

路面整正作業の定量化に関する基礎的検討

国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 寒地機械技術チーム ○新保 貴広
高本 敏志
村上 和也

除雪工事を取り巻く環境として、オペレータの高齢化と担い手不足により熟練者が減少し、若手オペレータへの除雪技術の継承が課題となっている。特に路面整正は熟練を要する作業のため、若手オペレータが最適な路面整正を実施するには、操作支援が必要である。そこで、操作支援を検討するにあたり、除雪グレーダの運転室内の作業音及び振動に着目し、路面整正作業を定量的に把握可能か検討したので報告する。

キーワード：除雪、路面整正作業

1.はじめに

除雪工事を取り巻く環境として、オペレータの高齢化と担い手不足により熟練オペレータが減少し、若手オペレータへの除雪技術の継承が課題となっている（図-1）¹⁾。

特に路面整正作業は、施工管理の指標が明確化されていないため、除雪後の路面の仕上がりはオペレータの判断に委ねられているのが現状である。

限られた予算の中で効率的な除雪作業を行うためには、熟練者でなくても最適な路面整正作業が実施できるよう、操作を支援する必要がある。

そのためには、路面整正作業を定量的に把握し、オペレータの操作をリアルタイムに支援する技術が必要である。

2.各種要素の抽出

路面整正作業を定量的に把握するためには、ブレード押付力、除雪速度、雪氷深さ、運転室内の作業音・作業振動、等の路面整正作業に関連する各要素の計測が必要と考えられる（図-2）。

路面整正作業時、オペレータは路面整正装置の状態を目視で確認するほか、ブレードが路面や圧雪面に接触した際の音の大きさや音質の違い、ハンドルやシートから伝わる振動の変化、アクセルペダルを踏み込んだ際に感じる走行抵抗等により、路面整正装置の負荷状態を確認し作業を行っている²⁾。

路面整正装置のブレード状態や押付力の確認については、ブレード状態表示装置や自動制御装置で実用化されたものがあり³⁾、オペレータの操作支援に一定の効果が認められるものの、熟練オペレータはこれらの装置を活用しつつも作業音や作業振動等、オペレータ自身の体感情報と経験を基に作業を行っているのが実態と言える。

このことから、オペレータが実際に感じている、運転室内の作業音・作業振動に着目し、路面整正作業を定量的に把握可能か検討することとした。

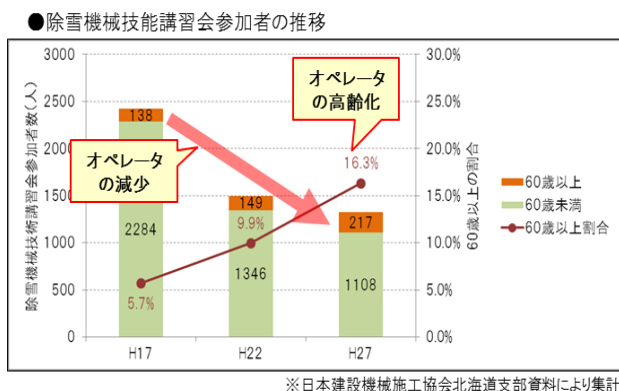


図-1 除雪機械技能講習会参加者の推移

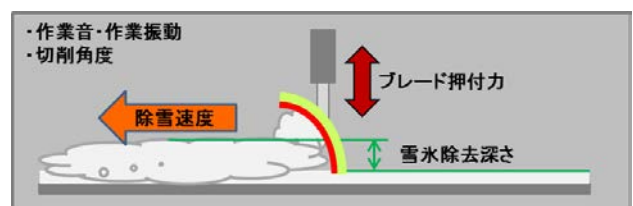


図-2 路面整正作業把握の各種要素のイメージ

3.作業音・作業振動計測試験

(1)試験内容

作業音・作業振動の計測に使用した精密騒音計の仕様を表-1に、振動レベル計の仕様を表-2に示す。

表-1 精密騒音計 仕様

名称型式	精密騒音計 NL-62
適合規格	計量法精密騒音計 JIS C 1509-1 : 2005 クラス 1
測定機能	選択された時間重み付け特性、周波数重み付け特性にて下記項目を同時測定
測定時間	10秒、1、5、10、15、30分、1、8、24時間および手動で任意の時間を設定可能 オートストア時 最長1 000時間
測定周波数範囲	1 Hz~20 kHz
測定レベル範囲	A特性 25 dB~130 dB C特性 33 dB~130 dB
	G特性 43 dB~130 dB Z特性 50 dB~130 dB
	C特性ピークサウンドレベル 60 dB~141 dB
	Z特性ピークサウンドレベル 65 dB~141 dB

表-2 振動レベル計 仕様

名称型式	振動レベル計 VM-55	
適合規格	計量法 振動レベル計 JIS C 1510:1995 JIS C 1517:2014	
測定機能	3方向同時測定が可能 振動レベル Lvおよび振動加速度レベル Lva 振動レベルおよび振動加速度レベルの最大値ホールド	
測定時間	ストアモードManual時の測定時間 設定された測定時間で演算測定が可能 500秒、10秒、1、5、10、15、30分、1、8、24時間 ユーザ設定 (1~59 s、1~59 m、1~24 h)	
測定周波数範囲	振動レベル	1~80 Hz
	振動加速度レベル	1~80 Hz
測定レベル範囲	振動レベルの鉛直方向	25~129 dB
	振動レベルの水平方向	30~122 dB
	振動加速度レベル	30~129 dB

計測対象は、除雪グレーダ(写真-1)とし、運転室内の上部付近に精密騒音計(写真-2)を、下部側方の鉄製フレームに振動レベル計(写真-3)を取り付け、アイドリング、回送、除雪作業時の作業音・作業振動の計測試験を行った。

試験は平成29年2月16日に、アイドリング及び除雪作業の計測を民間の除雪基地構内で、回送の計測を近隣の市道で行った。なお回送の計測は乾燥状態と圧雪状態の路面で行った。

計測回数は、アイドリングを2回、回送を4回、除雪作業を3回行った。



写真-1 除雪グレーダ



写真-2 精密騒音計 取付状況

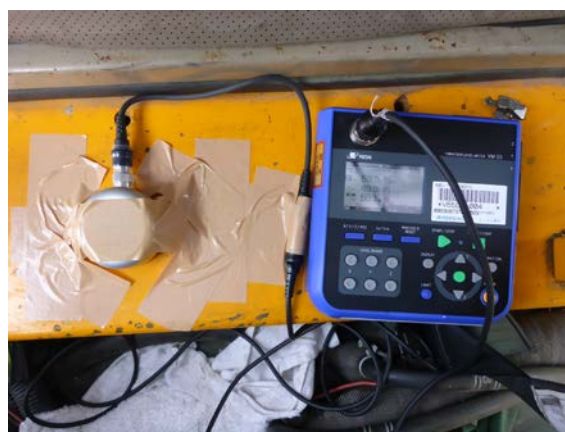


写真-3 振動レベル計 取付状況

(2)データ分析方法

作業音・作業振動の発生源は、エンジン、車両駆動部、タイヤと路面、路面整正装置のエッジと路面との摩擦等、多岐にわたる。

そこで、周波数分析を行い作業音・作業振動の特徴及び傾向を把握することとした。

周波数分析には、音・振動の感覚量の評価に適したオクターブバンド方式と、音・振動の物理量の評価に適したFFT(高速フーリエ変換)方式の2通りがある。オ

ペレータが体感する作業音・作業振動を評価するため、オクターブバンド方式を採用した。

図-3にデータ処理の一例を示す。

周波数分析の方法は、対象の音源・振源が発生している時間帯のデータを1/3オクターブ分析したものを平均する平均処理と、音圧レベル・振動レベルが最大値のデータを1/3オクターブ分析するピーク処理の2通りで行った。

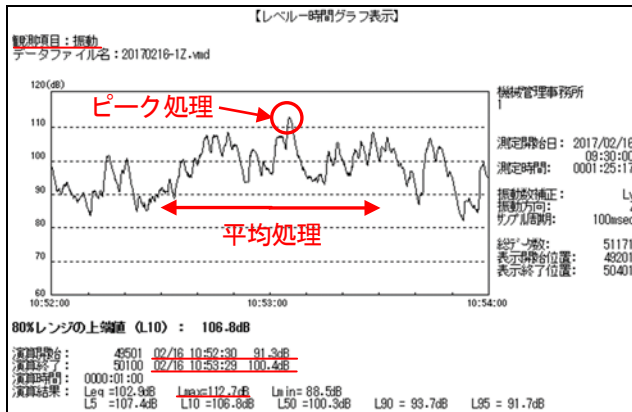


図-3 データ処理例

(3)作業音 周波数分析結果

(a)アイドリング

図-4にアイドリング時の分析結果を示す。

分析結果は、停止状態にて1回当たり6分間の計測を行い、平均処理をしたデータの2回分の平均である。

アイドリング時の音源は主にエンジンであり、25Hz～31.5Hzの周波数帯が卓越していた。

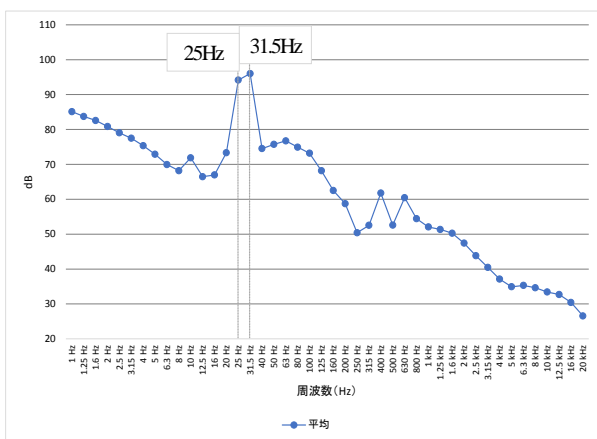


図-4 作業音分析結果 (アイドリング)

(b)回送

図-5に乾燥路、図-6に圧雪路を回送した際の分析結果を示す。

分析結果は、乾燥路を平均速度約30km/h、圧雪路を平均速度15km/hで走行時に、1回当たり5分間計測を行い、平均処理とピーク処理のそれぞれ4回分の平均である。

回送時の音源は、エンジンや車両駆動部、タイヤ走行

音等、複雑に混ざりあっている。

乾燥路の作業音を平均処理した結果では、25Hzが卓越しており、アイドリング時の卓越周波数に近似していることから、エンジンの影響が大きいと考える。

ピーク処理では100Hzが卓越していた。一般的に建設機械の作業騒音の周波数特性は、エンジンの影響により125Hz前後が卓越することから⁴⁾、同様の傾向を示したと考える。

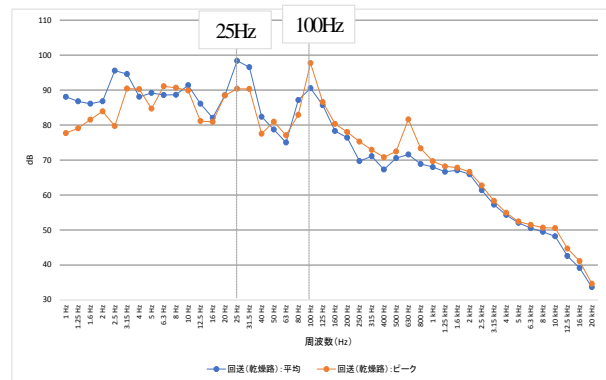


図-5 作業音分析結果 (回送: 乾燥路)

圧雪路の作業音を平均処理した分析結果では、2.5Hzが卓越しているが、一般に0～20Hzは超低周波音域であり、人間の可聴域を外れているため⁵⁾考慮しないものとした。超低周波音域以外では31.5Hzが卓越しており、乾燥路と同様にエンジンの影響が大きいと考える。

ピーク処理では、31.5Hzが卓越し、次に顕著な値を示したのは100Hzであり、乾燥路と同じ傾向を示した。

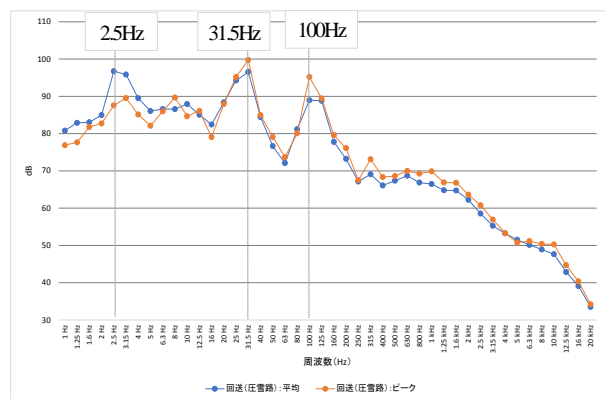


図-6 作業音分析結果 (回送: 圧雪路)

(c)除雪作業

除雪作業の作業音計測は、同一路面状態で路面整正装置の稼働の有無による影響を比較するため、路面整正装置稼働と不稼働の条件で計測を行った(写真-4、5)。

構内の路面状況は圧雪で、雪硬度が73.2kg/cm²、雪密度が1,040kg/m³であった。

延長約50mを平均速度3km/hで除雪作業を行い、作業後に計測した圧雪除去深さは平均3cmであった。



写真-4 除雪作業計測状況（路面整正装置稼働）



写真-5 除雪作業計測状況（路面整正装置不稼働）

図-7に路面整正装置稼働時、図-8に不稼働時の分析結果を示す。

分析結果は、路面整正装置稼働時・不稼働時ともに1回当たり1分間計測を行い、平均処理とピーク処理のそれぞれ3回分の平均である。

除雪作業時の音源は、回送時の作業音に路面整正装置と路面の摩擦音が加わり、より複雑になっている。

路面整正装置稼働時の作業音を平均処理した結果では、25Hzが卓越しており、回送時と同様にエンジンの影響が大きいと考える。

ピーク処理では、20Hzが卓越し、次いで125Hzが顕著なことから、エンジンの影響が大きいと考える。

ピーク処理では、630Hz前後に音圧レベルの上昇が見られた。

路面整正装置不稼働時の作業音を平均処理した結果では、25Hzが卓越しており、ピーク処理では125Hzが卓越していたことから、路面整正装置稼働時と同様にエンジンの影響が大きいと考える。

一方で、路面整正装置稼働時のピーク処理に見られた630Hz前後の音圧レベルの上昇は見られなかった。このことから、路面整正装置と路面の摩擦音が630Hz前後に含まれている可能性があると考えられる。

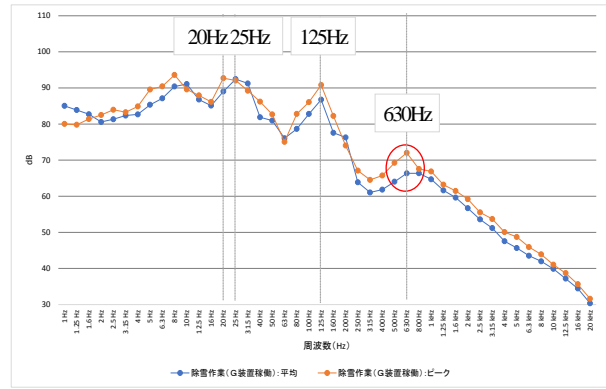


図-7 作業音分析結果（除雪：路面整正装置稼働）

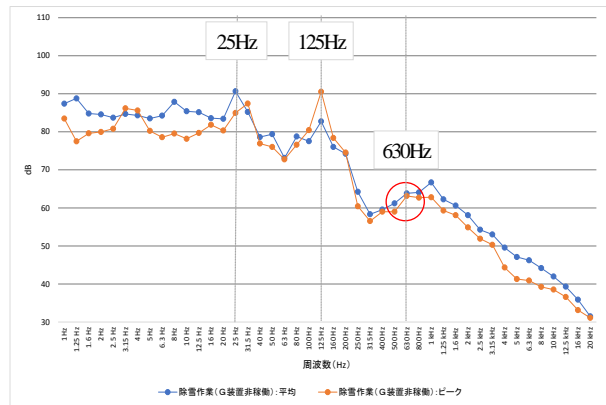


図-8 作業音分析結果（除雪：路面整正装置不稼働）

(4) 作業振動 周波数分析結果

作業振動は、車体左右方向（X成分）、車体前後方向（Y成分）、車体上下方向（Z成分）の3成分を同時に計測している。分析にあたっては、各計測項目における3成分毎の周波数分布の傾向を比較することとした。

(a) アイドリング

図-9にアイドリング時の分析結果を示す。

アイドリング時の作業振動分析は、作業音分析と同じく、1回当たり6分間の計測を行い、平均処理をしたデータの2回分の平均である。

アイドリング時の振動源は、主にエンジンであり、X成分は31.5Hz、Y成分及びZ成分は63Hzが卓越していた。

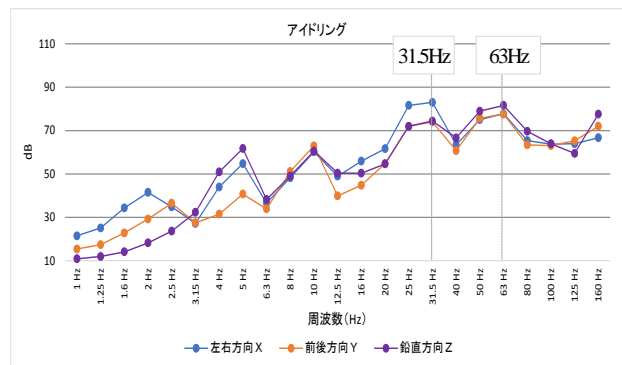


図-9 振動分析結果（アイドリング）

(b)回送

図-10に乾燥路を、図-11に圧雪路を回送した際の分析結果を示す。

分析結果は、乾燥路・圧雪路ともに1回当たり5分間計測を行い、平均処理とピーク処理のそれぞれ4回分の平均である。

乾燥路の作業振動を平均処理した結果では、X成分は2.5Hz、Y成分は160Hz、Z成分は2.5Hzが卓越していた。

ピーク処理では、X成分は2.5Hz、Y成分は63Hz、Z成分は3.15Hzが卓越していた。

振動レベルは、Z成分が最も高く、次いでX成分、Y成分の順に低くなっている。

3成分ともに2.5Hz~3.15Hzの周波数帯の振動レベルが上昇する傾向を示した。

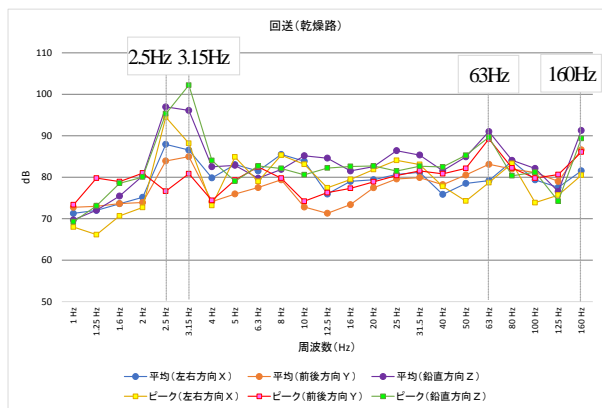


図-10 振動分析結果 (回送：乾燥路)

圧雪路の平均処理結果は、X成分及びY成分は3.15Hz、Z成分は2.5Hzが卓越していた。

ピーク処理では、X成分及びZ成分は3.15Hz、Y成分は63Hzが卓越していた。

振動レベルは、乾燥路と同様の傾向を示した。

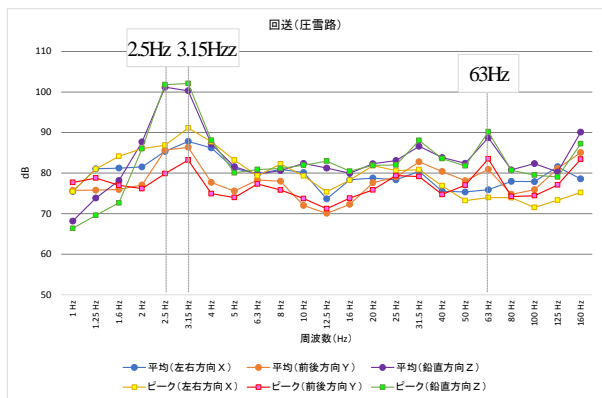


図-11 振動分析結果 (回送：圧雪路)

路面整正装置稼働時の作業振動を平均処理した結果では、X成分は20Hz、Y成分及びZ成分は63Hzが卓越していた。

ピーク処理では、X成分は25Hz、Y成分は160Hz、Z成分は63Hzが卓越していた。

振動レベルは、Z成分が最も高く、次いでX成分、Y成分の順に低くなっている。3成分ともに63Hz及び160Hzの周波数帯の振動レベルが上昇する傾向を示した。

Z成分は、平均処理及びピーク処理ともに8Hz~10Hzの周波数帯で振動レベルの上昇が見られた。

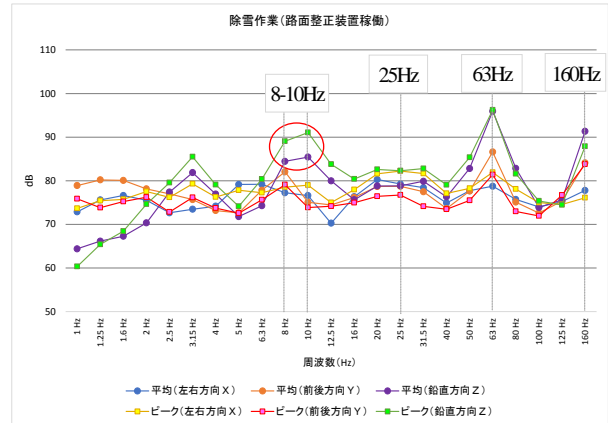


図-12 振動分析結果 (除雪：路面整正装置稼働)

路面整正装置不稼働時の分析結果は、平均処理及びピーク処理ともにX成分は1.25Hz、Y成分は160Hz、Z成分は63Hzが卓越していた。

振動レベルは、路面整正装置稼働時と同様の傾向を示した。

路面整正装置稼働時に見られたZ成分の8Hz~10Hzの振動レベルの上昇は見られなかった。このことから、路面整正装置と路面の摩擦による振動が、8Hz~10Hzに含まれている可能性があると考えられる。

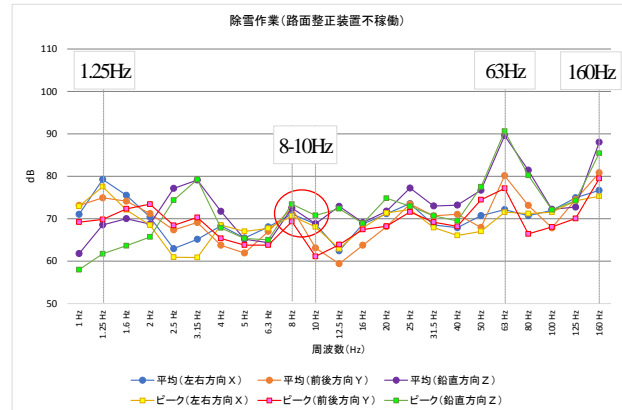


図-13 振動分析結果 (除雪：路面整正装置不稼働)

(c)除雪作業

図-12に路面整正装置稼働時、図-13に不稼働時の分析結果を示す。

(5) 考察

(a)作業音

アイドリング時、回送時、除雪作業時に共通して、25Hz～31.5Hzの周波数帯が卓越しており、回送時、除雪作業時には、25Hz～31.5Hzに次いで100Hz～125Hzの周波数帯が卓越する傾向が見られた。

この低周波数帯の音圧レベルの上昇は、エンジンに起因するものと考える。

除雪作業における路面整正装置稼働の有無による周波数の特性を比較した結果、路面整正装置稼働時に630Hz前後の周波数帯に音圧レベルの上昇が見られた。

異なる作業条件のデータを蓄積し、より詳細な分析を行うことにより、路面整正作業を定量的に把握できる可能性があると考えられる。

また、周波数分析にあたり平均処理とピーク処理を比較した結果、ピーク処理の方がより傾向を把握しやすいことが判った。

(b)作業振動

アイドリング時、回送時、除雪作業時に共通して、63Hzの周波数の振動レベルが上昇する傾向が見られ、エンジンに起因するものと考えられる。

回送時では、2.5Hz～3.15Hzの周波数帯の振動レベルが卓越しており、特にZ成分が顕著な傾向を示した。

除雪作業における路面整正装置の稼働の有無による周波数の特性を比較した結果、路面整正装置稼働時に8Hz～10Hzの周波数帯に振動レベルの上昇が見られた。

異なる作業条件のデータを蓄積し、より詳細な分析を行うことにより、路面整正作業を定量的に把握できる可能性があると考えられる。

また、作業音と同様に、平均処理よりピーク処理の方がより傾向を把握しやすいことが判った。

4.まとめ

熟練オペレータでなくても、最適な路面整正作業を行うには、オペレータの操作をリアルタイムに支援する必要がある。

操作支援を検討するにあたり、路面整正作業に関連する各種要素の中から、オペレータが運転室内で実際に感じている作業音・作業振動に着目し、路面整正作業を定量的に把握可能か検討した。

作業音及び作業振動を周波数分析した結果、路面整正作業時に特定の周波数帯にて、音圧レベルや振動レベルの上昇が確認できたことから、より詳細な周波数分析を行うことにより、路面整正作業を定量的に把握できる可能性があると考えられる。

今回行った除雪作業の計測試験は、作業音・作業振動の基礎的な分析方法の検討及び傾向把握を目的に構内で実施した。今後は、一般道路における実際の除雪作業にて作業音・作業振動の計測を行い、データを蓄積するとともに、作業音・作業振動以外の要素についても検討を行い、路面整正作業の定量化に関する研究を進めていく。

謝辞：除雪グレーダの作業音・作業振動の計測試験にご協力をいただいた札幌建設運送株式会社の関係各位に心から感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 北海道開発局：除雪現場の省力化による生産性・安全性の向上に関する取組プラットフォーム(第1回), 2017. 3
https://www.hkd.mlit.go.jp/ky/jg/gi_jyutu/splaat0000010dmm-att/splaat0000010ikk.pdf
- 2) (社)日本建設機械化協会北陸支部雪氷部会：経験者から学ぶ除雪車の運転操作上達のかんどころ, 2011. 4
- 3) 建設機械：除雪トラック、除雪グレーダ用アタッチメント, 協和機械製作所 室谷 雅之, 2015. 5
- 4) 山崎建設株式会社：建設機械の騒音と振動
<http://www.yamazaki.co.jp/data/school/env/vb/ech1.html>
- 5) 環境省 水大気環境局 大気生活安全室：よくわかる低周波音
<https://www.env.go.jp/air/teishuha/yokuwaku/full.pdf>