

# 雪氷処理のコスト縮減に関する技術開発

研究予算：運営費交付金

研究期間：平 20～平 22

担当チーム：寒地機械技術チーム、

寒地技術推進室

研究担当者：国島 英樹、佐々木 憲弘、

五十嵐 匡、中村 隆一

坂口 勝利、光野 昭宏

佐藤 大輔、幸田勝

## 【要旨】

道路の維持管理は、近年の道路予算の縮減から、より一層のコスト縮減が求められている。積雪寒冷地である北海道では、路面清掃車等の道路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、既存のロータリ除雪車をオールシーズン有効活用するため、ロータリ除雪車で路面清掃車の機能を兼用可能なアタッチメント式路面清掃装置の開発を行った。

また、道路法面における雪庇処理作業の人力除雪についても、より一層の効率化が望まれているため、人力除雪に代わる工法を検討し、非火薬組成の破砕剤を活用した工法の提案を行った。

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、雪庇処理

## 1. はじめに

道路の維持管理は、近年の道路予算の縮減から、より一層のコスト縮減が求められている。積雪寒冷地である北海道では、道路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。

また、道路法面における雪庇処理作業の人力除雪についても、より一層の効率化が望まれている。

本研究では、道路維持管理のコスト縮減及び道路雪庇処理作業の効率化を目的に以下の検討を行った。

- ・現在保有している機械に維持・除雪双方の機能を複合化し、通年活用できる機械の技術開発を行った。
- ・道路法面における雪庇処理作業の効率化について非火薬組成の破砕剤を活用した工法を検討した。
- ・コスト縮減の可能性がある複合・多機能機械の提案を行った。

## 2. 研究方法

### 2. 1 複合機械の技術開発

#### 2. 1. 1 検討方針

積雪寒冷地における道路維持機械及び除雪機械の配置状況、稼働実績から複合化によるコスト縮減の試算を行った。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を行い、以下の基本条件を設定した。

- 1) 既存のロータリ除雪車をオールシーズン有効活用すること。
- 2) 1 台のベース車両で、冬期作業の拡幅除雪（ロータリ除雪装置）と、夏期作業の路面清掃（路面清掃装置）の機能を兼用可能とすること。
- 3) 装置はアタッチメント式とし、ベース車両（ロータリ除雪車）の機能・性能に悪影響を及ぼさないこと。

#### 2. 1. 2 仕様検討

開発する路面清掃装置は、コスト縮減の観点から現在運用されている路面清掃専用車（以下、専用車という。）の代用として使用するため、既存の専用車と同程度の機能及び性能を確保する必要がある。

路面清掃装置の仕様は、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の各専用車の主要諸元から各々最大値を採用した。

また、ベース車両とするロータリ除雪車は、国や地方自治体などが保有する一般的な規格にすること

で、導入先を限定しない仕様とした。

試作した路面清掃装置（以下、試作機という。）を写真-1に示す。



写真-1 ロータリ除雪車に対応した路面清掃装置（試作機）

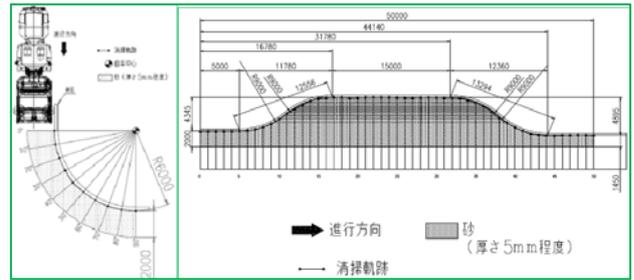


図-1 回転半径及びバスベイ構造の試験コース

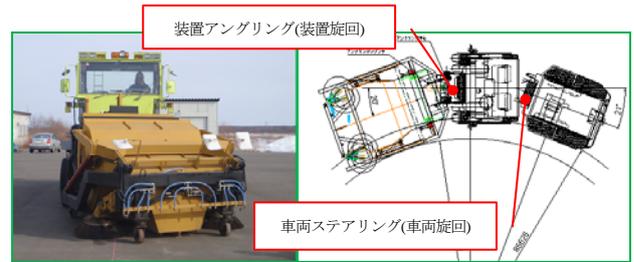


図-2 旋回機構（車両+装置）

### 2. 1. 3 性能試験

試作機の性能試験は、試験道路に設定したテストコースで実施した。試験は、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<sup>1)</sup>を参考に、a)～d)の内容について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

- 左：道路線形追従走行試験
- 中：清掃能力試験
- 右：ダンプトラックへの積み込み試験

#### 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、ブラシの追従走行が可能か道路線形と装置及び車両の軌跡を確認した（写真-2 左、図-1）。

その結果、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）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った（図-2）。

#### b) 作業装置試験

主ブラシ・側ブラシは、メンテナンス性を

考慮し、専用車と同じ部品を採用した。ブラシ回転数等の作動は専用車と比べ同等以上の性能を確認できた。散水性能も清掃延長1km当り散水量<sup>2)</sup>を参考に、専用車の散水量と比較し、同程度となった。

ホッパの作動性能は、試作機のオリジナル機構（写真-2 右）となるため、専用車との比較はできないが、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、性能試験方法<sup>1)</sup>及び路面清掃車の清掃速度<sup>2)</sup>を参考に、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（ $0.4\text{m}^3/\text{km}$ ・ $0.8\text{m}^3/\text{km}$ ）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、砂及び異形物を対象に、清掃後の掃き残し量を計測して収納能力（ $\text{収納率} = (\text{塵埃量} - \text{掃き残し量}) / \text{塵埃量}$ ）を確認した（写真-2 中央）。

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にあったが、塵埃の量にさほど影響なく、低速・中速・高速のどの速度でも収納率90%程度の清掃能力があることを確認できた。

専用車との能力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

シとともに回転数、圧力、作動油タンク温度等は安定した数値であった。

異形物清掃作業は、玉石(40~80mm)・空き缶(アルミ・スチール)・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。

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の確認を行った。

試作機の掃き込み構造は、専用車における主ブラシで掃き込んだ塵埃をベルトコンベアで持ち上げ、上から落として入れる上開き箱形状の機構(図-3下)と異なり、主ブラシで横から直接掃き込む横開き箱形状(図-3上)としたため、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。

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込み作業を円滑に行える構造を検討した。

試作機の塵埃収納容量は、各専用車のホップ内容量にホップ係数<sup>2)</sup>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程度の能力があることが確認できた。

d) その他の試験

作業姿勢及び回送姿勢における運転室からの視野試験(写真-3)及び、ダンプトラックへの積込み試験(写真-2右)を行った。

試作機及びロータリ除雪装置を取り付けた作業姿勢と回送姿勢の視野範囲を比較すると、各々の姿勢とも同等の視野であることが確認できた(図-4)。また、路面清掃専用車とも比較した結果、トラックベースである4輪ブラシ式を除き、視野範囲は同程度であった。

ダンプトラックへの積込みは、フロントリフトダンプ式の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、問題なく積込みできた。

さらに、一般ドライバーの視点から試作機

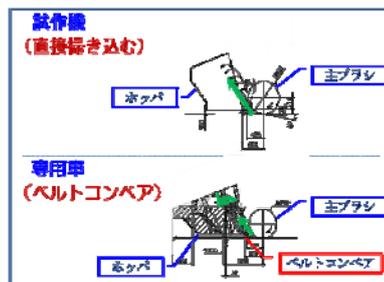


図-3 掃き込み構造

表-1 各種ホップ収納容量比較表

	ブラシ式			真空式	適用
	3輪ブラシ式	4輪操舵ブラシ式	4輪ブラシ式	片・両ブラシ式	
	フロリフトダンプ式	フロリフトダンプ式	リアリフトダンプ式	リアダンプ式	
ホップ内容積	2.2m <sup>3</sup>	2.0m <sup>3</sup>	2.5m <sup>3</sup>	6.0m <sup>3</sup>	仕様書(メーカー値)
ホップ係数	0.55	0.55	0.48	0.50	土木工事標準積算基準書(国土交通省)
換算値	1.21m <sup>3</sup>	1.1m <sup>3</sup>	1.2m <sup>3</sup>	3.0m <sup>3</sup>	

表-2 試作機最大塵埃収納容量の試験結果

	試験No.	砂比重	ホップ内実収納容量	
			容量(m <sup>3</sup> )	重量(kg)
試作機	1	1.40	1.40	1,960
	2	1.55	1.54	2,387
試作機(改良)	3	1.56	1.08	1,685
	4	1.33	1.07	1,423



写真-3 オペレータ操作・運転席視野状況

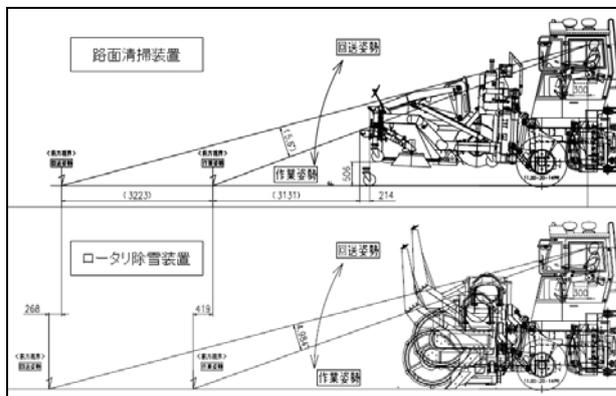


図-4 作業及び回送姿勢の視野範囲

(上：路面清掃装置、下：ロータリ除雪装置)

をどう感じるのか確認した。一般的な一般国道の最小幅(路肩+1車線)3.5m(図-5<sup>3)4)</sup><sup>5)</sup>を想定し、試験乗用車を試作機(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走行させた。その結果、試作機の手線逸脱などの挙動はなく、また、機械の挙動による一般ドライバーへの視覚的な圧迫感、危険感がないことを確認した(写真-4)。

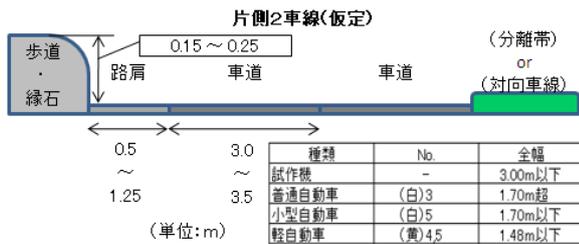


図-5 一般的な一般国道構造(横断図)



写真-4 被験ドライバー走行・運転席視野状況(バスベイ構造の出口付近の状況)

試験の結果、試作機の機能及び性能は、専用車と比べ遜色なかったが、オペレータからのヒアリングより運転操作性について改良点が抽出されたため、仕様の見直しを行った。

試作改良機の主要諸元は、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仕様の見直しを行い、同様に性能試験をした結果、良好となった。

#### 2. 1. 4 国道での路面清掃作業の試行

北海道開発局の協力を得て試作機による清掃確認を国道の道路維持工事で試行する機会を得た。

試行目的は、試作機の作業性能の確認を主に、試作機と専用車の作業能力の比較である。方法は、交通量、道路構造、道路上の塵埃量等の作業条件を合わせるため、同工区・同区間において、専用車と試作機で作業を実施し、道路管理者と道路維持工事請負者、オペレータから運転操作性、作業能力、導入

可能性等についてヒアリングを実施した(写真-5~7)。

また、専用車と試作機の清掃状況、オペレータの作業及び清掃機械と一般車両の挙動を確認するため、ドライブレコーダーを取り付け、映像での比較確認を実施した(図-6~8)。



写真-5 路面清掃車(左)と試行した試作機(右)



写真-6 試作機の清掃状況



写真-7 積み込み作業の状況(比較)

試行の結果、試作機のベース車両の特性である中折れ操舵に伴う機械の手線逸脱や機械の全長の増大に伴う追い越し困難など一般車両に危険を与えるような状況、挙動は確認されず、問題はなかった。

さらに、専用車と試作機の作業騒音について計測した結果、差異がなかった(図-9)。

試行に関する主な意見は以下のとおりであった。

- ・機械の操作に違和感がない。実用化の可能性があると思う。
- ・どんな機械でも初めは運転修得期間が必要である。
- ・ブラシ式専用車は、定期的にホップ内の塵埃をダンプトラックに空けるため、ホップ容量は必要以上に大きくする必要はない。また、散水車で事前散水するため、散水タンクも同様に必要以上に大きな

くても問題ない。

・専用機械と異なる兼用式の導入に対する否定的考えはない。それより、道路の維持管理費の縮減により路面清掃機械を保有できなくなる状況に懸念がある。

・コスト縮減対策は急務であり導入検討したい。

以上のように、現場からの細かな要望はあったものの、試作機に対し否定的な意見や、専用車との作業能力の比較で大きな差異がないことが確認できた。



**<カメラ取付位置及び映像範囲>**

- ①左前方：路面清掃前の路面状況及び前方の映像（清掃前）
- ②左側方：側ブラシと舗道縁石及び路面の映像（追従性）
- ③左後方：路面清掃後の路面状況及び後方の映像（清掃後）
- ④右側方：近接車両との位置関係の映像（追い越し車両、後続車）
- ⑤運転席：オペレータからの前方視界の映像（視界性）
- ⑥運転席：オペレータの視線及び操作状況の映像（運転操作性、安全性）

図-6 ドライブレコーダーカメラ取付位置



図-7 ドライブレコーダー映像（試作機）

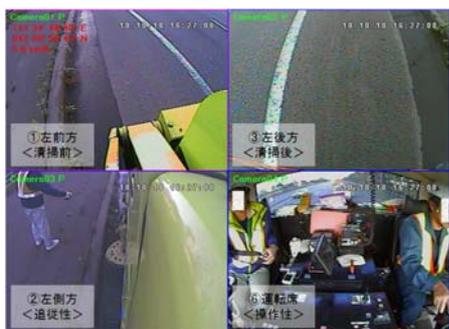
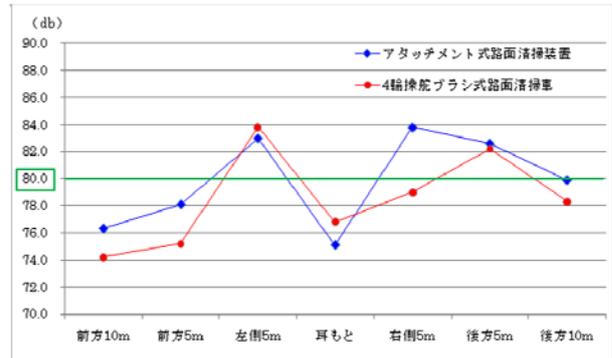


図-8 ドライブレコーダー映像（4輪操舵ブラシ式）



騒音レベルの代表例

騒音の程度	騒音レベル	騒音の程度例
会話不可能	120dB	最大可聴値
		航空機のエンジン近く
		騒音の激しい地下鉄の駅
	110dB	工場サイレンの近く
	100dB	列車が通過する時の高架下
		地下鉄車内、電車の駅
	90dB	機械作業場、空機機械室、印刷工場内
会話困難	80dB	交差点、マーケット、国道
会話に少し大きな声が必要	70dB	劇場、百貨店、銀行のロビー、騒がしい事務所
楽に会話ができる	60dB	レストラン、大きな商店、ホテルのロビー
		普通の会話
		都市周辺住宅地、事務所内
	50dB	劇場、映画館の観客のざわめき
	40dB	一般の住宅(平均値)
		静かな住宅地
	30dB	郊外
		ラジオ放送スタジオ
	20dB	木の葉がすれ合う音
	10dB	ささやき声
	0dB	最小可聴値

図-9 騒音測定結果

2. 1. 5 仕様のとりまとめ

テストコース及び国道での試行結果から、以下に示す主要諸元で仕様のとりまとめを行った。

ロータリ除雪車

形式 ツーステージ 2.2m 級対応

路面清掃装置

形式 ブラシ式、フロントリフトダンプ式、両ガッタ、散水機能付

最大清掃幅 3,000mm

ホップ内標準塵埃収納容量 1.0m<sup>3</sup>

水タンク容量 900L

最大積載量 2,400kg

2. 1. 6 導入検討

導入にあたり、a) ~e) の内容について検討を行った。

a) 複合化による運転費

ロータリ除雪装置及び路面清掃装置の兼用化によるメリット、デメリットを以下のとおりまとめた。

① (冬期) ロータリ除雪車の運転費が下がる  
メリット

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<sup>6)</sup>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、運転日当り運転時間が減少する。そのため、運転1時間当り労務工数及び機械損料が下がり、運転1時間当り単価が減少する。

② (夏期) 路面清掃車の運転費が上がるデメリット

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<sup>6)</sup>の増加よりも比率が大きくなり、供用日当り運転時間、運転日当り運転時間が減少する。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①と逆転現象)。

b) 導入効果の試算

ロータリ除雪車(冬期)と専用車(夏期)の組み合わせと、ロータリ除雪車(夏期・冬期)と試作機(夏期)の組み合わせでコスト縮減に関する比較を行った。

過年度の平均稼働実績を基に導入効果の試算を図-10、年間当たりの専用車に対する運転費の縮減比率を表-3に示す。

試算は、ベース車両となるロータリ除雪車の標準使用年数15年<sup>6)</sup>でライフサイクルコストの比較をしたもので、図中の棒グラフ①~③が夏期使用の路面清掃車2機種及び試作機、④~⑤が冬期使用のロータリ除雪車の15年間のライフサイクルコストを示す。なお、赤線で囲った棒グラフ③、⑤は本報告で提案する機械の組み合わせで、それぞれを100%とした場合の比率を棒上の赤文字に示す。

冬期にロータリ除雪装置として使用する場合は、夏期に試作機を使用する既存の⑤の機械を活用するため、イニシャルコスト(購入費)及び整備費、管理費は現状のままだが、先に述べたメリットより、運転費が現行の④に対して大幅に削減される。

夏期の路面清掃装置として使用する場合は、現状の専用車1台の購入の代わりにアタッチメント装置の購入となることから、イニシャルコスト

(購入費)及び年間の整備費、管理費は大幅に削減されるが、先に述べたデメリットより、夏期の運転費は増加する。

その結果、夏期の路面清掃装置とベース車両の運転費を見ると、コスト高となるが、ロータリ除雪車の運転費が大幅に削減されるため、1年を通して比較するとコスト縮減が可能である。

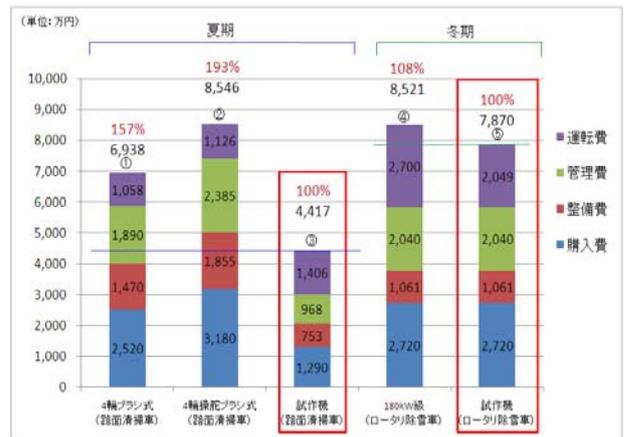


図-10 ライフサイクルコスト比較表(機械単体)

(注記)

- ①, ②, ④は現行機械のライフサイクルコスト
- ③は試作機とベース車両(ロータリ除雪車)の夏期分のライフサイクルコスト
- ⑤は夏期に試作機を利用した場合の冬期分のライフサイクルコスト

表-3 運転費比較表

	新規		現行	運転費 現行比率(%)		
	路面清掃装置	アタッチメント ブラシ式		単体	夏冬・組合せ	
夏期	路面清掃車	3輪ブラシ式	路面清掃車	137 %	93 %	
		4輪ブラシ式	路面清掃車	133 %	92 %	
		4輪操舵ブラシ式	路面清掃車	125 %	90 %	
冬期	ロータリ除雪車	180kW級(3次排対)	ロータリ除雪車	180kW級(3次排対)	76 %	-

また、道路管理者が工事受注者へ機械を無償貸与する場合で1組・台当たりのライフサイクルコストを損料<sup>6)</sup>で試算した。

試算対象機種は保有台数の多い4輪ブラシ式とし、結果を図-11に示す。路面清掃車(装置)とロータリ除雪車を組み合わせた年間当たり総額で積み上げ方式とした。0年目は購入費のみとし、1年目以降は整備費、管理費、運転費を計上した。

損料表<sup>6)</sup>における過去3ヶ年の変化として、路面清掃車の標準使用年数が8.0年から9.0年または

9.5年、ロータリ除雪車の標準使用年数が13.5年から15.0年と使用年数が伸びていることから、ここでは比較を行うため、ベース車両であるロータリ除雪車に準拠した使用年数15年で試算した。

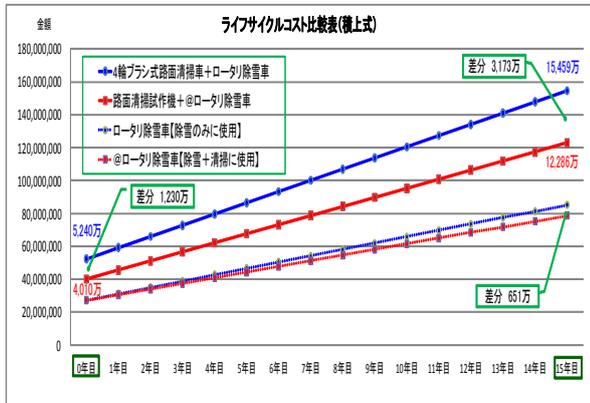


図-11 ライフサイクルコスト比較表（積上式）

（注記）

青線：従来の運用（各々専用車を使用した場合）

赤線：提案の運用（ロータリ除雪車を通年利用した場合）

### c) 効果的な配置提案

より多くの導入効果を期待するには、専用車と試作機の運転費の差から稼働時間比が有利な配置を行うことが望ましい。

表-4は、専用車から置き換えた場合、従来の組み合わせ運転費と“同等”になる稼働時間の比率について試算結果を示している。

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削減効果は大きくなる。

このことから、除雪機械の稼働が年間標準運転時間<sup>6)</sup>より高く、維持機械の稼働が低い傾向にある地域は、コスト削減効果が高いと考えられる。

表-4 効果が得られる稼働時間比

		路面清掃		
		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	180kW級（3次排対）	0.416 : 0.584	0.395 : 0.605	0.344 : 0.656

（注記）

- （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。

### d) 国土交通省の事業概要

路面清掃作業の目的は、道路及び沿道環境の保全と道路の美観を保持することを含めた道路の機能維持と保安、交通災害の予防、人体の保護など<sup>7)</sup>としている。

国道の維持管理は、各地域によって気象条件や沿道状況等が異なることから路面清掃などの各維持作業は地域の状況を踏まえ、適切な道路維持管理がされてきた。

しかし、冒頭で記した近年の道路予算縮減に加え、平成21年11月の行政刷新会議「事業仕分け」での結果から、今般、通行の安全性等に配慮しつつ、全国統一の考え方を設定し実施されることになった。

このことから、道路の清掃などは全国統一の管理基準により運用するとともに、地域の特性を考慮した適切な道路サービスを提供とあり、表-5に示す基準が設定された。

また、除雪作業についても先の行政刷新会議から全国統一基準が設定され、コスト削減が求められている。

表-5 路面清掃管理基準

項目	H21実施基準	H22実施基準
車道(DID区間)	1~28回/年	6回/年以内
車道(郊外部)	1~7回/年	1回/年以内

### e) 路面清掃車のブラシ式と真空式の比較

路面清掃車の機種を選定するにあたり、表-6<sup>7)</sup>に示す路面清掃車の作業条件と適用性を参考にした。

表-6 路面清掃車の作業条件と適用性

走行装置による分類	3輪式		4輪式	
	ブラシ式		真空式	
塵埃回収方式による分類	ブラシ式		真空式	
塵埃排出方式による分類	ノットリフトアップ式	ノットリフトアップ式	リフトアップ式	リフトアップ式
(作業条件)				
屈曲の多い狭い道路で使用する場合	○	△	△	△
回送距離が長い場合	△	○	○	○
土砂の堆積が多い場合	○	○	○	△
塵埃が大きく、多量に堆積している場合	○	○	○	△
塵埃の比重が軽く、堆積量が少ない場合	△	△	△	○
併清掃作業時を兼用したい場合	×	×	△	○
騒音を特に避けたい場合	○	○	○	△
塵埃を作業路上で積み替えたい場合	○	○	○	○
塵埃を直接処分場へ持ち込み場合	×	×	△	△
(道路構造)				
路面の不陸が多い場合	△	△	△	○

注) ○印:良 △印:普通 ×:適さない

ブラシ式・真空式ともに、今後、道路清掃回数の抑制から1回当たりの作業負担が増加することを想定すると、表-6の色付き箇所の作業条件“土砂の堆積が多い場合”、“塵埃が大きく多量に堆積している場合”、及び市街地を考慮し、“騒音を特に避けたい場合”に注目した。その結果、地域条件にも左右されるが、路面清掃車が少数保有になった場合、今後ブラシ式の有用性が高くなると思われる。

また、ブラシ式と真空式の比較をコストでも試算した。各々異なる特徴を持っているが、作業形態として大きな違いがある。

路面清掃における塵埃処分の作業形態について、真空式は処分場まで自走しなければならないのに対し、ブラシ式は処分場まで自走を必要としないダンプトラックを拘束する必要がある。

道路清掃の基準<sup>2)</sup>によると、工区毎の清掃延長、清掃速度、移動距離、移動速度、塵埃量の実績などから路面清掃費を求めるため、地域事情が異なる工区毎の比較が必要になるが、路面清掃車のホッパに収集した塵埃を処分場まで運ぶ距離が近いと真空式が安価であり、遠い程ブラシ式が安価になる傾向がある。

これは工区毎の清掃延長や塵埃量の違いに加え、“真空式の塵埃処分場までの移動に要する費用”と“ブラシ式のダンプトラックの拘束に要する費用”のどちらがコスト的に有利であるかが比較のキーポイントになる。

清掃延長のどの位置でホッパが満載になるか確定できないため、コストに対して単純な比較はできないが、路面清掃車性能試験<sup>1)</sup>を実施する場合の塵埃量 $0.4\text{m}^3/\text{km}$ と仮定した場合、移動距離が清掃延長の4～5倍以上になるとブラシ式が有利になる傾向にある。また、塵埃量が増すにつれブラシ式が有利になる。

## 2. 2 道路法面に関する除雪工法の検討

### 2. 2. 1 検討方針

道路法面の雪庇処理作業の効率化を目的に、人力除雪に代わる新たな工法について、作業範囲の制約が少なく、雪庇の形状に柔軟性のある以下2工法の検討を行った。

#### a) ワイヤソーを活用した工法

ワイヤソーを活用した工法は、従来、岩切及びコンクリート解体処理に適用されていた工法であり、ワイヤソーを対象物に巻き付け回転させること

により切断する。特徴を①～④に示す。

- ① 対象物に制約がなく、複雑な形状物の切断が可能である。
- ② 縦、横、斜めなど自在な切断が可能である。
- ③ 狭い場所、高所での切断が可能である。
- ④ 低振動・低騒音である。

#### b) 非火薬組成の破砕剤を活用した工法

破砕剤は、従来、岩類及びコンクリート解体処理に適用されていた工法であるが、近年、施工場所周辺の環境保全に係わる振動や騒音の制約から火薬類を用いた従来工法の適用性が困難になってきた。

そこで、新しい応用分野として、金属酸化物と金属アルミニウムの粉末混合物に着火することでアルミニウムは金属酸化物を還元しながら高温を発生する、電気と化学の相乗効果を利用したテルミット反応を活用した工法に注目した。特徴を①～⑤に示す。

- ① 反応後の生成物が低環境負荷である。
- ② 低振動・低騒音である。
- ③ 「法」による規制が少ない。
- ④ 他の電源処理器と比較して安価である。
- ⑤ 着火の消費電力が少ない。

### 2. 2. 2 確認試験

検討方針を基に、以下の確認試験を行った。

#### a) ワイヤソーを活用した工法

クレーン付きトラックにワイヤソーを取り付け、雪面を切断している事例がある。これを参考に道路法面の雪庇や不安定積雪に対してワイヤソーを活用した工法の適用性の確認試験を行った。

試験の状況を写真-8, 9に示す。



写真-8 使用機械

左：ワイヤソー本体

右：ダイヤモンドワイヤソー



写真-9 試験施工状況  
 左：法面の上から  
 右：ワイヤー設置状況  
 右：切断後の状況

試験の結果、ワイヤーの切断方向は設置した位置からワイヤーの方向に沿ってほぼ正確に切断が可能であるが、ワイヤーの回転によって発生した熱により切断面が融解する。これが切断した雪の自重により再固着しようとするため、切断した雪を確実に落下させることは困難であった。

また、切断する雪面が不安定のため、常時ワイヤーにテンションを掛けることが困難であり、ワイヤーのたわみから再設置作業が必要になる課題が残った。

b) 非火薬組成の破砕剤を活用した工法

通常、岩盤等の処理に用いられている非火薬組成の破砕剤を雪に対して使用した場合の動植物・環境への影響確認を目的に、破砕剤から発生する残渣物の確認及び生成物の分析調査試験を行った。

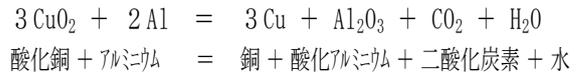
影響度は、環境省が定める「人の健康の保護に関する環境基準」、「土壤環境基準」、「ダイオキシン類による大気汚染、水質汚濁（水底の底質の汚染を含む。）及び土壤の汚染に係る環境基準」の基準を適用し、重金属分析11項目含有量調査及びダイオキシン含有量調査、化学式で発生する化合物含有量調査を行った。

使用した破砕剤は、酸化銅とアルミニウムを主成分とし、酸化銅とアルミニウムの粉末を混合して、高融点電熱線による電熱放電により着火することで、2,000℃以上の高温と火花を散らして激しくテルミット反応する。

破砕剤の処理メカニズムは、酸化銅とアルミニウム金属によるテルミット反応の熱分解により発生するガス圧により、雪を横断方向に押し出す。

酸化銅とアルミニウムを主成分とした破砕剤のテルミット反応の化学式と試験方法を以下に

示す。



試験は、斜面に体積した雪に破砕剤を充填し、雪に対する効果を確認した。

破砕剤は、筒体の材質が異なる2種類（塩化ビニール管、紙管）を使用し、効果の違い、騒音・振動の測定、残渣について確認を行った。

騒音・振動の測定は、環境省が定める「騒音に係る環境基準」及び「振動規制法施行規則」を準拠した。

試験の手順、状況を図-12、写真-10に示す。

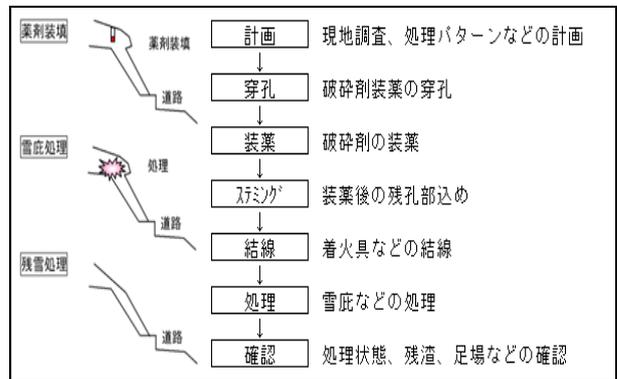


図-12 破砕剤による施工手順



写真-10 試験施工状況  
 左：施工法面の下から  
 右：施工法面の上から

試験の結果、筒材の硬度による横断方向の押し付け圧から塩化ビニール管の破砕剤の方が効果が大きい傾向にあったが、筒材が残渣物として残った。一方、紙管の破砕剤は、塩化ビニール管に比べると効果が小さい傾向にあったが、筒材は燃焼するため残渣の影響が少なかった。

しかし、主成分とする銅が残渣として、適用し

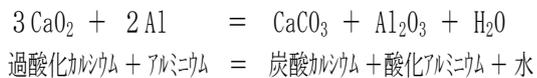
た基準値を越えたため成分などを見直す必要がある。

騒音・振動レベルは、筒材による差異はなく、除雪機械と比較すると、騒音レベルはグレーダの約0.9倍、振動レベルはバックホウの約1.7倍となった。

このことから、道路法面の除雪作業に適用することを考慮すると、回収を必要としなく、環境などに配慮した材料を選定する必要がある。

残渣物に課題が残ったため、破碎剤の主成分で酸化剤として使用していた酸化銅を過酸化カルシウムに変更し、筒材は紙材とした。主成分を見直した破碎剤の反応後の生成物は、金属銅が酸化カルシウム（生石灰）となり、酸化アルミニウム（アルミナ）、炭酸ガス及び水は従来と同じである。酸化カルシウム（生石灰）は、さらに周囲の水分と反応して水酸化カルシウム（消石灰）となり、さらに大気中の炭酸ガス（二酸化炭素）と反応して炭酸カルシウム（石灰石）となる。

過酸化カルシウムとアルミニウムを主成分とした破碎剤のテルミット反応の化学式と試験方法を以下に示す。



試験は、破碎剤の残渣物調査を目的とするため、鋼製の容器に、外的影響を受けていない新雪を充填し破碎剤の残渣物調査を行った。

また、同様に騒音・振動についても測定した。試験の状況を写真-11に示す。



写真-11 試験施工状況

左：雪を充填する鋼製の容器

右：破碎剤処理後の状況

右：残渣物のサンプリング状況

試験の結果、金属分析11項目含有量は基準値未満となり、化学式で発生する化合物含有を確認

したが、これらの化合物は、食品添加物、陶芸、土壤改良剤などに使用されていることから影響がないと判断する。

- ・酸化カルシウム—土壤改良剤などに使用
- ・酸化アルミニウム—陶芸などの材料として使用
- ・水酸化カルシウム—酸性土壌の改良剤などに使用
- ・炭酸カルシウム—食品添加物などに使用

なお、ダイオキシン含有量は試験前の雪サンプリング段階で基準値を超えており、試験後の値は破碎前の雪サンプリング値を超えていない。よって、薬剤の残渣影響はなく、大気中に潜在するダイオキシン類によって降雪に影響を受けたものと思われる。

さらに、破碎剤の過酸化カルシウムとアルミニウムの主成分は変えずに、薬剤の配合を変えることで、着火性、燃焼速度、燃焼温度等を向上した改良ができた。

騒音・振動レベルは、除雪機械と比較すると、騒音レベルはグレーダの約0.7倍、振動レベルはバックホウの約0.9倍となった。

## 2. 2. 3 導入検討

破碎剤の雪に対する適用事例の調査を行った。

過酸化カルシウムを主成分とする破碎剤は市場にないため、酸化銅を主成分とする破碎剤の実績では、北海道内外の山岳道路やスキー場などで適用事例がある。

また、過年度の試験から穿孔作業から処理に要する時間は、処理延長6m程度の雪庇の場合、約20分と短時間であり、現地の積雪形状及び雪の性質（硬度・密度・積雪深など）により作業量が左右されるが、人力による除雪作業より確実に効率的かつコスト縮減、作業員の負担軽減に繋がる。

破碎剤は、少量であれば法令上の制約も少なく、特殊な資格などを要しないため、容易に取り扱うことができる。

## 2. 3 新たな維持・除雪複合機械及び多機能型機械の検討

### 2. 3. 1 検討方法

道路維持管理費のコスト縮減を目的に、積雪寒冷地における道路維持機械及び除雪機械の新たな複合・多機能機械の検討を行った。

検討にあたり、道路管理者及び道路維持除雪業者

ニーズ調査、現場での創意工夫のヒアリングを行い、過年度における国内での開発実績や検討経緯のある機械の情報収集を行った。

### 2. 3. 2 検討方針

調査の結果、複合・多機能化の見込みはあるもののコスト縮減に繋がらないものや、技術的・開発コストに課題が残るものがあった。しかし、コスト縮減の背景などから年々機械の稼働が低下していることから、今後機械の複合・多機能化は有効であると考えられる。新たな機械を開発・導入・普及するより、現在、国や地方自治体が保有している一般的な機械をベース車両にすることで、夏期作業・冬期作業の機能を兼用可能とする通年活用機械、もしくは作業内容によって装置を載せ替える有効活用機械を検討の対象とした。

### 2. 3. 3 組み合わせ機械

アンケート調査などにより検討した結果、以下の組み合わせ機械による複合・多機能化がコスト縮減の可能性があると判断される。

今後は、時代のニーズに応じて、以下の機械のような兼用化・通年化技術を研究開発していく必要があると考えられる。

- 1) 散水車+除雪トラックの機能を兼用可能とする通年活用機械。
- 2) 散水車+凍結防止剤散布車の機能を兼用可能とする通年活用機械。
- 3) 小形除雪車をベース車両とする凍結防止剤散布装置、トンネル清掃装置、ガードレール清掃装置など各維持管理機能を兼用する有効活用機械。

### 3. まとめ

本研究では、道路維持管理のコスト縮減に向けた技術開発を行った。その結果は以下のとおりである。

1) ロータリ除雪車を通年活用することで、ロータリ除雪車自体の運転単価を削減でき、アタッチメント式路面清掃装置は、路面清掃専用車に比べ、経済的である。更に、よりコスト削減を期待するには稼働時間比が有利な配置をすることが望ましい。

2) 道路法面における雪庇処理作業には非火薬組成の破砕剤を活用した工法は有効であり、コスト縮減、省人力化、効率化に寄与できる。また、国立公園内など特に環境に配慮すべき場所にも適用が可能である。

今後は、道路維持管理費のコスト削減を目的に、ロータリ除雪車を通年活用する提案、寒地土木研究所が提案するアタッチメント式路面清掃装置の仕様を国や地方自治体の道路管理者などに広く活用してもらうため、普及活動をしていきたいと考えている。

また、道路法面雪庇処理作業には非火薬組成の破砕剤を活用した工法が有効であることから、雪庇規模に応じた適正配置ポイントを検討していく必要がある。

### 参考文献

- 1) 社団法人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イーパー性能試験方法、日本建設機械化協会、1968. 8. 1
- 2) 財団法人建設物価調査会：国土交通省土木工事標準積算基準書、平成 22 年度
- 3) 国土交通省北海道開発局：道路構造令の解説と運用、平成 16 年 2 月
- 4) 国土交通省北海道開発局：北海道開発局道路設計要領、平成 20 年度
- 5) 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
- 6) 社団法人日本建設機械化協会：建設機械等損料表北海道補正版、平成 22 年度
- 7) 社団法人日本建設機械化協会：道路清掃作業の手引き、平成 7 年 11 月