当支部会員「株式会社堀口組」が『第９回インフラメンテナンス大賞　内閣総理大臣賞』を受賞
―豪雪地の交通インフラ維持を図る除雪支援の取組―
～人間中心型DXがもたらす持続可能な除雪体制の未来～

１．はじめに

北海道留萌地域では、豪雪・高齢化・人口減少により除雪作業の担い手不足が深刻化し、深夜・早朝に及ぶ長時間作業が高齢作業者の身体的・心理的負担を増大させている（写真－１参照）。若手入職も進まず、地域の冬期間の交通インフラ維持は危機的状況にある。

本取組は、こうした地域特有の構造的課題に対し、安全性・効率性・技能継承を柱とする「**人間中心型DX**」を導入し、持続可能な除雪体制の構築を目指すものである。従来のDXが自動化や効率化を主眼としてきたのに対し、本取組は、作業者の身体的負荷、心理的ストレス、技能継承の困難といった“人に起因する課題”に焦点を当て、技術を「人を守り、人を支え、人が活躍し続けられるための仕組み」として再設計した点に特徴がある。

この人間中心の視点こそが、第９回インフラメンテナンス大賞における内閣総理大臣賞受賞につながった大きな要因である。



写真－１　深夜の除雪作業

(1) 留萌市の人口推移

生産年齢人口が今後10年で50％近くに激減(表－１参照)して地域のインフラ維持が困難になっている。

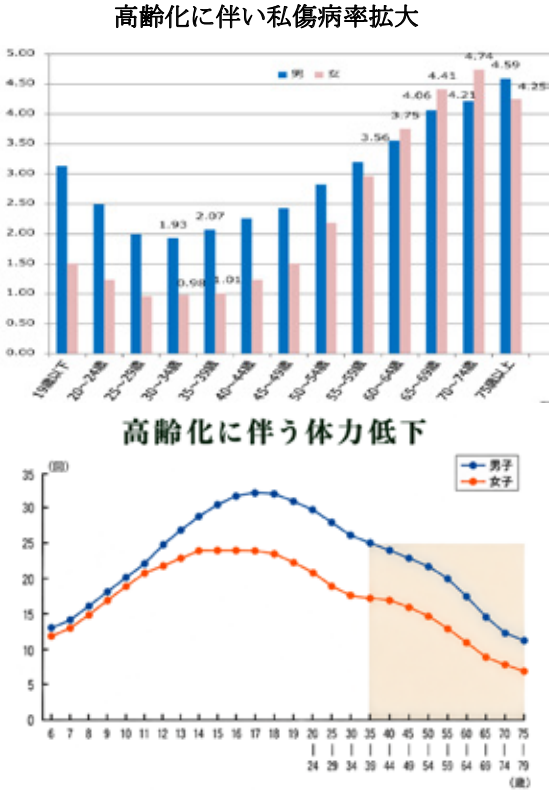
年　度	総人口	生産年齢人口（15～64歳）	65～69歳人口
2015年	22,221人	12,391人	2,046人
2024年	18,695人	10,162人	1,472人
2035年	13,537人	6,218人	1,086人

表－１　留萌市の人口推移

出典：総務省国勢調査、住民基本台帳、国立社会保障・人口問題研究所

(2) 高齢化の課題

年齢別・男女別の私傷病千人率を見ると、高齢者の死傷病率が他の年代より高い。スポーツ庁「体力・運動能力調査」によれば、45歳から70歳にかけて体力は約50％低下することが示されており(図－１参照)、加齢に伴う身体能力の大幅な低下が、作業リスクを一層高める要因となっている。



図－１　高齢化の課題

２．人間中心型DXの選定

留萌地域では以下の点で人間中心型DXの選定が合理的かつ有意である。

- 財政負担が小さく、導入・維持が可能
- 地域内人材で運用でき、外部依存を減らせる
- 高齢化・担い手不足という構造的課題に直接対応できる
- 豪雪という特殊環境に適応しやすく、現場で調整しながら改善できる
- 長期的に持続可能な除雪体制を構築できる

３．取組内容と技術的アプローチ

本取組では、人間中心型DXの考え方に基づき、除雪作業の省人化を図る**リーン型省人化技術**と、

作業者の身体・認知・判断を補完する**人間拡張技術**を統合し、総合的な支援体系として構築してきた。これらの技術は、豪雪地域特有の作業環境や人員構成に合わせて、現場で段階的に調整しながら導入を進めており、従来の作業方法に依存しない新たな働き方の実現につながっている。

リーン型省人化技術	作業の「ムダ」や「ムリ」をできるだけなくし、少ない手間で大きな成果を出すためにAI・IOTを活用したDX技術
人間拡張技術	人の身体能力や判断力・注意力などをデジタル技術や道具で補い、できることを増やすレジリエンス技術

4．リーン型省人化技術

リーン型省人化技術は、除雪作業における判断・作業プロセスを効率化し、少人数でも安全かつ安定して作業できる体制を構築することを目的とした技術群である。本取組では、以下の４つの支援技術を中心に、出動判断から排雪作業までの一連の業務を省力化している。

① 除雪出動判断支援

気象・路面状況を自動解析し、出動の必要性を早期に判断することで、過剰出動や判断の属人化を防ぐ。

② 凍結防止剤散布出動判断支援

ポットホールやクラックなどの道路損傷部をリアルタイムに検出し、凍結の原因となる箇所を事前に把握することで、凍結事故の未然防止と散布を効率化する。

③ 写真計測による排雪量算定支援

車載映像を3D化し、夏期と冬期の点群差分から堆雪量を自動算定することで、排雪判断を省力化する。

④ 写真計測による過積載判定支援

ダンプ積載状況を画像解析で定量化し、過積載の有無を迅速に判定することで、安全性と作業効率を向上させる。

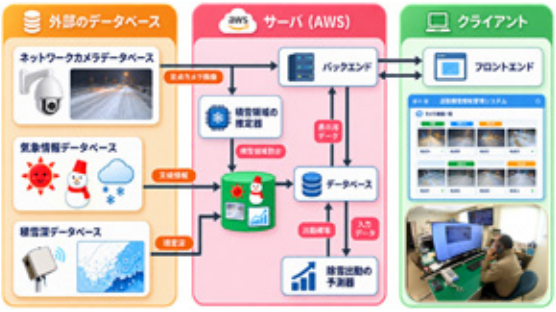
これらの技術を組み合わせることで、除雪作業の判断・計測・管理の各工程を体系的に省人化し、豪雪地域における持続可能な除雪体制の構築に寄与している。

(1) 除雪出動判断支援

本技術は、除雪車両や道路に設置したカメラが捉える映像や気象などの情報からAIがリアルタイムで解析し、路面の積雪・凍結・視界状況などを自動判定する仕組みである（図－２参照）。これにより、従来は深夜や早朝に作業者が巡回して目視確認していた「雪見巡回」をAIが代替し、出動の必要性を自動的に判断できるようになる。

その結果、危険を伴う夜間巡回を大幅に削減でき、少人数でも確実に除雪出動判断を行える体制が整い、夜間雪見巡回の省人化と安全性向上を実現している。

■除雪出動決定支援システムの構成



図－２　事務所での雪見判断・雪見巡回の無人化

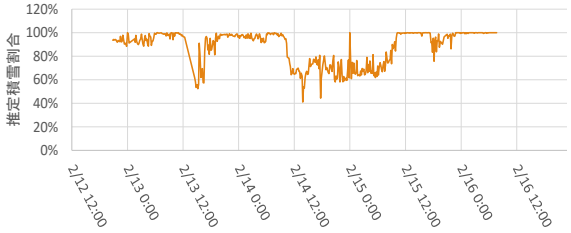
■深層学習を用いた積雪路面画像解析

（図－３，４，５参照）



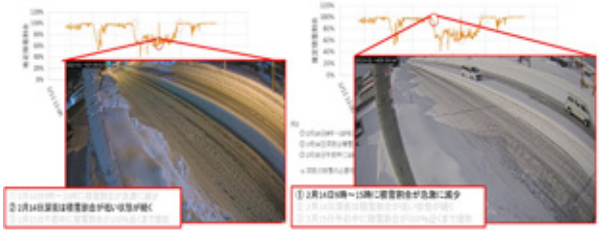
図－３　学習済みモデルアーキテクチャ Unet++ 利用

■画像時系列に対する積雪推定



図－４　積雪予想区グラフ

■カメラ画像に対する推定結果



積雪割合が50%近く減少　　積雪割合が 100%近く増加

図－５　ネットワークカメラ画像

(2) 凍結防止剤散布出動判断支援

本技術は、パトロール時に取得する小型・軽量の車載カメラ映像と GNSS 位置情報を組み合わせ(図－６参照)、エッジAIによりポットホールやクラックなどの道路損傷をリアルタイムに自動検知・評価するものである。これらの損傷部は、降雪や融雪水が流入しやすく、夜間の気温低下によ

って局所的な凍結を引き起こす主要因となる。

検出された損傷データは、損傷度に応じたピンとして地理情報システム（GIS）上に自動マッピングされ、路面の危険箇所を俯瞰的に把握できる。これにより、凍結の原因となる損傷部を事前に特定し、早期補修や凍結防止剤散布などの凍結防止対策を迅速かつ合理的に判断できるため、豪雪地域における凍結事故の未然防止と散布作業の効率化に大きく寄与する。

■車載測定車

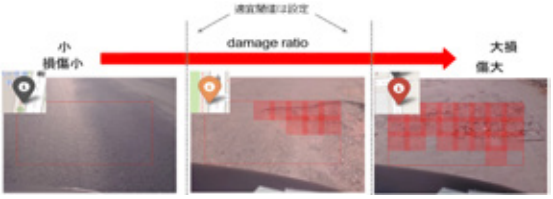


図－６　市販のWEBカメラとGNSSを取り付けた測定車両

車載カメラ映像およびGNSS位置情報を用い、エッジAI（One-Class SVM）により路面の正常・非正常状態（ポットホール、段差、落下物、樹木等）を即時に判定する仕組みを構築した。

■判定

各パッチに対して正常か否かの判定を行い、正常ではないと判定されると赤枠に重畳される（図－７参照）。



図－７　路面損傷度レベル

■モニタリング

リアルタイムに地図上に損傷部がピン表示される画面（図－８参照）は、通信回線を経由し遠隔でもモニタリング行うことが出来る。

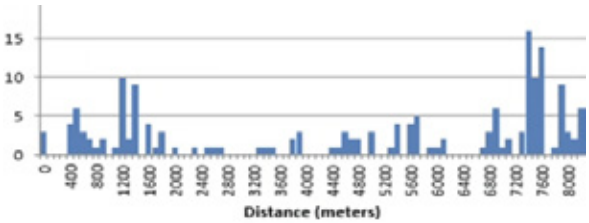
判定結果は損傷度に応じてGIS上にピンとして表示し、路面異常を俯瞰的に把握できるようにした。



図－８　路面損傷度マップ

■CSV出力情報

損傷部の位置（緯度・経度），損傷状態（damage ratio，補修材量）などの表示とともにcsvファイルに記録・帳票出力（図－９参照）が出来る。

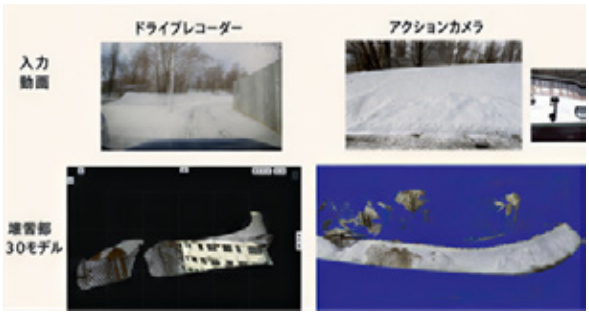


図－９　距離別ポットホールのヒストグラム

(3) 写真計測による排雪量算定支援

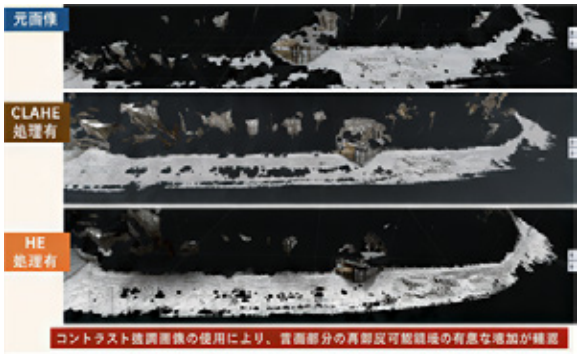
本技術は、車両に搭載したカメラで取得した走行動画を、SfM/MVS により三次元点群として再構築し（図－10,11参照）、夏期の基準地形と冬期の積雪地形の点群差分を比較することで、路肩の堆雪量を自動的かつ省力的に算定する仕組みである（図－12,13参照）。これにより、従来手作業で行われていた堆雪量の計測を効率化し、豪雪地域における排雪判断の高度化と作業負荷の軽減を実現している。

■撮影機材/方法の違いによるモデル精度の検証



図－10　３次元点群化と積雪量算定の自動化

■コントラスト処理の検討

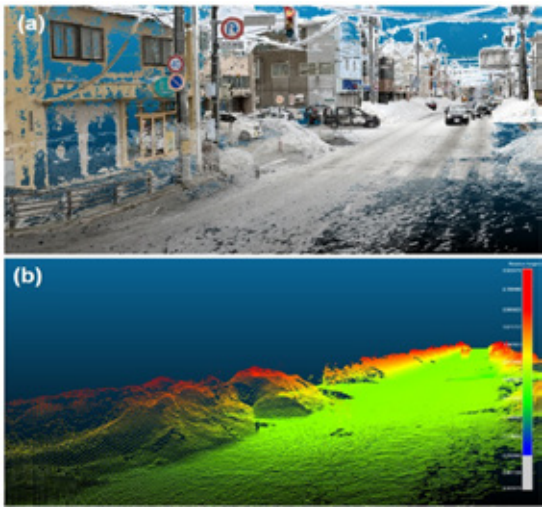


図－11　コントラスト処理方法による生成モデルの違い

■３次元モデルの作成検証



図－12　冬期計測点群



図－13　夏冬点群高さ差分による堆雪高さマップ

(4) 写真計測による過積載判定支援

従来、ダンプの過積載判定は、４～５人の作業者が雪山に上がり、ポール測量で積載体積を計測する必要があり、安全面のリスクと大きな人員負担が課題となっていた。

本技術は、５ｍポールに取り付けたアクションカメラでダンプ周囲を一人で歩きながら撮影し（図－14参照）、その映像を本社へ送信して三次元的に解析することで、積載量を自動算定する仕組みである（図－15参照）。これにより、危険を伴う荷台への乗り込み作業を不要とし、安全性を大幅に向上させるとともに、従来５人で行っていた作業を１人で完結できるため、過積載判定の大幅な省人化と効率化を実現している。



図－14　積載量の測定作業



図－15　積載量の測定結果帳票例

(5) 改善効果

除雪作業として排雪作業は、作業前に排雪量の報告と承諾をもって作業を進めることから、測定の迅速性が必要になる。本試行では、点群活用により作業人員と作業時間の削減効果を測定している（表－２参照）。

表－２　除雪作業と積載量測定の削減量

項目	改善項目	従来測量	写真計測	改善効果
排雪量測定	作業人員（ポール測量）	５名	１名	80％
	測定時間	330分	60分	89％
	計算・書類作成	330分	60分	89％
積載量測定	作業人員（敷均・平坦化）	４名	１名	75％
	測量・撮影時間	60分	３分	95％
	計算・書類作成	30分	10分	67％

５．人間拡張技術

人間拡張技術は、単なる作業効率の向上にとどまらず、高齢作業者の安全確保、身体的・認知的負担の軽減、そして技能継承の促進を目的として設計された支援技術体系（表－３参照）である。作業者が持つ経験や判断力を最大限に生かしながら、その不足部分を技術で補完することで、誰もが安全に、無理なく、継続して活躍できる作業環境を実現する。

表－３　人間拡張技術の構成

拡張機能	設備	目的
身体拡張	PAS	身体負荷の低減
技能判断拡張	VR（没入型）	危険体験学習
認知拡張	新ヒヤリGJ	予兆の可視化
生理拡張	水素吸引イス	疲労・ストレス回復
状態認識拡張	バイタルセンサ	生体状態の把握

(1) アシストスーツの概要と適用可能性

アシストスーツは、腰・肩・下肢などにかかる負荷を軽減するための装着型支援機器であり、内蔵された補助機構が筋力をサポートすることで、作業時の身体的負担を大幅に減らすことができる。重量物の持ち上げ（図－16参照）や前傾姿勢を伴う作業（図－17参照）では、特に腰部への負荷を効果的に低減し、安全性と作業継続性を高める。

実際の重作業（100時間以上）での運用では、作業効率が約20％向上するなど、負担軽減と生産性向上の両面で高い効果が確認されており（表－４参照）、高齢作業者が無理なく作業を続けられる環境づくりに寄与する技術である。



図－16　昇降作業



図－17　中腰作業

表－４　PASによる作業時間削減率

年齢層	削減率
全年齢平均	19.2%
60歳以上	21.4%
20歳～39歳	15.4%

※100時間以上現場試行

(2) VRカメラ：認知レジリエンスの強化

VRカメラは、360度視界を記録し死角や危険箇所を把握しやすくする技術（図－18参照）である。

■効果

- 危険箇所を事前に確認でき、事故を防ぎやすい
- 若手が熟練者の視界を学べ、技能習得が早まる
- 作業前のリスク評価精度向上



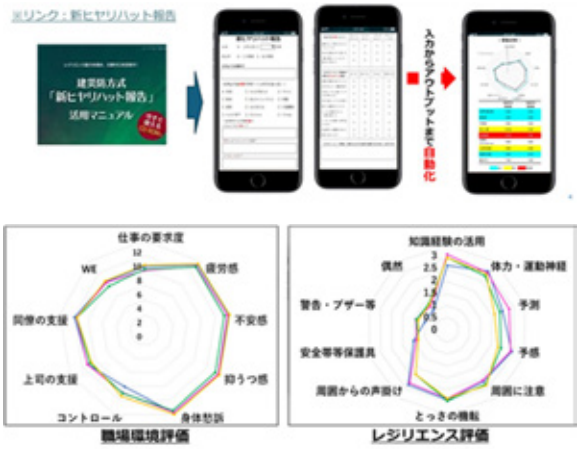
図－18　VRカメラとリスク評価

(3) 新ヒヤリハット・グッドジョブ報告：状況把握レジリエンスの強化

ヒヤリハット・グッドジョブ報告は、従来の「ヒヤリハット（危険に気づいた場面）」に加えて、良い判断や安全につながる行動（グッドジョブ）も記録・共有する仕組み（図－19参照）である。危険の兆候だけでなく、適切な対応や優れた判断を組織全体で共有することで、安全行動を学び合う文化を育てることを目的としている。

■効果

- 危険兆候の早期共有により、事故を未然に防止できる。
- 熟練者の判断・行動が知識として蓄積され、技能継承が進む。
- 情報共有により、作業者間の判断のばらつきが減り、安全レベルが均質化する。



図－19　レジリエンス評価

(4) 水素吸引イス：回復レジリエンス向上

水素吸引イスは、休憩中に水素を吸入して疲労回復を促し、休憩の質を高める支援機器である。水素には、酸化ストレスの軽減に加え、心拍変動のLH／FH成分を低減して自律神経の負荷を和らげる作用が期待されている（図－20参照）。これにより、筋肉のこわばりやだるさの軽減、気分の安定、集中力の回復につながる。

除雪作業のように負荷が蓄積しやすい現場では、短時間の休憩でも効率的な疲労回復が重要であり、水素吸引イスは座るだけで簡便に回復を促せるため、高齢作業者の安全性向上と作業継続力の確保に寄与する。



図－20　水素吸引ストレス低減効果

(5) バイタルセンサ：予兆検知レジリエンス強化

心拍・体温・ストレスという身体の状態を、リアルタイムに連続して計測し、変化をその場で把握できるバイタルモニタリング技術である（図－21参照）。これにより、作業中の負荷や体調の変化を早期に捉え、安全管理や疲労評価に活用できる。

■効果

－熱中症や疲労の兆候を早期に察知
－休憩や配置を最適化し、安全性と効率が向上
－データに基づく判断で組織の精度が高まる



図－21　バイタルセンサとバイタル測定

6．まとめ

本取組は、豪雪・高齢化・人口減少が同時進行する地域社会において、経験を有する高齢作業者が安全に力を発揮し続けられる環境を整備し、除雪現場の安全性・効率性を飛躍的に向上させた点で、次世代の除雪モデルとして高く評価できる。とりわけ、人間中心型DXの理念に基づき、作業者の身体的負荷や認知的負担を軽減しつつ、技能継承を確実に支える仕組みを構築したことは、担い手不足が深刻化する豪雪地域において極めて実効性の高いアプローチである。

また、本モデルは、単なる技術導入に留まらず、現場の安全文化そのものを再設計し、作業者が安心して働ける持続可能な除雪体制を実現した点に大きな特徴がある。こうした総合的な成果が高く評価され、第９回インフラメンテナンス大賞において内閣総理大臣賞の受賞（写真－２参照）につながった。



写真－２　インフラメンテナンス大賞受賞式



写真－３　インフラメンテナンス大賞
内閣総理大臣賞受賞

これらの成果は、豪雪地域が抱える構造的課題に対して、現場に根差した実効性の高い解決策を提示したものであり、その社会的意義は極めて大きい。今後、本モデルが全国のインフラ維持管理へと展開されることで、地域の安全・安心を支える新たなスタンダードとして広く普及していくことが期待される。

7．最後に

本成果の一部は、SBIR フェーズ３ 基金事業（国土交通省・第一分野）の採択事業として、補助を受けて実施したものです。関係各位に深く感謝申し上げます。

また、本取り組みの推進にあたり、立命館大学総合科学技術研究機構 建山和由教授より人間中心型DXに関する総合的なご指導を賜りました。また、道内での展開に向けた道筋を示していただいた旭川市立大学 三上隆学長、一般社団法人北海道産学官研究フォーラム 藤原達也副理事長に深く感謝申し上げます。

さらに、リーン型省人化技術の検討に際し、北海道大学大学院情報科学研究院 金井理特任教員、北海道大学情報基盤センター 山下倫央特任教授、北海道大学大学院情報科学研究院 横山想一郎助教、北海道大学大学院工学研究院 高橋翔准教授より多大なご助言とご協力をいただきました。

加えて、人間拡張技術に関して横浜市立大学医学部 枡久保修名誉教授より貴重なご指導を賜り、一般社団法人仮設工業会 本山謙治技術審議役には多方面にわたりご支援いただきました。

ここに記し、皆様からのご厚情とご支援に深く感謝申し上げます。

執筆者

株式会社堀口組　常務執行役員　　湯浅　勝典
株式会社環境風土テクノ　取締役　須田　清隆
株式会社建設IoT研究所　技師長　　柳瀬　ひろし