

磁気マーカの最適な設置間隔に関する研究

藤村 亮太¹・中田 諒²・中川 敏正³・関谷 浩孝⁴

¹ 非会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所 道路交通研究部 高度道路交通システム研究室 交流研究員

(〒305-0804 茨城県つくば市旭 1 番地)

E-mail: fujimura-r92es@mlit.go.jp

² 非会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所 道路交通研究部 高度道路交通システム研究室 研究官

(〒305-0804 茨城県つくば市旭 1 番地)

E-mail: nakata-r92sc@mlit.go.jp

³ 非会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所 道路交通研究部 高度道路交通システム研究室 主任研究官

(〒305-0804 茨城県つくば市旭 1 番地)

E-mail: nakagawa-t92wz@mlit.go.jp

⁴ 正会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所 道路交通研究部 高度道路交通システム研究室 室長

(〒305-0804 茨城県つくば市旭 1 番地)

E-mail: sekiya-h92tb@mlit.go.jp

これまで磁気マーカを設置する際には、2m 間隔で設置することが一般的であったが、設置間隔を広げることができれば設置コストを抑えることができる。そこで国土技術政策総合研究所では、磁気マーカの設置間隔に関する知見を得ることを目的に試験走路において道路線形や設置間隔等の条件を複数設定し実験を行った。この時、自動運転車両を用いてその走行する位置が道路横断方向に対してどれだけのブレが発生したかの計測を行い、走行ルートにおける空間的な分析を行った。その結果、設置間隔が広がるにつれて自動運転車両の走行する位置（道路横断方向へのブレ）は大きくなる傾向にあることを明らかにした。

Key Words: automated driving, magnetic marker, installation interval, horizontal movement width

1. はじめに

現在、限定地域の無人自動運転移動サービスについて、「2030年までに100箇所以上において社会実装する」という目標を掲げ、政府全体で取り組んでいる¹⁾。これまでも、国土交通省では、内閣府戦略的イノベーション創造プログラムと連携して、中山間地域における道の駅等を拠点とした自動運転サービス実証実験（以下「実証実験」という。）を実施してきた（図-1）。

実証実験を通して、自動走行を継続するためにはいくつかの課題があることが明らかとなった。その一つが走行する車両の位置特定（以下「自車位置特定」という。）に関する課題である。自車位置特定する方法には2種類の方法があり、1つは車両に搭載した高精度GPSやLidar等のセンサを用いる方法、もう一つは図-2に示す磁気マーカや電磁誘導線などの自動運行補助施設（以下「路面施設」という。）を使用して道路側から自車位

置特定の補助を行う方法である。前者の方法では、地形や気象条件等に起因して自車位置特定することが困難になり、自動走行が継続できなくなる事象が発生することが確認された。一方で後者の方法では、そのような事象は発生することはなく、安定して自動走行を継続することができた²⁾。

実証実験を通して路面施設の有効性が確認されたことなどを踏まえ、2020年5月に道路法が改正され、路面施



図-1 実証実験のイメージ

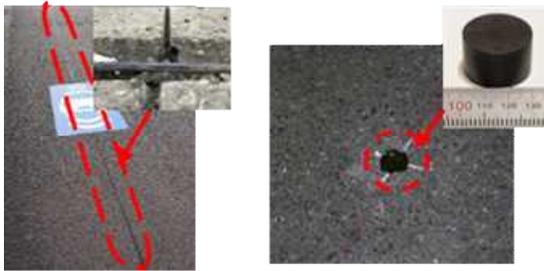


図-2 路面施設の例

設は道路附属物に位置づけられた。国土技術政策総合研究所（以下「国総研」という。）では、路面施設の計画・設計等に関わる技術基準（以下「設置基準」という。）案を作成し、社会資本整備審議会道路分科会道路技術小委員会での調査審議を経て、2020年11月に国土交通省道路局長より地方整備局等に通知された。

2. 研究概要

(1) 研究の背景

現在、国総研では路面施設の技術的な知見を得るための調査研究を行っている。その一つに磁気マーカの設置間隔に関する研究がある。これまで磁気マーカは、2m間隔（以下「標準」という。）で設置することが一般的であったが、設置間隔を広げることができれば、磁気マーカの設置コストを安価にすることができ、実道への展開が促進されることが考えられる。一方、設置間隔を広げることによって自動運転車両が走行する際の道路横断方向に対する走行ブレが大きくなることが想定される。そこで、磁気マーカの設置間隔と自動運転車両が走行した際の磁気マーカに対する道路横断方向への走行位置（車両に搭載された磁気センサと磁気マーカ中心との距離（以下「離隔距離」という。））との関係を明らかにするための実験を行った。本実験は、道路線形に応じた最適な設置間隔に関する知見を得ることを目的とする。

(2) 実験環境の整備

実験に使用した車両は、バスタイプと乗用車タイプの2種類である。実験は、試験走路にて実道の代表的な道路線形を想定し、直線、単路カーブ（ $R=30m$ ）、交差点左折（ $R=12m$ ）の3つの道路線形を設定し、各道路線形に対し磁気マーカの設置間隔と走行速度の条件を複数設定して行った。具体的実験条件は表-1に示す通りで計41パターンあり、各パターン10回の走行を行った。また、試験走路上に設置した磁気マーカの設置イメージを図-3及び図-4に示す。ここで「2m（2個）+8m空（以下「やや疎」という。）」、「2m（2個）+16m空

表-1 実験条件

道路線形	設置間隔	走行速度[km/h] (バスタイプ)	走行速度[km/h] (乗用車タイプ)
			
直線	2m間隔	5	
	2m(2個)+8m空	10	5
	2m(2個)+16m空	20	10
		30	
単路カーブ ($R=30m$)	1m間隔	5	5
	1m間隔	10	10
	2m(2個)+8m空	20	10
交差点左折 ($R=12m$)	1m間隔	5	5
	2m間隔	10	10

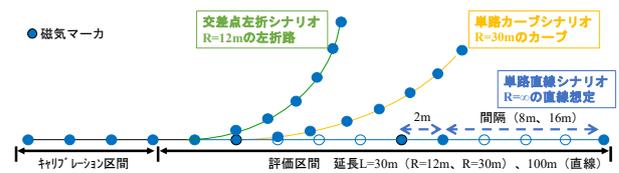


図-3 設置イメージ

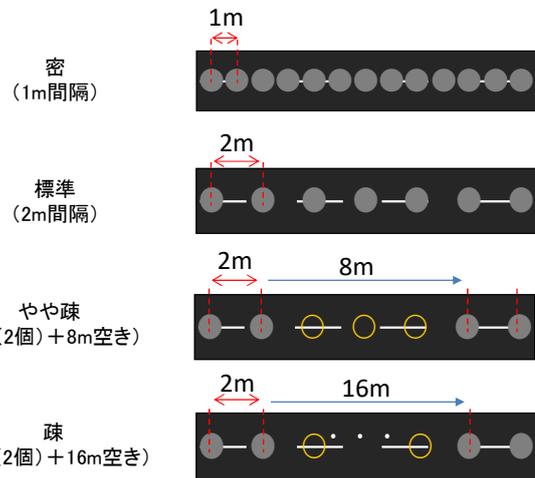


図-4 設置間隔のイメージ

き（以下「疎」という。）」のように2m間隔の磁気マーカのペアで設置することを基本としたのは、磁気マーカ方式を採用している車両は、車両底部に車両長手方向に対して2m間隔で設置した2機の磁気センサで磁気マーカを検知することで自車位置特定を行っているためである。

また、設置間隔を広げた時の磁気マーカの設置個数は、「標準」を1（501個/km）とした時、「やや疎」は0.4（201個/km）、「疎」の場合は0.2（112個/km）となる。

(3) 評価用データの作成

自動運転車両が走行した時の道路横断方向への走行ブレには、車両特性や道路状態に起因して発生するものが含まれていることが考えられる。そこで、これらの影響を少なくするために各走行条件にて計測した離

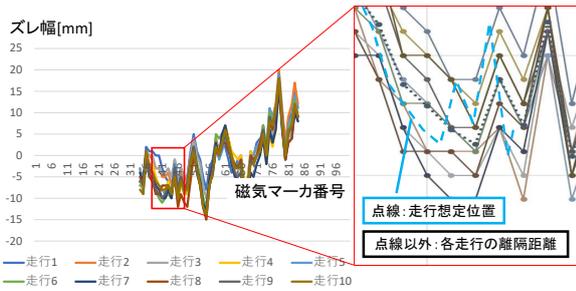


図-5 評価用データの作成

隔距離の平均値（10 回走行）を自動運転車両が走行することを想定していた位置（以下「走行想定位置」という。）とし、「走行想定位置」と「各走行の離隔距離」との偏差（以下「ズレ幅」という。）の比較を行った（図-5）。

3. 実験結果

表-1 に示す全走行パターンでのズレ幅の発生頻度を算出した。この内本稿では、その一例（使用車両：乗用車タイプ、道路線形：直線、単路カーブ、交差点左折、走行速度：10km/h）を道路線形ごとに次項に示す。

(1) 直線の場合

直線における走行時のズレ幅の発生頻度は、表-2 の通りである。磁気マーカの設置間隔を広げることによってズレ幅は大きくなる傾向にある。「標準」の設置間隔の場合、ズレ幅は 29mm 以内、「やや疎」の場合、89mm 以内、「疎」の場合、219mm 以内である。

また、最大のズレ幅が観測された時の走行パターンでの全ズレ幅の大きさを 10mm 間隔で色分けした結果を図-6 に示す。最大ズレ幅は設置された磁気マーカの最後に位置する。これは、ペア 5 の磁気マーカを検知した後に自車位置を修正しようとしたが、ペア 5 とペア 6 の間に段

表-2 ズレ幅の発生頻度（直線）

発生回数[回]

ズレ幅の範囲	設置間隔		
	標準	やや疎	疎
ズレ幅 ≤ 4mm	250	35	14
5mm ≤ ズレ幅 ≤ 9mm	147	27	7
10mm ≤ ズレ幅 ≤ 19mm	103	47	15
20mm ≤ ズレ幅 ≤ 29mm	10	34	20
30mm ≤ ズレ幅 ≤ 39mm	0	34	9
40mm ≤ ズレ幅 ≤ 49mm	0	14	10
50mm ≤ ズレ幅 ≤ 59mm	0	11	8
60mm ≤ ズレ幅 ≤ 69mm	0	3	4
70mm ≤ ズレ幅 ≤ 79mm	0	4	6
80mm ≤ ズレ幅 ≤ 89mm	0	1	4
90mm ≤ ズレ幅 ≤ 99mm	0	0	5
100mm ≤ ズレ幅 ≤ 109mm	0	0	5
110mm ≤ ズレ幅 ≤ 119mm	0	0	2
120mm ≤ ズレ幅 ≤ 129mm	0	0	0
130mm ≤ ズレ幅 ≤ 139mm	0	0	3
140mm ≤ ズレ幅 ≤ 149mm	0	0	4
150mm ≤ ズレ幅 ≤ 159mm	0	0	1
160mm ≤ ズレ幅 ≤ 169mm	0	0	1
170mm ≤ ズレ幅 ≤ 179mm	0	0	1
180mm ≤ ズレ幅 ≤ 189mm	0	0	0
190mm ≤ ズレ幅 ≤ 199mm	0	0	0
200mm ≤ ズレ幅 ≤ 209mm	0	0	0
210mm ≤ ズレ幅 ≤ 219mm	0	0	1
220mm ≤ ズレ幅 ≤ 229mm	0	0	0
230mm ≤ ズレ幅 ≤ 239mm	0	0	0
240mm ≤ ズレ幅 ≤ 249mm	0	0	0
250mm ≤ ズレ幅	0	0	0

差等があったために修正が上手くいかなかったためにズレ幅が大きくなったと考えられる。

(2) 単路カーブ (R=30) の場合

単路カーブにおける走行時のズレ幅の発生頻度は、表-3 の通りである。直線の時と同様に設置間隔が広がるにつれ、ズレ幅は大きくなる傾向にある。「密」の設置間隔の場合、ズレ幅は 59mm 以内、「標準」の場合、109mm 以内、「やや疎」の場合、89mm 以内である。

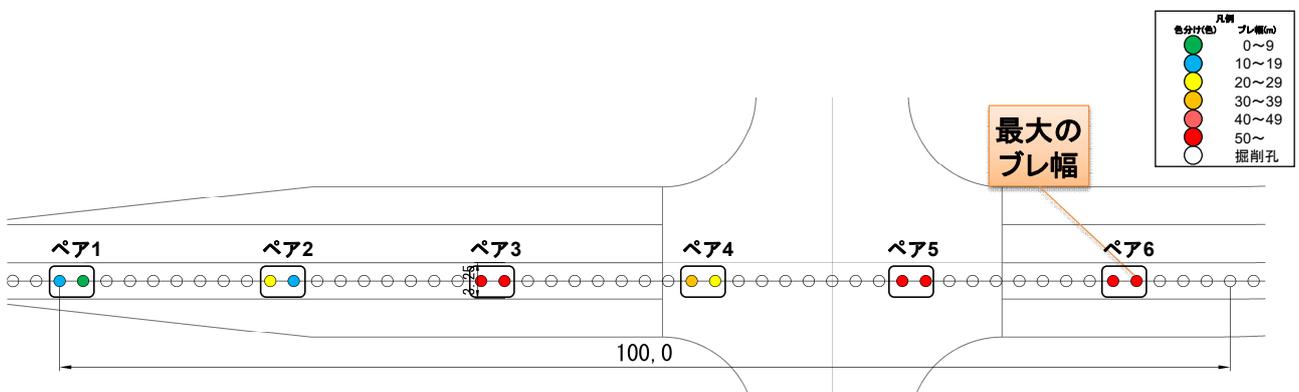


図-6 最大ズレ幅の発生箇所（直線）

表-3 ズレ幅の発生頻度（単路カーブ）

発生回数[回]

ズレ幅の範囲	設置間隔		
	密	標準	やや疎
ズレ幅 ≤ 4mm	88	29	4
5mm ≤ ズレ幅 ≤ 9mm	67	29	9
10mm ≤ ズレ幅 ≤ 19mm	97	39	19
20mm ≤ ズレ幅 ≤ 29mm	48	24	11
30mm ≤ ズレ幅 ≤ 39mm	5	16	10
40mm ≤ ズレ幅 ≤ 49mm	4	7	4
50mm ≤ ズレ幅 ≤ 59mm	1	4	4
60mm ≤ ズレ幅 ≤ 69mm	0	5	1
70mm ≤ ズレ幅 ≤ 79mm	0	2	6
80mm ≤ ズレ幅 ≤ 89mm	0	4	2
90mm ≤ ズレ幅 ≤ 99mm	0	0	0
100mm ≤ ズレ幅 ≤ 109mm	0	1	0
110mm ≤ ズレ幅 ≤ 119mm	0	0	0
120mm ≤ ズレ幅 ≤ 129mm	0	0	0
130mm ≤ ズレ幅 ≤ 139mm	0	0	0
140mm ≤ ズレ幅 ≤ 149mm	0	0	0
150mm ≤ ズレ幅 ≤ 159mm	0	0	0

表-4 ズレ幅の発生頻度（交差点左折）

発生回数[回]

ズレ幅の範囲	設置間隔	
	密	標準
ズレ幅 ≤ 4mm	42	22
5mm ≤ ズレ幅 ≤ 9mm	59	20
10mm ≤ ズレ幅 ≤ 19mm	77	34
20mm ≤ ズレ幅 ≤ 29mm	41	38
30mm ≤ ズレ幅 ≤ 39mm	35	17
40mm ≤ ズレ幅 ≤ 49mm	20	12
50mm ≤ ズレ幅 ≤ 59mm	26	5
60mm ≤ ズレ幅 ≤ 69mm	8	4
70mm ≤ ズレ幅 ≤ 79mm	2	4
80mm ≤ ズレ幅 ≤ 89mm	0	2
90mm ≤ ズレ幅 ≤ 99mm	0	2
100mm ≤ ズレ幅 ≤ 109mm	0	0
110mm ≤ ズレ幅 ≤ 119mm	0	0
120mm ≤ ズレ幅 ≤ 129mm	0	0
130mm ≤ ズレ幅 ≤ 139mm	0	0
140mm ≤ ズレ幅 ≤ 149mm	0	0
150mm ≤ ズレ幅 ≤ 159mm	0	0

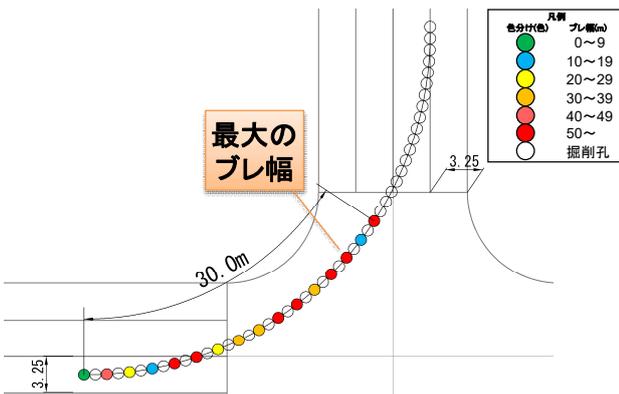


図-7 最大ズレ幅の発生箇所（単路カーブ）

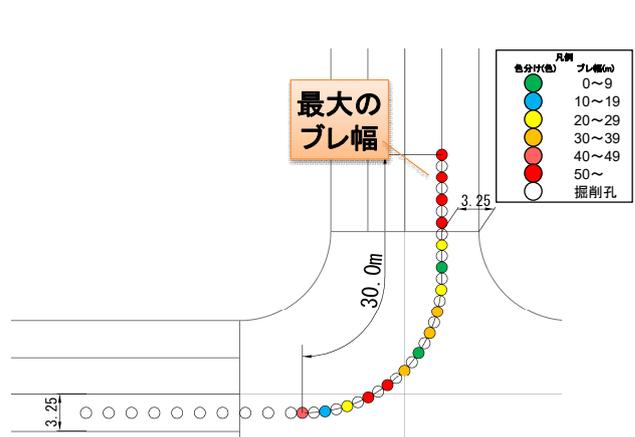


図-8 最大ズレ幅の発生箇所（交差点左折）

「標準」の走行時に1回だけではあるが、「やや疎」より大きいズレ幅が計測された。ズレ幅の大きさは、設置間隔が広くなるにつれて自転車位置特定の補助を行うための情報更新（磁気マーカの検知）は遅くなるため大きくなるはずである。このため、走行回数を増やすなど追加検証を行うことによってその他の道路線形パターン同様に広い設置間隔（やや疎）の方が大きくなると考えている。

また、最大のズレ幅が観測された時の走行パターンの全ズレ幅の大きさを 10mm 間隔で色分けした結果を図-7 に示す。最大ズレ幅はカーブの終端（カーブ開始から 26m）に位置している。これは、自動運転車両は予めシステム上において設定されたクロソイドを考慮して走行しようとするが、本実験での磁気マーカの施工位置はクロソイドを考慮していなかったため、直線と円弧部分の切り替わりに相当する位置においてズレ幅が大きくなったと考えられる。

カーブの開始地点においてもズレ幅が大きい点があるのはそのためである。

(3) 交差点左折 (R=12) の場合

交差点左折における走行時のズレ幅の発生頻度は、表-4 の通りである。交差点左折の場合も設置間隔が広がるにつれてズレ幅は大きくなる傾向にある。「密」の設置間隔の場合、ズレ幅は 79mm 以内、「標準」の場合、99mm 以内である。

また、最大のズレ幅が観測された時の走行パターンの全ズレ幅の大きさを 10mm 間隔で色分けした結果を図-8 に示す。最大ズレ幅はカーブの終端（カーブ開始から 28m）に位置している。これは、交差点左折パターンにおいても単路カーブ同様にクロソイドの影響を受けたと考えられる。

4. おわりに

(1) 磁気マーカの設置間隔の考え方

本研究の成果を活用することで、許容できるズレ幅に応じた磁気マーカの設置間隔を検討することが期待される。例えば、直線区間における磁気マーカの設置間隔を表-2より、以下のように考えることができる。

- ・ズレ幅を約 90mm まで許容できる場合には、
「やや疎」の設置間隔
- ・ズレ幅を約 220mm まで許容できる場合には、
「疎」の設置間隔

なお、設置間隔を広げることによって得られる効果は、2章(2)に示した通りである。

(2) 今後の課題

ズレ幅は、道路状態（凹凸や横断勾配）や車両（車両サイズや制御技術）などの影響によって変動することが考えらる。また、本実験で使用した乗用車タイプの車両は、公道等の走行を想定して開発されている車両でないため、低い速度のみでの実験であった。このため、今後も自動運転車両の開発動向を注視しながら異なる道路状

態や他の車両を用いるなど追加的な検証を行って行く必要があると考える。また、本実験において自動走行が継続不可能になるケースは見受けられなかった。そこで、本実験での設置間隔よりも広い設置間隔で磁気マーカを設置し、自車位置特定が可能な範囲での設置間隔の最大値に関わる知見の収集も必要であろう。

参考文献

- 1) 高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部・官民データ活用推進戦略会議：官民 ITS 構想・ロードマップ 2020
- 2) 井坪慎二，馬渡真吾，岩里泰幸，関谷浩孝，澤井聡志：実証実験を通じた中山間地の自動運転の課題と対応についての分析，土木計画学研究・講演集 Vol.60, 2019

(2021.?.?? 受付)

RESERCH ON OPTIMUM INSTALLATION INTERVAL OF MAGNETIC MARKER

Ryota FUJIMURA, Ryo NAKATA, Toshimasa NAKAGAWA and Hiroataka SEKIYA