

建設機械の稼働情報モニタリングシステムの開発

青木 真路 千葉 拓史
小林 礼 三鬼 尚臣*¹
大谷 愛斗*¹ 本目 毅*¹
細谷 悠太*¹

概 要

フジタでは、建設現場で稼働する建設機械の稼働状況、稼働実績を遠隔からモニタリング可能とすることを目的として、稼働情報モニタリングシステムの開発を進めてきた。稼働状況とは、建設機械が現時点で作業している位置や速度などの情報であり、稼働実績は、建設機械がどれだけ稼働して工事が進捗したかを示すものである。本システムでは、現場で稼働するダンプの土砂運搬量に着目して、ダンプがどれだけ運搬したかを稼働実績として提示する。

現場での検証を実施し、一定の効果を確認すると共に、現場で本格的に運用するための課題を抽出した。今後は、課題に対する対策を実施し、再度現場で検証を行い、現場の生産性向上を目指す。

本報告では、システム概要及び検証結果、今後に向けた課題について記載する。

Development of operation information monitoring system for construction machinery

Abstract

Fujita has been developing a system that can remotely monitor the operating status and performance of construction machinery operating at construction sites. The operating status refers to information such as the position and speed at which the construction machine is currently working, and the performance of construction machinery indicates how much the construction machine is operating and contributing to the construction work. This system focuses on the amount transported by dump trucks operating at the site and presents the amount transported by these trucks as operational results.

We conducted on-site verification, confirmed a certain degree of effectiveness, and identified issues that would require full-scale operation in the field. We will implement countermeasures and conduct on-site verification again with the aim of improving on-site productivity.

This report provides an overview of the system, verification results, and future challenges.

キーワード：建設機械、稼働状況モニタリング

*1 土木本部 土木エンジニアリングセンター機械部

§1. はじめに

1.1 背景

フジタでは、建設現場で稼働する建設機械の稼働状況、稼働実績を遠隔からモニタリング可能とすることを目的として、稼働情報モニタリングシステムの開発を進めてきた。

稼働状況とは、対象の建設機械が建設現場内のどの位置で作業していて、どのような状態（動作中か停止中か等）にあるかを示す情報である。遠隔から稼働状況を知ることで、計画通りに工事が進捗しているか、トラブルが生じていないかをリアルタイムで把握することができる。

稼働実績とは、建設機械がどれだけ稼働して工事が進捗したかを示すものである。本システムでは、ダンプの土砂運搬量に着目して、ダンプがどれだけ運搬したかを稼働実績として提示する。

従来、現場担当者が現場の状況を把握するためには、現場にいる作業員に連絡を取ったり、直接現場に行ったりして状況を確認する必要があった。また、運搬量を把握するためには、オペレータが運搬記録を作成し、一日の終わりなどに用紙を回収し、手作業での集計をする必要があった。

上記課題を解決するため、本システムを開発した。本システムを活用することで、現場担当者はリアルタイムに運搬状況、運搬量を把握することが可能となる。また、進捗確認及び計画変更等に活用することが可能となり、現場の生産性向上が期待できると考えられる。

本報告では、システム概要及び検証結果、今後に向けた課題について記載する。

1.2 システムの概要

本システムの概略を図1に示す。本システムは、マネジメントシステムと情報送信端末から構成する。

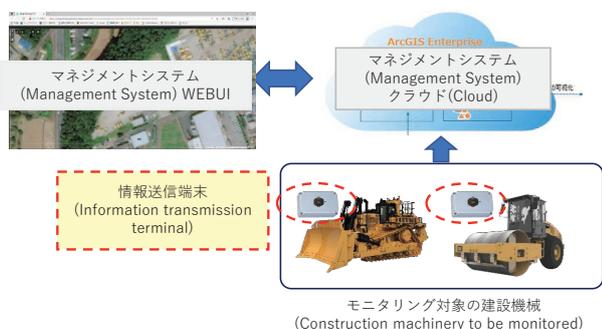


図1 システム概略図

〈マネジメントシステム〉

マネジメントシステムは Web ベースのシステムとなっており、定期的に情報送信端末から送信された建設機械の位置情報等の各種情報を、DB にレコードとして格納し、Web ブラウザで稼働状況、稼働実績をユーザに提示する。

ESRI 社の提供する ArcGIS プラットフォーム上にシステムを構築しており、地図と建設機械の各種情報を合わせてユーザに提示することにより、遠隔から稼働状況、稼働実績の確認が可能となる。

〈情報送信端末〉

情報送信端末は、モニタリング対象の建設機械に設置し、建設機械の位置情報等の各種情報をクラウドに送信する装置である。ハードウェア構成を図2に示す。

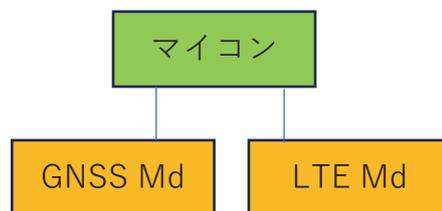


図2 情報送信端末HW構成 (information transmission terminal HW configuration)

端末内に搭載したGNSSモジュールから、位置情報、及び方位を取得する。それらの情報から、建設機械の速度、進行方向及び動作状況等の二次的情報を生成し、時刻と合成しLTEモジュールにより、クラウドに送信する。

図3に示すように、サイドに電源供給口を設けており、建設機械のシガーソケットから電源供給を受けて動作する。

情報送信端末を建設機械に設置した様子を図4に示す。



図3 情報送信端末外観 (appearance of information transmission terminal)



図4 情報送信端末を設置した様子 (installation of information transmission terminal)

§2. マネジメントシステム

マネジメントシステムの主要な機能について記載する。機能説明に先立ち、システムで導入している概念、重要なロジック部分について記載する。

2.1 グループの概念

建設現場では、複数の建設機械同士がグループとなって作業を繰り返す行方。

図5に示すように、大量の土砂をA地点からB地点に運搬する作業の場合、積場で作業するバックホウ、盛場で作業するブルドーザ、積場、盛場間を移動するダンプがグループとなって作業をすることが多い。

システムでは、グループ単位に稼働実績の確認が行えるようにしている。

そのために、システムで稼働実績の確認をする際には、グループを作成するという操作をシステム上で行う。

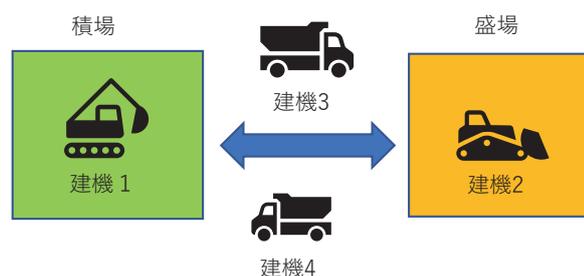


図5 グループの概念説明 (Concept of Group)

2.2 運搬量算出方法と仕組み

ダンプの運搬量の計算は、建設機械の位置情報を活用して行う。建設機械の位置情報は、先述した情報送信端末が定期的にクラウドに送信したデータに含まれる情報であり、タイムスタンプ等の付随情報と共にDBに蓄積されている。

ダンプは、同じ経路を繰り返し往復するため、ある

期間でのダンプの運搬量は、その期間内の運搬量の合計となる。

システムでは、それぞれの往復での運搬量は固定値としている。すなわち、グループの運搬量は、以下の計算式で算出する。

$$Ag = \sum_{n=1}^{Dg} (Mn \times C)$$

Ag：グループに登録したダンプ全体の運搬量

Mn：ダンプ n の往復回数

C：ダンプ1回当たりの運搬量 (固定値)

Dg：グループに登録したダンプ数

上式で、積場、盛場それぞれにおけるダンプの出入り回数を往復回数とし、積場、盛場それぞれで運搬量を個別に計算し、出力する仕組みとした。

2.3 ダンプ出入り数算出

出入り数算出にあたって、積場、盛場いずれにおいても、エリアをシステムに事前登録することを必須としている。エリアは地図上でのマウス操作により、登録することが可能となっている。

エリアを登録した上での、積場、盛場それぞれでの出入り数算出方法について記載する。

〈積場でのダンプ出入り数算出〉

積場では、図6に示すように、対象のダンプと同一グループに登録したバックホウの位置を中心とした円にダンプが入ったときに、当該レコードに円に入ったことを示すINのフラグを立てて、円から出たときにOUTのフラグを立てる。

バックホウを中心とする円の半径は、システム上で登録及び修正することができる。

バックホウは積場エリアで稼働していることは集計の条件とはしていないが、積場内にいれば、積込作業のエリアを特定することが可能となる。

積場の出入り回数を算出するには、OUTのフラグが立った数を算出することで行う。

バックホウはエリア内を移動するため、エリアへの出入りのカウントではなく、バックホウを中心とした移動円への出入りをカウントする。こうすることで、ダンプに対して土砂を積んだバックホウを識別することが可能となる。

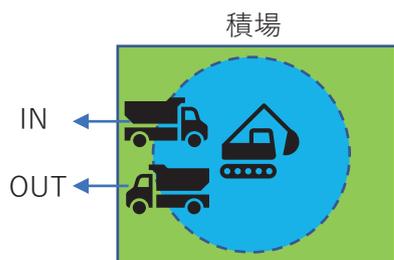


図6 積場でのダンプ出入り数算出 (Calculation of number of dump truck entries and exits at Loading area)

〈盛場でのダンプ出入り算出〉

盛場にいるブルドーザ、振動ローラ等の建設機械はダンプが土を排土する際に、必ずしも接近しているとは限らないため、積場でのバックホウのように円の概念は設けず、図7に示すように、盛場エリアにダンプが入ったときに当該レコードにINのフラグを立てて、出たときにOUTのフラグを立てる。

盛場の出入り回数を算出するには、OUTのフラグが立った数を算出することで行う。



図7 盛場でのダンプ出入り数算出 (Calculation of number of dump truck entries and exits in Embankments area)

2.4 マネジメントシステムの主要機能

マネジメントシステムが、ユーザーに提示する内容としては、大きく①稼働状況、②稼働実績の二つある。それぞれについて記載する。

〈稼働状況〉

モニタリング対象となる建設機械の、現在における稼働状況（位置情報、動作状態を含む詳細情報等）を提示する。

地図上に建設機械を示すアイコンを表示することで、位置情報は一見して分かるようになっており、付随する情報も併せて確認が可能となっている（図8参照）。



図8 稼働状況提示画面 (Operation status presentation screen)

〈稼働実績〉

指定した条件における建設機械の稼働実績を提示する。工区、グループ、表示対象の日時範囲及び対象建機（グループ内の建機を個別に表示する際に使用）が設定する条件となっている。

提示する情報を、以下に示す（図9参照）。

- ① ダンプの土砂運搬量（ダンプ往復回数）
- ② 建設機械の走行軌跡
- ③ 建設機械の動作状態比率（動作中／停止中の割合）

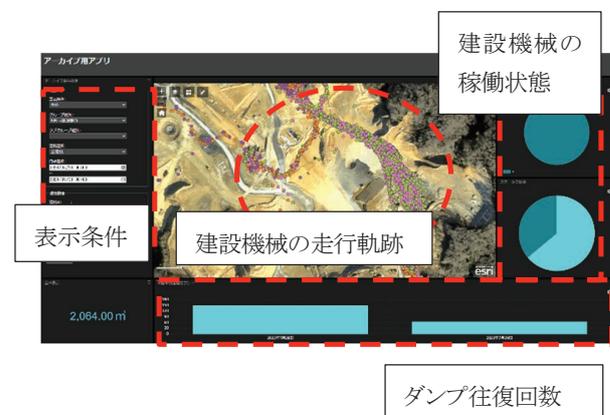


図9 稼働実績提示画面 (Operating results presentation screen)

稼働実績を表形式で詳細に確認することも可能となっている。以下の異なる視点で情報を表示する。

- ① ダンプごとの稼働実績（表1）
 - ・ダンプが、どの積場からどの盛場にどれだけの土を運んだか

表1 ダンプ毎の稼働実績 (イメージ)
(Operation results per dump)

	積場1 Loading area1	盛場1 Embankments area1
ダンプ1 (dump1)	A [m ³]	B [m ³]
ダンプ2 (dump2)	C [m ³]	D [m ³]

- ② 積場、盛場内の建設機械ごとの稼働実績 (表2)
- ・積場でダンプに土を積み込むバックホウが、どれだけの土をどのダンプに積み込んだか
 - ・盛場で作業するブルドーザが、どれだけの土を締め固めたか (2.3に示すように、ブルドーザの場合は、バックホウと違って、ブルドーザを中心とする円の出入りで集計するわけではないため、エリア内に複数のブルドーザ、振動ローラ等の建設機械が作業していた場合、どのダンプが運搬した土に対して作業したかが特定出来るわけではない。ダンプがエリアを出るときに、ダンプの最も近い位置にいる建設機械に対応する項目で集計する。)

表2 積場、盛場内の建設機械毎の稼働実績 (イメージ)
(Operating results for each construction machine in the loading/embankment area)

	ダンプ1 dump1	ダンプ2 dump2
バックホウ (backhoe)	A [m ³]	C [m ³]
ブルドーザ (bulldozer)	B [m ³]	D [m ³]

- ③ エリア毎の運搬量 (表3)
- ・積場から、どれだけの土が運び出されたか
 - ・盛場に、どれだけの土が運ばれたか

表3 エリア毎の運搬量 (イメージ)
(Amount transported per area)

	搬出 out	搬入 in
積場1 (Loading area1)	X [m ³]	
盛場1 (Embankment area1)		Y [m ³]

§3. システム利用の前準備

ユーザがシステムを活用するためには、事前にシステムを利用するための作業が必要となる。この作業について記載する。

3.1 基本情報登録

システムを活用するための基本的な情報を登録する (図10)。これらの情報を登録することで、現場にある建設機械を、現場の地図と共に表示するといったことが可能となる。

- ① 現場 (工区) 情報登録
現場の位置 (緯度、経度)、名称をシステムに登録する。必要に応じて、空撮画像を登録する。
- ② 建設機械情報登録
モニタリング対象の建設機械の情報として、名称、機種名等のメタ情報を登録する。
- ③ 現場、建設機械対応情報登録
建設機械と現場 (工区) の対応情報を登録する。

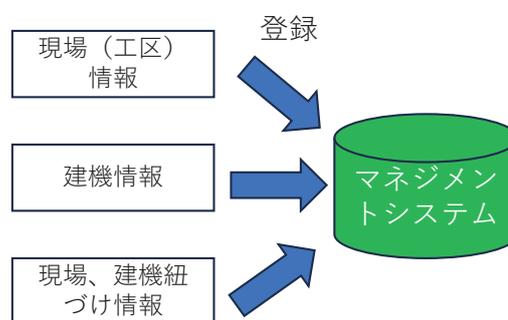


図10 基本情報登録 (basic information registration)

3.2 工事情報登録

稼働集計のために、工事情報を登録する。工事内容が変わったときに登録することを想定している。

- ① エリア登録
盛場と積場のエリアである。マウス操作にて登録可能となっている。
- ② グループ登録
グループとする建設機械の組を登録する。図11の例では、ブルドーザ1台、ダンプ2台、バックホウ台からなるグループを登録する。

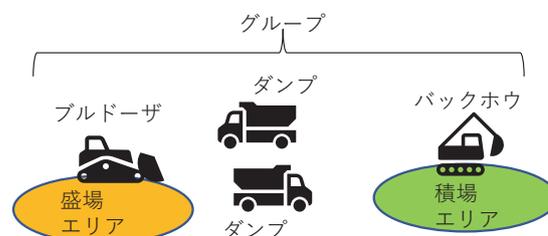


図11 グループ登録 (group registration)

§4. システム検証

フジタの建設現場を利用して、システム検証を行い、効果を確認した。

4.1 検証内容

1つのグループ（ダンプ2台、バックホウ1台、ブルドーザ1台）の作業に注目して、正しく稼働実績が集計されるかを確認した。すなわち、システム上でグループに登録したダンプの運搬量が、実際の運搬量と一致するかの確認を行った。

運搬量は、システムでは固定値の乗算により求めていること、現場でも実運搬量を求める運用をしていないことから、運搬回数にて検証した。

現場では、ダンプのオペレータが運搬回数を記録しているため、その記録を正解値として評価した。

〈作業内容〉

検証時に設定したエリアを、図12に示す。それぞれの建設機械の作業内容は以下に記す。

- ・1つの積場から1つの盛場に、2台のダンプが土砂運搬
- ・1台のバックホウが積場内でダンプに土砂を積載
- ・1台のブルドーザが盛場で作業



図12 盛場、積場のエリア (Loading area/ Embankment area)

4.2 システム検証結果

検証期間中のある1日の結果を示す。表4に示すように、オペレータの記録回数と近い値を出力することを確認した。

表4 システム検証結果

	正解値 (オペレータの 記録回数) Correct value	システムの出力 ()内は、正解値との差分 System output	
		積場 運搬回数	盛場 運搬回数
ダンプ1 (dump1)	39	38 (-1)	39 (0)
ダンプ2 (dump2)	39	35 (-4)	38 (-1)

完全一致しなかった理由を以下に示す。

理由① 情報送信端末の電源がOFFの期間があった。

運搬回数は、情報送信端末で収集した位置情報を元に算出するため、電源がOFFになっていると集計ができない。図13に示すように、片方の建設機械に設置した情報送信端末の電源がOFFになっていたケースがあった。電源OFFになった要因は、下記の2つの理由と考えられる。

・人為的な理由

始業時に、建設機械のオペレータが情報送信端末の電源を入れるタイミングが遅かった。

・物理的な理由

稼働中に電源がOFFになった。振動等で情報送信端末のケーブルが外れて、電源がOFFになった。



図13 電源OFFでの集計漏れ (Failure to tally due to power off)

理由② システムが、一度のダンプの出入りを複数の出入りとして出力した。

図14に示すように、位置情報の精度やダンプの動きにより、実際の出入りより多く集計されたためである。

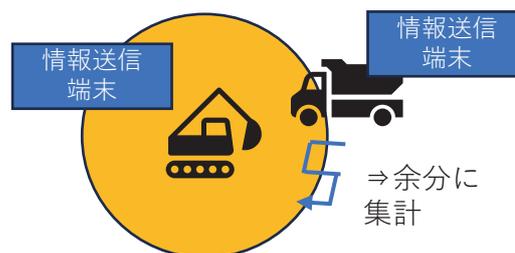


図14 誤った出入り出力による余分な集計 (Extra tally due to erroneous in/out output)

§5. 今後の展開 (課題対応)

システム検証で抽出した課題及び今後改善を図る主要な内容について下記に示す。

5.1 稼働集計ロジック修正

4.2に記載したように、位置情報の精度やダンプの動

きにより、実際の出入りより多く集計されたケースがあったため、ロジックの修正を行う。

5.2 情報送信端末の接続

詳細は確認が必要だが、4.2に記載したように、振動によりケーブルの接続がゆるむ事象が発生したため、接続を強固にする必要がある。

5.3 レスポンス性能向上

稼働実績を確認する画面では、建設機械の走行軌跡をプロット表示する。プロットに時間がかかっており、レスポンス性能の改善が必要な状態である。

プロットは、建設機械がクラウドに定期的送信するデータを表示条件に基づいて表示しているが、送信する間隔を伸ばしたり、表示の際に間引いたりするなどにより、レスポンス向上を図る。

5.4 実運搬量測定

運搬量計算は、1回あたりの運搬量を固定値としているが、実際に運搬した土量を何らかの方法にて測定して、この値を乗じることでより正確な運搬量を算出することを試行する。

5.5 レポート作成機能開発

これまでの開発では、稼働実績の画面上での可視化に注力してきた。今後はシステムに蓄積されたデータを取得する機能を実装し、本システム外でのデータ活用を可能とする。そのために、現場担当者が利用しやすいデータ形式での出力を行うことを検討する。

5.6 情報送信端末の結露対策

1.2に記載した通り、情報送信端末は建設機械の外に設置していたが、結露による故障が数か所見受けられた。結露対策を施した上で、小型化を図り、建設機械内に情報送信端末を設置することを検討していく。

§6. まとめ

建設現場で稼働する建設機械の稼働状況、稼働実績を、遠隔からモニタリング可能なシステムを開発した。現場での検証を行うことで、一定の効果を確認するとともに、課題を抽出した。今後は、課題に対する対策を実施し、再度現場で検証を行い、現場の生産性向上を目指す。

ひとこと

建設現場の生産性向上が業界全体の課題になっている。ICT技術の活用により、生産性向上に寄与していく。



青木 真路