

磁気マーカシステムを用いた 除雪車走行支援に関する基礎実験

国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 寒地機械技術チーム ○新保 貴広
山口 洋士
久慈 直之

暴風雪による視程障害時でも安全に除雪作業を行うには、除雪車の自車位置を正確に測位し、車線内を走行させるための車線走行支援技術が必要である。自車位置推定には、GNSSによる衛星測位を用いることが基本となるが、衛星不感地帯には別の測位技術を用いる必要がある。

そこで、気象の影響を受けにくく、自動運転技術にも活用されている磁気マーカシステムを用いて、除雪車の自車位置推定に関する基礎実験を行ったので報告する。

キーワード：除雪、磁気マーカ、自車位置推定

1. はじめに

近年、異常な暴風雪の発生に伴い、車両の立ち往生や長時間にわたる通行止めなどの発生が増えてきている。このため、暴風雪による視程障害時においても安全に除雪作業を行い、道路交通の早期解放を可能とする除雪車運行支援については、現場ニーズが非常に高い。

視程障害時でも安全に除雪作業を行うには、除雪車の自車位置を正確に測位し、車線内を走行するための車線走行支援技術が必要である。自車位置推定には、GNSSによる衛星測位を用いることが基本となるが、衛星不感地帯では別の測位技術を用いる必要がある。

そこで、気象の影響を受けにくく、自動運転技術にも活用されている IMU センサを用いた自動運転用磁気マーカシステム（以下、「磁気マーカシステム」という）を用いて、自車位置推定に関する基礎実験を行ったので報告する。

2. 磁気マーカシステムを用いた自車位置推定システムの概要

磁気マーカシステムは、道路に埋設した磁気マーカを車両底部に設置した磁気センサで検知することで、自車位置を測位する技術である。同技術は、国土交通省が実施する「道の駅等を拠点とした自動運転サービス」における実証実験のうち、路車連携型の自動運転バスに利用されている。

自車位置推定実験には、愛知製鋼(株)製の磁気マーカシステムを使用した。また、磁気マーカシステムの位置情報と慣性計測装置 (Inertial measurement unit 以下、

「IMU」という) による自律航法を組み合わせた自車位置推定システムを新たに開発し、使用した。自車位置推定システムの概要図を図-1に示す。

自車位置推定システムは、IMUによる自律航法を主としているが、IMUは観測時間の経過とともに測位誤差が累積される。そこで磁気マーカシステムの位置情報により測位誤差を補正する仕組みとなっている。

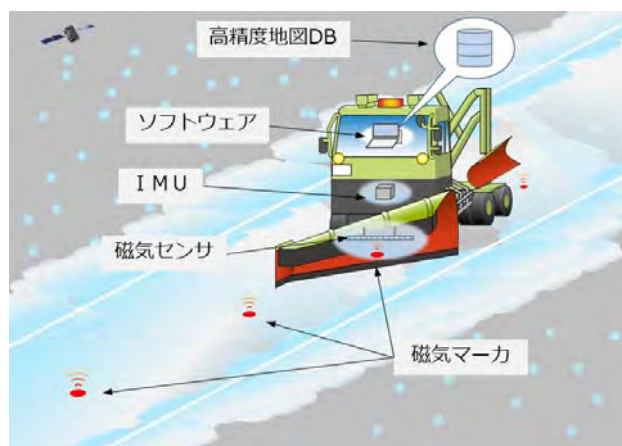


図-1 自車位置推定システム概要図

3. 自車位置推定実験

自車位置推定システムを除雪車に搭載して、除雪作業が自車位置推定の測位精度に与える影響を把握し、車線走行支援技術に適用可能か検証した。

実験は、寒地土木研究所苫小牧寒地試験道路の直線部で行い、磁気マーカの設置間隔、走行速度、除雪作業の有無による測位精度を検証した。実験場所平面図を図-2に示す。

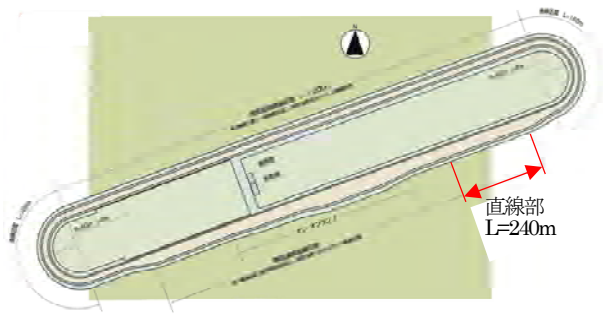


図-2 実験場所平面図

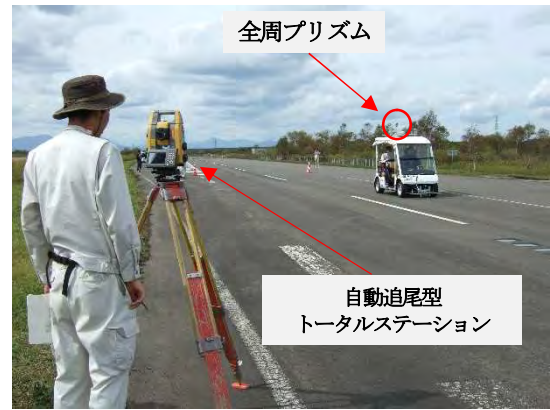


写真-2 TSによる計測状況

(1) 小型車両による予備実験

除雪車を使用した実験を行う前に、自車位置推定システムの測位精度検証のため、乾燥路面においてカート型小型車両を用いた予備実験を行った。

磁気センサは、小型車両の前方下部に高さを調整できるように設置した。磁気マーカは、直径100mm厚さ2mmの表面設置型マーカを走行車線の中央部に保護シートにより貼り付けた。

実験項目は以下のとおりである。

- マーカ設置間隔：10m,20m,30m,40m,60m,80m
- センサ取付高さ：20cm,25cm
- 走行速度：5km/h,10km/h,20km/h

実験状況を写真-1に示す。



写真-1 予備実験状況

自車位置推定システムの測位精度の検証は、自動追尾型トータルステーション（以下、「TS」という）による小型車両の走行軌跡の測位結果を基準とし、自車位置推定システムの測位結果と比較した（写真-2）。なお、測位結果は平面直角座標を用いた。また、TSの計測間隔は、300ms毎とし、TSと自車位置推定システムの時刻同期は行っていない。

(2) 小型車両による予備実験結果

道路幅員が3.5mの一般的な道路の中心を、車体幅が2.5mの除雪車が走行した場合、車体側端部から車線端部まで0.5mの余裕幅ができることから、車線逸脱の防止を目的とした走行支援における、自車位置推定システムの目標精度を最大で±50cmとした。

実験結果を表-1に示す。実験結果は、TSの測位位置を0とした場合に、自車位置推定システムが道路横断方向の右側に測位した誤差をプラス表示、左側に測位した誤差をマイナス表示とし、その平均誤差及び最大誤差を示している。なお、実験条件のうち、センサ取付高さの違いによる測位誤差に差が見られなかったため、平均処理した結果を表にまとめた。

表-1 予備実験結果

マーカ設置間隔	走行速度	平均測位誤差 (m)	左方向最大誤差 (m)	右方向最大誤差 (m)	評価
10m	5km/h	0.04	-0.27	0.32	○
	10km/h	0.00	-0.30	0.37	○
	20km/h	0.06	-0.20	0.31	○
20m	5km/h	-0.02	-0.30	0.27	○
	10km/h	0.09	-0.16	0.35	○
	20km/h	0.08	-0.15	0.32	○
30m	5km/h	0.07	-0.23	0.41	○
	10km/h	0.03	-0.24	0.31	○
	20km/h	0.15	-0.14	0.40	○
40m	5km/h	0.23	-0.10	0.63	×
	10km/h	0.22	-0.17	0.71	×
	20km/h	0.22	-0.09	0.58	×
60m	5km/h	0.03	-0.25	0.30	○
	10km/h	0.06	-0.23	0.33	○
	20km/h	0.04	-0.26	0.30	○
80m	5km/h	0.09	-0.13	0.36	○
	10km/h	0.04	-0.20	0.31	○
	20km/h	0.16	-0.06	0.42	○

実験結果は、マーカ設置間隔40mの条件を除いたすべての条件で目標精度を達成できた。

マーカ設置間隔が広がるにつれ、測位誤差が増加する傾向が見られた。また、走行速度の違いが測位精度に与える影響は、顕著には見られなかった。

(3) 除雪車による自車位置推定実験

予備実験により自車位置推定システムの測位精度が確認できたことから、除雪車による自車位置推定実験を行った。実験には除雪トラックを使用した。磁気センサは、除雪トラックの前方底部にブラケットを取り付け、地上高25cmの位置に設置した(写真-3)。



写真-3 除雪トラック全景

磁気マーカは、直径30mm、高さ20mmの埋設型マーカを、車線中央部に深さ3cmで削孔した穴に埋設し、表層1cmを充填剤にて充填した(写真-4)。



写真-4 磁気マーカ埋設状況

除雪作業を行いながら実験を実施するため、試験道路に圧雪路面を形成した。平均圧雪厚さは6.0cm、雪硬度は207kg/cm²であり、路面状態は圧雪及び氷板であった。

実験項目は以下のとおりである。

- ・マーカ設置間隔：20m,40m,80m
- ・走行速度：15km/h,30km/h
- ・除雪作業の有無：除雪有り,除雪無し(回送)

実験状況を写真-5に示す。測位精度の検証は、予備実験と同様にTSによる走行軌跡の測位結果と比較した。



写真-5 自車位置推定実験状況

(4) 除雪車による自車位置推定実験結果

実験結果を表-2に示す。マーカ設置間隔20mの条件及び設置間隔40mにおける除雪作業時の走行速度15km/hの条件において目標精度を達成できた。

磁気マーカの設置間隔が広がるにつれ、測位誤差が増加する傾向は、予備実験よりも顕著になる傾向が見られた。また、走行速度の上昇により測位誤差が増加する傾向が見られたが、除雪作業の有無により測位誤差に顕著な差が見られなかったことから、除雪作業による振動を受けても測位精度に影響を及ぼさないことがわかった。

表-2 自車位置推定実験結果

設置間隔	除雪有無	走行速度	平均測位誤差(m)	最大誤差範囲(m)		評価
				左方向最大誤差(m)	右方向最大誤差(m)	
20m	回送	15km/h	-0.02	0.63		○
		30km/h	-0.23	0.50		○
	除雪	15km/h	-	-		-
		30km/h	0.05	0.84		○
40m	回送	15km/h	-0.26	0.97		×
		30km/h	-0.35	0.85		×
	除雪	15km/h	-0.02	0.88		○
		30km/h	-0.12	1.09		×
80m	回送	15km/h	-0.62	1.59		×
		30km/h	-0.76	1.59		×
	除雪	15km/h	-0.44	1.71		×
		30km/h	-	-		-

※「-」は、マーカ未検出による棄却データ

本実験では、予備実験に使用した小型車両用に設定した自車位置推定システムを除雪車に搭載し使用した。そのため、走行速度の上昇や圧雪が厚い場合に、磁気マーカの未検出や測位精度の低下を招いたものと考えられる。

磁気マーカの設置間隔20mでは、除雪作業による振動を受けても測位誤差±50cm以内で測位可能であったことから、自車位置推定システムは、車線走行支援に使用するうえで、適用可能な測位精度を有していることを確認した。

4. まとめ

磁気マーカシステムを用いた自車位置推定システムを除雪車に搭載し、自車位置推定実験を行った。

除雪作業による振動を受けても、目標精度を達成することができたことから、自車位置推定システムは、車線走行支援に使用するうえで、適用可能な精度を有していることを確認した。

今後は、磁気マーカシステム等による自車位置推定システムを用いたガイダンスシステムを試作し、ガイダンス性能とオペレータへの適応性を検証する予定である。

最後に、本実験に際し、共同研究「自動運転技術の活用による除雪車の運転支援と道路構造・管理に関する研究」の参加企業（愛知製鋼(株)、(株)NIPPON、アイシン・ソフトウェア(株)）から協力を賜った。ここに謝意を表す。

参考文献

- 1) 中山間地域における道の駅等を拠点とした自動運転ビジネスモデル検討会：道の駅等を拠点とした自動運転サービス中間とりまとめ（H31.1.23）