

## 製品紹介

### 低車高大深度クラムPX500の開発 Development of PX500 Low-profile, Great-depth Clamshell

西村 悟

Satoru Nishimura

畑 孝典

Takanori Hata

建築地下工事，土木地下工事等の地下掘削揚土機として，全く新しい発想の下，従来にない数々の特徴を持った新商品PX500低車高大深度クラムを開発・市場導入し，ユーザから高い評価を得たので紹介する．

Under new concept KOMATSU developed PX500 Low-profile, Great-depth Clamshell, which is quite a new underground soil discharger with many advanced features for underground work in construction and civil engineering industries, etc., and brought it to the market, gaining a high reputation from users.

*Key Words:* Underground Work, Construction Underground Work, Civil Engineering Underground Work, Underground Soil Discharger, Clamshell, Large-Scale Underground Earth Moving, Urban Redevelopment, New Model, Economic, Safety.

#### 1. はじめに

近年，大都市圏では地上の過密化現象が進み都市再開発のニーズが益々高まって来ており，それを背景にして平成12年に大深度地下法が制定され，地下40mより深い地下の公共目的での使用が自由化された．

そして，ビルはより高層化，大深度化してきており，また，地下街，地下鉄，地下上下水道，地下備蓄基地，防災用貯水場等地下空間の利用が活発化してきた．

そこで，地下工事での機械の使われ方調査を実施したところ，地下の大量の土砂を如何に安全かつ経済的に掘削・揚土排出するかが最重要課題であること，そして現行機に

は表1，表2に示すような種々の問題点があることがわかった．そこで，これらの問題点を一気に解決する，他社に例のない特徴，大深度地下70mまで対応可能で建築地下，土木地下工事の工法を改善し現在の主力機のクローラークレーン式よりも20%以上作業量を向上した操作が簡単でクレーン免許無しで，油圧ショベル程度の技量で直ぐに乗れる丸積み輸送可能な安全性を大幅に向上した，大深度地下掘削・揚土機を考案，開発，限定3台を市場導入し，ねらった工法改善に対して高いユーザ評価を得ることができた．



写真1 低車高大深度クラムの外観

表1 現工法と現行機の問題点

分野	工事のトレンド	現工法, 現行機の問題点	
(1)建築地下工事 地下建築 地下駐車場	逆打ち工事が主流	テルハ(門型クレーン)	* 設備機械なので移動が容易にできない * 作業空間の確保のため, 2, 3階の天井梁を抜く必要がある
		クローラクレーン コラムシェル (汎用性あり)	* 現場が狭いので安全作業に気をを使う * ブームが長いので, 丸積み輸送ができない * クレーン免許が必要のため, 誰でも運転できない
			* 上げ速度が遅いので深くなると作業量が出ない * 前積みができないので, 旋回積み込み時, 二車線必要
			* 深くても作業量が多いが, 初期投資が大きく大工事でない投入不可
		(2)土木地下工事 地下鉄, 地下街 地下備蓄基地 (タンク, 貯水場)	片側一車線工事のニーズ大 (昼工事可能)
テレスココラム (浅い工用)	* 深さ25m以上の対応不可 * 過負荷停止機能がなく, 前積不可		

表2 現工法の機械と特徴比較

	PX500のねらい	クローラクレーン	テレスココラム	門型クレーン	垂直ベルコン
投資(機械+設備費)	小	小	小	小	× 大
作業量	大	中	中	× 小	大
大深度への対応	70mまで	約40mまで	× 25mまで	約40mまで	任意
ダンプへの積込性	容易	習熟必要	容易	容易	× 積込機必要
現場適応性	ビル内移動稼働可	ビル内移動困難	ビル内移動困難	× 限定的	× 限定的
輸送性	丸積み輸送	分解輸送	分解輸送	× 分解輸送	× 分解輸送
土量あたり単価(円/m <sup>3</sup> )	安い	中	安い	安い	× 高い
現在の状況	—	深さ20m以上での主流機	深さ20mまでの主流機	クローラクレーンが入れない時のみ	超大量土工時のみ

2. 開発のねらい

比較的浅い地下工事から, 大深度地下法の適用される40m以上の深さまで適用でき, 従来工法では対応できなかった工事を1台で可能とし, また, 工法改善により, 作業性の向上, 作業量の大幅アップによる経済性の改善を図り, 容易に運転することができ, かつ, より安全性を向上した機械とすることを基本コンセプトとして開発した。

- (1) 大深度地下への対応可能化
- (2) 建築地下, 土木地下工事に1台で対応可能化
- (3) 作業量を20%以上向上
- (4) 操作が簡単で, クレーン免許なしで乗れる
- (5) 丸積み輸送可能化
- (6) 安全性の大幅向上

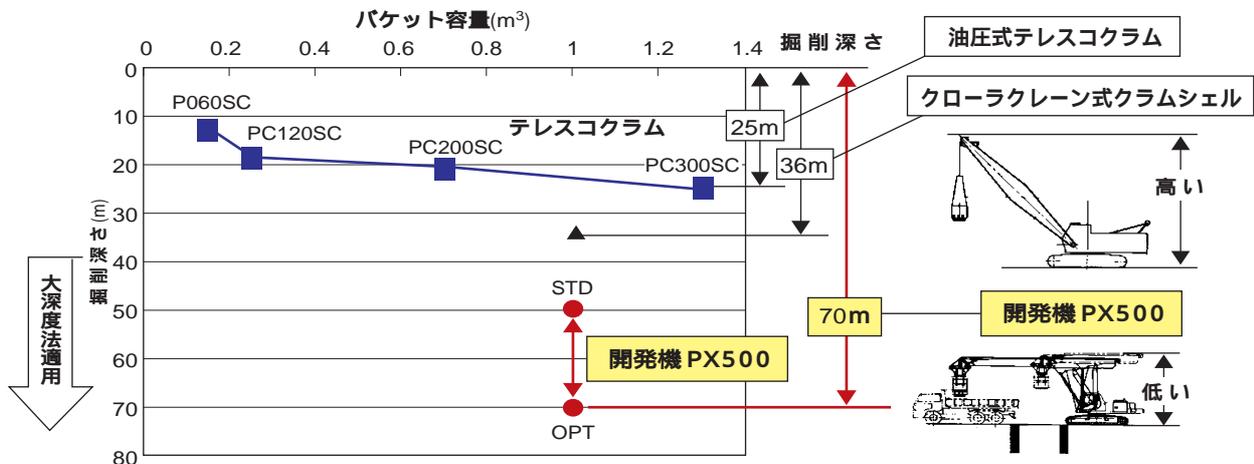


図1 PX500および現行機のバケット容量と掘削深さ

### 3.主な特徴

#### 3.1 大深度地下への対応可能化(図1)

現在主流のクローラクレーン式クラム(写真2)はワイヤロープ(以下ワイヤと略す)式であるため、ワイヤを交換すれば、40m以深の大深度への対応が可能と思われがちであるが、バケットはその中心部で昇降用、開閉用の各1本で保持されているので、ワイヤの自転によるバケットの回転を防ぐため、それらの「より方向」を逆にして使っているが、2本の負荷バランスがくずれると、バケットは回転を始め、止まらなくなり、土砂の落下の危険がある。これを防止するため、タグワイヤがついているが、深くなると次第にその効果がなくなる。また、深くなるとバケットの揺れも大きくなり、バケットの昇降時、切梁(地下の鉄骨構造物)に衝突し土砂落下の危険も増してくる。よって、某メーカーでは最大掘削深さを36mとし、それ以上の深さでの作業をリコメンドしていない。2本の保持ワイヤの負荷バランスをうまく取り、また、揺れをできるだけ小さくすることにより、それ以上の深さへの対応は不可能ではないが、作業できるまでに2年の熟練を必要とすると言われている。その場合でもオペレータのちょっとしたミスによりバケットが回転したり、揺れにより切梁に衝突させる危険をはらんでいる。

#### (1) 4本ワイヤ構造バケット(特許出願中)

作業機の先端に十字ブラケットを装着し、そこから左右2本の昇降ワイヤ、前後2本の開閉ワイヤを十分間隔をあけて垂らし、合計4本のワイヤでバケットを保持する新構造を採用したため(写真3)、地下70mの掘削・揚土作業をバケットが回転することなく、また、揺れを大幅に小さくすることができ、熟練しなくても安全に作業できるようにした。

そして昇降、開閉ワイヤを各2本としたことにより、ワイヤが1本切れても土砂が落下したり、バケットが不安定になり切梁などに衝突することがなく、安全に作業できる。

#### (2) 地下70m対応ウインチ装着(特許出願中)

標準仕様で地下50m、ワイヤを巻き替えることにより、地下70m深さまで対応可能なウインチとした。また、車体最後方に装着したことにより、カウンタウェイトとしての機能を持たせ、競合するクローラクレーン式クラムやテレスコクラムよりも大幅に車体重量を小さくすることを可能とし、機動性や作業現場適応性を向上した。(写真4)

さらに、ウインチ後部にワイヤの乱巻き防止用ワイヤ押さえローラやガイドシーブを装着し、乱巻きの起こりにくい構造とした。(写真5)

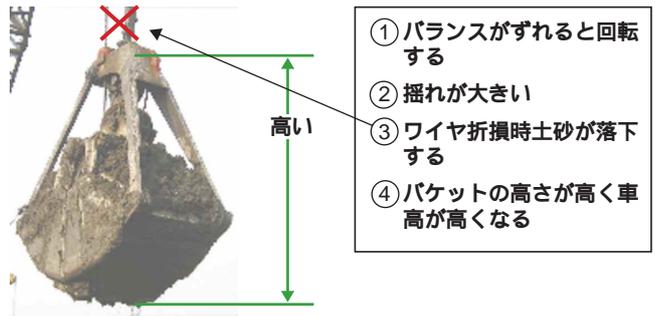


写真2 クローラクレーン式クラムのバケット

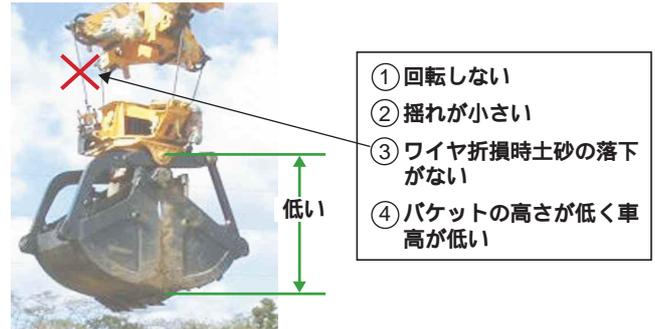


写真3 PX500の新リンク式バケット



写真4 PX500の後方外観

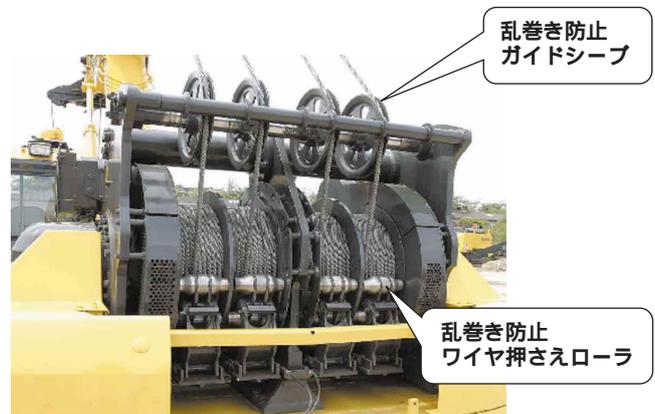


写真5 ウインチと乱巻き防止ローラ類

3.2 建築地下，土木地下工事に1台で対応可能化

現行の地下揚土機は、それぞれ建築用か土木用にそれぞれ特化した機械となっている(表1)。唯一、クローラクレーン式コラムが両方の工事へ適用可能であるが、下記各項目で説明するような制約条件を持っている。

(1) 新タイプ作業機およびバケット

全く新しい発想による新平行リンク式スライドアーム作業機および、新タイプバケットを採用し、土木地下工事のそれぞれの従来工法を変えることにより、大幅な改善を図ることができた。

建築地下工事での工法の改善

クローラ式クレーンコラムの場合、作業機高さが約10mあり、逆打ち工法(地上と地下の建築工事を同時に行い工期短縮を図る工法で、最近の主流工法となってきた。)に入る場合、2~3階の天井梁をあらかじめ抜いておいて、地下の揚土工事完了後、天井梁を構築するか、または、吹き抜け構造としたままにするか、いずれかであった。新作業機により作業車高を低くすることができ、2~3階の天井梁を抜くことなく作業できるため、建築上の制約条件が無くなり逆打ち工法で有効であり、工費節減を可能にした。(図2)

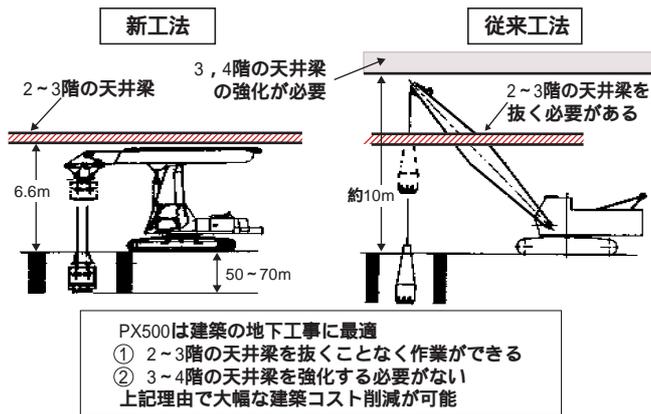


図2 建築地下工事での工法改善

土木地下工事での工法改善

都市再開発での地下鉄工事などでは、地上道路の下に地下鉄を敷設する例が多いが、この場合、地下の大量土砂揚土のため、道路上に揚土機を配置し工事を行うが、クローラクレーン式コラムでは作業機のブームを固定して、旋回積み込みを行わざるを得ないので、二車線の工事スペースを占領する。そして、交通障害を避けるため、通常、深夜のみの工事となる事が多い。そのため工期が長くなっていた。

PX500は新スライド式アーム作業機により、ダンプを開口部前方に配置し、前積み可能としたため、一車線内工事が可能となり、昼間の工事も出来、大幅な工期短縮と工費削減を可能とした。(図3)

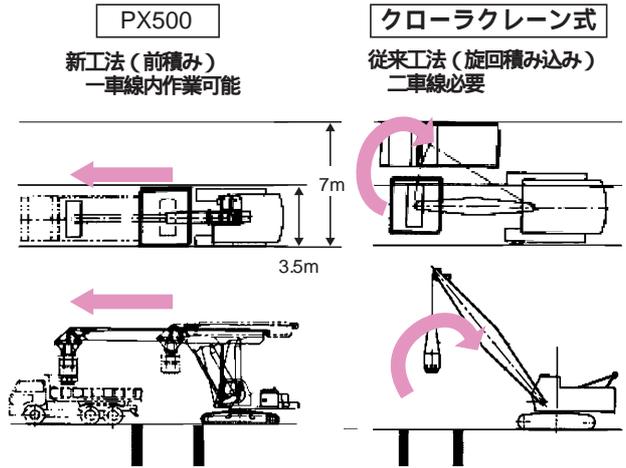


図3 土木地下工事での工法改善

3.3 作業量20%以上向上

深さ20m以深の工事での主力機であるクローラクレーン式コラムに対して全作業現場および、深さの全領域で作業量20%以上向上した。

(1) 高効率エンジン油圧制御システム採用

機能進化の著しい、油圧ショベルの高効率エンジン・油圧制御システムを採用し、揚土スピードをクローラクレーン式コラムの約1.5倍とすることにより、深さの全領域で作業量を20%以上向上させた。深さが増せばこの差は大きくなり、深さ50mでは約25%向上できた。(図4)

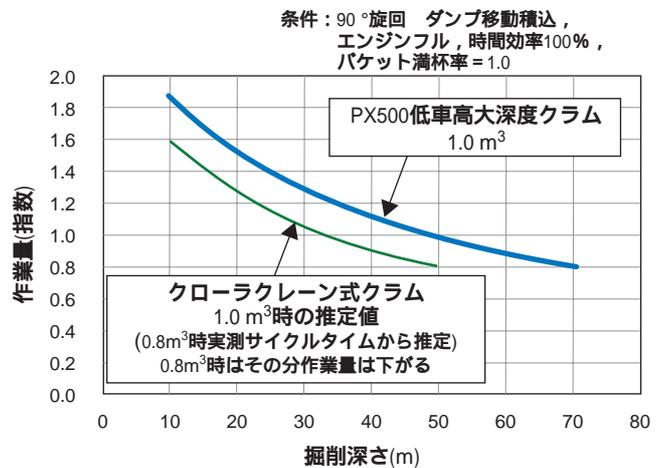


図4 作業量比較

(2) 狭い現場で有効な新4本ワイヤ構造バケット

建屋内工事や開口部の狭い工事の場合、クローラクレーン式コラムでは、3.1項で説明したように、バケットの揺れが大きいため、安全のため、作業速度を遅くして作業する必要があるが、PX500の場合、揺れが少ないため、作業速度を遅くしなくてよい。(3.1(1) 参照)

3.4 操作が簡単でかつクレーン免許なしで乗れる

(1) クローラクレーン式クラムの運転操作

クレーンをベースとしているので、クレーン免許が必要である。また、多数の操作レバー類が運転席に配置され通常旋回積み込みの作業時には、5レバーおよび2ペダルの操作が必要で、常にレバーを持ち替えなければならず、その操作は繁雑で、慣れるのに相当の日数を必要とする。

さらに、掘削深さが深くなると3.1項で述べたように、バケットの回転や揺れが大きくなるため、大深度工事で作業ができるようになるまで、熟練するのに2年はかかると言われていた。(図5)

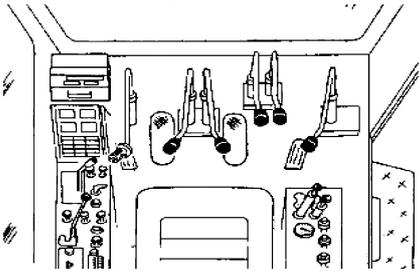


図5 クローラクレーン式クラムの運転席

(2) PX500の運転操作

クレーン免許不要

PX500は掘削積込専用機なのでクレーン免許は不要であり、油圧ショベルと同一で、車両系建設機械運転技能講習修了で運転可能である。

新操作方式による合理的レバー配置(特許出願中)

操作性向上の著しい油圧ショベルの操作レバー類を採用し、油圧ショベル感覚で2本の操作レバーのみで通常作業ができるようにした。

そして、さらにサイクルタイムを短縮して作業量を出したい場合、バケット降下時に、ブレーキおよびクラッチのペダル操作をし、半ブレーキをかけながら下ろすことにより、上記より降下速度を約3倍早くすることができる。

これにより、例えば深さ50mの掘削・揚土・積込作業の場合、約1.4倍作業量をアップすることができる。

この場合も2ペダル操作が追加されるだけであり、操作レバーから手を離すことなく作業が可能である。

このような新しい操作方式を採用したことにより、個人差はあるが、早い場合は1~2日、長くても1週間もすれば十分習熟できる。(図6)

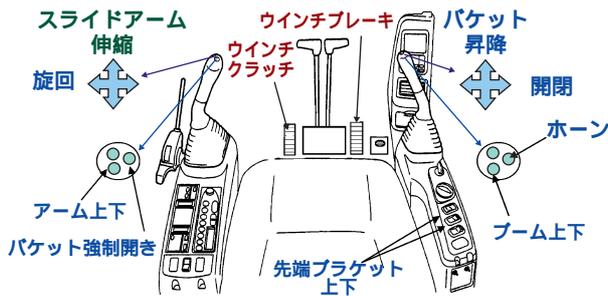


図6 PX500の運転席

3.5 丸積み輸送可能化

クローラクレーン式クラムの場合、車体重量が重たくかつブームが長いので、輸送時、ブームおよびバケットの分解組立が必要である。

PX500の場合、3.1(2)項および3.2項で述べたようなウインチの合理的配置と新平行リンク式スライドアーム作業機により、車体重量の軽量化と輸送姿勢を容易に取ることができるようにしたことにより丸積み輸送が可能となった。

これにより輸送時の手間と費用の削減を図ることができる。(図7)

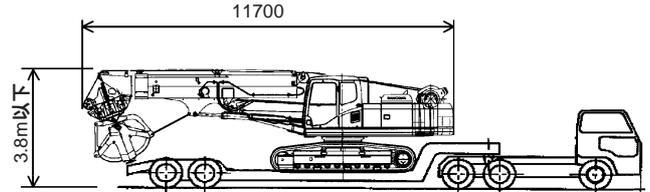


図7 PX500の積荷姿(丸積み輸送可能)

3.6 安全性大幅向上

本来、安全性は何にも優先する重要な特性であり、種々の特性向上を図る際の大前提条件であるため、次に示す方策で安全性向上を図った。

(1) 4本ワイヤ構造バケット(3.1(1)参照)

バケットが回転せず、又、揺れが少ない

ワイヤが1本切れても、土砂は落下せず、又3本で保持されるため、バケットは安定している

(2) 2ウインチ同調制御(特許出願中)

クローラクレーン式クラムは、昇降用、開閉用各1ウインチを持っており、各ウインチからのワイヤの合計2本でバケットを保持している。

3.1項で述べたように、バケット昇降時2本のワイヤの負荷バランスがくずれるとバケットが回転する。

また、開閉ワイヤの負荷が小さくなるとバケットは開き土砂が落下するので、負荷バランスがくずれてバケットが回転しない程度にオペレータは常に開閉用ウインチの負荷を昇降用より少し多めにするため、バケット上昇時は開閉レバーを少し先行させ、また、下降時は昇降レバーを少し先行させて、微妙な調整をしながら運転をする必要がある。これをうまく行わないとバケットが回転したり開いて土砂が落下したりする危険がある。

そこでPX500では、2ウインチ同調制御システムを採用し、オペレータの腕によることなく、常に安全に作業ができるようにした。

図8の油圧回路図に示すように、各ウインチモータの出入口部に連通路を設け、昇降時には連通路の切換弁が作動し、回路が連通し、かつ、昇降、開閉メイン切換弁が同時に開き、開閉時には連通路が切れ、開閉用メイン切換弁のみが開くようにした。更にメイン切換弁の流量特性を図9のようにした。

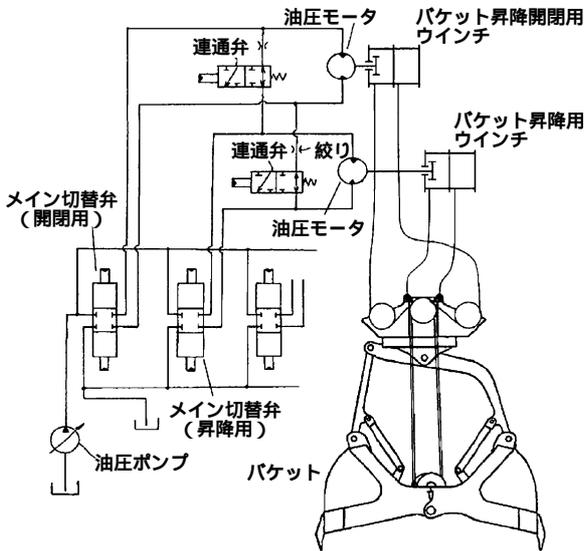


図8 2ウインチ同調制御

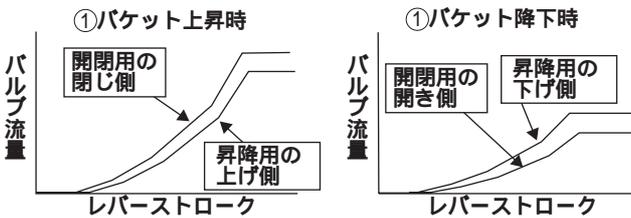


図9 メイン切換弁の流量特性

これにより、オペレータの微妙な調整を不要とし、昇降・開閉の各モータの効率差があっても、連通路で補正するため、バケット昇降時バケットが開いて土砂が落下することがないようにした。

(3) 過負荷警報・自動停止システム

作業範囲と負荷を検出しモニタに表示、作業半径および荷重がそれぞれ許容値の95%で予告警報(モニタに黄色で過負荷表示し、断続ブザーを鳴らし)を出し、作業機は減速、100%になると警告警報(モニタに赤色で過負荷表示し連続ブザーを鳴らす)を出し、即時停止するようにした。

ただし、車両が停止しても安全側にはレバー操作で作動可能である。(写真6、図10)



写真6 モニタ

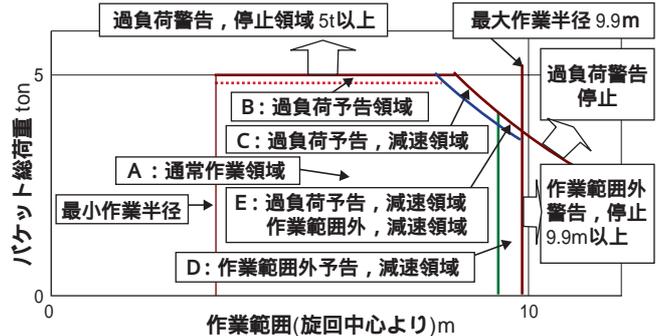


図10 PX500の過負荷停止制御線図

(4) バケット降下速度警告システム

通常作業時のバケット降下はレバー操作により、動力により行うが、もっとサイクルタイムを短縮し作業量を出したい場合、半ブレーキに降下により降下速度を早くすることができるようにしているが、この時降下速度が早くなり過ぎると危険であるので、降下速度が250m/minを超えると警告ランプが点灯し、ブザーで警告するようにした。

(5) 作業機落下防止弁装着

作業機のホースが何らかの原因で破損した場合、作業機が落下し危険であるので、ブームシリンダおよびパラレルリンクシリンダのボトム側に落下防止弁を装着し、落下防止を図り安全設計とした。

3.7 主要スペックと特徴比較

PX500は以上のような特徴を持った機械である。これを現在主に使われているクローラクレーン式コラム、テレスココラムと比較整理する。(表3)

これを見れば各特性ともPX500が大幅に優っており、その優位性が一目瞭然である。

表3 PX500の競合機との特徴比較

：優れる， △：少し劣る， ×：劣る

項目		PX500	従来のクローラ クレーン式クラムの例	テレスコクラム PC300SC	
車格	質量	t	29.8	38.6	41
	バケット容量	m <sup>3</sup>	1.0(0.8)	1.0(0.8)	1.3
	エンジン出力	kW(PS)	125(170)	110(150)	173(235)
工事適用性	建築	逆打ち工事 作業時全高	○ 梁高6.6m以内で 作業可	△ 梁高約10m以内で 作業可	× 梁高約10m以内 で作業不可
	土木	一車線道路の 地下工事	○ スライドアームでダンプ への前積みできる	× クレーン共用ブーム で前積み不可	△ 前積み困難
大深度工事		○ STDで50mまで対応可 OPTで70mまで対応可	△ STDで36mまで それ以上はリコメンドせず	× 25mまで	
安全性	バケットの揺れ・回転		○ 4本ワイヤ、十字掛けで 揺れは少なく、回転なし	× ワイヤ2本センタ支持 で揺れ、回転が大きい	○ テレスコ式で揺れは 少なく、回転なし
	ワイヤ折損時 積荷等の落下		○ 開閉ダブルワイヤで 積荷落下しない	× 開閉シングルワイヤ で積荷落下する	○ ダブルワイヤで 落下しない
	過負荷停止機能		○ 機能有り	○ 機能有り	× 機能なし
作業性	作業量20m/50m	比	○ 1.2/1.25	× 1.0/1.0	△ 1.4/不可
	運転の容易性		○ 油圧ショベル感覚	× レパー本数多く熟練を要す	○ 油圧ショベル感覚
輸送性		○ 丸積み輸送ができる	× ブーム脱着が必要	× アーム脱着が必要	

各特性ともPX500が大幅に優っている

4. 先行市場導入車の稼働実績とユーザ評価

#1~3号機購入ユーザ，レンタル使用ユーザ全社から，  
高い評価をもらった。(表4，写真7，写真8，表5)

表4 #10001号機稼働実績

	サービス メータ	稼働目的	場所	業種	工事内容	深さm
実稼働 テスト	~300	実用テスト	実験部	-	建築と 土木想定	20
	~405	第1次ユーザ	東京	土木	地下鉄	50
	~550	第2次ユーザ	名古屋	建築	ビル新築	8~10
実稼働 フォロー	~1160	販売後 実稼働 フォロー	東京	建築	ビル新築	15
	~1480		大阪	建築	ビル新築	30
	~2200		大阪	土木	地下鉄	15~40
	~2270		大阪	土木	地下鉄	15~30
	~2410		滋賀	石灰鉱山	ホッパの 砕石除去	70



写真8 地下鉄工事現場で稼働中のPX500

表5 PX500のユーザ評価

商品のねらいに対して，高い評価をもらっている。

商品のねらい		ユーザ評価
1	大深度への対応 可能化	深さ50mでも揺れも回転も少なく安心して 作業できる。
2	建築・土木 建築地下	逆打工法に最適な機械で，大幅な経費削減 が可能だ。
	地下工事への 対応 土木地下	前積み可能で一車線内工事ができるのが良い 交通障害が少なく，従来夜間工事も昼間 工事が可能となった。
3	作業量20%以上向上	バケット上げ速度が速いので，20%アップ は十分可能だ。
4	操作が簡単でクレーン 免許なしで乗れる	クレーン免許が無くても運転できるのは非常 に良い。クレーンは熟練するのに2年か かるが，PX500は直ぐ慣れる。 1週間もすれば十分。
5	丸積み輸送可能化	丸積み輸送できるので輸送の煩わしさがな くて良い。
6	安全性の大幅向上	4本ワイヤなので，1本切れても土砂の落下 がないので安心。



写真7 建築地下工事現場で稼働中のPX500

## 5. おわりに

従来にない新しいタイプの低車高大深度クラムPX500を開発、市場導入し、現段階では限られたユーザであるが、建築地下、土木地下工事の工法改善に寄与でき、ユーザからの高い評価を得た事は開発の基本コンセプトが正しかったことの証であり、何にも代え難い喜びである。

今後本格的に市場導入していく段階で、さらに色々な改善要望が出てくると思われるが、これらの市場ニーズを木目細かくフォロー、精査改善していき、完成度を上げていきたい。

### 筆者紹介



Satoru Nishimura  
にしむら さとる  
西村 悟 1971年、コマツ入社。

現在、コマツ 開発本部 建機第一開発センタ 所属。



Takanori Hata  
はた たかのり  
畑 孝典 1991年、コマツ入社。

現在、コマツ 開発本部 建機第一開発センタ 所属。

### 【筆者からひと言】

PX500の開発は、クローラクレーン式クラムなどの現行機からは、全く異なった各種機能を織込んだ、類のない機械であり、開発の各段階で新種商品であるが故の数々の難問や障害があったが、それを乗り越えて市場導入に至っている。

これはひとえに、関係各位の絶大なるご協力の賜物と感謝し、この場を借りて、お礼申し上げます。

今後の本格市場導入後、PX500が建築・土木の両地下工事分野で広く認知され、普及し、「平成のプロジェクトX( ProjectX500 )PX500」と言われる日を夢見ている。