

(技術資料)

# クローラクレーンの省エネ向上技術

## Energy Saving Systems for Crawler Cranes



山縣克己\*1

Katsuki YAMAGATA



道田隆治\*1

Takaharu MICHIDA

The new crawler cranes developed by KOBELCO CRANES CO., LTD., are equipped with systems for better fuel saving and reduced CO<sub>2</sub> emission. The systems consist of a fuel-saving mode, a high-speed winch mode, an auto idling-stop mode, and a positive control for hydraulic pumps. The new crawler cranes have achieved a fuel efficiency about 30% better than that of the cranes the company had already put on the market.

まえがき＝「特定特殊自動車排出ガスの規制等に関する法律」(通称、オフロード法)が改正され、2011年10月よりディーゼル特殊自動車の排出ガス基準値の規制強化が開始された。移動式クレーンのクローラクレーンもこの規制の対象となっている。コベルコクレーン(株)は、この規制強化に適合する新型機として、エンジン排出ガス中の窒素酸化物(NO<sub>x</sub>)・非メタン炭化水素(NMHC)・粒子状物質(PM)を削減させた汎用クローラクレーンのフルモデルチェンジ機(図1)を開発上市した。環境性能を重視するコンセプトのもと、本開発機には環境負荷低減

を狙った省エネ機能・CO<sub>2</sub>排出削減機能を織込んでおり、従来機比で約30%の燃料消費量低減を達成した(建築用途の一般的建方クレーン作業の場合)。本稿ではその省エネ機能・CO<sub>2</sub>排出削減機能とその機能を達成した技術の概要を紹介する。

### 1. クローラクレーンの省エネ技術

従来のクローラクレーンは操作性や作動安定性が重視されており、省エネ性能はそれほど重視されていなかった。このため、コベルコクレーン(株)における従来のクローラクレーンに対する省エネ機能としては、無負荷時の動力消費を削減する仕組が組込まれていた程度であった。すなわち、油圧ポンプの回転トルクを  $T$  としたとき(式(1))、動力  $L$  は式(2)で表される。これらの式から、アクチュエータの操作レバーが中立時(アクチュエータが作動していない時＝無負荷時)に可変容量形油圧ポンプの容量  $q$  を最小化することによって、油圧システムの圧力損失を低減させてポンプ駆動圧を低減し、式(1)で示される油圧ポンプの回転トルク  $T$  を最小化することにより、無負荷時の動力消費を削減できることがわかる。

$$T = pq / 2\pi \dots\dots\dots (1)$$

$$L = 2\pi TN / 60000 \dots\dots\dots (2)$$

ここに、

- $T$  : 油圧ポンプの回転トルク (N・m)
- $p$  : 油圧ポンプの圧力 (MPa)
- $q$  : 油圧ポンプの容量 (cm<sup>3</sup>)
- $L$  : 油圧ポンプの動力 (kW)
- $N$  : 油圧ポンプの回転数 (min<sup>-1</sup>)

今回開発した新型クローラクレーンには、省エネ・CO<sub>2</sub>排出削減を目的とした以下の4つのシステムを新たに搭載した。



図1 新型クローラクレーン  
Fig. 1 New crawler crane

\*1 コベルコクレーン(株) 開発本部 要素開発部

- ①省エネモード
- ②高速ウィンチモード
- ③オートアイドルストップシステム
- ④油圧ポンプポジティブコントロールシステム

これら以外にも、エンジン単体での燃料消費特性の改善や油圧機器・配管の圧力損失低減などによる省エネを織り込んでいるが、本稿では上記4つの新システムについての詳細を紹介する。

## 2. 省エネモード

図2に今回開発した新型クローラクレーンに搭載した1種類のエンジンの燃料消費率特性を示す。一般的に、アクチュエータの最高速度はエンジン回転数が最高ときに得ることができる。しかしながら燃料消費率の面ではエンジン回転数が最高ときは良くなく、最大トルクが得られるエンジン回転数付近において燃料消費率が相対的に良いとされている。今回搭載したエンジンもその特性を示している。

そこで、エンジンの燃料消費効率が良好な領域において油圧ポンプを駆動させることを目的に、エンジンの最高回転数を制限する「省エネモード」(商品名「Gエンジン」)を新たに設定搭載することによって省エネを図った。

一方で、省エネモード選択時でもクレーン作業効率を悪化、すなわちウィンチの巻上げ/巻下げの最大速度を低下させることは避けたい。そのため、主アクチュエータ用油圧ポンプの容量を従来機よりも大きくするとともに、最大容量が2段階に切換可能な容量制御特性(図3)を持つ油圧ポンプを採用した。さらには、式(3)の関係となるように最大容量の切換えを設定しており、省エネモード選択時には最大容量  $q_1$  側に切換え、標準モード選

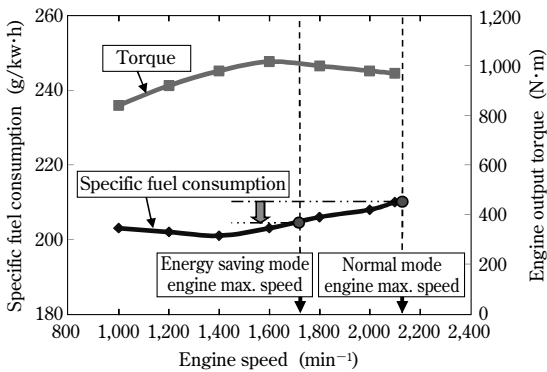


図2 エンジン燃料消費率特性  
Fig. 2 Specific fuel consumption of engine

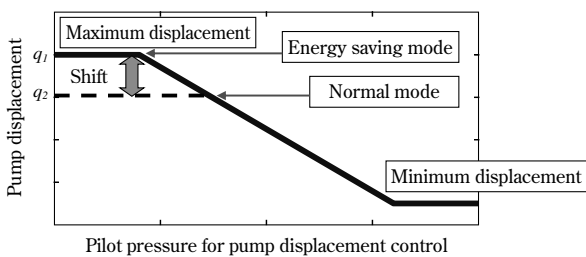


図3 最大容量2段階型ポンプ容量特性  
Fig. 3 Pump displacement characteristic of two max. position control type

択時の最大容量 ( $q_2$ ) でエンジン最高回転 ( $N_2$ ) 時に得られる油圧ポンプ吐出流量 (定格流量)  $Q$  と同じ吐出流量が省エネモード選択時の制限されたエンジン回転数  $N_1$  においても得られるようにしている (図4)。

$$q_1 N_1 = q_2 N_2 = Q \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 $q_1$ : 省エネモード時のポンプ最大容量 ( $\text{cm}^3$ )

$q_2$ : 標準モード時のポンプ最大容量 ( $\text{cm}^3$ )

$N_1$ : 省エネモード時のエンジン最大制限回転数 ( $\text{min}^{-1}$ )

$N_2$ : 標準モード時のエンジン最大制限回転数 ( $\text{min}^{-1}$ )

$Q$ : 油圧ポンプ定格流量 ( $\text{cm}^3/\text{min}$ )

クローラクレーンの油圧機器を駆動する代表的な油圧システムの模式図を図5に示す。今回は走行装置やウィンチ(主巻き、補巻き)を駆動する油圧ポンプを大容量化して省エネモードを設定したので、一般的なクレーン作業や連続走行時において、その省エネ効果が得られるようにしている。

省エネモードと標準モードを切換可能なシステムとして構成した。これは、エンジン最高回転数を制限することによってエンジン出力が低下するという短所があるためであり、エンジンのフル出力が必要なヘビーデューティ作業に対しては、エンジン出力を優先する標準モードをパワーモード扱いとして選択できるようにするためである。

省エネ効果の確認のため、建築用途の一般的建方クレーン作業を想定したエンジン平均負荷率20%時の燃料消費率を実機計測した。271kWのエンジンを搭載した機種

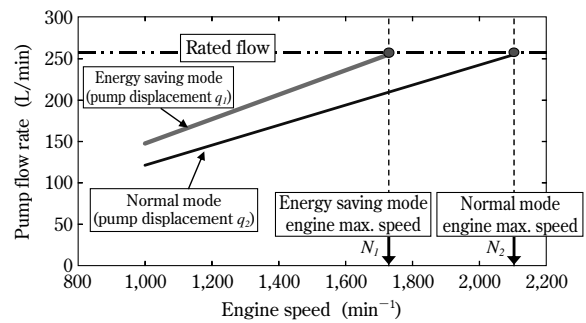


図4 省エネモード油圧ポンプ流量特性  
Fig. 4 Pump flow rate characteristic in energy saving mode

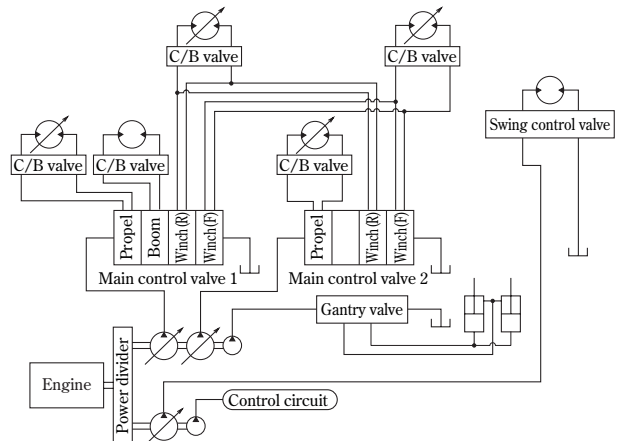


図5 クローラクレーン油圧システム図  
Fig. 5 Hydraulic system of crawler crane

においては、標準モードで35.7L/h、省エネモードで31.7L/hであり、省エネモードによる省エネ効果が約11%の燃費低減となっている。また、213kWのエンジンを搭載した機種においては、標準モードで32.5L/h、省エネモードで28.0L/hであり、省エネモードによる省エネ効果が約14%の燃費低減という結果が得られている。

### 3. 高速ウィンチモード

従来のクローラクレーンは、吊荷負荷が軽い場合でも、エンジンを最高回転数にセットしてウィンチを最大速度で作動させ、巻上げ／巻下げ時間を短縮していた。一方、巻下げ時の失速降下を防止するため、ウィンチ油圧回路にはカウンタバランス弁と呼ばれるバルブが装着される。このバルブは低圧の供給圧で開弁し、吊荷負荷に応じたブレーキ圧力を出口側に発生させることによって失速降下を防止するために設けたもので、小さな動力で供給流量に応じた動力速度での降下を可能とする機構である。

しかし、負荷変動の影響などから作動が不安定になり、巻下げ時にウィンチがハンチングしやすい。このため、実際にはバルブの開弁方向にダンピング性能が付与され、安定性を優先して応答性が犠牲にされているのが一般的である。この結果、カウンタバランス弁の開弁に時間がかかり、吊荷負荷が軽い場合でも出口側の流路が絞られてしまう。エンジンを最高回転数に設定してウィンチを最大速度で巻下げ駆動した時、出口側の流路に流れる油量が多いことから油圧モータへの供給入口にブースト圧力が発生する。このブースト圧力によって油圧ポンプが高圧で駆動（図6◆プロット）される結果、不要な動力を発生させて巻下げ時の燃料消費を悪化させていた。すなわち、「ハンチングさせない」という操作性能を確保するために無駄なエネルギーを消費させていたことになる。

「高速ウィンチモード」（商品名「G ウィンチ」）はこの点に着目したものであり、吊荷負荷が軽い場合は、エンジンが低回転であってもウィンチを最大速度と同等の速度で駆動（図7）できるようにする機能である。具体的には、図8に示すような特殊な中間容量特性が設定された3段容量切換形のウィンチ用油圧モータを採用し、エンジンが低回転で油圧ポンプ吐出流量が少なく、油圧モータへの供給流量が少ない場合であっても、油圧モータが高速回転可能な容量設定ができるようにした。通常時に

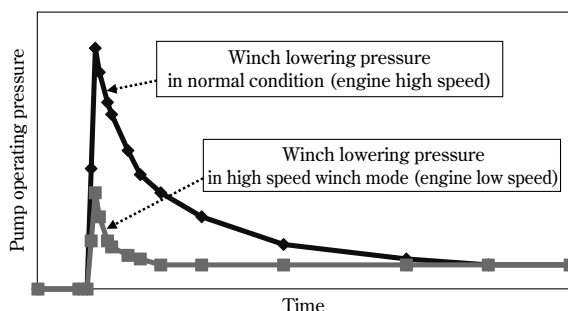


図6 巻下げ時の油圧ポンプ駆動圧力  
Fig. 6 Pump operating pressure in winch lowering

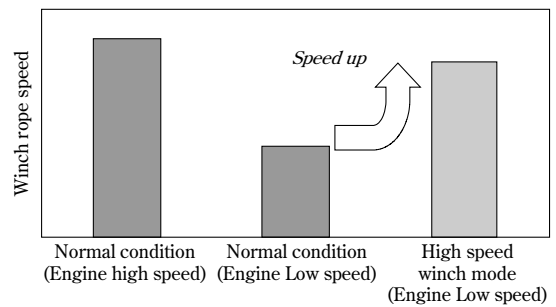


図7 高速ウィンチモードでのウィンチ速度  
Fig. 7 Winch speed in high speed winch mode

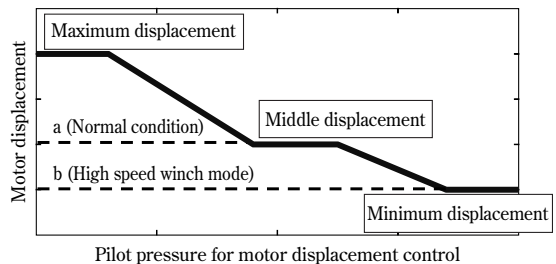


図8 3段容量切換型の油圧モータ容量特性  
Fig. 8 Motor displacement characteristic of three position displacement control type

は油圧モータの容量を中間の a 位置に設定してウィンチの最大速度が出るようにし、高速ウィンチモード時では最小容量の b 位置に設定してウィンチの最大速度が出るようにしている。

本油圧モータの採用により、吊荷負荷が軽い巻上げ／巻下げ操作時には、エンジンを最高回転数にセットすることなくエンジン低回転でもウィンチの最大速度が得られるようになる。また、エンジン低回転時には少ないポンプ吐出流量がカウンタバランス弁出口側の流路に流れるだけであり、油圧ポンプに作用するブースト圧力は低い。このため、油圧ポンプは低圧で駆動される（図6■プロット）とともに、エンジンは低回転のまま巻上げ／巻下げの高速作業ができる。さらに、前述の式(1)で示したように、油圧ポンプ駆動圧力の低減によって油圧ポンプの回転トルクが低下するため、相応の燃料消費が削減できる。

実機計測結果では、吊具（フック）のみの巻下げ時の瞬間燃費において、燃料消費を60～80%程度低減できることが確認できた。

### 4. オートアイドルストップシステム

サイクル荷役作業を除いた一般的なクレーン作業の場合、クレーン作業間の待機時間が長い。オートアイドルストップシステムは、クレーンが待機状態になったことをコンピュータが判断し、エンジンを自動的に停止させるものである。このシステムにより、待機中の不要な燃料消費や排出ガス（CO<sub>2</sub>）を削減させることができる。クレーン作業は安全に十分に配慮する必要があるため、安全条件を満たした待機状態にある場合にのみ、オートアイドルストップ開始のカウントダウンを運転室のモニタ上に表示する。その後、オペレータがキャンセル操作を行わないままカウントダウンが完了したとき

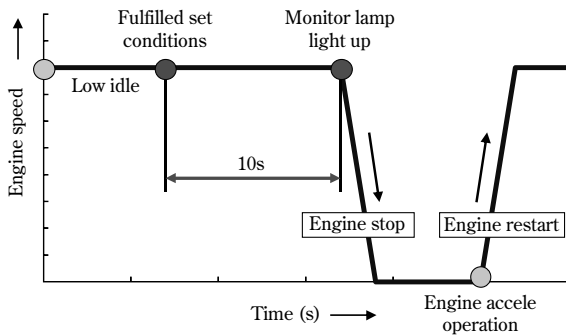


図9 オートアイドルストップシステム  
Fig. 9 Auto-idling-stop system

(ここでは10秒後とした), エンジンを自動停止させる。エンジンを再始動させたい場合はアクセル操作グリップを操作(回転)するだけで再始動できるようにしており、待機状態からの速やかな復帰を可能としている(図9)。

稼働機の一般的なクレーン作業を調査した結果、エンジンの全駆動時間における待機時間の割合は50~75%であることが多いことがわかっている。待機状態が75%の場合、その半分の37%をオートアイドルストップによってエンジン停止できたとして試算した結果(建築用途の一般的建方クレーン作業を想定し、作業中のエンジン平均負荷率を20%と仮定した場合)、最大で約15%の省エネ効果が期待できる。

## 5. 油圧ポンプポジティブコントロールシステム

1章で述べたように、従来のクローラクレーンはアクチュエータの操作レバーが中立時のみで可変容量形油圧ポンプの容量を最小化する省エネシステムが搭載されていた。このシステムでは、アクチュエータの操作レバーが操作されている時には、油圧ポンプが最大容量となっていた。また、アクチュエータの作動方向や速度制御用のコントロールバルブによって流量制御(加速や減速制御、微速制御)されている場合には、余剰流量によるエネルギーロスが発生していた。

今回、ポジティブコントロールシステム(図10)を導入し、可変容量形油圧ポンプの容量制御をさらに高度化

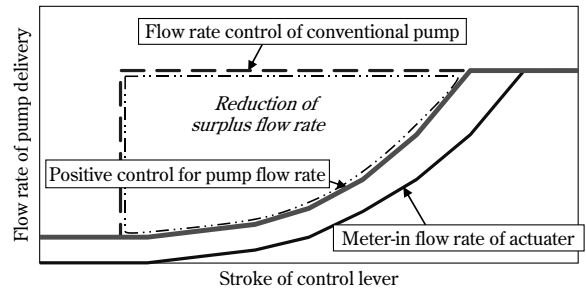


図10 油圧ポンプのポジティブコントロールシステム  
Fig.10 Pump delivery flow rate positive control system

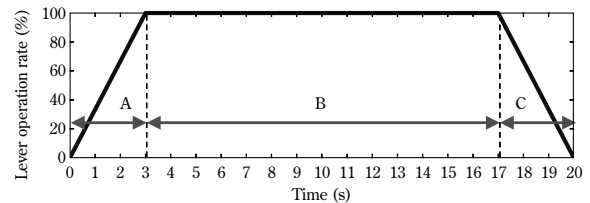


図11 ウィンチ巻上巻下の操作パターン  
Fig.11 Winch operation pattern

させた。これにより、操作レバーの操作量に応じたアクチュエータ供給必要流量に見合うだけの流量を油圧ポンプが吐出するように制御することができる。よって、作業操作には不必要な油圧ポンプ吐出流量の余剰分を最小化することができ、操作レバー操作による速度制御操作時のエネルギーロスを最小化できるようにした。

実機を用い、図11のようなウィンチ操作パターンでの燃費を計測することによってポジティブコントロールシステムの省エネ効果を確認した。その結果、区間Aと区間Cの速度制御操作領域で燃費低減効果を発揮し、この操作パターン(区間A+区間B+区間C)において約7%の燃費低減効果が得られた。

むすび=新型クローラクレーンに搭載した省エネ機能・CO<sub>2</sub>排出削減機能の概要を紹介した。今後とも、環境負荷低減に向けた要求はますます高まっていくと考えられる。社会に貢献するとともに、ユーザーズに応える製品をご提供するため、さらに進化させた環境負荷低減技術の開発に取り組んでいく所存である。