

環境対策特集

環境に優しい建設機械の消耗部品，補助資材 —作動油，グリース，クーラント等の環境対応—

福田 達

2000年6月に制定された「循環型社会形成促進基本法」の下で，更に各種リサイクル法が施行され各産業分野でこれらのルールに基づく活動が進んでいる。建設機械においては各種排ガス規制や騒音規制等の各種環境規制は製造メーカーとして確実に対応することが義務付けられた活動であるが，それ以外の，作動油，グリースおよびクーラント等の言わば人間の血液や内分泌物に当る消耗部品の環境対応も，企業の自主的な活動として着実に進められており，その結果大幅な環境付加低減が図られる各種環境対応商品が開発されている。ここではこれら建設機械の各種副資材の環境負荷低減商品の開発の背景，およびメーカーの地道な活動による環境商品の開発状況等の紹介とその周辺の課題について述べる。

キーワード：生分解性作動油，生分解性グリース，環境対応クーラント，コンパクトフィルタ，サイクロン式気泡除去装置，ゼロエミッション

1. はじめに

メーカーにおける環境の対応はまず製造サイトの汚染とそれへの環境対応から始まっている。1960年代からの製造サイトからの汚染と対応，1970年代の省エネルギー対応の時代を経て1980年には地球環境問題への高まりの下にリオデジャネイロ・サミットが開催され，世界的な環境対応の仕組み作りの努力が続けられている。循環型社会を形成することで汚染の循環を絶とうという試みはドイツで1996年に法制化され冒頭の我が国の循環型社会形成の基本法に受継がれている。建設機械においてもまず製造サイトの環境対応が進められている。製造サイトの汚染の防止に続き工場の省エネルギー化が進められており，ここ数年は製造部門の大変な努力により工場からごみ処分場に直接行くごみのほとんど出ない，いわゆるゼロエミッション工場が続々と出現している。

建設機械自体の環境対応は技術対応の困難性からこの製造の環境対応の後を追うように，やはり同じような展開を見せて今日に至っている。建設機械の作業現場は，どうしても湖沼，河川や林野という自然の中での作業や，都市部等人間の生活環境の中での作業であるという点を考慮すると，建設機械は環境負荷を押える必要性の高い建設機械に属すると言える。排ガスや騒音等の周囲環境への直接的な環境負荷の低減は建設機械メーカーとして当然の責務であるが，機械としてこ

のような自然環境や生活空間での作業に際して可能な限り環境負荷のゼロエミッションを目指すことも，メーカーとして求められている存在と考えられる。

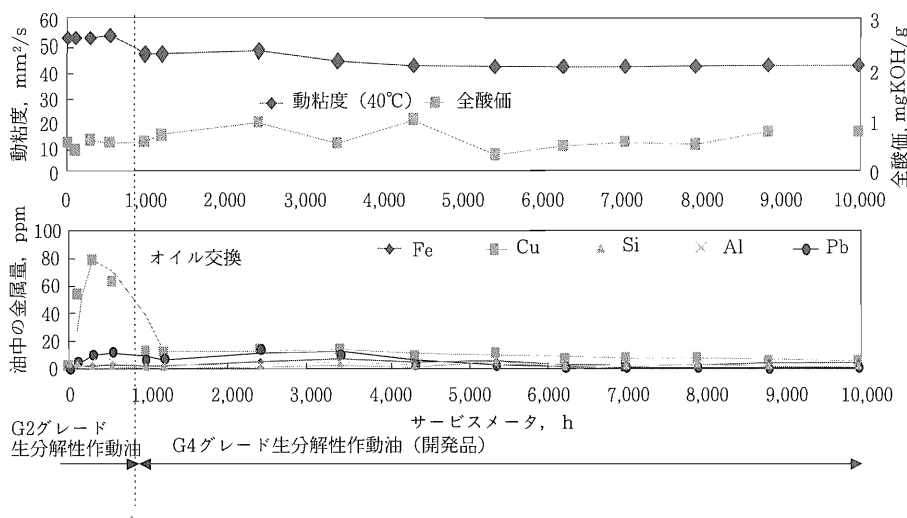
2. 副資材の環境対応

(1) 作動油

建設機械は河川，湖沼での作業が多いが，油圧ホースの破損等により鉱油の漏洩が生ずれば油膜による河川，湖沼の汚染等による生態系の影響や景観への深刻な影響の可能性が懸念される。欧州ではすでに1980年代にはこれらのリスクの高い地域で作動油に菜種油を使用する油圧システムの採用に関して自治体での行政指導が始まっている。菜種油等の植物油は漏洩しても，ほぼ1ヵ月以内にバクテリアにより分解されて炭酸ガスと水になるため環境汚染はほとんど食い止められるし，鉱油のように油膜が薄く広範囲に広がることも無いので，生態系や景観がダメージを受けることも無い，など環境汚染を最小限に抑制できる。株式会社小松製作所（以下，当社）ではこれらの欧州情報を元

表一 生分解性作動油の品質区分¹⁾

品質区分	基油	推奨油圧	推奨油温	オイル交換時間 (油圧ショベルの場合)	その他 注意
G1	植物油	31.3 MPa 以下	80℃ 以下	標準の 30%	駐車ブレーキ 容量不足
G2	植物油または 合成エステル	34.3 MPa 以下		標準の 50%	
G3	合成エステル		100℃ 以下		
G4	合成エステル	エンジン油 SAE 10 W と同じ			



図一 大型油圧ショベルによる生分解性作動油のフィールド試験

に欧州の市販の生分解性作動油を調査して品質グレードをG1~G4までの品質に分類してそれぞれの使い分けをユーザに示してきた(表一)。しかし当時市販生分解性作動油には鉱油系エンジン油SAE10と同等の性能を持つG4グレードの品質を持つ銘柄が無かったため、十分な潤滑特性の要求される建設機械用の油圧システムには向かずポンプ損傷の生じる場合があった¹⁾。

そこで当社では基油の開発から行い、更には多数の専用添加剤試作を通じて新たにG4グレードの生分解性作動油を開発し、エコマークを取得して純正油として販売するに至っている。この生分解性作動油の大型油圧ショベルでのフィールド試験結果が図一である。本油圧ショベルは当初G2グレード油を使用していたため軸受け摩耗が起り、摺動材料が油中に溶け出した結果油中の銅量が急増した。そこで本G4グレード油に交換するだけで銅の増加を抑制できた。つまり焼付き摩耗が抑制できたことになる。

生分解性作動油の環境評価に関して言えば、エコラベルでおなじみのエコマーク(図二)が単に生分解性能ばかりでなくISOの水質の環境毒性も横にらみして規定するなど十分に評価し得る内容になっている



図二 日本環境協会エコマーク

ので生分解性作動油の選定にはエコマーク取得の有無の確認が必要である。

国内での生分解性作動油の普及状況に関してはまだ十分に普及しているとは

言いがたい状況であるが主な用途は図三のような主に水中作業および水上作業用の建設機械である。またそれ以外では造園等で自身の植物保護のための使用や、港湾近傍の大手ユーザが漏洩による港湾汚染リスクを避ける目的での使用などがある。

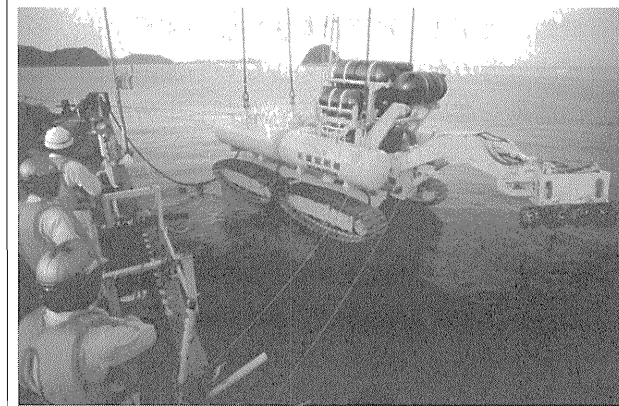
欧州での生分解性作動油の普及状況に関して言えば多い国で10%程度と言われている。ここまでの普及には行政からの後押しが効いていると考えられるが、単に農業へのバランス施策

というよりは、環境保護サイドの強い要求や一般住民のそれら施策への賛同が行政を後押ししていることによるのではないであろうか。筆者の北欧での建設機械ユーザとの供用体験や低硫黄燃料の採用の動きなどを見ているとそのように考えることの方が自然なように思える。

国内での普及の低迷は、生分解性作動油自体の情報が十分伝わっていないことによるとも考えられるが、建設機械が生産財であることから生分解性作動油自体



(a) 水中捨石均し機



(b) 海底岩盤掘削機

図三 生分解性作動油の実用例

のコスト高（鉱油の3～6倍）に主な原因があると思われる。建設機械用として鉱油並みの性能を求めるとG4グレードとなり、基油の精製コスト等からどうしても割高となる。結局、国内での普及は現状では漁業等の漏洩による明確なリスクの存在するところに限定されている。生分解性作動油の情報は少しずつ国内市場でも広がり、それに伴って徐々に普及も進むとは思いますが、欧州並みの普及に至るには国内においても欧州並みに環境保護プレッシャーが高まることを待つしか現状では手段が無さそうに思える。

なお生分解性作動油の性能評価に関してはISO規格（ISO 15380）が2002年3月に発行されている。ただこの規格は高い油圧の建設機械用には必ずしも十分な規格とはいえない。日本建設機械化協会油脂技術委員会ではこの建設機械用の使用を意識した生分解性作動油の規格（JCMAS P 042）を生分解性グリース（JCMAS P 040）と共に2004年5月に公布している（<http://www.jcmanet.or.jp/jcma/>）。生分解性作動油の使用が国内でももう少し拡大し、これに伴いデータベースの充実することが更なる使用の拡大には不可欠と考えられる。それには地球の環境負荷を軽減するという意味合いで行政からのインセンティブ等の後押しが使用拡大のために期待されるところである。

（2） グリース

一般に建設機械ではグリースは給脂により古い部分を自然界に排出してしまう場合が多い。給脂間隔を延長することや自動給脂装置を取付けることはユーザに取っては整備性の向上になるが、結果的に排出グリース量の減少に繋がっており環境負荷軽減という視点からも好ましいメーカーの対応と言える。

グリースメーカー自身も個々に10年～20年を掛けて環境対応を進めてきている。内容としてはグリース中の防錆剤としてのアミン塩、亜硝酸塩、極圧添加剤としての有機鉛、塩素化合物等の有害物質の使用中止、多環芳香族成分等の発癌性物質の少ない石油系基油への変更等の活動を進めてきている。ただし生分解性作動油では行政指導の先行している欧州ではあるが、生分解性グリースに関してはまだ行政指導は行われていない。

生分解性グリースによる環境負荷の低減ははっきりと目とすることが可能である。図-4は実際の生分解性の効果を確認するために、グリースメーカーと共同で植物に対する生分解性グリースと石油系基油の一般リチウムグリースとの影響度を比較検討をした結果である。土中に一般リチウムグリースを注入した周辺の芝生は枯れてしまうのに対して、生分解性グリースを埋

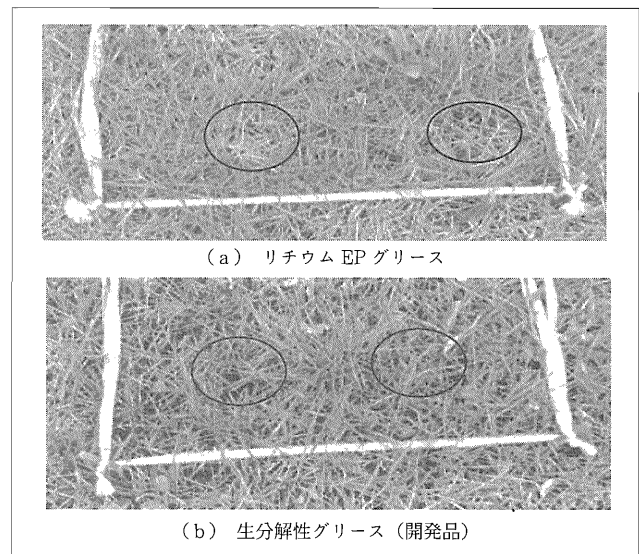


図-4 生分解性グリースの芝への影響（○印にグリース埋入1ヵ月放置、リチウムEPグリースは芝が枯れた）

めた箇所では当初は少し枯れかけるが、直に回復が始まり1ヵ月も経過すると元の状態の芝に復元するのが観察された。これに対して一般リチウムグリースの注入場所は枯れたまま回復しない。当社では生分解性グリースを開発しエコマークを取得している。

表-2には生分解性グリースの耐熱性、耐荷重能試験や転がり軸受け試験結果を示すが、高い性能が得られていることが分かる。生分解性グリースは生分解性作動油と同様に生分解性能ばかりでなく環境毒性の無いことがエコマークの取得の条件となっている。ユーザはまず自己防衛的に自分の土地や湖沼等環境リスク対応として生分解性グリースを今後使用するようになることが考えられる。

表-2 生分解性グリースの品質性能

試験項目	生分解性グリース (開発品)	リチウムEP グリース
基油	合成エステル	鉱油
グリース種類	複合リチウム石けん	リチウム石けん
稠度分類 (NLGI)	No. 2	No. 2
滴点 °C	260以上	187
高速4球耐荷重能試験 (融着荷重), N	4,903	2,450
転がり軸受け寿命試験 (ASTM D 1741), h	3,000	500

（3） クーラント

建設機械の補助材料としてクーラント（エンジン冷却水）もかなり以前から環境対応が求められている。1977年にスウェーデンでクーラント添加剤に使用されているアミンと亜硝酸の化学反応により発ガン物質であるニトロソアミンを生成する恐れがあることを指摘され問題となった。

これを受け、欧米ではアミン類を、日本では亜硝酸

を使用しないという対策がとられてきた²⁾。1987年にノルウェーでアミン入り不凍液を全面輸入禁止とする法律が施行された。日本は亜硝酸不使用の方式で建設機械の厳しい使用条件下で対応してきたためアミン不使用（ノンアミン）クーラント（JIS第2種ノンアミンクーラント）のキャビテーション性能が未発達であり、ノルウェーほか欧米に輸出する場合は、このJIS第2種ノンアミンクーラントを充填し、そのうえ不足分のキャビテーション性能を補うためにカートリッジ式の防食剤を併用するという方法で対応せざるを得なかった。クーラントには前述のアミン類、亜硝酸の他に、ホウ酸や富栄養化の原因となるリン酸等の環境負荷物質が使用されており（表—3）、当社ではこれらの環境負荷物質を大幅に削減した建設機械用の一步進んだ低公害のノンアミンクーラントの開発に成功している。

表—3 主な添加剤の毒性

添加剤	環境毒性
無機系インヒビタ リン酸, リン酸塩 ホウ酸塩 亜硝酸塩 クロム酸塩	富栄養化 生体毒性, 環境毒性 発癌性物質生成（ニトロソアミン）, 環境毒性 重金属毒性（法規制）
有機系インヒビタ アミン類	発癌性物質生成（ニトロソアミン）

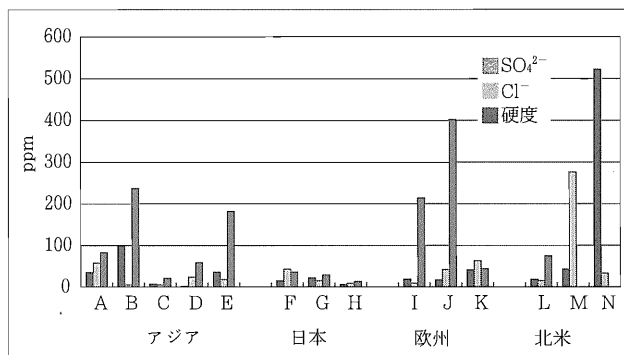
前述のように国内ではJIS第2種アミンクーラントが使用されていたが、防食性能が高く長寿命の第3種アミンクーラントを当社では建設機械用に開発し（AF-ACL）純正クーラントとして十分な実績を持っていたが、上記状況に対応するために第3種ノンアミンクーラントの開発が待たれていた。しかしアミンの高い鉄系防食剤としての特性に替る添加剤の開発は容易なことではなかったが、クーラントに使用する添加剤を根本から見直し、更に環境負荷の観点からも満足できる低公害型かつ耐熱性を向上させたコマツ KES（コマツ・エンジニアリング・スタンダード）第3種ノンアミンクーラントを開発した。

クーラント添加剤の働きという意味ではまずエンジンクーリング・システムの各種材料への適合性が挙げられる（表—4）。

またクーラントは一般に希釈して使用されるが、水質と言う意味では世界の各地域で大きな差が有る。腐蝕性のイオン（硫酸イオン、塩素イオン等）を多量に含んでいる場合とか、カルシウム、マグネシウムを多量に含有する硬水なども使用されることを配慮して添加剤を選定する必要がある。世界の中では日本の水質は良好と言える（図—5）。

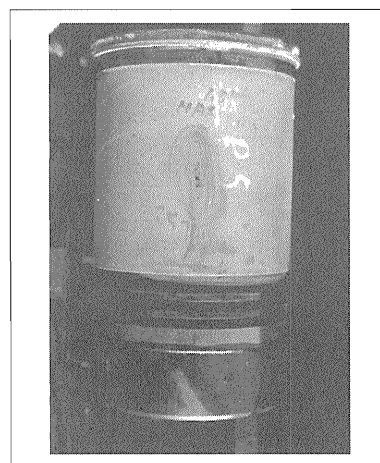
表—4 エンジンクーリング部品の材質

部品名	材質
ウォータポンプ	鋳鉄, フェノール樹脂, ナイロン
オイルクーラ	アルミニウム, 超硬/カーボン
シリンダブロック	鋳鉄
シリンダヘッド	VMQ, NBR, EPDM, CR
サーモスタット	鋳鉄, 黄銅
ラジエータ	黄銅, アルミニウム, 鋳鉄
ホース	黄銅, はんだ
アフタークーラ	SBR, NBR, EPDM, VMQ
	鋼, 銅クラッド材



図—5 世界のクーラント希釈水質

建設機械用クーラントの要求特性としては耐キャビテーション・ピッチング性が挙げられる。市販ノンアミンクーラントを使用したエンジンテストではシリンダライナに図—6のような著しいキャビテーションピッチングが発生している。これは市販のノンアミンクーラントはその多くが自動車用であり、建設機械のような過酷な使用条件を想定したものではないことに起因していると言える。その他の問題点としてスケールによるラジエータの目詰まりも散見されたがこのスケールの成分はリン酸鉄を主成分としたものであることが分かった。このリンはクーラントの添加剤からのものと推定された。



図—6 市販クーラント使用例
(エンジンベンチテスト, 500h)

したがってこのスケール発生を抑制するために、添加剤へのリンの使用を抑制することも併せて検討され対応が取られた。

キャビテーションピッチング対策としては、

- ① 増粘剤による粘度増加により気泡破壊

力を低減

- ② 界面活性剤による表面張力低下により、気泡破壊力を低減
- ③ 有機系防錆剤吸着による金属表面の保護
- ④ 不動態皮膜形成による金属表面の保護

の対応がまず机上検討として取上げられ単体のキャビテーション・ピッチングテストにより基本性能テストで確認された。図-7にキャビテーション防止メカニズム概念図を示す。

その後エンジンベンチテストに入ったが実際のエンジンでのキャビテーションの発生・防止メカニズムは必ずしも単体キャビテーションピッチング・テストと同じではないため、実機の現象をシミュレートできなかった。すなわち単体キャビテーションピッチング・テストでは耐キャビテーションピッチング性能が得られたクーラントが、実際のエンジンテストではシリンダライナの表面にキャビテーションピッチングが発生した。そこで添加剤の作用条件、机上テスト条件を再検討したところ、エンジン冷却水中の溶存酸素の影響が大きい事が判明した。すなわち試作ノンアミンクーラントに使用していた添加剤には酸素溶存下では十分な作用をするが、無酸素状態では作用しない場合があることが分かった。

従来のクーラントに使用される添加剤成分は無酸素状態でも高い防食能力を発揮する。実機のクーラントは昇温による脱気のため、ほとんど溶存酸素の無い状態で使用されている。そこで解放系の机上テスト方法を改良し、酸素除去処理等の前処理を行い机上テスト性能を確認することでエンジンテストをクリアすることができた。エンジンベンチテストによる品質確認後にベンチ耐久試験並びに実車でフィールドテストを実施し、オーバーホールによるシリンダライナの調査並びに使用クーラント自体の性状、添加剤の消耗度合いの分析も実施した。その結果従来のアミンタイプ・クーラントに較べて消耗が少なく、耐熱性、長寿命性

が確認された(図-8)。

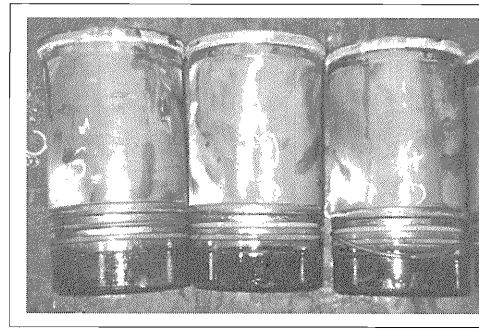


図-8 ノンアミンクーラント・フィールドテスト結果

本クーラントは2001年8月よりコマツ純正クーラントとして発売され国内工場充填クーラントとして全面採用されている。

(4) 補助部材とリサイクル

つぎに補助部材のリサイクル状況の実際について述べる。

(a) 廃オイル

使用済みの作動油等の廃油は、一般には燃料用オイルとして燃料業者によって回収されている。最近では幾らかの僅かな費用で使用済みの作動油等を買取っていくのが現状と聞く。これも廃掃法対応のため有価取引と言う事での対応と考えられる。また土壌の油汚染に関わる法律は現在検討がなされており、あと1年程度で公布される可能性があると聞くので、廃油漏洩による環境負荷の評価も今後明らかになってくるものと思われる。

(b) フィルター

廃フィルタの処理も小型簡易焼却炉での処理が難しくなっているためユーザにとって潜在的に煩わしい課題の一つと言える。そこで近年フィルタのサイズを半分以下にすることや交換の容易で汚れ難い構造のフィルタが好まれ評価されている(図-9)。

特に着実なフィルタ交換が求められる大型建設機械

から、5トンクラスの建設機械まではフィルタの小型化が進められている。このコンパクトなフィルタは従来の沱紙とは異なり繊維の強度の強かつ細い高性能沱紙を使用しているためダートキャパシティが向上し、従来の2倍のロングライフ

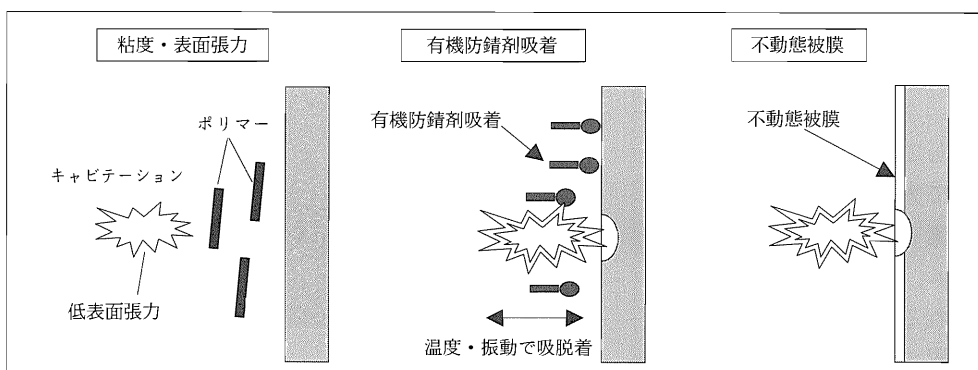


図-7 キャビテーション防止メカニズム概念図

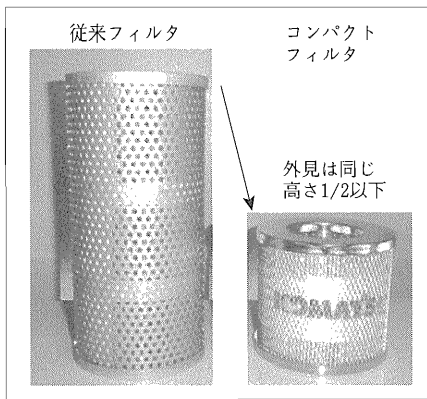


図-9 コンパクトで高性能なフィルタ

化を可能にしている。フィルタ自体のサイズは1/2となっているため、結果としてフィルタの廃棄量は1/4と環境とユーザにとって双方に優しいフィルタとなっている。廃フィルタは通常は産廃物として処理されているが一部の地区（関西地区等）では産業廃棄物（専ら物）として廃ゴムクローラ、廃ホースと一緒に廃フィルタを集めて電気炉に入れて鉄分を回収している例がある。つまり既存の廃棄物回収業者は産廃処理業の許可の対象となっておらずしたがって manifests の発行も不要な場合がある。しかし大半は産廃処理として処理されているのが実状である。

(c) 使用油量の削減

フィルタの小型化は比較的中・大型の機種で進んでいるが、小型ショベルでは近年、作動油タンク構造自体に改良を加えて小型化することで使用する油量そのものを低減する技術が注目されている。建設機械の油圧タンクは油面からのエアの巻き込みや、溶存エア等による気泡の混入による油圧ポンプへのダメージを避けるために、油圧タンクを通常大きめに設定してタンク内で気泡の分離、浮上をさせており、油量も多めに使用している。この気泡の除去に着目しこれを積極的に進めるためにサイクロン式気泡除去装置を油圧内に設置し、タンクの小型化（容積で35%減）と作動油量の削減（30%）を達成している。環境的には廃棄油量の削減であり、ユーザにとっては窮屈になり勝ちな小型車における運転席回りの空間確保につながり、交換油量も低減するなど、環境と経済性の両立に繋がる効果が得られている。

廃オイルにしても廃フィルタにしても自動車でも同様な廃棄物が生ずるが、自動車の場合は大量に発生する廃棄物処理の必要性から多くの場合リサイクル等の処理システムが構築されている。建設機械の上記廃棄物もそのシステムに沿って動いていると言える。

今後問題となってくるのは自動車とは異なる種類の

廃棄物の処理であろう。つまり建設機械用大型の使用済み OR タイヤやゴムクローラおよび廃クーラントの処理である。また作業の結果に洗浄で生ずる汚泥対応等に対しても、今後はメーカーにも知恵、工夫出しの努力が求められていくことになるものと考えられる。

3. ま と め

建設機械の補助部材の環境対応の状況に関しては、油脂として生分解性作動油、生分解性グリース、それに環境対応クーラント及びその補助部材の廃棄・処分状況について述べた。

以上述べたことはトータルに建設機械の環境負荷を低減すると言う意味では皆、同じ根につながる問題である。つまり拡大生産者責任と言う面で建設機械メーカーは生産財としての機械の性能、効率を高める一方、今まで以上に使用時、廃棄時の環境対応をユーザと共に考えて行く必要性があると言える。

生分解性作動油の欧米における市販のシェアと販売量の実績（2002年）について言うと³⁾、欧州：34,935 kL（全作動油販売量の5.1%）、米国：14,850 kL（全作動油販売量の2.2%）であり CO₂ 対応で余り評価されない米国での販売が予想外に多い事が分かる。前述したように我が国においては、特に自動車や家電の廃棄システムに乗ってこないような建設機械独自の産業廃棄物に関しては、対応に相当の努力が必要であるが、上述の欧米の環境対応状況を見ると、事態は予断を許さないとと言える。これら廃棄物に対して構造を工夫してその発生を抑えたり、業界として又は官の支援も考慮してでもその合理的な処理・処分方法について配慮をしていくことが求められる時代に入ってきたと言えるし、それが循環型社会に生きる企業の「もの作り」のあるべき姿と考えたい。

J C M A

《参考文献》

- 1) 大川, ほか:「建設機械」, 2001年8月号
- 2) 飯島, ほか:「ノンアミンクーラントの開発」, *Komatsu Technical Report*, 2002 ① vol.48, No.149
- 3) R. D. Whitby, "Market share of bio-lubricants in Europe and the USA", *Lipid Technology*, 16, No.6 (2004) pp.125-130

【筆者紹介】

福田 達（ふくだ とおる）
株式会社小松製作所
開発本部
モノ作り技術改革室
担当部長

