

26. ブルドーザ作業機自動制御の適用範囲拡大

D61EXi/PXi-23

(株)小松製作所
同
同

○ 嶋田 健二郎
林 和彦
石橋 永至

1. はじめに

GNSS 測量技術を利用したブルドーザの作業機自動制御システムは、丁張を廃止しかつ経験年数の少ないオペレータにも熟練者並みの仕上げ施工を可能とすることで施工全体の効率を大幅に改善した。

しかしながら作業機へ過大な負荷が掛かった場合にはオペレータが手動操作により作業機負荷を調整する必要があるため、作業機の自動制御は整地などの軽負荷作業にのみ適用可能であった。

本稿では、コマツで従来から培ってきた油圧ポンプ・モータ等の車体コンポーネント制御技術と GNSS 測量技術を融合させることで、従来のマシンコントロール（以下 MC）ブルドーザに対し、作業機の負荷を自動調整する機能を付加し、掘削・運土作業から整地作業まで、MC 作業の適用範囲を拡大した 18t クラスのブルドーザ「D61EXi/PXi-23」について、その特徴を紹介する。

GNSS アンテナおよび慣性センサユニット（以下 IMU+）のセンサ類を作業機に搭載し、直接的に作業機の刃先位置を計測していた。それに対し本機では、GNSS アンテナをキャビンの天板上に、また IMU+ を車体フレーム内に搭載したため、従来機（図-1 イメージ）に対して次の優位性が挙げられる。

- ① 作業機上の GNSS アンテナマストやケーブル類の廃止により視界性が向上した。
- ② 車体外部に露出したケーブルの廃止により作業中のひっかけ等による断線の懸案がなく、信頼性が向上した。
- ③ 毎日の作業終了後に GNSS アンテナの取り外し作業が不要となり、安全性が向上した。
- ④ 履帯下の位置計測が可能となり、走行するだけでリアルタイムに現況地形の把握ができるようになった。



写真-1 コマツ D61EXi/PXi-23 外観図

2. 本機の特徴

2.1 GNSS 測量機器

従来の MC 機能を搭載したブルドーザでは、



図-1 従来 MC ブルドーザイメージ

なお、使用する GNSS 測量機器は、市場で実績のある TOPCON 社製機器を、当社工場出荷時に搭載する。



写真-2 GNSS アンテナ

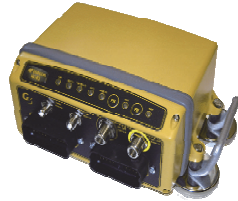


写真-3 GNSS レシーバ



写真-4 コントロールボックス

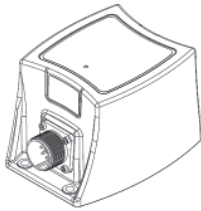


図-2 慣性センサユニット (IMU+)

2.2 ストロークセンシングシリンダ

GNSS アンテナが作業機から車両キャビン天板上へ移設したことによって、GNSS アンテナから作業機刃先の相対座標を計測する必要がある。

本機では、作業機の油圧シリンダ（リフトシリンダ、チルトシリンダおよびアングルシリンダ）に当社製ストロークセンシングシリンダを搭載したことで、車体座標系におけるGNSSアンテナと作業機刃先の相対座標をリアルタイムに計測可能とした。これに、GNSS アンテナによる車両の位置情報とIMU+により計算された機体姿勢を加算することで、現場座標系における作業機刃先座標を算出する。

また本シリンダは、従来の油圧シリンダに対してローラの回転によってストローク量を検出する機構と、ローラの滑り等によって発生しうる誤差を補正するための補正機構を追加した構成となっている（図-3）

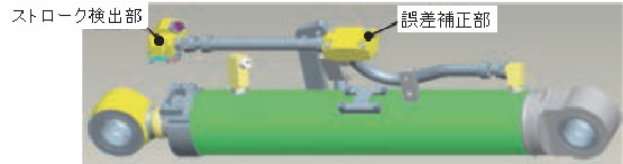


図-3 ストロークセンシングシリンダ

2.3 電子制御作業機バルブ

自動制御にて油圧シリンダを作動させるためには、コントローラからの電気指令で作動する作業機バルブが必要となる。本機では既に大型ブルドーザにて実績のあるEPC (Electric Pressure Control) バルブを搭載した電子制御式作業機バルブを採用した。

3. 作業機の自動制御

本機の最大の特徴は、従来のMCブルドーザの作業適用範囲が軽負荷での主に仕上げ整地のみであったのに対し、仕上げ面まである程度の掘削深さがある場合でも、作業機の負荷を最適に制御することで掘削・運土作業も自動化したことである。

また作業が進行して仕上げ面に近づくに従い、自動的に掘削制御から整地制御に切替えることで、仕上げ面へのダメージを気にせずにシームレスな自動施工を可能とした。

本機に織り込んだ作業機自動制御の特徴を以下に紹介する。

3.1 整地制御

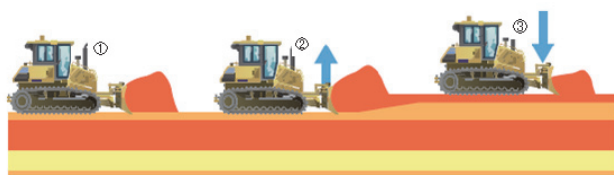
作業機刃先座標が、施工現場の設計面データによって決まる目標座標に一致するように油圧シリンダを制御する機能で、従来のMCブルドーザと同一の機能である。

3.2 掘削制御

作業機にかかる負荷が、コントローラにあらかじめ設定された目標の負荷に一致するように油圧シリンダを作動させて、作業機刃先の高さを制御する。

また、本機のパワートレインには静流体駆動式トランスミッション(以下 HST)を採用しているため、左右のスプロケットに搭載された油圧モータ回路圧と回転数から車体の牽引力が算出可能である。作業機の負荷はこの牽引力を基に補正項加味して算出している。

- ① ブレードの負荷が増大
- ② シュースリップが発生しないように自動的にブレードを上げて負荷を調整する。
- ③ 常に作業機の負荷が一定となるように作業機高さを調整する。



3.3 整地制御と掘削制御の自動切替

現在の作業機刃先高さと最終仕上げの設計面との高さ方向の距離に応じて、掘削制御と整地制御のどちらが最適であるかをコントローラが自動判別し制御モードを切替える。

設計面から離れた距離にある時は掘削制御により作業機負荷を調整し、設計面に近づくと整地制御で仕上げをする。

3.4 掘削開始制御

作業機に負荷がかかっていない状態からの掘削開始では、作業機刃先が徐々に地面に切り込むように制御する。本制御により、土質や現場の地形に依存しない安定した掘削開始が可能となり、施工面も滑らかに仕上がるため、オペレータの疲労軽減にも大きく寄与した。

3.5 シュースリップコントロール

機械の本体に搭載したGNSSアンテナからリアルタイムに計測される位置情報により、機械の移動体速度が得られる。一方、スプロケット回転数から理論車速が得られる。この両者の比率から履帯のスリップを検出している。作業中に一定量のスリップを検出すると、自動的に作業機を上げることで作業機負荷を下げ、スリップを回避する。

3.6 掘削モードの選択機能

作業機の自動制御は、作業の内容に応じてオペレータが4つのモードから選択可能とした。

モードの切替えは、コントロールボックス画面上のアイコンをさわることでサイクリックに切替わる（図-4および図-5）。

アイコンは各モードをイメージしたイラストに切り替わるため、オペレータは現在選択されているモードを容易に視認可能と

なっている（図-4）。

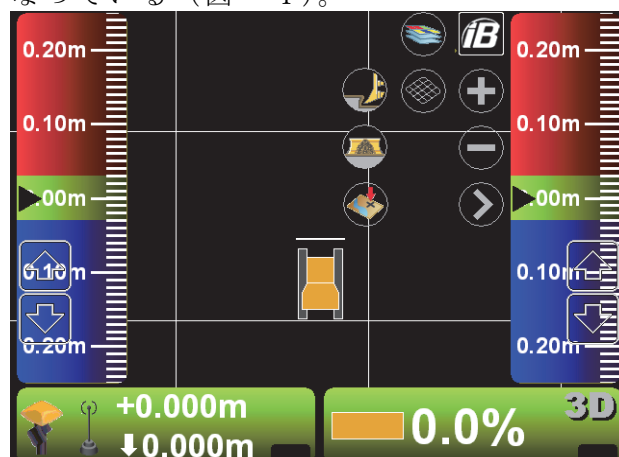


図-4 コントロールボックスのメイン画面

- ① Cutting & Carry モード
掘削深さが浅く、長い距離を掘削・運土する作業に適す
- ② Cutting モード
掘削深さがある程度深く、短い距離を掘削する作業に適する。
- ③ Spreading モード
ダンプトラックが排土したような置き土を、撒き出し・敷き均しする作業に適する。
- ④ Simple Grading モード
掘削制御を有しない、仕上げ整地のみの作業に適する。



図-5 掘削制御モード選択アイコン

3.7 作業機負荷の選択機能

掘削制御の作業機負荷の目標値は、土質や作業の内容に応じて3つのモードから選択可能とした。モード切替は、モニタ上のアイコンをさわることでサイクリックに切替わる。アイコンは作業機にかかる負荷の大きさをイメージしたイラストに切り替わるため（図-6）、オペレータは現在選択されているモードを容易に視認可能である。

- ① Light モード 軽負荷作業に適する
- ② Normal モード 一般作業に適する
- ③ Heavy モード 重掘削作業に適する



図-6 負荷モード選択アイコン

4. おわりに

MC ブルドーザ「コマツ D61EXi/PXi-23」について、オペレータの作業環境や機器の信頼性を大きく向上した新規構造や、新たな付加価値を生み出す掘削・運土制御機能の特徴を中心に紹介してきた。作業機の自動化技術は、オペレータの疲労軽減のみならず、施工管理システムや最適な作業手順のガイダンス機能などと組み合わせることで更に施工効率の向上につながり、そう遠くない将来において施工現場を自律化・無人化するための大きな前進になったと自負する。ICT 技術を活用する分野は常に継続的な進化を求められており、ユーザーニーズをタイムリーに捉え商品化していくことで、お客様にとってなくてはならないビジネスパートナーとなれるよう、コマツグループ一丸となって努力していく所存である。