

アタッチメント方式による路面清掃装置の開発 —ロータリ除雪車を通年活用する提案—

(独) 土木研究所 寒地土木研究所 寒地機械技術チーム ○中村 隆一
同 上 佐々木 憲弘
(独) 土木研究所 寒地土木研究所 寒地技術推進室 道央支所 坂口 勝利

道路の維持管理は、近年の厳しい財政状況を踏まえた経常経費の縮減から、より一層のコスト縮減が求められている。北海道は積雪寒冷地であることから、路面清掃車等の維持機械及び除雪機械の専用車は各々半年程度しか稼働できない実態にある。

そこで、道路維持管理のコスト縮減を図ることを目的に、既存の機械をオールシーズン有効活用するために、ロータリ除雪車と路面清掃車の双方の機能を兼用可能な装置の開発を行うものである。

キーワード：コスト縮減、路面清掃、アタッチメント、ロータリ除雪車

1. はじめに

過年度に実施した北海道開発局が保有する全道の機械配置状況、稼働実績及び維持機械・除雪機械の複合化によるコスト縮減の試算結果に基づき、導入効果について検討を行った。その結果、導入台数が多く、コストの縮減率が大きい路面清掃車とロータリ除雪車の複合化について検討することとした。

複合機械は、既存のロータリ除雪車をベース車両とし、装置部分をアタッチメント化することで、路面清掃装置とロータリ除雪装置を交換使用するオールシーズン仕様とした。¹⁾ 計画フローを図-1に示す。

本報文では、試作した路面清掃装置の性能試験結果を主に、導入効果の試算によるイニシャルコストの縮減、効果的な配置提案によるランニングコストの縮減について報告するものである。

2. 路面清掃装置の仕様

製作した複合機械の主要仕様を下記(1)に、アタッチメント式の路面清掃装置試作機（以下、試作機という。）を写真-1に示す。

なお、試作機は、4輪ブラシ式、3輪ブラシ式、4輪操舵ブラシ式のブラシ式路面清掃車（以下、専用車という。）の代用として使用することを目的としていることから、試作機の仕様は各専用車の主要諸元から最大値を採用した。その結果、アタッチメント化した場合、どのような利点・欠点があるか確認することを性能試験の目的の一つとした。

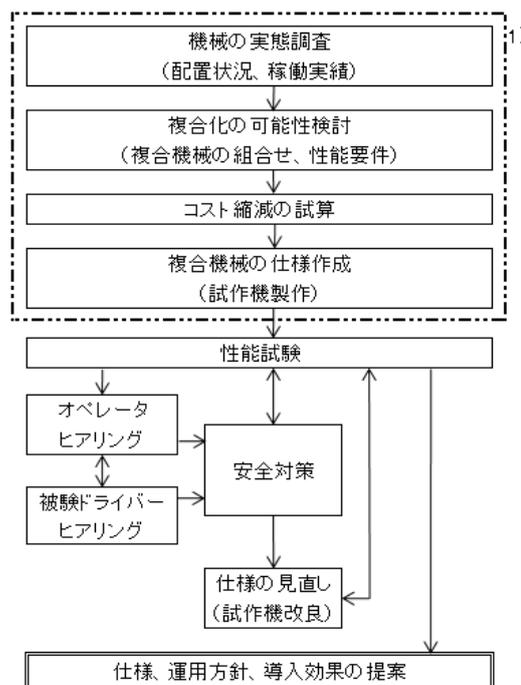


図-1 計画フロー

(1) 複合機械の主要仕様

a) 形式

- i) ロータリ除雪装置(既存装置)
ツーステージ 2.2m級・2.6m級対応
- ii) 路面清掃装置(試作機) ブラシ式, 2.5m³,
フロントリフトダンプ式, 両ガッタ,
散水機能付

b) 性能

- i) ロータリ除雪装置(既存装置)

最大除雪量	2,300t/h
投雪距離	0~40m
最大除雪幅	2,200mm
最大除雪高	1,700mm

ii) 路面清掃装置(試作機)

清掃速度	3~10km/h
清掃幅	3,000mm(両側)
回収塵埃最大寸法	玉石 径 80mm
ホッパダンプ角度	底板 57 度
ホッパダンプクリアランス	2.2m

c) 主要諸元

(ロータリ除雪装置仕様) (路面清掃装置仕様)

全長	7,820mm	9,900mm
全幅 (除雪装置含む)		(回送時)
	2,200mm	2,600mm
(除雪装置を除く)		(作業時最大)
	2,130mm	3,000mm
全高	3,570mm	3,570mm
車両総質量	13,350kg	13,430kg
ホッパ内容積		2.5m ³
標準塵埃収納容量		2.0m ³

水タンク容量 試験用簡易型 500L

補助ブラシ及びホッパ、散水機能作動試験)、作業試験(標準土砂及び異形物の清掃能力試験、最大塵埃収納容量確認、最適掃き込み構造の検討)、その他(視野試験、ダンプトラックへの積込み試験等)の基本性能の確認を行った。性能試験の状況を写真-2に示す。



写真-2 性能試験状況

a) 走行試験

道路線形追従走行試験は、回転半径及びバスベイ構造の道路線形に対し、追従走行が可能か装置軌跡と道路線形の軌跡誤差を確認した(写真-2左、図-2)。

回転半径(R 4m・R 5m・R 6m・R 8m)、バスベイ(R 9m-S字)ともに、車両ステアリング(車両旋回)及び装置アングリング機構(装置旋回、写真-3)を併用することにより、機械の機能上、道路線形に対して追従走行を可能とした。



写真-1 ロータリ除雪車対応型路面清掃装置 (ロータリ除雪車両+試作機)

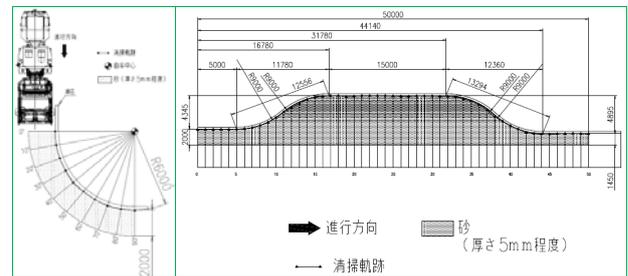


図-2 回転半径及びバスベイ構造試験コース

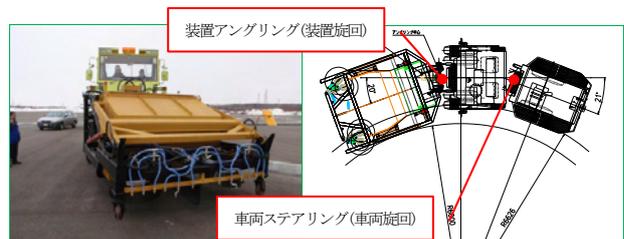


写真-3 装置アングリング状態

3. 性能試験

性能試験は図-1に示す計画フローのとおり、試作機自体の性能試験と同時に、オペレータ及び被験ドライバーへヒアリングを行い、安全対策を考慮しながらデータや課題の整理を行った。

(1) 試作機性能試験

平成 20 年度に実施した試験内容は、ブラシ式および真空吸込み式ロードスイーパー性能試験方法²⁾(以下、性能試験方法という。)を参考に、走行試験(道路線形追従走行試験)、作業装置試験(主ブラシ・側ブラシ・

但し、曲線部に進入する際、車両左前輪及び装置左側面が道路線形に干渉しないようステアリングとアングリング機構の併用操作を行う必要があり、図-3(縦軸:道路線形の離れ、横軸:曲率中心角度0°~90°)に示すように、回転半径が小さいR 4mは併用操作を行う後半に、R 5m・R 6m・R 8mは、併用操作の行う中盤に道路線形から離れやすい傾向となった。また、図-4(縦軸:道路線形の離れ、横軸:コース延長)のバスベ

イ構造R 9m-S字についても同様に併用操作が連続するS字曲線部で道路線形から離れやすい傾向が確認出来た。回数を重ねる毎に道路線形からの離れ傾向が小さくなっていることから、運転技術の修得によって改善の余地はあるものの運転操作性に課題が残った。

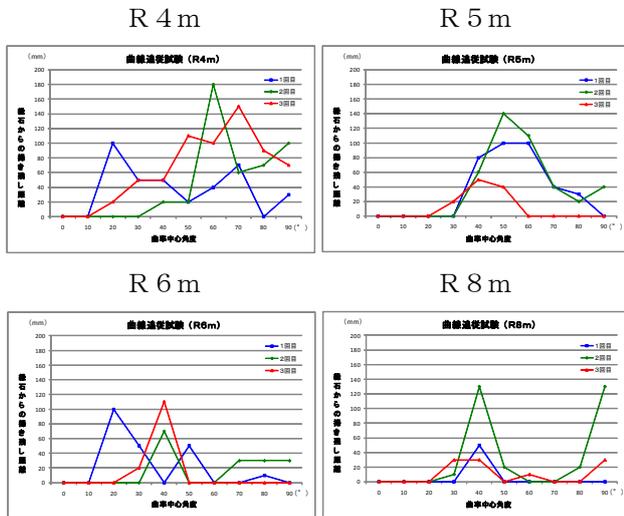


図-3 回転半径追従試験の傾向 (図-2 左より)

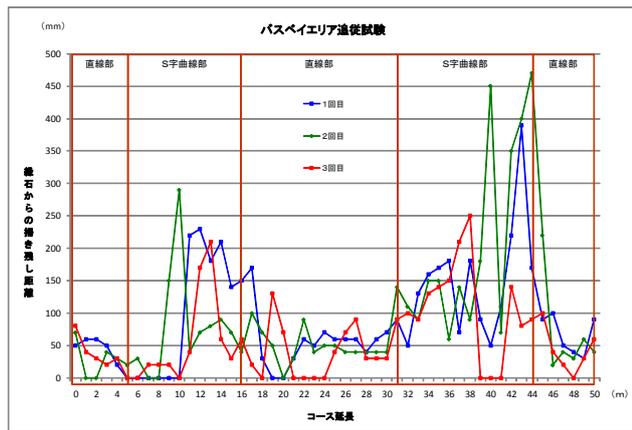


図-4 バスベイ追従試験の傾向 (図-2 右より)

b) 作業装置試験

主ブラシ・側ブラシは、専用車と同じ部品を採用し、回転数等の作動は専用車と比べ同等以上の性能を確認出来た。散水性能も清掃延長1km 当り散水量³⁾を参考に専用車の散水量と比較し、同程度となった。

補助ブラシ及びホップの作動性能は、試作機のオリジナル機構となるため、専用車との比較は出来ないが、作業上、支障の無い結果であった。

c) 作業試験

清掃能力試験は、砂及び異形物を対象に、清掃後の残留量を計測して収納能力(塵埃量-掃き残し量/塵埃量)を確認した(写真-2 中央)。

専用車の作業速度は、性能試験方法²⁾及び路面清掃車の清掃速度³⁾を参考に、直線部における春先清掃作

業及び道路維持清掃作業の塵埃量を想定して、2種類(0.4m³/km・0.8m³/km)の塵埃条件と3種類(低速3~5km/h・中速6~8km/h・高速10km/h)の作業速度で試験を行った。その結果、作業速度が速くなるに伴い、収納率が低下する傾向を確認したが、塵埃の量にさほど影響なく、低速・中速で90%以上、高速でも85%の清掃能力があることを確認出来た(図-5)。専用車との比較試験を実施していないため、試作機の単独評価となるが、目視確認等では良好な結果となり、主ブラシ・側ブラシともに回転数、圧力、作動油タンク温度等の能力は安定し、清掃能力を保持出来た。

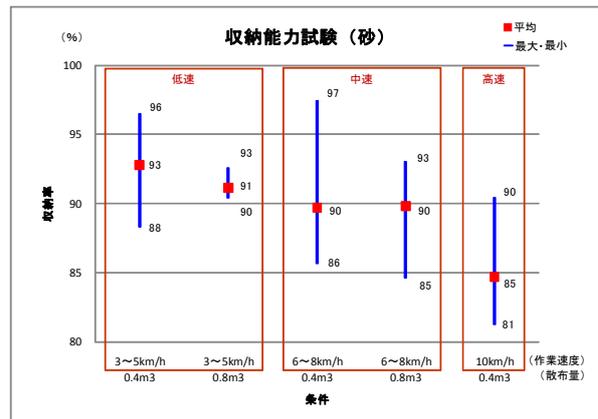


図-5 収納能力結果(砂)

異形物清掃作業は、玉石(40~80mm)・空き缶(アルミ・スチール)及びペットボトルの正常状態と潰れた状態・空き瓶・新聞・広告紙・雑誌・段ボール・ウエス・ビニール袋・ロープ等の道路上に落下していそうな異形物を対象とし、低速・中速作業を行った結果、平均90%程度の収納率となった(図-6)。なお、潰れたペットボトルやビニール袋といった薄くて、軽い物は低い収納結果となり、ホップ内への完全な収納は出来なかったものの各落下物ともに主ブラシで引きずられている状態となっていたため、道路上の取りこぼしは無かった。

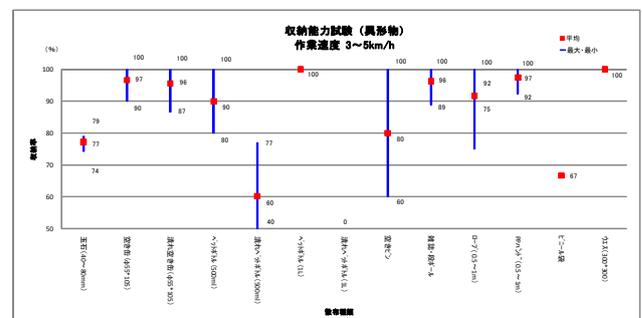


図-6 収納能力結果(異形物)

また、清掃能力試験と同時に最適掃き込み構造及び最大塵埃収納容量を確認した。

試作機の掃き込み構造は、専用車の主ブラシで掃き込んだ塵埃をベルトコンベアで直接上から落とし入れる機構（図-7下）と異なり、主ブラシ及び補助ブラシで直接掃き込む機構（図-7上）となっているため、より多くの塵埃収納容量を確保するには掃き込み構造やホップ構造を工夫する必要がある。

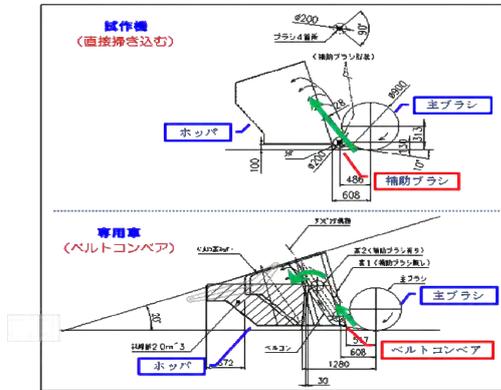


図-7 掃き込み構造

ホップ内構造は、より多くの塵埃収納容量を確保するのはもちろん、塵埃のこぼれ防止、ダンプトラックへの積み込み作業に影響を与えない構造を検討した。

試作機の塵埃収納容量は、各専用車のホップ内容量に係数³⁾を乗じた換算値（表-1）と最大塵埃収納容量の確認試験で得られた結果（表-2）を比較すると、試作機は専用車の収納容量と同等以上の能力があることが確認出来た。

表-1 各種ホップ収納容量諸元比較表

	3輪ブラシ式	4輪操舵ブラシ式	4輪ブラシ式	4輪ブラシ式ONG	試作機(新規)	適用
形式	フロリダダンプ式	フロリダダンプ式	リアリフトダンプ式	リアリフトダンプ式	フロリダダンプ式	
ホップ内容積	2.2m ³	2.0m ³	2.5m ³	2.5m ³	2.5m ³	仕様書 (メーカー値)
ホップ係数	0.55	0.55	0.48	0.48	0.55	土木工事標準積算基準書 (国土交通省)
換算値	1.21m ³	1.1m ³	1.2m ³	1.2m ³	1.375m ³	

表-2 試作機最大塵埃収納容量の試験結果

試験No.	ホップ内塵埃安息角(°)	砂		ホップ内収納容量(m ³)	ホップ内収納重量(kg)
		状態	比重		
No.1	32.7	湿潤	1.40	1.40	1,960
No.2	34.7	乾燥	1.50	0.87	1,305
No.3	32.0	乾燥	1.50	1.12	1,680
No.4	33.4	乾燥	1.50	1.40	2,100
No.5	53.2	湿潤	1.55	1.54	2,387

d) その他試験

作業姿勢及び回送時における運転室からの視野試験（写真-4）及び、ダンプトラックへの積み込み試験（写真-2右）を行った。

試作機を取り付けた作業姿勢時（図-8左）とロータリ除雪装置を取り付けた作業姿勢時（図-8右⁴⁾）の視

野範囲を比較すると同等の視野を確保していることが確認出来た。

また、ダンプトラックへの積み込みは、専用車と同等のホップダンプ角度、ダンピングクリアランス及びリーチを確保しているため、問題なく積み込み出来た。

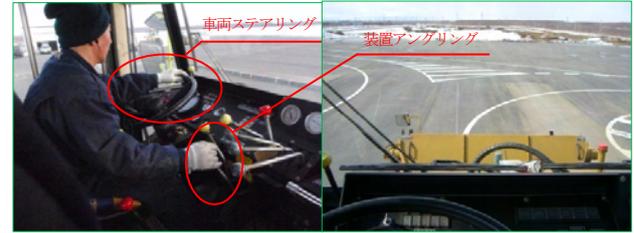


写真-4 オペレータ操作・運転席視野状況

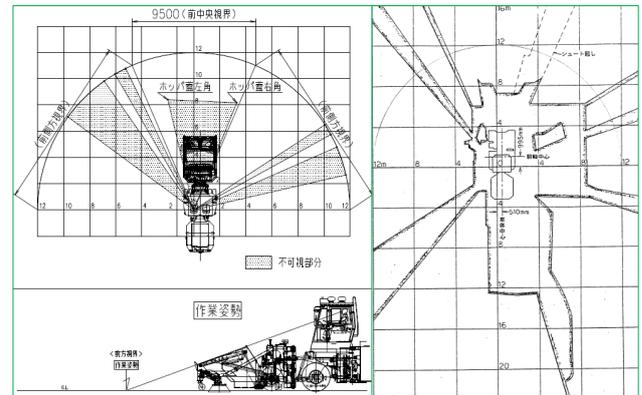


図-8 作業姿勢時の視野範囲
(左：路面清掃装置，右：ロータリ装置)

(2) ヒアリング

性能試験から、運転操作に関する事項をオペレータに、バスベイエリアの後続車視点に関する事項を被験者にヒアリングを行った。

a) オペレータヒアリング

主な意見を以下に示す。

①直線試験

道路線形への接地時に注意しながら運転操作を行えば、ブラシ操作及び作業追従はスムーズに行えた。

②曲線試験

曲線追従は、車両ステアリングと装置アングリング機構を併用しながら、道路線形に対して左側ブラシを追従させるため、車両ステアリングと装置アングリングのタイミングを図るのに運転操作の慣れが必要だったが、数回練習を行えば比較的容易に追従出来た（写真-2左）。

但し、以下の点に注意が必要であった。

i) 装置アングリング機構を全く使用しないと車両前方の左タイヤが縁石に干渉する。

ii) 必要以上に装置アングリングを行うと装置側面と縁石が干渉する。

③バスベイ試験

バスベイエリアから出る際、道路線形に沿って、装置は右にアングリングした状態から本線に追従するため、左にアングリング操作を行うが、タイミングが遅れると追従出来ない。

b) 被験ドライバーヒアリング

一般的な一般国道の最小幅（路肩+1車線）3.5m

（図-9⁵⁾⁶⁾⁷⁾）を想定し、被験者は、スタート地点で試作機（作業幅2.8m；左側ブラシのみ張り出し状態）から側方約1m、後方約2mの距離を保ったまま直進した。なお、速度は試作機の後方に位置するよう低速走行とした（写真-5）。主な意見を以下に示す。

①バスベイ出口付近の装置アングリング姿勢時は、機械の全長が実際より長く見え、危険を感じるため、追い越し時に注意が必要であり、注意喚起を促す必要がある。

②バスベイエリアの進入口及び出口付近の作業速度は、運転操作が煩雑になるため、約1km/hと遅く、40～60km/h程度の速度で走行してくる後続車からは車両状態が停止中か走行中かの判断が難しい。

③昼間作業（主に比較的交通量の少ない市街地、郊外道路）³⁾の機械に対して視認性は良いが、夜間作業（主に混雑が予想されるD I D地区、商店街に隣接する市街地道路）³⁾だと視認性が悪いので、装置に安全対策が必要だと感じた。



図-9 一般的な一般国道構造(横断図)



写真-5 被験ドライバー走行・運転席視野状況

(3) 安全対策

安全対策には、オペレータ及び一般ドライバー視点の安全対策が必要である。主な意見として、運転席の視界確保及び、運転操作性の改良、装置の高視認性塗装、ブレードマーカ、反射板の設置及び、車両後部に「低速作業中」、「装置が右に張り出します」等の標識装置を装備することによる後続車両及び対向車両への安全対策

があげられた。

(4) 仕様の見直し

専用車と比較して、作業速度、塵埃収納容量、道路線形への追従性等、機械の性能・機能は良好な結果となったが、運転操作性に課題が残った。

より運転操作をシンプルにするためには、装置全長の短縮化、装置短縮化に伴うホップ形状改良、各機構の再配置及び側ブラシの視界向上等の課題を整理する必要がある。

専用車の代用として使用することを目的としているが、専用車と比較すると機械の能力、機動力、操作性のいずれかは劣ってしまう可能性があるため、アタッチメント装置として代用する場合、真に必要な性能の見極めが重要である。

今後は、操作性向上の目的から、標準塵埃収納容量及び散水タンク容量等を必要最低限にすることで、どこまで専用車に近い性能を引き出せるか改良設計する必要がある。

4. 導入効果

(1) 複合化によるメリット・デメリット

維持機械及び除雪機械の複合化によるメリット、デメリットを以下のとおりまとめる。

a) ロータリ除雪車(冬期)の運転費が下がる要因

ベース車両を路面清掃作業でも使用することにより、年間標準運転時間⁸⁾の増加が、運転日数、供用日数の増加よりも比率が大きくなり、供用日当り運転時間(t)、運転日当り運転時間(T)が増加する。そのため、運転1時間当り労務工数及び機械損料が下がり、運転1時間当り単価が減少する。

b) 路面清掃車(夏期)の運転費が上がる要因

ベース車両がロータリ除雪車になることで、運転日数、供用日数の増加が、年間標準運転時間⁸⁾の増加よりも比率が大きくなり、供用日当り運転時間(t)、運転日当り運転時間(T)が減少する。そのため、運転1時間当り労務工数及び機械損料が上がり、運転1時間当り単価が増加する(上項a)と逆転現象)。

(2) 導入効果の試算

試作機と現行の組合せであるロータリ除雪車及び専用車でコスト縮減に関する比較を行った。

導入効果の試算を図-10、年間当たりの現行車に対する運転費の縮減比率を表-3に示す(平成19年度稼働実績・平成21年12月燃料単価)。

ロータリ除雪装置として使用する場合は、既存の機械

を活用するため、イニシャルコスト（購入費）及びランニングコスト（整備費、管理費）は現状のままだが、先に述べたメリットより、ランニングコスト（運転費）が大幅に減少する。

路面清掃装置として使用する場合は、現状の機械1台の購入からアタッチメント装置のみの購入となるため、イニシャルコスト（購入費）及びランニングコスト（整備費、管理費）は大幅に減少するが、先に述べたデメリットより、ランニングコスト（運転費）のみ増加する。

その結果、路面清掃装置単体の運転費を見ると、コスト高となるが、ロータリ除雪装置の運転費が大幅に減少するため、年間当たりで比較するとコスト縮減が可能である。

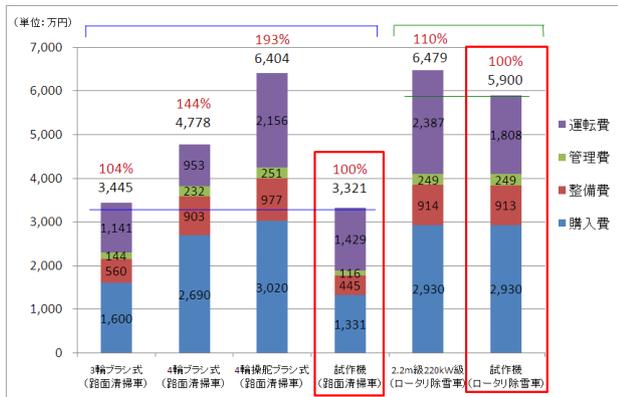


図-10 ライフサイクルコスト比較表

表-3 運転費縮減比率表 (年間当たり)

	新規	現行	運転費 現行比率(%)	
			単体	夏冬-組合せ
夏期	路面清掃仕様 ブラシ式2.5m ³	路面清掃車 3輪ブラシ式	135 %	95 %
		路面清掃車 4輪ブラシ式	131 %	92 %
		路面清掃車 4輪操舵ブラシ式	116 %	95 %
冬期	ロータリ除雪車	220m級 (排対3次)	76 %	-

(3) 効果的な配置提案

より多くの導入効果を期待するには、稼働時間比が有利な配置を行う必要がある。

表-4 は、ロータリ除雪装置と路面清掃装置の稼働時間比で、従来のそれぞれの作業コストと“同等”になる稼働時間の比率を示している ((左)ロータリ除雪車：(右)路面清掃車)。

燃料単価の変動によって、比率は若干異なるものの、どの規格も路面清掃車よりロータリ除雪車の数値が低いことから、ロータリ除雪車の稼働が多い地域に有利であり、燃料単価が安価なほど縮減効果は大きくなる。

このことから、積雪寒冷地である北海道や東北地方のような除雪機械の稼働が年間標準運転時間⁸⁾より高く、維持機械の稼働が低い傾向にある地域には、配置計画も重要になるがロータリ除雪車と路面清掃車の複合化はコ

スト縮減に寄与できると考える。

表-4 効果が得られる稼働時間比
(平成19年度稼働実績・平成21年12月燃料単価)

		路面清掃装置 (燃料消費量削減機構付)		
		3輪ブラシ式	4輪ブラシ式	4輪操舵ブラシ式
ロータリ除雪車	2.2m級184kW級 (排対2次)	0.400 : 0.600	0.379 : 0.621	0.262 : 0.738
	2.2m級220kW級 (排対3次)	0.405 : 0.595	0.386 : 0.614	0.271 : 0.729

※(左)ロータリ除雪装置：(右)路面清掃装置

※(左)ロータリ除雪装置の値が表中よりも大きいほど機械経費及び労務費が減少、小さいほど増加する。

※(右)路面清掃装置の値が表中よりも大きいほど機械経費及び労務費が増加、小さいほど減少する。

5. まとめ

(1) 試作機の性能・機能は良好な結果となったが、運転操作性に課題が残った。機械の実用化には真に必要な性能の見極めが重要である。

(2) ロータリ除雪車を通年活用することで、アタッチメント方式による路面清掃装置は、現行の専用車に比べ、導入効果があることがわかった。更に、より導入効果を期待するには稼働時間比が有利な配置を行う必要がある。

(3) 本開発装置は、除雪機械の稼働が年間標準運転時間⁸⁾より高く、維持機械の稼働が低い傾向にある積雪寒冷地域には、コスト縮減に寄与できる。

これらの検討結果を踏まえ、平成21年度より試作機を改良する計画である。実用化に向けて、確認試験及び評価・課題等を整理することで、更なるコスト縮減を目指していきたい。

参考文献

- 1) 中村隆一・佐々木憲弘・坂瀬修：雪氷処理のコスト縮減に関する技術開発について—ロータリ除雪車対応型路面清掃装置の開発—, 北海道開発技術研究発表会論文集, 第52回(平成20年度)
- 2) (社)日本建設機械化協会・施工技術部会道路維持委員会：ブラシ式および真空吸込み式ロードスノーパ性能試験方法, 日本建設機械化協会規, 1968.8.1
- 3) 国土交通省・建設物価調査会：土木工事標準積算基準書, 平成20年度
- 4) (社)日本建設機械化協会建設機械化研究所：日本除雪機 HTR202 形ロータリ除雪車性能試験報告書, 昭和60年5月
- 5) 北海道開発局：道路構造令の解説と運用, 平成16年2月
- 6) 北海道開発局：北海道開発局道路設計要領, 平成20年度
- 7) 道路運送車両法第3条、道路運送車両法施行規則別表第1
- 8) 北海道開発局：建設機械等損料算定表北海等補正版, 平成20年度