

(技術資料)

## 港湾向けクレーンMK650 排出ガス2011年規制対応機の開発

### Development of MK650 Crane for Harbor with 2011 Exhaust Gas Emissions Regulations



鶴見俊樹\*1

Toshiki TSURUMI

Marine transport by ships has excellent cost and energy efficiency and is an important means of domestic transportation. In harbor loading and unloading, increasingly rapid movement between wharfs is required along with more continuous, higher-cycle tasks. The MK650, introduced in this paper, is the successor of the MK500 and has achieved a high driving speed thanks to a large engine that meets the latest exhaust gas regulation for hydrostatic transmission (HST) systems. The regeneration of its diesel particulate filter (DPF) is controlled in accordance with the amount of soot accumulated, minimizing the influence on work during the regeneration, while completing it without fail. This has minimized the down time of the machinery. Also introduced here are strengthened structures and a lift cab based on special specifications, which has led to the development of a machine that is more useful in harbor loading and unloading.

まえがき＝船舶による海上輸送はコストやエネルギー効率に優れていることから、国内において重要な輸送手段となっている。港湾荷役作業では、船へ短時間で荷を積み込み、積下ろすことが求められており、高サイクルの巻上、起伏、旋回作業が必要である。これには箱ブームよりもラチスブームが適している。また、船の停泊場所に合わせて迅速に埠頭（ふとう）内や埠頭間を移動できる機動力も求められるため、現在でも内航船荷役作業ではラチスブームトラッククレーンが活躍している。しかしながら、建設機械への排出ガス規制が厳しくなる近年、新規のラチスブームトラッククレーンが市場に供給されない状況となっている。いっぽう、コベルコ建機(株)（以下、当社という）のラチスブームホイールクレーンMK500（以下、従来機という）も発売後10年以上の年月を経ており、走行速度のアップや環境対応などの商品力向上が必要となった。このような背景から生まれたMK650は、ラチスブームクローラクレーンとラフテレーンクレーン両方の技術を持った当社ならではの強みを生かしたメニューであり、その特徴と設計上の工夫について紹介する。

#### 1. 機械の概要

MK650は、ラチスブームクローラクレーンの上部旋回体とラフテレーンクレーンの下部走行体を基本に構成されている（図1）。そのため、エンジン、油圧ポンプ、キャブ、巻上、起伏ウィンチといった多くの機器は上部旋回体に配置されている。いっぽう、下部走行体には、アクスル、ヘッドライト、後写鏡といった道路を走行す



図1 MK650ラチスブームホイールクレーン

Fig.1 MK650 lattice boom wheel crane

るために必要な部品とクレーン作業時の安定度を確保するアウトリガが配置されている。また、ラチスブームクローラクレーンにはない走行操作装置（ハンドルやフットブレーキ、走行パネル）は、クレーン操作装置と合わせてキャブ内に配置されている。

MK650を構成するに当たっての課題は、「構造物や機器のレイアウトをベースマシンであるラチスブームクローラクレーンから大幅に変更させることなく、走行操作装置を追加すること」、「主要構造物が港湾荷役作業に耐えられるように強度、剛性を向上させること」、何より「大型特殊自動車として成立させること」である。そのためには、全長、全幅、重量といった車両寸法やブレーキ制動力など多くの項目を決められた値に納めなくてはならない。

#### 2. MK650の進化点

##### 2.1 諸元

表1に従来機とMK650の諸元を示す。船舶や吊荷の

\*1 コベルコ建機(株) グローバルエンジニアリングセンター 開発本部 クレーン開発部

表 1 MK500 (従来機) と MK650 の諸元  
Table 1 Comparison of MK500 and MK650

Machine model	MK500-2	MK650
Max. rated load × work radius	50t × 3.4m	65t × 3.0m
Basic boom length	5.6m	5.6m
Maximum boom length	33.0m	33.0m
Working weight	45t	51t
Length	11,900mm	12,400mm
Width	3,200mm	3,070mm
Height	3,495mm	3,765mm
Driving weight	35.075t	40.940t
Traveling drive type	Hydraulic Part-time 2 wheel / 4wheel drive	HST Full-time 6 wheel drive
Steering	1st Axle	All axle
Minimum turning radius	11.6m	6.6m(8 wheel steer)
Main pipe size of lower boom	Outer diameter	φ 76.3mm
	Inner diameter	φ 65.3mm
Engine	Model	Hino J08E-TM
	Engine output	159kW/2000min <sup>-1</sup>
	Exhaust gas emission regulation	Regulation for 2006
	Exhaust gas after treatment system	-
Maximum driving speed	15km/h	39km/h
Location of monitor for crane	Left of front	Left
Optional elevating cab	-	Selective

多様化および大型化に対応するため、つり上げ能力を50tから65tに上昇させた。つり上げ能力の上昇に伴い車両総重量が約6t増加したが、車軸数を従来機の3軸から4軸とすることで1軸当たりの重量を下げ、路面への負担を軽減させた。

また、ラフテレーンクレーンの操舵(そうだ)システムを使用することで、前4輪操舵のノーマル、前後8輪同位相操舵のクラブ、前後8輪逆位相操舵のクランプ、後4輪操舵におけるリヤステの操舵4モードの切り替えが可能となった。それにより、車両全長が従来機よりも約500mm長くなったにも関わらず、最小回転半径は従来機と比べて小さくなった。最小回転半径は、従来機の11.6mに対してMK650では6.6m(クランプモードの場合)となっている。これらの操舵モードは、例えば、岸壁ぎりぎりに機械を寄せる場合や、狭い現場で機械の向きを変えるといった場合に有効で、機械の設置をより短時間で効率よく行うことができる。

## 2.2 排出ガスの2011年規制への対応

### 2.2.1 排出ガス後処理装置

建設機械におけるエンジン排出ガス規制が年々厳しくなるなか、MK650は排出ガスの2011年規制に適合したエンジンと排出ガス後処理装置DPF(Diesel Particulate Filter, 以下DPFという)を搭載している。DPFは排出ガス中のPM(Particulate Matter、主にすす)を捕集することで、大気中への排出量を低減させている。捕集したすすを定期的に燃焼、除去させること(DPF再生)により、DPFは継続的に使用することができる。DPF再生には、高温の排出ガスが一定時間継続して排出される必要がある。しかし、とくにクレーン作業は玉掛け待ちなどのアイドル待機時間が長く、エンジン負荷が低いことが多い。このような作業状況ではDPF再生は実施できない。DPF再生ができない状態が続くと、DPF内

にすすが捕集され続けることとなり、最終的には目詰まりを起こしエンジンの故障につながる。そこで、当社のラチスブームクローラクレーンやMK650では、圧力制御バルブを使用することでこの問題を解決している。MK650上部旋回体の油圧システムを図2に示す。

この油圧システムでは、エンジンによって駆動されるクレーン作業用可変容量式油圧ポンプ(Variable displacement pump)の下流に圧力制御バルブ(Load application valve)を設けている。圧力制御バルブを作動させることで、ポンプ吐出圧が圧力制御バルブの設定値まで上昇する。加えて、①可変容量式油圧ポンプの吐出量を増加させる。②最低エンジン回転数を設定回転数まで上昇させることで、流量が増える。これにより強制的にエンジン負荷を上昇させることができる。その結果、DPF再生に必要な排出ガス温度を得ることができる。

DPFに堆積したすす量とDPF再生の開始手段を表2に示す。すす堆積量は運転席内のモニタに0~10の11段階で表示されており(0:DPFにすすが堆積していない状態, 9:DPFにすすが多量に堆積している状態, 10:DPF内のすすが許容量を超え、故障した状態)、その堆積量によってDPF再生の開始方法が異なる。すす堆積量が0~2ではDPF再生の必要はない。すす堆積量が3~4では、オペレータがクレーン操作をしていないと機械が認識した場合に、圧力制御バルブの作動と上記①~②を自動的に開始する(DPF自動再生)。DPF再生が実施されていてもクレーン作業は継続可能であるが、DPF自動再生が正常に実施できない作業状況も考えられる。DPF自動再生が正常に実施できないとすす堆積量が増加していき、DPFが目詰まりを起こしてエンジンが故障するリスクが高まる。そこで、すす堆積量が5以上となった場合には、DPF自動再生を停止して

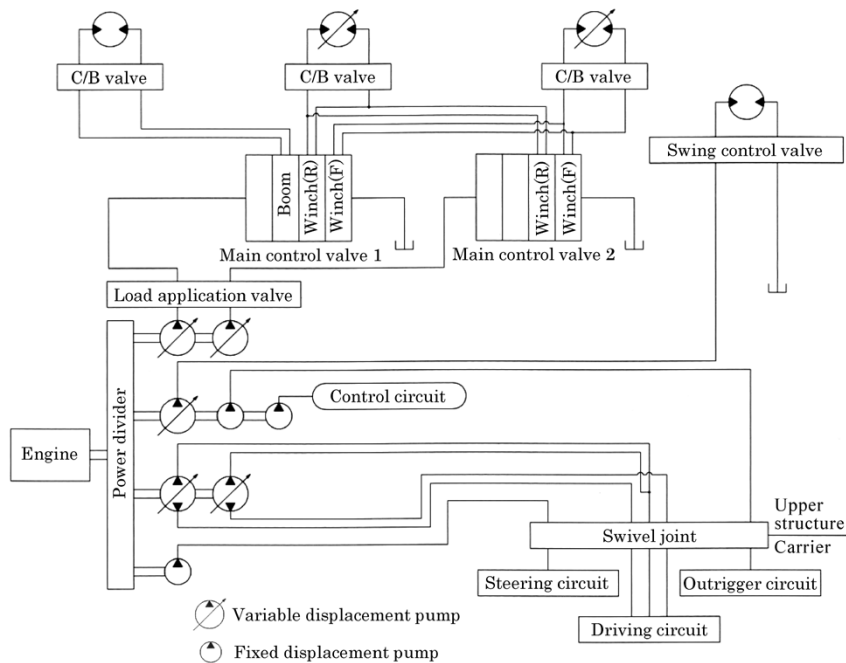


図2 MK650油圧システム図 (上部旋回体)  
 Fig. 2 MK650 hydraulic system (upper structure)

表2 DPF再生開始の基準  
 Table 2 Criteria of DPF regeneration

	Regular operation	DPF regeneration	DPF regeneration
Soot level	0~2	3~4	5~10
Crane operation	Possible	Possible	Impossible
Criteria of DPF regeneration	-	Automatically	Manually

オペレータによる判断でDPFを開始する (DPF手動再生) モードへ移行する。その際には、DPF再生を優先させてクレーン作業ができないよう、各アクチュエータを動かすコントロール回路圧は遮断される。このように、「DPF自動再生」と「DPF手動再生」との二通りの開始手段を設けている。これにより、作業への影響を最小限にするとともに、DPF再生を確実に完了させて故障を防止することと両立させている。

### 2.2.2 エンジンレイアウト

MK650の基本となっているラチスブームクローラクレーンの上部旋回体には、8 Lもしくは11 Lクラスのディーゼルエンジンが搭載されている。しかし、MK650では後述する走行性能を得るため、13 Lクラスのディーゼルエンジンを搭載する必要があった。エンジンが大きくなると、エンジンブロック表面からの放熱量、ラジエータやインタークーラでの熱交換量が増加するが、エンジンルーム内の空間余裕は減少する。また、走行時のエンジン出力はクレーン作業よりも大きくなる。このように、MK650はラチスブームクローラクレーンに比べてエンジンルーム内が過酷な高温環境下に晒 (さら) されることがわかる。エンジンや油圧ポンプ、DPF周辺にはセンサ類が配置されており、それらを基準温度以下に保つ必要があった。そこで、ラチスブームクローラクレーンに設けられているエンジンルームの下方 (図3の①)、側方 (紙面の垂直方向) への冷却風排気口に加えて、

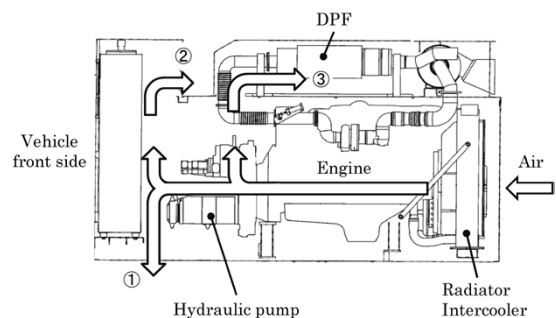


図3 エンジン冷却風の流れ  
 Fig. 3 Air Flow of engine cooling wind

上方 (図3の②) への排気口とDPF周辺を通過して排気する通路 (図3の③) を設けた。これにより、エンジンルーム内だけでなくエンジン上部に配置されているDPF周辺のセンサ類の温度上昇も抑えて故障防止を図っている。

### 2.3 走行性能の向上

#### 2.3.1 走行速度の向上

港湾荷役では、埠頭内や埠頭間の迅速な移動だけでなく、公道を走行する際の安全確保が重要となる。従来機では走行速度が15 km/hと低く、一般の交通の流れに乗りにくいという課題があった。走行速度の向上はMK650の商品力アップの優先課題でもあった。そこで、エンジン出力の向上と当社のラフテレーンクレーン (パンサーXシリーズ) で採用しているHST (Hydro Static Transmission, 以下HSTという) システムの採用により、最高走行速度を39 km/hまで高めて公道走行における安全性と機動性を向上させた。

#### 2.3.2 HSTシステムの概要

HSTはエンジンと可変容量ポンプ、可変容量モータで構成されており、作動油タンクを介すことなくポンプとモータの出入口が配管でつながれている。図4にHSTの油圧回路を示す。これら可変ポンプと可変モータ

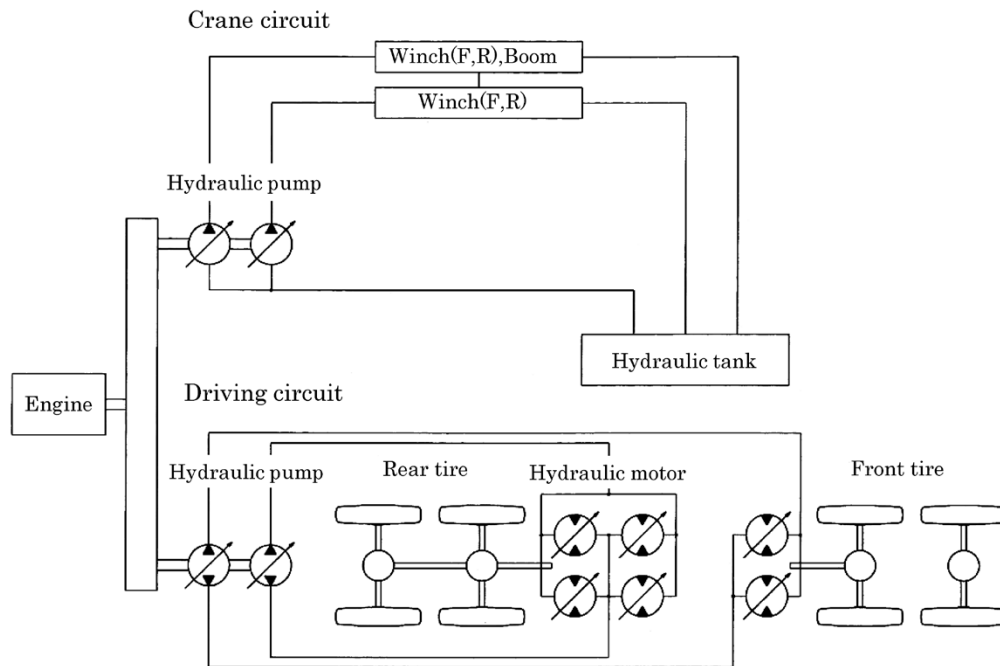


図4 HSTの油圧回路  
Fig. 4 Hydraulic circuit of HST

タの容量を変えることにより無段階変速ができる。可変ポンプの容量を小さくして可変モータの容量を大きくすると低速になる。また、可変ポンプの容量を大きくして可変モータの容量を小さくすると高速となる。

HSTは、無段階変速により効率の良いエンジン回転数およびトルク範囲で運転できる。また、制御弁による損失が少ない。このように、HSTは一般的な油圧タンクを介した油圧走行システムに比べて効率に優れている。

### 2.3.3 走行燃費の改善

従来機の走行には、作動油タンクを介した油圧走行システムを用いていたため、油圧効率が悪いという欠点があった。MK650では、HSTシステムの採用により油圧効率が向上した。また、走行速度を高めるために従来機の8Lエンジンから13Lにアップした。これらにも関わらず、一般道での走行を模擬した社内試験（加速→最高速→減速→停止）において、約33%の燃費改善効果があった。

## 2.4 作業性能の向上

### 2.4.1 構造物の強化

港湾荷役作業に耐える丈夫なキャリアフレームを実現するためには、切欠や穴などが無いシンプルな箱形状にすることが望ましい。そのため、従来のラフテレーンクレーンのように、キャリアフレームの後方にエンジンを搭載する穴を設けることは不利となる。MK650ではHSTの採用により、キャリアフレームをシンプルで丈夫な箱形状とすることで強度、剛性を確保した。図5にキャリア構造物の形状を示す。

### 2.4.2 下部ブームの強化

港湾荷役での高サイクルバケット作業は、下部ブームへの繰返し負荷によるダメージが大きい。そこで、MK650では下部ブームの主柱パイプの外径、肉厚を1クラスアップさせた。パイプの外径と肉厚のクラスアップにより約3倍の強度寿命を確保している。

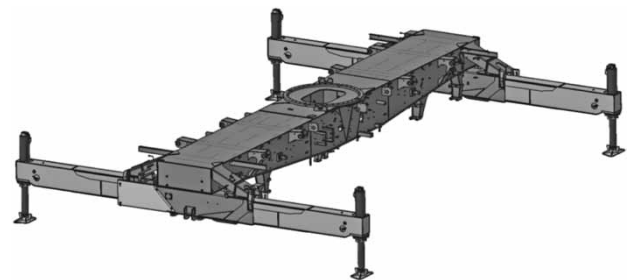


図5 キャリヤフレーム  
Fig. 5 Carrier frame

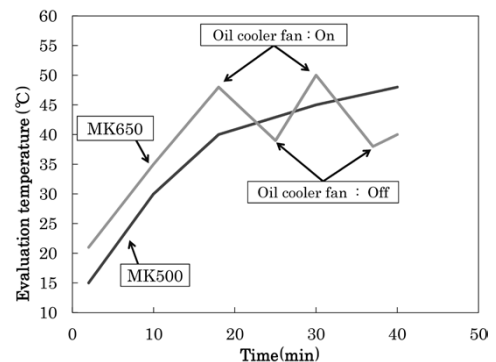


図6 油圧作動油温度の比較  
Fig. 6 Comparison of hydraulic oil temperature

### 2.4.3 ヒートバランス

港湾荷役では高サイクルの巻上、起伏、旋回作業が必要であり、油圧作動油の温度上昇がたびたび課題となった。MK650では、エンジンファンで冷却しているラジエータ、インタークーラとは独立した油圧作動油クーラを上部旋回体の側面に配置している。従来機に比べて、MK650は油圧ポンプを大きくして作業性能を向上させた結果、必要放熱量が上昇した。それにも関わらず、従来機並みの作動油温度上昇に抑えることができた。巻上、起伏、旋回の複合操作によるバケット作業を模擬した社内試験結果を図6に示す。また、ファンは油圧作動



図7 キャブ内からの視界  
Fig. 7 View from operator cab

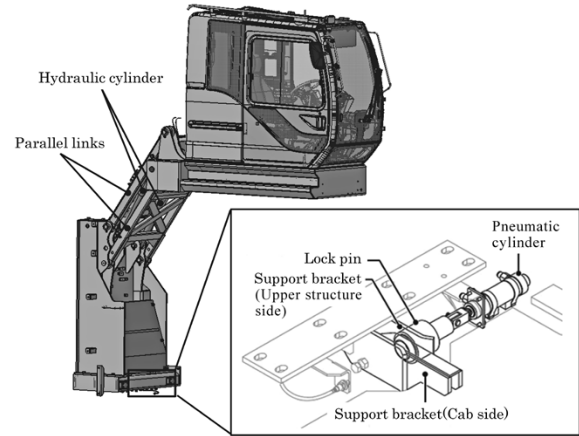


図8 リフトキャブとロック機構  
Fig. 8 Structure of lifting cabin and lock

表3 リフトキャブの安全機能  
Table 3 Safety system of lifting cabin

Operation mode	Crane		Drive	
	Lowest	Otherwise	Lowest	Otherwise
Cab position	Lowest	Otherwise	Lowest	Otherwise
Cab lock pin	Locked	Unlocked	Locked	Unlocked
Operation of cab elevation	Impossible	Possible	Impossible	Impossible
Operation of Lock pin	Possible	Impossible	Impossible	Impossible
Warning light	Off	On	Off	On
Shift lever position	N	D or R	N	D or R
Warning Buzzer	Off	On	Off	On

油の温度によりON/OFFする制御であるため寒冷時の暖機性も向上した。

## 2.5 キャブ内レイアウト

図7にキャブ内からの視界を示す。内航船の港湾荷役作業は船への積込み、積下ろしといった作業が多い。このため、内航船の港湾荷役作業では、一般的なクレーンの建方作業のような上方の視界よりも足元の視界が重要になる。そこで、本機ではML (Moment limiter, 過負荷防止装置) モニタの位置を従来機の左前方から左側方に移設した。これにより、下方視界が従来機に比べて改善している。

## 2.6 リフトキャブ (特別仕様)

船に荷を積込む際には船倉内を確認する必要があるが、潮の干満により船の位置が高くなるなどの悪条件により、直接視認することが難しい場合がある。そこで、MK650は特別仕様としてリフトキャブ仕様を設定した。リフトキャブの機構は、キャブを並行リンクで支持し油圧シリンダによって昇降する方式を採用した (図8)。これにより、目線の高さを地上5.8mにまで高くすることができる。リフトキャブ仕様を設定するに当たって最も重要視したのは、走行時における安全の確保である。キャブ内にはクレーン操作装置と走行操作装置が配置さ

れている。意図せず走行中にキャブが上昇してはならない。また、リフトアップ状態で走行することは危険である。そのため、走行時はキャブサポートと上部旋回体をエアシリンダとピンでメカ的にロックする機構に加えて、インタロックシステムを備えた。ロックピンの機構を図8、インタロックシステムを表3に示す。

インタロックシステムでは、クレーン作業モード時のみロックピンの挿入/引抜操作を可能とした。また、キャブの上昇/下降操作はロックピンが引抜かれていることを検出した場合のみ操作可能とした。これらにより、走行中に誤ってキャブが上昇することを防止している。万が一キャブがロックされていない、あるいはキャブが上昇している状態で走行レバーを入れた場合は、ブザーを鳴らしてオペレータに警告を促す仕組みにしている。

むすび = 港湾荷役に求められる機能を向上させてMK650に織り込んだ技術について紹介した。今後も、要求される性能や機能はますます高度化していくと考えられる。社会に貢献するとともに、お客様のニーズに応える製品を提供するため、世の中の変化に常に対応できるように取り組んでいく所存である。