

16.3 ICTを活用した効率的、効果的な除雪マネジメント技術に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 27

担当チーム：寒地機械技術チーム

研究担当者：柳沢雄二、牧野正敏、小宮山一重、
大上哲也、岸寛人

【要旨】

積雪寒冷地において、降雪や積雪が道路交通に与える影響は大きく、円滑な道路交通の確保は地域住民にとって必要不可欠である。本研究では、除雪作業を効率的・効果的に実施するため、除雪機械稼働情報（位置・作業）や気象情報等の分析を行い、ICT(Information Communication Technology)を活用して除雪出動判断・除雪運用を支援する除雪マネジメント技術を提案するものである。

平成 24 年度は、除雪機械稼働情報とその時の降雪量を調査して可視化分析を行い、降雪量の多少に伴う除雪梯団編成、除雪ルートについて確認を行った。また、各工区の降雪量の増加に伴う除雪作業速度の変化及び降雪量と除雪作業所要時間の関係を確認した。加えて、情報共有ツールとして汎用品であるスマートデバイスの除雪作業における活用可能性の検証を行った。

キーワード：除雪機械、マネジメントシステム、GPS、運用支援、除雪計画、ICT

1. はじめに

積雪寒冷地において、降雪や積雪が道路交通に与える影響は大きく、円滑な道路交通の確保は地域住民にとって必要不可欠である。また、鉄道の廃止により生活が100%自動車輸送に依存している地域もあることから、道路交通は重要な生命線となっており道路除雪に対する住民ニーズは高い。一方では、近年の公共投資の抑制などを背景に、道路除雪についてもコスト縮減をせざるを得ない状況であり、道路管理者は除雪に関する管理基準の設定や各種コスト縮減に取り組んでいる。さらに、国土交通省が策定した「国土交通省防災業務計画（平成 25 年 3 月）」では、雪害による被害の発生防止または軽減を図る観点から、除雪機械について即時的、広域のかつ一元的な管理等、効果的な運用技術を開発し防災対策に反映するよう記されている¹⁾。

北海道の国道を管理する国土交通省北海道開発局（以下、開発局）は、1,030 台²⁾の除雪機械を用いて、一般国道約 6,650km²⁾の除雪を行っている。また、開発局では、地図上でのリアルタイムな除雪進捗状況の把握や、過去の作業履歴確認が可能な除雪機械等情報管理システムを用いて除雪作業を把握している。

本研究では、除雪作業を効率的・効果的に実施するため、除雪機械等情報管理システムに蓄積された詳細な除雪機械稼働情報（位置・作業）や気象情報等の分析を行

い、ICT(Information Communication Technology)を活用して除雪出動判断・除雪運用を支援する除雪マネジメント技術を提案するものである。

2. 研究実施内容

本研究では、除雪マネジメント技術の提案のため、次の技術開発に取り組んでいる。

- ① 気象情報と除雪機械の稼働（位置・作業）情報の可視化による、除雪作業効率の分析・評価技術の提案
- ② 気象情報・除雪機械稼働情報の分析と ICT を活用した情報共有による、除雪出動判断・除雪運用支援技術の提案
- ③ 除雪機械の位置・作業情報を活用した、除雪機械作業効率化マネジメント技術の運用方法の提案

これにより、豪雪時等の路線としての除雪作業所要時間の短縮や除雪作業の遅延に起因する渋滞損失額の低減に寄与できる。

平成 24 年度は、過去の降雪量と除雪機械稼働情報について調査を行い、除雪機械稼働情報を、時間経過に伴う状況・形態変化を可視化できるグラフに作図し、除雪作業状況の分析を行った。また、降雪量と除雪作業速度、降雪量と除雪作業所要時間の関係を確認した。加えて、「除雪車と事務所」、「除雪車と除雪車間」の情報共有ツールとして、汎用品であるスマートデバイスの除雪作業

への活用可能性の検証を行った。

3. 除雪機械等情報管理システムの概要

除雪機械等情報管理システムは、開発局が導入した基幹システムと、(独)土木研究所寒地土木研究所が開発した除雪機械マネジメントシステムから構成されており、開発局職員及び除雪工事受注者（以下、除雪業者）に提供されている。

3.1 基幹システムの概要

基幹システムは、除雪機械に搭載されたGPSや作業センサからの位置・作業情報を、車載端末を介してリアルタイムに収集・管理する。これにより、リアルタイムな除雪進捗状況の確認や過去の詳細な除雪作業履歴（作業日時、作業内容、作業箇所（KP）等）を確認することができる。基幹システムの基本機能である「除雪機械位置の確認」、「作業履歴の確認」画面の一例を図-1に示す。

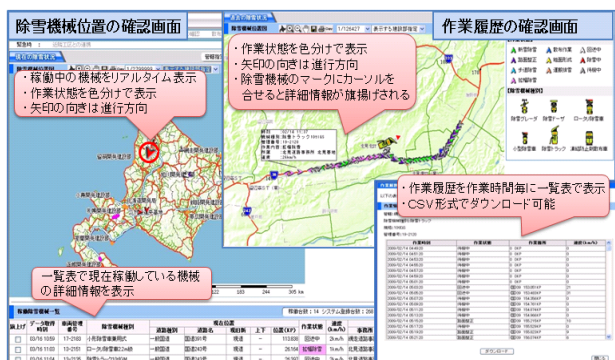


図-1 除雪機械位置の確認・作業履歴の確認画面

3.2 除雪機械マネジメントシステムの概要³⁾

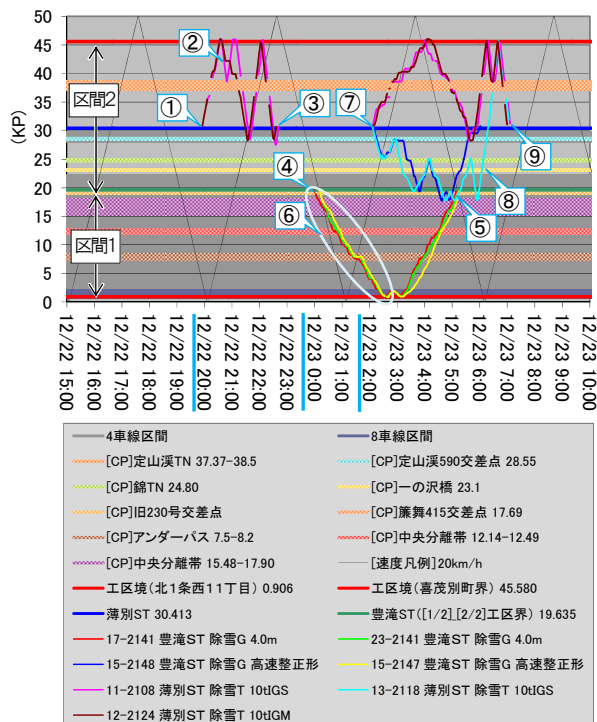
除雪機械マネジメントシステムは、基幹システムで取得した除雪機械の位置・作業情報と、道路管理データ（気象観測、通行規制、道路カメラ画像等）を連携させ、道路管理における効率的、効果的な除雪マネジメントの実施を目指している。現在、除雪機械マネジメントシステムで運用している主な機能は、地図上における除雪作業進捗状況の確認や、凍結防止剤散布設定情報の収集管理機能等である。

本研究で取り組んでいる除雪出動判断支援技術、除雪運用支援技術は、この除雪機械マネジメントシステムに機能追加する予定である。

4. 気象情報と除雪機械の稼働（位置・作業）情報の可視化による、除雪作業状況の分析

本研究では、基幹システムに蓄積された除雪機械稼働

情報をCSV形式で取得し、X軸を除雪作業時刻、Y軸を道路距離標（KP）としたグラフ（以下、除雪作業グラフ）に、除雪車1台の動きを1本の線で表示する、除雪作業状況の可視化を行った。除雪作業グラフには、除雪車の動きの他、除雪ステーション（以下、ST）、除雪車転回点等の位置、作業速度の目安となる斜線を表示した。除雪作業グラフ作成例を図-2に示す。



※[CP]は、転回点名称を表す。

※各名称の数字は、道路距離標（KP）を表す。

図-2 除雪作業グラフ作成例

図-2に示した除雪作業グラフの作成例から確認できる除雪作業状況は以下のとおりである。

- 20時頃、区間2を除雪するため、薄別STから2台の除雪車が出動(①)している。梯団は、途中で分かれて(②)1台が定山溪TN(トンネル)で折り返し、再度合流して除雪を行い、23時頃に薄別STに到着(③)している。
- 0時頃、区間1を除雪するため、豊滝STから3台の除雪車が梯団で出動(④)している。その後は区間1内を除雪し、5時頃に豊滝STに到着(⑤)している。なお、除雪作業速度は、20時頃に出動した梯団(①)に比べ、遅いことが確認(⑥)できる。
- 2時頃、区間2を除雪するため、再び薄別STから除雪車が出動(⑦)している。この時は、4台の除雪車が2台づつの梯団に分かれて上下方向に出動し

ている。また、6時頃、1台が他方に応援に向かったことが確認(⑧)でき、区間2の梯団と合流して除雪を行い、7時頃に薄別STに帰着(⑨)している。

このように、除雪作業グラフは、1台の除雪車の動きを1本の線で表すことで、時間経過に伴う除雪車の除雪ルート等の作業状況が可視化されるため、除雪作業の進捗状況や速度変化の把握が容易になる。また、複数台数の表示も可能であるため、除雪梯団編成等の作業形態の変化も確認することができる。

4.1 除雪機械稼働情報の可視化による分析

除雪作業状況の分析を行うため、開発局札幌開発建設部(以下、札幌開建)が発注した除雪工事のうち、5箇所の除雪工区(以下、除雪工区)の除雪機械稼働情報と、その除雪工区の最寄りに位置する気象庁気象観測所の降雪量を調査した。また、直近の除雪作業終了後から当該の除雪作業終了までの降雪量が10cm程度の日(以下、通常降雪時)と20cm程度以上の日(以下、豪雪時)に分けて分析を行った。なお、降雪量の多少による除雪梯団編成や除雪ルート等は、過年度の分析から通常降雪時はある程度パターン化され、豪雪時は臨機に変更していることがわかっているが、除雪車転回点(除雪中の折り返し場所)等までは把握できていない。(図-3、4)

平成24年度は、除雪工区毎に存在する除雪車転回点や除雪施工に関係すると思われる中央分離帯等の道路構造物の位置を把握できる除雪作業グラフを作成し、除雪作業の分析を行った。

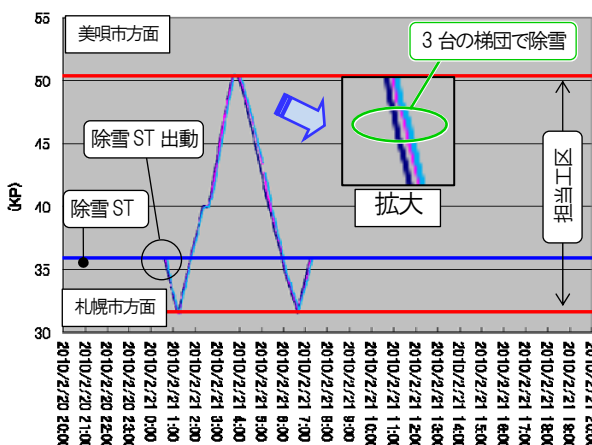


図-3 除雪作業グラフ(過年度分析の通常降雪時の例)

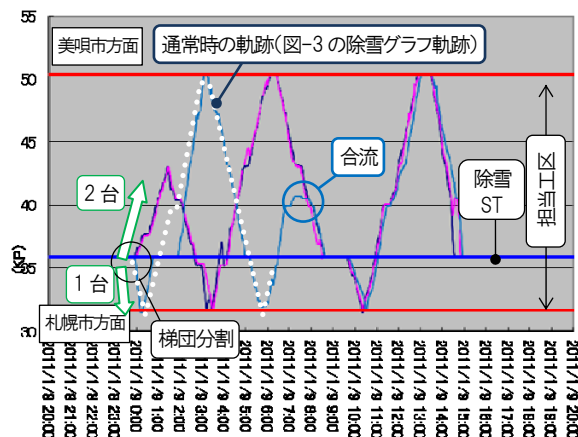


図-4 除雪作業グラフ(過年度分析の豪雪時の例)

4.2 除雪作業可視化分析事例

札幌開建が発注した一般国道275号の除雪工区における通常降雪時と豪雪時の除雪作業状況の分析事例について説明する。除雪工区概要図を図-5に示す。なお、この工区には、区間1、2に除雪トラックが2台ずつ配置されている。

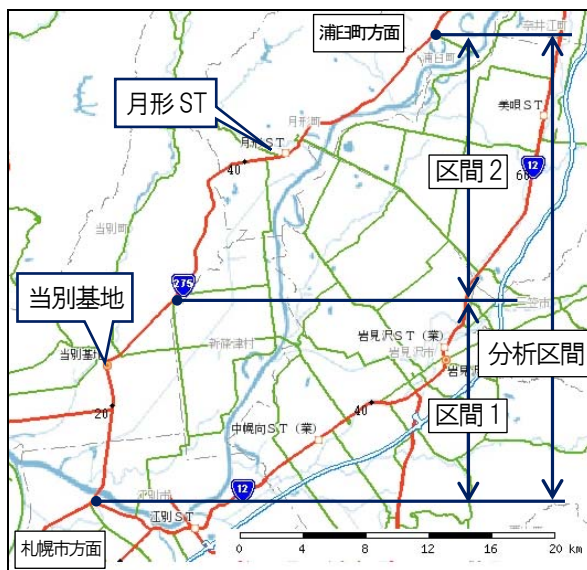


図-5 除雪工区概要図

4.2.1 通常降雪時の分析事例

通常降雪時の分析事例として、2013年2月6日の除雪作業グラフを図-6に示す。この時の降雪量は、直近の除雪作業終了から当該除雪出動までで12cm、当該除雪出動から除雪作業終了までで0cmであった。

この日の除雪は、2月5日3時頃に区間1の除雪を担当する除雪車が2台編成の梯団で当別基地を出動し、最初は上り方向(札幌市方面)に向かっている。その後は、蔵代橋車帯、中央分離帯区間内で転回しながら除雪を行

い、7時半頃に当別基地に帰着していることが確認できる。

区間2の除雪を担当する除雪車は、同日3時頃に2台編成の梯団で月形STを出勤して、最初は下り方向（浦臼町方面）へ向かっている。その後は浦臼町側隣接工区境で折り返して上り方向へ向かい、中央分離帯区間内で数回転回する除雪を行い、7時頃に月形STに帰着していることが確認できる。この時の除雪出勤から除雪作業終了までの除雪作業所要時間は、約4時間であった。

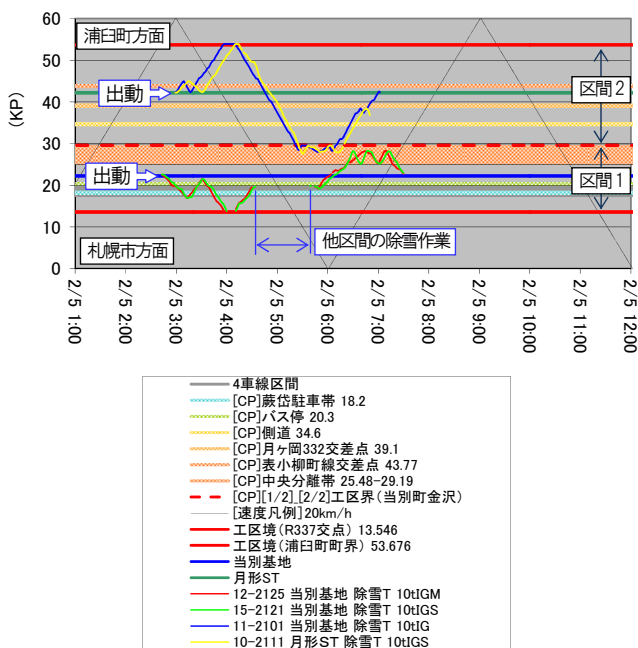


図-6 除雪作業グラフ（通常降雪時の例）

4.2.2 豪雪時の分析事例

豪雪時の分析事例として、2012年2月8日の除雪作業グラフを図-7に示す。この時の降雪量は、直近の除雪作業終了から当該除雪出勤までで0cm、当該除雪出勤から除雪作業終了までで19cmであった。

この日の除雪は、2月8日10時半頃に区間1の除雪を担当する除雪車が2台編成の梯団で当別基地を出勤し、上り方向（札幌市方面）へ向かっている。通常降雪時は、途中の蔵位駐車帯で転回していたが、この日は転回すること無く隣接工区境まで除雪している①。隣接工区境折り返し後は、中央分離帯区間内の除雪を行った後、区間2の除雪に向かったことが確認②できる。区間2の除雪は月形STで折り返し、再び中央分離帯区間内の除雪を行い、18時頃に当別基地に帰着していることが確認できる。

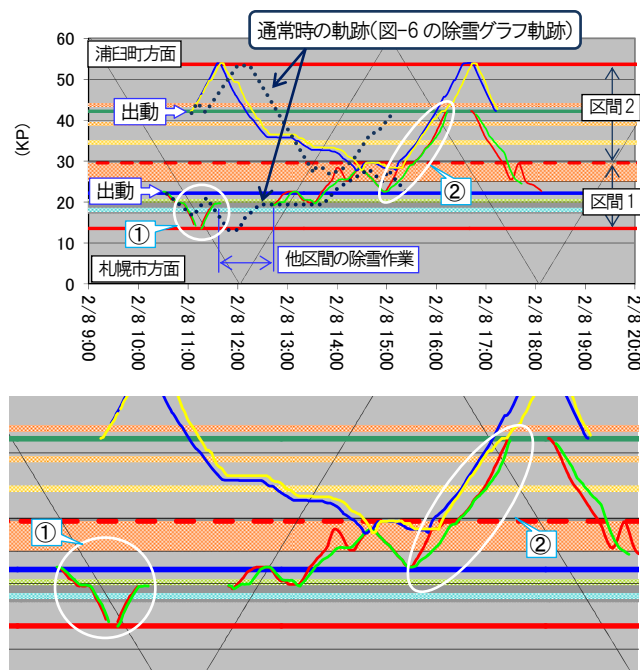
区間2を担当する除雪車は、同日11時頃、2台編成の梯団で月形STを出勤し、下り方向（浦臼町方面）へ向

かっている。その後、浦臼町側の隣接工区境で折り返し、中央分離帯区間内の除雪を行っている。中央分離帯区間内除雪後は、再び下り方向（浦臼町方面）に向かい、浦臼町側隣接工区境で折り返し、17時過ぎに月形STに帰着している。

この時の除雪出勤から除雪作業終了までの除雪作業所要時間は、約7時間であった。

通常降雪時であれば、両梯団は中央分離帯区間内の除雪後はそれぞれの車庫に帰着するが、この日は多い降雪に対応した除雪作業だったことが確認できる。

以上のように除雪作業の可視化分析は、除雪梯団編成や除雪ルートを変更して施工したこと等が容易に確認でき、作業内容の検証に有効である。



※凡例は通常降雪時と同じであるため、省略する。

図-7 除雪作業グラフ（豪雪時の例）（上図）と拡大図（下図）

4.2.3 除雪作業標準グラフの作成

過年度の分析で通常降雪時における除雪作業はある程度パターン化されていることがわかった。また、除雪工区は、道路構造の違い、風雪が強い区間を有する等、各々の特性を有している。それらが加味された実績による通常降雪時の除雪ルート、除雪作業所要時間を定量的に把握することは、通常降雪時における除雪出勤タイミング、豪雪時における除雪体制の検討、除雪施工計画の検討に活用できると考え、通常降雪時の除雪ルート及び転回点を基に、除雪作業標準グラフを作成した。

通常降雪時の除雪作業情報を解析し、出勤時刻を原点

とした除雪経過時間と0.5km毎の平均作業速度から、X軸を出動からの経過時間、Y軸を道路距離標としたグラフを作図した。一例として、「4.2.1 通常降雪時の分析事例」で分析を行った、除雪工区の標準作業グラフを図-8に示す。

標準作業グラフから、通常降雪時における除雪作業所要時間は、区間1、2共に4時間程度であることが確認できる。

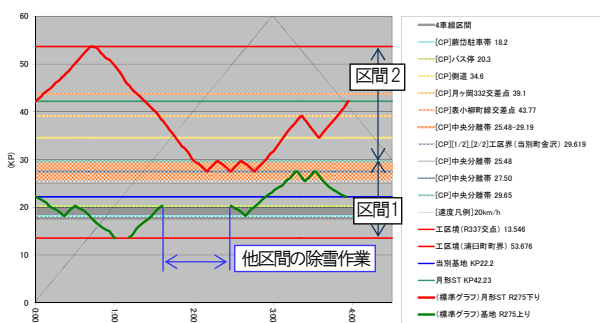


図-8 除雪作業標準グラフ

5. 気象情報・除雪機械稼働情報の分析とICTを活用した情報共有による、除雪出動判断・除雪運用支援技術の提案

5.1 除雪出動判断支援技術の検討

最適な除雪出動には、降雪量に応じた除雪作業所要時間を把握し、出動時までの降雪量と今後の予想降雪量から出動タイミングを判断する必要がある。そこで、過去の降雪量とその時の除雪機械稼働情報について調査・分析を行い、降雪量と除雪作業速度の変化及び降雪量と除雪作業所要時間の関係を確認した。なお、調査した除雪工区は、「4.1 除雪機械稼働情報の可視化による分析」で分析を行った工区と同一の5工区である。

除雪作業速度は、通常降雪時を「1.0」として、降雪量の増加に伴う変化を確認した(図-9)。

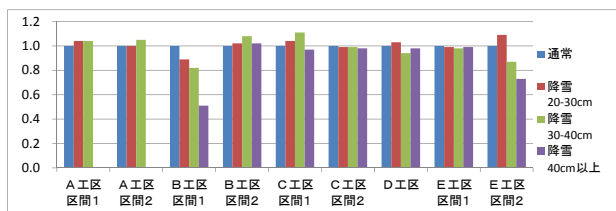


図-9 除雪作業速度の比較

B工区の区間1、E工区の区間2では降雪量が増加すると除雪作業速度が低下する傾向が見られるが、他の工区では除雪作業速度の低下は見られない。分析結果から、除雪作業速度の変化は各工区一様でないことがわかった。

また、降雪量と除雪作業所要時間の関係を確認すると、降雪量の増加に伴って、必ずしも除雪作業所要時間が増加していないことがわかった。

一例を挙げると、図-10のB工区の区間1及び2では相関が見られるものの、C工区の区間1及び2では相関が低い結果となった。分析に用いた降雪量データは、除雪工区の最寄りに位置する気象観測所が記録したデータであるが、除雪工区上の実際の降雪量と相違している可能性が考えられる。降雪量と除雪作業所要時間の関係については、今後も継続して調査、分析を行ってみたい。

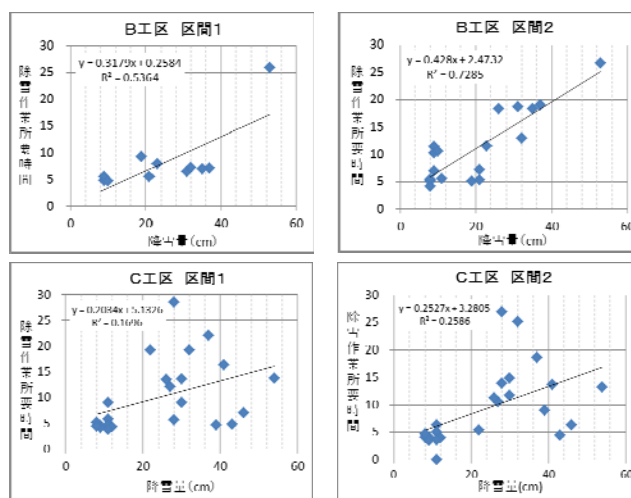


図-10 降雪量と除雪作業所要時間の関係

5.2 情報共有技術の検討

本研究では、「除雪車と事務所」、「除雪車と除雪車間」の情報共有ツールとして、近年、ICTの発展に伴い急速に普及している汎用品のスマートデバイスに着目した。しかし、除雪作業現場で使用するには、位置情報の正確性、除雪作業の振動や非稼働時の低温の影響による不具合発生が懸念される。そこで、除雪作業への活用可能性を確認するため、位置情報精度、耐振性及び耐寒性の検証を行った。検証には、表-1に示すスマートデバイスを用いた。

表-1 スマートデバイス仕様

寸法	高さ 190mm×幅 120mm×厚さ 12.1mm
質量	382g
画面	TFT 液晶 タッチパネル式 約7.0インチ
OS	Android2.2

5.2.1 搭載除雪車の選定

スマートデバイスを搭載する除雪車は、札幌開建岩見沢道路事務所に配置されている除雪車から、次の条件に

合う機械を選定した。

①年間走行距離が多い除雪トラック(10t級IG凍結防止剤散布装置付)②除雪作業による車体振動が大きいと想定される除雪グレーダ(高速整正型、S付)及び除雪ドーザ(13t級)。(※I:一方向プラウ装置、G:路面整正装置、S:サイドウイング装置)

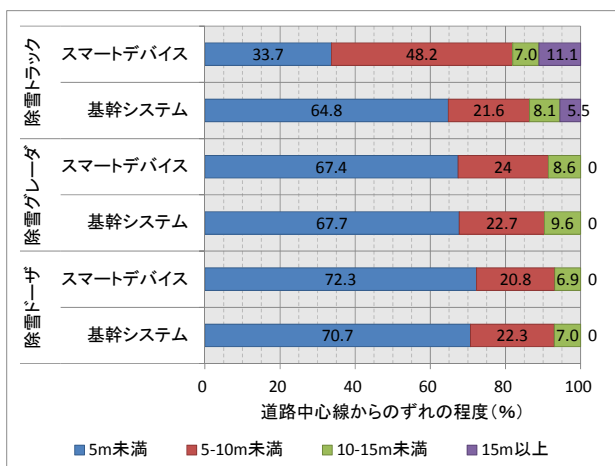
除雪トラックに搭載した状況を写真-1に示す。



写真-1 スマートデバイス搭載状況 (除雪トラック)

5.2.2 位置情報精度の検証

位置情報精度の検証は、除雪車キャビン内に搭載(写真-1)したスマートデバイスに内蔵されているGPSで取得した位置情報を分析し、DRM(Digital Road Map)の道路中心線からのずれをとりまとめた。また、基幹システムで取得した位置情報の精度も同様に分析し、両者の違いをとりまとめた。検証結果を図-11に示す。



※測定期間：平成24年12月14日～平成25年1月14日

図-11 位置情報精度検証結果

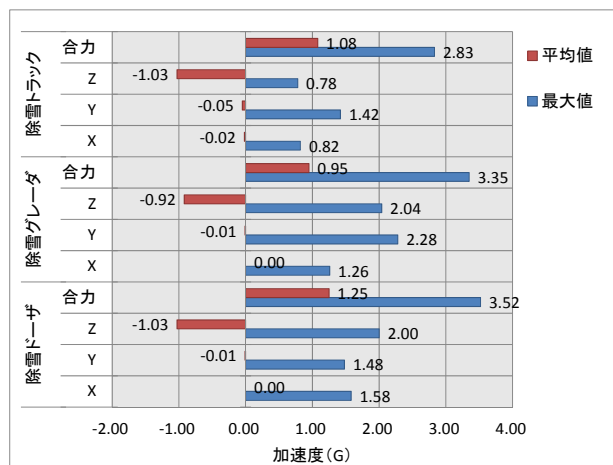
検証の結果、スマートデバイスで取得した位置情報の精度は、道路中心線からのずれが10m未満の割合は、除雪トラックで約82%、除雪グレーダで約91%、除雪ド

ーザで約93%となった。一方、基幹システムで取得した位置情報の精度は、道路中心線からのずれが10m未満の割合は、除雪トラックで約86%、除雪グレーダで約90%、除雪ドーザで約93%となった。

基幹システムと比較すると精度は劣る結果ではあるが、除雪作業位置を把握するには十分な精度であると考えられる。なお、平成25年4月1日から準天頂衛星がGPSを補完する衛星として利用可能になったことから、位置情報精度は、今後、向上するものと思われる。

5.2.3 耐振性の検証

耐振性の検証は、3軸加速度センサを除雪車キャビン内に設置し、X軸、Y軸、Z軸の加速度を10分間隔で測定した。なお、X軸は前後進方向、Y軸は水平方向、Z軸は垂直方向の加速度である。測定結果を図-12に示す。



※ 加速度(合力) $=\sqrt{(X^2+Y^2+Z^2)}$

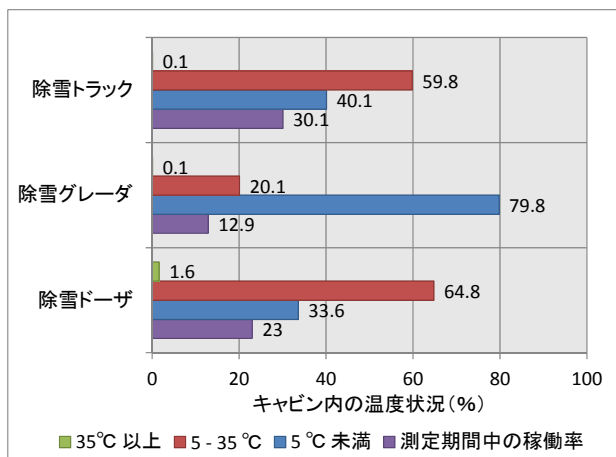
図-12 加速度測定結果

計測結果から、除雪グレーダ及び除雪ドーザの最大値が除雪トラックに比べて大きい結果となったが、加速度(合力)の平均値では3機種とも1G前後となっていることから、振動による大きな負荷が恒常的には生じていないことがわかった。

なお、平成24年度の除雪シーズンが終了した現在、除雪車に搭載した3台のスマートデバイスに、振動を起因とする不具合は生じていない。

5.2.4 耐寒性の検証

耐寒性の検証は、除雪車キャビン内に温度計を設置して、除雪作業中と非稼働時における温度を測定し、キャビン内の温度状況を確認した。なお、試験に用いたスマートデバイスの推奨動作温度は5~35℃である。測定結果を図-13に示す。



※測定期間：平成24年12月14日～平成25年3月21日

図-13 温度測定結果

測定期間中における推奨動作温度範囲内での使用率は、除雪トラックで約60%、除雪ドーザで約65%であった。一方、除雪グレーダは約20%と低く、5°C未満における使用率が約80%と高い結果となった。これは、測定期間中における稼働率が他の2機種に比べて低かったことが要因と推定される。

なお、平成24年度の除雪シーズンが終了した現在、除雪車に搭載した3台のスマートデバイスに、温度を起因とする不具合は生じていない。

5.3 除雪機械マネジメントシステム新機能の開発

前項「4.1 除雪機械稼働情報の可視化による分析」で行った除雪作業可視化分析を容易に行えるシステム（以下、可視化機能）の検討を行った。

可視化機能の操作・設定は、誰でも容易に行えるよう、主にプルダウンによる選択方式とした。グラフ表示設定に関しては、除雪車や転回点等の線色や線種を任意に設定できる仕様とした。また、可視化機能の開発にあたっては、利便性やシステムユーザー（道路管理者、除雪業者）の意見を考慮する必要がある。そこで、可視化機能のデモサイトを作成し、システムユーザーを対象に「操作性」や「見やすさ」等についてアンケート調査を行った。その結果、道路管理者16人、除雪業者16人から回答を得ることができた。主なアンケート意見は次のとおりである。

①表示や操作に関する改善意見

- ・「グラフが小さい」（道路管理者）
- ・「全選択、解除ボタンがほしい」（道路管理者）
- ・「グラフ表示が見づらい」（除雪業者）

②可視化機能の有効性に関する意見

- ・「リアルタイムに表示できれば、豪雪時の対応に役

立つ」（道路管理者）

- ・「他工区との兼ね合いや作業遅延による応援体制の指示に十分活用できる」（除雪業者）

得られた意見は、今後の可視化機能作成に反映させ、除雪事業に有用となるシステムを作成したい。

6. まとめ

除雪作業効率の分析では、過去の履歴データを基に除雪機械稼働状況を可視化し、除雪梯団編成、除雪ルート等を確認した。また、通常降雪時における除雪ルート及び除雪車転回点を基に除雪作業標準グラフを作成した。今後は、除雪出動タイミングや除雪ルートの決定方法等について道路管理者等へのヒアリングにより作業内容の検証を行い、可視化分析の有効性を評価して、除雪作業効率の分析・評価技術として提案していきたい。

除雪出動判断・除雪運用支援技術の検討では、降雪量と除雪作業速度の変化及び降雪量と除雪作業所要時間の関係を確認した。その結果、降雪量の増加に伴う除雪作業速度の変化は一様でなく、除雪作業所要時間も必ずしも増加していないことがわかった。加えて、「除雪車と事務所」、「除雪車と除雪車間」の情報共有ツールとして、スマートデバイスの除雪作業への活用可能性の検証を行った。その結果、位置情報は、作業位置を把握するには十分な精度であることを確認した。今後は、降雪量と除雪作業所要時間の関係についての分析、スマートデバイスの除雪作業への活用可能性の検証を継続し、除雪出動判断・除雪運用支援技術の提案につなげていきたい。

参考文献

- 1) 国土交通省：防災業務計画、P198、平成25年3月
<http://www.mlit.go.jp/saigai/gyoumukeikaku.html>
- 2) 国土交通省北海道開発局：北海道開発局局長定例記者会見資料、平成24年11月28日 今冬の除雪について
<http://www.hkd.mlit.go.jp/kyokutyou/h24/1128/01.pdf>
- 3) 岸寛人、牧野正敏、佐々木憲弘：GPSを活用した除雪機械運用支援システムの開発、平成22年度建設施工と建設機械シンポジウム、2010年11月
- 4) 国土地理院：2013年報道発表資料、平成25年4月1日 平成25年度より全国で電子基準点を用いた準天頂衛星やグロナスによる測量が可能に
<http://www.gsi.go.jp/eiseisokuchi/eiseisokuchi60005.html>

STUDY ON TECHNOLOGY FOR EFFICIENT AND EFFECTIVE SNOW REMOVAL MANAGEMENT UTILIZING ICT

Budgeted : Grants for operating expenses General account

Research Period : FY2011-2015

Research Team : Machinery Technology Research Team

Author : YANAGISAWA Yuji

MAKINO Masatoshi

KOMIYAMA Kazushige

OGAMI Tetsuya

KISHI Norihito

Abstract : In cold snowy regions, snowfall and snow cover greatly affect road traffic. Securing smooth road traffic is essential for local residents. Towards efficient and effective snow removal, this study analyzes snow removal machinery location and work, and weather information, toward proposing a snow removal management technology based on ICT (information communication technology), which will help operators to determine the appropriate time for operation and which will help snow removal vehicle management.

In FY2012, we surveyed snow removal operation and snowfall, which were visualized for analysis, to examine the organization of snow removal echelons in accordance with snowfall and the route for snow removal operation. We also verified the variation in the speed of snow removal operation at each work section according to snowfall intensity, and the relation between the speed of snow removal operation and the snow removal time required. Furthermore, we investigated the feasibility of common smart devices as tools of sharing information for snow removal operation.

Key words : snow removal machinery, management system, GPS, operational support, snow removal planning, ICT