

製品紹介

マシンコントロール油圧ショベル PC200i-11

Machine Control Hydraulic Excavator PC200i-11

久 隼 人
Hayato Hisa

近年、ICT 技術を用いた建施効率化が進んでおり、ブルドーザでは整地や運土作業時に作業機の位置を制御しオペレータの負担が少なく施工が可能な機械が市場導入され、油圧ショベルにおいてもオペレータの掘削操作を一部アシストすることで従来に比べてオペレータの負担を低減したマシンコントロール油圧ショベルを他社に先駆けて市場導入することで、効率化に大きく貢献し好評を得ている。さらに、市場導入後も北米・日本における機種系列の拡大やステレオカメラ技術を用いた測量機能の搭載、施工全体の包括的なサービス「スマートコンストラクション」の提供を行うなど、魅力的な商品を市場に提供してきた。特に日本では 2015 年に国土交通省から発表された i-Construction により情報化技術を活用し建設現場の効率化を目指す動きが活発になってきたことから、よりオペレータにとっての使いやすさや施工効率の向上を目指した新機能を搭載したマシンコントロール油圧ショベルを開発したので報告する。

In recent years, effectiveness improvement of construction works using ICT technology has advanced. For bulldozers, machines that can reduce the burden on the operator by controlling the position of the work equipment during leveling and hauling work are introduced in the market. Ahead of competitors, we introduced machine control hydraulic excavators, which also reduce the operator's effort by assisting the excavation operation, contributing greatly to increasing the efficiency. Even after the release of these well received machines, we continued with our activities to expand model series in North America and Japan, adopt surveying functions using stereo camera technology, provide the comprehensive service "Smart Construction" which supports the entire construction work, and introduce other attractive products to the market. Especially in Japan, the "i-Construction" concept was announced by the Ministry of Land, Infrastructure and Transport in 2015. As a result, the movement to aim at the efficiency of the construction site by utilizing information technology has become active. We like to introduce our newly developed machine control hydraulic excavator, equipped with new functions aiming at improvement of usability and construction efficiency for operators.

Key Words: PC200-11, 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, ステレオカメラ

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。油圧ショベルにおいても、2014 年にオペレータの操作に応じて設計面通りに掘削できる PC210LCi-10 を欧州に市場導入し高い評価と共に市場へ受け入れられた。また、国内には PC200i-10 を 2014 年にレンタル向けに 2016 年にはステレオカメラを搭載し一般販売を開始した。（図 1）

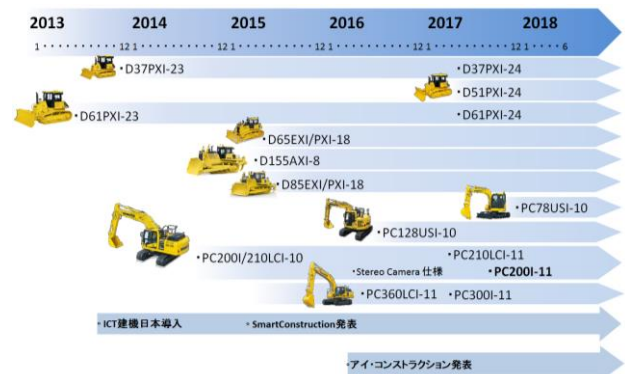


図 1 コマツ ICT 建機の市場導入

国内では当時情報化施工を使用している現場が少なく市場でも一部の先進的なお客様を除き普及率は低かったが建機による施工部だけではなく情報化施工を行う全行程に対して包括的にサポートするスマートコンストラクションのサービスと共に機械を提供することで多くのお客様から高評価を受けている。

また、国内の市場に目を向けると将来の建設業界における建設技能労働者の減少と実際に必要な労働者数のギャップの拡大(図2)もあり国土交通省が2016年3月末に発表したアイ・コンストラクションによる建設生産プロセス全体の2025年までに20%向上という目標に向け効率化が急務となっており、実際の現場でもそれに対応した測量機器や建設機械の導入が必要不可欠となっている。

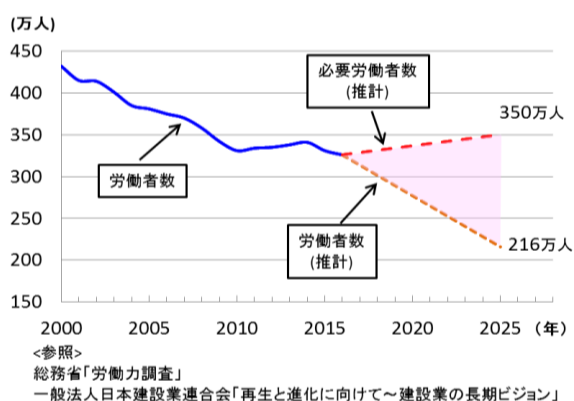


図2 建設技能労働者の推移と推計

本稿では市場の背景と世界初のマシンコントロールを市場導入して実際に市場から受けた要望を取り入れ、従来のMC油圧ショベルに対しオペレータのみならず施工現場の効率化をねらいより発展させた20tクラスのMC油圧ショベルPC200i-11(図3)について、新規に搭載した機能を中心にその特徴を紹介する。



図3 PC200i-11 外観図

2. 新機能

本機の最大の特徴は、従来のMC油圧ショベルではオペレータのアーム操作に対して設計面通りに刃先が動くようにブームを上げることでオペレータをアシストするのに対して、バケットの設計面との角度やブームの下げといったアシスト範囲の拡大のみならず一連の施工において頻度の高い施工面の締め叩きをシームレスに行える機能や積み込み作業を効率的に行うためのペイロードメータ、現場での現況地形計測を容易に行えるステレオカメラなどを搭載し施工現場の情報化に大きく寄与できる機械になっていることである。

2.1 マシンコントロールの新機能

2.1.1 ブーム自動下げ制御(図4)

従来の自動整地アシストは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。しかしながらブームを下げなければ刃先が設計面から離れていく局面に対してはオペレータがブーム下げ操作を行う速度に対して計算された速度以上が出ないように制御行っていたためオペレータが自らブーム下げ操作を行う必要があり、ブーム上げ下げの切り替えをスムーズに行うためにはブームレバーを下げ方向に入れ続けるような操作を行うこともあった。

本機能ではオペレータのアーム操作に応じてブーム下げ操作が必要な局面であればブーム下げ指令が出力され、設計面に刃先が沿うように制御介入が入るようになった。

通常の操作パターンだとブームとバケットは同じレバーにて操作を行うためオペレータがバケット角度を微調整するためにはブーム下げを入れながらバケットの微調整を行う必要があったが本機能によりブーム操作を気にすることなく施工を行うことができるようになりオペレータに対する負担低減に寄与している。

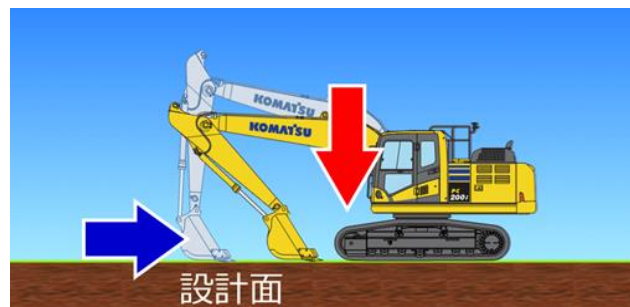


図4 ブーム自動下げ制御

2.1.2 バケット角度保持制御（図5）

従来のならい制御では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まないように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が、実際に地面を掘削している場合バケットを操作しないと地面の角度がアーム角度により変化してしまい掘削性能や整形性が変わってしまうためオペレータの操作によって調整しながら作業している。しかしながらバケット角度を一定に保つ操作はオペレータにとって非常に気を遣う操作であり負担となっていた。本機能は MC 制御が有効な時にアーム操作を開始した時の制御対象とバケットの相対位置を一定に保つようにコントローラから出力された指令に基づき自動でバケットを動かすものである。しかしながら実際に掘削する地面の状態は一定ではないためオペレータが任意にバケット角度を変更しようとした場合アームを操作中であってもレバーを操作することによって任意に角度を変更することができ、またレバーの操作を終了したタイミングでの制御面とバケットの角度を保持して継続して掘削が可能となっているため、オペレータがストレスを感じることなく施工に集中することができる。

MC ショベルのバケット操作レバーからコントロールバルブまでの PPC 回路には減圧用の EPC バルブが介在しておりレバーの出力圧に対してコントローラからの指令値によりレバー主力圧の制御を行っているが、本機能ではレバーの出力圧を検知しその出力圧を EPC にてコントロールバルブに供給することによりマシンコントロール中であればコントローラの要求通りに、オペレータの操作があるときはオペレータの操作通りにスムーズに作動することが可能となっている。



図5 バケット角度保持制御

2.1.3 締め叩き制御

日本の一般的な土木工事にてショベルを使用して成型する際に工程の仕上げとして施工面をバケットの底面にて締め叩きを行うことが多い。（図6）これは土の土圧をかけ地面の表面を固くすることにより崩れの防止や雨天時等の水が施工完了面にしみこみにくくする役割がある。

この施工を行うためにはブーム下げを操作しバケット底面を地面に強くあてる必要があるが MC ショベルにおいては設計面を傷つけることなく施工ができるようにブーム下げの速度の制御を行い設計面で刃先が停止する制御が入っているため締め叩きを行うには速度が足りず、実施するためにはマシンコントロールをオフにする必要があった。

しかしながら土木工事にて頻度の高い締め叩きを行うたびにモード切替を行うことは非常に手間であり、またマシンガイダンスで行われた施工になるため操作時に停止位置が設計面を侵さないことを確認しながら作業する必要がある。そこで施工の効率を上げるために開発したものが本機能である。

本機能は2つの機能から成り立っており、一つはオペレータのブーム下げ操作のパターンから締め叩きを行おうとしていることを読み取り自動で停止制御の減速テーブルを切り替え地面とのコンタクト時に十分な土圧を掛けることができるよう速度を調節した制御である。本機能により締め叩き時以外はこれまで通りにスムーズに停止し必要な時には早いブーム下げにて施工面を締め叩くことを一連の操作を止めることなく行えるようになった。

もう一つはバケットと地面の角度により設計面を任意に設定したオフセットした制御面の一時キャンセルを画面やその他の操作を行わずに車体の状況で切り替えるものである。締め叩きを行う際には締め叩き後の土の圧縮を考慮し最終的な完成面よりも土を余分に盛る必要がある。本機能を活用することにより締め叩き分の土をオフセットがかかった状態でならいアシストによって施工を行いその後バケット底面にて制御がかかった状態で設計面を傷つけることを心配することなく締め叩きを行うことができるようになった。（図7）

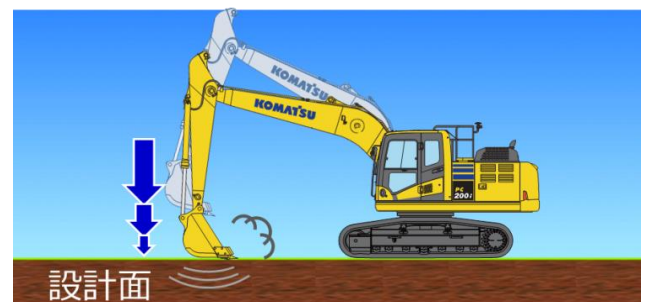


図6 締め叩き操作

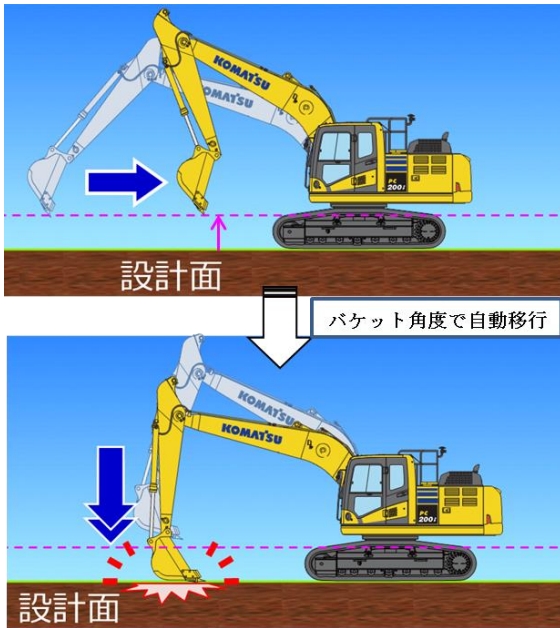


図7 締め叩き制御と設計面一時キャンセルを併用した作業例

2.1.4 オートチルトバケット

コマツ純正品としてストロークセンサ付シリンダを搭載したチルトバケットを（図8）を準備しており、これによって高精度なバケットチルト角度を姿勢によらず計測することが可能になった。このバケットを使用することによってチルト操作に対してもマシンコントロールによるオペレータアシストが可能になった。

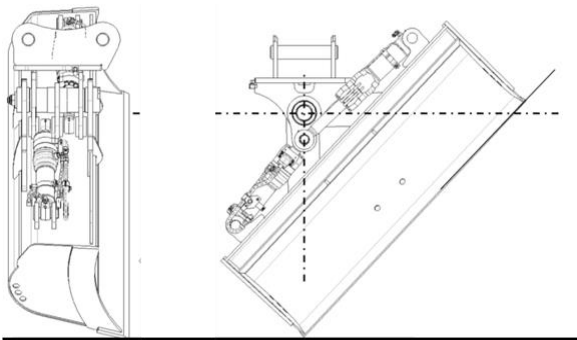


図8 オートチルトバケット

センサ付チルトバケットを使用することにより装着されたチルトバケットの操作に対しても刃先が設計面に対して食い込むことを防止する制御が有効になる。チルトバケットは通常のバケットに対して稼働軸が一つ多いため施工面に対して様々な理由で車体を正対できない場合であっても施工することが可能であり現場での施工効率向上に対して有効なツールではあるが操作が複雑なため施工時のオペレータは通常のバケット以上に気を使うことになる。本機能によってオペレータはチルト操作を行うときに常に施工面から離れないようにチルトバケットの刃先をチルトさせ続けることによって設計面を傷付けることなく整形作業を行うことができるようになった。また、本機能は他の操作に対する停止制御と異なりならい作業中であっても有効であり前述のバケット角度保持機能と合わせて使用することで複雑な設計面の施工に対してより一層有効なものとなっている。（図9）



図9 オートチルトバケットを使用しての施工結果

2.1.5 新機能のUIの改善

今回紹介した新機能のうち、自動ブーム下げ機能、バケット角度保持機能、締め叩き機能及び設計面オフセット一時キャンセル機能についてはオペレータキャブに搭載された HMI にアイコンを追加することによりオペレータが機能の必要不要に合わせて簡単に機能を OFF することができる。また、機能が有効な時はアイコンが緑色になることによりオペレータに制御が働いているかいないかを視覚的に表示することができる。(図 10)



図 10 新機能アイコンが追加された HMI 画面

2.2 スマートコンストラクション・現場効率改善

2.2.1 ステレオカメラ

ショベルを使用して掘削を行っても掘削後の地形形状を把握できなければ日々の進捗状況を把握することができず、施工管理とはならない。これまでは ICT ショベルが掘削した刃先位置を記録してその軌跡を現況面として更新するかドローンやレーザー計測器を用いて計測を行うしかなく正確な現況面を計測するためには手間がかかっていた。

そこで国内に導入している ICT ショベルには標準でステレオカメラシステムを用いて画像処理にて地形情報を取得しサーバに送ることができる機器を標準搭載している。

本システムは遠距離用と近距離用の 2 組計 4 つのカメラを搭載 (図 11) してオペレータが計測スイッチを押したタイミングで地形を計測し地形データを施工管理サーバに自動送信するものである。従来の車両ではオペレータキャブ内にカメラを設置していたが本機からオペレータキャブの外にカメラを設置することによりオペレータキャブ内の空間をより広く確保できた。

従来は撮影時の位置情報の精度を確保するため一枚ずつの撮影しかできなかったが、本機より旋回の開始時と終了時の位置情報を用いることにより旋回中の連続撮影が可能となり広範囲の撮影時の時間短縮につながった。また、撮影中の操作にガイダンス音を準備しオペレータが撮影を行うときの車体の状態確認を容易にした。カメラの撮影範囲は専用のアプリをダウンロードすることでオペレータの持つタブレット上でオペレータキャブ内の無線通信網を使用して確認することが可能である。(図 12) 上下それぞれの画像を確認することが可能となった。

また、単撮影機能は国土交通省の出来高管理による中間払いにも対応しており既定の検査を定期的に行えば追加の機器が必要なく本 ICT ショベル以外の機械や人が作業した現場の検収用データの取得が可能である。



図 11 ステレオカメラ



図 12 UI 画面

2.2.2 ペイロード機能

油圧ショベルを使用しての土木工事では掘削整形作業

の他にダンプトラックに掘削によって出た土砂、あるいはこれから施工に使用する土砂を積み込む作業が多くの割合を占めている。ダンプトラックは多くの場合公道を走行して土砂を輸送するためその積載量の管理は重要な課題である。トラックの手配コストは工事における費用に少なくない割合を占めるため、一台当たりの満杯率を上げたいが過積載となれば道路交通法に抵触することになるため現場にトラックローラを設置して管理されていることが多いが過積載分の積み下ろし等の手戻りが発生して効率のロスにつながっている。そこで本機では油圧ショベルを使用しての一連の積み込み作業中に作業機につけられたセンサより計算した自身の姿勢とブームのヘッド、ボトム配管に取り付けられた圧力センサによりバケット内の土砂の重量を計算しオペレータに積載量を視覚的に提示できるようにした。

本機能では事前に登録したトラックに対して今積み込んだ土砂重量と積載履歴をオペレータがタブレット（図13）を使用して確認することができ、現在の積載率やあとどれくらい積めるかを把握しやすいため過積載を心配することなく積込量の最大化を図ることができ実際の積み込み量の改善や効率化を行うことができる。

実際の積込においては油圧ショベルとダンプの位置関係やダンプのベッセル高さがさまざまであるため、実際の重量計測タイミングについてはバケット高さにより自由に設定可能である。また、バケットを交換したり土砂が付着して重量が変化すると計算値にずれが生じる可能性があるため簡単なキャリブレーションによって先端の重量変化分を補正することが可能である。

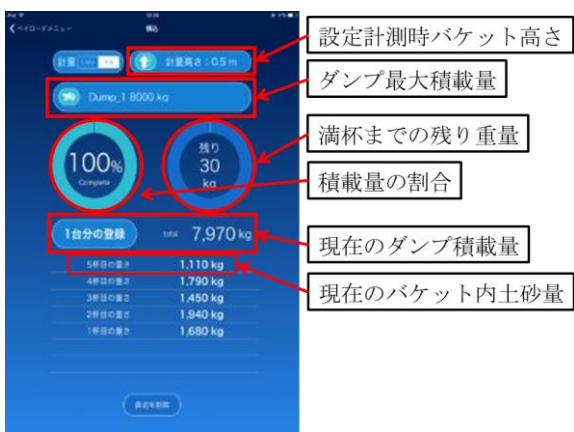


図13 タブレット上のUI画面

2.3 市場のインフラ活用

2.3.1 マルチ GNSS対応

現在、衛星測位システムは様々な分野に用いられているが従来一般的だった GPS (米国) 及び GLONASS (露国) のみならず近年では各国が独自の衛星を打ち上げ衛星の

補足数の向上や地域による精度低下の改善を行っている。日本も 2010 年度より「みちびき (準天頂衛星システム)」の初号機を打ち上げ 2018 年度より 4 機体制、2025 年度には 7 機での位置情報サービス開始を目指している。4 機での運用が正式に開始されると 3 機は常にアジア・オセアニア地域で常時観測に使用することができ GPS と一体で利用すれば安定した高精度測位を可能とする衛星数を確保することができるようになる。

こうしたインフラ整備が進む中で従来の MC 油圧ショベルでは、GPS (米国) 及び GLONASS (露国) の 2 種類の衛星情報を利用することができたが、新たにマルチ GNSS に対応した測量機器 (図 14) を搭載したことにより QZSS (日本)、BeiDou (中国)、Galileo (EU) が利用可能となり施工中の位置情報の安定性が向上した。



図14 GNSS 測量機器

4. 新機能の評価

今回紹介した新機能を実際に使用した際の意見を紹介する。

・ブーム自動下げ機能

アーム角度 90 度以降にマシンコントロール出来る作業範囲が広がり、作業時間が短縮出来され広範囲の整地作業が非常にラクになった。

・バケット角度保持機能

従来のマシンコントロールショベルはバケットをマニュアルで操作する必要があったが本機能によりバケット角度に気を使う必要がなくなり経験の少ないオペレータでも出来形をきれいにすることができるようになった。

・締め叩き制御

マシンコントロールが有効なまま転圧から整形まで一連の操作を行えるようになり作業効率が向上した。また、盛土転圧作業を行う際にセミオートボタンの操作やモニタの操作が必要なくなり煩雑さがなくなった。そのため施工全体の時間短縮につながった。

・オートチルトバケット

STD バケットでは正対できない部分の法面などが容易に施工できるので便利である。V 溝掘削や道路施工にも有効である。また、バケット角度保持制御と合わせてバケット角度が一定に保持されるため、バケット+チルト(+旋回)操作も煩雑性がかなり改善され仕上げ整形に集中できるので良く HMI モニタを見ながら作業する余裕ができチルト操作による正対を保持しやすくなったので良い。

・ステレオカメラ

ステレオカメラがキャブ外に装着されたが、外観として違和感無く、キャブとの統一感がある。撮影音の追加で、ステカメ撮影性がより手軽にできる様になった。

5. おわりに

20 tクラスの MC 油圧ショベル「コマツ PC200i-11」について、本機より新たに採用された機能の特徴を中心に紹介してきた。

従来では油圧ショベルを思い通りに操作できるよう手元に集中しつつ、そのうえで施工にオペレータが集中することが当たり前だったが、今回紹介した新機能によるアシストを活用することにより油圧ショベルを思い通りに操作することへのハードルが下がりよりオペレータが施工について集中しやすい状態になってきている。

建設現場においてオペレータの高齢化と労働人口の減少がさげばれている現在において、本機を使用することによりベテランにとってはより疲れにくい現場となり、オペレータの養成という側面から見ても早期に施工方法の習得に取り組むことができるということから情報化施工の普及と相まって今後の市場には必要な車両となっていくと信じている。

油圧ショベルのマシンコントロールという機能/技術は、日々進歩してきており市場からの要求の変化も早いものとなってきている。特に情報化施工の世界では油圧ショベル単独で完結する商品ではなくなって来ている傾向もあり施工現場全体を考えてより一層現場の効率化に対して貢献していくことができる商品開発に取り組んでいく次第です。

筆者紹介



Hayato Hisa

ひさ はやと 久 隼人 2007年、コマツ入社。
開発本部 建機第一開発センタ

【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によって、客先でのより効率的な作業は何かという観点でさらには車体単体のみならず車両が動く現場全体の効率化に向けた視点での開発の結果本車両の市場導入を行うことができた。

今後は車両単体での制御範囲の拡大によるオペレータへの負担軽減と施工現場全体の効率向上に向けたシステムの搭載や将来に向けより拡張性を高めた車体の開発を進めることにより今後出てくるであろう新たな現場での要求や業界構造の変化に対して素早く対応でき、社会に貢献できる車両になっていくと確信している。