

高速道路における雪氷作業の高度化に向けたシステム構築について

山本 大貴*1、山代 哲弘*1、中村 貴男*2、岸本 匡治*3、長谷川 敬*3

1. はじめに

NEXCO中日本では「高速道路における安全・安心実施計画」として、路面凍結・積雪の防止・抑制、除雪等の作業（以下、「雪氷作業」）をはじめとした冬期間の安全な交通に取り組んできた。高速道路に設置した気象観測局や定点カメラ、雪氷巡回などによって、気象情報や高速道路の積雪、路面状況などのデータをくまなく収集し、集められた情報は保全・サービスセンターに設置された雪氷対策の司令塔である雪氷対策本部に集約され、具体的な作業計画が立てられる。

図1に示すように、雪氷基地では、その作業計画に基づいて除雪や凍結防止剤散布などの作業をおこなわれる。雪質や路面状態に合わせた迅速な作業の実現には、情報収集のリアルタイム性の向上や経験や知見をもとに適切な計画をすばやく導き出す必要がある。

また、近年においてはお客さまの快適な走行支援として、的確な情報提供が求められる。NEXCO中日本においても公式WEBサイトや情報提供サイト「iHighway 中日本」、SNSにて通行止めなどの交通状況の提供・事前配信を行うとともに、スマートフォンアプリの「除雪NAVI」によって作業状況などを共有するなど、お客さまの安全・安心な高速道路利用のための情報提供に取り組んできた。

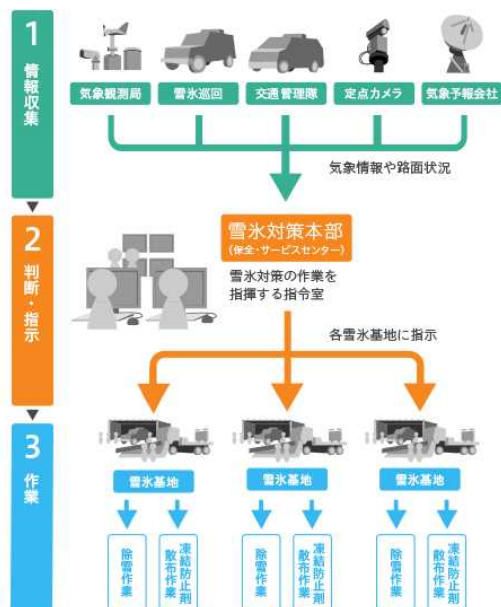


図1 雪氷作業の実施フロー
(出典：「NEXCO中日本」HP)

しかしながら、社会的な労働力不足や熟練者の高齢化・退職を背景に、人手不足が叫ばれており¹⁾、将来的にはこれまでの通りの人員体制構築がかなわなくなることが予想される。したがって、業務の省力化による必要人員の削減に取り組んでいかなければならない。また、運転支援機能の導入車両が増加する中、道路空間の管理水準も上昇することが予想されている²⁾。よって、従来以上の情報収集、判断・指示、現地作業といった雪氷作業を包括した業務効率化が求められている。本論文では、雪氷作業の効率化および高度化に向けた取り組みの一つである新世代型VPIS(Vehicle position information system)の開発について紹介する。

2. 路面センサシステム

2.1 機器概要

雪氷作業における情報収集の一環として、図2に示した路面センサの導入を行った。当該センサには赤外線レーザーを搭載しており、路面と非接触で、「摩擦係数」、「路温」、「気温」、「湿度」、「露点温度」、「膜厚(水・雪・氷)」、「路面状態(乾燥、湿潤、濡れ、雪、氷、シャーベット)」といった様々な路面状況を最大0.1secでの計測が可能でセンサである。非接触での計測ができることから、車両に搭載し移動しながら計測を行うことで、高速道路全体の路面状況を把握できるようになった。NEXCO中日本では約60台程度の路面センサを車両に搭載し、計測を行っている。センサの導入によって、人の目では確認が難しい夜間などにおいても、個人の裁量や経験差によるバラツキがなく、定量的に路面状況を把握することができるようになった。また、車載カメラと連動した情報収集を行っており、特異な計測値が得られた場合の原因究明には、道路状況の写真を活用することもできる。

路面管理の高度化として2019年度から路面センサによるリアルタイム情報システムを構築した。センサでの計測結果は車両内のタブレットで確認できるとともに、データベース上で集約・記録される。集約された計測値については、WEBを介して雪氷対策本部のPCに配信される。WEB上では計測値を地図上にマッピング表示でき、即座に管理区域全体の路面状況が確認できるようなユーザーインターフェースデザインとなっている(図3)。

* 1 中日本高速道路(株) 金沢支社 環境・技術管理部

* 2 中日本高速道路(株) 名古屋支社 保全サービス事業部

* 3 中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋(株) 金沢支社 施設技術部



図2 路面センサ概要図

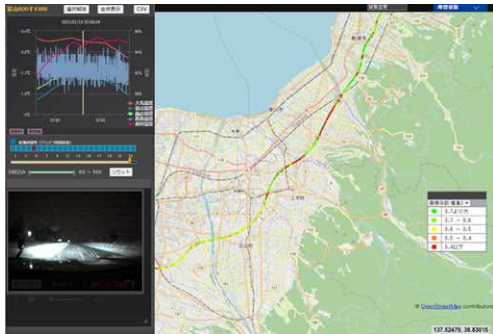


図3 リアルタイム情報システム

2.2 路面状況計測

路面センサによって計測できる「摩擦係数」については、路面のすべりやすさを数値化したものであり、「路面状態(乾燥、湿潤、濡れ、雪、氷、シャーベット)」に大きく影響する。数値が大きいほど滑りにくく、小さくなるにつれてすべりやすいということを示している(図4)。摩擦係数は航空機の運航においても着陸の可否の判断に用いられ³⁾、自動車交通事故との相関性が報告されたり⁴⁾している。そのような実情からも、路面状況を比較するうえで非常に有益な数値であり、管理する道路全線にわたって数値を把握することで、よりきめ細やかな作業計画の実現が期待できると考えられる。

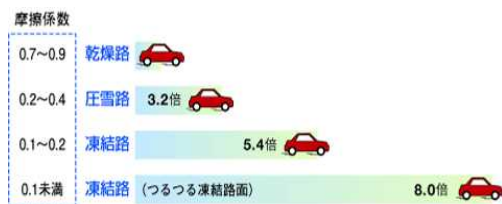


図4 積雪と路面の摩擦係数の関係
(社)日本自動車タイヤ協会HP抜粋

図5に、2020年度冬期に計測した摩擦係数の平均値を示した。リアルタイムの値はもちろんのこと、長期的な傾向を定量的に確認することで、道路構造や地域的な気象条件を踏まえた資機材の配備や道路設備の拡充などの計画も可能となる。

2.3 路面状況(路温)推定

管内全線の路面状況を計測できる一方で、より密に情報収集を行うためには、定期的な巡回によってセンサ搭



図5 2020年度冬期における摩擦係数

載車両を走行させる必要がある。現在、NEXCO中日本においては交通管理用の巡回車と雪氷用巡回車の両方にセンサを搭載し、安定的に計測を行っているものの、緊急事象発生時など巡回車を停車させなければならない場合にはどうしても、路面状況の計測頻度に粗密が発生してしまう。その問題を解決するために、路面センサでの計測結果と固定式の気象観測局を組み合わせることで、高頻度かつ広範囲にわたる路面状況の予測を行う手法を検討した。

路面状況の予測においては、気象観測局と路面センサの両方での計測項目であり、体制構築や凍結防止剤散布の判断に重要となる路温の予測を行うこととした。過去に取得した路面センサでの路温計測結果を解析し、高速道路上での各地点における温度傾向と気象局での温度計測結果の関係式を構築するとともに、予測を行う時点直近での最新の路温計測結果を加えて補正を行うことで、推定を行った結果を図6に示す。推定値と路面センサでの計測値を比較しても誤差は1℃程度であり、精度よく推定ができていることを確認できた。このことから、固定式と移動式での結果を組み合わせることで、より詳細に現地状況の把握ができ、きめ細やかな雪氷作業の実現が期待できることを確認できた。

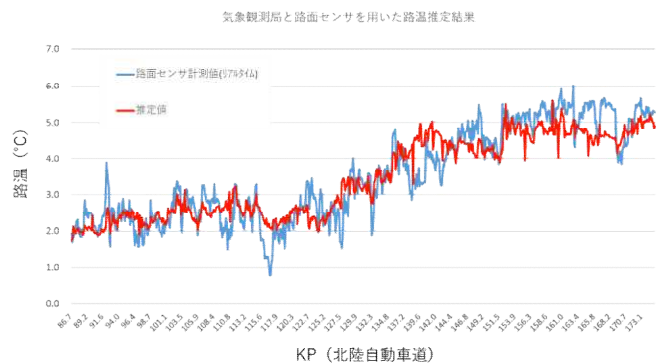


図6 路温推定結果

3. 次世代VPIS開発

3.1 概要

これまで現場に長く従事いただいている熟練技術者の経験や知見に基づくシステムや判断スキームを構築して

いくことで、業務の省力化のみならず、将来的な自動化やRPA化にも寄与していくことが期待できる。本章では、前章で説明した路面センサシステムと連携を図りながら、図7に示したようなさらなる雪氷作業の省力化に向けた取り組みを紹介する。



図7 次世代型VPIS概要図

3.2 共通操作装置

雪氷作業車両は複数の種別があるとともに、メーカーや年代ごとによる架装装置の変化によって、操作装置のボタン配置やモニタ位置などにばらつきが生じてしまう。大型車を基本とした雪氷作業車両では、乗用車以上に広い視野で安全確認を行うなどの運転行為そのものの負担が大きい中、架装装置の操作も並行して行う必要があり、車両ごとに操作方法にばらつきがあることが運転手の負担となるとともに、経験によって作業の出来栄に差が生じる恐れも危惧される。そこで、作業車両種別ごとの操作性の統一や負担軽減を目的とした共通操作装置の開発に取り組んでいる。当該装置ではこれまでプラウ、湿塩散布装置や標識装置など架装装置の追加に応じて増設していた操作器を1つのタブレット上に集約することで、統一感のある視認性や操作性を確保したデザインが可能となっている。さらに、通常時に表示するのは普段の操作に必要なコンテンツのみとし、使用する塩の種別の設定などといったメンテナンス機能などは、別のレイヤとすることで、ユーザーが必要な時に必要な情報のみが表示されるシンプルな画面構成とすることができる。

図8に示すように標準操作器から分岐し、操作信号を送っているため、どちらかの操作装置が故障した場合でも他方の操作装置を使用でき、冗長性も確保した仕様となっている。また、同一の雪氷作業車両においても、作業をおこなう地域などによって、使用する機能の頻度に

偏りがあることから、すべての操作装置が統一されていることが良いとは、必ずしも言い切れない。よく使用する機能については、より容易に操作できるほうが、負担は少ない。当該装置では車両とは独立して装置のソフト更新を行えることから、各地域においてベストな操作画面の構築も容易に行うことができる。



図8 共通操作装置概要図

2020年度には、湿塩散布車両向けの操作装置を開発し、操作性の確認を行った。標準操作器と比較し動作上の遅れもなく、支障なく操作ができることが確認できている。2021年度にはジョイスティックによる操作機能を実装することで、プラウの操作性向上を検証していく。



図9 装置設置の様子

3.3 乗務員ガイダンスシステム

雪氷作業においては作業箇所における路面状況や道路構造、その日の気象状況など多くの情報を把握し、除雪機械などの操作を行う必要がある。将来的には、経験や知見を持つ熟練技術者の減少によりこれまで以上に乗務員（雪氷作業車運転手および運転補助員）への情報共有や作業支援が求められる。また、熟練技術者においても昨今の大雪による応援派遣時には慣れたまない土地での作業が求められることから、作業を行う上で必要な情報を提供することで、負担軽減や作業の効率化が期待できる。

そこで、前項で紹介した「作業装置操作・監視」用のタブレット端末を併用した乗務員への情報共有ツールとして、乗務員ガイダンスシステムを開発している。本システムは、中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋(株)において自社開発・販売を行ってきたVPISにて培ったノウハウをもとに、車両位置に応じた適切な情報配信を行うシステムとなる。前章で述べた路面センサの計測値、

橋梁区間や路肩幅といった道路構造など、乗務員が現地で確認したり、過去の経験から記憶したりしている項目をシステム化し、乗務員の意見を取り入れながら改善を行っていく予定である。

また更なる機能の拡充のため、運転手の挙動や行動の分析を行っている。近年では、図10に示すように除雪作業車の運転手の視線解析を行い、システム化する項目の洗い出しを行った。運転手の視点に応じてヒートマップを作成することで、運転時に確認している項目を抽出し、熟練者と非熟練者間での差異や個人の特徴などをつかむことができています。特に、非熟練者においては事故を起こさないために、車両の位置を確認するため道路の構造を把握するよう努めており、遠い位置に視線が集まっている傾向がある。これに対して、熟練者においては、道路の構造をあらかじめ把握しており、道路構造の確認を行いながらも、遠方から近傍まで広い範囲に視点を巡らせ、雪質や除雪の出来栄の確認に費やせる時間が長いことが確認できている。また、雪氷作業が本格化するのは天候の悪化した際や気温が低下する夜間であり、遠くまで見通すことが困難にある可能性が高いことを踏まえても、運転手を支援する情報配信を行うことで、作業の安全性向上と効率化を図ることが期待できることが確認できた。

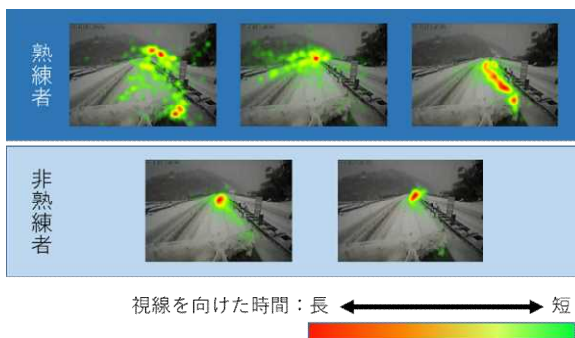


図10 視線解析結果

3.4 AIによる体制構築支援

雪氷の作業計画を立てるためには、作業員のリソースや雪氷設備の配備状況、地形やそれに起因する気象条件など多岐にわたる知識をもとに、適切な人員配置と作業量を想定した体制判断が求められる。気象状況によっては、その判断を迅速に行い、必要な準備を開始しなければならないことから、個人の経験・技能差による影響が大きくなる可能性がある。そこで、作業計画を立てるための体制判断支援ツールとしてAIシステムによる雪氷体制アシストシステムの開発を行っている。

本システムでは、現在の気象予測と現地の気象状況等をもとに、過去の気象・路面状況から類似する日を検索し、それをもとに、適切な当日の雪氷体制案を提示する。これにより、経験の有無による影響を軽減し、抜け漏れ

のない雪氷作業計画の立案実施が期待できるとともに、作業の全体像もつかみやすくなることから、作業準備の効率化や作業員の休憩時間の確保といった現場行程管理上での効果も期待できると考えられる。本システムについては、2020年より構築を開始し、2021年度よりシミュレーションによる検証をスタートする。

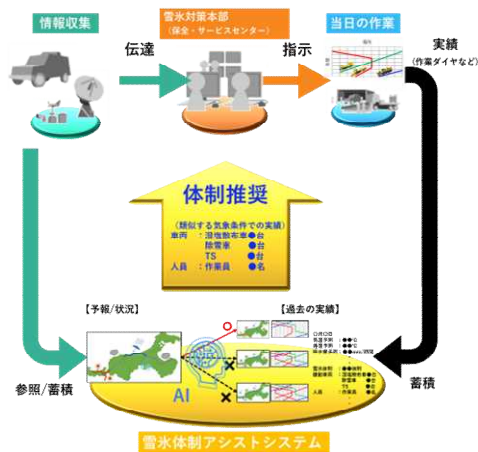


図11 雪氷体制アシストシステム

4. まとめと今後の展望

本報文では、VPISと路面センサシステムの構築を核とし、雪氷車両乗務員の省力化や体制判断の支援などの開発といった雪氷作業の効率化と高度化に向けた取り組みについて紹介した。引き続き、降雪時における路面状況と雪氷作業実績データの蓄積を通して、システムの性能向上を図っていく。

雪氷作業はお客様の安全な通行に直結し、地域性による違いはあるものの、中日本高速道路が管理する道路全体に共通したテーマである。今後も既存システムの改善と新技術の導入を通して、業務の効率化や現場の課題解決を図ることで、高速道路の安全・安心・快適性の向上に寄与していく。

参考文献

- 1) 国土交通省. 報告書「豪雪地帯対策における施策の実施状況及び効果等について」. https://www.mlit.go.jp/kokudoseisaku/chisei/kokudoseisaku_chisei_tk_000086.html
- 2) 警察庁. 報告書「自動運転の実現に向けた調査研究報告書」. https://www.mizuho-ir.co.jp/case/research/automated_driving2017.html
- 3) 井川 寛隆, 神田 淳. テクニカルレポート「航空機の雪氷滑走路摩擦係数研究の方向性について」. 宇宙航空研究開発機構研究開発資料(2006)
- 4) 安藤 和彦, 倉持 智明. 報告書「路面のすべり摩擦と路面管理水準およびすべり事故」. 土木技術資料52-5(2010)