

使用済小型家電からのレアメタルの回収 及び適正処理に関する研究会

とりまとめ

平成23年4月

環 境 省
経 済 産 業 省

目次

1 . 研究会設置の経緯	・ ・ ・ ・ ・ 1
(1) 小型家電とレアメタルを取り巻く状況と研究会設置の経緯	・ ・ ・ ・ ・ 1
(2) 研究会での検討の進め方	・ ・ ・ ・ ・ 1
(3) 小型家電の現状	・ ・ ・ ・ ・ 7
2 . モデル事業の結果	・ ・ ・ ・ ・ 9
(1) 使用済小型家電の回収状況	・ ・ ・ ・ ・ 1 2
(2) 既存制度との整合性	・ ・ ・ ・ ・ 2 0
3 . 使用済小型家電からのレアメタル回収に係る検討	・ ・ ・ ・ ・ 2 4
(1) 使用済小型家電に含まれるレアメタル及びそれらを含有する部位・部品	・ ・ ・ 2 4
(2) レアメタル回収の現状について	・ ・ ・ ・ ・ 3 1
(3) 既存レアメタル回収システムの使用済小型家電への適用可能性について	・ ・ ・ 3 7
4 . 使用済小型家電のリサイクルにおける環境管理の検討	・ ・ ・ ・ ・ 4 1
(1) 使用済小型家電における有害物質等の含有状況等	・ ・ ・ ・ ・ 4 1
(2) 使用済小型家電に含まれる有害物質に関連する知見と政策の動き	・ 5 1
(3) 使用済小型家電のリサイクルにおける環境管理手法	・ ・ ・ ・ ・ 5 5
5 . リサイクルシステムの検討	・ ・ ・ ・ ・ 6 5
(1) リサイクルシステムの目的・必要性	・ ・ ・ ・ ・ 6 5
(2) 対象鉱種・対象品目の考え方	・ ・ ・ ・ ・ 7 0
(3) リサイクルシステムの経済性評価	・ ・ ・ ・ ・ 7 1
(4) リサイクルシステムの構築に向けた現状と課題	・ ・ ・ ・ ・ 7 9
(5) リサイクルシステムの種類の整理	・ ・ ・ ・ ・ 8 2
6 . 今後の検討に向けた論点整理等	・ ・ ・ ・ ・ 9 0
(1) 研究会で明らかになった事項	・ ・ ・ ・ ・ 9 0
(2) 今後の検討に向けての論点整理	・ ・ ・ ・ ・ 9 1
(3) 留意点	・ ・ ・ ・ ・ 9 3

使用済小型家電からのレアメタルの回収及び適正処理に関する研究会 メンバー

座長	細田 衛士	慶應義塾大学経済学部教授
座長代理	中村 崇	東北大学多元物質科学研究所教授
	浅井 一宏	日本鉱業協会技術部兼環境保安部次長
	井上 勝利	佐賀大学名誉教授
	大木 達也	産業技術総合研究所環境管理技術研究部門 リサイクル基盤技術研究グループ 研究グループ長
	大和田秀二	早稲田大学理工学術院教授
	貴田 晶子	国立環境研究所循環型社会・廃棄物研究センター 特別客員研究員
	小林 幹男	石油天然ガス・金属鉱物資源機構 特別顧問
	酒井 伸一	京都大学環境保全センター教授
	佐々木五郎	全国都市清掃会議専務理事
	佐竹 一基	電子情報技術産業協会環境戦略連絡会 代表
	下井 康史	新潟大学大学院実務法学研究科教授
	白鳥 寿一	東北大学大学院環境科学研究科教授
	新熊 隆嘉	関西大学経済学部教授
	寺園 淳	国立環境研究所循環型社会・廃棄物研究センター 国際資源循環研究室長
	中島 賢一	早稲田大学環境総合研究センター客員研究員
	原田 幸明	物質・材料研究機構 元素戦略センター長
	村上 進亮	東京大学大学院工学系研究科講師

ワーキンググループメンバー

■レアメタルワーキンググループ

座長	中村 崇	東北大学多元物質科学研究所教授
	浅井 一宏	日本鉱業協会技術部兼環境保安部次長
	井上 勝利	佐賀大学名誉教授
	大木 達也	産業技術総合研究所環境管理技術研究部門 リサイクル基盤技術研究グループ 研究グループ長
	大和田秀二	早稲田大学理工学術院教授
	小林 幹男	石油天然ガス・金属鉱物資源機構 特別顧問
	佐竹 一基	電子情報技術産業協会環境戦略連絡会 代表
	中島 賢一	早稲田大学環境総合研究センター客員研究員
	原田 幸明	物質・材料研究機構 元素戦略センター長

■環境管理ワーキンググループ

座長	酒井 伸一	京都大学環境保全センター教授
	貴田 晶子	国立環境研究所循環型社会・廃棄物研究センター 特別客員研究員
	白鳥 寿一	東北大学大学院環境科学研究科教授
	寺園 淳	国立環境研究所循環型社会・廃棄物研究センター 国際資源循環研究室長
	中島 謙一	国立環境研究所国際資源循環研究室 NIES 特別研究員
	山本 玲子	物質・材料研究機構生体材料センター 金属生体材料グループ グループリーダー

■リサイクルシステムワーキンググループ

座長	細田 衛士	慶應義塾大学経済学部教授
	酒井 伸一	京都大学環境保全センター教授
	佐々木五郎	全国都市清掃会議専務理事
	佐竹 一基	電子情報技術産業協会環境戦略連絡会 代表
	下井 康史	新潟大学大学院実務法学研究科教授
	白鳥 寿一	東北大学大学院環境科学研究科教授
	新熊 隆嘉	関西大学経済学部教授
	中島 賢一	早稲田大学環境総合研究センター客員研究員
	中村 崇	東北大学多元物質科学研究所教授
	村上 進亮	東京大学大学院工学系研究科講師

1. 研究会設置の経緯

(1) 小型家電とレアメタルを取り巻く状況と研究会設置の経緯

近年、高機能化と普及が著しい電気電子機器については、家電4品目（テレビ、エアコン、冷蔵庫・冷凍庫、洗濯機）とパソコンを除き、各種リサイクル法の対象ではなく、使用済製品は有用金属（資源価値の高いベースメタル、貴金属、レアメタル）を多く含んでいるにも関わらず市町村で資源として十分に回収されていないのが現状である。特に電気電子機器に小型化や高機能化等の目的で利用されているレアメタルについては、その産出にかかる地域偏在性や、急激な価格変動による供給リスクがあることから、安定供給の確保が必要とされている。

このような状況のなか、近年、使用済製品が鉱石に見立てられて「都市鉱山」とも呼ばれるなど、資源の有効利用等への関心が高まっていることを背景として、使用済小型家電からレアメタルや貴金属のリサイクルに取り組む自治体や企業が出始めている。しかし、こうした取組は始まったばかりであり、レアメタルの抽出技術の研究開発については着手されたものの、使用済製品の効果的・効率的な回収方法や製品中でレアメタルと同時に利用されている有害物質の適正処理方法等は検討途上にある。

以上の背景を踏まえ、適正かつ効果的なレアメタルのリサイクルシステムの構築を目指すべく、使用済小型家電の回収活動で先行している自治体等と連携し、幾つかの地域で実際に多種多様な使用済小型家電を様々な方法で回収することにより、効果的・効率的な回収方法の検討を行うとともに、回収された使用済小型家電についてレアメタルの含有実態の把握等を実施し、また使用済小型家電のリサイクルに係る有害性の評価及び適正処理等について検討を行うことを目的として、環境省及び経済産業省は平成20年12月に「使用済小型家電からのレアメタルの回収及び適正処理に関する研究会」（研究会）を環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部長及び経済産業省大臣官房審議官（産業技術・環境担当）の研究会として設置し、検討を開始した。

(2) 研究会での検討の進め方

研究会の検討事項は以下のとおりである。

- ①使用済小型家電の回収モデル事業の実施方法と効率的回収方法
- ②使用済小型家電におけるレアメタル含有実態の把握及びリサイクル手法
- ③使用済小型家電のリサイクルにおける有害性の評価及び適正処理手法

検討事項①にあるように、本研究会では「使用済小型家電の回収モデル事業」を実施している。モデル事業とは、使用済小型家電の回収活動で先行している自治

体等と連携し、使用済小型家電の効果的・効率的な回収方法、回収された使用済小型家電についてレアメタルの含有実態の把握等、並びに使用済小型家電のリサイクルに係る有害性の評価及び適正処理等について検討を行うものである。

さらに、専門的な見地から集中して議論を行うため、レアメタルワーキンググループ（平成 20 年 12 月設置）と、環境管理ワーキンググループ（平成 20 年 12 月設置）、リサイクルシステムワーキンググループ（平成 22 年 5 月設置）が設置された。それぞれの検討項目は以下のとおりである。

【レアメタルワーキンググループ】

- ・ 小型家電に含有される（あるいは回収可能な）レアメタルの情報整理
- ・ 対象となる小型家電の品目、あるいは特定の部品・部位の情報整理
- ・ レアメタルのリサイクル、回収技術等の現状整理
- ・ 使用済小型家電の中間処理方法及び分析・試験等の検討
- ・ 分析・試験等結果の評価

【環境管理ワーキンググループ】

- ・ 小型家電のリサイクルにおいて管理対象となりうる有害物質の整理
- ・ 小型家電のリサイクルにおける環境（有害物質）管理技術の整理
- ・ 小型家電のリサイクルにおけるリスクアセスメント、シナリオ評価等手法の整理

【リサイクルシステムワーキンググループ】

- ・ 経済性の評価
- ・ リサイクルシステムの構築に向けた課題の整理
- ・ リサイクルシステムのあり方等

研究会及び各ワーキンググループでの検討状況は以下のとおりである。

【平成 20 年度】

平成 20 年 12 月 2 日：第 1 回研究会

- ・ 使用済小型家電回収の現状と課題整理
- ・ モデル事業計画の審議

平成 21 年 1 月 21 日：第 1 回環境管理・レアメタル合同ワーキンググループ

- ・ レアメタルのリサイクルの現状整理
- ・ レアメタル回収技術の開発動向の整理
- ・ レアメタル回収における適正処理の現状整理

平成 21 年 2 月 13 日：第 2 回研究会

- ・使用済小型家電回収の課題整理
- ・モデル事業及び取組事例の報告
- ・平成 20 年度研究会とりまとめイメージの確認

平成 21 年 3 月 4 日：第 2 回環境管理・レアメタル合同ワーキンググループ

- ・モデル事業の報告
- ・レアメタル回収の課題整理
- ・環境（有害物質）管理の課題整理
- ・平成 21 年度以降の検討事項の確認

平成 21 年 3 月 24 日：第 3 回研究会

- ・使用済小型家電回収の課題整理
- ・モデル事業及び取組事例の報告
- ・平成 20 年度研究会とりまとめイメージの確認

【平成 21 年度】

平成 21 年 10 月 29 日：第 4 回研究会

- ・平成 21 年度の研究会における検討の進め方
- ・自治体による小型家電回収の取組事例

平成 21 年 12 月 11 日：第 3 回環境管理ワーキンググループ

- ・現状の廃小型家電処理のリスクに関する情報収集について
- ・リサイクル施設でのリスクイベント評価と適正管理技術の考え方について

平成 21 年 12 月 15 日：第 3 回レアメタルワーキンググループ

- ・使用済小型家電に含まれるレアメタル及びそれらを含む部位・部品について
- ・レアメタル回収の現状について
- ・既存レアメタル回収システムの使用済小型家電への適用可能性について

平成 22 年 3 月 1 日：第 4 回レアメタルワーキンググループ

- ・レアメタルワーキンググループの検討結果について
- ・次年度の検討事項（案）について

平成 22 年 3 月 2 日：第 4 回環境管理ワーキンググループ

- ・環境管理ワーキンググループの検討結果について

- ・平成 22 年度の検討事項（案）について

平成 22 年 3 月 9 日：第 5 回研究会

- ・使用済小型家電の回収について
- ・使用済小型家電からのレアメタルの回収について
- ・使用済小型家電からのレアメタルの回収における環境管理について
- ・システムの経済性について
- ・次年度の予定について
- ・本年度のとりまとめ（案）について

【平成 22 年度】

平成 22 年 5 月 12 日：第 6 回研究会

- ・平成 21 年度の研究会の報告
- ・平成 22 年度の研究会における検討の進め方
- ・リサイクルシステムの経済性評価と各段階における課題について

平成 22 年 6 月 1 日：第 1 回リサイクルシステムワーキンググループ

- ・リサイクルシステムの経済性評価の途中報告
- ・ヒアリング（自治体、中間処理業者）

平成 22 年 6 月 11 日：第 5 回環境管理ワーキンググループ

- ・平成 21 年度の環境管理ワーキンググループの報告
- ・平成 22 年度の環境管理ワーキンググループの検討内容について

平成 22 年 6 月 16 日：第 2 回リサイクルシステムワーキンググループ

- ・リサイクルシステムの経済性評価の途中報告
- ・ヒアリング（製錬事業者、貴金属メーカー、レアメタルユーザー）

平成 22 年 6 月 30 日：第 3 回リサイクルシステムワーキンググループ

- ・中間とりまとめ（案）について

平成 22 年 7 月 27 日：第 4 回リサイクルシステムワーキンググループ

- ・中間とりまとめについて

平成 22 年 9 月 10 日：第 7 回研究会

- ・リサイクルシステムワーキンググループ中間とりまとめについて

- ・レアメタルワーキンググループ及び環境管理ワーキンググループの検討状況について
- ・今後の検討の進め方について

平成 22 年 10 月 25 日：第 5 回レアメタルワーキンググループ

- ・平成 21 年度の検討状況及び平成 22 年度の検討内容について
- ・レアメタルワーキンググループの検討内容について
- ・7 地域のモデル事業の概要

平成 22 年 11 月 2 日：第 5 回リサイクルシステムワーキンググループ

- ・リサイクルシステムの目的・必要性の整理
- ・対象鉱種・対象品目の選定
- ・次回ワーキンググループの検討事項

平成 22 年 11 月 19 日：第 6 回環境管理ワーキンググループ

- ・これまでの検討経緯について
- ・海外の規制動向等について
- ・小型家電に含まれる金属等に関するハザード情報等について
- ・使用済小型家電等の処理実態や海外流出について
- ・レアメタルの回収に伴う環境影響の可能性について
- ・今年度分析調査の進捗状況について

平成 22 年 11 月 22 日：第 6 回リサイクルシステムワーキンググループ

- ・環境管理ワーキンググループの検討状況について
- ・社会的仕組みのオプションについて

平成 22 年 12 月 6 日：第 6 回レアメタルワーキンググループ

- ・前回ワーキンググループにおける主な意見について
- ・レアメタルワーキンググループの検討内容について
- ・モデル事業の中間報告

平成 22 年 12 月 20 日：第 7 回リサイクルシステムワーキンググループ

- ・レアメタルワーキンググループの検討状況について
- ・リサイクルシステムのオプションの評価について

平成 23 年 2 月 7 日：第 7 回レアメタルワーキンググループ

- ・第 6 回ワーキンググループにおける主な意見について
- ・レアメタルワーキンググループの検討結果について
- ・検討結果の考察について

平成 23 年 2 月 28 日：第 7 回環境管理ワーキンググループ

- ・第 6 回環境管理ワーキンググループの主な意見
- ・環境管理ワーキンググループのとりまとめについて

平成 23 年 3 月 8 日：第 8 回リサイクルシステムワーキンググループ

- ・前回ワーキンググループにおける主な意見について
- ・研究会とりまとめ（案）について

平成 23 年 3 月 24 日：第 8 回研究会

- ・研究会とりまとめ（案）について

本とりまとめは、以上の検討結果について整理したものである。

(3) 小型家電の現状

①小型家電の製造段階の特徴

本研究会では、家庭で使用する電気電子機器のうち、法に基づくりサイクルの制度を有せず、比較的小型のものを「小型家電」と呼ぶ。「小型家電」には多種多様な製品が存在し、また、品目と同様、製造業者も多数存在している。

小型家電の素材構成は、個々の機器毎の差異は大きく、品目によっては製品開発に伴う年代変化も著しい。このため素材構成や含有量等はその製品の製造時期により確実に変化するという認識が必要である。

②小型家電の流通段階の特徴

主に家庭向けに出荷され、広く普及している。購入者による持ち帰りが多いが、一部通販等の販路も存在している。

③小型家電の消費・排出段階の特徴

表 1-1 に示すとおり、小型家電は広く普及してきており、1人あたり複数の所有などもあるため、世帯あたりの保有台数は増加傾向である。平均使用年数は比較的短期間であり、使用済みとなる時期は早いと考えられる。しかしながら、小型であるため、家庭内に退蔵される傾向があり、また、販売業者による下取りや中古利用も考えられ、排出頻度は大きくないと考えられる。

表 1-1 小型家電の普及状況

品目	世帯普及率 %				100世帯当り保有台数				平均使用年数		
	2005.3	2006.3	2007.3	2008.3	2005.3	2006.3	2007.3	2008.3	2005年度	2006年度	2007年度
携帯電話	82.0	85.3	88.0	90.5	179.7	194.6	203.9	208.8	2.6	2.7	2.9
DVD	49.0	61.1	65.1	71.7	70.1	90.8	97.5	108.5	4.3	4.4	4.5
デジタルカメラ	46.2	53.7	58.9	66.0	55.6	66.8	74.7	85.7	3.2	3.5	3.7
ビデオカメラ	39.6	40.2	41.2	41.4	44.4	43.9	45.2	44.8	6.5	6.0	7.0
ファクシミリ	49.7	56.7	57.7	59.0	51.2	58.7	59.4	60.6	-	-	-

出典：「家電産業ハンドブック 2008（財団法人家電製品協会）」より作成

④小型家電の回収・リサイクル段階の特徴

図 1-1 に示すとおり、使用済小型家電の多くは「一般廃棄物」として収集され、収集されたもののほとんどが最終的に埋立処分となる。その過程で、過半数の市町村ではリサイクルとして鉄・アルミ等を回収しているが、レアメタル等を含め非鉄金属の回収を行う市町村は僅かである。このように現状では市町村の収集・処分の面

からは処理困難性は低いが、市町村の非鉄金属リサイクルの面からの困難性は高いと言える。

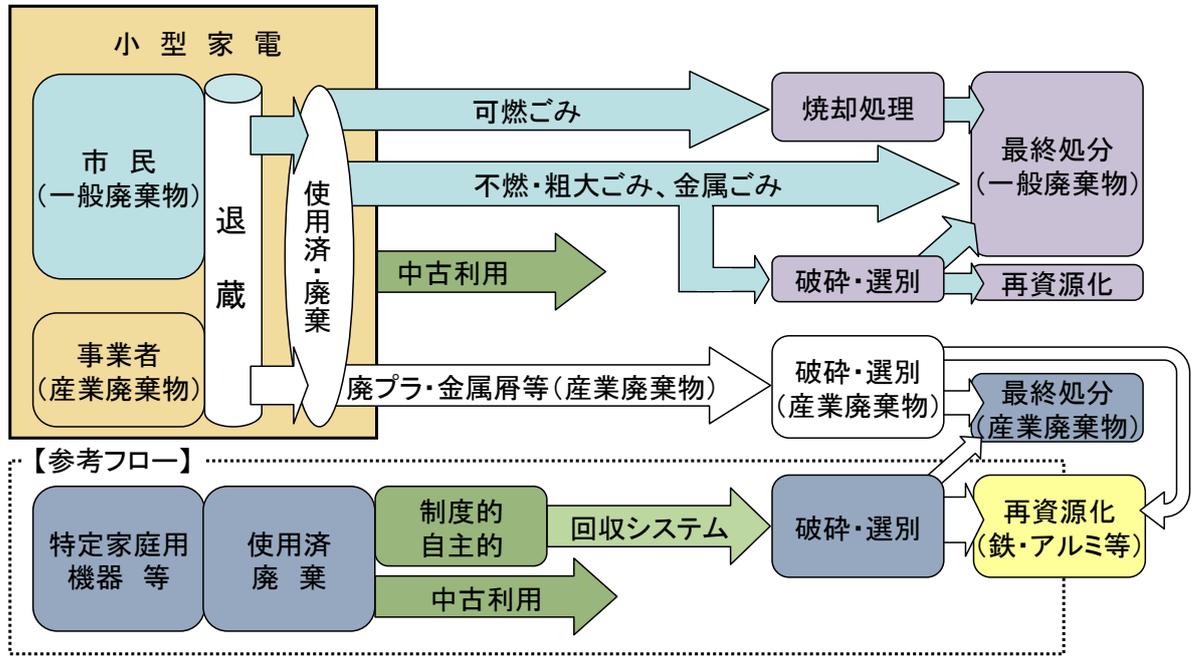


図 1-1 使用済小型家電の処理実態

2. モデル事業の結果

現状、使用済小型家電については、廃棄されるもののうち多くが一般廃棄物として市町村により処理されるため、ベースメタル等一部の資源の回収が行われている場合もあるものの、レアメタルを始めとする小型家電に含まれる有用金属の大部分が回収されないまま、埋立処分されていると考えられる。

このため、研究会においては、適正かつ効率的なレアメタルのリサイクルシステムの構築を目指すべく、使用済小型家電の回収活動で先行している自治体等と連携し全国7地域で実際に使用済小型家電を幾つかの方法で回収することにより、効果的・効率的な回収方法の検討を行うとともに、回収された使用済小型家電について、レアメタルの含有実態等の把握や使用済小型家電のリサイクルに係る有害性の評価及び適正処理等について検討を行った。

モデル事業の実施地域は以下のとおりである。

平成20年度：秋田県、茨城県、福岡県の計3地域

平成21年度：平成20年度実施の3地域に加え、東京都（江東区・八王子市）、
名古屋市・津島市、京都市、水俣市の計7地域

平成22年度：平成21年度と同じ計7地域

モデル事業における回収方式は以下のとおりである。

ボックス回収	回収ボックス（回収箱）を様々な地点に常設し、排出者が使用済小型家電を直接投入する方式
ピックアップ回収	従来の一般廃棄物の分別区分にそって回収し、回収した一般廃棄物から使用済小型家電を選別する方式
ステーション回収	ステーション（ごみ排出場所）ごとに定期的に行っている資源物回収に併せて、使用済小型家電回収コンテナ等を設置し、使用済小型家電を回収する方式
集団回収・ 市民参加型回収	既に資源物の集団回収を行っている市民団体が、使用済小型家電を回収する方式
イベント回収	地域のイベントにおいて回収ボックス等を設置し、参加者が持参した使用済小型家電を回収する方式

各モデル事業実施地域で採用した回収方式とその具体的内容を表2-1に示す。

表 2-1 各モデル事業実施地域で採用した回収方式（平成 22 年度）

モデル事業 実施地域	ボックス回収	ピックアップ 回収	ステーション 回収	集団回収・市民参加 型回収
秋田県 (全域にて 実施)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 145 箇所（約 7,500 人／箇所） ・ 回収頻度：月 1～2 回 	<ul style="list-style-type: none"> ○大館市 ・ 不燃ごみを月 1 回排出 ・ 粗大ごみを 2 ヶ月に 1 回（奇数月）排出 ・ 持ち込みについては 随時受付 ○潟上市 ・ 不燃ごみを週 1 回排出 	—	—
茨城県 (日立市、 高萩市、 北茨城市)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 51 箇所（約 5,300 人／箇所） ・ 回収頻度：月 2 回程度 	<ul style="list-style-type: none"> ○日立市・高萩市 ・ 粗大ごみ（小）を月に 1 回排出 ・ 持ち込みについては 随時受付 ○北茨城市 ・ 持ち込みについてののみ、随時受付 	—	—
福岡県 (大牟田市、 筑後市、 大木町)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 36 箇所（約 3,500 人／箇所） ・ 回収頻度：月 1～2 回（大牟田市のみ） 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 不燃ごみを隔週で排出 ・ 持ち込みについては 随時受付（大牟田市のみ） 	<ul style="list-style-type: none"> ・ ステーションに小型家電回収コンテナを設置し、回収を実施（筑後市 120 箇所、大木町 50 箇所） 	—
東京都 (江東区・ 八王子市)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 江東区 71 箇所（約 6,500 人／箇所） ・ 八王子市 52 箇所（約 11,100 人／箇所） ・ 回収頻度：月 2 回 	—	—	<ul style="list-style-type: none"> ・ 資源集団回収を行っている町会・自治会及び地域子ども会が回収（八王子市ののみ）
名古屋市・ 津島市	<ul style="list-style-type: none"> ・ 名古屋市 10 箇所（約 226,000 人／箇所） ・ 津島市 4 箇所（約 16,300 人／箇所） ・ 回収頻度：週 1 回程度 	—	<ul style="list-style-type: none"> ・ ステーションにて専用袋にて回収を実施（津島市ののみ：20 町内） 	<ul style="list-style-type: none"> ・ リサイクルステーションにて対面式回収
京都市	<ul style="list-style-type: none"> ・ 50 箇所（約 29,300 人／箇所） ・ 回収頻度：月 1～2 回 	—	—	—
水俣市	<ul style="list-style-type: none"> ・ 5 箇所（約 5,400 人／箇所） ・ 回収頻度：月 2 回 	—	<ul style="list-style-type: none"> ・ ステーションに小型家電回収コンテナを設置し、回収を実施（71 箇所） 	—

各モデル事業実施地域において回収対象とした品目を表 2-2 に示す。

表 2-2 各モデル事業実施地域において回収対象とした品目（平成 22 年度）

品目	モデル事業実施地域	秋田県	茨城県	福岡県	東京都 (江東区・ 八王子市)	名古屋市・ 津島市	京都市	水俣市
1. 携帯電話		○	○	○	○	○	○	○
2. デジタルカメラ		○	○	○	○	○	○	○
3. ビデオカメラ		○	○	○	○	○	○	○
4. 携帯音楽プレーヤー		○	○	○	○	○	○	
5. ポータブルMDプレーヤー		○						○
6. ポータブルCDプレーヤー		○						○
7. 電子手帳		○	○			○	○	
8. 電子辞書		○		○	○	○	○	○
9. 電卓		○	○	○	○	○	○	
10. 携帯液晶テレビ		○		○	○		○	○
11. ポータブルラジオ		○		○	○	○	○	
12. 携帯映像プレーヤー		○		○	○	○	○	
13. DVDプレーヤー・レコーダー(ポータブルを除く)		○				○		
14. オーディオ		○				○		
15. ビデオデッキ		○				○		
16. ポータブルゲーム機		○						○
17. キーホルダーゲーム機		○						○
18. 家庭用ゲーム機		○	○	○	○	○	○	○
19. ゲームソフト(CD-ROM等除く)		○				○	○	○
20. ゲームコントローラー		○						○
21. カーナビ・カーDVD		○	○		○	○		○
22. カーオーディオ		○						○
23. 電話機等		○						○
24. ハードディスクドライブ(外付け・内蔵)		○		○		○	○	
25. ワークプロ		○	○			○		
26. 電子レンジ		○				○		
27. ICレコーダー		○					○	
28. 電磁調理器(IH調理器)		○				○		
29. その他電気調理器		○				○		
30. おもちゃ		○				○		
31. 電動歯ブラシ		○				○		
32. 電動シェーバー		○				○		
33. ヘアードライヤー		○				○		
34. ACアダプター・ケーブル・延長コード		○	○	○	○	○		
35. リモコン		○		○		○		○
36. 電話子機		○						○
37. メモリー類		○					○	
38. モデム		○						○
39. パソコン付属品		○	○			○	○	
40. その他		○	○	○	○	○		

※ 「○」：回収対象品目

※ 秋田県は品目を限定せずに回収を実施しているため、全品目「○」と表現している。

(1) 使用済小型家電の回収状況

各モデル事業実施地域における使用済小型家電の回収結果を表 2-3 に示す。三年間で合計 332,782 個 (120,245kg) の小型家電を回収した。なお、イベント回収は定常的な回収方式でないため、ここでは集計結果に加えていない。

表 2-3 各モデル事業実施地域における使用済小型家電の回収結果

回収方式	ボックス回収		ピックアップ回収		ステーション回収		集団回収・市民参加型回収		合計
	回収個数 (回収重量)	期間 箇所	回収個数 (回収重量)	期間	回収個数 (回収重量)	期間	回収個数 (回収重量)	期間	
秋田県	44,217 個 (23,194kg)	548 日間 145 箇所	28,601 個 (27,494kg)	523 日間	—	—	—	—	73,889 個 (50,833kg)
茨城県	27,577 個 (5,778kg)	637 日間 51 箇所	62,976 個 (21,066kg)	645 日間	—	—	—	—	91,835 個 (26,895kg)
福岡県	26,606 個 (4,072kg)	650 日間 36 箇所	16,950 個 (2,274kg)	650 日間	16,585 個 (2,961kg)	筑後市 407 日間 大木町 438 日間	-	-	61,848 個 (9,781kg)
東京都 (江東区・八王子市)	32,336 個 (6,288kg)	江東区 340 日間 八王子市 330 日間 江東区 70 箇所 八王子市 52 箇所	—	—	—	—	536 個 (139kg)	92 日間	33,304 個 (6,496kg)
名古屋市・津島市	9,676 個 (4,138kg)	名古屋市 348 日間 津島市 336 日間 名古屋市 10 箇所 津島市 4 箇所	—	—	1,718 個 (1,743kg)	津島市 336 日間	13,383 個 (11,943kg)	名古屋市 348 日間 津島市 336 日間	25,821 個 (17,854kg)
京都市	15,903 個 (2,052kg)	367 日間 50 箇所	—	—	—	—	—	—	16,270 個 (2,102kg)
水俣市	1,158 個 (266kg)	321 日間 5 箇所	—	—	1,256 個 (340kg)	326 日間	—	—	3,061 個 (611kg)
合計	157,473 個 (45,789kg)	—	108,527 個 (50,834kg)	—	20,095 個 (5,182kg)	—	46,687 個 (18,440kg)	—	332,782 個 (120,245kg)

※ 「—」は、「実施せず」を示す。

※ ボックスの箇所数は平成 22 年度のもの。

ここで、既存統計の出荷量を用いて平均使用年数に基づき小型家電が排出されると仮定することで求めた台数を潜在的回収可能台数とする。潜在的回収可能台数の考え方は図 2-1 のとおりである。

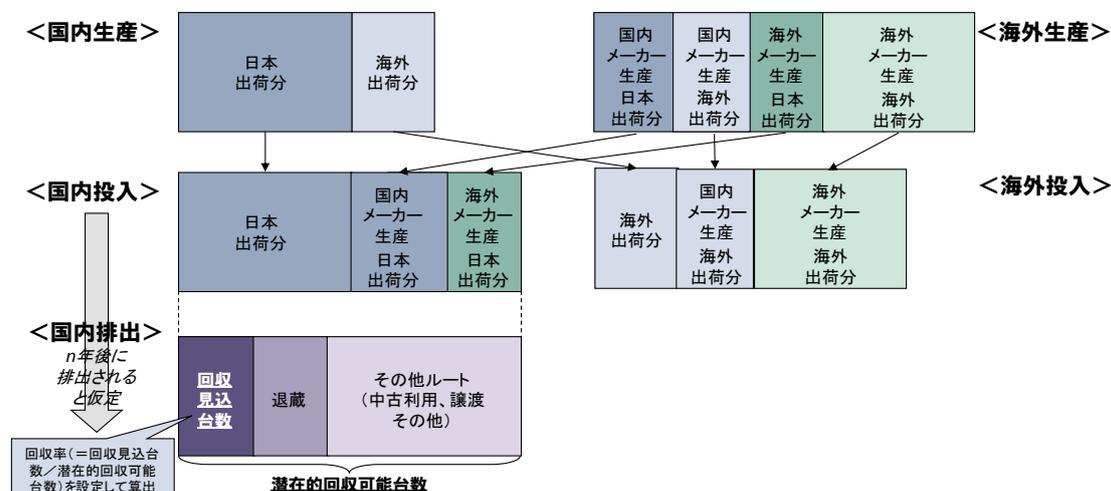


図 2-1 潜在的回収可能台数の考え方

モデル事業における回収データ及び統計データに基づき、比較的金属含有濃度の高い一部の品目について、モデル事業の回収実績の全国拡大値及び潜在的回収可能台数を推計した結果を表 2-4 に示す。モデル事業回収実績全国拡大値の潜在的回収可能台数に占める割合は平均 5.2% であった。ただし、今回のモデル事業は、回収量確保のみを目的としたわけではなかったことに留意が必要である。

表 2-4 モデル事業の回収実績の全国拡大値と潜在的回収可能台数

品目	モデル事業 回収実績 全国拡大値* 千個/年 (a)	潜在的回収 可能台数 千個/年 (b)	比率 (a / b)
携帯電話	2,568	49,637	5.2%
ゲーム機 (小型以外)	349	2,446	14.3%
ゲーム機 (小型)	619	7,853	7.9%
ポータブル CD・MD プレーヤー	101	961	10.5%
ポータブルデジタルオーディオプレーヤー	382	6,003	6.4%
デジタルカメラ	272	9,424	2.9%
カーナビ	28	2,829	1.0%
ビデオカメラ	88	1,587	5.5%
DVD プレーヤー	59	5,932	1.0%
合計 (9 品目)	4,465	86,672	5.2%

※：平成 20～22 年度のモデル事業における地域・年度ごとの回収台数原単位を日本の人口にて拡大推計することで求めた台数

各モデル事業実施地域における潜在的回収可能台数を算出し、回収率を推計した結果を表 2-5 に示す。

表 2-5 各モデル事業実施地域における回収率

品目	秋田県	茨城県	福岡県	東京都（江東区・八王子市）	名古屋市・津島市	京都市	水俣市
携帯電話	3.2%	6.0%	20.4%	3.5%	4.7%	0.5%	11.6%
ゲーム機（小型以外）	33.2%	12.9%	—	—	12.3%	0.3%	18.0%
ゲーム機（小型）	0.6%		34.3%	2.2%			12.0%
ポータブルCD・MDプレーヤー	4.9%	8.0%	24.2%	7.0%	9.6%	0.8%	58.0%
ポータブルデジタルオーディオプレーヤー							—
デジタルカメラ	2.4%	4.1%	7.6%	3.4%	6.7%	0.4%	4.5%
カーナビ	0.4%	3.5%	—	0.3%	0.1%	—	1.6%
ビデオカメラ	7.7%	2.9%	10.3%	2.1%	19.3%	0.5%	15.9%
DVDプレーヤー	2.3%	—	1.6%	0.4%	3.7%	—	—
合計	3.8%	6.2%	17.9%	3.2%	6.3%	0.5%	9.7%

※ 回収率＝各モデル事業実施地域における回収台数／各モデル地域における潜在的回収可能台数

各モデル事業実施地域における回収台数：

各モデル事業実施地域の年度別の回収台数原単位に回収対象人口を乗じて算出

各モデル事業実施地域における潜在的回収可能台数：

日本全体の潜在的回収可能台数から回収対象人口割合にて算出

※ 京都市は、付属品類やケーブル類は含まず

表 2-5 に示すとおり、各モデル事業実施地域における回収率はばらばらであるが、これは様々な要因によるものと考えられる。以下、効果的・効率的な回収方法等についてモデル事業の結果から検証する。

①効果的・効率的な回収方法

1) モデル事業実施地域毎の検討

モデル事業における小型家電の回収状況をモデル事業実施地域毎に量的傾向、回収品目の傾向、従来のごみ分別区分の影響について検討を行った。結果を表 2-6 に示す。

表 2-6 モデル事業実施地域毎のモデル事業の結果

	小型家電に係る従来の回収方式	モデル事業における回収方式	回収状況の特徴		
			量的傾向 ()は平成 22 年度実績(単位は個/千人・月)	回収品目の傾向	従来のごみ分別区分の影響
秋田県	不燃ごみ、家庭ごみ、資源化物、粗大ごみ	ボックス、ピックアップ	平成 20～22 年度ではボックス回収への排出は減少傾向、ピックアップ回収は一時減少したものの平成 22 年度にかけて増加 (ボックス 2.66、ピックアップ 23.74)	ボックス回収では小型の機器、ピックアップ回収では比較的大型の機器が回収	有料の指定袋等にて不燃ごみ・粗大ごみとして排出されていた小型家電がピックアップ回収に排出されており、従来の分別区分への使用済小型家電の排出が一定程度定着
茨城県	粗大ごみ(小)	ボックス、ピックアップ	平成 20～22 年度にかけてボックス回収、ピックアップ回収ともに着実に回収台数が増加 (ボックス 6.73、ピックアップ回収 14.94)	ボックス回収、ピックアップ回収とも同様の傾向。加えてピックアップ回収には比較的大きな機器が排出 ピックアップ対象ごみが大量に持ち込まれた場合、作業が間に合わなかった事例あり	粗大ごみ(小)としての廃棄が定着しており、ピックアップ回収への排出が多い状況にある
福岡県	燃えないごみ、大型ごみ、小型不燃ごみ	ボックス、ピックアップ、ステーション	大牟田市は平成 20～22 年度にかけてボックス回収ピックアップ回収を合計した回収個数は大きな変化なし (ボックス回収 8.75、ピックアップ回収 5.08) 筑後市 (14.76)、大木町は平成 21～22 年度 (23.43) にかけて回収個数はそれぞれ微増、微減あったが他の地域に比べて回収効率が高い	回収方式によらず携帯電話、リモコン、電卓、小型ゲーム機が多く、同様の傾向	筑後市・大木町では従来から細かな分別区分 (筑後市 15 分別、大木町 21 分別) を設定しているため、ステーション回収にも柔軟に対応し、排出量が多い

	小型家電に係る従来の回収方式	モデル事業における回収方式	回収状況の特徴		
			量的傾向 ()は平成22年度実績(単位は個/千人・月)	回収品目の傾向	従来のごみ分別区分の影響
東京都 (江東区・八王子市)	燃やさないごみ、不燃ごみ	ボックス、集団回収・市民参加型	平成21～22年度にかけて回収個数は微増(江東区:4.02、八王子市:1.81)人口が多く、人口密度も高いが一定の回収効率を確保	回収方式によらず携帯電話、ポータブル音楽プレーヤー、電卓、デジタルカメラが多く、同様の傾向	特段の特徴は見られない
名古屋市・津島市	不燃ごみ	ボックス、ステーション、集団回収・市民参加型	平成21～22年度にかけて回収個数は若干微減(名古屋市:ボックス回収0.22、集団回収・市民参加型回収0.44/津島市:ボックス回収4.67、ステーション回収19.99、集団回収・市民参加型回収0.22)ボックス設置密度が低く、回収効率が若干低調。ステーション回収の効率が低い	回収方式によらずACアダプター・ケーブル・延長コード、パソコン付属品が多く、同様の傾向	名古屋市では特段の特徴は見られない。津島市では資源回収の意識が高く、ステーション回収への排出が選択される傾向にある
京都市	家庭ごみ、粗大ごみ(ガラクタ類)	ボックス、ごみ組成調査(参考)、郵便	平成21～22年度にかけて回収台数は微増(0.95)ボックス設置密度が低く、回収効率が若干低調	ボックス回収では携帯電話・PHS、ゲームソフト、ポータブル音楽プレーヤーが、ピックアップ回収では、パソコン、家庭用ゲーム機、ポータブル式ラジオが多い	特段の特徴はみられない
水俣市	破碎・埋立ごみ	ボックス、ステーション	平成21～22年度にかけて回収台数は、ボックス回収では微増、ステーション回収では微減したものの、両方を合わせた回収個数は同程度(ボックス回収4.24、ステーション回収15.30)、人口が少ないが、ステーション回収にて一定の回収効率を確保ボックス回収は補足的位置づけ	回収方式によらず、携帯電話、リモコン、電話機、電話機子機が多く、同様の傾向	22分別を設定しているため、市民の資源回収に対する意識も高く、ステーション回収にも柔軟に対応

	小型家電に係る従来の回収方式	モデル事業における回収方式	回収状況の特徴		
			量的傾向 ()は平成22年度実績(単位は個/千人・月)	回収品目の傾向	従来のごみ分別区分の影響
地域横断的な評価	不燃ごみ、粗大ごみが多いが、粗大ごみ(小)等、従来から小型家電が比較的集まりやすい分別区分を有する地域もある	—	全体として、ステーション回収への排出が多い傾向にある。また、人口規模の大きな市町村ではボックス設置数が少ない影響もあり、回収台数が低調	回収方式による、回収品目の大きな差異はみられないが、ボックス回収、ピックアップ回収を行う地域では、ピックアップ回収の方が比較的大型の機器が排出される傾向にある	従来から小型家電が比較的集まりやすい分別区分を有する地域は当該分別区分への排出が定着している 従来から細かな分別区分を設定している地域は、ステーション回収にもスムーズに対応し、回収効率は高い

2) 回収方式毎の検討

効果的・効率的な回収方法に関して、平成20～22年度のモデル事業結果等を踏まえ、以下の観点から分析を行った。分析にあたっては、モデル事業実施地域にて個別に実施したアンケート調査等を参考とした。

- アクセスの容易性 (アクセスのよい場所や要件)
- 物理的・心理的排出のし易さ (当該回収方式の選択に至った動機等)
- 盗難等のトラブルの可能性

結果を整理すると表2-7のとおりである。

表 2-7 回収方式毎の検討結果

	アクセスの容易性	物理的・心理的 排出のし易さ	盗難等のトラブル の可能性
ボックス回収	店舗、公共施設での回収量が多い 駅、学校、企業での回収量は比較的少ない 施設内にて人目に付きやすい場所の回収量が多い	常時排出可能であるため、排出はし易いとの評価がある一方、セキュリティ面への配慮が必須	人目の届かない所で、異物の混入、盗難、ボックスの破損等の事例が報告
ピックアップ回収・ステーション回収	通常のごみの収集時にも利用している排出場所であり、アクセスは容易である	通常のごみの収集時にも利用している排出場所であり、大きな障害なし	有人の場合、盗難等のトラブルの可能性は低い ただし、無人の場合は盗難等の可能性がある
イベント回収	イベントは、車や電車での来場が可能な場所にて開催されるため、アクセスは容易である	盗難などの心配なし（有人の場合） イベント時に限定されるため排出し易さに課題	有人の場合、盗難等のトラブルの可能性は低い ただし、無人の場合は盗難等の可能性がある
回収方式横断的な評価	ピックアップ回収、ステーション回収、イベント回収は、アクセスは容易である。一方、ボックスは設置場所によってアクセスの容易性に差が見られる（店舗、公共施設は比較的アクセスが容易であると考えられる）	ボックス回収だけでなく、無人のピックアップ回収、ステーション回収、イベント回収ではセキュリティ面への配慮が必須となる	ボックス回収は稀にトラブル事例が報告され、注意が必要。また、ピックアップ回収、ステーション回収、イベント回収では有人の場合、トラブルの可能性は低い、無人の場合、トラブルの可能性が有ることに留意が必要

3) 総括

これまでのモデル事業の実施状況から把握された回収方式毎の特徴や地域特性等を踏まえ、効果的・効率的な回収方法について以下のとおり整理した。

○大規模都市

平成 21 年度からモデル事業を実施した都市部の地域（東京都、名古屋市・津島市、京都市）では、ボックス回収を中心とした回収が実施された。全地域を網羅したボックス配置ができなかったため、他地域に比べると回収量は少ない結果となっており、一定の回収台数を確保するためにはボックス設置密度の向上が必要となる。

一方、イベント回収については、数多くの異なる性格のイベントへの出展がなされ、効率的な回収が行われた事例も報告されており、都市部における効率的な回収方式としての可能性が示唆された。なお、都市部でのピックアップ回収については、ピックアップ対象ごみの量が非常に多くなり、ピックアップ作業を行うことが困難である可能性があること、また、ステーション回収については、新たに小型

家電に係る分別区分を追加することにより発生するコストが大きなものとなる可能性があることから、都市部においては両方式による効率的な回収の実施は困難な可能性があると考えられる。

以上より、都市部については、ボックス設置密度の検討を十分に行うことを条件にボックス回収を行い、補足的にイベント回収を行うことが適した回収方式の組合せであると考えられる。

○中規模都市

モデル事業の開始当初から回収を実施している地域（秋田県、茨城県、福岡県）については、ボックス回収とピックアップ回収の組合せにより、一定の回収台数を確保している。これは、市民が常時排出することが可能であるボックス回収と、従来のごみ分別区分への排出が市民に定着していることを上手く活用したピックアップ回収の両方式の組み合わせが効果的であることを示唆している。これらの地域はいずれも中小規模都市であり、地域特性も類似しており、この組合せが当該地域つまり、中小規模都市に適した回収方式の組合せであると考えられる。

○分別収集先進地域

福岡県（筑後市、大木町）や水俣市等、従来から細かな収集区分を設定している地域では、ステーション回収にて効率的に回収を行うことができた。これは、細かな分別排出が市民に定着している地域では、新たな小型家電に係る分別区分が追加されたことにもスムーズに対応することができるためと考えられる。以上より、分別収集先進地域では、ステーション回収が有力な回収方式と考えられる。

<効果的・効率的な回収方式の組合せ>

- 大規模都市 : ボックス回収+ イベント回収
- 中小規模都市 : ボックス回収+ ピックアップ回収
- 分別収集先進地域 : ステーション回収

なお、上記の回収方式の組合せは、7地域におけるモデル事業の結果から得られた一例であり、使用済小型家電の回収にあたっては、地域のこれまでの回収方法や地域の特徴等に留意の上、回収方式を検討することが望まれる。

②市民とのコミュニケーション手法

これまでのモデル事業における市民とのコミュニケーション手法の検討の成果として、回収方式にかかわらず、地域等の広報媒体の活用が効果的であることが示唆された。また、回収方式毎に効果的と考えられる周知方法は以下のとおりである。

- ・ボックス回収については、ボックスを見かけることで小型家電回収の取組を認識する市民も見られるため、単にボックスを設置するだけでなく、のぼりやポスター等を活用して、使用済小型家電回収を実施していることを周知することが効果的と考えられる。
- ・ピックアップ回収・ステーション回収にて使用済小型家電を回収する際に、指導員等が立ち会う場合は、市民がステーション等に排出する際にちらし等を配布する等、排出現場における周知が効果的と考えられる。
- ・イベントにて使用済小型家電を回収することで、イベント来場者に使用済小型家電回収を実施していることを周知することができる。このため、イベント回収は、周知方法のひとつとしても位置づけられる。

（２）既存制度との整合性

使用済小型家電の回収は廃棄物の処理及び清掃に関する法律（以下「廃棄物処理法」という。）の規定に従う必要がある。一般市民から廃棄されたものは「一般廃棄物」として、その処理の責任は基本的に市町村にある。

一般廃棄物については、以下のような規制がある。

・収集・運搬～保管

業として行うためには、原則として市町村長の許可が必要であり、収集、運搬、保管の処理基準を遵守する必要がある。

・処理（再資源化）

業として行うためには、原則として市町村長の許可が必要であり、同様に処理基準がある。また、一定規模以上の処理が可能な施設を設置するためには、都道府県知事の許可が必要となる。

また、以下のとおり、広域認定制度、再生利用認定制度、再生利用指定制度等の特例制度も定められており、一部の電気電子機器がその適用を受けている。

表 2-8 広域認定制度の概要

	広域認定制度	
制度の概要	製品等が廃棄物になったもので、当該廃棄物の処理を当該製品の製造、加工、販売等の事業を行う者が広域的に行うことによって廃棄物の減量その他適正な処理の確保に資すると認められる廃棄物に対し、広域的な処理に限って環境大臣が認定する制度。	
対象廃棄物区分	一般廃棄物	産業廃棄物
根拠規定	法第9条の9	法第15条の4の3
認定・指定者	環境大臣	
不要となる許可	収集運搬業・処分業	
対象物	廃スプリングマットレス、廃パソコン、 廃密閉型蓄電池、廃開放型鉛蓄電池、廃 二輪自動車、廃FRP船、廃消火器、廃 火薬類、廃印刷機、廃携帯電話用装置	品目限定無し
認定・指定実績	81件（66件）（平成22年3月末）	189件（平成22年7月末）

表 2-9 再生利用認定制度の概要

	再生利用認定制度	
制度の概要	生活環境の保全上支障がない等の一定の要件に該当する再生利用に限って環境大臣が認定する制度。	
対象廃棄物区分	一般廃棄物	産業廃棄物
根拠規定	法第9条の8	法第15条の4の2
認定・指定者	環境大臣	
不要となる許可	収集運搬業・処分業・施設設置	
対象物	<ul style="list-style-type: none"> ・ 廃ゴム製品（タイヤ等） ・ 廃プラスチック類 ・ 廃肉骨粉 ・ 廃木材 ・ 金属を含む廃棄物 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 廃ゴム製品（タイヤ等） ・ 廃プラスチック類 ・ 廃肉骨粉 ・ 汚泥（掘削汚泥、半導体製造汚泥） ・ 金属を含む廃棄物
認定・指定実績	63件（平成22年3月末）	48件（平成22年7月末）

表 2-10 再生利用指定制度の概要

	再生利用指定制度	
制度の概要	再生利用されることが確実であると市町村長、都道府県知事が認めた廃棄物のみの処理を業として行う者を市町村長、都道府県知事が指定する制度。	
対象廃棄物区分	一般廃棄物	産業廃棄物
根拠規定	法第7条第1項但書、第7条第6項但書、規則第2条第2号、第2条の3第2号	法第14条第1項但書、第14条第6項但書、規則第9条第2号、第10条の3第2号
認定・指定者	市町村長	都道府県知事
不要となる許可	収集運搬業・処分業	
対象物	市町村長告示により指定	都道府県知事告示により指定 指定例：汚泥、廃プラ、木くず等
認定・指定実績	84市町（平成18年度調査）	551件（平成18年3月末）

モデル事業にて実施された収集・運搬、保管、越境移動等については、廃棄物処理法上の規制や手続きを遵守して行う必要がある。秋田県では、効果的・効率的な使用済小型家電の収集・運搬を行うことを目的に、図 2-2 に示すとおり、既存の一般廃棄物の収集システムを活用して収集・運搬した上で、集約した回収物を広域的に業者が収集・運搬するハブ&スポークによる収集を実施している。

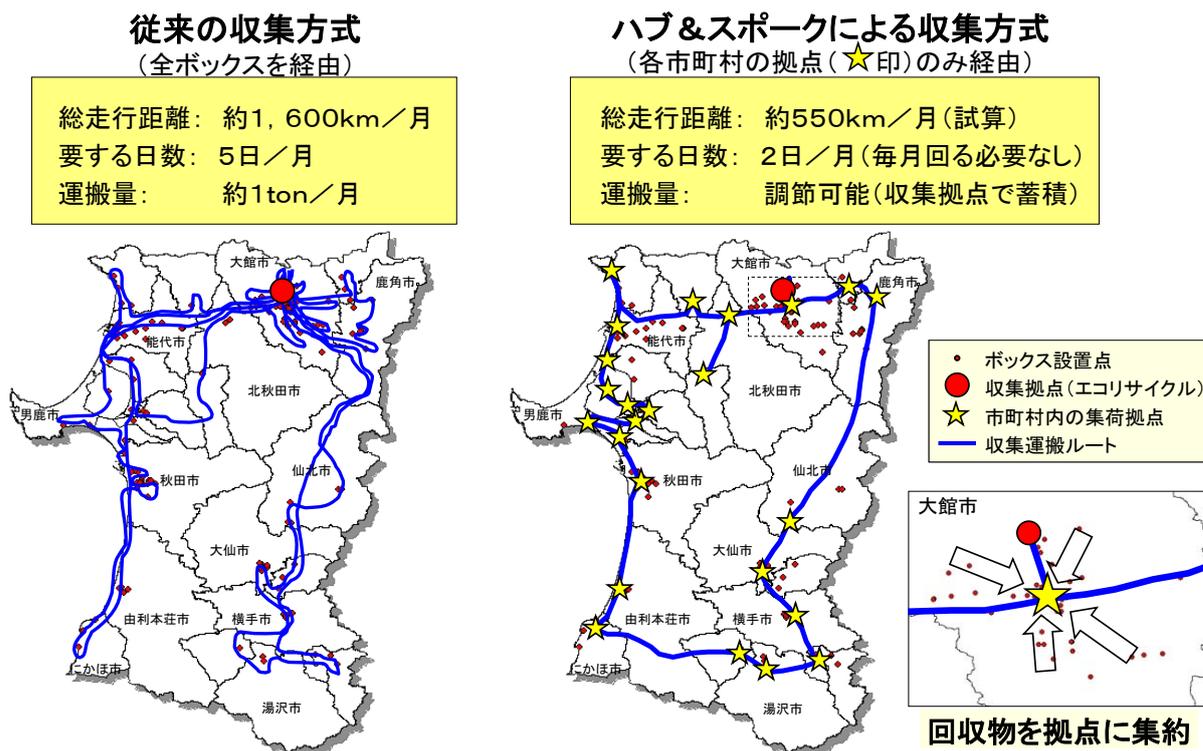


図 2-2 ハブ&スポークによる収集 (秋田県)

なお、回収した使用済小型家電からレアメタルをリサイクルするには、適切な技術を有する中間処理業者や非鉄製錬業者との連携が必要であるが、そのような事業者が区域内に存在しない場合、市町村の区域を越えた移動が必要となる。一般廃棄物の処理に関し関係を有する他の市町村の一般廃棄物処理計画との調和が求められているため、市町村の区域を越えて一般廃棄物を移動する場合、関係市町村間での調整が煩雑になる。また、中間処理段階及び製錬段階で発生する残渣も一般廃棄物となるため、その処理についても同様の問題が生じる。なお、個別リサイクル法の対象製品では、残渣はリサイクル実施者の産業廃棄物として取り扱われることになり、このような問題は生じていない。

また、既存制度との整合性に関し、モデル事業を実施した自治体にアンケートを行ったところ、「廃棄物処理法の再生利用に関する3つの制度(広域認定制度、再

生利用認定制度、再生利用指定制度) について、モデル事業との整合性を検討したが、活用することができなかった」、「広域的な収集運搬が不可欠であることから、業の許可を不要とする制度や緩和措置を講ずるべき」、「回収量を一定量確保するためには、広域的な収集運搬体制の構築が不可欠であるが、回収対象となる小型家電については廃棄物処理法上の広域認定を受ける等、広域的な収集運搬が容易になるような仕組みが必要」といった意見が見られた。

3. 使用済小型家電からのレアメタル回収に係る検討

(1) 使用済小型家電に含まれるレアメタル及びそれらを含有する部位・部品

①使用済小型家電のレアメタル含有量と資源ポテンシャルの把握

1) 調査結果のポイント

7つのモデル地域で収集された使用済小型家電について、所要の数のサンプリングを行いデータ解析・評価事業者（複数の分析事業者）で一括集約し含有量等分析調査等を実施し有効な鉱種の検討等を行った。その概要は以下のとおりである。

- ・平成 20～22 年度に実施した各機器、部位・部品のデータを集約
- ・各機器、部位・部品ごとの含有鉱種の種類及び含有量を分析
- ・小型家電からの回収対象とする可能性のある鉱種のピックアップ

まず、過去の調査結果も含めて、対象とした小型家電について以下の点等を確認した。

- ・対象機器についてはより小型化・集積化したものが増えている。
- ・デジタルプロセッサ等（ex IC 使用）による高度機能化が進んでいる。
- ・ユーザインターフェースとして表示装置（液晶）が様々な機種に増えている。
- ・有害物の使用の減少傾向が見られる（RoHS 指令の影響等）
- ・機能の複合化が進んでいる。

さらに、平成 20～22 年度に実施した含有量調査による各機器（部位・部品ごと）のポテンシャルは以下のとおりである。

(デジタルカメラ)

基板は機器全体の約 20% の重量を占め、ニッケル、バリウム、タンタルの含有量が多く、次いでクロム、コバルト、パラジウム、マンガン、アンチモン、ネオジム、タンゲステン等が多く検出された。

液晶は機器全体の 3% 程度の重量を占め、クロム、ニッケル、バリウム、アンチモン、インジウム等を含む。

(ビデオカメラ)

基板は機器全体の約 15% の重量を占め、ニッケル、バリウム、タンタルの含有量が多く、次いでクロム、コバルト、パラジウム、マンガン、アンチモン、ネオジム等が多く検出された。タンゲステンについてはデジタルカメラよりも含有量は少なめの傾向がみられた。

液晶は機器全体の2%程度の重量を占め、クロム、ニッケル、バリウム、アンチモン、インジウム等が検出されたが対象となるサンプルによって個体差が大きい。

(携帯音楽プレーヤー)

基板は機器全体の10~15%の重量を占め、ニッケル、バリウム、タンタルの含有量が多く、次いでクロム、マンガン、アンチモンが多く検出された。一部ネオジム、タンゲステンを多く含む結果も得られたが、対象となるサンプルによって個体差が大きい。

液晶は機器全体の2%程度の重量を占め、クロム、ニッケル、バリウム、アンチモン、インジウム等が検出されたが対象となるサンプルによって個体差が大きい。

(携帯電話)

基板は機器全体の約20%の重量を占め、ニッケル、バリウム、タンタル、ネオジムの含有量が多く、次いでクロム、マンガン、アンチモンが多く検出された。一部タンゲステンを多く含む結果も得られたが、こちらも対象となるサンプルによって個体差が大きい。

液晶はカメラ無しのもので機器全体の2~3%、カメラ有のものが6~9%の重量を占め、カメラ機能が付いたものの方が割合が大きかった。一部の試料ではアンチモンの含有量が比較的多く、その他はクロム、ニッケル、バリウム、インジウム等が検出されている。こちらも対象となるサンプルによっての個体差が大きい。

(電子手帳・電子辞書)

基板は機器全体の15~18%の重量を占め、ニッケル、バリウムの含有量が多い。一部調査結果ではタンタルが高い数値を示している事例もある。

次いでクロム、マンガン、アンチモンが多く検出されたが対象となるサンプルによって個体差が大きい。

液晶は機器全体の10%程度の重量を占め、クロム、インジウム等が検出された。
(ビデオデッキ・DVDプレーヤー)

ニッケル、クロム、タンタルの含有量が高く、次いでタンゲステン、コバルト、ネオジムが多く検出された。対象となるサンプルによって個体差が大きい。

(カーナビ)

ニッケル、クロム、タンタルの含有量が多く、次いでタンゲステン、コバルトが多く検出された。パラジウム、ガリウム、インジウム、ネオジム等も含有されている。対象となるサンプルによって個体差が大きい。

(電話機等)

ニッケル、クロム、タンタルの含有量が多く、次いでタンゲステン、コバルトが多く検出された。パラジウム、ガリウム、インジウム、ネオジム等も含有されている。対象となるサンプルによって個体差が大きい。

(HDD)

ニッケル、クロム、タンタルの含有量が多く、タングステン、コバルト、モリブデン、パラジウム、ガリウム、ネオジム、ジスプロシウムも多く検出された。対象となるサンプル毎の個体差は比較的小さい。

(ゲーム機)

ニッケル、クロム、タンタルの含有量が多く、次いでタングステン、コバルト、ネオジム、ランタンが多く検出された。対象となるサンプルによって個体差が大きい。

(リモコン)

基板は機器全体の17~18%の重量を占め、ニッケル、バリウムの含有量が多い。

その他ネオジム、アンチモン等も検出されているが対象となるサンプルによって個体差が大きい。

液晶は機器全体の10%程度の重量を占め、クロム、インジウム、アンチモン等が検出された。

(ACアダプター)

全体重量のうち約70%を鉄、15~20%を銅、1~2%を亜鉛が占める。基板重量は約1%と低くそれ以外は樹脂部分に相当する。

金属部位からはチタン、クロム等が検出されているが含有量はそれほど多くない。樹脂・基板部分からはアンチモン、鉛が高濃度で検出されている。

2) 考察

a) 分析結果の評価

今般の分析調査において、各品目及び特定部位・部品が含有する鉱種の傾向を明らかにした。品目ごとに含有量に差はあるが、どの品目にもニッケル、クロム、コバルト、タングステン、タンタル、ネオジムが比較的多く含まれている。また、使用済小型家電全体での各レアメタルの分析結果にはいくつかの傾向はあるものの、個々の機器ごとの含有量の差異は大きく、品目によっては製品開発に伴う年代変化も著しい。組成、含有量等はその製品の製造時期により確実に変化していくという認識が必要である。

なお、当該分析は使用済小型家電28品目：268検体のデータにより行った。

b) リサイクル対象としての有効性

いくつかの鉱種が複数の小型家電にわたり一定の基準下で多く含有していることが判明した。前段で挙げられているほとんどの鉱種は現在実際に我が国の非鉄事業の乾式製錬でリサイクルされているものであり、還元されにくいという金属元素としての性質により一部適応できない鉱種があるものの、不純物の品位等一定の基準を満

たせば我が国の製錬工程（炉）で受け入れることが可能であり、今回対象としたほとんどの製品、部位・部品とも有効なりサイクル対象となる。

また、今回の分析において磁石、液晶、素子、レンズ等、特定の部位・部品が固有の鉱種を含有する傾向が明確に把握できており、この中には金属元素の性質により上記乾式製錬の工程では回収できないもの（タンタル、タングステン、レアアース等）もあり、また各品目に含まれる個々の部品はわずかの量であるため、解体・分別の作業時に対象部品を選択的に回収する必要がある。これらの部品、鉱種はこのような対応により非常に有効なりサイクル対象となるポテンシャルを有している。

c) ポテンシャル把握に必要なデータ取得等への提言

データの取得に関して始めに必要なことは対象となる品目や部位・部品の選定、確保である。今回の事業ではレアメタルリサイクルの促進を検討する上で必要な品目を選定し所要の部位・部品を選別することができ、その結果品目ごとの含有量の傾向を把握することができた。例えば、携帯電話には比較的多くタングステンが含まれるがサンプルにより個体差が大きいこと、製品によっては年代変化が著しいこと、等の知見が得られており、これらの情報を生かしつつ今後データの取得が必要な対象を継続的に検討していく必要がある。

また、小型家電は総じて各鉱種とも含有量は非常に微量であり、資源確保のためには対象製品、部位・部品等を蓄積するという考え方も必要であることが見えてきた。

またその他にも、分析のみで機器、部位・部品を適切に評価するには限界があることも分かった。今後の仕組み作りにおいては、易解体設計（DFE）への情報収集とあわせて、対象鉱種に関する含有情報の開示や伝達の仕組みを検討することが望ましいと考える。

一方で、企業（技術）としての秘密に該当するもの等開示に馴染まない部分があるため、関係者間での実現の可能性を含めた慎重な検討が必要となる。

②使用済小型家電のレアメタルに係る分析方法の標準化の検討

1) 調査結果のポイント

今回実施した調査の概要は以下のとおりである。

- ・ 代表的な試料を得るための分析用試料のサンプリング
- ・ 分析のための試料調製
- ・ 目的に合わせた分析手法の選択

また、精度管理調査の概要は以下のとおりである。

- ・ 共通の均一試料を用い、共通の分析手法を用いた場合の分析機関による分析値の確認
- ・ 分析機関によりデータに差異がみられる鉱種のピックアップ

- ・分析値のばらつきの要因の考察
- ・分析における課題と今後の対応策

さらに、分析手法についての調査結果は、以下a)、b)、c) のとおり。

a) 代表的な試料を得るための分析用試料のサンプリング

製錬会社等では基板等を受け入れる際には搬入ロット全体を対象に代表試料を作製しマット融解等の手法により分析を行っているが、分析のみを実施している一般の分析機関では、大型の破碎設備や装置を保有していないこともあり、元の試料を分析室で必要最小量まで縮分したものをスタートとして破碎作業を実施しているケースが多い。

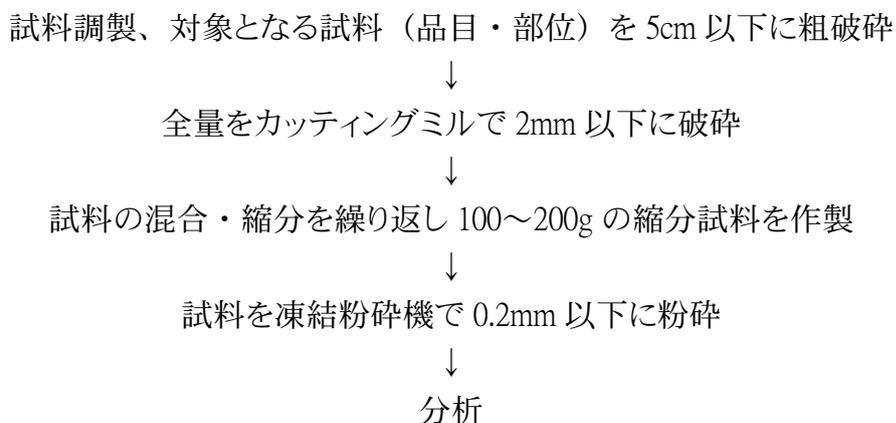
今回の事業においては、回収事業に関する評価分析については各回収事業者の日常の管理手法に基づき作業を実施し、品目・部位別の分析については一定の台数の各品目を手解体した後、部位ごとに全量を破碎して分析試料とした。

また、今回の調査では、品目・部位ごとの分析において破碎できない一部の部位・部品については、別途、重量測定や蛍光X線分析等により定性分析やおおよその濃度の確認等を行った。

b) 分析のための試料調製

回収事業の評価においては、各回収事業者それぞれの評価ルールに基づき段階的に破碎・縮分を繰り返し(3~5段階程度)、評価分析用の試料を調製していた。条件の詳細は異なるが、各社とも評価対象とする試料に対して段階的に破碎・縮分を繰り返すことにより試料調製を実施していることでは一致している。

評価事業者が実施した今年度の品目別の含有量分析においては、昨年度までの各モデル地域での分析実施機関の試料調製等を参考に以下の作業内容で分析用試料を調製した。



※作業の工程で破碎できなかった一部の部位・部品については別途、蛍光X線分析及び重量測定を実施し含有元素を確認した。

c) 目的に合わせた分析手法の選択

分析のために調製した破碎試料中には破碎しきれない金属片等も含まれており、破碎試料の中でもばらつきが懸念される微粉碎できない部位もあり、破碎しても均質で理想的な代表試料を得ることは難しい。そのため、各事業者では一度の分析に供する試料量を可能な限り増やしたり、同一ロットで複数回の分析を実施するなど対象ロットの代表値を得るための工夫をしている。

分析機関においては、破碎・粉碎した試料を酸分解やアルカリ融解法等の前処理で溶解し、ICP発光分析や原子吸光分析等に供している。また、製錬各社はできるだけ多くの試料を処理して均質な分析試料を得るためにマット熔融等の前処理の後、分析を実施しているケースも多い。

ただし前処理について破碎できない部位の取り扱いによっては分析対象から除外していたり、蛍光X線分析等の非破壊分析でおおよその濃度の確認を行ったりと、対応が異なるのが現状である。

また、平成21年度及び平成22年度に本事業の分析を担当している分析機関7社に対して廃棄物資源循環学会物質フロー研究会が提案している分析法に基づき環境省から提供された共通試料(ATM基板、焼却灰)を用いて精度調査を実施した。その内容は以下α)、β)のとおり。

α) 分析機関によりデータに差異がみられる鉍種のピックアップ

全体的に分析機関によってデータが大きくばらつく鉍種は少ないが、共通試料①(ATM基板)においてはパラジウムについて1機関が低い値を、銀では2機関が低い値となっている。共通試料②(焼却灰)においては鉛について2機関が、アルミニウムについては1機関が高い値を示している。

β) 分析のばらつきの要因

各社の測定条件や濃度既知の溶液試料における測定値には大きな問題は見られなかった。均一試料であることを前提に考えると酸分解等の前処理操作に起因するものと推測される。

なお、精度調査の結果の詳細については、「4. 使用済小型家電のリサイクルにおける環境管理の検討 (1) ④小型家電中の金属、難燃剤等の測定手法の標準化」において記載する。

2) 考察

a) レアメタル分析の実態

分析の手法がどの程度確立され、標準化されているかという点について、以下の事項が見えてきた。まず、基本となる分析手法は確立されていることが認識された。また、代表的な試料を得るための分析用試料のサンプリング方法について、各分析機関で工夫しているために違いが生じており、各機関のばらつきの大きな要因になっているものと推測される。さらに、均質化された共通試料で共通の分析手法を選択した場合、各分析機関による分析結果の大きな差異は見られない。

b) 標準化への提言

分析方法の標準化について、次のようないくつかの事項が考えられる。まず、上記で述べたように分析用試料のサンプリング方法については、一定のルール・標準化が必要である。これにより機関ごとのばらつきを早急になくし正確な鉍種分析、リサイクルの向上に努める必要がある。前処理方法及び分析手法については、対象試料の性状等に合った手法を複数の手法から正確に選定するとともに、今後の一般的な分析技術の動向を注視し当該分野へと適用することで、技術の向上を図っていく必要がある。

③使用済小型家電のレアメタル含有部位以外の処理・リサイクルの検討

1) 調査結果のポイント

当該モデル事業において、発生する副産物（選別除外部位、レアメタル含有部位以外の部位）や残渣等については、以下のような状況であった。

モデル事業では、自治体もしくはレアメタル回収事業者が従前活用している再資源化ルートに従って処理・リサイクルしており、従前と同等レベルの処理がなされている。また、手選別、機械選別等により回収された単一素材（鉄、アルミニウム、プラスチック等）についても、既存リサイクルシステムで再資源化が可能な事例がある。さらに、プラスチックや粉じんの一部は熱回収処理されているものもある。

既存の製錬、リサイクルシステムにおける副産物は、現状の法規、基準に照らして適切に管理されているものと推察される。

2) 考察

a) 有効性について

モデル事業における適正処理・リサイクルの工程では、通常の処理（一般廃棄物の埋立、焼却等）と比較して、一部の事業では、従来のリサイクルシステムを適用することで鉄、アルミ、プラスチック等の再資源化が促進されている。

使用済小型家電からのレアメタル回収の取組は、レアメタルのみならず、レアメタル含有部位以外の部位においても再資源化の促進が期待できる。

b) 今後の課題

今回のモデル事業では、対象物を既存の処理・リサイクルシステムに適用しているが、その量は多いとは言えず、効果、影響等の把握はある程度に限られる。今後大量の対象物を取り扱っていく場合、例えば受け入れ時の品質の問題、既存システムを安定的に適用できるか等について個別に検証する必要がある。

リサイクルにおいては、今回の事業で採用された以外の方法として、セメント原料化、鉄鋼還元剤、RPF化のような手法も適用可能と考えられ、レアメタルリサイクルとあわせて効率的な制度設計を行っていく必要がある。処理においては、中間処理後の残渣の有害物質の含有値、溶出値に変化がある可能性があり、それらの確認も確実に実施される必要がある。

(2) レアメタル回収の現状について

①対象鉱種に関する検討

1) 調査結果のポイント

今般、一定のルールを定め、供給リスク、需要見通し等から「重要鉱種」を選定し、さらにその中から使用済製品からのリサイクルを優先的に検討すべき「リサイクル検討優先鉱種」の選定を行った。

「リサイクル検討優先鉱種」については、レアメタル確保戦略（平成21年7月）で定めるレアメタル確保に向けた4本の施策（「海外資源確保」、「リサイクル」、「代替材料開発」、「備蓄」）の中で、全体的な施策の進捗状況や動向を勘案しつつ、リサイクルが進んでいない、またはリサイクルの技術の確立が不十分で、今後リサイクルの検討を優先する鉱種、という考えを基本とし選定した。

その結果、「リサイクル検討優先鉱種」として以下の14鉱種を提言した。

リチウム、コバルト、ガリウム、インジウム、タンタル、タンゲステン、 イットリウム、ランタン、セリウム、ネオジム、サマリウム、ユウロピウム、 テルビウム、ジスプロシウム

その上で小型家電に比較的多く含有されているかどうかという基準により「使用済小型家電からのリサイクル検討優先鉱種」として、以下の4鉱種を提言した。これらは含有量が多いというだけでなく小型家電の中で特定の部位・部品に含まれているという点において有効である。

コバルト、タンタル、タングステン、ネオジム

一方、「重要鉱種」のうち「リサイクル検討優先鉱種」以外の鉱種は、他の施策（「海外資源確保」、「代替材料開発」、「備蓄」）の進捗状況や社会動向等も注視し、引き続きリサイクルを検討すべき鉱種として、以下の9鉱種を提言した。

バナジウム、クロム、ニッケル、ニオブ、モリブデン、プラチナ、パラジウム、アンチモン、バリウム

また、これらは次の2つに大別される。

a) 白金族 (PGM)

リサイクル技術が確立しており、システムが構築されれば、より一層リサイクルが確実に促進される鉱種（プラチナ、パラジウム）

b) その他

- ・鉄・非鉄金属への添加剤としての用途が多く、合金として引き続きリサイクルを進めていくべき鉱種（バナジウム、クロム、ニッケル、モリブデン）
- ・無機薬品のように使用後の回収が困難等の理由により、リサイクルが進めにくく、今後回収方法の検討を要する鉱種（アンチモン、バリウム）

なお、含有量調査のサンプルは、経済産業省及び環境省が取りまとめた「平成21年度 使用済小型家電からのレアメタル回収及び適正処理に関する研究会とりまとめ（平成22年3月）」の参考資料3「小型家電中の金属等の含有量試験」等でまとめられた18品目：113検体（製品その他の結果と基板調査結果を除く）とした。サンプル採用の理由は、本調査時（2011年2月現在）において使用済小型家電中の金属含有量に係る他の有効なデータがなかったことによるものである。

2) 考察

a) 「選定」の考え方

今回の選定鉱種は、前例を参考とし客観的な評価項目により基本的な考えに従って選定を行ったものであるが、選択的なルールによる一つの結果であることには変わらない。しかしながら、判定に関する前提条件を明らかとした上で、今後のレアメタルリサイクル対策の参考とし方針の策定に活用するに当たっては有効なものと考ええる。レアメタルリサイクルは資源有効利用という考えと経済性のバランスに左右され必ずしも普遍的なものではないが、対象鉱種の選定についてその時々状況、

勘案すべきいくつかの判定条件を盛り込むことで概ね正確な選定ができるものと考ええる。その際、評価の数値の高低で決めつける視点ではなく、「重要性の指標」と捉える運用とすべきである。

但し、今回判断の基準とした諸条件は、経済環境の変化、技術開発の動向等により随時変わっていくものであり、一定期間ごとまたは所要のタイミングで見直しを行っていく必要がある。

b) 結果の取扱い

「リサイクル検討優先鉱種」は、現状リサイクルが進んでおらずその推進の検討について今後優先して検討すべき鉱種として選定している。また「重要鉱種」のうち「リサイクル検討優先鉱種」以外の鉱種は、他の戦略（海外資源確保、代替材料開発、備蓄）や社会動向等も注視し、引き続きリサイクルを検討していく必要がある。いずれも、まずは足下の条件として必要な技術開発は何であるのかを引き続き検討していく必要がある。

また「使用済小型家電からのリサイクル検討優先鉱種」は、使用済小型家電の中で相対的に含有量の多い鉱種として選定を行ったが、実際には「使用済製品のどの部位・部品からレアメタルを取るのか」、「ビジネスベースにおける最低必要量はどの程度か」という視点が重要である。さらに回収に当たっては、選定された以外の鉱種も同時に効率的に取得できる場合は、あわせてリサイクル方法を検討する等柔軟な対応が必要である。

c) 今後の検討

今回の一つの結果を受けて、今後は商取引を想定した定量的な選定、実効的な回収手法の検討へと繋げるべきである。

例えばエネルギー需給動向の見通しを予測する場合、定量的な個別データを積み上げ信憑性の高い想定をすることであるが、一方、レアメタルの場合は、対象となる鉱種や用途が多岐にわたり、また鉱山開発の進展や代替材料開発、さらには製品への今後の適用次第で我が国の産業界にとっての重要性が一気に変わり得るため、予測が難しいという側面がある。しかしながら、今後は丁寧なデータ収集等によりさらに信頼性の高い予測ができないか、その可能性について模索していく必要がある。

②回収技術に関する検討

1) 調査結果のポイント

「対象鉱種」の検討を受けて、当該鉱種のリサイクルの推進に必要な「技術開発」について検討を行った。

以下 3 つの事項を整理する形で進めた。

- A. 回収プロセス別基本技術の整理
- B. 鉱種・用途別リサイクルの現状
- C. 技術マトリクス

A. によって当該分野においておおよそ必要な技術の体系を確認し、B. によって「リサイクル検討優先鉱種」ごとにシェアの高い用途とそれぞれのリサイクル進展状況を把握し、さらにC. によってプロセスごとの技術の体系を整理することで今後必要となる技術開発のポイントの抽出を試みた。

以下、鉱種ごとにファクト及び考えられる事項を整理した。

(リチウム)

用途の約 6 割がリチウムイオン電池用であるが、必要なリサイクル技術は未確立。非常に小さなリチウムイオン電池のリサイクルは有効であるか、コバルト等複数の鉱種を合わせて抽出できる技術等、高効率回収技術開発の可能性についての検討が必要。

(コバルト)

用途の 8 割強がリチウムイオン電池の正極材用であり、今のところ特殊鋼原料等のカスケードリサイクル。工程の簡略化等、高効率回収技術の開発が必要。

(ガリウム)

大半が半導体チップ、LED チップ等の結晶として使用され、水平リサイクルが確立。今後は共存物質（砒素等）対策、低コスト化の技術開発、普及促進が課題。

(インジウム)

用途の約 8 割が透明電極 (ITO) 用であるが、液晶パネルからの回収技術はあるものの、現状採算が合わない。品質確保のためのアップグレードリサイクルが必要。中小型パネルについては集めるシステムとあわせて技術開発の検討が必要。また、工程内リサイクルの徹底も効果が期待できる。ただし、作業上の安全対策への考慮が必要。

(タンタル)

用途の約 5 割がサーバー、パソコン、携帯電話等のタンタルコンデンサ用。採算ベースに乗るための最適前処理技術、高純度回収技術等の開発が必要。

(タンゲステン)

用途の 7 割弱が超硬工具用であるが、スクラップの海外流出を阻み工程内リサイクルを徹底させることが重要。低コストのリサイクル技術が確立していない。海外流出を抑制するための安価な水平リサイクル技術の開発が必要と考えられる。また携

帯電話の偏心おもりに利用されているようなものについては集めるシステムも検討することが必要。

(セリウム)

レアアースの中で使用率が高くガラス研磨材の用途が多い。使用済製品からの回収技術の低コスト化が必要。

(ネオジム)

レアアースの中で使用率も高く、重要性が高い。ネオジム磁石の用途が多いので、集めるシステムとあわせて解体・分別から製錬抽出までの技術の早期開発が必要。

(サマリウム)

サマリウム-コバルト磁石の用途が多い。回収技術が確立しておらず、集めるシステム、コバルト回収技術等とあわせて技術開発の検討が必要。

(ジスプロシウム)

ネオジム磁石の添加剤の用途が多く、ネオジム磁石の水平リサイクルを推進。

(イットリウム、ランタン、ユウロピウム、テルビウム)

蛍光体の回収技術はある程度確立。使用済蛍光灯、LED パネル等の集めるシステムとあわせて高効率回収技術開発の検討が必要。

2) 考察

a) 主な課題

主要な鉱種ごとに必要な技術開発の考え方は上述のとおりであり、今後これらを元に具体的なプロジェクトの検討に進展させていくことが望ましい。その際、解体・分別、製錬に至る各プロセスで基本となるメニューは整備されており、個々の鉱種や用途にどう適用していくかが問題である。また一部は国内に精製施設がないこと、新しい技術開発の検討に資する技術メニューや情報データベースの整備等の課題があり検討していくことが必要である。

b) 採算性とのバランス

今般の整理によって所要の鉱種に対する必要な技術開発のポイントはある程度明らかになったと考える。しかしながら、実際に技術開発を実行するかどうかについては改めて個々に採算性を精査し検討する必要がある。技術が整備されたとしても、レアメタルリサイクルは対象となる使用済製品が大量かつ一箇所に収集されない限りその実現性に疑問が残る。対象としているレアメタルは極少であり、明らかに効果の乏しいものは実行できないという視点が必要である。今後、収集されるスクラップの量、適用技術の採算性、さらに当該鉱種が必要とされる度合、の3つのバランスを考え検討を深める必要がある。

c) 前処理技術の必要性

リサイクル技術のうち、後工程である製錬・精製等の研究、技術開発と比較すると、前処理（中間処理）の研究、技術開発はあまり行われてきていない。その理由として、リサイクルコストよりも廃棄物としての処分コストのほうが安価だったため廃棄物として処理されリサイクルの対象となる品目（鉱種）が少なかったこと、実際の処理ライン設置や装置開発が難しかったこと等が挙げられる。

新たな技術開発を行う際には公的機関の支援の検討が必要であり、また基礎研究の実施について国や自治体等の研究機関との連携も不可欠である。また、下流で引き受ける側の製錬事業者としては引き渡される原料の形状、品質、価値等のあり方が非常に重要である。上流と下流が適正に連携を取ることで一層の促進が期待される。

d) その他の事項

使用済製品のリサイクルシステムの構築については、国内のみならず海外の処理回収プロセスの利用も視野に入れた検討が必要である。特にどの工程、技術を国内に残し、海外で回収処理を行うのか等の戦略的な視点に立ったシステムづくりが必要である

また、PGMのような既に回収技術が確立しリサイクルされている鉱種についても、高効率回収技術の開発による、更なる高効率、低コスト化に向けた取組が必要である。

さらに、製錬事業者は抽出しやすい形で提供されないとリサイクルが進められず、メーカーはリサイクルの進め方が決定しないと設計が進まない等の問題を有している。具体的に製品のリサイクルを容易にする易解体性等に配慮した設計や製品情報の提供方法等（表示マーク、バーコード、ICタグ等）について、製錬事業者とメーカーとが連携を図り、実現可能性について検討していくことが必要である。

(3) 既存レアメタル回収システムの使用済小型家電への適用可能性について

①最適な中間処理及びレアメタル抽出手法の検証

1) 調査結果のポイント

a) 中間処理の適用

モデル事業における小型家電の解体・選別は、既存のスクラップ事業、家電リサイクル事業で稼働中の施設・技術の応用が可能であることが分かった。ただし、使用済小型家電からのレアメタル回収のためには更なる最適化あるいは新規の開発が必要と考えられる。これら「中間処理」と呼ばれるプロセスは、解体・粉碎・選別を基本とした、レアメタル回収（製錬・抽出等）のための「前処理（原料の最適化）」と位置づけられる。

各モデル地域では、レアメタルを含有する特定の部位・部品の選別において、現状では主として「手選別」が採用されており、小型家電の対象品目が多種多様で小サイズであること等から、現時点では妥当性のある手法と考えられる。また手選別は有害物等のレアメタル回収工程に支障があるものを除去する等の目的でもある程度は必要である。しかしながら、当該分野は機械により部品レベルへ解体・破碎する可能性も示唆されており、今後の開発に期待される。

解体・破碎により、単一素材（鉄、アルミ、プラスチック類）や、リサイクル対象物（電子基板、二次電池）が得られる場合には、従来のリサイクルシステムの適用が可能である。同時に解体・選別は、以後のリサイクル工程においてリスクあるいは支障のある品目・部位の「除去」としても機能している。

単純な解体・粉碎・選別以上の物理・化学・熱的操作を伴う「中間処理」は、対象鉱種の濃縮・分離、コスト他の点で開発途上であり、今後の開発を待つ部分がある。

なお、単一素材としてリサイクルされる以外であってレアメタル回収対象以外の部位・部品については、残渣として通常の廃棄物処理により適正処理が可能である。

b) 製錬の適用

非鉄金属製錬（銅・鉛・亜鉛）における「電子基板」処理では、貴金属、ベースメタルのリサイクルと同時に、レアメタル回収も原理的に可能であり、小型家電の電子基板は受入可能性が高い。評価が逆有償の場合でも金属回収として受け入れが可能な場合もある。ただし、製錬の有するレアメタル回収プロセスでは、対象となる鉱種や回収率には制限があること等の課題がある。しかしながら、非鉄製錬の許容度は高く、適切な前処理との組み合わせにより電子基板の受け入れそのものに大きな支障はないと考えられる。

また、特定の鉱種が濃集している部位・部品（二次電池、振動子、磁石（モーター）等）の回収については、パーツセパレーター等を適用して前処理が必要で

ある。選択的な解体・分離により、鉱種あるいは品目毎に、レアメタル製造・二次メーカーにおける二次原料等としての利用の可能性がある。

各プロセスは、回収できる鉱種とその濃度、許容される不純物に限界が有り、原料への最適化、前処理等の所要の措置が必要であると考えられる。

2) 考察

a) リサイクルの実現性

我が国で現在稼働している中間処理、非鉄製錬のシステムをレアメタルリサイクルに適用し促進していくことは可能であり現実的である。中間処理の工程には、破碎・粉碎のプロセスと特定の部位・部品の解体・選別（取り出しあるいは除去）のプロセスがあり、またそこで得られる産物はそれぞれ再資源化、適正処理のルートが存在し、さらに非鉄製錬等によるレアメタル回収では、製錬工程からの副次的な回収プロセスと溶媒抽出等の個別回収プロセス等が存在し、これらの最適な組合せが可能となっている。

ただし、実際にあらゆる鉱種が効率的に再資源化されているという状況ではなく、現在全ての鉱種を対象としたリサイクルシステムの構築は困難である。各地域で実施されている解体・選別、中間処理が非鉄製錬に対し必ずしもリサイクルに最適な産物を提供していない状況や技術の不在等がその原因と考えられる。

最適な中間処理及びレアメタル抽出手法とは、既存の設備を活用し、対象となる小型家電全量を我が国全体で受け入れリサイクルできるようになるやり方、あるいはシステムである。それらを実現するのに必要なものとして以下の事項等が考えられる。1つは中間処理及び製錬を担う主体間の意思疎通・連携、1つは必要な技術メニューの開発、1つはあらゆるリサイクルに対応できるような流通体制やロケーションの整備等である。

これらをクリアしていくことで、最適な中間処理及びレアメタル抽出を可能とする我が国全体での一連のシステムを構築していくことが必要である。

b) 解体分離の効率性

既存のレアメタルリサイクルシステムを小型家電に適用するためには、特定の部品の選択的な取り外しが重要な条件要素であり、手選別や機械的解体により実施する必要がある。機械解体については、効率、コストの点からも開発が期待される。

【選別基準の例】

- ①物理化学処理によりリスクが高まる部位：蛍光管（水銀）、二次電池（危険性）等
- ②電子基板（製錬原料）：ベースメタル（銅）、貴金属（金、銀）、レアメタル（白金、パラジウム）
- ③単一素材（リサイクル可能）選別が可能な部位：鉄、アルミ、プラスチック等
- ④回収可能レアメタル鉱種：特定のレアメタルが濃集した部位・部品、製錬システムで回収不能となるレアメタル濃集部位
(例) 振動子（タンゲステン）、高性能磁石（ネオジウム、ジスプロシウム）、コンデンサ（タンタル）等

分別、解体・粉碎・選別においては、レアメタル回収可能品目・部位の情報、あるいは危険・有害性に関する情報、解体の手法等が関係者で共有される必要があり、同時に易解体設計のための、解体・粉碎・選別の手法のフィードバックも必要である。これらの情報の共有は、解体・粉碎・選別の容易性、確実性を向上させ、リサイクルのコストを低減させる可能性が高い。

②レアメタルの抽出量及びコストの算定

1) 調査結果のポイント

現状、中間処理及び非鉄製錬の既存システムを適用した使用済製品リサイクルによるレアメタル抽出量及びコストを算定することは極めて難しい。その理由は、対象となる鉱種の量が極めて少なく、また技術も確立しているとは言えないためである。

実際、非鉄製錬による電子基板の受け入れ、処理は一般的に行われており、純粋な価値評価のみであれば有償として受け入れる可能性もある。ただしそれは、ベースメタル、貴金属が評価の対象であり、レアメタルは白金、パラジウムを除いて、副次的に回収されるものであるため、レアメタルそのものの評価ではない。

特定の部位・部品であるタンゲステン（振動子）、ネオジウム、ジスプロシウム（磁石）、インジウム（液晶）、タンタル（素子）については、既存のリサイクルシステムへの受け入れの最適化のために技術開発が必要であり、現時点では受け入れ可能となった場合の評価（有償・逆有償）や事業化規模は未知数である。ただし、二次電池は既に存在する社会システムで受け入れ可能と考えられ、振動子なども既存システムでの受け入れ可能性が高いと考えられる。液晶パネル、素子からのレアメタル回収については、コスト低減を含めた、更なる技術開発が期待される。

モデル事業では、家電リサイクル等の大型機器と小型機器の単位操作は同等であり、小型家電の解体分離のコスト原単位（単位重量当たりコスト）が大きくなるた

め、コストと得られる価値とのバランスに留意が必要である。また、モデル事業の一部ではリサイクルプロセスの必要とする最低ロットも分かった。

さらに、今回複数のモデル地域で収集された回収物を一つの製錬で処理する試みを行ったが、対象物を増大させることで顕著な結果を得ることができロットを増やすことの意義を見た。また遠距離を運搬することの検証も今後の検討に資すると考える。

2) 考察

a) 課題等

現状、対象とするレアメタルの回収量（回収率）は多い（大きい）とは言えず、その市場価値も小さい。また、小型家電の中に含まれるレアメタルの賦存量も、総需要量に比較して小さく、小型家電から回収することが効率的であるかどうかについて、検討していく必要がある。

中間処理あるいは前処理としての解体・選別は必須であるが、手選別のコストが大きく、回収される金属価値を超える可能性が高い。一部の既存システムでは、リサイクルシステムの所要の最低ロットが示されており、その確保のための方策が必要である。

モデル事業では既存のシステムを前提に評価されており、今後のリサイクル量の増加による影響、コストダウンの可能性、前処理の最適化を実施した場合の効果等について、引き続き検討していく必要がある。

b) 対応策等

非鉄製錬による評価は、主として電子基板中の貴金属評価によるため、レアメタルを回収するコスト負担はこれらの価値の範囲内であれば経済合理性が見いだせるという状況である。事業の意義を高め、対象物の規模を増やして技術を向上し、抽出量を高め、レアメタルの価値、評価を高め、中間処理物の質を高め、製錬設備の機能を高めて、好循環によって課題の改善、リサイクルシステムの確立へと導く必要がある。上流・下流に限らず所要の技術開発はもとより、対象となるスクラップ原料をより大量に集める方策、適正な支援策の検討が必要である。

非鉄製錬を含めて、レアメタル回収施設そのものは我が国に偏在しており、事業規模を確保しつつ効率的な社会システムを構築していくためには、既存のレアメタル回収システムを中核とした、使用済小型家電回収のための設備の配置、備蓄・保管を含めた物流システムや、その実現に向けた各種規制の緩和等についても具体的な検討をしていかなければならない。

4. 使用済小型家電のリサイクルにおける環境管理の検討

(1) 使用済小型家電における有害物質等の含有状況等

①含有量試験、溶出試験、精度調査の概要

平成 20～22 年度に実施した含有量試験、溶出試験、精度調査の対象製品／試料、対象元素の概要は以下のとおりである。

<対象製品／試料>

含有量試験	・平成 20～22 年度のモデル事業にて回収された使用済小型家電の基板、部位・部品、製品全体（携帯電話、ゲーム機（小型以外・小型）、ポータブル CD・MD プレーヤー、ポータブルデジタルオーディオ、デジタルカメラ、カーナビ、ビデオカメラ、DVD プレーヤー等）	<p><備考> 一部の基板や液晶を除いて電池、蛍光管については事前に取り外しを行い、分析対象外とした。</p>
溶出試験	<ul style="list-style-type: none"> ・平成 20～21 年度のモデル事業にて回収された使用済小型家電の基板、部位・部品、製品全体（携帯電話、音楽プレーヤー、ゲーム機（小型以外・小型）、デジタルカメラ、ビデオカメラ等） ・中間処理産物（高品位物（一次破砕物、ミックスメタル等）、準品位物（基板、混合物等）、低品位物（主に鉄を含む部品等）） 	
精度調査	<ul style="list-style-type: none"> ・平成 21 年度：焼却灰、パソコン基板 ・平成 22 年度：焼却灰、ATM 基板 	

<対象元素>

含有量試験	レアメタル 31 鉱種, Au, Ag, Cu, Zn, Al, Sn, Pb, Cd, As, Hg, Br（一部の対象製品については、一部の元素について試験対象としていない）
溶出試験	Cd, Pd, Cr ⁶⁺ , As, Hg, Ni, Sb, Zn, Mo
精度調査	Ni, Cr, W, Co, Mo, Mn, V, Pd, Pt, Nb, Sb, Zr, Sr, Ta, Ga, In, 希土類, Au, Ag, Al, Fe, Cu, Pb, Cd, As, Se（As, Se は平成 22 年度のみ）

②含有量試験、溶出試験、精度調査方法

平成 20～22 年度に実施した含有量試験、溶出試験、精度調査の方法は以下のとおりである。

<試験方法・調査方法>

含有量試験	<ul style="list-style-type: none"> ・レアメタル等については、可能であれば、ICP 発光分析装置及び ICP 質量分析装置を併用 ・Hg は冷原子吸光法 ・As, Se, Sb は水素化物発生－原子吸光法・ICP 発光法（直接法でも可） ・臭素系難燃材等化合物については、ガスクロマトグラフ質量分析（GC/MS）
溶出試験	・「産業廃棄物に含まれる金属等の検定方法」（昭和 48 年環境庁告示第 13 号）に基づく方法
精度調査	・王水分解+ アルカリ溶融とし、可能であれば、ICP 発光分析装置及び ICP 質量分析装置を併用

③含有量試験、溶出試験の結果

平成 20～22 年度に実施した含有量試験、平成 20 年度～21 年度に実施した溶出試験結果を以下のとおり整理した。

1) 含有量試験結果

含有量試験結果について、(2) にて後述する環境管理に注意が必要とされた元素に注目して次のとおり整理した。

参考として、欧州 RoHS 指令における使用制限項目の最大許容濃度を表 4-1 に示す。ただし、今回の含有量試験に供された使用済小型家電の含有量試験については、部位や部品から製品全体を対象として分析しているため、均質な物質（注）にかかる欧州 RoHS 指令の最大許容濃度とは単純に比較することはできない。また、今回の含有量試験に供された使用済小型家電については、欧州 RoHS 指令等によって電気電子機器への有害物質の規制が広がる以前に製造された製品を含んでいると考えられることにも留意が必要である。

（注：例えばコンデンサのような部品ではなく、コンデンサ内のリード線のような別々の材料に分離できない部材を対象とすることが想定されている。）

表 4-1 欧州 RoHS 指令最大許容濃度

	最大許容濃度
鉛、水銀、六価クロム、PBB、PBDE	0.1wt%
カドミウム	0.01 wt%

（鉛）

「はんだ」に起因すると考えられるものがパーセントオーダーで検出されている。また、携帯電話、デジタルカメラ等の一部の製品の基板（携帯電話：最大 2.87%、デジタルカメラ：最大 2.41%）や DVD ドライブ（0.70%）、偏心モーター（0.22%）等の一部の部位・部品について、一定程度の含有が確認された。

（水銀）

ほとんどの品目において含有は確認されなかった。一部の品目（掃除機（6mg/kg）、ビデオカメラ（1mg/kg）、ポータブル DVD プレイヤ（1mg/kg）等）で検出されたが、濃度は数 mg/kg オーダーであった。

（カドミウム）

一部の品目（ポータブル音楽プレーヤー（3～40mg/kg）、電卓（2～55mg/kg）、掃除機（7～12mg/kg）等）で検出されたが、濃度は高いもので数十 mg/kg オーダーであった。また、一部の中間処理産物（一次破碎粉塵（1.600mg/kg）、ミックスメタル（250mg/kg）等）について、一定程度の含有が確認された。

(クロム)

多くの品目で数百 mg/kg～パーセントオーダーの含有が確認された。ステンレス素材部品や、クロメートめっきやアルマイト処理等の表面処理に用いられるクロムに由来すると考えられる。

(臭素)

基板を中心に多くの品目でパーセントオーダーの含有が確認された。基板のエポキシ樹脂に含まれる難燃剤が由来として考えられる。

(インジウム)

液晶部品での使用が想定されるが、液晶を使用していない他の品目でも数十 mg/kg オーダーでの含有が確認された。

(ベリリウム)

一部の品目（携帯電話、ポータブル音楽プレーヤー、デジタルカメラ等）で数百 mg/kg オーダーでの含有が確認された。高強度のバネ材としてコネクタやスイッチ等に利用されるベリリウム銅合金に由来するものと考えられる。

(ボロン)

一部の品目で数十～数百 mg/kg オーダーでの含有が確認された。

(マンガン)

多くの品目で数百 mg/kg オーダーでの含有が確認された。

(ニッケル)

多くの品目でパーセントオーダーの含有量であった。ステンレス部材や基板のめっき等が由来と考えられる。

(セレン)

全ての品目においてほとんど定量限界以下であった。

(砒素)

液晶パネルから数千 mg/kg オーダーで含有が確認されるケースが見られた。これは過去に液晶用のガラス基板に添加されていたことに起因するものと考えられる（なお、現在国内メーカーでは砒素を使用しないプロセスが主流となっている）。また、液晶パネル以外にも、高濃度ではないものの砒素が検出されるものがあり、由来としてDVDなどのレーザー用基板やLED用基板の半導体素子として使用されているガリウム砒素（GaAs）等が考えられる。

(モリブデン)

多くの品目で数十～数百 mg/kg オーダーでの含有が確認された。由来の一つとして半導体放熱基板等の銅合金が考えられる。

(アンチモン)

多くの品目、特に基板で数千 mg/kg オーダーの含有が確認された。基板のエポキシ樹脂に難燃助剤として使用されているものが由来と考えられる。

(バナジウム)

多くの品目で数～数百 mg/kg オーダーでの含有が確認された。サーミスタ等電子素子として利用されているものが、由来の一つと考えられる。

(コバルト)

多くの品目で数百～数千 mg/kg オーダーでの含有が確認された。磁気材料である鉄やニッケルとの合金に起因すると考えられる。また、偏心モーターでは磁石に起因すると考えられるものが、パーセントオーダーで検出されている。

(ガリウム)

多くの品目で数～数十 mg/kg オーダーでの含有が確認された。半導体のガリウムヒ素としては低濃度であり、携帯電話等のバックライト LED (緑、オレンジ) に使用されていることから、これらに由来する可能性もある。

(タンタル)

多くの品目、特に基板で数百 mg/kg～パーセントオーダーでの含有が確認された。タンタルコンデンサに由来すると考えられる。

(パラジウム)

多くの品目で数十～数百 mg/kg での含有が確認された。電気接点リレー、チップコンデンサ、コネクタに利用されており、これらが由来と考えられる。

2) 溶出試験結果

溶出試験を次のとおり整理した。なお、参考として、金属等を含む産業廃棄物に係る判定基準¹ (以下「参考値」という。) と数値の比較を行った。

(カドミウム)

一部の品目の基板から検出された (0.002～0.02mg/L) が、いずれも参考値 (0.3mg/L) 以下であった。また、部位・部品試料、製品全体からは、検出されなかった。なお、一部の中間処生産物 (高品位 (1次破碎粉塵)、低品位 (1次破碎粉塵)、低品位 (1次破碎物)) から、参考値 (0.3mg/L) を超える濃度 (0.63～4.0mg/L) が検出された。これらの含有量は高品位 (1次破碎粉塵) 1600mg/kg、低品位 (1次破碎粉塵) 270mg/kg、低品位 (1次破碎物) 22mg/kg と高かった。カドミウムは電池以外に、低融点合金 (はんだ、ヒューズ) やベアリング材として、また顔料として使用されており、破碎物から溶出する原因と推定される。個別の製品からのカドミウム溶出量は概ね 0.01mg/L の定量限界以下であった、100～1,000mg/kg

¹ 金属等を含む産業廃棄物に係る判定基準を定める省令 (昭和 48 年 2 月 17 日総理府令第 5 号) により定められる基準のこと。産業廃棄物の種類により、重金属等の溶出量が本基準を超えるものは、有害な産業廃棄物として、遮断型処分場に埋め立てなければならないこととされている。

の高い含有量が数件みられる破砕物からの溶出濃度が参考値を超える場合があることは留意すべきである。

(鉛)

基板については、携帯電話、音楽プレーヤー、ビデオカメラ、電卓、DVDプレーヤー、携帯用テレビ、カーナビ、カーオーディオ、ヘッドライヤーといった多くの製品基板で検出され、参考値(0.3mg/L)を超える頻度が高かった(0.005~13mg/L)。基板の鉛含有量はパーセントオーダーであり、溶出量は鉛はんだに由来すると考えられる。部位・部品別にみると、液晶では含有量が数百 mg/kg と低く、鉛溶出濃度も一般に低かったが、1種のデジタルカメラの溶出濃度で参考値を超えた(0.85mg/L)。また携帯用テレビの蛍光管、ケーブルについても参考値を超えた(0.30~0.57mg/L)。製品全体の鉛含有量は1%前後であるが、一部製品(携帯音楽プレーヤー)で参考値を超えた(1.5mg/L)。中間処理産物では、掃除機、ラジカセ等製品の破砕選別物の多くから参考値を超える濃度(0.46~15mg/L)が検出された。鉄系、アルミ系、銅系、プラスチック系に分別された中間処理物の鉛溶出濃度が概ね低かった。破砕によってはんだが製品や基板等からはずれ、表面積が大きくなり溶出量が増加する可能性も考えられる。

(六価クロム)

ほとんどの試料で定量限界以下(<0.01~0.05mg/L)であった。一部の中間処理産物で検出された(0.03~0.45mg/L)が、いずれも参考値(1.5mg/L)以下であった。

(砒素)

基板については、携帯電話の多くで検出され(<0.01~0.28mg/L)、いずれも参考値(0.3mg/L)以下であった。その他の基板ではすべて定量限界以下であった。部品別試料及び製品全体の溶出試験ではすべて定量限界以下であった。中間処理産物については、携帯電話由来のミックスメタルで参考値を超える濃度(0.56mg/L)が検出されていた。携帯電話の液晶の砒素含有量は数百 mg/kg であるが、溶出濃度は定量限界以下(<0.01mg/L)であり、液晶が砒素の溶出要因とは考えにくい。砒素の含有量の項で記述したが、半導体素子の砒化ガリウムが考えられる。

(水銀)

基板についてはすべて定量限界以下(<0.00005mg/L)であった。部品別では携帯用テレビの蛍光管等から検出された(0.0009~1.4mg/L)。蛍光管は粉砕すると多くは蛍光粉やガラスに付着し、それが溶出するものと考えられる。製品全体では電子機から検出された(0.0016mg/L)。また中間処理産物の1試料で検出された(0.0012mg/L)が、参考値(0.005mg/L)以下であった。主な溶出要因は液晶のバックライトと考えられる。

(ニッケル)

基板等のニッケル溶出濃度は<0.01mg/L~0.68mg/Lであった。比較的使用量が多いと考えられ、多くの品目で検出されている。なお、一部の部位・部品試料（電動シェーバーの刃）からは、比較的高濃度（1.6mg/L）の検出が見られた。

（アンチモン）

多くの品目から検出された。難燃助剤としてパーセントオーダー含有されており、溶出しやすい元素と考えられる。

（亜鉛）

一部の間処理産物（ラジカセ、オーディオ、プリンター）から比較的高濃度（0.02~1.9mg/L）の検出が見られた。

（モリブデン）

試験を実施した品目からは、ほとんど検出されなかった。

3) 調査結果の考察

モデル事業にて回収された使用済小型家電の基板、部位・部品等、多岐にわたる製品を対象に試験を行うことで含有量、溶出量データを蓄積できたことは大きな成果と考えられる。

また、一部の元素については、参考とした基準値を超える含有や溶出が見られており、海外の情報を含め、既存の規制や新たな規制の動向等も踏まえ、取り扱いについては引き続き慎重な検討を行う必要がある。

今回検出された臭素については、難燃剤に由来すると考えられる。2010年4月より化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律（以下、「化審法」という。）により原則使用が禁止されている臭素系難燃剤（PBDEs）^{*}も含まれる可能性があり、今後、詳細な分析による実態把握が必要と考えられる。

なお、使用済小型家電のリサイクルにあたっては、各使用済製品について含有量試験、溶出試験を実施することには限界がある。そのため、適正なりサイクル・処理を行う観点から、易解体設計の推進や、製品中の部品の含有物質情報の開示、伝達の仕組みを検討することが望ましいと考えられる。一方で、企業（技術）としての秘密に該当するものなど開示に馴染まない部分があるとの意見もあり、慎重な検討が必要となる。

（※ テトラプロモジフェニルエーテル、ペンタプロモジフェニルエーテル、ヘキサプロモジフェニルエーテル及びヘプタプロモジフェニルエーテル）

④小型家電中の金属、難燃剤等の測定手法の標準化

1) 金属の測定手法の標準化

小型家電の処理に関する環境管理という観点だけでなく、レアメタルの戦略的利活用という観点からも製品レベルでレアメタル等の含有量情報を把握することが重

要となっている。しかし、レアメタル等の測定手法は、異なる素材に対して十分な標準法がないのが現状である。そこで、共通試料の作成や分析機関の相互検証を実施し、測定手法の標準化を検討した。

標準化にあたっては、公定法・準公定法をベースとすること、素材に応じた適用が可能となる方法であること、全量分析であること、多元素同時分析ができること等を条件とした。その結果、IEC 規格（RoHS 指令に対応する測定方法）をベースにした暫定測定手法を提示した。その概要は、試料の前処理方法として、多くの元素に対して硫酸炭化王水溶解+アルカリ融解法、硫硝酸分解王水溶解+アルカリ融解法、マイクロ波加熱分解+アルカリ融解法のいずれか、また銀については 6M 塩酸溶解法を採用し、元素分析法として、ICP 発光分光分析及び ICP 質量分析を併用する方法である。

平成 21～22 年度に実施した精度調査結果を以下のとおり整理した。整理方法としては、n 数が 3 以下（サンプル数が半数以下）の元素及び有効数字が 1 桁の分析結果が 2 つ以上ある元素（ただし、小数点第 4 位まで）については対象外とした。また、精度調査結果の分析機関によるばらつきについては、変動係数（標準偏差を平均値で除したもの）を用いて判断することとし、変動係数が、30%以下の場合を「良好」とし、30%以上の場合を「ばらつきが大きい」とした。

a) 平成 21 年度精度調査結果

焼却主灰は、対象（n 数が 4 以上）とした 19 元素のうち、15 元素が「良好」であった（ $15 \div 19 = 78.9\%$ ）。一方、パソコン基板破砕物は、対象とした 24 元素のうち、15 元素が「良好」であった（ $15 \div 24 = 62.5\%$ ）。

「ばらつきが大きい」結果になった元素は、焼却主灰では、タンタル、ガリウム、ネオジム、カドミウムであり、パソコン基板破砕物では、モリブデン、アンチモン、タンタル、ガリウム、インジウム、セリウム、銀、金、鉄であり、ある一機関だけが大きく外れた値を検出していることが多かった。

以下、ベースメタル（アルミニウム、鉄、銅）、貴金属（銀、金）、レアメタル、その他（鉛）に分類し、傾向を整理した。

（ベースメタル）

焼却主灰については、対象とした 3 元素のすべてが「良好」であり、一機関を除けば差異は小さい。パソコン基板破砕物については、対象とした 3 元素のうち、アルミニウム、銅は「良好」であった。鉄は「ばらつきが大きい」結果となったが、一機関を除けば差異は小さい。

（貴金属）

パソコン基板破砕物については、銀、金共に「ばらつきが大きい」結果となった。金は、ある一機関だけが大きく外れた値を検出している。銀については、変動係数が最も大きい値となっており、分析方法の更なる検討が必要と考えられた。平成21年度は銀の暫定分析法に6M塩酸溶解法を採用していなかったことがばらつきの大きい一因と考えられる。

(レアメタル)

焼却主灰については、対象とした14元素のうち11元素が「良好」であった($11 \div 14 = 78.6\%$)。パソコン基板破砕物については、対象とした18元素のうち12元素が「良好」であった($12 \div 18 = 66.7\%$)。コバルト、ランタンについては、比較的低濃度にもかかわらず「良好」であり、タンタルについては比較的高濃度であるが「ばらつきが大きい」結果となった。

(その他)

鉛は、焼却主灰、パソコン基板破砕物とも「良好」であった。

b) 平成22年度精度調査結果

焼却灰は、対象とした28元素のうち、19元素が「良好」であった($19 \div 28 = 67.9\%$)。一方、ATM基板は、対象(n数が4以上)とした30元素のうち、17元素が「良好」であった($17 \div 30 = 56.7\%$)。

「ばらつきが大きい」結果になった元素は、焼却灰では、タンタル、プラセオジウム、ガドリニウム、エルビウム、銀、金、銅、カドミウム、砒素であり、ATM基板では、バナジウム、パラジウム、白金、ニオブ、スカンジウム、セリウム、プラセオジウム、サマリウム、ガドリニウム、エルビウム、銀、カドミウム、砒素であった。

以下、ベースメタル(アルミニウム、鉄、銅)、貴金属(銀、金)、レアメタル、その他(鉛、砒素)に分類し、傾向を整理した。

(ベースメタル)

焼却灰については、鉄が対象外であり(有効数字が1桁の分析結果が2つ以上あるため)、アルミニウムは「良好」であった。銅は「ばらつきが大きい」結果となったが、一機関を除けば差異は小さい。ATM基板については、対象とした3元素すべてが「良好」であり、鉄の一機関を除けば差異は小さい。

(貴金属)

焼却灰については、銀、金共に「ばらつきが大きい」結果となった。ATM基板については、金は「良好」であったが、銀は「ばらつきが大きい」結果となった。なお、銀については、今年度は6M塩酸溶解法の採用により、塩化銀・臭化銀をクロロ錯体として溶解させて検出されるよう工夫した。その結果、変動係数は昨年の

結果に比べて小さくなっており、6M 塩酸溶解法の効果が現れたのではないかと考えられる。

(レアメタル)

焼却灰については、対象とした 21 元素のうち 17 元素が「良好」であった ($17 \div 21 = 81.0\%$)。ATM 基板と比較して低濃度であるにもかかわらず「良好」である元素が多い結果となった。ATM 基板については、対象とした 22 元素のうち 12 元素が「良好」であった ($12 \div 22 = 54.4\%$)。イットリウム、ランタン、ネオジムについては、比較的 low 濃度にもかかわらず「良好」であった。

(その他)

鉛は、焼却灰、ATM 基板とも「良好」であったが、砒素はいずれも「ばらつきが大きい」結果となった。

2) 臭素系難燃剤の測定方法について

RoHS 指令に係る測定手法は、2008 年 12 月に、国際電気標準会議によって IEC 62321 として規格化されている。しかし、臭素系難燃剤についてはまだ測定法の信頼性に課題（全ての樹脂に適用困難）があることから、参考文書扱い (Informative Annex) に留まっている。現在、米国の研究者を中心に、2012 年の規格改訂時に正式文書化することを目指して、検討が進められているところであり、主な測定手法としては、蛍光 X 線分析による全臭素濃度の測定と、溶媒抽出法と GC/MS による精密分析が検討されている。

なお、廃棄物中の臭素系難燃剤について確立された測定法はなく、また、上記の蛍光 X 線分析や GC/MS 等を準用して分析した知見も限られているのが現状である。

3) 調査結果の考察

使用済小型家電に含まれる金属の測定手法の標準化においては、分析機関による分析用試料の前処理方法の違いが、測定結果のばらつきの大きな原因と推測された。このため、前処理方法に一定のルール・標準化が必要である。また、対象試料の性状や測定対象の物質に合った前処理方法及び測定手法の検討や、含有成分のマトリックス効果²についての検討も必要である。多くの分析機関は、レアメタル等の多元素分析を実施した経験が多くはないと想定されることから、このような共通試料の分析により分析精度の向上と共に習熟度の向上が期待される。

また、化審法により原則使用が禁止されている臭素系難燃剤については公定法が定められていない。廃棄物に含まれるこれらの臭素系難燃剤についても分析方法が

² マトリックス効果とは、蛍光 X 線分析における定量において、蛍光 X 線強度が共存元素、とくに主成分元素の影響を受けることをいい、これによって対象試料の蛍光 X 線強度と濃度とが直線関係とはならなくなる。

定められておらず、当面は IEC 62321 における正式文書化の検討の動きなどを注視していく必要がある。他方で、使用済小型家電や類似の廃棄物に含まれる臭素系難燃剤の分析データは限られており、暫定的な分析方法を用いてデータを蓄積していくことも必要である。

(2) 使用済小型家電に含まれる有害物質に関連する知見と政策の動き

①小型家電中のレアメタルを含む主要金属類その他のハザード情報の整理

1) 調査の概要

レアメタルを含む金属元素について、ハザード情報を整理した。その上で、まず、既に環境基準等^{*}が設定されている金属等については、環境管理に注意が必要な元素として抽出した。また、急性毒性等の定量的情報及び HSAB 則³に基づく定性的情報を収集・整理し、毒性情報が得られた元素の中で小型家電中に含まれているものについても、環境管理に注意が必要な元素として抽出した。

(※環境基準の他、水質汚濁に係る要監視項目、有害大気汚染物質などが含まれる。)

なお、毒性は各元素の存在形態によって異なるが、ここでは、ワーストケース化合物についてのハザード情報を整理することとした。今般、幅広い金属元素と毒性を対象として情報収集を試みたが、一部の元素や毒性についてはハザード情報が得られなかった。そのため、ここでの整理は限られた情報をもとに行ったものであることには留意する必要がある。また、ここでは情報の有無という観点から整理しており、小型家電中の存在形態は様々であること、曝露については考慮されていないことから、「環境管理に注意が必要」であることが、ただちに有害ということを表すわけではないことにも留意する必要がある。

以上を踏まえた上で、環境管理に注意が必要として抽出される元素は表 4-2 のとおりとなる。

³ HSAB (Hard and Soft Acid and Base)則：金属イオンの反応しやすさの指標の一つで、酸・塩基を「硬さ」「軟らかさ」で分類する方法である。HSAB 則と細胞毒性との関係をみると、軟らかい金属イオンの細胞毒性は強く、硬い金属イオンの細胞毒性は弱いという傾向が認められる。

表 4-2 環境管理に注意が必要と考えられる元素

	元素名称	ワースト ケース 化合物	ハザード情報 ¹⁾									排出量 (9 品目合計)	
			急性 毒性	遺 伝 毒 性	発 が ん 性	生 殖 毒 性	残 留 性 ・ 非 分 解 性	生 体 蓄 積 性	慢 性 毒 性	水 生 毒 性	土 壌 移 動 性		HSAB 則 ²⁾
国内外の環境基準等から抽出	ベリリウム	BeSO ₄ ・4H ₂ O	●	—	●	●	—	—	●	●	—	□	91kg
	ボロン	B	—	—	—	—	—	—	—	—	—	(□)	7,697kg
	クロム	K ₂ Cr ₂ O ₇	●	●	●	●	—	—	●	●	—	□	14,228kg
	マンガン	MnCl ₂ ・4H ₂ O	—	—	—	●	—	—	●	—	—	□	25,979kg
	ニッケル	NiCl ₂	●	●	●	●	—	—	●	●	—	△	81,134kg
	亜鉛	ZnCl ₂	—	●	—	●	—	●	●	●	—	△	96,997kg
	砒素	As	—	—	●	—	—	●	—	—	—	□	743kg
	セレン	Se	—	—	—	●	—	—	●	●	—	□	112kg
	臭素	Br	●	—	—	—	—	—	●	●	—	(□)	129,946kg
	モリブデン	MoO ₃	—	●	—	—	●	—	—	—	●	□	800kg
	カドミウム	CdCl ₂	●	●	●	●	—	—	●	●	—	○	17kg
	インジウム	In ₂ O ₃	—	—	—	—	●	—	●	—	—	□	511kg
	アンチモン	SbCl ₃	—	●	●	●	—	—	●	●	●	△	12,087kg
	水銀	HgCl ₂	●	●	—	●	—	—	●	●	—	○	2kg
鉛	Pb(CH ₃ COO) ₂ ・3H ₂ O	—	●	●	●	—	—	●	●	—	△	88,797kg	
ハザード情報から抽出	バナジウム	VCl ₃	—	●	—	—	—	—	—	●	—	○	156kg
	コバルト	CoCl ₂	●	●	●	●	—	—	●	—	—	△	1,345kg
	パラジウム	PdCl ₂	—	—	—	—	—	—	—	—	—	○	963kg
	テルル	Te	●	—	—	●	—	—	—	—	—	(□)	152kg
	バリウム	BaCl ₂	●	—	—	—	—	—	—	—	—	(□)	58,133kg
	タンタル	Ta	—	—	—	●	—	—	—	—	—	(□)	11,546kg
	プラチナ	PtCl ₂	—	—	—	—	—	—	—	—	—	○	34kg
	タリウム	Tl ₂ SO ₄	—	●	—	●	—	—	●	●	—	○	26kg

1)ハザード情報⁴⁾ (●：毒性情報あり、—：情報なし)

2)HSAB 則 (○：軟らかい金属イオン、△：中間グループの金属イオン、□：硬い金属イオン、(□)：硬い金属イオンと予想される) ※前ページ脚注参照

⁴⁾ 出典：MSDS (Material Safety Data Sheet) 和光純薬工業株式会社、フルウチ化学株式会社を基本とし、IRIS (Integrated Risk Information System)：米 EPA、EU RoHS High priority substances in EEE、EU REACH SVHC (Substances of Very High Concern)、初期リスク評価：NITE、詳細リスク評価書：AIST から一部を補足

2) 調査結果の考察

小型家電中における金属の種類や存在形態は様々であると考えられるが、その実態に関する情報は限られている。また、レアメタルについての毒性情報についても同様に限られていることがわかった。ここでは限られた情報の中で、HSAB 則を活用するなどして一定の整理をおこなったが、新たな情報が得られた場合には、それに応じて見直す必要がある。

②諸外国の電気電子機器に係る規制動向

諸外国における電気電子機器に係る規制動向について、欧州、中国及び韓国について、規制対象物質、規制対象機器及び最新の動向について、表 4-3 のとおり整理した。

表 4-3 欧州、中国、韓国の電気電子機器に係る規制動向

	【欧州】※ WEEE 指令 RoHS 指令	【中国】 廃棄電器電子製品回収処理条例 電子情報製品汚染防止管理法	【韓国】 電気電子製品及び自動車の資源循環に関する法律
規制対象物質	<ul style="list-style-type: none"> ・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) 	<ul style="list-style-type: none"> ・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) 	<ul style="list-style-type: none"> ・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)
規制対象機器	<p>以下のカテゴリーに対し、具体的な規制対象機器が規定されている。</p> <ul style="list-style-type: none"> ①大型家庭用電気製品 ②小型家庭用電気製品 ③IT 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医療機器 ⑨モニターおよび制御装置 ⑩自動販売機類 <p>(RoHS 指令では、⑧、⑨は対象外)</p>	<p>廃棄電器電子製品回収処理条例には、第一陣として以下が規定されている。</p> <ul style="list-style-type: none"> ①テレビ ②冷蔵庫 ③洗濯機 ④エアコン ⑤パソコン 	<ul style="list-style-type: none"> ①テレビ ②冷蔵庫 ③洗濯機 ④エアコン ⑤パソコン ⑥オーディオ ⑦携帯電話端末 ⑧プリンター ⑨コピー機 ⑩ファクシミリ

最新 の 動 向	<ul style="list-style-type: none"> ・WEEE 指令改正案を審議中（対象範囲の見直し、易解体設計に関わる記述の追加、回収目標、リサイクル率・再生率・再利用率の目標、費用負担やリサイクル費用の明示等） ・RoHS 指令改正案を審議中（実質的にすべての電気電子機器を規制対象とすることを討、有機臭素化合物のリスクに言及等） 	<ul style="list-style-type: none"> ・費用負担については、生産者、輸入業者（及び代理人）に回収処理基金へ納付金負担が義務付けられているが、納付基準は未定 ・ラベリング制度についても、詳細は未定 ・現在、特定有害化学物質の情報開示義務は自己宣言によるが、将来的には認証証書の取得を義務付ける方向で検討中（実施時期は未定） 	<ul style="list-style-type: none"> ・改正等の動きはない
-------------------	--	---	--

※欧州 WEEE 指令及び RoHS 指令については、目的の達成について加盟国を拘束するものの、法制化は各国が行うこととなっている。

規制対象物質については、欧州、中国、韓国で違いはない。また、POPs 条約のレビュー会議において、2010 年から対象となった臭素系難燃剤（PBDEs）を含む製品のリサイクルに係る健康及び環境への影響等について検討を行っているところであり、使用済小型家電のリサイクルにも関連するこれらの情報について、引き続き収集していく必要がある。

また、中国では、廃電気電子機器に係る規制は始まったばかりであるが、今後、規制の詳細が随時公表される予定であり、その動向を注視していく必要がある。

（３）使用済小型家電のリサイクルにおける環境管理手法

使用済小型家電からのレアメタル等金属回収のための中間処理及び金属回収プロセスにおいて、環境管理の観点から注視すべきポイントについて整理を行った。また、有害物質の排出規制に関する主な環境関連法規制について、以下の法令を念頭に現行における規制状況について整理するとともに、モデル事業で得られた知見を通じて、使用済小型家電のリサイクルが実施された場合に各プロセスで想定されるリスクイベント及びリスク回避対策についてとりまとめた。

<主な環境関連規制>

- 大気汚染防止法
- 水質汚濁防止法（瀬戸内海環境保全特別措置法・下水道法）
- 廃棄物の処理及び清掃に関する法律
- ダイオキシン類対策特別措置法

①中間処理プロセスにおける環境管理の考え方

１）環境管理の観点から注視すべきポイントの抽出

比較的オーソドックスと考えられる中間処理プロセスを想定し、環境管理の観点から注視すべきポイントを整理した。

具体的には、解体プロセスにおける蛍光管の破砕による粉塵及び有害成分の発生や電池の液漏れによる有害成分の漏出、破砕・選別プロセスにおける粉塵及び有害成分の発生等について注視する必要がある。

２）環境関連法規制における規制状況

モデル事業の中間処理プロセスに参加した事業者においては、当該プロセスに関連する施設について、排ガスや排水についての排出規制の対象はなかった。他方、破砕工程において、廃棄物の処理及び清掃に関する法律（以下、「廃棄物処理法」という。）に基づき、廃棄物処理業の許可や破砕処理施設の施設設置許可を取得している例が多い。

３）中間処理プロセスで想定されるリスクイベント及びリスク回避対策

使用済小型家電の中間処理プロセスにおいて想定されるリスクイベントとその回避対策について、モデル事業実施主体へのヒアリング調査等をベースにとりまとめた結果は以下のとおり。

- 解体作業時の有害物質漏出（蛍光管の破損、電池の液漏れ等）対応
 - ・ 保護具マスクの着用
 - ・ 作業手順の確認

○粉じんの発生への対応

- ・ 保護具マスクの着用
- ・ 集塵機の設置（解体時に局所集塵を設置等）
- ・ 活性炭フィルターの設置
- ・ 作業手順の確認

○粉塵爆発や火災の発生への対応

- ・ 分別の徹底（ライター、スプレー缶、電池類の誤投入の防止）
- ・ 電池の事前分別、抜き取り
- ・ 保護パーツ（粉塵爆発抑制装置等）の設置
- ・ アース接地
- ・ 火災予防措置（専用容器の使用等）
- ・ 作業手順の確認

○排水を通じた有害物質漏出への対応

- ・ 保管・作業スペースのコンクリート舗装
- ・ 排水処理装置（油水分離装置等）の設置

4) 中間処理プロセスにおける環境管理の方向性

今般環境省が実施した市町村へのアンケート調査によれば、現状の使用済小型家電の処理において、約6割の市町村が破碎を行っている。

今後、使用済小型家電からのレアメタルの回収のために部品の分離・回収を行う場合には、専用の中間処理プロセスにおいて、まずは電池や蛍光管など環境管理上留意が必要な部位・部品を事前に取り外した後に、解体・破碎・選別の工程に回ることが望ましい。これにより、「3) 中間処理プロセスで想定されるリスクイベント及びリスク回避対策」に記載されている解体作業時の有害物質漏出（蛍光管の破損、電池の液漏れ等）や、粉塵爆発や火災の発生を防止することにつながる事が期待される。

また、中間処理プロセスの中では、引き続き破碎工程が重要な役割を担うと考えられることから、現行の廃棄物処理法に基づく処理基準、構造・維持管理基準を引き続き遵守することが重要である。

②金属回収プロセスにおける環境管理の考え方

1) 環境管理の観点から注視すべきポイントの抽出

小型家電からの金属回収を担う主たるプロセスと考えられる銅製錬、亜鉛製錬及び鉛製錬と、湿式処理の例としてインジウム精錬について、環境管理の観点から注視すべきポイントを整理した。また、金属の製錬プロセスにおいて、各元素がどのような挙動を示すのか（金属相／ガス相／スラグ相のいずれに強く分配されるのか）について、乾式の製錬プロセス（鉄鋼（転炉、電炉）、銅転炉、鉛溶鋳炉、ISP、

アルミニウム再溶解)を対象とした熱力学的なモデル解析結果に基づき整理した。
(詳細は参考資料 8 の 3 . を参照)

系外への移動の可能性があるものとしては、排ガス(煤じん)、排水、鉱さい(スラグ)が考えられる。ガス相への移行が想定される物質(水銀等)については、排ガス(及び湿式の排ガス処理を行っている場合は排水)処理において特に留意する必要があると考えられる。

また、製錬プロセスでは、各所で濃縮した中間産物を複数の工程で回収するが、スラグ相への分配傾向が強い物質(主に酸化物となる金属)については非鉄製錬スラグに移行していると考えられる。代表的な非鉄製錬スラグである銅スラグからの有害物質の溶出に関する既往研究においては、溶出によるリスクは十分低いことが確認されており、土木資材として有効利用されている。

2) 環境関連法規制における規制状況

モデル事業の金属回収プロセスに参加した事業者のうち、非鉄製錬事業所においては、焼却灰、金属くず、廃酸・廃アルカリ等様々な廃棄物を処理しており、廃棄物処理法に基づく廃棄物処理業の許可や廃棄物処理施設設置許可を取得している例が多い。また、水質汚濁防止法や大気汚染防止法(鉱山保安法の相当規定を含む)に基づき、排ガス規制や排水規制がなされている。

3) 金属回収プロセスで想定されるリスクイベント及びリスク回避対策

小型家電からの金属回収プロセスにおいて想定されるリスクイベントとその回避対策について、モデル事業実施主体へのヒアリング調査等をベースにとりまとめた結果は以下のとおり。なお、ここで挙げた対策は、現行の環境規制対応で概ね実施されているものと考えられる。

- 排ガスを經由した有害物質の系外移動への対応
 - ・ 排ガス処理装置の設置
 - ・ 既存排ガス処理装置の適正管理(電気集塵機の電圧、電流値の適正管理等)
 - ・ ガス洗浄装置(スクラバー)の循環水量の適正管理
- 飛灰やスラグを經由した有害物質の系外移動への対応
 - ・ 飛灰、スラグからの有害物質の拡散防止対策、溶出対策
 - ・ 分別及び事前分析(溶出試験による確認)
 - ・ 残渣物の適正保管(容器保管、養生など)
- 排水を通じた有害物質の系外移動への対応

- ・ 排水処理装置の設置
- ・ 排水処理装置の適正管理
- その他の有害物質の飛散、漏出、曝露への対応
 - ・ 屋内保管、輸送中の飛散防止対策
 - ・ 保護具の着用
 - ・ 熔融処理による無害化
 - ・ 公害防止装置、曝露防止

4) 金属回収プロセスにおける環境管理の方向性

平成 21 年度使用済小型家電からのレアメタルの回収及び適正処理に関する研究会とりまとめによれば、レアメタル専門メーカーについては、その多くの施設において、電子部品屑、廃メッキ液、貴金属スクラップ等を主な原料として利用しており、むしろ、鉱石を主な原料としている施設は少ない。そのため、使用済小型家電からのレアメタル回収システムが構築された場合にあっては、取り扱う原料の質に大きな変化はないと考えられる。

非鉄製錬事業者については、鉱石を主な原料とする施設は多数存在するが、一部の施設ではもっぱら廃棄物を含むスクラップ等を原料としているなど、廃電子基板や家電・自動車の破碎残さを利用している施設はめずらしくない。現状、製錬施設で処理されている廃基板類の量（10～12 万トン：日本鉱業協会推計）に対し、使用済小型家電からのレアメタル回収システムが構築された場合（9 品目、回収率 30% とした場合に製錬プロセスに投入される基板量は約 2,600t /年と想定される）にあっては、取り扱う原料としての廃基板類の量に大きな変化はないと考えられる。

製錬プロセスでは、各所で濃縮した中間産物を複数の工程で回収するが、主に酸化物となる金属はスラグに移行することとなる。また、排ガス処理等、他の環境媒体への移行を防止する処理が行われており、有害物質は排ガス（煤じん）、排水、スラグとして管理されることとなる。

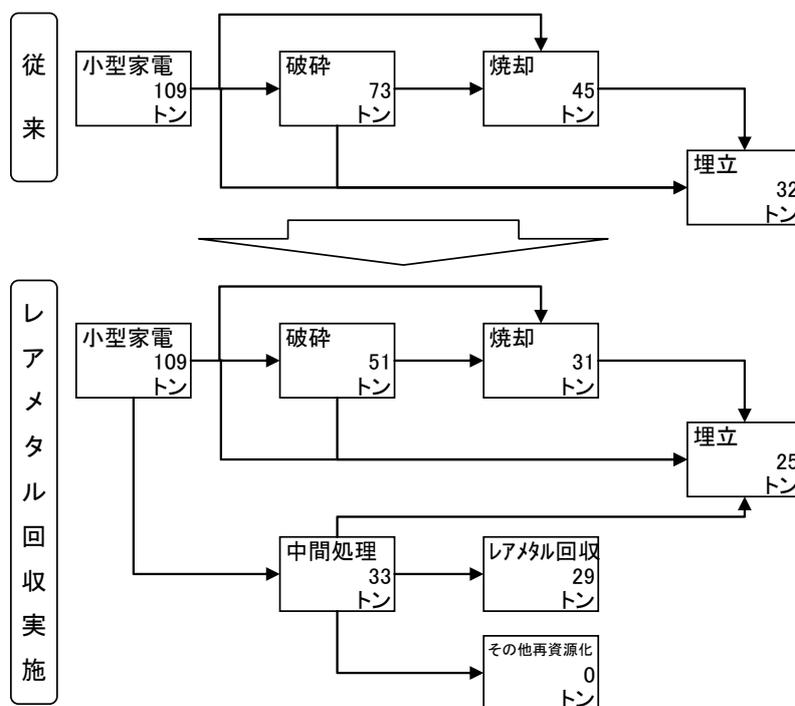
排ガス及び排水については、大気汚染防止法や水質汚濁防止法（鉱山保安法の相当規定を含む）といった既存の法体系で規制がなされており、引き続きこれらの法令を遵守することが重要である。また、特にこれまで廃棄物を受け入れていない施設にあっては、使用済小型家電に由来する原料が廃棄物である場合、廃棄物処理法の適用を受けることとなることから、同法に基づく環境管理の徹底（処理基準、構造・維持管理基準の遵守）が必要となる。

なお、銅スラグからの有害物質の溶出リスクについては、十分低いこととする文献が確認されている。廃棄物の最終処分量の減量と資源の有効利用を促進する観点から、スラグの有効利用のための品質管理が重要と考えられる。

③使用済小型家電のリサイクルによる最終処分場等での環境影響の変化に関する情報について

使用済小型家電が国内でリサイクルされると、焼却施設や最終処分場への有害物質の投入の減少が想定される。後述する「5. (3) リサイクルシステムの経済性評価」と同様、比較的金属含有濃度が高い9品目を対象に、小型家電の回収・リサイクルにより、排出量の最大30%が回収されると仮定し、最終処分場や焼却施設への鉛の負荷量がどのように変化するかについて試算を行った。

結果は次図に示すとおりであり、最終処分に向かう鉛の量は32トンから25トンへと約21%減少すると推計された。鉛については、基板へ一定量が集中していることから、中間処理における基板の選別により、多くがレアメタル回収に向かうこととなる。このように、使用済小型家電のリサイクルは、最終処分場へ投入される有害物質負荷の減少に一定程度効果があることが示唆される。



<推計方法>

- ・後述する「5. (3) リサイクルシステムの経済性評価」における前提条件（表5-4）に基づき、比較的金属含有濃度が高い9品目を対象に、排出量の最大30%が回収されると仮定して試算。
- ・昨年度事業でとりまとめた自治体における小型家電処理方法別の処理割合（破碎処理：約67%、焼却処理：約41%、埋立処理：約29%）に基づき、破碎・焼却・埋立のフロー量を分配。
- ・中間処理プロセス中の分配状況については、経済性評価において用いた部品別の分配状況データを用いて試算。

図4-1 小型家電リサイクルによる鉛のフロー変化

④使用済小型家電等の海外流出等に関する情報について

我が国で排出された使用済小型家電は、市町村へ排出、中古品として販売店等で下取り、リサイクルショップ等へ売却等が考えられる。前述の市町村へのアンケート調査のフォローアップによれば、一般廃棄物として家庭から排出された使用済小型家電が海外へ資源として輸出されている実態が確認されている（全体の約13%の市町村が有価物として売却しており、うち約30%の市町村が海外に輸出されている又は輸出されている可能性がある」と回答。）。

電気電子機器廃棄物（e-waste）の途上国への輸出に関しては、特定有害廃棄物等の輸出入等の規制に関する法律で輸出の制限があるが、途上国においては、環境上適正な処理がなされていない事例が報告されている。小型家電については、どのように輸出され、途上国においてどのように再利用され、若しくは再資源化されているかという実態は不明であり、我が国からの使用済小型家電の海外流出と直接結びつくものではないが、使用済小型家電のフローの最下流における参考情報として、途上国における e-waste の処理実態に関する情報を収集したので、ここに紹介する。

1) フィリピンの例⁵

フィリピンのフォーマル・インフォーマルリサイクル現場で内部ダスト、周辺土壌、内部大気、労働者毛髪・血液・尿の重金属等を調査（2010年2月、8月）した結果、どちらの現場でも内部ダストや周辺土壌から鉛、亜鉛等が検出。その他からも重金属を検出。

2) 中国（広東省貴嶼鎮）の例⁶

電子廃棄物回収分解地区である広東省貴嶼鎮では、廃電線の被覆プラスチックの野焼き、プリント基板の焼却処分や強酸処理といった方法でのリサイクルによって、環境汚染、健康被害が懸念されている。例えば、1～6歳児、の血中鉛濃度を調査した結果、約8割程度の児童が鉛中毒（100 μ g/l以上）であることがわかった。また、広東省貴嶼の e-waste 解体処理産業の人々の健康への影響について調査した結果、ある程度の影響（回路基板の焼却やプラスチックの酸洗浄作業による皮膚への影響等）を与えていると考えられている。

以上のように、アジア等の途上国においては、e-waste からの資源回収を環境上適正に行っている例もある一方で、未だインフォーマルセクターが e-waste の回収やり

⁵愛媛大・国立環境研究所調査、第7回国立環境研 E-waste ワークショップ資料

⁶中央環境審議会循環型社会計画部会（第29回）ヒアリング アジアごみ問題研究会資料（2006年10月24日）

サイクル等の主たる役割を担っており、環境上不適正な処理による環境汚染や健康被害が指摘されている。

我が国で発生する使用済小型家電については、国内の環境上適正な処理施設を用いることにより、適正に処理することが可能である。アジア地域に視野を広げた場合、環境上不適正な処理に繋がる可能性を回避することは望ましく、国内での適正な処理がこれに寄与するものと考えられる。

⑤資源採取段階における環境影響等に関する情報について

小型家電は、自動車や家電4品目に比べて重量は小さいものの、レアメタルや貴金属等の有用金属が含有されており、単に重量ではなく、それらの有用金属の資源性にも注目する必要がある。資源性を示す指標のひとつに関与物質総量(TMR: Total Material Requirement)がある。TMRは、物質集約度を表す指標であり、人間の経済活動に伴う直接的・間接的な物質の量、および、経済外の隠れたフロー量を含めた物質の量を示す指標である。隠れたフローは、直接および間接的な経済行為に伴う物質の移動や攪乱の量であり、TMRは、ある物質1tを入手するために採掘した鉱石・土砂・岩石の量を示している。つまり、資源採取時の潜在的な環境負荷を表すものであり、使用済小型家電の最上流における潜在的な環境負荷を検討するひとつの指標となる。例えば、鉄のTMRは8であるが、これは鉄1tに対して鉄鉱石の採取、コークスの原料炭の採取に伴う覆土、脈石、尾鉱等の量が8tあるということである。銅の場合にはそれが360tであり、金では1,100,000tに及ぶということである。

図4-2は、乗用車、CPU、携帯電話、LCDパネルについて、各機器の実重量(消費端重量)と各機器の実重量をTMRにて重み付けした結果(資源端重量)の対応を示している。自動車は従来型素材(アルミ、鉄、銅、ステンレス)を多用しているため実重量の15倍程度の資源端重量となっているが、CPU、携帯電話、LCDパネルなどは300から1,000倍の資源端重量を示しており、いかに負荷をかけたかがよくわかる。

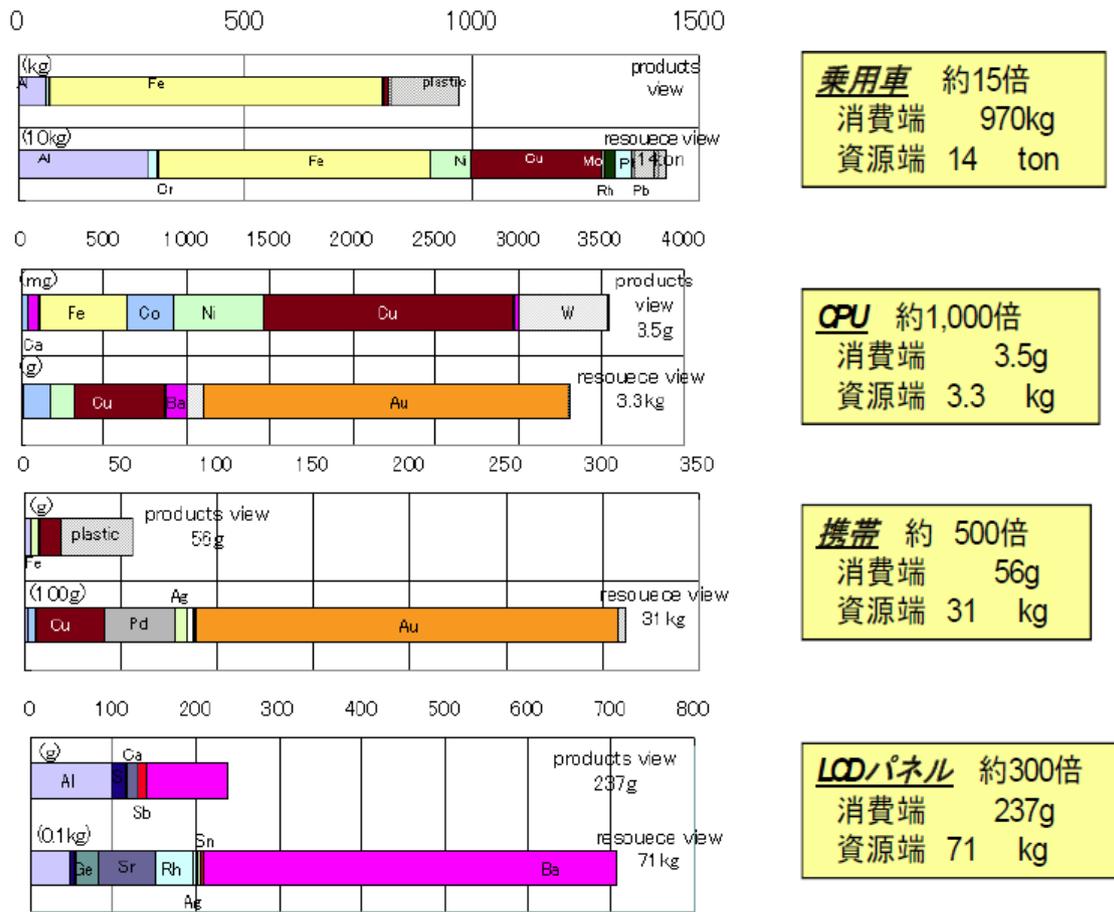


図 4-2 各種製品の消費端重量と資源端重量

出典： NIMS-EMC 材料情報環境データ No.18 概説 資源端重量 (2009)

図 4-3 は、携帯電話、携帯音楽プレーヤー、デジタルカメラ、薄型テレビの基板に含有される主なレアメタル含有量とボディ等に含有される鉄、アルミ、プラスチックに重み付け係数として TMR を乗じた結果を製品 1 台当たり、1 年間の潜在的回収可能台数当たりについて示したものである。

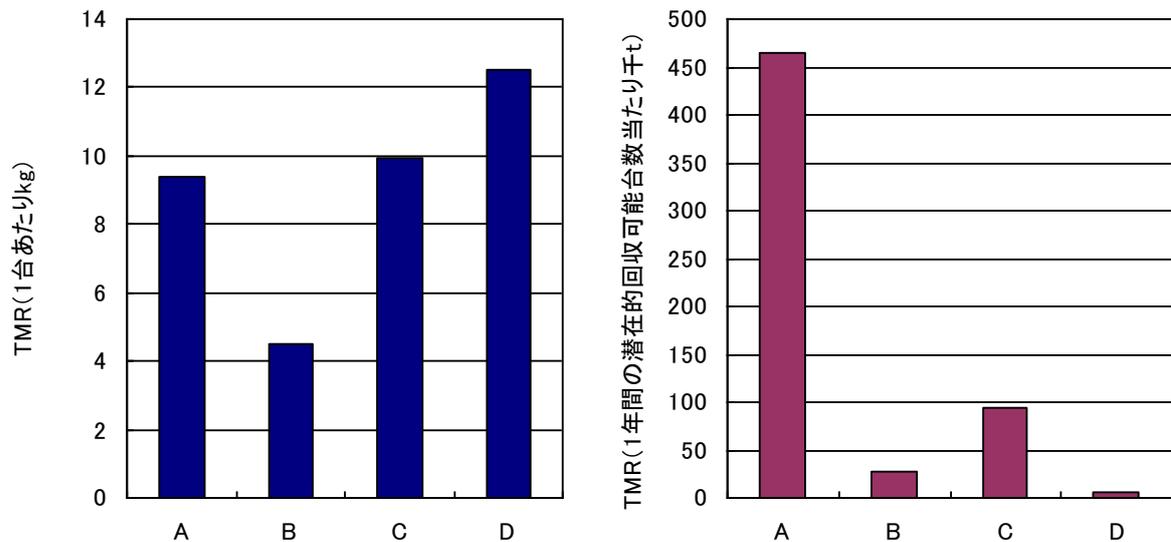


図 4-3 主な製品の基板に含有される主なレアメタル含有量 (TMR にて重み付け)

※A：携帯電話、B：携帯音楽プレーヤー、C：デジタルカメラ、D：薄型テレビ、評価対象レアメタルは4品目にてデータの存在する、Li、Ti、V、Cr、Mn、Co、Ni、Ga、Sr、Nb、Mo、Pd、In、Sb、Nd、Dy、Ta、W、Pt とした。

※TMRは、NIMS-EMC 材料情報環境データ No.18 概説 資源端重量 (2009) にて示されているものを用いた。

製品1台あたりでは、薄型テレビのTMRが最も大きく、次いで、デジタルカメラ、携帯電話、携帯音楽プレーヤーとなる。1年間の潜在的回収可能台数あたりでは、携帯電話が最も大きく、次いで、デジタルカメラ、携帯音楽プレーヤー、薄型テレビの順となった。1年間の潜在的回収可能台数あたりで考えた場合、薄型テレビの潜在的回収可能台数は現時点では小さいが、CRTテレビを含む潜在的回収可能台数で比較したとしても、携帯電話等の小型家電は種類も多く潜在的回収可能台数が多くなる。そのため、レアメタル等の資源採取時の負荷は小さくないと考えられる。

また、図4-4に、現状のTMRと、リサイクルが全くなされなかった場合のTMR、さらにリサイクルを促進した場合のTMRを示す。これよれば、金属によって程度の差はあるものの、リサイクルによって資源の有効利用を図ることにより、TMRを減少させることができることがわかる。

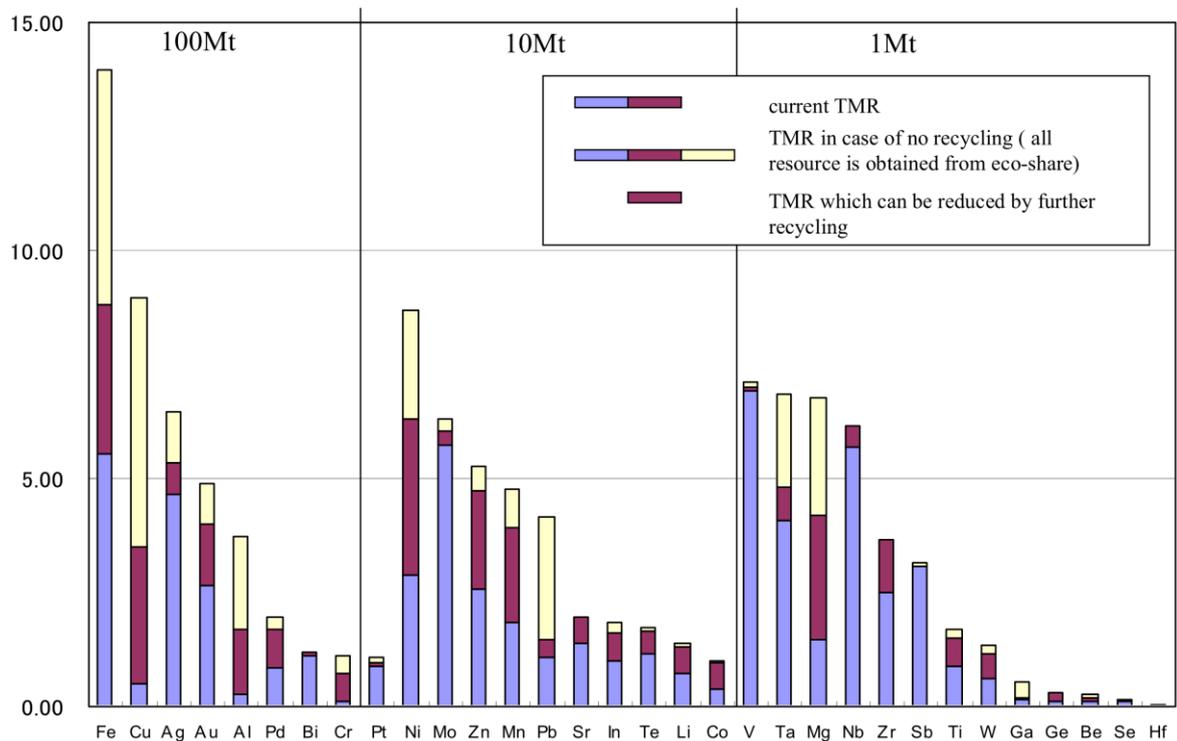


図 4-4 日本における金属ごとの年間 TMR

出典：NIMS-EMC 材料情報環境データ No.18 概説 資源端重量（2009）

以上のように、使用済小型家電のリサイクルを促進することにより、天然の鉱物資源の消費量が減少することで、資源採取時の潜在的な環境負荷の減少につながる事が期待される。

なお、TMR は小型家電にまつわる環境負荷の一側面を評価するものであり、他にも GHG 排出量など種々の指標があることに留意が必要である。

5. リサイクルシステムの検討

(1) リサイクルシステムの目的・必要性

リサイクルシステム（使用済小型家電からのレアメタルのリサイクルシステムのこと。以下同じ。）の目的・必要性について、資源確保、環境管理、廃棄物対策、静脈産業の創出・振興等の観点から総合的に検討を行った。

①資源確保の観点から見た必要性について

我が国における資源確保の観点から見たリサイクルシステムの必要性については以下のとおり整理できる。

<資源供給の遍在性と寡占性>

- ・レアメタルは産出国の遍在性が高い鉱種も多く、中国のレアアースの輸出枠制限の例にみられる様に、主要生産国の輸出政策の変更の影響を大きく受ける状況にある。
- ・近年、非鉄メジャー各社による大型のM&Aが進められ、生産者の寡占化が進展。一方、中国国内では、レアアースにおいて環境対応や生産調整を目的とした事業者の再編が政府主導で実施。
- ・こうした資源生産国・生産者の遍在性や寡占性による供給リスクを回避するためには、海外調達先の分散、備蓄の強化や代替材料の開発の促進とともに、国内資源の確保としてのリサイクルも重要。

<国際的な資源需要の増大>

- ・省エネ家電・次世代自動車のモーター用の磁石用途などにレアアース（ネオジム、ジスプロシウム）や、自動車の排ガス触媒用途のプラチナ、次世代自動車のバッテリー用途のリチウムなどの需要の拡大が見込まれる。

<国際的な資源価格の変動>

- ・近年の国際資源の価格の動向については、リーマンショック後の世界的な不況の影響から一時的な価格の低下はみられたものの、中国をはじめとした新興国の経済成長に伴う、金属消費量の拡大を背景に、上昇傾向にある。
- ・特に、レアアース（特にジスプロシウム）に関しては、中国の輸出枠制限等の影響から、急激に資源価格が上昇。
- ・急激な資源価格の変動による影響を緩和するとともに、価格交渉を優位に進めるという観点からも、国内資源の確保策の一つとして、工程くずや廃製品からのリサイクルも重要。

また、上記を踏まえた必要性検討の際の配慮事項としては以下が挙げられる。

- これまでの分析結果から、国内需要に占める割合でパラジウム 2.4%、タンタル 4.4% など一定量（潜在的回収可能量を 100% 回収した場合。表 5-1 国内需要量（2010）を参照のこと。）のレアメタルが含まれている。レアメタルには供給リスクが常に存在するため、それが顕在化する以前の段階からリサイクルシステムを検討するしておくことが必要ではないかと考えられる。
- 一方、国内需要量に比べ少ないことを認識した上で、リサイクルシステムの検討が必要ではないかと考えられる。
- ただし、この目的に即したシステムを検討する際には、鉱種に着目し、資源開発から備蓄までを視野に入れた上で、産業・製品横断的な視点で検討する必要があるのではないかと考えられる。

表 5-1 小型家電の潜在的回収可能量に含まれるレアメタルの量

単位：トン

		Li	Co	Pd	In	Nd	Dy	Ta	W	Pt	Sb	Bi	La	Mn
小型家電	携帯電話	0.17	0.79	0.55	0.10	3.93	0.08	4.12	3.44	0.02	1.12	0.61	1.22	1.53
	ゲーム機(小型以外)	0.01	0.14	0.05	0.05	0.73	0.02	0.94	0.13	0.00	4.72	0.56	0.44	10.09
	ゲーム機(小型)	0.00	0.10	0.03	0.00	0.12	0.01	0.24	0.14	-	1.03	0.02	0.05	0.20
	ポータブルCD・MDプレーヤー	0.35	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.18	0.00	-	0.04	0.03	0.00	0.09
	ポータブルデジタルオーディオプレーヤー	-	0.00	0.00	0.00	-	0.00	0.00	0.00	-	0.00	0.00	0.00	0.00
	デジタルカメラ	0.02	0.06	0.07	0.05	0.12	0.02	2.85	0.24	0.00	0.63	0.07	0.05	1.12
	カーナビ	-	0.21	0.09	0.07	0.28	0.07	0.99	0.14	0.00	0.45	0.14	0.07	4.29
	ビデオカメラ	-	0.04	0.21	0.03	0.21	0.02	2.19	0.15	0.00	0.48	0.08	0.11	0.80
	DVDプレーヤー	-	0.33	0.09	0.14	0.44	0.11	2.51	0.47	0.01	3.73	0.34	0.26	9.50
	オーディオ	-	0.63	-	0.63	-	-	3.17	1.27	-	10.79	0.63	0.00	7.61
	カーオーディオ	0.01	0.21	0.06	0.06	0.06	0.00	0.00	0.01	0.00	1.92	0.13	0.03	0.41
	ヘッドライヤー	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.86	0.00	0.00	0.01
	電子レンジ	0.00	1.05	0.02	0.33	0.01	0.03	0.00	0.02	0.00	25.31	0.56	0.32	27.78
	電気掃除機	0.00	0.02	0.00	0.00	0.02	-	0.01	0.01	-	1.36	0.01	0.00	4.12
	小電合計	0.58	3.60	1.18	1.46	5.92	0.36	17.22	6.02	0.04	52.45	3.19	2.55	67.56
(参考)	国内需要量(2010)に占める割合	0.01%	0.02%	2.42%	0.12%	0.16%	0.11%	4.37%	0.08%	0.12%	0.68%	0.33%	0.08%	0.01%

※潜在的回収可能量を 100%回収した場合

②廃棄物対策・循環資源利用促進対策の観点から見た必要性について

我が国における廃棄物対策・循環資源利用促進対策の観点から見たレアメタルリサイクルシステムの必要性については以下のとおり整理できる。

- 最終処分場の残余年数は近年増加しているものの、残余容量は減少が続いており、依然として逼迫しており、廃棄物のさらなる排出削減が求められている。

- ・2010年における主要な電気電子機器の全推定排出量 139 万t（潜在的回収可能量を 100% 回収した場合。表 5-2 主要な電気電子機器の推定排出量を参照のこと。）のうち、特定家庭用機器（家電リサイクル法対象の 4 品目）とパソコンを除く 41.3 万t は既存リサイクル制度の対象外（市町村が収集）。

※ただし、経済性評価に用いた小型家電 9 品目では、推定排出量は約 2 万 6 千t（平成 21 年度末の最終処分場残余量 1 億 1,604 万立方メートルに占める割合は 0.0024%）。

表 5-2 主要な電気電子機器の推定排出量

	2010年排出量 台	製品重量 kg	排出重量 万t	電気電子機器のみ割合 %
1 エアコン(ルームエアコン)	5,980,000	44.1	26.4	19.0%
2 冷蔵庫	4,497,000	57.9	26.0	18.8%
3 薄型テレビ	442,000	30.0	1.3	1.0%
4 CRTカラーテレビ	8,040,000	27.2	21.9	15.8%
5 洗濯機	4,543,000	30.2	13.7	9.9%
6 ノートパソコン	6,900,000	2.7	1.9	1.4%
7 デスクトップパソコン	5,838,000	10.8	6.3	4.6%
8 電子レンジ	4,032,013	19.8	8.0	5.8%
9 DVDプレーヤー	5,932,000	4.0	2.4	1.7%
10 電気がま	6,567,201	4.4	2.9	2.1%
11 掃除機	5,885,184	4.0	2.4	1.7%
12 電気温水器	255,179	79.8	2.0	1.5%
13 換気扇	7,821,748	1.9	1.5	1.1%
14 温水洗浄便座	2,482,811	5.0	1.2	0.9%
15 ジャーボット(電気ポット)	6,870,846	2.8	1.9	1.4%
16 ホットプレート	2,379,568	6.8	1.6	1.2%
17 トースター	3,220,969	2.8	0.9	0.6%
18 VTR	6,132,000	4.0	2.5	1.8%
19 除湿機	379,315	10.2	0.4	0.3%
20 電気カーベット(ホットカーベット)	2,383,064	6.5	1.5	1.1%
21 扇風機	2,487,288	4.0	1.0	0.7%
22 ラジカセ(ラジカセCD付き)	2,094,000	2.0	0.4	0.3%
23 電気マッサージ器具(いす型除く)	1,117,773	4.1	0.5	0.3%
24 コーヒーメーカー	1,346,916	2.8	0.4	0.3%
25 ジューサー・ミキサー	1,432,326	3.7	0.5	0.4%
26 電気アイロン(アイロン)	3,173,117	1.3	0.4	0.3%
27 ヘアドライヤー	7,297,318	0.5	0.4	0.3%
28 食器乾燥機(乾燥機能のみ)	1,068,401	4.3	0.5	0.3%
29 電気ストーブ	1,837,189	2.0	0.4	0.3%
30 ビデオカメラ	1,587,000	1.0	0.2	0.1%
31 電気かみそり(シェーバー)	9,045,175	0.2	0.2	0.1%
32 生ごみ処理機(家庭用生ゴミ処理機)	60,601	12.4	0.1	0.1%
33 電磁調理器(卓上型)(IH調理器)	338,042	2.8	0.1	0.1%
34 電気毛布(電気掛敷毛布)	1,449,751	1.0	0.1	0.1%
35 ハンドクリーナー	1,608,465	1.9	0.3	0.2%
36 電気こたつ(家具こたつ)	459,661	16.5	0.8	0.5%
37 携帯電話	49,637,000	0.1	0.7	0.5%
38 ゲーム機(小型以外)	2,446,000	3.0	0.7	0.5%
39 ゲーム機(小型)	7,853,000	0.2	0.2	0.1%
40 ポータブルCD・MDプレーヤー	961,000	0.3	0.0	0.0%
41 ポータブルデジタルオーディオプレーヤー	6,003,000	0.1	0.1	0.1%
42 デジタルカメラ	9,424,000	0.2	0.2	0.1%
43 カーナビ	2,829,000	1.4	0.4	0.3%
44 オーディオ	2,525,000	11.1	2.8	2.0%
45 カーオーディオ	8,136,000	1.2	1.0	0.7%
電気電子機器合計	216,798,921	-	139	100.0%

※潜在的回収可能量を 100%回収した場合

- ・ 収集した廃電気電子機器から、金属等の資源の回収を行っている市町村は約 6 割。鉄は 50%前後の市町村が回収しているものの、アルミの回収を行っている市町村は 35%前後、銅の回収は 6%前後。アルミ、銅以外の非鉄金属の回収を行っている市町村は 2%未満。

また、上記を踏まえた必要性検討の際の配慮事項としては以下が挙げられる。

- ・ 家電 4 品目以外の廃棄量は、廃棄物の減量が法目的となっている家電 4 品目の最大半分程度（重量ベース）になる可能性があり、レアメタルを含む品目を幅広く対象とすれば、小型家電の適切なりサイクルは廃棄物の減量化に寄与するのではないかと考えられる。
- ・ 限定的な品目・部位の分析結果から見ただけでも、国内需要に占める割合で金 2.9%、銀 2.3%、銅 0.23%、パラジウム 2.4%、タンタル 4.4%、金額ベースでは金 222 億円、銀 28 億円、銅 24 億円、パラジウム 17 億円、タンタル 27 億円といった有用金属が小型家電の潜在的回収可能量に含まれているが、非鉄金属のリサイクル率は低いことが推定される。

※金額は 2010 年 3 月末時点での金属価格をもとに計算。価格が変動することについては留意が必要。

表 5-3 小型家電の潜在的回収可能量に含まれる貴金属・ベースメタルの量
単位：トン

		Au	Ag	Cu	Zn	Pb
小型家電	携帯電話	2.1	12.2	485.8	9.6	18.9
	ゲーム機(小型以外)	0.4	1.3	265.2	15.1	20.0
	ゲーム機(小型)	0.1	2.1	66.5	2.9	10.1
	ポータブルCD・MDプレーヤー	0.0	0.1	8.5	0.5	0.4
	ポータブルデジタルオーディオプレーヤー	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	デジタルカメラ	0.3	2.4	87.0	3.3	5.7
	カーナビ	0.1	1.4	109.4	9.4	5.5
	ビデオカメラ	0.1	2.2	48.7	3.5	6.8
	DVDプレーヤー	0.4	5.4	506.6	55.0	39.2
	オーディオ	2.5	17.1	967.5	53.3	12.1
	カーオーディオ	0.0	0.2	201.8	37.5	21.1
	ヘッドライヤー	0.0	0.0	30.4	5.7	0.4
	電子レンジ	0.1	7.4	843.8	109.0	63.3
	電気掃除機	0.0	0.0	219.9	9.3	38.7
	小電合計	6	52	3,841	314	242
(参考)	国内需要量(2010)に占める割合	2.91%	2.30%	0.23%	0.02%	0.01%

※潜在的回収可能量を 100%回収した場合

- ・こういった事態は、循環型社会構築における課題であり、特に、回収技術が確立されており、確実に回収されうる有用金属（ベースメタル、貴金属中心）についても、リサイクルに取り組むべきとの視点で検討する必要があるのではないかと考えられる。

③環境管理の観点から見た必要性について

環境管理の観点から見たレアメタルリサイクルシステムの必要性については以下のとおり整理できる。

- ・小型家電の基板における含有量試験において、ハザード情報に基づき注意が必要と整理された元素については、ベリリウム、クロム、アンチモン等、水銀以外の全ての元素が、多くの品目で数百 ppm～パーセントオーダーで含有されていることを確認。また、溶出試験においても、カドミウム、鉛、砒素、水銀について、一部の分析対象から一定量が検出。

- ・ほとんどの市町村において、小型家電からの非鉄金属類の回収は行われておらず（鉄・アルミ・銅以外の非鉄金属の回収を行っている市町村は2%未満）、基板に含まれる有害金属は、そのまま又は焼却後、廃棄物処理法の処理基準に従い埋立処分されている。
- ・適切なリサイクルシステムの構築による有害物質の環境負荷低減は、環境管理における予防的取組方法のひとつである。例えば、最終処分場への埋立が回避されることとなり、処分場管理に係る負荷低減に資することが期待される。
- ・資源採掘時には、土石を含めた廃棄物の発生やエネルギー消費等、多数の物質・資源が関与。特に、レアメタルは、鉱石採掘に伴う関与物質総量（TMR）が高い鉱種が多数存在。使用済製品からのレアメタル等の回収は、天然資源採掘よりTMRが低くなる可能性があると言われている。

また、上記を踏まえた必要性検討の際の配慮事項としては以下が挙げられる。

- ・小型家電には有害物質が一定量含まれていることが明らかになっており、リサイクル及びその過程での適正処理により環境への負荷を軽減することが技術的に可能であることを踏まえれば、有害物質管理の視点からのシステムを検討することが必要ではないかと考えられる。

④ 静脈産業の創出・振興の観点から見た必要性について

静脈産業の創出・振興の観点から見たレアメタルリサイクルシステムの必要性については以下のとおり整理できる。

- ・小型家電（9品目）のリサイクルの経済規模は約91億円と試算（詳細は後述）。
- ・世界の静脈産業は2006年で約38兆円、2050年には約70兆円の市場規模と言われ、今後成長が見込まれる分野である（出典：環境経済成長ビジョン）。

また、上記を踏まえた必要性検討の際の配慮事項としては以下が挙げられる。

- ・リサイクルシステムに関係する中間処理業者、製錬事業者、静脈物流業者等の静脈産業の振興は、我が国の国益となるとともに、将来の積極的な海外展開にも繋がるため、システムの検討において考慮すべき視点ではないかと考えられる。

（2）対象鉱種・対象品目の考え方

① 対象鉱種の考え方

今般、P.31～32にあるとおり、小型家電に比較的多く含有されているかどうかという基準により「使用済小型家電からのリサイクル検討優先鉱種」としてタンゲステン、コバルト、タンタル、ネオジムの4鉱種を選定した。ただし、レアメタルの含有量調査の対象とした品目が限定的であることに留意が必要である。

これに加え、レアメタルのうち、パラジウム等の白金族についてはリサイクル技術が確立しているため、使用済小型家電がリサイクルされれば自ずとリサイクルされることとなる。また、リサイクルシステムの検討に際しては、既に回収技術が確立している貴金属・ベースメタルの回収を併せて考える必要がある。

使用済小型家電からのリサイクル対象鉱種の選定にあたっては、「使用済製品のどの部位・部品からレアメタルを取るのか」、「ビジネスベースにおける最低必要量はどの程度か」、「経済性のあるリサイクル技術が確立されているか」という視点が重要である。

②対象品目の考え方

使用済小型家電の回収対象品目については、リサイクルシステムの目的により変わり得るが、選定にあたっては、以下の視点に基づき、精緻な検討が必要となる。ただし、いずれの視点においても経済性の考慮が必要である。

また、事業者による自主的な取組みが行われている携帯電話の回収等、既存の回収スキームとの整合について整理が必要となる。

なお、製造技術の変化に伴い金属の使用状況は変化することから、柔軟な対応が必要となる。

(資源確保)

「使用済小型家電からのリサイクル検討優先鉱種」を多く含有する小型家電を対象に選定。

(廃棄物の減量化)

廃棄物の量の削減の観点からは、回収・リサイクルされるものの量が多い方が望ましいため、廃棄物の減量効果が高い小型家電を対象に選定。

(循環資源利用促進対策)

循環資源利用促進の観点からは循環利用する有用金属が多い方が望ましいため、有用金属を多く含む小型家電を対象に選定。

(環境管理)

有害物質の環境への排出を低減させることが望ましいとの観点から、レアメタルを含み、有害物質を含む小型家電を対象に選定。

(3) リサイクルシステムの経済性評価

リサイクルシステムの構築の是非の判断及び具体的内容の議論の材料とするため、これまでのモデル事業の実施結果及び研究会での検討結果を踏まえ、市町村が使用済小型家電を回収する小型家電回収段階、中間処理業者が分解・破碎・選別などの中間処理を実施する中間処理段階、非鉄製錬業者およびレアメタル専門メ

一カーが金属を回収する金属回収段階からなるリサイクルシステムを想定し、以下のとおり、経済性の評価を行った。

なお、評価に当たっては、比較的金属含有濃度が高い9品目を選定し、試算を行った。

①経済性評価の実施方法

経済性評価は、a「システム全体の費用対効果分析（費用便益分析含む）」及び、b「小型家電回収、中間処理、金属回収の各段階の採算性評価」の二通りの方法で実施した。このうち、aについてはリサイクルシステム構築の是非の判断、bについてはリサイクルシステムの具体的内容の議論に資するものである。また、小型家電の回収率を変化させることで感度分析を実施した。

②経済性評価の前提条件

経済性評価については、これまでのモデル事業の実施結果及び研究会での検討結果を踏まえつつ、仮定や前提条件をおいて実施した。

また、評価結果については、「回収対象とする金属」、「レア金属の回収にどれだけ重点を置くか」によって大きく変わりうると考えられるため、レア金属だけを回収対象とするのではなく、ベース金属や貴金属の回収と併せてレア金属の回収を行うことを想定するとともに、金属回収段階においてレア金属が副産物として抽出されるシナリオである「従来型レア金属回収シナリオ（シナリオ①）」と中間処理段階でレア金属を回収するための特定部位選別工程を追加し、レア金属を回収するシナリオである「レア金属重点回収シナリオ（シナリオ②）」の二つのシナリオを想定した。

なお、評価結果は前提条件に依存する部分も大きいため、結果の取り扱いには留意が必要である。特に、対象回収品目については、比較的金属濃度が高く、潜在的回収可能台数が既存統計により把握可能な小型家電9品目のみとしており、非常に限定的であるという意見も予想される。このように一部には評価実施のために暫定的に置かれた前提条件が含まれているため、それらの事項については留意が必要となる。

表 5-4 前提条件

		①従来型レアメタル回収シナリオ	②レアメタル重点回収シナリオ
小型家電回収	回収品目	携帯電話、ゲーム機（小型以外）、ゲーム機（小型）、ポータブル CD・MD プレーヤー、ポータブルデジタルオーディオプレーヤー、デジタルカメラ、カーナビ、ビデオカメラ、DVD プレーヤー ※比較的金属含有濃度が高い 9 品目を選定	
	回収対象地域	日本全国を対象	
	回収率	日本全国ベースの潜在的回収可能台数の 5%、10%、20%、30% ※モデル事業の回収実績の全国拡大値は、潜在的回収可能台数の 5.2%。	
	回収方法	5 万人未満の全市町村、5 万人以上 30 万人未満の市町村の半数： ステーション回収（資源ごみ回収と同時実施） 5 万人以上 30 万人未満の市町村の半数、30 万人以上の市町村： ボックス回収（小型家電専用回収車にて回収） ※シミュレーションモデルを活用して回収費用を試算	
中間処理	中間処理方法	手解体・手選別により基板・ボディ等を選別し、残りを機械的に破碎・選別	手解体・手選別により基板・特定部品・ボディ等を選別し、残りを機械的に破碎・選別。基板から更にタンタルコンデンサ等を選別。
	生成物	基板、ボディ等、鉄等、アルミ等、プラスチック等、その他	基板、タンタルコンデンサ等、特定部品（モーター、マイクスピーカー、液晶パネル）、ボディ等、鉄等、アルミ等、プラスチック等、その他
	使用データ	モデル事業における選別試験データや製品の素材構成データ等を参考に設定	
金属回収	リサイクル施設・方法 ※（）内は重量の分配率	基板 → 銅製錬、鉛・亜鉛製錬 (100%)	基板 → 銅製錬、鉛・亜鉛製錬 (100%) タンタルコンデンサ等、特定部品 → レアメタル専門メーカー (100%)
	回収対象とする金属と採取率 ※採取率は昨年度検討結果及び既存文献等より事務局にて設定	銅製錬、鉛・亜鉛製錬 → Cu・Pb・Au・Ag：90% → Zn・Pd・Sb・Bi：60%	銅製錬、鉛・亜鉛製錬 → Cu・Pb・Au・Ag：90% → Zn・Pd・Sb・Bi：60% レアメタル専門メーカー → W・Ta・Nd・Dy・In：60%

③収益・費用の考え方

経済性評価にあたっては、リサイクルシステムの段階毎に、表 5-5 の項目を収益・費用として算定した。

表 5-5 収益・費用一覧

段階	収益	費用
小型家電回収	・最終処分費用の削減 (マイナスの費用)	・管理人件費 ・収集運搬費 ・中間処理施設への輸送費用 ※準備人件費 ※ボックス・コンテナ等購入費 ※資材運搬費 ※周知費用
中間処理	・有価物の売却収益	・選別・解体作業人件費 ・保管ヤード費 ・破碎費 ・残渣・廃棄物処理費 ・金属回収施設への輸送費用
金属回収	・有価物の売却収益	・人件費 ・製錬費 ・残渣・廃棄物処理費

※は初期投資費用、その他は経常的な費用

(注) 金属回収段階については、想定した費目の把握が困難であったため、非鉄製錬業者の利益率から費用を逆算した。

④システム全体の費用対効果分析結果

システム全体の費用対効果分析の評価項目を表 5-6 に示す。

表 5-6 費用対効果分析の評価項目

	費用便益分析	定量的評価	定性的評価
経済効率性	○		
資源の安定供給効果		○	○
最終処分場延命効果		○	
有害物質環境影響改善効果			○
有害物質健康影響改善効果			○
地球環境改善効果			○

表 5-6 に示すとおり、費用対効果分析とは、経済効率性を評価するための費用便益分析結果と、便益として計上できない効果を総合的に勘案して、リサイクルシステム構築の是非を判断するための分析手法である。

費用及び便益については、レアメタル等を使用済小型家電からリサイクルした場合とリサイクルせずに海外から調達した場合の調達コストの差から計測した。

効果については、定量的に計測するものと定性的に評価するものがあり、それぞれ表 5-6 に示すとおりである。

はじめに、費用便益分析結果については、表 5-7、表 5-8 に示すとおりである。なお、表 5-7 は単年度の便益と費用を比較したもの、表 5-8 は初期投資（ステーション設置費用、広報費用）を考慮し、計算期間 20 年、社会的割引率 4%として分析したものである。

表 5-7 費用便益分析結果（単年度）

	シナリオ①	シナリオ②
回収率10%	B/C=0.83	B/C=0.79
回収率20%	B/C=2.08	B/C=1.98
回収率30%	B/C=5.10	B/C=4.84

表 5-8 費用便益分析結果（初期投資込み、計算期間 20 年間）

	シナリオ①	シナリオ②
回収率10%	B/C=0.44	B/C=0.42
回収率20%	B/C=0.99	B/C=0.94
回収率30%	B/C=1.81	B/C=1.72

費用便益分析結果が示唆することをまとめると以下のとおりとなる。

- ・リサイクルシステムを構築することは、一定の回収率が確保される場合には、経済効率性を有している。
- ・シナリオ①とシナリオ②を比較すると、シナリオ②の方が B/C の値が小さくなる。すなわち、経済効率性の観点からは、シナリオ②に優位性はない。
- ・便益は「海外から調達した場合のコストーリサイクルした場合のコスト」として算出しており、シナリオ①と比べてシナリオ②が小さくなるのは、レアメタルを含有する特定部品を中間処理で選別するためにコストがかかっているためである。したがって、選別技術が向上すれば、シナリオ①との大小関係も含め、結果が変化する可能性がある。

また、便益として計上できない定量的又は定性的な効果については、表 5-9 のとおりである。ただし、表 5-9 以外の効果が存在することも想定される。

表 5-9 定量的又は定性的効果

	定量的評価	定性的評価
資源の安定供給効果	使用済小型家電の潜在的回収可能台数に含まれるレアメタルは 350トン（輸入量に占める割合は 0.02%）と見込まれ、国内資源として活用可能。	<ul style="list-style-type: none"> 一般廃棄物として処分されていた小型家電から資源を回収することが可能となる。 鉱山からの供給を代替する機能となり、国際的な需給の逼迫や供給障害等が発生した場合、安定供給確保に対する補完的貢献となる。 技術を有することが生産国の貿易政策や供給調整に対する牽制となる。
最終処分場延命効果	以下の最終処分場延命効果あり。 <ul style="list-style-type: none"> ・ 679m³/年（回収率 10%） ・ 2,037 m³/年（回収率 30%） （使用済小型家電 9 品目の最終処分場残余容量に占める割合は一年分で 0.0024%）	
有害物質環境影響改善効果		<ul style="list-style-type: none"> 小型家電のプリント基板には、ハザード情報に基づき注意が必要とされたベリリウム、クロム、アンチモン等、水銀以外の全ての元素が、数百 ppm～パーセントオーダーで含有されており、小型家電のプリント基板、部品・部位及びそれらの中間処理産物を対象とした溶出試験でもカドミウム、鉛、砒素、水銀については、一部の分析対象から一定量が検出されている。現状では小型家電は一般廃棄物として最終処分場に埋立処分されているが、リサイクルシステムが構築された場合には、リサイクル工程の中で有害物質が適切に処理されることになり、環境影響の改善効果（大気・水域・土壌等を通じた生態系への有害物質の曝露量の減少等）や健康影響の改善効果（作業環境における人体への有害物質の曝露量の減少等）が期待される。
有害物質健康影響改善効果		
地球環境改善効果		<ul style="list-style-type: none"> 使用済小型家電のリサイクルにより天然資源使用量を削減することで、TMR（関与物質総量）の削減や温室効果ガス排出量の削減等の効果が期待される。

費用対効果分析結果が示唆することをまとめると以下のとおりとなる。

- ・リサイクルシステムを構築することは、一定の回収率が確保される場合においては、経済効率性を有していると言え、資源の安定供給確保や環境管理の観点等での効果もあると考えられる。
- ・資源の安定供給効果等についてはシナリオ②の方が大きいと考えられるため、定性的な効果まで加えると、シナリオ①と比較して、シナリオ②の方が費用対効果は大きくなる可能性がある。その場合は、資源戦略等の観点から、シナリオ②のリサイクルシステム構築の意義があるということになる。

⑤段階別の採算性評価

システム全体の構造・課題を整理するために、段階別の収益・費用を分析し、採算性を評価した。

回収率を30%として試算した場合、結果は、表5-10のとおりである。

表5-10 段階別の採算性評価（回収率30%）（単位：百万円）

段階	収益(b)	費用(c)	収益－費用 (b－c)	収益／費用 (b／c)
小型家電回収	313	528	-214	0.59
中間処理(シナリオ①)	3,903	3,093	810	1.26
中間処理(シナリオ②)	4,065	3,738	327	1.09
金属回収(シナリオ①)	3,949	3,732	217	1.06
金属回収(シナリオ②)	5,032	4,755	277	1.06

(注1) 中間処理段階については、費用の算定にあたり、手解体・手選別により基板・ボディ・特定部品を選別し、残りを既存の機械設備を活用して破碎・選別を行うことを想定した。また、金属回収段階については、費用を非鉄製錬業者の利益率から逆算することとした。このため、中間処理・金属回収の各段階においては、費用が、回収率の増大に伴って、線形的に増大する前提となっている。

(注2) 中間処理の成果物を金属回収に売却することとしているが、鉄やアルミ等は中間処理段階で売却する想定のため、中間処理の収益が金属回収の費用よりも小さい値となる。

<参考>

回収率が10%のケース及び20%のケースについては、表5-11、表5-12のとおりである。

表5-11 段階別の採算性評価（回収率10%）（単位：百万円）

段階	収益(b)	費用(c)	収益－費用 (b－c)	収益／費用 (b／c)
小型家電回収	104	462	-358	0.23
中間処理(シナリオ①)	1,301	1,031	270	1.26
中間処理(シナリオ②)	1,355	1,246	109	1.09
金属回収(シナリオ①)	1,316	1,244	72	1.06
金属回収(シナリオ②)	1,677	1,585	92	1.06

表 5-12 段階別の採算性評価（回収率 20%）（単位：百万円）

段階	収益 (b)	費用 (c)	収益－費用 (b－c)	収益／費用 (b／c)
小型家電回収	209	513	-305	0.41
中間処理(シナリオ①)	2,602	2,062	540	1.26
中間処理(シナリオ②)	2,710	2,492	218	1.09
金属回収(シナリオ①)	2,633	2,488	145	1.06
金属回収(シナリオ②)	3,355	3,170	185	1.06

この結果が示唆することをまとめると以下のとおりとなる。

- ・システム全体としては、一定の回収率が確保される場合においては、経済効率性を有していると言えるが、個別の段階を見ると、小型家電回収段階は損失が生じ、中間処理段階、金属回収段階は利益が出る。ただし、今回の評価では、前提条件として、回収した使用済小型家電を無償で中間処理業者に引き渡すこととしているため、有価物として売却する場合は、損失幅が削減され、小型家電回収段階に利益が生じる可能性がある。
- ・中間処理及び金属回収段階については、収益と費用が回収率の増加に伴い線形的に増加する前提となっているため、いずれのシナリオでも b/c は回収率に関わらず一定となる。すなわち、使用済小型家電が集まれば集まるほど利益が増加する。
- ・シナリオ②については、中間処理において、レアメタルを含有する特定の部位・部品の選別工程を追加することにより、シナリオ①と比較して追加的な費用が発生するが、それに見合う売却額とならないため、シナリオ①よりも b/c が小さくなっている。仮に、中間処理費用に見合う売却額となる場合は、金属回収段階においてシナリオ②の b/c が下がる結果となる。つまり、経済効率性の面からは、レアメタルを回収することに優位性はなく、レアメタルを回収するにはインセンティブ等が必要になると考えられる。

(4) リサイクルシステムの構築に向けた現状と課題

①リサイクルの現状

報道等によると、既存の一般廃棄物の回収スキームを活用し、中間処理業者・製錬業者と連携した使用済小型家電の回収・リサイクル事業を実施する自治体が存在している。

- ・秋田県では、平成 18 年 12 月から大館市で使用済小型家電の回収試験を開始し、平成 20 年 10 月には再生利用指定制度を活用して回収エリアを県内全域に拡大している。なお、平成 20 年 12 月からは国の実証事業のモデル事業実施地域として、使用済小型家電の回収試験を実施した。回収試験を今後も実施予定であり、来年度以降、収集・運搬費と PR 費用を企業からの協力金で賄う独自スキームでの実施を検討している。
- ・東京都調布市では、粗大ごみから、DVD やビデオデッキなどに組み込みこまれているモーター、電子基板、ハードディスクなどを取り出し、専門業者に売却している。市では年間 1 万 1 千件程度の回収を想定していたが、12 月から 2 月の実績は見込みを上回る回収となっている。
- ・愛知県豊田市では、中間処理業者にピックアップ回収を委託している。回収された廃家電（約 6t/月）を中間処理業者が 0.5 円/kg で買い取り、解体・選別の後、非鉄製錬業者等へ売却し、リサイクルしている。また、これにより、ごみの中から廃家電由来の鉛等が減少し、ごみ焼却炉の薬剤費削減（約 4,000 万円）に効果を発揮している。
- ・富山県富山市等では、環境センターにある資源物ステーションに専用の回収箱を設置し、回収した家電を、入札で選ばれた業者に売却している。業者が家電に含まれる鉄やアルミニウム、銅などを取り出して再利用するとともに、焼却処分していたプラスチックも固形燃料としてリサイクルを検討している。
- ・その他にも、環境省が平成 22 年度に市町村に行ったアンケート調査では、燃えないごみや粗大ごみとして回収した一般廃棄物から有価性の高い品目をピックアップし、中間処理業者等へ有価物として売却する事例が散見されている（約 240 の市町村）。
- ・また、ソニーは平成 20 年 9 月から北九州市と連携し小型家電の回収実証試験を開始している。平成 22 年 6 月からは福岡市とも連携し、回収エリアを拡大して実施中である。

②関係者のニーズ・スタンス

研究会におけるこれまでの検討や既存調査結果等から関係者のニーズ・スタンスは以下のとおり整理できる。

<市町村>

- ・ 中間処理業者・製錬業者や製造事業者と連携した使用済小型家電の回収事業を実施する市町村が存在（ピックアップ回収により、焼却炉の薬剤費の大幅な削減（数千万円）や、有価売却を見込んでいる市町村もあり）。
- ・ 環境省が平成 22 年度行ったアンケート調査では、小型家電収集を実施したいとする市町村が 8.4%、検討したいとする市町村が 59.2% 存在しているが、住民の理解や分別回収費用が課題として挙げられている。

<中間処理業者・製錬業者>

- ・ 使用済小型家電のリサイクルビジネスに積極的な事業者が存在。
- ・ 使用済小型家電については、調達方法や処理数量の確保が課題と考えている事業者が多い。

<販売業者>

- ・ 一部の量販店においては、使用済小型家電を回収。
- ・ CSR の観点から 3R の取組に積極的な事業者も存在しているが、各事業者のニーズ・スタンスは様々で温度差が存在。

<製造業者>

- ・ 原料調達の多角化を含む資源循環の観点から自治体等と連携した使用済小型家電の自主的な回収・リサイクルを実施する事業者も存在するが、各事業者のニーズ・スタンスは様々で温度差が存在。

<消費者（排出者）>

- ・ 使用済小型家電を排出したいと思う引き渡し先としては、販売店約 45%、市町村約 35%、不用品回収業者約 5%等（平成 20 年度経済産業省「使用済み家庭用電気・電子機器の回収及び適正処理の在り方に関する調査」より）。

③リサイクルに係る課題

上記のような取組事例やニーズはあるものの、以下の課題があり、現在は、一部の自治体や製造業者による取組に留まっている。なお、使用済小型家電が資源として海外に流出している懸念がある。また、解体・選別後の部品、素材等が有価物として海外に売却されることがあるため、それらを国内に留める仕組みを検討する必要がある。

(既存の市町村の回収・処理方法に関する課題)

- ・現在使用済小型家電は市町村が「燃えないごみ」等として回収しているため、追加的に新たな回収方式を設け分別回収を行う場合でも、「燃えないごみ」等に引き続き使用済小型家電が排出されるおそれがあることから、排出先が分散することになり、使用済小型家電の十分な回収は困難。
- ・使用済小型家電を分別回収しリサイクルを行うことで廃棄物処理経費が削減される可能性があることや、回収した使用済小型家電が有価物として売却可能なものであることを知らない市町村が存在する。

(中間処理業者・非鉄製錬事業者と市町村との連携に関する課題)

- ・使用済小型家電からレアメタルをリサイクルするには、市町村と適切な技術を有する中間処理業者や非鉄製錬業者との連携が必要となるが、市町村の収集拠点から中間処理事業者等の処理施設までの運搬の効率化が必要。また、区域内に中間処理業者等が存在しない場合は、後述の廃棄物処理法の規制が課題となる場合がある。

(制度的課題)

- ・使用済小型家電の回収量の確保のためには、複数の市町村に渡る広域の回収エリアを設定し、回収・リサイクルを行うことが有効であると考えられるが、回収した使用済小型家電が一般廃棄物である場合、以下のように、廃棄物処理法の収集運搬、処分に関して規制が適用され、広域での円滑な回収・リサイクルの実施が困難となる場合がある。また、既存の広域的処理に係る特例等も小型家電のリサイクルに関しては活用が難しい制度となっている。
- ・一般廃棄物の収集運搬及び処分に関しては、複数の市町村に渡る広域の回収を行う場合、関係する市町村間の一般廃棄物処理計画の調和が求められるため、関係市町村間での調整が煩雑である。
- ・収集運搬に関しては、民間事業者が使用済小型家電の回収・リサイクルを行う場合、荷積みを行う市町村と荷卸しを行う市町村の両方の市町村からの一般廃棄物収集運搬業の許可が必要になるが、複数市町村から許可を受けている事業者は少なく、各市町村の一般廃棄物処理計画との適合性等が求められるため、新規の許可を取得することは難しいという実態が存在すると考えられる。
- ・処分に関しては、中間処理業者や非鉄製錬業者は一般廃棄物の処分業の許可を持たない場合には、使用済小型家電の処理を行うことができないが、各市町村の一般廃棄物処理計画との適合性等が求められるため、新規の許可を取得することは難しいという実態が存在すると考えられる。また、中間処理段階及び製錬段階で発生する残渣も一般廃棄物となるため、残渣の処理についても同様の問題が生

じる。

- ・一般廃棄物の広域的処理に係る特例が存在するが、対象となる廃棄物が一部の廃棄物に限定されており（小型家電は現状では携帯電話を除き対象外）、特例の申請者は、製造事業者等のみが対象となり、中間処理業者、非鉄製錬業者が申請者の対象とならないほか、自社製品を扱う場合に限られ、活用が難しい。
- ・非鉄製錬業者は、一般廃棄物の再生利用に係る特例を利用することが可能であるが、処理業の許可に係る特例は自ら行おうとする場合に限られ、他人に委託して収集運搬を行おうとする場合には、一般廃棄物収集運搬業の許可を有する者に委託する必要がある。しかし、各市町村の一般廃棄物処理計画との適合性等が求められるため、新規の許可を取得することが難しいケースもあり、また、一般廃棄物収集運搬業の許可を有する者へ委託する場合、複数市町村から許可を受けている事業者は少ない。

（技術的課題）

- ・使用済小型家電の中には比較的金属含有濃度が高い製品も存在するが、単位あたりの重量は少なく、回収される金属量は多くないため、使用済小形家電からレアメタルを回収するには、経済性のあるリサイクル技術が必要。
- ・リサイクル検討優先鉱種については、現在、国内においては、経済合理性に合うようなレアメタルの抽出技術が確立されていない。
- ・技術開発の検討にあたっては、リサイクルの対象とする鉱種の必要性、使用済製品の回収見込み量、適用技術のコストのバランスを踏まえる必要がある。

（5）リサイクルシステムの種類の整理

リサイクルシステムが構築されるか否かは、リサイクルの目的・必要性や経済性等の観点からの検討を経て判断されることになるが、ここでは、仮にリサイクルシステムを構築する場合に想定されるリサイクルシステムの類型について整理を行う。

リサイクルシステムは、社会的仕組みの考え方に応じて異なったものになると考えられる。社会的仕組みの考え方について、リサイクルシステムの目的・必要性やリサイクルシステムの構築に向けた現状と課題、関係者のニーズ・スタンス等を踏まえ、関係主体の連携や役割分担等の観点から検討したところ、リサイクルシステムの類型は、大きく「自主回収タイプ」「自主計画タイプ」「義務的参加タイプ」の3つに整理される。各類型の概要は以下のとおりである。なお、いずれの類型においても今後フィージビリティの検証が必要であることに留意が必要である。

①自主回収タイプ例

1) 社会的仕組みの考え方

使用済小型家電からのレアメタルの回収については、期待される効果は大きくない。しかしながら、市町村により収集されている使用済小型家電は有用金属を多く含んでいるにも関わらず十分に再資源化されているとは言い難いことから、これを促進することは、再生資源の十分な利用にも資する。

そのため、仮に実効性が保たれるのであれば市町村の自主的な取組を促進する方向で対応することが適当であるという考えに則れば、自主回収タイプの類型が導き出される。

2) リサイクルシステムの構築にあたっての対応方法

国が、市町村に対して、使用済小型家電の回収・リサイクルの実施に係るガイドラインや先進的取組事例集を作成し、周知・啓発を行うことで、自主的な分別回収・リサイクルを促進することが考えられる。

小型家電の買取りを望む市町村が 744 (46.5%)、小型家電の無料引取りを望む市町村が 729 (45.6%)存在することから、こうした市町村と小型家電リサイクルの実施能力のある中間処理業者とのマッチングを実施する。

また、市町村広報等により、排出者に対して適正なリサイクルルートへの排出を促すことで、ロットの確保に努めるとともに、使用済小型家電が資源として海外に流出してしまうことを回避する。

3) 関係者の役割分担

上記の社会的仕組みにおける関係者の役割分担については、以下のとおり整理できる。

<市町村>

- ・使用済小型家電は、消費者から不燃ごみ等として排出される場合や家庭内に退蔵されることが多いことから、市町村が、既存の一般廃棄物の収集スキームを活用しつつ、住民による小形家電の分別回収（ステーション回収）、若しくは不燃ごみや粗大ごみ等からの小型家電のピックアップを実施。
- ・消費者に対するリサイクルの周知。

<中間処理業者・製錬業者>

- ・市町村から小型家電を定期的に一定のロットで確保でき、事業採算性を確保できる場合は、有価又は無償で小型家電を引き受ける。
- ・また、非鉄製錬体系で回収不能なレアメタルも存在するため、特定のレアメタル

専門メーカーとも連携も考慮

<販売業者>

- ・回収率確保の観点から、販売店を拠点とした回収ルートは、消費者の利便性が高く、補完的な回収ルートとして重要であると考えられるため、積極的な関与を得ることが望ましい。ただし、販売業者の管理負担を軽減する方策（管理責任の明確化など）についても慎重に検討する必要がある。

<製造業者>

- ・リサイクル容易設計の実施（特定の部位部品に係るレアメタルの使用状況の表示等）を通じて、再資源化効率向上に協力。ただし、使用状況の表示については、代替材料開発の進展などの技術開発動向により、将来必要とされる鉱種が変わる可能性があること、また、企業（技術）としての秘密に該当するものなど開示に馴染まない部分があることに留意すべき。
- ・資源循環の観点から関与が得られることが望ましい。

<消費者（排出者）>

- ・家庭で使用した使用済小型家電の適正な排出に努め、市町村等の回収取組へ協力。

4) 本類型の特徴

- ・既存の制度で実施可能であるため、行政コストを余りかけることなく、早期の実現が可能と想定される。
- ・市町村の裁量が大きく創意工夫が可能であり、市町村間の競争を刺激することが可能と想定される。
- ・回収率が低くなる可能性及び回収品目が限定的となる可能性がある。
- ・資源価格の低下による事業の中断があり得る。
- ・各主体が別々に収集を行うことでロットの確保が困難となり、静脈物流が非効率になる可能性がある。

②自主計画タイプ例

1) 社会的仕組みの考え方

使用済小型家電からのレアメタルの回収については、期待される効果は大きい。

しかしながら、レアメタルには供給リスク等が常に存在するため、それが顕在化する前の段階から、非常時に備えて予め回収システムを構築しておくことには一定の意義がある。

また、市町村により収集されている使用済小型家電は有用金属を多く含んでいるにも関わらず十分に再資源化されているとは言い難いことから、これを促進することは、再生資源の十分な利用にも資する。

そのため、仮に実効性が保たれるのであれば、関係者に対して、回収や再資源化について厳格な義務を課すのではなく、使用済小型家電からのレアメタルリサイクルに積極的な関係者の様々な工夫を促進できるような柔軟性を持たせるべきという考えに則れば、自主計画タイプの類型が導き出される。

2) 社会的仕組みの構築にあたっての対応方法

市町村、事業者等が連携して使用済小型家電の回収を行うために、国に対して事業計画の申請を行い、国が認めた場合には、広域的に回収できる許可等を与える社会的仕組みを設けることが考えられる。

また、市町村広報等により、排出者に対して適正なリサイクルルートへの排出を促すことで、ロットの確保に努めるとともに、使用済小型家電が資源として海外に流出してしまうことを回避することが考えられる。

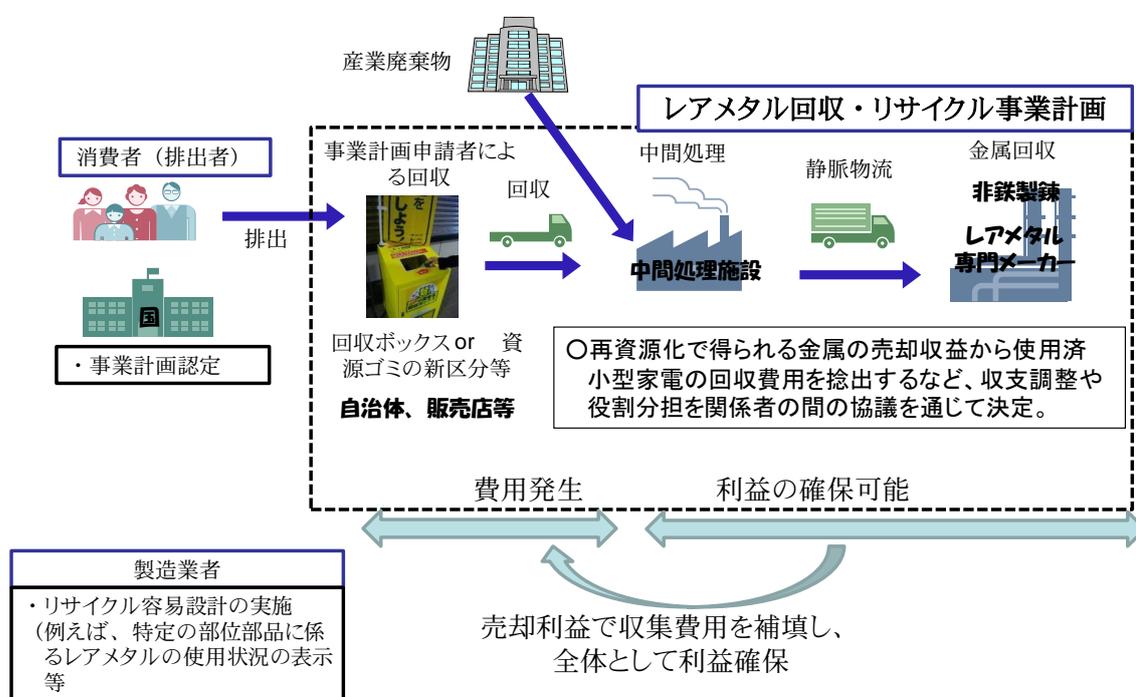


図 5-1 自主計画タイプ例のイメージ

3) 関係者の役割分担

上記の社会的仕組みにおける関係者の役割分担については、①自主回収タイプ例と同様となる。加えて、本タイプでは、社会的仕組みにより広域回収などが可能となることを想定しているため、自主回収タイプと比較してより効率的な回収・リサイクルの実施が可能となる。

4) 本類型の特徴

- ・ 関係者の裁量が大きく創意工夫が可能及び、社会的状況の変化に柔軟に対応できる可能性がある。
- ・ 参加企業の社会的評価が向上する可能性がある。
- ・ 事業計画次第では、回収率が低くなる可能性及び回収品目が限定的になる可能性がある。
- ・ 資源価格の低下による事業の中断があり得る。
- ・ 事業計画次第ではロットの確保が困難となり、静脈物流が非効率になる可能性がある。

③義務的参加タイプ例

1) 社会的仕組みの考え方

市町村により収集されている使用済小型家電は有用金属を多く含んでいるにも関わらず、十分に再資源化されているとは言い難いことから、小型家電のリサイクルを促進することは、再生資源の十分な利用に資するとともに、廃棄物の減量化にも資する。

さらに、レアメタルには供給リスク等が常に存在するため、それが顕在化する前の段階から、非常時に備えて予め回収システムを構築しておくことには一定の意義がある。

また、有害物質を含む使用済小型家電がリサイクルされることにより、環境への負荷を軽減することが技術的に可能と考えられる。

そのため、関係者に対して、回収や再資源化について一定の義務を課すことにより、使用済小型家電からの有用金属のリサイクルを十分に実現すべきという考えに則れば、義務的参加タイプの類型が導き出される。

2) 社会的仕組みの構築にあたっての対応方法

一般廃棄物の処理責任を有する市町村が小型家電回収及び有用金属の分別・回収の義務を負い、例えば有用金属のリサイクルは指定法人が担い、指定法人から、静脈物流・中間処理・金属製錬をそれぞれ物流企業・中間処理業者・製錬事業

者に一括で委託することにより、一定のロットを確保可能とし、効率的なりサイクルを目指す社会的仕組みを設けることが考えられる。

また、市町村広報等により、排出者に対して適正なりサイクルルートへの排出を促すことで、ロットの確保に努めるとともに、使用済小型家電が資源として海外に流出してしまうことを回避することができると考えられる。

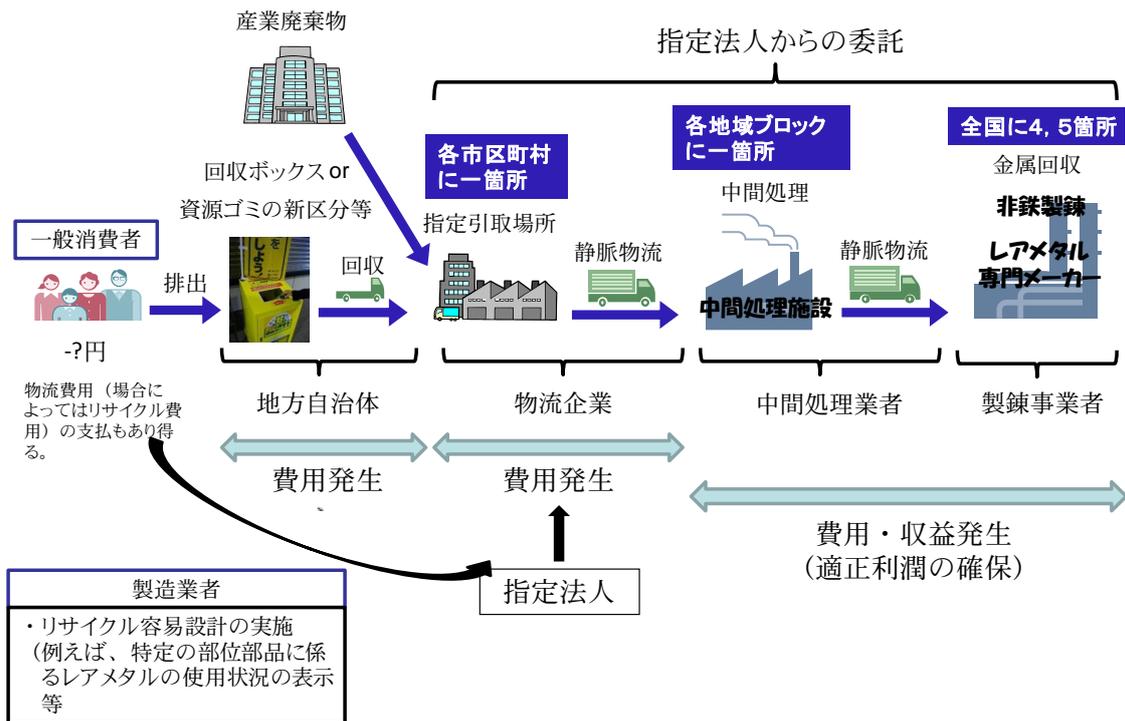


図 5-2 義務的参加タイプ例のイメージ

3) 関係者の役割分担

上記の社会的仕組みにおける関係者の役割分担については、以下のとおり整理できる。

<市町村>

- ・リサイクルの実施責任者、使用済小型家電の回収、指定引取場所までの輸送。
ただし、市町村の積極的な参加が得られるような方策についての検討が必要である。

<中間処理業者・製錬業者>

- ・指定法人からの委託を受けての中間処理及び有用金属回収。

<物流業者>

- ・指定法人からの委託を受けて指定引取場所から中間処理施設までの輸送。

<製造業者>

- ・リサイクル容易設計の実施（特定の部位部品に係るレアメタルの使用状況の表示等）を通じて、再資源化効率の向上に協力。ただし、使用状況の表示については、代替材料開発の進展などの技術開発動向により、将来必要とされる鉱種が変わる可能性があること、また、企業（技術）としての秘密に該当するものなど開示に馴染まない部分があることに留意すべき。

<指定法人>

- ・リサイクルの実施。実施手段としては、物流業者、中間処理業者、製錬業者に委託

<消費者（排出者）>

- ・使用済小型家電の適切な排出に努める。場合によっては、収集運搬料金の負担。

実効性の高いシステムとするためには、中間処理施設への持ち込み時点で一定のロット確保が必要。

→市町村が個別に持ち込んでもロットが確保できない。一括輸送しないと輸送コストが高くなるのではないか。

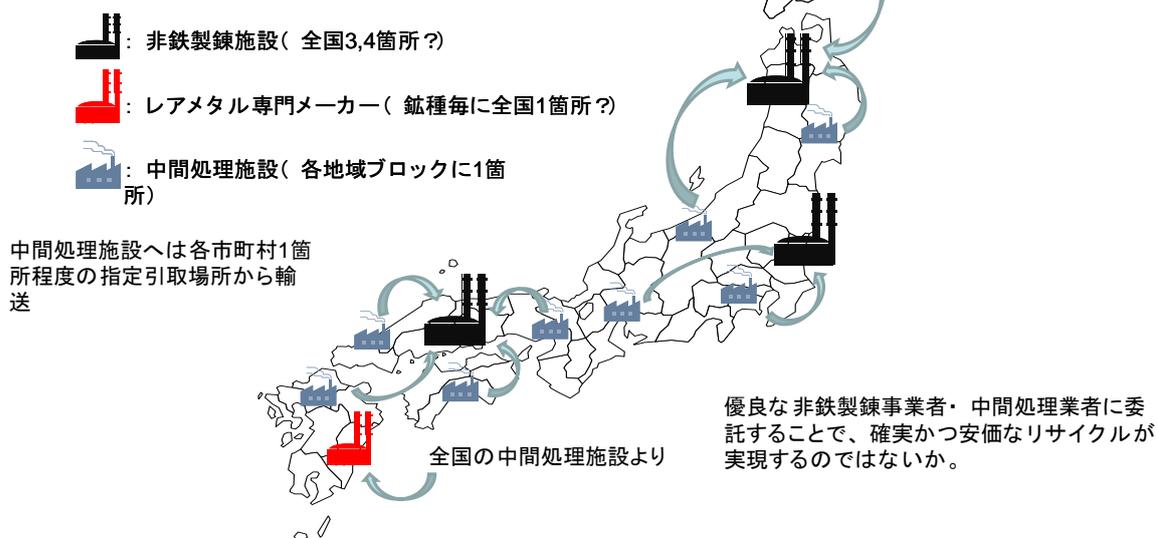


図 5-3 義務的参加タイプ例で想定される静脈物流のイメージ

4) 本類型の特徴

- ・市町村等に回収義務を課すことができれば、回収率が確保される可能性がある。
- ・指定法人からの一括委託によりロットの確保が可能となるため、効率的な静脈物流が実現する可能性がある。
- ・対象品目次第では、排出者による費用負担の可能性がある。
- ・回収主体となる市町村等に使用済小型家電の回収等の義務を負わせられない可能性がある。
- ・実施体制の整備や運営管理に多大なコストがかかる可能性がある。

6. 今後の検討に向けた論点整理等

ここでは、本研究会で明らかになった事項と今後の検討に向けての論点整理を整理する。さらに検討を進めるに当たっての留意点も整理する。

(1) 研究会で明らかになった事項

① モデル回収事業について

- ・三年間にわたり7地域で使用済小型家電の回収モデル事業を実施した結果、約33万台（約120トン）の使用済小型家電を回収した。モデル事業回収実績全国拡大値の潜在的回収可能台数に占める割合は、地域毎に0.5%～17.9%と差があり、全国平均で5.2%であった。
- ・都市のタイプにより傾向の違いが見られ、大規模都市はボックス回収とイベント回収の組合せ、中規模都市はボックス回収とピックアップ回収の組合せが効率的な回収方法との結果になった。分別収集先進地域のような従来から細かな分別区分を設定している地域は、ステーション回収にもスムーズに対応し、回収効率は特に高かった。人口規模の大きな市町村ではボックス設置数が少ない影響もあり、回収台数が低調であった。ただし、今回のモデル事業は、回収量確保のみを目的としたわけではなかったことに留意が必要である。

② レアメタルの回収について

- ・潜在的回収可能量を100%回収した場合に回収が見込まれるレアメタル、貴金属、ベースメタルの金属量は、国内需要に占める割合でパラジウム2.4%、タンタル4.4%、金2.9%、銀2.3%、銅0.23%程度であることが把握された。
- ・使用済小型家電からのリサイクル検討優先鉱種は、鉱種毎の供給リスク、需要見通し、小型家電に比較的多く含有されているかどうかという基準により、タンゲステン、コバルト、タンタル、ネオジムの4鉱種が選定された。ただし、レアメタルの含有量調査の対象とした品目が限定的であることに留意が必要である。

③ 環境管理について

- ・製品・部品における含有量試験では、一部の元素（鉛、カドミウム等）について参考とした「欧州 RoHS 指令」の最大許容濃度を超える含有が見られた。ただし、欧州 RoHS 指令等の規制が広がる以前に製造された製品を含んでいることに留意が必要である。一方、溶出試験では、参考とした「金属等を含む産業廃棄物に係る判定基準」との比較では、部品・製品では基準値以下であったが、一部の中間処理産物から基準値を超える濃度が検出された。

- ・我が国では一般廃棄物として家庭から排出された使用済小型家電が海外へ資源として輸出されている実態が確認されている。これらの海外における処理実態は不明であるものの、途上国において e-waste の環境上不適正な処理による環境汚染や健康被害の実態があることを踏まえた観点も必要。
- ・使用済小型家電のリサイクルにおける環境管理手法として、中間処理工程においては、想定されるリスクイベントの回避対策を講じつつ、電池や蛍光灯等環境管理上留意が必要な部品を事前に取り外した後に、解体・破碎・選別工程に回ることが望ましい。また、製錬施設における金属回収工程においては、既存の法体系での規制を引き続き遵守することで適切な環境管理がなされることが分かった。

④ リサイクルシステムについて

- ・リサイクルに係る経済性の試算を行ったところ、一定の回収率が確保されれば、経済性を有していることが明らかとなった。また、段階別の採算性を見ると、小型家電回収段階で損失が出ること、また、収益性の高い金属に加えてレアメタルを重点的に回収することにより中間処理段階・金属回収段階の利益率が低下することが明らかになった。

(2) 今後の検討に向けての論点整理

① リサイクルシステムの必要性

- ・どの目的に重点を置くかを踏まえつつ、リサイクルシステムの必要性の判断に資する詳細な費用対効果分析等が必要である。

② 対象鉱種の選定

- ・使用済小型家電からのリサイクル対象鉱種の選定にあたっては、「使用済製品のどの部位・部品からレアメタルを取るのか」、「ビジネスベースにおける最低必要量はどの程度か」、「経済性のあるリサイクル技術が確立されているか」という視点からの検討が必要である。なお、レアメタルのうち、パラジウム等の白金族についてはリサイクル技術が確立しているため、小型家電がリサイクルされれば自ずとリサイクルされることとなる。また、リサイクルシステムの検討に際しては、既に回収技術が確立している貴金属・ベースメタルの回収を併せて考える必要がある。
- ・リサイクル検討優先鉱種は、限定的な品目のデータに基づき選定されているため、品目を拡大してリサイクル検討優先鉱種を選定する場合には、更なる検討が必要となる。

③ 対象品目の選定

- ・回収対象品目については、リサイクルシステムの目的により変わり得るが、品目の選定にあたっては、レアメタル等のリサイクルによる回収可能資源量・価値等についての更なるファクトデータの調査を行い、費用対効果等の観点も踏まえ、精緻な検討が必要となる。なお、製造技術の変化に伴い金属の使用状況は変化することを踏まえた、柔軟な対応が必要となる。また、携帯電話等の個人情報の取り扱いには留意が必要である。
- ・事業者による自主的な取組みが行われている使用済携帯電話の回収等、既存の回収スキームとの整合について整理が必要となる。

④ リサイクルシステムの持つべき性格と類型

- ・段階別の採算性で赤字の段階があることなどを踏まえると、実効性、効率性、受益と負担のバランス等の観点を踏まえつつ、関係者の適切な役割分担についての検討が必要である。
- ・使用済小型家電の回収量の確保が重要であることに鑑み、回収量を確保するための回収主体や回収方法について、モデル事業の結果等を踏まえながら検討することが必要である。また、回収量を確保するための普及啓発についても検討が必要である。
- ・ロットを確保した効率的な使用済小型家電の回収及び中間処理業者・製錬業者への運搬が重要であることを踏まえると、効率的な静脈物流について検討することが必要である。そのためには、広域的な回収が有効であるので、廃棄物処理法の収集運搬・処分に関する特例措置等について検討することが必要である。
- ・現状のリサイクル技術を前提とすれば、経済性が低下するため、リサイクル検討優先鉱種をどこまでリサイクルするか検討が必要である。
- ・製品中の金属使用状況等が短期間に大きく変動することも想定されるため、そのような状況に柔軟に対応出来るシステムについて検討する必要がある。
- ・システムの実効性を担保するために、使用済小型家電及び、解体・選別後の部品、素材等の海外流出をどのように回避するかについて検討することが必要である。
- ・リサイクルシステムの類型として、自主回収タイプ、自主計画タイプ、義務的参加タイプの3つを提示し、それぞれの特徴について整理したが、各類型の一例を示したに過ぎないため、提示例以外のシステムのオプションや関係者間の役割分担・費用分担を含め、更なる検討が必要である。

⑤ リサイクルシステムのフィージビリティ

- ・研究会において実施した経済性評価は多くの仮定や前提条件の下で行っているため、リサイクルシステムの検討に当たっては、詳細な経済性評価を行うことが必要である。さらに各関係者に発生する収益や費用についても詳細に検討する必要がある
- ・多くの関係者が関与することから、費用対効果の観点に加えて関係者のスタンスを踏まえた、リサイクルシステムのフィージビリティについて詳細な検証が必要である。

⑥ 技術的課題

- ・リサイクル検討優先鉱種については、現在、国内においては、経済合理性に合うようなレアメタルのリサイクル技術が確立されていないが、技術開発のポイントはある程度明らかになったため、技術開発について具体的な検討を進めていく必要がある。特に、これまであまり技術開発の行われていない前処理（中間処理）技術に関する検討が必要である。なお、技術開発の検討にあたっては、使用済製品の回収見込み量や適用技術のコストのバランス等を踏まえる必要がある。
- ・適正なリサイクル・処理を行う観点から、易解体設計の推進や、製品部品中の含有鉱種情報の開示、伝達の仕組みについて検討する必要がある。一方で、代替材料開発の進展などの技術開発動向により、将来必要とされる鉱種が変わる可能性があり、また、企業（技術）としての秘密に該当するもの等開示に馴染まない部分があるため、関係者間での実現の可能性を含めた慎重な検討が必要となる。

⑦ 環境管理面の課題

- ・海外の情報を含め、既存の規制や新たな規制の動向等を踏まえ、小型家電に含まれる有害物質の取り扱いについて、ハザード評価やリスク評価に基づき慎重に検討する必要がある。
- ・有害物質を含有している小型家電のリサイクルにおける環境管理方法については、破碎前の前処理のあり方等、具体的な管理方法や管理費用を検討する必要がある。
- ・TMRのような資源採取段階における環境負荷の取り扱いについて検討が必要である。

(3) 留意点

- ・レアメタルリサイクルについては、小型家電以外の製品のレアメタル使用量やレアメタル回収量、既存スキームにおけるレアメタル回収可能性等を見極めた上で、小型家電以外にも含めたレアメタルリサイクルについて検討する必要がある。