

油圧ショベルの低燃費技術

油圧ショベルの低燃費化を追求する取り組み

長 堀 禎 之

大量の二酸化炭素を排出する建設機械において、低燃費化を推進することはコスト削減の効果だけでなく、地球温暖化の防止という観点において有効である。本稿では油圧ショベルにおける低燃費技術である、「圧力損失低減技術」「エンジンにおける燃費改善」「省エネ作業モード」「オートアイドルストップ機能」「ハイブリッドショベル」の開発について記述するものである。

キーワード：燃料消費量削減、低燃費、ハイブリッド、油圧ショベル、地球温暖化防止

1. はじめに

日本の高度成長期を支えてきた建設機械、とりわけ日本の建設機械需要の約半数を占める油圧ショベルにおいては、以前までは各社とも作業能力を重視した開発を行っており、掘削力の改善や作業スピードの改善を繰り返し行ってきた。しかし近年では、化石燃料の高騰や地球温暖化の原因となる二酸化炭素の排出削減が叫ばれるなか、軽油を燃料として使用する油圧ショベルにおいて、現場から低燃費化を求める声が多く挙げられるようになった。

それらの声に応えるべく、油圧ショベル専門メーカーとして油圧ショベルの低燃費化に取り組み、2006年にパリで開催された展示会に出展したハイブリッドショベルをはじめ、様々な低燃費油圧ショベルの開発を行ってきた。本稿では低燃費化を推進する技術開発について記述する。

2. 圧力損失低減技術

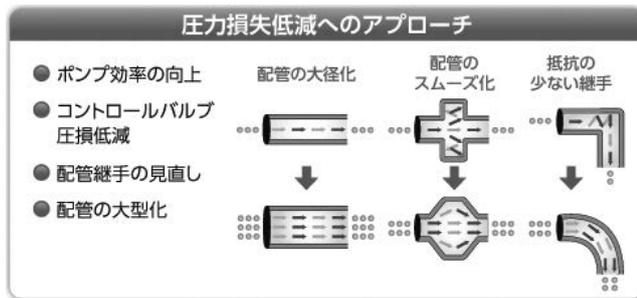
油圧ショベルの動力はポンプから供給される油圧エネルギーを各アクチュエータに送ることで作動するが、油圧ショベルの掘削作業時に生じる各アクチュエータに流入・流出する作動油の流れ、配管や配管継手を通る作動油の流れなどを高精度に解析し作動油がどの場所で損失をしているかを分析した。その結果に基づいて損失動力の大きな部位に対しては、損失を半減させることを目標とした。

各部位での油圧損失に寄与する度合いが高い個所の一つとして、コントロールバルブ内の圧力損失が挙げ

られる。前述の解析により、コントロールバルブの中に作動油が通過する際に動力損失を生じさせていることが判明した。そのためコントロールバルブの中を通る作動油をよりスムーズに流れるようにするために、コントロールバルブの中を通る作動油の内部通路を拡張することを検討した。しかしながら全ての通路を拡張するとバルブ全体が大きくなりすぎるため、油圧ショベルに搭載することが困難となった。そのため、圧力損失による動力損失をもっとも効果的な通路に着目し、通路拡大を図った。

また、同様に旋回用油圧システムのリリーフ弁に油圧損失を生じさせていたことが判明したため、ポンプ流量制御と組み合わせた旋回りリーフ制御を新たに考案した。従来の油圧ショベルにおける旋回用油圧システムでは、加速中に油圧ポンプからの供給流量を旋回用油圧モータへ流すとともに、リリーフ弁から無駄に捨てる流量があった。そこでリリーフ弁の特性に着目し、ポンプ圧力信号によってポンプ供給量を制限しながら、リリーフ弁から無駄に捨てていた流量を削減し、旋回に必要な圧力を確保する制御を考案した。それ以外にも油圧システムでは、ポンプ制御とコントロールバルブの制御を最適化したシステムを考案し、ポンプ供給流量の最適化を実現し、油圧システム全体での損失を大幅に低減した。

また、油圧配管や配管の継ぎ手の形状についても部品一点一点に油圧損失を軽減するための調整を施し、圧力損失軽減を積み重ねることで大幅な燃料消費量削減を実現した（図—1）。



図一 圧力損失低減の例

3. エンジンにおける燃費改善

燃料消費量削減のために各操作レバーの作業に応じた実作業時の負荷をリアルタイムにエンジンに負荷をかけるシミュレーションシステム HILS (Hardware In The Loop Simulation) (以下「本システム」という)を開発した(写真一)。本システムはレバー操作の動きに合わせて画面上にアニメーション表示することができ、実際にアタッチメントの動きに合わせて操作レバーを操作することが可能である。このシステムを導入したことにより、アタッチメントそれぞれの動きに合わせたエンジンの負荷を高精度で評価することが可能となった。この評価技術によって、各レバー操作に合わせて最適なエンジン制御・ポンプ制御を行う事が可能となった。



写真一 本システム

トラックメーカーから購入するエンジンは、元来トラック用にエンジンチューニングがなされており、油圧ショベルの様な作業負荷が目まぐるしく変移する作業環境に合わせたチューニングがなされていない。そのため、油圧ショベルに適したチューニングを別途行う必要があった。トラック用エンジンでは回転数の低い領域で燃料を効率よく使用できるようチューニングされているが、油圧ショベルが使用する回転数の領域では燃費特性が悪化する傾向にある。そこで本システムを活用し油圧ショベルに適したエンジン燃費特性を

分析し、エンジン制御・油圧ポンプ制御の最適化を行い、油圧ショベルが使用する高出力域での燃費を大幅に改善することができた。

4. 省エネ作業モード

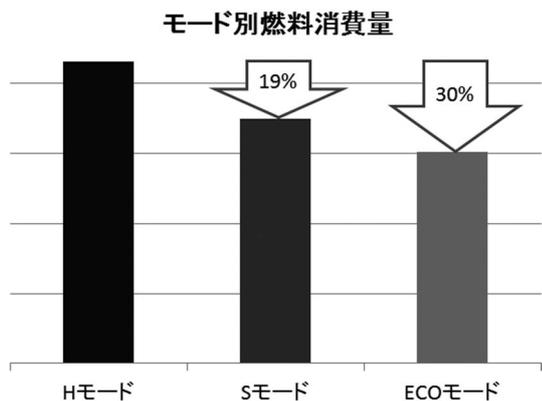
今日では現場での作業環境の多様化に伴い、作業スピードが求められる現場とそうでない現場がある。このことから現場の作業内容に応じてエンジンの回転数や油圧ポンプの制御を運転室内で切り替える事が可能な各種作業モードを設定した。作業スピードが求められる現場では、燃料消費量よりも作業量を重視する「Hモード」、作業スピードを問わない現場での使用に適している通常作業モード「Sモード」、燃料消費量の削減を最重視する「ECOモード」の3つの作業モードを設定しており、現場環境や作業内容に応じてそれぞれの作業モードを選択できるようにした(図二)。



図二 作業モード切替スイッチとアタッチメントモード切替スイッチ

「ECOモード」を使用した場合、「Hモード」と比較して約30% (20tクラス油圧ショベルの場合。当社計測値)の燃料消費量を削減することが可能となり、作業内容に応じて作業モードを切り替えて使用する事で大幅な燃料消費量削減が期待できる(図三)。

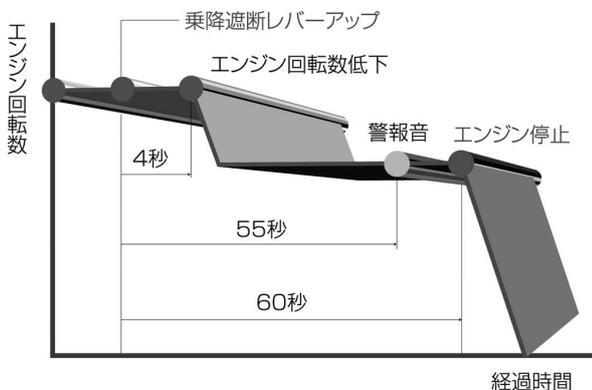
また、油圧ショベルはバケットでの掘削作業だけでなく、先端アタッチメントを付け替えて油圧ブレーカや圧碎機を使用する事が可能であるが、それぞれのアタッチメントを装着した際に油圧制御を最適化する先端アタッチメントのモード切替えも可能にしている。それぞれのアタッチメントに適した設定と作業量に応じた設定を切り替える事で、多様化する現場に最適な作業モードを設定することを可能とした。



図一3 20tクラス モード別燃料消費量比較

5. オートアイドルストップ機能

現場において油圧ショベルのエンジンがオンになっている状態が無稼働（アイドリング）状態になっている割合は全体の作業の約25%（当社調べ）にものぼる。このアイドリング中の無駄になっているエネルギーに着目し、油圧ショベルの稼働時においてアイドリング中の燃料消費を削減することを目的として開発したのが、オートアイドルストップ（AIS）である（図一4）。



図一4 AIS 作動の仕組み

AISはキャブ内の乗降遮断レバーが上がった後60秒後（任意で作動時間は変更可能）に自動的にエンジンを停止し、アイドリング中の無駄な燃料消費を抑えることができる。実地調査においては、最大で20%の燃料消費量削減が可能となっており、ベースマシンの低燃費化と合わせることで更なる低燃費作業を実施することが可能となっている。

なお、AIS機能は7tクラス以上の油圧ショベルに全て標準装備となっており、その燃料消費量の低減効果が認められ、AIS機能は国土交通省新技術情報提供システムNETISに登録されている（登録番号：KK-100065-V）。

6. ハイブリッドショベル

油圧の圧損低減や低燃費エンジンの搭載による燃料消費量削減の追求と同時に、1999年秋に独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）からの受託研究としてハイブリッドショベルの基礎技術開発に着手した。そこから7年後の2006年春、フランス・パリで開かれた国際土木建設機械見本市intermat2006にて、世界初のハイブリッドショベルSK70Hを披露し、その後2009年秋より量産化モデルであるSK80H-2（以下「8tクラスハイブリッドショベル」という）を発売開始した（写真一2）。



写真一2 8tクラスハイブリッドショベル

8tクラスハイブリッドショベルでは、エンジンとバッテリーに蓄えた電力で動作する電動モータによって作動するハイブリッドシステムを採用した。バッテリーはニッケル水素バッテリーを採用しており、電力によるエンジンアシストを持続させることが可能である。このニッケル水素バッテリーの採用によりエンジンを小型化することが可能になった。従来機では41kWのエンジンを搭載していたが、8tクラスハイブリッドショベルは27kWのエンジンを搭載している。エンジン出力としては3分の2程度のエンジン出力となっているが、モータでのアシストにより作業負荷が高く、大きい出力が必要な場合でもパワー不足に陥ることなく作業が可能である。

バッテリーへの蓄電はアイドリング中や作業負荷が低い時のエンジン出力によって蓄電を行う。油圧ショベルは作業負荷が目まぐるしく変移するため、負荷が低い時や無負荷時のエンジンは余剰なエネルギーとして無駄になっていたが、8tクラスハイブリッドショベルではそのエネルギーをバッテリーに蓄電し、負荷が高い時に動力として使用する事ができる。

また、旋回モータを電動モータに変更しており、旋回ブレーキ時に発生する回生エネルギーを電気としてバッテリーに蓄電することも可能とした。

バッテリーを使用する事でエンジン出力を平準化することが可能となり、小型エンジンを搭載することが可能となった。このことで燃料消費量は計測の結果従来機と比べて40%の燃料消費量削減を実現した。また、小型エンジンの搭載によりエンジン騒音の低減も可能となり、音響パワーレベルでは91 dB (A)と1.5tクラスのミニショベル並の低騒音性能を実現した。

この圧倒的な燃料消費量削減効果により、8tクラスハイブリッドショベルは平成22年度地球温暖化防止活動環境大臣表彰を受賞している。

先行して販売を開始した8tクラスハイブリッドショベルは8tクラスの油圧ショベルであるため、最も需要の多い20tクラスの油圧ショベルにおけるハイブリッド化が期待されるようになった。そこで当社は2012年4月よりSK200H-9（以下「20tクラスハイブリッドショベル」という）を販売開始した（写真一3）。

20tクラスハイブリッドショベルは8tクラスハイブリッドショベルと異なり、蓄電装置にキャパシタを



写真一3 20tクラスハイブリッドショベル

採用した。キャパシタはバッテリーと比べて蓄電と放電が早く、大きなアシスト力を得ることが可能である。20tクラスのような大きな力が必要な機械において、短時間ではあるが大きなアシスト力を得ることができるキャパシタを用いてエンジンのアシストを行う事で燃料消費量を低減することを目的としている。

キャパシタへの蓄電は20tクラスハイブリッドショベルで初めて採用した旋回電油モータによって、旋回ブレーキ時に発生する回生エネルギーを電気としてキャパシタに蓄電する。またエンジンのエネルギーの一部を電気エネルギーとして蓄電に使用する。

これにより、燃料消費量の削減効果は、従来機と比べて27%の燃料消費量削減（20tクラス油圧ショベルSK200-8と比較して。当社計測値）を可能とした。燃料消費量を大きく削減することが可能な20tクラスハイブリッドショベルは「ハイブリッド機能付バックホウ」としてNETISに登録されている（登録番号：TH-120029-A）。

7. おわりに

現場での作業に支障をきたすことなく、燃料消費量削減を可能とする技術を開発し続けてきた。今後も二酸化炭素排出量削減による地球環境への取り組みと現場での燃料コスト削減を実現する低燃費技術を追求していく所存である。

JICMA

【筆者紹介】

長堀 禎之（ながほり さだゆき）

コベルコ建機(株)

営業促進部 ショベルマーケティンググループ

