

連載

トライボロジーにとりつかれた男の遊油ぶらぶらトーク⑬

## 質問への回答

(株)クリーンテック工業 佐々木 徹

筆者が本誌に「トライボロジーにとりつかれた男の遊油ぶらぶらトーク」に書かせていただいてから、早くも1年が経過しました。この1年間ご支援いただきました読者の皆様と本誌の編集者の皆様に厚く御礼申し上げます。

筆者の「ぶらぶらトーク」の抜刷りは日本のお客様だけでなく、海外の日本企業の数十社に送らせていただいております。毎月待っていただいていると聞くと、何があっても次の原稿を書こうという気になり、1年間頑張りました。筆者にとって最もうれしいことは、これらの読者の方から直接または間接に質問をいただいたことです。直接質問をいただいた場合にはすでに回答しましたが、間接的に質問をいただいた場合、中間の人から正確に説明いただいたかどうか分かりません。これらの質問の中には、他の読者の皆様にも知っていただいたらお役に立つのではないと言われていたり、筆者もそのように思うものがいくつかありましたので、これらの質問を紹介し、質問に対する筆者の回答を書くことにしました。

**質問1** 「人間は年をとると死ぬように、油も使用していると年をとって使えなくなると聞いたが本当か？」

**回答** 誰がこのようなことを言ったのかわかりませんが、この話は例え話として言われたのだと思います。この質問にはいろいろの問題が隠されていますので、それらにも触れながら、筆者の見解を述べます。

(イ) 「人間は個体だが油は分子の集まり」である

先ず、人間と油を同じように論じてよいかどうかの問題があります。すなわち、人間は一人一人が個体として存在しています。従って、全体が老化したり、個体を構成している器官の1つまたは数個が老化または故障して機能を停止すると、個体全体も機能を失くなり、人は死んでしまいます。ところが油は人間のような個体ではなく、(鉱物油の場合) 分子量に幅のある炭化水素化合物分子が寄り集まったもので、幾つにでも自由に小分けることができます。従って、油を人間にたとえて説明するのは、面白いかもしれないが、適切ではないと考えます。

(ロ) 「油の酸化の意味」を考える

油を人間にたとえる人は、油が酸化するというと、油全体が酸化すると考えるかもしれませんが、先にも述べたように油は炭化水素化合物の分子が寄り集まったものです。従って、油を構成する各炭化水素化合物分子が1個または数個の酸素原子または分子と結合して酸化されます。油圧作動油の中には約10%の空気が溶けていると言われていています。その溶解空気中の酸素の分子の数は非常に多いのですが、油の分子の数は油中の酸素の数と比較できないくらいたくさんあります。従って、酸化させられる油の分子の数は、油全体の分子数と比べて、問題にならないほどわずかなのです。油の分子が酸素原子または分子と直接結合するのではなく、10月号で説明しましたように、油の分子の結合の弱い部分で結合が切れてフリーラジカル(遊離基)ができ、その部分が酸素原子または分子と結合して酸化されます。すなわち、油全体が酸素と反応するのはないことははっきりしています。

油の一部が酸化してできる物質は、10月号で述べましたように、分子量の小さいものから分子量の大きなものまで幅広く分布しています。分子量が大きくなると、油に溶け難くなり、一般にスラッジと言われるようなものになります。これらは油分子全体から比べると、数百ppmから数千ppm程度であり、よほどの条件でない限り油の酸化変質物が油の数パーセントに達することは油圧作動油では滅多にありません。

(イ)「油とは何か」を考え直す

油はある幅の分子量分布をもった炭化水素化合物が集まってできたものというのと、味気ない話になるだけでなく、正しい定義とはいえません。油は外見ではわかりませんが、石油メーカーや添加剤メーカーの研究者の皆様の研究成果でできた立派な製品です。メーカー名が違い、製品名が違うように、油は一見同じように見えても違った製品であることを忘れてはなりません。油を1つの製品として見ると少し違った回答になります。

潤滑油や油圧作動油という製品は基油だけでできているわけではなく、基油と酸化防止剤、耐磨耗性添加剤、消泡剤、防錆剤、その他の添加剤からできています。長い時間油を使用していると、油の添加剤は徐々に消耗していきます。基油の分子量の大部分に変化がなくても、大事な添加剤の多くが消耗すると、製品として設計された状態からの乖離が大きくなると考えられます。しかしこれは油の面からだけ考えた論理です。何故なら、油はそれ自体が製品であると言っても、油は機能売りものとする製品であり、それ自体では機能を発揮できません。機械の中で使用されてはじめて商品としての価値が出てきます。すなわち、油とは機械の性能を十分に発揮させるために使うものであり、機械の性能を発揮できなくなれば油の商品としての価値は低下します。使用すればその時点から価値が低下するようでは機能を売る商品としての価値はありません。長く機能を維持することによって、その油の価値が光ります。従って、どの油メーカーでも、油の長寿命化を売りものにしていきます。しかしいくら良い油でも手入れしなければ、油メーカーの製品の性能を十分に長く維持させることはできません。油に機械の性能をできるだけ長く維持させるようにする手段が油管理であり、製品としての油の寿命は油管理によって、短くも長くもなります。

しかし油管理は固形の汚染物を除去すればよいと言うほど単純なものではなく、いろいろな面から検討しなければなりませんので、別の機会に詳しく書くことにします。

質問2 「油の寿命はどれくらいか？」

回答 これは困った質問で、私が日本や外国の油メーカーの数人の研究者に直接尋ねたところでは、どなたも満足に回答いただけませんでした。それは正直なところだと思います。

(イ)「寿命」の意味を考える

人間の寿命と同様、誰でも油の寿命とは何かということを考えられたことがあると思います。筆者も昔から考えてきましたが、これほど回答困難な問題はないでしょう。日本人の寿命は世界一になったといっても、統計に基づく平均寿命の話であって、個々の人の寿命を保証しているわけではありません。今迄病気をしたことがないという人でもポックリと亡くなる場合がありますし、病気で寝たきりで十年以上も生きておられる方もあるからです。

(ロ)「油の寿命の意味」を考える

人間の生命はそれ自体に犯すことのできない価値があるとされていますので、仕事ができるかどうかは問いません。植物人間になった人の生命維持装置を勝手に外すと殺人になることからわかります。しかし我々が「油の寿命」という場合、人間の寿命とは違った意味があります。簡単にいうと、缶に入った油は、将来使用するという前提でのみ価値があります。すなわち、「機械の中で使用すること」と「使用して機械に性能を発揮させ、トラブルを起こさないこと」ということが隠されています。そうすると、その質問の意味が変わってきます。すなわち、「機械の中で使用して、油が機械に期待どおりの性能を発揮させることができなくなるときが、油の寿命が尽きるとき」と考えられます。しかしこの寿命は手入れ次第で、長くも短くもなります。

油の寿命は油メーカーが研究しているはずですが。

(イ)「ベアリング・メーカーのSKFの研究」の例

1984年以来の筆者の知人に、Professor Dr. E. Ioannidesという方がおられます。筆者がはじめて先生を知ったのは、先生が新しいベアリングの寿命の計算式を発表されたときです。従来の寿命式には油の汚染は

考慮されていませんでしたが、先生の新しい計算式には、油の汚染がベアリングの寿命に与える影響が含まれています。そのため、某先生の紹介で、オランダの研究室に先生を訪問して教えを乞いました。先生の計算式は、長年のベアリング寿命試験のデータに裏打ちされたもので、単なる机上の計算式ではないということで価値があります。この先生の計算では、超清浄油を使用するとベアリングはほぼ永久に使えるということになります。ある負荷条件での計算例として、ベアリングの寿命は58年になると書いています。

先生が弊社を訪問されたときに、筆者が「営業からの反発はありませんか？」と俗っぽい質問をしたところ、予想に反して、「歓迎されています」と答えられました。その理由は簡単で、「ベアリングのユーザーのためになるからだ」とのことでした。我々俗人は、「商売に影響するからまずい」と考えるかもしれませんが。昨年(1996年)11月に訪問したときには、先生はR&D担当の取締役になっておられました。そして「先生の計算式はお客様の役に立ち、会社にも利益をもたらした」とSKFのパフレットにも書かれていました。何故、ベアリングの寿命の話の唐突に出したかということ、油の寿命についても、油メーカーのどなたかが研究されることを期待しているからです。ベアリングと違って、油の場合には、添加剤のように外部の人間にはわからない要素がたくさんあるからです。

### 質問3 「油の劣化とは何か？」

**回答** 日本潤滑学会編集の「潤滑ハンドブック」

によると、劣化油は、機械の中に存在していた汚染物や機械の運転中に油の中に侵入した汚染物が機械の中を循環し、潤滑面を磨耗させて磨耗粉という新たな汚染物を機械の中で発生させることによって発生する熱で油の添加剤の分解や基油の酸化変質が起こり、高分子化したスラッジといわれる油に溶けない汚染物が生成される。このようにして汚染された油をいうと定義されている。

#### (イ) 「学会の定義」の意味を考える

この質問のように正面切って尋ねられると、学会の定義を説明して回答に代える訳にはいかなくなります。何故なら、筆者自身が何時もこの問題を考えていて、回答を得られないからです。その理由を説明して、読

者の皆様にも一緒に考えていただきたいからです。

最初にお断りしておきたいことがあります。それは筆者が潤滑学会(現在はトライボロジー学会)の会員の一人であり、まだ駆け出しですので、諸先輩が作られたこの定義に文句をつける気持ちは毛頭ないということです。しかしトライボロジーの問題を理解し、納得したいという気持ちは人後に落ちないつもりです。誰でも学問に志す人はその意見を自由に発表する権利をもっているのです、自己の責任で筆者の意見を述べさせていただきます。

さてこの定義をよく考えると、一見分かったようでありながら、分からないところがあります。まず最初の疑問は、量的問題です。汚染物の量がどれだけになれば劣化というのかということです。次の疑問は、油の中の汚染物をすべて除去したらこの定義では劣化油は存在しないということにとれます。そうしたら「もしすべての汚染物を除去すれば油の劣化はないですね」と念を押されると、返答に困ります。

#### (ロ) 「全酸価と劣化との関係」を考える

全酸価が高くなったら、油の劣化が起こった証拠だと反論する人もおられるはずですが。もしそうなら、学会の定義は不完全だということになり、学会の論文等で勉強してきた筆者は、勉強の根拠を失ってしまい困ってしまいます。油の酸化が進むと全酸価が高くなると言われると納得します。そのとき、全酸価が高くなると油が劣化しているという意見を採用したとすると、困った問題が起こってきます。何故なら、添加剤によって初めから全酸価の高い油があるからです。

もう一度油の劣化の定義に戻ると、全酸価が高いかどうかは定義の中に入っていません。それなら汚染物を除去すると油の劣化はないということになります。

汚染物に全酸価を増加させるものの取り扱いを考えるためには、全酸価を高める物質はどのようなものかを知る必要があります。

筆者の勉強不足かもしれませんが、筆者が調べた限りでは、全酸価を高める物質について研究されたものを見たことはありません。筆者は他人の研究成果を紹介するのは研究者として、功なり名を上げられた権威者がされる仕事であり、筆者のような駆け出しの人間は、自分がやったことを公表して批判を受け、勉強をし直すことだと考えていますので、筆者達が行った実験結果を紹介して批判を受けることにします。

長期間使用した油を0.8ミクロンのメンブラン・フィルタで浄化し、浄化前と浄化後の全酸価を調べました。その結果、メンブラン・フィルタで浄化する前と後で、ほとんど全酸価に変化がないか、あったとしてもせいぜい10%以下の差でした。この実験結果から、全酸価を高くする物質は0.8ミクロンのメンブラン・フィルタで除去できない、すなわち、油に溶けるものであることがわかります。しかしこの実験からは、全酸価が高くなると油は劣化したかどうかはわかりません。

(イ) 「酸化油の摩擦係数」を考える

筆者の学位研究の1つに、加速試験 (RBOT試験) で油を酸化させ、全酸価がかなり高くなった油を使った実験があります。メンブラン・フィルタで浄化する前と後の油を使って摩擦試験を行い、摩擦係数を測定しました。この実験についてはぶらぶらトーク⑧を参照してください。その結果、メンブラン・フィルタで浄化する前の油は摩擦係数を大きくして、機械に悪影響を与えることがわかりましたが、同油をメンブラン・フィルタで浄化した後では、静摩擦係数と動摩擦係数はほとんど同じになり、しかも摩擦係数は新油より低くなることがわかりました。この結果から判断すると、学会の定義のとおり、油の劣化と全酸価は関係ないこととなります。

(ニ) 「油の劣化」を別の面から考える

ところが、全酸価が新油と比べて非常に高くなった油 (新油の全酸価が $0.01\text{mgKOH/g}$ であったものが $2.0\text{mgKOH/g}$ 以上になったもの) の中に長時間金属片を入れて置くと金属に錆が発生しました。この事実は全酸価が高くなると、油は劣化していることとなります。ところが困ったことには、油の中には新油で全酸価が $2.0\text{mgKOH/g}$ に近いものがありますので、全酸価が高いからといって劣化しているとはいえません。そこで酸化試験で、全酸価が高くなった油に、別の試験をしました。酸化油を0.8ミクロンのメンブラン・フィルタでろ過した後、2つに分けてプラスチック・ボトルに入れ、1つはそのまま、もう1つは添加剤入りの新油を約20%加えて、室温で暗いロッカーに入れて置きました。

4ヶ月経過後にその2つの油をメンブラン・フィルタでろ過したら、はっきりと差が現れました。添加剤入りの新油を添加した油のメンブラン・フィルタは黄色に近い薄茶色で、油の全酸価も少し低下してしま

したが、新油を添加しなかった油の方は、メンブラン・フィルタに茶色のスラッジが残り、全酸価も少し上昇していました。すなわち、添加剤入りの新油を添加した油は、スラッジの追加発生はほとんどなく、全酸価の上昇も止まり、油の劣化は止まっていたと考えられます。しかし、メンブラン・フィルタで浄化しただけでは、室温に放置していても劣化は進行していました。

(ホ) 「結論」

これらの事実を総合して考えると、油の劣化とは、油の汚染度や全酸価という物差しだけで測定して瞬間的に判断するものではなく、油のどのような汚染物がどれだけあり、全酸価が新油の値からどれだけ変化したら機械にどのような悪影響を与えるか、将来も劣化と言われる状態が続いて起こるかどうかも確かめて判断すべきだということがわかります。

浄油しただけでは油の劣化を食い止めることができず、適当に新油を補給する必要があることがわかりました。これらの判定と一連の対処方法を講じるのが油管理であり、貴重な資源である油を上手に使う重要な手段であることがわかります。

質問4 「あなたは何時、何処で、どのようにして研究しているのですか？」

回答 このような質問をされた方々は、筆者は海外出張が多いことと、文科系出身であり、かつ営業畑の仕事をしていながら工学の勉強をしたことをご存知だからですが、この質問に答えるのは大変むつかいしので困ります。その理由は筆者の研究と直接関係がなく、個人的問題に関係しているからです。しかし、自分の参考にしたいと煽られると、大体下記のように答えています。

(イ) 「何時、何処で研究するのか？」について

失礼な言い方になればお許しいただきたいのですが、一般に研究は研究室の中であるものだと先入観があるように見受けられます。研究は場所と関係ないのではないかと筆者は考えています。しかし実験の伴わない研究はありませんので、やはり研究室での実験は絶対に欠かせません。

先ず第一に筆者は海外出張が多く、去年は1年間で135日も海外にいました。海外には弊社の研究所があるわけではないので、筆者の研究は海外にいるときと

国内にいるときで、研究の仕方が異なります。1～2月は日本にいますので、予備実験をします。そのデータや関連資料を持って3月には海外に出ます。その期間中、持参した資料を読みながら予備実験で得たデータを考えます。そして気がついた問題点をノートして、実験のやり方を整理します。必要があれば実験の全面見直しも平気です。4月中はそのメモを参考に修正された実験方法で実験して、うまく行きそうかどうかを調べます。そのデータと新しい資料を持って、5～6月は海外出張です。その間、更にデータに考察を加えて最適な実験方法を考えます。7～8月は本実験を行います。この本実験はテーマによって8月中に終わることもあれば、9月までかかったり、翌年以降も続けなければならないことも多々あります。

10～11月は本実験で得たデータを持って出張します。実験成功の場合、出張期間中に論文を書きます。昨年は11月中に3つの論文(英文)を書きました。そうかといって、出張期間中実験データや資料とにらめっこばかりしている訳ではありません。そんなことばかりしていたら、頭が変になります。筆者はいくつかの趣味をもっていますので、出張中もそれで気分転換します。

(ロ)「どのようにして研究するのか?」について

研究の方法論は個人の個性と同様に、いくらでもあるはずですが、自分に合った方法でやればよいことです。そうかと言って、勝手にやればよいという訳にはいかないと思います。その例は筆者の趣味である囲碁をみてもわかります。筆者は俗手ばかりを打っていますので、まだ三段止まりです。これ以上上達するには、先生にかなければなりません。

筆者は独学を続けた後、大学院に入って指導教官の指導を受けたから何とかこなただけのことです。

(ハ)「思考訓練」の一例

ここに紹介する例は、筆者が大学院に行く前に独学をしていたときの、思考訓練の一例です。これが参考になるかどうかわかりませんが、もし参考になればこれ以上の喜びはありません。

以下は高速で回転している車輪のリムの形状を見る方法を見つけて実験したときの思考訓練の過程です。

停止している自動車や飛行機の子車輪のリムの形状をみるのは簡単だが、高速で回転している車輪のリムの形状をみることはできません。見る方法を見つける前

に、「見えるとは何だ」ということから考えることから始めます。モノが見えるということは、見たいというモノに目の焦点を当てたとき、そのモノに当たった光が反射して目の網膜に写り、その信号が脳に伝わって認識するからです。それならば回転体を見たときを考えると、回転体の運動の映像が連続して目の網膜に写り、それが脳に送られてきます。だから我々は連続した映像として正確に認識します。ところが高速で回転中の車輪を静止画として見ようということの方に無理があることが分かります。

無理を承知で見ようとしたとき、どのような条件のときにみることができののかを考えなければなりません。例えば昼がよいか、夜がよいかを考えます。昼は明るい光があるが夜は光がない。見るためには光が必要だから、夜は無理で、昼でなければならないと考えるのは一見常識的です。ところが我々が常識と考えることが自然現象には通用しないことがあります。この場合、連続光を不連続にしたら、不連続光が網膜に入り脳を刺激するので、不連続に見えるのではないかと考えます。

それを確かめるために、写真のシャッターを開閉する要領で目ばたきをしたらどうなるかを実験してみました。しかしこれはうまくいきませんでした。その理由は人間の目ばたきはそれほど速くできないからでした。次にカメラにやらせてみることにしました。昼に自動焦点・自動シャッター付きカメラで高速回転している車輪の写真を撮ったところ、出来上がった写真を見ると、車輪の回転の方がはやく、カメラの手ブレと同じ現象が起こり写真はボケていました。よく考えるとシャッター速度より車輪の回転が速かったことが分かりました。そこで車輪の回転と写真機のシャッター速度を同調させるのはむづかしいので、夜に平行して走行している自動車の車輪を狙って、車輪を観察しながらストロボを発光させてシャッターを切ったらどうなるかをやってみました。ストロボの明かりがついた瞬間だけ、反射光が目の網膜を刺激するので車輪は止まって見えました(念のため筆者は車を運転しないので、このようなことができました。運転者は決して真似をしないでください)。数回確かめましたが無駄なく見えました(恐いお兄さんにカメラを向けたら叱られるので、美人が一人で運転しているのを狙った。カメラは車輪を狙っているのだが、もし叱られたら

「貴女が美人だから、シャッターを切った」と言い逃れをするセリフも準備しておきました。横からフラッシュさせるのだから、運転には支障をきたしませんでしたが、びっくりさせたことは確かです。

次に自動車より早い飛行機の車輪ならどうなるかという疑問が残ります。飛行機が離陸するときの速度は250km/hを超えていますので、そのような速度ではどうなるのでしょうか？ これは予想以上に簡単でした。何故なら、夜間、飛行機は翼の両端と機体の真ん中で、電光をフラッシュさせていますからそれを利用できますので、観察すればよいだけです。答えは簡単で、電光がフラッシュする度に暗闇の中で車輪が止まって見えませんでした。

この実験が研究だとは言いませんし、研究はこのように他愛ないものではありません。これは筆者が行った思考訓練の一例を示したにすぎません。しかしこの

ようにしてどんどん現象を追求していくと、いろいろのことが明らかになることだけは請負います。

この話を印刷工場の工場長さんにしたら、印刷工場ではこの現象を利用して、高速印刷中に出来上がり具合をチェックするのに使っていると聞きました。このように子供のようなことをして楽しみながら、頭のトレーニングをしたり、次の研究のテーマを見つけたり、実験方法の検討をしたりしています。

この他にも質問をいただいておりますが、次回以降の「ぶらぶらトーク」の中で答えるように致します。

---

筆者連絡先

佐々木 徹

(株)クリーンテック工業 常務取締役

〒140 東京都品川区東大井2-7-7 品川テクノビル4F

TEL: (03) 3740-4141 FAX: (03) 3740-4966

---