

15. 重機エコ最適化モニタリングシステムの開発

大規模土工現場へのシステム導入および脱炭素に向けたデータの検証

西松建設株式会社

○ 井上 洸也

齋藤 貴之

1. はじめに

近年の世界情勢として、気候変動問題への取り組みが加速している。特に地球温暖化を起因とする気候変動（気温上昇や集中豪雨の増加、台風の大規模化・強力化による災害発生）は我々の生活に大きな影響を及ぼす。地球温暖化の要因は温室効果ガスの濃度が上昇したことが大きく支配しており、その中で7割以上占めているのが二酸化炭素（CO₂）である。¹⁾

これらの現状を踏まえ、わが国は2050年までにカーボンニュートラルの実現を宣言しており、CO₂排出量の大幅削減に取り組んでいる。

建設業においては、再生エネルギーの導入や低燃費型の重機や車両の選択等によって、CO₂削減に取り組んでいる中、当社は重機の低燃費運転に着目し、現場で稼働する重機のエンジン稼働状況をモニタリングするシステムの開発を行った。

本論文では開発の概要とデータ取得実証実験について報告する。

2. 開発の背景

建設現場から排出されるCO₂のうち約7割は重機や車両を稼働させるために必要な軽油に起因している。（図-1）そして実際のオペレーションを見ると、出力不足を懸念し、常時フルスロットル、パワーモードでの作業や、作業間での長時間のアイドリングが散見されているのが実情である。

このような状況の中、エンジン回転数を10%低減させると燃費向上は10%以上の効果が見込まれる。²⁾そこでエンジン回転数を抑制させながら作業するための支援ツールとして本システムの開発に着手した。

一方、各メーカーでは低燃費型の重機や車両の開発が活発となっている。近年販売されている機種では状況に応じたエンジンコントロールを行っており、燃費やエンジンの稼働状況も運転席のディスプレイから閲覧が可能となっていることが多い。

しかし、これらは近年導入された機械に搭載されている機能であり、機能を搭載していない旧型

の重機が現役で稼働している現場がほとんどである上、運転席のディスプレイ上で表示される情報は瞬間もしくは短期的なデータのみしか見られない場合が多く、月単位や施工期間中のデータを統括して分析するのには適さない。

また、一つの現場で稼働する重機がすべて同じメーカーで揃える可能性は低く、燃費等の考え方や機能については各メーカーの意匠が反映されており、統括してデータを管理するのは難儀することが予想される。

そこで、本システムではエンジンの回転部から直接回転を読み取る単純な機構を採用することで、エンジンで稼働する重機や車両全てに取り付けることを可能とし、メーカーや機種、年式を問わずエンジンの稼働状況（エンジン回転数）のデータをリアルタイムで取得でき、それらのデータを一括で参照するシステムとした。

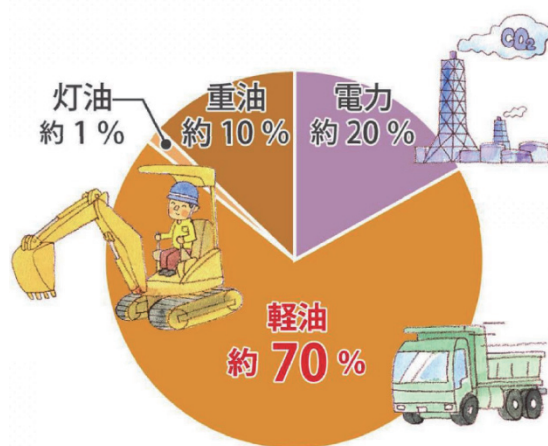


図-1 建設現場における温室効果ガス発生割合

（出典：「わたしたちにできる地球温暖化防止」日本建設業連合会，p10，2019年8月

<https://www.nikkenren.com/kankyoku/pdf/fightglobalwarming.pdf>）

3. 開発システムの構成

3.1 システムの概要

本システムの全体構成を図-2 に示す。システムはデータ取得部と可視化部に大別される。本システムを導入することにより、現場内で稼働する重機それぞれのエンジン稼働状況をモニタリングすることが可能となる。これにより、余剰な稼働や不必要な高回転での作業を把握することで、最適回転数での作業をオペレータへ意識付けさせることができ、余分なエンジン稼働を削減させ、燃費の向上、CO₂排出量の削減に寄与することができる。

3.2 データ取得システムの構成

本システムでは「エンジンの回転数」と「位置情報」をリアルタイムで取得できる。前述したとおり、メーカーや機種等によらないデータ取得を前提としたので、後付け可能かつ、重機の内部システムとは完全に切り離れたシステムとして完結するような構成とした。各データの取得方法について述べる。

(1)エンジン回転数

エンジン回転数は各重機のエンジンと連動した回転部（フライホイールやオルタネータ）に光ファイバーセンサを設置し、回転部に貼付した反射板の検知間隔の信号を取得。（写真-1）センサからの信号はPLC（Programmable Logic Controller）によって一分間当たりの回数に演算され、その数値を回転数としている。オルタネータの場合エンジンと回転比が異なるので、重機に設置されているタコメータと数値を照合し比率を変えた。データは8秒に1回取得される。

取得したデータは無線通信（Wi-Fi）を利用しデ

ータを集約する PLC へと伝送され、データを管理する専用 PC にて自動生成された csv ファイルへ書き込まれる。csv ファイルは一定期間ごとにクラウド上へアップロードされ蓄積する。

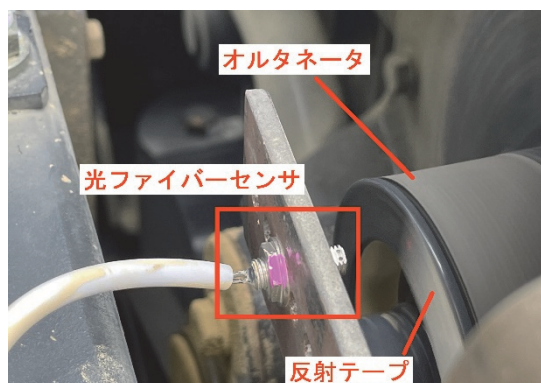


写真-1 エンジンフード内装置

(2)位置情報

位置情報は GNSS(全球測位衛星システム)から受信した緯度・経度を利用し 2 次元座標を取得する。重機キャビン内に小型アンテナを設置し衛星信号を受信する。（写真-2）位置情報を取得することによって、対象となる重機がどの箇所で作業をしているのか、また、走行する車両であればどのような軌跡で走行したのかをデータ化することが可能となる。エンジン回転数同様に csv ファイルへと書き込まれる。

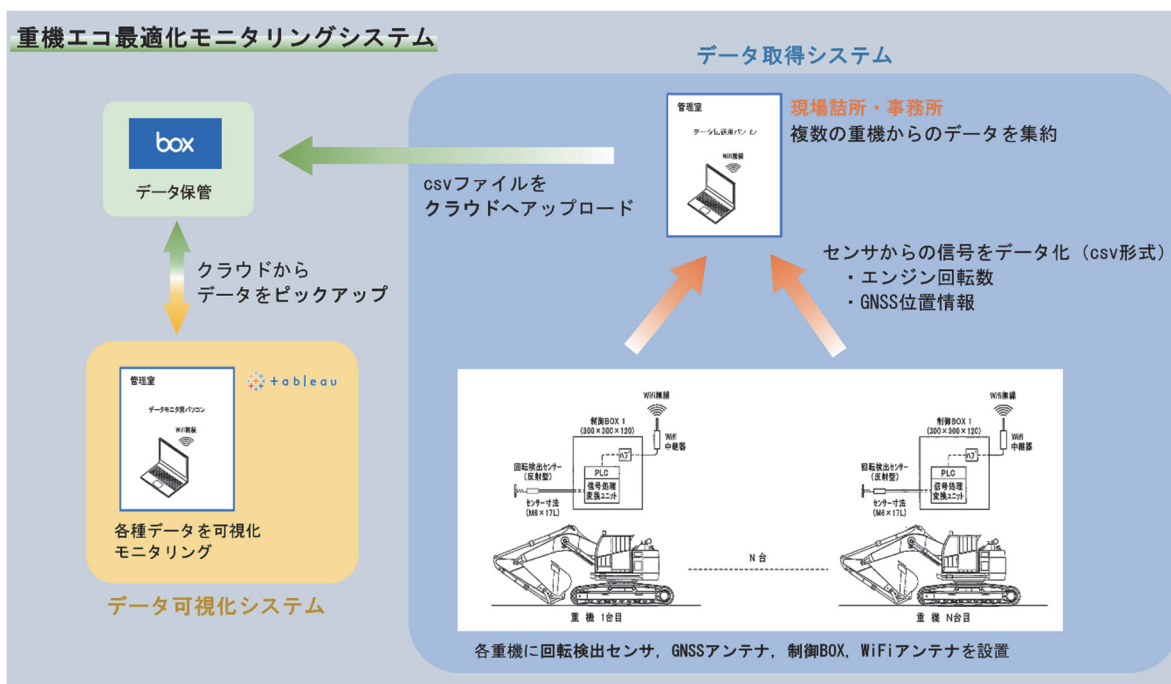


図-2 システムの構成



写真-2 重機キャビン内装置

3.3 データ可視化システムの概要

次に重機から取得したデータを可視化するシステムについて述べる。

今回重機から取得されるデータは大容量となることが予想されたことに加えて、エンジン回転数と位置情報、燃費情報等の複数の因子を単純明快に示す必要があることから、既存の BI (Business Intelligence) ツールを活用してデータの可視化のシステムとして組み込むことにした。今回は「Tableau」を利用した。「Tableau」のダッシュボード機能を利用することによって、クラウド上にアップロードされた重機より取得した膨大なデータから、必要な情報のみをピックアップして可視化し、重機の運転状況に関して多角的な分析を実現させた。

4. データ取得実証実験の概要

4.1 実証実験の概要

本開発の実証を、当社で施工中である大規模土

工現場にて行った。対象とした機械は現場内の掘削土を運搬する 40t 級重ダンプトラック 4 台とダンプトラックに積み込みを行う 4m³ 級と 2m³ 級油圧ショベル各 1 台 (写真-3, 4) の計 6 台とし、装置を取り付け、データ取得の実証および取得したデータの検証を行った。本現場は場内全域をカバーした Wi-Fi がなかったため、実証実験の実施に際して広域での通信を得意とした Wi-Fi 設備を導入し場内全域でのデータ取得を可能とした。



写真-3, 4 設置対象の重機

4.2 取得データ

取得されたデータを「Tableau」にて表示したものを図-3 に示す。1 画面にてエンジン回転数の経時変化と重機の位置情報を表示している。エンジン回転データは、ほぼ遅滞なくクラウド上へアップロードされ「Tableau」によるデータの参照が可能となる。また表示されているデータや参照する期間の切り替えは、「Tableau」上でスムーズに操作することができる。データの閲覧はアカウントを所持していれば、PC やスマートフォンからいつでもどこでも参照可能である。

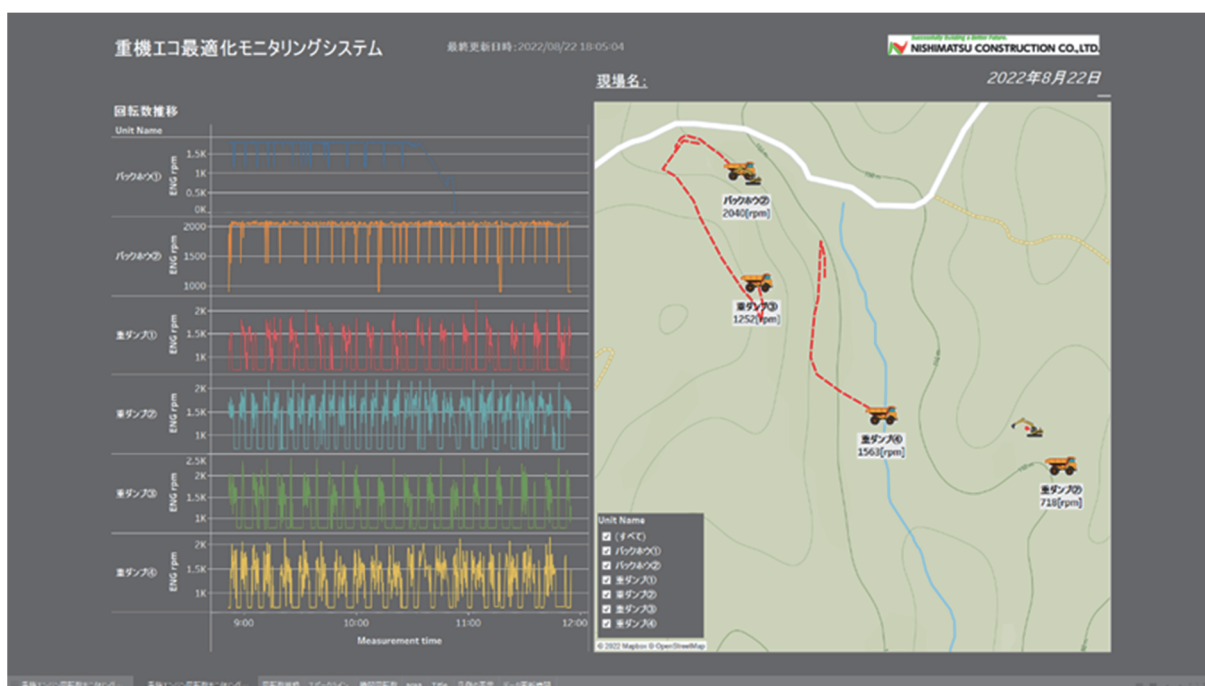


図-3 データモニタリング画面

4.3 データの検証

今回の実証実験で取得したデータについて詳しく見ていく。

(1)重ダンプトラック

重ダンプトラックは場内の掘削土を運搬する作業が主である。積込場へ土捨て場までを1日に何往復もする。走行している時間と積込中のアイドリングもしくは積込待ちの待機のアイドリング時間を読み取れる。(図-4)

さらに同型機4台に設置したことから同じルート同じ機械で複数のオペレータが走行する場面があり、それぞれでグラフの形が変わっている結果が見られた。これは燃料消費量にもかかわる結果となり、今後の分析にて燃費やCO₂排出にどのような影響が出てくるか検証していく。



図-4 重ダンプ回転数

(2)油圧ショベル

油圧ショベルは重ダンプトラックとは異なり、出力調整はダイヤルで行うため、回転数データは比較的一定の値を示す結果となった。その中でも、一定の間隔で回転数が上下しているが、これは、掘削動作と旋回動作によって生じていると思われる。これより作業量をデータから取得できるが、同様の作業においても回転数が異なる結果もあるため、継続した分析により、より高い精度での作業判別を目指す。

今回の実験で使用した油圧ショベルにはオートアイドリング機能がついており、一定時間レバーが中立であるとエンジンは自動で回転を落とす。それらの仕様がデータとして読み取れた。今回は、オペレータには普段通りの運転を行ってもらった。常にパワーモードでの作業であったので、データを利用して、生産性を落とさずにエコモードを併用したオペレーションができないか今後検証を行う。

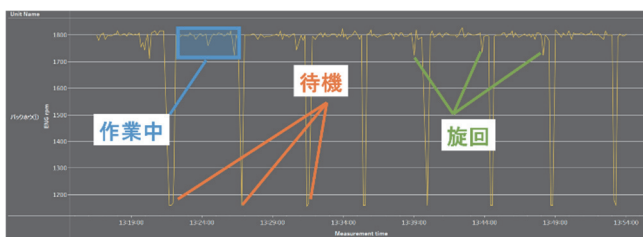


図-5 バックホウ回転数

5. 成果と課題や今後の展望

本開発で得られた成果について以下が挙げられる。

- (1)重機の機種やメーカー・形式・年式を問わず機械の稼働状況（エンジン回転数、位置情報）をリアルタイムに取得することが可能となった。
- (2)取得したデータをほぼ遅滞なく可視化しデータをモニタリングすることが可能となっただけでなく、データをクラウド上で管理し、分析で必要となる情報のみをピックアップすることを実現させた。
- (3)重機の状態（今回の検証では、ダンプは走行と停止、油圧ショベルであれば積込と旋回、待機）を判別し、各作業時間をデータとして取得し分析可能となった。

本実証実験では、データのリアルタイム取得にフォーカスした結論となっている。取得したデータのみでは、本論文序盤で述べたシステム導入や低燃費運転におけるCO₂削減への効果を評価し難い結果となった。今後、様々な条件下（機種や工種）において多種多様なデータ取得を継続し、燃料消費量や作業量を反映させることで燃費と生産性の相関を分析していく。

位置情報のデータに関しては、ダンプトラックなどの走行が主となる機械について、平面的なデータでは効率的な運転かどうかを判断できない結果となったので、3次元（標高）データを取得し、検証していく。

また、今後取得するデータの傾向をもとに不要な高回転となりうる閾値を設定する。その閾値を逸脱するようなオペレーションを行った場合のオペレータへの通知機能を付加し、低燃費運転の支援システムとしてのバージョンアップを行う。将来的には取得したデータをもとにAIによる作業判別を行い、生産性とCO₂排出量をコントロールし最適化された運転を可能とするシステムを目指していく方針である。

参考文献

- 1) IPCC第5次評価報告書, Fig.SPM.1
- 2) Token環境ホームページ「地球温暖化対策」
<https://token.or.jp/kankyoku/warming/step03.php>
(2022/8/22参照)