

28. 一次除雪機械の作業ガイダンス装置・マシンコントロールの検討

国土交通省 北陸地方整備局 ○山田 拓
北陸技術事務所 橋本 隆志

1. はじめに

北陸地方整備局では、管内（新潟県・富山県・石川県）の直轄国道管理区間14路線、合計約1,076kmの冬期道路交通を確保するため、約500台の除雪機械を配備し除雪作業を実施している。（写真-1）

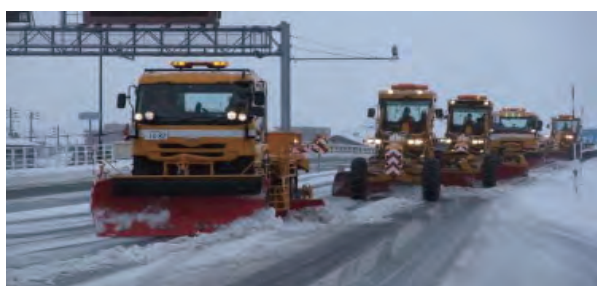
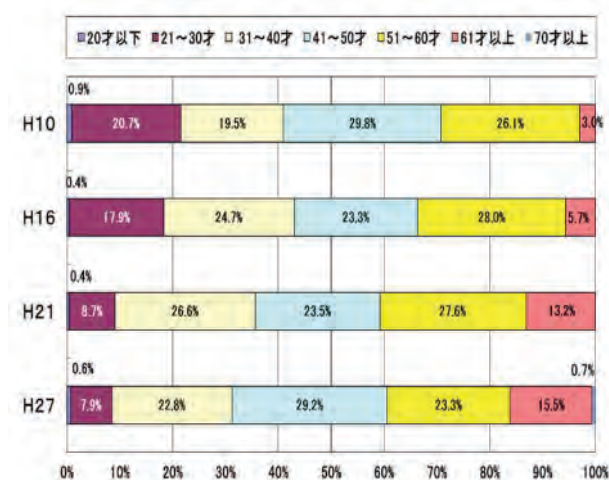


写真-1 除雪作業状況

各除雪機械の運転は、路面状況、道路構造、沿道状況等の変化に適応させた操作が必要であり、経験と熟練した技術が必要である。

昨今においては、除雪機械の熟練技能を持つオペレータの高齢化に伴う引退や新規入職者の減少により、担い手の確保が重要な課題となっている。（表-1）

表-1 除雪機械オペレータ年齢構成
（新潟、富山、石川県）直轄および地方公共団体



資料：（一社）日本建設機械施工協会 北陸支部調べ

このような背景のもと、北陸技術事務所では初心者でもベテラン並に安全で作業効率の良い除雪作業が可能となるよう、ICT（情報通信技術）を活用した「除雪機械の情報化施工技術」の検討に取り組んでいる。

2010年度から2018年度までに、凍結防止剤散布車、ロータリ除雪車、歩道除雪車、一次除雪機械（除雪トラック）の4機種の作業ガイダンス装置を開発し、順次現場への導入を進めてきた。

現在は、将来目標の除雪機械マシンコントロール化（以下「MC化」という）に向け、一次除雪機械（除雪トラック）のMC化を検討中である（表-2）。

表-2 除雪機械情報化施工技術の検討の経緯

除雪機械	年度	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	将来
凍結防止剤散布車		ガイダンス開発							ガイダンス改良		
ロータリ除雪車					ガイダンス開発				ガイダンス改良		MC化
歩道除雪車							ガイダンス開発				
一次除雪機械（除雪トラック）									ガイダンス開発 MC化検討		

本稿では、2017～2018年に実施した、一次除雪機械（除雪トラック）の作業ガイダンス装置開発及びMC化の検討について報告するものである。

2. 一次除雪機械作業ガイダンス装置の開発 2.1 機能の検討

除雪トラック作業ガイダンス装置は、過去に開発した除雪機械の作業ガイダンス装置をベースとし、除雪トラックの作業補助に必要な機能を追加、及び改良することで開発した。以下に検討した機能、及び仕様について述べる。

(1) 基本ガイダンス機能（接近警告機能）

基本的なガイダンス機能は、道路構造物への接

触事故防止，特殊な作業が必要となる区間への接近警告機能とし，進行方向、横断方向毎に設定した。

進行方向でのガイダンス対象は、橋梁ジョイント，マンホール等の障害物（写真-2）及び，家屋連単部、バス停，交差点部，ランプ等（写真-3）の作業に注意を要する区間とした。

横断方向のガイダンス対象は、作業装置と路肩端，道路中心線との離隔距離とした。（写真-4）



写真-2 進行方向のガイダンス対象 1 障害物



写真-3 進行方向のガイダンス対象 2 作業注意区間



写真-4 横断方向のガイダンス 路側端

(2) 作業装置の状態に応じた離隔基準切替

作業装置はプラウとグレーダ装置で2種類あり，グレーダ装置は助手席側に張出し、プラウは角度の変更が可能であるため，装置端部の位置が作業状況ごとに異なる。（写真-5）



写真-5 除雪トラックの作業装置

よって，プラウとグレーダ装置の状態毎に路肩端・道路中心線への離隔基準を設定し，各設定条件に応じて，接近警告ができるように作業装置の離隔基準を切替可能な仕様とした。（図-1）

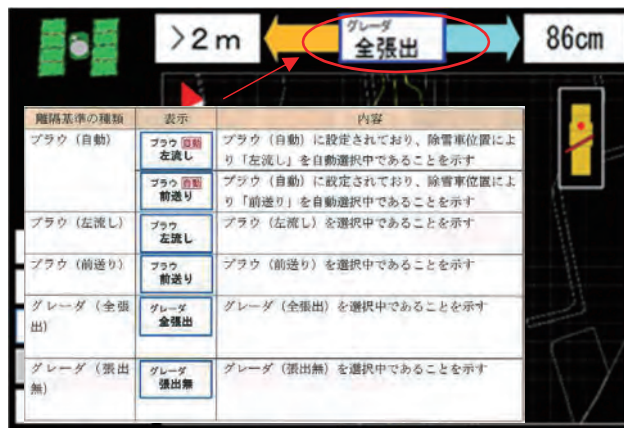


図-1 作業装置離隔基準切替機能

(3) 作業速度 (30km/h) に対応したガイダンス

除雪トラックの除雪作業速度は，約 30km/h であり，作業中にオペレータが画面を注視することが難しい。そのため，容易に確認できるよう画面表示（文字+矢印）と音声により接近警告を行う仕様とした。（図-2）

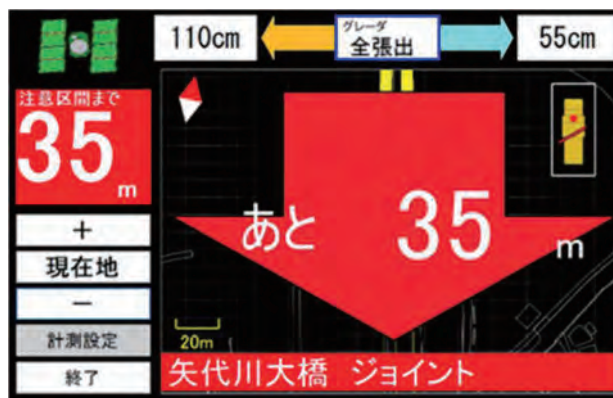


図-2 画面全体での障害物への接近表示

(4) ガイダンス開始の設定値

進行方向のガイダンス開始の設定値は，一般的なカーナビを参考とし，除雪トラックと一般車両の速度差(除雪トラック 30km/h，一般車両 50km/h)で換算し設定した。（表-3）

表-3 接近警告開始の設定値

警告種類	内容（音による案内・警告も含む）
距離表示の開始 (対象物500m手前)	「あと〇〇m」の表示を開始、到達するまで継続して点滅表示
1回目の音声案内 (対象物300m手前)	障害物… 「□〇m先に障害物があります」と1回発声 注意区間… 「□〇m先に注意区間があります」と1回発声
2回目の音声案内 (対象物100m手前)	障害物… 「障害物が近づきました」と1回発声 注意区間… 「注意区間が近づきました」と1回発声
警告 (対象物50m手前)	到達するまで警告音を再生 警告画面を表示

※接近警告(表示・音声案内)開始距離は、標準値以外にも自由に設定可能

なお、ガイダンス開始の設定値は、簡易に変更可能な仕様となっている。(図-3)

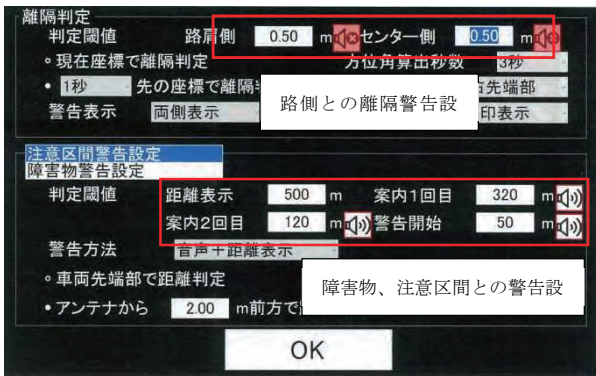


図-3 ガイダンス開始

(5) 測位方式

測位方式は、一般的なICT建機で使用実績があり、cm単位で正確な測位が可能となる、RTK-GNSS VRS方式を採用した。(表-4)

表-4 測位方式

測位方式	概要	測位誤差
VRS方式	①サービス事業者より、リアルタイムで自車位置の補正データを受信。 ②基準局を必要とせず、GPS受信機1台で高精度の測位が可能であるが、通信料が必要	水平 2~3cm 標高3~4cm

(6) 地図データ

地図データは、計測した路肩端、道路中心線データと、国土地理院の背景地図データを組み合わせ作成し、計測精度は10cm以内となるよう設定した。
また、視界不良時の位置確認、土地勘のないオペレータの作業補助のため、国土地理院の地図データをベースに距離標、交差点名を表示可能となるよう改良した。(図-4)

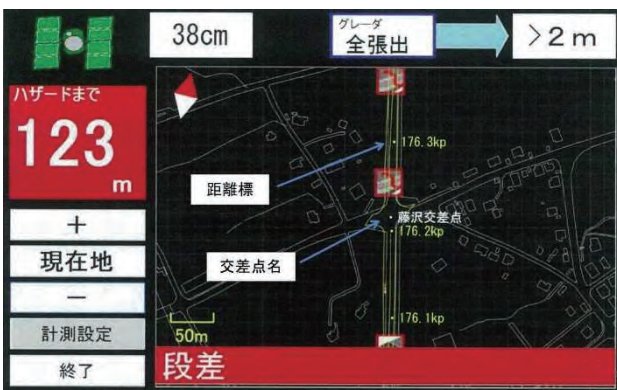


図-4 地図データ

2.2 作業ガイダンス装置の機器構成・仕様

完成した作業ガイダンスソフトの機器構成(図-5)・車載例(写真-6, 7), 画面構成(図-6)は、次のとおりである。



図-5 機器構成のイメージ



写真-6 アンテナ設置箇所



写真-7 ガイダンス装置本体車載例

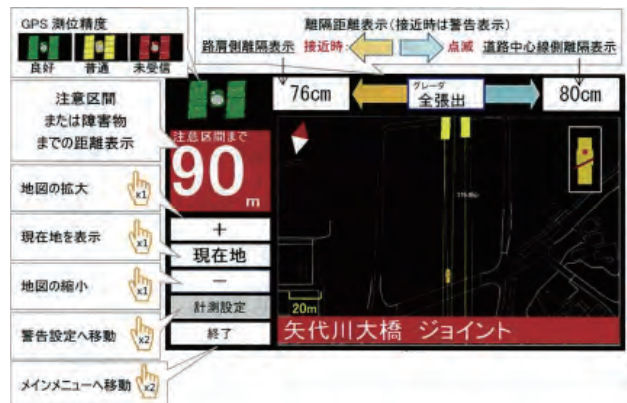


図-6 作業ガイダンスソフト画面構成

2.3 実用性の検証

今回採用した機器・地図データは、ロータリ除雪車の作業ガイダンス装置で使用実績があり、基本的な性能に問題がないことは確認済みである。

今回は、機器構成、ロータリ除雪車との作業速度の違いにより測位誤差が生じていないか検証を行った。

(1) 進行方向解析

通常の ICT 建機は位置測位を行うアンテナが2基で構成されているが、本ガイダンス装置はコスト削減のため1基で構成している。

この場合、アンテナの移動軌跡から車両の進行方向を解析する必要があり、解析完了まで正確なガイダンスを行うことが出来ない。

この解析時間が実作業ほどの程度影響を与えるか検証するため、停車状態から方向解析完了までに必要な時間と距離を計測した。

結果、平均して6秒、距離については5m～15mという結果であった。(図-7)

停車、方向転換を頻繁に繰り返す場合は、追加でセンサー又はアンテナを設置する必要もあるが、一次除雪作業は直進が主である。よって、6秒程度の解析時間であれば影響は少ないと判断し、追加設置は行わないこととした。

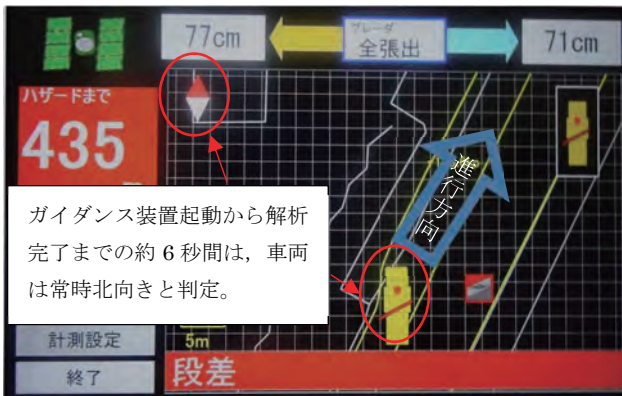


図-7 進行方向解析完了前のガイダンス画面

(2) 測位精度

過去に開発したロータリ除雪車(5km/h以下)と今回開発した除雪トラック(約30km/h)では、作業速度に大きな違いがある。

一時除雪作業の速度下でも、位置情報の反映が遅れることなく正確な測位を行うことが可能か、試験コースを平均速度30kmで走行し検証した。

結果、水平誤差は平均して10cm以内と各機器の公称精度内に収まっており、正常に動作することが確認できた。

2.4 導入効果

(1) 安全性・施工性向上

除雪作業に直接的な障害となる障害物をガイダンスすることにより、接触事故防止の安全性向上が見込まれる。

この他、作業注意区間(ランプ・パーキングエリア)を登録し事前ガイダンスすることにより、ミス防止による施工性向上も期待できる。

(2) 除雪作業支援効果

運転経験が浅いオペレータには安全性の向上が見込め、ベテランオペレータには、ケアレスミス防止、工区間応援で慣れない地域で作業を行う場合の支援に有効である。

3. 一次除雪機械 MC 化の検討

3.1 検討方針

除雪トラックは、フロントプラウ、グレーダ装置、サイドシャッター操作のため、多様なレバー操作が必要である。(写真-8)

この作業装置類を完全自動化することを目標に、2017年度よりMC化の検討に取り組んでいる。(写真-9)

今回は、2018年度に実施したサイドシャッター装置のMC化の検討結果について報告するものである。



写真-8 除雪トラックの作業装置操作レバー



写真-9 除雪トラックMC化イメージ

(1) 検討スケジュール

作業装置のMC化を行うためには、次の3点の技術(表-7)を組み合わせたシステムを構築していく必要がある。

表-7 MC化に必要な技術

No.	要素技術	候補技術	要素技術から得られる情報	要素技術による操作制御
1	精度の高い衛星受信機	・VRS受信機 ・準天頂衛星システム「みちびき」 ・慣性計測装置 等	自車、作業装置の位置情報の把握	車両位置情報での作業装置動作制御(誤差は数cm)
	精度の高い地図データ	・MMSデータ ・ダイナミックマップ 等		
2	センサー技術	・傾斜計 ・ストローク計 等	路面積雪量、雪抱え込み量、作業装置の状況 等 把握	雪の量に合わせた作業装置の角度、押付圧等の動作制御
3	AI技術	・画像認識技術 ・車線、障害物等認識技術	積雪の有無、障害物・人間等の感知 車線の把握 オペレータ作業履歴の蓄積 等	作業装置動作タイミングの自動化 制御 障害物・歩行者等の回避制御

このうち、高精度の自車位置情報、センサー技術については、既存技術の組み合わせで対応可能と想定される。上記2点の技術を基に、状況を判断し作業装置を自動制御するAI技術が必要となるが、既存技術では対応が難しい。

当面は作業装置毎に段階的に自動化の検討を進めていき、技術開発の動向を踏まえ、各技術を組み合わせたMC化の検討を行う予定である。(表-8)

表-8 検討スケジュール

検討年度	H29	H30	H31	R2	将来
①位置情報と合わせたマシンコントロール化					自 動 運 転 化
マシガイダンス					
サイドシャッタ操作					
ブラウ操作					
グレーダ操作					
②センサー技術と合わせたマシンコントロール化	数年後に実用化の可能性あり				
③AI技術等によるマシンコントロール化	市場の技術開発に応じて実用化を検討				

3.2 サイドシャッタ装置のMC化検討

サイドシャッタは、路面整正装置で除雪した雪を、交差点や乗入部に残さないよう、シャッタを閉めることで一時的に雪を抱え込む装置である。(写真-10)

このサイドシャッタの自動制御は、開閉操作を行う位置情報のみによる制御が可能なることから、前項で述べた3技術のうち、高精度の自車位置情報を使用したMC化に取り組んだ。



写真-10 サイドシャッタ動作状況

(1) 衛星受信機

MC化の検討では、2018年11月より正式運用された、準天頂衛星システム(みちびき)のセンチメートル級測位補強サービス(CLAS)を採用した。

移動体の公称精度は水平誤差12cm、標高誤差24cmであるが、今回新潟市内から福島県境にかけて片道68kmを試験走行した結果、誤差10cm以下が6割程度という結果であった。

トンネル等の上空遮蔽物、樹木の影響があり衛星不感地帯で大きな誤差が生じている。2019年度は、慣性測定装置(IMU)等を使用し、衛星測位の不感地帯での測位を補うシステムを検討中である。

(2) 地図データ

除雪トラックのフロントプラウ、グレーダ装置の操作は、路面の積雪・圧雪状態にあわせた複雑な操作、及び構造物を回避する操作が必要となる。

将来的なフロントプラウ、グレーダ装置の自動制御を踏まえ、MMS(モバイルマッピングシステム)で取得したレーザー点群データから、除雪装置の制御に必要な道路中心線形、縁石、障害物等を抽出した地図データを作成した。(図-8、写真-11)

MMSの公称精度は、水平・標高誤差ともに±25cmであるが、今回作成した地図データは、水平誤差5cm、標高誤差6cmであった。



写真-11 MMS搭載車両

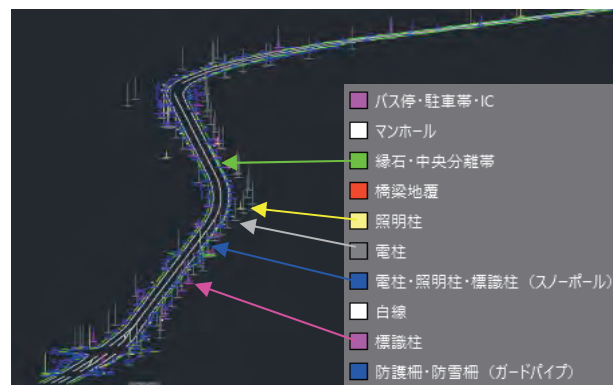


図-8 作成地図データ

(3) 制御ユニット

サイドシャッタ MC 化の制御ユニットは、タブレット PC、GPS アンテナ、除雪トラック制御装置とし、各機器を LAN 通信で交信させて制御を行う構造とした。

制御は、MMS で作成した地図データに、サイドシャッタ作動の基準点を設定し、自車位置と地図の基準点が一致した際に、サイドシャッタの制御信号出力を行う事とした。(図-9)

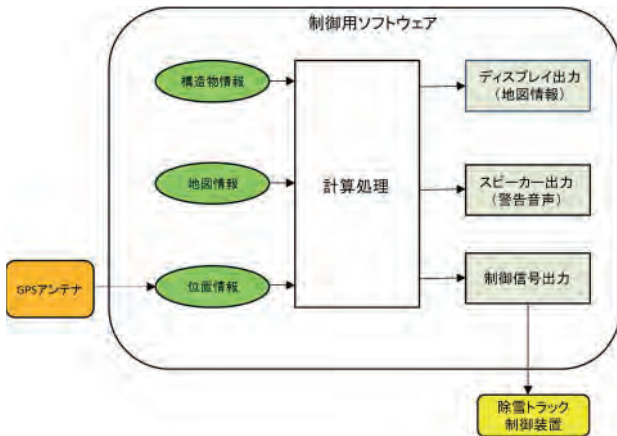


図-9 制御ユニットイメージ

(4) 動作確認試験

作成した制御ユニットにて動作確認試験を行った。

作業条件は実際の除雪作業と同等の 25~30km/h とし、1km の試験区間内に設定した、14 箇所の基準点通過時の動作タイミングを計測した。

なお、基準点は確認が容易となるよう、乗り入れに設置されている視線誘導標とした(写真-12)

結果、始動誤差は平均して 0.42 秒、距離にして約 1m であり、実用レベルであることを確認した。



写真-12 基準点

4. 終わりに

2010 年度から「除雪作業の情報化施工」の取り組みとして、作業ガイダンス装置の開発を行ってきたが、今回一次除雪機械(除雪トラック)の作業ガイダンス装置の開発が完了したことにより、一通りの開発を完了することができた。

ICT(情報通信技術)は日進月歩であることから、今後は市場の技術開発動向を踏まえ、開発した各除雪機械ガイダンス装置のフォローアップを行いながら、将来目標の除雪機械自動運転化に向けた、各除雪機械の作業装置の操作自動化(マシンコントロール)の技術開発を行い、除雪作業における安全性、施工性、生産性の向上に努めていきたい。