

ホイールローダ作業における省燃費運転

山本 茂太

建設工事において、主に積込機として広く活用されるホイールローダには、燃料消費を低減し作業効率を最大化する様々な機構が装備されている。特に掘削積込作業について、これら機能の詳細とその効果を十分に発揮する最適な作業方法を紹介する。

キーワード：ホイールローダ, 省燃費運転, インペラクラッチトルクコンバータ, スロットルロック, フェューエルマネジメントシステム

1. はじめに

ホイールローダは、建設工事においては主に運搬機への積込作業に適用されている。大型のバケットを装備し、短時間に大量の土砂を処理することが可能なことから、大規模な造成工事やダム建設工事といった明かり工事の他、トンネル坑内にも投入されてきた。作業機であるバケットの容積が大きく、時間当たり作業量が大きいため、運搬機には大型の重ダンプが組み合わせられる例が多い。

建設工事以外のアプリケーションでは、砕石プラントにおける製品積み込みや、更に大型のバケットを装着して比重の小さい穀物や石炭などの積み込み、専用アタッチメントを装着した積雪地域での除雪や、木材積み込みなど幅広い用途で使用されている（図—1）。



図—1 ホイールローダのアプリケーションの例

走行用タイヤを装着しており機動性に優れているので、短距離の運搬も同時に行なう「ロードアンドキャリア」といった用途にも活用される。切羽から原石投入ホッパまでの距離が近い鉱山現場で多く見られる。

しかし、近年の建設工事現場では、ホイールローダに代わって油圧ショベルが積込機の主流となってきた。油圧ショベルには自重を活かした強い掘削力

と、豊富なアタッチメントを装着可能な汎用性において優位である（表—1）。地山に対する掘削力で劣るホイールローダには、補助作業としてブルドーザによる起砕と原石の集積が不可欠となるが、油圧ショベルはこれらの作業をほぼ単独で行なうことも出来る。こうした特性が、稼働台数を減らして効率化したいという現場のニーズに合致したものと考えられる。しかし、Caterpillar社の調査結果によると、同じエンジンを搭載する機種では、車輛単体での時間当たり燃料消費量においてはホイールローダが約25%優位である（表—2）。ホイールローダのエンジンに対する負荷が小さいことがうかがえる。また、バケット容量が油圧ショベルの2倍の大きさであることから、燃料生産性でも優位であることが推察できる。

短期間に大量の土砂を移動しなければならないような建設工事では、今後ともホイールローダが活用され

表—1 ホイールローダと油圧ショベルの特性比較

	ホイールローダ	油圧ショベル
掘削力	△	◎
バケット容量	◎	○
積込作業能力	◎	○
機械経費	○	○
機動性	◎	△
居住性	○	◎
汎用性	○	◎

表—2 機種別の時間当たり燃料消費量比較

機種	ホイールローダ (7.0 m ³ 級)	油圧ショベル (3.5 m ³ 級)
エンジン		
18,000 cc 級	100%	125%

る余地が十分に有ると考える。ホイールローダの作業効率を最大化し、温室効果ガスの排出を最小限とする最適なオペレーティングと各種機能について以下に記述する。

2. ホイールローダの掘削積込作業の特性と課題

ホイールローダの主な用途である掘削積込作業では、単位時間当たりの作業量が最大となり、燃料生産性も優れた「Vシフトローディング」方式が推奨される(図-2)。Vシフトローディングでは、ホイールローダが運搬機に対して前後進してVの字を描くように機動するが、細かく4つのフェーズに分解ができる。「掘削」「積車走行(切返し)」「ダンプ(荷おろし)」「空車走行(復帰, 切返し)」である。一連の作業を効率化し燃費を低減させるためには、各々の作業の特性と車輛の機構を理解する必要がある。特にクリティカルとなる掘削作業と積車走行作業の作業内容と最適なオペレーティングについて、以下に詳述する。

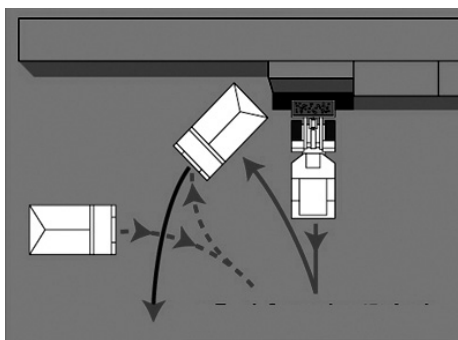


図-2 Vシフトローディング

(1) 掘削作業

掘削作業では、車輛本体を起砕、集積された原石に向かって前進させバケットを貫入して、より多くの原石をバケットに積み込むことが肝要である。その際に重要となるのは、車輛の牽引力をバケット先端へ十分に伝達することである。

まず、原石に向かって前進する際速度段は1速を用いることが推奨される。それは、車輛速度が極めて遅くなる掘削作業のような場合、1速が最も牽引力が大きくなるからである(図-3)。

バケットを勢い良く原石へ貫入させるために、2速以上の大きな速度段を使用して、大きな車速で掘削を行なう例が散見されるが、図-3の通り2速の牽引力は1速に対して約60%と大きくない。また、原石に衝突した段階で速度が減じ、自動的に1速へシフト

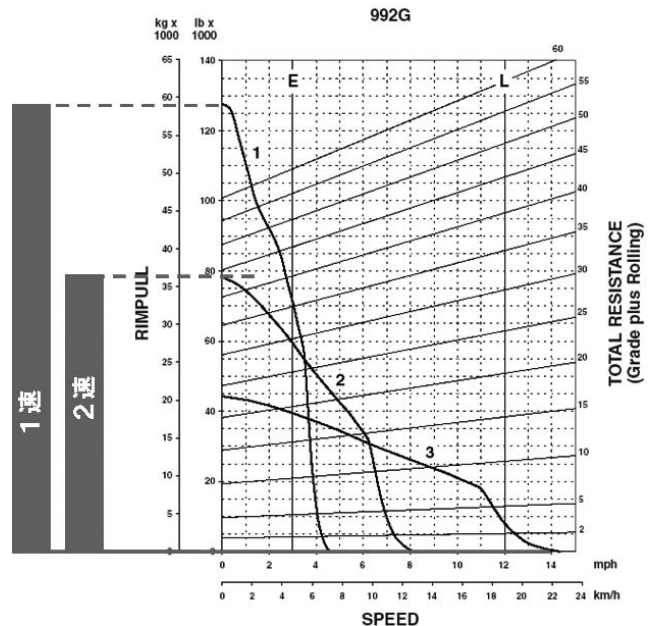


図-3 ホイールローダの牽引力曲線(横軸:速度, 縦軸:牽引力)

ダウンしてしまうため、変速装置へ大きな負荷が掛かる。その他、高速(=運動エネルギー大)で原石へ突入するため衝撃も大きく、フレームなど車輛構造物に対しても甚大な影響を与える(図-4)。

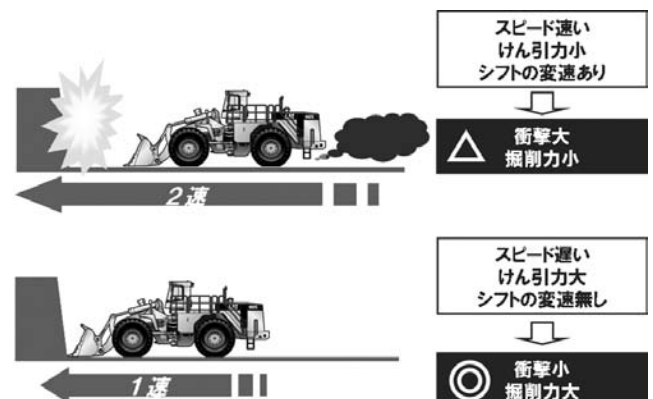


図-4 掘削作業における速度段の違い

バケットへより多く積み込むために、タイヤをスリップさせてしまう例が多いが、牽引力のロスとタイヤの損耗に直結するため、注意が必要である。更に、アクセルを踏み込んでも車輛がそれ以上前進できない状態、いわゆるトルコンストールさせてしまっている状態もよく見られる。これは燃料の浪費のみならずトルクコンバータの油温上昇を招き、最終的に重大な故障を引き起こす。Caterpillar社では、掘削作業はバケットが原石に到達してから12秒以内に収めるように、指導を行なっている。

(2) 積車走行(切返し)

積車走行作業では、掘削終了後にバケットをリフト

しながら一旦後進する。その後、車輛の方向を運搬機へ向け直しつつ、トランスミッションを切り替えて前進し、バケットを運搬機のベッセル(荷台)まで上げる。走行距離を抑えたコンパクトな機動と素早いバケットリフトが、サイクルタイム最小となる効率的な作業につながる。走行距離はタイヤの1.5回転以内に収めることが理想的である(図-5)。

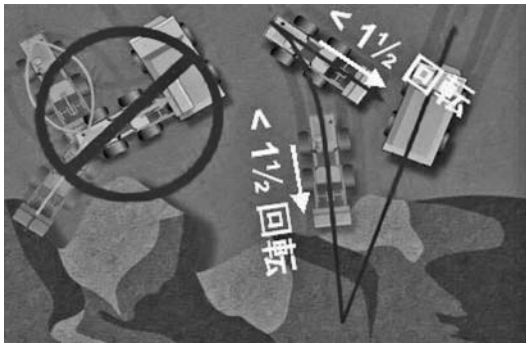


図-5 理想的な積込作業(右側)

前後進切り替えの際は、駆動系に掛かる負荷を低減するためアクセルを戻してエンジンの回転数を落とすが、同時にバケットのリフト速度も遅くなってしまい、次に前進して運搬機に近づく過程で、バケットがベッセルの高さまで上がりきらないことがある。結果、サイクルタイムが長くなってしまい、効率的な作業ができなくなってしまう。車輛の特性、つまり走行と作業機操作という複合動作をした場合の車輛の挙動や、エンジン回転数に応じた速度などを把握することが重要となる。

また、運搬機を積み込みしやすい位置に停車させることも重要である。運搬機の位置は、切羽に対して40から50度の角度で停車させることが理想であり、運搬機が十分に切羽に近づけるように、積込フロアの落石などを事前に除去する必要もある。

3. 高効率な掘削積込作業を実現する機構

前述の通り、ホイールローダの掘削積込作業を効率的に行なうためには、いくつかの課題がある。現在のホイールローダには、こうした課題を解消する機構が装備されている。それら機構の詳細と効果的な使用方法について以下に述べる。

(1) リンブルコントロール機能付インペラクラッチトルクコンバータ

リンブルコントロール機能付インペラクラッチトルクコンバータ(以下ICTC)は、作業中の牽引力と油

圧を最適にマッチさせるよう設計している。ICTCにより、オペレータは作業に合わせた適正な牽引力を引き出すことができる(図-6)。

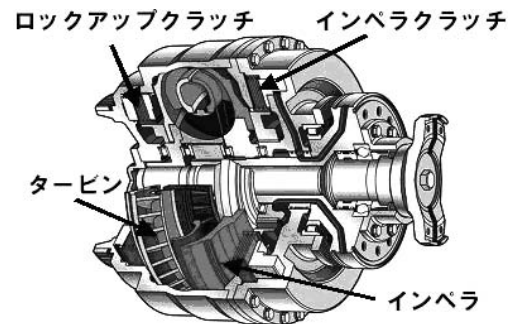


図-6 リンブルコントロール機能付インペラクラッチトルクコンバータ (ICTC)

オペレータは、運転席足元の左側に配備されたブレーキペダルを踏み込むことにより、ICTCのインペラクラッチ圧を減少させることができる。ペダルを踏み込むとインペラクラッチ圧が徐々に減少し、踏み込み量約40%で牽引力は最小20%まで絞られる。更に踏み込むとサービスブレーキ圧をコントロールすることができ、車輛を制動させられる(図-7)。いわばクラッチとブレーキが混在した機構である。これにより掘削作業の際の牽引力ロスと、タイヤスリップの防止が図れる。また、積車走行時にバケットをリフトさせながら運搬機へ接近する場合も、ICTCによって牽引力が減じることで車速を低速に抑えつつも、バケットリフト速度は最大となり、安全で効率的に作業を行なえる。走行距離がタイヤの1.5回転以内のコンパクトで理想的な積込作業が実現され、サイクルタイムが短縮される。

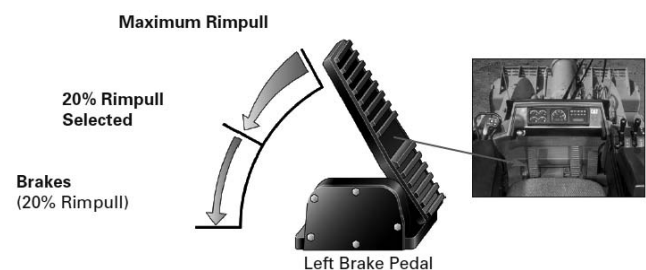


図-7 左側ブレーキペダルの使用方法

切返しの際もICTCを使用することで、作業の効率化が図れる。前後進を切り替えている間、ICTCのインペラクラッチ圧が減少し、前後進クラッチがほぼ接続するまでインペラクラッチを接続しない。トルクコンバータは前後進切り替えのエネルギーを吸収し、トランスミッションクラッチに影響が無いようにしてクラッチ寿命を延長する。これにより、従来はトランス

ミッションへの負荷が過大で不可能であった、アクセル全開での前後進切り替えが可能となった。前後進切り替え中もエンジンが高回転であるため、油圧力が最大となり、バケットリフト作業を止めることなく常時トップスピードに保持できる（図-8）。

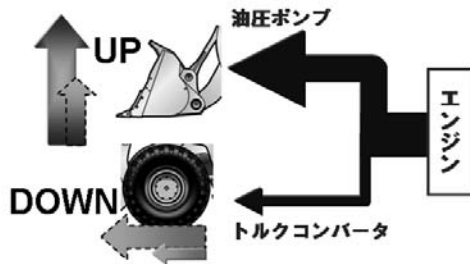


図-8 左側ブレーキペダルの作用

(2) スロットルロック

スロットルロックは、エンジン回転数を任意の回転数で一定に保つことが出来る機構である。これにより、オペレータはアクセルペダル操作から解放され、作業装置のコントロールに専念できるため、疲労の軽減と生産性の向上が図れる。またエンジン回転数を高回転に保持することで、トルクコンバータの冷却効率を最大とすることができる。エンジン回転数は、作業機操作レバー横の使いやすい位置にあるセットおよびレジュームボタンで任意に設定する（図-9）。またアクセルペダルを踏むことで解除される。

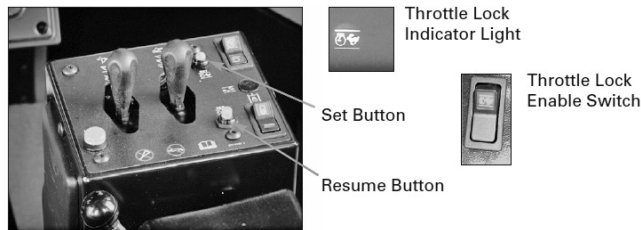


図-9 スロットルロックスイッチ

(3) 最適な掘削積込作業

上記 ICTC とスロットルロックを組み合わせることで、高効率で車輻への負荷が少ない最適な掘削積込作業が可能となる。速度段を1速に固定して、スロットルロックによりエンジン回転数を高回転に保持する。速度調節は左側ブレーキペダル（ICTC）で行なうことによって、エンジン回転を高回転に保ちながら素早い作業機の作動が実現する。結果、下記の効果が得られ最大の作業能力を発揮する。

- 掘削からダンプまで一連の積み込み作業において前／後進とも1速を使用することで、最大牽引力を発揮できる

- 走行距離が小さいコンパクトな積み込みができる
- トランスミッションへの負荷を最小化する
- エンジンは高回転のまま、車速は小さくリフトアームの動きは最大化することができ、スムーズで正確な積み込みができる
- エンジンを高回転で使用することにより、負荷が掛かるトルクコンバータの冷却効果が大い
- 長時間運転しても疲労が少なく、安定した作業ができる

(4) エンジン回転数低減による省燃費運転

スロットルロックを高回転ではなく、低回転に設定変更することによって、更なる燃料消費の低減が期待できる。

スロットルロックでエンジン回転数を変化させた場合の作業量と燃料消費量、燃料生産性を計測し比較した（表-3）。フルスロットルであるケース1と比較して、低回転数に設定したケース2から4では、回転数に応じて作業量と燃料消費量が低減し、燃料生産性が向上していることがわかる。ケース1は「作業量優先モード」、ケース4は「燃費重視モード」と考えることが可能である。スロットルロックの回転数を作業内容に対応して設定することで、期待される作業量と燃料消費量を実現することができる。

【テスト概要】

- ①場所 : 国内デモセンター
- ②機種 : 11.5 m³ 級ホイールローダ および 90 t 級運搬機
- ③取扱い材料 : 岩混じり土砂
- ④作業内容 : V シフトローディング, 4 杯積み

表-3 スロットルロックによるエンジン回転数比較

	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
スロットルロック (rpm)	1,850	1,700	1,600	1,500
作業量 (m ³ /h)	100%	97%	94%	91%
燃料消費量 (L/h)	100%	93%	88%	83%
燃料生産性 (m ³ /L)	100%	105%	107%	108%

(5) フューエル マネジメント システム (燃費低減システム)

最新のホイールローダでは、駆動系制御システムとエンジン制御システムを統合して更に進化させた

「Fuel Management System」(フューエル マネジメント システム：燃費低減システム，以下 FMS) を装備している。前項の積込方法では，スロットルロックでエンジン回転数を低く設定することにより燃費を低減したが，牽引力および作業装置のパワーが必要な時もエンジン回転数が低いため，重負荷作業には適用が難しかった。FMS は，掘削モードのみ通常のパワーを維持し，掘削以外の作業モード(積車走行，ダンプ，空荷走行)ではエンジン回転数を低下させることで燃費低減を図るシステムで，使用目的や作業条件に応じて，「フルパワーモード」，「バランスモード」，「燃費優先モード」の3モードから選択出来るようになっている。

フルパワーモード：通常と同様に掘削，積車走行，ダンプ，空荷走行と全ての作業モードでハイアイドルのフルパワー状態で作業モード

バランスモード：掘削のみハイアイドルで，それ以外は回転数を落として(約 1,800 rpm) 作業量と燃費を両立した作業モード

エコノミーモード：掘削のみハイアイドルで，それ以外は更に回転数を落として(約 1,700 rpm) 燃費の低減を優先した作業モード

モードの選択も作業機レバーの脇にあるスイッチで，任意に設定可能である。

FMS の効果として，ホイールローダの代表的な作業である「トラック積込作業」と「ロードアンドキャリア作業」における作業量と燃費を各モードで比較した社内テスト結果を紹介する。

V シフトによるトラック積込作業においては，「バランスモード」は「フルパワーモード」に対して作業量は僅か4%低下するのみで，燃費は15%低減した。「エコノミーモード」では，作業量は12%低下に対して，燃費は20%低減した(表-4)。

ロードアンドキャリア作業(運搬距離=110 m)においては，「バランスモード」は「フルパワーモード」に対して作業量は僅か5%低下するのみで，燃費は30%と大幅に低減した(表-5)。掘削以外の作業比率が高いロードアンドキャリア作業では，燃費低減に大きな効果があることがわかる。

【テスト概要】

- ①場所：国外プルーピンググラウンド
- ②機種：7.0 m³ 級ホイールローダ
および 46 t 級運搬機
- ③取扱い材料：岩混じり土砂
- ④作業内容：V シフトローディング，3 杯積み

表-4 トラック積込作業

	作業量	燃費
フルパワーモード	100%	100%
バランスモード	96%	85%
エコノミーモード	88%	80%

表-5 ロードアンドキャリア作業

	作業量	燃費
フルパワーモード	100%	100%
バランスモード	95%	70%

以上のように，FMS は単なる燃費低減ではなく，作業量を確保しつつ燃費を低減する，即ち燃料生産性が最大となるように，掘削時は作業量が最大，掘削以外の作業では燃費を低減することができるシステムである。

4. おわりに

以上の通り，ホイールローダにおける省燃費運転操作方法および機能について述べたが，生産財である建設機械は，環境負荷低減を意識すると共に，何よりもユーザの利益への貢献を考えねばならない。高効率な作業を実現するために，是非とも装備されている様々な機能の活用と最適なオペレーティングの実践をお願いしたい。

燃費低減と作業能力向上の両立を実現するためには，もはやパワーソースであるエンジン単体の改良では成し得ず，車輛全体の最適化が不可欠となっている。今後ともユーザニーズの的確なフィードバックによって最良の建設機械を開発する努力を続ける所存である。

JICMA

【筆者紹介】

山本 茂太(やまもと しげた)
キャタピラー・ジャパン(株)
営業直轄部 市場開発課
主任