



建設機械のリサイクル

福田 達

地球環境負荷の極小化をねらった「循環型社会システム」の形成に向けてメーカは建機のリサイクルの基本的な取組みを変えてきている。それはこれまでの規制対応的な活動から建設機械のライフサイクルを考慮した、全体的な環境負荷の評価方法の設定とこれへの中長期的な取組みである。一方、日本建設機械工業会のリサイクル性を評価するガイドラインを考慮して、実質的な設計方針作りが日本建設機械化協会が進んでいる。コンポーネントのリサイクル（「リマン」）に関しては建設機械メーカの参入で品質保証体制が進みつつあるが、今後は建設機械の更なる各種技術イノベーションがお客様の生産性向上と環境負荷低減の両立、すなわち Ecology & Economy に貢献することが期待される。

キーワード：循環型社会システム、建機ライフサイクル環境負荷、リサイクルガイドライン、リマン、Ecology & Economy

1. はじめに

近年地球自体の持つ環境負荷受容能力の有限性が次第に明らかになるに従い、人の経済活動スキームの見直し、環境負荷の極小化をねらった循環型社会システムの必要性が希求されている。

これを受けた形で、わが国では「循環型社会形成推進基本法案」が2000年の5月末に成立し、「循環型社会」の形成に向けて各分野での活動が加速してきている。

建機機械（以後、建機）のメーカは、これまでもユーザに配慮して廃棄物の発生抑制、部品リサイクルの推進等、各種取組みを実施してきているが、これら最近の一連の動きを受けてリサイクルの取組みを変えてきている。

また建機自体は他の産業機械に比較して直接に地球（地表）との接触頻度も高いことから、地球に対する低環境負荷が大前提となって開発される必要があるとも言える。

コマツでは「コマツ地球環境憲章」を1992年3

月に制定し各事業領域における基本理念と行動指針を明確にした。ここでは「自然と共存する商品、サービス」と「生産における環境保全」の2つの面で環境保全活動を進めていた。ただ建設機械はお客様の行う生産活動のツールでもあり生産性への配慮は MUST であることから、とくに商品とサービスでは「Ecology & Economy」つまりお客様の生産性と環境配慮の両立をキーワードに活動が進められている。

ここでは、環境負荷の小さい建機の開発・評価とその具体例としてゴムシューのリサイクルおよびお客様の生産性向上に貢献する部品再利用（リマン・Remanufacturing：REMAN）サービス活動等を述べていきたい。

2. 建機の環境活動の現状

(1) コマツ開発部門の環境活動経緯

コマツの環境対応は、時代と共にその捉え方が大きく変わってきている。以下にその経過を簡単に述べてみたい。

既に1980年代から様々な環境対応が取上げられて実施されている。

例えばコマツの場合アスベスト製品の廃止(1988年), リサイクルを考慮したプラスチック部品に対する材質マーキング(1992年) などである。

しかしその内容に関して言えば規制対応を中心にしたものや, 単発的な環境対応が方策の主流であったと言える。このような対応策の有効性の議論になると, 評価の「ものさし」が無いため優先度の必然性を満足させられず, このことが, これら活動の限界ともなっていた。

これに答える形で登場してきたのが総合的な環境負荷を評価するツールであるLCA(ライフサイクルアセスメント)と言える。

LCAの詳細を述べる事は本報の主旨ではないので省略するが, 建機のLCAとは建機の素材準備, 製造からユーザの使用, 廃棄に至る全ライ

フサイクルのステップを考慮した資源, エネルギーの投入と各種環境負荷の発生を考慮した環境負荷の総合的な評価手法と言える(図-1参照)。

このように環境負荷を残らず取上げて影響度を評価すれば理屈上は環境対応の位置付けが明確になる。循環型社会の排出量の削減に関して, 従来のように一部の排出物削減に注力してもトータルな環境負荷が増加しては有効な手段とは言い難い。ただしLCA自体発展途上の評価ツールであり, その実用には環境パフォーマンスの評価や各分野のデータベースの充実など, 今後の進展を待つ必要があるのが実状である。

(2) 建機の環境指標設定

上記の理由から建機のリサイクルを述べる場合, 単に「機械要素のリサイクル」を述べるのみでは, 当初に述べた環境負荷の最小化を狙った循環型社会における「リサイクル」と言うには, 本

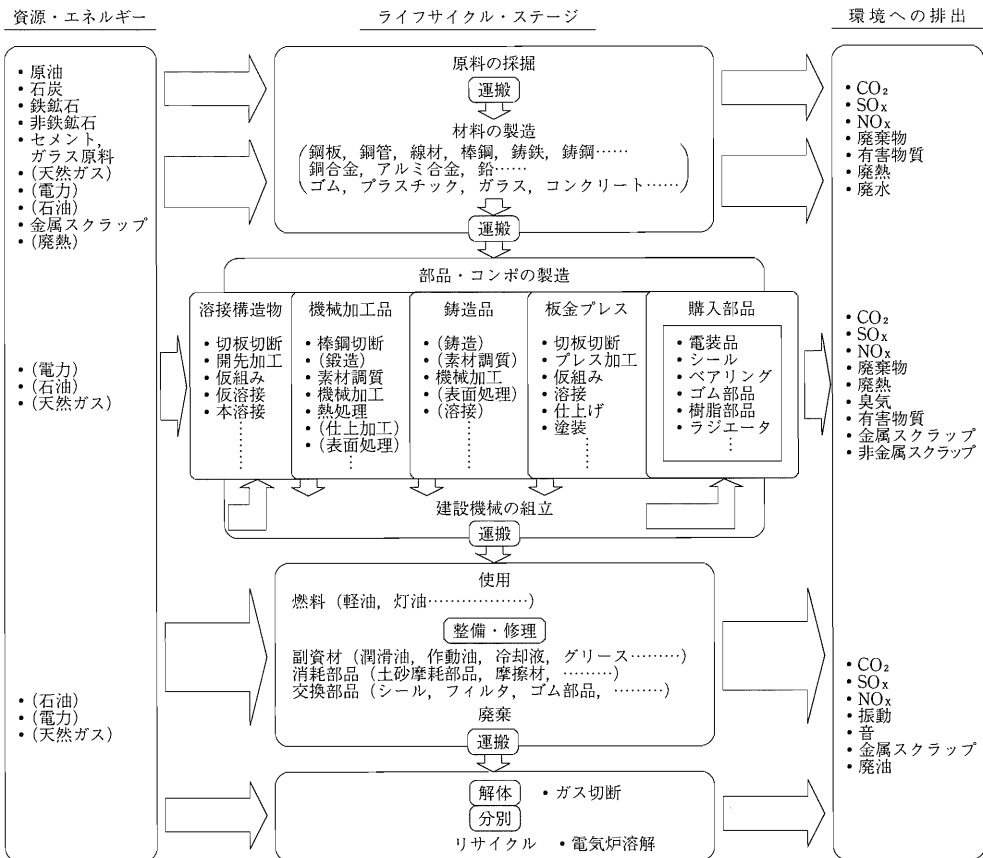


図-1 建機 LCA のイメージ図

来の意義から見ても不十分であろう。

コマツでは2年前より建機のリサイクル、環境対応をLCA的な考えで捉えるべく活動を始めてきている。すなわち建機の環境負荷をライフサイクル全体で考え、それらを代表する4指標を設定しその目標値を設定することで各建機の中長期の改善目標としている。

図-2は建機のライフサイクルにおける代表的な環境負荷と策定した環境指標を示す。

それぞれの環境指標の内容を下記に示す。

(a) CO₂ 排出量

京都会議の合意を受けて国レベルの約束事としてCO₂排出量の削減対応が産業界に求められている。建機の場合、燃費、作業効率の向上に直結する指標で、建機のライフサイクルを次の4ステージに分けて排出量を積上げて算定する。

- ① 素材準備時：製品を製造するために必要な各材料の準備時に排出されるCO₂量
- ② 加工・組立て時：構成部品加工，組立て時の排出CO₂量
- ③ 輸送・稼働時：ユーザにて輸送，建機稼働時に排出されるCO₂量
- ④ 廃棄・解体時：建機が使用済みとなりスクラップ処分の際に排出されるCO₂量

これは建機のCO₂排出に着目したLCI (Life

cycle inventory) と言える。建機の場合、稼働時のCO₂排出量が全体の8~9割を占めるため、使用時のCO₂排出低減が最大の課題である。当社では生販システムの部品表で建機のCO₂排出量を簡易に算定できるソフトを開発し活用を開始している。

(b) リサイクル可能率

本指標は車両質量に占めるリサイクル可能部品質量の比率である。一般に建機は鉄鋼材料の比率が高く中型以上の建機のこの指標は80~90%に達する。したがって実際の算定に関しては車両質量からリサイクル不可能部品質量を除いて求める。リサイクル可能の定義はサーマルリサイクル、マテリアルリサイクルであれ技術の確立していることとしている。リサイクル可能率の算定フローを図-3に示す。

20トンクラス油圧ショベルおよびホイールローダのリサイクル可能率の算定結果例を図-4に示す。

(c) 有害物質質量

有害物質質量は建機で使用される可能性があり、国内外の法規制により有害物質として使用禁止されている3物質(PCB, アスベスト, 特定フロン) および今後の規制動向からメーカーとして自主的に使用制限する8物質を対象として積算す

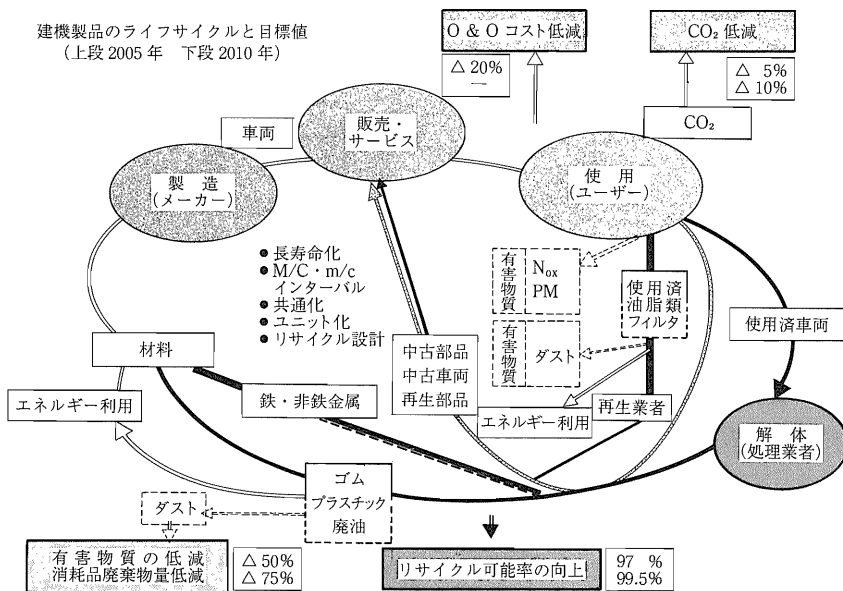


図-2 建機のライフサイクル図

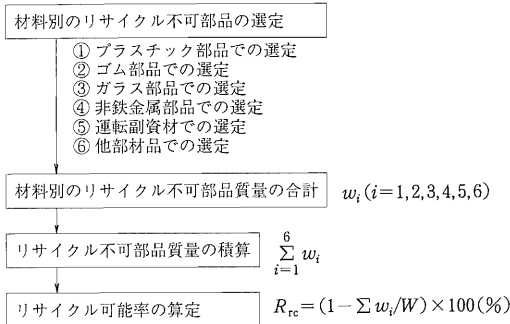


図-3 リサイクル可能率の算定フロー

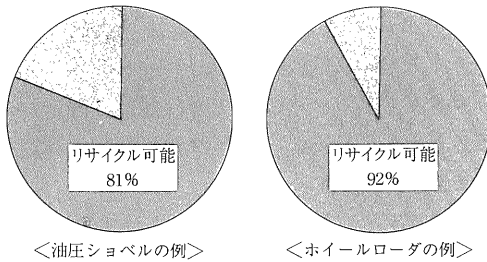


図-4 油圧ショベル、ホイールローダのリサイクル可能率

る。

(d) O & Oe コスト

建機のユーザで発生する機械経費を表す指標で、機械損料（償却費、機械管理費、修理費）と運転経費（燃料費、オイル費、エレメント費、消耗品費）の合計である。ただし世界各国で数値のばらつきの大いオペレータ労務費は除外した。

なお、この4指標のほかにもサブ指標として各建機共通でユーザにて排出される、オイル、フィルタやゴムシュー等の「消耗品廃棄物量」を設定し、この削減（2005年△50%、2010年△75%）も合わせて推進している。

これら開発する建機の4指標を算出比較することでバランスのとれた環境対応がなされているか、が評価できる。また未達の場合は研究、開発の課題が明確になるので、環境対応の有効なツールとなっている。特にO & Oe コストはユーザのコストへの配慮で生産性を確保しかつ他の環境指標で環境配慮することになる。開発者には非常に厳しい指標ではある。環境指標と経済性の両立にはイノベーションが不可欠である。

3. 建機のリサイクル活動

前途のようにコマツでは建機の環境対応をライフサイクル全体で捉えて、総合的に開発建機の環境負荷を評価しようと進めている。

ここで「建機リサイクル」は建機的全サイクルステージのうち、稼働、廃棄のステージでの部品コンポーネントの再使用に関わる活動と位置付けられる。以下に建機リサイクルに関する学協会の動き及びリマン等の部品リサイクルについて述べる。

(1) 協会等のリサイクル対応の動き

環境対応は当初工場等生産部門の対応が中心に進められてきたが、少し遅れて製品に対する環境対応に関しても活動が開始されている。

平成9年5月には日本建設機械工業会（以下、建機工）より建機メーカーが製品設計段階のリサイクル・廃棄物処理の観点から行うべき事前評価とその判断基準に関するガイドラインが出されている。これは「リサイクル促進のための製品設計段階における事前評価のガイドライン」で、建設設計時の具体的な環境対応方法を明らかにしており、各メーカーがそれぞれ設計マニュアルをつくる場合の参考に供している。

平成11年6月に、日本建設機械化協会ではこのガイドラインを考慮に入れて建機の環境汚染防止、資源リサイクル促進に適した建機の基準を策定し環境対応をすべく、具体的な設計技術方針を設定するための建機ユーザおよびメーカーから成る「建機環境技術チーム」が日本建設機械化協会に結成され活動中である。

さらに平成12年10月には建機工の技術製造部会でガイドラインを一步進めて具体的な環境指標（リサイクル可能率）を設定し業界の建機リサイクルを促進するために、「建機リサイクル推進プロジェクトチーム」を設定し活動を開始している。

活動内容は、正式な報告を待たねばならないが、たまたま筆者は両チームの委員の末席を汚す立場にあるので、チーム活動の現状を敢えて表現するならば、いずれのチームもリサイクル現場の

声を十分確認する努力を払いつつ、限られた時間ではあるが活動が実効的な環境対応になるよう注意深く進められていると言える。

(2) 要素部品のリサイクル状況

経済産業省の提唱する循環型社会におけるリサイクル3Rの優先度は、リデュース (Reduce)→リユース (Reuse)→リサイクル (Recycle) となっており、リデュースを最優先にした各種環境対応が今後重点的に実施されていくものと考えられる。これを建機の場合に当てはめると

- ・建機本体を廃棄せずに長寿命を維持する技術
- ・コンポーネントの長寿化
- ・消耗品廃棄物量の低減

が鍵となってくる。

このような背景で「建機」をユーザの立場から見ているかにリサイクルで環境対応し、かつ生産性を上げるかが進められているのが、コマツのリマン事業と言える。

(3) コマツの部品再生 (リマン) 事業

建機のユーザの生産性を上げることは、メーカーにとっての最重要課題であると言える。この生産性の向上には機械の大型化と機械の休車時間を低減することが必要であり、コマツは世界最大級の建機を市場導入して対応している。休車時間の低減に関しては、休車自体を減らすために IT (情報技術) の活用を含めた様々な開発が進められている。また一旦休車が発生した場合は休車時間を最小化するために、故障または性能劣化したコンポーネントを機械から降ろして修理する間を取らず、すぐに品質保証された安価なリマン部品で載せ替えることで休車時間の短縮を図ると言うものである。ここで言うリマン (Reman) とは「再製造」を意味する Remanufacturing の略語であり米国でも既に使用されている言葉である。

使用されたエンジン、トランスミッション、油圧機器等のコンポーネントは様々な工程を経て新品同等の品質によみがえらせ、修理やオーバーホール時に載せ替える。古いコンポーネントはリマンセンターで再生させられリマン商品として再び市場に供給される (図-5 参照)。

コマツは国内の環境対応は原則的にグローバル

受入検査	集荷されたコアの受入検査を実施 / Receiving Inspection
洗浄	高圧洗浄により、付着していた汚れをきれいに落す / External Cleaning
分解	再利用を判定するため、すべての部品を分解する / Disassembly
部品検査	熟練した検査員の手により、傷や損傷を、厳格な基準に基づき綿密に検査する / Parts Evaluation
部品洗浄	再利用可能な部品は塗料や錆を取除き、隅々まできれいにする / Parts Cleaning
加修	機械加工や溶接が必要な部品は、傷んだ面を加工し、再生基準通りの精度に仕上げる / REMANUFACTURING
組立て	熟練工の手により、基準書に従い、丁寧に組立て作業を行う / Assembly
性能試験	組立てユニットの性能基準に適合しているか、水漏れ、油漏れはないか等を厳しく試験する / Performance Test
塗装	細部まできれいに塗装する / Painting
最終出荷検査	完了したユニットが基準に適合しているか、チェックシートに基づいて最終検査を行う / Final Inspection

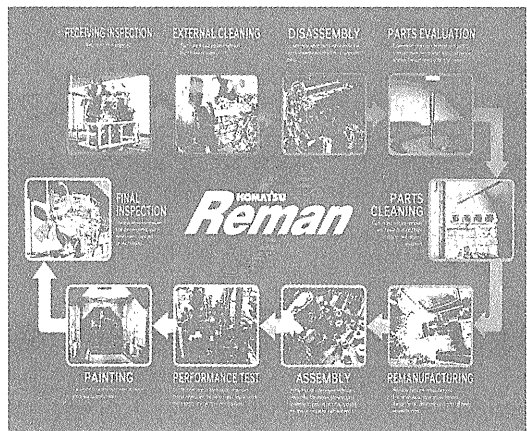


図-5 コマツのリマン事業

にも適用することとしている。

リマン事業もまた世界7地域 (米国, 欧州, 日本, インドネシア, 豪州, 南アフリカ, ブラジル) にグローバルな展開を進めている。

コマツはお客様の生産性の向上を至上課題と捉えている。特に中・大型機械の場合コンポーネントの性能劣化や故障による休車時間は最小限にしたいと考える。従来のサービスは新しいコンポーネントへの載せ替えか、コンポーネントのリビルトであった。リビルトは故障コンポーネント自体の修理であり、一般に十分な品質保証が困難となる傾向があった。したがってユーザの生産性の保証が必ずしも十分であったとは言えない。

また DB (Distributor; 販売代理店) 等で廃棄されたコンポーネントは、従来はほとんどが十分にマテリアルリサイクルされない状況で廃棄され

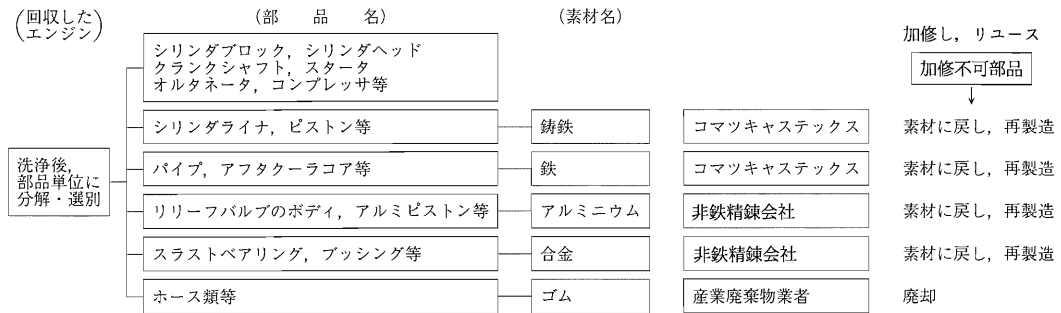


図-6 エンジン部品のリサイクルフロー

ていた。このように従来は廃棄されていたコンポーネントではあるがリマンのコア（循環資源）としてほとんどリユースされるが、傷みが激しくどうしても再生が無理な場合はマテリアルリサイクルで再資源化されるのでいわゆるゼロエミッションに近づくことができる。

実際にコマツの小山工場では廃棄エンジンの各要素部品のマテリアルリサイクルを図-6のような手順で実施しており、そのほとんどの部品をマテリアルとして再資源化している。

コマツではこのようにしてユーザの生産性の向上と「循環型社会」の形成に即した環境対応を併せて行ういわゆるエコロジーとエコノミーの両立を図っている。

(4) ゴムシュー履帯のリサイクル

前述のリマンの対象なコンポーネントは中・大型建機が中心となるリサイクルといえる。

ミニ・中型油圧ショベル等で広く使用されているゴムシュー履帯は、使用済み部品の中でもその数量、廃棄処理費用などの影響が大きいので、早い段階から優先度の高い課題として取組まれている。

(a) 使用済みゴムシューの処理

年間約14,000本のゴムシューがわが国では発生している。DBでは以下の方法でこの廃ゴムシューを処理している。

- ① 再生
- ② 電炉リサイクル
- ③ 焼却（焼却後、鉄部のみスクラップ処理）
- ④ 産業廃棄物処理（マニフェストによる管理）

このうち焼却はゴムの酸化燃焼ガスによる環境負荷が、産業廃棄物としては埋立て処分場への負荷が増加する事から、コマツとしては再生可能なゴムシューに対しては再生処理を推奨している。

(b) 再生処理

比較的傷みの少ない廃ゴムシューの場合は再生処理が可能になるが、その場合2つのポイントが重要になる。

- ① 良質な再生用パーツの回収
- ② 低廉な物流コストの実現

コマツではこれを解決するために姉妹会社のコマツ部品と独自の再生ルートを確認し、他社に先駆け全国2箇所の再生センターで年間約3,000本の使用済みゴムシューを再生している（写真-1参照）。

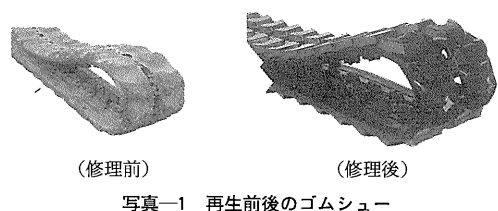


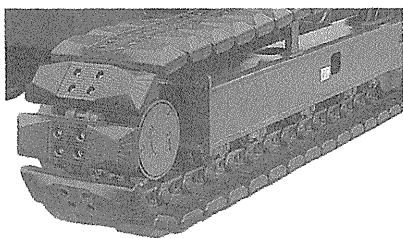
写真-1 再生前後のゴムシュー

(c) 再生不可能品の電炉でのリサイクル

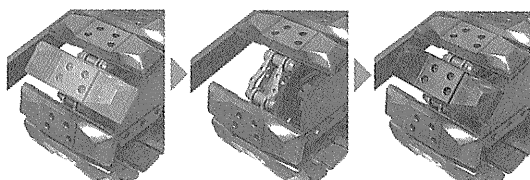
傷みがひどく再生の出来ないゴムシューの場合は重量にして6割に達する芯金の部分を鉄のスクラップ原料として電気炉でマテリアルリサイクル処理する検討が建機工で進められている。

現在、まず東北、関東、関西・中部の3地区で電炉によるリサイクル活動が開始されている。

1999年には2,000トンの処理実績が得られている。本活動は継続中であり今後地域の拡大、お



破損箇所の交換が容易



写真一 環境性に優れているロードライナ

よび運送費の低減化の検討などが進められるものと考えられる。

(d) 開発でのリサイクル対応

コマツではリサイクル性に優れたロードライナ方式ゴムシューを開発し、採用を進めている。このロードライナ方式ゴムシューは、従来の一体型ゴムシューに比較して分割式なため、破損箇所のみが交換が可能であり、かつ解体性が優れている特長を有している（写真一参照）。

破損箇所のみを修復することでコンポーネントの寿命を伸ばし、かつ廃棄物を最小限にできるこのロードライナ方式は「循環型社会」のリデュース、リユースに沿っており、コマツのキーワードである Ecology & Economy に則った開発商品と言える。なおこれらユーザの環境、生産性向上への対応は各状況に応じたフレキシブルな対応が求められる。

(5) その他の部品のリサイクル対応

建機の環境リサイクル対応として、車体の環境負荷低減のための環境指標の紹介と、ミニ～中型油圧ショベルの大型消耗部品であるゴムシューについて述べてきた。その他の部品でリサイクル性を考えた場合、各建機を通しての課題にホース類の焼却処理や油脂類が挙げられる。

また中・大型油圧ショベルでは、製缶型カウンターウェイトのリサイクル処理であるが、低い充填材価値と重量物で物流、取扱いに高コストを要

するため建機特有の課題として検討されている。

ホース類はゴムシューに継ぐ重量部品である。以前には DB の小型燃焼炉にて焼却されることが多かったが、ダイオキシンへの認識の深まりや焼却炉の規制から最近では廃棄物として排出されることが多いので、減容処理のための技術が求められている。特に建機に使用される高圧ホースの外部被服のゴム材料は耐候性の優れたクロロプレンと呼ばれる塩素を含有する材料が使用されており、焼却の際にダイオキシン発生の可能性があるので、この材料の置換が検討されている。

油脂に関しては全建機に共通であるが、特に中・大型建機では消耗品廃棄物量が大きく、消費の絶対量を減少させるための油脂の長寿命化研究開発がなされている。

なお作動油の場合、ホースの劣化や作業中の事故により破裂する場合があるが、油脂の汚染を極度に嫌う河川や湖沼での工事等での用途に欧州（ドイツ、スイス、オーストリア）を中心に生分解性油脂の使用が行政指導で進んでいる。

コマツは「コマツ純正バイオ作動オイル、BO 46-G 4」と言う高性能な生分解性作動油を世界に先駆けて開発した。高い品質、性能が認められ、1997 年度には日本建設機械化協会奨励賞、1998 年度には日本機械学会奨励賞を受賞している。詳細は省くが前述のような行政指導の無い日本においては、汚染リスクの大きい海洋機械等に対して徐々に使用され始めているのが現状である。

ここでは触れる余地が無いが、高性能素材の使用により、エレメントの交換寿命が 2 倍、サイズが従来品の 1/2 と、いわゆるファクター 4 を実現した作動油用コンパクトフィルタ（商品名：エコホワイトエレメント）の開発等、その他の部品に対しても廃棄物量を減少させるためのさまざまな方策が各部門で検討され、研究・開発されているのが現状である。

4. ま と め

「建機のリサイクル」と言うテーマで最近の建機リサイクルに対する大きな考え方の変化、すなわち地球環境負荷低減をベースにした LCA (Life-cycle assessment) 的な考えに基づく、開発建設

機械の総合的な環境対応の評価指標について述べた。また「循環型社会」の形成に沿った様々なリサイクル例やリマン (Reman) 事業の現状等を述べた。

LCA 的な CO₂ 排出量の解析から、稼働時の環境負荷が大半であり、これを革新的に低減することがディーゼルエンジンの排気対応の推進と共に今後の建機の環境対応に求められている。

またリサイクル可能率の大幅な向上や環境負荷物質の大幅な低減等の総合的な環境対応が並行して進められていく必要がある。

一方リマン技術はメーカーによる IT、加修技術の進展により大幅な品質保証技術の進歩が予見され、近々に予想される廃棄コストの上昇と相まって、建機リサイクルの大きな転換をもたらすものと思われる。このことはつまり建機の中古車市場の新車市場への接近を意味し、産官学が挙げて取り組む「循環型社会」を背景としたリサイクル社会

において、新市場の創生を予感させるものがある。これはユーザにとっても環境対応と生産性向上のための新たな選択肢の獲得に繋がるのではないかと考える。

なお本報文では建機の環境対応をリサイクルの観点から述べたが、メーカーとして将来的な環境対応を考える場合、個別の環境対応と並行して冒頭に述べたように、地球環境負荷を総合的に評価しこれをミニマムにするための中・長期的活動が不可欠になるものと考えられる。

【筆者紹介】

福田 達 (ふくだ とおる)
株式会社小松製作所
開発本部商品企画室総括 G
環境担当上級主任技師

