

陸上および洋上風車増速機でのオイルセンサ実証

Demonstration of oil sensors in onshore and offshore wind turbine gearboxes

日立製作所（正）＊小島 恭子 日立製作所（非）平野 正博 日立製作所（非）相川 慎一郎

日立製作所（非）佐伯 満

Kyoko Kojima, Masahiro Hirano, Shinichiro Aikawa, Mitsuru Saeki

Hitachi, Ltd.

1. 風力発電機の技術動向

商用の風力発電機のドライブトレインは、2 種類に分類される。ブレードの低速の回転を増速機を介して発電機に伝えるタイプ（増速機型、英語では **geared**）と、増速機を使用せずに大型の多極同期発電機を用いるタイプ（ダイレクトドライブ型、ギアレス型とも呼ばれる）がある。風力発電機の出力は、受風面積（ブレードが回転する円面積）に比例するため、大型化により多くの電力が得られる。また、高所ほど風速が大きいため、タワーが高くなる傾向にある。発電コスト削減と保守の効率化のため、風力発電機の大型化が進んでおり、2010 年には当時の世界最大の風力発電機は定格出力 3 MW、ローター径 90 m¹⁾ であったが、2021 年には 14 MW、ローター径 222 m²⁾ になった。風力発電機の大型化に伴い、ハブの高さも高くなり、6 MW クラス以上では、ハブ高は 100 m 以上である。さらに、シーメンスゲームサ・リニューアブルエナジー社は 21.5 MW、ローター径 276 m の風車の試験を実施する予定である³⁾。Fig. 1 に、風車の大型化動向を示す。2035 年には、陸上風車の主流は 5.5 MW (ローター径 174 m、ハブ高 130 m)、洋上風車は 17 MW (ローター径 250 m、ハブ高 150 m) と予測されている⁴⁾。

すなわち、地上または海面からの高さが 100 m 以上の高所で、多種多量の潤滑油、グリースが使用されている。

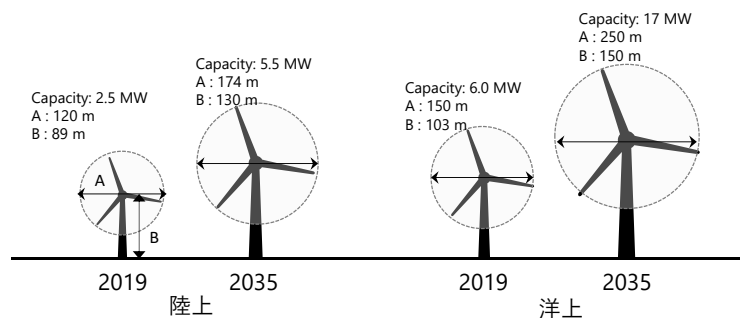


Fig. 1 Wind turbine capacity expansion.

2. 風車増速機のオイル状態監視

増速機型風車の構造を Fig. 2 に示す⁵⁾。大型風車のローター回転速度は 8~20 rpm であり、発電するには遅すぎるため、増速機で 1800 rpm 程度に変換される。増速機では数百 L から 1000 L 以上のギヤ油が使用される。粘度グレードは ISO VG320 が一般的であり、荷重が大きいことを考慮し、基油は合成油(PAO)で、極圧剤、酸化防止剤、耐摩耗剤、消泡剤などの添加剤を含む。増速機油の交換周期は 3 年から 5 年程度であり、特に、洋上風車はメンテナンスが困難なため、長寿命油が使用されたり、状態監視が行われている。

増速機油の状態監視では、オイルセンサを用いて、色調、水分量、温度、粒子数、鉄粉量などが計測されている⁶⁾。また、定期的に増速機油を採取してオイル分析が実施されることが多く、粘度、水分量、元素分析、酸価などが計測され、経時的な変化を分析している。実際には、増速機運転時の油温は高くなく、化学的に安定な合成油が使用されるため、3 年程度の使用では、粘度、酸価の変化は小さいことが判っている⁹⁾。一方で、極圧剤は摩耗防止に重要な役割を果たす添加剤であるが、経時的に減少するため、オイルセンサによる監視では、極圧剤の濃度変化を追跡することが有効である。オイルの色調測定は、増速機油中の極圧剤の濃度を間接的に定量できることが知られている⁶⁾。その他、水分、粒子数、鉄粉量の増加は、増速機の故障に繋がる可能性があることから、それらを定量する手段を併用することがある。

増速機の稼働中は、油中に大量の気泡が発生し、センサデータに影響する。正しいデータを取得しないと、オイルの状態を正しく把握できないため、気泡の影響回避が課題となっている。気泡の影響を回避する方法は二つあり、一つは、気泡が無い条件下にセンサを設置する、もう一つは、気泡が無いタイミングでデータを取得する、である。増速機の構造により、どちらの方法を用いるかが異なる。

3. 色に基づく増速機油の状態監視

増速機油（Mobilgear SHC XMP 320）の新油はほぼ無色であり，使用とともに，黄色から褐色に着色する．また，増速機油の着色は，極圧剤の消耗と相関があることが判っている⁶⁾．増速機油の色をデジタル化し，予め閾値を設定することで，増速機油の余寿命診断が可能である．飽和濃度以上の水混入は増速機油が濁り，ゴミ，摩耗粉の混入によって可視光の透過率が減少することから，異常検知も可能である．

4. 2MW 風車増速機でのオイルセンサ実証

2MW 風車の増速機のドレンポートに，オイルの色を計測するための RGB センサを設置した．増速機の稼働前は，オイルの色を正しく計測できたが，稼働直後には，気泡が発生し，オイルの色を計測することが困難となった(Fig. 2)．Fig. 2 には，RGB 各色のセンサ出力（8 ビット階調）と，RGB それぞれの値の二乗和の平方根(Index X)，RGB の最大差(Index Y)がプロットされている．停止直後からのセンサデータの挙動を Fig. 3 に示す．Fig. 3 では，RGB それぞれの値の二乗和の平方根(Index A)，RGB の最大差(Index B)がプロットされている，Fig. 3 より，気泡は，約 1 時間で消滅することを確認できた．センサを設置したドレンポートは，増速機の歯車の近くにあり，センサは気泡の影響を逃れられないが，増速機は，風が無い時，風況の急変などにより，停止することから，増速機が 1 時間以上停止した時のセンサデータは，オイルの色を正しく測れることを実証した．

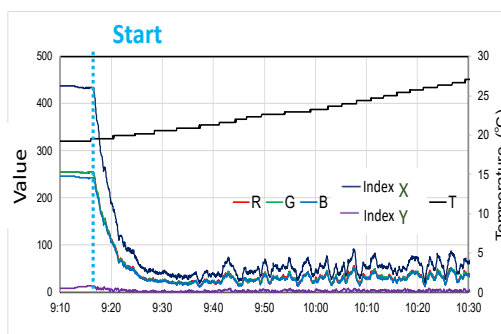


Fig. 2 Change of RGB sensor data after start gearbox.

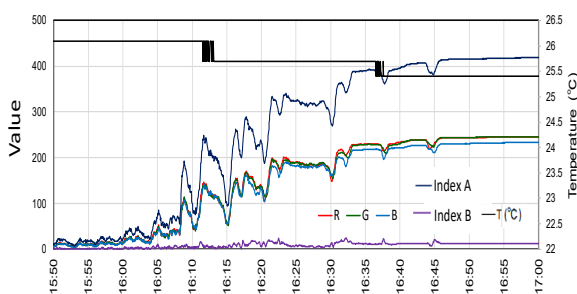


Fig. 3 Change of RGB sensor data after shutdown of gearbox.

5. 5MW 風車増速機でのオイルセンサ実証

5MW 風車の増速機は，油槽に入ったギヤ油を，ギヤポンプを用いて増速機にオイルを循環させる構造である(Fig. 4)．オイルセンサをレトロフィット可能な箇所があり，RGB センサを設置して，増速機稼働時の計測を実施した．

Table 1 に示すように，増速機の出力を 0 から徐々に定格まで 5 段階上げた．ドレンポート①に設置したセンサで得たデータを Fig. 5 に示す．Fig. 5 より，増速機の出力が定格の 25% 以下の時は，気泡の影響と見られるデータ変動が観測されたが，さらに出力が上がると，気泡の影響は減少し，ほぼ正しく色を計測できているという結果を得た．これは，出力が上がると油中の気泡が減少したことを意味しているが，油槽内の構造は不明なため，気泡現象のメカニズムは不明である．

この実証の結果，センサの設置場所の選択次第で増速機の稼働中も増速機油の状態を計測可能であるという見通しを得た．

6. まとめ

2MW および 5MW 風車の増速機でオイルセンサの実証を実施した．オイルセンサをレトロフィット可能な場所は限られ，増速機の稼働時には油中に気泡が発生し，センサデータに影響する．2MW 風車の増速機のように，気泡の影響が大きい場合には，風車は風況次第では止まるという風車の特性を利用し，気泡が消えるタイミングで正しいセンサデータを得るしかない．一方で，5MW 風車の増速機のように，レトロフィット可能な場所にセンサを設置した場合に，気泡の影響が小さいことがあり，しかも，定格に近い運転時に良好なセンサデータが得られることを実証で確認した．このように，オイルセンサをレトロフィットする場合でも，正しいセンサデータを取得する方法があることを確認できた．

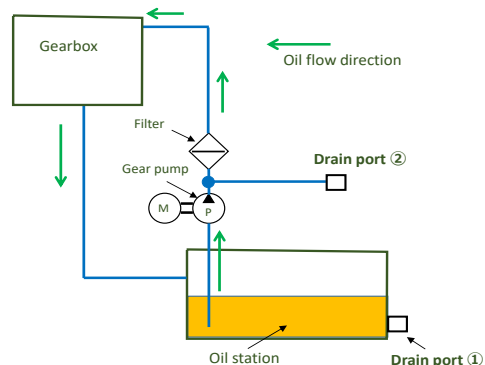


Fig. 4 Diagram of gearbox of 5MW wind turbine.

Table 1 Gearbox output.

	Gearbox Output
a	0
b	10% of rated output
c	25% of rated output
d	50% of rated output
e	75% of rated output
f	100% of rated output

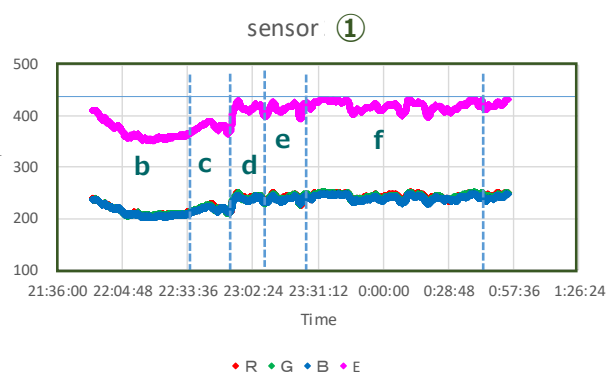


Fig. 5 Result of RGB sensor demonstration..

文献

- 1) 洋上風力発電に関する世界の動向 [第2版], 自然エネルギー財団 (2021).
- 2) SIEMENS Gamesa : SG 14-222 DD,
<https://www.siemensgamesa.com/products-and-services/offshore/wind-turbine-sg-14-222-dd> .
- 3) Siemens Gamesa secures cert for 21.5MW turbine, Renewable Energy News (2025).
<https://renews.biz/98607/siemens-gamesa-plans-215mw-turbine/>
- 4) <https://www.nature.com/articles/s41560-021-00810-z/figures/6> を基に作成
- 5) J. Keller and R. Wallen, Gearbox Reliability Collaborative Phase 3 Gearbox Test Report, NREL (2017).
- 6) 小島, 相川, 田中, 佐伯: オイルセンサによる風車増速機の潤滑油診断, 第18回評価・診断に関するシンポジウム (2019).