

## 「IT特集」

## 大型建設機械の健康管理システム (VHMS/WebCARE) の開発 Development of Vehicle Health Monitoring System (VHMS/WebCARE) for Large-Sized Construction Machine

村上 卓  
Taku Murakami  
西郷 隆一  
Takaichi Saigo  
大蔵 泰則  
Yasunori Ohkura  
大川 幸男  
Yukio Okawa  
谷長 禎  
Tadashi Taninaga

大型建設機械の健康管理システム (VHMS/WebCARE) を開発したので紹介する。

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。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。

This paper describes the vehicle health monitoring system (VHMS/WebCARE) we have developed for large-sized construction machines.

Large-sized construction machines are continuously operated for many hours. Once they break down, it takes substantial cost to repair them. Besides, since repairing a large-sized construction machine takes much time, it significantly affects the machine activity rate. Therefore, construction machines, especially large ones, are required to be free of down time and capable of planned operation without interruption. In order to secure such machines, it is necessary to early detect any symptoms of machine trouble by physical examination, etc. and have the maintenance personnel take suitable measures without delay.

For monitoring and diagnosing large-sized construction machines, we have developed a system which supports diagnosis for the maintenance of large-sized construction machines, including prediction of machine trouble and estimation of machine life expectancy. This system consists mainly of a controller exclusive for collection of data for self-diagnosis of the operating condition of the machine and a data base which stores collected data so that the data can be effectively used for the diagnosis mentioned above.

*Key Words:* Large-Sized Construction Machine, Health Management, Monitoring, VHMS, WebCARE

### 1. 概要

#### (1) 開発の背景

大型建設機械に対するユーザーニーズは、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が搭載され、経験や勘による診断に代り、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カー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。(サービスメータ、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、図2にVHMS/WebCAREの全体システム構成を示す。

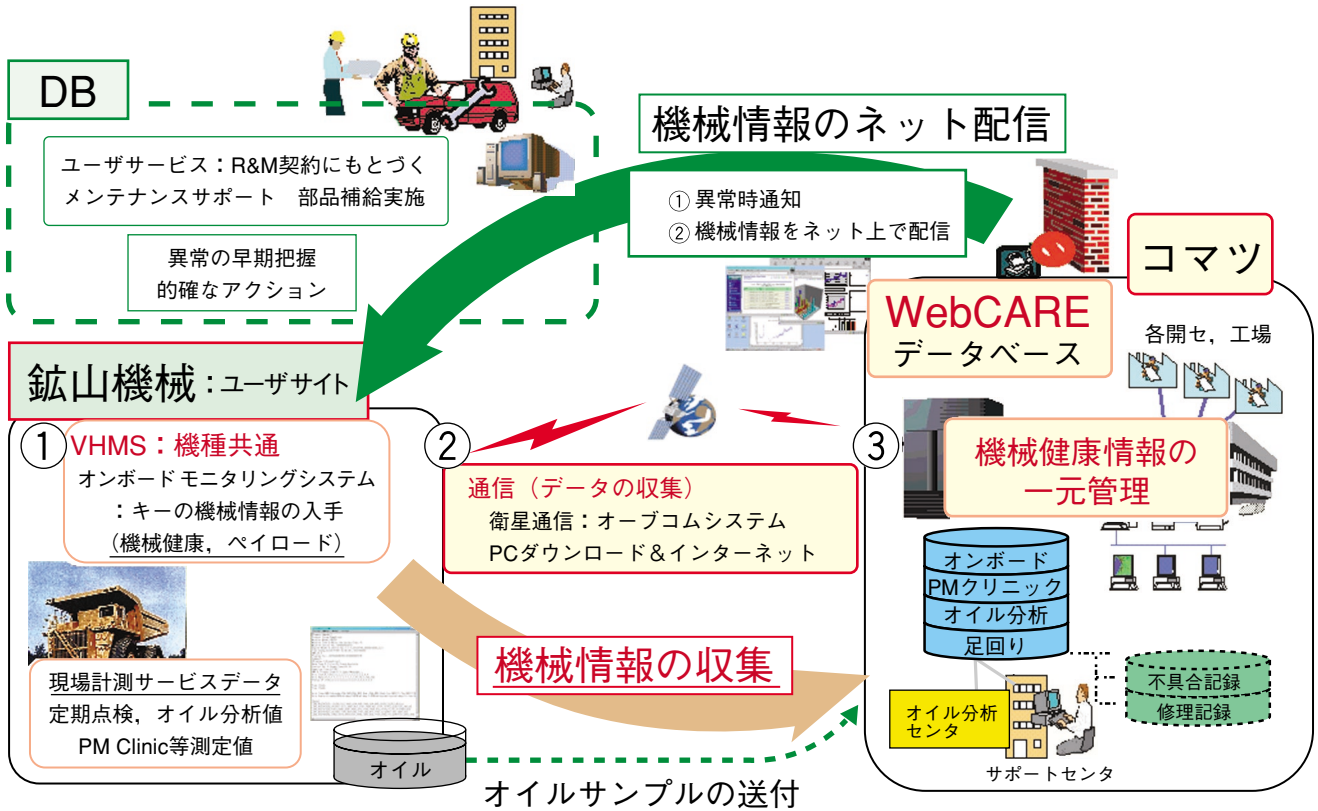


図1 システムの基本概念 (VHMS/WebCARE)

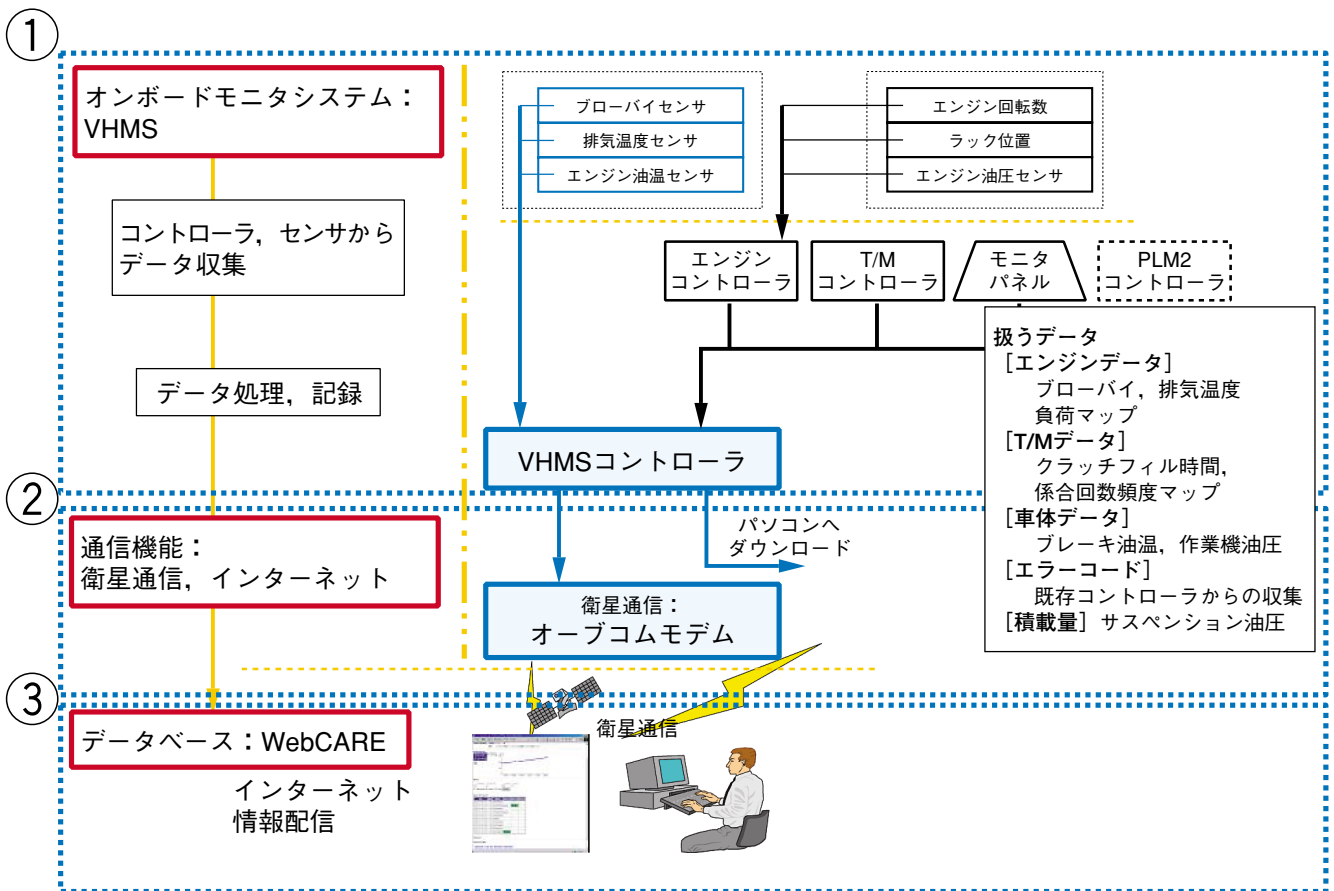


図2 VHMS/WebCAREモニタリングシステム構成

(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、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ずとも、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。図3はエンジンの寿命の時期をデータ参照しながら見極めた例で、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を示している。

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

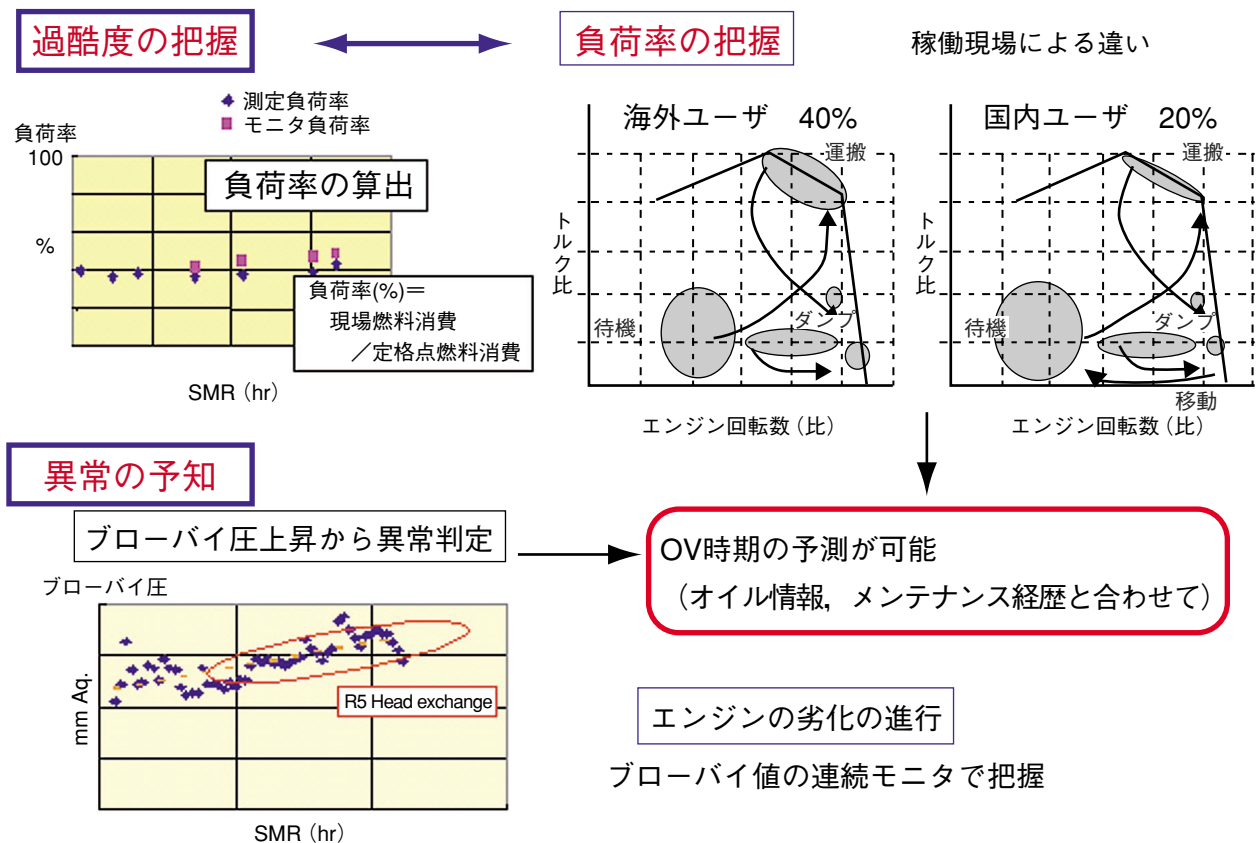


図3 エンジン寿命の予測

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ごみが混入した油、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、ど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。図4は通常使用の場合と変速頻度が異常に多い場合との関係をモニタリングしたトレンドデータの例を示している。



写真1 衛星通信機器車載状況

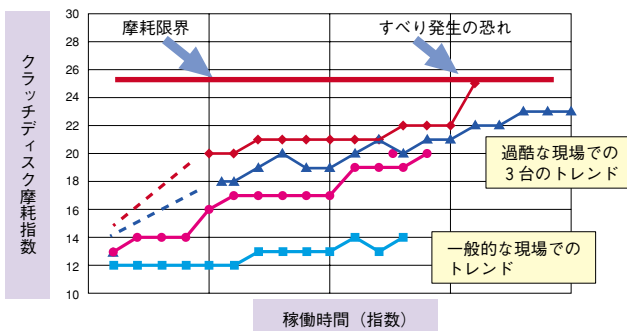


図4 トランスミッションオーバーホール時期の解析

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2年間で4,000台以上の運用実績がある弊社のKOMTRAX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。写真1に閑空第二期工事で稼働中の建機に車載された状況を示す。

(5) データ取り出し用パソコンとソフトウェア

VHMSコントローラに記録されたデータは、パソコン上で専用ソフトウェアを動作させることで、パソコンに取り込むこともできる。グラフ表示できるほか、標準的なCSV(カンマで区切られたデータ列)ファイルとして、例えばマイクロソフトエクセルなどで、処理・表示できる。また、パソコンをインターネットに接続して、WebCAREデータベースにデータをオンライン転送することもできる。

取り込まれるデータの種類の、日時、サービスメータ、エンジン回転数、走行車速、大気圧力、大気温度、水温、油圧、油温、積載量、故障、などである。これらを、故障などの場合は発生日時とその項目の一覧、その他の温度、圧力、などは、負荷頻度マップ、トレンドグラフ、故障が起こった場合はフライトレコーダ(スナップショットと呼ばれる細かい時系列グラフ)、として、パソコン上に表示される。

スナップショットは、起動スイッチにより手動で実施することができ、機械の種類ごとに定めた操作を行わせることで、計測器を装着することなしに機械の健康測定をできる。これは、従来PMクリニックとして行われ、測定用センサの準備などに60分費やしていたところが、10分程度で終了することができ、効率が飛躍的に向上した。図5にPMクリニックの例を示す。

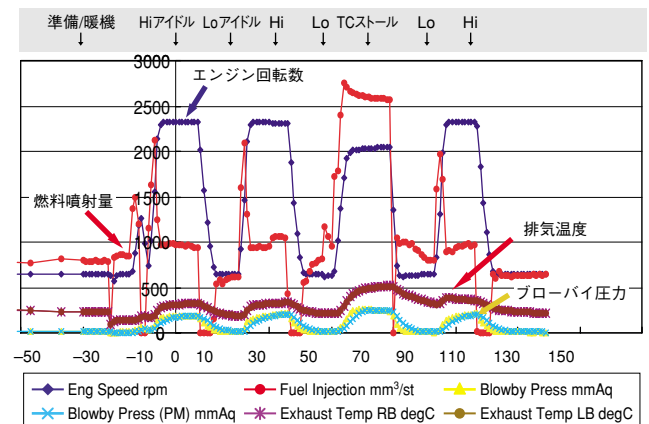


図5 PMクリニックデータ

(6) WebCARE データベース

(インターネット接続された中央データベースとサーバ)  
 パソコンでは、そのパソコンに取り込まれた機械のデータしか表示できないが、WebCAREに接続することにより、世界中すべての機械のデータを表示できる。また、データベースもサーバもインターネット接続されていて、世界中から使用できる。データベースは厳重な安全壁(ファイアウォール)で守られており、過失による誤操作や意図的な破壊行為によるデータの損傷・盗難から守られている。当然WebCAREへの接続時、パスワードやアクセス権限を確認することにより、データ表示の制限を設けることにより、セキュリティには万全を期している。

図 6 に代表的な画面を示す。

3. 成 果

(1) システム開発の成果

VHMS コントローラと 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。

VHMS/WebCARE は、オンボード型の建機総合健康診断装置としては低コストを達成した。このため、ダンプトラック、油圧ショベル、ホイールローダ、ブルドーザなどの全大型機には標準搭載(一部機種は開発中)されている。これまで高額な費用(車載装置を搭載するだけで数百万円/台)と特別な技術(解析用のコンピュータソフトと技術者)が必要なため困難であった故障の事前予測を、アルゴリズム、データベースにメカノウハウを入れることにより、膨大なデータ解析、適切な検討を可能にし、今後の大型建設機械の IT 化への骨格をなすものとして位置付けた。

The screenshot displays the WebCARE web application interface. It includes a login section with 'User ID' and 'Password' fields, a 'Welcome to WebCARE' message, and a 'Fleet Monitoring' table. Below the login section is a callout box labeled 'ID パスワードの確認'. The 'Fleet Monitoring' table lists various machines with columns for Unit No., Make, Model, Serial No., Country, Customer, Date, SMR, and Measure. A callout box labeled '担当機械の一覧表示' points to this table. Below the fleet monitoring section is a 'Machine Status: On-board Alarm' section showing a graph of 'Service Meter Reading (hrs)' and a table of error codes. A callout box labeled '稼働状況確認' points to the graph, and another labeled 'エラーコード' points to the error code table.

Unit No.	Make	Model	Serial No.	Country	Customer	Date	SMR	Measure			
								VHMS	KOWA	Pre. Status	Final Status
Komatsu 930E	Canada	Suncor	2001/01/12	622.6	Well						
Komatsu HD465	Spain	Navarra	2001/05/15	17633.3	Well						
Komatsu HD465	Spain	Argosona	2001/05/09	6898	Well						
Komatsu HD785	Japan	Shinko Asano	2001/01/02	9011.6	Action						
Komatsu HD785	Japan	Shinko Asano	2001/01/02	8618.2	Action						
Komatsu HD785	Japan	Shimizu Zenshou	2001/01/05	822	Normal						
Komatsu HD785	Japan	Shimizu Zenshou	2001/01/08	821	Normal						
Komatsu HD785	Japan	Shimizu Zenshou	2001/01/07	812	Normal						
Komatsu PC100B	Canada	Suncor	2001/01/06	3209.6	Well						
Komatsu PC180B	United States	Alcoa	2001/08/04	4762.5	Well						
Komatsu PC100B	Norway	Kystverket Spjessend	2001/06/12	3063.5	Well						
Komatsu PC100B	Tanzania	JAMS	2001/02/07	1131	Well						
Komatsu PC400B	Canada	N.A. Palladian	2001/08/26	5176.1	Well						

図 6 WebCARE画面

## (2) 機械の稼働率向上と修理費低減

また、鉱山機械での24時間、週7日稼働という究極の目標に対しても、本システムでは機械のデータは、衛星通信機器により自動的に送信されるので、稼働率にまったく影響を与えない。また、データの取り出しのためにサービスを派遣する時間・費用も省略でき、機械健康管理のダウンタイムは0である。また、データの送信は即時であるので、データの発生から取り出しまでの時間がなく、重要・緊急な事象の発生を放置してしまうことがなくなる。

これまでにVHMSを搭載した70台余の機械は、ユーザは自ら保守を行うよりもコストが安くなるため、すべて代理店との保守契約に切り替えており、また代理店にとっても予防保全により、計画通りのコストを達成できる。これまでに、120トンホイールローダのエンジンデータ解析から、エンジンのオイルポンプ異常を発見し、エンジン焼付を寸前で防止した例や、90トンダンプトラックの特定オペレータに下り坂でタイヤスリップが多いことを発見し、運転指導により解決し、タイヤやパワートレインなどの修理を未然防止した例など、ユーザ、代理店共に有用である。

## (3) データベースの効用

データベースに送られたデータは、24時間365日稼働のシステムで瞬時に処理され、WebCAREでの閲覧が可能になる。

この画面は、弊社の拠点や国内外各地の稼働現場事務所で、同じものを閲覧できる。これにより、機械の設計・製造・品質保証・部品供給・修理維持作業、すべてに関連する専門技術者が、ひとつの事実を基礎に、知識・経験を持ち合わせ、適切・迅速・高度な機械管理業務をバックアップできるようになった。国境・時差のないインターネットの活用で、維持・補修の面でも世界各国でのサポートを可能にした。

VHMS/WebCAREの一義的効果は、上述のように、使用時における品質・信頼性の向上であるが、今後、二義的に、実際の稼働状態でのデータが蓄積されることにより、中長期的に機械の改良・コスト低減をはかることができる。

## 4. 今後の方向

今回のシステムは、その性格上、設計、サービス、工場など、各分野の連携があり、はじめて実現できたものである。特にPMクリニックなどの健康診断の手法をはじめとするサービス現場で長年培われた経験と知恵は、システムの根幹であり、開発の原動力であった。今後もシステムトータルでの完成度を高めるとともに、油機などの新しいモニタリング技術の開発やサーバでのデータ解析機能の高度化、また、修理記録など他システムが保有するデータとのリンクを進め、最終的には、寿命予測や修理プランニングができるようなシステムを目指し、さらなるレベルアップを図りたい。

## 筆者紹介



Taku Murakami

村上 卓 1979年、コマツ入社。  
現在、開発本部システム開発センタ所属。



Takaichi Saigo

西郷 隆一 1972年、コマツ入社。  
現在、開発本部システム開発センタ所属。



Yasunori Ohkura

大蔵 泰則 1982年、コマツ入社。  
現在、開発本部システム開発センタ所属。



Yukio Okawa

大川 幸男 1982年、コマツ入社。  
現在、開発本部システム開発センタ所属。



Tadashi Taninaga

谷長 禎 1990年、コマツ入社。  
現在、開発本部システム開発センタ所属。

## 【筆者からひと言】

本システムは、関係部門を見渡しても、サービス、車体開発、システム開発、工場、試験部門と広範囲にわたり、まさに関係者の総力を結集することにより出来上がったものと感じる。技術分野を見ても、建設機械という機械そのものと通信やデータベースといったIT技術の融合であり、筆者としても非常に興味深いシステム開発に携わることができたと思う。今後も、現在のシステムをベースにさらにレベルアップを図って行きたい。