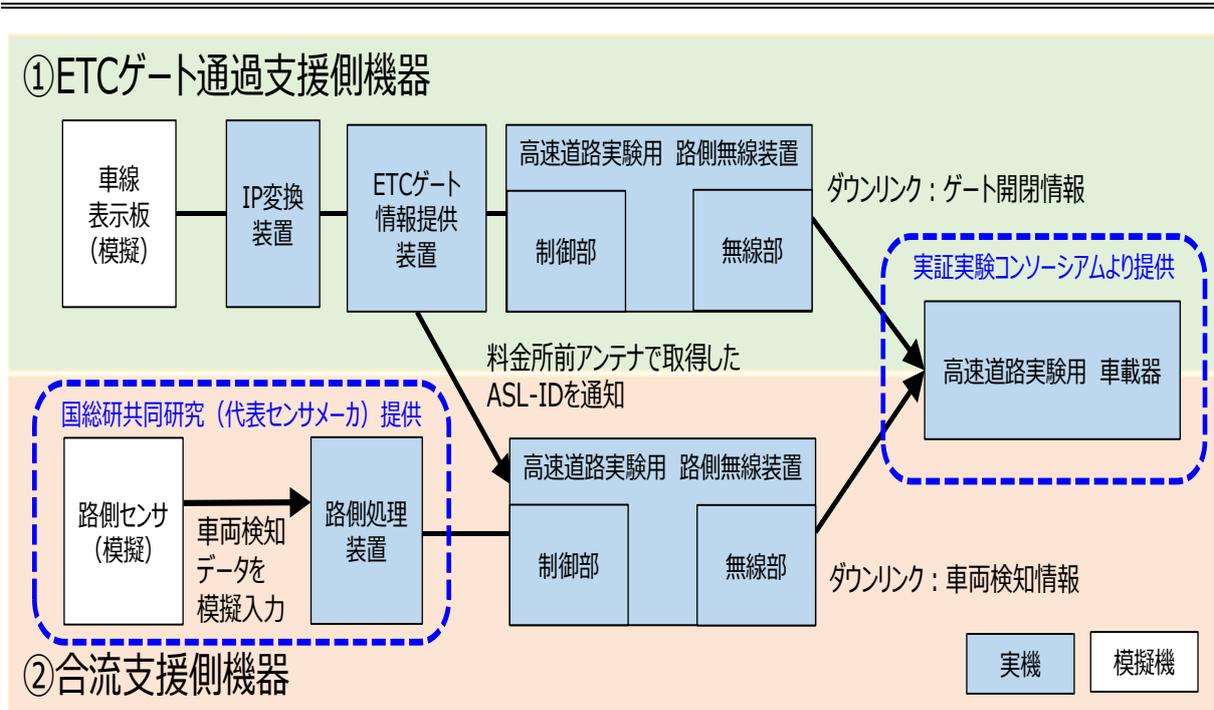


図 2.5-2 当社工場内における屋内組合試験の環境構成図

(2) 路側インフラ設備の各機器における屋外組合試験

当社工場内の社内テストフィールドにおける、屋外試験環境を以下のとおり構築し、それぞれ「① ETCゲート通過支援」、「②合流支援」に関わる装置間の組合試験を完了した。

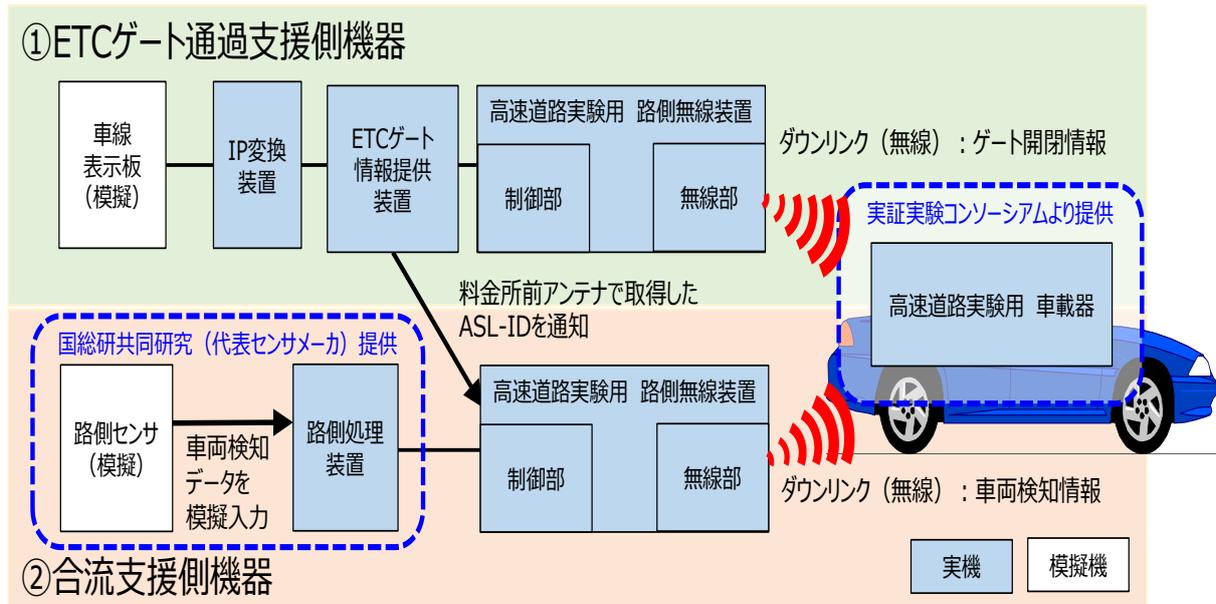


図 2.5-3 当社社内テストフィールドにおける屋外組合試験の環境構成図

(3) 路側インフラ設備の各機器における社内での屋内・外組合試験の結果

当社工場内にて実施した、「① ETCゲート通過支援」及び、「②合流支援」の屋内・屋外組合試験の主な項目と試験結果を以下に示す。

表 2.5-1 ETCゲート通過支援側機器屋内/屋外組合試験の主な項目と試験結果

No.	項目	実施概要	結果
A	装置間の通信処理 (料金所車線表示板～ETCゲート情報提供装置～高速道路実験用路側無線装置までの試験)	路側センター間インターフェース仕様書に基づいた通信処理の確認	良
B	装置間の通信処理 (高速道路実験用路側無線装置～高速道路実験用車載器までの試験)	路車間インターフェース仕様書に基づいた通信処理の確認	良
C	ETCゲート通過支援情報のデータ処理	ETCゲート開閉情報フォーマット仕様に基づいたデータ処理の確認	良
D		各装置間の送受信データをビットレベルで突合確認	良
E	装置間時刻同期	各装置におけるGPS信号による時刻同期確認	良
F	各装置ログ情報出力	検証に必要な処理時間、送受信データ内容等が記録されていることの確認	良

表 2.5-2 合流支援側機器 屋内／屋外組合試験の主な項目と試験結果

No.	項目	実施概要	結果
A	装置間の通信処理 (路側処理装置(国総研(三菱重工)提供)～ 高速道路実験用路側無線装置までの試験)	路側センター間インタフェース仕様書に基づいた 通信処理の確認	良
B	装置間の通信処理 (高速道路実験用路側無線装置～高速道路 実験用車載器までの試験)	路車間インタフェース仕様書に基づいた通信処 理の確認	良
C	合流支援情報のデータ処理	合流支援情報フォーマット仕様に基づいたデー タ処理の確認	良
D		各装置間の送受信データをビットレベルで突合 確認	良
E	合流支援用(料金所後アンテナ)における実験 用車両向け電波出力制御	実験用車両通過判定(ASL-ID検知)による、電 波出力ON/OFF切替制御確認	良
F	装置間時刻同期	各装置におけるGPS信号による時刻同期確認	良
G	各装置ログ情報出力	検証に必要な処理時間、送受信データ内容等 が記録されていることの確認	良

(4) 路側インフラ設備の各機器における現地総合試験

実証実験の実施場所である首都高速 空港西入口に設置した路側インフラ設備の各機器における「① ETCゲート通過支援」、「②合流支援」に関わる装置間の現地総合試験を完了した。

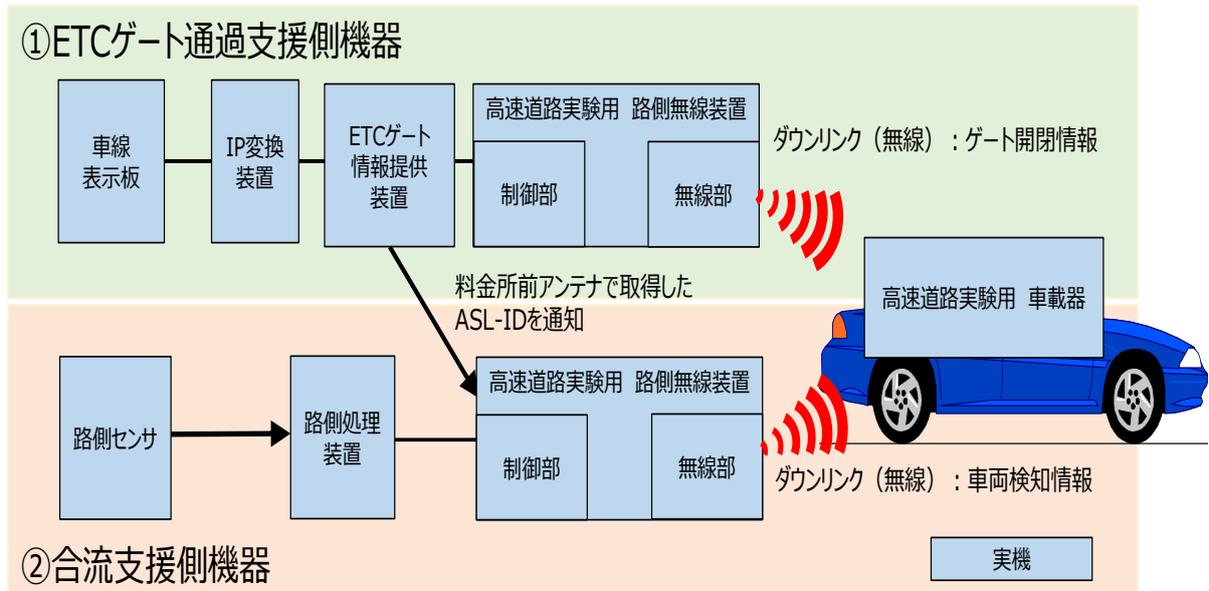
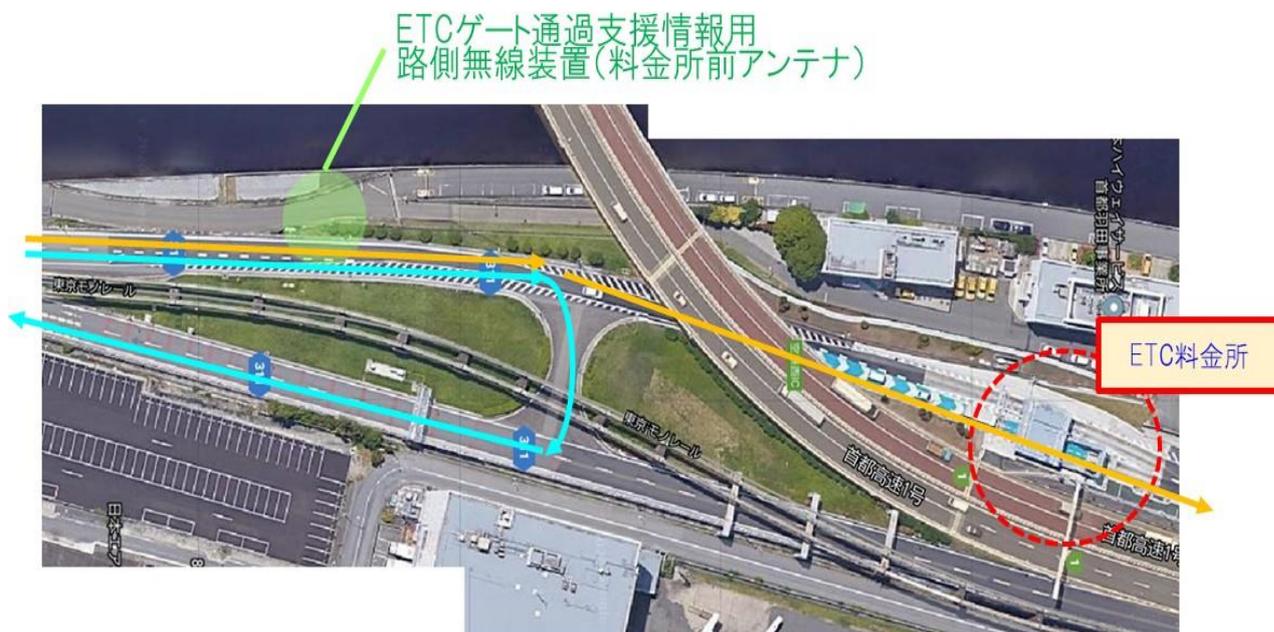


図 2.5-4 インフラ各装置 現地（首都高速 空港西）総合試験の環境構成図

尚、①ETC ゲート通過支援及び、②合流支援の現地総合試験の主な項目と試験結果を以下に示す。

表 2.5-3 ETC ゲート通過支援 現地総合試験の主な項目と試験結果

No.	項目	実施概要	結果
A	装置間の通信処理試験 (料金所車線表示板～ETCゲート開閉情報提供装置～料金所前アンテナまでのインタフェース試験)	①路側センター間インタフェース仕様書に基づいた通信処理の確認 ②DSRC-SPFのセキュリティ認証確認 ③各装置のログ収集動作確認	良
B	料金所車線表示板の表示切替による動作試験	①レーン規制をはり、車線表示板をETC専用／一般／混在／閉鎖と切り替えて、車載器受信までの動作を確認	良
C	異常試験	①各装置間の通信切断による異常検知	良
D	高速道路実験用車載器を搭載した走行確認	①高速道路実験用車載器を搭載した複数車両走行などの確認	良
E	ETCゲート通過試験	①規制ない通常の料金所運用状態で料金所通過する車両走行により、ETCゲート通過支援情報の受信確認	良



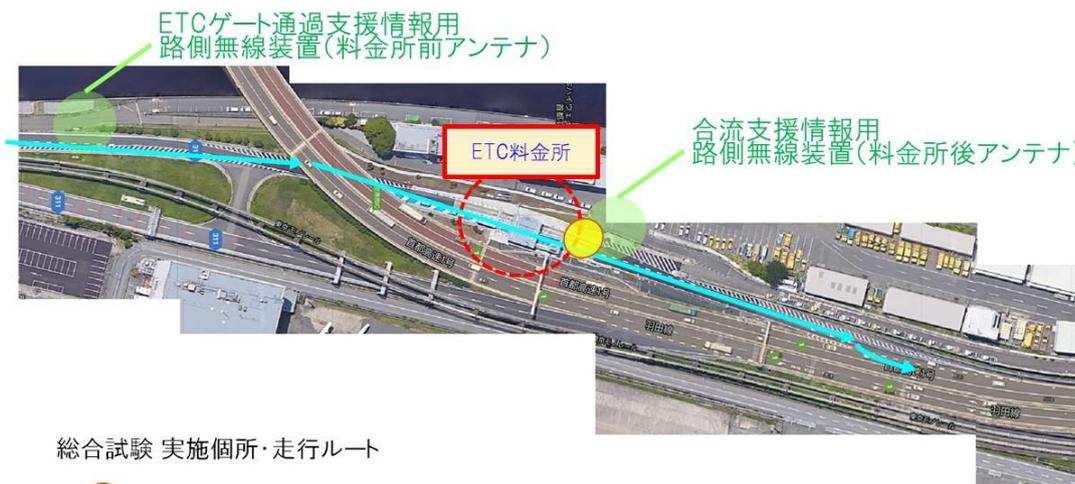
総合試験 走行ルート

- 上りと下り間のUターン路を使用 (試験A～D)
- 空港西入口ETC料金所通過 (試験E)

図 2.5-5 ゲート通過支援 現地総合試験の試験走行ルート

表 2.5-4 合流支援 現地総合試験の主な項目と試験結果

No.	項目	実施概要	結果
A	装置間の通信処理試験 (路側センサ～路側処理装置～料金所後アンテナまでのインタフェース試験)	①路車間インタフェース仕様に基づいた通信処理の確認 ②DSRC-SPFのセキュリティ認証確認 ③各装置のログ収集動作確認	良
B	合流支援情報(センサ①②③の検知情報)受信内容確認試験	①センサ①②③検知情報と受信内容の突合せ	良
C	異常試験	①各装置間の通信切断による異常検知	良
D	高速道路実験用車載器を搭載した走行確認	①高速道路実験用車載器を搭載した複数車両走行などの確認	良
E	車両順番入れ替わり試験	①実験用車両2台走行し、料金所通過時に順序入れ替わり。その後、料金所後アンテナでの合流支援情報受信を確認	良
F	センサ検知精度の確認	①路側センサによる、本線走行車両の検知時刻、速度、車長、合流部到達計算時刻の各情報をカメラ映像より確認。	良
G	データ処理・通信の所要時間の確認	①路側センサでの車両検知から実験用車載器CAN出力までの所要時間が、国総研・自工会との想定時間内に収まることの確認。	良



総合試験 実施箇所・走行ルート

- 料金所後アンテナ付近に高速道路実験用車載器を据え置き(試験A～C)
- 料金所前アンテナを通過後、ETC料金所(通常運用状態)を抜け、料金所後アンテナを通過し、合流(試験D～G)

図 2.5-6 合流支援 現地総合試験の試験走行ルート

2.6 首都高速道路におけるインフラ整備、事前検証及び維持・管理の全体工程

首都高速道路上に実験用インフラ設備を設置するための占用協議と土木・電気工事、および関係機器の開発を計画通り完了し、2020年3月16日より実験開始した。2019年度、20年度の2箇年の全体工程を次頁に示す。

また、21年度以降のインフラ設備維持・管理に係る計画も併せて記載する。

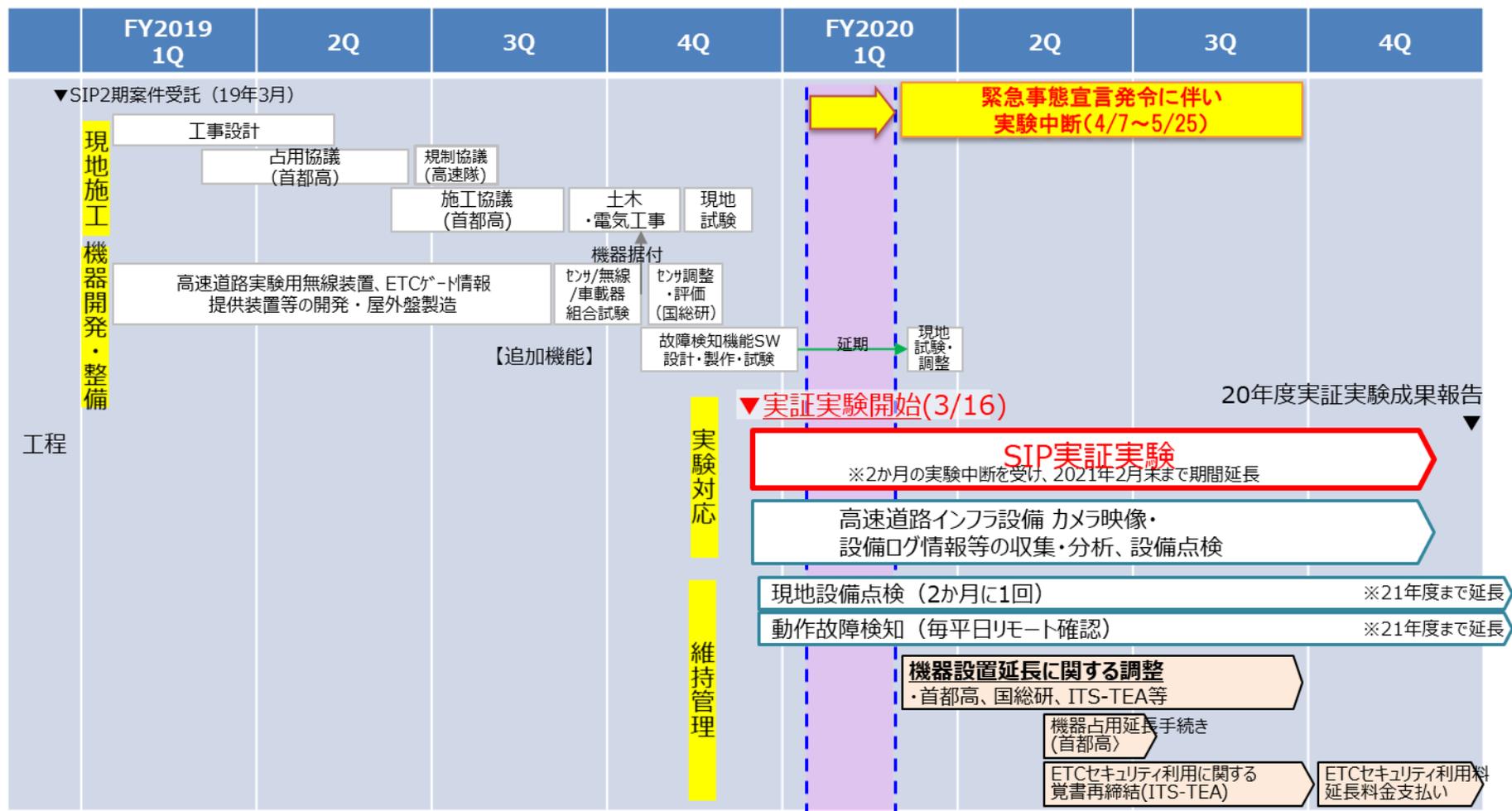


図 2.6-1 首都高速道路におけるインフラ整備、事前検証及び維持・管理の全体工程



図 2.6-2 首都高速道路におけるインフラ整備の維持・管理に関する 21 年度以降の計画

3. インフラ設備、映像蓄積設備の実証実験現地への設置 【2019年度成果】

開発したインフラ設備を首都高速道路1号羽田線空港西入口に設置するにあたり、その施工条件の調整など関係各機関と連携し、次の事項を実施・完了した。

(1) 路側センサの現地設置に向けた取付治具等のセンサメーカー間調整

国総研より提供される路側センサ（5社分）を、高速道路脇にポールを用いて設置した。尚、ポールへの設置方法、配線等の施工仕様、および各センサメーカーによる現地調整を取りまとめ、内閣府・国総研・各センサメーカーと協議した上で実施した。

(2) インフラ設備、映像蓄積設備の現地設置に伴う占用協議

実証実験用設備としてのインフラ設備、映像蓄積設備を実際の高速道路上に設置するため、必要な書類、図面を作成。首都高速道路(株)、および日本高速道路保有・債務返済機構へ提出し、占用協議を完了した。

(3) インフラ設備、映像蓄積設備の現地設置に向けた工事設計

インフラ設備、映像蓄積設備を空港西入口に設置するための施工方法、電源確保、配線設計を行い、首都高速道路（株）との設計打合せ、施工協議を完了した。

(4) 工事に伴う交通規制協議

路側センサの現地調整に向けた本線交通規制や、各機器の設置に伴う交通規制の計画を取りまとめ、警視庁・首都高速道路(株)と協議を完了した。

(5) 空港西入口への機器設置工事

上記の協議・調整を踏まえ、インフラ設備、映像蓄積設備、カメラ機器、センサ機器の空港西入口現地への設置工事を実施し、工程期間内に工事を完了した。また、設置機器写真及び、機器配置の全体図を図2.1に示す。

(6) センサ設置に関わる保護対策の措置

空港西入口 ETCゲート通過後の合流ハードノーズ部に設置予定の路側センサ 2 及び路側センサ 3 に対して、事故発生時にこれら設備への衝突から一般車両を保護する衝撃吸収用部材を設置した。

(7) 高速道路実験用車載器を用いたインフラ側機器との組合せ一気通貫試験

現地空港西入口のインフラ設備において、高速道路実験用車載器を用いたインフラ側機器との組合せ一気通貫試験を実施し、インフラ設備が正常に動作することを確認した。

3.2 インフラ設備 全体図（首都高速道路 空港西入口）

空港西入口における実証実験に必要な設備を下図の通り整備完了した。

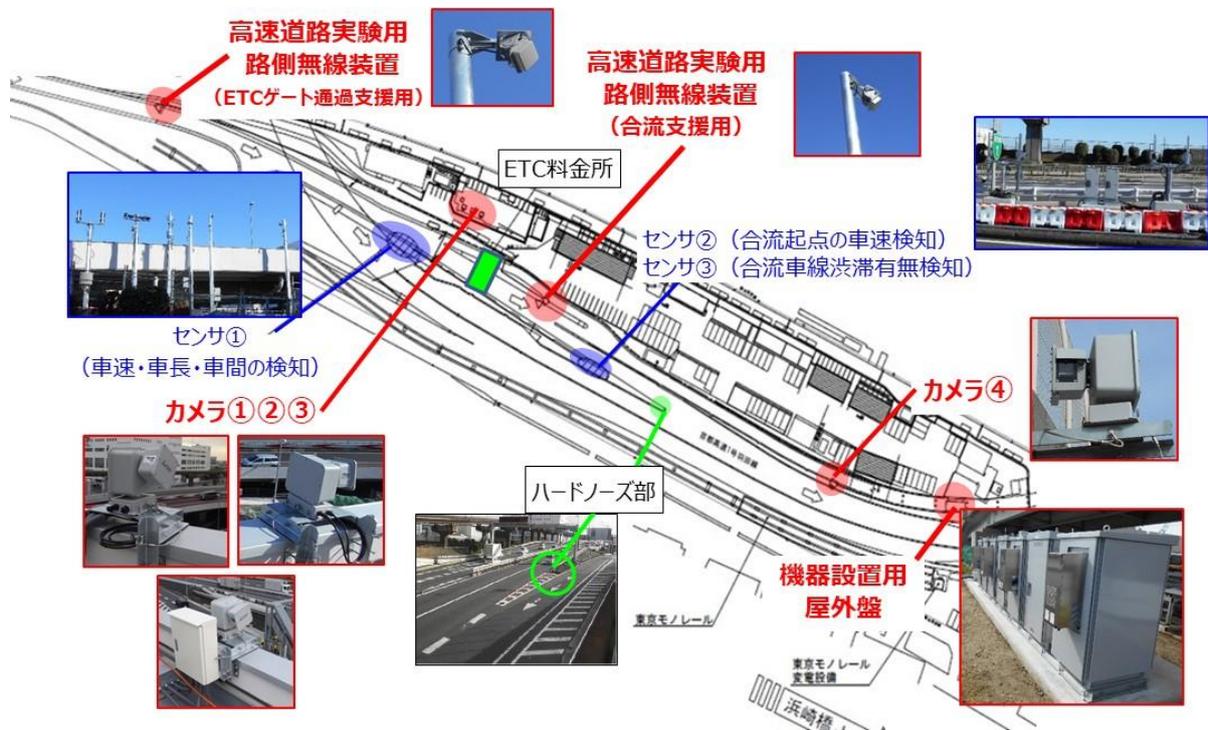


図 3.2-1 インフラ設備、映像蓄積設備の設置完了全体図

3.3 各インフラ設備：路側センサ（国総研 共同研究 5社）

国総研共同研究に参加のセンサメーカー各5社殿より提供いただいた、合流支援に必要な本線上の車両情報を検知する路側センサを下図のとおり設置完了した。



図 3.3-1 センサ①設備（国総研共研 5 社の各路側センサ）

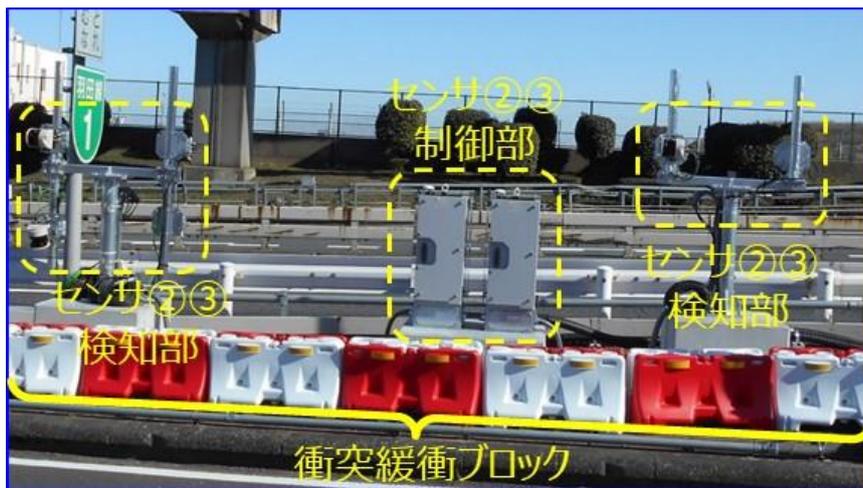


図 3.3-2 センサ②③設備及び衝突緩衝ブロック外観

3.4 各インフラ設備：高速道路実験用路側無線装置（ETC ゲート通過支援用）

料金所の表示盤より分岐した表示情報に基づき作成した ETC ゲート通過支援情報を提供する高速道路実験用路側無線装置として路側無線装置のアンテナ部と制御部を下図のとおり設置完了した。

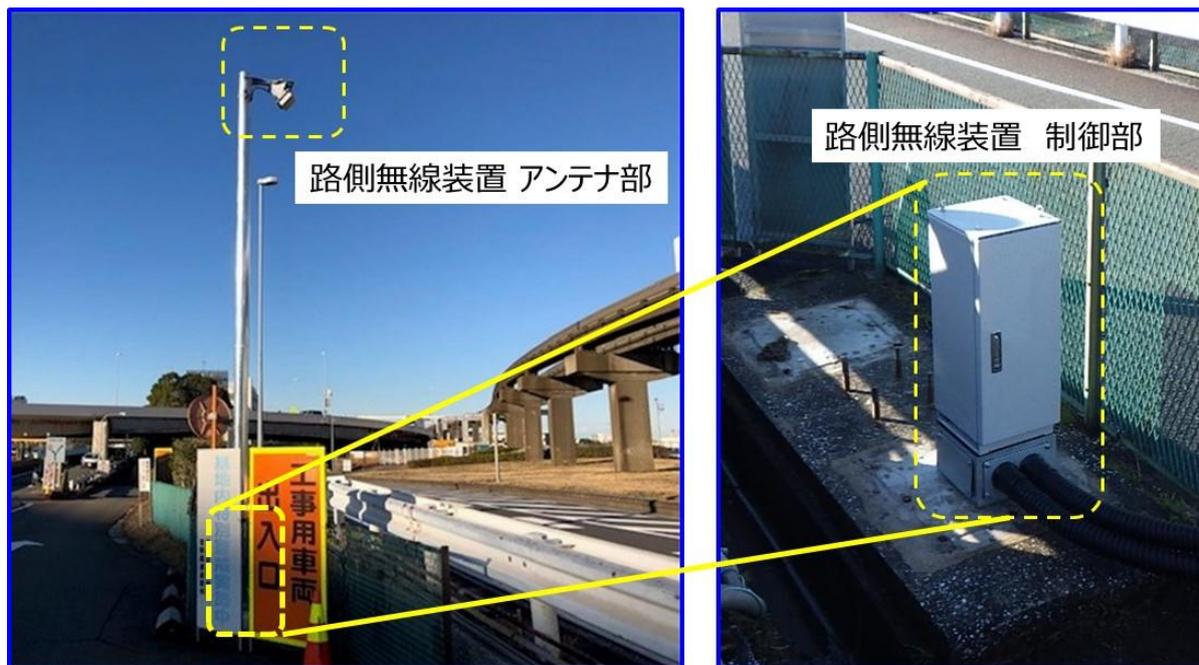


図 3.4-1 ゲート通過支援情報提供用の高速道路実験用路側無線装置

3.5 各インフラ設備：高速道路実験用路側無線装置（合流支援用）

合流する実験車両に本線上で検知した車両情報に基づき処理された合流支援情報を提供する高速道路実験用路側無線装置として路側無線装置のアンテナ部と制御部を下図のとおり設置完了した。

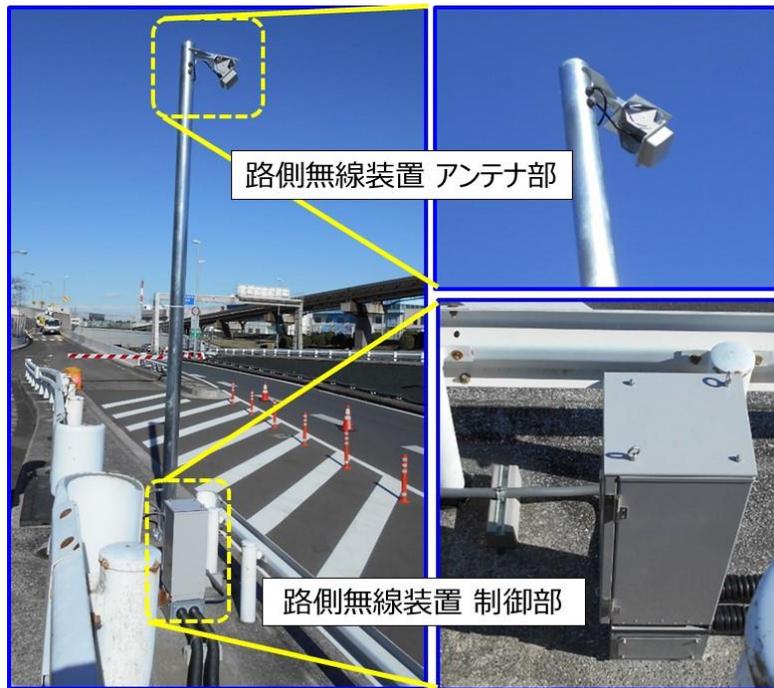


図 3.5-1 合流支援情報提供用の高速道路実験用路側無線装置

3.6 各インフラ設備：屋外盤（情報提供管理サーバ及び、各社路側処理装置を格納）

インフラ設備の各機器を収納する局舎の代替として、首都高速道路 空港西ランプ付近の首都高速電気メンテナンス（株）殿の敷地内に屋外盤を下記のとおり設置し、内部に下記各装置を格納した。尚、長期の実験期間に際して夏季熱対策用冷却装置を盤毎に備えた。

- ・ ETC ゲート通過支援情報提供装置
- ・ 映像蓄積装置
- ・ 表示用端末
- ・ 国総研共同研究センサ 5 社の各社路側処理装置



図 3.6-1 ゲート通過支援情報提供管理サーバ及び、センサメーカー各社の路側処理装置を格納した屋外盤外観

3.7 各インフラ設備：カメラ装置（①②③：首都高電気メンテビル屋上／④：合流部付近）

本実証実験における実施場所（空港西入口）の本線上の交通状態や、合流部ハードノーズ端付近の合流車及び本線上の交通状況を映像として記録し、実証実験の評価や実験環境（インフラ）の整備、事前検証及び維持・管理を行うための各カメラを所定の場所に設置、完了した。

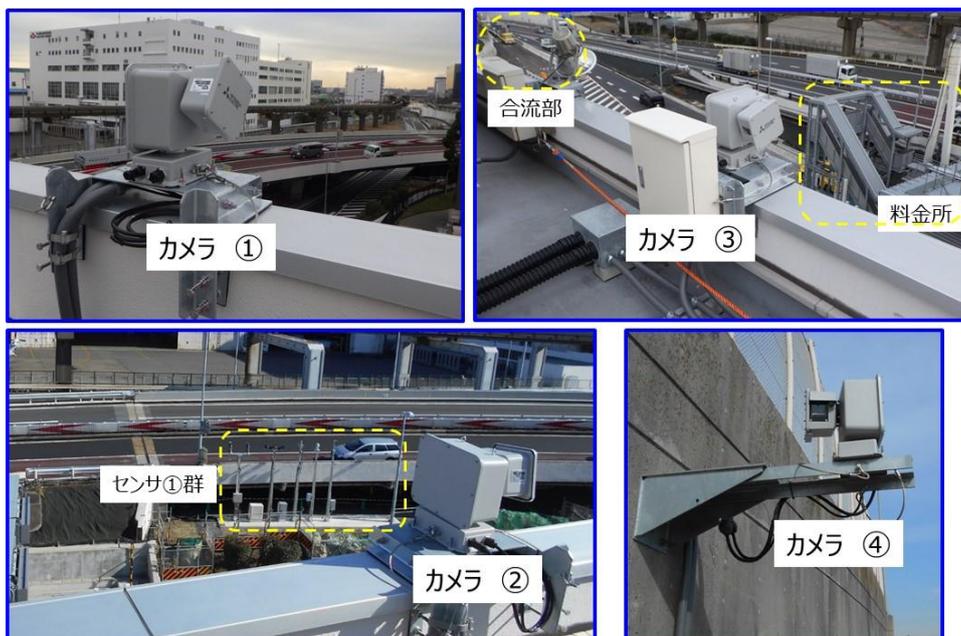


図 3.7-1 本線及び合流部の交通状況を撮影する各カメラ装置

3.8 インフラ設備の健全性確認：電波測定による「情報提供エリア」の確認

本業務で整備する実証実験環境（インフラ設備）を使って実証実験案件の受託者及び実験参加者等が実証実験をスムーズに行うことができるようにするために、インフラ設備が正常に動作することの確認を目的に、料金所や空港西出口 FF の ETC 設備、反対方向車線への漏洩波なく、電波干渉などで既存設備や一般走行車両への悪影響生じないことを確認する為、下記に記載の通り当社電波測定及び、首都高 ETC メンテナンス(株)による第三者電波測定を行った。その結果、下記の通り電波漏洩等の問題が生じないことを確認した。

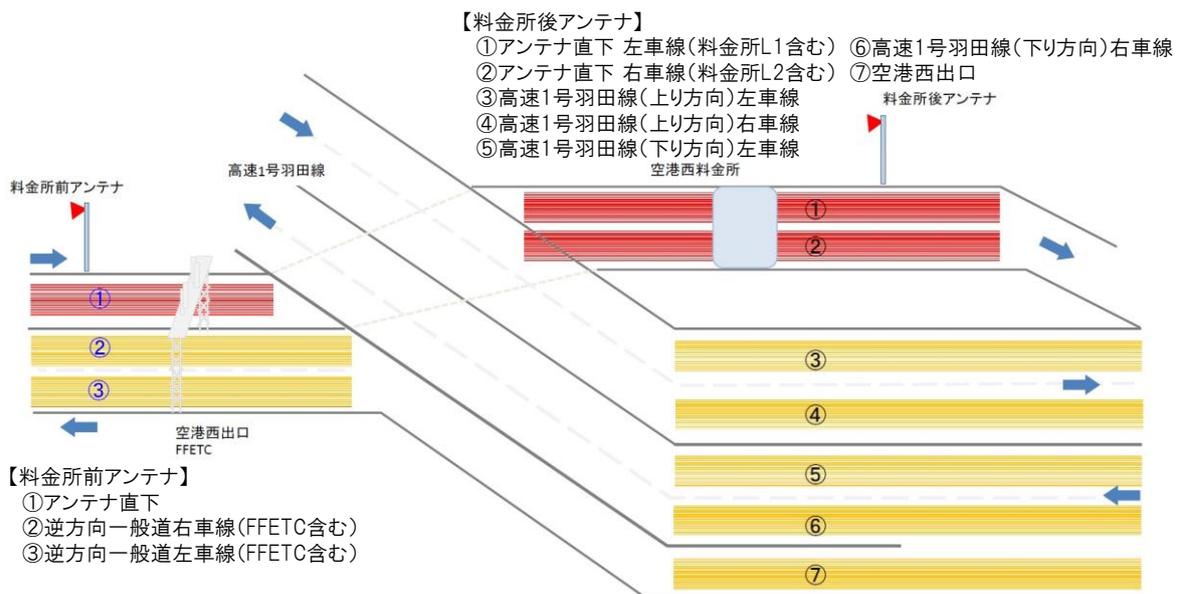


図 3.8-1 首都高速道路空港西ランプにおける電波測定レーン

4. 首都高速道路上インフラ設備に関わる設置条件等検証について

【2020年度成果】

首都高速道路 1 号羽田線空港西入口に設置したインフラ設備に付き、実証実験にて得られた情報に基づいてインフラ設備の設置条件検討及び、提供情報の正確性検証の結果を以下に報告する。

本実証実験では大きく 2 つの課題、「スムーズな ETC ゲートの通過支援」「本線上の走行車両速度に即した本線合流支援」に対し、インフラ協調技術を活用してインフラ設備から自動運転車両へ ETC ゲート選択通過支援や本線合流に向けた速度調整支援の情報提供の効果評価を行うものである。

本実証の検証項目と到達目標を以下に示す。

検証項目

- インフラ協調システムの動作適切性
- 支援情報の自動運転車等に対する有効性
- インフラ設置条件の検証

到達目標

- **インフラ情報提供仕様の検討（改善含む）**
- **空港西入口におけるインフラ設置条件の導出**
- **実証実験に基づく仕様確定に向けた課題明確化**
- **インフラ設備の優先設置条件の抽出**
- **インフラ必要性の見極め**

インフラ側担当

- ⇒本書 4.1.1 に記載
- ⇒本書 4.2.4 に記載
- ⇒本書 5.1.2 に記載
- ⇒本書 5.1.1 に記載
- ⇒本書 5.2.1 に記載

上記検証項目のうち、インフラ整備側では実証実験コンソーシアムでの評価検証と連携し、空港西入口におけるインフラ設置条件の導出及び、実証実験に基づく仕様確定に向けた課題の明確化、インフラ必要性の見極め、優先設置条件の抽出を担当し本章、次章にて後述する。

4.1 インフラ設備の設置条件検証

4.1.1 自工会要望設置位置と現地設置位置の整理

国総研共同研究にて策定された ETC ゲート通過支援及び合流支援システム仕様及び、自動車工業会より出された設置要望に基づき、本インフラ設備を整備した。設置条件を検証するにあたり、自動車工業会の要望と現地設置位置の差異について整理する。

自動車工業会の要望は以下のとおり。

ビーコン・車両検知センサの設置位置案

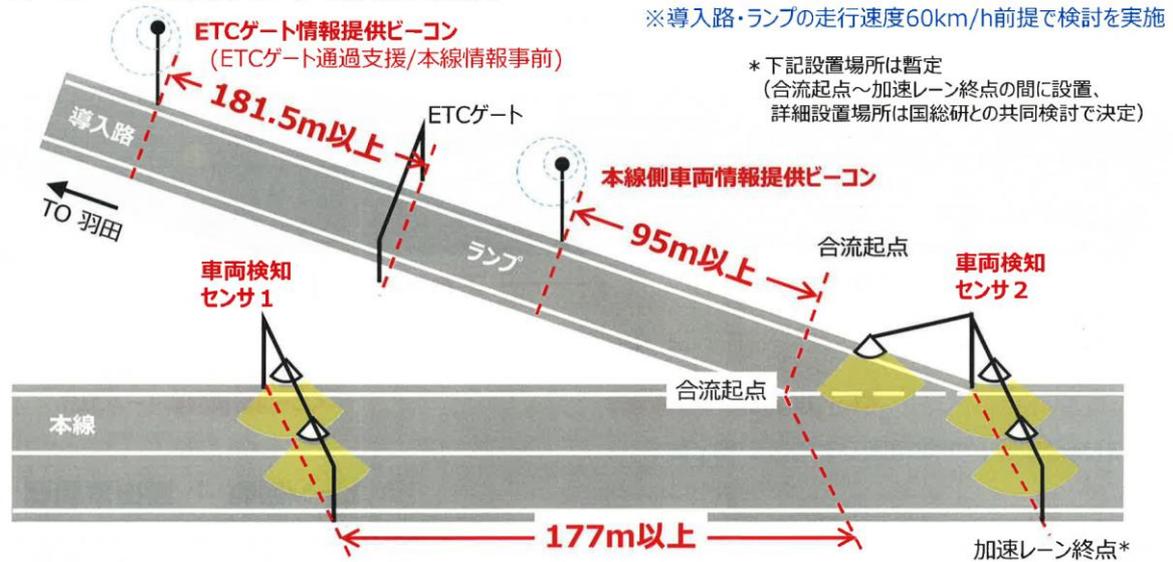


図 4.1-1 自工会殿ご要望のアンテナ・センサ設置要件（出典：国総研合流支援システム検討WG資料）

上記にて自工会殿より提示された要望設計値に対し、本実証実験場所である首都高速道路空港西入口現地に係る下記条件を必要十分に満たす機器設置位置を検討した。

<インフラ設備設置に係る主な条件>

- ① 自工会殿ご要望のアンテナ・センサの設置位置（自動運転制御に係る処理時間の確保）
- ② ETC料金所など道路既存設備への電波干渉回避（電波干渉を生じない設備位置、電波の調整）
- ③ 路車間通信完了に必要な電波強度・領域の確保（上記①②を満たした上での通信領域確保）

特に空港西入口付近の高速道路本線の道路線形、合流連絡路の仕様、首都高速道路殿からのご要望や施工要件、既存ETC料金所への影響回避、法規制遵守などあらゆる面から総合的に判断し、設備を以下のとおり設置した。本件に関する設置時の制約内容、設置条件の詳細、実施した対策等については次項で後述する。

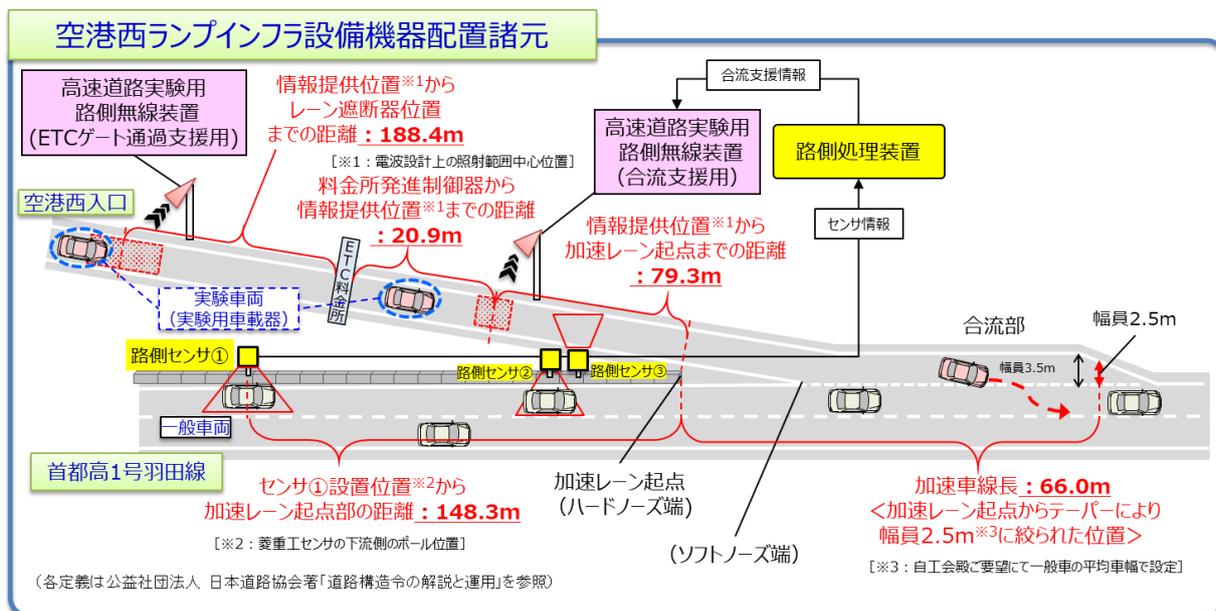


図 4.1-2 インフラ設備機器配置相関図（機器間距離の諸元）

表 4.1-1 インフラ設置に関わる諸元（自工会設計値と空港西施工値）

主要な距離項目	自工会設計値	空港西施工値
情報提供位置からレーン遮断器位置までの距離	181.5以上	188.4
情報提供位置から加速レーン起点までの距離	95以上	79.3
センサ①設置位置から加速レーン起点部の距離	177以上	148.3

上記施工値が示す通り、現地の様々な要因・制約事項により自工会殿が要望する設計値より短い距離でインフラ設備を設置するにあたり、自工会殿、国総研殿との協議を通じ、インフラ設備から実験車載器までの情報提供に係る処理に要する時間を初期想定値より短縮することが出来たので、本件が自動運転車の制御・挙動に影響しない旨、自工会殿の了承を得た上で実験を実施した。

4.1.2 インフラ設備の現地設置において生じた制約内容

本実証におけるインフラ設置時に生じた用地制限など物理的な制約が生じたことについて、内容の詳細、実施した対応をまとめる。

本対応をまとめることにより、今後のインフラ設置個所拡大などにおける試金石とする。

(1) 電波干渉対策

本設備の合流支援情報提供用アンテナ（後アンテナ）が射出する電波により、空港西料金所に対して誤通信の発生リスクが最小となる様、後アンテナの設計位置を下記のとおりとした。

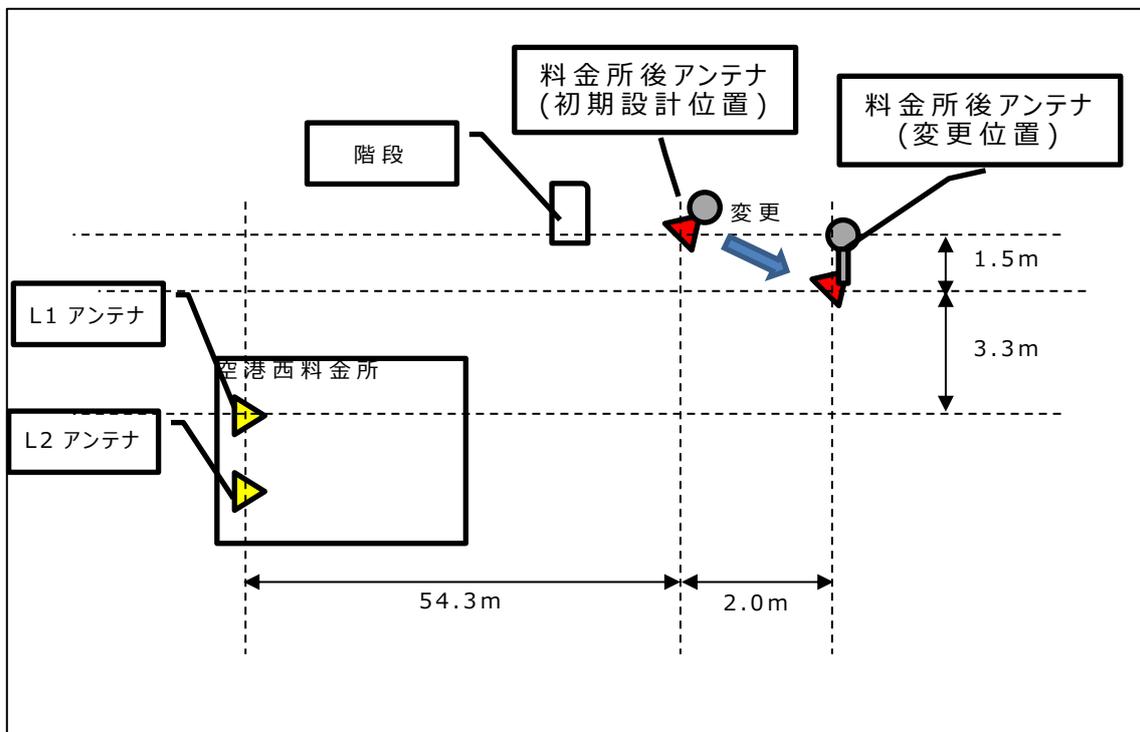


図 4.1-3 合流支援情報提供用アンテナ位置の概略図

また、アンテナ設置後の電波測定にて、後アンテナの射出電場が付近構造物にて電波反射を発生。首都高既設設備への電波干渉の影響が懸念された為、実験走行を行う車線上の電波強度を確保しつつ、アンテナの仰角や出力を調整し、下記のとおり通信エリアの絞り込みを行った、尚、首都高速道路(株)様の再測定の結果、下図に示すとおり空港西入口 ETC 料金所での ETC 通信に対して影響を及ぼさない電波強度数値を確認し、首都高速道路(株)様より、実験実施の了承が得られた。

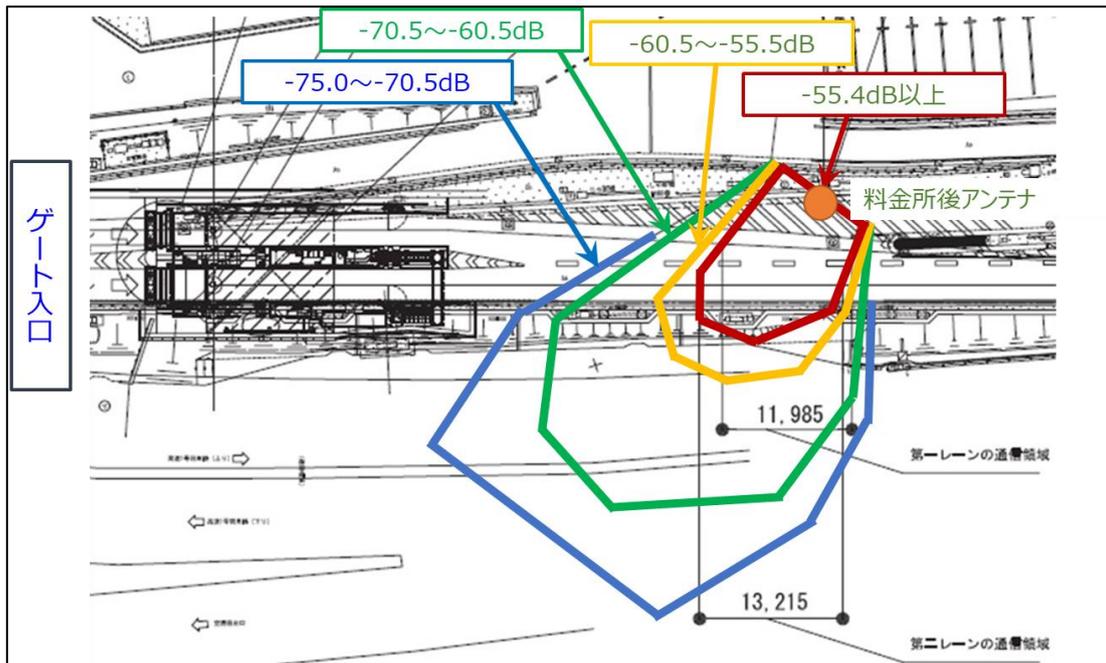


図 4.1-4 料金所後アンテナ 変更前の電波強度（設計値）

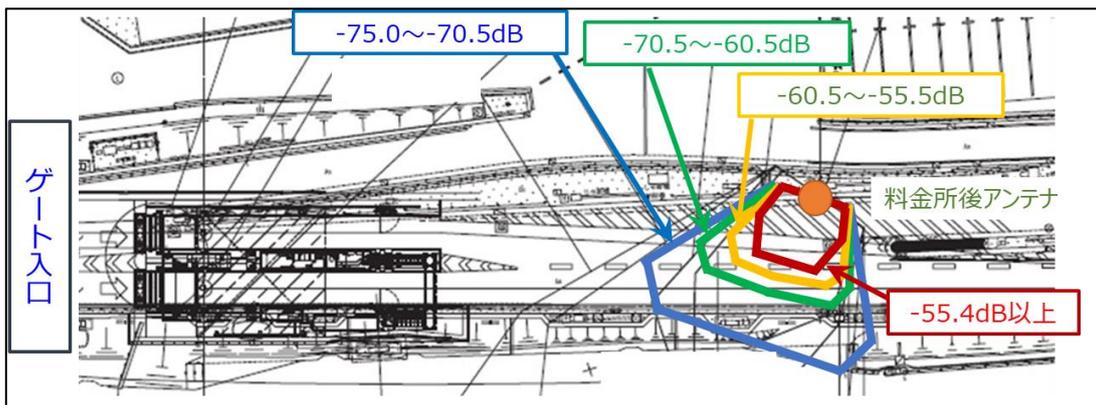


図 4.1-5 料金所後アンテナ 変更後の電波強度（計算値）

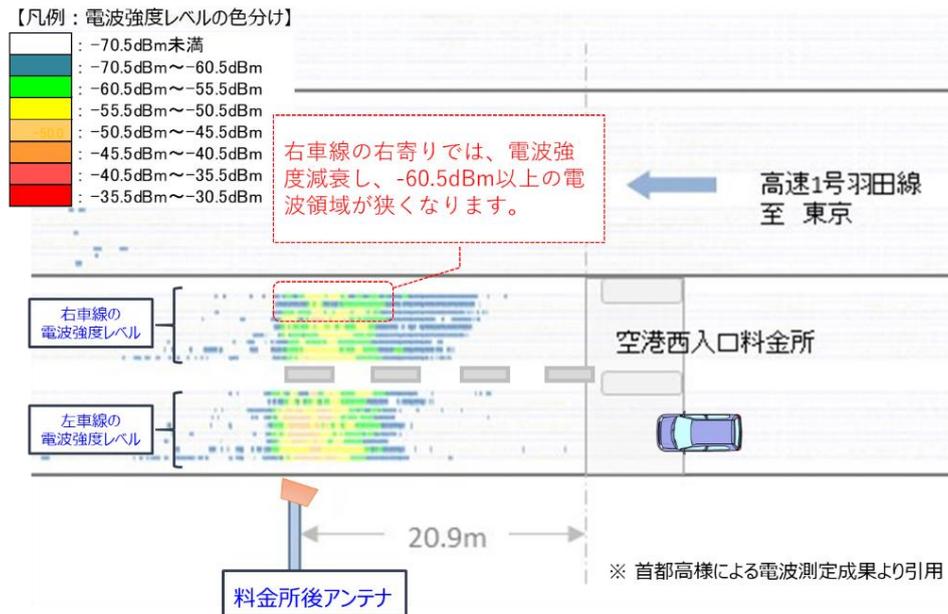


図 4.1-6 料金所後アンテナ 変更後の電波強度（実測値）

(2) 未通信事象の分析と対策

前節にて実施した空港西入口 ETC 料金所に対する電波干渉対策による、アンテナ位置の変更、電波照射角度の変更及び電波送出出力の絞り込みにより、合流支援情報を提供する後アンテナ付近の通信エリアの一部に、料金所後アンテナから車載器が情報受信するために、必要十分な電波強度が確保されている範囲が車両走行方向に対して若干不足する箇所が発生していることを確認した。

実験車両の走行位置によっては通信が途中で途絶（通信範囲からのエリアアウト）し、合流支援情報が未達になる現象と原因を確認した。

料金所進入（20km/h程度）後、体に負担かからないスムーズな加速（0.1G程度）より、料金所後アンテナ付近では30km/hで通過すると想定。30km/hの速度で通過する車両の車載器が料金所後アンテナとの通信を正常完了するには、走行方向に対して「**5.67m**」以上の距離で電波強度（**-60.5dBm**以上）が保たれていることが必要。（路車間通信の平均所要時間：約680ms（周波数選定：約190ms+DSRC通信：約490ms）で算出）

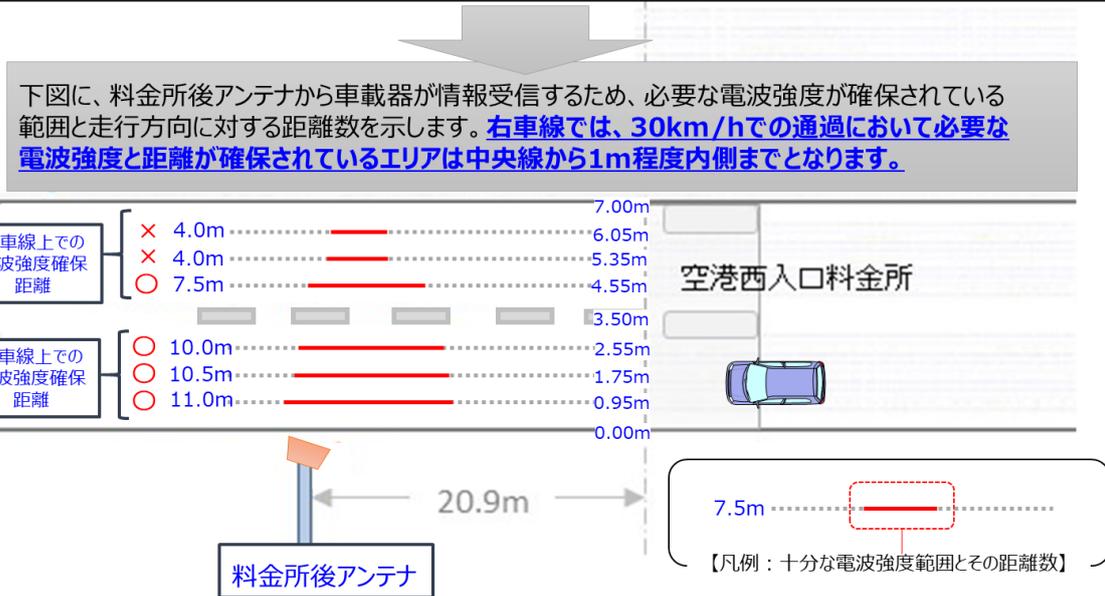


図 4.1-7 料金所後アンテナ 車線上の位置による通信可能範囲

本事象に対し、実験参加者（走行車両）には下記に示す通り、実験用車載器アンテナのダッシュボード取付位置及び、合流支線での走行速度と走行位置について制約事項として参加者への注意喚起を実施した。

S I P 2期の車載器用アンテナは
ダッシュボード上のやや左寄りに配置
いただく事が望ましいです。

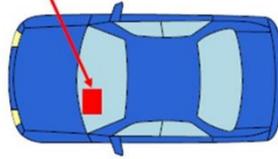


図 4.1-8 実験用車載器オンボードアンテナの取付位置の提示

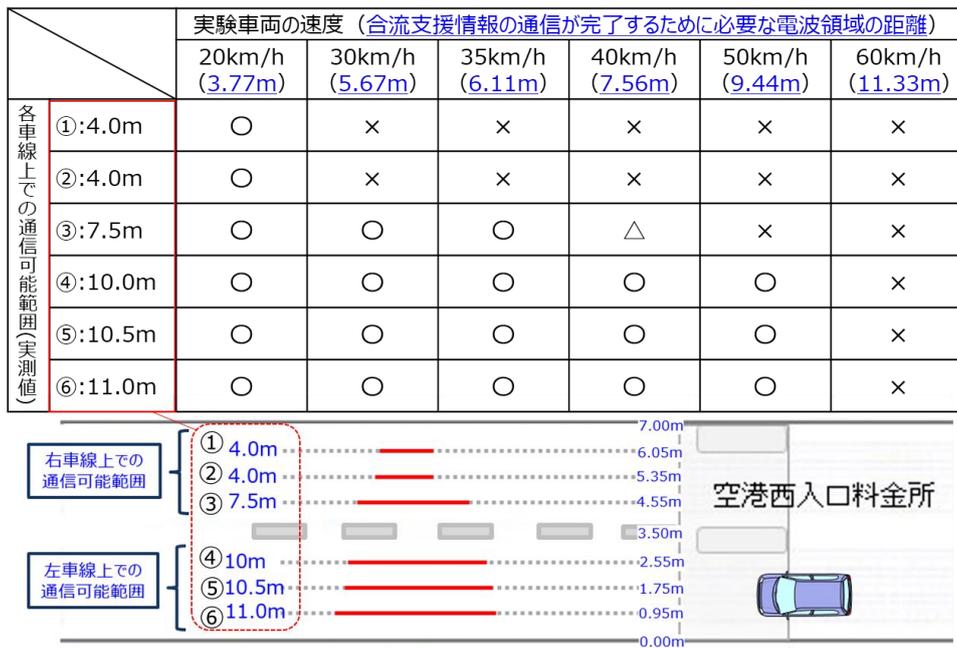


図 4.1-9 料金所後アンテナの電波強度範囲及び、当該範囲に対する車両通過速度に応じた通信完了可否表

上記にて調査した合流支援情を提供する限られた通信可能範囲内で路車間通信の完了確度を向上するため、インフラの社会実装時には運用管理のため必要になるであろうログ情報等の内、今回実験には不要と捉える内容を削減することにより通信処理のトランザクションの集約・スリム化による通信所要時間の削減を検討。今回の実験用設備に対する特別処置として現地インフラ機器の通信トランザクション改善を施した。

処置実施後、実験用車載器を用いた当社試験走行にて、通信所要時間の約60%削減(下図参照)できることを確認。また、この特別処置により試験走行上では情報未受信が発生しないを併せて確認した。

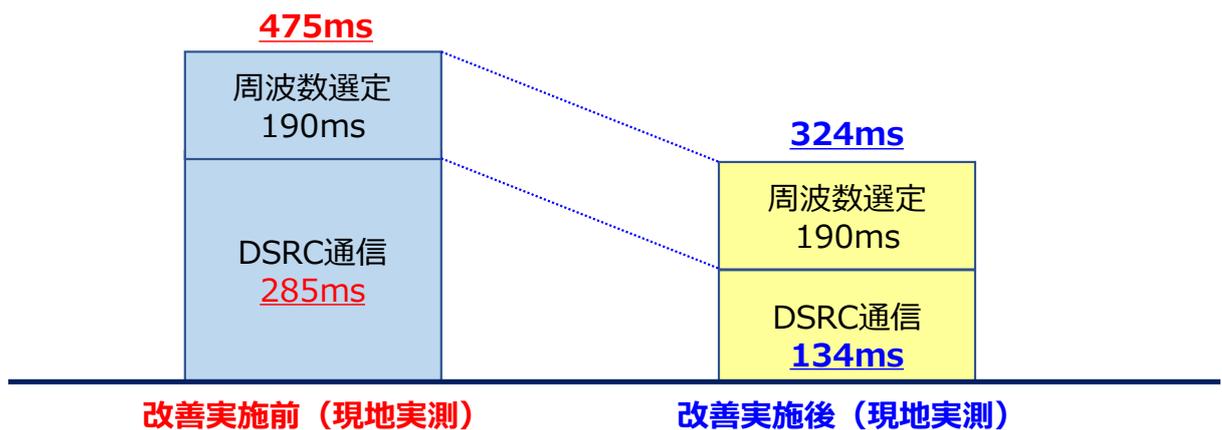


図 4.1-10 通信トランザクション改善前後の通信所要時間比較

各車線上で通信に必要な電波強度が確保されている範囲(実測値①～⑥)に対する、実験走行速度の許容度合いについて試算結果を下表に示す。

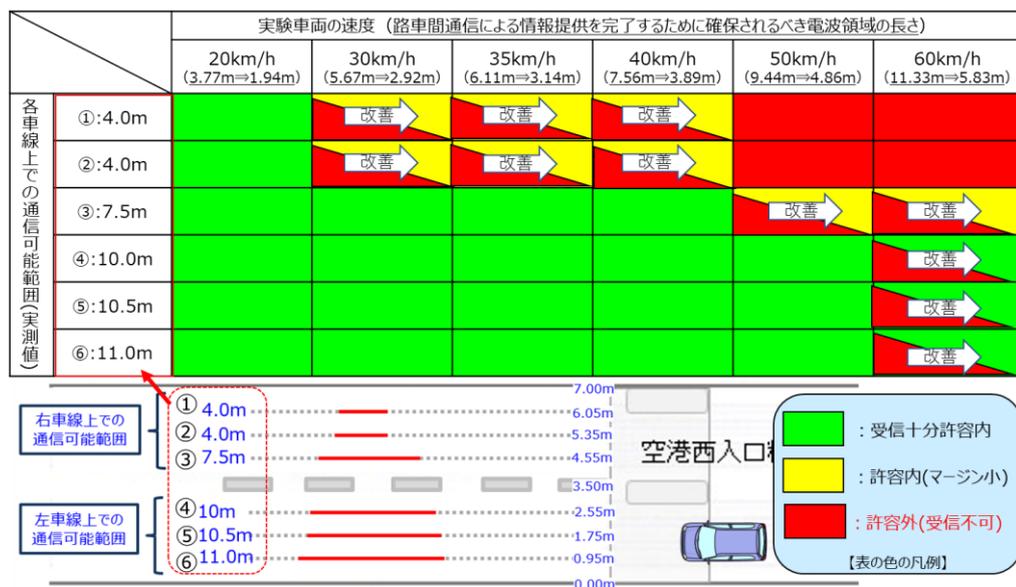


図 4.1-11 電波領域に対する車両走行速度の許容度評価

(3) 路側センサ位置の制約

路側センサについては SIP 実証実験に参加されている国土交通省 国土技術政策総合研究所殿の官民共同研究参加者であるセンサメーカー 5 社の路側センサを設置する事となっていたため。センサ自体の台数や設置用のポール、治具、基礎等の規模が大きくなるのが当初から見込まれていた。そのため、下記の 3 点の要因により路側センサ設置箇所が限定的となり、自工会殿ご要望であるハードノーズ端から 177m 以上の離隔距離を満たすことが出来ず、

148.3m の位置に設計・施工を実施した。この設置条件の評価は次章にて後述する。

＜路側センサの設置位置に対する制約＞

- ① 5社分の路側センサ取付治具・ポールを設置する用地の確保（ポール総数6本用の基礎は規模が大きくなり設置箇所が限られる）
- ② 自工会殿設計位置（177m以上）は橋梁箇所にて基礎や足場を組む場所が無い。
- ③ 路側センサ取付治具・ポールの高速道路高欄（コンクリート壁）への埋設・取付は鉄筋切断の危険あり不可。

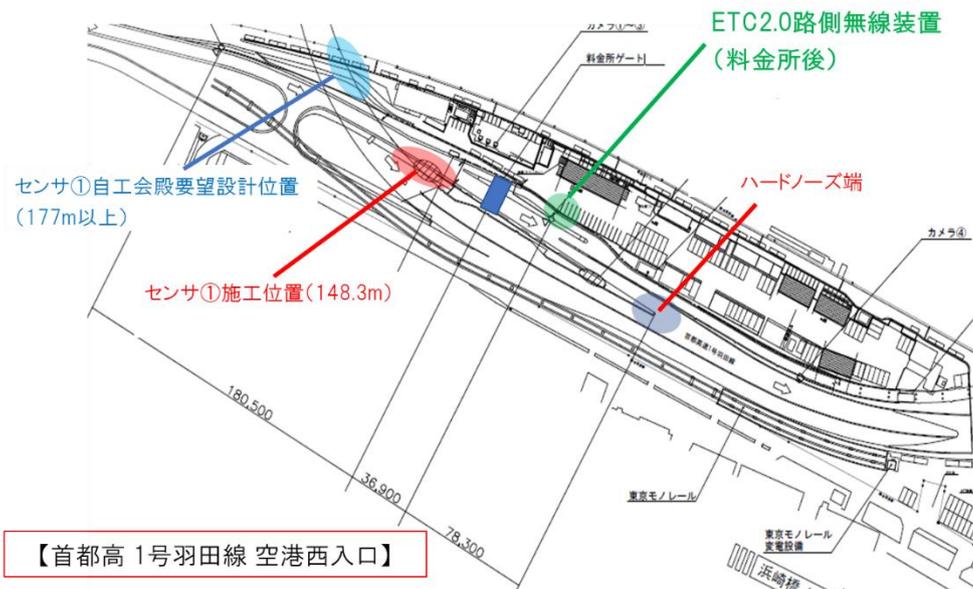


図 4.1-12 路側センサ自工会殿設計要望位置と施工位置の比較

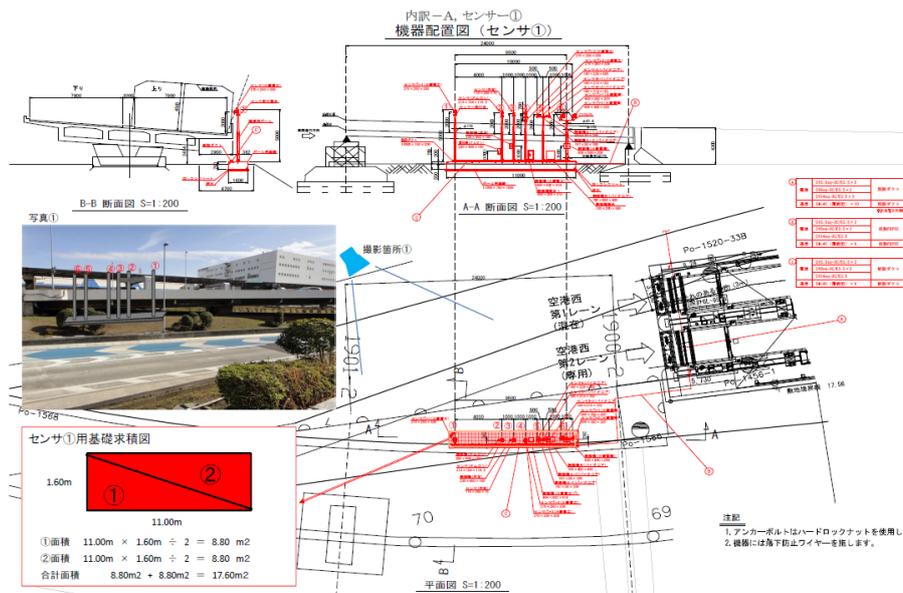


図 4.1-13 路側センサ及び取付ポールの施工・設置位置詳細

(4) 安全対策上の制約

本実証実験の実施に向け、警視庁交通部交通規制課様より首都高速道路羽田線空港西入口 ETC ゲート通過後の合流ハードノーズ部に設置予定の路側センサ 2（本線合流部状況）及び路側センサ 3（合流車線状況）において、道路利用者に対する安全対策が必要とのご指摘があり、設置した路側センサから一般車両を保護するための対応が必要となり、下記の対策を実施した。

①保護対策について

事故発生時の路側センサ 2 及び路側センサ 3 への衝突から一般車両を保護する衝撃吸収用部材を設置した。尚、直線的な合流車線を走行するドライバの視線誘導として、丸みのあるタンクより直線的なブロックを下図のとおり配置した。

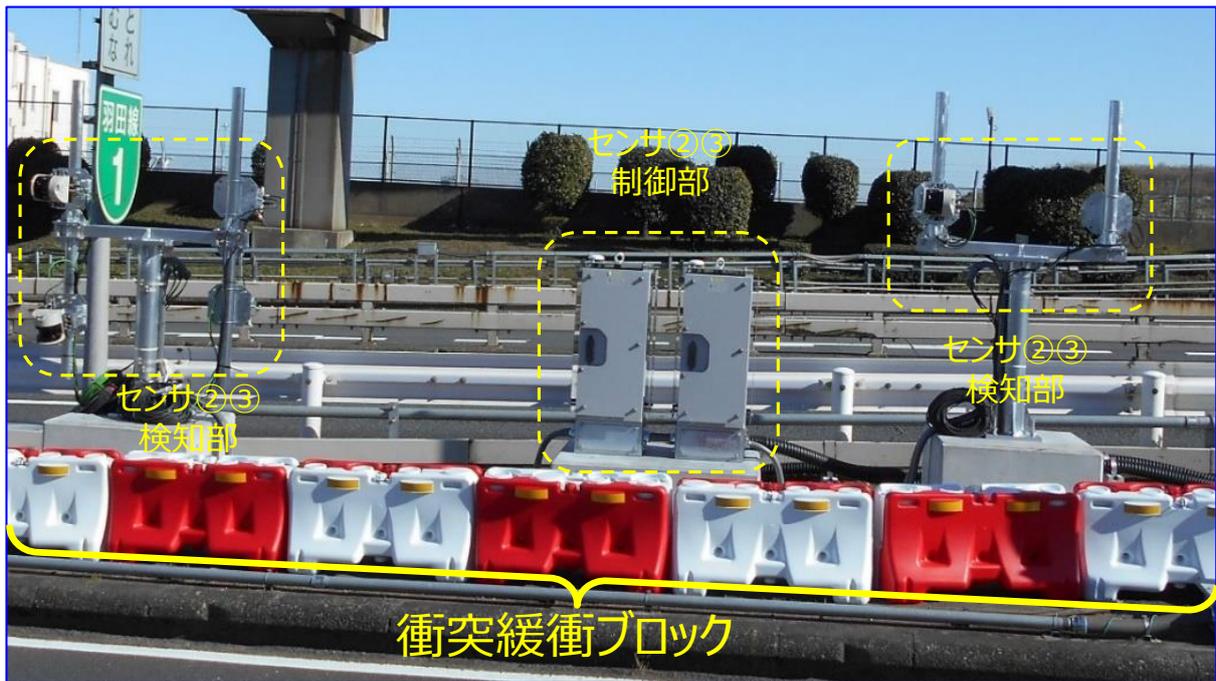


図 4.1-14 空港西入口 ETC ゲート通過後の ON ランプ側車線の衝突緩衝ブロック

4.1.3 インフラ設備の現地設置に関わる手続きと工程管理

高速道路の管理敷地内にインフラ設備を設置するにあたり、これまで実施した手続き、関係機関との調整を以下に整理する。

これら整理を示すことにより、高速道路合流支援に関わる設備設置の今後展開において、必要な事項を予め把握でき、工程など作業計画の精度向上、リスク軽減に資することができると思われる。

(1) 設計協議／施工協議

高速道路の管理敷地内に設備を設置するため、その設計内容および施工内容の協議を道路管理会社と実施する必要がある。本協議の中で、他工事間との影響（設置場所、作業工程等）も調整される。

設計協議と施工協議のそれぞれに 2、3 カ月を要するが、占用実施者や占用物件により変動するため予めの確認、調整を道路管理者と実施されることを提案する。

(2) 道路占用許可申請／道路占用協議

道路に一定の施設を設置して継続して道路を使用することを「道路の占用」という。「道路の占用」は、地上に施設を設置するだけでなく、地下への電気、水道など管路の埋設や電線などを道路上空に設置することも含まれる。

「道路の占用」に関わる手続きには次の２種類がある。

- ① 道路占用許可申請：国以外が占用を行う場合
- ② 道路占用協議：国が占用を行う場合

今回は、内閣府 SIP の実証による占用であるため、「道路占用協議」を独立行政法人日本高速道路保有・債務返済機構に対して提出した。

必要とする申請期間は、占用実施者や占用物件により変動するため予めの確認、調整を道路管理者・日本高速道路保有・債務返済機構と実施されることを提案する。

(3) 道路使用許可申請

高速道路上での工事等は、道路の本来の用途に即さない道路の特別の使用行為となるため、警察署長の許可が必要となる。

時節などに応じて、交通規制抑制期間が定められているため予め該当の道路管理者への確認を実施されることを提案する。

4.2 合流支援情報提供に関わる情報の正確性、インフラ設置位置の評価

4.2.1 ラップタイム計測

(1) 計測方法および分析手順

合流支援情報提供に関わる情報正確性の分析や、インフラ設置位置分析のため、路側に設置したカメラの映像を用いてラップタイム計測を行った。この計測結果は、各本線車両が実際に合流部に到達した時刻の情報として、4.2章の分析において用いた。

1) ラップタイム計測方法

a. 通過地点の設定

図 4.2-1 に示す国総研の事前調査資料を踏まえ、同等の箇所となるように通過計測地点を設定した。なお、今回設置したカメラでは本線の最上流が画角範囲外となったため、地点 C 以降を計測対象とした。また、ソフトノーズ通過以降の車両挙動を分析するため、地点 J の更に下流に地点 K を設定した。各地点間の距離は表 4.2-1 の通り。



図 4.2-1 国総研の事前調査資料における分析対象区間

表 4.2-1 地点間距離

区間	距離 (m)
C-D	41.62
D-E	35.63
E-F	29.20
F-G	29.85
G-H	30.16
H-I	18.02
I-J	20.90
J-K	40.20

設定した通過計測地点を動画内に描画し、計測を行った。計測に用いた動画のキャプチャを図 4.2-2 に示す。

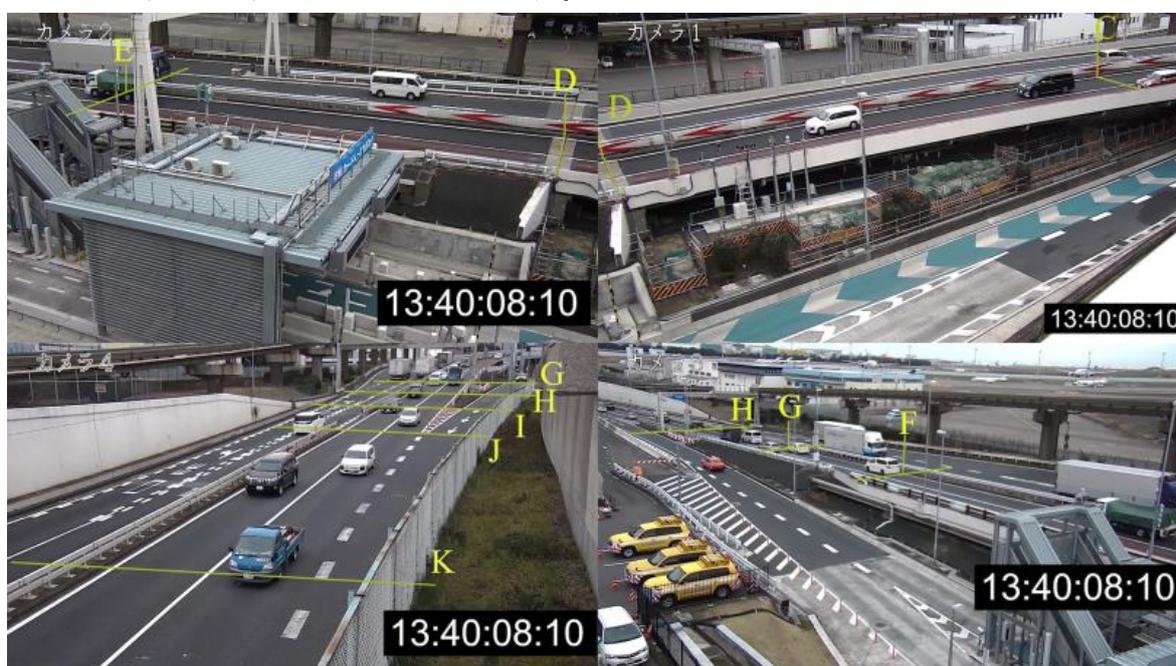


図 4.2-2 4つのカメラの映像と通過計測地点

b. 記録対象と使用するカメラの対応

本実証実験では、本線検知用のセンサが本線第一車線を走行している車両を、合流車線検知用のセンサが合流車線を走行している車両を検知する。ラップタイム計測においても、本線車両は本線第一走行車線を走行した車両のみを計測対象とした。また、本線上流部センサ付近での車頭時間を記録するため、センサ付近の通過地点 D においてのみ、車頭の通過時刻に加えて車尾の通過時刻を計測することとした。車線毎に、記録する通過地点と記録対象、および計測に使用する映像を表 4.2-2 の通り整理した。

表 4.2-2 記録対象と使用するカメラ映像一覧

車線	通過地点	記録対象	使用映像
本線第一 走行車線	C	車頭通過時	カメラ 1
	D1		
	D2	車尾通過時	
	E	車頭通過時	カメラ 2
	F		カメラ 3
	G		カメラ 4
	H		
	I		
	J		
	K		
合流車線	H	車頭通過時	カメラ 4
	I		
	J		
	K		

c. 計測における基本的な考え方

各車両の通過判定は、車頭または車尾が地点を通過したかによって判断し、その時刻を記録した。図 4.2-3 に通過判定の例を示す。



図 4.2-3 車頭通過判定の例

計測に用いた動画は 1 秒に 30 フレームの映像であったため、車頭または車尾が通過時のフレームが存在しないケースが発生した。この場合は図 4.2-4 のように、最も通過に近いフレームの通過時刻を記録することとした。



図 4.2-4 通過した瞬間のフレームが存在しない場合の車頭通過判定の例

更に、通過前後でほとんど距離が変わらない場合は、図 4.2-5 に示す通り、通過直後フレームで通過時刻を記録した。

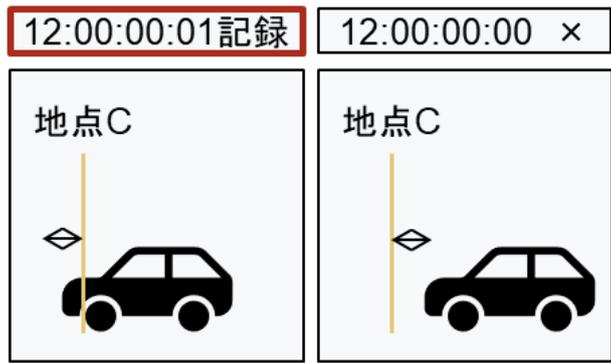


図 4.2-5 通過前後で地点との距離が同等の場合の車頭通過判定の例

各地点について、通過判定のキャプチャ例を

図 4.2-6 から図 4.2-20 に示す。

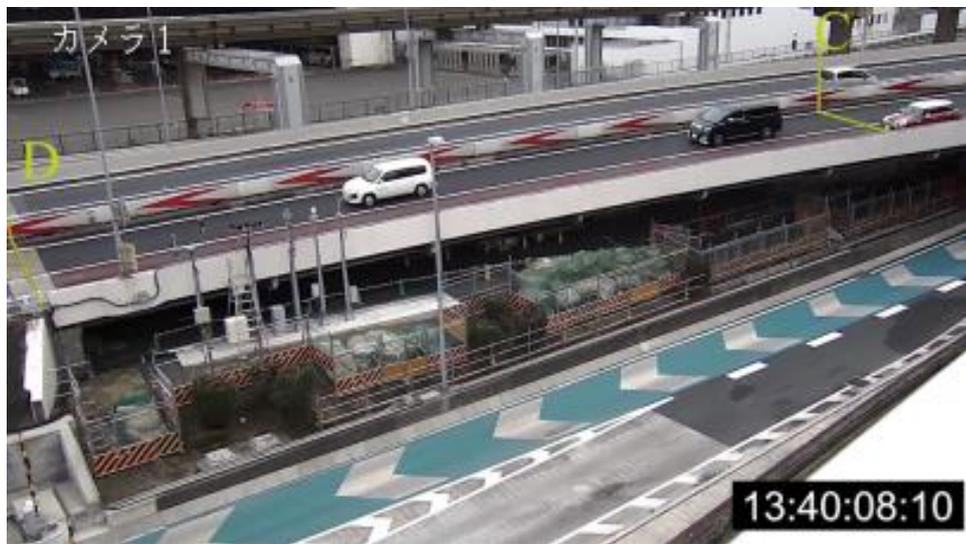


図 4.2-6 地点 C の通過判定キャプチャ例



図 4.2-7 地点 D1 の通過判定キャプチャ例



図 4.2-8 地点 D2 の通過判定キャプチャ例



図 4.2-9 地点 E 過判定キャプチャ例



図 4.2-10 地点 F の通過判定キャプチャ例



図 4.2-11 地点 G の通過判定キャプチャ例

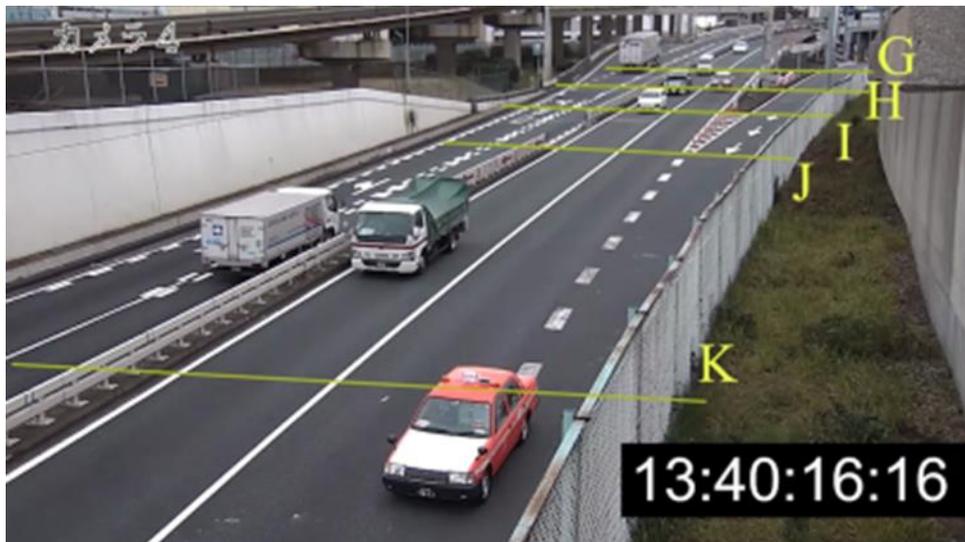


図 4.2-12 地点 H の通過判定キャプチャ例



図 4.2-13 地点 I の通過判定キャプチャ例



図 4.2-14 地点 J の通過判定キャプチャ例



図 4.2-15 地点 K の通過判定キャプチャ例

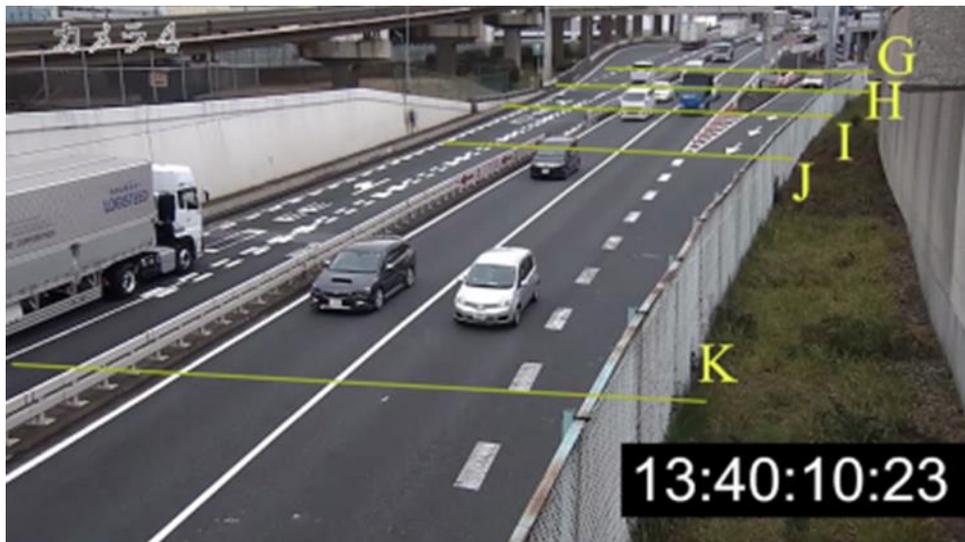


図 4.2-16 地点 H (合流車線) の通過判定キャプチャ例



図 4.2-17 地点 I (合流車線) の通過判定キャプチャ例



図 4.2-18 地点 J (合流車線) の通過判定キャプチャ例



図 4.2-19 地点 K (合流車線) の通過判定キャプチャ例

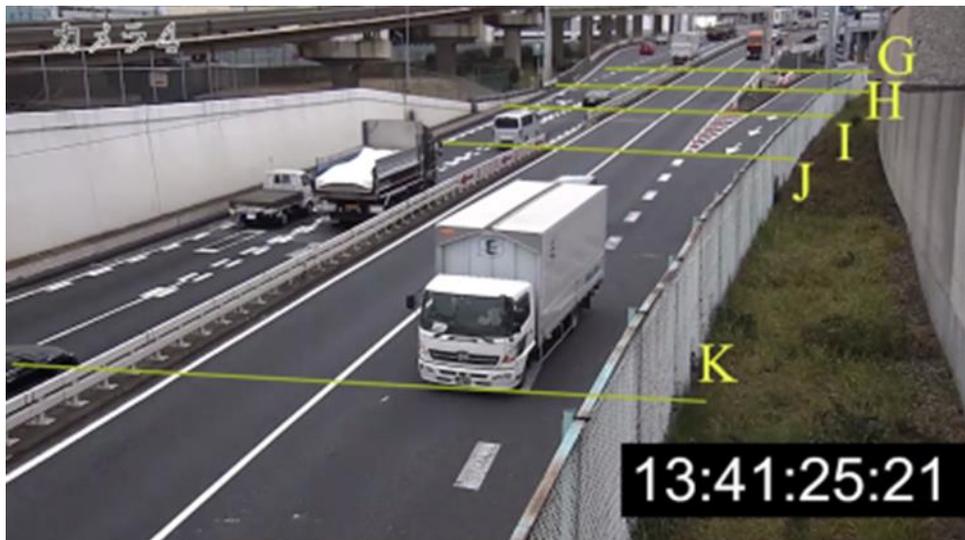


図 4.2-20 地点 K (合流車、走行車線 = 本線第一走行車線) の通過判定キャプチャ例

d. 記録方法

ラップタイム計測に際し、各車両の通過時刻に加えて分析のための各種情報も併せて記録した。記録した項目とその内容を表 4.2-3 に示す。

表 4.2-3 記録事項一覧

記録項目	記録内容
Color	車両の色を入力 「Color コード」
CarID	ラップタイム計測対象車両の識別番号を入力、本線第一車線は 1 から、合流車線は 1001 から付番 ※本線車は「動画開始時以降に地点 K を通過した車両」から、「動画終了以前に地点 C を通過した車両」までを記録対象とし、合流車は「動画開始時以降に地点 K を通過した車両」から、「動画終了以前に地点 H を通過した車両」までを記録対象とした
車種	計測対象車の車種を入力 1:普通車、2:大型車、3:二輪車 ※トラックについては、軽トラックまでは 1:普通車、それ以外は 2:大型車とした
通過点	C・D1・D2・E・F・G・H・I・J・K のいずれかを入力
地点通過時刻	時・分・秒・フレームを入力
走行車線	車両が走行した車線を入力 1:本線第一、2:本線第二、3:合流 ※本線第一と合流車線を走行する車両が計測の対象であるが、車線変更した場合は本線第二車線を走行した地点についても一部情報を記録した 地点 C 通過時には第一車線にいたが、途中で第二車線に移動： 第二車線走行の地点については Color・CarID・通過点・走行車線のみ記録 途中まで第二車線にいたが、第一車線に移動： 地点 C 以降第二車線にいた地点については Color・CarID・通過点・走行車線のみ記録。
合流車両視認有無	本線第一走行車線で地点 F 以降を走る車両について、同時刻に合流車線に車両が存在したかを記録 0:無、01:I より下流、02:I より上流（G～I の間）、03:I より下流と下流の双方
合流車車種 1	合流車線に視認できる車両がいる場合、最も下流にいる合流車の車種を記録 1:普通車、2:大型車、3:二輪車 ※トラックについては、軽トラックまでは 1:普通車、それ以外は 2:大型車とした

記録項目	記録内容
合流車車種 2	合流車が 2 台以上いる場合、下流から 2 台目の車両の車種を記録 1:普通車、2:大型車、3:二輪車 ※トラックについては、軽トラックまでは 1:普通車、それ以外は 2:大型車とした
遮蔽	01:遮蔽あり ※通過時刻を記録する際、周囲の車両で車体の輪郭が隠れていた場合に「01」を記録し、通過時刻は想定で記録
H 地点測定	01:カメラ 3 で測定 ※H 地点の通過時に、カメラ 4 の映像では前方車重なって見えな いがカメラ 3 で通過時刻が判定できる場合、この列を「01」とし たうえで、カメラ 3 で判定した通過時刻を記録 ※上記の場合は、遮蔽は「01」とせず、空欄とする

2) 提供情報とラップタイム計測の比較分析

ラップタイム計測結果を用いた分析は以下の手順で行った。

a. 交通概況の整理

空港西入口付近の本線通行車両台数をもとに、24時間の交通状況、および5分間交通量と5分間平均速度の関係を表すQV図を作成し、当該日24時間における分析時間帯の位置づけを整理した。また、分析時間帯の特徴を把握するため、第一走行車線の車両数、合流車線の車両数、本線D地点における平均車間時間を算出した。

b. ラップタイム計測結果とセンサログの紐づけ

ラップタイム計測結果とセンサログを対応させるため、ラップタイム計測結果のうちセンサ設置箇所付近である地点CおよびDの通過時刻とセンサで検知した通過時刻を用いて紐づけを行った。紐づけに当たっては時刻のほか、ラップタイム計測で記録した車種（普通車/大型車/二輪車）とセンサログの車長および二輪車フラグの対応に矛盾がないことを確認した。

c. 合流到達計算時刻と実際の到達時刻の差異分析

センサ①の下流側機器は、地点Dから5.34m上流側に設置されているため、ラップタイム計測結果の地点CおよびDの通過時刻をもとに、動画においてセンサ前を通過した時刻を算出した。これを紐付用CD通過時刻と呼ぶ。

実験環境において、各機器はGNSSで時刻合わせを行っているものの、設置位置の都合から、カメラ①～③に接続するGNSS機器と、センサ・路側機・カメラ④に接続するGNSS機器が異なる。このため、両GNSS時刻には数十ミリ秒の時刻ずれが生じる。動画とセンサ間の時刻ずれを補正するため、紐付用CD時刻とセンサの通過時刻の差を算出した。これを補正值とする。

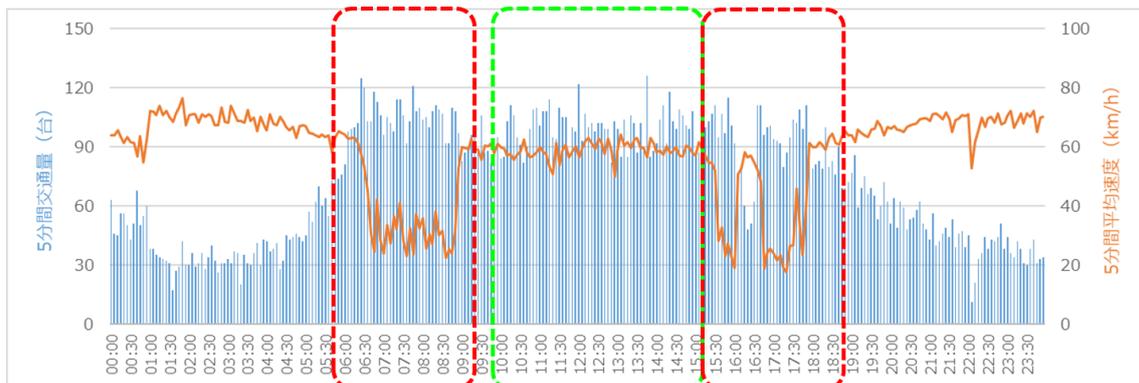
ラップタイム計測結果の地点I通過時刻とセンサの到達計算時刻の差から補正值を引いた時間を、時刻差とし、分析にはこの時刻差を用いた。

時刻差	=	ハードノーズ通過時刻	-	到達計算時刻	-	補正值
時刻差がプラス：		実際にハードノーズを通過した時刻より、早く到着すると推定				
時刻差がマイナス：		実際にハードノーズを通過した時刻より、遅く到着すると推定				

(2) 計測および分析対象

1) 時間帯ごとの交通状態

空港西入口付近の交通概況を把握するため、空港西入口付近の本線通行車両台数を用い、24時間分の5分間交通および5分間平均速度を算出した。2020年3月24日の結果を図4.2-21に示す。



※上記グラフは3/24(火)のデータを例示。

COVID-19の影響が残る状況では、交通量の減少など変動の可能性あり。

図 4.2-21 5分間交通量と5分間平均速度

空港西入口付近では、1日のうちに交通量の変動があり、交通流の順調な時間帯(図中緑破線、10～15時頃)と、臨界・渋滞の時間帯(図中赤破線、6～9時頃・15～18時頃)が発生していることが確認できた。交通状態の異なる、順調な時間帯と渋滞の時間帯では、合流部到達計算時間とラップタイム計測による合流部到時刻の間に乖離がある可能性がある。したがって、ラップタイム計測およびセンサの検知データとの比較検証を、順調な時間帯、臨界の時間帯、渋滞の時間帯それぞれについてデータを取得して実施できるよう、分析時間帯を決定した。

2) 計測時間帯の決定

1)で確かめた交通概況をもとに、分析時間帯を決定した。ラップタイム計測を実施した日時および交通状況等の概要を表 4.2-4 に示す。

表 4.2-4 分析データに係る交通状況等の概要

分析事例 No.	日時	天候	交通状況	第一走行車線の車両数	合流車両数	平均車間時間
1	3/27 (金) 10:25~10:55	晴	順調	518	70	2.8
2	3/27 (金) 12:50~13:20	晴	順調	575	65	2.8
3	3/30 (月) 12:35~13:05	晴	順調	518	52	3.0
4	3/30 (月) 13:05 ~13:35	晴	順調	515	67	3.0
5	3/24 (火) 06:25~06:55	晴	臨界	670	113	2.0
6	3/13 (金) 09:25~09:55	晴	渋滞	594	73	2.4
7	2021/1/28 (金) 15:10~10:40	雨	順調	566	46	2.9

※ 臨界：渋滞が生じる交通密度の臨界点

(3) 結果

1) 分析事例 1 2020年3月27日 10:25~10:55

a. 分析時間帯の交通概況

順調な時間帯として、2020年3月27日10:25~10:55の30分間をラップタイム計測の対象時間帯とした。空港西入口付近の本線通行車両台数から作成した24時間の交通状況の推移、および5分間交通量と5分間平均速度の関係を表すQV図を図4.2-22、図4.2-23に示す。

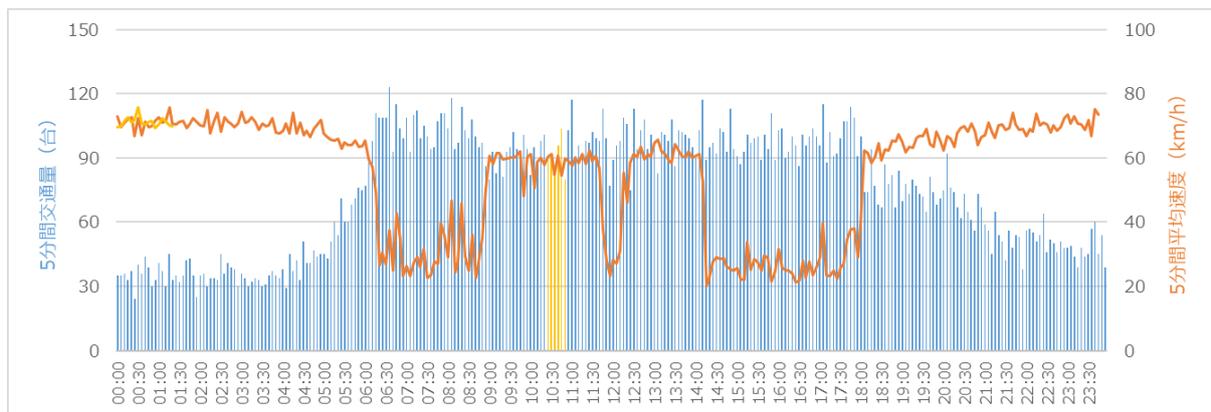


図 4.2-22 24時間交通概況図と分析時間帯

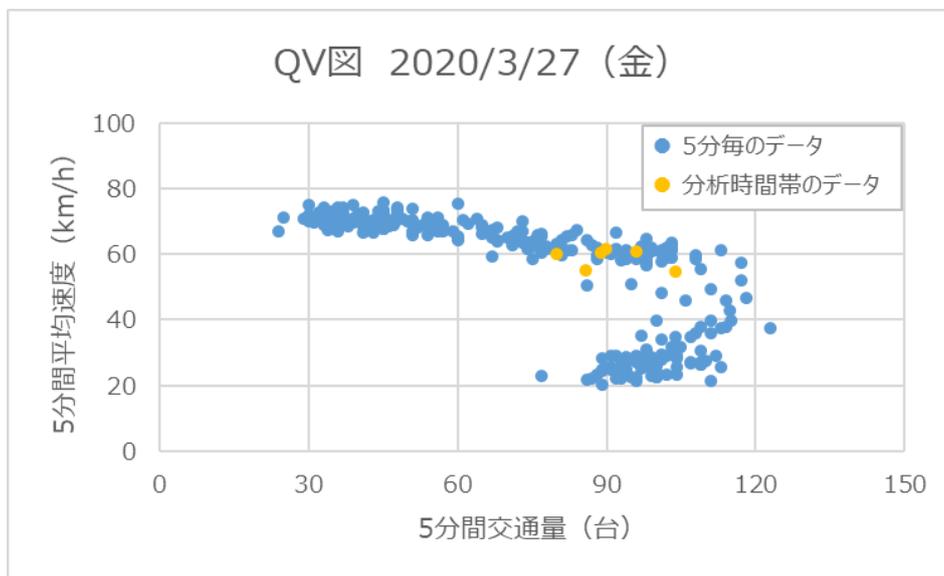


図 4.2-23 QV図(5分間平均速度と5分間交通量)

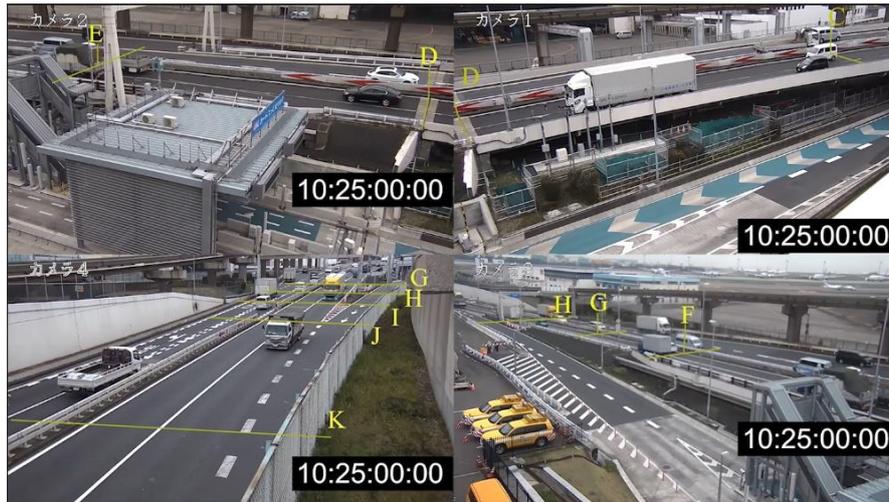


図 4.2-24 分析時間帯映像のキャプチャ

表 4.2-5 分析対象時間帯の状況（2020年3月27日 10:25～10:55）

	分析時間帯の状況
天候	晴
交通状況	順調
第一走行車線の車両数	518台
合流車両数	70台
平均車間時間	2.8秒

ラップタイム計測データのうち、C-D区間を通過した車両台数およびC-D区間速度を用いて、5分間毎の交通量と平均速度を算出した。結果を図4.2-25および表4.2-6に示す。

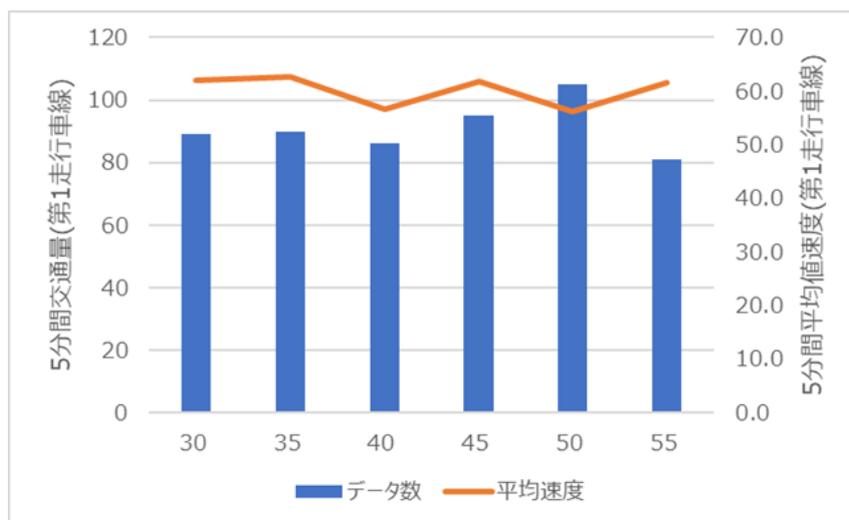


図 4.2-25 第一走行車線の交通量・速度（CD区間）

表 4.2-6 データ数と平均速度

	10:25- 10:30	10:30- 10:35	10:35- 10:40	10:40- 10:45	10:45- 10:50	10:50- 10:55
交通量 (台)	89	90	86	95	105	81
平均速度 (km/h)	61.9	62.8	56.5	61.9	56.1	61.5

※CD区間の第一走行車線通過車両のみから算出

b. ラップタイム計測結果とセンサログの紐づけ

ラップタイム計測結果とセンサログを比較し、534台の車両について両者を紐づけ、分析を行った。

c. 合流部到達計算時刻と実際到達時刻の差異分析

分析対象となる車両について、時刻差の平均値、最大時刻差、最小時刻差、時刻差の分散を求めた。結果を表に示す。

表 4.2-7 分析結果概要

データ数	534
平均差異[秒]	-0.427
最大差異[秒]	2.256
最小差異[秒]	-2.915
分散	0.325

センサログにおける通過速度と時刻差の関係を図 4.2-26 に示す。

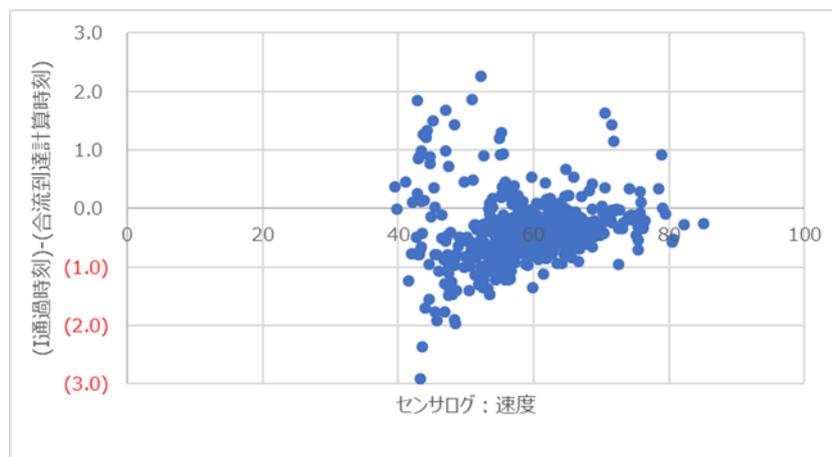


図 4.2-26 センサログ速度と時刻差の関係

速度が 50km/h 以上においては分布が-1.0~0 秒付近に集中しているのに対し、低速の車両は合流部到達計算時刻が乖離する傾向が見られた。

次に、センサログにおける車間時間と時刻差の関係を図 4.2-27 に示す。

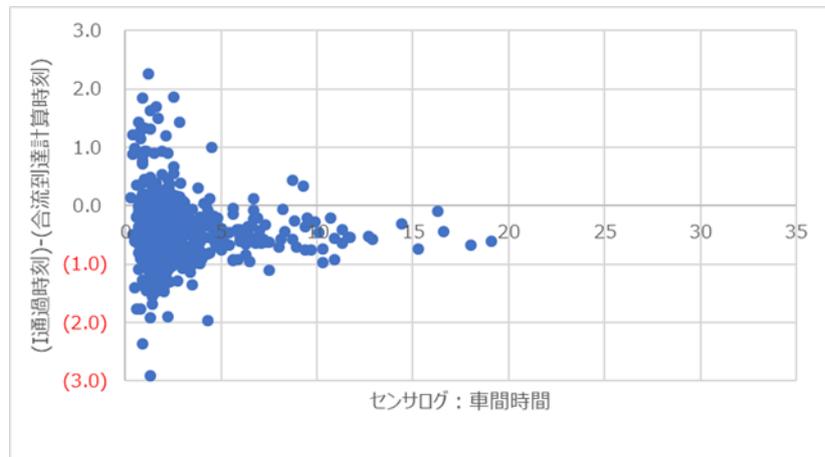


図 4.2-27 センサログ車間時間と時刻差の関係

車間時間が短いほど、乖離時刻が大きくなる傾向が見られた。

2) 分析事例 2 2020年3月27日 12:50~13:20

a. 分析時間帯の交通概況

順調な時間帯として、2020年3月27日12:50~13:20の30分間をラップタイム計測の対象時間帯とした。空港西入口付近の本線通行車両台数から作成した24時間の交通状況の推移、および5分間交通量と5分間平均速度の関係を表すQV図を図4.2-28、図4.2-29に示す。

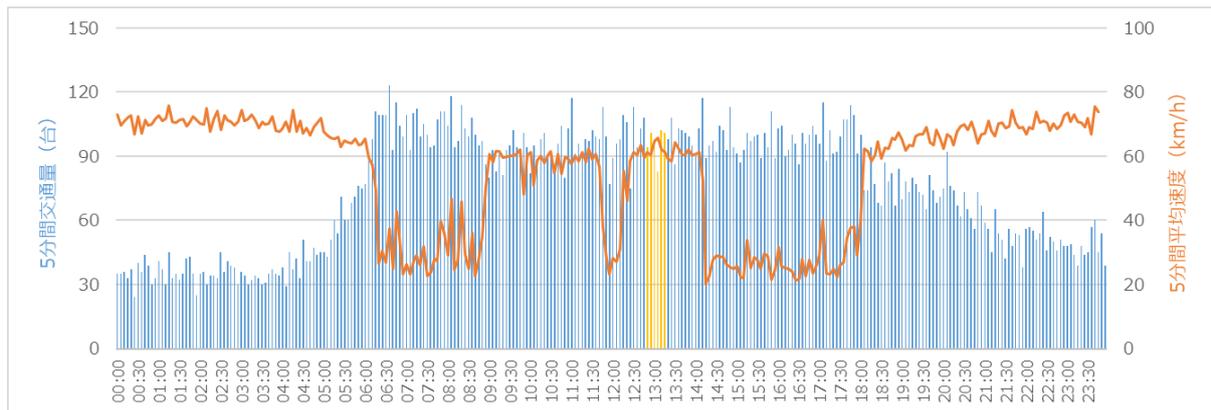


図 4.2-28 24時間交通概況図と分析時間帯

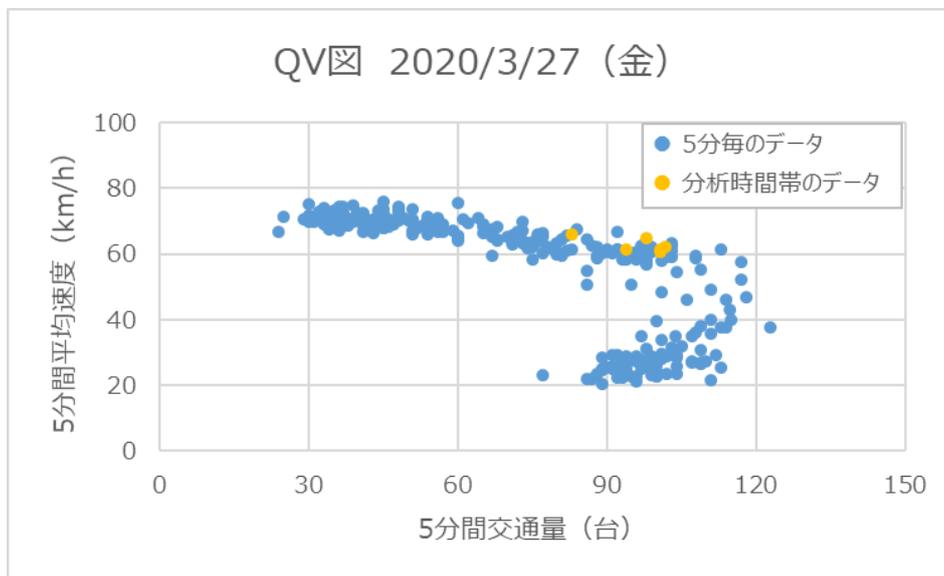


図 4.2-29 QV図(5分間平均速度と5分間交通量)



図 4.2-30 分析時間帯映像のキャプチャ

表 4.2-8 分析対象時間帯の状況（2020年3月27日12:50～13:20）

	分析時間帯の状況
天候	晴
交通状況	順調
第一走行車線の車両数	575台
合流車両数	65台
平均車間時間	2.8秒

ラップタイム計測データのうち、C-D区間を通過した車両台数およびC-D区間速度を用いて、5分間毎の交通量と平均速度を算出した。結果を図4.2-31および表4.2-9 データ数と平均速度に示す。

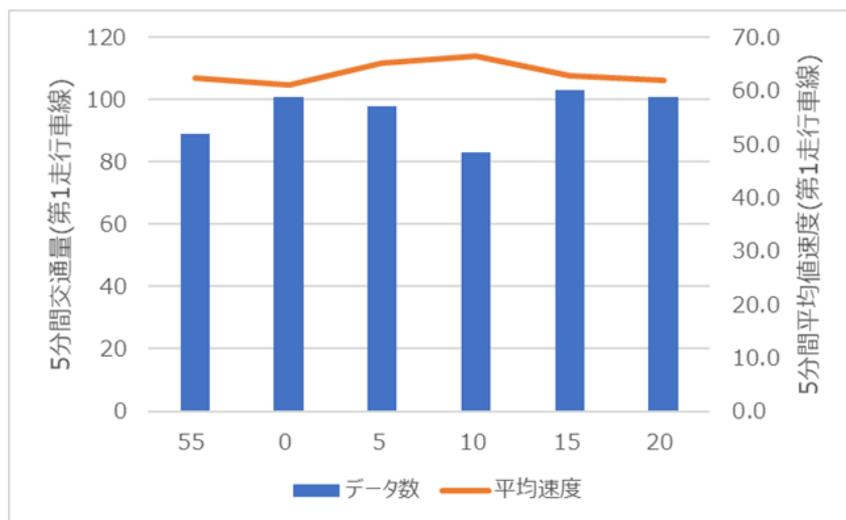


図 4.2-31 第一走行車線の交通量・速度（CD区間）

表 4.2-9 データ数と平均速度

	12:50- 12:55	12:55- 13:00	13:00- 13:05	13:05- 13:10	13:10- 13:15	13:15- 13:20
交通量 (台)	89	101	98	83	103	101
平均速度 (km/h)	62.5	61.0	65.1	66.4	62.9	61.9

※CD区間の第一走行車線通過車両のみから算出

b. ラップタイム計測結果とセンサログの紐づけ

ラップタイム計測結果とセンサログを比較し、575台の車両について両者を紐づけ、分析を行った。

c. 合流部到達計算時刻と実際到達時刻の差異分析

分析対象となる車両について、時刻差の平均値、最大時刻差、最小時刻差、時刻差の分散を求めた。結果を表 4.2-10 に示す。

表 4.2-10 分析結果概要

データ数	555
平均差異[秒]	-0.389
最大差異[秒]	2.602
最小差異[秒]	-1.947
分散	0.177

センサログにおける通過速度と時刻差の関係を図 4.2-32 に示す。

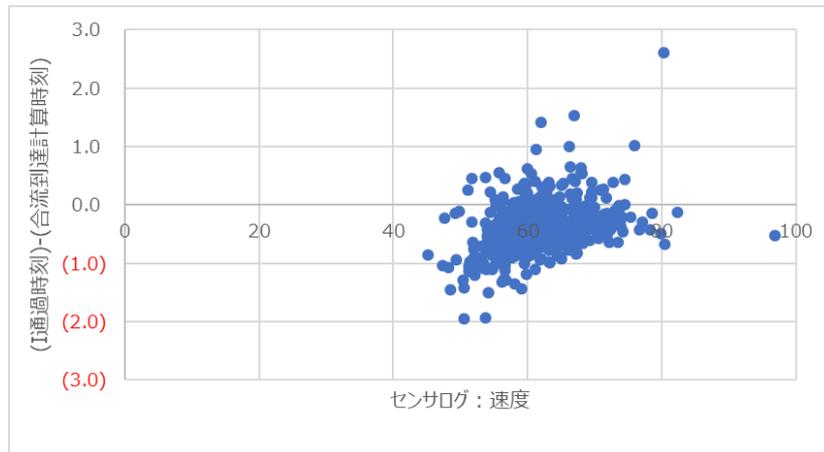


図 4.2-32 センサログ速度と時刻差の関係

この時間帯の車両の速度は概ね 50km/h 以上であり、乖離時刻の分布は-1.0~0 秒付近に集中していることが確認できた。

次に、センサログにおける車間時間と時刻差の関係を図 4.2-33 に示す。

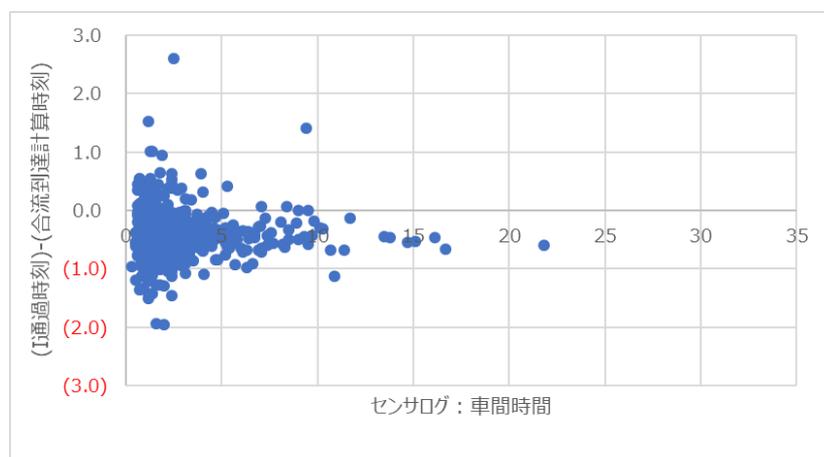


図 4.2-33 センサログ車間時間と時刻差の関係

車間時間が短いほど、乖離時刻が大きくなる傾向が見られた。

3) 分析事例 3 2020年3月30日 12:35~13:05

a. 分析時間帯の交通概況

順調な時間帯として、2020年3月30日12:35~13:05の30分間をラップタイム計測の対象時間帯とした。空港西入口付近の本線通行車両台数から作成した24時間の交通状況の推移、および5分間交通量と5分間平均速度の関係を表すQV図を図4.2-34、図4.2-35に示す。

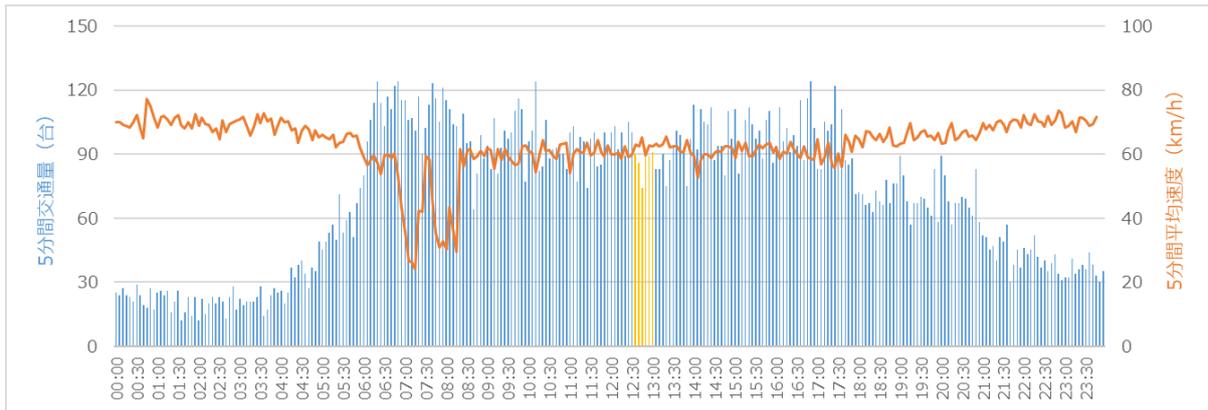


図 4.2-34 24時間交通概況図と分析時間帯

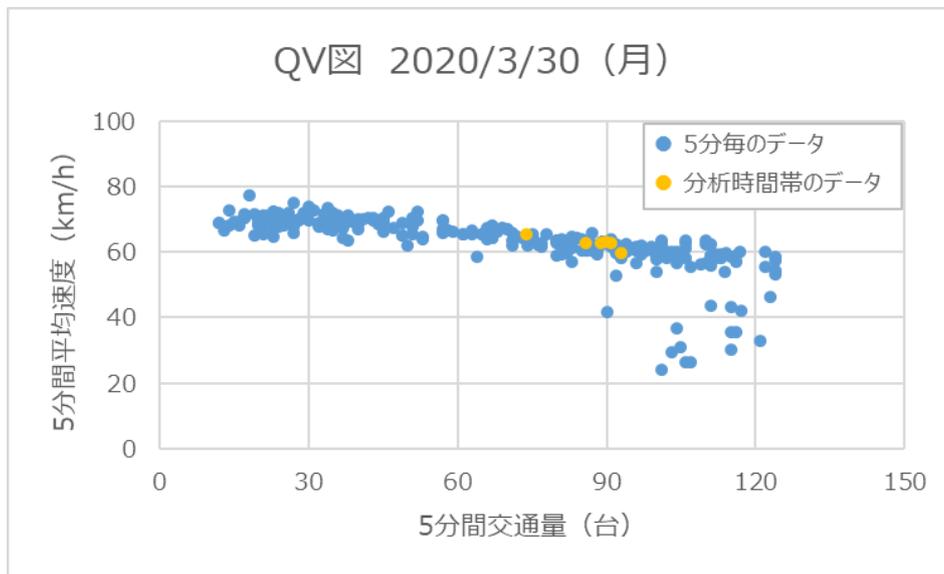


図 4.2-35 QV図(5分間平均速度と5分間交通量)

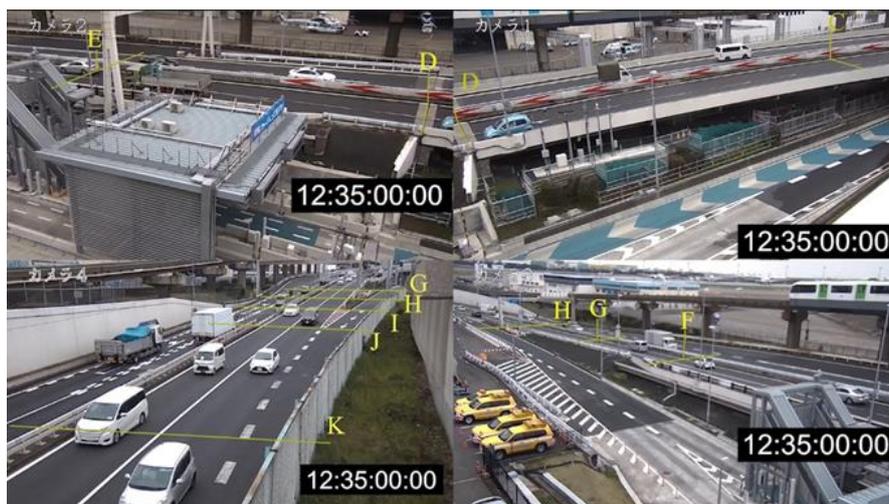


図 4.2-36 分析時間帯映像のキャプチャ

表 4.2-11 分析対象時間帯の状況（2020年3月30日 12:35～13:05）

	分析時間帯の状況
天候	晴
交通状況	順調
第一走行車線の車両数	518台
合流車両数	52台
平均車間時間	3.0秒

ラップタイム計測データのうち、C-D区間を通過した車両台数およびC-D区間速度を用いて、5分間毎の交通量と平均速度を算出した。結果を図4.2-37および表4.2-12に示す。

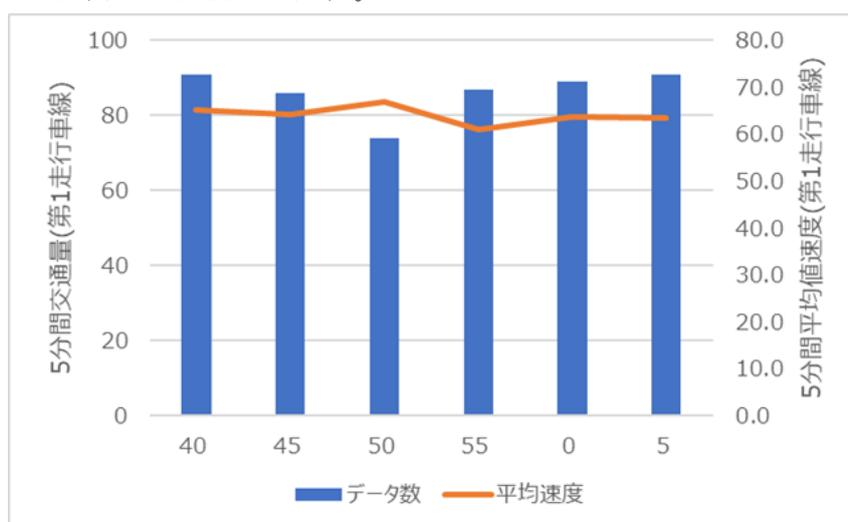


図 4.2-37 第一走行車線の交通量・速度（CD区間）

表 4.2-12 データ数と平均速度

	12:35- 12:40	12:40- 12:45	12:45- 12:50	12:50- 12:55	12:55- 13:00	13:00- 13:05
交通量 (台)	91	86	74	87	89	91
平均速度 (km/h)	65.1	64.3	66.9	61.1	63.7	63.6

※CD区間の第一走行車線通過車両のみから算出

b. ラップタイム計測結果とセンサログの紐づけ

ラップタイム計測結果とセンサログを比較し、505台の車両について両者を紐づけ、分析を行った。

c. 合流部到達計算時刻と実際到達時刻の差異分析

分析対象となる車両について、時刻差の平均値、最大時刻差、最小時刻差、時刻差の分散を求めた。結果を表 4.2-13 に示す。

表 4.2-13 分析結果概要

データ数	505
平均差異[秒]	-0.260
最大差異[秒]	1.164
最小差異[秒]	-1.406
分散	0.130

センサログにおける通過速度と時刻差の関係を図 4.2-38 に示す。

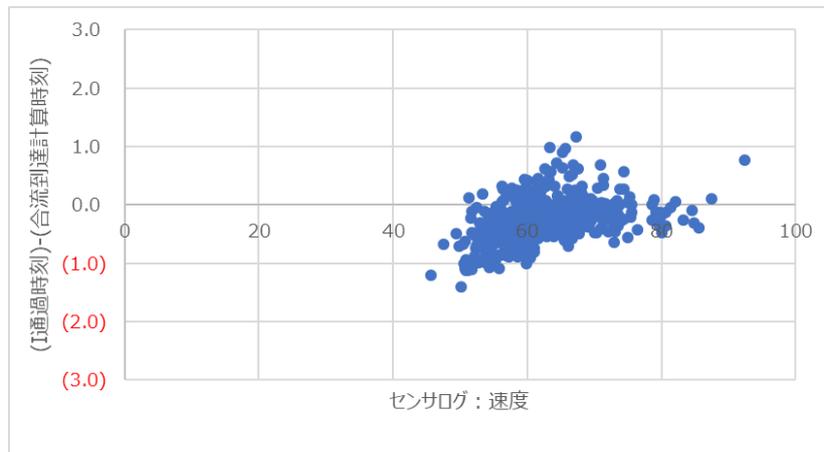


図 4.2-38 センサログ速度と時刻差の関係

この時間帯の車両の速度は概ね 50km/h 以上であり、乖離時刻の分布は-1.0~0 秒付近に集中していることが確認できた。
センサログにおける車間時間と時刻差の関係を図 4.2-39 に示す。

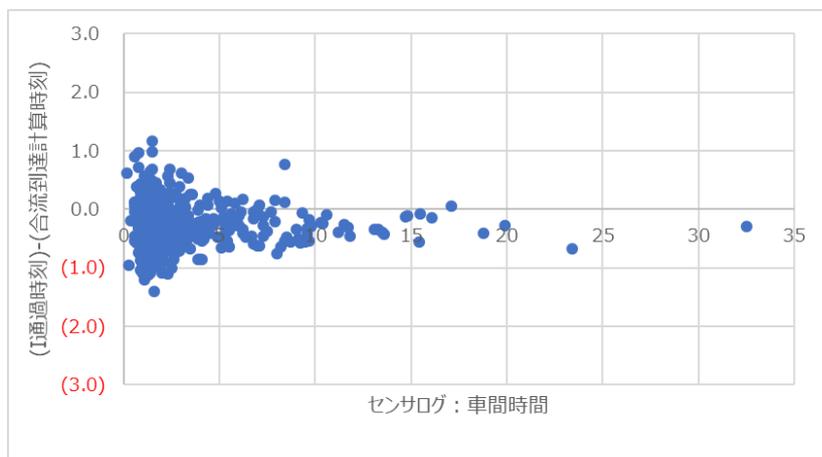


図 4.2-39 センサログ車間時間と時刻差の関係

車間時間が短いほど、乖離時刻が大きくなる傾向が見られた。

4) 分析事例 4 2020年3月30日 13:05~13:35

a. 分析時間帯の交通概況

順調な時間帯として、2020年3月30日13:05~13:35の30分間をラップタイム計測の対象時間帯とした。空港西入口付近の本線通行車両台数から作成した24時間の交通状況の推移、および5分間交通量と5分間平均速度の関係を表すQV図を図4.2-40、図4.2-41に示す。

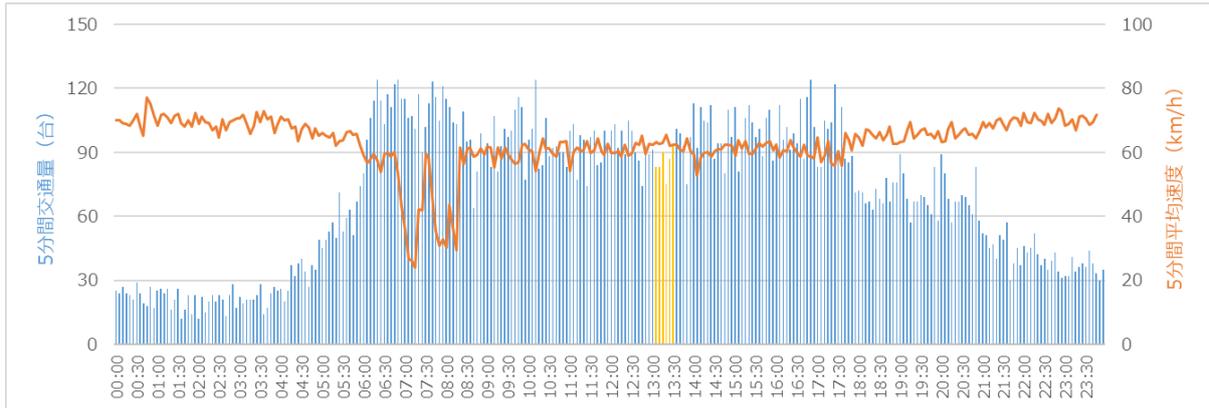


図 4.2-40 24時間交通概況図と分析時間帯

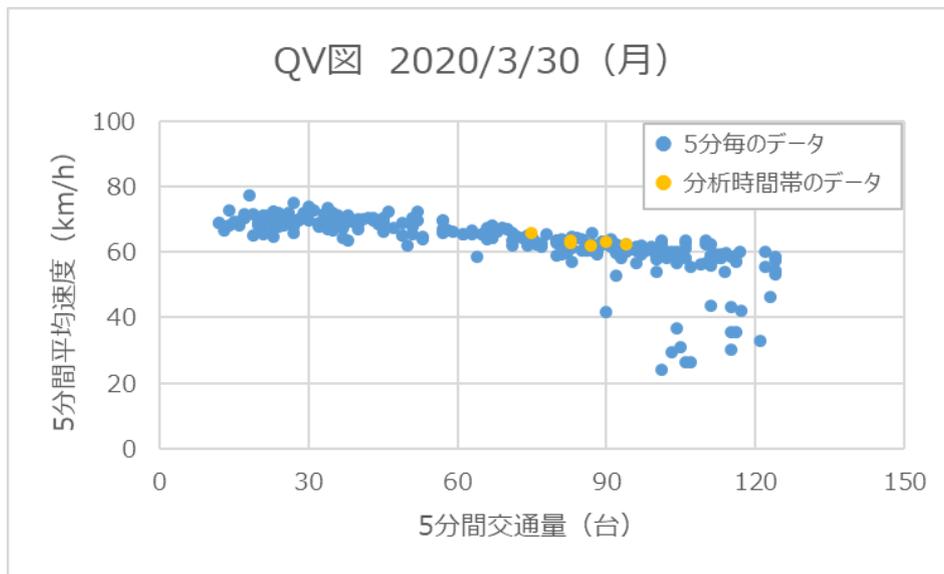


図 4.2-41 QV図(5分間平均速度と5分間交通量)



図 4.2-42 分析時間帯映像のキャプチャ

表 4.2-14 分析対象時間帯の状況（2020年3月30日 13:05～13:35）

	分析時間帯の状況
天候	晴
交通状況	順調
第一走行車線の車両数	515 台
合流車両数	67 台
平均車間時間	3.0 秒

ラップタイム計測データのうち、C-D 区間を通過した車両台数および C-D 区間速度を用いて、5 分間毎の交通量と平均速度を算出した。結果を図 4.2-43 および表 4.2-15 に示す。

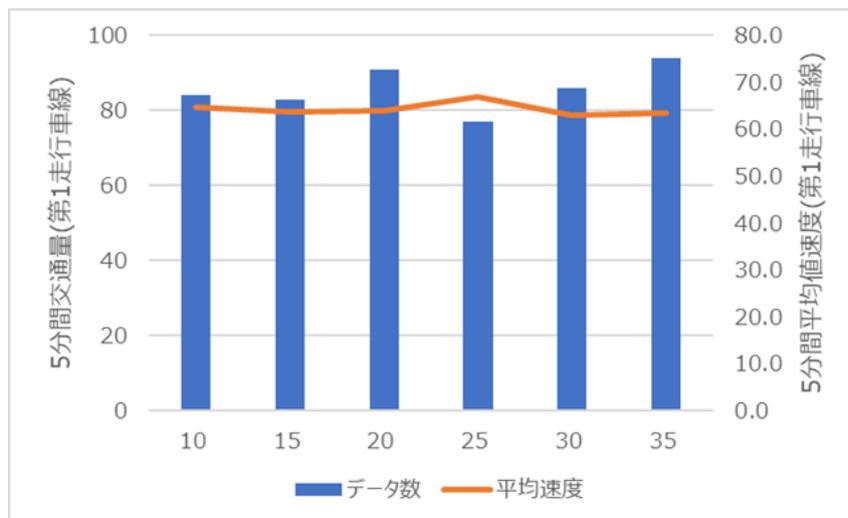


図 4.2-43 第一走行車線の交通量・速度（CD 区間）

表 4.2-15 データ数と平均速度

	13:05- 13:10	13:10- 13:15	13:15- 13:20	13:20- 13:25	13:25- 13:30	13:30- 13:35
交通量 (台)	84	83	91	77	86	94
平均速度 (km/h)	64.6	63.6	64.0	67.0	63.0	63.5

※CD区間の第一走行車線通過車両のみから算出

b. ラップタイム計測結果とセンサログの紐づけ

ラップタイム計測結果とセンサログを比較し、500台の車両について両者を紐づけ、分析を行った。

c. 合流部到達計算時刻と実際到達時刻の差異分析

分析対象となる車両について、時刻差の平均値、最大時刻差、最小時刻差、時刻差の分散を求めた。結果を表 4.2-16 に示す。

表 4.2-16 分析結果概要

データ数	500
平均差異 [秒]	-0.267
最大差異 [秒]	2.432
最小差異 [秒]	-1.512
分散	0.165

センサログにおける通過速度と時刻差の関係を図に示す。

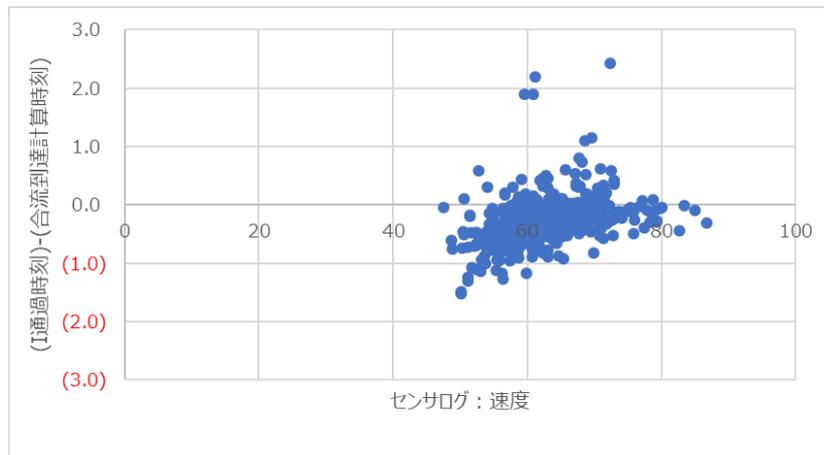


図 4.2-44 センサログ速度と時刻差の関係

この時間帯の車両の速度は概ね 50km/h 以上であり、一部乖離時刻が 2 秒以上の車両があるものの、分布は-1.0~0 秒付近に集中していることが確認できた。

センサログにおける車間時間と時刻差の関係を図 4.2-45 に示す。

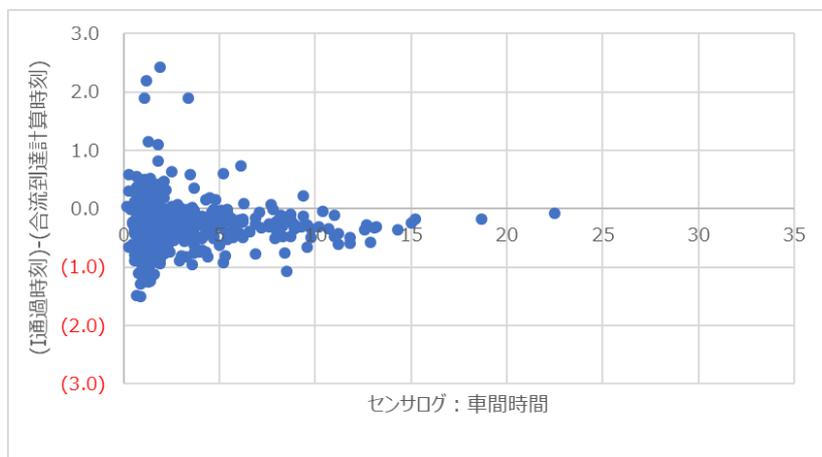


図 4.2-45 センサログ車間時間と時刻差の関係

車間時間が短いほど、乖離時刻が大きくなる傾向が見られた。

5) 分析事例 5 2020年3月24日 06:25~06:55

a. 分析時間帯の交通概況

臨界の時間帯として、2020年3月24日6:25~6:55の30分間をラップタイム計測の対象時間帯とした。空港西入口付近の本線通行車両台数から作成した24時間の交通状況の推移、および5分間交通量と5分間平均速度の関係を表すQV図を図4.2-46、図4.2-47に示す。

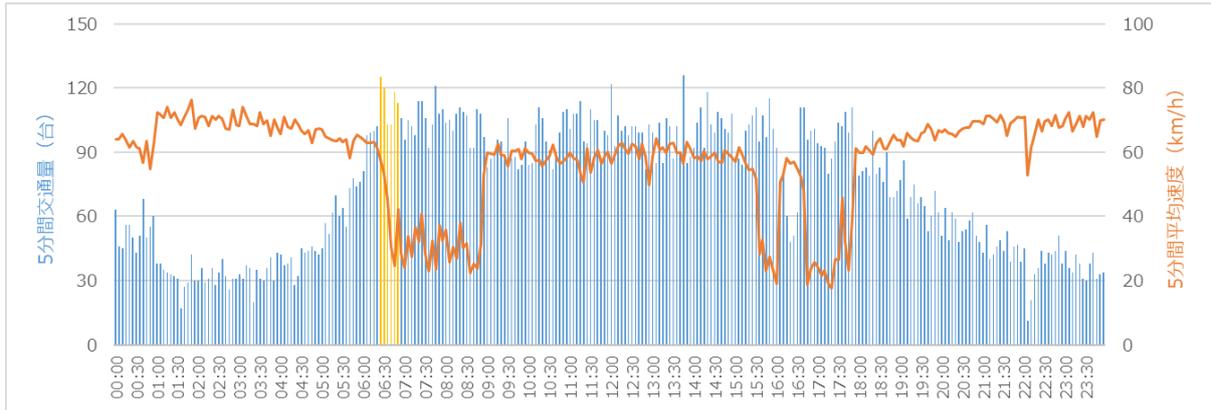


図 4.2-46 24時間交通概況図と分析時間帯

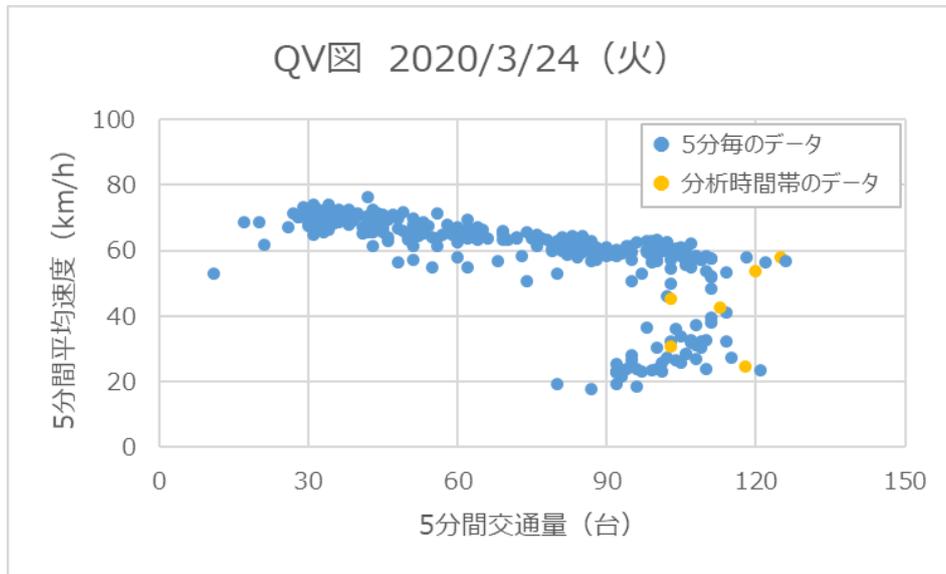


図 4.2-47 QV図(5分間平均速度と5分間交通量)

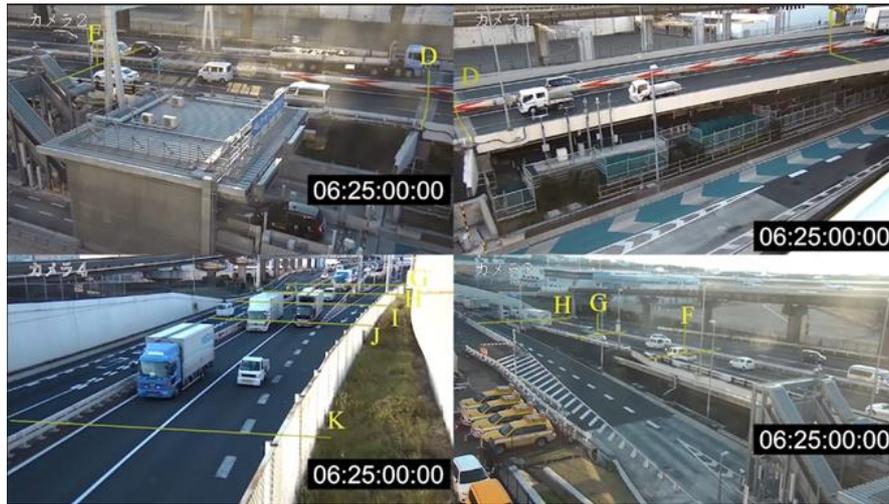


図 4.2-48 分析時間帯映像のキャプチャ

表 4.2-17 分析対象時間帯の状況（2020年3月24日6:25～6:55）

	分析時間帯の状況
天候	晴
交通状況	臨界
第一走行車線の車両数	670台
合流車両数	113台
平均車間時間	2.0秒

ラップタイム計測データのうち、C-D区間を通過した車両台数およびC-D区間速度を用いて、5分間毎の交通量と平均速度を算出した。結果を図4.2-49および表4.2-18に示す。

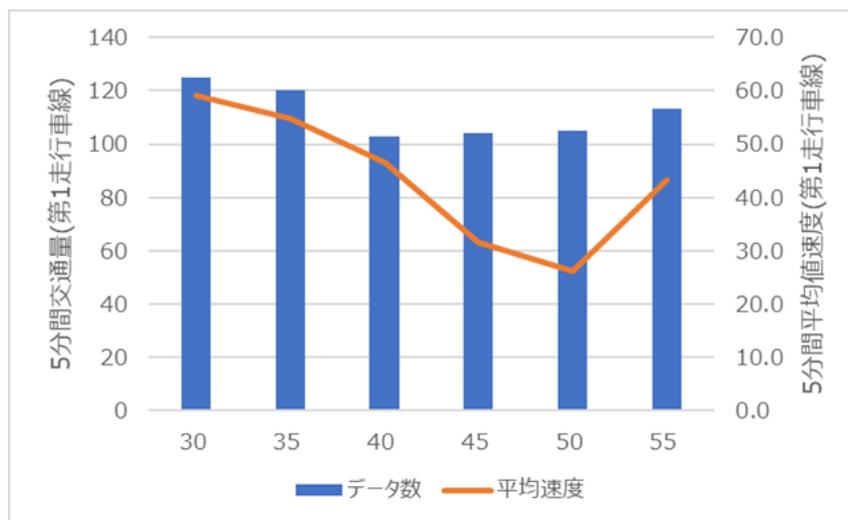


図 4.2-49 第一走行車線の交通量・速度（CD区間）

表 4.2-18 データ数と平均速度

	06:25- 06:30	06:30- 06:35	06:35- 06:40	06:40- 06:45	06:45- 06:50	06:50- 06:55
交通量 (台)	125	120	103	104	105	113
平均速度 (km/h)	59.1	54.8	46.5	31.7	26.1	43.3

※CD区間の第一走行車線通過車両のみから算出

b. ラップタイム計測結果とセンサログの紐づけ

ラップタイム計測結果とセンサログを比較し、647台の車両について両者を紐づけ、分析を行った。

c. 合流部到達計算時刻と実際到達時刻の差異分析

分析対象となる車両について、時刻差の平均値、最大時刻差、最小時刻差、時刻差の分散を求めた。結果を表 4.2-19 に示す。

表 4.2-19 分析結果概要

データ数	647
平均差異 [秒]	0.492
最大差異 [秒]	14.302
最小差異 [秒]	-27.512
分散	28.536

センサログにおける通過速度と時刻差の関係を図 4.2-50 に示す。

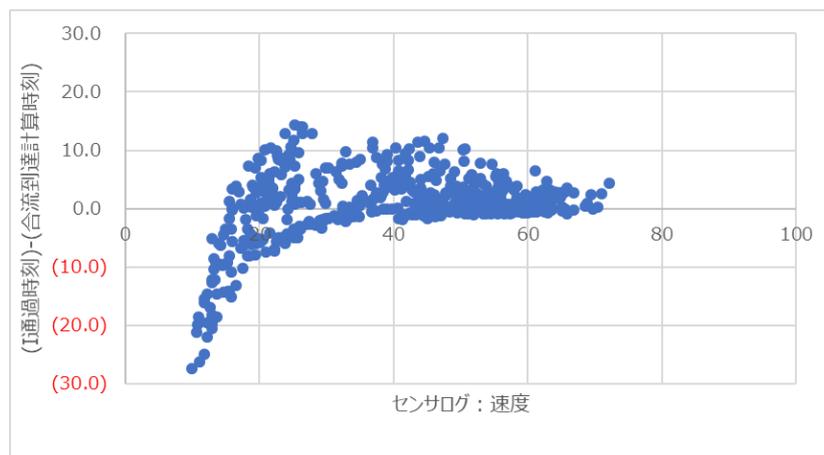


図 4.2-50 センサログ速度と時刻差の関係

順調時のデータに比べ、自国の乖離の幅が大幅に拡大した。特に低速の車両で乖離が大きくなる傾向を確認した。

センサログにおける車間時間と時刻差の関係を図 4.2-51 に示す。

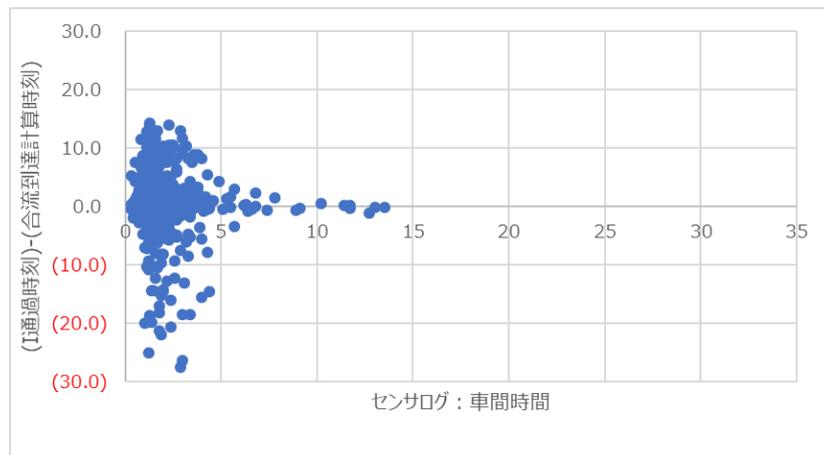


図 4.2-51 センサログ車間時間と時刻差の関係

時刻の乖離の幅は順調時のデータに比べて大きいですが、車間時間が短いほど乖離時刻が大きくなる傾向は順調時と同様であった。

6) 分析事例 6 2020年3月13日 09:25~09:55

a. 分析時間帯の交通概況

渋滞の時間帯として、2020年3月13日9:25~9:55の30分間をラップタイム計測の対象時間帯とした。空港西入口付近の本線通行車両台数から作成した24時間の交通状況の推移、および5分間交通量と5分間平均速度の関係を表すQV図を図4.2-52図4.2-22、図4.2-53に示す。

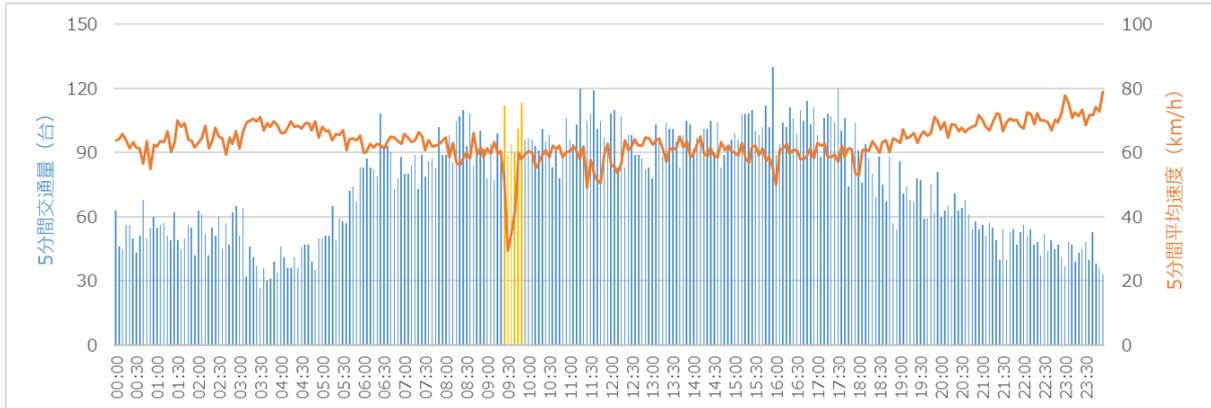


図 4.2-52 24時間交通概況図と分析時間帯

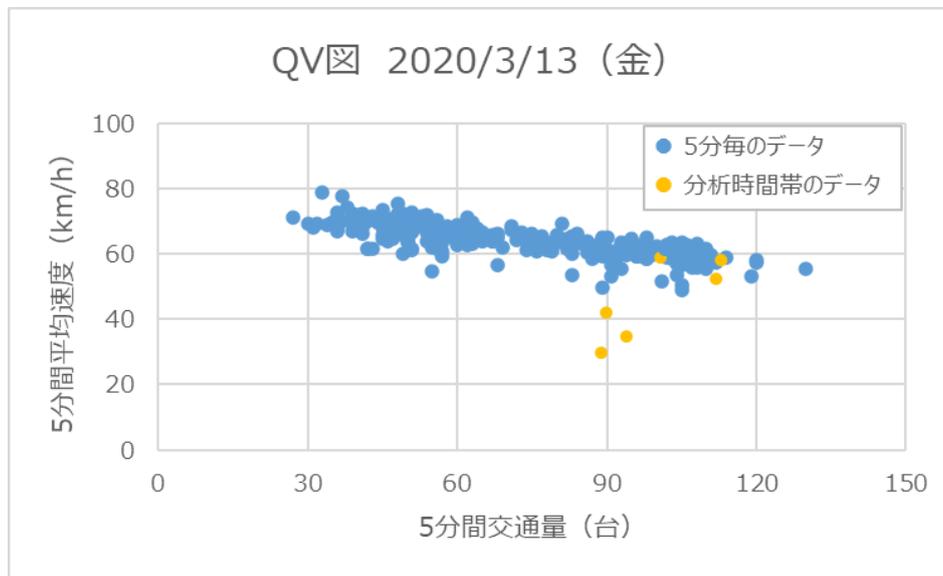


図 4.2-53 QV図(5分間平均速度と5分間交通量)

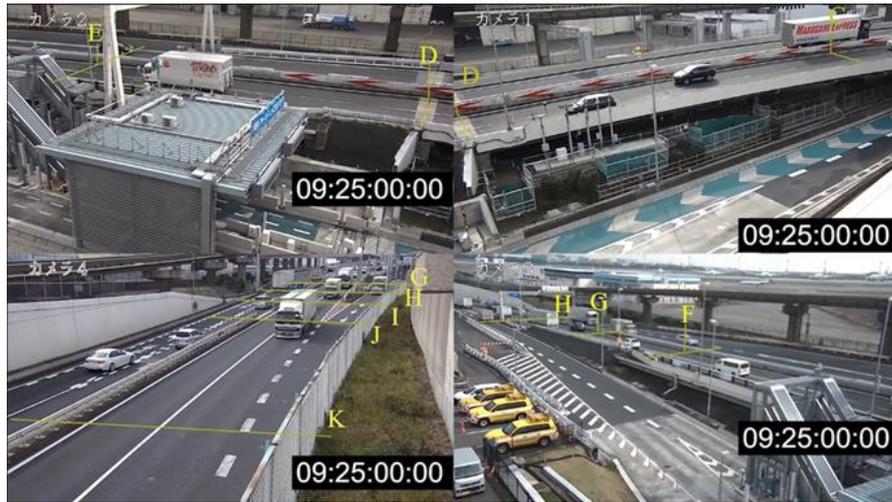


図 4.2-54 分析時間帯映像のキャプチャ

表 4.2-20 分析対象時間帯の状況（2020年3月13日 9:25～9:55）

	分析時間帯の状況
天候	晴
交通状況	渋滞
第一走行車線の車両数	594 台
合流車両数	73 台
平均車間時間	2.4 秒

ラップタイム計測データのうち、C-D 区間を通過した車両台数および C-D 区間速度を用いて、5 分間毎の交通量と平均速度を算出した。結果を図 4.2-55 および表 4.2-21 に示す。

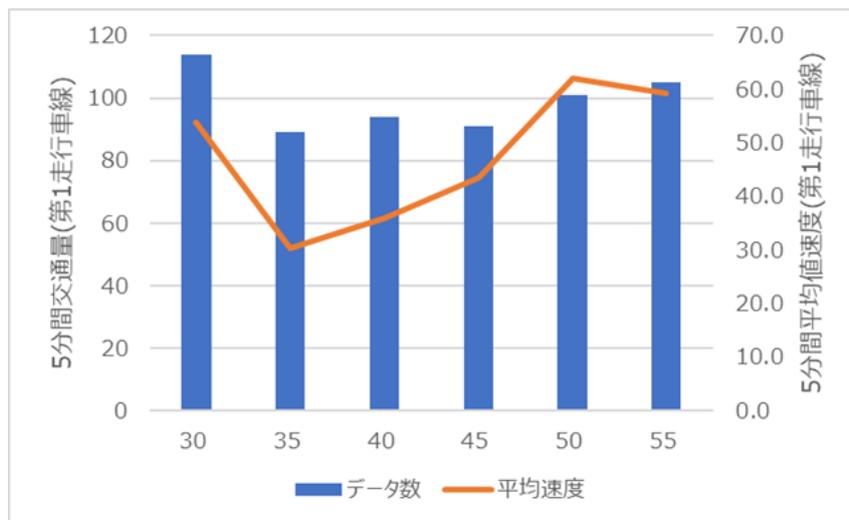


図 4.2-55 第一走行車線の交通量・速度（CD 区間）

表 4.2-21 データ数と平均速度

	09:25- 09:30	09:30- 09:35	09:35- 09:40	09:40- 09:45	09:45- 09:50	09:50- 09:55
交通量 (台)	114	89	94	91	101	105
平均速度 (km/h)	53.8	30.4	35.9	43.4	61.9	59.1

※CD区間の第一走行車線通過車両のみから算出

b. ラップタイム計測結果とセンサログの紐づけ

ラップタイム計測結果とセンサログを比較し、577台の車両について両者を紐づけ、分析を行った。

c. 合流部到達計算時刻と実際到達時刻の差異分析

分析対象となる車両について、時刻差の平均値、最大時刻差、最小時刻差、時刻差の分散を求めた。結果を表 4.2-22 に示す。

表 4.2-22 分析結果概要

データ数	577
平均差異 [秒]	0.746
最大差異 [秒]	21.118
最小差異 [秒]	-26.606
分散	31.475

センサログにおける通過速度と時刻差の関係を図 4.2-56 に示す。

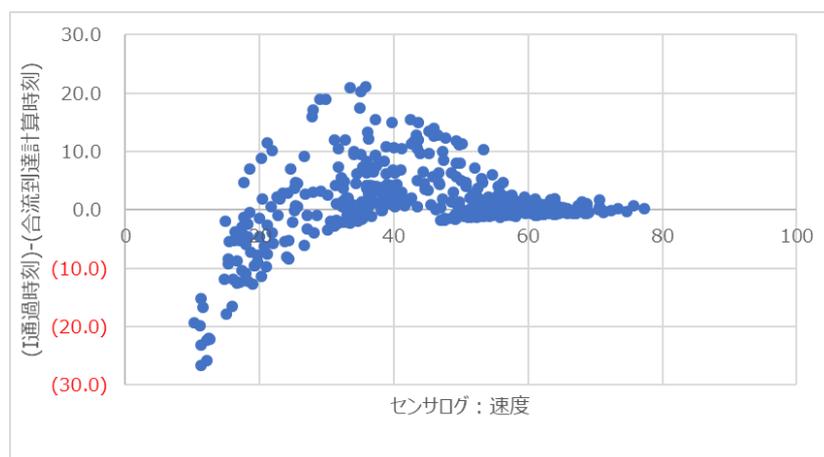


図 4.2-56 センサログ速度と時刻差の関係

臨界時と同様に、順調時のデータに比べ、乖離時刻の幅が大幅に拡大した。特に低速の車両で乖離が大きくなる傾向が確認できた。

センサログにおける車間時間と時刻差の関係を図 4.2-57 に示す。

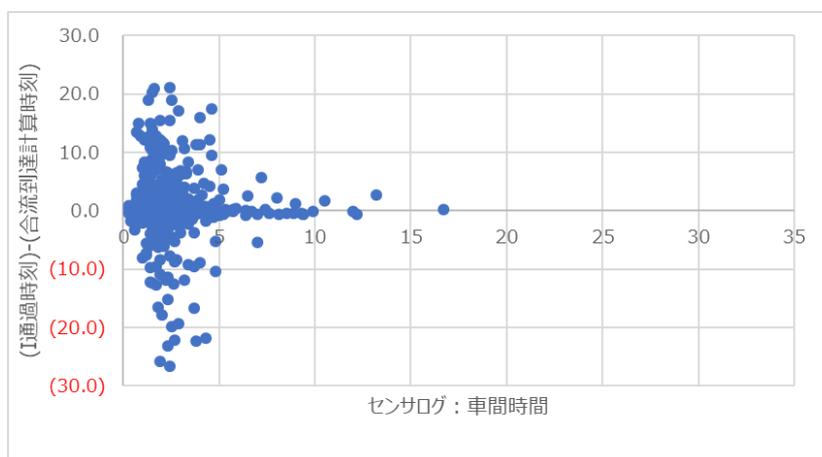


図 4.2-57 センサログ車間時間と時刻差の関係

乖離時刻の幅は順調時のデータに比べて大きいですが、車間時間が短いほど乖離が大きくなる傾向は順調時と同様であった。

1) 分析事例 7 2020年1月28日 15:10~15:40

a. 分析時間帯の交通概況

降水による影響を調べるため、雨天となった2021年1月28日15:10~15:40の30分間をラップタイム計測の対象時間帯とした。

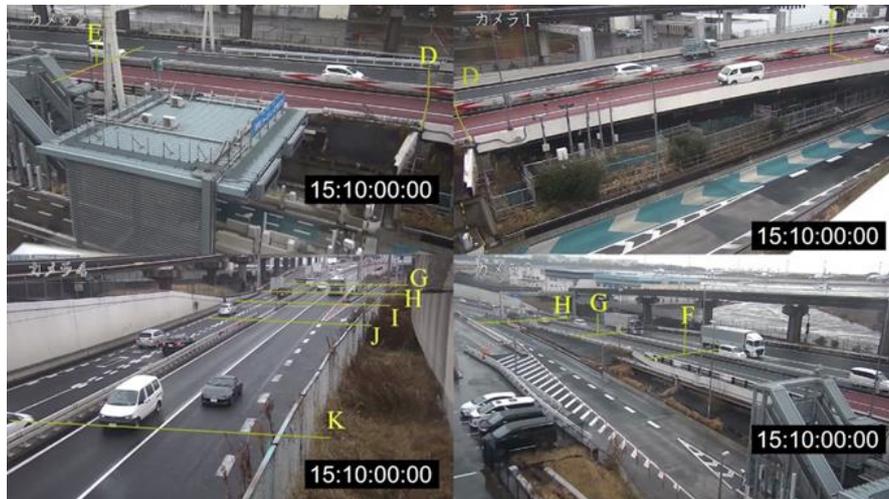


図 4.2-58 分析時間帯映像のキャプチャ

分析時間帯を含む15時台の降水量は 1.5mm/h^1 で、動画では雨粒が目視可能であった。15:10から時間の経過とともに徐々に雨は強くなっており、15:20過ぎでは路面全体が濡れていて、カメラ4ではタイヤの水はねが確認できる。



図 4.2-59 分析時間帯映像のキャプチャ（雨が強まる時間帯）

¹ 日本気象協会 羽田(ハネダ)のアメダス(2021年01月28日)
<https://tenki.jp/past/2021/01/28/amcdas/3/16/44166.html> (2021/3/17 閲覧)

表 4.2-23 分析対象時間帯の状況（2021年1月28日15:10～15:40）

	分析時間帯の状況
天候	雨
交通状況	順調
第一走行車線の車両数	566台
合流車両数	46台
平均車間時間	2.9秒

ラップタイム計測データのうち、C-D区間を通過した車両台数およびC-D区間速度を用いて、5分間毎の交通量と平均速度を算出した。結果を図4.2-25および表4.2-6に示す。

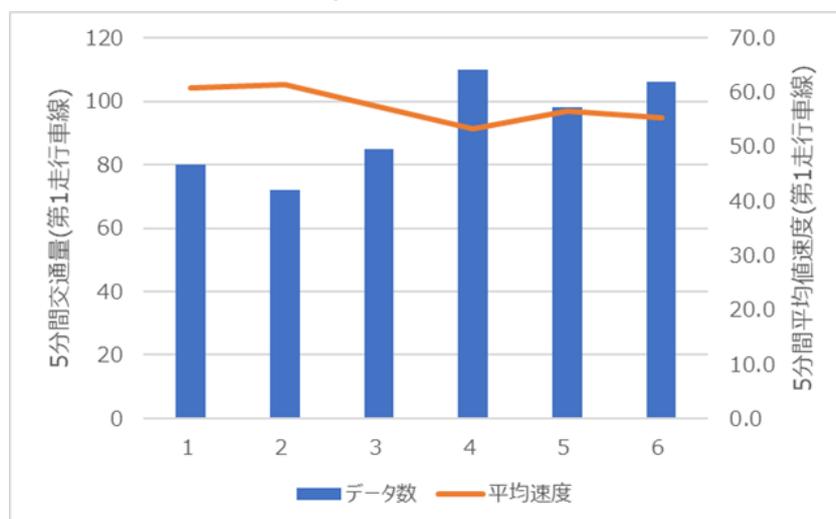


図 4.2-60 第一走行車線の交通量・速度（CD区間）

表 4.2-24 データ数と平均速度

	15:10- 15:15	15:15- 15:20	15:20- 15:25	15:25- 15:30	15:30- 15:35	15:35- 15:40
交通量（台）	80	72	85	110	98	106
平均速度（km/h）	60.8	61.3	57.3	53.3	56.5	55.3

※CD区間の第一走行車線通過車両のみから算出

b. ラップタイム計測結果とセンサログの紐づけ

ラップタイム計測結果とセンサログを比較し、542 台の車両について両者を紐づけ、分析を行った。

c. 合流部到達計算時刻と実際到達時刻の差異分析

分析対象となる車両について、時刻差の平均値、最大時刻差、最小時刻差、時刻差の分散を求めた。結果を表に示す。

表 4.2-25 分析結果概要

データ数	542
平均差異[秒]	-0.275
最大差異[秒]	4.333
最小差異[秒]	-2.312
分散	0.314

センサログにおける通過速度と時刻差の関係を図 4.2-26 に示す。

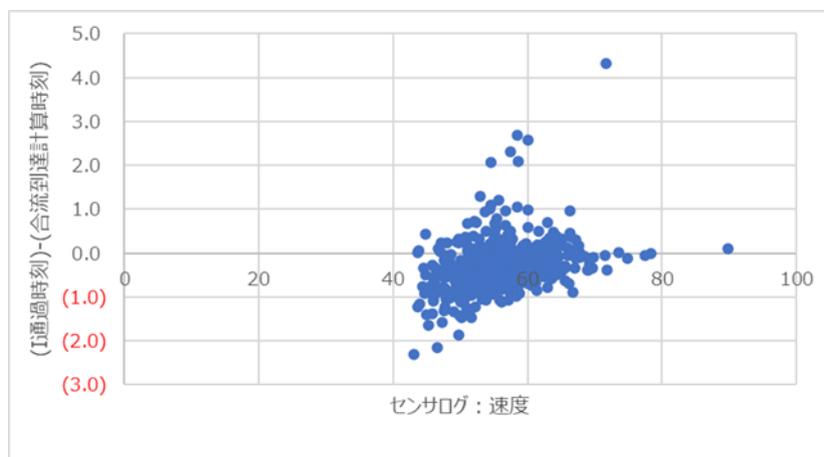


図 4.2-61 センサログ速度と時刻差の関係

速度が 50km/h 以上においては分布が-1.0~0 秒付近に集中しているのに対し、低速の車両は合流部到達計算時刻がばらつく傾向が見られた。これは晴天で順調なデータと同様の傾向である。

次に、センサログにおける車間時間と時刻差の関係を図 4.2-27 に示す。

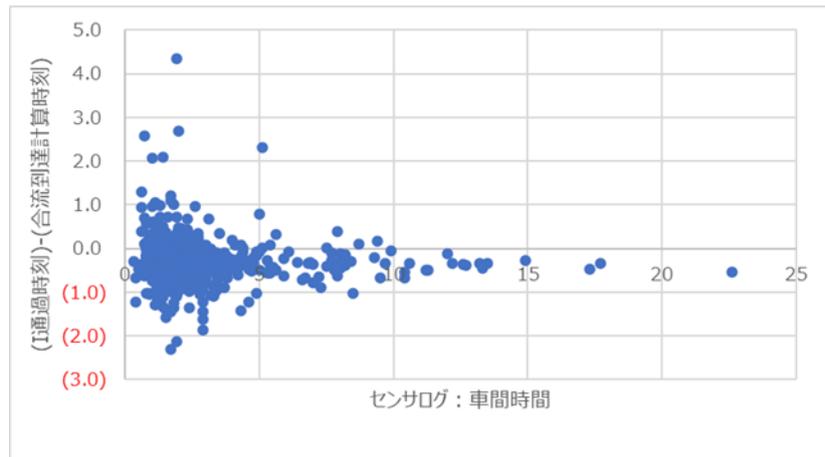


図 4.2-62 センサログ車間時間と時刻差の関係

晴天時と同様、車間時間が短いほど、乖離時刻が大きくなる傾向が見られた。

4.2.2 センサ設置位置

(1) 分析の目的と方法

本実証実験では、本線車を検知するセンサを合流起点から 148.3m 上流に設置した。合流車に提供する到達計算時刻は「本線車がセンサ通過時の速度を保持して合流起点まで走行する」とすると仮定して算出するため、センサ位置によって実到達時刻と到達計算時刻の差の傾向が異なる可能性がある。具体的には、下記のような傾向がみられると考えられる。

- センサが合流部に近い： 合流部まで同じ速度が保たれ、乖離時刻のばらつきが小さい
- センサが合流部から遠い： 合流部到達までに速度が変動し、乖離時刻のばらつきが大きい

そこで、ラップタイム計測で算出した各地点での速度をもとに、到達計算時刻を算出し、実到着時刻との差を計算した。各地点から合流部の距離と乖離時刻のばらつきを比較し、関連を調べた。



図 4.2-63 センサ設置位置分析イメージ

(2) 分析結果

1) センサ位置を移動させた場合の到達計算時刻の分析

本実証実験におけるラップタイム計測には、国総研が事前に実施した検証時に用いた箇所と同じ地点を用いた。カメラ設置箇所と画角の制約上、合流起点までの区間で計測を実施できたのは地点Cから地点Iである。鳥瞰図に計測地点を示すとともに、距離と正確性のばらつきとして想定される関係を図 4.2-64 に示す。

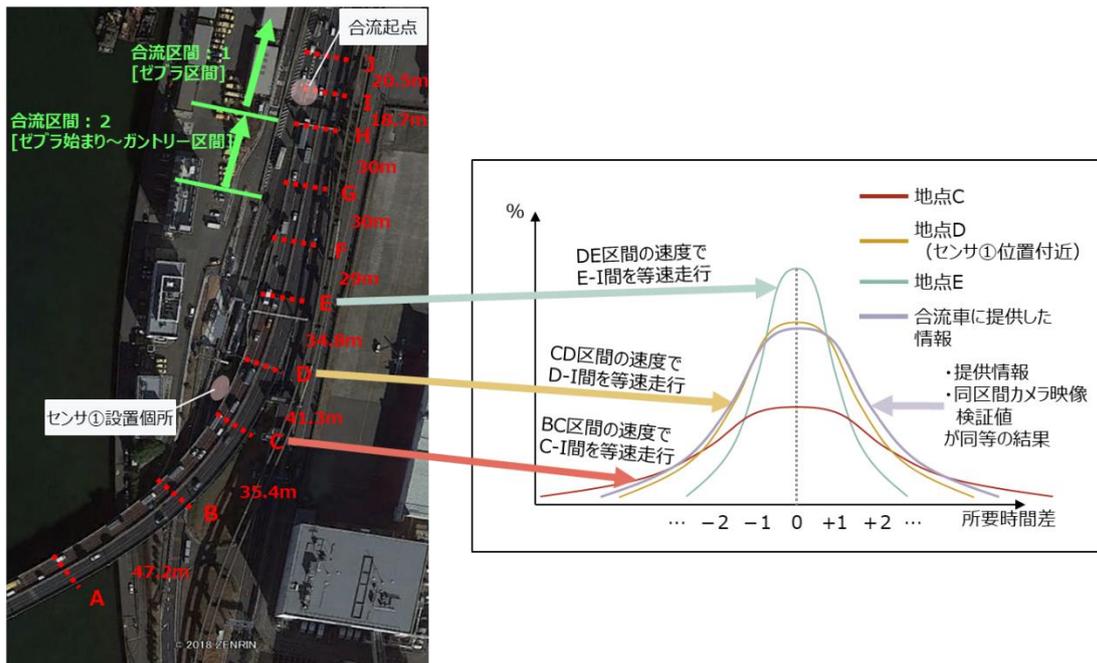


図 4.2-64 合流起点からセンサまでの距離と正確性のばらつきの想定

順調な交通流の時間帯（2020/3/30 12:35-13:05）において実施したラップタイム計測結果をもとに、センサが実設置位置よりも下流の地点 D～H にあると仮定した場合の到達計算時刻を算出した。それぞれの位置において仮定する速度は表 4.2-26 の通り。

表 4.2-26 センサ位置と分析で用いる速度

センサ位置	等速直線運動で仮定する速度
D	CD 区間速度
E	DE 区間速度
F	EF 区間速度
G	FG 区間速度
H	GH 区間速度

それぞれの到達計算時刻を、ラップタイム計測におけるハードノーズ通過時刻と比較した。時刻差は、下記によって算出した。

$$\text{時刻差} = (\text{ハードノーズ通過時刻}) - (\text{到着計算時刻})$$

時刻差がプラス： 実際にハードノーズを通過した時刻より早く到着すると推定

時刻差がマイナス： 実際にハードノーズを通過した時刻より遅く到着すると推定

算出した時刻差をもとに、ヒストグラムを作成した。時刻差は小数第二位以下を四捨五入し、0.1秒ずつの階級値で比率を算出した。

ヒストグラムと、乖離時刻±1.0秒以内比率および乖離時刻±0.5秒以内比率のグラフを図4.2-65に示す。

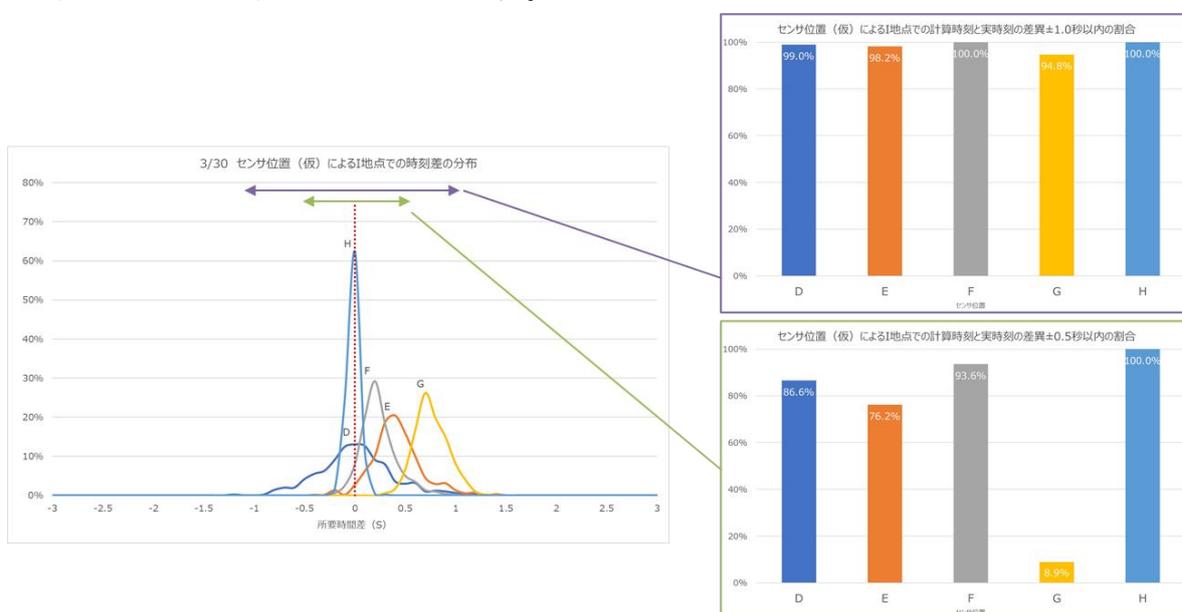


図 4.2-65 ヒストグラムと乖離時刻±1.0秒以内比率および乖離時刻±0.5秒以内比率

G地点にセンサを仮定すると、他の地点よりも早く到着すると予測する傾向が見られた。原因として、下記の2点が考えられる。

①ラップタイム計測の誤差

図4.2-10、図4.2-11に示す通り、地点F・地点Gとも後方から車両をとらえる画角のため、速度を過大に計測した可能性がある。

②道路線形

合流部に向かう直線と下り勾配の影響で、FG区間速度が上昇した可能性がある。

①と②の要因は、本実証実験で実施するラップタイム計測のみからは切り分けることが困難であるため、本検討においては乖離時刻の大きな地点Gは除いて分析を行った。

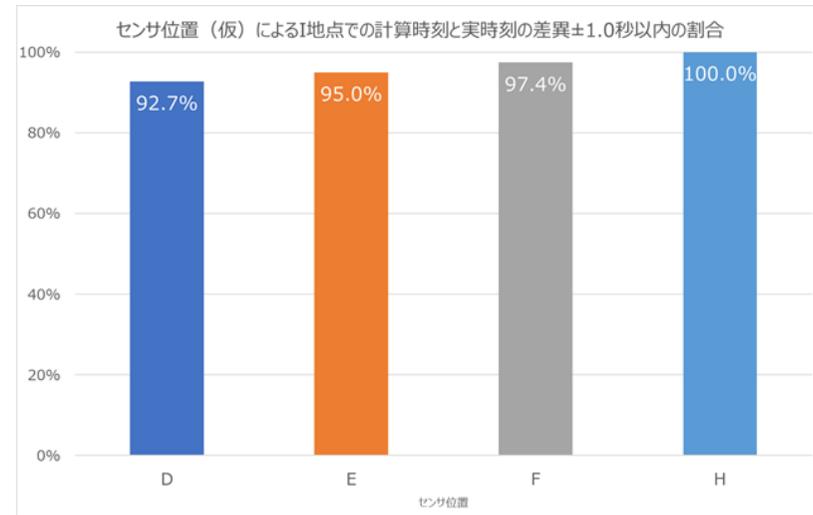
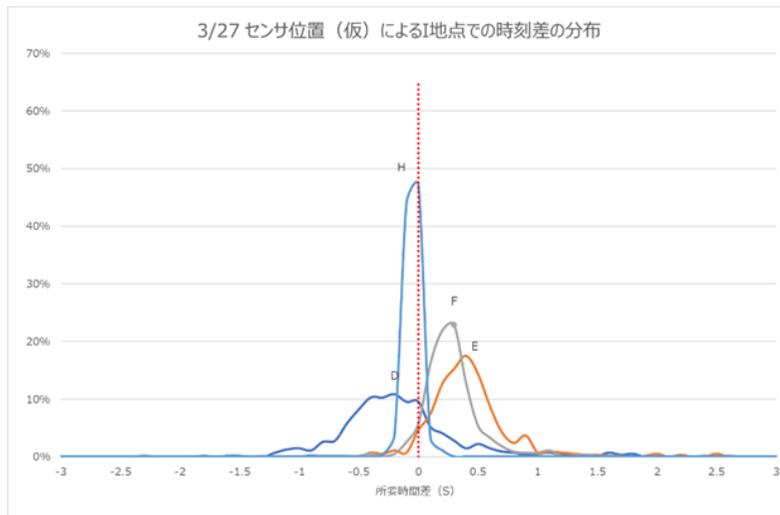


図 4.2-66 センサ位置毎の時刻差の分布と時刻差±1.0 秒以内のサンプル比率比較 (3/27 10:25~10:55)

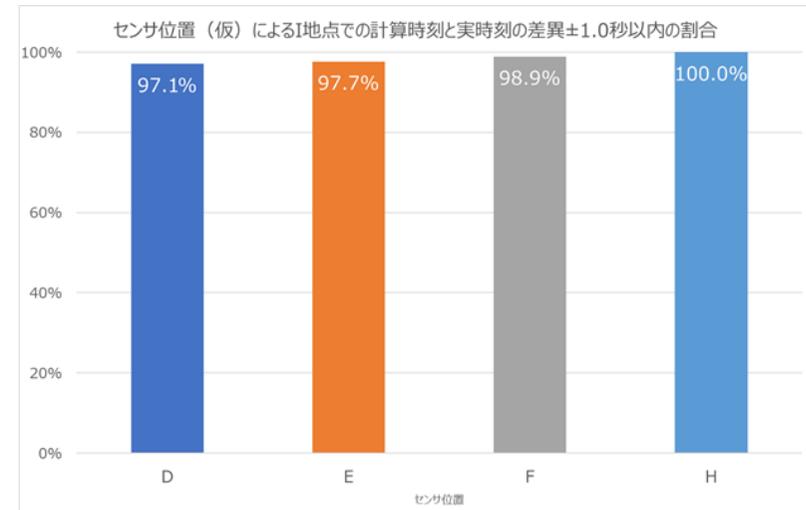
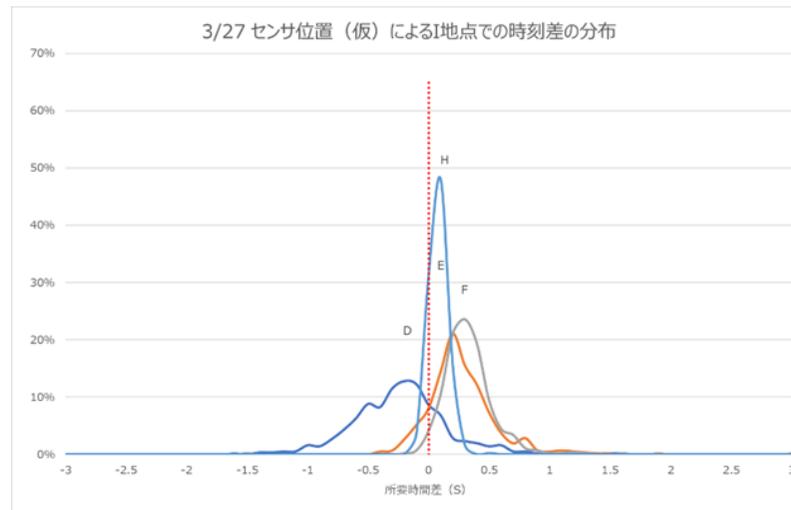


図 4.2-67 センサ位置毎の時刻差の分布と時刻差±1.0 秒以内のサンプル比率比較 (3/27 12:50~13:20)

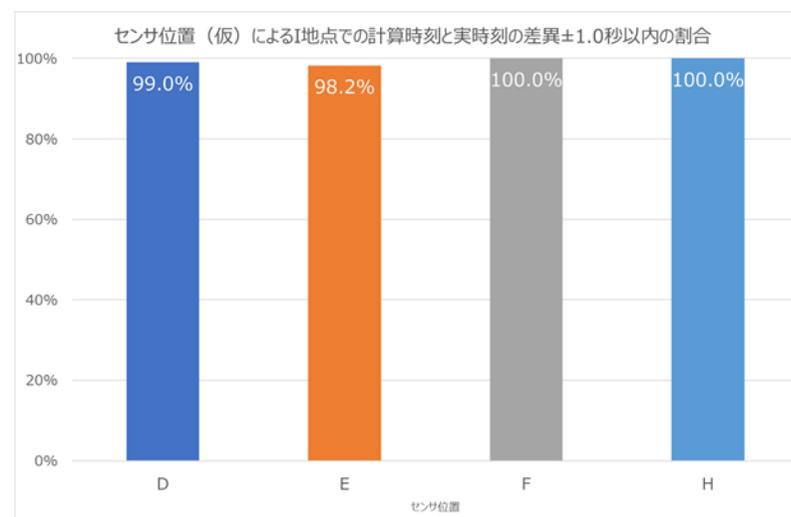
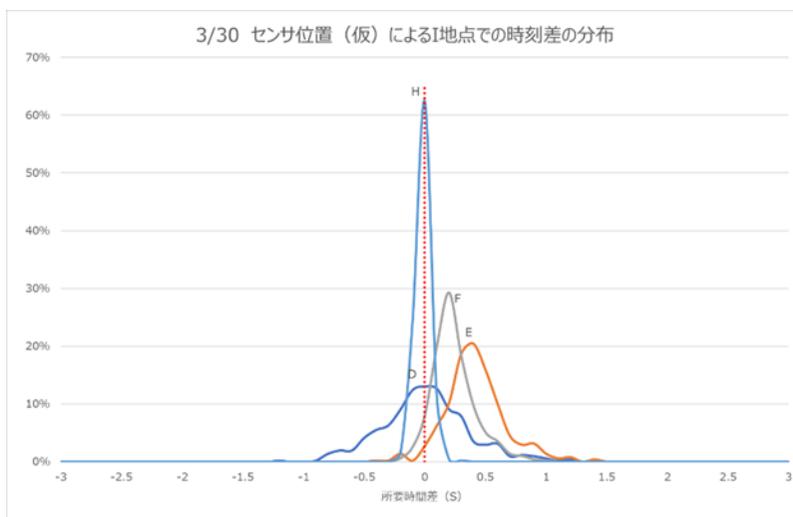


図 4.2-68 センサ位置毎の時刻差の分布と時刻差±1.0秒以内のサンプル比率比較 (3/30 12:35~13:05)

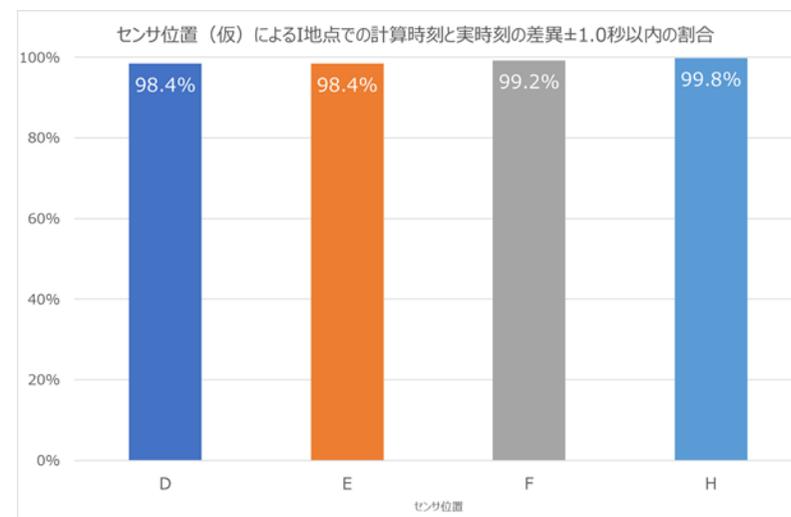
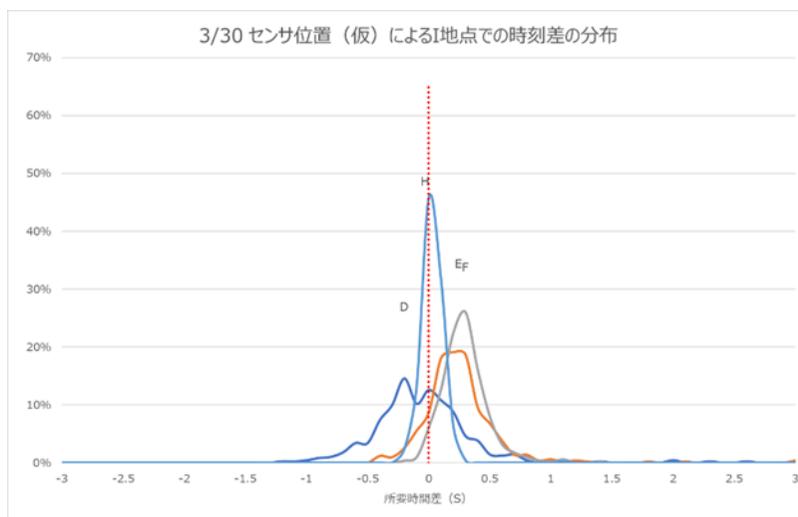


図 4.2-69 センサ位置毎の時刻差の分布と時刻差±1.0秒以内のサンプル比率比較 (3/30 13:05~13:35)

臨界時および渋滞時においても、順調時と同様に時刻差の分布を分析した。

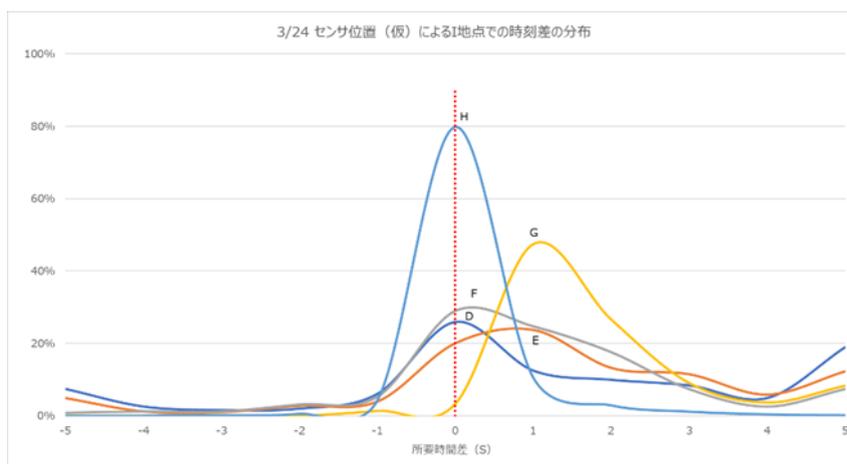


図 4.2-70 センサ位置毎の時刻差の分布 (3/24 6:25~6:55)

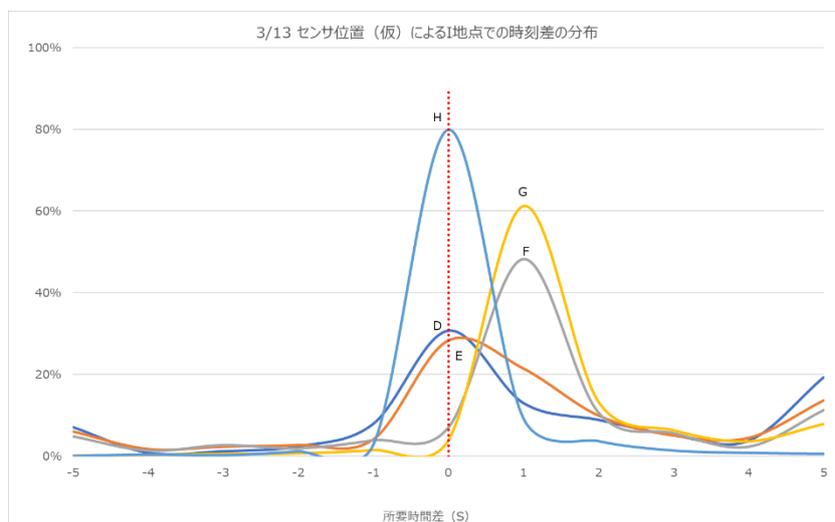


図 4.2-71 センサ位置毎の時刻差の分布 (3/13 9:25~9:55)

順調時と異なり、乖離時刻が±5秒以上の事例が多く発生した。最も合流部に近い地点Hでのばらつきが最も小さくなること、地点Gの場合に他地点よりも早い到着を予想する傾向は順調時と同様であった。

2) カメラ画角外の地点にセンサ設置を仮定した場合のばらつき推定

エラー！参照元が見つかりません。に示す通り、最頻値の比率が大きい場合、乖離の分散が小さくばらつきが小さくなり、最頻値の比率が小さい場合には乖離の分散が大きくばらつきが大きくなる。このことに着目し、各地点から合流部の距離と、ラップタイム計測結果から得られた乖離のばらつきを比較し、関連を調べた。

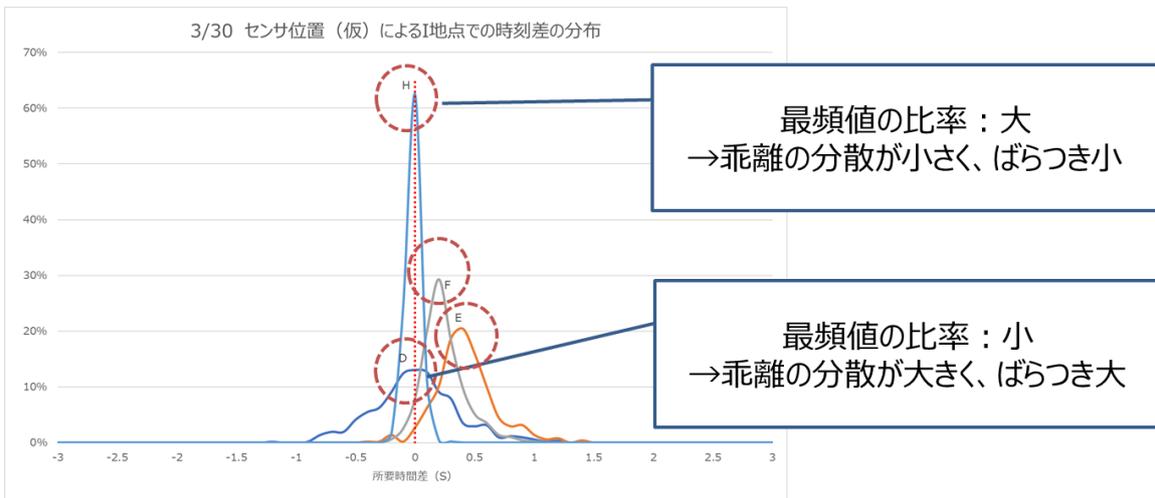


図 4.2-72 最頻値の比率と時刻差のばらつき

合流部から遠ざかるほど最頻値の比率は小さくなることから、距離と最頻値比率の関係に累乗近似を仮定した。図 4.2-73 の通り、ラップタイム計測の結果（地点 D・E・F・H）と距離の関係から、近似曲線を算出した。

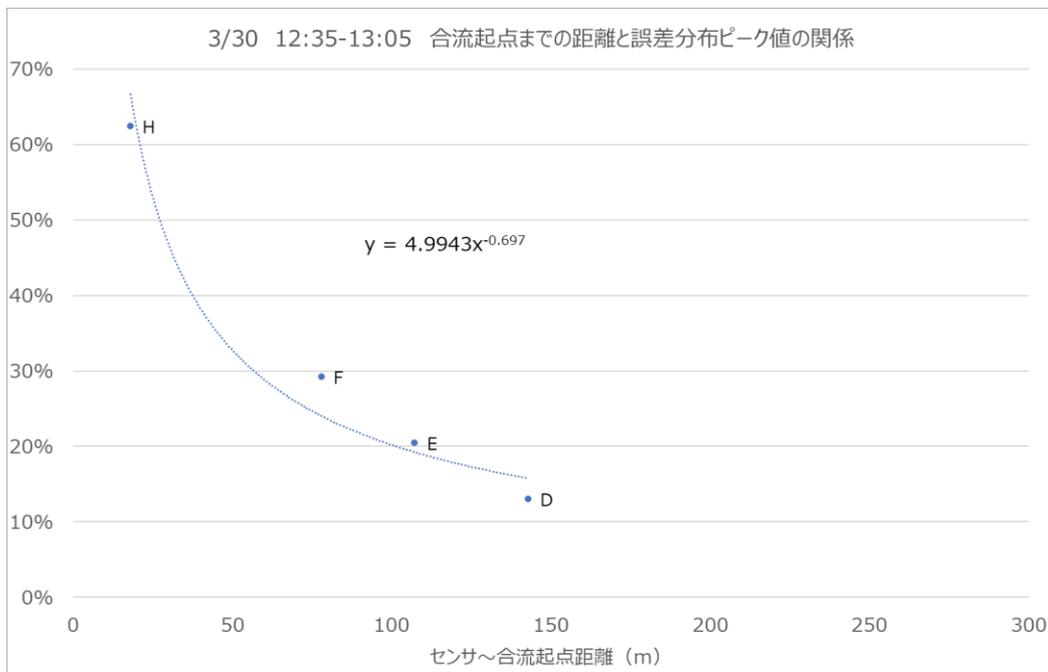


図 4.2-73 センサ設置位置と最頻値比率の関係

路側カメラの撮影範囲外の地点（地点 A・B・C）の距離から最頻値の比率を推定し、グラフに加えた結果を図 4.2-74 に、および各地点から合流起点までの距離と最頻値の比率を表 4.2-27 に示す。

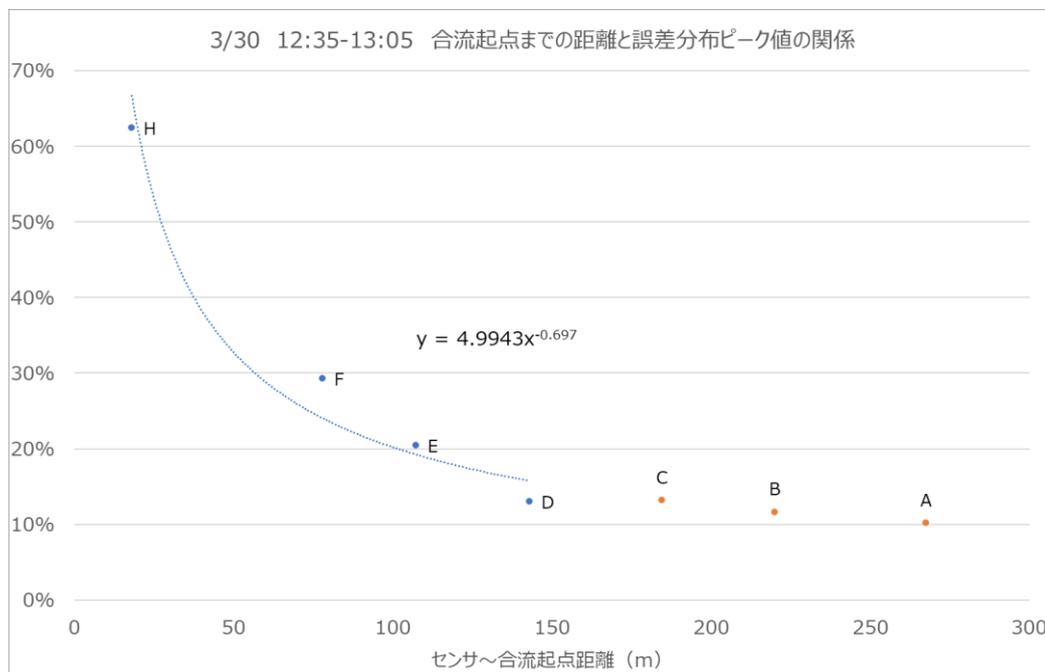


図 4.2-74 計測結果（青）と最頻値比率の推定結果（橙）

表 4.2-27 センサ設置位置と最頻値比率

	H	F	E	D	C (推定)	B (推定)	A (推定)
距離 (m)	18.02	78.03	107.23	142.86	184.48	219.92	267.52
最頻値比率 (%)	62%	29%	20%	13%	13%	11%	10%

4.2.3 情報提供位置

(1) 分析の目的

本実証実験では、合流支援情報配信アンテナを合流部から 79.5m 上流に設置しており、通信領域の中心点は合流起点から 79.3m 上流の地点である。情報提供から合流部到達までの距離が長いほど、合流車両が加速度調整によって合流タイミングを調節するために確保できる時間（以下、調整しろと呼ぶ）は大きくなる。

そこで、調整しろを算出するため、ETC ゲート通過後の合流車の想定速度プロファイル（最早・最遅の 2 パターン）から、合流部到達までの所要時間をそれぞれ算出し、その差を求める。情報提供位置から合流部までの距離を変化させ、調整しろの関係を導出した。本分析では、合流車両の加速目標速度毎に検証を行った。

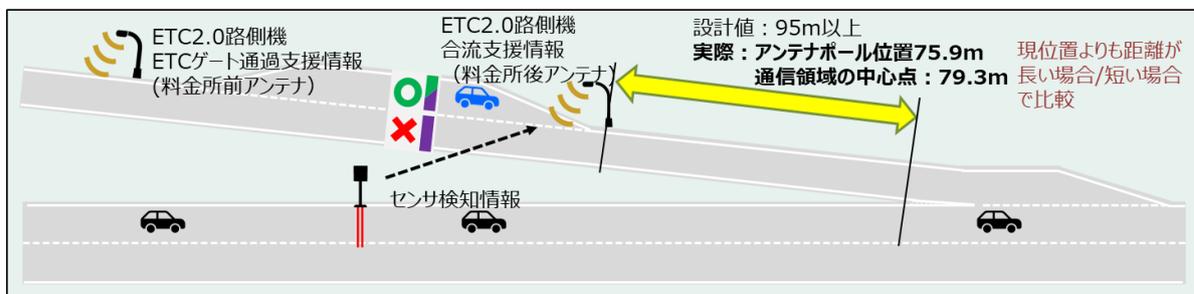


図 4.2-75 情報提供位置分析のイメージ

(2) 分析方法

調整しろは、合流車両の想定速度プロファイルから次に示す式で算出した。

$$\text{(調整しろ)} = \text{(最遅プロファイルでの所要時間)} - \text{(最早プロファイルでの所要時間)}$$

最遅プロファイルおよび最早プロファイルの考え方を図 4.2-76 に示す。

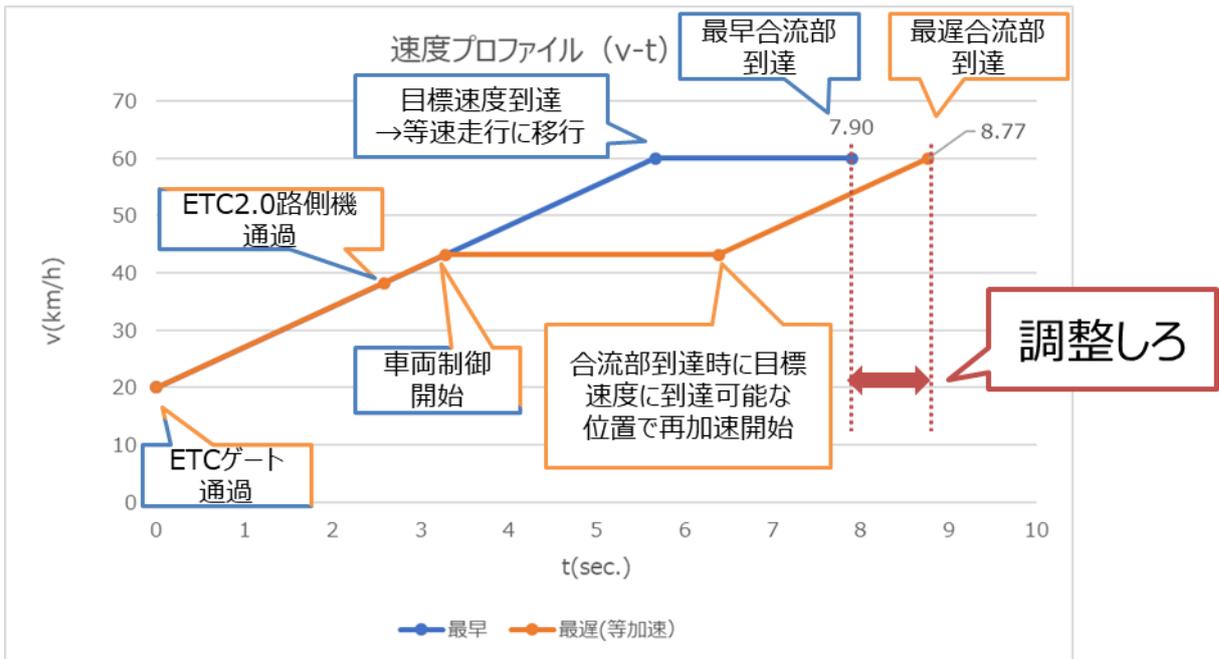


図 4.2-76 最早プロファイルと最遅プロファイルの関係

上記グラフの入力値は下記の通り。

【変数】	
目標速度	60km/h
ETC2.0 路側機～合流起点の距離	79.3m (空港西の実設置位置)
【固定値】	
ETCゲート通過時の速度	20km/h
ETCゲート～ETC2.0 路側機の距離	20.9m
ETC2.0 路側機通過～CAN出力終了所要時間	0.7秒
加速度	0.2G

(3) 分析結果

1) 目標速度が 60km/h の場合

目標速度 60km/h とし、ETC2.0 路側機から合流部の距離を変化させた場合の調整しろを算出した。結果を図 4.2-77 に示す。

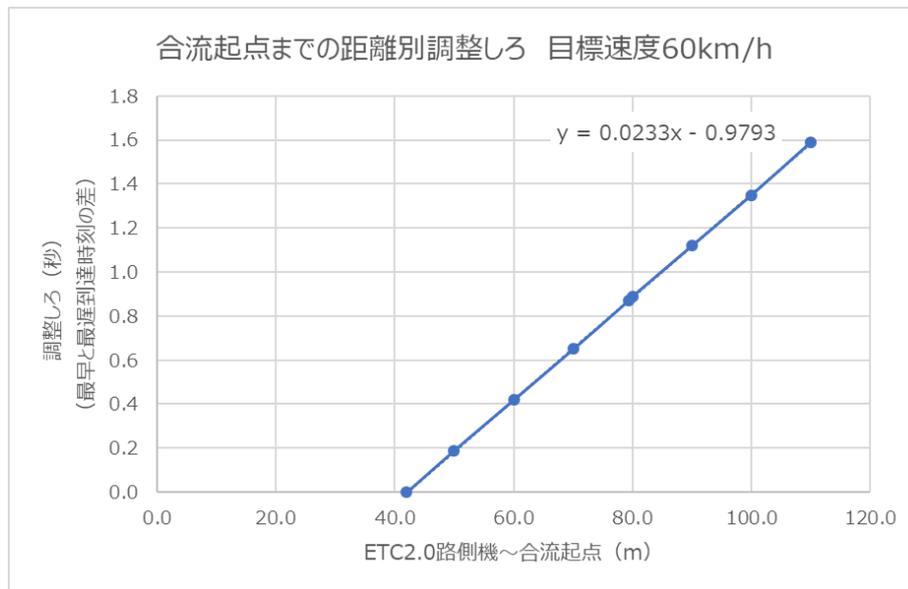


図 4.2-77 情報提供位置と調整しろの関係 (目標速度 60km/h)

ETC2.0 路側機から合流部まで 42m 未満では、合流部到達時に 60km/h に達しない。空港西の実設置位置は合流起点まで 79.3m (通信領域の中心点との距離) で、この場合の調整しろは 0.78 秒となった。

2) 目標速度が 80km/h の場合

目標速度 80km/h とし、ETC2.0 路側機から合流部の距離を変化させた場合の調整しろを算出した。結果を図 4.2-78 に示す。

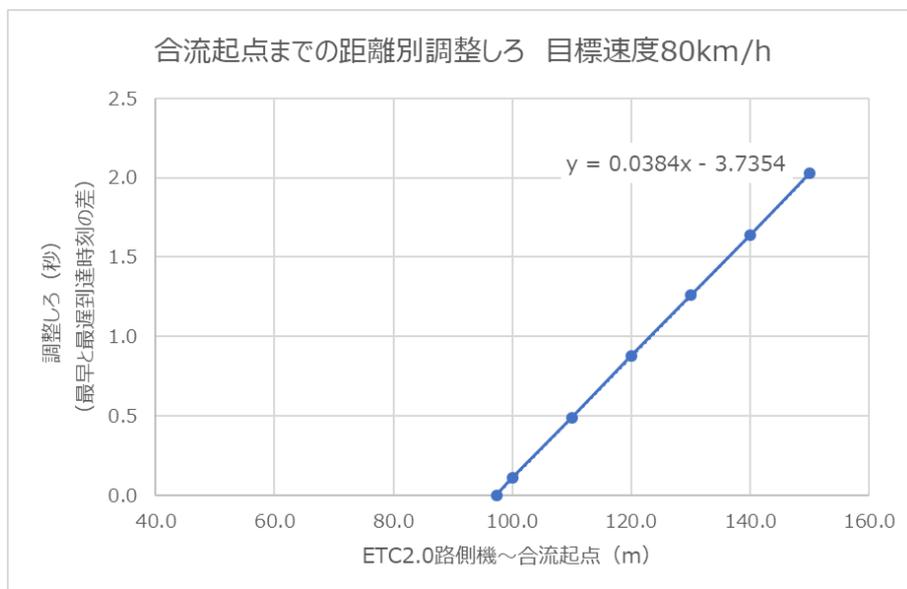


図 4.2-78 情報提供位置と調整しろの関係（目標速度 80km/h）

ETC2.0 路側機から合流部まで 97.3m 未満では、合流部到達時に 80km/h に達しない。空港西の実設置位置は合流起点まで 79.3m（通信領域の中心点との距離）であるため、仮に本線の実勢速度が 80km/h となった場合、この距離では十分な加速を行えない。

3) 目標速度が 100km/h の場合

目標速度 100km/h とし、ETC2.0 路側機から合流部の距離を変化させた場合の調整しろを算出した。結果を図 4.2-79 に示す。

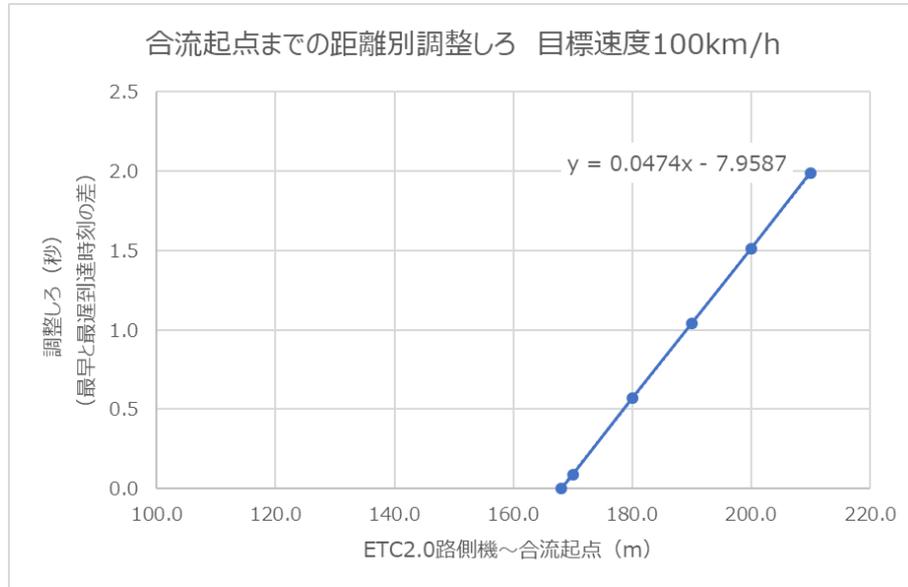


図 4.2-79 情報提供位置と調整しろの関係（目標速度 100km/h）

ETC2.0 路側機から合流部まで 168.0m 未満では、合流部到達時に 100km/h に達しない。したがって、都市間高速等、本線車両の速度が速い区間における合流支援では、情報提供後に十分加速できるだけの距離が必要となる。

4) 目標速度が 100km/h の場合

目標速度 120km/h とし、ETC2.0 路側機から合流部の距離を変化させた場合の調整しろを算出した。結果を図 4.2-80 に示す。

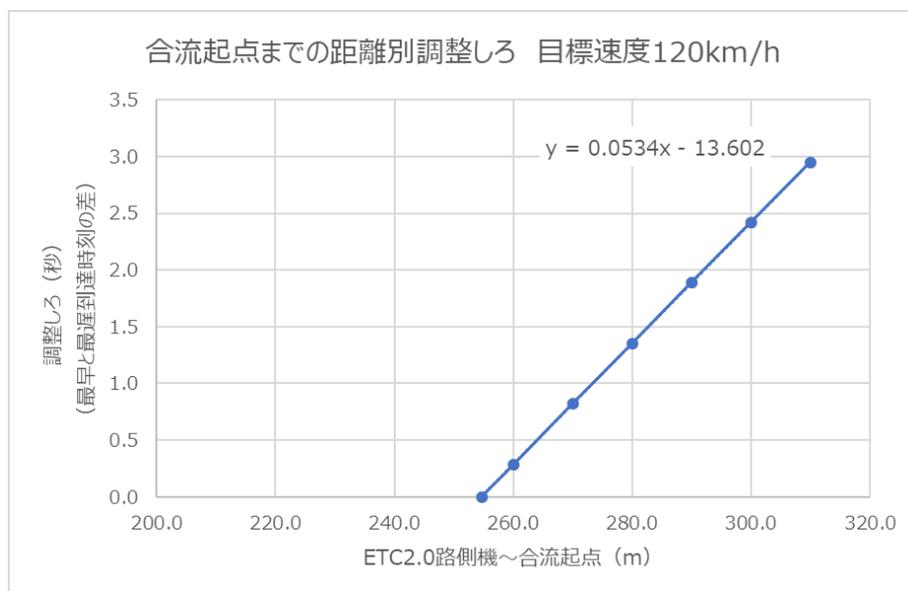


図 4.2-80 情報提供位置と調整しろの関係 (目標速度 120km/h)

ETC2.0 路側機から合流部まで 254.7m 未満では、合流部到達時に 120km/h に達しない。目標速度 100km/h での結果と同様、都市間高速等、本線車両の速度が速い区間における合流支援では、情報提供後に十分加速できるだけの距離が必要となる。

5) 情報提供位置に関する分析のまとめ

情報提供位置から合流部の距離と調整しろの関係を図 4.2-81 に示す。

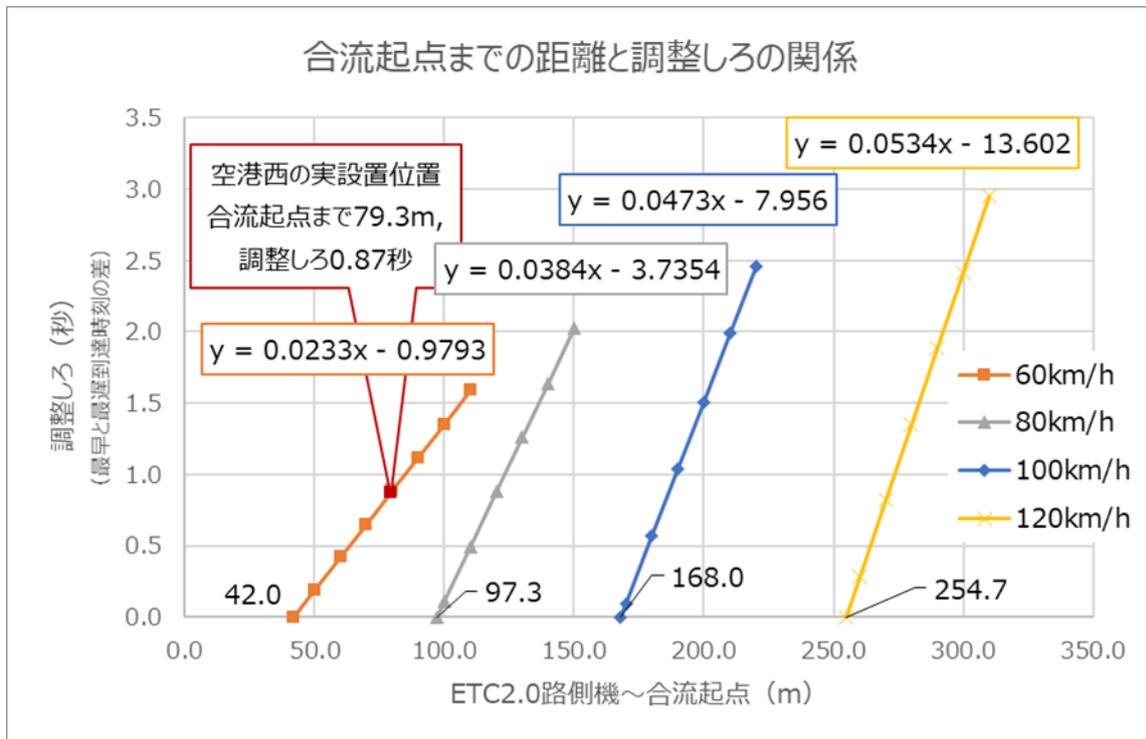


図 4.2-81 情報提供位置と調整しろの関係 (目標速度別)

各目標速度に置いて、調整しろが0秒となる距離は、最早プロファイルで目標速度に達するのに必要な距離である。目標速度を変化させて比較した結果、目標速度が速いほど、加速に必要な距離は長くなることが確認できた。

ETC2.0 路側機から合流部の距離が長くなるほど、調整しろは増加するため、本線合流部付近での平均的な車間距離のデータをもとに、必要な調整しろを確保できる距離となるよう、情報提供位置を設計することが望ましいと考えられる。

4.2.4 情報提供位置とセンサ位置の関係についての分析

(1) 空港西における情報提供位置とセンサ位置の関係

1) 分析の目的

情報提供から合流部到達までの距離が長いほど、加速度調整による合流タイミングの調整しろは大きくなることが、情報提供位置に関する分析で確認された。一方で、センサはより上流に設置する必要がある、合流部到達計算時刻が乖離することも、センサ位置に関する分析で明らかとなった。

ここでは、空港西における情報提供位置とセンサ位置の関係を分析し、センサ設置位置毎に、合流部到達計算時刻にどの程度の乖離が生じる可能性があるか、整理した。

2) 分析方法

a. 本線実勢速度と平均車間時間の算出

まず、ラップタイム計測結果より本線実勢速度と平均車間時間を求めた。3/30の12:35-13:05ラップタイム計測において、C-D区間速度での検知速度の平均値は63.83km/h、平均車間時間は3.27秒であった。本線実勢速度は、合流車の目標速度として以下の分析で用いる。

b. 本線実勢速度と平均車間時間の算出

次に、合流車の速度プロファイル確認から調整しろを算出した。63.83km/hを目標速度とし、情報提供位置から合流部の距離ごとに最早プロファイルおよび最遅プロファイル所要時間を算出し、図4.2-82の通り合流車両の速度調整しろを整理した。

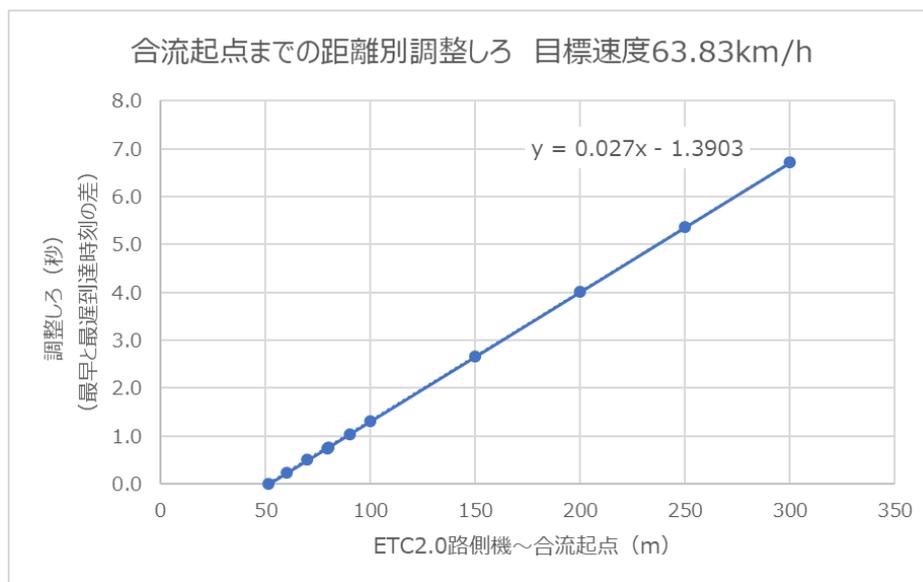


図 4.2-82 目標速度 63.83km/h での情報提供位置と調整しろの関係

表 4.2-28 目標速度 63.83km/h での情報提供位置と調整しろの関係

情報提供位置～合流起点 (m)	合流車両の速度調整しろ (s)
51.5	0.00
100.0	1.31
150.0	2.66
200.0	4.01
250.0	5.36
300.0	6.71

c. 情報提供位置ごとに本線センサ位置を算出

63.83km/h を目標速度とし、情報提供位置～合流部の距離ごとに最早プロファイル所要時間を算出した。a. で求めた平均車間時間から、4.0 秒を最早プロファイル所要時間に加えてセンサ位置を算出した。最早プロファイル+4 秒とすることで、合流車と同タイミングに合流起点に到達する本線車両の後続車を情報提供範囲に含むことができ、狙うべきギャップの長さを把握可能となる。情報提供位置とセンサ位置の関係は図 4.2-83 に示す通り。

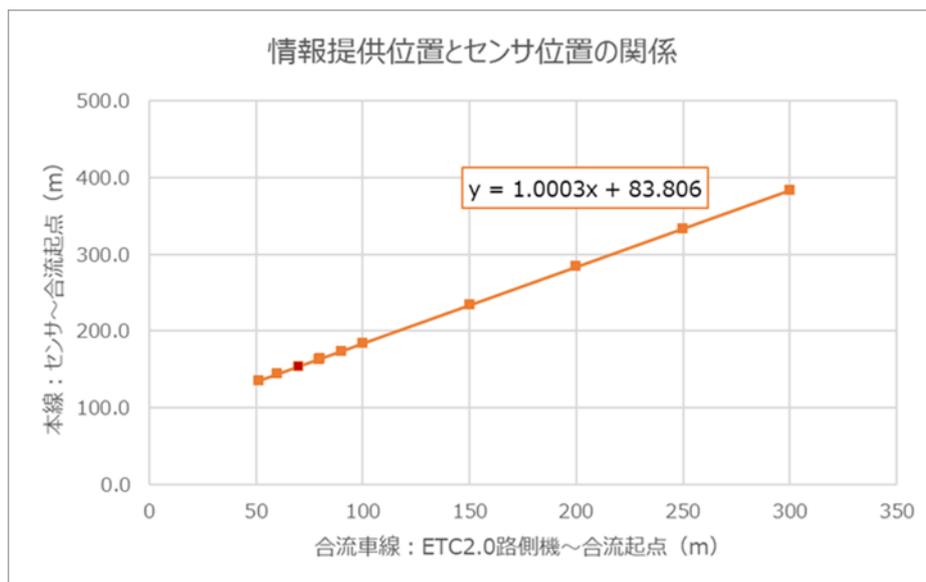


図 4.2-83 目標速度 63.83km/h での情報提供位置とセンサ位置の関係

表 4.2-29 目標速度 63.83km/h での情報提供位置とセンサ位置の関係

情報提供位置～ 合流起点 (m)	合流車両の 速度調整しろ (s)	センサ～合流起点 (m)
51.5	0.00	135.3
100.0	1.31	183.9
150.0	2.66	233.9
200.0	4.01	283.9
250.0	5.36	333.9
300.0	6.71	383.9

d. センサ位置ごとに合流部到達計算時刻のばらつきを推定

センサ位置分析で導出した曲線を用い、情報提供位置に応じたセンサから合流起点距離ごとに乖離時刻分布最頻値の比率を推定した。推定値を図4.2-84に示す。

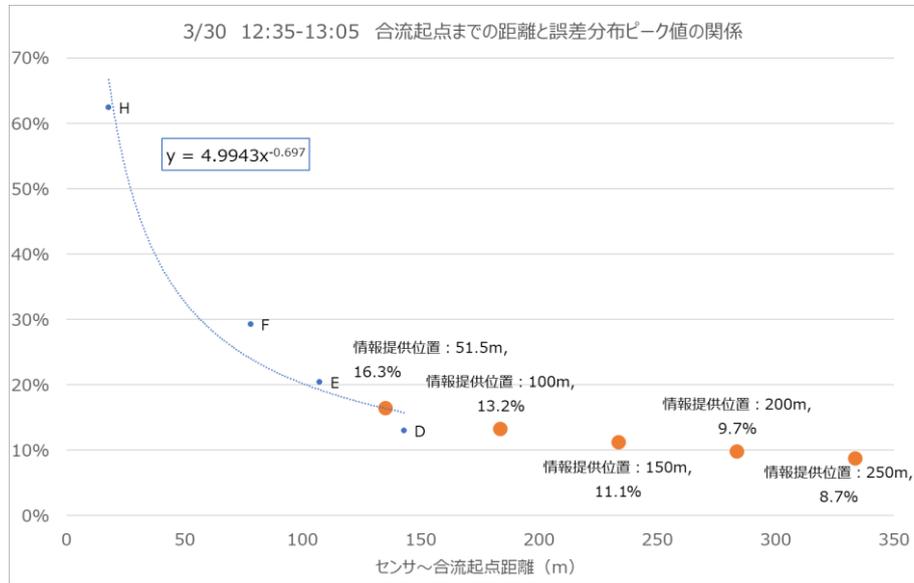


図 4.2-84 計測結果（青）と最頻値比率の推定結果（橙）

求めた最頻値の比率から、各センサ位置で乖離時刻が±1秒・±0.5秒以内に収まるデータの比率を算出した。

3) 分析結果

情報提供位置毎に、調整しろ、センサ設置位置、乖離時刻±1.0秒以内の比率および乖離時刻±0.5秒以内の比率を整理し、表 4.2-30 に示す。

表 4.2-30 情報提供位置とセンサ位置、合流部到達計算時刻のばらつき

情報提供位置～合流起点 (m)	合流車両の速度調整しろ (s) 合流車最早プロファイルと最遅 プロファイル所要時間差	センサ～合流起点 (m) 合流車最早プロファイル所要時 間+4.0 秒を目標速度で等速走 行した距離	乖離時刻±1.0 秒以内	乖離時刻±0.5 秒以内
51.5	0.00	135.3	99.8%	93.7%
(現位置) 79.8	0.75	163.1	99.4%	89.7%
(自工会要望) 95.0	1.18	178.9	99.1%	87.3%
100.0	1.31	183.9	99.0%	86.8%
150.0	2.66	233.9	97.0%	79.4%
200.0	4.01	283.9	94.5%	73.3%
250.0	5.36	333.9	91.5%	67.7%
300.0	6.71	383.9	88.4%	63.2%

情報提供から合流部到達までの距離が長いほど、加速度調整による合流タイミングの調整しろは大きくなるが、センサはより上流に設置する必要がある、合流部到達計算時刻が乖離することが確かめられた。

(2) 他箇所への展開を念頭に置いた分析

1) 分析の目的

他の高速道路合流箇所にも本システムを展開する場合、現地の本線速度を目標速度として合流する必要がある。目標速度によって情報提供位置～合流起点までの最低限必要な距離が異なるため、その場合のセンサ位置との関係を整理した。

2) 分析方法

a. 情報提供位置を算出

目標速度を 60・80・100・120km/h に変化させ、最早プロファイルでの所要時間をもとに調整しろ 1 秒を確保できる情報提供位置を算出した。

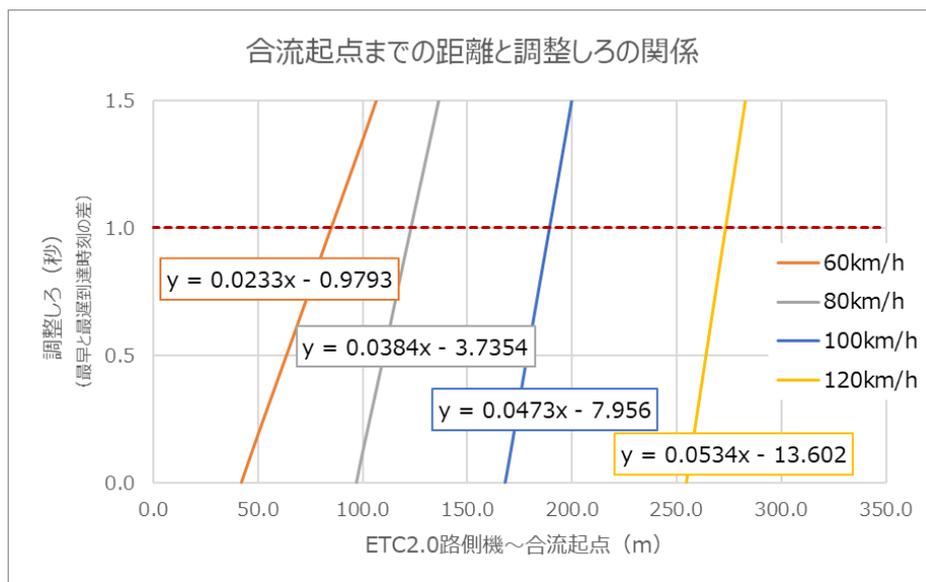


図 4.2-85 情報提供位置と調整しろの関係（目標速度別）

b. 目標速度と情報提供位置の組合せごとにセンサ位置を算出

本線車が目標速度で等速走行すると仮定したときの距離をもとに、センサ設置位置を算出した。

目標速度と情報提供位置から合流車最早プロファイル所要時間を算出し、4.0 秒を最早プロファイル所要時間に加えてセンサ位置を算出した。高速道路では速度と同じだけの車間距離をあけることが一般的であり、車間時間 4 秒で本線車両の後続車を情報提供範囲に含むことができることから、目標速度に関わらず一律で 4.0 秒を加えることとした。

3) 分析結果

目標速度毎に、調整しろ 1 秒を確保できる情報提供位置と、その時のセンサ位置を整理し、表 4.2-31 に示す。

表 4.2-31 調整しろ 1 秒を確保するための情報提供位置とセンサ位置

目標速度 (km/h)	情報提供位置～合流起点 (m) 合流車最早プロファイルと最遅 プロファイル所要時間差が 1 秒 確保できる距離	センサ～合流起点 (m) 合流車最早プロファイル所要時 間+4.0 秒を本線速度で等速走行 した距離
60	84.9	161.0
80	123.3	246.4
100	189.0	375.3
120	273.4	528.3

目標速度が速くなるほど、調整しろ 1 秒を確保に必要な情報提供から合流部到達までの距離が長くなり、それに伴ってセンサ～合流起点の距離も増加することが確かめられた。

4.2.5 合流部到達計算時刻の正確性分析

(1) 分析の目的

本実証実験における合流支援では、センサ検知情報より本線車の速度や車間時間等の計測値に加え、本線の車両がいつ合流部に到達するか予測し、到達計算時刻として合流車に情報提供する。この到達計算時刻は上流部センサ通過時の速度を合流部まで維持して等速直線運動で本線車が走行すると仮定して算出しているため、実際に当該本線車が合流部に到達する時刻と乖離が生じる可能性がある。情報を受信する合流車は、本線車の速度や車間時間等の計測値、到達計算時刻等を予め把握することで、合流のための車両制御や自動運転モードから手動運転モードへの切り替え（ハンドオーバー）の判断を行うことが可能となると考えられる。

合流車に提供される情報のうち、到達計算時刻が交通状況によって実際の車両の合流到達時刻からズレ（乖離）が生じることに着目し、合流到達計算時刻情報と、路側に設置したカメラの映像をもとに実施したラップタイム計測で得られた実際の到達時刻を比較することで、提供情報と実到達時刻にどの程度差があるかを検証した。乖離が大きくなる場合の交通事象を確認することで、合流支援情報の提供の仕方に関する考察を行った。

(2) 交通概況分析

本実証実験を実施した首都高羽田1号線上り空港西入口付近の本線における交通概況を把握するため、本線上流部センサ（センサ①）の情報を用いて分析を行った。センサ①の平均車速と平均車間時間の関係を図 4.2-86 に示す。

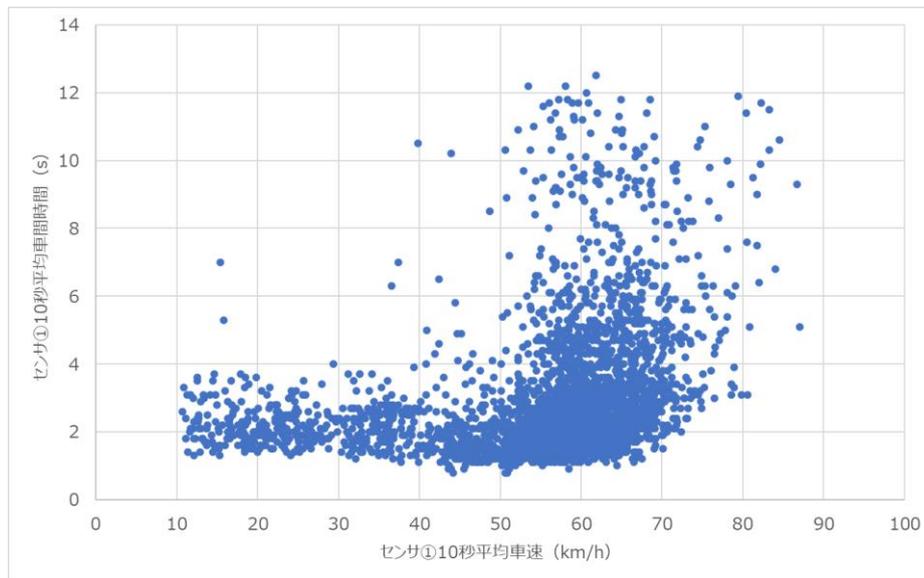


図 4.2-86 センサ①平均車速と平均車間時間の関係

図 4.2-86 より、平均車速 50km/h を境に、平均車間時間の分布傾向に差がみられることを確認した。平均車速 50km/h 未満、50km/h 以上のサンプル毎に、平均車間時間の平均値、最大・最小値、分散と中央値を算出した。結果を表 4.2-32 に示す。

表 4.2-32 平均車速 50km/h 未満・50km/h 以上における平均車間時間の傾向

平均車速	サンプル数	平均車間時間(s)				
		平均	最大	最小	分散	中央値
50km/h未満	662	2.2	10.5	0.8	1.2	2.0
50km/h以上	2,607	3.1	12.5	0.8	3.3	2.4
全サンプル	3,269	2.9	12.5	0.8	3.8	2.2

※平均車間時間は 12.5 秒まで秒（0.1 秒単位）により可変値のため
12.6 秒以上の 49 サンプルを除いた 3,269 サンプルで分析

平均値は、平均車速が 50km/h 未満で平均 2.2 秒、50km/h 以上で平均 3.1 秒となった。平均車速 50km/h 未満では車間時間が 1.5～3.5 秒に集中しているが、50km/h を超えると、車間時間のばらつきが大きくなった。

以上のことから、1 号羽田線空港西入口付近の本線走行における順調時（50km/h 以上）の平均車間時間は約 3 秒で、仮に実験車両が合流到達計算時

刻を参考に本線走行車両の車間中央を狙い合流するよう制御とした場合、合流到達計算時刻と実際の合流到達時刻の差が±1.0秒以内であれば、狙ったポイントで合流可能と想定した。

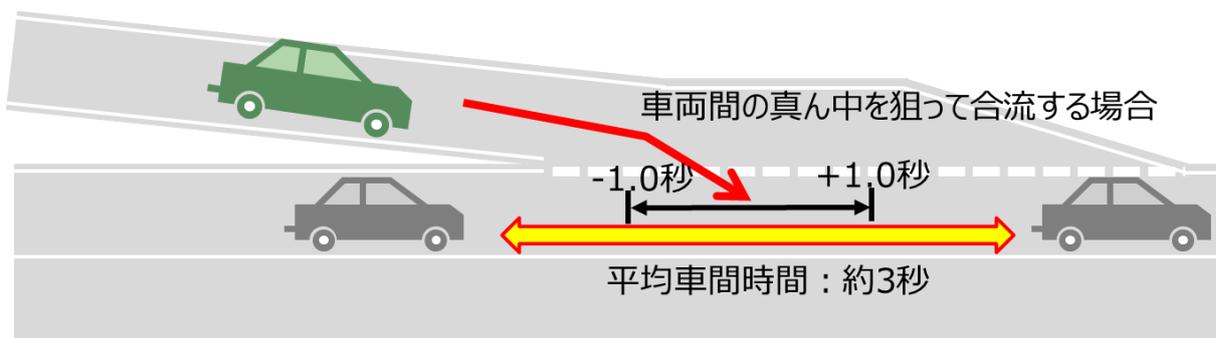


図 4.2-87 平均車間時間と合流到達時刻の差

本実証実験における合流到達計算時刻の評価指標として、合流到達計算時刻と実際の合流到達時刻の差が±1.0秒以内データの割合を高速道路インフラ設備の現地データより確認することで評価を実施した。

(3) 分析結果概要

まず、交通状態の異なる時間帯（順調、臨界、渋滞）を対象に、ラップタイム計測を行った。その結果、図 4.2-88 が示すように順調時の時間帯では、大半の車両の速度が 50-75km/h で走行し、合流到達計算時刻と実際の到達時刻の時刻差（以下、「到着時刻差」という）が±1.5 秒程度であった。それに対し、図 4.2-89、図 4.2-90 が示すように、臨界・渋滞時では 10-40km/h の車両が存在し、低速車の到達時刻差とそのばらつきが大きく、50-60km/h で走行の車両も、順調時に比べて到達時刻差がばらつくことが確かめられた。

次に、5 分毎の第一走行車線交通量と平均速度と到達時刻差を、順調時、臨界時、渋滞時の交通状態別に比較すると、図 4.2-91～図 4.2-96 が示すように、平均速度が急激に変化するタイミングで到達時刻差が大きくなることが確認できた。

交通状態や交通量、平均速度は事後的に把握できる事象であり、リアルタイムで行う合流車への情報提供には用いることが出来ない。そこで、交通状態を反映すると考えられる事象を探り、合流車両に提供する情報として何が有効かを検証した。

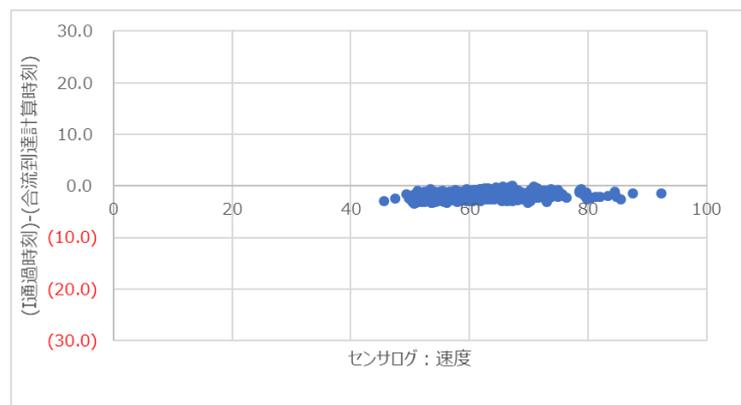


図 4.2-88 順調時（3/30 12:35~13:05）のセンサーログ速度と到着時刻差の関係

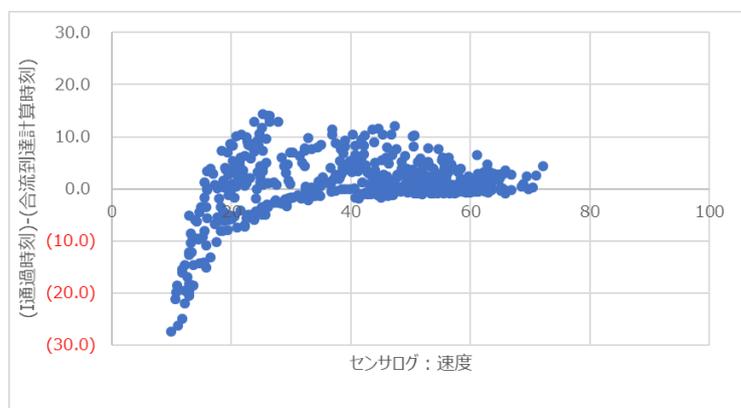


図 4.2-89 臨界時（3/24 6:25~6:55）のセンサーログ速度と到着時刻差の関係

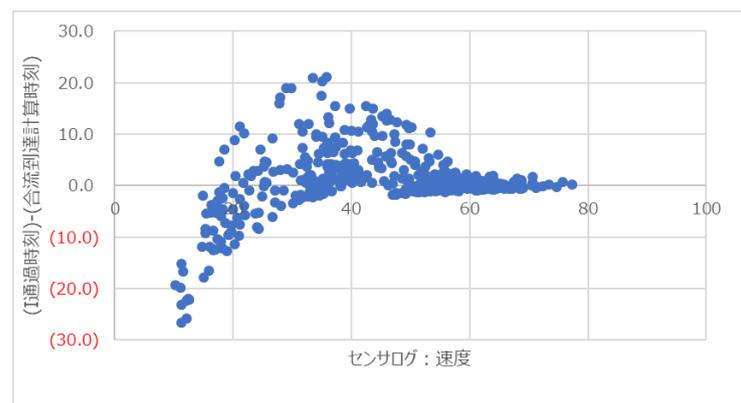


図 4.2-90 渋滞時（3/13 9:25~9:55）のセンサーログ速度と到着時刻差の関係

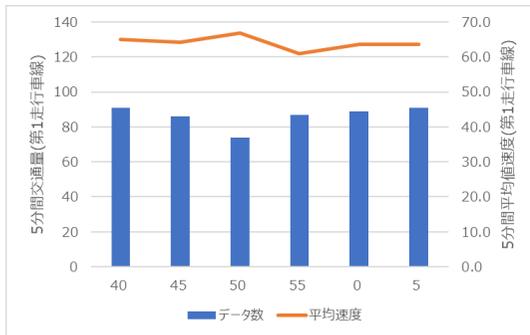


図 4.2-91 順調時の5分毎の交通量と平均速度

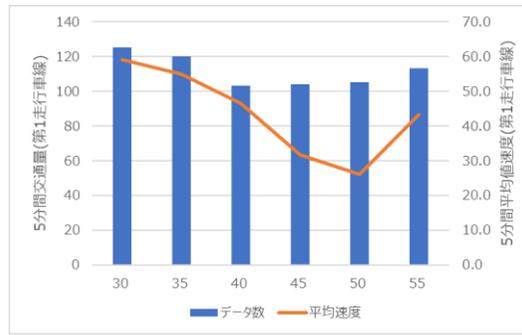


図 4.2-93 臨界時の5分毎の交通量と平均速度

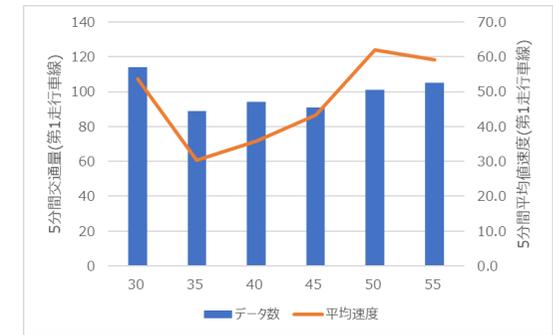


図 4.2-95 渋滞時の5分毎の交通量と平均速度

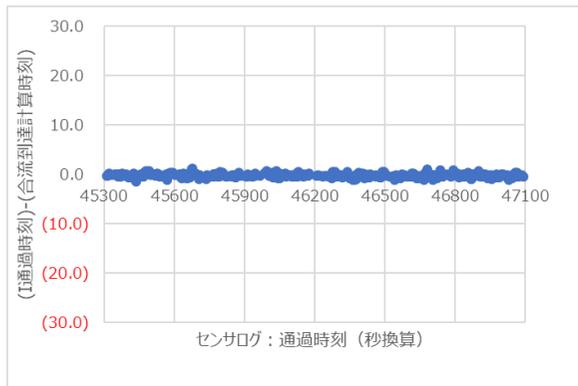


図 4.2-92 順調時の到達時刻差

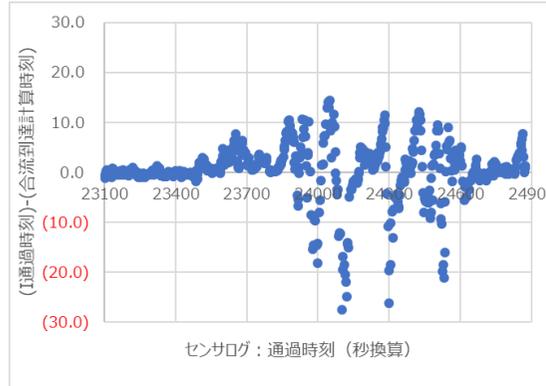


図 4.2-94 臨界時の到達時刻差

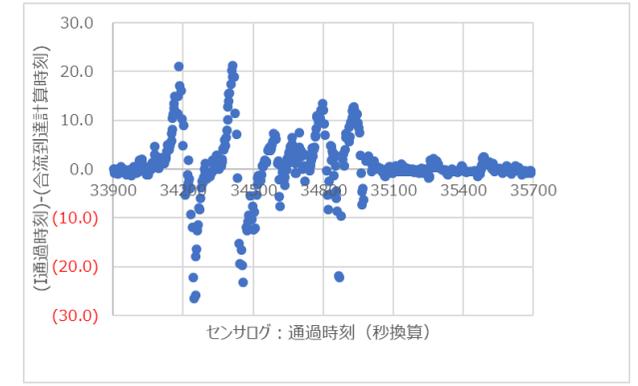


図 4.2-96 渋滞時の到達時刻差

センサ①の平均車速別に、到着時刻差が±1.0秒以内となるサンプルの割合を比較した。結果を図 4.2-97 に示す。

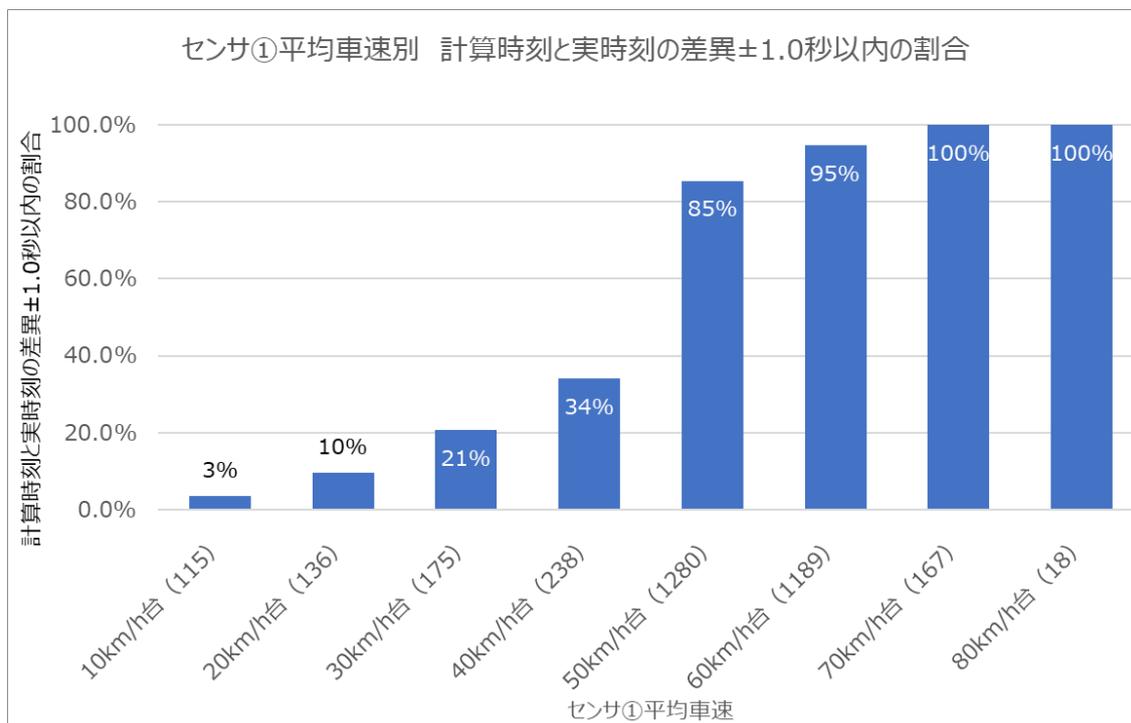


図 4.2-97 センサ①平均車速別 計算時刻と実時刻の差異±1.0秒以内の割合

センサ①が検知する「平均車速が 50km/h 未満」において、合流端への到達時刻乖離が拡大することが確認できた。

交通概況分析から、本線順調時（50km/以上）、平均車間時間は 3.1 秒であり、この時、計算時刻と実時刻の差異±1.0秒以内の割合は 85%以上であった。一方、本線交通状態が臨界・渋滞時（50km/未満）、平均車間時間 2.2 秒と順調時に比べて短いうえ、到達計算時刻と実際の到達時刻との乖離が非常に大きくなった。

以下では、本線上流部センサ、本線合流部センサ、合流車線合流部センサ、およびラップタイム計測情報によってサンプルを分類し、到達計算時刻差を比較することで、合流部到達計算時刻の乖離に影響を及ぼす要素を検討した結果を示す。なお、本線合流部とセンサ③の評価は、センサ①による分析を補完する目的で、追加で実施した分析である。

1) 本線上流部センサ（センサ①）情報による合流部到達計算時刻の正確性分析

今回のシステムで合流車両に対して提供している情報のうち、センサ①の情報を用い、合流部到達計算時刻の乖離に影響を与える可能性がある事項として、表 4.2-33 に示す指標別に、合流到達計算時刻と実際の到達時刻の差異を分析した。

表 4.2-33 センサ①指標別の用いたデータと結果

No.	分析の指標	データ	結果
a	センサ①の10秒間交通量別	交通概況情報： センサ①交通量	差異なし
b	センサ①の10秒間平均速度別	交通概況情報： センサ①平均車速	差異あり
c	センサ①の10秒間平均車間時間別	交通概況情報： センサ①平均車間時間	差異あり
d	センサ①通過時の車間時間別	到達計算時刻情報： 前方車両との車間時間	差異あり

a. センサ①の10秒間平均速度別

センサ①を車両が低速で通過する時、センサ部と合流部の間で速度が変化し、到達計算時刻と実到着時刻に差が生じる可能性がある。そこで、実験用車載器が出力する情報のうち、交通概況情報のセンサ①平均車速を用いて、センサ①10秒間の平均車速が x km/h 以上と x km/h 未満の2グループに分け、到達時刻差を分析した。

$x=30, 40, 50, 60$ の場合について分析した結果を表 4.2-34 に、それぞれのヒストグラムを図 4.2-98～図 4.2-101 に示す。

表 4.2-34 分析に用いる基準 ($x=30, 40, 50, 60$ の場合)

	30km/h		40km/h		50km/h		60km/h	
	以上	未満	以上	未満	以上	未満	以上	未満
データ数	3067	251	2892	426	2654	664	1374	1944
平均差異	0.3	-3.5	0.1	-0.7	-0.1	0.6	-0.2	0.2
中央値	-0.3	-3.0	-0.3	0.3	-0.3	0.9	-0.3	-0.3
最大差異(正)	21.1	18.9	20.9	21.1	12.4	21.1	4.7	21.1
最大差異(負)	-3.3	-27.5	-2.9	-27.5	-2.0	-27.5	-1.4	-27.5
差異正%	0.3	0.4	0.3	0.5	0.2	0.6	0.2	0.4
分散	4.8	79.2	3.2	66.3	1.1	52.2	0.3	19.1
階級別ピーク	-0.3	3.3	-0.3	1.9	-0.3	-1.3	-0.3	-0.5
ピーク階級比率	9.8%	2.0%	10.3%	1.6%	11.2%	2.0%	13.6%	6.2%
誤差±1.0比率	82.2%	7.2%	85.9%	12.7%	90.5%	20.3%	95.3%	63.2%

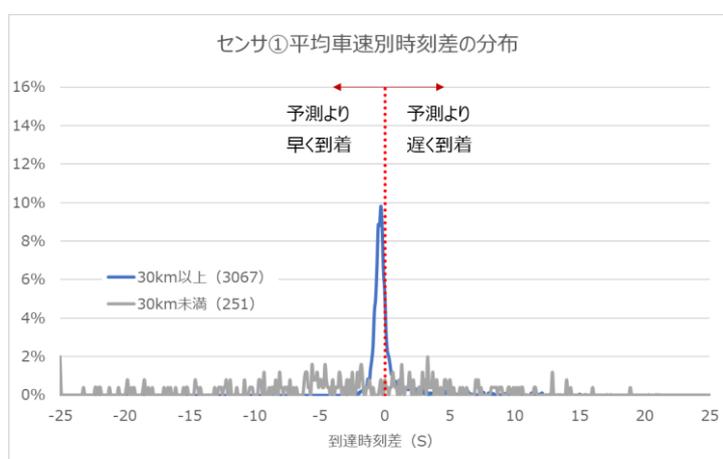


図 4.2-98 $x=30$ の場合

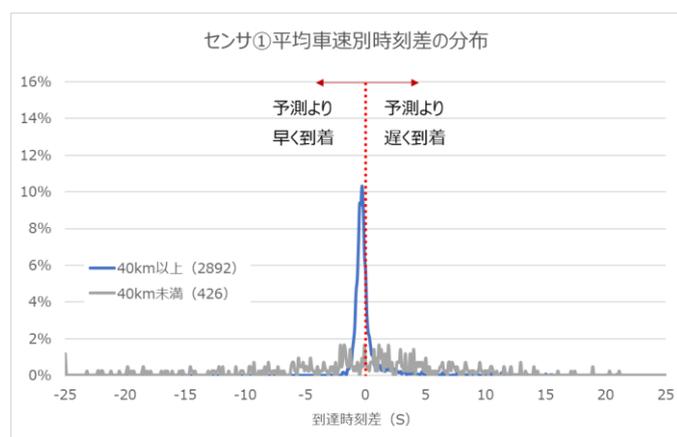


図 4.2-99 $x=40$ の場合

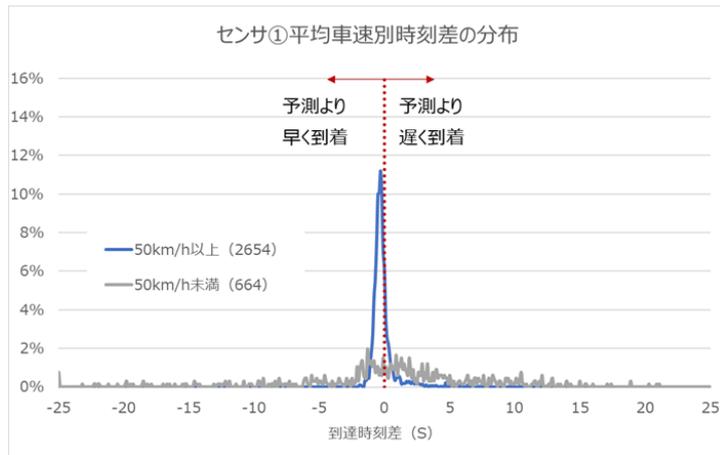


図 4.2-100 $x=50$ の場合

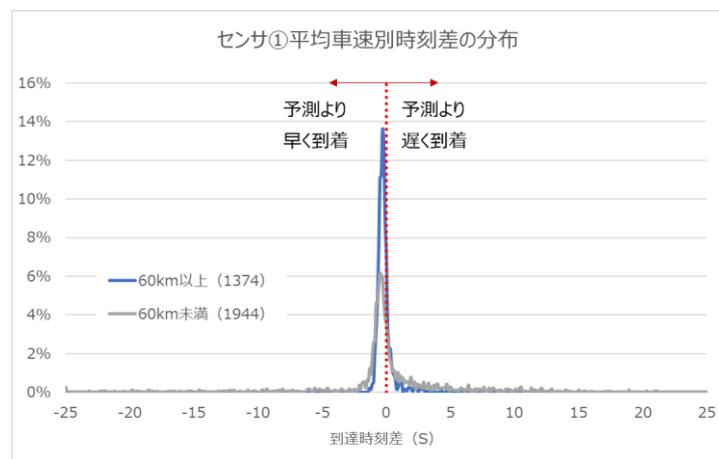


図 4.2-101 $x=60$ の場合

$x=30$, $x=40$, $x=50$ の時、 x km/h 未満のサンプルの分散が著しく大きくなった。 $x=60$ の場合も 60km/h 未満のグループの分散が大きくなる傾向は同様であるが、他の区分と比較してピークが出現していることが確認できた。60km/h 未満のサンプルの分散が、50km/h 未満のサンプルの分散に比べ、急に小さくなっていること、また、60km/h 以上のサンプルの 95.3%、60km/h 未満のサンプルの 63.2% で到達時刻差が ± 1.0 秒以内となったことから、到達時刻差のばらつきは 50km/h 周辺で変化すると考えられる。以上のことから、センサ①の 10 秒間の平均車速が 50km/h 未満の場合の到達時刻差がばらつく、すなわち計算時刻の乖離がみられるデータは 50km/h 未満のサンプルに多く存在していると考えられる。

平均車速が 50km/h 以上のときヒストグラムを中心は予測より 0.3 秒早く到着する階級となった一方、50km/h 未満のとき分散が著しく大きくなってピークが確認できず、予測より遅く到着する車両の方が多くみられた。また、到達時刻差が ± 1.0 秒以内となったサンプルの比率は、平均車速が 50km/h 以上のサンプルでは 90.5%、50km/h 未満のサンプルでは 20.3% となった。 $x=50$ のヒストグラムを図 4.2-102 に再掲する。

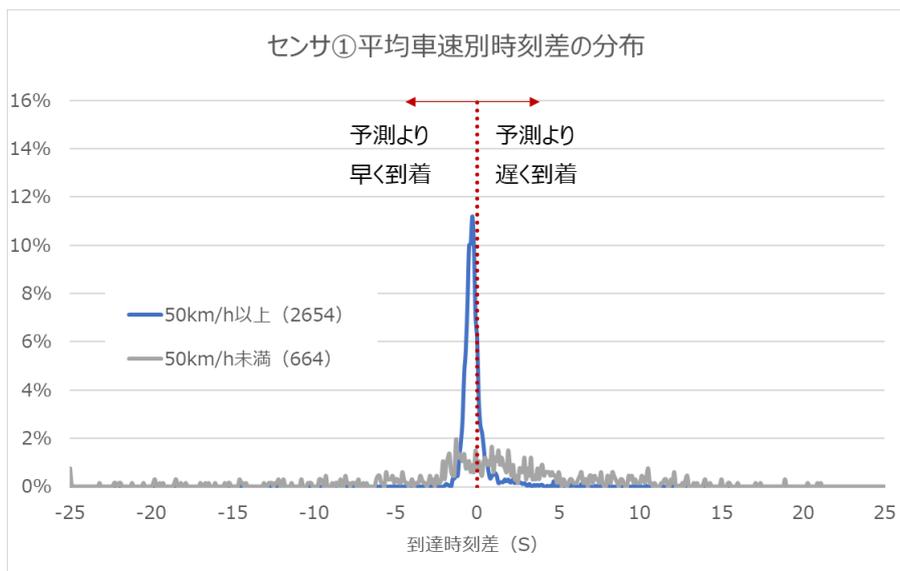


図 4.2-102 到達時刻差の分布 (x=50)

センサ①の 10 秒間平均速度別にサンプル数を整理したグラフを図 4.2-103 に示す。センサ①の 10 秒間平均速度が 50km/h 未満となる車両は、本線が混雑または渋滞しているタイミングを走行している可能性が高い。したがって、到達計算時刻が乖離する可能性を判断する指標として、合流車に通知することが有効と考えられる。

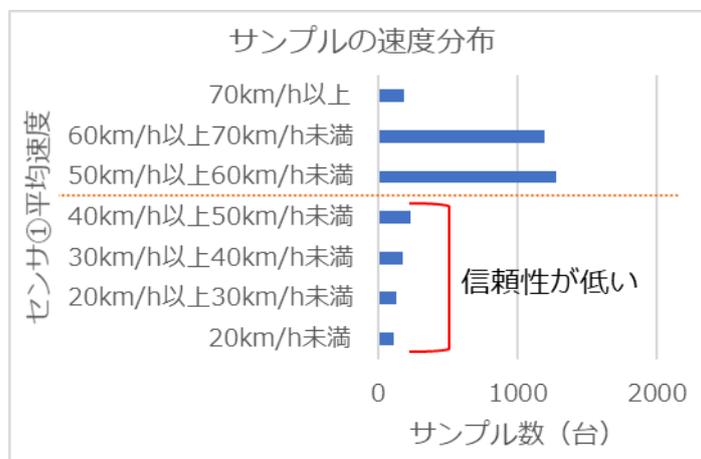


図 4.2-103 センサ①の 10 秒間平均速度の分布

b. センサ①の10秒間平均車間時間別

センサ①での車間が狭い時、センサ部と合流部の間で速度が変化し、到達計算時刻と実到着時刻に差が生じる可能性があると考えられる。そこで、実験用車載器が出力する情報のうち、交通概況情報のセンサ①平均車間時間を用いて、センサ①の10秒間の平均車間時間が s 秒以上と s 秒未満の2グループに分け、到達時刻差を分析した。

$s=1.2, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0$ の場合について分析した結果を表 4.2-35 に、それぞれのヒストグラムを図 4.2-104～図 4.2-110 に示す。

表 4.2-35 分析に用いる基準 ($s=1.2, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0$ の場合)

	1.2秒 以上	1.2秒 未満	1.5秒 以上	1.5秒 未満	2.0秒 以上	2.0秒 未満	2.5秒 以上	2.5秒 未満	3.0秒 以上	3.0秒 未満	3.5秒 以上	3.5秒 未満	4.0秒 以上	4.0秒 未満
データ数	3257	61	2967	351	2169	1149	1464	1854	1069	2249	797	2521	659	2659
平均差異	0.0	0.3	0.0	0.2	-0.2	0.3	-0.2	0.2	-0.4	0.2	-0.3	0.1	-0.3	0.1
中央値	-0.3	0.1	-0.3	-0.1	-0.3	-0.2	-0.3	-0.2	-0.3	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3
最大差異(正)	21.1	7.6	21.1	15.0	21.1	18.9	21.1	20.9	17.4	21.1	17.4	21.1	8.5	21.1
最大差異(負)	-27.5	-1.7	-27.5	-21.2	-27.5	-25.0	-26.6	-27.5	-26.6	-27.5	-22.2	-27.5	-5.4	-27.5
差異正%	0.3	0.5	0.3	0.4	0.2	0.4	0.2	0.4	0.2	0.4	0.2	0.3	0.1	0.3
分散	11.6	1.5	11.8	8.2	10.9	12.1	8.8	13.4	6.3	13.7	3.0	14.0	0.5	14.1
階級別ピーク	-0.3	0.1	-0.3	-0.2	-0.3	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3
ピーク階級比率	9.3%	9.8%	9.5%	6.6%	10.6%	6.8%	11.5%	7.3%	13.5%	7.1%	14.7%	7.4%	15.0%	7.7%
誤差±1.0比率	76.5%	78.7%	77.1%	71.5%	80.8%	68.3%	85.4%	69.5%	90.3%	69.9%	92.7%	71.4%	94.7%	72.0%

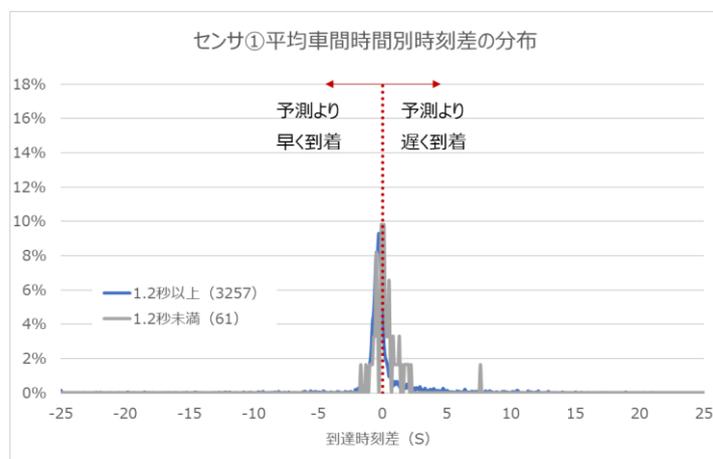


図 4.2-104 $s=1.2$ の場合

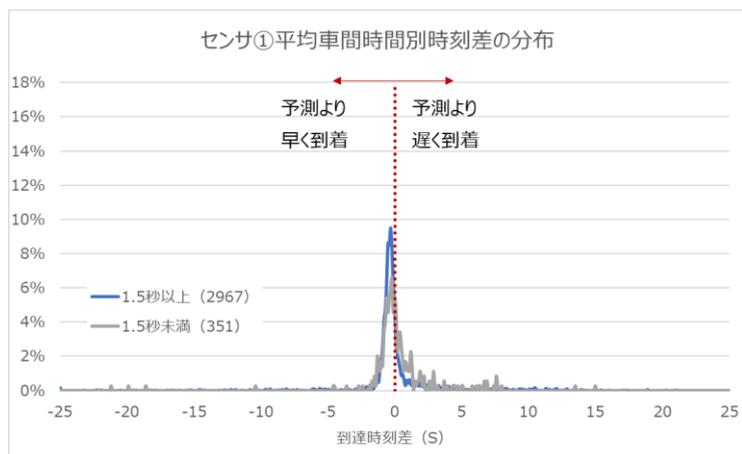


図 4.2-105 $s=1.5$ の場合

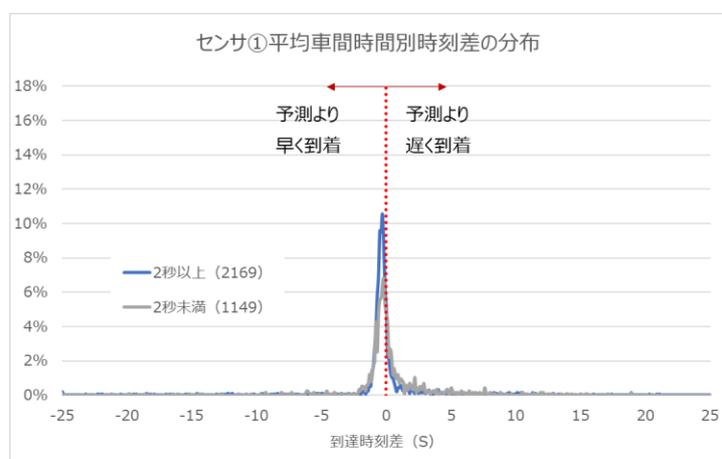


図 4.2-106 $s=2.0$ の場合

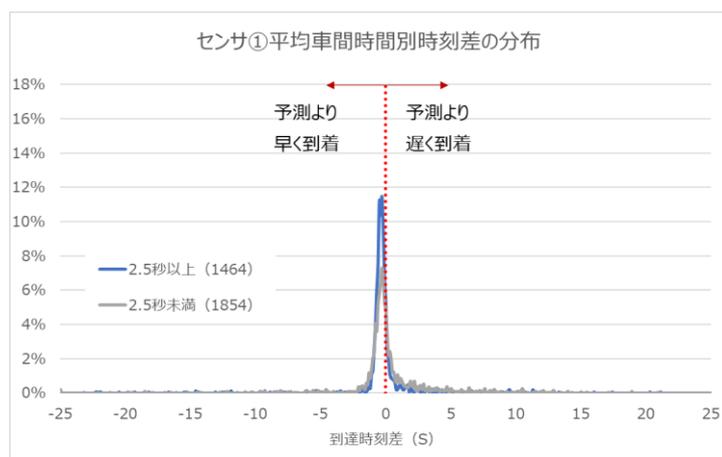


図 4.2-107 $s=2.5$ の場合

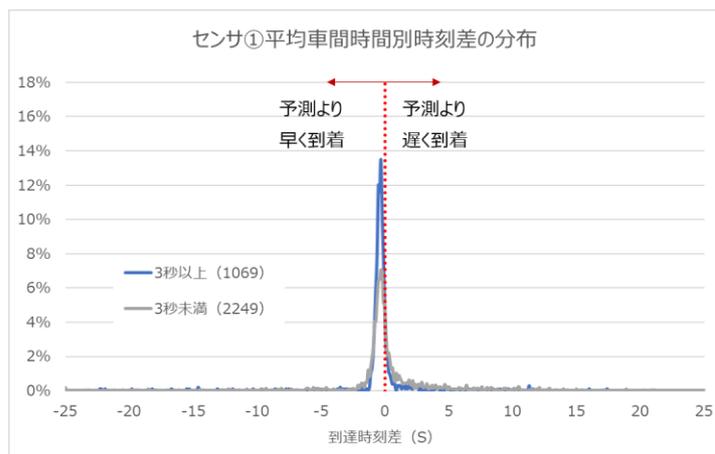


図 4.2-108 $s=3.0$ の場合

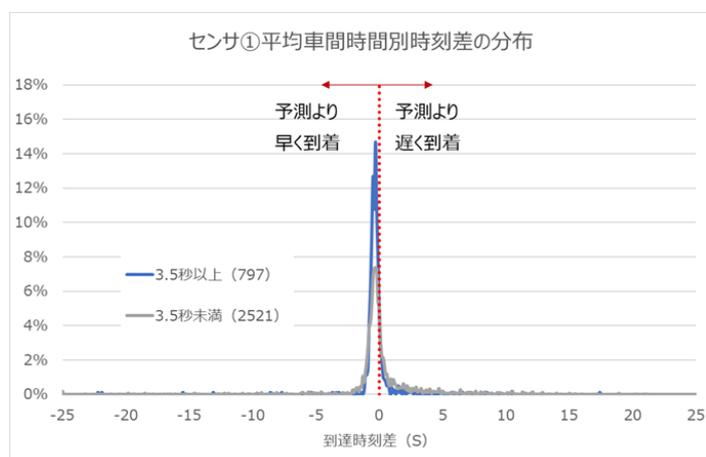


図 4.2-109 $s=3.5$ の場合

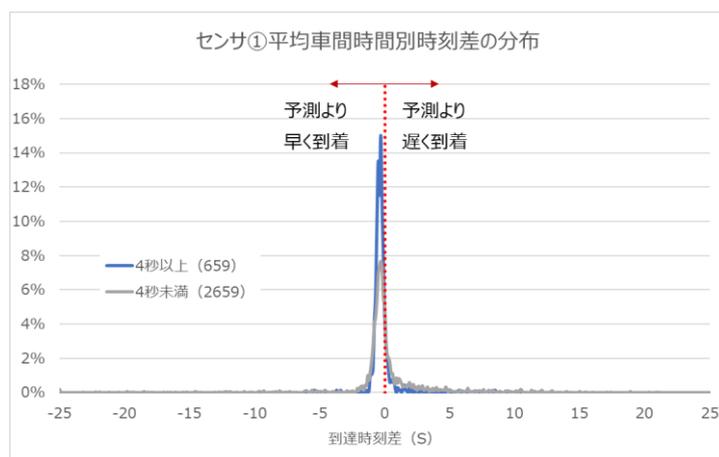


図 4.2-110 $s=4.0$ の場合

$s=1.2, 1.5, 2.0, 2.5$ の時、2 グループに大きな差は見られなかった。 $s=3.0$ の時、3 秒未満のサンプルの分散が、3 秒以上のサンプルに比べ、少し大きい傾向が見られた。また、3 秒以上のサンプルの 90.3%、3 秒未満のサンプルの 69.9% で到達時刻差が ± 1.0 秒以内となった。

3.5 秒以上のサンプルはピーク比率が 14.7% であるのに対し、3.5 秒未満では 7.4% にとどまった。また、3.5 秒以上のサンプルの 92.7%、3.5 秒未満のサンプルの 71.4% で到達時刻差が ± 1.0 秒以内となった。 $s=4.0$ の時、4 秒未満のサンプルの分散が、4 秒以上のサンプルに比べ、大きい傾向が確認できた。また、4 秒以上のサンプルの 94.7%、3 秒未満のサンプルの 72.0% で到達時刻差が ± 1.0 秒以内となった。4 秒以上のサンプルはピーク比率が 15.0% であるのに対し、4 秒未満では 7.7% にとどまった。これらのことから、到達時刻差のばらつきは 3.5 秒周辺で変化すると考えられる。センサ① 平均車間時間 3.5 秒未満・3.5 秒以上でサンプルを比較したヒストグラムを図 4.2-111 に再掲し、サンプルが集中している到達時刻差 ± 2.5 秒以内の範囲のみを表示したヒストグラムを図 4.2-112 に示す。

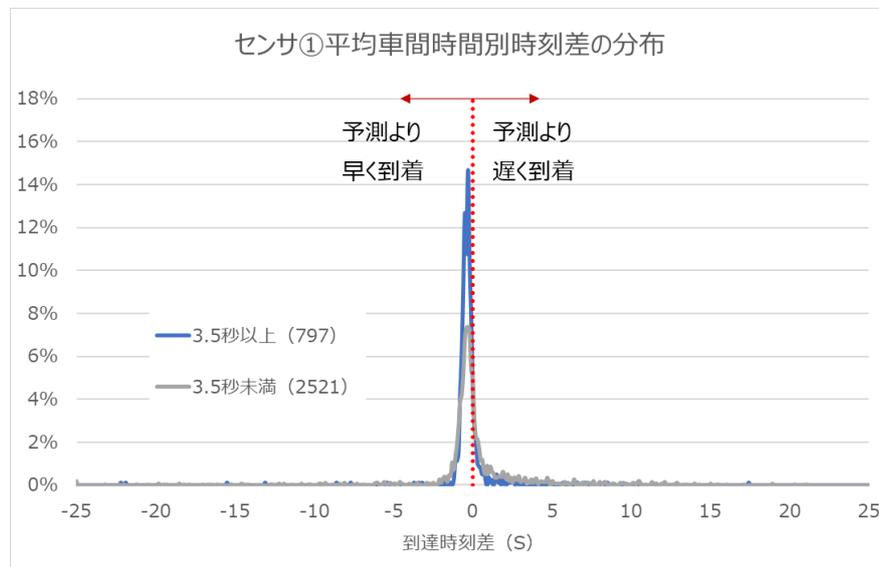


図 4.2-111 到達時刻差の分布① ($s=3.5$)

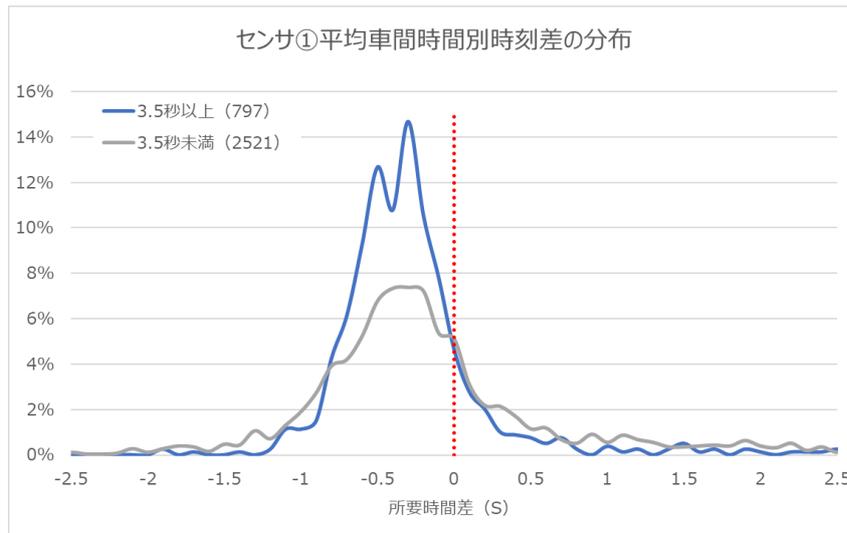


図 4.2-112 到達時刻差の分布② ($s=3.5$)

センサ①の 10 秒間平均車間時間別にサンプル数を整理したグラフを図 4.2-113 に示す。センサ①の 10 秒間平均車間時間が 3.5 秒以上となる車両は、本線が順調で通行車両が少ないタイミングを走行している可能性が高い。したがって、到達計算時刻の乖離が少ない可能性を判断する指標として、合流車に通知することが有効と考えられる。

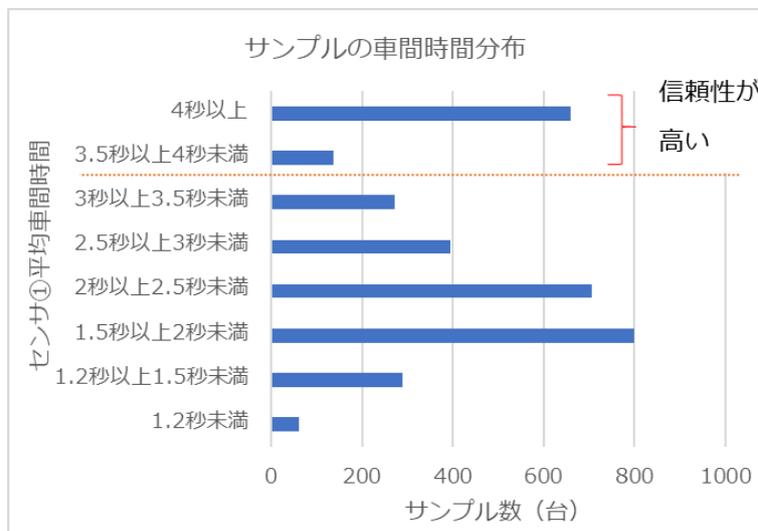


図 4.2-113 センサ①の 10 秒間平均車間時間の分布

c. センサ①通過時の車間時間別

センサ①での車間が狭い時、センサ部と合流部の間で速度が変化し、到達計算時刻と実到着時刻に差が生じる可能性がある。そこで、実験用車載器が出力する情報のうち、到達計算時刻情報の前方車両との車間時間を用いて、センサ①通過時の車間時間が t 秒以上と t 秒未満の2グループに分け、到達時刻差を分析した。

$t=1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0$ の場合について分析した結果を表 4.2-36 に、それぞれのヒストグラムを図 4.2-114～図 4.2-120 に示す。

表 4.2-36 分析に用いる基準 ($t=1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0$ の場合)

	1.0秒 以上	1.0秒 未満	1.5秒 以上	1.5秒 未満	2.0秒 以上	2.0秒 未満	2.5秒 以上	2.5秒 未満	3.0秒 以上	3.0秒 未満	3.5秒 以上	3.5秒 未満	4.0秒 以上	4.0秒 未満
データ数	2982	336	2236	1082	1540	1778	1095	2223	816	2502	644	2674	527	2791
平均差異	0.0	0.3	-0.1	0.2	-0.2	0.2	-0.2	0.1	-0.2	0.1	-0.2	0.1	-0.2	0.1
中央値	-0.3	-0.2	-0.3	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3
最大差異(正)	21.1	15.0	21.1	18.9	21.1	20.9	18.9	21.1	17.4	21.1	17.4	21.1	17.4	21.1
最大差異(負)	-27.5	-4.8	-27.5	-25.0	-27.5	-25.8	-27.5	-26.6	-26.3	-27.5	-22.3	-27.5	-21.9	-27.5
差異正%	0.3	0.4	0.3	0.4	0.2	0.3	0.2	0.3	0.2	0.3	0.2	0.3	0.2	0.3
分散	12.1	4.7	12.7	8.7	11.9	10.8	10.6	11.7	8.7	12.2	6.2	12.6	4.9	12.6
階級別ピーク	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3
ピーク階級比率	9.3%	8.0%	10.0%	7.4%	10.8%	7.6%	12.6%	7.4%	13.6%	7.7%	14.6%	7.8%	15.4%	8.0%
誤差±1.0比率	76.4%	77.1%	77.3%	74.9%	79.4%	74.0%	83.4%	73.1%	85.8%	73.5%	89.3%	73.4%	91.1%	73.7%

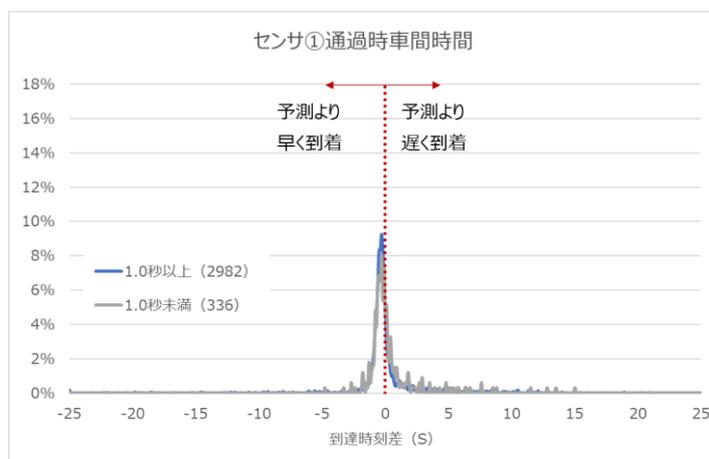


図 4.2-114 $t=1.0$ の場合

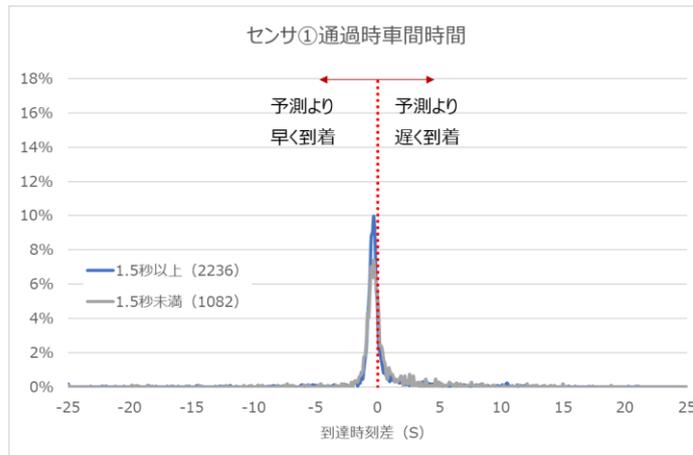


図 4.2-115 $t=1.5$ の場合

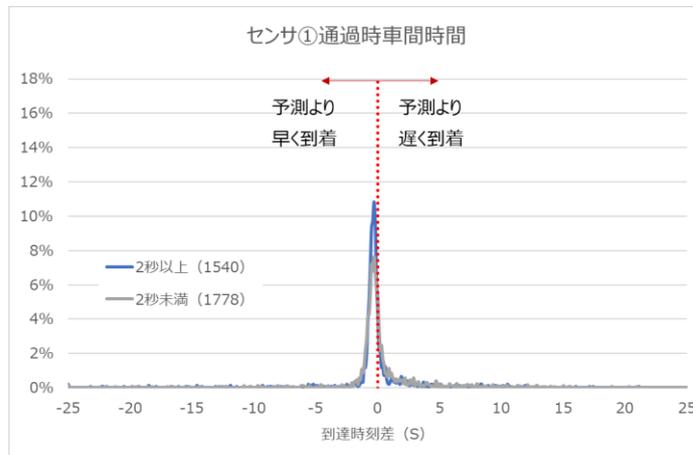


図 4.2-116 $t=2.0$ の場合

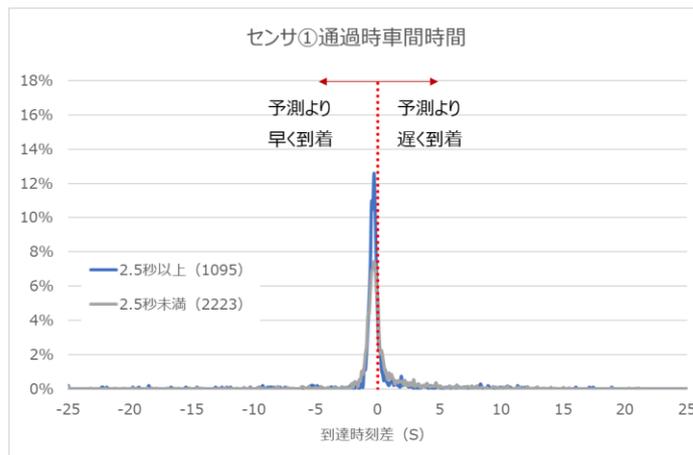


図 4.2-117 $t=2.5$ の場合

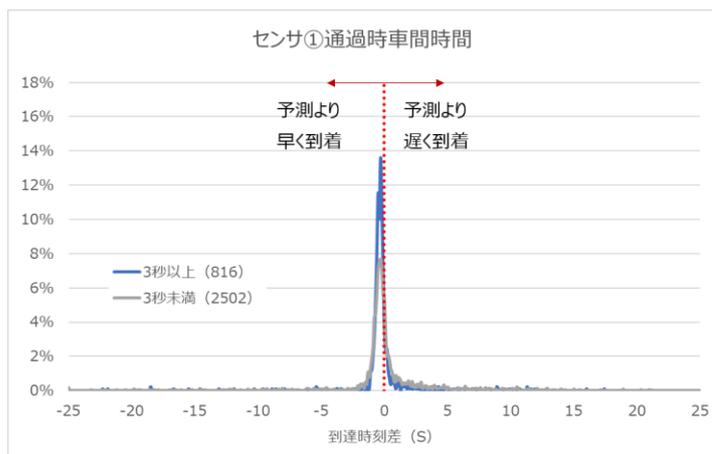


図 4.2-118 $t=3.0$ の場合

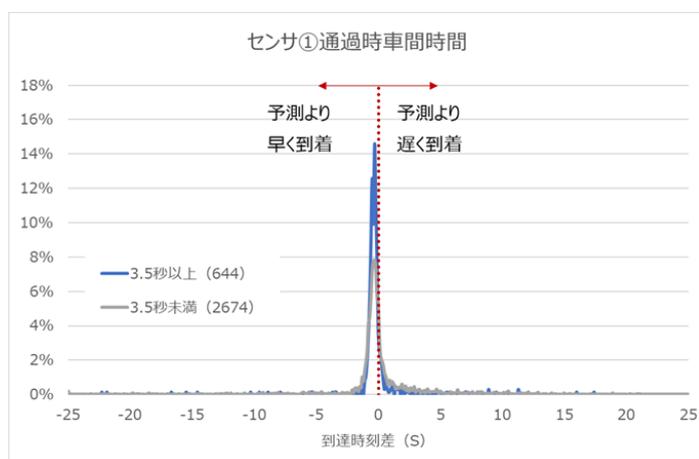


図 4.2-119 $t=3.5$ の場合

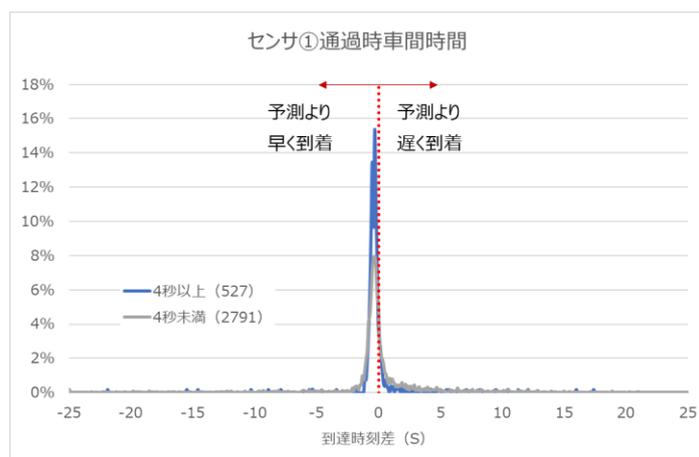


図 4.2-120 $t=4.0$ の場合

$t=1.2, 1.5, 2.0, 2.5$ の時、2 グループの分散の差はみられないが、 t 秒以上のサンプルの方が、ピーク比率が高い傾向が確認できた。

$t=3.0$ の時、3 秒未満のサンプルの分散が、3 秒以上のサンプルに比べ、少し大きい傾向がある。また、3 秒以上のサンプルの 85.8%、3 秒未満のサンプルの 73.5% で到達時刻差が ± 1.0 秒以内となった。

$t=3.5$ の時、階級別のピークはいずれも予測より 0.3 秒早く到着する階級だが、3.5 秒以上のサンプルはピーク比率が 14.6% であるのに対し、3.5 秒未満では 7.8% にとどまった。また、3.5 秒以上のサンプルの 89.3%、3.5 秒未満のサンプルの 73.4% で到達時刻差が ± 1.0 秒以内となった。

$t=4.0$ の時、4 秒未満のサンプルの分散が、4 秒以上のサンプルに比べ、少し大きい傾向が見られた。また、4 秒以上のサンプルの 91.1%、3 秒未満のサンプルの 73.7% で到達時刻差が ± 1.0 秒以内となった。4 秒以上のサンプルはピーク比率が 15.4% であるのに対し、4 秒未満では 8.0% にとどまった。これらのことから、10 秒間平均車間時間と同様に、到達時刻差のばらつきは 3.5 秒周辺で変化すると考えられる。センサ①通過時車間時間 3.5 秒未満・3.5 秒以上でサンプルを比較したヒストグラムを図 4.2-121 に再掲し、サンプルが集中している到達時刻差 ± 2.5 秒以内の範囲のみを表示したヒストグラムを図 4.2-122 図 4.2-112 に示す。

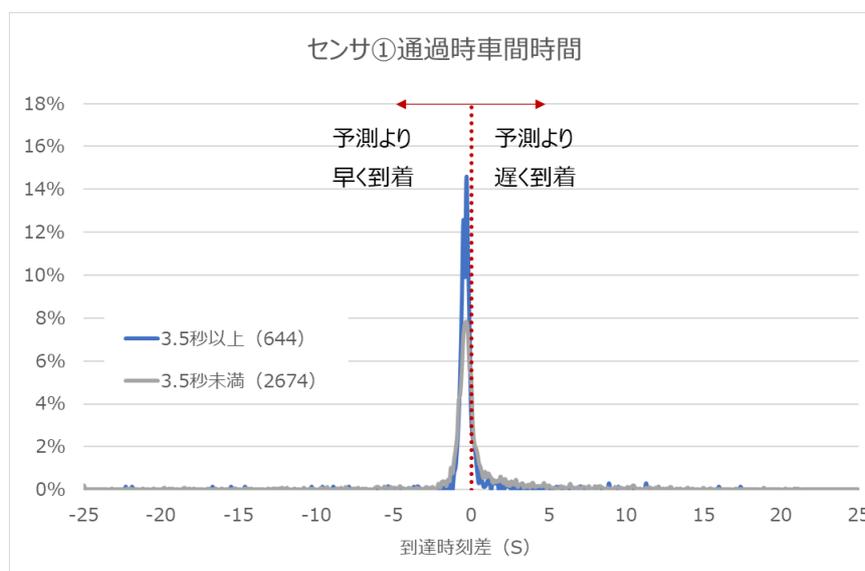


図 4.2-121 到達時刻差の分布① ($t=3.5$)

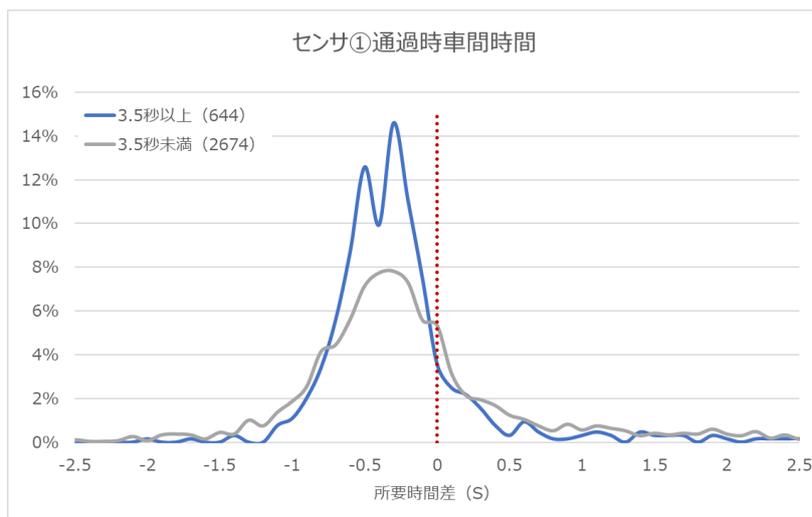


図 4.2-122 到達時刻差の分布② ($t=3.5$)

センサ①通過時の車間時間別にサンプル数を整理したグラフを図4.2-123に示す。センサ①の10秒間平均車間時間と同様、通過時車間時間が3.5秒以上となる車両は、本線が順調で通行車両が少ないタイミングを走行している可能性が高い。したがって、到達計算時刻の乖離が小さい可能性を判断する指標として、合流車に通知することが有効と考えられる。

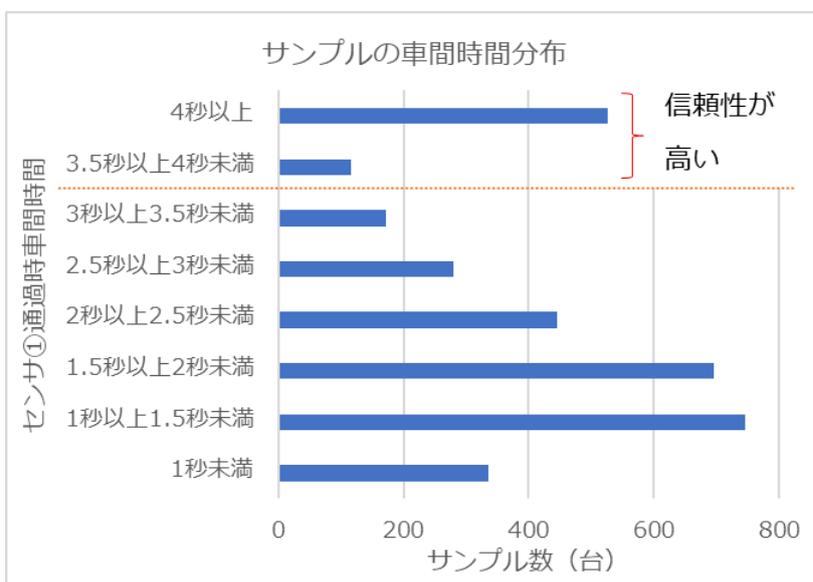


図 4.2-123 センサ①の前方車両との車間時間の分布

d. センサ①の10秒間交通量別

センサ①の交通量が多い時、センサ部と合流部の間で速度が変化し、到達計算時刻と実到着時刻に差が生じる可能性がある。そこで、実験用車載器が出力する情報のうち、交通概況情報のセンサ①交通量を用いて、センサ①の10秒間の交通量が n 台以下と $n+1$ 台以上の2グループに分け、到達時刻差を分析した。

$n=2, 3, 4, 5$ の場合について分析した結果、大きな傾向の差はないことを確認した。到達時刻差の分析に用いた基準を表 4.2-37 に示し、ヒストグラムを図 4.2-124～図 4.2-127 に示す。

表 4.2-37 分析に用いる基準 ($n=2, 3, 4, 5$ の場合)

	2台 以下	3台 以上	3台 以下	4台 以上	4台 以下	5台 以上	5台 以下	6台 以上
データ数	520	2797	1261	2056	2215	1102	2961	356
平均差異	-0.9	0.2	-0.5	0.3	-0.2	0.4	0.0	0.2
中央値	-0.4	-0.3	-0.3	-0.2	-0.3	-0.2	-0.3	-0.2
最大差異(正)	17.4	21.1	21.1	20.9	21.1	15.5	21.1	7.9
最大差異(負)	-26.6	-27.5	-27.5	-21.2	-27.5	-4.6	-27.5	-2.7
差異正%	0.2	0.3	0.2	0.3	0.3	0.4	0.3	0.4
分散	15.9	10.4	18.3	6.9	14.6	4.8	12.5	1.9
階級別ピーク	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	-0.3	-0.3
ピーク階級比率	14.0%	8.2%	11.3%	7.8%	9.9%	7.9%	9.1%	9.3%
誤差±1.0比率	86.3%	74.7%	77.6%	75.8%	75.8%	77.9%	76.2%	79.2%

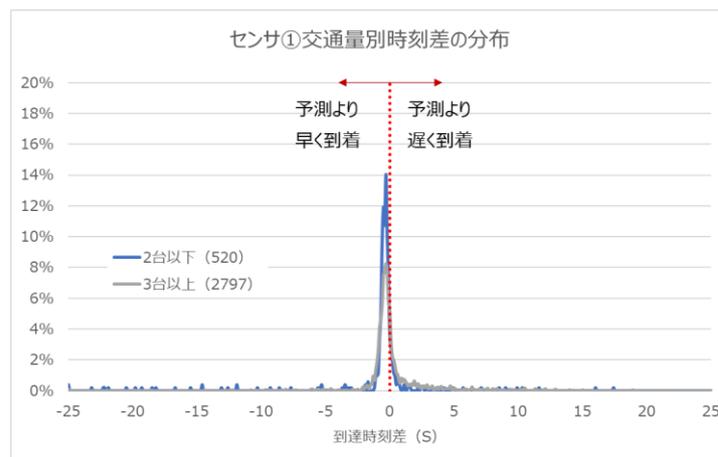


図 4.2-124 $n=2$ の場合

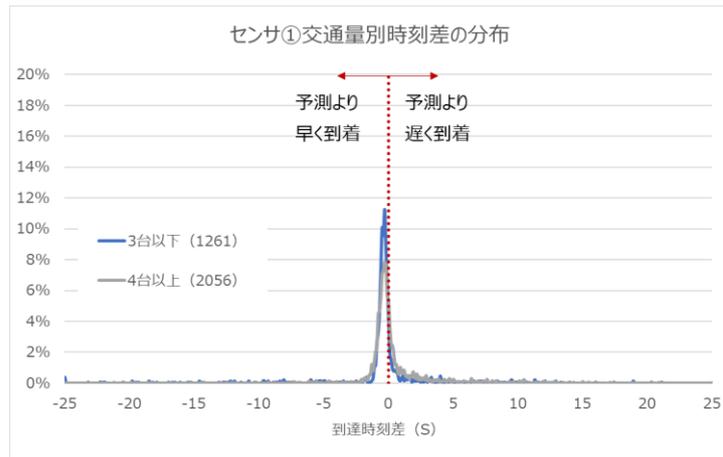


図 4.2-125 $n=3$ の場合

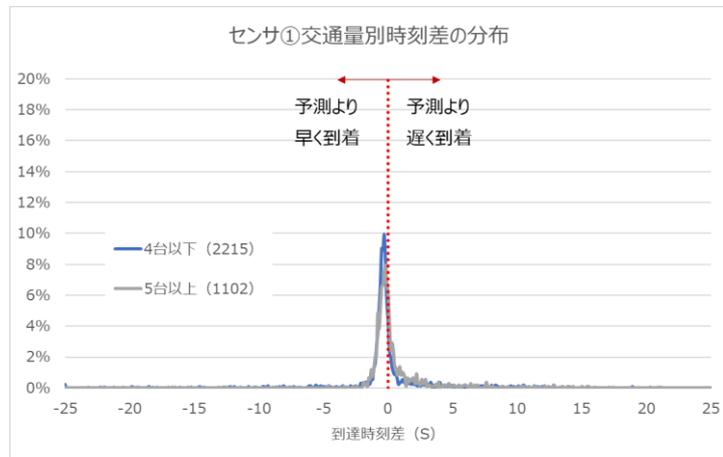


図 4.2-126 $n=4$ の場合

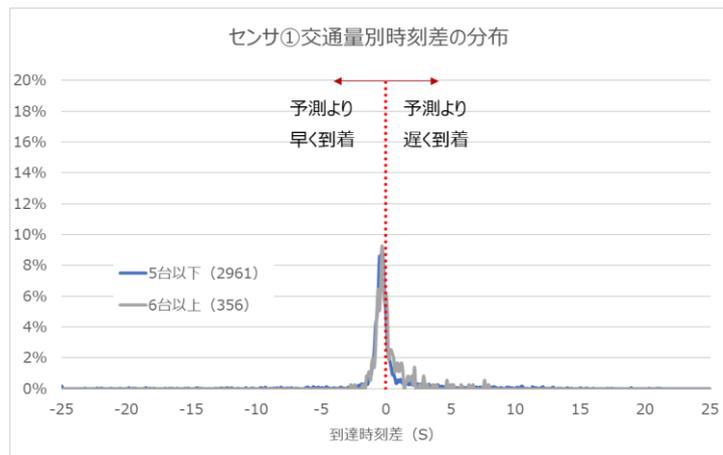


図 4.2-127 $n=5$ の場合

2) ラップタイム計測情報による考察

ラップタイム計測で記録した情報を用い、合流到達計算時刻の乖離に影響を与える可能性がある事項として、表 4.2-38 に示す指標別に、合流到達計算時刻と実際の到達時刻の差異を分析した。

表 4.2-38 ラップタイム計測指標別の用いたデータと結果

No.	分析の指標	データ	結果
a	車種別	ラップタイム 計測情報	差異なし
b	前方車種別		差異なし
c	車種と前方車種の組合せ別		差異なし
d	本線合流部での合流車視認有無		差異なし
e	前方車との速度差別		差異なし

a. 車種別

車種による、操作性・視野の違いにより、センサ部と合流部の間で速度が変化し、到達時刻差に差異が生じる可能性がある。そこで、ラップタイム計測による、車種情報を用いて、車種別に到達時刻差を分析した。車種が二輪車の場合のデータは除外している。到達時刻差の分析に用いた基準は表 4.2-39 に示し、ヒストグラムを図 4.2-128 に示す。車種が普通車の場合の 76.5%、大型車の場合の 76.6% で到達時刻差が±1.0 秒以内となり、階級別のピーク周辺の傾向、分散の傾向とも大きな差が見られず、大きな傾向の差はないことを確認した。

表 4.2-39 分析に用いる基準（車種別）

	普通車	大型車
データ数	1928	1376
平均差異	-0.1	0.1
中央値	-0.3	-0.3
最大差異(正)	20.9	21.1
最大差異(負)	-27.5	-26.6
差異正%	0.3	0.3
分散	11.6	10.9
階級別ピーク	-0.3	-0.4
ピーク階級比率	9.3%	9.3%
誤差±1.0比率	76.5%	76.6%

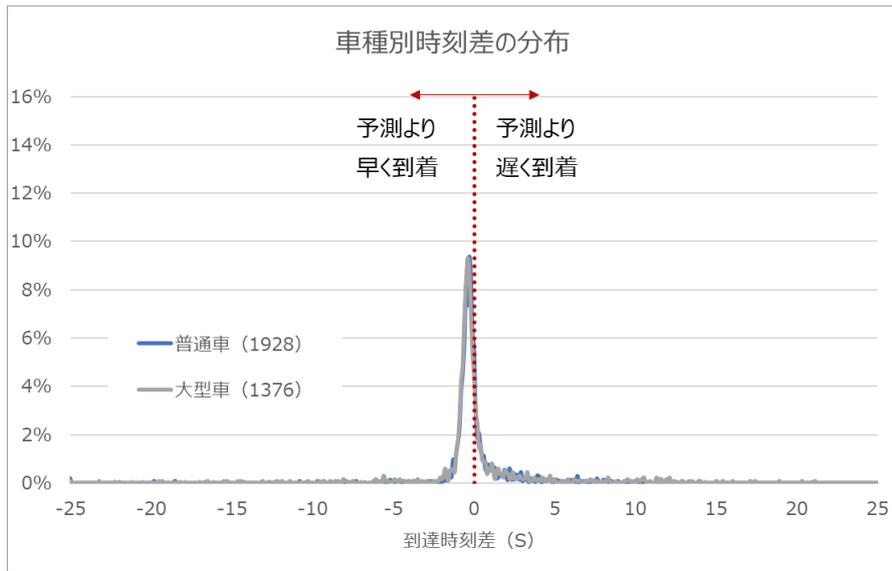


図 4.2-128 到達時刻差の分布

b. 前方車種別

前方車種が大型車の場合、運転手の視野が狭くなり、センサ部と合流部の間で速度が変化することで、到達計算時刻と実到着時刻に差が生じる可能性がある。そこで、ラップタイム計測による、車種情報を用いて、車種別に到達時刻差を分析した。車種が二輪車の場合のデータは除外している。到達時刻差の分析に用いた基準は表 4.2-40 に示し、ヒストグラムを図 4.2-129 に示す。前方車種が普通車の場合の 76.4%、大型車の場合の 76.7% で到達時刻差が±1.0 秒以内となり、階級別のピーク周辺の傾向、分散の傾向とも大きな差が見られず、大きな傾向の差はないことを確認した。

表 4.2-40 分析に用いる基準（前方車種別）

	普通車	大型車
データ数	1950	1357
平均差異	-0.1	0.1
中央値	-0.3	-0.3
最大差異(正)	18.9	21.1
最大差異(負)	-27.5	-25.8
差異正%	0.3	0.3
分散	11.7	10.8
階級別ピーク	-0.3	-0.3
ピーク階級比率	9.1%	9.1%
誤差±1.0比率	76.4%	76.7%

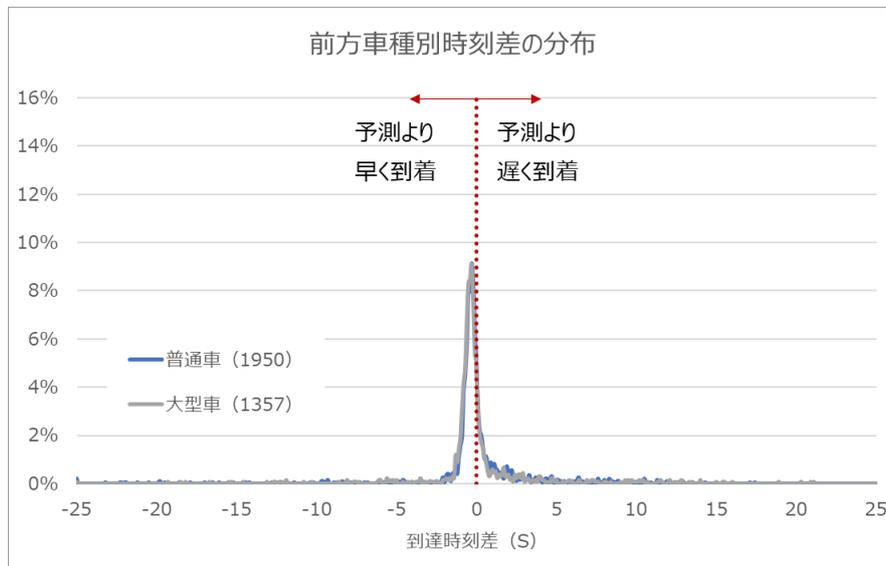


図 4.2-129 到達時刻差の分布（前方車種別）

c. 車種と前方車種の組合せ別

前方車種が大型車の場合、特に普通車の運転手の視野が狭くなり、センサ部と合流部の間で速度が変化することで、到達計算時刻と実到着時刻に差が生じる可能性がある。そこで、ラップタイム計測による、車種情報を用いて、車種と前方車両の車種の組み合わせ別に到達時刻差を分析した。車種または前方車種が二輪車の場合のデータは除外している。到達時刻差の分析に用いた基準は表 4.2-41 に示し、ヒストグラムを図 4.2-130 に示す。車種、前方車種ともに普通車の場合の 75.8%、車種、前方車種ともに大型車の場合の 75.8%、車種が普通車で前方車種が大型車の場合の 77.6%、車種が大型車で前方車種が普通車の場合の 77.3%で到達時刻差が±1.0 秒以内となった。階級別のピーク周辺の傾向、分散の傾向とも大きな差が見られず、大きな傾向の差はないことを確認した。

表 4.2-41 分析に用いる基準（車種と前方車種の組合せ別）

	普通車: 前方普通車	普通車: 前方大型車	大型車: 前方普通車	大型車: 前方大型車
データ数	1189	732	752	620
平均差異	-0.2	0.0	0.1	0.2
中央値	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3
最大差異(正)	14.3	20.9	18.9	21.1
最大差異(負)	-27.5	-25.8	-26.6	-19.3
差異正%	0.3	0.3	0.3	0.3
分散	12.3	10.5	10.9	10.6
階級別ピーク	-0.3	-0.2	-0.4	-0.3
ピーク階級比率	9.8%	8.6%	10.1%	9.7%
誤差±1.0比率	75.8%	77.6%	77.3%	75.8%

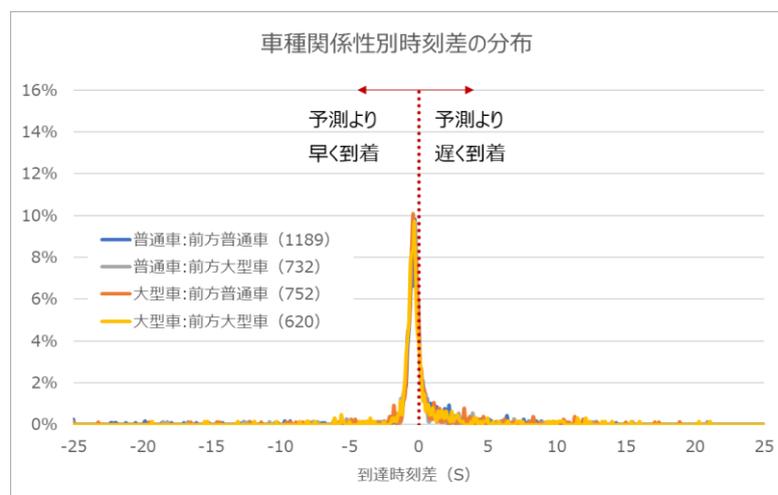


図 4.2-130 到達時刻差の分布（車種と前方車種の組合せ別）

d. 本線合流部での合流車視認有無

本線合流部で合流車を視認している場合、運転手が合流部手前で速度を落とし、到達計算時刻と実到着時刻に差が生じる可能性がある。そこで、ラップタイム計測による、本線合流部での合流車視認情報を用いて、合流車視認有無別に到達時刻差を分析した。到達時刻差の分析に用いた基準は表 4.2-42 に示し、ヒストグラムを図 4.2-131 に示す。合流車視認無しの場合の 79.6%、合流車視認有りの場合の 67.7% で到達時刻差が ±1.0 秒以内となった。階級別のピークの比率や分散から、合流車ありのサンプルの方が、合流到達計算時刻の乖離が生じる傾向はみられるものの、到達時刻差に影響を及ぼすことが確認された他指標に比べると、合流車視認有無による到達時刻差は小さい。

表 4.2-42 分析に用いる基準（合流車視認有無別）

	無し	有り
データ数	2461	857
平均差異	0.0	0.0
中央値	-0.3	-0.1
最大差異(正)	21.1	20.9
最大差異(負)	-27.5	-22.2
差異正%	0.3	0.4
分散	9.5	16.8
階級別ピーク	-0.3	-0.3
ピーク階級比率	10.0%	6.7%
誤差 ±1.0 比率	79.6%	67.7%

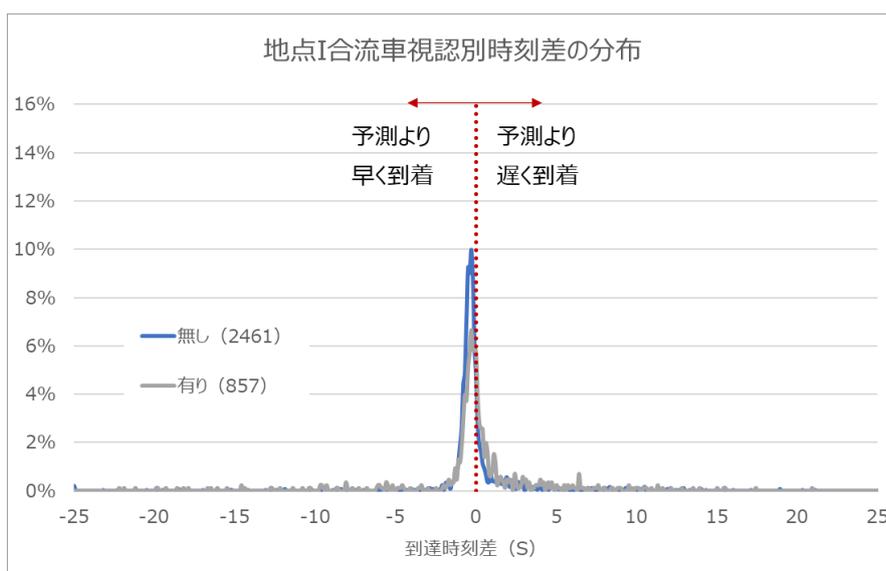


図 4.2-131 到達時刻差の分布（合流車視認有無別）

e. 前方車との速度差別

前方車との速度差がある場合、センサ部と合流部の間で速度が変化する（前方車より速度が速い場合、車間を詰めすぎて減速する、または、前方車より速度が遅い場合、車間が開いたことにより加速する）と推測され、到達計算時刻と実到着時刻に差が生じる可能性がある。そこで、ラップタイム計測による、車両の速度情報を用いて、前方車両との速度差別に速度差が z km/h 以上速い、 z km/h 以上遅い、速度差 z km/h 未満の 3 グループに分け、到達時刻差を分析した。

$z=1$, $z=2$, $z=3$, $z=4$ の場合について分析した結果、大きな傾向の差はないことを確認した。到達時刻差の分析に用いた基準を表 4.2-43 に示し、ヒストグラムを図 4.2-132～図 4.2-135 に示す。

表 4.2-43 分析に用いる基準（ $z=1\sim z=4$ の場合）

	1km/h 以上速い	1km/h 以上遅い	1km/h 未満	2km/h 以上速い	2km/h 以上遅い	2km/h 未満	3km/h 以上速い	3km/h 以上遅い	3km/h 未満	4km/h 以上速い	4km/h 以上遅い	4km/h 未満
データ数	1007	1405	906	736	1140	1442	533	924	1861	388	773	2157
平均差異	-0.3	0.5	-0.4	-0.5	0.7	-0.3	-0.7	0.9	-0.2	-1.0	1.2	-0.2
中央値	-0.2	-0.4	-0.4	-0.1	-0.3	-0.4	-0.1	-0.3	-0.4	-0.1	-0.2	-0.3
最大差異(正)	12.9	21.1	18.9	12.1	21.1	18.9	10.6	21.1	18.9	10.6	21.1	18.9
最大差異(負)	-26.6	-27.5	-25.0	-26.6	-26.3	-27.5	-26.6	-26.3	-27.5	-26.6	-26.3	-27.5
差異正%	0.3	0.3	0.2	0.4	0.3	0.2	0.4	0.4	0.2	0.4	0.4	0.3
分散	11.1	11.4	11.0	13.0	11.1	10.1	16.0	12.6	8.8	20.3	14.1	8.1
階級別ピーク	-0.3	-0.5	-0.4	-0.3	-0.5	-0.4	-0.2	-0.5	-0.3	-0.2	-0.5	-0.3
ピーク階級比率	12%	9%	10%	12%	9%	10%	12%	8%	9%	13%	9%	9%
誤差±1.0比率	81.1%	72.6%	77.4%	81.8%	72.1%	77.3%	81.8%	70.3%	78.0%	80.9%	68.8%	78.4%

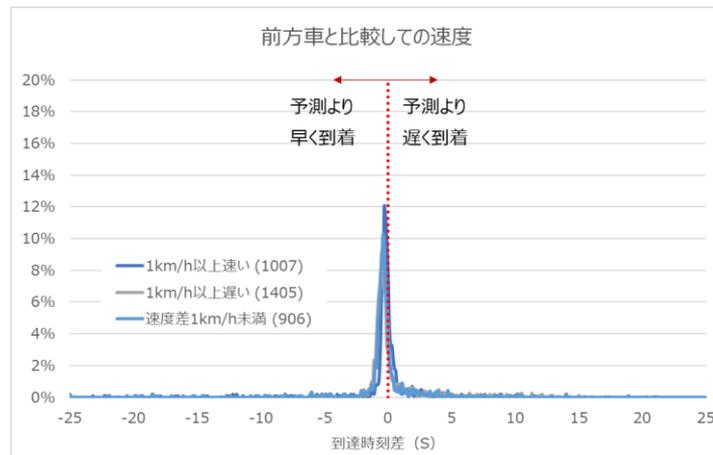


図 4.2-132 $z=1$ の場合

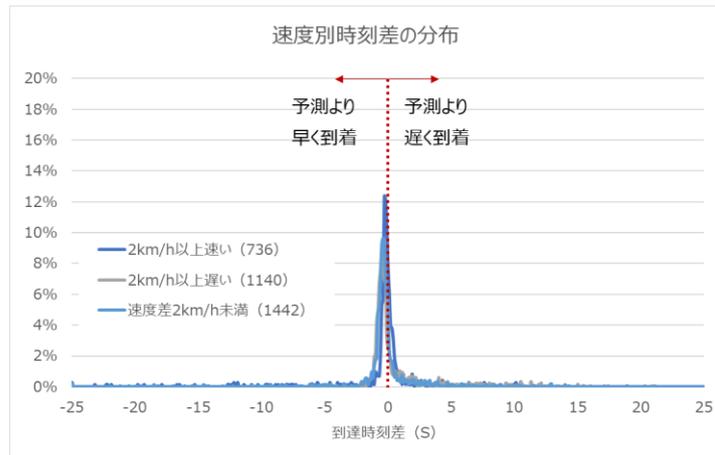


図 4.2-133 $z=2$ の場合

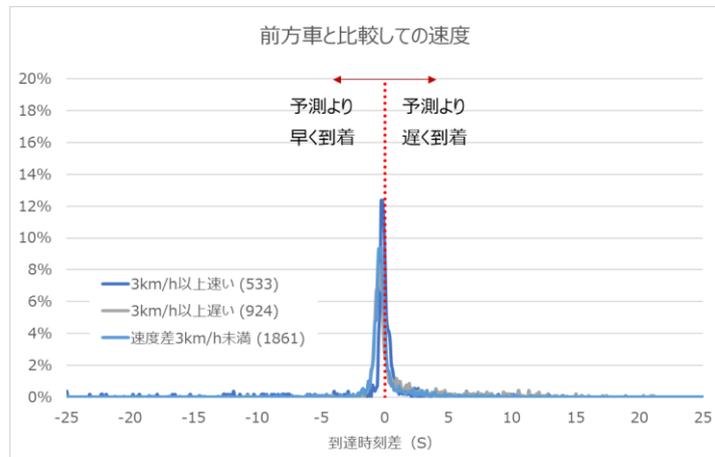


図 4.2-134 $z=3$ の場合

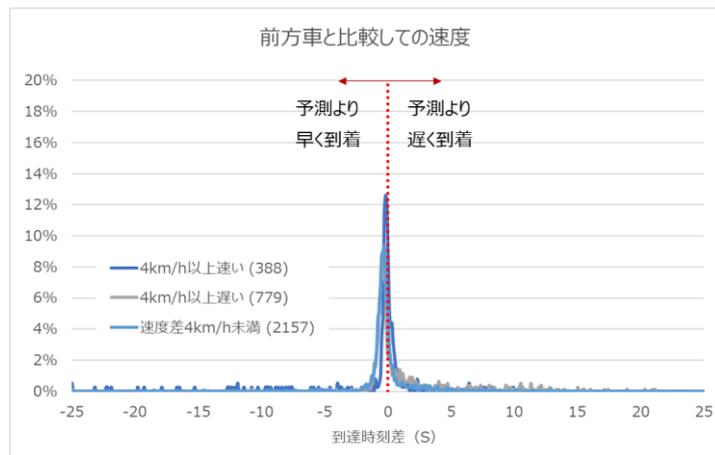


図 4.2-135 $z=4$ の場合

3) 参考評価：本線センサ部・本線合流部の状態による考察

a. 本線センサ部 10 秒間平均速度と本線合流部 10 秒間平均速度および交通状態

合流到達計算時刻と実際の到達時刻の差異に影響を与える可能性が高いことが確認された指標のうち、本線センサ部（センサ①）の 10 秒間平均速度、本線合流部（センサ②）の 10 秒間平均速度、本線合流部交通状態に注目し、分析を行った。

まず、本線センサ部での平均車速と本線合流部での平均車速に違いがある場合と無い場合で、到達計算時刻の差の傾向に違いがあると想定し、比較分析を実施した。

本線合流部の平均車速は、0km/h から 10km/h ずつで区切った階級値であることから、本線センサ部の平均車速も階級値に変換し、階級値での比較を実施した。階級値が同じとき平均速度同等とみなし、本線合流部の方が速い場合、本線センサ部と本線合流部で同等、本線合流部の方が速い場合について、時刻差が±1.0 秒以内となるサンプルの比率を比較した。結果を図 4.2-136 に示す。

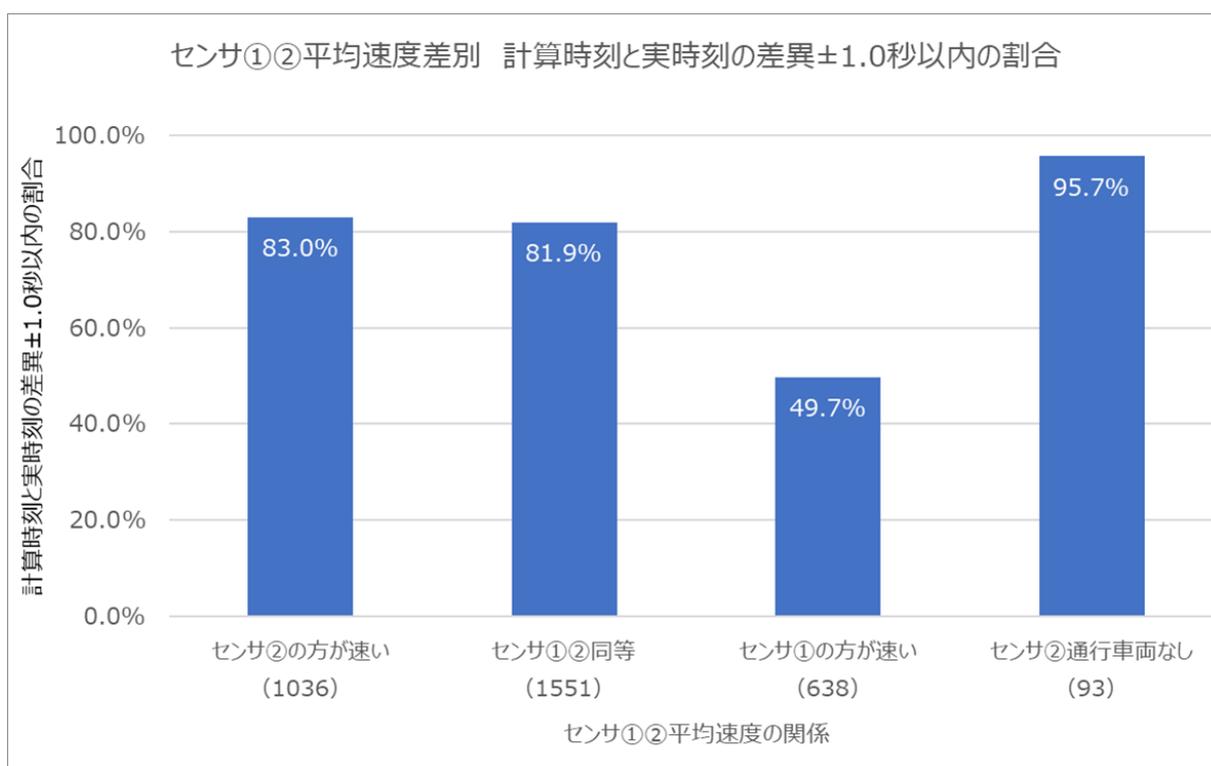


図 4.2-136 本線センサ部・本線合流部の速度差有無と時刻差±1.0 秒以内比率

※階級値が同じとき平均速度同等とみなす

例) 本線センサ部：55km/h かつ 本線合流部：50km/h 以上 60km/h 未満

本線センサ部平均速度が本線合流部平均速度より速いサンプルは合流端への到達時刻乖離が拡大した。これは、合流部付近が混雑して速度が落ちている場合が該当すると考えられる。このことから、本線センサ部の検知結果単独では合流到達計算時刻の乖離が生じる可能性が示唆されない情報に対して、本線センサ部平均速度と本線合流部平均速度の比較を実施し、本線センサ部平均速度の方が速い場合、到達計算時刻の乖離が生じる可能性を合わせて通知することが自動運転車両の制御や判断の参考になると考えられる。

それぞれのセンサ検知情報単体での分析結果から、いずれのセンサの平均速度も、50km/hを境に傾向が変化することが確かめられた。ここでは、本線センサ部での平均車速と、本線合流部での平均車速の情報で、サンプルを分類して分析した結果を示す。表 4.2-44 のとおり、全 3318 サンプルのうち、本線センサ部によって確認された過去 10 秒間に本線上流部を通過した車両の平均速度が 50km/h 未満のものは 664 サンプルだった。本線合流部によって確認された過去 10 秒間に本線合流部を通過した車両の平均速度が 50km/h 未満のものは 784 サンプルであり、これは本線合流部によって確認された交通状態が混雑・渋滞時のサンプルと一致する。本線センサ部ではすべての車両についてのデータを取得できているが、本線合流部では、93 サンプルが通過車両なしかつ交通状態不明となった。本線センサ部で平均車速が 50km/h 以上であるものの多くでセンサ②でも 50km/h 以上であるが、必ずしも本線センサ部と本線合流部の結果（ここでは 50km/h 以上か未満か）が一致しないことを確認した。

表 4.2-44 サンプルの重複

		センサ①		
		50km/h 以上	50km/h 未満	計
センサ②	50km/h 以上 (交通状態：順調)	2369	72	2441
	50km/h 未満 (交通状態：混雑・渋滞)	193	591	784
	通過車両なし (交通状態：不明)	92	1	93
	計	2654	664	3318

センサ①とセンサ②の結果の組み合わせ別に、到達時刻差の分析を行う。到達時刻差の分析に用いた基準を表 4.2-45 に示し、ヒストグラムを図 4.2-137 に示す。

センサ①②で 50km/h 以上の 2369 サンプルはほぼ乖離がゼロ付近に集中し、センサ①②で 50 km/h 未満の 591 サンプルは分散が著しく大きい。これはここまでの分析の結果と一致する。センサ①50km/h 以上かつセンサ②50km/h 未満の 193 サンプルの分散は大きく、サンプルの 43.0%で到達時刻差が±1.0 秒以内となり、センサ①50km/h 未満かつセンサ②50km/h 以上の

72 サンプルの分散は小さく、サンプルの 63.9% で到達時刻差が ±1.0 秒以内となった。合流部の混雑は、センサ部の混雑に比べ、合流到達計算時刻の乖離に影響が大きいことを確認した。

表 4.2-45 分析に用いる基準（センサ①平均速度②平均速度）

	①50km/h以上 ②50km/h以上	①50km/h未満 ②50km/h未満	①50km/h以上 ②50km/h未満	①50km/h未満 ②50km/h以上
データ数	2369	591	193	72
平均差異	-0.3	0.7	2.1	-0.6
中央値	-0.3	1.3	1.4	-0.8
最大差異(正)	4.7	21.1	12.4	2.8
最大差異(負)	-2.0	-27.5	-1.2	-2.9
差異正%	0.2	0.6	0.9	0.2
分散	0.3	58.4	6.1	0.9
階級別ピーク	-0.3	1.9	0.3	-0.8
ピーク階級比率	12.0%	1.7%	5.2%	9.7%
誤差±1.0比率	94.2%	15.1%	43.0%	63.9%

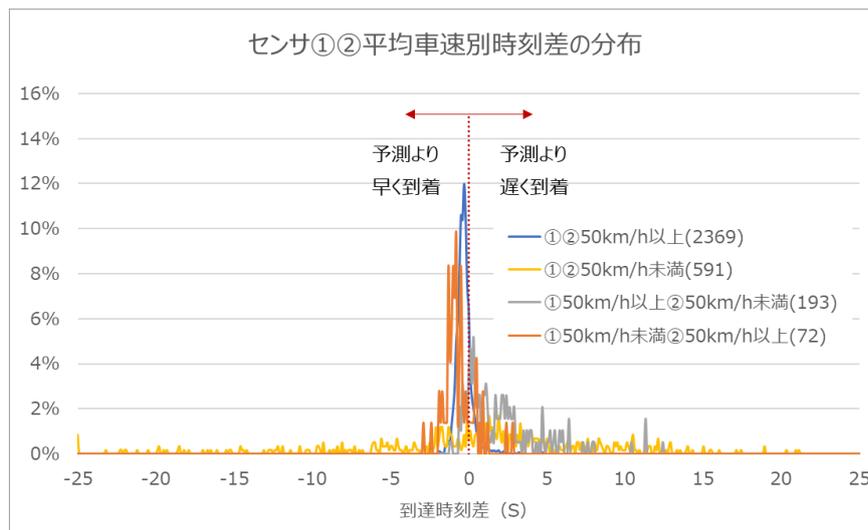


図 4.2-137 到達時刻差の分布（センサ①②平均車速組み合わせ別）

b. センサ① 10 秒間平均速度および平均車間時間と、センサ② 10 秒間平均速度

合流到達計算時刻と実際の到達時刻の差異に影響を与える可能性が高いことが確認された指標のうち、センサ①の 10 秒間平均速度、センサ②の 10 秒間平均速度、センサ①の 10 秒間平均車間時間に注目し、サンプルの重複について分析する。

表 4.2-46 のとおり、信頼性が低くないと確認された平均速度 50km/h 以上かつ合流到達計算時刻の乖離が小さいと確認された平均車間時間 3.5 秒以上のサンプルは、割合として少なく、センサ①平均車間時間 3.5 秒未満が全サンプルの半数以上を占めることを確認した。

表 4.2-46 サンプルの重複

		センサ① 平均車間時間	
		3.5 秒以上	3.5 秒未満
センサ① 平均車速	50km/h 以上	755	1899
	50km/h 未満	42	622
センサ② 平均車速	50km/h 以上	643	1798
	50km/h 未満	67	717

まず、センサ①平均車速とセンサ①平均車間時間の結果の組み合わせ別に、到達時刻差の分析を行う。到達時刻差の分析に用いた基準を表 4.2-47 に示し、ヒストグラムを図 4.2-138 に示す。

表 4.2-47 分析に用いる基準（センサ①平均車速①平均車間時間）

	①50km/h以上 ①3.5秒以上	①50km/h未満 ①3.5秒未満	①50km/h以上 ①3.5秒未満	①50km/h未満 ①3.5秒以上
データ数	755	622	1899	42
平均差異	-0.3	0.6	-0.1	-0.7
中央値	-0.3	0.9	-0.3	0.5
最大差異(正)	2.6	21.1	12.4	17.4
最大差異(負)	-1.4	-27.5	-2.0	-22.2
差異正%	0.1	0.6	0.3	0.5
分散	0.2	52.1	1.4	52.3
階級別ピーク	-0.3	-1.3	-0.3	1.5
ピーク階級比率	15.4%	2.1%	9.5%	4.8%
誤差±1.0比率	96.4%	19.9%	88.2%	26.2%

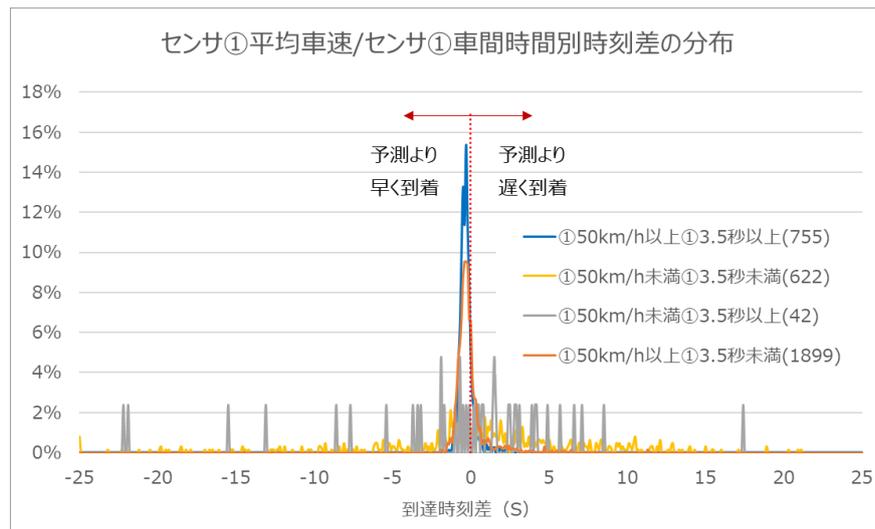


図 4.2-138 到達時刻差の分布（センサ①平均車速①平均車間時間組み合わせ別）

センサ①平均車速 50km/h 以上かつセンサ①平均車間時間 3.5 秒以上の 755 サンプルはほぼ乖離がゼロ付近に集中し、センサ①平均車速 50 km/h 未満かつセンサ①平均車間時間 3.5 秒未満の 622 サンプルは分散が著しく大きい。これはここまでの分析の結果と一致する。センサ①平均車速 50km/h 以上かつセンサ①平均車間時間 3.5 秒未満の 1899 サンプルの分散は小さく、サンプルの 88.2% で到達時刻差が ±1.0 秒以内となり、センサ①平均車速 50km/h 未満かつセンサ①平均車間時間 3.5 秒以上の 42 サンプルの分散は大きく、サンプルの 26.2% で到達時刻差が ±1.0 秒以内となった。センサ部の平均速度は、平均車間時間に比べ、合流到達計算時刻の乖離に影響が大きく、「センサ①平均車速で 50km/h 以上の場合、センサ①平均車間時間が 3.5 秒未満であっても合流到達計算時刻の乖離が小さい、またセンサ①平均車速で 50km/h 未満の場合、センサ①平均車間時間が 3.5 秒以上であっても合流到達計算時刻の乖離が小さいとは言えない」といえる。

センサ①平均車速とセンサ①平均車間時間を合流到達計算時刻の乖離の大きさ別に色分けした全サンプルの散布図を図 4.2-139 に示す。平均車速 50km/h 以上の多くのサンプルが、到達時刻差が±1.0 秒以内となっている。なお、センサ①の車間時間は 12.6 秒以上の場合、12.6 秒と記録される。

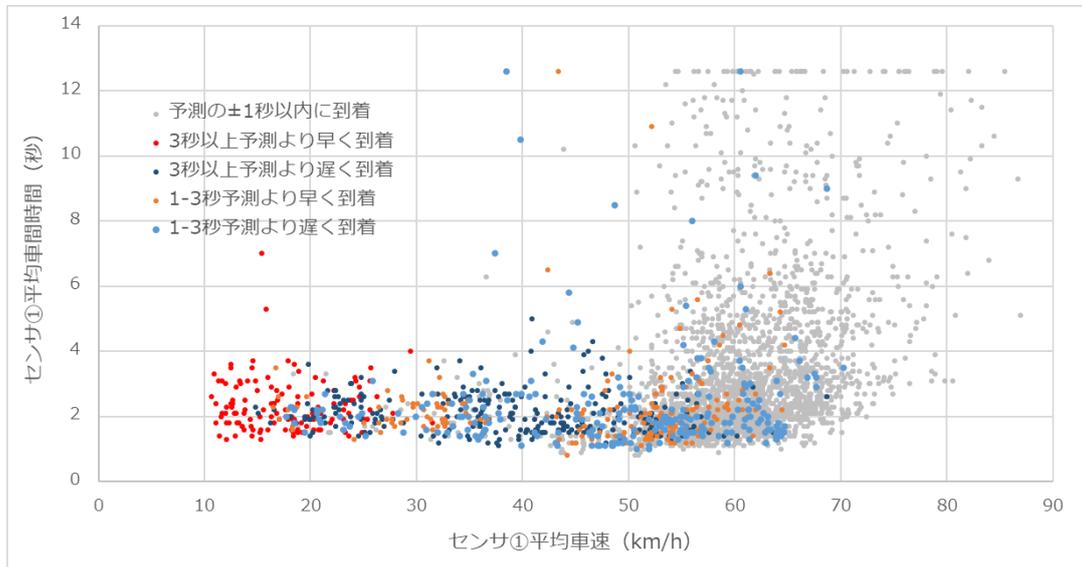


図 4.2-139 全サンプルの散布図（センサ①平均車速とセンサ①平均車間時間）

図 4.2-140 に予測より遅く到着したサンプルの散布図を示す。3 秒以上予測より遅くなったほとんどのサンプルの平均車間時間が短く 3.5 秒未満だが、1-3 秒予測より遅くなったサンプルには平均車間時間が長いものもある。

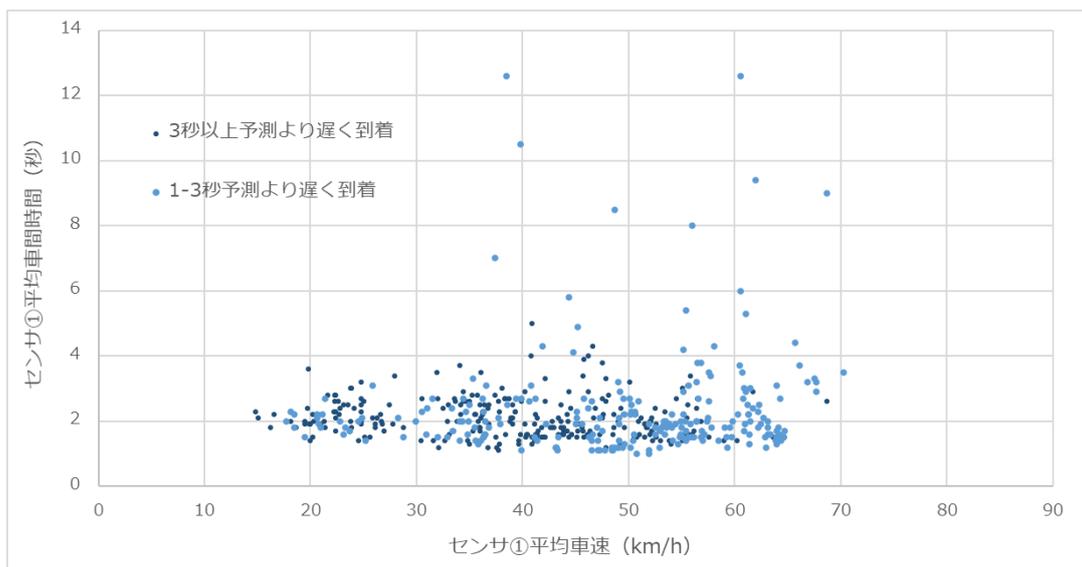


図 4.2-140 予測より遅いサンプルの散布図（センサ①平均車速とセンサ①平均車間時間）

図 4.2-141 に予測より早く到着したサンプルの散布図を示す。3 秒以上予測より早く到着したサンプルのほとんどの平均車間時間が 4 秒未満かつ平均車速が 30km/h 以下となっており、1-3 秒予測より早く到着したサンプルには、平均車間時間が短い平均車速が 50km/h 以上のものがある。

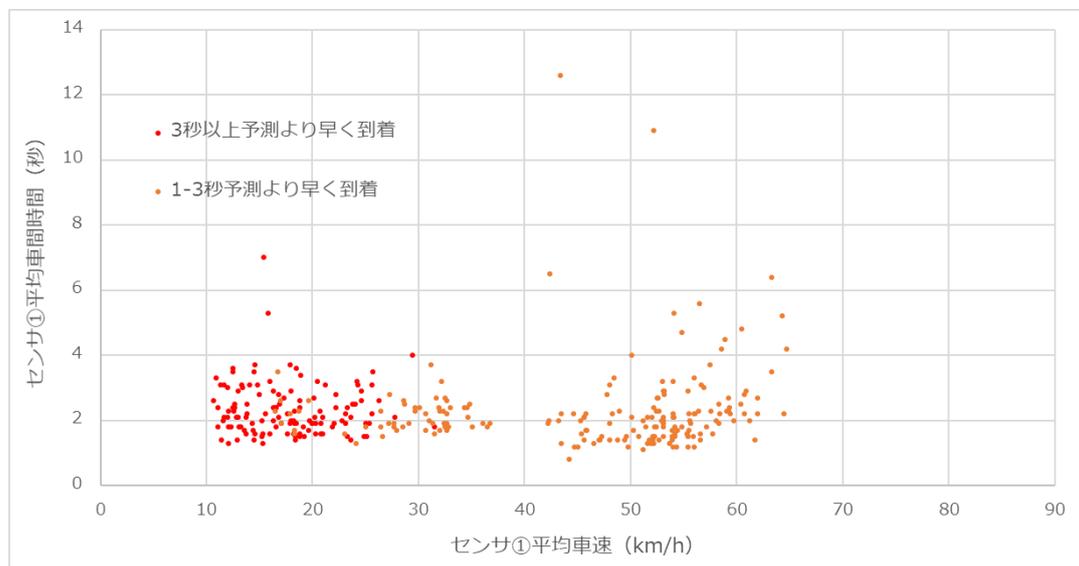


図 4.2-141 予測より早いサンプルの散布図（センサ①平均車速とセンサ①平均車間時間）

次に、センサ②平均車速とセンサ①平均車間時間の結果の組み合わせ別に、到達時刻差の分析を行う。到達時刻差の分析に用いた基準を表 4.2-48 に示し、ヒストグラムを図 4.2-142 に示す。

表 4.2-48 分析に用いる基準（センサ②平均車速①平均車間時間）

	②50km/h以上 ①3.5秒以上	②50km/h未満 ①3.5秒未満	②50km/h以上 ①3.5秒未満	②50km/h未満 ①3.5秒以上
データ数	643	717	1798	67
平均差異	-0.4	1.1	-0.3	-0.1
中央値	-0.4	1.4	-0.3	0.5
最大差異(正)	2.0	21.1	4.7	17.4
最大差異(負)	-1.9	-27.5	-2.9	-22.2
差異正%	0.1	0.7	0.2	0.7
分散	0.1	46.9	0.4	33.5
階級別ピーク	-0.3	0.9	-0.3	0.7
ピーク階級比率	16.3%	2.0%	10.0%	6.0%
誤差±1.0比率	97.4%	19.9%	91.8%	43.3%

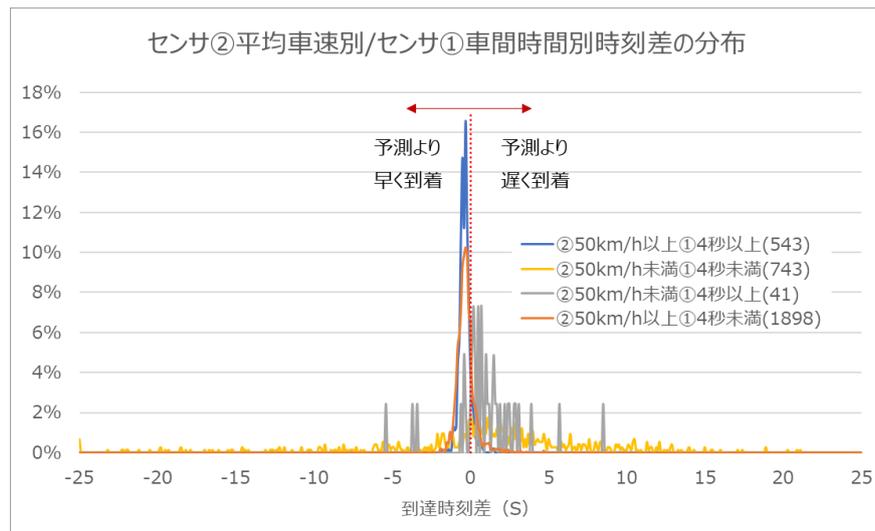


図 4.2-142 到達時刻差の分布（センサ②平均車速①平均車間時間組み合わせ別）

センサ②平均車速 50km/h 以上かつセンサ①平均車間時間 3.5 秒以上の 643 サンプルはほぼ合流到達時刻付近に集中し、センサ①平均車速 50 km/h 未満かつセンサ①平均車間時間 3.5 秒未満の 717 サンプルは分散が著しく大きい。これはここまでの分析の結果と一致する。センサ②平均車速 50km/h 以上かつセンサ①平均車間時間 3.5 秒未満の 1798 サンプルの分散は小さく、サンプルの 91.8% で到達時刻差が ±1.0 秒以内となり、センサ②平均車速 50km/h 未満かつセンサ①平均車間時間 3.5 秒以上の 67 サンプルの分散は大きく、サンプルの 43.2% で到達時刻差が ±1.0 秒以内となった。センサ部の平均速度は、平均車間時間に比べ、合流到達計算時刻の乖離に影響が大きく、「センサ②平均車速で 50km/h 以上の場合、センサ①平均車間時間が 3.5 秒未満であっても合流到達計算時刻の乖離が小さい」といえる。

c. センサ①10秒間交通量別

センサ①の10秒間の交通量が n 台以下と $n+1$ 台以上の2グループに分け、 $n=2, 3, 4, 5$ の場合について分析した。到達時刻差の分析に用いた基準を表 4.2-49 に示し、ヒストグラムを図 4.2-143 に示す。

表 4.2-49 分析に用いる基準 ($n=2, 3, 4, 5$ の場合：順調時のみ)

	2台 以下	3台 以上	3台 以下	4台 以上	4台 以下	5台 以上	5台 以下	6台 以上
データ数	397	2043	884	1556	1569	871	2137	303
平均差異	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	-0.3	-0.2
中央値	-0.4	-0.3	-0.4	-0.3	-0.4	-0.3	-0.4	-0.3
最大差異(正)	1.5	4.7	3.2	4.7	3.2	4.7	4.7	4.7
最大差異(負)	-1.9	-2.9	-1.9	-2.9	-2.9	-2.4	-2.9	-2.4
差異正%	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.3
分散	0.1	0.3	0.2	0.4	0.2	0.5	0.3	0.6
階級別ピーク	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	-0.3	-0.3
ピーク階級比率	17.1%	10.6%	14.8%	9.9%	12.9%	9.8%	11.8%	10.9%
誤差±1.0比率	98.0%	92.4%	97.3%	91.0%	95.6%	89.1%	94.2%	86.8%

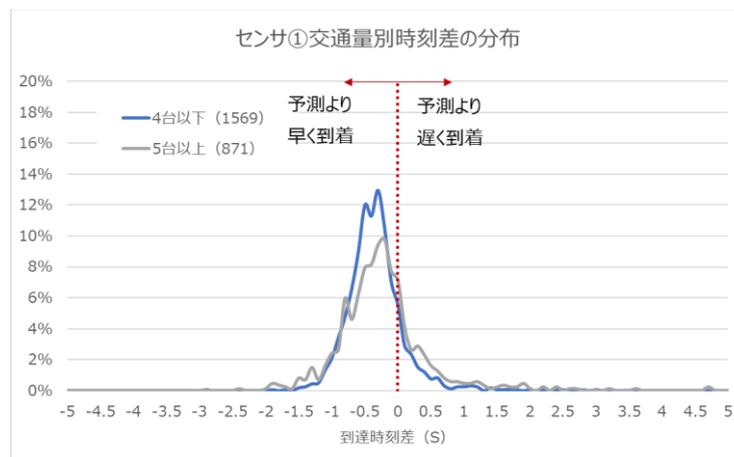


図 4.2-143 到達時刻差の分布 ($n=4$ の場合：順調時のみ)

センサ①の交通量が4台以下の時、ヒストグラムの中心は予測より0.3秒早く到着する階級となり、乖離時刻-0.2秒の階級から-0.5秒の階級まで各階級が10%以上の比率を占める結果となった。一方、5台以上のとき、ヒストグラムの中心は予測より0.2秒早く到着する階級となり、乖離時刻-0秒の階級から-0.8秒の階級まで各階級が5%以上の比率を占める結果となった。以上のことから、センサ①の10秒間の交通量が5台以上の場合、合流到達計算時刻の乖離が大きくなることを確認した。

d. センサ① 10 秒間平均速度別

センサ① 10 秒間の平均車速が x km/h 以上と x km/h 未満の 2 グループに分け、 $x=30, 40, 50, 60$ の場合について分析した。到達時刻差の分析に用いた基準を表 4.2-50 に示し、ヒストグラムを図 4.2-144 に示す。

表 4.2-50 分析に用いる基準 ($x=30, 40, 50, 60$ の場合 : 順調時のみ)

	30km/h		40km/h		50km/h		60km/h	
	以上	未満	以上	未満	以上	未満	以上	未満
データ数	2441	0	2441	0	2369	72	1269	1172
平均差異	-0.3	-	-0.3	-	-0.3	-0.6	-0.2	-0.4
中央値	-0.3	-	-0.3	-	-0.3	-0.8	-0.3	-0.4
最大差異(正)	4.7	0.0	4.7	0.0	4.7	2.8	4.7	4.7
最大差異(負)	-2.9	0.0	-2.9	0.0	-2.0	-2.9	-1.4	-2.9
差異正%	0.2	-	0.2	-	0.2	0.2	0.2	0.2
分散	0.3	-	0.3	-	0.3	0.9	0.2	0.4
階級別ピーク	-0.3	-	-0.3	-	-0.3	-0.8	-0.3	-0.5
ピーク階級比率	11.7%	-	11.7%	-	12.0%	9.7%	14.2%	9.4%
誤差±1.0比率	93.3%	-	93.3%	-	94.2%	63.9%	97.2%	89.0%

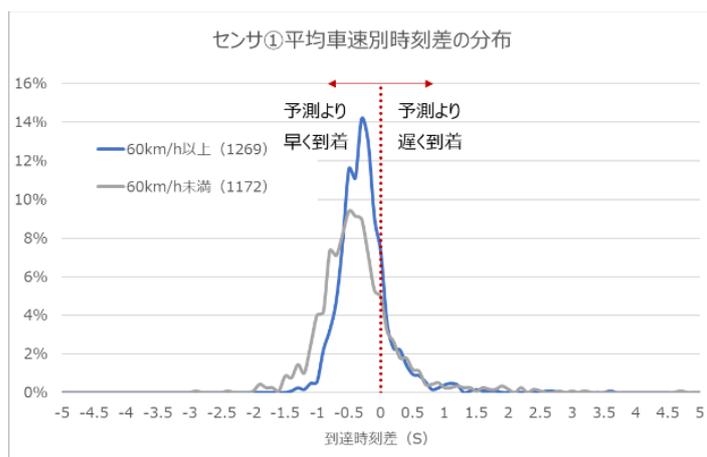


図 4.2-144 到達時刻差の分布 ($x=60$ の場合 : 順調時のみ)

平均車速が 60km/h 以上のとき、ヒストグラムの中心は予測より 0.3 秒早く到着する階級となり、乖離時刻 -0.2 秒の階級から -0.5 秒の階級まで各階級が 10%以上の比率を占める結果となった。一方、60km/h 未満のとき、ヒストグラムの中心は予測より 0.5 秒早く到着する階級となり、乖離時刻 -0 秒の階級から -0.8 秒の階級まで各階級が 5%以上の比率を占める結果となった。

以上のことから、センサ①の 10 秒間の平均車速が 60km/h 未満の場合、合流到達計算時刻の乖離が大きくなり、予測より早く到着する車両がみられることを確認した。

e. センサ① 10 秒間平均車間別

センサ①の10秒間の平均車間時間が s 秒以上と s 秒未満の2グループに分け、 $s=1.2, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0$ の場合について分析した。到達時刻差の分析に用いた基準を表 4.2-51 に示し、ヒストグラムを図 4.2-145 に示す。

表 4.2-51 分析に用いる基準
($s=1.2, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0$ の場合：順調時のみ)

	1.2秒 以上	1.2秒 未満	1.5秒 以上	1.5秒 未満	2.0秒 以上	2.0秒 未満	2.5秒 以上	2.5秒 未満	3.0秒 以上	3.0秒 未満	3.5秒 以上	3.5秒 未満	4.0秒 以上	4.0秒 未満
データ数	2394	47	2179	262	1657	784	1151	1290	867	1574	643	1798	543	1898
平均差異	-0.3	-0.1	-0.3	-0.2	-0.3	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.4	-0.3	-0.4	-0.3
中央値	-0.3	-0.1	-0.4	-0.3	-0.4	-0.3	-0.4	-0.3	-0.4	-0.3	-0.4	-0.3	-0.4	-0.3
最大差異(正)	4.7	1.9	4.7	4.7	3.2	4.7	3.2	4.7	2.0	4.7	2.0	4.7	2.0	4.7
最大差異(負)	-2.9	-1.7	-2.9	-2.4	-2.9	-2.4	-2.9	-2.4	-2.9	-2.4	-1.9	-2.9	-1.9	-2.9
差異正%	0.2	0.4	0.2	0.3	0.1	0.3	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2
分散	0.3	0.4	0.3	0.6	0.2	0.5	0.2	0.4	0.2	0.4	0.1	0.4	0.1	0.4
階級別ピーク	-0.3	-0.1	-0.3	-0.2	-0.3	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3
ピーク階級比率	11.9%	12.8%	12.1%	8.8%	12.9%	9.6%	13.5%	10.1%	15.1%	9.8%	16.3%	10.0%	16.6%	10.3%
誤差±1.0比率	93.4%	89.4%	94.3%	85.1%	95.4%	88.8%	96.3%	90.6%	97.0%	91.2%	97.4%	91.8%	97.6%	92.0%

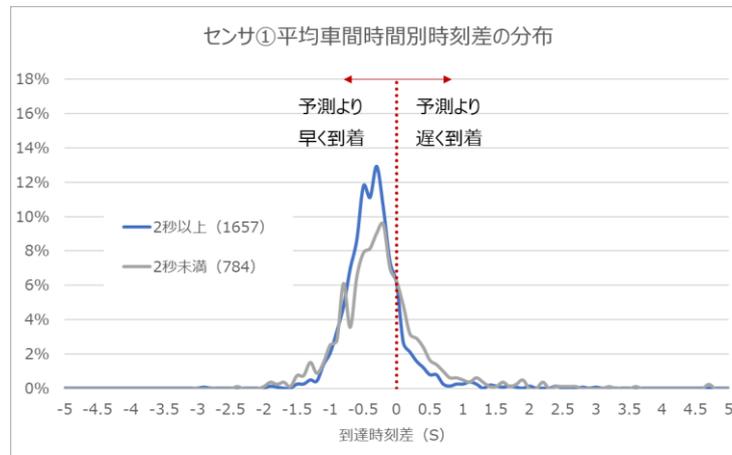


図 4.2-145 到達時刻差の分布 ($s=2$ の場合：順調時のみ)

平均車間時間が 2.0 秒以上のとき、ヒストグラムの中心は予測より 0.3 秒早く到着する階級となり、乖離時刻 -0.2 秒の階級から -0.5 秒の階級まで各階級が 10%以上の比率を占める結果となった。一方、2.0 秒未満のとき、予測と大きくずれるサンプルが確認でき、分散は 2.0 秒以上のサンプルに比べ大きいことを確認した。

f. センサ①通過時の車間時間別

センサ①通過時の車間時間が t 秒以上と t 秒未満の 2 グループに分け、 $t=1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0$ の場合について分析した。到達時刻差の分析に用いた基準を表 4.2-52 に示し、ヒストグラムを図 4.2-146 に示す。

表 4.2-52 分析に用いる基準
($t=1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0$ の場合：順調時のみ)

	1.0秒 以上	1.0秒 未満	1.5秒 以上	1.5秒 未満	2.0秒 以上	2.0秒 未満	2.5秒 以上	2.5秒 未満	3.0秒 以上	3.0秒 未満	3.5秒 以上	3.5秒 未満	4.0秒 以上	4.0秒 未満
データ数	2173	268	1621	820	1143	1298	846	1595	650	1791	532	1909	446	1995
平均差異	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3
中央値	-0.3	-0.3	-0.4	-0.3	-0.4	-0.3	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3
最大差異(正)	4.7	3.0	3.2	4.7	2.8	4.7	2.8	4.7	2.4	4.7	2.4	4.7	1.4	4.7
最大差異(負)	-2.9	-2.4	-2.0	-2.9	-2.0	-2.9	-2.0	-2.9	-2.0	-2.9	-2.0	-2.9	-2.0	-2.9
差異正%	0.2	0.3	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2
分散	0.3	0.5	0.2	0.5	0.2	0.4	0.2	0.4	0.1	0.4	0.1	0.4	0.1	0.3
階級別ピーク	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3
ピーク階級比率	11.9%	10.1%	12.8%	9.4%	13.8%	9.8%	15.4%	9.7%	16.2%	10.1%	16.7%	10.3%	17.3%	10.4%
誤差±1.0比率	93.8%	88.8%	95.2%	89.5%	96.1%	90.8%	96.9%	91.3%	97.4%	91.8%	97.9%	92.0%	98.2%	92.2%

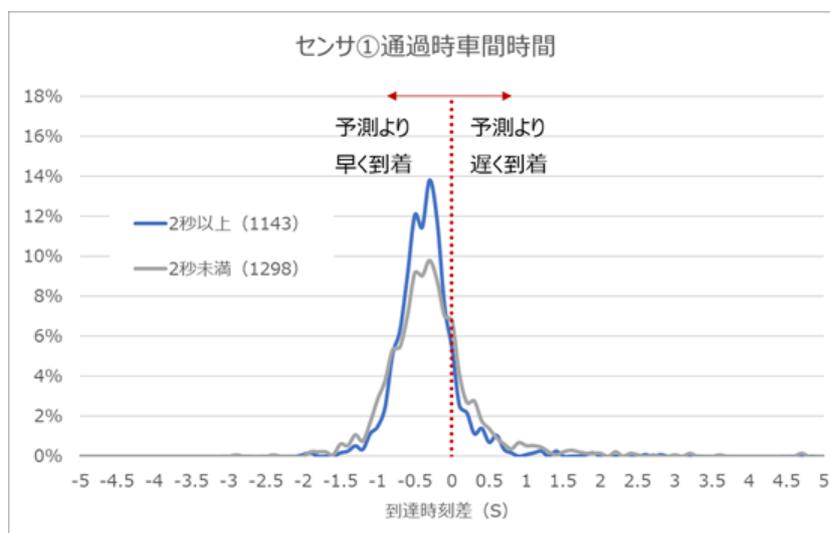


図 4.2-146 到達時刻差の分布 ($t=2.0$ の場合：順調時のみ)

平均車間時間が 2.0 秒以上のとき、ヒストグラムの中心は予測より 0.3 秒早く到着する階級となり、乖離時刻 -0.2 秒の階級から -0.5 秒の階級まで各階級が 10%以上の比率を占めた。一方、2.0 秒未満のとき、予測と大きくずれるサンプルが確認でき、分散は 2.0 秒以上のサンプルに比べ大きくなることを確認した。

g. センサ② 10 秒間平均速度別

交通概況情報のセンサ②平均車速を用いて、センサ②の 10 秒間の平均車速が y km/h 以上と y km/h 未満の 2 グループに分け、 $y=30, 40, 50, 60$ の場合について分析した。到達時刻差の分析に用いた基準を表 4.2-53 に示し、ヒストグラムを図 4.2-147 に示す。

表 4.2-53 分析に用いる基準 ($y=30, 40, 50, 60$ の場合 : 順調時のみ)

	30km/h 以上	30km/h 未満	40km/h 以上	40km/h 未満	50km/h 以上	50km/h 未満	60km/h 以上	60km/h 未満
データ数	0	2441	0	2441	0	2441	1722	719
平均差異	-	-0.3	-	-0.3	-	-0.3	-0.4	-0.2
中央値	-	-0.3	-	-0.3	-	-0.3	-0.4	-0.3
最大差異(正)	0.0	4.7	0.0	4.7	0.0	4.7	2.6	4.7
最大差異(負)	0.0	-2.9	0.0	-2.9	0.0	-2.9	-2.0	-2.9
差異正%	-	0.2	-	0.2	-	0.2	0.1	0.3
分散	-	0.3	-	0.3	-	0.3	0.2	0.6
階級別ピーク	-	-0.3	-	-0.3	-	-0.3	-0.3	-0.3
ピーク階級比率	-	11.7%	-	11.7%	-	11.7%	12.8%	8.9%
誤差±1.0比率	-	93.3%	-	93.3%	-	93.3%	95.9%	87.1%

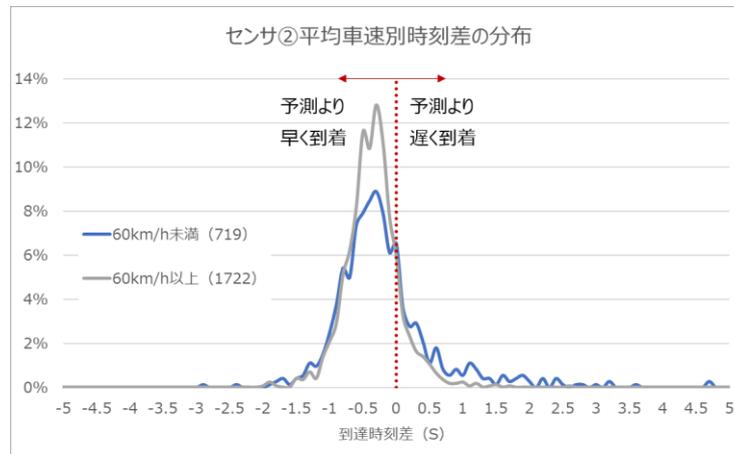


図 4.2-147 到達時刻差の分布 ($y=60$ の場合 : 順調時のみ)

平均車速が 60km/h 以上のとき、ヒストグラムの中心は予測より 0.3 秒早く到着する階級となり、乖離時刻 -0.2 秒の階級から -0.5 秒の階級まで各階級が 10%以上の比率を占める。

以上のことから、センサ②の 10 秒間の平均車速が 60km/h 未満の場合、信頼性が低くなることを確認した。

h. センサ② 10 秒間交通量別

交通概況情報のセンサ③交通量を用いて、合流車線合流部の 10 秒間の交通量が m 台以下と $m + 1$ 台以上の 2 グループに分け、 $m = 0$, $m = 1$, $m = 2$ の場合について分析した。

到達時刻差の分析に用いた基準を表 4.2-54 に示し、ヒストグラムを図 4.2-148 に示す。

表 4.2-54 分析に用いる基準 ($m = 0$, $m = 1$, $m = 2$ の場合)

	0台	1台 以上	1台 以下	2台 以上	2台 以下	3台 以上
データ数	1791	650	2234	207	2389	52
平均差異	-0.4	-0.1	-0.3	0.0	-0.3	0.0
中央値	-0.4	-0.2	-0.4	-0.1	-0.3	-0.1
最大差異(正)	4.7	3.6	4.7	3.6	4.7	3.6
最大差異(負)	-2.9	-1.9	-2.9	-1.4	-2.9	-1.4
差異正%	0.1	0.3	0.2	0.4	0.2	0.4
分散	0.3	0.4	0.3	0.6	0.3	0.9
階級別ピーク	-0.3	-0.3	-0.3	0.0	-0.3	0.0
ピーク階級比率	11.9%	11.1%	11.7%	11.1%	11.6%	13.5%
誤差±1.0比率	93.7%	92.2%	93.6%	89.9%	93.4%	86.5%

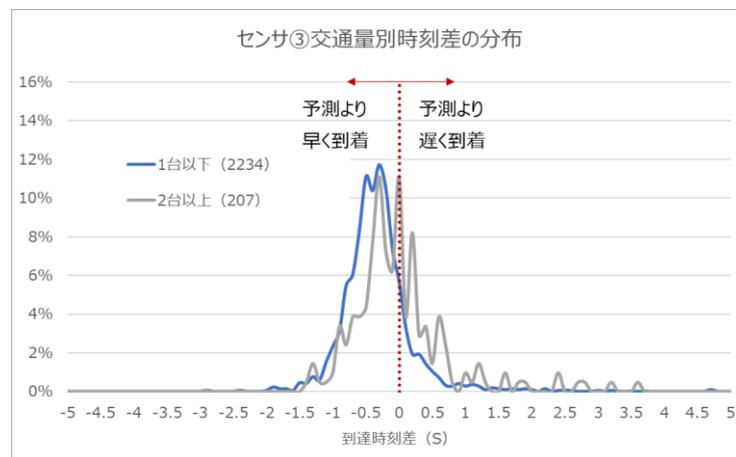


図 4.2-148 到達時刻差の分布 ($m = 1$ の場合 : 順調時のみ)

センサ③の交通量が 1 台以下の時、ヒストグラムの中心は予測より 0.3 秒早く到着する階級となり、乖離時刻 -0.2 秒の階級から -0.5 秒の階級まで各階級が 10%以上の比率を占め結果となった。一方、5 台以上のとき、ヒストグラムの中心は予測より 0.2 秒早く到着する階級となり、乖離時刻 -0 秒の階級から -0.4 秒の階級まで各階級が 5%以上の比率を占めた。以上のことから、センサ③の 10 秒間の交通量が 2 台以上の場合、合流到達計算時刻の乖離が大きくなることを確認した。

i. 車種別

ラップタイム計測による、車種情報を用いて、車種別に到達時刻差を分析した。車種が二輪車の場合のデータは除外した。階級別のピーク周辺の傾向、分散の傾向とも大きな差が見られず、大きな傾向の差はないことを確認した。到達時刻差の分析に用いた基準を表 4.2-55 に示す。

表 4.2-55 分析に用いる基準（車種別）

	普通車	大型車
データ数	1422	1010
平均差異	-0.3	-0.3
中央値	-0.3	-0.4
最大差異(正)	4.7	4.7
最大差異(負)	-2.9	-2.0
差異正%	0.2	0.2
分散	0.3	0.3
階級別ピーク	-0.3	-0.3
ピーク階級比率	11.5%	11.9%
誤差±1.0比率	92.7%	94.1%

j. 前方車種別

ラップタイム計測による、車種情報を用いて、前方車種別に到達時刻差を分析した。前方車種が二輪車の場合のデータは除外した。階級別のピーク周辺の傾向、分散の傾向とも大きな差が見られず、大きな傾向の差はないことを確認した。到達時刻差の分析に用いた基準を表 4.2-56 に示す。

表 4.2-56 分析に用いる基準（前方車種別）

	普通車	大型車
データ数	1430	1003
平均差異	-0.3	-0.3
中央値	-0.3	-0.4
最大差異(正)	4.7	3.2
最大差異(負)	-2.0	-2.9
差異正%	0.2	0.2
分散	0.3	0.3
階級別ピーク	-0.3	-0.3
ピーク階級比率	11.5%	11.8%
誤差±1.0比率	93.2%	93.3%

k. 車種と前方車種の組み合わせ別

ラップタイム計測による、車種情報を用いて、車種と前方車両の車種の組み合わせ別に到達時刻差を分析した。階級別のピーク周辺の傾向、分散の傾向とも大きな差が見られず、大きな傾向の差はないことを確認した。到達時刻差の分析に用いた基準を表 4.2-57 に示す。

表 4.2-57 分析に用いる基準（車種と前方車種の組合せ別）

	普通車: 前方普通車	普通車: 前方大型車	大型車: 前方普通車	大型車: 前方大型車
データ数	874	543	549	458
平均差異	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3
中央値	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4
最大差異(正)	4.7	3.2	4.7	2.8
最大差異(負)	-1.9	-2.9	-2.0	-1.6
差異正%	0.2	0.2	0.2	0.2
分散	0.4	0.3	0.3	0.3
階級別ピーク	-0.3	-0.2	-0.4	-0.3
ピーク階級比率	12.0%	10.9%	12.4%	13.1%
誤差±1.0比率	92.0%	93.7%	95.1%	92.8%

1. 本線合流部での合流車視認有無別

ラップタイム計測による、本線合流部での合流車視認情報を用いて、合流車視認有無別に到達時刻差を分析した。到達時刻差の分析に用いた基準を表 4.2-58 に示し、ヒストグラムを図 4.2-149 に示す。

表 4.2-58 分析に用いる基準（合流車視認有無別）

	無し	有り
データ数	1878	563
平均差異	-0.3	-0.2
中央値	-0.4	-0.2
最大差異(正)	4.7	4.7
最大差異(負)	-2.9	-1.9
差異正%	0.1	0.3
分散	0.3	0.4
階級別ピーク	-0.3	-0.3
ピーク階級比率	12.4%	9.2%
誤差±1.0比率	94.1%	90.4%

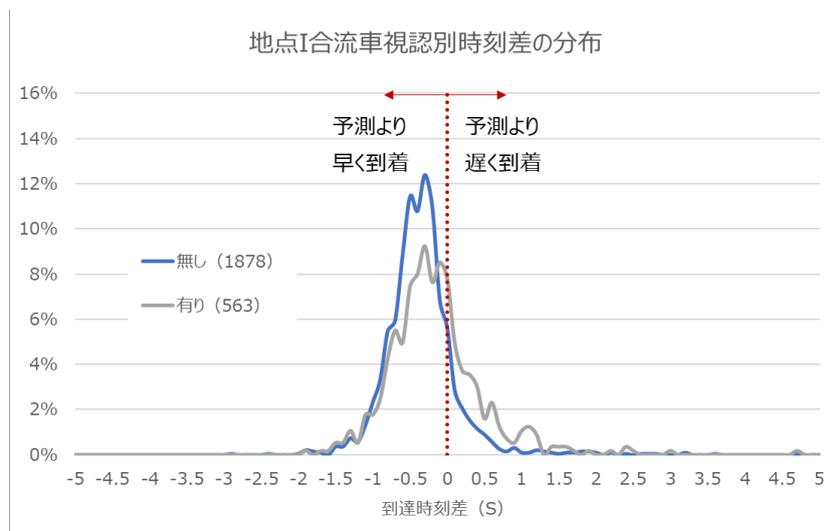


図 4.2-149 到達時刻差の分布（合流車視認有無別：順調時のみ）

合流車視認無しの場合、ヒストグラムの中心は予測より 0.3 秒早く到着する階級となり、乖離時刻-0.2 秒の階級から-0.5 秒の階級まで各階級が 10% 以上の比率を占める結果となった。合流車視認有りの場合、予測と大きくずれるサンプルが確認できたため、合流到達計算時刻の乖離が大きくなると考えられる。

m. 前方車との速度差別

ラップタイム計測による、車両の速度情報を用いて、前方車両との速度差別に速度差が z km/h 以上速い、 z km/h 以上遅い、速度差 z km/h 未満の 3 グループに分け、 $z=1, 2, 3, 4$ の場合について到達時刻差を分析した。到達時刻差の分析に用いた基準を表 4.2-59 に示し、ヒストグラムを図 4.2-150 に示す。

表 4.2-59 分析に用いる基準 ($z=1, 2, 3, 4$ の場合)

	1km/h 以上速い	1km/h 以上遅い	1km/h 未満	2km/h 以上速い	2km/h 以上遅い	2km/h 未満	3km/h 以上速い	3km/h 以上遅い	3km/h 未満	4km/h 以上速い	4km/h 以上遅い	4km/h 未満
データ数	777	992	672	574	792	1075	412	628	1401	300	502	1639
平均差異	-0.1	-0.4	-0.3	-0.1	-0.4	-0.3	0.0	-0.4	-0.4	0.0	-0.3	-0.4
中央値	-0.2	-0.5	-0.4	-0.1	-0.5	-0.4	-0.1	-0.5	-0.4	-0.1	-0.4	-0.4
最大差異(正)	2.8	4.7	4.7	2.8	4.7	4.7	1.9	4.7	4.7	1.9	4.7	4.7
最大差異(負)	-1.8	-2.9	-1.7	-1.5	-2.9	-1.9	-1.0	-2.9	-1.9	-1.0	-2.9	-2.4
差異正%	0.3	0.1	0.1	0.3	0.1	0.1	0.3	0.2	0.1	0.3	0.2	0.2
分散	0.2	0.3	0.3	0.2	0.4	0.3	0.2	0.4	0.3	0.2	0.4	0.3
階級別ピーク	-0.3	-0.5	-0.4	-0.3	-0.5	-0.4	-0.2	-0.5	-0.3	-0.2	-0.5	-0.3
ピーク階級比率	15%	12%	13%	15%	12%	12%	15%	12%	12%	16%	13%	12%
誤差±1.0比率	97.0%	89.3%	94.8%	97.4%	89.8%	93.7%	98.1%	89.2%	93.7%	97.7%	89.4%	93.7%

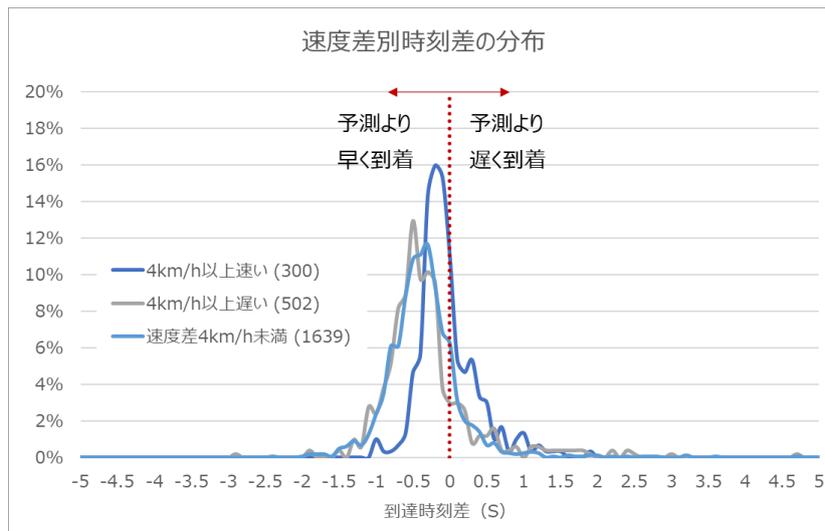


図 4.2-150 到達時刻差の分布 ($z=4$ の場合 : 順調時のみ)

速度差が 4km/h 未満のサンプルは全サンプルの半数以上を占め、ヒストグラムの中心は予測より 0.3 秒早く到着する階級となった。前方車より 4km/h 以上速い場合、乖離時刻 0 秒の階級から -0.3 秒の階級まで各階級が 10% 以上の比率を占め、順調時のサンプル平均と比較すると遅く到着する車両がみられた。前方車より 4km/h 以上遅い場合、順調時のサンプル平均と比較すると早く到着する車両がみられることを確認した。

4) 天候による影響の考察

降水による影響を分析するため、合流到達計算時刻の乖離に影響を与える可能性がある事項として、エラー！参照元が見つかりません。に示す指標別に、合流到達計算時刻と実際の到達時刻の差異を分析した。

表 4.2-60 天候別の用いたデータと結果

No.	分析の指標	データ	結果
a	天候別	分析時間帯の天候 (各 30 分間の全サンプルで比較)	差異なし

a. 天候別

降水時に運転手の視野が狭くなり、センサ部と合流部の間で速度が変化することで、到達計算時刻と実到着時刻に差が生じる可能性がある。そこで、晴天時と雨天時のサンプルを用いて到達時刻差を分析した。

天候別に分析した結果、大きな傾向の差はないことを確認した。到達時刻差の分析に用いた基準を表 4.2-61 に示し、ヒストグラムを図 4.2-151 に示す。

表 4.2-61 分析に用いる基準（天候別）

	晴天	雨天
データ数	534	542
平均差異	-0.427	-0.275
中央値	-0.5	-0.3
最大差異	2.3	4.3
最小差異	-2.9	-2.3
差異正%	15%	22%
分散	0.3	0.3
階級別ピーク	-0.4	-0.3
ピーク階級比率	10.3%	11.3%
誤差±1.0比率	89.7%	93.9%

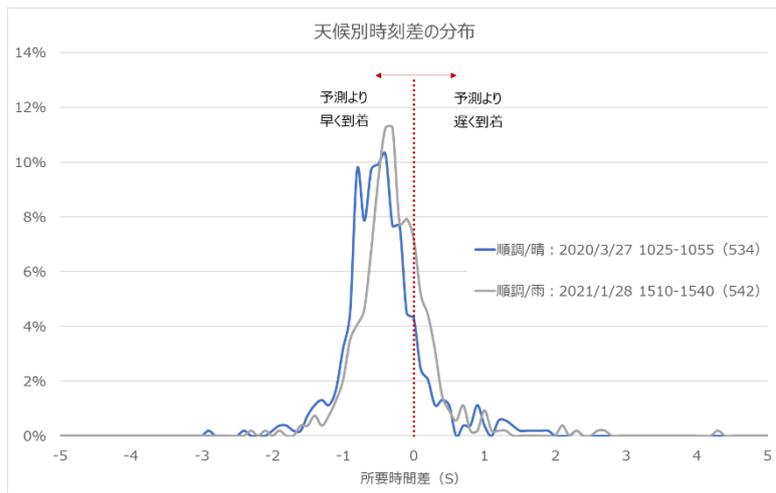


図 4.2-151 到達時刻差の分布（天候別）

(4) まとめ

合流到達計算時刻の乖離に影響を与える可能性がある事項として指標別に、合流到達計算時刻と実際の到達時刻の差異を分析した結果を表 4.2-62 に示す。

表 4.2-62 各指標別に分析した結果

No.	分析の指標	乖離への影響	到達時刻差がばらつく信頼性が低い
1	本線センサ部の 10 秒間交通量別		-
2	本線センサ部の 10 秒間平均速度別	◎	50km/h 未満の場合
3	本線センサ部の 10 秒間平均車間時間別	○	3.5 秒未満の場合
4	本線センサ部通過時の車間時間別	○	3.5 秒未満の場合
5	本線合流部の交通状態別	◎	混雑・渋滞時
6	本線合流部の 10 秒間平均速度別	◎	50km/h 未満の場合
7	本線合流部の 10 秒間交通量別		-
8	車種別		-
9	前方車種別		-
10	車種と前方車種の組合せ別		-
11	本線合流部での合流車視認有無		-
12	前方車との速度差別		-

また、到達時刻差に影響を及ぼすことが確認された指標を組み合わせた分析から、以下のことが確かめられた。

- ・ 本線合流部の交通状態は、本線合流部の 10 秒間平均速度が 50km/h 未満の時は混雑・渋滞となるという相関がある。
- ・ 本線センサ部の 10 秒間平均速度と本線合流部の 10 秒間平均速度にも相関があり、本線合流部の 10 秒間平均速度の方が合流到達計算時刻の乖離に与える影響が大きい。
- ・ 本線センサ部の 10 秒間平均速度が 50km/h 以上の場合、本線センサ部の 10 秒間平均車間時間が 3.5 秒未満であっても合流到達計算時刻の乖離が小さい
- ・ 本線センサ部の 10 秒間平均速度が 50km/h 未満の場合、本線センサ部の 10 秒間平均車間時間が 3.5 秒以上であっても合流到達計算時刻の乖離小さいとは言えない
- ・ 本線センサ部の 10 秒間平均速度が 30km/h 以下かつ本線センサ部の 10 秒間平均車間時間が 4 秒未満の場合、予測より 3 秒以上早くなる可能性が高い。
- ・ 本線合流部の 10 秒間平均速度が 50km/h 以上の場合本線センサ部の 10 秒間平均車間時間が 3.5 秒未満であっても合流到達計算時刻の乖離が小さい

4.2.6 フォーマットへの提案

4.2.5 での分析結果をふまえ、センサ①で検知できる情報のうち本線の交通状態を代表できる指標として平均車速および平均車間の情報から、合流到達計算時刻の乖離が見込まれる場合を抽出できる可能性が示唆された。本実証実験で用いられた提供情報フォーマットにおける「情報信頼度」は、センサ①～③の機器が正常に作動しているかに応じて、その信頼度が決定されるが、合流支援情報の高度化に向けて、情報信頼度には合流到達計算時刻の乖離の可能性を反映した値を設定することが望ましいと考えられる。

No.	項目	bit長	byte	No.	項目	bit長	byte	No.	項目	bit長	byte
1	情報種別	8		31	本線	5		72	到達	8	1
2	電波	1	2	32	上流部	11		73	計算	10	
3	ビーコン	1		33	センサ①	1		74	時刻	1	
4	共通	6		34	平均車間時間(過去10秒)	7	6	75	情報	1	
5	ヘッダ	32	4	35	予備	3		76		1	
6	メッセージサイズ	16	2	36	車間	5		77		1	
7	情報生成日(年)	12		37	通過	6		78		1	
8	情報生成日(月)	4		38	時間1	10		79		1	
9	情報生成日(日)	5		39	予備	3		80		3	
10	情報生成日(時)	5	6	40	通過	5		81		5	
11	情報生成日(分)	6		41	時間2	6		82		3	
12	予備	6		42	通過	10		83		5	
13	情報生成日(秒)[100ms単位]	10		43	予備	3		84		6	
14	予備	6		44	通過	5		85		10	
15	合流支援システムID	18		45	時間3	6	8	86		2	
16	予備	1		46	通過	10		87		3	
17	準拠している合流支援システムの仕様書の番号	7		47	交通	5		88		11	
18	サービスタイプ=0	2		48	合流部	3		89		7	
19	システム全体	1		49	センシングタイプ	4		90		9	
20	センサ①	1		50	平均車速(過去10秒)	4		91		7	4
21	センサ②	1		51	交通状況(過去10秒)	2		92		6	
22	センサ③	1	6	52	合流下流部	2		93		10	
23	[本線]車線規制等	2		53	予備	5		94		3	
24	第1走行車線	1		54	天気	3	2	95		5	
25	第2走行車線	1		55	予備	1		96		10	5
26	第3走行車線	1		56	降雨・降雪量	7		97		6	
27	第4走行車線	1		57	合流方向	2		98		10	
28	第5走行車線	1		58	加速車線長	14		99		15	
29	第6走行車線	1		59	合流方向	2		100		1	
30	予備	2		60	加速車線数	4	5	101		32	4
				61	連結路車線数	4		102		4	
				62	予備	1		103		4	
				63	基本	1		104		8	
				64	情報	15		105		8	
				65	(合流部)	32	8	106		4	
				66	情報提供位置～加速車線起点部の距離	32				4	
				67	ハードノーズ部の緯度	32				5	
				68	ハードノーズ部の経度	32				5	
				69	予備	1				8	
				70	センサ①設置位置～加速車線起点部の距離	15	6			4	
				71	センサ②設置位置～加速車線起点部の距離	15				4	
					センサ③設置位置～加速車線起点部の距離	15				4	
					対象車両台数 n	8	1			5	
					車両No.	10				5	

図 4.2-152 センサ①情報のうち車両制御の参考となりうる情報（赤枠）

さらに本線合流部の情報も活用、もしくはセンサ①情報と組み合わせることで、さらに合流到達計算時刻の乖離が見込まれる場合を抽出できる可能性が示唆された。情報信頼度には合流到達計算時刻の乖離の可能性を反映した値を、これらの検知情報を活用して算出することが有効であると考えられる。

4.3 合流支援情報・ETCゲート通過支援情報の処理性能評価

合流支援やETCゲート通過支援の情報が生成された後、車両におけるCAN出力までに要する時間をシステム全体の処理性能とするならば、インフラ設備側で検知・分析できる機器間の所要時間をインフラ設備の処理性能とし、下記検証方法にて評価する。

<ログデータ分析>

路側センサにおける車両検知やETCゲート情報の取得から、高速道路実験用路側無線装置より路車間通信にて実験車両へ情報を送信、CAN出力を完了するまでの処理シーケンスにおいて各所要時間を確認する。処理所要時間の確認は、各機器に格納された通信ログ及び処理ログ情報より算出する平均時間にて行う。合流支援、ETCゲート通過支援各々のシーケンスを以下の図で示す。

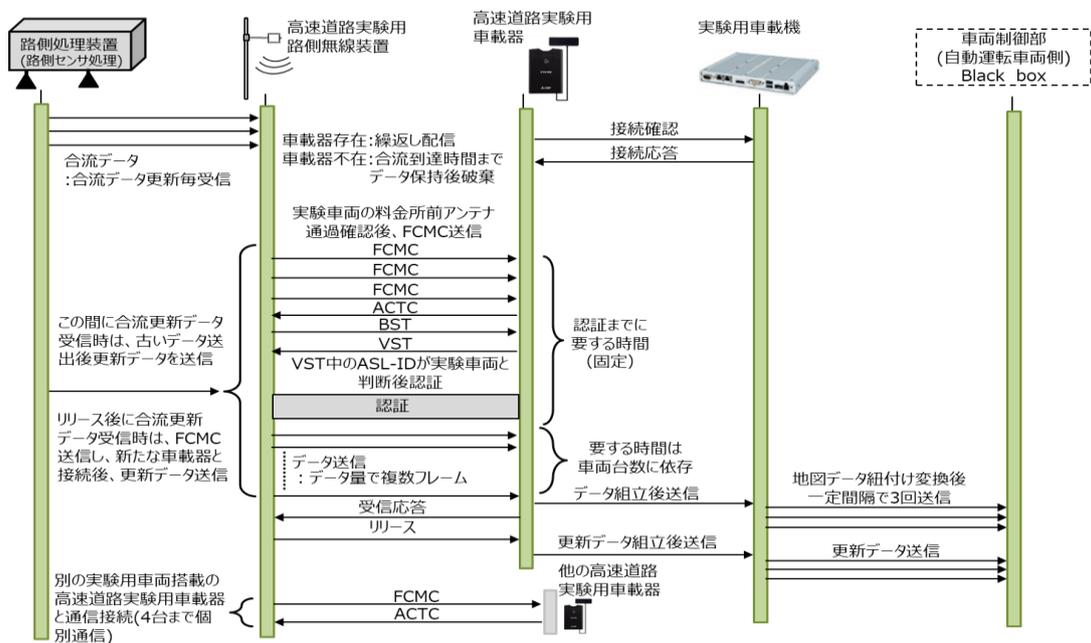


図 4.3-1 合流支援における各装置間の通信シーケンス図

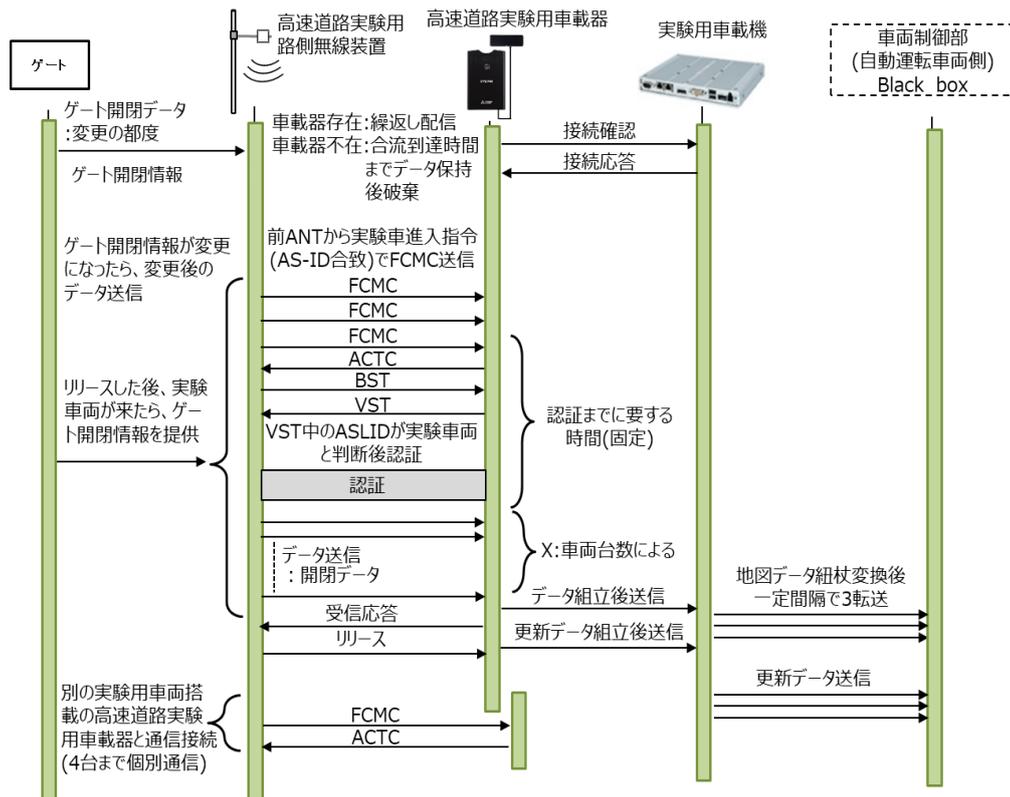


図 4.3-2 ETC ゲート通過支援における各装置間の通信シーケンス図

4.3.1 合流支援インフラ設備の性能評価

合流支援インフラ設備の性能を以下のとおり評価する

① センサ側処理時間の導出：

路側センサ機器による本線走行車両の検知から合流部到達計算時刻の算出、高速道路実験用路側無線装置への送信までの所要時間の平均値をセンサ側設備の処理性能と定義する。

② 路側無線装置側処理時間の導出：

路側処理装置より送信された合流部到達計算時刻の受信から高速実験用車載器との路車間通信にて合流部到達計算時刻を送出し車載器が受信完了するまでの所要時間を路側無線装置側の処理性能と定義する。

尚、合流部到達計算時刻を受信した後の車両側の処理性能（高速実験用車載器～実験用車載器～車両制御の所要時間）はインフラ設備側では検知・分析できないので、本業務の評価範囲外とする。

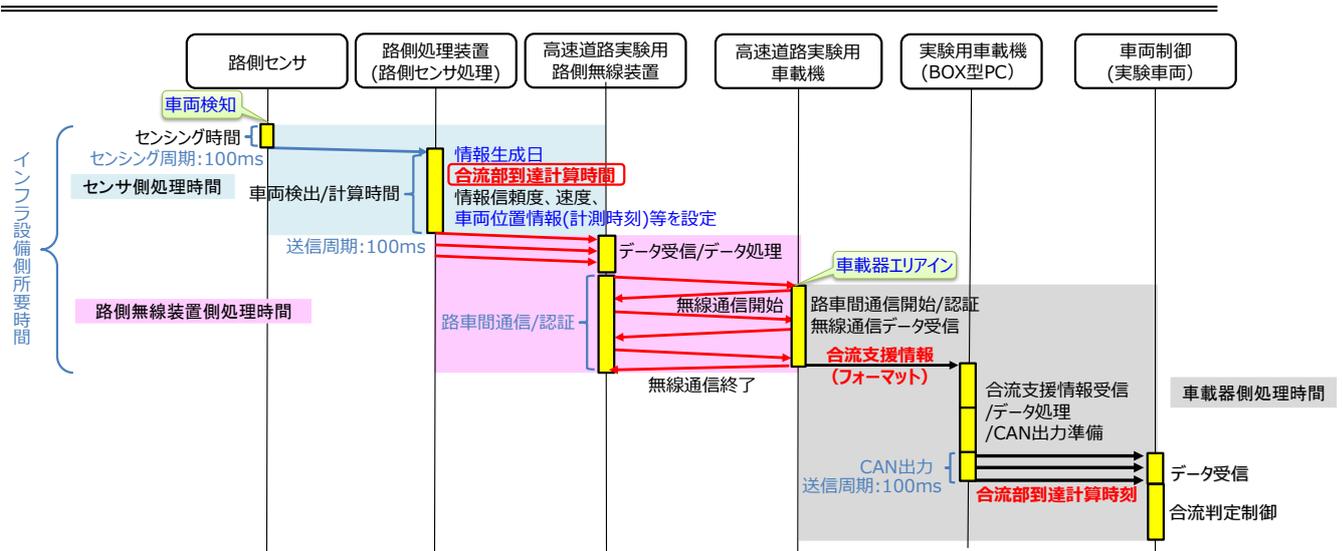


図 4.3-3 合流支援におけるデータ処理・通信の所要時間の確認

(1) 合流支援における各機器間の所用時間試算と実績値

合流支援における各機器間の所用時間の試算時間と現地設備のログデータ分析による実測値（100 走行平均）を以下に示す。

表 4.3-1 合流支援における処理性能の試算値及び実測値

対象処理時間	所要時間の実測値 (100 走行平均)
センサ側処理時間	500ms
路側無線装置側処理時間	422ms (データ処理 : 137ms + 路車間通信 : 285ms)

上記結果より、本線上の車両を検知するセンサ側の処理時間が試算した所要時間より大きい結果となったが、路側無線装置側の処理時間は試算値通りの結果となり、当初性能を満たすと言える。

4.3.2 ETC ゲート通過支援インフラ設備の性能評価

ETC ゲート通過支援インフラ設備の性能を以下のとおり評価する

① 路側無線装置側処理時間の導出：

路側無線装置が ETC ゲートから受信したゲート開閉情報を ETC ゲート通過支援情報として路車間通信フォーマットに格納し、高速実験用車載

器との路車間通信にて情報を送出、車載器が受信完了するまでの所要時間を路側無線装置側の処理性能と定義する。

尚、ETC ゲート通過支援情報を受信した後の車両側の処理性能（高速実験用車載器～実験用車載器～車両制御の所要時間）はインフラ設備側では検知・分析できないので、本業務の評価範囲外とする。

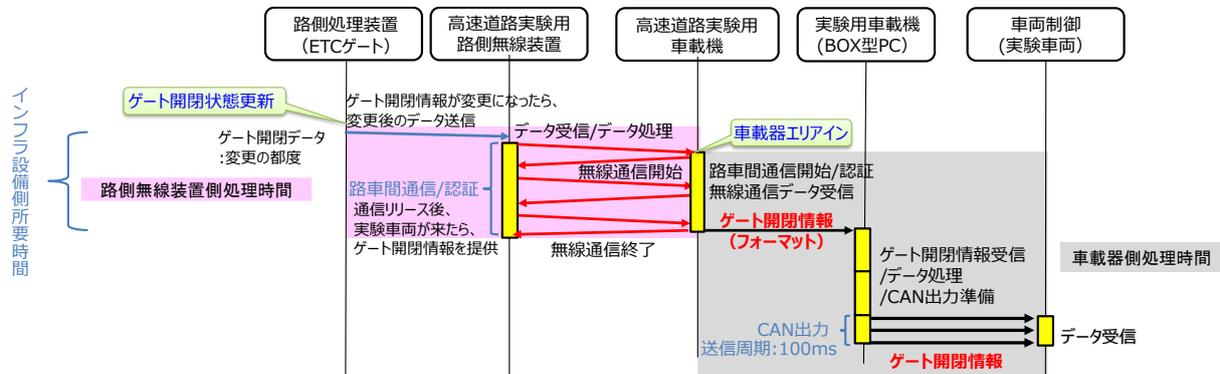


図 4.3-4 ETC ゲート通過支援におけるデータ処理・通信の所要時間の確認

(1) ETC ゲート通過支援における各機器間の所用時間試算と実績値

ETC ゲート通過支援における各機器間の所用時間の試算時間と現地設備のログデータ分析による実測値（100 走行平均）を以下に示す。

表 4.3-2 ETC ゲート通過支援における処理性能の試算値及び実測値

対象処理時間	所要時間の実測値 (100 走行平均)
路側無線装置側処理時間	327ms (データ処理 : 100ms + 路車間通信 : 227ms)

上記結果より、ETC ゲートの開閉情報を処理し、路側無線装置から車載器に支援情報を伝達するまでの処理時間は試算値通りの結果となり、当初性能を満たすと言える。

5. 首都高速道路 実証実験インフラ設備の 19-20 年度成果まとめ、今後の課題

5.1 合流支援に関する今後の課題

5.1.1 情報提供位置とセンサ設置位置の関係についての示唆

本実証実験における検証の結果、情報提供から合流部到達までの距離が長いほど、加速度調整による合流タイミングの調整しろは大きくなるが、センサはより上流に設置する必要がある、合流到達計算時刻の乖離が大きくなることが確かめられた。

また、他箇所への展開を想定して、目標速度に応じた情報提供位置とセンサ位置の関係についても検証を行った。その結果、目標速度が速くなるほど、調整しろ 1 秒を確保に必要な情報提供から合流部到達までの距離が長くなり、それに伴ってセンサ～合流起点の距離も増加することが確かめられた。目標速度毎の情報提供位置とセンサ位置の関係を整理した結果を表 5.1-1 に再掲する。

表 5.1-1 調整しろ 1 秒を確保するための情報提供位置とセンサ位置

目標速度 (km/h)	情報提供位置～合流起点 (m) 合流車最早プロファイルと最遅 プロファイル所要時間差が 1 秒 確保できる距離	センサ～合流起点 (m) 合流車最早プロファイル所要時 間+4.0 秒を本線速度で等速走行 した距離
60	84.9	161.0
80	123.3	246.4
100	189.0	375.3
120	273.4	528.3

したがって、新たに合流支援システムを導入する場合、確保すべき調整しろを定めた上で、当該箇所の本線速度に応じた情報提供位置およびセンサ位置を決定することが必要となる。

5.1.2 到達計算時刻情報の正確性に関する示唆

(1) センサ①（合流端より上流に設置）を用いた分析からの示唆

本実証実験における検証の結果、センサ①で検知する情報のうち、センサ①の平均車速が 50km/h 未満と 50km/以上の場合において、到着時刻差が±1.0 秒以内となるサンプルの割合に差が生じることが明らかとなった。結果の図 5.1-1 を再掲する。

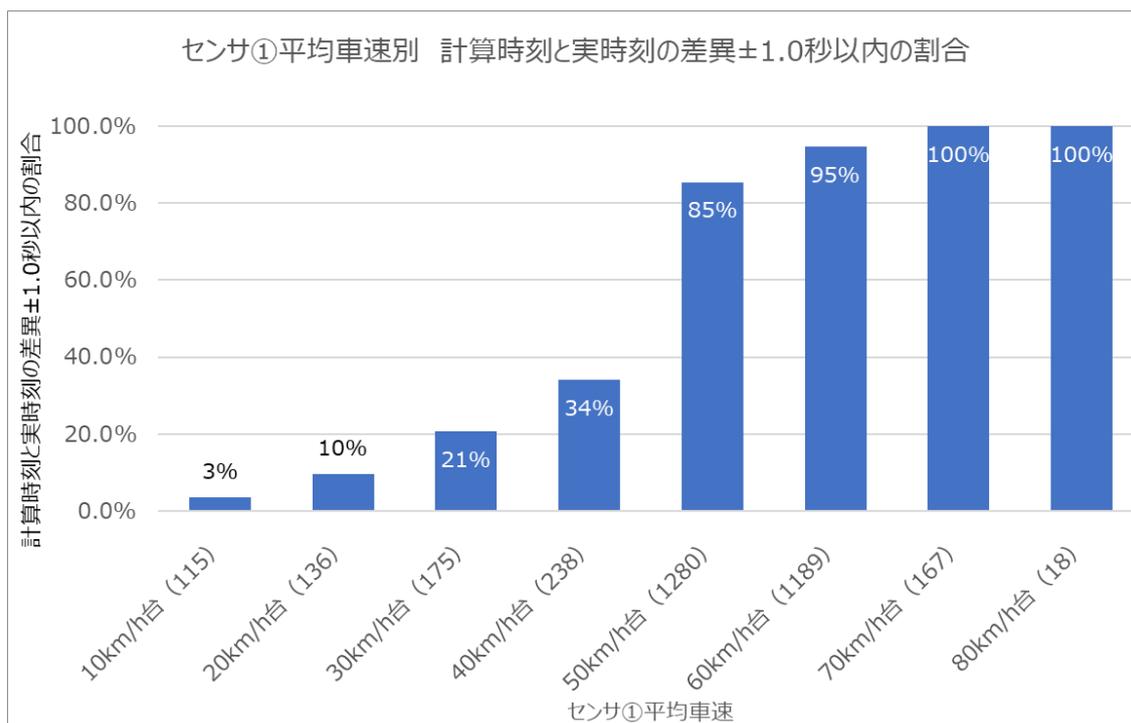


図 5.1-1 センサ①平均車速別 計算時刻と実時刻の差異±1.0 秒以内の割合

センサ①が検知する「平均車速が 50km/h 未満」において、合流端への到達時刻乖離が拡大することが確認できた。

交通概況分析から、本線順調時（50km/以上）、平均車間時間は 3.1 秒であり、この時、計算時刻と実時刻の差異±1.0 秒以内の割合は 85%以上であった。一方、本線交通状態が臨界・渋滞時（50km/未満）、平均車間時間 2.2 秒と順調時に比べて短いうえ、到達計算時刻と実際の到達時刻との乖離が非常に大きくなった。

合流支援情報の高度化に向けて、合流車に対して「センサ①平均車速が 50km/h 未満」の提供情報は、到達計算時刻の乖離が大きくなる可能性を合わせて通知することが有効と考えられる。合流到達計算時刻の乖離が大きくなる可能性を予め合流車が把握することで、車両制御の参考となることが期待される。

5.2 実証実験インフラ設備の 19-20 年度成果の総括

本受託では、2019 年度、2020 年度の 2 箇年に渡り、高速道路上のインフラ環境の整備、事前検証及び維持・管理の実施、実験データよりインフラ設備の動作適切性の評価とインフラ設備設置条件の導出をした。

以下に本受託の成果を総括する。

- ・ 各機関と調整・協調しスケジュール通りインフラ設備を構築し、予定通り実験を開始することができた。
- ・ 現地実証実験のログデータ及び、センサ等の各種情報により合流支援システムの評価を行い、現在のインフラ設備の設置位置は道路環境の制限下で最適位置であることを確認した。
- ・ 合流支援システムの合流支援フォーマットの改善を提言した。
- ・ インフラ設備の設置に関わる申請・手続き等のノウハウを整理できた。

5.3 東京臨海部実証実験コンソーシアムとの連携による成果まとめ

5.3.1 シミュレーションを用いた合流支援情報の有効性確認

本実証実験における車両側の挙動・データを踏まえた検証を実施した東京臨海部実証実験コンソーシアムと相互連携し、コンソーシアムが実施したシミュレーションを用いた合流支援情報の有効性確認において以下のとおり検証結果を共有した。（下記図を参照）

< 検証方法 >

- ・ 空港西入口の道路構造や本線混雑状況（順調／混雑／渋滞）をシミュレーター上に反映
- ・ シミュレーションにおいて合流車両を発生させ、合流支援情報提供のためのインフラ（路側機／センサ）の設置位置に応じた、合流支援情報を活用した場合の合流成功率を検証

< 検証結果 >

- ・ 本線混雑状況が順調の場合には、合流支援情報の利用による合流成功率の向上が見込まれるものの、混雑時や渋滞時は合流到達時刻の乖離に伴い合流成功率が低下した。
- ・ インフラ設置位置について、本実証における設置位置の場合には合流成功率が高いものの、近い場合・遠い場合には合流到達時刻の乖離に伴い合流成功率が低下した

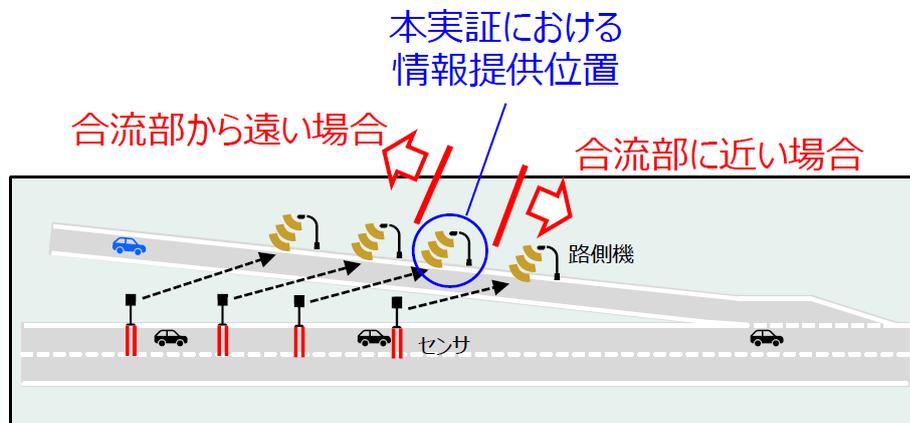
< 考察 >

- ・ 高速道路への自動合流においてはインフラから自動運転制御を支援す
-
-

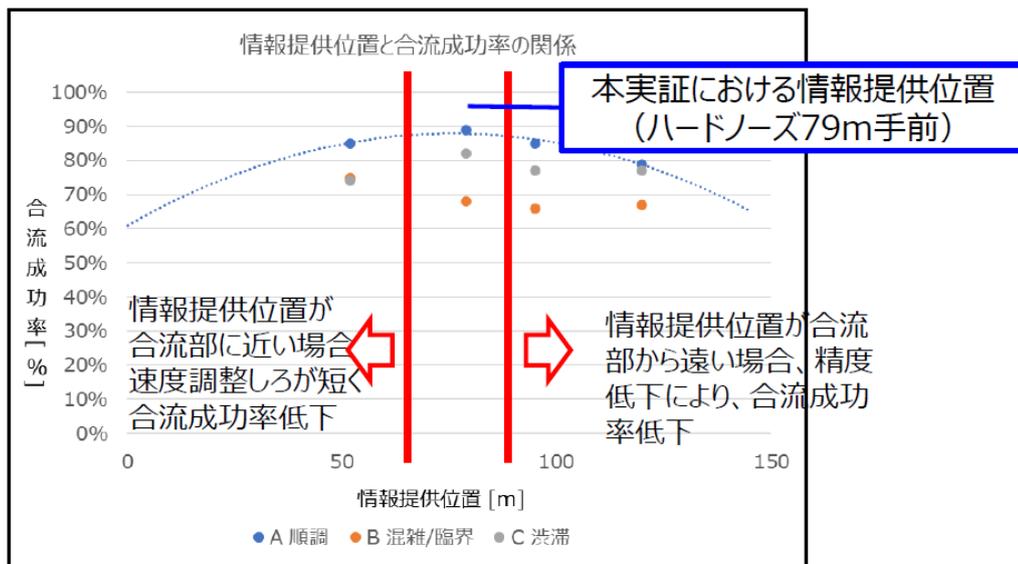
る情報提供が有効であると考えられ、現在設置の位置についても諸条件を満たす最適な位置であると言える。



合流シミュレーションの画面例
 (東京臨海部実証実験コンソーシアム報告書より抜粋)



路側機・センサ位置の関係
 (東京臨海部実証実験コンソーシアム報告書より抜粋)



路側機・センサ位置・本線状況に応じた合流成功率
 (東京臨海部実証実験コンソーシアム報告書より抜粋)

以上