

路面整正作業の効率化に資する操作支援に関する研究

研究予算：運営費交付金

研究期間：平 28～令 1

担当チーム：寒地機械技術チーム

研究担当者：片野浩司、牧野正敏、山口洋士、
新保貴広、飯田美喜

【要旨】

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。特に路面整正作業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。

本研究では、操作支援を検討するにあたり、除雪車の運転室内及び路面整正装置近傍の作業音及び作業振動に着目し、路面整正作業を定量化するとともにそれらを活用した操作支援技術を検討したので報告する。

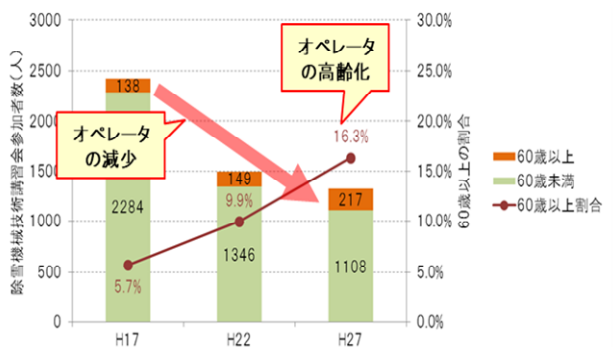
キーワード：除雪機械、路面整正作業、作業支援、振動・音響解析

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¹⁾(図-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。



※日本建設機械施工協会北海道支部資料により集計

図-1 除雪機械技能講習会参加者の推移

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、圧雪除去厚さ、除雪作業の作業音・

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である(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。しかし、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した。

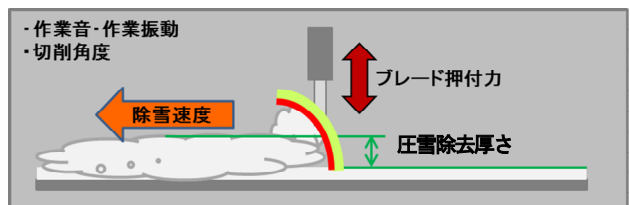


図-2 路面整正作業把握の各種要素のイメージ

3. 作業音・作業振動計測

3.1 試験内容

路面整正作業の作業音・作業振動の計測は、除雪グレーダ(写真-1)を対象とし、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、除雪作業時の計測試験を行った。



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

アイドリング及び除雪作業の計測試験は、民間の除雪基地構内で、回送の計測試験は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。

3.2 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。今回は、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。

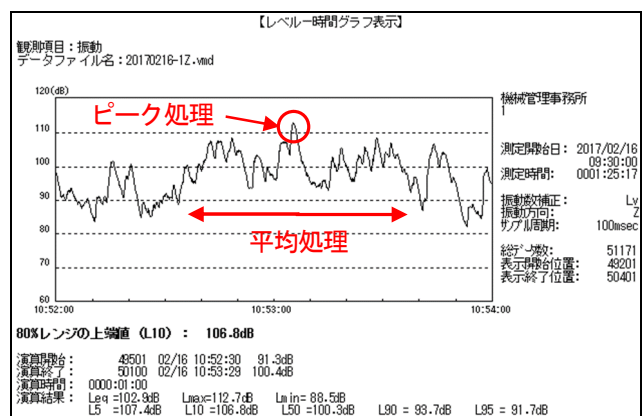


図-3 データ処理例

3.3 作業音周波数分析結果

3.3.1 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。

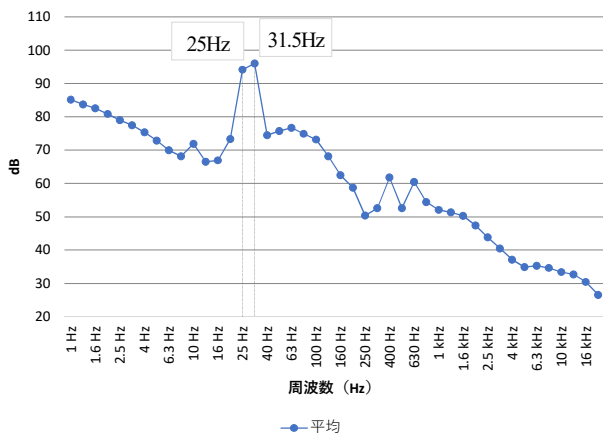


図-4 作業音分析結果（アイドリング）

3.3.2 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、タイヤ走行音など、多岐にわたっている。

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。

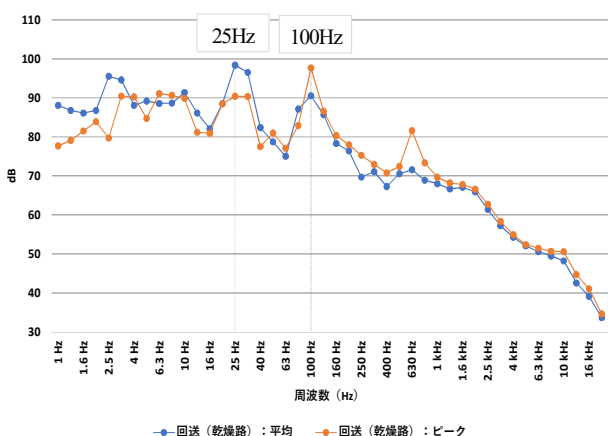


図-5 作業音分析結果（回送：乾燥路）

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⁹⁾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。

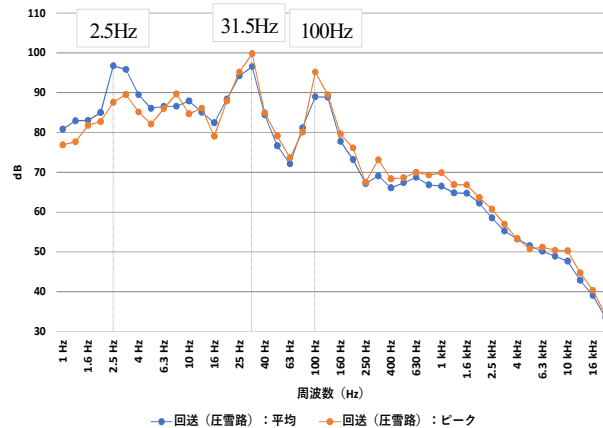


図-6 作業音分析結果（回送：圧雪路）

3.3.3 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使用の有無による影響を比較するため、路面整正装置使用と不使用の条件で計測を行った（写真-4）。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厚さは平均3cmであった。



写真-4 除雪作業計測状況（路面整正装置使用）

図-7に路面整正装置使用時、図-8に不使用時の分析結果を示す。

分析結果は、路面整正装置使用時・不使用時ともに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

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圧雪路面や舗装路面の摩擦音等が加わり、多様化している。路面整正装置使用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。また、630Hz前後に音圧レベルの上昇が見られた。

路面整正装置不使用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、路面整正装置使用時と同様にエンジンの影響が大きいと考える。

一方で、路面整正装置使用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等が630Hz前後に含まれている可能性があると考えられる。

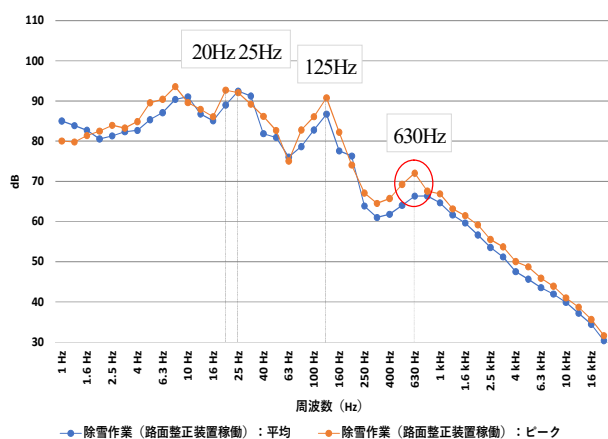


図-7 作業音分析結果（除雪：路面整正装置使用）

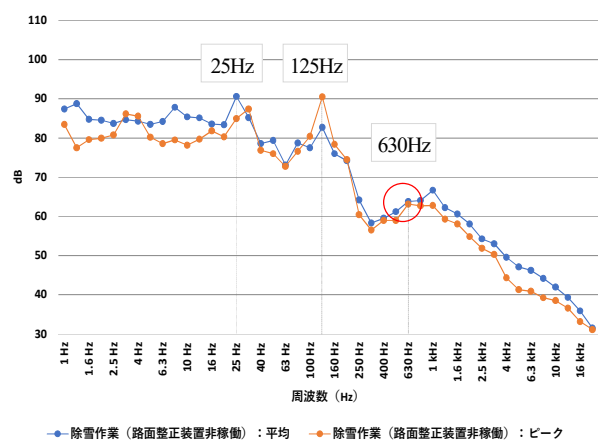


図-8 作業音分析結果（除雪：路面整正装置不使用）

3.4 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。

3.4.1 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、作業音分析と同様、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回分を平均した。

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。

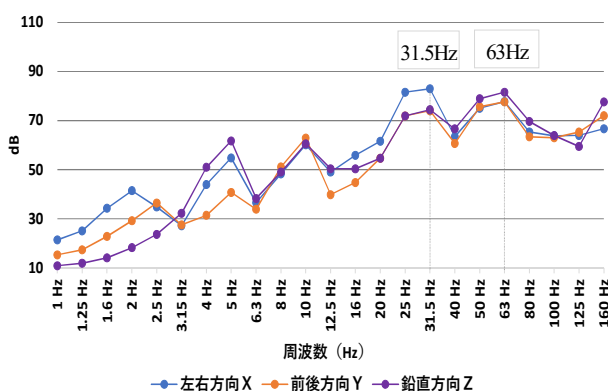


図-9 作業振動分析結果（アイドリング）

3.4.2 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。

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。

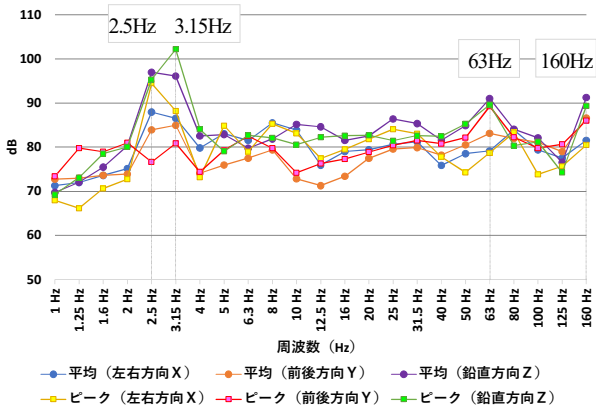


図-10 作業振動分析結果（回送：乾燥路）

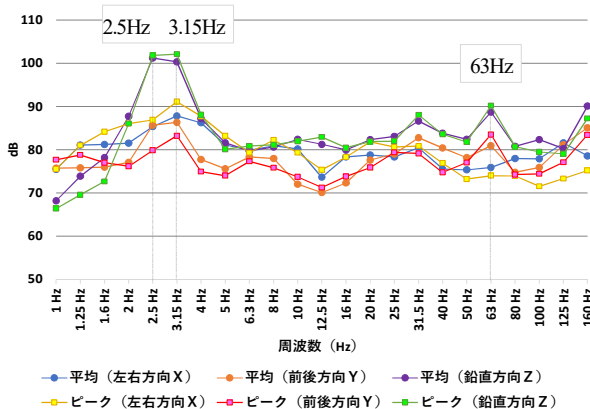


図-11 作業振動分析結果（回送：圧雪路）

3.4.3 除雪作業

図-12 に路面整正装置使用時、図-13 に不使用時の分析結果を示す。

路面整正装置使用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。

路面整正装置不使用時の分析結果は、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、路面整正装置使用時と同様の傾向を示した。

路面整正装置使用時に見られた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等による振動が、8Hz～10Hzに含まれている可能性があると考えられる。

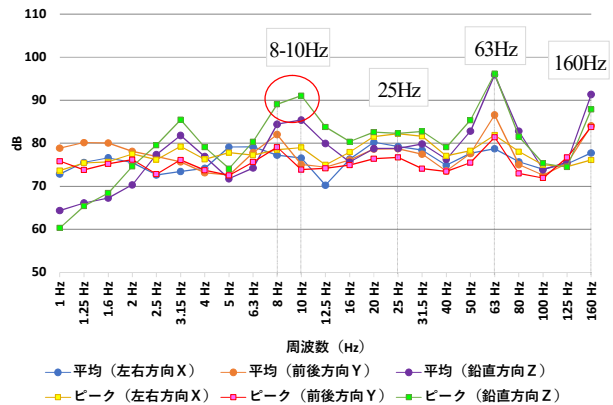


図-12 作業振動分析結果（除雪：路面整正装置使用）

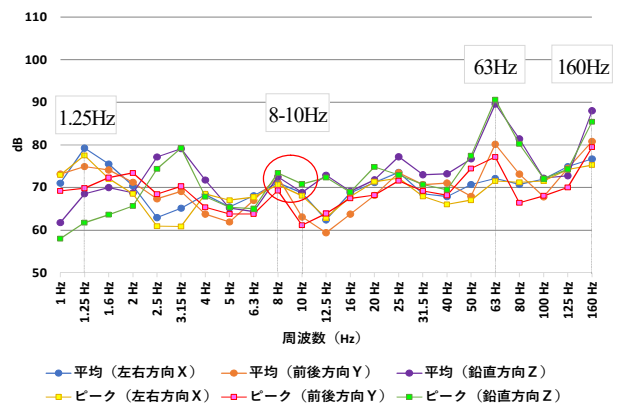


図-13 作業振動分析結果（除雪：路面整正装置不使用）

3.5 作業音・作業振動計測の考察

3.5.1 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られる。

路面整正装置使用の有無による周波数の特性を比較した結果、路面整正装置使用時に630Hz前後の周波数帯に音圧レベルの上昇が見られた。そのため、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わかった。

3.5.2 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する。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使用の有無による周波数の特性を比較した結果、路面整正装置使用時に8Hz～10Hzの周波数帯に振動レベルの上昇が見られた。そのため、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する。

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わかった。

3.6 作業音・作業振動計測のまとめ

路面整正作業の作業音と作業振動の周波数分析を行った結果、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、路面整正作業を定量的に把握できる可能性があることがわかった。ただし、路面整正装置の押付力等の作業条件や圧雪厚さ等の路面条件は考慮していないため、作業条件及び路面条件の計測を行い、作業音・作業振動との相関性を検証し、定量化に向けた検討をすることとした。

4. 路面整正作業定量化検討

4.1 試験内容

路面整正作業の定量化検討にあたっては、除雪トラック（写真-5）を対象機械とした。除雪トラックは除雪グレーダと並ぶ一次除雪の主力機械であり、国土交通省北海道開発局における除雪機械では配置台数が最も多い除雪機械である。除雪トラックのベース車両には、リーフスプリング式サスペンションと運転室にキャブサスペンションが装備されており、建設機械をベースとする除雪グレーダよりも運転室内の振動環境は良好と言える。以上の構造的な相違により除雪トラックは除雪グレーダに比較して作業音が届きにくいと考えられる。そこで、運転室内の騒音計・振動計（写真-6）のほかに、路面整正装置近傍に音響計測用のマイクロフォン及び振動計測用の加速度計（写真-7）を設置した。

路面整正装置のブレード押付力及び切削角度は、運転室内の作業装置制御BOXから圧力センサ等の信号を分岐し、データロガー（写真-8）に記録できるようにした。



写真-5 除雪トラック



写真-6 運転室内機器設置状況

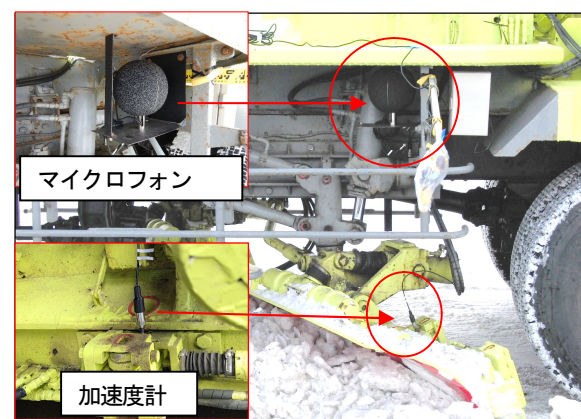


写真-7 マイクロフォン及び加速度計設置状況

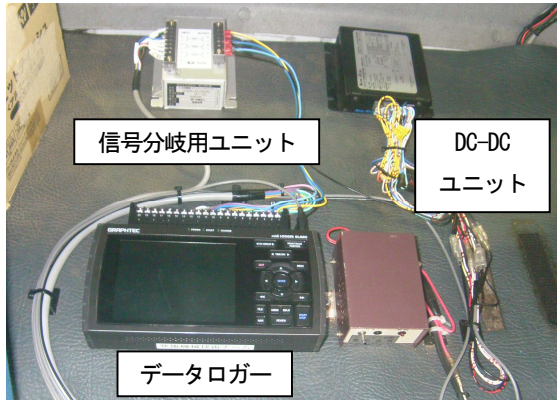


写真-8 ブレード押付力用データロガー



写真-10 圧雪路面計測状況

試験は寒地土木研究所苦小牧試験道路で行った。試験道路の4車線区間に延長400mの圧雪路面を形成し、100m毎に4分割した16区間を設定した。図-14に試験場所平面図を示す。

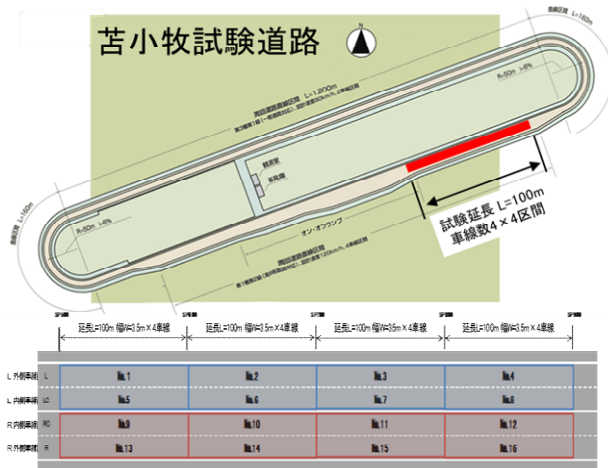


図-14 試験場所平面図

圧雪路面の計測は、除雪作業前後の圧雪厚さを計測し、除雪作業により除去された圧雪の厚さを管理した。また雪硬度及び雪密度を計測した。写真-9に試験区間状況、写真-10に圧雪路面計測状況を示す。



写真-9 試験区間状況

除雪トラックによる路面整正作業の計測試験は、除雪作業を16回、圧雪路面の回送を2回、舗装路面の回送を2回行った。写真-11に路面整正作業計測試験状況を示す。



写真-11 路面整正作業計測試験状況

4.2 作業音響及び作業振動の周波数分析

路面整正作業の定量化検討に向けた作業音・作業振動の周波数分析にあたっては、押付力や圧雪厚さ等との相関分析を考慮し、音・振動の物理量の評価に適したFFT（高速フーリエ変換）方式を採用した。また、周波数分析の方法は、対象の音源・振源が発生している区間のデータを平均する平均処理で行った。

運転室内及び路面整正装置近傍の音響・振動について、除雪作業時及び回送時の周波数特性を分析した。

4.2.1 運転室内の作業音響分析結果

図-15に除雪作業時、図-16に回送時の周波数分析結果（代表例）を示す。

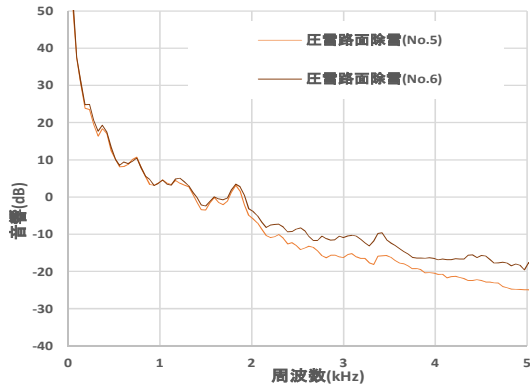


図-15 運転室内作業音響の周波数特性(除雪)

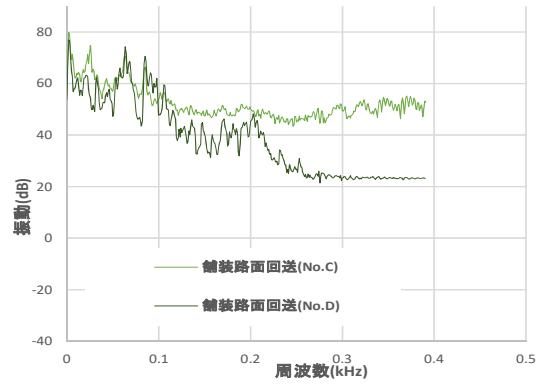


図-18 運転室内作業振動の周波数特性(回送)

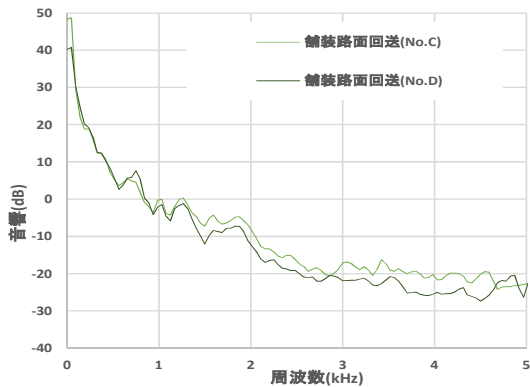


図-16 運転室内作業音響の周波数特性(回送)

回送時及び除雪作業時ともに、30Hz 前後がピーク周波数であり、他の周波数領域の信号と比べてレベルが大きいため、エンジンの影響を強く受けていると考えられる。

4.2.2 運転室内の作業振動分析結果

図-17 に除雪作業時、図-18 に回送時の周波数分析結果(代表例)を示す。

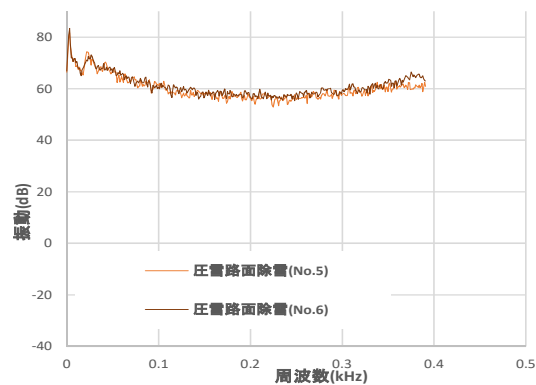


図-17 運転室内作業振動の周波数特性(除雪)

回送時及び除雪作業時ともに、30Hz 前後がピーク周波数であるが、運転室内の音響と比べると、30Hz 超の周波数でレベルが大きくなっている。

4.2.3 路面整正装置近傍の作業音響分析結果

図-19 に除雪作業時、図-20 に回送時の周波数分析結果(代表例)を示す。

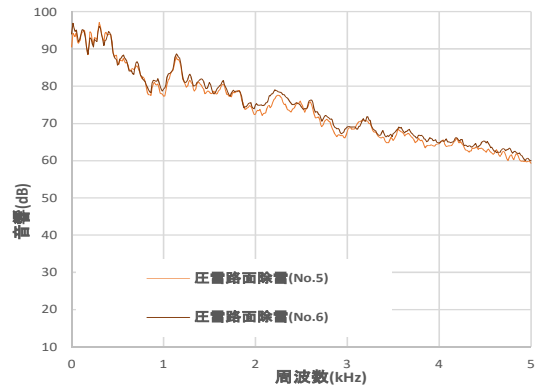


図-19 装置近傍作業音響の周波数特性(除雪)

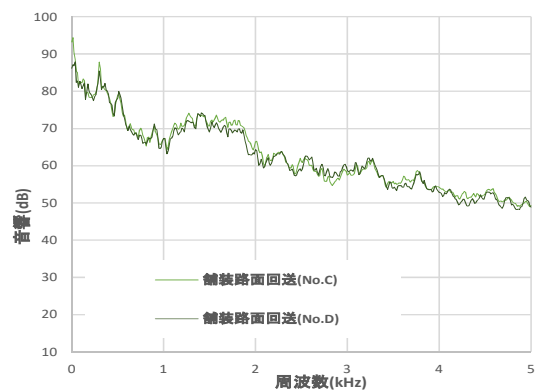


図-20 装置近傍作業音響の周波数特性(回送)

回送時に比べて除雪作業時では、30Hz 超の周波数でレベルが大きくなっている。一方、ピーク周波数はどちらの周波数特性をみても 30Hz 前後となっている。

4.2.4 路面整正装置近傍の作業振動分析結果

図-21 に除雪作業時、図-22 に回送時の周波数分析結果(代表例)を示す。

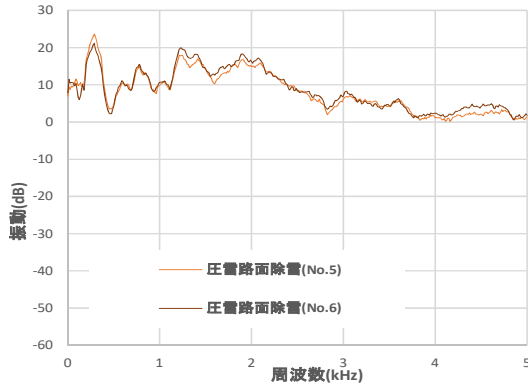


図-21 装置近傍作業振動の周波数特性(除雪)

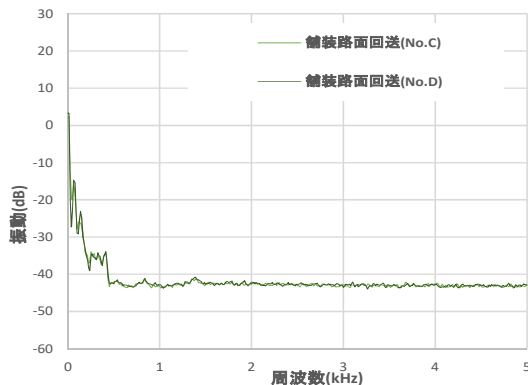


図-22 装置近傍作業振動の周波数特性(回送)

回送時の振動の周波数特性をみると、運転室の音響・振動や、路面整正装置近傍の音響と比べて、レベルが小さいことが特徴的である。また、除雪作業時の周波数特性をみると、回送時の周波数特性と比べてレベルが大きい上に、ピーク周波数が 300Hz 前後に移っている。

周波数分析の結果、運転室内の作業音響や作業振動及び路面整正装置近傍の作業音響については、除雪作業時、回送時の周波数特性に大きな差は見られず、エンジンが発する振動や音響の影響を強く受けていることがわかった。一方路面整正装置近傍の作業振動は、除雪作業時に特徴的な周波数特性が出現することがわかった。

4.3 相関分析及び周波数分析に基づく定量化検討

4.3.1 圧雪除去厚さと計測項目の重回帰分析結果

周波数分析の結果より、作業音響・作業振動は、作業装置近傍の作業振動データを対象とし、除雪作業の平均速度、路面整正装置の平均ブレード押付力及び平均切削角度の計測データとともに、路面整正作業により削られた圧雪除去厚さとの関係性について重回帰分析を行った。表-1 に分析結果を示す。

表-1 重回帰分析結果

計測データ	重回帰係数		偏回帰係数 有意性の検定	
	R	R ²	偏回帰係数	P値
作業速度(平均)	0.0327	0.0011	0.3302	0.9044
振動信号パワー	0.2089	0.0436	-0.0036	0.4375
ブレード押付力(平均)	0.0132	0.0002	-0.043	0.9614
切削角度(平均)	0.4264	0.1818	-0.6522	0.0996
【参考】雪硬度	0.7526	0.5665	-0.519	<0.001

分析の結果、各計測項目との相関では、いずれも相関係数 R が 0.5 未満となった。圧雪除去厚さと雪硬度 (kg/cm²) との相関では、相関係数 R が 0.75 以上となった。このため、雪硬度の計測値が 50kg/cm² 以上 100kg/cm² 未満の試験データを抽出し、改めて重回帰分析を実施した結果、以下の 3 項目において相関係数 R が 0.5 を上回ったことから、雪硬度が一定の条件において、圧雪除去厚さと平均作業速度、平均ブレード押付力、振動信号パワーに相関関係が確認できた。表-2 に雪硬度による絞込みデータの分析結果を示す。

表-2 重回帰分析結果(雪硬度による絞込み)

計測データ	重回帰係数		偏回帰係数 有意性の検定	
	R	R ²	偏回帰係数	P値
作業速度(平均)	0.572	0.3271	2.9443	0.0841
振動信号パワー	0.5632	0.3172	0.0051	0.09
ブレード押付力(平均)	0.6323	0.3998	1.3295	0.0498
切削角度(平均)	0.3678	0.1353	-0.3315	0.2957

4.3.2 抽出データの作業振動周波数特性の検証

相関性が認められた平均作業速度と平均ブレード押付力毎に振動レベルの周波数分析を行い、作業速度や押付力値の大小による周波数特性を確認した。表-3 に平均作業速度の分類範囲を、図-23、24 に作業速度範囲別の周波数分析結果を示す。

表-3 平均作業速度による分類範囲

計測項目	範囲	試験データ
作業速度 (平均)	0～7.5km/h	No.1、No.7、No.9、No.11、No.12、No.16
	7.5～15km/h	No.5、No.6

表-4 平均ブレード押付力による分類範囲

計測項目	範囲	試験データ
ブレード押付力 (平均)	0～15kN/m	No.1、No.9、No.11、No.12、No.16
	15～30kN/m	No.5、No.6、No.7

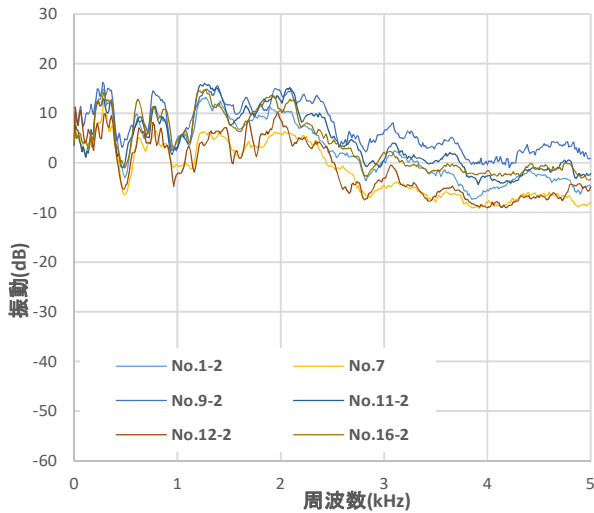


図-23 作業振動の周波数特性(平均作業速度：遅い)

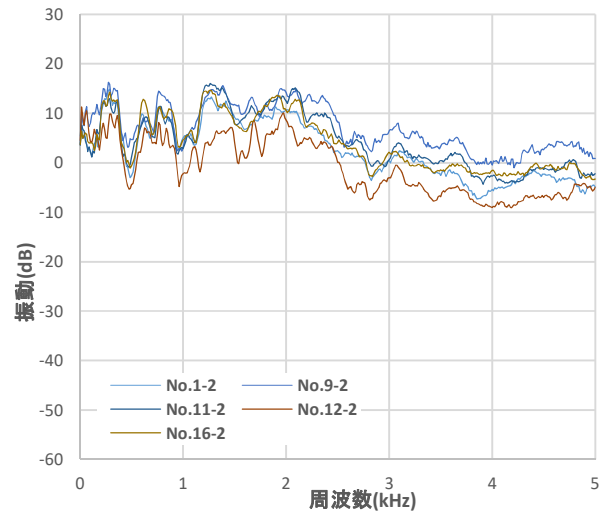


図-25 作業振動の周波数特性(平均押付力：低い)

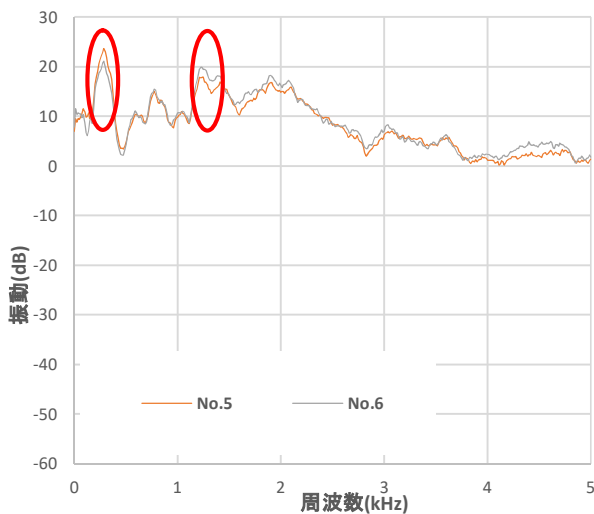


図-24 作業振動の周波数特性(平均作業速度：早い)

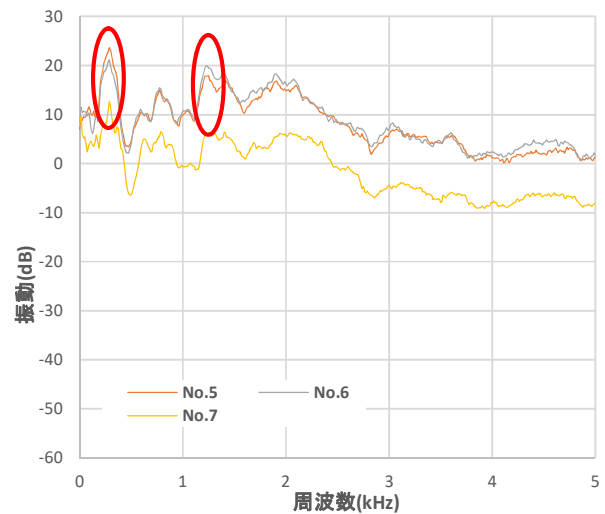


図-26 作業振動の周波数特性(平均押付力：高い)

平均作業速度が遅い試験データに比べて平均作業速度が早い試験データでは、振動レベルの 300Hz 付近及び 1.2kHz 付近に特徴的なスペクトルが現れている。

表-4 に平均ブレード押付力の分類範囲を、図-25、26 に押付力範囲別の周波数分析結果を示す。

作業速度の分析結果と同様に、ブレード押付力の低い試験データに比べて高い試験データは、振動レベルの 300Hz 付近及び 1.2kHz 付近に特徴的なスペクトルが現れている。

平均作業速度及び平均ブレード押付力毎の作業振動の周波数特性を検証した結果、平均作業速度が速く、一定のブレード押付力以上の作業において、特徴的な周波数スペクトルが出現することがわかった。

4.3.3 路面整正作業の定量化検討

これまでの分析結果を基に、路面整正作業の定量化を検討した。平均作業速度、平均ブレード押付力、路面整正装置近傍の振動信号パワーにブレード切削角度を含めた4変数を説明変数とし、路面整正作業により削られた圧雪除去厚さを目的変数とする予測式を作成した。

表-5 に定量化に向けた重回帰分析結果及び圧雪除去厚さの予測式を示す。

表-5 重回帰分析結果

計測データ	重相関係数		偏回帰係数 有意性の検定	
	R	修正R	偏回帰係数	P値
平均作業速度	0.8499	0.7072	1.7854	0.3883
振動信号パワー			0.0025	0.5341
切削角度			-0.4148	0.1343
平均ブレード押付力			0.6724	0.306

【圧雪除去厚さの予測式】

$$\begin{aligned} \text{圧雪除去厚さ} = & 1.7854 \times \text{【平均作業速度(km/h)】} \\ & + 0.0025 \times \text{【装置近傍の振動信号パワー※】} \\ & - 0.4148 \times \text{【平均切削角度(°)】} \\ & + 0.6724 \times \text{【平均ブレード押付力(kN)】} + 34.7525 \\ & ※振動信号パワーは、加速度(m/s²)の二乗平均値 \end{aligned}$$

設定した予測式により圧雪除去厚さの目標値を設定した際の路面整正作業の判定方法を検討した。図-27 に路面整正作業判定フローを示す。

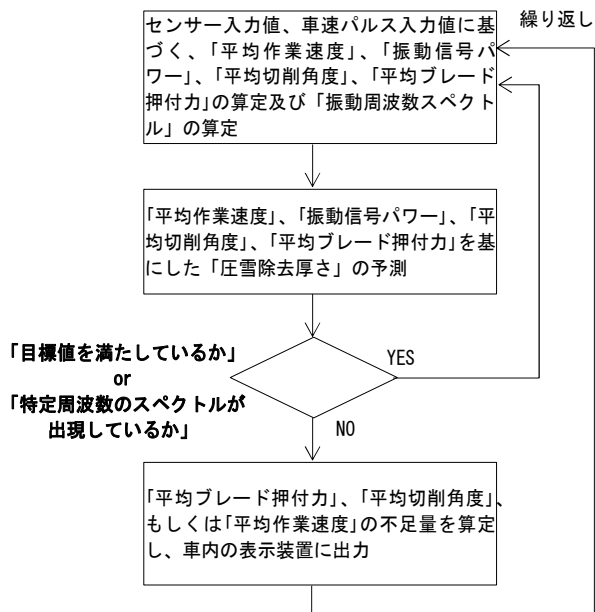


図-27 路面整正作業の判定フロー(案)

4.4 路面整正作業における操作支援技術の検討

路面整正作業の定量化検討結果を基に、除雪トラックの路面整正作業における操作支援技術を検討した。

図-28 に路面整正作業ガイダンスシステムの構成イメージ(案)を、表-6 ガイダンスシステム機能一覧(案)を示す。

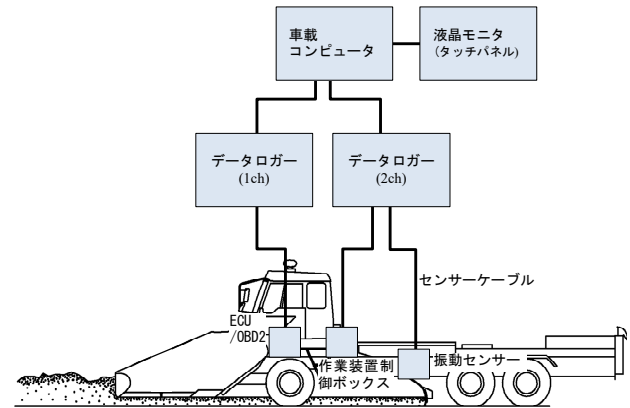


図-28 路面整正作業ガイダンスシステム構成イメージ(案)

表-6 ガイダンスシステム機能一覧(案)

機能区分	機能	機能概要	対向/対象
入力機能	ブレード振動入力機能	ブレード装置に取り付けた振動センサーの情報(加速度)を取得する。	データロガー(2ch)
	速度情報入力機能	車速パルス信号をデータロガー経由で取得する。	データロガー(1ch)
	ブレード押付力・切削角度情報入力機能	作業装置制御ボックスの出力電圧を計測し、ブレード押付圧力・角度情報を算出する。	データロガー(4ch)
	作業情報入力機能	ガイダンスの開始、終了をタッチパネル式の液晶モニタを通じて、オペレータが入力するための機能。	オペレータ
演算機能	車速判定機能	速度情報入力機能により取得したパルス信号を計算し、車速を判定する。	(内部処理)
	時間フーリエ解析機能	振動センサーの情報を時間フーリエ解析し、振動の周波数特性を特定する。	(内部処理)
	出来形判定機能	車速、ブレードの振動周波数特性を基に出来形の状況(適正か否か)を判定する。	(内部処理)
出力機能	モニタリング機能	ガイダンスシステムの動作状態、ブレード押付圧力・角度、及び出来形判定結果を液晶モニタに表示する。	オペレータ

4.5 路面整正作業定量化検討のまとめ

路面整正作業による圧雪除去厚さと、路面整正装置の振動との相関を確認し、振動の周波数特性を基に路面整正作業を定量化する手法を作成した。この定量化手法に基づく「路面整正作業ガイダンスシステム」は、路面整正作業中のブレードの振動を検出し、路面整正作業を評価するとともにオペレータに適切な操作(ブレードの昇降・切削角度調整)を促すものである。

ガイダンスシステムは、経験の浅いオペレータによる

路面整正作業においても、熟練者と同様の出来形を期待できると考えられるが、現段階で実現可能な範囲は路面整正作業による出来形判定までであり、経験の浅いオペレータに対して次の操作をガイダンスするところまでには至っていない。ガイダンスシステムの高度化に向けては、熟練者而非熟練者の特徴的な技術の違いを調査分析する等研究の余地があると考えられる。

5. まとめ

除雪オペレータが減少するなか、若手オペレータに熟練を要する路面整正作業を効率的に実施させる操作支援技術を提案するため、路面整正作業の作業速度や油圧押付力の他に作業音響や作業振動にも着目し、路面整正作業の定量化を行うとともにそれらを活用した操作支援技術を検討した。

その結果、以下の成果を得た。

- 除雪グレーダによる路面整正作業の作業音響と作業振動の周波数分析を行った結果、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、路面整正作業を定量的に把握可能であることを確認した。
- 除雪トラックによる路面整正作業の作業音響と作業振動の周波数分析を行った結果、運転室内の作業音響と作業振動及び路面整正装置近傍の作業音響よりも、路面整正装置近傍の作業振動の方に特徴的な周波数が出現することを確認した。
- 路面整正作業の圧雪除去厚さと平均作業速度、平均ブレード押付力、路面整正装置近傍の振動信号パワーには、一定の路面条件において相関関係があることを確認した。

- 重回帰分析により、平均作業速度、平均ブレード押付力、路面整正装置近傍の振動信号パワー、平均切削角度の4変数を説明変数とし、路面整正作業により削られた圧雪除去厚さを目的変数とする予測式を設定した。
- 予測式に基づく路面整正作業の判定フローを検討し、路面整正作業ガイダンスシステムの構成イメージ及び機能一覧を提案した。

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/gijyutu/splaat0000010dmm-att/splaat000001mvkk.pdf> (2020年6月15日確認)
- 2)(社)日本建設機械化協会北陸支部部会：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)室谷 雅之：除雪トラック、除雪グレーダ用アタッチメント、建設機械,pp.22-29,2015.5
- 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>
(2020年6月15日確認)
- 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/yokuwakaru/full.pdf>
(2020年6月15日確認)

STUDY ON OPERATION SUPPORT THAT CONTRIBUTES TO THE EFFICIENCY OF SNOW REMOVAL FOR ROAD SURFACE LEVELING

Research Period: FY2016-2019

Research Team: Director for Cold-Region Technology
Development Coordination
(Machinery Technology)

Author: KATANO Koji

MAKINO Masatoshi

YAMAGUCHI Hiroshi

SHIMBO Takahiro

IIDA Miki

Abstract : As for the environment surrounding snow removal work, the succession of snow removal technology to young operators has become a problem as the number of skilled operators has decreased due to the aging of operators and the shortage of operators.

Especially, since the snow removal for road surface leveling requires skill, operation support is necessary for young operators to carry out optimum snow removal for road surface leveling. In this study, we focused on the noise and vibration in the operating room of snowplows and in the vicinity of the Truck Grader equipment, quantified the snow removal for road surface leveling, and examined the operation support technology using them.

Key words : snow plow, snow removal for road surface leveling, operation support, vibration and acoustic analysis