

## 色による風車主軸受グリースの状態監視

Condition monitoring of main bearing grease of wind turbines based on color of grease

日立製作所（正）小島 恵子 日立製作所（非）相川 慎一郎 日立製作所（非）佐伯 満  
Kyoko Kojima, 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。発電コスト削減と保守の効率化のため、Fig. 1 に示すように、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3MW、ローター径90m<sup>(1)</sup>であったが、2021年には14MW、ローター径220m<sup>(2)</sup>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、6MWクラス以上では、ハブ高は100mである。すなわち、地上または海面からの高さが100m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。

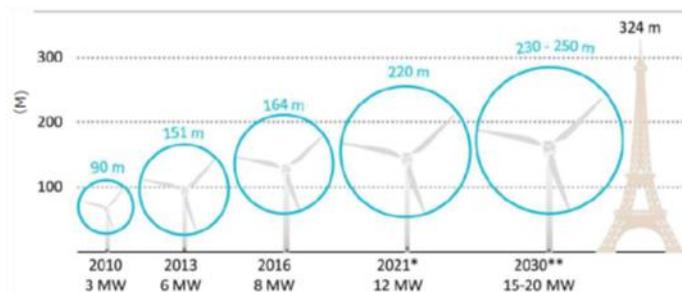


Fig. 1 Evolution of the largest commercially available wind turbines

### 2. 風力発電機で使用されるグリースとグリースメンテナンス

主軸受、発電機、ピッチギア、ピッチベアリング、ピッチアクチュエータ、ヨーギア、ロックピン、スリップリングなどの多くの部品でグリースが使用されている。使用箇所により仕様が異なるグリースを使用している。以下の理由により、グリースの選択は重要である<sup>(3)</sup>。①風車の動作条件によっては、高荷重となり、部品の疲労が起こる、②動作温度域は-50°Cから120°Cと範囲が広く、氷点下での流動性が必須である、③台風の強風に耐える必要がある<sup>(4)</sup>、④予定外のダウンタイムの主原因である発電機の故障の最大70%は、軸受故障が原因である。さらには、洋上風車では海水侵入の影響が知られている。例えば、主軸受のような主要部品の故障を防止することで、高額の修理費用と数か月のダウンタイムを削減可能であり、停止中の発電量損失も防げる。

多くの風力発電所では、6か月毎の定期点検時に、手作業でグリースを補充しており、自動給脂（リザーバから一定間隔で少量のグリースを補充する装置）を使用するケースもある。グリースの状態監視は、定期点検時に少量を採取し、ラボでの分析結果を用いて行うことが多いが、グリース鉄粉濃度計は現地で使用可能なツールとして重宝されている。また、最近ではリアルタイムの状態監視技術が望まれている。本発表では、風力発電機（以下、風車と記載）の主軸受グリースの課題と診断について検討した結果を報告する。

### 3. 色による風車主軸受グリースの診断法

主軸受グリースとして、Mobil SHC Grease 460WTを研究対象とした。このグリースは、使用前は鮮やかな赤色で、使用により暗い色調に変化し、金属粉濃度が高い場合には光沢が現れることから、色調によるグリースの状態診断を試みた。Fig. 2のような評価用サンプルを作製し、分光測色計（コニカミノルタ CM-2600d）を用いてグリースの反射色座標 (RGB) を計測した。得られた色座標の評価では、以下の式で定義される、 $\Delta E$ 、MCD (Maximum Color Difference) の指標を用いた。 $\Delta E$ は明度を表し、大きいほど明るい色調であることを示す。

新品グリースの他に、陸上商用風車の定期点検時に採取したグリースの反射光測定を実施した。別途、鉄などの元素分析を実施した。

$$\Delta E = \sqrt{R^2 + G^2 + B^2} \quad \dots \quad (1)$$

$$MCD = \text{maximum of } |R-G| \text{ or } |G-B| \text{ or } |B-R| \quad \dots \quad (2)$$

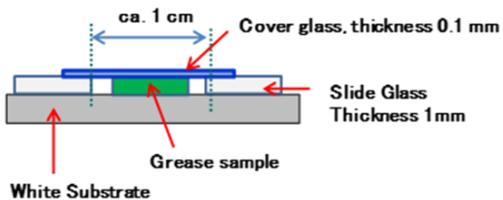


Fig. 2 Grease sample preparation

#### 4. 結果および考察

##### 4.1 グリースの外観

陸上商用風車から採取したグリースの色調は、グリースの使用状態をよく反映しており、良好に循環している場合は暗赤色であった。その他、1年以上使用しているにもかかわらず新品同様の鮮赤色であったり、鮮赤色部分と暗赤色部分が混在したもの、銀灰色のもの、が見られた。使用歴があるにもかかわらず鮮赤色のグリースが採取されたケースは、そのグリースが軸受内部の潤滑に寄与していないことを示唆し（給脂不良）、銀灰色のグリースが採取されたケースは、そのグリースに高濃度の鉄が含まれていることを示唆した。給脂不良、数千 ppm 以上の鉄粉混入、ともに、数パーセント発生していた。

##### 4.2 測色計によるグリース評価結果

反射光測定で得られたRGB値と風車の稼働期間との関係を、Fig. 3に示した。グリースの循環状態が良好な場合は、使用とともに色が黒に近づくので、RGB値の全てが新グリースの値よりもはるかに小さくなつた。一方で、給脂不良が疑われるグリースは新グリースに近い鮮赤色なので、風車の稼働期間が長い場合でも、R値が新グリースに近い値を示した（Bad Greasing グループ）。

次に、測定で得られたRGB値から求めた $\Delta E$ 値とMCD値の関係をFig. 4に示した。新グリースは右上にプロットされ、使用とともに、左下に分布が移行していることが判つたが、給脂不良が疑われるサンプルは新グリースに近いところにプロットされた。また、鉄粉が高濃度のサンプルは、色調が灰色すなわちMCDの値はゼロに近く、かつ、金属粉による光反射強度が増加するため、 $\Delta E$ 値は大きくなることから、鉄粉が低濃度のサンプル群からは離れたところにプロットされ、鉄粉混入サンプルのスクリーニングが可能であることが示された。鉄粉濃度については、1000 ppm程度だと正常サンプルと近いところにプロットされたが、3000 ppm以上では、正常群とは離れたところにプロットされ、鉄高濃度サンプルの抽出に有効であることが示された。

可視光分光計測の利点として、直感的に判りやすいこと、非侵襲計測であること、計測に時間がかかるないこと、色の定量化、などがある。本技術の応用の可能性としては、オンライン診断、自動給脂装置を採用している部品のグリース排出部での遠隔監視などがある。

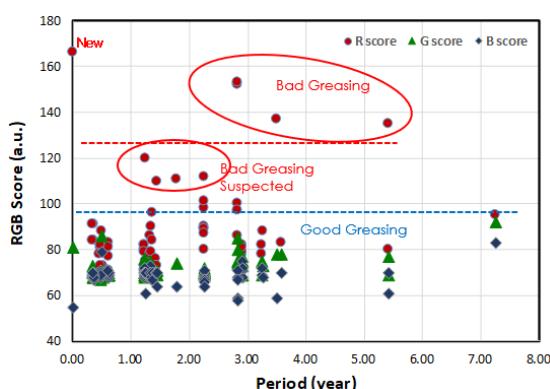


Fig. 3 Correlation between period of grease use and RGB score.

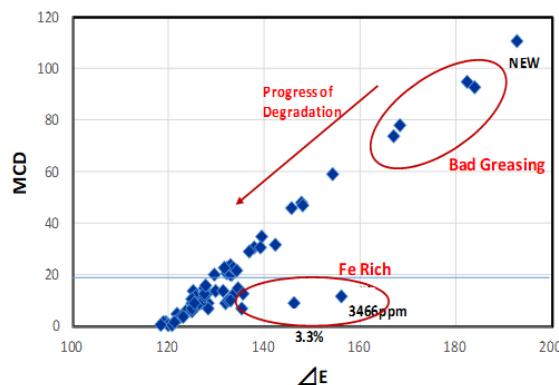


Fig. 4 Correlation between  $\Delta E$  and MCD.

## 5. まとめ

今後日本でさらに普及が進む風力発電機の主軸受グリースについて、グリースの反射光計測による診断法を開発した。本技術により、主軸受グリースの循環状態（給脂状態）の識別と、高濃度鉄粉混入グリースの識別が可能であることが明らかになった。

## 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) <https://www.mobil.com/en/lubricants/for-businesses/industrial/lubricant-expertise/resources/wind-turbine-grease-choice#:~:text=The%20grease%20must%20travel%20through,fluidity%20even%20in%20freezing%20temperatures.&text=Don't%20settle%20for%20a,it%20running%20at%20full%20throttle.>
- 4) <https://pps-net.org/column/54177>