

50. 知能化油圧ショベルの開発

コマツ：*川村 公一・鎌田 誠治
 栃沢 守

1. はじめに

近年、建設施工現場においては、安全性の向上、施工・作業環境の改善、および労働力の確保などが深刻な社会的課題になっている。これらの課題を解決する手段として、建設機械の自動化、ロボット化の研究・開発が盛んに行われているが、当社では、コンピュータ制御によりオペレータサポート機能を大幅に充実装備した油圧ショベルを開発、商品化した。

本報告では、この知能化油圧ショベル Avance HYPER GX の概要とその効果を報告する。



図1 PC200 HYPER GX

項 目	単 位	PC120 HYPER GX	PC200 HYPER GX
運転整備重量	kg	11,800	19,550
定格出力	ps/rpm	85/2,200	135/2,200
標準バケット容量	m ³	0.45	0.7
最大掘削高さ	mm	8,610	9,305
最大掘削深さ	mm	5,520	6,620
最大掘削半径	mm	8,290	9,875
最大掘削力(バケット)	kg	7,800	11,400

表1 主要諸元

2. 開発の目的と達成手段

今回の開発の目的は、油圧ショベルにオペレータをサポートする機能を充実装備して、建設施工現場における社会的課題を解決し、顧客サイドの施工生産性向上を図ることにあった。そのためにもまず、油圧ショベルに付加されるべきと考える特性を設定し、その達成手段として種々の機能を開発した。それらの関係を図2に示す。

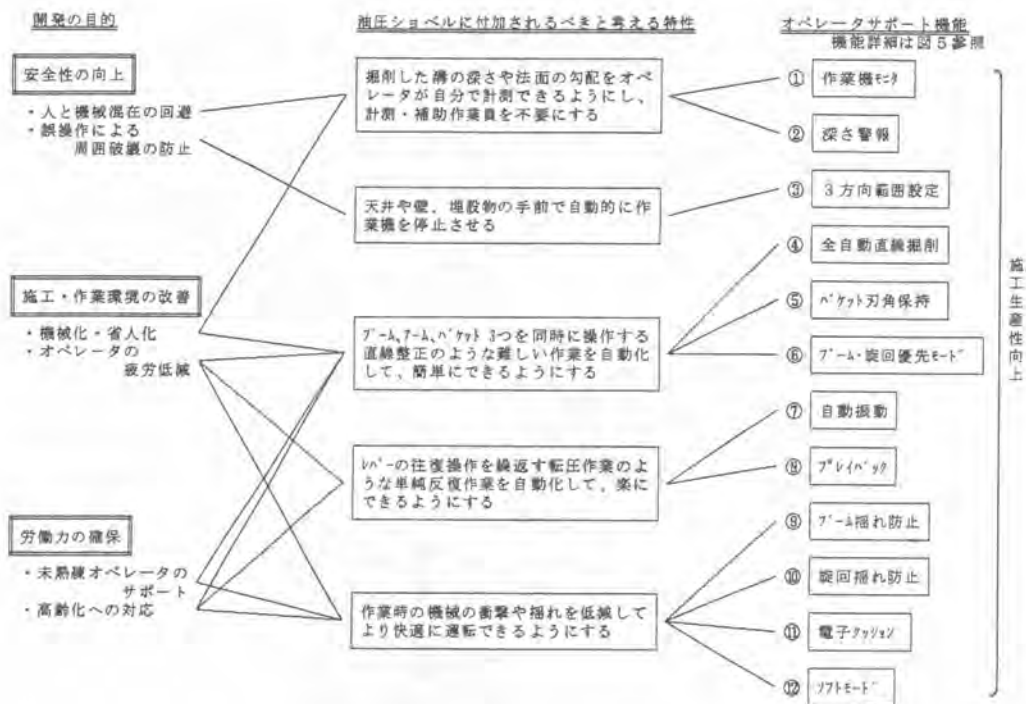


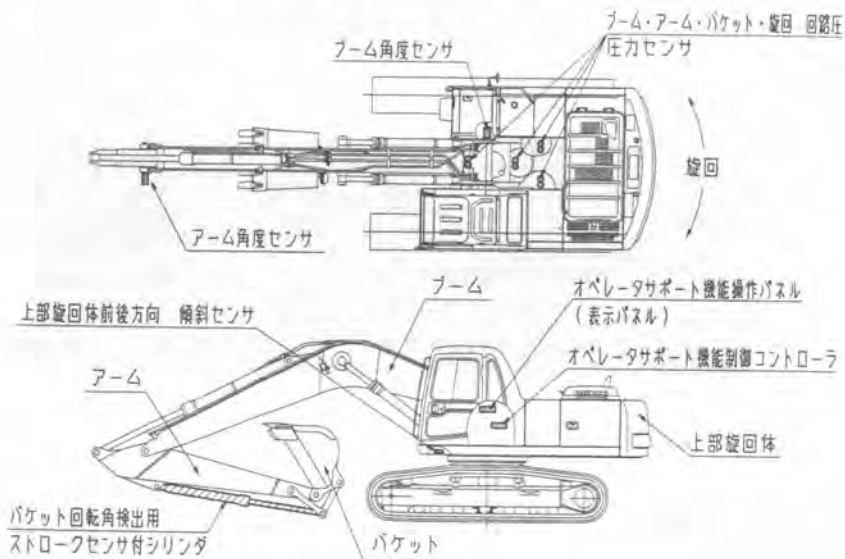
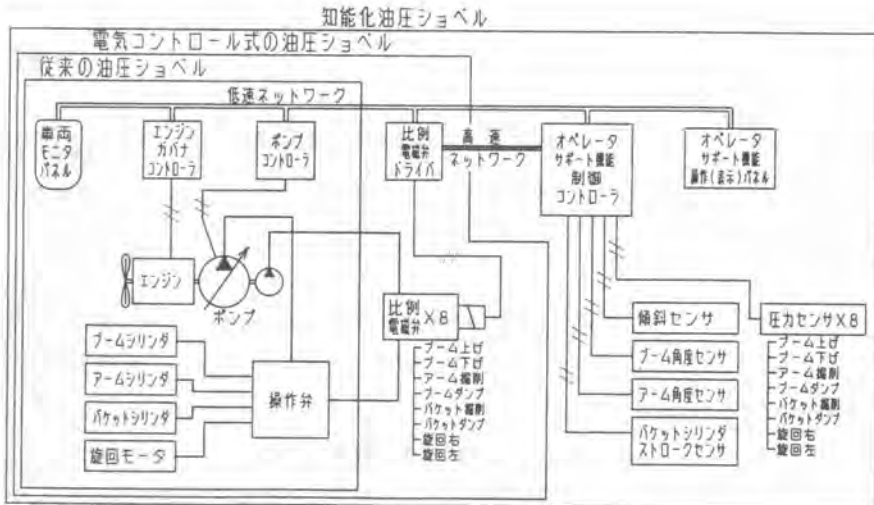
図2 建設施工現場における社会的課題に対応した知能化油圧ショベルの開発

3. 構成 および 機能

3・1 機械構成（ハード面）

本機は、従来の油圧ショベルを電気コントロール式にし、さらに制御コントローラ、操作パネル（表示パネルを含む）、および各種センサを追加した構成になっている。図3にシステム図、図4に装着箇所を示す。

(1) 制御コントローラは、他の車両制御コントローラと LAN (Local Area Network) を形成し、これにより、16ビット高速CPUが互いの情報と各センサからの情報を交換して、表示や制御に必要な演算を行い、その結果を表示パネルや比例電磁弁ドライバに出力する。LANは、制御にリアルタイムに関係するデータをやりとりする高速ネットワークと、車両やコントローラの状態を示すデータをやりとりする低速ネットワークの2回線を備え、通信の効率化を図っている。



(2) 傾斜センサは上部旋回体に取り付けられ、上部旋回体の前後方向の傾斜（ピッチング角）を検出している。

(3) ブームとアームの回転中心には角度センサが取り付けられ、それぞれの回転角を検出している。この角度センサは、高精度のエンコーダと角度絶対値認識のためのポテンショメータを組み合わせており、この2つのセンサの出力を比較することによりセンサの異常が検出できる構造になっている。

(4) バケットの回転角検出には、作業時の破損防止やバケット交換時の整備性を考慮して、シリンダに内蔵した磁気抵抗式ストロークセンサを採用している。

3・2 オペレータサポート機能（ソフト面）

本機に装備された、12のオペレータサポート機能を図5に示す。

図中の①～⑫は、図2のオペレータサポート機能NO.

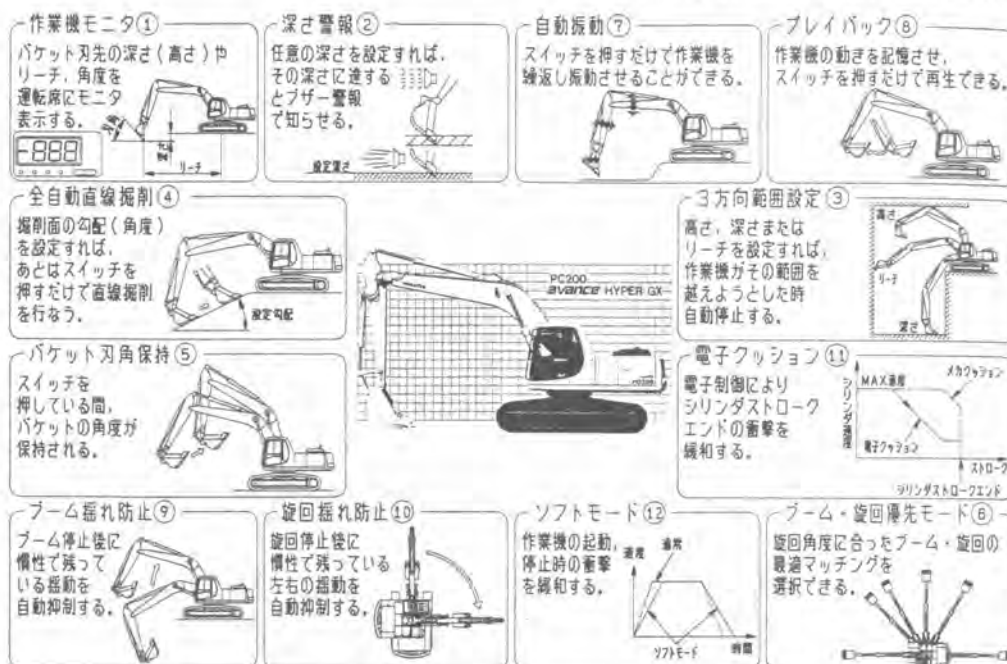


図5 オペレータサポート機能

(1) 作業機モニタ機能は、傾斜センサ、ブーム角度センサ、アーム角度センサ、バケットシリンダのストロークセンサからの情報により、バケット刃先の位置、およびバケットの角度を演算し、これらをリアルタイムで運転席の表示パネルに表示する機能である。これにより、基準位置からの高さ・深さや水平方向の距離の計測が油圧ショベルで行えるようになった。

(2) 全自動直線掘削機能は、掘削したい勾配を予め設定し、作業機操作レバーに取り付けられたノブスイッチを押すと、制御コントローラが、バケット刃先が設定した勾配に沿って直線で動くようにブーム、アーム、バケットの動きを制御する機能である。バケットに加わる負荷が変動しても直線掘削できるようなアルゴリズムの開発により、熟練オペレータ並の、掘削速度 5m/10sec (PC200 HYPER GX)、仕上げ精度 ±20mm を達成している。

(3) 3方向（高さ・深さ・リーチ）範囲設定機能では、制御コントローラがブーム、アーム、バケットの外形を記憶し、この外形と作業機の姿勢から作業機の最外側点を演算して、この点が予め設定された範囲を越えようとするとき作業機を自動的に停止させる。制御コントローラは常に作業機の最外側点と設定範囲との間の距離を監視しており、最外側点が設定範囲に近づくとこの距離に応じて作業機の動きを遅くするので、負荷や速度に関係なく、またショックなく確実に作業機を停止させることができる。

(4) ブーム・旋回揺れ防止機能では、ブーム停止後に発生する不快な車体の前後の揺動や、旋回停止後に発生する上部旋回体の左右の揺動を自動抑制するために、ブームや旋回を停止するときのブームシリンダ両端や旋回モータ前後の圧力変動を検出し、逆位相でバルブを駆動することでアクティブ制振制御を実施している。

4. 開発の効果

社内、およびユーザの施工現場でのテストで確認された、オペレータサポート機能の有効な作業とその効果を表2に示す。

NO	開発機能名	有効な作業	効果
1	作業機モニタ	・溝寸法、法面勾配などの計測作業一般	・掘削しながら計測できるので、計測・補助作業員が多くの場合不要になった。 (機械と人間混在の回避、省人化) ・工事前後の計測作業が油圧ショベルで行えるようになり簡素化できた。(機械化、省人化)
2	深さ警報	・溝掘り、マス掘りなどの荒掘り ・夜間や水中での掘削	・刃先が見えない場所でも音により所定の深さを掘削できるようになった。 (機械と人間混在の回避、省人化) ・掘りすぎが防止できるようになった。 (機械化・省人化)
3	3方向範囲設定	・狭所や障害物(電線、地下埋設物)近くでの作業一般	・障害物のある場所でも安心して作業ができるようになった。(誤操作防止・オペレータの疲労低減)
4	全自動直線掘削	・平坦地・法面の直線整正 ・溝床面の直線整正 ・マス掘り時の垂直かき上げ掘削 ・アスファルトなどの表上削ぎ	・未熟練オペレータでも熟練オペレータ並の作業ができるようになった。(未熟練オペレータのサポート) ・熟練オペレータでも操作が「楽」になった。 (オペレータの疲労低減・高齢化への対応) ・熟練オペレータにとっても難しかった作業ができるようになった。(機械化・省人化)
5	バケット 刃角保持	・畦畔のような短い直線整正 ・整正面の荒仕上げ ・コンクリートなどの資材運搬	・ブーム、アーム、バケット3つの同時操作がブーム、アーム2つの同時操作でできるようになった。 (未熟練オペレータのサポート)
6	優先モード	・掘削積込み ・深掘り	・ブーム・旋回を同時に操作したときの細かいレバーコントロールが不要になった。 (未熟練オペレータのサポート)
7	自動振動	・転圧 ・ふるい落とし ・コンクリート、砂利の整正	・単純なレバー往復操作がスイッチを押すだけでできるようになったので、長時間作業しても疲れなくなった。(オペレータの疲労低減・高齢化への対応)
8	プレイバック	・軽負荷掘削 ・転圧 ・ふるい落とし	・同一操作の繰り返し作業が楽にできるようになった。 (オペレータの疲労低減)
9	ブーム揺れ防止		
10	旋回揺れ防止	・掘削積込み全般	・作業時の乗心地が良くなったので、疲れなくなった。 (オペレータの疲労低減、高齢化への対応)
11	電子クッション	・選搬全般	・作業機停止時の荷揺れや荷こぼれを防止するための細かいレバーコントロールが不要になった。
12	ソフトモード		(未熟練オペレータのサポート)

表2 有効な作業と効果

テストの結果特筆すべきことは、

(1) 作業機モニタ機能は、油圧ショベルの従来機能である掘削機能に加えて計測を可能にした。この結果、掘削作業中の計測・補助作業員が多くの場合不要になったので、安全性の向上、省人化が図れた。

(2) 全自動直線掘削機能やバケット刃角保持機能のように、従来、高度の技能を要した作業機の同時操作の自動化は、未熟練オペレータに熟練オペレータ並の作業を可能にただけでなく、熟練オペレータにとっても操作が「楽」になり、作業能率が向上する。ユーザの施工現場でのテストでは、熟練オペレータでも全自動直線掘削機能やバケット刃角保持機能を使った場合、法面整正作業で、手動操作で行った場合に比べて約1.3～1.5倍能率が向上するという評価を得た。

(3) 全自動直線掘削機能のように、複数の操作を同時に必要とした作業の操作を、自動化によりスイッチを押すだけでできるようにした機能は、普通のオペレータではほとんど不可能だった作業を簡単にできるようにした。例えば、ブーム、アーム、バケットを同時に操作して水平に掘削しながら旋回する、いわゆる、斜めすきとり作業は、この機能を使うと、スイッチを押しながら旋回操作するだけで精度良く、簡単にできるようになった。

5. 開発の発展的応用

今回の開発により、安全性の向上、施工・作業環境の改善、労働力の確保に大きな寄与をすることができた。さらに、今回開発の知能化した油圧ショベルに、例えばラジオコントロールシステムを組み合わせればオペレータは容易に遠隔操作が可能になり、より一層の安全性の向上、施工・作業環境の改善が期待できる。また、人工衛星を使った位置検出システムを組み込めば、掘削作業関係の計測要員を不要にできるだけではなく、複数の油圧ショベルの遠隔操作による無人化も可能になる。

6. おわりに

建設施工現場においても、今日プラント工場などで見かけるように、1人のオペレータがモニタ監視するだけで、複数の油圧ショベルを稼働させることも近い将来実現するように思われる。今回の開発は、そのような建設機械の省人化と無人化に向けた、油圧ショベルのさらなる知能化の第1ステップと考えている。

最後に、本機の開発に当り御指導・御協力頂いた皆様に深く感謝致します。