

16. 除雪グレーダのブレード自動化に向けた操作支援システムの開発

－除雪オペレータの担い手確保及び除雪レベルの維持－

国土交通省	東北地方整備局	山形河川国道事務所	今野 孝親
国土交通省	東北地方整備局	三陸国道事務所	川上 穰久
国土交通省	東北地方整備局	東北技術事務所	佐藤 英樹
国土交通省	東北地方整備局	東北技術事務所	○田中 孝之

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、道路構造及び沿道条件等にあ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及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、担い手確保及び除雪レベル（品質）を維持するため、経験が浅いオペレータでも同程度の作業速度を維持できる作業装置の操作支援システムについて開発した結果を報告するものである。

2. 作業装置操作系の整理および検討優先度

作業装置の自動制御を検討するにあたり、操作支援の優先度を整理して検討対象を決定した。

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

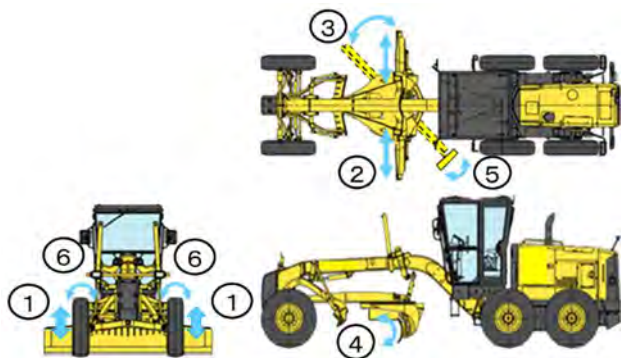


図-1 除雪グレーダの各動作

作業装置の制御方法の一つとして、交差点処理を行う⑤シャッターブレード制御、除雪路面の仕上がりに影響する①ブレード昇降（押付力）制御があるが、⑤は他地整が除雪トラックにおいて位置情報による自動制御を開発中であるため、今後それをベースとして開発する計画とし、①は既存技術のオートブレードとしてメーカーで開発済みであるため、検討の対象外とした。

作業装置の操作頻度を把握するため、2車線と4車線の割合に偏りが無く、市街地、平野部、山間地を有した新型ワンマン除雪グレーダが配備されている岩手河川国道事務所盛岡西国道の橋場工区を選定し、操作回数の分析を行った。図-2に示すとおり③サークル回転、②ブレードスライドの操作回数が多く、オペレータからのヒアリングにおいても、特にブレード端部の位置関係に注意を払いながら操作しているとの意見が多かったことから、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。

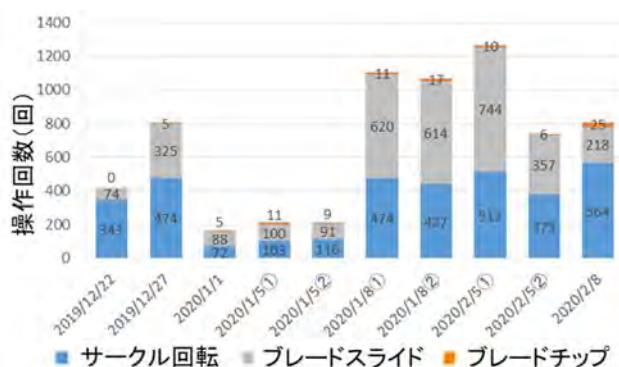


図-2 作業装置の操作回数

3. サークル回転（推進角）制御の検討

3.1 サークル回転（推進角）操作の目的

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。

除雪グレーダの作業負荷は、オペレータの操作による押付力、切削角、推進角の要素で算出され、それらを変数に牽引力との相関を示すと図-3～図-5となる。この中で一番相関が強いのは推進角であり、推進角の操作が最もブレードにかかる負荷を低減し、作業速度を維持する効果大きいことがわかる。

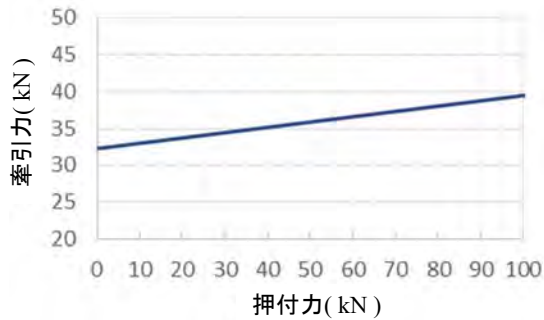


図-3 牽引力と押付力の相関

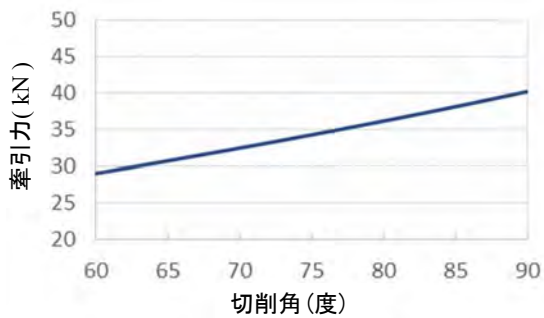


図-4 牽引力と切削角の相関

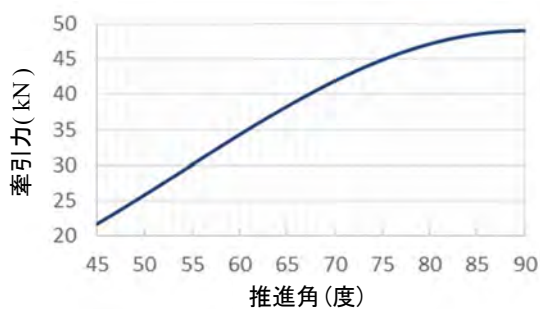


図-5 牽引力と推進角の相関

3.2 制御要素の検討

推進角を制御するにあたり、実機による運転データから制御要素の分析を行うため、推進角、ブレード負荷、エンジン回転数、作業速度データを抽出して図-6の関係性を得た。

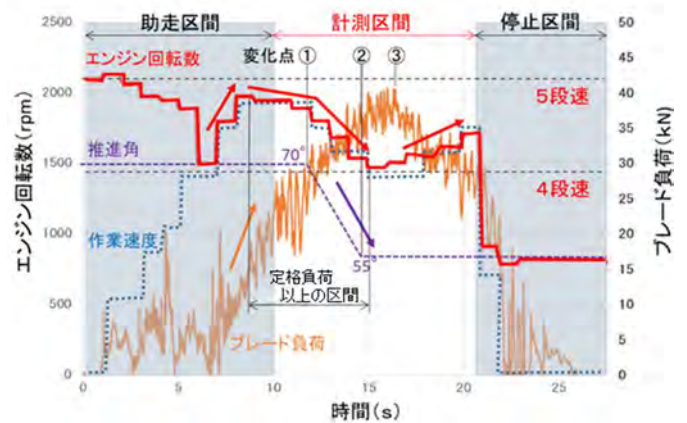


図-6 制御要素の関係性

- ・ブレード負荷による作業速度低下は、推進角の減少で回復可能（変化点②）
- ・推進角減少操作中でもブレード負荷が上昇（変化点①～②）
- ・ブレード負荷の変化と作業速度回復に時間差がある（変化点②～③）
- ・ブレード負荷に対する反応は、作業速度よりエンジン回転数の方が早い（計測区間）

各制御要素の関係性から、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。

適切なサークル推進角は、エンジン回転数の変化から近似式により算定している。ただし、出力条件として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人為的な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）以上とした。

4. 自動制御システムの概要および機能

4.2 自動制御システムの概要

自動制御の動作を図-7、システムフローを図-8、主要な機器構成を図-9に示す。

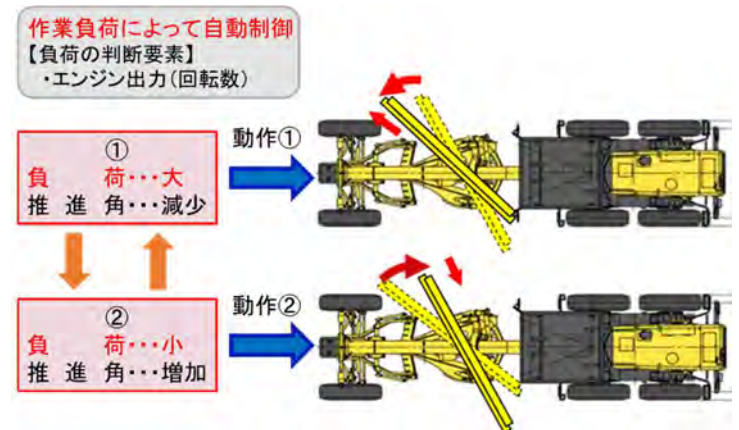


図-7 自動制御の動作



図-8 システムフロー



図-9 主要な機器構成

本装置の主要な機能は以下のとおりである。

- (1) 推進角の自動制御
 - ・ 負荷増加によりエンジン回転数が設定回転数より低下時、推進角を減少
 - ・ 推進角を減少させた場合、車体と接触する限界角で推進角の動作を停止
 - ・ エンジン回転数が定格回転に復帰した場合、推進角を設定角度まで増加
- (2) ブレードスライドの自動制御
 - ・ 左右いずれかのはみ出し設定値に追従するようにブレードをスライド

(3) その他

- ・ 手動操作を行った際、自動運転モードを解除
- ・ 手動操作時のブレード左側自車接触警報、ブレード右側はみ出し警報
- ・ 各オペレータが任意の設定値（推進角、はみだし量等）に変更可能
- ・ 自動制御、手動制御の選択が可能

5. 最適制御を目指した改良

5.1 ガイダンス装置

サークル回転（推進角）の自動制御を実施するにあたり、ガイダンス装置を製作し、ガイダンスとオペレータの実操作から、エンジン回転数による自動制御が適確性及び有効性を満足するか検証した。

(1) ガイダンス装置概要

ガイダンス装置の表示内容を図-10に示す。

- ① 除雪幅：推進角による現除雪幅員
- ② 限界角：自車に接触する限界値
- ③ 現在角：現在の推進角
- ④ 推奨角：E g 回転数監視による目標角
- ⑤～⑦ ブレード端部の位置関係
- ⑧ 推奨角に対する操作レバー入力方向

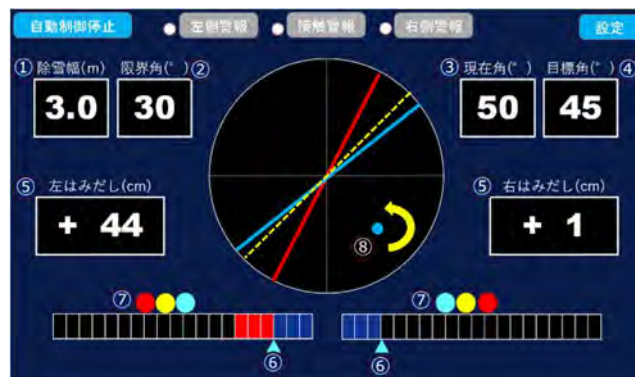


図-10 ガイダンスモニタ

(2) 操作タイミングの検証

ガイダンス出力に対して、オペレータ操作の時間差をみると平均 8.5 秒程度遅い操作となっていた。これは、ガイダンスはエンジン回転数の低下条件に達した段階で瞬時に目標推進角を出力しているのに対し、オペレータは、ガイダンスやタコメータ、速度計を常時監視してはならず、エンジン回転数の低下や速度低下がある程度継続した段階で感覚的に認識してから操作しているものと推察される。

この結果からも、エンジン回転数の低下を機械的に捉えて瞬時に雪を路側帯へ排出する動作を行うことで、作業速度低下を抑えることができ、除雪作業の効率化に対する効果が高いといえる。

(3) サークル回転（推進角）の検証

目標推進角とオペレータ操作角の差は操作毎の

バラツキはあるものの平均 0.5° 以下となり、概ね良好な結果が得られた。

(4) モニタ表示のシンプル化

実証試験から、除雪グレーダの作業負荷に応じたブレード操作支援については、他の土工用機械やロータリ除雪車とは違い、ガイダンスではなく自動制御でなければ効果は得られないということがわかった。

ガイダンスについてオペレータにヒアリングを行った結果、ブレード位置は、熟練オペレータでもタイヤガードに接触し損傷させることがあるため知りたいという意見を頂いた。一方、除雪作業中は安全上の観点から、モニタを注視することが困難であるため、ガイダンスをやめて、表示は必要な情報のみとしシンプル化した。図-11に改良した操作状況画面への表示情報を示す。

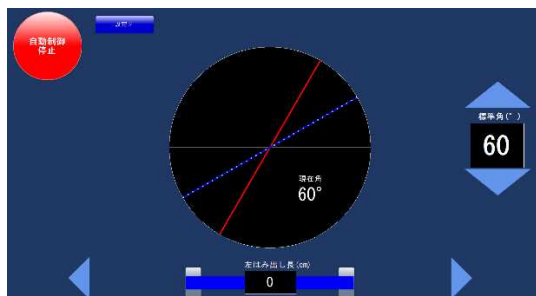


図-11 改良後の操作状況画面

5.2 作業前のブレード位置調整

ブレード自動制御では、サークル回転(推進角)とスライド量を調整して、設定値どおりに作業装置を作動させたり、車体への接触防止を行う必要があるため、除雪作業前にブレードを規定の位置に調整しておかなければならない。これにズレが生じると、車体への接触や、設定値以上に右側へのはみ出しにつながり重大な事故につながる。調整方法として、写真-1に示すようにサークルにマーキングを施し、運転席から位置調整を簡易に行うことができる方法を採用した。オペレータへのヒアリング結果においても、マーキングだけで十分に位置調整が行えることが確認できた。

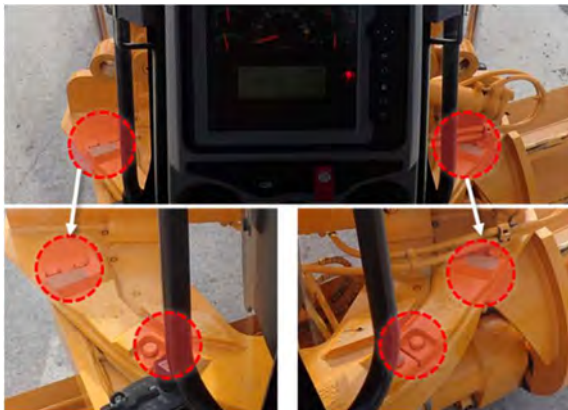


写真-1 マーキングによる位置調整

5.3 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。令和4年度冬期に現場へ配備し現場適応性試験(図-12)を行っているが、積雪量が少なく効果検証が不十分であるため、今後も検証を行っていく。



図-12 現場適応性試験状況

6. 最後に

今回開発した除雪グレーダの操作支援システムでは、実機による運転データの分析を行い、エンジン回転数を制御要素として採用した。製作したガイダンスと実操作から、エンジン回転数による自動制御が適確性及び有効性を満足することが確認できた。

今後は、位置情報に基づいたシャッターブレード等の自動制御をさらに組み合わせる予定である。これにより、煩雑な除雪装置の操作から解放され、経験が浅いオペレータであっても同程度の作業速度で除雪が可能となる。ただし、上記制御のほかにも沿道の障害物や一般車両の挙動から緊急回避的な操作の必要性も残されていることから、完全自動化に向けてはさらなる検討が必要である。また、DXの取り組みの一環として、写真-2に示す操縦シミュレータ技術を開発し、早期に必要な技量に達するための人材育成に加え、除雪作業のイメージそのものも変革させ、新たな就業希望者の増加を期待している。



写真-2 除雪グレーダ操縦シミュレータ