

3 2. ロータリ除雪車対応型路面清掃装置の開発

(独) 土木研究所寒地土木研究所技術開発調整監付寒地機械技術チーム ○中村 隆一
 (独) 土木研究所寒地土木研究所技術開発調整監付寒地機械技術チーム 佐々木憲弘
 (独) 土木研究所寒地土木研究所技術開発調整監付寒地技術推進室道央支所 坂口 勝利

1. はじめに

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。また、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、維持・除雪双方の機能を複合化し、1台の機械をオールシーズン使用することで、インシヤルコストの縮減を行い、更に複合化する機械の効率的な配置・運用によるランニングコストの縮減といった、道路維持管理のライフサイクルコストの縮減を図ることを目的に路面清掃車とロータリ除雪車の複合機械の開発を行うものである。

計画フローを図-1に示す。本報告では、昨年度実施した性能試験及び導入効果の試算について、報告するものである。

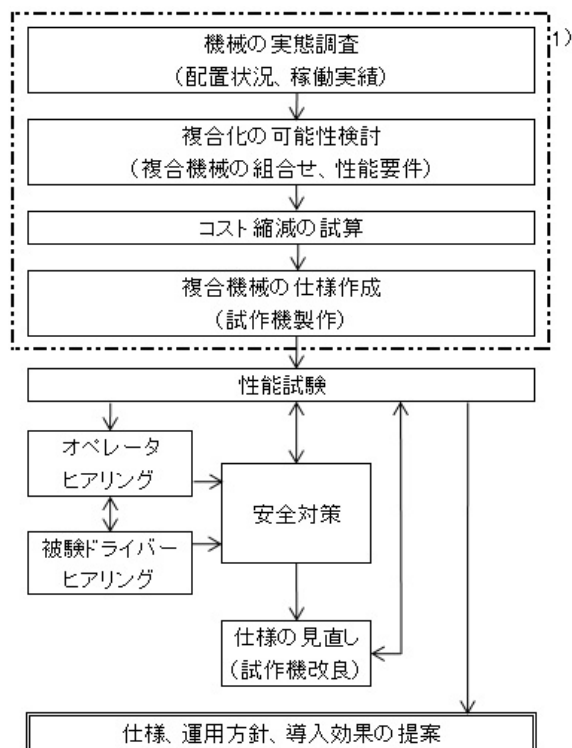


図-1 計画フロー

2. 複合機械の仕様¹⁾

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、複合機械のベース車両、作業装置、複合機械の仕様、基本運用方針、導入効果について検討を行った。その結果、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、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。

設定した複合機械の主要仕様を下記に、製作した路面清掃装置試作機（以下、試作機という。）を写真-1に示す。

(1) 形式

- a) ロータリ除雪装置 ツーステージ
2.2m級・2.6m級対応
- b) 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

(2) 性能

- a) 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
- b) 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 55度
ホッパダンピングクリアランス	2.1m

(3) 主要諸元

(ロータリ除雪仕様) (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	13,940kg	15,900kg
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 500 L)	1,900 L	



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)

グとアングリング機構の併用操作を行う必要があり、操作の煩雑等が懸念される。

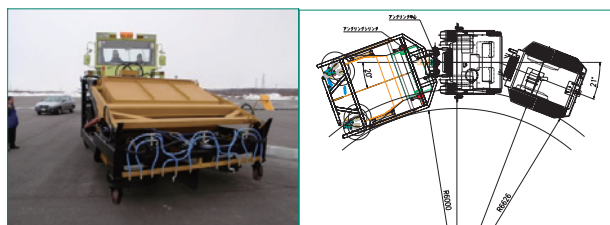


写真-3 装置アングリング状態

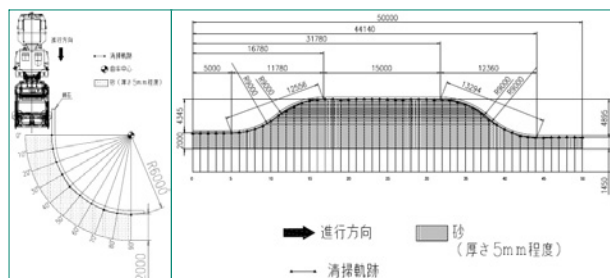


図-2 回転半径及びバスベイ構造試験コース

3. 性能試験

3.1 試作機性能試験

平成20年度は、製作した試作機を用いて、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・補助ブラシ及びホッパ、散水機能作動試験)、作業試験(標準土砂の清掃能力試験、異形物清掃能力試験、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み込み試験等)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

(1) 走行試験

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(R4m, R5m, R6m, R7m)、バスベイ(R9m)とともに、車両ステアリング及び装置アングリング機構(写真-3)を併用することにより、道路線形に対して追従走行が可能であることを確認出来た。

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

(2) 作業装置試験

主ブラシ・側ブラシは、ブラシ式路面清掃車(以下、専用車という。)と同じ部品を使用し、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。散水性能も専用車の散水量(国土交通省・建設物価調査会：土木工事標準積算基準書より適用)と比較し、同程度となった。

補助ブラシ及びホッパの作動性能は、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、ホッパのダンプ角度、ダンピングクリアランス及びリーチは同程度であった。

(3) 作業試験

試作機の掃き込み量は、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(塵埃量一掃き残し量/塵埃量)を確認した(写真-2中央)。

専用車の作業速度(日本建設機械化協会：道路清掃作業の手引より適用)を基に、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、作業速度が大きくなるに伴い、収納率が低下していくことを確認したが、収納率は塵埃の量に影響なく、低速・中速で90%以上、高速でも85%の清掃能力があることが確認出来た。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計測、目視確認等で良好な結果となり、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。

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（写真-3 左）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。なお、潰れたペットボトルやビニール袋といった薄く、軽い物は約 70% と低い収納結果となった（写真-3 右）が、各落下物と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。



写真-3 異形物作業状況

また、収納能力確認と同時に最適掃き込み構造を確認するとともに最大塵埃収納容量を確認した。

試作機の掃き込み構造は、各専用車のベルトコンベア機構と異なり、主ブラシ及び補助ブラシで直接掃き込む構造となっているため、より多くの塵埃収納容量を確保するにはホッパ内の構造を工夫する必要がある。ホッパ内構造は、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。

表-1 に示すよう各専用車と試作機のホッパ内容量に対する標準塵埃収納容量（各メーカー仕様値）及びホッパ内容量に係数（国土交通省・建設物価調査会：土木工事標準積算基準書より適用）を乗じた換算値と確認試験で得られた結果を比較すると試作機は専用車の収納容量と同等の能力があることが確認出来た。表-2 で示す試作機塵埃収納容量は、ホッパ内構造に複数のパターンを設定したものに散水機能の有無で塵埃をどの程度収納可能か確認したものである。

なお、補助ブラシの必要性及び主ブラシとの最適間隔、回転数の設定は、本試験で確認出来なかったため、今後の改良試験で確認する必要がある。

(4) 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（写真-4 右）及び、ダンプトラックへの積み込み確認（写真-2 右）を行った。

試作機を取り付けた作業姿勢時（図-3 左）とロータリ除雪装置を取り付けた作業姿勢時（図-3 右：建設機械化研究所 J C M A S 性能試験結果よ

表-1 各種ホッパ容量諸元

形式	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CNG	試作機（新規）	適用
ホッパ内容積	2.2m ³	2.0m ³	2.5m ³	2.5m ³	2.5m ³	仕様書（メーカー値）
標準塵埃収納容量	1.8m ³	1.2m ³	2.0m ³	1.6m ³	試験結果（表-2参照）	試験結果（表-2参照）
ホッパ係数	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 試作機塵埃収納容量の試験結果

ホッパ内パターン	ホッパ内塵埃安息角(°)	砂		ホッパ内収納容量(m ³)	ホッパ内収納重量(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

り引用）の視野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パダンプ角度、ダンプングクリアランス及びリーチを確保しているため、問題なく行え、ホッパ内構造に設定した各パターンとも積み込み作業に影響がないことを確認した。

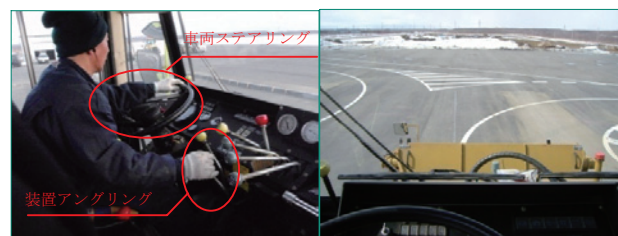


写真-4 オペレータ操作・運転席視野状況

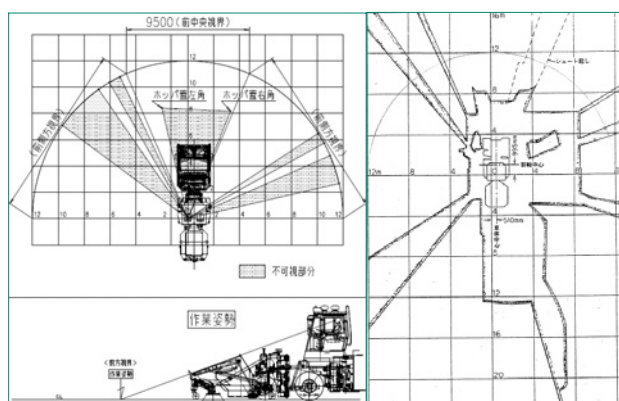


図-3 作業姿勢時の視野範囲

（左：路面清掃装置，右：ロータリ装置）

3.2 ヒアリング

3.2.1 オペレータヒアリング

性能試験から、運転操作に関する懸案事項をオペレータにヒアリングした。

(1)直線試験

縁石への接地時に注意しながら運転操作を行えば、ブラシ操作は比較的スムーズに行えた。

(2)曲線試験

最小回転半径 R4m の曲線追従は、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、縁石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-4 左）。

但し、以下の点に注意が必要であった。

①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。

②必要以上にアングリングを切り過ぎると装置と縁石が干渉する。

(3)バスベイ試験

バスベイエリアから出る際、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に左にアングリング操作が必要になるが、タイミングが遅れると上手く追従出来ない。

(4)積み込み試験

ホップ上昇及びダンピング操作は全体的にスムーズに行えた。

(5)回送走行

路面に追従走行する必要がないため、問題なく走行出来た。

3.2.2 被験ドライバーヒアリング

性能試験から、バスベイエリアに関する後続車ドライバーの懸案事項を被験者にヒアリングした。

被験者は、一般的な一般国道（路肩+1車線）の最小幅 3.5m（図-4：「道路構造令の解説と運用」及び「北海道開発局道路設計要領」より適用）を想定し、スタート地点で試作機（作業幅 2.8 m、左側ブラシのみ張り出し状態）から側方約 1m、後方約 2 m の距離を保ったまま直進した。速度は試験車両の後方に位置するよう低速走行とした（写真-5）。

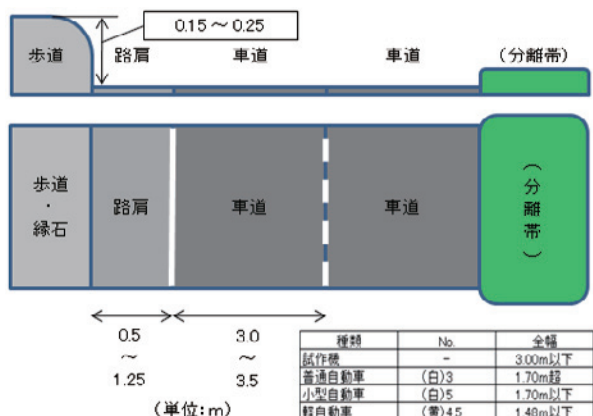


図-4 一般的な一般国道構造



写真-5 被験ドライバー走行・運転席視野状況

①バスベイ出口付近のアングリング姿勢時は装置全長が長く、危険を感じた。

②後ろからは、除雪機械（ロータリ除雪車）が走行しているようにしか見えないので違和感がある。

③昼間作業（主に比較的交通量の少ない市街地、郊外道路）は視認性が良いので大丈夫だが、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）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。

3.3 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線の安全対策が必要であるが、互いに操作性、視覚による認識の向上を図る必要がある。対策が必要な要因を以下に示す。

3.3.1 オペレータ視線の安全対策

①運転席から左側ブラシまでの距離が長いので、ミラーでの目視確認に注意が必要である。

②回転半径 R5~8m の曲線追従は、左側ブラシと接地する縁石が比較的に見えやすいが、最小回転半径 R4m になると現行のミラーでは、縁石が視界から急に消えて見え、全てのRに対応できない恐れがあるため、曲線追従ではアングリング姿勢にて曲線部に進入する必要がある。

以上より、視覚確保及び、運転操作性の改良を検討する必要がある。

3.2.2 一般ドライバー視線の安全対策

①ドライバーには、この車両がどういう物で、どういう動きをするのかわからない。

②車両全長が約 10m（内、装置全長は約 4m）と長いので、追い越し時に注意が必要である。

③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 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。

④装置が車体よりはみ出す動き方をするため、注意喚起を促す必要がある。

以上より、装置に塗装、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必要である。

3.4 仕様の見直し

専用車と比較して、作業速度、塵埃収容容量、道路線形への追従性等、機械の性能・機能は概ね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（アングリング機構の取り外し、側ブラシの視界向上）、装置短縮化のためのホッパ形状改良、各機構の再配置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。アタッチメント装置として代用する場合、必要最小限の性能の見極めが重要である。

試作機製作時の仕様は、専用車（4輪ブラシ式、3輪ブラシ式、4輪操舵ブラシ式）の各種性能の最大値を仕様値としてアタッチメント化した場合、どのような利点・欠点があるか性能試験を行ったが、今後は、装置短縮化、操作性向上の目的から、標準塵埃収容容量及び散水タンク容量等を専用車の最小値以上に設定することで、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

4.1 配置方針の検討¹⁾

北海道開発局が保有する平成19年度現在のロータリ除雪車と路面清掃車の配置状況を整理した。

ロータリ除雪車又は路面清掃車を配置している箇所内、双方の機械を配置している箇所は、ステーション単位で約12%、事務所単位では約41%である。

複合機械は、夏期にロータリ除雪車をベース車両として活用し、路面清掃作業を行うことから、同一ステーションに双方の機械が配置されていなくても、同一事務所内で双方の機械配置があれば、夏期にロータリ除雪車を別のステーションに移動させて路面清掃作業を行うことが可能である。また、現状の機械配置でも全てのステーション単位に路面清掃車は配置されていないことから、事務所内での機械の運用を検討する。

4.2 複合化によるコスト縮減

維持機械及び除雪機械の複合化によるメリット、デメリット並びに検討方法を以下のとおりまとめる。

(1) ロータリ除雪車(冬期)の運転費が下がる要因¹⁾

①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。

(2)路面清掃車(夏期)の運転費が上がる要因¹⁾

①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。

②ベース車両の機関出力及び燃料消費率の増加により、燃料費が増加する。

③運転手の職種が4輪ブラシ式のみ一般運転手から特殊運転手に変更され、人件費が増加し、大型特殊免許の資格が必要になる。

(3)複合機械の導入効果による試算

ロータリ除雪車として使用する場合、ランニングコストが減少し、路面清掃装置として使用する場合は、イニシャルコスト及び3輪ブラシ式を除くランニングコストが減少するが、運転費のみ増加する。そのため、近年の燃料単価の変動により、導入効果は一律とはいえないが、組合せ機械であるロータリ除雪車と路面清掃車の稼働時間比から運転費についてもコスト縮減効果が得られる配置を検討する必要がある(表-3)。ロータリ除雪車の稼働時間が多い地域ほどコスト縮減に有利であることから、複合機械は、年間稼働時間が全国値に対し、除雪機械が多く、維持機械が少ないといった積雪寒冷地である北海道には適した機械で、より大きな導入効果が得られる。また、燃料単価が安価なほどコスト縮減効果は大きい。

表-3 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8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)	0.393 : 0.607	0.374 : 0.626	0.252 : 0.748
	2.2m級220kW級(排対3次)	0.399 : 0.601	0.380 : 0.620	0.261 : 0.739

※(左)ロータリ除雪車：(右)路面清掃車

※(左)ロータリ除雪車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)路面清掃車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。

以上の検討より、今後、導入していくロータリ除雪車(2.2m級184kW級3次排対)をベース車両とする路面清掃装置の組合せと、現行の組合せであるロータリ除雪車(2.2m級184kW級3次排対)と路面清掃車(3輪ブラシ式、4輪ブラシ式、4輪操舵ブラシ式)でコスト縮減に対する比較検討を行った(表-4、5、図-5)。

表-4 コスト縮減比較表（2.2m級 184kW 3次排対）

（平成19年度稼働実績・平成21年8月燃料単価）

（単位：円）

				イニシャルコスト		ランニングコスト						ライフサイクルコスト 小計	機械別 合計	機械別 現行比率 (%)	夏期・冬期 組合せ合計	ライフサイクルコスト 現行比率 (%)
				購入費	整備費	管理費	運転費			計						
							運転単価(1H)	運転時間	使用年数		計					
現行	夏期	路面清掃車	3輪ブラシ式	16,000,000	5,600,000	1,440,000	5,412	155	13.5	11,324,610	18,364,610	34,364,610	34,364,610	96	98,936,840	93.75
	夏期	路面清掃車	4輪ブラシ式	26,900,000	9,030,000	2,322,000	5,551	126	13.5	9,442,251	20,794,251	47,694,251	47,694,251	69	112,266,481	82.50
	夏期	路面清掃車	4輪操舵ブラシ式	30,200,000	9,765,000	2,511,000	6,274	253	13.5	21,428,847	33,704,847	63,904,847	63,904,847	52	128,477,077	75.00
	冬期	ロータリ除雪車	2.2m級220kW級 (排対3次)	29,300,000	9,141,000	2,493,000	11,370	154	13.5	23,638,230	35,272,230	64,572,230	64,572,230	91		
新規	夏期	ロータリ除雪車 (ベース車両)	220kW級 (排対3次)	0	0	0	7,258	144	13.5	14,109,552	14,109,552	14,109,552	33,028,352		91,802,083	
		路面清掃装置	ブラシ式2.5m ³	11,200,000	3,780,000	972,000					4,752,000	15,952,000				
		改造費		2,110,000	673,200	183,600				856,800	2,966,800					
	冬期	ロータリ除雪車 (ベース車両)	220kW級 (排対3次)	19,500,000	6,072,000	1,656,000	8,589	154	13.5	17,856,531	25,584,531	45,084,531	58,773,731			
		ロータリ装置	2.2m級	9,800,000	3,055,800	833,400					3,889,200	13,689,200				
	計				42,610,000	13,581,000	3,645,000	15,847	298		31,966,083	49,192,083	91,802,083	91,802,083		

表-5 運転費縮減比率表

（平成19年度稼働実績・平成21年8月燃料単価）

			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	134 %
			路面清掃車	4輪ブラシ式	131 %
			路面清掃車	4輪操舵ブラシ式	116 %
冬期	ロータリ除雪車	220m級(排対3次)	ロータリ除雪車	220m級(排対3次)	76 %

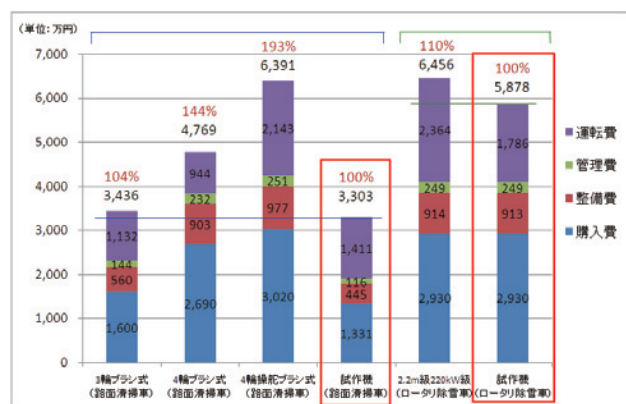


図-5 ライフサイクルコスト比較表

(表-4より:万円以下四捨五入)

表-4、5及び図-5で示すとおり、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、運転費）といった導入から処分までのライフサイクルコストはもちろん、工事費ベース（運転費）でも縮減が可能である。なお、運転時間については、ロータリ除雪車と路面清掃車の双方組合せのある事務所の全道平均(平成19年度実績)を採用した。

5. まとめ

(1)複合機械の基本方針として、ベース車両をロータリ除雪車、組み合わせ機械を路面清掃車とした。路面清掃装置をアタッチメント化した試作機を製

作し、性能試験を行った結果、専用車に比べ概ね同等な性能を確認出来たが、運転操作性に課題が残った。

(2)複合化によるコスト縮減の試算結果から、各規格の組み合わせでも複合機械の導入効果があることがわかったが、より大きな導入効果が期待出来る稼働時間比の有利な配置を行う必要がある。本検討では、全道各地で一斉に春先清掃・維持清掃作業を行うことを前提とし、ロータリ除雪車1台に対し、路面清掃車1台といった1対1の検討としたが、同一事務所で1台の路面清掃車を複数の工区(工事)へ併用貸し付けしている場合や稼働時間(日数)の低い路面清掃車は、事務所単位等の隣接する工区(工事)で時期を調整して作業することにより、更なるコスト縮減が期待できる。

経常経費縮減の背景から、道路維持管理費を始めたとした維持機械の管理費、整備費といったコスト縮減対策は急務である。また、D I D地区や商店街に隣接する市街地道路の交通量や歩行者を考慮した人体・環境に与える影響への対策も重要である。

6. おわりに

見直した仕様にに基づき、試作機を改良中である。これを用いて、今年度は、平成20年度に実施した基本性能試験を基に確認試験及び評価を行う予定である。

これらの試験に対する評価・課題等を整理し、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ーロータリ除雪車対応型路面清掃装置の開発ー、北海道開発技術研究発表会論文集，第52回(平成20年度)