

【論 文】

日本における小型電気電子機器のリサイクル

相澤 寛 史<sup>\*,\*\*</sup>・平井 康 宏<sup>\*\*</sup>・酒井 伸 一<sup>\*\*</sup>

**【要旨】** ビデオテープレコーダー、DVD ビデオ、ビデオカメラ、デジタルカメラ、フラッシュメモリープレーヤー、HDD オーディオプレーヤー、ゲーム機器、携帯電話の8品目を対象に、日本における廃棄量および含有物質の潜在的な含有量の試算を行った。また、廃棄先・自治体におけるリサイクル実態について、アンケート調査を行った。廃棄量は年間約60,000 tonと概算され、約0.4 kg/(人・年)と、家電4品目6.7 kg/(人・年)に比べては多くない結果であった。潜在的な資源量は金約4 ton、パラジウム約3 tonと資源密度が高かった。廃棄先は、携帯電話を除いては、自治体が50%以上を占める最大の排出先であった。約8割の自治体が、破碎処理後、リサイクルを行っている。その内訳は、鉄が約9割であり、レアメタルについてはほとんどリサイクルされていない。さらに、隠れたフローやe-wasteを含めた小型電気電子機器のリサイクル推進に向けた政策的な視点を整理した。

キーワード：廃電気電子機器、リサイクル、e-waste、関与物質総量、レアメタル

1. はじめに

現代の暮らしは、様々な電気電子機器が身の回りにあふれている。たとえば、DVDレコーダーの普及率は2005年3月から2008年3月までに29%から49%、ビデオカメラの普及率は1999年3月から2008年3月までに36%から41%、デジタルカメラの普及率は2002年3月から2008年3月までに23%から66%、携帯電話の普及率は2002年3月から2008年3月までに79%から91%と着実に生活に根付いてきている<sup>1)</sup>。今後、これらの電気電子機器が製品寿命を迎えた後の効果的なりサイクルと適切な処理が必要になってくると考えられる。

日本では、エアコン、ブラウン管式テレビ、冷蔵庫・冷凍庫、洗濯機の家電4品目およびパソコンを除き、他の電気電子機器はまだリサイクル対象にはなっていない。小型の電気電子機器のうち、携帯電話については、通信業者および通信機器製造業者がモバイル・リサイクル・

ネットワークという組織を構築し、携帯電話専門店において自主的にリサイクルしているが、平成18(2006)年度の国内出荷数は4,876万台<sup>2)</sup>で、リサイクルが平成18年度実績で662万台<sup>3)</sup>となっており、出荷量と比べると回収量は14%程度である。

EUでも、小型電気電子機器についてはWEEE指令(廃電気電子機器指令)に基づきリサイクル制度の対象としているが、小型電気電子機器は他の廃棄物に混ざって廃棄されることもあり、回収制度の構築が課題となっている<sup>4-6)</sup>。

近年、小型に限らず、電気電子機器廃棄物は途上国においても増加し、適正に処理できないe-wasteとして注目を集めている<sup>7-10)</sup>。特に先進国から途上国に輸出された廃電気電子機器が原因となって汚染が引き起こされている可能性も指摘されている。

一方、電気電子機器は、レアメタル、ペースメタルを含んでおり、資源としての側面も注目されてきている。たとえば、人工鉱床<sup>11)</sup>・都市鉱山<sup>12)</sup>などという捉え方により、鉱山として考えた場合の資源の潜在的な価値が注目を集めてきている。

本稿では、小型電気電子機器の廃棄に関する現状をレビューするとともに、小型電気電子機器の廃棄量、資源・有害物質の潜在的な含有量の試算を行い、廃棄先や自治体におけるリサイクル実態を調査し、これらの結果

原稿受付 2008.7.11 原稿受付 2009.7.16

\* 環境省廃棄物リサイクル対策部リサイクル推進室  
現在 環境省地球環境局地球温暖化対策課国際対策室  
\*\* 京都大学環境保全センター

連絡先：〒100-8975 東京都千代田区霞ヶ関1-2-2  
環境省廃棄物リサイクル対策部リサイクル推進室 相澤 寛史  
E-mail: hirofumi\_aizawa@env.go.jp

に加え、隠れたフローや e-waste との関係などを踏まえた小型電気電子機器のリサイクル推進に関する今後の政策を設計するための視点を明らかにすることとした。

## 2. 小型電気電子機器の廃棄に関する現状

日本では、最終処分場の残余容量のひっ迫等様々な局面で深刻な状況が続いている<sup>13)</sup>。平成 16 (2004) 年度末現在、一般廃棄物の最終処分場の残余容量は 1 億 3,052 万 m<sup>3</sup> であり、残余年数は、全国平均で 13.2 年分である<sup>14)</sup>。平成 16 年度末の産業廃棄物の最終処分場の残余容量は 1 億 8,483 万 m<sup>3</sup> で、残余年数は全国平均で 7.2 年分である。最終処分量の減容という観点から、小型電気電子機器の廃棄量について推定しておくことは重要である。

白鳥らは WEEE 指令と同様のカテゴリ分けに基づく電気電子機器廃棄量を想定し、買い換えに伴い出荷量と同様の台数が廃棄されるという前提で、廃棄台数を 2005 年度で人口 1 人あたり 19.4 kg/年と推計している<sup>15)</sup>。また、Oguchi らは、統計情報と平均年数を基に 94 品目についてワイプル関数を用いた廃棄量の推定を行い、2003 年度でその廃棄量を 167 万 ton と推定している<sup>16)</sup>。これは、人口 1 人あたり 13.2 kg/年となる。白鳥の方が、新しい出荷台数をベースに計算していること、リモコンや電源コードなどの付属品も推定対象に加えているため、多めの値となっていると考えられるが、現在、日本において廃棄される電気電子機器廃棄物は、おおむね 1 人あたり 1 年間に 10~20 kg 程度ではないかと示唆される。

2005 年における日本における家電 4 品目の廃棄量は、中央環境審議会の推計フロー<sup>17)</sup>にそれぞれの品目の平均重量を乗じると 86 万 ton であり、人口 1 人あたり 6.7 kg/年である。こうした推計から、広く産業用も含めれば、家電 4 品目の 2~3 倍の電気電子機器が排出されていると考えられる。廃電気電子機器に占める家電リサイクル法対象 4 品目の比重は、1997 年頃の特定家電リサイクル法の検討時に約 8 割<sup>18)</sup>であった背景に比べると減少しており、その他の電気電子機器が普及・廃棄されている可能性がある。

なお、WEEE 指令対象機器の廃棄量を解釈する際に留意すべき点は、電気を動力としているものを対象としているため、電球・医療用機器・自動販売機など幅広い品目が対象となっていることである。特に、自動販売機や OA 機器は普及台数が多く、1 台あたりの重量が重いものも多いことから、日本の電気電子機器廃棄量のうち、かなりの割合を占めるようになっていられる。このため、日本で一般家庭から廃棄される「家電」を

対象としていると理解すると廃棄量を過大評価することになる。

日本においては、①容器包装リサイクル・家電リサイクル・自動車リサイクルなど対象物の特性に応じたりサイクル制度を構築しており、小型電気電子機器の性状に応じた検討が日本の制度設計に適合している可能性があることや、② EU においても小型電気電子機器の回収は課題とされていることから、本稿では、貴金属やレアメタルの含有が注目されている特定の小型電気電子機器に着目した。これらの機器は、自治体へ容易に排出され得ること、比較的大型の家電を対象としている家電リサイクルのように小売業者を介した回収ルートが有効に機能しないことが予想される。

㈱物質・材料研究機構は、産業関連表を用いたマクロな推定結果から、使用中の機器も含めた日本国内に存在する金属資源のうち、金は約 6,800 ton と世界の現有埋蔵量 42,000 ton の約 16%、銀は 60,000 ton と 22% におよび、他にもインジウム 61%、スズ 11%、タンタル 10% と世界埋蔵量の 1 割を超える金属が多数あるとの結果を発表した<sup>12)</sup>。これは、日本におけるリサイクルのマクロな潜在的資源量を示していると考えられる。

さらに、白鳥らは、非鉄精錬の工程でリサイクル可能な基板・銅線など、機器に含まれる一部の具体的な部品を想定し、廃電気・電子機器中に含まれる非鉄金属およびレアメタルの含有量を試算した<sup>15)</sup>。その結果、銅 143,500 ton、金 41 ton・銀 710 ton・プラチナ 1.5 ton、パラジウム 3.6 ton、鉛 10,300 ton、スズ 5,300 ton、亜鉛 26,200 ton、ニッケル 5,400 ton、コバルト 23,000 ton という試算をしている。

㈱物質・材料研究機構の試算では、たとえば金は約 6,800 ton が存在するのに対し、白鳥らの試算では、41 ton であった。この差は、㈱物質・材料研究機構では、産業関連表を用いて電気電子機器以外の用途の機器も幅広く含めていること、使用中機器を含めたデータであり、廃棄量を想定していないことが主な原因であると考えられる。白鳥らは、欧州 WEEE 指令と同様に産業用電気電子機器も含めていることから、小型電気電子機器に限ると、さらに量が限定される可能性が予想される。

小型電気電子機器の資源性に注目が集まっているなか、その現在の廃棄傾向や効率的な回収ルートについての知見は少ない。秋田県大館市における小型家電の回収実証試験から、小型の家電は、スーパーにおける回収ボックスと自治体の不燃ごみ区分を比べると、約 85% が不燃ごみ区分、約 15% が回収ボックスから回収されており、自治体回収ルートで廃棄される可能性が高いことが示唆されている<sup>19)</sup>。回収ボックスについては、スーパーマー

ケットルートでの回収が64%を占め、市関連施設への設置より効果的なことが示唆されている。

また、比較的新しい電気電子機器については廃棄経験も少ないことから、希望する回収方法について消費者アンケートをとった経済産業省調査で、324人へのアンケート結果の結果、88.5%が有償・逆有償・無償の形態にかかわらず、店頭で引き取ってもらいリサイクルされることを希望していた。7.1%が自治体による回収、2.2%が民間の回収業者、0.6%がゆうパックや宅配便による回収を希望していた<sup>20)</sup>。

小売業者への引き取りを希望する人が多い一方で、自治体において多く回収されるという実証試験結果もある中で、排出者の具体的な廃棄先を調査したデータがないことから、本研究では、消費者アンケートをもとに廃棄先を調査することを考えた。廃棄物処理政策の在り方としては、これらに加えて、e-waste との関係や資源生産の際の廃棄物の発生量といった隠れたフローも考慮して検討する必要がある。

### 3. 研究方法

小型でレアメタルを比較的含有していると考えられている小型電気電子機器で、かつ組成データの入手可能なものとして、ビデオテープレコーダー、DVDビデオ、ビデオカメラ、デジタルカメラ、フラッシュメモリープレーヤー、HDDオーディオプレーヤー、ゲーム機器、携帯電話の8品目を対象に、日本における廃棄量について、出荷量と単位重量から推計を行った。さらに、これらの機器の組成情報をもとに、日本における資源量・有害物質の潜在的な含有量の試算を行った。

次に、携帯電話、ビデオカメラ、デジタルカメラ、ヘッドホンステレオ（テープ式・CD・MD・MP3プレーヤー等）については、インターネットアンケート調査を基に廃棄先を調査した。自治体のリサイクルの実態について、これらの機器からのリサイクルの有無とその際の資源種類について、市区を対象にアンケート調査を行った。

#### 3.1 小型電気電子機器の廃棄量の推定方法

ビデオテープレコーダー、DVDビデオ、ビデオカメラ、デジタルカメラ、フラッシュメモリープレーヤー、HDDオーディオプレーヤー、ゲーム機器、携帯電話の廃棄量について、機械統計に基づく2007年の出荷量<sup>21)</sup>を基に計算し、オーディオプレーヤーについては、(社)電子情報技術産業協会の2007年度の出荷量<sup>22)</sup>を基に、ゲーム機器については、経済産業省の資料<sup>23)</sup>を基に計算

した。2007年の出荷量と同様の量がいずれに買い替えに伴い排出されることを仮定し、出荷量=排出量と仮定して2007年の排出量を算出した。実際には、品目によって出典データに年と年度の違いがあることや、排出されるものは過去の製品であることに加えて、廃棄されずに退蔵、中古利用などの可能性があることから、この手法は概数を算出するための方法である。また、DVDビデオやフラッシュメモリープレーヤーなどは比較的新しい製品であり、現時点では、買い替えに伴って製品が排出される可能性は低いことにも注意が必要である。しかしながら本研究では、①デジタル機器の平均使用年数が携帯電話で4.3年、デジタルカメラで6.6年程度<sup>24)</sup>と推定され、10年以上使われる大型家電に比べると比較的サイクルが早く、数年後には廃棄される可能性もあり、政策的には数年後のことを想定することは重要であること、および②比較的製品改良のサイクルが早く新しい製品に買い替える製品群について、簡易な手法であっても、リサイクルの対象としてのポテンシャルを判断するために、概数を出すこととした。

廃棄重量の試算方法として、廃棄数量に単位重量を乗じて、廃棄重量を算出した。単位重量は、ビデオテープレコーダー、DVDビデオ、ビデオカメラ、デジタルカメラ、フラッシュメモリープレーヤー、HDDオーディオプレーヤー、ゲーム機器については、経済産業省による製品ごとの解体試験結果の平均値<sup>20)</sup>および携帯電話については中島らの調査<sup>25)</sup>を参考にした。経済産業省調査による単位重量は、解体試験に供した2~10台のデータから算出しているため、代表性の確保については今後の課題である。このため、本研究で得られる廃棄重量は、概数であることに留意する必要がある。

#### 3.2 資源および有害物質含有量の調査方法

本調査では、廃棄量を予測した小型電気電子機器8品目について、基板以外の鉄、銅、アルミなどの素材を含めて、組成から推定される潜在的な資源量を試算した。3.1の廃棄量推計を基に、2007年の廃棄量に組成データを乗じて、2007年の資源量を概算した。組成データは、経済産業省による解体実験結果<sup>20)</sup>に基づき、解体および分析によって得られたビデオテープレコーダー、DVDビデオ、ビデオカメラ、デジタルカメラ、フラッシュメモリープレーヤー、HDDオーディオプレーヤー、ゲーム機器の組成を用いた。基板はレアメタル等の含有が少ないと考えられる低品位な電源基板を分けた情報が入手可能であった。組成データは、定量データが入手可能な金、銀、銅、白金、ビスマス、スズを対象としたが、同調査においては定性的にはガリウム、タンタルなどのレアメ

タルも含まれていることが明らかになっており、これらについてもリサイクルができれば、資源としての価値はより大きいと考えられる。

また、一部入手不可能な組成情報があったため、他の製品の組成で置き換えるなどの仮定を置いている。具体的には、ビデオテープレコーダー、DVDビデオの組成はDVDプレーヤーの組成を用いた。デジタルカメラの出荷量は一眼レフタイプを含んでいるが、組成はコンパクトデジタルカメラの組成を用いている。デジタルオーディオプレーヤーの組成は、異なる形状のオーディオプレーヤーが存在したため、ひょうたん型（丸みを帯びたデザイン）とまっすぐ型（直方体型のデザイン）の平均値をとった。

携帯電話については、中島らの組成<sup>25)</sup>を用いた。なお、前述の組成情報の基礎データ<sup>20)</sup>は、分解試験を基に部品ごとに組成を調べているのに対し、中島らのデータ<sup>25)</sup>は元素単位となっており、推定根拠データや手法が異なることに注意が必要である。

解体結果が得られている携帯電話以外については、基板を除いた製品に含まれている資源、製品含有プリント基板中の金属を分けて算出を行い、その後、これらを合算し、各品目の潜在的な資源量の合計値を得た。含有量推定は、廃棄量推定における代表性と同様に、組成の代表性確保については課題があり、概数であることに留意が必要である。

### 3.3 廃棄・回収ルート

これらの製品を手放したときの廃棄先について、携帯電話・PHS、ビデオカメラ、デジタルスチルカメラ、ヘッドホンステレオ（テープ式・CD・MD・MP3プレーヤー等）を対象に、1,000人を対象としたインターネットアンケート調査を行った<sup>26)</sup>。実施期間は、2007年8月25日～28日、過去1年以内に、通信機器、IT機器、AV機器、玩具・日用品・雑貨、医療機器、電源装置、充電式単電池のうち、1品目以上の使用済電気電子機器を廃棄したことのあった20歳以上の男女1,000人を対象とした。質問内容は、廃棄製品の種類、引渡先について聞いた。引渡先については、家電販売店、携帯電話専門店、廃品回収業者、ごみとして自治体に引き渡した（自治体の定める方法に従って）、ごみとして自治体に引き渡した（自治体の定めとは関係なく他のごみに混入させた）、公共の場所に放置、中古店/リサイ

クルショップ、ネットオークション、親戚/友人/知人など、その他とした。

また、自治体のリサイクル実態について、市区を対象に、これらの機器から資源のリサイクルの有無とその際の資源種類について、都道府県を通じ、アンケート調査を行った<sup>27)</sup>。2004年度における状況について、2005年12月28日～2006年1月20日で行い、726市区から回答を得た。

## 4. 結果と考察

### 4.1 小型電気電子機器の廃棄量

小型電気電子機器の廃棄量は、年間約60,000 tonのレベルにあると概算された（表1）。これは、人口あたり、約0.4 kg/(人・年)と考えられる。すでにリサイクル制度が適用されている家電4品目の6.7 kg/(人・年)に比べれば、少量の結果となったのは、対象が小型機器であることに加え、さらに品目を限定したことによると考えられる。家電4品目は、一般家庭への普及率がほぼ100%に近く、1台あたりの重量も数十kgであることに比べ、推計した小型機器は、4～9割程度の普及率<sup>1)</sup>であることに加え、1台あたりの重量も少ない。

単位重量が約2.7 kgと小型機器としては比較的重いDVDビデオが約20,000 ton、ゲーム機器・デジタルカメラ・ビデオカメラが約10,000 tonと、これらの4つの機器が比較的廃棄量の多い製品であった。単位重量が40～100 gと軽いフラッシュメモリプレーヤーやHDDオーディオプレーヤーは、それぞれ約200 ton、約100 tonと少なかった。約2.7 kgと小型機器としては比較的

表1 小型電気電子機器8品目の廃棄量推計

	2007年出荷台数 (台)	単位重量 (g/unit)	廃棄量*1 (ton)
ビデオテープレコーダー	275,995	2,686.5	700
DVDビデオ	5,550,420	2,686.5	10,000
ビデオカメラ	13,235,370	698.0	9,000
デジタルカメラ*2	47,950,455	231.6	10,000
フラッシュメモリプレーヤー*3	5,215,000	40.8	200
HDDオーディオプレーヤー*4	975,000	107.7	100
ゲーム機器*5	11,000,000	1,148.5	10,000
携帯電話*6	55,669,735	121	7,000
合計	139,871,975		60,000

\*1: 出荷量＝廃棄量として2007年の廃棄量を概算

\*2: 統計値は一眼レフタイプ(4,511,221台)を含む

\*3: JEITA2007年度統計<sup>2)</sup> デジタルオーディオプレーヤー（半導体メモリ）。組成はひょうたん型（丸みを帯びたデザイン）とまっすぐ型（直方体型デザイン）の平均値

\*4: JEITA2007年度統計<sup>2)</sup> デジタルオーディオプレーヤーから半導体メモリ分を除いたものをHDDオーディオプレーヤーと仮定

\*5: ゲーム機器の出荷量は機械統計になかったため、1997～2000年のおおよその平均値を使用<sup>2)</sup>

\*6: 携帯電話は、機械統計<sup>2)</sup>中、携帯電話と公衆用PHS端末を足したもの

重い重量を想定したビデオテープレコーダーは、台数が少ないことから、約 700 ton と少なかった。1 台あたり重量が 121 g と軽い携帯電話は、台数が多いことにより、約 7,000 ton と今回の推計の機器のうちでは中間的な廃棄量を得た。

以上のことから、廃棄量の観点からは、小型電気電子機器のリサイクルの効果は家電 4 品目に比べれば小さいと考えられる。また、DVD ビデオのような機器からフラッシュメモリプレーヤーのような機器まで、品目により廃棄量に相当のばらつきがあることが明らかになった。

#### 4.2 資源および有害物質含有量

基板に含まれる資源を除いた資源量の概算において、潜在的な鉄の量が最も多かったのは、DVD ビデオが約 9,000 ton であり、次いでゲーム機が約 3,000 ton であった。基板に関しては、最も豊富なのはデジタルカメラが約 3,000 ton、次いで、ゲーム機器が約 2,000 ton、ビデオカメラが約 1,000 ton であった。

基板中の金属については、金についてはビデオカメラで約 1 ton と最も多く、銀についてはデジタルカメラ、ビデオカメラが約 8 ton と最も多かった（表 3）。パラジウムは、ビデオカメラが約 3 ton、デジタルカメラが約 0.3 ton であった。ビスマスはビデオカメラが約 4 ton と最も多く、ゲーム機器とデジタルカメラが各 0.8 ton 程度であった。鉛については、ビデオカメラが約 60 ton と最も多く、ゲーム機器とデジタルカメラが各 40 ton

程度であった。

基板を加えた各品目の潜在的な資源量の合計値においては、鉄は DVD ビデオが約 9,000 ton と最も多く、次にゲーム機器が約 3,000 ton であった（表 4）。他の機器については、約 400~600 ton 程度であった。銅は、基板以外の構成部品にも基板にも両方とも含まれるものであり、デジタルカメラで約 800 ton、ビデオカメラ、携帯電話で 700 ton 程度、ゲーム機器が約 500 ton、DVD ビデオが約 400 ton であり、ビデオテープレコーダー、フラッシュメモリプレーヤー、オーディオプレーヤーでは約数~20 ton であった。アルミニウムは、デジタルカメラとゲーム機器では 300~500 ton 程度であった。

金は、ビデオカメラが約 1 ton と最も多く、デジタルカメラ、携帯電話、ゲーム機器、DVD ビデオが 0.4~0.8 ton 程度であった。ビデオテープレコーダーとフラッシュメモリプレーヤーで 0.02 ton 程度であった。銀は、デジタルカメラ、ビデオカメラが 8 ton 程度、次いで、DVD ビデオとゲーム機器では 2~3 ton 程度であった。パラジウムは、ビデオカメラが 3 ton、デジタルカメラと携帯電話では 0.3 ton 程度であった。ビスマスは携帯電話が約 10 ton と最も多く、ビデオカメラが約 4 ton、ゲーム機器とデジタルカメラでは各 0.8 ton 程度であった。

鉛については、ビデオカメラが約 60 ton と最も多く、ゲーム機器とデジタルカメラでは各 40 ton 程度、次いで、DVD ビデオが約 20 ton であった。

表 2 潜在的な資源・部品量推計

	Fe	Cu	Al	金属(不明)	プラスチック	基板	フィルム基板	電源基板	その他
ビデオテープレコーダー	500	—	—	—	100	30	—	70	80
DVD ビデオ	9,000	—	—	—	2,000	700	—	1,000	2,000
ビデオカメラ	500	300	—	—	3,000	1,000	600	—	4,000
デジタルカメラ	600	—	500	—	5,000	3,000	—	—	3,000
フラッシュメモリプレーヤー	—	—	—	80	50	30	—	—	50
HDD オーディオプレーヤー	—	—	—	40	10	10	—	—	20
ゲーム機器	3,000	—	300	—	6,000	2,000	—	800	1,000
合計	10,000	300	800	100	20,000	7,000	600	2,000	9,000

単位 ton: 出荷量×単位組成  
2007 年の資源・部品量を概算

表 3 基板中の金属重量推計

	Au	Ag	Pd	Cu	Pb	Bi	Sn
ビデオテープレコーダー	0.02	0.2	—	20	1	—	2
DVD ビデオ	0.4	3	—	400	20	—	40
ビデオカメラ	1	8	3	400	60	4	80
デジタルカメラ	0.8	8	0.3	800	40	0.8	80
フラッシュメモリプレーヤー	0.02	0.1	—	7	0.01	—	0.9
HDD オーディオプレーヤー	0.009	0.03	—	6	0.002	—	0.6
ゲーム機器	0.5	2	—	500	40	0.8	80
合計	3	20	3	2,000	200	5	300

単位 ton.: 基板重量×基板組成  
2007 年の金属重量を概算

表4 プリント基板組成を反映した潜在的な資源量推計

	Fe	Cu	Al	Pb	Au	Ag	Pd	Bi	Sn	プラスチック	その他
ビデオテープレコーダー	500	20	—	1	0.02	0.2	—	—	2	100	80
DVD ビデオ	9,000	400	—	20	0.4	3	—	—	40	2,000	2,000
ビデオカメラ	500	700	—	60	1	8	3	4	80	3,000	4,000
デジタルカメラ	600	800	500	40	0.8	8	0.3	0.8	80	5,000	3,000
フラッシュメモリーブレーヤー	—	7	—	0.008	0.02	0.1	—	—	0.9	50	100
HDD オーディオプレーヤー	—	6	—	0.002	0.01	0.03	—	—	0.6	10	60
ゲーム機器	3,000	500	300	40	0.5	2	—	0.8	80	6,000	1,000
携帯電話	400	700	20	0.6	0.6	0.4	0.2	10	30	4,000	2,000
合計	10,000	3,000	800	200	4	20	3	20	300	20,000	10,000
(参考) 家電4品目											
エアコン	100,000	40,000	20,000							30,000	20,000
CRT テレビ	30,000	8,000	3,000							70,000	100,000
電気冷蔵庫・冷凍庫	100,000	10,000	3,000							100,000	8,000
電気洗濯機	80,000	3,000	6,000							50,000	10,000

単位 ton

2007年の資源量を概算

家電4品目は2005年を想定した排出量<sup>29)</sup>にそれぞれの組成割合<sup>30)</sup>を乗じて算出(エアコンの組成は1990年製、CRTテレビ、冷蔵庫、洗濯機の組成は1993年製のデータを使用。冷蔵庫・冷凍庫は冷蔵庫の組成を、洗濯機は全自動洗濯機の組成データを使用)

資源毎にみると、鉄約10,000 ton、銅約3,000 ton、アルミニウム約800 ton、鉛約200 ton、金約4 ton、銀約20 ton、パラジウム約3 ton、ビスマス約20 ton、スズ約300 tonという試算を得た。なお、プラスチックについては約20,000 ton、その他について約10,000 tonであった。廃棄量に占める資源量の割合(重量%)は、鉄約30%、銅約6%、アルミニウム約1%、鉛約0.3%、金約0.007%、銀約0.04%、パラジウム約0.006%、ビスマス約0.03%、スズ約0.06%となった。

これらの結果は、WEEE指令対象品目を想定した白鳥らの試算結果<sup>15)</sup>と比べると、銅143,500 tonに比べ約3,000 ton、金41 tonに比べ約4 ton、銀710 tonに比べ約20 ton、パラジウム3.6 tonに比べ約3 ton、鉛10,300 tonに比べ約200 ton、スズ5,300 tonに比べ約300 tonであった。白鳥らの試算結果では人口1人あたりの廃棄量は19.4 kgであり、8品目を対象とした本結果では約0.4 kg/人と50倍近く異なっているが、資源量では、金は約10倍、パラジウムはほぼ同程度であった。したがって、金やパラジウムについて、これらの小型電気電子機器は、廃棄重量は少ないが資源密度が高く、リサイクル対象として高いポテンシャルを秘めている。

また、一般的に鉛のほか、カドミウム、クロム、砒素などの重金属類が基板に含有されているほか、水銀を含んでいるボタン電池が内蔵されている場合がある。臭素系難燃剤の主要な発生源として、テレビのプリント基板やプラスチックが指摘されている<sup>29,30)</sup>が、小型で高機能を求められる小型電気電子機器にも臭素系難燃剤が含まれていることは想定される。浅利らは、電池や蛍光管の水銀用途を含めた日本の水銀フローの解析の中で、携帯電話などの表示パネル付機器の水銀使用量について、液

晶バックライト用途は2000年から2003年にかけて約1 tonから約3 tonまで急激に増加していることを指摘している<sup>31)</sup>。これらの有害物質情報の充実も今後、課題であると考えられる。このほか、レアメタルとして知られているインジウムについても、肺間質障害を引き起こす可能性が報告<sup>32)</sup>されており、レアメタルについても有害性の観点からの検討が必要である。

#### 4.3 廃棄・回収ルート

排出先のアンケートの結果からは、親類・友人・知人などや、ネットオークション、中古店と、廃棄するのではなく中古利用目的の引き渡しが、半分近い比率であった(表5)。残りについては、自治体が最大の排出先であった。特にデジタルカメラは、7割近くが中古利用目的への引き渡しであった。携帯電話については、その他を選んだ人が多く、退職・紛失が多いと考えられる。このことは、携帯電話の自主回収団体モバイル・リサイクル・ネットワークによる2,000人を対象とした調査(2007年5月実施インターネットアンケート)において、過去1年間に買替・解約時に携帯電話を処分した人が32.8%しかいない結果とも一致する<sup>3)</sup>。その退職の理由は、写真やメールが残る端末を「コレクション・思い出として残す」(35%)が最も多く、さらに、端末の多機能化・高性能化により「電話帳として利用」(14%)「データのバックアップ用」(12%)「デジカメ」(5%)「ゲーム機」(5%)「目覚まし時計」(16%)などの用途で利用している人も半数近くに上る結果となっている。一方で、「何となく」という回答が22%であった。小型電気電子機器も複合機能を持つ場合は、主機能を使用しなくなっても廃棄しない場合があり得る。一方で、小型

表5 排出先割合と自治体への排出量

N	廃棄							中古利用				その他
	家電販売店 (携帯電話専門 店を含む)	廃品 回収 業者	自治体 (合計)	ごみとして自治 体に引き渡した (自治体の定め る方法にした がって)	ごみとして自治 体に引き渡した (自治体の定め とは関係なく他 のごみに混入さ せた)	不法 投棄	中古店/リサイ クルショップ	ネット オーク ション	親戚/友人/ 知人など	廃品 回収 業者		
携帯電話・PHS	439	20.5	1.4	7.3	5.2	2.1	0.2	0.5	3.4	5.2	1.4	61.5
ビデオカメラ	59	11.9	8.5	30.5	25.4	5.1	0.0	6.8	8.5	18.6	8.5	15.3
デジタルカメラ	129	10.9	1.6	15.5	13.2	2.3	0.0	5.4	19.4	30.2	1.6	17.1
ヘッドホンステレオ	160	5.6	2.5	41.9	30.6	11.3	0.6	7.5	7.5	21.3	2.5	13.1

単位：品目名のNは回答者数 廃棄・中古利用・その他の数字は %  
2006年8月～2007年8月における排出先

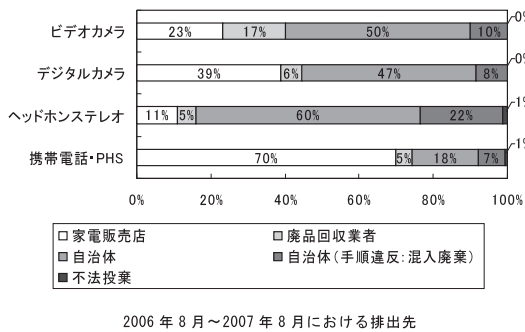
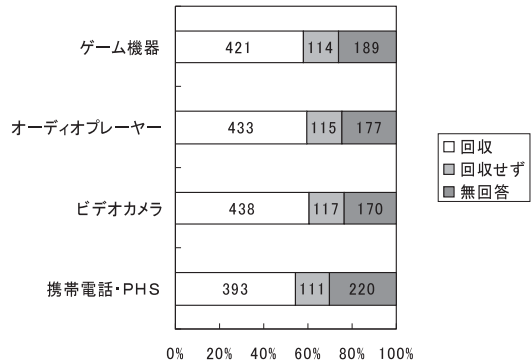


図1 廃棄先割合

で場所を取らないことから、「何となく」退蔵することもあり得ると考えられる。

中古利用やその他を除いた廃棄先について見ると、店頭で自主回収を行っている携帯電話を除いては、自治体が50%以上を占める最大の排出先であった(図1)。また、各品目とも10%程度自治体の定める廃棄手順に従っていない廃棄が存在した。特にヘッドホンステレオについては、22%が他の廃棄物に混入させるなど自治体の定める廃棄手順に従わずに廃棄していた。

これらの結果からは、現状では手放した場合に廃棄されるのは約半数であること、実際の廃棄行動としては、自治体への廃棄が多いこと、また小型でどのごみ区分にも入れられるため実際の廃棄行動でも自治体の区分に



凡例の数字は回答自治体数  
2004年度における状況

図2 自治体による破碎処理後のリサイクル実施状況

必ずしも従わないことが示唆される。なお、経済産業省調査結果では、小型電子機器について消費者の88.5%が店頭で引き取ってもらいリサイクルをすることを希望していた<sup>20)</sup>ことから、小売業者が回収するのであればそのほうが有効なルートである可能性もある。自治体におけるリサイクル実態の調査結果からは、2005年時点において、ゲーム機器、オーディオプレーヤー、ビデオカメラ、携帯電話については、ほぼ同様のリサイクル傾向であることがわかる(図2)。無回答を除くと、79%の自治体が、破碎処理後、リサイクルを行っている。リサ

表6 自治体により破碎処理後リサイクルされている資源種類

N	金属類							プラスチック	ガラス	その他	素材名無回答	
	鉄			非鉄金属			金属類 (不明)					
	鉄	磁性物	ステンレス	アルミ	銅	非鉄金属						
ビデオカメラ	438	380	5	5	255	43	9	40	12	4	24	15
オーディオプレーヤー	433	373	5	4	247	41	10	42	12	4	24	14
ゲーム機器	421	371	4	4	262	41	9	33	12	5	26	14
携帯電話・PHS	393	344	5	4	251	41	8	33	11	5	20	13

数字は回答自治体数  
資源種類は自由記述  
2004年度における状況

イクルしている資源の種類を見ると、鉄は約9割の自治体がリサイクルしていた(表6)。6割の自治体がアルミをリサイクルしていた。それ以外については、銅やプラスチックが数%であった。ただし、焼却灰から鉄・非鉄金属等をリサイクルしているケースもあるため、さらにリサイクルされている一部の鉄・非鉄金属もあると考えられる。

これらの結果から、かなりの自治体で鉄はリサイクルされるものの、アルミは一部、銅やプラスチックはより少ない割合しかリサイクルされていない。また、レアメタルなどのその他の金属をリサイクルしている自治体は皆無であると考えられる。

### 5. リサイクル推進に向けた政策的な視点の整理

これまでの結果を踏まえつつ、文献レビューを交えて、リサイクルの推進に向けた政策的な視点の整理を行った。小型電機電子機器のリサイクル推進にあたっては、廃棄物量や資源性のみならず、隠れたフローや e-waste といった観点も含めたシステム全体の評価や、回収・中間処理・レアメタルのリサイクルといった、想定される工程ごとに評価を行う必要があると考えられる(図3)。

これまでの試算によれば、小型電気電子機器それ自体は小型で、廃棄物量としては大型家電に比べればリサイクルの効果は少ないと考えられる。しかしながら、循環型社会を構築するためには、鉱石から素材を作り、部品

を作り、さらに製品を組み立てるまでの工程において発生する廃棄物やその環境負荷についてのライフサイクルを通じた観点が重要であると考えられる。たとえば金の採鉱に際しても、採鉱時の土砂等の発生など膨大な量の廃棄物の発生や、粉塵による大気汚染、水銀のような副産物の重金属による水、土壤汚染の可能性が指摘されている<sup>33)</sup>。このような隠れた廃棄物の発生量を考慮することは重要であり、採鉱時の土砂等の、隠れたフローと呼ばれる天然資源のフロー量を示す関与物質総量(TMR)を用いて、素材毎に重み付けを行い評価する試みも進められている<sup>34)</sup>。たとえば、1 tonあたりの金(Au)のTMRは、1,100,000 tonと見積もられ、鉄(Fe)のTMR8 tonと比較するとはるかに大きい<sup>35)</sup>。中島ら<sup>25,36)</sup>は携帯電話についてTMRを適用して、重量ベースの構成要素はプラスチック69%、銅11%、ガラス8%、鉄6%であったが、TMRで重み付けした構成要素は金41%、パラジウム19%、銅11%という結果を算出している。このことは、希金属やレアメタルが含有された機器は、たとえ含有量が微量であっても、それらの資源の調達までの間に大きな環境負荷をもたらしていることを示唆している。

今回、4.2の資源量の試算で金やパラジウムの含有量が多かったことから、鉱石中の含有量が極めて少ない資源を用いている小型電気電子機器のリサイクルを考えた場合、むしろこうした隠れた廃棄物の発生抑制の効果が大きいと考えられるが、携帯電話を除けば、この効果はまだ十分に明らかにはなっていない。小型電気電子機

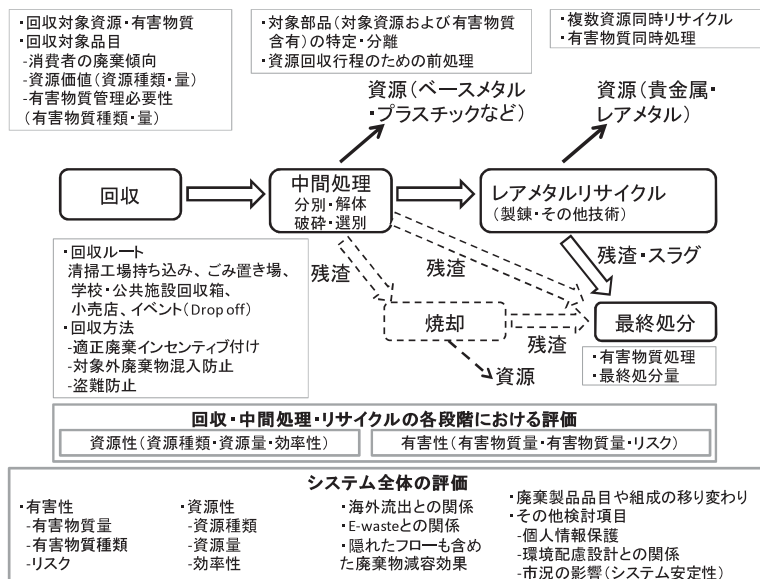


図3 小型電気電子機器のリサイクル推進に向けた検討事項



器のリサイクルの効果や必要性を検討する際には、こうした隠れたフローについても考慮に入れて効果を考える必要がある。

また、これらの小型電気電子機器の e-waste としての流通量は明らかではない。中古製品、部品あるいはスクラップとして輸出されている可能性はあるが、いずれも定量的に把握されたデータはない。テレビ、エアコン、冷蔵庫、洗濯機については中古品としての輸出量把握の試みが進められている<sup>37,38)</sup>。e-waste は、たとえば貴金属リサイクルを目的として、その廃液、排ガス、残渣処理といった環境対策が不十分なりサイクルによって、汚染がもたらされることが指摘されている<sup>8-10)</sup>。金などの貴金属が豊富な小型電子機器についても、何らかの形で環境上、不適なりサイクルがなされる可能性がある。このため、携帯電話については、2002 年より、国連環境計画 (UNEP) が Mobile Phone Partnership Initiative (MPPI) という回収・リユース・リサイクルについてのパイロットプロジェクトを開始している<sup>39)</sup>。これらのことから、小型電気電子機器のリサイクルは e-waste の側面からも捉えて考える必要がある。

加えて、製品種類や製造年月により、含有される金属種類は異なると考えられる (比較的高価なレアメタルは代替している可能性もある) ことから、時系列的に変化する組成からどのように資源をリサイクルするか、といった点でも検討が必要である。

さらに、廃棄量の推定方法の洗練も重要な課題である。今回は出荷量=廃棄量とするなど、廃棄量や資源量の推定に際して、粗い試算を行った。しかし、廃棄量推定については、前述の白鳥ら<sup>15)</sup>や Oguchi ら<sup>16)</sup>に加え、海外でも、出荷量を基に正規分布やワイブル分布、ベータ分布といった統計分布を活用したモデル<sup>40)</sup>、動的・静的なモデルによる推計<sup>41)</sup>、GDP などの社会経済指標を考慮することにより将来出荷数予測も反映した廃棄量の推定<sup>42)</sup>など様々な手法の研究が進められており、廃棄量の推定手法の精緻化や効率的な推定手法の開発も重要な検討課題と考えられる。

次に、回収・中間処理・レアメタルリサイクルといった工程を想定して、政策的に検討が必要な視点を整理する。

回収については、既に自治体レベルの取り組みとして秋田県大館市において、小型家電を対象に、不燃ごみからの回収とスーパーマーケットおよび市関連施設に収集ポストを設置する回収実証試験を行っている<sup>19)</sup>。回収ボックスと不燃ごみで、回収される製品に相違が見られたとも報告されており、効果的な回収の模索の必要性が指摘されている。その際には、適正廃棄へのインセン

ティブ付けや回収対象外の廃棄物の混入防止、さらに盗難防止の方策の検討も必要になると考えられる。収集し、資源価値が高まった後、リサイクル施設に行かずに海外に流出しないようなシステム構築が必要である。

中間処理については、資源としてリサイクルしやすい状態にするための前処理とも考えられる、多種多様な製品から資源・有害物質およびそれらの含有部品を取り出すことを、いかに効率よく行うかが重要である。リサイクル対象資源や有害物質が複数想定される場合は、現在の破碎処理技術をさらに開発し、種類毎に分けたり、適正な濃縮を行ったりすることも検討される必要がある。国連大学の欧州 WEEE 指令に関する評価では、小型電気電子機器のプラスチックリサイクルの効率性は他の品目に比べ落ちると指摘されており、手解体・破碎といった処理方法の選択およびプラスチックをリサイクル対象とするかの選択も課題となる<sup>6)</sup>。

中間処理後、特定の部品からレアメタルのリサイクルを行う際には、適正な処理技術が必要となる。非鉄金属のリサイクル技術については、日本には、銅・亜鉛・鉛などの既存の精錬技術が残されており、小型電気電子機器を鉱山として考えた場合、選鉱・精錬すること自体は新しい考えではない<sup>11)</sup>。しかしながら、ディスプレイのように分離が難しい希土類 (レアアース) のリサイクル技術は確立されていない。また、廃電気電子機器に含まれている複数のレアメタルの同時リサイクルについても技術開発の余地がある。さらに、砒素・鉛といった有害物質の適正処理との両立、あるいはレアメタル自体の有害性についても併せて技術開発・検証が必要であると考えられる。

これらの他に、次のような点についても今後、検討が必要である：①再生されたレアメタルなどの資源と急激に変動しやすい市況との関係をどう整理するかといった検討。②環境配慮設計 (DfE) とリサイクルの関係をどう考えるか (DfE を促進する必要がある分野か) の検討。③携帯電話などの電気電子機器には、使用者の個人情報が含まれることが多いことから、個人情報の保護の観点からの検討。

小型電気電子機器のリサイクル推進については、現在、エコタウンや精錬業者の存在する複数の自治体において、研究会や協議会が立ち上がるなど、小型電気電子機器リサイクルの検討が進められてきている。事業者・自治体のこうした自主的な動きを有機的に連携させ、望ましい小型家電の回収方法、レアメタルリサイクル技術の育成といった検討が必要であると考えられる。特に、消費者からの小型電気電子機器の回収については、大館市や携帯電話自主回収の経験からも、十分なシステムが必要と

考えられることを踏まえ、複数の自治体において、地域や都市規模なども勘案しつつ、より効率的な回収方法について試行錯誤し、その情報を共有していくことが望ましいと考えられる。国においても、平成20(2008)年5月に総合科学技術会議で取りまとめられた「革新的技術戦略」においてレアメタルのリサイクルと有害物質の適正処理を行う技術について、革新的技術として位置づけられた<sup>43)</sup>。環境省においても、これを踏まえてレアメタルのリサイクルと有害物質の適正処理についての検討を進めている<sup>44)</sup>。今後、回収ルートや処理技術を含め、総合的な可能性を判断するためのモデル事業等による知見の蓄積が望まれる。

## 6. 結 論

本稿では、小型電気電子機器の廃棄量・資源量・有害物質量の推計と、廃棄・回収ルートについての調査を行った。

その結果、小型電気電子機器は、①廃棄量は多くないものの、採鉱から製造時の廃棄物など隠れたフローを考慮して廃棄物量を考えた方が良いこと、②金やインジウムなどのレアメタルの量が豊富であり、希少資源の含有量を考えた方が良いこと、③中古利用目的で排出されるものが多く、それを除けば、現状の廃棄先としては自治体が最も多いこと、しかし自治体ではこれらの廃棄物からのレアメタルの回収は行われてはいないことが明らかになった。これらの結果を踏まえ、小型電気電子機器のリサイクルの際の検討事項を整理し、リサイクル推進に向けた視点を明示した。

また、今回は8品目を対象としたが、今後、多種多様な小型電気電子機器を幅広く調査し、廃棄量・資源性・有害性といった観点からの一層の検討が必要である。

## 参 考 文 献

- 1) 内閣府：消費動向調査 平成20年普及率 (2008)  
<http://www.esri.cao.go.jp/jp/stat/shouhi/shouhi.html>
- 2) 産電子情報技術産業協会：統計 (2008)  
<http://www.jeita.or.jp/japanese/stat/cellular/2006/index.htm>
- 3) モバイル・リサイクル・ネットワーク：平成18年度携帯電話・PHSにおけるリサイクルの取り組み状況について (2008)  
<http://www.mobile-recycle.net/>
- 4) A. Janz, S. Rotter and B. Bilitewski: The Contribution Of WEEE to the Content of Hazardous Substances and Recyclables in Residual Household Waste—Development of Automatic Sorting Strategies, Proceedings

- Sardinia 2007, Eleventh International Waste Management and Landfill Symp. Oct. (2007)
- 5) L. Darby and L. Obara: Household Recycling Behaviour and Attitudes towards the Disposal of Small Electrical and Electronic Equipment, Resources, Conservation and Recycling, Vol. 44, No. 1, pp. 17–35 (2005)
- 6) United Nation University: Review of Directive 2002/96 on Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) Final Report (2008)
- 7) A. Terazono, S. Murakami, N. Abe, B. Inanc, Y. Moriguchi, S. Sakai, M. Kojima, A. Yoshida, J. Li, J. Yang, M. H. Wong, A. Jain, I. S. Kim, G. L. Peralta, C. C. Lin, T. Mungcharoen and E. Williams: Current Status and Research on E-waste Issues in Asia, Journal of Material Cycles and Waste Management, Vol. 8, No. 1, pp. 1–12 (2006)
- 8) The Basel Action Network (BAN) and Silicon Valley Toxics Coalition (SVTC): Exporting Harms (2002)  
<http://www.ban.org/E-waste/technotrashfinalcomp.pdf>
- 9) The Basel Action Network (BAN): The Digital Dump (2005)  
[http://www.ban.org/BANreports/10-24-05/documents/TheDigitalDump\\_Print.pdf](http://www.ban.org/BANreports/10-24-05/documents/TheDigitalDump_Print.pdf)
- 10) United Nations Environment Programme: E-waste, the Hidden Side of IT Equipment's Manufacturing and Use, Early Warning on Emerging Environmental Threats, January (2005)  
<http://www.grid.unep.ch/product/publication/earlywarning.php>
- 11) 白鳥寿一, 中村 崇: 人工鉱床構想—— Reserve to Stock の考え方とその運用に関する提案——, 資源と素材, 第6, 7巻, 第122号, pp. 325–329 (2006)
- 12) 御物質・材料研究機構: わが国の都市鉱山は世界有数の資源国に匹敵—— わが国に蓄積された都市鉱山の規模を計算—— 平成20年1月11日プレス発表 (2008)
- 13) 環境省: 循環型社会形成推進基本計画 (平成20年3月25日閣議決定) (2008)  
<http://www.env.go.jp/.recycle/circul/keikaku.html>
- 14) 環境省: 環境白書 (2008)  
<http://www.env.go.jp/policy/hakusyo/>
- 15) 白鳥寿一, 中村 崇: 人工鉱床構想2—— 廃電気・電子機器の金属含有ポテンシャルの推移と経済的意味——, 資源と素材, 第4, 5巻, 第123号, pp. 171–178 (2007)
- 16) M. Oguchi, T. Kameya, S. Yagi and K. Urano: Product Flow Analysis of Various Consumer Durables in Japan, Resources, Conservation and Recycling, Vol. 52, No. 3, pp. 463–480 (2008)
- 17) 中央環境審議会: 家電リサイクル制度の施行状況の評価・検討について (2008)
- 18) 生活環境審議会: 生活環境審議会廃棄物処理部会報告 (1997)
- 19) 白鳥寿一, 中村 崇: 大館市における小型電子機器収集実験, 平成19年度 (2007年) 資源・素材学会秋季大会 (2007)

- 20) 経済産業省：3R システム化可能性調査事業 使用済みデジタル家電からの貴金属，レアメタルリサイクルネットワーク構築可能性調査 調査報告書 (2007)
- 21) 経済産業省：機械統計年報 18 年 (2008)  
<http://www.meti.go.jp/statistics/tyo/seidou/>
- 22) 社団法人電子情報技術産業協会：民生用電子機器国内出荷統計 2008 年 3 月国内出荷実績 (2008)  
[http://www.jeita.or.jp/japanese/stat/shipment/2008/ship\\_03.htm](http://www.jeita.or.jp/japanese/stat/shipment/2008/ship_03.htm)
- 23) 経済産業省：ゲーム産業の現状と課題 平成 14 年 3 月メディア・コンテンツ課 (2002)  
[http://www.meti.go.jp/policy/media\\_contents/downloadfiles/0313game.pdf](http://www.meti.go.jp/policy/media_contents/downloadfiles/0313game.pdf)
- 24) 小口正弘，亀屋隆志，田崎智宏，谷川昇，浦野紘平：製品特性に関する数量化分析を用いた電気・電子製品の平均使用年数の推定，廃棄物学会論文誌，第 18 巻，第 3 号，pp. 182-193 (2007)
- 25) 中島謙一，中野加都子，長坂徹也：使用済み携帯電話の資源性——レアメタル・貴金属のリサイクル——，INDUST 4 月号，No. 246，pp. 13-17 (2008)
- 26) 株式会社三菱総合研究所：環境省請負事業 平成 19 年度リサイクル制度の体系化・高度化推進検討調査委員会 第 2 回資料 (2007)
- 27) 株式会社三菱総合研究所：環境省請負事業 平成 17 年度リサイクル制度の体系化・高度化推進検討調査 (2006)
- 28) H. Aizawa, H. Yoshida and S. Sakai: Current Results and Future Perspectives for Japanese Recycling of Home Electrical Appliances, Resources, Conservation & Recycling, Vol. 52, No. 12, pp. 1399-1410 (2008)
- 29) 酒井伸一：有機臭素系のダイオキシン類緑化合物——難燃材料における存在と制御方策を中心に——，廃棄物学会誌，第 11 巻，第 3 号，pp. 210-222 (2000)
- 30) I. Watanabe and S. Sakai: Environmental Release and Behavior of Brominated Flame Retardants, Environment International, Vol. 29, No. 6, pp. 665-682 (2003)
- 31) 浅利美鈴，福井和樹，酒井伸一，高月 紘：水銀の物質フローと蛍光管リサイクルのあり方，廃棄物学会誌，第 16 巻，第 4 号，pp. 223-235 (2005)
- 32) 大前和幸，中野真規子，田中昭代，平田美由紀：まさかの化学物質による健康障害と対策…2 インジウム，労働の科学，第 63 巻，第 5 号，pp. 286-289 (2008)
- 33) United Nations Environment Programme: Gold Prices on the Rise, Environment under Pressure, Early Warning on Emerging Environmental Threats, Nov. (2006)  
<http://www.grid.unep.ch/product/publication/earlywarning.php>
- 34) 中島謙一，原田幸明，井島 清，長坂徹也：関与物質総量 (TMR) の算定：エネルギー資源および工業材料の TMR，日本 LCA 学会誌，第 2 巻，第 2 号，pp. 152-158 (2006)
- 35) 原田幸明：資源リスク軽減のためのこれからの物質利用——ファクター 8 への転換——，工業材料，第 56 巻，第 3 号，pp. 72-81 (2008)
- 36) 中島謙一，山本圭介，中野加都子，黒田光太郎，原田幸明，長坂徹也：関与物質総量 (TMR) に基づく使用済み携帯電話リサイクルフロー解析，日本 LCA 学会誌，第 2 巻，第 4 号，pp. 341-346 (2006)
- 37) 株式会社三菱総合研究所：平成 13 年度廃棄物等処理再資源化推進報告書(循環型社会構築に関わる内外制度及び経済への影響に関する調査) (2002)
- 38) 吉田 綾：日中を中心とした東アジアの循環資源貿易の動向，生活と環境，第 51 巻，第 6 号，pp. 31-36 (2006)
- 39) パーゼル条約事務局：MPPI Documents (2008)  
<http://www.basel.int/industry/mppi/documents.html>
- 40) M. T. Melo: Statistical Analysis of Metal Scrap Generation: The Case of Aluminium in Germany, Resources, Conservation and Recycling, Vol. 26, No. 2, pp. 91-113 (1999)
- 41) E. van der Voet, R. Kleijn, R. Huele, M. Ishikawa and E. Verkuiljen: Predicting Future Emissions Based on Characteristics of Stocks, Ecological Economics, Vol. 41, No. 2, pp. 223-234 (2002)
- 42) A. Elshkaki, E. van der Voet, V. Timmermans and M. V. Holderbeke: Dynamic Stock Modelling: A Method for the Identification and Estimation of Future Waste Streams and Emissions Based on Past Production and Product Stock Characteristics, Energy, Vol. 30, No. 8, pp. 1353-1363 (2005)
- 43) 総合科学技術会議：第 75 回総合科学技術会議(平成 20 年 5 月 19 日) (2008)  
<http://www8.cao.go.jp/cstp/>
- 44) 中央環境審議会廃棄物リサイクル対策部会：参考資料 4 革新的技術戦略について(平成 20 年 6 月 5 日) (2008)  
<http://www.env.go.jp/recycle/circul/keikaku.html>

## Recycling of Small Electrical and Electronic Equipment Waste

Hirofumi Aizawa<sup>\*,\*\*</sup>, Yasuhiro Hirai<sup>\*\*</sup> and Shin-ichi Sakai<sup>\*\*</sup>

\* Recycling Promotion Office, Waste Management Department,  
Ministry of the Environment  
(Current affiliation : Office of International Strategy on Climate Change,  
Global Environment Bureau, Ministry of the Environment)  
\*\* Environmental Preservation Center, Kyoto University

† Correspondence should be addressed to Hirofumi Aizawa :  
(1-2-2 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8975 Japan)

### Abstract

This paper estimates disposal amounts and potential substance volume of video recorders, DVD recorders, video cameras, audio players (flash memory and HDD types), video games and mobile phones. It is estimated that approximately 60000 tons of these types of wastes are being disposed of annually. When estimated per capita, at approximately 0.4 kg/yr per capita for these waste items, the amount is relatively small in comparison to an estimation of 6.7 kg/yr per capita for CRT TVs, air conditioners, washing machines and refrigerators. Waste from these small devices and equipment is estimated to contain a total of four tons of gold and three tons of palladium.

Results indicate that there is a high potential for precious metal recycling from small electrical devices and other electronic equipment. Excluding reuse, more than half of these types of equipment are being disposed of as household waste (through the municipal government). Based on a public questionnaire, about 80% of Japan's municipal governments recycle some kind of resources : approximately 90% are recycling iron and approximately 60% are recycling aluminum. It appears that precious metals are not being recycled. This paper gives several suggestions regarding what needs to be considered in order to establish recycling small electrical and electronic equipment. Hidden flow, according to the Ecological Rucksack concept, may be an important aspect to incorporate into this recycling process. E-waste is another perspective to be examined.

**Key words** : WEEE, recycling, e-waste, TMR, rare metal