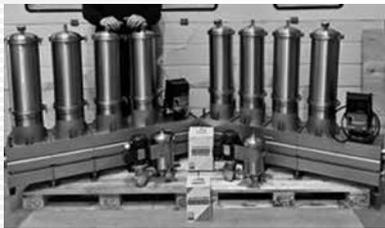


セルロース毛細管フィルターによる浄油

— 廃油を出さない潤滑管理 —



ケン・フォーセット
Ken Fawcett
JSD Ltd.

1. はじめに

製紙業、金属加工、機械産業、各種発電、船舶や車両のエンジンなど、あらゆる産業の工場・プラントなどで常に大量のオイルが使われている。各施設に無数の機械があり、それぞれの機械に潤滑油、作動油、ギヤ油、エンジン油など多種多様なオイルが必要とされている。当然そのオイルは石油から精製され、それぞれの用途に合わせて添加剤などが処方されて販売される。

経済産業省・資源エネルギー庁の発表によれば、2019年の世界の原油生産量は9519万バレルに上り、1973年の5855万バレルから1.6倍に増加している。BP社(旧ブリティッシュペトロリアム)の発表によると、2017年時点での石油の可採年数は50.2年であった¹⁾。

BP社が1980年時点で試算した可採年数が29.7年であったことから、2067年にただちに地球上の石油資源が枯渇し、世界中で工場が停止し飛行機も飛ばなくな

るといわけではなく、新たな資源の発見や技術の進歩により今後も石油資源の活用は続くであろう。

それでも、言うまでもなくオイルは有限な資源である。遠くない未来に石油資源が完全に底をつくことも十分に考えられる。今あるオイルを有効活用し、それぞれの機械に使われているオイルの寿命を延ばし、環境にも配慮して廃油を減らすなど、経済・環境の両面からオイルの有効活用が人類全体で喫緊の課題となっている。

オイルの有効活用に繋がる一手として「セルロース毛細管フィルター」という技術を本稿で紹介する。潤滑油・作動油を扱う機械には必ず複数のフィルターが内部に組み込まれているが、それらとは別にオフラインで高性能フィルターを繋ぎ、オイルの清浄度を高度に管理することで、同じオイルを半永久的に使うことができるものである。また機械内部の損耗や故障の激減、機械寿命の延長、予定外の停止の予防など、設備保全の観点からも多くの経済効果が見込まれる最先端の技術である。このような新技術によってオイルそのものの需要を減らし、次世代のための持続可能な資源活用に寄与す



図1 セルロース毛細管フィルター(左)とフィルターを搭図載する浄油機

るものとして認知が広まれば幸いである。

2. セルロース毛細管フィルターの技術

セルロース毛細管フィルターは、オフラインの浄油機に搭載される特殊なフィルターカートリッジである(図1)。元々北欧の油田や発電所、洋上プラットホーム、船のエンジンなどに使用される浄油技術として利用が始まった。今では、2012年に英国で創立されたDelta-Xero社が販売する浄油機の認知が高まりつつあり、発電・製造業・船舶など幅広い分野で利用されている。日本でも製紙業や金

【著者問合せ先】

〒252-0314 相模原市南区南台5-22-15
Tel.042-766-8338
E-mail ken_fawcett@jtd-limited.co.jp

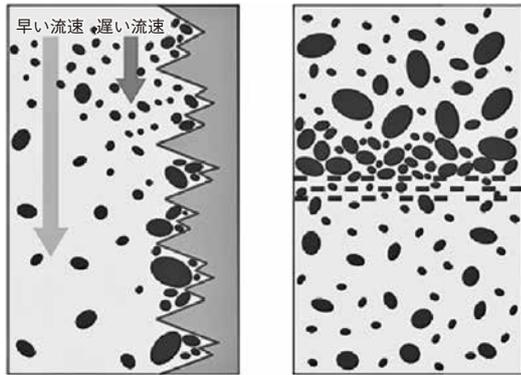
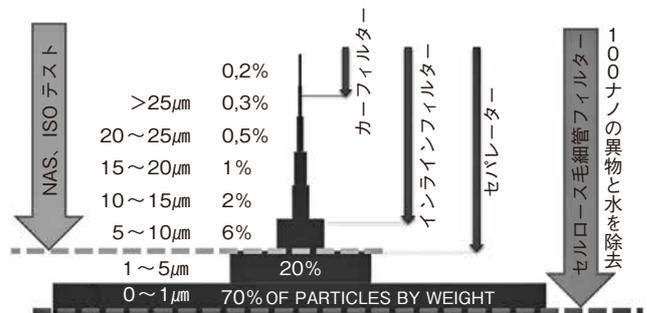


図2 フィルターが異物を捕集する構造

左：セルロース毛細管フィルター 右：メッシュタイプのフィルター



Source : Thompson,B. and Livingstone,G. "Using Quantitative Spectrophotometric Analysis(QSA)as a Predictive Tool to Measure Varnish Potential." 2004 International Maintenance Conference Proceedings, December 2004.

図3 オイル汚染粒子の粒径別分散量

属加工の工場で効果的に使用されている。

セルロース毛細管フィルターと従来のフィルターとの最も大きな違いは、その構造にある。今でも市場に多く出回っている従来型のオイルフィルターは、繊維を敷き詰めた「メッシュタイプ」のものがほとんどである。一定の大きさ以上の固体を捕集し、それ未満の固体は網にかからずに流れていくという仕組みである。一方セルロース毛細管フィルターのフィルターエレメントは、針葉樹の毛細管構造を特殊技術で加工した無数の管からできている。その管の中を汚れたオイルが流れ、油中の異物が大きなものも小さなものも管の壁面に吸着し、清浄になったオイルが機械のオイルタンクへと戻っていく。

セルロース毛細管フィルターを搭載した浄油機を機械に長期的に繋げて浄油することによって、時間とともに機械内の汚れたオイルが大きく改善し、オイルが持つ本来の潤滑性能が回復することで軸受、軸・ピン、シリンダー、スピンドル、ポンプ、歯車など機械部品の故障が激減し、設備の寿命も延びる。

3. 深層ろ過

前述のとおり、セルロース毛細管フィルターの大きな特徴は、メッシュタイプのフィルターと異物捕集のメカニズムが大きく異なる点である。川の水が流れる際に土石が両岸に溜まるのと同じように、セルロース毛細管フィルターの無

数の管の中をオイルが流れる際に、オイル中の異物が管の壁面に吸着していく(図2)。捕集できる異物のサイズに理論上制限はない。市場に出回っている多くの浄油機ではメッシュタイプのフィルターを使用していて、5μmや3μm以上の異物を捕集できることを謳っているものが多いが、セルロース毛細管フィルターでは0.1μm以上の異物を捕集できるとされている。この違いの重要性については後ほど詳述する。

それほど小さな異物を捕集することの懸念点として、フィルターが早々に詰まってしまうのではないと言われることがある。しかし、ろ材の表面のみで異物をこしとるメッシュタイプのフィルターと違い、セルロース毛細管フィルターは深層ろ過であり、容積全体を使って異物を捕集する。同等のサイズのフィルターエレメントを比較した際に、メッシュタイプのフィルターの有効ろ過面積が2㎡であったのに対し、セルロース毛細管フィルターは1200㎡と、600倍の捕集能力を持つ。細かな異物まで捕集するがゆえに、捕集する異物の量は当然桁違いにはなるが、深層ろ過という特徴ゆえに目詰まりすることがないのである(毛細管内壁に異物を吸着した後も、管の中のオイルの流れは確保される)。さらにセルロース製であるため、油中の水も除去できる。

当然、捕集能力は無限ではなく、フィルターエレメントが異物や水でいっぱいになれば交換が必要となるが、ほとんど

の稼働環境では1年に1度の交換で問題なく浄油を継続できる。

4. “1μm未満”の重要性

オイルを管理する現場の責任者の話を聞くと、「そこまできれいにする必要はない」との声も多々ある。オイルの清浄度を示すNAS等級は5μm以上の異物が対象であり、現在日本でも広く使われるようになったISO4406等級でも4μm、6μm、14μm以上の異物を数値化するが、4μm未満の大きさの異物は完全に度外視される。ごく微細な異物がいくらあっても各等級に表れないため、それらの大きさの異物の管理は疎かにされがちである。

しかし米国でB.トンプソンらによって行われた、油中の微粒子の類型別分布に関する研究では、油中の微粒子のうち5μm以上のものは、重量比でわずか1割だということが分かった。微粒子の9割が5μm以下であり、さらに7割が1μm以下である。つまり、オイルの清浄度を示す各種指標は、油中の汚染物の9割をまったく無視しているのである(図3)²⁾。

「それは、大きなものほど機械にとって危険であるからではないか」と思われるかもしれないが、それも研究によって否定されている。大手軸受メーカーでは、軸受の摺動部に働く、ごく薄い油膜に入り込み金属表面の損耗を引き起こす微粒子は、0.5μm前後のものが最も多いという研究結果を発表している³⁾。さらに同社の技術広報誌では、潤滑油システムおよび機械全体の清浄度を最高度に維持でき

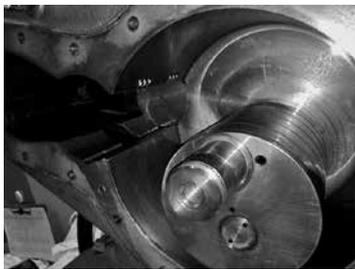


図4 382日連続運転後の機械内部

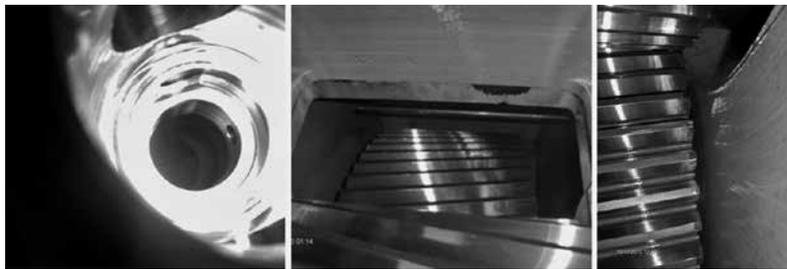


図5 超清浄オイルによるフラッシング効果

れば、局所的な圧力が軸受の耐荷重値よりも低く保たれるため、原則的に軸受の摩耗が起きることはなく、理論上寿命は無限になると述べている。これらの一連の研究は、微細な異物を除去することの重要性を補強している⁴⁾。

5. スラッジ・ワニスの除去

1 μ m未満の異物の除去は、スラッジとワニスの形成にも大きく影響する。スラッジは1nm~1 μ mほどのコロイド粒子が油中に浮遊し、酸化・凝集して1 μ m以上の大きさになると潤滑油から分離して付着・沈殿し、機械に悪影響を及ぼす。一方、近年その問題性の認識が高まりつつあるワニスは、潤滑油の熱応力によって生じる酸化物によって、油圧制御を含む潤滑油システム内で形成される。局所的な高熱によって潤滑油の分子構造が一部破壊されて発生する遊離基が、酸化物と混合してワニスの形態に変化する。ワニスの表面は粘着性であるため、油中のほかの微粒子を引き付けて凝集・堆積し、システム内の金属表面（配管、バルブ、熱交換器、ストレーナー、フィルターなど）に固着する。これによってサーボ弁や方向弁などの動作不良、コンポーネントの摩耗や発熱、振動が発生し、破損・部品交換などによるメンテナンスコストが増大する。

これらのスラッジ、ワニスの発生を抑制するのもまた1 μ m未満の汚染物の除去である。東 忠則・橋本正孝両氏の研究では、潤滑油内で浮遊するスラッジ成分が潤滑油から分離して付着・沈殿するのが1 μ m以上になったときであること、さらに微粒子が1 μ m未満の状態で除去されればスラッジが発生しないことが示された⁵⁾。

またワニスの形成も油中の汚染粒子の約7割を占める1 μ mの異物の酸化が主な原因であり、世界大手のオイル分析会社Polarisの研究では、ワニスより温度の低い金属表面に固着してしまうと、除去するのがより困難になると報告されている。この観点からも0.1~1 μ mの異物を除去できるか否かは、潤滑油管理と機械の予防保全において決定的な要因の一つであると言える⁶⁾。

6. 添加剤に代替する機能

0.1 μ m以上の微細な異物を除去できるとなると、もう一つ現場から心配の声が上がるのが「添加剤も捕れてしまわないか」という点である。もちろん、溶解して入っているものは捕れないが、固形のものも捕れてしまう場合もある。ただ、セルロース毛細管フィルターは、オイルに対して添加剤に代わる効果を発揮するため、添加剤が捕れてしまっても問題にならない。

従来のトライボロジー研究は、潤滑油の清浄度は維持できず、使用とともに劣化が進み、いずれは廃棄せざるを得ないという前提で行われてきた。そのため、潤滑油の寿命を伸ばし、用途に応じた最適の潤滑性を得るために添加剤の配合などの研究に莫大な費用が投じられてきた。つまるところ、劣化物が泡を促進するために消泡剤を、また劣化成分が油性を損なうために油性向上剤を処方しているのである。スラッジやワニスの対策としては、酸化防止剤と同時に清浄剤や分散剤が使用されることが多い。しかしそれでもスラッジやワニスの発生を長期にわたって抑制することは難しい⁵⁾。

逆に、本稿で紹介しているセルロース

毛細管フィルターを用いれば、スラッジやワニスになる前段階で酸化した微粒子を捕集・除去できる。高度な浄油が可能になった際には、いずれ劣化してスラッジやワニス形成の原因になってしまう添加剤は、とれてしまっても何ら問題ないのである。

7. 超清浄になったオイルの潤滑性能

セルロース毛細管フィルターによる浄油を継続的に行うことで、システム内の潤滑油全体が超清浄になり、オイルそのものによる機械内部のフラッシング効果があらわれる。軸受、スピンドル、シリンダーなどの駆動部・摺動部に付着したスラッジやワニスも徐々にオイル中に再分離し、一定の期間を過ぎると装置のオイルシステム全体が新品のような光沢さえ見せるようになる。同時にオイルは潤滑油本来の潤滑性が機能し、機械が守られる（図4、図5）。

この状態の清浄度を維持できれば、当然更油は不要になる。セルロース毛細管フィルターのような高性能のオフラインフィルターで長期間浄油された潤滑油は、新規で投入される新油よりも遥かに清浄だからである。新油はNAS等級の7級~8級程度のものが使用されることが多いが、7級では5 μ m以上の粒子で100mL中に約2万個以上、8級では約4万個以上がすでに混入している。さらに理論上、5 μ m未満の微粒子はその10倍ほど分散し存在していることになる。

国内でセルロース毛細管フィルターを用いて浄油を1年継続した例では、NAS等級3級を達成し、年に一度のシステムのオーバーホールで機械の点検をしたと



図6 セルロース毛細管フィルターを活用した浄油により、NAS0級相当の清浄度を達成

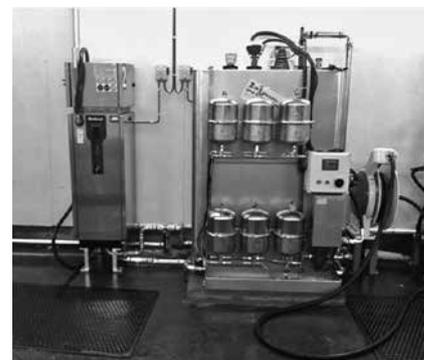


図7 ディーゼル燃料のクリーン処理のために使われた実際の浄油システム

ころ、装置内にスラッジはまったく見られず、内部壁面や各パーツの表面に固着した汚れなどもなかった。その結果、部品の交換・修理も大幅に抑えることができた。セルロース毛細管フィルターの先進地である欧州では、5～6年の更油なし運転の結果NAS等級0級の清浄度が記録された例もある(図6)。

8. セルロース毛細管フィルターの活用事例

国内では、抄紙機や圧延ロールなど、製造業におけるセルロース毛細管フィルターの活用が進んでいる。基本的には、特定の機械に常設し、長期間浄油することで機械内部の潤滑油を超清浄に保つのが狙いである。しかし、用途によって様々に工夫された用例もあるので、いくつかを紹介したい。

北欧数ヶ国で運行する大手バス会社では、バスの停留所で給油するディーゼルを、浄油機を通してよりクリーンなディーゼルにしてから給油するという処置を行うようになった。ディーゼルもほかのオイルと同様、新油の状態でも多くの汚染物が含まれているが、バスの給油の際に、補給用タンクと燃料タンクの間にセルロース毛細管フィルターが入った浄油機を設置することで、通常よりも遥かに清浄なディーゼル燃料でバスを走らせることができるようになったのである。この結果、バスの燃費が格段に向上し、また開始した最初の1年で「クリーン処理」を施してから走らせた車両で修理工場行きとなった故障車両が1台もなかったことが報告されている(図7)⁷⁾。

前述のDelta-Xero社は、セルロースの構造に工夫を凝らし、ガスエンジンなど

主にディーゼルを使用する機械に最適化したフィルターおよび浄油機を開発した。セルロース毛細管フィルターによる浄油は“更油不要”“排油ゼロ”を目指し、一つの機械に常設して潤滑油を超清浄な状態に維持する使い方が本来の意図である。しかしディーゼル燃料を使うエンジンでは、当然そうとはいかず、エンジンの稼働時間に応じて更油が必要になる。しかし、より粘度の低いディーゼルなどに特化して開発されたセルロース毛細管フィルター入りの浄油機を取り付けることで、更油時期を三倍以上に延長できた。当然その分の燃料のコストが削減され、またよりクリーンな燃料でエンジンが動くことによって燃費も向上し、同時に排気ガスに含まれるNOxなどの有害物質も削減できた。またエンジンにおいて問題となるバクテリアや、シリコンが酸化してできる有害なシロキサも除去できる⁸⁾。

9. おわりに

昨今、環境への配慮と持続的な資源活用が方々から叫ばれている。環境へ配慮した設備への転換は企業にとってコストが大きく、導入にはかなり大規模な装置の設置または入替えとなることも多い。しかしセルロース毛細管フィルターは、低コストで更油不要あるいは更油期間の大幅な延長を達成でき、持続可能な石油資源の活用に大きく寄与できるのと同時に、故障や不具合、ダウンタイムの激減、設備寿命の延長など様々な経済的メリットを享受できる新技術である。

本稿で解説したセルロース毛細管フィルターの利用が日本でも広まり、持続可能な資源活用と美しい環境の維持に貢献

しつつ、それぞれの事業が利益を最大化していくことができれば喜ばしいかぎりである。

参考文献

- 1) 経済産業省・環境エネルギー庁HP エネルギー白書第2節「一次エネルギーの動向」
<https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2021/html/2-2-2.html>
- 2) Thompson, B. and Livingstone, G.: “Using Quantitative Spectrophotometric Analysis (QSA) as a Predictive Tool to Measure Varnish Potential.” International Maintenance Conference Proceedings, December(2004).
- 3) Daniel R Snyder: “Bearing Lubrication and Application” 2007. SKF Bearing Maintenance Handbook(2011)P211.
- 4) Daniel R Snyder: “Bearing Lubrication and Application” 2007. SKF Bearing Maintenance Handbook, 2011, P211.
- 5) 東 忠則、橋本正孝: 「潤滑油の清浄性永久維持、半永久使用、廃油ゼロ技術の基本原則—スラッジ無しトライボロジー、主な添加剤不要、効率維持、故障低減、寿命延長」、日本マリンエンジニアリング学会誌(2007-4).
- 6) Elaine A. Hepley: “Varnish Analysis: Introducing New Testing Techniques, Lube-Tech Magazine No.169, pp 26-31.
- 7) H. Holmstrom(2019): Test on Diesel Cleaning on NettBuss in Norway (パワーポイント).
- 8) Landfill Case Study: Silicon Removal = Oil Drain Extension. Delta-XeroのHPでPDFを閲覧可能。 <https://delta-xero.com/landfill-case-study/>