

歩道除雪車における歩行者等の検知技術について

(国研) 土木研究所 寒地土木研究所 寒地機械技術チーム ○山崎 貴志
山田 充

歩道除雪車による歩道除雪作業では、歩行者等との接触事故を防止するため、前方に誘導員を配置することが多い。この誘導作業は非常に重労働であるため、誘導員の高齢化や担い手不足の観点からも、誘導員の代替となる技術が望まれている。本稿では、歩道除雪車との衝突を防止するために歩行者等を検知する技術への適応が期待できる計測機器である、ミリ波レーダとステレオカメラについて、障害物としての歩行者に対する検知状況を確認する試験を行ったので、その概要について報告する。

キーワード：歩道、除雪車、事故防止、歩行者検知

1. はじめに

歩道除雪車による歩道除雪作業では、歩行者等との接触事故を防止するため、前方に誘導員を配置することが多い。この誘導作業は、除雪前の積雪状態にある歩道を長距離にわたって歩かなければならないため、非常に重労働である。また、過去には、誘導員が歩道除雪車に巻き込まれる事故が発生している。一方、建設業界の人員不足は誘導員にも及んでおり、誘導員の高齢化や担い手不足の問題も年々深刻化している。これらのことから、誘導員の代替となる技術が望まれており、その技術の一つとして、歩道除雪車との衝突を防止するために歩道除雪車前方の歩行者等の障害物を検知する技術があげられる。本稿では、歩行者等の障害物を検知する技術への適応が期待できる計測機器である、ミリ波レーダとステレオカメラについて、歩道除雪車に設置して障害物としての歩行者に対する検知状況を確認する試験を行った。

2. 機器選定

(1) 歩道除雪車の概要

本試験で使用した歩道除雪車(図-1)は、1.5mの幅で除雪を行うことができるロータリ除雪車で、主要諸元としては、株式会社NICHIGO製、型式R09A、全長592cm、全幅150cm、全高238cm、車両重量6,030kgである。本歩道除雪車は、北海道の国道における歩道除雪作業を行っている多くの歩道除雪車と同様の型式である。



図-1 歩道除雪車

(2) 計測機器の選定

歩道除雪車による歩道除雪作業において歩行者等を検知する技術への適応が期待できる計測機器として、市販品として入手可能な機器の中から、降雪による影響が少ないといわれるミリ波レーダ(古河電気工業株式会社製24GHz帯周辺監視レーダ)、および障害物探知のシステムが市販状態で搭載されているステレオカメラ(エウレカ株式会社製シンクステラ)を選定した。車載用ミリ波レーダには主に24GHz帯と76GHz帯のものがあり、24GHz帯は近距離用、76GHz帯は長距離用に適していることから、低速で走行する歩道除雪車と歩行者等の接触を防止するために用いる本稿では24GHz帯を選定した。

(3) 機器設置位置の検討

ミリ波レーダについては、上下の視野角が小さく、俯角を付けて設置すると遠くの障害物の検知ができなくなるため、設置は人の身長よりも低い位置でかつフロントガラスに干渉しない高さで俯角を付けずに水平とし、また、車両右側にあるシュート装置の影響を把握するた

め、フロントガラス下部の左右端付近の2箇所とした（図-2）。

ステレオカメラについては、上下の視野角が十分にあり俯角の制限がおおむね不要であること、および、オーガ装置前方の死角軽減と車両右側にあるシュート装置の影響を軽減するため、設置位置をキャビン上部左側として俯角を付けて設置した（図-3）。



図-2 ミリ波レーダ設置状況

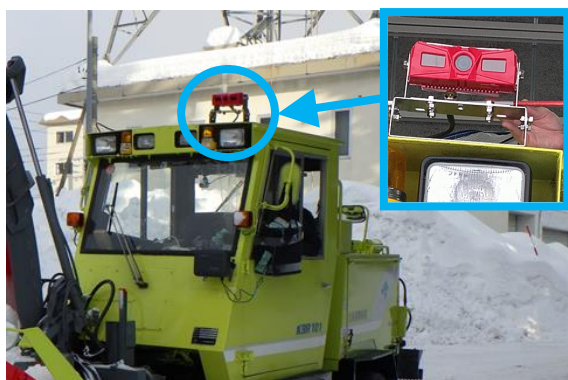


図-3 ステレオカメラ設置状況

3. 障害物検知試験

(1) 試験方法・試験条件

試験は寒地土木研究所の構内（図-4）で行った。検知対象の障害物を歩行者として、歩道除雪車の前方に歩行者を配置し、歩道除雪車の作業状態（停止・回送・除雪作業）、シュート装置の向き（左・右）、歩行者の位置（中央：真正面・左側：車幅分左寄り）、歩行者の状態（停止・歩行・姿勢）および歩道除雪車と歩行者の距離条件を組み合わせた各種条件において、ミリ波レーダおよびステレオカメラでの歩行者の検知状況を確認する試験を行った。

(2) ミリ波レーダ試験

試験条件および試験結果を表-2に、試験状況を図-5に示す。条件1-1は、歩道除雪車と歩行者ともに停止して



図-4 試験フィールド

いる条件であり、距離にかかわらず検知できなかった。この理由としては、今回使用したミリ波レーダが自身との相対速度があるものを検知する仕様であったためと考えられる。条件1-2は、条件1-1において歩行者が歩道除雪車に向かって歩行している条件であり、30m程度から直前までの距離範囲で検知できた。条件1-3は、条件1-2において歩行者の位置を歩道除雪車から見て左側にずらしたものであり、30m程度から直前までの距離範囲で検知できたが、左側のレーダのみでの検知であり右側のレーダでは検知できなかった。これは歩行者が右側のレーダに対するシュート装置の死角に入ったためと考えられる。条件1-4、1-5は、条件1-2、1-3においてシュート装置の向きを左にした条件であり、30m程度から直前までの距離範囲で検知できたが、右側のレーダでの検知は不安定であった（図-6）。これも前記と同様に右側にあるシュート装置の影響と考えられる。条件1-6は、歩道除雪車が約5km/hの回送（除雪作業なしでの走行）で歩行者が停止し、側方に建物が近接している条件であり、距離にかかわらず検知できなかった。この理由としては、歩行者の側方には建物の壁やシャッターがあり、レーダの反射強度が強いシャッターからのクラッタと呼ばれる不要反射波により反射強度が弱い歩行者を識別できなかったためと考えられる。条件1-7は、条件1-6において歩行者が歩道除雪車と同方向に同程度の速度で歩行する条件であり、距離にかかわらず検知できなかった。この

表-2 ミリ波レーダ試験条件・試験結果

試験条件	作業状態	シュート向き	歩行者位置	歩行者状態	歩行者との距離				
					1m	5m	10m	20m	30m
1-1	停止	右	中央	停止	×	×	×	×	×
1-2		右	中央	歩行	○	○	○	○	○
1-3		右	左側	歩行	○	○	○	○	○
1-4		左	中央	歩行	○	○	○	○	○
1-5		左	左側	歩行	○	○	○	○	○
1-6	回送	左	中央	停止	め安全 未実の 施た	×	×	×	×
1-7		左	中央	歩行		×	×	×	×
1-8	作業	左	中央	停止		○	○	○	×

○：少なくとも左右一方のレーダで検知、×：左右のレーダとも未検知



図-5 試験状況

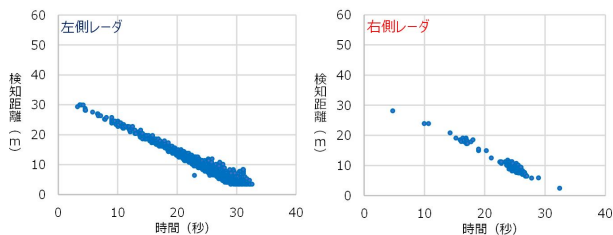


図-6 ミリ波レーダ検知状況（条件1-5）

理由としては、条件1-6における理由と条件1-1における理由の複合的な理由と考えられる。条件1-8は、条件1-4において歩道除雪車が約5km/hで除雪作業を行い歩行者が停止した条件であり、20m程度から直前までの距離範囲で検知できたが、右側のレーダでの検知は不安定であった。右側のレーダでは条件1-4と同様にシュート装置の影響があり、条件1-4よりも検出距離が低下した理由は主に除雪作業での投雪や雪煙の影響が考えられる。

(3) ステレオカメラ試験

試験条件および試験結果を表-3に示す。距離条件については、前記ミリ波レーダ試験と比較して、安全のため最近距離を3mとし、機器仕様の検知範囲である8mの条件を追加した。なお、20m以遠は検知範囲外であることが明らかであるため試験条件としていない。条件2-1、2-2、2-3は、歩道除雪車と歩行者ともに停止で、歩行者の姿勢が異なる条件であり、条件2-1の立ち姿勢と条件2-2のしゃがみ姿勢では、機器仕様である検知距離8mの範囲内で検知できた（画面枠赤色表示、図-7）が、条件2-3の伏せ姿勢では距離にかかわらず検知できなかった（図-8）。この理由としては、今回使用したステレオカメラでの障害物検知は画像のAI認識などにより行われており、AIが想定しない姿勢では検知できなかったためと考えられる。条件2-4は、歩道除雪車が回送している条件で、条件2-1と同様に8mの範囲内で検知できた。条件2-5、2-6は、歩道除雪車が除雪作業を伴う走行をし、シュート装置の向きを左・右にした条件であり、シュート装置が左向きの条件2-5で検知できなかった。この理由としては、シュート装置が左向きであることによるものではなく、歩道除雪車と歩行者の位置関係により、シュート装置や投雪による死角に歩行者が入ったことによるものと考えられる。

表-3 ステレオカメラ試験条件・試験結果

試験条件	作業状態	シュート向き	歩行者状態	歩行者姿勢	歩行者との距離			
					3m	5m	8m	10m
2-1	停止	左	停止	立ち	○	○	○	×
2-2		左	停止	しゃがみ	○	○	○	×
2-3		左	停止	伏せ	×	×	×	×
2-4	回送	左	停止	立ち	○	○	○	×
2-5	作業	左	停止	立ち	×	×	×	×
2-6		右	停止	立ち	○	○	○	×

○：検知、×：未検知



図-7 検知状況（条件2-1）



図-8 検知状況（条件2-3）

4. 問題点と改善案

(1) 計測機器の再選定

今回試験を行ったミリ波レーダおよびステレオカメラでの障害物検知では下記の問題があった。

ミリ波レーダでの障害物検知では建物のシャッターなどレーダの反射強度が強いものが歩行者に近接している場合などで障害物を検知できない恐れがある。市街地での歩道除雪作業ではこのような状況は多くあるため、対策が必要である。また、ステレオカメラでの障害物検知は画像のAI認識などにより行われており、AIが想定しない姿勢などでは検知できない場合があるため、人が倒れているような状況などで検知できない恐れがある。

これらのことから、より確実に障害物を検知するためには、障害物までの距離情報を直接的に得ることができる計測機器が適すると考えられる。障害物までの距離情報を直接的に得られる計測機器としては、デプスカメラやLiDARカメラなど、可視映像と位置同期した距離情報

を得られる比較的安価な製品が市販されているため、本件への適応性が高いと考えられるが、使用温度範囲などの制約があるため、適応性についての詳細な検討が必要である。

(2) 機器取付位置の再検討

歩道除雪車のキャビンの前方にはシュート装置があり、キャビンに計測機器を設置する限り必ずシュート装置による死角が発生する。死角にある障害物は計測機器の種類にかかわらず検知することが困難であるため、シュート装置よりも前方に計測機器を設置する必要がある。シュート装置の前方ではオーガ装置などによる雪煙の影響が大きく、取付位置や雪煙対策の検討が必要であるが、シュート装置の前方に計測機器を取り付けることは、シュート装置による死角の影響を解消するだけでなく、オーガ装置の前方下部の死角の影響も削減することができるため、確実な障害物検知を行うために効果的と考えられる。

(3) 障害物検知システムの検討

計測機器の再選定および取付位置の再検討を踏まえ、図-9に示す障害物検知システムを考案した。本システムは、デプスカメラまたはLiDARカメラにより障害物までの距離情報を得て、降雪などの雪粒子の影響を排除し障害物を判断するプログラム処理により、障害物の検知を行うものである。プログラム処理の概略図を図-10に示す。また、これらのカメラの設置位置をオーガ装置の上部としている(図-11)。オーガ装置の上部は雪煙の影響が大きいと考えられるため、雪煙対策として、これらのカメラを覆うケースを設けている。このケースの前方には開口部があり、かつ、キャビン内の雪粒子のない清浄温暖な空気をケースに送り込み開口部から気流を排出することで、雪がカメラに付着することを防止する構造としている(図-11)。

今年度、本システムを製作し、障害物を検知する試験を行う予定である。

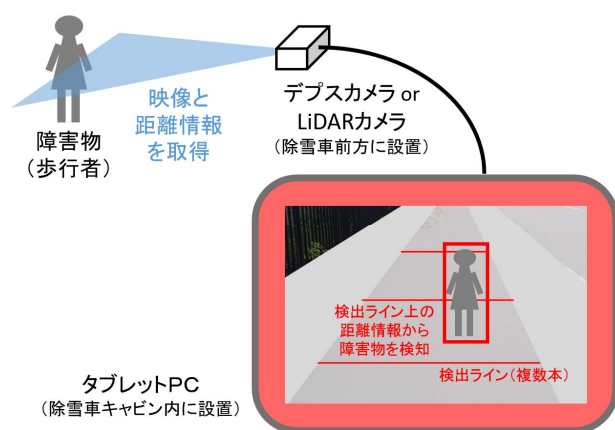


図-9 障害物検知システム概略図

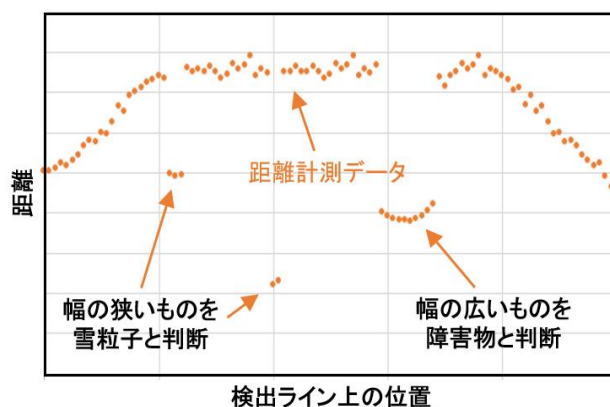


図-10 プログラム処理概略図



図-11 計測機器設置位置および雪付着対策

5. まとめ

歩道除雪車による歩道除雪作業において、歩行者等の前方障害物を検知するために、適応性が高いと考えられる計測機器としてミリ波レーダとステレオカメラを選定し、各計測機器による障害物検知試験を行った。

ミリ波レーダでは、建物のシャッターなどレーダの反射強度が強いものが歩行者に近接している場合などで検知できない恐れがあること、ステレオカメラでは、画像AI認識により障害物を検知するため、歩行者の姿勢によっては検知できない恐れがあることがわかった。また、どちらの計測機器でも歩行者がシュート装置の死角となる場合には検知が困難であることがわかった。

このため、計測機器と機器取付位置の再検討を行い、障害物検知システムとして、シュート装置の前方に設置する計測機器により得られる、障害物までの距離情報から障害物を検知するシステムを考案した。

参考文献

- 1) 梶原昭博：設計技術シリーズ ミリ波レーダ技術と設計 一車載用レーダやセンサ技術への応用一、科学情報出版株式会社、2019。