除雪グレーダの運転支援システムの開発
～作業装置の自動制御に向けて～

今野　孝親[*1]　　川上　穣久[*1]

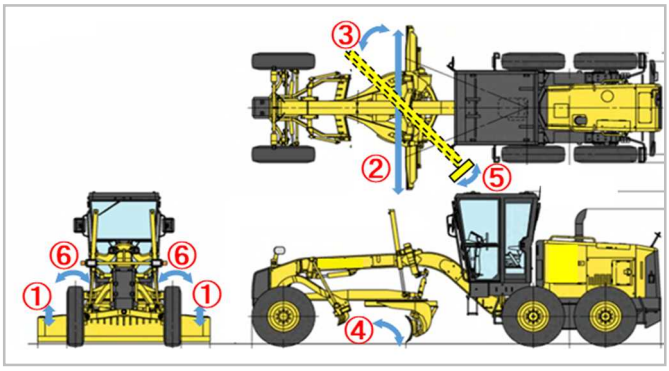
１．はじめに

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、除雪機械の熟練オペレータにおいても高齢化及び減少が進んでおり、将来的に熟練オペレータの確保が困難な状況になることが予想される。

本稿は、担い手確保及び除雪レベル（品質）確保の取り組みの一環として、経験の浅いオペレータでも現状の除雪レベルが維持可能となる除雪グレーダの運転操作支援システムについて検討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

各作業装置の自動制御を検討するにあたり、まず各操作支援の優先度を整理して検討対象を決定した。
各作業装置及び操作項目の内容を以下に示す。（図－１）

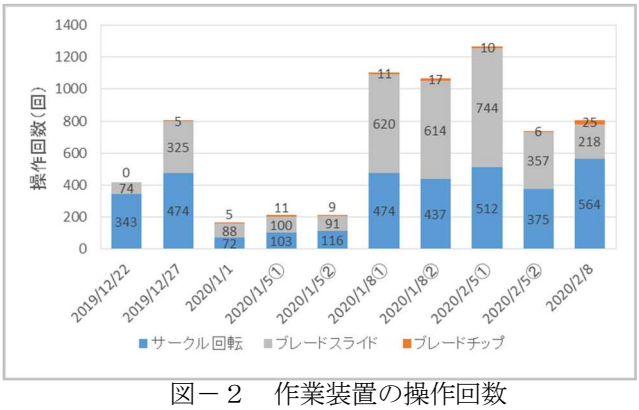


図－１　除雪グレーダの作業装置

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

作業装置の制御方法の一つとしてGNSSを活用した位置情報に基づく制御があるが、こちらについては、現在他機関においても検討を進めているため、本検討には含めないものとした。同様に位置情報のみに基づいて制御が行われる⑥シャッターブレード制御も検討に含めないものとした。また、除雪路面の仕上がりに影響する①のブレード押付力制御については、すでにオートブレードとしてメーカで開発済みであり、こちらも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管内盛岡西国道工区（橋場ST担当）を選定し操作回数の分析を行った。図－２に示すとおりサークル回転、ブレードスライドの操作回数が多く、作業員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、サークル回転とブレードスライド操作の優先度が高いと判断した。さらに、ブレードスライド操作は、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（推進角）とブレードスライドの組み合わせ制御に定めることとした。



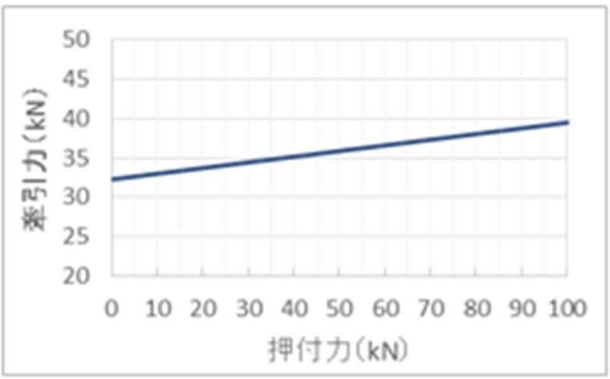
図－２　作業装置の操作回数

３．サークル回転（推進角）制御の検討

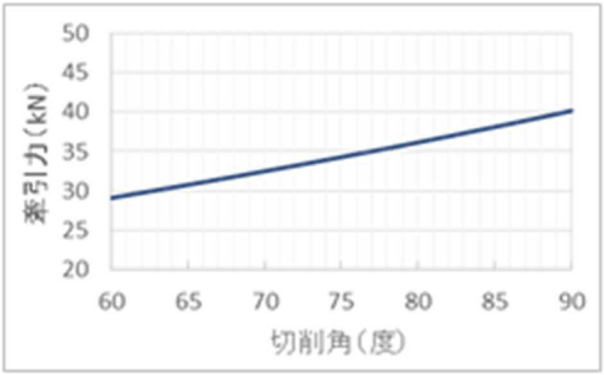
3.1サークル回転（推進角）操作の目的

サークル回転（推進角）の制御方法を検討するためには、その制御目的から考える必要がある。サークル回転はブレード推進角を変更するもので、大きな目的の一つとして除雪作業負荷調整による作業速度の維持が挙げられる。

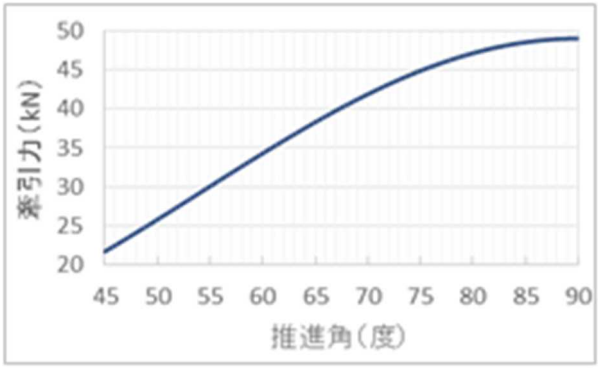
除雪作業負荷調整がサークル回転(推進角)制御により行われる理由の一つは、他の制御項目と比較してその影響が大きいためである。



図－３　けん引力と押付力の相関



図－４　けん引力と切削角の相関

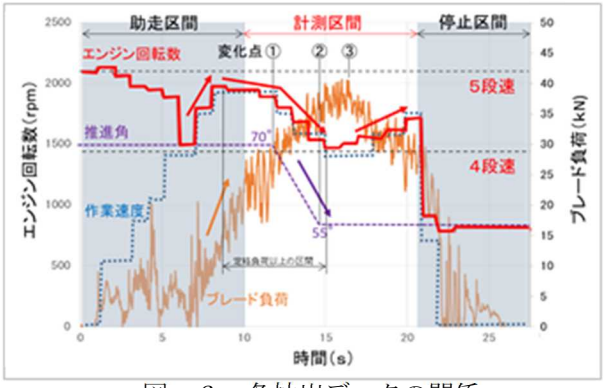


図－５　けん引力とサークル回転(推進角)の相関

押付力、切削角、推進角を変数としてけん引力の相関を図－３～図－５に示す。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、除雪速度を保持する効果が大きいことがわかる。

3.2制御要素

推進角を制御するにあたり、制御要素を確認するため実機による運転データの分析を行った。運転データから推進角、ブレード負荷、エンジン回転数、作業速度データを抽出しの図－６の関係性を得た。



図－６　各抽出データの関係

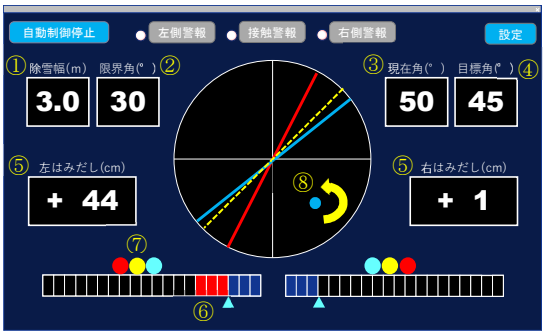
・同シフト内では定格負荷以上でエンジン回転数、速度が低下
・変化点①～②の推進角減少中はブレード負荷が上昇
・変化点②～③の推進角減少後もブレード負荷が若干上昇し、負荷減少までに時間差が生じる
・変化点②以降、エンジン回転数、速度が復帰

各データの関係性から、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。

４．運転支援の検討

4.1 ガイダンス装置

サークル回転(推進角)の運転支援を実施するにあたり、第一段階としてガイダンス装置を製作して、ガイダンス装置の出力とオペレータの実操作の整合を確認することで、エンジン回転数制御の的確性及び有効性を検証することとした。ガイダンス装置の表示内容を以下に示す（図－７）



図－７　ガイダンス画面

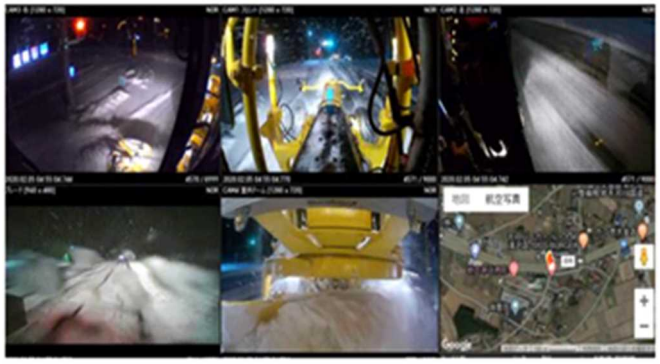
①除雪幅：推進角による現除雪幅員
②限界角：自車に接触する限界値
③現在角：現在の推進角
④目標角：エンジン回転数監視による目標推奨値
⑤～⑦車幅とブレード端部の位置関係：
　⑤ブレードはみ出し量の生データ
　⑥ブレードはみ出し量の目盛表示（1 目盛＝5 cm）
　⑦信号表示の点滅による表現
　（青：-10 cm以下　黄色：-10～0 cm　赤 0 cm以上）
⑧目標角に対する操作レバー入力方向：
　矢印の点滅と音によりレバー操作を促す

なお、④目標角（必要操作量）はエンジン回転数のデータ変化量から近似式により算定しており、また、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1900rpm)以上を出力条件としている。

4.2現場実証試験

現場実証試験は、国道112号(山形河川国道事務所管内寒河江国道西工区(月山沢ST担当))にて実施した。

図－８　機器設置状況



図－９　実証試験状況

本工区の特徴は、片側１車線区間の山間多雪地区あり、除雪回数も多いことが挙げられる。

なお、試験車両には、前述のガイダンス装置のほか、センサ、カメラ等を設置して各種作業データの取得を行った。除雪グレーダの各種機器設置状況を図－８に、試験状況を図－９にそれぞれ示す。

実証試験では、ガイダンス出力とオペレータによる実操作との整合に関して、操作の有無、操作タイミング、操作角の差分等を確認し、結果は以下のとおりであった。

(1)操作の有無

ガイダンス出力に対する実操作の有無について確認したところ、オペレータが実際に操作を行った割合は約38%で整合性が高いとはいえない結果となった。要因としては、オペレータが多少の速度低下を許容し、あえて推進角操作を行わなかったこと、もしくは、新型ワンマングレーダの操作に不慣れなため、ブレード操作を高い頻度で行わなかったことが推察される。

(2)操作タイミング

ガイダンス出力と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おらず、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推進角制御を行うことは、除雪作業の効率化及び一般交通への影響低減の効果が高いといえる。

(3)サークル回転（推進角）の差

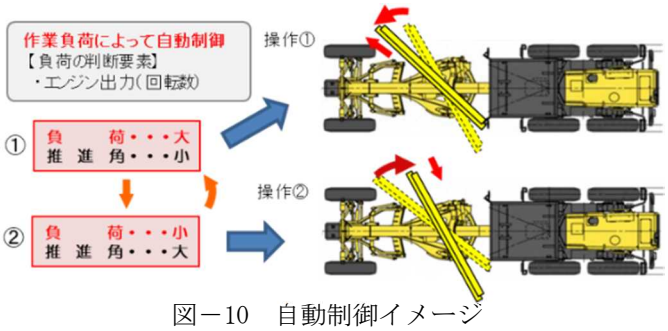
目標推進角とオペレータ操作角の差は操作毎のバラツキはあるものの平均0.5°以下となり、概ね良好な結果が得られた。

(4)ガイダンスの有効性

ガイダンスの内容についてオペレータにヒアリングを行った結果、ブレード左端の車体接触警報については、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必要性が高いという意見を頂いたものの、除雪作業中オペレータは車両及び作業装置の操作に集中しており、ガイダンス画面を見る余裕はほぼ無いことが明らかとなった。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という形での支援でなければ効果は得られないということがわかった。

５．自動制御システムの開発

現場実証試験で改良したガイダンス装置の制御ロジックを基に、自動制御装置の製作を行った。自動制御のイメージを図－10、システムフローを図－11 に示す。



図－10　自動制御イメージ

5.1 自動制御装置の主要機能

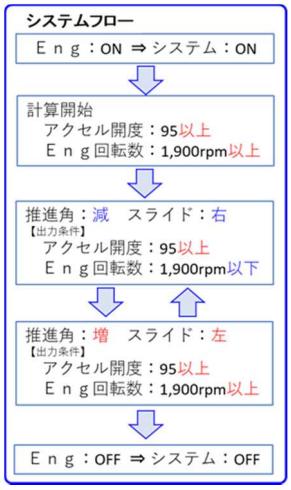
自動制御装置の主要機能は以下のとおりである。

(1)サークル回転（推進角）の自動制御

・負荷によりエンジン回転数が定格回転から低下時、推進角を算定値まで減少

・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復帰



図－11 システムフロー

(2)ブレードスライドの自動制御

・サークル回転（推進角）にあわせて右タイヤ外側はみ出し量の設定値までブレードを自動でスライド

(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、ブレード右側ハミ出し警報

5.2 自動化に向けた改良

作業負荷に応じた自動制御は、エンジン回転数から負荷の増減を判断している。

現場への適応性試験を行う前に、除雪グレーダ実機に自動制御装置を取り付け、想定どおりに機能するかについて構内の試験走行路で実走行試験を行った。構内の走行試験であがった問題点と対策案を次に記す。

(1)ブレード作業前位置調整(キャリブレーション)

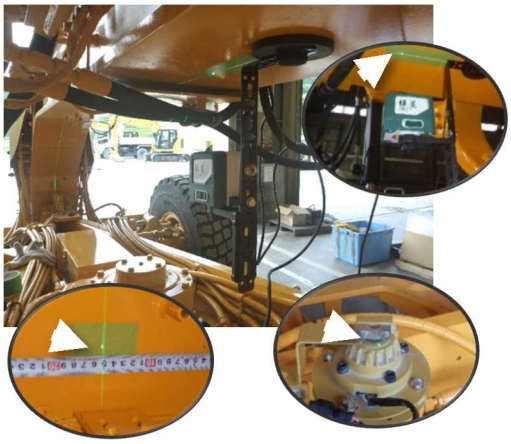
【問題点】

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ため、作業前にブレード位置調整を行う必要がある。

【対策案】

①レーザー下げ振りを用いる方法

レーザー下げ振りをマグネットで設置し、3 点を目印にサークル位置合わせを行う。(図－12)



図－12　レーザー下げ振りを用いる方法

②サークルにマーキングする方法

サークルにマーキングしオペレータによる位置調整を運転席から行う。(図－13)

図－13　サークルにマーキングする方法

上記①、②の方法を比較し、オペレータが除雪作業前に簡易にできる方法として、②の方法を採用した。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。

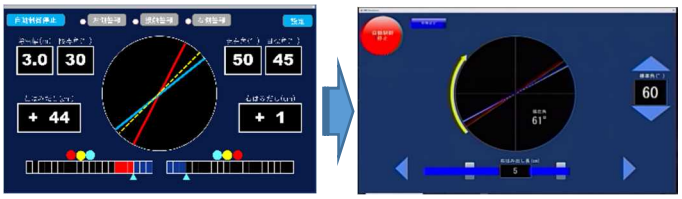
(2)ガイダンスモニタの視認性

【問題点】

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。

【対策案】

ガイダンスモニタの表示情報を、必要な情報(現在の角度、標準角度、ブレードはみ出し量、動作方向）のみとし、自動制御中か否かをわかりやすくした。(図 14)



改良前　　改良後

図－14　ガイダンスモニタ表示改良

(3)アクセル開度による自動制御作動条件

【問題点】

自動制御の作動条件はエンジン回転数、速度上昇、アクセル開度が含まれており、オペレータがアクセルを戻すと、アクセル開度によっては自動制御が働かない。

【対策案】

アクセル開度設定を、現場にて変更可能なプログラムとし、オペレータの意見を反映し、アクセル開度設定を変更可能とする。

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、構内走行試験を繰り返し改良を重ねてきた。

今冬には、改良した自動制御プログラムを搭載する除雪グレーダで現道における除雪作業の検証を行う予定である。

6．おわりに

除雪グレーダの自動制御に向けた検討は、今後、位置情報に基づいた自動制御をさらに組み合わせる予定である。これにより、オペレータは煩雑な除雪装置の操作から解放され、車両の運転に専念できるようになれば、新人オペレータであっても早期に必要な技量までに達することが可能となる。引き続き、苦渋作業の解消、担い手確保の一助となるよう開発検討を進めていきたい。

＊1　国土交通省　東北地方整備局　東北技術事務所