

多様化するニーズに対応する建設機械とアタッチメント

# ロータリ除雪車の操舵支援技術に関する研究開発

荒井 猛・平下 浩史・吉田 正

独立行政法人土木研究所では機械除雪の課題であるコストの増加や熟練オペレータの将来的な不足に対処するため、レーンマーカ・センサによる位置特定技術などのITS（高度道路交通システム）技術を適用したロータリ除雪車の操舵支援技術（自動操舵システム）の研究開発に取り組んでいる。これは将来におけるロータリ除雪車のワンマンコントロールの実現を念頭に開発されているものである。本報文は、自動操舵システムの実用化に向けて、これまでの研究開発成果を基により実道に近い条件で行われた実証実験の内容を報告するものである。

キーワード：自動操舵、ロータリ除雪車、ワンマンコントロール、ITS、操作支援、位置特定技術

## 1. はじめに

我が国における車両系除雪機械の運転操作は、車両の操縦を担う運転手と、除雪装置の操作を担う助手の2名体制で行われるのが一般的である。中でもロータリ除雪車は、道路の拡幅除雪を行うために路肩に極力接近して走行するとともに、雪の投雪方向を決めるシュート操作は投雪先の安全を確認しつつきめ細かく操作を行う必要があり、これらの操作がもっとも難しい機種といわれている。

このため土木研究所では、将来のワンマンコントロールの実現を念頭に、

- ・作業効率向上、
- ・安全性向上、
- ・熟練者不足への対応、
- ・コスト低減、

等を目指して、除雪作業時の車両走行における操舵支援技術の開発を平成12年度より進めている。

本報文はその一環として、自動操舵システムの

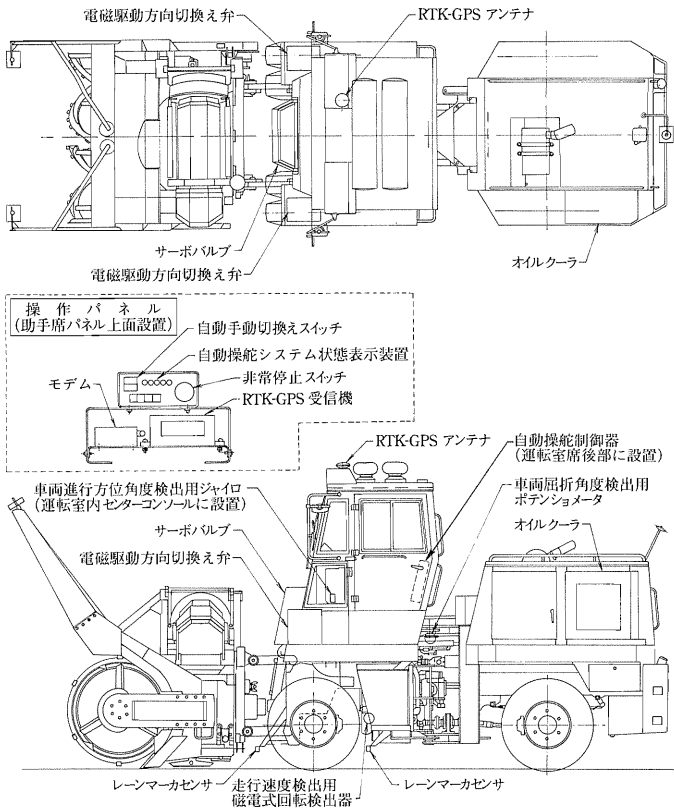
ロータリ除雪車への適用性検証のため、この冬（2002年）、北海道にて行った実証実験の内容とその結果を報告するものである。

## 2. 自動操舵システムの概要及び構成

車両の自動操舵を行うには道路に対する自車の位置の特定と走行すべき方向の特定を行う必要がある。

このための基本技術としてITS（Intelligent Transportation System）分野で開発が進められてきたレーンマーカ・センサシステムがある。

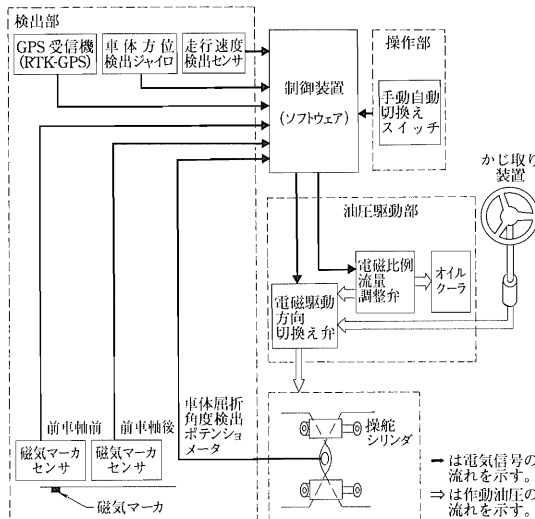
このシステムは、舗装路面下数センチに埋設マーカの種類により2方式がある。一つは強力な永久磁石を使用し、その磁気により位置を特定する磁気式（直径80mm、厚さ40mm）で、もう一つがセンサから発する所定の電波を受けて、2倍の周波数の電波を返信し、位置を特定する電波式（直径118mm、厚さ30mm）である。しかし、この既存技術は一般車両用に開発されたもので、ロータリ除雪車の走行特性（アーティキュレート



図一 自動操舵システム搭載ロータリ除雪車

操舵方式、低速走行、路肩走行)を想定したものではない。

一般車両の走行速度では、路面にある一定の間隔をもって設置されたレンマーカー間の通過速度が速く、短時間で次の位置情報を受取ることがで



図二 自動操舵制御システム構成図 (磁気マーカーの例)

きる。しかし、低速走行するロータリ除雪車では、マーカとマーカ間の走行時間が長く、この間に除雪作業負荷による横滑りが発生すると自車位置を見失うおそれがあった。このため、土木研究所では近年精度向上の著しいRTK (Real-Time Kinematik) GPS及びGIS (Geographic Information System) 技術に着目し、レーンマーカー、センサに加えて連続的に位置特定を行う図一に示すロータリ除雪車用の自動操舵システムの開発を行った。

レーンマーカー・センサ制御は短時間でマーカが検出できるよう前後2列のセンサを設置し、マーカ通過時のセンサ位置情報の横方向の相対差を求め、センサ中心に次のマーカが通過するように操舵を行うものとした。またRTK-GPS技術、GIS技術はあらかじめ道路の形状を座標データとしてGIS上に取込んでおき、RTK-GPSによりリアルタイムに

取得される座標データと照合し、自車の現在位置を知ることで、走行すべき軌道からの横ずれ量や前方の目標軌道を認識し、その現在位置情報を操舵制御で活用するものとした。

今回開発したシステムは、前述の位置特定技術により自車位置を把握し、レーンマーカーの位置などの目標軌道からの横ずれ量を求め、必要な操舵量を制御装置にて演算し、油圧駆動部(操舵シリンダ)を制御することで、自動操舵するものである。本自動操舵システムの構成図を図二に示す。

### 3. 適用性実証実験

#### (1) 実証実験用ロータリ除雪車

実証実験で使用したロータリ除雪車は、国内で稼働する一般的な中型(250PS級)機種であり、これに自動操舵システムを搭載した。システム搭載にあたっては、将来の普及を考慮し、極力ベースマシンに大幅な改造を要しないように心掛けた。また、使用する制御装置等も設計段階から既

存の機材で賄うこととした。

(2) 実証実験走行コース

実験走行コースは、図-3のように一般国道を模した直線、クロソイド曲線で連結された半径30mカーブ部及び交差点を想定した半径12mの左カーブで構成された全長126mの走行コースとした。これを2箇所用意し、このコースに沿って電波式、磁気式のレーンマーカをそれぞれ埋設した。

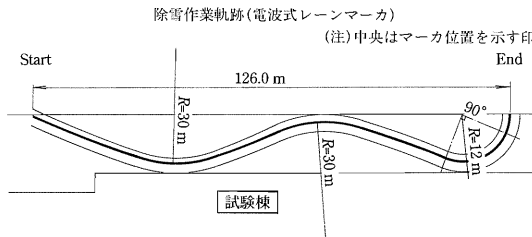


図-3 実証実験走行コース

マーカの設置間隔は、狭いほど精度の良い位置検出が可能となるが、設置コストが高騰するといった問題がある。このため、今回の実験では1.5mの設置間隔の区間と2.0mの設置間隔の区間を設定し、設置間隔の差による走行特性(目標軌道から横ずれ量車体挙動等)も比較検証した。

(3) 実証実験条件

実道の除雪工区には、山間部や上下交差点などがあり、GPS衛星の捕捉できない区間がある。また、無線中継所からの電波や金属片などの落下物によって、マーカからの信号を乱すことも想定される。そこで、実験は各方式の単独制御に加えて、各方式の長所・短所を補うことを目的とし、GPS

制御からレーンマーカ制御へ、またその逆への円滑なるシステムの移行を想定した併用制御を行い、全部で5種類とした。

- ① 磁気式レーンマーカ・センサによる単独制御
- ② 電波式レーンマーカ・センサによる単独制御
- ③ GPS/GIS情報による単独制御
- ④ 上記①と③の併用による制御
- ⑤ 上記②と③の併用による制御

また、走行速度は拡幅除雪時の作業速度とされる4km/hと運搬排雪時の0.5km/hとした。さらにより実作業に近い条件とするため、走行コース上に模擬的に雪堤をつくり、それを除雪(拡幅除雪)させての実証実験とした。各方式ともこのような除雪作業有りを2回、無しを1回実験した。

(4) 実験データ計測フロー

本実験でのデータ計測フローを図-4に示す。実験にて収集するデータは、ロータリ除雪車の各センサから得られる情報と、除雪作業量およびオペレータからのヒアリングによる乗り心地や自動操舵の受容性などである。

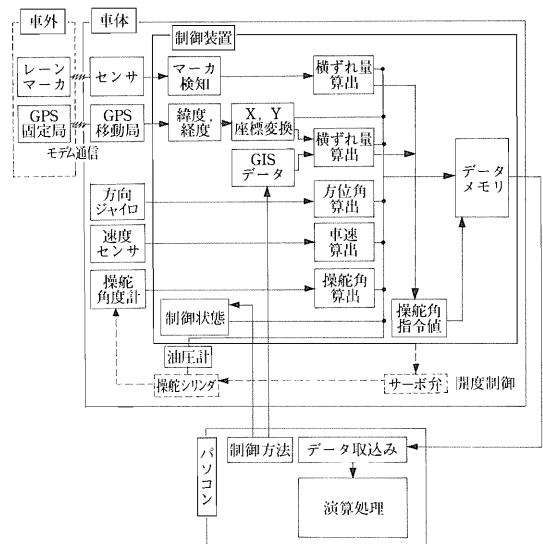


図-4 実験データ計測フロー

4. 実証実験結果

(1) 横ずれ量の比較検討

自動操舵システムにより実際の作業を行う場合

には、定められた軌道（レーン）上を逸脱することなく、かつスムーズな走行が可能であることが求められる。このため目標軌道からのずれ量が最も小さいシステムが実用化に適したシステムと考えられる。そこで、各実験条件における制御方式別の横ずれ量に着目し、比較検証した。

この結果図-5、表-1に示すように、GPS/GIS制御方式によるものが最も横ずれが小さくその連続性も見られ、横ずれ量で評価すると、このシステムが実用化に最も適しているといえる。

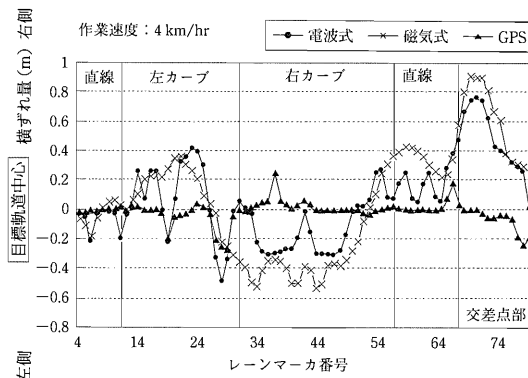


図-5 制御方式別横ずれ量の一例

表-1 各実験条件別横ずれ量標準偏差の比較 (%)

1. 前後センサの比=(1-(前センサの横ずれ量σ/後センサの横ずれ量σ))×100			
	電波式	磁気式	GPS/GIS
除雪負荷有, 4 km/h	3.2	11.0	-
除雪負荷有, 0.5 km/h	3.5	14.0	-
除雪負荷無, 4 km/h	-0.5	5.5	-
除雪負荷無, 0.5 km/h	-1.2	11.4	-
2. *除雪負荷の有無による比=(1-(負荷有σ/負荷無σ))×100			
	電波式	磁気式	GPS/GIS
除雪負荷有→無(4 km/h)	-23.8	-43.7	-15.7
除雪負荷有→無(0.5 km/h)	-17.5	-19.5	-11.2
3. *作業速度による比(負荷有り)=(1-(4 km/h時σ/0.5 km/h時σ))×100			
	電波式	磁気式	GPS/GIS
作業速度 4→0.5 km/h	-2.2	-2.5	-3.5

\*は前センサのデータである。

レーンマーカ・センサ方式では、車両の前車輪前後に装備されたセンサ（前センサと後ろセンサと呼ぶ）に着目すると、横ずれ量の標準偏差値σの前後の比は、電波式では負荷の有無、作業速度に関係なく3%程度と誤差の範囲であり、磁気式は10%程度後ろセンサが大きな値を示した。これより制御性能は電波式が優れていると言える。

負荷の有無による違いでは負荷なしの方がσ

値として電波式、GPS/GIS方式で20%程度、磁気式に至っては約50%も小さな値を示した。これより除雪負荷が制御性能に影響を及ぼすことが言える。

作業速度による違いは、3方式ともに0.5 km/hのσ値が3%(1 cm)程度小さいものの誤差の範囲であり、速度による制御性能の影響は無いと言える。またレーンマーカセンサ方式とGPS/GIS方式の併用制御は、指定した地点でどちらかの方式の位置検出信号を機械的に遮断する操作で模擬した結果、異常な挙動なく円滑に移行できた。

また、実験中に予測できない挙動が観測された。GPS/GIS方式では、開放的な空間であっても一時的に検出精度が落ち、ふらついた。原因は、GPS衛星の捕捉位置が狭い範囲に集中したためと推測される。また、電波マーカ方式においても、実験で車体に取付けた高出力の送信機の影響によるふらつきが発生した。

## (2) 振動測定結果

オペレータ運転席の取付けベース部分において、圧電型加速度計により振動の測定を行った。測定を行ったのは次の条件である。

- ① 磁気式レーンマーカ・センサ単独方式，作業速度 4.0 km/h，除雪負荷あり
- ② オペレータによる手動操作，除雪負荷あり
- ③ 磁気式レーンマーカ・センサ単独方式，作業速度 4.0 km/h，除雪負荷なし

測定の結果より次のことが判明した。

- ① 走行前は、エンジンおよび作業機の回転等により左右、前後方向で2G、上下方向で1G程度の加速度が加わっている。
- ② 磁気式レーンマーカ・センサ方式では除雪負荷の有無に関わらず、走行中の加速度は、走行前に比べて約2倍の値となり、その変動は少ない。
- ③ 磁気式レーンマーカ・センサと手動操作を比べれば、手動操作の方が左右および前後方向の振動加速度および変動は大きい。

以上のことより、磁気式レーンマーカ・センサによる単独作動時の振動加速度は、オペレータによる手動操作時よりも小さく、その変動も小さい

ことから、自動操舵によるオペレータの不快感は少ないと考えられる。

実証実験時のオペレータのヒアリングでも、自動操舵により左右に車体が屈折時の横揺れには違和感を覚えないとの回答であった。

## 5. 結論および今後の課題

レーンマーカ、GPS/GISなどを活用しての自動操舵システムは、ロータリ除雪車の一般的な除雪作業において概ね実用レベルの制御が可能となることを確認した。

なお、自動操舵システムの実用化に向けて、今後改善すべき点として、レーンマーカ制御方式の磁気式では除雪荷の変動によるふらつきや電波式では強力な外部電波が原因で発生する誤作動によるふらつきに対する自動停止機能といった安全対策が必要となる。さらにGPS/GIS制御方式においても、一時的な検出精度低下によるふらつきに対する同様な安全対策が必要となる。

また、今回においては横ずれ量そのものの大きさについて言及しなかったが、今回最良であった自動操舵システムのGPS/GIS方式においても約30cmの横ずれは発生しており、さらに横ずれ量を抑えられる方法やシステムの構築について検討すべきであると思われる。

## 6. おわりに

今回の実証実験において、電波式・磁気式レーンマーカ・センサ、GPS/GIS技術を自動操舵システムに適用させ、所定の目標軌道に沿って除雪しながら実作業速度並で自動操舵走行させることができた。しかもGPS/GIS方式であれば、オペレータが不快となるような大きな横ずれも生ずることもなく、実用化に向けて前進したと考えられる。

しかしながら、今後の課題にも示したとおり、各制御方式には各々長所短所があり、それらを補完させる工夫が必要であること、作業負荷や制御誤差に伴う横ずれの縮小が必要であることなどの課題にさらに取組んでいく必要がある。また、限られた短い走行コース内での実験であったため、予期せぬ外乱への対応などにさらに検討しなければならない。今後の研究に期待するものである。本研究開発が今後の実用化の一助となれば幸いである。

末筆ながら、今回の実証実験にあたり、国土交通省北陸地方整備局、北海道開発局にご協力いただいたことに感謝の意を表する。 J C M A

### 【参考文献】

- 1) 半田 悟・中塚 章・丹治義彦：レーンマーカシステム, *Matsushita Tech. J.*, [10] 45-49 (2001)
- 2) 社団法人日本建設機械化協会, 道路除雪ハンドブック(第4版), p. 131
- 3) 国土交通省道路局, 「道路構造令」

### 【筆者紹介】

荒井 猛(あらい たけし)  
独立行政法人土木研究所  
技術推進本部  
先端技術チーム  
主任研究員



平下 浩史(ひらした ひろふみ)  
独立行政法人土木研究所  
技術推進本部  
先端技術チーム  
研究員



吉田 正(よしだ ただし)  
独立行政法人土木研究所  
技術推進本部  
先端技術チーム  
主席研究員

