

◆ 報文 ◆

ITSを利用した機械除雪作業の提案

新田恭士* 平下浩史** 下田一朗*** 水上紀明****

1. はじめに

日本は国土の約6割が積雪寒冷地域にあり、総人口の約2割がこの地域に暮らしており、冬期の道路除雪作業は不可欠なものとなっている。日本では概して雪が重く、気温変化により路面の凍結融解が繰り返されるため、冬期道路における除雪作業は高い熟練を要している。

本調査はこれまでに開発されたITS技術を除雪車の運行・運転操作支援にあたって、その適用性を調査し、活用方法を提案応用することによって、より効率的な路面管理を実現することを目的とする。ここでは、日本における機械除雪の課題とニーズ分析を行い、近い将来に実現可能なサービスとして「凍結防止剤散布車の運行支援」および「ロータリ除雪車の操作支援」を提案する。

2. 機械除雪における課題

除雪車の操作や運行指示にあたっては、路線の気象特性、道路構造、沿道環境を熟知している必要がある。特に、作業計画立案、出動のタイミング判断は経験に依存するところが大きく、作業経験と熟練が必要とされる。以下に機械除雪について、道路管理者に対するヒアリング、ならびにオペレータへのアンケートを通して得られた課題を示す。

2.1 道路管理者が抱える課題

(1) 除雪および散布作業実施のタイミング

路面が圧雪や凍結となった場合には、走行速度の低下や事故を生じやすい。そのため、適切なタイミングで、路面が圧雪あるいは凍結する前に作業を実施することが望まれるが、現地情報の取得手段が乏しいため、結果的に圧雪・凍結後の作業となるケースが多い。

(2) 交通への影響

交通量の多い箇所では、除雪作業による渋滞が発生しやすい。特に、交差点や立体交差部、急勾配区間等、道路構造が複雑な箇所では、前進・後退の繰返し等作業が複雑になるため、除雪に時間を要している。

(3) 熟練オペレータの確保

除雪車の操作にあたっては、排雪方向の制御や障害物の回避、あるいは作業時の安全確保、故障、事故への対応が要求される。このため、道路構造および沿道環境を熟知したオペレータと助手の2名で作業を行っているが、近年、オペレータの高齢化に伴い、継続的なオペレータの確保が困難になるとすることが危惧されており、熟練者でなくても操作が可能な除雪車の開発が望まれている。

(4) 除雪コストの増加

冬期交通量の増加や、冬期の事故増加、さらには利用者ニーズに対応するため、除雪費は増加傾向にある。特に凍結防止剤散布に係る費用は10年間で倍増しており、コスト縮減が求められている。

2.2 除雪機械オペレータが抱える課題

除雪車の運行計画、運転操作に係わる操作性および安全性について、その現状と課題を把握し、除雪作業に有効な運行・操作支援のサービス内容を設定するため、実際に除雪車を操作しているオペレータおよび助手を対象にアンケート調査を実施した。

アンケートは(1)作業効率を低下させる阻害要因、(2)機械操作と安全確認の役割分担、(3)作業中の危険性等を中心とし、また凍結防止剤散布車にあっては、(4)散布量と重点散布箇所の判断条件についても設問を設けた。アンケートの対象者は、年間の出動回数が多い地区である北海道開発局、東北地方整備局、北陸地方整備局管内とした。アンケート回収結果を表-1に示す。

(1) 作業効率を低下させる阻害要因

主な除雪車である4機種共通、ならびに各機種固有の阻害要因を把握するため、「前後左右の障害物、構造物、および埋設物、一般車両に対する

表-1 アンケートの回収数

	オペレータ	助手	合計
除雪トラック	126	95	221
除雪グレーダ	115	85	200
ロータリ除雪車	108	84	192
凍結防止剤散布車	111	85	196
合計	460	349	809

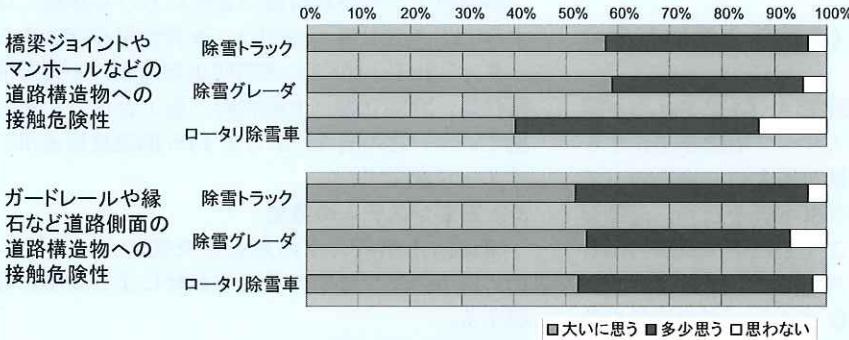


図-1 前方構造物、側方構造物との接触危険性のアンケート結果

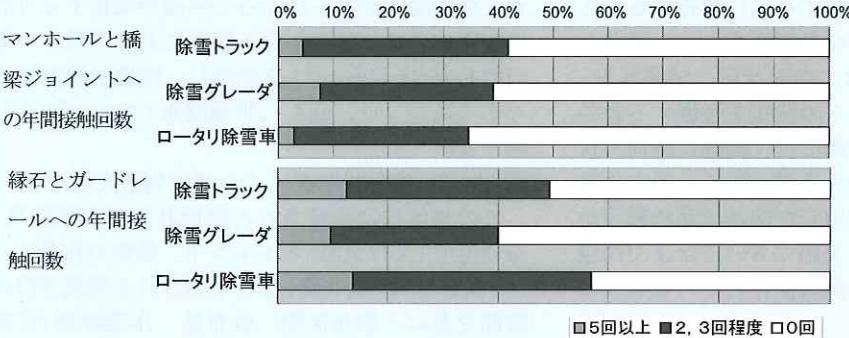


図-2 前方構造物、側方構造物との接触回数(1シーズン)のアンケート結果

危険性」に関する設問を“大いに思う、多少思う、思わない”の3択式で実施した。

この結果4機種共通の要因として、橋梁ジョイントなど前方の道路表面、および縁石など側方に設置された構造物の存在が挙げられた。一方、歩行者や前方停止車両については少なかった。特に高速で走行する除雪トラックおよび除雪グレーダでは、前方ならびに側方構造物双方に関する意識が高いのに対して、作業速度が低速であるロータリ除雪車では、側方への意識が高い。これは、除雪トラックや除雪グレーダは、車道上の雪を高速で堆雪帯へ移動させるため、作業中に前方や側方の障害物と接触した場合、重大な故障あるいは事故となる可能性が高いからである。一方、ロータリ除雪車は、初期除雪により生成された一次堆雪帯を次の作業に備えて排除する拡幅除雪の主力機種であるため、作業後のスペース確保が求められており、このため前方よりも側方構造物との接触に注意を払っているものと考えられる。また、

縁石など側方の道路構造物は、作業時には雪で埋もれて視認不可能なことや、雪に埋もれた障害物のオーナーへの巻き込みの可能性も高く、障害要因として強く意識されていると考えられる。

(2) 機械操作と安全確認の役割分担

オペレータと助手の役割分担については、除雪トラックと除雪グレーダでは、ほぼ全ての操作をオペレータが行っているのに対し、凍結防止剤散布車とロータリ除雪車では車両の操作はオペレータが全て行い、作業装置の操作は基本的に助手が行っている。走行位置または路側までの距離の把握は、目標物(ポール等)に

より、オペレータおよび助手の両者で行っているのに対し、安全確認については、右側の安全確認を基本的にオペレータが担当し、左側および後方を助手が主体となって確認している傾向は見られるものの、ほぼ両者で安全確認を行っていた。

(3) 除雪作業中の危険性

作業中における道路構造物への接触回数については、除雪トラックと除雪グレーダではマンホールや橋梁ジョイントなどの前方障害物より、縁石やガードレールに接触する割合が多少多い程度であった。一方、ロータリ除雪車では前方構造物に比べて側方構造物への接触回数が約2倍となった。このことからも除雪トラック・除雪グレーダとロータリ除雪車の操作危険性の差異が確認できる。

(4) 敷用量や重点散布箇所の判断条件

凍結防止剤の散布については、気象変化や現場状況により指定敷用量より多めに散布するとの意見は少ないが、「散布指定区間の前後においても安全確保の観点から長めに散布している」との意

見については、「大いに思う」との回答が5割近くとなつた。

3. 除雪車の運行支援（凍結防止剤散布車のケーススタディ）

日本では、1993年に法律でスパイクタイヤが禁止されて以降、急増したスリップ事故を防止するため、凍結防止剤の使用量が増大の一途を辿つており、現在は除雪費全体の約40%を占め、道路管理予算を圧迫している。こうした中、道路利用者からの散布に対するニーズが高まる一方で、道路管理者にとっては、適切なタイミングで適量を散布することで箇所毎の過剰な散布を削減しコストを抑制することが緊急の課題となつてゐる。

凍結防止剤の散布は路面の凍結防止、凍結箇所の融解、圧雪処理のいずれかの目的で実施される。道路管理者は、路面が凍結する前に散布することに努めているが、事後となる箇所も多い。散布実施のタイミングの判断は、路面状況、気象状況、交通状況、道路構造等多くの情報を考慮する必要がある。しかし実際の現場では、線的に路面の状態を把握し予測する有効な手段がなく、過去に蓄積された気象データを活用した凍結予測技術等が研究されているものの、実用においてはまだ問題も多く、熟練者の経験と勘に依存している現状にある。

また、作業にあたつては、凍結による交通障害が予想される区間を対象に作業計画を作成しており、散布車の乗務員は、この作業計画に従い散布を行うが、出動後、既に凍結しているなど、助手の目視判断により、計画外の危険と判断される箇所にも追加して散布を実施する。このように、乗務員は、路面状況の難しい判断を任されており、結果としてアンケート結果にも見られるように、安全を確保するため計画外の散布を増加させる傾向にある。

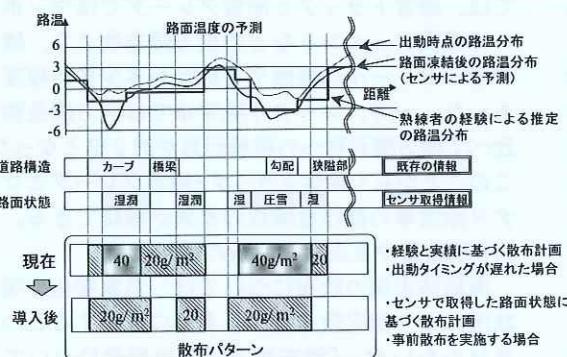


図-3 ITS を活用した凍結防止剤散布作業の概念

3.1 ITS を利用した運行支援サービスの提案

前述のような冬期路面の管理における課題に対するITS関連技術の適用は、改善効果を発揮すると考えられる。図-3に凍結防止剤散布に必要な情報収集、計画立案、出動判断、施工管理、作業実施という一連の流れにおけるITS関連技術適用のイメージを示す。

3.2 提案システムの機能

凍結防止剤散布車の運行を支援するシステムは、以下の主要機能の組み合わせにより効果を発現する。

(1) 路面状態の把握

この機能には散布作業の計画に必要な路面状態(湿潤・積雪・凍結)を短時間で判別できることが要求される。路面状態が湿潤または積雪である場合、路面温度が零下になると路面が凍結する可能性が高いので、気温が低下傾向にある区間への事前散布($20\sim30\text{g}/\text{m}^2$)を計画し、路面状態が凍結である場合には、直ちに事後散布($40\text{g}/\text{m}^2$)を計画する。

(2) 作業内容と出動タイミングの判断支援

この機能には集積された路面状態の判別結果、路面温度(又は気温)のトレンド、最新の作業データ(散布区間・散布量)より予測される効果の持続時間に基づき、散布区間、散布量、作業時刻(作業実施タイミング)を道路GISデータ上で作業指示情報として作成することが要求される。この作業指示データは、散布車に伝達される。

(3) 敷設作業の施工管理

この機能には散布車を使用して実施した凍結防止剤の散布区間、散布量、散布時刻を道路GISデータとして正確に記録することが要求される。

(4) 敷設実績データベース

この機能には作業計画の根拠となった路線各地点における過去の気象情報、路面状態(湿潤・積雪・凍結)、散布実績(散布量、散布時刻)をGIS上でデータとして蓄積管理できることが要求される。さらに、作業指示データの作成に活用するため、最新の散布実績および交通量から各地点の凍結防止剤の効果持続時間を推計する。

3.3 導入効果

提案システムを導入することにより、以下に示す効果が期待できる。

(1) 一層の安全性向上

現在、日本では代表地点の温度データを基に熟練者による判断で散布車を出動させ

る場合が多いため、各箇所における情報が不足し、出動タイミングの遅れが生じやすい。このため、作業中の助手の目視判断による凍結融解をに対し散布することとなる。路面凍結後の散布は、路面が融解するまでに時間を要する(15分~30分)ため、その間安全性は低い状態となる可能性がある。

図-4は積雪の多い除雪工区における1日あたりの散布量(塩化ナトリウム)と作業距離の関係を示したものである。日本では国道の事前散布は、 $20\sim30\text{g}/\text{m}^2$ で行い、事後の融解目的の散布では、 $40\text{g}/\text{m}^2$ を散布する。この工区の場合、散布実施距離の30%($30\text{g}/\text{m}^2$ よりも高濃度で散布した割合)で路面凍結後、いわゆる事後の散布を行っていると推計される。提案システムの導入によりセンサ設置箇所での事前散布が可能となり安全性の大幅な改善が期待できる。

(2) 作業効率の改善

融解目的で散布を行う場合、 $40\text{g}/\text{m}^2$ を散布するが、提案システムを導入することにより事前散布が可能になるため、散布量を $20\sim30\text{g}/\text{m}^2$ に抑制でき、散布効率が改善される。また、GISにより各地点の散布量を管理することで、効果持続時間を見込んだ効率的な作業計画が可能となる。

(3) 労務費の縮減

助手は散布作業計画に基づいた散布装置の制御、出動後の路面凍結箇所に対する目視判断に基づいた散布量の調整を行っているが、提案システムを導入し、散布操作を自動化することによって、ワンマン化を実現し、散布作業に係る労務費を約50%縮減することが可能となる。

4. 除雪機械の操作支援(ロータリ除雪車のケーススタディ)

現在日本では、全てのロータリ除雪車にオペレータと助手の2名が乗車し、操作を分担している。オペレータは、車両の前進後進、操舵、除雪装置の姿勢制御を分担し、拡幅除雪においては約250回/時間のレバー操作を行っている。一方、助手は投雪の方向や投雪距離に係わる操作を分担し、拡幅除雪では約500回/時間のレバー操作を行っている。特に、助手の行う投雪コントロールは、投雪禁止区域の回避や、雪堤への積み上げ等、熟練した技術が要求される。

4.1 ITSを利用した操作支援サービスの提案

ロータリ除雪車は除雪車のうち最も操作が複雑で熟練を要する機種であり、また車両中心の

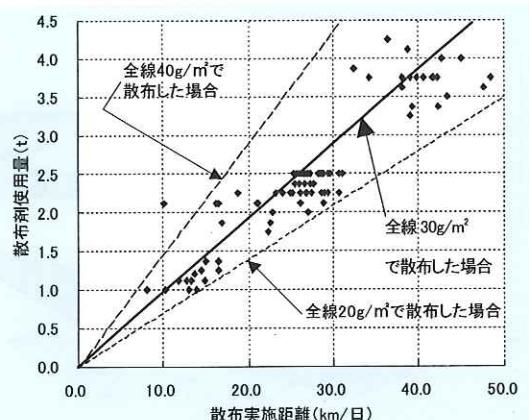


図-4 一車線工区における凍結防止剤散布量(NaCl-t)

センターピンを節とするアーティキュレイト機構であるため操舵制御が難しく、しかも作業速度は $0.4\sim6\text{km/h}$ と非常に低速である。しかしながら、ロータリ除雪車を先導的に検討することにより、他の除雪車に対しても同様の支援サービスを効果的に適用できると考えられる。そこで、レーンマーカやGPS技術の適用による操舵制御支援の可能性について検証実験を行った。このサービスの実現により、安全性を確保する機能や速度調節機能の付加によりワンマンでの操作が可能となり、労務コストの縮減が期待できる。

4.2 提案システムの機能

ロータリ除雪車の操作を支援するシステムは、次の主要機能の組み合わせにより効果を発現する。

(1) 除雪車の位置把握

この機能には除雪車の位置をリアルタイムで正確に計測することが要求される。位置情報は、除雪車の目標走行ラインに対するずれ補正に使用される。計測精度は利用目的(情報提供、警告、自動制御等)と作業種別毎に設定され、特に路側を低速で走行するロータリ除雪車の自動操舵(拡幅除雪)にデータを使用する場合には、縁石等への接触を防ぐため高い精度(現状では少なくとも 30cm 以内)が要求される。

(2) 除雪作業のためのデータベース

この機能には除雪作業に必要な道路構造(構造区分、幾何構造等)を位置情報とともに記録・管理・更新し、要求に応じ必要データを出力および表示することが要求される。

(3) 除雪車の操舵制御支援

この機能にはロータリ除雪車の位置情報を基に、除雪作業に必要な道路構造(構造区分、幾何構造等)を参照し作業計画との誤差量を算定し、速度

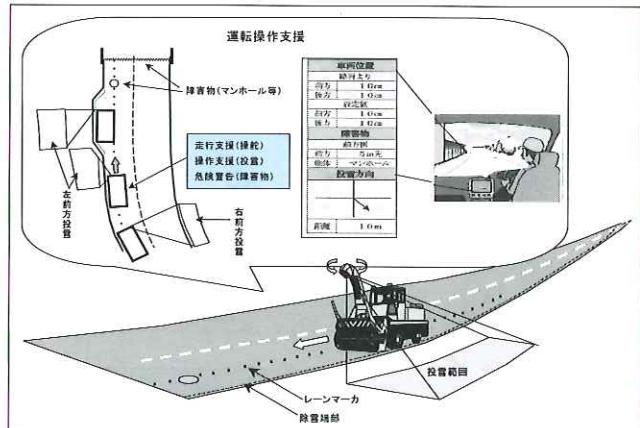


図-5 ロータリ除雪車の操作支援システムのイメージ例

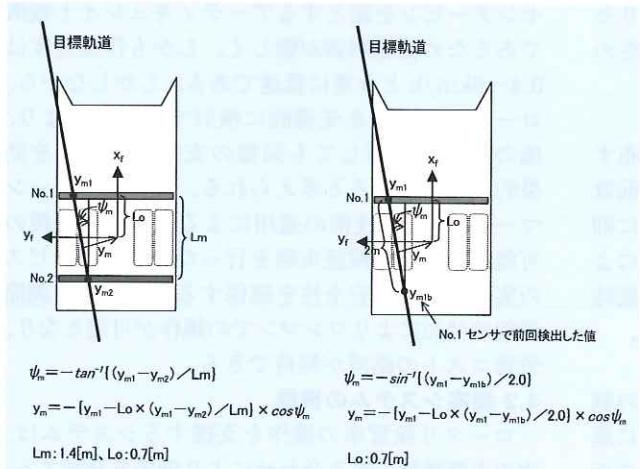


図-6 操作制御座標系

等に応じた適切な操舵制御を自動で行うことが要求される。

4.3 検証実験

レーンマーカを適用した、自動操舵制御のアルゴリズムの実現性を確認するためにRTK-GPSを用いた自動操舵システムを試作し、テストフィールドにおいて通常オペレータが主に作業しているロータリ除雪車の操舵を自動化してワンマン化させる実証実験を行った。

(1) 実験用除雪車

日本で使用するロータリ除雪車は、アーティキュレート機構のものが殆どである。さらに作業時は6km/h以下で走行し、除雪負荷による外的要因で横滑りが発生するなど、一般車両とは異なる挙動を示すため、一般車両を対象として開発されたマーカおよびセンサを適用するには、除雪車専用の制御ロジックを確立する必要がある。そこで、マーカの設置間隔、マーカセンサの除雪車

への取付位置等を検証するため、実験車両はRT-GPSを用い、受信位置データ(緯度、経度データ)を使用し、模擬的にマーカとマーカセンサの位置を設定して実験を行った。

(2) 自動操舵用アルゴリズム

マーカから得られる信号は、連続的でなく、離散的である。ロータリ除雪車にマーカセンサを一般車両と同様、1箇所設置する場合、図-7より、目標軌道座標系 $\Sigma(xy)$ での横および方位角偏差 y_m 、 ψ_m は、マーカの設置間隔を事前に情報提供しなければ、前車体固定座標系 $\Sigma f(x_f y_f)$ で計測されるセンサ信号 y_{m1} だけでは制御できない。例えば、操舵制御量の大小により、マーカの設置間隔を直線部では大きく、急カーブでは密に設置するなど、設置間隔を変化させた場合には制御が困難となる。そこで、マーカセンサを2箇所に設置することにより、前車体固定座標系 $\Sigma f(x_f y_f)$ で計測されるセンサ信号 y_{m1} 、 y_{m2} より、目標軌道座標系 $\Sigma(xy)$ での横および方位角偏差 y_m 、 ψ_m を算出でき、マーカの設置間隔が不明であっても、 y_m 、 ψ_m を制御できる。

4.4 実験成果

実験は図-8に示すように、除雪負荷を与えて、直線とS字走行の2通りを実施した。

疑似マーカの設置間隔を2m、旋回半径を40mに設定し、GPSの位置情報によりロータリ除雪車の軌跡を求めた。直線部においては、除雪負荷による横滑りはあるものの、疑似マーカの信号で走行が可能という結果が得られた。ただし、曲率部においては、マーカセンサの検知範囲である±50cmを超える次のマーカを検出できなくなり、操舵が不可能になった。これを解決するには、①マーカの設置間隔を密にする、②次のマーカの位置を情報提供する、という方策が考えられるが、①はインフラのコストを高騰させ、マーカ間で磁気の干渉が危惧されるため得策ではない。そこで②を適用するものとし、マーカの設置形状、すなわち道路形状情報をあらかじめ入力し、実験した結果、大幅な性能の改善が図られ、軌跡が検出範囲内に収まり、ステアリング操作量の急激な変化も解消し、円滑な走行が可能になり、乗り心地も

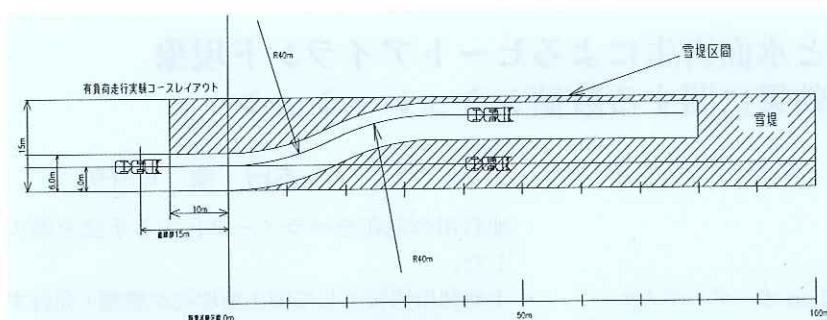


図-7 検証実験走路

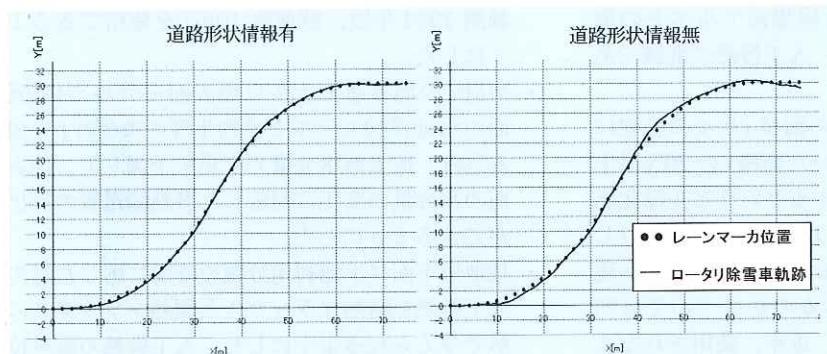


図-8 レーンマーカへの除雪車追従状況

向上した。

以上より、ロータリ除雪車の自動操舵システムについては、上記で設定したシステムの機能を満足すれば、実用化が可能なことが判明した。

4.5 導入効果（作業コストの低減）

現在2名乗務で実施している除雪作業に係る労務費は、除雪費全体の50%以上を占めている。これは日本では冬期においても交通量が多く、除雪車の事故や作業中断による交通途絶による損失が多大であることから高い安全性が要求されているからである。提案システムの導入により、ワンマン操作を実現することにより労務費の低減が図れることが期待される。

5. まとめ

日本では作業時において除雪車が直接起因する事故は少ない。これまで除雪車の運行を安全かつ効率的に実施できたのは、除雪に関わるオペレータ等の経験に裏打ちされた判断力や熟練技術に依るところが大きい。

今後は高まる利用者ニーズに応え、サービス向上とコスト縮減のため、適切なタイミングで効率的な除雪を実現することが必要である。本調査では、最前线で作業する道路管理者やオペレータが抱える課題を整理し、ワンマン化や出動タイミング

の判断支援、および除雪車の操作を支援する方策を提案した。今後はこれらを実現する要素技術の適用性の確認と要求性能を明確化する予定であり、PIARC札幌大会にてロータリ除雪車による実証実験を実施する予定である。

新田恭士*



国土交通省国土技術政策
総合研究所高度情報化研
究センター情報基盤研究
室研究官
Takashi NITTA

平下浩史**



独立行政法人土木研究所
技術推進本部(先端技
術)研究员
Hiroshi HIRASHITA

下田一朗***



国土交通省国土技術政策
総合研究所高度情報化研
究センター情報基盤研究
室研究官
Ichiro SIMODA

水上紀明****



同 情報基盤研究室研究员
Noriaki MINAKAMI