

「次世代公共交通システムの開発に向けた
モデルシステムを用いた効果検証」報告書

平成 30 年 3 月

一般社団法人 UTMS 協会

目 次

1. はじめに	1
1.1 目的	1
1.2 位置づけ	1
1.3 全体計画	1
1.4 調査研究の方法	2
1.4.1 調査研究体制	2
1.4.2 調査研究実施概要	2
1.4.3 実施スケジュール	4
2. 実験計画	5
2.1 実験概要	5
2.1.1 実験目的	5
2.1.2 検証項目概要	5
2.1.3 検証方法概要	6
2.1.4 実験スケジュール概要	8
2.1.5 実験場所	8
2.2 評価項目	9
2.2.1 基本動作検証	9
2.2.2 効果検証	12
2.3 検証方法	14
2.3.1 700MHz帯ITS無線の通信範囲確認	14
2.3.2 GNSSの誤差影響確認	15
2.3.3 バス優先制御動作検証	16
2.3.4 検知から指令までの処理遅延影響確認	20
2.3.5 優先制御機能のその他項目の検証	20
2.3.6 旅行時間短縮効果	20
2.3.7 バス停下流交差点での効果評価	20
2.3.8 信号情報提供効果の評価	21
2.4 走行コース	22
2.4.1 青延長制御の走行コース	22
2.4.2 青延長制御以外の走行コース	23
2.4.3 擬似バス停	24
3. 実験結果	25
3.1 実験結果概要	25
3.1.1 実験日と確認項目	25
3.1.2 実験結果概要	25
3.2 700MHz帯ITS無線の通信範囲確認	27
3.2.1 ITS無線路側機から車載機への通信範囲	27

3.2.2	車載機から I T S 無線路側機への通信状況	30
3.3	G N S S の誤差影響確認	32
3.4	バス優先制御動作検証	35
3.4.1	青延長制御	35
3.4.2	赤短縮制御	36
3.5	検知から指令までの処理遅延影響確認	37
3.6	その他の優先制御機能検証	39
3.6.1	後続バスによる青時間の再延長	39
3.6.2	P T P S 優先要求なし	40
3.6.3	感応吸収方法の確認	40
3.6.4	隊列走行確認	42
3.7	旅行時間短縮効果	44
3.7.1	系統制御ありの場合	44
3.7.2	単独交差点の場合	46
3.8	バス停下流交差点での効果評価	49
3.8.1	データ分析方法	49
3.8.2	データ分析	49
3.8.3	結果	49
3.9	信号情報提供の確認	51
4.	今後の課題	52
4.1	バス優先制御	52
4.2	信号情報提供	52

別添 1 公共車両優先システムシステム定義書(案) –電波システム編–

別添 2 I T S 路側機 (高度化 P T P S 実験) 仕様化検討提案書

注) 本提案書は、モデルシステム開発用で当時の機器名称「I T S 路側機」を用いている。現仕様の「I T S 無線路側機」に相当する。

別添 3 I T S 無線路側機 P T P S 用路車間通信アプリケーション (実験) 規格

別添 4 I T S 無線路側機 P T P S 用 D A T E X – A S N メッセージ (実験) 規格

1. はじめに

1.1 目的

2020年東京オリンピック・パラリンピック競技大会の開催期間中、会場周辺においては、道路交通の混雑が予想される。会場周辺における交通の安全と円滑を確保するためには、公共交通を活用したスマートな交通の実現が必要である。

一方、地方においては、人口減による交通需要の減少から公共交通の維持が困難な状況が拡大しているが、超高齢化社会を迎えた我が国では、高齢者の移動手段としての公共交通の活用の在り方についても検討していく必要がある。

公共交通の活用に係る先進的な取り組みについては、2020年東京オリンピック・パラリンピック競技大会開催後も、東京臨海地域において活用されるとともに、それらがベストプラクティスとして地方都市等へ普及させていくことが期待されている。

これらを踏まえ、利便性と経済合理性を兼ね備えた、次世代公共交通システムの開発に取り組むこととし、次世代都市交通システムを構成する一つの機能として公共車両優先システムの高度化について検討する。

1.2 位置づけ

本調査研究は、戦略的イノベーション創造プログラム（S I P）自動走行システムにおいて実施するものである。

1.3 全体計画

次世代公共交通システム開発の全体計画を図 1.3-1 に示す。平成 26 年度に調査研究を行い、平成 27 年度に基本設計を実施した後、平成 28 年度にシミュレーションによる効果検証が行われている。本年度は平成 28 年度に東京都において構築されたモデルシステムを用いた効果検証を行い、必要に応じて基本設計の見直しを行い、公共車両優先システムの高度化の基本設計を完了する。全体計画を以下に示す。

平成26年度（実施済）	平成27年度（実施済）	平成28年度（実施済）	平成29年度
<p>次世代公共道路交 通システムの開発 に向けた基本設計 に係る調査研究</p> <ul style="list-style-type: none">・公共道路交 通の現状 調査・P T P Sの現状調査 (国内、海外)・現状調査結果の分析・高度化案の作成	<p>次世代公共道路交 通システムの開発 に向けた基本設計</p> <ul style="list-style-type: none">・公共道路交 通に関するニ ーズ・課題の詳細調査・高度化案に対する実現可 能性及び導入効果の検討・実現すべき機能の選択・システム基本設計書作成・シミュレーション評価仕 様作成	<p>公共車両優先シ ステムの高度化機能 に関する効果検証</p> <ul style="list-style-type: none">・シミュレーション評 価実験実施	<p>次世代公共交通シ ステムの開発に向けた モデルシステムを用 いた効果検証</p> <ul style="list-style-type: none">・モデルシステムに おける効果検証・定数設計検討・システム定義書作 成・基本設計見直し

図 1.3-1 次世代公共交通システム開発基本設計の全体計画

1.4 調査研究の方法

1.4.1 調査研究体制

一般社団法人UTMS協会は、高度情報通信技術を活用した新交通管理システム（UTMS:Universal Traffic Management Systems）に関する調査、研究及び開発により、道路交通のインテリジェント化を推進するとともに、UTMSに関する国内外における標準化を推進することにより、UTMSに関する事業の発展を図り、もって道路交通の安全と円滑の確保及び道路交通と環境の調和を図り、公共の福祉の増進に寄与することを目的としている。

当協会は、研究開発委員会の下、それぞれの作業部会において、開発・研究、実証実験を行っている。平成29年3月現在、41都道府県で運用されている光ビーコンによる公共車両優先システム（PTPS:Public Transportation Priority Systems）は、公共車両優先システム作業部会により開発されたものである。

当協会において本開発を実施するにあたり、平成26年度に高度交通管制システム分科会内に新たにPTPS高度化検討作業部会を設置した。

1.4.2 調査研究実施概要

本年度の調査研究の実施概要を表1.4.2-1に示す。

表 1.4.2-1 調査研究実施概要

実施項目	概要
<p>1 実験計画作成</p> <p>(1) 試験項目の具体化</p> <p>(2) 評価方法の具体化</p> <p>(3) 定数設計</p> <p>(4) 実験スケジュール作成</p>	<p>昨年度整備されたモデルシステムを用いて、実証実験を行うための実験計画を作成する。</p> <p>基本動作検証として、700MHz帯ITS無線の通信範囲、GNSSの誤差状況調査、青延長制御・赤短縮制御の動作等の試験項目を具体化する。</p> <p>効果検証として、青延長制御・赤短縮制御の効果、バス停が近い交差点における優先制御の効果等を検証する。</p> <p>各試験項目の評価方法を具体化する。</p> <p>PTPS効果確認機能の検証方法を検討する。</p> <p>モデルシステムの設置されている交差点を対象に仮想ビーコン位置、青延長時間等の定数設計を行う。設計時には、無線通信にかかる遅延時間、路側システムの処理時間、中央装置の処理時間等の影響を考慮する。</p> <p>各試験項目の実施スケジュールを作成する。</p>
<p>2 実験実施</p> <p>(1) 基本動作検証</p> <p>(2) 効果検証</p>	<p>昨年度整備されたモデルシステムを用いて実験車両による走行を行い、実験を実施する。</p> <p>700MHz帯ITS無線の通信範囲、GNSSの誤差状況、青延長制御・赤短縮制御、信号情報の配信内容確認等の基本動作を検証するため、実験車両による走行を行い、車載機、路側機器、中央装置等から収集したデータを用いて、基本動作の検証を行う。システムの処理時間等が考慮された定数設計が行われていることを検証する。</p> <p>青延長制御・赤短縮制御の効果、バス停における優先制御実施の効果等に関する検証を行うため、走行条件をかえて実験車両を走行させ、車載機、路側機器、中央装置等から収集したデータを用いて効果検証を行う。</p>
<p>3 システム定義書等の作成</p> <p>(1) システム定義書の作成</p> <p>(2) システム基本設計の見直し</p>	<p>検証結果を踏まえ、システム定義書等を作成する。</p> <p>PTPS高度化の考え方、制約事項や定数設計のガイドライン等をシステム定義書としてまとめる。</p> <p>検証結果を踏まえ、必要に応じて平成27年度に策定したシステム基本設計の見直しを行う。</p>

1.4.3 実施スケジュール

本調査研究のスケジュールを図 1.4.3-1 に示す。月 1 回程度のペースで全体会合を行い、研究内容の検討レビューを行いながら実施した。

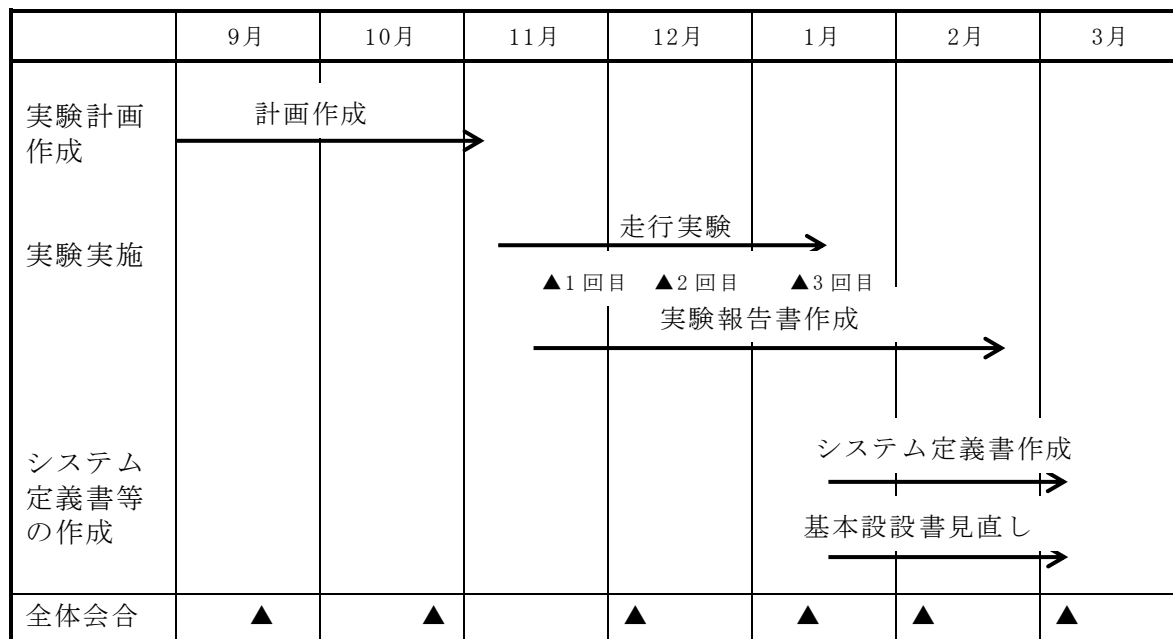


図 1.4.3-1 実施スケジュール

2. 実験計画

2.1 実験概要

2.1.1 実験目的

平成 27 年度の基本設計に基づき、平成 28 年度にシミュレーションによる効果検証を実施した。平成 29 年度は、平成 28 年度に警視庁により整備されたモデルシステムと当協会が準備する 700MHz 帯無線用の車載機を用いて実証試験を行う。道路上で路車間通信を行い、PTPS 高度化機能が実現できることを検証する。

具体的には、実環境の様々な条件下においてもシステムが動作することを検証すること、システムの効果に影響のあるパラメータ設計方法とその効果を検証し、今後の他地域への展開を見据え、その効果を最大化するための知見を得ることを目的とする。

2.1.2 検証項目概要

(1) 基本動作検証

基本動作検証では、モデルシステムが基本設計内容を実環境において実現できていることの検証、及び、交差点等に必要のパラメータ設計方法の検証を行う。図 2.1.2-1 に基本動作検証項目の概要を示す。

環境条件を対象とした検証項目は、以下の通り。

- ① 700MHz 帯 ITS 無線の通信範囲確認
- ② GNSS (Global Navigation Satellite System) の誤差影響確認
- ③ 検知から指令までの処理遅延影響確認

交差点に必要なパラメータ設計方法の検証項目は、以下の通り。

- ① 仮想ビーコンの位置設計の妥当性検証
- ② 最大青延長時間の設計検証

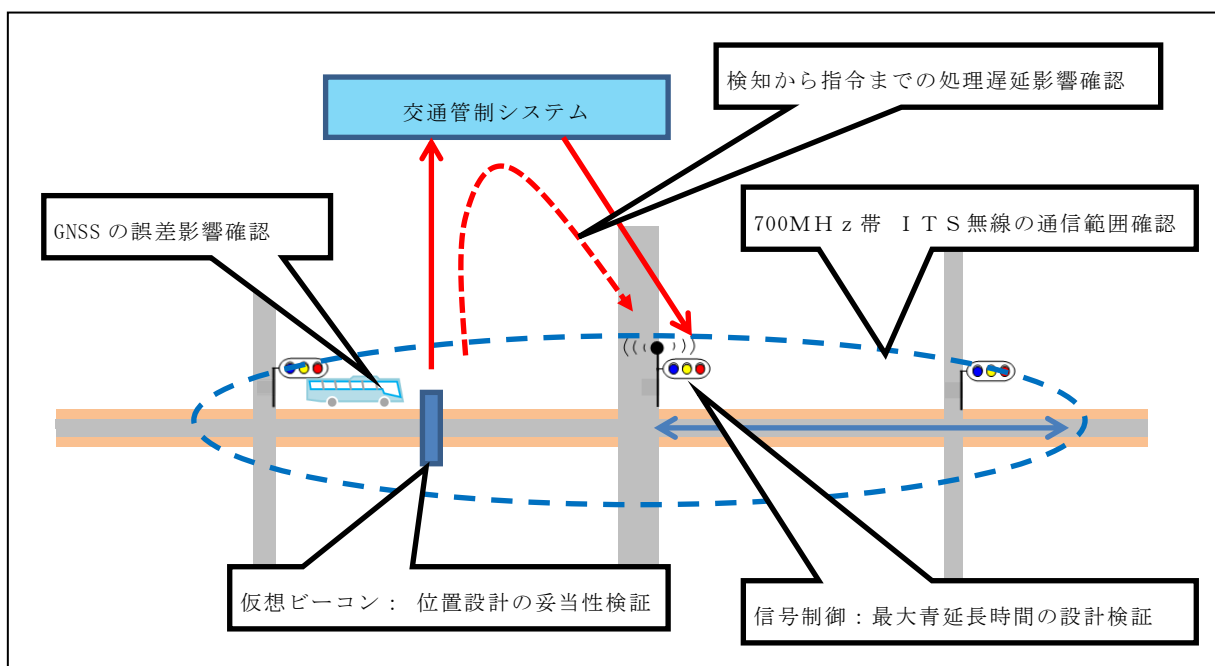


図 2.1.2-1 基本動作検証項目の概要

(2) 効果検証

効果検証では、旅行時間短縮、信号情報提供効果等を検証する。図 2.1.2-2 に効果検証の評価項目の概要を示す。

具体的な評価項目は以下の通り。

- ① 旅行時間の短縮効果
- ② バス停下流の交差点での短縮効果
- ③ 提供された信号情報の活用

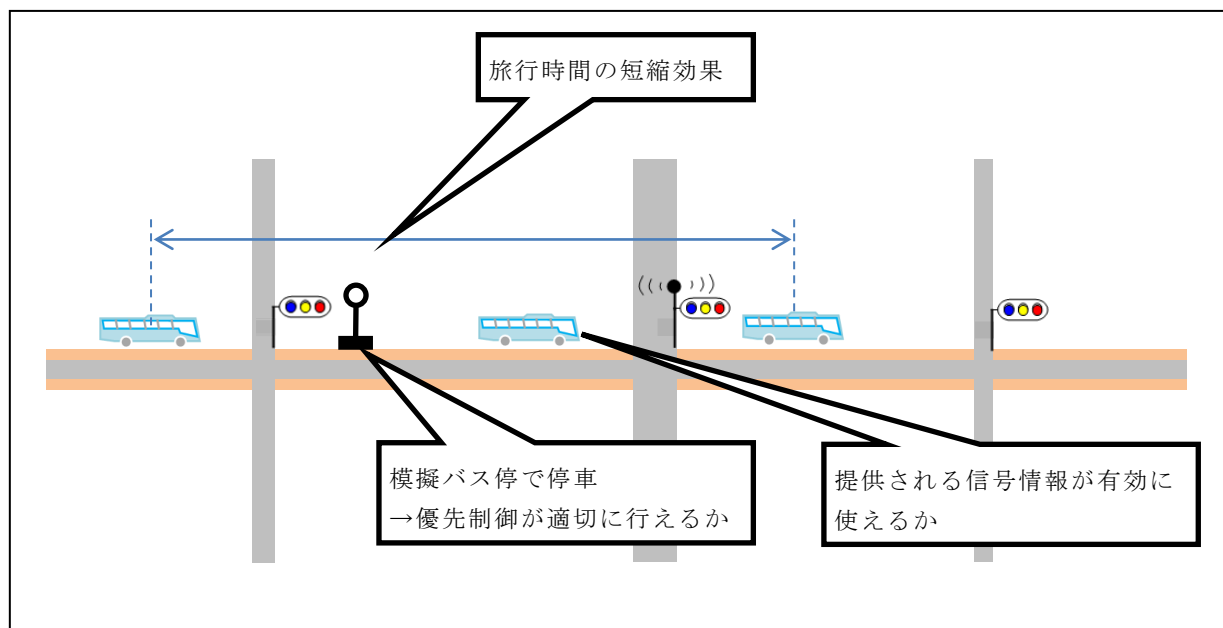


図 2.1.2-2 効果検証の評価項目

2.1.3 検証方法概要

(1) 試験車両による走行確認

車載機を搭載した車両により、走行確認を行う。車載機は、ITS無線路側機との通信を行う他、評価検証用に車内における表示機能、データ記録機能を行う。

PTPSの運用はバスを対象としているが、本実験では自動車メーカーから試験車両の提供を受け、バス（日野自動車 2台）、2t小型トラック（いすゞ自動車1台）、乗用車（トヨタ自動車 3台）の3車種を用いて実験を行う（写真1から写真3を参照）。ただし、これらの試験車両はDSSS信号情報を表示する機能を有さないため、別途試験用車載機を用意して信号情報提供に関する実験を行う。



写真 1 試験車両 (バス)



写真 2 試験車両 (小型トラック)



写真 3 試験車両 (乗用車)

(2) インフラ機器による動作確認

車載機と通信を行い、青延長制御・赤短縮制御等を行う。評価検証用に I T S 無線路側機におけるデータ記録、中央装置におけるデータ記録等を行う。

(3) 現場における目視確認

G N S S 精度や信号灯色変化タイミングは、目視により確認を行う。

2.1.4 実験スケジュール概要

(1) 期間

2017 年 11 月 8 日～2018 年 1 月 17 日

(2) 走行試験日程

上記期間において、1 回の事前試験と試験走行を 3 回実施する。

事前試験：2017 年 11 月 8 日（水）

第 1 回目：2017 年 11 月 16 日（木）

第 2 回目：2017 年 12 月 12 日（火）～15 日（金）

第 3 回目：2018 年 1 月 16 日（火）～17 日（水）

事前試験は、優先制御は実施せず、P T P S 優先要求によるアップリンクが交通管制センターにおいて受信できることを確認する。

2.1.5 実験場所

東京湾岸警察署前交差点付近。700MHz 帯 I T S 無線のアンテナ接地状況を写真 4 に示す。



写真 4 700MHz 帯 I T S 無線アンテナ（信号灯器の上部）

2.2 評価項目

2.2.1 基本動作検証

(1) 700MHz帯ITS無線の通信範囲確認

バス優先制御では、車載機から路側機へPTPS優先要求情報及び車両位置情報を連続して送信し、車載機が仮想ビーコンの位置を通過したことを路側機で判定する。そのため、700MHz帯ITS無線の通信範囲は、仮想ビーコン位置の設計に重要な要素である。

バス優先制御において大きな効果を得るためには、青延長時間を長くする必要がある。そのためには、第1仮想ビーコン位置（当該交差点において、中央装置が最初にバス通過を検出する位置）を上流にする必要があるため、通信範囲は大きい程良い。そのため、ITS無線の通信範囲の実力値は、今後の導入設計の参考データとなる。通信範囲が大きい場合には、下流交差点の光ビーコンの代わりとしても使える。

ITS無線の通信範囲は、道路周辺の構造物の影響（ここでは、ゆりかもめの橋脚）を受けするため、各流入路、各車線において通信範囲を確認する。

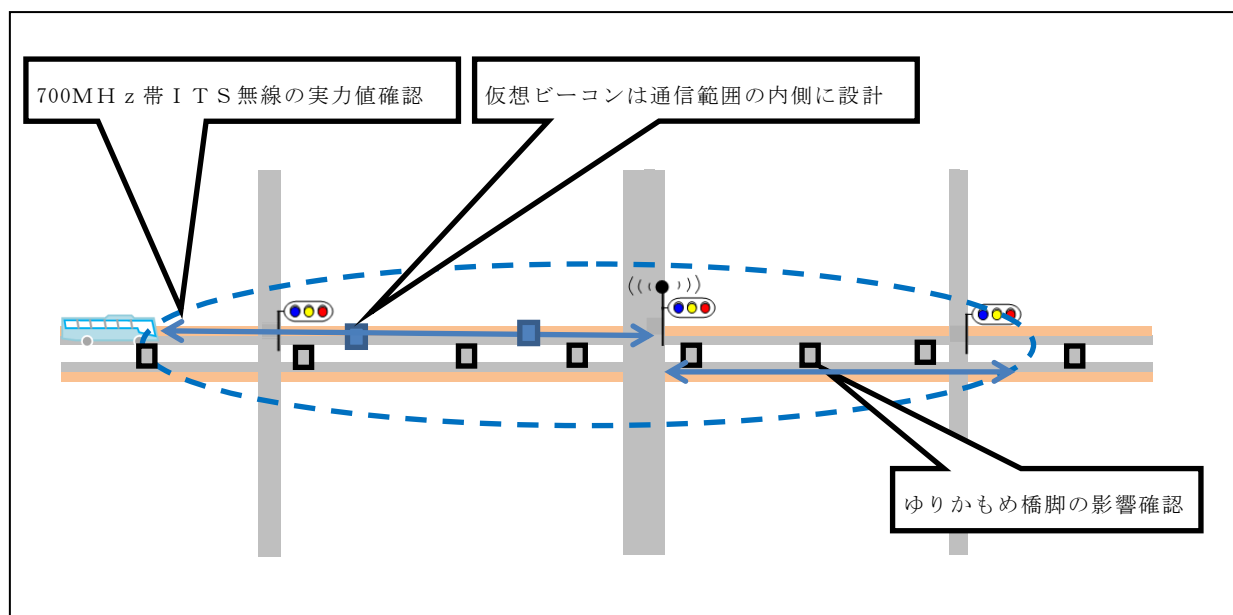


図 2.2.1-1 700MHz帯ITS無線の通信範囲確認のポイント

(2) GNSSの誤差影響確認

ITS無線路側機における仮想ビーコン通過は、車載機から受信した車両位置情報に基づき行われる。

車載機は、GNSSを用いて車両位置情報を作成する。そのため、GNSSの誤差が一定の範囲内であることが必要である。昨年度実施したシミュレーション評価によるGNSS誤差影響分析では、「測位誤差が30m以内の場合、旅行時間短縮効果への影響は0.5%以下」の結果がある。

GNSSは、道路周辺の構造物により受信できる衛星数やマルチパスの影響を受けするため、各流入路の各車線において精度を計測する。GNSSの位置精度を走行状態で正確に

計測することは困難であるため、簡易な方法で誤差が一定の範囲内であることを確認する。PTPS優先制御では、GNSSの誤差は、図2.2.1-2に示す通りシステムが判定する仮想ビーコンの通過時刻に影響する。そのため、GNSSの直接の誤差影響を仮想ビーコンの通過時刻の誤差として評価する。走行速度50km/hで誤差30mの場合、通過時刻差は約2.2秒となる。車両が実際に通過した仮想ビーコンの通過時刻とGNSSにより判定した通過時刻の差が2秒以下であることを確認する。

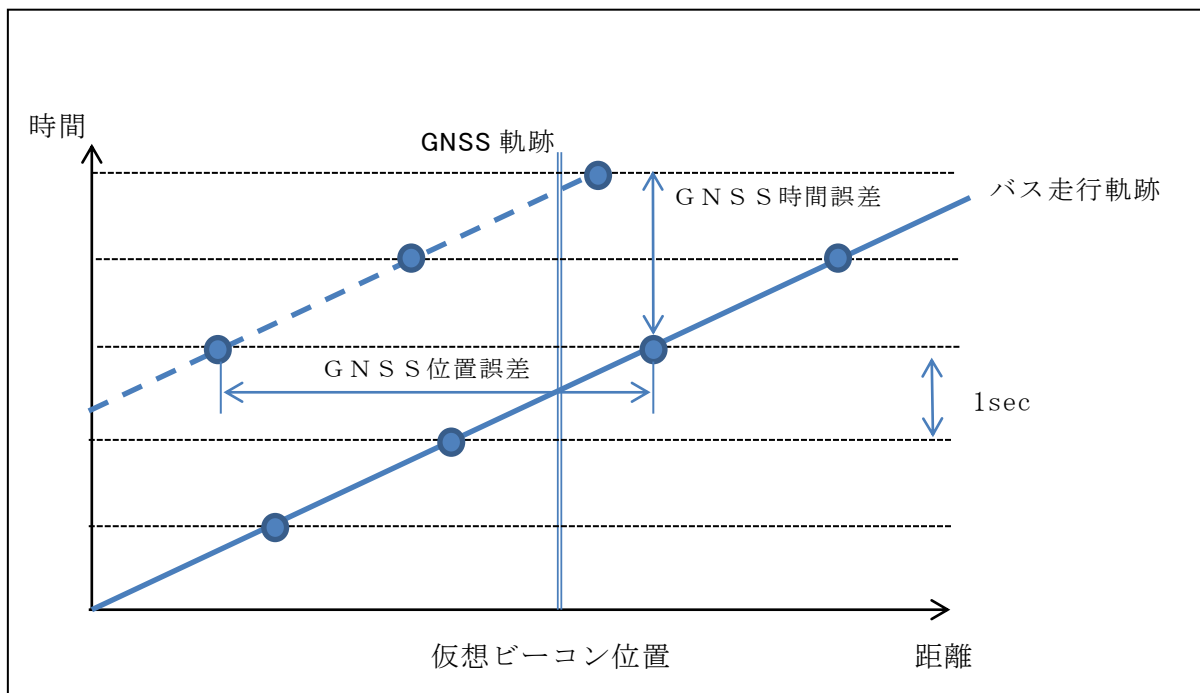


図 2.2.1-2 GNSS 誤差の仮想ビーコン通過時刻への影響

(3) バス優先制御動作検証

ITS無線路側機による仮想ビーコン通過検知情報により、青延長制御、赤短縮制御が行えていることを確認する。

(a) バス優先制御の基本機能検証

バス優先制御の基本機能に関する検証項目は以下の通り

- ①青延長が不要なタイミングで通過した場合は、青延長制御は行われないこと
- ②青延長が必要なタイミングで通過した場合は、青延長制御が行われること
- ③青延長限度時間の制約により、青延長制御が行われないこと
- ④赤短縮が不要なタイミングで通過した場合は、赤短縮制御は行われないこと
- ⑤赤短縮が必要なタイミングで通過した場合は、赤短縮制御が行われること

仮想ビーコン位置の妥当性、および最大青延長時間の妥当性も検証する。

(b) 仮想ビーコン2地点方式の検証

第2仮想ビーコンによるバス優先制御動作に関する検証項目は以下の通り

- ①バスが第1仮想ビーコンの設計速度より高く走行している場合は、第2仮想ビーコンで再延長しない場合があること
- ②バスが第1仮想ビーコンの設計速度以下で走行している場合は、第2仮想ビーコンで青時間の再延長を行うこと
- ③青時間の再延長を行うタイミングであっても、青延長限度時間の制約を超える場合は、再延長を行わないこと

(4) 検知から指令までの処理遅延影響確認

システムには、かならず処理遅延時間がある。また、秒単位の処理を行うシステムでは、平均 500 ミリ秒の処理待ちが生じる。図 2.2.1-3 に高度化 P T P S の処理モデルを示す。トータルで 0.5 秒～1.5 秒程度の処理遅延が生じると推測する。

ここでは G N S S 位置更新から、信号制御機の信号灯色変化までに生じる処理遅延の影響を考慮したパラメータ設計が行えていることを確認する。

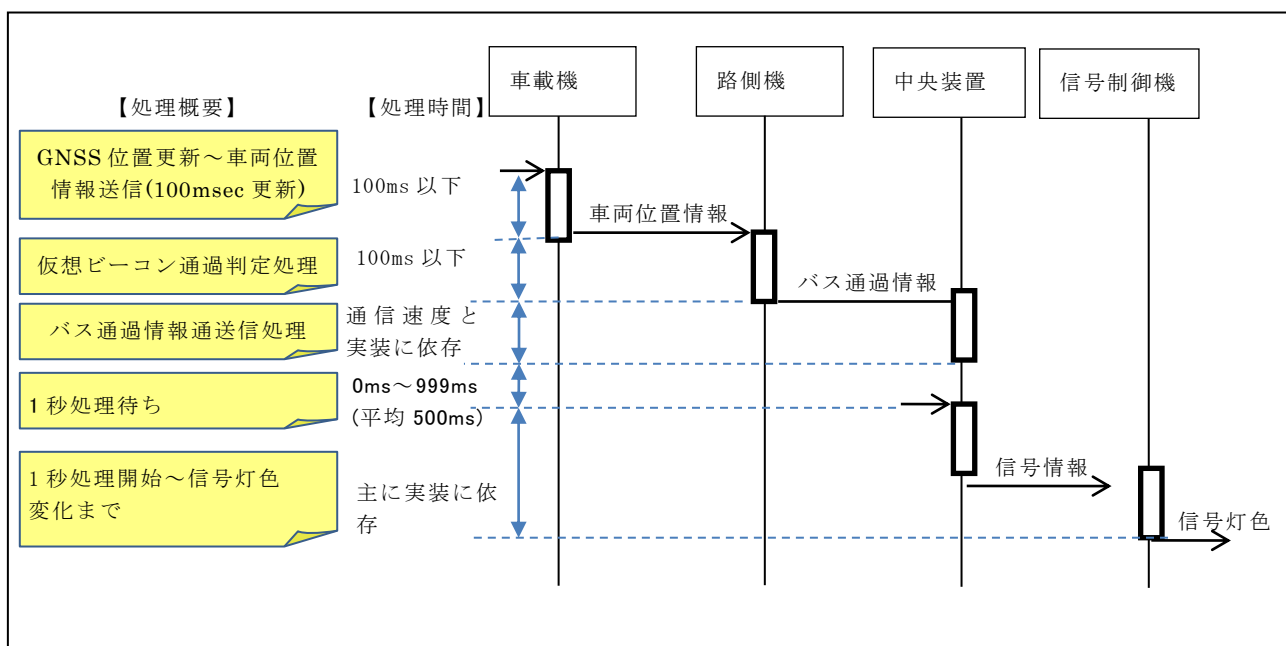


図 2.2.1-3 P T P S 処理モデル

(5) その他の優先制御機能検証

その他の優先制御機能として以下の機能を検証する。

①バス連続通過時の動作確認

バスが連続して通過する場合、青延長限度秒の範囲内で後続バスによる青時間の再延長が行われることを確認する。

② P T P S 優先要求なし

バスを回送状態とした場合、バス優先制御が行われないことを確認する。

③ 感応吸収方法の確認

青延長制御、赤短縮制御が行われた次のサイクルの信号秒数を確認し、感応吸収方法を確認する。感応吸収方法によっては、一定時間での実現スプリットに影響するため、設定設計上の重要な要素となる。

④ 隊列走行の確認

システムは、隊列走行への対応は行っていないがバスが隊列走行を行った場合、最後尾のバスが優先要求を行うことで隊列が分断されにくくなる。

2.2.2 効果検証

(1) 旅行時間短縮効果

バス優先制御の主な効果は、旅行時間短縮である。モデルシステムでは隣接交差点が近く、系統制御が行われている。この条件下でバス優先制御を行わない場合と行った場合での旅行時間短縮効果を評価する。また単独交差点であった場合の効果は、バスの交差点への到着タイミングをランダムと仮定し、試算を行う。

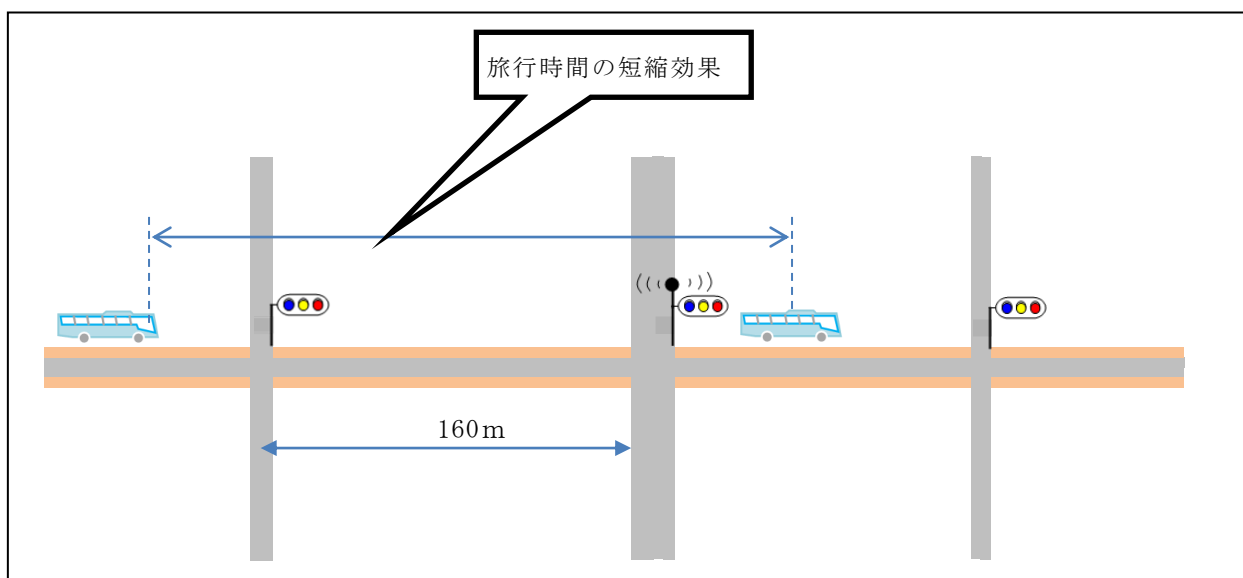


図 2.2.2-1 旅行時間の短縮効果の定義

(2) バス停下流交差点での効果評価

系統制御が行われている場合でも、バス停が存在すると系統効果が得られない。このような交差点では、バス優先制御によって効果が得られる可能性があるが、流入路を走行するバスの速度が一定でないため、停止線への到着タイミング予測が難しいことが課題である。バスの走行軌跡を把握し、バス停下流交差点での優先制御の効果を得るためのパラメータ設計に対する知見を得て、その効果を評価する。

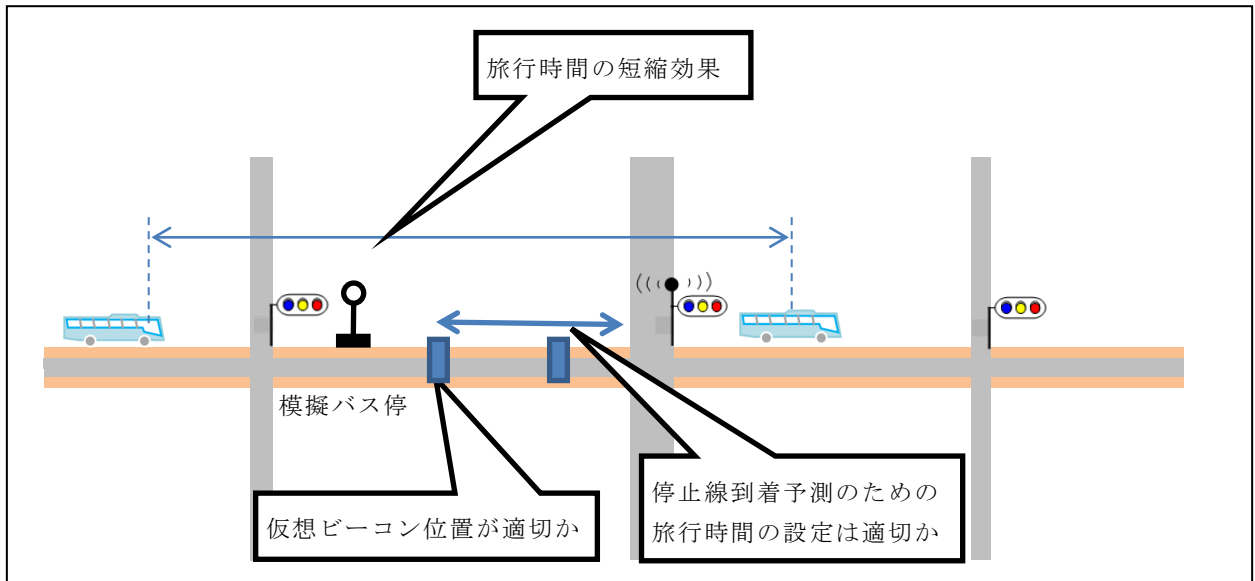


図 2. 2. 2-2 バス停下流交差点での効果評価

(3) 信号情報提供効果の評価

DSSS 信号情報提供効果の評価する。評価に用いる車載機には交差点通過支援機能はないため、提供される信号情報の提供内容と精度を評価する。

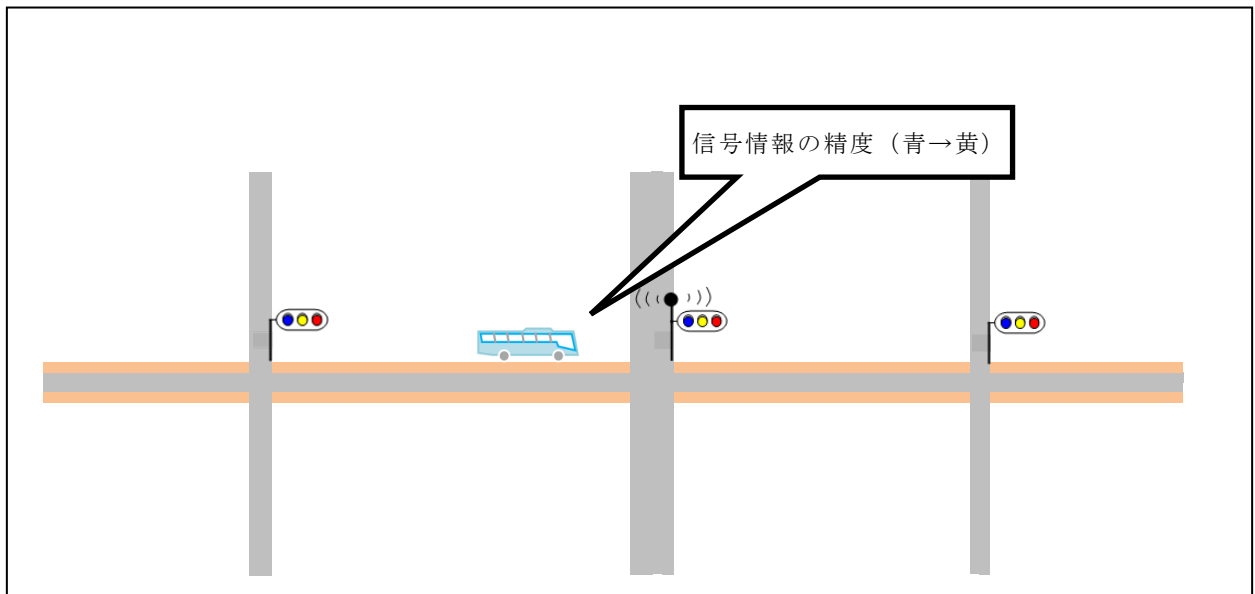


図 2. 2. 2-3 信号情報提供効果の評価

2.3 検証方法

2.3.1 700MHz帯 ITS無線の通信範囲確認

車載機から ITS無線路側機方向の通信範囲は、車両を走行させて、ITS無線路側機に蓄積される車両から受信した車両位置情報ログから通信範囲を確認する。ここでは、車両位置情報の誤差は考慮しない。

ITS無線路側機から車載機方向の通信範囲は、車両を走行させて、車載機に蓄積される位置情報と路車間通信情報（例えば信号情報）ログから通信範囲を確認する。

なお受信範囲は、通信が一定時間連続して成功している範囲とする。車両を走行させて確認するため、通信範囲が広い場合、流入路②、流入路③は、見通し範囲がすべて通信範囲に入る可能性がある。この場合、見通し範囲で計測できる範囲での計測とする。



地理院地図（電子国土 Web）を基に作成

流入路③

図 2.3.1-1 通信範囲の計測対象流入路

通信範囲測定結果イメージを表 2.3.1-1 に示す。

表 2.3.1-1 700MHz帯 ITS無線の通信範囲測定結果表イメージ

大項目	中項目	小項目		通信距離			ITS無線アンテナ見通し	
		流入路	車線	1回目	2回目	3回目		
700MHz帯 ITS無線の通信範囲確認	車載機から ITS無線路側機への通信可能距離	①	路肩側				良好	
			中央側					
		②	/					おおむね良好
		③	路肩側				ゆりかもめ橋脚あり	
			中央側					
	ITS無線路側機から車載機への通信可能距離	①	路肩側				良好	
			中央側					
②		/					おおむね良好	
③	路肩側				ゆりかもめ橋脚あり			
	中央側							

2.3.2 GNSSの誤差影響確認

走行状態におけるGNSSの誤差の簡易な計測方法を以下に示す。

- (1) 車両をできるだけ一定速度で走行させる（ $\pm 5\text{km/h}$ 以内の速度変化は許容範囲とする）。
- (2) 車両に乗車した計測員が、流入路の上流部と停止線の2地点の通過時刻を記録する。
時刻同期を行った時計に対して、指定の時間でストップウォッチをスタートさせ、上流部と下流部のラップタイムを計測することで、概ね正確な通過時間を得る。
流入路の上流部は仮想ビーコン位置が望ましいが、明確な目印等がない場合は計測が難しいため、上流交差点流出部にある信号柱など目印のある地点で計測する。計測方法を図 2.3.2-1 に示す。
- (3) 車載機のログから、GNSSの計測位置として、緯度、経度、時刻を得る。下流側に基準点を置き、基準点と上流通過時の計測位置間の距離を計測距離B、基準点と上流目印間の距離を真値距離Aとし、その差を誤差として算出する。同様に、下流側の計測誤差を算出する。位置誤差の算出方法を図 2.3.2-2 に示す。

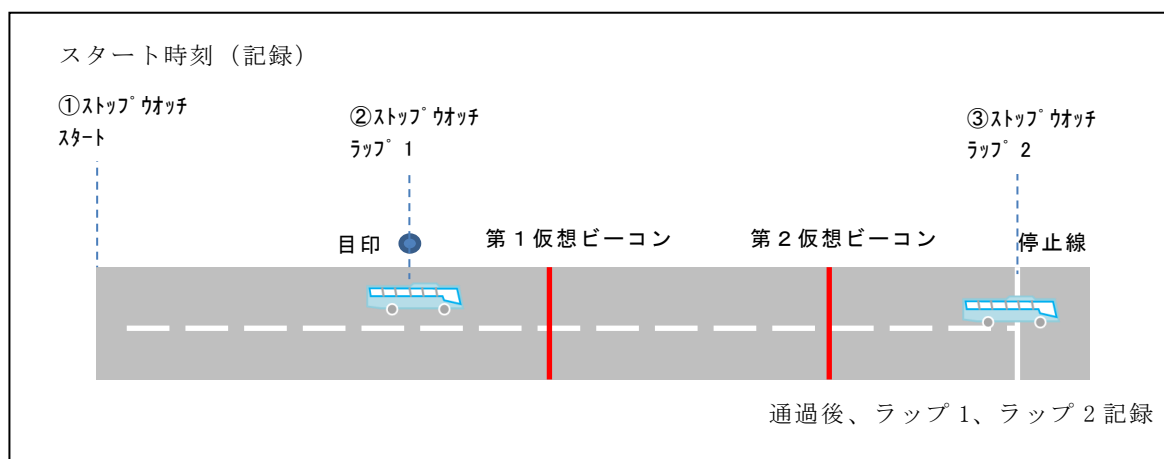


図 2.3.2-1 GNSS 誤差簡易計測方法

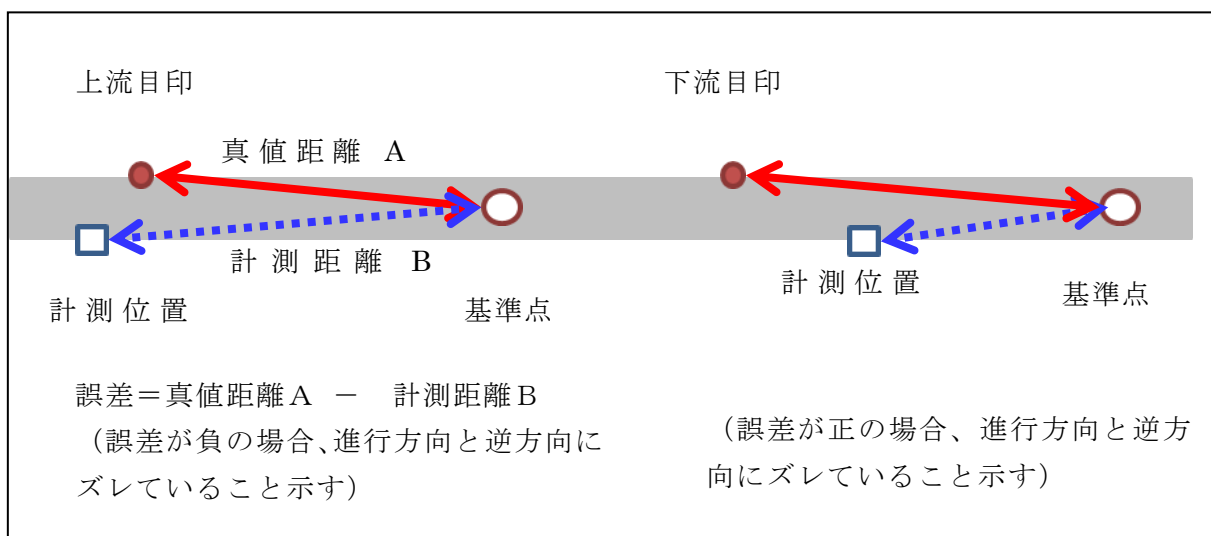


図 2.3.2-2 GNSS の誤差算出方法

表 2.3.2-1 GNSS 誤差の測定結果表イメージ

大項目	中項目		誤差				
			1回目	2回目	3回目	4回目	5回目
GNSS の誤差影響確認	第 1 仮想ビーコン	位置誤差					
		通過時間差					
	停止線位置	位置誤差					
		通過時間差					

注：第 2 仮想ビーコンは、停止線と近いため計測を行わない。

2.3.3 バス優先制御動作検証

(1) 検証内容

動作検証を効率的に行うため、走行速度、走行経路、走行開始タイミングを決めて、動作確認を行う。

青延長制御は、幹線道路側で対象交差点に進入する。走行速度、走行開始タイミングを指定する。

赤短縮制御は、従道路を対象流入路とする。赤短縮制御は他と比較して動作を受け付ける時間が長いため、走行タイミングは指定しない。

周囲の車両等にも注意し、安全重視で試験を実施する。そのため、必ずしも青延長制御が行われるタイミングで通過できるとは限らない。複数回の試験走行を行い、検証できる確率を高くする。

表 2.3.3-1 バス優先制御動作検証

検証機能	検証対象	走行条件	検証方法
青延長 制御	第1 仮想ビーコン 動作 設計速度=50km/h 旅行時間 10 秒	ケース① 走行速度：50km/h ケース② 走行速度：40km/h 幹線道路から流入	青延長時間、通過時の残り青時間を確認 する。 ケース① 再延長なし、又は 1 秒再延長 ケース② 再延長あり（2 秒又は 3 秒）
	第2 仮想ビーコン 動作 設計速度=40km/h 旅行時間 5 秒	ケース① 走行速度：50km/h ケース② 走行速度：40km/h 幹線道路から流入	第1 仮想ビーコン通過タイミングから再 延長が行われたことを確認する。
	第1 仮想ビーコン 動作 最大青延長制約	走行速度=40km/h 信号オフセットとバス走 行速度から出発時刻を算 出。	第1 仮想ビーコン通過タイミングで青延 長は行われなことを確認する。(タイミ ング的には厳しいため、試行回数を決め て実施)
	第2 仮想ビーコン 動作 最大青延長制約	走行速度=40km/h	第1 仮想ビーコン通過タイミングで青延 長、第2 仮想ビーコンで再延長が行われ ないことを確認する。(タイミング的には 厳しいため、試行回数を決めて実施)
	青延長限度秒数調 整	上記走行データから対象 データを選択し検証する。	仮想ビーコン位置に対して青延長制御の 効果の高い青延長限度秒となっているこ とを確認する。
赤短縮制 御	第1 仮想ビーコン 動作	従道路から流入し、通常走 行で停止線まで走行する。	赤短縮時間を確認する。
	第2 仮想ビーコン 動作		信号制御に影響しないことを確認する。
制御なし	第1 仮想ビーコン 動作 第2 仮想ビーコン 動作	幹線道路から流入し、タイ ミングを考慮し走行。	仮想ビーコン通過タイミングから制御が 不要なタイミングであることを確認す る。 青延長、赤短縮が行われていないことを 確認する。

(2) バス優先制御のための感応階梯設定

図 2.3.3-1 に対象交差点の現示階梯図を示す。今回の対象交差点では幹線道路の赤短縮制御は実施しない。これは、従道路側の歩行者青時間は 25 秒である（図 2.3.3-1 の第 6 階梯の秒数参照）が、横断歩道長が長く横断保証秒の観点から歩行者青時間の短縮が困難であるためである。そのため、本実験では赤短縮制御は従道路から流入して試験を行う。

灯器記号	周期	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	/				WW						
1P											
2								WW			
2P											
流れ図	/										
秒数	120	52	6	2	4	2	25	10	2	3	4
可変階梯	/	○		○					○		
感応階梯 (幹線道路)	/			延長							
感応階梯 (従道路)	/	短縮							延長		

図 2.3.3-1 対象交差点の現示階梯図

(3) 仮想ビーコン位置設計

仮想ビーコン位置を決めるに際して、最大青延長時間を決める。表 2.3.3-2 に、最大青延長時間、最大赤短縮時間を示す。

表 2.3.3-2 最大青延長時間、最大赤短縮時間

	幹線道路側	従道路側
最大青延長時間	10 秒	10 秒
最大赤短縮時間	0 秒	10 秒

(a) 幹線道路側

実勢速度：50km/h

設計速度：40km/h（実勢速度と設計速度の差として、10km/h を想定する。）

第1 仮想ビーコン位置： $13.9 \text{ m/sec} \times 10 \text{ sec} = 139 \text{ m}$ （システム処理遅延時間がある場合、上流側に移動する必要がある。システム処理遅延時間を考慮して最大の青延長時間をえるための仮想ビーコン位置としてどこが最適化を検証する。）

第2 仮想ビーコン位置： $11.1 \text{ m/sec} \times 5 \text{ sec} = 55 \text{ m}$

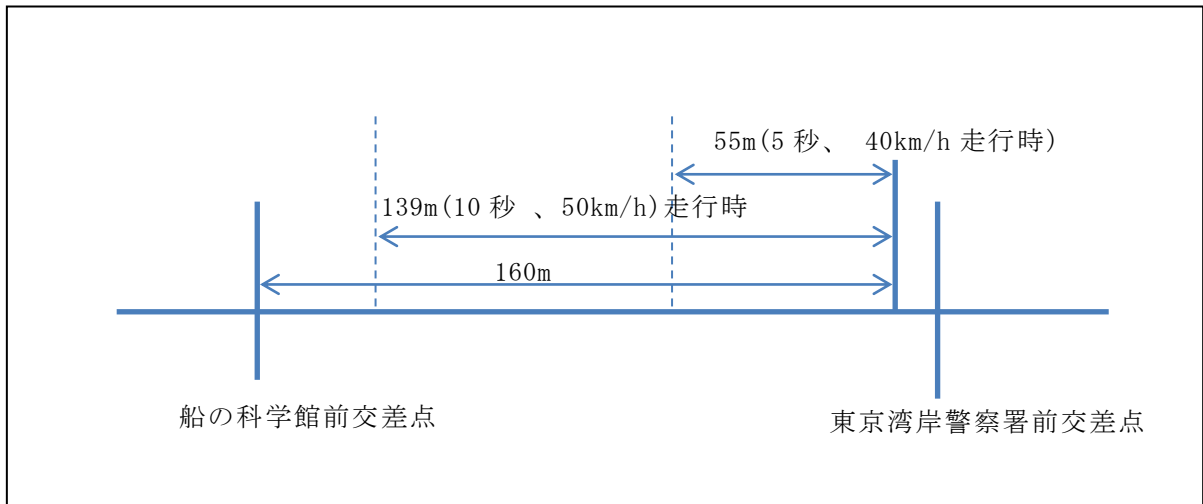


図 2.3.3-2 幹線道路側の仮想ビーコン位置設計

(b) 従道路側

実勢速度：40km/h（直線距離は375m程度と短く、横断歩道等もあることから、バスが速度を上げることは困難）

設計速度：30km/h（実勢速度と設計速度の差として、10km/hを想定する。）

第1仮想ビーコン位置： $11.1 \text{ m/sec} \times 10 \text{ sec} = 111 \text{ m}$ （システム処理遅延時間がある場合、上流側に移動する必要がある。システム処理遅延時間を考慮して最大の青延長時間を得るための仮想ビーコン位置としてどこが最適化を検証する。）

第2仮想ビーコン位置： $8.3 \text{ m/sec} \times 5 \text{ sec} = 42 \text{ m}$

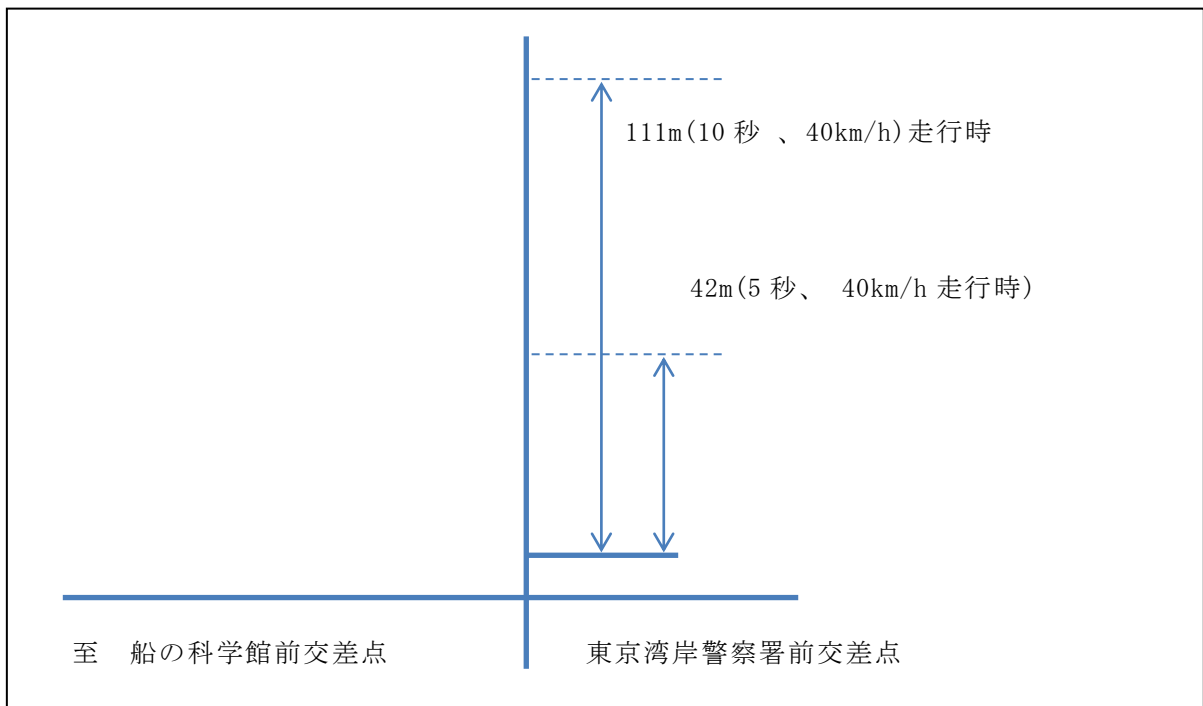


図 2.3.3-3 従道路側の仮想ビーコン位置設計

2.3.4 検知から指令までの処理遅延影響確認

バス優先制御動作検証を用いて処理地点時間を検証する。

仮想ビーコン通過時刻と青延長時間から、設計上の青延長時間と実現された青時間の関係を調べる。

30件以上の走行データを調べる。

2.3.5 優先制御機能のその他項目の検証

優先制御機能のその他項目の検証として表 2.3.5-1 に示す項目を検証する。

表 2.3.5-1 優先制御機能のその他の検証方法

検証項目	走行条件	検証方法
後続バスによる青時間の再延長	2台連続で走行する	仮想ビーコン通過タイミングと青延長時刻の関係から後続のバスに対しての青延長が行なわれていることを確認する。
P T P S 優先要求なし	バスを回送状態とする 左折流入する	現示秒数履歴で赤短縮制御が行われていないことを確認する。
感応吸収方法の確認	(追加走行は不要)	青延長が行われた現示、次のサイクルの現示を確認する。 赤短縮が行われた現示、次のサイクルの現示を確認する。
隊列走行確認	バス2台、又は乗用車 3台が隊列走行する。	車載機は、車車間通信で隊列走行を判定する。システムは隊列走行に対応していないため、隊列の最後尾の車両が優先要求をあげて、隊列が分断せずに走行できることを確認する。

2.3.6 旅行時間短縮効果

車両を走行させ、車両の走行ログ等により旅行時間短縮効果を算出する。

- (1) P T P S 制御なし
- (2) P T P S 制御あり

今回の走行場所では、対象交差点の手前の交差点との間の系統効果により、旅行時間短縮効果が単独交差点の場合と異なる。単独交差点の場合と系統制御の場合の2種類の効果を試算する。

2.3.7 バス停下流交差点での効果評価

仮想バス停で、一定時間停止した後下流交差点を通過するシナリオで試験を行う。

P T P S 制御を行う場合と行わない場合を比較する。

試験車両はバスに限定する。

仮想ビーコン通過から停止線到着までの時間を計測する。第1仮想ビーコンと第2仮想

ビーコンのばらつき状況から仮想ビーコン位置の妥当性を評価する。

2.3.8 信号情報提供効果の評価

試験用車載機で表示される信号情報の正しさを目視により検証する。

- ・試験用車載機における信号灯器変化のタイミングと実際の信号灯器の変化を目視で比較し、概ね一致することを確認する。
- ・バス優先制御時の最小残秒数と最大残秒数の値が妥当であることを確認する。

2.4 走行コース

2.4.1 青延長制御の走行コース

青延長制御確認では、走行開始タイミングをきめて走行確認を行う必要がある。そのため図 2.4.1-1 の左側に示すようなスタート地点で停止し、走行開始タイミングを待つ。一般車両が走行している場合、待ち時間が長くなる場合があるが、それ以外では信号周期以内の停止を想定する。スタート地点では、路上の試験員が一般車両がないことを確認し、運転手に対してスタートを指示する。

旅行時間短縮効果の確認では、走行開始タイミングを決めることなく、走行コースを周回して確認を行う（図 2.4.1-1 右側）。

実験走行時以外は、駐車場にて待機する。

実験の安全に遂行するため、スタート地点には警備員を配置する。

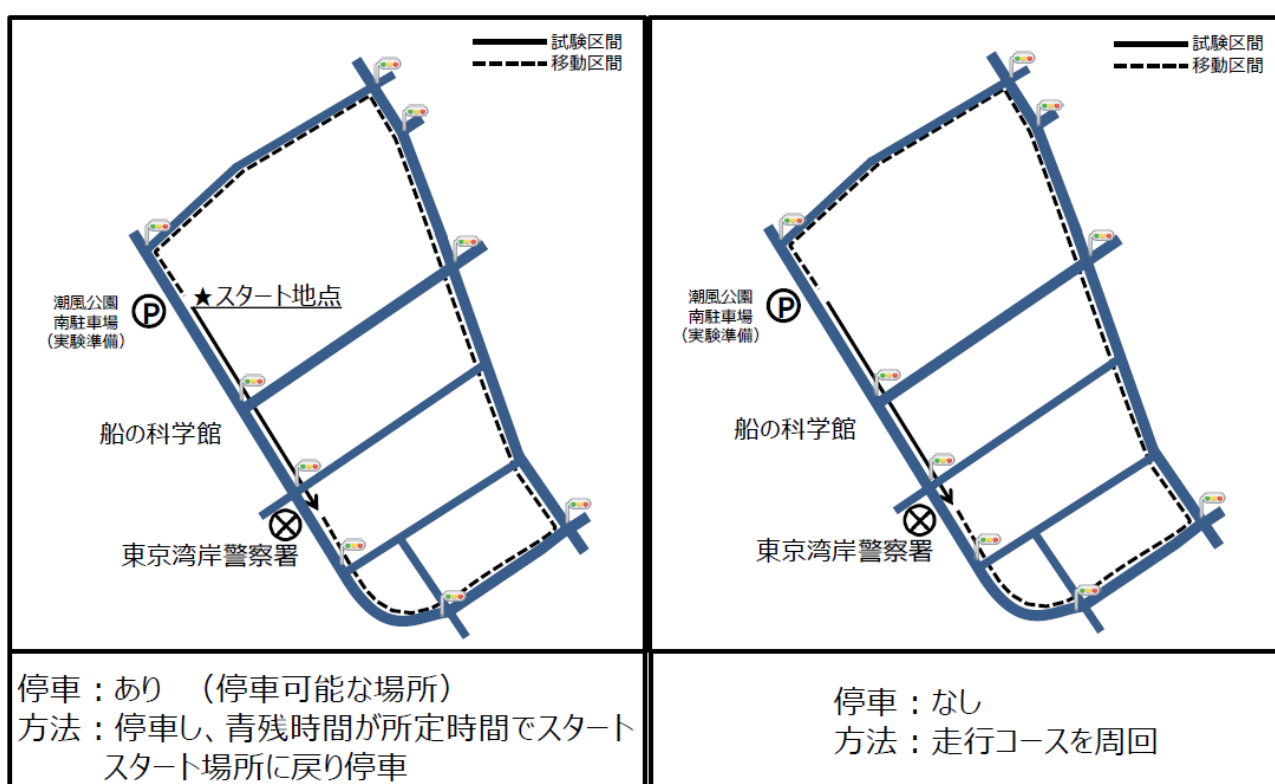


図 2.4.1-1 青延長制御の走行コース

2.4.2 青延長制御以外の走行コース

東京湾岸警察署前交差点の幹線道路側では赤短縮制御を行うことができない。そのため、従道路側を走行し、幹線道路側の青時間を短縮させて確認をおこなう。(図 2.4.2-1 左側)

優先制御が行われないタイミングを検証する際は、走行コースを周回して確認を行う(図 2.4.2-1 右側)。

実験走行時以外は、駐車場にて待機する。

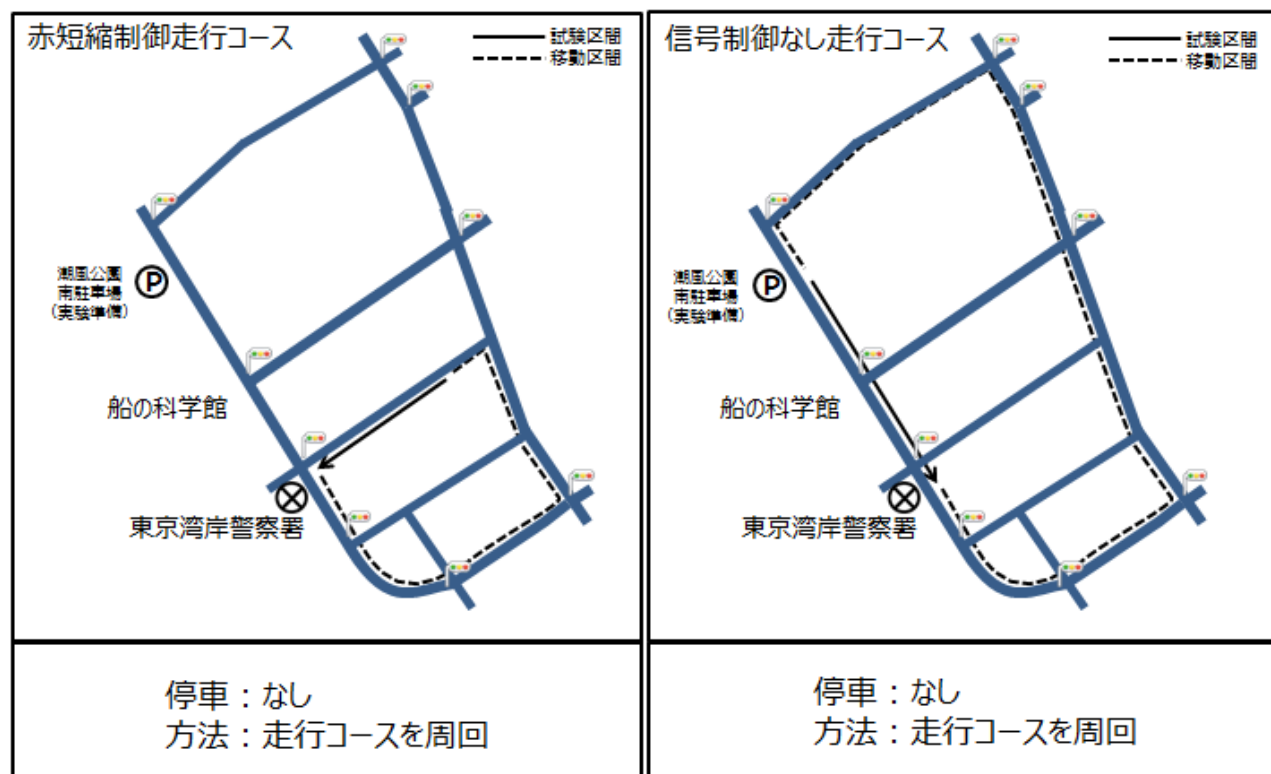


図 2.4.2-1 青延長制御以外の走行コース

2.4.3 擬似バス停

船の科学館前交差点と東京湾岸警察署前交差点の間に擬似的なバス停を想定する（図2.4.3-1 参照）。バスは、擬似バス停で一時停止をした後、他の車両に影響を与えないことを確認の上、バス停を出発する。試験車両はバスとし、行き先表示板には“試験中”等がわかる表示を行い、歩行者に誤解を与えないようにする。

実験の安全に遂行するため、擬似バス停付近には警備員を配置する。



図 2.4.3-1 擬似バス停

3. 実験結果

3.1 実験結果概要

3.1.1 実験日と確認項目

表 3.1.1-1 に、実験日と確認項目を示す。

表 3.1.1-1 実験日と確認項目

確認項目	第 1 回目	第 2 回目				第 3 回目	
	11/16	12/12	12/13	12/14	12/15	1/16	1/17
700MHz 帯 I T S 無線の通信範囲確認	○	○					
G N S S の誤差影響確認	○	○					
バス優先制御動作検証	○	○	○	○			
検知から指令までの処理遅延影響確認		○	○	○			
その他の優先制御機能検証						○	○
旅行時間短縮効果		○	○	○			
バス停下流交差点での効果評価					○		
信号情報提供効果の評価						○	

3.1.2 実験結果概要

表 3.1.2-1 に実験結果概要を示す。詳細は、3.2 項以降を参照のこと。

表 3.1.2-1 実験結果概要（1 / 3）

確認項目	結果概要
700MHz 帯 I T S 無線の通信範囲確認	<p>(1) I T S 無線路側機から車載機への通信</p> <ul style="list-style-type: none"> ・車種、流入路により通信範囲が異なる。通信は、300m を超える流入路もあるが 200m 程度の流入路もある。そのため、導入場所個別に確認が必要である。 ・実験で必要となる通信範囲は確保できている。 ・バスは車高が高く、通信距離が長い傾向がある。バスでの検証が望ましい。 <p>(2) 車載機から I T S 無線路側機への通信</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ログ収集が難しいこと、評価データが多いことから確認範囲を限定して実施。 ・200m の通信範囲では、概ね良好な通信を確認。 ・通信距離が短く、通信可能な距離内であっても、0.4 秒から 0.5 秒程度通信ができない状態が見られた。青延長時間が最大 1 秒長くなる可能性があるが、信号制御への影響は小さい。

表 3.1.2-1 実験結果概要 (2 / 3)

確認項目	結果概要
GNSSの誤差影響確認	<ul style="list-style-type: none"> ・目視による確認では、最大誤差は20m以内のものが多く、良好。 ・目視では、全体的に目印に対して早めに計測する傾向があった。 ・画像による確認では、誤差数m以下のものが多く、また誤差の幅の小さいことから、GNSSの精度は高いと判断する。 ・流入路3は誤差がやや大きく、道路脇のビルの影響が出ていると推測する。
バス優先制御動作検証	<ul style="list-style-type: none"> ・青延長制御あり、赤短縮制御あり、制御なしの3ケースが仕様通りに動作していることを確認した。 ・第1仮想ビーコンで最大青延長時間を得るには、第1仮想ビーコンと停止線間の旅行時間が最大青延長時間+3秒となる位置に設置することが必要である。 ・第2仮想ビーコンで83%の青時間の再延長が動作し、有効に機能していることを確認した。
検知から指令までの処理遅延影響確認	<ul style="list-style-type: none"> ・仮想ビーコン通過時刻の差は、車載機と中央装置で約1秒程度であり、設計の範囲内であることを確認した。 ・通過時刻の差がマイナスになるケースがあり、より正確な評価が行えるよう中央装置ログの時刻ずれの改善が望まれる。
その他の優先制御機能検証	<ol style="list-style-type: none"> (1) 後続バスによる青延長制御が行われていることを確認できた。 (2) バスを回送状態で走行させた場合（PTPS優先要求なしと等価）、優先制御が行われないことを確認できた。 (3) モデルシステムにおける感応吸収は、指定した吸収ステップで行われ、一般の道路交通への影響があまりない方法であることを確認した。 (4) 車載機による隊列形成が行われた場合、隊列を維持したまま交差点を通過できることを確認した。
旅行時間短縮効果	<ul style="list-style-type: none"> ・対象交差点の旅行時間改善は、21.2%と大きな値が試算された。これは系統制御が行われているため、停止する車両が少なく見かけ上大きな値になっている。 ・単独交差点を想定した場合、8.4%の旅行時間改善となった。
バス停下流交差点での効果評価	<ul style="list-style-type: none"> ・第1仮想ビーコン位置を調整することで、第1ビーコン、第2ビーコンそれぞれが適切な青延長を行い制御することを確認できた。 ・第1仮想ビーコンが交差点に近い場合は、青延長を長く取れないためできるだけ上流に第1仮想ビーコンを置く必要がある。

表 3.1.2-1 実験結果概要 (3 / 3)

確認項目	結果概要
信号情報提供効果の評価	<ul style="list-style-type: none"> ・ 信号情報は適切に提供されていることを確認した。 ・ バス優先制御が行われても、最小残秒数、最大残秒数の変化はなく、設計通りであることを確認した。 ・ 前サイクルでバス優先制御が行われた場合、最小残秒数、最大残秒数の差が大きくなり、不定部分が長くなる。 ・ バス優先制御では、信号が青から赤に変化する時刻の推定が重要であるが、今回の実験の場合、時刻が幅付きで提供されるため車載機側で活用しなかった。

3.2 700MHz帯 ITS無線の通信範囲確認

3.2.1 ITS無線路側機から車載機への通信範囲

表 3.2.1-1 に ITS無線路側機から車載機への通信範囲の集計結果を示す。

図 3.2.1-1 から図 3.2.1-3 には、車種毎の ITS無線路側機から車載機への通信範囲を示す。

これらの表、及び図から本検証に用いる各流入路の仮想ビーコンはこれらの通信範囲に入っていることを確認できた。

ITS無線の通信範囲の実力値は車種により異なる。トラックは、検証用に用いたアンテナ特性の影響により、実力値より低い結果となっている。バスについては、通信範囲が他の車種に比べて広いが、アンテナ位置（地上高約 3m）が高いことがその要因として考えられる。

表 3.2.1-1 I T S無線路側機から車載機への通信範囲

車種	走行場所		走行回数	アンテナからの距離 (m)			備考
				最小	最大	平均	
乗用車	流入路 1	上流側	7	251	310	279	
		下流側		215	234	225	*参考データ (途中左折)
	流入路 2	上流側	7	315	417	381	
		下流側		83	104	89	*参考データ (ビル影響)
	流入路 3	上流側	7	253	266	261	
		下流側		365	412	395	
小型トラック	流入路 1	上流側	8	185	219	199	
		下流側		176	203	191	
	流入路 2	上流側	8	249	292	275	
		下流側		75	82	79	*参考データ (ビル影響)
	流入路 3	上流側	8	171	197	187	
		下流側		164	191	179	
バス	流入路 1	上流側	4	358	400	387	
		下流側		288	372	346	
	流入路 2	上流側	2	439	477	458	
		下流側					未計測
	流入路 3	上流側	4	374	379	377	
		下流側					未計測

注) バスは流入路2の交差点を通過した下流側は道路が狭いため通行していないため未計測。流入路3は、データ収集ミスにより未計測。



地理院地図（電子国土 Web）に●：連続通信開始位置、■：連続通信終了位置を付加。
 図 3.2.1-1 I T S 無線路側機から車載機への通信範囲（乗用車）



地理院地図（電子国土 Web）に●：連続通信開始位置、■：連続通信終了位置を付加。
 図 3.2.1-2 I T S 無線路側機から車載機への通信範囲（小型トラック）



地理院地図（電子国土 Web）に●：連続通信開始位置、■：連続通信終了位置を付加。

図 3.2.1-3 ITS無線路側機から車載機への通信範囲（バス）

3.2.2 車載機からITS無線路側機への通信状況

表 3.2.2-1 に車載機からITS無線路側機への通信状況の集計結果を示す。ITS無線路側機でのログ形式の制約、及びデータ量の多さから、評価は乗用車の8回分の走行で行った。ITS無線路側機から車載機への通信確認では、連続通信で評価したが、車載機からITS無線路側機への通信確認では、100msec毎の通信ができていない場合がみられたため、アンテナから200m以内の範囲で通信できている範囲を確認した。

集計結果に示す通り、対象エリア内では概ね良好な通信が行われていることを確認できた。通信が失敗する場合（走行No.7, No.8）があるが、1回の受信ができない場合でも100msec後に受信できており、バス優先制御への影響はない。一方、走行No.1では、連続して受信できない場合がみられ、連続受信できない状態が0.4秒から0.5秒続く間に、車両が4m程度移動しており、仮想ビーコン通過判定が遅れる可能性がある（図3.2.2-2参照）。この場合、青延長が長くなる方向であるため、無駄青が生じる場合があるが、最大1秒の誤差であり影響は小さい。

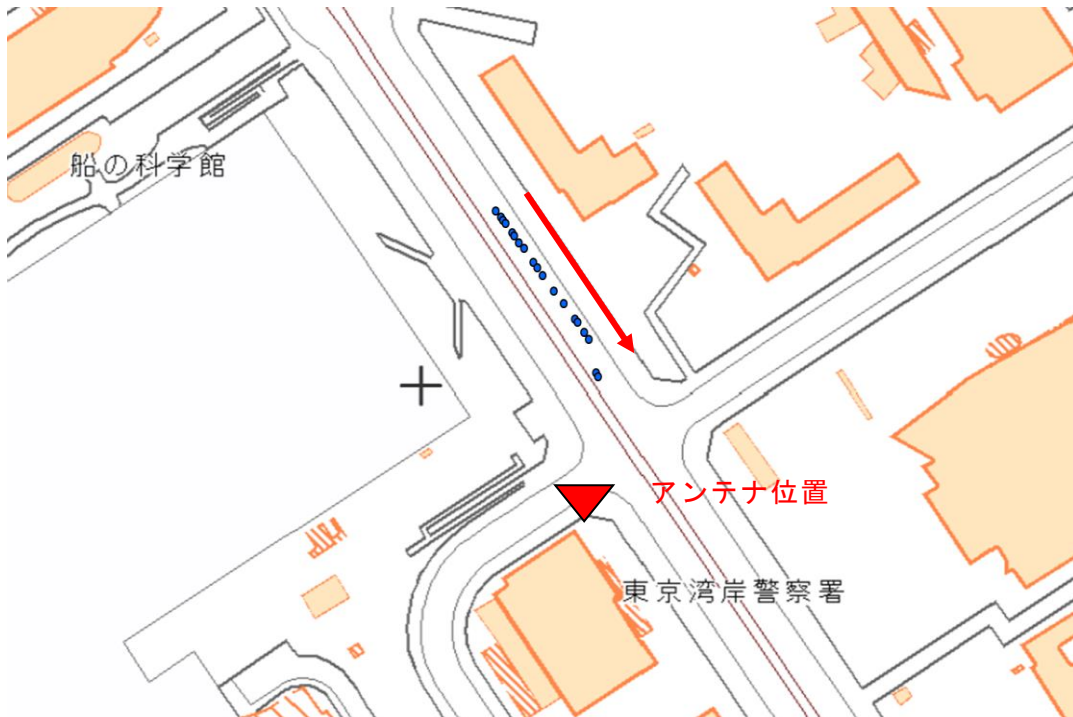
表 3.2.2-1 車載機から I T S 無線路側機への通信状況

走行 No	場所	緯度	経度	アンテナからの距離 (m)	通信失敗回数	総通信失敗時間 (秒)
1	上流	35.620636	139.773753	199.1	14	2.8
	下流	35.618311	139.77565	117.9		
2	上流	35.620642	139.773758	199.5	0	0
	下流	35.618033	139.775958	159.2		
3	上流	35.620642	139.773764	199.3	0	0
	下流	35.618036	139.7759	155.1		
4	上流	35.620642	139.773772	199.0	0	0
	下流	35.6177	139.776172	199.0		
5	上流	35.620644	139.773769	199.3	0	0
	下流	35.617697	139.776164	198.7		
6	上流	35.620642	139.773769	199.1	0	0
	下流	35.617686	139.776169	199.9		
7	上流	35.620639	139.773767	198.8	7	0.7
	下流	35.618025	139.775903	156.2		
8	上流	35.620644	139.773764	199.5	1	0.1
	下流	35.617678	139.776153	199.6		



地理院地図（電子国土 Web）に●：連続通信開始位置、■：連続通信終了位置を付加。

図 3.2.2-1 車載機から I T S 無線路側機への通信範囲（乗用車）



地理院地図（電子国土 Web）に●：走行軌跡点を付加
 （軌跡点間の隙間が大きい箇所が通信失敗箇所）
 図 3.2.2-2 車載機から I T S 無線路側機への通信状況

3.3 G N S S の誤差影響確認

図 3.3-1 に G N S S の誤差算出方法を再掲する。P T P S では車両位置から停止線までの距離の誤差が重要であるため、図の通り下流側に基準点を設け、基準点までの距離の差を誤差とする。

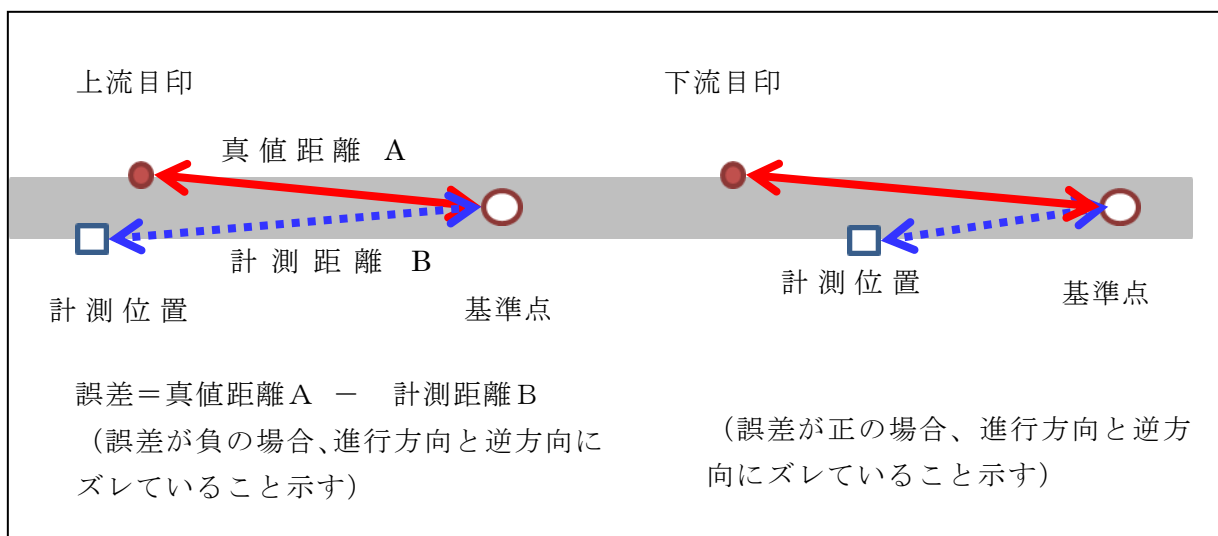


図 3.3-1 G N S S の誤差算出方法

表 3.3-1 に、ストップウォッチによる G N S S 誤差計測結果を示す。走行状態での人による確認であるため、想定通り誤差は大きいですが、最大誤差は、20m以内に入っているものが多く良好である。全体的にマイナス誤差が多く、目印が見えた場合に早めにストップウォッチを押し、通過時刻を計測している傾向がある。

表 3.3-1 ストップウォッチによる G N S S 誤差計測結果

計測対象		計測結果		計測 No	走行回数	平均誤差(m)	誤差最大(m)	誤差最小(m)	誤差幅(m)
小型トラック	流入路 1	上流		7	7	-4.0	2.2	-12.1	14.3
		下流		8	7	-13.7	-7.1	-18.3	11.2
	流入路 2	上流		9	7	-6.4	1.7	-12.5	14.2
		下流		10	7	0.8	7.0	-6.5	13.5
	流入路 3	上流		11	7	-12.1	-12.1	-22.1	10.0
		下流		12	7	-5.7	-1.1	-16.1	15.0
バス	流入路 1	上流		13	4	-5.6	-1.5	-10.3	8.8
		下流		14	4	-8.2	-2.5	-21.0	18.5
	流入路 2	上流		15	2	-17.4	-17.1	-17.8	0.7
		下流		16	2	-16.3	-6.0	-26.5	20.5
	流入路 3	上流		17	4	-23.2	-19.1	-30.3	11.2
		下流		18	4	-2.9	1.2	-5.5	6.7

表 3.3-2 に、画像による G N S S 誤差計測結果を示す。本方法は、実験時に車載機に画像が蓄積されていることが判ったため追加した計測である。ストップウォッチによる G N S S 計測誤差の測定と同様に、画像を確認し目印を通過した際の G N S S の緯度、経度から計測距離を算出し、誤差を算出したものである。

平均誤差の精度は数m以下のものが多く、また誤差の幅も小さいことから精度は高いと判断する。ただし、流入路 3 は誤差がやや大きく、道路脇のビルの影響が出ていると推測する。

表 3.3-2 画像によるGNSS誤差計測結果

計測対象		計測結果		計測 No	走行回数	平均誤差(m)	誤差最大(m)	誤差最小(m)	誤差幅(m)
乗用車	流入路 1	上流	1	7	1.2	5.7	-5.3	11.0	
		下流	2	7	6.7	11.9	1.4	10.5	
	流入路 2	上流	3	7	2.7	6.2	1.0	5.3	
		下流	4	7	2.4	8.9	-1.5	10.4	
	流入路 3	上流	5	7	-4.3	7.6	-12.1	19.7	
		下流	6	7	0.7	8.6	-11.7	20.3	
小型トラック	流入路 1	上流	7	7	6.2	9.4	3.8	5.6	
		下流	8	7	-0.6	3.6	-6.4	10.0	
	流入路 2	上流	9	7	-0.6	4.1	-6.4	10.5	
		下流	10	7	2.5	4.8	0.1	4.7	
	流入路 3	上流	11	7	-6.1	10.0	-16.4	26.4	
		下流	12	6	-1.7	0.7	-3.1	3.8	
バス	流入路 1	上流	13	5	1.0	5.3	-6.3	11.6	
		下流	14	5	-4.5	-0.4	-10.9	10.5	
	流入路 2	上流	15	2	-9.7	-6.5	-12.9	6.4	
		下流	16	2	-7.2	2.9	-17.2	20.1	
	流入路 3	上流	17	4	0.3	2.3	-3.9	6.2	
		下流	18	4	3.6	8.2	1.1	7.1	

3.4 バス優先制御動作検証

3.4.1 青延長制御

青延長制御評価は、走行データのうち青延長制御が行われるタイミングに走行した車両と青延長制御が行われないタイミングで走行した車両を抽出して評価する。表 3.4.1-1 に青延長制御結果を示す。36 回の青延長があり、そのうち 30 回が第 2 仮想ビーコンによる再延長があった。

表 3.4.1-1 青延長制御結果

項目	値	備考
走行回数	45	12 月 12 日、13 日、14 日の走行結果から抽出
第 1 仮想ビーコンでの延長回数	36	
第 2 仮想ビーコンでの再延長回数	30	
再延長率	83%	

注) 再延長率 = 第 2 仮想ビーコンでの再延長回数 / 第 1 仮想ビーコンでの延長回数

図 3.4.1-1 に青延長制御状況を示す。第 1 仮想ビーコン通過時刻から推定した停止線通過タイミングを基に、机上で算出した停止線を通るための不足時間に応じて、第 1 仮想ビーコンで青延長が行われていることが確認できた。また、第 2 仮想ビーコンでの青延長時間の補正処理も、最大青延長時間以内で行なわれていることが確認できた。

一方、停止線を通るための不足時間が 8 秒、9 秒の場合は青延長が行われていない。これは、今回の実験システムの制約(*1)で青終了の 2 秒前以降は、第 1 仮想ビーコン通過による青延長処理を行わないためである。ただし、装置間時刻ズレにより、不足時間が 8 秒、9 秒でも青延長制御が行われる場合もあった。

(*1) システムの制約：中央型バス優先制御では、延長受付階段の 2 秒前に次階段に進むための確認を行うため。

今回の青延長制御の最大延長幅は 10 秒であり、図 3.4.1-1 から最大延長時間まで動作していることも確認でき、中央装置の仕様に合致した動作で青延長制御が正しく行えている検証ができた。

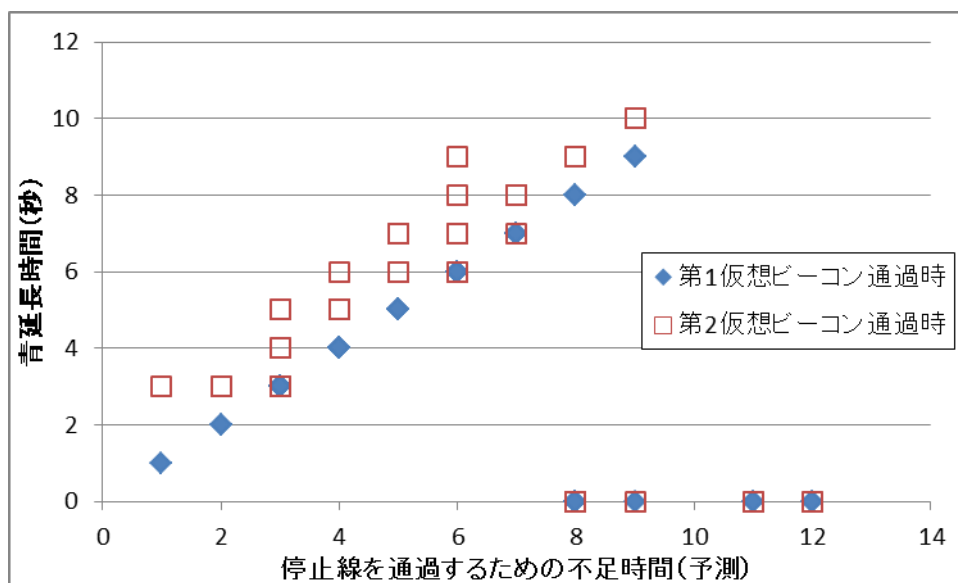


図 3.4.1-1 青延長制御状況

3.4.2 赤短縮制御

赤短縮制御評価は、従道路を走行した車両が第2仮想ビーコンを通過した時点でのサイクル開始からの経過時間で評価する。表 3.4.2-1 に赤短縮制御結果を示す。17回の赤短縮制御を確認できた。

表 3.4.2-1 赤短縮制御結果

項目	値	備考
走行回数	30	12月12日、13日、14日の走行結果から抽出
赤短縮回数	17	

図 3.4.2-1 に赤短縮制御状況を示す。第1仮想ビーコン通過タイミング時に停止線通過タイミングを推定し、停止時間を短くするように短縮を行う。そのため、第1仮想ビーコン通過がサイクル開始後40秒までは、最大の赤短縮時間である10秒の短縮が行われている。赤短縮制御は現示階段図の第1階梯で行われるが、41秒を過ぎると第1階梯の残り時間までしか赤短縮が行えないため赤短縮時間が徐々に小さくなる。このため、図 3.4.2-1の赤短縮実験結果では42秒から赤短縮時間が小さくなっている。

これらは中央装置の仕様に合致した動作であり、赤短縮制御が正しく行えていることが検証できた。

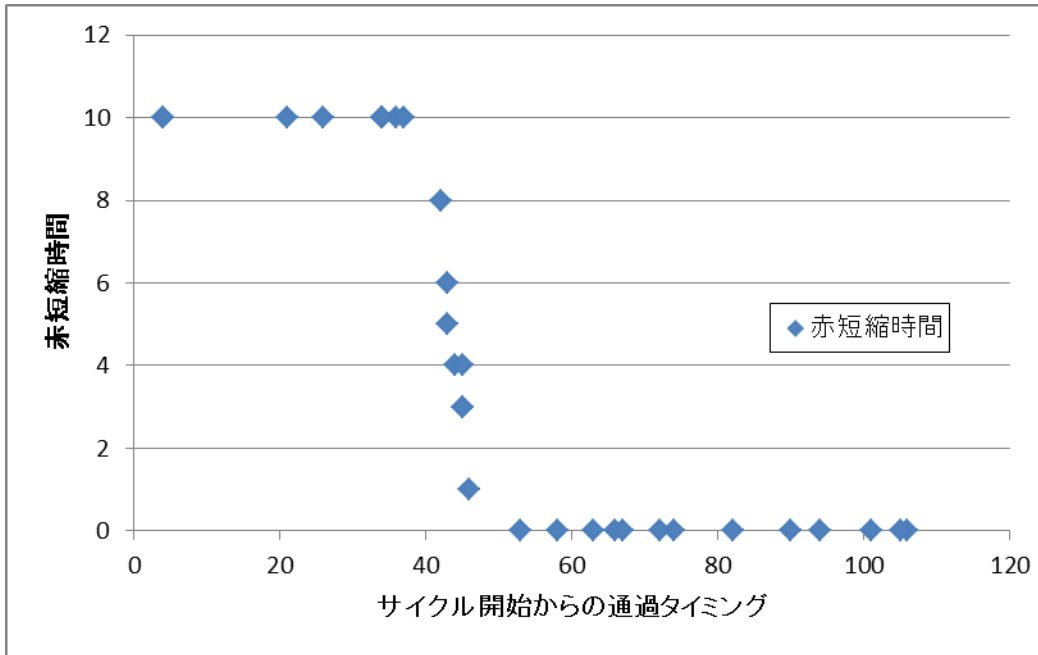


図 3.4.2-1 赤短縮制御状況

3.5 検知から指令までの処理遅延影響確認

図 3.5-1 に P T P S 処理モデルにおける本検証での検証対象を示す。車載機の走行ログ（100msec 毎の時刻、緯度経度）から、第 1 仮想ビーコン通過時刻、第 2 仮想ビーコン通過時刻を算出する（図 3.5-1 中の A に相当）。中央装置のログから第 1 仮想ビーコン通過時刻、第 2 仮想ビーコン通過時刻を取得する（図 3.5-1 中の B に相当）。車載機の時刻（A の時刻）は、100msec 単位であるが、中央装置の時刻（B の時刻）は、秒単位である。

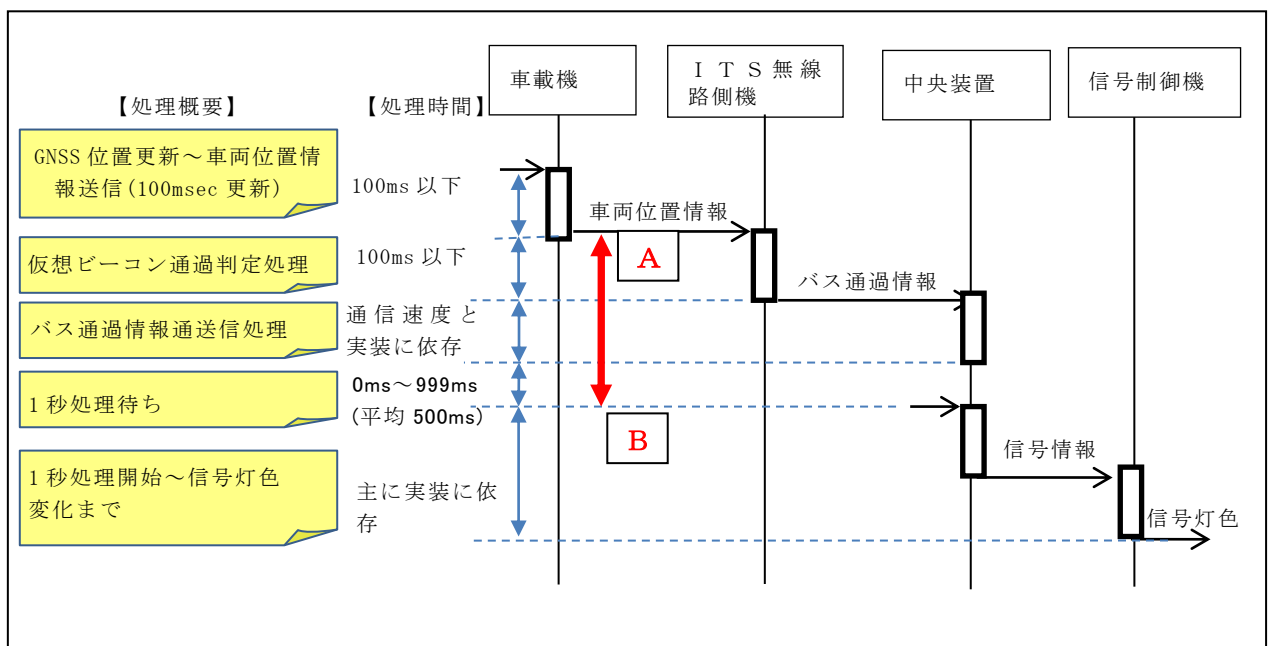


図 3.5-1 P T P S 処理モデルにおける検証対象

図 3.5-2 に第 1 仮想ビーコンにおける通過時刻の差、図 3.5-3 に第 2 仮想ビーコンにおける通過時刻の差を示す。値がマイナスであるのは、ログ上は中央装置の方が車載機より先に第 1 ビーコン通過を検知したことを示す。これは中央装置のログにおける時刻にずれがあることが要因と考えられる。そのため、通過時刻の差の絶対値ではなく、幅を評価する。第 1 仮想ビーコン、第 2 仮想ビーコンとも飛び値（図中の○印部分）を除けば約 1 秒の幅であり、1 秒処理待ちの影響を受けていると考えられる。飛び値が発生する要因として、ITS 無線路側機における仮想ビーコン通過判定と机上における通過判定の方法に差異があること、ITS 無線路側機で車載機からの車両位置情報を受信できない場合があること等が考えられる。

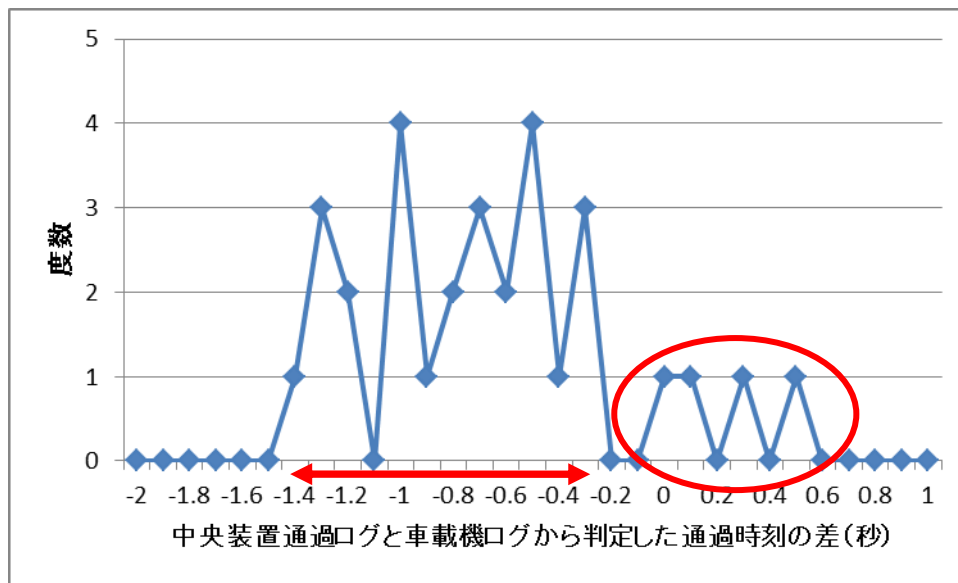


図 3.5-2 第 1 仮想ビーコンにおける通過時刻の差

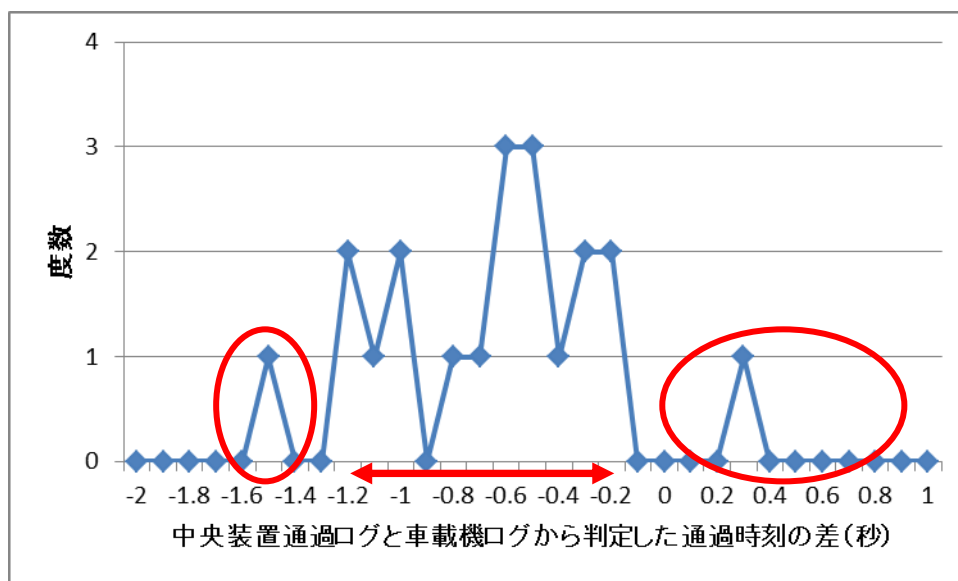


図 3.5-3 第 2 仮想ビーコンにおける通過時刻の差

今回検証を行ったモデルシステムでは、1秒処理待ちによる処理遅延はあるものの、仮想ビーコン通過時刻は中央装置のタイムスタンプで管理されるため、タイムスタンプが付けられた後の青時間延長制御、赤時間短縮制御等は正しく実施されることが確認できた。

仮想ビーコンにおける通過時刻の差にマイナスがある点については、より正確な評価が行えるよう、今後中央装置のログと車載機のログの時刻合わせが必要である。

3.6 その他の優先制御機能検証

3.6.1 後続バスによる青時間の再延長

図 3.6.1-1 に後続車両による青時間の再延長状況を示す。各車両により青延長が行われていることを確認できた。本検証は、バスではなく乗用車で行っているため、車頭間隔が2秒から3秒であるため3台目までの青延長が実施できているが、路線バスの場合は車頭間隔が長くなるため、3台以上のバスが連続で青延長される可能性は低いと推測する。

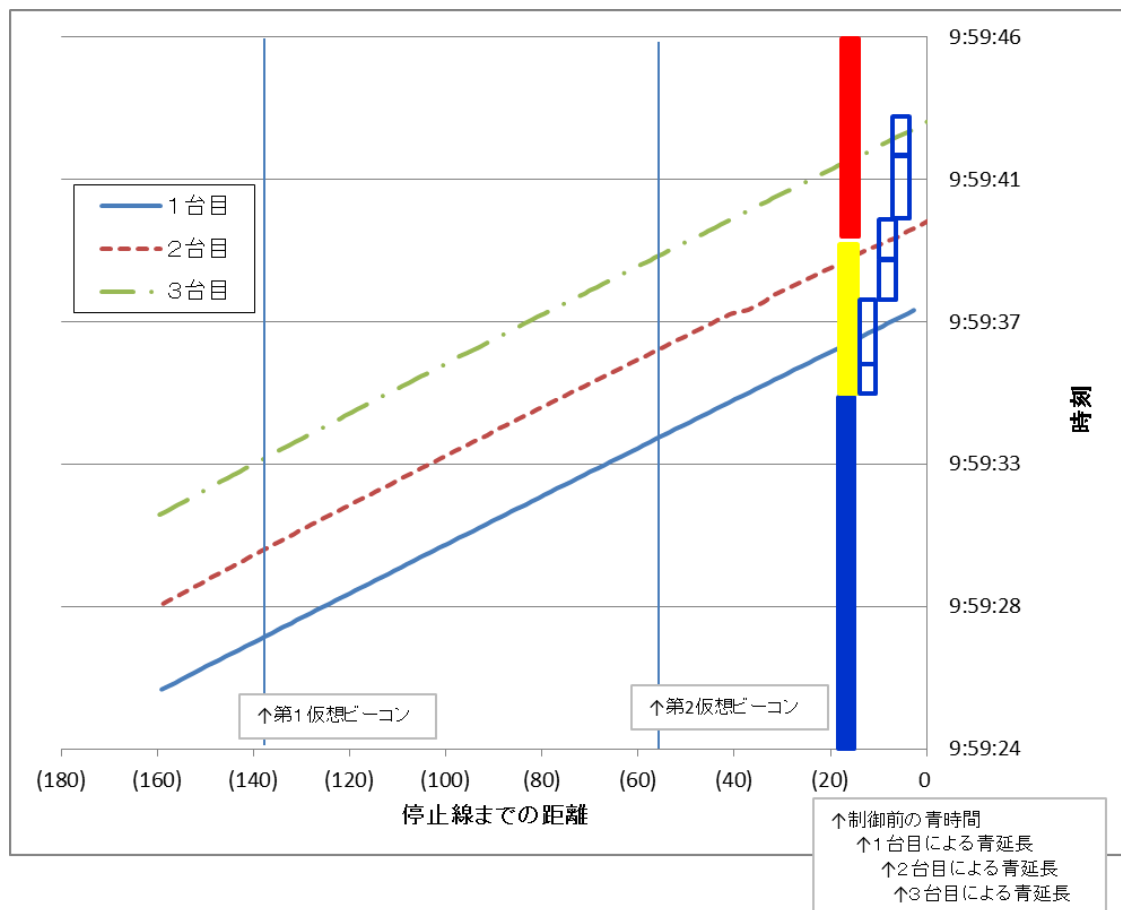


図 3.6.1-1 後続車両による青時間の再延長状況

3.6.2 P T P S 優先要求なし

バス優先制御は、車載機から I T S 無線路側機に P T P S 優先要求情報を送信することで実現している。P T P S 優先要求情報はバス事業者や車両を特定するための情報を含み常時送信することを可としている。そのため、P T P S 優先要求情報に優先すべき車両に対して優先制御が行えるよう優先要求を示すデータ項目が定義し、時刻表に対して遅れていないバスを優先しないようにする機能を実現している。

本検証で用いる車両は、時刻表に対して遅れていないバスを優先しないようにする機能は持たないため、類似の機能で検証を行った。類似の機能とは、バスの運行状態が回送状態の場合、優先制御を行わない機能であり、優先制御対象の車両通過時に限り信号制御を行う中央装置に仮想ビーコン通過情報が通知され、ログに蓄積される。

本検証では、バスの運行状態（営業中／回送）を切り替えて中央装置に蓄積されるログ件数を確認し、機能の確認を行った。小型トラックで実施した確認結果を表 3.6.2-1 に示す。全走行において、回送状態では中央装置に仮想ビーコン通過のログがなく、バス優先制御が行われておらず、仕様通りの動作である。

表 3.6.2-1 P T P S 優先要求なしの動作確認結果

項目 実施日	走行 流入路	優先要求あり (営業中状態)		優先要求なし (回送状態)		結果
		走行回数	中央装置 ログ件数	走行回数	中央装置 ログ件数	
12月12日	1	3	3	3	0	OK
	2	3	3	4	0	OK
12月13日	1	5	5	7	0	OK

3.6.3 感応吸収方法の確認

モデルシステムにおける幹線道路側の青延長階梯は、3であり、従道路側の赤短縮階梯は1である。青延長、又は赤短縮制御後に行われる感応吸収現示は、1である。この感応吸収方法は、バス優先制御が行われた場合の一定期間における幹線道路と従道路のスプリット（青時間の割合）はバス優先制御が行われない場合のスプリットと同じとなり、定数設計上はバス優先制御が一般交通に与える影響があまりないことを示す。

表 3.6.3-1 に青延長制御後の感応吸収状況を示す。表 3.6.3-2 に青延長制御が連続した後の感応吸収状況を示す。表 3.6.3-3 に赤短縮制御後の感応吸収状況を示す。いずれも、仕様通りの動作が行われていることが確認できる。

表 3.6.3-1 青延長制御後の感応吸収状況

階段番号 サイクル		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	周期	備考
		開始時刻											
		幹線道路側											
		従道路側											
10:58:35		52	6	2	4	2	25	10	2	3	4	110	
11:00:25		52	6	7	4	2	25	10	2	3	4	115	青延長
11:02:15		47	6	2	4	2	25	10	2	3	4	105	感応吸収
11:04:05		52	6	2	4	2	25	10	2	3	4	110	
11:05:55		52	6	2	4	2	25	10	2	3	4	110	

表 3.6.3-2 連続する青延長制御後の感応吸収状況

階段番号 サイクル		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	周期	備考
		開始時刻											
		幹線道路側											
		従道路側											
11:05:55		52	6	2	4	2	25	10	2	3	4	110	
11:07:45		52	6	9	4	2	25	10	2	3	4	117	青延長
11:09:42		45	6	8	4	2	25	10	2	3	4	109	感応吸収/ 青延長
11:11:31		46	6	2	4	2	25	10	2	3	4	104	感応吸収
11:13:15		52	6	2	4	2	25	10	2	3	4	110	
11:05:55		52	6	2	4	2	25	10	2	3	4	110	

表 3.6.3-3 赤短縮制御後の感応吸収状況

階段番号 サイクル		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	周期	備考
		開始時刻											
		幹線道路側											
		従道路側											
13:49:05		52	6	2	4	2	25	10	2	3	4	110	
13:50:55		42	6	2	4	2	25	10	2	3	4	100	赤短縮
13:52:35		62	6	2	4	2	25	10	2	3	4	120	感応吸収
13:54:35		52	6	2	4	2	25	10	2	3	4	110	

3.6.4 隊列走行確認

(1) 隊列走行の概要

隊列走行は、複数台のバスが隊列で走行し、同時にバス停に入るようにする。バスが高頻度で運行される場合、遅れのある1台のバスに乗客が集中することでさらに遅れが増加することがあるが、隊列走行で同時にバス停に到着することで乗客の分散乗車が可能となる。通常バス優先制御では、最大青延長時間以上には延長できないため、信号交差点において隊列が分断されることがある。隊列が分断されないようにするため、各車両は車車間通信により各車両の位置を把握し、車間距離等の条件により論理的な隊列を形成する。隊列が構成されている場合、最後尾の車両から優先要求情報を送信することで、最後尾の車両が通過できる場合に青延長制御が行われ、隊列の分断を防止することができる。

(2) 隊列形成なしの走行軌跡

今回は3台の乗用車により、隊列走行の確認を行った。

図3.6.4-1は、車車間通信で隊列を形成していない場合の走行軌跡例を示す。各車両から優先要求情報を送信し、1台目の車両に対し、第1仮想ビーコンで5秒、第2仮想ビーコンで1秒の青延長が行われ、さらに2台目の車両に対してさらに2秒の青延長が行われる。しかし、3台目の車両に対しては最大延長時間10秒の制約により青延長が行われないため、交差点で停止し、隊列の分断が生じている。

(3) 隊列形成ありの走行軌跡

図3.6.4-2は、車車間通信で隊列を形成し、信号待ちする場合の走行軌跡例を示す。最後尾の車両だけが優先要求情報を送信するが、第1仮想ビーコン通過時は既に黄信号になっており青延長は実施されず、3台とも交差点で信号待ちすることで隊列が維持されている。

図3.6.4-3は、車車間通信で隊列を形成し、青延長により交差点を通過する場合の走行軌跡例を示す。3台目の車両に対し、第1仮想ビーコンで8秒、第2仮想ビーコンで1秒の青延長が行われ、3台とも交差点を通過している。

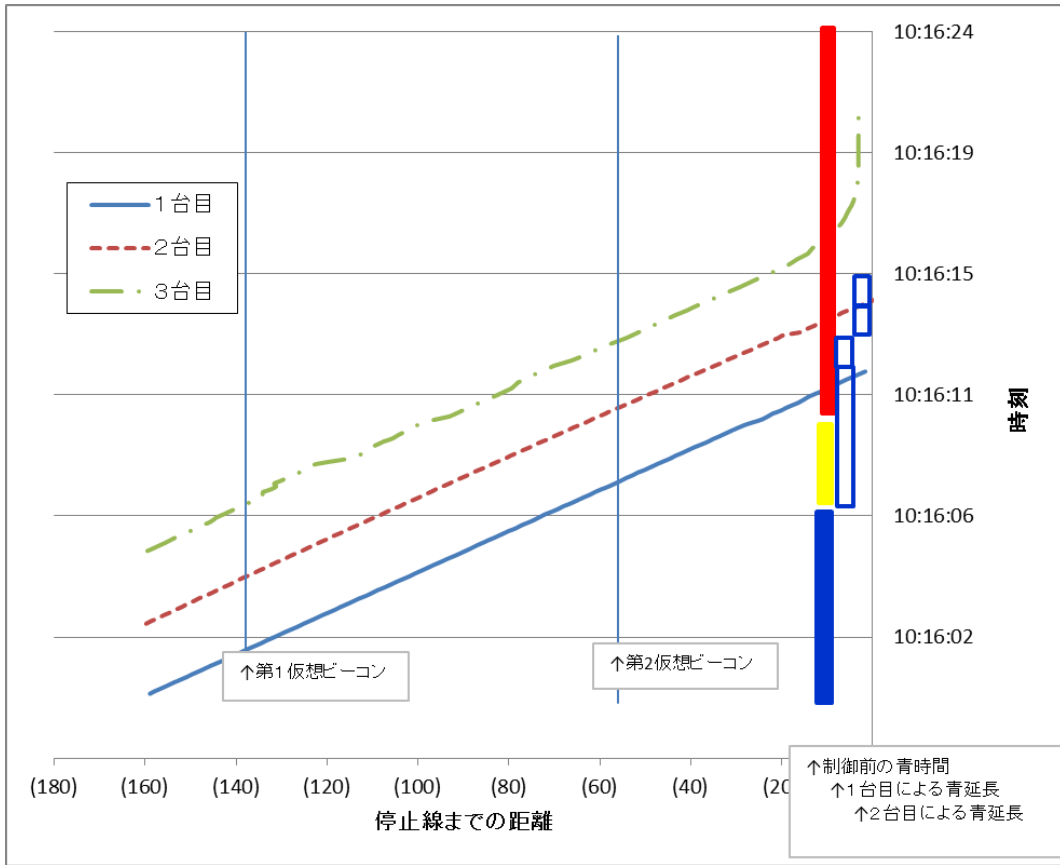


図 3. 6. 4-1 隊列形成なしの場合の走行軌跡

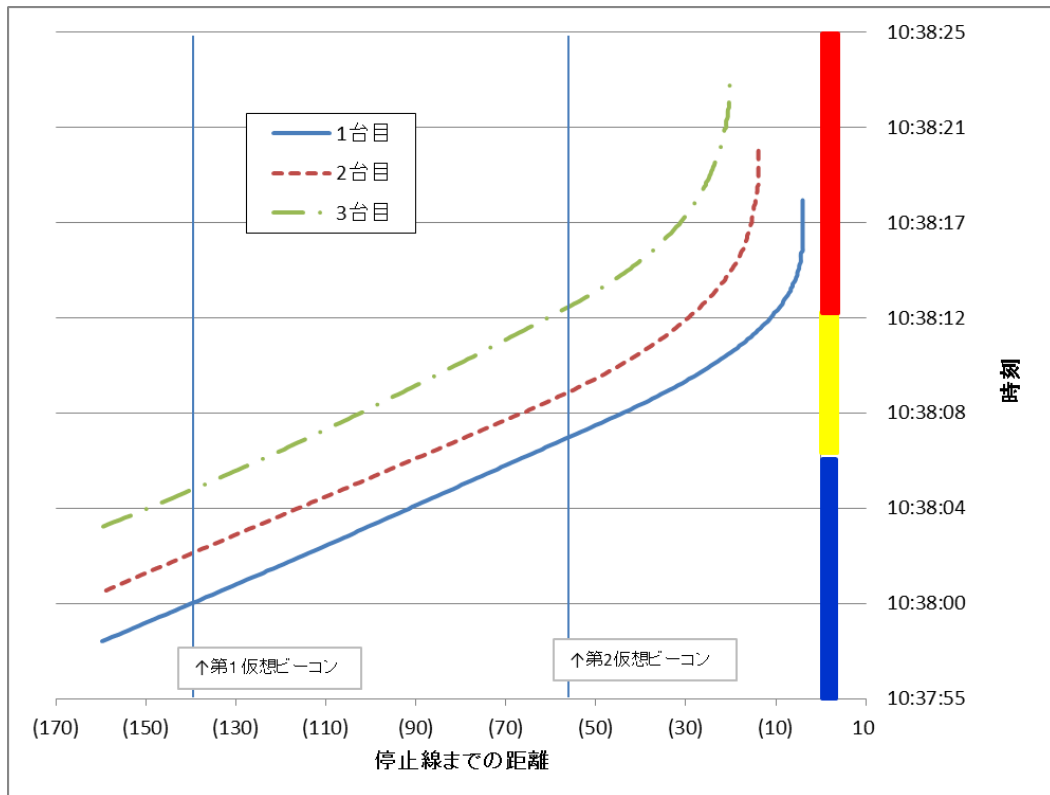


図 3. 6. 4-2 隊列形成ありの場合の走行軌跡例（信号待ち）

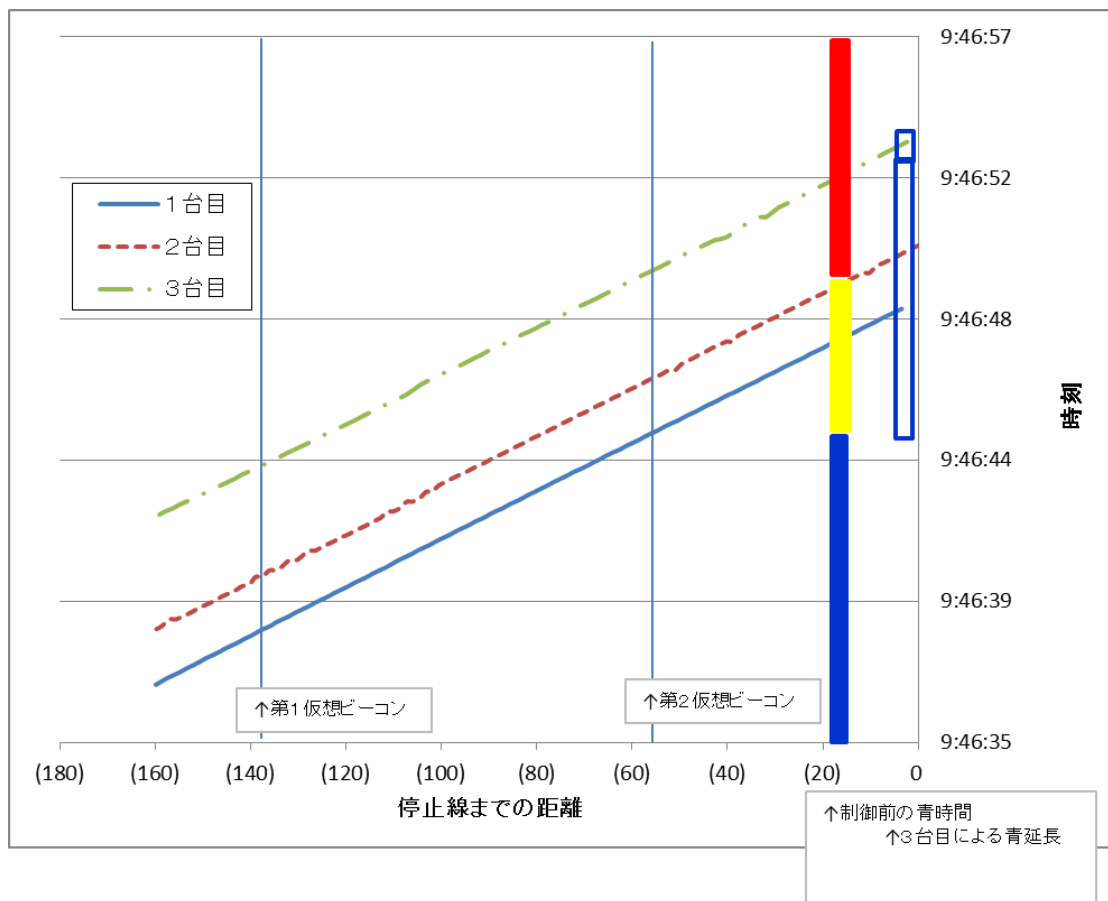


図 3.6.4-3 隊列形成ありの場合の走行軌跡（隊列交差点通過）

3.7 旅行時間短縮効果

3.7.1 系統制御ありの場合

図 2.7.1-1 はバス優先制御を行わない場合において、湾岸警察署前交差点に流入する 1 サイクル分の車両のうち、交差点で停止する車両と停止することなく通過する車両を示したものである。湾岸警察署前交差点と船の科学館入口交差点は、系統制御が行われており、オフセットがとられている。そのため、下流側の湾岸警察署前交差点の赤信号で停止する車両は少ない。この場合の平均旅行時間を表 3.7.1-1 のように試算した。

図 2.7.1-2 は同じ条件においてバス優先制御を行った場合の時間距離線図を示す。青延長制御により、赤信号で停止する時間帯が小さくなり、表 3.7.1-2 の通り平均旅行時間を試算し、その結果、旅行時間短縮効果は 21.2% となっている。この効果は、この条件では系統制御によりバス優先制御なしの平均旅行時間が小さいため、計算上大きくなっている。

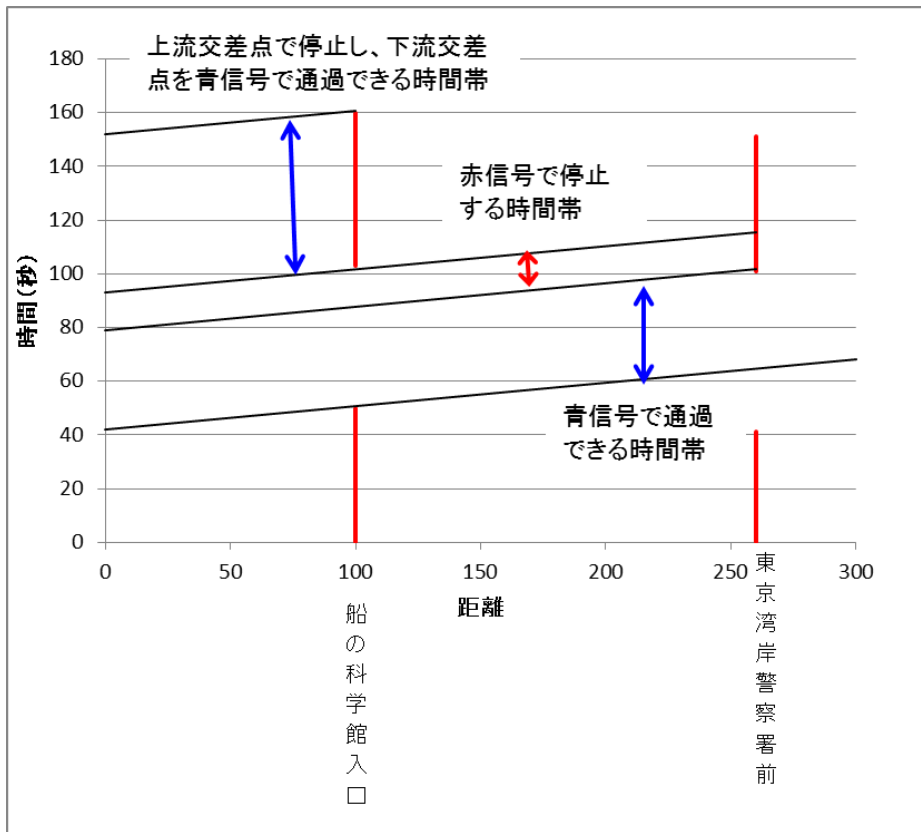


図 3.7.1-1 バス優先制御なしの時間距離線図(系統制御あり)

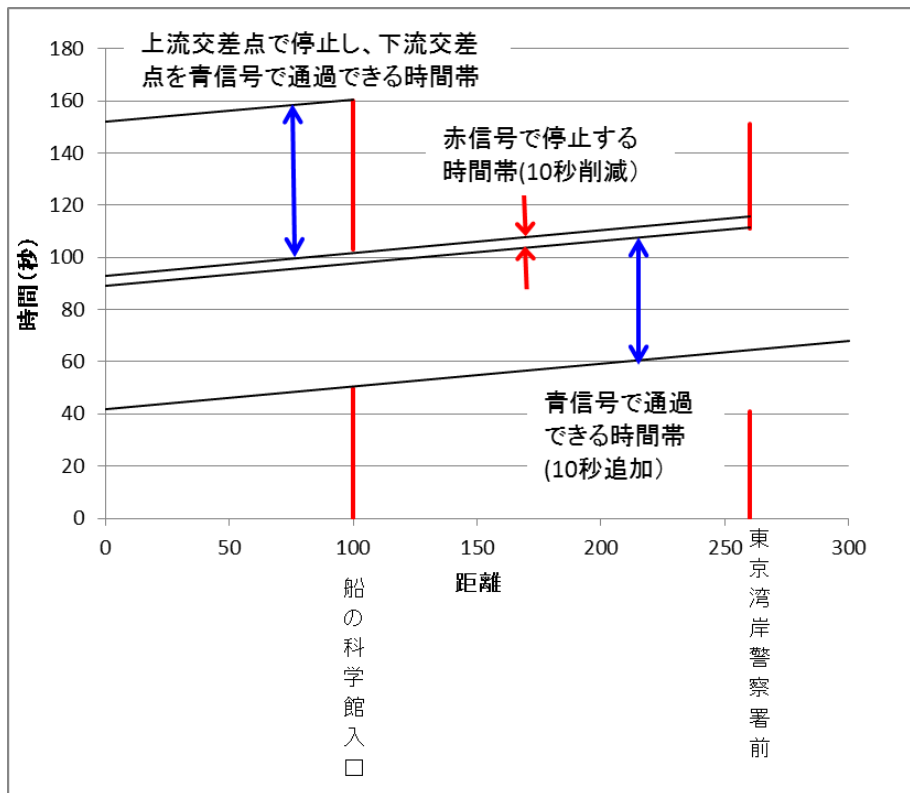


図 3.7.1-2 バス優先制御ありの時間距離線図(系統制御あり)

表 3.7.1-1 バス優先制御なしの場合の平均旅行時間（系統制御あり）

項目	旅行時間 (秒)	1 サイクルにお ける時間帯 (秒)	備考
青信号で通過できる車両	11.6	39	実測値の平均
上流交差点で停止し、下流交差点を青信号で通過できる車両	11.6	57	計測なしのため、青信号で通過できる車両と同じと仮定
赤停止で停止する車両	53.0	14	実測値の平均
平均旅行時間	17.5		

表 3.7.1-2 バス優先制御ありの場合の平均旅行時間（系統制御あり）

項目	旅行時間 (秒)	1 サイクルにお ける時間帯 (秒)	備考
青信号で通過できる車両	11.6	49	実測値の平均
上流交差点で停止し、下流交差点を青信号で通過できる車両	11.6	57	計測なしのため、青信号で通過できる車両と同じと仮定
赤停止で停止する車両	58	4	実測値の平均
平均旅行時間	13.3		
旅行時間短縮効果	21.2%		

3.7.2 単独交差点の場合

図 2.7.2-1 はバス優先制御を行わない場合において、湾岸警察署前交差点に流入する 1 サイクル分の車両うち、交差点で停止する車両と停止することなく通過する車両を示したものである。この場合の平均旅行時間を表 3.7.1-1 のように試算した。

図 2.7.1-2 は同じ条件においてバス優先制御を行った場合の時間距離線図を示す。青延長制御により、赤信号で停止する時間帯が小さくなり、表 3.7.2-2 の通り平均旅行時間を試算し、その結果、旅行時間短縮効果は 8.4%となっている。対象リンク長は系統制御ありと同じ約 160m としておりリンク長が短いことや大きめの短縮効果となっている。

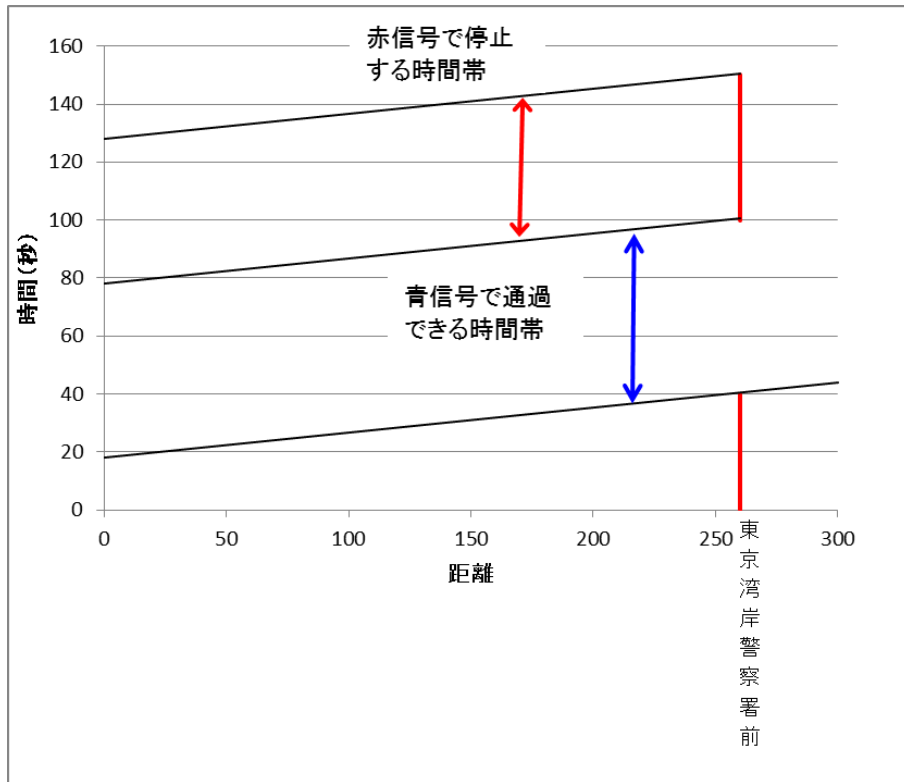


図 3.7.2-1 バス優先制御なしの時間距離線図(単独交差点)

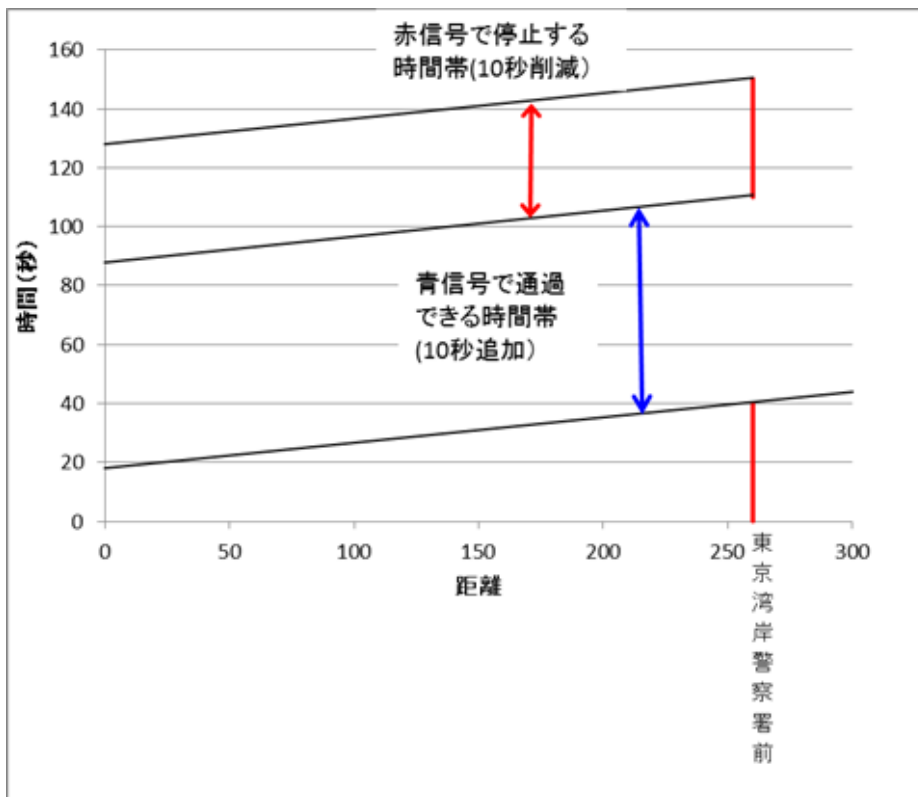


図 3.7.2-2 バス優先制御ありの時間距離線図(単独交差点)

表 3.7.2-1 バス優先制御なしの場合の平均旅行時間（単独交差点）

項目	旅行時間（秒）	1 サイクルにおける時間帯（秒）	備考
青通過車両	11.6	60	旅行時間は実測値の平均
赤停止で停止する車両	35.0	60	旅行時間は推定
平均旅行時間	25.4		

表 3.7.2-2 バス優先制御ありの場合の平均旅行時間（単独交差点）

項目	旅行時間（秒）	1 サイクルにおける時間帯（秒）	備考
青通過車両	11.6	70	実測値の平均
赤停止で停止する車両	35.0	50	旅行時間は推定
平均旅行時間	23.3		
旅行時間短縮効果	8.4%		

3.8 バス停下流交差点での効果評価

3.8.1 データ分析方法

(1) 車載機データ抽出

- (a) 車両位置は、停止線下流 50m に基準点を置き、基準点と車両位置の 2 地点の緯度経度から直線距離を算出し、停止線からの距離に換算する。
- (b) 停止線からの距離に応じて、仮想ビーコン通過を判定し、通過時刻、及び通過時の速度（過去 1 秒の移動距離から算出）を算出する。
- (c) バス停出発は、バスの速度により判定する。
- (d) 中央装置との比較のため、青開始時刻から第 1 仮想ビーコン通過までの時刻を算出する。
- (e) 仮想ビーコン通過タイミングから、第 1 仮想ビーコン、第 2 仮想ビーコンでの延長時間の期待値を算出する。

(2) 中央装置ログ

- (a) 中央装置より下記のログを収集する。

サイクル開始時刻、仮想ビーコン通過時刻、仮想ビーコン通過タイミング（青開始からの経過時間）、第 1 仮想ビーコン、第 2 仮想ビーコンでの青延長

3.8.2 データ分析

- (1) 第 1 仮想ビーコンから停止線までの旅行時間分布、及び第 2 仮想ビーコンから停止線までの旅行時間分布を作成し、停止線到着タイミングの推定誤差を評価する。
- (2) 車載機ログから得た第 1 仮想ビーコン、第 2 仮想ビーコンでの青延長期待値と中央装置ログの第 1 仮想ビーコン、第 2 仮想ビーコンでの青延長時間を比較し、期待通りの動作であるかを確認する。
- (3) 差異がある場合、車載機と中央装置で仮想ビーコン通過時刻に差異がないか確認する。

3.8.3 結果

第 1 仮想ビーコン位置を 70m として実験を行ったが、第 2 仮想ビーコンが機能していない設定であることが判り、第 1 仮想ビーコンを 85m とすることで期待通りの動作が行われることを確認した。

(1) 第 1 仮想ビーコン位置 70m の場合

- ・ 第 1 仮想ビーコンによる青延長は概ね期待どおりに動作している。
- ・ 第 1 仮想ビーコンから停止線までの旅行時間は、概ね 7 秒未満であり、結果的に第 2 仮想ビーコンによる青延長は生じない設定となっている。

（バスの加速性能が想定よりよいため）

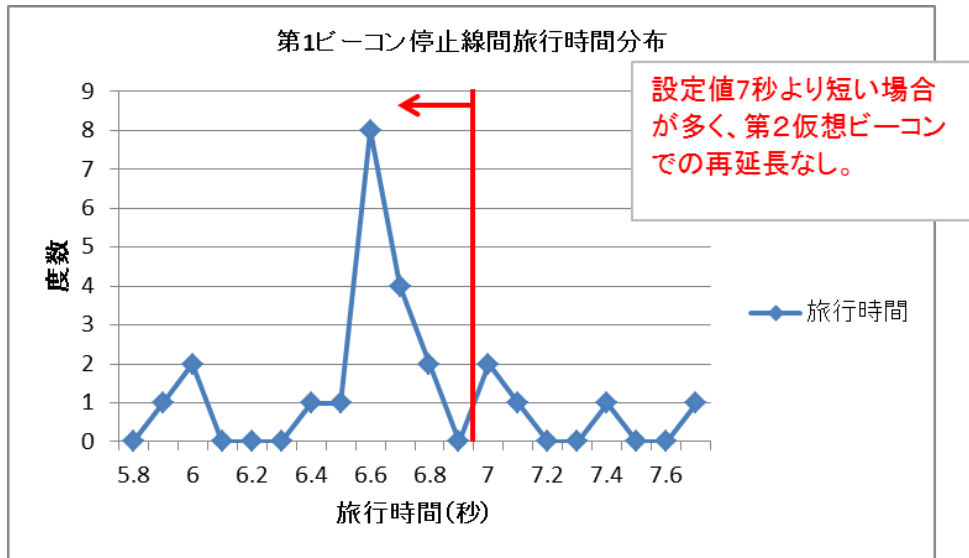


図 3. 8. 3-1 第 1 仮想ビーコン (70m位置) ・ 停止線間旅行時間分布

- ・ 青延長受付時間の制約があるため、最大青延長時間を 10 秒としても、理論的な延長時間の最大値は 5 秒となる。
 実際には、3 秒の青延長しかない。想定する原因は以下の通り。
 第 2 仮想ビーコン通過時に 1~2 秒の短縮が行われている。必要な時間より 1 秒短縮される動作をすることが多い。

(2) 第 1 仮想ビーコン位置 85m の場合

- ・ 第 1 仮想ビーコンによる青延長は概ね期待どおりに動作している。
- ・ 第 1 仮想ビーコンから停止線までの旅行時間は、8 秒であり、第 2 仮想ビーコンによる青再延長が生じる設定となっている。

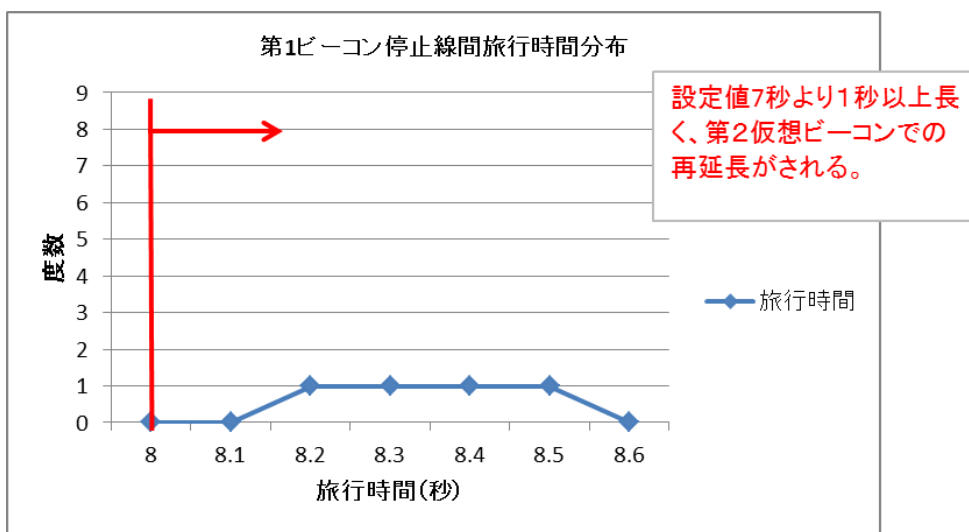


図 3. 8. 3-w 第 1 仮想ビーコン (85m位置) ・ 停止線間旅行時間分布

3.9 信号情報提供の確認

試験用車載機で表示される信号情報の正しさを目視により検証した。残秒数が、100msec毎にカウントダウンされ、信号変化タイミングが灯器変化と一致していることを確認した。

表 2.3.8-1 に流入路 1 に対する信号情報の変化例を示す。幹線道路側の青信号は、従道路側の赤短縮として標準時間から最大 10 秒の青時間が短縮され、また幹線道路側の青延長により最大 10 秒の青時間が延長される。そのため、最小残秒数の差は、20 秒となった。モデルシステムでは、青延長が行われた場合でも最小残秒数は変化しない。青延長がない場合は、最小残秒数 0 秒、最大残秒数 10 秒から黄信号に変化した。

表 2.3.8-1 流入路 1 に対する信号情報の変化例

時刻	最小残秒数	最大残秒数
11:12:41.3	0.3	20.3
11:12:41.4	0.2	20.2
11:12:41.5	0.1	20.1
11:12:41.6	0.0	20.0
11:12:41.7	0.0	19.9
11:12:41.8	0.0	19.8

表 2.3.8-2 に流入路 1 において、前サイクルで 9 秒の青延長が行われた次のサイクルの信号情報の変化例を示す。前サイクルの青延長に対する感応吸収として標準秒数から 9 秒の青短縮が行われるため、最小残秒数と最大残秒数の差は 29 秒となっている。

表 2.3.8-2 前サイクルで青延長が行われた後の信号情報の変化例

時刻	最小残秒数	最大残秒数
11:10:38.4	15.3	44.3
11:10:38.5	15.2	44.2
11:10:38.6	15.1	44.1
11:10:38.7	15.0	40.0

表 2.3.8-3 に流入路 2 に対する信号情報の変化例を示す。従道路側の青信号は、標準時間から最大 10 秒の青時間が延長されるだけであり、最大残秒数と最小残秒数の差は、10 秒となった。

表 2.3.8-3 流入路 2 に対する信号情報の変化例

時刻	最小残秒数	最大残秒数
11:12:13.0	33.0	43.0
11:12:13.1	32.9	42.9
11:12:13.2	32.8	42.8
11:12:13.3	32.7	42.7

4. 今後の課題

4.1 バス優先制御

700MHz帯ITS無線を用いたバス優先制御を実際に路上で動作させ、期待通りの動作が行われていることを確認した。今回の検証では、車載機、中央装置のそれぞれからログを収集し検証を行っており検証に時間を要した。平成27年度の基本設計では、PTPS高度化機能としてPTPS効果確認機能の設計を行っている。今後は中央装置で本機能が実現され、バス優先制御の成功、失敗や制御効果が容易に把握できるようになることが望まれる。

またGNSS誤差が大きい交差点では、無駄な青延長が多く発生していないか、検証しておくことが望まれる。

4.2 信号情報提供

バスドライバーはバス優先制御時に、青信号で通過できるかどうかの情報を要望している。本機能は、インフラ側、車載機側とも難易度が高く、本検証では信号情報提供内容の確認に留めた。今後も本機能の実現に向け、検討が継続されることが望まれる。