

## 油中硫黄分の風車ギヤオイル交換周期への影響

Sulfur Syndrome, Limiting ODI Potential of Wind Turbine Gear Oils

エクソンモービルジャパン（正）\*上野 真一 エッソ ドイツランド（非）エゴール ジスト

エクソンモービル リサーチ アンド エンジニアリング（非）マイケル ブルメンフェルド

Shinichi Ueno\*, Egor Geist\*\*, Michael L Blumenfeld\*\*\*

\*ExxonMobil Japan, \*\*Esso Deutschland, \*\*\*ExxonMobil Research and Engineering

### 1. はじめに

1980 年代初頭に近代的な風力発電タービン（風車）が製造、設置されるようになって以来その歴史は、単体発電能力の大型化と発電施設、いわゆるウインドファームの大規模化であった。これらは事業としての風力発電産業を継続的に発展させるためには必要不可欠な要素ではあったが、機械要素の集合体としての風車の設計、製造から運転、維持管理においては新たな課題を提示することとなった。風車の主要構成要素の增速機においても大出力化は伝達トルクの増加によるマイクロピッチングの発生などの問題を生じ、初期の風車に使用された汎用の工業用ギヤ油に代わり風車用ギヤ油の開発へと繋がった。昨今の大型洋上風力発電施設の開発により風車用ギヤ油はより優れた增速機保護性能とより長い使用寿命が求められている。そこで本稿では使用油の状態把握の重要性と增速機油の使用寿命短縮一要因となる油中硫黄分に関して考察する。

### 2. 風車增速機潤滑のチャレンジ

風車增速機はその伝達トルクの大きさにおいて身近にある機械装置である乗用車やトラックのギヤボックスに比べて著しく大きな動力を伝達している。また、オイル交換周期における負荷運転時間においては自動車用エンジンオイルやギヤ油の 10 倍以上の負荷状態でのサービス寿命が求められている。このため、風車用ギヤ油の開発においては特に長寿命性能とギヤボックスの損耗を防止する耐荷重性能のバランスに留意した処方開発が求められている。

### 3. 使用油モニタリングの解析

エクソンモービルでは長年にわたり様々な機器に使用される潤滑油に対して使用油分析サービスを提供している。Figure 1 に VG320 風車ギヤ油分析サンプル、約 37000 点における動粘度と使用時間の関係を示す。これより適切に管理された風車增速機の使用油は 10 年以上の使用寿命が期待できることが確認できる。また、この 37000 点のサンプルの内約 80%が正常と判断され、約 18.3%が汚染度計数法において警告が発せられた。ここで残りの約 1.7%における警告の発生要因を Fig. 2 に示す。この 1.7%に関しても劣化要因において酸価など潤滑油の酸化劣化に起因する警告は少なく、水分など環境的な要因、摩耗性金属分、添加剤損耗に由来すると見られる金属分の変化が多いことから適切に管理された風車ギヤ油は極めて長い使用寿命を持つと考えられる。

次にこの要因中で風車增速機の部材に起因すると考えられる銅に着目し考察する。

### 4. 油中硫黄分の影響

前章に述べた約 37,000 点のサンプルの内 93 点より 100ppm 以上の高いレベルの銅が検出された。これは使用油中で何らかの化学反応が生じたことを示唆している。この究明のため高い銅が検出されたサンプル油が採取された風車增速機に対して調査を実施した。Figure 3 にその際に分解された各部とそこから採取された堆積物(deposit)の写真を示す。多くの風車用增速機は遊星歯車とハスバ歯車を組み合わせた多段構造により大きな増速比を得ており、そのうちハスバ歯車段のコロ軸受保持器から薄片状の堆積物が確

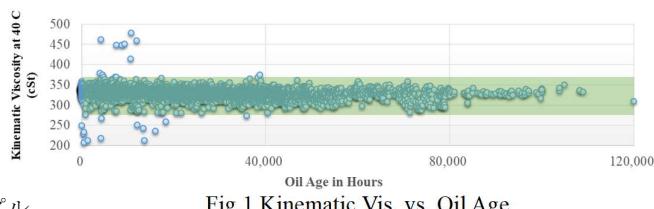


Fig.1 Kinematic Vis. vs. Oil Age

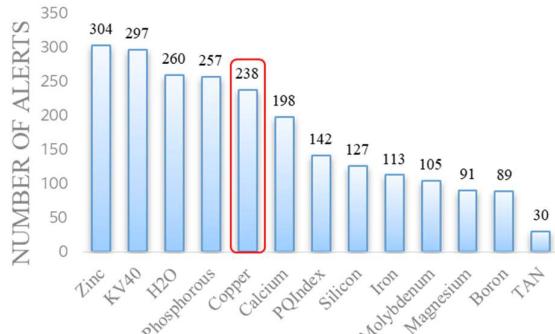


Fig.2 Causes of Warning on Used Oil Analysis

認された。また、風車増速機は長い寿命が期待されるため特に軸受の寿命延長を目的として多くの場合、他の産業用ギヤボックスでは珍しい過精度の高いフィルターを実装している。このインライン フィルターのろ過材の表面には厚い堆積物が確認された。ここで採取された堆積物に対するEDS元素分析の結果、主な構成元素(>10%)として銅と炭素、他(<10%)硫黄、窒素、酸素などが認められた。この堆積物からの抽出分のFTIRスペクトラムをFig. 4に示す。

これらの結果より、この堆積物は硫黄を含むギヤ油極圧添加剤の分解劣化物と軸受保持器の銅合金の反応により生じた可能性が推察される。

Table 1に堆積物が確認された高い銅が検出されたサンプルと、中もしくは低い銅が検出されたサンプルの分析結果の比較を示す。銅が高いサンプルにおいては硫黄の減少が確認され、リンの減少、亜鉛の増加、酸価の低下も確認でき、また銅が高いほど色相の進行が見られた。これらより、使用油分析結果から硫黄を含む極圧添加剤に起因する堆積物の兆候を予見することが可能であると考える。

上の推察を確認するためFZGスカッピング試験機を循環系に改造し、銅触媒を投入した試験装置を用いて含硫黄極圧添加剤を用いたギヤ油と非硫黄極圧添加剤を用いたギヤ油による堆積物の生成確認試験を行った。この結果、含硫黄極圧添加剤を使用した場合は堆積物が認められたが、非硫黄極圧添加剤を使用した場合は、堆積物は認められなかった。また、含硫黄極圧添加剤使用油堆積物からの抽出分のFTIRスペクトラムは実機でのそれと吸光ピークが一致した。これらをFig. 5に示す。

## 5. 硫黄分影響のスクリーニング

ここに記した長年の風車ギヤ油に対する使用油分析の蓄積、実機増速機での点検及び試験リグによる実験を通してエクソンモービルでは、ASTM D2070油圧作動油の熱安定性に関する試験法を改良した極圧添加剤硫黄分の銅合金部材への影響に関するスクリーニング手法を考案し製品開発時の銅合金部品への影響の評価の一部としている。

Figure 6に市販の9種類の工業用ギヤ油に対する硫黄分の比較を示す。硫黄系極圧添加剤は高い耐スカッフ性能、耐衝撃荷重性能を付与する添加剤で有るが同時に使用条件、使用環境によっては銅合金部材に影響を及ぼし、系統内に過剰な劣化堆積物を生成する可能性が有ることを認識する必要がある。

## 6. まとめ

現在の風力発電においては潤滑油の交換周期を出来る限り延長することが要求されており、定期的な使用油分析で増速機とギヤ油の状態を把握することがその助けるとなる。また、分析結果に基づき適切な管理を行うことにより風車増速機ギヤ油は10年以上の交換寿命を達成することが可能となる。ギヤ油の硫黄系極圧添加剤は優れた耐荷重性能を付与するが銅合金部材への影響が懸念され、過剰な堆積物や色相の急激な進行の原因となる可能性が有るため風車の様な長い交換周期が望まれる危機においてはその使用を控えることが望ましい。

## 文献

- ASTM D2070-16 Standard Test Methods for Thermal Stability of Hydraulic Oils

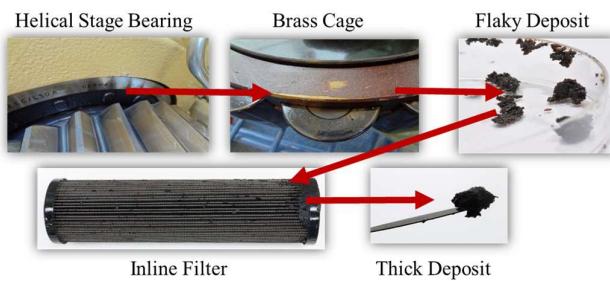


Fig.3 Photos of deposit observed in Wind Turbine Gearbox

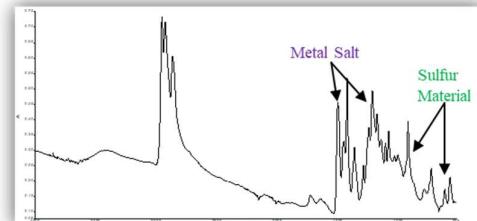


Fig.4 FTIR Spectrum of extraction from deposit

	Fresh	Used Low Cu	Used Mid Cu	Used High Cu
Oil Age	-	7 years	7 years	7 years
ICP Elements wt ppm				
Copper	<1	3	70	200
Iron	<1	9	3	6
Phosphorus	505	362	366	250
Zinc	<1	20	76	50
XRF Sulfur wt%	4,000	3,600	3,000	2,100
Acid Number mgKOH/g	1.1	1	0.9	0.6

Table 1 Comparison of Used Oil Analysis results

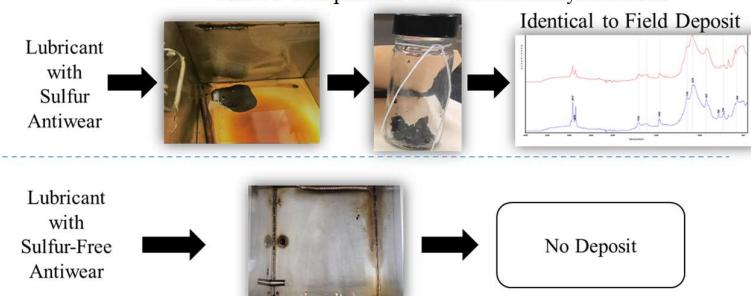


Fig.5 Simulation of deposit formation employing mod. FZG Rig

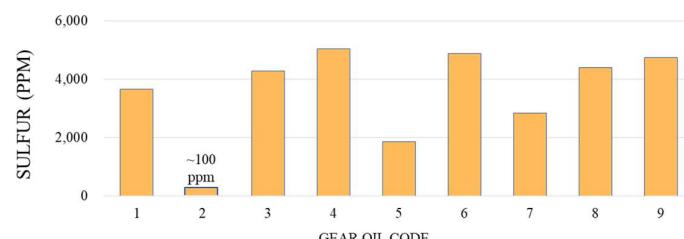


Fig.6 Comparison of sulfur content of commercial gear oils