

風車用増速機寿命延長に寄与する歯車油性能の検討

A study of gear oil performances contributing to lifetime extensions of wind turbine gearbox

出光興産（正）*横山 翔

Sho Yokoyama*

*Lubricants Research Laboratory, Idemitsu Kosan Co., Ltd.

1. はじめに

世界各国でカーボンニュートラルに向けた政策目標が掲げられる中、日本においても再生可能エネルギーの主力電源化が進められている。再生可能エネルギーの中でも風力発電は発電コストが低く、海上風力発電の展開を軸に拡大が進んでいくものと考えられる。一方、国内の風力発電設備の14%が年間3日以上の停止を余儀なくされているとの調査報告もあり¹⁾、安定操業が喫緊の課題となっている。風車用増速機油においては様々な潤滑箇所に応じて、耐マイクロピッティング性、耐スカッフィング性、酸化安定性など種々の性能が求められている²⁾。今回、風車用増速機の寿命延長に寄与する潤滑剤の最適設計を目指し、これら要求性能に対する油剤性能の違いを検討した。

2. 試験方法

2.1. 供試油

風車用増速機油として一般的に使用されるポリ- α -オレフィンにそれぞれ異なる種類のP系極圧剤(リン酸エステルアミン塩)およびSP系極圧剤(チオフォスフェート系)が配合されたGear oil A,Bを供試油として選定した(Table 1)。両油ともIEC61400-4 Ed1.0(ギアボックス設計要件)²⁾に記載される酸化安定性度試験(ASTM D2893)の基準値を満たし、いずれも国内における実機風車用増速機油として市場実績のある油剤である。

Table 1 Properties of the gear oil

Oil	Gear oil A	Gear oil B
Kinematic Viscosity, mm ² /s	40°C	314.2
	100°C	32.86
Density@15°C, g/cm ³	0.8600	0.8611
Viscosity index	146	165
Phosphorus, mass%	0.04	0.06
Sulfur, mass%	0.51	0.44

2.2. FZGマイクロピッティング試験

耐マイクロピッティング性評価として、DGMK-FZG micro-pitting short test³⁾を実施した。試験条件をTable 2に示す。Load stage3で1時間なじみ運転を行った後、本荷重としてLoad stage7,9運転後のピニオン摩耗量を評価した。

2.3. FZGショック試験

耐スカッフィング性評価としてFZGショック試験を実施した。試験条件をTable 3に示す。本試験法は表面粗さ $0.50\pm0.05\mu\text{m}$ のType A歯車を用いてならし運転なしに本荷重運転する試験であり、試験後のスカッフィング有無(ピニオンスカッフィング歯幅20mm以上でFail判定)を評価した⁴⁾。

Table 2 DGMK-FZG micro-pitting test conditions
(GFKT-C/8.3/90)

Pinion rotational speed	approx. 2200
Load stage	3/7/9 stage
Hertz stress at pitch point	510/1095/1397 MPa
Temperature	$90\pm2^\circ\text{C}$ (constant)
Test period	1hour(for stage3) 16hour(for stage7,9)
Test gear type	Type C/GF

Table 3 FZG shock test conditions

Pinion rotational speed	approx. 2200
Load stage	13/14 stage
Hertz stress at pitch point	1992/2127 MPa
Temperature	$90\pm3^\circ\text{C}$
Test period	approx. 15min (21700 revolutions of motor)
Test gear type	Type A

3. 実験結果と考察

3.1 油剤によるFZGマイクロピッティング試験結果への影響

各荷重ステージ終了後のピニオン摩耗量をFig.1、歯面外観写真をTable 4に示す。7,9stageと荷重ステージが進むにつれてGear oil Bで試験したピニオン摩耗量はGear oil Aよりも大きい事が分かった。また、微小ピットの集合体であるマイクロピッティングは通常歯元付近に白く曇って見える事が知られており⁵⁾、Table 4に示すようにGear oil BはGear oil Aに比べ歯元付近から歯先方向へマイクロピッティングがより進行している事が確認された。マイクロピッティングに対する油剤影響の違いとして、リン酸エステル由来のリン酸鉄被膜の効果⁵⁾や化学構造に起因する被膜形成能の違いが考えられた。

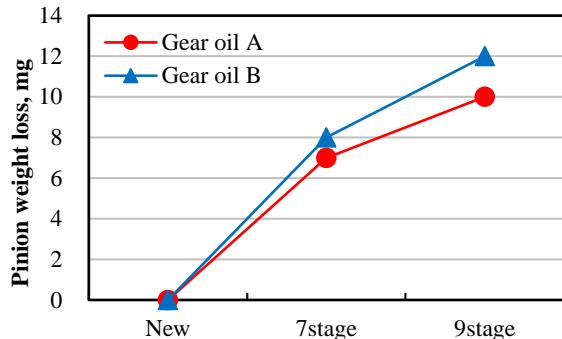
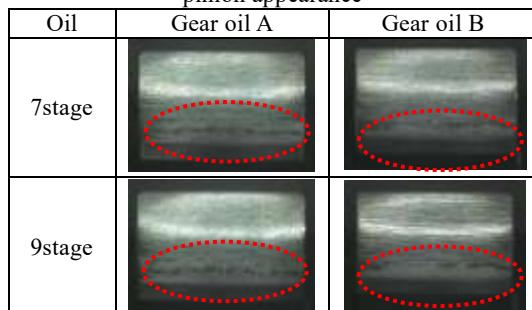


Fig.1 DGMK-FZG micro-pitting test pinion weight loss

Table 4 DGMK-FZG micro-pitting test pinion appearance



3.2 油剤による FZG ショック試験結果への影響

各荷重ステージ終了後の試験結果を Table 5 に示す。13stage では油剤の明確な違いは見られなかったのに対し、14stage では Gear oil B のみで歯面全体を覆うスカッフィングが生じ Fail 判定となった。14stage では 500 倍拡大写真に示すように Gear oil A 歯先で微小スカッフィングが生じており、Gear oil B においてもすべりの大きい歯先からスカッフィングが進展したものと考えられた。油剤に配合された P 系、SP 系極圧剤の影響を考察するため、13stage 試験後歯先のリン、硫黄分布を電子線マイクロアナライザー (EMPA) にて観察した。結果を Table 6 に示す。歯先部分で Gear oil B よりも Gear oil A の方が強いリンの分布が検出され、同じ歯先箇所において硫黄の分布も僅かに検出された。チオフォスフェート系極圧剤による歯先部分への被膜形成能が影響していると考えられた。

Table 5 FZG shock test results

Oil	Gear oil A		Gear oil B		
	Load stage	13	14	13	14
Scuffing width, mm	0.0	4.0	5.0	320	
Judgement	Pass	Pass	Pass	Fail	
Microscope photographs ($\times 100$) at pinion tooth tip	Tooth tip ↑ 				
	1mm 	1mm 	1mm 	1mm 	
Microscope photographs ($\times 500$) at pinion tooth tip					
	200μm 	200μm 	200μm 	200μm 	

4. 結言

異なる P 系、SP 系極圧剤が配合された 2 種類の風車用増速機油を用いて耐マイクロピッティング性能と耐スカッフィング性を評価した結果、Gear oil A は Gear oil B に比べて耐マイクロピッティング性・耐スカッフィング性に優れた結果となり。P 系、SP 系極圧剤による被膜形成の影響が考えられた。

シンポジウムセッションでは今回検討に用いた油剤の実機風車使用油分析結果と併せて、風車用増速機の寿命延長に寄与する潤滑剤の最適設計の展望について報告する。

文献

- 1) 中尾 徹：風力発電設備の故障・事故の現状、日本風力発電協会協会誌 JWPA, 7 (2008)
- 2) IEC 61400-4 edition 1.0 (2012)
- 3) FZG research project 575: Short Test Procedure for the investigation of the micro-pitting load capacity of gear lubricants (2002)
- 4) Sho Yokoyama : A study of gear oil performances contributing to wind turbine lifetime extensions, International Conference on Gears 2019, (2019)
- 5) Ohno Takuya : The influence of phosphate additives on the micropitting of gears, The Proceedings of the JSME international conference on motion and power transmissions , (2017)

Table 6 Phosphorus and sulfur analysis at pinion tooth tip by EMPA after FZG shock test (13stage)

Oil	Gear oil A		Gear oil B		
	Tooth tip ↑ Phosphorus				
Sulfur					