

## 28. 排出ガスの測定値から読み解く燃費・熱効率と燃費改善策

(国研)土木研究所

○ 吉永 弘志

### 1. はじめに

排出ガスの測定においては、ガスの濃度のみならず、エンジン回転数、排出ガスの流量等も測定する。また、建設機械の排出ガスを測定した文献のなかには、仕事量比および燃料の質量比の双方で排出ガス量が記載されているものがある。測定値等は異なる発想で再解析すれば新たな知見を得ることができる。本稿では、文献、および土木研究所での排出ガス測定時のデータ（以下、「排出ガス測定データ」という。）を読み解いて得られた知見を報告する。文献の解析では、油圧ショベルの平均的な熱効率 $\eta$ 、および年式が新しくなると排出ガス量が減少する相関図を示す。排出ガス測定データの再解析では、図-1の模式図のA、B、およびEの関係を利用してエンジン回転数とCO<sub>2</sub>濃度のデータから燃料消費量(以下、「燃費」という。)が計算できることを示す。さらに、燃費改善策についての考察を述べる。

### 2. 文献

#### 2.1 調査方法

建設機械に測定器を搭載して排出ガスを測定した文献をオンライン・データベース DB で検索した。DB は科学技術振興機構 (JST) の科学技術文献情報 (主として和文) の JDream III, および米 Thomson Reuters 社の Web of Science とした。また、これらの文献に記載された情報を元に web site で公開されている文献も入手した。

#### 2.2 調査結果と活用策 1-燃費と CO<sub>2</sub> の関係

##### 2.2.1 調査結果

Phill Lewis, P.E. は North Carolina State University の H. Christopher Frey が測定した<sup>1)</sup>34 台の建設機械の燃費  $x$  (liter/h) と CO<sub>2</sub> (g/h)  $y$  の関係を整

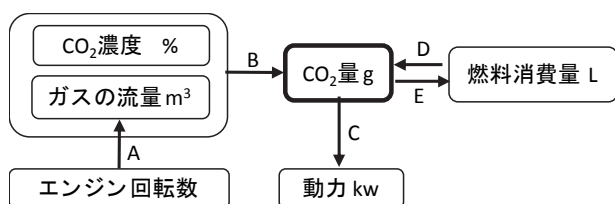


図-1 CO<sub>2</sub>等の測定値の関連の模式図。

理し、式(1)の関係が得られた旨を報告している<sup>2)</sup>。この値は環境省が公表<sup>3)</sup>している軽油の排出係数から算出した値  $2624 \times 10^3 \text{ g-CO}_2/\text{m}^3\text{-軽油}$  と整合する。さらに文献ではアイドリングによる過剰な CO<sub>2</sub> 排出量の測定値についても述べている。式(2)で定義した operational efficiency  $\eta$  (ここでは「熱効率 $\eta$ 」とは異なる変数。) 過剰な燃料 additional fuel の割合  $N_E$  の関係を散布図にしており、0.32~0.97 の範囲で分布する  $\eta$  と 0~0.5 の範囲で分布する  $N_E$  の回帰式を式(3)としている。

$$y = 2638x \quad (R^2 = 0.9952) \quad (1)$$

$$\eta = \frac{\text{Nonidle Time}}{\text{Nonidle Time} + \text{Idle Time}} \quad (2)$$

$$N_E = -0.41 \cdot \ln(\eta) - 0.03 \quad (R^2 = 0.85) \quad (3)$$

#### 2.2.2 活用策

自動車の燃費測定では CO<sub>2</sub> 等の測定によるカーボンバランス法も使用されている(文献例<sup>4)</sup>)。上記の文献は、建設機械についても、カーボンバランス法で燃費が測定できることの拠り所、および建設機械のアイドリングストップ機能の効果を予測する際の参考として活用できる。

#### 2.3 調査結果と活用策 2-熱効率

##### 2.3.1 調査結果

建設機械の排出ガスは国内外ともに排出ガスの質量  $M_G$  (g) と仕事量  $W$  (kwh) の比  $R_{GPW}$  (g/kwh) で規制されているが、収集した海外の文献の排出ガス量の単位は図-2 となった。エンジンのトルクは建設機械に搭載した条件では実測できないため、エンジンの制御用ユニット (ECU : Engine Control

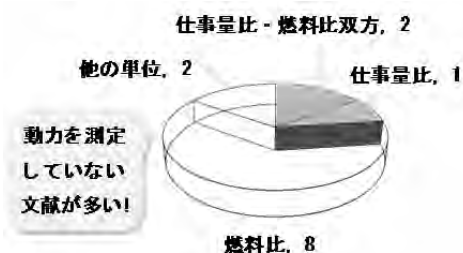


図-2 建設機械から排出されるガスの測定値の単位 (文献数)。

Unit ) の電気信号のデータを測定値とみなすことになるが、建設機械ではインターフェースが標準化されていない<sup>5)</sup>ことや企業秘密的な情報が含まれているため測定できない<sup>6)</sup>ことがある。このため仕事量比の測定数が少ないと解釈した。

ここで油圧ショベルの仕事量比の排出量 $R_{GpW}$ が

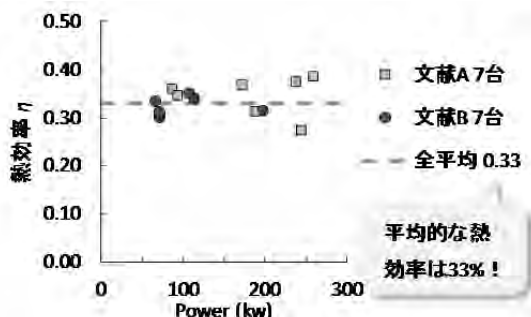


図-3 熱効率の推定値.

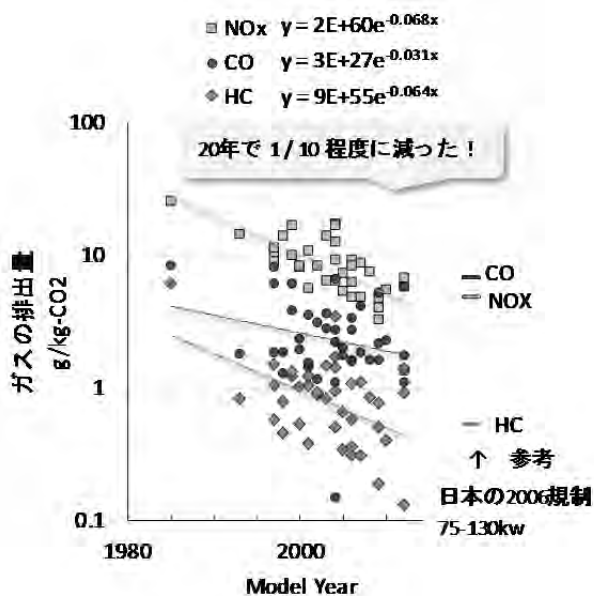


図-4 油圧ショベルの年式と排出ガス量.

表-1 測定概要.

測定時期	2015年度(10月, 1月), 2016年度(12月)	
測定場所	土木研究所構内	
建設機械	油圧ショベル, 20tクラス, DPF装着 1台	
測定項目と測定装置	測定項目	測定装置
	エンジン回転数, トルク	CAN データロガー (VECTOR, GL1000)
	排出ガス濃度	FTIR (岩田電業, FAST-2200)
	排出ガス流量	ピトー管式流量計 (2015年度は1台, 2016年度は2台)
測定対象 (ガス)	CO <sub>2</sub> , CO, CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, NO, NO <sub>2</sub> , NMHC (非メタン炭化水素), NH <sub>3</sub> 他	
サンプリング周波数	5Hz (0.2秒間隔)	

記載されている3編の文献での測定値から以下の方法で熱効率 $\eta$ を算出した。まず、公表値<sup>3)</sup>等を使用して燃料比( /ガロン, /リットル)の排出量をCO<sub>2</sub>比の排出量 $R_{GpCO_2}$  (g / kg-CO<sub>2</sub>) ( $R_{GpCO_2}$ の補足説明は後述する。)に換算した。次に、 $R_{GpW}$  (g / kWh),  $R_{GpCO_2}$ , および軽油のCO<sub>2</sub>排出原単位 $m = 0.24732$  (kg/kwh) (公表値<sup>3)</sup>0.0687 kg/MJの単位

を変換した値。)と式(4)から $\eta$ を算出した。計算式の詳細は付録に示す。3編の文献のうち、1編の文献値は $\eta$ が1.0を超える等の異常値になったので除外し、他の2編の文献値<sup>7),8)</sup>から計算した14台の $\eta$ を図-3に示す。 $\eta$ の平均値は0.33となった。

$$\frac{R_{GpW}}{R_{GpCO_2}} = \frac{1}{\eta} m \quad (4)$$

補足： $R_{GpCO_2}$

$R_{GpCO_2}$ は、文献<sup>9),10),11),12)</sup>で提唱されている排ガス評価量である。計算式の詳細は付録に示す。熱効率の優劣が反映できない点で $R_{GpW}$ に劣る。しかし、 $R_{GpW}$ で使用するECUのトルク値は実測値ではなく室内試験値に基づく自己申告的な推計値であるのに対して、 $R_{GpCO_2}$ で使用する測定値は全て後付けの測定装置で実測できる。さらに、測定が簡素化できて誤差が小さいこと<sup>12)</sup>、および2.3のように燃料比( /ガロン, /リットル)等で測定した測定値を活用することで非常に優れていると考えている。

### 2.3.2 活用策

$\eta$ を仮定して式(4)にあてはめることで、 $R_{GpCO_2}$  (g / kg-CO<sub>2</sub>)と $R_{GpW}$  (g / kWh)の換算ができる。油圧ショベルの排出ガスの測定値が仕事量比( /kwh, /hp), または燃料比( /ガロン, /リットル)で記載されている8編の文献の測定値(45台)を全てCO<sub>2</sub>比( /kg-CO<sub>2</sub>)に換算し、年式の関係で散布図にした(図-4)。右端には日本の75-130kwクラスの2006規制値を2.2の方法で換算した値を併記している。油圧ショベルが排出するNOx, CO, HCはおおむね20年間で1/10に抑制されたと解釈できる。

## 3. 排出ガス測定データ

土木研究所が2015年度に測定した排出ガス量については既に報告している<sup>12),13)</sup>。2016年度の排出ガス量についても別途報告する予定である。本稿ではCO<sub>2</sub>の測定値で簡易に燃費が計算できることを示すとともにその活用策について述べる。

### 3.1 測定方法

測定の概要を表-1および図-5に示す。ディーゼル微粒子捕集フィルター(DPF: Diesel Particulate Filter)を搭載した20tクラスの油圧ショベルに測定装置を設置し、表-2に示す「待機」、「走行」、「ならし(模擬動作)」、「掘削(実作業)」、および「掘削積込(模擬動作)」の動作を行って排出ガスの流

量と濃度を連続測定した。2015年度の測

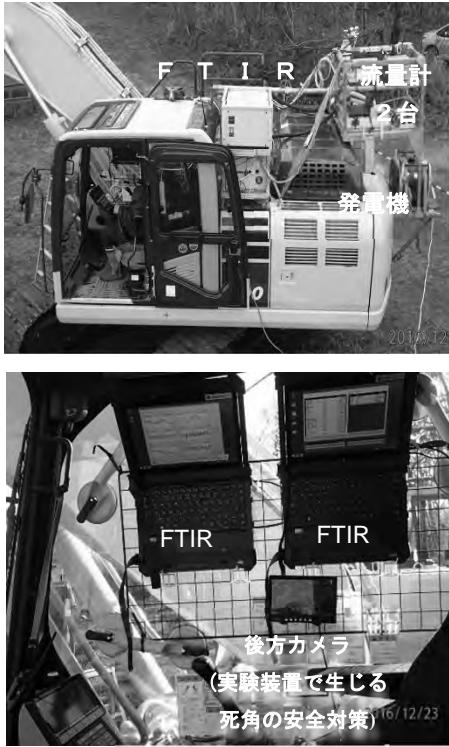
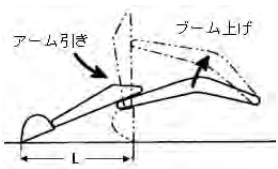



図-5 油圧ショベルに搭載した測定装置.

表-2 測定時の動作.

動作	内容
待機	アイドリング / 5分 (異なる時間の測定有)
走行	片道 25mの区間往復/3 サイクル
ならし (模擬)	 <p>アーム, およびバケットが一直線になる状態を開始姿勢とし, L=4.5m の範囲で水平引き ( JCMAS H 020:2014 引用 )</p>
掘削 (実作業)	掘削, 45度の旋回, およびバケットダンプ /5 サイクル
掘削積込 (模擬)	 <p>開始姿勢, 水平引き, バケット掘削, ブーム上げを伴う 90度の旋回, およびバケットダンプ /5 サイクル (異なる時間の測定有) ( JCMAS H 020:20142 引用 ) ( 開始姿勢はアーム, およびバケットが一直線 )</p>

定数は, 測定時期, オペレータ, および運転モードの条件を2期 (10月と1月), 3人, および2種類 (パワー優先と燃費優先) の組み合わせとした約 30~40 分間の測定が合計で 12回 (2×3×2) となった。2016年度は, 運転モード, アクセル開

度, 動作の緩慢, 測定回数, コールドスタート

表-3 燃費測定方法の比較.

測定項目	測定方法		
	一般的な方法	カーボンバランス法	本稿が提案する簡易な燃費測定法
燃料の流量	○		
ガスの流量	実測		○
	エンジン回転数から推定		○
ガスの濃度	CO <sub>2</sub>	○	○
	CO, THC		○

(○: 測定)

(エンジン冷却水の温度) 等を変化させた各種の測定を 15 種類行った。

### 3.2 CO<sub>2</sub>の測定値に基づく燃費計算

3.1の測定では燃料の流量を測定していない。しかし, 2. で述べたように測定した CO<sub>2</sub> の質量  $M_{CO_2}$  g と軽油の排出係数  $2624 \times 10^3$  g-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>・軽油 から軽油の燃費  $V_{oil}$  m<sup>3</sup> を算出することができる (式 (5))。  $M_{CO_2}$  は, 排出ガスの流量  $v$  と CO<sub>2</sub> の濃度の測定値から計算できる (付録)。本節では,  $v$  をエンジン回転数から推定すること (図-1の A) による簡易な燃費測定法と活用案について述べる。

$$V_{oil} = \frac{M_{CO_2}}{2624 \times 10^3} \quad (5)$$

#### 3.2.1 簡易な燃費測定法

表-3 は燃費の測定方法について燃料の流量を測定する方法, カーボンバランス法, および本稿で提案する簡易な燃費測定法を比較したものである。燃料の流量を後付けの装置で直接測定するには配管の加工が必要になる。CO<sub>2</sub> 等と燃費には図-1の模式図の関連があるので CO<sub>2</sub> 等を測定すれば燃費を測定できる。カーボンバランス法では燃料の流量測定を排出ガス流量の測定に代替するが, 排出ガスの流量の測定で排気管の加工が必要になる。本稿の簡便法ではこれをエンジン回転数で代替する (図-1の A)。排出ガスの流量  $v_p$  の計算式は付録の式 (付.6) に示す。  $v_p$  は過給を考慮しないことで過小, 排気再循環 (EGR: Exhaust Gas Recirculation) と体積効率を考慮しないことで過大となる。エンジン回転数の測定方法は, ECU の信号, 光学センサー, オルタネータの漏れ磁束, および音等の測定方法のなかから選択できる。また, 精緻なカーボンバランス法では CO<sub>2</sub> 以外の炭素化合物の CO, および THC (非メタン炭化水素) の測定値を要するが, 図-4 に示すようにこれらは CO<sub>2</sub> 比で 0.1% 程度なので簡便法では測定を省略する。

図-6 は「エンジン回転数から推定した流量  $v_p$  に基

づく燃費 $V_{oil,P}$ 」と「実測した流量に基づく燃費

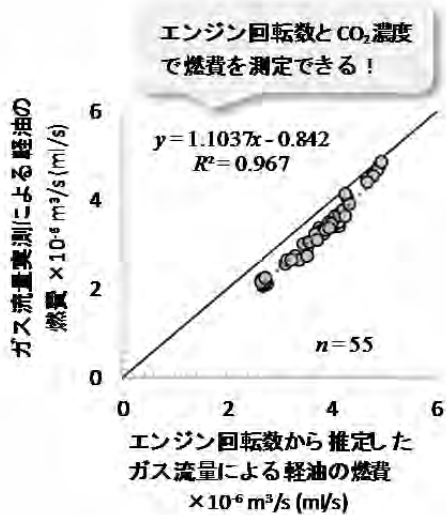


図-6 ガス流量推定の燃費とガス流量実測の燃費.

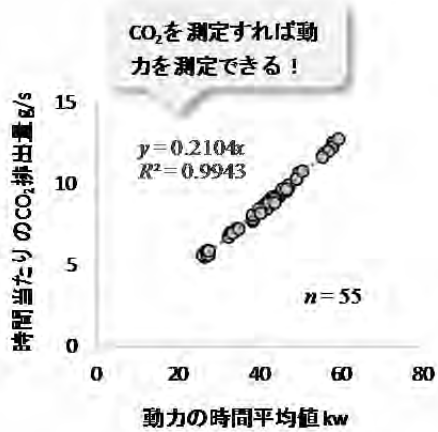


図-7 動力とCO<sub>2</sub>排出量の測定値.

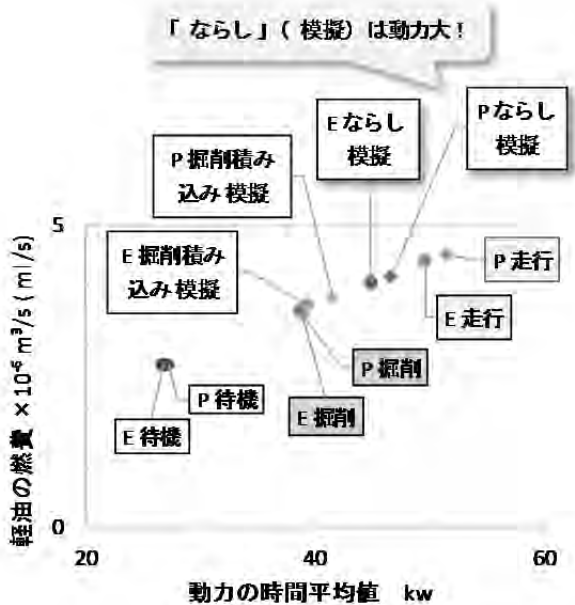


図-8 動作別の動力と燃費の測定値.

$V_{oil,M}$ 」の関係を図示したものである。軽油の燃費の単位 $\times 10^{-6} \text{ m}^3$ は、 $\times 10^{-3} \text{ l}$  (リットル)、および ml (ミリリットル) に相当する。図-6 の回帰式で  $V_{oil,P}$  を  $V_{oil,M}$  に換算できる。

なお、流量計による測定値は流量が少ない条件では過少になることや、条件によっては台上試験装置より 20%程度低い値になることも報告されており(文献例<sup>14</sup>)、必ずしも  $V_{oil,M}$  が  $V_{oil,P}$  よりも真値に近いとは限らない。

### 補足：動力

図-7 は時間平均した動力と時間当たりの CO<sub>2</sub> 排出量の関係を整理したものである。動力 (kw) は、ECU のエンジン回転数とトルク (比例値)、および熱効率  $\eta = 0.33$  から計算した。CO<sub>2</sub> の排出量は濃度と流量の測定値から算出した。図-6 での相関が良好であることから、以下の解釈ができる。

- ・ ECU の出力に基づく熱効率が動作の内容によらずほぼ一定。
- ・ 動力の多寡を CO<sub>2</sub> の多寡で判断できる(図-1 の C)。

### 3.2.2 活用例 1-動作の種類と燃費

図-8 は図-7 を動作別に整理し横軸を動力、縦軸をエンジン回転数から算出した流量で計算した燃費としたものである (P は 5 データの平均, E は 6 データの平均)。動力、および燃費は大きい順に走行、ならし (模擬)、掘削積込 (模擬)、掘削、待機となり、パワーモードがエコモードより大きい傾向も把握できる。地面に触れることのない「ならし (模擬)」が「掘削」よりも動力が大きくなったのは予想外であった。要因として、動作のスピードが比較的早く、運動エネルギー(速度の 2 乗に比例)が大きいことが考えられる。このことから、以下を予測する。

- ・ 過度な速度の抑制や速度の速い動作に着目したエネルギーの回生は燃費改善の効果が大きい。
- ・ 大きな力の低速作業は、小さな力の高速作業よりも燃料消費が少ない。

なお、この実験とは無関係であるが、図-9 は土工用機械の経費の算出に使用する損料表<sup>15)</sup>に記載

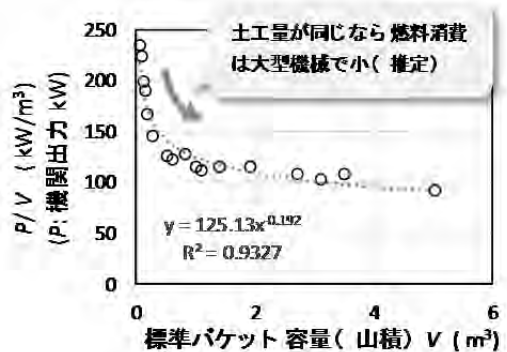


図-9 バックホウの大きさと土量比の動力.

されていたバックホウ（油圧ショベル）について、横軸をバケット山積容量  $V \text{ m}^3$ （ここでの  $V$  は排出ガス流量  $V$  とは異なる。）、縦軸を機関出力  $P \text{ kW}$  と  $V$  の比  $P/V$  としてプロットしたものである。この文献では仕事量あたりの燃費  $L/\text{kwh}$  は機械の大きさによらない一定値が記載されているので、縦軸は土量比の燃費に比例するとみなせる。このデータからは大きい機械を使用して掘削回数を減らせば燃費消費が少なくなると推定できる。

### 3.2.3 活用例 2-燃費の詳細分析

図-10 は試行的に一人のオペレータで運転の緩慢を「乱暴」, 「普通」, および「穏やか」に変化させた際の測定値である。動作は「掘削積込（模擬）」, および「掘削」を異なる場所で行ったが、測定値は一連の動作とみなして合算した。燃費は「実測した流量に基づく燃費  $V_{\text{oil,M}}$ 」と「エンジン回転数から推定した流量に基づく燃費  $V_{\text{oil,P}}$ 」を図-6 の回帰式で補正したものを併記した。動力の時間平均値（左上）は大きい順に「乱暴」, 「普通」, 「穏やか」となり毎秒(1/s)の燃費（左下）も同じ傾向になった。動作に要した時間（右上）は大きい順に「穏やか」, 「乱暴」, 「普通」となった。燃費（右下）も同じ傾向になった。簡易な燃費測定法は燃費の詳細な分析に使用できることが確認できた。

なお、この測定は試行的な一例であり、個人差など条件により異なる結果となる可能性もある。また、「穏やかな操作」は時間を要し燃費も大きいが、1回あたりの土量 ( $\text{m}^3$ ) を大きくできる可能性があること、騒音・振動が抑制されること、安全確認のための心理的なゆとりを確保できること等も考えられるので「穏やかな操作」が劣ると短絡的に解釈されるのは本意ではない。

## 4. まとめと展望

### 4.1 まとめ

排出ガス測定にかかる海外の文献を調査し、以下のことがわかった。

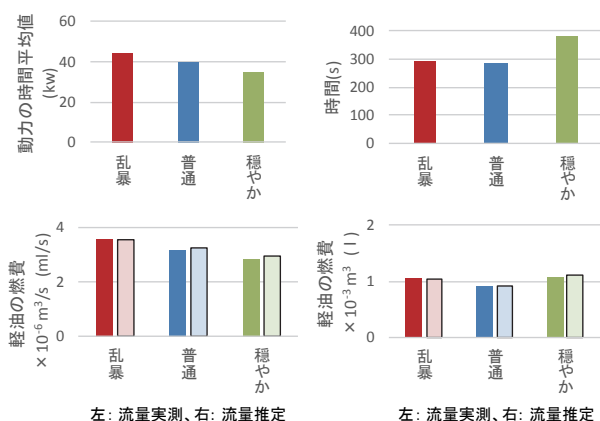


図-10 動作方法別の測定値の一例.

◆建設機械の燃費は  $\text{CO}_2$  の測定によるカーボンバランス法で測定できる。 $\text{CO}_2$  以外の炭素化合物を考慮しないことによる誤差は 0.1 % 程度。

◆現行規制の排出ガスの単位は、仕事量あたりの排出量 ( $\text{g}/\text{kwh}$ ) であるが、この単位で適切に測定されたと解釈できた論文の割合は 13 編のうち 2 編と低かった。この要因はエンジントルクの測定が困難であることに起因すると推定した。

◆2 編の論文に基づいて油圧ショベル 14 台の熱効率  $\eta$  を推定した。平均値は 33% であった。

◆ $\eta$  を仮定することで仕事量比の排出量  $R_{\text{GpW}}$  ( $\text{g}/\text{kwh}$ ) と  $\text{CO}_2$  比の排出量  $R_{\text{GpCO}_2}$  ( $\text{g}/\text{kg-CO}_2$ ) の換算ができる。

◆油圧ショベルが排出する  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$ , および  $\text{HC}$  はおおむね 20 年間で 1/10 に抑制されたと解した。

土木研究所で測定した排出ガスのデータを分析して以下のことがわかった。

◆エンジン回転数と  $\text{CO}_2$  濃度による簡易な燃費測定法を提案した。この方法での測定値は、実測したガス流量に基づく燃費に直線回帰 ( $R^2=0.97$ ) で補正できることを確認した。

◆熱効率 (ECU のデータからの計算値) は、動作の内容によらずほぼ一定。

◆動力 (ECU のデータからの計算値) と  $\text{CO}_2$  の直線回帰の決定係数  $R^2$  は 0.99 なので  $\text{CO}_2$  で動力の多寡を判断できる。

◆簡易な燃費測定法を活用し、動作の種別ごとに動力・燃費を計算した。地面に触れることのない「ならし」の模擬動作時の動力・燃費が他と比較して大きいことから、速度の速い動作は燃費が大きいと解釈し、以下を予測した。

- ・過度な速度の抑制や速度の速い動作に着目したエネルギーの回生は燃費改善の効果が大きい。
- ・大きな力の低速作業は、小さな力の高速作業よりも燃料消費が少ない。

◆簡易な燃費測定法は、操作方法が「乱暴」, 「普通」, および「穏やか」と異なることによる燃費の違い等、燃費の詳細な分析に使用できることを確認した。

### 4.2 展望

$\text{CO}_2$  のみならず、土量 ( $\text{m}^3$ )・騒音・振動等の測定を追加し、機械の大きさ、バケット容量、操作の速度・丁寧さ、1 回当たりの掘削量、およびオペレータの個人差等を変数とした解析を行うことで施工時間、燃費、安全・環境、個人差等を総合的に評価した最適な施工方法を見出すことも可能になると考えている。既に実務担当者は経験的に実践している可能性も高い。数値で明確になることの波及効果は大きいと考えている。



付録 計算式

計算式	番号	記号
$R_{GpW} = M_G / W$	(付. 1)	$R_{GpW}$ : 仕事量比の排出量 ( g / kwh ), $M_G$ : 排出ガスの質量 ( g ), $W$ : 仕事量 ( kwh )
$M_G = \int \frac{C_G \rho_G V}{1,000,000} dt$	(付. 2)	$C_G$ : 排出ガスの濃度 ( ppm ), $\rho_G$ : 排出ガスの密度 ( g / m <sup>3</sup> ), $V$ : 排出ガスの流量 ( m <sup>3</sup> / s )
$W = \int \frac{2\pi R_E T_E}{1000 \cdot 3600} dt$	(付. 3)	$R_E$ : エンジン回転数 ( / s ), $T_E$ : トルク ( N・m )
$R_{GpCO_2} = M_G / M_{CO_2}$	(付. 4)	$R_{GpCO_2}$ : CO <sub>2</sub> 質量比の排出量 ( g / kg-CO <sub>2</sub> ), $M_{CO_2}$ : CO <sub>2</sub> の量 ( kg )
$k = \frac{R_{GpW}}{R_{GpCO_2}} = \frac{M_{CO_2}}{W} = \frac{1}{\eta} m$	(付. 5)	$k$ : 仕事量比の排出量と CO <sub>2</sub> 比の排出量の比, $\eta$ : エンジンの熱効率, $m$ : 軽油の CO <sub>2</sub> 排出原単位 ( kg/kwh ). 0.0687 kg/MJ ( 環境省 web site 掲載値 <sup>3)</sup> ) を採択して単位を変換すれば, $m = 0.24732$ kg/kwh.
$V_{oil} = \frac{M_{CO_2}}{2624 \times 10^3}$	(5)	$V_{oil}$ : 軽油の燃料消費量 m <sup>3</sup> . 軽油の排出係数 2624 × 10 <sup>3</sup> g-CO <sub>2</sub> / m <sup>3</sup> 軽油は環境省 web site 掲載値 <sup>3)</sup> に基づいて算出した.
$V_P = R_E \frac{D}{2} r_G$	(付. 6)	$V_P$ : エンジン回転数から推定した排出ガスの流量の概算値 ( m <sup>3</sup> / s ). 2 回転で排気量に相当するガスが排出されると仮定, $D$ : エンジンの排気量 ( m <sup>3</sup> ), $r_G$ : 排気と吸気の体積比 ( 同一温度に換算 ). 注) この推定値は過給を考慮しないことで過小, 排気再循環 ( EGR: Exhaust Gas Recirculation ) と体積効率を考慮しないことで過大となる.
$r_G = 1 / ( 1 - r_F \frac{C_{CO_2}}{1,000,000} )$	(付. 7)	$r_F$ : 軽油の燃焼での体積増加率. 軽油成分 C <sub>14</sub> H <sub>30</sub> , C <sub>15</sub> H <sub>32</sub> , C <sub>16</sub> H <sub>34</sub> のうち中央値的な C <sub>15</sub> H <sub>32</sub> の燃焼式 C <sub>15</sub> H <sub>32</sub> + 23O <sub>2</sub> = 15CO <sub>2</sub> + 16H <sub>2</sub> O を仮定すると $r_F = (-23 + 15 + 16) / 15$ .
$r_G = 1$	(付. 8)	CO <sub>2</sub> の濃度の上限は約 15%, 平均的には 5% 程度なので, $r_G$ は最大で約 1.09, 平均で 1.03 程度になるが, 排気再循環 EGR を考慮しないラフさとは不釣り合いなことから本論文の解析では $r_G = 1$ とした.

参考文献

- |  |   |
|--|---|
| 1) Frey, H. C., Rasdorf, W., and Lewis, P.: Results of a comprehensive field study of fuel use and emissions of nonroad diesel construction equipment, Transport Research Record 158, Transportation Research Board, 2010.   | 8) Cao, T; Durbin, TD; Russell, RL; Cocker, DR; Scora, G; Maldonado, H; Johnson, KC: Evaluations of in-use emission factors from off-road construction equipment, ATMOSPHERIC ENVIRONMENT, vol.147, pp.234-245, 2016. |
| 2) Lewis, P; Leming, M; Rasdorf, W: Impact of Engine Idling on Fuel Use and CO2 Emissions of Nonroad Diesel Construction Equipment, JOURNAL OF MANAGEMENT IN ENGINEERING, vol.28, no.1, pp.31-38, 2012.  | 9) 山本敏朗, 堤玲子, 岩田恒夫, 小川恭弘, 加藤裕: 尿素SCRシステム搭載貨物車の路上走行時における NOx, NH3 および N2O の排出挙動, 公益社団法人 自動車技術会 学術講演会前刷集, No.68-13, 2013.   |
| 3) 環境省: 事業者からの温室効果ガス排出量算定方法ガイドライン ( 試案 ver1.6 ), 環境省 web site.   | 10) 山本敏朗: センサベースのポータブル排出ガス計測器による車載計測, ENGINE REVIEW, Vol.1.5, No.3, 2015.   |
| 4) 独立行政法人自動車技術総合機構審査事務規程: Test Requirements and Instructions for Automobile Standards ( TRIAS ) 99-005-01 燃料消費率試験 ( 10・15 モード )  | 11) 山本敏朗, 堤玲子, 水嶋教文, 渡辺敬太郎: NOx センサベースの車載計測器による路上走行時における重量貨物車の NOx 排出量評価, 自動車技術会論文集, Vol.46, No.5, 2015.  |
| 5) Abolhasani Saeed, Frey H. Christopher, Kim Kangwook, Rasdorf William, Lewis Phil, Pang Shih-Hao: Real-world in-use activity, fuel use, and emissions for nonroad construction vehicles: A case study for excavators, JOURNAL OF THE AIR & WASTE MANAGEMENT ASSOCIATION, vol.58, no.8, pp.1033-1046, 2008. | 12) 吉永弘志, 野村正之: 油圧ショベルが各種の動作で排出する温室効果ガスおよび窒素酸化物の測定, 平成 28 年度建設施工と建設機械シンポジウム論文集・梗概集, pp.109-114, 2016.11.  |
| 6) Heidari Bardia, Marr Linsey C.: Real-time emissions from construction equipment compared with model predictions, JOURNAL OF THE AIR & WASTE MANAGEMENT ASSOCIATION, vol.65, no.2, pp.115-125, 2015.   | 13) 野村正之: 建設機械における稼働時の温室効果ガスの検討, 建設機械 2016.5, pp.63-69, 2016.5.   |
| 7) U.S. Environmental Protection Agency, Populations, Activi-ty and Emissions of Diesel Nonroad Equipment in   | 14) 公益社団法人 自動車技術会 [GIA フォーラム] Real World エミッション低減に向けた車載排ガス計測: PEMS の最新動向. pp.17, 2017.  |
|  | 15) 一般社団法人 日本建設機械施工協会 平成 28 年度建設機械等損料表.   |