

磁気マーカシステムを用いた 除雪車走行支援ガイダンスに関する実験

(国研) 土木研究所 寒地土木研究所
(国研) 土木研究所 寒地土木研究所
(国研) 土木研究所 寒地土木研究所

○新保 貴広
舟橋 誠
久慈 直之

1. はじめに

近年、積雪寒冷地では極端な暴風雪に伴い、車両の立ち往生や長時間にわたる通行止め等が増えてきている。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の開発に対する現場ニーズは高い。

視程障害時に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磁気マーカを用いた自車位置推定システムによる車線走行支援ガイダンスを試作し、試験道路において測位精度及びガイダンス性能の検証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¹⁾。

車線走行支援ガイダンスには、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。

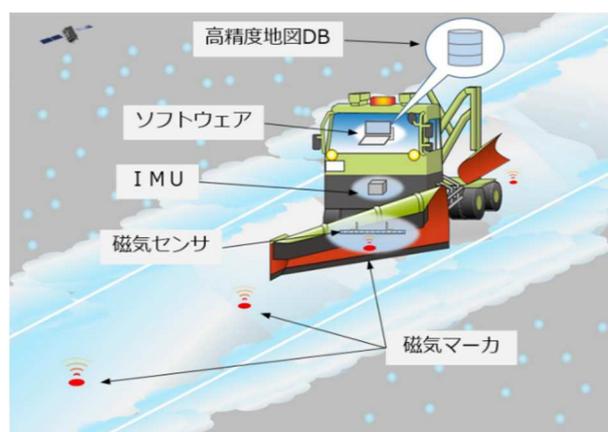


図-1 自車位置推定システム概要図

3. 磁気マーカシステムを用いた車線走行支援ガイダンスの検証実験

磁気マーカシステムとIMUを組み合わせた自車位置推定システムを用いた車線走行支援ガイダンスを試作し、自車位置の測位精度を検証するとともに、ガイダンス情報に従い車線を逸脱せずに走行可能か検証実験を行った。

3.1 ガイダンス試作機の作製

ガイダンス試作機は、ロボット用オープンソースソフトウェア「ROS」^{※1}の可視化ツールである「RViz」をベースに新たに開発したものである。RVizは、ROSで通信されるデータであれば種類を問わず表示することができ、外部からのセンサ情報やロボットの形状モデル、地図、計画軌道などを三次元表示することができる。

実験を行った寒地土木研究所苫小牧試験道路の高精度三次元地図を作成し、ベクターマップにより区画線と走行車線の中心にガイダンス用の走行目安線を表示した。また、現在位置や道路周辺状況

を把握しやすいように、点群情報を基に道路や道路周辺の起伏・背景をカラー表示した。

ガイダンス画面はオペレータの運転操作のしやすさを考慮し、運転席からの視点（以下、「コックピットビュー」という）、後方からの鳥瞰的な視点（以下、「バードビュー」という）、カーナビゲーションのような二次元的な視点（以下、「2Dビュー」という）の3種類を設定した。図-2にガイダンス画面例を示す。

なお、測位方法は、磁気マーカシステムとIMUの組み合わせによる自車位置推定（以下、「磁気マーカ方式」という）のほかに磁気マーカシステムの測位精度を検証するためRTK-GNSS（以下、「RTK方式」という）による測位も可能としている。

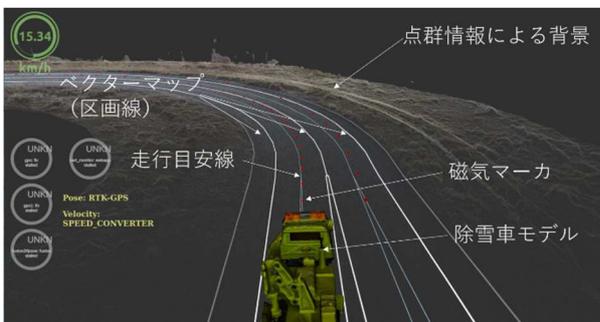


図-2 ガイダンス画面例（バードビュー）

3.2 実験概要

磁気マーカ方式による測位精度の検証は、磁気マーカを埋設した直線部 L=240m と曲線部 L=160m で行った。ガイダンス性能の検証は直線部から曲線部にかけて連続的に走行させるため、試験コースを半周させた。そのため測位方法は RTK 方式で行った。また、視程障害時における運転操作性を検証するため、フロントガラス全面の視界を遮断し、視程障害時を模擬的に再現した状況において、ガイダンス情報を頼りに車線を逸脱せずに走行する実験を行った。

実験場所平面図を図-3に、除雪車外観を写真-1に、運転室内状況を写真-2に示す。

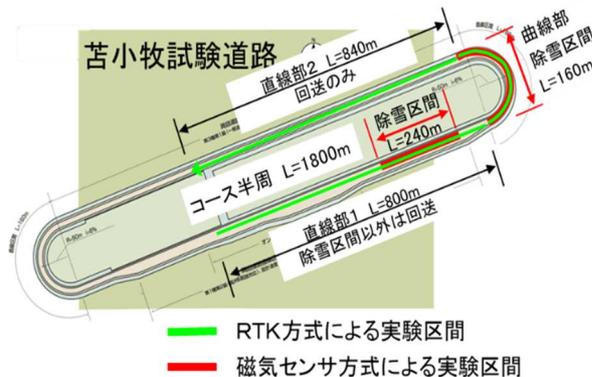


図-3 実験場所平面図



写真-1 除雪車外観



写真-2 運転室内状況

3.3 磁気マーカ方式による測位精度検証実験

磁気マーカ方式による測位精度の検証は、磁気マーカを埋設した直線部と曲線部において、設置間隔の違いによる測位精度を検証した。

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）。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-3 磁気センサ設置状況



写真-4 磁気マーカ埋設状況

実験はガイダンス種類毎に2回行い、実験結果は道路条件及び走行条件毎に分割し平均処理を行った。目標精度は磁気マーカ方式と同様に±50cmとした。

コックピットビューでは、直線部の除雪時においては目標精度を達成できたが、直線部の回送時と曲線部の除雪時では、左右方向の最大離隔距離が50cmを超える箇所があった。しかし最大離隔距離範囲では1m以内に収まっていることから概ね目標精度を満たしていると評価した。

バードビューでは、直線部の回送時と除雪時においては目標精度を達成できた。曲線部の除雪時では最大離隔距離範囲が1mを超えているため目標を達成できていない。

2Dビューはコックピットビューと同様の結果となった。一方、比較のため実施した目視による通常走行では、直線部の回送時と除雪時は目標精度内で走行できたが、曲線部では最大離隔距離範囲が1mを大幅に超える結果となった。

表-3 ガイダンス性能検証実験結果

ガイダンス種類	走行条件	道路条件	平均離隔距離(m)	最大離隔距離範囲(m)		評価
				左方向最大離隔距離(m)	右方向最大離隔距離(m)	
無し (通常走行) 視界遮断無	回送	直線	0.00	0.49		○
				-0.26	0.24	
	除雪	直線	0.16	0.39		○
				-0.03	0.37	
除雪	曲線	-0.23	1.28		×	
			-0.84	0.44		
コックピットビュー 視界遮断有	回送	直線	-0.36	0.71		△
				-0.61	0.10	
	除雪	直線	-0.08	0.40		○
				-0.32	0.08	
除雪	曲線	0.14	0.80		△	
			-0.23	0.57		
バードビュー 視界遮断有	回送	直線	0.02	0.60		○
				-0.30	0.30	
	除雪	直線	0.05	0.35		○
				-0.12	0.23	
除雪	曲線	0.10	1.13		×	
			-0.56	0.56		
2Dビュー 視界遮断有	回送	直線	-0.14	0.79		△
				-0.55	0.25	
	除雪	直線	-0.19	0.48		○
				-0.46	0.02	
除雪	曲線	-0.18	0.69		△	
			-0.53	0.16		

通常走行とガイダンス種類毎の平均離隔距離を比較すると、直線部の回送時及び除雪時では、通常走行とバードビューの平均値は小さく道路中心寄りに走行する傾向が見られた。また、コックピットビューと2Dビューは、左方向に偏る傾向が見られた。

曲線部では目視による通常走行でも左方向に偏る傾向があり、2Dビューは同様の傾向を示したが、コックピットビューとバードビューでは、緩和される傾向が見られた。通常走行では、路面状況が圧雪のため中央線や外側線が視認できなかったことから、道路中心より左寄りに走行したものと考えられる。一方コックピットビューやバードビュー

では、ガイダンス画面上に区画線や走行目安が表示されているため、バラツキはあるものの道路中心に沿って走行することができた。

オペレータへのヒアリングでは、除雪車モデルと3D地図との位置合わせに慣れが必要だが、慣れると走行に支障は無いことがわかった。また、3D地図に背景があるため位置関係を把握しやすい、特にバードビューは俯瞰のため道路の先を見通せ、距離感を掴みやすかった。

但し、バードビュー、コックピットビューともに曲線部の出入りではハンドル操作の遅れが生じる場合があるため、ある程度の習熟は必要と思われる。また、画面を見ながらの運転でも画面酔いをすることは無いことが確認できた。

ガイダンス性能の検証実験の結果、コックピットビュー及びバードビューでは、視界を遮断した状況においてもガイダンス情報に従って車線逸脱することなく除雪作業が可能ことが確認できた。また、オペレータへのヒアリングの結果、バードビューが最も高い評価を得た。

4. まとめ

暴風雪による視程障害時でも安全に除雪作業が行える運行支援技術として、磁気マーカシステムとIMUを用いた自車位置推定システムの車線走行支援ガイダンスを試作し、除雪車の前方視界を遮断した状態でガイダンス情報に従って車線内を走行する実験を行った。

車線走行支援ガイダンスは、目標測位誤差(±50cm以内)で自車位置を表示し、車線逸脱することなく除雪作業が可能であることを確認した。

今後は、主たる測位方法である衛星測位(みちびき等)に関する一般道での検証試験を行う予定である。

※1 ROS (Robot Operating System: ロボット用ソフトウェアプラットフォーム)

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:道の駅を拠点とした自動運転サービス「中間とりまとめ」(案),平成30年