

7.6 雪氷処理の迅速化に関する技術開発

研究予算：運営費交付金

研究期間：平 20～平 22

担当チーム：寒地機械技術チーム、寒地技術推進室

研究担当者：牧野正敏、佐々木憲弘、大上哲也、

石川真人、岸寛人、尾崎佑介、佐藤武志

【要旨】

北海道における国道の除雪延長は年々増加しているが、除雪事業費は道路予算の縮減により、減少傾向にある。一方で冬期道路利用者は、常に良好な路面管理、異常気象時における迅速な除雪作業を求めている。そのため、現有する除雪機械を有効に活用し、効率的・効果的な除雪作業の実施を支援するためのシステムが必要である。

本研究は、雪氷処理作業の迅速化に資するため、基幹システム（除雪機械の動態を GPS により把握可能な除雪機械等情報管理システム）をベースに、除雪機械の弾力的な運用支援を可能とする除雪機械マネジメントシステムを構築するとともに、運搬除雪作業における積雪状況計測技術の開発を行い、冬期道路維持管理業務のより一層の効率化、高度化を目指すものである。

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、雪量計測

1. はじめに

北海道は、都道府県の中で最も広い約 83,500km² の面積を有しており、日本の総面積の約 22%を占める。¹⁾ また、人口が4万人を超える都市間の平均距離は約60km²⁾ と、広域分散型の積雪寒冷地域である。

北海道の国道を管理する北海道開発局は、1,029 台の除雪機械を用いて、一般国道6,610kmの除雪を行っている（平成22年度現在）。北海道における国道の除雪延長は年々増加しているが、除雪事業費は道路予算の縮減により、減少傾向にある。一方で冬期道路利用者は、常に良好な路面管理、異常気象時における迅速な除雪作業を求めている。そのため、現有する除雪機械を有効に活用し、効率的・効果的な除雪作業の実施を支援するためのシステムが必要である。

そこで、北海道開発局では、GPS により除雪機械の動態を把握可能な基幹システムを平成17年度に導入した。このシステムにより、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となる。

本研究では、この基幹システムをベースに、様々な道路管理データ（気象観測、通行規制、道路カメラ画像等）を相互連携させ、除雪機械のマネジメント及び弾力的な運用支援が可能なシステムを開発することで、道路維持管理業務のより一層の効率化、高度化を目指している。

2. 研究実施内容

本研究では、迅速かつ効率的な除雪作業を行うため、下記の技術開発に取り組んだ。なお、本年度は本研究の最終年度となることから、本稿では過年度に実施した主な研究内容を含めて報告する。

- (1) 除雪機械マネジメントシステム（運用支援システム）の開発
- (2) 除雪情報提供システムの開発
- (3) 冬期道路積雪状況計測技術（運搬除雪雪量計測システム）の開発

3. 基幹システムの概要

除雪機械にはGPS アンテナ及び各種作業センサーが設置されており、除雪機械の位置情報・作業情報（除雪中、回送中等の作業状態）を車載端末からリアルタイムにデータを収集・送信する。基幹システムは、除雪機械から送られてくる位置・作業情報を収集管理し、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の確認を行うことが可能である。

基幹システムの全体構成図を図-1に示す。また、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-2に示す。

データの収集・送信を行う車載端末は、札幌・網走開発建設部管内の除雪機械、全道の凍結防止剤散布車（散布装置付除雪トラック含む）に取り付けられており、平成22年度末現在で371台の除雪作業状況が確認できる。

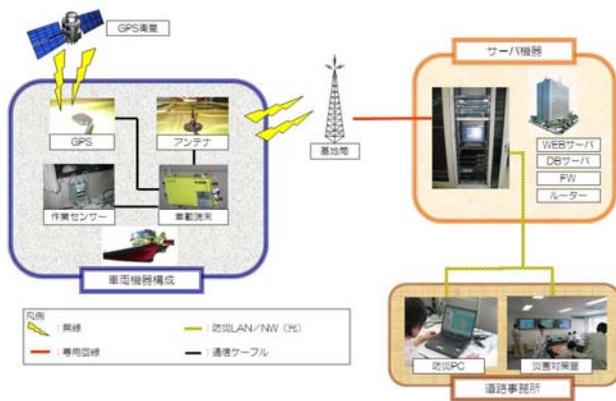


図-1 基幹システム全体構成



図-2 除雪機械位置の確認・作業履歴の確認

4. 除雪機械マネジメントシステムの基本構想

基幹システムで入手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、道路管理における除雪マネジメントが可能な機能の設計、開発、導入について検討を行った。除雪マネジメントとは、除雪計画の策定（Plan）、計画の実施（Do）、評価（Check）、処置（Action）といった「PDCA」サイクルを実現させ、道路維持管理業務の効率化及びサービスレベルの継続的な向上を図ることを指す。ここでは、除雪機械マネジメントシステムの基本構想である5つの支援機能について説明する。^{3) 4) 5)}

4.1 除雪計画支援

除雪工区の見直しや除雪機械の適正配置の検討には、過去の膨大な稼働データや気象データ等の整理に多くの時間を要する。本システムで蓄積した除雪機械の稼働情報や気象データをデータベース化することで、必要な分析が容易となり、除雪計画を効率的・効果的に行うことが可能となる。

4.2 出動判断支援

除雪作業は、一般的に通勤・通学時間帯前に終了することを目標としており、除雪機械の出動判断は担当者の

経験により決定されている。本システムで蓄積した除雪機械の稼働情報や気象データを分析し、現在の気象情報から判断した出動タイミングをガイダンスすることで、経験が少ない監督職員、除雪工事請負業者でも効率的な待機・出動判断が可能となる。

4.3 ダイナミック工区シフト支援

除雪作業は、通常割り当てられた担当工区内のみ実施されるため、局所的な大雪などの異常気象時には隣接工区間で除雪終了時刻に大幅な差異が生じ、路線全体では除雪の遅延が生じることがある。

本システムにより、隣接した工区の除雪進捗状況をリアルタイムに確認し、それぞれの工区における除雪終了時刻をシミュレーションする。除雪の応援が可能であれば、工区境（除雪機械の転回場所）をシフトすることで、路線全体の除雪時間の短縮（平準化）を図ることが可能となる。

4.4 豪雪災害対応支援

除雪作業時の除雪機械の位置や作業進捗状況の把握は、無線や携帯電話による通信手段を用いているため、状況把握や指示に時間を要している。

豪雪災害時には本システムを活用し、応援可能な機械や作業進捗状況をリアルタイムに確認し、出動指示を行うことで、情報の共有化による迅速な災害対応が可能となる。また、時系列データの自動作成を行うことで、対応結果の効率的な確認・整理が可能となる。

4.5 散布情報収集・管理システム

凍結防止剤・防滑材の散布は、気象条件、路面状況により、適切な凍結防止剤や防滑材を用い、適正な散布量で実施される必要がある。これらを管理する散布日報は、決められた様式に手作業で記入するため、除雪工事請負業者の大きな負担となっている。

本システムにより、凍結防止剤散布車の操作パネルの散布設定情報と位置情報を自動で収集・管理し、地図上に散布箇所及び散布量を表示することで、詳細な散布情報の確認や効率的な散布情報管理が可能となる。

5. 除雪機械マネジメントシステムの開発

除雪機械マネジメントシステムの基本構想に基づき、「ダイナミック工区シフト支援」、「散布情報収集・管理システム」の開発、試行を行った。

5.1 ダイナミック工区シフト支援システム

5.1.1 ダイナミック工区シフト支援システムの開発

ダイナミック工区シフト支援システムは、通常時の転回場所（工区境）以外にあらかじめ複数の転回可能地点

を登録しておき、監督職員等が指定する場所で除雪機械が巡回した場合、出発地点（除雪ステーション等）に何時に戻ってくるか「作業終了予想時刻」を提供するものである。監督職員等はこの作業終了予想時刻により、工区シフト実施の判断を行うことができる。



図-3 ダイナミック工区シフト画面

図-3は、実際に工区シフトを行うことを想定したシステム画面である。一般国道39号に除雪車Aが、一般国道333号に除雪車Bが除雪作業を行っている。仮に一般国道39号の除雪作業が遅れている場合、それぞれの除雪車の除雪ルート及び通過時間を表示させ、さらに新たな巡回場所を指定し、シフト後の予想ルート及び作業終了時刻（除雪ステーション到着時刻）をシミュレーションすることにより、監督職員は工区シフト実施の判断を行う。なお、作業終了予想時刻は、通常時の使用を想定した過去の平均的な除雪速度から算出した時刻と、豪雪災害時や特定箇所の異常気象時の使用を想定した直近の平均除雪速度から算出した時刻の2種類の提供を行う。

5.1.2 ダイナミック工区シフト支援システムの試行

ダイナミック工区シフト支援システムについては、網走開発建設部が実施する工区シフト試行に合わせ、除雪作業終了予想時刻のシミュレーション試験を実施した。

平成21年2月28日に網走開発建設部網走道路事務所管内で実施した工区シフト位置図を図-4に示す。小清水工区が、隣接する女満別工区を支援する。支援路線は一般国道334号で、巡回場所を明星北浜線まで約8kmシフトする（シフト区間①）。支援を受けた女満別工区は、網走工区の一部を支援する。支援路線は一般国道39号で、巡回場所を道の駅（メルヘンの丘めまんべつ）まで約14kmシフトする（シフト区間②）。



図-4 網走道路事務所管内工区シフト位置図

上記の工区シフト試行において、小清水工区の除雪トラック（20-2105）がシフト（女満別工区に応援）しなかった場合のシミュレーション結果を図-5に、シフトした場合のシミュレーション結果を図-6に示す。斜里ステーションを4時に出動してから現在（シフトシミュレーション実施時刻）までの作業ルートは点線で表示され、巡回場所を指定した後の予定ルートは実線で表示されている。各地点の予想時刻は、上段は過去1年間の平均作業速度（平均）より算出した到着予想時刻、下段は現在の作業速度より算出した到着予想時刻を提供している。

システムで計算された到着予想時刻（図-6）と、実際の除雪ステーション到着時刻を比較してみると、過去の作業速度より算出した時刻が6時43分、現在の作業速度より算出した時刻が7時21分であったのに対し、実際の到着時刻は6時22分であり、終了時刻の目安としては概ね妥当といえる。



図-5 シフト無しシミュレーション (小清水工区)



図-6 シフト有りシミュレーション (小清水工区)

また、ダイナミック工区シフト支援システムの試験を行った結果、下記のような問題点があることがわかった。

- ・除雪機械があらかじめ登録した作業予定ルートから外れるとエラーが生じる。
- ・表示までに時間がかかりすぎる。
- ・応援する機械、応援される機械を対で指定しなければならない。

上記の問題点を解消するためには、除雪機械の進捗状況の把握や予想時刻シミュレーションを、煩雑な操作をせず、直感的に行えるシステムが必要である。

5.2 除雪作業状況確認システムの開発

工区シフトの実施を支援する「ダイナミック工区シフト支援システム」については、前述5.1のとおり、使い勝手における問題点が指摘された。

そこで、除雪進捗情報の共有と、ユーザが指定した地点における除雪機械到着予想時刻の提供に特化した、除雪作業状況確認システムの開発を行った。

除雪作業状況確認システムに求められる、機能、表示情報項目、操作性、見やすさ等について検討を行い、必要な要件を以下のとおり整理した。

(1)表示内容

- ・地図の縮尺は固定とする。ただし、札幌市内は拡大表示を可能とする。
- ・最新の除雪機械の位置には作業種別毎に色分けした矢印アイコンを表示する。
- ・作業開始から現在までの作業軌跡として、作業種別毎に色分けした丸アイコンを表示する。
- ・矢印アイコン、丸アイコンの表示位置は、除雪機械の道路進行方向に対して左側に表示する。
- ・矢印アイコン、丸アイコンをマウスオーバーした場合、日時、機械種別、管理番号を旗揚げ表示する。

(2)必要機能

- ・ユーザが指定した作業内容（除雪中・散布中）の除雪作業実績を抽出し、地図上に表示する。
- ・除雪機械が、現在位置からユーザが指定する到着予定地点まで移動した場合の到着予想時刻を算出し、画面上に表示する。

以上の要件に基づき、除雪作業状況確認システムの開発を行った。開発したシステム画面を図-7、図-8に示す。

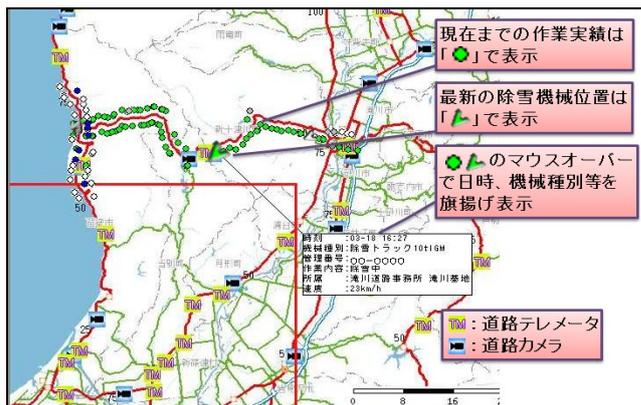


図-7 除雪作業状況確認システム



図-8 到着予想時刻の表示画面

このシステムにより、監督職員は除雪作業の進捗状況の把握が容易になり、工区境の臨機なシフト（ダイナミック工区シフト）や、除雪機械の他工区への柔軟な応援を支援することが可能である。また、今後の除雪ルートをユーザが指定することにより、除雪終了予想時刻がシミュレーションできるので、除雪終了予想時刻に基づいた工区シフト判断を行うことが可能になる。

5.3 散布情報収集・管理システム

5.3.1 散布詳細情報

凍結防止剤散布車で凍結防止剤を散布する際は、運転室に設けられた「操作パネル」にて、散布のON/OFF、散布剤の種類（砂類、塩類）、散布量（g/m²）、散布幅、散布方向、水溶液混合割合を都度設定し、散布を行っている。このうちいずれかの操作があった場合に、散布設定情報と位置情報を収集し地図上に表示することで、「いつ」、「どこで」、「どれだけ散布したのか」が地図上で把握可能になる。また、散布設定情報に走行距離情報を付加することで、日散布量の算出が可能となるほか、除雪工事請負業者が作成している散布日報の作成に必要なデータ取得が可能となる。

散布情報収集・管理システムを使用し、実際の凍結防止剤散布車から取得した散布情報データの提供画面を図-9～10に示す。



図-9 散布位置の表示例（連続散布）

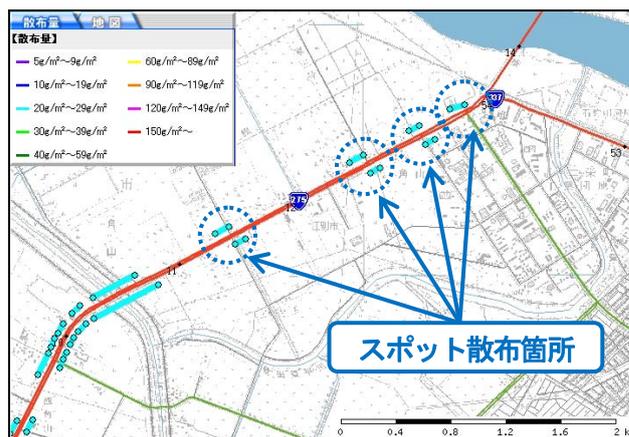


図-10 散布位置の表示例（スポット散布）

図-9は連続散布の表示例である。散布位置は道路の進行方向に対して左側にマークされ、○印は散布開始・終了地点、線がつながっている場所は連続して散布したことを意味している。設定散布量は凡例にあるように色分けして表示され、通常は20g/m²で凍結防止剤を散布しているが、橋梁部では30g/m²で散布されたことが確認できる。また、○印にカーソルを合わせるとその地点での散布時刻、位置（KP）、詳細な散布設定情報が表示される。図-10はスポット散布の表示例である。必要な箇所にスポット散布を行っていることがシステム画面から読み取れる。

さらに、図-11に示す散布履歴情報一覧をダウンロードすることによって、詳細な散布情報をCSV形式で取得できるため、散布日報作成時に利用することが可能である。

散布履歴情報一覧						
管轄:札幌開発建設部 札幌建設事務所						
除雪機種:凍結防止剤散布車						
規格:4.0m3型式						
管理番号:14-						
散布経量(トン):7509【凍結防止剤】 0【防氷剤】 0【水溶液】						
散布時刻	散布場所	散布剤の種類	散布量 (g/m ²)	散布幅 (m)		
2009/01/05 05:04~2009/01/05 05:29	0006 10.401KP ~ 0006 10.293KP	凍結防止剤	10	3.5		
2009/01/05 05:14~2009/01/06 01:10	0006 10.202KP ~ 0006 9.170KP	凍結防止剤	10	3.5		
2009/01/06 01:10~2009/01/06 01:26	0006 9.170KP ~ 0006 9.073KP	凍結防止剤	10	3.5		
2009/01/06 01:26~2009/01/06 01:29	0006 9.073KP ~ 0006 9.043KP	凍結防止剤	15	3.5		
2009/01/06 01:29~2009/01/06 03:17	0006 9.043KP ~ 0006 7.029KP	凍結防止剤	20	3.5		
2009/01/06 03:37~2009/01/06 04:45	0006 7.029KP ~ 0006 7.100KP	凍結防止剤	20	3.5		
2009/01/06 04:45~2009/01/06 06:28	0006 7.100KP ~ 0006 5.989KP	凍結防止剤	20	4.5		
2009/01/06 06:28~2009/01/06 07:02	0006 5.989KP ~ 0006 5.555KP	凍結防止剤	20	5.0		
2009/01/06 07:29~2009/01/06 08:23	0006 5.542KP ~ 0006 5.020KP	凍結防止剤	20	5.0		
2009/01/06 08:24~2009/01/06 08:43	0006 5.020KP ~ 0006 4.832KP	凍結防止剤	20	5.0		
2009/01/06 09:16~2009/01/06 10:07	0006 4.799KP ~ 0006 4.297KP	凍結防止剤	20	5.0		
2009/01/06 10:09~2009/01/06 12:21	0006 4.296KP ~ 0006 3.485KP	凍結防止剤	25	5.0		
2009/01/06 13:07~2009/01/06 14:56	0006 3.481KP ~ 0006 2.391KP	凍結防止剤	25	5.0		
2009/01/06 15:43~2009/01/06 16:00	0006 2.394KP ~ 0006 2.279KP	凍結防止剤	25	5.0		
2009/01/06 16:00~2009/01/06 16:21	0006 2.279KP ~ 0006 2.127KP	凍結防止剤	30	5.0		

図-11 散布履歴情報一覧

6. システム利用状況及びアンケート調査

6.1 システム利用状況

本システムは、平成20年度から北海道開発局の職員に

加え、札幌・網走開発建設部管内の除雪工事請負業者に対してシステムを提供を行っているので、除雪機械マネジメントシステム（基幹システム含む）の利用状況について、アクセス数の調査を行った。

図-12 にシステムアクセス数の推移を示す。アクセス数と札幌と網走の降雪量との関係と比較すると、降雪量の多い日にアクセス数が増えている状況が確認できる。特に平成20年12月26日、平成21年2月21日の豪雪では、多くのアクセスがあったことが確認できる。また、アクセスログを詳細に調査した結果、最も利用が多い機能は「作業実施状況の確認」画面、次いで「除雪機械位置の確認」画面であった。

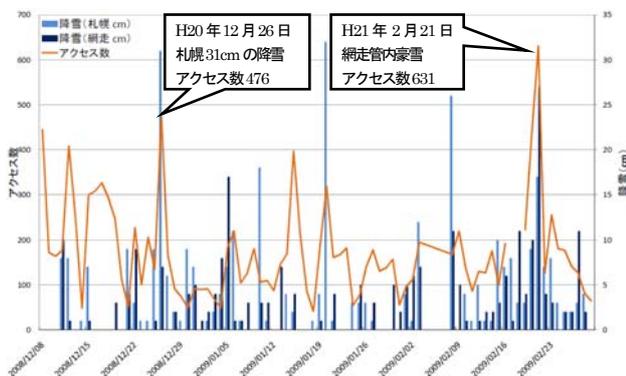


図-12 システムアクセス数の推移

6.2 システムに関するアンケート調査

除雪機械マネジメントシステム（基幹システム含む）の利用状況及びシステムに関する改善点等を調査する目的で、札幌・網走開発建設部の道路維持・機械担当職員及び除雪工事請負業者を対象に、WEBによるアンケート調査を実施した。その結果、札幌・網走開発建設部職員30名、除雪工事請負業者25名、本局3名、計58名からの回答が得られた。また、網走開発建設部管内の各道路事務所職員及び各除雪工事請負業者に対して、システムをどのように利用したか、システムに対する要望事項等のヒアリング調査を実施した。ヒアリング調査結果により得られた「除雪機械位置の確認の利用頻度」を、図-13に示す。

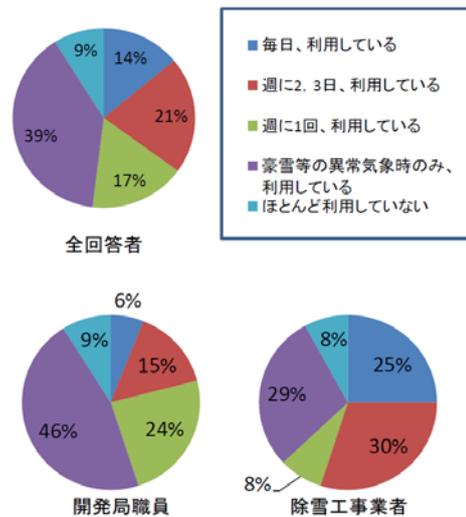


図-13 除雪機械位置の確認の利用頻度

この結果、利用頻度は、「毎日利用」から「週1回利用」が52%、「豪雪時のみ利用」を合わせると91%となり、除雪機械の位置情報が定期的に活用されている実態がわかった。また、利用目的・用途については、「担当工区所属の除雪機械位置・作業内容の確認」、「散布履歴で指定した場所への散布がされているかの確認に利用した」等の回答があった。次に、道路管理者は「道路利用者からの問い合わせや警察からの散布要請に対し、システムを確認して現在の作業状況を説明した」、「豪雪時に除雪工事請負業者との連絡が取りにくくなった時の除雪進捗状況の確認に利用した」等の回答があった。また、平成21年2月21日の網走地域の豪雪時には「救急車の先導の依頼に対し、近くで作業している除雪車をシステムで探した」、「システムを見て隣接工区の除雪が遅れていると判断し、応援を送った」という事例も紹介された。

これらのヒアリング調査結果をとりまとめ、本システムの普及を図るため、活用事例集を作成した（図-14）。

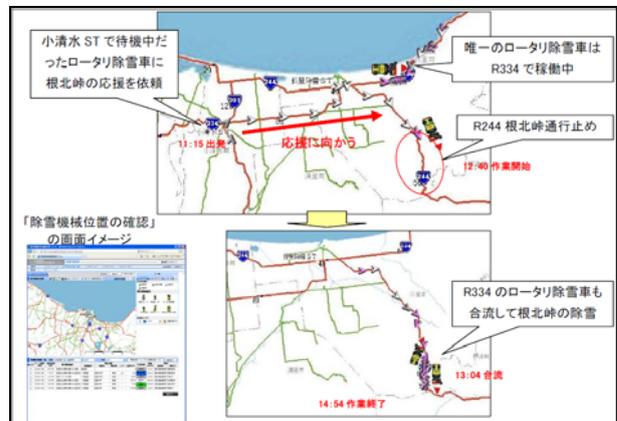


図-14 活用事例集の一例（他工区の応援を行った例）

6.3 システムに対する改善要望

システムの改善要望を調査した結果、全般的にシステムの動作に関する要望が多く出されていた。通信回線等ユーザの利用環境にもよるが、システムの使いやすさを向上させるためには、表示速度の改善が必要であることが判った。さらに、付加機能として気象情報、通行規制情報、道路カメラ画像等の関連情報の表示に対する要望が多く出されている。これは除雪機械の位置・作業情報と合わせて、現地の状況を把握する必要性が高いということである。

6.3.1 システム表示速度の改善

システム表示速度の改善を図るため、各機能の処理方法及び表示方法について、高速化の検討を行い、システムの改善を実施した。また、地図表示の高速化を図るため、地図ファイルを細分化（10段階）し、それぞれの地図ファイルの容量低減を行った。

6.3.2 気象観測・道路カメラ画像の表示機能の追加

リアルタイムな除雪機械の位置・作業情報と併せて、現地の気象情報、道路カメラ画像をシステム画面上に表示させることにより、除雪作業がどのような気象状況・路面状況で行われているのか把握可能となり、除雪作業の妥当性や、除雪作業の進捗が遅れている要因等を確認することができる。このことから、北海道開発局で提供している「北海道地区道路情報」へリンクを行うこととした（図-15）。



図-15 気象観測・道路カメラの表示例

7. 除雪作業履歴の分析による作業効率の評価

除雪機械から送られてくる位置・作業情報は、除雪機械マネジメントシステムのサーバに蓄積される。そのデータを分析することにより、除雪作業の効率性評価の可能性を検討した。

7.1 除雪機械稼働グラフの作成

除雪機械の作業日時、作業内容（本体、各装置の稼働）、作業箇所（KP）が記録された作業データは、CSV形式での取得が可能である（図-16）。このデータを分析するため、X軸に時刻、Y軸に距離標（KP）を取ったグラフを作成した（図-17）。これにより、時間経過に伴う除雪機械の作業状況が可視化されるため、時間経過に伴う除雪作業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、除雪梯団構成等の作業形態の変化も把握できる。

作業時刻	ステータ	I	G	S	M	R	散	組	B	作業箇所 (路線)	作業箇所 (KP)	速度 (km/h)	方位	緯度	経度
2011/1/7 0:01	除雪中	○	○							(R)39	179.143	17	12	52.26.9	02:59.7
2011/1/7 0:03	除雪中	○	○							(R)39	178.573	18	10	52.25.4	02:35.8
2011/1/7 0:05	除雪中	○	○							(R)39	177.952	18	11	52.14.0	02:12.6
2011/1/7 0:07	除雪中	○	○							(R)39	177.332	14	13	52.12.3	01:45.1
2011/1/7 0:09	除雪中	○	○							(R)39	176.811	15	14	52.20.4	01:25.3
2011/1/7 0:11	除雪中	○	○							(R)39	176.292	16	12	52.28.1	01:05.3
2011/1/7 0:13	除雪中	○	○							(R)39	175.76	16	13	52.28.6	00:42.0
2011/1/7 0:15	除雪中	○	○							(R)39	175.262	15	14	52.37.5	00:23.9
2011/1/7 0:17	回送中									(R)39	174.941	11	7	52.45.8	00:16.4
2011/1/7 0:19	除雪中	○	○							(R)39	175.101	16	15	52.41.3	00:20.0
2011/1/7 0:21	除雪中			○						(R)39	174.845	3	15	52.48.5	00:14.3
2011/1/7 0:23	回送中									(R)39	174.842	6	15	52.48.6	00:14.3
2011/1/7 0:25	増機中									(R)39	174.707	0	15	52.53.3	00:12.4
2011/1/7 0:27	回送中									(R)39	174.723	8	7	52.52.8	00:12.5
2011/1/7 0:29	回送中									(R)39	174.409	11	6	53.02.8	00:08.3
2011/1/7 0:31	待機中									(R)39	174.736	0	8	52.52.4	00:12.5
2011/1/7 0:33	除雪中	○	○							(R)39	174.225	19	13	53.06.2	00:03.4
2011/1/7 0:35	回送中									(R)39	174.353	3	6	53.04.5	00:06.4
2011/1/7 0:37	除雪中	○	○							(R)39	174.08	16	13	53.08.4	59:57.1
2011/1/7 0:39	回送中									(R)39	174.094	8	5	53.08.2	59:57.7

図-16 CSV形式で取得した除雪作業情報

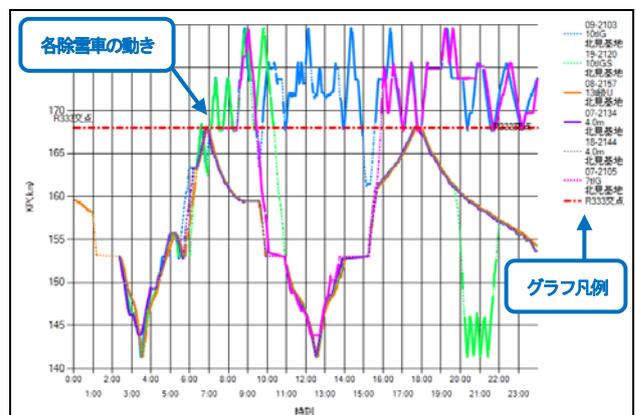


図-17 グラフ表示による可視化の例

7.2 除雪機械作業状況の分析

除雪作業データを基に除雪機械の作業形態を可視化できるグラフを作成し、通常時と豪雪時、除雪時間帯の違いによる除雪作業形態の変化を確認し、除雪作業ルートや除雪方法を変更した場合の除雪作業効率の向上についてシミュレーションを行った。

7.2.1 除雪作業状況分析例

札幌道路事務所花畔ステーションに配置されている除雪機械の担当工区である、一般国道231号（以下、R231）及び一般国道337号（以下、R337）において、通常時と

豪雪時の作業形態をグラフ化し比較を行った結果、変化が見られた例を紹介する。図-18 に工区概要図、図-19、20 に平成23年1月7～8日における通常時の除雪機械稼働グラフを示す。

平成23年1月7～8日は5cm程度の降雪であり、一般的な除雪作業といえる。作業ルートは、花畔IC付近を10台の除雪機械で実施し、その後6台はR337 銭函方面からR231 札幌市街へ向かって除雪作業を実施。残りの4台はR337 当別方面からR231 八幡方面へ向かって除雪作業を実施。両方向とも梯団を崩すことなく除雪作業を実施しており、概ね6時には除雪作業を終了していたことから、除雪作業は工区全体の車線確保が目的だったことが確認できた。

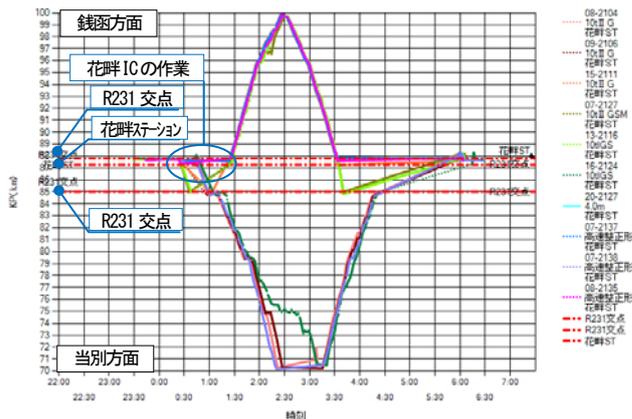


図-20 一般国道337号の除雪状況
(通常時、H23年1月7～8日)



図-18 工区概要図

図-21、22 に示す平成23年1月8～9日の事例は最大30cm程度の降雪があり、豪雪に対応した除雪作業といえる。R231 では、除雪機械が単独でR231 八幡方面へ向かっている。これは降雪が多かったため、最低限の車線確保のための除雪作業である。その後、4台の梯団はR337 当別方面を重点的に除雪し、残りの6台はR337 銭函方面からR231 札幌市街の除雪を概ね6時までには終了した後、全車両でR231 八幡方面の除雪作業を実施したことから、除雪作業は優先ルートを検討することが目的だったことが確認できた。

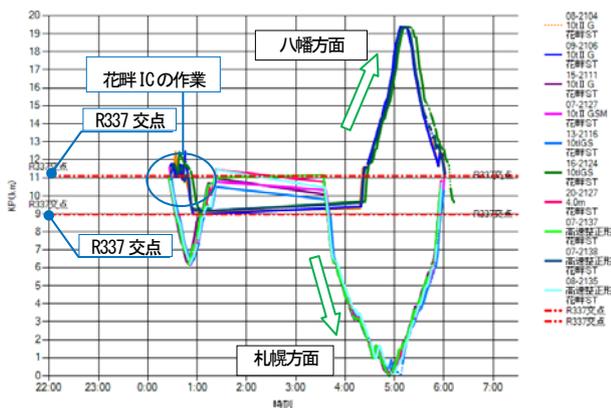


図-19 一般国道231号の除雪状況
(通常時、H23年1月7～8日)

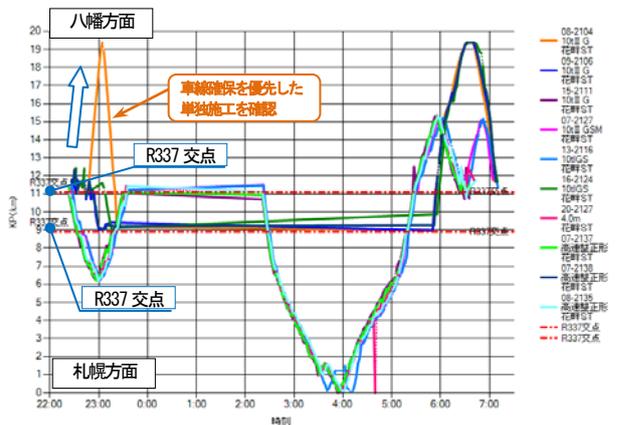


図-21 一般国道231号の除雪状況
(豪雪時、平成23年1月8～9日)

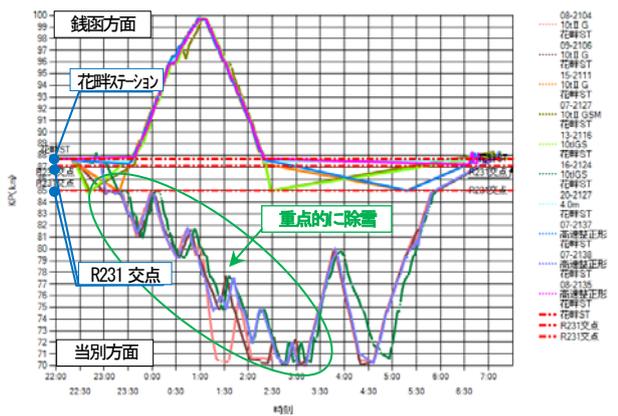


図-22 一般国道 337 号の除雪状況
(豪雪時、平成 23 年 1 月 8~9 日)

双方の除雪機械稼働状況の分析から、通常は梯団編成を崩さずに作業効率を重視した除雪ルートで除雪を実施し、豪雪時には最低限の車線確保と優先除雪ルートを検討した除雪がなされていることが判る。

7.2.2 除雪作業ルートの変更シミュレーション例

岩見沢道路事務所岩見沢基地に配置されている除雪機械の担当工区である一般国道 12 号 (以下、R12) の除雪作業ルートについてシミュレーションを行った。

図-23 に示す平成 23 年 1 月 4 日の事例は、7cm 程度の降雪であった。除雪ルートは、中幌向の車庫から郊外地 (江別方面) に向かい、工区境で折り返して市街地 (岩見沢市) へ向かっているが、この日は除雪作業開始時刻が遅かったため、岩見沢市街の除雪作業が通勤・通学時間帯まで行われ、一般交通への影響を与えているものと推測される。シミュレーションでは、市街地から除雪を行うことで、通勤・通学時間帯までに市街地の除雪作業を終了させることができ、一般交通への影響を回避できる可能性があることを確認した。

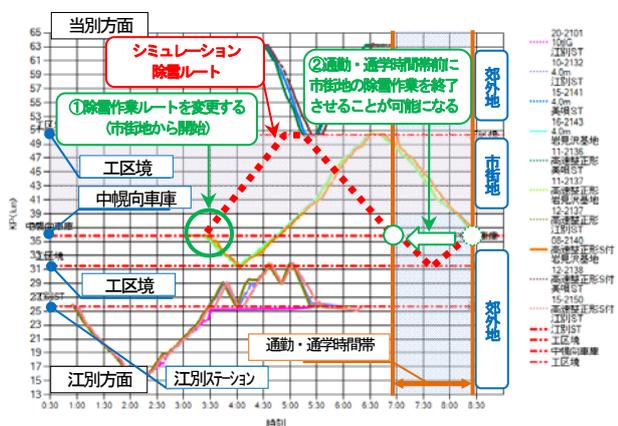


図-23 除雪作業ルートを変更した場合のシミュレーション
(平成 23 年 1 月 4 日)

8. 基準除雪速度による除雪機械配置計画手法について

効率的な除雪作業を行うためには、除雪機械の弾力的な運用のほか、目標である管理水準を満たす、工区 (除雪延長) に適した除雪機械台数の配置を計画する必要があるが、これまで除雪機械の配置計画は、過去の経験と知識により決められており、実際には工区間でサービスレベルの差が生じている。

これを解消し、適正な機械配置計画を策定するためには、除雪機械配置計画手法の確立が必要である。⁶⁾

8.1 現状整理

配置計画とは、管理水準 (路面積雪は〇cm 以下にする) などの目標とする路面状況を満たすための除雪機械の必要台数を計画することであり、以下の概念式 (式-1) で表すことができる。

$$\text{配置台数} = \text{管理水準 (必要な作業量)} / \text{除雪性能} \\ = \text{管理水準} / \text{機械性能} \times \text{現場条件} \quad \dots \text{式-1}$$

このことから、適正な配置計画を策定するためには、管理水準を前提に、この除雪性能を明確にすることが必要である。なお、新雪除雪の場合、除雪性能は除雪速度に置き換えることができる。

この除雪速度については、各種文献に記載されているが文献毎に異なっており、しかも実際には各工区間で明らかに異なっているにもかかわらず、現場条件の差が加味されていない一律の除雪速度が記載されている。

また、実際に北海道内の国道を管理している新雪除雪機械の除雪速度を施工記録装置により調査した結果、工区間で 5 倍以上の速度差が生じており (図-24)、地域・路線毎に除雪速度が大きく異なることがわかる。しかし、この速度差の原因が地域・路線特性なのか、除雪工事請負業者の創意工夫や除雪機械オペレータの熟練度なのかは不明である。

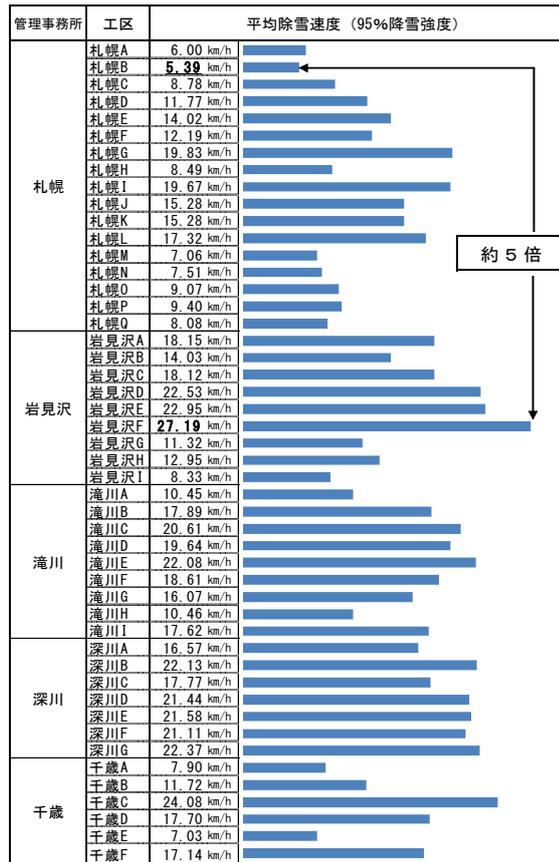


図-24 工区別平均除雪速度
(平成20年度 札幌開発建設部分を抜粋)

8.2 調査計画及び実施内容

以上のことから、本検討は、適正な除雪機械配置計画の策定手法の確立を目的に、除雪速度に対する地域・路線特性の影響度合いを定量化することにより、地域・路線特性に応じた基準除雪速度を算定し、この速度から除雪機械配置を行う手法の確立を目指すものである。

なお、検討は様々な地域・路線特性を網羅するため、北海道内の国道の全工区(224工区)を対象とし、除雪機械の中でも一番台数が多く、機械配置の基本となる新雪除雪機械の除雪速度について検討を行った。

8.2.1 除雪速度影響要因の抽出及び整理

想定される様々な影響要因について抽出し、その結果を「気象条件」「道路構造」「道路付帯施設」「道路規格」「作業条件」「沿道条件」「交通条件」「関係施設」の8つに類型化した。

さらに、全道の地域・路線特性を定量的に把握するため、抽出・類型化した各要因について調査し、全道の工区毎に取得が可能である定量的なデータ約90項目について、過去4年分(気象データは10年分)を整理した。

8.2.2 除雪速度影響要因と除雪速度の相関性分析

抽出・整理した除雪速度影響要因及び除雪機械の平均除雪速度を基に、除雪速度の影響要因分析を行い、除雪速度影響要因モデルを作成することにより、除雪速度に対する地域・路線特性の影響度合いを数値化した。

モデルの作成には、対数線形モデルの重回帰分析(式-2)を活用した。重回帰分析は複数の変量のうち1つの目的変量(除雪速度)に注目し、その変量がほかの説明変量(除雪速度への各種影響要因)によって、どのように変化するかを分析する手法であり、除雪速度のように複数の要因が絡み合う際の分析に適している。

■基準除雪速度モデル式(対数線形モデル)

$$y = \exp \left[\sum_i^n a_i x_i + b \right] \quad \dots \text{式-2}$$

具体的には、各種影響要因を分析し、除雪速度への相関性が極端に低い要因や、影響要因相互の相関性が高い要因等を除外することにより、活用する影響要因を整理し最適モデルを推定した。

8.2.3 分析結果

分析の結果、除雪速度の低下要因として「雪質(乾き雪)延長率」「降雪強度」「累計降雪深」「4車線以上延長率」「排水性舗装延長率」「歩道延長率」「交差点数」「バス停留施設数」「折り返し地点数」、上昇要因として「山間部延長率」「混雑時平均旅行速度」を選定した。

このモデルの決定係数(調整済み)は0.694となり、一般的に高い相関関係があるとされる $R^2 > 0.49$ を大幅に超える結果となったことから、基準除雪速度の算定式として、十分な精度を確保していると評価できる(表-1)。

表-1 分析結果

重相関係数 (R)	決定係数 (R^2)	決定係数 (調整済み R^2)	推定値の標準誤差
0.836	0.700	0.694	0.194

分析結果により策定した、北海道の国道を管理する除雪工区の基準除雪速度の算定式を式-3に示す。

$$y = \exp(-0.0913x_1 - 0.1221x_2 - 1.06E-05x_3 - 0.4436x_4 - 0.1448x_5 - 0.3172x_6 - 19.64x_7 - 0.0386x_8 - 507.8x_9 + 0.0836x_{10} + 8.12E-03x_{11} + 3.150) \quad \dots \text{式-3}$$

- y : 基準除雪速度 (km/h)
- x₁ : 雪質(乾き雪) 延長率 (%)
- x₂ : 降雪強度 (cm/h)
- x₃ : 累計降雪深 (cm)
- x₄ : 4車線以上延長率 (%)
- x₅ : 排水性舗装延長率 (%)
- x₆ : 歩道延長率 (%)
- x₇ : 交差点数 (n/km)
- x₈ : バス停留施設数 (n/km)
- x₉ : 折り返し地点数 (n/km)
- x₁₀ : 山間部延長率 (%)
- x₁₁ : 混雑時平均旅行速度 (km/h)

8.2.4 基準除雪速度と実際除雪速度の比較

分析結果の妥当性を検証するため、分析結果により算定した基準除雪速度と、施工記録装置により調査した実際除雪速度の比較を行った(表-2)。

この結果、概ねの工区で速度は整合していたが、一部の工区では乖離が生じていた。

表-2 基準除雪速度と実際除雪速度の比較(参考値)
(札幌開発建設部分を抜粋)

管理事務所	工区	実際除雪速度 (km/h)	基準除雪速度 (km/h)	差 (km/h)	割合 (%)	平均割合 (%)
札幌	札幌A	6.00	6.96	0.96	86%	98%
	札幌B	5.39	6.27	0.88	86%	
	札幌C	8.78	7.88	-0.90	111%	
	札幌D	11.77	9.54	-2.23	123%	
	札幌E	14.02	14.55	0.53	96%	
	札幌F	12.19	11.75	-0.43	104%	
	札幌G	19.83	19.59	-0.24	101%	
	札幌H	8.49	11.58	3.09	73%	
	札幌I	19.67	18.57	-1.10	106%	
	札幌J	15.28	15.53	0.25	98%	
	札幌K	15.28	17.61	2.34	87%	
	札幌L	17.32	23.86	6.54	73%	
	札幌M	7.06	6.77	-0.29	104%	
	札幌N	7.51	9.98	2.47	75%	
	札幌O	9.07	7.45	-1.62	122%	
	札幌P	9.40	8.65	-0.75	109%	
札幌Q	8.08	7.66	-0.42	105%		
岩見沢	岩見沢A	18.15	13.88	-4.26	131%	105%
	岩見沢B	14.03	10.85	-3.18	129%	
	岩見沢C	18.12	19.07	0.95	95%	
	岩見沢D	22.53	21.56	-0.98	105%	
	岩見沢E	22.95	20.50	-2.45	112%	
	岩見沢F	27.19	25.39	-1.79	107%	
	岩見沢G	11.32	10.85	-0.47	104%	
	岩見沢H	12.95	15.90	2.95	81%	
	岩見沢I	8.33	10.53	2.20	79%	
滝川	滝川A	10.45	13.14	2.69	80%	98%
	滝川B	17.89	16.45	-1.44	109%	
	滝川C	20.61	20.20	-0.41	102%	
	滝川D	19.64	20.36	0.72	96%	
	滝川E	22.08	24.25	2.17	91%	
	滝川F	18.61	24.26	5.66	77%	
	滝川G	16.07	17.33	1.26	93%	
	滝川H	10.46	8.99	-1.47	116%	
	滝川I	17.62	14.70	-2.92	120%	

管理事務所	工区	実際除雪速度 (km/h)	基準除雪速度 (km/h)	差 (km/h)	割合 (%)	平均割合 (%)
深川	深川A	16.57	16.96	0.39	98%	105%
	深川B	22.13	20.24	-1.89	109%	
	深川C	17.77	16.85	-0.92	105%	
	深川D	21.44	20.24	-1.20	106%	
	深川E	21.58	19.46	-2.12	111%	
	深川F	21.11	21.74	0.63	97%	
	深川G	22.37	20.05	-2.32	112%	
千歳	千歳A	7.90	12.16	4.26	65%	83%
	千歳B	11.72	16.71	4.99	70%	
	千歳C	24.08	24.04	-0.05	100%	
	千歳D	17.70	18.95	1.24	93%	
	千歳E	7.03	10.49	3.46	67%	
	千歳F	17.14	16.54	-0.59	104%	

9. 除雪情報等提供システムの構築

除雪機械マネジメントシステムの除雪作業情報は、平成 20 年度冬期よりインターネットを介して道路管理者及び除雪工事請負業者へ提供している。しかし、除雪工事請負業者の現場代理人は、除雪作業中は現場に出ることが多いため、自ら情報を確認できないことがある。そのため、現場においても必要な除雪作業情報の取得を可能とする携帯電話用 WEB サイトの必要性が要望としてあげられていた。そのようなニーズに対応するため、携帯電話でも表示可能な携帯電話用 WEB サイトの検討を行った。

9.1 携帯電話用WEBサイトの開発

携帯電話用 WEB サイトに求められる、機能、表示情報項目、操作性、見やすさ等について検討を行い、必要な要件を以下のとおり整理した。

(1)機能

- ・情報の表示単位はステーション単位とし、初期表示はユーザの管轄ステーションに所属する除雪機械の位置・作業情報を一覧表示する。
- ・近隣ステーションの除雪機械の位置・作業情報も参照できるようにするため、表示する管轄ステーションを変更可能とする。
- ・現在稼働中の除雪機械については、作業履歴を確認できるようにする。

(2)表示項目

- ・表示速度を優先させるため、文字情報のみの提供とする。
- ・除雪機械の作業情報として以下の情報を表示する。
機械種別、規格、管理番号、路線、現旧新道、キロポスト、作業内容
- ・除雪機械の稼働履歴として以下の情報を表示する。
日時、作業内容、路線、キロポスト

以上の要件に基づき、携帯電話用 WEB サイトの開発を行った。開発した WEB サイト画面を図-25 に示す。



図-25 携帯電話用WEB サイト表示画面

この携帯電話用WEBサイトを提供したことにより、監督職員や除雪工事請負業者の現場代理人が現場にいても、担当工区及び隣接工区の除雪機械の作業状況が確認可能となる。そのため工区境の除雪タイミングを両者で合わせるなど、除雪作業の臨機で効率的な運用に寄与することができるものとする。

9.2 除雪機械マネジメントシステム利用状況調査

除雪機械マネジメントシステムの利用状況を分析するため、平成20年度（2008年11月1日～2009年3月31日）、平成21年度（2009年11月1日～2010年3月31日）、平成22年度（2010年11月1日～2011年1月31日）の3年における利用状況の調査を行った。調査対象は、全道の道路管理者及び除雪工事請負業者とし、調査項目は、利用回数、利用時間帯、利用時の気象状況、利用時の除雪機械稼働状況とした。

9.2.1 開発建設部別アクセス状況

除雪機械マネジメントシステムの各開発建設部の道路管理者と除雪工事請負業者別アクセスログ集計を図-26、27に示す。道路管理者、除雪工事請負業者ともに平成20年度からシステムを提供している札幌開発建設部と網走開発建設部での利用が多い傾向にある事が判った。

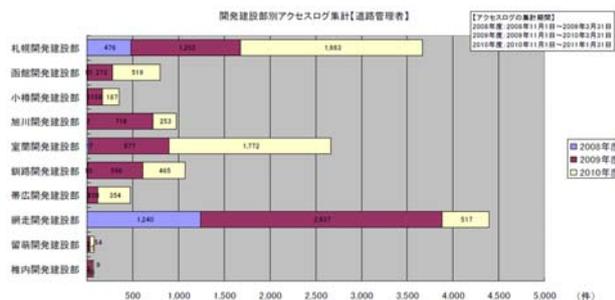


図-26 開発建設部別アクセス状況（道路管理者）

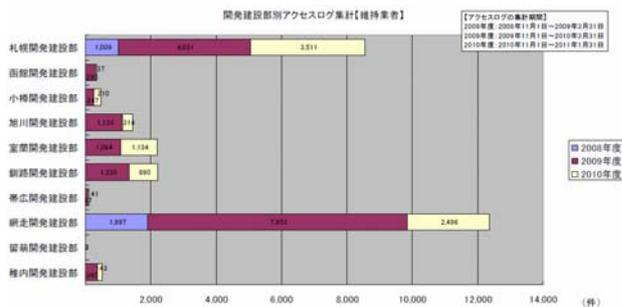


図-27 開発建設部別アクセス状況（除雪工事請負業者）

9.2.2 携帯電話用WEBサイトのアクセス状況

携帯電話用WEBサイトの各開発建設部の道路管理者と除雪工事請負業者別のアクセスログ集計を図-28、29に示す。道路管理者では、札幌開発建設部での利用が多く、次いで室蘭開発建設部、釧路開発建設部、函館開発建設部で利用があるのみで、その他の開発建設部では使われていない状況であった。

また、除雪工事請負業者では、札幌開発建設部と網走開発建設部での利用が多く、次いで室蘭開発建設部、稚内開発建設部の利用があるのみで、その他の開発建設部では使われていない状況であったため、原因を調査し普及を図りたい。

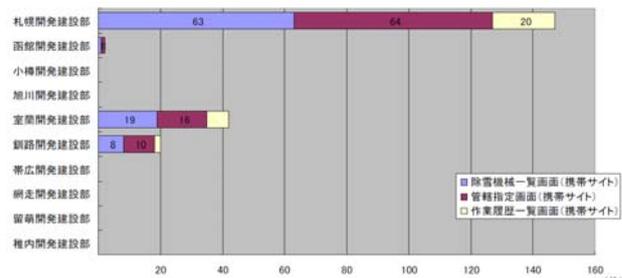


図-28 携帯電話用WEB サイトアクセスログ（道路管理者）

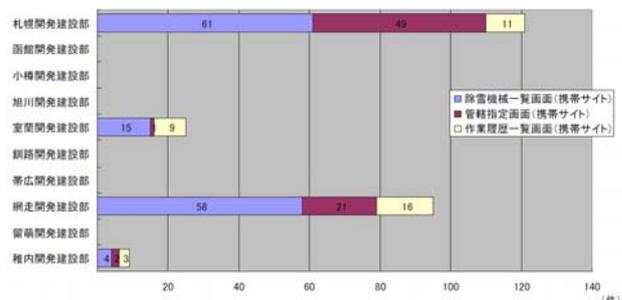


図-29 携帯電話用WEB サイトアクセスログ（除雪工事請負業者）

9.2.3 凍結防止剤散布履歴アクセス状況

除雪機械マネジメントシステム機能の一つである、凍

結防止剤散布履歴の利用状況について、平成 22 年度（2010 年 11 月 1 日～2011 年 1 月 31 日）におけるアクセス状況調査を行った。道路管理者と除雪工事請負業者のアクセスログ集計を図-30、31 に示す。集計の結果、室蘭・帯広・釧路開発建設部のアクセスが多く、少雪でも路面凍結リスクが高い地域での有効性を確認した。

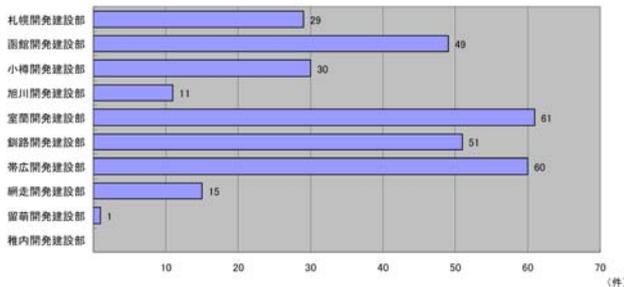


図-30 散布履歴アクセスログ (道路管理者)

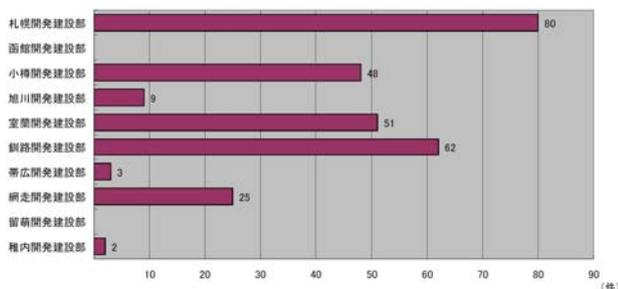


図-31 散布履歴アクセスログ (除雪工事請負業者)

9.2.4 時間帯別利用状況

平成 22 年度（2010 年 11 月 1 日～2011 年 1 月 31 日）における利用時間帯別の利用状況を調査した結果、除雪機械の稼働状況に応じてシステムのアクセスが増える傾向にあることを確認した。(図-32、33) 道路管理者のアクセスログでは、8 時台のアクセスが多いことから、除雪作業の確認を出勤直後に行っていると思われる。また、除雪工事請負業者のアクセスログでは、除雪作業のピーク後にアクセスが多いことから、除雪作業が終了する頃に確認を行っていると思われる。



図-32 時間帯別アクセスログ (道路管理者)



図-33 時間帯別アクセスログ (除雪工事請負業者)

10. 冬期道路積雪状況計測技術の開発

10.1 運搬除雪作業における施工管理の現状

現在、北海道開発局における運搬除雪作業の施工管理は、ダンプトラックに積み込まれた雪量計測と、運搬したダンプトラック台数により行っているが、その作業は人力に頼らざるを得ない状況であり、正確性や監督職員・作業員の負担軽減が求められている。本研究では、施工管理のうち出来形管理を対象として、人力で行っている運搬除雪作業における雪量計測について、これを自動化し、施工管理を行う運搬除雪雪量計測システムを開発するものである。

雪量計測方法は、ロータリ除雪車のオーガ前方の雪堤断面形状をロータリ除雪車の左右の雪切り板上部に設置した 2 台のレーザースキャナで計測し、同時にロータリ除雪車の進んだ距離を求め、この 2 つの計測値から除雪した雪量 (体積 m^3) を求める。

2 台のレーザースキャナによる雪堤形状計測は、プログラム上で 2 つの断面計測形状を合成する。そのため、お互いの死角を打ち消し合い、矩形断面においても死角無く計測することができる。計測画面を図-35 に示す。

このシステムを用いて、ロータリ除雪車で雪堤を除雪する試験を試験コースで行った。この結果、従来の検量値 (ダンプトラック荷台に積み込まれた雪をならし、残った分を検量箱で測定し、ダンプ荷台雪量と合算した値) と比べ数%の誤差で雪量を計測出来ることを確認した。そこで、実際の運搬除雪の作業現場でシステムでの雪量計測を試行した。実際の運搬除雪作業では、試験除雪とは違い雪堤の形状や除雪車の動作形態などが様々であり、検量値からの誤差が大きなものとなった。

以上のことから、ソフトウェアを見直し、これらに対応すると共に、2 台のレーザースキャナのキャリブレーションについても容易に行えるように改良した。2 台のレーザースキャナで雪量を計測する場合、断面形状を死角無く計測することができる反面、2 台のレーザースキャナの位置、傾き等を精度良く調整し、計測面を一致さ

せなければならぬため作業の煩雑さが増える。この作業を容易にするため、プログラム上でスキャナ位置、傾きをモニタできるようにした(図-36)。これにより、作業時間の短縮という面では若干の改善余地はあるが、従来全てを手作業で行っていた2台のレーザースキャナキャリブレーションの時間短縮を図った。断面形状の計測精度についても、段ボール箱を用いた試験で検証し、実際の雪堤を計測した試験においても効率的に雪量を計測できることを確認した。



図-34 ロータリ除雪車に装着されたレーザースキャナ(丸印)



図-35 雪堤計測画面



図-36 キャリブレーション画面

11. まとめ

本研究では、冬期道路利用者の旅行速度確保及び異常気象時における迅速な雪氷処理作業の対応を目的に、除雪機械のリアルタイム位置・作業情報を収集・提供し、除雪機械のマネジメント及び弾力的な運用を支援する除雪機械マネジメントシステムの構築を目指している。

そこで、「ダイナミック工区シフト支援」、「散布情報収集・管理システム」、「除雪作業状況確認システム」の開発を行い、道路管理者及び除雪工事請負業者に提供し、ユーザーニーズに基づきシステムの改良及び機能を追加するなど、機能の充実化を図った。

本システムの利用状況について、アクセスログや活用状況等を調査し、道路管理者や除雪工事請負業者が有効に活用していることを確認した。また、蓄積された除雪作業履歴を基に除雪作業の分析を行い、除雪作業方法の変更による効果の確認などを行い、本システムの評価を実施した。さらに、効率的な除雪機械配置計画の策定のため、地域・路線特性に応じた基準除雪速度の算定式の策定を行った。

冬期道路積雪状況計測技術の開発では、運搬除雪作業の施工管理の効率化のため、積雪状況計測技術の開発及び実際の現場で試行を行い、除雪前の雪堤断面形状から効率的に運搬除雪の雪量計測ができることを確認した。

参考文献

- 1) 北海道：北海道の概要、統計
<http://www.pref.hokkaido.lg.jp/overview/toukei.htm>
- 2) 北海道 ITS 推進フォーラム資料
<http://www.hokkaido-its.jp/>
- 3) 中村隆一・佐々木憲弘・小野寺敬太：除雪機械等情報管理システムの展望—除雪機械等管理運用マネジメントシステムの開発、建設施工と建設機械シンポジウム論文集、2008
- 4) 牧野正敏・佐々木憲弘・中村隆一・小野寺敬太：除雪機械等管理運用マネジメントシステムの開発、第24回寒地技術シンポジウム寒地技術論文・報告集、2008
- 5) 牧野正敏・佐々木憲弘・中村隆一・小野寺敬太：除雪機械管理運用マネジメントシステムの開発、第21回ゆきみらい研究発表会論文集、2009
- 6) Tetsuya OGAMI, Masatoshi MAKINO, Yuji YANAGISAWA, Kazuya YAMAGUCHI : Snowplow Deployment Management Method Considering Attributes of Region and Route, 13th International Winter Road Congress, 2010.