

解説

ICTでインテリジェント化する 建設・鉱山機械

Intelligently Construction/Mining Equipment with ICT

執筆者プロフィール



永井 孝雄
Takao NAGAI

- ◎1974年横浜国立大学工学部卒業後(株)小松製作所入社、大型ダンプトラックの開発・市場導入業務やICTシステムの企画・市場導入業務に従事、2011年より(株)メビウスで事業戦略・営業・ソリューション事業を統括
- ◎研究・専門テーマは、メカトロニクス、遠隔監視・自動運行システム
- ◎正員、(株)メビウス 取締役営業本部長兼第1事業本部長
(〒220-0004 横浜市西区北幸 2-10-27 東武立野ビル/
E-mail: t_nagai@mebius.co.jp)

1. はじめに

大型の建設機械や鉱山機械は、24/7といわれるように、現場は1日24時間、週に7日間の稼働体制を敷いていることが多い。点検整備や故障修理などで機械を止めている時間は生産に寄与しないので、稼働率を向上させるための定期整備時間短縮が試行されてきた。機械の突発的な故障は修理時間が最も長くなるので、これを避けるため、四半世紀ほど前から機械の運転状況を細かく車載電子媒体に記録し、定期的にこれを読み出し、コンピュータで解析をする仕組みが大手鉱山から普及し始めた。その後、機械の電子制御化が進み、制御コントローラからすべてのセンサ情報、運転情報等が容易に取得できるようになると、収集した情報を無線LANや公共通信を介して、リアルタイムにサーバに送信できるようなサービスを機械メーカーが提供するようになってきた。

公共通信が利用できるようになると、鉱山機械だけでなく、建設機械を数多く保有するユーザー向けに、機械の稼働管理という切り口で、位置情報とセットで運転情報をWebベースで配信するシステムが登場した。すなわち建機に使用されているセンサ情報は車内LANを介していったん通信コントローラ内に蓄積・処理され、衛星通信や地上波等の公共通信回線を利用し、サーバに送信され、さらにデータを処理し、インターネットを介して、ユーザーや代理店でPCの画面でわかりやすく表示する仕組みである。

建機業界ではキャタピラー、コマツ、日立建機、ボルボ

コンストラクション等は1990年代後半からこのシステムを開発していたが、ほとんどのメーカーはオプションとしていたのに対し、(株)小松製作所(以下、コマツ)は早くから標準装備としていた。この結果、すでにKOM-TRAX™(コマツのシステム名)は33万台以上の普及となり、これまで別システムであった鉱山機械用もKOM-TRAX-Plus⁽¹⁾と称し、システムの統合化と進化を継続している。そのシステム機能拡大の変遷と概念図を図1に示す。

本特集のテーマは「機械・構造物のヘルスマonitoring」であるが、建機のヘルスマonitoringがなぜ注目されるようになったかといえば、製品の成熟とともに、かつての機械性能・品質・稼働率という、製品力と代理店のサポート力で競う時代から、ICTの進化にともなって、機械の稼働状態を遠隔監視できるようになり、その結果、機械の自動化・効率的な運用を支援するシステムまで含めた、総合力で競う時代になったからである。

とくに近年注目されている鉱山での無人ダンプトラック運行システムや建設現場でのスマートソリューションといった、高精度GPSと作業機の自動制御によるICTブルドーザ・油圧ショベル等の自動化された機械は、高度なヘルスマonitoringや運用ソリューションサービスが必須となっている。したがって本稿では単なるヘルスマonitoring紹介ではなく、最新の建機・鉱山機械の革新的なシステムまで範囲を広げて紹介をしたい。

2. 遠隔監視による鉱山機械の健康診断

2.1 鉱山機械の遠隔監視

機械の故障は、整備状況や使用される環境や負荷が異なるうえに、オペレータの運転技量など、これを支配する因子が多くあり、いつ故障するのかを、正確に予測するのは容易ではない。予防整備が主流の鉱山機械では、常に寿命ぎりぎりでの交換やオーバーホール作業が求められるので、負荷を正確に把握することが重要である。

図2に鉱山で最も稼働台数の多いダンプトラックの遠隔監視システムを示す⁽²⁾。データロガーには各サブシステムの入出力情報や位置情報が集まり、鉱山LANを利用してサーバにデータが送られる。Payload Monitoring Systemは車載型積載量計で全サスペンションの油圧を計測することで、ばね上荷重変動を把握し積載量を計測する。Tire Monitoringはタイヤの内部に温度と圧力センサを内蔵し常

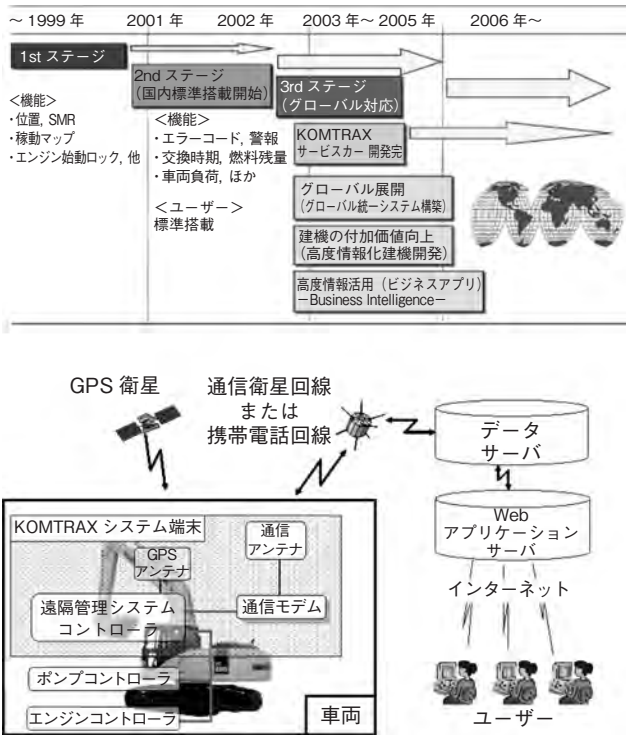


図1 建機の遠隔監視機能変遷とシステム概念図

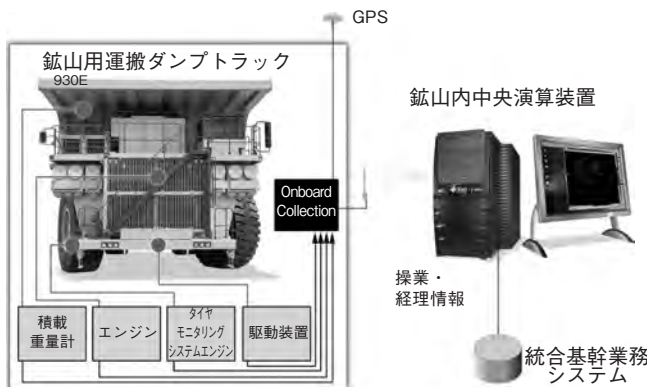


図2 鉱山機械の遠隔監視システム

時監視をしている。エンジンについてはエンジンコントローラへの全入力センサ情報と出力値を取得する。Drive Systems に関してはエンジン同様、発電機・コンバータ・インバータ・モータ制御用全入力センサ情報と出力値を取得する。

鉱山機械の特徴は、

- (1) 稼働形態が24/7と3シフトまたは2シフトの連続稼働で年間稼働時間は8000時間を超える。
- (2) ライフサイクルでのオペレーションコストが重要であり、生産性だけでなく、整備・修理費低減、省人化、省燃費化なども重視される。
- (3) 1台2億円以上の超大型機が多いので、生産性を最大化するためにGPS情報によるコンピュータ制御の配車システムを導入している。

したがって、遠隔監視通信データコストを考慮して、鉱山側は独自に無線ネットワークを専門サプライヤーから調達していた。本来はダンプトラックの行き先制御と生産量管理システムだが、そのオプションとしてヘルスマonitoring機能を開発し、複数の異なるメーカーの機械が混在す

る鉱山で、利便性を武器に存在感を示している。インテリマインの商品名で知られるアメリカ Modular Mining 社が草分けの存在で今も50%以上のシェアを持っている。機能としてはDISPATCH (ダンプトラック自動配車)、MIN-ECARE (健康管理)、Machine Guidance (GPSによる施工支援)、これに作業管理やERP (Enterprise Resource Planning: 総合基幹業務システム) 用のインターフェースがそろっている⁽²⁾。

2.2 遠隔監視によるコスト改善効果

鉱山トラックのオペレーションコストは、主に①燃費、②タイヤ費、③整備・修理費、④オペレータ費、⑤償却費で構成されるが、①②③は遠隔監視によりサーバに蓄積されるデータを活用することで費用節約が図れる。最近ではIoTとして注目されているが、すでに20年前から鉱山ではこれらのデータを活用して改善効果を上げていた。燃費やタイヤ費では、生産性が大きく低下しない範囲で、空車・積車ごとに最高速度制限を設けることで効果を上げてきた。また故障の未然防止を徹底し、壊れる前にオーバーホールを実施することにより、修理費低減効果を上げてきた。

図3にエンジン関係の解析データ例の一部を示す⁽³⁾⁽⁴⁾。

ただ有人運転ではミスや癖は完全にはなくせないので、④の改善と併せてAHS (Autonomous Haulage System 自律運航する無人ダンプトラックによる運搬システム) 開発の要望を20年前から受けて研究に取り組んでおり⁽⁵⁾、8年前にチリの銅鉱山で世界で初めての実運用が始まり、現在18台のフリートで24H稼働中である。その後西オーストラリアの鉄鉱山でも5台3年間の稼働を経てすでに150台の本格導入が始まっている⁽⁶⁾。

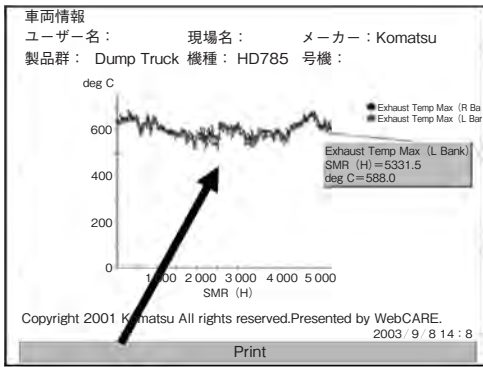
図4にAHS稼働状況の写真を示す。制御誤差がないため走行軌跡が線路のように見えている。

すでにAHSの稼働は7年を超えているので、燃料費、整備・修理費等で10%以上低減効果があることが認識されている。さらにタイヤ費では、30%以上寿命が延びたといわれている。300トン積みクラスになると1本400万円以上するので、未舗装路を年間8000時間以上走行する鉱山では、タイヤの寿命を延ばすことに極めて関心がある。タイヤの寿命に影響を与える因子としては、垂直荷重、水平荷重、制駆動力があるが、AHSでは生産性を保ちながら、加減速や旋回をスムーズに制御するので、タイヤ寿命が大幅に向上している。またAHSは積み込みスポットに正確に停車するので、積込機のオペレータは作業に専念でき、生産性と安全性が向上したことも報告されている。

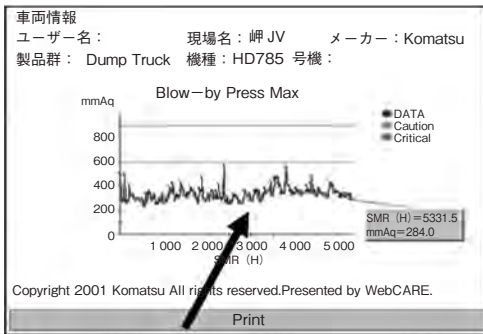
3. 建設機械の遠隔健康診断システム

3.1 建設機械の遠隔監視

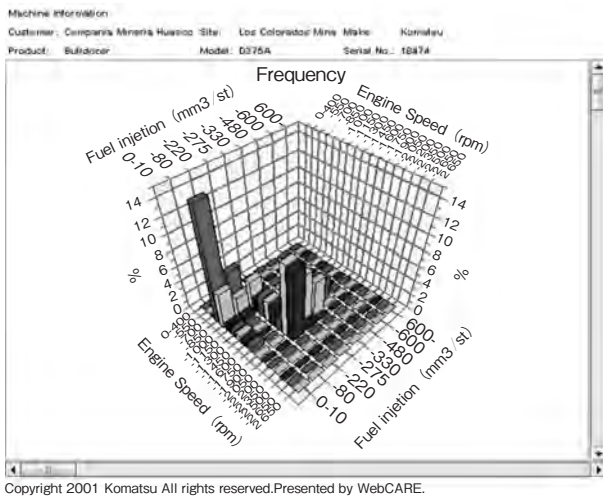
1998年に衛星によるデータ通信専用サービスが始まり⁽⁷⁾、これを利用して、機械の情報をサーバに送信・蓄積することが始まった。その後、地上波でのデータ通信サービスも広がり、使い分けができるようになった。世界中の建機から送信されたデータはサーバで解析され、メーカーが定めた閾値を越えた場合、その頻度や程度を加味して、警告レベルがユーザー・代理店のPC画面に表示される。部位によっては推定残存寿命が表示される。これによりユーザーは部品交換や油脂類の補充・交換作業等の整備を適切に計画し、オーバーホールの時期に合わせてユニットの事前手配をできるようになった。図5にその概念図を



(a) 例：最高排気温度の傾向でエンジン燃焼系の異常を監視



(b) 例：ブローバイ最大圧力の傾向でエンジン内部摩耗の状況を監視



(c) 回転数と出力の頻度マップ

図3 エンジン関連データの解析例

示す。

3.2 建設機械の健康診断

建設機械は鉱山機械と比べると下記の点が異なっている。

- (1) 工事が終了すると移動するため、稼働現場、オペレータや作業環境はそのつど変わる。
- (2) 移動が必要なため鉱山機械に比べると小型。
- (3) 工事ごとに採算性が求められるので、生産性が重視される。

このため健康診断は、定期整備で実施できる範囲を中心に行う場合が多く、オーバーホールのような重整備は次の工事との間に行う傾向がある。したがって、突発的に重大な故障が工期中に発生するかどうかを診断することが求められるが、鉱山と異なり、現場を移動する建設機械では、専門技術者を確保するのは困難であった。遠隔監視システムを活用すると、蓄積データが十分に得られた機種については、地域・業種ごとに負荷率をパラメータにして、統計



図4 オーストラリアで稼働中のAHS



図5 遠隔監視システム構成図

処理を行うことにより、精度の高い診断が可能になる。さらにこの診断をもとに整備に必要な部品の数量が予測できるので、補給部品の配置についてもきめ細かく行うことが可能になる。図6にPC画面に表示される主要な情報内容を示す。

機械の故障や寿命を支配するパラメータは多数あり、複数の要因が重なる場合も考慮すると、数式に落とし込むことは容易ではない。そこで、まずは関係性が成立しそうなパラメータから解析が始まった。一般的に1時間当たりの燃料使用量(燃費)からエンジンやこれに関連するパワートレインや作業機の負荷率は求められるので、この指標は大きな診断の目安とされていた。メーカーにとっての課題はこの燃費データを収集することが、費用と時間をかけないと困難で、たとえ得られたとしても、過去のデータでありリアルタイム性に欠け、さらにエンジンや作業機ポンプなどがユーザーごとにどんな負荷で使用されているのか、わからないことであった。遠隔監視によれば、エンジンがアイドリングしているか、作業機の油圧が立っているのかなどは簡単に解析でき、これによる診断精度向上効果は大きなものがある。

機械のヘルスマonitoringも人間のそれと同じで、体温計=油温/水温計、万歩計=距離計、脈拍=回転計、血圧=圧力計、消費カロリー=燃費等を常にモニターし、蓄積したデータをリアルタイムに解析することができると、健康管理レベルは飛躍的に向上する。機械の制御システムがモニターしているセンサ情報が閾値を外れたときや、狙った制御ができなくなったときに、エラーと警告が発報され

主な取得情報	Web 表示, レポート, メール転送サービス	
サービスメータ		毎日, 累積稼働時間
車両の位置		現在位置, 過去の移動履歴
稼働履歴		日報作成 車両, オペレータの管理
エラー/コーション		車両異常の早期検出
作業時間		作業内容の分析
燃料消費率		省エネレポートの提供
使われ方	作業負荷 (使われ方) を把握	
燃料残量		毎日の燃料残量を表示
ラジエーター水温		ラジエーター水温を表示

図6 遠隔監視で表示される主要情報

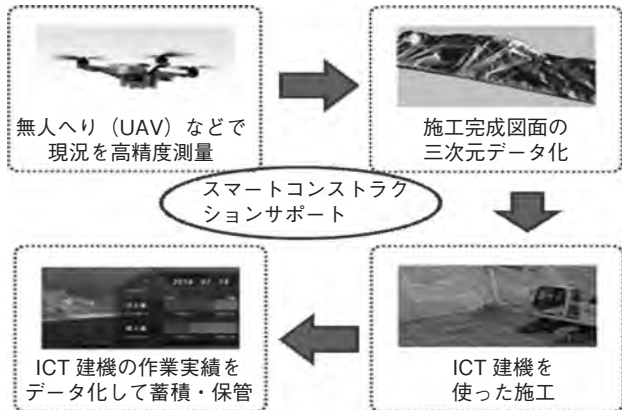


図7 スマートコンストラクション



図8 Remote Operation Center 全景

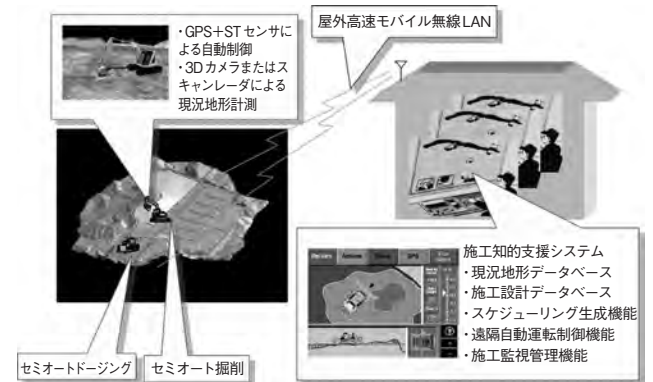


図9 情報化施工構想

るが、先に述べた健康管理状態と照合することにより、再発するまでウォッチでよいのか、臨時整備を計画するのか、直ちに修理する等の指示を出すことが可能になる。多数の機械を保有しているユーザーの整備部門や代理店レベルでの素早い把握・対応により、大きな故障を未然に防止することができる。

4. 機械の遠隔監視システムから施工支援システムへ

冒頭で述べたように、建設機械単独の製品力と代理店のサポート力で競う時代から、機械の自動化・効率的な運用を支援するシステムまで含めた、総合力で競う時代であるため、近年 ICT 情報化施工が注目されている。アメリカでは、高精度 GPS メーカーが、建機への後付オプションとして作業機を自動制御するシステムを普及させている⁽⁸⁾。この装置により、高度な技術を要する仕上げ工程を自動化でき、熟練オペレータ不足に対応できるようになった。仕上げチェックの測量と修正が省略でき、費用低減と工期短縮に効果大等のメリットがある⁽⁹⁾。最近では日本でも認知が進んできたが、2015年2月にメーカー系列レンタル会社を通じ、スマートソリューションと称し、現場の三次元現況マップの作成、新型 ICT 建設機械へのデータアップロードとオペレーション指導まで、一気通貫のワンストップサービスが開始された。しかも、これまでのオプションでは、仕上げ工程のみ有効であったが、新型 ICT 建機は、最初から最後まで自動制御が適用できる、画期的な機能を備えている。図7にスマートコンストラクションの構成機能を示す⁽⁶⁾。

5. おわりに

2.2 鉱山機械の章で AHS を紹介したが、これを使用している鉱山では鉱山から 1 300 km 離れた都市部に ROC (Remote Operation Center) を設置し、鉱山全体を遠隔で監視・制御するプロジェクトを進めている。図8に Rio Tinto 社が 2008 年 9 月にプレスリリースした Mine of the Future プロジェクトの ROC 全景を示す。

一方、建設現場も ICT 建機がさらに進化し、高度な情報化施工が進むと思われる。図9は 10 年前に筆者が描いた情報化施工であるが、技術的には、ほぼ実現できており、オペレータが乗っていない建機が、より安全に、より正確に、施工を行うときが来るのもそう遠くないであろう。

(原稿受付 2015 年 4 月 6 日)

●文献

- (1) International Mining Project News 2014.9.17
- (2) Modular Mining Systems Corp ホームページ <http://mmsi.com/>
- (3) コマツアニュアルレポート (2011)
- (4) 村上 卓・ほか, 大型建設機械の健康管理システム (VHMS/WebCARE) の開発, コマツテクニカルレポート, 48-150 (2003), 15-21.
- (5) コマツアニュアルレポート (2010)
- (6) コマツ ホームページ <http://www.komatsu.co.jp/>
- (7) 永井孝雄・ほか, 大型建設機械の耐久性向上について, 建設機械, 39-8 (2003), 5-11.
- (8) Caterpillar Tractor ホームページ <http://www.cat.com/>
- (9) 永井孝雄・ほか, 高精度 GPS を利用した建設機械の情報化施工システム, 日本建設機械化協会 H17 シンポジウム, (2005-11).