

自動車のカーボンニュートラル実現 に対応するグリース技術の開発と 計測評価技術

(株)ニッペコ 技術部 部長 木村 洋介 氏

販売技術統括部 部長 西村 寛 氏

販売技術統括部 平澤 明日美 氏 に聞く



左から、木村氏、西村氏、平澤氏

1. 異物対策グリース

カーボンニュートラル（CN）実現に向けて、自動車の電動化が加速している。電気自動車（EV）に限らず、内燃機関を持つ自動車（ICE 車）やハイブリッド車（HEV）においても、電動化による CN 実現や車内空間の快適性を目的に、パワーシートやパワーウィンドウなど多くの電動アクチュエータが車内空間で稼働している。HEV および HV の普及に伴い車内が静かになる中、車内で稼働するパワーシートやパワーウィンドウなどの電動アクチュエータから発生する音をできるだけ低減させたいという要求が、ますます高まって

きている。

これに対しニッペコでは、衝撃音やガタつき音、しゅう動音を抑制する「消音グリース」を開発し、すでに多くの自動車で採用されている。

自動車において電動アクチュエータの搭載がますます進む中で、ニッペコでは消音グリースにとどまらず、さらに近年、異物対策グリースを開発している。

1.1 グリースにおける異物対策の必要性

外部に露出したパワーウィンドウやサンルーフ、ワイパー、外部から異物が持ち込まれる可能性のあるパワーシートなどの自動車の電動アクチュエータにおいては、グリースに砂塵などの異物が混入することで、電動アクチュエータのしゅう動部から異音が発生したり、しゅう動部の摩耗が促進・増大されて、電動アクチュエータの動作不良が起こることがある。電動アクチュエータの動作不良は、消費エネルギーの増大にもつながる。

1.2 特殊添加剤の配合による砂塵排除のメカニズムと潤滑特性

これに対しニッペコが開発した異物対策グリースは、異物が混入しても異物を排除できる能力を有し、潤滑性能を維持できる。異物対策グリースは、合成炭化水素油（PAO）を基油とするリチウム石けんグリースで、砂塵を排除する特殊添加剤を配合した。特殊添加剤は、パーフルオロアルキル基（Rf 基）と親油基からなる特殊界面活性剤を含み、グリースに砂塵が混入すると特殊界面活性剤の親油基が砂塵表面に吸着し、異物の外側に Rf 基が配列した状態となる。Rf 基は PAO との親和性が乏しいため、表面を Rf 基で覆われた砂塵は、グリース表面に排出されやすくなる。排出された砂塵はまた特殊界面活性剤で覆われた状態のため、Rf 基同士の反発作用によって、グリース内に再混入しにくくなる（図 1）。異物対策グリースの性能について、往復しゅう動試験機によるラボ試験とユーザーから提供してもらった実際の

特殊添加剤 砂塵吸着・排除効果

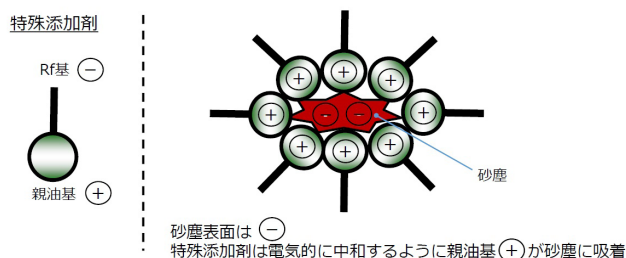


図 1 異物対策グリースのメカニズム

往復摺動試験（ラボ評価）

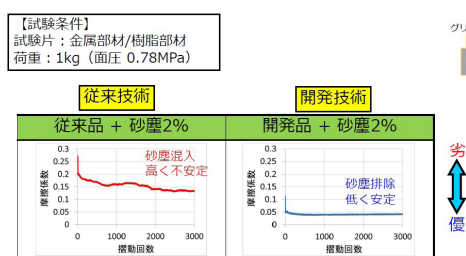


図 2 異物対策グリースの試験評価結果

部材を自社で製作した評価試験機に組み込んで試験を実施した結果、いずれも摩擦係数が低く安定していることが示された（図2）。

異物対策グリースは、ワイパーやサンルーフ、パワーシートなどの電動アクチュエータにおける砂塵混入による異音発生と摩耗を防止しつつ、消費エネルギーの低減に寄与している。

2. しゅう動電気接点用グリース

パワーウインドウやワイパーなどの電動アクチュエータを作動させるためのスイッチやエンコーダなどのしゅう動箇所では、接点部材の摩耗・腐食防止、アークによる損傷防止などを目的に、電気接点用グリースが用いられている。ニッペコは、この電気接点用グリースの開発で先行する。

電気接点用グリースには、グリースを塗布しても接触させる「通電機能」と、グリースを塗布して接触させない保護膜を作る「摩耗・腐食防止機能」という相反性能の両立が要求され、程よい混合潤滑特性と、程よい油膜・保護膜の形成が求められる。ニッペコの製品では適切な基油、増ちょう剤、添加剤の選定によって、これら相反性能を両立させつつ、-40～100℃という幅広い温度範囲での動作を実現している。

例えばエンジンを始動させるプッシュスタートスイッチの接点用グリースが低温で固化すると接点不良でエンジンがかからない事態に陥る。また、低温でグリースの粘度が上昇すると電気接点時に微細な振動が発生し短時間

にオンオフを繰り返す「チャタリング」が発生する。ニッペコの電気接点用グリースではこの低温チャタリング防止性能に優れる。

ニッペコでは、しゅう動電気接点シミュレーターや実機部品を取り付けられる万能試験機を自社で製作しており、電気接点用グリースの実験的な性能評価に役立てている。

3. バイオマスマーク取得のバイオグリース

自動車分野を含むカーボンニュートラル（CN）実現に寄与するグリースとしてはこのほか、植物生まれのバイオマス基油・増ちょう剤を使用しCNに貢献するグリース「BIOLUB® GS」を開発、バイオマス度が90%以上の高い製品と認められ、国内グリースメーカーとして初めてバイオマスマークを取得している。バイオマス由来の炭素を使用し合成手法を用いて作られた化学合成油を基油と、脂肪酸と水酸化リチウムを反応させて作られたリチウム石けん増ちょう剤、添加剤から構成され、石けん主成分の脂肪酸も植物由来としている。これにより汎用リチウムグリースに比べCO₂排出量を70%以上削減できると算定している。性能面でも、植物由来基油ながらPAOに近い分子構造を有し、流動点が-50℃近くと優れた低温特性を示しつつ、130℃と高い耐熱性、高い潤滑性を実現している。また、エステル油のようなゴムや樹脂への攻撃性の少ない、良好な耐樹脂性・耐ゴム性を持つことから、2050年CN達成、

さらには前倒しでCN達成を目指す自動車メーカー・自動車部品メーカーにおいて、BIOLUB® GSの適用が検討されてきている。

4. 分光測色計を用いたグリースの色評価

さて、こうしたCN実現に寄与するニッペコのグリース製品の性能はそれぞれ、上述のとおり各種の計測評価手法を用いて確認され、自動車部品の潤滑などに採用されているわけだが、ここでは数多くあるグリースの計測評価手法のうち、グリース製品すべてに適用される外観検査に活用されている分光測色計（図4）による色評価の事例を紹介する。

ニッペコのグリースの色評価は、100色の違いを見分けられるという官能テストに合格した外観検査員の目視による。一般的に目視による潤滑油剤の色の評価は、ASTM D1500Aに規定された石油製品の色を淡い色の0.5から濃い色の8.0に0.5刻みで数値化し分類した「ASTM カラー」が使われるが、ニッペコではより微細な色の違いを表現できる「マンセル表色系」を採用したJIS Z 8721（三属性による色の表示方法）規格に即した「JIS 標準色票（図5）」のカラーチップと、グリース試料の色を照合して、グリースの色評価を行っている。

さらに、ニッペコではこの目視評価の補完という位置づけで、分光測色計による数値評価を実施している。分光測色計は、色の見え方について外光の影響を受けずに色の数値化ができる。

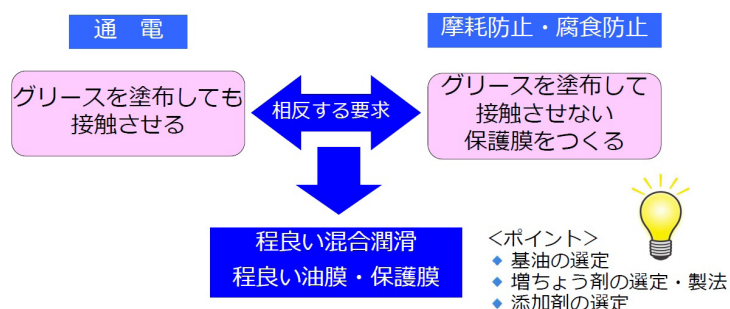


図3 しゅう動電気接点用グリースの開発の難しさ

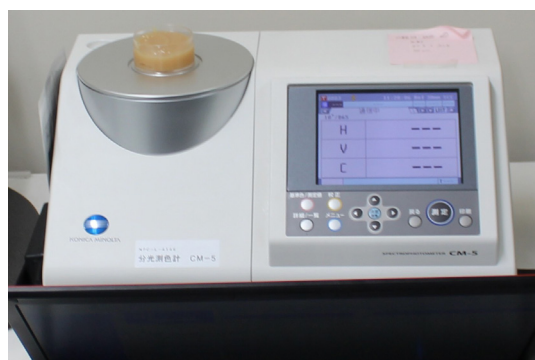


図4 グリース試料をセットした分光測色計

物の色を数値や記号で表現する方法を「表色系」といい、「明るさ（明度）」を L^* で表現し、「色合い（色相）」と「鮮やかさ（彩度）」から示される「色度」を a^*b^* の二つの数値を用いて表現する。この色を表現する三つの要素で示される空間を「色空間」というが、分光測色計を用いることで、物体の色を表すのに最もポピュラーに使用されている表色系「 $L^*a^*b^*$ （エルスター・エースター・ビースター）色空間」で数値化できる。現状は目視評価を優先しているが、数値化された標準色と検査試料の微妙な色の違い（色差）を ΔE^*ab （デ

ルタ・イースター・エー・ビー）の数値で表し、これも色評価の参考としている。

二硫化モリブデン系固体潤滑剤などを配合した黒色のグリースを除くグリース製品について、分光測色計による色評価は日常的に実施されていて、多くのグリース製品において JIS 標準色票による目視評価と分光測色計による数値評価の相関が取れている。ニッペコでは今後、分光測色計によるグリースの色評価データを蓄積し外観検査員の目視評価から分光測色計による評価の自動化を目指している。また、ゆく

ゆくは、市場回収グリースの劣化判定や寿命予測に利用できればとしている。

5. 今後の展開

ニッペコでは引き続き、自社製の評価技術を含めた充実した計測評価機器を活用した計測評価技術を援用することによって、自動車分野をはじめとするカーボンニュートラル実現に貢献する、高性能かつユーザーの課題解決につながるグリース製品の開発・提供に努めていく。

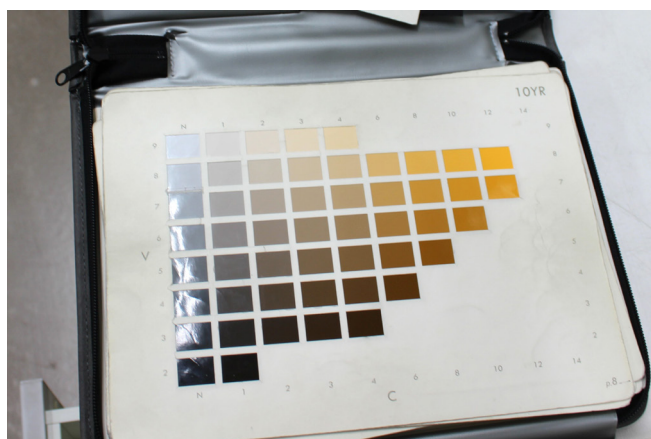


図5 目視評価のための JIS 標準色票

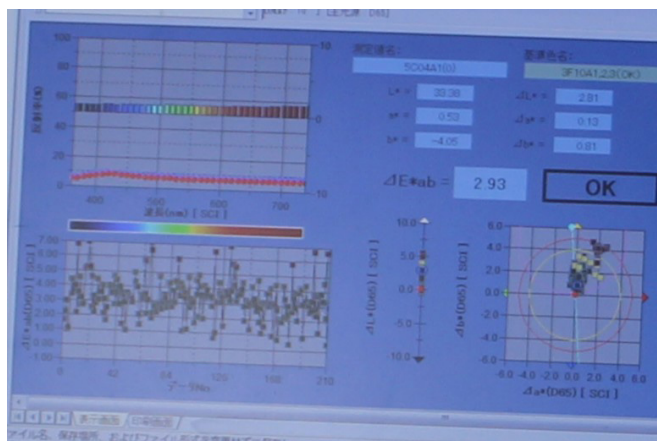


図6 色差評価の画面例



図7 外観検査員でもあるニッペコの研究者・谷口紀恵氏：右手にはグリース試料、左手には分光測色計の「ゼロ校正ボックス」

カーボンニュートラルに貢献する潤滑油・グリースの劣化判定・寿命予測に適用可能な分光測色計

コニカミノルタジャパン(株) センシング事業部 販売推進部 マーケティンググループリーダー 西本 昌弘 氏 × 編集部

1. 色を数値化する分光測色計

編集部 ニッペコのグリース製品の色管理に利用されているという分光測色計について、より詳細な解説をいただきたい。

西本 色の見え方に影響する要因としては、照明光源の種類や色味、照明する方向、観察する方向、試料の大きさ、背景、観察者などの違いがあり、これらの条件によって色の見え方は変わってしまう。

また、色を正確に伝えるにも曖昧な表現でしか伝えることができない。

これに対し、コニカミノルタの分光測色計は、試料に照射した光の反射率または透過率を分光して正確に検出し、定量化する。試料には、それぞれの反

射率（反射する光の量）と透過率（透過する光の量）があり、分光測色計は試料の反射光または透過光を測定し、分光データをとらえ、反射または透過する光の量を表示する。

ところで、物の色を数値や記号で表現した体系を「表色系」と言う。現在あらゆる分野で最もポピュラーに使用されている表色系は、「 $L^*a^*b^*$ （エルスター・エースター・ビースター）色空間」（図1）であるが、JIS標準色票の元となった「マンセル表色系」が使われることもある。

グリースの色でも何でもそうだが、マンセル表色系を用いて、ある色を知ろうとすれば、まず図2のマンセル色

とになる。

これに対し、分光測色計を用いるとマンセル表色系のような数回のステップを踏むことなく、りんごの色を表現する三つの要素「明るさ（明度）」（ L^* ）、「色合い（色相）」と「鮮やかさ（彩度）」（ a^*b^* の二つの数値が揃って色相と彩度を表現）で表現する $L^*a^*b^*$ 色空間において、りんごの色を $L^*=54.4$ 、 $a^*=74.9$ 、 $b^*=53.6$ と瞬時に表示し、さらに、より微妙な色の違いを評価できる。

2. 潤滑油の色管理(劣化判定、寿命予測)への適用例

2.1 油圧作動油での適用

編集部 潤滑油にはいろいろな種類・機能があるが、油圧作動油は、油圧シリンダーなど油圧装置の内部で動力伝達媒体として使用される。建設機械など大きなパワーを必要とする油圧シリンダーを動かすための動力源と言える。油圧作動油は動力伝達媒体という働きに加え、潤滑、防錆、冷却などの作用も同時に行う。

油圧作動油はしかし、酸素や光、熱の影響を受けて化学反応を起こしスラッジ（泥状の生成物）を発生させる、または添加剤である酸化防止剤が徐々に消耗する、あるいは水、塵埃、金属摩耗粉などの混入によって性能が低下するといった「経年劣化」のほか、建設機械などの高負荷作業や連続作業による油温の上昇で性能が低下するといった「使用環境に伴う劣化」が避けられない。そこで建設機械のユーザー

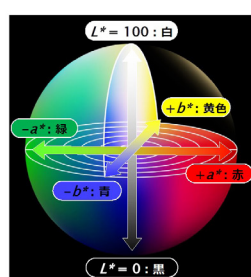
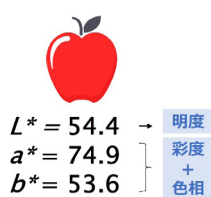


図1 $L^*a^*b^*$ 色空間 (CIE1976) : JIS Z 8781-4 測色 第4部



今日では、最も一般的な表色系

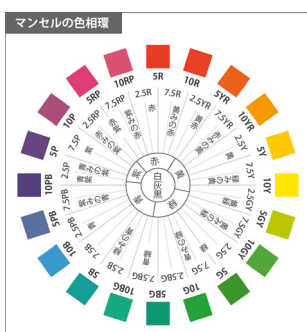


図2 マンセル色相環

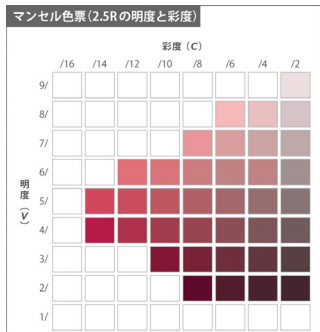


図3 マンセル色票 (2.5Rの明度と彩度)

が定期的な潤滑油の管理を行ったり、潤滑油メーカーやグリースメーカーがユーザーの使用する潤滑油やグリースを定期的に預かって劣化判定・寿命予測を行うことになる。さまざまな手法があるが簡易であり色で識別できる分光測色計は有効と見られ、論文などではあまり出てこないが、特許などで散見される。

例えば出光興産の特許JPWO2016114302A1「潤滑油の管理方法および潤滑油の寿命予測方法」では、油圧作動油など酸化防止剤を含む使用された潤滑油の劣化度合いを判定することで使用油の余寿命を予測する方法として、判定方法a：フーリエ変換赤外分光光度計を用いて、潤滑油の赤外線吸収スペクトルを測定して、酸化防止剤および使用される酸化防止剤と同様な官能基を有した変性物質の含有量を算出し、含有量から潤滑油の劣化度合いを判定する方法と、判定方法b：潤滑油をフィルターでろ過した後、捕捉物の色差を色差計で測定、または潤滑油の色差を色差計で測定し、色差から潤滑油の劣化度合いおよび異物質の混入度合いを判定する方法について説明している。判定方法bについて $L^*a^*b^*$ 色空間での色差計としてコニカミノルタ製の分光測色計を例に挙げている。

西本 色差によって劣化度合いを判定するアプリケーションにおいては、先に説明したとおりマンセル表色系のいくつかのステップを経ることなく、瞬時に $L^*a^*b^*$ 色空間における ΔE^*ab （デルタ・イースター・エー・ビー）の数値で色差を表せる分光測色計が有効と思われる。油圧作動油を使用している現場でも、分光測色計があればその場で瞬時に使用油の劣化度合いが分かるので、常備していただければ作動油の劣化に伴う機械の異常停止といった事態を避けられると思う。

2.2 電気絶縁油

編集部 電気絶縁油は変圧器、ケーブル、コンデンサーなど電気機器の絶縁および冷却の役割を果たす。最近の油入電気機器は大容量、高電圧、高性能のものが多くなったため、電気特性はもちろん物理的・化学的特性に優れていることが要求される。しかしながら絶縁油もまた、使用するうちに最初は淡黄色であったものが次第に茶褐色に変色し、ついにはスラッジを生成し、機器のトラブルの原因となる。

中部電力グループの変圧器メーカーである愛知電機の特許JP2005181235A「油入電気機器の劣化診断方法」を見ると、絶縁油の色の変化を的確に測定することが可能で、かつ、従前から使用されている既設の変圧器など油入電気機器においても採用が可能な油入電気機器の劣化判定方法として、絶縁油試料の色の測定値と予め設定した閾値との比較結果に基づいて、絶縁油の劣化状況を判定するとともに、絶縁油試料の色の測定値と前回測定した試料の色の測定値との差、または、前記試料の色の測定値と使用前における絶縁油の色の測定値との差に基づいて、絶縁油の劣化の進展状況を判定することを特徴とする油入電気機器の劣化診断方法について述べている。その実施例として、変圧器の定期点検などに際して、変圧器本体から採取した絶縁油の色を、分光測色計や色差計からなる測色手段を用いて測定するようにしたことによって、石油製品の劣化評価で一般的なASTM色では判定が困難な絶縁油の

微妙な色の変化を的確にとらえ、これを数値化して表わすことが可能となり、結果、分光測色計や色差計を用いて測定した絶縁油の色の測定値（明度指数 L^* の数値）と予め設定した閾値とを比較することにより、容易に絶縁油の劣化状況を判定できる、としている。しかも、その絶縁油の劣化状況から、現状における絶縁油の交換の可否等を容易に把握できるので、必要に応じて絶縁油の交換等を行うことにより絶縁油の劣化に伴い変圧器において発生する弊害を未然に防止できるとともに変圧器の使用可能期間（余寿命）を良好に延長できる、とメリットを述べている。

西本 オイルやグリースの劣化判定で良く利用されると聞くASTM色では判定が困難な絶縁油の微妙な色の変化を分光測色計であれば的確にとらえられるという記載は非常に興味深い。油の劣化状況から交換の可否を判断して、絶縁油起因の変圧器のトラブルを回避するのに、発電所や変電所など絶縁油を使用している現場での劣化判定がポータブルタイプの分光測色計で簡単に実現できるかもしれない。

変圧器のタンク本体内に収納された絶縁油の油面レベルなどを監視する覗き窓がついているアプリケーションであれば、オイルやグリースの劣化評価に利用されることの多いベンチトップ型の分光測色計でなく、後述するCM-17d / CM-16dのような縦型ポータブル測色計を用いて、覗き窓の上から絶縁油の色の変化を測定できる可能性がある。



図4 劣化した作動油の外観(左)と新油の外観(右)の比較 (提供：コベルコ建機)



図5 劣化に伴う絶縁油の変色の例 (提供：四国電気保安協会)

2.3 インラインで使える計測システム

編集部 ニッペコではグリースの評価データを蓄積していった、ゆくゆくは計測の自動化につなげたいという話があった。自動計測とはいかないまでも、鉄鋼設備のロールに使われる潤滑油剤の色の変化などを計測できるようなシステムはないものか。

西本 インラインで潤滑油やグリースの測色に使える機器としては、油膜の均一性なども含めて表面の情報が面で得られる、後述するハイパースペクトルカメラによる高速・高精度測定が適用できると見られる。

3. コニカミノルタの分光測色計のラインアップ

3.1 分光測色計CM-5／色彩色差計CR-5

西本 グリースや潤滑油の品質管理で活用されているベンチトップ型の分光測色計「CM-5」(図6)は、反射と透過の両方が測定できるのはもちろんのこと、豊富なアタッチメントと工夫された構造により、1台で粉体、固体、液体、ペースト、錠剤、フィルムなど多種多様なサンプルの測定ができる。①電源スイッチ ON、②試料を載せる、③測定ボタンを押す、というステップだけで、誰でも、簡単に、すばやく測定ができるほか、測定したデータは4000色、色差基準データは1000色まで記憶でき、スムーズに呼び出せる。測定器が長期的に信頼できるデータを出力すること

は重要だが、CM-5は導入後も測定器の経年変化によるデータの変化量が少ないため、高精度な色の管理を保つことができる。

3.2 小型・曲面サンプルの測定に最適な縦型ポータブル分光測色計CM-17d／CM-16d

西本 小型・曲面サンプルの測定にも対応できる縦型ポータブル測色計「CM-17d／CM-16d」(図7)は、ポータブルタイプなので、上述したようなタンクなどの覗き窓などに測定部を押し当ててことで、使用中の機器内部の絶縁油などの潤滑油やグリースの劣化度合いを現場で測定できる可能性がある。しっかりと手にフィットする形状で、CM-17dは正確に測定位置が分かる電子ビューファインダーを搭載。旧機種である縦型ポータブル分光測色計「CM-700d／CM-600d」とのデータ互換性を有する。

3.3 インラインで高速・高精度測定が可能なハイパースペクトルカメラ

西本 分光測色計ではないが、潤滑油やグリースの油膜形成の状態や色の変化を面で高速・高精度に分光測定・識別できる装置としては、ハイパースペクトルカメラがある。

ハイパースペクトルカメラは、測定点ごとに、各々の物質に特有の吸収や反射の分光スペクトルパターン(スペクトルは光の各波長での強度で表され

る)のデータを得ることができ、高度な分析、精度の高い検出、正確な識別を実現できる。また、二次元の位置情報と測定対象物の画像のピクセル画素ごとに得られたスペクトルデータの三次元情報によって、測定箇所ごとの分析や材料の識別・特定ができる(図8)。

ハイパースペクトルカメラを用いることで、分光測色計のようなスポットでの測定ではなく、面で色味を測定して油膜の膜厚管理を行うことができる。

4. 分光測色計のさらなる用途拡大へ

編集部 こうして見てくると、分光測色計がグリース・潤滑油の品質管理用途で適用できそうな事例は、まだまだ多いように思われる。コニカミノルタの分光測色計による潤滑油剤の品質管理は、ニッペコのグリースの品質管理事例に留まらず、その寿命が機械の性能を大きく左右する潤滑油剤の劣化診断に活用するアプリケーションで、幅広く適用できるように思う。

西本 分光測色計は、自動車部品で適用が進むダイヤモンドライクカーボン(DLC)膜の色の管理や膜厚評価などにも適用されているが、コーティングと一緒に使われる潤滑油剤の評価にも併せて、幅広く適用が可能と見られる。非破壊で、簡易に定量的な色合いや膜厚の評価が可能な分光測色計で測りたいアプリケーションがあれば、コニカミノルタジャパンまでは是非ご相談をいただきたい。



図6 CM-5



図7 CM-17d／CM-16d



図8 ハイパースペクトルカメラ「SPECIM FXシリーズ」