

オンサイト潤滑油診断 - 可搬型摩耗診断装置 -

Introduction of the ON-TIME ON-SITE TRIBO Condition Monitoring system

トライボテックス株式会社 宮田 昇 Noboru MIYATA
トライボテックス株式会社 神谷 徹 Toru KAMIYA*
トライボテックス株式会社 川畑 雅彦 Masahiko KAWABATA
東京電力株式会社 山下 和彦 Kazuhiko YAMASHITA

Nowadays, CBM system became more common method to reduce cost spent on destructive inspections. With CBM, we can reduce significant maintenance cost since we can judge the machine need to be destructed or not. We can also do premeditated inspections. CBM is very useful for tribological apparatus. Especially, oil analysis has much higher sensitivity and speed than other diagnostic method such as vibration, temperature and etc. At TRIBOTEX Co., Ltd., we diagnose several conditions of machine by using various lubricant oil analyses such as viscosity, degradation and etc. Even though oil analyses can detect some abnormalities in a machine in the early stage, we couldn't find preliminary troubles early enough since most of troubles in machine system occur within an hour or minute. We developed new device and special remote-diagnose software that can get quantitative and qualitative information from wear particles. The system uses internet and access to the diagnosis database that we established from a lot of cases with machine and experiences. In this paper, we show the explanation of the diagnosis utility in the state of machine equipment with our device.

Keywords: CBM (Condition Based Maintenance), TBM (Time Based Maintenance), Friction, Wear, Lubrication, Analysis, Diagnosis, Particle, Condition Monitoring

1. 緒言

回転機器類の転がり軸受における CBM には、温度法・振動法・AE 法・電気抵抗法・潤滑油法などの診断方法が用いられている。中でも、振動法は、測定が比較的容易であるため、設備診断には数多く使用されているが、損傷の初期段階に発生する微小な異常信号とノイズとの判別がしにくく、異常の兆候を的確に捉えにくい特性がある。そのため、これに代わる診断法の確立が求められている。

1966年にイギリスで唱えられた「Tribology」を活用した潤滑油診断法は、すべり軸受やギヤ、あるいは転がり軸受の転動体、転動面、軌道面等の摺動面から発生する摩耗粒子を直接分析し、振動法や音響法では捉えにくい初期異常をいち早く知る技術として 1980年代前半から注目され、CBMの実施に有力な設備診断法として多くの実績を挙げている。

潤滑油診断法は、発光分光分析装置 (SOAP) などの高額な装置と十分な経験、知識、そして高度な技術を持つ専門スタッフが必要である。そこで、本報では東京電力と共同開発した現場 (オン・サイト) で迅速 (オ

ン・タイム) かつ正確に行う新型摩耗粒子診断装置と診断手法とを紹介し、同システムを使用した転がり軸受の劣化試験において、従来からの診断方法 (SOAP 法) と比較しながら、異常の兆候を早期に捉える診断システムの有用性を説く。

2. 実験・研究

2.1 新型摩耗粒子診断装置

診断用に開発した装置の概要を図 1 に示す。

摩耗粒子の捕捉は、特殊設計を施したコア磁石上のデータプレート (DP) に、サプライヤーからサンプルオイルを投入し、DP を一定速度で回転させ、サンプルを一定量で滴下させて行なう。

滴下された潤滑油は、遠心力により DP 中心部から外周方向へ流れ、磁場によって摩耗粒子のみが捕捉される。

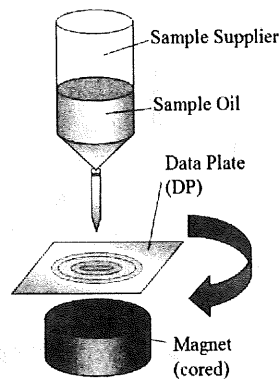
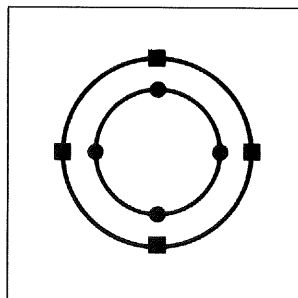


Fig.1 Analysis Device



● Large Particle Point
■ Small Particle Point

Fig.2 Observation Points

上記の工程により得られた DP 上では、摩耗粒子が、図 2 に示す 2 つのリングとして観察される。DP を熱処理して摩耗粒子を定着させ、これにより、摩耗粒子の材質特有のテンパーカラーを得る。

2.2 摩耗粒子観察・分析装置

DP 上には、図 2 に示すようにふたつのリングがあり、内側のリングには大きな摩耗粒子($\geq 5 \mu\text{m}$)が配列され、外側のリングには小さな摩耗粒子が配列される。

摩耗粒子は、落射光および透過光を備えた金属顕微鏡で Large Particle Point(LPP)と Small Particle Point(SPP)の各位置をそれぞれ 90 度角ごとに 4 点を観察する。

はじめに、顕微鏡に備えられた接眼レンズ側から DP へ照射される落射光、および DP 裏側より照射される透過光の両方を用いて観察を行なう。その結果、図 3 に例示する写真が CCD カメラによって撮影され、それぞれの摩耗粒子の詳細な形状や表面素性を観察することができる。また、DP の熱処理により発色したテンパーカラーを観察し、粒子の材質特定を行なう。以上の工程による分析を定性診断として位置づける。

次に、透過光のみにより摩耗粒子を影として映し出し、これを CCD カメラによって撮影する。撮影した画像は、ソフトウェアによって処理され、図 4 のように白色と黒色(二値化)として認識され、視野中における摩耗粒子の割合を解析する。これにより、DP に堆積した摩耗粒子の量が求められる。この工程を、上記の定性診断に対して、定量診断と呼ぶ。

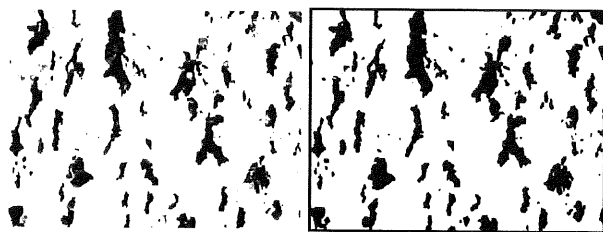


Fig.3 Picture for Qualitative Diagnosis

Fig.4 Picture for Quantitative Diagnosis

2.3 転がり摩擦試験と摩耗粒子診断

本研究では、図 5 に示す試験機を用いて転がり軸受の加速劣化試験を実施し、摩耗粒子を採取した。試験用転がり軸受は「Bearing No.6006」を使用した。試験

部を図 6 に示す。試験部は油槽内にあり、荷重は転がり軸受ケースを押し下げる方法である。試験条件を表 1 に示す。

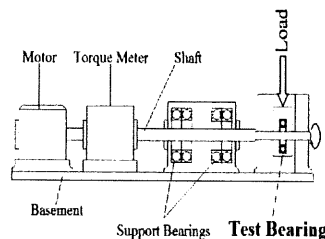


Fig.5 Ball-Bearing Testing Machine

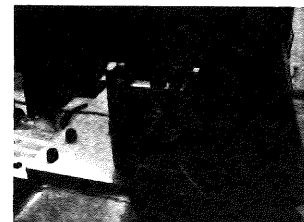


Fig.6 Ball-Bearing Testing Part

Table1 Testing Conditions

Test Piece	Type	Single-row Deep-Groove Radial Ball Bearing	
	Bearing No.	6006	
	Boundary dimension [mm]	Inside diameter	30
		Outside diameter	55
		Width	13
Basic dynamic load rating [N]	13200 (1350 kg)		
Test Load [N]	17500 (1785.6 kg)		
Rotational Speed [rpm]	1500		
Sample Oil	ISO VG10 , Contamination Controlled		

一般に、劣化は図 7 に示されるような「時間による摩耗進行度の推移」で進行すると考えられ、図中 A 点を境に、異常の進行度は加速度的に速くなり、一気に損傷へと至る。

温度診断法および振動診断法では、異常摩耗が進行した損傷速度の速い図中 A 点以降の状態を捉えるため、機械の損傷を未然に防ぐことは難しい。

これに対し、異常の初期段階の現象を検知する能力に優れている潤滑油診断法では、機械の損傷を未然に防ぐことによって経済的なダメージを抑え、有効なメンテナンス方法を提示することが可能となる。

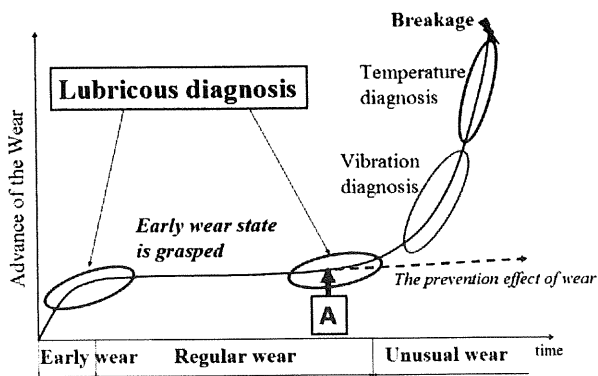


Fig.7 Breakage process of Machine and Lubricous Diagnosis

3. 考察

本研究で開発した新型摩耗粒子診断装置による診断パラメータを I_s 値 (a) として表す。

$$I_s = PL^2 - PS^2 \quad \dots (a)$$

今回の装置による摩耗粒子測定結果を比較するため、SOAP(Spectrometric Oil Analysis Program)法のデータと併せて評価する。

試験中にサンプリングした潤滑油に含まれる摩耗粒子について、 I_s 値を算出して SOAP 法による摩耗粒子濃度と比較したデータを図8に示す。

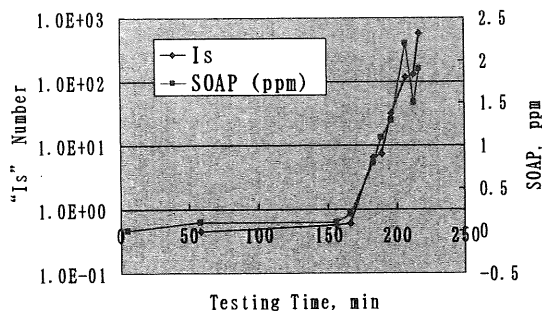
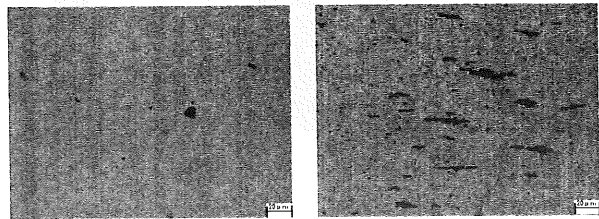


Fig.8 Change in number and density of wear particles

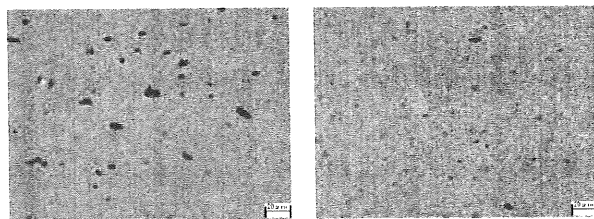
図8は、摩耗粒子の発生試験結果である。試験は、一定荷重を付加し続けた加速劣化試験で、 2.4×10^5 回の繰返し荷重付加後、摩耗粒子の急激な発生を示し、最終的に 3.3×10^5 回の繰返し経過後、インナーレースおよび保持器の破損に至った。

図9(a)-(d)は、試験開始から終了までの摩耗粒子発生状態を表す。今回の結果では、発生した摩耗粒子の量は 2.4×10^5 回の繰返し荷重付加後に多くなることが

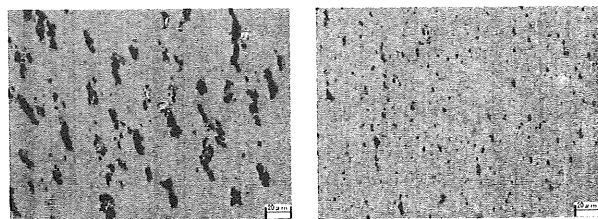
観察された。また、観察結果より、「黒色酸化粒子」また、「シビア摩耗粒子」と呼ばれる摩耗粒子が多く見られ、中には、 $20 \mu\text{m}$ 前後の大型の摩耗粒子も観察された。これは、転動体がスリップし、転がり摩擦と同時にすべり摩擦が発生していたことを示唆するものであると推定された。このような定性診断により、本試験では試験開始から「弾性流体潤滑領域」ではなく、「混合潤滑領域」が生じていたことが推測される。



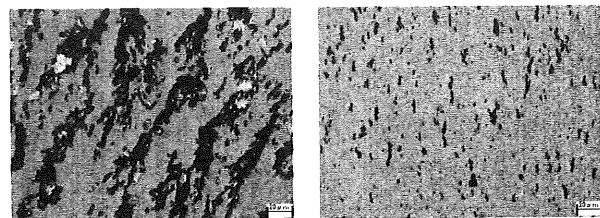
(a) 5 min. . Sample : 10 ml. " I_s " : -4.6×10^2



(b) 157 min. . Sample : 3 ml. " I_s " : -1.8×10^1



(c) 183 min. . Sample : 4 ml. " I_s " : 6.4×10^0



(d) 213 min. . Sample : 3 ml. " I_s " : 1.3×10^2

Fig.9 Pictures of wear particles

試験片とした転がり軸受の内輪観察結果を図10に示す。光学顕微鏡およびSEM(Scanning Electron Microscope)による観察から、内輪の損傷形態と摩耗粒子による診断結果の整合性が確認された。

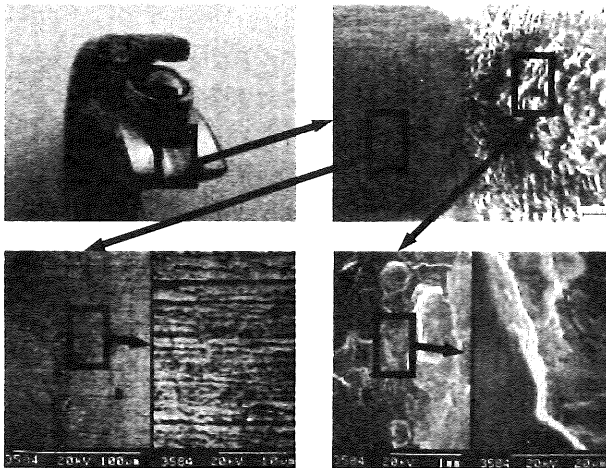


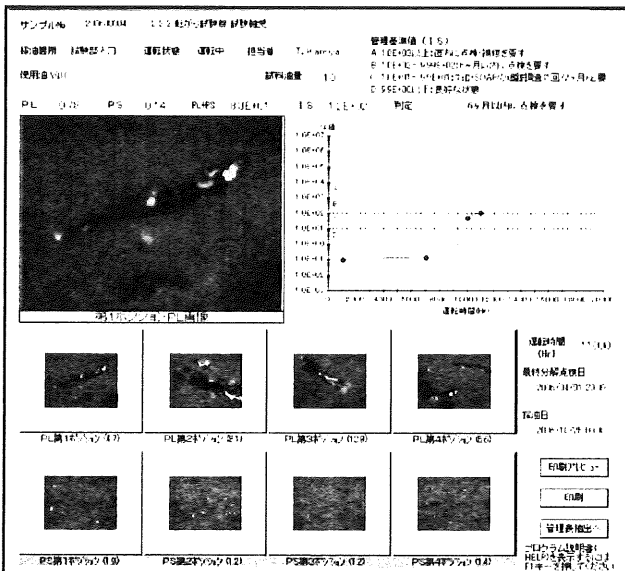
Fig.10 Pictures of inner race [SEM, Optical Microscope]

以上の結果より、新型摩耗粒子診断装置は、オン-サイト、オン-タイムで初期段階の異常を的確に検知する性能があることを確認した。

4. 結言

本研究で開発した新型摩耗粒子診断装置により、次に挙げる成果が得られた。

- (1) 従来の診断装置では、高度な技術を持つ専門スタッフによるオペレーションが必要であったが、本研究により診断は自動化され、再現性の良いデータの確保が可能となった。また、図 11 に示すような診断ソフトの使用によって、様々な機械設備ごとの傾向管理と個別管理が可能となった。



- (2) 診断にかかる所要時間は、従来の診断法に比較して六分の一の 15 分程度であり、オン-タイムでの定量的診断が可能となった。
- (3) 本システムは、持ち運びが可能なコンパクトサイズであるため、オン-サイト診断が可能となった。
- (4) 摺動面における初期の異常を検知・診断することが可能となった。
- (5) 図 12 に示すように、ネットワークを通じ、測定現場からインターネットを利用して診断データを精密分析センターに送信し、専門家によるより詳細な診断を受けることが可能である。

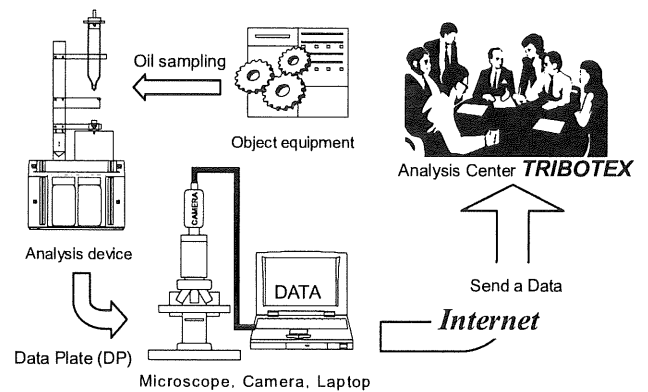


Fig.12 Diagnosis System

最後に、本装置は、航空機、発電設備、船舶、鉄道や自動車など幅広い分野での有効なメンテナンス手段として利用が見込まれる。

謝辞

本研究は、平成 13 年から平成 15 年まで東京電力株式会社と実施した共同研究により開発したシステムであり、共同研究に携わった関係各位に心から謝意を表します。

参考文献

- [1] 赤垣友治、加藤康司、川畑雅彦、“フェログラフィーおよび発光オイル分析法によるジャーナル軸受の異常診断に関する研究”、トライボロジスト、Vol.39, No.11, 1993, pp.979-986.