

マシンコントロールの新機能開発

Development of New Features for Machine Control

●本田 圭二*
Keiji HONDA



SH200Z-8MC

住友建機株式会社は、建設業界の人手不足と生産性向上という課題に対応すべく ICT 施工対応の新型ショベル SH200Z-8MC を開発した。本機は高性能 ICT コントローラと電気レバーを搭載し、操作性と施工精度を向上させた。また、新たに「旋回正対アシスト」「アームスピードアシスト」「ブームパワーアシスト」の3機能を追加し、施工効率と安全性を強化した。実証試験では、特に法面施工における有効性が高く評価され、現場での実用性を確認した。

To address the challenges of labor shortages and productivity improvement in the construction industry, Sumitomo Construction Machinery Co., Ltd. has developed the new ICT-construction-ready excavator, SH200Z-8MC. This model is equipped with a high-performance ICT controller and electric levers, enhancing both operability and construction precision. Additionally, three new assist functions have been added—"Swing Head-On Assist," "Arm Speed Assist," and "Boom Power Assist"—to further improve operational efficiency and safety. Demonstration tests highly evaluated its effectiveness, particularly in slope construction, confirming its practical utility on-site.

1 まえがき

現在、建設業界を取り巻く環境は、人材不足などの問題が深刻化する一方で、インフラの修繕などの工事増加も見込まれており、生産性の向上が急務となっている。国土交通省では、土工における調査、測量、設計、施工および検査のプロセスにおいて ICT や 3 次元データを活用し、生産性の向上や魅力ある建設現場の実現を目指す i-Construction を進めており、ICT 施工の施工件数は着実に増加している。

住友建機では、これまでに i-Construction の ICT 施工に対応したショベルを市場に投入している。今回さらなる精度向上と使い勝手を向上させるべく高性能 ICT コントローラを新たに開発し、操作レバーを電気レバー化して新機能を搭載した SH200Z-8MC の開発を行った。本報では、SH200Z-8MC の新機能について報告する。

2 ICT 施工とマシンコントロール (MC)

ICT 施工では、現場の設計面データを電子管理し、その情報をショベル内のシステムと共有する。ICT 施工に対応したショベルは、その設計データとオペレータの操作をもとに半自動制御する。これをマシンコントロール (MC) と呼ぶ。ICT 施工により従来の丁張り作業が不要となり、大幅な効率化が期待できる。

通常のショベルの動作ではブーム、アーム、バケットの複合動作となり、バケットを設計面に沿うように真っすぐ動作させるのは容易ではない。住友建機の ICT 施工に対応したショベルはアーム操作用の左レバーにスイッチ (MC スイッチ) が付いている。このスイッチを押しながら左レバーを操作することでアームは手で操作し、ICT コントローラがバケットの爪先を設計面に沿うようにブームを自動で動作させる (図 1)。

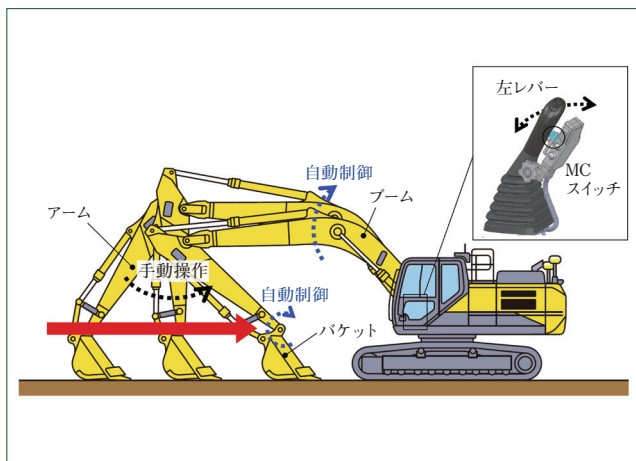


図1 MCの動作イメージ
MC operation image

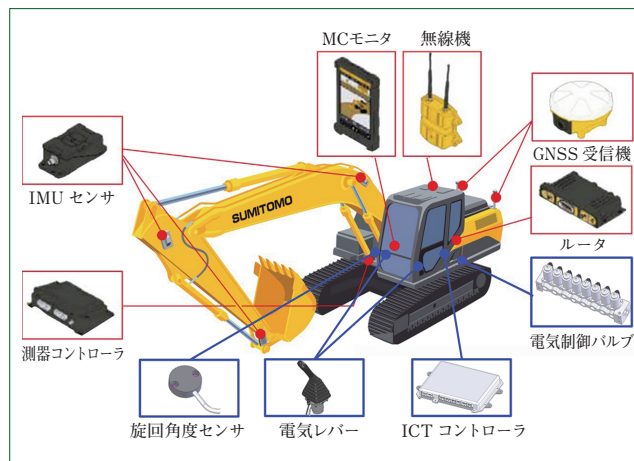


図2 MCの機器構成
MC equipment configuration

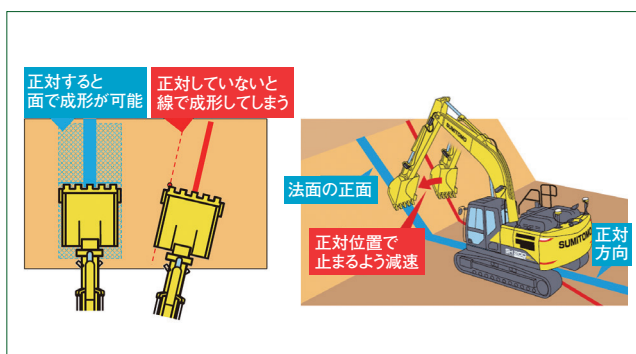


図3 旋回正対アシスト
Swing head-on assist

なお、バケット底面が設計面に沿うようにバケットの姿勢を自動制御するモードも有する。これらの機能により、熟練オペレータでなくても目標設計面どおりに施工することが可能となる。住友建機では、MCのさらなる使い勝手の向上を目的として新機能(旋回正対アシスト、アームスピードアシスト、ブームパワーアシスト)を開発した。

3 システムの構成

図2に、ICT油圧ショベルSH200Z-8MCの機器構成を示す。Trimble社製のEarthworksシステムを搭載し、住友建機のシステムと融合することでMCの機能を実現している。

3.1 姿勢・測位計測器

ショベルの本体とブーム、アームおよびバケットリンクに設置されたIMU (Inertial Measurement Unit: 慣性計測装置) のデータをもとにショベルの姿勢を高精度に計算する。3D仕様では、GNSS (Global Navigation Satellite System) アンテナと通信機器が搭載され、衛星測位情報と補正情報によりショベル本体の位置を算出する。測器コントローラは各IMUと3D機器からの情報により作業機の位置を算出し、さらに設定されている施工目標面とバケット爪先との距離情報を算出する。その結果は、モニタにガイダンス情報として表示される。オペレータはこのガイダンス情報を確認しながらショベルを操作することで、設定されている施工目標面どおりに施工することが可能となる。

3.2 ICTコントローラ

ICTコントローラは、自動制御の対象であるブームやバケットへの指令を設計面と機械の位置・姿勢情報をもとに計算する。指令生成のアルゴリズムにはMPC (Model Predictive Control) を採用し、施工精度の向上を図った。MPC制御は制御対象をモデル化し、得られたセンサ情報と制御モデルから未来の状態を予測し、制御周期ごとに動作が目標軌道に合うように指令を修正する制御手法である。MPCにより生成した指令を電気レバー制御に通知し、オペレータのレバー操作(手動操作指令)と制御指令とを調停した結果が電気制御バルブで出力される。

3.3 電気レバー

SH200Z-8MCは、オペレータの操作性やMCとの親和性を向上させるべく従来の油圧パイロット系を電気レバー化し、動作指令生成をソフトウェア化することで各種機能への対応を可能にした。電気レバーは油圧レバーに比べ操作感が軽く、慣れれば快適だが、油圧レバーとの操作感の差に戸惑うという声もあった。このことから、各種現場やオペレータのさまざまな意見を参考に電気レバーの快適性は残しつつ、油圧レバーの操作性に近づける改善を行った。また、電気レバー化にはコンポーネントの削減によりコストが抑制できたり、機械を減速・停止させるような安全機能の実装が容易といったメリットもある。

3.4 旋回角度センサ

下部の走行体と上部の旋回体の相対角度を計測可能な旋回角度センサを搭載した。旋回角度センサは後述するブームパワーアシスト、FVM3、作動範囲制御で用いる。

4 SH200Z-8MCの新機能

4.1 旋回正対アシスト

旋回正対アシストは、法面の設計面に対して機体を半自動で正対させる機能である(図3)。法面を施工する場合、法面に正対していないとバケットが法面と平行にならず、法面の成形が困難となる。法面に正対することは必須である。しかし、目視での判断は容易でなく、実際の作業ではオペレータが時間をかけてショベルを正対させる調整作業が必要となっ

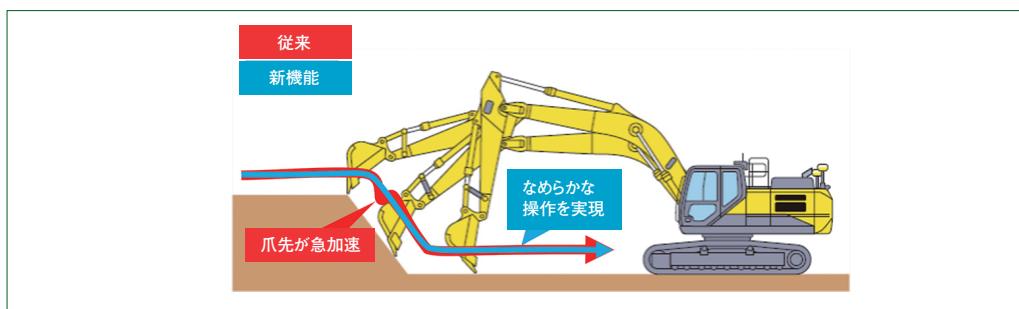


図4 アームスピードアシスト
Arm speed assist

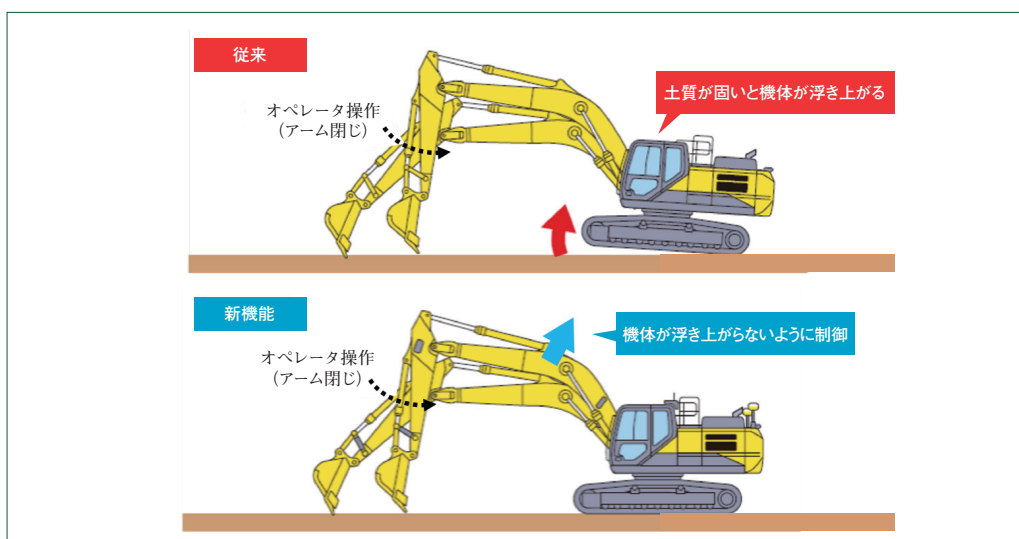


図5 ブームパワーアシスト
Boom power assist

ていた。旋回正対アシスト機能は、MCスイッチを押しながら旋回することで正対方向に近づくと自動で減速して正対位置で停止する。旋回正対アシスト機能が働いているときはモニタ表示により機能が有効であることを示し、通知音でも知らせることでオペレータは作業しながら制御の状況を知ることができる。これにより、オペレータの負担を軽減しつつ、施工効率を向上させることが可能となった。

4.2 アームスピードアシスト

アームスピードアシストは、設計面の切替わり時にアーム速度を自動制御することでバケット爪先の急加速を防ぎ、施工精度を向上させる機能である(図4)。

従来機であるSH200-7MCでは、MCで操作する場合はアームの操作量に応じてブームを制御することから、水平面から法面への切替わり時に爪先が急加速し、施工精度が低下するという問題があった。また、オペレータはこの挙動を認識しており、設計面の切替わりでは気を使いながら操作する必要があった。

アームスピードアシストは、基本的には手動操作の対象であるアームの速度を自動で調整する機能である。この機能により、切替わり面でも連続して安定した動作が可能となり、施工精度を向上させるとともにオペレータの負担軽減を実現した。本機能はMCの設定画面からON/OFFが切り替えられるので、アーム操作に自動制御が介入してほしくないオペレータはOFFにすることも可能である。

4.3 ブームパワーアシスト

ブームパワーアシストは、掘削力を制御し、硬い地面を施工する際に車体前方が浮き上がるジャッキアップを防止する機能である(図5)。本機能によりSH200Z-8MCではMCによる作業中でも掘削力を維持しつつ、ジャッキアップを防止することが可能となった。

油圧ショベルは、工作機械などと異なり土台(地面)に固定されていない。このことから、車体重量を超えるような掘削力を出すことはできず、硬い地面に過度な力を加えようとすると車体がジャッキアップしてしまう。MCでは、爪先が設計面に自動で追従するように制御されるが、地面が硬い場合は必要に応じてブームを逃がしジャッキアップを防止する必要がある。ただし、ブームを逃がしすぎると掘削力が低下することから、掘削力を最大限に確保しながらジャッキアップを防止する必要がある。また、クローラは前後方向と左右方向の長さが異なるので車体上部がクローラに対しどのような向きになっているかによってジャッキアップのしやすさは異なる。

SH200Z-8MCはIMUセンサ、シリンダ圧力センサ、旋回角度センサを搭載しているため、掘削反力やショベルの安定性を推定することが可能である。バケットを地面に押し付けた際の反力と車体重量から計算される掘削力の限界を計算し、掘削限界を超えないようブームを制御することで、掘削力を維持しながら安定した施工を実現した。制御レベルは調整可



図6 FVM3への追加機能
Additional features in FVM3

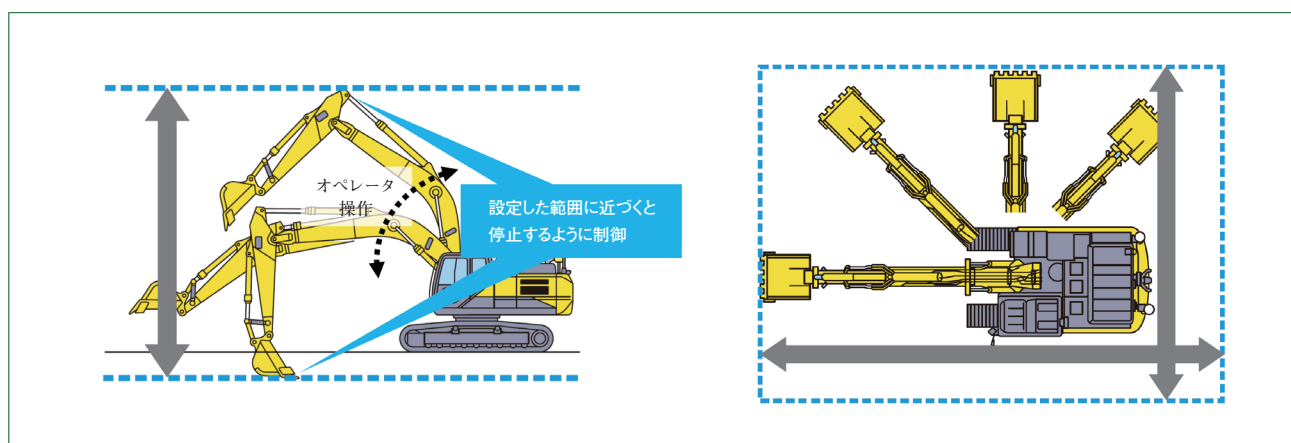


図7 作動範囲制御
Operating area control

能で、オペレータは実際の施工状況に応じた最適な制御ができる。

4.4 その他の新機能

ベースとなるSH200-8は、アドバンス機能としてFVM3を搭載している。人検知機能と衝突軽減機能により安全ベストを着用した人の接近を検知すると、人と機械の距離に応じて走行や旋回を自動的に落とし、停止させる。SH200Z-8MCは旋回角度センサを搭載しており、カメラが付いている旋回上部と走行体の相対関係が把握できる。このため衝突軽減機能により停止しても、人が検知されていない方向への走行を可能にすることで作業効率の向上を図った(図6)。

また、SH200Z-8MCには安全性向上のため作動範囲制御機能を搭載している。作動範囲制御は、高さ・深さ・面(前後左右)の各方向に動作範囲を設定(図7)し、設定範囲に近づくときアタッチメントと旋回を減速・停止させる機能である。これにより、構造物や障害物との接触リスクが低減した。

このように、SH200Z-8MCはFVM3により作業現場における人との接触リスクを低減し、作動範囲制御により周囲の構造物や障害物に接触するリスクを低減することで、オペレータが安心して作業できる機械となった。

4.5 実証試験

SH200Z-8MCの実証評価を2022年から複数の顧客現場で行ってきた。試験は香川県、富山県、神奈川県の現場で実施し、土質や作業内容の異なる環境下で性能が検証された。特

に評価が高かったのは旋回正対アシスト機能で、法面施工での有効性が認められた。また、電気レバーについては、油圧レバーに比べて操作が軽いので戸惑うが、慣れれば操作性が向上するとの意見が多かった。しかし、慣れるまでに時間がかかるという声もあり、量産機へフィードバックし、改善した。

総評として、SH200Z-8MCはスムーズな動作による現場での使い勝手や施工精度に高い評価を得た。

5 むすび

- (1) ICT施工に対応したショベルの施工精度と使い勝手を向上させたSH200Z-8MCを開発した。
- (2) 電気レバーを採用することで動作指令生成をソフトウェア化し、シンプルな構成でMC機能の組み込みを実現するとともに、機械の減速や停止など安全に関わる機能や、今後の拡張を容易に行えるシステムを構築した。
- (3) 実証試験において、3つの新機能(旋回正対アシスト、アームスピードアシスト、ブームパワーアシスト)による使い勝手の向上や電気レバーの操作性を検証し、高評価であることを確認した。

※「FVM」は、住友重機械工業株式会社の登録商標です。