

「公共車両優先システムの高度化機能に関する
効果検証」報告書

平成 29 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. シミュレーション評価仕様	5
2.1 シミュレーション概要	5
2.1.1 シミュレーション評価実験の目的	5
2.1.2 評価対象機能	5
2.1.3 シミュレーション環境概要	6
2.3 シミュレーション条件	9
2.3.1 仮想路線	9
2.3.2 モデル路線	13
2.4 評価項目	15
3. 仮想路線における効果評価	16
3.1 結果概要	16
3.2 結果詳細	18
3.2.1 高度化機能基本検証	18
3.2.2 最大青延長時間比較	24
3.2.3 設計速度影響確認	26
3.2.4 G N S S 測位精度影響確認	29
3.2.5 信号情報提供効果確認	33
3.2.6 バス停の有無に関する優先制御の効果確認	36
3.2.7 高密度運行影響分析	42
3.2.8 バスレーン効果比較	45
4. モデル路線における効果評価	48
4.1 結果概要	48
4.2 結果詳細	49
4.2.1 高度化基本機能検証	49
4.2.2 仮想ビーコン地点数比較	52
4.2.3 感応吸収方法比較	55
4.2.4 信号制御単位の比較	59
4.2.5 感応階梯比較	61
4.2.6 設計速度感度分析	63

4.2.7 最大青延長時間比較	68
-----------------------	----

1. はじめに

1.1 目的

2020年には、東京オリンピック、パラリンピックが、その前年にはプレオリンピック、パラリンピックが予定されている。大会開催期間中、会場周辺においては、道路交通の混雑が予想されるため、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となってくる。

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廃止が相次いでいるが、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、東京オリンピック・パラリンピック開催後も、お台場臨海都市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し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。本年度は平成 27 年度の基本設計において作成されたシミュレーション評価仕様に基づき、シミュレーションによる効果検証を実施する。この効果評価は、平成 29 年度からの 2 ケ年でモデル実証に向けての机上評価の位置づけとして実施される。

平成26年度（実施済）	平成27年度（実施済）	平成28年度	平成29～30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・PTPS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・基本設計修正（必要時）	<p>次世代公共道路交通システムの開発に向けたモデル実証</p> <ul style="list-style-type: none">・モデルシステムにおける動作確認・効果検証

図 1.3-1 次世代公共交通システム開発の全体計画

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。現在、40都道府県で運用されてい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 シミュレーション環境構築</p> <p>(1) シミュレーション条件の具体化</p> <p>(2) 評価項目の具体化</p> <p>(3) P T P S 高度化機能模擬システム作成</p> <p>(4) シミュレーション環境動作確認</p>	<p>P T P S 高度化機能を模擬するシステムを構築し、交通流シミュレータと接続を行う。</p> <p>昨年度報告書に記載されているシミュレーション条件を具体化し、有効な検証が行える条件であることを確認する。</p> <p>昨年度報告書に記載されている評価項目を具体化し、有効な検証が行える評価項目であることを確認する。</p> <p>基本設計書に記載されている P T P S 高度化機能を有する模擬システムを構築する。以下の 3 機能を基本機能とする。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 700MHz無線を活用した P T P S 高度化 ・ 信号情報提供による P T P S 高度化 ・ P T P S 効果確認システム <p>構築した模擬システムが交通流シミュレータに接続され、正しく動作していることを確認する。</p>
<p>2 仮想路線における効果評価</p> <p>(1) シミュレーション実施</p> <p>(2) 評価結果確認</p>	<p>仮想路線において、P T P S 既存機能と P T P S 高度化機能を比較し、機能の有効性を確認する。</p> <p>P T P S 既存機能によるシミュレーション実施、P T P S 高度化機能によるシミュレーション実施等を行う。最大青延長時間、設計速度影響、G N S S 位置精度影響等の交通条件、制御条件を変えてシミュレーションを実施し、実施結果をまとめる。</p> <p>変更した条件と結果の関係が妥当であることを確認する。基本設計の修正事項や評価結果から得られる知見に基づきシステム導入にあたって留意すべき事項をまとめる。</p>
<p>3 モデル路線における効果評価</p> <p>(1) 現地状況再現</p> <p>(2) 評価ケース検討</p> <p>(3) シミュレーション実施</p>	<p>実証試験モデル路線を対象に机上における効果評価を実施する。</p> <p>現地の道路ネットワーク、信号現示等をシミュレータ上で再現する。</p> <p>次年度以降のモデルシステム実証において想定される実験項目を検討し、評価ケースを検討、決定する。</p> <p>評価ケースに従って、シミュレーションを実施し、結果を確認する。モデル路線で重視すべき確認項目を明確にする。</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。

	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
シミュレーション評価実施	シミュレーション環境構築							
基本設計の修正等	仮想路線における効果評価							
	モデル路線における効果評価							
	検証結果まとめ・基本設計見直し							
全体会合	▲	▲		▲		▲	▲	▲

図 1.4.3-1 実施スケジュール

2. シミュレーション評価仕様

2.1 シミュレーション概要

2.1.1 シミュレーション評価実験の目的

平成 27 年度に実施した「次世代公共交通システムの開発に向けた基本設計」が妥当であることを交通流マイクロシミュレータにより確認する。平成 28 年度にモデルシステムを構築し、平成 29 年度に実証実験が行われる予定であるが、今年度は以下の位置づけでシミュレーション評価実験を行う。

- ・モデルシステムでの実証実験に先立ち、机上において効果を事前確認すること
- ・モデルシステムでは実験できない、様々な条件で効果を確認すること

2.1.2 評価対象機能

評価対象機能及び主な評価の観点を表 2.1.2-1 に示す。基本設計において設計された 3 機能を評価対象としている。

表 2.1.2-1 評価対象機能と主な評価の観点

No	評価対象機能	主な評価の観点
1	バス優先制御	仮想ビーコン位置を 2 か所にするこで、現行の光ビーコンによる P T P S と比べてどの程度バス旅行時間が短縮されるか。 設計速度や最大青延長時間等のパラメータの与え方がバス旅行時間等にどのように影響するか。 基本設計における仮想ビーコン位置の設計基準が妥当であるか。 G N S S 測位誤差の影響を許容できるか。 バス停下流の交差点における優先制御が可能か。
2	信号交差点走行支援	信号情報提供により青延長制御の成功率にどのように影響するか。 本機能が狙いとするエコドライブやゆとり運転をシミュレータ上で評価することは困難であるため、評価対象外とする。
3	P T P S 効果確認	プローブ情報（バスの交差点通過情報）と信号制御実行情報から青延長効果カウント、赤短縮効果カウントを算出できることを確認する。 青延長効果カウント、赤短縮効果カウントと優先制御の効果分析が行えることを確認する。

2.1.3 シミュレーション環境概要

図 2.1.3-1 にシミュレーション環境におけるソフトウェア構成を示す。以下に各ブロックの主な動作を説明する。

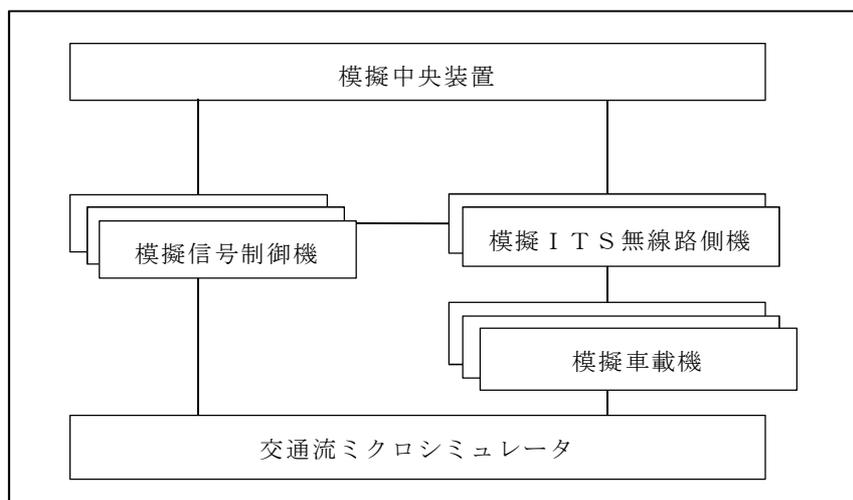
模擬中央装置は、サイクル長、スプリット、オフセット等を含む信号制御指令を模擬信号制御機にサイクル毎に送る。また、模擬 I T S 無線路側機から受信したバスの仮想ビーコン通過情報を蓄積する共に、模擬信号制御機に中継する。

模擬信号制御機は、受信した信号制御指令に従って信号灯器の灯色を決定し、交通流マイクロシミュレータに灯色を送信する。模擬中央装置から、仮想ビーコン通過情報を受信した場合は、受信タイミングを考慮し、青延長制御、赤短縮制御、または制御なしのいずれかを判定し実施する。現在実行中の信号情報を模擬 I T S 無線路側機に定期的を送信する。

模擬 I T S 無線路側機は、模擬車載機から受信する自車位置情報を元に仮想ビーコン位置通過を検知し、仮想ビーコン通過情報を模擬中央装置に送る。模擬信号制御機から受信した信号情報を模擬車載機に送る。

模擬車載機は、交通流マイクロシミュレータから受信した自車位置情報に、G N S S 測位誤差を加えた後、自車位置情報を模擬 I T S 無線路側機に送る。模擬 I T S 無線路側機から受信する信号情報を元に自車の希望走行速度を決定し、交通流マイクロシミュレータに送る。

交通流マイクロシミュレータには、市販パッケージを用いる。交通流マイクロシミュレータは、設定された道路ネットワークにおいて車両を発生させ、追従モデルと信号灯色に従って車両を移動させ、旅行時間、遅れ時間及び停止回数等の評価値を算出する。



(1) 交通流マイクロシミュレータ

本効果評価では、交通流マイクロシミュレータとして表 2.1.3-1 に示すドイツ製の VISSIM を用いる。2 種類のバージョンがあるが、交通流モデルはいずれも同じである。これまでの利用実績と最新版にのみある機能等の特徴を考慮して本効果評価に適用する。

表 2.1.3-1 効果評価に用いた交通流マイクロシミュレータ

ソフトウェアバージョン	主な特徴	本効果評価での適用
VISSIM 5.0	利用実績が多く、動作が安定	仮想路線に対するシミュレーション評価 (交差点数が多いため)
VISSIM 8.0	0.1秒単位の信号制御が可能	モデル路線に対するシミュレーション評価 (0.1秒単位の信号制御が必要なため)

2.2 シミュレーションケース

シミュレーションは、仮想路線を対象としたものと実路線を対象としたものの2種類を行う。「表 2.1.2-1 評価対象機能と主な評価の観点」に従って、表 2.2-1、表 2.2-2 のシミュレーションケースを設定する。

表 2.2-1 シミュレーションケース一覧（仮想路線）

No	ケース名	概要
1	高度化基本機能検証	高度化PTPSの効果既存PTPSと比較し、バス優先制御機能の制御効果が得られていることを確認する。
2	最大青延長時間比較	最大青延長時間の旅行時間短縮効果に与える影響を確認する。
3	設計速度影響確認	設計速度の旅行時間短縮効果、及び優先制御成功率に与える影響を確認する。
4	G N S S 測位精度影響確認	G N S S 精度の旅行時間短縮効果、及び優先制御成功率に与える影響を確認する。
5	情報提供効果確認	バス運転手の歩行者青点減による信号タイミング予測の影響を確認する。
6	バス停の有無に関する優先制御の効果確認	バス停が有る場合とない場合の下流交差点に対する優先制御の効果を確認する。
7	高密度運行影響分析	高密度運行が優先制御にどのように影響するか確認する。
8	バスレーン効果比較	バス専用レーンがない場合の優先制御について、バス優先レーンがある場合と比較し、効果を確認する。

表 2.2-2 シミュレーションケース一覧（モデル路線）

No	ケース名	概要
1	高度化基本機能 検証	今年度整備される湾岸署前交差点を対象に基本機能を評価する。
2	仮想ビーコン3 地点効果	仮想ビーコンを3地点にした場合と2地点にした場合を比較し、2地点方式が妥当であることを確認する。
3	感応吸収方法比 較	感応吸収を次のサイクルの同じ階梯で行う場合と次のサイクルのオフセット追従で行う場合のスプリットへの影響、及び旅行時間改善効果を比較する。
4	信号制御単位の 比較	信号制御の単位を1秒とした場合と0.1秒とした場合を比較する。
5	感応階梯の比較	感応階梯をPG階梯とした場合とPR階梯とした場合を比較する。
6	速度感度分析	第2ビーコンの設計速度について、モデルシステムでの実験を前提とした感度分析を行う。
7	最大青延長時間 数比較	モデルシステムでの実験を前提とし、最大青延長時間を大きくした場合の評価を行う。

2.3 シミュレーション条件

2.3.1 仮想路線

(1) 道路ネットワーク条件

表 2.3.1-1 に仮想路線の道路ネットワーク条件を示す。この条件により作成した道路ネットワークを図 2.3.1-1 に示す。

表 2.3.1-1 仮想路線の道路ネットワーク条件

項目	条件	備考
車線数	幹線：片側 2 車線 重要交差点の従道路：片側 2 車線 一般交差点の従道路：片側 1 車線	
交差点数	重要交差点：2 一般交差点：8	
交差点間距離	重要交差点流入路：150m、200m、250m、300m 一般交差点流入路：200m、250m、300m、350m、400m 路線への流入路：500m	系統制御の効果が偏らないように設定する。
バスベイ	あり	
バス専用レーン	あり／なし	条件により変更。ありの場合は、幹線の歩道側車線をバス専用レーンとする。
バス停	あり／なし	条件により変更

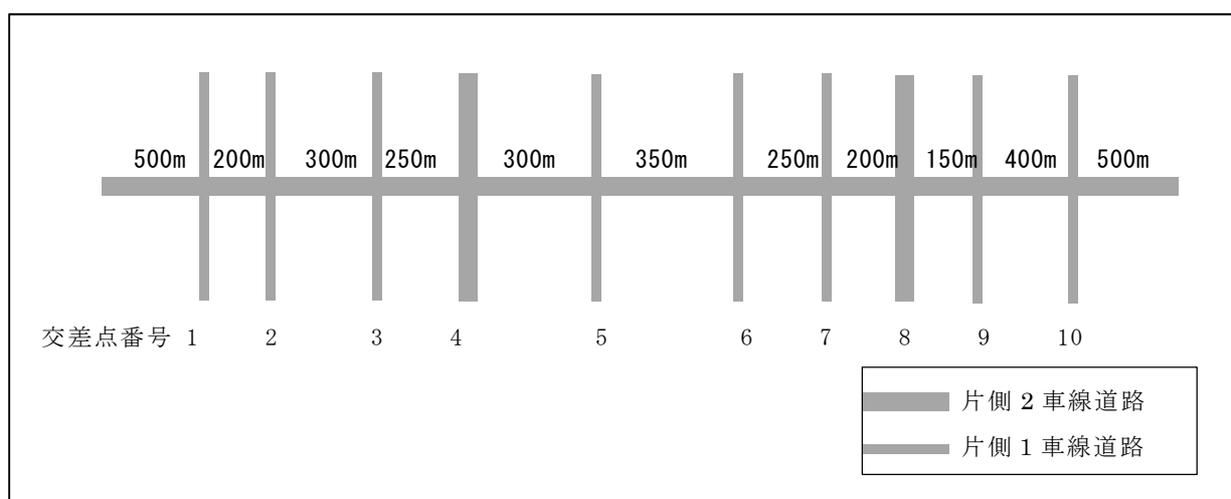


図 2.3.1-1 仮想路線の道路ネットワーク

(2) 光ビーコンとITS無線路側機の設置

図 2.3.1-2 及び図 2.3.1-3 に既存PTPS制御、及び高度化PTPS制御における光ビーコン、及びITS無線路側機の設置場所を示す。既存PTPS制御では光ビーコンを4基設置し、高度化PTPS制御では、重要交差点制御用の光ビーコンの代わりにITS無線路側機を設置する。ITS無線路側機では、電波の届く範囲内において仮想ビーコンを設置する。光ビーコン、及び仮想ビーコンは矢印で示される下流の関連交差点のバス優先制御に用いられる。

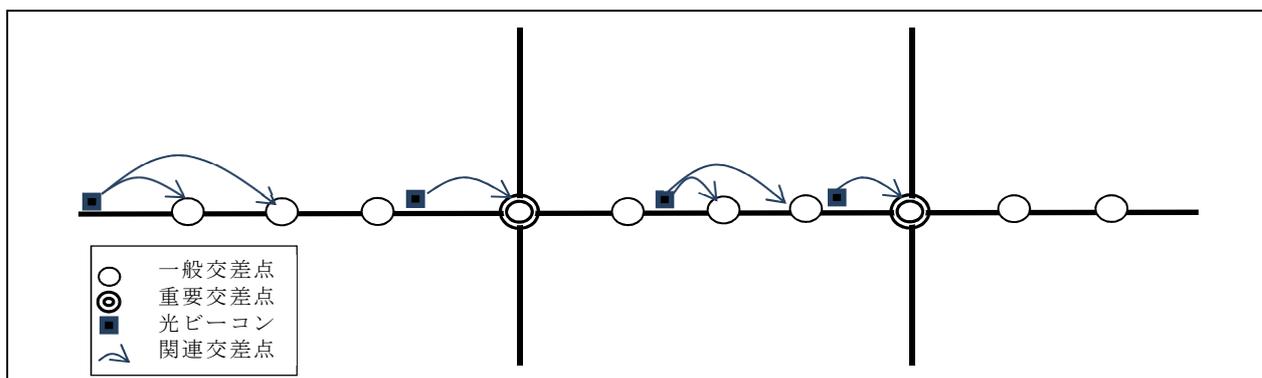


図 2.3.1-2 既存PTPS制御

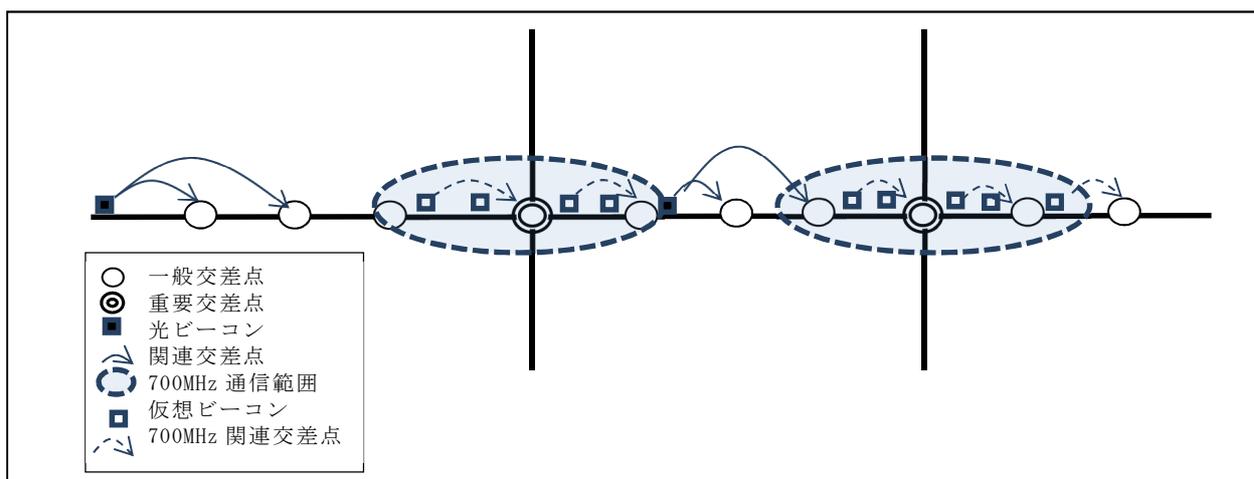


図 2.3.1-3 高度化PTPS制御

(3) 信号現示と制御秒数

ア 一般交差点

一般交差点は幹線側に右折現示を持つ構成とする。

周期は 120 秒とし、幹線と従道路の青時間比を 6 対 4 となるよう秒数を設定する。

灯器記号 ⁽¹⁾	周期	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1					WW		WW						
1P													
1RA						→							
2												WW	
2P													
流れ図 ⁽³⁾													
秒数	120	48	7	5	3	5	3	3	25	10	5	3	3
最低秒数	76	15	7	3	3	3	3	3	20	10	3	3	3
可変階梯		○		○		○			○		○		
感応階梯				延長					短縮				

注⁽¹⁾ 灯器記号の 1 は、幹線車両灯器、1RA は、幹線車両右折用灯器、1P は幹線歩行者灯器、2 は、従道路車両灯器、2P は従道路歩行者灯器を表す。

(2) 灯器の は青色、 は、黄色、 は赤色を示す。 は、矢印灯器の点灯を示す。 は、歩行者青点滅を表す。

(3) 流れ図の実線は車両、点線は歩行者を表す。

図 2.3.1-4 一般交差点の現示階梯図

イ 重要交差点

重要交差点は幹線側、従道路側共に右折現示を持つ構成とする。

周期は 120 秒とし、幹線と従道路の青時間比が近い値として、53 対 47 となるよう秒数を設定する。

灯器記号	周期	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1		—————		WW		WW		—————		—————		—————		—————	
1P				—————		—————		—————		—————		—————		—————	
1RA						→									
2		—————		—————		—————		—————		WW		WW		—————	
2P		—————		—————		—————		—————				—————		—————	
2RA												→			
流れ図															
秒数	120	34	10	5	3	5	3	3	28	10	5	3	5	3	3
最低秒数	90	20	10	3	3	3	3	3	20	10	3	3	3	3	3
可変階梯		○		○		○			○		○		○		
感応階梯				延長					短縮						

図 2.3.1-5 重要交差点の現示階梯図

ウ オフセット

オフセットは同時系とし、周期 120 秒における各交差点のオフセットは表 2.3.1-2 の通りとする。

表 2.3.1-2 仮想路線のオフセット

交差点番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
オフセット値(%)	0	0	0	5	0	0	0	5	0	0

2.3.2 モデル路線

(1) 道路ネットワーク

図 2.3.2-1 に来年度に予定されている実証試験におけるモデル路線の道路ネットワークを示す。東京都の湾岸署前交差点に I T S 無線路側機等が設置される。幹線（南北方向）は片側 2 車線、交差道路（東西方向）は片側一車線道路であり、幹線でバス優先制御を行う。

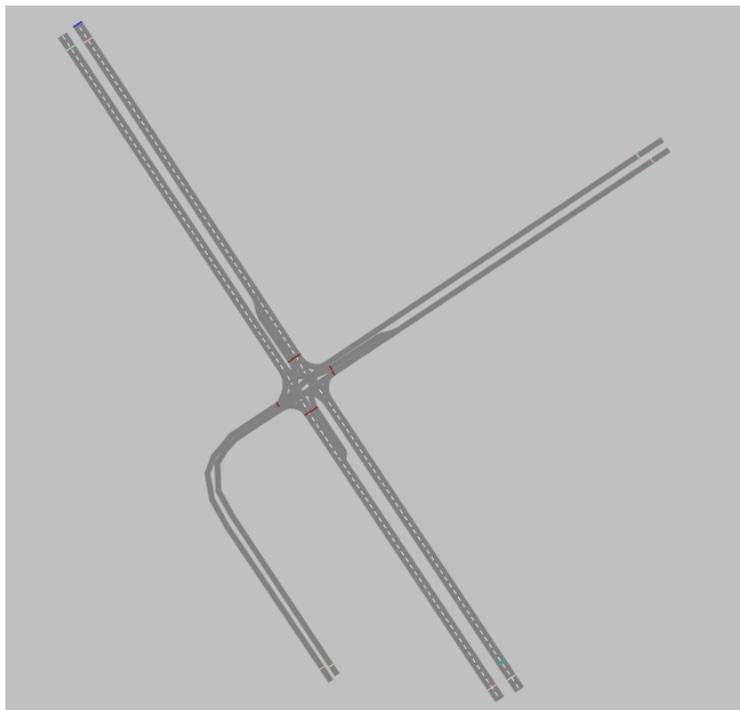


図 2.3.2-1 モデル路線の道路ネットワーク

(2) 信号現示

現示は、実際の信号機と同じとするが、ステップ数、及び秒数は仮想の値。
 周期は120秒とし、青時間比を6対4となるよう秒数を設定する。

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	53	7	5	3	3	28	10	5	3	3
最低秒数	76	15	7	3	3	3	20	10	3	3	3
可変階梯	/	○		○			○		○		
感応階梯	/			延 長			短 縮				

図 2.3.2-2 一般交差点の現示階梯図

2.3.3 共通条件

(1) 交通条件

閑散／混雑／渋滞の3つの交通状態によりシミュレーションを実施する。
 これらの交通状態は、飽和度により定義する。

$$\text{飽和度} = \text{流入交通量} / (\text{信号青時間} \times \text{飽和交通流率})$$

ここで、

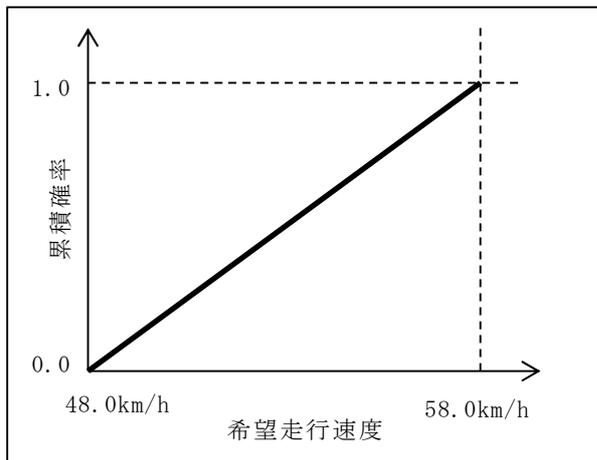
飽和交通流率は、1800台/時 となるようシミュレータを調整する。

飽和度は重要交差点の青時間により算出する。

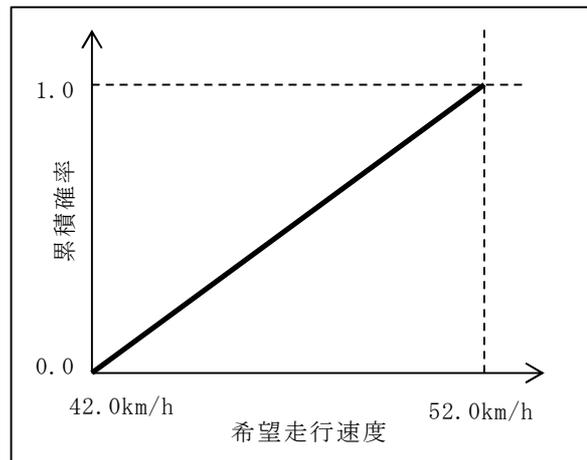
閑散は飽和度 0.8、混雑は飽和度 0.9 の一定交通量とする。渋滞は、シミュレーション開始時と終了時は、閑散状態となるようにし、途中で飽和度 1.1 とする。ただし信号待ち車両がネットワーク入口に達しないように、飽和度 1.1 状態の時間を調整する。

(2) 走行速度

走行速度は、車種毎に図 2.3.3-1 のように、希望走行速度にばらつきを持たせる。希望走行速度とは、各車両の自由流での走行速度である。



(a) 乗用車



(b) バス及び大型車

図 2.3.3-1 希望走行速度

(3) バス走行頻度

信号の 1 周期に平均的に走行する台数を規定する。

バス走行周期を信号周期とずらし、信号タイミングへの依存を減らすようにする。

2.4 評価項目

表 2.4-1 に評価項目一覧を示す。

表 2.4-1 評価項目一覧

評価項目	内容
旅行時間	起点から終点までの旅行時間（シミュレータ出力） 以下の区分で集計する。 幹線上り／下り／従道路、バス／一般車両
遅れ時間	信号交差点における遅れ時間（シミュレータ出力） 以下の区分で集計する。 道路種別毎、バス／一般車両
停止回数	信号交差点における停止回数（シミュレータ出力） 以下の区分で集計する。 道路種別毎、バス／一般車両
優先制御成功率	優先制御時に優先要求したバスが通過できた割合
青延長制御率	青延長制御が行われた割合
赤短縮制御率	赤短縮制御が行われた割合
無駄青時間	優先制御時に優先要求したバスが通過した後に表示される青時間
スプリット	1G, 1RA, 2G, 2RA 等現示毎のスプリット (%) を算出し比較する。
青延長効果カウント	サイクル毎にカウントし、青延長された時間にバスが通過した場合、1 カウントとする。青延長制御失敗時はカウントしない。
赤短縮効果カウント	サイクル毎にカウントし、前サイクルで赤短縮制御のバスがあった場合にカウントする。

3. 仮想路線における効果評価

3.1 結果概要

表 3.1-1 に仮想路線の高度化 P T P S に関する効果評価の結果概要を示す。

表 3.1-1 仮想路線における効果評価の結果概要 (1/2)

	ケース名	概要
1	高度化基本機能検証	<ul style="list-style-type: none"> ・既存 P T P S に比べ、バス旅行時間を 4%以上短縮できる。 ・スプリットは既存 P T P S より大きく変化し、従道路側の旅行時間が増えることに留意することが必要である。 ・総遅れ時間、総停止回数は若干増える。 ・青延長制御率の向上、無駄青時間の削減が、旅行時間短縮につながっていることを確認した。
2	最大青延長時間比較	<ul style="list-style-type: none"> ・最大青延長時間を 10秒から 20 秒に変更することにより、バス旅行時間はさらに 8%程度改善する。 ・従道路の旅行時間増加率は最大 9%程度であるが、増加する旅行時間は約 6 秒であり、許容範囲かどうか導入路線毎に判断が必要である。
3	設計速度影響確認	<ul style="list-style-type: none"> ・設計速度 V 1 は、実際の走行速度に近い程、青延長制御成功率が高くなり、バス旅行時間を短縮できる。また、従道路への影響も小さくなる。 ・バス優先制御には、大きな減速度での停止が減る効果がある。
4	G N S S 影響分析	<ul style="list-style-type: none"> ・G N S S 測位誤差が±30m以内であれば、旅行時間短縮効果への影響は 0.5%以下である。測位誤差の許容範囲とする。 ・G N S S 測位誤差が大きい場合、やや優先制御成功率が低下することが、旅行時間短縮が増加する原因である。
5	信号情報提供効果確認	<ul style="list-style-type: none"> ・ごくわずかであるが旅行時間短縮効果が期待できる。 ・旅行時間改善効果は小さいため、エコドライブとゆとり運転の支援が本機能の主な効果となる。
6	バス停の有無に関する優先制御の効果確認	<ul style="list-style-type: none"> ・バス停ありの方がバス旅行時間改善効果は大きい。バス停なしに比べて、青延長回数が増えることが旅行時間改善の主な要因である。 ・青延長制御成功率は、バス停ありの方が 13%から 20%低下しており、今後の改善課題である。
7	高密度運行影響分析	<ul style="list-style-type: none"> ・運行頻度が高くなる程、旅行時間が増える傾向にある。運行頻度が、120 台/時程度までは、旅行時間の増加率は低い。 ・運行頻度が、120 台/時を超えると旅行時間改善率が大きく低下するが、優先制御を行わない場合と比べて 5%程度の旅行時間が改善できる。このことから、高密度運行においてもバス優先制御機能は有効である。

表 3.1-1 仮想路線における効果評価の結果概要 (2/2)

	ケース名	概要
8	バスレーン効果比較	<ul style="list-style-type: none"> ・バス専用レーンがない場合でも高度化PTPSは、既存PTPSに比べて3.9%から5.8%程度バス旅行時間を短縮できている。 ・バスレーンがある場合と比べると、いずれのPTPSも2%程度旅行時間改善効果が低下する。青延長制御成功率がやや低下しているためである。

3.2 結果詳細

3.2.1 高度化機能基本検証

(1) 目的

光ビーコンにより現在行われている P T P S（以下、「既存 P T P S」という。）に対して 700MHz I T S 無線路側機を用いた P T P S（以下、「高度化 P T P S」という。）を整備することで、旅行時間短縮効果があることをシミュレーションにより確認する。

(2) 確認方法

交通量として、閑散、混雑、渋滞を想定することで、代表的な交通状況での効果を確認する。

バス専用レーンを有し、かつバス停がない仮想路線とすることで条件を単純化し、他の評価ケースのベースとする。

(3) シミュレーション結果

ア 旅行時間比較

旅行時間比較結果を表 3.2.1-1 及び図 3.2.1-1 に示す。

バス旅行時間比較から、高度化 P T P S の旅行時間改善効果は既存 P T P S に対して 3.9%から 4.4%向上しており、高度化 P T P S のバス優先制御機能が有効であることを示すものと判断する。

バス優先制御により、信号機のスプリット配分が変わるため、一般車両の旅行時間に影響が出ている。交通量が多くなる程、従道路の車両の旅行時間への影響が大きくなる。P T P S 制御なしの場合に比べると旅行時間が最大 6%程度増えている。旅行時間は、秒数では最大 4 秒程度の増加であり、路線でのバス旅行時間短縮約 40 秒と比べて小さい。

バス専用車線のある条件であるため、一般車両は交通量に応じて旅行時間が増加するが、バスの旅行時間はあまり変化しない。

表 3.2.1-1 高度化機能基本検証 旅行時間比較結果

評価区分	車種	交通量	平均旅行時間 (秒)			旅行時間改善効果	
			PTPS 制御なし	既存 PTPS	高度化 PTPS	既存 PTPS	高度化 PTPS
幹線上り	バス	閑散	431.5	407.7	388.1	5.5%	10.1%
		混雑	431.7	407.6	388.1	5.6%	10.1%
		渋滞	432.2	407.2	389.1	5.8%	10.0%
	一般車両	閑散	430.6	416.2	409.4	3.3%	4.9%
		混雑	439.6	423.4	417.4	3.7%	5.1%
		渋滞	462.1	440.3	434.7	4.7%	5.9%
幹線下り	一般車両	閑散	426.6	416.2	409.4	2.4%	4.0%
		混雑	434.1	423.4	417.4	2.5%	3.9%
		渋滞	458.1	440.3	434.7	3.9%	5.1%
一般交差点従道路	一般車両	閑散	67.0	67.6	68.4	-0.9%	-2.1%
		混雑	73.4	74.9	77.1	-2.1%	-5.1%
		渋滞	75.3	77.6	80.3	-3.1%	-6.7%
重要交差点従道路	一般車両	閑散	67.3	70.9	70.9	-5.3%	-5.2%
		混雑	67.3	70.9	70.9	-5.3%	-5.2%
		渋滞	68.0	72.1	72.2	-6.1%	-6.2%

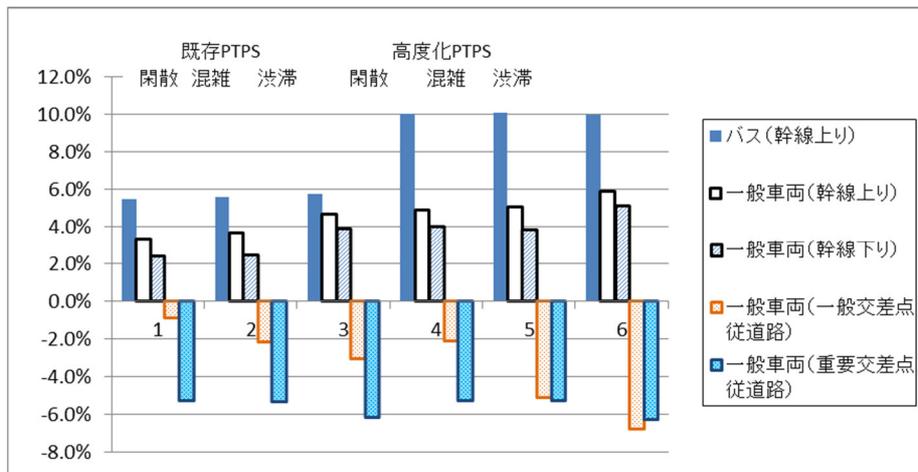


図 3.2.1-1 高度化基本機能 旅行時間改善効果比較グラフ

イ 遅れ時間比較

遅れ時間比較結果を表 3.2.1-2、表 3.2.1-3、図 3.2.1-2、及び図 3.2.1-3 に示す。高度化 P T P S はバスの遅れ時間を約 24%削減している。その一方で、総遅れ時間は数%増えている。P T P S によりネットワーク全体の性能が低下するリスクがあることを示す。ただしこの評価では、車両台数ベースの総遅れ時間を算出しているが、乗員数ベースとするとバスの乗員数は多いため、総遅れ時間の増加は今回の結果より少なくなる。

表 3.2.1-2 高度化機能基本検証 遅れ時間比較結果 (交通量=閑散)

評価区分	車種	遅れ時間 (秒)			遅れ時間改善効果	
		PTPS 制御なし	既存 PTPS	高度化 PTPS	既存 PTPS	高度化 PTPS
幹線上り	バス	18915.4	16280.4	14106.9	13.9%	25.4%
幹線上り	一般車両	220533.0	204191.3	196605.0	7.4%	10.9%
幹線下り	一般車両	215990.1	211974.5	207189.6	1.9%	4.1%
従道路一般	一般車両	422462.4	436040.3	442952.3	-3.2%	-4.9%
従道路重要	一般車両	272445.6	301336.9	301389.7	-10.6%	-10.6%

表 3.2.1-3 高度化機能基本検証 総遅れ時間比較結果

交通量	遅れ時間 (秒)			遅れ時間改善効果	
	PTPS 制御なし	既存 PTPS	高度化 PTPS	既存 PTPS	高度化 PTPS
閑散	1150346.5	1169823.4	1162243.5	-1.7%	-1.0%
混雑	1469094.5	1501435.1	1517550.8	-2.2%	-3.3%
渋滞	1673579.4	1708748.5	1731403.3	-2.1%	-3.5%

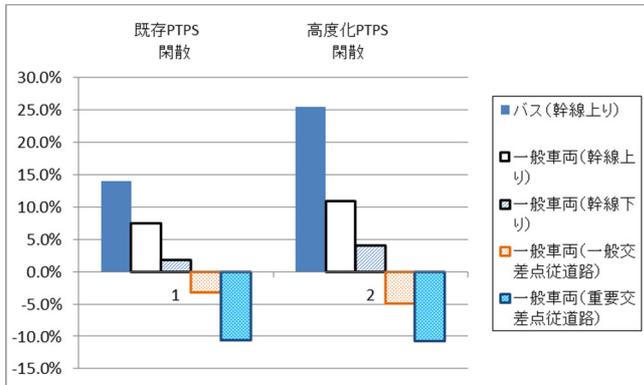


図 3.2.1-2 遅れ時間比較結果 (交通量=閑散)

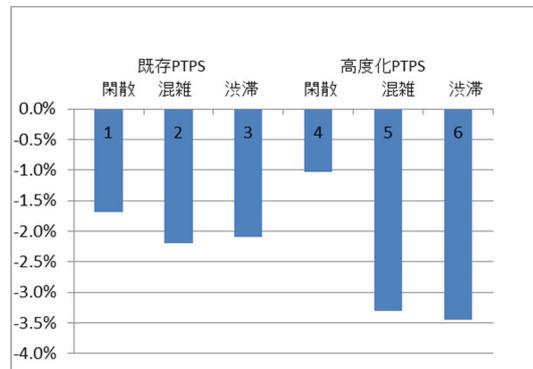


図 3.2.1-3 総遅れ時間比較結果

ウ 停止回数比較

停止回数比較結果を表 3.2.1-4、表 3.2.1-5、図 3.2.1-4、及び図 3.2.1-5 に示す。高度化 P T P S ではバスの停止回数を約 14%削減している。その一方で、総停止回数が数%増えている。P T P S によりネットワーク全体の性能が低下するリスクがあることを示す。遅れ時間に比べて、停止回数増は CO₂ 排出量の増加に大きくつながる。

表 3.2.1-4 高度化機能基本検証 停止回数比較結果（交通量=閑散）

評価区分	車種	総停止回数（回）			総停止回数改善効果（%）	
		PTPS 制御なし	既存 PTPS	高度化 PTPS	既存 PTPS	高度化 PTPS
幹線上り	バス	355.6	328.7	307.8	7.6%	13.5%
幹線上り	一般車両	3922.3	3689.4	3644.3	5.9%	7.1%
幹線下り	一般車両	3890.2	3832.5	3878.5	1.5%	0.3%
従道路一般	一般車両	9182.5	9358.3	9440.3	-1.9%	-2.8%
従道路重要	一般車両	6019.8	6377.9	6377.0	-5.9%	-5.9%

表 3.2.1-5 高度化機能基本検証 総停止回数比較結果

交通量	総停止回数（回）			総停止回数改善効果（%）	
	PTPS 制御なし	既存 PTPS	高度化 PTPS	既存 PTPS	高度化 PTPS
閑散	23370.4	23586.8	23647.9	-0.9%	-1.2%
混雑	29267.0	29621.4	29970.1	-1.2%	-2.4%
渋滞	32615.5	32990.4	33450.1	-1.1%	-2.6%

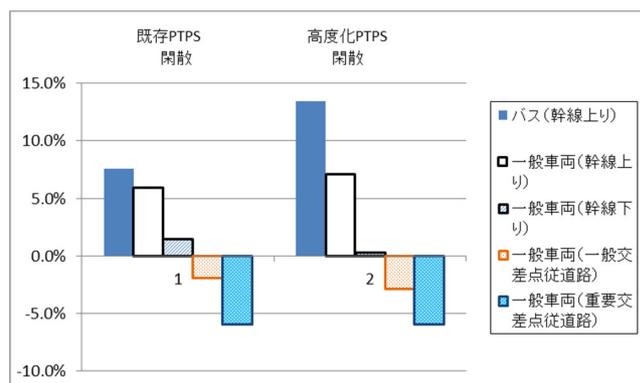


図 3.2.1-4 停止回数比較結果（交通量=閑散）

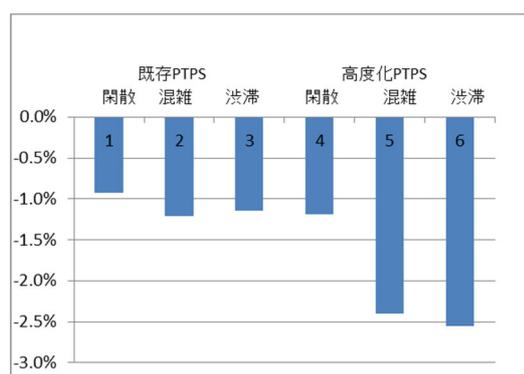


図 3.2.1-5 総停止回数比較結果

エ スプリット比較

表 3.2.1-6 に閑散時の交通量における既存 P T P S と高度化 P T P S のスプリット比較結果を示す。優先制御により青延長、または赤短縮が行われた場合、次のサイクルのオフセット追従で延長秒数、短縮秒数が全スプリットでスプリットの割合に応じて吸収される。そのため、優先制御率が増えると従道路青時間比率が減少し、従道路側の旅行時間、遅れ時間、停止回数の増加につながる。

実際の運用では、スプリットに影響することを考慮したスプリットの基準値とすることで、従道路への影響を低減できる。

表 3.2.1-6 高度化機能基本検証 スプリット比較結果（交通量=閑散）

交差点番号		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
幹線側スプリット(%)	PTPS 制御なし	56.2	57.1	57.1	48.0	56.2	56.2	57.1	47.9	56.2	56.2
	既存 PTPS	59.6	57.4	57.1	51.0	56.2	58.7	57.2	50.0	56.2	56.2
	高度化 PTPS	59.6	57.4	57.1	51.5	60.4	59.1	57.2	50.2	58.7	57.9
スプリット変化量(%)	既存 PTPS	3.4	0.3	0.0	3.0	0.0	2.5	0.0	2.1	0.0	0.0
	高度化 PTPS	3.4	0.3	0.0	3.5	4.1	2.8	0.0	2.3	2.5	1.6

交差点番号		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
従道路側スプリット(%)	PTPS 制御なし	37.5	38.1	38.1	42.1	37.5	37.5	38.1	42.1	37.5	37.5
	既存 PTPS	35.6	37.9	38.1	39.3	37.5	36.3	38.1	39.6	37.5	37.5
	高度化 PTPS	35.6	37.9	38.1	38.7	34.6	35.9	38.1	40.2	35.6	36.7
スプリット変化量(%)	既存 PTPS	-1.9	-0.2	0.0	-2.8	0.0	-1.2	0.0	-2.5	0.0	0.0
	高度化 PTPS	-1.9	-0.2	0.0	-3.5	-2.9	-1.6	0.0	-1.9	-1.9	-0.8

オ 優先制御内容比較

表 3.2.1-7 及び表 3.2.1-8 に閑散時の交通量における既存 P T P S と高度化 P T P S の優先制御内容を示す。交差点 4 及び交差点 8 において、青延長制御率が 4%~52% 上がり改善効果に寄与していることが確認できる。赤短制御率も交差点 4 において、13%増加している。無駄青時間は、交差点 4 で 1.0 秒削減できており、設計通りの動作が行えていると判断する。

青延長回数に対する青延長効果カウントにより青延長成功率として算出している。1 台の光ビーコンで複数の交差点を制御する場合、下流側の交差点では青延長成功率が低下することが確認できる（交差点 2、交差点 7）。

表 3.2.1-7 高度化基本機能 既存 P T P S の優先制御内容（交通量=閑散）

交差点番号	サイクル数	青延長制御			赤短縮制御			無駄青時間	青延長効果カウント	赤短縮効果カウント	青延長成功率	赤短縮成功率
		青延長回数	平均延長秒	青延長制御率	赤短縮回数	平均短縮秒	赤短縮制御率					
1	57	8.3	0.6	15%	44.6	3.7	78%	0.1	8.2	39.8	99%	89%
2	57	7.9	0.7	14%	0.0	0.0	0%	0.5	5.6	0.0	71%	
3	57	0	0.0	0%	0.0	0.0	0%	0.0	0.0	0.0		
4	57	38	3.7	67%	23.0	3.2	40%	1.2	35.7	20.0	94%	87%
5	57	0	0.0	0%	0.0	0.0	0%	0.0	0.0	0.0		
6	57	16.6	1.2	29%	19.9	1.7	35%	0.4	15.1	19.7	91%	99%
7	57	4.6	0.1	8%	0.0	0.0	0%	0.3	0.6	0.0	13%	
8	57	1.3	0.2	2%	43.6	6.1	76%	0.1	1.3	42.4	100%	97%
9	57	0	0.0	0%	0.0	0.0	0%	0.0	0.0	0.0		
10	57	0	0.0	0%	0.0	0.0	0%	0.0	0.0	0.0		

表 3.2.1-8 高度化基本機能 高度化 P T P S の優先制御内容（交通量=閑散）

交差点番号	サイクル数	青延長制御			赤短縮制御			無駄青時間	青延長効果カウント	赤短縮効果カウント	青延長成功率	赤短縮成功率
		青延長回数	平均延長秒	青延長制御率	赤短縮回数	平均短縮秒	赤短縮制御率					
1	57	8.3	0.6	15%	44.6	3.7	78%	0.1	8.2	39.8	99%	89%
2	57	8.0	0.7	14%	0	0.0	0%	0.5	5.6	0	70%	
3	57	0.0	0.0	0%	0	0.0	0%	0.0	0	0		
4	57	40.4	3.6	71%	30.3	4.3	53%	0.2	40.1	29.3	99%	97%
5	57	7.1	1.0	12%	47	4.1	82%	0.1	7.1	47	100%	100%
6	57	11.6	0.7	20%	28.5	2.5	50%	0.3	9.9	28.3	85%	99%
7	57	1.7	0.1	3%	0	0.0	0%	0.2	0.3	0	18%	
8	57	30.6	3.1	54%	24.4	3.3	43%	0.2	30.3	13.6	99%	56%
9	57	1.0	0.1	2%	31.9	2.8	56%	0.0	1	31.8	100%	100%
10	57	23.4	1.4	41%	10.6	0.9	19%	0.0	23	10.5	98%	99%

3.2.2 最大青延長時間比較

(1) 目的

最大青延長時間は、P T P S の旅行時間改善効果に影響する重要な設定パラメータである。そのため、最大青延長時間を変化させた場合、どのような旅行時間改善効果が得られるかは重要な知見となる。

(2) 仮想ビーコン位置設定

最大青延長時間は、光ビーコン又は第1仮想ビーコンから停止線までの旅行時間以下とするのが適切である。そのため、表3.2.2-1の通り、最大青延長時間毎に光ビーコン又は第1仮想ビーコン位置を設定する。

なおリンク長が短い場合は、できるだけ上流位置に設定する。

表 3.2.2-1 第1仮想ビーコン位置設定

最大青延長時間	光ビーコン又は第1仮想ビーコンから停止線までの距離	設定方法
10秒	144mより上流	10秒 × 52km/h (最高速度)
20秒	288mより上流	20秒 × 52km/h (最高速度)

(3) シミュレーション結果

ア 旅行時間改善効果

表3.2.2-2に最大青延長時間比較の旅行時間比較結果を示す。最大青延長時間を10秒から20秒に大きくすることにより、高度化P T P Sのバス旅行時間は8%程度改善する。既存P T P Sは最大青延長時間を10秒から20秒に大きくすることにより、バス旅行時間を6%程度改善する。高度化P T P Sの方が、延長時間がより有効に使われる。

その一方で従道路の旅行時間には交通量が多い程、大きな影響を与える。高度化P T P Sの旅行時間改善率では、最大青延長時間を10秒から20秒に大きくすることにより最大で約6%旅行時間が増える。ただし、増加する旅行時間は5秒のため、実際に導入する路線において許容できるかどうかの判断が必要である。許容できない場合は、従道路への影響を減らすように標準スプリットを調整したうえで、バス優先制御を行うことが望ましい。

表 3.2.2-2 最大青延長時間比較 旅行時間比較結果

評価 区分	車種	交通 量	平均旅行時間（秒）				旅行時間改善効果			
			最大青延長時間 =10 秒		最大青延長時間 =20 秒		最大青延長時間 =10 秒		最大青延長時間 =20 秒	
			既存 PTPS	高度化 PTPS	既存 PTPS	高度化 PTPS	既存 PTPS	高度化 PTPS	既存 PTPS	高度化 PTPS
幹線 上 り	バス	閑散	407.7	388.1	382.8	352.3	5.5%	10.1%	11.3%	18.3%
		混雑	407.6	388.1	382.9	352.1	5.6%	10.1%	11.3%	18.4%
		渋滞	407.2	389.1	383.6	353.4	5.8%	10.0%	11.2%	18.2%
	一般 車両	閑散	416.2	409.4	406.0	396.0	3.3%	4.9%	5.7%	8.0%
		混雑	423.4	417.4	415.6	405.3	3.7%	5.1%	5.5%	7.8%
		渋滞	440.3	434.7	434.5	424.3	4.7%	5.9%	6.0%	8.2%
幹線 下 り	一般 車両	閑散	416.2	409.4	420.7	417.2	2.4%	4.0%	1.4%	2.2%
		混雑	423.4	417.4	427.0	424.2	2.5%	3.9%	1.6%	2.3%
		渋滞	440.3	434.7	445.5	440.2	3.9%	5.1%	2.8%	3.9%
一般交 差点従 道	一般 車両	閑散	67.6	68.4	67.8	69.0	-0.9%	-2.1%	-1.2%	-3.1%
		混雑	74.9	77.1	76.1	80.0	-2.1%	-5.1%	-3.7%	-9.0%
		渋滞	77.6	80.3	79.7	85.0	-3.1%	-6.7%	-5.8%	-12.9%
重要交 差点従 道路	一般 車両	閑散	70.9	70.9	71.3	70.3	-5.3%	-5.2%	-5.9%	-4.5%
		混雑	70.9	70.9	71.3	70.4	-5.3%	-5.2%	-5.9%	-4.5%
		渋滞	72.1	72.2	72.6	71.5	-6.1%	-6.2%	-6.9%	-5.2%

備考 1. 旅行時間改善効果は、表 3.2.1-1 の PTPS 制御なしと比較

3.2.3 設計速度影響確認

(1) 目的

設計速度は、仮想ビーコン位置通過時に停止線到着タイミングを予測するために使用される。停止線到着タイミングの予測誤差は、青延長制御失敗（青延長時間が不足し、青信号で通過できない）や、無駄青（停止線通過後も表示している青信号の時間）の増加につながる。そのため、旅行時間改善効果に大きな影響を与える。ここでは、設計速度の与え方による旅行時間改善効果の違いについて確認を行う。

(2) 確認方法

図 3.2.3-1 にバス優先制御で用いる設計速度と仮想ビーコン位置の関係を示す。

設計速度 V1 として低速、中速、高速の 3 種類を与え比較する。設計速度 V2 は、42km/h 固定とする。仮想ビーコン L2 位置は停止線まで 58m の位置とする。

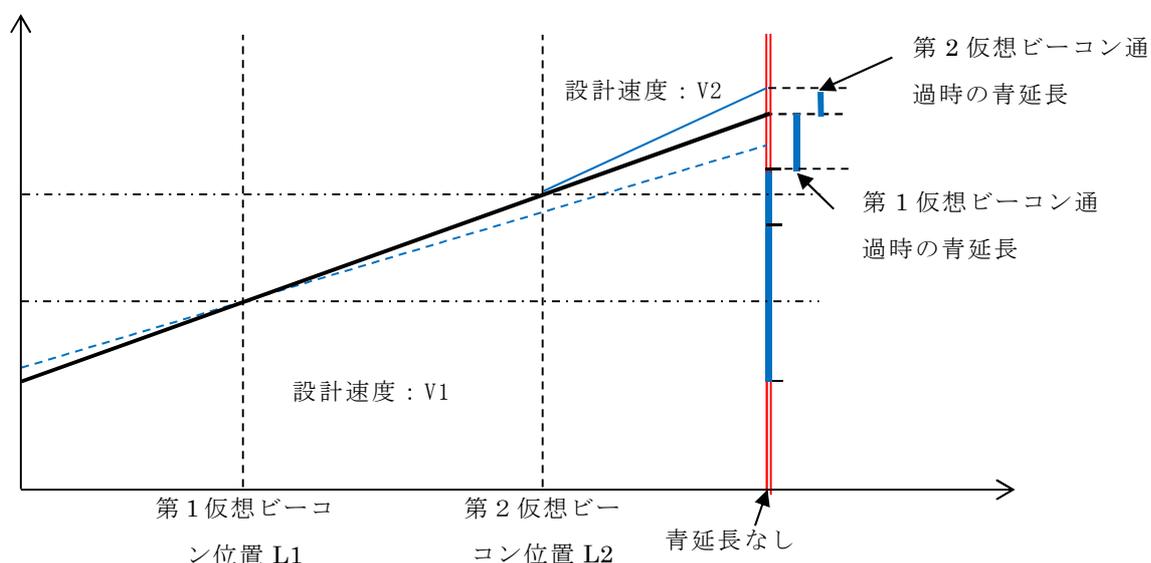


図 3.2.3-1 仮想ビーコン位置と設計速度の関係

表 3.2.3-1 設計速度 V1 の評価条件

仮想ビーコン L1 位置 (m)	設計速度	旅行時間 (秒)	備考
150	低 (36km/h)	15	
150	中 (42km/h)	13	
150	高 (49km/h)	11	

(3) シミュレーション結果

ア 旅行時間比較

表 3.2.3-2 に設計速度影響分析の旅行時間比較結果を示す。設計速度が高くなるにつれて、旅行時間改善効果が高くなる結果が得られている。また、従道路の旅行時間も設計速度が高い程、影響が少ない。

表 3.2.3-2 設計速度影響確認 旅行時間比較結果

評価区分	車種	設計速度 V1	平均旅行時間 (秒)		旅行時間改善効果 (%)	
			既存 PTPS	高度化 PTPS	既存 PTPS	高度化 PTPS
幹線上り	バス	低 (36km/h)	417.5	398.2	3.3%	7.8%
		中 (42km/h)	408.4	388.4	5.4%	10.0%
		高 (49km/h)	402.8	386.5	6.8%	10.6%
	一般 車両	低 (36km/h)	426.3	415.3	1.0%	3.6%
		中 (42km/h)	423.4	417.6	3.7%	5.0%
		高 (49km/h)	423.0	417.5	8.4%	9.6%
幹線下り	一般 車両	低 (36km/h)	428.3	426.3	-0.4%	0.1%
		中 (42km/h)	429.4	424.4	1.1%	2.2%
		高 (49km/h)	429.4	425.4	6.3%	7.2%
一般交差点 従道路	一般 車両	低 (36km/h)	75.1	76.6	-12.2%	-14.3%
		中 (42km/h)	74.9	77.1	-2.1%	-5.1%
		高 (49km/h)	75.0	77.4	0.3%	-2.8%
重要交差点 従道路	一般 車両	低 (36km/h)	70.5	71.1	-4.7%	-5.6%
		中 (42km/h)	70.9	70.8	-5.3%	-5.2%
		高 (49km/h)	70.9	70.4	-4.3%	-3.5%

備考 1. 旅行時間改善効果は、表 3.2.1-1 の PTPS 制御なしと比較

イ 最大減速回数

交通流シミュレータのバスは、停止線接近時に早い段階で赤信号であることが分かっている場合は、ゆっくりと停止し、青信号から黄信号に変化し停止可能な場合は、 1.96m/s^2 (0.2G) 以上の減速度で停止する動作をする。大きな減速度で停止する場合、乗客の転倒につながるリスクが高くなるため、最大減速回数を分析した。

表 3.2.3-3 に最大減速回数結果を示す。既存 PTPS でも最大減速回数を大きく減らすことができているが、高度化 PTPS によりさらに最大減速回数を減らすことが確認できる。ただし、設計速度を高くすると、最大減速度回数が増えている。これは、延長される青時間が短くなるため、停止する車両が増えるためと推測する。

表 3.2.3-3 設計速度影響確認 最大減速回数結果

評価区分	設計速度	最大減速回数	青延長回数
PTPS 制御なし	-	27.6	0
既存 PTPS	低 (36km/h)	10.7	114.2
	中 (42km/h)	7.8	76.6
	高 (49km/h)	8.3	66.8
高度化 PTPS	低 (36km/h)	4.2	124.4
	中 (42km/h)	2.3	128.6
	高 (49km/h)	7.4	128.3

ウ 優先制御内容比較

表 3.2.3-4 に優先制御内容と制御成功率を比較した結果を示す。

既存 P T P S では、設計速度 V 1 が高い程、青延長回数が増えている。一方、高度化 P T P S では、設計速度 V 1 が変わっても青延長回数は概ね同じである。これは、第 2 仮想ビーコンの効果と考えられる。

高度化 P T P S では、設計速度が”中”及び”高”の場合に青延長制御成功率が高くなっている。旅行時間比較で、設計速度が”中”及び”高”の場合の旅行改善率が高い理由となっている。

表 3.2.3-4 設計速度影響確認 優先制御内容と制御成功率の比較

条件	制御	青延長回数	青延長効果 カウント	青延長制 御成功率	赤短縮 回数	赤短縮効果 カウント	赤短縮制 御成功率
既存 PTPS	低 (36km/h)	114.2	120.9	43.3%	49.5	113.4	93.8%
	中 (42km/h)	76.6	130.5	85.4%	65.4	122.3	93.7%
	高 (49km/h)	66.8	137	97.8%	65.3	129.7	94.7%
高度化 PTPS	低 (36km/h)	124.4	204	73.5%	91.4	187.9	92.1%
	中 (42km/h)	128.6	213.8	94.9%	122	198.2	92.7%
	高 (49km/h)	128.3	210.7	94.2%	120.8	199.3	94.6%

3.2.4 G N S S 測位精度影響確認

(1) 目的

I T S 無線路側機は、バス車載機から送信される位置情報に含まれる緯度・経度情報を用いて、仮想ビーコン通過の判定を行う。そのため、緯度・経度情報の誤差は、仮想ビーコン通過タイミングの誤差に繋がり、その結果、停止線通過予測タイミングの誤差になり、優先制御の効果に影響を及ぼす。

車載機における緯度・経度の計測にはいくつかの方法があるが、G N S S (Global Navigation Satellite System) を用いるのが一般的である。G N S S の測位精度は、「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報告書」においては、誤差 10m 程度と報告されている。ただし、捕捉衛星数が少ない場合やビルによるマルチパスの影響がある場合は、測位精度が低下することがあるため、G N S S 測位精度影響確認を行い、許容される測位誤差に対する知見を得ることが必要である。

(2) G N S S 測位誤差の与え方

ア 実際の G N S S 測位誤差

G N S S 測位誤差は、図 3.2.4-1 の通り、実際のバスの位置を中心とした円で生じると推測する。

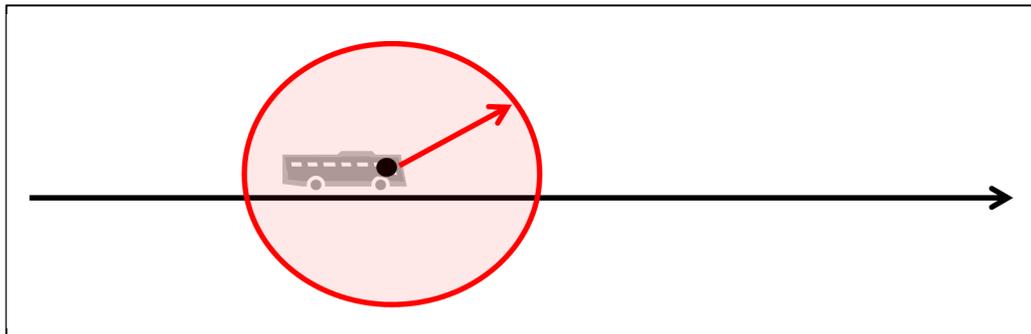


図 3.2.4-1 実際の G N S S 測位誤差

イ シミュレータにおける G N S S 測位誤差の与え方

図 3.2.4-2 にシミュレータにおける G N S S 測位誤差の与え方を示す。シミュレータでは、車両位置は、リンク内の道程距離として示される。この道程距離に G N S S 測位誤差を加えて、仮想ビーコンを通過したかを判定する。G N S S 測位誤差がプラスの場合は、仮想ビーコン通過が実際より早く検知され、測位誤差がマイナスの場合は仮想ビーコン通過が実際より遅く検知される。

誤差 0m、±10m、±30m の 3 条件でシミュレーションを行う。

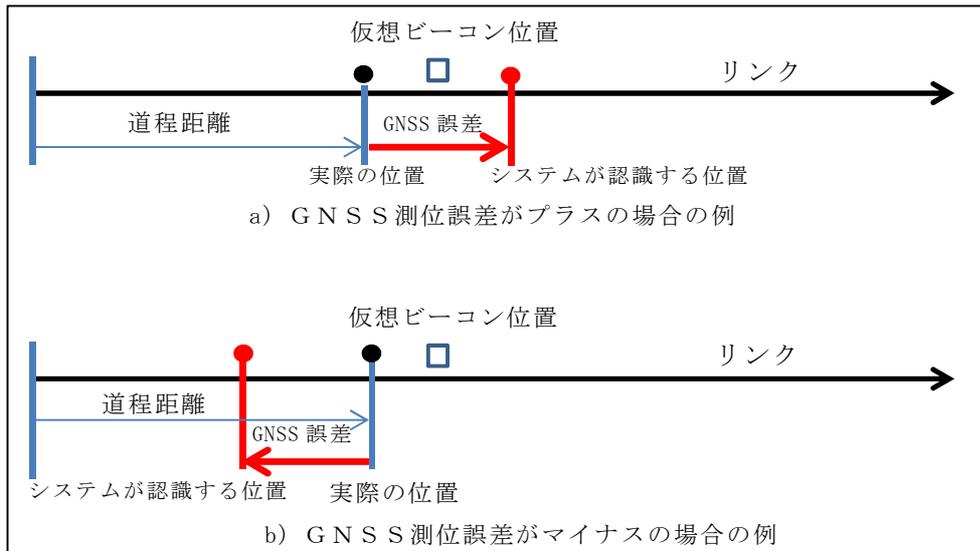
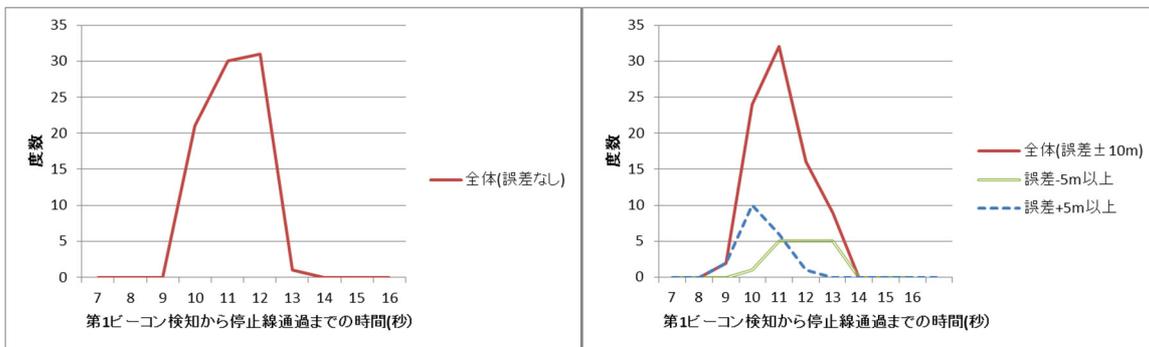


図 3.2.4-2 シミュレータにおける G N S S 測位誤差の与え方

(3) シミュレーション結果

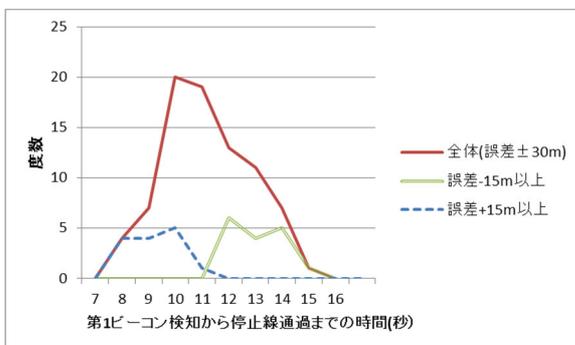
ア G N S S 測位誤差の確認

G N S S 測位誤差が適切に与えられていることを第 1 仮想ビーコンから停止線までの旅行時間により確認した。図 3.2.4-3 に、G N S S 測位誤差を与えない場合、 ± 10 m の位置誤差を与えた場合、 ± 30 m の測位誤差を与えた場合の旅行時間分布を示す。誤差が大きくなるにつれて旅行時間の分布幅が広がっており、適切に G N S S 測位誤差が与えられていると判断する。



(a) 誤差なし

(b) 誤差 ± 10 m



(c) 誤差 ± 30 m

図 3.2.4-3 G N S S 測位誤差の確認

イ 旅行時間比較

表 3.2.4-1 に G N S S 影響分析の旅行時間比較結果を示す。誤差が大きくなるにつれて改善効果はわずかに低下するが、大きな影響はない。

表 3.2.4-1 G N S S 測位精度影響確認 旅行時間比較結果

評価区分	車種	交通量	平均旅行時間 (秒)			旅行時間改善効果 (%)		
			誤差=0 m	誤差=10 m	誤差=30 m	誤差=0 m	誤差=10 m	誤差=30 m
幹線上り	バス	閑散	388.5	387.9	388.7	9.9%	10.1%	9.9%
		混雑	388.1	388.6	388.5	10.1%	10.0%	10.0%
		渋滞	388.7	389.1	389.8	10.1%	10.0%	9.8%
	一般車両	閑散	410.4	409.4	409.3	4.7%	4.9%	5.0%
		混雑	417.4	417.7	416.5	5.1%	5.0%	5.3%
		渋滞	435.0	434.6	434.5	5.9%	5.9%	6.0%
幹線下り	一般車両	閑散	419.0	418.5	417.8	1.8%	1.9%	2.0%
		混雑	424.5	424.4	424.3	2.2%	2.2%	2.3%
		渋滞	441.9	441.8	442.0	3.5%	3.6%	3.5%
一般交差点従 道路	一般車両	閑散	69.3	68.4	68.4	-3.4%	-2.1%	-2.1%
		混雑	77.0	77.1	77.2	-5.0%	-5.1%	-5.2%
		渋滞	80.4	80.4	80.3	-6.7%	-6.7%	-6.7%
重要交差点従 道路	一般車両	閑散	71.2	70.9	70.9	-5.7%	-5.2%	-5.3%
		混雑	70.8	70.8	71.0	-5.1%	-5.2%	-5.5%
		渋滞	72.3	72.2	72.2	-6.4%	-6.3%	-6.2%

備考 1. 旅行時間改善効果は、表 3.2.1-1 の PTPS 制御なしと比較

ウ 優先制御内容

表 3.2.4-2 に優先制御内容を示す。測位誤差が大きい程、青延長回数、及び赤短縮回数がやや減少する傾向にある。このことが、やや旅行時間改善効果が低下する要因と推測する。

表 3.2.4-2 G N S S 測位精度影響確認 優先制御内容

条件	制御	青延長回数	青延長効果 カウント	青延長制 御成功率	赤短縮回数	赤短縮効果 カウント	赤短縮制 御成功率
閑散	誤差=0m	130.6	215.5	92.3%	120.5	197.8	91.8%
	誤差=±10m	124.3	212.6	95.1%	118.2	197.2	92.8%
	誤差=±30m	132.2	217.2	95.0%	125.6	200	92.1%
混雑	誤差=0m	130.7	216.3	92.4%	120.8	198.4	91.7%
	誤差=±10m	128.2	213.2	95.9%	122.9	198.1	92.9%
	誤差=±30m	129.3	214.6	95.1%	122.9	198	92.3%
渋滞	誤差=0m	126.3	212.2	92.3%	116.6	195.2	92.0%
	誤差=±10m	124.8	214.6	95.4%	119	200.3	93.3%
	誤差=±30m	126.8	215.1	94.6%	119.9	198.7	92.4%

3.2.5 信号情報提供効果確認

(1) 目的

基本設計では、バスドライバーへの信号情報提供により以下の3つの効果を狙っている。

- ・燃料消費量の削減と地球環境保全への貢献を目標としたエコドライブの支援
- ・車内事故防止のための急発進、急ブレーキ等に注意するゆとり運転の支援
- ・バスドライバーの信号タイミング推測により青延長が有効利用されないケースの防止

エコドライブ支援、ゆとり運転支援の効果確認は、シミュレーション環境では困難であり、実車走行環境による実施が有効である。本効果検証では、バスドライバーが信号タイミングを推測するのではなく、車載機を介して信号情報を得ることで、青終了時間を適切に把握し、交差点を通過することで旅行時間がどの程度改善されるかを確認することを目的とする。

(2) バスドライバー運転の模擬

図 3.2.5-1 にバスドライバーの歩行者信号による減速行動モデルを示す。バスドライバーは歩行者信号が青点滅信号から赤信号に変化した後一定時間を経過した場合、車両用信号が赤信号になると推測し、アクセルオフし速度を緩める行動をとり信号変化に備えることで、急ブレーキを減らすと仮定する。以下この行動を予測減速と呼ぶ。

このような予測減速があった場合は青延長制御が行われているにも拘わらず、交差点を通過できない可能性がある。バス優先制御では、歩行者用信号の赤開始から車両用信号の黄開始までの時間は変化するが、ドライバーはこの時間が分からない。信号情報提供により、青信号の残り時間が提供されれば、予測減速がなくなり、交差点を通過できるようになる。この効果を信号情報提供の効果とみなす。ここでは、ドライバーの予測減速により、どの程度旅行時間が変化しているのかを確認する。

シミュレーションでは、減速行動モデルを簡略化しバスドライバーの運転を模擬する。

- ・車両黄信号予測タイミングは、歩行者赤信号開始3秒後とする。
- ・停止線手前 60m～20mの範囲で車両用信号の黄信号開始が予測された場合、アクセルオフを行う。
- ・アクセルオフは、バスの希望走行速度を一時的に 36km/h とすることで実現する。
- ・交差点通過後はもとの希望走行速度に戻す。

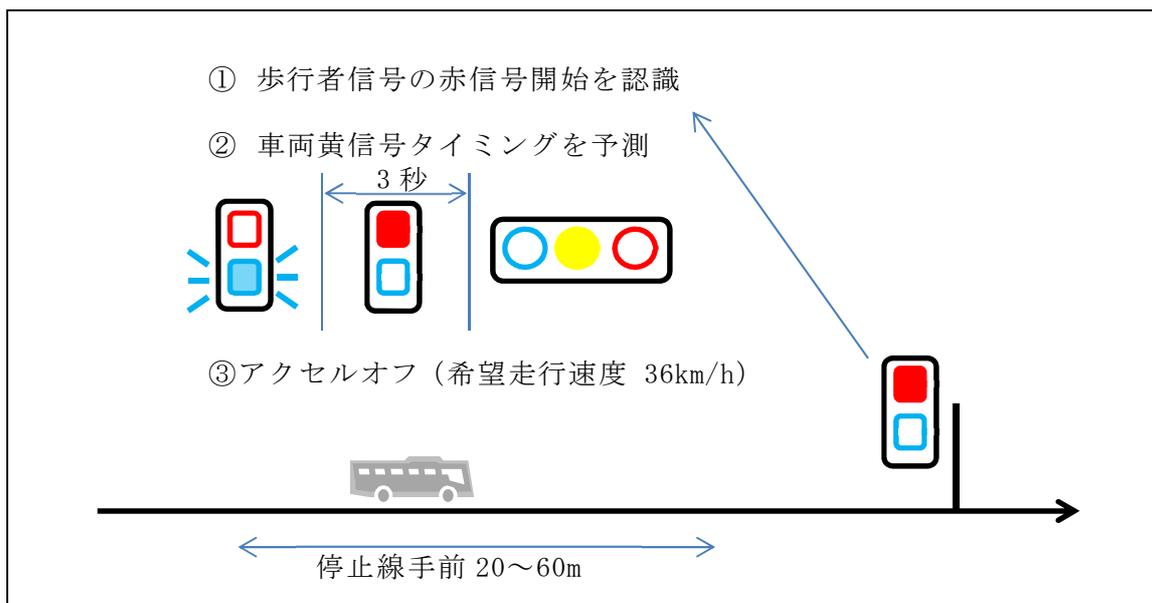


図 3.2.5-1 バスドライバーの歩行者信号による減速行動モデル

(3) シミュレーション結果

ア 旅行時間比較結果

表 3.2.5-1 に旅行時間比較結果を示す。既存 P T P S、高度化 P T P S いずれもバスドライバーの予測減速によりわずかに旅行時間が増加している。そのため、0.1～0.3%程度旅行時間改善効果が低下している。

表 3.2.5-1 信号情報提供効果分析 旅行時間比較結果

交通量	車種	平均旅行時間 (秒)				旅行時間改善効果			
		既存 P T P S		高度化 P T P S		既存 P T P S		高度化 P T P S	
		通常	予測減速	通常	予測減速	通常	予測減速	通常	予測減速
混雑	バス上り	407.6	408.1	388.1	389.5	5.6%	5.5%	10.1%	9.8%
	一般車両上り	423.4	423.2	417.4	417.6	3.7%	3.7%	5.1%	5.0%
	一般車両下り	423.4	429.3	417.4	424.3	2.5%	1.1%	3.9%	2.3%
	一般交差点従道路	74.9	74.9	77.1	77.2	-2.1%	-2.1%	-5.1%	-5.2%
	重要交差点従道路	70.9	70.9	70.9	70.9	-5.3%	-5.3%	-5.2%	-5.2%

備考 1. 旅行時間改善効果は、表 3.2.1-1 の P T P S 制御なしと比較

イ 予測減速時の動作

青延長時に予測減速を行っても、交差点を通過できているケースもある。一例を図3.2.5-2に示す。道程距離1180mあたりからアクセルオフにより速度が低下しているが道程距離1240mにある停止線を通過した後、速度が上昇している。予測減速における車両黄信号タイミングは青延長時間を考慮していないこと、青延長時間は若干の余裕をもって算出されていること等がその要因と考える。

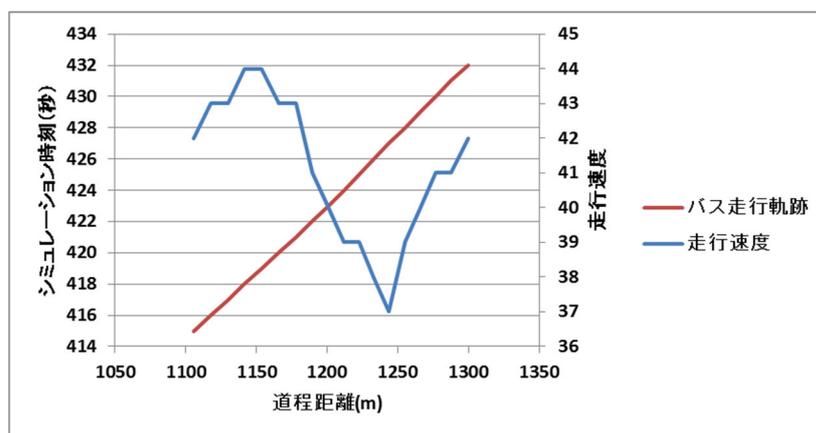


図 3.2.5-2 赤信号予測によるバス減速（停止線は1270m付近）

ウ シミュレーション結果まとめ

バスドライバーの予測減速により、ごくわずかであるが旅行時間が増加しており、信号情報提供により改善されることが期待される。ただし、旅行時間の改善効果は小さいことから、信号情報提供はエコドライブの支援及びゆとり運転の支援を主としたものとするのがよい。

3.2.6 バス停の有無に関する優先制御の効果確認

(1) 目的

交差点間にバス停がある場合において下流交差点でバス優先制御を行う場合、バス停での停止時間は予測できないことから、バス停より下流側に光ビーコン又は仮想ビーコンを設置することが必要である。しかし、都市部における交差点間距離は短く、バス停から停止線までの距離が短いこと、バス停から一定の範囲ではバスが加速中であるため、その範囲に光ビーコンを設置した場合は停止線到着タイミング予測が難しいことから、当該交差点においては、バス優先制御が行なえないことが既存PTPSの課題であった。

高度化PTPSでは2地点でバス感知を行うため、加減速による速度変化に強いと考えられる。ここでは、バス停の下流交差点に対するバス優先制御の効果を確認する。

(2) バス停の設定条件

バス停の設定条件を決定するため、表3.2.6-1に示す2路線を対象にバス停間距離を調査した。バス停間距離はバラツキが大きい。バス停間距離の分布状況を図3.2.6-1に示す。

表 3.2.6-1 バス停間距離調査

エリア	区間	路線長	バス停数	平均バス停間距離
東京（都バス路線）	東京駅丸の内南口 ～ 東京ビックサイト	約11.5km	27	約440m
千葉（京成バスPTPS路線）	稲毛駅 ～ 草野車庫	約4.7km	14	約360m

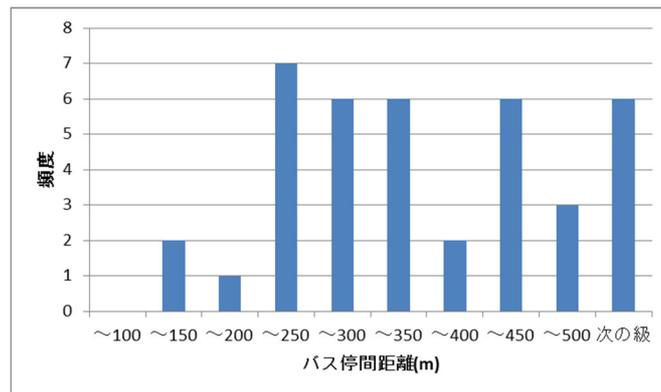


図 3.2.6-1 バス停間距離分布（対象：東京と千葉の2路線）

なお、東京におけるバス停間隔の平均値は、350～400mと言われている（参考文献[1]）。これらの結果を参考にバス停数を6とした。図3.2.6-2にシミュレーションにおけるバス停配置を示す。

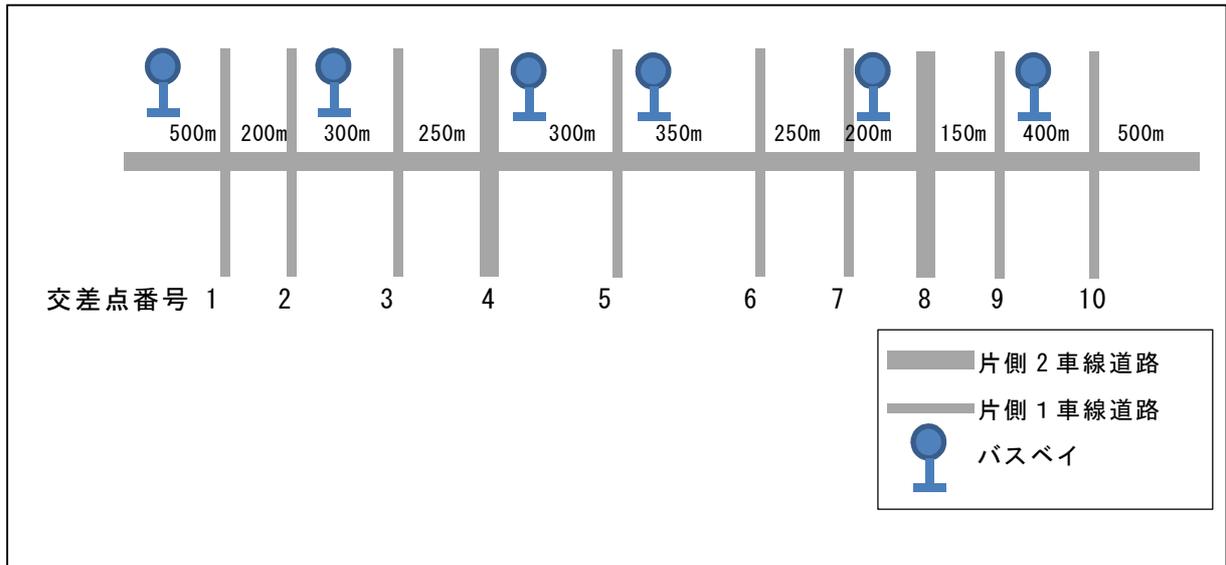


図 3.2.6-2 シミュレーションにおけるバス配置

バス停における停車時間は、平均 10 秒、標準偏差 5 秒とした。実際のバス路線では、乗客がいない場合には停止なしに通過する場合もあり、停止時間のバラツキの大きいものと推測するが、停車時間に関するデータを入手できないため、上記値によりシミュレーションを実施した。

(3) ビーコン位置設計

バス停での停止を考慮するため、バスの希望走行速度、加速度をパラメータとして、バス停の発車から停止線通過までの旅行時間を試算し、ビーコン位置を設計する。第 1 仮想ビーコンは、バスの実勢速度として加速度を最小、希望走行速度を最大と想定し算出する。光ビーコンは、設計速度として加速度を最小、希望走行速度を最小と想定し算出する。

表 3.2.6-2 ビーコン位置設計のための条件

条件	値
最大青延長時間	10 秒
バスの加速度	最小 0.75G、最大 0.125G
バスの希望走行速度	最小 42km/h、最大 52km/h

表 3.2.6-3 バス停を考慮したビーコン位置

バス停から停止線までの距離	第1仮想ビーコンの位置 (700MHz)	第1仮想仮想ビーコンから停止線までの旅行時間バラツキ	光ビーコンの位置	光ビーコンから停止線までの旅行時間バラツキ
220m	79m 以下	0.0 秒～2.0 秒	105m 以下	-2.0～0.0 秒
180m	43m 以下	0.0 秒～2.5 秒	65m 以下	-2.0～0.0 秒
150m	26m 以下	0.0 秒～2.5 秒	43m 以下	-2.0～0.0 秒
120m	15m ⁽¹⁾	-0.5 秒～2.0 秒	26m 以下	-2.0～0.0 秒
90m	15m ⁽¹⁾	-0.5 秒～1.5 秒	12m 以下	-2.0～0.0 秒

注⁽¹⁾ G N S S、ビーコン等の測位誤差を考慮し、やや下流に配置。

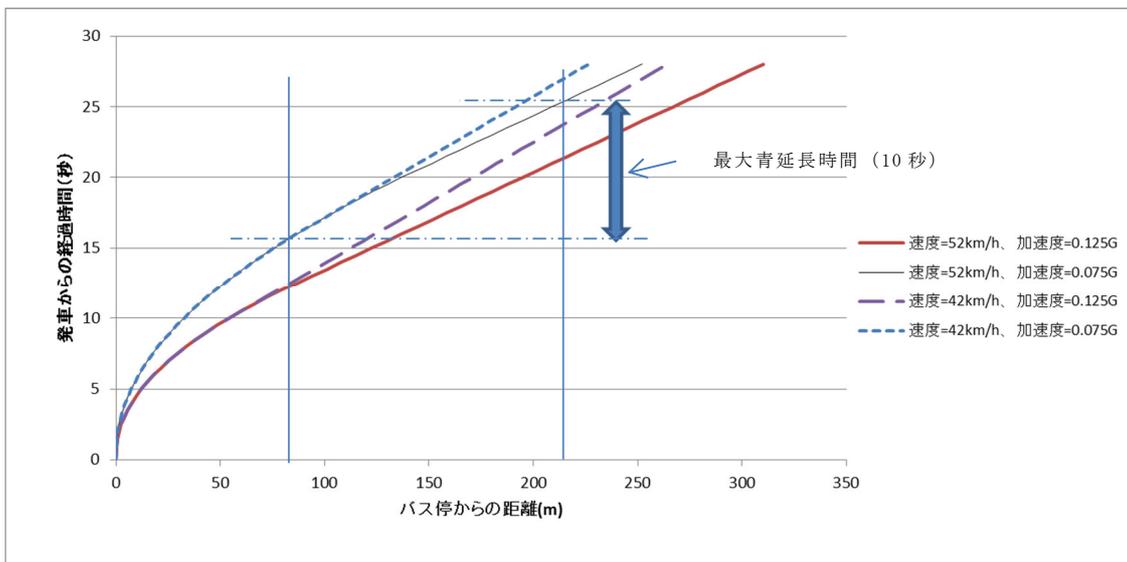


図 3.2.6-3 バス停から停止線まで 220m の場合の第 1 仮想ビーコンの位置設計

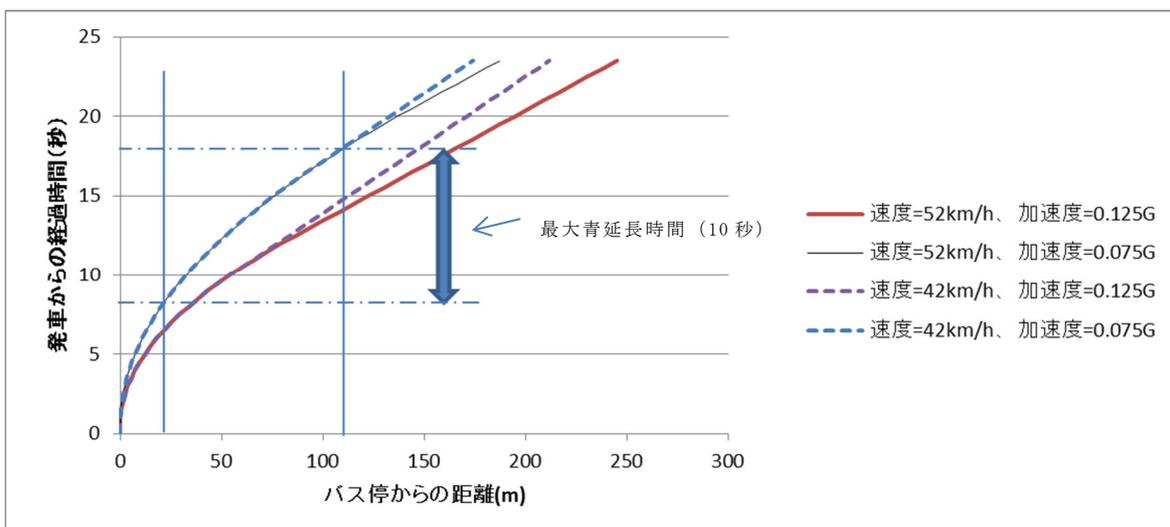


図 3.2.6-4 バス停から停止線まで 120m の場合の光ビーコンの位置設計

(4) シミュレーション結果

ア 旅行時間比較

交通量を混雑とした場合の旅行時間比較結果を表 3.2.6-4 に示す。

バス旅行時間比較から、高度化 P T P S の旅行時間改善効果はバス停なしの高度化基本機能と同様に既存 P T P S の 2 倍近くの効果があり、バス停があった場合でも効果が得られることが確認できる。

重要交差点従道路への影響が小さいにもかかわらず、バスの旅行時間短縮効果が大きい点は、より P T P S 制御が有効に機能している可能性が高い。

表 3.2.6-4 バス停有無に関する旅行時間比較結果

評価区分	車種	バス停	平均旅行時間 (秒)			旅行時間改善効果	
			PTPS 制御なし	既存 PTPS	高度化 PTPS	既存 PTPS	高度化 PTPS
幹線上り	バス	なし	431.7	407.6	388.1	5.6%	10.1%
		あり	720.9	682.5	632.3	5.3%	12.3%
	一般車両	なし	439.6	423.4	417.4	3.7%	5.1%
		あり	441.4	429.2	420.8	2.7%	4.6%
幹線下り	一般車両	なし	434.1	423.4	417.4	2.5%	3.9%
		あり	434.1	428.1	418.2	1.4%	3.7%
一般交差点従道路	一般車両	なし	73.4	74.9	77.1	-2.1%	-2.9%
		あり	73.4	75.1	76.7	-2.4%	-4.5%
重要交差点従道路	一般車両	なし	67.3	70.9	70.9	-5.3%	-5.2%
		あり	67.3	71.5	73.8	-6.2%	-9.6%

備考 1. 旅行時間改善効果は、表 3.2.1-1 の P T P S 制御なしと比較

イ バス停発車後の走行軌跡

バス停発車後の走行速度分布を図 3.2.6-5 に示す。図 3.2.6-5 における曲線は、「(3) ビーコン位置設計」において条件とした加速度、希望走行速度から算出した最小と最大の速度を示し、この範囲に入ることを期待している。シミュレーションにおける加速度の下限値が想定よりやや高いため、速度の下限値にやや乖離がみられる。なお、フィールドにおける調整においても、下図のような走行分布を作成し調整する方法が考えられる。

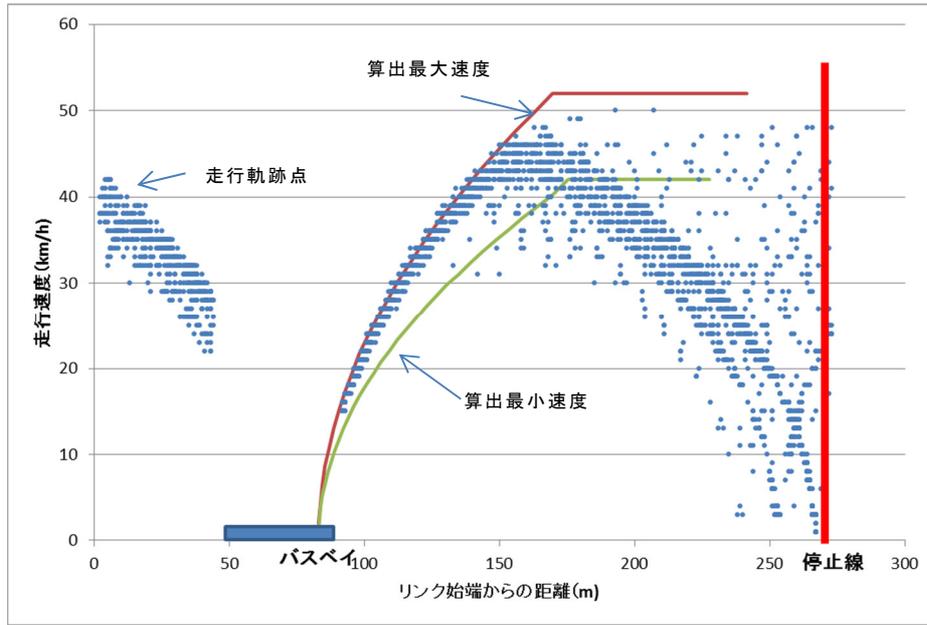


図 3.2.6-5 バス停停車後の走行速度分布

ウ スプリット比較

表 3.2.6-5 及び表 3.2.6-6 にスプリット比較結果を示す。バス停があった場合でも実現されるスプリットには大きな変化はない。

表 3.2.6-5 高度化基本機能 幹線スプリット比較結果（混雑時） 単位：％

交差点番号		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
幹線側スプリット(%)	PTPS 制御なし	56.2	57.1	57.1	48.0	56.2	56.2	57.1	47.9	56.2	56.2
	既存 PTPS	59.6	57.4	57.1	51.1	56.2	58.8	57.2	50.0	56.2	56.2
	高度化 PTPS	59.6	57.4	57.1	51.4	60.4	59.1	57.2	50.3	58.7	57.9
スプリット変化量(%)	既存 PTPS	3.4	0.3	0.0	3.1	0.0	2.6	0.0	2.0	0.0	0.0
	高度化 PTPS	3.4	0.3	0.0	3.4	4.2	2.9	0.0	2.4	2.4	1.7

表 3.2.6-6 バス停影響評価 幹線青スプリット比較結果（混雑時） 単位：％

交差点番号		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
幹線側スプリット(%)	PTPS 制御なし	56.2	57.1	57.1	48.0	56.2	56.2	57.1	48.0	56.2	56.2
	既存 PTPS	59.2	57.5	57.1	51.5	56.2	58.8	57.1	51.0	56.2	56.2
	高度化 PTPS	59.2	57.5	57.1	52.9	59.6	57.8	57.2	51.4	57.0	59.4
スプリット変化量(%)	既存 PTPS	3.0	0.4	0.0	3.5	0.0	2.6	0.0	3.0	0.0	0.0
	高度化 PTPS	3.0	0.4	0.0	4.9	3.3	1.5	0.0	3.3	0.7	3.1

エ 優先制御内容比較

表 3.2.6-7 にバス停影響評価として、優先制御内容と制御成功率を比較した結果を示す。

青延長回数は、既存 P T P S、高度化 P T P Sともバス停ありの場合が多い。バス停での停止に伴い、青延長制御が行われるタイミングでの到着が増えることが要因と考える。青延長制御成功率は約 13%から 20%低下している。主な要因は、バス停発車後の加速等の影響と推測するが、第 1 仮想ビーコンの位置を微調整による改善の余地はあると考える。

赤短縮回数、赤短縮制御成功率はバス停有無にかかわらず大きな変化はない。

表 3.2.6-7 バス停影響評価 優先制御内容と制御成功率の比較

条件	制御	青延長回数	青延長効果 カウント	青延長制 御成功率	赤短縮回 数	赤短縮効果 カウント	赤短縮制 御成功率
バス停なし	既存 P T P S	76.7	64.7	84.4%	130.2	122.5	94.1%
	高度化 P T P S	131.4	124.9	95.1%	216.2	198.9	92.0%
バス停あり	既存 P T P S	108.1	128.7	71.2%	135.5	128.7	95.0%
	高度化 P T P S	156.7	219.2	75.7%	249.3	219.2	87.9%

参照文献

[1]「<http://www.mlit.go.jp/singikai/koutusin/rikujou/jidosha/bus/06/images/04.pdf>」

3.2.7 高密度運行影響分析

(1) 目的

バス優先制御では、青延長制御、または赤短縮制御が行われた次のサイクルにおいて、同期補正が行われる。バスの運行密度が高くなるにつれてバス優先制御が行われるサイクルも多くなり、青延長制御等と同期補正が同時に行われる可能性が高くなる。このような場合に、バス優先制御の制御効果にどのような影響を及ぼすか確認が必要である。また、信号制御機における同期補正はスプリット配分で行う方式であるため、バス優先制御率が高くなるにつれてスプリットへの影響が大きくなるが、どの程度の影響がでるか把握することで最大青延長時間やスプリットの設計の参考にできる。

特に高密度運行の場合、信号サイクルの多くで青延長や赤短縮が実施されることが想定される。そのため、予め青信号延長や赤信号短縮分を考慮した信号スプリットとすることで同様の効果が得られるのであれば、このような路線ではバス優先制御の必要性はなくなる。高密度運行時のバス優先制御の制御効果を確認することが必要である。

(2) 運行条件設定

平成26年度報告書においてバス走行頻度は1時間あたり最大171本であることが示されている。そのため、表3.2.7-1に示す5種類の運行間隔でシミュレーションを行う。なお、信号周期は、120秒であり、この値と運行間隔をずらすことで、信号タイミングとバス走行タイミングの依存性がでないようにする。

ケース7-6は、高密度運行時のバス優先制御の必要性を確認するためのケースであり、ケース7-5で実現されるスプリットで信号制御を行うがバス優先制御は行わない。ケース7-5と旅行時間改善効果を比較する。

表 3.2.7-1 シミュレーション条件

ケース番号	運行間隔 (秒)	運行頻度(台/時)	スプリット
7-1	239	15.1	2.3.1-4, 2.3.1-5の現示階梯 図の通り
7-2	119	30.2	同上
7-3	59	61.0	同上
7-4	29	124.1	同上
7-5	14	257.1	同上
7-6 ⁽¹⁾	13	257.1	ケース7-5で実現されるスプ リット

注⁽¹⁾ ケース7-6では、バス優先制御を実施しない。

(4) シミュレーション結果

ア 旅行時間比較

各ケースのバス旅行時間比較を表 3.2.7-2 に示す。旅行時間比較欄は、ケース 7-3 を基準として比較している。ケース 7-4 までは大きな旅行時間の増加はないが、ケース 7-5 では旅行時間が大きく増えている。

P T P S 制御を行わないケース 7-6 は P T P S 制御を行う 7-5 に対して、約 6% の旅行時間短縮が行えており、高密度運行においても P T P S 制御が有効であることを示す。

表 3.2.7-3 高密度運行影響分析 旅行時間比較

ケース番号	バス総台数	平均旅行時間 (秒)	旅行時間比較	PTPS 効果
7-1	28.0	388.3	-0.1%	
7-2	55.0	393.7	-1.5%	
7-3	111.0	388.1	0.0%	
7-4	225.7	393.6	-1.4%	
7-5	465.0	415.4	-7.1%	5.8%
7-6	462.5	440.8	-13.6%	(比較対象)

イ スプリット比較

表 3.2.7-4 に高密度運行影響分析におけるスプリット比較結果を示す。合計欄は 10 交差点の幹線青スプリットの合計を示し、運行密度が上がるにつれ、幹線側のスプリットが大きくなっていることが分かる。

ケース 7-6 は、ケース 7-5 と同じスプリットを実現できるよう設定しているが、信号機の青時間を秒単位で設定するため、若干の誤差が生じている。

表 3.2.7-4 高密度運行影響分析 幹線青スプリット比較 単位：%

交差点番号 ケース番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	合計
7-1	58.9	57.1	57.1	49.6	59.5	57.4	57.1	49.5	58.5	57.2	58.9
7-2	59.1	57.5	57.1	49.0	60.1	59.3	57.1	49.7	58.8	58.0	59.1
7-3	59.6	57.4	57.1	51.4	60.4	59.1	57.2	50.3	58.7	57.9	59.6
7-4	62.1	57.8	57.1	53.5	61.7	60.7	57.3	51.4	59.3	59.9	62.1
7-5	62.2	59.0	57.1	54.4	61.8	61.9	57.2	51.8	60.8	62.1	62.2
7-6	61.0	59.1	59.0	54.0	62.9	61.0	59.0	52.0	60.0	61.0	61.0

ウ 優先制御内容比較

表 3.2.7-5 にバス停影響評価として、優先制御内容と制御成功率を比較した結果を示す。青延長成功率は、走行頻度が高くなっても変化していない。

表 3.2.7-6 にケース 7-5 の交差点毎の青延長回数、赤短縮回数を示す。制御対象サイクルは、57 サイクルであり、赤短縮制御がこの値に近い場合は、P T P S 制御の効果は小さい。この数値が離れている場合、及び青延長制御では青延長時間をバス到着タイミングに応じて制御するため、P T P S 制御の効果が得られる。

表 3.2.7-5 高密度運行影響分析優先制御内容と制御成功率の比較

ケース番号	青延長回数	青延長効果カウント	青延長制御成功率	赤短縮回数	赤短縮効果カウント	赤短縮制御成功率
7-1	50.5	50.5	100.0%	79.8	79.5	99.6%
7-2	74.9	70.0	93.5%	122.6	122.6	100.0%
7-3	131.4	124.9	95.1%	216.2	198.9	92.0%
7-4	196.8	184.3	93.6%	276.3	257.0	93.0%
7-5	332.6	316.3	95.1%	334.4	301.2	90.1%

表 3.2.7-6 ケース 7-5 における交差点毎の青延長回数、赤短縮回数

交差点番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
青延長回数	39.2	36.4	0	47.9	6.7	54.6	5.7	46.1	43.2	52.8
赤短縮回数	57.0	0	0	56.0	54.3	32.8	0	47.8	38.5	48.0

3.2.8 バスレーン効果比較

(1) 目的

バス優先制御では、仮想ビーコン通過時に停止線通過タイミングを予測するため、一般車両の影響を受けにくいバス専用レーンまたはバス優先レーンが運用されているのが望ましい。これらのバスレーンがない場合、一般車両と混在することで、停止線通過タイミングの予測精度の低下や、混雑や渋滞の影響により、制御効果が低下することが懸念される。そのため、バス専用レーンがない場合の制御効果を評価する。

(2) 交通量設定

ここでは単純にバス専用レーンがない場合のPTPS制御効果を評価することを目的とする。すなわちバス専用レーンがない場合には交通容量が増えるといった比較はせず、バス専用レーンがない場合に一般車両がバスに与える影響により、どの程度、PTPS制御の効果が下がるかを評価する。

バス専用レーンなしの場合は、一般交通量としてバス専用レーンの2倍の交通量を設定する。ただし、バス交通量とバスの大きさを考慮し交通量を調整する。

表 3.2.8-1 バスレーン効果比較のための交通量設定

交通条件		バス専用レーンあり	バス専用レーンなし
閑散	上り交通量	588台/時 (0秒～7200秒)	1052台/時 (0秒～7200秒)
	下り交通量	588台/時 (0秒～7200秒)	1176台/時 (0秒～7200秒)
混雑	上り交通量	662台/時 (0秒～7200秒)	1200台/時 (0秒～7200秒)
	下り交通量	662台/時 (0秒～7200秒)	1324台/時 (0秒～7200秒)
渋滞	上り交通量	662台/時 (0秒～1800秒)	1200台/時 (0秒～1800秒)
		845台/時 (1800秒～5400秒)	1565台/時 (1800秒～5400秒)
		662台/時 (5400秒～7200秒)	1200台/時 (5400秒～7200秒)
	下り交通量	662台/時 (0秒～1800秒)	1324台/時 (0秒～1800秒)
		845台/時 (1800秒～5400秒)	1690台/時 (1800秒～5400秒)
		662台/時 (5400秒～7200秒)	1324台/時 (5400秒～7200秒)

(5) シミュレーション結果

ア 旅行時間比較

混雑時の旅行時間、及び渋滞時の旅行時間を表 3.2.8-2 及び表 3.2.8-3 に示す。

混雑時には、バスレーンがある場合に比べて、PTPSの制御効果は約2%下がっている(バスレーンがある場合の旅行時間改善は、表 3.2.1-1 参照のこと)。一般車両の影響により、優先制御が失敗する割合が増加していることが原因と考えられる。

渋滞時には、PTPSの旅行時間改善効果は20%を超える大きな値となっている。これは、幹線側のスプリットが大きくなり、一般車両も含めて渋滞が減少したことが要因として大きいと考える。幹線上りのバスと一般車両を比較するとその差は、2%か

ら 3.6%となっており、この差が P T P S 制御のタイミングにより得られた効果と考える。

表 3.2.8-2 バスレーン効果比較 旅行時間比較（混雑時）

評価区分	車種	平均旅行時間（秒）			旅行時間改善効果	
		PTPS 制御なし	既存 PTPS	高度化 PTPS	既存 PTPS	高度化 PTPS
幹線上り	バス	470.5	451.7	433.5	4.0%	7.9%
	一般車両	444.4	433.3	425.5	2.5%	4.3%
幹線下り	一般車両	436.1	428.6	422.8	1.7%	3.1%
一般交差点従道路	一般車両	73.4	75.6	77.7	-3.0%	-5.8%
重要交差点従道路	一般車両	67.3	70.3	70.6	-4.4%	-4.9%

備考 1. 旅行時間改善効果は、表 3.2.1-1 の P T P S 制御なしと比較

表 3.2.8-3 バスレーン効果比較 旅行時間比較（渋滞時）

評価区分	車種	平均旅行時間（秒）			旅行時間改善効果	
		PTPS 制御なし	既存 PTPS	高度化 PTPS	既存 PTPS	高度化 PTPS
幹線上り	バス	604.1	504.8	469.7	16.4%	22.2%
	一般車両	574.9	485.0	458.5	15.6%	20.2%
幹線下り	一般車両	586.4	499.5	483.1	14.8%	17.6%
一般交差点従道路	一般車両	75.3	78.3	81.3	-4.0%	-8.0%
重要交差点従道路	一般車両	68.0	72.0	72.5	-5.9%	-6.7%

備考 1. 旅行時間改善効果は、表 3.2.1-1 の P T P S 制御なしと比較

イ スプリット比較

混雑時のスプリット比較結果、及び渋滞時のスプリット比較結果を表 3.2.8-4 及び表 3.2.8-5 に示す。混雑状況が変わってもスプリットは概ね同じ値となっている。

表 3.2.8-4 バスレーン効果比較 幹線青スプリット比較（混雑時） 単位：%

交差点番号 ケース	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	合計
PTPS 制御なし	57.1	57.1	57.1	48	57.1	57.1	57.1	48	57.1	57.1	553.2
光ビーコン P T P S	60.6	57.4	57.1	50.9	57.1	60.9	57.4	49.6	57.1	57.1	565.5
高度化 P T P S	60.6	57.4	57.1	51.2	59.2	61.2	57.3	49.5	58.6	60.9	573.1

表 3.2.8-5 バスレーン効果比較 幹線青スプリット比較(渋滞時) 単位：%

交差点番号 ケース	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	合計
PTPS 制御なし	57.1	57.1	57.1	48	57.1	57.1	57.1	48	57.1	57.1	553.2
光ビーコン PTPS	60.8	57.6	57.1	51.1	57.1	60.5	57.7	49.7	57.1	57.1	565.9
高度化 PTPS	60.7	57.5	57.1	51.6	60.1	61.1	57.6	50	58.6	60.7	575.0

ウ 優先制御内容比較

混雑時の優先制御内容比較、及び渋滞時の優先制御内容比較を表 3.2.8-6 及び表 3.2.8-7 に示す。

青延長制御成功率が低下していることが、旅行時間改善効果が低下している要因と推測する。特に、渋滞時に青延長制御成功率が低下している。

表 3.2.8-6 バスレーン効果比較 交差点毎の青延長回数、赤短縮回数 (混雑時)

ケース	青延長回数	青延長効果 カウント	青延長 制御成功率	赤短縮回数	赤短縮効果 カウント	赤短縮 制御成功率
光ビーコン PTPS	79.5	66.3	83.4%	150.4	144.1	95.8%
高度化 PTPS	135.5	124.0	91.5%	226.0	218.5	96.7%

表 3.2.8-7 バスレーン効果比較 交差点毎の青延長回数、赤短縮回数 (渋滞時)

ケース	青延長回数	青延長効果 カウント	青延長 制御成功率	赤短縮回数	赤短縮効果 カウント	赤短縮 制御成功率
光ビーコン PTPS	89.2	73.8	82.7%	152.8	146.1	95.6%
高度化 PTPS	151.1	137.0	90.7%	242.8	233.9	96.3%

4. モデル路線における効果評価

4.1 結果概要

表 4.1-1 にシミュレータを用いた実証試験モデル路線の高度化 P T P S に関する効果評価概要を示す。

表 4.1-1 モデル路線における効果評価概要

No.	ケース名	概要
1	高度化基本機能検証	<ul style="list-style-type: none"> 既存 P T P S に比べ、バス旅行時間を 2%以上短縮できる。 旅行時間改善効果は期待値通りであり、設計通りにバス優先制御が機能していると判断する。
2	仮想ビーコン地点数比較	<ul style="list-style-type: none"> 3 地点方式の場合、ごくわずかであるが旅行時間改善効果が上がる。システムを実現する上では、既存の信号制御機が使えない。 費用対効果を考慮すると基本設計通り 2 地点方式が最適である。
3	感応吸収方法比較	<ul style="list-style-type: none"> 次周期の同一階梯で感応吸収する場合、スプリットへの影響は生じない。 バス運行密度が高くなると、赤短縮制御の効果が得られない。そのため、青延長制御の効果だけとなる。
4	信号制御単位の比較	<ul style="list-style-type: none"> 0.1 秒単位で制御する方がやや旅行時間改善効果が高い。仮想ビーコン通過情報の処理が 1 秒単位の制御では遅れることが要因と考えられる。 バス優先制御としては、信号制御単位はあまり影響しないと言える。
5	感応階梯比較	<ul style="list-style-type: none"> P R 感応の方が旅行時間改善効果が高い。P G 感応は仮想ビーコン位置を上流にする必要があり、無駄青が生じるためである。 下流交差点の制御では、仮想ビーコン位置と下流交差点間距離が離れる可能性があるため、P G 感応を採用するのがよい。
6	設計速度感度分析	<ul style="list-style-type: none"> 設計速度 V 2 は実勢速度に余裕をもたせたものがよい。設計速度と青延長制御率、設計速度と青延長制御成功率の関係が逆になっているためである。
7	最大青延長時間比較	<ul style="list-style-type: none"> 最大青延長時間を大きくすると旅行時間改善効果を大きくできる。スプリットへの影響は大きくない。 青延長制御率は、青延長秒平均は期待値より若干低い、概ね設計通りに機能していると判断する。

4.2 結果詳細

4.2.1 高度化基本機能検証

(1) 目的

モデル路線での実走行試験の準備として、シミュレーション上で高度化基本機能が有効に機能することを確認する。

具体的には、既存PTPSと比べて高度化PTPSに旅行時間改善効果があること、期待される改善効果通りの効果が得られることを確認する。

(2) 確認方法

モデル路線の交通状況を対象とする。

- ・交通量：閑散
- ・バス専用レーンなし
- ・バス停なし

短縮される旅行時間期待値は表 4.2.1-1 及び表 4.2.1-2 に示す方法により算出する。

表 4.2.1-1 短縮される旅行時間の期待値算出方法

場合	期待値算出方法
青延長成功時	青延長制御率×青延長制御成功率×黄信号から次の青信号までの時間×青延長効果率
赤短縮制御時	赤短縮制御率×平均赤短縮時間

表 4.2.1-2 旅行時間期待値算出に使用する項目の説明

項目	説明
青延長制御率	青延長制御が行われた割合。サイクル長に対する第1仮想ビーコン、及び第2仮想ビーコンの受付範囲の割合となる。
赤短縮制御時	赤短縮制御が行われる割合。サイクル長に対する赤短縮の受付範囲の割合となる。
青延長制御成功率	青延長制御時にバスが青信号で通過できる割合。設計速度とバスの走行速度で成功率は変化するが、設計段階では100%に近づくように設計するため、期待値として95%で算出する。
黄信号から次の青信号までの時間	青延長制御時の旅行時間短縮効果は、概ね黄信号から次の青信号までの時間となる。
青延長効果率	青延長時に延長された青時間にバスが通過できた割合。 バス走行速度が設計速度より早く、かつ青延長時間が短い場合、青延長をしなくてもバスは青信号で通過できるため、バス旅行時間短縮には貢献しない。
平均赤短縮時間	赤短縮制御時の旅行時間短縮効果は、概ね最大赤短縮時間となる。

(3) シミュレーション結果

ア 旅行時間比較結果

旅行時間比較結果を表 4.2.1-3 に示す。バス旅行時間比較結果では高度化 P T P S の旅行時間改善効果は既存 P T P S より 2%程改善しており、仮想路線による評価と同様に高度化基本機能として有効であることを示している。

表 4.2.1-3 高度化基本機能 旅行時間比較結果

評価区分	車種	交通量	平均旅行時間 (秒)			旅行時間改善効果 (%)	
			PTPS 制御なし	既存 PTPS	高度化 PTPS	既存 PTPS	高度化 PTPS
幹線上り	バス	閑散	67.1	63.0	61.7	6.2%	8.1%
	一般車両	閑散	63.3	61.4	61.0	3.0%	3.7%
幹線下り	一般車両	閑散	61.2	59.6	59.3	2.5%	2.9%
一般交差点従道路	一般車両	閑散	75.2	77.8	78.3	-3.4%	-4.1%

イ 旅行時間期待値との比較結果

表 4.2.1-4 に旅行時間期待値とシミュレーション結果の比較結果を示す。

短縮旅行時間の期待値とシミュレーション結果は概ね同じである。また、期待値算出に使用した項目も概ね同じ傾向を示しており、シミュレーションにおいて設計どおり優先制御が動作していると判断する。

期待値算出で使用した項目とシミュレーション結果の差異要因としては、青延長や赤短縮後の感応吸収は計算が複雑になるため割愛していること、バス走行間隔を一定としていること等が考えられる。期待値とシミュレーション結果の差異は小さいことから、本期待値算出方法は、導入前の定数設計や導入時の調整等に活用できると考える。

表 4.2.1-4 旅行時間期待値との比較結果

		期待値算出結果		シミュレーション結果	
		既存 PTPS	高度化 PTPS	既存 PTPS	高度化 PTPS
青延長制御率	バス1台あたり	8.3%	9.4%	6.5%	7.9%
	1サイクルあたり	16.9%	19.2%	13.3%	16.0%
青延長制御成功率		95% ⁽¹⁾	95% ⁽¹⁾	98.7%	95.6%
黄信号から次の青信号までの時間(秒)		55	55	⁽²⁾	⁽²⁾
青延長効果率		69.2%	81.8%	67.1%	79.1%
赤短縮制御率	バス1台あたり	32.5%	32.5%	29.3%	34.2%
	1サイクルあたり	66.1%	66.1%	59.5%	69.5%
平均赤短縮時間		4.7	4.7	4.7	4.7
短縮旅行時間(秒)	青延長制御分	3.0	4.0	— ⁽³⁾	— ⁽³⁾
	赤短縮制御分	1.5	1.5	— ⁽³⁾	— ⁽³⁾
	合計	4.5	5.6	4.2	5.4

注⁽¹⁾ 100%に近づくように設計するため、ここでは95%とした。

⁽²⁾ 概ね設定値に近い値であるが、シミュレーションでは毎周期異なる。

⁽³⁾ シミュレーションでは、制御毎の短縮旅行時間は計測困難。

ウ スプリットの状況

表 4.2.1-5 にスプリットの状況を示す。

既存PTPSに比べて高度化PTPSは、青延長制御率、赤短縮制御率が上がるため、スプリットもわずかではあるが変化する。そのため、一般車両もその影響により旅行時間が変化している。制御率は、サイクル長、最大青延長時間、最大赤短縮時間、バス走行間隔等により変わるため、導入時には本シミュレーション結果を参考にスプリットへの影響を推測し、制御パラメータを調整するのがよいと考える。

表 4.2.1-5 スプリットの状況

	PTPS 制御なし	既存 PTPS	高度化 PTPS
現示1 (幹線青)	60.0%	61.7%	62.0%
現示2 (従道路青)	40.0%	38.3%	38.0%

4.2.2 仮想ビーコン地点数比較

(1) 目的

昨年度実施した基本設計では、制御効果並びにシステムの実現性から仮想ビーコンを2地点としているが、次世代都市交通 WG の受託者説明において、ITS無線のもつ連続通信の特徴が活かしているかをシミュレーションで確認するのが望ましいとのご意見を頂いた。ここでは、仮想ビーコンを3地点とした場合をシミュレーションと比較することで、2地点方式の妥当性を確認する。

(2) 3地点方式の仮想ビーコン配置設計

青延長制御の成功率を高くするため、最下流の感知地点（感知地点3）には設計速度に余裕を持たせる点は2地点方式と同じとする。バス通過後に表示される青時間はできる限り少ない方がよいため、最下流の感知地点は2地点方式より下流とする。ただし、GNSS測位誤差や感知後の処理時間等を考慮し、停止線から一定の距離をとるものとする。

表4.2.2-1 仮想ビーコン位置、図4.2.2-1に仮想ビーコンの配置イメージを示す。2地点方式では、第1仮想ビーコンでは実勢速度を設計速度V1とし、バスの停止線到着予測を行い、青延長制御を行う。その後、第2仮想ビーコンでは余裕を持たせた設計速度V2により停止線到着予測を行い、青延長制御を行う。

3地点方式では、第1仮想ビーコン及び第2仮想ビーコンは、実勢速度を設計速度V1とし、バスの停止線到着予測を行い、青延長制御を行う。その後、第3仮想ビーコンでは余裕を持たせた設計速度V2により停止線到着予測を行い、青延長制御を行う。2地点方式に比べてより停止線到着予測回数が増えるため、木目細かな制御が行われる。

表 4.2.2-1 仮想ビーコン位置

		高度化PTPS 2地点方式	高度化PTPS 3地点方式	備考
第1仮想 ビーコン	停止線までの距離	159m	159m	従来PTPSは、42km/h、高度化PTPSは、52km/hで設定
	停止線までの旅行時間	11秒	11秒	
第2仮想 ビーコン	停止線までの距離	59m	87m	2地点方式は、42km/h、3地点方式は52km/hで設定
	停止線までの旅行時間	5秒	6秒	
第3仮想 ビーコン	停止線までの距離		35m	42km/hで設定
	停止線までの旅行時間		3秒	

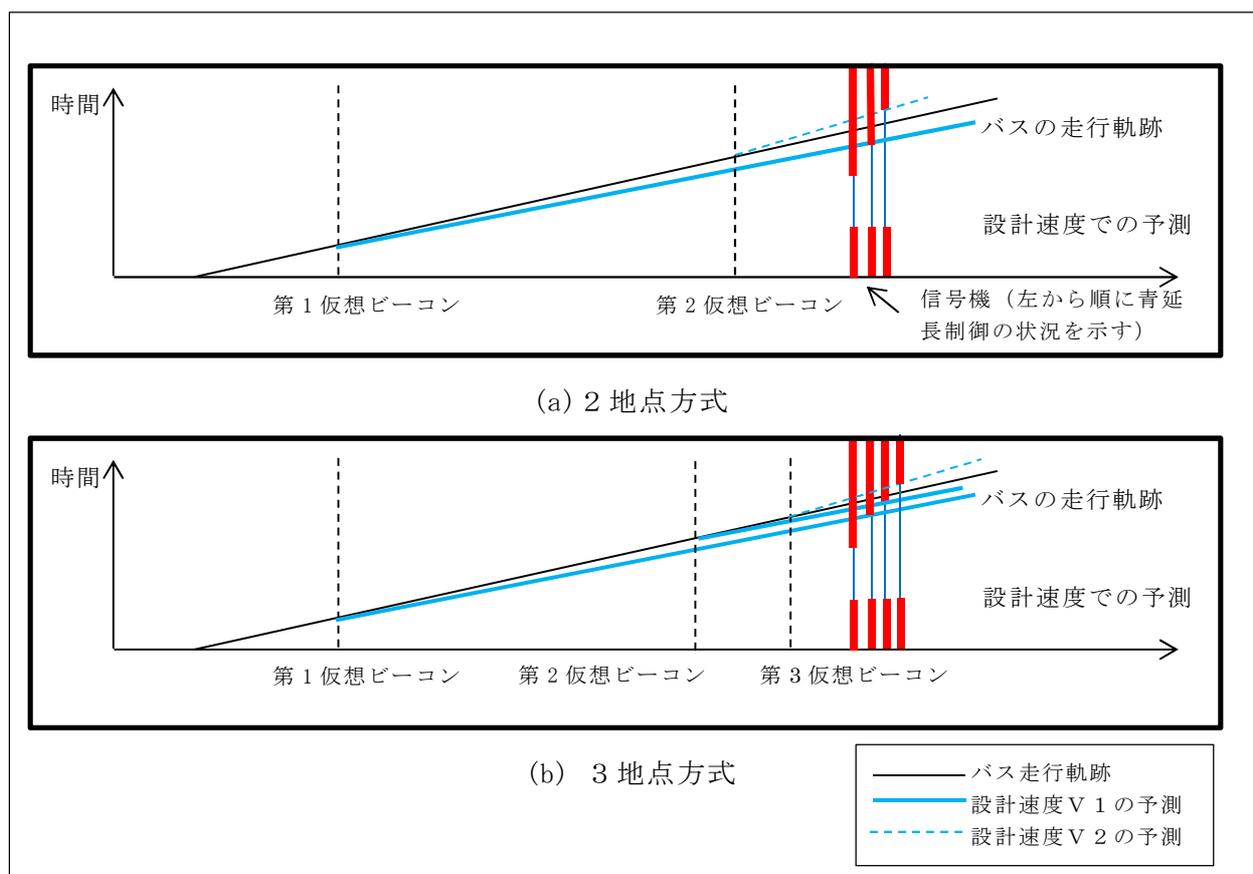


図 4.2.2-1 仮想ビーコン配置イメージ

(3) シミュレーション結果

ア 旅行時間改善効果

仮想ビーコンを表 4.2.2-1 に示すように 3 地点とした場合の旅行時間改善効果を表 4.2.2-2 に示す。旅行時間改善効果は 3 地点方式がやや高い。

表 4.2.2-2 仮想ビーコン 3 地点方式効果

評価区分	車種	交通量	平均旅行時間 (秒)			旅行時間改善効果	
			PTPS 制御なし	高度化 PTPS_2地点	高度化 PTPS_3地点	高度化 PTPS_2地点	高度化 PTPS_3地点
幹線上り	バス	閑散	67.1	61.7	61.6	8.1%	8.2%
	一般車両	閑散	63.3	61.0	60.9	3.7%	3.8%
幹線下り	一般車両	閑散	61.2	59.3	59.3	2.9%	3.1%
一般交差点 従道路	一般車両	閑散	75.2	78.3	78.6	-4.1%	-4.4%

備考 1. 旅行時間改善効果は、表 4.2.1-3 の PTPS 制御なしと比較

イ 優先制御状況

表 4.3.2-3 に優先制御状況を示す。3 地点方式では、2 地点方式に比べて青延長制御率、青延長制御成功率等が高くなり、また平均青延長時間や平均無駄青時間は減少していることから、優先制御は期待通りの動作であると判断する。ただし、青延長効果率が下がっていることから、青延長制御の改善分がバス走行に影響していないことが考えられる。

表 4.2.2-3 優先制御状況

比較項目	高度化PTPS 2地点方式	高度化PTPS 3地点方式
青延長制御率	16.0%	16.7%
平均青延長時間	4.30	4.24
平均無駄青時間	0.56	0.34
青延長制御成功率	95.6%	98.9%
青延長効果率	79.1%	74.7%

ウ 3 地点方式の実現性に関する考察

3 地点方式は、旅行時間がやや改善しており、優先制御上のデメリットはない。しかし、システムを実現する上では、現在整備されている信号制御機を活用できないため、追加投資が必要となり費用対効果が低くなる。2 地点方式は表 4.2.2-4 に示す通り、整備されている信号制御機に適用できる。そのため、基本設計の結論通り 2 地点方式が最適であると考えられる。

表 4.2.2-4 信号制御機における高度化 P T P S 適用方法

項目	仕様	高度化 P T P S での適用方法
走行時間	各感応現示ごとに、2 流入路の走行時間を持つこと	2 流入路を 2 つの仮想ビーコンと読み替える。上り／下りの仮想ビーコン位置を同じとする。

4.2.3 感応吸収方法比較

(1) 目的

バス優先制御は感応制御の一種であり、感応制御実施後はオフセット同期をとるために感応吸収が必要である。標準仕様の感応吸収方法は次周期のスプリット配分で同期補正を行うため、感応率が高くなるとスプリットが変化する。スプリットを変えない感応吸収方法として次サイクルの同一感応ステップで吸収する方法がある。高度化PTPSにおいて、感応吸収方法の違いによる動作を比較検証する。

(2) 感応吸収方法

ア 標準仕様の感応吸収方法

信号制御機の仕様書では、下記のように感応した次周期のスプリット配分で同期補正を行う。そのためバス優先制御により感応するサイクルの割合が多くなると、上位装置で指令したスプリットに対して、実現されるスプリットが変わる。図4.2.3-1から図4.2.3-3に具体的な感応吸収の例を示す。青延長と赤短縮が同時に行われ、延長秒と短縮秒の差がない場合は次周期での同期補正が行われず、結果的にスプリットへの影響は大きくなる。

表4.2.3-1に赤短縮制御が行われる割合（以下、赤短縮率と呼ぶ）を85%、青延長が行われる割合（以下青延長率と呼ぶ）を13%と仮定した場合のスプリット変化の机上での計算値を示す。

U形交通信号制御機仕様書、U形交通信号制御機仕様書における仕様記載内容

感応補正

系統動作を行っている場合において、感応階梯で延長又は短縮したときは、次周期のスプリット配分で同期補正を行うこと。

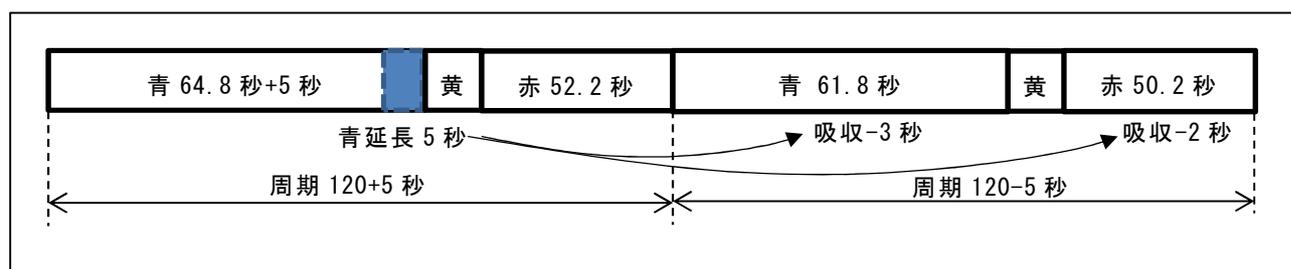


図 4.2.3-1 青延長時の感応吸収方法（標準仕様）

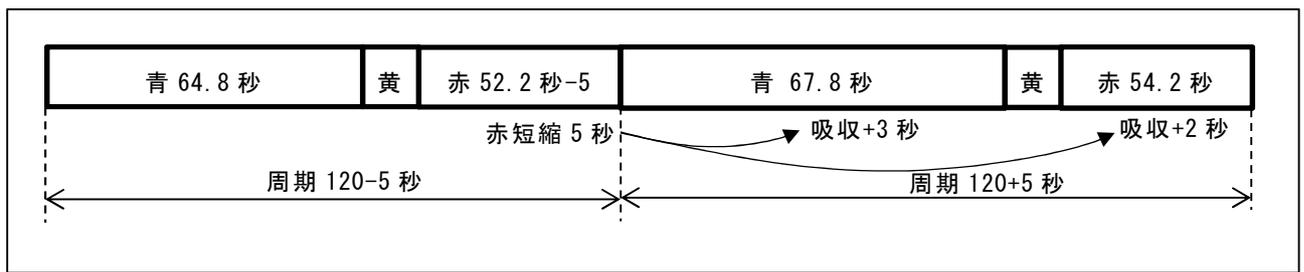


図 4.2.3-2 赤短縮時の感応吸収方法（標準仕様）

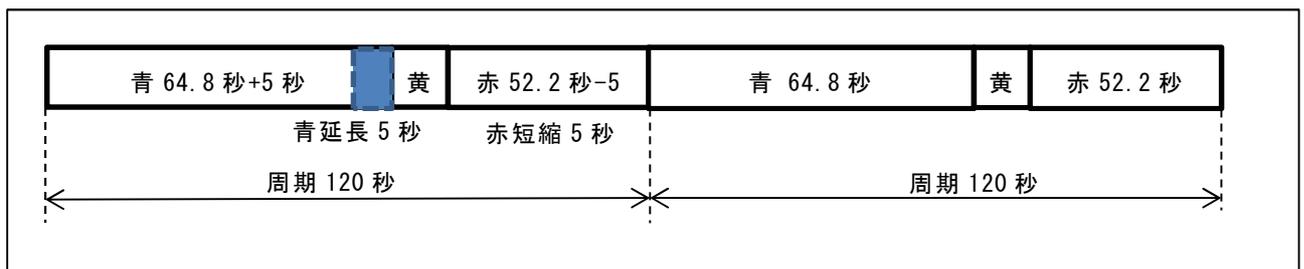


図 4.2.3-3 青延長と赤短縮同時制御の場合の感応吸収方法（標準仕様）

表 4.2.3-1 バス優先制御によるスプリット変化

項目	現示 1（幹線青）	現示 2（従道路青）
通常時のスプリット	60.0%	40.0%
青時間	64.8 秒	43.2 秒
1 回の赤短縮時の変化分平均	+3.0 秒	-3.0 秒
赤短縮のスプリット変化分 ⁽¹⁾	+2.4%	-2.4%
1 回の青延長時の変化分平均	+2.0 秒	-2.0 秒
青延長のスプリット変化分 ⁽¹⁾	+0.2%	-0.2%

注⁽¹⁾ 赤短縮率=85%の場合、青延長率=13%の場合

イ スプリットを変えない感応吸収方法

バス優先制御を行った場合でもスプリットを変えない吸収方法として、図 4.2.3-4 及び図 4.2.3-5 に示す通り、次周期の同じ現示において延長、または短縮した秒数を吸収する方法がある。この方法では、同一現示で感応吸収が行われるため、スプリットへの影響はない。ただし、バスの走行頻度が高く、連続して赤短縮制御が行われると、短縮と吸収が同時に行われることにより実質的な赤短縮は行われなくなり、赤短縮制御の効果が得られない（図 4.2.3-6 参照）。

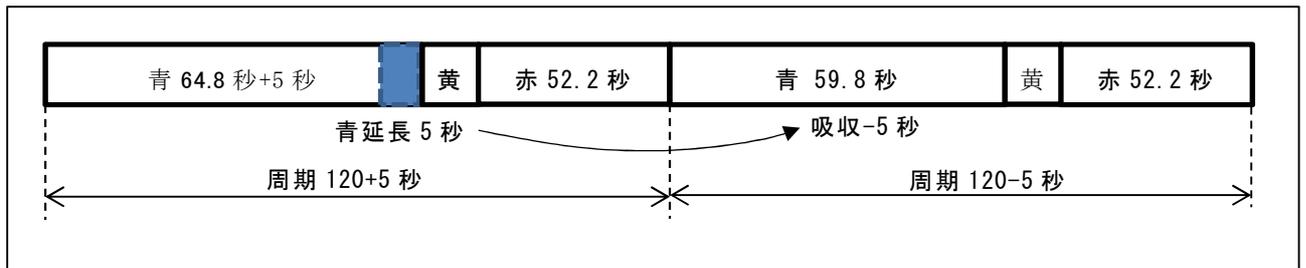


図 4.2.3-4 青延長時の感応吸収方法（スプリット変化なし）

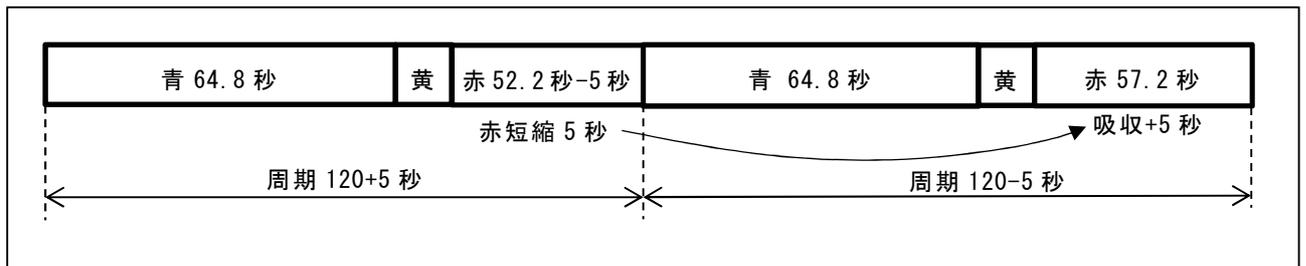


図 4.2.3-5 赤短縮時の感応吸収方法（スプリット変化なし）

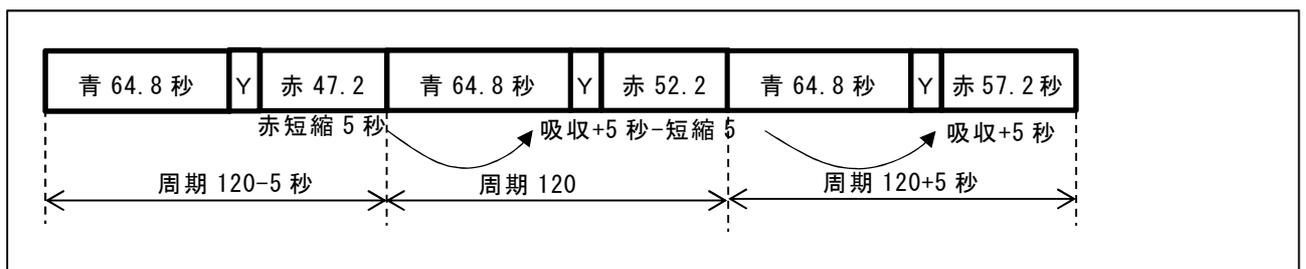


図 4.2.3-6 赤短縮制御が連続した場合の動作例

(3) シミュレーション結果

ア スプリット状況

表 4.2.3-2 にスプリット状況を示す。バスの走行頻度は、1 時間に 58 本の頻度と比較的多い条件で実施している。

次の周期のスプリット配分で吸収する場合は、2.7%の変動があり、表 4.2.3-1 の机上計算結果の青延長と赤短縮を合計した値と概ね等しく、計算通りの結果となっている。

同じく、次周期の同一現示で吸収する場合も机上計算通りスプリットは指令と同じ結果となっている。

表 4.2.3-2 スプリット状況

項 目		現示 1 (幹線青)	現示 2 (従道路青)
次周期のスプリット配 分で吸収する場合	スプリット	62.7%	37.3%
	スプリット変動分	+2.7%	-2.7%
次周期の同一現示で吸 収する場合	スプリット	60.0%	40.0%
	スプリット変動分	0.0%	0.0%

イ 旅行時間

表 4.2.3-3 に感応吸収方法の違いに関する旅行時間比較結果を示す。スプリットを変えない感応吸収方法では、期待通り従道路のスプリットが変化せず、その結果従道路への影響がでていないことが確認できる。

スプリットを変えない感応吸収方法では、標準の感応吸収方法と比べてバス旅行時間改善効果が下がっている。図 4.2.3-6 に示した通り赤短縮制御が連続した場合には、実質的には赤時間が短縮されないことが、旅行時間改善効果の低下につながっている。バス走行頻度が低い場合は、赤短縮制御が連続する割合が減少するため、旅行時間改善効果がやや高くなることが期待できる。

表 4.2.3-3 感応吸収方法の違いに関する旅行時間比較結果

評価区分	車種	平均旅行時間 (秒)			旅行時間改善効果	
		PTPS 制御なし	標準の感応 吸収方法	スプリットを変え ない感応吸収方法	標準の感応 吸収方法	スプリットを変え ない感応吸収方法
幹線上り	バス	65.6	60.5	63.1	7.7%	3.8%
	一般 車両	61.8	59.1	61.3	4.3%	0.7%
幹線下り	一般 車両	59.8	57.5	59.7	3.7%	0.1%
一般交差 点従道路	一般 車両	73.1	76.7	73.2	-4.9%	-0.1%

備考 1. 旅行時間改善効果は、表 4.2.1-3 の PTPS 制御なしと比較

4.2.4 信号制御単位の比較

(1) 目的

信号制御の単位として、U形交通信号制御機仕様書、U形交通信号制御機仕様書では明示的には示されないが、ギャップ感応単位時間が 0.1 秒と記載されていることから、0.1 秒であると解釈できる。これらは、テーブル制御の信号制御に適用されるものである。一方、歩進制御の信号制御は、中央装置から交通信号制御機に対して、1 秒ごとに通知する歩進情報を用いる。

ここでは信号制御の単位の違いが、バス優先制御にどのような影響を与えるかを評価する。

(2) 比較方法

図 4.2.4-1 に信号制御の処理単位に対する処理フロー図を示す。信号制御の単位を 0.1 秒とした場合は、擬似 ITS 無線路側機、擬似信号制御機等の処理量が 10 倍となるため、シミュレーション時間が長くなる。

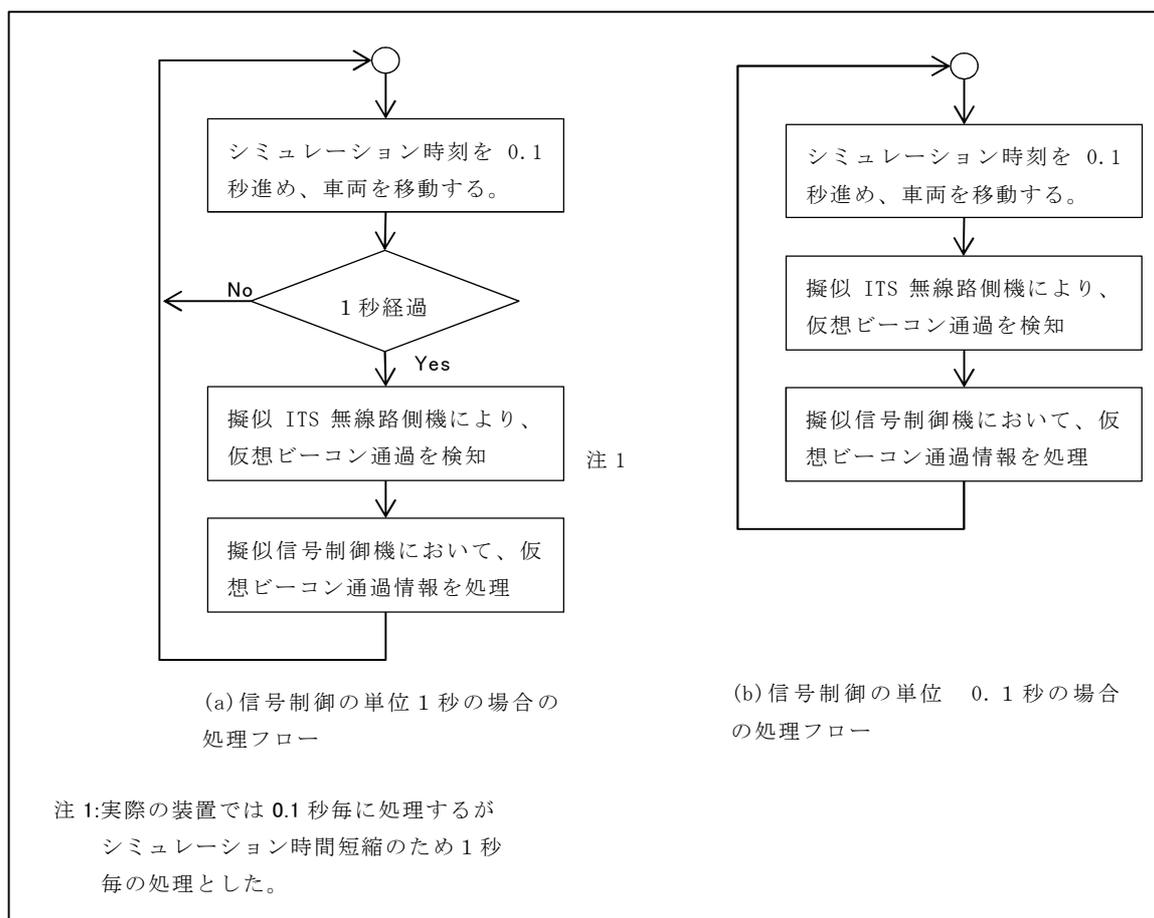


図 4.2.4-1 信号制御の処理単位に関する処理フロー図

(4) シミュレーション結果

表 4.2.4-1 に信号制御単位の違いに関する旅行時間比較結果を示す。表 4.2.4-2 に信号制御単位の違いに関するスプリット状況を示す。スプリット状況に違いがあるが、バス優先制御に起因するものではなく、各ステップの算出を 1 秒単位とするか 0.1 秒単位とするかの違い起因するものと推測する。

信号制御単位 0.1 秒の場合、若干旅行時間改善効果が高い。信号制御単位が 1 秒の場合は仮想ビーコン通過情報の処理が遅れることが要因と考える。大きな違いがないことから、信号制御単位の違いは、旅行時間改善効果にはあまり影響しないと言える。

表 4.2.4-1 信号制御単位の違いに関する旅行時間比較結果

評価区分	車種	平均旅行時間 (秒)			旅行時間改善効果	
		PTPS 制御なし	信号制御単位= 0.1秒	信号制御単位 =1秒	信号制御単位= 0.1秒	信号制御単位 =1秒
幹線上り	バス	65.6	60.5	60.8	7.7%	7.3%
	一般車両	61.8	59.1	59.1	4.3%	4.4%
幹線下り	一般車両	59.8	57.5	57.6	3.7%	3.7%
一般交差点従 道路	一般車両	73.1	76.7	76.8	-4.9%	-5.0%

備考 1. 旅行時間改善効果は、表 4.2.1-3 の PTPS 制御なしと比較

表 4.2.4-2 信号制御単位の違いに関するスプリット状況

項目	現示1 (幹線青)	現示2 (従道路青)
信号制御単位=0.1秒	62.7%	37.3%
信号制御単位=1秒	62.2%	37.8%

4.2.5 感応階梯比較

(1) 目的

青延長を行う感応階梯として、P GステップとP Rステップの2種類がある。仮想ビーコンと停止線間距離が長い場合、P Gステップ、短い場合はP Rステップで青延長を行うのが一般的である。ここでは、両社の違いを定量的に比較することを目的とする。

(2) 仮想ビーコン位置の設計

P Rステップで青延長を行う場合の仮想ビーコン位置を昨年度報告書の「仮想ビーコン位置の設計基準」に従って算出し、表 4.2.5-1 に結果を示す。第2仮想ビーコンの位置は、車両速度のバラツキが10km/hあることを想定し、第1仮想ビーコンを通過後、第2仮想ビーコンに到着するまでの旅行時間との差を吸収できる値として2秒を設定した。

表 4.2.5-1 P Gステップ感応のための仮想ビーコン位置の設計

項目	第1仮想ビーコン	第2仮想ビーコン
G：感応階梯後の青時間（秒）	12	12
T：路側機で車々間情報を受信後、信号機が優先制御を受け付けるまでの処理遅延時間（秒）	0 ⁽¹⁾	0 ⁽¹⁾
E：最大青延長時間（秒）	10	2 ⁽²⁾
V：設計速度(km/h)	52	42
L：交差点停止線から仮想ビーコンまでの距離(m)	318	163
シミュレーションにおける上記設定値(m)	320	170

注⁽¹⁾シミュレーションのため、0秒で設定

⁽²⁾車両速度のバラツキ10km/hを考慮

表 4.2.5-2 P Rステップ感応のための仮想ビーコン位置の設計

項目	第1仮想ビーコン	第2仮想ビーコン
G：感応階梯後の青時間（秒）	0	0
T：路側機で車々間情報を受信後、信号機が優先制御を受け付けるまでの処理遅延時間（秒）	0 ⁽¹⁾	0 ⁽¹⁾
E：最大青延長時間（秒）	10	3 ⁽²⁾
V：設計速度(km/h)	52	42
L：交差点停止線から仮想ビーコンまでの距離(m)	144	35
シミュレーションにおける上記設定値(m)	160	60

注⁽¹⁾シミュレーションのため、0秒で設定

⁽²⁾車両速度のバラツキ10km/hを考慮

(3) シミュレーション結果

表 4.2.5-3 に感応階梯の違いに関する旅行時間比較結果を示す。P R 感応の方が、旅行時間改善効果が高い。

これは、設計速度にはバス走行速度に対して余裕をもった値（本シミュレーションではバス希望走行速度の最低値）を設定しているため、第 2 仮想ビーコンの位置が上流になる程、実際の速度との差により無駄青が生じるためである。

P G 感応の場合でも一定の旅行時間改善効果が得られることが期待できるため、I T S 無線路側機を設置した交差点の下流交差点との距離が長く、700MHz 電波が届かない場合は、届く範囲に仮想ビーコンを設置し、P G 感応を採用するのがよいと考える。

表 4.2.5-3 感応階梯の違いに関する旅行時間比較結果

評価区分	車種	平均旅行時間（秒）			旅行時間改善効果	
		PTPS 制御なし	PR感応	PG感応	PR感応	PG感応
幹線上り	バス	67.1	61.7	63.1	8.1%	6.4%
	一般車両	63.2	61.0	61.1	3.7%	3.6%
幹線下り	一般車両	61.1	59.3	59.3	2.9%	3.1%
一般交差点従道路	一般車両	75.2	78.3	78.3	-4.1%	-3.9%

備考 1. 旅行時間改善効果は、表 4.2.1-3 の PTPS 制御なしと比較

4.2.6 設計速度感度分析

(1) 目的

優先制御で用いる設計速度に関する知見を得るため、設計速度に関する感度分析を行う。また、来年度の実証実験において同様の実験を行う場合を想定し、その参考データとする。

図 4.2.6-1 に、仮想ビーコン位置と設計速度の関係を示す。第 1 ビーコン位置 L1 では、設計速度 V1 を用いて停止線位置到着時刻を予測し、必要な青時間を延長する。第 2 ビーコンでの青時間再延長を考慮し、設計速度 V1 は実勢速度に基づき設定する設計としている。設計速度 V1 に関する感度分析は、仮想路線で実施している。ここでは、設計速度 V2 に関する感度分析を行う。

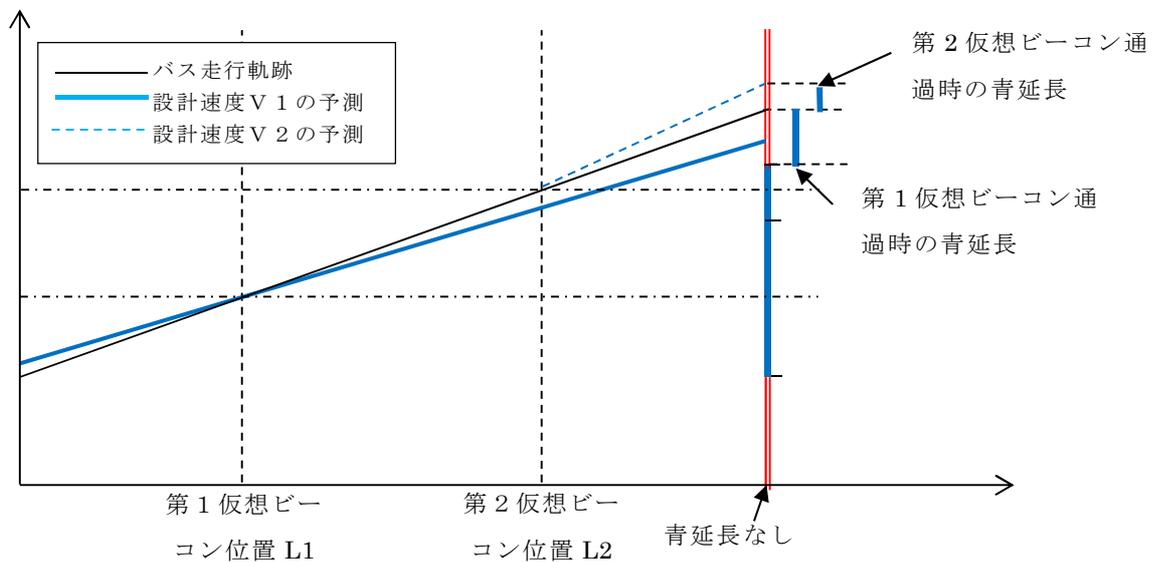


図 4.2.6-1 仮想ビーコン位置と設計速度の関係

(2) 感度分析の方法

設計速度は、仮想ビーコン通過時の停止線到着時刻予測に用いられる。信号制御機等では設計速度ではなく、仮想ビーコンから停止線までの旅行時間が整数値で設定される。そのため本分析では、設定する旅行時間の値を変化させる。表 4.2.6-1 に設計速度の感度分析条件を示す。

表 4.2.6-1 設計速度の感度分析条件

条件	旅行時間 (秒)	設計速度 V2 (km/h)
1	7	29.8
2	6	34.8
3	5	41.8
4	4	52.2
5	3	69.6
6	第 2 仮想ビーコンなし	

備考 1. 第 2 仮想ビーコンから停止線までの距離は 58m とした。

(3) 比較結果

表 4.2.6-2 にシミュレーション結果として旅行時間を示し、表 4.2.6-3 に PTPS 制御なしと比較した旅行時間改善率を示す。また、図 4.2.6-2 に設計速度の感度分析結果としてバス旅行時間改善率グラフを示す。旅行時間 5 秒とした場合が最もよい結果となっている。

表 4.2.6-4 に優先制御状況を示し、図 4.2.6-3 に青延長制御率と青延長制御成功率をグラフ化したものを示す。青延長制御率、青延長制御成功率のいずれも高い方が旅行時間改善に効果を示すが、設計速度に関し両社の関係は逆になっている。このことが、旅行時間を 5 秒とした場合が最も旅行時間改善効果が高くなっている理由と考える。

表 4.2.6-2 設計速度の感度分析結果（旅行時間）

評価区分	車種	PTPS制御なし	設計速度の感度分析条件					
			7秒	6秒	5秒	4秒	3秒	第2仮想ビークンなし
幹線上り	バス	67.1	61.7	61.7	61.5	61.7	61.7	61.9
	一般車両	63.3	60.9	61.0	60.6	61.1	61.1	61.4
幹線下り	一般車両	61.2	59.3	59.3	59.0	59.4	59.4	59.7
一般交差点従道路	一般車両	75.2	78.4	78.3	77.9	78.3	78.3	77.7

表 4.2.6-3 設計速度の感度分析結果（旅行時間改善率）

評価区分	車種	PTPS制御なし	設計速度の感度分析条件					
			7秒	6秒	5秒	4秒	3秒	第2仮想ビークンなし
幹線上り	バス		8.1%	8.4%	8.1%	8.1%	7.8%	8.0%
	一般車両		3.7%	4.2%	3.6%	3.5%	3.1%	3.8%
幹線下り	一般車両		3.0%	3.6%	2.9%	2.8%	2.4%	3.1%
一般交差点従道路	一般車両		-4.1%	-3.5%	-4.0%	-4.0%	-3.2%	-4.2%

表 4.2.6-4 優先制御状況

評価区分		PTPS制 御なし	設計速度の感度分析条件					第2仮想ビ ーコンなし
			7秒	6秒	5秒	4秒	3秒	
スプリット	現示1 (幹線青)	60.0%	62.1%	62.0%	61.7%	62.0%	62.0%	61.7%
	現示2 (従道路)	40.0%	37.9%	38.0%	38.3%	38.0%	38.0%	38.3%
無駄青(秒)			1.38	1.02	0.49	0.23	0.14	0.13
青延長制御率			19.6%	17.7%	16.0%	14.2%	13.7%	12.6%
青延長制御成功率			93.8%	96.0%	96.0%	98.8%	98.7%	98.6%

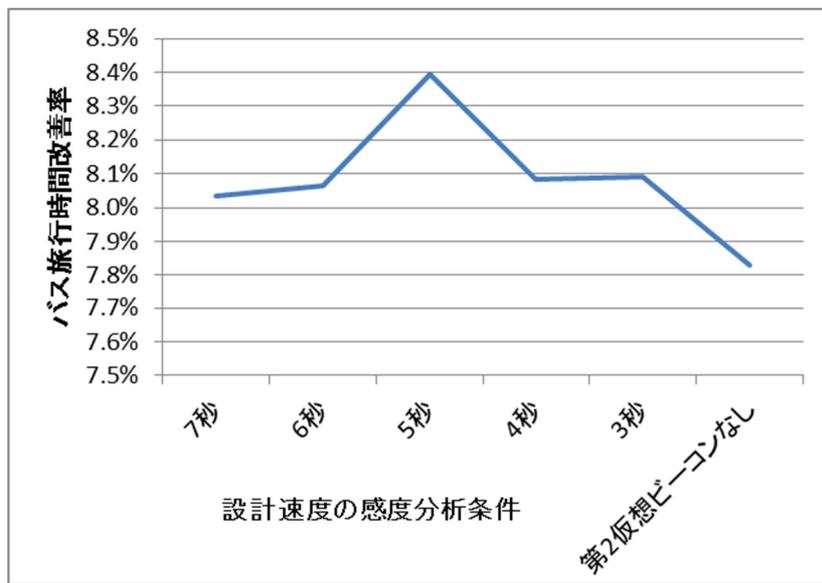


図 4.2.6-2 設計速度の感度分析結果 (バス旅行時間改善率グラフ)

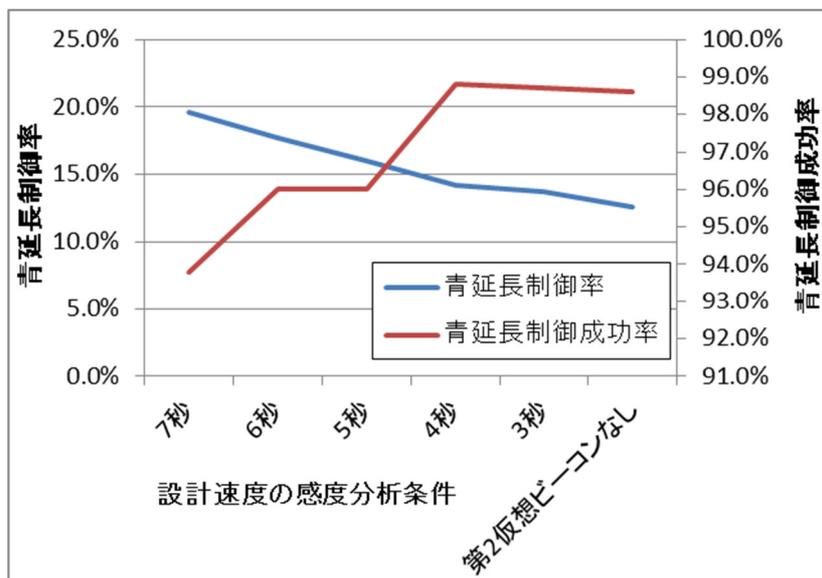


図 4.2.6-3 設計速度の感度分析結果 (優先制御状況グラフ)

(4) 青延長制御率と青延長制御成功率に関する考察

設計速度 V_2 を高くする程、青延長制御成功率が高くなっているが、第2仮想ビーコンにより青時間を再延長する動作に関して再延長がされにくくなるため、青延長制御成功率が低くなることが予測されることと相反する結果となっている。以下、この動作について考察する。

第1仮想ビーコンで青延長が行われた後、停止線で停車する車両は走行速度の遅い車両である。第1ビーコンで既に最大青延長時間近くまで青延長が行われていた場合、第2仮想ビーコンで再延長できる時間は短い。このような場合に設計速度 V_2 が低いと再延長時間として長い時間が必要となるが、再延長可能な時間が短いため再延長が行われない。そのため、設計速度 V_2 を低くすると青延長制御成功率が低くなる。

もう一つの理由として、バスが停止線上を青信号で通過するような設計速度 V_2 を与えるよう設計しているが実際には交差点手前で黄信号になっても停止することなく通過する場合があるためである。シミュレーションでは、停止線まで一定の減速度以下で停止できない場合は停止することなく交差点を通過する。図4.2.6-4及び図4.2.6-5に停止する場合と停止しない場合の境界を示す。表4.2.6-5にそれぞれの場合のバス走行状況を示す。バス優先制御が失敗する例は、希望走行速度が遅くかつ再延長可能な時間が短いため再延長できず、かつ黄信号変化時点で所定の減速度内でバスが停止できると判断したためである。

一方、バス優先制御が成功する例は、黄信号変化時点で停止線に近く所定の減速度内でバスが停止できないと判断したためである。この場合の停止線通過までの時間は1.8秒であり、これは青時間が1.8秒不足した場合でも優先制御が成功することを示す。

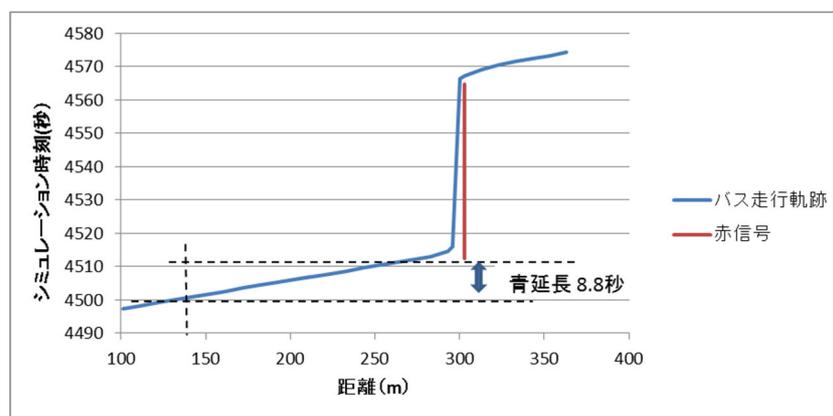


図 4.2.6-4 再延長できずに優先制御が失敗する例

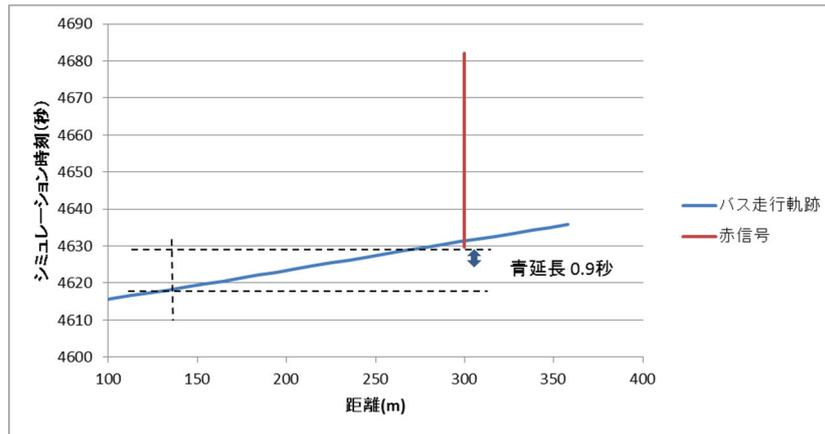


図 4.2.6-5 再延長せずに優先制御が成功する例

表 4.2.6-5 優先制御失敗と成功のバス走行状況

ケース	希望走行速度	黄信号変化時の停止線までの距離	減速度 0.3G で停止可能な距離	停止線通過までの時間
優先制御が失敗	42km/h	25m	23m	2.1 秒
優先制御が成功	46km/h	23m	28m	1.8 秒

4.2.7 最大青延長時間比較

(1) 目的

優先制御で用いる最大青延長時間に関する知見を得るため、最大青延長時間を変更したシミュレーションを行う。また、来年度の実証実験において同様の実験を行う場合を想定し、その参考データとする。

(2) 最大青延長時間比較の方法

最大青延長時間は、バス優先制御の効果に大きな影響を与える設定項目である。1台のバスに関しては、信号周期に対する最大青延長時間が大きい程、青延長制御が行われる確率が高くなる。1回の信号周期に対しては、バス走行頻度が高い程、青延長制御が行われる確率が高くなる。ここでは、3種類の最大青延長時間により比較を行う。表4.2.7-1に最大青延長時間比較条件を示す。

比較時には、旅行時間改善効果の他に青延長制御率及び青延長秒平均に関し、期待値とシミュレーション結果を比較し、期待通りの動作が行われていることも確認する。

1台のバス通過時の青延長制御率期待値は、信号周期に対する青延長制御の受付範囲の割合により算出できる。図4.2.7-1に青延長制御の受付範囲を示す。第2仮想ビーコンの受付範囲では、車両の実走行速度によっては第1ビーコンで既に青延長制御が行われているためその割合を50%と仮定し、青延長制御率を算出する場合は受付範囲を1/2して計算する。

1サイクルの信号に対する青延長制御率は、1台のバス通過時の青延長制御率期待値に1サイクルに通過するバス台数を乗ずることにより算出できる。

表 4.2.7-1 最大青延長時間比較条件

条件	信号周期	最大青延長時間	仮想ビーコン1位置	仮想ビーコン2位置	バス走行頻度
1	120秒	10	160m	58m	59秒間隔
2	120秒	15	270m	58m	59秒間隔
3	120秒	20	270m	58m	59秒間隔

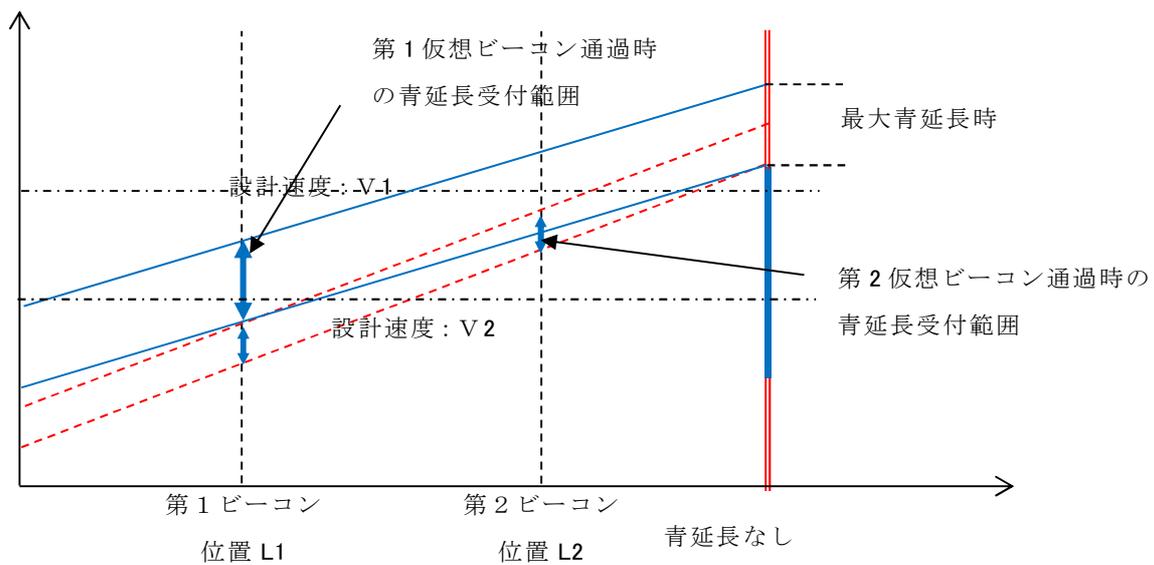


図 4.2.7-1 青延長制御の受付範囲

<p>第 1 仮想ビーコン通過時の青延長受付範囲=最大青延長時間</p> <p>第 2 仮想ビーコン通過時の青延長受付範囲=設計速度 V 2 での第 1 ビーコンから停止線までの旅行時間－設計速度 V</p>
<p>1 台のバス通過時の青延長制御率期待値＝</p> <p>(第 1 仮想ビーコン通過時の青延長受付範囲＋第 2 仮想ビーコン通過時の青延長受付範囲× (1/2)) / 信号周期</p>
<p>1 サイクルの信号に対する青延長制御率＝1 台のバス通過時の青延長制御率期待値× (信号周期 / バス走行間隔)</p>

図 4.2.7-2 1 サイクルの信号に対する青延長制御率の算出方法

(3) シミュレーション結果

表 4.2.7-2 に最大青延長時間に関する旅行時間比較結果を示す。また、表 4.2.7-3 に青延長制御率、表 4.2.7-4 にスプリットの状況を示す。

最大青延長時間の増加に従って、旅行時間が短縮されている。また最大青延長時間を大きくしてもスプリットへの影響は少ないことが確認できる。青延長制御率のシミュレ

ーション結果、及び、青延長秒平均のシミュレーション結果はいずれも期待値より若干低い値を示している。これはシミュレーション評価の実施方法に関係するものと推測し、最大青延長時間と旅行時間改善効果の関係には影響と与えないレベルと考える。具体的には、青延長回数自体が1回のシミュレーションで7~19回程度と少ないこと、バス走行頻度を59秒固定としていることが影響していると推測する。

表 4.2.7-2 最大青延長時間に関する旅行時間比較結果

評価区分	車種	平均旅行時間（秒）				旅行時間改善効果		
		PTPS 制御なし	最大青延長時間			最大青延長時間		
			10秒	15秒	20秒	10秒	15秒	20秒
幹線上り	バス	67.1	63.0	60.1	58.0	6.2%	10.4%	13.6%
	一般車両	63.3	61.4	60.5	59.9	3.0%	4.5%	5.5%
幹線下り	一般車両	61.2	59.6	58.8	58.4	2.5%	3.8%	4.5%
一般交差点従道路	一般車両	75.2	77.8	79.5	81.4	-3.4%	-5.7%	-8.2%

備考 1. 旅行時間改善効果は、表 4.2.1-3 の PTPS 制御なしと比較

表 4.2.7-3 青延長制御内容比較

比較項目		最大青延長時間		
		10秒	15秒	20秒
青延長制御率	バス1台の期待値	9.6%	13.8%	18.0%
	1サイクルあたりのバス到着台数考慮	19.5%	28.1%	36.6%
	シミュレーション結果	16.0%	23.0%	32.6%
青延長秒平均 (秒)	期待値	4.3	6.9	9.4
	シミュレーション結果	4.3	5.8	7.9

表 4.2.7-4 スプリットの状況

比較項目	PTPS 制御なし	最大青延長時間		
		10秒	15秒	20秒
現示1（幹線青）（%）	60.0%	62.0%	62.6%	63.0%
現示2（従道路青）（%）	40.0%	38.0%	37.4%	37.0%