

### 3. 除雪作業のレジリエンス能力向上と働き方改善

#### レジリエンスエンジニアリングの試行

株式会社建設 IoT 研究所  
株式会社環境風土テクノ  
株式会社堀口組

○ Jevica  
須田 清隆  
湯浅 勝典

#### 1. 背景

建設現場のAI /ICT化推進による「働き方改革」として、生産性を高めるとともに、「安全性の向上」「品質管理の簡素化」など、多様な課題への取組が求められている。しかし豪雪地の除雪問題の働き方改革への技術開発は、地域中小建設業にとって、人的・資金的制約が大きく、またAI/ICT技術の不足などDX化対応の遅れなどから、その改革が進んでいるとは言いがたい状況にある。

豪雪地の課題である除雪作業を対象にして、人間のメンタルを重視した作業員のAIを活用した生産性向上技術と除雪作業員のレジリエンス能力を高める安全性向上技術の必要性は高くなっている。



図-1 早朝からの視界不良 図-2 早朝からの視界不良

#### 2. レジリエンスエンジニアリング

本試行では、多機能ウェアラブル生体センサー（以後生体センサー）や建災防方式『新ヒヤリハット報告』を感性センサーとして活用し、除雪作業者の生体情報や活動情報を可視化するとともにクラウド上でデータベース化し、生体センサーにおいては危険予知アルゴリズムや生活習慣の分析アルゴリズムをシステムに組み入れることにより①除雪作業者の疲労度評価、②作業ストレス負荷の可視化を図り、③ワークライフバランスの改善を図り、④除雪作業者のレジリエンスを高める除雪作業のレジリエンスエンジニアリングを提案している。

レジリエンスエンジニアリング（図3参照）とは、本山の報告<sup>1)</sup>（2021）によれば安全におけるヒューマンファクターの取組について、人間の負の側面に着目した危険の芽とする「事故防止」の考え方を Safety I、人間の正の側面に着目して変化する

状況に柔軟に対応しながら事故・災害に至らないよう「安全状態の維持」を目指す考え方を Safety II として、Safety I と Safety II を融合し起こりえる事象に対して予見・注視・対処のサイクルを学習することで安全体系の具現化を表している。

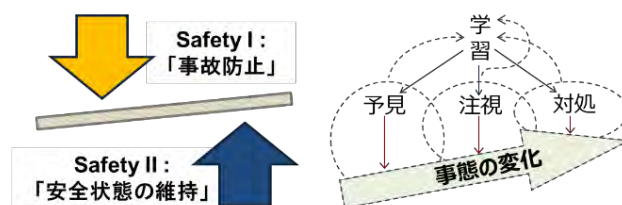


図-3 レジリエンスエンジニアリング概念

#### 3. 事前検討

事前検討では、レジリエンスエンジニアリングにおける経験に裏付けている「事故防止」の考え方の Safety I を「安全に対する身体的な心拍変動や深部温などのフィジカルな感度」として捉え、「安全状態の維持」を目指す予見的な考え方の Safety II を「感覚的に捉えられるワークライフバランスなどのメンタルな感度」として捉えることの有益性を検討している。

##### 3.1 生体センサー

試行で採用した生体センサー（図4参照）は、胸に張り付けることにより心電、心拍、呼吸、皮膚温、深部温、発汗の程度やストレス度（自律神経活性化度）等の種々の生体情報と活動度や姿勢などのモーション情報（XYZの加速度）ならびに環境情報その他の一次情報（図5参照）をリアルタイムに精度よく収集し、また収集した各種データは低消費電力 Bluetooth 無線規格（BLE5.0）により被験者が携帯するスマートフォンに送信、蓄積される。また、スマートフォンを経由してクラウドサーバーに送信、蓄積され遠隔臨場することが可能にしている。本社や現場管理者は、除雪作業の現場から離れた位置からで、除雪作業において、いつ、どこで、だれがどのような負荷作業を行っているか、その作業員の体調管理を可能にしている。



図-4 多機能ウェアラブル生体センサー (Vitalgram®CT2)



図-5 クラウドで管理している生体情報と活動度

### 3.2 感性センサー

感性センサー (図6参照) は、「ヒヤリハット」を撲滅すべき「危険の芽」として捉えるだけでなく、「事故・災害に至らずリカバリーできた成功体験」でもあると位置付け、その背後要因 (作業負荷、心身の状態、コミュニケーション、働きがい等) とともに、事故・災害に至らずリカバリーできた背景等を分析し、現場、職種単位で災害防止に必要なレジリエンス能力 (人間力、現場力) の測定を行うものである。



図-6 新ヒヤリハット報告の入力装置

## 4. 練度とレジリエンス

除雪運転者の練度の違いによる心電、心拍変動 (LF/HF) などのバイタル値とともに「ヒヤリハット」発生の背後要因とレジリエンス能力を捉える試行実験を行う。

### 4.1 試行実験 (夏期)

試行実験 (表1参照) では、夏場の重機作業 (図7参照) での練度の違いによる動作と生体反応を捉えたレジリエンスエンジニアリングについて検討する。

表-1 実験内容

実験内容	被験者	備考
生体センサー	重機作業員 4 人 (熟練 2 名, 未熟練 2 名)	ブルドーザー, バックホウ



図-7 ブルドーザー操作時の生体測定 (内側・外側)

### 4.2 試行実験結果

#### (1) 加速度 (XYZ)

試行実験で運転動作を XYZ の加速度 (図8参照) で捉えた場合、未熟練者が熟練者に比べて、立上げからの乱れや作業時の乱れなど大きいことなど動作の不安定感が強いことが確認された。

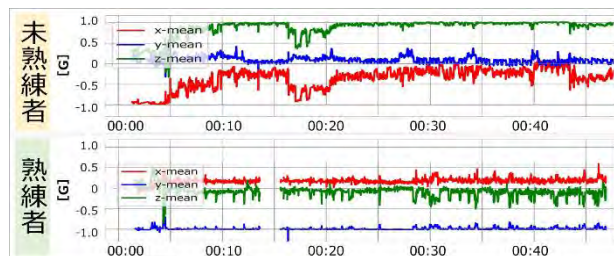


図-8 熟練度の違いによる加速度 (予備実験)

#### (2) 心拍数、心拍変動 (LF/HF)

熟練者は、心拍状態が標準 65~75 に対して 100 前後 (図9参照) でも心拍変動 (LF/HF) の変化 2.0 前後と一定の緊張感があっても比較的安静状態に近く、緊張や興奮状況の神経反応が低いと捉えられる。一方、未熟練者 (若年者) は心拍数が 100 前後であっても心拍変動 (LF/HF) 平常時 2 から 10 を超えており、緊張感とストレス状況下での興奮状態やパニック状況などの神経反応の兆候 (図10参照) と伺える。

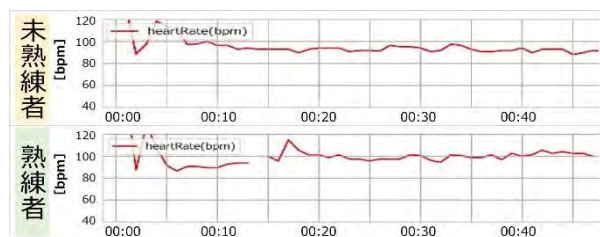


図-9 熟練度の違いによる心拍数 (予備実験)

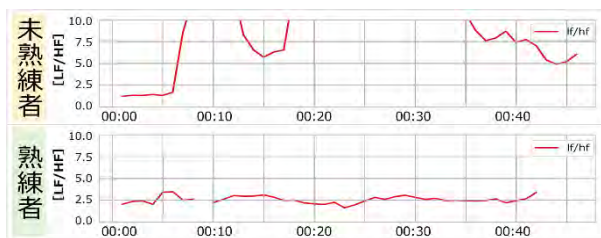


図-10 熟練度の違いによる心拍変動（予備実験）

### 4.3 考察

練性の違いによる動作反応と生体反応には、未熟練者に観られる加速度の乱れ（図 8 参照）や心拍数、心拍変動（LF/HF）が高い緊張感とパニック状態が継続するなどの状況（図 10 参照）が観察され、これはパニックになっている原因自体に操作ミスなどのヒヤリハットが発生していると想定すると、その対応方法が Safety I 状態を表す指標になると考察できる。

一方、熟練者に観られる加速度が比較的に安定し、心拍変動（LF/HF）が高く変動しても短時間で低い状態に移行し安定した状態の維持が図れておりパニック状態への対応が高いと想定される。これは、生理的反応として「安全状態の維持」を求めるものと考えられ Safety II 状態を表すものと考察される。以上の結果を踏まえると、重機操作でのレジリエンス能力を評価する上で生体反応の活用が有効であると考えられる。

## 5. 除雪作業実験（冬期）

除雪作業実験では、試行実験の結果を活用して除雪作業でのストレス評価からレジリエンスの測定実験を行っている。実験では、20 m 間隔に設置した停止線間を除雪重機で往復操作した時の重機作業（図 12 参照）を行い、停止線に対する停止の際の誤差と一往復当たりの操作時間を計測している。重機オペレータ（4 名）に生体センサーを取り付けて、オペレータの動作 XYZ 運動、心拍数、心拍変動（LF/HF）などを測定し、作業動作とストレス状態について検討している。同時に除雪部隊（30 人）に対して職場環境やレジリエンス能力を測る感性センサーによるオンラインアンケート調査を実施している。



図-11 除雪技能実験

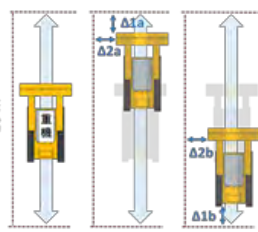


図-12 実験パターン

## 5.1 除雪作業実験結果

加速度においては（図 13 参照）、熟練者は z 方向の動作として体を沈ませながら重機操作しているのに対して、未熟練者は沈ませる動作が確認されていない。熟練者は、心拍数が 80 を基準に変動しているのに対して未熟練者は 100 を基準に変動（図 14 参照）している。熟練者に比べて未熟練者の心拍数、心拍変動の変化（図 15 参照）が大きく緊張感が強くストレスが大きいことが推察される。

また、効率性においては、停止精度や停止時間（表 2 参照）において、未熟練においては作業時間も長く、操作精度も悪いなど、緊張感やストレスが過大になると生産性にも影響することが推察される。

表-2 停止時間と距離精度測定

	一往復当たりの平均作業時間	停止精度（平均）	
		前進時	後退時
未熟練	23 秒	4.33 cm	56.67 cm
熟練	18 秒	0.00 cm	17.67 cm

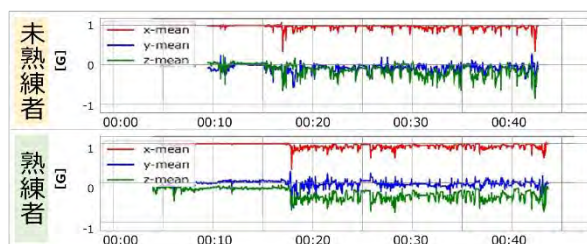


図-13 熟練度の違いによる加速度

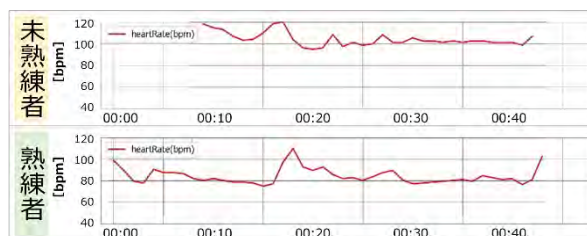


図-14 熟練度の違いによる心拍数

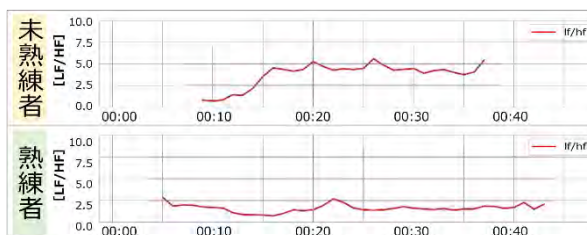


図-15 熟練度の違いによる心拍変動（LF/HF）

## 5.2 新ヒヤリハット報告調査

新ヒヤリハット報告の記録結果を集計分析した結果を以下にまとめている。

### (1) 年齢別背後要因

除雪の職場では、経験年数が上がるほど「仕事のコントロール（裁量度）」が高い傾向にあり、年

配の作業員のモチベーションの高さが確認される。また「WE (ワークエンゲージメント)」の視点では、経験年数 20~30 年が最も高く、子供の教育など生活面での負担が大きい経験年数 10~20 年が相対的に低くなっていることが確認できる (図 16 参照)。

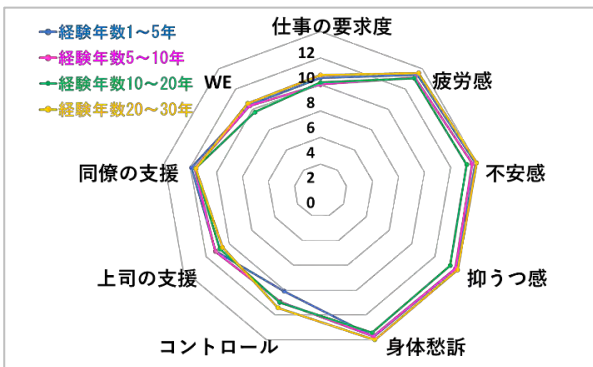


図-16 職場における背後要因の年齢別比較

## (2) 年齢別レジリエンス

経験年数 5~30 年の職員は「知識経験の活用」「周囲に注意」が高く、周囲に注意しながら、災害を回避するレジリエンス力の高さが想像できる (図 17 参照)。

また、経験年数 1~5 年は「周囲からの声掛け」「予測」「予感」が高く、経験が少ない若い作業員には、危険な場面に遭遇した時に、仲間からの声掛けサポートなどコミュニケーションの良好さに助けられているものと推察できる。

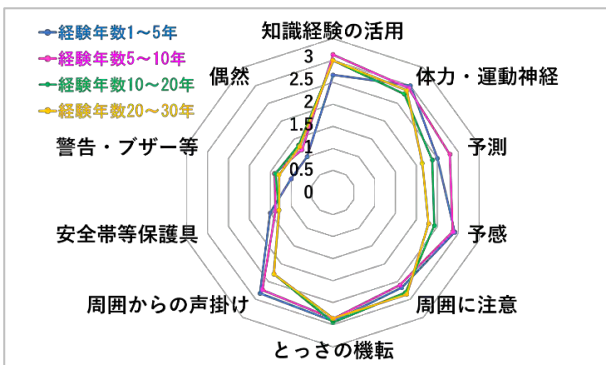


図-17 職場におけるレジリエンスの年齢別比較

## 6. まとめ

除雪作業で実施した生体センサーと感性センサーを活用したレジリエンスエンジニアリングとしての有効性を以下にまとめている。

- (1) 生体センサーによる生体反応と動作反応では、例えば練度が低いと不安定な動作とともに緊張・興奮状態が観察されるなど、練度によるストレス要因が検知できると考察される。特に今回の試行では、運転動作において、操作精度を悪く、作業速度が遅いことがストレスの要因になっていると思われる、生体センサーの心

拍変動 (LF/HF) の変化点や頻度などでパニック状態 (ヒヤリハットの発生) を指標化することで通常時に気付かないヒヤリハットの検知を可能にすると考えられる。

- (2) 感性センサー (新ヒヤリハット報告) からは「除雪作業」という高ストレス作業のなかで、そのストレスに対応する方法として使命感の高い職場風土を形成することが重要になることが確認された。特に、未熟練ほどストレスを回避するレジリエンス能力が低いと思われる、動作や心拍変動値 (LF/HF) を指標化すればレジリエンスへの意識づけに繋がるのが期待される。
- (3) 感性センサーと生体センサーの組み合わせによって、遠隔臨場での作業員の生産活動のストレス状態と健康状態をリモート監視・管理することで、レジリエンス能力を高め安全性の高い生産空間を創造するレジリエンスエンジニアリングの有益性は大きくなると考える。

## 7. 最後に

本研究は、除雪作業におけるメンタルヘルスをテーマにしているが熟練度を操作動作などの加速度などで可視化することで、若年層に対する分かりやすく、操作技術を伝授し、若年層のレジリエンス能力を醸成する職場環境などを創出することで、今後の除雪作業の働き方が変わってくると期待するものである。

本研究開発を進めるに当たって生体センサーについては開発者のアフォードセンス (株) の樋口行平氏、新ヒヤリハット報告に関しては一般社団法人仮説工業会の本山謙治氏、田村和佳子氏において現地での直接指導などを頂いたことを感謝する次第である。

## 参考文献

- 1) 本山謙治、施工の安全対策の深化 建災防方式新ヒヤリハット報告を活用した建設業における安全衛生管理DXの方向性について、建設マネジメント技術Vol. 523, p. 8-15, 2021
- 2) 須田清隆、金井理、新型コロナ禍でのi-Constructionと働き方改善 —中小建設業でのリーンマネージメントと労働環境改善試行」JACIC情報124号, 2021
- 3) 須田清隆他: 『『AI・IoTを活用した除雪作業の省人化と安全性向上』に関する報告 - 除雪作業のレジリエンス能力向上と働き方改革 -』JACIC情報128号, 2023