

ブルドーザの燃費評価値から実作業燃費への換算

稲葉 友喜人, 佐藤 充弘

1. はじめに

建設機械の燃料消費量の低減は、建設施工における地球温暖化対策に欠くことのできない対策である。現在、建設機械の燃料消費量を測定・評価するための試験方法は、表一1に示す4機種が(一社)日本建設機械施工協会規格として規格化され、「燃費基準達成建設機械認定制度」(国土交通省)において燃費評価値(試験項目ごとの燃料消費量を一つにまとめた値を言い、基準値が設定されている。)の測定方法として位置づけられている。

燃費評価値は、同一クラスの燃費効率の比較を目的に作られたものであり、現場等で利用される時間当たり消費量とは意味合いが異なる。一方、上記制度で認定された機械を現場導入したときの効果の把握等においては、時間当たり消費量の利用が簡便である。そこで、今回、代表的な運転ポイントで燃費の評価を行っているために時間当たり消費量への換算が難しいブルドーザについて、現場における時間当たり消費量と運転状況の関係を解明し、燃費評価値から時間当たり消費量への換算方法の検討を行った。

本稿は、上記検討結果を報告するもので、本検討は「平成28年度 建設機械施工における低燃費化に関する検討業務」(発注者：国土交通省 総合政策局, 受注者：(一社)日本建設機械施工協会)によるものである。

2. 燃費評価値と実作業燃費の相違点の検討

ブルドーザの燃費評価は、JCMAS H021:2010「土工機械-燃料消費量試験方法-ブルドーザ」(以下、「JCMAS」とする。)を用いて行われる。燃費評価値算定式を簡略化すると次のようになり、式の分子部分が時間当たり消費量(以下、「JCMAS燃費」とする。)になる。

<燃費評価値 F_{BD} (g/kWh) 算定式>

$$F_{BD} = \frac{\begin{matrix} \text{最大けん引} \\ \text{出力点燃料} \\ \text{消費量} \end{matrix} \times \begin{matrix} \text{前進} \\ \text{重み} \\ \text{係数} \end{matrix} + \begin{matrix} \text{後進軽負荷} \\ \text{けん引燃料} \\ \text{消費量} \end{matrix} \times \begin{matrix} \text{後進} \\ \text{重み} \\ \text{係数} \end{matrix} + \begin{matrix} \text{アイドリン} \\ \text{ク燃料} \\ \text{消費量} \end{matrix} \times \begin{matrix} \text{待機} \\ \text{重み} \\ \text{係数} \end{matrix} \dots (\text{g/h})}{\begin{matrix} \text{最大けん引} \\ \text{出力} \end{matrix} \times \begin{matrix} \text{前進重} \\ \text{み係数} \end{matrix}} \dots (\text{kW})$$

一方、ブルドーザの現場における燃費(以下、単に「燃費」としたときは時間当たり消費量を意味する。)は、その代表的なものとして「国土交通省土木工事積

表一1 燃費試験方法の概要

機種	試験項目	試験の概要
油圧ショベル	掘削積込み動作試験 ならし動作試験 走行試験 待機試験	代表的な作業を模擬した試験項目。 待機試験以外の運転方法は、 ・エンジン回転調整最高位置 ・レバー操作は何れかをフルストローク
ブルドーザ	最大けん引出力点試験 後進軽負荷けん引試験 待機試験	代表的な運転ポイントで試験。 待機試験以外の運転方法は、 ・エンジン回転調整最高位置
ホイールローダ	積込み動作試験 運搬走行試験 待機試験	代表的な作業を模擬した試験項目。 待機試験以外の運転方法は、 ・積込み動作は移動距離等を規定 ・運搬走行は規定距離をフルアクセル (運搬作業の加速走行部分を試験)
ホイールクレーン	巻き上げ下げ試験 ブーム起伏・巻き上げ下げ試験 旋回・巻き上げ下げ試験 待機試験	代表的なクレーン作業を模擬した試験項目。(作業燃費の測定・評価) 待機試験以外は、 ・試験項目毎にエンジン回転を規定 ・レバー操作は試験時間で規定

算基準」におけるエンジン定格出力当たり消費量 (L/kWh) がある。

図-1 は、積算基準掲載燃費に含まれる“油脂費等”を軽油費の20%¹⁾としてJCMAS燃費と比較したものである。両者には大きな隔たりがあり、JCMAS燃費に対し現場の燃費が小さい原因として次のことが予想される。

＜現場の燃費が小さくなる原因の予想＞

- ・エンジン回転を下げた作業が多い。
- ・アイドリングの割合が多い。

なお、現場の負荷が小さいことによる影響も考えられるが、最大けん引出力点試験と後進軽負荷けん引試験（不整地走行抵抗程度の小さな負荷を与える試験。）の燃費は1割程度の違いしかないことから、その影響は小さいと推察される。

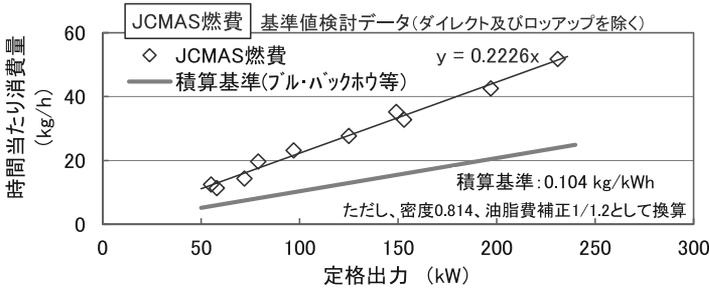


図-1 JCMAS 燃費と積算基準燃費

3. アンケート調査

前章の検討結果を踏まえて、アンケート調査を実施した。

アンケート調査は、国土交通省直轄工事を対象に、1サンプル5回以上の燃料補給を目標に、補給量と消費した日の運転状況を調べた。運転状況は、運転時間を作業時間とアイドリングに分け、作業は作業の種類毎の構成割合、作業の種類毎のエンジン回転調整などを調べた。

解析は、重要事項が未回答の3台を除いた60台で行った。図-2に、調査機械の定格出力の区分と排出ガス対策次数の構成を示す。図-3は、補給量で得た現場の実燃費と前出の積算基準燃費を比較したもので、今回の方が若干大きめであった。

(1) 作業内容とアイドリング割合

総運転時間における作業以外のアイドリング割合は、図-4中の表に示すようにバラツキは大きいが平均で見るとJCMASで規定する割合よりも大きな値となった。

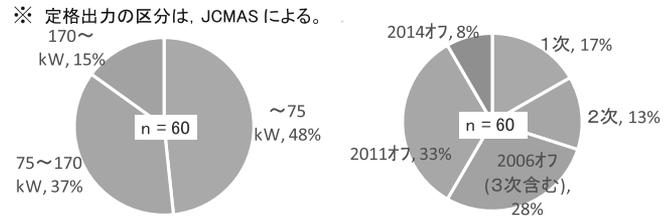


図-2 調査機械の定格出力の区分と排出ガス対策次数

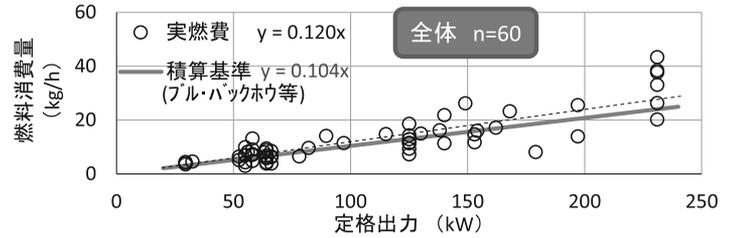


図-3 現場の実燃費と積算基準燃費

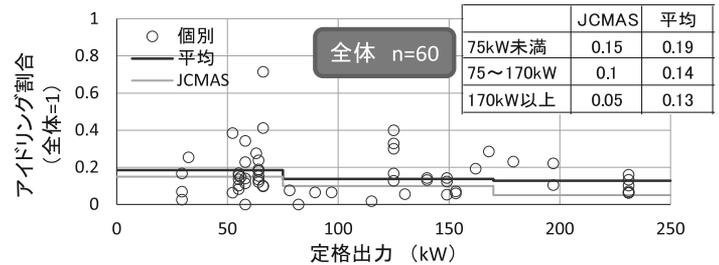


図-4 調査機械のアイドリング割合

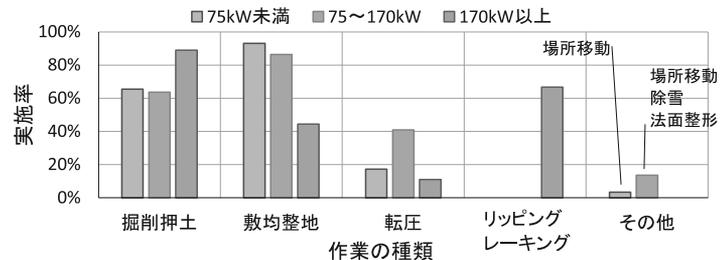


図-5 調査機械の作業内容

作業内容は、170kWを境に異なり、170kW未満では敷均整地が最も多く、170kW以上では掘削押土が最も多かった。作業毎の実施率を図-5に示す。

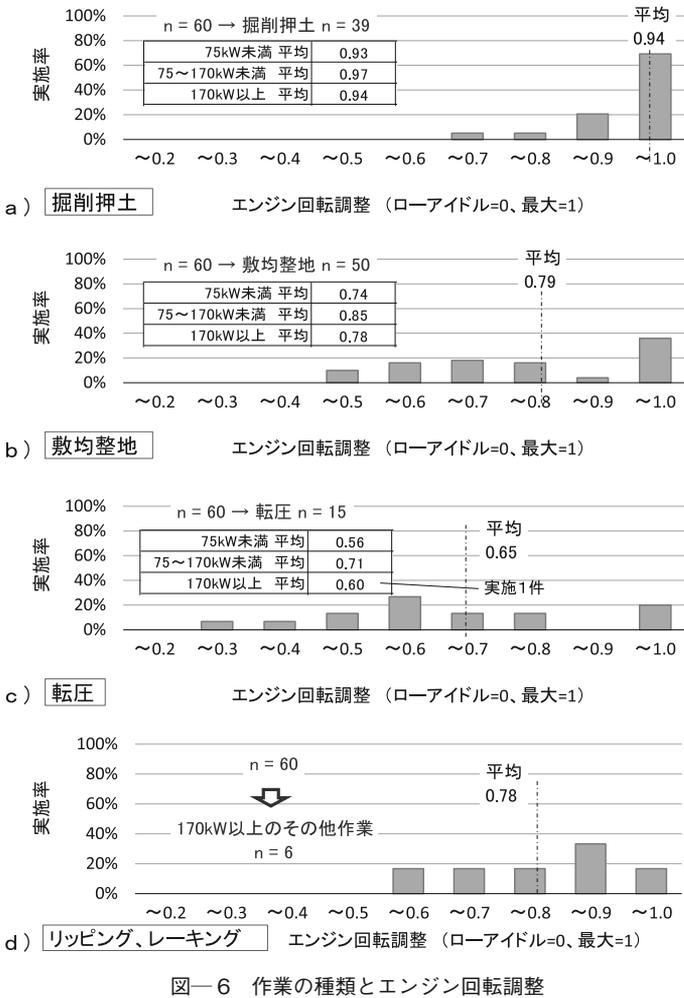
(2) 作業毎のエンジン回転調整

作業におけるエンジン回転調整は、作業の種類毎に図-6に示すところとなり、掘削押土以外はエンジン回転を下げた位置に調整して作業することが多いことが分かった。

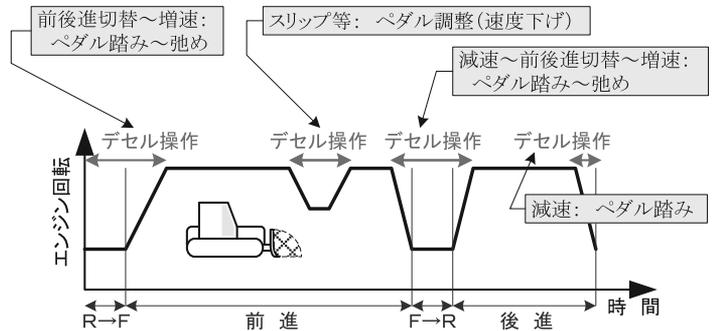
4. 燃費評価値からの換算方法の検討

(1) 現場の実燃費の解析

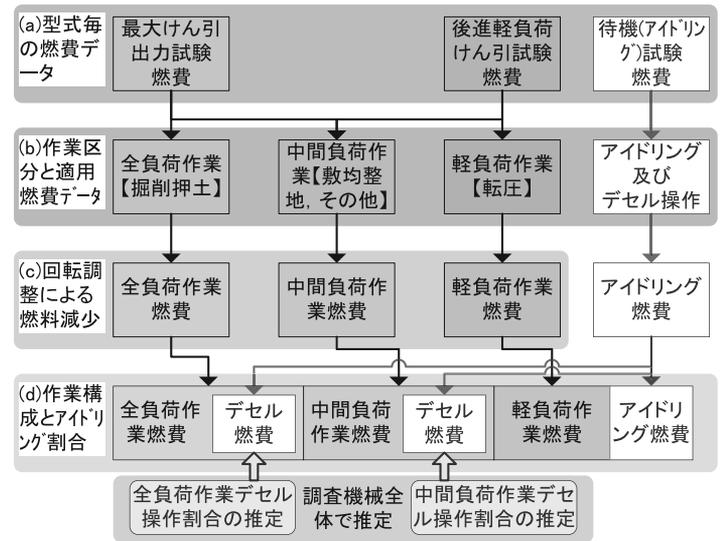
JCMASの試験項目毎の時間当たり消費量（以下、「燃費データ」とする。）と現場の運転状況を用いて現



図一六 作業の種類とエンジン回転調整



図一七 前後進1サイクルのデセル操作イメージ



図一八 現場燃費の算出手順

場燃費の推計（推計した燃費を「算出現場燃費」とする）を行った。

推計においては、ブルドーザ作業の前後進切替え等で操作するデセル操作（デセルペダル操作でエンジン回転を下げる。図一七参照。）をアイドル燃費換算で盛り込んだ。

現場燃費の推計手順を図一八に示す。

(a) 型式毎の燃費データ

型式毎の燃費は、燃費基準値検討時の排出ガス2006年基準型式の燃費データと2014年基準燃費基準達成建設機械型式の燃費データを用いて表一2のように設定した。

(b) 作業区分と適用燃費データ

作業は、負荷の大小で全負荷作業、中間負荷作業、軽負荷作業の3種類に区分し、表一3のように試験項目毎の燃費データを適用した。

(c) 回転調整による燃料減少

エンジン回転を下げたときの燃費は、既存のエンジンデータを基にエンジン回転と燃費の関係式（図一9の回帰式）を作成して推定した。最大けん引出力点トルクと後進軽負荷けん引トルクに分けて検討したが、傾向が似ていることから平均した。ローアイドルは、

表一2 型式毎の燃費データ設定方法

対策次数	JCMAS 燃費試験データの適用方法
1次基準型式 2次基準型式	燃費基準検討型式(2006年基準)のデータをモデルチェンジ前型式に適用。ただし、定格出力が異なる場合は、定格出力当たり消費量は変わらないと仮定して比例計算により補正。
2006年基準型式	燃費基準検討時のデータを使用。
2011年基準型式	殆どの型式が燃費基準を達成し「省エネルギー型建設機械導入補助事業」(経済産業省)の補助対象型式となっていることから、2014年基準型式と同程度の燃費低減があるものとして、モデルチェンジ後の型式に同じ燃費低減率(対2006年基準型式)を適用することで推定。ただし、定格出力が異なる場合は、定格出力当たり消費量は変わらないと仮定して比例計算により補正。
2014年基準型式	燃費基準達成建設機械の認定型式であり、申請データを使用。

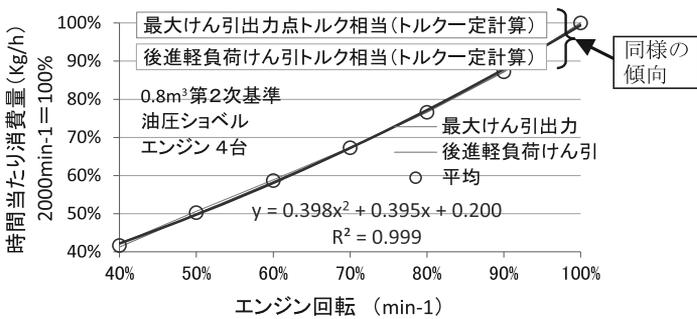
40%回転と仮定した。

(d) 現場の作業構成とアイドル割合

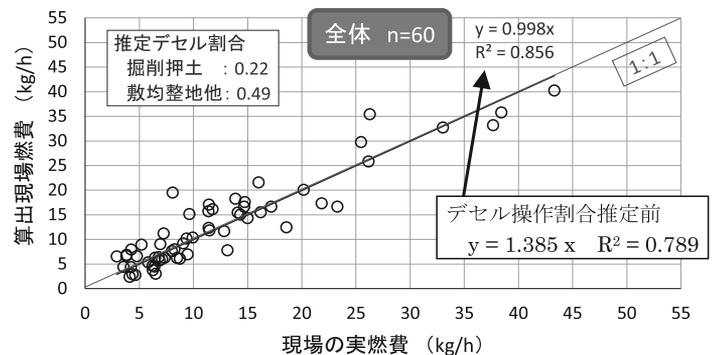
作業構成とアイドル割合は、アンケート回答をそのまま用いた。

表—3 作業区分と適用燃費データ

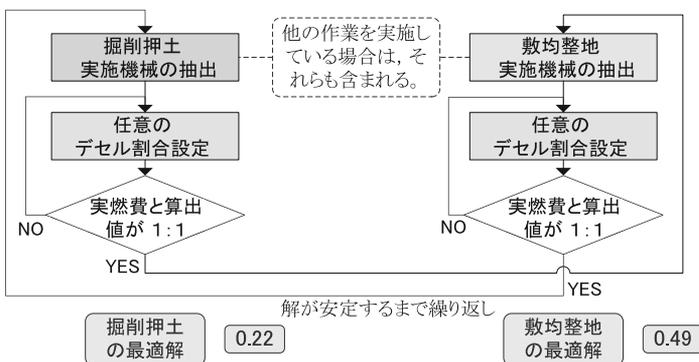
作業区分	適用作業	備考
全負荷作業	掘削押土	全てが最大けん引出力点での作業になることは考えにくいですが、負荷は比較的高いと推察される。
中間負荷作業	敷均整地	掘削押土より低負荷と推察される。 エンジン回転調整も掘削押土と転圧の中間。
	リッピング・レーキング	片荷やスリップを防ぎながらの作業となるため、平均負荷は掘削押土より低いと推察される。 エンジン回転調整も掘削押土と転圧の中間。
	除雪	掘削場所の前処理としての除雪で、土砂を押すことに比べ軽負荷と推察される。
	法面整形	敷均整地に類似すると推察される。
軽負荷作業	転圧	走行抵抗のみの作業である。
	場所移動	走行である。
JCMAS 燃費試験データの適用方法		
全負荷作業		前進： 最大けん引出力点試験燃費 後進： 後進軽負荷けん引試験燃費
中間負荷作業		前進： 最大けん引出力点試験燃費と後進軽負荷けん引試験燃費の平均 後進： 後進軽負荷けん引試験燃費
軽負荷作業		前進、後進： 後進軽負荷けん引試験燃費
アイドル及びデセル操作		待機試験燃費



図—9 エンジン回転を下げたときの燃費変化



図—11 現場燃費の推計結果



図—10 デセル割合推定手順

デセル操作の割合は、全負荷作業と中間負荷作業に対して図—10 に示す手順で推定した。軽負荷作業(転圧等)は、全負荷作業や中間負荷作業と併せて実施されるため推定していない。

(e) 現場燃費の推計結果

算出現場燃費は、初めにデセル操作を考慮しないで計算し、次にデセル操作の割合を推定することで推計した。

現場燃費の推計結果を図—11 に示す。

算出現場燃費の推計にデセル操作を入れることで推計精度(回帰式の決定係数 R^2)が向上した。

(2) JCMAS 燃費からの概算

通常、現場の作業構成割合やエンジン回転調整などは不明であることから、簡便な推計方法として、JCMAS 燃費に換算係数を乗じて現場燃費を概算する方法の検討を行った。

(a) 概算現場燃費の推計

換算係数は、JCMAS 燃費がある 2006 年(3次含む)基準型式と 2014 年基準型式から求めた。図—12 に換算係数を求めるために用いた現場の実燃費と JCMAS 燃費の関係を示す。換算係数は、図の出力範囲別の回帰式の傾きから求めた。

<換算係数>

- ・ 75 kW 未満 : 0.67 (1.499 = 1/0.67)
- ・ 75 ~ 170 kW 以下 : 0.56 (1.799 = 1/0.56)
- ・ 170 kW 以上 : 0.65 (1.548 = 1/0.65)

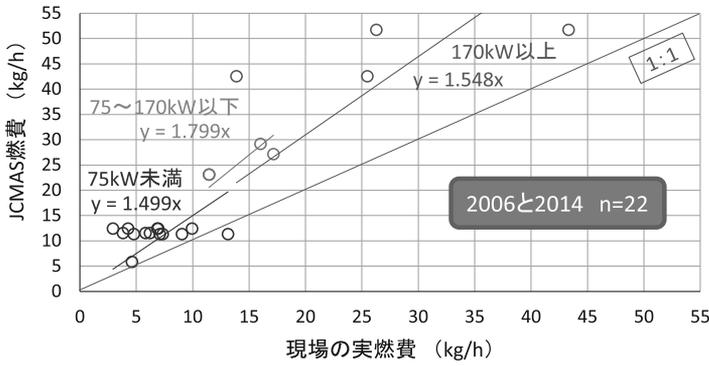
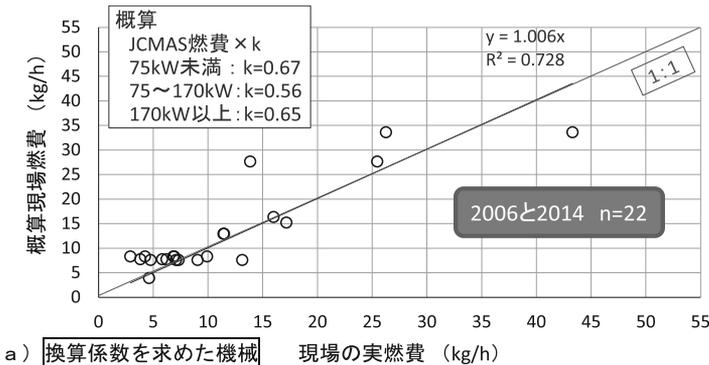
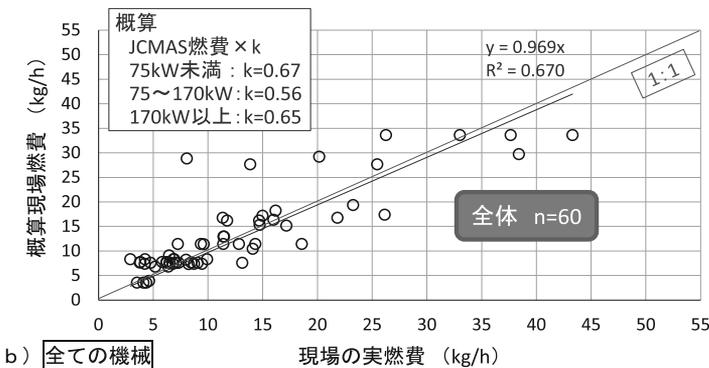


図-12 現場の実燃費とJCMAS燃費の関係



a) 換算係数を求めた機械



b) 全ての機械

図-13 概算燃費

上記換算係数を用いて求めた概算現場燃費を図-13に示す。換算係数の設定に用いていない対策回数を含めた場合(図-13b)の回帰式の傾きが概ね「1」となっていることから、換算係数は対策回数にかかわらず適用可能と推察される。

(b) 概算現場燃費の推計誤差

図-14は、同じ型式での実燃費のバラツキを示したもので、このバラツキ(変動係数の平均で0.31)は、作業内容やオペレータで異なる運転状況の違いを省略した概算では避けられないことになる。

油圧ショベルのバラツキが変動係数で0.25となっ

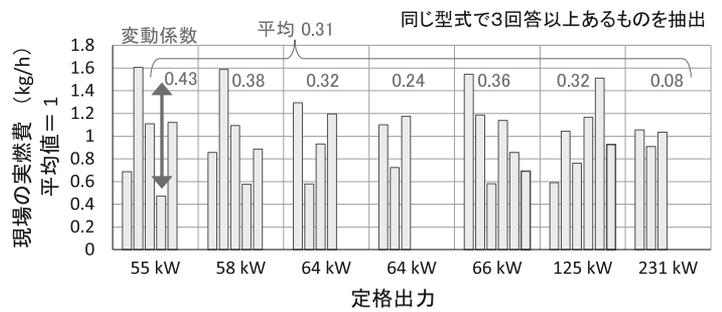


図-14 同じ型式での実燃費のバラツキ

ている²⁾(異なる型式を含む同一クラスでのバラツキ)ことから、ブルドーザのバラツキは比較的大きいと言える。

5. おわりに

これまで情報の少なかったブルドーザの運転状況について、今回の調査で現状を知ることができた。その結果、現場の実燃費は、完全ではないが運転状況で説明できることが分かり、平均的な現場の実燃費の概算に用いる換算係数を作ることもできた。

今後、燃費基準達成建設機械認定制度で認定された建設機械の普及が進むと予想される。今回の結果が建設施工の地球温暖化対策に役立てば幸いである。

JCM A

《参考文献》

- 1) 建設省土木研究所：道路環境影響評価の技術手法，土木研究所資料，第3742号，pp.151，2000年10月
- 2) 稲葉，前羽，佐藤：実作業燃費との比較によるJCMAS油圧ショベル燃費試験規格の検証，平成23年度建設施工と建設機械シンポジウム論文集・梗概集，pp.131，2015年11月

[筆者紹介]



稲葉 友喜人 (いなば ゆきと)
(一社)日本建設機械施工協会
施工技術総合研究所
研究第三部 主席研究員



佐藤 充弘 (さとう みつひろ)
(一社)日本建設機械施工協会
施工技術総合研究所
研究第三部 上席研究員