

# 「IT特集」

## 技術論文・解説

### 除雪グレーダ用複合自動制御の開発 Development of Combined Automatic Blade Control for Snow-Removing Grader

坂井 幸尚  
Yukihisa Sakai

降雪地域では、道路除雪作業の時間短縮と作業コスト削減を目的に除雪機械の効率向上が従来から求められてきた。その手段として、主要国道など高規格道路の除雪を対象にする各種大形除雪機械では、作業機操作の自動化が普及している。

除雪用モータグレーダ(以下モータグレーダをグレーダと略す)においても、昭和63年よりブレードリフトシリンダの押付力を一定の値に制御する装置が発売されており、普及している。

このグレーダ用自動制御装置の自動化レベルを向上させ、除雪作業効率向上を図ることを目的に建設省(当時)と共同で調査、研究業務を行い、除雪グレーダ用複合自動制御装置を開発した。

これは、従来の押付力制御に加え、ブレードの切削角を自動的に変化させるもので、複合の名前の由来はリフトシリンダとパワーチルトシリンダを複合して制御することによる。

この装置の導入により、路面の除雪状況の判断は機械に任せることができるようになるため、オペレータはより周囲の状況に注意を集中でき、安全に作業できる。

平成13年より試験的に導入が始まった複合自動装置の開発について紹介する。

In snowy regions, improving the efficiency of snow-removing machines has been called for so as to reduce the time and cost involved in clearing the roads of snow. As a means of efficiency improvement, the operation of various large-sized machines for removing snow from four-line highways like main national roads has been automated.

For snow-removing motor graders (hereinafter referred to as snow-removing graders) too, a system for controlling the blade lift cylinder force at a constant value was put on the market in 1988. Since then, it has become widespread.

With the aim of raising the level of automation of the automatic blade control system for snow-removing grader and improving the efficiency of snow-removing work, Komatsu Ltd. carried out joint research and development with the Ministry of Construction (former ministry) and came up with a combined automatic blade control system for snow-removing grader.

This new system automatically controls the blade cutting angle, as well as the blade lift cylinder force. The term "combined" is used because the system controls both the blade lift cylinder and the power tilt cylinder.

Since this system leaves the judgment on the condition of snow removal from the road to the machine, the operator can concentrate his attention on his surroundings, hence perform the work more safely.

This paper describes the development of the combined automatic blade control system that began to be experimentally introduced in 2001.

*Key Words:* Snow Removal, Motor Grader, Automatic Blade Control, Efficiency Improvement, Speed-up

## 1. 除雪機械の種類

除雪機械は一般的に

- ① グレーダやホイールドーザのように路面上の雪を押し  
のける「プラウ系機械」
  - ② 雪を飛ばして除去する「ロータリ系機械」
  - ③ 薬剤撒布機のように物理的な方法以外で道路状況を維  
持する「その他機械」
- に分けられる。

プラウ系機械においても様々な機械があり、作業別に次のような使い分けがある。除雪トラックを主とした車体前端に装着するプラウと呼ぶ装置は30km/h以上の比較的高い速度で、新雪などの密度の小さな雪を飛ばしていくため、初期の除雪に使用される。ホイールドーザは駐車場や交差点などの雪を押し運び出したり、雪を積み上げることが可能である。

これに対してグレーダは車体中央にブレードを持ち、雪面の凹凸を削り、平滑にする能力に優れる。また、建機の中では走行速度が速いことなどから、凹凸を削りならず圧雪整正や、踏み固められた圧雪を取り除く圧雪除去など幅広く使用でき、道路除雪の中心となっている。

なお、複合自動制御を装着したGH320(写真1)は除雪に特化した車体を持ち、除雪機械の規格上では「高速圧雪整正機」としてグレーダとは区別されているが、機構的にはグレーダと同じため、本稿ではグレーダと称した。



写真1 GH320複合自動制御装着車

## 2. 従来の自動制御との差異

グレーダの作業機は自由度が高く、自在に動かすことができるが、反面、操作レバーが多く、操作には熟練を要する。たとえば、ブレードを地面に押し付けるリフトシリンダの操作は左右独立であり、手動で除雪作業をする場合、頻繁にこの2本のレバーを操作しなければならない。このため、従来から除雪用には自動制御が普及している。(図1)

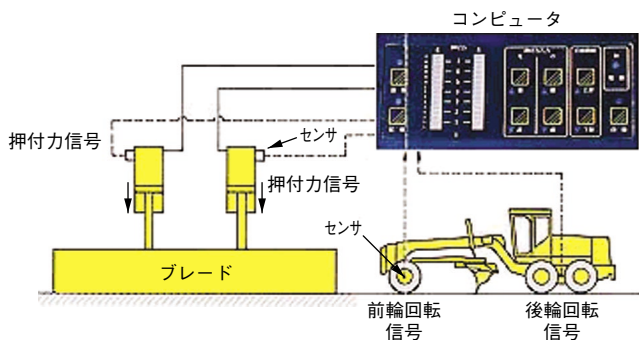


図1 ブレード押付力自動制御

この従来の自動制御は、ブレードを地面に押し付ける力が一定になるようにリフトシリンダの油圧を制御するものである。押付力の設定は、路面の除雪状況に合わせてオペレータが操作パネルから入力する。

今回開発した複合自動制御では、除雪状態に合わせて設定が自動的に変化するため、オペレータが除雪状態を判断する必要はない。機械の自動化により操作が容易になることは、オペレータにとってメリットがあるのはもちろんだが、自動化により作業効率が向上するのであれば、道路管理者にとってはコスト削減効果が、また、道路利用者にとっては交通がスムーズになるメリットが見込める。

## 3. 装置概要

複合自動制御は除雪グレーダ用アタッチメントで、従来の自動制御の上位オプションとして設定されている。そのため、以下の2点を考慮して計画された。

- ① 機器はすでに稼動しているGH320に後付け装着できること
- ② プログラムはできるだけ単純なルーチンで動作し、複雑なセンサを持たないこと

このため、押付力制御に関係する油圧回路はGH320に標準で装備される、従来の自動制御用機器をそのまま使用し、パワーチルト制御用の電磁弁、各種センサのみを追加した。図2に機器の配置図を示す。

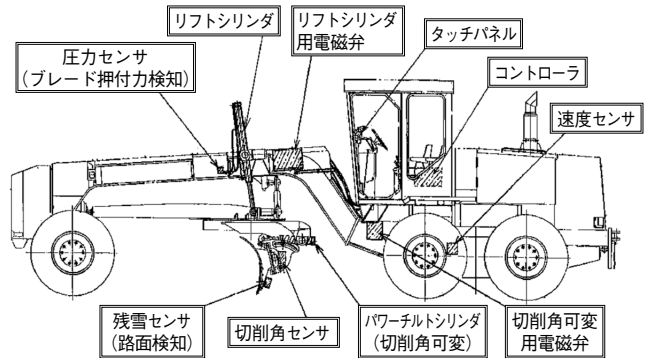


図2 機器配置図

操作を行うタッチパネルは入力スイッチと表示機を兼ねたもので、生産台数が少ないことを考慮して市販の汎用タッチパネルを使用した。複合自動制御はコントローラにLXコントローラを使用していることからRS-232通信が使用できるため、このような汎用機器を使用することができる。

ただし、車体の24V電装はサージ圧の発生など、精密機器であるタッチパネルには不向きなため、電源レギュレータを装備している。

タッチパネルは画面の表示内容やスイッチの設定が自由にできる利点を生かし、10種類以上の画面を設定した。自動制御の初期設定や設定変更もこのパネルにそれぞれの専用画面を表示させて行うことができる。

図3に画面例を、図4に画面の遷移図を示す。

複合自動制御を使用して除雪作業する手順は以下の通りで、ほとんどレバーで手動操作する必要はなく、運転操作に専念できる。(図5)

- ① エンジンを始動すると、画面が立ち上がる。
- ② 除雪作業を行う道路に移動。
- ③ タッチパネルの「除雪開始」スイッチを押す。
- ④ (ブレードが自動接地する。そのまま走行するとブレードの押付力と切削角が自動的に変化する)ブレードの推進角、横方向スライドはレバーで調整する。
- ⑤ 作業終了地点で「待機」スイッチを押す。(ブレードが上昇する)「終了」スイッチを押す。

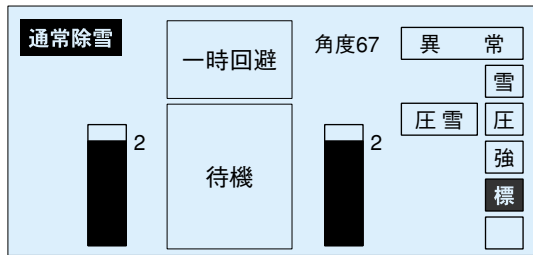


図3 作業時のタッチパネル画面表示

#### 4. 開発の経緯

複合自動制御の開発は、建設省(当時)の委託によりおこなった。これは、平成10年に行った除雪実態調査の結果から、ブレードの切削角度が小さい(ブレードは後傾)ほうが除雪負荷が小さく、効率が良いことが示された。一方、ブレードが圧雪面を上滑りしたときは押付力を増やすだけでは雪面に切り込むことができない。このため、手動で切削角を大きくすることが行われている。(図6 切削角の関係参照) この動作を自動制御で行い、機械の性能を最大限に発揮させることを目的に開発を委託された。

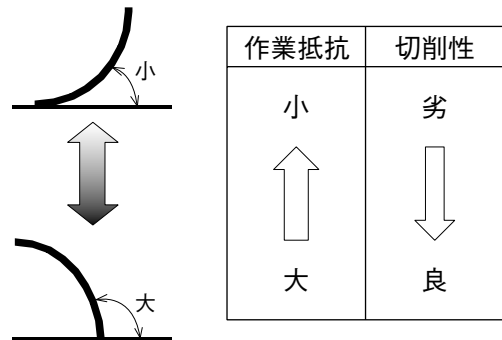


図6 切削角の関係

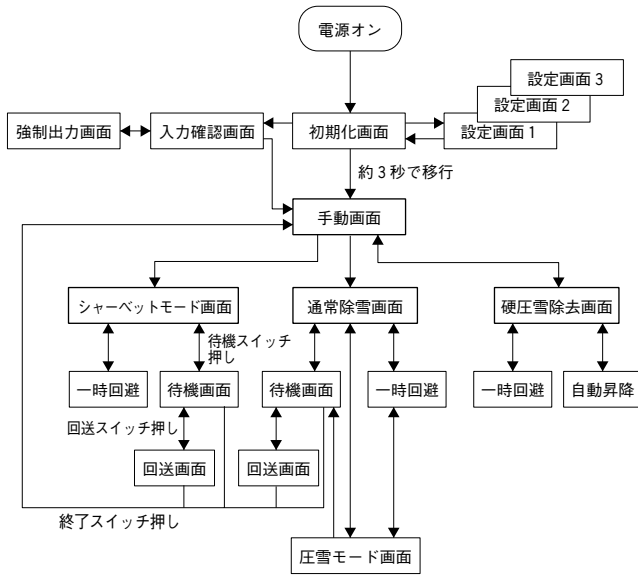


図4 画面遷移図

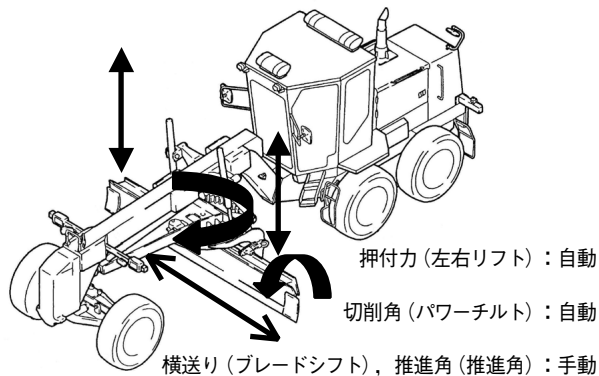


図5 複合自動制御の範囲

平成11年には試作装置を製作し、後述する路面検出手段の確認や除雪現場でのテストを行い、複合自動制御の可能性を検討した。

平成12年には装置の改良を行い、実用化を前提としたテストを行った。この年は従来の制御との比較データを収集するため、1シーズンの間、現場に投入しての稼働テストを行い、さらに改良をすすめた。

翌、平成13年度より、販売を開始した。

本業務は契約の関係から各年度の冬季のみに行っており、実際の開発、設計は極短期間で行う必要があった。

#### 5. 複合自動制御の考え方

除雪の効率を上げることは作業車速を上げ、作業時間短縮をはかることに他ならない。その方法としては

- ① 機械のエンジン出力を上げる
- ② 車体の走行抵抗を減少させる
- ③ 除雪作業の負荷を減少させる

ことが考えられる。①、②はすでにベースとなったGH320におりこまれている思想であり、③の改良が必要である。③では大幅な速度向上は望めないものの、燃費やエッジ摩耗の減少といった付随効果が期待でき、また、自動化により、オペレータの技量による作業量の差を減らすことができる。

他方、調査結果から切削角が大きい場合、カッティングエッジは雪に切り込みやすいが、切削角を一定にしたまま作業するとカッティングエッジの刃先が摩耗し、いつのま

にかブレードが雪面を滑走してしまうことが知られている。

この状態で、不用意に押付力を多く設定すると除雪量が増えないまま、抵抗が増加してしまう場合がある。

このような時、ベテランオペレータはパワーチルトを使い、ブレードを少しずつ前傾させカッティングエッジの角部で雪に切り込む。逆に、雪のやわらかいところではブレードを寝かせ、カッティングエッジを「砥ぐ」操作が行われている。(図7)

この動作を自動で行うことで押付力に頼らず、除雪能力を向上させ、効率化を図ろうとするものである。

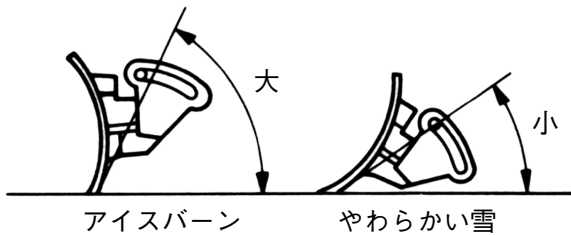


図7 切削角

## 6. 等けん引力線図

ブレードの押付力と切削角を別々に独自のセンサを使って制御した場合、ロジックが複雑になり、開発期間も増加する。

そのため、除雪負荷測定データを基に切削角とブレード押付力のパラメータで作業機けん引力が一定となる「等けん引力線図」を定め、これによって、押付力と切削角を決まったパターンで作動させることとした。図8に等けん引力線図を示す。

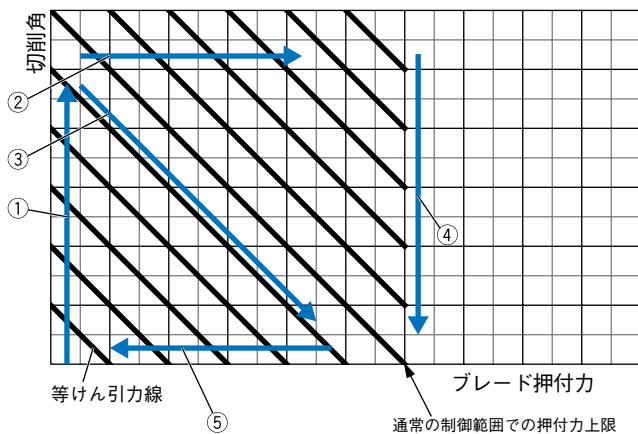


図8 等けん引力線図

動作パターンの基本は、次の2つである。

- ・押付力を増加させる前に、切削角を大きくしてカッティングエッジが雪面に切り込みやすくする。
- ・そのあと、切削角が大きい状態を保持しないよう、徐々に切削角が最小に戻るようにする。

この動きを以下のように、後述するセンサで路面に残る雪の有無を判別し、状況別に作動している。

- (1) ブレードが路面に雪を残しているとき
  - ①切削角を大きくする。
  - ②切削角が90度まで大きくなっても雪が残っている場合は押付力を大きくする。
- (2) ブレードが舗装路面を露出させている時
  - ③等けん引力線図に沿って押付力を増加させながら切削角を小さくする。
  - ④押付力が最大になったら切削角だけを減少させる。
  - ⑤切削角が最低になったら押付力を減少させる。
- (3) ③～⑤の動作により、再び雪が残る雪を検出したときの押付力、切削角から①の動作に戻る

路面状況が一定で変化しなければ、舗装路面検出後は等けん引力線図に添って押付力を増やしながら切削角を小さくする方向に作動する。しかし、実際の作業では路面は一定ではなく、様々な外乱があるため、なかなか一定の方向に作動しない。そのために、切削角を小さくするにつれ除雪能力が大きくなるように、一種のヒステリシスを与えた線図になっている。

この制御では一旦切削角を小さくしてから、押付力を低下させるため、路面状況がある程度一定の状態が続くと、切削角は最小の60°から65°の状態、押付力が250kgfの幅で等けん引力線上に三角を描きながら作動することになる。

このように、設定は路面とブレードの接地状態に合わせて自動的に変化する。そのため、オペレータは路面とブレードの接地状態、除雪状況は気にせず、除雪幅を変更するための操作や運転操作に集中することができる。

## 7. 路面検出手段

ブレードが路面に雪を残しているか判断するために、ブレードが地面に接触する時の振動を圧電タイプの振動センサで検知している。(写真2)



写真2 振動センサ

ブレードが路面に雪を残している時、ブレードのエッジは雪面上を滑っている状態のため、ブレードの振動は小さい。

舗装路面が露出している時、ブレードは舗装路面の細かい凹凸により激しく振動する。

この状態の差を捕らえることにより、路面の雪の残り具合を判断している。図9に概念を示す。

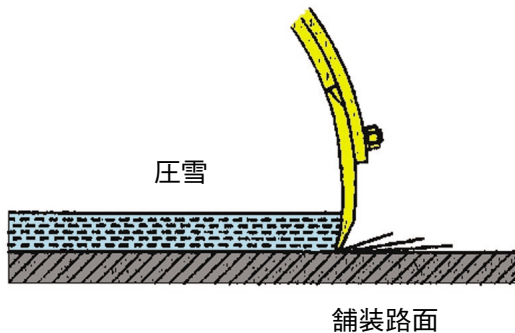


図9 振動センサ概念図

圧雪と舗装路面の違いは振動エネルギーの大小で判断している。複合自動制御装置が対象にしている圧雪の硬度は $150\text{kg}/\text{cm}^2$ 程度までである。これは冬季の舗装路面の硬度に比べると低いため、圧雪と舗装路面の判別は可能である。

これ以上の硬度の圧雪や氷盤(一般に $200\text{kg}/\text{cm}^2$ 程度で舗装路面の硬度と差がない)は除去するのに必要な押付力が大きく、前輪荷重が低下してしまう。そのような時は手動操作で低速作業を行う必要があり、自動制御の範囲外としている。

ブレードの角度、押付力変更中は路面とブレードの接地状態が不安定になるため、振動の検知はブレード動作終了後の数秒間行い、その結果によって、ブレードが動作する間は検知を止める、間欠動作を繰り返している。

路面に雪が残っているかを判断することが、複合自動制御のカギとなっている。このため、振動センサ以外にも光学的な方法を中心にいくつかの方法を検討した。しかし、悪天候に影響されない安定した作動や価格を考慮し、現在の方法に決定した。このような振動センサは上下方向と前後方向の感度が異なるため、切削角が変わるとセンサの路面に対する角度も変わってしまうことで使用することに疑問もあった。しかし、この点は実際にテストした結果、ブレードの振動は前後、上下の両方向を含むため切削角によらず振動の検出は可能なことが分かった。

## 8. 付加機能による効率化

自動制御では、コントローラを介して電磁バルブを動作させているため、付加機能を設定することもできる。たとえば、その一つである後進時ブレード自動持ち上げ機能は、以下のような機能である。

作業時に、左折車線やバス停などで数回に分けて拡幅を行う際には、後進を伴う「シャトル作業」を行うことがある。

このような作業の際にブレードを手動で上下させる手間を省くため、自動制御使用時は後進にシフトすると自動的にブレードが上昇し、前進にシフトすると自動接地するようにした。

これは、試験時に「おまけ」として追加した機能ではあるが、オペレータからの評判はよいため、そのまま取り入れた。

実際に、1回のシャトル作業でレバー持ち替え時間などが減少し、数秒の短縮が図れる。長い作業時間から見れば微々たるものであるが、道路上では後続の一般車を待たせていることも多く、少しでも時間を短縮できれば有効といえる。

## 9. 効果確認

平成12年度に、北陸地区の除雪ステーションでシーズンを通しての稼働テストを行った。

これは、同一車両で複合自動制御付き、従来の(押付力だけの)自動制御付き、2台の稼働記録からオペレータによる差や、他の車両、信号による減速の影響を受ける部分のデータを除去し、集計したものである。

この結果、複合自動制御は従来型の自動制御に対して平均作業速度が7%向上した。制御を使用しない手動作業に対しては、18%の向上が見られた。

図10に装置別の作業速度頻度分布を示す。

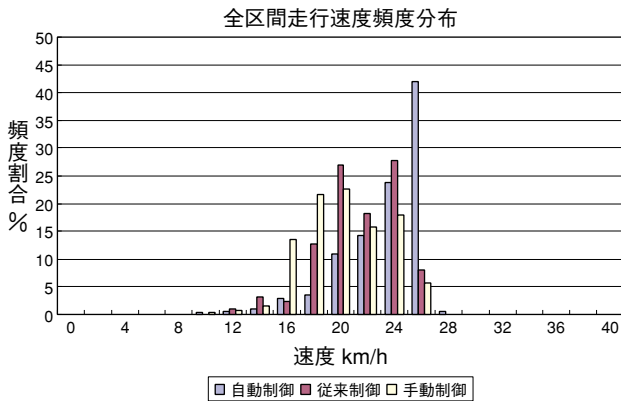


図10 走行速度頻度分布

図に示される通り、複合自動制御を使用した場合は速度が上がるほど頻度が高くなる。この速度は手動変速7速車の5速最高速で、仮に自動変速付きであればさらに作業速度が向上する可能性がある。

なお、従来型の自動制御に対しては、登り区間を除くとその差は10%に増加する。

これは、従来型に対し、登坂ではあまり差がなく、それ以外の場所で大きな差がついていることになる。オペレータの意見によると、登坂では走行抵抗の増大により速度が低下することを嫌い、意図的にブレード押付力を少なく設定し、負荷を少なくして速度低下を防ぐこともあるというが、複合自動制御の場合、道路の勾配は考慮していないため、登坂では従来型に対し、除雪負荷の差が出ないものと考えられる。

## 10. まとめ

この装置は平成13年に北陸地域に新車装着として試験導入され、さらに本年は東北地域に新車納入時に導入されたほか、現地装着アタッチメントとしても発売されている。現在はGH320専用であるが、今後は他機種への展開するとともに、さらに使いやすいシステムへの進化を進めたい。

## 筆者紹介



Yukihisa Sakai

さか い ゆき ひさ

坂井幸尚

1995年、(株)小松エスト入社。

現在、開発本部建機第二開発センタ所属。

## 【筆者からひと言】

気候変化から小雪の傾向にありますが、道路交通が高度化するにつれ、除雪機械は益々重要になってきています。今後も、雪国でコマツブランドが圧倒的な信頼を得られるよう努力したいと思います。