

# 暴風雪による視程障害時の除雪車運行支援技術に関する研究

国立研究開発法人土木研究所  
寒地土木研究所  
技術開発調整監付  
寒地機械技術チーム

上席研究員 片野 浩司



## 1 はじめに

近年、積雪寒冷地では気候変動の影響による異常な暴風雪に伴い、車両の立ち往生や長時間にわたる通行止め・集落の孤立など、障害の発生が増えています。平成25年3月1日～3日の暴風雪では、北海道内において、雪に埋まった車の中での一酸化炭素中毒や車外での低体温症などにより、9人が犠牲になる事故が発生しました。そのため、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、通行止めの早期解放や緊急車両の先導を可能とする除雪車の開発については、現場ニーズが非常に高いものとなっています。

本研究は、暴風雪による視程障害時(写真1)でも安全に除雪作業が行える運行支援技術として、自車位置を推定し車線内を走行するための車線走行支援技術と、除雪車周囲の人・車両・道路工作物などを探知し衝突事故を防ぐための周囲探知技術の開発に取り組むものです。



写真1 暴風雪による視程障害

## 2 車線走行支援技術の検討

### (1) 磁気マーカシステムによる自車位置測位実験

車線走行支援には、車両の位置を正確に把握する測位技術が必要です。自車位置測位には、GNSS測位を用いることが基本ですが、衛星不感地帯は補完技術が必要になります。そこで、本研究では高精度の測位技術

開発のため、磁気マーカシステム(株式会社 愛知製鋼製のMIセンサを用いた自動運転用磁気マーカシステム)を対象に、磁気マーカシステムの位置情報とIMU(慣性計測装置)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ました。

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り、気象や環境の影響を受けにくいという特徴があります。

そこで、磁気マーカシステムを除雪トラックに搭載して、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ました。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の位置に設置しました(写真2)。



写真2 磁気センサの設置箇所

また磁気マーカは、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ています(写真3)。



写真3 磁気マーカ埋設状況

寒地土木研究所苫小牧寒地試験道路に平均厚さ6cmの圧雪路面を形成し、マーク設置間隔(20m、40m、80m)、走行速度(15km/h、30km/h)、除雪作業の有無による測位精度を検証する実験を行いました(写真4)。



写真4 自車位置測位実験

ここで、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、自車位置推定システムの目標精度を最大で±50cmとしました。

#### (2) 磁気マーカシステムによる自車位置測位実験結果

実験では、マーク設置間隔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ました。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ましたが、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は影響を及ぼさないことがわかりました。

このことから、自車位置推定システムは、車線走行支援に使用する上で、適用可能な測位精度を有していることを確認しました。

#### (3) 車線走行支援ガイダンス及び測位精度検証実験

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、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いました。

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(Robot Operating System: ロボット用ソフトウェアプラットフォーム)」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す。

苫小牧寒地試験道路全周の高精度三次元地図データベースを作成し、ベクターマップにより車線境界を表示し、走行時のガイダンス用に走行車線の中心に走行目安線を表示しました。また、ガイダンス画面は、後方からの鳥瞰的な視点であるバードビューなど3種類を設定しました(図1)。



図1 ガイダンス画面例(バードビュー)

除雪トラックの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いました(写真5)。磁気マーカの設置間隔は10m、20m、40mとしました。



写真5 実験状況

#### (4) 車線走行支援ガイダンス及び測位精度検証実験結果

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ました。

磁気マーカの測位精度では設定間隔10mでは目標を達成できましたが、20m、40mでは達成できませんでした。今回の実験では圧雪路面上に磁気マーカの位置を示すマーキングは実施せず、ガイダンスの画面に表示される磁気マーカの位置を目安に実験を行いました。そのため、直接目視で路面を確認しながら運転するよりも、細かなハンドル操作を伴う運転となり、自律航法の測位精度に影響を与えたものと考えられます。

### 3 周囲探知技術の検討

#### (1) ミリ波レーダによる周囲探知実験

ミリ波レーダは、ミリ波帯(30GHz～300GHz)の電波を用いて障害物を検出するものです。電波を利用してるのでカメラやレーザなどに比べ、気象の影響を受けにくい特徴があり、自動車の予防安全技術に使用されるなど実用化が進められていますが、吹雪時の適用については明らかにされていません。

そこで、本実験では、ミリ波レーダ(76GHz帯)が視程障害時の周囲探知技術として適用可能か検証しました。

実験は寒地土木研究所石狩吹雪実験場の試験走行路で実施し、直線部の終点側に車両を配置、200m手前の位置を除雪トラックの出発地点としました(写真6)。

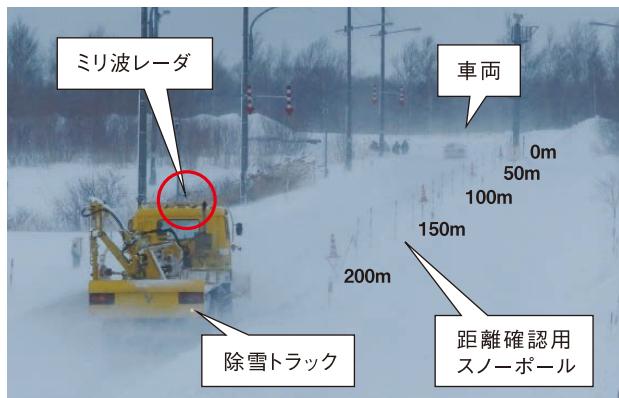


写真6 実験場所全景

ミリ波レーダは、除雪トラックのルーフ部中央の地上高3.31mの位置に設置しています(写真7)。



写真7 ミリ波レーダ設置状況

#### (2) ミリ波レーダによる周囲探知実験結果

検出結果の一例として、レーダ設置角度5度、走行速

度30km/h、プラウ単独作業時における、降雪無しの車両検出状況を写真8に、降雪有りの車両検出状況を写真9に示します。

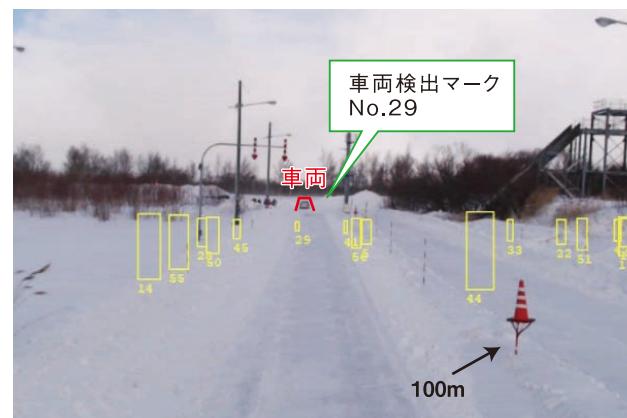


写真8 車両検出状況(降雪無し)

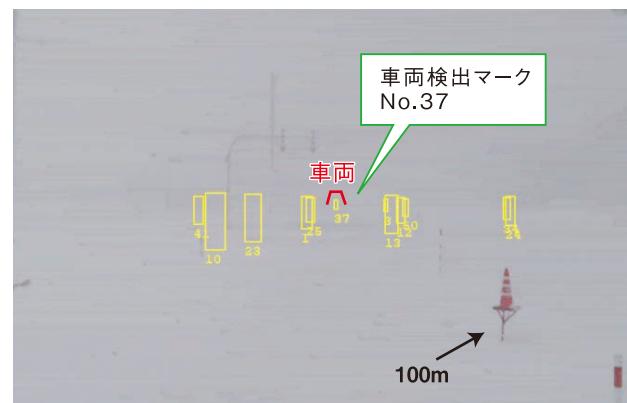


写真9 車両検出状況(降雪有り)

視程約50m以下の吹雪時に、除雪作業による振動を受けても、100m以上手前から車両を探知可能であることを確認しました。

降雪無しの車両検出距離は、164.6m手前から検出を始め、一部未検知があったものの16.4mまで検出できました。降雪有りの実験時における透過型視程計の平均視程距離は57.3mであり、スノーポールの目視確認による視程距離は50m以下でした。車両検出距離は、132m手前から検出し12.7mまで検出できました。上記の実験環境では、降雪の影響により車両の最大検出距離が約20%程度低下することがわかりました。

#### (3) ミリ波レーダガイダンスシステムの検証実験

視程障害時におけるミリ波レーダの有効性が確認できたため、ミリ波レーダを用いたガイダンス試作機を作製しました。作製にあたっては、ミリ波レーダによる障害物の検知判定処理方法について検討し、ミリ波による検知及び

受信結果の1次処理は、市販ミリ波レーダの検出結果を活用し、新たに構築した障害物判定処理ソフトウェアにより次の2次処理を行いました。

- ・エリア内にある障害物から最も短い障害物までの距離を判定
- ・判定したデータの反射断面積から人・物の区別
- ・表示装置への伝送データ処理

ガイダンス試作機の表示イメージを図2に示します。

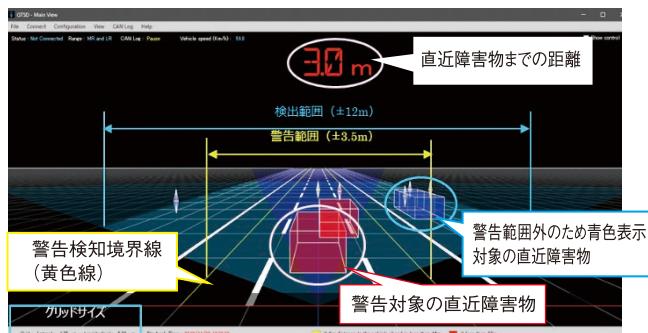


図2 ガイダンス試作機の表示イメージ

除雪トラックのフロントガラス全面を覆い、オペレータの視界を遮断し、吹雪による視程障害を模擬的に再現した状況で走行させたとき、前方の障害物情報（赤色の警告表示）のみを用いて安全に停止可能か、苫小牧寒地試験道路にて実験を行いました。



写真10 実験状況



写真11 走行中の運転室内状況

実験条件は、レーダ設置角度を4度、走行速度を20km/hとし、障害物にはコーナーリフレクタを使用。実験状況を写真10に、運転室内状況を写真11に示します。

#### (4) ミリ波レーダガイダンスシステムの検証実験結果

ガイダンス情報に障害物の未探知・誤探知はなく、オペレータはガイダンス情報に従いながら、障害物の10m以上手前で安全に停止可能であることを確認しました。

被験者に対するヒアリングでは、前方が見えない状況ではガイダンスシステム自体の有効性は高く、前方に何か障害物があるという情報は安心感に直結するため、できるだけ遠方から障害物を把握することが重要だということがわかりました。また、オペレータとしてはより安全側で警報を受ける方がよく、今回の条件であれば注意は60m、警告は30m手前でのタイミングが望ましいことがわかりました。一方で、画面表示（視覚情報）のみでオペレータに情報を伝達する方法には限界があり、音による警報と組み合わせることが有効であることが確認できました。

## 4 おわりに

磁気マーカシステムを用いた自車位置測位実験と車線走行支援ガイダンス、及びミリ波レーダを用いた周囲探知実験とそのガイダンスシステムの実験結果を紹介しました。

今後、車線走行支援技術については、主たる測位技術である衛星測位（みちびき等）に関する一般道での検証試験を行う予定です。また、周囲探知技術については、ガイダンスシステムの改良及び警告方法の検討とともに、一般道を対象とした除雪現場での効果検証及び課題の抽出を行う予定です。

なお、現在、「i-Snow」という取り組みを北海道大学、北海道開発局、北海道、札幌市、NEXCO東日本、寒地土木研究所他で行っています。「i-Snow」とは、北海道における「i-Construction」の取り組みとして、除雪現場の省力化による生産性・安全性の向上を図り、产学研官民が連携して取り組むプラットフォームのことです。

この中で、これまで述べてきました車線走行支援技術と周囲探知技術の各種センサの要素技術について提供することを予定しております。