新技術開発探訪

除雪作業の安全性向上に向けた検討

国土交通省 東北地方整備局 東北技術事務所
施工調査・技術活用課　伊藤（いとう） 秀樹（ひでき）
施工調査・技術活用課　課長　中島（なかじま） 朋也（ともや）
施工調査・技術活用課　計画係長　金野（こんの） 貴洋（たかひろ）

要　旨

東北地方における道路除雪作業では，路面上の圧雪除去，不陸整正などの路面整正作業の主力機械として，除雪グレーダが使用されている。

近年，除雪機械オペレータの高齢化並びに，除雪グレーダの仕様変更による除雪体制への影響など，人材，機材の確保への不安材料が生じており，確実かつ安定した作業体制を確保するための取り組みが求められている。

本報告は，道路除雪体制確保の一環として進めている，除雪作業の安全性向上に向けた検討について報告するものである。

1.　はじめに

道路除雪作業は，冬期間に一般通行車両との輻輳作業を伴うなど厳しい作業条件下にある。

除雪作業の主力である除雪グレーダは，平成24年度末に改正された建設機械の排出ガス４次規制適用に伴い，従来から使用されている二人乗り除雪グレーダの製造が終了している。

今後は，一人乗り仕様となる除雪グレーダの供給が決定しており，機械仕様の変更は除雪作業への影響が明らかであり，特に作業中の安全性を確保する対策が必要となっている。

除雪グレーダでの作業は，オペレータ及び助手の２人体制から１人体制を強いられることになり，また，オペレータの高齢化による，将来的な熟練オペレータの確保が困難になることから，除雪作業の安全性向上を目的とした運転操作支援を行う装置の検討を行ったものである。

2.　除雪グレーダ作業の現状分析

(1)　除雪グレーダの特徴

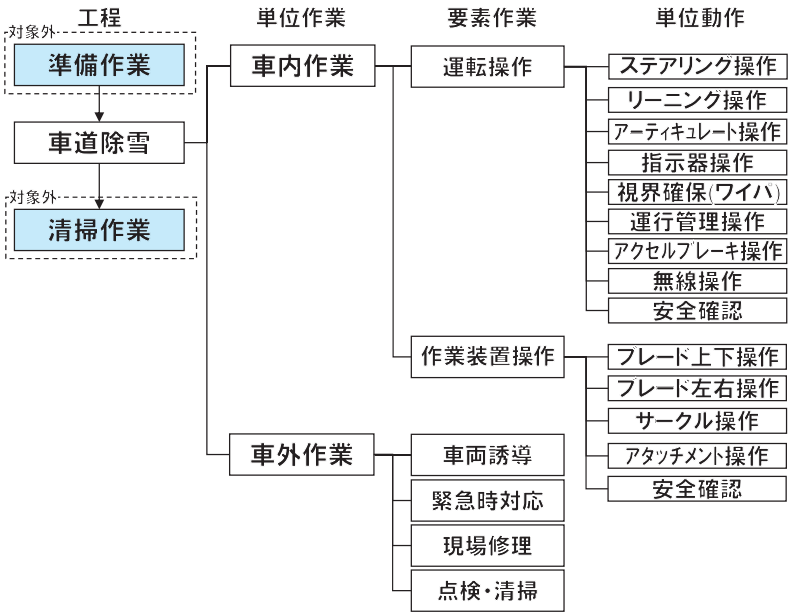
除雪グレーダは土工用のグレーダをベース車両としており，大型のブレードやキャビンなど，除雪作業のための装備をした専用機械である。新雪除雪，路面整正，圧雪除去など広範囲の除雪作業に使用され，東北地整管内では一次除雪機械の６割以上（約200台）を占める主力機械である。

除雪グレーダの作業構成を図式化したものが図―１である。大別すると車内作業と車外作業に分けられるが，本検討は運転操作による安全性向上を目的としていることから車内作業に絞って検討を進めることとした。

(2)　除雪グレーダの運行体制

運転とは，取得（認知），判断，操作（行動）を常に一連動作として実施しているものである。

取得・判断の部分は機械を動作させる前提条件にあたり，更にはオペレータの熟練度により変化するものである。オペレータの思考の中で実施される，取得・判断の部分の中で，助手が関わって



図―1　除雪グレーダの作業構成図

いるのが取得の部分である。

一人乗り除雪グレーダは，助手を欠いた状態となることから，今まで助手が行っていた作業もオペレータが1人で実施していくこととなる。

安全性向上には，オペレータがどのような情報を取得し，助手が補っている部分はどこかを分析することが，重要であると考えた。

(3)　運転操作支援

除雪機械のオペレータには，作業中『安全な車両運行』と『確実な作業装置操作』が要求される。

中でも除雪グレーダは，装置操作が複雑かつ頻繁なことから，安全を確保しながら効率の良い作業を実施するためには，特に熟練を要する除雪機械である。

効果的な運転操作支援のためには，作業実態の把握と必要な機能の選定が重要であると考え，検討の第一段階として除雪グレーダ作業の現状分析を行った。

3.　除雪グレーダの作業実態

(1)　オペレータと助手の役割分担

作業分析に際しては，除雪グレーダ車内にドライブレコーダを設置し，オペレータと助手の作業状況の撮影を行い，その撮影した車内映像記録を分析し，除雪グレーダ車内作業の役割分担をとりまとめた（写真―1）。

従来の除雪グレーダには，一般的にオペレータと助手の2人が搭乗している。

写真―1　梯団の間に位置する一般車
オペレータ：分離帯や装置状況を確認
助手：近接車両を確認

除雪グレーダの車内作業では，車両及び装置操作に関わる部分はほとんどオペレータが担っており，助手の作業は，大半が安全確認となっている。

本検討の分析結果においても，除雪作業中のオペレータは，実操作を行っているのに対し，助手は，確認行為を行っていることに終始しており，オペレータに必要なのは，助手が行っている確認行為の代行と判断できた。

(2) 作業中のオペレータ

作業映像から得られた，オペレータの視線分布と助手の作業割合を図―2に示す。

作業映像を分析した結果は，オペレータが注視しているのは前方や側方の視界の中でも，作業装置周辺，特に右側に視点が集まっていることが判明した。ただし，視線が同じ所を見ている時間は1秒程度と少なく，頻繁に視線を移している特徴がある。

除雪グレーダの作業装置であるブレードは，上下左右回転と動作種類が多く，ブレードの路面押し付け具合により除雪精度が大きく異なってくる。作業中は，路面の起伏や支障物に合わせた操作を要するため，オペレータによる装置の操作頻度が高い。

さらに，一般通行車両に混じっての作業であるため，円滑な交通の確保などに配慮しながらの作業となり，投雪により歩行者などに影響を与えない慎重な作業も求められる。

安全性確保，除雪精度を同時に確保するために，オペレータの注意が作業装置に集中するのは必然であり，オペレータが作業装置へ注意集中できるよう，助手が同乗することで周囲の安全確認，安全確保を図っているのが現状である。

(3) 熟練者と非熟練者の違い

除雪グレーダの作業は基本的に2人で実施されているが，役割は固定されているわけではない。

助手は本来の助手の役割を果たしつつ，オペレータとなるための教育の一環としての同乗や，工区延長が長い場合の運転操作の交替要員といった役割を担うケースもある。

本検討での撮影においては，往路を熟練者，復路を非熟練者の作業パターンで実施しており，分析の結果は表―1に示すとおり熟練者が助手となった場合，後方確認の情報提供が多くなっている。

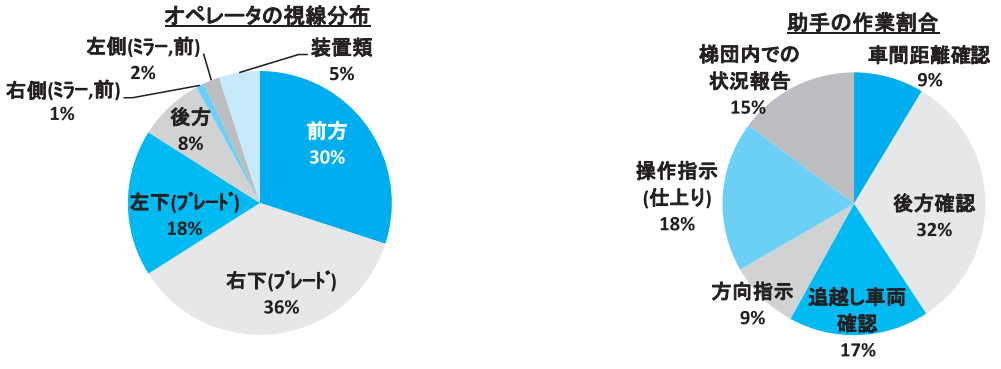
この情報提供の差は，オペレータの必要とする情報を潜在的に自らの経験により取捨選択し，最も必要な情報として後方に関わる情報を選定したものと推測される。

この情報提供のとりまとめ結果から，熟練者が潜在的に持ち合わせている除雪作業中に確認し難い車両周辺の中で，車両後方の情報提供が運転操作支援すべき内容ではないかと考えた。

4. 運転操作支援の機能検討

(1) オペレータに提供する情報量

作業において，最も影響が大きい要素は安全確



図―2　オペレータ視線分布，助手の作業割合

表―1　助手の情報提供回数・内容

大項	助手作業の項目	項目内容	助手（熟練） 距離：18km 時間：1h26min	助手（非熟練） 距離：24km 時間：2h24min
安全確認	車間距離指示	梯団間隔や周辺車両についてのやり取り ・「だいぶ離れてますよ。」		5
	後方確認補助	後方確認を運転手に代わって助手が行う ・「後ろオーライです。」	7	5
	追越し車両確認補助	横を追い越していく車両（特に大型車）があるときの注意喚起や確認を行う ・「通過しますよ。」	2	1
操作補助	方向指示	ルートや直進，右左折等についてのやり取り ・「そこはまっすぐで。」		2
	操作指示	運転操作や機械操作についてのやり取り ・「センターライン見えるくらいでお願いします。」	3	2
状況報告	梯団内で状況報告	前後の交通状況報告 ・「○○で事故車両２台あります。」		2
降車	降車しての業務	降車して後方確認や安全誘導などを行う		1

認であり，オペレータ，助手双方に必要な情報である。

ただし，オペレータが必要としない情報，大量の情報提供は作業の支障になることが，過去の検討結果より明らかとなっている。

よって本検討では，車両後方状況のうち，オペレータが最も必要とする情報とは何か，絞り込みを行った。

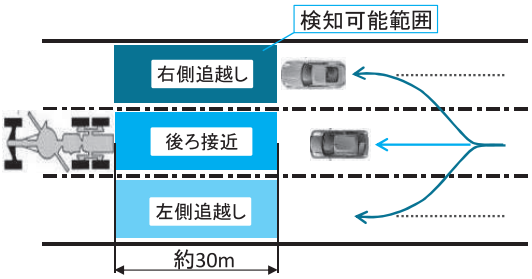
⑵　有効な情報と運転操作

作業映像の分析結果に加え，東北管内の各除雪機械オペレータに対する意見調査を実施したところ，重要と考えている情報は，除雪車両後方からの近接，追い越しを行う一般車両であった。

これらの調査結果を踏まえ，オペレータが投雪方向調節や進路変更など各運転操作するためには，オペレータ自身の確認行為とは別に，後方から車体側面にかけての近接車両の存在を認識させることができれば，運転操作の判断材料として有効であると結論づけた。

よって情報提供内容は，最も重要な後方からの近接車両に限定をして机上検討を行った。

検討では，図―3に示すように，除雪グレーダの後方30m程度から検知を開始し，検知範囲を複数設定することで左右からの追越し車両を含めて，オペレータに情報提供を行うことで検討を進めた。



※３車線をカバーすることで、梯団除雪時の位置全てに対応可能

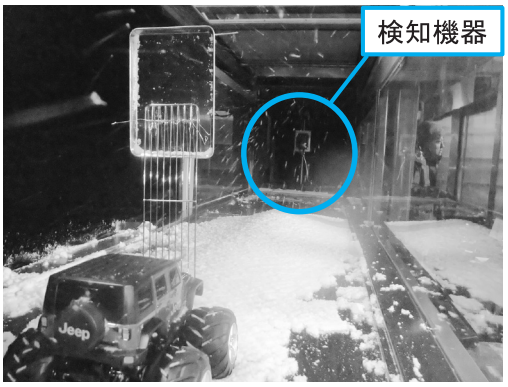
図―3　検討した検知条件

⑶　対応する機器の検討

検討中の運転操作支援装置における動作内容は，除雪グレーダ周辺の一定範囲に侵入してきた車両を検知，発報するものとする。検知機器については，身近なもので言えば，ビーコンのような固定式や乗用車のアシスト機能などが実用化されている。

検知の原理として，赤外線やマイクロ波，ミリ波など想定されたが，除雪作業の環境下においては，降雪や除雪車自身が舞い上げた雪による誤検知が危惧されることから，事前の検証が必要となった。

冬季の厳しい気象条件化を再現するため，降雪



写真―2　雪の影響に関する風洞実験

時における検知精度の検証実験においては，国立研究開発法人 防災科学技術研究所との共同研究にて実施しており，雪氷防災研究センター新庄雪氷環境実験所の風洞装置にて検証を実施した（写真―2）。

(4) 車両検知環境の想定と風洞実験

検知機器は，低温の環境に置かれ，降雪，吹雪，除雪グレーダの発生させた風，舞い上げた雪や水分の付着にさらされることが想定される。

本検討では，新庄雪氷環境実験所において，吹雪の強度，検知対象物の距離を変化させながら，降雪や着雪が検知性能へどのような影響を及ぼすか実験を行った。

風向は検出面に対し，除雪グレーダ走行時を想定した後方，地吹雪と巻き上げによる着雪を再現するための前方及び横の３種類を実施した。

風速は，東北管内の除雪グレーダ作業速度（約20～30km/h）から４m/sと８m/sの２種類を実施し，雪の空間密度は0.33g/m^3，0.81g/m^3，1.74g/m^{3}に変化させることで吹雪の強度を変化させている。

(5) 風洞実験の結果

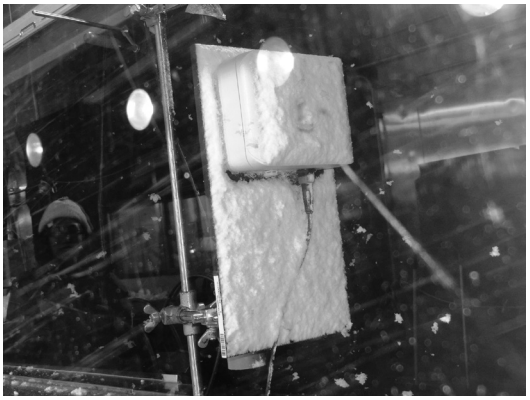
風洞実験は，赤外線とマイクロ波の２原理３機種を用いて実施した。３機種に共通する結果は，全ての機器が雪の空間密度に関係なく対象物を検知可能であり，風向による影響もない。また，検知対象物への着雪影響も特に発生しないものであった。

ただし，検知の原理が違うことにより，次のような違いがあった。

赤外線は，僅かではあるが降雪も検知してしまうこと，少量でも検知機器に着雪すると誤検知が発生する結果となった。また，機器に内蔵されているヒータ機構では，着雪を溶かすまでの能力はなかったため，利用する場合は着雪対策が必要となる。

マイクロ波は，降雪の影響や低温による機能低下も見受けられず機器性能を発揮する結果となった。４cm程度まで着雪が成長すると検知不良が発生したが，作業中の除雪グレーダ車体後部では，検知不良を起こすほどの着雪は発生しないものと考える（写真―3）。

以上の結果から，システム設計においてはマイクロ波を利用することとしている。



写真―3　検知機器への着雪状況

5. 試作システムと試験導入の結果

(1) 試作システムの導入

本検討で試作を行った支援システムの車両検知部を写真―4に，オペレータへの通知機器を写真―5に示す。

システムの導入は，湯沢河川国道事務所 大曲国道維持出張所 大曲工区に配備された，一人乗り仕様の除雪グレーダを採用した。

検知範囲は，除雪グレーダの走行車線と左右１車線の全３車線を対象としており，除雪グレーダ後方30m以内に接近してくる物の検知を行う。

写真―4　車両検知部

写真―5　オペレータへの通知機器

なお，検知する物は一般車両だけでなく，歩行者や軽車両も可能となっていることから，検知範囲であれば路側帯を走行してくる自転車なども検出する。

通知については，運行装置上に配置した機器により，ブザー音と赤色灯にて通知するものとしている。なお，赤色灯は，検知方向（後方３車線）で点灯位置が変わるものとしている。

⑵　支援システムによる作業速度の違い

除雪車両運行管理データを基に，支援システムの有無による作業速度の比較を行った。

比較を行ったデータの作業条件を表―2に，速度変化のグラフを図―4に示す。

なお，速度グラフは，交差点や梯団間の調整などでの停車措置を排除するため，０km/hを除いている。

結果は，図―4のグラフから支援システムを利用した場合には最高速度が上昇し，全体的に作業速度が向上していることが判る。

なお，平均速度に大きな違いが現れない理由は，梯団作業のためと推察する。

⑶　支援システムによる視線の違い

オペレータの視線分布をアイカメラにより取得し，支援システムの効果を視線変化から検証をした。

オペレータの周囲確認割合を図―5に示す。

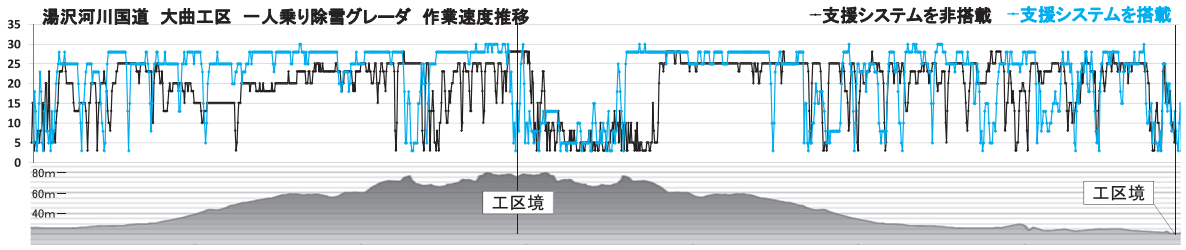
二人乗り仕様時は，後方に係る確認割合が26％であるのに対し，一人乗り仕様では21％に落ち込んでいる。

一方で，支援システムを導入した場合は，27％

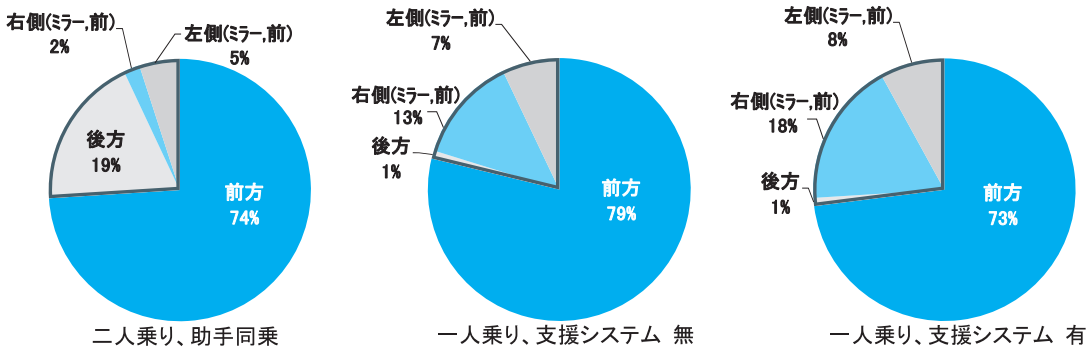
表―2　各除雪の作業条件

システム	天候	気温	降雪量	積雪量	作業時間帯	作業形態	運転時間	平均速度
動作	雪	−4.0℃	11.0cm	53.0cm	午前中	梯団先頭	2h17m	15.8km/h
非動作	雪	0.0℃	10.0cm	48.0cm	午前中	梯団先頭	2h48m	15.0km/h

※運転時間，平均速度には，信号待ち等の停車時間を含む。



図―4　一人乗り除雪グレーダ　作業速度推移



図―5　各条件におけるオペレータの周囲確認割合

と割合が増加しており，助手が不在となったことで減少した周囲確認の割合が，支援システムにより二人乗りと同等の割合までに改善する結果となった。

また，視線が1箇所に固定される時間が減少していることも確認されている。

(4)　試験導入の結果考察

支援システムの導入により，二人乗り仕様に近い作業環境が確保可能であると，図―5のグラフからも推察できる。

車両の存在を明らかにすることで，車両を探す必要性が低下し，除雪状況や作業装置を確認する余裕が生まれることとなる。

この余裕の結果として，図―4に示す作業速度の向上にもつながったのではないかと推察している。

また，支援システムの試験導入を受けて，特に交通量の落ちる深夜作業時は，作業状況の確認などに集中していることが多く，周囲の確認頻度が落ちるため，支援システムが有効との意見をオペレータより頂いている。

この作業状況への集中こそが，従来は二人乗り仕様だからこそ可能だったものであり，支援システムの導入をすることで安全性の向上に寄与できる部分である。

6.　おわりに

本検討では，効果的な運転操作支援の方法，内容とするために，機器設計に入る前に作業実態をとりまとめ，複雑で熟練を要する除雪グレーダ作業の分析を行った。

除雪作業に係る運転支援や操作支援を機器的に行うということは，オペレータの動作だけでなく，複雑な状況判断に介入していく必要がある。しかし，経験やノウハウによる部分を理解し，十分な補完を実施することは簡単ではない。

今後の運転操作支援に関わる検討をしていくうえで，効果的な運転操作支援を行うためにも，機能，目的を絞り込むことは，非常に有効だと考える。

平成28年度は，本検討での結果を踏まえて，支援システムの実用化に向けた検討を進める考えである。

謝　辞

風洞実験に際し，国立研究開発法人 防災科学技術研究所 雪氷防災研究センター 新庄雪氷環境実験所 小杉健二室長，同実験所 望月重人氏に，多大なるご協力を賜りました。深く感謝申し上げます。