

凍結防止目的の塩散布量最適化システム開発における IoT の活用

森山 守¹、山田 圭一¹、岩谷 一郎²、道上 剛幸²、藤中 伸紀³、澤 英知³、徳永 純一³、
柿澤 至倫⁴、藤田 勝貫⁴、鈴木 武俊⁴、大塚 洋⁴、石原 啓⁴

1. はじめに

寒冷地域では、冬期間においても安全かつ快適な道路交通機能を確保する事が必要不可欠である。冬期においては路面の凍結防止を目的として、道路管理者は凍結防止剤の散布を実施し、道路の維持管理を行っている。しかし、この凍結防止剤は道路構造物へ塩害を及ぼすことが懸念され、その影響が近年顕著になってきている（写真1）。一方で、凍結防止剤を散布する費用は長期的には増加傾向にあり、道路管理予算抑制の動き等からも、より効率的な凍結防止剤散布システムの開発が望まれている。

図1に北陸地区の凍結防止剤散布状況を示す。



図1 北陸地区の凍結防止剤散布状況



写真1 塩散布による構造物の塩害

近年の技術開発により、路面温度センサーや塩分濃度センサーを雪氷巡回車両に搭載し、得られた情報から凍結防止剤の散布量を定めることが可能になってきている^{1),2)}。また、センサーを搭載した巡回車両を使用することによって、路面状況に関する情報は点情報から線情報になり、より詳細に把握できるようになってきている。しかし凍結防止剤は現状では、散布量の決定は作業員の経験と勘に頼るところが大きく、その散布量もインターチェンジ間ではm²当たり数十グラムといった一定量を散布するという方法しかとられておらず、路面状況に応じたきめ細かい対応による効率化と材料コスト削減の余地は大きい。

そこで、筆者らはセンサーにより取得した路面及び環境データをクラウド基盤に集積し機械学習を用いた解析を実行することで、センサー計測と同時に凍結防止剤の散布量の算出を行い、リアルタイムで作業車の端末に可視化した解析結果を伝達することで、凍結防止剤散布量を最適化するシステムの開発を行っている。本システムは、安全な道路環境、塩害による道路構造物の劣化軽減、散布作業の効率化によるコストの縮減等を実現するものである。また、熟練作業員の経験や勘に頼るところが大きかった凍結防止剤散布作業が、人為的なものからデータ解析等による一連のシステムで実施出来るようになり、これから雪氷作業を実施していく若手作業員に対して、適切に技術を継承していくことが可能になる。

さらに今後、クラウドに集積されていくビックデータを用いて機械学習を実施したAIにより、翌日以降の最低気温等から路面の凍結を予測するという予兆保全的考えも取り入れていき、より効果的・効率的な雪氷対策計

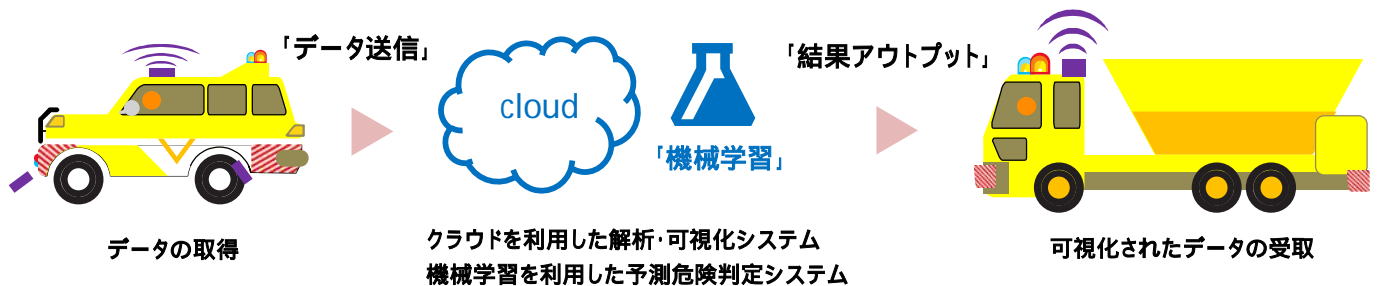


図2 システム概念図

画立案に繋げることを目指している。本報告では、本システムの考え方、過去に取得したデータを用いたサンプルプログラムによる解析結果、及び今後の展望について述べる。

2. 塩散布量最適化システムについて

2.1 システム概念

図2は、センサーによるデータ取得から作業車端末に路面毎の散布量を可視化したアウトプットを送信するまでの塩散布量最適化システムの概念図である。このシステムは大きく分類すると以下の4つのフェーズに分けられる。

- データ取得
- データ送信
- 解析
- アウトプット

図3に、システムの手順を示す。

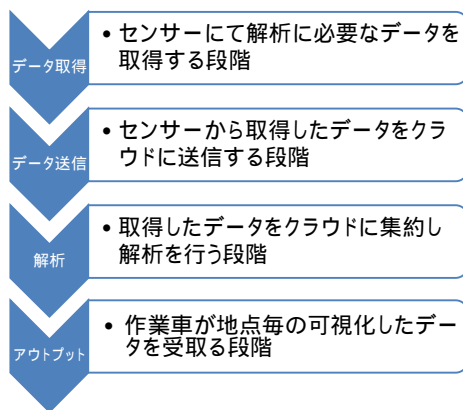


図3 塩散布量最適化システムの手順

2.2 データ取得

本システムでは、以下の3つのセンサーから取得するデータが必要になると考えている。

車載センサー

塩分濃度データ・路面温度データ・位置情報データ

気象センサー

気温データ・降雪量データ

路面センサー

路面状況・積雪深さデータ

その他にも道路状況に関するパラメータが多くなれば機械学習による解析精度は上がると考えられるが、ここでは現状想定できる解析対象データをあげた。

車載センサーは、車両に搭載することができるもので、車両停止や車外測定の必要がないため、凍結防止剤の測定作業の安全性と作業効率が向上する。なお、センサーは1秒間隔で塩分濃度を計測できる。また、取得するデータの精度は、路面温度データに関しては、既往文

献²⁾等で良好な検証結果が報告されている。塩分濃度データに関しては、水分屈折率による測定方式のため、測定精度が高い³⁾。(図4)

2.3 データ送信

センサーで得たデータをクラウドに送信する。本シス



図4 車載式センサー³⁾

テムにおいてクラウドを利用する理由を、以下に示す。

・システムのリソース

パソコン解析レベルとは、桁違いのデータ量を高速に解析することが可能。(例えば、20CPUコア、RAM112GBといった高性能仮想マシンを時間単位で利用できる。)

・ユビキタス

現場と本部でアクセスが可能のように、利用者がどこからでもアクセスが可能。

・市場投入時間の短縮

ハードウェアを調達することなくシステム導入が可。

・段階的な拡張

小さいシステムから始めて、順次拡張が可能。

等、これらは今まで活用しきれなかった様々なデータを効果的に利用するIoTの発想である(図5)。

本システムで使用するクラウドの基盤は、マイクロソフトクラウド基盤であるAzureを使用している。本クラウドは、経済産業省が公開している「クラウドサービス利用のための情報セキュリティマネジメントガイドライン」に基づくクラウド情報セキュリティ管理基準において定められた要件を満たし、CSマーク(ゴールド)を取得している。

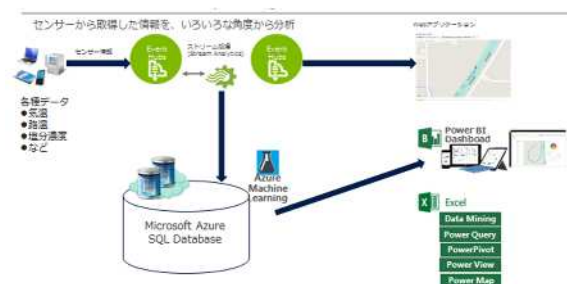


図5 ビックデータ分析

2.4 解析

凍結防止剤散布の最適算出は、凍結温度と凍結防止剤成分の濃度の関係曲線⁴⁾から導き出し、その結果に気温、天候及び計測後経過後流出量予測値等のパラメータから機械学習による補正量として換算する方法である。この機械学習による補正量は、データの集積により精度が高まっていく。

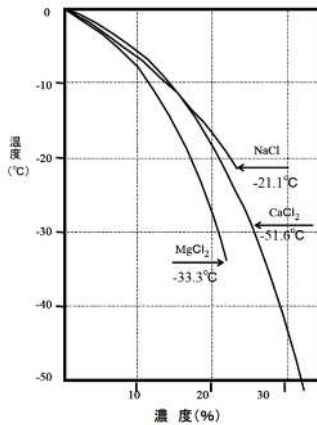


図6 凍結温度と凍結防止剤成分の濃度の関係⁴⁾

2.5 結果のアウトプット

センサーから取得したデータを解析し、路面毎の適正散布量として可視化したアウトプット結果を作業車の端末に送る。これら一連の処理は、リアルタイムで実行さ

れ、巡回車両による計測からタイムラグなく、作業車による凍結防止剤散布作業が実施できる。

図7に塩散布量最適化システムの全体図を示す。

3. 既存データによるシミュレーション結果

3.1 散布量追跡システム

前年の車載センサー計測データをクラウドに集積し、そのデータから塩散布量最適化システムのサンプルプログラムにより解析を行った。サンプルプログラムでは、過去に計測されたデータを、巡回車両が塩分濃度データと路面温度データを計測しているように模擬的にクラウドにデータを順次送りながら、画面上で解析結果がリアルタイムで表示されることを確認した。

図8に、散布量追跡システムのアウトプット例を示す。

サンプルプログラムでは、塩分濃度と路面温度データからその路面毎の危険判定を行っている。図8の地図上での、青色のプロットは塩分濃度が足りていることを示している。黄色はX(%)塩分濃度が足りていない、赤色はY(%)塩分濃度が足りていないことを示している。このように塩分濃度に関する凍結判定結果が可視化されて表現される。このプロットは今回100m毎に実行しているが、縮小及び拡張は可能である。また、プロットする地図の形式も変更が可能である。

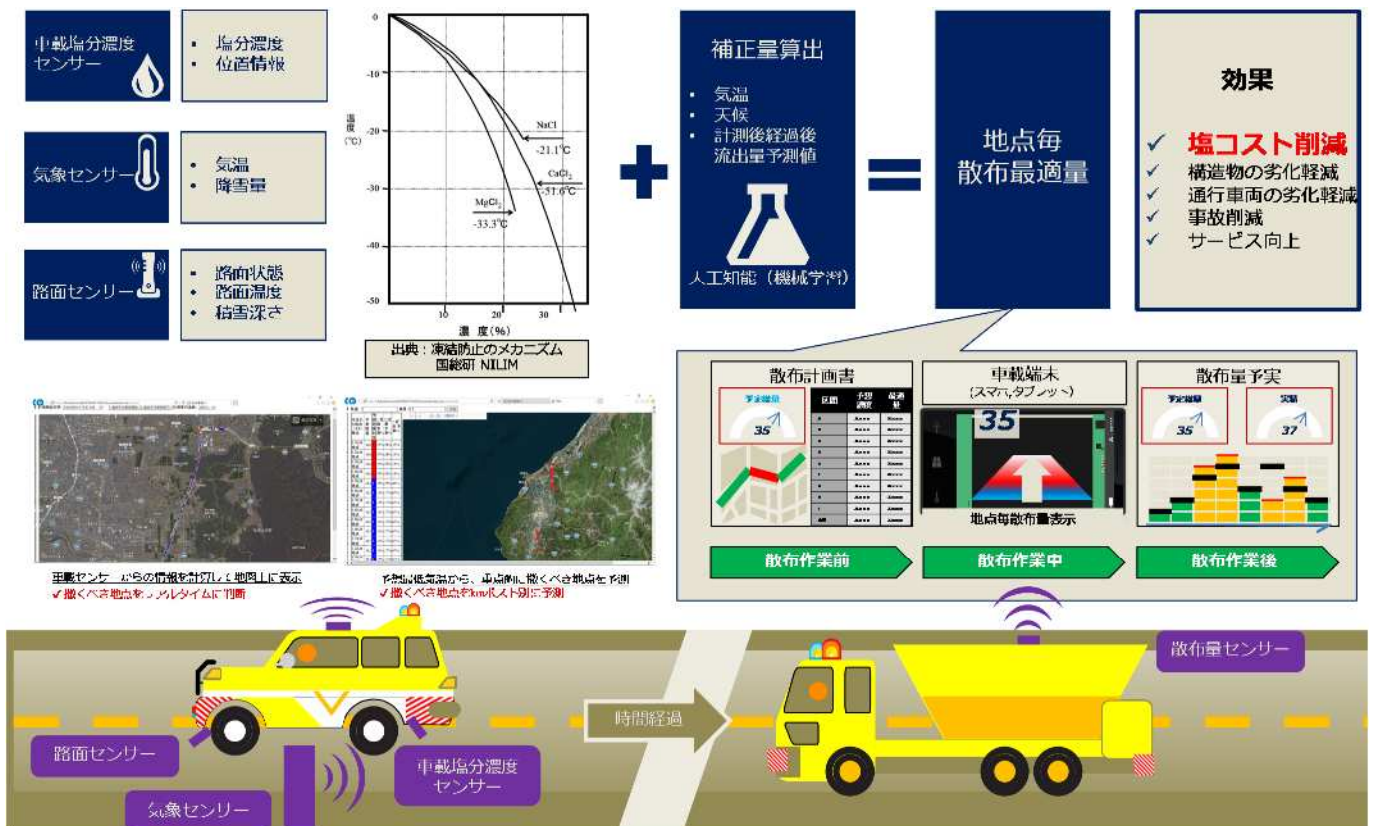


図7 塩散布量最適化システム

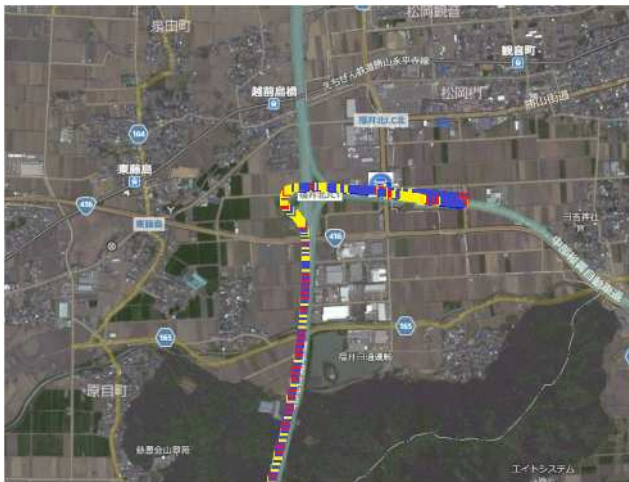


図8 散布量追跡システム結果例

3.2 散布量予測システム

前項と同様の過去データを用いて、機械学習による予測危険判定のシミュレーションを行った。図9に散布量予測システムのアウトプット例を示す。予想最低気温を変数として入力すると、機械学習により過去データからその地点の路面温度が予測され、その路面温度から予測危険判定が行われる。危険と判断した箇所に重点的に凍

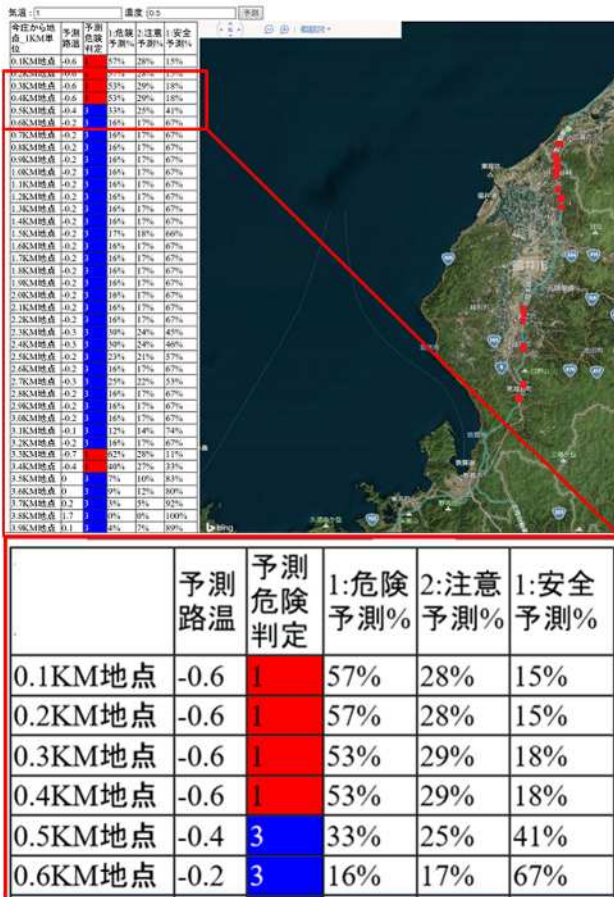


図9 散布量予測システム結果例

結防止剤を撒くべき地点として表示される。

判定では、地点毎に「1:危険予測、2:注意予測、3:安全予測」の確率(%)が算出され、その確率が高いものをその地点の予測危険判定結果としている。この予測は、前述したようにクラウドに集積されるデータ数が増加するにしたがって、精度が向上していく。危険判定のプロットの間隔や地図の形式も3.1節の散布量追跡システムと同様に変更が可能である。

機械学習で予測された結果は、過去1年分のデータで解析したものであるが、経験的に危険としている地点とほぼ一致していることを確認した。なお、ここでは、最低気温は1として入力している。

4. まとめと今後の課題

4.1 現時点までの成果

現時点までに得られた成果は以下のとおりである。

- ・クラウドにデータを送信し、クラウドから端末に可視化表現したデータをリアルタイムに出力した。
- ・過去1年分のデータを用いた機械学習による凍結危険判定予測の結果は、経験的に危険としている地点とほぼ一致した。

4.2 今後の課題

今後の課題として、センサーで計測されたデータをリアルタイムでクラウドに送信するプログラムを構築することが必要である。さらに、現場作業員の方を交え、予測する事象や可視化表現した表示方法等を明確にしていき、それを算出する解析ロジックを作成していく。システム作成後、実際の雪氷現場での実証実験を実施していく予定である。

参考文献

- 1) 小泉倫彦, 田中潤一郎, 塚越慶一: 車載式塩分濃度計測システムを利用した冬期路面管理について
- 2) 北野隆弘, 畦地吾一, 和泉聡, 柳瀬優: 車載式塩分濃度センサーによる効率的な雪氷路面管理
- 3) 山田技研株式会社ホームページ, 2016.10.24(現在)
http://www.yamada-giken.co.jp/index.php?kbnkey=salinity&honbun_dv=1
- 4) 国土交通省・国総研資料 第412号 凍結防止のメカニズム, 2016.10.24(現在)
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn0412.htm>