

(技術資料)

# 10型重機ショベルの省エネ技術

## Energy Saving System for Heavy-duty Hydraulic Excavator, Series-10



南條孝夫\*1  
Takao NANJO



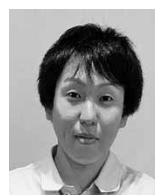
上田浩司\*1  
Koji UEDA



五頭直樹\*2  
Naoki GOTO



菅野直紀\*3 (博士(工学))  
Dr. Naoki SUGANO



前川智史\*3  
Satoshi MAEKAWA

KOBELCO CONSTRUCTION MACHINERY CO., LTD. has recently developed a heavy-duty hydraulic excavator, Series-10, with new functions (hydraulic power regeneration, variable power control, hydraulic relief cut control, etc.), in addition to energy saving characteristics, which has already gained popularity in conventional machines. A reduction in fuel consumption of 10% or more over the old model has been achieved.

まえがき = 近年の省エネルギー化の要求から建設機械においてもエネルギー効率の向上は重要な課題となっており、商品性をアピールする重要なポイントとなっている。コベルコ建機(株)では、2006年上市の8型重機ショベルの開発から本格的に燃費低減の取り組みを開始している。すなわち、油圧ショベルの実作業挙動解析技術<sup>1), 2)</sup>、およびこれを活用したエンジンHILS<sup>3)</sup>などの性能評価技術を利用して、詳細なエネルギー評価に基づく損失低減技術を開発し、商品への導入を進めてきた。

最新の10型重機ショベル(図1)では、これまでの油圧システム内の圧損低減やエンジン制御による燃費低減などの技術に加えて、油圧動力回生システムやポンプ動力の最適化によって、従来機に対して10%以上の燃費低減を実現した。そこで本稿では、省エネ・燃費低減機能とその最適化技術の概要を紹介する。



図1 10型重機ショベル  
Fig. 1 New hydraulic excavator Series-10

### 1. 省エネ技術の経緯

#### 1.1 油圧ショベルの動力活用状況

油圧ショベルの代表的な実働作業である90°旋回掘削作業における動力活用状況を図2に示す。動作は大きく四つに分けられ、①掘削動作、②持ち上げ旋回動作、③排土動作、④復帰動作となる。図中上段の曲線がポンプ投入動力であり、下段がアクチュエータであるシリンダ(ブーム、アーム、バケット)と旋回油圧モータの出力の合計である。アクチュエータ動力は、ブーム上げ動作時には、シリンダがアタッチメントを持ち上げる仕事をするためプラスの動力となる。逆にブーム下げ動作では、アタッチメントの位置エネルギーによって仕事をされるためマイナスの動力となる。図中の二つの曲線の差が油圧システム内での損失動力を示している。これらの損失には、バルブや配管による圧力損失、およびブーム下げの位置エネルギーや旋回停止時の制動エネルギー分も含まれる。ポンプ投入動力に対するアクチュエータ作動動力の平均比率は40%程度であり、この比率を高めることが省エネ化を図るうえでの目標となる。

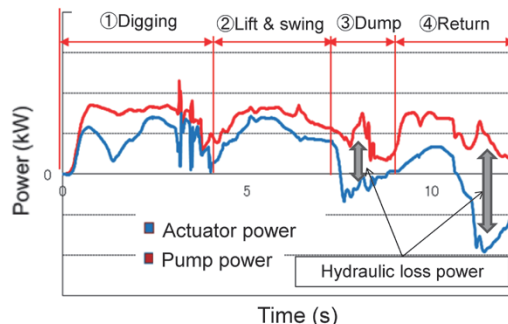


図2 掘削作業の動力活用  
Fig. 2 Power on digging work

\*1 コベルコ建機(株) グローバルエンジニアリング 開発本部 先行技術開発部 \*2 コベルコ建機(株) グローバルエンジニアリング 開発本部 要素開発部  
\*3 (株)神戸製鋼所 技術開発本部 機械研究所

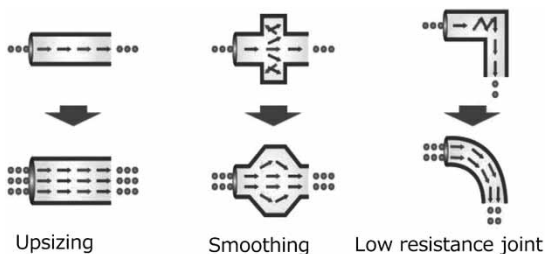


図3 油圧通路の圧損低減  
Fig. 3 Reduction of pressure drop in hydraulic line

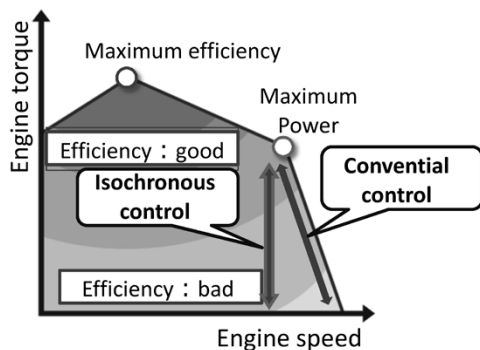


図4 エンジンアイソクロナス最適制御  
Fig. 4 Engine Isochronous optimum control

## 1.2 従来の燃費低減技術

従来機での省エネ対策においては、上記の動力活用状況の詳細な評価に基づき、損失寄与度が大きく、ショベルの作動に大きな影響を与えない油圧システムの圧損低減やエンジンの省エネに取り組んできた。主な省エネ技術は以下の四つの項目を対象に適用した。

- 1) 専用リターン配管の新設定
- 2) 省エネ新型バルブ（圧損低減）の開発
- 3) 圧力損失低減タイプ配管の新設計
- 4) エンジンのコモンレール電子制御と最適アイソクロナス制御の採用

圧力損失低減タイプ配管の例として、バルブや配管などの油圧通路での摩擦抵抗を抑えた配管設計や抵抗の最小化などの施策を図3に示す。油圧ショベルの実作動におけるバルブ内の流量、および圧損寄与度の大きい流路に優先的に対策を施すことによって不要な圧損低減を実現した。

エンジン制御では、コモンレール電子制御を採用し、図4に示すようなアイソクロナス制御（一定回転制御）とポンプ制御の最適な組み合わせた。これによってエンジンの燃焼効率が良い領域での稼働比率を上げることができ、動力源としての省エネ化を実現した。

これらの取り組みは、損失部位の特定とその損失を低減するための対策を施すというオーソドックスなものである。このため、さらなる省エネを実現するためには、同様な損失低減に加えて新たな観点での施策が必要になる。

## 2. 10型省エネ技術

10型ショベルに対する省エネ技術の開発においては、これまでの損失低減の取り組みに加えて、操作や作動状

況に応じたより細かな制御や油圧動力の回生などの新たな観点で取り組んだ。主要な開発アイテムは以下のとおりである。

- 1) ブーム下げ動力回生システム
- 2) ポンプ可変馬力制御
- 3) 旋回リリーフカット制御（速度フィードバック）
- 4) 高効率エンジンファン

以下の節では、これらのアイテムの概要を紹介する。

### 2.1 ブーム下げ動力回生システム

図2の動力活用状況で示したように、ポンプ動力とアクチュエータ動力の差として表される油圧損失のうち、動作④の復帰作業における油圧損失が大きいことが分かる。この損失は、アタッチメントをコントロールしながらブームを下げる動作において、位置エネルギーを油圧の損失として吸収するための動力が大きな割合を占めている。この油圧損失は従来、作動のためには必要なものと考えられていた。

10型の開発では、このブームの位置エネルギーを他のアクチュエータの駆動に利用する動力回生システムを開発した（図5）。対象作業は、図2の動作④における復帰作業時のブーム下げ、およびアーム押しの複合操作である。すなわち、ブーム下げ時のシリンダヘッド側のリターン油流量をアーム押しの駆動側（アームシリンダのロッド側）にリアルタイムに回生するシステム構成にした。ブームからアームへの回生油量を増加させるためには、ブームヘッドとアームロッドの圧力差を大きくとる必要がある。このため10型回路では、アームヘッド側のリターン側の圧損低減策として新たな油圧回路を設け、バルブをバイパスしてリターン油を作動油タンクに戻す回路構成とした。

また、ポンプ動力の低減策として、システム内の圧力検出などによってブームからアームへの回生流量を予測し、本来の指令ポンプ流量から回生流量を減じた流量をポンプから吐出する仕組みにした。これにより、回生流量がない場合の作動速度を維持しつつ、ポンプ流量低減による燃費低減が図られることになる。このシステム

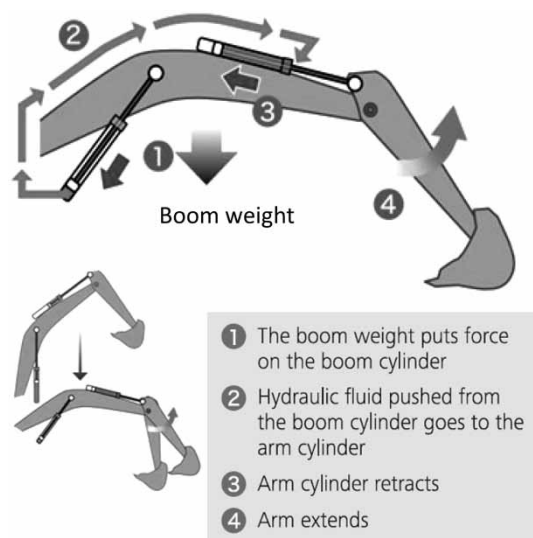


図5 ブーム下げ動力回生システム  
Fig. 5 Power regeneration system of boom down

は、回生流量制御のための電磁比例弁などの追加機器が必要となる。しかしながら、リアルタイムで油圧回生を行うため、いったんエネルギーをためて別のタイミングで使用するための機器は不要になることから、費用対効果に優れたシステムであるといえる。

## 2.2 ポンプ可変馬力制御

ポンプ流量制御では、レバー操作量に応じたポンプ吐出量の制御（ポジティブコントロール）、およびエンジン出力可能トルク内に馬力を抑えるためのポンプ馬力制御を基本とした制御を行っている。従来のポンプ馬力制御は基本的にはレバー操作に関係なく、馬力が閾（しきい）値を超えないようにポンプ圧力に応じてポンプ流量を抑制する制御である。しかしながら、アクチュエータごとに必要とされる馬力特性が異なるため、一律の馬力設定では必要以上に馬力投入することになる。したがって、従来の制御はシステム内での損失を増加させるだけであり、作業効率の向上につながらない。

そこで10型のポンプ制御では、図6に示すように、個々のアクチュエータのレバー操作に対して個別に馬力設定を行う方式を採用した。また複合操作の場合は、これらの個別の操作の馬力指令の最大値を馬力設定値とする制御にした。

図7は、可変馬力制御の有／無によるフルレバー操作時のシリンダ作動速度を比較したものである。フル馬力を投入しても急激な馬力投入によるエンジン回転数低下が起こる。このため、可変馬力によって馬力を落と

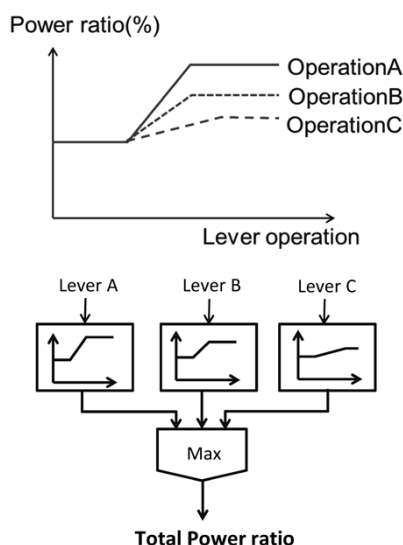


図6 レバー操作に対する可変馬力制御  
Fig. 6 Variable power control for lever operation

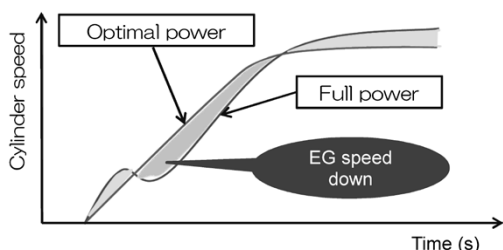


図7 可変馬力制御の有無による作動速度比較  
Fig. 7 Comparison of operating speed between with and without control

した制御と作業量は変わらない結果になる。図2に示した動作では、高馬力を必要とする①掘削および②持ち上げ旋回動作においては効果は小さいものの、③排土および④復帰の動作域においてはこの可変馬力制御による省エネ効果が大きい。

## 2.3 旋回リリーフカット制御（速度フィードバック）

旋回動作では大きな慣性体である上部旋回体を駆動するため、緩やかな加速になる。したがって、旋回起動時に投入したエネルギーの大半はリリーフ損失となってしまふ。旋回動作に必要なポンプ流量を削減するため、従来の制御ではポンプ圧力に応じて旋回駆動に必要な流量を推定し、ポンプ流量を抑える制御を採用していた。しかしながら、システムの安定性を確保するため、十分なリリーフ流量の削減ができなかった。

10型システムでは旋回ジャイロセンサを搭載し、旋回速度を検出することによってその時点で必要な旋回駆動流量を把握している。この速度検出に基づいたポンプ吐出流量制御を行うことによって、旋回起動時のリリーフ損失を最小限に抑えることを実現した。リリーフカット制御でのポンプ流量削減効果の概念図を図8に示す。旋回起動時に大幅な流量低減が図られていることが分かる。

## 2.4 高効率エンジンファン

油圧ショベルの動力活用状況を図2に示したが、燃費に影響する動力としては、ポンプの動力消費に加えて、エンジンに直結して駆動しているパイロットポンプ、お

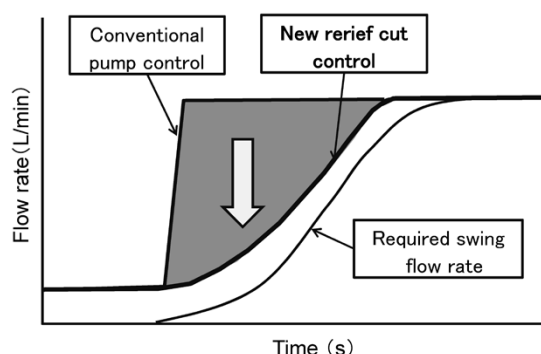


図8 旋回リリーフカット制御の効果  
Fig. 8 Effect of swing relief cut control

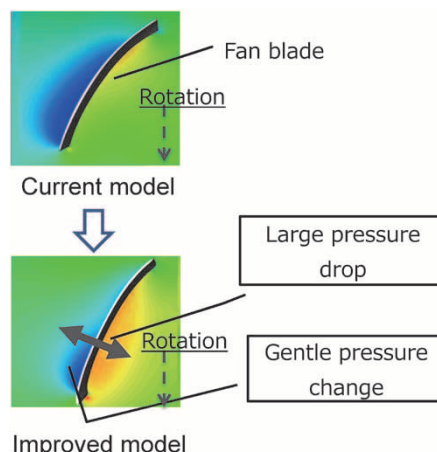


図9 CFD解析によるファン翼形状最適化  
Fig. 9 Blade shape optimization by CFD analysis



よびエンジンファンの動力消費が挙げられる。これらのエンジン直結機器の動力は、エンジンの回転が一定の場合ほぼ一定の動力消費となる。エンジンファンの消費動力は、重負荷作動中のエンジン出力の7%程度の動力を占めており、軽負荷作業ではその割合はさらに大きくなる。

10型システムでは、このエンジンファンの翼形状の最適化によるファン動力の低減を目的に、数値流体力学(Computational Fluid Dynamics, 以下CFDという)解析を試みた。図9にファン翼形状に対するCFD解析結果の一例を示す。翼端R形状やキャンバ角、翼厚などの形状などをパラメータとして解析・検討し、翼前後の圧力差の増加と翼外側の緩やかな圧力変化を実現するような形状を決定した。結果として、ファン風量をほぼ確保しつつ、ファン消費動力▲35%、騒音▲2~3dBの低減を実現し、一部の10型重機ショベルに搭載している。

### 3. 10型ショベルの省エネ性能評価

2章で紹介した省エネ技術を搭載した10型重機ショベルでの省エネ・燃費低減効果として、1章で示した90°旋回掘削作業における省エネ効果を検証した。

図10には、重機ショベルのクラスのうち、例として20tクラスのショベルにおける掘削作業性能評価結果を示す。上段が作業中の平均燃料消費量であり、下段が燃料あたりの土量で定義される生産性を示す。いずれの図も8型ショベルを100とした時の指数で表している。

一世代前の9型ショベルと比較して10%以上の燃費低減効果が実現できていることが分かる。同様に、生産性においても10%以上の性能向上が実証されており、「燃費のコベルコ」の評価に応えられる性能となっている。

また、その他の重機クラスの10型の機種についてもおむね上記で示したような省エネアイテムを搭載してお

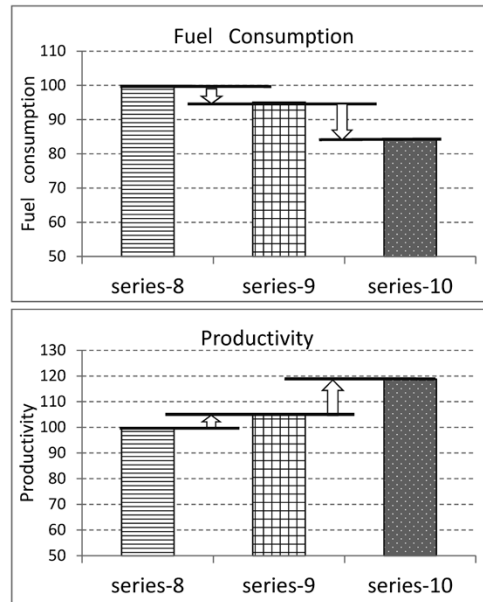


図10 SK200 (20t)の掘削作業性能  
Fig.10 Performance of SK200 (20t) for digging work

り、各クラスともに従来機に対しさらなる性能アップを実現している。

むすび=本稿では10型重機ショベルに搭載した省エネ技術の概要とその効果を紹介した。環境負荷低減に向けた社会の要求は今後も継続すると考えられることから、当社においては今後ともお客様のニーズに応えるためさらなる省エネ技術の開発に取り組んでいきたいと考えている。

#### 参考文献

- 1) 南條孝夫ほか. R&D神戸製鋼技報. Vol.57, No.1, p.48-51.
- 2) 今西悦二郎ほか. R&D神戸製鋼技報. Vol.62, No.1, p.32-36.
- 3) 大谷和弘ほか. R&D神戸製鋼技報. Vol.57, No.1, p.52-57.