

建機製品の環境負荷物質低減活動の動向

鍋 岡 和 之

建機製品の環境配慮設計 (Ecodesign) の重要なテーマとして①低エミッション建機の開発 (即ち排出ガス対策), ②建機製品のライフサイクルでの CO₂ 排出量削減 (あるいは燃費低減) と並び, ③環境負荷物質管理がある。“環境負荷物質 (Substances of concern)” は狭義にはいわゆる有害物質 (Harmful or Hazardous Substances) を指すが, より広義にはリサイクル不可物質を含めて使用される。

ここでは広義の意味で建機製品中の有害物質削減と製品の“リサイクル可能率 (Recyclability or Recoverability)” の向上に関する動向について説明する。

キーワード: 環境負荷物質, 低減, 有害物質, 鉛, 6 価クロム, リサイクル, 非塩素ホース, REACH

1. はじめに

昨今, EU 規則の REACH の管理物質である SVHC (Substances of very high concern) や制限物質 (Restricted Substances) が建機にも適用されることから注目されている。建機メーカーでも環境負荷物質管理システムの導入などにより物質含有の管理徹底を推進している。これにより, 環境負荷物質を含有する部品の特定が容易になっている。

また, その他の規制・指令への対応も必要であり, 今後の規制動向を考慮し, 自動車などの規制に対してメーカーとしては先行的な自主規制も進めている。

建機製品で有害物質として早くから使用禁止が叫ばれてきたアスベスト (繊維), PCB あるいは特定フロン (CFC) などとともに鉛・カドミウム・水銀・6 価クロムの重金属 4 物質もまた制限の対象になってきた。これらの重金属は EU 指令の ELV, RoHS で共通に指定されており, それぞれ自動車, 電気・電子部品では特定除外用途を除き基本的には使用禁止されてい

る。これに対して REACH の制限物質では建機などその他一般部品でもカドミウム, 水銀及び鉛特定化合物は用途制限されている (表-1 参照)。

なお建機での化学物質の含有/非含有の判定基準値としては一般的には REACH の SVHC や ELV, RoHS と同様に 0.1% (1,000 ppm) で管理すればよいが, カドミウム, 水銀など一部の物質については用途毎にこれ以下の特別基準値が設定されている。規制対応としてはこれらの基準値以下であれば非含有として扱うが, 故意の添加については注意が必要な場合もある。

2. 有害物質使用量の削減 (鉛の使用制限)

規制対応とは別に有害物質削減の建機メーカー自主目標として有害物質使用量削減の努力を払っている。有害物質全体の使用量の中で重金属, 特に鉛の占める比率は非常に高く, 鉛の削減が有害物質質量削減には最も効果的である。さらに建機の鉛使用部品の中では始動用バッテリー (電極の鉛-アンチモン合金, 鉛-カル

表-1 重金属の代表規制と対象物質

(⇒: 切替済み又は切替中)

制代表物質	代表規	REACH (2011 版)		他指令など	ELV (2011 版)	RoHS (2011 版)	建機メーカーの動向
		SVHC	Restricted				
重金属	鉛	○ (4)	△	△	×	×	△
	カドミウム	-	△	△	×	×	⇒×
	水銀	-	△	△	×	×	⇒×
	6 価クロム	○ (11)	-	-	×	×	⇒×
	ひ素・セレン	○ (4)	△	-	-	-	△
規制対象製品		一般 (建機含む)			自動車	電気・電子	建機

×: 使用禁止 (一部除外, 猶予あり, 2011 改正), △: 用途制限, ○: 管理物質)

() 内の数値: SVHC の登録物質数 (現在は SVHC 全体: 53 物質)

シウム合金など)がそのまた大部分を占めているが、始動用鉛バッテリーはハイブリッド建機を含め当面建機では継続使用が不可欠である。よって、有害物質の削減率を算定する際にはバッテリーを算定対象から除外して評価する(図-1参照)。

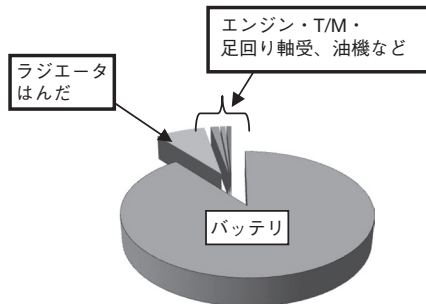


図-1 建機1台の使用量比率(例)

バッテリーの次に鉛質量の多い部品は従来型の銅ラジエータであった。フィンなどの接合のため通常の電子部品のはんだに比べて鉛含有率が倍近い約60~70%の鉛はんだを使用していた。この鉛削減のためにはんだによる接合が不要なアルミラジエータ化(接合は真空ろう付け)を推進している。これによりバッテリーを除く鉛使用量の3/4以上が一挙に低減できた。

ラジエータを除く残りは軸受が中心である。鉛4%超含有の鉛青銅などのCu-Pb合金がエンジン(メインベアリングなど)、トランスミッション/トルコン(ブッシュ)、油圧機器(ポンプ、モータのシリンダブロックなど)及びホイール系固有のアクスル、クローラ固有の足回り(上/下転輪・アイドラ)の軸受で使用されている。

さらなる鉛使用量削減のため、Cu-Sn-Bi合金などによりこれらの部位の鉛フリー化を推進しているが、既に達成済みの作業機系のブッシュに比べて摺動条件(PV値及び潤滑形態)が厳しく、完全に達成するにはまだ課題が残っている(図-2参照)。ELVでは現在は規制対象から除外されているエンジン、トランスミッションの軸受も含めて達成が望ましい。

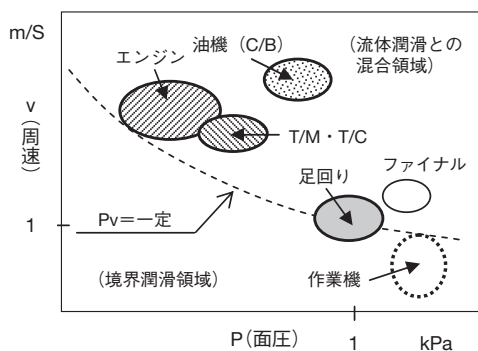


図-2 建機軸受の摺動条件比較(目安)

一方油圧ショベルなどで適用されている製缶カウンタウエイトの充填材の骨材として一般には鉄鉱石が使用されているが、再生骨材やポンチくずが使用される場合には鉛含有量を0.01%レベルに管理している。これはカウンタウエイトの質量比率が車体質量の約20%を占めるため、微量な不純物としてであっても鉛含有量が無視できなくなるからである。また充填材のリサイクル面でも有害物質の含有は極力低く抑えるべきである。

これに対して使用量では寄与は小さい用途に対しても規制対応などにより鉛の使用制限を推進してきた。塗料の無鉛化は2005年頃までには完全に無鉛化が達成されている(現在はREACHの制限物質でも指定されている)。さらに電子部品に使用される鉛はんだ(鉛含有量35%など)はELVの基板上の猶予期間も2016年登録車までであり、今後自動車での切替えを受けて建機でも鉛フリーはんだ化を推進する。

なお鉛含有率4%以下の銅合金、同0.4%以下のアルミニウム合金、同0.35%以下の快削鋼は使用量の寄与が極めて小さく、ELV、RoHSともに規制対象から除外されていることから今後も継続使用する(鉛フリー快削鋼などは推進)。

3. 有害物質の用途制限(鉛以外)

(1) 重金属の制限強化

有害物質質量削減のためには鉛の使用削減だけ考慮すれば十分であるが鉛以外の重金属についても各種規制や自主規制により用途制限が強化されており、それぞれ対応を進めている(表-1参照)。

①カドミウム・水銀の制限

カドミウムはELVでは電気自動車用のバッテリーの補給用のみ規制対象から除外されている。(RoHSでは電気接点も猶予されている)。また、REACHでは制限物質に指定され、塩化ビニールの安定剤や材着色剤(0.01%未満)、塗料やめっき(0.1%以下)に加え、ろう付け(0.01%未満)も2011年に追加された。銀ろうのJIS BAg-1・BAg-2はカドミウムを10%以上含んでいて使用不可なので、JIS BAg-7などに変更した。(不純物レベルも0.01%未満に管理)

他方、EU電池指令ではボタン電池に対してカドミウムは0.02%以下に制限されている。

これらにより、建機でもカドミウムは全面使用禁止化が進んでいる。

水銀はディスチャージランプ(HID含む)とモニターパネルの液晶のバックライトのみELVでは

2012 登録車まで猶予されている。これらについては建機でも切替えが進んでいる。また、超大型機種などでキャブ内の照明に蛍光灯が使用されているケースがあるが、これも LED などに切替を進めている。

他方、EU の電池指令により始動用バッテリーに対して水銀は 0.0005% (5 ppm) 以下に制限されている。

これらにより、建機でも水銀を全面使用禁止とする対応が進んでいる。

② 6 価クロムの制限

ELV では 2008 年までに市場導入された車種の防錆処理以外はキャンプ車の冷蔵庫の防錆用途以外一切除外用途はない。

亜鉛めっき後のクロメート処理中の 6 価クロムが問題となり 3 価クロメートへの切替を推進した。建機では規制による制限対象にはなっていないが、部品メーカーのめっき層の設備の関係もあって既に大部分の切替が完了している。

また、重防食用の亜鉛未化成被膜処理の“ダクロタイズド処理”も 6 価クロムフリーの“ジオメット処理”などに切替が行われた。これらの 6 価クロムフリーへの切替えに際して、耐食性の確認に加え、締結部品では摩擦係数の変動のないことの確認が製品メーカーにとっては重要な課題であった。重要締結部品を中心に部品メーカー毎あるいはめっきメーカー毎に耐食性を塩水噴霧試験で確認も行った。

ここで 6 価クロムなど特に表面処理として含有する物質では含有率の定義、すなわち部品に対してか、表面処理層に対してかが問題になる。REACH の SVHC は現在は部品単位であり含有率では対象にはならないが、ELV、RoHS では均一層ベースであり表面処理層に対して含有率が問われるので対象になる。さらに亜鉛めっき層全体で考えるかクロメート層だけで考えるかで不純物レベルの管理が異なる。いずれにせよ建機でも 6 価クロムは全面使用禁止が達成している。

ちなみに 6 価クロムの代わりにシリコン、コバルトが用いられ薬剤中には REACH の SVHC の硝酸コバルトが含まれるが、クロメート皮膜中には硝酸コバルトとしては存在しないと見なされる。

なおクロムめっきは製造工程で 6 価クロムを扱うが、製品としては金属クロム状態で 6 価としては存在しないので、通常は対象外として取り扱う。

(2) 重金属以外の有害物質の非含有化

重金属以外で規制関連の代表的な物質を表-2 に示す。切替え済みのアスベスト、CFC などを除き、建機関係で即切替を迫られる物質は少なく自主対応が中心になる。

なお PFOS や PBDE (ペンタブロモ誘導体) は POPs (残留性有機汚染物) に関する EU 議会・理事会規則により 0.001% の特別基準値が設定されている。

① REACH の SVHC 該当部品点数の削減

臭素系難燃性処理剤の PBB/PBDE は RoHS で禁止、PBDE は POPs (残留性有機汚染物質) に関する欧州議会・理事会規則で一般部品でも禁止されている。他方、REACH の SVHC でもある臭素系難燃性処理剤の HBCDD、樹脂やゴムの可塑剤のフタル酸エステル (特に DEHP/DBP) が重要な管理物質になっている。REACH 上は届出義務を回避しても部品毎の含有情報を風下のディーラに開示したり、ユーザからの問い合わせに回答義務があるので極力対象部品の削減が望ましい。油圧ホースのゴム材やデカルコマニアの塩ビなどは既に非含有化が進められている。

② 冷媒の脱フロン化

フロン系の冷媒は代替フロン (HFC) ではオゾン層破壊係数はほとんど 0 になっているが地球温暖化係数は CO₂ よりもむしろ高く、ライフサイクルでの CO₂ 排出量は代替フロンでもまだ解消されていない。そこで自動車では脱フロンの EU 指令が開始され、代

表-2 重金属以外の代表規制と対象物質

(記号などは表-1 参照)

代表物質		代表規制		他指令など	ELV (2011 版)	RoHS (2011 版)	建機メーカーの動向
		REACH (2011 版) SVHC	Restricted				
アスベスト		-	×	×	-	-	×
臭素系難燃性処理剤	PBDE	-	△	△	-	×	⇒×
	PBB	-	△	-	-	×	⇒×
	HBCDD	○ (1)	-	-	-	-	△ (⇒×
フタル酸エステル	DEHP・DBP・BBP・DIBP	○ (4)	△	-	-	-	△ (⇒×
	PFOS	-	-	△	-	-	△
PAH (特定 7 物質)		○ (1)	△	△	-	-	△
有機錫化合物	3 置換化合物	○ (1)	△	△	-	-	△
	DBT・DOT (2 置換)		△	△	-	-	△
フロン	CFC・HCFC	-	-	×	-	-	△
	HFC (R134a など)	-	-	-	×	-	⇒×

自動車

替としてハイドロフルオロオレフィン (HFO1234yf) がグローバルスタンダードになりつつある。

この新冷媒では冷媒透過性、微燃性などの課題があり、建機ではホースが長いので特に長時間使用の安定性に注意が必要である。冷房特性(COP)の低下は5%程度と小さく(従来代替候補のCO₂が約35%低下)、建機でも今後切替えを検討中である。

4. リサイクル可能率の向上

建機のリサイクル可能率の達成目標は業界基準(建機工)で97%で2008年建機工調査ではほぼ調査全機種でクリアしている。この建機工の判定基準はISO 16714ともほぼ整合が取れている(表-3参照)。マテリアルリサイクルとサーマルリサイクルともにリサイクル可とみなす(ISOではrecoverabilityとして扱われる)。またリサイクル可能率は設計上の算定値であるが、実際のリサイクル実効率向上も課題であるが建機工の目標は可能率97%に近づけることである。

残り3%には塩素系ホース、グリース、オペシート、ランプ類、フィルタエレメント、ミラー、グラスウールなど車体質量に対する比率が1%未満程度の小さいものが主体である。材料として純粋にリサイクル不可として扱うものは極めて少く、例えば熱硬化性ガラス繊維補強樹脂、ハロゲン系熱硬化性樹脂などが該当する。但し部品サイズなどによっては電子機器の基板のようにEP-GF(ガラス繊維補強エポキシ樹脂)でも貴金属の回収と合わせてリサイクル処理されるものもある。

ハーネスは被覆が塩化ビニールであっても、被覆と銅線が容易に分離できる専用解体機も導入され、マテリアルリサイクル可扱いされる。

(1) 非塩素系ゴムホースの導入

外皮カバーゴムに塩素系ゴムで構成される油圧ホース、燃料ホースはマテリアルリサイクル不可でサーマルリサイクル困難なためリサイクル不可として扱われてきた。これは口金やワイヤの分離が困難でありかつ一体のまま焼却や熱源利用、製鉄炉に投入すると塩素によってダイオキシン発生の虞があると同時に炉の損傷への悪影響から処理が敬遠されるためである。作動油系の油圧ホースは油圧ショベルやブルドーザ、ホイールローダなどの主要建機では車体質量全体の0.5%~1%を占めている。

そこで、リサイクル可能率をさらに向上させるために塩素を使用しない非塩素系ゴムを適用した作動油系ホースの導入を開始した。この際、外皮カバーゴムとして耐油性/耐候性/耐熱性/耐寒性/耐摩耗性などを兼備する代替ゴム材の選定が課題であった。

また、実効率向上のために廃却処理工程で非塩素系ホースを識別することが必要なので、まず当面は銘柄の一部として“CLF”をホース本体表面に表示とした。(ISO 1043-1に準ずる表示などが今後の課題)

ゴムホースは熱源としての熱容量が不足するがセメントの原資としても利用可能であり製鉄炉ではゴムシュウの場合と同様にゴムは還元剤としてマテリアルリサイクル可の扱いが可能である。昨今では塩素系(ハロゲン系)のゴム、樹脂自体の適用を否定する風潮は薄れているが、非塩素系ホースの導入はリサイクル不可の残り3%のさらなる削減に大いに寄与するものである。

但し燃料系における燃料透過時の劣化と作動油系のMSHA 難燃性(鉱山用)の対応は非塩素系ホースではまだ課題がある。特にバイオ燃料(BDF)に対しては燃料透過抑制のために内管チューブゴムにふっ素系のバリアが使用されるのが一般的で、ハロゲン系と

表-3 リサイクル可否判定例

(○:可/×:不可/△:部分的可)

部品/副資材	建機工 判断基準 (2008)	ISO 16714 (2008)	追加判定	(参考) JCMAS H016 (2002) 材料の環境への影響評価
製缶カウンタウエイト	○	○ (m _p)	-	A (シェル, 鉄鉱石)/- (コンクリート)
作動油・潤滑油	○	○ (m _p)	-	A (生分解性)・B/C (添加剤)
塗膜	(○)	-	○	B (塗料)
ハーネス	○	-	-	A (PE)・C (塩ビ)/B (銅線)
キャパシタセル	-	-	○	A (アルミニウムなど)/B
口金付油圧ホース	非塩素系	(○)	○	A (口金, 補強材)/B (ゴム)
	塩素系	×	-	A (口金, 補強材)/C (ゴム)
オペシート	×	○ (m _p)	-	A (鋼)/B (ポリウレタン)/C (塩ビ)
鋼/銅複合ラジエータ	×	-	-	A (鋼)/B (銅)/C (鉛)
セラミックフィルタ(排出ガス)	-	-	△	A (セラミック, 白金)/他
フィルタエレメント	×	×	-	B
ランプ・ミラー・計器類	×	-	-	A/B/C (水銀)
グラスウール(吸音材)	×	-	-	B
グリース	×	- (m _p)	-	B

A: 環境負荷小 B: 環境負荷あり C: 環境負荷大

ということでリサイクル上は塩素系と同様に不可扱になる。

(2) 製缶カウンタウエイトのリサイクル処理

油圧ショベルなどで適用されている製缶カウンタウエイトの充填材は骨材の鉄鉱石又は重晶石とバインダのセメントである。溶接した鋼材のシェルに充填材を挿入して製造する。複合部品としてリサイクルが困難であったが、建機工としてマニュアル整備や処理業者認定作業を進め、リサイクル可であると同時に実効率の向上も期待されている。

解体により選別されたコンクリートがらは路盤材として利用されるかあるいは再度カウンタウエイトの充填材の再生骨材として利用される。

この際リサイクル促進のために内容物表示することが推奨されており、貼付が始まっている(図一3参照)。

COUNTER-WEIGHT	
TYPE	SHELL-TYPE
TOTAL MASS	*** kg
PART MATERIAL	
1. 外板 SHELL	鋼 STEEL
2. 内容物 FILLER CONCRETE	鉄鉱石 又は 重晶石 IRON ORE or BARITE 鉄 又は 重晶石(不純物) 鉄鉱石 重晶石(不純物)
2-2 バインダ BINDER	セメント CEMENT

リサイクル促進のための内容物表示です。
THIS PLATE INDICATES FILLER MATERIAL FOR RECYCLE USE.
Komatsu Ltd. Japan

図一3 製缶カウンタウエイト内容物表示 (例)

(3) 環境対応型建機専用部品のリサイクル

燃費改善や低エミッション化などの環境対応はリサイクル面で新たな問題(トレードオフ)を引き起こす場合があります。注意が必要である。

①ハイブリッド用キャパシタ

燃費低減で脚光を浴びているハイブリッド建機で適用されている電気を蓄えるキャパシタはバッテリーのようにリサイクル回収ルートが確立していない。そこで導入に際しリサイクル処理が可能であることを確認した。

キャパシタは一般には化学反応を伴わず寿命が長い。そのためバッテリーのような定期交換は不要で解体時のみ処理が必要になる。キャパシタセルはアルミ合金製でアルミ素材としての回収が望ましいが電極、電解液(浸漬紙)、絶縁皮膜、封止材など複合材料が混在している状態では処理が煩雑で一般の大手アルミ素材メーカーでは直接回収されにくく中間処理業者が必要である。あるいはアルミ素材としてではなく貴金属を含む電子基板(EP-GF)と一体処理する業者もある。

リサイクル促進のためカウンタウエイトと同様に内容物表示が検討されている(図一4参照)。

CAPACITOR CONTENTS		
COVER・CASE カバー・ケース	Aluminum Alloy アルミニウム合金	
CELL セル	Case ケース	Aluminum Alloy アルミニウム合金
	Electrode 電極	Aluminum Thin Film base +Carbon, etc アルミ箔ベース+炭素、他
	Electrolyte Solution 電解液	***
	Separator セパレータ	Molding(Cellulose, etc.) 樹脂(セルロースなど)
	Tape テープ	Molding(PET) 樹脂
	Seal シール	Rubber (IIR) ブチルゴム
	Valve 弁	Stain-less Steel, etc. ステンレス、他

図一4 キャパシタ内容物表示 (例)

② Tier4 排出ガス対策用セラミックフィルタ

今後の建機業界あるいはトラックなどの業界も含む課題として Tier4 規制対応エンジンのパーティキュレート (PM) 低減のための酸化触媒 (DOC), ストフィルタ (DPF) に適用されるセラミック [コージェライト (アルミナ, タルク, カオリンの混合物) or 炭化けい素] 製のフィルタ担体の処理がある。

これらのフィルタには触媒の白金が装着されているため、白金自体は貴金属として回収される。残ったセラミック担体は乾式処理ではスラグとして回収し建築資材などにリサイクル可であるが、湿式処理では困難なようだ。NOx 制限が強化される Tier4 (final) 規制で尿素 SCR の追加装備になるとさらにフィルタが増量する。またフィルタの緩衝マットにもリサイクルが困難なセラミックファイバやグラスウールが使用されている。

特にフィルタ本体はリユースも検討すべきである (ISO 16714 でリユースはリサイクル可扱い)。

5. おわりに

このように建機では鉛を中心とする有害物質使用量削減と同時に、REACH の要求への対応、ELV など自動車の指令への先行対応で種々の化学物質への対応も進めている。今後さらに REACH の SVHC など管理物質の追加や REACH 相当の規則の他地域での適用拡大が予測されるので、継続的に対応が必要である。

JCMMA

《参考文献》

- 1) ISO16714, JCMAS H016, 建機工カウンタウエイト処理マニュアル (2009), 小松技報 2009 vol.56

[筆者紹介]

鍋岡 和之 (なべおか かずゆき)

(株)小松製作所

開発本部 業務部 規制・標準グループ

主査