

家庭系粗大ごみ中に含まれる鉛量の推定

関戸知雄¹・田中信壽²・松藤敏彦²・松尾孝之³

¹ 正会員 工修 北海道大学大学院工学研究科環境資源工学専攻 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

² 正会員 工博 北海道大学大学院工学研究科環境資源工学専攻 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

³ 正会員 北海道大学大学院工学研究科環境資源工学専攻 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

粗大ごみとして廃棄された製品(粗大廃棄製品)について鉛の溶出試験を行ない、家電製品の電子基板が高い溶出濃度を示すことを明らかにした。次に、粗大ごみ中の5つの廃棄家電製品の鉛含有量と溶出試験、および7つの廃棄製品の鉛含有量を測定し、これらと文献値を用いて、粗大ごみ中鉛含有総量を求め、その含有総量に対する各廃棄製品の寄与率(≡その製品に含まれる鉛含有量/粗大ごみ中の鉛含有総量)を推定した。その結果、粗大ごみ中総鉛含有量は2,048g/tであり、その内、約90%がテレビに由来していた。さらに、破碎選別施設および焼却施設における鉛の物質フローを推定し、埋立地に排出される鉛量の約7割が、テレビをごみ中から除くことで削減できることを示した。

Key Words : residential bulky waste, lead, home appliances, leaching test

1. はじめに

家庭系ごみは、多くの場合何らかの中間処理によって減容・無害化・資源物回収され、これらの残渣が最終処分場に運ばれる。今後は、可燃性のごみを焼却したときの残渣と、粗大・不燃ごみを破碎して得られる破碎不燃残渣(不燃残渣と呼ぶ)が主要な埋立残渣になると思われる。

筆者らは、これまでに不燃残渣の物理組成や¹⁾、不燃残渣中の有害重金属含有量と溶出量²⁾について研究を行い、成果を発表してきた。特に重金属の調査では、振とう溶出試験(環境庁告示13号)を行うと、鉛・亜鉛・カドミウム・銅などの有害重金属が検出され、鉛に関しては、産業廃棄物の埋立基準である0.3mg/Lの濃度を超える試料が多いことを明らかにした。また、カラムを用いた不燃残渣埋立模擬実験では、鉛濃度0.1mg/L以上の浸出水が発生することを明らかにした²⁾。このような性状を有する不燃残渣の埋立処分は、埋立地周辺環境(河川や地下水)の汚染につながる可能性がある。

筆者らは、不燃残渣を埋立処分したときの環境汚染リスクを軽減させるためには、処理対象のごみ中から、有害物質(例えば鉛)を含む製品をあらかじめ処理対象ごみから除去することが最も有効な手段であると考えている。そこで本論文では、粗大ごみ中に含ま

れる有害物質として鉛を取り上げ、由来となる製品を特定することを目的とした。調査対象施設として、家庭系粗大ごみを処理しているS市内にあるA破碎選別施設を選び、搬入される粗大廃棄製品を採取し、振とう溶出試験を行い、どのような製品が高濃度に鉛を溶出する可能性があるかを調べた。さらに、粗大ごみ中の鉛含有量を調べるため、粗大ごみの組成、および各組成(製品)中の鉛含有量を調査し、破碎選別施設における鉛の物質フローを推定し、特定の製品を除去することでどの程度環境中へ排出される鉛量を削減できるかを推定した。

2. 家庭から排出される鉛に関する既往の研究

家庭から排出される鉛量の推定に関する研究を表-1に示した。

占部ら³⁾は、家庭系ごみ中に含まれている重金属の由来を明らかにするために、可燃ごみ、分別ごみ(不燃ごみおよび焼却不適ごみ)の物理組成及び組成別重金属濃度を調べた。可燃ごみ、分別ごみをそれぞれ11種類に分類し、それぞれの組成の鉛含有量を分析した。その結果、可燃ごみ中に134g/t-ごみ、分別ごみ中には283g/t-ごみの鉛が含有されているとした。可燃ごみでは紙から(寄与率40.2%)、分別ごみは鉄か

表-1 都市ごみ中鉛含有量 (単位: g/t-乾ごみ)

| | 可燃 ごみ | 不燃 ごみ | 粗大 ごみ | 全体 | 文献番号 |
|-------------|----------|----------|----------|-----|--------------------|
| 占部ら | 134 | 283 | | | 3 (1977) |
| 植田 | 93 | 15 | 195 | 303 | 11 (1983) |
| 鈴木ら | | 300 | | | 5(1994) 6(1998) |
| H. Rigo | 152 | 202 | | | 8 (1994) |
| 中村 | | 12.7 | | | 9 (1994) |
| 廃棄物研究 財団 | | 74.6 | | | 10 (1994) |
| 本研究 | | | 2,048 | | |

表-2 A破砕選別施設概要

| 処理ごみ | 家庭系粗大ごみ 事業系粗大ごみ |
|------|--|
| 選別機 | 磁選機 振動ふるい (ふるい目5cm) |
| 選別残渣 | 鉄 破砕不燃残渣 (埋立地へ) 破砕可燃残渣 (焼却炉へ) |
| 破砕機 | せん断式破砕機 (150t/5h) 縦型回転式破砕機 (50t/5h) |

ら (寄与率 59.0%) の寄与がもっとも大きかったとしている。その後、廃棄される前の製品中鉛含有量を調べている⁹⁾。紙製品の鉛含有量は、ごみ中の紙に比べて低く、他から汚染された可能性があったと考察している。またごみ中の鉄を想定し、食品容器用の缶の鉛含有量を分析し、印刷顔料や接着部のはんだに由来すると推定したが、ごみ中の鉛含有量との対応はとれていない。

鈴木ら⁹⁾は、家庭から排出されるごみ中に鉛蓄電池が混入し、焼却処理されるため焼却灰中に鉛が多いということを、統計的手法によるモデル計算から導いた。鉛蓄電池は、多くの場合一般廃棄物として排出することが禁じられているが、重量の約8割が鉛であり、仮に排出することがあれば家庭系ごみ中の鉛含有量に大きな寄与を与えることが予想される。一方、Rigoら⁷⁾は、焼却ごみ中に通常の焼却灰鉛負荷の5倍量に相当する量の鉛を含む鉛蓄電池を投入したが、灰中やガス中の鉛濃度に変化がなかったと報告している。その理由として、焼却炉内で溶解した鉛が火格子を通り、下部のホッパーの壁に付着して焼却灰として排出されなかったためと推定している。また、Rigo and Chandler⁸⁾は、焼却処理場に搬入される家庭系ごみを組成ごとに分類し、重金属含有量を測定した。その結果、紙類に含まれる鉛の寄与が大きいことを示した。しかし、彼らのごみの分類によると粗大ごみは調査対象に含まれていないと思われる。

中村は⁹⁾、資源ごみ (空き缶) 及び大型ごみ (粗大ごみ) を除く、家庭から排出される鉛のフローを調査した。家庭から排出されるごみの組成調査を行い、59種の廃棄製品中の鉛含有量を測定した。その結果、家庭ごみ中には12.7g/t-乾ごみの鉛が含まれているとしたが、これは焼却処理施設から焼却灰と飛灰に伴って排出される鉛量と比べると、かなり小さい量であったと述べている。廃棄物研究財団¹⁰⁾では、さらにこの研究を進め、この差は、ごみの組成分析時には確認することができなかった小型の鉛蓄電池や絵の具のチューブなど、少量排出だが、高濃度で鉛を含有する廃棄製品

に由来していると推定した。その結果、74.6g/t-乾ごみの鉛が家庭からごみとして排出されると推定した。

植田¹¹⁾は、家庭1世帯あたり排出する廃棄物の製品別組成を家計調査年報 (昭和52年) を用いて推定した。さらに、廃棄製品中鉛含有量を文献値および実測値を用いて推定し、ごみに伴って排出される鉛量を推定した。その結果、ごみ中には303g/tの鉛が含まれていると報告した。しかし、植田の調査は20年以上前のデータを用いて行われたものであり、ごみ中の鉛は家電製品の寄与がもっとも大きいと結論づけているが、家電製品中の鉛含有量を全て同じ数値としていること等、含有量推定に不十分な点がある。

また、粗大ごみとして廃棄されると予想される家電製品の鉛含有量、溶出量に関する研究もいくつか行われているが^{12), 13)}、粗大ごみ全体の中に占める、それらの製品の寄与についてはふれられていない。

このように家庭から排出されるごみ中鉛含有量に関する研究はいくつか行われているが、粗大ごみ中鉛の由来となる製品の特定につながる製品ごとの鉛排出寄与率を推定した研究はない。

3. 調査方法

(1) A破砕選別施設に搬入された廃棄製品の溶出試験

a) 試料採取方法

調査対象施設 (A施設) はS市内にあり、その概要を表-2に示す。試料採取は、1997年6月6日に行った。この施設では、搬入された家庭系粗大ごみを手選別により不燃性と可燃性に分別し、可燃性粗大ごみはせん断式破砕機で破砕後焼却され、不燃性粗大ごみは回転式破砕機で破砕されている。試料採取は施設内に貯留されていた不燃性粗大ごみから行った。鉛を含有した部品 (基板など) を含むと思われる家電製品については、なるべく2つ以上採取を行い、その他の製品は、貯留されている場所の一方からプラスチック製品、金属製品、木製製品を数種取り出し試料とし、合

計34個(26種)を採取した。大型製品(冷蔵庫、洗濯機等)はその場でいくつかの部品に分解し、それぞれの一部分を切り取って持ち帰った。なお、A施設に搬入される粗大ごみはパッカー車によってつぶされるため、ほとんどの製品が半壊状態であった。持ち帰った試料は約50℃で乾燥し、粉碎可能なもの(木や基板等)は2mm以下に粉碎し、それ以外は1cm角に切断したものを溶出試験用試料とした。

b) 溶出試験方法

溶出試験方法は告示第13号に基づいて行った。200mL三角フラスコに試料約10gおよび固液比が1:10になるよう蒸留水を入れ、毎分200回、振れ幅4~5cmで6時間水平振とうさせた。振とう後1.0μmのグラスファイバーフィルターでろ過を行い、適当な倍率に1%硝酸で希釈し、フレームレス原子吸光光度計(日立Z-8200シリーズ偏光ゼーマン)で濃度を測定した。ただし、重量が軽すぎる、あるいは重すぎるため、固液比1:10では振とうが不適切と思われる試料(例えば断熱材に用いられる発泡プラスチックなど)に対しては、適宜固液比を調整して行った。

c) SEM-EDXを用いた土砂試料粒子元素分析方法

粗大ごみを貯留しているステージ上の土砂試料について、粒子ごとの元素組成分析を、SEM-EDX(エネルギー分散型X線分光器付走査型電子顕微鏡(KeveX SIGMA3 attached Hitachi S-3200N))を用いて行った。分析に用いた試料は、鉛を含む粒子を効率よく探すために、0.5~0.25mm、0.25~0.125mm、0.125mm以下にふるい分けし、それぞれの画分をテトラプロモエチレン(比重2.9)を用いて重液選別を行い、沈んだ粒子を分析に用いた。これは、土砂試料中には、アルミやアルカリ金属類の化合物など、軽金属の粒子が多く含まれていると予想されたため、重金属の粒子のみを取り出すために行った操作である。各ふるい画分の重液選別によって沈んだ粒子約100粒ずつを無作為に選り、それぞれについてEDXによる元素分析を行った。加速電圧は、20kV、解析時間は100秒で行った。

(2) 粗大廃棄製品中の鉛含有量調査

a) 調査対象製品および採取方法

多種の素材から構成され、部品によって鉛含有量に大きな差があると思われる家電製品について、部品ごとに鉛含有量を測定し、製品全体の鉛濃度を推定した。

含有量調査を行った家電製品は、冷蔵庫、テレビ(14型)、ビデオデッキ、洗濯機(2槽式)、ステレオセット(アンプ、チューナー、CDプレーヤー)で、これらは家庭で不要となったものを直接譲り受けた。家電製品以外には、衣服(紺色のジャンパー)、カー

ペット、ガスコンロ、カラーボックス、自転車、ガラス、パイプいすの鉛含有量測定を行い、これらは、家庭から廃棄され、市による収集が行われる前に採取を行った。

b) 試料中鉛含有量測定

家電製品は、各製品を可能な限りドライバーなどの工具を用いて部品ごとに分解し、各部品の鉛含有量を測定した。分解あるいは切断困難な部品(冷蔵庫のコンプレッサー、洗濯機のモーター等)で、素材、あるいは添加剤等に鉛が使われていないと思われる部品の鉛含有量は無視した。また、重量割合が小さい部品(ねじ、スプリングなど)は、同じ素材で測定を行った部品の含有量を採用して算出した。家電製品以外の製品については、一部を切断し試料とした。

家電製品中のプラスチック部品、および衣類、カーペット、カラーボックスは、それぞれ2~10gを切り取り、電気炉で600℃、約2時間燃焼させた後コニカルビーカーに移し、1:1の硝酸と塩酸の混酸を40mL加えて時計皿をかぶせ、約100℃のホットプレートで1日以上加熱して酸分解した。家電製品の金属部品および自転車(フレーム部)、ガスコンロ(外装部)、ガラス、いす(パイプ部)は、それぞれ1~4gを切り取り、硝酸、塩酸の1:1混酸を加えて酸分解を行った。テレビのブラウン管、ステレオセットおよびビデオのデジタル表示板は、ボールミルにより粉碎し、1gをテフロンビーカーに取り、過塩素酸5mL、次いでフッ化水素酸を合計20mL加え、約100℃ホットプレートで十分に加熱した後内容物を蒸発乾固させた。放冷後1:1の塩酸と硝酸を加え、十分加熱した後、水約30mLを加え時計皿をかぶせたまま加熱し内容物を完全に溶解させた。

それぞれの溶解液を秤量・希釈し検液とした。測定は、原子吸光光度計を用いて濃度を測定した。濃度の算出には検量線法を用いた。外装の鉄板等、金属部品は蛍光X線装置(蛍光X線元素分析装置(MESA-500, HORIBA))を用いて金属含有量を測定した。

なお、含有量測定結果から鉛を多く含んでいることがわかった部品を中心に、3.(1)b)で述べた方法で溶出試験も行った。ビデオとステレオのデジタル表示板、テレビのブラウン管、電子基板はボールミルによる粉碎試料、その他は、約1cm角に裁断したものを試料とした。

4. 結果

- (1) A施設で採取した粗大廃棄製品などの鉛溶出濃度
A施設で採取した試料からの鉛の溶出濃度測定結果

表-3 A破砕選別施設の廃棄製品溶出試験結果

| 製品名 | 部品名 | 溶出濃度 | pH |
|-------------------|------------------------|----------------|------|
| いす | 座椅子カバー(布、赤) | # 0.001 | 5.1 |
| | 足(プラスチック、黒) | ND | 6.9 |
| | 座席内側カバー (ビニールレザー、黒) | 0.166 | 6.4 |
| | スポンジ | # 0.018 | 7.2 |
| | くす布 | # 0.140 | 6.4 |
| エアフィルター | フィルター(紙) | 0.000 | 5.9 |
| | 外装(プラスチック、灰色) | 0.003 | 8.7 |
| オープンレンジ1 (扉なし) | 配線コード+スイッチ | 0.017 | 9.2 |
| | 電子基板+プラスチック(黒) | 0.140 | 8.5 |
| | モーター(ランプ付き) | 0.078 | 9.7 |
| オープンレンジ2(黄緑) | 断熱材 | # ND | 10.4 |
| | 電子基板 | 1.090 | 7.0 |
| | (パネル部、スイッチ、配線コード) | 0.010 | 7.1 |
| | ドア部(プラスチック、黒) | 0.087 | 9.7 |
| | ドア部(パネルガラス) | 0.134 | 8.9 |
| お風呂 | プラスチック(黒、赤) | 0.001 | 9.2 |
| | 電子基板+プラスチック(黒) | 0.045 | 9.5 |
| ガスレンジ | パネル部(スチール) | ND | 7.5 |
| | タン | 0.091 | 7.3 |
| 岩板(木、タン) | 木 | 0.076 | 6.1 |
| | 木の枝 | 0.001 | 6.8 |
| 車のおもちゃ(幼児用) | プラスチック(黄) | 0.006 | 7.8 |
| | 車3乾電池 | ND | 7.2 |
| | 車3乾電池(破砕) | 0.018 | 8.2 |
| | タイヤ部(プラスチック、黒) | 0.062 | 7.1 |
| | 電子基板 | ND | 7.0 |
| 車用ワックス | スポンジ部 | 0.038 | 7.7 |
| | タイヤ(ゴム) | 0.023 | 7.8 |
| 自転車(黄) | 電子基板+豆ランプ | ND | 7.9 |
| | 内ぶた(アルミ) | 1.208 | 6.4 |
| 照明器具(蛍光管なし) | 電子基板+配線コード | # 0.026 | 8.2 |
| | +配線(破砕) | 0.001 | 7.8 |
| | 断熱材(黄) | 0.091 | 8.5 |
| | ふた(プラスチック) | ND | 7.0 |
| | 配線コード(黒) | 0.249 | 7.1 |
| ステレオチューナー(黒) | 外装(プラスチック、黒) | 0.016 | 8.8 |
| | 電子基板 | 0.405 | 8.8 |
| スノーダンプ(赤色) | 本体(プラスチック、赤) | 0.026 | 8.7 |
| 石油ストーブ1(茶色) | スイッチ、配線コード | ND | 6.0 |
| | ボース(黒ゴム) | ND | 9.7 |
| 石油ストーブ2(白) | 外装、芯等 | 0.002 | 6.9 |
| | ボース | # 0.020 | 7.1 |
| 洗濯機1(黄緑) | 発泡プラスチック(水色) | ND | 7.6 |
| | 外装(スチール、緑) | 0.252 | 8.3 |
| | 配線コード類 | 0.024 | 7.0 |
| | プラスチック(緑) | ND | 7.3 |
| | プラスチック(白) | 0.068 | 9.1 |
| 洗濯機2 | 配線コード+スイッチ | ND | 7.1 |
| | パネル部(アルミ、白) | 0.002 | 9.6 |
| | プラスチック(白、青) | 0.262 | 7.8 |
| 掃除機1(ボースなし) | 配線コード | # 0.340 | 6.8 |
| | フィルター(スポンジ) | 0.004 | 8.8 |
| 掃除機2(半壊) | 本体(プラスチック、灰色、白) | 0.008 | 7.6 |
| | 配線コード+電子基板 | 0.013 | 6.4 |
| 段ボール | 電子基板 | 0.005 | 6.3 |
| | 本体(プラスチック、水色) | 0.007 | 7.4 |
| 灯油タンク18L | 外装(プラスチック) | ND | 8.2 |
| | 内装(スチール) | ND | 8.4 |
| | 内装(プラスチック) | 0.313 | 8.3 |
| ビデオデッキ1(原型あり) | 電子基板 | 0.193 | 8.5 |
| | ヘッド部 | 0.190 | 8.3 |
| ビデオデッキ2(半壊) | (電子基板、配線コード) | ND | 6.6 |
| | プラスチック(赤) | 0.046 | 8.6 |
| ビデオデッキ3 | 電子基板 | ND | 8.4 |
| | 古筆 | 0.004 | 8.4 |
| プラスチック片1(薄緑色) | 赤、ピンク、白等 | 0.012 | 6.9 |
| | プラスチック片2(緑色) | 0.864 | 6.0 |
| ベニゴの付着した木村 | 赤、黄 | 0.003 | 8.6 |
| | 湯沸かし器 | 芯の周りのカバー(スチール) | ND |
| 冷蔵庫1(前扉なし) | ラジエーター(銀色) | ND | 9.1 |
| | 外装(スチール) | # 0.043 | 7.7 |
| | 断熱材 | 0.005 | 7.3 |
| 冷蔵庫2(前扉なし) | 内装(プラスチック、白) | 1.015 | 8.1 |
| | 電子基板+配線コード | ND | 8.5 |
| | ゴム(黒) | 0.003 | 9.6 |
| | ドア部のクッションゴム(白) | ND | 7.6 |
| | 外装(スチール、白) | 0.076 | 8.0 |
| 銅パイプ(裏のパネル部) | 配線コード | ND | 8.3 |
| | 銅パイプ(裏のパネル部) | 0.001 | 9.0 |
| | 外装(プラスチック、白) | ND | 6.7 |
| | 断熱材 | # 0.454 | 7.0 |
| | 土砂 | [mg/L] | |

注1: NDは不検出
注2: #は、固(S)液(L)比をS:L=1:50, \$はS:L=1:2で試験を行い、結果をS:L=1:10に比例計算した

をpHとともに表-3に示す。固液比を調整した場合の結果は、固液比1:10に濃度を換算して示した。濃度が1mg/Lを超えたのは冷蔵庫、オープンレンジ、炊飯器の電子基板部分であった。また、0.1mg/L以上の溶出濃度を示したのは、ほとんどが電子基板やコード部分など、電気回路に関係する部分であった。電気回路には、通常鉛を含むはんだが使用されていることから、電子基板からの鉛溶出はこのはんだに含まれている鉛が原因であると思われる。

一方、粗大ごみを貯留しているステージ上で採取した土砂の溶出濃度も0.45mg/Lと高かった。通常の土壌であれば、このような高濃度の鉛溶出が起こることは、考えられない(土壌環境基準は0.01mg/L)ため、何らかの物質により汚染を受けたと思われる。この汚染の原因となる製品を推定するために、土砂試料粒子のSEM-EDXによる元素組成測定を行った。比重選別を行い、沈殿物として回収されたのは、3つの粒子画分(0.5-0.25mm, 0.25-0.125mm, 0.125mm以下)とも約4%であり、沈殿物の内、重量で5%以上鉛を含む粒子は、それぞれ10.3%, 8.5%, 8.5%(いずれも粒子数%)含まれていた。その組成は、はんだ(Snを含む)と組成の類似した粒子が0.125mm以下に1.9%(8.5%の22.4%)あった以外は、鉛と共にSi, Oを含む組成であり、(2)a)で採取した鉛ガラスであるテレビのブラウン管のSEM-EDXの観察結果(重量でPb:15%, Si:45%, O:25%, その他:15%)と類似していた。

以上の調査結果から、電気製品の内、特に電子基板部分からの鉛溶出濃度が高く、不燃残渣からの鉛溶出に寄与している可能性が示唆された。しかし、施設の粗大ごみ貯留場所の土砂の鉛溶出濃度も高く、これは、可溶性の鉛を多く含む^{(12), (13)}鉛ガラス(テレビのブラウン管)によって汚染を受けている可能性があり、表-3の結果は必ずしもその製品および部品自身からの溶出の結果ではない場合があったと思われる。

(2) 粗大廃棄製品中の鉛含有量及び鉛溶出濃度

調査結果を表-4~9に示す。なお、表中の「-」は、測定を行っていないことを表している。製品全体の鉛溶出濃度は、製品全体に対して溶出試験を行ったときに、各部品から溶出試験によって測定された濃度が溶出すると仮定して計算した推定値である。

a) 冷蔵庫

結果を表-4に示す。配線コード被覆部は6,640mg/kg-鉛が測定されたが、素材であるポリ塩化ビニルに含まれる鉛添加剤(熱安定剤・着色剤等)に由来すると思われる。溶出試験では、ドアパッキングゴム、底部水取り皿、配線コードから溶出が確認されたが、いずれも0.1mg/L以下で、低濃度であった。4.(1)では、冷

表-4 冷蔵庫中鉛含有量と溶出量

| 製品重量 50.73kg | 重量割合 [%] | 鉛含有量 [mg/kg] | 鉛寄与率 [%] | 溶出濃度 [mg/L] |
|----------------|----------|--------------|----------|-------------|
| ドアパッキングゴム | 2.13 | 976 | 23.43 | 0.06 |
| 熱交換機 | 1.26 | 32 | 0.46 | - |
| 内部ステール棚 | 2.40 | 2.43 | 0.07 | ND |
| 発泡スチロール(白) | 0.63 | 0.04 | 0.00 | - |
| 底部水取り皿(白) | 0.63 | 456 | 3.25 | 0.10 |
| 配線コードカバー(灰色) | 0.20 | 0.80 | 0.00 | - |
| 断熱材 | 6.78 | 3.50 | 0.27 | - |
| 銅パイプ | 1.58 | 2.59 | 0.05 | - |
| 配線コード | 0.95 | 6640 | 71.13 | 0.04 |
| ゴム(白・黒) | 0.12 | 291 | 0.41 | - |
| ドアの金具 | 0.17 | 20.9 | 0.04 | - |
| パネ部 | 0.10 | 133.3 | 0.15 | - |
| プラスチック部品 | 2.12 | 31.8 | 0.76 | ND |
| プラスチック(野菜室、透明) | 2.09 | ND | 0.00 | - |
| プラスチック(内装部、白) | 6.35 | ND | 0.00 | ND |
| プラスチック等(白) | 5.72 | ND | 0.00 | ND |
| プラスチック(濃緑) | 3.82 | ND | 0.00 | ND |
| 底部金属板(黒) | 3.82 | ND | 0.00 | - |
| 配線コードカバー(銀色) | 0.59 | ND | 0.00 | - |
| コンプレッサー(黒) | 15.93 | ND | 0.00 | - |
| 外部の鉄線類(緑) | 26.81 | ND | 0.00 | - |
| 扉・底板(銀色) | 7.06 | ND | 0.00 | - |
| 底部補強板(銀色) | 0.87 | ND | 0.00 | - |
| SUSステンレスパイプ | 1.26 | ND | 0.00 | - |
| アルミ箔 | 0.24 | ND | 0.00 | - |
| 金属部品 | 2.44 | ND | 0.00 | - |
| ネジ類 | 0.49 | - | - | - |
| 金属部品 | 0.70 | - | - | - |
| モーター部 | 0.87 | - | - | - |
| ガラスウール質 | 0.13 | - | - | - |
| 中敷きガラス板 | 1.73 | - | - | - |
| 冷蔵庫全体 | 100.00 | 89 | 100 | 0.002 |

ND:検出せず * -:測定せず

表-5 洗濯機中鉛含有量と溶出量

| 製品重量22.36kg | 重量割合 [%] | 鉛含有量 [mg/kg] | 鉛寄与率 [%] | 溶出濃度 [mg/L] |
|-------------|----------|--------------|----------|-------------|
| ふた 黄緑 | 2.50 | 32.6 | 1.05 | - |
| 裏のふた グレー | 0.93 | 3.16 | 0.04 | - |
| 脱水機内蓋 | 0.18 | 11.3 | 0.03 | - |
| 排水ホース | 0.42 | 1080 | 5.82 | - |
| 脚 | 0.84 | 6.46 | 0.07 | - |
| 発泡スチロール | 0.01 | 0.044 | 0.00 | - |
| 内部の排水パイプ | 1.05 | 1.88 | 0.03 | - |
| 縦パイプ | 0.13 | 91.1 | 0.15 | - |
| 洗濯槽底部 | 2.33 | 286 | 8.55 | - |
| 側壁 | 26.66 | ND | 0.00 | - |
| 脱水槽 | 8.48 | 0.90 | 0.10 | - |
| 本体プラスチック | 16.01 | 8.63 | 1.77 | - |
| つまみ部プラスチック | 1.68 | 1560 | 31.57 | - |
| タイマー | 0.70 | 0.034 | 0.00 | - |
| つまみ部 | 0.20 | 3.43 | 0.01 | - |
| 配線及び電源コード | 1.65 | 2400 | 50.79 | 0.03 |
| プラスチック部品 | 0.12 | 20.6 | 0.03 | - |
| 脱水機本体 | 11.27 | - | - | - |
| 洗濯槽のモーター | 14.40 | - | - | - |
| ポンプ部 | 8.23 | - | - | - |
| コンデンサー | 0.63 | - | - | - |
| 脱水機安全スイッチ | 0.04 | - | - | - |
| タオル掛け | 0.21 | ND | 0.00 | - |
| スイッチ部 | 0.21 | - | - | - |
| つまみ部金属板 | 0.27 | ND | 0.00 | - |
| コイル | 0.15 | - | - | - |
| 金属部品 | 0.79 | ND | 0.00 | - |
| 洗濯機全体 | 100.00 | 78 | 100 | 0.0005 |

ND:検出せず * -:測定せず

蔵庫に含まれていた電子基板からの鉛溶出濃度が高かったが、この冷蔵庫にはそのような部品はみられなかった。

b) 洗濯機

結果を表-5に示す。製品全体鉛含有量に対するコードの被覆部の寄与率が約50%であった。つまみ部プラスチックはポリ塩化ビニルで、添加剤として含まれている鉛である。また、冷蔵庫同様、電子基板部品

表-6 ビデオデッキ中鉛含有量と溶出量

| 製品重量6.5kg | 重量割合 [%] | 鉛含有量 [mg/kg] | 鉛寄与率 [%] | 溶出濃度 [mg/L] |
|-------------|----------|--------------|----------|-------------|
| デジタル表示板 | 0.93 | 62900 | 17.16 | - |
| 外枠(黒プラスチック) | 12.64 | 0.42 | 0.00 | - |
| 配線コード(灰色) | 1.07 | 6500 | 2.03 | - |
| 電源コード | 1.12 | 3920 | 1.28 | - |
| 配線細コード | 0.30 | 3920 | 0.34 | - |
| 電子基板 | 13.91 | 19500 | 79.18 | 2.9 |
| 外枠金属 | 36.74 | - | - | - |
| 内部金属 | 10.64 | - | - | - |
| 内部部品類 | 20.62 | - | - | - |
| ゴム、ネジ類 | 2.02 | - | - | - |
| ビデオ全体 | 100 | 3420 | 100 | 0.4 |

* -:測定せず

表-7 ステレオセット中鉛含有量と溶出量

| 製品重量14.9kg | 重量割合 [%] | 鉛含有量 [mg/kg] | 鉛寄与率 [%] | 溶出濃度 [mg/L] |
|------------|----------|--------------|----------|-------------|
| 正面プラスチック | 4.5 | 1.99 | 0.0 | - |
| CD部 | 5.1 | 0.15 | 0.0 | - |
| 配線コード | 2.7 | 10000 | 11.6 | - |
| CD部電子基板 | 2.1 | 18500 | 16.6 | 41.7 |
| チューナー部電子基板 | 3.4 | 15100 | 22.3 | 0.11 |
| カセット部電子基板 | 7.4 | 11000 | 35.3 | 16.0 |
| デジタル表示板 | 0.4 | 75200 | 14.2 | - |
| プラスチック部品 | 0.2 | 0.70 | 0.0 | - |
| 金属部品類 | 8.2 | - | - | - |
| 外枠 | 45.4 | - | - | - |
| ヒューズ部品 | 12.2 | - | - | - |
| カセット部品 | 8.4 | - | - | - |
| ステレオセット全体 | 100 | 2300 | 100 | 2.5 |

* -:測定せず

表-8 テレビ中鉛含有量と溶出量

| 製品重量10.5kg | 重量割合 [%] | 鉛含有量 [mg/kg] | 鉛寄与率 [%] | 溶出濃度 [mg/L] |
|-------------|----------|--------------|----------|-------------|
| チャンネルつまみ | 0.31 | 24.50 | 0.00 | - |
| ゴム部 | 0.13 | 27500 | 0.11 | - |
| 配線コード | 2.22 | 3320 | 0.11 | - |
| 外枠(黒プラスチック) | 9.93 | 5.41 | 0.00 | - |
| 電子基板 | 9.64 | 6330 | 0.92 | 0.1 |
| 外枠赤 | 9.55 | 20.4 | 0.00 | - |
| ブラウン管 | 49.63 | 133000 | 98.86 | 15.7 |
| 部品類 | 13.85 | - | - | - |
| コイル | 4.75 | - | - | - |
| テレビ全体 | 100.00 | 66600 | 100 | 7.8 |

* -:測定せず

は含まれていなかった。プラスチック類については、表-3および表-4の結果では、プラスチック部からの鉛溶出濃度が低かったことから、鉛に関しては埋立処分されても影響はないと考えて、溶出試験は行わなかった。ただし、鉛含有寄与率の最も大きかった配線コードについてのみ溶出試験を行ったが、冷蔵庫のコードとほぼ同様の低い値となった。今回調査した洗濯機には高濃度に鉛が溶出する可能性のある基板が含まれていないため、全体からの溶出量は非常に小さい(0.0005mg/L)が、基板を含む洗濯機の場合では、溶出量が増加すると思われる。

c) ビデオ

結果を表-6に示す。電子基板に多くの鉛が含まれており、ビデオ全体の鉛量の約8割を占めた。デジタル表示板は、重量は全体の約1%と少ないが高濃度に鉛が含まれており(62,900mg/kg-鉛)、寄与率は約17%であった。電源コード・配線コードの被覆部プラスチック中にも鉛が高濃度に含有されていた。溶出試験

は、電子基板のみ行ない、2.9mg/Lであった。

d) ステレオセット

結果を表-7に示す。電子基板・コード・デジタル表示板で鉛含有量が高かった。全体の鉛含有量への寄与は、電子基板によるものが7割強であった。また、3部分（アンプ、チューナー、CDプレーヤー）のそれぞれの電子基板について溶出試験を行った。各部分の溶出濃度を比較してみると、CDプレーヤー部41.7mg/L、ラジオチューナー部0.1mg/L、カセット部16.0mg/Lとなり、ばらつきがでた。同一の製品の基板であることから素材の違いは考えにくく、含有濃度もほとんど差がないことから、この差違の原因については今後の課題である。

e) テレビ

結果を表-8に示す。電子基板に含まれる鉛の濃度は6,390mg/kg-鹵とビデオ同様高いが、最も鉛含有量が高かった部品はブラウン管部で、その含有率は133,000mg/kg-鹵(13.3%)であった。ブラウン管部はテレビ全体重量の約50%と大きいため、この部分のテレビ中鉛含有量に対する寄与は約99%となった。CRT、電子銃を収めるネック管、および後部ファンネルには鉛ガラスが使用されており、使用されている多量の鉛化合物が高濃度の鉛の原因となっていると思われる。また、ブラウン管部分の溶出試験を行った結果、15.7mg/Lと高濃度の鉛が検出された。仮に、テレビ1台について溶出試験を行ったとすると、7.8mg/Lの鉛濃度が溶出することになり、他の家電製品に比べて非常に高濃度である。

f) その他の粗大ごみ中製品

測定結果を家電製品の測定結果と共に表-9に示す。いずれの数値も家電製品に比べて小さい値となった。これらの製品中鉛の由来として、顔料として用いられている鉛添加剤や材料への不純物として含有しているものと思われる。

以上の結果より、家電製品は製品ごとに鉛含有量が異なり、大小関係は、ブラウン管を含む製品(テレビ) > 電子基板やデジタル表示板を含む製品 > 電子基板はほとんど含まれていない製品、の順になった。また各製品からの溶出濃度も同じ順序になっており、ある特定の部品が鉛含有量、溶出量に大きく関与していることがわかった。

(3) 粗大ごみ中の鉛に対する粗大廃棄製品の寄与割合 推定結果

粗大廃棄製品割合は、札幌市で行われた筆者ら¹⁴⁾の調査結果を用いた。鉛含有量は、4.(2)の測定結果、および文献値⁹⁾による製品中鉛含有量を乗じることで各製品の粗大ごみに伴って廃棄される鉛排出寄与率を推

表-9 粗大廃棄製品中鉛含有量と分類

| 製品 | 鉛含有量 [mg/kg] | 鉛含有量 分類記号 | 製品の特徴や 分類の基準 |
|----------------|--------------|-----------|-----------------|
| テレビ | 66,600 | a1 | ブラウン管を含む |
| ビデオ | 3,420 | a2 | 電子基板やデジタル表示板を含む |
| ステレオ | 2,300 | | |
| 冷蔵庫 | 89 | a3 | 電子基板をほとんど含まない |
| 洗濯機 | 78 | | |
| 衣類 | 16.4 | b1 | 衣服、タオル類 |
| カーペット | 5.9 | b2 | 敷物 |
| ガスコンロ | 5.9 | b3 | 金属製品 |
| カラーボックス | 2.9 | b4 | 木製製品 |
| 自転車 | 2.1 | b5 | 金属製品 |
| ガラス | 0.7 | b6 | ガラス製品 |
| いす | 0.5 | b7 | 金属製品 |
| テレビの外枠(プラスチック) | 10.4 | b8 | プラスチック製品 |
| 家電製品コード類* | 5,979 | b9 | コード類 |
| 段ボール箱** | 12 | A1 | |
| 凸筒類** | 8 | A2 | |
| ゴム類** | 21 | A3 | |
| 皮革類** | 140 | A4 | |
| 飲料缶** | 1 | A5 | |
| 草木類・木片類** | 19 | A6 | |
| 陶磁器類** | 120 | A7 | |
| その他不燃物** | 6 | A8 | |

*4.(2)で測定した家電製品中コード類鉛含有量の平均値
**文献値⁹⁾

定した。粗大廃棄製品中の含水率は小さいと見なし、これを無視した。鉛含有量の不明な製品は、表-9に示した分類基準によって含有量わかっている製品の数値を当てはめることとした。その対応結果を表-10に示した。家電製品は、4.(2)で鉛含有量を測定した5つの電気製品と類似した部品構成をしていると思われる製品については、その測定値を用いた。電子基板部が少ないと思われる電気製品は、冷蔵庫と洗濯機の鉛含有量の平均値である84mg/kg、電子基板部を比較的多く含むと思われる製品には、ビデオデッキとステレオの鉛含有量の平均値である2,860mg/kgを用いた。粗大ごみ中鉛含有量は2,048g/tと計算され、これは、表-2に示した文献値と比べて、高い含有量となった。

各製品別廃棄鉛寄与率（上位10品目）を表-11に示す。10位以下の項目はその他としてまとめた。特に寄与率の一番大きいテレビは、粗大ごみ中廃棄重量組成割合は約3%であるが、その鉛含有量が非常に大きいため、粗大ごみ中鉛含有総量に対する寄与率は90%となった。また、上位10位は、全て家電製品であった。

(4) A 破砕選別施設における鉛の物質フロー推定

a) 推定方法

前節で推定した粗大ごみ中の鉛は、その多くがテレビ中に含まれていることがわかった。現在、多くの自治体でテレビは粗大ごみとして回収され、直接埋め立てあるいは焼却処理や破砕選別処理後、その残渣を埋め立てている。そこで、A破砕選別施設と隣接する都

表-10 粗大ごみの廃棄製品組成⁽⁴⁾と鉛含有量推定結果

| 組成名 | 重量 (kg/個) | 重量割合 (%) | 鉛含有 量分類 | 組成名 | 重量 (kg/個) | 重量割合 (%) | 鉛含有 量分類 | 組成名 | 重量 (kg/個) | 重量割合 (%) | 鉛含有 量分類 |
|----------------------------|--------------|-------------|------------|----------------------------|--------------|-------------|------------|----------------------------|--------------|-------------|------------|
| 家電製品 | | | | 置物 | 0.7 | 0.01 | b4 | 寝具・敷物 | | | |
| アイロン | 1.1 | 0.01 | a3 | 太鼓 | 5.4 | 0.37 | b4 | カーベット | 9.3 | 5.11 | b2 |
| アダプター | 0.6 | 0.01 | a3 | 雑飾り一式 | 23.8 | 0.23 | b4 | クッション | 1.7 | 0.18 | b2 |
| 編み機 | 11.5 | 0.22 | a3 | 絵 | 1.7 | 0.20 | b4 | 玄関マット | 0.4 | 0.004 | b2 |
| オーブントースター | 2.5 | 0.10 | a3 | 戸 | 9.4 | 0.28 | b4 | ござ | 3.0 | 0.15 | b2 |
| 換気扇 | 3.2 | 0.03 | a3 | 戸(ふすま) | 7.8 | 0.15 | b4 | こたつカバー | 1.4 | 0.01 | b2 |
| クーラー | 35.5 | 0.35 | a3 | 木彫りの飾り | 1.2 | 0.02 | b4 | 座布田・枕 | 1.2 | 0.20 | b2 |
| こたつ(全部) | 7.0 | 0.14 | a3 | 大型模型 | 3.2 | 0.03 | b4 | スプリングマットレス | 23.1 | 1.13 | b4+b3 |
| コピー機 | 71.5 | 0.70 | a2 | 雑(うす) | 40.0 | 0.39 | b4 | テーブルクロス | 0.8 | 0.01 | b2 |
| サーキュレーター | 7.2 | 0.14 | a3 | おけ | 0.8 | 0.13 | b4 | ふとん | 6.0 | 3.64 | b2 |
| 照明器具(小型卓上用) | 2.1 | 0.08 | a3 | 大小屋(小) | 3.8 | 0.04 | b4 | マットレス | 5.5 | 0.81 | b2 |
| 照明器具(吊り下げ式) | 3.4 | 0.03 | a3 | 園芸用棚 | 8.3 | 0.24 | b4 | 毛布 | 2.5 | 0.39 | b2 |
| 炊飯器 | 3.5 | 0.31 | a3 | 櫛 | 7.1 | 0.35 | b4 | 床クロス | 1.3 | 0.01 | b2 |
| ステレオ(スピーカー) | 14.4 | 2.53 | a3 | 風見鶏 | 1.8 | 0.02 | b4 | ごみ重量割合(11.7%) 鉛廃棄割合(0.03%) | | | |
| ステレオ(セット) | 18.0 | 1.24 | a2 | 石炭箱 | 1.3 | 0.01 | b4 | 家庭内雑貨 | | | |
| ステレオ(プレーヤー類) | 5.3 | 0.31 | a2 | 額縁 | 1.9 | 0.07 | b4 | 空き缶類* | 2.0 | 0.49 | A5 |
| 洗濯機 | 20.4 | 0.40 | a3 | ギター | 3.0 | 0.06 | b4 | 衣類* | 4.3 | 1.00 | b1 |
| 扇風機 | 6.1 | 0.06 | a3 | ブラインド | 2.0 | 0.02 | b3 | カーベットブラシ | 1.1 | 0.01 | b3 |
| 掃除機 | 5.9 | 0.87 | a3 | 電話台 | 3.9 | 0.04 | b7 | 懐中電灯 | 1.4 | 0.01 | b3 |
| 掃除機ホース | 6.8 | 0.13 | a3 | 衣装ケース(スチール製) | 4.5 | 0.84 | b3 | カーペン類 | 1.2 | 0.07 | A4 |
| テレビ | 20.3 | 2.77 | a1 | 流し台 | 14.1 | 0.28 | b3 | 杵 | 3.6 | 0.04 | b4 |
| 電気カーベット | 5.3 | 0.15 | a3 | カーテンレール | 1.1 | 0.14 | b3 | 草刈り機 | 6.1 | 0.06 | b3 |
| 電気ポット | 2.2 | 0.02 | a3 | 網戸 | 2.2 | 0.26 | b3 | 鋏 | 0.9 | 0.02 | b3 |
| 電子レンジ | 20.6 | 1.61 | a2 | アイロン台 | 2.1 | 0.02 | b3 | 工具類 | 1.6 | 0.08 | b3 |
| 電話機 | 2.8 | 0.05 | a3 | ガスレンジ | 11.2 | 1.54 | b3 | 雑誌* | 5.0 | 0.97 | A2 |
| トイレの温風機 | 1.8 | 0.02 | a3 | 湯沸かし器 | 7.0 | 0.14 | b3 | 食器類* | 2.0 | 0.54 | A7 |
| トースター | 2.5 | 0.02 | a3 | ガスストーブ | 24.1 | 0.47 | b3 | スキー | 4.8 | 1.91 | b4+b3 |
| ドライヤー | 3.9 | 0.04 | a3 | 石油ストーブ | 14.5 | 5.81 | b3 | スキーウェア | 2.7 | 0.03 | b1 |
| パソコンディスプレイ | 7.9 | 0.08 | a1 | ストープ台 | 12.4 | 0.12 | b3 | スキー靴 | 2.8 | 0.49 | b8 |
| パソコン本体 | 22.4 | 0.22 | a2 | 金庫 | 2.3 | 0.02 | b3 | スケート靴 | 2.4 | 0.02 | b3+A4 |
| ビデオデッキ | 6.1 | 0.24 | a2 | カセットコンロ | 2.5 | 0.05 | b3 | スコップ | 1.3 | 0.11 | b3 |
| ファックス | 7.6 | 0.07 | a3 | マイクスタンド | 3.1 | 0.03 | b3 | ストック | 0.5 | 0.07 | b3 |
| 変圧器 | 4.0 | 0.04 | a3 | 消化器 | 2.5 | 0.03 | b3 | スノーシャベル | 1.0 | 0.03 | b8 |
| ホットプレート | 3.1 | 0.03 | a3 | 延長コード | 5.2 | 0.05 | b9 | スノーダンプ | 4.1 | 0.44 | b8 |
| ポンプ | 15.6 | 0.15 | a3 | 突っ張り棒 | 0.9 | 0.02 | b3 | スポーツ用品 | 1.2 | 0.29 | b3 |
| ミシン | 21.3 | 0.83 | a3 | ハンガー | 0.6 | 0.01 | b3 | ソリ | 1.8 | 0.02 | b8 |
| 餅つき機 | 8.7 | 0.09 | a3 | ルームランナー | 9.1 | 0.09 | b3 | 台所用品 | 1.1 | 0.06 | b8 |
| 床暖カーベット | 11.0 | 0.11 | a3 | アンテナ(テレビ用) | 1.5 | 0.03 | b3 | タオル | 0.7 | 0.06 | b1 |
| 床暖熱交換機 | 7.1 | 0.07 | a3 | 牛乳タンク | 7.4 | 0.07 | b3 | つるはし | 2.8 | 0.03 | b3 |
| 床暖パネル | 3.9 | 0.11 | a3 | トタン | 1.8 | 0.07 | b7 | 土木用品 | 12.6 | 0.74 | b3 |
| ラジカセ | 4.9 | 0.14 | a2 | 10kgガスボンベ | 6.7 | 0.07 | b3 | 長靴 | 0.9 | 0.01 | A3 |
| 冷蔵庫 | 46.7 | 4.11 | a3 | プランコ | 12.4 | 0.12 | b3 | バケツ | 1.4 | 0.08 | b8 |
| オーブ | 14.0 | 0.14 | a2 | 煙突(1mを1個とした) | 0.5 | 0.84 | b3 | ビデオテープ | 0.3 | 0.02 | b8 |
| ごみ重量割合(18.8%) 鉛廃棄割合(99.6%) | | | | 屋外用物干し竿 | 1.7 | 0.15 | b7 | ブリキ製じょうろ | 0.3 | 0.005 | b7 |
| 一般家具 | | | | 金網 | 19.6 | 0.19 | b3 | 風呂用品 | 0.5 | 0.005 | b8 |
| 衣装掛け | 4.8 | 0.23 | b3 | 看板 | 1.2 | 0.01 | b3 | ほうき | 0.6 | 0.03 | b4 |
| 椅子(鉄製) | 4.8 | 0.70 | b7 | 脚立 | 8.5 | 0.17 | b3 | レターケース | 2.9 | 0.03 | b8 |
| 椅子(木製) | 4.8 | 2.32 | b4 | 家庭用焼却炉 | 3.8 | 0.07 | b3 | ごみ重量割合(7.8%) 鉛廃棄割合(0.06%) | | | |
| オーディオラック | 15.7 | 0.46 | b3 | パーベキューコンロ | 2.6 | 0.03 | b3 | 乗り物関連製品 | | | |
| カラーボックス | 6.8 | 0.40 | b4 | パイプ | 1.0 | 0.82 | b3 | 空気入れ(自転車用) | 1.4 | 0.03 | b5 |
| 下駄箱 | 19.7 | 0.19 | b4 | 物置 | 10.7 | 0.10 | b3 | 工事用一輪車 | 10.4 | 0.31 | b5 |
| こたつ(天板) | 7.8 | 0.46 | b4 | 消毒剤散布剤 | 2.2 | 0.02 | b3 | 子供用一輪車 | 4.4 | 0.04 | b5 |
| サイドボード | 31.5 | 0.62 | b4 | 鉄くず | 15.4 | 0.30 | b3 | 自転車(大人用) | 15.9 | 2.65 | b5 |
| 食器棚 | 18.8 | 2.94 | b4 | ヘルスメーター | 1.9 | 0.02 | b3 | 自転車(子供用) | 13.7 | 0.40 | b5 |
| 簾 | 1.5 | 0.01 | b4 | かご | 17.9 | 0.18 | b3 | 自転車の付属品 | 2.1 | 0.19 | b5 |
| 棚 | 4.6 | 1.69 | b4 | 三面鏡 | 7.0 | 0.07 | b6 | 自転車の部品 | 3.8 | 0.59 | b5 |
| ソファ | 14.7 | 3.30 | b7 | ガラスドア | 9.3 | 0.64 | b6 | ショッピングカート | 2.8 | 0.03 | b5 |
| 畳 | 23.9 | 2.10 | b2 | 段ボール箱 | 1.4 | 0.05 | A1 | スキーキャリア | 2.6 | 0.03 | b5 |
| たんす | 29.2 | 3.99 | b4 | 照明の傘 | 2.6 | 0.18 | b8 | 乗り物(子供用) | 2.0 | 0.05 | b5 |
| 机(スチール製) | 32.0 | 0.94 | b7 | クーラーボックス | 4.0 | 0.04 | b8 | バイク付属品 | 1.6 | 0.02 | b5 |
| 机(木製) | 11.8 | 1.39 | b4 | おもちゃ | 3.6 | 0.21 | b8 | ペピーカー | 8.9 | 0.09 | b5 |
| テーブル(小) | 5.3 | 0.31 | b4 | 掛け時計・置き時計 | 1.3 | 0.05 | b8 | ヘルパー(自動車用) | 5.5 | 0.16 | b5 |
| テーブル(大) | 15.6 | 1.22 | b4 | プラスチック製浴槽 | 24.6 | 0.24 | b8 | 歩行者 | 2.5 | 0.02 | b5 |
| テーブル天板 | 7.6 | 0.89 | b4 | おまる | 2.2 | 0.07 | b8 | ごみ重量割合(4.6%) 鉛廃棄割合(0.01%) | | | |
| テレビ台 | 4.9 | 0.14 | b3 | 鏡 | 6.4 | 0.19 | b6 | その他 | | | |
| 本棚(木製) | 13.1 | 0.13 | b4 | ごみ箱 | 1.3 | 0.04 | b8 | 5kg以下の木材 | 3.1 | 0.33 | A6 |
| マガジンラック | 0.8 | 0.01 | b4 | 米びつ | 8.8 | 0.43 | b8 | 5~10kgの木材 | 8.1 | 1.82 | A6 |
| ごみ重量割合(24.5%) 鉛廃棄割合(0.03%) | | | | 酒ケース | 3.2 | 0.12 | b8 | 5kg以下庭木 | 3.0 | 0.50 | A6 |
| 室内外装備品 | | | | 漫瓶 | 0.9 | 0.01 | b8 | 5~10kg庭木 | 8.1 | 3.32 | A6 |
| アコーデオンカーテン | 2.30 | 0.02 | b1 | 水槽 | 4.0 | 0.16 | b6 | その他分類不能物* | 5.0 | 1.57 | A8 |
| 寶の子 | 2.00 | 0.04 | b4 | スクリーン | 5.2 | 0.10 | b8 | ごみ重量割合(7.5%) 鉛廃棄割合(0.06%) | | | |
| 行李 | 3.70 | 0.14 | b4 | ガラス | 6.5 | 0.25 | b6 | 粗大ごみ中鉛含有量 2048g/t | | | |
| 整理箱 | 3.10 | 0.09 | b4 | 灰皿 | 2.1 | 0.04 | b8 | * 袋につめられた状態を1個とした | | | |
| ベッド(全部) | 24.80 | 2.18 | b4 | 灯油ボリタンク | 8.0 | 0.63 | b8 | ** 厚さ20cmの束を1個とした | | | |
| ベッド(はしご) | 4.20 | 0.12 | b4 | 灯油タンク(外用) | 8.0 | 0.63 | b3 | 鉛含有量分類記号については表9参照 | | | |
| ベッド(特) | 3.40 | 0.43 | b4 | ホース(5kg以下) | 5.0 | 0.15 | A3 | | | | |
| 木箱 | 2.00 | 0.04 | b4 | コンクリート付物干しスタンド | 11.2 | 0.44 | b6 | | | | |
| ついたて | 5.00 | 0.05 | b4 | シート | 2.0 | 0.04 | b8 | | | | |
| オルガン | 31.70 | 0.62 | b4 | 植木鉢 | 1.2 | 0.22 | b6 | | | | |
| 障子 | 1.60 | 0.06 | b4 | 石膏ボード | 4.7 | 0.28 | b6 | | | | |
| | | | | テント | 5.5 | 0.11 | b8 | | | | |
| | | | | 発泡スチロール | 0.4 | 0.004 | b8 | | | | |
| | | | | 砂利 | 17.1 | 0.17 | A8 | | | | |
| | | | | ごみ重量割合(25.2%) 鉛廃棄割合(0.21%) | | | | | | | |

表-11 粗大ごみ中鉛量に対する粗大廃棄製品の寄与率

| 製品名 | ごみ重量割合 鉛廃棄割合 | |
|----------------|--------------|------|
| | | |
| 1 テレビ | 2.8 | 90.2 |
| 2 パソコンディスプレイ | 0.1 | 2.5 |
| 3 電子レンジ | 1.6 | 2.3 |
| 4 ステレオ(セット) | 1.2 | 1.7 |
| 5 コピー機 | 0.7 | 1.0 |
| 6 ステレオ(プレーヤー類) | 0.3 | 0.4 |
| 7 ビデオデッキ | 0.2 | 0.3 |
| 8 パソコン本体 | 0.2 | 0.3 |
| 9 ラジカセ | 0.1 | 0.2 |
| 10 ワーク | 0.1 | 0.2 |
| その他 | 92.5 | 0.9 |

市ごみ焼却施設を例に取り、鉛フローの推定を行い、粗大ごみからテレビを回収することでどれだけ埋立物中の鉛量を削減できるかを推定した。

A破碎選別施設および隣接する焼却施設におけるごみ量フローおよび各ごみ中鉛含有量、鉛廃棄フローを図-1に示す。A破碎選別施設では、家庭系粗大ごみおよび事業系粗大ごみを破碎処理しており、家庭系粗大ごみはふるい選別機と磁選機により不燃残渣、鉄、および可燃残渣に選別されている。事業系粗大ごみは、破碎後は選別処理されず、全量が可燃残渣となる。可燃残渣は隣接する焼却施設(600t/日、ストーカー式)に運ばれ、可燃ごみと共に焼却され、焼却残渣である焼却灰と集じん灰が発生している。

鉛物質フローを推定するためには、各ごみ中(家庭系粗大ごみ、事業系粗大ごみ、可燃ごみ)および発生する残渣中(不燃残渣、可燃残渣、鉄、焼却灰、集じん灰)鉛含有量を推定する必要がある。

A破碎選別施設から発生する不燃残渣中鉛含有量は過去に行っているが²⁾、このときには不燃残渣を硝酸・塩酸の混酸により分解し測定を行った。今回粗大ごみ中鉛含有総量に大きな寄与をしているテレビのブラウン管は、フッ化水素酸+硝酸・塩酸を用いた全量分解で測定を行っている。そこで、過去に採取した不燃残渣をフッ化水素酸+過酸化水素酸+硝酸および硝酸・塩酸で分解し、測定される鉛含有量を調べた。その結果、フッ化水素酸を用いると、硝酸・塩酸のみの分解測定よりも4.05倍の含有量が測定された。これを用いて過去の調査値(2,360mg/g)²⁾を修正した。

磁選機により回収された鉄中の鉛含有量は、表-10に示した金属製品(ガスコンロ、自転車、いす)の鉛含有量平均値(2.8g/t)を用いた。

焼却灰中鉛含有量は、平成12年1月にA焼却施設より焼却灰を採取し、フッ化水素酸+過酸化水素酸+硝酸で分解し、3.(2)b)の方法で鉛含有量測定を行った結果(441g/t)を用いた。集じん灰中鉛含有量は過去に同施設で採取した試料の測定値¹⁵⁾(3,320g/t)を用い

た。ガスとして大気中に放出される量は微量であるとしてこれを無視した⁹⁾。

事業系粗大ごみ、可燃ごみおよび可燃残渣中鉛含有量は、実測値がないため含有量推定の行えた家庭系粗大ごみ、および不燃残渣、焼却残渣(焼却灰、集じん灰)に伴って廃棄される鉛量から計算による推定を行った。

テレビを粗大ごみから除いたときにも、不燃残渣と可燃残渣、および焼却灰と集じん灰に分配される含有鉛量の割合はテレビを除く前と変わらないと仮定した。

b) 推定結果

推定結果を図-1に示す。事業系粗大ごみおよび可燃ごみの鉛濃度を等しいと仮定したときの推定値も示した。テレビを除く前、家庭系粗大ごみに伴って破碎選別施設に搬入される鉛量は26.0t/年であり、収集対象人口一人あたり50.4g/(年・人)となった。このうち、不燃残渣として埋立処分されている量は4.6t/年(17.7%)であり、残りの21.4t/年(82.3%)は可燃残渣として、事業系粗大ごみ由来の鉛(1.7t/年)と共に焼却施設に運ばれる。

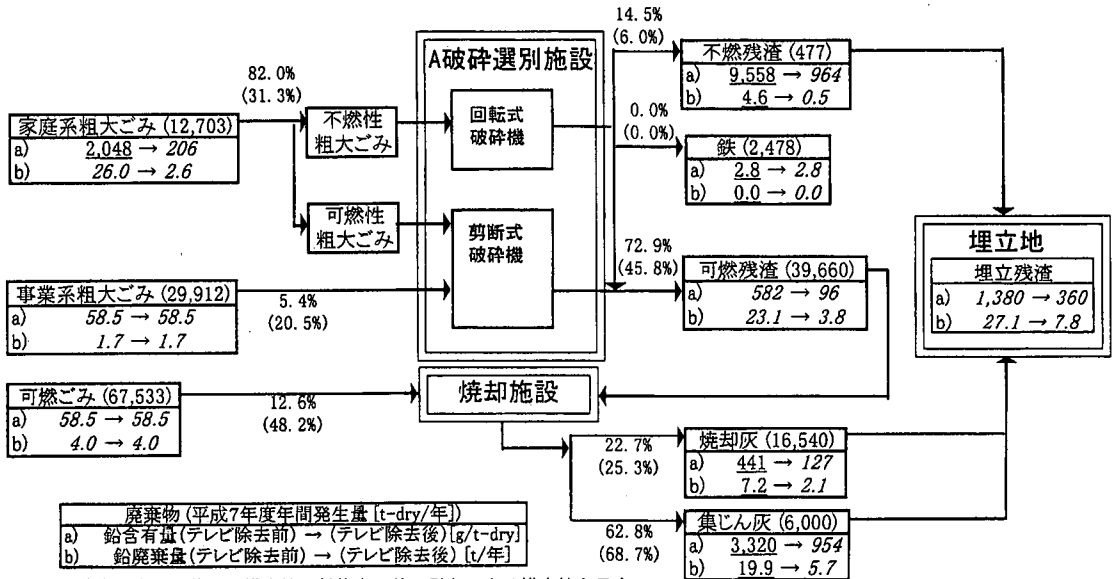
テレビを家庭系粗大ごみから除いた場合、その鉛含有量は表-11より約10分の1となる。これにより鉛含有量は206g/t、鉛廃棄量は2.6t/年(収集対象人口あたり5.0g/(年・人))となった。焼却灰および集じん灰中の鉛含有量も約70%減少させることができ、埋立地への鉛負荷量を軽減できる可能性があることが示唆された。

今回の推定では、焼却されるごみ(可燃残渣および可燃ごみ・事業系ごみ)を計算で求めていること、実測した焼却灰の鉛含有量が過去に同施設で行った測定値¹⁶⁾(3,020g/t)に比べて小さい値であることなどから、さらに調査を進め精度を上げる必要があると思われる。

5. まとめ

都市ごみ破碎選別施設に搬入される、粗大ごみに伴って家庭から排出される鉛量を把握し、どのような製品を廃棄物中から除去することで、鉛によるリスクを軽減することが出来るかを調べた。本研究で得られた知見を以下にまとめる。

1) 破碎選別施設に搬入される、家庭系粗大廃棄製品の溶出試験を行った。高濃度に鉛が検出されたのは、家電製品の電子基板部分であった。また、施設内の粗大ごみを貯留しているステージ上の土砂は鉛ガラスにより汚染されていることがわかった。



注1: 下線字は実測に基づく推定値、斜体字は差し引きによる推定値を示す。

注2: %数値は全体の鉛廃棄量に対する割合、括弧内はテレビを除去したときの割合

図-1 A施設における鉛の物質フロー

2) 粗大ごみ中の廃棄製品組成と製品ごとの鉛含有量を調べ、粗大ごみ全体の鉛含有濃度と、その寄与率について推定した。その結果、粗大ごみ中には2,048g/tの鉛が含まれており、その内、90%はテレビに由来していた。テレビに含まれている鉛はほとんどがブラウン管に使用されている鉛ガラスとして存在し、これを溶出試験すると、高濃度の鉛が検出された。

3) A 破碎選別施設と焼却施設における鉛の物質フローを推定した。粗大ごみ中に含まれる鉛は、破碎選別によって不燃残渣に17.7%移行し、残りは焼却施設へ運ばれるという結果が得られた。可燃残渣と共に焼却される粗大ごみ中の鉛量は、焼却灰および集じん灰中鉛の約70%にあたり、大きな寄与になっている。しかし、これはテレビを粗大ごみから除去することで、大幅に粗大ごみ中鉛量を減少させることができる。しかも、ブラウン管は高い鉛溶出濃度を示すことから、テレビを特別に回収することは、鉛による環境汚染の回避にもつながると思われる。

本研究では粗大ごみ組成の実測値と各製品の鉛含有量実測値および推定値から粗大ごみ中鉛含有量を算出した。このため、排出頻度が低く大量に鉛を含む鉛蓄電池のような製品については考慮されていない。鉛蓄電池はS市では家庭系ごみとしての排出が禁じられているが、排出されることによる影響を論じた文献⁵⁾もあり、この点に関してはさらなる知見が必要だと思われる。今回の研究結果は、家庭からごく一般的に(不法ではなく)粗大ごみとして排出される製品を対象とした推定値であるといえる。

1998年に特定家庭用機器再商品化法案が制定され、家電製品4品目が再商品化のために特別に処理されることになった。対象製品には、テレビも含まれており、この法律によって確実にテレビが回収・処理されることにより家庭から排出される鉛による環境汚染を軽減することが期待される。

参考文献

- 1) 関戸知雄, 田中信壽, 松藤敏彦, 松尾孝之: 都市ごみ破碎選別施設における破碎選別残渣の特性に関する研究, 廃棄物学会論文誌, Vol.8, No.5, pp.190-199, 1997.
- 2) Sekito, T., Tanaka, N. and Matsuto, T.: Leachability and content of heavy metals in incombustible residues from resource recovery facilities, *Waste Management & Research*, Vol.18, No.2, pp.151-159, 2000.
- 3) 占部武生, 秋山薫, 西澤千恵子, 広畑和幸: ごみ中有害物質の調査, 東京都清掃研究所研究報告, 昭和52年度, pp.40-70, 1977.
- 4) 秋山薫, 占部武生, 西澤千恵子: 都市ごみ中有害物質の由来調査(その1), 東京都清掃研究所研究報告, 昭和53年度, pp.3-18, 1978.
- 5) 鈴木靖文, 高月紘, 酒井伸一: 鉛とカドミウムのマテリアルフローから見た製品リサイクル, 環境経済・政策学会1998年大会報告要旨集, pp.89-90, 1998.
- 6) 鈴木靖文, 高月紘, 酒井伸一: 焼却灰の鉛濃度分布を用いた鉛の由来の推定, 第5回廃棄物学会研究発表会講演論文集, pp.525-527, 1994.
- 7) Rigo, H.G., Chandler, A. and Sawell, S.E.: Impact of Lead

- Batteries and Cadmium Stabilizers on Incinerator Emissions, *PB Report*, 1994.
- 8) Rigo, H.G. and Chandler, A. : Metals in MSW - Where are They and Where do They Go in an Incinerator ?, *National Waste Processing Conference Proceedings ASME 1994*, pp.49-63, 1994.
 - 9) 中村一夫 : 製品のライフサイクルからみた飛灰の性状, *廃棄物学会誌*, Vol.5, No.1, pp.60-68, 1994.
 - 10) (財) 廃棄物研究財団 : 有害廃棄物対策研究平成5年度報告書, 1994.
 - 11) 植田和弘 : 金属利用の社会的評価に基づくリサイクル計画に関する基礎的研究, 大阪大学博士論文, 1983.
 - 12) Gordon, C.C. Yang : Environmental Threats of Discarded Picture Tubes and Printed Circuit Boards, *Journal of Hazardous Materials*, 34, pp.235-243, 1993.
 - 13) 坂村博康, 宇津野太, 小林洋一, 安井至 : 廃棄電気製品に含まれる有害金属の仮想環境中における溶出, *環境科学会誌*, Vol.7, No.1, pp.35-41, 1994.
 - 14) 松藤敏彦, 田中信壽, 松尾孝之, 三縄敬明 : 粗大ごみ収集の申込み制実施状況とそれに伴う収集量変化, 第9回廃棄物学会研究発表会講演論文集, pp. 159-161, 1998.
 - 15) 菅野一敏, 田中信壽, 松尾孝之, 松藤敏彦 : 都市ごみ焼却炉集じん灰の薬剤による重金属固定に関する実験的研究, 第8回廃棄物学会研究発表会講演論文集, pp.683-685, 1997.
 - 16) 宮脇健太郎 : 焼却灰埋立地における硫酸鉛還元反応による重金属固定に関する基礎的研究, 北海道大学博士論文, 1995.

(2000.4.3 受付)

ESTIMATION OF LEAD CONTENT IN RESIDENTIAL BULKY WASTE

Tomoo SEKITO, Nobutoshi TANAKA, Toshihiko MATSUTO and Takayuki MATSUO

It is feared that lead is released to the environment from shredded residential bulky waste (RBW). To minimize the impact, the dominant source of lead should be identified and controlled. We determined lead leachability and lead content in various kinds of waste products in RBW. Consequently, the following conclusions were obtained. 1) Picture tubes of TV sets and printed circuit boards of home appliances have high lead content. 2) The total lead contents in RBW was estimated to be 2,048 g/t (dry RBW), in which TV sets made the highest contribution (about 90%). 3) Removing TV sets from RBW stream, about seventy percent of the lead contained in landfilling residues could be reduced.