

38. 高速走行型ロータリ除雪車の開発

建設省(北陸技術)：橋元 和男・前田 孝司
(株)新潟鐵工所：池野 利夫

1 まえがき

最近、幹線道路の整備拡充が目ざましく、交通量の増大とともに走行速度は高速化傾向にあるが、回送速度の遅い除雪車の影響による交通渋滞が発生するケースが多く、渋滞解消等を図ることが社会的ニーズとなっている。一方、建設従事者不足が深刻化する中、除雪機械のオペレータは、豪雪時を含めると8割以上の事業所で不足しており¹⁾、熟練オペレータの高齢化が進む中、除雪機械の自動操作化、簡易操作化の要望も強く、これらの技術開発が不可欠となっている。

そこで、ロータリ除雪車の走行速度を最高70km/hに高速化し、渋滞等の発生を極力減少させるとともに、初心者でも操作できる除雪機械を目指したロータリ除雪車開発の1ステップとして、シュート自動制御機構、油空圧サスペンション、アンチロック・ブレーキ・システム(ABS)等、多くのハイテク機器を装備し、操作性、安全性も大幅に向上した次世代型のロータリ除雪車の開発を行ったものである。

2 開発手法

ロータリ除雪車を開発する場合、従来は機械要素の選定と試験のトライ&エラーの繰り返しであったが、この方法は、定量的評価が困難でテストに多くの時間と経費を必要とする。また、走行試験等ではテスト車の破損や事故等の危険性を伴っていた。

このため、新しくロータリ除雪車を開発するにあたり、最新のシミュレーション手法を適用することで、開発目標に対する設計の完成度を事前に十分検討し、必要に応じた対策を定量的に取り込むことで開発期間の短縮や試験の安全性向上を図った。

シミュレーションは、

- ① 車体重量バランスの確保による走行安定性の向上、重量軽減、加工の容易化によるコスト低減のためフレーム強度の適正化の解析。
- ② 現状機械の走行振動の実態調査、車体各部の振動応答をモーダル解析。
- ③ 機構解析ソフト DADS (米、CADSI社製)による走行シミュレーション。

の手順で実施し、写真-1に例を示すように急ハンドルにおける転倒現象の確認、車線変更や路面凹凸を想定したバンク乗り越え時のサスペンションに加わる荷重とその効果を推定した。



写真-1 急旋回時の転倒現象シミュレーション状況

また、70km/h走行時の車両各部に生じる振動を、有限要素法による強制振動計算で解析し、サスペンションやフローティングキャブの剛性と振動の関係、車両の固有振動モードなどを把握するとともに、写真-2に例を示すようにシャシフレーム及び除雪枠の強度解析（有限要素法）から高い応力発生が予測される強度部材を事前に把握し、この結果をもとに試作機の詳細設計を行った。

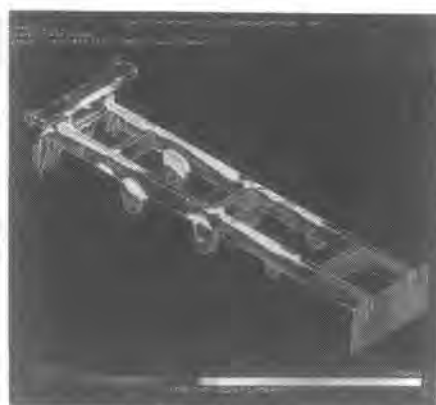


写真-2 有限要素法によるフレームの構造解析例

3 開発機の概要

3.1 開発機のデザイン

“社会に親しまれるデザイン”をコンセプトとして、イメージデッサンによる検討と作業時に要求される機器配置の整合をとり、機器のレイアウトと車両設計を繰り返し行った結果、次世代型のハイテク化した車両に相応しい、写真-3に示す新しいイメージのロータリ除雪車となった。

3.2 開発機の仕様、特長

開発機は、幹線道路における主力除雪機械である300PS級のロータリ除雪車とし、表-1に示す主要仕様のように最高70km/hの高速走行が可能であるとともに、以下に示す新しい機構を開発導入した。

(1) 4輪ステアリング（4WS）方式の採用

回送時は、前輪ステアリングで一般自動車と同様の運転感覚で操作でき、除雪作業時は、4輪ステアリングに切換えることで旋回半径、雪堤への切込みも充分である。

(2) 動力伝達機構

新しく開発したデュアルモード方式（油圧・機械併用）のトランスミッションは、図-1の自動変速システム概要に示すように、静油圧トランスミッション（HST）から段階的に機械駆動式のトランスミッションへ、コンピュータ制御で切り換え変速するフルオートマチックトランスミッションを採用した。このため、回送時は、一般のオートマチック車と同様にアクセルペダルのコントロールだけで0～70km/hまで自動的に変速が行われ、伸びやかな加速と、乗用車感覚のドライブフィーリングが得られる。

また、除雪作業時は、従来と同様に静油圧トランスミッションにより、除雪量等の負荷に応じ



写真-3 開発機の全景

表-1 主要仕様

除雪性能	最大除雪量	3000 t/h
	最高走行速度	70 km/h
	最大投雪距離	45 m
諸元	機関出力	220 kW (300PS)
	走行方式	油圧・機械併用式
	ステアリング	前輪・4輪操舵切換式
	ブレーキ方式	ディスクブレーキ式、ABS付

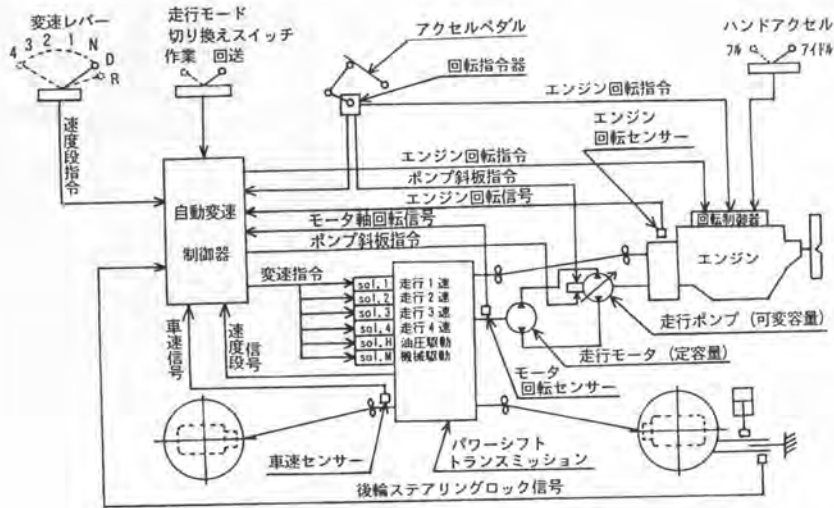


図-1 走行自動変速システムの概要

た速度に無段階の調節が可能である。

(3) 懸架装置

ロータリ除雪車では世界初の、ハイドロ・ニューマチック・サスペンション (油圧懸架) の採用により、高速走行時の安定性と路面凹凸に対しても快適な乗り心地が得られる。

なお、ハイドロ・ニューマチック・サスペンションは、写真-4 に示すようにスイングアームとアキュムレータに接続された油圧シリンダー等で構成されている。



写真-4 ハイドロ・ニューマチック・サスペンションの構造

(4) 運転室

防音構造の運転室をコイルスプリングとショックアブソーバで支持するフローティングキャブの採用により、低騒音、低振動の快適な作業空間を実現している。

(5) アンチロック・ブレーキ・システム (ABS) の採用

ロータリ除雪車で初めてABSを採用し、急制動時は、電子制御によりブレーキ圧力を制御し車輪のロックを防止する。この機構により滑りやすい圧雪や氷上でもハンドルによる車両姿勢のコントロールが可能となり、安全でより安定した制動性能が得られる。

(6) 集約型操作レバーと自動制御機構の採用

操作レバーの数が多く複雑な操作が必要なため、熟練した技術と経験を必要とするロータリ除雪車の運転操作を、初心者でも行えるように自動操作並びに簡易操作機構を採用した。

具体的には、表-2 に示す7本の操作レバーを複合化し、ジョイスティックレバー2本+スイッチ2個に集約した。また、シュートのXY自動制御機構を採用したため、オペレータの人体感

表-2 操作レバーの集約化

操作レバー	従来	開発機
除雪装置昇降(右)	1本	ジョイスティックレバー 1本
除雪装置昇降(左)	1本	
シュートキャブ開閉	1本	ジョイスティックレバー 1本 + スイッチ2個
シュート旋回	1本	
シュート伸縮	1本	
プロアケース回転	1本	
シュート格納	1本	
合計	7本	2本(+2個)



写真-5 運転席の全景

覚に合わせた投雪位置の変更操作が可能で、操作力の軽減や誤操作を防止することができる。なお、開発機械の運転席、操作レバーの状況を写真-5に示す。

4 性能試験

4.1 走行性能試験

(1) 走行、加速性能

建設省土木研究所の試験走路上で実施した試験機の走行性能試験では、目標仕様値である70km/hの走行速度が確認され、加速性能は0→70km/hが30.9秒と十分な性能であった。また、スラローム(速度25~55km/h)や車線変更(速度40~70km/h)もスムーズに操向でき、急旋回試験(速度20km/h)でも高い安定性を得ることができた。高速走行試験状況を写真-6に示す。



写真-6 高速走行試験状況(バンク走行)

(2) 制動性能

初速度35km/hにおける急制動試験結果は、制動距離11.4mと道路運送車両の保安基準に規定されている新型車の審査基準値である12m以下をクリアしており、初速度72km/hにおける急制動試験でも安定した制動状態を確認することができた。

(3) 走行振動

80km/h走行時における運転席床上の上下方向振動加速度をISO 2631の疲労能率減退境界上に表した結果を図-2に示す。

図からスイングアームの横方向移動を規制するラテラルロッドの剛性が高い場合は、3Hz前後に振動加速度のピークがあり8時間の作業が限界となる。

また、ラテラルロッド剛性を柔らかくすると3Hzから12Hz付近にピークは変化するが、作業の限界は8時間のままである。

しかし、これにフローティングキャブをプラスすることで、運転席の加速度は大幅に低下し、24時間以上の作業が可能となり、走行振動によるオペレータの苦渋性は大幅に改善される。

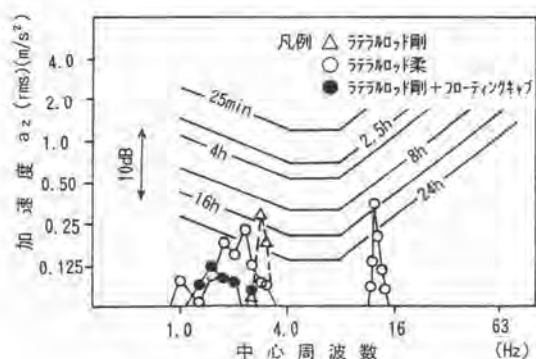


図-2 疲労能率減退限界 (80km/h走行時)

パンク (長さ2,000mm、高さ50mmの三角形の突起) のりこえ時の上下方向加速度は、図-3に示すとおりで、車軸上で0.8~1.2G、フレーム上で0.5G前後、キャビン床上で0.4G以下になっており、車軸からキャビンになるに従いサスペンションとフローティングキャブの効果で加速度が低下していく結果であった。

このため、開発機には、油圧懸架装置+フローティングキャブを採用することとした。

4.2 作業性能試験

新潟県大和町浦佐地先の平坦な自然積雪 (ざらめ雪、密度0.45g/cm³、硬度0.36kg/cm²) のある農道で、JIS D6509に準拠して除雪能力試験を実施した。

(1) 除雪能力

最大除雪能力は図-4に示す結果で3000t/h、機関出力当たりの最大除雪能力も10t/PS・hで、従来の300PS級ロータリ除雪車(2700t/h)に対して10%程度の能力アップであった。また、拡幅除雪時における能力は、2790t/hであり、最大投雪距離も従来機と同程度であることが確認され、除雪作業時における能力も十分な結果であった。

(2) 居住性、操作性

ISO 6682及びISO 3411に準じて、運転操作装置の範囲、位置を測定した結果、各操作レバーは最適操作範囲内、又はその付近におさまっており、従来7本以上あったレバーを2本に集約しているため、従来機のように無理な姿勢で操作する必要がなくなった。また騒音は、運転席耳元で72dB、機械側方7mの前後左右のエネルギー平均で82.8dBと低い値であり、オペレータや周囲の環境へ配慮された機械となっている。

(3) 仕上がり状態

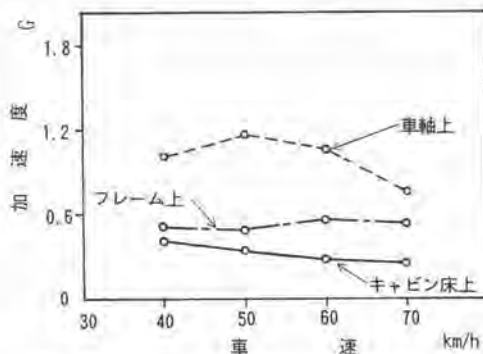


図-3 バンプりこえ時の上下方向最大加速度

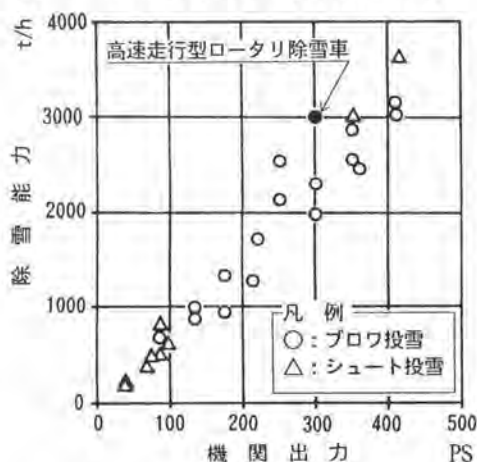


図-4 最大除雪能力試験結果

従来のロータリ除雪車は、前車軸がフレームに直接固定されているが、開発機は、高速走行時の振動低減のためサスペンションが取り付けられている。このため、フロント及びリアのサスペンションを使用した状態と固定した状態で除雪作業を行い、サスペンションが除雪時の仕上がりに与える影響を調査した。

その結果、除雪作業中もサスペンションの車体振動抑制効果は大きく、サスペンションの使用による除雪後の路面の仕上がり状態に顕著な差異は見られなかった。



写真-7 実用機の作業状況

4.3 実用試験

(1) 稼働実態

建設省長岡国道工事事務所、塩沢工区に導入した実用機を対象に、平成5年12月から4ヵ月間実用試験を実施した。試験中の稼働日数は19日（稼働時間149.7時間、走行距離678.2Km）で、この間大きな故障も無く、除雪作業における実用性、信頼性等、開発機の仕様を満足するものであった。なお、実用機の除雪作業状況を写真-7に示す。

(2) アンケート調査

実作業で運転したオペレータ及び助手2名を対象に、アンケート調査を2回行った結果、「集約化したジョイスティックレバーは当初まごついたが、慣れたら非常に使いやすく」、「車体姿勢制御、シュート起倒等のタッチパネルによるメッセージ表示等に新鮮味があり使いやすい」との回答であった。また、雪堤への切り込みについての不都合は感じられず、6%勾配路でもスタッドレスタイヤで作業でき、騒音、振動、居住性が格段に向上し、快適かつ運転が楽になったとの評価を得た。

5 あとがき

開発にあたっては、最新のシミュレーション手法を応用することで、短期間に完成度の高い成果が得られ、従来にない新しい除雪機械をイメージした高速走行型ロータリ除雪車を開発することができた。

また、実用機は、平成5年度に建設省長岡国道工事事務所に導入されており、各種試験の結果、高速走行性能及びその能力は、当初構想どおりの良好な結果であり、開発機が今後、広く普及することを願うものである。

なお開発機は、大幅に自動操作化、簡易操作化されているが、引続き除雪作業の省人化、効率化のため技術開発を進めるとともに、さらに安全性の向上を図って行く予定である。

参考文献

- 1) (株)日本建設機械化協会北陸支部：オペレータアンケート調査、平成3年