

「信号情報の活用による運転支援の高度化に向けたモデル実証」
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	調査研究の目的	1
1.2	本年度調査研究の位置づけ	1
1.3	本年度の調査研究の実施内容	1
1.3.1	実施の概要	1
1.4	実施スケジュール	2
1.5	実施体制	3
2.	実験内容	4
2.1	モデル路線の概要	4
2.1.1	モデル路線の概要	4
2.1.2	ITS無線路側機設置箇所の概要	6
2.2	試験用車載機の概要	8
2.2.1	試験用車載機の仕様	8
2.2.2	試験用車載機HMI表示例	9
2.3	走行試験の概要	14
2.3.1	試験コースの概要	14
2.3.2	テストドライバーについて	15
2.3.3	実施内容	16
2.4	実験用システムの機能評価	17
2.4.1	調査の目的と概要	17
2.4.2	調査結果	19
3.	実験結果	22
3.1	信号情報提供の精度の確認	22
3.1.1	ITS無線路側機から配信される信号情報の精度について	22
3.1.2	光ビーコンによる信号情報提供の精度について	26
3.2	重要交差点での情報補完率（有効支援率）の検証	27
3.2.1	測定の概要	27
3.2.2	測定結果	31
3.3	急減速の抑制について	34
3.4	旅行時間、停止時間等の比較	36
3.5	燃料消費量の改善について	37

4. 結果に対するいくつかの考察.....	39
4.1 結果の有意性について.....	39
4.2 オフセット追従について.....	39
5. ガイドライン	41
5.1 光ビーコンの最適な設置位置検討.....	42
5.2 ITS 無線路側機の活用について	47
6. まとめ	48
7. 謝辞	49

別冊「モデル路線走行結果データ」

1. はじめに

1.1 調査研究の目的

安全運転支援・自動走行システムには、①交通事故の削減、②交通渋滞の緩和、③環境負荷の低減、④高齢者等の移動支援、⑤運転の快適性の向上という効果が期待され、超高齢化社会を迎える中「世界一安全」な道路交通社会を目指す我が国にとって、早期に実用化し、普及させていくことが極めて重要である。

ところで、安全運転支援・自動走行システムの実現に当たっては、自動車が信号情報をリアルタイムに認識し、制御を行う仕組みが不可欠である。

そこで、本調査研究では、路側システムから自動車へ提供する信号情報と、自動車の自律系システムとの連携等を実現するための調査研究を行い、運転支援の高度化を図った。

また、路側システムを全都道府県に整備し、継続的に運用していくことを想定して、現状システムの高度化、路側システムの効率的な配置方法、提供情報の精度向上及び運用管理方法について調査研究を行った。

1.2 本年度調査研究の位置づけ

本調査研究は、平成 27 年度から 3 箇年で実施した調査研究の 3 年目である。以下に全体計画を示す。

(1) 平成 27 年度

信号情報の活用による運転支援の高度化路側システムの検討・設計

(2) 平成 28 年度

信号情報の活用による運転支援の高度化路側システムの開発・整備

(3) 平成 29 年度

信号情報の活用による運転支援の高度化路側システムのモデル検証

1.3 本年度の調査研究の実施内容

1.3.1 実施の概要

高度化光ビーコン（以下、「光ビーコン」という。）及び 700MHz 帯 ITS 無線路側機（以下、「ITS 無線路側機」という。）が設置されたモデル路線で走行試験等を実施し、ITS 無線路側機の導入効果の検証を行うとともに、自動運転の実現に向けた信号情報提供に係る課題等についてまとめる。また、光ビーコンを含めたインフラの設置ガイドラインや現行仕様書の課題の抽出を行う。以下に評価項目を示す。

(1) 重要交差点での情報補完率(有効支援率)の検証

概要： 光ビーコンによる情報提供を ITS 無線路側機で補完できることを確認する。

目的： 一般に、光ビーコンから支援対象交差点までの距離が遠くなるに従って有効支援率は低下する。特に、重要交差点においては、MODERATO 制御の実施によりスプリットの変動頻度が高いため、情報の有効時間が短くなってしまい、支援率の低下が大きい。こうした状況から、他の一般交差点と比較して有効支援率の低下が

著しいものになる。そこで、重要交差点に設置した ITS 無線路側機の情報でそれを補完できることを確認する。

(2) 前後加速度の評価

概要： 光ビーコンにより信号情報提供を行う場合と光ビーコン及び ITS 無線路側機を併用する場合について、車両の前後加速度を比較・評価する。

目的： ITS 無線路側機の併用により有効支援率や情報提供の精度が向上し、運転中の急減速が低減することが期待されることから、前後加速度を比較・評価することにより、急減速の頻度が低くなることを確認する。

(3) 燃費消費量の比較

概要： 走行エネルギーを算出し比較することで燃費の改善効果について検証を行う。

目的： ITS 無線路側機の併用により急減速が低減するなどして、燃費が改善する効果が期待されること、ITS 無線路側機の導入により燃費消費量が削減できるかどうか検証する。

(4) 停止時間割合等に関する検証

概要： 光ビーコンによる信号情報提供サービスと、光ビーコン及び ITS 無線路側機による信号情報提供サービスについて停止時間割合や停止時間を取得し、比較・評価する。

目的： 光ビーコンと ITS 無線路側機を併用することにより、旅行時間、停止回数及び停止時間が改善（低減）するかどうか検証する。

1.4 実施スケジュール

今年度の実実施スケジュールは以下のとおり。

	平成29年度		
	9月	10～1月	2～3月
評価項目の検討 実施計画の策定			
評価用デモシステム開発			
実地試験			
報告書作成			

1.5 実施体制

UTMS協会において、従来からTSPSの研究や標準化を推進してきた「路車協調システム作業部会」内に新たな検討SWG（TSPS検討SWG）を設置し研究を実施した。このSWGは、TSPSに知見のあるインフラメーカー、自動車メーカー等から構成された。また、UTMS協会職員が参画した。

2. 実験内容

愛知県の瀬戸大府東海線路線内に整備したモデル路線（ITS 無線路側機と光ビーコンが整備された路線）を用いて ITS 無線路側機の導入効果について評価を行う。評価の実施に必要な指標の計測に当たっては、光ビーコンの路線信号情報及び ITS 無線路側機の DSSS 信号情報を受信できる試験用車載機を用いる。

2.1 モデル路線の概要

2.1.1 モデル路線の概要

平成 28 年度に、既存の光ビーコンによる TSPS 路線（所在：愛知県日進市瀬戸大府東海線路線）に ITS 無線路側機を 5 基新設する形でモデル路線を整備した。その概要を以下に示す。

表2.1.1 瀬戸大府東海線路線

交通環境	市街路～郊外路
距離	約 9km
車線数	片側2車線
最高速度	50～60km/h
信号交差点数	30箇所（押しボタン信号含む）
光ビーコン数	南進4箇所 北進4箇所 計8箇所
ITS無線路側機数	5箇所
信号制御方式	MODERATO制御 / 系統制御

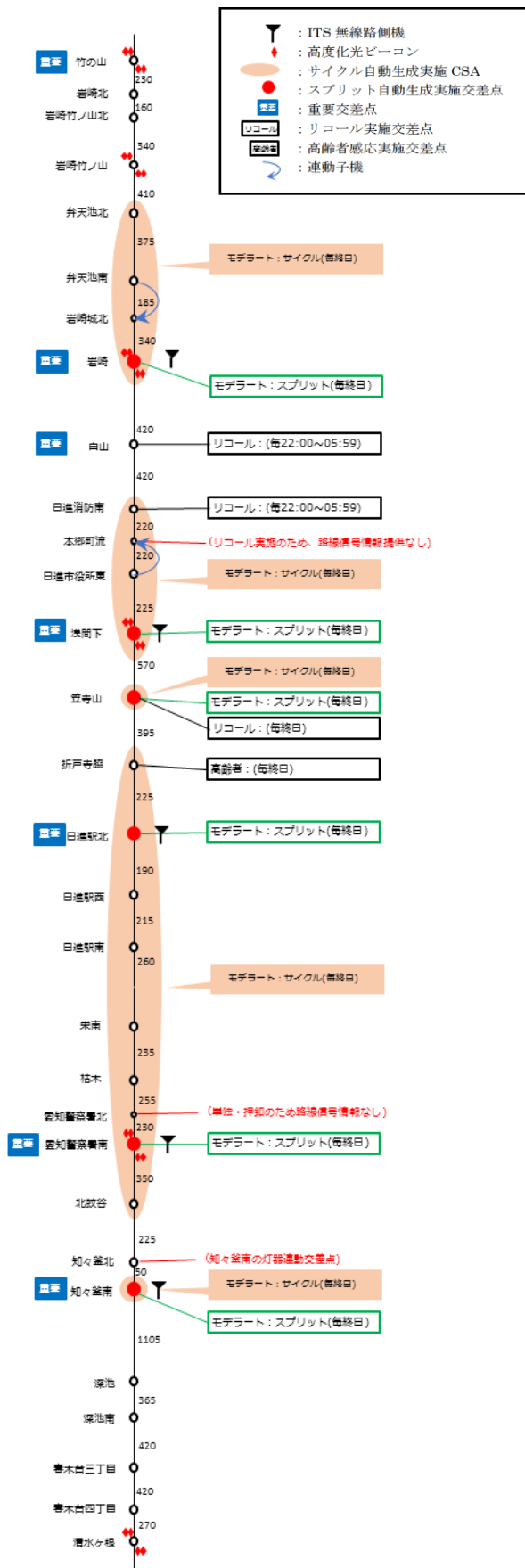
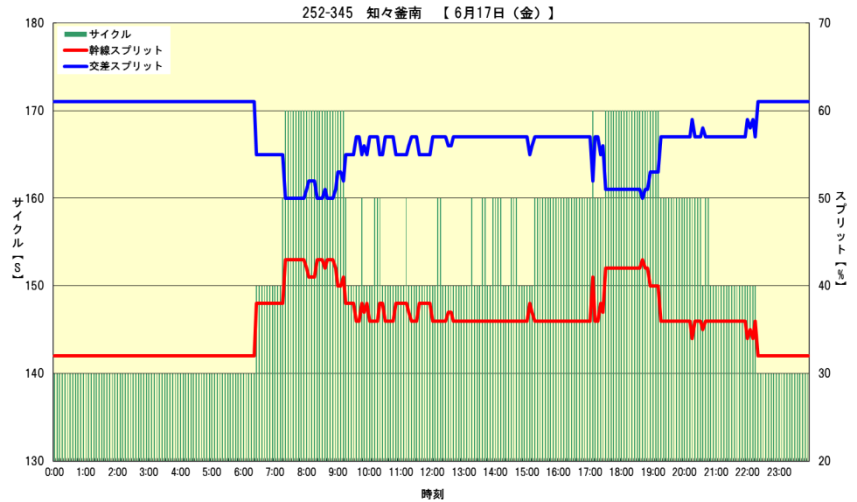


図 2.1 モデル路線概要

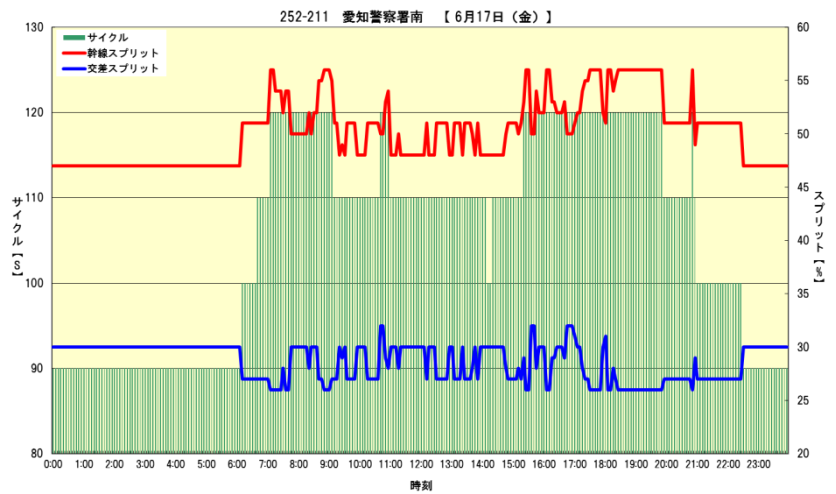
2.1.2 ITS 無線路側機設置箇所の概要

① 知々釜南交差点（光ビーコン設置交差点からの距離 南進 620m、北進 2580m）



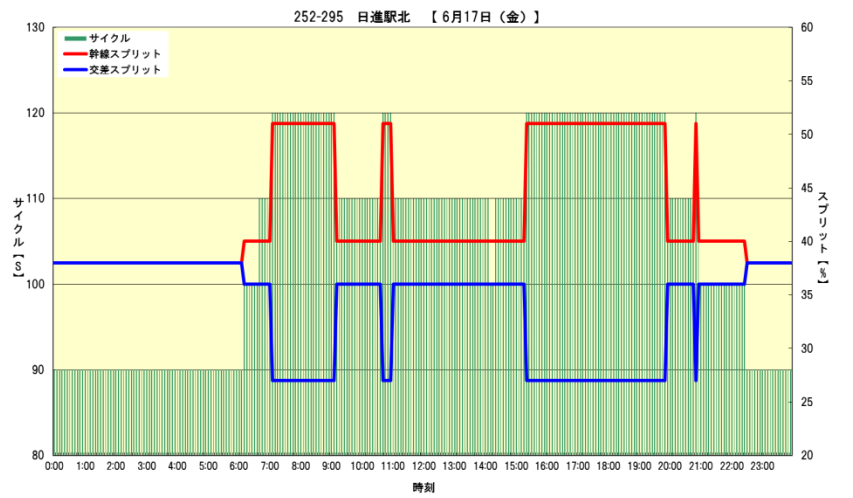
- ・ サイクル、スプリット共に自動生成を実施しており、かつ変動頻度が高い。
- ・ 北進方向について、交差点間距離が長く（1.1 km）、車両が比較的スムーズに走行している。
- ・ 幹線、交差共に交通量の変動が多く、渋滞に伴い当該交差点到着までの旅行時間変動が発生しやすい。

② 愛知警察署南交差点（光ビーコン設置交差点からの距離 南進 2.6km、北進 3.2km）



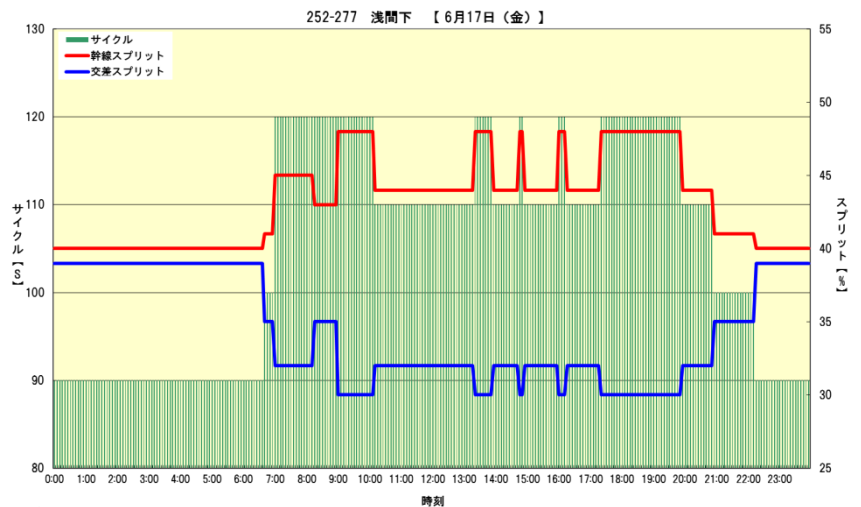
- ・ サイクル、スプリット共に自動生成を実施しており、かつ変動頻度が高い。
- ・ 南進、北進方向ともに光ビーコンから当該交差点までの距離が長い（約 3 km）。

③ 日進駅北交差点（光ビーコン設置交差点からの距離 南進 1.2km、北進 1.4km）



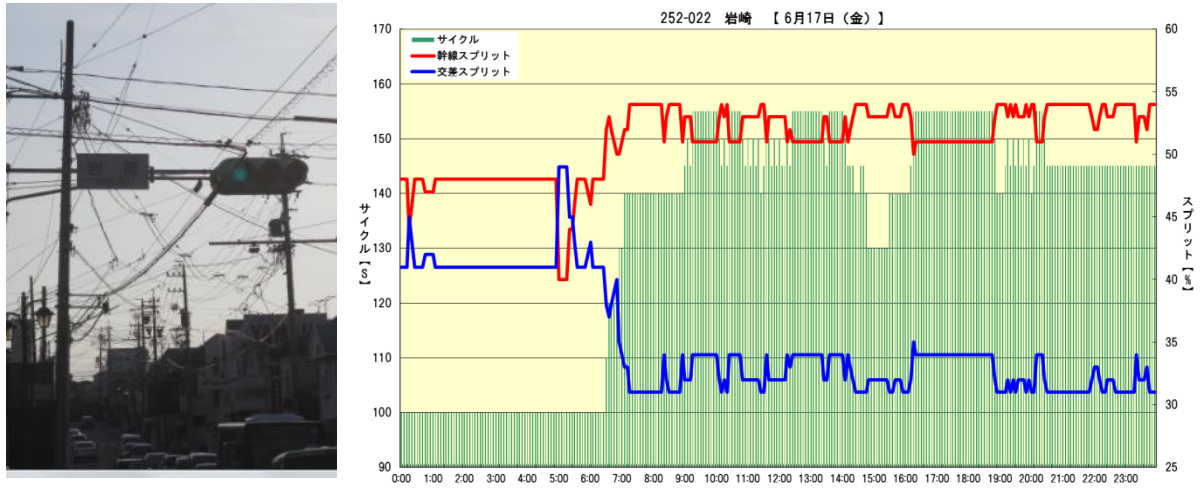
- ・ サイクル、スプリット共に自動生成を実施しているが、終日通して変動頻度が低い。

④ 浅間下交差点（光ビーコン設置交差点からの距離 南進 1.5km、北進 2.6km）



- ・ サイクル、スプリット共に自動生成を実施しており、夕方にかけてスプリットの変動頻度が高い。
- ・ 幹線、交差共に交通量の変動が多く、渋滞に伴い当該交差点到着までの旅行時間変動が発生しやすい。

⑤ 岩崎交差点（光ビーコン設置交差点からの距離 南進 1.3km、北進 1.5km）



- ・ サイクル、スプリット共に自動生成を実施しており、かつ変動頻度が高い。
- ・ 幹線、交差共に交通量の変動が多く、渋滞に伴い当該交差点到着までの旅行時間変動が発生しやすい。

2.2 試験用車載機の概要

2.2.1 試験用車載機の仕様

光ビーコン及び ITS 無線路側機との通信のデータを USB 接続したパソコンで保存するとともに、リアルタイムで解析しディスプレイに表示する試験用車載機を開発した。主な機能は以下のとおり。また、ハード構成を図 2.2.1-1 に車への搭載状態を図 2.2.1-2 に示す。

- ・ 交差点に設置された ITS 無線路側機から送信された DSSS 信号情報を受信（1つの路側機から 100ms 毎に送信）し、パソコンに保存する。
- ・ GPS から得られた時刻や位置情報、車速などのデータをパソコンに保存するとともに、車車間通信として他の車載機に送信する（100ms 毎に送信）。
- ・ 1つの光ビーコンから複数の交差点の信号情報（路線信号情報）を受信しパソコンに保存する。
- ・ 送受信するデータをリアルタイムで解釈し、ディスプレイに表示する。
- ・ 保存したデータを時系列順に再生する。

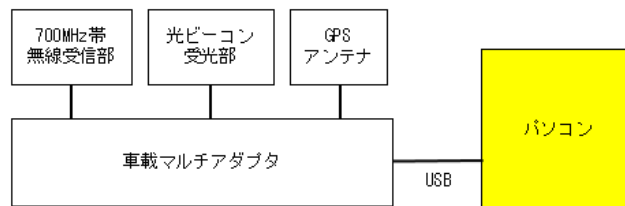


図 2.2.1-1 試験用車載機の構成



700MHz帯無線のアンテナ

GPSアンテナ

試験用車載機

図2.2.1-2 試験用車載機設置状況

2.2.2 試験用車載機 HMI 表示例



ITS 無線路側機からの受信時の交差点情報表示画面のイメージを図 2.2.2-1 に示す

ITS 無線路側機					(バー表示切替時)
交差点名	受信	距離	信号現示	残秒数	
①岩崎	▽	****m		***秒	
②浅間下	▽	****m		***秒	
③日進駅北	▼	960m		2.4秒	
④愛知警察署南	▼	400m		5.1秒	
⑤知々釜南	▽	****m		***秒	
⑥ITS 無線路側機なし	▽	—	—	—	
YYYY年MM月DD日 HH:MM:SS.00					






※①→⑥へ南進中、「愛知警察署南」交差点の北 400m を走行している場合の表示例
 (「日進駅北」と「愛知警察署南」の双方から 700MHz 電波を受信している状態)

図 2.2.2-1 ITS 無線路側機データ受信画面イメージ

表 2.2.2-1 補足説明

A : 交差点名	INI ファイルに記載された交差点名を常に表示する。 (※)INI ファイルとはパソコン上に設定する各地点情報パラメータ群の設定ファイル
B : 受信	ITS 無線路側機データを受信したとき、INI ファイルに記載されている交差点 ID と照合し、一致した交差点のアイコンを受信中にして、行の色を変化させる。受信しない状態が一定時間以上続いたときは、アイコンを未受信にして、行の色も戻す（グレースアウト）。 (▼ : 受信中、▽ : 受信していない状態が 15 秒以上継続)
C : 距離	GPS から得られた自車の現在位置と、ITS 無線路側機から受信した交差点座標との距離を計算して表示する。(単位 : m) 距離が減じたとき行の背景色を水色に、加わるときはオレンジにする、受信しない状態が一定時間以上続いたとき、「****m」と表示する。 「—」ITS 無線路側機がない交差点 (INI ファイルで指定)
D : 信号現示	ITS 無線路側機から受信した現在の信号点灯状態をアイコン表示する。 表示する方路は、交差点ごとに INI ファイルで指定する。  : 「青」を受信した場合、  : 受信していないとき 「—」ITS 無線路側機がない交差点 (INI ファイルで指定)
E : 残秒数	ITS 無線路側機から受信した信号状態の残秒数を表示する。受信時の残秒数を表示するが、受信しなくなっても 0.1 秒単位で演算して表示する。受信しない状態が一定時間以上続いたとき、「***秒」を表示する。 設定ファイルで、数字ではなく、バー表示に切り替えることもできる。

また、図 2.2.2-2 に光ビーコン下で受信時の情報表示画面のイメージを示す。

A B C D E 光ビーコン				
交差点名	受信	距離	信号現示	残秒数
①岩崎	▼	3 6 0 0 m		10.3 秒
②浅間下	▼	2 1 0 0 m		8.4 秒
③日進駅北	▼	9 6 0 m		5.5 秒
④愛知警察署南	▼	4 0 0 m		12.2 秒
⑤知々釜南	▽	**** m		*** 秒
⑥光ビーコンなし	▽	—	—	—
YYYY年MM月DD日 HH:MM:SS.00				

※①→⑥へ南進中、「愛知警察署南」交差点の北 400m を走行している場合の表示例
(「岩崎」交差点の前にある光ビーコンで「愛知警察署南」までのデータを受信した)

図 2.2.2-2 光ビーコンデータ受信時の画面イメージ

表 2.2.2-2 補足説明

A：交差点名	INI ファイルに記載された交差点名を常に表示する。
B：受信	光ビーコンデータを受信したとき、INI ファイルに記載されている交差点 I D と照合して一致したすべての交差点のアイコンを受信中にして、行の色を変化させる。次の光ビーコンを受信したときは、アイコンを未受信にして、行の色も戻す（グレーアウト）。 「▼」受信後、次の光ビーコンを受信するまで 「▽」未受信
C：距離	G P S から得られた自車の現在位置と、光ビーコンから受信した交差点座標との距離を計算して表示する。(単位：m) まだ受信していないとき、次の光ビーコンを受信したとき「****m」にする。 「-」光ビーコンがない交差点 (INI ファイルで指定)
D：信号現示	光ビーコンから受信した複数の信号点灯状態を演算して表示する。 表示する方路は、交差点ごとに INI ファイルで指定する。 ●●●：「青」を受信した場合、●●●：受信していないとき 「-」光ビーコンがない交差点 (INI ファイルで指定)
E：残秒数	光ビーコンから受信した信号状態の残秒数を算出する (0.1 秒単位)。まだ受信していないとき、次の光ビーコンデータ B を受信したときは、「***秒」と表示する。設定ファイルで、数字ではなく、バー表示に切り替えることもできる。「-」光ビーコンがない交差点 (INI ファイルで指定)

交差点名	ITS 無線路側機				光ビーコン			
	受信	距離	信号	残秒数	受信	距離	信号	残秒数
竹の山	▽	—	—	—	▽	****		***
岩崎北	▽	—	—	—	▽	****		***
岩崎竹ノ山北	▽	—	—	—	▽	****		***
岩崎竹ノ山	(窓表示・設定例) 浅間下北 50m 南進時 最大 7 行、残秒数字表示、交差点 通過後 40m で消去する。							***
弁天池北								***
弁天池南								***
岩崎城北								***
岩崎	▽	***		***	▽	****		***
白山	▽	—	—	—	▼	1 2 3 0 m		3.0 秒
日進消防南	▽	—	—	—	▼	8 1 0 m		7.7 秒
本郷町流	▽	—	—	—	▼	3 9 0 m		4.5 秒
日進市役所東	▽	—	—	—	▼	1 7 0 m		2.0 秒
浅間下	▼	5 0 m		12.2 秒	▼	4 0 m		12.1 秒
笠寺山	▽	—	—	—	▽	****		***
折戸寺脇	▽	—	—	—	▽	****		***
日進駅北	▽	***		***	▽	****		***
日進駅西	▽	—	—	—	▽	****		***
日進駅南	▽	—	—	—	▽	****		***
栄南	▽	—	—	—	▽	****		***
枯木	▽	—	—	—	▽	****		***
愛知警察署北	▽	—	—	—	▽	****		***
愛知警察署南	▽	***		***	▽	****		***
北蚊谷	▽	—	—	—	▽	****		***
知々釜北	▽	—	—	—	▽	****		***
知々釜南	▽	***		***	▽	****		***

YYYY年MM月DD日 HH:MM:SS.00

図 2.2.2-3 光ビーコン及び ITS 無線路側機からのデータを表示した際の画面イメージ

交差点名	ITS 無線路側機				光ビーコン			
	受信	距離	信号	残秒数	受信	距離	信号	残秒数
竹の山	▽	—	—	—	▽	****		***
岩崎北	▽	—	—	—	▽	****		***
岩崎竹ノ山北	▽	—	—	—	▽	****		***
岩崎竹ノ山	▽	—	—	—	▽	****		***
弁天池北	▽	—	—	—	▽	****		***
弁天池南	▽	—	—	—	▽	****		***
岩崎城北	▽	—	—	—	▽	****		***
岩崎	▽	***		***	▽	****		***
白山	▽	—	—	—	▼	1230 m		
日進消防南	▽	—	—	—	▼	810m		
本郷町流	▽	—	—	—	▼	390m		
日進市役所東	▽	—	—	—	▼	170m		
浅間下	▼	50m			▼	49m		
笠寺山	▽	—	—	—	▽	****		***
折戸寺脇	▽	—	—	—	▽	****		***
日進駅北	▽	***		***	▽	****		***
日進駅西	▽	—	—	—	▽	****		***
日進駅南	▽	—	—	—	▽	****		***
栄南	▽	—	—	—	▽	****		***
枯木	▽	—	—	—	▽	****		***
愛知警察署北	▽	—	—	—	▽	****		***
愛知警察署南	▽	***		***	▽	****		***
北蚊谷	▽	—	—	—	▽	****		***
知々釜北	▽	—	—	—	▽	****		***
知々釜南	▽	***		***	▽	****		***
深池	▽	—	—	—	▽	****		***

(窓表示・設定例)
浅間下北 50m 南進時
最大 6 行、残秒バー表示
1 交差点先まで

YYYY年MM月DD日 HH:MM:SS.00
本実験路線は路線信号情報を提供するにあたり、信号通過支援、赤信号減速支援、信号見通し防止支援に必要な最低距離を 300m と定め、交差点からの距離が 300m になった時点で画面に残距離と灯器の残り秒数を表示するようにした。(表 5.1-2 参照)
(※) 300 という数字は定数であるが随時変更可能。

図 2.2.2-4 光ビーコン及び ITS 無線路側機からのデータを表示した際の画面イメージ (バー表示あり)

2.3 走行試験の概要

2.3.1 試験コースの概要

走行試験では、「竹の山」交差点から「清水ケ根」交差点までを試験用車載機を搭載した車両にて南進又は北進する。走行コースは図 2.3.1 のとおり。走行中は、試験用車載機が光ビーコン及び ITS 無線路側機から情報を受信し、リアルタイムで解析して信号情報をディスプレイ (HMI) に表示するとともに、データを保存する。

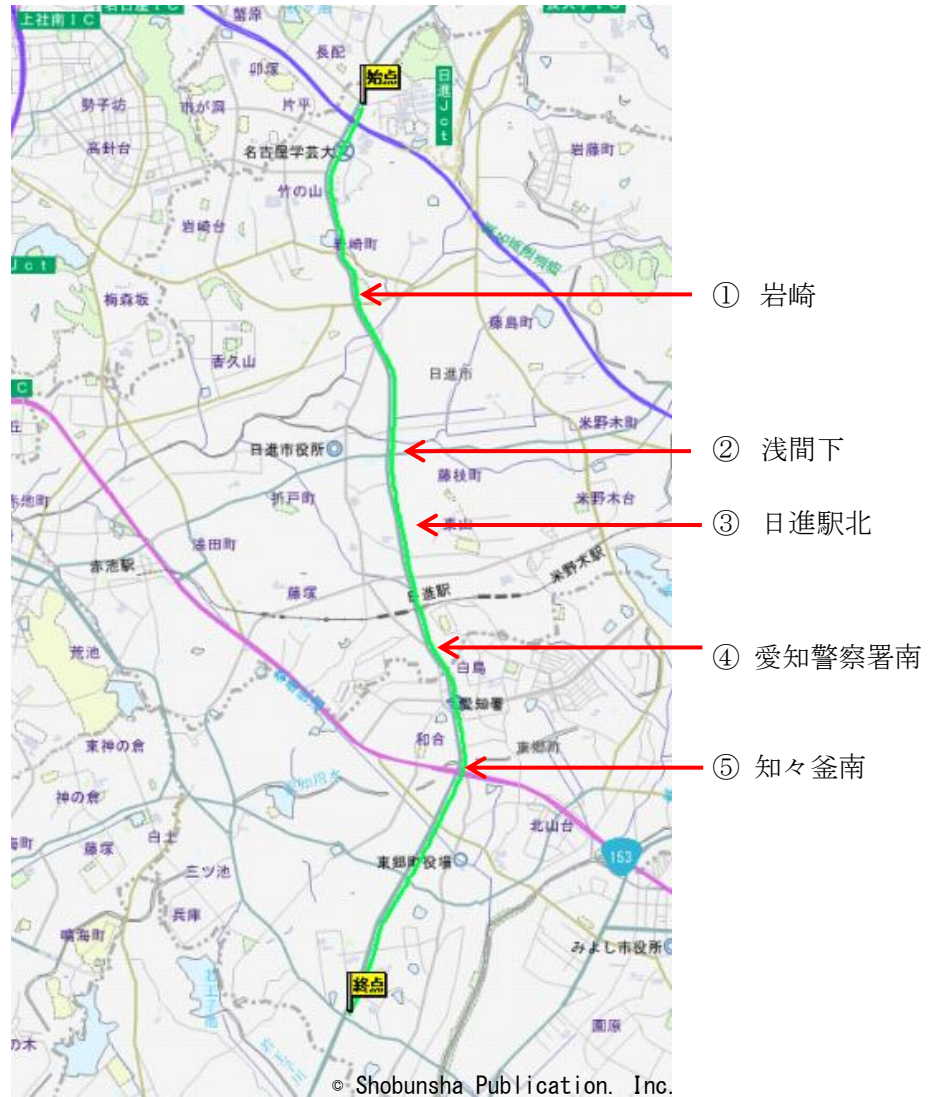


図 2.3.1 愛知県日進市試験コース (南行き 9400m、北行き 9100m)

2.3.2 テストドライバーについて

今回の走行試験の被験者として12名（年齢40代～50代）のドライバーに参加いただいた。ドライバーは、今回の試験コースでの運転に慣れていない人を選定したため、実証実験に特段のバイアスを与えることはないと考えられる。

なお、走行試験に当たっては、今回対象とした光ビーコン及びITS無線路側機によるシステムの効果を適正に検証するため、HMIにより提供される信号情報にことさら反するような急加速、急減速を行うことは避けて走行するようドライバーに指示した。

運転者毎の各サイクルにおける走行数を表2.3.2に示す。

表 2.3.2 運転者別走行回数内訳

運転者	走行回数		
		第1サイクル	第2サイクル
A	32	10	22
B	108	34	74
C	24	6	18
D	10	3	7
E	32	12	20
F	112	39	73
G	62	21	41
H	22	6	16
I	22	8	14
J	10	2	8
K	16	6	10
L	64	21	43
計	514	168	346

2.3.3 実施内容

走行試験は以下のとおり実施した。

試験車両数	4台
画面表示パターン	2パターン（光ビーコンのみ／光ビーコン及び ITS 無線路側機）
コース	2コース（南進コース／北進コース）
走行パターン	6パターン ①南進 光ビーコンのみ ②南進 光ビーコン、ITS 無線路側機の併用 ③南進 システム無 ④北進 光ビーコンのみ ⑤北進 光ビーコン、ITS 無線路側機の併用 ⑥北進 システム無
試験日数	10日間 第1サイクル：平成30年1月22日～1月26日 第2サイクル：平成30年2月5日～2月9日
片道走行距離	約9km（「竹の山」と「清水ヶ根」の距離は9.4km）
平均速度	20km/h～30km/h（最大60km/h）
片道走行時間	約20分
総試行回数	514回

2.4 実験用システムの機能評価

車載機に配信している路線信号情報と信号機の灯色タイミングの一致について、評価を行った。評価の実施については、路側システムの性能を把握するための事前調査を行い、その結果を受けて実現方法を決定することとした。

表2.4.1-1 調査概要

調査名称	調査日時
事前調査	平成30年1月18日(木), 19日(金) 13:30~16:10
実証実験 (機能評価)	平成30年1月22日(月)~1月26日(金) 7:00~9:00 13:00~15:00 17:00~19:00
	平成30年2月5日(月)~2月9日(金) 7:00~9:00 13:00~15:00 17:00~19:00

2.4.1 調査の目的と概要

モデル路線のうち5交差点の信号制御機、光ビーコン10基について、時刻同期等の路側システムの性能について調査を行った。車載機から交通管制センターの中央装置の構成と事前調査の調査項目について図2.4.1-1、2及び表2.4.1-2に示す。

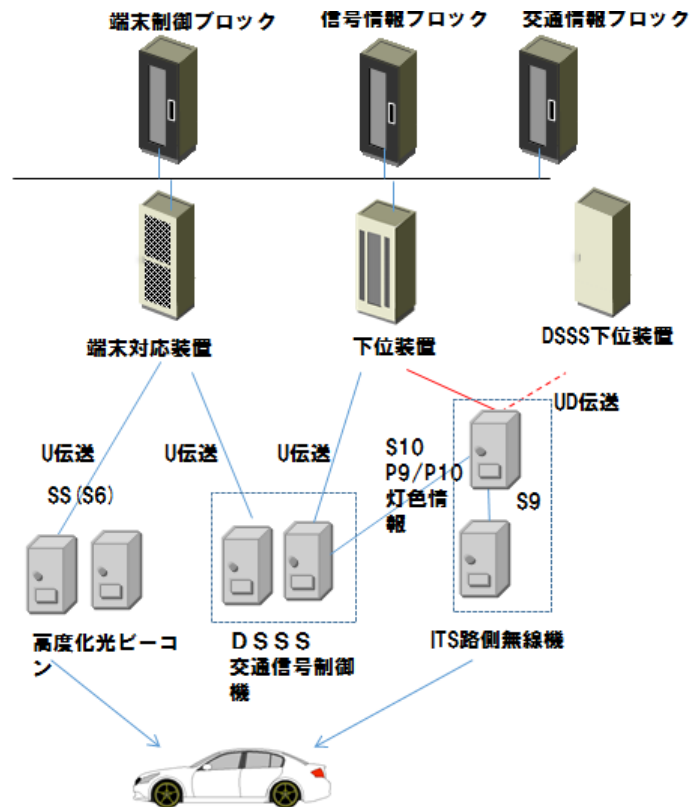


図2.4.1-1 全体システム構成図

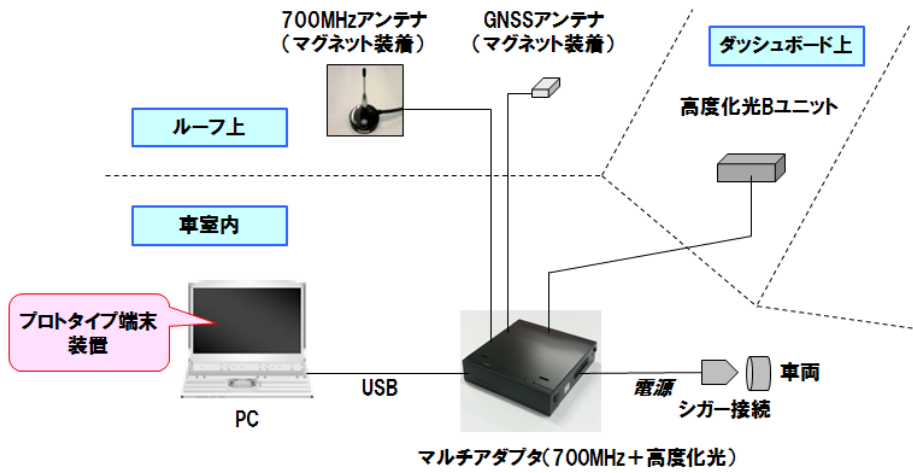


図2. 4. 1-2 試験用車載機構成図

表 2. 4. 1-2 事前調査の調査項目

項番	調査項目
1	N T P 及び時報～管制センター中央装置間の時刻同期の確認
2	信号制御実行情報のサイクル開始時刻と交差点の灯色の確認
3	管制センター～光ビーコン間の時刻同期の確認
4	無線路側機 G P S の時間差
5	信号制御実行情報の S T E P 総和とサイクル開始時刻の時間差

2.4.2 調査結果

(1) NTP及び時報～管制センター中央装置間の時刻同期の確認

NTP及び時報と管制センター中央装置の時刻のずれについて、コマンドによって確認を行った。路側システムの各装置でNTPとの時間差はなく、時報との時間差が1秒で共通していることから時刻同期は取れていると判断した。結果を表2.4.2-1に示す。

表 2.4.2-1 各種装置の時間差

管制センター中央装置	NTPとの時間差	時報との時間差
NTP	—	1秒進んでいる
システム管理ブロック	時間差なし	1秒進んでいる
信号制御ブロック	時間差なし	1秒進んでいる
交通情報ブロック情報提供部	時間差なし	1秒進んでいる
UC型信号制御下位装置L3信号制御部	時間差なし	1秒進んでいる
路線信号情報提供下位装置情報提供部	時間差なし	1秒進んでいる

(2) 光ビーコンと中央装置の時間差

時刻修正→応答電文のダンプデータを取得することで時間差を調査した。時刻修正の実行の方法は次の通りである。

送信シーケンス番号が1以上で、時刻修正指令の光ビーコン返送時刻（前回中央装置に送った光ビーコン自身の時刻）と光ビーコンの現在時刻との差が5秒以下のときは、時刻修正指令の中央装置時刻をもとに光ビーコン自身の時刻を修正し、時刻修正実行を「1」とする。時刻修正を実行しなかった場合は、時刻修正実行を「0」とする。

なお、モデル路線上のITS無線路側機設置箇所の回線番号は以下のとおりである。

- 8：清水ケ根
- 9：愛知警察署南
- 10：浅間下
- 11：岩崎
- 12：岩崎竹の山
- 13：竹の山

下記は回線番号8～13の時刻修正が実行された際の情報をダンプしたものである。

```

0x00000010 0103 0000 0107 0003 0700 0401 0204 0000
0x00000020 0107 0003 0700 0401 0303 0000 0107 0003
0x00000030 0700 0401 0404 0000 0107 0003 0700 0401
0x00000040 0502 0000 0107 0003 0700 0401 0603 0000
0x00000050 0107 0003 0700 0401 0703 0000 0107 0003
0x00000060 0700 0401 0804 0000 0107 0003 0700 0401
0x00000070 0903 0000 0107 0003 0700 0401 0a04 0000
0x00000080 0107 0003 0700 0401 0b03 0000 0107 0003
0x00000090 0700 0401 0c02 0000 0107 0003 0700 0401
0x000000a0 0d02 0000 0107 0003 0700 0401 1904 0000
0x000000b0 0107 0003 0700 0401 0000 0000 0000 0000

```

中央装置側の時刻が 700:04 で光ビーコン側が 700:03 の状態で時刻修正が実行されたことをあらわしており、光ビーコンの方が遅くなっていることが分かる。

(3) ITS 無線路側機とGPSの時間差 (HMI 上への表示)

ITS 無線路側機と今回の試験用車載機はGPSを活用して時刻管理をしているため、その時間差は0として実験を推進する。

(4) 路線信号情報と信号制御実行情報のサイクル開始時刻の時間差

信号制御機と中央装置間で各STEPの総和とのサイクル開始時間の調査を行い、秒数ずれのないことを検証した。主要交差点のみ抽出して調査した結果を表 2.4.2-2 に示す。サイクル開始時刻とSTEPの総和での差がないことを事前に確認した。

表 2.4.2-2 信号機とのサイクル開始時刻の調査

【交差点名：愛知警察署南】									
ステップ名	秒数	ステップ開始時刻	秒数	ステップ開始時刻	秒数	ステップ開始時刻	秒数	ステップ開始時刻	秒数
1PG	7	16:07:04	7	16:08:54	7	16:10:44	7	16:12:34	
1PG	31	16:07:11	31	16:09:01	32	16:10:51	32	16:12:41	
1PW	6	16:07:42	6	16:09:32	6	16:11:23	6	16:13:13	
1PR	2	16:07:48	2	16:09:38	2	16:11:29	2	16:13:19	
1Y	3	16:07:50	3	16:09:40	3	16:11:31	3	16:13:21	
1A	7	16:07:53	7	16:09:43	7	16:11:34	7	16:13:24	
1Y	2	16:08:00	2	16:09:50	2	16:11:41	2	16:13:31	
1R	3	16:08:02	3	16:09:52	3	16:11:43	3	16:13:33	
2PG	25	16:08:05	25	16:09:55	24	16:11:46	24	16:13:36	
2PW	7	16:08:30	7	16:10:20	7	16:12:10	7	16:14:00	
2PR	2	16:08:37	2	16:10:27	2	16:12:17	2	16:14:07	
2Y	3	16:08:39	3	16:10:29	3	16:12:19	3	16:14:09	
2A	7	16:08:42	7	16:10:32	7	16:12:22	7	16:14:12	
2Y	2	16:08:49	2	16:10:39	2	16:12:29	2	16:14:19	
2R	3	16:08:51	3	16:10:41	3	16:12:31	3	16:14:21	
合計	110		110		110		110		

【交差点名：浅間下】											
	秒数	ステップ開始時刻		秒数	ステップ開始時刻		秒数	ステップ開始時刻		秒数	ステップ開始時刻
1PG	7	16:27:54		7	16:29:54		7	16:31:54		7	16:33:54
1PG	37	16:28:01		37	16:30:01		37	16:32:01		37	16:34:01
1PW	5	16:28:38		5	16:30:38		5	16:32:38		5	16:34:38
1PR	2	16:28:43		2	16:30:43		2	16:32:43		2	16:34:43
1 Y	3	16:28:45		3	16:30:45		3	16:32:45		3	16:34:45
1 A	7	16:28:48		7	16:30:48		7	16:32:48		7	16:34:48
1 Y	2	16:28:55		2	16:30:55		2	16:32:55		2	16:34:55
1 R	3	16:28:57		3	16:30:57		3	16:32:57		3	16:34:57
2PG	27	16:29:00		27	16:31:00		27	16:33:00		27	16:35:00
2PW	8	16:29:27		8	16:31:27		8	16:33:27		8	16:35:27
2PR	2	16:29:35		2	16:31:35		2	16:33:35		2	16:35:35
2 Y	3	16:29:37		3	16:31:37		3	16:33:37		3	16:35:37
2 A	8	16:29:40		8	16:31:40		8	16:33:40		8	16:35:40
2 Y	2	16:29:48		2	16:31:48		2	16:33:48		2	16:35:48
2 R	4	16:29:50		4	16:31:50		4	16:33:50		4	16:35:50
合計	120			120			120			120	

【交差点名：日進駅北】											
	秒数	ステップ開始時刻		秒数	ステップ開始時刻		秒数	ステップ開始時刻		秒数	ステップ開始時刻
1PG	7	16:35:06		7	16:36:56		7	16:38:41		7	16:40:26
1PG	26	16:35:13		34	16:37:03		34	16:38:48		42	16:40:33
1PW	4	16:35:39		4	16:37:37		4	16:39:22		4	16:41:15
1PR	4	16:35:43		4	16:37:41		4	16:39:26		4	16:41:19
1 Y	3	16:35:47		3	16:37:45		3	16:39:30		3	16:41:23
1 A	7	16:35:50		5	16:37:48		5	16:39:33		7	16:41:26
1 Y	2	16:35:57		2	16:37:53		2	16:39:38		2	16:41:33
1 R	4	16:35:59		4	16:37:55		4	16:39:40		4	16:41:35
2PG	26	16:36:03		16	16:37:59		16	16:39:44		20	16:41:39
2PW	7	16:36:29		7	16:38:15		7	16:40:00		7	16:41:59
2PR	4	16:36:36		4	16:38:22		4	16:40:07		4	16:42:06
2 Y	3	16:36:40		3	16:38:26		3	16:40:11		3	16:42:10
2 A	7	16:36:43		6	16:38:29		6	16:40:14		7	16:42:13
2 Y	2	16:36:50		2	16:38:35		2	16:40:20		2	16:42:20
2 R	4	16:36:52		4	16:38:37		4	16:40:22		4	16:42:22
合計	110			105			105			120	

3. 実験結果

3.1 信号情報提供の精度の確認

3.1.1 ITS 無線路側機から配信される信号情報の精度について

(1) 測定方法

現示（青灯器）の切り替わり時刻とシステムから提供される信号情報との差異を 60fps のビデオカメラで動画を撮影し、測定した。測定に当たっては、中央装置と信号制御機間の時刻修正電文がやりとりされる時間帯を避けるよう留意した。

上記の測定を正確に行うためには、データサイズ、システム構成及び各装置間の遅延時間を考慮する必要がある。今回の対象路線において各 ITS 無線路側機から配信される情報とそのサイズについては表 3.3.1-1 のとおりである。

表 3.1.1-1 重要交差点での配信サイズ

交差点名称	情報種別	サイズ (バイト)
岩崎	サービス支援情報	88
	道路線形情報	498
	信号情報	152
	合計	738
浅間下	サービス支援情報	88
	道路線形情報	480
	信号情報	152
	合計	720
日進駅北	サービス支援情報	88
	道路線形情報	423
	信号情報	169
	合計	680
愛知警察署南	サービス支援情報	88
	道路線形情報	441
	信号情報	147
	合計	676
知々釜南	サービス支援情報	47
	道路線形情報	305
	信号情報	75
	合計	427

信号制御機と ITS 無線路側機との間での遅延時間については、図 3.1.1-1 のシステム構成を考慮すると次の通りになる。

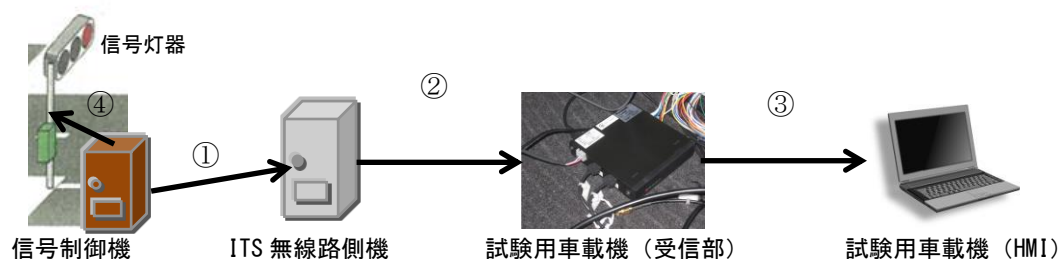


図 3.1.1-1 評価システムの構成

- ① 信号制御機・ITS 無線路側機間
 信号情報サイズを 64kbps の S10 インタフェースでの通信

$$\text{値[ms]} = \text{信号情報サイズ} / 8 / 1024 * 1000$$
- ② ITS 無線路側機・受信アダプタ間(1Mbps と前提)

$$\text{値[ms]} = (\text{信号情報} + \text{道路線形} + \text{サービス支援合計値}) / 125 / 1024 * 1000$$
 次スロットの場合には 100ms ずれる場合がある。
- ③ 車載アダプタ・ノート PC 間(230.4Kbps シリアル通信)

$$\text{値[ms]} = (\text{信号情報} + \text{道路線形} + \text{サービス支援合計値}) / 230.4 / 1024 * 8 * 1000$$
 ノート PC での表示 Vsync 同期表示のため 1 フレーム描画 16.6ms
- ④ 信号制御機から灯器出力までの遅延時間
 100~200ms

$$\text{全体の遅延[ms]} = \text{①} + \text{②} + \text{③} - \text{④}$$

青→黄、黄→赤、赤→青の実際の切り替わり時刻とシステムの提供情報の差異をビデオカメラのコマ送り数を数えることにより測定した。



図 3.1.1-2 青信号の現示とシステム提供情報の差違時間の測定方法

PC時刻	PC表示	信号現示	残秒数
	青	青	
16:10:08.92	黄	青	3秒
2T	黄	黄	
16:10:11.92	赤	黄	61秒
2T	赤	赤右矢印	
16:10:18.92	赤	黄	
16:10:20.92	赤	赤	
16:11:12.92	赤	赤	46.6秒
2T	青	青	
16:11:59.92	黄	青	3秒
2T	黄	黄	
16:12:02.92	赤	黄	
2T	赤	赤右矢印	

60T=1000ms=1sec

6T=100ms

1T=1/60sec

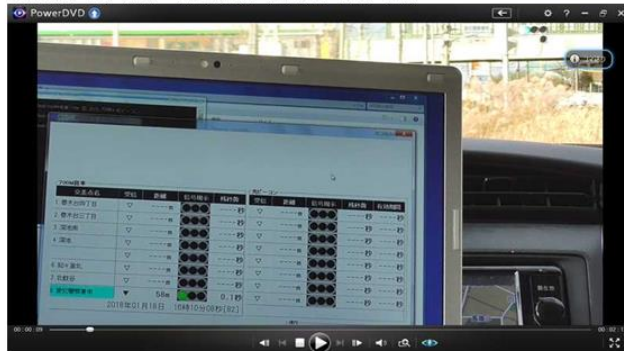
60fps

2T=2/60sec=33.3ms

■ビデオによる解析例

・試験用PCと信号機をビデオを撮影し、760MHzITS無線で提供される信号情報と信号機の灯色を検証する

▽PC上の信号現示が「青」、実際の信号機も「青」の状態



▽1コマ(1/60秒)送ると、PC上の信号現示が「黄」になったが、実際の信号機は「青」のまま

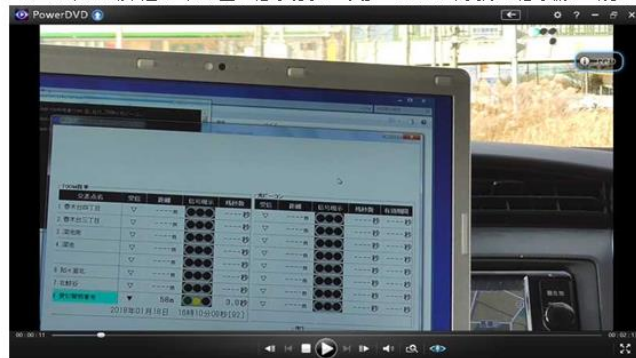




図 3.1.1-3 コマ送りと遅延時間の測定

(2) 測定結果

計測の結果、信号灯器・試験用車載機の HMI 間の灯色の表示誤差は、最大 99.9ms であった。表 3.1.2 に結果をまとめる。

表 3.1.2 システムと信号灯器の差異

交差点名称	灯色切り替わり	時間差異(単位 ms)
岩崎	青→黄	-66.6
	黄→赤	0
	赤→青	-99.9
浅間下	青→黄	-66.6
	黄→赤	-66.6
	赤→青	-66.6
日進駅北	青→黄	-33.3
	黄→赤	-33.3
	赤→青	-33.3
愛知警察署南	青→黄	-33.3
	黄→赤	-33.3
	赤→青	-33.3
知々釜南	青→黄	-49.8
	黄→赤	-49.8
	赤→青	-83.5

3.1.2 光ビーコンによる信号情報提供の精度について

走行試験により、光ビーコンによる信号情報提供の精度について確認を行った。光ビーコンの有効期間内のケースにおいてのこのずれ率をまとめたものが表 3.1.2 である。試験用車載機の HMI と実際の信号灯色とで 2 秒以上のずれが生じた場合を誤差ありとした。

表 3.1.2 光ビーコンによる信号情報提供の誤差発生率

交差点名	光ビーコン				備考		
	南進		北進				
	有効支援率		有効支援率		モデラート		
	誤差発生率	誤差発生率	誤差発生率	誤差発生率	サイクル	スプリット	
岩崎竹の山	-	-	64%	15%			情報提供元光ビーコンからの距離が大きい
岩崎	46%	2%	34%	3%	○	○	重要交差点、情報提供元光ビーコンからの距離が大きい
浅間下	38%	2%	30%	4%	○	○	重要交差点、情報提供元光ビーコンからの距離が大きい
日進駅北	43%	3%	35%	7%	○	○	重要交差点、情報提供元光ビーコンからの距離が大きい
愛知警察署南	38%	8%	33%	10%	○	○	重要交差点、情報提供元光ビーコンからの距離が大きい
知々釜南	41%	4%	33%	3%	○	○	重要交差点、情報提供元光ビーコンからの距離が大きい
清水ヶ根	51%	17%	-	-			情報提供元光ビーコンからの距離が大きい

光ビーコンによる信号情報提供は、信号制御パラメータの変動が多い交差点や情報提供元の光ビーコンからの距離が大きい交差点等で誤差が発生していることが確認された。

これは、光ビーコンによる信号情報提供は、信号制御機における制御パターンの変更が生じうることを考慮し、灯色の切り替わりタイミングの情報が幅を持って提供される仕様となっていることが要因と考えられる。

3.2 重要交差点での情報補完率（有効支援率）の検証

3.2.1 測定の概要

光ビーコンの配信情報には、概ね4～8交差点分の路線信号情報が含まれているが、光ビーコンから交差点に到達する前に有効期間が切れてしまう場合がある。そこで、より広域に通信できる700MHz帯の電波によるITS無線路側機からの情報を送信することにより、光ビーコンによるサービスが提供できない交差点においても信号情報を提供することを検討している。こうした状況をITS無線路側機が光ビーコンによるサービスを「補完」していると考えられる。

今回の研究では、ITS無線路側機の効果と、評価システムで取得したデータを基に算出した重要交差点における補完率により評価した。

重要交差点を対象とした理由は、MODERATO制御を行っており、スプリットの変動が大きいことから、補完の効果が明確化し易いためである。

図3.2.1「赤信号の提供時間（ITS無線路側機及び光ビーコンでそれぞれ10.8秒と9.8秒の例）」及び表3.2.1-1「運転者記入シート例（×は現示とあっていない場合）」は、取得したデータの例である。これらの見方は、次の通りである。

図3.2.1「赤信号の提供時間（ITS無線路側機及び光ビーコンでそれぞれ10.8秒と9.8秒の例）」は、HMIの写真である。この写真では、岩崎の交差点まで37mの地点において、赤信号の残秒数が、ITS無線路側機からの情報では10.8秒、光ビーコンからの情報では9.8秒であったことを示している。

表3.2.1-1「運転者記入シート例」は、ITS無線路側機と光ビーコンのそれぞれについて、交差点通過時において、情報と実際の表示が一致していたか否かを記入したシートである。○は一致、×は不一致を示す。したがって、ITS無線路側機の欄が○で光ビーコンの欄が×であれば、前者が後者を補完したことになる。表3.2.1-1では、重要5交差点（知々釜南、愛知警察署南、日進駅北、浅間下、岩崎）の内、4交差点で補完が起きたことが確認できる。

なお、補完の効果の評価は、次の方法によった。

繰り返し走行する中で、重要交差点で補完が起きた時には+1点し、その集計でどの程度支援できたかを評価する。

表3.2.1-2「光ビーコンではサービスインできなかった例」は、光ビーコンのみでは有効期間が切れ、支援できなかった例を示している。赤丸で囲っている欄の数値が他の欄に比べて非常に小さいことでそれが分かる。



図 3.2.1 赤信号の提供時間 (ITS 無線路側機及び光ビーコンでそれぞれ 10.8 秒と 9.8 秒の例)

表 3.2.1-1 運転者記入シート例

運転者: A

交差点名	通過時刻	TCM(両車)通過時刻	カメラコン通過時刻	備考欄
清水ヶ根	14:59	-	-	
香木台四丁目	-	-	○	
香木台三丁目	-	-	×	
深池南	-	-	○	
深池	-	-	○	
知々益南	15:04	○	×	
知々益北	-	-	-	
北蚊谷	-	-	○	
愛知警察署南	15:05	○	×	
愛知警察署北	-	-	-	
枯木	-	-	○	
栄南	-	-	○	
日進駅南	-	-	×	
日進駅西	-	-	○	
日進駅北	15:06	○	×	
折戸寺脇	-	-	×	
立寺山	-	-	-	経由リコール
溪間下	15:09	○	×	
日進市役所東	-	-	○	
本郷町流	-	-	○	
日進消防南	-	-	○	
白山	-	-	○	
岩崎	15:12	○	○	
岩崎城北	-	-	-	
弁天池南	-	-	○	
弁天池北	-	-	○	
岩崎竹ノ山	15:17	-	○	

(通過時刻) ○：一致した、×：一致しない、-：表示なし

(トリップメーターに表示される場合のみ記入、(検閲場所)でトリップリセットする)

平均燃費	15.3 km/L
走行燃費	91.00 m
走行時間	17 分
ストップ時間	分
停止回数	5 回

(給油時：走行 km/給油 L)

トリップメーターで測定

17分

28 km/h

表 3.2.1-2 光ビーコンではサービスインできなかった例

光ビーコン：信号情報提供元と提供情報

交差点名	南進距離	↓南進1	サイクル長		青開始時間		青終了時間		情報有効時間	
			最小	最大	最小	最大	最小	最大	1	2
横道	0	不明								
山越	243	↓横道	110	110	0	0	56	56	-169.9	130.1
山野田東	742	↓横道	110	110	0	0	66	66	-169.9	130.1
山野田	1051	↓横道	110	110	0	0	59	59	-169.9	130.1
竹の山	0/1421	↓横道	110	110	0	0	45	45	-169.9	130.1
岩崎北	122	↓竹の山	110	110	0	0	59	59	-202.7	7.3
岩崎竹ノ山北	277	↓竹の山	110	110	0	0	49	49	-202.7	7.3
岩崎竹ノ山	0/614	↓竹の山	110	110	0	0	49	49	-202.7	7.3
井天池北	331	↓岩崎竹ノ山	140	140	0	0	83	83	-88.3	211.7
井天池南	706	↓岩崎竹ノ山	140	140	0	0	73	73	-88.3	211.7
岩崎北	896	↓岩崎竹ノ山	140	140	0	0	98	98	-88.3	211.7
岩崎	0/1230	↓岩崎竹ノ山	140	140	0	0	70	70	-88.3	211.7
白山	366	↓岩崎	160	160	0	0	66	66	-181.5	118.5
日進消防南	791	↓岩崎	120	120	0	0	78	78	-181.5	118.5
本郷町流	1009	提供なし								
日進市役所東	1228	↓岩崎	120	120	0	0	74	74	-181.5	118.5
浅間下	0/1453	↓岩崎	120	120	0	0	50	50	-181.5	118.5
笠寺山	508	提供なし								
折戸寺脇	903	↓浅間下	96	110	0	0	53	62	-151.1	148.9
日進駅北	1123	↓浅間下	96	110	0	0	35	41	-151.1	148.9
日進駅西	1307	↓浅間下	110	110	0	0	63	63	-151.1	148.9
日進駅南	1525	↓浅間下	110	110	0	0	67	67	-151.1	148.9
栄南	1786	↓浅間下	96	110	0	0	54	63	-151.1	148.9
枯木	2018	↓浅間下	110	124	0	0	62	71	-151.1	148.9
愛知警察署北	2281	提供なし								
愛知警察署南	0/2503	↓浅間下	110	110	0	0	49	49	-151.1	148.9
北杖谷	295	↓愛知警察署南	110	110	0	0	63	63	-122.6	177.4
知々釜北	513	提供なし								
知々釜南	562	↓愛知警察署南	150	150	0	0	60	60	-122.6	177.4
深池	1647	↓愛知警察署南	120	120	0	0	64	64	-122.6	177.4
深池南	2015	↓愛知警察署南	120	120	0	0	80	80	-122.6	177.4
喜木台三丁目	2429	↓愛知警察署南	120	135	0	0	74	84	-122.6	177.4
喜木台四丁目	2842	↓愛知警察署南	120	120	0	0	74	74	-122.6	177.4
清水ヶ根	3108	↓愛知警察署南	120	120	0	0	42	42	-122.6	177.4
清水ヶ根南		提供なし								
神明北		提供なし								
神明		提供なし								

3.2.2 測定結果

ITS 無線路側機の情報補完率について、測定結果は以下のとおりであった。

表 3.2.2-1 ITS 無線路側機による情報補完率（南進 第1サイクル）

交差点名	通信メディア	情報提供率	有効期間切率	有効支援数	有効期間切数
岩崎	ITS 無線路側機	100%	0%	84	0
	光ビーコン	41%	59%	35	49
	補完率(59%)				
浅間下	ITS 無線路側機	100%	0%	84	0
	光ビーコン	27%	73%	23	61
	補完率(73%)				
日進駅北	ITS 無線路側機	100%	0%	84	0
	光ビーコン	37%	63%	31	53
	補完率(63%)				
愛知警察署南	ITS 無線路側機	100%	0%	84	0
	光ビーコン	35%	65%	29	55
	補完率(65%)				
知々釜南	ITS 無線路側機	100%	0%	84	0
	光ビーコン	33%	67%	28	56
	補完率(67%)				

表 3.2.2-2 ITS 無線路側機による情報補完率（南進 第2サイクル）

交差点名	通信メディア	情報提供率	有効期間切率	有効支援数	有効期間切数
岩崎	ITS 無線路側機	100%	0%	86	0
	光ビーコン	28%	72%	24	62
	補完率(72%)				
浅間下	ITS 無線路側機	100%	0%	86	0
	光ビーコン	18%	82%	15	71
	補完率(82%)				
日進駅北	ITS 無線路側機	100%	0%	86	0
	光ビーコン	26%	74%	22	64
	補完率(74%)				
愛知警察署南	ITS 無線路側機	100%	0%	86	0
	光ビーコン	28%	72%	24	62
	補完率(72%)				
知々釜南	ITS 無線路側機	100%	0%	86	0
	光ビーコン	29%	60%	25	61
	補完率(71%)				

表 3.2.2-3 ITS 無線路側機による情報補完率（北進 第1サイクル）

交差点名	通信メディア	情報提供率	有効期間切率	有効支援数	有効期間切数
知々釜南	ITS 無線路側機	100%	0%	85	0
	光ビーコン	29%	71%	25	60
	補完率(71%)				
愛知警察署南	ITS 無線路側機	100%	0%	85	0
	光ビーコン	40%	60%	34	51
	補完率(60%)				
日進駅北	ITS 無線路側機	100%	0%	85	0
	光ビーコン	39%	61%	33	52
	補完率(61%)				
浅間下	ITS 無線路側機	100%	0%	85	0
	光ビーコン	25%	75%	21	64
	補完率(75%)				
岩崎	ITS 無線路側機	100%	0%	85	0
	光ビーコン	33%	67%	28	57
	補完率(67%)				

表 3.2.2-4 ITS 無線路側機による情報補完率（北進 第2サイクル）

交差点名	通信メディア	情報提供率	有効期間切率	有効支援数	有効期間切数
知々釜南	ITS 無線路側機	100%	0%	87	0
	光ビーコン	25%	75%	22	65
	補完率(75%)				
愛知警察署南	ITS 無線路側機	100%	0%	87	0
	光ビーコン	28%	72%	24	63
	補完率(72%)				
日進駅北	ITS 無線路側機	100%	0%	87	0
	光ビーコン	25%	75%	22	65
	補完率(75%)				
浅間下	ITS 無線路側機	100%	0%	87	0
	光ビーコン	20%	80%	18	69
	補完率(80%)				
岩崎	ITS 無線路側機	100%	0%	87	0
	光ビーコン	29%	71%	25	62
	補完率(71%)				

サイクル1、サイクル2を合算すると、情報補完率は以下のとおりであった。

表 3.2.2-5 ITS無線路側機による情報補完率（南進／路線全体）

交差点名	有効支援率		ITS無線路側機による補完率
	光ビーコン	ITS無線路側機併用	
弁天池北	76%	76%	—
弁天池南	75%	75%	—
岩崎城北	59%	59%	—
岩崎	35%	100%	65%
白山	71%	71%	—
日進消防南	73%	73%	—
日進市役所東	64%	64%	—
浅間下	22%	100%	78%
折戸寺脇	59%	59%	—
日進駅北	31%	100%	69%
日進駅西	61%	61%	—
日進駅南	51%	51%	—
栄南	54%	54%	—
枯木	55%	55%	—
愛知警察署南	31%	100%	69%
北蚊谷	59%	59%	—
知々釜南	31%	100%	69%
深池	63%	63%	—
深池南	65%	65%	—
春木台三丁目	66%	66%	—
春木台四丁目	59%	59%	—
清水ヶ根	51%	51%	—
有効支援率 （全体）	55%	71%	

表 3.2.2-6 ITS 無線路側機による情報補完率（北進／路線全体）

交差点名	有効支援率		ITS 無線路側機による補完率
	光ビーコン	ITS 無線路側機併用	
春木台四丁目	80%	80%	—
春木台三丁目	75%	75%	—
深池南	68%	68%	—
深池	64%	64%	—
知々釜南	27%	100%	73%
北蚊谷	58%	58%	—
愛知警察署南	32%	100%	68%
枯木	65%	65%	—
栄南	70%	70%	—
日進駅南	61%	61%	—
日進駅西	65%	65%	—
日進駅北	23%	100%	738%
折戸寺脇	61%	61%	—
浅間下	23%	100%	77%
日進市役所東	79%	79%	—
日進消防南	79%	79%	—
白山	79%	79%	—
岩崎	30%	100%	70%
岩崎城北	44%	44%	—
弁天池南	73%	73%	—
弁天池北	71%	71%	—
岩崎竹の山	64%	64%	—
有効支援率 (全体)	59%	75%	

ITS 無線路側機を設置した重要交差点 5 箇所全てについて、それぞれ補完率が 50%以上となった。路線全体の有効支援率としては、従来の光ビーコンでの支援では平均 57%だったのに対し、重要交差点 5 箇所で ITS 無線路側機を採用した場合は平均 73%に改善した。

3.3 急減速の抑制について

ITS 無線路側機により信号情報の精度及び有効支援率が向上し、運転中の急減速が減少する効果が期待される。本実験では、加速度 $-0.3G$ の急減速を抽出し、急減速の発生回数の変化について検証を行った。

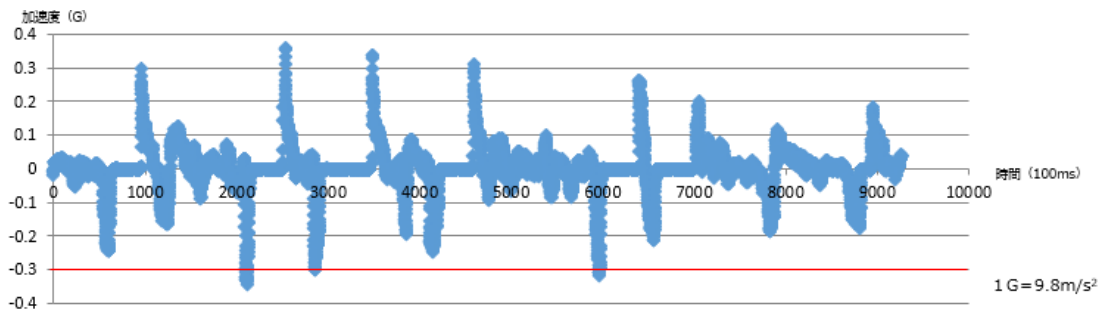


図 3.3-1 加速度分布（赤信号による停止の際、-0.3G に達する急減速が発生している例）

表 3.3-1 は、光ビーコンからの信号情報提供を受けて走行したパターンと、光ビーコン及び ITS 無線路側機から信号情報提供を受けて走行したパターンで急減速の発生率を比較した結果を示す。結果から、ITS 無線路側機の併用により、急減速の回数が低減することが確認された。

表 3.3-1 急減速の発生率の比較

		走行パターン	急減速数平均	急減速確率	低減率
全体	①	南進 光ビーコンのみ	0.35	1.35%	21.40%
	②	光ビーコン・ITS無線路側機併用	0.28	1.06%	
	③	北進 光ビーコンのみ	0.34	1.30%	14.80%
	④	光ビーコン・ITS無線路側機併用	0.29	1.11%	
第1サイクル	①	南進 光ビーコンのみ	0.33	1.25%	0.00%
	②	光ビーコン・ITS無線路側機併用	0.33	1.25%	
	③	北進 光ビーコンのみ	0.25	0.96%	10.00%
	④	光ビーコン・ITS無線路側機併用	0.23	0.87%	
第2サイクル	①	南進 光ビーコンのみ	0.38	1.44%	40.00%
	②	光ビーコン・ITS無線路側機併用	0.23	0.87%	
	③	北進 光ビーコンのみ	0.43	1.63%	17.60%
	④	光ビーコン・ITS無線路側機併用	0.35	1.35%	

停止対象交差点数=26

3.4 旅行時間、停止時間等の比較

試験用車載機で取得した GPS 情報から各試行の旅行時間、停止時間、平均車速、停止時間割合を算出し、比較したところ、統計的に有意な結果は得られなかった。

表 3.4.1 ならびに表 3.4.2 にサイクル毎の結果を示す。

表 3.4.1 第 1 サイクル結果

走行パターン	旅行時間 (分)	停止時間 (分)	平均車速 (km/h)	停止時間割合
①南進(光ビーコンのみ)	16.44	4.3	29.9	0.261
②南進 (ITS 無線路側機+光ビーコン)	16.30	4.3	30.0	0.260
③北進 (光ビーコンのみ)	16.70	4.4	29.2	0.263
④北進 (ITS 無線路側機+光ビーコン)	16.30	4.0	30.2	0.245

表 3.4.2 第 2 サイクル結果

走行パターン	旅行時間 (分)	停止時間 (分)	平均車速 (km/h)	停止時間割合
①南進(光ビーコンのみ)	16.25	4.3	30.00	0.264
②南進 (ITS 無線路側機+光ビーコン)	16.46	4.5	29.67	0.273
③北進(光ビーコンのみ)	16.95	4.4	28.70	0.259
④北進 (ITS 無線路側機+光ビーコン)	17.39	4.3	28.45	0.260

3.5 燃料消費量の改善について

ITS 無線路側機の併用により急減速が低減するなどして、燃費が改善する効果が期待される。以下の考え方で走行エネルギーを算出し比較することで燃費の改善効果について検証を行う。

(1) 算出方法

走行抵抗に移動距離を乗じることで走行エネルギーを算出することができる。

$$\text{仕事[J]} = \text{走行抵抗} \times \text{移動距離} \quad (1 \text{ J} = 3600 \text{ Wh})$$

走行抵抗の算出方法は以下のとおりである。

$$\text{走行抵抗[N]} = \text{転がり抵抗} + \text{空気抵抗} + \text{勾配抵抗} + \text{加速抵抗}$$

転がり抵抗

$$F_r[\text{N}] = g \times \mu \times W$$

g : 重力加速度 [m/s^2]

μ : 転がり抵抗係数 (一般的な道路路面は 0.015 程度)

W : 重量 [kg]

(※) 但し 減速時はゼロとみなす。

空気抵抗

$$F_a[\text{N}] = 1/2 \times \rho \times C_d \times A \times v^2$$

ρ : 空気の密度 [kg/m^3] (0°C 、 1atm の空気密度は 1.293)

C_d : 空気抵抗係数 (乗用車は 0.3 程度)

A : 自動車の正面投影面積 [m^2]

v : 進行方向における自動車の空気に対する相対速度 [m/s]

勾配抵抗

$$F_h[\text{N}] = g \times W \times \sin \theta$$

g : 重力加速度 [m/s^2]

W : 重量 [kg]

(※) 但し 平坦路主体の路線なので無視する

加速抵抗

$$F_h[\text{N}] = (1 + \alpha) \times W \times \beta$$

W : 重量 [kg]

α : 回転部分の慣性質量 (MT車トップギア/CVTで 0.08 程度)

β : 車両加速度 [m/s^2]

(2) 結果

検証を行ったものの、統計的に有意な結果は得られなかった。燃料消費量は関係するパラメータが多いことから有意な結果に結び付き難かったものと考えられる。結果は以下の表のとおりである。

表 3.5.1 走行エネルギー量 (第1サイクル)

走行パターン	走行エネルギー総量	走行エネルギー平均
①南進(光ビーコンのみ)	7560.0	175.8 (43回走行)
②南進(ITS無線路側機+光ビーコン)	6402.5	177.8 (36回走行)
③北進(光ビーコンのみ)	7701.0	179.1 (43回走行)
④北進(ITS無線路側機+光ビーコン)	7818.6	177.7 (44回走行)

表 3.5.2 走行エネルギー量 (第2サイクル)

走行パターン	走行エネルギー総量	走行エネルギー平均
①南進(光ビーコンのみ)	7968.7	176.6 (44回走行)
②南進(ITS無線路側機+光ビーコン)	7514.0	174.7 (43回走行)
③北進(光ビーコンのみ)	7825.0	186.3 (42回走行)
④北進(ITS無線路側機+光ビーコン)	7867.6	178.8 (43回走行)

4. 結果に対するいくつかの考察

4.1 結果の有意性について

走行試験の結果を旅行時間、停止時間、平均車速、燃料消費量、急減速回数の観点から評価したが、TSPSの情報提供では改善することができない、路線を通じた交通流など、大域的な状況が大きく影響する旅行時間、停止時間、平均車速、燃料消費量については、有意な効果が見出せなかった。

一方、局所的な状況が決定的な要素となり提供情報が直結する急減速回数については、有意に効果があることが分かった。こうしたことから、TSPSによる情報提供、ITS無線路側機による補完は有効であると判断する。

なお、旅行時間、停止時間、平均車速、燃料消費量については、実験の母数を大きくすることにより、より有意な効果を見出すことができるものとする。

4.2 オフセット追従について

提供情報の有効期間内でも、実際の現示と同情報の間にわずかなズレが生じる場合があった。これは、現在の信号制御の方式(*)に由来するものであり、実験前に予想していたものであったが、運転支援に影響を与える可能性があるため実態を調査した。その結果、本事象が1日を通して高い確率の頻度で発生している場合があることが分かった。

図4.2.1はその例である。赤枠で囲った現示について、サイクル開始時刻にサイクル長を和した値(提供情報の値に対応。)が次のサイクル開始時刻と合っていない。

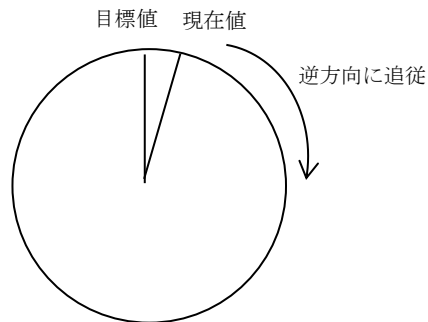
例えば、開始時刻8:21:25 サイクル長120秒であれば、次のサイクル開始時刻は8:23:25となるはず。しかしながら、8:23:24秒となっている。そして、上記の補正を行うために、8:27:26開始のサイクルで追従を実施。2つ目の赤枠も同様の結果となっている。

サイクル開始時間 月/日 時:分:秒	サイクル (秒)	制御状態	ステータス	追従量 (秒)	動作レベル
02/06 08:09:25	120		0	+ 1	遠隔動作
02/06 08:11:26	120		0	0	遠隔動作
02/06 08:13:26	119		0	- 1	遠隔動作
02/06 08:15:25	120		0	0	遠隔動作
02/06 08:17:25	120		0	0	遠隔動作
02/06 08:19:25	120		0	0	遠隔動作
02/06 08:21:25	120		0	0	遠隔動作
02/06 08:23:24	120		0	0	遠隔動作
02/06 08:25:25	120		0	0	遠隔動作
02/06 08:27:26	119		0	- 1	遠隔動作
02/06 08:29:25	120		0	+ 1	遠隔動作
02/06 08:31:26	120		0	0	遠隔動作
02/06 08:33:26	119		0	- 1	遠隔動作
02/06 08:35:25	120		0	0	遠隔動作
02/06 08:37:25	120		0	0	遠隔動作
02/06 08:39:25	120		0	0	遠隔動作
02/06 08:41:25	120		0	0	遠隔動作
02/06 08:43:25	120		0	0	遠隔動作
02/06 08:45:25	120		0	0	遠隔動作

図 4.2.1 信号機とのサイクル開始時刻がずれる場合

* 現在の信号制御の方式

現在の信号制御（テーブル制御方式）は、中央装置からは目標値を指令し、最終的な秒数の決定は信号制御機で行われているが、目標値と実行中の秒数のずれを解消させるためにオフセット追従を行う。ただし、許容されるオフセット追従の追従幅及び追従方向は中央装置が指定する。



方向指定なしを指定した場合には、信号制御機は、上記の範囲内で、早く目標値に一致するように追従を行うが、まれに逆の方向に追従を行ってしまう。これにより、路線信号情報の情報と実際の信号制御機の情報に差異が発生し有効期間が切れた場合にはサイクル数分のずれが加算されることになる。

5. ガイドライン

今後、ガイドラインをまとめることとしたい。

光ビーコンの設置位置を工夫することで路線信号情報を最大有効活用できる設置ガイドラインの作成ならびに光ビーコンだけでは情報を有効活用できないケースの洗い出し、重要交差点での ITS 無線路側機の設置が不可欠な条件の洗い出しの観点でまとめる。

また、光ビーコンの設置位置を工夫することで有効期間をより最大活用できるのではないかという観点と光ビーコンの設置ではサービスを充たすことができない条件を提示するという観点でまとめを行いたい。

次に何点かその骨子となる内容を記載した。

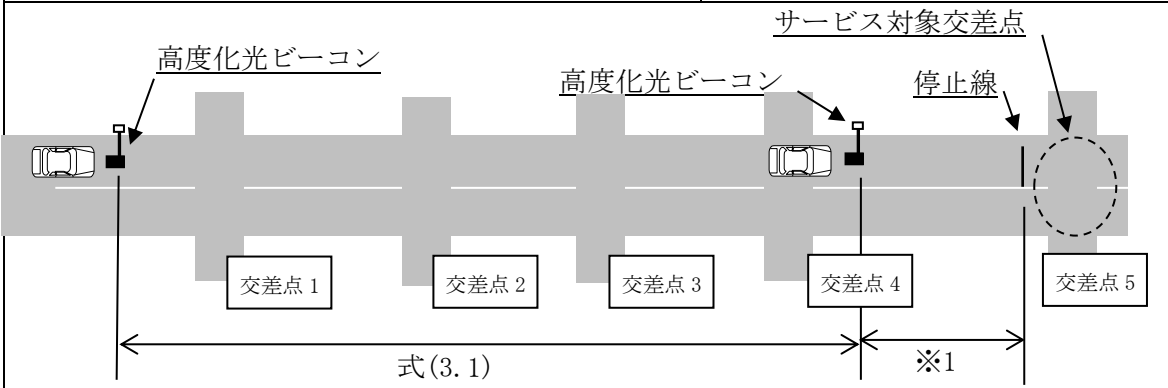
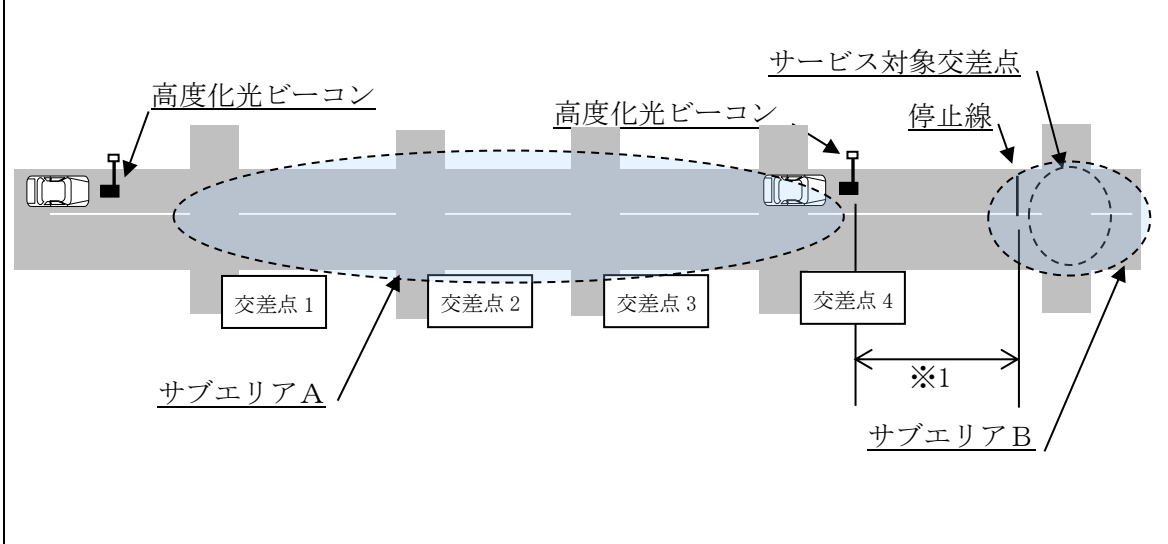
5.1 光ビーコンの最適な設置位置検討

「信号情報活用運転支援システムシステム定義書（版2）」（B1U00720）に記載されている光ビーコンの設置位置を踏まえた検討結果を表5.1-1に示す。

表 5.1-1 光ビーコン設置位置（1/2）

No	設置条件	推奨設置位置
1	AMIS併用時 サービス起点位置の重要交差点の路線信号情報を提供しない場合	重要交差点の流出部（30m） ※1（本表の図は、愛知県モデル地点での設置例）
2	サービス起点位置の重要交差点の路線信号情報を提供する場合	重要交差点の流入路（300m）・・・ 信号通過支援、赤信号減速支援を考慮 ※1

表 5.1-1 光ビーコン設置位置 (2/2)

No	設置条件	推奨設置位置
3	情報提供対象路線の距離が、式(3.1)より長い場合 (オフセット更新周期/2) × 速度・式(3.1)	式(3.1)で算出される境界位置※1
 <p>速度は、平均速度を基準とするが、交差点における停止等を考慮し設定すること。</p>		
4	オフセット更新タイミングが異なるサブエリアの場合 (中央装置の構成による場合、個別の制御方式による場合等)	サブエリア間の境界位置 ※1の範囲に設置
		

信号情報活用運転支援システムの支援に必要な道程距離の参考値を表 5.1-2 に示す。

表 5.1-2 支援に必要な道程距離(参考値)

サービス名	走行速度(Km/h)	必要な距離(m)
信号通過支援	40	103.88
	50	140.79
	60	182.07
赤信号減速支援	40	163.02
	50	270.21
	60	343.50
信号見落とし防止支援	40	103.88
	50	140.79
	60	182.07
発進遅れ防止支援/アイドリングストップ支援	—	64.00

こうした骨子を今回の実験エリアに適用すると、次のような結果になる。

まず、実験エリアの交差点間距離は表 5.1-3 に示す通りである。

表 5.1-3 実験エリアの交差点間距離

	交差点名	距離	ITS 無線路側機	光ビーコン (南進)	光ビーコン (北進)	重要交差点
	竹の山	0		↓	↑	
	岩崎北	230				
	岩崎竹ノ山北	160				
	岩崎竹ノ山	340		↓	↑	
	弁天池北	410				
	弁天池南	375				
	岩崎城北	185				
①	岩崎	340	○	↓	↑	○
	白山	420				
	日進消防南	420				
	本郷町流	220				
	日進市役所東	220				
②	浅間下	225	○	↓	↑	○
	笠寺山	570				
	折戸寺脇	395				
③	日進駅北	225	○			○
	日進駅西	190				
	日進駅南	215				
	栄南	260				
	枯木	235				
	愛知警察署北	255				
④	愛知警察署南	230	○	↓	↑	○
	北蚊谷	350				
	知々釜北	225				
⑤	知々釜南	50	○			○
	深池	1105				
	深池南	365				
	春木台三丁目	420				
	春木台四丁目	420				
	清水ヶ根	270		↓	↑	
	清水ヶ根南	215				

愛知県の今回のモデル地点オフセット更新間隔は5分間隔であり半分の150秒を最大有効期間とした場合に実際に測定した平均速度が8m/sなので少なくとも重要交差点から1200m以内(8×150)の地点に光ビーコンが設置されていることが望ましい。

今回の路線では浅間下及び愛知南警察署で明らかに距離が長過ぎるため岩崎光ビーコンを300m下流に移設することが望ましい。また、例えば浅間下から下流方向では、愛知南警察署まで光ビーコンが設置されていないので日進北の出150m地点に光ビーコンを設置し

て、それ以降の交差点において、路線信号情報が有効期間内で提供できるようにすることが望ましい。

また、有効期間が切れても交通流の急激な変化がなく、信号制御パラメータが保持される時間帯であれば、光ビーコンでもその時間帯は有効に活用できることは当然であるが、スプリット自動生成などにより青信号の秒数が動的に変わる場合には秒数のずれが発生する（今回の路線では8秒ほどずれる）ので有効な活用は困難である。

したがって、信号情報のリアルタイムな更新頻度が低い交差点については、光ビーコンのみによる運用が可能であると思われる。

なお、また、各交差点間での通過所要時間などを統計的に求め、路線信号情報を配信する交差点の可否を精査することも必要であると考ええる。

5.2 ITS 無線路側機の活用について

今回の実験対象となった重要交差点では、ITS 無線路側機を設置することで有効支援率の改善や急減速の回数の改善などにおいて効果が見られた。重要交差点の位置付けから、ITS 無線路側機の設置場所として、最優先の対象と考えられる。更に次の4点が設置時の考慮点となる。

- 1) 光ビーコンで対応のできない、スプリット変動やオフセット追従が発生する交差点
- 2) 信号秒数の更新周期が短い交差点
- 3) 多現示地点において主従でスプリットをとりあう青信号の短い交差点
- 4) 右左折が多く、交通流が交錯する交差点(右折感応など)

なお、重要交差点で停止してしまうと、光ビーコンの場合には下流方面に走行する際にサービスを受けられなくなる可能性があるが、ITS 無線路側機の場合は、リアルタイムで正確な信号情報を提供するので安全な活用が期待できる。

また、その特性から、DSSS の配信情報を活用することで路線ではなく、複数方路型の路線信号情報を提供することも可能なので、今後の改良により主道路だけではなく従道路でもサービスが可能となると思われる。

6. まとめ

今回の調査研究を通じて、ITS 無線路側機の導入による光ビーコンに対する補完に効果があることが分かった。しかし、課題も多数残存している。今回の調査研究の成果を活かしていく上で、今後更に実施することが必要な研究項目について、まとめとして以下5項目記載する。

- (1) 複数の情報源（光ビーコン、ITS 無線路側機等）から得られた灯器の現示における切り替わりタイミングに違いが出た場合の信頼性に関する研究
- (2) 灯器の現示の変化を予測できる状況を提供したときのドライバーの行動に関する統計的研究
- (3) ドライバーへの情報提供タイミング等HMIの最適化に関する研究
- (4) ドライバーの心理の影響が排除できない本研究の状況と自動運転の状況の関連付けに関する研究
- (5) 信号情報提供が自動運転のアルゴリズムに与える影響に関する研究

なお、信号情報の提供は、色覚の関係から信号情報の視覚による認知に支障のあった方への課題となる可能性もあるので、そうした側面からの研究も望まれることを付言したい。

7. 謝辞

今回のモデル地点の選定及び実験の実施において多大なご協力をいただいた愛知県警様に感謝申し上げます。

また、中央装置で光ビーコンのデータ収集、時刻精度の調査等に協力いただいた交通管制中央装置の運用員の皆様、テストドライバーとして協力いただいた皆様にも感謝申し上げます。