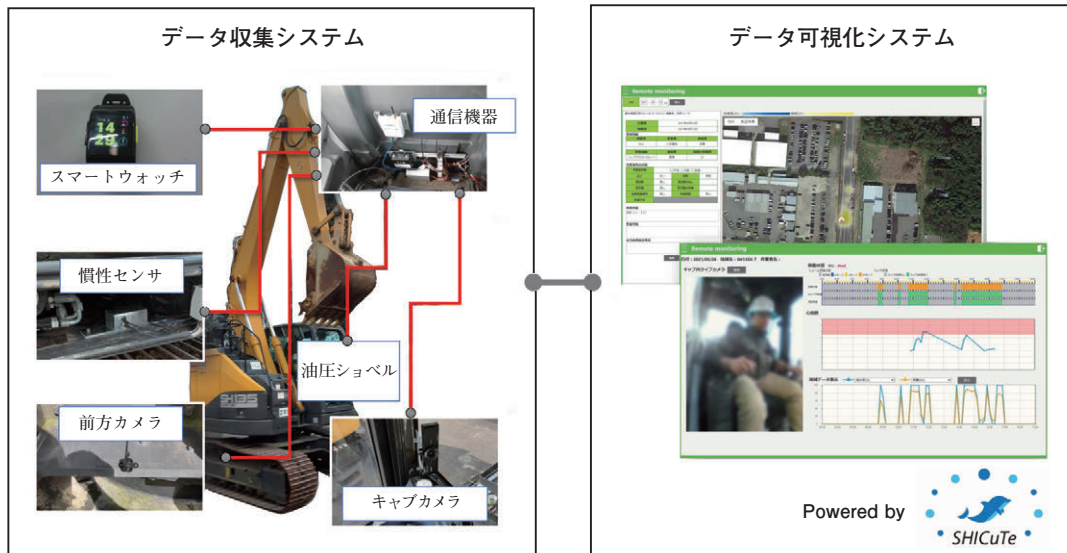


建設DXの実現に寄与する油圧ショベルのリモートモニタリングシステム開発

Development of Remote Monitoring System for Hydraulic Excavators for Purpose of Realizing Construction DX

● 因 藤 雅 人*
Masahito INDOH



油圧ショベルのリモートモニタリングシステム
The remote monitoring system for hydraulic excavators

油圧ショベルのユーザである建設業界では労働力不足、労働災害の多さ、生産効率の低さが長年の問題となっている。これを解決すべく、労働環境改善とワークエンゲージメントの向上を狙いとした建設DX(Digital Transformation)に注目が集まっている。しかし、その実現には建設業界が直面しているリアルな課題に対する理解と、実現場の多種多様なデータが容易に集まる仕組みが必要であり、またこのデータを定量的に分析した結果を相互共有できるシステムが必須となる。

本報では、油圧ショベルと周辺環境のデータを収集して利活用するリモートモニタリングシステムの全体構成と、ユーザとともに取り組んだ実証試験で収集したデータを分析・活用した事例を報告する。

The Construction industry, being one of the users of hydraulic excavators, has been facing long-standing challenges such as labor shortage, frequent occupational injuries, and improvement in production efficiency. To solve these problems, construction DX (digital transformation), which aims to improve the workplace environment and work engagement, is drawing attention to. However, in order to realize construction DX, it's required to understand the real issues facing by the construction industry, and to construct both a simple mechanism for collecting various data from construction sites easily and a system for sharing quantitative analysis results of collected data. This report describes the overall structure of the remote monitoring system on which is utilizes collected data of excavator and surrounding environment, an example of analyzing and utilizing the data collected from the demonstration test that had been collaborated with our users.

1 まえがき

昨今、多くの産業分野でDXによる業務改善システムの必要性が叫ばれている。特に建設業界では、就労環境イメージからの労働力不足、労働災害の多さおよび生産効率の低さが長年問題となっており、労働環境の改善やワークエンゲージメントを高めることを目的とした建設DXに注目が集まっている⁽¹⁾。

DXの実現には高度なAIが必須だが、AIには多種多様なデ

ータ、いわゆるビッグデータが必要となる。その実現には、ユーザに新たな価値体験を与えながらデータ収集と購買動機を同時に満たす、ダブルハーベスト構造をいかに構築するかが重要といわれている⁽²⁾。しかしながら、図1に示すようにB to Bビジネスでの価値創造ループは、ユーザがどのような手順で業務を行っているかを正確に知る術がなく、具体的な価値体験の設定や、データ収集のメリットを付与することが困難で、効果的なダブルハーベスト構造を構築することが難しい。

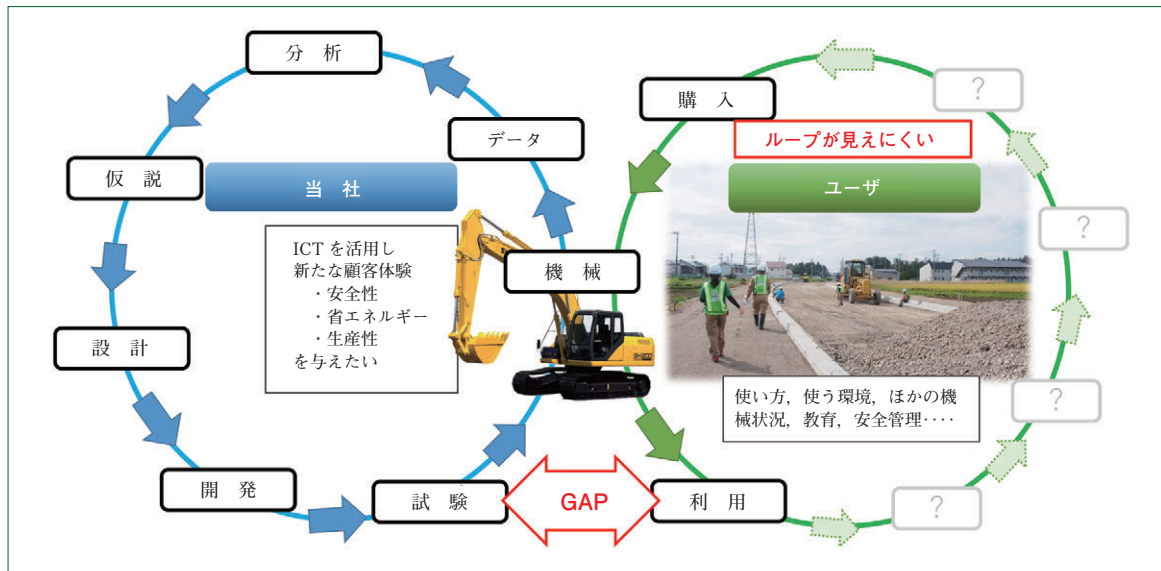


図1 機械メーカーがDXを実現する難しさ
Difficulty for machine manufacturers to realize DX

表1 データ収集システムの基本仕様
Basic specifications of data collection system

| | |
|-------------|-----------------------------------|
| 機械信号 | 操作量, エンジン, 油圧などの機械情報 |
| 追加センサ | 機械位置, 加速度, 角速度 オペレータ心拍 |
| 映像 | 車両周辺×4 (うち3カメラは標準) キャブ内カメラ |
| データ伝送とストレージ | LTE通信で常時アップロード 通信不可時は約20GB蓄積可能 |

そこで当社は、多種多様なデータを容易に収集し、定量的に分析した結果を相互で共有できるリモートモニタリングシステムの開発に取り組んだ。この取り組みでは、ユーザには直観的に分かりづらい機械信号だけでなく、キャブ内外や定点の映像など多彩な情報が収集できるシステムと、収集されたデータを閲覧するアプリケーションを住友重機械グループ共通基盤プラットフォーム「SHICuTe」⁽³⁾上に作成することで、発生している問題とデータの共有をリアルタイムに行うことを可能とした。

このリモートモニタリングシステムでは、データと映像を使った客観的なコミュニケーションを行うことで、実業務の「リアルな困りごと」と「リアルなデータ」を同時に得るといった当社の価値ループと「離れた場所からの作業進捗や業務状況確認」「定期的な巡回視察の時間短縮」「実映像を使った具体的な安全教育」といったユーザの価値ループの双方を同時に満たすことを狙いとしている。

2 リモートモニタリングシステムの構成

2.1 データ収集システム

表1に、データ収集システムの基本仕様を示す。本システムは、既存の油圧ショベルに取り付けられるように構成されており操作量、エンジン、油圧などの機械信号に加えて機械位置、加速度、角速度を計測する慣性センサを備え、オペ

レータが装着するスマートウォッチにより心拍数を収集することができる。映像は、機械周辺360°を網羅すべく油圧ショベルに標準搭載されている3つのカメラに前方カメラとオペレータ状況を観察するキャブ内カメラを加えた合計5つのカメラからの信号を同時に記録することができる。また、USBなどの汎用インターフェースの入出力やセンサネットワーク用無線通信機能を備え、ユーザの要求に応じたセンサ追加の拡張性を担保している。記録された信号と映像は、LTE回線を使用し、常時SHICuTeへ送信される。車両が通信不可能地帯に侵入した場合には、20GBまでは本体ストレージに保存され、通信可能になれば自動で送信が開始される。データ伝送は、将来高度な分析を行うことを前提とし、平均値などの情報圧縮は行わず、最大10msサンプリングの高密度で行っている。

油圧ショベルは複数のオペレータが共有することが多く、電子機械に対する知識に個人差があることから、データ収集に特別な作業を要求しないよう配慮しなければならない。本システムでは、キーオン/キーオフで自動収集が開始/完了するよう構成されており、オペレータは特別な操作をする必要がない。このことに加え、データ収集が行われていることを特別意識せず通常業務と同様に油圧ショベルを運用することができるので自然な作業データが入手できる。

油圧ショベルからのデータ収集のほか、地上作業員の位置と心拍、定点に設置した全方位カメラの映像や気温、湿度、騒音などの環境情報を伝送するシステムを作成して機械、人、現場をトータルに管理できるようにしている。

2.2 データ可視化システム

図2に、SHICuTeで作成した可視化システムのトップ画面を示す。画面左にある作業内容記入欄は、実際に使われていた管理表を参考に作成している。その日に実施する作業内容のほか広さ、地質、架空線や埋没物の有無などの注意すべき現場状況、オペレータ名、地上作業員名、実施する安全対策などを入力し、共有することができる。画面右の稼働状況表

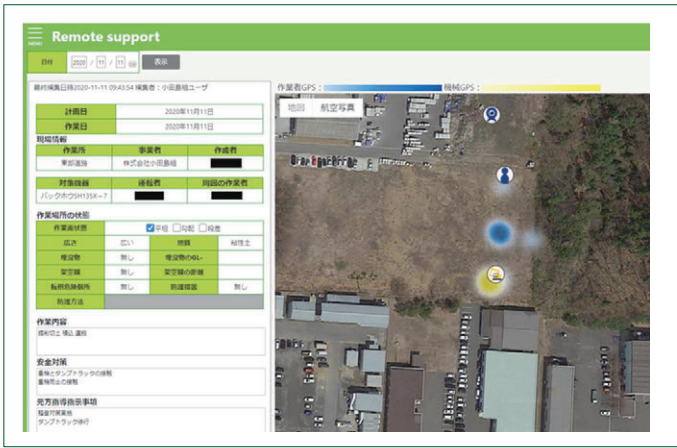
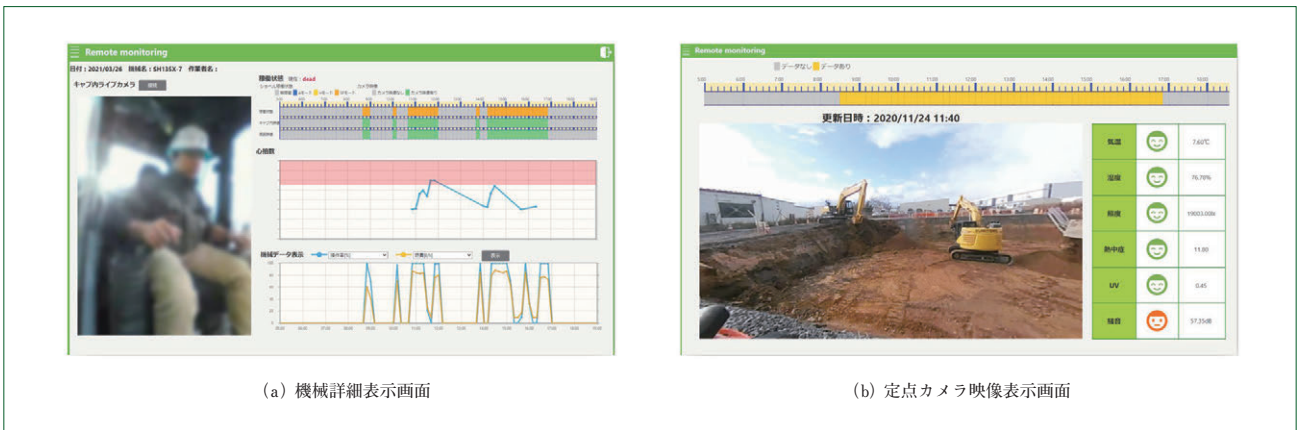


図2 データ可視化システムのトップ画面
Top screen of data visualization system



図4 実証試験現場例
Example of demonstration test site



(a) 機械詳細表示画面

(b) 定点カメラ映像表示画面

図3 データ可視化システムの詳細表示画面
Detail screen of data visualization system

示部では、機械が稼働した位置をヒートマップで表示し、併せて指定のスマートフォンを所持している地上作業員の位置も表示するので、人と機械の作業領域が重なっている場合には一目で注意喚起を行うことができる。

マップ上に配置された各種アイコンをクリックすると図3のような詳細表示画面に遷移する。機械詳細表示画面には映像表示部とデータ表示部があり、映像と信号を併せて見ることによって総合的な判断を行うことができる。映像表示部は、周辺映像とキャブ内映像を切り替えて表示することができ、必要に応じて映像のダウンロードも可能である。データ表示部には稼働情報、オペレータ心拍、機械データが表示されるが、信号情報がそのまま表示されるのではなく燃費、振動レベル、操作状況など、ユーザでも直観的に分かるように要約された形式で表示される。定点カメラを選択した場合、全方位カメラで定期的に記録された画像と併設した環境センサにより、その場所の温度、湿度、騒音、熱中症指数などが表示され、現場がどのように進捗し、どのようなリスクが潜んでいるかをリモートで確認できる。

実際の現場では、パソコンやタブレットなどの大型画面機器ではなく、スマートフォンのみを使用していることも多い。スマートフォンからアクセスした場合、大型画面用として制

作された表示では、小さな画面で使用することが煩わしいことから、スマートフォン専用画面を表示する仕組みも構築している。

3 機械学習によるデータ分析効率化

データ分析を正確に行うには、取得したデータが「いつ・どこで・何を」したなど、データが生成されたときの状況を正確に把握しなければならない。特に「何を」したかのデータは、機械の使われ方を把握するうえで非常に重要なファクターとなるが、センサ単体で把握することができない。さらに、工期中のデータは機械を使用する限り毎日増加していくので、大量のデータを効率良く分析する手段が必要となる。

この取組みでは、油圧ショベルの代表的作業である土砂ハンドリングのほか、整形・均し、吊り作業、移動、その他の5つの作業分類を定義し、機械学習により自動でデータ分類を行う作業分類システムを作成し、分析の効率化を図った。

4 実現場での利用と反響

株式会社小田島組(岩手県北上市)の協力により、2020年11月から2021年5月まで、本システムを搭載した油圧ショベルの実証試験を行った。図4に、期間中の工事現場の一例を示

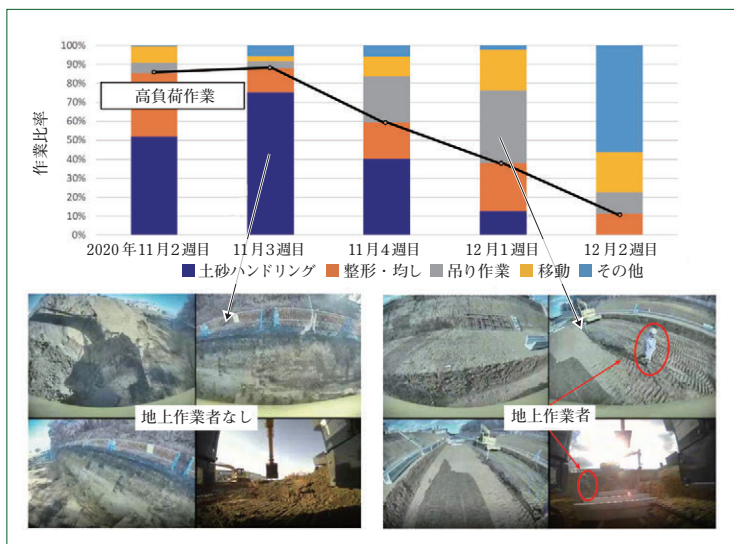


図5 作業内容推移と環境変化
Transition of work contents and changes in environment

す。この現場では油圧ショベルを、切り出し、整形、残土処理、排水機構設置などで使用しているが、工程の進捗により地形の変化、トラックや転圧機械などとの連携、人の接近といった注意すべきポイントも大きく変化していく。

図5に、機械学習による自動作業分類システムで作成した作業内容の推移と環境変化(2020年11~12月)を示す。初週は切り出された残土処理を行っているので、土砂ハンドリングや整形・均し作業が多く、工期が進むと整形された場所にU字溝を設置していく吊り作業へ変化していくことが一目で分かる。また、このときそれぞれの周辺動画を確認すると、序盤には周辺形状が複雑で人の出入りはほとんどないが、足場が悪く出力が高い作業であることから、機械が不安定となり機械の転倒や転落に気を付けなければならない。一方、吊り作業を行う後半には機械設置面は整地され、出力が小さい作業となり振動は少なくなるが、玉掛やコンパクタ作業などが頻繁に機械に接近するようになり、オペレータは人の接近に気を付けなければならない。

このような作業内容の変化と、危険な状況への対応をベテランのオペレータは当たり前前に認識しているが、経験が浅いオペレータの場合、危険な作業やポイントを認識していないことが多い。これは、データと動画をもとにケーススタディを行い、客観的な指導をすることで経験を補うことができる。

実証試験に協力いただき、より詳細なデータ分析結果とヒヤリハット動画を共有している小田島組の社長は、「このようなシステムは、あるだけで安全意識の高まりが期待できる。監視システムに関しては『見られている』というネガティブな印象が付きまとうが、実際に事故が発生したときにはオペレータの正当性の証明にもなり、安心して仕事ができるという側面もある。また、安全だけではなく技量の定量化や点数化ができれば、仕事がゲームのように変化してワークエンゲージメントが高まるのではないかとコメントしている。

本システムの将来構想に関しては、CSPI-EXPO2022(2022年5月25~27日)⁽⁴⁾の住友建機ブースにおいて実証試験と建設DXへ向けた取り組みを加速させるべく、システムの

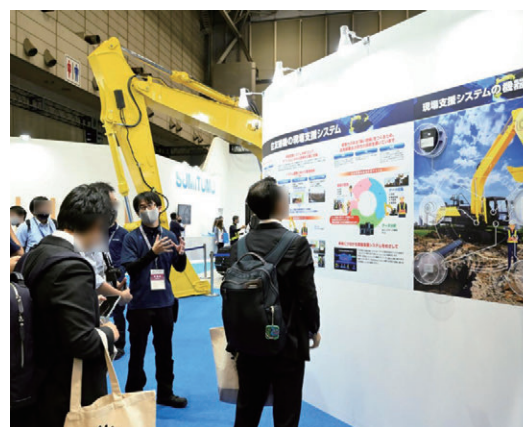


図6 CSPI-EXPO2022展示の様子
Photo of CSPI-EXPO2022 exhibition

紹介と将来展開のプレゼンテーションを行った(図6)。

5 むすび

- (1) 実現場で使用される機械データや映像をリアルタイムに収集できるシステムを作成した。
- (2) ユーザの業務に合わせたソフトウェアを作成することで、実業務中に何を意識しているかを知ることができた。
- (3) データを機械学習で効率良く分析し、映像などの客観データと照合することで、注意が必要な作業やヒヤリハットなど新たな気づきをユーザと共有することができた。
- (4) データ収集と顧客価値のダブルハーベスト構造の基盤を構築できた。
- (5) CSPI-EXPO2022(2022年5月25~27日)の住友建機ブースにてシステムと将来展開の展示を行った。

今後は、データ収集を拡大しビッグデータを効率的に活用することで、より人間の感覚に近い高度なAIを開発し、建設機械ユーザに新たな価値体験を与えていく所存である。

最後に、本開発を行うに当たり、データ収集にご協力いただいた株式会社小田島組小田島直樹社長、ならびに小田島組社員の皆様に心より感謝を申し上げます。

(参考文献)

- (1) インフラ分野のDXアクションプラン, 国土交通省, 2022年3月, p.3.
- (2) 堀田創, 尾原和啓, ダブルハーベスト, ダイヤモンド社, 2021年4月13日, p.27.
- (3) 住友重機械グループ共通基盤プラットフォーム「SHICuTe」の開発および建設現場での活用事例の紹介, <https://www.shi.co.jp/info/2021/6kgpsq000000li2h.html> 2022年3月17日.
- (4) CSPI-EXPO 建設・測量生産性向上展 ご来場御礼, <https://www.sumitokenki.co.jp/cspi-expo2022/> 2022年5月27日.

※「SHICuTe」は、住友重機械工業株式会社の登録商標です。