

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 —除雪現場省力化技術の概要と実働配備に向けた検討—

建設部 道路維持課 ○梅木 択弥
谷津 臣則
在田 尚宏

平成29年3月、北海道開発局や北海道、札幌市、NEXCO東日本では、「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)」を設立。今日までに除雪機械操作の自動化を目的とした「ロータリ除雪車の自動制御システムの開発」や「除雪機械の運転支援技術(映像鮮明化技術)」、「除雪機械のワンマンオペレータ化」の試行などに取り組んできた。本稿は、これら取り組みの概要および今後の実働配備に向けた検討状況について報告するものである。

キーワード：除雪、i-Construction、i-Snow、働き方改革

1. はじめに

北海道開発局(以下、当局)は、北海道内の直轄国道46路線、約6,800kmの除排雪作業を行い、安心・安全な冬期道路交通の確保を担っている。

北海道における直轄国道では、通行止め要因のうち、約4割が地吹雪などの冬期気象によるものとなっている(図-1)。また、気象の影響範囲の広さ等から、広域的に複数路線が同時に通行止めに至る場合が多い。

なお、北海道は都市間距離が長い広域分散型の社会を形成しているため、冬期交通障害が発生した場合、住民生活、地域産業、経済活動への影響が非常に大きい。

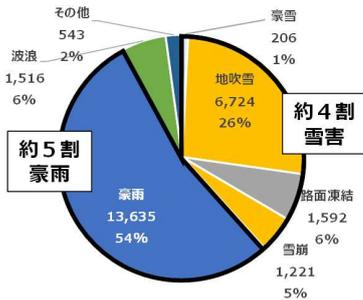


図-1 北海道の直轄国道の通行止め総時間内訳 (H24-28)

一方、近年、除雪機械オペレータの担い手の減少、かつ高齢化が懸念されている。除雪サービス水準を維持するため、除雪作業のさらなる効率化が喫緊の課題である。

このような積雪寒冷地域特有の課題を踏まえ、平成29年3月に当局や北海道、札幌市、NEXCO東日本では、持続可能な道路除雪に向けた取り組みとして、産学官民が幅広く連携して取り組む「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)」を設立した(図-2)。

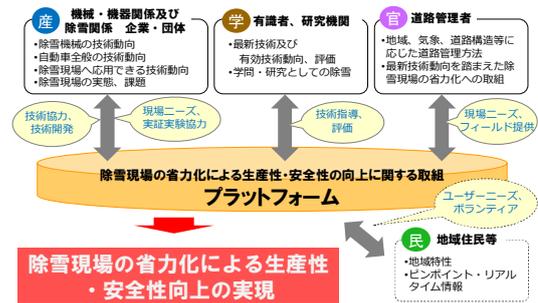


図-2 プラットフォームの概念

本プラットフォームにおいて、当局では除雪作業の省力化(図-3)としてロータリ除雪車における「除雪機械操作の自動化」をはじめとした除雪機械の運転支援技術の開発に取り組んできた。

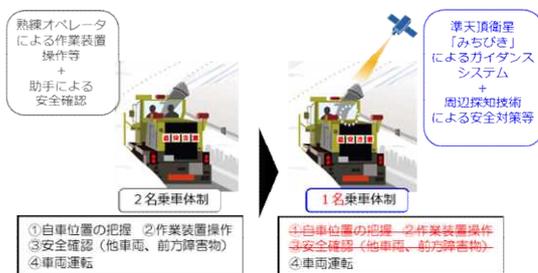


図-3 除雪作業の省力化イメージ

プラットフォーム設立から5年目を迎え、これまで試行してきた技術が確立されつつあるため、各技術の概要と、それらの実働配備に向けた検討について報告する。

2. 「i-snow」におけるこれまでの取組

「i-snow」における取組みは、「1名乗車（ワンマンオペレータ化：以下 ワンオペ化）の実現」と「熟練のオペレータの技術・経験に左右されることなく、誰でも一定の安全性・精度で除雪機械の操作を可能とすること」を目的としている。本章では、これまでの取り組みについて概要を紹介する。

(1) 除雪機械操作の自動化技術

a) ロータリ除雪車

準天頂衛星「みちびき」と高精度3Dマップデータによる情報通信技術を活用した「運転支援ガイダンス」と「投雪作業の自動化」を併せたシステム（図-4）など、各種省力化技術を搭載した「i-Snowロータリ除雪車」を開発した（図-5）。

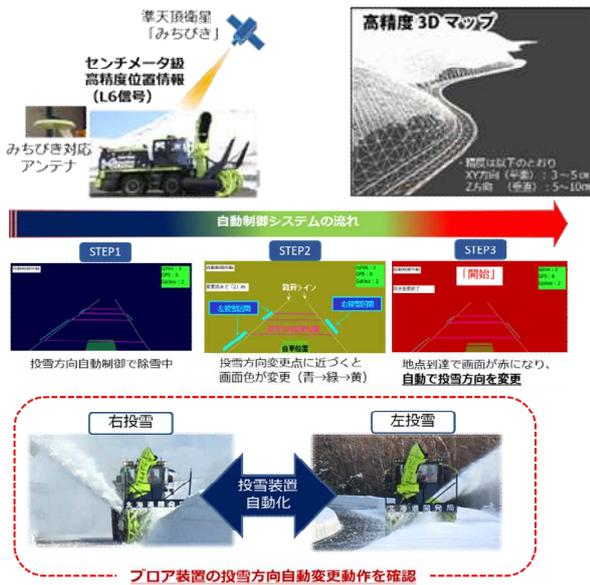


図-4 運転支援ガイダンスと投雪作業自動化の概要



図-5 i-Snowロータリ除雪車の概要

平成30年度に国道334号知床峠の一部区間において「i-Snowロータリ除雪車」による実証実験を開始した。

冬期通行止により一般交通の影響を受けない条件のもと、作業装置操作の自動化について令和元年度までに一定の成果が得られた。令和2年度からは一般交通の影響がある国道38号狩勝峠に場所を移し実験を継続した。令和3年度（今冬）においては、これまでに確認した機械動作の改善や、オペレータの運転操作の動きを学習させる「習い制御」の自動化に取り組んでいる。

b) 凍結防止剤散布車

凍結防止剤・防滑材の散布操作を自動化する支援技術として「凍結防止剤散布支援システム（AIS3：Anti-icer Spreading Support System）」（以下、AIS3）を開発。AIS3は、i-Snowプラットフォーム構成員である（国研）土木研究所寒地土木研究所において研究開発が進められた技術である。

凍結防止剤の散布条件が異なる複数の散布パターン（散布区間、散布幅、散布方向、散布量、薬液割合等）をWebGIS上に作成することで、予め定めた散布区間での「自動散布」が可能となる。また、日々変化する路面状況にも対応するため、従前どおりの「手動操作」のほか「音声による」散布操作への切り替えが可能である。

特に熟練の技術が必要な散布作業において、本システムによりオペレータの心理的負担の軽減と、経験に左右されることのない一定の精度で散布を可能とするものである（図-6）。



図-6 凍結防止剤散布支援システム (AIS3) の概要

寒地土木研究所は、平成28年度から30年度までの3年間、苫小牧寒地試験道路において、主にオペレータの散布作業操作時の挙動について以下の4項目について検証を行った。

1. 散布地点の認知距離
2. オペレータの注視点
3. 路面状態に応じた散布内容の選択
4. 散布の的確性

令和元年度からは国道235号において試験車両（凍結防止剤散布装置を搭載したトラック）での自動散布の精度検証を行った。令和2年度までの検証結果から、本システムの安全性・確実性が確認できた。令和3年度（今冬）からは凍結防止剤散布車でのワンオペ化の希望が高かった8つの開発建設部において、凍結防止剤散布車による試行を開始する予定である。

(2) 運転支援技術

a) 周辺探知技術

国道での除雪作業は、一般交通に加え人の往来がある中で作業となる。ワンオペによる運用を行う際には、これまで助手が行ってきた安全確認を補完する技術が必要となる。

平成30年度から前述の「i-Snowロータリ除雪車」に「ミリ波レーダによる車両探知」及び「3Dカメラ」、「AI物体認証機能を有した人との接触防止システム」を搭載し、その有用性を確認している（図-7,8）。

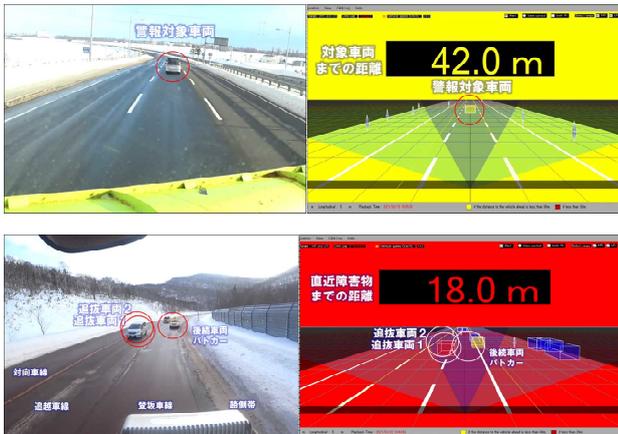


図-7 ミリ波レーダによる車両探知



図-8 3DカメラとAI物体認証を有した接触防止システム

b) 映像鮮明化技術

本技術は、視程障害により前方視界が妨げられた際、作業の安全性確保を目的としている。運転席前方に取り付けたカメラ映像を映像鮮明化装置により鮮明化処理を行うものである。鮮明化された映像は、運転席に設置したモニタによりリアルタイムに確認できる。

鮮明化処理とは、映像の中の雪の濃さに応じて明るさとコントラストを補正し、映像から雪を除去することで前方視界の確認を補完する技術である（図-9）。

平成30年度に国道231号において実証実験を開始し、令和2年度には実際に使用している除雪トラック、凍結防止剤散布車、パトロール車に試験搭載し、耐久性や鮮明度、モニタ出力の際の遅延の有無などについて確認を行った。

これまでの実証実験において有用性が確認できた。令和3年度は現場からの設置要望が高い除雪トラックを対象として、各開発建設部に1台ずつ実働配備することとした。



図-9 映像鮮明化処理

同時に、映像鮮明化装置の高度化（AI搭載型）の検討を行っている。AI搭載型では、鮮明化処理に加え、AIを活用して接近する車両や人、信号機等を自動で検知する。

また、必要に応じてモニタや音声で警告を行うこととしている。令和3年度に9つの開発建設部に各1台（除雪トラック）試行配備し、その有用性を確認することとしている。

c) 安全確認用カメラ設置

助手による安全確認を、運転手がワンマンでも確認できるように、除雪機械の運転席からの死角に「安全確認用カメラ」を設置し、視覚を補完する試行を実施。（図-11）。令和2年度より、試行を希望した当局の維持除雪工事受注者において、助手を同乗させた状態で、カメラやモニタ位置、カメラへの着雪対策の検証を行った。令和3年度も引き続き試行を行い有用性を確認する。

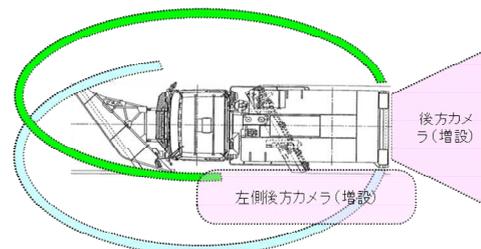


図-10 オペレータの視界（緑）と助手の視界（水色）範囲

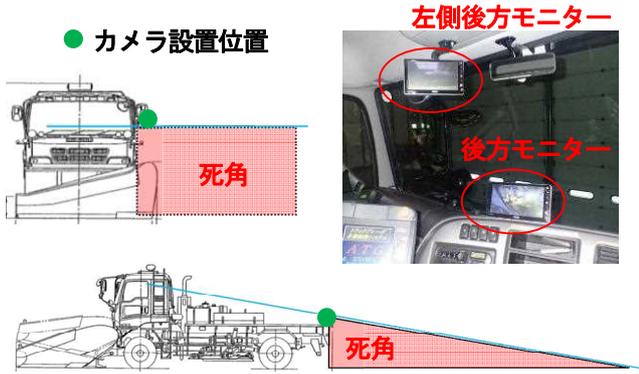


図-11 除雪トラックの安全確認用カメラの設置例

(3) 不感地帯対策

除雪機械操作の自動化を行う上で「みちびき」の電波不感地帯解消は重要な課題の一つである。

国道では「みちびき」の電波が受信できない不感地帯（山間部、ビル、高架、トンネル等）が多数ある。

令和3年度は、不感地帯において自動制御を補完とする技術の試行を行う。具体的には「加速度センサー等を用いた車両慣性航法システム（INS）」及び「磁気マーカシステム」、「3D-LiDARによる自己位置推定」の3技術の有用性を確認する。



図-12 「i-Snow」ロータリ除雪車への不感地帯対策技術の設置状況

3技術のうち、「磁気マーカシステム」は、 $\phi 30 \times 20$ の磁気マーカを2m程度の間隔で道路走行ラインに埋め込み、車両に設置されたセンサモジュールで磁気マーカを読み取り、自車位置を特定するシステムである。誤差も少ない技術である。

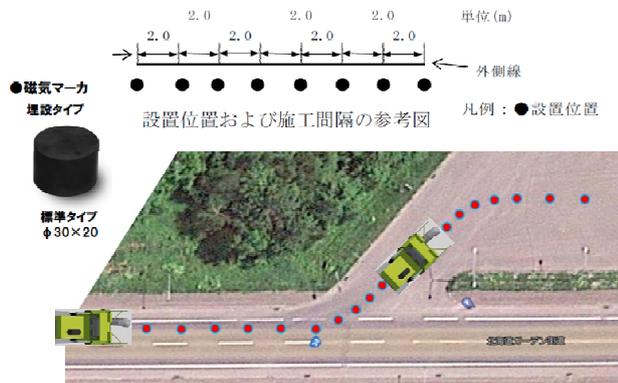


図-13 磁気マーカシステム

3. 実働配備に向けた検討

これらの技術について、全ての除雪機械に配備されることが望ましいが、当局は現時点（令和3年度）においてロータリ除雪車150台、凍結防止剤散布車89台を保有している。その他の除雪機械を含めると総数1,070台（表-1）となる。初期整備費用や機械更新費用の観点から、全ての除雪機械への配備には多大な費用と期間を要するため、今後の優先配備の進め方について検討をおこなった。

表-1 全道除雪機械配置台数

建設部別除雪機械配置計画

部局名	主力機械					補助機械			その他機械		合計	
	除雪トラック	除雪グレーダ	ロータリ除雪車	除雪ドーザ	小計	小型除雪車	凍結防止剤散布車	小計	パトローカー	小計		
札幌	77	57	31	26	191	30	20	50	241	20	20	261
函館	51	3	10	10	74	13	8	21	95	13	13	108
小樽	51	4	20	5	80	15	6	21	101	10	10	111
旭川	69	11	20	12	112	13	13	26	138	18	18	156
室蘭	45	4	7	7	63	10	10	20	83	13	13	96
釧路	60	3	15	8	86	7	4	11	97	19	19	116
帯広	47	4	12	6	69	8	11	19	88	11	11	99
網走	71	3	16	10	100	11	14	25	125	22	22	147
留萌	31	1	10	4	46	6	2	8	54	6	6	60
稚内	28	1	9	3	41	6	1	7	48	6	6	54
計	530	91	150	91	862	119	89	208	1,070	138	138	1,208

(1) 配備「路線」の検討

「除雪現場の省力化技術（以下、省力化技術）」は、除雪機械オペレータの担い手減少、高齢化が懸念されるなか、以下の目的としている。

1. 省力化技術によりこれまでどおりの除雪サービス水準を維持すること。
2. 冬期交通障害発生時の悪天候の状況下でも除雪作業を可能とすること。

ここではこれらの目的を果たすための配備を進める上で優先すべき路線について検討を行った。

a) 国道334号 知床峠

国道334号知床峠は北海道の国道で唯一の「冬期通行止区間」であり、春先の通行止解除に向けて道路が見えない状態までに堆積した雪の除排雪を行う路線である。冬期通行止により一般車両の交通の影響を受けず、また、道路付属物や構造物が少ないため、除雪機械操作の自動化を取り組む上で良好な条件が整っている。

また、i-Snowの取り組みにおいても、最初の実証実験の場に選定した路線であり、優先的な配備は大きな効果が期待できる。

b) 予防的通行規制区間

現在、当局では早期の交通確保を行う区間として「予防的通行規制区間（26区間）」を設定している。この区間では数年に一度の猛ふぶき等が予想される場合、大規模な立ち往生の発生により、住民生活や社会経済活動に

影響を及ぼす通行止めの長期化を防ぐため、早い段階で躊躇無く通行止めをし、集中的に除雪を行うものとしている。

当該区間の中でも例年、通行止発生頻度が多い路線、通行止に至らないが冬期通行障害の発生頻度が高い路線があり、それら路線への優先配備を進めることで、省力化技術の効果が大きく発揮できる。

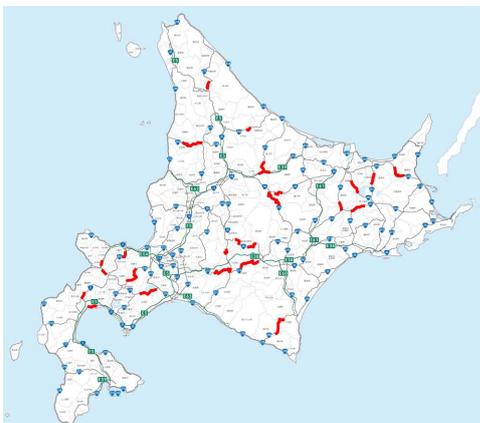


図-14 北海道の予防的通行規制区間（直轄国道）

c) 高規格幹線道路

高規格幹線道路は、冬期通行障害による通行止が発生した場合、道路利用者の利便性が著しく損なわれることから、速やかな交通の確保が必要である。一般道路（国道）にくらべ道路形状の大きな変化が少なく、自動車専用道路であることから除排雪時の歩行者等への配慮の心配がないことなど、除雪作業時の制約が少ないことから優先的な配備は大きな効果が期待できる。



図-15 北海道の高規格道路

d) 一般道路（国道）

一般道路では、都市部、市街地、郊外地など同一路線、区間内での道路形状の変化が多い。また、都市部での衛星不感地の存在など制約が多く、区間ごとに異なる諸条件への対応が必要となる。

そのため、まずはa)～c)の路線に対して省力化技術を優先的に導入し、そこで生じた実運用面での課題をフィードバック・改善を図った後に導入することが望ましいと考えている。

(2) 配備「技術」の検討

a) 除雪機械操作の自動化技術

ロータリ除雪車の機械操作の自動化技術については、前述のとおり、実働配備の効果が大きく期待できる路線・区間から順次配備を進めることが望ましい。また、ロータリ除雪車以外の除雪機械について、東北地方整備局では除雪グレーダ、北陸地方整備局では除雪トラックでの機械操作の自動化に取り組み、実証実験を進めている。これら技術は速やかな共有・導入を行うことが必要であり、北海道における機械仕様を確立させることが重要である。また、これら機械の実証実験においては、除雪作業時の制約が少ない高規格幹線道路などで集中的に実施することで早期の技術確立に繋がり、実働配備においても実現し易いものとする。

凍結防止剤散布車では、凍結防止剤散布支援システム（AIS3）を車両搭載するだけで機械操作の自動化が可能であるため、他の除雪機械に比べて汎用性が高い。しかし保有する車両が多いため、凍結防止剤・防滑材の散布作業の頻度の高さや、交通量の多さなど散布作業の負担が大きい路線・区間を優先して配備を検討することとした。

また今後、機械操作の自動化の展開が進むにつれて、準天頂衛星みちびきの受信電波不感地帯対策が必要不可欠となるが、現在、有効性を確認する不感地帯技術の中でも磁気マーカースystemについては、不感地帯が非常に長い区間における対策として期待ができるものであり、道路インフラとして整備が進むことで、将来の自動車の自動運転にも寄与できるものと考えられる。

b) 運転支援技術

運転支援技術として、周辺探査技術のミリ波レーダによる車両探知および3DカメラとAI物体認証機能を有した人との接触防止システムは、除雪機械操作の自動化を補完するために必要な技術である。また、当該技術を単体で使用することも可能である。現在、取り組んでいるワンオペ化を試行する除雪機械へ配備することで、安全性の大きな向上が期待できる。現在の実証実験後、実働配備の準備が整い次第、それら除雪機械を優先に進めて行うこととする。

映像鮮明化技術については今年度、全道10台の除雪トラックへ実働配備を行い、現場での配備ニーズも非常に高く、順次台数を増やしていく予定である。配備にあたり、吹雪時の視程障害発生頻度の高い除雪工区を優先し、出勤頻度の高い機械、主に新設除雪を行う除雪トラック梯団の1番車（先頭車両）、雪道巡回のため道路巡回車を優先して配備を進める。

その他、除雪機械操作の自動化技術としての、3Dマップガイダンスシステムがあるが、自車位置を特定し、3Dマップ上で走行位置や周辺障害物の確認が可能であり、運転支援技術として配備することも有効と考える。

c) 技術の統合

現在、各技術毎に独立した確認モニターの設置が必要となっており、複数技術の搭載により、オペレータの車内での確認が煩雑になり、かえって危険な状況が生じることも考えられる。今後は確認モニターの集約が必要であり、各技術の統合化も必要である（図-16）。

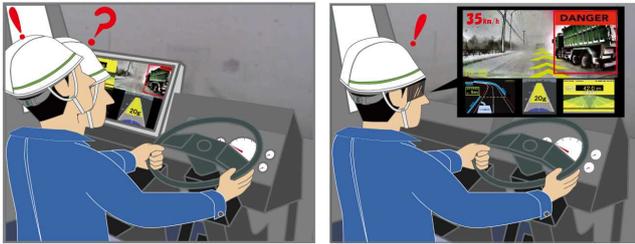


図-16 車内モニターの集約化（イメージ）

4. 最後に

現在、除雪作業の効率化に限らず、あらゆる分野での新たな技術開発・競争化が次々と進む。その中で有用な技術を速やかに現場へ反映・利用し、新たな技術改善を進めることが土木現場の更なる効率化や課題の解消につながっていくものと考ええる。

このため、我々が開発する技術はもとより、民間技術の検証において、実働配備に向けたスピードアップ化が国際競争力の向上においても重要であると考えられる。

また、これら技術が世の中に広がることで、社会のインフラが大きく変わり、様々な効率化に繋がることを想像しながら、取り組みを進めていきたい。



i-Snow®

「i-Snow」商標（ロゴマーク）

参考文献

- 1) 北海道開発局道路計画課：新広域道路交通ビジョン
- 2) 北海道開発局道路維持課：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）会議資料（第1～10回）