

セミオートマシンコントロールシステムを搭載した油圧ショベルの開発

施工効率向上を実現する Cat[®] グレードアシスト

松村 秀雄・白澤 博志

マシンガイダンスシステムを発展させた2次元セミオートマシンコントロールシステムを搭載した油圧ショベルを開発し、国内供給を開始した。情報化施工に対応可能となるこのシステムを搭載した油圧ショベルを現場に投入する事で、設計図面通りの掘削作業が容易となり、建設施工の作業効率向上、サイクルタイムの短縮、燃料消費量の低減が実現できる。その技術について本文で紹介する。

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、法面整形、溝掘削

1. はじめに

土木・建設施工分野では、2008年7月に国土交通省が設立した情報化施工推進会議にて「情報化施工推進戦略」が策定されたのを機に、情報化施工（ICT）が普及し始めた。建設機械における情報化施工技術には、主にマシンコントロールとマシンガイダンスが挙げられる。マシンコントロールは設計図面に従って車両が自動制御されて施工するシステムであり、マシンガイダンスはオペレータに設計図面通りに施工できるようにガイドするシステムである。そこで、市場ニーズにいち早く呼応する、油圧ショベルのオプションとして、2次元マシンガイダンスシステムであるCatグレードコントロール2Dガイダンス（以下「本基本システム」という）を2012年に市場導入した。本基本システムは容易に情報化施工に対応できる機能として、土木工事の情報化施工や圃場整備などで幅広く活用され、好評を得た。



写真-1 2次元セミオートマシンコントロールシステムを搭載した油圧ショベル

現在、国土交通省は昨年より建設施工におけるICT技術の全面活用を目指す「i-Construction」を推進し、情報化施工の更なる普及に取り組んでいる。そこで、更なる作業効率向上をもって情報化施工の普及に貢献すべく、本基本システムから機能を発展させた2次元セミオートマシンコントロールシステム「Catグレードアシスト」（以下「本改良システム」という）を搭載した油圧ショベルを開発した。本報では、この本改良システムの特長について紹介する。

2. 本改良システムの特長

(1) 2次元セミオートマシンコントロールシステム概要

油圧ショベル用の2次元マシンガイダンスシステムである本基本システムは、車両に入力された目標施工面の深さ・勾配の2次元データに対し、車両に装着されたセンサ群が車体姿勢をリアルタイムに計測して、目標施工面とバケット刃先との高さの差異をフィードバックし、車両側からオペレータにガイダンスを行うシステムである。3次元システムに比べて、必要となる設計図面情報、車両側計測機器が少ない為、容易に導入できる情報化施工対応システムである。本基本システムは±3cmの高い精度を発揮可能であり、オペレータはモニタに表示されるガイダンスの通りにブーム・アーム・バケットを操作して掘削作業を行えば、高品質の施行が実現できる。一方で、ガイダンス通りに掘削作業を行う為には、オペレータにはある程度の操作技量が求められる。

これに対し、2次元セミオートマシンコントロール

システムの本改良システムは、入力した目標施工面データに対し、ブーム・アーム・バケットが半自動制御される事から、経験の浅いオペレータでも容易に目標通りの深さ・勾配に掘削作業を行う事ができる。

(2) 本改良システム システム構成

本改良システムは本基本システムをベースに開発された2次元セミオートマシンコントロールシステムである。車両・フロント作業機姿勢を把握する為のセンサ群は本基本システムと共通ながら、フロント作業機の半自動制御を行う為に、EH (Electro-Hydraulic) コントロールシステム (以下「本電子油圧コントロールシステム」という) を追加採用している。

(a) ピッチ／ロールセンサ

スイングフレーム部に設置されたピッチ／ロールセンサは、車両の前後方向及び左右方向の傾き角度をセンシングしている。作業足場が傾斜している場合でも、正確にマシンコントロールを行う事ができる。

(b) ポテンションメータ (角度センサ)

ブーム後端部ピンに装備されたポテンションメータがブームの姿勢 (角度) をセンシングし、ブーム先端部ピンに装備されたポテンションメータがアームの姿勢 (角度) をセンシングしており、ブーム及びアームの姿勢を検知する。センサの応答性は高く、フロント作業機を早く動かした場合でもリアルタイムに姿勢を計測する事ができる。

(c) ストロークセンサ付バケットシリンダ

バケットの姿勢 (角度) を把握する為、バケットシリンダロッドの動きをセンシングするシリンダ内蔵型センサである。また、強固なバケットシリンダガードを装備する事で、センサのハーネスコネクタ部への飛

来物等による損傷を回避しており、耐久性／信頼性も確保されている

(d) 本電子油圧コントロールシステム

フロント作業機を自動制御する為に、本電子油圧コントロールシステムを採用している。上述のセンサ群で車両・フロントの姿勢を検知した上で、操作レバーの動きを油圧パイロットラインに装着した圧力センサが検知し、コントローラに電子信号として入力、ターゲット施工面をトレースできるフロント姿勢を保持する様に、コントローラがブームシリンダ／アームシリンダ／バケットシリンダの油圧パイロットラインに装着されたソレノイドバルブを電子制御する事で、正確な自動掘削が可能となる。

(e) 本改良システム情報表示機能付き標準モニタ

本改良システムの情報はキャブ内の標準モニタ内に搭載されており、追加ディスプレイを設置する必要はなく、オペレータの視界を遮ることがない。モニタ上では掘削の高さ指示やバケット表示の確認、目標施工深さ／勾配の設定が可能である。

(f) モジュレーションスイッチ付き操作レバー

本改良システムの各種設定をリモート操作できるスイッチ付きの専用レバーを採用している。オペレータは操作レバーから手を離すことなく施工深さや勾配をスムーズに設定できるため、オペレータの負荷の軽減、作業効率の向上に繋がる。

(g) レーザ受光器

アーム側面にはレーザ受光器を装着しており、車両を移動させての施工が必要となる長い距離の溝掘削では、レーザ機能を使用することで効率よく作業できる。車両が移動した際に、レーザ面に受光器を合わせてシステムを設定することで、施工面までの高さ情報



図一 本改良システムのシステム構成



図一 本改良システム情報を表示する標準モニタ及びスイッチ付ジョイスティック

を継承できる。

(3) 本改良システムの機能

(a) セミオートマシンコントロール機能

本改良システムは、ブーム・アームの姿勢によらずにバケット角度を自動制御で一定に保つ機能を有している。本機能を活用すると、施工面とバケット底部を平行に自動保持する事もできるので、法面整形や水平均し作業での効率が期待できる。

また、本改良システムにベンチマークを基準とした施工目標深さ（高さ）、勾配を入力して掘削作業を行うと、バケット角度固定機能に加えてオーバカット防止機能により、バケット角度を一定に保持しつつ、目

標施工面より深くブームが下がらなくなる制御が働く。これにより、オペレータは左手の操作レバー一本でアームを引く操作を行えば、ブームとバケット動作は自動で制御され、施工目標通りの深さ・勾配の掘削が行える。水平引きでの整地作業、法面整形、溝掘削（水平・勾配付き）等の高い技量を有する作業が、本機能を活用する事で容易に行える。

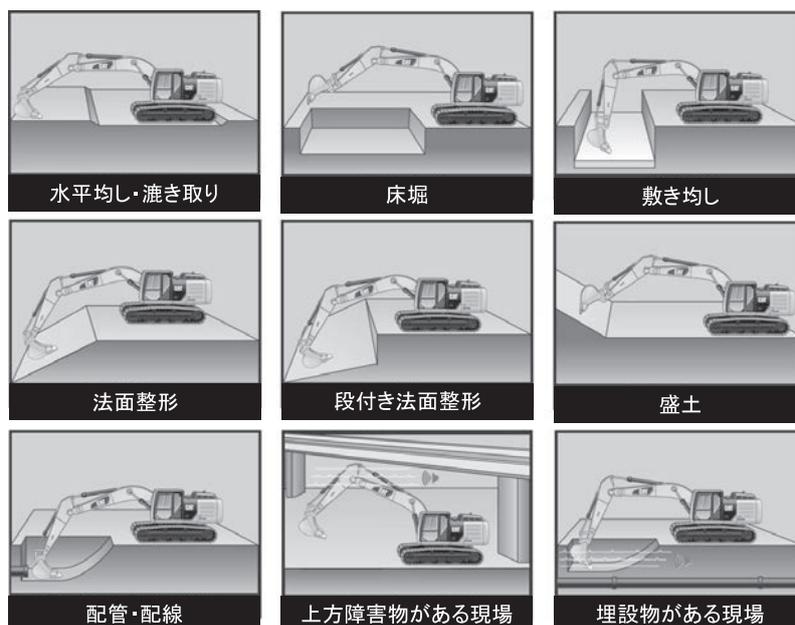
(b) E-フェンス機能

E-フェンス機能（以下「本高上制限機能」という）は、橋梁・電線下での作業やガス管等の埋設物がある箇所での作業など、車両フロント部の垂直方向の稼働範囲が限られている現場において、あらかじめ作業範囲の上・下限を設定することで、車両フロント部が上・下限に近づいた際にまずは警告アラームによってオペレータに注意を促した後、フロント部を自動停止させる機能である。この機能を使用することにより、周囲構造物との誤接触の危険性を低減し、車両・オペレータ・周囲作業員・施工現場の安全性を確保することができる。

(c) 3次元仕様へのアップグレード

大規模な現場や複雑な設計面の現場等 3D マシンコントロールが最適な場合は、Cat AccuGrade（以下「本3次元用コンポーネント」という）を追加装着することによって容易に 3D（3次元）仕様のセミオートマシンコントロールにアップグレード可能で、国土交通省「i-Construction」に対応。

GNSS アンテナ、GNSS 補正情報用無線機、3次元用コントロールボックス等の追加コンポーネントを簡単に装着可能な配線、ブラケット類が予め装備されて



図一 本改良システムを活用できる施工例



図一 4 本3次元用コンポーネント機器装着イメージ(※図はGNSS仕様)

いるため、ボルトオン作業のみで短時間で3次元仕様に変更できると共に、2次元仕様でのキャリブレーションデータがそのまま3次元仕様でも自動的に引き継がれるため、面倒なフロント作業装置のキャリブレーションが不要。

3. 本改良システム導入による施工効率向上

(1) アシスト機能による生産性向上効果

(a) 施工時間を短縮

従来型の施工では、実際の機械施工の結果が目標設計通りに仕上がっているかの確認(検測)を行い、その結果手直しが必要な場合は再度修正作業を行う必要があり、現場によってはオペレータ自らが機械から降りて検測作業を行わなければならない、この間作業は止まった状態となっている。

これに対してセミオート機能を利用することでバケット刃先が自動的に施工目標深さ(高さ)に合わせた施工が可能になるため、従来型の施工に比べ最大45%施工時間が短縮(社内比較)され、生産性が大幅に向上する。

(b) 少ない労力でより多くの作業

セミオート機能により、オペレータはアームを操作するだけで法切り作業や床付け作業を正確に行えるため、ブームとバケットが不要になりジョイスティック操作量が大幅に低減すると共に3連動操作が不要になるため疲労低減にも大きく貢献する。

オペレータが油圧ショベルから降りて検測する必要もなくなるため、疲労を大幅に軽減することが可能。

(c) 勘に頼らず自信をもって作業

目標設定通りの高さや勾配を正確に仕上げることができるため、掘過ぎや手直しを無くし、作業回数や時間を大幅に短縮可能。

不慣れなオペレータでも容易に法切り作業を行うことができるため、現場での人材確保・人材活用を進め



写真一 2 本改良システムを使った溝掘削

ることができる。

(d) 現場全体にわたって精度を確保

2D(2次元)仕様は測量機器を使わずに本改良システム単体でセミオート機能を使用できるため、現場で特別な準備を必要とせず、手軽に生産性を向上。

広範囲な水平均し、天端・床付けの高さ決め、溝掘削など、油圧ショベルを移動させながらの作業ではレーザ発光機を利用することで、正確な作業を行うことができる。

さらに複雑な仕上げ形状の現場では、3D(3次元)仕様へアップグレードしてGPSと3次元図面を利用することで、施工効率をさらに向上させることが可能。

(e) 現場コストを削減。

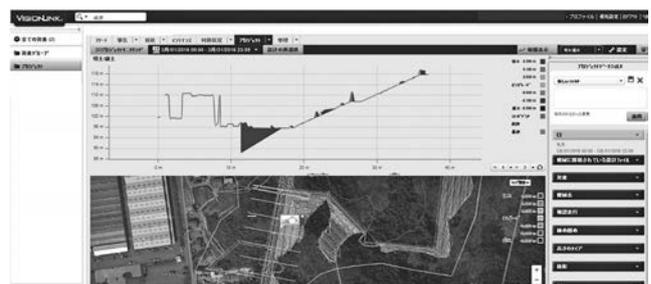
丁張りの数を削減、検測作業の人手や時間を不要にすることで、施工時間の短縮、人件費の削減、機械の摩耗を低減、現場の材料の無駄を無くすることができるため、この分のコスト削減も図ることができる。

(f) 安全な施工

本高上制限機能を使って予め上方や下方の高さ制限を設定することで、頭上や地中の障害物への接触を防止するため、オペレータは施工対象に集中して安全に作業することができる。

(g) 施工管理の手間を削減

3次元仕様は、オンラインでVisionLink[®] 3Dプロジェクトモニタリングを使用すると、LINKテクノ



図一 5 VisionLink[®] 3Dプロジェクトモニタリング

ロジを経由して毎日の生産性データを確認可能である。切盛り作業の進捗を3Dマッピングデータで自動的に離れた事務所で把握できるため、予定通りに作業を進めるための判断をいつでも容易に行うことができる。

(利用登録とハードウェアの追加が必要)

4. おわりに

油圧ショベルの自動化は作業装置の構造の複雑さから、ブルドーザやモータグレーダに比べて遅れていたが、セミオートコントロールシステムとして自動化の第一歩を踏み出した。

今後予測されるベテランオペレータの引退と若年労働

人口の減少の環境の中で現在のインフラを維持していくためには自動化による生産性向上は不可欠の技術となっている。

今後も更なる自動化の研究開発を進めていくにあたり、より多くのお客様に本改良システムを使用いただき、評価をいただければ幸いである。

JCMA

【筆者紹介】

松村 秀雄 (まつむら ひでお)
キャタピラー・ジャパン(株)
コンストラクション デジタル&テクノロジー
ICT 担当

白澤 博志 (しらすわ ひろし)
キャタピラー・ジャパン(株)
商品サポート部
主任

