

マシンコントロール機能を搭載した 油圧ショベルの開発

ICT 油圧ショベル「ZX200X-5B」

泉 枝 穂

国土交通省は、土木建設現場の ICT 活用により生産性、安全性を大きく高める取り組みとして、2016 年度より国の直轄工事に「i-Construction」を導入することを発表した。

これは 3D データをベースに、測量・設計から施工、管理、検査にいたる全プロセスに ICT の活用を展開するものである。

本稿では、施工目標面情報とショベルの位置、姿勢情報を照合しながらフロントを半自動制御することで、効率的な作業が行えるマシンコントロール機能を備えた ICT 油圧ショベル「ZX200X-5B」（以下「本機種」という）のマシンコントロール機能の概要とその特徴について述べる。

キーワード：油圧ショベル、情報化施工、マシンコントロール、ICT

1. はじめに

近年、ICT の発達に伴い、建設事業においても生産性や品質、安全の向上を目的として、電子情報の活用が急速に普及しつつある。特に、施工に関して、先進国では人口減少や少子高齢化、新興国では施工数の急増により、建設機械の熟練オペレータ不足が懸念されている。この問題を解決する手段の一つとして、ICT を活用した情報化施工がある。情報化施工とは、調査、設計等の各プロセスで得られる電子情報を用いて高効率、高精度な施工を実現し、さらに施工で得られる電子情報を維持、管理等の他のプロセスで活用することで、建設生産プロセス全体における生産性の向上や品質、安全の確保を図るシステムである。

図-1 に従来の工法と情報化施工機を活用した場合の作業効率の改善例を示す。このように、i-Construction で提案されている 3D データを用いた情報化施工機を活用することで、丁張りや検測作業を大幅に削減し生産性と品質、安全の向上を実現できる。

これまでに、情報化施工に対応するため、施工目標面とバケット爪先の距離をモニタに表示する、あるいは音によってオペレータに知らせるマシンガイダンス機能を搭載したショベルが使用されているが、操作はオペレータが実施するため、出来形は技量に依存する部分が大きく、生産性及び品質向上の面で課題があった。

そこで、施工目標面情報とショベルの位置、姿勢情

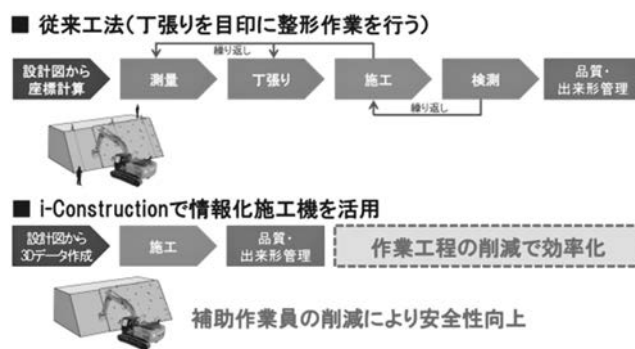


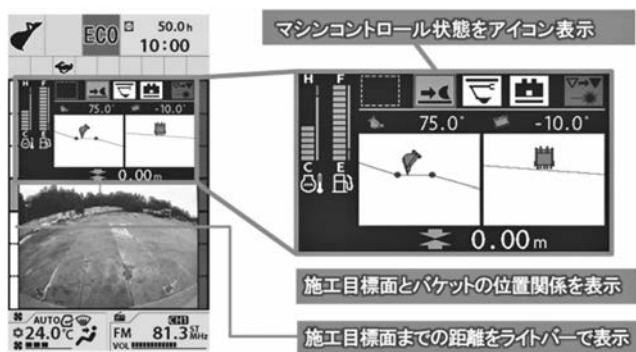
図-1 情報化施工機の活用

報を照合しながらフロントを半自動制御することで効率的な作業が行える、マシンコントロール機能を備えた油圧ショベルを開発した。

2. マシンコントロール機能概要

マシンガイダンスの表示例を図-2 に示す。図-2 に示すように、従来のマシンガイダンス機では、施工目標面とバケットの位置関係やバケット角度などの情報がモニタに表示されるため、位置を確認するためには表示を気にしながら操作を行う必要がある。

それに対し、マシンコントロール機では、施工目標面に対して掘り過ぎを防止する機能を備えるため、モニタを気にせずに操作が可能であり、またオペレータの技量に依存する部分が減り、生産性、施工品質、安全の面で改善が期待できる。



図一 マシンガイダンス表示例

本機種に搭載したマシンコントロール機能の特徴について以下に示す。

(1) 掘り過ぎ防止機能

本機能は、施工目標面とバケットとの距離情報を基にフロントを半自動制御することで、施工目標面に対する掘り過ぎを防止し、効率的な掘削を可能とするものである。

各操作におけるマシンコントロールの動作について、それぞれ説明する。

(a) ブーム下げ動作

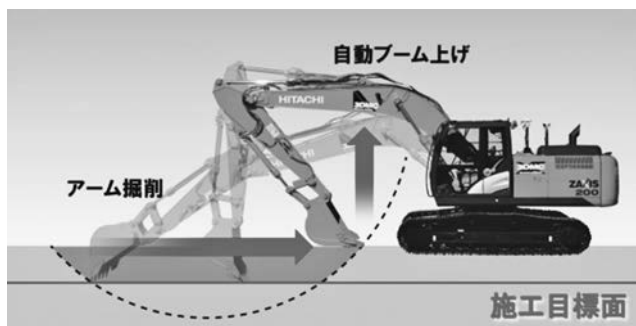
ブーム下げ操作によりバケットが施工目標面に近づく、ブーム下げ動作を減速し、施工目標面上で停止するように制御する。

本制御は、掘削動作を開始する際に、バケット先端を掘削開始位置に合わせたり、バケットの先端を用いて測量を行ったりする場合に有効な機能である。

また、バケット底面のうち、目標面と最も近い部分を選択して制御するため、バケット先端のみでなく、後端部の目標面への侵入も防止することができる。

(b) 掘削動作

アームまたはバケット操作によりバケットが施工目標面に近づく、必要に応じて施工目標面とバケットの位置関係によってフロント速度を制御する。本操作においても、前述した内容と同様に、バケット底面の



図一 掘り過ぎ防止機能 掘削動作

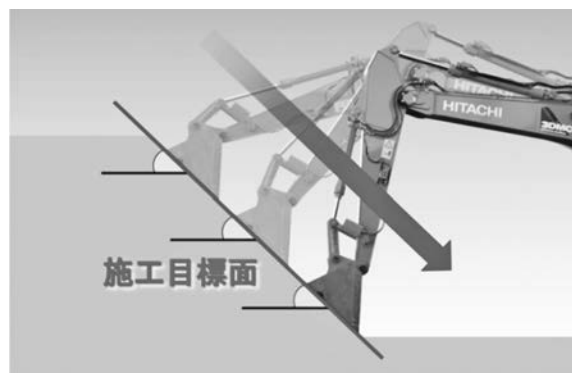
うち、目標面と最も近い部分を選択して制御する。アーム引き操作により自動でブームが上がる例についての概念図を図一 3 に示す。

掘削方向に連続した複数の施工目標面に対して掘削操作をした場合には、面のつなぎ目に対して減速をかける。これによって、掘削操作の途中で角度が変化するような施工目標面においても、連続して掘削することができる。

(2) バケット角度保持機能

本機種は、バケット角度を一定に保持する機能を備えており、この作業モードで使用する際には、バケット操作をしなくても、バケット角度を一定に保つことができる。本機能は、目標面とバケットの距離、角度が所定の条件を満たす場合に有効となる。

バケット角度保持機能の概念図を図一 4 に示す。本機能を用いることで、ブームとアームの操作のみで法面形成も行うことが可能となる。また、本機能が有効であっても、オペレータによりバケット操作が行われた場合には、オペレータの操作を優先してバケットを動かすことが可能である。さらにその際にも、ブーム上げ操作を自動で行う、目標面を掘り過ぎることを防止することができる。

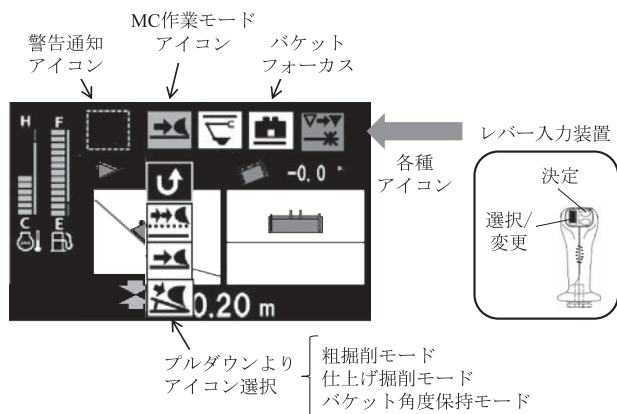


図一 4 バケット角度保持機能

(3) 作業モード

本機種ではマシンコントロールの作業モードとして、速度を優先する粗掘削モードと、精度を優先する仕上げモードとを備えている。粗掘削モードではオペレータの操作を優先するために、レバー操作に対する減速を弱めに設定している。一方、仕上げモードではオペレータ操作よりも精度を優先するため、オペレータのレバー操作に対し減速を強めに設定している。このようにアクチュエータの速度を抑えることで、施工目標面に対する高精度な制御を実現している。

オペレータは、施工目標面まで距離が遠い場合には



図—5 マシンコントロール (MC) モード切替え表示

粗掘削モードを選択し、仕上げ時には仕上げモードを選択して使用することで、作業速度と精度の両立が可能となる。

図—5 に作業モードの切替え表示例を示す。

作業モードの切替えや、バケット角度保持機能の有効化は、操作レバー上のスイッチで容易に変更可能な構成としている。

また、本機種のマシンコントロール機能は、操作レバーに設けられたスイッチによりレバーから手を放すことなく ON/OFF を変更可能であり、マシンコントロールが不要な状況下での使い勝手を高めている。さらに、使い勝手と安全性を両立させるために、走行状態や、車体の傾斜角度といった条件により、マシンコントロールの ON/OFF を自動で変更する機能を設けている。

3. システム構成

本機種のシステム構成と共に、マシンコントロールを実現するために必要な機器について説明する。

(1) 全体システム

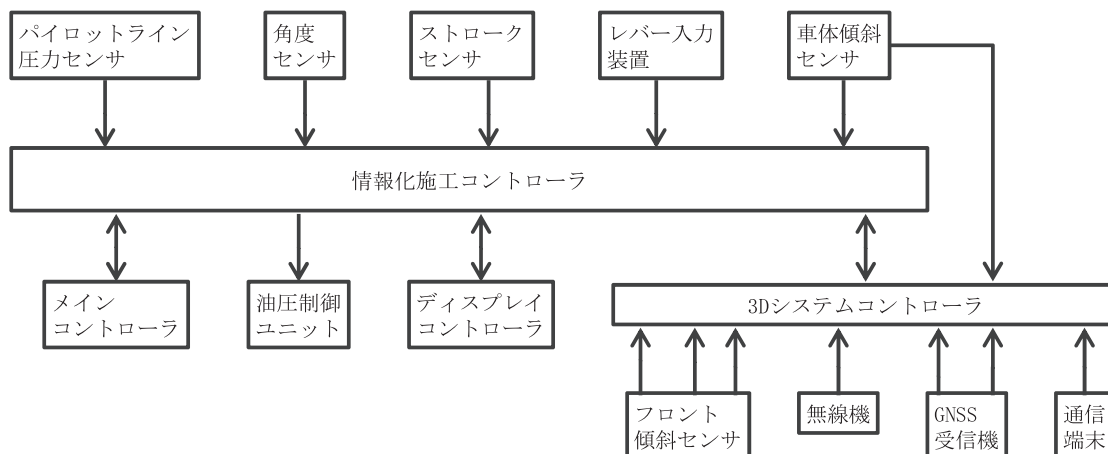
本機種のシステム構成を図—6 に示す。ショベルに設置された角度センサ、ストロークセンサ、車体傾斜センサにより、ショベルの姿勢を検出する。

また、操作レバーの操作量に応じてパイロットバルブから圧力が出力される構成となっており、この操作パイロットラインの圧力センサにより、オペレータの操作量を検出する。レバー入力装置やディスプレイコントローラからは、マシンコントロール機能の設定変更要求を受け取る。また 3D システムコントローラから、目標施工面情報を取得する。情報化施工コントローラは、これらの情報からフロントを半自動制御するための指令値を演算し、後述する油圧制御ユニットへ出力することで、マシンコントロール機能を実現する。

(2) 油圧システム構成

油圧ショベルは、オペレータのレバー操作によりパイロットバルブが駆動し、生じた圧油によってコントロールバルブ内のスプールが動き、油圧シリンダの動作を制御する。油圧機器のシステム構成を図—7 に示す。

本機種の油圧システムは標準機と同一であるが、パイロットバルブとコントロールバルブの間に、マシンコントロール用油圧制御ユニットを搭載している。この油圧制御ユニットには、電磁比例弁が含まれており、これらは情報化施工コントローラからの指令により駆動される。これらの電磁比例弁の駆動により、オペレータ操作によるパイロット圧に対して介入し制御することで、マシンコントロール機能を実現している。さらに、油圧式遮断弁、電磁式遮断弁を搭載することで、電磁比例弁故障時の安全性を確保している。また、マシンコントロールを用いない場合は標準機と同等の操作感を確保できる構成としている。



図—6 システム構成

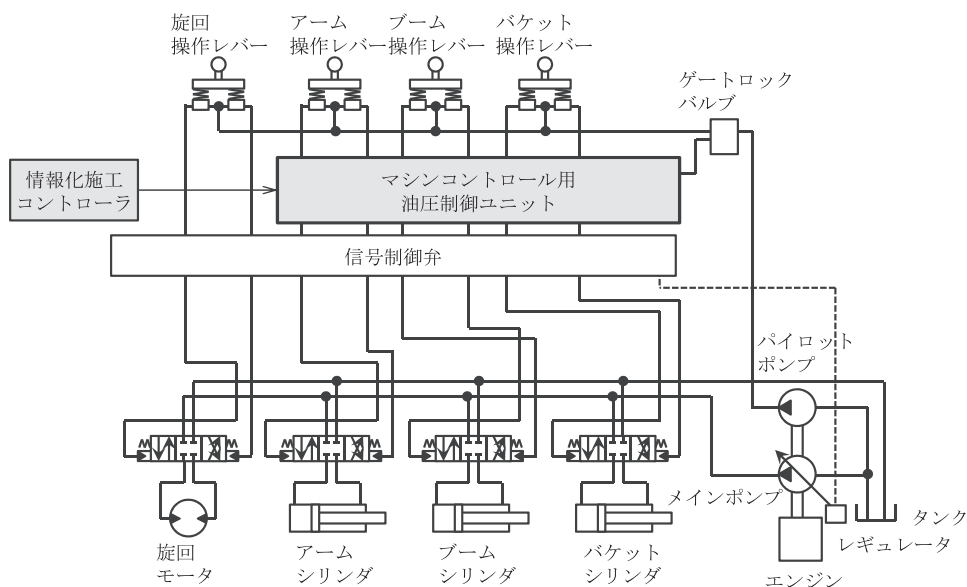


図7 油圧システム構成

4. 3D マシンガイダンス機器との連携

図8に3D マシンガイダンス（MG）システムとの連携機能の概念図を示す。

3D マシンガイダンス機器とのインタフェース機能により、3D マシンガイダンス機器から施工目標面となる3D 設計データを取り込み、車体システムと連動することで、3D 施工に対応可能なマシンガイダンスやマシンコントロールを実現する。

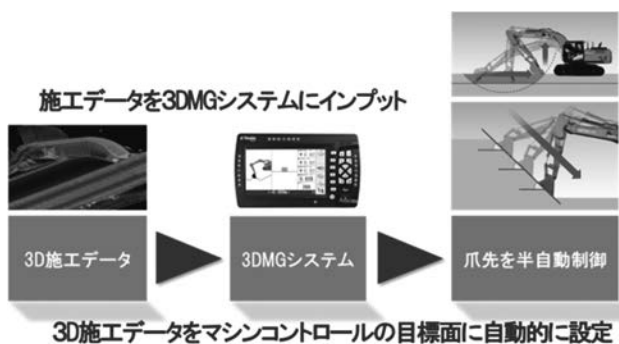


図8 3D ガイダンス機器との連携

図9に3D マシンガイダンス用の搭載機器を示す。3D マシンコントロール機では、3D マシンガイダンス機器から衛星測位および姿勢センサによる機械の位置・姿勢情報と、施工目標面の3D 設計データに基づいて、機械のフロントをリアルタイムに半自動制御を行うことが可能である。

また本機種は3D ガイダンス機器を搭載しない、2D のシステムにも対応している。

3D システムはGNSSなどの衛星測位によりグローバルな座標系を用いたシステムであるが、2D システ

■ 3D-マシンガイダンス用機器

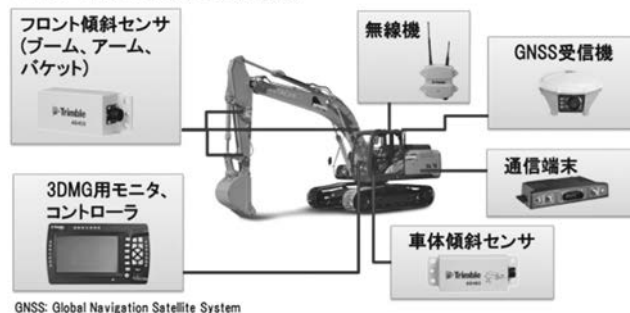


図9 3D マシンガイダンス用機器

ムはショベルの車体基準のローカルな座標系を用いたシステムである。

2D システムは、小規模な工事から導入が容易で、手軽に情報化施工が可能であり、衛星測位が困難な場所においても有効なシステムである。

本機種ではスイッチ式ボタンやアナログ入力を備えたレバー装置を用いて簡単に目標面の設定を行うことができる。

2D システムの目標面設定モードの一つとして図10に「目標設定ダイレクトモード」を示す。本モードでは、バケットを接地しスイッチを押すと、その時

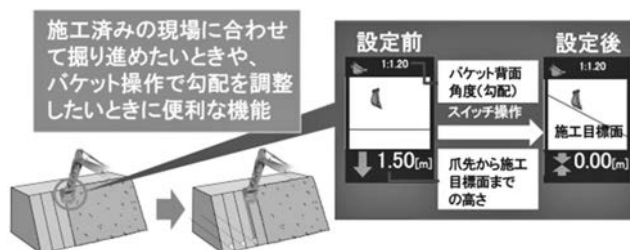


図10 目標設定ダイレクトモード

のバケットの背面角度と爪先位置で施工目標面を作成することができ、数値入力の手間を省くことができるモードである。

5. おわりに

ICTを活用した情報化施工対応機として、マシンコントロール機能を備えた本機種 ICT 油圧ショベル「ZX200X-5B」を開発、市場投入を開始した。

マシンガイダンス、マシンコントロール機能は土木建設現場の生産性、安全性を改善する重要な技術の一つである。

今後もマシンガイダンスのユーザーインターフェースやマシンコントロールの機能など、ユーザーの皆様の意見を聞き改善していく所存である。

J|C|M|A

【筆者紹介】

泉 枝穂（いずみ しほ）
日立建機㈱
研究本部 IoT 事業化プロジェクト
主任技師

