

機械施工の省エネ

山崎 治郎・山本 茂太

「機械施工の省エネ」と題し、建設機械を中心として、作り手の工夫面（ハードウェア）、使い手の工夫面（ソフトウェア）の大別して2つの観点から記述した。後者のソフトウェアの部分では、さらに、現場のレイアウト、セットアップや使用する機械の選択等、実際に機械を使う前段階の項目、機械の操作方法（オペレーション）に関する項目、さらに実際の省エネの推進方法の3つに分けている。なお、オペレーションに関する項目は、弊社秩父デモセンターでの計測値をベースに紹介した。

キーワード：ハードウェアによる省エネ、ソフトウェアによる省エネ、燃料消費量、燃料生産性、機械に適したアプリケーション、建機やアタッチメントの選択、現場のセットアップ、オペレーティング・スキル、啓蒙活動、インセンティブ

1. はじめに

ここ数年、産油国が多く位置する中東情勢の混迷とアジアを中心とする発展途上地域におけるエネルギー需要の急激な伸び等から原油価格は上昇した。それは、建設機械（以下「建機」と略す）の燃料である軽油価格を高騰させ、建機使用者にとっては、頭の痛い経営課題の一つになった。特に建機のコストが工事原価に占める割合の高い業種においては、なおさらである。

また、地球規模での温室効果ガスの削減や限りある資源の有効利用という観点からも、現在、機械施工における省エネへの取り組みは、重要な社会ニーズの一つであると言える。

そこで、この報文では機械施工における省エネへの取り組みとして、建機に焦点を当て、省エネに纏わるトピックスを、以下に示す観点から記述した。

なお、この報文での「省エネ」とは、燃料の持つエネルギーで、なるべく無駄なく仕事（工事）ができるかといった観点で、単位で示せば、(m³/ℓ) や (ton/ℓ) で、その効果を評価することとしている。つまり、燃料の単位時間当り消費量 (ℓ/時間) ではなく、1リットルの燃料でどの位の仕事（工事）ができたかを（燃料生産性）、評価している。

①建機そのもののエネルギー効率向上のための仕組み
燃料の持つ固有のエネルギーを、なるべくエネルギーロスをしないように、エンジンやポンプ等を経てバケットやブレードに伝達する仕組みで、ハードウェア

に関する項目である。

②建機を選ぶ時、使う時の省エネ

施工する工事にマッチした機械やアタッチメントの選択や実際に機械を使用する時の稼動環境・条件や運転操作で、ソフトウェアに関する項目である。

③上記②の内容を促進するためのプログラム

実際の現場で②の内容を促進するために関係者への啓蒙活動やインセンティブ等で、やはりソフトウェアに属する項目である。

2. エネルギー効率向上のためのハードウェア

(1) 『ACERT』エンジン

地球規模での環境対策としての一環で、建機における排ガス規制は年々厳しくなり、メーカ各社はその規制をクリアするエンジンを開発してきた。『ACERT』

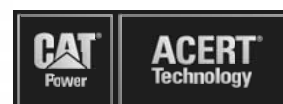


写真-1 ACERT エンジン

エンジンがそれに相当し、すでに多くの建機に搭載されている。以下にその内容を紹介する(写真-1)。

この『ACERT』は、以下の4つのシステムから構成されている(写真-2)。

- ①燃料噴射システム
- ②電子制御システム
- ③吸気システム
- ④後処理システム

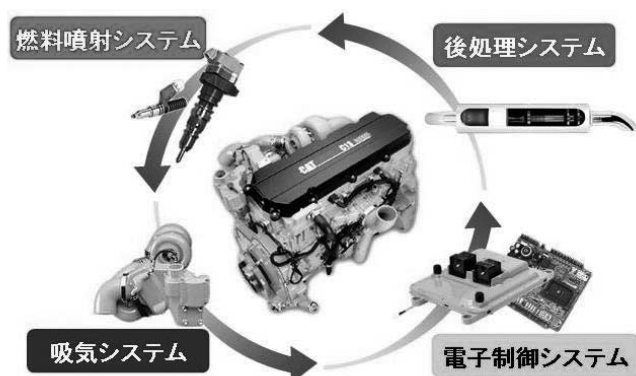


写真-2 基幹の4つのシステム

まず、燃料噴射システムであるが、大別すると下記の2種類がある。

- ・『ユニットインジェクタ方式』
- ・『CAT コモンレール方式』

『ユニットインジェクタ方式』は、燃料を加圧する機能と噴射機能を一体化し、コンパクトなユニットで高圧噴射が可能であると同時に、ユニット毎に噴射制御が可能なシステムである。

一方、『CAT コモンレール方式』は、高圧燃料噴射ポンプで加圧した燃料をコモンレールと呼ばれる集中蓄圧室で溜め、噴射ノズルから高圧で燃料を噴射するシステムである。

従来型の機械式燃料噴射制御のエンジンが、エンジン回転数に比例して燃料噴射圧力が高圧化するのに対して、2つの方式ともエンジン回転数に関係なく、従来の燃料噴射圧の約3~4倍近い約2000気圧で燃料を高圧噴射することが可能となり、これにより燃料をより微粒化することで燃焼効率を向上させている。

次に、電子制御システムでは、『ADEM』と呼ばれるコントローラを搭載し、燃料噴射を制御している。これは、Advanced Diesel Engine Managementの頭文字の略語であり、エンジンの燃料インジェクタから噴射される燃料の量、圧力、タイミング等を電子制御し、稼働時の車両状況や気候状況に応じて燃料噴射を制御するシステムで、エンジン制御の頭脳的な働きを持つ装置である。具体的には、約300以上のプログラ

ムで様々なデータを瞬時に処理し、約1000万通りの燃料噴射パターンの中から最適な噴射パターンを選び、燃焼効率の向上を図っている。

また、各種センサーによりエンジンの状態が不良な場合には、出力を自動的に抑制し、ダメージを最小限に抑える保護機能も有す。

なお、『ACERT』の重要な役割を担うこの『ADEM』は、過酷な現場で稼働する建機に搭載されることから、耐震、耐寒、耐熱、耐水、耐磁気等の検証テストをクリアし、高い信頼性を確保している。

吸気システムは、燃焼に不可欠なクリーンなエアを効率的に燃焼室へ供給する役割を持ち、人にたとえれば肺にあたり、如何に大量の酸素を身体に供給するか否かで、エネルギー効率が左右される。

また、この機能を補完するのが、ターボチャージャー(写真-3)や『ATAAC』(Air To Air After Cooler : エア・ツー・エア・アフタクーラ)である。

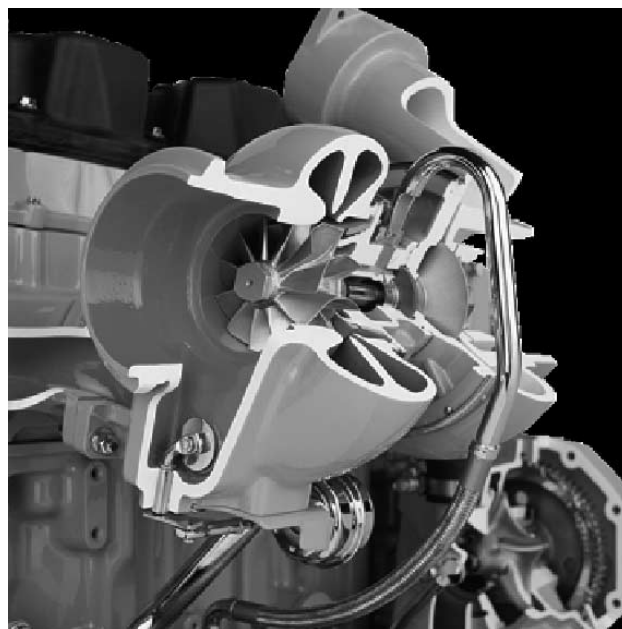


写真-3 ターボチャージャー

ターボチャージャーは、エンジン回転数が低い場合の燃焼効率の改善や出力増大、応答性(吹き上がり)の向上を主な目的として装着され、空気を圧縮して、燃焼室内に過給するコンプレッサと排気ガスから回転力を得るタービンが直結した構造となっている。

しかし、一方では過給することで供給ラインのエアが圧縮されて発熱し、圧縮率が低下する。これを抑制するため、外気を利用して、吸気温度を下げ、圧縮率を向上させ、より多くのエアを過給することで、さらなる燃焼効率を向上させる。それが『ATAAC』である。

以上『ユニットインジェクタ方式』や『CAT コモンレール方式』等の燃料噴射システムによる高圧燃料噴射、『ADEM』による燃料噴射制御、ターボチャージャーや『ATAAC』による吸気効率のアップ等で、従来よりも大幅に燃焼効率を向上させ、燃料消費量削減を実現している。

また、燃料消費量削減に伴う CO₂ 低減の一方で、そのほかの排出ガス規制物質の中には増加する物質があるが、それらは酸化触媒等の後処理システムで除去している。

このように『ACERT』は、高い燃焼効率とクリーンな排出ガスを可能としている。

(2) 『AEC』(Auto Engine Control : オート・エンジン・コントロール) とエコノミーモード

次に油圧ショベルの燃料消費量削減に繋がる『AEC』とエコノミーモードを紹介する。

油圧ショベルは、自動車と異なり車両のスピードはアクセルではなく、作業機レバーの操作量で制御される。その結果、作業機レバーを操作しない場合でもエンジン回転数を調整しない限り、高い回転数が保持され、燃料の浪費となる。これを抑制する機能が、『AEC』である。これは、オペレータが約5秒間作業機レバーに触れないと自動的にエンジン回転数を下げ、作業の待ち時間の燃料消費を抑制する。再度、作業機レバーを動かすことで自動的にエンジン回転数は上り、オペレータはストレスを感じることなく、スムーズな車両操作ができる。

また、エコノミーモードは、アクセルダイヤルでエンジン回転数を調整することなく、そのボタンの操作一つでエンジン回転数を約20%抑制し、強制的にエンジン回転数でスピードコントロールすることで燃料消費量の低減を可能としている。

3. ソフトウェアによる省エネ

機械施工の省エネとは、前述したようなハードウェアである建機そのものの装置やシステムによる項目と施工時におけるソフトウェアの部分改善することで可能である。

省エネを指向したソフトウェアは、

- ・建機やアタッチメントの選択と機械に適したアプリケーション
 - ・現場のセットアップ
 - ・運転操作方法
- の3つに大別できる。

(1) 建機やアタッチメントの選択と機械に適したアプリケーション

現在の建機は多種多様な機種を揃え、幅広い用途に活用されているが、最小のコストで最大の効果を実現するには、適材適所のポリシーで効果的に建機を配置することが重要となる。

例えば、軟弱地での施工では、湿地用ブルドーザやアーティキュレートダンプトラックの使用が有効である。これらの機種は、軟弱地に特化した性能を有しているため、標準機種と比較して、より効率的な作業ができ、燃料消費量の低減が期待できる。

また、掘削、積込、運搬といった一連の作業では、それぞれの建機を適正に組み合わせる必要がある。

例えば、積込機は主に油圧ショベルかホイールローダが使用されるが、それぞれに特徴があるため、選定時には土質や必要作業量等をよく考慮しなければならない。また、積込作業を補助するブルドーザのサイズが小さく十分な補助ができない場合には、積込機の燃料消費量増加に繋がる等である。

要約すれば、以下がその基本である。

- ・要求される作業量に見合った機種、クラス、台数を使用する。
- ・土質に合った機種を選定する。(湿地仕様等)
- ・ベースマシンにマッチしたアタッチメントを使用する。(大きさ、重量、油量)

(2) 現場のセットアップ

建機が能力を最大限発揮し、燃料消費量を最小とするためには、建機が現場を効率的に稼働できるようにレイアウトすることも重要である。

例えば、ダンプトラック用走路においては、走路の線形が重ダンプの燃料消費量に及ぼす影響が非常に大きい。対面通行の走路で、走路の幅員が十分確保されていない場合、すれ違いの度に重ダンプの離合が発生し、一時停止と再発進を余儀なくされ、燃料消費量の増加になる。

なお、重ダンプの円滑な運行を確保するために、走路の幅員は車輛幅員の4倍を確保することが望ましいと言われている(図-1)。

また、走路の勾配によっても燃料消費量は大きく異なる。勾配を適正に設計する事によって、燃料消費量を低減することができる。当社の実験では、走路の勾配を実車下り8~10%とすることで、燃料生産性が最大となる結果が出ている(図-2)。

また、ホイールローダのダンプトラックへの掘削積込作業には、ダンプトラックを停車させてホイールロ

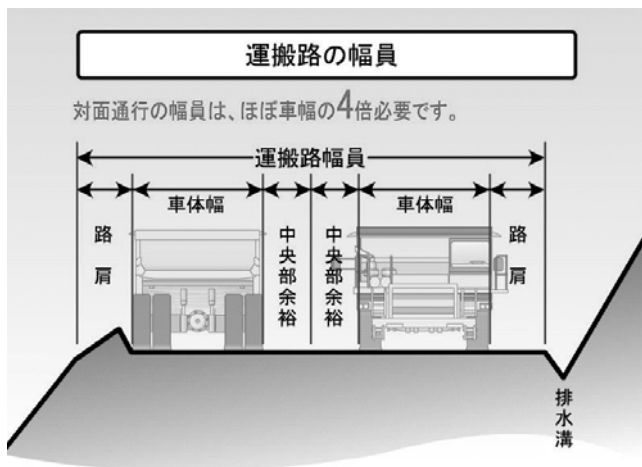


図-1 運搬路のイメージ図

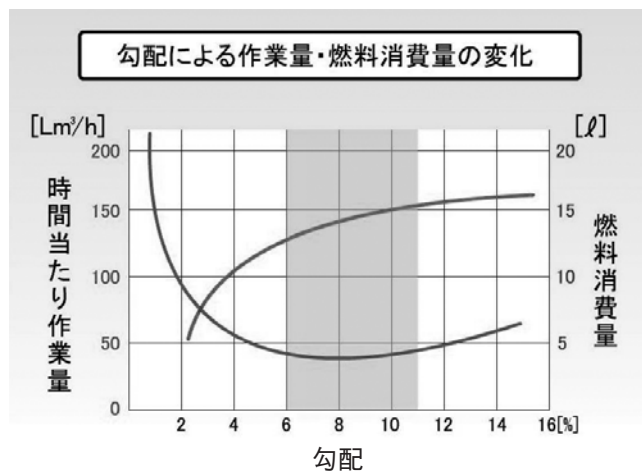


図-2 勾配と燃料生産性の関係イメージ

ーダが屈折しながら前後進して作業する V シフトローディングが優位であるが、作業を行う場所の広さが十分に確保できない場合は、一概にはそうは言えない。一般に、作業エリアは前後進方向にホイールローダの旋回半径の3倍以上確保することが望ましい(図-3)。



図-3 ホイールローダの必要作業エリア

(3) 運転操作方法

建機の燃料生産性向上を図るには、現場でのオペレーティングスキルが大きく影響する。つまり、機種毎の建機の特徴を知り、また力学的な考え方に則ったオペレーティングが要求される。以下にそれぞれの機種における作業の特徴と燃料消費低減のポイントを記述し、また代表機種の低減効果を表-1に示す。

表-1 代表機種における運転操作方法と燃料消費低減効果

運転操作方法	燃料消費低減効果
油圧ショベル 320D (山積 0.8 m³)	
旋回角度の減少 (90度→30度へ)	約7%の燃料生産性 (m³/L) 向上
一段掘りを二段掘りへ	約9%の燃料生産性 (m³/L) 向上
ベンチ高さ (低過ぎ→適正へ)	約18%の燃料生産性 (m³/L) 向上
油圧リリーフの防止	20秒で約180mLの燃料消費低減
ホイールローダ 980H (山積 5.2 m³)	
トルコンストールの防止	10秒で約190mLの燃料消費低減
油圧リリーフの防止	10秒で約180mLの燃料消費低減
ダンプトラック 773E (定各積載 45.4 t)	
波状運転の防止	約10%の燃料消費低減
ダンプアップのアクセル調整 (エンジン回転数を8割へ)	約15%の燃料消費低減

※上記数値は実測データであり、現場条件や機種によって大きく異なる場合があります

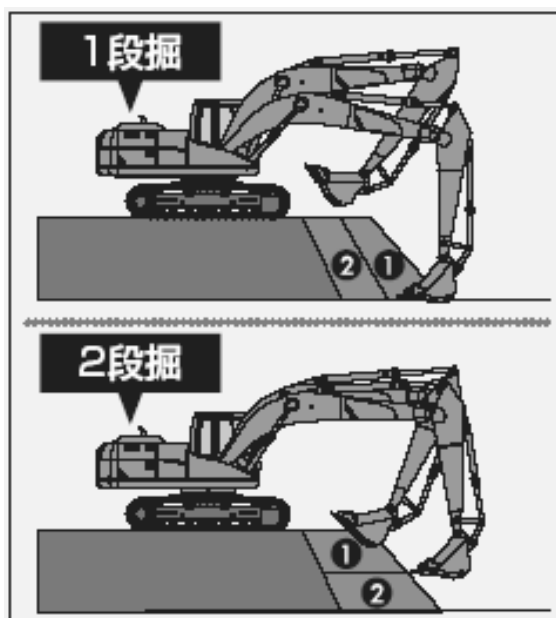
(a) 油圧ショベル

作業中に本体の移動を伴わず、本体の旋回や作業機の後方への移動により作業する油圧ショベルの場合、旋回角度をできる限り小さくし、また作業機の先端にあるバケットを本体から遠ざけずに小さな動きで作業することが重要である。特にブームの上げ下げは、作業動作の中で最も燃料を消費する動作の一つであるので、できる限りブームの上下の移動量を抑えるような作業方法を考慮する必要がある。

また、ベンチ上での掘削積込作業においては、一度に下からすくい上げる一段掘りではなく、上部から順にすくう二段掘りが有効である。

さらに積込時は、ダンプトラックの荷台へブームを上げる量が最小となる高さにベンチを準備することで、燃料消費量が低減される(図-4)。

油圧リリーフもできる限り抑えるべきである。油圧リリーフとは、作業機に過大な負荷が掛かり、安全弁が開放され、それ以上の作業ができない状態で、燃料を無駄に消費している。



図一四 ベンチ上での2段階掘のイメージ

また、エンジンの回転数を落として作業することも、燃料消費低減に効果がある。但し、エンジン回転数を落とすとサイクルタイムの増加につながるのので、作業に余裕がある時に実践することが望ましい。

(b) ホイールローダ

ホイールローダは、本体が移動することで作業する機械であり、掘削においては本体が前進しながらバケットをストックヤード等に突き刺す。つまり、如何に前進する力である牽引力を効率良く地面に伝えて移動し、無駄の無いコンパクトな動きをするかが重要となる。

実際の現場で、掘削作業時にバケットへのすくい込み量を大きくするために、掘削に時間をかけ過ぎ、トルクコンバータのストールや作業機の油圧リリーフ、タイヤのスリップを発生させているのが散見される。これらは、必要以上のエネルギーを掘削作業に投入し、無駄に燃料を消費している。掘削作業の無駄を省くためには、適度な時点で作業を切り上げる必要があり、経験的に、このような掘削作業には12秒以上を費やすべきではない、と提言している。

また、前述したVシフトローディングでも、ホイールローダの移動量が過大であると無駄が発生し、燃料消費量の低減効果は限定される。その移動量は、タイヤの1.5回転分が適当であるとしている。

なお、ホイールローダが効率的に動けるように、ダンプトラックが停車する位置についても配慮する必要がある。

(c) ダンプトラック

ダンプトラックは、通常のトラックや乗用車と同様

に本体が移動して長距離を運搬する機械であり、波状運転の防止、定速走行、惰性走行の活用等、燃料消費量の低減につながる運転操作方法も共通する項目が多い。

前述したように走路上に狭隘な箇所等があると、走行中に一時停止を余儀なくされ、再発進に伴い燃料消費量の増加を招く。積込から荷降ろしまで、停止せずにできる限り一定速度で定速走行することが、燃料消費量の低減を考える上で重要である。

次に、ダンプトラックも乗用車等と同様に、アクセルオフで惰性走行をしている場合、一定以上のエンジン回転数であれば燃料の供給がカットされる機構となっている。つまり降坂時には、できる限りアクセルから足を離して走行することで燃料消費量を低減することができる。

停車する際も、作業に余裕がある場合は、できる限り手前からアクセルから足を離し、惰性走行しながらエンジンプレーキによって減速をすれば、燃料消費量の低減とブレーキ寿命の延長が期待できる。

また、ダンプトラック特有の運転操作方法として、荷降ろし(ダンプアップ)の際のアクセル調整がある。これは、通常フルアクセルでの荷降ろしを、アクセルを少し戻しエンジン回転数を落とし、燃料消費の低減を図ることである。この場合、サイクルタイムは増加するので、作業時間に余裕のある場合に有効である。

(4) 省エネ活動の推進

前章は、燃料消費量低減を目的とした建機の使用方法について記述したが、これらが現場で実践されなければ全く意味をなさない。この節ではその促進方法に関して簡単に記述する。

(a) 情報収集と現状把握

まずは、工法やオペレーティングに関する情報収集が必要となる。例えば、油圧ショベルでの積込時の旋回角度と燃料生産性の関係等である。現場条件によって数値の違いはあるものの大体の傾向は分かる。

次に、現場での現状把握である。省エネになりそうな事項を列挙し、物理的かつ経済的に改善可能な問題に絞り、インパクトのある順番にプライオリティーを付け、改善計画を立案する。

(b) 啓蒙活動とインセンティブ

実際に改善計画を実施するためには、当たり前なことではあるが、まず関係者全員がその必要性を理解することが非常に重要である。時として、その省エネの効果を金額で示すことが、効果的な場合がある。また、参画意識の高揚を図るために、達成度に応じた表彰制

度、報奨金制度等が、さらなる活動推進に有効な場合がある。

いずれにせよ、関係者全員がそれに対し高い関心を維持し、参画意識を持って活動する工夫が重要と考える。改善後のデータを持ちより、結果について関係者全員で、いわば「ワイガヤ」的に、今度はこうしてみようといった意見が出始めれば、素晴らしい傾向と考えられる。そして、PDCA (Plan-Do-Check-Action) のサイクルを回すことにより活動自体の質を、さらに高めることになると思う。

4. おわりに

今回の報文では取り上げなかったが、建機の適切なメンテナンスも燃料生産性に大きく効いてくる。オイルやフィルターは直接エンジン出力に影響を与え、また、消耗品であるツース等、丸まってくれば貫入力も落ち、その結果ストールを招くのである。この項目はそれだけで膨大な量となるので、それに関する資料を参考にしてほしい。

現在、原油価格の高騰に加え、鉄鋼の高騰、排ガス規制の強化等、建機にまつわる経営環境は厳しく、解決すべき課題が多い。今後も建機のハードウェアとソフトウェアの両面からアプローチし、それらの課題解決を図りたい。

本報文が、読者の皆様方のお仕事に多少なりともお役に立てれば幸いである。

JCMA

【筆者紹介】



山崎 治郎 (やまざき じろう)
新キャタピラー三菱㈱
ディーラ統括室
副室長



山本 茂太 (やまもと しげた)
新キャタピラー三菱㈱
直販部

「建設機械施工ハンドブック」改訂3版

近年、環境問題や構造物の品質確保をはじめとする様々な社会的問題、並びにIT技術の進展等を受けて、建設機械と施工法も研究開発・改良改善が重ねられています。また、騒音振動・排出ガス規制、地球温暖化対策など、建設機械施工に関連する政策も大きく変化しています。

今回の改訂では、このような最新の技術情報や関連施策情報を加え、建設機械及び施工技術に係わる幅広い内容をとりまとめました。

「基礎知識編」

1. 概要
2. 土木工学一般
3. 建設機械一般
4. 安全対策・環境保全
5. 関係法令

「掘削・運搬・基礎工事機械編」

1. トラクタ系機械
2. ショベル系機械
3. 運搬機械
4. 基礎工事機械

「整地・締固め・舗装機械編」

1. モータグレーダ
2. 締固め機械
3. 舗装機械

● A4版/約900ページ

● 定 価

非 会 員：6,300円 (本体 6,000円)

会 員：5,300円 (本体 5,048円)

特別価格：4,800円 (本体 4,572円)

【但し特別価格は下記◎の場合】

◎学校教材販売

〔学校等教育機関で20冊以上を一括購入申込みされる場合〕

※学校及び官公庁関係者は会員扱いとさせていただきます。
※送料は会員・非会員とも沖縄県以外700円、沖縄県1,050円

※なお送料について、複数又は他の発刊本と同時申込みの場合は別途とさせていただきます。

●発刊 平成18年2月

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 <http://www.jcmanet.or.jp>