

CO₂ 排出量削減に向けた IoT 技術の活用事例

IoT 技術で取得した建設機械稼働データの分析 KenkiNavi

高倉 望

筆者らは、近年脚光を浴びている IoT の技術を導入して、建設機械の稼働状況を遠隔で監視するシステム KenkiNavi（以下「本システム」という）を開発し、そのシステムを活用して建設機械の CO₂ 排出量をリアルタイムに算定する実証試験に着手した。本システムは、市販されている小型のマシンコミュニケーション機器（以下、センサと呼ぶ）をシガレットホルダーや電源コンセントに挿し込み、インターネット回線を通してクラウド上でデータを蓄積・分析・可視化するシステムである。

本稿では、本システムから得られる建設機械の稼働データを分析し、従来方法で算定した CO₂ 排出量と妥当性評価、CO₂ 排出量算定方法の違いによる CO₂ 排出量の比較、運転の経験年数の違いによる CO₂ 排出量の削減効果の検証に活用した事例を報告する。

キーワード：IoT, CO₂ 排出量管理, CO₂ 排出量削減, 環境負荷低減

1. はじめに

建設業は、建設機械から発生する騒音・振動や CO₂ 排出ガスの低減など現場周辺環境への負荷低減に対して積極的に対応している。その中でも CO₂ 排出ガスの削減に対しては、工事現場で計画段階における CO₂ 排出量予測、定期的な CO₂ 排出量の管理などを実施している。しかし、工事現場で算定している CO₂ 排出量は、作業内容などから建設機械の 1 日の稼働時間や輸送距離を仮定して算定しているため、必ずしも実際の CO₂ 排出量を評価するには至っていない。

そのような中、筆者らは、近年になって急速に発展している IoT 技術を導入した本システムを開発し、その機能を用いて CO₂ 排出量をリアルタイムに算定するモニタリングシステムの実証試験に着手した。

本稿では、建設機械の CO₂ 排出量に対して、本システムで得られる値と従来方法で算定された値とを比較して妥当性を評価した。また、CO₂ 排出量算定方法の違いによる CO₂ 排出量を比較した。さらに、バックホウ運転手の運転経験年数による CO₂ 排出量を比較することで建設機械運転の習熟度による CO₂ 排出量削減効果を定量的に検証した。

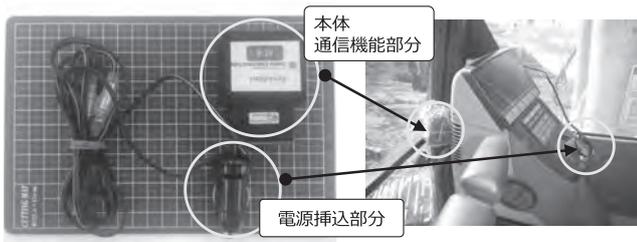
2. 本システムの概要について

本システムは、建設機械に取り付けた小型のセンサ

からインターネットを介して、稼働データをクラウド上に蓄積・分析・可視化できるシステムである（図—1 参照）。具体的には、3～5 秒間隔で建設機械の稼働情報（稼働/停止情報、位置、速度、加速度）を取得し、携帯データ通信網（3G 回線）を経由してクラウド上のサーバーに蓄積し、走行軌跡、到着時間、時間—速度曲線、CO₂ 排出量の時系列図など Web 画面上で可視化する。建設機械に取り付けるセンサは、乗用車やトラックなどに使用されている市販品を改良したものである。センサ本体は、長さ：50 mm × 幅：50 mm × 厚み：25 mm と小型であるため、運転席内に取付けても運転の支障とはならない（写真—1 参照）。また、シガレットホルダーや電源コンセントがあれば配線工事が必要なく、ほぼ全てのメーカーの建設機械に取り付けることができる。さらに、センサに通信機能や GPS 機能を搭載しているため、データ送信



図—1 本システムのイメージ図



写真一 本システム用センサの取り付け状況

に必要なインターネットケーブルやルータなどの付属品が必要なく単体で使用できる。

3. CO₂ 排出量削減のための活用事例

本システムを用いて、掘削工や残土搬出工におけるバックホウと大型ダンプのCO₂排出量を算定した。以下にCO₂排出量の算定方法および算定値の活用事例を示す。

(1) CO₂ 排出量の算定方法

建設機械のCO₂排出量の算定は、(一社)日本建設業連合会のエネルギー使用量の算定方法に準じ、現場内は燃料法、現場外は燃費法の2通りの方法を用いた¹⁾。ここで、燃料法は、総稼働時間と燃料消費量からCO₂排出量を算定する方法である。一方、燃費法は、輸送距離と燃費からCO₂排出量を算定する方法である。燃費法は、燃料使用量を直接把握することが難しい場合に用いられる方法である。

(a) 燃料法

$$\begin{aligned} & \text{CO}_2 \text{ 排出量 (ton-CO}_2\text{)} \\ &= \text{総稼働時間 (h)} \times \text{燃料消費量 (ℓ/h)} \div 1000 \\ & \quad \times \text{CO}_2 \text{ 排出原単位 (ton-CO}_2\text{/kℓ)} \end{aligned}$$

(b) 燃費法

$$\begin{aligned} & \text{CO}_2 \text{ 排出量 (ton-CO}_2\text{)} \\ &= \text{輸送距離 (km)} \times \text{燃費 (ℓ/km)} \div 1000 \\ & \quad \times \text{CO}_2 \text{ 排出原単位 (ton-CO}_2\text{/kℓ)} \end{aligned}$$

上式の算定に用いた諸係数を表一に示す。燃料消費量の値は、(一社)日本建設機械施工協会発行の「建

設機械等損料表²⁾の値、CO₂排出原単位は、(一社)日本経済団体連合会の調査結果³⁾の値を参考にした。燃費法に用いた燃費は、一般的に用いられている推定値を用いた。なお、本システムでは、上式の“総稼働時間”と“輸送距離”を自動で取得することができる。

(2) 本システムで算定したCO₂排出量の活用事例

今回の実証試験をした現場数は、2現場である(本論文では、A現場およびB現場と呼ぶ)。A現場は、短い距離を大型ダンプトラック(以下、大型ダンプと略す)で現場内を運搬する工事である。運搬する総土量は約25万m³、1日の運搬回数は15~16回/台である。B現場は、比較的に長い距離を大型ダンプで現場外を運搬する工事である。場外搬出土量は、約35万m³である。2台のバックホウで40~50台/日の大型ダンプに積込み、片道約20km先の捨場へ運搬する工事である。1日の運搬回数は3~4回/台である。

CO₂排出量の算定方法は、A現場が、大型ダンプとバックホウとも場内作業となるため燃料法を用いた。B現場の大型ダンプは現場外を運搬するため燃費法、バックホウは現場内で作業するため燃料法を用いた(表一参照)。

表一 現場毎のCO₂排出量算定方法

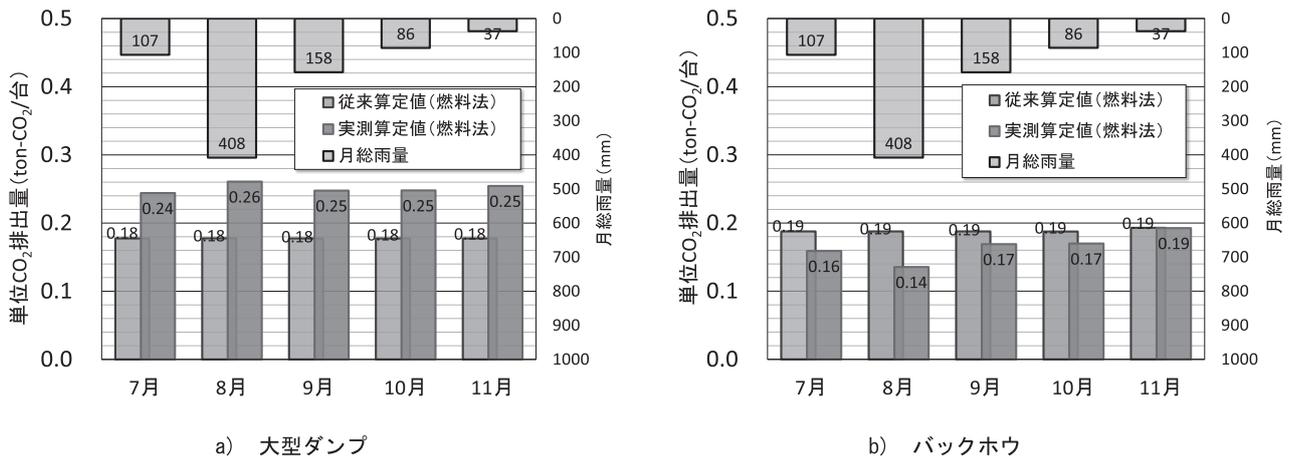
	大型ダンプ	バックホウ
A現場	燃料法	燃料法
B現場	燃費法	燃料法

(a) 従来のCO₂排出量算定方法で算定した値との比較に活用

A現場では、バックホウと大型ダンプの1日の作業時間(8時間)のうち5.5時間稼働すると仮定してCO₂排出量を算定している(従来方法と呼ぶ)。しかし、実際の稼働時間は、施工条件や気象条件で日々変化する。運搬車両に限っては、運行ルートや交通事情などにも影響される。そこで、1台当りの月積算CO₂排出量(単位CO₂排出量と呼ぶ)に対し、本システムで取得した稼働時間の実測値を用いて算定した値

表一 CO₂排出量の算定に用いた諸係数

種類	規模	単位時間当り消費量	換算係数	燃費	適用
		ℓ/h	kg-CO ₂ /kℓ	km/ℓ	
大型ダンプ	≥ 10 t	-	2,623	2.5	場外(燃費法)
大型ダンプ	≥ 10 t	12.3	2,623	-	場内(燃料法)
バックホウ	0.5 m ³ ≤, ≤ 1.0 m ³	13.0	2,623	-	場内(燃料法)



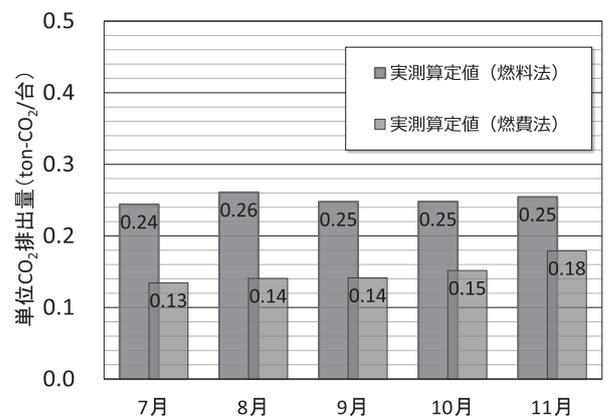
図一2 従来算定方法と本システム算定方法との1台当りの月積算CO₂排出量比較 (A現場)

(実測算定値と呼ぶ)と従来方法で算定した値(従来算定値)とを比較した(図一2参照)。なお、稼働時間は、降雨の有無に影響されることから図中に月総雨量を追記した。

図一2から、実測算定値と従来算定値を比較すると、大型ダンプは月総雨量に関係なく実測算定値が4割程度多い。バックホウは8月で実測算定値が従来算定値と比較して3割程度少なく、それ以外は実測算定値が降雨量と正の相関で変動し、12月は従来算定値とほぼ同値となっている。この要因として捨て場の土砂受け入れ条件が影響していると考えている。具体的には、今回の捨て場は、地形に高低差があるため、少量の降雨でも場内運搬が困難となり受け入れを中止していた。捨て場が受け入れを中止すると大型ダンプによる運搬作業が中止となり、単位CO₂排出量と月総雨量に関係がなくなる。一方、バックホウは、少量の降雨でも掘削や整地作業で稼働するものの、大型ダンプへの土砂積み込み作業がなくなるため単位CO₂排出量が減少しているものと推察している。

この結果から、A現場では建設機械の稼働時間に対して、大型ダンプは8時間程度が妥当、バックホウは現時点で仮定した5.5時間が妥当であると判断している。しかし、月総雨量を加味すればより精度が高いCO₂排出量の算定が期待できる。今後も、本システムから得られるCO₂排出量のデータを蓄積し、CO₂排出量管理手法の精度を向上する。

(b) 算定方法の違いによるCO₂排出量の比較に活用
CO₂排出量算定を場内と場外を使い分けている根拠として、(1)で述べた通り燃料使用量の直接把握の容易さが考えられる⁴⁾。しかし、建設現場では場内および場外とも燃料使用量を直接測定することは難しい。そこでA現場における大型ダンプの単位CO₂排出量を燃料法と燃費法で比較した(図一3参照)。図一3



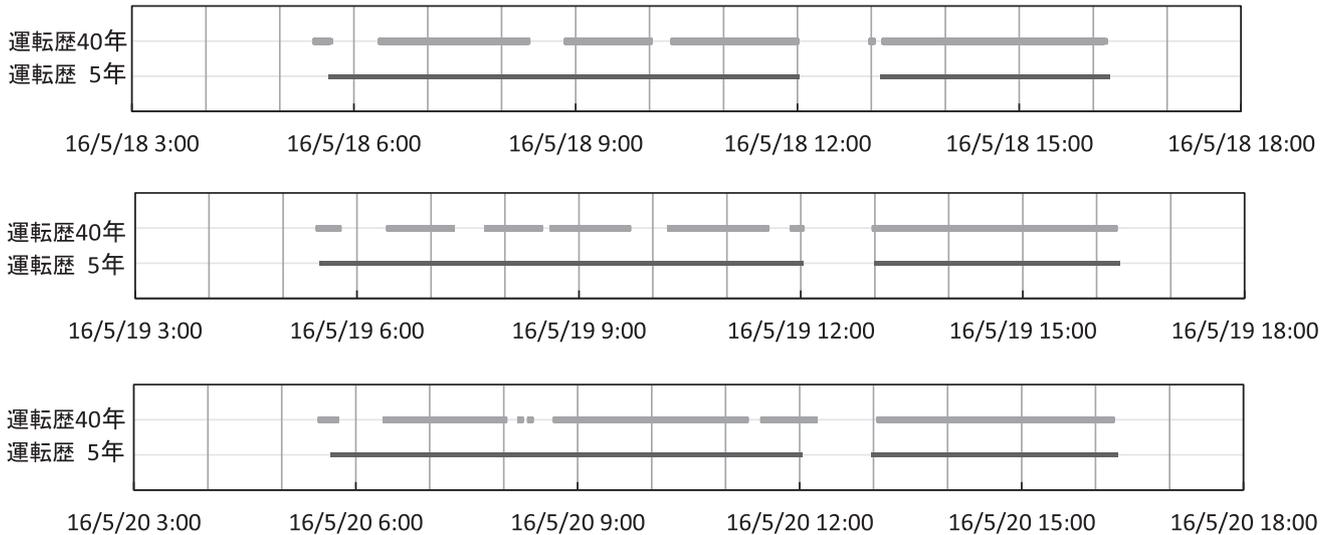
図一3 算定方法の違いによる大型ダンプのCO₂排出量比較 (A現場)

から、単位CO₂排出量は、燃料法で約0.25 ton-CO₂/台、燃費法で約0.15 ton-CO₂/台と燃料法に比べて燃費法で算定したCO₂排出量が約4割小さい。この結果から、A現場のCO₂排出量は、算定方法によって大きく差があることが分かった。ここで、燃料法が稼働時間を基に算定するのに対して、燃費法は輸送距離から算定されることから、アイドリングストップを推進することで輸送距離による燃料使用量が実際の値に近づくものと考えられる。よって、A現場のCO₂排出量は、アイドリングストップによる削減効果が期待できるものと推察される。

(c) 運転の経験年数の違いによるCO₂排出量の削減効果を検証に活用

B現場では、2台のバックホウが近接して掘削し、大型ダンプへの土砂積み込み作業を行った(写真一2参照)。ここで、それぞれのバックホウの運転手の運転歴が5年と40年と差があったことから、運転経験によるCO₂排出量を比較した。そのデータの中から晴天が続いた3日間を抜粋して横棒グラフで示す(図一4参照)。

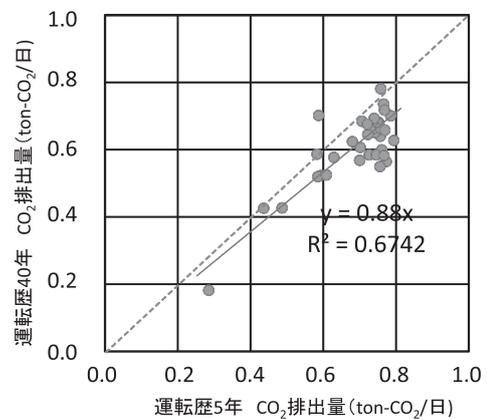
図一4から、運転歴40年の運転手は、運転歴5年



図一4 バックホウのCO₂排出量の範囲横棒グラフ (B現場)



写真一2 バックホウの稼働状況 (B現場)



図一5 習熟度によるCO₂排出量の比較 (B現場)

の運転手と比較して午前中にアイドリングストップの回数が多いことがわかる。ここで、運転歴40年の運転手のアイドリングストップが午後に確認できなかった理由として、大型ダンプの走行間隔が時間と共に均等化して、土砂積み込みのための待機時間が短くなったためと判断している。

次に、それぞれの運転手に対して、同日のCO₂排出量をプロットした(図一5参照)。ここで、プロットした点が図中の点線上に載れば、その日は運転経験に関係なく同量のCO₂を排出したことを意味する。図一5から、当該現場のバックホウの1日のCO₂排出量は、運転歴40年の運転手が運転歴5年の運転手より約1割削減されている結果が得られた。この要因は、図一4で示したアイドリングストップの効果が考えられる。今回得られた結果から、熟練の運転手による省燃費運転教育等を行い、効果的なCO₂排出量削減活動を現場全体に展開していく。

4. 今後の展開

本システムは、CO₂排出量を電子データとして大量に蓄積することができる。A現場の実証試験では、この機能を活用して稼働位置とCO₂排出量を分析・可視化することで、作業時間以外のアイドリング時間が長い運転手や走行中の急加速・急停止回数が多い運転手に対してピンポイントに省燃費運転教育を行い、効果的なCO₂排出量削減に繋げる計画である。また、稼働時間や輸送距離から直接CO₂排出量を管理するだけでなく、GPSの位置情報と組合せることで施工の効率化に繋がるツールでもある。例えば、図一6に示すように走行軌跡と速度の関係を可視化することで、赤色や黄色の太字で示すような渋滞箇所を回避して稼働時間を削減したり、土砂積込用のバックホウと運搬用の大型ダンプとの稼働時間を調整することで、大型ダンプの土砂の積み込み・荷卸し待機時間を短縮したりして、CO₂排出量の削減を目指す。

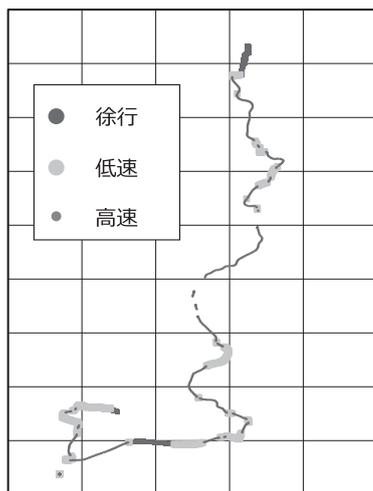


図-6 走行軌跡と速度の分布図 (B現場)

5. おわりに

建設業では、調査・施工・維持管理・解体に至る一連のプロセスにおいてCO₂の排出低減が求められている。そのため、(一社)日本建設業連合会は、国内の企業活動における2030年には、建設施工段階におけるCO₂削減目標を施工高当りの原単位で「1990年度比25% (26,866 kg-CO₂/億円) 減」を目標として取り込んでいる⁵⁾。

そのような中、IoTの技術を導入して建設機械の稼働状況を監視する本システムを開発し、建設機械のCO₂排出量をリアルタイムに可視化するモニタリングシステムの実証試験に着手した。その結果、本システムから取得した稼働時間や輸送距離の実測値を用いて

精度が高いCO₂排出量を算定し、その値を基に、従来方法で算定したCO₂排出量の妥当性評価、各種提案されているCO₂排出量の算定方法の比較、さらにバックホウの運転手の習熟度によるCO₂排出量を検証した事例を報告した。

今後多くの現場に本システムを導入し、建設機械のデータを蓄積・分析・可視化することでCO₂排出量管理と削減効果の評価を継続していく。また、CO₂排出量削減などの環境保全だけでなく生産性の向上、安全や品質の向上、工期短縮などに活用することで建設分野におけるIoTの推進にも貢献する。

JICMA

《参考資料》

- 1) (一社)日本建設業連合会地球温暖化防止対策ワーキンググループ：CO₂排出量調査マニュアル2011, P.2,2011.6.
- 2) (一社)日本建設機械施工協会：平成27年度建設機械等損料表, pp. (17)～(19), 2015.5.
- 3) 例えば、(一社)日本経済団体連合会：環境自主行動計画「温暖化対策編」, 2014.4.
- 4) 経済産業省・国土交通省：物流分野のCO₂排出量に関する算定方法ガイドライン, p.4.
- 5) (一社)日本建設業連合会：建設業の環境自主行動計画 第5版, 0.12-13, 2013.4.

【筆者紹介】

高倉 望 (たかくら のぞむ)
東急建設(株)
担当課長

