

「戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）・自動走行システム」

次世代都市交通システムの正着制御に関する調査研究

報告書

— 概要版 —

2018年3月

一般財団法人 計量計画研究所

目次

- 1. 検討内容**
- 2. 誘導線デザイン案の検討**
- 3. ラボでの実験結果**
- 4. テストコースで実証を行う誘導線選定結果**
- 5. 一般ドライバーへの影響検証**
- 6. まとめ**

- 検討が進められているARTをバス停へ正着させる制御方法のうち、路面上に設置した誘導線に追従する方法は制御誤差も少ないが、誘導線は、バス専用レーン以外での設置も想定されており、一般車両の運転者が区画線等と混同する等の点が課題となっている。
- このような状況の中で、本検討では、テストコースに誘導線を設置し、一般ドライバーの運転挙動への影響や正着制御システムの認識率、制御誤差を検証する実証実験を実施し、ARTに設置するカメラで読み取り可能で、安全性が確保可能な正着誘導線を検討することを目的とする。

(2) 誘導線デザイン案の検討

- ・ 誘導線デザイン案の検討
- ・ ヒアリングに基づく関係者が合意する候補案の抽出
- ・ 候補案に係る認識率・制御誤差等の検証や一般ドライバーへの影響検証方法の立案

(2) 認識率・制御誤差等の検証

- ・ ラボにおける検証（コントラスト比の計測）
- ・ テストコースにおける検証（バス走行による認識率・正着誤差の計測）

バスが誘導線を認識できるか

(3) 一般ドライバーへの影響検証

- ・ モニターによる走行テストによる誘導線影響の検証

ドライバーが誤認しないか

(4) 取りまとめ

- ・ 検証結果を関係者で現場確認し、実装に向けた方策を見出す
- ・ 誘導線規格案として取りまとめ

(1) 事例調査（文献調査等）

- ・ 国内外の法定表示に関する情報の整理（維持管理等）

誘導線デザイン案候補として以下の6案を設定。

<案1：白>

- ・実証実験におけるリファレンスとして設定。



<案2：緑>

- ・法定線との混同を避けるため、線の色を緑とした案。色はカメラでの認識性を考慮して選択。



<案3：緑 - 色味違い>

- ・案2と異なる色味の緑。



<案4：注記(バス用)>

- ・バス用の標示であることを示すため、注記を路面に表示する案。
- ・文字の内容、方向等で複数案が考えられる。



<案5：注記(対称線)>

- ・誘導線により一般車が路肩側に引き寄せられないよう、反対側にも対称な線を追加する案。



<案6：矢羽根線>

- ・法定線との混同を避けるため、線の形状を矢羽線とした案。



以下のご意見を踏まえ、「法令適合」「システムの認識性」「施工性」「一般ドライバーの誤認可能性」の4点を評価項目として、誘導線デザイン案の検証を実施

	主なご意見
SIP (次都WG等)	<ul style="list-style-type: none">・一般ドライバーが表示の意味を誤って認識する、運転挙動に顕著な影響が生じる、等、の悪影響が無いことを確認する必要がある（一般ドライバーの誤認可能性）。・緑とした場合、白と比較してシステムの認識性の悪化が懸念される。・検証のリファレンスとして、可能であれば案1:白を行っておくことが望ましい。・矢羽線はドライバーが左に釣られるのを抑制する効果が期待できる。・車線はみ出し検知機能への影響も確認しておくべき。
警察庁	<ul style="list-style-type: none">・法定線と誤認する可能性のある表示は道路交通法に抵触する可能性がある(法令適合)。・色を法定線で使われる白・黄色以外の色とすること、もしくは形状を法定線とは明らかに異なる形状とすることが必要。
東京都	<ul style="list-style-type: none">・道路管理者としては、安全性に加えて、施工・維持管理のコストや工期も重要である（施工性）。・副次効果として、バス停付近での駐車抑制効果が得られるとより良い。

3 ラボでの実験結果

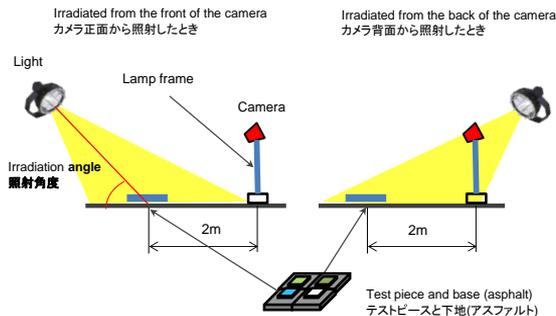
- 誘導線に使用する線の色、光などの条件を変更した場合に、カメラを通じて認識されるコントラスト比を計測
- 実験結果から「システムの認識性」を確認し、誘導線に使用する色等を選定

■ ラボでの実験条件の組み合わせ

テストピース	色	白、グリーンA、グリーンB、グリーンC、オレンジ、ピンク、紫、青	
	反射材	ガラスビーズ、AWT、ブライトグリップ	
	下地	アスファルト、ベンガラ、遮熱性舗装	
計測条件	日中	太陽光	朝日、日中、夕日（をライトで再現）
		照射方向	前方、後方照射、角度
	夜間	湿潤	乾燥、湿潤
		街路灯	街路灯あり、なし



反射材
3種



3 ラボでの実験結果

<ラボでの実証実験の結果>

■ 誘導線の色

- グリーンB、Aとも日中は白に近いコントラスト比が得られ、AよりBの方がコントラスト比が高めに計測される。

➤ 緑としてはグリーンBを選択

■ 反射材

- ガラスビーズ ≒ AWT > ブライトグリップ

※ AWT (高機能品)の価格は、ガラスビーズ(汎用)の1.5倍

➤ 比較的廉価な汎用材料が使用可能

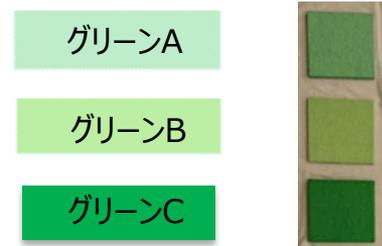
■ 下地舗装

- アスファルトに対しベンガラが約0.1低下
- 遮熱性舗装上では、誘導線白でもシステム認識不可となる

➤ 「アスファルト」、「ベンガラ」の下地色が望ましい

■ 夜間

- 白に比べてグリーンBでも約0.1~0.2低下
- 街路灯照度とコントラスト比の相関データから、認識できる照明の照度範囲を判定する予定。

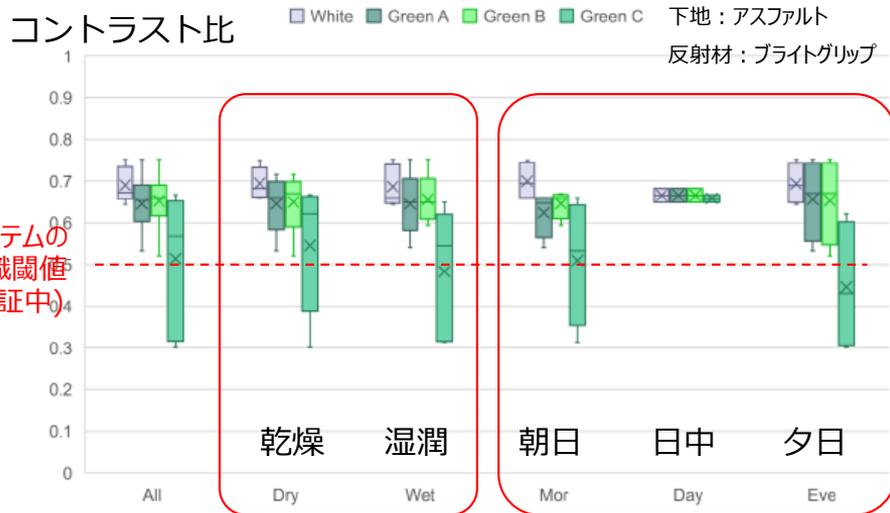


No	色	形状	システム認識性
案1	白	二重点線	◎
案2	緑 (グリーンA)	二重点線	△
案3	緑 (グリーンB)	二重点線	○
案4	緑 (グリーンB) 注記あり	二重点線	○
案5	緑 (グリーンB)	二重点線 (左右対称)	○
案6	緑 (グリーンB)	矢羽線	×

■ 代表結果

基礎性能評価：朝日/日中/夕日 + 乾燥/湿潤

Image contrast of candidate colors, grouped

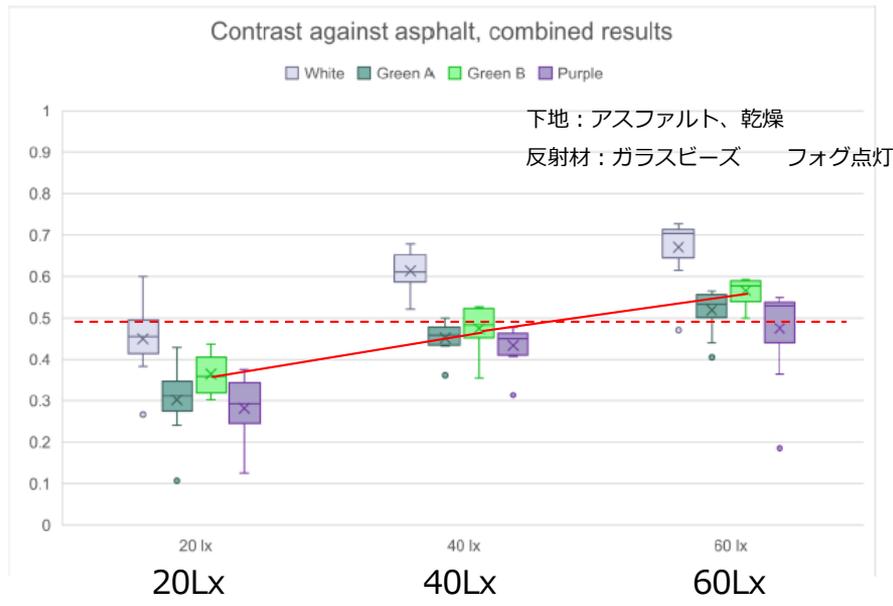


システムの認識閾値 (検証中)

乾燥・湿潤での差異は無し

朝日・夕日の場合、色に依る性能差が生じる

夜間ヘッドライト評価：街路灯照度の効果確認



- ・照度に従いコントラスト比も向上
- ・照度によってはシステム認識不可となる可能性有り

4 テストコースで実証を行う誘導線選定結果

2～4の結果を踏まえ、テストコースで実証を行う誘導線デザインは、案1(リファレンス)、案2、案4とする。

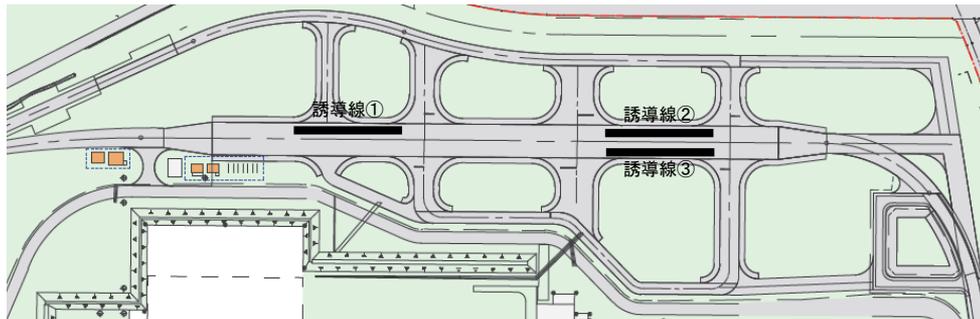
No	特徴	法令適合	システム認識性	施工性
1 リファレンス	白	×	◎	○
2	緑：グリーンA	○	△	○
3	緑：グリーンB	○	○	○
4	注記：バス用	○	○	○
5	注記：対称線	○	○	△
6	矢羽線	◎	×	△

- モニターを募集し、テストコースを走行してもらうことで、誘導線が一般ドライバーの走行状況へ与える影響の検証を行った。
- 実証実験の最終日には、SIP関係者、警察庁、警視庁、東京都等の関係者にて、現場現物を確認し、乗用車での試験走行、バスの正着制御の確認、誘導線選定に向けた議論も行った。

■実証実験の概要

日時	平成30年2月11日(日)～13日(火)の3日間
場所	一般財団法人日本自動車研究所(JARI)のV2X市街地コース 住所: 〒305-0822 茨城県つくば市苅間2530
実験項目	一般ドライバーへの影響検証
被験者	運転免許を所有する一般ドライバー(32名)
利用車両	トヨタ・カローラ

■JARIのV2X市街地コース(つくば市)の概要



■モニターの属性

	20歳代	30～50歳代	60歳以上
男性	7名	3名	6名
女性	7名	3名	6名

■ 誘導線の概要

誘導線の種類	誘導線イメージ	意図
誘導線① (緑)		法定線との混同を避けるため、線の色を緑とした案
誘導線② (白)		実証実験におけるリフレレンスとして設定
誘導線③ (緑・注記)		バス用の標示であることを示すため、注記を路面に表示する案

■ 誘導線① (緑)



■ 誘導線② (白)

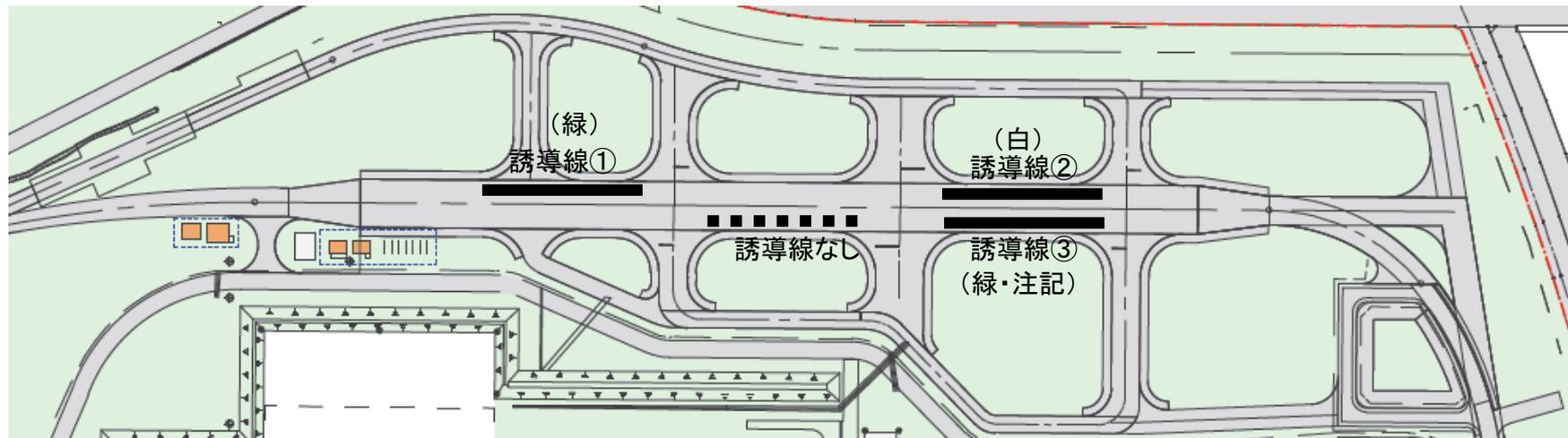


■ 誘導線③ (緑・注記)



- モニターを3グループに分けて、グループ毎に異なる誘導線からスタートした。
- アンケート調査は、各モニターに対し2回実施した。初回に誘導線を走行した後に1回目を実施し、その後、全誘導線を走行した後に2回目を実施した。

■ JARIのV2X市街地コース（つくば市）の概要と誘導線の設置箇



5 一般ドライバーへの影響検証 5-1 実証実験の概要

■ 検証項目

懸念される事象	評価項目	計測方法	評価基準
①ハンドル操作への影響 (例)誘導線側に寄って走行、ふらつき走行	横方向への変位量	車両側部からのビデオ撮影 (白線を撮影)	走行軌跡が大きく横ブレしていないこと
②誘導線の影響によるブレーキ操作への影響 (例)急ブレーキ	速度の変化	GPS	急激な減速が発生していないこと
③ドライバーへの心理的な影響 (例)誘導線の印象	運転者の意識	アンケート調査	

※この他、誘導線以外の要因による異常値を除外できるように、車内にビデオを設置し、運転者の視線、ハンドル操作状況を撮影

■ 利用車両



■ ビデオ(車両側部)



■ ビデオ(車内)

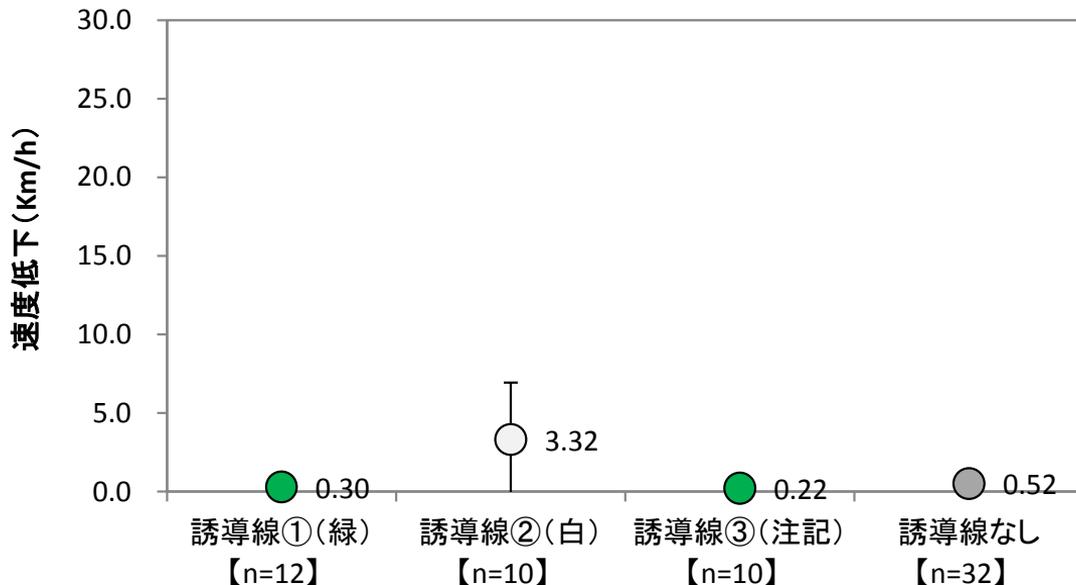


■ GPS



- 最初（初見）の誘導線を走行した際の速度の変化幅は下記のとおり。
 - 誘導線入口部での速度と誘導線通過時の最小速度により、誘導線付近での走行速度のブレ幅を確認すると、各誘導線とも大きな変動の違いはみられない。

■ 誘導線通過による速度低下（誘導入口部の速度－誘導線通過時の最小速度）（標準偏差）



※エラーバーは標準偏差を示す。

- 最初の誘導線を走行した際の状況は被験者別にみると、右表のとおり。
- 最大減速度を確認すると、何れの誘導線、被験者においても、**急減速はみられない**
※急減速を0.3Gと定義
- 「誘導線①（緑）」「誘導線②（白）」「誘導線③（注記）」とも、**誘導線通過時に、大きな速度低下はみられない**
- 速度低下が大きい二人の速度変化の状況を、次頁で確認した

■被験者別の走行速度

No	走行した誘導線	性別	年齢階層	最大減速度 (G)		速度 (km/h)		速度低下 (km/h)	
				誘導線区間	誘導線なし区間	誘導線区間 入口部	誘導線なし区間 入口部	誘導線区間	誘導線なし区間
1	誘導線① (緑)	男性	20歳代	0.06	0.05	36.5	44.1	1.8	0.1
2			0.06	0.06	35.9	34.3	0.0	0.0	
3			0.04	0.08	45.8	43.3	0.0	0.0	
4		30歳代~50歳代	0.05	0.08	40.6	41.8	0.1	1.4	
5		60歳代以上	0.04	0.05	25.6	37.1	0.0	0.0	
6		0.02	0.12	40.0	42.2	0.1	0.1		
7	女性	20歳代	0.01	0.07	46.4	41.4	0.0	0.0	
8			0.02	0.04	35.8	33.7	0.0	0.0	
9			0.05	0.07	40.9	50.8	0.2	0.2	
10		30歳代~50歳代	0.09	0.07	39.5	40.7	1.4	0.2	
11		60歳代以上	0.11	0.07	33.6	42.0	0.0	1.1	
12		0.05	0.11	36.5	36.6	0.0	0.2		
13	誘導線② (白)	20歳代	0.11	0.03	39.0	38.3	2.6	0.2	
14			0.02	0.05	35.7	39.1	0.0	0.3	
15			男性 30歳代~50歳代	0.11	0.07	29.9	35.7	9.3	0.7
16		60歳代以上	0.09	0.08	37.6	38.2	5.1	3.2	
17		0.05	0.04	35.9	38.4	0.0	0.0		
18		20歳代	0.10	0.09	35.6	38.7	6.5	0.8	
19	誘導線③ (注記)	女性	20歳代	0.09	0.04	33.0	37.5	8.0	0.1
20			30歳代~50歳代	0.09	0.07	34.9	39.4	1.5	1.1
21			60歳代以上	0.07	0.09	39.4	41.5	0.1	1.5
22		0.06	0.06	41.0	40.0	0.0	0.6		
23		20歳代	0.07	0.06	30.5	43.1	0.0	0.5	
24		30歳代~50歳代	0.06	0.08	33.3	42.3	0.0	2.2	
25	男性	60歳代以上	0.01	0.08	40.7	46.0	0.1	0.6	
26			0.05	0.07	38.3	44.2	0.3	0.4	
27			0.07	0.12	36.6	50.7	0.0	0.1	
28		20歳代	0.06	0.03	37.0	49.9	0.0	0.0	
29		30歳代~50歳代	0.01	0.04	29.4	38.3	0.0	0.0	
30		60歳代以上	0.09	0.05	34.5	38.5	0.0	0.0	
31	0.03	0.08	42.9	44.8	0.4	0.6			
32									

※誘導線なし区間の速度低下の最大値

※1:減速度 = [(2地点の速度差km/h)/(2地点の時間差sec)]/(1G=9.8m/s²)

※2:「映像記録型ドライブレコーダーを活用した交通安全教育マニュアル(警察庁)」には、ヒヤリハットの検出値を0.3Gとした場合、ヒヤリハットの喪失率は0%となることが示されており、本検討でも、「ヒヤリハットの基準値」を「0.3G」と設定。

速度低下の度合いが大きい被験者の誘導線走行時の速度分布を次頁で確認する

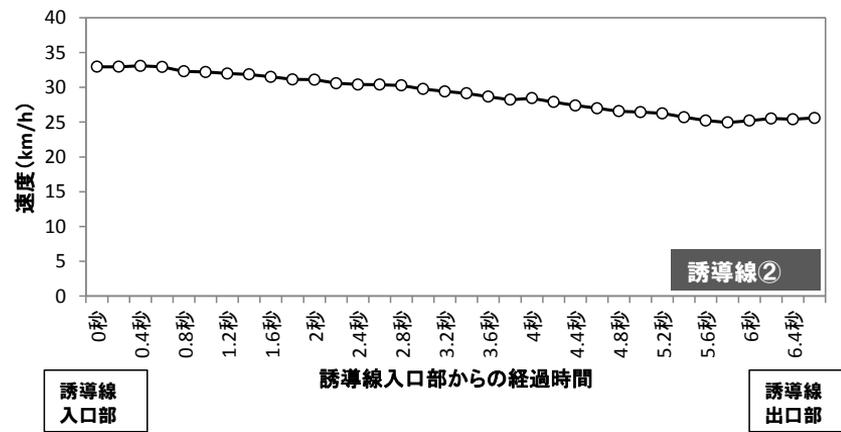
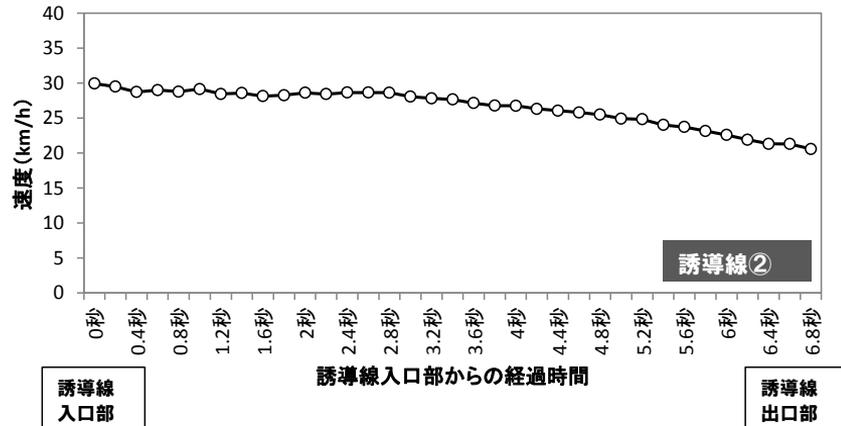
<速度変化の例>

1) 被験者15 : 減速量9.3km/h 加速度0.04G
(誘導線② (白線))

- 誘導部入口部から緩やかに速度が低下しており、アクセルを緩めて走行していたものと考えられる。
- 走行後のアンケートでは、「ブレーキ操作は行っていない」と回答している。

2) 被験者19 : 減速量8.0km/h
(誘導線② (白線))

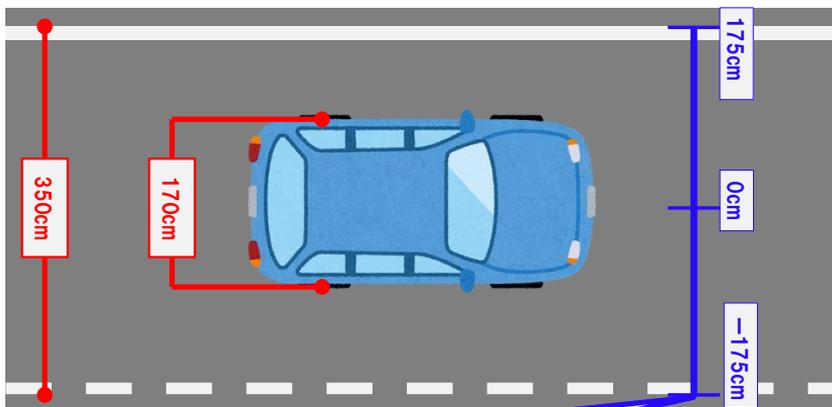
- 誘導部入口部から緩やかに速度が低下しており、アクセルを緩めていたものと考えられる。
- 走行後のアンケートでは、「線の影響ではなく、前方の車線が減少するのが見えたため減速した。」と回答している。



5 一般ドライバーへの影響検証 5-3 ハンドル操作への影響

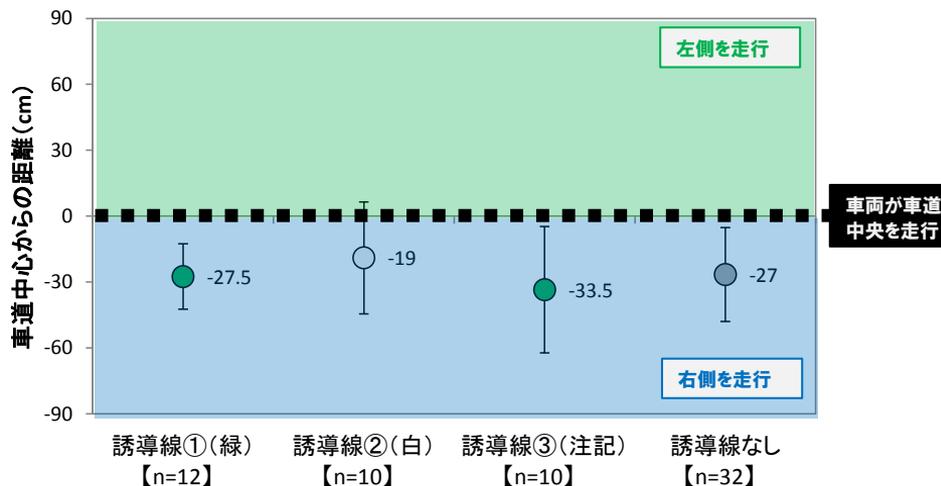
- 最初の誘導線を走行した際の『入口部の走行位置』は下記のとおり。
 - 誘導線間で大きな違いはみられず、全体的に右寄りで走行している傾向がある。
 - 誘導線区間と誘導線なし区間の間に大きな違いはみられない。

■車両の走行位置



【走行位置の定義】
○「車両の中心」を用いる
○車両が左寄りの場合は「+」、右寄りの場合は「-」

■車両の走行位置(区間入口部)(標準偏差)



※エラーバーは標準偏差を示す。

- 最初の誘導線を走行した際の状況は被験者別にみると、下記のとおり。
 - 横変位量は何れの誘導線とも概ね20cm程度である。
 - 「誘導線②」「誘導線③」では誘導線通過による横変位量が大きい被験者もいるため、走行状況を次頁で確認する。

■被験者別の横変位量

No	走行した誘導線	性別	年齢階層	車道中心からの距離 (cm)		横変異量 (cm)	
				※「+」は左寄り、「-」は右寄りを示す。		誘導線区間 入口部 (※)	誘導線なし区間 入口部 (※)
				誘導線区間 入口部 (※)	誘導線なし区間 入口部 (※)		
1	誘導線①	男性	20歳代	-25.00	0.00	5.00	5.00
2			20歳代	-25.00	-30.00	5.00	10.00
3			20歳代	-30.00	-35.00	15.00	0.00
4		30歳代~50歳代	-10.00	-15.00	0.00	5.00	
5			60歳代以上	-10.00	-20.00	5.00	10.00
6			60歳代以上	-30.00	-45.00	15.00	5.00
7	誘導線②	女性	20歳代	-20.00	-35.00	15.00	10.00
8			20歳代	-40.00	-20.00	5.00	10.00
9			20歳代	-25.00	-40.00	5.00	5.00
10		30歳代~50歳代	-55.00	-40.00	10.00	5.00	
11			60歳代以上	-50.00	-35.00	5.00	10.00
12			60歳代以上	-10.00	-20.00	10.00	0.00
13	誘導線③	男性	20歳代	-20.00	-60.00	5.00	5.00
14			20歳代	-5.00	0.00	10.00	5.00
15			20歳代	30.00	0.00	15.00	0.00
16		30歳代~50歳代	-25.00	-55.00	10.00	15.00	
17			60歳代以上	-40.00	-5.00	10.00	10.00
18			60歳代以上	-10.00	-5.00	50.00	15.00
19	誘導線④	女性	20歳代	-20.00	-35.00	10.00	5.00
20			20歳代	-20.00	-25.00	0.00	10.00
21			20歳代	-10.00	-35.00	5.00	25.00
22		30歳代~50歳代	-70.00	-65.00	15.00	15.00	
23			60歳代以上	-30.00	-5.00	20.00	20.00
24			60歳代以上	0.00	5.00	15.00	15.00
25	誘導線⑤	男性	20歳代	-15.00	-15.00	5.00	10.00
26			20歳代	-70.00	-35.00	30.00	5.00
27			20歳代	-85.00	-70.00	0.00	10.00
28		30歳代~50歳代	-10.00	-5.00	10.00	0.00	
29			60歳代以上	-40.00	-30.00	15.00	5.00
30			60歳代以上	-35.00	-20.00	20.00	5.00
31	60歳代以上	-50.00	-65.00	30.00	25.00		
32		60歳代以上	0.00	10.00	10.00	10.00	

横変位量の度合いが大きい被験者を対象に、誘導線走行時の走行軌跡を確認する

5 一般ドライバーへの影響検証 5-3 ハンドル操作への影響

1) 被験者18：横変位量50cm（誘導線②（白））

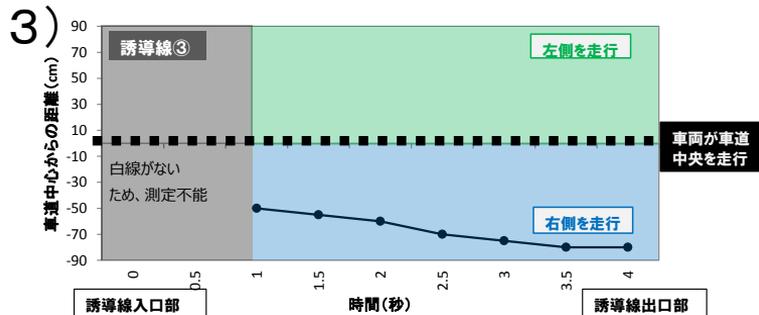
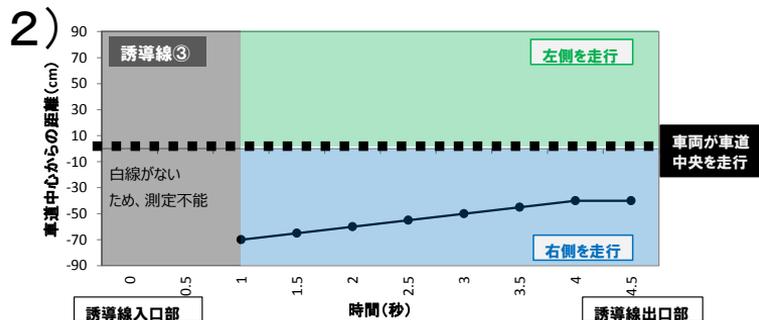
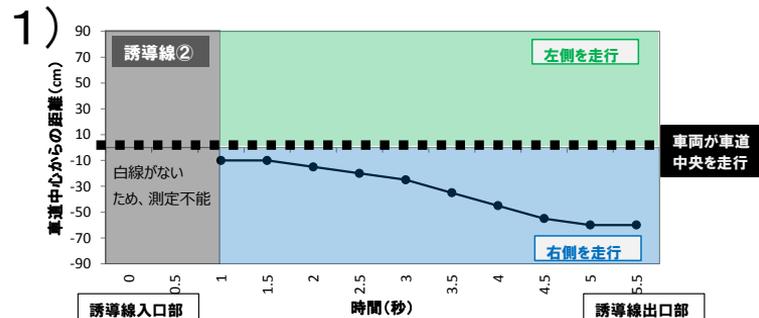
- 誘導線の区間において、車線の範囲で右側に寄っている。
- アンケート調査では、「何のラインかわからず不安になった。」「ラインを踏まないように右側に寄った」と回答している。

2) 被験者26：横変位量30cm（誘導線③（注記））

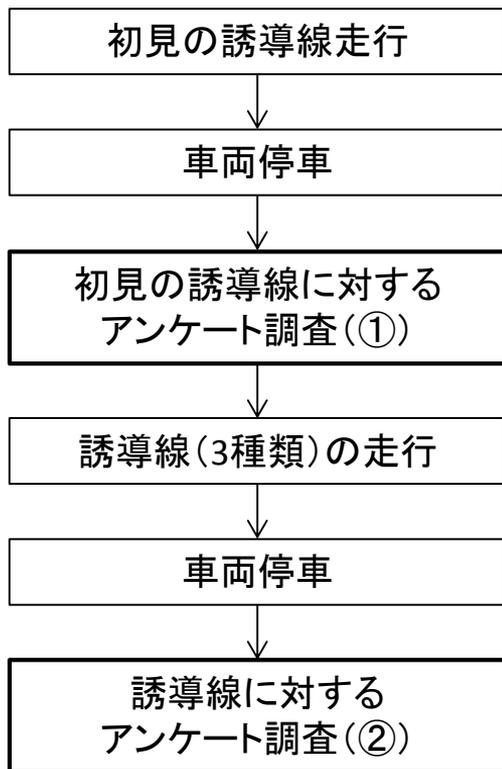
- 入口部では右側から走行し左側に寄っている。
※他の誘導線も右側を走行している。
- アンケート調査では、「バス専用レーンだと思ったので、一般道走行中に設置されていたら、その車線は通らない」と回答している。

3) 被験者31：横変位量30cm（誘導線③（注記））

- 誘導線の区間において、車線の範囲で右側に寄っている。



■ 実証実験時のアンケート調査の流れ



■ アンケート調査内容

分類	問番号	設問内容	
アンケート調査①	問1	走行エリアで気になったことはあるか。 ・誘導線に気づいた場合 ⇒ 問2へ ・誘導線に気づいていない場合 ⇒ 問6へ	
	問2	誘導線の認識	
	問3	誘導線通過時の運転意向	
	問4	誘導線通過時の運転挙動	
	問5	誘導線による運転への影響	
	問6	(誘導線を見せて)誘導線に気づいたか。 ・気づいた場合 ⇒ 問7へ ・気づいていない場合 ⇒ 問10へ	
	問7~9	(問2~4と同様)	
	問10	(問5と同様)	
	アンケート調査②	問1	・性別 ・年齢階層 ・普段の運転頻度と運転歴
		問2	(誘導線を見せて)各誘導線に気づいたか。
問3		誘導線の認識	
問4		誘導線通過時の運転意向	
問5		誘導線通過時の運転挙動	
問6		誘導線による運転への影響	

■ 初見でのアンケート調査における特徴的な回答

- ・ 誘導線①（緑）は、バスに関連するものと認識した被験者はいなかった。説明がないと迷いそうであると回答した被験者もいた（1名）。
- ・ 誘導線②（白）は、車線内で左に寄れという合図の線だと認識したモニタも若干いた（3名）。一方、線を踏まないように右に寄るとのモニタもいた（2名）。
- ・ 誘導線③（注記）は、「バス用」の標記をみて「バス専用レーン」と認識したモニタもいた（6名）。その中には、普段ならこの車線は走行しないと回答したモニタもいた（4名）。

■ アンケート調査②（2回目）での特徴的な回答

- ・ 誘導線③（注記）を最初に走行した被験者の中には、誘導線①や誘導線②を走行する際、「バスに関する線であり、自分には関係ない」と正しく認識したモニタもいた。
- ・ 誘導線③（注記）を2回目に走行した際に、「バス用」の標記をみて、「バス専用レーン」だと認識し、車線を変更したモニタがいた（1名）。

⇒誘導線は、標記がない場合、標記がある場合でそれぞれ捉えられ方は様々である。そのため、ドライバーが混乱しないように、社会的な周知活動を行うことも必要である。

■ 実証実験の結果

No	特徴	法令適合	システム認識性	施工性	誤認可能性
誘導線①	緑：グリーンB	○	○	○	○
誘導線②	白	×	◎	○	○
誘導線③	注記：バス用	○	○	○	△

■ 現場見学会での主な意見

- ・ 本実験を通じて、「緑」にて、法定線との**誤認可能性について問題ないことを確認**。（全体）
- ・ 「緑」は、色としては、問題ない。（警察庁）
- ・ 誘導線をバス用であると、一般の方がたに認知してもらうための**分かりやすい周知**が必要。（全体）
- ・ （上記に加え）実現される“嬉しさ”を理解してもらうことが重要。（車椅子ユーザー）
- ・ 実装時の**設置・維持管理の体制**、既設の路面標示との干渉については更に検証要。（警視庁、都市整備局）
- ・ 夜間の認識性等の**ロバスト性**については、実環境での検証が必要。（メーカー）

■ 課題

<実施中>

- ・ 誘導線の設置・維持管理に係るコストの整理

<今後の課題>

- ① 設置・管理体制の明確化
- ② 分かりやすい周知、ロバスト性検証のための実路線での実証

<誘導線の維持管理等について>

事例	内容
ルーアン (TEOR)	<ul style="list-style-type: none">・誘導線は2年に1回（自動車と共有するレーンでは1年に1回）の頻度でペンキの塗り替えを実施。・落ち葉の除去や雪対策が必要。落ち葉除去が必要な箇所はドライバーが随時連絡。・わだちに水がたまるとカメラの認識性が下がるため、アスファルト舗装の打ち換えを6年毎に実施。（通常の道路は10年毎）
施工業者	<ul style="list-style-type: none">・実証実験の準備では、2～3時間/1本程度。（グランシャルシートでの簡易施工の場合）・実際の施工時には位置出しをどのように行うかが重要。・一例として、自転車の矢羽根線などで用いられている、型紙を用いて塗布を行う方法が考えられる。型紙自体は非常に安価であり、かつ、メンテナンスの際は、消える前の線に合わせて上から型紙を重ねることで、位置出しを行わずに塗布を行うことができる。