

技術論文

PC210LCi-10/PC200i-10 の開発 マシンコントロール油圧ショベル Development of PC210LCi-10/PC200i-10 Machine Control Hydraulic Excavator

島野 佑基
Yuki Shimano
上 義樹
Yoshiki Kami
下 風 研一郎
Kenichirou Shimokaze

近年、ICT 技術を活用した情報化施工の広がりにより、従来施工では必要であった丁張りの廃止に伴う施工時間短縮、施工精度向上、施工進捗管理などによる施工の効率化が市場で受け入れられ、それに対応した建設機械のニーズが高まってきている。油圧ショベルに至っては、マシンガイダンス（以下 MG）を搭載した車両がアフターマーケットを初め商品化されているが、仕上げ整地などはモニタを見て操作を行うオペレータの技量に依存する部分があった。そこでさらなる施工効率向上を目指して、コマツ独自のコンポーネントから生み出される油圧制御技術と GNSS 測量技術を融合させた結果、荒掘削から整地までの一連で作業機制御が可能になり、施工効率が大幅に向上したマシンコントロール油圧ショベルを情報化施工先進国の日米欧へ他社に先駆けて開発したので報告する。

In recent years, the efficient construction work thanks to the computerized construction utilizing the ICT technology has been expanded in the market, which contains shortening of a construction period by abolishing the finishing stake which was necessary in the conventional construction work, improvement of execution accuracy, and execution progress management. From this trend, there are growing needs for construction machinery responding to it. When it comes to hydraulic excavators, machines installed with Machine Guidance (MG) have been commercialized including after-market products. However, finishing grading was somewhat dependent on skills of operators monitoring the display. Accordingly, we have developed the machine-controlled hydraulic excavator highly improved in construction efficiency, which enables machine control in a series of operations from rough digging to grading, thanks to the combination of the hydraulic control technology from Komatsu unique components and the GNSS surveying technology. This excavator has released on the computerized-construction-advanced markets of Japan, U.S. and Europe ahead of other competitors.

Key Words: PC210LCi-10/PC200i-10, マシンコントロール油圧ショベル, 自動整地アシスト, 自動停止制御, 情報化施工, 施工管理, GNSS

1. はじめに

GNSS 測量技術を活用した建設機械は、丁張り廃止によって工数低減に大きく貢献している。またブルドーザやモータグレーダといった、仕上げ整地を行う建設機械にはマシンコントロール（以下 MC）と呼ばれる、作業機を自動で設計面に沿う様に制御を行うシステムが商品化されており、コマツでは 2013 年に掘削・運土から整地まで一連のブルドーザ作業に作業機自動制御の適応範囲を拡大した D61EXi/PXi-23 を発売し、大変高い評価を頂いており、市場に与えた影響は大きい。しかしながら油圧ショベルに限っては、MG 機能までとなっており、オペレータは丁張りの無い施工現場を、ガイダンスモニタを見な

がらガイダンスに合わせて施工する為、最終仕上げ精度はオペレータの技量にも依存する部分が大きかった。

本稿では、コマツ独自のコンポーネントから生み出される油圧制御技術と GNSS 測量技術を融合させることで、従来の MG 油圧ショベルに対し、各種コンポーネントを車体に内蔵し（Integrated）、設計面（施工面）で作業機を停止させる“自動停止制御”と設計面に沿う様に作業機を制御する“自動整地アシスト”を付加（Intelligent）することで、荒掘削から仕上げ整地まで作業機制御を行い、施工効率を向上させた革新的な（Innovate）20t クラスの MC 油圧ショベル PC210LCi-10, PC200i-10（図 1）について、3つの“T”を中心にその特徴を紹介する。



図1 PC210LCi-10/PC200i-10 外観図 (左) 従来のMG油圧ショベル (右)

2. 車体システム

<Integrated>

2.1 GNSS測量機器

従来のMG油圧ショベルでは、GNSSアンテナは一般的にカウンターウェイト上に専用ポールを立てて搭載していた。それに対して本機ではキャブ後方のハンドレールに搭載したことで、樹木等による接触での破損リスク低減および、着脱時の安全性が向上した。(図2)



図2 GNSS 測量機器

2.2 ストロークセンシングシリンダ

作業機を精度良く制御する=作業機位置および速度などを正確に検出する必要がある。

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）にコマツ製ストロークセンサ（図3）を装着しており、各シリンダのストローク（長さ）、速度を正確に検出でき作業機制御および、作業機位置計算に利用している。

ストロークセンサは、シリンダロッドの伸縮によりローラが回転し、その回転でストロークを検出する機構や、ローラの滑りなどによる誤差を補正する機能を有する。

アフターマーケット品の様な傾斜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、モニタ上の刃先の揺れも無い。



図3 ストロークセンシングシリンダ

2.3 IMU

正確な作業機姿勢を計算するには、車体の姿勢角を読み取る必要があり、車体フレーム上に高精度で車体姿勢角を検出できるIMU (Inertial Measurement Unit) (図4) を搭載しており、傾斜地での作業でも精度が維持された作業機制御が可能となっている。



図4 IMU

2.4 電子制御作業機バルブ

オペレータのレバー操作は、油圧式パイロットバルブを通じて、各シリンダ動作をコントロールする油圧式コントロールバルブによって行われており、ベース車の操作感を損なわない様にしている。ベース車と異なるのは、パイロットバルブとコントロールバルブの間に応答性を

向上させた EPC (Electric Pressure Control) バルブ (図 5) を搭載しており、パイロット圧を電子制御することで作業機制御を行っている。また、コントロールバルブには、油の流量を決めるスプール位置を正確に検出できるセンサが装着されており、制御性能の向上に寄与している。

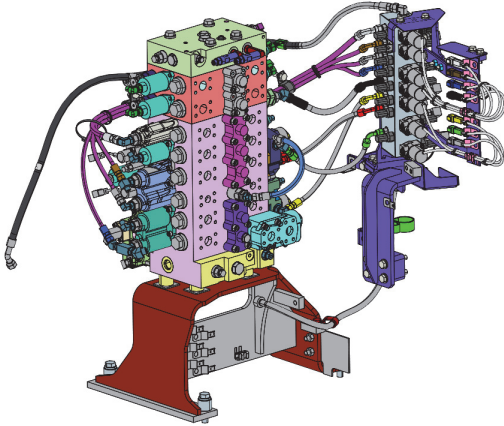


図 5 電子制御作業機バルブ

2.5 電子制御コントローラ

既に紹介した各コンポーネントの電気信号は、作業機制御時に指令を出力するコントローラ (図 6) に接続されている。このコントローラは大型建設機械などで実績のあるハードを使用しており、他のコントローラとは通信網でつながり、各々必要な情報は他のコントローラから得ることが出来る様になっている。

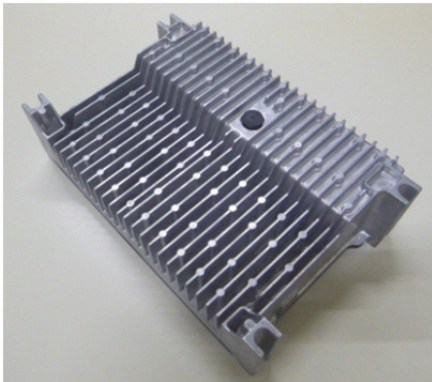


図 6 電子制御コントローラ

2.6 大画面コントロールボックス

施工に必要な設計図面情報、刃先位置、距離や車両状態を表示するディスプレイは、一般的に 6~7 インチが主流だが、オペレータにとって見やすく・分かりやすく・使いやすいインターフェイスとしての機能を考慮し、大型の 12.1 インチ、タッチパネル式のもの (図 7) を搭載し、車両キーオン/オフでの起動/終了や、作業灯使用時は液晶画面が自動減光する機能も織込んだ。見やすいよう

に 3D 鳥瞰図表示や表示文字の位置などを工夫し、分かりやすいようにライトバーやサウンドガイダンス機能、使いやすいようにファンクションキー化および、各種カスタマイズ機能が備わっており、オペレータへの視認性向上だけでなく、インターフェイスとしての機能向上も果たしている。また、モニタはボールジョイントでマウントされており、オペレータの着座位置に関わらず、視界性を確保できる位置に調整することが可能である。



図 7 大画面コントロールボックス

2.7 その他

作業機寸法、各種センサの較正および、精度検査は製造工場で完了しており、現場では使用するバケットの寸法をファイルとして登録するのみで使用可能である。また、設計面データやバケットファイルなどは USB メモリを用いてデータの読み書きは簡単にでき、インターネットモデムを接続した場合、電子基準点の利用や、施工管理システムに接続することで出来形情報や、設計面データの送受信が可能となっている。

3.2 自動整地アシスト (図10)

自動停止制御同様に、設計面と刃先の距離、速度や向きを基に、オペレータのアーム操作によって刃先が設計面に対して掘り込むとコントローラが判断した場合、自動的にブーム上げ指令が出力され、設計面に刃先が沿うように制御介入が入る。また、必要に応じてアーム速度を減速させることも実施する。自動整地アシストでは、オペレータのアーム操作量に応じて最適な制御を実施する為、荒掘削時の様な施工精度をあまり気にしない状態から、バケット操作とブーム下げ操作を行うことでバケット底面による仕上げ整地の様な精度を要求する微速操作までカバーしている。

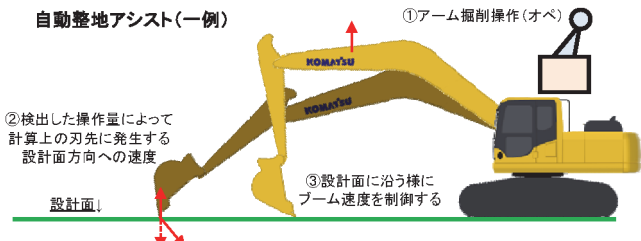
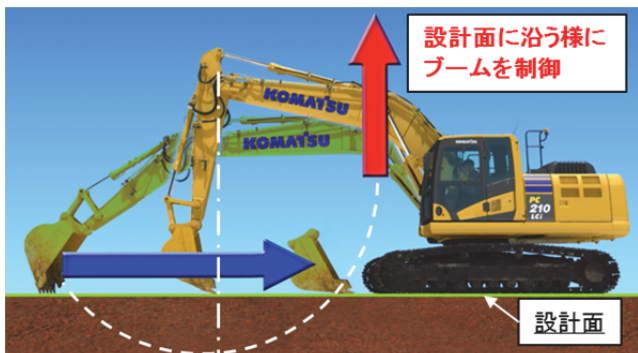


図 10 自動整地アシスト

3-3. 最短距離制御・正対コンパス

施工する面が斜面で車体が正対していない場合、刃先で最も設計面に近い部位で制御介入しないと、掘り込みが発生し出来形に影響が出る。刃先の制御介入位置は、中央と両端に加えて最短距離を選択できるようになっており、最短距離を選択した場合、設計面に最も近い部位で制御介入が実施される。また制御対象箇所は刃先だけでなく、バケットの底面や輪郭でも制御が入る為、刃先仕上げから底面仕上げなども可能である。

また、法面等を施工する場合において、モニタ上に表示される車体と設計面の正対状態が分かる正対コンパス機能は、ユーザビリティ向上に寄与している。(図 11)

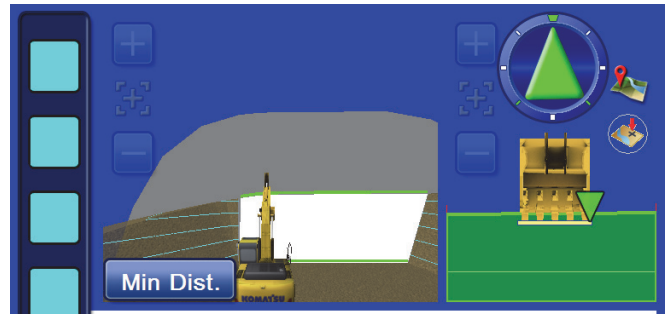


図 11 最短距離制御 (上)
正対コンパス機能：画面右上▲表示 (下)

3.4 その他

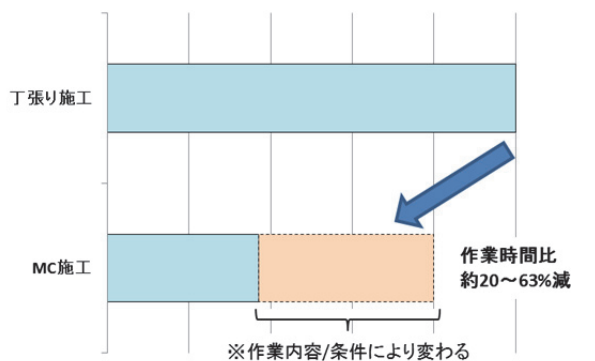
油圧ショベルは施工内容に応じて、適切なバケットに付け替えて施工を行うが、チルト操作が可能なバケットを使用する場合でも、傾斜センサをバケットに追加するだけで MC が可能である。また、装着するバケットによって重量は変化するが、車体モニタ上でバケット重量の設定を切り替えることで重量バケットから軽量バケットまで制御精度を確保できるようにした。MC 機能はボタン操作 1 つで MG 機能に切り替える事が容易である。

4. マシンコントロールによる効果

<Innovate>

上記の作業機制御と大画面でのインフォメーションにより、従来の丁張り施工およびアフターマーケット MG 油圧ショベルと比べて、社内定型モデル作業において作業時間が約 20%~63%短縮され大幅な施工効率向上が実現された。本試験は、設計面に向かって掘削から整地までの一連施工を行った場合であり、短縮される作業時間は作業内容や条件により異なる。

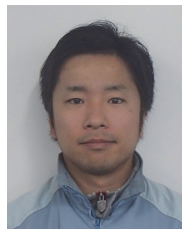
表1 丁張り施工とMC施工の作業時間比



5. おわりに

他社に先駆けて開発した MC 油圧ショベル「コマツ PC210LCi-10, PC200i-10」について、Integrate, Intelligent, Innovate の3つの“I”をもって機能の特徴を中心に紹介してきた。油圧ショベルのマシンコントロールという機能/技術は、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、経験年数の浅いオペレータについてもベテランの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。また施工効率が向上する事で施工コストの削減や工期短縮などオーナーにもメリットがあると言える。今後も止めどなく進化し続ける ICT 技術を積極的に建設機械に取り入れて、見えている可能性を具現化し情報化施工業界をより発展できる様にメーカーとして取り組んでいく次第です。

筆者紹介



Yuki Shimano
しまの ゆうき
島野 佑基 2009年、コマツ入社。

ICT 油圧ショベルの車体制御システムの開発業務に従事。現在、開発本部建機第一開発センタ情報化建機開発グループ。



Yoshiki Kami
かみ よしき
上 義樹 2007年、コマツ入社。

ICT 油圧ショベルの車体制御コントローラの開発業務に従事。現在、開発本部システム開発センタメカトロ制御第一グループ。



Kenichirou Shimokaze
しも かぜ けんいちろう
下 風 研一郎 1990年、コマツ入社。

油圧ショベルの性能試験/品質確認業務に従事。現在、開発本部試験センタ大阪グループ。

【筆者からひと言】

コマツの積み重ねてきた技術力と組織力、協業社のパートナーシップによって、世界初のマシンコントロール油圧ショベルの製品化に至りましたが、まだスタートしたところです。今後は、更なる制御範囲の拡充と、制御精度の向上および、最適な施工手法のガイダンスなど、施工効率をもっと高めることで誰でも作業ができる様になり、その結果として完全自動化への道が見えてくると思います。