

『一人乗り除雪グレーダ導入における検討』

伊藤 秀樹*1, 中島 朋也*1, 金野 貴洋*1, 稲葉 護*1

要 旨

東北地方における道路除雪作業の主力機械である除雪グレーダは、従来から大きく仕様を変えて、一人乗り仕様として供給が開始されている。

一人乗り除雪グレーダの配備、運用にあたっては、除雪体制への影響を分析し、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、一人乗り除雪グレーダ配備に先立ち進めている、除雪作業の作業性や安全性に関わる検討について報告するものである。

1. はじめに

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た。

平成27年度から新たな除雪グレーダの供給が始まったところであるが、一人乗りとなるなど除雪能力を含め、従来と機械の仕様が大きく異なるものとなっている。

機械仕様の変更は、除雪作業への影響が明らかであることから、作業性や安全性の確保を目的とした運転操作支援について検討し、一人乗り除雪グレーダの実作業による検証を行った。

2. 運転操作支援の必要性

2.1 除雪グレーダ運行体制の変化

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。

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り、中でも除雪グレーダは、装置操作が複雑かつ頻繁な除雪機械である。

オペレータの思考の中で実施される取得・判断の部分は、機械を動作させる前提条件となり、除雪機械の運行にあたっては、取得部分における助手の補助が重要な役割を担っている。

一人乗り除雪グレーダでは、助手を欠いた状態となるため、助手が行っていた作業もオペレーター一人で実施していくこととなる。

一人乗り除雪グレーダの導入にあたっては、除雪の作業性、安全性の確保の観点から、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したうえで、助手に代わる新たな技術の開発が重要であると考えた。

2.2 オペレータと助手の役割分担

作業分析に際しては、ドライブレコーダにより撮影した除雪グレーダ作業中の車内映像記録を基に、オペレータと助手の行動をモデル化し分析した。（図-1）

分析の結果、車内における助手は、各操作行動に際して実施されるオペレータによる確認行為の中で、オペレータが同時に確認できない部分を代替して取得（認知）することが主であるとの結論に至った。

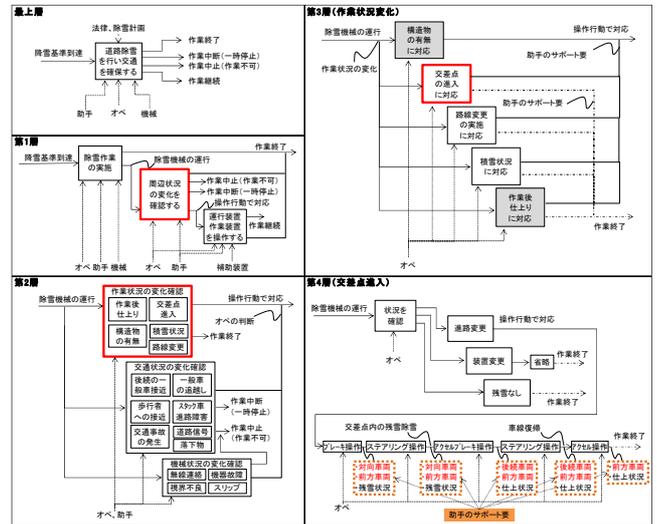


図-1 除雪グレーダ運行の行動モデル

2.3 操作支援すべき内容の決定

オペレータと助手の行動データは、視線や会話内容についても整理を行なった。

結果は、図-2 に示すとおり、オペレータは作業装置類への注視が多いのに対し、助手は車両周辺、特に後方の確認を実施していることも判った。

また、助手を務める者が熟練者だった場合、非熟練者より後方確認の情報提供が多くなっている結果であった。

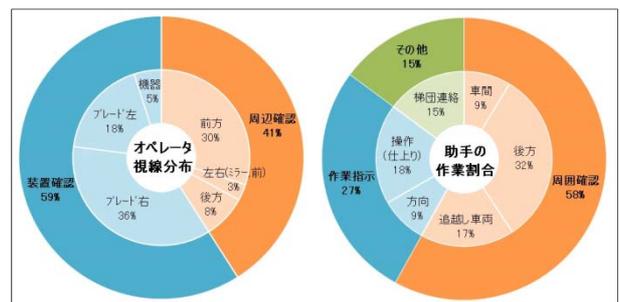


図-2 オペレータ視線分布、助手の作業割合

*1 国土交通省 東北地方整備局 東北技術事務所

熟練者のケースで特徴的な情報提供を行なっているのは、助手（熟練者）が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係わる情報を選定したものと推測された。

以上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と考える、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あると結論づけ、運転操作支援のシステム検討に取り掛かった。

3. 運転操作支援の機能検討

3.1 オペレータに提供する情報量

作業の実行において、最も影響が大きい要素は安全確認であり、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、当事務所における過去の検討結果より明らかとなっている。

助手の情報提供として頻度の高かった、後方確認による取得情報の種類は、一般車両の動きや除雪（投雪）の状態、梯団の状況など多岐にわたる。

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についての絞り込みを行った。

3.2 有効な情報と運転操作

作業映像の分析に加え、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。

上記の調査結果をふまえ、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検討を行なった。

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なうことで検討を進めた。

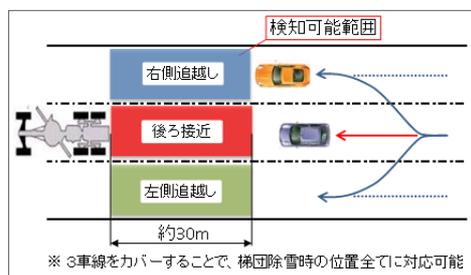


図-3 検討した検知条件

3.3 対応する機器の検討

検討中の運転操作支援の内容は、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、発報する後付けのシステムとした。

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。

本検討におけるシステムでは、検知の原理としてマイクロ波を採用し試作と実証試験を行った。

なお、検出機器は、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の風洞装置による検証実験のうえで選定を行っており、実験は、同研究所との共同研究にて実施している、(写真-1)



写真-1 雪の影響に関する風洞実験

4. 試作システムと試験導入の結果

4.1 試験工区を選定

運転操作支援システムの試験導入においては、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。

なお、一人乗り仕様機は、東北管内で平成 27 年に 4 台配備されている。

本工区は、多車線区間を含む市街地であり、加えて過去 5 年の平均積雪深 64cm の豪雪地域であることから除雪の回数も多く、システム検証に適していると考えた。

4.2 二人乗り仕様機との能力比較

運転操作支援システムの検証に先立ち、除雪車両の運行管理データを基に、従来使用されていた二人乗り仕様機との能力比較を行なった。

降雪量に対する作業速度の分布を図-4 に示す。

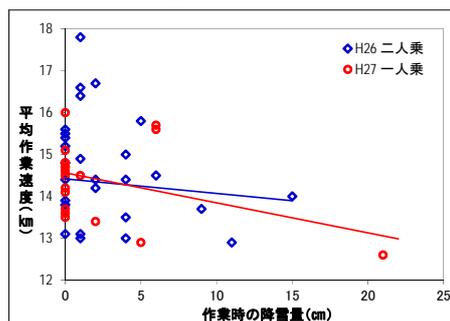


図-4 除雪グレーダ 作業速度分布図

作業速度の整理においては、梯団除雪における構成車両の影響を受けると考え、一人乗り仕様機が導入されていない前年度の運行データを比較対象とした。

結果は、降雪量が少ない場合は二人乗り仕様機よりも作業速度が上がっている一方で、降雪量の増加に伴う速度低下が大きくなっているのが判る。

4. 3 二人乗り仕様機との作業速度の違い

作業速度差が大きくなり始める、降雪量 10cm 付近での速度変化グラフを図-5、作業条件を表-1 に示す。

図-5 から、全体的に一人乗り仕様機のほうが、施工中の最高速度が落ちていることが見て取れる。

一方で、前後進を繰り返しての往復作業を必要とする工区境においては、一人乗り仕様機のほうが高めの作業速度であった。

要因としては、一人乗り仕様機で実施された視界改善やレーダー配置の見直しなどにより、二人乗り仕様機と比べて操作性が向上したためと推察できる。

しかし、ブレード高さが低くなったことで、除雪量によってはブレード上部から雪がのり越え、雪をこぼすことが確認されている。

助手の確認行為が無くなったなかで、除雪能力も低下し、『安全な車両運行』と『確実な作業装置操作』を両立させるために、結果として作業速度が低下したと考える。

表-1 各除雪の作業条件

年度	天候	気温	降雪量	積雪量	作業時間帯	運転時間	平均速度
H26 二人乗り	雪	-3.0°C	15.0cm	75.0cm	午前中	2h39m	15.6km/h
H27 一人乗り	雪	0.0°C	10.0cm	48.0cm	午前中	2h46m	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

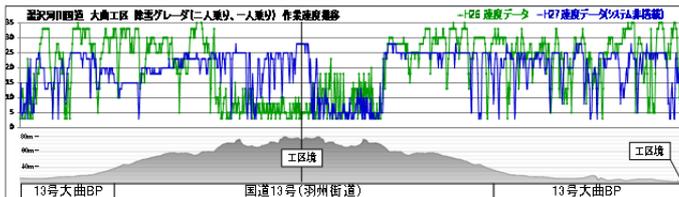


図-5 除雪グレーダ（二人乗り、一人乗り）作業速度推移 ※停車措置を排除するため 0km/h 含まず。

4. 4 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-2 に、オペレータへの通知機器を写真-3 に示す。

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。

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バイクなども検出する。

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。



写真-2 車両検知部



写真-3 オペレータへの通知機器

4. 5 支援システムによる作業速度の違い

車両運行管理データを基に比較した、支援システムの有無による作業速度の変化グラフを図-6、作業条件を表-2 に示す。

図-6 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。

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°C	11.0cm	53.0cm	午前中	梯団先頭	2h17m	15.8km/h
非動作	雪	0.0°C	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

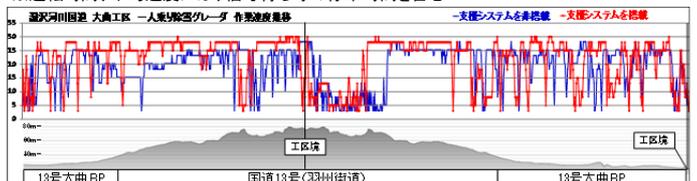


図-6 一人乗り除雪グレーダ 作業速度推移 ※停車措置を排除するため 0km/h 含まず。

4. 6 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した。

オペレータの周囲確認割合を図-7 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%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、検証では、視線が一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。

システムの有無によらず後方確認が減少し、左右ミラーに分散されているのは、自身に代わり前方を確認している助手が居ないため、前方視野からの視野移動が少なくて済むミラーを選択したと推察できる。

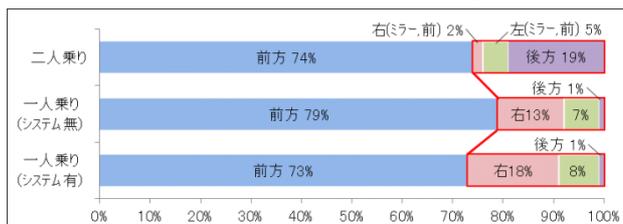


図-7 各条件におけるオペレータの周囲確認割合

4. 7 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-7 のグラフからも判断できる。また、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-6 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。

さらに、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。

4. 8 試験結果を受けての改良

実際の除雪作業においては、数字として表れない定性的な要素も重要な項目となる。

特に使用感は、オペレータに対する苦渋性につながる可能性もあり、今後システムを普及させていくうえで、重要な項目である。

意見徴収の結果では、ブザー音の長さや赤色灯位置など、オペレータへの情報伝達に関する部分への要望が主に挙げられたため、改良した支援システムをH28年度に試験運用して、最終仕様を決定する考えである。

5. 今後必要と考えられる対策

5. 1 除雪能力に対する対応

除雪グレーダのオペレータは、一般交通や道路障害物、

投雪方向、仕上りと数多くの情報を取得、判断して機械を運転操作している。

本検討では、安全性の向上に主眼を置いて調査検討を実施してきたが、一人乗り仕様機の除雪能力についても大まかに確認できた。

検討結果として、二人乗り仕様機の配備箇所の更新で単純に一人乗り仕様機を配備していくことはできないと考える。

今後は、工区毎の作業条件や配備機械を見据えての新しい配備計画手法、機器による能力補強方法も併せて検討していくことで、二人乗り仕様機に近い、道路除雪体制やサービスの維持が可能となるのではないかと考える。

近年多発する豪雪が発生した際の影響も懸念されることから、詳細な能力調査の実施が必要と考える。

5. 2 オペレータの育成

除雪グレーダによる除雪作業は、複雑な装置操作を頻繁に要し、安全を確保しながら効率の良い作業を実施するためにも、特に熟練を要する除雪機械である。

若手オペレータは、自身の経験を積むことで習熟度を上げていくことは勿論であるが、熟練オペレータの助手として同乗することで、経験やノウハウに依る部分を伝達されている実態がある。

経験やノウハウの部分は、机上で伝達することは困難であり、実作業の中で伝達していくからこそ身に付くものであるとの意見が現場からもあげられた。

一人乗り仕様の配備が進んだ場合の技術伝達についても、検討の必要性が高いと考える。

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。

さらには、東北地整管内における一人乗り除雪グレーダの運行データのとりまとめにより、二人乗り除雪グレーダと比較をすることで課題の認識を図れた。

従来は、助手がオペレータを補うことで除雪作業を実施されていたが、一人乗りとなったことで作業性、安全性が低下することは否めない。

さらに、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く、削減となった助手の役割全てを機器で補うことは大変難しいと考える。

今後は、本検討での結果を踏まえて支援システムの実用化を進めると共に、現場調査などを通じて明らかになった課題に対して、配備計画や運用方法といったソフト面からの課題解決も視野に入れ、検討を進めていきたい。