

“コンディションモニタリング”による 多面的な機械状況把握

石 渡 博 丈

高度化する建設機械のモニタリングの仕組みとして、テレマティクスが活用されている。現在これを利用しているが、それだけでなく、従来から続けているオイル分析や機械点検といった活動から得られる情報も、分析機器の刷新や電子化を行い、積極的に活用している。これらの情報で多面的な状況分析を行い、突発事故を起こさない安心して使える対応策の提案に生かしていきたいと考えている。これら一連の活動であるコンディションモニタリングについて紹介する。

キーワード：コンディションモニタリング，テレマティクス，オイル分析，機械点検

1. はじめに

生産財である建設機械の突発故障は、工事の進捗を始めとしてお客様の経営のみならず、稼働現場への大きな影響を与えることは言うまでもない。これを防ぐことはメーカーのみならず、販売会社、お客様にとっての共通の課題である。突発故障を防ぐためには、機械のコンディションの把握が重要だが、近年は技術の発展により、機械情報はより精度が高く遠隔地でも効率的に行えるようになってきている。この技術を最大限に活用し適切なメンテナンスを行うための総合的なアプローチとして取り組んでいるコンディションモニタリングについて紹介する。

2. コンディションモニタリングの要素

最近の建設機械は排気ガスのクリーン化や低燃費高出力を実現するために油圧の高圧化が進むなど非常に高度化・複雑化しているのは周知のことである。そのため、より正確な状況把握に努めるために各種サービストール・IT ツール・サービスプログラムなどを使用し、多面的に理解するように努めている。これらを主に5つの要素に分類して活用している。

- ①電子データ
- ②SOS（オイル・冷却水分析サービス）
- ③各種現車点検
- ④修理履歴
- ⑤現場情報・稼働情報

(1) 電子データ

現在の建設機械はアクチュエータやコンポーネントの状況を電子化したデータとして活用できるような構造になっている。これらのデータでキイとなる情報の一部はテレマティクスにより、遠隔地から把握できるようになっている。このサービスをプロダクトリンク（PL）と呼んでいる。プロダクトリンクは基本機能として①位置情報②稼働情報③コンディション情報を収集、確認できる。現在、日本のニーズにカスタマイズされたシステムであるプロダクトリンクジャパン（PL-J）から、全世界共通のプラットフォームであるPLに統合を進めている。PLから得られる情報の一例をあげる。

・診断コードとイベントコード

コンディション情報の代表的な例として、各種の警告・注意情報があげられる。PLではこれらの情報に加え、イベントコードとして機械の稼働状況をモニタリングし、報告する機能が追加された。具体的には「トランスミッション酷使警告」や「ニュートラルでの惰性運転警告」等があげられる。これらのコードはその“イベント”発生都度報告される。イベントの多くは日常のオペレーティングで発生しており、トラブルが発生する瞬間的な問題というよりは、トラブルの“種”として日々の稼働の中で蓄積されるケースが多い。そのため、こういったコードが頻繁に出ている場合は、オペレーティングや作業環境に問題が無いかを確認し、「修正」をお客様に検討頂く場合がある。これらの情報を活用することで、重大な突発事故を予測すると同時に日々のオペレーティングの改善に役立てるこ

とができる。

(2) SOS (オイル分析サービス)

オイルはよく機械の血液に例えられるが、機械の血液診断にあたるのがオイル分析サービスである。このサービスは1972年にはじまり、40年以上の歴史を持つ。この分析サービスは今まで日本独自で行っていたが、2014年4月に神奈川県相模原市に新たにラボを建設し、サービスを開始した(写真-1, 2)。



写真-1 SOS ラボ



写真-2 SOS ラボ

このラボは世界のラボと共通のシステムにて運用されている。そのため、年間数千万本の世界中で集められた膨大なサンプルの情報が共有できる。これにより正確な摩耗率のテーブルや比較対象となる基本データが増えた。このため、精度の向上のみならず、国内では稼働実績が少ない機械でも世界のサンプルと比べることにより正確な診断を下せることとなった。

また、新ラボでは従来のオイルのみならず、クーラント分析も可能となった。エンジントラブルの約半数は冷却系統の問題であると言われるが、クーラント分析によってより精緻にコンディションを確認できるようになった。オイル分析で行う具体的な分析内容について記す。

a) 摩耗金属濃度分析

機械は稼働によって必ず摩耗が生じる。摩耗は設計上予定される正常摩耗と異常摩耗に分けられるが、摩

耗によって生じた金属元素量を測定することで、機械内部で起きている状況を推測し、不具合を発見する重要な参考データを得られる。摩耗金属濃度分析では、最新のICPを使用し、15の金属元素量を測定している。

例えば、エンジンオイル内には、エンジンに多く使用される鉄元素が使用に応じて混入していくが、鉄元素の量が通常範囲よりも大幅に多く検出されたり、当該機の過去のサンプルと比べて急に多く検出されたりする場合、エンジン内部の異常摩耗が推定される。

また、単体の元素量だけでなく、異常値を示す金属元素の組み合わせから不具合箇所を推定することもできる。例えば、エンジンにおいて鉄と共にクロムやアルミが大幅に上昇している場合、推定される摩耗部品はライナ、リング、ピストンであり、推定原因としては、オイル温度異常、オイルの劣化、燃料・冷却水混入、潤滑不良、リング破損があげられる。これらの推定原因と現場での使用状況の検証を行うことで、不具合の特定に近づくことができる。

また、これらは世界中のサンプルの蓄積のみならず、エンジンや各コンポーネントの設計情報として各部の構成要素の情報を熟知している点も大きい。この点はエンジンを自社で設計・生産している強みであると考えている。

b) 劣化度・汚染度分析

オイル自身の劣化や汚染を測定することからも機械状況や機械に与える影響を推定できる。オイルの劣化は、スス、酸化物、硫化物、窒化物などから起こるので、これらを測定することで、劣化状況を把握することができる。劣化状況の測定機器にはFTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) を使用している。

ススは燃料の不完全燃焼によって生じる不溶解性の残留物であり、エンジンでのみ発生する。ススの発生による影響は、オイルの粘度上昇、オイル添加物を劣化(減少)させる。また、フィルタ目詰まりを誘発し、金属摩耗を促進させる。

酸化物は、オイルが高温燃焼により酸素と化学反応することでオイルの変質によりもたらされるものである。酸化によりスラッジ(炭化状態)が生成される(写真-3)。

硫化物は燃焼によって燃料中の硫黄分から生成される。水分と反応して強酸となり、腐食性の摩耗が発生する。また、窒化物は燃焼によって空気中の窒素と反応することでオイルが変質することである。窒化物は建機ではほとんど問題にならない。通常、ガスエンジンで影響が大きい。

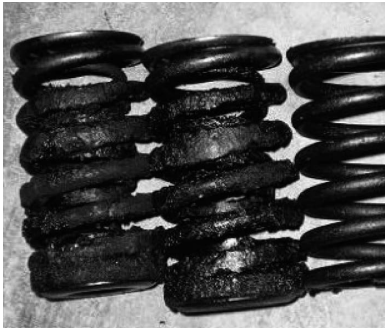


写真-3 スラッジの固着したバルブリング

汚染度の分析は、ガスクロマトグラフィーを使用し、主に燃料と水の混入率を測定する。燃料混入による影響はエンジンオイルの粘度の降下、エンジンオイルの劣化を引き起こす。水の混入による影響はオイル粘度の上昇（ゲル化）、油膜切れを引き起こす。

これらの分析結果からクーラントの混入を診断したケースを紹介する。エンジンオイル内にクーラントが混入すると、クーラントの添加成分である、ナトリウムやカリウムといった金属元素が増加する。また、侵入したクーラントはコンポーネント内部を浸食する。浸食されたコンポーネントは金属元素を放出するので、オイル内に金属元素（鉄、アルミ）を増加させる。さらに、銅が増加している場合は、クーラント浸食の2次作用と考えられ、浸食がベアリング、クランク軸、シリンダライナーの摩耗に及んでいると推定される。このように分析された金属元素の種類や量からエンジンオイル内で起こっている状況を推測することができる。このケースでは、クーラントの混入原因がウォーターポンプのシャフトシールであったため、ウォーターポンプの交換という対応を取ることで解決した。もし、そのまま放置されていれば、冷却水で希釈されたエンジンオイルにより、冷却不足や潤滑不足がおこり、エンジン内部に深刻なダメージを与えることになったと推測される。

(3) 各種現車点検

テレマティックスの進展により多くの情報が機械的に手に入るようになってきているとはいえ、現状では優秀なプロ自身による現車の確認にかなうものはないと考えている。教育された人間による機械点検は、コンディション把握のみならず、お客様・オペレーターの方から得られる情報と合わせて欠かせないものである。日本においては、建機を保有するお客様が課せられる定期自主検査が点検として強く認識されており、我々も認定作業員としてサポートしているが、機械のモデルに合わせたより専門的な点検サービスを実施している。

例えば、油圧システムの基準値測定を中心に行う「ゆーふる」、足回りの測定に特化した「カスタムトラックサービス」がある。

通常の機械点検では、機種毎に準備された機械点検表により、部品サービスセールスマンまたはメカニックが各部を目視及び計測器にて点検する。点検表はお客様に対して、現状の機械の状況を知って頂き、合わせて対応策を提案するツールとして使用されている。

「ゆーふる」とは建機の動力伝達の主体である油圧を中心に専用ツールにて測定し、その結果を判定するものである。具体的には油圧ポンプ等の圧力を測り、設計時の基準データや前回データと比較をすることで、現状把握を行う。これらは数値化され、記録化されていることで、正確な機械状態の診断に役立てられる。

「カスタムトラックサービス」とはブルドーザや油圧ショベルの足回り（クローラ）部分の摩耗状況を計測し、摩耗の進行等から足回りの残存寿命を算出するサービスである。クローラの残存寿命を算出するには、クローラを構成する各部品（シュー、ローラ、スプロケット等）を実測し、新品サイズ、現物サイズ、設計寿命サイズを比較することから残存寿命を算出する。これにより、お客様の当該機の今後の使用計画と照らし合わせ、クローラの全体新品交換、一部部品のみ交換、使用部品のグレード（ヘビーデューティまたはジェネラルデューティ）選択等、機械の車齢やお客様の要望に合わせて、コストミニマムになる最適な解決策を提案できる。

これまでの機械点検では、点検結果の一覧性、お客様への提案の利便性より、紙ベースの点検表による、マニュアル管理が行われていた。また、お客様とのコミュニケーションを重視することから、各拠点で独自に作成されたフォームや項目が使用され、全国的に統一されておらず、データとしての蓄積や共有という観点で問題があった。これを共通化・デジタル化する試みは以前も行われていたが、入出力においての労力の問題で、なかなか浸透してこなかった。しかし、モバイルデバイスの進展は多くの面でこの問題を軽減できているので、現在、ipadにて入力するシステムをテスト的に導入を始めたところである。これにより、お客様とのコミュニケーションはもちろん、入力されたデータの全社内での共有が可能となり、コンディションモニタリングの重要要素として今後一層の活用を期待している。

(4) 修理履歴

修理のデータはジョブコードの単位で、いつ、どこ
の作業をして、何の部品を使ったかを記録しているの
に加え、メーカから出された技術情報やこの技術情報
に基づいた作業の履歴などが残されている。これらの
情報は、単純にどこにトラブルがあったかという事実
はもとより、その内容、頻度等から機械に何が起きて
いるのかを推測できる重要な情報となる。また、機械
がどのように使われてきたかを推測することもできる。
こういった情報の活用により、今後の修理の予測
を立てることが可能である。我々は過去の修理実績の
データと設計データ等を基に、稼働状況等の条件を入
れることによって、今後の機械経費がどのように推移
するかを予測するシステムを開発している。これによ
り機械のライフサイクルコストを推測することができ
、新車時の購入から稼働中の修理費、中古車として
の売却までのトータルコストを推測することができる。
これをコンディションモニタリングによる推奨案
に活用していく。

(5) 現場情報・稼働情報

現場情報・稼働情報は、「メンテナンス」「オペレー
ティング」「アプリケーション」の3点について、機
械から得られる情報とお客様の声、稼働現場の情報を
付け合わせるものである。「メンテナンス」では、始業・
終業点検から、お客様自身のメンテナンス体制全般を
指す。「オペレーティング」は、掘削方法、積込方法
等(図-1)、実際のオペレーティングがどのよう
に行われているかという情報である。「アプリケーション」
では、岩質・作業内容に応じたツースやバケット
の選択がベストマッチか等の情報である。これらの情
報により機械を取り巻く環境を把握する。



図-1 現場のアセスメントフォーム

●データの統合

コンディションモニタリングの5つの要素について
述べてきたが、これらの5つの要素をバラバラに見る
のではなく、一つのプラットフォーム上で管理できる
ようにシステムの開発を試みている。例として、現状
ではプロダクトリンクの画面上にSOSやメンテナ
ンスの情報を集約して表示できるようになっている(写
真-4)。

SOSの情報では、計測した日時、場所(コンポー
ネント)、結果という履歴情報が確認できるようになっ
ている。

また、稼働時間情報を利用し、時間毎に設定されて
いる必要なメンテナンスを表示させ、確認することが
できる。この画面では、次のメンテナンスの内容とそれ

VISIONLINK											
ようこそ ログアウト 優先設定 ログアウト ヘルプ											
資産グループ > 12 結果											
プリント	警告 25	状態	メンテナンス	利用状況	管理						
フルードアナリシス 7月/01/2014 - 11月/19/2014											
S/N	合計	発生元	経過日	メーカ	重大度	ステータス					
▼ トラクタ	TMN000	W310-44296-000	リア ディファレンシャル	9月/20/2014	3521 時間	警告	対応済み				
		W310-44296-000	トランスミッション-PS	9月/20/2014	3521 時間	対応不要	対応済み				
		W310-44296-000	エンジン	9月/20/2014	3521 時間	対応不要	対応済み				
		W310-44296-000	ハイドリフト システム	9月/20/2014	3521 時間	対応不要	対応済み				
		W310-44300-002	ブレーキ	10月/19/2014	3986 時間	警告	対応済み				
▼ トラクタ	TMN000	W310-44300-002	ステアリング システム	10月/19/2014	3986 時間	警告	対応済み				
		W310-44204-001	トランスミッション-PS	7月/16/2014	3004 時間	警告	対応済み				
		W310-44300-002	エンジン	9月/20/2014	3489 時間	対応不要	対応済み				
		W310-44204-001	フロント左FD	7月/16/2014	3004 時間	対応不要	対応済み				
		W310-44204-001	ステアリング システム	7月/16/2014	3004 時間	対応不要	対応済み				
		W310-44204-001	フロント左FD	7月/16/2014	3004 時間	対応不要	対応済み				
		W310-44204-001	エンジン	7月/16/2014	3004 時間	対応不要	対応済み				
		W310-44204-001	ハイドリフト システム	7月/16/2014	3004 時間	対応不要	対応済み				
		▼ トラクタ	FL000	W310-44262-000	エンジン	9月/11/2014	2581 時間	警告	対応済み		
				W310-44262-000	トランスミッション-PS	9月/11/2014	2581 時間	警告	対応済み		

写真-4 プロダクトリンク上のSOS情報

表一 1 リスクの発生シナリオ例

	CM 要素	状況	原因	推奨対応	修理コスト
第一段階	機械点検	バケットシリンダーから油漏れ	シリンダーシールのダメージ	シールの交換	小
第二段階	SOS	ハイドロオイルへの水、土砂の混入	シリンダーより侵入	ハイドロ全交換 フラッシング	中
	機械点検	バケットシリンダーからの油漏れ大	シール及びロッドに傷多数	シリンダー交換	
第三段階	PL アラート： ポンプ圧低下	ポンプ圧力上がらず	油圧ポンプに重大なトラブル	ポンプ交換	大
第四段階	マシンダウン				大+マシンダウンに伴う費用もプラス

に必要とされる部品及び部品番号等の情報が掲載されている為、部品の発注などの準備がスムーズに行える。

3. CM を活用した予防整備の実践

表一 1 は油圧ショベルにおけるバケットシリンダーの油漏れを見つけた場合に想定されるリスクの発生シナリオの例である。

第一段階では、機械点検でバケットシリンダーから油漏れが発見される。この場合、シリンダーロッドに傷等が無ければ、シリンダーシールの交換のみで済み、修理コストは少額である。これを放置した場合、油漏れ箇所から水や土砂が侵入し、ハイドロオイルに対して悪影響をもたらす可能性が高い。そのため、ハイドロオイルの交換等が必要となり、費用は増加する。更にこの段階で対応がとられない場合、第三・第四段階へと進む可能性があり、油圧ポンプや油圧回路に重大なトラブルが発見され、「交換」等大がかりな修理が必要となる可能性が高く、費用は増大する。また、突然のマシンダウンにつながる。

このように当初は小さな傷が結果として大きなシステム全体の故障の原因となるケースをできるだけ早期発見し、お客様へ提案することを実践していく。

・予防整備

予防整備とはコンディションモニタリングとメンテナンスをきちんと行い、システム全体に重大な故障が起きる前に修理を行うことである。先のコンディションモニタリングの実践例では、トラブルの兆候を見極め対応する例であったが、経年劣化に対応するオーバーホール等の実践も予防整備の重要な役割である。

大型エンジン等生涯中に数回のオーバーホールを予定しているコンポーネントでは、その使用時間に応じて交換する部品をレベル別に区分して管理している。レベル 1 は規定時間に達したら必ず交換する。レベル

2 は状態確認の上、必要であれば交換する。レベル 3 は規定時間内では、原則、変える必要はない部品である。つまりオーバーホールにおいても、定期的なコンディションモニタリングとメンテナンスを行い、良い状況を維持すれば、必要以上に部品を交換する必要はなく、コストダウンにつながる。これにより、ライフサイクルコストの低減が可能になる。

・コンタミネーションコントロール

機械の整備やメンテナンスを行う際に注意しなければならないのが、コンタミである。コンタミとは油圧システムに混入する異物のことで、金属や泥、水といった物質を指す。現在の建設機械では高出力・低燃費を両立するために、極めて高い油圧を使用する為、内部クリアランスも非常に狭くなっている。

このため、整備・メンテナンス時にコンタミが混入しないように、

- ・ドレーン・充填プラグ・キャップ周りを開ける前に必ずクリーニングを行う。
- ・部品コンポーネントの包装は直前まで開けない。
- ・ホースはキャップやプラグで保護する。

といった指導をメカニックに行っている。また、作業の場である我々の工場は、世界共通の基準により、コ



写真一 5 5 スター工場の例

ンタミネーションコントロールを義務付けられており、そのレベルによって、5段階の評価（最高ランクが5スター）をしている。現在、全工場3スター以上を義務付け、工場内の一定以上の清浄度を維持するべく、努力している（写真—5）。

4. おわりに

定期的、継続的なコンディションモニタリングはお客様に安心して機械をお使い頂くために不可欠なものであると考えている。今後も新しい技術の強化や得ら

れた情報を活用できる人・体制の強化をはかり、大きなトラブルを未然に防ぎ、お客様のライフサイクルコスト低減を図れるサービスを提供していきたい。

JICMA

【筆者紹介】

石渡 博丈（いしわた ひろたけ）
キャタピラージャパン(株)
部品サービス推進G
グループマネージャ

