

特集 >>> 最先端の高度な土木技術・建設技術の開発と実用化

荒掘削から整地まで自動アシスト制御する ICT 油圧ショベル

PC200i-10 / PC200LCi-10

中 川 智 裕・新 谷 了

GNSS 測量技術を利用した施工は、丁張りの廃止や、測量回数を減らすこと、また、オペレータ技量の差を縮小して、施工全体の効率を大幅に改善している。

ブルドーザやモータグレーダをはじめとする建設機械は、GNSS 施工で作業機の自動化施工に対応したマシンコントロール（以下 MC）で、上記に大きく貢献している。本稿では、現状マシンガイダンス（以下 MG）で対応していた油圧ショベルに、オペレータの操作を自動制御でアシストする MC 車両を開発したので報告する。

キーワード：GNSS 施工、油圧ショベル、MC、自動整地アシスト、自動停止制御

1. はじめに

GNSS 測量技術を利用した油圧ショベルの MG は、丁張りを廃止し GNSS 施工で工期短縮に大きく貢献している。

しかしながら、MG モニタにより、施工の設計面が表示されるものの、画面上の設計面と刃先の絵を見ながらの作業は、オペレータが気を使うこと、また、施工自体は手動となるので、各々の技量に依存するところが大きかった。

今回、従来からある車体の各種センサによる油圧機器のセンシング技術や、油圧バルブをコントロールする技術と、GNSS の測量技術を融合して、設計面を傷つけない自動停止制御、設計面にならって作業ができ



図-1 コントロールボックス

る自動整地アシスト、また、設計面と刃先を表すコントロールボックス（モニター画面）を大型化して、見やすく、使いやすいものにした 20t クラスの油圧ショベル、PC200i-10、PC200LCi-10 を開発したので、その特徴を紹介する（写真-1、図-1）。

2. 本機の特徴

(1) GNSS の測量機器（写真-2）

従来の MG 機能を搭載した油圧ショベルでは、GNSS アンテナはカウンターウェイト上に専用ポールを立て搭載していた。それに対して本機では GNSS アンテナをキャブ後方のハンドレールに搭載したこと



写真-1 本機外観



写真一 2 GNSSの測量機器

で次の優位性が挙げられる。

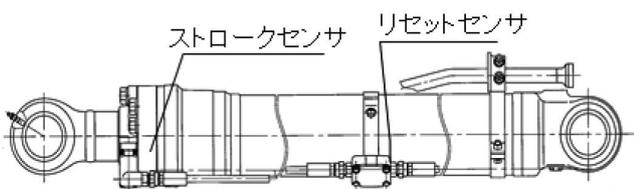
①カウンターウェイト上のポールが、ハンドレール部に移動したことで、作業中に木等のひっかけの心配が減り、アンテナそのもの、また、ケーブル断線の心配が減った。

②毎日の作業終了後にGNSSアンテナを取り外す際、車体後方のカウンターウェイトへのアクセスは、足場が遠く、取り外し、メンテナンス時に危険な心配があったが、ハンドレールに移設したことで、安全な取り外しが可能になった。

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、当社工場組立時に装着して、出荷する。

(2) ストロークセンシングシリンダ (図一 2)

油圧ショベルの刃先の位置が、地球上のどの座標にあるかは、GNSSアンテナの位置から刃先までの相対座標を求める必要がある。



図一 2 ストロークセンシングシリンダ

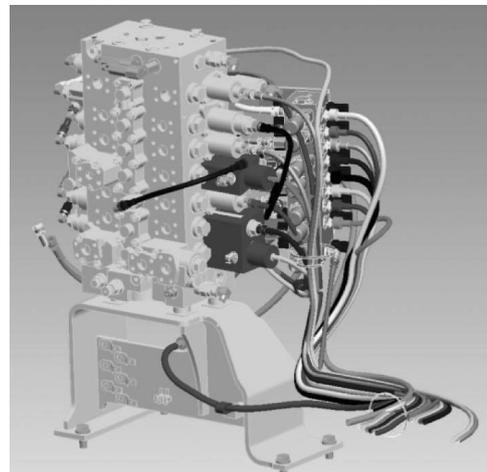
本機では、作業機の油圧シリンダ(ブームシリンダ、アームシリンダ、バケットシリンダ)に当社製ストロークセンシングシリンダを搭載したことで、各シリンダの長さから幾何計算で車体座標系におけるGNSSアンテナと作業機刃先の相対座標をリアルタイムに計測可能とした。この結果と、GNSSアンテナによる車体の位置情報と、IMUという車体の姿勢角がわかるセンサにより、現場の座標系における作業機刃先座標を算出する。

本ストロークシリンダセンサは、従来の油圧シリンダに対してローラの回転でストロークを検出する機構

と、ローラの滑りなどを補正する機能を有する。従来の角度計による作業機姿勢の検出に対して、動的な応答性に優れ、画面上の刃先の揺れも無い。

(3) 電子制御作業機バルブ (図一 3)

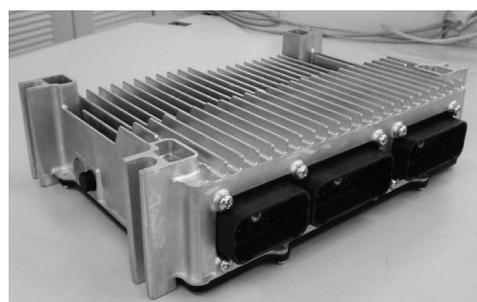
シリンダの動きをコントロールする油圧式コントロールバルブと、パイロット油圧をコントロールする比例式油圧バルブの間にある中間ブロックに、すでにブルドーザ等で実績のあるEPC (Electric Pressure Control) バルブを搭載して、油圧式コントロールバルブを制御する構造となっている。また、油圧式コントロールバルブには、流量をきめるスプールの位置をフィードバックできるようにセンサを取り付け、制御性能の向上を図っている。



図一 3 電子制御作業機バルブ

(4) 電子制御コントローラ (写真一 3)

本機では、すでに紹介したストロークセンシングシリンダや、IMU (写真一 4) の信号を受けて作業機の刃先位置を算出するコントローラと、刃先と、設計面の距離から各シリンダに指令を出す作業機コントローラが搭載されている。これらのコントローラは、ブルドーザ等で実績のあるハードを使用して、各電子コンポーネントと通信網でつながり、各々必要な情報を他のコンポから得ることができるようになっている。



写真一 3 電子制御コントローラ

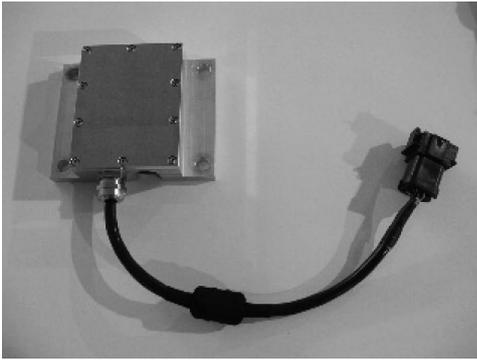


写真-4 IMU

(5) 12 インチコントロールボックス

設計図や、刃先の位置、その他各種情報を表示するコントロールボックスは、一般的に使用されている6～7インチのものに対して、大型な12インチ、タッチパネル式のものを採用した。

これにより、オペレータシートからの視認性も向上し、メニューも使いやすいようファンクションキー化した。

このコントロールボックスは、設計図面データ、機械の各種データ、バケットの寸法等を記憶するなど、施工に必要なデータを蓄積する機能、また、オペレータがデータの入出力をしたり、各種設定を行うインターフェースの機能も担っている。

3. 作業機の自動制御

本機の最大の特徴は、従来のMG油圧ショベルが画面に映し出された、設計面と刃先の位置関係を確認しながらマニュアル操作するのに対して、画面の設計面をあまり気にすることなく操作ができる点である。

操作自体は、マニュアル操作同様設計面に向かって掘削していくが、ブーム下げ、バケット掘削では設計面と刃先の距離が接近すると自動的に作業機を停止する。また、アーム掘削をすると、作業機のリンクモーションから自然と設計面に掘り込んでいくが、掘り込み分を車体のコントローラが自動的に計算して、ブームを上げることで、設計面に掘り込まないようにしている。

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。

(1) 自動停止制御 (図-4)

コントローラは、設計面と刃先の距離を常に検出しており、また、刃先が設計面に近づいていく速度も計算できる。そのデータに基づき、コントローラは各シ

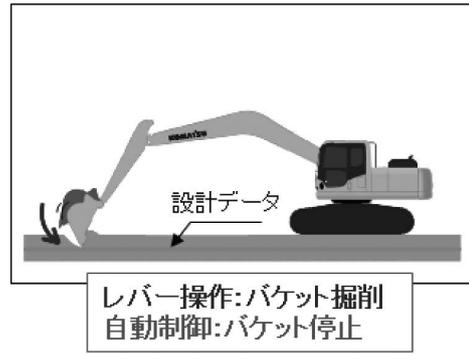


図-4 自動停止制御

リンダに流れる油量をコントロールすることで、ブームを下げたり、バケットを下げている時、刃先が設計面を掘り込まないようにブレーキをかけることができる。

自動停止制御は、掘削開始時に刃先を掘削開始位置に合わせたり、作業機の刃先を使って測量する場合に非常に有効な機能となっている。

(2) 自動整地アシスト (図-5)

自動停止制御同様に、設計面と刃先の距離を基に、アーム掘削による設計面の掘り込みを防止するよう、ブームの上げを自動制御して、また、必要に応じてアームの速度を若干遅くする制御を行う。自動整地アシストでは、オペレータのアームレバー開度で作業機の速度が決まり、荒掘削から、整地作業までをカバーしている。

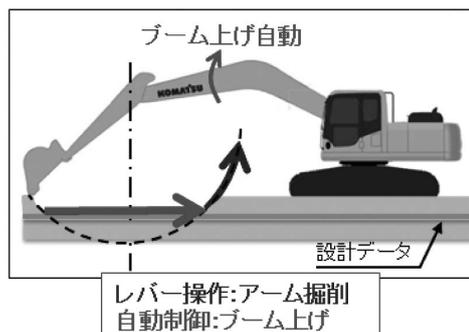


図-5 自動整地アシスト



図-6 ミニマムディスタンス

(3) ミニマムディスタンス (図-6)

コントロールボックスには、設計面と、刃先位置の距離を計算したものが表示されるが、刃先位置は、中央、刃先の左右を指定することができる。これに加え、ミニマムディスタンスというメニューも選択することが可能で、バケットの底面を含んで、設計面との最短距離を示すこともできる。また、選択された刃先位置と設計面の距離からマシンコントロールを行うため、刃先仕上げや、底面仕上げの作業で切り替えることも可能になっている。

4. コントロールパネルの機能

(1) 画面のカスタマイズ機能

コントロールボックスの画面表示は、設計面と車両全体を表示する荒掘削作業モードや、設計面とバケットをクローズアップした仕上げ掘削モード、車両移動時に広域を表示する走行モードなどがある。また、施工時に仕上がりのイメージがしやすい3D鳥瞰モードなどがある。画面は、最大三分割することが可能で上述のような画面モードを組み合わせることで表示することが可能になっている(図-7)。

(2) サウンドガイダンスと、ライトバー

画面には、設計面と刃先の距離を示すデジタル表示系もあるが、直感的にわかる大きなライトバーも表示される。これは、設計面と刃先の距離に応じてライトバーの位置が変わり、その表示する色でおおよその距離が感覚的にわかるようになっている。また、設計面と、刃先距離が接近すると警告音を出す音声ガイダンスも選択することができる。

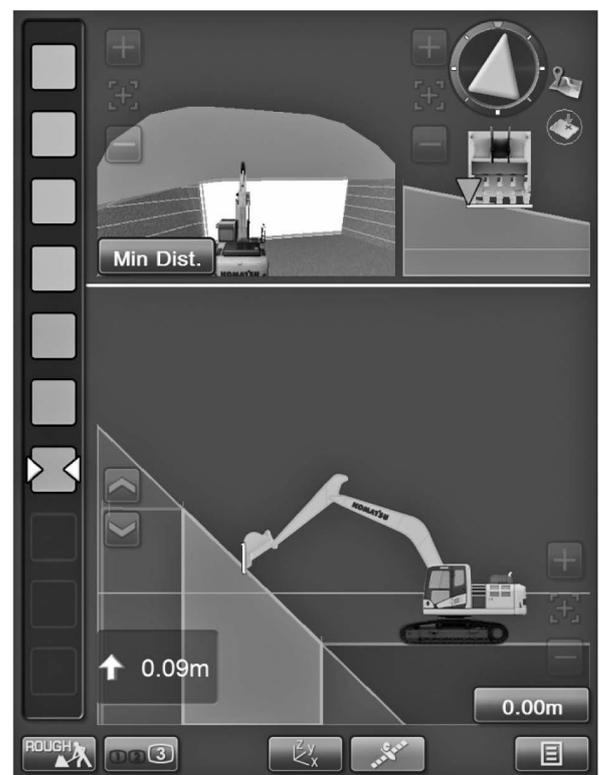


図-7 カスタマイズ画面例

(3) 正対コンパス (図-8)

法面の作業をする場合に、作業機と作業面が正対しているかはわかりにくい。それに対応するよう、画面上にコンパスを配置した。正対していないときは、コンパスが黄色であらわされるが、正対角度に近づくとコンパスが緑色に表示され、コンパス枠の印にコンパスの先端を合わせると、正確に正対したことを示す。

5. おわりに

MC機能を装備した、油圧ショベル「コマツ PC200i-10、PC200LCi-10」について、今までにない作業

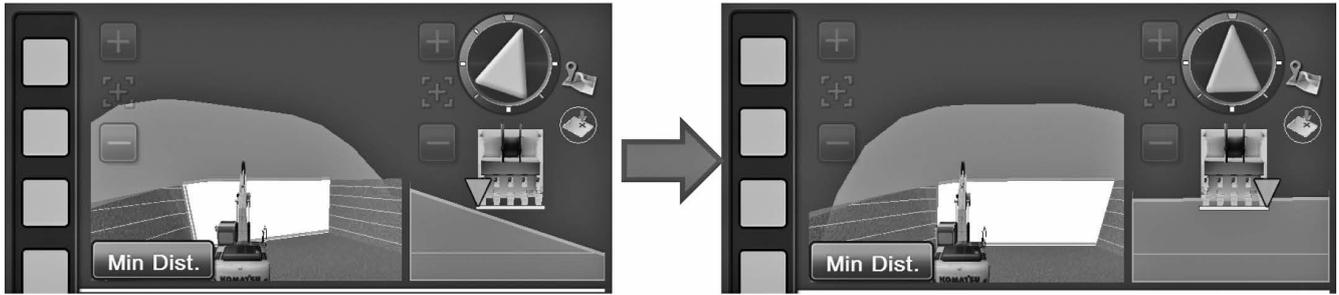


図-8 正対コンパス

機の電子制御を可能にしたことや、設計図面を表示するコントロールボックスの機能向上を中心に紹介してきた。画面の改善や、MCの導入は、オペレータの疲労軽減につながり、ベテランのオペレータはより効率的な作業ができるとともに、若手のオペレータについてもベテランオペレータとのスキルの差を縮めてくれることが期待できる。

今後、施工管理システムや、施工手順のガイダンスなどを組み合わせることで、さらに施工効率を向上して、やがては、全自動化された油圧ショベルに近づいていくものと思われる。

このようなGNSS測量技術を利用した施工では、未だ標準化されていない点もあるので、それらが統一されることで、施工現場全体がICT化され、お客様に最大の効率化を提供できるように努力していく所存である。

JCMMA

【筆者紹介】

中川 智裕 (なかがわ ともひろ)
 (株)小松製作所 開発本部
 建機第一開発センター
 情報化建機開発グループ
 チーム長



新谷 了 (しんたに さとる)
 (株)小松製作所 開発本部
 建機第一開発センター
 情報化建機開発グループ
 技師

