

## カーボンニュートラル時代の設備メンテナンス

### Equipment maintenance in the carbon-neutral era

日本製鉄・(正)\*藤井 彰 (正)水野 顕 (非)岩間 惇

Akira Fujii, Akira Mizuno, Atsushi Iwama

NIPPON STEEL CORPORATION

#### 1. はじめに

カーボンニュートラルの達成に向けて、製品（設備）の製造から廃棄に至るまでの省エネルギー・省資源の取組みが展開されている。近年は、資源の効率的・循環的な利用を目指す「サーキュラーエコノミー」が注目されており、設備を長く使うこと：長寿命化による資源の有効活用を考えたい。設計段階の工夫に加え、利用段階での劣化抑制を担う「設備メンテナンス」でカーボンニュートラルを実現していく。本稿では、トライボロジー技術の視点から、これからの時代に求められる設備メンテナンスの在り方を考察する。

#### 2. 設備メンテナンスの役割

メンテナンス分野では“設備のダウンタイム削減”を掲げた活動が、様々な現場で展開されてきた。近年はIoTやAIの導入で、故障や異常の早期検出をトリガーに「修理」する取組みが普及し、稼働率の向上に貢献している。

カーボンニュートラル時代のメンテナンスでは、稼働率の向上にとどまらず、資源消費の最小化を目指し、故障頻度の低減を実現したい。設備メンテナンスの在り方を、事後対応型の「修理」から「予防保全」へ転換すること提案する。

予防保全の概念図をFig.1に示す。日常保全で設備の劣化を緩慢にし、耐用寿命を見極めて補修タイミングを設定する。設備メンテナンスの計画性を高めることで、補修工事の集約や分散が可能となる。設備の休止時間の短縮や、工事足場設置などの共用で、エネルギー消費の最小化を追求する。

予防保全の中核を担うのが日常保全作業である。給油脂や清掃で設備の異常劣化を排除し、設備が持つ「本来の寿命」を全うさせていく。自動車エンジンオイルの定期交換は、予防保全の身近な実践例である。潤滑状態を正常に保ちエンジン内部の異常摩耗を防ぐことで、自動車を本来の寿命まで安定して運用できる。

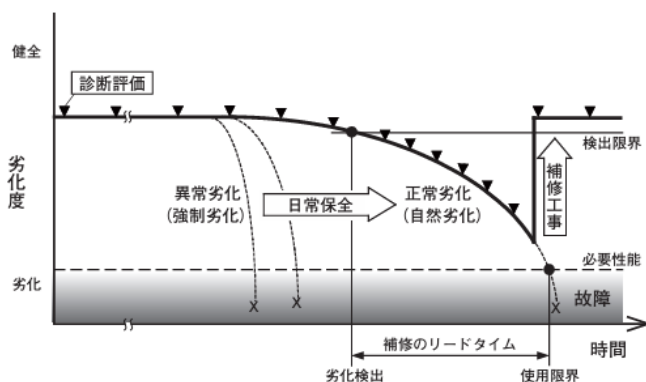


Fig.1 Deterioration trend control<sup>1)</sup>

#### 3. 設備が正常劣化の状態で運転されていることを保証する技術

設備の異常劣化を排除する上で、「潤滑管理」は重要なトライボロジー技術と言える。適切な性質の油を必要な箇所に適正量供給するため、給油脂作業は、台帳を整えて、計画的に実行する。その結果、良好な潤滑状態が保たれていることを保証する技術が「潤滑系診断技術」である。

##### 3.1 潤滑状態の確認（フェログラフィー法）

潤滑面で生じた摩耗粒子の形態から潤滑状態を評価する診断手法が、フェログラフィー法である。ガラススライド上にオイルサンプルを流し、スライド上に残留堆積した摩耗粒子の形態や色を観察する。設備の運転・停止状態によらず診断可能な手法であり、運転中の常時監視は不要である。

スライドを顕微鏡で観察すると Fig.2 に示すような摩耗粒子が観察される<sup>1)</sup>。潤滑状態が良好であれば正常摩耗粒子がわずかに観察される。しかし、その他の摩耗粒子が観察される場合は注意が必要である。

例えば、ギヤボックスでシビア摩耗粒子が認められた場合、歯車の潤滑状態が不良であることが分かる。運転条件に変化が無ければ、潤滑油の温度上昇により油膜が薄くなっていることが想定される。このような場合、オイルクーラーの熱交換率の管理を徹底する。また、すべり軸受では、温度上昇に加えて、摩耗による軸受の形状変化で負荷容量が低下している可能性がある。開放点検で内径を測定し、摩耗量が許容値を超えていないこと確認する。

①正常摩耗粒子 ●薄片状 ●表面平滑 ●0.5～5 μm	②切削型摩耗粒子 ●カール状 ●砂など混入 ●25～100 μm
③球状摩耗粒子 ●ボール状 ●軸受疲労 ●1～5 μm	④平板状摩耗粒子 ●表面、周粗い ●歯車疲労 ●20 μm以上
⑤シビア摩耗粒子 ●直線状エッジ ●ストライエーション ●20 μm以上	⑥その他の粒子 砂 ポリマー 錆

Fig.2 Typical wear particle shapes<sup>1)</sup>

### 3.2 潤滑油の清浄度の維持（汚染度分析法・油漏れの管理）

潤滑油中に含まれるコンタミネント（汚染粒子）は、三元アブレシブ摩耗を引き起こす主要因である。特に油圧機器では、異常劣化の約90%が固体粒子による汚染に起因するとされ、軸受でも30～40%が同様の要因によるとされている<sup>2)</sup>。

汚染度分析には、重量法および計数法が用いられる。計数法では、光遮断式のように粒径と個数を計測する手法と、Fig.3のように顕微鏡で観察する手法がある。後者は、コンタミネントの撮影画像を解析することで、発生由来を特定し、侵入経路を推定できる<sup>2)</sup>。

徹底したコンタミネント管理が油圧潤滑機器の寿命を延ばした事例を示す。潤滑系診断により、外部雰囲気中のコンタミネントが潤滑油タンク内へ侵入していることを突き止めた。対策として深層メッシュフィルタ付きエアブリーザおよびバルーン式タンク密閉機器を導入した。その結果、潤滑油が清浄な状態で維持され、Fig.4に示すよう、油圧ポンプの年間交換台数を従来の1/6にまで削減している。

同様に、油圧シリンダーの作動油の汚染度を1/10に低減することで、油圧シリンダーのシールの摩耗が抑制され、寿命が10倍になった事例（Fig5）も報告されている<sup>3)</sup>。なお、汚染防止は、“入れない”が鉄則である。オイルクリーン頼みの対策は、フィルタ交換作業と廃棄物の山を生む。

潤滑油の清浄度を維持するためには、油漏れ管理も重要な活動である。油漏れ箇所の排除は、配管工事に伴う配管内汚染を抑制すると共に、廃棄物と購入量の削減に直結する。

当社における油漏れの調査結果と防止活動（HFI低減活動）の成果をFig.6・Fig.7に示す<sup>4)</sup>。具体的な対策として、配管からの亀裂漏れには、サポート形状をUボルトからクランプ形状へ変更し、設置間隔の基準化を行った。振動を抑制し、パイプ接続部にかかるストレスが緩和され、漏れの発生が減少した。

また、油圧ホースに関しては、インパルス疲労寿命試験を実施し、長寿命かつ高信頼性のホースが標準品として採用されている。さらに、ホース交換後には、取り外したホースに対して耐圧破壊試験を行い、消費寿命を評価し、TBM交換周期の妥当性を高める取り組みを行っている。

### 4. おわりに

「潤滑管理」や「潤滑系診断技術」のようなトライボロジー技術は、劣化原因そのものを排除するプロアクティブメンテナンスを可能にする技術であり、カーボンニュートラルやサーキュラーエコノミーと親和性の高い技術である。今後のカーボンニュートラルやサーキュラーエコノミーの推進に対してトライボロジー技術の価値を巷間に広めていきたい。

### 文献

- 1) 藤井彰：設備管理のための潤滑油分析と振動診断の実践，潤滑経済，No.534 (2010) 38-43.
- 2) 藤井彰：製鉄所における潤滑管理技術，月刊トライボロジー，No.239 (2007) 36-39.
- 3) 川島浩治，田中伸治，加藤克彦：流体設備のメンテナンスフリー化技術，川崎製鉄技法，Vol.33, No.1 (2001)15-19.
- 4) 岩間惇，藤井彰：プラント設備の潤滑管理，日本設備管理学会「2023 年度 秋季研究発表大会」予稿集

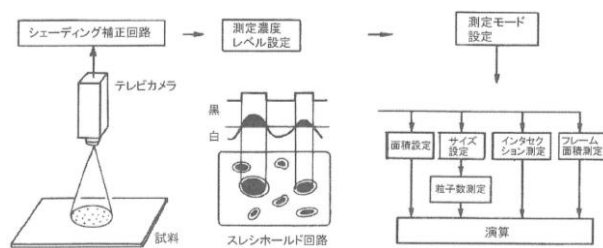


Fig. 3 The method of particle measurement<sup>2)</sup>

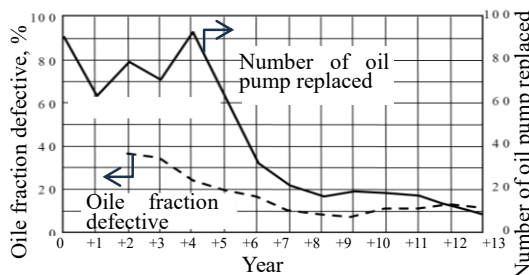


Fig. 4 Replacement trend of oil pump

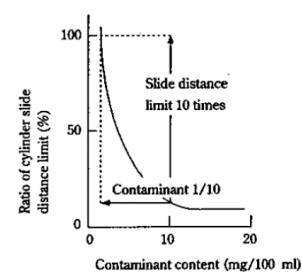


Fig. 5 Contaminant and cylinder slide limit<sup>3)</sup>

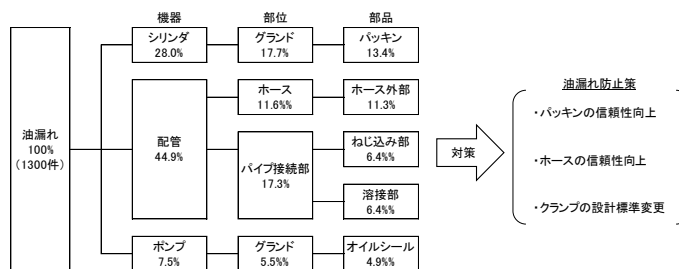


Fig. 6 Investigation results and countermeasures for oil leakage<sup>4)</sup>

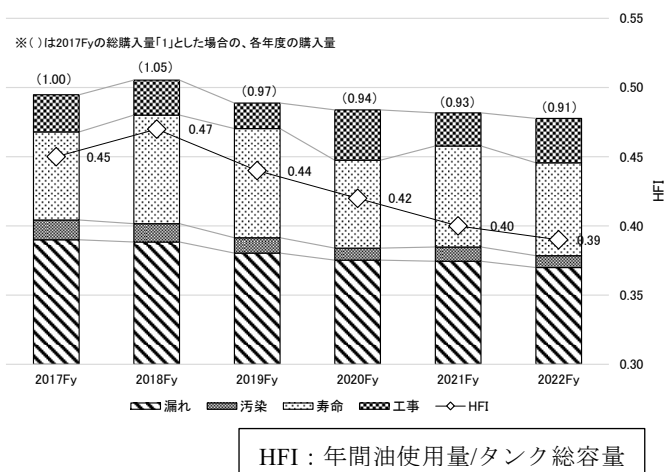


Fig. 7 Result of oil leak prevention in steel works<sup>4)</sup>