

製品紹介

ICTブルドーザ D61EXi/PXi-24 自動掘削高度化

ICT Bulldozer D61EXi/PXi-24, Automatic Dozing Control Improved Technology

原田 純仁
Junji Harada
石橋 永至
Eiji Ishibashi

D61EXi/PXi-24 に搭載しているマシンコントロールによる自動掘削機能を、ランニングチェンジによって高度化したので、報告する。

コマツは、車体制御技術と全地球測位システム(GNSS)測量技術を融合し、自動掘削機能を搭載したマシンコントロールブルドーザを2013年に発売した。このマシンコントロールブルドーザの登場によって、作業時のオペレータ疲労が軽減し、経験の浅いオペレータでも熟練オペレータに匹敵する作業をすることが可能となった。また、ブルドーザの履帯下の位置情報を追加したことで、走行により現況地形の3次元データが取得可能となった。これは、国土交通省から発表された「i-Construction」の取り組みである施工全体を3次元データでつなげて施工効率の向上を目指すことに合致している。また、コマツとしても3次元データを「スマートコンストラクション」というソリューションビジネスの施工管理に活用し、成果を上げている。

市場導入後、世界中の様々な現場で使用実績を積み、高評価を得ている。一方で、現況地形の形状が複雑な場合、熟練オペレータに匹敵する自動掘削作業ができず、オペレータの疲労が軽減できていないという評価もある。市場からのフィードバックを受け、オペレータにとってより使いやすく、熟練オペレータに匹敵する掘削作業を達成するためにランニングチェンジを行った。

As the automatic dozing function based on machine control mounted on D61EXi/PXi-24 has been improved by running change, we make a report on it.

Komatsu released a machine-controlled bulldozer with built-in automatic dozing function in 2013 by combining vehicle body control technology and Global Navigation Satellite System (GNSS). Appearance of the machine-controlled bulldozer has reduced fatigue of operators work and making it possible for less-experienced operators to carry out operation comparable to experienced operators. In addition, it has become possible to obtain three-dimensional data of present topography through traveling by adding positional information beneath the track shoe of bulldozer. It is consistent with the approach of “i-Construction” issued by the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism which aims at improving construction efficiency by combining the whole construction works with three-dimensional data. Komatsu has shown successful results by also utilizing three-dimensional data for construction administration of solution business called “Smart Construction”.

With accumulated actual result in use at various sites across the world, it has been highly recognized after being introduced to the market. On the other hand, there is an evaluation that when the shape of present topography is complicated, automatic dozing work; which can carry out operation comparable to experienced operators, cannot be carried out and therefore operator’s fatigue cannot be reduced.

In response to feedback received from the market, running change has been carried out in order to achieve dozing work which is easy for operators to use and comparable to experienced operators.

Key Words: D61EXi/PXi-24, マシンコントロールブルドーザ, GNSS測量技術, 掘削制御

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、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いる。コマツは冒頭で述べたように、自動掘削機能を搭載した MC ブルドーザを発売し

ている。このため、市場から自動掘削機能に関する要望を吸い上げることができた。要望を分析し機能を高度化したため、その特長を中心に紹介する。

2. 機能の特長

従来の MC ブルドーザでは、作業機にかかる負荷を最適に制御することと、履帯の速度からシュースリップを検知することで掘削・運土作業を自動化していた。しかし市場調査の結果、現況地形が複雑な場合は作業機の負荷とシュースリップだけで効率よく施工ができていない。以下に具体例を示す。

- ① 自動掘削後の施工面に凹凸ができてしまう。
- ② 熟練オペレータと比較すると作業効率が低下してしまう。

このような問題を解決するために開発された本機の最大の特長は、MCブルドーザの走行によって取得した現況地形の3次元データを、自動掘削にも活用している点にある。

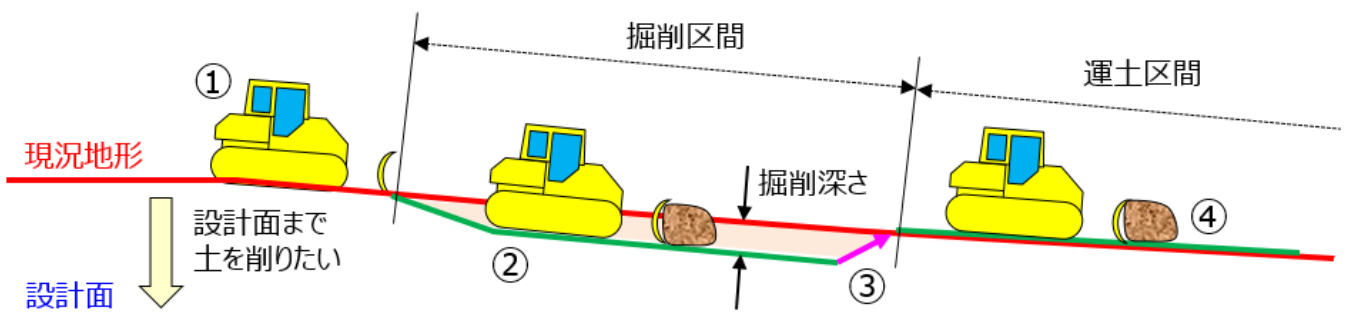
3. MCの新機能

3.1 自動掘削制御の高度化

従来の自動掘削制御について、まずは作業機にかかる負荷の制御について紹介する。コントローラにあらかじめ設定された目標の負荷と一致するように油圧シリンダを作動させて、作業機刃先の高さを制御する。また、本機のパワートレインには静流体駆動式トランスミッション（以下 HST）を採用しているため、左右のスプロケットに搭載された油圧モータ回路圧と回転数から車体の牽引力が算出可能である。作業機の負荷はこの牽引力を基に補正項加味して算出している。

次に、シュースリップの検出について紹介する。機械の本体に搭載した GNSS アンテナからリアルタイムに計測される位置情報により、機械の移動体速度が得られる。一方、スプロケット回転数からは理論車速が得られる。この両者の比率から履帯のスリップを検出している。例えば、移動体速度<理論車速の場合、履帯がスリップしていると判断する。作業中に一定量のスリップを検出すると、自動的に作業機を上げることで作業機負荷を下げ、スリップを回避する。しかしながら、作業機にかかる負荷を算出してから作業機刃先の高さを制御しているのは、車体速度が高速の場合、また現況地形に急な山や谷がある場合に作業機の上げ下げを素早く対応させることができない。これを補うために、オペレータが自ら作業機の上げ下げ操作を行う必要があり、オペレータの負担となっていた。

本機能は、MCブルドーザの走行によって取得した現況地形の3次元データから、施工する現況地形の形状を予め把握する。把握した地形の形状から効率よく掘削する軌跡を自動的に算出し、作業機刃先の高さをその軌跡に沿うように制御する。これにより、現況地形が複雑な形状でも熟練オペレータに匹敵する作業効率を達成できるようになった。また、掘削する軌跡を現況地形よりも滑らかにすることで、掘削する度に施工した面が滑らかになり後進時の乗り心地が向上した。このため、オペレータの作業機上げ下げ操作比率を大幅に低減している。（図1）



- ① 掘削を開始したい場所へ移動し、ブレード操作レバー上のオートスイッチをONにします
- ② 「前進+ブレード下げ」操作を行うと、自動掘削を開始します
このとき、自動で現況地形面を基準に、滑らかに効率よく掘削する軌跡（緑色）を生成します
ブレード負荷モードを変えることで、掘削する深さを調整できます
- ③ 従来と同様、車両がスリップする前に、滑らかに掘削から運土へ移行します
- ④ 運土区間では、地形に沿うようにブレードを制御し運土します

図 1

3.2 掘削モード数の削減

従来制御では、作業の内容に応じてオペレータが3つの掘削モード（運土・切土・敷き均し）から最適な掘削モードを選択する必要があった。しかし、どの掘削モードを選択することが今の作業に適切なのかオペレータは判断することが難しく、市場では掘削モードを上手に使い分けられていないことがわかってきた。本機能は、1つの掘削モード（運土）で想定される作業内容を全てカバーできるように改良したため、オペレータはモード選択の手間から解放されている。（表1）




表1

作業内容	従来を選択肢	新機能
掘削+運土	 運土	 運土
掘削	 切土	
置き土の敷き均し	 敷き均し	

3.3 掘削する軌跡の深さ選択機能

従来制御では、作業内容や土質によって作業機にかかる負荷の量をオペレータが選択できるように、「ブレード負荷モード」を3パターン準備している。本機能の場合、掘削する軌跡を自動計算する際に重要なのは、「オペレータはどのくらいの深さで掘削したいか」という点にある。この「深さ」は従来制御と同様に作業内容や土質によって異なることが考えられることから、従来制御の「ブレード負荷モード」の中に「深さ」の設定を組み込み、パターン数を増やすことなく維持し、操作性を保っている。（表2）

表2

	ブレード負荷モード	掘削深さの目安	作業内容
	軽負荷(ライトロード)	約10cm	浅く長く掘削したい作業
	標準(ノーマルロード)	約15cm	通常の作業
	重負荷(ヘヴィロード)	約20cm	深く短く掘削したい作業

3.4 マニュアル協調制御の導入

MCブルドーザの場合、オペレータが自動制御中に作業機操作を行った場合、安全のためにオペレータの操作を最優先している。しかし、従来制御には2つの課題がある。1つ目は、作業機にかかる負荷の目標がオペレータの操作によらない点である。このため、自動制御中にオペレータがブレードにかかる負荷の量を調整しようと作業機の上げ下げ操作を行った後は、再び目標の負荷となるように制御が働いている。2つ目は、チルト角の目標がオペレータの操作によらない点である。チルト角の目標は最終仕上げの設計面と平行となるように制御をしている。このため、チルト角の目標を変更しようとチルト方向の操作を行っても、操作を止めた後は再び設計面と平行となるように制御が働いている。このように、オペレータによる作業機操作の結果が自動制御に反映されておらず、不満に思っていることがわかってきた。

この2つの課題に対する解決策として、マニュアル協調制御を導入した。本制御は、自動制御中にオペレータがどのような作業機の操作を行っているかを常に監視し、作業機の操作からオペレータが行いたいことを判断する。判断した結果を自動制御へ反映させることで、オペレータの意のままに操れる自動制御となっている。以下に制御の詳細を紹介する。

3.4.1 作業機の上げ下げ操作

本制御は自動制御中の作業機上げ下げ操作によって、オペレータが作業機にかかる負荷、または掘削する深さを増減させたいのか判断する。判断した結果から自動的に掘削する軌跡の変更を行い、オペレータの思い通りに負荷の増減、または掘削する深さの調整を行うことができる。（図2）

3.4.2 作業機のチルト方向の操作

本制御はチルト方向の操作によってオペレータがどのようなチルト角で作業をしたいのか判断する。操作前に目標としているチルト角は、最終仕上げの設計面と平行である。しかし、操作後の判断結果から自動的に目標とするチルト角の変更を行うことで、オペレータの思い通りにチルト角の調整が可能となっている。（図3）

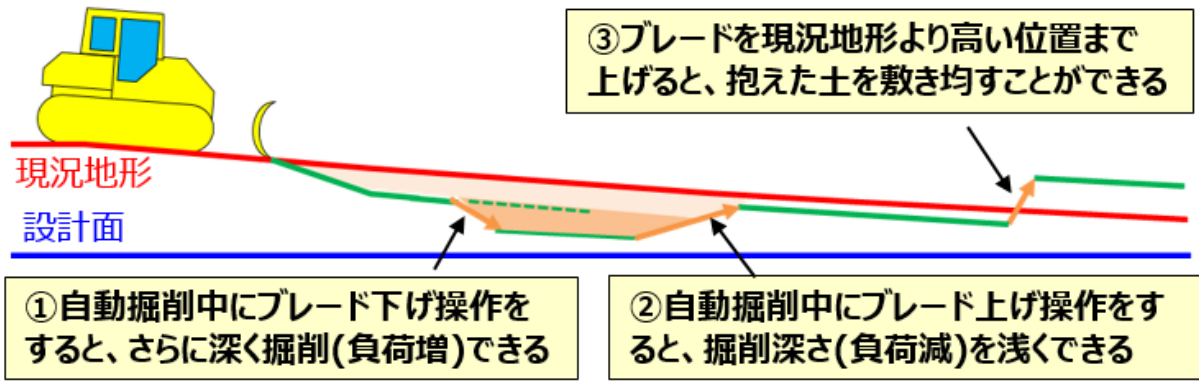


図 2

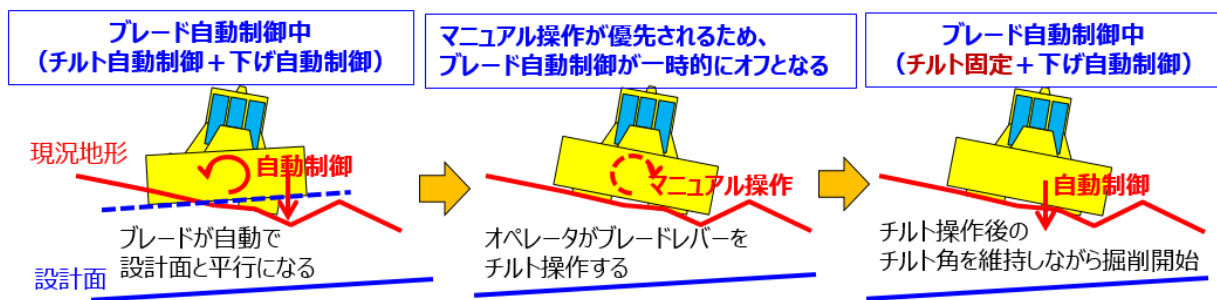


図 3

4. 新機能の評価

以下に新機能の効果を確認するため、自動掘削作業を行った試験の比較データを示す。自動制御中に作業機の手操作は行っていない。時間当たりの掘削土量は、従来制

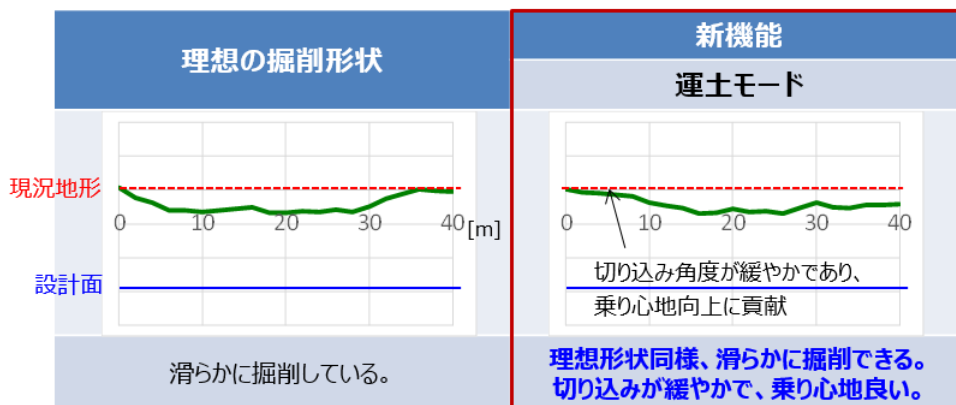
御に対して大幅に増加した。更に、掘削形状は理想とする形状に近く、乗り心地の良い滑らかな形状を実現できている。(表 3)

表 3

<比較テスト結果>

	新機能	従来制御
運土モード	運土モード	運土モード
時間当たり土量比率	1.4	1.0

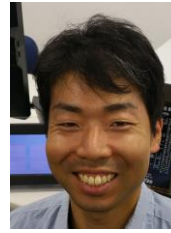
<掘削形状比較>



5. おわりに

MC ブルドーザ「D61EXi/PXi-24」について、従来制御は現況地形の3次元データをMCに適用できず、現場監督者による施工管理として使用するに留まっていた。今回、現況地形をMCへ活用できるように開発を行い、自動掘削の施工効率を熟練オペレータ相当まで引き上げることに成功した。さらに、オペレータの作業機操作から自動調整するマニュアル協調制御の導入により、オペレータにとって扱いやすいMCブルドーザへ進化している。これは、自動掘削機能を搭載したMCブルドーザを早期に商品化し、お客様の様々な声を収集・分析した結果である。ICT技術、施工技術は日々進化しているため、引き続き現場調査・分析を継続することでMCブルドーザを絶え間なく進化させ、お客様にとってなくてはならないビジネスパートナーを目指し努力していく所存である。

筆者紹介



Junji Harada

原田 純仁 2007年、コマツ入社。
開発本部 車両第二開発センタ情報化建機開発グループ所属



Eiji Ishibashi

石橋 永至 1999年、コマツ入社。
開発本部 車両第二開発センタ情報化建機開発グループ所属

【筆者から一言】

初めてブルドーザに乗車した時は、操作が難しいため、とてもじゃないが乗りこなせないと思っていた。しかし、自動掘削、整地が出来るブルドーザを自ら開発し乗車すると、あたかも自分がブルドーザを乗りこなしているように感じ、楽しむことが出来た。この機能をきっかけに、ブルドーザに乗車したいお客様が増えてくると確信している。今後も、お客様に喜んでもらえるような商品開発を、引き続き目指していく。