

# 6 トンクラス油圧ショベルの 省エネルギー効果評価モード

小見山 昌之・絹川 秀樹・田中 恒次郎

平成9年12月のCOP3における地球温暖化効果ガスの削減目標の国際合意を受けて、各業界で省エネルギー化へ向けた取組みが加速してきている。エンジン駆動される車輛系のうちで建設機械（油圧ショベル、クレーン等）は、近年では国内で年間9万台出荷され、現在の国内稼働台数は約70万台に達していると言われている。これは、自動車、トラックに次ぐ台数であり、地球温暖化に対する影響は少なくない。特に、ショベル系は約45万台と多く、省エネルギー化によるCO<sub>2</sub>排出量削減効果は大きい。

そこで、6トンクラス油圧ショベルを研究対象として、ハイブリッドシステムを採用した油圧ショベルを研究開発中であるが、その省エネルギー効果の評価するための負荷条件を稼働現場の分析から、標準負荷モードとして策定したので報告する。

キーワード：油圧ショベル、ショベル負荷モード、省エネルギー、燃料消費量、ハイブリッド

## 1. はじめに

人類と生態系の存続そのものに深刻な影響を及ぼすと言われる地球温暖化問題に対し、平成9年12月の京都会議（COP3）において温室効果ガス（ほとんどがCO<sub>2</sub>）を1990年比で6%削減するという法的拘束力のある具体的な数値目標が示された。

この京都議定書は採択から4年を経た現在もおお発効されてはいないが、各業界でのCO<sub>2</sub>排出量削減へ向けた取組みは確実に加速している。例えば、国内のCO<sub>2</sub>総排出量（平成10年時点で12億トン）の約2割程度を占めると言われる自動車業界では、平成9年にハイブリッド自動車が世界で初めて実用化され、その後も各社から多種多様なシステムを搭載した低燃費・低公害車が世の中に送り出されているが、現在もさらなる省エネルギー化を目指した研究開発が進められている。

一方、エンジン駆動される車輛系のうちで建設機械（油圧ショベル、クレーン等）は、自動車、トラックに次ぐ保有台数であり、現在の稼働台数は70万台に達していると言われている。特に、油圧ショベル（ミニショベルを含む）は約45万台が稼働しており、その年間CO<sub>2</sub>排出量は約720万ト

ンと推定されることから省エネルギー化による削減効果が最も望める部分である。

このような背景から、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）より「ハイブリッド建設機械の研究開発」の研究委託を受けて、6トンクラスの油圧ショベルを対象とした、ハイブリッドシステムの油圧ショベルを研究開発中であるが、その省エネルギー効果の評価するための油圧ショベルの負荷条件を策定したので報告する。

## 2. 油圧ショベルの稼働調査と負荷モード

燃料消費量削減効果を検証するためには、同じ負荷条件において現行機とハイブリッド建設機械を稼働させ、その時の燃料消費量を比較する必要がある。また、ハイブリッド建設機械を構成する機器仕様、システム及び、最適な制御方法については、その負荷条件によって決定する必要がある。

しかしながら、建設機械、特に油圧ショベルは、その汎用性からさまざまな現場、用途で使用されており、車格の差とともに、稼働率、負荷率も大きく左右されるため、例えば、自動車における10・15モードのように一つの共通モードで、ある程度の精度範囲を保ちながら、すべてを評価でき

るモードの策定は難しく、実際の機械の使われ方をベースとする、公的に認められた燃料消費量評価基準は無い。

そこで、研究対象である6トンクラスの油圧ショベルについて実稼働現場における作業分析を行った結果から、燃料消費量を評価する標準負荷モードを策定したので、そのアプローチの方法及び、得られた結果について述べる。

## (1) 6トン油圧ショベルの稼働現場調査

### (a) 調査対象工事

調査対象工事としては下水管枝間工事を選択した。この根拠は、6トンクラスの油圧ショベルが主に稼働する都市土木の代表的な工事の中で、下水管枝管工事は負荷率の異なるさまざまな油圧ショベル作業が組合わされて行われており、しかも1日で工事が完結するために平均化が比較的容易であるとの考えからである。

### (b) 稼働現場調査方法

工事開始から終了までの油圧ショベルの稼働状況について、タイムスタディ（ショベル作業パターンとその作業時間の記録）を行った。ショベル作業パターンの区分は、

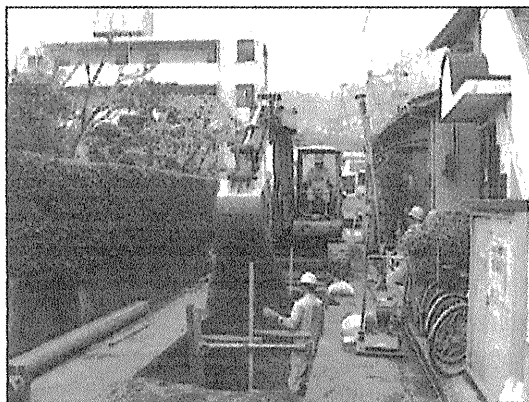
- ・掘削、
- ・積降し、
- ・均し、
- ・吊り、
- ・矢板、
- ・走行、
- ・アイドリング、
- ・停止、

の8パターンとした。また作業の目的、機械の動かし方（サイクルタイム等）を判断するためにビデオ撮影を行った。

### (c) 稼働現場調査

研究対象である6トンクラス油圧ショベルが稼働する10現場において、約60時間の稼働現場調査を実施した。

工事の内訳は、下水管枝管工事が8現場、下水管幹管工事が1現場、道路工事が1現場であった。いずれも1車線道路幅内での工事で、機動性、掘削性能の面で6トンクラス油圧ショベルに適していると言える現場であった。稼働状況の一例を



図一1 稼働現場の状況（積降し作業）

図一1に示す。

工事や調査の都合に半日しか調査ができなかった現場もあり、また、現場によって工事工程が完全に一致しないことから、単純に作業時間比率を計算することはできない。例えば、調査した時間帯が偶然停止時間帯が多かった、などの偏りがあるためである。そこでこの偏りを修正するために、全現場のデータから平均的な一連の工事工程を推定し、その工程ごとに作業パターンのアレージングを行い、確度の高い作業比率を導き出すというアプローチを行った。以降に調査結果について述べる。

## (2) 下水管枝管工事における工事工程

稼働現場調査の結果から下水管枝管工事で行われる工事工程を分析したところ、

- ・段取り、
- ・舗装剥取り、
- ・掘削積込み、
- ・土留め取付け、
- ・床付け、
- ・下水管配置、
- ・土留め取外し、
- ・埋戻し、
- ・面出し、
- ・舗装、
- ・後片付け、

の11工程に分類できた。

下水管枝管工事は家屋に隣接した一般道路の工事であり、周囲の住民への配慮から、基本的に上記11工程を1日（基本的に9:00~16:00）で完

結させる。下水管の埋設深さ、土質の固さ、ショベル旋回半径内の障害物の状況などの工事環境により、必ずしも全工事内容が同一ではなく、所要時間にもばらつきはあったが、一連の工事の流れとして時間比によるアベレージングを行った。

図-2に下水管枝管工事における工事工程時間比率の分析結果を示す。なお、1日の工事時間は午前中3時間、午後3時間の計6時間で、間に昼休みを1時間挟むものとした。

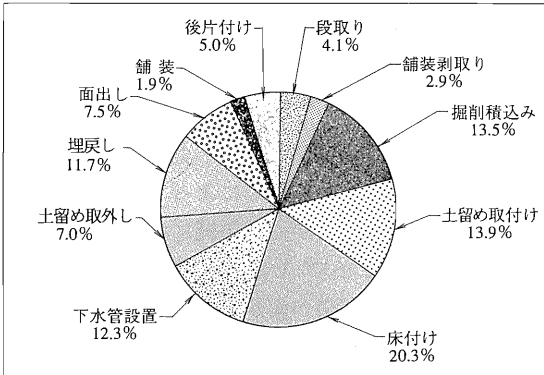


図-2 下水管枝管工事における工事工程時間比率

(3) 下水管工事におけるショベル作業パターン

各工事工程において、ショベル作業パターン(掘削作業、積降し作業等)ごとに現場で実際に行われていた作業時間を集計し、作業パターンの時間比率を算出した。

集計結果より工事工程ごとのショベル作業パターンの時間比率をまとめたものを表-1に示す。アイドリングを含む機械の稼働率は77%で、

表-1 工事工程ごとのショベル作業パターンの時間比率

工事工程	ショベル作業 (s)							
	掘削	積降し	均し	吊り	矢板	走行	アイドリング	停止
段取り				114		146	125	499
舗装剥取り	502			10		16	92	
掘削積込み	1,917		14	191		20	702	72
土留め取付け	1,071		204	453	621	26	608	11
床付け	431	275	1,071	266		55	1,081	1,212
下水管設置		30	176	398		47	741	1,269
土留め取外し				365	871	53	99	118
埋戻し		864	93	135		88	687	664
面出し		254	224	213		105	698	125
舗装		185				15	26	178
後片付け				17		57	163	840
計	3,921	1,608	1,781	2,161	1,492	627	5,021	4,987
時間比率 (%)	18	8	8	10	7	3	23	23

アイドリングの23%と停止の23%を合わせると46%が機械として稼働していない。

この稼働率の低さの原因は、6トンクラスの油圧ショベルがメインとなって行われる今回のような小さな現場では、ショベルオペレータが工事現場監督や指示者を兼ねていることにある。つまり、停止時間とは機械から降りての工事指示、アイドリング時間とは機械上からの工事指示を行うための時間となっていることが多い。この点は、中・大型ショベルやクレーンなどとは大きく異なるものと思われる。

油圧ショベル本来の作業(掘削機としての)である掘削積込みは18%にすぎず、また、走行も3%と予想以上に低頻度であったのに対し、吊り作業関連が高い比率を占めている。

(4) 標準負荷モードの策定

各作業パターンにおける操作明細(アタッチメントの動かし方)とサイクルタイムを稼働現場調査のタイムスタディ、現場ビデオ撮影及び、実験再現テストの分析結果から策定した。

(a) 掘削積込み作業パターン

タイムスタディとビデオ分析より実作業における平均サイクルタイムを算出した結果から、サイクルタイムを45秒と設定した。周りに障害物のない単純連続掘削に比べるとかなり遅いのはオペレータが常に周囲(人と物)の安全を確かめながら運転しているためである。また、掘削操作において、地面を掘り起こすのに1サイクル内で複数回掘削していることも時間がかかる要因である。

(b) 積降し作業パターン

掘削積込み作業と同様に、タイムスタディとビデオ分析より実作業における平均サイクルタイムを算出した結果から、サイクルタイムを35秒と設定した。

ダンプトラックにバケットが当たらないように、また、効率よくダンプトラックに土砂を積込むように配慮して排土操作を行っていることが時間がかかる要因である。

(c) 均し作業パターン

均し作業には

- すき取り、

- ・水平引き,
- ・旋回均し,
- ・土羽打ち,
- ・押付け均し,

といった数種類の操作パターンが組合わさって行われているため、タイムスタディやビデオ分析では判別できない。このため、実機による再現テストにて個々の作業を行い、サイクルタイムを設定した。ただし、作業時間比率はすべて等しいとした。

(d) 吊り作業パターン

吊り作業は最も安全に配慮して作業が行われている。油圧ショベルのオペレータは機械の運転手である前に、現場の安全管理者・工事監督であり、機械の上下からの工事指示が極めて多く、工事指示に伴うアイドリング頻度が多いため、作業の切替わりの判別が困難であった。このためサイクリングはタイムスタディより平均時間を算出して設定したが、その作業内訳は、実機による再現テストの結果から設定した。

(e) 矢板作業パターン

サイクルタイムはタイムスタディより平均時間を算出して設定し、実機による再現テストにより1サイクル内の作業内訳を決定した。

(f) 走行作業パターン

走行作業は、工事の最初と最後の機械置き場と現場間の比較的長い時間の移動と、工事中に頻繁に行われる短い機械位置修正の2タイプに大別される。両タイプとも周囲への安全配慮から最高速度では運転されておらず、観測者がゆっくり歩いても機械を追抜く程度のものであり、走行速度は最高速度の1/2速度と設定した。

(g) アイドリング作業パターン

サイクルタイムはタイムスタディより平均時間を算出して設定した。最近の機械では一般的な機能であるオートアクセル機能を反映して、サイクルタイムの最初の4秒間はハイアイドル回転、その後はデセル回転という時間比率とした。

(h) 標準負荷モード

(a)~(g)の8つの作業パターンを整理した燃料消費量評価用標準負荷モードを表-2に示す。

表-2 燃料消費量評価用標準負荷モード

モード番号	作業パターン		操作パターン		
	作業	時間比(%)	操作	サイクルタイム(s)	操作概略
1	掘削積込み	18	掘削	20	深さ1m, 2回掘り 最小旋回半径, 角度180° 4tダンプへ積込み 最小旋回半径, 角度180°
			掘上げ旋回	10	
			排土	5	
			排土下げ旋回	10	
			計	45	
2	積降し	8	積込み	8	4tダンプから積込み 最小旋回半径, 角度180° 地下1m, ばら撒き排土 最小旋回半径, 角度180°
			下げ旋回	10	
			排土	7	
			排土上げ旋回	10	
			計	35	
3	均し	8	すき取り	10	地表フルリーチ 地表フルリーチ 90°旋回往復 高さ1mから5回 地表フルリーチ
			水平引き	10	
			旋回均し	10	
			土羽打ち	10	
			押付け均し	10	
			計	50	
4	吊り	10	ブーム上げ	8	中間リーチ, 高さ2m 中間リーチ, 角度90° 姿勢調整 200kg, 高さ1m 中間リーチ, 角度90° 姿勢調整
			旋回	10	
			荷合せ	7	
			ワイヤ掛け	5	
			吊上げ	10	
			旋回	15	
			荷降し	10	
			設置	10	
ワイヤ外し	5				
			計	80	
5	矢板	7	吊上げ	8	中間リーチ, 高さ1m 中間リーチ, 角度90° 地下2m 姿勢調整 垂直50cm 中間リーチ, 角度90° 中間リーチ, 高さ1m 中間リーチ, 角度90° 中間リーチ, 角度90°
			旋回	6	
			降し	10	
			調整	5	
			押し込み	5	
			旋回	10	
			抜取り	10	
			旋回	6	
降し	8				
旋回	6				
			計	75	
6	走行	3			
7	アイドリング	23	ハイアイドル	4	
			デセル	116	
			計	120	
8	停止合計	23			
		100			

3. 標準負荷モードにおける実機試験

標準負荷モードに従った運転を当社6トンクラ

表-3 6 トンクラス油圧ショベルにおける標準負荷モード時の燃料消費量

モード 番 号	作業パターン		エンジン				アクチュエータ	
	作 業	時間比 (%)	燃 費 (kg/h)	燃費負荷率 (%)	出 力 (kW)	出力負荷率 (%)	消費動力 (kW)	効 率 (%)
1	掘削 積込み	18	5.89	66.6	23.9	59.6	4.5	18.8
2	積 降 し	8	5.19	58.7	20.1	50.0	1.5	7.7
3	均 し	8	6.39	72.2	26.5	65.8	3.4	12.8
4	吊 り	10	4.68	52.9	16.9	42.0	0.6	3.3
5	矢 板	7	5.00	56.6	18.8	46.8	0.6	3.0
6	走 行	3	6.79	76.8	28.5	70.9	2.0	6.9
7	アイドリング	23	0.98	11.1	2.4	5.8	0.0	0.0
8	停 止	23	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	-
合 計		100	3.23	36.6	12.4	30.9	1.4	10.9
除 く	停 止		4.20	47.5	16.1	40.2	1.8	10.9
	停止&アイドリング		5.57	63.0	22.0	54.8	2.5	11.4

注：(1) エンジン定格出力セット：40.2 kW  
(2) 定格点検燃料消費量：8.8 kg/h

ス油圧ショベルで再現させ、各部の動力消費量の計測を行い、現行機の燃料消費量を把握した。

表-3 に標準負荷モードにおける燃費をまとめる。

標準負荷モードにおける燃料消費量は3.23 kg/h、停止を除く機械稼働時間での燃料消費量でも4.20 kg/hであった。参考までに連続掘削作業時の燃料消費量も計測したが、この値(7.67 kg/h)と比較すると、かなり低負荷であることが分かる。これには、停止、アイドリングの時間比率が高いのが大きく影響している。例えば、アイドリングストップが完全に実施できるとすれば、それだけで7%の省エネルギーが可能となる。

また、個々の作業パターンを比較すると、外部に対するアクチュエータ仕事の違いの割には、燃料消費量の差は小さい。つまり、吊り、矢板作業等の軽負荷作業時には、システム効率が低下するため、エンジン入力として必要とされる燃料はそれほど少なくならないということである。このような軽負荷作業については、システム効率の改善による燃料消費量削減効果が大きいと考える。

なお、各テストでのエンジン出力は、ベンチ性能テスト結果から得られた出力と燃料消費量の実験回帰式を使って推定し、更に、計測時の気象条件による修正係数を反映した。燃料消費量の単位としては、L/h が一般的であるが、燃料温度による補正を排除するため、kg/h を用いた。

#### 4. 標準負荷モードの評価

今回策定した標準負荷モードの妥当性を確認するために、社団法人日本建設機械化協会で検討されている方案(2001年12月現在)におけるモード燃費を試算してみた。模擬掘削、均し作業については、当方で開発したシミュレーションモデルを用いて燃費算出を行い、走行、アイドリングについては実機計測結果より求めた。

試算結果と表-3の標準負荷モード時の燃費と比較すると、個々の作業パターンにおける燃費には大きな違いは出ないが、モード全体での燃費としては停止時間を除く稼働時間ベースで標準負荷モードのほうが2割程低めとなった。

これは、標準負荷モードでは、アイドリング時間の比率が高いこと、吊り作業、矢板作業などの軽作業が含まれていることによるものであり、アイドリング時間を同じ比率にすると、その差は5%程度に縮まる。

この燃費の差は、両者のモード策定に対する考え方の違いと言える。つまり、社団法人日本建設機械化協会の方案は車格・稼働現場に差をつけずに油圧ショベル全体を評価できるようにしたものであるのに対し、標準負荷モードは6トンクラス油圧ショベルの管工事に限定して策定しているということが、社団法人日本建設機械化協会の方案と標準負荷モードとの差となって表れてきていると思われる。

排ガス計測モード (ISO 8178 C1 モード) と

標準負荷モードとの比較も行ったが、これについても、アイドリングの時間比率の違いから、2割弱低めという同様の結果となった。

今回の標準負荷モードは、6トン油圧ショベルの燃料消費量削減効果をより正確に評価するため、また、機器仕様、システムの決定のために策定したもので、油圧ショベル全体に適用できるものではないが、研究開発の成果を評価するツールとして活用していく方針である。

## 5. おわりに

現行機種における低負荷時の効率悪化は、

- ① 複合操作時の油圧分配に伴うメータイン損失、
- ② インチング操作域でのブリードオフ損失等の操作性向上の代償として発生する油圧システム損失、

等に起因するものである。

標準負荷モードでは、この領域での作動が多くを占めていることから、著者らが研究開発を行っているハイブリッドシステムの搭載により大幅な効率改善が実現できるのではないかと期待している。

また、今回のアプローチでは現場実情に合わせた再現性を最優先とし、燃料消費量削減効果の絶対評価を目的としたため、多少、細分化しすぎた

感がある。汎用的な評価モードとして使用するには、さらに統合・模擬化された簡略なパターンにするべきであり、この点についても今後検討していく必要がある。

最後に、この研究開発の機会を与えて頂きました新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)環境調和型技術開発室及び、稼働現場調査に御協力頂きました工事関係者の皆様に感謝申し上げます。

J C M A

### 【筆者紹介】

小見山 昌之(こみやま まさゆき)  
コベルコ建機株式会社  
企画管理部  
プロジェクトグループ



絹川 秀樹(きぬがわ ひでき)  
コベルコ建機株式会社  
企画管理部  
商品企画グループ  
マネージャー



田中 恒次郎(たなか こうじろう)  
コベルコ建機株式会社  
生産本部  
技術部



# 建設機械図鑑

本書は、日本建設機械要覧のダイジェスト版として、写真・図版を主体に最近の建設機械をわかりやすく解説したものです。建設事業に携わる方々、建設施工法を学ばれる方々そして一般の方々で、建設事業に関心のある方々のための参考書です。

A4判 102頁 オールカラー 本体価格2,500円 送料600円

社団法人 日本建設機械化協会

〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8(機械振興会館) Tel.03-3433-1501 Fax.03-3432-0289