

# 鉱山機械の遠隔監視システムの開発

## お客さまと共に課題を抽出し問題解決に貢献するソリューション ConSite<sup>®</sup> Mine

右田 浩史

鉱山機械に対する顧客ニーズは生産性の向上だけではなく、ライフサイクルコストの低減、安全性の向上、環境負荷低減などさまざまなものがある。そのためお客さまの求めるサービス・ソリューションを提供するためには、さらなるIoT技術の導入とデータ活用が必須となる。特に鉱山で稼働する機械は、24時間365日連続稼働させる現場も多く、計画的なサービス体制の構築や、突発的な不具合に対する早急な対応が求められる。この解決策として、車載センサ情報を自動取得し、お客さまに価値ある情報に加工し、一目で把握出来るようにWebブラウザ上の画面に表示するダッシュボード機能と、機械コンディションベースのサービス提案システムを開発中である。本稿では、遠隔監視システムの概要と遠隔監視システムを活用したサービス提案例を紹介する。

キーワード：建設機械、油圧ショベル、ダンプトラック、保守・補修技術、遠隔監視、ダッシュボード

### 1. はじめに

鉱山で稼働する超大型油圧ショベル、ダンプトラック（写真-1）は、鉱物生産工程の最上流に位置しており、突発的な不具合により稼働不能となると、その後の全行程に影響を与えてしまうため、計画的な稼働が求められている。計画的な稼働を維持するために、車体稼働時間を基準とした定期的なオイル交換や部品交換、また構造物の目視点検や超音波探傷検査などがこれまで行われてきたが、お客さま毎に使用状況や使用環境が異なるため、車体稼働時間という単一基準によるメンテナンスサービスでは機械を構成する各機器の性能を最大限に維持することが困難であり、お客さまのニーズを満足させることが必ずしも出来ない場合がある。また、顧客ニーズは計画的な稼働による生産性の確保だけではなく、時間当たりの燃料費や交換部品費を最小限に抑えたいといったライフサイクルコストの低減や、機械・オペレータはもちろん、日々変化していく鉱山の地形など使用環境を含めた総合的な安全性の確保、また無駄なエネルギーロスを最小限に抑えることによる環境負荷低減への貢献などさまざまなものがあり、単なる製品・部品の提供に留まらず、お客さまとの接点を強化し、お客さまと共に課題を抽出し解決していくことが求められている。

そうした課題に対する解決方法として、これまではサービス員の経験に頼るところが大きかった。しか



写真-1 超大型油圧ショベル・ダンプトラック

し、日々高度化、複雑化していく車体システムに対して経験による対応には限界があり、またマイニングビジネスが世界各国で展開されている昨今では、地域や経験年数によりサービス員の技量もさまざまであり、安定したサービスを全世界で提供することは困難となってきた。そこで、その解決手段として、さらなるIoT技術の導入とデータ活用により機械コンディションの見える化と新しいサービス提案システムの構築が必須となっている。

### 2. 鉱山機械のメンテナンスサービスの課題

鉱山機械とコンストラクション機械を比較すると、使用用途、稼働時間、車体寿命、稼働環境、車体・部

品価格などが異なり、要求されるサービス・ソリューションにも違いがある。鉱山市場では近年の鉱物価格の変動や鉱山の深部化・奥地化等による鉱山投資コスト増加<sup>1)</sup>、操業コストの上昇により、燃料費や定期交換部品費が大きな比重を占めるライフサイクルコスト低減がお客様の重要課題の1つとなっている。これまで鉱山機械の定期交換部品の交換時間は、主に車体稼働時間を基準として決定されてきた。車体稼働時間を基準とした部品交換間隔は、世界各国で行われてきた部品交換やメンテナンスの履歴とその車体稼働時間を集計し、標準的な稼働を想定して決定されたものである。しかし、車体稼働時間基準で部品寿命を考えるとバラツキが生まれてしまう。超大型油圧ショベルの主要用途はダンプトラックへの掘削物の積み込みである。掘削・旋回・放土・旋回の積み込みサイクルを基本として、掘削場所の移動を適時行う。操作方法や掘削対象物により掘削時の負荷は大きく変わる。負荷が大きくなるとその分、機器への負担は大きくなり、機器寿命は短くなる。また、走行減速機などの走行用機器の寿命は走行時間に大きく左右されるため、車体稼働時間の中でどれだけ走行したか（走行頻度）が重要になってくる。ダンプトラックについても、積載量や地形・路面の状況などにより機器寿命は大きく左右される。以上のように機器にかかる負荷の違いにより機器の寿命は変わることから、図-1に示すように、負荷の小さい作業が多い機械にとっては、まだ継続使用しても不具合に至らない可能性がある部品交換をしてしまい、無駄にライフサイクルコストを上げてしまっているケースや、逆に使用環境や負荷が非常に厳しく、設定した部品交換間隔よりも短い間隔で部品交換しないと正常稼働が維持出来ないケースもある。

また、鉱山現場では、機械が保守や不具合により稼働出来ない時間（ダウンタイム）を如何に短くするかも重要となる。そのためには定期的なメンテナンスや

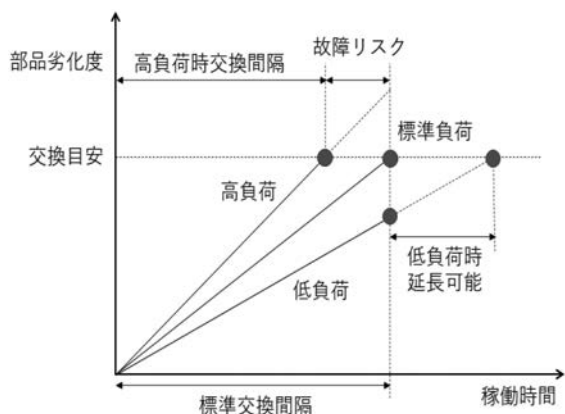


図-1 稼働時間と部品劣化度の関係

点検が必須となる。定期的なメンテナンスや点検は、部品の手配やサービス員の確保など事前に準備が出来るため、ダウンタイムを最小限にとどめることが出来る一方、超大型の機械になればなるほど、点検する部位は多くなり、限られた時間内での点検では個々の点検時間が短くなり十分な確認が出来ないこともある。例えば、構造物の定期点検は、目視や超音波探傷検査で行われるが、超大型の機械では目視による点検箇所は車体全体で100箇所以上となることもあり、1箇所での点検にかけられる時間は限られてしまう。また、損傷の可能性が部位毎に示されていないため、全ての箇所にかかる時間を均等にせざるを得ず、微細な損傷を見逃す可能性も出てしまう。

以上から、鉱山機械のメンテナンスサービスは、世界統一基準ではなく、お客様の使用状況、使用環境に合わせたカスタマイズされたものが望まれており、それを実現するためには、サービス員の経験のみに頼るのではなく、さらなるIoT技術の導入とデータ活用が必須となってくる。本稿では、弊社で2013年からコンストラクション向け油圧ショベルで運用開始されたデータサービス「ConSite<sup>®</sup>」(以下「遠隔監視データサービス」という)をベースとし、コンストラクション向け機械と比較してセンサリッチであることを生かすことで新たな診断やモニタリング機能を盛り込み、サービスやメンテナンスに活用するため開発中の「ConSite<sup>®</sup> Mine」(以下「本サービスシステム」という)の具体例を紹介する。

### 3. 本サービスシステムの特徴

#### (1) 本サービスシステムの概要

図-2に本サービスシステムの概要を示す。油圧ショベルやダンプトラックの稼働情報は衛星通信や携帯通信を介してサーバに送信され、お客様及び代理店に見やすい形に加工して情報を提供する。情報提供

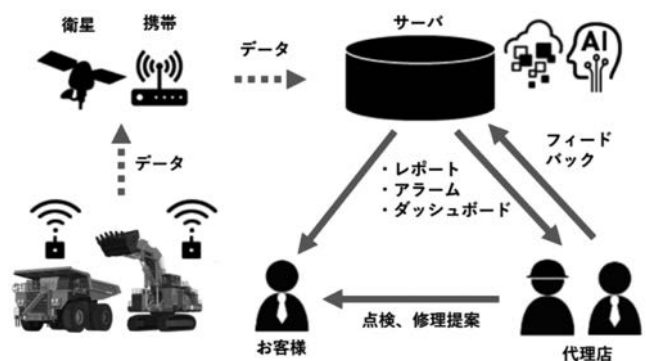


図-2 ConSite<sup>®</sup> Mineの概要

の手段としては、遠隔監視データサービスで運用されているレポートサービス及びメンテナンスや故障に関するアラーム通知に加え、リアルタイムに稼働情報がWebブラウザ上で見られるダッシュボードを設定する。

## (2) データ処理手段

稼働する機械を遠隔監視するための情報処理手段としては、必要な情報をサーバに収集した後にデータ処理を実施するクラウドコンピューティングと、必要な情報の生成元近くでデータ処理を実施するエッジコンピューティングの2通りが考えられるが、本サービスシステムでは、鉱山機械が置かれる情報通信インフラ環境を考慮し、エッジコンピューティングを主としたクラウドコンピューティングとの組合せによる情報処理手段を採用する。エッジコンピューティングは、大容量の車載センサデータを使用して計算することが可能であり、必要となる計算結果のみをクラウドに送信することで転送するデータ容量を抑えることが出来る。また、通信インフラ環境の不調により計算に使用する車載センサデータの一部が欠落した場合、計算精度が落ち正しく機械の状態を監視することが出来なくなるが、エッジコンピューティングであれば、その頻度を抑えることが出来る。一方、全てをエッジコンピューティングとすると、新しい機能の追加やロジックの改善を行う際に車体コントローラを書き換えるなどの作業が発生し時間を要してしまうため、機能によりクラウドコンピューティングを実施する。クラウドコンピューティングを実施するためには、大容量のデータを安定してクラウド上に取得し処理する技術が必要となるが、本サービスシステムでは、長年、鉱山運行管理システムを鉱山現場のお客さまに提供するビジネスを展開し、データ提供サービスの運用を得意とする弊社連結子会社である Wenco 社<sup>2)</sup> が持つリアルタイムモニタリングシステムを活用する。Wenco 社のリアルタイムモニタリングシステムは、稼働する機械のセンサデータなどをリアルタイムにクラウド上に大容量転送し、パソコンなどの端末に用意したダッシュボード上にデータを表示するシステムである。弊社が長年培ってきた製品設計ノウハウや統計モデリング・数値解析を組み合わせた異常検知技術や状態監視技術と、Wenco 社が持つソフトウェア技術を組み合わせることで、お客さまの課題解決に繋がる価値ある情報を見やすい形に加工して提供する。

以下では本サービスシステムの主要機能とその機能を用いたサービスの提案例を紹介する。

## (3) ブーム・アーム損傷予兆機能「Load Index」

油圧ショベルのブームやアームの溶接構造物への負荷は、操作方法や掘削対象物により大きく変わるため、損傷に至るまでの時間を予測出来れば事前対策が可能となり、ダウンタイムを低減することが出来る。溶接構造物にかかる負荷を知る手段としては、ひずみゲージを貼り付けた測定方法があるが、ひずみゲージを貼り付けた部位に限られる上、長時間の計測はひずみゲージの断線リスクなど耐久性に懸念がある。そこで、車載センサを活用し、ブームやアームの累積負荷を分析することで、き裂が発生する前に予兆を検知する技術を開発した。この手法は、写真-2に示すように、ブームやアームの高負荷となることが推定される部位に任意に評価点を設置することが出来る。



写真-2 Load Index の例

この Load Index を用いることで、適切なタイミングで補修溶接や点検をお客さまに提案することが出来るようになり、ライフサイクルコストの低減、ダウンタイムの抑制に貢献することが可能となる。また、お客さまに対して操作方法のアドバイスをを行い、早期の損傷を抑制することが可能となる。

現時点では、損傷した場合の影響度が大きい油圧ショベルのブーム、アームについて開発を行ったが、今後、他部位やダンプトラックの溶接構造物についても開発を行っていく予定である。

## (4) 油圧ポンプ異常検知機能

油圧ショベルのキーコンポーネントである油圧ポンプは破損すると車体稼働不能となるだけでなく、油圧ポンプ内部で損傷により生成された金属片が油圧回路全体に影響を与え、さらに油圧回路内の作動油をフラッシングしなければいけなくなり、復旧までに多大な時間を要してしまう。そのため、油圧ポンプの早期の異常検知が重要となる。油圧ポンプの異常検出手段として、弊社では油圧回路内にマグネット式のコンタミネーションセンサを設けている。マグネット式のコンタミネーションセンサは、検知部がマグネットで構成されており、マグネット部に鉄粉が付着することにより、作動油のコンタミネーション汚染を検出するも

のである。マグネット式のコンタミネーションセンサの弱点は、経年的なポンプ内部部品の正常摩耗でも鉄粉が出るため、異常損傷による鉄粉と区別が付きにくいことや、非鉄金属の損傷は検知が出来ないことである。そこで油圧波形分析を行うことで、初期の損傷を検知する技術を開発した。これにより、油圧ポンプが全損する前に油圧ポンプの交換が可能となり、ダウンタイムの低減が図れ、消耗品以外の油圧ポンプ内訳部品を再利用してオーバーホールすることでライフサイクルコストの低減にも貢献することが可能となる。

上記のような突発的な不具合に加えて、経年的な劣化を検出する手段の開発にも取り組んでいる。経年的な劣化を時系列で示すことにより、部品の最適な交換タイミングも分かるようになる。今後、検知可能な機器は拡充する予定であり、時間基準のメンテナンス(TBM: Time Based Maintenance) からコンディション基準のメンテナンス (CBM: Condition Based Maintenance) にすることで、お客さまの使用状況に合わせた最適なメンテナンスの提案を行っていく予定である。

#### (5) オイル性状監視機能

建設機械のオイル性状管理は非常に重要であり、定期的にサンプリングしたオイルをオイル分析会社に送付して分析し確認するという方法が一般的に行われている。この方法は、正確な成分分析によりオイルの状態を詳細に見ることが出来るが、定期的なサンプリングとなるため、急激な状態変化を早期に検知することは出来ない。また、オイルサンプリングからオイル分析結果が出るまでに輸送などの日数も含めて数週間かかる場合もあり、時間的な課題がある。

そこで、上記課題を解決するため、遠隔監視データサービスのメニューである ConSite<sup>®</sup> OIL を超大型油圧ショベルにも展開する。ConSite<sup>®</sup> OIL は、作動油などの温度、粘度、密度、誘電率を検知するセンサを油圧回路中に搭載し、常時性状を監視するシステムである。このシステムにより、24時間稼働を行う機械のオイル性状監視が常時行われ、お客さまには日報ベースでオイルの状態をお知らせする。また、オイル交換が行われるとオイルセンサが感知する粘度、密度、誘電率が変化しオイル交換されたことが遠隔で把握出来る。それにより、次のオイル交換タイミングを推定出来る上に、次のオイル交換タイミングの際、CBM で選定された機器の交換をお客さまに提案することにより、メンテナンスのための休車回数を減らすことでダウンタイムの低減、ライフサイクルコストの低減に貢献する。

#### (6) ダンプトラックのオペレーションモニタリング機能

近年の鉱山現場では、安全に対する要求が非常に高まっている。これまでモニタリング機能と言えば、機械の状態監視が主な役割であったが、機能を拡張しダンプトラックの運転操作を可視化することで、鉱山現場の危険因子も抽出することが望まれている。そこで車載センサを活用し、急ブレーキやタイヤの空回り、速度超過、荒地地面通過などを Web ブラウザ上のダッシュボード上に示した鉱山現場の地図上に表示し、事故発生につながりうる危険操作が起きた場所を特定出来るようにする。図-3 に示すように、お客さまは、地図上に表示された情報をもとに、走行ルートの整地や走行ルート自体の見直し、オペレータの教育などに活用することで、安全性の向上を行うとともに、非効率運転を見直すことで生産性も向上することが可能となる。

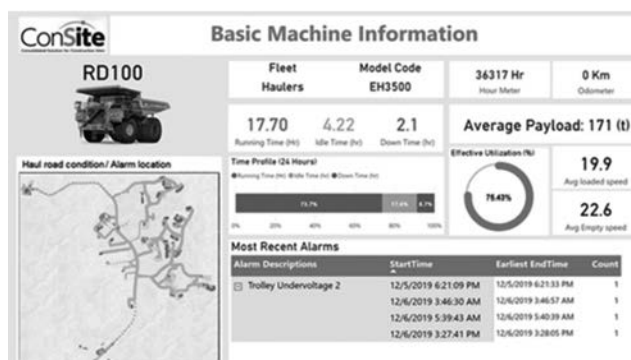


図-3 ダッシュボードに提供されるオペレーションモニタリングの例

#### (7) ダンプトラック最適燃費チューニングパターン分析機能

鉱山現場によってさまざまな走行ルートが存在するため、現場毎にエンジン回転数や加速性能などのパラメータをチューニングすることにより、燃料消費量の低減を図ることが可能となる。これまでは、サービス員が複数あるパラメータを順番に試して、最適なパラメータの組み合わせを選定していたが、選定の際には、鉱山現場の中の限られた走行ルートを使用してパラメータを試していたため、鉱山現場全体の走行ルートを加味した最適なパラメータの組み合わせになっているかは不明であった。そこで、その解決手段として、前項で紹介したオペレーションモニタリング機能と燃費チューニング機能を融合させ、走行データを自動収集してパラメータごとの燃料消費量への影響を分析して鉱山現場ごとに最適な燃料消費量となるように提案する。この方法を採用することにより、新車購入して

頂いた直後の燃料消費量の最適化だけではなく、走行ルートなどが変わった場合に燃料消費量の悪化を防ぐ新たな最適パラメータの提案も遠隔監視した情報から出来るようになる。

#### 4. おわりに

これまで鉱山機械の点検・メンテナンスは、車体稼働時間を基準に行われてきたが、お客さまごとに使用状況、使用環境が異なるため、適切なタイミングでの点検・メンテナンスの提案にはより詳細な車体稼働データを取得し、分析することが必要である。また、突発的な不具合に早急に対応するためには、24時間365日車体を遠隔監視し、時系列で傾向を分析することで劣化を予測したり、不具合の初期段階を捉えたりすることが重要である。今回遠隔監視システムを導入することにより、より詳細な稼働データを取得し、お客さまに価値ある情報に加工して提供することが可能

となり、ライフサイクルコストの低減やダウンタイムの低減が期待出来る。また、車載センサを活用し、鉱山現場の改善点を抽出することが出来るようになり、安全性・生産性の向上にも貢献出来るようになる。現在、本サービスシステム ConSite<sup>®</sup> Mine は、一部地域で実証試験を行っており、2021年中に全世界向けにリリースする予定である。

JCMIA

- 1) 資源エネルギー庁 鉱物資源をめぐる現状と課題
- 2) 正式名称 Wenco International Mining Systems Ltd. (Canada)

#### 【筆者紹介】

右田 浩史 (みぎた ひろふみ)  
日立建機株式会社  
マイニング事業本部 開発・生産統括部  
開発設計部 DMSグループ  
主任技師

