

平成 23 年度環境省請負業務報告書

平成 23 年度使用済自動車再資源化に係る
臭素系難燃剤等対策調査業務

報告書

平成 24 年 3 月

株式会社環境管理センター

目 次

1. 業務の概要	1
1.1 目的	1
1.2 調査概要	1
1.2.1 使用済自動車に係る臭素系難燃剤の規制動向調査	1
1.2.2 自動車製造業者の対応状況に関する調査	1
1.2.3 臭素系難燃剤含有プラスチックの分別技術調査	2
1.2.4 使用済自動車内装材等の臭素系難燃剤使用状況等調査	2
1.2.5 プラスチック製品（RPF、リサイクル防音材）の臭素系難燃剤調査	2
1.3 検討会の運営等	3
1.4 履行期限	4
2. 使用済自動車に係る臭素系難燃剤の規制動向調査	5
2.1 国際条約	6
2.1.1 POPs 条約（残留性有機汚染物質に関するストックホルム条約）	6
2.1.2 ロッテルダム条約（PIC 条約）	9
2.1.3 バーゼル条約	11
2.1.4 OSPAR 条約	13
2.2 EU	14
2.2.1 ELV 指令	14
2.2.2 RoHS 指令	15
2.2.3 廃電気・電子機器指令（WEEE）	19
2.2.4 REACH	22
2.3 その他の関連トピックス	24
2.3.1 米国の動向	24
2.4 主要な臭素系難燃剤の使用状況	27
2.4.1 臭素系難燃剤の使用状況	27
2.4.2 自動車材料における臭素系難燃剤の使用状況	29
3. 自動車業界の対応状況に関する調査	33
3.1 調査方法	33
3.1.1 調査目的	33
3.1.2 調査内容	33
3.1.3 調査結果	37
3.2 まとめ	49

1. 業務の概要

1.1 目的

昨今、ポリ臭化ジフェニルエーテル等の化学物質を含む廃棄物のリサイクルの在り方に関して国際的に議論が進んでおり、今年開催された残留性有機汚染物質に関するストックホルム条約（POPs 条約）締約国会議においても、POPs 条約附属書 A に掲げられた臭素系難燃剤を含む廃棄物のリサイクル防止に向けた提言（※）が締約国間で共有されたところである。また、他の臭素系難燃剤についても、規制の必要性について検討が進められているところである。

自動車については、内装材等に難燃性が求められることから、臭素系を含めた難燃剤が用いられてきた。そこで、自動車リサイクルにおける有害物質対策の検討に資するため、国際的な規制動向及び臭素系難燃剤を含有する廃棄物の分別技術等について調査を行う。

※ UNEP/POPS/COP.5/36 (SC-5/5: Work programme on brominated diphenyl ethers and perfluorooctanesulfonate, its salts and perfluorooctane sulfonyl fluoride (p35)参照。)

上記資料は POPs 条約事務局 HP の以下のサイトより入手可能。

<http://chm.pops.int/Convention/COP/Meetings/COP5/tabid/1267/mctl/ViewDetails/EventModID/870/EventID/109/xmid/4351/language/en-US/Default.aspx>

1.2 調査概要

平成 23 年度使用済自動車再資源化に係る臭素系難燃剤等調査概要は、下記に示すとおりである。

1.2.1 使用済自動車に係る臭素系難燃剤の規制動向調査

自動車に用いられている、あるいは過去に用いられていた臭素系難燃剤を念頭に、POPs 条約を始めとする国際的な有害物質の規制動向について、使用済自動車のリサイクルの観点から関連事項をとりまとめる。

1.2.2 自動車製造業者の対応状況に関する調査

国の有害物質の規制への対応や、我が国における自動車業界の環境負荷物質削減に関する自主取組等に対応するため、自動車製造業者等が実施している具体的な対応策（IMDS : International Material Data System の活用等）について、社団法人日本自動車工業会等へのヒアリング調査及びアンケート調査を活用して把握する。ヒアリングについては、過去の経緯についても併せてとりまとめる。

1.2.3 臭素系難燃剤含有プラスチックの分別技術調査

POP-BDE (※)、PBB、及び HBCD を含有する廃棄物の分別技術について、国内外における開発・実用化の現状について調査する。

※ POP-BDE とは、以下のポリ臭化ジフェニルエーテルをいう。

- ・テトラブロモジフェニルエーテル及びペンタブロモジフェニルエーテル
- ・ヘキサブロモジフェニルエーテル及びヘプタブロモジフェニルエーテル

1.2.4 使用済自動車内装材等の臭素系難燃剤使用状況等調査

国産車及び国内に輸入された外国製自動車の使用済自動車 (※) を対象として、シート等の難燃性を求められる部品を対象に、臭素系難燃剤の含有状況について分析調査を行った。可能な限り低年式の (古い) 使用済自動車を中心とし、対象車両は計 48 台とした。

その内訳は、輸入車 (欧州ブランド) 15 台、輸入車 (北米ブランド) 8 台、国産車 25 台である。

分析方法については、詳細を検討会において検討することとし、簡易分析方法 (蛍光 X 線分析) の活用等により、より多くのサンプルを対象とした調査を行う。詳細分析としては 20 サンプルを対象に、PBDE、PBB、及び HBCD の 3 物質について含有量分析を実施した。なお、PBDE の詳細分析にあたっては 1~10 臭素化ジフェニルエーテル、PBB の詳細分析にあたっては 1~10 臭素化ビフェニル、HBCD の詳細分析にあたっては α 、 β 、 γ について分析を行うこととする。

分析試料のサンプリングにあたっては、その使用済自動車の製造年、製造国、ブランド、モデル、車台番号及び可能な範囲でサンプルとする部品の製造年のリストを作成し、解体業者によるサンプリングの状況確認を実施した。

※ 使用済自動車の再資源化等に関する法律 (平成 14 年法律第 87 号、以下「自動車リサイクル法」という) に基づき引取業者に適正に引き取られるとともに、フロン類が使用されている場合にはフロン類回収業者においてフロン類が回収され、解体業者に引き渡された使用済自動車であること。また、サンプリング後の使用済自動車は、解体業者が自動車リサイクル法に基づき、使用済自動車の適正な解体を行い、他の解体業者又は破砕業者に使用済自動車又は解体自動車を引き渡すものでなければならない。

1.2.5 プラスチック製品 (RPF、リサイクル防音材) の臭素系難燃剤調査

上記の使用済自動車内装材の他に、現行の自動車リサイクルの仕組みにおいて燃料、部品等として再利用されているプラスチック製品 (RPF、リサイクル防音材) についても同様に臭素系難燃剤分析を実施しその実態を把握した。

分析方法については、詳細を検討会において検討することとし、2 製品について製造ロットの異なる 3 試料 (計 6 検体) を調査対象に、PBDE、PBB、及び HBCD の 3 物質について含有量分析を実施した。なお、PBDE の詳細分析にあたっては 1~10 臭素化ジフェニル

ルエーテル、PBB の詳細分析にあたっては1～10 臭素化ビフェニル、HBCD の詳細分析にあたっては、 α 、 β 、 γ について分析を行うこととする。

1.3 検討会の運営等

上記 1.2.1～1.2.5 の業務の実施に関し、専門家及び関係者からなる検討会「平成 23 年度使用済自動車再資源化に係る臭素系難燃剤等調査検討会」を設置・開催（2回、場所は東京都内）し、助言をいただく。検討会資料の作成については、環境省担当官の指示により行う。検討会の委員は9名でその名簿を表 1-1 に示す。

表 1-1 平成 23 年度使用済自動車再資源化に係る臭素系難燃剤等調査検討会委員名簿

	氏 名	所 属
委員 (五十音順、 敬称略)	長田 守弘	新日鉄エンジニアリング株式会社 環境ソリューション事業部 部長
	蒲 良一	本田技研工業株式会社 日本営業本部 環境・リサイクル推進室 主幹
	河地 洋一	豊通リサイクル株式会社 ASR 再資源化事業部 常務取締役事業部長
	貴田 晶子	愛媛大学農学部環境計測学研究室 客員教授
	木村 康一	JFE ビーレック株式会社 代表取締役社長
	酒井 伸一 (座長)	京都大学 環境安全保健機構付属環境科学センター長
	鈴木 博幸	日本自動車輸入組合 環境部 課長
	滝上 英孝	独立行政法人国立環境研究所 資源循環・廃棄物研究センター ライフサイクル物質管理研究室 室長
	中野 隆裕	マツダ株式会社 商品戦略本部 技術企画部 環境安全企画室長

表 1-2 オブザーバー、環境省及び事務局担当者名簿

	氏 名	所 属
オブザーバー	鈴木 辰夫	一般社団法人日本自動車工業会 環境統括部 調査役
	橋本 薫	経済産業省製造産業局 自動車課 係員
環境省	森下 哲	大臣官房廃棄物・リサイクル対策部 企画課リサイクル推進室 室長
	豊住 朝子	大臣官房廃棄物・リサイクル対策部 企画課リサイクル推進室 室長補佐
	高林 克臣	大臣官房廃棄物・リサイクル対策部 企画課リサイクル推進室 環境専門員
事務局	豊口 敏之	株式会社 環境管理センター 技術本部 部長
	川崎 桂一	株式会社 環境管理センター 営業本部 営業企画室 営業企画グループリーダー
	小林 一	株式会社 環境管理センター 営業本部 官需営業部 課長代理
説明者	鵜飼 隆広	株式会社 三菱総合研究所 環境エネルギー研究本部
	内野 尚	株式会社 三菱総合研究所 環境エネルギー研究本部

1.4 履行期限

契約締結日から平成 24 年 3 月 26 日まで

2. 使用済自動車に係る臭素系難燃剤の規制動向調査

近年、プラスチックの難燃剤等として使用される臭素系難燃剤（ポリ臭化ジフェニルエーテル等）の規制が進んでいる。自動車でも、内装材等にこれらの臭素系難燃剤が一部使用されていることから、こうした国際的な規制は、使用済自動車のリサイクルのあり方を考える上で重要である。

本章では、臭素系難燃剤をとりまく最近の国際的な規制動向と自動車リサイクルへの影響について整理する。整理対象事例は、以下に示す条約及び国際的な環境規制を中心とし、米国等の主要国におけるトピックスを追加した。

また、本章末には、自動車内装材等における難燃剤の使用動向に関する資料を整理した。

○調査対象事例

◆国際条約

- ・ POPs 条約（残留性有機汚染物質に関するストックホルム条約）
- ・ PIC 条約（国際貿易の対象となる特定の有害な化学物質及び駆除剤についての事前のかつ情報に基づく同意の手続に関するロッテルダム条約）
- ・ バーゼル条約（有害廃棄物の国境を越える移動及びその処分の規制に関するバーゼル条約）
- ・ OSPAR 条約（オスロ・パリ条約）

◆EU

- ・ ELV 指令（End-of Life Vehicles Directive）
Directive 2000/53/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 18 September 2000 on end-of life vehicles
- ・ RoHS 指令（Restriction of Hazardous Substances Directive）
DIRECTIVE 2002/95/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 27 January 2003 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment
- ・ 廃電気・電子機器指令（WEEE 指令）（Waste Electrical and Electronic Equipment Directive）
DIRECTIVE 2002/96/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 27 January 2003 on waste electrical and electronic equipment
- ・ REACH（Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals）

◆その他の関連トピックス

- ・ 米国における臭素系難燃剤をめぐる動向

- ・各州における規制動向
- ・Deca-BDE Phase-out Initiative
- ・その他

2.1 国際条約

2.1.1 POPs 条約（残留性有機汚染物質に関するストックホルム条約）

(1) 規制状況

POPs 条約は、残留性有機汚染物質（Persistent Organic Pollutants）による人と環境への影響を防止する目的で制定された。POPs 条約では、当初 12 物質が附属書 A（廃絶）に記載され、残留性有機汚染物質検討委員会（POPRC）において、附属書に追加すべき物質の検討が引き続き行われている。

2009 年に開催された第 4 回締約国会議（COP 4）では、臭素系難燃剤を含む 9 物質が追加された。

また、2011 年 10 月に開催された POPRC 7 では、ヘキサブロモシクロドデカン（HBCDD）を条約対象物質に加えるべきであるとの勧告が行われた。以上の結果、現在の POPs 条約における臭素系難燃剤の規制状況は以下のようになっている。

表 2-1 POPs 条約における臭素系難燃剤の規制動向

物質名	用途	内容	備考
テトラブロモジフェニルエーテル(tetraBDE)、ペンタブロモジフェニルエーテル(pentaBDE)	プラスチック難燃剤	・2009 年の COP 4 において製造・使用等の禁止が決定（以下の用途を除外する規定あり） -当該物質を含有する製品のリサイクル	工業用ペンタ BDE 中の成分
ヘキサブロモビフェニル(HBB)	プラスチック難燃剤	・2009 年の COP 4 において製造・使用等の禁止が決定	
ヘキサブロモジフェニルエーテル(hexaBDE)、ヘプタブロモジフェニルエーテル(heptaBDE)	プラスチック難燃剤	・2009 年の COP 4 において製造・使用等の禁止が決定（以下の用途を除外する規定あり） -当該物質を含有する製品のリサイクル	工業用オクタ BDE 中の成分
ヘキサブロモシクロドデカン(HBCDD)	プラスチック難燃剤	・2011 年の POPRC 7 において、条約対象物質に追加すべきとの勧告がなされた。	

出典) 環境省資料より作成

(2) 今後の見通し

臭素系難燃剤に対する取組み

2011 年 4 月に開催された POPs 条約の COP 5 では、BDEs と PFOS に関する作業計画（Work programme on brominated diphenyl ethres and perfluorooctane sulfonic acid,

its salts and perfluorooctane sulfonyl fluoride) が決議された。

この決議では、臭素化ジフェニルエーテルを含む廃棄物のリサイクル防止に向けた提言が盛り込まれたほか、途上国への輸出の防止等に向けて取り組んでいくことが確認された。同決議の関連部分の抜粋を以下に示す。

Work programme on brominated diphenyl ethres and perfluorooctane sulfonic acid, its salts and perfluorooctane sulfonyl fluoride (抜粋)

1. *Encourages* parties and other relevant stakeholders to implement where appropriate, taking into account national circumstances, the recommendations set out in the annex to decision POPRC-6/2 on the elimination from the waste stream of brominated diphenyl ethers that are listed in Annex A to the Convention and on risk reduction for perfluorooctane sulfonic acid, its salts and perfluorooctane sulfonyl fluoride;
2. *Encourages* parties to ensure that waste materials containing brominated diphenyl ethers listed in Annex A are not exported to developing countries or countries with economies in transition, consistent with the provisions of the Stockholm Convention, including its paragraph 1 (d) of Article 6, and relevant provisions of the Basel Convention;
3. *Invites* parties to submit information on their experiences in implementing the recommendations, where applicable, or other actions that have the same objectives, to the Secretariat no later than six months before the sixth meeting of the Conference of the Parties;
4. *Requests* the Secretariat to prepare a compilation of the information received for consideration by the Conference of the Parties at its sixth meeting and to transmit it to the appropriate bodies of the Basel Convention;

1. 締約国及び他の関連ステークホルダーに対して、国内の事情を考慮しながら、必要に応じて、条約附属書 A に掲載された臭素化ジフェニルエーテルの廃棄物からの除去及びパーフルオロオクタンスルホン酸及びその塩、並びにパーフルオロオクタンスルホンフルオリドのリスク低減に関する決議 POPRC-6/2 の附属書に書かれた提言を実施するように奨励する。
2. 締約国に対して、第 6 条 1 項(d)を含むストックホルム条約の条文及び関連するバーゼル条約の条文に則って、附属書 A に掲載された臭素化ジフェニルエーテルを含む廃棄物が開発途上国や移行経済国に輸出されないことを確保するように奨励する。
3. 締約国に対して、これらの提言の実施、必要に応じて、同様の目的をもつその他の活動の実施に関する経験についての情報を第 6 回締約国会議の 6 ヶ月前までに事務局長に提出するように招請する。
4. 事務局長に対して、第 6 回締約国会議の検討に供するため、受領した情報をとりまとめ、その情報をバーゼル条約の適切な組織に提供することを要請する。(以下略)

HBCDD の条約対象物質への追加

2011 年 11 月に開催された POPRC7 において、条約の対象物質とするよう締約国会議に勧告すべきとの決議がなされた HBCDD については、2013 年に開催予定の COP 6 で、条約対象物質への追加が最終的に決定されると予想される。

2.1.2 ロッテルダム条約 (PIC 条約)

(1) 規制状況

ロッテルダム条約 (PIC 条約) は、正式名称を「国際貿易の対象となる特定の有害な化学物質及び駆除剤についての事前のかつ情報に基づく同意の手続に関するロッテルダム条約」とし、先進国で使用が禁止または厳しく制限されている有害な化学物質や駆除剤が、開発途上国にむやみに輸出されることを防ぐために、締約国間の輸出に当たっての事前通報・同意手続 (Prior Informed Consent、PIC) 等を規定している。

事前通告の対象となる化学物質、駆除剤は条約の付属書Ⅲに掲載されており、具体的には次ページ表のように定められている。臭素系難燃剤としては以下が対象となっている。

物質名	CAS 番号
ポリブロモビフェニル (PBB)	36355-01-8
トリス(2,3-ジブロモプロピル)ホスファート	49690-63-3

締約国は付属書Ⅲに掲げられた物質又は自国において使用を禁止または厳しく制限している物質を輸出しようとする場合は、毎年、輸入国に必要な情報を添付した輸出通知を行う。また、該物質の危険性又は有害性に関する情報をラベル等により表示し、安全性に関する資料を輸入者に送付することが義務づけられる。

(2) 今後の見通し

PIC 条約の締約国会議 (COP) では、付属書Ⅲの掲載物質の見直しを行っており、2011年6月に開催された COP5 では、アラクロル、アルディカーブ、エンドスルファンの3種類の駆除剤の追加が決定した (2011年10月から正式に発効予定)。

2011年3月に開催された第7回化学物質検討委員会 (Chemical Review Committee、CRC-7) では、以下の物質が追加候補として検討され、2013年の COP6 において、付属書Ⅲへの追加について検討が行われる。この中には、2種類の臭素系難燃剤が含まれている。

◆PIC 条約付属書Ⅲへの追加候補物質

- ・アジンフォスメチル
- ・アスベスト (クリソタイル)
- ・パーフルオロオクタンスルホン酸及びその塩並びにその前駆体であるパーフルオロオクタンスルホンフルオリド
- ・tetra-BDE 及び penta-BDE (工業用 penta-BDE の成分)
- ・hexa-BDE、hepta-BDE、octa-BDE、nona-BDE、deca-BDE (工業用 deca-BDE の成分)
- ・二塩化パラコート

表 2-2 PIC 条約の対象物質リスト

NO.	物質名	用途
1	2,4,5-T、2,4,5-T塩及び2,4,5-Tのエステル化合物	駆除剤
2	アルドリン	駆除剤
3	ビナバクリル	駆除剤
4	カブタホール	駆除剤
5	クロルデン	駆除剤
6	クロルジメホルム	駆除剤
7	クロロベンジレート	駆除剤
8	DDT	駆除剤
9	ディルドリン	駆除剤
10	ジニトロ-オルト-クレゾール(DNOC)及びジニトロ-オルト-クレゾール(DNOC)塩(アンモニウム塩、カリウム塩、ナトリウム塩等)	駆除剤
11	ジノゼブ、ジノゼブ塩及びジノゼブのエステル化合物	駆除剤
12	1,2-ジブromoエタン(EDB)	駆除剤
13	1,2-ジクロロエタン	駆除剤
14	エチレンオキシド	駆除剤
15	フルオロアセトアミド	駆除剤
16	HCH(異性体混合物)	駆除剤
17	ヘプタクロル	駆除剤
18	ヘキサクロロベンゼン	駆除剤
19	リンデン	駆除剤
20	水銀及び水銀化合物(無機水銀化合物、アルキル水銀化合物、アルキルオキシアルキル及びアリル水銀化合物を含む)	駆除剤
21	モノクロトホス	駆除剤
22	パラチオン	駆除剤
23	ペンタクロロフェノール、ペンタクロロフェノール塩及びペンタクロロフェノールのエステル化合物	駆除剤
24	トキサフェン	駆除剤
25	ベノミル、カルボフラン及びチウラムの全てを含有する粉	著しく有害な駆除用製剤
26	メタミドホス	著しく有害な駆除用製剤
27	ホスファミドン	著しく有害な駆除用製剤
28	メチルパラチオン	著しく有害な駆除用製剤
29	アスベスト類	工業用化学物質
30		アクチノライト
31		アンソフィライト
32		アモサイト
33		クロシドライト
33		トレモライト
34	ポリ臭化ビフェニル(PBB)	工業用化学物質
35	ポリ塩化ビフェニル(PCB)	工業用化学物質
36	ポリ塩化テルフェニル(PCT)	工業用化学物質
37	四エチル鉛	工業用化学物質
38	四メチル鉛	工業用化学物質
39	トリス(2,3-ジブromoプロピル)ホスファート	工業用化学物質

注) 本文に既述の通り、2011年10月24日からアラクロル、アルディカーブ、エンドスルファンの3種類の駆除剤が追加された。

出典) 環境省ホームページ

2.1.3 バーゼル条約

(1) 規制状況

バーゼル条約（有害廃棄物の国境を越える移動及びその処分の規制に関するバーゼル条約）は、有害な廃棄物の国境を越える移動による環境影響を防止する観点から、1989年3月に採択され、1992年5月に発効した。

この条約では、条約で特定された有害廃棄物の輸出には、輸入国の書面による同意が必要なこと、国境を越える廃棄物の移動には適切な移動書類の添付を要すること、廃棄物の国境を越える移動が輸出者又は発生者の行為の結果として不法取引となる場合には、輸出国は、当該廃棄物の引取を含む適当な措置をとること、などが定められている。

規制対象となる有害廃棄物は、附属書Ⅰに掲げる廃棄物であって、附属書Ⅲに掲げる危険有害性（爆発性、引火性、急性毒性、生態毒性等）を有するものとされている。附属書Ⅰは下表の通りで、臭素系難燃剤であるポリ臭化ビフェニルが含まれている（Y10）。このほか、Y45として有機ハロゲン化合物があげられている。

(2) 今後の見通し

2011年10月にコロンビアでバーゼル条約の第10回締約国会議(COP10)が開催された。COP10では、有害廃棄物等の発生防止、最小限化、リサイクルに関する「カルタヘナ宣言」が採択され、締約国は、バーゼル条約の原則や過去の締約国会議で採択された決議を基に、バーゼル条約地域センターや関係する国際機関と連携しながら、有害廃棄物等の発生防止、最小限化、リサイクルに取り組んでいくことを宣言した。また、バーゼル条約と関連するPOPs条約、PIC条約との連携を今後も推進することなどが決議された。しかし、臭素系難燃剤に特化した議論は特に行われなかった。

表 2-3 バーゼル条約附属書 I

分類	番号	品 目
廃棄の経路	Y1	病院、医療センター及び診療所での医療行為に伴う医療系廃棄物
	Y2	医薬製品の製造及び調製に伴う廃棄物
	Y3	不用となった医薬品及び薬剤
	Y4	微生物剤及び植物薬剤の製造、調合及び使用に伴う廃棄物
	Y5	木材保存化学品の製造、調合及び使用に伴う廃棄物
	Y6	有機溶剤の製造、調合及び使用に伴う廃棄物
	Y7	熱処理及び焼き戻し作業に伴うシアン化物を含む廃棄物
	Y8	本来意図した使用に適合しない廃鉱物油
	Y9	不用となった油及び水又は炭化水素及び水の混合物又は乳濁物
	Y10	ポリ塩化ビフェニル(PCBS)、ポリ塩化タフェニル(PCTS)若しくはポリ臭化ビフェニル(PBBS)を含み又は汚染された廃棄物質及び廃棄薬品
	Y11	精製、蒸留及びあらゆる熱分解処理により生ずる不用となったタール状残さ
	Y12	インク、染料、顔料、塗料、ラッカー、ワニスの製造・調合・使用に伴う廃棄物
	Y13	樹脂、ラテックス、可塑剤及び接着剤の製造・調合及び使用に伴う廃棄物
	Y14	研究、開発又は教育活動に伴い生ずる化学物質にあって未同定及び／又は環境への影響が未知のもの
	Y15	他の法律で規制されない爆発性廃棄物
	Y16	写真用薬品及び製版剤の製造・調合及び使用に伴う廃棄物
	Y17	金属及びプラスチックの表面処理に伴い生ずる廃棄物
	Y18	産業廃棄物処理操作により生ずる残さ
次に掲げる成分を含有する廃棄物	Y19	金属カルボニル
	Y20	ベリリウム、ベリリウム化合物
	Y21	6価クロム化合物
	Y22	銅化合物
	Y23	亜鉛化合物
	Y24	砒素、砒素化合物
	Y25	セレン、セレン化合物5-22
	Y26	カドミウム、カドミウム化合物
	Y27	アンチモン、アンチモン化合物
	Y28	テルル、テルル化合物
	Y29	水銀、水銀化合物
	Y30	タリウム、タリウム化合物
	Y31	鉛、鉛化合物
	Y32	ふっ化カルシウムを除く無機ふっ素化合物
	Y33	無機シアン化合物
	Y34	酸性溶液又は固体状酸
	Y35	塩基性溶液又は固体状塩基
	Y36	アスベスト(粉じん及び繊維質)
	Y37	有機りん化合物
	Y38	有機シアン化合物
	Y39	フェノール類、クロルフェノールを含むフェノール化合物
	Y40	エーテル
	Y41	ハロゲン化有機溶剤
	Y42	ハロゲン化溶剤を除く有機溶剤
	Y43	ポリ塩化ジベンゾフラン類
	Y44	ポリ塩化ジベンゾ-P-ダイオキシン類
	Y45	本表掲載分(Y39、Y41、Y42、Y43、Y44等)を除く有機ハロゲン化合物

2.1.4 OSPAR 条約

(1) 規制状況

OSPAR 条約 (Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atla) は、北東大西洋における海洋環境の保護を目的として、1998 年に発効した。加盟国は EU 及びデンマークなど北東太平洋に面する 15 ヶ国となっている。

条約がカバーする領域は、生物多様性と生態系、富栄養化、有害物質、オフショア（沖合）産業、放射性物質、モニタリングの 5 テーマである。

有害物質に関しては、有害物質の放出、排出、流出を継続的に削減することにより、条約が対象とする大西洋海域の汚染を防止し、究極的には人為起源の物質の濃度をゼロに近づけ、天然の化学物質のバックグラウンド値を達成することを目的としている。具体的には、優先取組物質 (Chemicals of Priority Concern) のリストを定め、優先取組物質のモニタリング計画 (Joint Assessment and Monitoring Programme) を策定している。臭素系難燃剤としては、以下の物質が優先取組物質に指定されている。

- ・臭素系難燃剤
- ・テトラブロモビスフェノール A

現在は以下の臭素系難燃剤がモニタリング対象となっており、海洋環境と生物相を対象に、これらの臭素系難燃剤のモニタリングデータが収集されている。

- ・ penta-BDE
- ・ octa-BDE
- ・ deca-BDE
- ・ HBCDD (ヘキサブロモシクロドデカン)
- ・ デカブロモビフェニル

(2) 今後の見通し

これらの優先取組物質については、2020 年までにその放出、排出、流出による汚染を廃絶することが目標とされている。

2.2 EU

2.2.1 ELV指令

(1) 規制状況

使用済み自動車に関する ELV (End of Life Vehicle) 指令は、使用済み自動車が環境に影響を与えないように配慮することを目的として 2000 年 10 月に発効し、2003 年 7 月 1 日以降に販売された自動車から適用されている。ELV 指令の規制内容は、回収率やリサイクル率に関する規制と有害物質の使用規制が中心となっている。

現在、回収率、リサイクル率については、それぞれ可能率と実行率が以下のように定められている。

- ・回収可能率：95%以上
- ・回収実行率：2015 年 1 月 1 日までに 95%以上
- ・リサイクル可能率：85%以上
- ・リサイクル実行率：2015 年 1 月 1 日までに 95%以上

一方、有害物質規制については、鉛、カドミウム、六価クロム、水銀が 2003 年 7 月から原則使用禁止とされているが、代替技術の有無を考慮して除外規定や適用猶予が設けられている。ELV 指令の有害物質規制の例外（適用除外）は、付属書Ⅱに規定されており、この付属書Ⅱはこれまでに数回改定されている。最新の改定は第 5 回（2011 年 3 月 30 日）である。この禁止物質のリストには、臭素系難燃剤は含まれていない。

(2) 今後の見通し

EU の ELV 指令の HP 及び各種の情報源によれば、ELV 指令の改正等に関する情報の中で臭素系難燃剤に関する情報は検索されなかった。

2.2.2 RoHS 指令

(1) 規制動向

① 概要

RoHS 指令は、EU が 2006 年 7 月 1 日に施行した電気電子機器への特定有害物質の含有を禁止する指令であり、Restriction of the Use of Certain Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment の頭文字をとって RoHS 指令と呼ばれている。

電気電子機器の再使用、構成部品などの再生・リサイクルを推進する WEEE 指令と同時に施行され、WEEE 指令による廃電気電子製品のリサイクルを容易にすること、また、製品が最終的に埋立てや焼却処分されるときに、人と環境への影響を防止することを目的としている。

RoHS 指令は、少なくとも 4 年に一度、規制内容が見直される仕組みになっており、2006 年 7 月に施行された後、見直し作業が進められ、2011 年 7 月 21 日に改正 RoHS 指令が発効した。

② 改正 RoHS 指令の概要

○改正前後の RoHS 指令の比較

改正 RoHS 指令における改正のポイントは以下の通りである。

表 2-4 改正前後のRoHS指令の比較¹

	改正前	改正後
WEEE 指令との関係	スコープは WEEE 指令を参照	WEEE 指令と完全分離
対象製品	カテゴリ 1～7 と 10 (カテゴリ 8,9 は非対象)	全ての電気・電子機器へ段階的に拡大 (ケーブル、スペアパーツを含む)
使用制限物質	鉛、水銀、カドミウム、六価クロム、ポリ臭化ビフェニル (PBB)、ポリ臭化ジフェニルエーテル (PBDE)	
使用制限物質の追加	言及無し	最初は 3 年以内、以降は定期的に追加

・対象製品

対象製品については、附属書 I に掲載された製品カテゴリのうち、改正前は非対象であったカテゴリ 8,9 も対象に加える等の改正が行われ、対象をすべての電気・電子機器、ケーブル、スペアパーツに段階的に拡大することが決定された (完全実施は 2019 年)。なお、太陽光パネルは、再生可能エネルギーを促進する観点から、改正 RoHS の適用除外とされた。

¹難燃規制の動向—環境安全規則と製品の難燃規則— 青木正光、工業材料、2011 年 10 月号

表 2-5 RoHS 指令の対象製品（附属書 I）

1	大型家庭用電気製品
2	小型家庭用電気製品
3	IT および遠隔通信機器
4	民生用機器
5	照明装置
6	電動工具
7	玩具、レジャーおよびスポーツ機器
8	医療用機器
9	監視・制御装置
10	自動販売機類
11	その他の電気電子機器または現行指令で対象範囲外の電気電子機器

・対象物質

対象物質については改正前後で変更はなく、以下の 6 物質が禁止対象物質（附属書 II）に掲載されている。臭素系難燃剤としては、ポリ臭化ビフェニル（PBB）、ポリ臭化ジフェニルエーテル（PBDE）が含まれている。

- ・ 鉛（0.1 重量%）
- ・ 水銀（0.1 重量%）
- ・ カドミウム（0.01 重量%）
- ・ 六価クロム（0.1 重量%）
- ・ ポリ臭化ビフェニル（PBB）（0.1 重量%）
- ・ ポリ臭化ジフェニルエーテル（PBDE）（0.1 重量%）

※（ ）内の数値は、最大許容含有量を示す。

なお、RoHS の対象物質の追加検討の過程では、次ページ表に示す 46 物質が当初の追加対象候補物質にあげられていた。この中から、最終的に臭素系難燃剤を含む 9 物質が追加候補として絞り込まれた（2008 年 6 月）が、結局、改正 RoHS では制限物質への追加は行われなかった。

表 2-6 RoHS 指令の追加対象候補物質

No.	追加候補物質	最終追加候補物質 (2008年6月)
1	酸化アンチモン(Ⅲ)	
2	アンチモン化合物	
3	ヒ素およびヒ素化合物	
4	ベリリウム(金属)	
5	酸化ベリリウム	
6	テトラブロモビスフェノールAと関連化合物	○
7	ビスフェノールA	
8	フタル酸ジ-2-エチルヘキシル(DEHP)	○
9	フタル酸ブチルベンジル(BBP)	○
10	フタル酸ジ-n-ブチル(DBP)	○
11	フタル酸ジ-n-オクチル(DOP)	
12	ジメチルホルムアミド(DMF、DMFA)	
13	ホルムアルデヒド	
14	ヒ化ガリウム、ガリウムヒ素	
15	ヘキサブロモシクロドデカン(HBCDD)および臭素系難燃剤	○
16	4-メトキシベンジリデン-4-ブチルアニリン、液晶(MBBA);4-シアノ-4'-ペンチルビフェニル(5CB)	
17	中鎖塩素化パラフィン(MCCP)	○
18	ニッケル	
19	ノニルフェノールおよびノニルフェノールエトキシレート	○
20	ペルフルオロオクタンスルホン酸	
21	ポリ塩化ビニル(PVC)	
22	ポリ塩化ビフェニル(PCBs)	
23	ポリ塩化ターフェニル(PCT)	
24	ポリ塩化ナフタレン	
25	セレン	
26	短鎖塩素化パラフィン(SCCP)	○
27	非晶質アルミナシリカ繊維(RCFs)	
28	トリブチルスズ化合物(TBT)	
29	ビス(トリブチルスズ)＝オキシド(TBTO)	
30	酸化ニッケル(Ⅲ)	
31	三酸化ニヒ素	
32	4,4'-ジアミノ-3,3'-ジメチルジフェニルメタン	
33	ワセリン(白色)	
34	水酸化ニッケル(Ⅱ)	
35	リン酸トリブチル	
36	五酸化バナジウム	
37	硫酸ニッケル(Ⅱ)	
38	酸化コバルト	
39	コバルト	
40	アクリル酸＝2-エチルヘキシル	
41	ナフテン酸および銅塩	
42	ビス(2,4,6-トリメチルベンゾイル)-フェニルフォスフィンオキシド	
43	タリウム	
44	プロモベンジルプロモトルエン、モノメチルジプロモジフェニルメタン(異性体混合物)	
45	2,2'-(エチレンジオキシ)ジエチル＝ジアクリレート	
46	ロジン、コロホニウムおよびトール油ロジンおよびロジン酸	

注) 最終追加候補物質としては、表の右欄に○を付した8物質のほかに「有機塩素/有機臭素化合物」(例：塩化ビニル、2,4-ジブロモフェノール等) がリストされた。

出典) RoHS 関連ウェブサイトをもとに作成

(2) 今後の見通し

改正 RoHS 指令では、制限対象物質については変更がなかったが、欧州委員会は、予防原則を考慮して、2014 年 7 月 22 日までに、附属書 II の制限物質リストについて、徹底的な評価に基づくレビュー・修正を行うこととされた。

具体的な候補物質は決定されていないが、前文において、臭素系難燃剤であるヘキサブロモシクロドデカンを含む以下の 4 物質のリスクを優先的に検討すべきこと、詳細の制限の観点から委員会が当該 4 物質を第 1 回目のレビューの一部として再調査すべきことが述べられている。

表 2-7 改正 RoHS 指令における優先検討対象物質

物質名	主な用途
ヘキサブロモシクロドデカン (HBCDD)	発泡ポリスチレン等の難燃剤
フタル酸ビス 2-エチルヘキシル (DEHP)	塩化ビニル可塑剤
フタル酸ブチルベンジル (BBP)	可塑剤
フタル酸ジブチル (DBP)	可塑剤

附属書 II のレビュー・修正においては、REACH 規則等の化学物質関連法規との整合性を確保し、特に REACH 規則附属書 14 (認可)、附属書 17 (制限) を考慮することとされた。さらに、欧州委員会は、対象となる物質又は物質群が以下の項目に該当する可能性があるかを特別に考慮することとされた。

- ☆ EEE の廃棄物管理作業時の悪影響の可能性はある。
- ☆ WEEE からの材料のリユース、リサイクル等の準備に際して、環境中に物質が拡散する、又は、有害な残渣等を発生させる可能性がある。
- ☆ WEEE の回収・処理プロセスにおいて、作業員への受け入れがたい曝露につながる可能性がある。
- ☆ 代替物質等により、取って代わる可能性がある。

2.2.3 廃電気・電子機器指令（WEEE）

(1) 概要

EU では、電気電子機器の廃棄物のうち約 90%が前処理なしで埋立、焼却または再利用され、重金属や臭素系難燃剤等の製品に含まれる物質が土壌、水、大気へ流出し、人や環境への影響を与えていた。このような状況のもと、EU では廃電気・電子機器指令（WEEE 指令）が 2003 年 2 月 13 日から発効している。WEEE 指令の目的は下記のとおり。

- ・埋立される廃電気電子機器（WEEE）を減少させること。
- ・使用できなくなった製品の製造事業者による無料回収スキームを 2005 年 8 月 13 日までに提供すること。
- ・WEEE の発生を予防し、かつその再利用及びリサイクルの可能性を高めるための製品設計を改善すること。
- ・WEEE のカテゴリ毎の回収、再利用及びリサイクルに関する目標を達成すること。
- ・回収施設を設置し、一般家庭からの WEEE の分別回収システムを構築すること。
- ・上市される新製品に財政保証を付与する条項を含め、WEEE の再利用及び処理のための製造事業者における資金調達システムを構築すること。

WEEE 指令は、回収及びリサイクルの義務目標に関して大まかな要件を定めるのみであり、回収システムの詳細や組織づくりは加盟国の選択に任される。また、加盟国は、一人当たり 4kg の WEEE を回収することを義務づけられている。

なお、WEEE 指令は現在改正が進められており、2011 年 10 月 4 日に開催された欧州議会環境委員会において、WEEE 指令改正案（第 2 読会）の投票が行われ、改正案が採択された。議会本委員会での投票は、2012 年 1 月を予定している。

(2) 対象製品

現行の WEEE 指令では、対象製品は、附属書 IA に記載されたカテゴリ（下記参照）と附属書 IB（各カテゴリ毎の製品リスト）から構成されている。

<現行>

1. 大型家庭用電気製品（冷蔵庫、洗濯機、電子レンジなど）
2. 小型家庭用電気製品（電気掃除機、アイロン、トースターなど）
3. IT および遠隔通信機器（パソコン、プリンター、複写機など）
4. 民生用機器（ラジオ、テレビ、楽器など）
5. 照明装置（家庭用以外の蛍光灯など）
6. 電動工具（旋盤、フライス盤、ボール盤など）
7. 玩具、レジャーおよびスポーツ機器（ビデオゲーム機など）

8. 医療機器（放射線療法機器など）
9. モニターおよび制御装置（温度自動調整機など）
10. 自動販売機類（飲用缶販売機、貨幣用自動 DISPENSER など）

一方、改正案では、以下のように移行期間を設けて、対象製品を見直すこととなっている。

【指令発効日～6年後】

- ・ 附属書 I（現行の 10 カテゴリー）及び附属書 II（カテゴリー毎の製品例示リスト）

【指令発効日から6年経過後】

温度変換機器

スクリーンおよびモニター

ランプ

カテゴリー1、2、3 以外の大型機器で、実質的に現行カテゴリー1 および 3～10 の機器

カテゴリー1、2、3 以外の小型機器で、実質的に現行カテゴリー2 および 3～10 の機器

製品中の有害物質に関しては、WEEE 指令の第 6 条の処理において WEEE から取りだして別に処理するものとして全ての液体と以下に示す ANEEX II が定められている。この中で、臭素系難燃剤を含むプラスチックが指定されている。

(ANEEX II)

- ・ ポリ塩化ビフェニル(PCB) を含むコンデンサー。PCB 類ならびに PCT の処理に関する指令 96/59/EC に準拠すること。
- ・ 水銀を含むコンポーネント。スイッチやバックライト用ランプなど
- ・ 電池類
- ・ 携帯電話一般ならびにその他デバイスのプリント基板のうち、プリント基板の表面積が 10 平方 cm を超えるもの
- ・ トナー・カートリッジ。液状か粘着粉末かを問わず、カラー・トナーも含む
- ・ 臭素系難燃剤を含むプラスチック
- ・ 石綿（アスベスト）廃棄物及び石綿含有物
- ・ 陰極線管
- ・ クロロフルオロカーボン (CFC), ヒドロクロロフルオロカーボン (HCFC), ヒドロフルオロカーボン (HFC), ヒドロカーボン (HC)
- ・ ガス放電型ランプ
- ・ 液晶ディスプレイ（必要であればそのケーシングも含む）のうち、表面積が 100cm を超えるもの、ならびにガス放電ランプをバックライトとして使用しているものすべて

- ・外部電線
- ・指令 97/69 の定める耐火性セラミック・ファイバーを含むコンポーネント
- ・放射性物質を含むコンポーネント。ただし BSS 指令 (96/29/EC、第 3 条ならびに付記 I) に定める例外規準未満のものを除く。
- ・電解コンデンサー (25mm × 25mm 以上)

2.2.4 REACH

(1) 規制動向

REACH (Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals) の略で、人の健康と環境の保護、欧州化学産業の競争力の維持向上などを目的に策定された。

年間の製造又は輸入量が1トン以上の化学物質(農薬や医薬品を除く)が対象となり、対象化学物質には安全性評価が義務づけられ、3~11年以内に化学物質情報の登録が必要となる。未登録の化学物質を含有する製品は将来的にEUでは販売が禁止される。

予備登録は2008年12月1日までで終了し、本登録(第一弾)の締め切りが2010年11月30日に終了し、2018年までを最終期限として段階的に実施される。

REACHでは、高懸念物質(Substance of Very High Concern、SVHC)が指定されることとなっており、SVHCを0.1%以上含有する製品はその情報を開示することが求められる。SVHCのリストは2008年から順次公表、意見募集が行われており、2011年6月までで53物質が指定されている。この中には、臭素系難燃剤であるヘキサブロモシクロドデカンが含まれている。

物質名	CAS 番号等
ヘキサブロモシクロドデカン	・ Hexabromocyclododecane [HBCDD] CAS: 25637-99-4, ・ 主要な立体異性体 (α -HBCDD, β -HBCDD, γ -HBCDD) CAS:3194-55-6 (134237-51-7, 134237-50-6, 134237-52-8)

なお、2011年8月29日、新たに20種類の高懸念物質(18物質+条件変更の2物質)が発表され、パブリックコンサルテーションが開始されたが、この中には臭素系難燃剤は含まれていない。

(2) 今後の見通し

今後、REACHの登録物質と高懸念物質はさらに増加していくこととなり、今後新規に開発される製品を含めて、新たな臭素系難燃剤が高懸念物質に指定されることも予想される。

デンマーク政府では、エチレンビステトラブロモフタル酸イミド(ethylene bustetrabromophetalimide, EBTPI)、テトラブロモビスフェノールA(tetrabromobisphenol A, TBBP-A)、TBBP-Aカーボネートオリゴマーなどのリスク評価を行っている。それによれば、これらの物質は、Deca-BDE以上の環境への悪影響をもたらすことはないとされている。現在、Deca-BDEの代替難燃剤としては、以下のようなものがあるが、今後はこうした物質も登録やリスク評価が順次進むものと考えられる。

表 2-8 今後使用の増加が見込まれる臭素系難燃剤

Substance name	CAS No.	EINECS	Polymer-type applications	Total production or import volume in EU (in 1000 t-IUCLID ^a)
EBP	84852-53-9	284-366-9	HIPS, ABS, PA, PBTP, PP, PE Minor applications: PC/ABS, HIPS/PPO	No IUCLID sheet EA ^b estimate > 1
EBTPI	32588-76-4	251-118-6	HIPS, ABS, PBTP, PP, PE Minor applications: PC/ABS, HIPS/PPO	EA ^b estimate > 5
TBBP-A epichlorohydrinpolymer	40039-93-8	500-107-7	ABS, PC/ABS	No IUCLID sheet
TBPE	253-692-3	251-118-6	ABS	No IUCLID sheet
HBCD	3194-55-6; 25637-99-4	221-695-9; 247-148-4	HIPS	EU consumption estimated at ~10
TBBP-A	79-94-7	201-236-9	ABS	EU consumption estimated at ~6.5
TBBP-A bis (2,3-dibromo-propylether)	21850-44-2	244-617-5	PP	No IUCLID sheet
TBBP-A carbonate oligomer	94334-64-2; 71342-77-3	c	PC/ABS, PPO/HIPS, PBTP/PET	No IUCLID sheet
Brominated polystyrene	88497-56-7	c	PA, PBTP/PET	No IUCLID sheet
Poly(dibromostyrene)	148993-99-1	c	PA, PBTP/PET	No IUCLID sheet
2,4,6-Tris(2,4,6-tribromophenoxy)-1,3,5 triazine	25713-60-4	c	HIPS, ABS	Notified substance (confidential)
Brominated epoxy oligomer	68928-70-1	c	ABS, PC/ABS, HIPS	No IUCLID sheet

EBP: 1,2-bis(pentabromophenyl)ethane; EBTPI: ethylene bistetrabromophthalimide; TBPE: bis(tribromophenoxy)ethane; TBBP-A: tetrabromobisphenol A; HBCD: hexabromocyclododecane; TBPE: 1,2-bis(tribromophenoxy)ethane. HIPS: high impact polystyrene; ABS: acryl-butadiene-polystyrene copolymer; PA: polyamide; PBTP: polybutyleneterephthalate; PE: polyethylene; PC: polycarbonate; PET: polyethyleneterephthalate; PPO: polyphenyleneoxide; PP: polypropylene.

^a International Uniform Chemical Information Database (IUCLID) is a software application to capture, store, submit and exchange data on intrinsic and hazard properties on high production volume chemical substances stored according the format of the OECD.

^b Environment Agency for England and Wales [24].

^c Not in EINECS.

出典) Sabine Kemmlin et al. Brominated flame retardants in the European chemicals policy of REACH - Regulation and determination in materials Journal of Chromatography A, 1216(2009) 320-333

2.3 その他の関連トピックス

ここでは、前節までに取りあげた以外の関連トピックスを整理する。

2.3.1 米国の動向

(1) 各州の規制状況

米国各州における臭素系難燃剤の規制状況を以下に示す。米国では、2006年にメイン州とミネソタ州が Penta-BDE、Octa-BDE の使用を禁止する州法を成立させたのを契機に、10以上の州で Penta-BDE、Octa-BDE を中心に規制が行われている（下表）。

表 2-9 米国での臭素系難燃剤規制の動向^{1,2}

州名	Penta-BDE	Octa-BDE	Deca-BDE	その他
カリフォルニア	○	○		
ハワイ	○	○		
イリノイ	○	○		
メイン	○	○	○(マットレス、家具、家電・PC等)	TBBPA,HBCDDの使用禁止案(2010年)
メリーランド	○	○	○(マットレス、家具、電子・電気機器)	
ミネソタ	○	○	○(リスク評価実施)	
ミシガン	○	○		
ニューヨーク	○	○		
オレゴン	○	○	○(表示)	
ロードアイランド	○	○	○(リスク評価実施)	
ワシントン	○	○	○(マット等)	
バーモント	○	○	○	

注) ○は臭素系難燃剤の使用禁止又は削減に関する州法が制定又は検討されていることを示す。

上表によれば、臭素系難燃剤について規制を行っている州すべてで、Penta-BDE、Octa-BDE の使用禁止に関する州法が制定されている。この場合、リサイクル品は適用除外となるなどの適用除外規定が設けられている例が多い。

Deca-BDE の規制内容は、家具（マット等）、家電・PC 等での使用（0.1%以上）を禁止している州やリスク評価を実施している州など、州による違いがある。自動車用の Deca-BDE は、代替が困難であることから、適用除外とされている（次ページ参照）。

² Bromine Science and Environmental Forum ホームページ
<http://www.bsef.com/regulation/north-america>
 及び各州政府の HP に基づいて作成

○米国メイン州における臭素系難燃剤規制の概要

Penta-BDE、Octa-BDE

2006年1月1日から Penta-BDE、Octa-BDE を 0.1%以上含む製品の販売、流通禁止

Deca-BDE

2008年1月1日から Deca-BDE を含むマットレス、家庭又は住居等で用いられる屋内用家具の製造、販売、流通を禁止

2010年1月1日から Deca-BDE を 0.1%以上含むテレビ又は PC の筐体の製造、販売、流通を禁止

2012年1月1日から Deca-BDE を含む輸送用パレットの製造、販売、流通を禁止
(ただし、再生プラスチック製パレットは除外されるなどの例外規定あり)

適用除外となる品目 (Deca-BDE)

Deca-BDE を含む以下の品目は適用除外

輸送車両、輸送車両や輸送機械用の製品・部品

産業プロセス、製造プロセスで使用される製品又は設備

送電用のワイヤ、ケーブル

○メリーランド州における臭素系難燃剤規制の概要

Penta-BDE、Octa-BDE

2008年10月1日から Penta-BDE、Octa-BDE を含む新製品又は新製品の一部としての臭素系難燃剤の製造、加工、販売、流通禁止

Deca-BDE

2010年12月31日から Deca-BDE を含むマットレス、住宅用家具、電気・電子機器の製造、リース、販売、流通を禁止

2012年12月31日から上記以外の Deca-BDE を含む製品についても製造、リース、販売、流通を禁止 (輸送機械、軍事用品、これらの部品を除く)

2013年12月31日から輸送機械、軍事用品、これらの部品についても禁止
上記の規定は、Deca-BDE を含む製品のリサイクル業者には適用されない。

出典) メーン州政府、メリーランド州政府のホームページ等に基づいて作成

(2) Deca-BDE Phase-out Initiative³

臭素系難燃剤規制の動向を受けて、米国環境保護庁（EPA）は米国の臭素系難燃剤製造業者2社（アルベマール社、ケムチュラ社）および最大の輸入業者 ICL インダストリアル・プロダクト社と臭素系難燃剤の段階的削減に関する協議を行った。その結果、EPA とこれら3社との間で2009年7月に Deca-BDE Phase-out Initiative が取り決められた。

この合意によれば、3社は Deca-BDE の製造/輸入、販売を一部の例外（輸送機械、軍事用途）を除いて2012年末で終了すること、2013年末までに概ね全分野で製造、輸入、販売を終了することを目指している。

ただし、事業者の宣言の中では、輸送機械（自動車、飛行機、倉庫業等の関連分野）と軍事用途については、部品数が多く、難燃剤へのニーズが高いこと、新素材の使用許可までのリードタイムが長いことから、期限が達成できない可能性についても言及されている。

EPAはこの協定を中小の臭素系難燃剤の輸入業者にも拡大していく意向である。

アルベマール社の宣言内容

以下のスケジュールに従い、3年間で Deca-BDE の販売を段階的に削減

- ・2010年12月31日：電気・電子機器用途（輸送機器に用いられるものを除く）
- ・2012年12月31日：輸送機械・軍事用途を除く全ての用途
- ※輸送機械・軍事用途については、2013年12月31日を目指す。

ケムチュラ社の宣言内容

以下のスケジュールに従い、販売を段階的に削減

- ・2012年12月31日：一部の輸送・軍事用途を除き、全ての用途について deca-BDE の製造と販売を終了
- ・2013年12月31日：残された用途についても製造を終了
- ・段階的削減終了後、6ヶ月以内：残された在庫の販売を終了

³ <http://www.epa.gov/oppt/existingchemicals/pubs/actionplans/deccadbe.htm>

2.4 主要な臭素系難燃剤の使用状況

2.4.1 臭素系難燃剤の使用状況

現在使用されている主な臭素系難燃剤の種類及び使用用途について以下に示す。

表 2-10 現在使用されている臭素系難燃剤の種類と用途①

分類	化学物質名	CAS番号	化審法番号	既存か新規か *74.8.20-	既存化学物質安全点検 経済産業省 厚生労働省	欧州リスクアセス 評価対象	用途	UN番号	LD50	供給会社商品名
PBDE系										
	デカブロモジフェニル エーテル(DecaBDE)	1163-19-5	(3)-2864	既存	低濃縮	○	PE, PP, HIPS, ABS, PBT, 不飽和ポリ エステル, エポキシ, ナイロン, 繊維	該当せず	>2,000mg/kg (ラット経口)	SAYTEX102E**、 DE-83R**、 フレイムカット110R**、 FR-PE**、EB-10WS**、 FR-1210**、 プラネロンFR-102**
TBBA、醜液体										
	テトラブロモビスフェ ノール-A(TBBA)	79-94-7	(4)-205	既存	低濃縮	○	エポキシ、 フェノール、PC、 ABS、難燃剤用中間体	該当せず	>5,000mg/kg (ラット経口)	SAYTEX CP2000**、 BA-59P**、 フレイムカット1200**、 FR-1524**、EB-422**、 ファイヤガード2000**
	TBBA・エポキシオリゴ マー	68928-70-1、 139638-58-7、 135229-48-0	(7)-1267、 (7)-1288、 (7)-2266	既存	低濃縮		HIPS、ABS、PC/ABS、 PBT、PET、 PA、熱可塑性PU	該当せず	>2,000mg/kg	F-2300H**、2400**、 3020**、SR-15000**I、 T3040**、T20000**I
	TBBA・カーボネートオリ ゴマー	28906-13-0、 994334-64-2、 71342-77-3、 28774-93-8	(7)-740	既存	低濃縮		PBT、PC、ABS	該当せず		ファイヤガード7000**、 8500**、 BC-52、BC-58**
	TBBA・ビス(ジプロモ プロピルエーテル)	21850-44-2	(4)-212、 (4)-218	既存	低濃縮		PP、HIPS	該当せず	>2,000mg/kg	ファイヤガード3100**、 PE-68**、FR-720**、 ピロガードSR-720**、 フレイムカット121R**
	TBBA・ビス(アリアル エーテル)	25327-89-3	(4)-218	既存	低濃縮		PS	該当せず		ファイヤガード3200**、 フレイムカット122R**
多ベンゼン置換化合物										
	ビス(ペンタプロモ フェニル)エタン	84852-53-9	(4)-1735	新規告示	難分解 低濃縮			該当せず	>5,000mg/kg (ラット経口)	SAYTEX 8010**、 FM-2100** FF-680**
	1,2-ビス(2,4,6-トリ プロモフェノキシ)エ タン	37853-59-1	(3)-3461	新規告示						
	2,4,6-トリ(2,4,6- トリプロモフェノキ シ)-1,3,5-トリアジ ン	25713-60-4	(6)-6312	新規告示	難分解 低濃縮		HIPS、ABS、PC/ABS	該当せず	>20,000mg/kg (ラット経口)	ピロガードSR-245**
	2,6-ビス(2,4-ジプロ モフェノール、ホモポ リマー)	69882-11-7	(7)-1462	既存			PA、PBT	該当せず	>10,000mg/kg (ラット経口)	ピロガードSR-460**
臭素化ポリスチレン、ポリ臭素化スチレン										
	臭素化ポリスチレン	57137-10-7、 88497-56-7	(6)-1579	新規告示	難分解 低濃縮		PET、PBT、PA	該当せず	>2,000mg/kg	FR-803P**、 SAYTEX-HP-7010**、 HP-3010**、 PYROCHECK-68PB**、 PB-411**、PS-1200**
	ポリ臭素化スチレン	88497-56-7	(6)-1579	新規告示				該当せず		PBDS-80**、PBS-64H**、 CP-44HP**
フタル酸系										
	エチレンビステトラ プロモフタルイミド	32588-76-4	(5)-5550	新規告示	難分解 低濃縮			該当せず	>7,000mg/kg (ラット経口)	SAYTEX BT-93、93H**
環状脂肪族系										
	ヘキサプロモシクロ デカン(HBCD)	3194-55-6	(3)-2254	既存	難分解 高濃縮	○	EPS、XPS、HIPS、 ラテックス、繊維	該当せず	>5,000mg/kg (ラット経口)	FR-1206**、 CD-75P**、 フレイムカット130R**、 SAYTEX HP-900**、 ピロガードSR-103**
その他										
	ヘキサプロモベンゼ ン(HBB)	87-82-1	(3)-59	既存	低濃縮		エポキシ、アクリル	該当せず	>14.28mg/kg (ラット経口)	FR-B**、 HBB**
	ペンタプロモベンジ ルアクリレート(モノ マー)	59447-55-1	(3)-4183	新規告示			ラテックス、PS、 アクリル、PC	該当せず	>5,000mg/kg	FR-1025M**
	ペンタプロモベンジ ルアクリレート(モノ マー)	59447-57-3	(6)-1671	新規告示			PBT、PA、アロイ	該当せず	>5,000mg/kg	FR-1025**

*A: アルマール、*B: ケムテラジヤホン、*C: 東ソー、*D: 日宝科学、*E: マナック、*F: プロテック

*G: 三井化学ファイブ、*H: 帝人化成、*I: 阪本薬品、*J: 第一工業製薬

出典) 日本難燃剤協会 HP

表 2-11 現在使用されている臭素系難燃剤の種類と用途②

	熱可塑性							熱硬化性			その他					
	ABS	ポリスチレン	ポリオレフィン	ポリカーボネート	PC/ABS	ポリアミド	ポリエステル	ポリ塩化ビフェニル	発泡ポリスチレン	ポリウレタン	エポキシ樹脂	不飽和ポリエステル	フェノール樹脂	接着剤・塗料	繊維	難燃剤原料
テトラブROMヒスフェノールA(TBBA)	◎									◎		◎				◎
デカブROMジフェニルエーテル(Deca-BDE)		○	○			○	○									○
ヘキサブROMシクロデカン(HBCD)								◎								○
ビス(テトラブROMフタルイミド)エタン		◎	◎			○										
TBBAカーボネートオリゴマー				◎		◎										
TBBAエポキシオリゴマー	◎	◎				◎										
臭素化ポリスチレン						◎	○									
ビス(ペンタブROMフェニル)エタン		◎	◎			○										
TBBA-ビス(シブROMプロピルエーテル)		◎	○													
ポリ(シブROMプロピルエーテル)						◎										
ヘキサブROMベンゼン(HBB)									○							

◎: 現在主として使用 ○: 使用量は多くないが現在も使用

出典) 日本難燃剤協会 HP

2.4.2 自動車材料における臭素系難燃剤の使用状況

難燃剤の製造・販売事業者の情報、特許情報によれば、最近の自動車材料における臭素系難燃剤の使用状況は以下の通り。

(1) 硬質プラスチック系

難燃プラスチックの自動車用途への応用は難燃性規格にもとづき内装材料では従来から行われてきたが、他の部品では法的要求事項ではないため、これまで非難燃プラスチックが使用されてきた。しかし、最近では電装品に多くの難燃プラスチックが自主的に使用されるようになってきている。材料別の状況は以下の通り。

表 2-12 自動車における臭素系難燃剤の使用動向⁴

材質	使用状況
PP	・PP は自動車軽量化のための汎用材料となっている。エンジン回りに臭素系難燃剤（PBDE、ポリブロモジフェニルエタン）が主に処方されている。
ABS	・内装材としてインストルメントパネル用に臭素系難燃剤（TBBA、臭素化カーボネートオリゴマー）を処方できるが、まだ多用されていない。
PA(HTPA)	・電装部品として、コネクタ、リレー、ボビン、ジャケット用に臭素系難燃剤（臭素化ポリスチレン、臭素化ポリカーボネートオリゴマー）を処方する。
PBT	・PA 同様、電装部品にコネクタ、コイル、ECU ケースに臭素系難燃剤（臭素化ポリスチレン、臭素化ポリカーボネートオリゴマー）が使われる。

出典) 松見茂による下記参考文献にもとづく

この他、内装部品ではフロアマットの繊維やバックコーティング材料も臭素系難燃剤（deca-BDE、デカブロモジフェニルエタン）が使用されている。また、ワイヤーハーネスには PE(臭素系難燃剤ベース)が多く使われている。一時は、PVC 代替としてノンハロゲン系難燃剤の開発が求められたが、最近では PVC の見直しや臭素系難燃剤システムへの回帰により、PE、XLPE 等が使用されている。

最近では、環境対応を考慮して、モノマータイプの臭素系難燃剤からポリマータイプの臭素系難燃剤の開発も進んでいる。

(2) 内装材（繊維、シート等）

自動車のシート等の内装に用いられる繊維、不織布等についても難燃剤が配合されてい

⁴ 「自動車材料に求められる難燃技術とは」松見茂（ケムチュラ・ジャパン）JETI, Vol.59, No.2, 2011

る。特許情報によれば、近年、自動車内装材等向けの難燃素材に関して、以下のような特許が出されている。これらの中には、TBCDD など現在規制対象となっている臭素系難燃剤を使用しない新しい配合に関する特許も含まれている。これらの特許文献中の実施例から判断すると、自動車内装材に使われる繊維状素材についても一部で臭素系難燃剤が使用されていたと考えられる。ただし、これらの情報はあくまでも特許情報であるため、実際の自動車での使用状況は不明である。

表 2-13 自動車用内装材に関する特許出願例

No.	特許出願公開番号	発明の名称	出願人	発明の内容
1	特開2011-016933	自動車の内装材に用いられる断熱材用発泡性ポリスチレン系樹脂粒子および自動車内装材用断熱材	積水化成工業株式会社	HBCDDに替えて代替難燃剤を用いる処方に関する特許
2	特開2009-018778	自動車内装材用発泡積層シートおよび自動車内装材	株式会社カネカ	難燃剤を用いない自動車用内装材発泡積層シートの製造方法
3	特開2003-64212	発泡性ポリスチレン系樹脂粒子およびポリスチレン系樹脂発泡成形体	鐘淵化学工業株式会社	発泡剤以外の揮発性物質の含有量を減量化した発泡性ポリスチレン樹脂粒子の製造法。難燃剤にはHBCDD等を使用。
4	特開2001-254271	難燃性繊維資材	東レ株式会社	自動車・鉄道内装材等に使用する難燃性繊維資材の製造方法。難燃剤には、炭化型難燃剤やHBCDD等を使用
5	特開平09-029877	自動車内装材用発泡積層シート	鐘淵化学工業株式会社	ハロゲン系難燃剤等を用いた自動車内装材用発泡積層シートの製造法

表 2-14 HBCDD を用いない自動車内装材用発泡ポリスチレン系樹脂粒子の製造実施例

				実施例					
				1	2	3	4	5	6
含浸	難燃剤 溶解液	可塑剤種類		DIBA	DIBA	DIBA	DIBA	DIBA	DBS
		可塑剤	(重量部)	100	100	100	100	100	100
		難燃剤A	(重量部)	89	51	189	89	89	89
	樹脂粒子	難燃剤A量	(重量部)	0.7	0.4	1.5	0.7	0.7	0.7
	発泡剤含浸温度		°C	100	100	100	97	103	100
	難燃剤凝集物		g	0	0	0	0	0	0
難燃剤 A	TBCO (テトラフロモシクロオクタン)		(重量部)	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5
	シリカ		(重量部)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	難燃剤Aのブロッキング評価			○	○	○	○	○	○
評価	燃焼性 試験	消炎時間	(秒)	1.0	1.2	0.6	1.0	1.0	1.0
		総合評価		○	○	◎	○	○	○
	平均弦長		(μm)	60	70	40	50	60	65
	発泡体の外観評価			○	○	○	○	○	○

出典) 日本国特許庁 公開特許公報 (A) JP 2011-16933 A 2011.1.27 積水化成成品工業株式会社, p.14,

表 1

表 2-15 HBCDD を用いた発泡ポリスチレン系樹脂粒子の製造実施例

			実施例1	実施例2	実施例3	実施例4	実施例5	実施例6	実施例7	実施例8
可塑剤	種類		ヤシ油	同左						
	重量部		0.7	同左	同左	0.3	1.2	0.7	同左	同左
開始剤			ベンゾイル パーオキシサイ ド	同左						
	重量部		0.16	同左	同左	同左	同左	同左	0.14	0.12
			1,1-ビス- テブチルパーオ キシ-3,3,6- トリメチルシクロ ヘキサン	同左						
発泡剤			0.17	同左						
	ブタン	重量部	8	同左						
		重量部	なし	同左						
		重量部	0.5	同左						
気泡調整剤			EBS	同左						
	重量部		0.11	同左	同左	同左	同左	0.03	0.03	0.03
難燃剤			なし	同左	同左	同左	同左	HBCDD	HBCDD	HBCDD
	重量部		なし	同左	同左	同左	同左	1	1	1
熱処理			3時間	5時間	2時間	3時間	同左	同左	同左	同左
スチレン含有量	ppm		820	450	950	812	805	803	830	822
重量平均分子量	$M_w \times 10^4$		20	20	20	20	20	20	24	28
セル径	μm		81	82	75	79	82	120	115	118
揮発性物 質放散量	スチレン	$\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$	91.7	63.3	106.2	95.5	94.9	95.7	88.2	90.1
	可塑剤	$\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$	—	—	—	—	—	—	—	—
80倍予備発泡時間	秒		152	180	133	188	126	155	170	181
成形性	融着		○	○	○	○	○	○	○	○
	変形		○	○	○	○	○	○	○	○
熱伝導率	$\text{kcal}/\text{mh}^\circ\text{C}$		0.0321	0.0322	0.0316	0.0322	0.0315	0.0301	0.0302	0.0302

出典) 日本国特許庁 公開特許公報 (A) 特開 2003-64212 鐘淵化学工業株式会社, p.8

(3) その他の非臭素系難燃剤の開発動向

上述した事例以外には、自動車部品等への適用を念頭において、下表のような非臭素系難燃剤が検討されている。非臭素系の難燃剤としては、水酸化マグネシウム、水酸化アルミニウム等の無機系難燃剤やリン系難燃剤が研究されている。

表 2-16 その他の自動車部品用の非臭素系難燃剤の開発状況

項番	公報番号	発明の名称	出願人	対象部品	難燃剤の種類
1	特開2010-017928	車両天井用遮光シート	住江織物株式会社	遮光天井	トリクレジルフォスフェート、トリアルルフォスフェート、芳香族縮合リン酸エステル
2	特開2009-045793	コントロールチューブ	株式会社アオイ	コントロールチューブ	水酸化マグネシウム、シリコン系難燃剤
3	特開2007-308553	難燃性樹脂組成物	東洋紡績株式会社	自動車部品	リン酸メラミン、ポリリン酸メラミン等
4	特開2006-179452	ノンハロゲン電線、電線束及び自動車用ワイヤーハーネス	住友電気工業株式会社	電線、ワイヤーハーネス	水酸化アルミニウムを中心に、水酸化マグネシウム等を使用
5	特開2005-139244	ポリアミド樹脂組成物およびそれからなる成形品	東レ株式会社	自動車部品	リン酸エステル

注) 特許情報データベースをもとに作成

3. 自動車業界の対応状況に関する調査

3.1 調査方法

3.1.1 調査目的

各国の有害物質の規制への対応や、我が国における自動車業界の環境負荷物質削減に関する自主取組等に対応するため、自動車製造業者等が実施している具体的な対応策 (IMDS: Internatinal Material Data System の活用等) について、日本自動車工業会を対象とした①アンケート調査、②アンケート結果に基づく詳細ヒアリングの二段階で最新の情報を収集する。

3.1.2 調査内容

○Step1: アンケート調査

日本自動車工業会 (以下、自工会と略記) の製品化学物質管理部会及びリサイクル廃棄物部会を対象に、臭素系難燃剤対策及びその他の化学物質への対応に関する調査票を送付し、回収する。送付・回収は、自工会の環境担当部署を窓口とし依頼する。主要な質問項目は以下の通りである。

◆主要な質問項目

- ・自動車部品における臭素系難燃剤の使用状況
 - ・難燃剤の使用状況 (種類別の使用開始時期、廃止時期)
 - ・車種別、部品別の含有量 (できるだけ具体的に)
 - ・環境規制等に対応した難燃剤の使用廃止・代替品への転換への動き
- ・環境負荷物質削減に関する取組状況
- ・International Material Data System の利用状況
- ・使用済自動車のリサイクルに関する取組状況と今後の展望
(現在の取組と臭素系難燃剤規制による中長期的影響、今後の課題等)

なお、調査の実施に当たっては、自工会との調整のもと、環境省殿による依頼状等を同送するなど、回収率向上と回答者の負担軽減の観点から、送付・回収方法を工夫する。

○Step2: ヒアリング調査

上記のアンケート調査の結果を踏まえ、自工会の製品化学物質管理部会及びリサイクル廃棄物部会に対するヒアリングを行い、さらに詳細な情報を得る。

ヒアリング対象者は、自工会等とも調整の上決定することとする。

◆ヒアリングのポイント

ヒアリングでは、アンケート票に関連した事項の中で、特に下記の点についてできるだけ具体的な情報を得ることを主な目的とする。

- ・自動車部品における臭素系難燃剤の使用経緯（使用開始～現在までの状況）
- ・環境規制等に対応した難燃剤の使用廃止・代替品への転換への動き
- ・環境負荷物質削減に関する取組状況（「環境負荷物質削減に対する自主取組」等への対応状況）
- ・International Material Data System の利用状況
- ・使用済自動車のリサイクルに関する取組状況
（欧州の ELV 指令、その他の各国の規制等への取組状況、将来的な臭素系難燃剤規制による中長期的影響、今後の課題等）

◆調査結果のとりまとめ

調査結果のとりまとめに際しては、個別企業名や個別データは原則開示せず、業界全体の取組状況を整理することを想定する。詳細は関係者と協議の上決定する。

IMDS(International Material Data System)の概要については次ページに参考資料を添付する。

自動車業界向け環境負荷物質情報収集システム

IMDS(International Material Data System)について

IMDSとは、自動車を構成する約3万点の部品の材料および含有化学物質情報をサプライチェーンを通じて収集するためのシステムです。このシステムは、新型車の環境負荷物質、使用済み自動車やリサイクル率に関する規制などを含んだEU指令(ELV指令)に対応するため、1998年にドイツ自動車製造業会から依頼を受けたドイツHPおよび欧米の自動車製造メーカー8社の共同プロジェクトにより開発されました。

2002年、日本の自動車製造メーカーの使用開始に併せ、日本HP内に日本IMDSサービスセンターを設立。現在では、自動車製造メーカー22社(日系企業11社含む)が本IMDSを活用し、自動車部品メーカー・電気・電子部品メーカー、材料・素材メーカーを含む企業78,000社以上、ユーザ190,000人以上(2009年4月現在)が登録され、全世界の自動車業界における標準システムとして稼動しております。なお、IMDSは日本自動車工業会(JAMA)に認定された化学物質管理・情報収集システムの一つです。
(<http://h50146.www5.hp.com/solutions/industry/manufacture/sol/imds/>参照)

環境問題とIMDS開発への背景

資源の再利用及びリサイクル率の向上は、自動車業界を始めとして世界的に重要な課題です。中でも、2000年7月に欧州で発効されたEU指令等により、自動車部品への環境負荷物質の使用禁止や有害物質含有部品の廃棄責任が各自動車メーカーに課せられたことは大きな影響を及ぼし、わが国でも日本自動車工業会(JAMA)により、ELV指令に沿った取り組みが進められてきました。自動車関連の諸企業がこのような環境負荷物質削減に対応していくためには、部品の材料情報・含有物質情報を的確に把握・収集できるデータ管理システムが必須となります。

こうした背景の中、ドイツ自動車業界からの要請を受けて「IMDS(グローバルで標準化された材料および化学物質情報の収集システム)」を提案致しました。その後、欧州、米国の自動車メーカーとの共同プロジェクトとしてシステム構築され、EU指令の施行に合わせて使用開始されました。

(<http://h50146.www5.hp.com/solutions/industry/manufacture/sol/imds/>参照)

化学物質の各種リスト

自動車IMDS上の材料に関する全ての情報は化学物質(Basic Substances)のリストに基づいています。このリストは以下の物質リストを含んでおります。

GADSL (Global Automotive Declarable Substance List)

Company specific lists (e.g. Renault BGO)

Appl. rel. subst. (Application relevant substances)

現在、IMDSでは物質リストの初期設定として、GADSLを使用しています

(<https://www.mdsystem.com/magnoliaPublic/ja/public/list.html>参照)

GADSL (GLOBAL AUTOMOTIVE DECLARABLE SUBSTANCE LIST)について

背景

自動車の製品開発の主な目標の一つとして、品質や安全性の継続的な改善に加えて、自動車のライフサイクルを通じた環境負荷の軽減が挙げられます。これらの目標は、可能な限り効率的に、かつ消費者に価値をもたらす様に費用対効果の良い形で達成される必要があります。部品を構成する材料や運用・製造過程で使用される材料など、自動車製造のサプライチェーンでは、膨大な数の材料が使用されています。これらの材料の選択や適切な使用が、前述の目標達成に重大な影響を及ぼします。

これらの目標を達成するために、グローバルな自動車業界のサプライチェーンを通して継続的なやり取り、情報伝達を行う必要があります。このために、OEM (Original Equipment Manufacturers/自動車の完成車メーカー) や、各段階における部品サプライヤー、材料メーカーを含む、GASG (Global Automotive Stakeholder Group) と呼ばれる組織が設立されています。サプライチェーンでの早急な情報伝達と各社間での対話が、現在、並びに将来の規制に容易に準拠することを可能とし、また、サステナブル (地球環境が持続可能) な製品を求める顧客の要求に配慮することになります。また、関連した情報を適切に伝達することで、OEM 各社が、現在、並びに今後予想される申告すべき要求に対して、一貫性があり、わかりやすく効果的な方法で準拠できます。GASG の議論の結果が GADSL (Global Automotive Declarable Substance List) です。

GADSL には、サプライチェーンを通して OEM へ供給される部品や材料に含まれ、かつ以下に該当する化学物質に関する特定の情報が含まれています。

- ・規制対象である
- ・今後規制されると見込まれている
- ・その他、人体や環境に深刻な悪影響をもたらすことが科学的に証明されている

これらの情報は、自動車に使用されている部品や材料の最大使用量に応用できたり、自動車のリユース (再利用) や廃棄処分に関連します。

経緯

GADSL は、2005/4/29 に公開されました。それ以前から IMDS を利用していたユーザーにとっては、2004 年の間は一時的なリストである ILRS が IMDS に導入されており、その後 GADSL に置き換えられたという認識だと思われます。このように一般化されたリストを作成する目的は、申告義務のある化学物質に関する、OEM 毎に異なる要求を、一つのリストに集約することです。

GADSL は IMDS から独立しており、2005 年から OEM の標準に組み込まれました。これは IMDS ユーザーにとって、GADSL が、申告義務のある化学物質について調べる際に確認すべき唯一のリストであることを意味しています (ルノー-BGO のような企業固有のリストを除く)。また、全ての IMDS レコメンデーションは、ただ一つの一般的な化学物質リストである GADSL を参照することが前提で作成されています。

(<https://www.mdssystem.com/magnoliaPublic/ja/public/list/GADSL.html> 参照)

【参考】 IMDS : <https://www.mdssystem.com/> GADSL : <http://www.gadsl.org/>

3.1.3 調査結果

アンケート調査結果及びヒアリング調査結果の詳細を以下に示す。

自動車用難燃剤の使用状況に関する調査票

○ご記入に当たって

本調査は、環境省の委託により執り行っております「平成 23 年度使用済自動車再資源化に係る臭素系難燃剤等対策調査業務」の一環として、自動車業界における難燃剤の使用状況を明らかにするために実施するものです。調査の趣旨をご賢察の上、ご協力いただければ幸いです。

○設問は以下の 5 問から構成されています。調査対象とする難燃剤は、現在新車に使用されている難燃剤に限らず、過去に使用された主要な難燃剤も含まれます。回答に当たっては、本調査票の様式によらず、同等の内容が盛り込まれた既存資料のコピー等を提出いただいても結構です。

問 1. 自動車部品における臭素系難燃剤の使用状況

- ・ 難燃剤の使用状況
- ・ 車種別、部品別の含有量
- ・ 環境規制等に対応した難燃剤の使用廃止・代替品への転換への動き

問 2. 環境負荷物質削減に関する取組状況

問 3. 使用済自動車のリサイクルに関する取組状況と今後の展望

問 4. International Material Data System の利用状況

問 5. その他（自由記述）

（調査票返送先及び質問内容等に関するお問い合わせ先）

はじめにご連絡先を下欄にご記入下さい。

貴社名 ・ 所属			
御役職		お名前	
tel		FAX	
e-mail			

問1 自動車部品における臭素系難燃剤の使用状況

貴社が製造している自動車中に使用されている主要な臭素系難燃剤の使用状況についてお聞きします。臭素系難燃剤の種類毎に、下記内容について、できるだけ具体的にご回答下さい。既存資料がある場合は、そのコピーを添付いただいても結構です。

臭素系難燃剤の名称	デカブロモジフェニルエーテル (Decabromodiphenyl ether)
CAS 番号	1163-19-5
使用されているプラスチック名	シート表皮用バックコート剤、電子部品用樹脂
使用時期	90年代半ばより使用（使用継続中）
当該難燃剤の用途（使用部品名）：当該難燃剤を使用している部品名や部品中の配合量（重量％）等について、以下の欄に記入して下さい。	
電子部品の樹脂類 内装ファブリックのバックコート：繊維の種類で5～15％ 電子部品の樹脂小部品（PE, PP, PU）：5～20％	
車種別の使用状況：車種別の使用状況について、以下の欄に記入して下さい。	
内装材等は車両グレード、仕様で採用材料が異なります（デカ BDE を不採用もあり）個別車種のデータについては控えさせていただきます	
使用量：使用量（年間）について、その推移等も含めて、以下の欄に記入して下さい。	
数十トンレベル	
今後の使用見通し：当該臭素系難燃剤の使用見通しについて、以下の選択肢からあてはまるものを選んで下さい（1つに○）	
1. 使用量は今後拡大する見込みである。 2. 使用量は今後も変わらない見込みである。 3. 使用量は今後減少/削減される見込みである。 <input checked="" type="radio"/> 4. 分からない	
（その理由）上記の選択肢を選んだ理由について記入して下さい。 米国では当物質の自主廃絶が決まっており、供給されなくなると理解。しかしながら、途上国等の製造は続けられており、全世界的な需要については不明確である。	

問1 自動車部品における臭素系難燃剤の使用状況

貴社が製造している自動車中に使用されている主要な臭素系難燃剤の使用状況についてお聞きします。臭素系難燃剤の種類毎に、下記内容について、できるだけ具体的にご回答下さい。既存資料がある場合は、そのコピーを添付いただいても結構です。

臭素系難燃剤 の名称	ヘキサブロモシクロドデカン (Cyclododecane, hexabromo-)
CAS 番号	2 5 6 3 7 - 9 9 - 4, 3 1 9 4 - 5 5 - 6
使用されてい るプラスチッ ク名	内装用シートファブリック 発泡ポリスチレン
使用時期	～2011年（自工会としては撤廃済）
当該難燃剤の用途（使用部品名）：当該難燃剤を使用している部品名や部品中の配合量（重量％）等について、以下の欄に記入して下さい。	
内装ファブリックが使用の主体。冷凍バン等の断熱材（発泡ポリスチレン）等での使用もあるが、有効な代替技術がない ファブリックへの添加量は1-3wt%。20～40g/台だが、HBCDを使用しているのは編み物のみで限定的。	
車種別の使用状況：車種別の使用状況について、以下の欄に記入して下さい。	
・グレード、仕様で異なり一概にいけない（車種によってもファブリックの種類で異なる）	
使用量：使用量（年間）について、その推移等も含めて、以下の欄に記入して下さい。	
現在使用なし	
今後の使用見通し：当該臭素系難燃剤の使用見通しについて、以下の選択肢からあてはまるものを選んで下さい（1つに○）	
1. 使用量は今後拡大する見込みである。 2. 使用量は今後も変わらない見込みである。 <input checked="" type="radio"/> 3. 使用量は今後減少/削減される見込みである。 4. 分からない	
（その理由） 自工会では廃止済み	

問2 環境負荷物質削減に関する取組状況

貴社における環境負荷物質削減への取組状況についてお聞きします。下記内容について、できるだけ具体的にご回答下さい。既存資料のコピーを添付頂いても結構です。

全般的な取組状況：貴社における自動車の有害物質削減に向けた全般的取組と今後の見通しについて、その内容を以下に記入して下さい。具体的なスケジュール、目標値等があれば、併せてお示し下さい。

製品含有化学物質管理の強化

- ・ 製品含有化学物質の管理推進と法規への着実な適応
- ・ IMDS を中心とする、部品に含有する化学物質管理の推進
- ・ 上記を推進するにあたり仕入先との協力関係の維持推進
(グリーン調達ガイドラン、説明会 等)
- ・ 購入化学品については、MSDS を受領するとともに PRTR 法で順守しています。

臭素系難燃剤に関する取組状況：臭素系難燃剤に関する取組とその見通し、課題等について以下に記入して下さい。

(現状の取組状況)

・ 法規については着実に対応する。しかしながら性能要件もあり、臭素系難燃剤も含め適材適所で選定していく。

(今後の見通し)

・ 法規制が明確になった HBCD は製造車両から撤廃済。臭素系だからではなく、性能・品質を含め選定していく。

今後の優先取組物質：今後、有害物質削減を進めて行く上で、優先的に取り組んでいく物質があれば、その理由とともに以下に記入して下さい。

- ・ 各国法規、POPs 条約等を睨みながら判断

(特定の物質に言及することは、市場の優先地位を利用することになるので、法規が明確な物質、行政の指示物質以外は言及できません)

今後の課題：上記の取組を進めて行く上での課題について、以下に記入して下さい。

- ・ グローバル調達を考慮すると、規制物質について行政の国際的協調が重要

問3 使用済自動車のリサイクルに関する取組状況と今後の展望

臭素系難燃剤を含めた有害物質による環境負荷低減の観点からのリサイクルの取組と今後の展望についてお聞きします。既存資料のコピーを添付頂いても結構です。

現在の取組状況（臭素系難燃剤関連）：貴社において臭素系難燃剤に着目した使用済自動車のリサイクルに関する取組があれば、その内容について、記入して下さい。実施予定・検討中の取組でも構いません。

自動車の廃棄段階において、臭素系難燃剤に着目したリサイクルは実施していません。
但し、高度なリサイクルの取組みとして、一般的にはサーマルリサイクルされる ASR から、さらに車両防音材原料を選別、加工し（マテリアルリサイクル）、新車部品に採用している事例があります。ASR が廃車由来であるため、結果として極微量ながら意図的でない臭素系難燃剤が、含まれることがあるのが実状です。

その他の取組：上記以外で、使用済自動車のリサイクルの高度化に向けた取組（研究開発段階を含む）があれば、その内容について記入して下さい。

シュレッダーダスト中の重金属含有を削減するため、水銀、カドミウム、六価クロムの使用禁止や鉛の大幅な使用削減を進めています。なお、現状では技術的に対応できない用途の鉛についても、削減に向けて関連部品業界と連携して技術開発を進めています。

リサイクル推進の上で重視すべき物質：今後、使用済自動車のリサイクルを推進する上で、臭素系難燃剤以外で重視すべき物質があれば、その理由も含めて以下に記入して下さい。

現時点では、特にありませんが、今後、環境負荷物質に関する国内外の規制動向及び国際条約等の動向を踏まえながら、適切な対応を進めていきたいと思っております。

今後の課題：上記の取組を進めて行く上での課題について、以下に記入して下さい。

現時点では、特にありませんが、国内外の規制動向及び国際条約等の情報収集をタイムリーに行ってゆきたいと考えています。

問4 International Material Data Systemの利用状況

自動車業界で利用されている International Material Data System(IMDS)の利用状況についてお聞きします。

現在の IMDS 使用状況：現在の IMDS の使用目的について、あてはまるものを以下の項目から選んで○をつけて下さい（複数回答可）

- ① 禁止物質、懸念物質の使用状況の把握
- ② REACH 等の法規制対応・行政等への報告等における利用
- ③ 有害物質の使用削減・代替物質の検討
- 4. 使用済み自動車のリサイクル対策の立案
- ⑤ その他（具体的に：欧州 ELV 法の認証で使用）

臭素系難燃剤に関しての IMDS の利用状況：臭素系難燃剤対策に関して実際に IMDS を利用した事例があれば、具体的に記入して下さい。

・ GADSL に記載されている、SVHC 物質についての含有状況把握

IMDS の課題：自動車の環境対策を進めて行く上で、現在の IMDS における課題があれば、以下の欄に具体的に記入して下さい。

・ IMDS のについては、全世界の業界で改善点等を議論しております。

問5（その他、自由記述）

本件に関して、その他のご意見、ご要望等がありましたら、下欄にご記入ください。

以上、ご協力どうもありがとうございました。後日、この内容について、ヒアリングをお願いする場合がございます。その節はよろしくご協力のほど、お願い申し上げます。

臭素系難燃剤に関する日本自動車自工会ヒアリングメモ

ヒアリング日時：2011年2月2日（木）11:00～12:10

場所：日本自動車工業会会議室

先方：日本自動車工業会環境委員会リサイクル廃棄物部会メンバー、

同 製品化学物質管理部会メンバー 正副部会長会社委員 同 その他事務局関係者

当方：環境管理センター、MRI

I. ヒアリングの概要

- ・日本自動車工業会の製品化学物質管理部会メンバーから、先方作成資料にもとづいてIMDSの概要の紹介が行われた。次にアンケート票（案）にそって、問1、2、4の回答内容の説明が行われた。
- ・問3については、リサイクル廃棄物部会で回答内容について検討するとの申し出があった。
- ・環境省への報告内容については、事前に日本自動車工業会の確認を受けることになった。

II. ヒアリング内容

（1）はじめに

- ・日本自動車工業会の製品化学物質管理部会は、国際的な化学物質規制の動向をふまえて、同工業会の環境委員会の中に昨年、設置された。
- ・ホンダ、日産、トヨタが正副の部会長となっている。

（2）IMDSへの対応状況（調査票問4に対応）

自工会提供資料に沿って以下の説明が行われた。

○IMDS

- ・自動車一台の部品は、末端レベルでは数万点であるが、自動車メーカーに納入される段階では、組立加工が進んで2000～2500点となっている。自動車メーカーが管理する納入部品点数より多くの構成部品単位で管理する事が必要となっている。
- ・IMDSは、欧州のELV指令へ対応するために独の自動車工業会が中心になって構築したシステムで、2005年頃から本格稼働している。システム稼働後の、新型車からデータ収集が始まり、古い型式の車両についてはデータが蓄積されていない。
- ・IMDSの目的は、ELV指令におけるリサイクル率の認証を取得するためであり、ELV指令ではサプライチェーンを通じて情報を収集するとの一文が挿入されていることから、システムを構築することになった。IMDS自体に集計機能はなく、各社がデータ収集後、社内システムで集計する仕組み。
- ・システムは、日米欧の参加自動車メーカーの出資によって運営されている。参加企業に

は、現代や一部の中国のメーカーも加わっており、概ね全世界の大手はステアリングコミッティに入っている（運営費は総額7億円程度、使用量に応じて各社に課金。各社の金額は使用量によるが、最大7000万円～1億円程度(ユーロ建てなので円での変動大))。

- ・ユーザーは25万人おり、データシートは3500万シートとなっている。
- ・IMDSは自動車業界全体での統一システムであり、自動車会社はIMDSを経由して情報を受信することと業界では取り決めをしている。
- ・サーバーは世界で一箇所(ドイツ)だけである。IMDS稼動当初はブロードバンドが普及しておらず、入力する仕入先の利便性を考慮し、IMDSのデータシートと同内容のJAMAシート(エクセル形式)も使用している。
- ・ユーザーとの機密保持契約の関係から、情報セキュリティには留意している。機密管理の一例としては、自動車会社A社では、IMDS関連情報へのアクセスを2台の端末かつ登録した限定者としている。これは仕入先の機密情報の漏洩を防ぐ措置としている。
- ・組成については、GADSLに記載されていない物質について、10%まで申告を免除してもよいことになっている(IMDSの入カールール)。仕入先の利便性を考慮し、IMDSの中にJIS、DINといった規格材の組成データをデータベース化している。ただし、有機材料は規格ない場合が多く、実態としては「鉄鋼」「非鉄金属」が主体である。
- ・A社では、データの収集には、一車種のデータを集めるのに1年間を要する。(サプライチェーンの長さ、深さで異なるが、業界全体では半年～1年が多い。入力指示の仕方は、各社の依頼方法や部品メーカーとの取り決めによる。)
- ・IMDSは自動車会社の材料・リサイクルデータとして標準的なものとなっており、ELV指令の欧州ELV指令のリサイクル認証のほか、化学物質管理等に使用されている。各社でそれぞれの用途があるが、それは各社の判断となっている。

○GADSL

- ・自動車業界共通の化学物質リストとしてGADSL(Global Automotive Declarable Substance List)を作成している。GADSLの物質選定に当たっては、化学業界と自動車業界が議論をして決定している。日本では日本化学工業協会、日本自動車部品工業会、日本自動車工業会が参加している。
- ・新たにSVHCリストに掲載された物質などは、上記委員会で審議の上、自動車に残存する物質を選定し追加している。SVHCの発表頻度に合わせ改訂頻度を2回とすることで合意がされている。

(3) 問1 自動車部品における臭素系難燃剤の使用状況

○Deca-BDE

- ・ Deca-BDE は、シート表皮のバックコート、電子部品（エンジンルーム）に使われている（使用継続中）が、北米でフェーズ・アウトする動きがあるので、徐々に減っていくと考えている。いつ頃から使用され始めたかははっきりしない。
- ・ 自動車メーカーは、部品メーカーに対して所定の難燃性能（燃焼速度に基づく FMVSS 基準）を満たして欲しいという要求を出すだけであり、具体的な物質を指定する訳ではない。
- ・ 要求性能によって Deca-BDE の添加量は異なる。高温の非常に厳しい条件にさらされる場合、20%程度添加されることもある。
- ・ シートであっても、難燃剤は Deca-BDE を使っていたり、HBCD だったりするので、使用状況はまちまちである。リン酸系の難燃剤もかなり使われているので、Deca-BDE の業界全体の使用量は数十トンレベルと考えている。
- ・ 検討会資料で引用されている文献は、難燃剤の製造業者の視点から書かれているため、実際の採用状況とは異なる。自動車は、完全な難燃性を追求するのではなく、乗員が逃げる時間を確保するのが基本的考え方である。難燃性を求めるのはキャビンなど一部である。一例をあげると、バンパー等の外装部品に難燃剤を使用することはない。
- ・ 電子部品では、RoHS 指令に基づき Deca-BDE の使用量が減少すると認識している。生産量については、北米で生産が中止されることを認識している。一方、詳細はわからないが、一部のアジア諸国では、臭素系難燃剤の生産量が継続されると聞いている。

○ヘキサブロモシクロドデカン（HBCD）

- ・ 自動車内装ファブリックでの HBCD の使用は 2010 年度末に撤廃しているが、製造済みの旧型モデル車の修理用部品の使用は続くことになる（POPs 条約「HBCD のリスク管理方策の評価（案）」の 83 パラ参照）。
- ・ HBCD は、冷凍バンの断熱材を除けば、特定のファブリック（編物）の布地（1～3重量%）に使用するだけである。自動車シート用ファブリックは「編物」「織物」「革」があるが、仕様で選定している。A 社の場合、HBCD 使用は最大 2 割程度であった。
- ・ HBCD は第一種監視化学物質に指定されており、経済省の調査では、建材用途 8 割、2 割がインテリアファブリック（カーテン、カーペット類）と自動車ファブリック用途とされている。自動車の場合、染料とともに HBCD を使うため、繊維に残る HBCD は数%程度となり、HBCD 使用量と製品残存量は大きく乖離する可能性が高い。繊維染色過程の排水については、染色メーカーが法規に沿って適切な管理をしていると認識している。
- ・ HBCD については、POPs 条約で規制化を含め議論されていると認識している。噂に聞く限り、使用の大部分を占める建築用断熱材は有効な代替材がなく、HBCD を継続使用する方向と聞いている。この断熱材も適正処理する中で継続使用する訳であり、ファブリック用途もこれらを参考に施策を考えていただきたい。当然、「毒性」と「暴露」に基

づきリスク評価を行い、現実的な規制値（濃度）を検討していただきたい。

- ・ Deca-BDE、HBCD 以外の物質については、話をする段階にはない。（理由は後述）

（４）問２ 環境負荷物質削減に対する取組状況

○臭素系難燃剤に関する取組

- ・ HBCD については、既に使用を全廃している。難燃剤の選定については、臭素系、リン系、アンチモン系を含め、難燃性能を勘案してバランス良く考えていく。
- ・ 法規制が定まらない中で、個別物質に対する考え方を示すことは、業界として特定物質を排除するがごときのように誤解され、排他的な取引を意図するかのうように思われる。従って、法規制が明確でない物質については、コメントを控えさせていただきたい。

○化学物質への対応を進めて行く上での課題、問題意識

- ・ 規制物質についての国際的調和が非常に重要と考えている。例えば、アスベストについては日本では非常に関心が高いが、中国では使用可能となっており、日本への輸入品から検出されたという話も聞く。カナダでは、自国産のアスベストを輸出することは認められているが、輸入は禁止である。規制はグローバルに考える必要がある。
- ・ グローバル化にともなって、規制のない国で欧州向けの部品を生産するといったことが起こってきている。
- ・ 以前、染料の一部不純物に化審法の第一種特定化学物質が含まれていたため、流通が止まったことがあった。産業活動への影響を考えると、閾値の考え方など、実質的に管理できるような規制内容にしていくことが必要ではないか。

（５）Deca-BDE の使用段階での分解について

- ・ （環境管理センター）自動車に使用されている臭素系難燃剤は光で分解されやすく、Deca-BDE の場合、ASR 中では臭素数が減って法規制の対象になる可能性がある。
→（日本自動車工業会）Deca-BDE の使用・排出過程でのリスク評価はどうなっているのか。車両火災のリスクを低減するというベネフィットを勘案したトータルな評価が必要と考える。
- ・ 工業的には 100%純度の化学品を製造することは困難である。Deca-BDE であれば、数%程度の hepta-, octa は不純物として含まれているのが工業的化学品と理解している。（科学的研究用試薬は純度が高いが、精製費用も必要で工業的な使用は難しい）最初からの不純物と、使用過程での分解により生じる不純物をどのように考えるのか。
- ・ 既に出荷した製品に対しては何もできないので、リサイクルのループから外すしかないという議論になってしまうのではないか。リスク評価も含め現実的な方法をお願いしたい。

(6) その他

- ・問3については、リサイクル廃棄物部会において回答内容を検討していただけることとなった。

以上

3.2 まとめ

(1) 自動車部品における臭素系難燃剤の使用状況

デカブロモジフェニルエーテル(Decabromodiphenyl ether)については、シート表皮用バックコート剤、電子部品用樹脂に使用されている。1990年代半ばより使用しており現在も使用を継続している。

ヘキサブロモシクロドデカン (Cyclododecane, hexabromo-)については、内装用シートフアブリック、発泡ポリスチレンに使用されている。2012年より日本自動車工業会では使用を禁止し廃止済みである。

但し、何れも、車両、グレード、仕様により使用状況が異なる。

(2) 環境負荷物質削減に関する取組状況（臭素系難燃剤削減に対する取り組みについて）

以下の内容で製品含有化学物質の管理を強化している。

- ・製品含有化学物質の管理推進と法規への着実な適応
- ・IMDSを中心とする部品に含有する化学物質管理の推進、
- ・上記を推進するにあたり仕入先との協力関係の維持推進
- ・購入化学品については、MSDSを受領するとともにPRTR法で順守

法規については着実に対応していくが、性能要件もあり、臭素系難燃剤も含め適材適所で選定していく。法規制が明確になったHBCDは製造車両から撤廃済であるが、難燃剤については、臭素系だからではなく、性能・品質を含め選定していく。

(3) 使用済自動車のリサイクルに関する取組状況と今後の展望（臭素系難燃剤について）

自動車の廃棄段階において、臭素系難燃剤に着目したリサイクルは実施していない。

但し、高度なリサイクルの取組みとして、一般的にはサーマルリサイクルされるASRから、さらに車両防音材原料を選別、加工し（マテリアルリサイクル）、新車部品に採用している事例がある。ASRが廃車由来であるため、結果として極微量ながら意図的でない臭素系難燃剤が、含まれることがあるのが実状である。

(4) IMDS(International Material Data System)の利用状況

IMDSのシステムは、日米欧の参加自動車メーカーの出資によって運営されている自動車業界全体での統一システムであり、自動車会社はIMDSを経由して化学物質の情報を受信することと業界では取り決めをしている。

参加企業には、現代や一部の中国のメーカーも加わっており、概ね全世界の大手はこの仕組みを利用している状況である。

IMDSは自動車会社の材料・リサイクルデータとして標準的なものとなっており、ELV指令の欧州ELV指令のリサイクル認証のほか、化学物質管理等に使用されている。

IMDS の主な利用目的は以下の通りである。

- ・ 禁止物質、懸念物質の使用状況の把握
- ・ EACH 等の法規制対応・行政等への報告等における利用
- ・ 有害物質の使用削減・代替物質の検討
- ・ 欧州 ELV 法の認証で使用

各社でそれぞれの用途があり、どの用途で使用するかは各社の判断となっている。

4. 臭素系難燃剤含有プラスチックの分別技術調査

4.1 分別技術の技術開発の動向

4.1.1 臭素系難燃剤含有プラスチックの分別技術の概況

臭素系難燃剤（BFR）を含有するプラスチックの分別と処理に関しては、比重選別方式（臭素系難燃剤を含む重い成分を分離）や焼却といった従来からの方法が利用できるが、近年の臭素系難燃剤に関する環境規制を背景として、より高精度の分別方法が求められている。

POPs 条約の締約国会議文書”Technical Review of the Implementation of Recycling Commercial Pentabromodiphenyl Ether and Commercial Octabromodiphenyl Ether (Draft)”（工業用ペンタブロモジフェニルエーテル及び工業用オクタブロモジフェニルエーテルのリサイクル実施に関する技術レビュー案、2010年10月）では、PBDE等の臭素系難燃剤を含むプラスチックの分別技術について整理している。その内容を以下に示す。

(1) リサイクル及び廃棄物フローにおける製品中 PBDE のモニタリング

PBDE を含む製品を分別するためには PBDE のスクリーニングが最大の課題である。この目的には、標準的な GC/MS や他の検出器を用いた GC 法、あるいは高速スクリーニング法（例：熱分解 GC/MS）はリサイクル工場や廃棄物処理施設で実際に適用するにはあまりに時間がかかりすぎる。現在、PBDE を含有する素材のスクリーニングと分別のための唯一の実用的な方法は、臭素成分のオンラインスクリーニングにより、BFR を含む素材を分別することである。

臭素のスクリーニングには3つの技術が適用可能である。

スライド式スパーク分光分析（Sliding Spark Spectroscopy Analysis, SSS）（携帯型）

蛍光X線法（X-ray Fluorescence, XRF）（携帯型）

X線透過法（X-ray Transmission, XRT）（自動選別プラント）

表 4-1 BFR含有プラスチックの携帯式分別法の比較⁵

項目	蛍光 X 線	スライド式スパーク分光分析
主要機能	添加物の検出と定量	臭素及び塩素の検出と定量
操作方法	低エネルギーの X 線が深さ約 10mm まで試料を透過。検出器が広範囲の元素からの蛍光 X 線のエネルギーピークを計測して物質を同定し、添加物の % 濃度を定量。	表面の高電圧スパークにより気化した素材のプラズマを形成。光学スペクトルにより、臭素と塩素に特有の波長のピークを分析し、% 濃度を定量。
重量	1.7kg	0.75kg(携帯型ガン)
1. 正確性	非常によい—元素 ppm レベル	十分である—Br/Cl の濃度約 1 % まで
2. 再現性	優れている	良い—ノイズは約 0-1% レベル
3. 信頼性	とても良い	とても良い
4. スピード	比較的遅い (15-30 秒)	速い (1 秒)
価格	約 40,000-50,000 米 \$	約 6,000 米 \$
操作者に求められる熟練度	結果を解釈できる操作者	基礎的訓練を受けた工場作業者

(2) PBDE を含む製品の他成分からの分別

PBDE を含む製品（プラスチック、発泡体、繊維等）をオンラインで検出して他の素材から分別する方法は、上述の分析方法が比較的時間がかることに加えて、多くのシステムで、選別が必要な不均一な混合物の処理システムを自動化することが困難であることから、現在実施不可能である。現在可能な唯一のアプローチは、前節の臭素スクリーニング法（XRF、SSS、XRT）を用いて、何らかの臭素系難燃剤を含む素材を非 BFR 素材から分別することである。XRT は自動化システムでのみ用いられ、比較的高い（約 40 万ユーロ）ことから、大型の WEEE 分別プラントにおいてのみ使用できる。XRF と SSS は携帯式の方法で、POP-BDE が通常含まれるマトリクスに適した自動化システムには実装できない。これら 3 種類の方法はすべて、主としてヨーロッパのフルスケールの施設に既に適用されている（表 4-2）。作業者の経験にもとづく追加的な手選別もスウェーデンなどの国で利用されている。PBDE/BFR を含む比重の重いプラスチック分画を分離する沈降又は浮遊選別技術も、少なくともある程度は利用できる。

PBDE/臭素系難燃剤を含有するプラスチックの分別技術は、WEEE リサイクルプラントの主要な経済的ドライビングフォース*になることから、プラスチックのマテリアルリサイ

⁵ UNEP/POPS/POPRC.6/2 "Technical Review of the Implementation of Recycling Commercial Pentabromodiphenyl Ether and Commercial Octabromodiphenyl Ether (Draft) "

クルのための技術と効果的に統合する必要がある。

これらの分別技術は、現在、主に廃電気電子機器のプラスチック用の技術として確立されているが、製品中に均一に配合されている PBDE を含む製品（例：ポリウレタンフォーム製マットレス、輸送機械、家具、繊維）に対しても適用可能である。

但し、これらの分別技術を PBDE を含む他の主要用途製品に適用するに当たっては、さらなる検討が必要である。

*：個別企業が戦略展開を考える場合に、何を最重要視するかの諸指標

表 4-2 臭素系難燃剤含有プラスチックの分別プラント 5

投入される WEEE	分別技術	対象プラスチック	分別されたポリマーの品質	PBDE 除去 (RoHS 対象製品)	開発段階
WEEE 由来の混合プラスチック(オーストリア, 中国)	非公開	A) Low-BFR タイプの ABS, HIPS 及び ABS-HIPS 混合物	A) 良好 (顧客仕様)	○	産業規模
		B) 混合プラスチック分画	B) 非エレクトロニクス製品	× (デカは失敗)	
小型電気機器, 白物(スイス)	XRT を含む	BFR 及び PVC フリー高分子	良好	○	産業規模
小型電気機器 (ドイツ)	破砕 → NIR → NIR → XRT	Low-BFR タイプの ABS 及び HIPS	未報告	低 Br レベル	産業及びパイロット規模
WEEE プラスチック(英国)	非公開	Low-BFR タイプの ABS 及び HIPS	良好	○	産業規模
WEEE プラスチック(ドイツ)	非公開(S/F 及び静電分解を含む)	Low-BFR タイプの PP, ABS 及び HIPS	非公開	非公開	産業規模
テレビ, コンピュータの筐体(スウェーデン)	手選別, 非公開	Low-BFR タイプの ABS 及び HIPS	良好	○	産業規模
テレビモニターの筐体(ドイツ)	解体 → S/F	Low-BFR タイプの ABS, HIPS 及び ABS-HIPS 混合物	良好	○	パイロット規模
小型電気機器 (オーストリア)	破砕 → S/F → CreaSolv®	Low-BFR タイプの ABS, HIPS 及び ABS-HIPS 混合物	良好	○	パイロット規模
テレビの筐体(英国)	解体 → 高 BFR 分画 → CreaSolv®	Low-BFR タイプの HIPS-ABS 混合物	良好	○	パイロット規模
テレビの筐体(ドイツ)	解体 → S/F(高 BFR 分画) → CreaSolv®	Low-BFR タイプの HIPS-ABS 混合物	良好	○	パイロット規模
モニター筐体(ドイツ)	解体 → NIR → S/F	Low-BFR タイプの ABS, HIPS 及び PC/ABS	良好	○	パイロット規模
モニター, テレビの筐体(ドイツ)	解体 → SSL → S/F	Low-BFR タイプの ABS 及び HIPS	試験未実施	○	パイロット規模

注) S/F: sink/float tank NIR: near infrared

(3) PBDE を含む製品からの PBDE の回収

素材から PBDE/BFR や臭素を分離する以下のような技術が開発されている。

- a) CreaSolv プロセス：プラスチックを溶解して樹脂と BFR 分画を分離する技術（パイロット規模）
- b) Haloclean プロセス：BFR を含むプラスチックを熱分解して、臭素を分離する技術（パイロット規模）
- c) BFR の分離ステップを含むプリント基板の材料リサイクル技術（実験室規模）
- d) 焼却と臭素の回収

これらの技術はすべてパイロット規模又は実験室規模で試験が行われている。CreaSolv プロセスなど、いくつかの技術はフルスケールでの操業が可能と思われる。しかし、技術に確実な推奨を与えるにはさらなる評価が必要である。評価に当たっては、現在臭素が高価（2,500 \$ / トン）であることを考慮して、BFR を含む素材からの BFR/臭素の実際的な分離レベルについて検討すべきである。また、臭素の将来のマーケットやこれによるプロセスの経済性への寄与についても検討すべきである。

4.1.2 英国における臭素系難燃剤含有プラスチック除去プロセスの研究開発 (WRAP)

(1) 概要

英国政府は、安定的で効率的なリサイクル市場を確立するために「廃棄物資源アクションプログラム」(Waste Resources Action Programme, WRAP)を実施している。このプロジェクトの一環で、EUのWEEE指令を受けた臭素系難燃剤含有プラスチック除去プロセスの研究が行われた。

プロジェクト名：廃電気・電子機器ポリマーからの臭素化難燃剤分離プロセスの開発⁶
(Develop a process to separate brominated flame retardants from WEEE polymers)

プロジェクト実施期間：2004年10月1日～2006年5月31日

プロジェクト参加機関：Axion Recycling社、フラウンホーファー研究所、ロンドン首都大学ほか

このプロジェクトでは、文献調査やパイロット規模の実験により、WEEEから臭素系難燃剤含有プラスチックを分離し、リサイクル(焼却を含む)するための各種のプロセスを比較検討した。2006年11月に作成された最終報告書では、CreaSolvプロセス(特にプロジェクト中に開発された改良CreaSolvプロセス)が、WEEE由来のスチレンポリマーに含まれる臭素系難燃剤を分離する最良のプロセスであると推奨している。

これ以外のプロセスとして、Centrevapプロセスは、臭素系難燃剤含有量の顕著な減少にはつながらないものの、広範な種類の高分子からサブミクロン・サイズの不溶性不純物を除去するための、頑健、柔軟かつコスト効果的なプロセスになる可能性があるとして評価している。報告書のポイントを以下に示す。

(2) 臭素系難燃剤含有プラスチックの同定・分別に利用可能な技術

この研究では、臭素系難燃剤含有プラスチックの同定・分別に利用可能な技術として以下の技術を比較検討した。

⁶ http://www.creacycle.de/images/stories/e5a-2006.11._wrap_final_report-separation_of_brominated_flame_retardants.pdf

表 4-3 臭素系難燃剤の同定・分別に利用可能な技術⁶

同定方法	長所	短所	BFR の検出への適用可能性
サーマルインパルス応答法 (TIR)	<ul style="list-style-type: none"> 本質的に簡便。 	<ul style="list-style-type: none"> 黒色のプラスチックには適用不可。 	<ul style="list-style-type: none"> なし。 COMBIDENT プロジェクトで不採用。
蛍光 X 線 (XRF)	<ul style="list-style-type: none"> PVC 検出技術として実証済み。 	<ul style="list-style-type: none"> いくつかの物質ではサンプリング率が低い。 X線障害の問題。 非常に高価。 	<ul style="list-style-type: none"> BFR 検出の可能性はあるが、実用的リサイクル技術としての確実な実証はまだ。
近赤外 (NIR)	<ul style="list-style-type: none"> 迅速。携帯検出器の応答時間は短い。 透明又は淡色の素材に適する。 	<ul style="list-style-type: none"> NIR の波長域を吸収又は散乱するカーボンブラックを含む黒色の素材には不適。 	<ul style="list-style-type: none"> あり。しかし制限あり。
中赤外	<ul style="list-style-type: none"> 実証技術で、黒色のプラスチックも同定可能。 リサイクル用途に特別に製造。 	<ul style="list-style-type: none"> 高速のラインには適用不可能。 比較的滑らかで、清浄な表面を必要とする。 	<ul style="list-style-type: none"> あり。しかし、BFR には十分に評価されていない。
ラマン分光	<ul style="list-style-type: none"> サンプリングが速い。 元素の同定に特化して設計されている。 	<ul style="list-style-type: none"> BFR 同定の正確性は不明。 ラマンシグナルは弱く、誤同定の可能性あり。 非常に高価。 	<ul style="list-style-type: none"> 不明。
LIBS、LIPS、LIMES	<ul style="list-style-type: none"> サンプリングが速い。 COMBIDENT プロジェクトで実証済み。 	<ul style="list-style-type: none"> 完全な正確性はなし。 高価。 産業用よりも実験室向け。 	<ul style="list-style-type: none"> あり。
スライディング・スパーク	<ul style="list-style-type: none"> 黒色のサンプルにも問題なし。 操作が迅速で簡便。 リサイクル用途に特別に製造。 	<ul style="list-style-type: none"> サンプルの調整が必要。 プラスチックの種類によって同定に不確実性あり。 非常に高価。 EHT スパークによる衝撃と火災。 	<ul style="list-style-type: none"> あり。 正確性があるとされているが、十分な実証はまだ。

(3) 臭素系難燃剤含有プラスチックの分別工程

廃プラスチックから BFR 含有プラスチックを実際に分別する方法として、既存のプラント等を対象に、実用化済み技術（例：比重選別によるプラスチックの分離）と研究開発段階の技術（例：透過 X 線による分別）など、7 種類の工程を比較検討した（表 4-4～4-5）。その結果、以下のような結論が得られた。

- ・ 比重選別は、バルクのシュレッダー産物から臭素化されたプラスチック成分を実際に分離することができる。
- ・ 製品分画と比重の重い分画をわける密度境界を注意深く選定することにより、平均臭素含有量が RoHS の最大許容含有量 0.1% を十分下回る ABS/PS 樹脂を合理的な高収率で得ることができる。今回の実験では、平均 Br 含量 0.14% の使用済み WEEE のプラスチックから得た製品分画の Br 含量は 0.03% レベルであった。Br を含む粒子の大部分は、比重の重い分画（比重 > 1.1）に濃縮された。
- ・ これらの実験で、工程から除かれたより重い成分は減量の 10-15% であった。
- ・ これらは臭素化スチレン、PVC、PC、POM、金属、木材、ゴム、石等であった。
- ・ オランダの PHB 社のプラントは、販売可能な製品の調整という観点では、もっとも良い成績を示した。PP/PE の浮遊分画（比重 < 1.0）、ABS/PS 分画（1.0 < 比重 < 1.1）は高純度であった。
- ・ 最良の比重選別方式に基づく連続処理プロセスは、低密度の分離基準（比重約 1.1 の領域）を微調整することによって、ハロゲン化された成分を十分に除去するようにコントロールできる。バルク製品中の Br 含量は、製造ラインにおいて、NITON ユニットのような携帯型の蛍光 X 線装置で迅速かつ正確に測定できる。これにより、Br 含有率 0.1% を達成しつつ ABS/PS の収率を最大化できる。
- ・ 透過 X 線装置は、個々の BFR プラスチックを非 BFR 成分から分別する非常に特異的な方法を提供する。この技術は（NIR と異なり）、対象物の表面に依存せず、自動分別装置の同一ラインにおいて、望ましくない添加物（例：鉛、カドミウム、金属の挿入片）を除去できる。

(4) 臭素の回収工程の検討

分別により BFR 含有プラスチックをある程度分別した後、臭素を分離・回収するプロセスには様々な方法が考えられる。この研究では、表 4-6～4-8 に掲げられた 10 技術を対象に、その長所・短所等を比較検討し、次フェーズでの検討対象技術を選定した。

表 4-4 臭素系難燃剤含有プラスチックの分別方式の比較 (1) ⁶

プロセス	開発者	工程の概要	試験規模	結果の概略
フルスケールのマルチ・ユニット・プロセス	PHB (Envirotec) オランダ	<ul style="list-style-type: none"> 連続的なサイズの小型化、ダストの除去、液層の分離と最終精製ユニットを数年かけて開発。重い BFR 含有プラを除去可能とされる。 	20mm サイズの混合破砕物 1,450kg	<ul style="list-style-type: none"> 清浄で乾燥した 5mm の顆粒状産物を高収率 (>55%) で回収—平均 Br 含量 0.14% の原料から低 Br 含有量 (0.03%) の ABS/PS(97.6%純度)、重い分画の Br 含量 0.65%、浮遊分画は Br 含量 0.04% の PP/PE78%。
Water Jigging Rig – Deltex Pro	Recycling Avenue, TU デルフト、オランダ	<ul style="list-style-type: none"> 水槽中で原料プラスチックを比重により 3 成分に分離。 重い分画は通過、比重中程度の分画は水中に沈降、浮遊成分は比重 1.1 の分画で回収。 	250kg	<ul style="list-style-type: none"> 0.07%の低 Br 含量 ABS/PS(純度 97%)を 60%の収率で回収。 重い分画の Br 含量 1.8%、浮遊分画の Br 含量 0.037% 沈降/浮遊ポイントにおける表面の濡れが少ないため、浮遊分画を 45%PS とともに PP/PE と混合。
水サイクロン (Water Hydrocyclone)	Axsia Mozley 英国	<ul style="list-style-type: none"> フルスケールの試験設備を用いて原料を比重により 3 分画に分離。 原料から約 20%の粒子、ダストを除去するため、乾燥ふるいを使用。 	100kg	<ul style="list-style-type: none"> 高性能溶液系により乾燥粒子の供給速度は 3.7t/hr 相当を達成。 原料を 86%の ABS/PS 分画、12%の PP/PE 分画、比重 1.1 超の分画に分離。
NIR 自動選別装置	Titech Polysort システム	<ul style="list-style-type: none"> フルスケールの装置に名目サイズ 20mm の原料を供給。 NIR の反射光により高分子の種類を識別-黒色の素材には制限あり。 	60kg	<ul style="list-style-type: none"> 原料中の着色成分の割合が高く、分離成績は悪かった。
Triboelectric sorting machine	Hamos GmbH ドイツ	<ul style="list-style-type: none"> プラスチック粒子を金属のチャンバー内で攪拌し、荷電させた後、高電場を通過させ、正の荷電、荷電なし、負の荷電の 3 成分に分離。 	10kg の色混合サンプル× 5 回	<ul style="list-style-type: none"> 4 回の実験では優位な分離結果が得られず。 1 回の実験で 80/20 比の分離を達成：黒色の HIPS/BFR と淡色の ABS 混合物、しかし純粋な分離には至らず。

表 4-5 臭素系難燃剤含有含有プラスチックの分別方式の比較 (2) ⁶

プロセス	開発者	工程の概要	試験規模	結果の概略
光学的色選別	Sortex Ltd ロンドン	<ul style="list-style-type: none"> 可視光領域の高速イメージ分析により、落下する小粒子(例：コメ)を高速で分離。 	10kg の色混合サンプル×2回	<ul style="list-style-type: none"> 約 30%の黒色/青色、白色の色混合 IT 機器由来 ABS は一回で 99.99%の純度で分離 (2t/h)。 色混合の電話機由来 ABS は1回目で 98%の分離、2回目で 99.99%分離。
透過 X 線選別装置	Tako De Jong, TU Delft (オランダ)	<ul style="list-style-type: none"> 通常 of 空港での X 線装置と新しい分析ソフトを用いて、サンプル粒子を透過する X 線を 2つのエネルギーレベルで測定。 平均原子番号と夾雑物 (ねじ等) の存在により素材を同定。 商業規模でフルスケールの分別システムに接続可能。 	10kg の色混合サンプル×2回 (ポストコンシューマ製品及び破碎 IT 機器)	<ul style="list-style-type: none"> 試験装置では分析の実証のみで、分別用エアガンには連結せず。 透過レベルを参照物質と迅速に比較し、グラフ上で個々の粒子を異なる樹脂タイプ又は添加剤含量と結びつけてグルーピング。 ソフトウェアは求められるアウトプットに応じた分別基準を示すようにプログラム可能 (例：ABS+BFR を通常の ABS から分離)

表 4-6 臭素系難燃剤含有プラスチックからの臭素の分離プロセスの比較検討（1）⁶

プロセス	試験内容	結果	採用/不採用	選定理由
RGS90 加水分解	<ul style="list-style-type: none"> 試験を行わず。 WARP プロジェクト期間中に技術的、商業的問題から RGS90 が実証プラントを閉鎖。 	<ul style="list-style-type: none"> 水酸化ナトリウムによる BFR の脱臭素化は実証されていない。 RGS90 によれば、本分野の経験から脱臭素化は可能。 	採用	<ul style="list-style-type: none"> RGS90 プロセスは下流での熱分解工程を含み、大規模な carbogrit プロセスと密接に関係する。これらは加水分解で十分に分解されていない分解産物を分解できる。 RGS90 社は PVC と WEEE を同時処理可能な大規模プラントの試験を行っており、プロセスのデータが利用できる。
水酸化カリウム脱臭素化	<ul style="list-style-type: none"> Creasolv 溶媒と KOH/オクタノールによる BFR の脱臭素化をフラウンホーファー研究所でラボ規模で実施 	<ul style="list-style-type: none"> 熔融相においても BFR の反応は不完全 高ダイオキシン生成 	不採用	<ul style="list-style-type: none"> 過剰なダイオキシンの生成と不完全な BFR 除去により、さらなる開発なしには商業的プロセスは魅力がない。
Creasolv	<ul style="list-style-type: none"> 改良方式を用いてフラウンホーファー研究所で 5 kg 規模で 2 回実験。Axion 社と同研究所により、スケールアップを予定。 英国で実際に収集された WEEE を用いて実験（TV の HIPS-FR）。 	<ul style="list-style-type: none"> 最初のテストでは品質の良いリサイクル物を得た。 2 回目のテストでは、プロセス溶液を適切な浄化なしに再利用したため、成績は低下。 	採用	<ul style="list-style-type: none"> 良好な BFR の抽出が実証された。 ダイオキシンも除去された。 試験における最終的なポリマーの浄化工程はスケールアップが困難。代替経路が見出されたが、フェーズ 2 では試験せず。
イオン化液体	<ul style="list-style-type: none"> 13 種類のイオン化液体の合成と試験を実施。異なるプロセスによる数回のラボ実験で最適な抽出方法を検討。 	<ul style="list-style-type: none"> 1 種類のイオン化液体で、BFR の目標スペックに近い良好な成績。すべての溶媒を回収することが困難。 	採用	<ul style="list-style-type: none"> 良い BFR 抽出効率が実証された。 ダイオキシンも除去された。

表 4-7 臭素難燃剤含有プラスチックからの臭素の分離プロセスの比較検討（2）⁶

プロセス	試験内容	結果	採用/不採用	選定理由
高圧熱水による脱臭素化	<ul style="list-style-type: none"> ABS を用いて高圧力下で温度を上げながら熱水（250℃まで）、熱メタノール（220℃まで）でラボ実験を実施 	<ul style="list-style-type: none"> 熱水、熱メタノールとも BFR の抽出は限定的 高いダイオキシン生成が観察された。 	不採用	<ul style="list-style-type: none"> 高いダイオキシン生成、BFR の抽出率の低さ、ポリマーの分解により最終産物の販売が困難。 プロセスが高価になると考えられる。
BFR フィルターによる除去	<ul style="list-style-type: none"> トルエンに溶解した HIPS を用いて Mavag 圧力フィルターによる 3 日間のラボ実験を実施（Ionic Solutions 社）。メッシュサイズは 12 ミクロンで一連のフィルター助剤を試験。 	<ul style="list-style-type: none"> ポリマーサンプル中の非常に微細な BFR と三酸化アンチモンの粒子（0.2-5 ミクロン）のため BFR の抽出は限定的。 	採用	<ul style="list-style-type: none"> ポリマー溶液は中程度の温度（30-50℃）で取り扱いが容易。 フィルター助剤とフィルターメッシュの組み合わせをさらに開発することで、商業的に可能なプロセスができる可能性あり。
Centrevap	<ul style="list-style-type: none"> 小規模のラボ試験 	<ul style="list-style-type: none"> 特許申請の可能性があるため、プロセスの結果は秘匿。 さらなる試験が必要。 	採用	<ul style="list-style-type: none"> 技術的課題が解決されれば、多種類のポリマーに対して高性能で柔軟なプロセスになる。 Creasolv よりエネルギー負荷は大きい（すべての溶媒を気化させる）が、プロセス技術は比較的単純でバージンポリマーに対して実証済み。数種類のポリマーに対して適した柔軟なプロセスを提供する可能性。
超臨界 CO ₂ による溶媒からの沈殿	<ul style="list-style-type: none"> 多くの溶媒を用いた BFR 溶液に対して広範囲の圧力下で超臨界 CO₂ による沈殿実験を実施（ラボスケール）。 	<ul style="list-style-type: none"> トルエン等で沈殿が生じたが、清浄で乾燥したポリマーは得られず。実験の圧力では、ポリマー中に溶媒が残留し、さらなる処理が必要。 	不採用	<ul style="list-style-type: none"> 超臨界 CO₂ プロセスの導入先との議論の結果、商業的に実施可能なプロセスを構築するには、相当の追加開発が必要と考えられた。

表 4-8 臭素難燃剤含有プラスチックからの臭素の分離プロセスの比較検討（3）⁶

プロセス	試験内容	結果	採用/不採用	選定理由
沈殿	<ul style="list-style-type: none"> CO₂ による沈殿実験の結果を踏まえて、一連の通常溶媒を用いたラボスケールの沈殿実験がノッティンガム大学により実施された。 	<ul style="list-style-type: none"> トルエンとメタノールの組み合わせが効果的で、2時間以内にフロック様の沈殿を生じ、風乾後の溶媒の含有量は5%であった。 メタノールとトルエンの割合は約4：1 	採用	<ul style="list-style-type: none"> 不幸にもトルエン/メタノールと他のすべての通常溶媒の組み合わせは、商業的に利用される圧力下で定沸点の物質を生じた。このため、一次の沈殿溶媒を回収するために改良された膜分離プロセスが必要となり、プロセスのコストと複雑さが増大する。 この欠点にもかかわらず、エネルギー消費が比較的少ないことから、本プロセスを商業化の評価に含める。
焼却とエネルギー回収	<ul style="list-style-type: none"> 本プロジェクトでは試験を実施していないが（多くの試験がスカンジナビア諸国やドイツで実施済み）、英国の大型焼却施設の管理技術者と詳細なプロセス設計の議論を実施。 	<ul style="list-style-type: none"> 一般廃棄物に重量比約1%で混焼すれば焼却炉の運転を特に妨げない。ただし、大気汚染防止システムの運転費が増加する。 最新の廃棄物受入基準の解釈に応じて、規制や排出許可の変更を要する。 	採用	<ul style="list-style-type: none"> 廃棄物焼却炉における焼却・エネルギー回収は、英国で他のリサイクルプロセスが開発されるまでは、BFR含有プラスチックの埋め立てに替わる方法として、唯一直ちに実施可能な方法である。

(5) 具体的な FBR 回収プロセスの検討

前述の検討結果を踏まえ、この研究では、CreaSolv を用いた方式を中心に実際の FBR 回収プラントの設計とパイロット規模の実験を行った。CreaSolv 方式のフローは以下の通りである。

CreaSolvプロセスの溶媒A、溶媒Bの詳細な情報は公開されていないが、フラウンホーファー研究所の関連特許⁷によれば、溶解用の溶媒Aはケトン、エーテル、シクロアルカン、エステル、特にアセトン、メチルエチルケトン、テトラヒドロフラン、ジカルボン酸のジアルキルエーテル、脂肪酸アルキルエーテルを使用する。また、沈殿用の溶媒Bは、水、アルコール、特にメタノール、エタノール、イソプロパノール、n-プロパノール、ブタノール又はこれらの混合物を使用する。

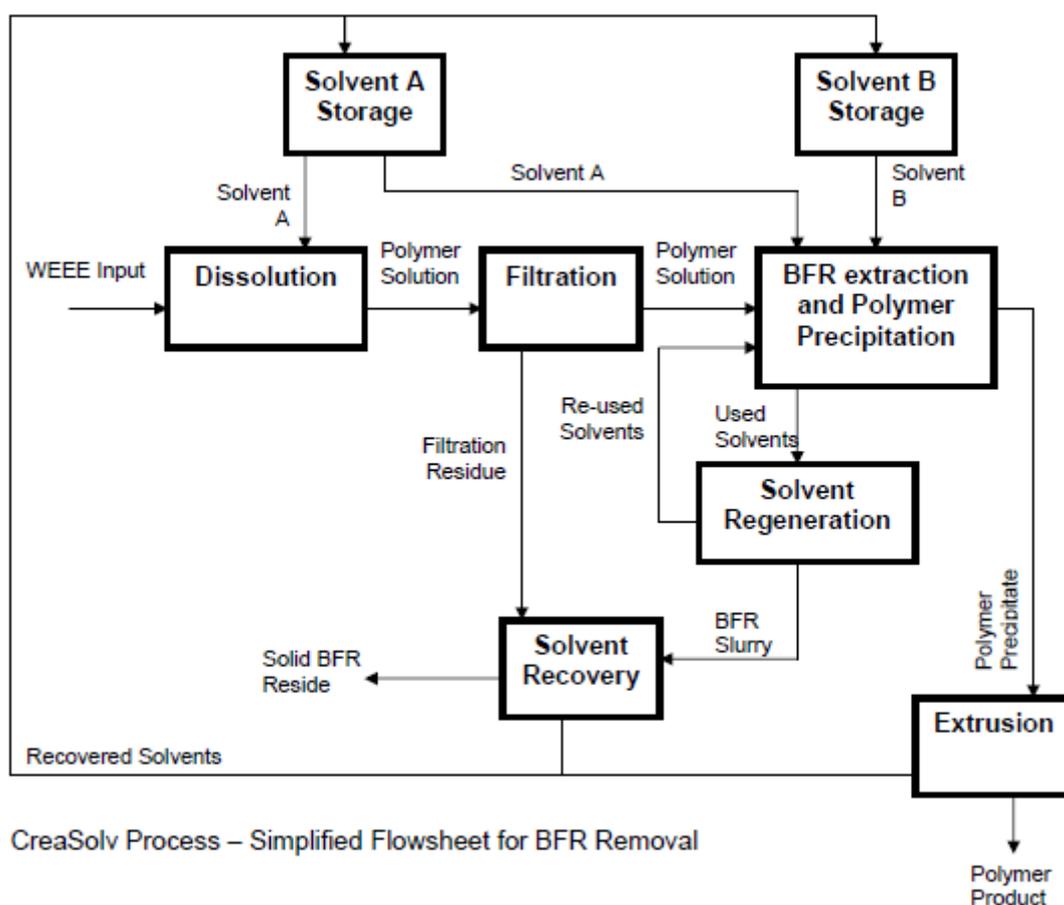


図 4-1 CreaSolv 方式のフロー⁶

このフローにおける各ステップの概要は次表の通り。臭素とアンチモン業界の代表者に

⁷ ドイツ特許庁公開番号 DE-A1-10 2005 026 451(2006 年 12 月 14 日公開) Verfahren zum Recycling von Kunststoffen und dessen Verwendung 「合成樹脂のリサイクル方法及びその用途」

よれば、このプロセスにより臭素とアンチモンが適当なレベルの純度で得られれば、これらの残渣をコストゼロで再生品の供給材料として使用できる。

表 4-9 Creasolv プロセスの概要⁶

工 程	工 程 の 概 要
原料の供給	<ul style="list-style-type: none"> ・プラントに供給される原料は、サイズが約 30-50mm のシュレッダーされたプラスチック廃棄物である。 ・廃プラスチックは、BFR を含有する HIPS、ABS を事前選別しておく。
溶解	<ul style="list-style-type: none"> ・前バッチで再生された Creasolv 溶媒（溶媒 A）を炭素鋼製のタンクに貯蔵。 ・マントルヒーター型の溶解容器を Creasolv で充填し、ヒータにより加熱し、ポリマーを添加する。 ・温度が上がると、ポリマーと BFR はどちらも熱 Creasolv に溶解する。
ろ過	<ul style="list-style-type: none"> ・未溶解のポリマー及びその他の不溶性の不純物をろ過して除去する。ポンプにより溶解容器内の液体を吸引してフィルターに供給する。フィルターは自己浄化機能をもち、回収された固体を溶媒回収ユニットで処理するために間欠的に排出する。 ・フィルター通過物には溶解したポリマー及び他の可溶性の添加物が含まれる。一方、フィルター上の残渣には、未溶解のポリマー、不溶性の添加物や紙、金属等の未反応物が残る。
BFR の抽出とポリマーの沈殿	<ul style="list-style-type: none"> ・溶解容器からフィルターを通過した溶液は、溶媒抽出ユニットに送られる。第二の自社製 Creasolv 溶媒（溶媒 B）が添加される。これにより、ポリマーと BFR が分離される。 ・過剰な溶媒は、一連の特別な抽出ユニットの中で脱臭素化されたポリマーから除去される。回収された溶媒混合物は、ポンプによりタンクに貯留され、特殊な溶媒再生ユニットに送られる。
溶媒の再生	<ul style="list-style-type: none"> ・WRAP とフラウンホーファー研究所の協力の結果、新規の溶媒再生プロセスが開発された。このプロセスは二種類の Creasolv 抽出溶媒からの BFR を分離し、溶媒をそれぞれ分離し、再利用可能とする。プロセスのこの部分の詳細はフラウンホーファー研究所と WRAP の機密情報である。 ・BFR は、濃縮された Br リッチのスラリーとして溶媒再生ユニットにより回収される。このスラリーは、プロセスの第一段階でのフィルター残渣とともに最終溶媒回収ユニットに入る。
押出	<ul style="list-style-type: none"> ・抽出/沈殿ステップからのゲル上ポリマー粒子は、排気ポンプを備えた二機の押出機に入り、残存する溶媒を 1% 以下まで除去する。1% は後段

	<p>の射出成形によるポリマー加工の許容限界である。ポリマー産物は、水槽中で冷却され、ペレット化される。</p> <ul style="list-style-type: none"> • 必要に応じて、添加物とマスターバッチをこの段階で加え、最終ポリマー産物の性質を調整することができる。 • 押出工程での排気により除去された溶媒は、溶媒再生ユニットに戻り回収される。
最終の溶媒回収ユニット	<ul style="list-style-type: none"> • 溶媒回収ユニットには、フィルターと溶媒再生ユニットからのスラリーが投入される。ユニットはこれらのスラリーを別々にバッチ処理し、真空化で加熱することにより、ほとんどすべての溶媒を回収する。その結果、乾燥した、自由流動性の Br に富んだ不活性の残渣が得られる。この残渣は安全に埋め立て処分することができるし、さらに処理して臭素やアンチモンを回収できる。 • このユニットで回収された溶媒の混合物は、溶媒再生プロセスに戻される。

(6) 試験プラントの概要

実際に作られた試験プラントの概略を以下に示す。この研究では、以下のような目的でブラウンホーファー研究所において2回の大規模試験を行った。

- Creaslov プロセスを 150kg のバッチ工程までスケールアップできることを実証する。
- 小規模実験における臭素抽出効率を大規模な試験でも再現できることを実証する。
- 工程における各手続きの一貫性を実証する。

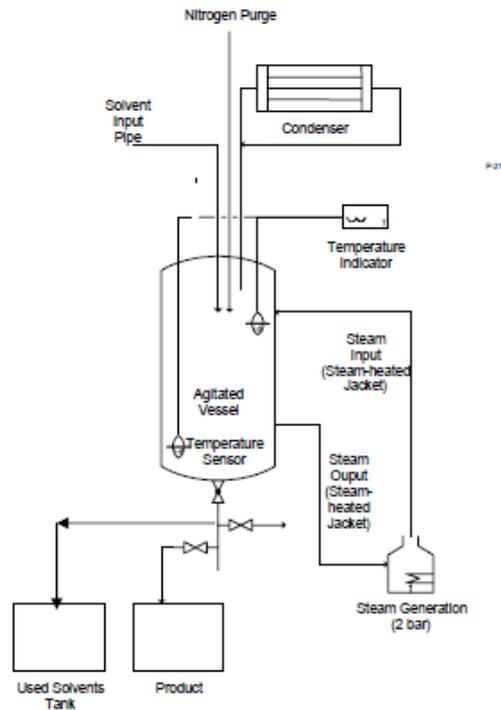


図 4-2 CreaSolv プロセスによる大規模試験のフロー⁶

試験の結果、工程中に投入された WEEE 中の臭素とアンチモンは、最終産物においてそれぞれ以下のように除去された。また、臭素系難燃剤の種類別に見ると、下表の通り、全ての難燃剤で高い除去率を示した。

表 4-10 大規模実験における臭素の除去率⁶

	Br 含有量 1 回目	Sb 含有量 1 回目	Br 含有量 2 回目	Sb 含有量 2 回目
WEEE 投入量	8.81%	4.44%	6.99%	2.83%
製造物	0.04%	2.20%	0.12%	2.29%
除去率 (%)	99.5%	50.5%	98.3%	19.08%

BFR の種類別の結果 (1 回目)

難燃剤の種類	OctaBDE	DecaBDe	TBBPA	TBPE
投入ポリマー中の平均含有率	3.36%	0.77%	2.43%	0.49%
CreaSolv 産物の平均含有率	0.0092%	0.0089%	0.0037%	0.0008%
除去率 (%)	99.7%	98.8%	99.8%	99.8%

BFR の種類別の結果 (2 回目)

難燃剤の種類	OctaBDE	DecaBDe	TBBPA	TBPE
投入ポリマー中の平均含有率	3.27%	1.36%	6.09%	0.47%
CreaSolv 産物の平均含有率	0.0199%	0.0182%	0.143%	0.0018%
除去率 (%)	99.4%	98.7%	97.6%	99.6%

(7) CreaSolv プロセスの経済性

CreaSolv プロセスの経済性に関する検討結果を下記に示す。パイロット実験によれば、本プロセスで分離されたポリマーは原料として販売することが可能な純度にあるとされている。下記の試算では、年間1万トンオーダーの臭素系難燃剤を含む廃棄物を45ポンド/tの処理費を取って受入れ、プロセスにより分離されたポリマーをバージンポリマーの60%の価格(560ポンド/t)で販売することを想定している。この試算によれば、4年目から黒字に転換するとされている。

	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目
損益					
売上高	0	1,721	3,689	4,918	4,918
営業費	-770	-2,534	-2,534	-2,534	-2,534
EBITDA	-770	-812	1,155	2,385	2,385
利子	-192	-381	-325	-196	-101
減価償却	-297	-1,187	-1,187	-1,187	-1,187
税引き前利益	-1,259	-2,380	-1,925	1,002	1,097
税金(見込み)	0	0	0	-301	-329
純利益	-1,259	-2,380	-357	701	768
キャッシュフロー					
収入(税込み)	0	2,023	4,334	5,779	5,779
建設費(税込み)	-6,973	-6,973	0	0	0
営業費(税込み)	-905	-2,977	-2,977	-2,977	-2,977
債務元利払い	-498	-1,911	-2,013	-1,949	-1,132
付加価値税(還付/支払)	1,132	1,219	-116	-396	-417
法人税(概算)	0	0	0	0	-301
	0	0	0	0	-421
余剰金	-7,244	-8,619	-772	457	531
バランスシート					
固定資産	5,638	10,385	9,198	8,011	6,824
流動資産	3,691	1,005	234	691	1,223
流動負債	3,213	5,282	3,680	2,670	1,707
正味資産	6,115	6,108	5,752	6,032	6,340
正味資産	7,374	9,747	9,747	9,747	9,747
損益勘定	-1,259	-3,639	-3,996	-3,715	-3,408
	6,115	6,108	5,752	6,032	6,340

単位:千ポンド

4.1.3 国内での研究開発状況

臭素系難燃剤を含有するプラスチックの分別技術は、国内でも家電メーカー、樹脂メーカー等によって研究が行われ、関連する特許が出願されている（表 4-11）。各特許の概要について 69 ページ以降に整理した。

これらの事例を見ると、分別の原理はX線（三菱電機、キャノン、新日鐵化学）、赤外線（松下電器）、紫外線（リコー）等を用いた分光学的方法によるものが主眼となっている。基本的には臭素系難燃剤の種類を特定するよりも、臭素の含有の有無を識別し、臭素を含有する廃棄物を除去する方式である。

リコーでは、紫外線あるいは電磁波を受けた時に光を発する物質をプラスチックにマーカとして添加して、スペクトル放射物質が放出する光の波長にもとづいてプラスチックを識別するシステムを考案している。

全般的には、これらの技術は、主として廃プラスチック等からの臭素系難燃剤含有プラスチックの分別工程に着目しており、臭素系難燃剤の分別から臭素の回収、リサイクルまで含めた全体的なシステムについてはまだ本格的な研究は進んでいないと考えられる。また、研究開発段階も一部の事例（三菱電機）を除いて、基礎研究段階にとどまっていると考えられる。さらに、分別対象となっているのは、破碎された粒状の硬質プラスチックが主に想定されていて、繊維状のものについてはさほど研究が行われていないようである。

表 4-11 臭素系難燃剤含有プラスチックの分別に係る特許出願事例

NO.	特許出願公開番号	発明の名称	出願人	技術の概要	備考
1	特開 2009-198387	臭素系難燃剤含有プラスチックの分別装置	三菱電機株式会社	・ 廃プラスチックにX線を照射し、透過したX線を検出、解析することにより、廃プラに含まれる臭素系難燃剤の量を判定し、規定濃度以上の臭素系難燃剤を含む廃プラを分離する。	・ 関連会社のグリーンサイクルシステムズ社でパイロットプラント稼働中
2	特開 2008-164383	質量分析装置	株式会社東芝	・ イオン付着質量分析装置を用いて、プラスチック、ゴム、織物等に添加された臭素系難燃剤、特に deca-BDE を検出する。	・ 分別技術というよりは、むしろ実験室での検出向けと考えられる。
3	特開 2008-026211	プラスチック素材の成分識別方法および成分識別装置	松下電器産業株式会社	・ プラスチックに連続スペクトルをもった赤外光を照射し、全反射若しくは透過した赤外光の強度を測定することにより、目的成分の含有の有無を判定する。	・ 基礎研究段階
4	特開 2006-231908	リサイクルシステム及び分解分別方法	株式会社リコー	・ 紫外線あるいは電磁波を受けた際に光を放出する物質をプラスチックに添加し、スペクトル放射物質が放出する光の波長に基づいて廃棄物を識別する。	・ 基礎研究段階
5	特開 2005-003440	樹脂素材の分析方法及び樹脂素材の分析装置	ソニー株式会社	・ 樹脂に放射線を照射したときの回折パターンを予め用意した分析対象成分(例:難燃剤や難燃助剤)の回折パターンと照合することで、樹脂中に難燃剤が含まれているかどうかを解析する。	・ 基礎研究段階
6	特開 2004-219366	難燃剤含有プラスチックの分別装置、及び分別方法	キヤノン株式会社	・ 分別対象物にX線あるいは電子線を照射し、発生する特性X線を解析することで、難燃剤の存否と種類を解析し、その結果にもとづいて対象物を分別する。	・ 基礎研究段階
7	特開 2003-011124	プラスチック部材のマテリアルリサイクルシステム	新日鐵化学株式会社	・ 分光学的方法(近赤外、赤外、中赤外、蛍光X線)のいずれかによりプラスチック部材の品種を識別し、廃プラを分別する。臭素系難燃剤の存否の判断には、蛍光X線を用いることが好ましい。	・ 基礎研究段階
8	特開 2001-220460	樹脂廃棄物の処理方法	旭化成株式会社	・ TVの筐体などの臭素系難燃剤を含むスチレン系樹脂組成物に処理剤であるポリオレフィン樹脂を添加し、回転式混練機により混合した後、高温減圧下でガスを発生させ臭素とアンチモンを分離する。	・ 基礎研究段階
9	W02002/072681	添加剤を含む熱可塑性樹脂組成物の処理方法および処理装置	松下電器産業株式会社	・ テレビやパソコンモニターの筐体として使用される、難燃剤、難燃助剤などを含んだ熱可塑性樹脂組成物から、難燃剤、難燃助剤を分離除去する。	・ 基礎研究段階

出典) 公開特許データベースをもとに作成

特許出願事例 1

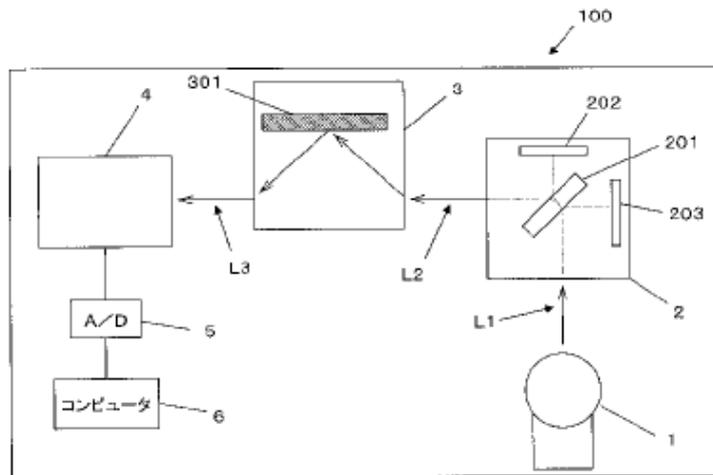
特許出願公開番号	特開 2009-198387	公開日	平成 21 年 9 月 3 日
出願人	三菱電機株式会社		
発明の名称	臭素系難燃剤含有プラスチックの分別装置		
課題	長時間の連続運転における検出感度低下の影響を無効化する、X 線検出装置を用いる臭素系難燃剤含有プラスチックの分別装置を提供することを目的とする。		
解決手段	本発明は、臭素系難燃剤含有プラスチックの分別装置に関し、X 線を発生させる X 線源と、プラスチック試料を保持する試料保持装置と、プラスチック試料を透過した X 線を検出する X 線検出器と、規定した濃度の臭素を含有する臭素含有物と、プラスチック試料と臭素含有物とから検出した透過 X 線の強度をデータ解析し、プラスチック試料中に含まれる臭素系難燃剤量を判別するデータ処理装置と、データ処理装置からの信号に基づいて臭素含有物の規定した濃度より高い臭素濃度を有するプラスチック試料を分別する分別機構とを有することを特徴とする。		
内容	<p>○請求項 1</p> <p>・ X 線を発生させる X 線源と、プラスチック試料を保持する試料保持装置と、プラスチック試料を透過した X 線を検出する X 線検出器と、規定した濃度の臭素を含有する臭素含有物と、プラスチック試料と臭素含有物とから検出した透過 X 線の強度をデータ解析し、プラスチック試料中に含まれる臭素系難燃剤量を判別するデータ処理装置と、データ処理装置からの信号に基づいて臭素含有物の規定した濃度より高い臭素濃度を有するプラスチック試料を分別する分別機構とを有する臭素系難燃剤含有プラスチックの分別装置</p> <p>1 : X 線管球、2a : 閾値臭素濃度規定物質、3 : コンベア、4 : 樹脂片 4a : Br 含有樹脂片、4b : Br 非含有樹脂片、5 : X 線検出器、12 : 照射 X 線、 13 : 供給器、14 : データ処理装置、15 : 分別装置、16 : 回収部</p>		

特許出願事例 2

特許出願公開番号	特開 2008-164383	公開日	平成 20 年 7 月 17 日
出願人	株式会社東芝		
発明の名称	質量分析装置		
課題	樹脂部品中に含まれる臭素系難燃剤を簡便な方法で、迅速に、より正確に検出する。		
解決手段	イオン付着質量分析装置の試料容器の下部に小さい収容部を設けて分析標準物質を入れ、小さい収容部の上に分析試料を置き、分析標準物質からの検出ガスを分析試料に接触させてから質量分析に供する。		
内容	<p>○請求項 1</p> <ul style="list-style-type: none"> 分析試料、及び被検出物質に応じた分析標準物質を収容した試料容器、該試料容器を加熱して該分析試料及び該被検出物質から検出ガスを得るための加熱機構、及び該検出ガスに付着して、該検出ガスをイオン化検出ガスにせしめる金属イオンを提供する金属イオン放出体が設けられたイオン化室、及び該イオン化検出ガスを質量分別する質量分析器、及び質量分別されたイオン化検出ガスを検出する電子倍增管を備えた質量分析室を具備する質量分析装置であって、前記試料容器は、底部が閉塞され、上端に第 1 の開口を有し、前記分析標準物質が収容された第 1 の収容部と、該第 1 の収容部上に設けられ、該第 1 の開口を底部の少なくとも一部に有し、上端に該第 1 の開口よりも大きい第 2 の開口を有し、該第 1 の開口を通して導入される前記分析標準物質からの検出ガスと接触する位置に前記分析試料が設けられた第 2 の収容部を有することを特徴とする質量分析装置。 		
	<p>1…分析標準物質、2…分析試料、10…イオン化室、31…第 1 の収容部、 32…第 2 の収容部、33…第 1 の開口、34…第 2 の開口</p>		

特許出願事例 3

特許出願公開番号	特開 2008-026211	公開日	平成 20 年 2 月 7 日
出願人	松下電器産業株式会社		
発明の名称	プラスチック素材の成分識別方法および成分識別装置		
課題	プラスチック素材に目的検出成分が微量含有されている場合でも、迅速にその含有を識別する方法を提供する。		
解決手段	プラスチック素材に連続スペクトルをもった赤外光を照射し、全反射もしくは透過した前記赤外光の強度を測定することによって得られる第 1 の赤外吸収スペクトルと、前記プラスチック素材中の目的検出成分固有の波数に変化を与える処理を行いながらまたは行った後、前記連続スペクトルを持った赤外光を照射し、全反射もしくは透過した前記赤外光を測定することによって得られる第 2 の赤外吸収スペクトルを比較することによって目的検出成分の含有の有無を識別する。		
内容	<p>○請求項 1</p> <ul style="list-style-type: none"> ・プラスチック素材に目的検出成分が含まれているか否かを識別するプラスチック素材の成分識別方法であって、前記プラスチック素材に連続スペクトルをもった赤外光を照射し、前記プラスチック素材で反射又は透過された前記赤外光の強度を測定することによって第 1 の赤外吸収スペクトルを取得するステップと、前記プラスチック素材に対して、前記目的検出成分に固有な波数に対応するスペクトルに変化を与える波数変化処理を行う固有スペクトル変化処理ステップと、前記固有スペクトル変化処理ステップを行った後、前記連続スペクトルを持った赤外光を、前記波数変化処理を行った前記プラスチック素材に照射し、前記プラスチック素材で反射又は透過された前記赤外光の強度を測定することによって得られる第 2 の赤外吸収スペクトルを取得するステップと、前記第 1 の赤外吸収スペクトルと前記第 2 の赤外吸収スペクトルとを比較することにより、前記プラスチック素材に前記目的検出成分が含まれているか否かを識別する目的検出成分識別ステップと、を有するプラスチック素材の成分識別方法。 		



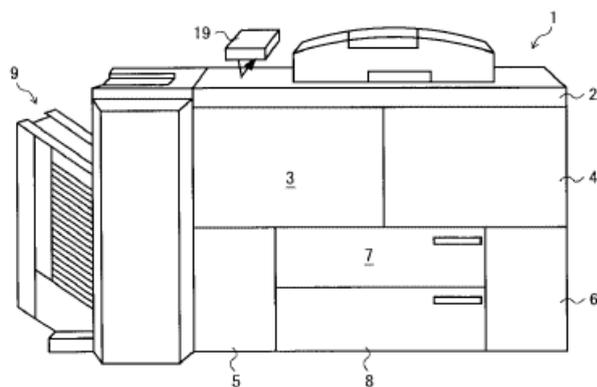
100 : フーリエ変換赤外分光分析装置 100 (FT-IR)

1 : 赤外光源、2 : 干渉計、201 : 半透鏡、202 : 固定鏡、203 : 可動鏡、
 3 : 試料測定室、301 : 測定試料、4 : 検出器、5 : AD 変換器、
 6 : コンピュータ、L1 : 干渉計 2 に入射した光、L2 : 干渉計 2 からの出射光、
 L3 : 試料測定室 3 から出射光

特許出願事例 4

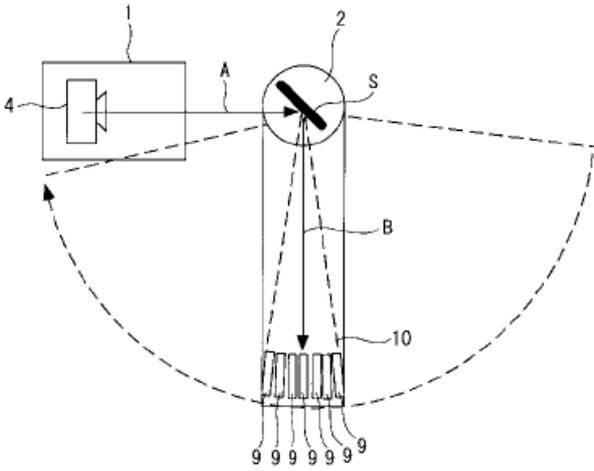
特許出願公開番号	特開 2006-231908	公開日	平成 18 年 9 月 7 日
出願人	株式会社リコー		
発明の名称	リサイクルシステム及び分解分別方法		
課題	回収機の情報を読らずに認識することが可能であると共に効率化を図ることが可能なリサイクルシステム、回収機の分解及び分別を効率的かつ正確に行うことが可能な回収機の分解分別方法を提供する。		
解決手段	プラスチックを有する使用済みの回収対象物 1 を市場から回収し、プラスチックを再処理してリサイクル製品として供給するリサイクルシステムにおいて、プラスチックは紫外線あるいは電磁波を受けた際に光を放出する線スペクトル放射物質を含み、線スペクトル放射物質が放出する光の波長に基づいてリサイクル情報が識別される。		
内容	<p>○請求項 1</p> <ul style="list-style-type: none"> ・プラスチックを有する使用済みの回収対象物を市場から回収し、前記プラスチックを再処理してリサイクル製品として供給するリサイクルシステムにおいて、前記プラスチックは紫外線あるいは電磁波を受けた際に光を放出する線スペクトル放射物質を含み、前記線スペクトル放射物質が放出する前記光の波長に基づいてリサイクル情報が識別されることを特徴とするリサイクルシステム。 ・上カバー 2 は、例えばプラスチックである ABS 樹脂（ABS 樹脂に限らず合成樹脂を外装材の仕様に依じて選定可能である。例えば PC 樹脂、PS 樹脂、PC-ABS 樹脂、PC-PS 樹脂等）によって構成されており、この樹脂中には線スペクトル放射物質である酸化物質光体が一様に拡散して含まれていて、いわゆるプラゲノム（登録商標）物質が構成されている。上カバー 2 の非特定箇所に紫外線あるいは電磁波を照射し、上カバー 2 内に含まれた酸化物質光体によって反射された光を検出器 19 によってスペクトル解析することにより、反射光中の複数の線スペクトルより画像形成装置 1 のリサイクル情報が検出される。 ・この複数の線スペクトルは、標準スペクトルとの強度比及びスペクトル波長を組み合わせることによりバーコードと同様に用いられ、検出された複数の線スペクトルを解析することにより、例えば画像形成装置 1 の名称、製造年月日、製造機番、画像形成装置 1 が有するリサイクル対象材質及び色、リサイクル対象部品名称等の情報がリサイクル情報として得られるように構成されている。これらの情報はバーコードと同様に、複数の線スペクトルの前記強度比及びスペクトル波長毎に図示しない記憶手段に記憶されており、検出器 19 による検出時に所定の表示装置に表示されるように構成されている。 		

複数の線スペクトルの前記強度比及びスペクトル波長はプラスチック内に含有される酸化物蛍光体の種類及び量によって調整され、上述したリサイクル情報に含まれる各項目が回収された画像形成装置 1 毎に異なる（同型同ロットの場合は同じとなる）ように、プラスチックに含有される酸化物蛍光体の種類及び量が適宜調整される。



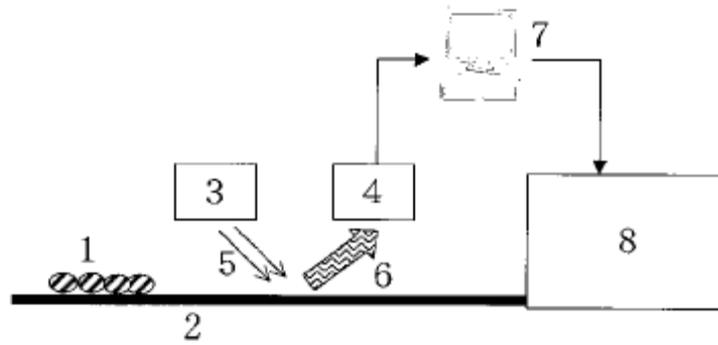
1：回収対象物（画像形成装置）、2：上カバー、3、4：前カバー、
5、6：前面板、7、8：フロントローディングタイプの給紙トレイ、
9：ソータ装置、19：検出器

特許出願事例 5

特許出願公開番号	特開 2005-003440	公開日	平成 17 年 1 月 6 日
出願人	ソニー株式会社		
発明の名称	樹脂素材の分析方法及び樹脂素材の分析装置		
課題	特定の成分（難燃剤や難燃助剤）を含む樹脂素材を、例えば塗装剥離や真空引き等の前処理を行うことなく迅速に識別可能とする。		
解決手段	樹脂素材に放射線を照射したときに当該樹脂素材により回折される放射線を測定し、回折パターンを得る。この回折パターンを、予め用意した分析対象の成分、例えば難燃剤や難燃助剤の回折パターンと比較することにより、樹脂素材中に当該成分が含まれるか否かを判定する。仮に樹脂素材の表面に塗装が施されている場合であっても、塗装を剥離することなく樹脂素材の選別が可能である。		
内容	<p>○請求項 1</p> <ul style="list-style-type: none"> 樹脂素材に放射線を照射し、当該樹脂素材によって回折される放射線を測定し、樹脂素材に含まれる成分を分析することを特徴とする樹脂素材の分析方法。  <p>1 : X線発生部、2 : 試料取付部、4 : X線管球、9 : 検出器、10 : フィルター S : 試料</p>		

特許出願事例 6

特許出願公開番号	特開 2004-219366	公開日	平成 16 年 8 月 5 日
出願人	キャノン株式会社		
発明の名称	難燃剤含有プラスチックの分別装置、及び分別方法		
課題	少なくともプラスチックを含む分別対象物の中から、難燃剤含有のプラスチックを適当に分別する難燃剤含有プラスチックの分別法である。		
解決手段	分別装置は、分別対象物 1 の搬送装置 2 と、分別対象物 1 に X 線あるいは電子線 5 を照射する照射線発生装置 3 と、発生する特性 X 線 6 の検出装置 4 と、特性 X 線を解析し、プラスチック中の難燃剤の種類を判別したり、特定の難燃剤の存否を判別したり、あるいは難燃剤の存否を判別するデータ処理部 7 と、データ処理部 7 からの信号に基づいて適当にプラスチックを分別する分別機構 8 を持つ。データ処理部 7 では、特性 X 線 6 を解析して難燃剤に特有の元素を検出し、難燃剤の種類、特定の難燃剤の存否、あるいは難燃剤の存否を判別し、その結果の信号を分別機構 8 に供給して分別を行なう。		
内容	<p>○請求項 1</p> <ul style="list-style-type: none"> ・少なくともプラスチックを含む分別対象物を移動させる搬送装置と、分別対象物に X 線あるいは電子線を照射する照射線発生装置と、プラスチックから発生する特性 X 線を検出する検出装置と、検出された特性 X 線のデータを解析し、プラスチック中に含まれる難燃剤の種類を判別したり、特定の難燃剤のプラスチック中の存否を判別したり、あるいは難燃剤のプラスチック中の存否を判別するデータ処理部と、データ処理部からの信号に基づいて難燃剤の種類によりプラスチックを分別したり、特定の難燃剤の存否によりプラスチックを分別したり、あるいは難燃剤の存否によりプラスチックを分別する分別機構を持つプラスチックの分別装置であって、データ処理部では、X 線あるいは電子線が照射されることで分別対象物から発生する特性 X 線の波長あるいはエネルギーを解析することにより、難燃剤として含まれる成分に特有の元素を検出し、難燃剤の種類、特定の難燃剤の存否、あるいは難燃剤の存否を判別し、その結果の信号を分別機構に供給して分別を行なうことを特徴とする難燃剤含有プラスチックの分別装置。 		

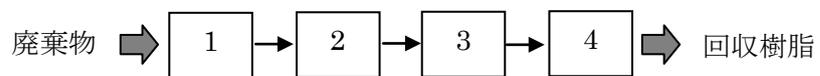


1：プラスチック片（分別対象物）、2：搬送装置、3：X線発生装置
4：検出装置、5：X線、6：特性X線、7：データ処理部、8：分別機構

特許出願事例 7

特許出願公開番号	特開 2003-011124	公開日	平成 15 年 1 月 15 日
出願人	新日鐵化学株式会社		
発明の名称	プラスチック部材のマテリアルリサイクルシステム		
課題	廃棄プラスチック部材の安価、簡便、省エネルギーマテリアルリサイクルシステム。		
解決手段	<p>プラスチック部材を含む廃棄物からプラスチック部材を取り外し、取り外したプラスチック部材の品種が不明なときは分光分析手法により品種毎に選別し、選別されたプラスチック部材を破碎・減容化し、破碎プラスチックを乾式洗浄処理により表面部の異物を除去し、再利用可能までに異物が減少した樹脂粒状物を回収するマテリアルリサイクルシステム。前記システムにおいて、品種毎の選別と同時に又は別個に、部材中のハロゲン系難燃剤の存否が不明なときは、分光分析手法によりハロゲン系難燃剤含有樹脂部材と非含有樹脂部材とに分別し、選別及び分別された樹脂品種、難燃剤の存否毎に回収することがよい。乾式洗浄処理された樹脂粒状物は、風力洗浄処理又は湿式洗浄処理により、表面に付着した微粉を除去することがよい。</p>		
内容	<p>○請求項 1</p> <ul style="list-style-type: none"> ・プラスチック部材を含む廃棄物からプラスチック部材を取り外し、取り外したプラスチック部材の品種が不明なときは分光分析手法により品種毎に選別し、選別されたプラスチック部材を破碎・減容化し、破碎プラスチックを乾式洗浄処理により表面部の異物を除去し、再利用可能までに異物が減少した樹脂粒状物を回収することを特徴とするプラスチック部材のマテリアルリサイクルシステム。 ・本発明システムによってマテリアルリサイクルされるプラスチック部材を使用した廃棄物としては、プラスチック成形品が本体、収容ボックス、製品用基板、製品部材・部品などとして使用されたものであれば特に限定するものでないが、例えば家電製品、自動車、バイク、自転車、玩具、スポーツ用品、健康器具、雑貨などの廃棄物が挙げられる。 ・分光分析法としては、近赤外分光法、赤外分光法又は中赤外分光法のいずれかがよい。部材が黒色系以外のものは、分光装置の操作し易さと装置がコンパクトなことから、近赤外分光法や赤外分光法が好ましい。プラスチック部材が黒色系のものは、中赤外分光法が好ましい。特に、黒色系部材が主体のテレビバックカバーや自動車バンパーなどの品種選別には、中赤外分光法が威力を発揮する。さらに、選別したプラスチック部材中のハロゲン系難燃剤の存否が不明なときでも、その存否を判定しハロゲン系難燃剤含有樹脂部材と非含有樹脂部材とに選別することも可能である。この場合は、蛍光 X 線分 		

析法が好ましい。



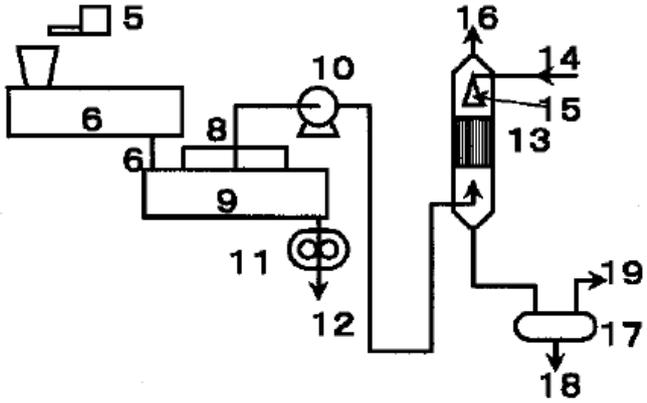
1：プラスチック部材の取り外し工程

2：樹脂品種選別工程

3：乾式洗浄処理工程

4：風力洗浄処理工程又は湿式洗浄処理工程

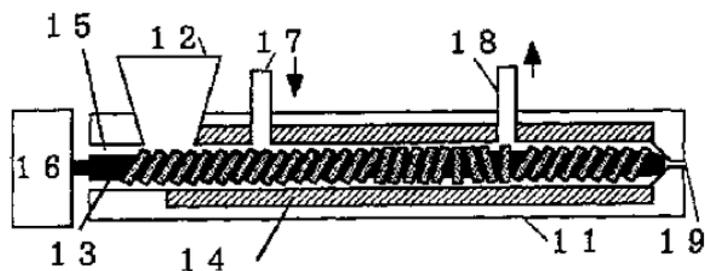
特許出願事例 8

特許出願公開番号	特開 2001-220460	公開日	平成 13 年 8 月 14 日
出願人	旭化成株式会社		
発明の名称	樹脂廃棄物の処理方法		
課題	TV 筐体廃棄物から臭素とアンチモンを有効的に回収、分別し、三酸化二アンチモンと処理した樹脂を固形化燃料として利用できる方法を提供することである。		
解決手段	下図の様な構成の反応器を用い TV 筐体廃材を溶解させ、温度 280~370℃でその処理表面積は 5~100 平米の範囲内で樹脂が被る比エネルギーが単位米部あたり 10MJ~300MJ で処理すると臭素及びアンチモンが有効的に回収できる。		
内容	<p>○請求項 1</p> <ul style="list-style-type: none"> ・回転式攪拌機能を有する装置を用いて臭素系難燃剤とアンチモン化合物を含むスチレン系樹脂組成物から臭素とアンチモンを連続的に分離回収する方法に於いて、該回転式装置の有効処理表面積が 5m² 乃至 100m² 及び、該スチレン系樹脂組成物温度が 280 乃至 370℃であることを特徴とする方法。 ・本発明は臭素を大量に含んだ樹脂廃棄物、特に TV 筐体廃材から臭素とアンチモンを気化分離回収することにより、両成分を分離回収し、固形化燃料を製造する方法である。 		
			
	<p>5：予熱押出機、6：耐食性真空ポンプ、7：ギアポンプ 8：処理した樹脂の出口、9：洗浄塔（スクラバー）、10：洗浄液の入り口 11：洗浄液噴霧器、12：処理されたガスの出口、13：濾過器 14：濾過された濾過水の出口、15：回収された三酸化二アンチモン 16：樹脂入り口、17：処理樹脂出口、18：スクリーエレメント(1) 19：スクリーエレメント(2)</p>		

特許出願事例 9

特許出願公開番号	W02002/072681	公開日	平成 14 年 9 月 19 日
出願人	松下電器産業株式会社		
発明の名称	添加剤を含む熱可塑性樹脂組成物の処理方法および処理装置		
要約	<p>添加剤を含む熱可塑性樹脂組成物の処理、再利用のために、添加剤成分と樹脂成分とを効率よく分離するための処理方法を提供する。</p> <p>添加剤を含む熱可塑性樹脂組成物を、前記添加剤の少なくとも一部を溶解させる溶剤とともに、前記熱可塑性樹脂のガラス転移温度以上かつ前記溶剤の沸点以下の温度で加熱攪拌し、前記添加剤の少なくとも一部を溶解した前記溶剤を液体状態で分離回収することで、前記熱可塑性樹脂組成物から前記添加剤の少なくとも一部を分離除去する処理方法。</p>		
内容	<p>○請求項 1</p> <ul style="list-style-type: none"> ・添加剤を含む熱可塑性樹脂組成物を、前記添加剤の少なくとも一部を溶解させる溶剤とともに、前記熱可塑性樹脂のガラス転移温度以上かつ前記溶剤の沸点以下の温度で加熱攪拌し、前記添加剤の少なくとも一部を溶解した前記溶剤を液体状態で分離回収することで、前記熱可塑性樹脂組成物から前記添加剤の少なくとも一部を分離除去する、添加剤を含む熱可塑性樹脂組成物の処理方法。 <p>○請求項 2</p> <ul style="list-style-type: none"> ・前記熱可塑性樹脂組成物に含まれる添加剤の少なくとも一部を溶解させる溶剤の溶解性パラメータが、前記熱可塑性樹脂成分の溶解性パラメータ値+1（単位は (MPa)^{0.5}）である、請求項 1 記載の添加剤を含む熱可塑性樹脂組成物の処理方法。 <p>○請求項 3</p> <ul style="list-style-type: none"> ・前記熱可塑性樹脂組成物に含まれる添加剤の少なくとも一部を溶解させる溶剤が、グリコール系溶剤群、グリコールエーテル系溶剤群、乳酸エステル系溶剤群、あるいは炭素数 5 以上のアルコール系溶剤群より選ばれる少なくとも 1 種を含む、請求項 2 記載の添加剤を含む熱可塑性樹脂組成物の処理方法。 <p>○請求項 6</p> <ul style="list-style-type: none"> ・前記熱可塑性樹脂組成物に含まれる添加剤が、臭素系難燃剤及びアンチモン系難燃剤を含み、臭素系難燃剤の少なくとも一部を溶解する溶剤として、グリコール系溶剤群、グリコールエーテル系溶剤群、乳酸エステル系溶剤群、あるいは炭素数 5 以上のアルコール系溶剤群より選ばれる少なくとも 1 種か 		

らなる溶剤を用い臭素系難燃剤の少なくとも一部を前記熱可塑性樹脂組成物から分離除去した後に、アンチモン系難燃助剤の少なくとも一部を溶解する溶剤として、エチレングリコールあるいはプロピレングリコールから選ばれる溶剤を用いアンチモン系難燃助剤の少なくとも一部を前記熱可塑性樹脂組成物から分離除去する、添加剤を含む熱可塑性樹脂組成物の処理方法。



11：押出機、12：ホッパー（樹脂投入口）、13：スクリュー、14：ヒータ、
15：シリンダ、16：モータ、17：溶剤流入口、18：溶剤排出口、
19：樹脂排出部

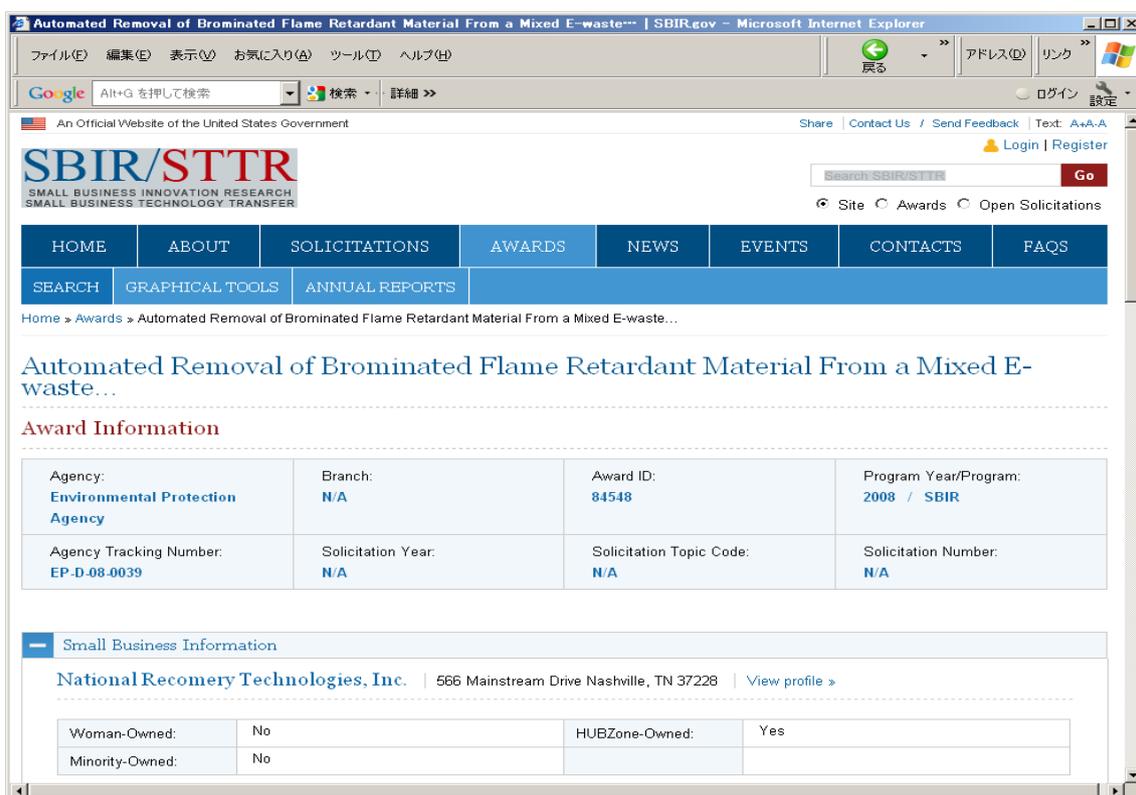
4.1.4 海外での研究開発状況

○欧州

臭素系難燃剤の分別技術は、欧州では実用化レベルに達し、廃電気・電子機器のリサイクルに活用されている。海外の特許情報を検索すると、ドイツ等で関連の特許が出願されている。要素技術としては、X線や赤外線などの分光学的手法を用いた方法が中心になっている。使用済み自動車から臭素系難燃剤を分別しているパイロットプラントとしては、CreaSolvを開発したCreaCycle社のプラントがある（次節参照）。

○米国

米国では、環境保護庁（EPA）からの資金により、廃電気・電子機器からの臭素系難燃剤の自動分別システムの研究開発が実施されている。研究は、中小企業の技術開発支援を目的とするSBIR（Small Business Innovation Research）プログラムの一環として2008年（フェーズ1）から2009年（フェーズ2）にかけてNational Recovery Technologies社によって実施された（詳細な技術的内容については不明）。



The screenshot shows a web browser window displaying the SBIR/STTR website. The page title is "Automated Removal of Brominated Flame Retardant Material From a Mixed E-waste...". The main content area is titled "Award Information" and contains a table with the following data:

Agency: Environmental Protection Agency	Branch: N/A	Award ID: 84548	Program Year/Program: 2008 / SBIR
Agency Tracking Number: EP-D-08-0039	Solicitation Year: N/A	Solicitation Topic Code: N/A	Solicitation Number: N/A

Below the table, there is a section for "Small Business Information" for "National Recovery Technologies, Inc." with the address "566 Mainstream Drive Nashville, TN 37228". A table below this section shows:

Woman-Owned:	No	HUBZone-Owned:	Yes
Minority-Owned:	No		

図 4-3 米国における臭素系難燃剤自動分別技術の研究開発プロジェクト⁸

⁸ SBIR ホームページ <http://www.sbir.gov/sbirsearch/detail/245444>

4.2 臭素系難燃剤含有プラスチック分別技術の実用化状況

前節で述べた通り、プラスチック等が混合した廃棄物から臭素系難燃剤含有プラスチック廃棄物を分別するプラントは欧州で実用化されているほか、国内でも実証プラントが開発されている。代表的な事例の概要を以下に示す。

4.2.1 三菱電機（グリーンサイクルシステムズ）

(1) システムの概要

三菱電機では、前述の特許技術を踏まえ、年間約 15 千トンの処理能力を有する PP（ポリプロピレン）、PS（ポリスチレン）、ABS（アクリロニトリル-ブタジエン-スチレン共重合体）の連続自動選別ラインを、2010 年 6 月に関係会社である株式会社グリーンサイクルシステムズに導入している。システムのフローは以下の通りである。

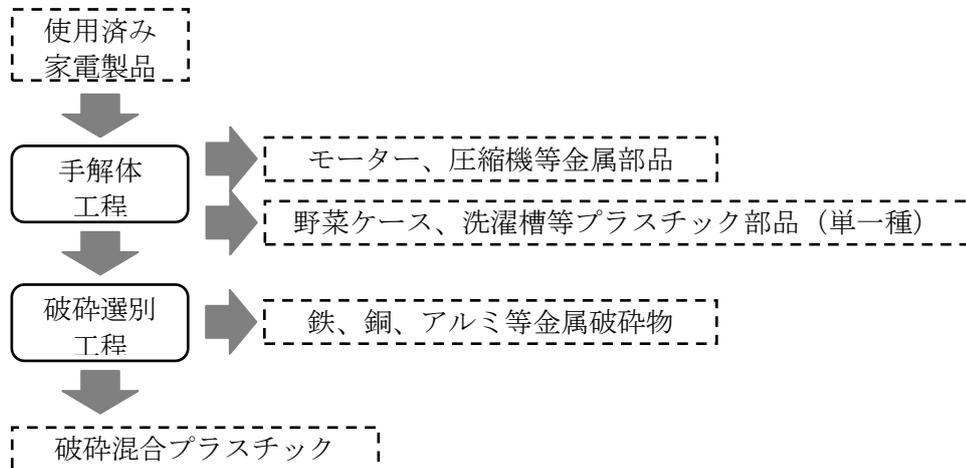


図 4-4 破碎混合プラスチック生成フロー⁹

開発された技術は、破碎混合プラスチックの比重選別、ゴム・エラストマー系異物除去、静電選別、臭素系難燃剤含有プラスチック除去装置、微小異物除去、プラスチック改質再生装置から構成される。破碎混合プラスチックの高純度選別・再生素材化技術のプロセスフローを以下に示す。

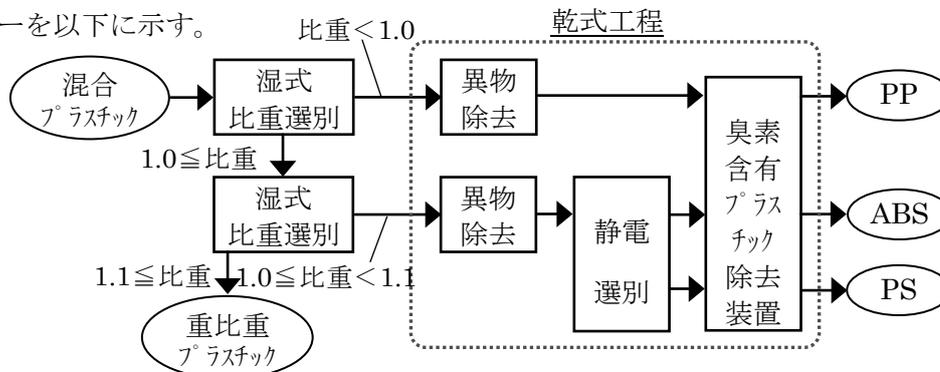


図 4-5 PP、PS、ABS 分離回収フロー⁹

⁹ 使用済み家電破碎混合プラスチックリサイクル技術 井関康人ほか 成形加工 Vol.23, No.3, 2011

(2) 臭素系難燃剤含有プラスチックの高速検知・除去技術

RoHS 指令対象物質の検出手法として一般的に使用されている蛍光 X 線法は、臭素系難燃剤の検知に 0.1 秒以上の検知時間を要するために高速検知には限界があり、破砕プラスチックの大量処理には向いていなかった。

今回開発された RoHS 指令対象物質の高速検知・除去技術の概念図を下図に示す。この技術では、X 線透過を用いたライン検出方法を新たに開発し、検出処理速度を蛍光 X 線法に対して 100 倍以上に高速化した。これにより破砕プラスチックの全数検知・除去が可能となり、除去後のプラスチックの臭素難燃剤含有濃度は RoHS 指令基準値の 3 分の 1 以下を実現した。

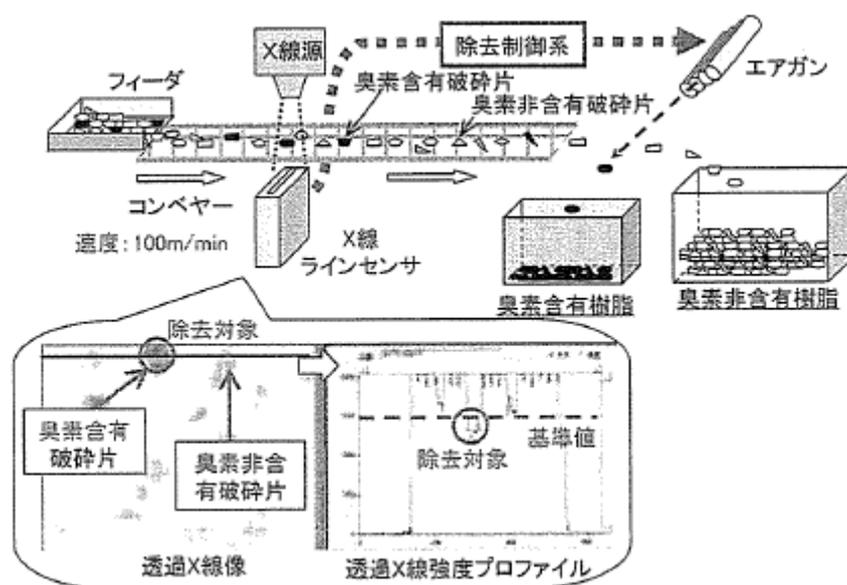


図 4-6 RoHS指令対象物質の高速検知・除去技術の概念 10

(3) 微小異物除去技術

選別後の PP、PS、ABS 破砕片に付着している微小異物（ウレタンや異種樹脂等）は、残留した場合の衝撃強度等の低下が非常に大きくなるが、従来の分離技術では除去は困難であった。今回開発された微小異物除去技術では、リサイクルプラスチックに残留する異物を 0.2%未満にまで低減させることが可能となり、新材相当の衝撃強度を有するリサイクルプラスチックを実現した（図 4-7）。

10 使用済み家電回収プラスチックの高純度選別・再生素材化技術 松尾雄一ほか 成型加工 Vol. 22, 2011

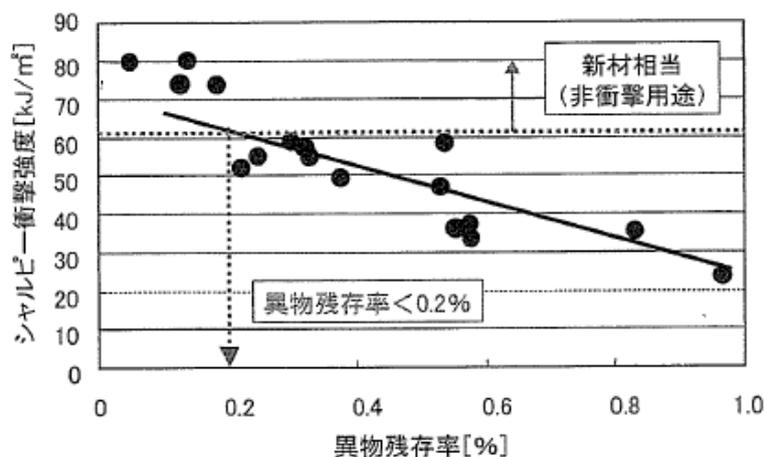


図 4-7 微小異物除去技術による衝撃強度と異物残存率の関係¹⁰

(4) グリーンサイクルシステムズにおけるプラントの状況

実際のプラントは、三菱電機の関連会社であるグリーンサイクルシステムズ社内に設置されている。プラントの外観を以下に示す。



図 4-8 グリーンサイクルシステムズ社におけるプラントの外観¹¹

株式会社グリーンサイクルシステムズに対しては本技術についてのヒアリングを実施した。ヒアリング内容について次ページ以降に詳細を示す。

ヒアリングに際し、株式会社グリーンサイクルシステムズより提供いただいた説明資料については、参考資料として巻末に添付する。

¹¹ 三菱電機 HP

<http://www.mitsubishielectric.co.jp/corporate/randd/spotlight/spotlight13.html>

株式会社グリーンサイクルシステムズ
家電破碎混合プラスチックの高速・高純度選別技術についてのヒアリング

ヒアリング日時：2011年1月25日（水）15:00～16:00

場所：株式会社グリーンサイクルシステムズ（千葉県千葉市緑区大野台 1-2-1）

先方：(株) グリーンサイクルシステムズ

当方：(株) 環境管理センター

I. ヒアリングの概要

- ・グリーンサイクルシステムズ様のプラスチック選別技術において、臭素系難燃プラスチックを除く工程があるため、自動車のリサイクルにおいて参考となる技術と考え、同社にヒアリングを行った。
- ・同社の技術は重量比で70%と高い比率の非難燃プラスチック（ナチュラルプラスチック）をリサイクルするという前提のもとに開発したものであり、RoHS 規制に対応するために結果として臭素系難燃プラスチック除去工程が必要となったものである。したがって、井関様は、自動車に使用されているプラスチックは、にいろいろな物質を混合しているため、同社の技術を単純に適用するのは難しいのではないかと、との見解であった。

II. ヒアリング内容

- ・家電破碎混合プラスチックの高速・高純度選別技術は、約8年かけて構築したものである。現時点において、他社がすぐに取り組みうとしてもできるものではない。
- ・使用済み家電からは、質の高いプラスチック（ナチュラルプラスチック）が回収できる。重量比率でみても、主な成分がPPの非難燃プラスチックが約40%、主な成分がABS・PSの非難燃プラスチックが約30%と、ナチュラルプラスチックは全体の約70%と高い比率であり、これを有効活用すべきであると考えたこと、また樹脂の値段が上がってきたこと等から、技術開発をすることとなった。
- ・選別は、①湿式比重選別→②異物除去→③静電選別→④臭素系難燃プラスチック除去、というフローである。最後に臭素系難燃プラスチック除去工程が設けられているが、これはRoHS 規制に対応するためである。しかし、先ほど説明したとおり、混合プラスチックの高度選別は、ナチュラルプラスチックの有効活用を前提としたプロセスであることを理解していただきたい。そのため、臭素系難燃プラスチック除去工程だけでは、採算が取れないと考える。
- ・臭素系難燃プラスチック除去は、透過X線像を用いている。このX線のセンサーの価格が高価であるため、筐体を大きくしてもスケールメリットがあるとは思えない。
- ・選別工程に流す粉碎プラスチックのサイズは、大きすぎても小さすぎてもうまくいかな

かった。そのため、様々な試験研究を行いながら、サイズを決めてきた。

- 自動車用プラスチックには、いろいろな物質を混合されているため、ナチュラルプラスチックの回収を目的とした当社技術を単純に適用するのは難しいのではないかと考える。

以上

4.2.2 海外での実用化状況

(1) 海外での WEEE リサイクルプラント

海外では、欧州を中心に WEEE のリサイクルプラントが操業中である。代表的な事例を次ページの表に示す。

これらの施設は、廃プラスチックの分別技術の詳細を開示していないところも多いが、分別技術としては主に浮遊選別技術が用いられているようである。一部の施設では、使用済み自動車のシュレッダーダストも受け入れている。

表 4-12 海外における WEEE リサイクルプラントの状況

会社名	本社所在地	概要	使用技術	開発段階		URL
				実用化	試験段階	
MBA Polymers	米国	オーストラリアと中国にプラントを所有。	不明	○		http://www.mbapolymers.com/home/
PHB	オランダ	比重選別に基づく WEEE のリサイクルプラントを世界で最初に実用化。WEEE から PS、ABS、BFR を分離	比重選別	○		http://www.phb-recycling.com/
Envirotec	オランダ	PHB 社の関連会社で、WEEE のリサイクルシステムを販売。	比重選別	○		http://www.envirotec-rec.com/homepage.htm
Axion Recycling	英国	独フラウンホーファー研究所と共同研究 (WRAP)	不明		○	www.axionrecycling.com
BlueSky	英国	WEEE のリサイクルプラントを運営。FBR を回収しているとされるが、詳細は不明。	不明	○		http://www.blueskyplastics.co.uk/plastic-reprocessing.php?a=uk
CreaCycle	ドイツ	独フラウンホーファー研究所が開発した CreaSolv 法を用いたプラントを建設。WEEE と ASR の処理を行っている模様 (試験段階)。	CreaSolv ほか		○	http://www.creacycle.de/
Turbo Laminare Trenntechnik	ドイツ	オーストラリアの Ens にプラントを設置し、比重選別により、WEEE と ASR の混合廃棄物を処理し、PS、ABS 混合物を製造	比重選別	○		http://www.tlt-recycling.de/COM/trenntechnik.html

出典) 各社のホームページ情報をもとに作成

(2) CreaCycle 社

ドイツの CreaCycle 社は、フラウンホーファー研究所と共同で CreaSolv を開発し、これを用いたプラスチックのリサイクルプラントを設置している。

前述の通り、CreaSolv は通常の溶媒とは異なり、プラスチックの樹脂を溶解させ、沈殿剤を加えて沈殿させることにより、プラスチックの素材を分別する。CreaCycle 社における廃プラスチックのリサイクルフローの概念図と実際のプラントのフローをそれぞれ図 4-9、図 4-10 に示す。

図 4-10 に示すフローでは、廃電気・電子機器及び使用済み自動車由来の廃プラスチック（シュレッダー残渣）から難燃剤を含む顆粒状のプラスチックを分離した後、CreaSolv で溶解し、純粋なポリマーを分離して、プラスチック部品にリサイクルしている。

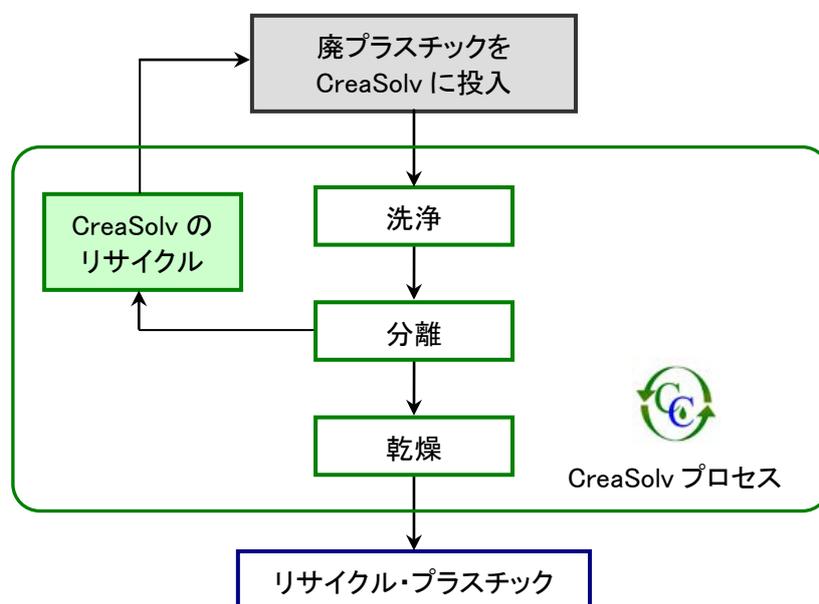


図 4-9 CreaSolvによる廃プラスチックのリサイクルのフロー¹²

出典) CreaCycle 社ホームページ

¹² CreaCycle 社ホームページ

<http://www.creacycle.de/DerCreaSolvProzessQQid-20-38QQlang-english.html>

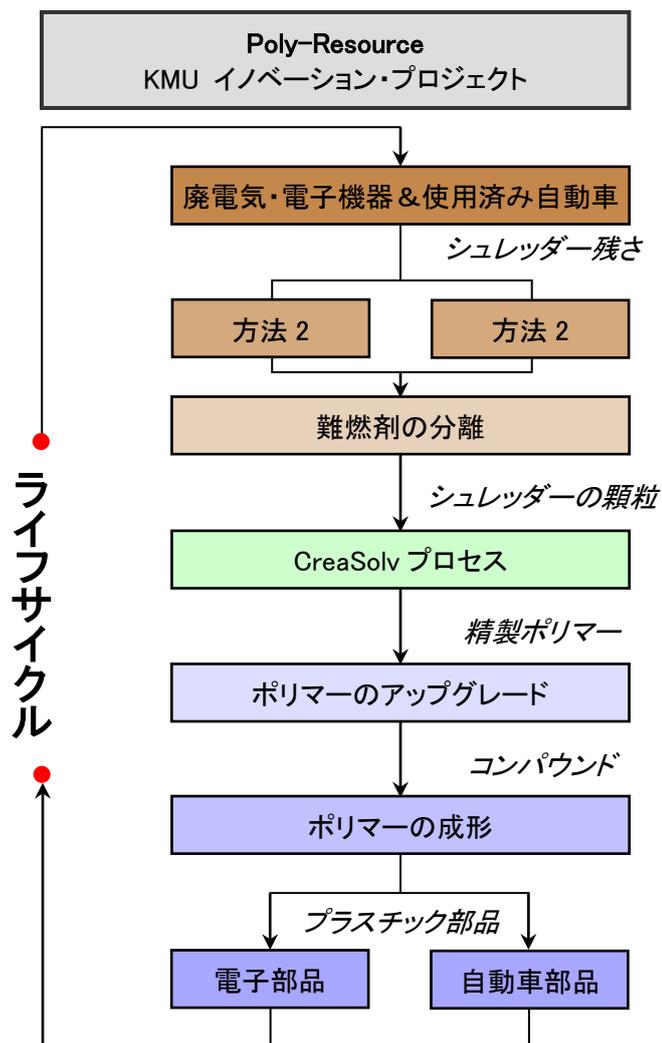


図 4-10 CreaCycle 社による廃プラ・リサイクルプラントのフロー
出典) CreaCycle 社ホームページ

(3) PHB 社 (オランダ)

前節で述べた通り、オランダのPHB社では比重選別にもとづくプラスチックの分別を行っており、WEEEからのプラスチックの回収と販売を事業化した最初の企業である。同社の工程は以下のステップで行われている¹³。

- 原料として、シュレッダー処理された WEEE プラスチック (50%以上の非鉄金属、ガラス、石、ウレタンフォーム等を含む) を使用する。

¹³<http://www.ptonline.com/articles/first-commercial-recycling-process-for-electronics-waste> (プラスチック業界向け情報源 Plastic Technology の記事による)

- 廃棄物はオーガーにより 11,000 ポンド/hr の割合でコンベアに投入され、コンベアにより 3000rpm で回転する高速、高トルクのパドルつきローターを備えた装置内に搬送される。
- ローターはフレークをスクリーンに打ちつけ、表面の土、砂、岩やポリウレタンフォームを数秒間で除去する。
- 次にフレークは洗濯板のような溝状の表面をもつ傾斜したトレイ (1.5×4.5m) に乗せられる。板の左側から水洗浄を行い、プラスチックのフレークを洗い流す。重い金属は溝の中にとどまり、右に移動する。プラスチックのフレークはオーガーにより顆粒製造機に送られ、10mm の顆粒に成形される。
- フレークは第一の浮遊/沈降タンクに投入される。このタンクには水が重点されており、PE と PP の浮遊物は、ほぼ 60 : 40 の PE/PP 混合物として販売される。一方、PS、ABS、難燃剤は沈降する。これらの沈降物はタンク 2 に入る。タンク 2 には、密度 1.035 の水系溶媒が充填され、パドルを備えた 3 基の回転ドラムが取り付けられている。PS はこのタンク内で浮上するが、ABS と難燃剤は沈降する。
- ABS と難燃剤は第 3 のタンクに入る。第 3 のタンクは、最初の 2 基のタンクよりも長く、パドル付の 4 基の回転ドラムを有する。タンク 3 には、比重 1.07 の水溶液が満たされ、ABS は浮上するが、難燃剤は沈降する。

PHB 社のリサイクルシステムは、年間 3300 万ポンドで、11,000 ポンド/h の投入廃棄物から、4,400 ポンド/hr の素材を回収している。

4.3 臭素系難燃剤の分解技術の開発動向

前節までで述べた分別技術以外に、臭素系難燃剤の分解（焼却を含めた熱分解、化学分解）に関しては、既に確立された技術として焼却技術が存在するほか、臭素系難燃剤の分解に関わる様々な技術が開発されている。ここでは、これらの技術の開発動向について整理する。

4.3.1 焼却

前節で述べた英国の研究開発プロジェクト（WRAP プロジェクト）では、臭素系難燃剤を含む廃棄物の処理技術として、焼却技術も検討対象となっており、「焼却・エネルギー回収は、英国で他のリサイクルプロセスが開発されるまでは、BFR 含有プラスチックの埋め立てに替わる方法として、唯一直ちに実施可能な方法である」と評価されている（表 4-6～4-8）。

この報告書で検討されたシステムのフローは下図の通り。臭素系難燃剤を含む廃棄物は、一般廃棄物と共に一般廃棄物焼却炉で焼却される。

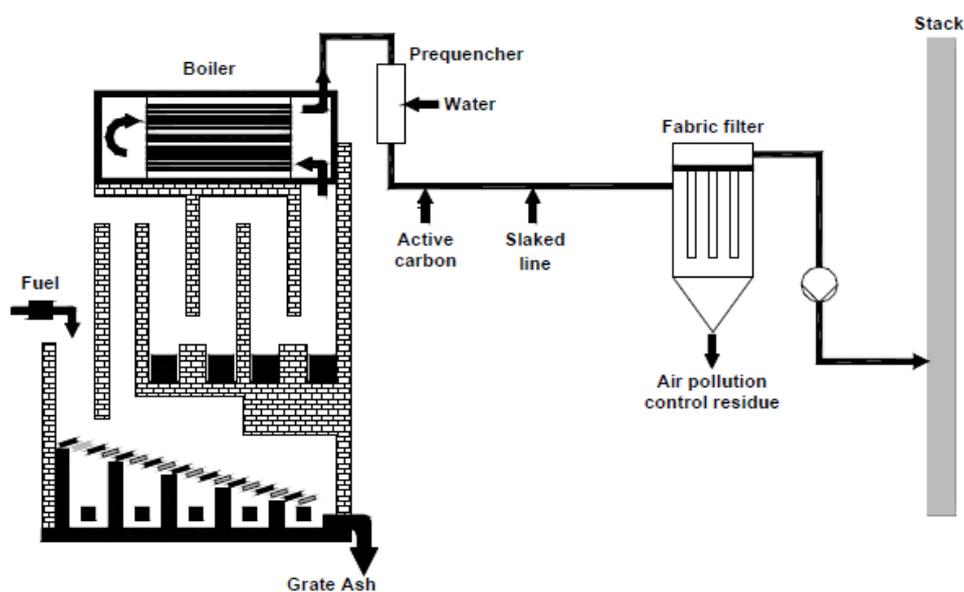


図 4-11 廃棄物焼却炉による臭素系難燃剤含有廃棄物の焼却プロセス

4.3.2 その他の分解技術

(1) 原理¹⁴

臭素系難燃剤の分解に利用可能なこれ以外の技術としては、高炉還元、コークス炉化学原料化、ガス化溶融（1000℃以上）、油化・熱分解（300～600℃）、極性溶媒やアルカリを用いたイオン反応、メカノケミカル法（室温～100℃）などがある。これらの技術は、他の有機ハロゲン化合物の分解にも適用可能であることから、ダイオキシン処理技術としても研究されてきた。

一般的には、処理温度が1000℃以上の場合、C-Br結合は気相中で速やかにラジカルに開裂して脱ハロゲン化反応が起きる。300～600℃における熱分解や油化では、C-Br結合は単分子的には分解せず、脱ハロゲンはラジカル連鎖反応に伴う引き抜き、付加、置換反応によって起こり、生成物中に臭素が広く拡散するため、反応温度や処理時間の設定、脱ハロゲン化触媒の開発が重要になる。

(2) 研究事例

上記の原理を踏まえた、臭素系難燃剤の分解に関連する研究事例を次ページ以降に示す。高炉還元、コークス炉化学原料化、ガス化溶融技術については実用化済みであるが、臭素系難燃剤のみに着目した開発は必ずしも行われていないと考えられる。

¹⁴ 「ハロゲン処理とリサイクル技術 プラスチックリサイクルの厄介者と仲よくつきあうために 廃プラスチックの脱ハロゲン処理について」加茂徹、ペトロテック、Vol.27, No.3, 2004

表 4-13 BFR の分解に関する研究事例

表題	研究実施主体	研究の概要
湿式酸化法による有機系廃棄物の処理	神奈川県産業技総研	電気製品などに広く用いられる難燃化プラスチックは焼却処理時に有害物質を放出する可能性がある。水熱反応である湿式酸化法により、難燃化プラスチックを安全に処理する手法を検討した。臭素系難燃剤で難燃化されたポリプロピレンと ABS 樹脂は、湿式酸化法により一酸化炭素、二酸化炭素と有機酸に分解され、臭素はイオンとして分解された。これにより、系外への有害物質の放出を抑えることができた。また、反応条件によりプラスチック由来の有機酸の回収率を向上できることから再資源化も可能となった。
臭素系難燃剤の非加熱処理(メカノケミカル法)	東北大 素材工研	メカノケミカル法(MC)を利用して難燃剤ポリマー廃棄物を非加熱処理し、安全な物質に変換する手法の開発を試みた。試料には難燃剤として用いられているヘキサブロモベンゼン(HBB)を用い、脱臭素剤には CaO を用いた。HBB と CaO をモル比で 1:12 に混合し、媒体ボールと共にミルポットに装填して MC 処理した。4 時間以上の粉碎処理では、HBB はほとんど確認できなくなった。生成した CaBr ₂ は水和した状態であることが分かった。臭素系難燃剤である HBB は、脱臭素剤である CaO と混合し MC 処理することによって安全な物質への分解が可能であることが分かった。
臭素系難燃剤を含む耐衝撃性ポリスチレンの湿式脱臭素(アルカリ+メカノケミカル法)	東北大 大学院	臭素系難燃剤としてデカブロモジフェニルエタン(DDE)を含む耐衝撃性ポリスチレン(HIPS)の脱臭素を NaOH/EG 溶液を用いて行った。粉碎による反応表面積の増加を期待してボールミルを用いて処理した結果、脱臭素が高度に進行することが示唆された。
シュレツダダスト(ASR)の臭素化難燃剤と重金属及び溶融法におけるそれらの挙動(溶融分解法)	新日鉄エンジニアリング(株)、愛媛大学、京都大学	縦型直接溶融炉(DMS)を用いて、自動車シュレツダダスト(ASR)のガス化/溶融処理試験を行った。その結果、DMS は PBDD/DFs 及び BFRs のようなダイオキシン類関連化合物の分解に有効であることが示された。フライアッシュに濃縮された重金属を回収することにより、本処理システムからの排出物はすべて有効利用することができ、最終処分場を必要としない ASR の完全リサイクルシステムが実現可能と考えられた。
臭素化高衝撃性ポリスチレン内の臭素と臭素フリーのプラスチック回収に利用するアルカリ水熱処理法	岡山大学	臭素化難燃剤を添加した高衝撃性ポリスチレン(HIPS-Br)を対象として、Br と Br を含まないプラスチックを回収する手法を開発した。15%の Br を含有する HIPS-Br を水や KOH 溶液の存在下で 250°C のオートクレーブ中で処理した。1g の HIPS-Br を 30ml の水で水熱処理した場合、脱臭素率は 90%となったが、プラスチックは分解して回収できなかった。1M の KOH 溶液を 45-60ml 利用してアルカリ水熱処理すると、HIPS-Br の脱臭素率は同程度のまま、分子量分布が初期材料に類似したプラスチック製ペレットを回収することができた。
臭素化難燃剤を含有する樹脂のリサイクルプロセス	松下電器産業(株)	高分子廃棄物に混入する難燃剤を安全に分離するリサイクルプロセスを開発した。具体的には、混練装置を利用する連続溶媒抽出装置や難燃剤のみを溶解する溶媒を用いた。抽出プロセスは 200°C 以下の低温で操作するため、樹脂の引張強度や衝撃強度、破壊強度に影響せず、抽出後の溶媒もリサイクル利用が可能であることが実証された。

出典) 各種文献データベースより作成

表 4-13 で取りあげた事例のうち、代表的な研究開発事例を下記に示す。

○溶融分解法によるASR中の臭素系難燃剤の分解¹⁵

新日鐵、愛媛大学、京都大学のグループは、豎型直接溶融炉を用いて、自動車シュレッダダスト（ASR）の溶融処理実験を行った。システムのフローは下図の通り。

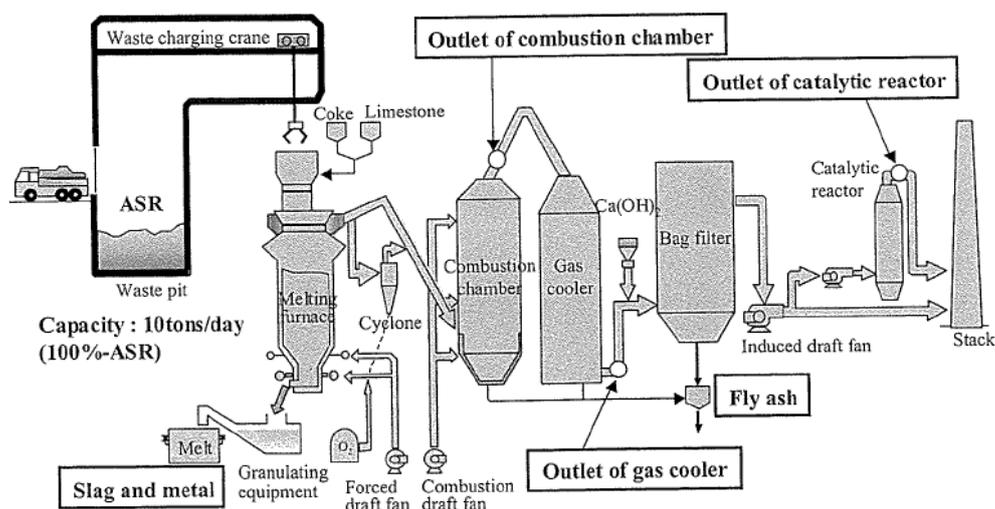


図 4-5 試験を行った溶融炉のプロセスフロー¹⁵

実験では、9.4 トンの ASR を投入して処理を行った。メルトの温度は 1700℃、燃焼室出口の排ガス温度は 960℃であった。臭素化ジフェニルエーテル（PBDE）の投入量は $3.1 \times 10^8 \mu\text{g/t}$ であったが、燃焼室出口での濃度は $22 \mu\text{g/t}$ となり、99.99999%が分解された。TBBP-A の燃焼室出口濃度は $160 \mu\text{g/t}$ となり、99.99%以上が分解された（表 4-15）。元素別の挙動を調べた結果、臭素の 80%以上はフライアッシュに移行した。

これらの実験結果から、本システムは PBDD/DF や臭素系難燃剤のようなダイオキシン類関連化合物の分解に有効であることが示された。

¹⁵ Brominated flame retardants and heavy metals in automobile shredder residue (ASR) and their behavior in the melting process Michihiko Osada, Nobuhiro Tanigaki, Shin Takahashi, Shin-ichi Sakai J.Mater. Cycles Waste Manag (2008)10:93-101

表 4-14 ダイオキシン類関連化合物及び臭素系難燃剤の投入量と排出量¹⁵

Table 4. Input and emissions of dioxin-related compounds and BFRs

	Charged	Outlet of each section		Emissions			Total emissions	
	ASR	Exhaust gas at outlet of combustion chamber	Exhaust gas at outlet of gas cooler	Exhaust gas at outlet of catalytic reactor	Fly ash at bag filter	Slag discharged from melting furnace		Metals discharged from melting furnace
PCDDs/DFs	970	3.1	-	1.7	4300	71	140	4500
Co-PCBs	30000	1.9	-	1.8	200	7.1	3.7	210
PBDDs/DFs	30000	1.3	N.D.	2.2	11	N.D.	N.D.	14
MoBrPCDDs/DFs	N.D.	N.D.	-	N.D.	1900	N.D.	4.0	1900
Brominated diphenyl ethers	310000000	22	270	N.D.	120	26	25	170
Tetrabromobisphenol A	15000000	156	150	310	13	18	6.1	350
PCBs	270000	17	-	29	960	24	18	1000

(単位 $\mu\text{g/t}$ 廃棄物)

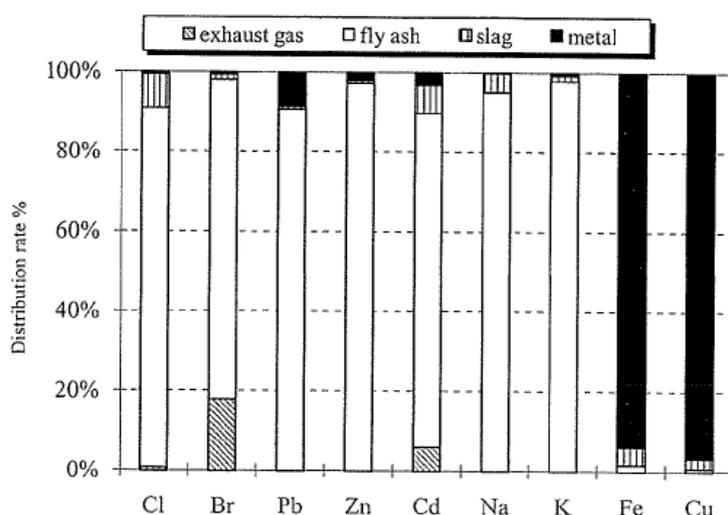


図 4-6 重金属等の排ガス、フライアッシュ、スラグ、金属分への分配¹⁵

(3) 関連特許出願事例

臭素系難燃剤の分解技術に関連して、国内では下記のような特許が出願されている。各特許の概要については 102 ページ以降に示す。これらの特許については、事例 1 が WEEE を対象とした全体的な処理システムとなっている以外は、全体的なシステムとしてはまだ実現されておらず、要素技術としての基礎研究段階にあると考えられる。

表 4-15 臭素系難燃剤の分解に係る特許出願事例

NO.	特許出願公開番号	発明の名称	出願人	技術の概要	備考
1	特表 2008-502745	電子・電子機器廃棄物 (WEEE) の混合流を再生利用する方法	クロスザループテクノロジーズ ビーティーワイ リミテッド	<ul style="list-style-type: none"> ・ WEEE を投入し、粉碎、密度分離、金属分離、難燃剤除去、トナー・インク分離等を行い、分離された臭素系難燃剤を 250～300℃で加熱分解し、ガス状の HBr とし、その一部を抽出する総合的な処理システム。 ・ 対象となる臭素系難燃剤は、Deca-BDE、TBBPA などとする。 ・ 得られた HBr は中和処理を行う。 	
2	特開 2003-238964	難燃剤の分解処理方法	ソニー株式会社	<ul style="list-style-type: none"> ・ 難燃剤、特に難分解性のハロゲン系難燃剤を高温高圧水 (超臨界水) によって酸化分解すると共に、酸化分解の際に装置の腐食を防止する。 ・ DBDPE (デカブロモジフェニルエーテル)、TBBA を対象に実験を行った結果、条件によっては 95%～100%の無機臭素回収率が得られた。 	・基礎研究段階
3	特開 2004-210969	樹脂系廃棄物リサイクル方法	東京エルテック株式会社	<ul style="list-style-type: none"> ・ 化学的熱分解により、臭素系難燃剤を含む樹脂系廃棄物に油脂を添加し、常圧下での溶媒化熱分解反応を利用して樹脂系廃棄物の合成樹脂部分を熱分解し、中分子化し、液状化して金属や無機質等の不溶部分を分離し、臭素系ダイオキシンを発生させずに、難燃剤中の臭素を臭化水素としてリサイクルする。 	・基礎研究段階
4	特開 2004-123812	臭素系難燃剤を含有する熱可塑性樹脂組成物の処理方法	松下電器産業株式会社	<ul style="list-style-type: none"> ・ 臭素系難燃剤を含有する熱可塑性樹脂組成物を 200℃以下の温度条件下で塩基性化合物と接触させて、臭素系難燃剤の脱臭素化反応を促進した後に、脱臭素化した臭素系難燃剤を溶解させる溶剤と接触させることにより、臭素系難燃剤の少なくとも一部を溶解分離する方法。 	・基礎研究段階

出典) 特許情報データベースをもとに作成

特許出願事例 1

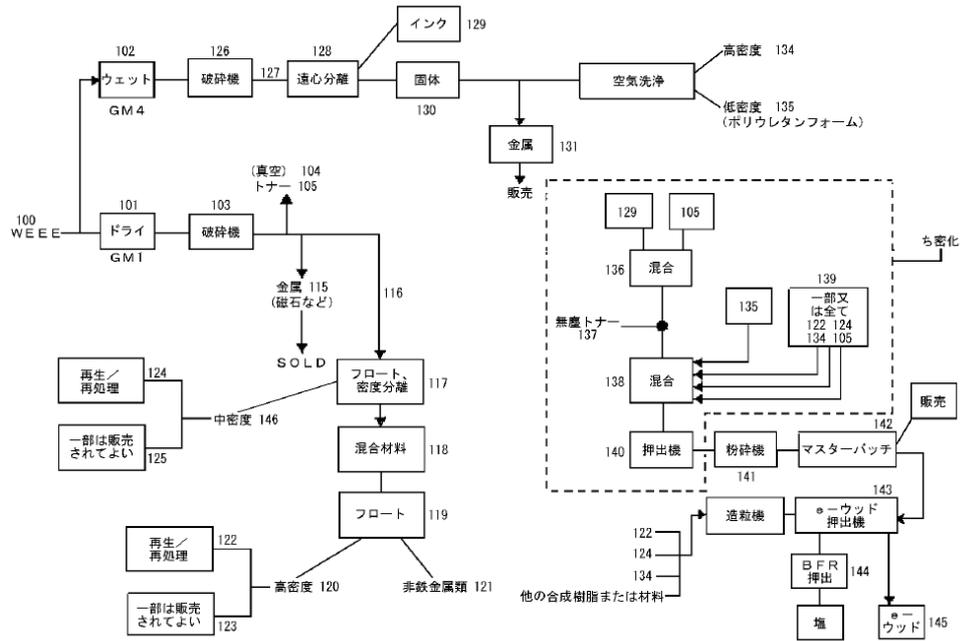
特許出願公開番号	特表 2008-502745	公開日	平成 20 年 1 月 31 日
出願人	クロスザループテクノロジーズヒーターワイリミテッド		
発明の名称	電子・電子機器廃棄物 (WEEE) の混合流を再生利用する方法		
課題	臭素化難燃剤を含む混合合成樹脂の再生利用を可能にする処理を改良する。		
解決手段	<p>本発明は、電気・電子機器廃棄物 (WEEE) の再生利用に関する。好ましくは、本発明は、WEEE を形成する全ての材料を実質的に再生利用し、埋め立てを実質的にゼロにすることに関する。さらに他の形態では、本発明は、添加物および/または添加物を供給する方法に関する。さらに他の形態では、本発明は、WEEE の一部を構成する画像消費財からのインク、トナーおよび/または PU フォームを再生利用することに関する。他の形態では、本発明は、難燃剤を含む合成樹脂材料の再生利用に関する。合成樹脂材料は、たとえば、スチレン類 (たとえば、PS、HIPS、ABS、PPO/PS、ABS/PC)、ポリイミド類 (ナイロン 6、ナイロン 6,6、ナイロン 12) およびポリアセタール、ポリカーボネート、PET、PBT、液晶ポリマー類などの他のエンジニアリング合成樹脂合成樹脂材料などを一般にベースとする臭素化難燃剤を含む。</p>		
内容	<p>○請求項 1</p> <ul style="list-style-type: none"> ・複合合成樹脂物の製造における投入物としての使用に適した原料組成物であって、少なくとも、PU フォーム、トナー、インク、または、これらのいずれか 1 つ以上を含む組成物。 <p>○請求項 40</p> <ul style="list-style-type: none"> ・少なくとも臭素化難燃剤 (BFR) を含む合成樹脂材料を処理する方法であって、合成樹脂材料を所定の温度に加熱する工程と、BFR を少なくとも部分的にガス状の臭化水素酸 (HBr) に分解可能にする工程と、加熱された合成樹脂材料から HBr の少なくとも一部を抽出する工程と、を含む方法。 <p>○請求項 41</p> <ul style="list-style-type: none"> ・所定の温度が、250 から 300°C の範囲、最も好ましくは 265 から 270°C の範囲である請求項 40 に記載の方法。 <p>○請求項 42</p> <ul style="list-style-type: none"> ・HBr を抽出した後、加熱された合成樹脂材料を成形する工程をさらに含む請求項 40 に記載の方法。 <p>○請求項 43</p> <ul style="list-style-type: none"> ・抽出された HBr が、これを実質的に中和するための処理を受ける請求項 40 に記載の方法。 <p>○請求項 44</p> <ul style="list-style-type: none"> ・中和が少なくとも部分的に水への吸収または水酸化ナトリウムまたは水酸化カルシウムとの反応によって行われる請求項 43 に記載の方法。 		

○請求項 45

- ・合成樹脂材料が電気・電子樹脂廃棄物、好ましくは、DecaBDE などの臭素化難燃剤で難燃化された HIPS、TBBPA（テトラブロモビスフェノールA）で難燃化された ABS を含む請求項 40 に記載の方法。

○請求項 46

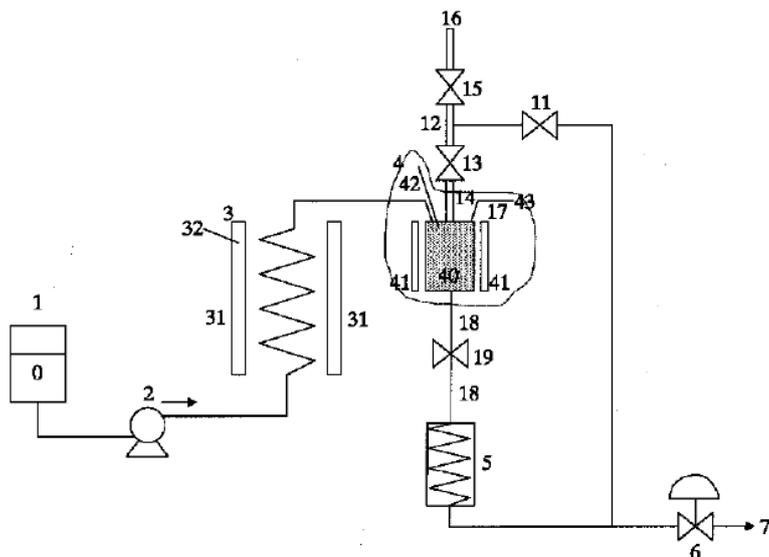
- ・加熱後に、HBr、Br₂ および非脂肪族化合物の放出物のみならず臭素化ダイオキシン類および臭素化フラン類が抽出される請求項 40 に記載の方法。



- 100 : WEEE、101 : ドライプロセス、102 : ウェットプロセス、103 : 破砕機、
 104 : 真空または低圧、105 : トナーダスト、115 : 金属分離工程、
 116 : 廃棄合成樹脂混合、117 : 初期分離処理、
 118 : 合成樹脂と非鉄金属類との混合物、119 : フロートプロセス、
 120 : 高密度合成樹脂、121 : 非鉄金属類、122 : 合成樹脂成分、123 : 製品、
 124 : e-ウッド用原料、125 : 製品、126 : 破砕機、127 : 破片、
 128 : 遠心分離工程、129 : トナー、130 : 残存固形物、131 : 金属分離工程、
 132 : 乾燥した流れ、134 : 高密度金属、135 : 低密度材料、137 : 無塵トナー、
 138 : 混合機、140 : 押出機、141 : 粉砕機、142 : マスターバッチ、143 : 押出機、
 144 : 臭素化難燃剤、145 : 合成樹脂材料 (e-ウッド)

特許出願事例 2

特許出願公開番号	特開 2003-238964	公開日	平成 15 年 8 月 27 日
出願人	ソニー株式会社		
発明の名称	難燃剤の分解処理方法		
課題	難燃剤、特に難分解性のハロゲン系難燃剤を高温高压水によって酸化分解する際の難燃剤の分解率をより高める方法を提供すること。また、本方法による酸化分解を行う際に使用する装置の腐食を低減する難燃剤の分解処理方法を提供すること。		
解決手段	高温高压水と酸化剤との混合物と、難燃剤と、塩基性物質とを接触させ、これらを反応させることを特徴とする難燃剤の分解処理方法。		
内容	<p>○請求項 1</p> <ul style="list-style-type: none"> ・高温高压水と酸化剤との混合物と、難燃剤と、塩基性物質とを接触させ、これらを反応させることを特徴とする難燃剤の分解処理方法。 <p>○請求項 2</p> <ul style="list-style-type: none"> ・高温高压水が、300～374℃の温度と飽和蒸気圧以上の圧力を有していることを特徴とする請求項 1 に記載の難燃剤の分解処理方法。 <p>○請求項 3</p> <ul style="list-style-type: none"> ・高温高压水が、374～450℃の温度と 22MPa 以上の圧力を有していることを特徴とする請求項 1 に記載の難燃剤の分解処理方法。 <p>○請求項 4</p> <ul style="list-style-type: none"> ・高温高压水が、超臨界水であることを特徴とする請求項 1 に記載の難燃剤の分解処理方法。 <p>○請求項 5</p> <ul style="list-style-type: none"> ・塩基性物質が、炭酸塩、金属酸化物、金属水酸化物、低級アルコキシドおよびアンモニアからなる群から選ばれる 1 以上の物質であることを特徴とする請求項 1 に記載の難燃剤の分解処理方法。 <p>○請求項 6</p> <ul style="list-style-type: none"> ・炭酸塩が、炭酸ナトリウム、炭酸水素ナトリウム、炭酸カリウム、炭酸水素カリウム、炭酸カルシウム、炭酸アンモニウム、炭酸水素アンモニウムおよび炭酸マグネシウムからなる群から選ばれる 1 以上の物質であることを特徴とする請求項 5 に記載の難燃剤の分解処理方法。 <p>○請求項 7</p> <ul style="list-style-type: none"> ・金属酸化物が、酸化アンチモン類、酸化カルシウム、酸化マグネシウムおよび酸化アルミニウムからなる群から選ばれる 1 以上の物質であることを特徴とする請求項 5 に記載の難燃剤の分解処理方法。 		



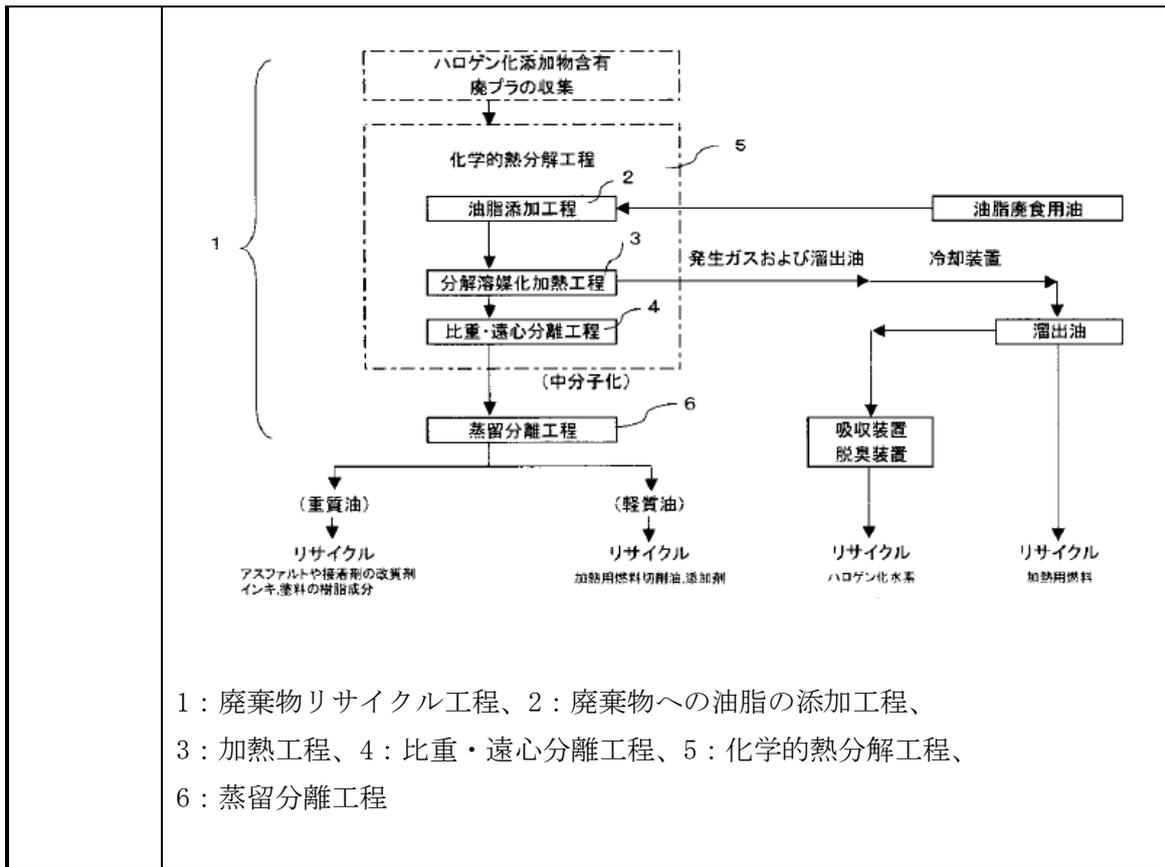
0 : 水、1 : タンク、2 : ポンプ、3 : 予熱器、4 : 反応器、5 : 冷却器、
 6 : 保圧弁、7 : 排出水、11 : バルブ、12 : 待機室 (管)、13 : バルブ、
 14 : 配管、15 : バルブ、16 : 仕込口、17 : 配管、18 : 配管、19 : バルブ
 31 : ヒーター、32 : 温度センサ、40 : 反応容器、41 : ヒーター、
 42 : 温度センサ、43 : 圧力センサ

○実施例

	温度 (°C)	圧力 (MPa)	難燃剤	添加物 1	添加割合 (当量)	添加物 2	添加割合 (当量)	その他の 添加物	無機性炭素の 回収率(%)
実施例 1A	400	40	DBDPE	Na ₂ CO ₃	0.1				96
実施例 1B	400	40	DBDPE	Na ₂ CO ₃	1				98
実施例 1C	400	40	DBDPE	Na ₂ CO ₃	10				100
実施例 2	400	35	DBDPE	Na ₂ CO ₃	2				100
実施例 3	450	40	DBDPE	Na ₂ CO ₃	10				100
実施例 4A	400	35	DBDPE	Sb ₂ O ₃	1			HIPS 9 倍重量	77
実施例 4B	400	40	DBDPE	Sb ₂ O ₃	1			HIPS 9 倍重量	91
実施例 4C	400	35	DBDPE	Sb ₂ O ₃	1	Na ₂ CO ₃	10	HIPS 9 倍重量	100
実施例 5	400	40	TBBA	Na ₂ CO ₃	10				100
比較例 1	400	40	DBDPE						55
比較例 2	400	35	DBDPE						30
比較例 3	450	40	DBDPE						86
比較例 4	400	40	TBBA						99

特許出願事例 3

特許出願公開番号	特開 2004-210969	公開日	平成 16 年 7 月 29 日
出願人	東京エルテック株式会社		
発明の名称	樹脂系廃棄物リサイクル方法		
課題	ハロゲン化添加物を含み、夾雑物や異種プラスチックの混在によりマテリアルリサイクル困難な廃プラスチックを、ハロゲン化ダイオキシンの発生なくアスファルト、接着剤等の改質剤、加熱用燃料、切削油等の添加剤等としてリサイクルを可能にし、有用化する。		
解決手段	ハロゲン化添加物を含む樹脂系廃棄物に油脂を添加し、常圧下での溶媒化熱分解反応を利用して樹脂系廃棄物の合成樹脂部分を熱分解し、中分子化し、液状化して金属や無機質等の不溶部分を分離し、ハロゲン化ダイオキシンの発生なくハロゲン化添加物中のハロゲンをハロゲン化水素としてリサイクル可能にする化学的熱分解工程 5 と、化学的熱分解工程 5 によって分離した液状部分を減圧（真空）蒸留により、再利用可能な軽質油部分と重質油部分とに分離する蒸留分離工程 6 とから成る。		
内容	<p>○請求項 1</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ハロゲン化添加物を含む合成樹脂製品廃棄物のリサイクル方法において、前記廃棄物に油脂を添加し、溶媒化熱分解反応を利用してダイオキシンを生成しないで廃棄物の合成樹脂部分を熱分解液状化して金属や無機質等の不溶部分と熱分解時に溜出した油を分離し、ハロゲン化添加物中のハロゲンをハロゲン化水素として分離しリサイクル可能にする化学的熱分解工程と、化学的熱分解工程によって液状化した樹脂部分を減圧蒸留により、軽質油部分と重質油部分とに分離する蒸留分離工程とから成ることを特徴とした樹脂系廃棄物リサイクル方法。 <p>○請求項 2</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ハロゲン化添加物は、臭素系難燃剤、塩素化パラフィン、PVC、クロロプレン、PCB 等を含む請求項 1 記載の樹脂系廃棄物リサイクル方法。 		



特許出願事例 4

特許出願公開番号	特開 2004-123812	公開日	平成 16 年 4 月 22 日
出願人	松下電器産業株式会社		
発明の名称	臭素系難燃剤を含有する熱可塑性樹脂組成物の処理方法		
課題	難燃剤を含む熱可塑性樹脂組成物の処理、マテリアルリサイクル利用のために、難燃剤成分と樹脂成分とを効率よく分離するための処理方法を提供する。		
解決手段	臭素系難燃剤を含有する熱可塑性樹脂組成物を 200℃以下の温度条件下で塩基性化合物と接触させて、臭素系難燃剤の脱臭素化反応を促進した後に、前記脱臭素化反応した臭素系難燃剤の少なくとも一部を溶解させる溶剤と接触させることで、前記熱可塑性樹脂組成物から前記臭素系難燃剤の少なくとも一部を溶解分離することを特徴とする臭素系難燃剤を含有する熱可塑性樹脂組成物の処理方法。		
内容	<p>○請求項 1</p> <ul style="list-style-type: none"> ・臭素系難燃剤を含有する熱可塑性樹脂組成物を 200℃ 以下の温度条件下で塩基性化合物と接触させて、臭素系難燃剤の脱臭素化反応を促進した後に、前記脱臭素化反応した臭素系難燃剤の少なくとも一部を溶解させる溶剤と接触させることで、前記熱可塑性樹脂組成物から前記臭素系難燃剤の少なくとも一部を溶解分離することを特徴とする臭素系難燃剤を含有する熱可塑性樹脂組成物の処理方法。 <p>○発明の属する技術分野</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本発明は臭素系難燃剤を含有する熱可塑性樹脂組成物において、臭素系難燃剤を脱臭素化反応、臭素置換反応利用することにより、臭素系難燃剤を含む樹脂中から臭素の含有比率を低減することによって、樹脂自身のリサイクル時に安心して利用、あるいは安全に処理するための方法に関するものである。 		

4.4 まとめ

(1) 臭素系難燃剤含有プラスチックの分別技術等の状況

臭素系難燃剤含有プラスチックの分別には、比重選別による方法が一般的であるが、近年、臭素系難燃剤に対する規制の強化に伴い、より高度な技術の研究開発が国内外で進められている。

WEEEなどの廃棄物に含まれる臭素系難燃剤の検出については、X線、赤外線等を用いた物理化学的方法が適用可能である。

これまでの国内外の研究によれば、X線や赤外線を用いて臭素系難燃剤を含む樹脂断片を検出するシステムが比較的研究が進んでおり、欧州の一部のWEEEリサイクルプラントで導入されている模様である。X線を用いる検出・分別システムは、我が国でもグリーンサイクルシステムズ社が導入している。しかし、これらの研究は、硬質で粒状廃プラスチックを分別することを想定しており、繊維状、シート状の廃棄物の効率的な選別方法はまだ確立していない。

選別後の臭素系難燃剤含有樹脂の処理については、欧州で特殊な溶媒（CreaSolv）を用いて臭素系難燃剤を抽出するプロセスの導入が一部で始まっているが、本格的な実用化には至っていない。

(2) 使用済自動車への適用可能性

廃電気・電子機器を処理している欧州の廃棄物処理施設の一部では、使用済自動車由来のシュレッダーダストも受け入れて、臭素系難燃剤を分離している（4.2.2(2)CreaCycle社の例）。ただし、処理量や具体的処理工程についての情報は得られていない。

今回調査した臭素系難燃剤の分別技術は、原理的には自動車シュレッダーダストにも適用可能と考えられる。しかし、自動車に使用されている臭素系難燃剤は、座席シート等のファブリック部分の濃度が高いため、分別技術を適用する際には、シート状、繊維状の廃棄物を効率的に分離できるように現状のシステムを改良する必要がある。

現時点では、こうした視点からの研究開発はほとんど行われていないことから、新たな技術開発が必要になると考えられる。

4.5 考察

臭素系難燃剤を含む廃棄物の検出・分別技術は、欧州の WEEE 指令を契機に、技術の高度化が進みつつあるが、実用的には、従来からの比重選別を中心としたシステムが依然として使用され続けている。

また、臭素系難燃剤の検出・分別技術とは別に、臭素系難燃剤を含む廃棄物を分解する技術（例：1000℃以上での焼却）も様々な方式があり、その中でも、既に実用化されている焼却、熔融技術は実用的なシステムを開発する上での有力な選択肢と考えられる。

使用済自動車由来の分解技術については、臭素系難燃剤に着目した研究開発例は必ずしも多くはないが、今後、臭素系難燃剤を含む廃棄物の検出・分別技術とあわせて、欧州を中心とした国内外の技術開発の動向に注目する必要がある。

5. 使用済自動車内装材等の臭素系難燃剤の使用状況調査

国内に輸入された外国製自動車の使用済自動車及び国産車の使用済自動車を対象とし、シート等の難燃性を求められる部品の臭素系難燃剤の含有状況について分析調査を行う。合わせて現行の自動車リサイクルの仕組みにおいて燃料、部品等として再利用されているプラスチック製品（RPF、リサイクル防音材）についても同様に臭素系難燃剤分析を実施しその実態を把握する。

5.1 調査対象

対象とする部位は、原則、床のシート、天井のシート、座席内部のウレタン、座席表面のシート、車両内装のプラスチック部分の 5 種類とする。ハーネス部分の被覆材については環境省及び自動車解体事業者と協議の上、可能な範囲で一部対象車両についてサンプリング、分析する。

調査対象車両は 48 台で可能な限り低年式の使用済自動車を中心とした。その内訳は、輸入車（欧州ブランド）15 台、輸入車（北米ブランド）8 台、国産車として 25 台である。

なお、対象車両の選定にあたっては、車両の入手状況や一般的な入庫状況等を踏まえ、環境省と協議して決定した。

また、使用済自動車の入手については、可能な限り目的とする車種・年式の使用済自動車を収集するために、株式会社アビズ及びメタルリサイクル株式会社の 2 社へ依頼した。

事業所名	株式会社アビズ	メタルリサイクル株式会社(本社工場)
引取業者 登録番号	第20641000498号	第20111001210号
フロン回収業者 登録番号	第20642000498号	第20112001210号
解体業 許可番号	第20643000498号 再資源化施設	第20113001210号
破碎業 許可番号	第20646000498号	第20115001210号 破碎前処理

参考に、調査用車両を入手した株式会社アビズにおける 1 か月の使用済自動車の入庫状況を以下に示す。(H23 年 11 月実績)

- ・ 入庫（トータル）・・・1387 台
- ・ 国産車・・・1318 台
- ・ 輸入車・・・69 台(全体の 5.0%)

※輸入車内訳

欧州車・・・64 台 輸入車全体の 92.8%（入庫車両全体の 4.6%）

北米車・・・ 5 台 外国製自動車の 7.2%（入庫車両全体の 0.4%）

輸入車は使用済自動車全体の 5%程度で、北米車はそのうちの約 7%（使用済自動車全体の 0.4%）であった。

本調査対象の使用済み自動車リストを表 5-1 に示す。

表 5-1 調査対象の使用済自動車リスト

製造地域	メーカー	製造年	製造国	採取場所	識別No.	備考
欧州	A社	1999	ドイツ	メタルリサイクル	E-1	
	A社	1995	ドイツ	メタルリサイクル	E-2	
	B社	1997	ドイツ	メタルリサイクル	E-3	
	C社	2001	ドイツ	メタルリサイクル	E-4	
	D社	1996	フランス	メタルリサイクル	E-5	
	D社	2000	フランス	メタルリサイクル	E-6	
	E社	1998	ドイツ	メタルリサイクル	E-7	
	F社	1996	フランス	アビツ	E-8	
	G社	2001	スウェーデン	アビツ	E-9	
	C社	1994	ドイツ	アビツ	E-10	
	E社	2000	ドイツ	アビツ	E-11	
	H社	2001	イタリア	アビツ	E-12	
	B社	2001	ドイツ	アビツ	E-13	
	G社	2001	スウェーデン	アビツ	E-14	
	E社	2000	ドイツ	アビツ	E-15	
北米	I社	1996	アメリカ	メタルリサイクル	A-1	
	J社	2003	アメリカ	メタルリサイクル	A-2	
	K社	1993	アメリカ	メタルリサイクル	A-3	並行輸入車
	L社	1992	アメリカ	アビツ	A-4	
	J社	1997	アメリカ	メタルリサイクル	A-5	
	K社	1995	アメリカ	メタルリサイクル	A-6	並行輸入車
	M社	1997	アメリカ	アビツ	A-7	
	J社	1996	アメリカ	アビツ	A-8	
日本	N社	1994	日本	アビツ	J-1	
	N社	1996	日本	アビツ	J-2	
	O社	1989	日本	アビツ	J-3	
	O社	1994	日本	アビツ	J-4	
	O社	1994	日本	アビツ	J-5	
	P社	1993	日本	アビツ	J-6	
	P社	1997	日本	アビツ	J-7	
	P社	1990	日本	アビツ	J-8	
	Q社	1998	日本	アビツ	J-9	
	R社	1994	日本	アビツ	J-10	
	O社	1995	日本	メタルリサイクル	J-11	
	S社	1997	日本	メタルリサイクル	J-12	
	N社	2001	日本	メタルリサイクル	J-13	
	T社	1996	日本	メタルリサイクル	J-14	
	R社	1999	日本	メタルリサイクル	J-15	
	P社	1998	日本	メタルリサイクル	J-16	
	P社	1999	日本	メタルリサイクル	J-17	
	N社	1996	日本	メタルリサイクル	J-18	
	R社	1997	日本	メタルリサイクル	J-19	
	P社	1997	日本	メタルリサイクル	J-20	
	T社	1998	日本	アビツ	J-21	
	R社	1996	日本	アビツ	J-22	
	S社	1998	日本	アビツ	J-23	
	U社	1997	日本	アビツ	J-24	
	Q社	1999	日本	アビツ	J-25	

※: 赤字の車両は3月入手のためBr分析のみ実施(臭素系難燃剤分析の対象としなかった)。

なお、サンプリング対象の使用済自動車については、それら使用済自動車の製造年、製造国、ブランド、モデル、車台番号及び可能な範囲でサンプルとする部品の製造年のリストを作成した。

また、解体業者によるサンプリングの状況確認を現地において実施した。

試料採取の状況を写真 5-1～5-3 に、採取した試料の写真を写真 5-4～5-13 に示す。



写真 5-1 試料採取状況 (メタルリサイクル)



写真 5-2 試料採取状況 (アビツ)



正面



背面



側面



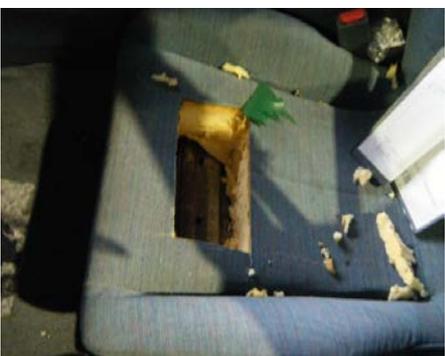
ダッシュボード



ハーネス



天井



シート



フロア

写真 5-3 試料採取状況 (アビツ)



E-1



E-2



E-3



E-4



E-5



E-6

写真 5-4 採取した試料の写真①



E-7



E-8



E-9



E-10



E-11



E-12

写真 5-5 採取した試料の写真②



E-13



E-14



E-15

写真 5-6 採取した試料の写真③



A-1



A-2



A-3



A-4



A-5



A-6

写真 5-7 採取した試料の写真④



A-7



A-8

写真 5-8 採取した試料の写真⑤



J-1



J-2



J-3



J-4



J-5



J-6

写真 5-9 採取した試料の写真⑥



J-7



J-8



J-9



J-10



J-11



J-12

写真 5-10 採取した試料の写真⑦



J-13



J-14



J-15



J-16



J-17



J-18

写真 5-11 採取した試料の写真⑧



J-19



J-20



J-21



J-22



J-23



J-24

写真 5-12 採取した試料の写真⑨



J-25

写真 5-13 採取した試料の写真⑩

5.2 使用済自動車内装材等の分析方法

分析試料のサンプリングでは、対象部位に応じて適正な量（50～100g）を採取する。採取した対象部位のサンプルについては、可搬型の蛍光 X 線装置を用いて臭素含有量のスクリーニング分析を実施し、臭素系元素濃度が高い部位を 20 サンプル程度選別する。

尚、1 部位で性状、色等が異なる部材を使用している場合は、それぞれについて臭素含有量のスクリーニング分析を実施した。

臭素濃度のスクリーニングには Delta Handheld XRF Analyzer(Innv-X Systems 社)を使用した。



装置写真①



装置写真②

認証標準物質((独)産業技術研究所計量標準総合センター) 分析結果

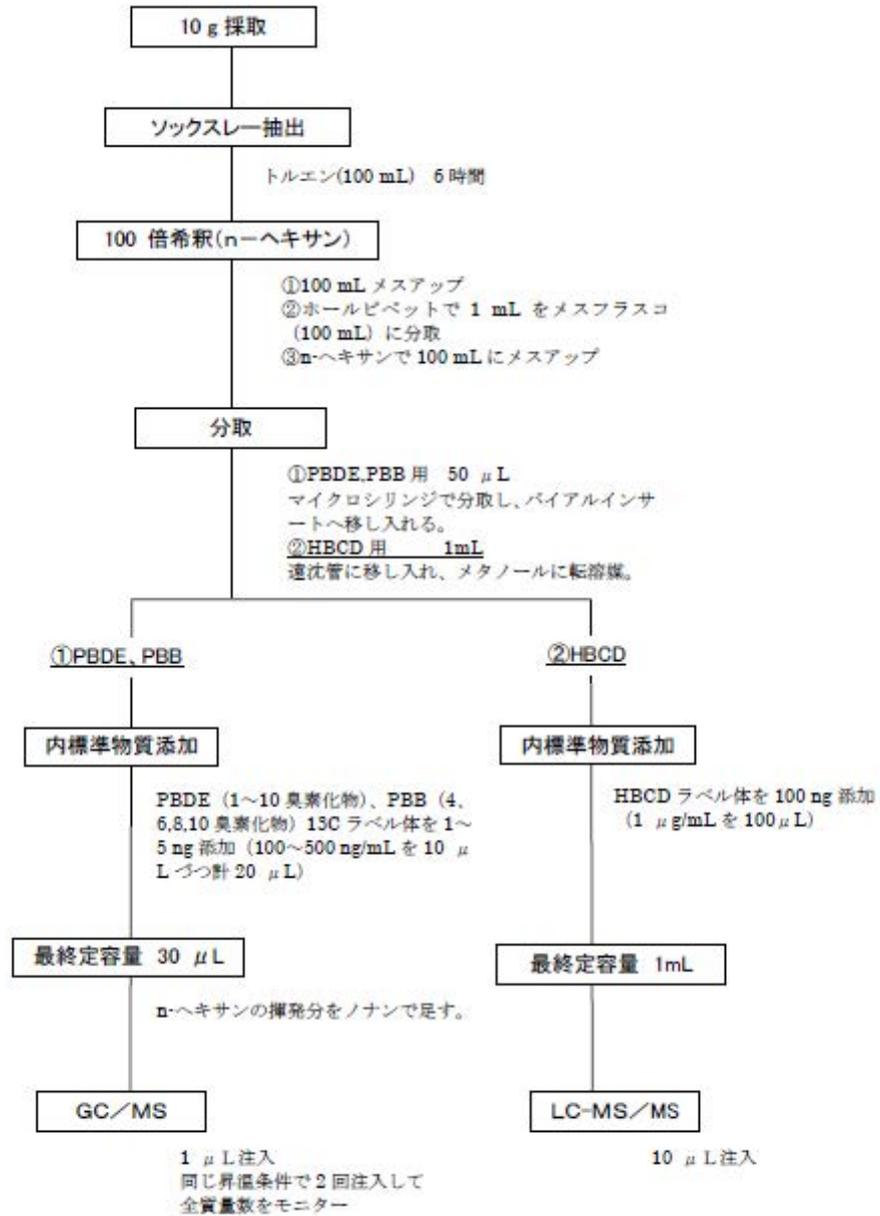
試料名	Br分析結果(mg/kg)				認証推定値 (mg/kg)	平均値と 認証推定 値との差 (mg/kg)	平均値と 認証推定 値との差 の割合 (%)
	①	②	③	平均値			
NMIJ CRM 8108-b No.114	292	286	290	289	264	25	9.5

スクリーニング分析により選定した臭素系元素濃度が高い部位 20 サンプルについて、試料調製（粗破碎、縮分、凍結粉碎による微粉碎等）後、IEC62321 の規格に準じ、PBDE、PBB、及び HBCD の 3 物質について含有量分析を行う。

なお、PBDE の詳細分析にあたっては、1～10 臭素化ジフェニルエーテル、PBB の詳細分析にあたっては、1～10 臭素化ビフェニル、HBCD の詳細分析にあたっては、 α 、 β 、 γ 体それぞれについて分析を行う。

分析手順は以下の臭素系難燃剤（PBDE,PBB,HBCD）分析フローに示す。

臭素系難燃剤 (PBDE,PBB,HBCD) 分析フロー



5.3 使用済自動車内装材等の臭素分析結果

使用済自動車内装材等について合計 446 部位（対象車両 48 台）について蛍光 X 線分析を実施し、臭素濃度を確認した。

臭素分析結果を表 5-2 に示す。

尚、濃度により臭素濃度記載のセルについて以下の色分けをしている。

白色：ND～99ppm

青色：100～999ppm

黄色：1000～9999ppm

赤色：10000ppm 以上

表 5-2 使用済自動車内装材等の臭素分析結果①

製造地域	メーカー	識別No.	製造年	製造国	測定部位		Br濃度
						ppm	
欧州	A社	E-1	1999	ドイツ	シート(布地)	-	3
					シート(ウレタン)	黒	3
						灰	ND
						黄	ND
						茶	19
					フロア内装材	黒側	ND
						緑側	ND
					天井内装材	白側	6
						灰側	8
					ダッシュボード	黒側	3
黄側	2						
欧州	A社	E-2	1995	ドイツ	シート(布地)	-	171
					シート(ウレタン)	黒	9
						白・紫	18
					フロア内装材	黒側	ND
						緑側	3
					天井内装材	白側	11
						灰側	ND
					ダッシュボード	黒側	ND
						黄側	12
					ハーネス被覆材	黒	ND
黄	ND						
赤	ND						
欧州	B社	E-3	1997	ドイツ	シート(布地)	-	29
					シート(ウレタン)	平たん部	5
						凸凹部	5
					フロア内装材	黒側	ND
						白側	4
					天井内装材	-	2
					ダッシュボード	-	ND
					ハーネス被覆材	n=1	ND
n=2	ND						
欧州	C社	E-4	1998	ドイツ	シート(布地)	-	45
					シート(ウレタン)	-	4
						黒側	ND
					フロア内装材	緑側	99
						灰側	19
					天井内装材	黒側	30
						ダッシュボード	-
					ハーネス被覆材	n=1	ND
n=2	ND						
欧州	D社	E-5	1996	フランス	シート(布地)	-	6
					シート(ウレタン)	-	8
					フロア内装材	黒側	19
						灰側	3
					天井内装材	緑側	12
						灰側	8
					ダッシュボード	-	ND
					ハーネス被覆材	n=1	ND
n=2	ND						
欧州	D社	E-6	2000	フランス	シート(布地)	-	19
					シート(ウレタン)	-	4
					フロア内装材	黒側	114
						灰側	5
					天井内装材	緑側	8
						灰側	20
					ダッシュボード	-	ND
					ハーネス被覆材	n=1	67
n=2	16						

表 5-2 使用済自動車内装材等の臭素分析結果②

製造地域	メーカー	識別No.	製造年	製造国	測定部位		Br濃度
							ppm
欧州	E社	E-7	1998	ドイツ	シート(布地)	-	18
					シート(ウレタン)	-	5
					フロア内装材	黒	ND
						黄	5
					天井内装材	-	16
					ダッシュボード	-	ND
					ハーネス被覆材	n=1	40
n=2	41						
欧州	F社	E-8	1996	フランス	シート(布地)	黒	7
						白	11
					シート(ウレタン)	-	8
					フロア内装材	ウレタン面	ND
						繊維面	2
					天井内装材	-	10
					ダッシュボード	黒	ND
白	ND						
ハーネス被覆材	-	ND					
欧州	G社	E-9	2001	スウェーデン	シート(布地)	-	15
					シート(ウレタン)	-	15
					フロア内装材	ウレタン面	ND
						フェルト面	ND
					天井内装材	フェルト部	8
						ゴム部	8
					ダッシュボード	表	ND
裏	ND						
ハーネス被覆材	-	ND					
欧州	C社	E-10	1994	ドイツ	シート(布地)	-	86
					シート(ウレタン)	-	7
					フロア内装材	表	4
						裏	4
					天井内装材	表	1
						裏	14
					ダッシュボード	-	ND
ハーネス被覆材	-	2347					
欧州	E社	E-11	2000	ドイツ	シート(布地)	-	17
					シート(ウレタン)	黄	2
						黒	63
					フロア内装材	黒ゴム	ND
						黒ウレタン	ND
						灰繊維	9
						灰樹脂	7
					天井内装材	ベージュ	5
						白	4
					ダッシュボード	-	2
ハーネス被覆材	黒	238					
	黄	ND					
欧州	H社	E-12	1996	イタリア	シート(布地)	-	495
					シート(ウレタン)	-	ND
					フロア内装材	繊維面	11
						ウレタン	27
					天井内装材	-	5
					ダッシュボード	-	ND
					ハーネス被覆材	-	ND
欧州	B社	E-13	2001	ドイツ	シート(布地)	-	186
					シート(ウレタン)	-	7
					フロア内装材	黒	10
						ウレタン	9
					天井内装材	黒	77
						白	28
					ダッシュボード	表	1
						裏	ND
ハーネス被覆材	-	ND					

表 5-2 使用済自動車内装材等の臭素分析結果③

製造地域	メーカー	識別No.	製造年	製造国	測定部位		Br濃度
						ppm	
欧州	G社	E-14	2001	スウェーデン	シート(布地)	-	11
					シート(ウレタン)	-	14
					フロア内装材	黒	22
						黄	ND
					天井内装材	ベージュ	2
						灰	6
					ダッシュボード	-	3
ハーネス被覆材	白	ND					
	黒テープ	816					
欧州	E社	E-15	2000	ドイツ	シート(布地)	-	238
					シート(ウレタン)	茶	7
						白	3
					フロア内装材	黒	ND
						白	166
					天井内装材	黒	4
						ベージュ	7
ダッシュボード	-	2					
ハーネス被覆材	白	ND					
	黒テープ	101					
北米	I社	A-1	1996	アメリカ	シート(布地)	-	15
					シート(ウレタン)	小	37
						中	45
						大(濃黄)	3
					フロア内装材	大(黄)	9
						黒	2
					天井内装材	白・黒	56
						硬	50
					ダッシュボード	軟	18
						-	19
ハーネス被覆材	固まり	ND					
	コード	4					
北米	J社	A-2	2003	アメリカ	シート(布地)	-	313
					シート(ウレタン)	-	3
					フロア内装材	灰	98
						黒	ND
					天井内装材	茶	ND
						灰	3
					ダッシュボード	-	ND
ハーネス被覆材	n=1	ND					
	n=2	ND					
北米	K社	A-3	1993	アメリカ	シート(布地)	-	4833
					シート(ウレタン)	小(黒)	18300
						小(黄)	22400
						大(濃黄)	1397
						大(黄)	2630
					フロア内装材	黒	4
					天井内装材	黒	228
黄	5						
ダッシュボード	-	ND					
ハーネス被覆材	n=1	17					
	n=2	190					
北米	L社	A-4	1992	アメリカ	シート(布地)	-	19
					シート(ウレタン)	薄	4
						厚	ND
					フロア内装材	-	ND
						褐色	ND
					天井内装材	ベージュ	5
						ダッシュボード	ゴム面
ハーネス被覆材	ウレタン面	ND					
	-	ND					

表 5-2 使用済自動車内装材等の臭素分析結果④

製造地域	メーカー	識別No.	製造年	製造国	測定部位		Br濃度
							ppm
北米	K社	A-5	1995	アメリカ	分析なし	-	-
北米	J社	A-6	1997	アメリカ	シート(布地)	表	1362
						裏	1317
					シート(ウレタン)	-	423
					フロア内装材	表	ND
						裏	80
					天井内装材	表	57
						裏	8
					ダッシュボード	表	ND
裏	ND						
ハーネス被覆材	-	152					
北米	M社	A-7	1997	アメリカ	シート(布地)	表	333
						裏	466
					シート(ウレタン)	-	14
					フロア内装材	表	ND
						裏	64
					天井内装材	表	10
						裏	13
					ダッシュボード	表	ND
裏	23						
ハーネス被覆材	-	133					
北米	J社	A-8	1996	アメリカ	シート(布地)	表	1270
						裏	1053
					シート(ウレタン)	上面	12800
						下面	113
					フロア内装材	表	<1
						裏	7
					天井内装材	表	10
						裏	4
ダッシュボード	-	<1					
ハーネス被覆材	-	<1					

表 5-2 使用済自動車内装材等の臭素分析結果⑤

製造地域	メーカー	識別No.	製造年	製造国	測定部位		Br濃度
							ppm
日本	N社	J-1	1994	日本	シート(布地)	表	601
						裏	739
					シート(ウレタン)	-	729
					フロア内装材	表	18
						裏	7
					天井内装材	表	57
						裏	124
ダッシュボード	-	ND					
ハーネス被覆材	-	ND					
日本	N社	J-2	1996	日本	シート(布地)	表	2608
						裏	5640
					シート(ウレタン)	-	196
					フロア内装材	表	6698
						裏	835
					天井内装材	表	10
						裏	6
ダッシュボード	-	5					
ハーネス被覆材	-	17					
日本	O社	J-3	1989	日本	シート(布地)	表	19700
						裏	26500
					シート(ウレタン)	-	74
					フロア内装材	表	10
						裏	79
					天井内装材	表	38
						裏	30
ダッシュボード	-	ND					
ハーネス被覆材	-	<6					
日本	O社	J-4	1994	日本	シート(布地)	表	76
						裏	1567
					シート(ウレタン)	-	34
					フロア内装材	表	5
						裏	16
					天井内装材	表	21
						裏	20
ダッシュボード	-	ND					
ハーネス被覆材	-	ND					
日本	O社	J-5	1994	日本	シート(布地)	表	19
						裏	14
					シート(ウレタン)	-	5
					フロア内装材	表	15200
						裏	149
					天井内装材	表	2755
						裏	864
ダッシュボード	-	3					
ハーネス被覆材	-	ND					
日本	P社	J-6	1993	日本	シート(布地)	表	413
						裏	654
					シート(ウレタン)	-	10
					フロア内装材	表	12
						裏	26
					天井内装材	表	2
						裏	3
ダッシュボード	表	ND					
	裏	56					
ハーネス被覆材	-	11300					

表 5-2 使用済自動車内装材等の臭素分析結果⑥

製造地域	メーカー	識別No.	製造年	製造国	測定部位		Br濃度
							ppm
日本	P社	J-7	1997	日本	シート(布地)	表	57100
						裏	44300
					シート(ウレタン)	-	85
					フロア内装材	表	15
						裏	41
					天井内装材	表	ND
						裏	ND
ダッシュボード	表	ND					
	裏	13					
ハーネス被覆材	-	ND					
日本	P社	J-8	1990	日本	シート(布地)	表	649
						裏	765
					シート(ウレタン)	-	16
					フロア内装材	表	20
						裏	39
					天井内装材	表	2
						裏	1070
ダッシュボード	-	ND					
ハーネス被覆材	-	ND					
日本	Q社	J-9	1998	日本	シート(布地)	表	33100
						裏	14700
					シート(ウレタン)	-	7
					フロア内装材	表	33100
						裏	12400
					天井内装材	表	10
						裏	11
ダッシュボード	-	ND					
ハーネス被覆材	-	11					
日本	R社	J-10	1994	日本	シート(布地)	表	5890
						裏	6870
					シート(ウレタン)	-	1028
					フロア内装材	表	34
						裏	161
					天井内装材	表	2327
						裏	904
ダッシュボード	-	32					
ハーネス被覆材	-	ND					
日本	O社	J-11	1995	日本	シート(布地)	-	592
					シート(ウレタン)	-	11
					フロア内装材	ベージュ	23
						白	4
					天井内装材	表ベージュ	ND
						表白	ND
						ウレタン?	18
ダッシュボード	-	ND					
ハーネス被覆材	-	10					
日本	S社	J-12	1997	日本	シート(布地)	灰	60
						白	32
					シート(ウレタン)	-	5
					フロア内装材	フェルト	2
						綿	64
					天井内装材	灰	ND
						白	2
ダッシュボード	-	7					
ハーネス被覆材	-	10					

表 5-2 使用済自動車内装材等の臭素分析結果⑦

製造地域	メーカー	識別No.	製造年	製造国	測定部位		Br濃度
							ppm
日本	N社	J-13	2001	日本	シート(布地)	表	11
						裏	10
					シート(ウレタン)	-	4
					フロア内装材	フェルト灰	ND
						フェルト白	ND
						綿	148
					天井内装材	灰	ND
						白	7
ダッシュボード	-	2					
ハーネス被覆材	-	106					
日本	T社	J-14	1996	日本	シート(布地)	表	36400
						裏	13600
					シート(ウレタン)	-	20
					フロア内装材	フェルト	32
						綿	100
					天井内装材	表	6765
						裏	2957
ダッシュボード	-	ND					
日本	R社	J-15	1999	日本	シート(布地)	表	45900
						裏	34500
					シート(ウレタン)	-	50
					フロア内装材	フェルト	39
						綿	73
					天井内装材	表	7
						裏	15
ダッシュボード	-	7					
ハーネス被覆材	-	ND					
日本	P社	J-16	1998	日本	シート(布地)	表	25
						裏	23
					シート(ウレタン)	-	12
					フロア内装材	黒	4
						白	2
					天井内装材	灰	ND
						白	ND
					ダッシュボード	樹脂	6
						綿	138
ハーネス被覆材	-	ND					
日本	P社	J-17	1999	日本	シート(布地)	表	256
						裏	318
					シート(ウレタン)	-	17
					フロア内装材	フェルト	26400
						綿	10200
					天井内装材	灰	2
						褐色	4
					ダッシュボード	表	ND
裏	1						
ハーネス被覆材	-	ND					
日本	N社	J-18	1996	日本	シート(布地)	表	2731
						裏	6224
					シート(ウレタン)	黄	237
						灰	19
					フロア内装材	表	8543
						裏	1759
					天井内装材	表	7
						裏	8
					ダッシュボード	表	8
ハーネス被覆材	-	ND					

表 5-2 使用済自動車内装材等の臭素分析結果⑧

製造地域	メーカー	識別No.	製造年	製造国	測定部位		Br濃度
							ppm
日本	R社	J-19	1997	日本	シート(布地)	表	40400
						裏	54900
					シート(ウレタン)	フェルト面	1207
						ウレタン面	ND
					フロア内装材	表	41
						裏	101
					天井内装材	表	19
						裏	17
ダッシュボード	表	ND					
	裏	ND					
ハーネス被覆材	-	ND					
日本	P社	J-20	1997	日本	シート(布地)	表	27
						裏	15
					シート(ウレタン)	フェルト面	288
						ウレタン面	346
					フロア内装材	黒フェルト	6946
						白綿	ND
					天井内装材	表	ND
						裏	2
ダッシュボード	-	10					
ハーネス被覆材	-	ND					
日本	T社	J-21	1998	日本	シート(布地)	表	97
						裏	49
					シート(ウレタン)	-	7
						表	29
					フロア内装材	裏	64
						表	3543
					天井内装材	裏	1556
						ダッシュボード	-
ハーネス被覆材	-	1					
日本	R社	J-22	1996	日本	シート(布地)	表	2
						裏	4
					シート(ウレタン)	-	5
						表	13
					フロア内装材	裏	55
						表	8
					天井内装材	裏	8
						ダッシュボード	-
ハーネス被覆材	ゴムシート	3604					
	ビニールテープ	346					
日本	S社	J-23	1998	日本	シート(布地)	表	16600
						裏	12900
					シート(ウレタン)	-	2
						表	1
					フロア内装材	裏	44
						天井内装材	-
					ダッシュボード	-	<1
					ハーネス被覆材	-	<2
日本	U社	J-24	1997	日本	シート(布地)	表	405
						裏	557
					シート(ウレタン)	-	21
						表	37
					フロア内装材	裏	41
						天井内装材	表
					ダッシュボード	裏	12
						ハーネス被覆材	-
	-	<3					

表 5-2 使用済自動車内装材等の臭素分析結果⑨

製造地域	メーカー	識別No.	製造年	製造国	測定部位		Br濃度
							ppm
日本	Q社	J-25	1999	日本	シート(布地)	-	10
					シート(ウレタン)	-	7
					フロア内装材	表	333
						裏	321
					天井内装材	表	8
						裏	7
					ダッシュボード	-	<1
ハーネス被覆材	-	<1					

一つの部材でも、性状や材質が異なる複数の材料で構成されているものも多く、素材ごとに臭素濃度の違いも確認された。

また、シート(布地)で臭素が1%を超えて含有されるものが複数確認され、その他では、シート(ウレタン)やフロア内装材で臭素濃度が1%を超えるものも確認された。

以上の分析結果の内、内装材等の部材で臭素含有量が1000ppm以上と比較的高い濃度を示したものを表5-3に示す。

表5-3に示した臭素含有量1000ppm以上の部材の内、濃度の高いもの20検体を選定し、臭素系難燃剤の分析試料とした。一部の車両については臭素濃度が高い試料であるが、試料の入手が3月となったため、臭素分析のみを実施し、臭素系難燃剤分析対象とはしなかった。

表 5-3 使用済自動車内装材等の臭素分析結果（臭素含有量 1000ppm 以上）

製造地域	メーカー	製造年	製造国	識別No.	測定部位		Br濃度	臭素系難燃剤分析
							ppm	
欧州	C社	1994	ドイツ	E-10	ハーネス被覆材	-	2347	
北米	K社	1993	アメリカ	A-3	シート(布地)	-	4833	○
北米	K社	1993	アメリカ	A-3	シート(ウレタン)	小(黒)	18300	○
北米	K社	1993	アメリカ	A-3	シート(ウレタン)	小(黄)	22400	
北米	K社	1993	アメリカ	A-3	シート(ウレタン)	大(濃黄)	1397	
北米	K社	1993	アメリカ	A-3	シート(ウレタン)	大(黄)	2630	
北米	J社	1997	アメリカ	A-5	シート(布地)	表	1362	
北米	J社	1997	アメリカ	A-5	シート(布地)	裏	1317	○
北米	J社	1996	アメリカ	A-8	シート(布地)	表	1270	
北米	J社	1996	アメリカ	A-8	シート(布地)	裏	1053	
北米	J社	1996	アメリカ	A-8	シート(ウレタン)	上面	12800	
日本	N社	1996	日本	J-2	シート(布地)	表	2608	
日本	N社	1996	日本	J-2	シート(布地)	裏	5640	
日本	N社	1996	日本	J-2	フロア内装材	表	6698	○
日本	O社	1989	日本	J-3	シート(布地)	表	19700	○
日本	O社	1989	日本	J-3	シート(布地)	裏	26500	
日本	O社	1994	日本	J-4	シート(布地)	裏	1567	
日本	O社	1994	日本	J-5	フロア内装材	表	15200	○
日本	O社	1994	日本	J-5	天井内装材	表	2755	
日本	P社	1993	日本	J-6	ハーネス被覆材	-	11300	○
日本	P社	1997	日本	J-7	シート(布地)	表	57100	○
日本	P社	1997	日本	J-7	シート(布地)	裏	44300	
日本	P社	1990	日本	J-8	天井内装材	裏	1070	
日本	Q社	1998	日本	J-9	シート(布地)	表	33100	○
日本	Q社	1998	日本	J-9	シート(布地)	裏	14700	
日本	Q社	1998	日本	J-9	フロア内装材	表	33100	○
日本	Q社	1998	日本	J-9	フロア内装材	裏	12400	
日本	R社	1994	日本	J-10	シート(布地)	表	5890	○
日本	R社	1994	日本	J-10	シート(布地)	裏	6870	
日本	R社	1994	日本	J-10	天井内装材	表	2327	
日本	T社	1996	日本	J-14	シート(布地)	表	36400	○
日本	T社	1996	日本	J-14	シート(布地)	裏	13600	
日本	T社	1996	日本	J-14	天井内装材	表	6765	○
日本	R社	1999	日本	J-15	シート(布地)	表	45900	○
日本	R社	1999	日本	J-15	シート(布地)	裏	34500	
日本	P社	1999	日本	J-17	フロア内装材	フェルト	26400	○
日本	P社	1999	日本	J-17	フロア内装材	綿	10200	
日本	N社	1996	日本	J-18	シート(布地)	表	2731	○
日本	N社	1996	日本	J-18	シート(布地)	裏	6224	
日本	N社	1996	日本	J-18	フロア内装材	表	8543	○
日本	N社	1996	日本	J-18	フロア内装材	裏	1759	
日本	R社	1997	日本	J-19	シート(布地)	表	40400	○
日本	R社	1997	日本	J-19	シート(布地)	裏	54900	
日本	R社	1997	日本	J-19	シート(ウレタン)	フェルト面	1207	
日本	P社	1997	日本	J-20	フロア内装材	黒フェルト	6946	○
日本	T社	1998	日本	J-21	天井内装材	表	3543	
日本	T社	1998	日本	J-21	天井内装材	裏	1556	
日本	R社	1996	日本	J-22	ハーネス被覆材	ゴムシート	3604	
日本	S社	1998	日本	J-23	シート(布地)	表	16600	
日本	S社	1998	日本	J-23	シート(布地)	裏	12900	

1000~9999ppm
>10000ppm

5.4 使用済自動車内装材等の臭素系難燃剤分析結果

蛍光 X 線分析による臭素分析結果より、分析対象とした 20 検体についての臭素系難燃剤分析結果を表 5-4 に示す。

表 5-4 使用済自動車内装材等の臭素系難燃剤分析結果①

試料名		A-3 シート(布地)	A-3 シートウレタン小(黄)	A-5 シート(布地)	J-2 シート(布地)	J-2 フロア内装材	定量下 限值
単位		ppm					
PBDE	MoBDE	<1	<1	<1	<1	<1	1
	DiBDE	<1	<1	<1	<1	<1	1
	TrBDE	8	44	<1	<1	<1	1
	TeBDE	1400	7300	<1	<1	<1	1
	PeBDE	3700	17000	<1	<1	<1	1
	HxBDE	750	3500	<1	<1	<1	1
	HpBDE	45	220	<1	<1	<1	1
	OcBDE	4	23	1	<1	<1	1
	NoBDE	<1	<1	47	1	7	1
	DeBDE	7	<1	1600	54	170	1
Toal PBDE		5900	29000	1600	55	180	-
PBB	DiBB	<1	<1	<1	<1	<1	1
	TrBB	<1	<1	<1	<1	<1	1
	TeBB	<1	<1	<1	<1	<1	1
	PeBB	<1	<1	<1	<1	<1	1
	HxBB	<1	<1	<1	<1	<1	1
	HpBB	<1	<1	<1	<1	<1	1
	OcBB	<1	<1	<1	<1	<1	1
	NoBB	<1	<1	<1	<1	<1	1
	DeBB	<1	<1	<1	9	<1	1
Toal PBB		N.D.	N.D.	N.D.	9	N.D.	-
HBCD	α	<2	<2	5	<2	1200	2
	β	<2	<2	<2	<2	520	2
	γ	<2	<2	12	<2	3000	2
Toal HBCD		N.D.	N.D.	17	N.D.	4700	2
臭素濃度		4833	18300~22400	1317~1362	2608~5640	6698	-

表 5-4 使用済自動車内装材等の臭素系難燃剤分析結果②

試料名	J-3 シート(布地)	J-5 フロア内装材	J-6 ハネス被覆材	J-7 シート(布地)	J-9 フロア内装材	定量下 限值	
単位	ppm						
PBDE	MoBDE	<1	<1	<1	<1	<1	1
	DiBDE	<1	<1	<1	<1	<1	1
	TrBDE	<1	<1	<1	<1	<1	1
	TeBDE	<1	<1	<1	<1	<1	1
	PeBDE	<1	<1	<1	<1	<1	1
	HxBDE	<1	<1	<1	<1	<1	1
	HpBDE	3	<1	<1	<1	1	1
	OcBDE	9	10	<1	13	20	1
	NoBDE	270	250	5	1200	1100	1
DeBDE	24000	7100	160	50000	23000	1	
Toal PBDE	24000	7400	170	51000	24000	-	
PBB	DiBB	<1	<1	<1	<1	<1	1
	TrBB	<1	<1	<1	<1	<1	1
	TeBB	<1	<1	<1	<1	<1	1
	PeBB	<1	<1	<1	<1	<1	1
	HxBB	<1	<1	<1	<1	<1	1
	HpBB	<1	<1	<1	<1	<1	1
	OcBB	<1	<1	<1	<1	<1	1
	NoBB	<1	<1	<1	<1	<1	1
	DeBB	1	<1	<1	<1	<1	1
Toal PBB	1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-	
HBCD	α	<2	<2	<2	<2	4	2
	β	<2	<2	<2	<2	<2	2
	γ	<2	<2	<2	<2	13	2
Toal HBCD	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	17	2	
臭素濃度	19700~26500	15200	11300	44300~57100	12400~33100	-	

表 5-4 使用済自動車内装材等の臭素系難燃剤分析結果③

試料名	J-9 シート(布地)	J-10 シート(布地)	J-14 シート(布地)	J-14 天井内装材	J-15 シート(布地)	定量下 限值	
単位	ppm						
PBDE	MoBDE	<1	<1	<1	<1	<1	1
	DiBDE	<1	<1	<1	<1	<1	1
	TrBDE	<1	<1	<1	<1	<1	1
	TeBDE	<1	3	9	<1	<1	1
	PeBDE	6	4	23	3	<1	1
	HxBDE	<1	1	4	9	<1	1
	HpBDE	<1	<1	5	18	1	1
	OcBDE	23	<1	16	22	31	1
	NoBDE	1000	6	1000	130	1400	1
	DeBDE	29000	220	29000	6700	43000	1
Toal PBDE	30000	240	30000	6900	44000	-	
PBB	DiBB	<1	<1	<1	<1	<1	1
	TrBB	<1	<1	<1	<1	<1	1
	TeBB	<1	<1	<1	<1	<1	1
	PeBB	<1	<1	<1	<1	<1	1
	HxBB	<1	<1	<1	<1	<1	1
	HpBB	<1	<1	<1	<1	<1	1
	OcBB	<1	<1	<1	<1	<1	1
	NoBB	<1	<1	<1	<1	<1	1
	DeBB	<1	<1	<1	<1	<1	1
Toal PBB	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-	
HBCD	α	<2	<2	<2	<2	<2	2
	β	<2	<2	<2	<2	<2	2
	γ	<2	<2	<2	<2	<2	2
Toal HBCD	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	2	
臭素濃度	14700~33100	5890~6870	13600~36400	6765	34500~45900	-	

表 5-4 使用済自動車内装材等の臭素系難燃剤分析結果④

試料名	J-17 フロア内装材	J-18 シート(布地)	J-18 フロア内装材	J-19 シート(布地)	J-20 フロア内装材	定量下 限值	
単位	ppm						
PBDE	MoBDE	<1	<1	<1	<1	<1	1
	DiBDE	<1	<1	<1	<1	<1	1
	TrBDE	<1	<1	<1	<1	<1	1
	TeBDE	<1	9	<1	<1	<1	1
	PeBDE	<1	23	<1	<1	<1	1
	HxBDE	<1	4	<1	<1	<1	1
	HpBDE	1	5	1	3	<1	1
	OcBDE	15	16	<1	20	9	1
	NoBDE	870	1000	4	1500	330	1
	DeBDE	19000	29000	130	61000	13000	1
Toal PBDE	20000	30000	140	62000	13000	-	
PBB	DiBB	<1	<1	<1	<1	<1	1
	TrBB	<1	<1	<1	<1	<1	1
	TeBB	<1	<1	<1	<1	<1	1
	PeBB	<1	<1	<1	<1	<1	1
	HxBB	<1	<1	<1	<1	<1	1
	HpBB	<1	<1	<1	<1	<1	1
	OcBB	<1	<1	<1	<1	<1	1
	NoBB	<1	<1	<1	<1	<1	1
	DeBB	<1	<1	<1	<1	<1	1
Toal PBB	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-	
HBCD	α	<2	<2	570	2	<2	2
	β	<2	<2	460	<2	<2	2
	γ	<2	<2	1800	6	<2	2
Toal HBCD	N.D.	N.D.	2800	8	N.D.	2	
臭素濃度	10200~26400	13600~36400	2731~6224	40400~54900	6946	-	

シート（布地）、天井内装材、フロア内装材で PBDE が検出された。（6900～51000ppm）
 検出された PBDE は DeBDE が殆どであるが、一部の車種のシート（布地、ウレタン）
 では TeBDE、PeBDE、HxPBB が高濃度で確認された。

また、一部のフロア内装材では HBCD が高濃度で検出された。（2800～4700ppm）

20 検体の内、3 検体については、蛍光 X 線分析で臭素が高濃度であるが臭素濃度に対
 して臭素系難燃剤濃度が低めの値であった。

5.5 まとめ

(1) 調査対象について

調査対象とする使用済自動車の部位は、原則、床のシート、天井のシート、座席内部のウレタン、座席表面のシート、車両内装のプラスチック部分とし、採取可能な車両に関してはハーネス部分の被覆材についても分析した。

輸入車に関しては、欧州車と比較して北米車の入庫数が少なく、今回の収集した調査対象使用済自動車は48台でその内訳は、輸入車（欧州ブランド）15台、輸入車（北米ブランド）8台、国産車として25台であった。

北米車の登録台数が欧州車と比較して少ないことに起因すると推測される。

今回、車両入手を依頼した2社に輸入自動車の入庫状況をヒアリングしたところ、いずれも定常的に北米車の使用済自動車の入庫は少ないとの回答であった。

(2) 臭素含有量及び臭素系難燃剤含有量について

一つの部材でも、性状や材質が異なる複数の材料で構成されているものも多く、素材ごとに臭素濃度の違いも確認された。

臭素が1%を超えて含有されることが確認されたのは、シート（布地）で7台、フロア内装材で2台、シート（ウレタン）で2台、ハーネス被覆材で1台であった。

輸入車については、2台の車両のシート（ウレタン）から1%以上の臭素が検出された。こちらは、いずれも北米車であった。

臭素系難燃剤分析の結果、一部の北米車のシート（布地、ウレタン）ではTeBDE、PeBDE、HxPBBが高濃度で確認されている。

輸入車の内装材については全体的に臭素濃度が低く、臭素系以外の難燃剤を使用していることが推測された。

国産車については、シート（布地）で7台、フロア内装材で2台、ハーネス被覆材で1台から1%以上の臭素が検出されている。

輸入車と比較して臭素が高濃度の部材の検出率が高かったが、検出された部位は、シート（布地）、天井内装材、フロア内装材でPBDEが高濃度で検出された。（6900～51000ppm）

検出されたPBDEはDeBDEが殆どあり、北米車のシート（ウレタン）とは異なる組成であった。

また、一部のフロア内装材ではHBCDが高濃度で検出された。（2800～4700ppm）

臭素系難燃剤分析を実施した20検体の内、3検体については、蛍光X線分析で臭素が高濃度であったが、臭素濃度に対して臭素系難燃剤濃度が低めの値であったことから、測定対象物質以外の臭素系難燃剤を使用している可能性も考えられる。

また、臭素を含まない内装材の部位については、臭素系以外の難燃剤を使用している可能性があり、今後も化学物質の規制動向等に配慮しながら、その実態に関して調査が必要と考える。

6. RPF、リサイクル防音材の臭素系難燃剤分析

自動車リサイクルにおける廃プラスチック再生品等の分析用試料について以下の 2 試料について臭素系難燃剤の分析を実施した

6.1 対象試料

対象試料と分析試料の調整法を以下に示す。

(1) RPF

株式会社 JFE ビーレックより提供。

採取日の異なる 3 検体を試験対象とした。

- ・平成 24 年 2 月 10 日 R P F
- ・平成 24 年 2 月 11 日 R P F
- ・平成 24 年 2 月 16 日 R P F

分析用試料は以下の方法で調製した。

《試料調製法》

- ① 試料をカッティングミルで粗破碎
- ② 粗破碎後の試料を十分に混合した後、四分法で縮分
- ③ 粗破碎後の縮分試料を微粉碎（凍結粉碎）

(2) リサイクル防音材

採取日の異なる 3 検体を試験対象とした。

- ・平成 23 年 12 月 12 日 リサイクル防音材
- ・平成 23 年 12 月 19 日 リサイクル防音材
- ・平成 23 年 12 月 26 日 リサイクル防音材

分析用試料は以下の方法で調製した。

《試料調製法》

- ① 試料を 10 cm 角に裁断後、十分に混合した後、四分法で縮分
- ② 縮分後の試料を更に 2cm 角に裁断後、十分に混合した後、四分法で縮分
- ③ 縮分後の試料をカッティングミルで粗破碎
- ④ 粗破碎後の試料を十分に混合した後、四分法で縮分
- ⑤ 粗破碎後の縮分試料を微粉碎（凍結粉碎）

試験対象とした RPF 及びリサイクル防音材の写真を写真 6-1 に示す。



0210 RPF



0211 RPF



0216 RPF



2011/12/12 リサイクル防音材



2011/12/19 リサイクル防音材



2011/12/26 リサイクル防音材

写真 6-1 分析試料 (RPF、リサイクル防音材)

6.2 分析方法

試料調製（粗破碎、縮分、凍結粉碎による微粉碎等）後、IEC62321 の規格に準じ、PBDE、PBB、及び HBCD の 3 物質について含有量分析を行う。

なお、PBDE の詳細分析にあたっては、1～10 臭素化ジフェニルエーテル、PBB の詳細分析にあたっては、1～10 臭素化ビフェニル、HBCD の詳細分析にあたっては、 α 、 β 、 γ 体それぞれについて分析を行う。

分析手法の詳細は使用済自動車の内装材等の臭素系難燃剤分析と同様である。

試験対象とした RPF 及びリサイクル防音材の写真を写真 6-1 に示す。

象とする部位は、原則、床のシート、天井のシート、座席内部のウレタン、座席表面のシート、車両内装のプラスチック部分の 5 種類とする。ハーネス部分の被覆材については環境省及び自動車解体事業者と協議の上、可能な範囲で一部対象車両についてサンプリング、分析する。

6.3 RPF、リサイクル防音材の臭素系難燃剤分析結果

RPF、リサイクル防音材の臭素系難燃剤分析結果を表 6-1 に示す。

尚、リサイクル防音材については蛍光 X 線分析による臭素分析も併せて実施したのでその値も併記する。

表 6-1 RPF、リサイクル防音材の臭素系難燃剤分析結果

試料名	0210 RPF	0211 RPF	0216 RPF	2011.12.12 採取 リサイクル防音材	2011.12.19 採取 リサイクル防音材	2011.12.26 採取 リサイクル防音材	定量下 限值
単位	ppm						
PBDE	MoBDE	<1	<1	<1	<1	<1	1
	DiBDE	<1	<1	<1	<1	<1	1
	TrBDE	<1	<1	<1	<1	<1	1
	TeBDE	4	2	1	2	3	7
	PeBDE	6	5	19	3	7	17
	HxBDE	<1	<1	4	<1	<1	2
	HpBDE	<1	<1	<1	<1	<1	<1
	OcBDE	<1	<1	<1	<1	<1	<1
	NoBDE	1	1	2	15	21	20
DeBDE	50	53	58	510	600	690	1
Toal PBDE	61	61	84	530	630	730	-
PBB	DiBB	<1	<1	<1	<1	<1	1
	TrBB	<1	<1	<1	<1	<1	1
	TeBB	<1	<1	<1	<1	<1	1
	PeBB	<1	<1	<1	<1	<1	1
	HxBB	<1	<1	<1	<1	<1	1
	HpBB	<1	<1	<1	<1	<1	1
	OcBB	<1	<1	<1	<1	<1	1
	NoBB	<1	<1	<1	<1	<1	1
DeBB	<1	<1	<1	<1	<1	1	
Toal PBB	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-
HBCD	α	<2	<2	4	6	13	9
	β	<2	<2	<2	<2	4	3
	γ	2	2	2	8	15	12
Toal HBCD	2	2	6	15	31	24	2
臭素濃度	-	-	-	665~732	804~814	742~800	-

RPF、リサイクル防音材について、それぞれロットの異なる3検体づつを試験対象として臭素系難燃剤の分析を実施した。

RPFはPBDEが61~84ppm、HBCDは2~6ppmと低い値であった。

リサイクル防音材についてはPBDEが530~730ppm、HBCDは15~31ppmであり、検出されたのは殆どがDeBDEであった。

6.4 まとめ

RPFはPBDEが61～84ppm、HBCDは2～6ppmと低い値であった。

これは、RPF製造の際に、原材料のASRの他に木材チップやその他のプラスチック類等を材料として添加して希釈されているためと考えられる。

リサイクル防音材についてはPBDEが530～730ppm検出されたが、殆どがDeBDEであった。HBCDも15～31ppm検出されている。

使用済自動車のシート（布地）や一部のシート（ウレタン）に臭素系難燃剤（DeBDE、HBCD）が含まれることから、それらを原材料の一部とするリサイクル防音材からも検出したと考えられる。

平成22年度実施の自動車破碎残さにおける性状把握調査（昨年度調査）における自動車ASRの臭素系難燃剤の調査において、平成8年以前の使用済自動車ASRでPBDEが190～590ppm、HBCDが8～12ppm、平成12年以降の使用済自動車ASRでPBDEが37～180ppm、HBCDがN.D～8ppmであった。（参考資料として報告書の抜粋版を巻末に添付する。）

今回、対象試料としたリサイクル防音材は使用済自動車のウレタンを原材料の一部としており、同様の材料を多く含むASRの調査結果と比較すると若干高めの数値であった。