

大型建設機械の健康管理システム (VHMS/WebCARE)の開発

コマツ（株式会社 小松製作所）
村上 卓，西郷 隆一，大蔵 泰則
大川 幸男，谷長 禎

大型機械は連続稼働時間が長く、ひとたび故障すると修理費用も大きい。修理時間も長いため機械の稼働に大きく影響する。このため、特に大型建設機械には、ダウンタイムがなく、計画的な運用が可能な機械が求められている。このためには、機械の健康診断などにより故障の兆候を事前に予測し、保守担当者が必要な処置を採ることが必要である。

そこで、大型機械向けのモニタリング／診断システムとして、データ収集専用のコントローラーで、機械自ら運転状況を常に見張っておき、収集されたデータをデータベースにより蓄積、配信することで、これを有効に活用して故障の事前予測や寿命の予測など保守のための診断を支援するシステムを開発した。

1. 概要

(1) 開発の背景

大型建設機械に対するユーザーズは、かつての壊れない機械から居住性や環境重視に移って久しいが、近年ではさらに、経済性と共にダウンタイムがなく、計画的な運用が可能な機械が求められている。

機械には自らのコンディションを診断してその結果を報告し、機械の運用／保守を担当する人が最適な計画を素早く立てられるような機能が求められている。

最も推奨されてきた唯一の方法は、定期点検と整備を決められたとおりに行うことであるが、万一故障したときには、ベテランの整備士の経験や計測器を装着しての診断に頼らざるを得なかった。これまで、機械自ら情報を収集し、診断を行うことは一部で試行されているが、兆候を事前に発見し、適切な手を打つことは不可能であった。

一方で、建設機械も急速に電子制御化が進み、センサやコントローラーが搭載され、経

験や勤による診断に代り、機械自ら細かな情報をモニタすることが可能になりつつある。また、IT技術の進歩により、これまでコストが高いため、採用できなかった移動体通信サービスが利用可能になり、建設機械でも中小型建機の動態管理用サービスが、弊社を含め一部のメーカーで始まっている。

(2) 大型機械用の健康管理システム

これら中小型向けシステムは、動態管理を主としており、建機の位置、サービスメータ、燃料残量、コーションメッセージなどの情報を遠隔で取得し、活用するものである。機械の配車などの管理業務を効率化でき、レンタル業者や多数の建機を保有または管理するユーザーにメリットが得られる。また、代理店にとっては、メンテナンスを主体にしたサービスの配車を効率的に行うために有効である。

これに対して大型機械では、個々の機械の健康状態を解析することが不可欠になり、動態管理とは全く次元の異なるコンセプトのシステムが必要となる。つまり数の多い中小型

では、市場で発生した故障と原因を統計処理し故障診断の容易化が求められるのに対し、数の少ない大型では1台ごとの特定データからの診断が必要である。

大型機械は連続稼働時間が長く、ひとたび故障すると修理費用も大きい。修理時間も長いため機械の稼働に大きく影響する。24-7(1日24時間、週7日稼働)の鉱山ともなると、故障の影響はさらに大きく、故障の事前予測や寿命予測といった極めて難度の高い課題への対応も求められる。また、大型機械は長期間使用されるため、その累積保守費用は大きく、購入価と同額またはそれ以上になる場合がある。これを低減するには、壊れてしまう寸前に分解整備を実施することが有効であることがこれまでの解析でわかっている(壊れた後は前に比べ1.5から2倍費用がかかる)。

そこで、大型機械向けのモニタリング/診断システムとして、機械の運転状況を常に見張っておき、機械の健康診断や故障の兆候を事前に自動的に予測するためのデータ収集専用コントローラ(Vehicle Health Monitoring System以下VHMS)と、この収集されたデータを基に故障の事前予測や、寿命の予測などを行い、これを有効に活用して保守担当者が必要な処置が採れるように支援を行うシステム(WebCARE)を今回開発した。

2. システムの説明

(1) 本システムのねらい

VHMS/WebCAREの目的は、ライフサイクルでの機械の点検、整備、修理費用を低減し、さらに整備・修理によるダウンタイムを低減、稼働率を向上し、生産性の向上に寄与することである。そのためには、機械の健康状態を診断し適切な措置がタイムリーにとられる様、機械の健康状態の診断指標として、下記の情報をサービス拠点に提供することが必要

となる。

- A. 車両機械の使い方の把握
- B. 車両機械の過酷度の把握
- C. 車両機械の寿命推定

つまり、

- ・機械がそれまで、どれくらいの時間使われてきたか。(サービスマータ、オドメータ)
- ・機械がそれまで、いつ、稼働していたか。(キースイッチオンオフ、エンジン始動停止時刻記録)
- ・機械がそれまで、どれくらいの作業を行ってきたか。(掘削重量、運搬重量記録)
- ・主要コンポーネントが、どのように稼働してきたか。(負荷マップ)
- ・主要コンポーネントに、いつ、どのように故障が発生したか。(故障記録、スナップショット記録)
- ・主要コンポーネントに、故障の兆候があるか。(トレンドデータ記録)

これら、これまで現場では得にくかった高度な機械健康情報を、機械保守業務の最前線であるサービス拠点に即座にフィードバックすることができれば、保守業務の飛躍的な高度化・迅速化が可能になる。

(2) システム構成

本システムは、車載モニタリング装置(VHMS)と診断データベースとデータ配信ネットワーク(WebCARE)、これらを結ぶ通信手段により構成される。

VHMSコントローラは、建設機械の電子制御用コンピュータ(以下コントローラ)どうしを結ぶComputer Area Networkを活用し、各コントローラが入手するセンサ情報や一次処理されたデータを、圧縮して保存する。蓄積されたデータを自動的に最適なタイミングで衛星通信端末を使って送信、地上局を経由し、WebCAREのデータベースに入る。

これにより、従来建機が、定期的な計器に

よる機械の健康診断（以下PMクリニック）、オイル分析、整備、修理記録などから各車両の状態を調べていたのに対し、VHMS/WebCAREを活用することによりサービス員の調査の手間を省き、調査したデータをデジタル化して機種別号機別のデータベースに格納し、常に最新データをWeb上で監視することが可能になる。このWeb上では、経時変化を読み取るグラフ表示、変速頻度、車両からのエラーコードなどにより、詳細なデータ表示が行われる。

図1にシステム構成を示す。

(3) VHMSコントローラ

VHMSコントローラは、機械に搭載されたデータ収集コンピュータで、エンジン、トランスミッションなどの、既存の制御用コントローラとデータ通信ネットワークで接続される。また、その他のセンサも接続される場合がある。既存の各装置用コントローラには何ら変更を加える必要がないので、既存の車両にVHMSコントローラを後から搭載することもできる。すべてがコマツのコンポーネントの場合はもちろん、超大型機に搭載されているOEMコンポーネントであるカミンズエン

ジンからもデータ通信ネットワークとVHMSでデータ収集可能である。

VHMSコントローラは他のコントローラやセンサからの信号を逐次受け取り、日時付加、重要度による層別、合計、平均化、最大・最小値化、度数分布化、故障が起こった際のフライトレコーダ機能（故障前後の時系列データの保存）、などの処理を行い、内部に記録する。不揮発性メモリを使用しているため、スイッチを切っても、バッテリーから切り離しても、データは保存される。

モニタリングの対象は、故障すると修復に時間と費用がかかる主要コンポーネントにしており、極力不要な情報は取らないコンセプトとしている。どのようなモニタリング機能を有しているのか、ダンプトラックを例に主なものを以下に紹介する。

モニタリングの大きな目的としては、

- (a) 異常の把握：機械が健康で運用されているか、また経年劣化状態の把握
- (b) 過酷度の把握：機械がどのような負荷で使われているかに分けられる。

前者は主要パラメータのトレンドデータ、

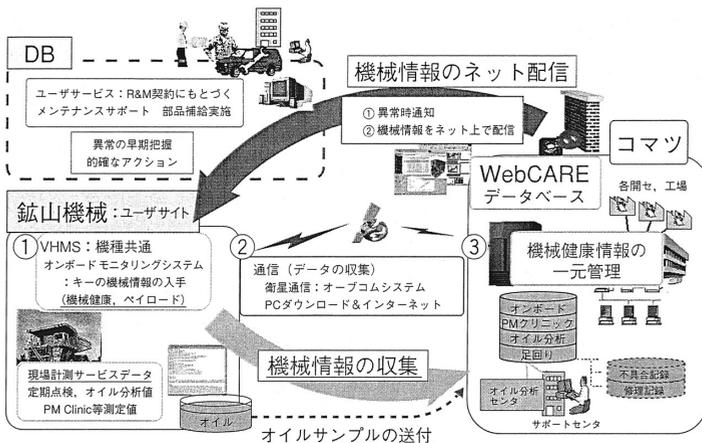


図1 システムの基本概念(VHMS/WebCARE)

エラーコードの時系列での把握、後者は燃料消費量などの頻度マップで把握ができる。異常な稼働情報が得られた段階での的確なアクションがとれ、また、経年劣化状態情報と使われ方の負荷情報から最適なオーバーホールタイミングの把握を可能にする。具体的にエンジンから実例を示す。

① エンジンモニタリング

冷却水温、潤滑油温の最高／最低、平均値を継続的に蓄積、送信する。オーバーヒートにいたらなくとも、同一フリートの中で油温が高めの機械などは群管理で異常の兆候を発見できる。

また、オーバーホール時期の予測のためには、負荷頻度マップとブローバイ圧力、排気温度などのトレンドを蓄積、送信する。これにより、限界に近づいたら、あらかじめ部品や整備を事前に準備することが可能になる。エンジンの寿命の時期をデータ参照しながら見極めた場合で、従来は12,000時間でオーバーホールしていたのを20,000時間まで延長できたことが実証されている。

これらのモニタリング項目とその診断基準を確立するために、長期にわたるベンチテストで、その因果関係を把握し、実車テストでその実証を行った。ベンチテストでは劣化した潤滑油やゴミが混入した油、摩耗したバルブなど種々の水準部品を組みこんだ破壊テストを行い、そのモードで何が壊れるか因果関係を明らかにし、診断データベースを開発した。

② トランスミッションモニタリング

トランスミッションでは多数のクラッチプレートが摩耗部品として存在している。

このシステムでは、変速頻度に加えて、このクラッチ係合に要する時間を厳密に解析することにより、摩耗限界に達したかどうかを常にチェックしている。

これもエンジン同様、コンポーネントを内製している当社の強みを生かして様々なテストを行い、摩耗レベルを直接計測せずに、把握することができる手法を確立した。

(4) 衛星通信装置とアンテナ

モニタリング装置からWebCAREへの衛星通信については、既に中小型建機において国内で25,000台の運用実績がある弊社のKOM TRAXシステムと同様の公共インフラである衛星通信を採用することとした。世界中で実用化するには、通信データ量、通信品質を支えるアンテナ技術、サービス価値と釣り合う通信コストなどデータをアップロードするための通信技術の確立が不可欠で、これらの技術は2年以上テスト車の情報をモニタし、必要なデータ送信間隔の割り出しなど地味なテストの積み重ねにより確立することができた。

衛星通信装置は、低軌道で地球を周回する衛星を経由して、国ごとに設置されている地上局へデータを無線で送ることができる。地上局からは、インターネットで自動的に、コマツデータベースWebCAREに送り込まれる。周回軌道衛星を使用する通信なので、アンテナは無志向性で良く、アンテナを空中の一点に向けて姿勢制御する必要がなく、移動・方向転換を繰り返す建設機械に適している。また、日本だけでなく、世界中で同じシステムが使用できるのも、グローバルなオペレーションに適している。

3. 成 果

VHMSコントローラをWebCAREのセットでエンジンなど主要コンポーネントの寿命推定や故障の兆候サインを発見するのに必要なデータベースを開発でき、機械の稼働率向上や修理費低減に大きく貢献できた。