

除雪機の遠隔操作機能の高度化に関する研究

多田 達実, 高橋 裕之, 神生 直敏

Research of Advanced Remote-control Function for Snow-removing Machine

Tatsumi TADA, Hiroyuki TAKAHASHI, Naotoshi KAMIO

抄 録

北海道の冬期間における自然環境に適応した独自技術として、寒冷積雪環境下で自在に動き回り、人間に代わって作業を行う移動機械の開発が求められている。本研究では、その中で、生活していくために避けることができない重作業である除雪作業に的を絞って、周辺の状況をとらえながら遠隔制御ができる障害物自動回避機能を有した自走式除雪機械を開発した。

キーワード：移動機械，除雪，遠隔制御，障害物回避

Abstract

We propose a mobile machine technique, which can perform the operation that is ordinarily done by human in the cold and snowfall field automatically, as a adaptive technique of Hokkaido. In this research, snow-removing operation that is heavy but indispensable for our life was carried out. In this paper the effect of the remote-control system for self-propelled snow-removing machine with obstacles avoidance function is described.

KEY-WORDS : mobile machine, snow-removing, remote-control, obstacles avoidance

1. はじめに

世界経済のボーダレス化が進む中で北海道を取り巻く経済状況は年々厳しくなっており、これに打ち勝つには工業においても国際競争力の高い特色ある技術開発を積極的に進めることが必要である。北海道の冬期間における自然環境に適応した独自技術として、森林保守や除排雪作業など、寒冷積雪下で自在に動き回り、人間に代わって作業を行う移動機械の開発技術がある。本研究では、高齢化社会対策への取り組みという意味からも重要な自走式除雪機械に的を絞って研究

に着手した。具体的には、「自律的除雪作業システム」の開発を最終的な目標に据えて、そのベースとなる電子制御除雪機とそのリモートコントロール技術、および障害物の自動回避機能の開発を行った。

2. リモートコントロール除雪機

2.1 除雪機の構造

本研究では、長さ約2.5m、高さ2mの中型除雪機（石狩造機㈱製、11-22HST型、仕様：表1）をベース機とし、リモコン化にとって必要な部位を改造した^{1),2)}。図1にリモコン除雪機の外観を示す。

改造作業に先立ってベース機の構造・機構を調査し、電子

事業名：経常試験

課題名：除雪機の遠隔操作機能の高度化に関する研究

制御化の対象とすべき部位を抽出した。また、抽出した部位の電子制御化に必要なアクチュエータ能力を表2のように整理した。本作業では、電子制御化部位をエンジン系、走行系、オーガー系、シュート系の4グループに分けて抽出し、マニュアル除雪機と同等な操作が手元の操縦ボックスから無線でできるよう検討を進めた。

なお、アクチュエータの選定にあたっては、実績があるアクチュエータをできる限り利用することとし、新たなアクチュエータ開発は最小限にとどめた。そこで、本研究では、走行



図1 リモコン除雪機

表1 除雪機の仕様

除雪幅	1100mm
除雪深さ	650mm
最大除雪能力	140t/時
走行速度	最大3.3km/時(前進)
投雪能力	最大25m
	左右130度
エンジン	1124cc、22.5ps ディーゼル

表2 電子制御化部位と必要アクチュエータ

電子制御化部位		必要アクチュエータ能力	
		力	ストローク
エンジン系	(1)起動/停止	—	—
	(2)スロットル 2段階	数kgf	35mm
走行系	(3)左右クラウのクラッチ/ブレーキのON/OFF	20	40
	(4)左右クラウ(HST)の速度設定レバーの位置決め	30	50
オーガー系	(5)回転のON/OFF	30	20
	(6)昇降制御	※既製の実績のある 7kgfを利用	
	(7)水平制御のON/OFF		
シュート系	(8)角度制御		
	(9)方向制御		

系の方向および速度を制御するHST(Hydrostatic Transmission)レバー駆動についてのみ高速・高精度な位置決めができるアクチュエータの開発を行った¹⁾。

2.2 システムの構成

本システムの制御ブロック図を図2に示す。本システムでは、手元操縦ボックスの操作信号を無線により車体側受信器に伝送し、その情報を基幹制御シーケンサーが解釈して操縦者の操作に対応したアクチュエータの制御を行う。また、車体に設けられた障害物センサーの情報は専用のシーケンサー

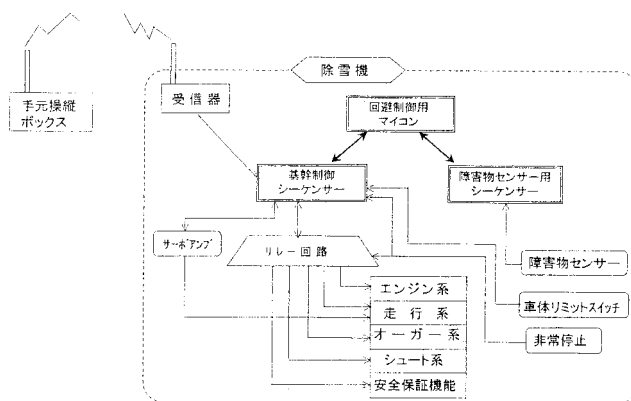


図2 制御ブロック図

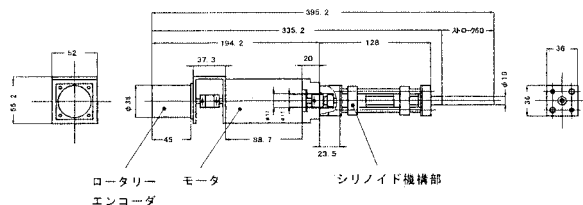


図3 HSTレバー駆動アクチュエータの構造

を経由して除雪機の回避動作制御を指示するマイコンボードに取り込まれる。障害物回避においては、基幹制御を指示するシーケンサーとマイコンボードが通信しながら車体の運動を制御する。

2.3 HSTレバー駆動アクチュエータの構造と機能

本研究で開発したHSTレバー駆動アクチュエータの構造図を図3に示す。本アクチュエータは、動力を発生するDCモータ、回転運動を高精度で直線運動に変換する機構(シリノイド)、およびサーボ系のフィードバックセンサーとなるロータリーエンコーダから構成される。なお、実際の制御では、本アクチュエータはシーケンサーに接続され、シーケンサーのサーボモータ制御機能により位置決めが行われる。

本アクチュエータの基本性能を以下に示す¹⁾。

最大ストローク：60mm
 最大推力：25kgf
 最大速度：30mm/秒

2.4 基本性能確認試験

2.4.1 除雪操作試験

前述のシステムで構成したリモコン除雪機による除雪操作試験を行った。図4にその様子を示す。本試験において、遠隔位置から除雪機を走行させながらオーガーやシュートなどの作業機を操作し、除雪作業が支障なく行えることを確認した。



図4 除雪作業試験

2.4.2 基本走行性能試験

自動除雪作業のためにはリモコン除雪機の基本走行性能（制動距離、コーナリング最小半径等）を軌道生成の拘束条件として明らかにする必要がある。

急制動性能は障害物直前での衝突回避や軌道制御が何らかの原因で不能となった場合を想定した軌道生成のための余裕を見込むために明らかにする必要がある。本試験では、急停止指令後の空走距離を計測した。また、軌道計画をする際に最小移動半径が必要となるため、本試験では車体中心の軌跡より旋回時の車体軌道の最外径を計測した。さらに、障害物の検知が制動動作に移行する遅れを求めて、人間などの急な飛び出しなどへの反応の限界を知るため、障害物検知から除雪機が停止するまでの距離を計測した。

計測結果を模式化したものを図5に示す³⁾。

本試験において以下のことが確認された。

- ①速度0.9m/sec(3.3km/時)の直進走行状態からの急制動では空走距離が0.9mとなる。
- ②前方障害物センサーの障害物検出に基づく急制動では、最

大車速（0.9m/sec）でも障害物手前2.5mで完全停止できる。

- ③旋回半径は進入速度に関係なく1.7mであることが確認された。
- ④特定小電力無線による制御が可能な範囲は見通しが良い所で50m以上である。

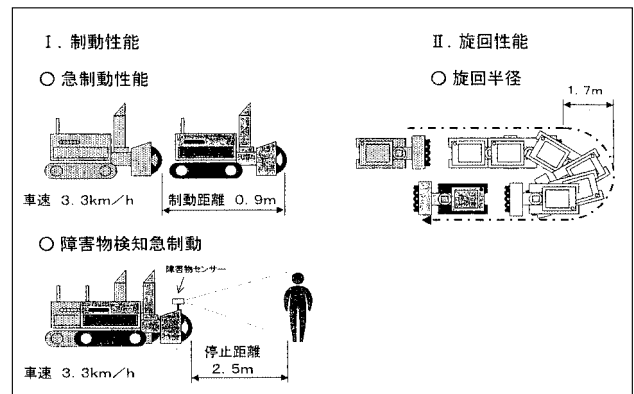


図5 走行性能試験結果

3. 障害物自動回避機能

3.1 障害物回避機能の検討

除雪機を遠隔位置から安全に操縦するためには、除雪機と人体を含む雪上障害物との衝突を自動回避する機能が必要である。そのため本研究では、リモコン除雪機に超音波センサーを搭載し、遠隔操縦中でも除雪機が周囲の障害物の存在を認識して、自動回避する制御方式とした。障害物回避方法を模式的に図6に示す。障害物に対して、車体に装備された5個の障害物検知センサー（前方にA, B, Cの3個、側方にL, Rの2個）の時々々の反応に対して一定量の直進や左右旋回を対応づけて除雪機を動かすこととし、その動作の連なりが結果として障害物を回避させている。なお、回避動作において

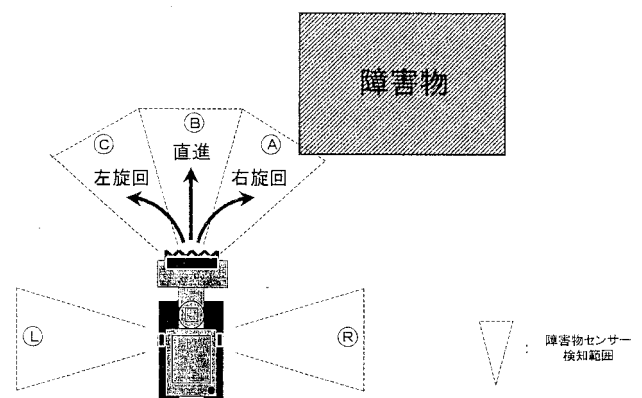


図6 障害物回避方法

は、圧電ジャイロにより計測される車体の方位と左右クローラのエンコーダの回転量により車体位置が求められており、障害物を回避した後、所定の位置で車体は回避動作開始直前の計画軌道上に復帰することができる。

3.2 回避動作のシミュレーション解析

障害物を自動回避する制御アルゴリズムの検討に先立って、除雪機の走行に係わる基本性能（旋回中心、旋回半径、旋回と直進の非同時性）を考慮した回避動作シミュレーションを行った。シミュレーションでは、障害物の大きさと位置を移動平面上に定義し、車体が置かれている位置で反応している障害物センサーの組み合わせに応じて、車体を僅かな量だけ旋回もしくは直進させる。そのような動作を繰り返しながら画面上で車体を回避動作が完了するまで移動させ、制御アルゴリズムの評価を行っている。シミュレーションにおいて確認した回避動作の様子を図7、図8に示す。

図7、図8はそれぞれ、除雪機の前方に障害物が1個ある場合と2個ある場合のシミュレーション結果である。いずれの場合においても、除雪機が障害物に接触することなく回避できることが、本シミュレーションで確認できた。

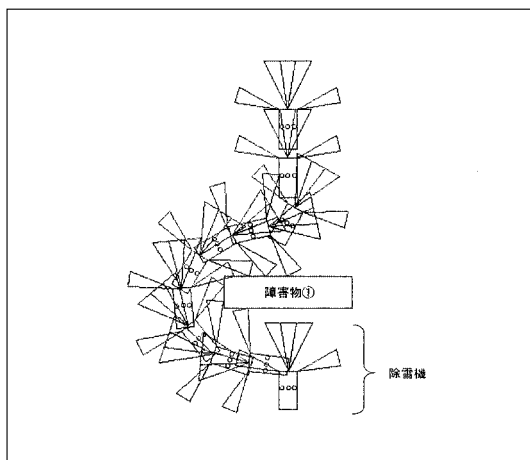


図7 シミュレーション結果①

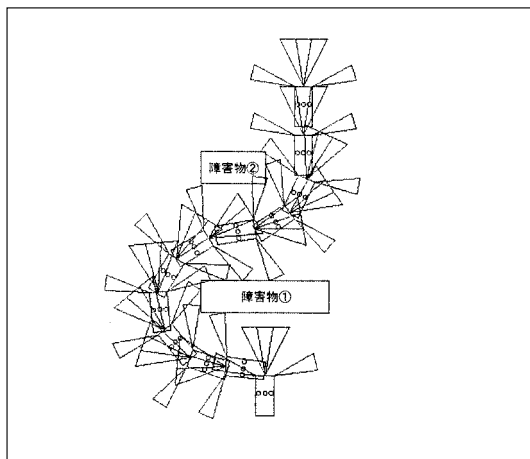


図8 シミュレーション結果②

3.3 回避動作試験

シミュレーションにより確認した障害物回避アルゴリズムの検証のための試験を行った。試験では、図9に示すような障害物を直進進路の延長上に置き、障害物の手前5mより除雪機を走行させて回避の状況を観察した。図10に回避の様子を示す。除雪機はシミュレーション結果と同様に、障害物をほぼ1mの距離を保ちながら移動回避した。以上のことから本試験において絞り込まれたアルゴリズムにより障害物を回避できることを確認した。

4. まとめ

障害物を自動回避する機能を有した自動式除雪機械の開発を目的としてリモートコントロール技術の開発、アクチュエータの利用、回避性能に対するシミュレーション解析等を行い以下の結果を得た。

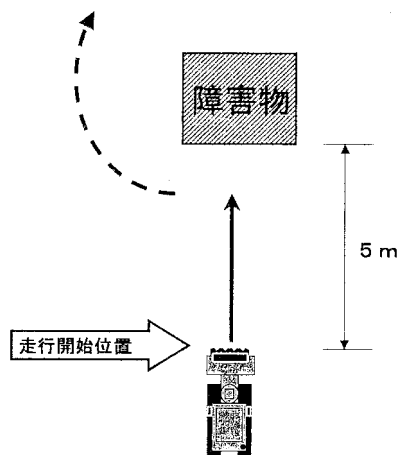


図9 障害物回避動作試験

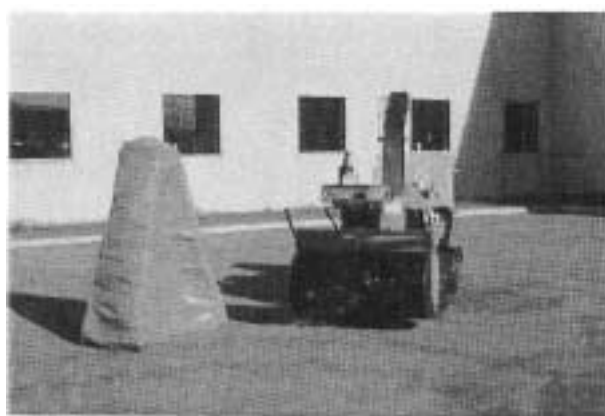


図10 回避動作の様子

- (1) 寒冷積雪な自然環境に適応した移動作業機械として、周辺の状況をとらえながら遠隔制御ができる障害物自動回避機能を有した自走式除雪機械を開発した。
- (2) 除雪機の遠隔制御化のため、回転運動を高精度で直線運動に変換するHSTレバー駆動アクチュエータを開発した。

- (3) 開発した遠隔制御除雪機の基本走行性能試験を行い、以下の性能値を得た。
- ・速度0.9m/sec(3.3km/時)の直進走行状態からの急制動で空走距離が0.9m
 - ・前方障害物センサーの障害物検出に基づく急制動では、最大車速（0.9m/sec）でも障害物手前2.5mで完全停止可能
 - ・旋回半径は進入速度に関係なく1.7m
 - ・特定小電力無線による制御が可能な範囲は見通しが良い所で50m以上
- (4) 障害物自動回避機能を検討し、シミュレーションによりその動作を確認した。
- (5) 試験により障害物自動回避機能を検証した結果、障害物をほぼ1mの距離を保ちながら移動回避できることを確認した。

本研究によって、障害物回避機能を有する遠隔制御可能なリモコン除雪機を開発することができた。安全なリモコン除雪機という段階では、これまでに基本機能の確認が完了していることから、今後は、本技術を実用化へ展開していきたい。また、最終目標である自律化に向けては、本研究成果を高価なGPSを使わずとも自己位置認識ができる技術を併用した技術開発を進める予定である。

引用文献

- 1) 多田達実・高橋裕之・福澤修一郎・磯田和志：自走式除排雪機械の開発 第一報（リモートコントロール技術），寒地技術論文・報告集 Vol. 15 ， pp.607-609, (1999)
- 2) 福澤修一郎・磯田和志・多田達実・高橋裕之：自走式除排雪機械の開発 第一報（雪上障害物／人体検知センサーの開発），寒地技術論文・報告集 Vol. 15, pp.603-606, (1999)
- 3) 福澤修一郎・磯田和志・高橋裕之・多田達実：自走式除排雪機械の開発 第二報（冬期屋外性能試験報告），寒地技術論文・報告集 Vol. 16, pp.588-593, (2000)