第 66 回(2022 年度)　北海道開発技術研究発表論文

【i-Snow】ロータリ除雪車の装置自動化に向けて
―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―

事業振興部　機械課　○白瀬　和暁
柿崎　俊裕

除雪現場の課題、研究開発の動向、除雪技術等に関する情報の共有を図るほか、除雪現場の改善等に取り組むため、平成 29 年 3 月に「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)」が発足した。取り組みの一つとして、ロータリ除雪車における除雪作業において、従来の 2 名乗車体制を、準天頂衛星「みちびき」による走行位置の把握や作業装置操作の自動化等により、熟練技術や経験がなくても 1 名乗車体制で作業が行える検討を行っている。
本稿は、ロータリ除雪車の投雪作業装置自動化に向けた取組を紹介する。

キーワード：i-Snow、ロータリ除雪車、省力化、ICT、自動化

１．はじめに

持続可能な道路除雪の実現に向けた取り組みを構築するにあたり、平成 29 年 3 月に除雪現場の課題、研究開発の動向、除雪技術等に関する情報の共有を図るほか、除雪現場の改善への取組について、産学官が連携して取り組むプラットフォーム「i-Snow」を発足させた。
i-Snow における北海道開発局の取り組みとしては、現在 2 人乗車体制で行っているロータリ除雪車での投雪作業を作業装置の自動化・省力化により、1 人乗車体制（ワンマンオペレータ化）とすることを目標としている。

２．i-Snow 仕様ロータリ除雪車の概要

i-Snow 仕様のロータリ除雪車（以後、「本車両」という）は「2.6m 級、294kW」をベースとし、各作業装置の油圧シリンダ等にセンサを内蔵したものを追加装備している（**図-1**）。

図-1　i-Snow ロータリ除雪車

本車両には、準天頂衛星「みちびき」（以後、「みちびき」という）からの測位情報と 3D マップを用いた運転支援ガイダンスと、投雪装置を自動で制御する機能を搭載している。
また、オペレータの負担軽減のため、除雪負荷に応じて除雪速度を自動でコントロールする除雪速度制御装置などの省力化を図る装置も搭載している（**表-1**、**図-2, 3**）。

表-1　i-Snow 仕様における追加機器

除雪速度自動制御装置	1 台
モニタシステム装置※1	1 式
みちびき対応 GNSS 受信機	2 台
ガイダンスシステム装置※2	1 台
車載コントローラ	1 台
各種センサ	1 式
3D-LiDAR	2 台
後方安全対策装置	1 台

図-2　i-Snow ロータリ除雪車の機器

SHIRASE Kazuaki, KAKIZAKI Toshihiro

図-3 i-Snow ロータリ除雪車車内

(1)除雪装置自動制御システム

本車両には、除雪装置を自動制御するため、自動制御システムが搭載されている。

ガイダンス装置には、3D マップデータと除雪装置を自動制御するための制御情報が登録されている。そこに GNSS 受信機で受信した位置情報を重ね合わせることで、3D マップに自車位置を表示させるガイダンス機能が有効になる。また、位置情報に基づき除雪装置を自動制御するための制御情報を車載コントローラに送信する。

車載コントローラは、ガイダンス装置からの制御情報を、車両側の制御器に送信している。同時に、データロガー機能を用いて、位置情報や各センサの信号の記録を行っており、車両側はその制御情報を元に、各油圧装置の動作を制御する（**図-4**）。

通常、ジョイスティック操作にて各装置の角度・伸縮量の目標値を与え、その目標値になるような制御を行っているところを、車載コントローラから目標値を与えることで、自動制御を可能とした。また、モニタシステムの「手動」となっている部分をタッチすることで自動制御と手動制御の切替が可能となっている（**図-5**）。

なお、安全対策として、自動制御中に手動操作を行った場合には、手動操作を優先するよう設定している。

図-5 車両搭載のモニタシステム

(2)自動制御用 3D マップデータ

作業装置の自動化にあたり、自動化の対象となる区間の道路及びその周辺を MMS（モービルマッピングシステム）にて測量し、得られた点群データから、道路形状を表す中央線、外側線、道路構造物等の情報を付加し、3 次元ベクトルデータを作成している（**表-2**）。

3 次元ベクトルデータ内の指定した座標に、装置情報（ブロア方向等）を加えることで自動制御用の 3D マップデータとしている（**図-6**）。

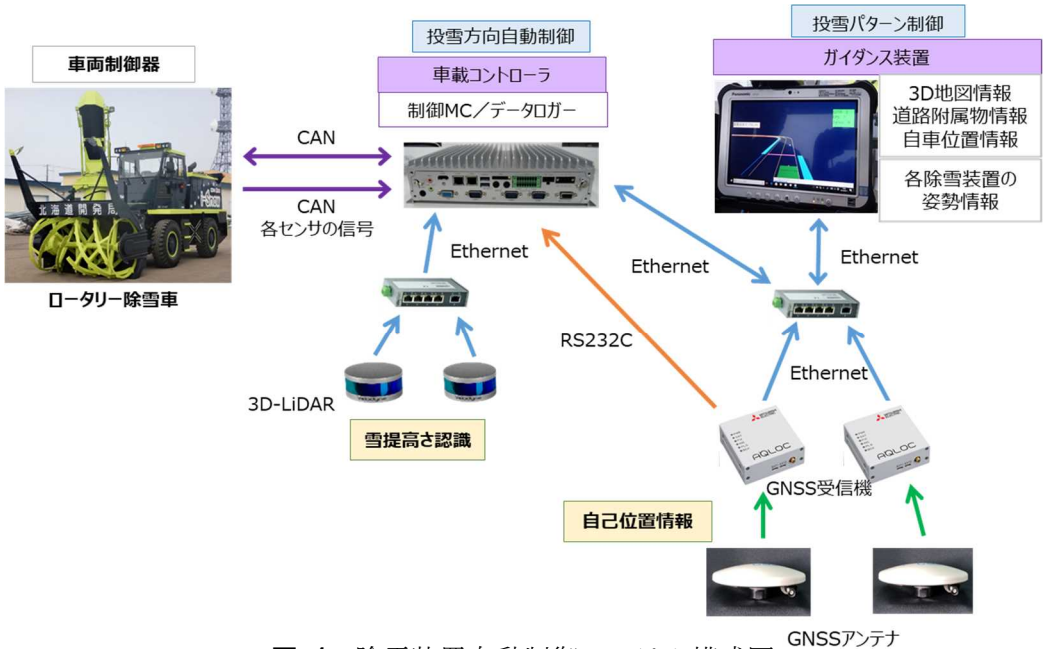

図-4 除雪装置自動制御システム構成図

表-2　ベクトルデータの収集情報

区画線	橋梁地覆
走行中心線	防護柵
車道中央線	電柱
停止線	照明柱
マンホール	標識柱
グレーチング	信号柱
縁石	トンネル形状
中央分離帯	バス停･駐車帯･IC 周り
橋梁ジョイント	ポール

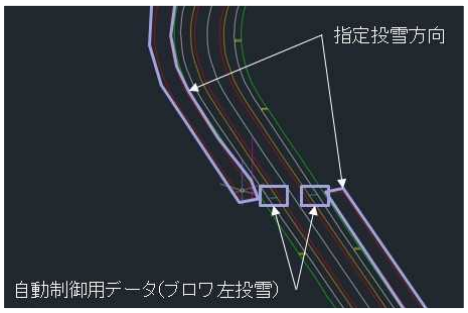

図-6　3D マップ例

(3) ガイダンスシステム

本車両には「みちびき」による位置情報と 3D マップデータを組み合わせたガイダンスシステムを搭載している。除雪が必要な状況では、積雪で道路や構造物が見えない状況となっているため、道路上の自車位置を把握することは難しいが、ガイダンスシステムを用いることにより、道路上の自車位置が把握可能となる（図-7）。

３．i-Snow の取り組み（作業装置の自動化）

ロータリ除雪車は、山間部など遠方へ投雪する場合はブロア装置を使用している。一方、投雪先に道路附属物などがある場合にはシュートによる投雪を行っている（図-8,9）。

本車両の自動化する作業装置は、ブロア投雪においては、ブロアケースの旋回、シュート投雪においてはシュート旋回・シュート伸縮・シュートキャップ開閉とした。

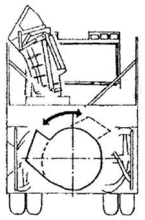

図-8　ブロアケースの動き [1)]

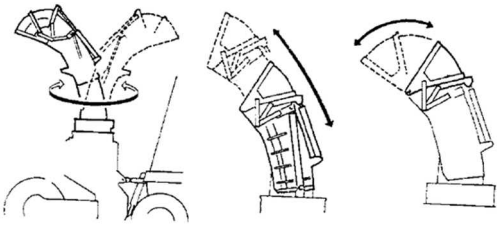

図-9　シュートの動き(旋回･伸縮･キャップ開閉) [1)]

(1) ブロア投雪の自動化

平成 30 年度に一般国道 334 号知床峠にてブロア投雪方向の自動切替について試験を行った。知床峠は冬期間通行止めとなっており、一般交通や道路附属物への影響を考慮する必要がない。このような場所では、自動制御用 3D マップ内にブロア投雪方向の切替地点を設定することで、その地点に到達するとブロアケースの旋回制御を行い、投雪方向を自動で切替できることを確認した [2)]（図-10）。

ブロアケースの制御方式を表-3 に示す。

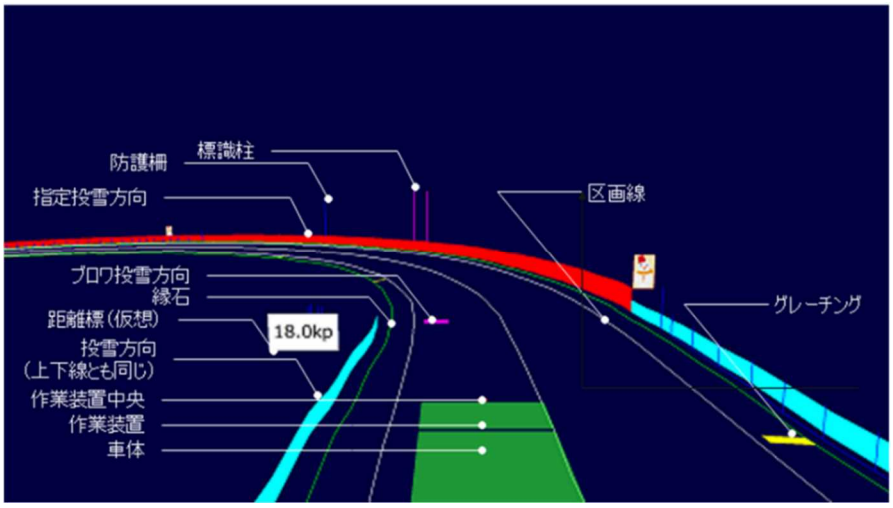

図-7　ガイダンスシステム画面例

図-10　ブロアの投雪切替

表-3　ブロアケース制御方式

使用センサ	センシング油圧シリンダ
検出部	スライド量
制御範囲	105°（スライド量を旋回角に換算して制御）

(2) シュート投雪の自動化

一般道では、標識・防護柵・道路照明などの道路附属物等、除雪作業時に障害となる構造物が複数存在する。これらを回避しながら除雪作業を行うためには、より複雑なシュート操作が必要となる。そのため、令和 2 年度の一般国道 38 号狩勝峠の試験では、シュート旋回、シュートキャップ投雪角度を組み合わせた制御システムを構築した。

ブロア左右投雪と同様に自動制御用 3D マップの制御指定地点に到達すると、シュートの旋回、シュートキャップの開閉を行い、指定した方向に投雪できることを確認した（**図-11**）。

図-11　シュート投雪の切替

シュート投雪の自動制御において、ガイダンス画面による投雪方向の変更地点の表示、路側障害物の回避動作の表示画面を**図-12** に示す。

通常自動制御中は画面が緑色となっており、停止指示位置までの距離が表示される。停止指示位置までの距離が近づくと、画面が黄色となり、投雪方向変更位置で「走行停止」を表示、車両の停止がシステムで判断されると自動で投雪方向を変更する。

シュート旋回の制御方式を**表-4** に、シュートキャップ開閉の制御方式を**表-5** に示す。

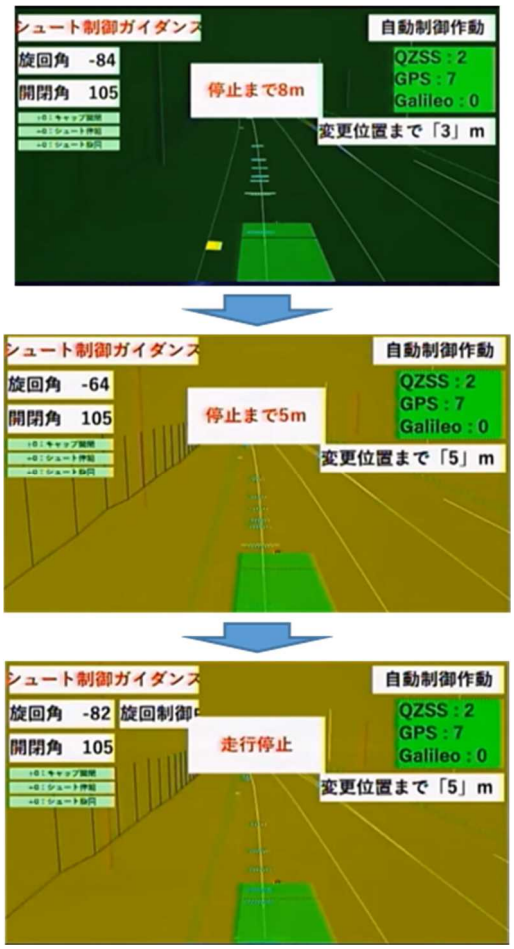

図-12 自動制御時のガイダンス画面

表-4　シュート制御方式（旋回）

使用センサ	ロータリエンコーダ
検出部	旋回角
制御範囲	360°

表-5　シュート制御方式（キャップ開閉）

使用センサ	センシング油圧シリンダ
検出部	スライド量
制御範囲	115°（スライド量を旋回角に換算して制御）

(3) 自動制御中の調整

実際の現場において、雪質や風の影響等で投雪距離や方向を変更する微調整を行う必要がある。そのため、ガイダンスシステムの画面上に微調整用タッチキーを追加した。

最初に作成した操作画面は、タッチキーのボタンが小さく、判りづらい、押しづらいという意見があったため、色・大きさ・デザイン等を変更し、今冬の実験にて使い勝手を確認する。

具体的には、微調整するタッチキーが「＋」「－」となっており、操作時の動きが判りにくかったのを、シュート旋回については「左」「右」、シュートキャップについては「上」「下」とした（**図-13**）。

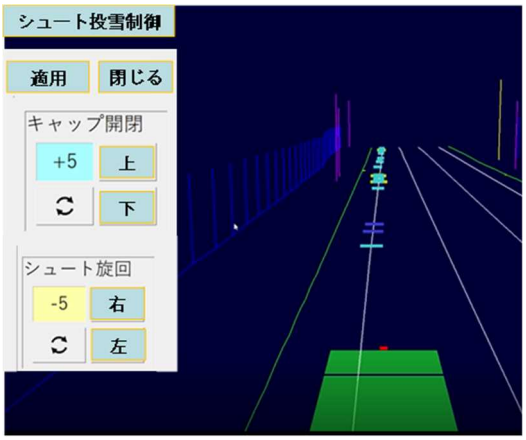

図-13　微調整用タッチパネル

(4) 習い制御データの自動取得

一般道など障害物が多く、複雑なシュート操作が必要な場所の自動制御では、実際にオペレータが行う複雑な操作を再現する必要がある。このようなオペレータが行っていた複雑な操作の自動化を、習い制御という。

しかし、習い制御を行う場合、制御用データの作成には膨大な時間がかかった。また、実際にオペレータが行う複雑な操作を正確に再現することができなかった。これは、オペレータが行っている複雑な操作を、ドライブレコーダやヒアリングなどの情報だけでは、制御に必要な各センサのスライド量などの数値へ変換することが難しいからである。

ここで、オペレータが行う複雑な操作例として、シュート投雪作業中に標識等の路側にある道路構造物を回避する場合を述べる。

まず、道路構造物手前で一時停止し、除雪装置内の雪がすべて排出されてからシュートを前方に回避、その後、前方へ投雪しながら走行し、道路構造物を回避してからシュートを左側へ旋回する制御を行っている。(図-14)

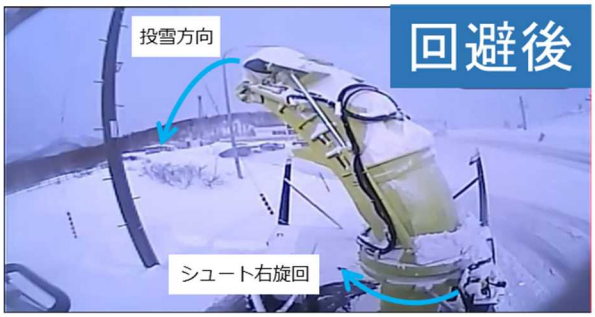

図-14　障害物回避の投雪イメージ

このような操作に対する制御には、オペレータに対して回避地点手前での停止指示、回避中の雪排出時間を考慮した停止時間を含めた制御データが必要となる。また、シュートの旋回量も正確な角度が必要となり、制御データの作成には膨大な時間と手間を要する。

そこで、車両の各センサ信号から、実作業におけるオペレータの操作を把握し、車両位置データと紐付けてガイダンスシステムへ記録することにした。

令和 3 年度の検証では、車載コントローラに記録された各センサの情報を基に、制御情報を技術者が作成した。この制御データを 3D マップに書き込み、ガイダンスシステムへインストールすることで習い制御が可能となった。これにより、制御データの作成時間短縮と精度向上が図られた。

更に、習い制御用データ作成システムを構築し、除雪作業現場でオペレータが手動操作で作業するだけで自動制御データを作成することを可能とした。

構築した制御データ作成の流れとしては、ガイダンスシステム装置内に作成したデータ生成アプリを起動し、生成開始ボタンをタップする。その後、手動操作にて除雪作業を行い、記録したい区間の除雪作業を終了したら生成終了ボタンをタップする。これで自動制御用データが自動生成され、ガイダンスシステムに保存される（図-15）。

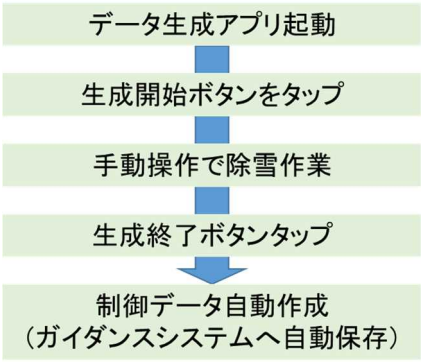

図-15　習い制御データ作成フロー

システム構築により、除雪作業現場でオペレータが手動操作で作業するだけで自動制御データを作成することが可能となった。また、習い制御用データ作成時間の大幅な短縮が可能となる（表-6）。

表-6　制御用データ作成時間の短縮

データ作成手法		1km あたりのデータ作成時間
ドライブレコーダ ＋ ヒアリング	手入力	40 日
制御 PC のログ		12 時間
データ生成アプリ ※データ確認は 30 分程度	自動	1 分

(5) 習い制御の課題と改良

各センサからの信号は 0.1 秒間隔（10Hz）で取得されているが、習い制御用データの作成間隔は当初、微少動作防止及びデータ負荷削減のため 1 秒間隔（1Hz）としていた。

しかし、令和 3 年度の実証実験では停止・シュー

ト旋回の開始位置がずれてしまい、停止後の障害物回避動作が間に合わず、投雪が道路付属物に当たってしまった。

そこで、精度を高めた上でデータ数を減らすために、10Hz で収録したデータの内、作業装置の可動域2%以上変化する点を抽出し、制御用のデータに書き込むことで、精度向上とデータ圧縮の両立を図った（**図-16, 17**）。

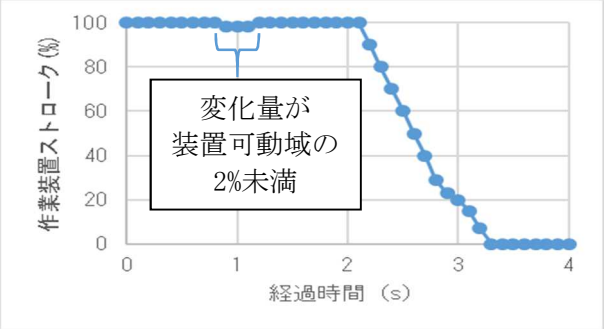

図-16　シュートキャップの収録データの例

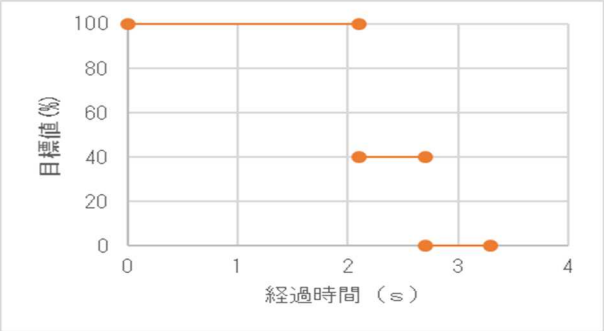

図-17　シュートキャップの制御データの例

４．まとめ

これまで行ってきた取り組みを基に、令和 4 年度冬期に、i-Snow 仕様ロータリ除雪車を一般国道 334 号知床峠に新たに導入する。

令和 5 年 3 月から知床峠の冬期通行止め区間（網走側）で実際に自動投雪作業を行い、適応性の検証や課題の抽出を行い、今後の改良や現場配置の方針を検討する予定である。

また、一般国道 38 号狩勝峠では、みちびき不感地帯対策の試験、シュート投雪自動制御（習い制御、雪堤高さ検知）の検証を実施する予定である。

習い制御を用いることにより、作業装置の操作を主に行う助手が必要ではなくなるため省力化となるほか、経験の浅いオペレータが運転する場合でもベテラン作業員と同程度の作業が可能となる。また、習い制御の精度を向上することで、既に導入している知床峠や交通量の少ない地域以外への適用も可能となっていくと考えられる。

謝辞：旭川開発建設部富良野道路事務所及び株式会社山伏パコムの皆様には実証実験にあたり、多大なご協力をいただいた。ここに厚くお礼申し上げる。

参考文献

1）（株)NICHIJO：ロータリ除雪車 HTR408 取扱説明書
2）猪股俊宏、高本敏志、小野寺敬太：【i-Snow】ロータリ除雪車による投雪作業の自動化、第 63 回（2019 年度）北海道開発技術研究発表会