

除雪グレーダのブレード作業操作支援システムの開発（経過報告） ～除雪の担い手確保とレベルの維持～

佐藤 英樹*¹

田中 孝之*¹

1. はじめに

除雪グレーダは、ブレードを用いて新雪除雪及び路面整正作業を行う除雪機械であり、幹線道路における除雪作業の主力機械となるもので、安全で安心な冬期道路交通確保の重要な役割を担っている。

除雪グレーダによる除雪作業は、路面状況、道路構造および沿道条件等に合わせた操作が必要であり、その操作は複雑で難易度が高く、オペレータの熟練した技術が必要である。近年、建設業の担い手不足が懸念されているなか、除雪機械のオペレータにおいても高齢化および減少が進んでおり、将来的に確保が困難な状況になることが予想される。

本稿では、担い手確保および除雪レベル（品質）を維持するため、経験が浅いオペレータでも現状の除雪レベルが維持できる作業操作支援システムの構築を目標として開発経過について報告するものである。

2. 作業操作支援システムの概要

2022 年度までに作業負荷に応じた自動制御技術を開発しており、2023 年度からは作業負荷制御に加えて、位置情報による自動制御を加えた統合制御システムの開発を進めている。各制御システムについて(1)～(3)に記載する。

(1) 作業負荷制御

自動制御を検討するにあたり、作業装置操作系の整理および操作支援の優先度を検討するために作業装置の操作頻度について調査を行った。作業装置の各動作項目を図1に示す。

- ①：ブレード昇降（押付力）
- ②：ブレードスライド（横送り）
- ③：サークル回転（推進角）
- ④：ブレードチップ（切削角）
- ⑤：シャッターブレード
- ⑥：前車輪リーニング

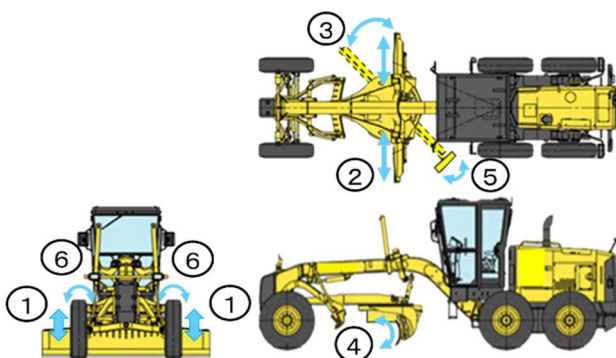


図1 除雪グレーダの各動作

操作頻度調査結果より、③サークル回転、②ブレードスライドの操作が多く、オペレータヒアリングからも優先度が高いと判断した。さらに、ブレードスライドは、サークル回転と連動した操作が多数見受けられたことから、自動制御の検討対象をサークル回転とブレードスライドの組み合わせ制御とした。

サークル回転（推進角）操作の一つとして、作業速度を維持するための作業負荷調整がある。ブレードに抱える雪が多くなると作業負荷が増し速度が低下する。このため速度が低下する前にサークルを回転させ推進角を減少させることで、抱えている雪を路側帯に流れ易くし負荷を減らし、速度を維持するのが目的である。

自動化にあたり制御要素を検討した結果、エンジン回転数を監視することで推進角を制御することが可能と判断した。橋梁ジョイント等の注意箇所、対向車や後続車両を避けるためのアクセルワークに伴うエンジン回転数の変化を排除するため、アクセル開度95%（エンジン回転数1,900rpm）以上を出力条件とした。自動制御の動作を図2に示す。

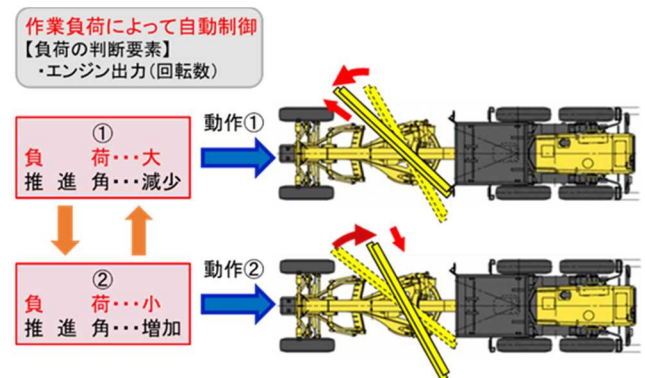


図2 作業負荷制御の動作

(2) 位置情報制御

GNSS受信機（準天頂衛星みちびき対応）で取得した位置情報により自車位置を把握し、所定の位置で登録された動作ができる制御とした。除雪作業において、雪を抱え込むシャッターブレードと排雪するブレードの2つの装置を使用して4つの動作を自動化することとした。交差点や乗り入れ口に雪を残さないために操作するシャッターブレード開閉制御および推進角制御、右左折レーンやバス停等の除雪幅が変化する箇所での拡幅制御、橋梁ジョイント等の段差にブレードを接触させないために操作する障害物回避制御を自動制御の対象とした。各制御動作を図3に示す。

位置情報制御に用いる地図データの作成は、MMS（モバイル・マッピング・システム）で取得した点群データを基に除雪作業データを組み込み作成した。

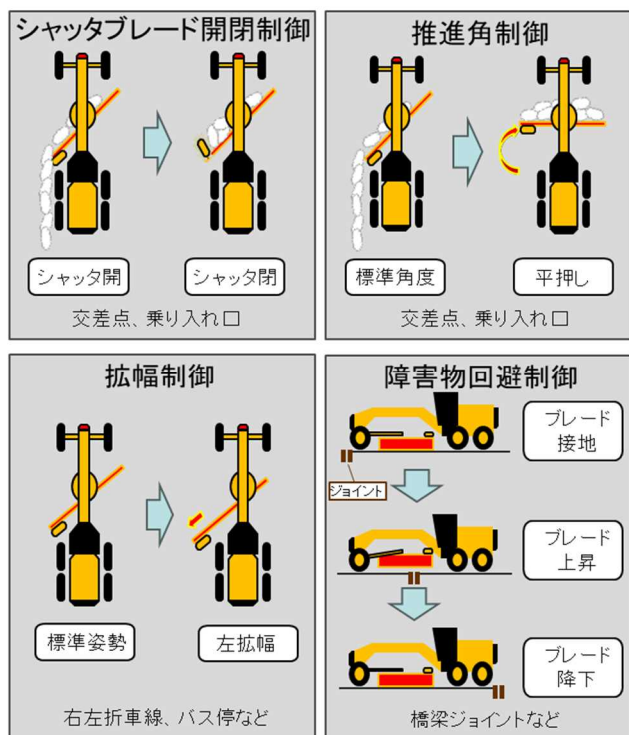


図3 位置情報制御による各動作

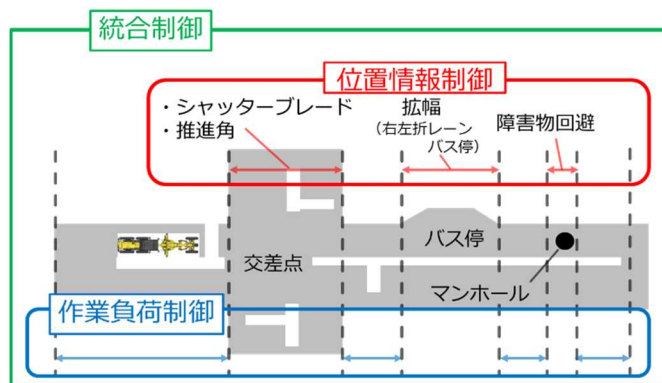


図5 統合制御システム模式図

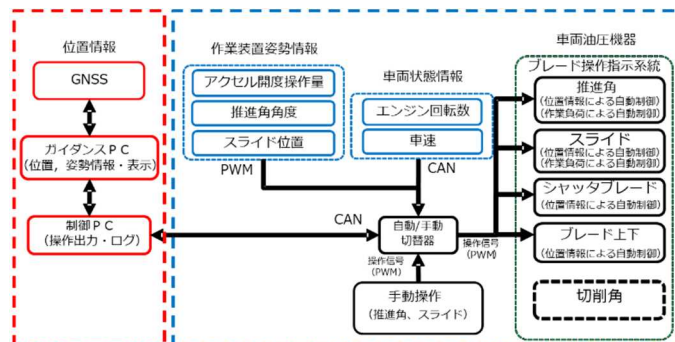


図6 統合制御システム構成図

(3) 統合制御

(1) 作業負荷制御と(2)位置情報制御を組み合わせた統合制御システムの開発を進めている。統合制御システムでは、作業負荷制御と位置情報制御が混在し、交差点部等においては残雪が不可となるため、位置情報による制御を優先して稼働させることとした。

除雪作業フロー図を図4に、模式図を図5、システム構成図を図6、主要な機器構成を図7に示す。

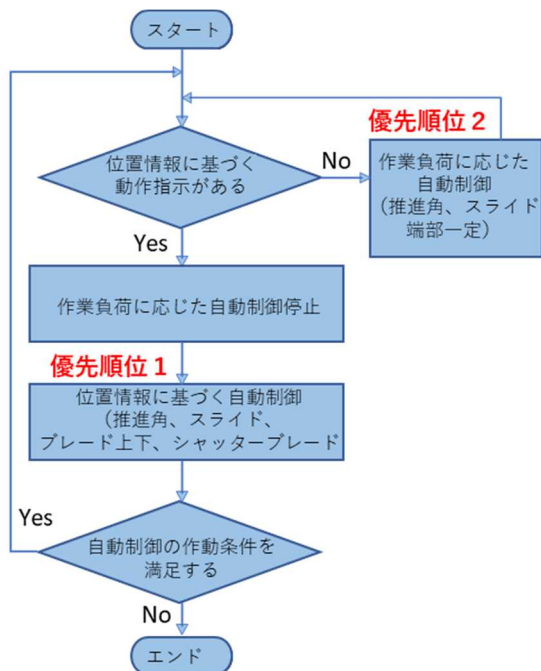


図4 統合制御システムによる除雪作業フロー



図7 主要な機器構成

3. 位置情報制御における構内実証試験

(1) GNSSアンテナ取付位置の妥当性検証

通信状況の確認試験では1周750mのテストコース3周を1セットとし、右周りと左回りでそれぞれ3セットずつ実施した。通信状況は表1に示すようにFIX率は99%以上

であり、車両進行方向による測位状態の変化は見られず、取付位置に問題無きことを確認した。

表1 テストコース周回による通信確認

FIX 率	右周り	左回り
テストコース 1 周目	99. 9%	100. 0%
テストコース 2 周目	100. 0%	100. 0%
テストコース 3 周目	99. 6%	100. 0%

(2)動作位置精度試験

各作業装置の動作試験については設定した位置において正常に動作することが確認できた。

目標位置での動作位置精度確認方法については、目標位置と動作位置との差をビデオカメラの映像から解析して測定し(写真1)、写真2に示すように機械にマーキングを施すことで動作開始、完了の目印とした。試験は走行速度段2速から6速の各速度段にて2回行った。



写真1 試験状況



写真2 動作確認用マーキング

制御目標範囲として、人間の単純反応速度(0.15秒)と除雪グレーダの作業速度(25km/h)の関係から±1.1mを目標範囲と定めた。精度確認結果一覧を表2に、目標範囲を超過したシャッターブレード開動作と推進角動作(60°→90°)のデータを表3に示す。

動作開始位置制御では現在速度の情報を10Hzにて取り込むプログラムとしているが、計算値の係数見直しなどを今後、試験を通じて行い、位置精度を高めていく。

表2 動作位置精度試験結果一覧表

速度段	車速	シャッターブレード		平押し制御(推進角制御)		拡幅制御
		開動作	閉動作	60°→90°	60°→90°	左拡幅
2	5.5	○	○	○	○	○
3	8	○	○	○	○	○
4	11	○	○	○	○	○
5	17	○	○	○	○	○
6	23	×	○	×	○	○

表3 目標範囲超過詳細データ

	速度段	車速[km/h]	目標範囲[m]	1回目[m]	2回目[m]
シャッターブレード 開動作開始	2	5.5	1.1	-0.8	-0.9
	3	8		-0.7	-0.6
	4	11		-0.5	-0.5
	5	17		0.2	0.2
	6	23		0.8	1.5
推進角制御 60°→90°	2	5.5	1.1	-0.6	-0.5
	3	8		-0.2	-0.2
	4	11		0.2	0.3
	5	17		0.5	0.4
	6	23		1.9	0.6

4. ガイダンス装置

自動制御を実施するにあたり、ガイダンス装置を製作し、ブレードおよびシャッターブレードの状態と動作状況をオペレータに認知させることとした。開発したガイダンスモニタを図8に示す。画面中央下部には作業負荷制御に用いる推進角とスライドの状態を数字および線で表示した。表示方法としてオペレータにあわせて数値のみでの表示に切替えができるようにした。導入される現場条件などにより自動制御する項目を選択できるように開発し、選択した動作については有効になっていることがわかるようにハイライトで表示することとした。位置情報による動作については画面上部の地図上にマーカーを設置し、動作に応じたマーカー色を準備している。また、図9に示すように標準姿勢を各オペレータが任意の設定値(推進角、はみだし量等)として容易に登録できる仕様とした。

一方、除雪作業中は安全上、前方や作業装置周辺を注視しているためガイダンスモニタの情報を目視で確認することが困難であるため、音声での事前アナウンスを実施することとした。

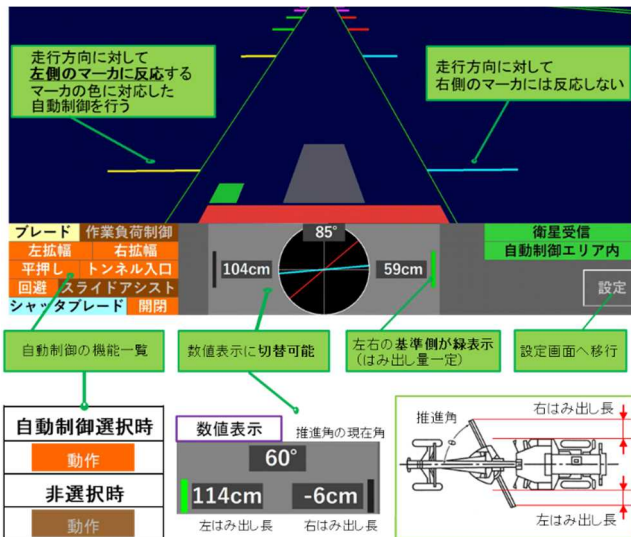


図8 ガイダンスモニタ表示内容

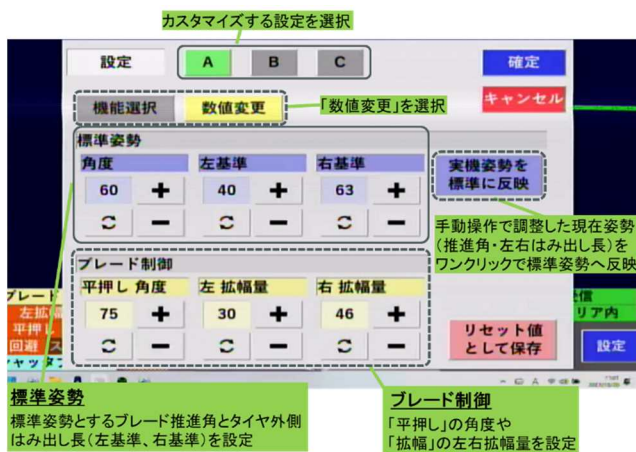


図9 ガイダンス設定画面（数値変更）

5. 現道除雪による試験

除雪グレーダの自動制御を実現するためには、安全性の確保が最も重要なポイントとなる。インターロック、手動操作介入、制御情報（方向、変位量等）のオペレータ認知方法なども制御プログラムに取り入れながら、改良を重ねてきた。2023年度冬期には開発段階であったため、位置情報制御の項目は安全上の観点から自車幅に影響しないシャッターブレードに限定した統合制御システムを搭載した機械を配備し、現場適応性試験（図10）

を実施した。所定の位置でシャッターブレードが動作することは確認できたが、動作タイミングについては構内試験で実施した機械と現場適応性試験で使用した機械が異なるため、シャッターブレードの動作速度の違いによる位置精度のずれが発生した。機械毎の作業装置の動作速度にばらつきが生じる原因などの情報を整理して対策、改良を実施して引き続き検証を進めていく。



図10 現場適応性試験状況

6. 最後に

位置情報制御における構内実証試験において作業装置の動作が正常に動くことが確認できた。一方で、現場適応性試験を通じて今後の課題も明らかになったことから、今後はシステムの改修を行い、オペレータの意見も参考に改良を進めていく。

2024年度には手動操作の支援として、後進にギヤを切り替えた際に自動でブレードを上昇させる「バックアシスト制御」や手動操作された推進角に応じて、タイヤからはみ出し量を一定にする「スライドアシスト制御」、除雪作業を実施しない区間においてブレードを上昇後、推進角・はみ出し量を制御して回送姿勢に移行する「回送アシスト制御」の開発も進めている。

除雪グレーダの作業操作支援システムにより、煩雑な除雪装置の操作から解放され、運転操作に集中でき、経験が浅いオペレータでも除雪レベルを維持して安全な除雪作業が実現できる。また、オペレータの負担軽減にもつながることから担い手確保にも寄与できることを期待している。