

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—

(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

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

坂瀬 修

今後の道路維持管理において、より一層のコスト縮減及び効率的な配置・運用が求められているが、積雪寒冷地域である北海道において、維持・除雪機械は各々半年程度しか稼働できない実態にある。そこで、1台の機械をオールシーズン運用することでコスト縮減を図ることを目指し、維持・除雪双方の機能を複合化した機械の開発を行うものである。

技術開発する対象機械は、路面清掃車とロータリ除雪車の複合化で、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により、路面清掃装置とロータリ除雪装置を交換するオールシーズン仕様とする。

キーワード：コスト縮減、複合機械、技術開発、路面清掃装置、ロータリ除雪車

1. 検討方針

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、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、複合機械ベース車両、作業装置、複合機械仕様、基本運用方針、導入効果について検討を行い、以下の基本条件を設定した。

- (1) 1台の機械により拡幅除雪（ロータリ除雪装置）、路面清掃（路面清掃装置）作業が可能であること。
- (2) 既存のロータリ除雪車をベース車両とし、改造は最低限とすること。
- (3) ロータリ除雪装置と路面清掃装置は、交換して使用することを前提とし、脱着が容易な構造とすること。

2. 複合対象機械の実態調査

(1) 維持機械の実態調査（路面清掃車）

路面清掃車の清掃方式には、真空式とブラシ式があるが、本開発では、ロータリ除雪車をベース車両として装置を開発するため、車両前方に作業装置を装着することになる。その場合、真空式は排出口を天に向けるため、構造上、車両前方に装着することが困難である。そのため、検討の対象は、ブラシ式とした。

現行のブラシ式は、作業形態からダンプトラックとの組み合わせ作業が可能となるように全てリフトダンプ式を採用していることから、開発機械も同じ方式を採用し、主要諸元についても、ホップ容量、ダンピングクリアランス及びブリーチ、主・側ブラシの寸法は、現行機械と同等を目標とする。

また、機能として、現行機械と同等とするため、散水機能を設け複合機械単独作業が可能となるようにする。

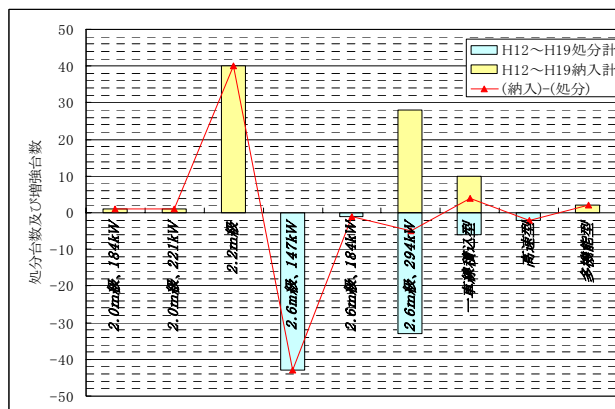
以上のことから、開発機械については、作業形態を考慮して散水装置付きとし、車両前方に装着されるため、ホップ形状をフロントリフトダンプ式とした。

(2) 除雪機械の実態調査（ロータリ除雪車）

ロータリ除雪車の主な工種は、拡幅除雪、運搬除雪及び雪堤処理である。これらの工種は他の除雪機械と組み合わせ作業することが多く、作業形態を考えると他の除雪機械では出来ない機能（投雪、比較的高雪堤の除雪）を有している。

ベース車両をロータリ除雪車とすることから、ロータリ除雪装置は現行の機能・性能に影響が無い様にし、コスト縮減の観点から導入台数の多い規格を複合機械の対象とする。

表-1 北海道開発局におけるロータリ除雪車の規格と導入傾向



また、表-1 で示すとおり、北海道開発局における近年のロータリ除雪車の導入と処分の傾向から、2. 2m級の規格が純増しており導入台数が最も多いことがわかる。2. 6m級・294kW級も減少している中、導入実績があり、導入する規格の傾向に変化が見られるものの導入台数としては、2番目に多く、無視できる台数ではない。しかし、2. 6m級・294kW級は山岳地帯や峠で使用していることから、2. 2m級に絞った検討とする。

3. 開発機械の目標設定（路面清掃装置の検討）

(1) ブラシの配置構造

現行機械と同等とするため、主ブラシ1個、側ブラシも同様に左右各1個配置するが、補助側ブラシは、現行の4輪ブラシ式しか配置されていないことや、開発機械の機動性から全長短縮化、軽量化を目的とすることから設定しないこととする。（図-1 参照）

現行機械	4輪	4輪操舵	小形除雪車
ブラシ名	ブラシ式	ブラシ式	路面清掃装置
主ブラシ	1個	1個	1個
側ブラシ	左右各1個	左右各1個	左1個
補助側ブラシ	左右各1個	無	無
検討結果	4輪ブラシ	4輪操舵ブラシ	小形除雪車 路面清掃装置

図-1 ブラシの構造と配置

(2) ホッパ形状と排出構造

ホッパ容量は、現行機械のブラシ式・リフトダンプ式と同等とするため2. 5m³とし、標準塵埃収集容量は2. 0m³を目標とする。また、構造をフロント式とするため、操縦視界については、複合機械のベース車両が専用車として使用しているロータリ除雪車の視界に対して同等以上になるように設定する。（図-2 参照）

排出構造は、組み合わせ作業となるダンプトラックへの積み込みを考慮し、ホッパを上昇させるための油圧シリンダを左右各1本、ホッパをダンピングさせて塵埃を排出するための油圧シリンダを左右各1本設定する。（図-3 参照）

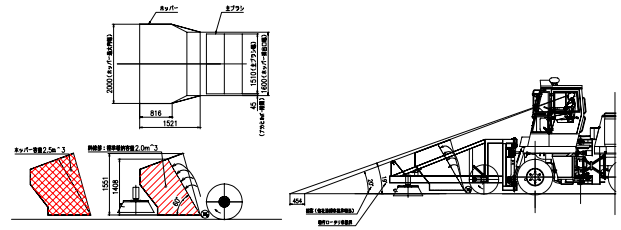


図-2 ホッパ形状

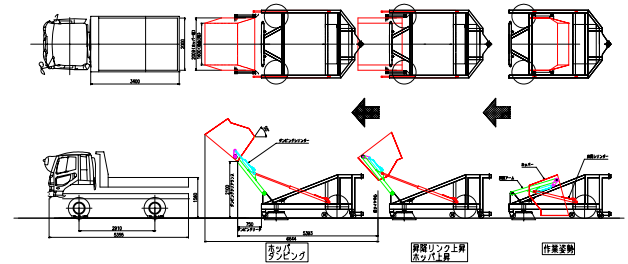


図-3 排出構造

(3) ブラシの可動範囲と構造

主ブラシの可動範囲について、昇降範囲はブラシ摩耗量とホッパ下面から地面までの距離調整用として可動範囲を定め、回収塵埃最大寸法は玉石径80mmを目標とし、支持構造は、現行機械と同様に左右の主ブラシ支持アームを支えるように取り付けるスプリングにて接地荷重の調整と路面追従ができる構造とする。

側ブラシの張り出しは、格納状態から清掃幅3,000mmまで張り出しが可能な構造とし、前及び横チルト角は、現行機械と同様に前5°、横15°車両外側方向へ調整できる構造とする。（図-4 参照）

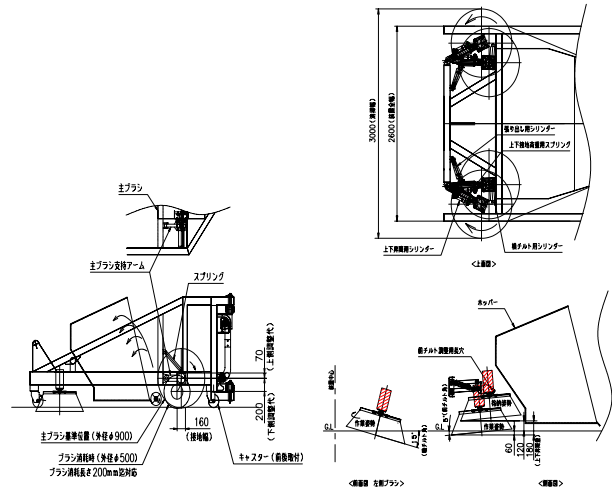


図-4 ブラシの可動範囲と構造

(4) 塵埃集積構造

現行のブラシ式は、主ブラシで掃き込んだ塵埃をベルトコンベアでホッパ上部に運びホッパ内へ落とし入れる

構造であるが、ベルトコンベア方式を採用するには動力となる油圧モータ、ポンプ等の追加による装置重量の増加、装置高による操縦視界及び車両の重量バランスの悪化等の懸念があるため、採用が望ましくない。

そこで、ベルトコンベアの代わりに主ブラシとホップ間に補助ブラシを追加し、2つのブラシで塵埃を掃き込む構造とする。なお、ホップ内構造は、仕切り板等を設置し、掃き込み・落下防止機構といった付加構造を設けるものとするが、最適構造は試験において確認する必要がある。(図-5参照)

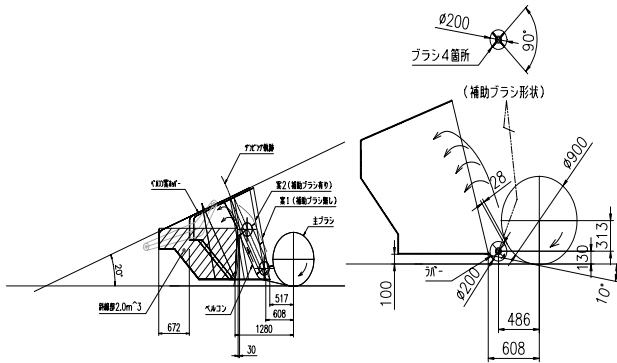


図-5 塵埃集積構造

(5) ブラシの追従構造

ベース車両がセンターピン方式の特殊車両であることから、前輪と後輪に対する内輪の差は生じない。しかし、車両前方に開発機械(装置)を装着するため、装置前方キャストと車両後輪に内輪の差が生じ、側ブラシが交差点部を追従できない。また、装置延長が長いほど縁石との干渉もあるため、国道の交差点やバスベイにおいて側ブラシが路側を追従できるよう、車両と装置間に旋回中心を設け油圧シリンダ等を追加したアングリング構造を設定する。(図-6参照)

なお、追従可能な最小回転半径の範囲は現行機械と同等に設定したが、交差点の最小回転半径を調査したところ4mであり、現行機械でも追従不可能である。交差点部の大多数を占めている半径6mは追従可能であるため、半径4mの掃き残し部分については従来と同様に人力清掃に頼ることとなる。(図-7参照)

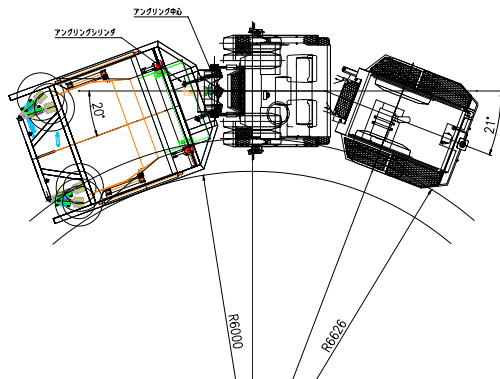


図-6 アングリング構造

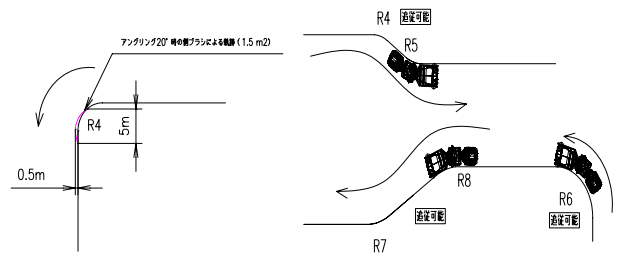


図-7 ブラシの追従軌跡

(6) 散水装置構造

路面清掃中の粉塵発生を抑制する目的で、現行機械と同様に散水機能を設定する。(図-8参照)

散水ノズル位置・個数及び散水圧力・散水量は、現行機械と同等にし、ノズル等は次の配置とする。

- ・左右側ブラシ前部 ノズル 各4個
- ・装置前端部 ノズル 4個
(全面に塵埃土砂が散在時の防塵用等)
- ・装置前端部左右 集中ノズル 2個
(縁石清掃時の防塵用等)
- ・洗車用 ノズル 1個
- ・点検用と冬期保管用 水抜きドレン 3個

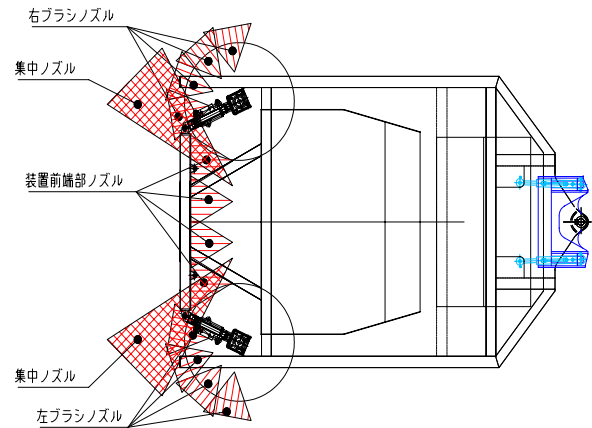


図-8 散水装置構造

(7) 動力伝達及び油圧系統構造

現行機械と同等なブラシ発生トルク及びブラシ周速を満足できる油圧ポンプと油圧モータを設定する。搭載構造として、ベース車両側と開発機械側の2構想があるが、主ブラシ及び側ブラシ用の油圧ポンプをベース車両の変速機に取り付けて回転させることは、開発機械側に取り付けて作業用プロペラシャフトを介して回転させることよりも、減速比の関係から油圧ポンプの回転数が上がってしまうため、油圧ポンプ容量を小さくすることができる開発機械に動力を持たせることとする。(図-9,10,11参照)

また、車両側に手を加えると適宜な組み合わせ配置が

出来なくなるといった配置検討も最小限に抑制できる。

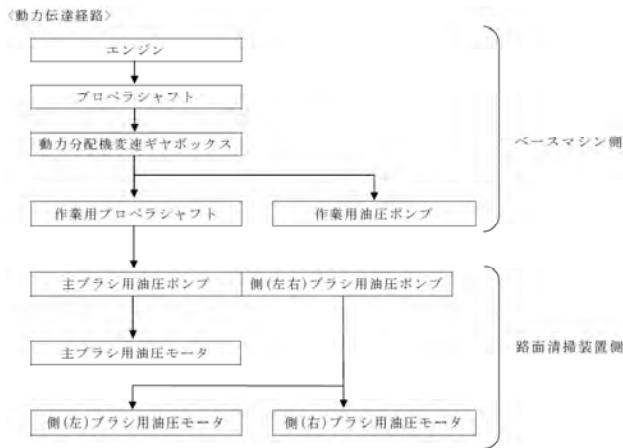


図-9 動力伝達経路

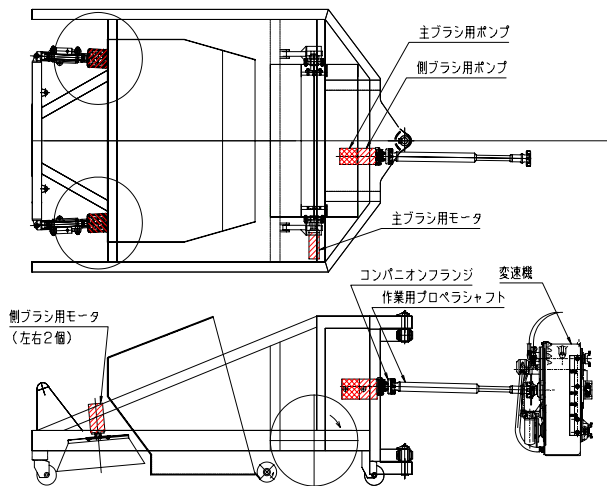


図-10 油圧ポンプ及びモータ配置構造

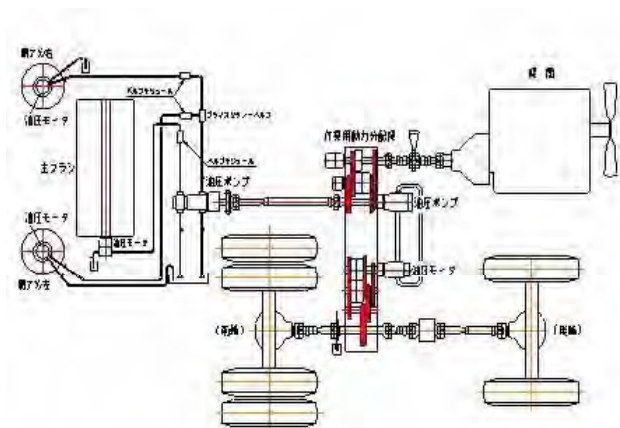


図-11 動力伝達系統

(8) 燃料消費量削減機構

複合機械は、ロータリ除雪作業に対して路面清掃作業の方が必要動力が少なく良いことが想定されることか

ら、路面清掃作業時の燃料消費量削減について検討を行った。対象機械はベース車両として選定した2.2m級とし、保有台数の多い184kW級を抜粋検討した。

ロータリ除雪作業時の原動機定格回転速度 2,000min⁻¹に対して、路面清掃作業時を1,400min⁻¹に低下させることによって燃料消費量を削減することが可能である。

(表-2 参照)

(ロータリ除雪車2.2m級184kW級をベース車両とした場合の路面清掃作業時必要動力110kW)

①作業時回転速度2,000min⁻¹→33.4L/h

【削減機構なし】

②作業時回転速度1,400min⁻¹→27.8L/h

(補正0.832) (削減量5.6L/h) 【削減機構あり】

燃料消費量削減機構を設けた場合のロータリ除雪車の燃料消費量が設定されていないため、仮に消費量の率から、燃料消費量に対し0.832を補正するものとする。

4輪ブラシ式路面清掃車の平成19年度年間平均稼働時間は126時間であり、年間1台当たり燃料消費削減量は、5.6L/h×126h=705.6L/年となり、年間当たり金額では、平成21年1月軽油単価を当てはめると、705.6L/年×104円/L≒73,500円/年となる。

路面清掃作業時において原動機定格回転速度を低下させることによって、燃料消費量を削減することができ、結果的に排気ガス低減等の環境にも配慮した設計となる。

但し、現在市販されている2.2m級ロータリ除雪車の定格出力は220kWであり、今後導入される機械に上述した削減量を適用できるとは限らないが、原動機定格回転速度を低下させることによる燃料消費量削減は可能である。

また、路面清掃作業時の原動機定格回転速度を低下する場合、連動している作業用プロペラシャフトの回転速度も低下するため、ギヤボックス等を追加して油圧ポンプの発生油量を増加させる必要があり、それに伴う電装系等への影響は検討が必要である。

表-2 燃料消費量の削減検討

項目	原動機回転速度 (min ⁻¹)	路面清掃作業時の運転1時間当り燃料消費量 (L/h)	備考
①燃料消費量削減機構なし	2,000	33.4	
②燃料消費量削減機構あり	1,400	27.8	
増減数(②-①)	-600	-5.6	
率(②/①)	0.700	0.832	

4. 複合機械の仕様

上項の1.検討方針及び3.開発機械の目標設定(路面清掃装置の検討)で検討したとおり、路面清掃車とロータリ除雪車の複合化について、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により、路面清掃装置とロータリ除雪装置を交換するオールシー

ズン仕様とする。

設定した複合機械の主要仕様を下記に、開発機械のイメージを図-12、写真-1に示す。

(1)形式

- a)ロータリ除雪装置 (ツーステージ)
- b)路面清掃装置 (2.5m³、フロントリフトダンプ式、両ガッタ、ブラシ式、散水機能付)

(2)性能

a)ロータリ除雪装置

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

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
ホップダンプ角度	底板 55度
ホップダンピングクリアランス	2.1m
最小回転半径 (最外側車輪中心)	6.1m

(3)主要諸元

	(ロータリ除雪仕様)	(路面清掃仕様)
全長	7,820mm	8,600mm
全幅	(除雪装置含む) 2,200mm	(回送時) 2,600mm
	(除雪装置を除く) 2,130mm	(作業時最大) 3,000mm
全高	3,570mm	3,570mm
質量		
車両総質量	13,940kg	15,900kg
ホップ内容積		2.5m ³
標準塵埃収納容量		2.0m ³
水タンク容量		1,900 L



図-12 夏バージョンイメージ図 (開発機械)

5. 配置方針の検討

ロータリ除雪車と路面清掃車の配置状況を整理すると、北海道開発局においてロータリ除雪車又は路面清掃車を配置しているステーションが60カ所あるうち、双方の機械を配置している箇所は、7カ所と約12%であるのに対し、事務所単位では、ロータリ除雪車又は路面清掃車を配置している箇所が29カ所あるうち、双方の機械を配置している箇所は12カ所と約41%ある。

開発機械は、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、同一事務所でも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も可能であり、事務所によりロータリ除雪車を複数配置している箇所では機械の選択余地もある。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。

このことから、ステーション単位では検討が非常に限定されたものになるため、事務所内で機械の移動運用を行う方針で検討することとする。

6. 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

・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。



ロータリ除雪車

写真-1 冬バージョン (既存車)

(2)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。
- ・ベース車両の機関出力及び燃料消費率の増加により、燃料使用量が増え、燃料費が増加する。
- ・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、人件費が増加する。

(3)開発機械導入による効果

ロータリ除雪車として使用する場合は、イニシャルコスト及びランニングコストともに減少し、路面清掃装置として使用する場合は、運転費についてのみ増加する。そのため、ロータリ除雪車と路面清掃車の作業時間比から運転費についてもコスト削減効果が得られる配置を検討する必要がある。

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(開発機械ブラシ式2.5m³)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)でコスト削減に対する比較検討を行った。(表-3,4 参照)

表-3,4 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)でも削減が可能である。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みの全道平均(平成19年

度実績)を採用した。

7. 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、路面清掃装置をアタッチメント化した複合機械の仕様を作成した。
 (2)複合化によるコスト削減の試算結果から、各規格の組み合わせでも開発機械の導入効果があることがわかったが、より導入効果が期待される作業時間比が有利な配置をしなければならない。本検討では、現行の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(路面清掃装置)1台といった1対1の検討としたが、同一事務所内で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、更なるコスト削減が期待できる。

8. 今後の計画

作成した仕様に基づき、開発機械(路面清掃装置)の試作機を製作中である。

これを用いて、今年度は、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プ、散水機能作動試験、)、作業試験(標準土砂の作業能力試験、異形物作業試験、最適掃き込み仕様の検討)、その他(視野試験、ダンプトラックへの積み込み試験等)の性能試験及び評価を行う予定である。

また、試作機であるため、これらの試験に対する評価・課題等を整理し、次年度以降は、課題等の改良、評価を行い、実機として現道で使用できるレベルに改良・調整して、更なるコスト削減を目指していきたい。

表-3 コスト削減比較表(燃料消費量削減機構あり) 2.2m級184kW級3次排対

■2.2m級184kW級		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		機別別		夏期・冬期		ライフサイクルコスト	
		購入費		整備費		管理費		運転費		計		計		小計		合計		機別別		機別別		機別別		機別別					
		運転単価(tH)	運転時間	使用年数	計	計	計	計	計	計	計	計	計	計	計	計	計	計	計	計	計	計	計	計	計				
現行	夏期	路面清掃車	3輪ブラシ式	16,000,000	5,800,000	1,440,000	5,880	155	135	11,676,150	18,716,150	34,716,150	34,716,150	97	100,244,720	93													
	夏期	路面清掃車	4輪ブラシ式	26,900,000	9,080,000	2,322,000	5,771	126	135	9,816,471	21,166,471	48,068,471	48,068,471	70	113,597,041	82													
	夏期	路面清掃車	4輪操舵ブラシ式	30,200,000	9,765,000	2,511,000	6,435	253	135	21,978,742	34,254,742	64,454,742	64,454,742	52	129,983,312	72													
	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	11,830	154	135	24,594,570	36,228,570	65,528,570	65,528,570	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	7,643	144	135	14,857,992	14,857,992	14,857,992																	
	夏期	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	33,776,792		93,502,705															
		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	9,047	154	135	18,808,713	26,536,713	46,036,713	59,725,913																
	冬期	ロータリ装置	2.2m級	9,800,000	3,055,800	833,400				3,889,200	13,689,200																		
計				42,810,000	13,581,000	3,645,000	16,690	298		33,666,705	50,892,705	93,502,705	93,502,705																

表-4 コスト削減比率表

夏期	路面清掃車仕様	新 規	←	現 行		運転費	ライフサイクルコスト
				路面清掃車	3輪ブラシ式	現行比率(%)	現行比率(%)
		ブラシ式2.5m ³		路面清掃車	4輪ブラシ式	93 %	93 %
				路面清掃車	4輪操舵ブラシ式	98 %	82 %
				路面清掃車	4輪操舵ブラシ式	72 %	72 %