

- ・ 研究課題名＝有害物質管理・災害防止・資源回収の観点からの金属スクラップの発生・輸出状況の把握と適正管理方策
- ・ 研究課題番号＝K2015, K2179, K22049

- ・ 国庫補助金精算所要額（円）＝59,929,740

- ・ 研究期間（西暦）＝2008-2010

- ・ 代表研究者名＝寺園淳（国立環境研究所）

- ・ 共同研究者名＝中島謙一、吉田綾（以上、国立環境研究所）、村上進亮（東京大学大学院）、古積博、佐宗祐子、岩田雄策（以上、消防研究センター）、山崎ゆきみ（海上保安試験研究センター）、若倉正英、和田有司（以上、産業技術総合研究所）、鶴田順（海上保安大学校）

・ 研究目的＝

近年大量に中国などへ輸出されてきた金属スクラップのうち、「雑品」と称される一部のスクラップについて、有害物質や使用済み家電などの混入により相手国から貨物が返送された事例が発生している。近年の経済情勢の変化によって輸出量の増減が著しい上、貨物船や船積み現場で火災事故も生じており、環境と災害上の問題が懸念されている。このような金属スクラップについて、有害物質および混合物の内容や、火災の発生・拡大の原因などの知見が不足し、適切な安全管理、行政指導を行えていない。このため、回収業者や解体業者などに対する調査、火災現場調査や火災実験などを通じて、有害物質管理・防災・資源回収の観点から、金属スクラップの発生・輸出実態の実態を解明し、適正管理方策を提示することを目的とする。あわせて、輸出入両国での法的規制の課題や、輸出の現状と国内リサイクル制度との関連性を検証し、改善策を提案する。

・ 研究方法＝

1 金属スクラップの組成調査・物質フロー分析

金属スクラップとして主に「その他の鉄スクラップ」に着目し、統計調査とヒアリング調査によって発生源と品目を分類する。輸出が予定されている金属スクラップのサンプリングを行い、品目調査・組成調査を実施して、混入品目の概要とともに、廃電気電子機器類（E-waste）、有害物質や火災と関係の深そうな品目の混入状況を調査する。また、E-waste やフロン類などの混入原因把握のための回収業者・中間取扱業者や解体業者に対するアンケート調査、中国での選別状況調査、金属スクラップ燃焼物の有害性を検証するためのダイオキシン類分析などを実施する。

2 火災発生原因の解明と対策

全国の船舶や陸上施設における金属スクラップ火災の発生現場を可能な範囲で調査し、火災発生の状況と原因を調査する。また、火災発生原因解明のための実験として、電池類などの火災危険性についての熱量計を用いた分析、金属スクラップを想定した各種物質の高さ16mからの落下試験、トナーカートリッジの危険性確認などの試験を行って火災危険性を分析する。また、大規

模な火災・消火実験を行い、燃焼拡大メカニズムの解明や消火手法の開発・提案を試みる。同時に、類似の事故事例解析データベースや関連情報を含む安全管理情報提供システムの構築を図る。

3 管理制度と施行状況に関する法的検討

循環資源の輸出入規制や国内のリサイクル制度などの観点から、金属スクラップに有害物質などが混入したり、国内リサイクルに回りにくい現状を分析する。まず、輸出規制としてバーゼル法を中心とした検討を行い、これらが金属スクラップに対する有害物質混入防止などについてどの程度実効性を有しているか検証し、その課題をまとめる。また、国内の廃棄物処理・リサイクル制度が金属スクラップの輸出、さらに有害物質や使用済み家電などの混入に与えている影響を考察する。以上の検討から、可能な管理方策を提言する。

以上の研究成果の発表を兼ねて関係行政機関を対象とした意見交換会を開催し、今後の対応を討議する。

・結果と考察＝

金属スクラップが含まれる「その他の鉄スクラップ (HS:720449900)」輸出量は、年間 360 万 t ～570 万 t 程度で推移した (図 1)。品目調査の結果、金属スクラップには概して産業系が多い一方、家電を含む家庭系が多いものもあった (図 2～5)。有害物質として E-waste の鉛がバーゼル法規制基準を超過する場合があったほか、エアコン内に CFC12 が残留していた例を確認した (表 1、図 6)。プラスチック系家電の機械選別ではダストが多く発生し、資源回収が課題であった (図 7)。回収業者などへのアンケート調査からは、収集運搬業の許可なく処理費を受けている回収業者があること、発生源として建築解体物が大きいことなどがわかった (図 8、表 2)。ケーブルなどの燃焼物のダイオキシン類濃度は非燃焼物に比べて高くなっていた。

2008 年 1 月～2010 年 12 月では陸上・船上で計 20 件程度の金属スクラップ火災が確認されている (表 3～4、図 9)。出火原因の特定は困難であるが、鉛バッテリーの短絡がみられたほか、多数の可燃物の混在を確認した。危険性評価試験では、リチウム電池の危険性が高いことを示した (表 5、図 10)。落下試験ではラジエーターで火花が発生、トナー粉の粉じん爆発の危険性などがわかった。消火実験の結果、泡による消火手法が有効であることが示唆された (図 11、表 6)。事故事例分析結果を含む安全管理情報提供システムを構築した。

バーゼル法の輸出規制の実効性を高めるためには、輸出の未遂罪や予備罪を創設すべきであることを議論した (表 7)。金属スクラップは国内の発生段階から各種規制を総合的に適用・執行することによって、輸出品目や関係業者の適正化を図る必要がある (表 8～9)。以上の研究成果を関係行政機関と共有し、省庁横断的な会議の継続開催を提起した。

・結論＝

品目調査の結果、輸出される金属スクラップには、家電を含む家庭系が多く混入されるものがあることがわかった。発生から輸出に至る取引を調査して、廃棄物処理法、フロン回収・破壊法が徹底されていない状況を明らかにした。鉛などの有害物質やフロン類の回収に課題があったほか、プラスチック系家電などの資源回収も課題であった。ケーブルなどが燃焼してダイオキシン類が発生している可能性を示唆した。

2008 年 1 月～2011 年 3 月では陸上・船上で計 21 件の金属スクラップ火災が確認された。現場での出火原因の特定は一般に困難であるが、鉛バッテリー、リチウム電池、トナー粉などの危険

性や金属スクラップ積込み時の衝撃が着火源になる可能性を指摘した。泡による消火手法が有効であることが示唆された。また、安全管理情報提供システムを構築した。

国内の発生から輸出段階までバーゼル法、廃棄物処理法などの規制を総合的に適用・執行することによって、輸出品目や関係業者の適正化を図る必要性を議論した。以上の研究成果を関係行政機関と共有し、省庁横断的な会議の継続開催を提起した。

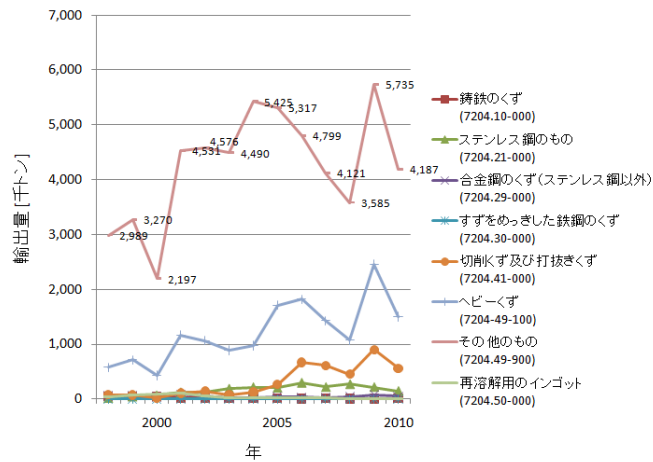


図1 鉄スクラップの種類別輸出货量



第1回



第2回



第3回 (A スクラップ)



第3回 (B スクラップ)

図2 品目調査を行った金属スクラップ

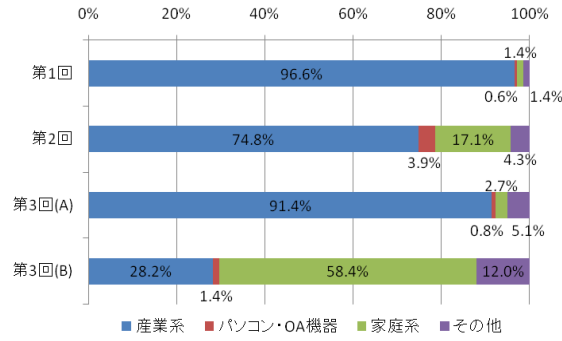


図3 品目調査の結果（大分類）

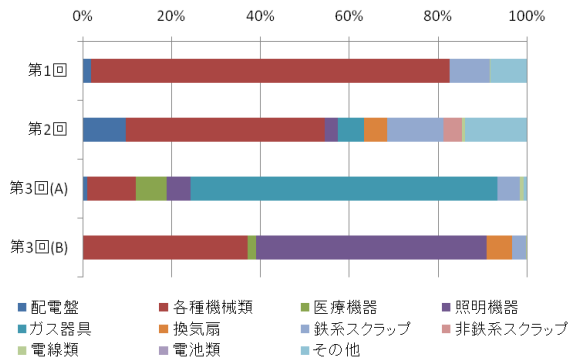


図4 品目調査の結果（中分類、産業系）

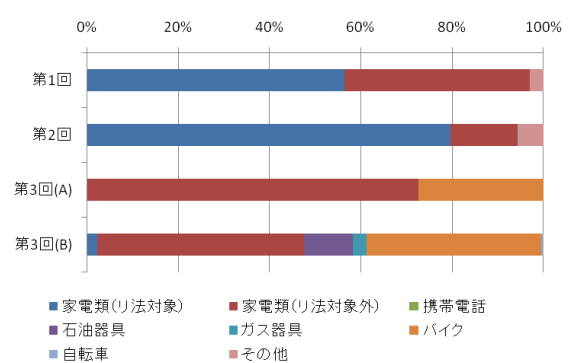


図5 品目調査の結果（中分類、家庭系）

表1 対象部品などに対する含有量試験結果

単位：mg/kg（乾物換算値）

| 対象部品等 | 含有されていた品目 | Hg | Cd | Pb | Cr ⁶⁺ | As | Se | Sb | Cu | Zn |
|------------|------------|---------|---------|---------|------------------|---------|---------|----------|---------|--------|
| 基板 | デスクトップパソコン | 0.03 | 0.1未満 | 7,600 | 1未満 | 16 | 0.5未満 | 4,100 | 220,000 | 39,000 |
| | ビデオデッキ | 0.01未満 | 0.1未満 | 10,000 | 1未満 | 13 | 0.5未満 | 1,800 | 140,000 | 16,000 |
| | ストーブ | 0.01未満 | 0.1未満 | 8,500 | 1未満 | 9.8 | 0.5未満 | 880 | 170,000 | 7,900 |
| | 電話機 | 0.01未満 | 0.1未満 | 12,000 | 1未満 | 7.7 | 0.5未満 | 2,800 | 130,000 | 3,800 |
| 電線被覆 | ガス湯沸かし器 | 0.01 | 150 | 9,000 | 1未満 | 3.9 | 1.0 | 390 | 1,100 | 650 |
| | シンセサイザー | 0.02 | 38 | 10,000 | 1未満 | 0.5未満 | 0.5未満 | 170 | 260 | 27 |
| | 照明機器（蛍光灯） | 0.07 | 0.6 | 18,000 | 1未満 | 1.8 | 0.5未満 | 38 | 110 | 19 |
| | 電飾 | 0.03 | 0.5 | 10,000 | 1未満 | 1.5 | 0.5未満 | 86 | 140 | 10 |
| 熱交換器（鉛メッキ） | ガス湯沸かし器 | 0.03 | 0.1未満 | 160,000 | 1未満 | 4.8 | 0.5未満 | 620 | 780,000 | 8,400 |
| コネクタ | 照明機器（蛍光灯） | 0.09 | 2.0 | 440,000 | 1未満 | 16 | 0.5未満 | 190 | 130,000 | 22,000 |
| バックライト | ワープロ | 250 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 液晶ガラス | 同上 | 0.01未満 | 0.1未満 | 7 | 1未満 | 0.5未満 | 0.5未満 | 19 | 39 | 2 |
| 一次ダスト | ガス調理器具・部材 | 5.0 | 19 | 3,100 | 8 | 11 | 0.5未満 | 1,500 | 17,000 | 34,000 |
| | プラスチック系家電 | 1.3 | 13 | 1,500 | 1未満 | 3.5 | 0.5未満 | 1,200 | 14,000 | 4,500 |
| | AV機器・ラジカセ | 0.60 | 13 | 730 | 1未満 | 0.9 | 0.5未満 | 82 | 1,900 | 2,200 |
| 二次ダスト | ガス調理器具・部材 | 0.14 | 240 | 1,900 | 1未満 | 6.3 | 0.5未満 | 3,300 | 64,000 | 11,000 |
| | プラスチック系家電 | 0.18 | 2.0 | 1,800 | 1未満 | 3.0 | 0.5未満 | 950 | 20,000 | 610 |
| | AV機器・ラジカセ | 0.12 | 1.3 | 1,300 | 1未満 | 1.9 | 0.5未満 | 430 | 13,000 | 1,400 |
| 含有量基準値 | mg/kg | 1,000未満 | 1,000未満 | 1,000未満 | 1,000未満 | 1,000未満 | 1,000未満 | 10,000未満 | - | - |
| | % | 0.1未満 | 0.1未満 | 0.1未満 | 0.1未満 | 0.1未満 | 0.1未満 | 1未満 | - | - |

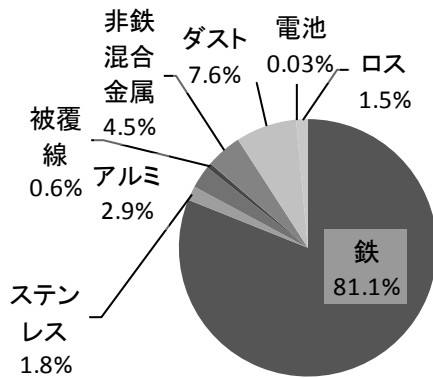


(1) エアコン

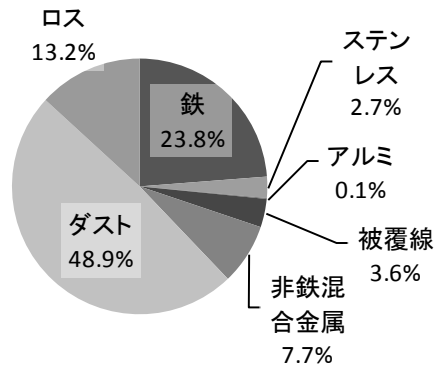


(2) コンプレッサー内の残留ガスの
サンプリング

図6 フロン類を検出した旧式のエアコン



(1) ガス調理器具・部材
(総重量 1,440kg、426 個、A)



(2) プラスチック系家電
(総重量 324kg = 電気ポット 9.4%・炊飯器 63.4%・掃除機 27.1%、電気ポット 16 個・炊飯器 64 個・掃除機は個数計数不可、B)

図7 第3回品目調査で選別された2品目に対する組成調査結果
(A、BはそれぞれAスクラップ、Bスクラップ)

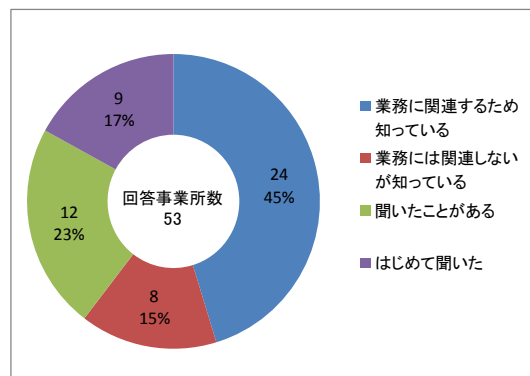


図8 回収業者に対するアンケート調査による
「廃棄物の収集運搬に自治体の許可が必要」の認知度

表2 解体業者に対するアンケート結果による、鉄・非鉄系スクラップの発生原単位

| | | 非鉄系 | | | | 鉄骨・鉄筋等の鉄スクラップ |
|---------|----------------------|---------|---------|---------|-----------|---------------|
| | | 銅線 | アルミ | ステンレス | その他 | |
| ①戸建住宅 | 撤去重量kg | 13,741 | 190,285 | 54,713 | 209,514 | 806,854 |
| | m ² 当たりkg | 0.2 | 2.4 | 0.7 | 2.6 | 10.1 |
| ②共同住宅 | 撤去重量 | 16,696 | 112,144 | 9,145 | 454,266 | 4,521,632 |
| | m ² 当たりkg | 0.2 | 1.4 | 0.1 | 5.6 | 55.5 |
| ③事務所ビル | 撤去重量 | 51,990 | 155,999 | 31,995 | 10,352 | 5,723,778 |
| | m ² 当たりkg | 0.6 | 1.8 | 0.4 | 0.1 | 65.8 |
| ④公舎・学校 | 撤去重量 | 8,552 | 91,089 | 34,326 | 13,155 | 5,041,068 |
| | m ² 当たりkg | 0.1 | 0.9 | 0.3 | 0.1 | 48.7 |
| ⑤病院 | 撤去重量 | 54,820 | 25,300 | 12,120 | 0 | 2,553,120 |
| | m ² 当たりkg | 2.8 | 1.3 | 0.6 | 0.0 | 128.2 |
| ⑥ホテル | 撤去重量 | 10,500 | 11,200 | 5,250 | 0 | 1,384,094 |
| | m ² 当たりkg | 5.0 | 5.3 | 2.5 | 0.0 | 150.3 |
| ⑦工場 | 撤去重量 | 19,840 | 55,841 | 17,260 | 17,300 | 3,597,420 |
| | m ² 当たりkg | 0.4 | 1.2 | 0.4 | 0.4 | 79.9 |
| ⑧倉庫 | 撤去重量 | 2,647 | 13,863 | 7,985 | 22,870 | 1,409,060 |
| | m ² 当たりkg | 0.1 | 0.5 | 0.3 | 0.9 | 55.6 |
| ⑨その他 | 撤去重量 | 62,793 | 58,410 | 23,205 | 1,791,770 | 10,016,120 |
| | m ² 当たりkg | 0.9 | 0.8 | 0.3 | 24.5 | 137.1 |
| 店舗 | 撤去重量 | 56,397 | 2,002 | 655 | 2,540 | 5,716,660 |
| | m ² 当たりkg | 2.0 | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 206.4 |
| 店舗併用住宅 | 撤去重量 | 247 | 6,160 | 3,400 | 0 | 61,060 |
| | m ² 当たりkg | 0.1 | 2.7 | 1.5 | 0.0 | 26.5 |
| スポーツクラブ | 撤去重量 | 0 | 1,600 | 0 | 0 | 344,900 |
| | m ² 当たりkg | 0 | 0.3 | 0 | 0 | 74.7 |
| 合計 | 撤去重量 | 241,580 | 714,311 | 196,229 | 2,519,227 | 34,678,652 |
| | m ² 当たりkg | 0.5 | 1.3 | 0.4 | 4.7 | 65.3 |

表3 金属スクラップ積載船舶の火災件数

| 年 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 船舶火災発生件数 (海上保安庁調べ) | 102 | 122 | 138 | 118 | 88 | 97 | 86 | 90 | — |
| 貨物船の火災件数 | 4 | 11 | 12 | 16 | 13 | 13 | 14 | 8 | — |
| スクラップ積載船舶 火災件数 | 1 | 1 | 5 | 3 | 7 | 5 | 3 | 1 | — |

注：2010年は未集計

表4 陸上施設等における金属スクラップ火災の発生確認件数

| 年 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 |
|---------------------|------|------|------|------|------|
| 陸上施設等の金属スクラップ火災確認件数 | 3 | 1 | 2 | 3 | 4 |



火災の状況



高発泡タイプ泡消火の状況



こぼれたトナー



鉛バッテリー (UPS)

図9 金属スクラップ火災発生現場と見つかった混在物 (2010年4月、東京港での火災)

表5 CHETAH7.2によるリチウム電池、リチウムイオン電池の危険性評価結果

| Electrolyte | Maximum heat of decomposition (kcal/g) | Fuel value - Heat of decomposition (kcal/g) | Oxygen balance (%) | Y |
|--------------------|--|---|--------------------|--------------|
| 1 (Li-battery) | -0.438 (Medium) | -3.199 (Medium) | -106.81 (High) | 15.949 (Low) |
| 2 (Li-battery) | -0.467 (Medium) | -4.319 (Medium) | -144.51 (Medium) | 16.624 (Low) |
| 3 (Li-ion battery) | -0.412 (Medium) | -0.267 (Medium) | -90.841 (High) | 14.984 (Low) |

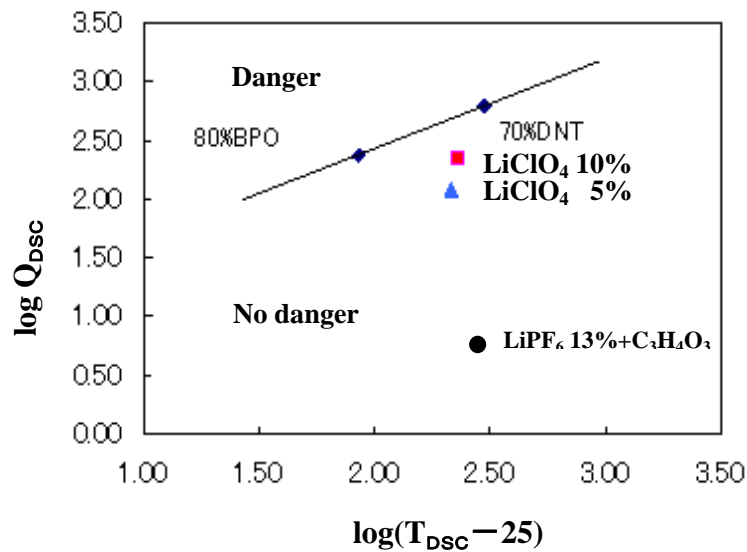


図10 リチウム電池、リチウムイオン電池電解液の危険性評価 (TDSC-Onset temperature, QDSC - heat of reaction)

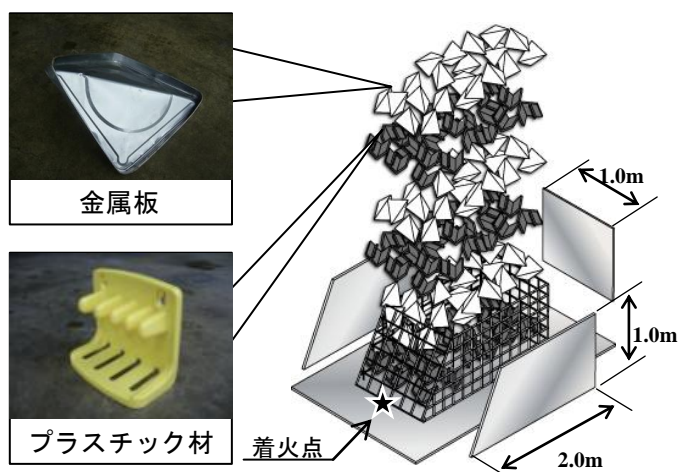


図 11 火災模型

表 6 消火実験結果

| 消火剤 | 消火結果 | 放射時間 | 使用水量 | 水流量 |
|------|------|--------|------|----------|
| 水 | × | 300sec | 562L | 112L/min |
| 泡水溶液 | × | 300sec | 505L | 101L/min |
| Dry泡 | ○ | 71sec | 130L | 110L/min |

表 7 現行の輸出規制関係法の解釈の整理

| | 「輸出」の解釈 | 「輸出の未遂」の解釈 | 「輸出の予備」の解釈 |
|---|-------------------------------------|---|---|
| パーゼル法 輸出等において 経産大臣の承認 環境大臣の確認 | 外国向け貨物を船舶等に 積み込んだ時点 | 「輸出の未遂罪」 不採用 | 「輸出の予備罪」 不採用 |
| 外為法 輸出等において 経産大臣の承認 | 同上 | 外国向け貨物を保税地域 に搬入した時点 | -- |
| 関税法 輸出等において 税関長の許可 | 外国に仕向けられた船舶 等に外国向け貨物を積み 込んだ時点 | 外国に仕向けられた船舶 等に外国向け貨物の積み 込みを開始した時点 | 外国向け貨物を保税地域 に搬入した時点 |
| 廃棄物処理法 環境大臣の確認 | 船舶等に廃棄物を 積み込んだ時点 | 通関手続のために 輸出申告を行った時点 | 無確認輸出をする目的で 搬入予定地域に廃棄物を 搬入する等した時点 |

表 8 個別品目に対する適正管理方策の検討例

| | 現在 | 短期的対応案 | 中長期的対応案 | 課題 |
|-----------------|--|------------|----------------------------|-----------|
| ブラウン管テレビ・モニター | 混入は少ない。中古テレビは輸出規制 | 中古モニターも追加 | | |
| 鉛バッテリー | 混入は少ない。中古鉛バッテリーは輸出規制 | | | |
| フロン含有製品 | 回収・処理の義務あり。含有のままのエアコン、及び放出済みとみられるエアコンなどが多い | フロン処理の確認追加 | 家庭用エアコンを含め、フロン回収・破壊法の広範な適用 | 排出側の管理必要 |
| 家電 4 品目 | エアコン、洗濯機が多い。黒モーターも多数 | トレーサビリティ強化 | | |
| 家電 4 品目以外 | 混入多数 | | 回収システム整備 | |
| 家庭系スクラップ (家電含む) | 混入多数 | | バーゼル法適用検討 | 抑止効果期待 |
| 有害物質確認 | ほぼ鉛のみで判断 | | | 変更困難 |
| 電池 | 混入が見られる。製品からの取り外しが困難なりチウム電池も多い。 | 二次電池の回収促進 | 回収・取り外しの促進、設計変更 | EUで取り外し規定 |
| トナーカートリッジ | 混入が見られる | 自主回収の促進 | 回収義務 | |

表 9 関係業者に対する適正管理方策の検討例

| | 現在 | 短期的対応案 | 中長期的対応案 | 課題 |
|---------------|-----------------------|---------------------------|-----------------|----------------------|
| 発生元 (家庭・事業者) | | フロン含有製品ほか有害物質について、周知徹底 | フロン回収・破壊法の適用検討 | |
| 回収業者 | 古物商 (または金属くず商*) のみが多い | 料金引き取りの場合の廃棄物処理法違反の周知、告発 | 古物商と収集運搬業の協調的運用 | 「専ら物」としての回収業者は少ないもよう |
| 中間処理 | たまに不適切破碎 | 見回り徹底 | | |
| 輸出業者 (荷主・ヤード) | 中国への登録の名義貸しが多い | 消火設備設置、保管方法改善、ほか防火管理計画の締結 | | |
| 通関業者 | | HS コード確認徹底 | | |

* 金属くず商の営業許可が必要な都道府県：北海道、茨城県、福井県、静岡県、長野県、大阪府、兵庫県、奈良県、和歌山県、滋賀県、島根県、岡山県、広島県、山口県、徳島県

英語概要

- ・ 研究課題名 =

“Development of appropriate management measures for mixed metal scrap export from the perspective of hazardous materials control, fire prevention and material recovery”

- ・ 研究代表者名及び所属 =

Atsushi Terazono (National Institute for Environmental Studies)

- ・ 共同研究者名及び所属 =

Aya Yoshida, Kenichi Nakajima (National Institute for Environmental Studies), Shinsuke Murakami (University of Tokyo), Hiroshi Koseki, Yuko Saso, Yusaku Iwata (National Research Institute of Fire and Disaster), Yukimi Yamazaki (Coast Guard Research Center), Masahide Wakakura, Yuji Wada (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology), Jun Tsuruta (Coast Guard Academy)

- ・ 要旨 =

Based on our items examination, we clarified that mixed metal scrap for export might contain home appliances and other household scrap. According to our survey on the transaction from generation to export stage, Waste Management Law and Fluorocarbon Recovery and Destruction Law are not well enforced regarding mixed metal scrap. Challenges include hazardous substances control such as lead, appropriate collection of CFCs, and material recovery from plastic-rich home appliances. It is considered that burning of cables may cause PCDD/DFs.

During the period from 2008 to 2010, approximately 20 cases of the fire accident of mixed metal scrap confirmed on the ground and vessel. Identification of on-site fire cause is generally hard, but we could indicate various possible dangerous materials including the lead acid batteries, lithium batteries and toner powders, and possible dangerous process such as physical impacts when loading scrap into the vessel. We also showed the effectiveness of Dry foam fire extinguishing. The Safety Management Information System for Mixed Metal Scrap has been developed.

From the legal perspectives, we discussed the need for proper control of mixed metal scrap, applying and enforcing comprehensively various laws and regulations such as Basel Law, Waste Management Law and Customs Law from the stage of its generation to exportation. We shared our research outcomes at the inter-ministerial meeting and proposed future communication in the government side.

- ・ キーワード (5 語以内) =

Mixed metal scrap, items examination, fire, battery, Basel Law