

17. 除雪機械作業装置の自動化に関する現状と今後の展望について

国土交通省大臣官房参事官（イノベーション）グループ施工企画室 柿崎 俊裕
 国土交通省大臣官房参事官（イノベーション）グループ施工企画室 ○ 遠藤 天生

1. はじめに

近年、除雪機械の熟練オペレータの減少や担い手不足が深刻な課題となっている。その背景には、除雪機械という特殊な機械を操作するために技術を要することや、その特殊性により新たな担い手が育ちにくいという現状がある。

そこで国土交通省では、除雪機械の作業装置操作を自動化することで省力化を図り、熟練技術や経験が無くても一定の精度で除雪を可能にすることで、この課題の解決を目指している。

本稿では、北海道開発局が検討を行っている、ロータリ除雪車の作業装置自動化の現状と、今後の取り組みについて紹介する。

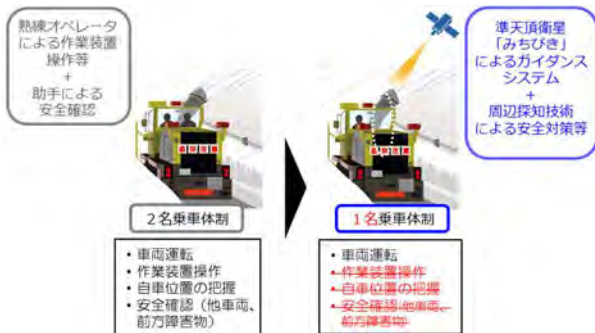


図-1 ロータリ除雪車の投雪作業自動化イメージ

2. 北海道開発局の取り組み

平成 29 年 3 月に、持続可能な道路除雪の実現に向けて産学官が連携して取り組むプラットフォーム「i-Snow」が発足した。

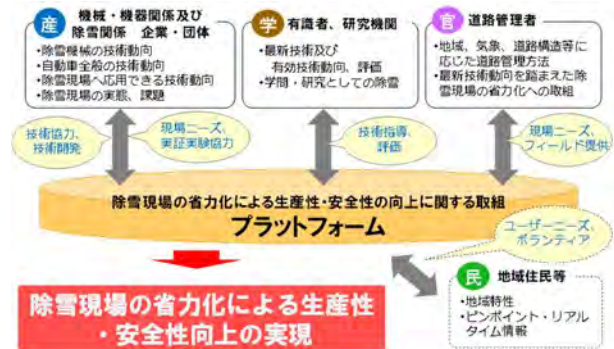


図-2 i-Snow の活動

i-Snow の主な取り組みとして、発足から現在に至るまでの、ロータリ除雪車の作業装置（投雪作業）自動化、吹雪時の映像鮮明化に向けた取り組みのロードマップを図-3 に示す。

映像鮮明化装置は、令和 4 年度までに 119 台を実働配備しており、カメラで撮影した画面を通して、車両、標識、信号、固定式視線誘導柱、路面等が見やすくなることで、精神的負荷減少、走行速度確保、立往生車両発見等の効果が得られる。

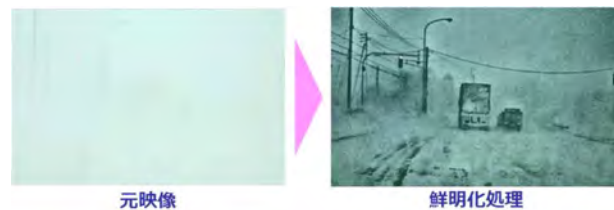


図-4 吹雪時の映像鮮明化イメージ

		H28	H29	H30	R1	R2	R3	R4	R5	
除雪現場の省力化に向けた取組	ロータリ除雪車投雪作業自動化		「みちびき」を活用した運転支援ガイダンスシステムの構築	(知床峠) 実証実験を開始 投雪方向自動変更動作を確認	(知床峠) 高度な投雪自動化の動作確認・安全対策技術の実用性確認	(一般道 狩勝峠) 複雑なシユート操作の自動化、安全対策技術の機能・性能の確認	(一般道 狩勝峠) 自動制御精度向上・操作性向上、みちびき不感地帯対策の精度確認	(知床峠) 一般交通がない道路での実働配備 (一般道 狩勝峠) 安全対策技術の確立、不感地帯対策の基準作成等	(一般道) 実働配備拡大 (一般道 狩勝峠) 自動操作高度化	オペレータ 1 名による除雪作業
	吹雪時の映像鮮明化技術の検証	i-Snow 発足		映像鮮明化技術の検討	(一般道) 試験車両による実証実験を開始 タイムラグ無しで鮮明化を確認	(一般道) R231・337において実際の除雪機械での使用環境の確認	(一般道) 実働配備開始 (19台) 高度化検討開始	(一般道) 119台へ実働配備拡大	(一般道) 約100台の実働配備拡大	吹雪による視界不良発生時の除雪作業

図-3 i-Snow のロードマップ

ロータリ除雪車の投雪作業自動化についての主な取り組みを3.に示す。

3. ロータリ除雪車の作業装置（投雪作業）自動化

3.1 習い制御による自動化

除雪作業装置（ブロー、シュート、シュートキャップ）による投雪方向や距離の自動制御については、これまでオペレータが行っていた複雑な操作を再現する「習い制御」を用いている。習い制御用データは、車両の各センサからオペレータの実操作を把握し、車両位置データと連携してガイダンスシステムへ反映する方法を採用している。自動制御用に搭載している車載コントローラに記録された各センサの情報を基に制御情報を作成、3Dマップに書き込んでガイダンスシステムへインストールするまでをアプリが自動で行うことを可能とした。

これまでの課題として、習い制御用データの取得間隔を1Hz（1秒間隔）としていたことで、組み合わせると同時にやりたい複数操作（例えば、停止とシュート旋回）のタイミングにずれが生じていた。

それを受けて、データ取得間隔を1Hzから10Hzに変更した。更に、精度を高めた上でデータ数を減らすため、10Hzで取得したデータのうち作業装置の変化量が装置可動域の2%以上変化する点を抽出する方式で、習い制御の動作試験を行った。

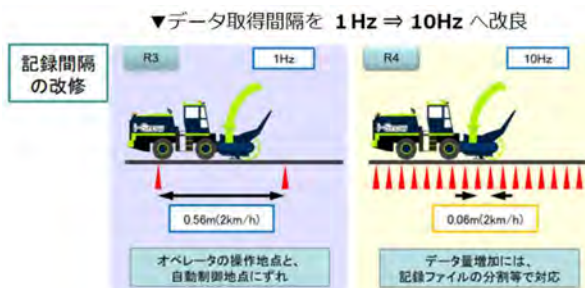


図-5 データ取得間隔の変更

結果、手動操作データが10Hzで取得され、タイミングのずれが生じない複数操作が可能なることを確認した。

一方、試験ではGNSS受信機のINS補正を活用して試験を実施したところ、1km/h以下の微速走行になるとINS補正の速度情報が0km/hと出力され、走行しているにもかかわらずシステムが停止と判断し、装置が動作しない不具合が生じた。また、急停車時に車体が前後に揺れることで、システムが一時的に速度をマイナス（後退）と判断する事象が生じ、これにより誤動作が生じるリスクを確認した。

今後、システムに「走行中」と「停止中」を正しく判断させる手段の検討が必要となる。

3.2 自動制御中における微調整機能の追加

ロータリ除雪車の投雪作業自動化において、自動制御中に作業装置の手動操作を行った際には、自動制御が解除される仕様となっている。そのため、日々変化する雪に応じて作業装置を微調整できないことが懸念されていた。

それを受けて、自動制御中においても自動制御を解除せずに装置操作を微調整可能なタッチキーの採用を検討し、その視認性や操作性を試験した。



図-6 微調整タッチキー

結果、自動制御では雪質が重く投雪が防雪柵に当たっていたものを、微調整タッチキーを用いてシュート等の角度を調整することで改善できることを確認できた。

一方、微調整タッチキーにおけるシュート旋回、キャップ開閉の表示が「+」「-」になっており、操作性の分かり難さを感じた。

一定程度の成果を確認できたことから、今後は微調整タッチキーの表示を改善した上で、標準機能としての導入を予定している。

3.3 3D-LiDAR を用いた雪堤高さ検知制御の改良

投雪作業自動化の一つとして、3D-LiDARを用いて雪堤高さを検知し、投雪位置を自動制御する機能がある。

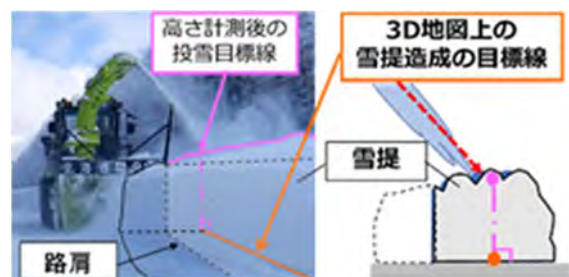


図-7 雪堤高さ検知制御概念図

当初、検知範囲の最大高低差を比較して制御したが、頻りにシュートキャップ角が変化し、機械寿命の短縮が懸念された。

それを受けて検知範囲を拡大し、投雪メッシュ位置+3メッシュの平均高低差を比較して制御する方式に改良を行った。

結果、雪堤高さ検知範囲を拡大したことで、シュートキャップの微小動作が生じない投雪を可能とした。

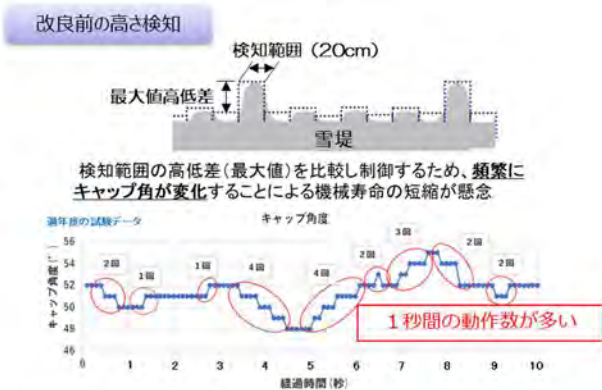


図-8 改良前の3D-LiDARを用いた雪堤高さ検知

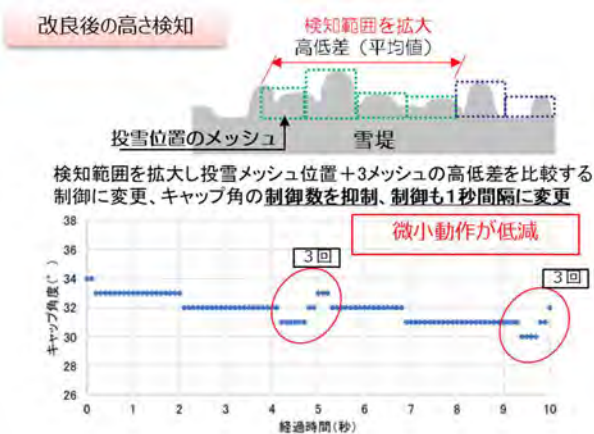


図-9 改良後の3D-LiDARを用いた雪堤高さ検知



図-10 投雪位置の誤差

一方、システムは目標線に向けて直線で投雪する設計になっているが、実際の投雪は放物線を描くため投雪位置に誤差が生じ、雪堤から3m程度離れた場合だと1m程度手前に投雪されてしまう事象を確認した。

今後、投雪位置の誤差要因を排除する検討が必要となる。

3.4 みちびき不感地帯対策

除雪区間には樹木、ビル、高架、トンネル等によるみちびき不感地帯が存在することから、補完技術としてINSの採用を検討した。但し、INSは不感地帯が長くなるにつれて誤差が蓄積し精度が低下するという懸念があり、精度検証を行ったところ、補完できる有効距離は40m程度だったため、INSによる補完は短距離とした。そのため、更なる補完技術として磁気マーカの採用を検討し、精度検証を行ったところ、誤差68mmと十分な精度であった。

(1) INS、磁気マーカ、RFIDによる不感地帯対策

これまでのみちびき不感地帯対策への課題として、不感地帯での他技術による自己位置推定の補完が必要となる。

それを受けて、補完技術として、INS、磁気マーカ、RFIDを組み合わせる試験を行い、不感地帯における直線、カーブ区間での磁気マーカの適切な設置間隔を確かめた。自動制御システムには磁気マーカの緯度経度が記録されており、RFIDによって位置を特定することができる。

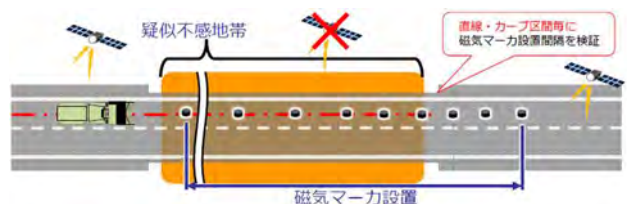


図-11 磁気マーカ設置間隔の確認試験

結果、磁気マーカの検知率は約9割と、一定程度の成果を確認できた。

一方、RFIDの検知率は約2~4割と低かった。RFIDが検知できない磁気マーカの位置は、地図上の磁気マーカ位置とマッチングすることができない。

今後、RFIDアンテナと路面の距離を現状の240mmより近くする等、RFIDの検知率を向上させる検討が必要となる。

(2) 測位復帰時のガイダンスシステム挙動試験

みちびき不感地帯対策としてマップマッチング方式の採用を検討し、不感地帯からの測位復帰時

におけるガイダンスシステムの挙動を試験した。マップマッチングとは、地図データに設定された走行中心線上を走行していると仮定して横断方向を束縛し、縦断方向はINSで位置を推定する方式である。不感地帯が長く続く場合は、磁気マーカとINSの併用により自己位置を推定することになる。

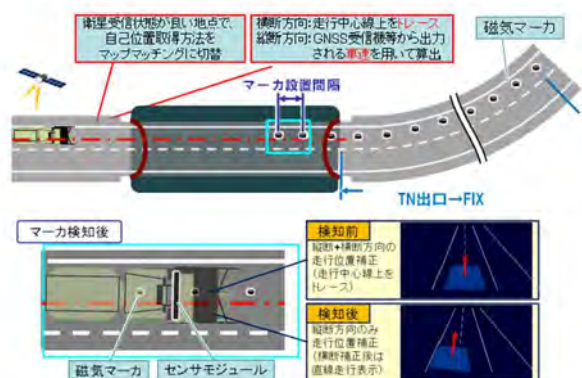


図-12 測位復帰時のガイダンスシステム挙動試験

結果、磁気マーカからのデータを基に位置補正の計算は正常に実行された。

しかし、ガイダンス画面への補正結果の反映処理に不具合が生じ、補正結果がガイダンス画面上に表示されなかった。

今後、ガイダンス画面へ補正結果を正常に反映処理させる検討が必要となる。

3.5 自動化ロータリ除雪車の実働配備

令和4年度に除雪装置の自動化機能を備えたロータリ除雪車を、冬期通行止め区間である国道334号知床峠（斜里側）に1台実働配備した。

実働配備後、国道334号知床峠で、高精度3Dマップデータを用いた運転支援ガイダンスと投雪作業自動化を組み合わせたシステムにより、ワンマンオペレータによる、プロワ、シュート、シュートキャップの自動化を用いた除雪を行い、それまでの成果を総合的に試験した。

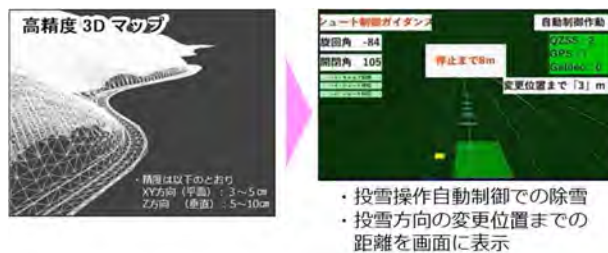


図-13 高精度 3D マップとガイダンス画面

結果、プロワ左右投げ分け等の正常な動作を確認できたが、みちびきの受信状況が悪く自動制御できない時間帯があった。

今後、民間通信会社の移動基地局の活用等、引き続き不感地帯への対策が必要となる。

4. 今後の主な取り組み

令和5年度には自動化機能を備えたロータリ除雪車を、国道334号知床峠（羅臼側）に1台、国道233号深川留萌自動車道に1台追加配備し、実働配備台数を計3台とする予定である。それに伴い、今冬からは冬期通行止め区間ではない高規格道路での自動投雪作業を予定している。

そのほか引き続き、みちびき不感地帯対策、映像鮮明化装置100台の追加配備等も予定している。

5. おわりに

今後も国土交通省では、除雪現場の課題を解決するため、除雪機械の作業装置自動化に向けた検討、実働配備を進めていく。

参考文献

- 1) 白瀬和暁・佐藤信吾：【i-Snow】ロータリ除雪車における投雪作業自動化の検討，第65回(2021年度)北海道開発技術研修発表論文
- 2) 白瀬和暁・柿崎俊裕：【i-Snow】ロータリ除雪車の装置自動化に向けて，第66回(2022年度)北海道開発技術研修発表論文
- 3) 除雪機械の高度化推進グループ（北海道開発局・寒地土木研究所）：令和4年度の実証実験結果，令和5年度の取組[資料A]，令和5年度除雪現場の省力化による生産性・安全性の向上に関する取組プラットフォーム「i-Snow」〈第13回〉資料