

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

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）

目次

リサイクルシステムワーキンググループメンバー	．．．．．	3
1．はじめに	．．．．．	4
2．これまでの研究会の成果	．．．．．	5
3．リサイクルシステムの経済性の評価	．．．．．	8
(1) 経済性評価の実施方法	．．．．．	8
(2) 経済性評価の前提条件等	．．．．．	8
(3) システム全体の費用対効果分析結果	．．．．．	9
(4) 各段階の採算性評価	．．．．．	13
4．リサイクルシステム構築に向けた論点整理と留意点	．．．．．	15
(1) リサイクルシステム構築に向けた論点整理	．．．．．	15
(2) リサイクルシステム構築に向けた留意点	．．．．．	16

参考資料

関係者へのヒアリング・アンケート結果	．．．．．	19
詳細データ等	．．．．．	27

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
リサイクルシステムワーキンググループメンバー

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

以上

1. はじめに

リサイクルシステムワーキンググループでは、これまでの研究会の成果を踏まえ、リサイクルシステムの経済性を評価し、リサイクルシステム構築に向けた論点整理を行った。

なお、昨年度までにまとめられた課題の深掘りと経済性評価の妥当性の確認や必要データの収集のため、関係者にアンケート・ヒアリングを実施している。

検討過程は以下のとおりである。

平成22年6月1日（火）：第一回ワーキング

- ・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16日（水）：第二回ワーキング

- ・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（水）：第三回ワーキング

- ・中間とりまとめ（案）

平成22年7月27日（火）：第四回ワーキング

- ・中間とりまとめ

2. これまでの研究会の成果

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自治体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な資源の大部分が回収・リサイクルされないまま、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てきた。

これまでの研究会の成果を整理すると以下のとおりとなる。

(1) 小型家電回収

①効果的・効率的な回収手法

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法毎の特徴や地域特性等を踏まえると、以下のような回収手法の組合せが効果的・効率的と考えられる。

- ・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

<回収手法毎の特徴>

ボックス回収	<ul style="list-style-type: none"> ●店舗、公共施設といったアクセスが容易な施設での回収量が多い。また、施設内では、人目に付きやすい設置場所の回収量が多い。 ●モデル事業では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あり、セキュリティ面での配慮が必須である。
ピックアップ回収	<ul style="list-style-type: none"> ●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。また、従来のごみ分別区分が定着している地域では、当該ごみ区分への排出が多い傾向にあり、効果的・効率的な回収手法と考えられる。 ●無人の場合は、盗難等の可能性があるため、配慮が必須である。
ステーション回収	<ul style="list-style-type: none"> ●きめ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、効果的・効率的な回収手法と考えられる。 ●無人の場合は、盗難等の可能性があるため、配慮が必須である。
イベント回収	<ul style="list-style-type: none"> ●定例のイベントにて一定程度の回収量が確保されたこともあり、都市部における効率的な回収手法としての潜在的 가능성이期待される。
集団回収・市民参加型回収	<ul style="list-style-type: none"> ●回収手法の特徴を分析するための十分なデータを得ることができなかったため、モデル事業にて引き続きデータを収集し、分析を行う必要がある。

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。

③環境管理の考え方

モデル事業における小型家電回収段階において想定されるリスクイベントを整理し、リスク回避対策に関する情報を収集・整理した。

④モデル事業の回収実績

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、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。モデル事業の回収拡大値の潜在的回収可能台数に占める割合は 10.9%であった。

<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※1 千個/年 (a)	潜在的回収 可能台数※2 千個/年 (b)	比率 (a/b)
携帯電話	6,919	49,397	14.0%
ゲーム機(小型以外)	343	3,057	11.2%
ゲーム機(小型)	536	4,776	11.2%
ポータブルCD・MDプレーヤー	113	1,404	8.0%
ポータブルデジタルオーディオプレーヤー	544	6,376	8.5%
デジタルカメラ	511	8,443	1.7%
カーナビ	139	2,223	6.0%
ビデオカメラ	103	1,676	6.1%
DVDプレーヤー	49	7,240	0.6%
合計(9品目)	9,257	84,592	10.9%

※1：秋田県、茨城県、福岡県のモデル事業における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

※2：既存統計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

(2) 中間処理・金属回収

①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

モデル事業の実施結果から主要機器の基板に関するデータを取得し、レアメタル 31 鉱種、環境規制対象鉱種等を概ね把握した。また、レアメタルやその他の金属のハザード情報や国際的な関連規則の動向について収集・整理した。

②小型家電中の金属、難燃剤等の測定手法の標準化

含有量試験、溶出試験、精度調査を行い、分析結果・分析精度等について考察するとともに、今後の検討課題を整理した。

③レアメタルの回収の現状

我が国の事業者によるレアメタルの回収状況及び事業者の地理的分布を整理するとともに、既存の破碎・選別技術の実態、技術開発動向等を整理した。

④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

モデル事業において、選別・濃縮試験を行うとともに、一部地域においては、既存施設を活用したレアメタルの回収可能性を検討した。また、モデル事業により得られたデータ等から想定される使用済小型家電からのレアメタルの回収量を算定した。

<レアメタル回収可能性>

使用済小型家電の潜在的回収可能台数	84,592千台/年
レアメタル含有量	353t/年(総輸入量の0.2%相当)
レアメタル回収(製錬回収率(推定値))	60%程度

⑤環境管理の考え方

モデル事業における中間処理・金属回収段階において想定されるリスクイベントを整理し、リスク回避対策に関する情報を収集・整理した。

なお、これらの成果や抽出された課題については、今後のモデル事業の進捗状況及び結果を踏まえ、さらに精査していく必要がある。

3. リサイクルシステムの経済性の評価

リサイクルシステムワーキンググループでは、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、自治体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ー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。

(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」、「レアメタル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、レアメタルだけを回収対象とするのではなく、ベースメタルや貴金属の回収と併せてレアメタル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メタルが副産物として抽出されるシナリオである「従来型レアメタル回収シナリオ（シナリオ①）」と中間処理段階でレアメタルを回収するための特定部位選別工程を追加し、レアメタルを回収するシナリオである「レアメタル重点回収シナリオ（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。

表 1 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く、昨年度排出ポテンシャルを推計した9品目を選定	
	回収対象地域	日本全国を対象	
	回収率	潜在的回収可能台数の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10.9%	
	回収方法	5万人未満の全自治体、5万人以上30万人未満の自治体の半数： ステーション回収(資源ごみ回収と同時実施) 5万人以上30万人未満の自治体の半数、30万人以上の自治体： 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) 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2に示す。

表 2 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2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。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2に示すとおりである。

また、費用便益分析においては、表3に示す項目について、それぞれ収益又は費用として算定した。

表3 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

まず、費用便益分析結果については表4、表5に示す通りである。表4は単年度の便益と費用を比較したもの、表5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4 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 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。

【費用便益分析まとめ】

- ・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6のとおりである。

表6 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量に含まれるレアメタルは350トン(輸入量に占める割合は0.2%)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。 ・リサイクルは、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%) ・2,037m³/年(回収率30%) 	
有害物質環境影響改善効果		使用済小型家電中の有害物質の適正処理の一層の推進による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)が期待される。
有害物質健康影響改善効果		使用済小型家電中の有害物質の適正処理の一層の推進による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。
地球環境改善効果		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(物質総需要量)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。

【費用対効果分析まとめ】

- ・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はあると考えられる。

(4) 各段階の採算性評価

各段階の採算性評価の結果については、表 7、表 8、表 9 のとおりである。

表 7 各段階の採算性評価（回収率 10%）

（単位：百万円）

段階	収益	費用	b-c	b/c
小型家電回収	104	462	-396	0.21
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	1,242	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 8 各段階の採算性評価（回収率 20%）

（単位：百万円）

段階	収益	費用	b-c	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

表 9 各段階の採算性評価（回収率 30%）

（単位：百万円）

段階	収益	費用	b-c	b/c
小型家電回収	313	528	-214	0.59
中間処理(シナリオ①)	3,903	3,903	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	3,742	217	1.06
金属回収(シナリオ②)	5,032	4,755	277	1.06

（注）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。

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。

【段階別採算性評価まとめ】

- ・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構築に向けた論点整理と留意点

これまでの研究会において、小型家電の効率的・効果的な回収方法や潜在的回収可能台数、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、小型家電に含まれる有害物質及びリサイクルにおけるリスクイベントなどが明らかになった。リサイクルシステムワーキンググループでは、これらの成果を踏まえ、リサイクルシステムの経済性の評価を実施し、費用対効果及びリサイクルシステムにおける各段階の採算性の経済性の検討を行った。また、関係者へのヒアリングを実施し、リサイクルシステムの各段階における課題の深掘りを行った。これらの検討を行う中で、委員より示された指摘を踏まえ、今後、リサイクルシステム構築に向けた議論を行うにあたっての論点及び留意点を以下のとおり整理した。

(1) リサイクルシステム構築に向けた論点整理

① リサイクルシステムの必要性

- ・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なども含めた費用対効果を踏まえると、リサイクルシステム構築の意義はあると考えられる。
- ・仮にリサイクルを市場原理に委ねた場合には、段階別の採算性では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又は金属回収段階（あるいは両方）の利益率が低下することを踏まえると、小型家電の回収がなされないことや、ベースメタル等に併せて副次的に回収されるレアメタル以外については回収がなされないことが想定されるため、こうした問題を解決するリサイクルシステムが必要となる。
- ・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ことや、リサイクルのためには一定のロットが必要であることに鑑みて、国内における適正かつ効率的な静脈物流ネットワークを含んだリサイクルシステムが必要となる。

② リサイクルシステムが持つべき性格

- ・使用済小型家電の回収については、システムとしての成立を政策的に担保する必要性、システムとしての経済的自立性などを踏まえ、回収主体や費用負担に係る法整備の是非を含め、回収率を確保するための回収スキームが論点となるとともに、回収率を高めるための普及啓発についても検討が必要となる。
- ・使用済小型家電を廃棄物として回収する場合、回収及び処理を広域的に行うことは効率的な回収に繋がることから、廃棄物処理法上の取扱いについて整理が必要である。

- ・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。
- ・段階別の採算性で損失が出ることや、レアメタルを重点的に回収することで利益率が下がる段階があることを踏まえると、できる限り全段階でプラスになるような効率性とレアメタルを重点的に回収するインセンティブを有したシステムの構築が必要になる。そのため、関係者の主体的取組みを基盤とした緊密な連携と適切な役割分担についての課題の整理が必要である。また、必要に応じ、関係者への適正な支援方策の検討も必要となる。

③ 対象品目・対象鉱種の設定

- ・使用済小型家電の回収対象品目については、小型家電とレアメタルの効率的な回収のため、レアメタルワーキンググループの成果等を活用しつつ、レアメタルの含有状況等を踏まえて整理する必要がある。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。
- ・対象鉱種については、レアメタルワーキンググループの成果等を活用しつつ、産業におけるニーズ、希少性、代替性、遍在性、輸入依存率、市場規模、価格安定性、回収技術等を踏まえた上で、回収対象とする金属を想定する必要がある。

④ 技術的課題

- ・レアメタルの回収には、選別技術等の中間処理技術が大きな鍵となるため、一定の中間処理技術の確保と更なる効率化に向けた取組みがなされる必要がある。
- ・特定の鉱種（特に、ネオジム・ジスプロシウム等）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ため、抽出技術の開発・向上が必要である。
- ・環境管理ワーキンググループの成果等を活用しつつ、有害物質を含有している小型家電の環境管理の必要性と管理方法や管理費用についての議論が必要である

(2) リサイクルシステム構築に向けた留意点

- ① 希少性、代替性、偏在性、輸入依存率、市場規模、価格安定性等を踏まえた鉱種別のリサイクルの必要性。
- ② 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の小型家電以外も含めたレアメタルリサイクルの検討の必要性。

參考資料

関係者へのヒアリング・アンケート結果

リサイクルシステムワーキンググループでは、昨年度までに整理された課題の深掘りと経済性評価で必要とされるデータを収集するため、関係者へのヒアリング・アンケートを実施した。それらを通じて得られた主な意見は以下のとおりとなっている。

【ヒアリング・アンケートの対象者】

自治体：モデル事業を実施した7自治体及びセットメーカーと協働し独自の取り組みを進めている1自治体（セットメーカーと共同で回答）

中間処理業者：モデル事業を実施した9社

製錬事業者：非鉄製錬の大手4社

レアメタル専門メーカー：著名なレアメタル専門メーカーにアンケートを実施し4社が回答

レアメタルユーザー：著名な部品メーカーにアンケートを実施し3社が回答

○自治体

（小型家電の回収方式について）

- ・回収量、及び回収費用の観点からみて、ステーション回収方式が最も効果的。
- ・ボックスの個数が多くなると、イニシャルコストがかかる上、定期的な収集運搬に時間と費用が発生するが、ハブ&スポーク方式によるボックス回収物の集約を実施することで効率化が可能。

（法制度上の問題点について）

- ・市町村による回収を拡大するためには、市町村が小型家電を回収することについて何らかの法的位置づけが必要。
- ・廃棄物処理法の再生利用に関する3つの制度（再生利用指定制度、広域認定制度、再生利用認定制度）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。
- ・使用済小型家電を資源として捉えると、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。並行して、既存の物流システムを活かす点から、法改正も含めて広く検討すべき。
- ・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。

（回収主体、役割分担について）

- ・モバイル・リサイクル・ネットワークや家電量販店等が自主的に取り組んでいる回収や下取りとの関係の整理が必要。

- ・拡大製造者責任の観点から役割分担が必要。
- ・拡大生産者責任の観点から、小型家電メーカーが家電量販店等で引き取り、資源化することが望ましいと考えるため、家電リサイクル品目の拡大が必要。
- ・資源有効利用促進法の指定再資源化製品に位置付けるのも有効。
- ・電気メーカーや販売店などによる支援が必要。
- ・小型家電の回収主体について、市町村か事業者かで一本化したほうが効率的。市町村が回収する際は、事業者等から市町村への負担金等の支出が必要。
- ・回収物からの収益が見込めないため、自治体の負担だけでの実施は困難。資源確保の観点の施策として必要であれば、国からの交付金・補助金等の財政的措置が必要。

(回収対象品目について)

- ・回収対象品目はレアメタル含有量及び排出量の多い品目に絞るべき。
- ・携帯電話などの有価な物については、積極的に民間回収に誘導すべき。市町村による回収は、民間だけで経済的に成立しない物に限定して実施すべき。

○中間処理業者

(中間処理段階におけるコストについて)

- ・モデル事業では13製品を分別する作業が必要であったが、事業化する場合は、レアメタルの含有量により3~4種類の分別が想定されるので、若干作業員のコストは下がる。
- ・細かく分解するほどに付加価値は増加すると思われるが、手分解が前提であるため、人件費の採算性を確保することは困難。
- ・実態としては、処理能力が大きく回収量が多いほど1kg当たりの単価は下がる。
- ・小型家電の解体で収益性を保つ方法として、レアメタル回収を主目的とし基板のみを取り出し回収を行うことが挙げられる。しかし、他の物については素材ごとに解体・分別して経済性を保つ事は困難。
- ・レアメタルリサイクルのために小型家電よりレアメタルを含有する特定部品を設定し、これを手分解で取り出す際のコストを、一般的な中間処理コストにプラスする形でコスト試算することが必要。
- ・経済性は、製錬業者の買い取り価格に左右される。既存設備で、少なくとも地域ブロック全体の回収物を処理する能力はある。地域ブロック全体であれば4社程度の中間処理事業者でカバーする程度が妥当。
- ・現在のレアメタル価格では、回収・選別・解体コストが民間では採算が取れないことから国が買い取って備蓄するなどの方策が必要。

(中間処理の処理量について)

- ・少なくとも有価金属を売却する際に運賃コストがマイナスにならないように 4t 車、10t 車で運べる単位のロットが必要。
- ・設備の規模、並びに処理中のロスを考慮すると 1 バッチ当たり最低でもトン単位は必要。ただし、当初は、既存施設をパートタイムで使うのであれば、蓄積がうまくできれば問題ない。
- ・小型家電の収集量が少なく、単独の地域だけでは最小ロットがなかなか集まらない。

(中間処理物の売却先について)

- ・レアメタルを回収するための中間処理技術が確立されていないため、また、例え一部のレアメタル濃縮物を得たとしてもその売却先がないため、小型家電からのレアメタル回収を目的にした中間処理は実務ベースで行うことは難しい。
- ・有価物の売却収入の算定に当たっては、製錬業者の買取条件やメタル等の市場価格等の変動を考慮する必要がある。中間処理に要する実操業ベースの費用・収益は、回収量や買取価格等により大きく変動する。実操業を行うためには、安定的な回収量の確保と、変動の少ない製錬業者の買取価格設定が必要。さらに、作業工程の追加と得られる成果物の資源性向上の関係も考慮が必要。製錬業者の買取条件と収支バランスを踏まえ、成果物の資源性が向上し、高収益となるように作業工程を設定している。
- ・最低限の受け入れ条件は、受け入れ先によって決められており、それ以上の品質で中間処理業者は出荷。中間処理を行う物の品質や量、中間処理を行う金額によっても出荷先を変更したり、処理方法を変えたりする。現状としては鉄や銅、貴金属の量によってどうするか決定しており、レアメタルは副次的に回収できるかどうか、ということに留まっている。
- ・中間処理の程度や品質の決定は、各製錬業者からの受入品質の指定に従っている。

(中間処理の技術的課題について)

- ・回収量が安定的に確保できるのであれば、高度処理するための設備を追加したい（価格変動により中国へ回収物が流れてしまうようなシステムでは困る。）
- ・多鉱種多品目（製品）をターゲットにするには技術的・システムの課題が山積している。
- ・中間処理の最適フローや処理コストは条件によって決まってくるものであるが、目標が明確であれば（実際に社会システムで実施する決断があれば）かなり改善できる。

(法制度上の問題点について)

- ・複数の自治体に渡り回収・中間処理を行なった方が効率的であるが、中間処理業者の一般廃棄物処理の許可取得状況から考えると現実的には実施できない。収集運搬および中間処理を効率的に行うには広域認定のような制度が必要。
- ・ステーション回収の場合は、1自治体内の複数個所から拠点に回収するまでは、これまでどおり一般廃棄物の許可事業者とし、拠点から中間処理施設までは、産業廃棄物や広域認定等の認可事業者に限るようにしてほしい。

○製錬事業者

(資源確保について)

- ・海外からの鉱石の調達よりも、国内でリサイクル原料を調達できる方が望ましい。
- ・電子基板等の有害物を含むものの輸出は制限する必要がある。また、資源確保の観点からも使用済小型家電の輸出制限が必要。
- ・国内での資源循環を促すため、パーゼル法の運用厳格化等、リユース目的での使用済製品輸出に対する監視の強化が望まれる。

(レアメタル回収技術について)

- ・副産物として抽出されるレアメタル以外でも、中間処理段階で適切に選別・濃縮すれば回収できるレアメタルがある。
- ・Ni、Sb、Bi、Se、Te、Pt、Pd、Ga、Ge、In、Co等のレアメタルを回収している。
- ・資源化処理でレアメタルを濃縮するに当たり、ベースメタル・貴金属の回収率を下げない手法の開発が望まれる。
- ・銅製錬・鉛製錬等の既存プロセスで回収できない金属（タングステンやタンタル等）は製錬工程に入れる前に分離する必要がある。ただし、現在のメタル価格ではこれらの金属含有部分を分離・濃縮する費用は捻出できない。経済原則からは、これらのメタルは分離しないでそのまま製錬で処理し、スラグに入れるのが最も安価。
- ・小型家電中の含有量が多いこと、これからも需要が見込まれること、天然資源が偏在していることに伴う資源セキュリティの観点から、タンタルコンデンサー中のTaとリチウムイオン電池中のCoに着目している。特に、これらの金属については確実に回収できるシステムを構築しなければならない。

(製錬段階におけるコストについて)

- ・リサイクル原料の場合は、金属の売却価格から加工費用と一定の利益を差し引いたものを原料費用としている。

- ・中間処理なしで有価譲渡条件を超えるものとして、携帯電話、携帯電話電池、デジタルカメラ、ノートパソコン、携帯型音楽プレーヤー等が挙げられる。
- ・製錬設備側から考えると、量が多いほど効率化するため地域連携が重要。

(法制度上の問題点について)

- ・評価対象金属価格が変動するため、同じリサイクル原料でも廃掃法の対象となる場合があり、取引・流通を簡易にする施策が望まれる。
- ・資源化処理を郊外に集約することでメリットがあるため、広域認定や越境移動を簡単にできるようにすべき。
- ・リサイクル目的で流通している原料・廃棄物については、流通を促すために新しい枠組みでの法規制が望まれる。
- ・退蔵されている使用済小型家電の供出を促すため、インセンティブ制度等の施策が望まれる。
- ・実際にレアメタルを回収するには、経済合理性に成り立つ構造を打破し、大量の原料を定期的に安価に確保することが必須。現行法制度では一般廃棄物である使用済小型家電を一カ所に大量に集めることに障害がある。例えば、リサイクルが確実になされることを担保した上で、中間処理業者に広域的に集約され、なおかつ、レアメタル等が抽出されるための分離・選別が確実に行われるようなインセンティブを設けるべき。

○レアメタル専門メーカー

(小型家電からのレアメタルリサイクルについて)

- ・使用済小型家電は、レアメタルや貴金属が比較的多く使用されているものから、殆ど含まれていないものまで混在しているため取り扱っていない。
- ・ロット面は一定量以上が望ましいが、小さい場合もケースバイケースで対応。価格は、金市況、金含有量、処理コスト等を勘案してその都度決定。
- ・小型家電からのリサイクルを経済的活動で行うのか、資源確保もしくは最終処分場の延命化のための施策と捉えるかで指針が変わる。

(レアメタルリサイクル技術について)

- ・有価物として回収可能と考えられるものは、Au、Ag、Pt、Pd。
- ・生産している鉱種は Au、Ag、Pt、Pd、In、Rh (ロジウム)、Ru (ルテニウム) の 7 鉱種。
- ・レアメタルのリサイクルは品位が低いために濃縮技術の確立が重要。この技術を量産プロセスに転換した場合の投資は数億と予想される。

- ・製品に含まれる毒物（ヒ素、アンチモンなど）の処理にコストが掛かる。無害化及び濃縮技術に関する産学官連携支援等が必要。

(法制度上の問題点について)

- ・産業廃棄物処理業の許可を有していないことから、有価物でないものの処理ができない。有価物になりにくい使用済小型家電をどう取り扱うかが課題。
- ・貴金属・レアメタルの海外への流出で国内での回収が低下しているため、海外に流出させず、国内に留めておくような法的対応が必要。
- ・現状では同様の回収物でも、廃棄物と有価物が混在しており、整理されるべき。
- ・レアメタルを回収するための税制の優遇や資金調達支援が必要。

○レアメタルユーザー

(リサイクル原料の使用について)

- ・リサイクルされたレアメタルを原料として利用することができる条件は、バージンメタルの市場価格を超えないこと。
- ・リサイクルされたレアメタルはバージン材と品質的な差異はない。

(レアメタルの確保について)

- ・天然鉱石のレアメタル調達価格が高騰する場合、より廉価な代替材の検討を進める。
- ・天然鉱石のレアメタル調達価格が高騰する場合、使用済小型家電等からの回収ルートの構築と強化を進める。

(リサイクル制度の構築について)

- ・レアメタルの回収に掛かる費用を消費者が負担することや行政が補助する制度を構築すべき。
- ・中間処理業者に家電に使用されている磁石の種類が分かるようにし、分別する仕組みが必要。
- ・製品を燃やしても有害物質が発生しない樹脂が使われるべき。
- ・まずは製品当たりのネオジム焼結磁石の使用量が多い製品を優先してリサイクルを進めるべき。

詳細データ等

費用・便益等の一覧

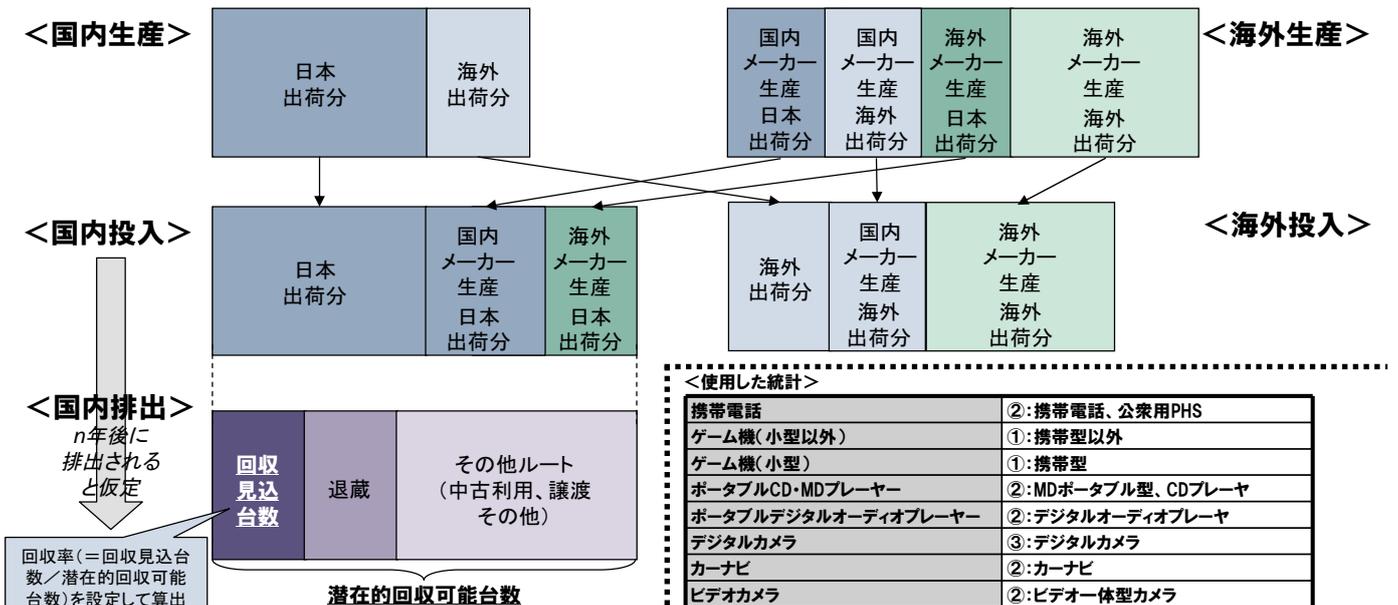
	費用 (イニシャルコスト) (ランニングコスト)	社会的費用	収益	社会的便益	
小型家電回収	<ul style="list-style-type: none"> ○準備人件費 ○資材(ボックス等)購入費 ○資材運搬費 ○周知費用 ※回収方式毎に整理する ⇒ヒアリングを実施し、実操業ベースにおける費用、耐用年数等を把握	<ul style="list-style-type: none"> ○管理人件費 ○維持・補修費 ○収集運搬費 ※回収方式毎に整理する ⇒ヒアリングを実施し、実操業ベースにおける費用を把握するとともに、固定費・変動費に区分	<ul style="list-style-type: none"> ●有害物質管理費用 ※回収方式毎に整理する ⇒ヒアリングを実施し、実操業ベースにおける費用を把握し、有害物質管理の必要性に伴う社会的費用とする	<ul style="list-style-type: none"> ○最終処分量の減少による最終処分費用の削減 ⇒ヒアリングに基づき、破碎・最終処分単価を把握して算定	<ul style="list-style-type: none"> ●最終処分量の減少による埋立処分場の延命 ⇒ヒアリングに基づく最終処分場の造成費用・埋立容量から単位ごみ量当たりの処分場造成費用を算定し、処分場延命による便益とする
中間処理	<ul style="list-style-type: none"> ○準備人件費 ○設備費(新規・追加) ⇒ヒアリングを実施し、各シナリオで想定する中間処理の実操業ベースにおける費用、設備の耐用年数等を把握	<ul style="list-style-type: none"> ○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 ●製錬施設への運搬費 ⇒ヒアリングを実施し、各シナリオで想定する中間処理の実操業ベースにおける費用を把握するとともに、費用を固定費・変動費に区分	<ul style="list-style-type: none"> ●有害物質管理費用 ※回収方式毎に整理する ⇒ヒアリングを実施し、実操業ベースにおける費用を把握し、有害物質管理の必要性に伴う社会的費用とする	<ul style="list-style-type: none"> ○有価物(ベースメタル等)の売却収入 ⇒ヒアリングを実施し、各シナリオで想定する中間処理生成物のスペックに対する製錬事業者の受入価格を把握して算定	効果 <ul style="list-style-type: none"> ●レアメタルリサイクルによる資源の安定供給 ●有害物質の適正処理の推進による環境影響・健康影響の改善等 ⇒レアメタルの安定供給については、鉱種別の輸入量・需要量のデータと、小型家電に含まれているレアメタルの量を比較して、その効果を評価する。 有害物質については、金額換算は困難であることから定量的な評価は実施せず、リサイクルシステムの構築に向けた課題事項とする
金属回収	<ul style="list-style-type: none"> ●準備人件費 ●設備費(新規・追加) ⇒ヒアリングを実施し、各シナリオで想定するレアメタル回収の実操業ベースにおける費用、追加設備の耐用年数等を把握	<ul style="list-style-type: none"> ●作業人件費 ●製錬費 ●残渣・廃棄物処理費 ⇒ヒアリングを実施し、各シナリオで想定する製錬の実操業ベースにおける費用を把握するとともに、費用を固定費・変動費に区分	<ul style="list-style-type: none"> ●有害物質管理費用 ※回収方式毎に整理する ⇒ヒアリングを実施し、実操業ベースにおける費用を把握し、有害物質管理の必要性に伴う社会的費用とする	<ul style="list-style-type: none"> ●有価物(レアメタル・貴金属等)の売却収入 ⇒ヒアリングを実施し、回収したメタルの品位・歩留まりを把握し、メタルの価格データに基づき算定	

費用把握が困難な場合は、製錬における受入価格をもって製錬段階の評価に替える

注) ○: 昨年度データを収集した項目、●: 昨年度データを収集できなかった項目

潜在的回収可能台数・回収見込量の考え方

- 国内生産、海外生産をパターン分けし、国内に投入される小型家電を特定。
- 国内投入量＝業界統計における国内出荷量と考え、国内投入量を推定。
- 小型家電がn年後に排出される(例えば、平均使用年数が3年の製品については、2009年の潜在的回収可能台数は2006年の国内投入量となる)と仮定し、潜在的回収可能台数を推定。



<使用した統計>

携帯電話	②:携帯電話、公衆用PHS
ゲーム機(小型以外)	①:携帯型以外
ゲーム機(小型)	①:携帯型
ポータブルCD・MDプレーヤー	②:MDポータブル型、CDプレーヤー
ポータブルデジタルオーディオプレーヤー	②:デジタルオーディオプレーヤー
デジタルカメラ	③:デジタルカメラ
カーナビ	②:カーナビ
ビデオカメラ	②:ビデオ一体型カメラ
DVDプレーヤー	②:DVD

【統計出典】

- ①(社)コンピュータエンターテインメント協会:ゲーム白書
- ②(社)電子情報技術産業協会:民生用電子機器国内出荷データ集
- ③一般社団法人カメラ映像機器工業会:統計(総出荷(日本向け))

潜在的回収可能台数・回収見込量

- 比較的金属含有濃度が高く、昨年度排出ポテンシャルを推計した以下の9製品を対象に2009年の潜在的回収可能台数を推計。特定部品として、携帯電話の偏心モーター、マイクスピーカーを選定。
- 中間処理過程に投入する各部位の金属含有量は下表の通り。

製品	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	合計 (a)	輸入量 (b)	比率 (a/b)		
	部品	基板	偏心モーター	マイクスピーカー	基板	基板	基板	基板	基板	基板	基板					
潜在的 回収 可能 台数	製品台数 (千台)	49,397			3,057	4,776	1,404	6,376	8,443	2,223	1,676	7,240	84,592	-	-	
	製品重量 (kg・台)	5,822,410			3,218,411	1,604,585	263,950	1,198,678	2,991,314	1,032,200	2,377,128	7,946,762	26,455,437	-	-	
	部品重量 (kg・台)	1,472,031	51,373	723,666	1,450,363	403,572	35,247	51,858	350,685	709,137	253,244	2,635,360	8,136,536	-	-	
回収 見込 量	製品台数 (千台)	14,819			917	1,433	421	1,913	2,533	667	503	2,172	25,378	-	-	
	製品重量 (kg・台)	1,746,723			965,523	481,375	79,185	359,603	897,394	309,660	713,138	2,384,029	7,936,631	-	-	
	部品重量 (kg・台)	441,609	15,412	217,100	435,109	121,072	10,574	15,557	105,205	212,741	75,973	790,608	2,440,961	-	-	
		Pd	166	0	2	14	9	2	2	20	27	63	28	334	157,000	0.2125%
		In	29	0	30	14	5	1	3	14	21	9	42	167	368,000	0.0453%
		Sb	335	0	54	1,415	310	13	7	189	136	144	1,118	3,722	13,915,000	0.0268%
		Nd	1,180	307	5,427	218	36	2	0	35	85	62	133	7,485	14,486,000	0.0517%
		Dy	25	0	326	7	2	1	2	6	21	5	33	427	14,486,000	0.0029%
		Ta	1,237	0	7	281	73	54	17	856	298	656	754	4,233	695,000	0.0690%
		W	1,033	7,814	1,520	38	41	1	3	73	43	44	141	10,750	8,317,000	0.1293%
		Bi	182	0	50	167	7	8	3	20	43	25	102	607	-	-
		Al	6,642	18	9,118	18,711	3,647	504	215	2,872	12,998	2,370	43,574	100,669	-	-
		Fe	15,587	4,516	132,431	38,317	6,417	478	1,517	6,647	21,625	5,931	33,883	267,350	-	-
	Cu	145,728	1,174	26,052	79,551	19,953	2,554	4,608	26,086	32,826	14,612	151,977	505,122	1,756,000,000	0.0288%	
	Zn	2,878	2	12,158	4,523	874	160	86	984	2,808	1,054	16,512	42,039	623,800,000	0.0067%	
	Ag	3,649	83	347	386	635	41	53	733	406	673	1,629	8,637	1,545,000	0.5590%	
	Au	643	0	37	118	31	7	15	83	25	42	116	1,116	35,000	3.1900%	
	Pb	5,671	0	630	6,009	3,034	115	6	1,697	1,649	2,028	11,757	32,596	124,000,000	0.0263%	

※この潜在的回収可能台数は、2009年における潜在的回収可能台数であり、毎年、この台数が排出されることを示すものではない。

※回収量＝潜在的回収可能台数×回収率(30%と仮定)→昨年度の回収ポテンシャル

※輸入量：2008年のデータ(元素純分換算の合計値) 出所：JOGMEC 鉱物資源マテリアルフロー)Nd, Dyは、レアアース(ランタン、セリウム以外)としての情報

費用便益分析の算出根拠

- 便益の考え方は、「海外から原料を調達する場合と同等の製錬原料を、国内では廃棄物に中間処理を施すことで入手できる」という想定。そして、その廃棄物を収集するためのコストを費用として想定。
- 貿易統計の金属輸入価格から海外調達単価を計算。当該単価については、貿易統計の輸入金額には輸入コスト(運賃)が含まれているため、単位当たりの鉱石価格と輸入コストに相当すると想定。

$$\text{便益(B)} = \text{海外から調達した場合のコストC1} - \text{リサイクルした場合のコストC2}$$

$$\begin{aligned} \text{海外から調達した場合のコストC1} &= \text{鉱石価格} + \text{輸入コスト} \\ &= \sum \left\{ \left(\frac{\text{金属輸入金額} \times 1}{\text{金属輸入量} \times 1} \right) \times \text{調達量} \times 2 \right\} \end{aligned}$$

$$\text{リサイクルした場合のコストC2} = \text{中間処理費用 (22~26ページ)}$$

$$\text{費用(C)} = \text{小型家電の回収コスト (20ページ)} - \text{埋立処分等費用削減分 (21ページ)}$$

注：計算期間20年間の場合は、初期投資を考慮。使用したデータは以下の通り。

【便益の算出に使用したデータ】

金属	金属輸入金額/金属輸入量 円/kg	純分換算比率
Pd	917,718	100
In	37,920	100
Sb	555	100
Nd	1,546	100
Dy	1,546	100
Ta	21,164	100
W	12,644	100
Bi	1,536	100
Al	7	35
Fe	7	63
Cu	179	28
Zn	58	51
Ag	23,426	100
Au	2,876,030	100
Pb	206	58

※1 貿易統計(2009年度累計値)より

※2 貴金属、レアメタルは金属として、ベースメタルは鉱石として調達されたものと仮定。鉱石として調達されるものとしたベースメタルについては、鉱石の純分換算比率を用いて調達量を算出。

費用便益分析(計算期間20年の計算方法)

- 計算期間20年として費用便益分析を実施。具体的には、初期投資(ステーション設置費用、ボックス設置費用、広報費用)を考慮し、社会的割引率4%として分析。
- 小型家電の回収見込量は、毎年一定(2009年の潜在的回収可能台数に回収率を乗じることで設定)として計算。
- コンテナは5年に一度、ボックスは10年に一度の頻度で更新するものと設定。広報費用は1年目に計上(これらの初期投資はこれまでのモデル事業の実績に基づき設定)。

【初期投資関連データ※1】

		単価 円/個	設置密度 人/個	設置割合 %
ステーション設置費用	コンテナ	5,915	300	50
ボックス設置費用	ボックス	88,000	5,000	100

	単価 円/個
広報費用	1,676

※1 モデル事業実績から設定。コンテナ設置割合については半数の自治体がコンテナを用いるものと仮定。

※2 広報費用はステーション・ボックスあたり。家庭系一般廃棄物の適正分別・排出については、経常的に市町村による広報が実施されており、使用済小型家電の回収の実施(分別区分の追加)による広報費用の増加は、イニシャルコストと見なした。なお、経常的経費(ランニングコスト)としての増加はあってもごく僅かと考えられる。

【計算期間20年の計算結果のイメージ】

年	年数	便益		費用					現在価値		
		金属調達 コスト 削減効果	合計	小型家電 回収コスト	埋立処分 コスト削減	コンテナ 準備費用	ボックス 準備費用	広報費用	合計	便益の 現在価値	費用の 現在価値
2009	0										
2010	1	853	853	486	-319	497	1,417	391	2,472	820	2,377
2011	2	853	853	486	-319				167	789	155
2012	3	853	853	486	-319				167	758	149
2013	4	853	853	486	-319				167	729	143
2014	5	853	853	486	-319				167	701	138
2015	6	853	853	486	-319	497			664	674	525
2016	7	853	853	486	-319				167	648	127
2017	8	853	853	486	-319				167	623	122
2018	9	853	853	486	-319				167	599	118
2019	10	853	853	486	-319				167	576	113
2020	11	853	853	486	-319	497	1,417		2,082	554	1,352
2021	12	853	853	486	-319				167	533	105
2022	13	853	853	486	-319				167	512	100
2023	14	853	853	486	-319				167	493	97
2024	15	853	853	486	-319				167	474	93
2025	16	853	853	486	-319	497			664	456	355
2026	17	853	853	486	-319				167	438	86
2027	18	853	853	486	-319				167	421	83
2028	19	853	853	486	-319				167	405	79
2029	20	853	853	486	-319				167	389	76
合計	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11,595	6,391

$$B = \sum_t \left(\frac{B_t}{(1+i)^t} \right)$$

$$C = \sum_t \left(\frac{C_t}{(1+i)^t} \right)$$

B: 便益の現在価値
 B_t: t年目の便益
 C: 費用の現在価値
 C_t: t年目の費用
 i: 割引率(4%)
 t: 年数

$$B/C = 1.81$$

定量的効果の算出根拠

- 定量的効果は以下の考えに基づき算出。

【資源の安定供給効果】

- 小型家電の潜在的回収可能台数に各製品の金属含有量を乗じて回収可能レアメタル量を算定。

$$\text{資源の安定供給効果} = \text{小型家電の潜在的回収可能台数(84百万台)} \times \text{各製品の金属含有量}$$

【最終処分場の延命効果】

- 21ページで算出した使用済小型家電の埋立処分量を容積換算して設定。

$$\text{最終処分場の延命効果} = \frac{\text{埋立処分量(小型家電の29\%)}}{\text{容積換算係数※(金属くずの比重)}}$$

※ 容積換算係数: 産業廃棄物管理票に関する報告書及び電子マニフェストの普及について(通知)に示されている金属くずの比重(1.13t/m³)を用いて換算

使用済小型家電回収・静脈物流コスト

- 使用済小型家電回収コストはシミュレーションモデルを活用して試算。
- 自治体から中間処理施設の静脈物流は、以下の前提条件に基づき試算。

$$\begin{aligned}
 \text{使用済小型家電回収コスト} &= \left(\text{小規模自治体における回収見込量} + \text{中規模自治体における回収見込量} \times 1/2 \right) \times \text{ステーション回収コスト原単位} \\
 &+ \left(\text{中規模自治体における回収見込量} \times 1/2 + \text{大規模自治体における回収見込量} \right) \times \text{ボックス回収コスト原単位}
 \end{aligned}$$

<自治体の人口>

	小規模(人口5万人未満)	中規模(人口5~30万人)	大規模(人口30万人以上)
人口 人	26,126,048	48,510,710	53,131,236

※ 平成17年度国勢調査より

<回収見込量>

回収率	5	10	20	30
回収見込量 kg/年・人	0.010	0.021	0.041	0.062

<小型家電回収コスト原単位(シミュレーションモデルより算出)>

		小規模(人口5万人未満)				中規模(人口5~30万人)				大規模(人口30万人以上)			
回収率 %		5	10	20	30	5	10	20	30	5	10	20	30
ステーション回収※1	燃料費 円/kg	0.13	0.12	0.12	0.11	0.61	0.54	0.96	0.81	—	—	—	—
	人件費 円/kg	—	—	—	—	605	354	177	118	462	231	132	88
ボックス回収※2	燃料費 円/kg	—	—	—	—	21.55	10.95	5.54	3.73	19.56	9.82	5.04	3.39
	人件費 円/kg	—	—	—	—	605	354	177	118	462	231	132	88

※1 ステーション回収は、資源ごみ回収と同時に回収するため、燃料費のみを考慮(混載対象となるごみと比較すると使用済小型家電の重量は小さいため、燃料費の占める割合は非常に小さくなる。)

※2 ボックス回収は、小型家電専用回収車にて回収するため、燃料費、人件費を考慮

<静脈物流(自治体→中間処理施設)算出根拠>

輸送距離 km	50	自治体から中間処理施設までの距離を仮定
原材料運搬費 円/t・km	104	2005年全国貨物純流動調査(物流センサス)廃家電トラック輸送の単価に基づき設定

使用済小型家電回収コスト(シミュレーションモデルの概要)

- 使用済小型家電回収コストはシミュレーションモデル(一般廃棄物の収集・運搬モデル)を活用して試算。
村上他: 地理的特性を考慮した収集・運搬費用算定モデル: 廃棄物学会論文誌 Vol. 19(3), pp.225-234, 2008
- 本シミュレーションモデルは、一般廃棄物の収集・運搬を概算するモデルであるGrid City Model ※の単純化の手法を活かしつつ、より実態に近づけるよう、工夫が施されている。具体的には、自治体の形状や、人口分布の偏りなど各自治体固有の特性を考慮すべく、国勢調査による人口のメッシュデータを利用したものである。下表に示すようなパラメータを入力することで、1年間の収集に必要な車の台数、移動距離、作業時間などが出力される。
- 本経済性評価では、これまでのモデル事業実施自治体での実態を踏まえたパラメータを入力し、その出力結果に基づき使用済小型家電回収コストを試算している。

【シミュレーションモデルにて入力するパラメータ】

項目	単位
Cap 収集車積載容量	m3
Dens かさ密度	kg/m3
Vst 排出地点間の移動速度	km/h
Vb 拠点_収集ブロック間往復移動速度	km/h
Tst ステーションでの作業準備時間	sec/ステーション
Tb 拠点での積み下ろし時間	sec
Sst 積み込み作業速度	kg/sec
Hmax 1日最大労働時間	H
D 1週間の稼働日数	日/週間
Fr 各種ごみの収集頻度	日/週間
G 発生原単位	kg/人/費
HHst ステーションあたりの世帯数	世帯/ステーション
Phh 世帯あたり人数	人/世帯
収集拠点の3次メッシュコード	

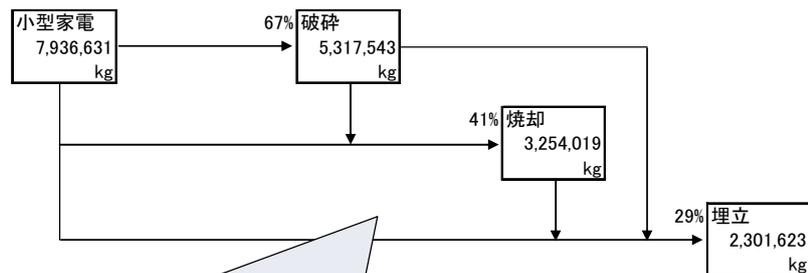
【シミュレーション結果からコストを試算する際に用いたデータ】

項目	データ	単位
アイドリング時の燃費	0.00036	L/sec
ブロック内走行時燃費	0.58800	L/km
ブロック_施設間走行時燃費	0.16	L/km
燃料単価	105	円/L
人件費単価	10,000,000	円/人
平ボディ車購入費	35,500,000	円
車両償却期間	7	年

※ M. Ishikawa: A Logic Model for Post-Consumer Waste Recycling, Journal of Packaging Science & Technology, Vol. 5, No. 2, pp. 119-130 (1996)

小型家電回収段階の設定(最終処分等費用の削減)

- 収益として、従来自治体において処理・処分されてきた小型家電の処理・処分費用の削減分を計上。
- 平成21年度モデル事業で得られたデータに基づき、現状の使用済小型家電の破碎、焼却、埋立の割合を以下のとおり設定。
- 下記の処理・処分量に処理・処分単価を乗じて最終処分等の削減費用を算出。



平成21年度モデル事業で得られたデータ※に基づき設定

※ 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:P. 3-17

<処理・処分単価>

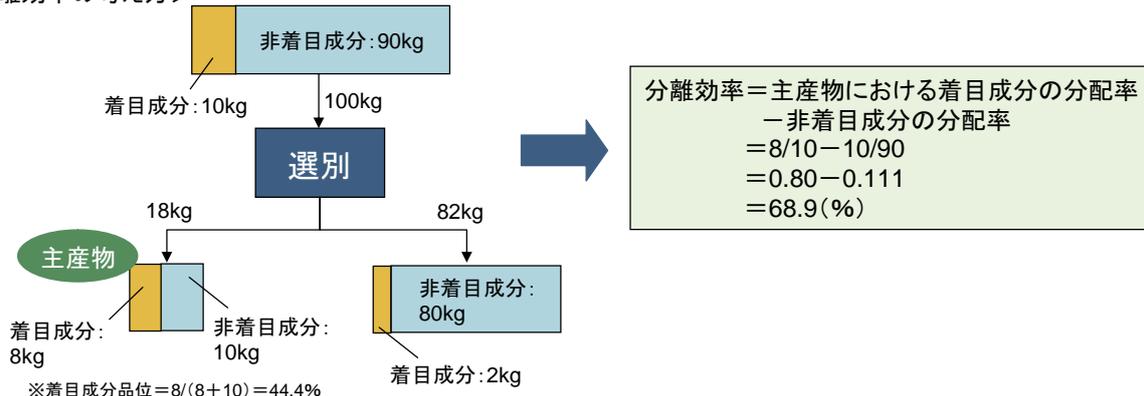
- ・破碎: 36円/kg
- ・焼却: 23円/kg
- ・埋立: 22円/kg

出典: 処理・処分単価を公表しているモデル事業自治体の平均値を採用

中間処理段階の設定(中間処理における金属の分配濃縮状況)

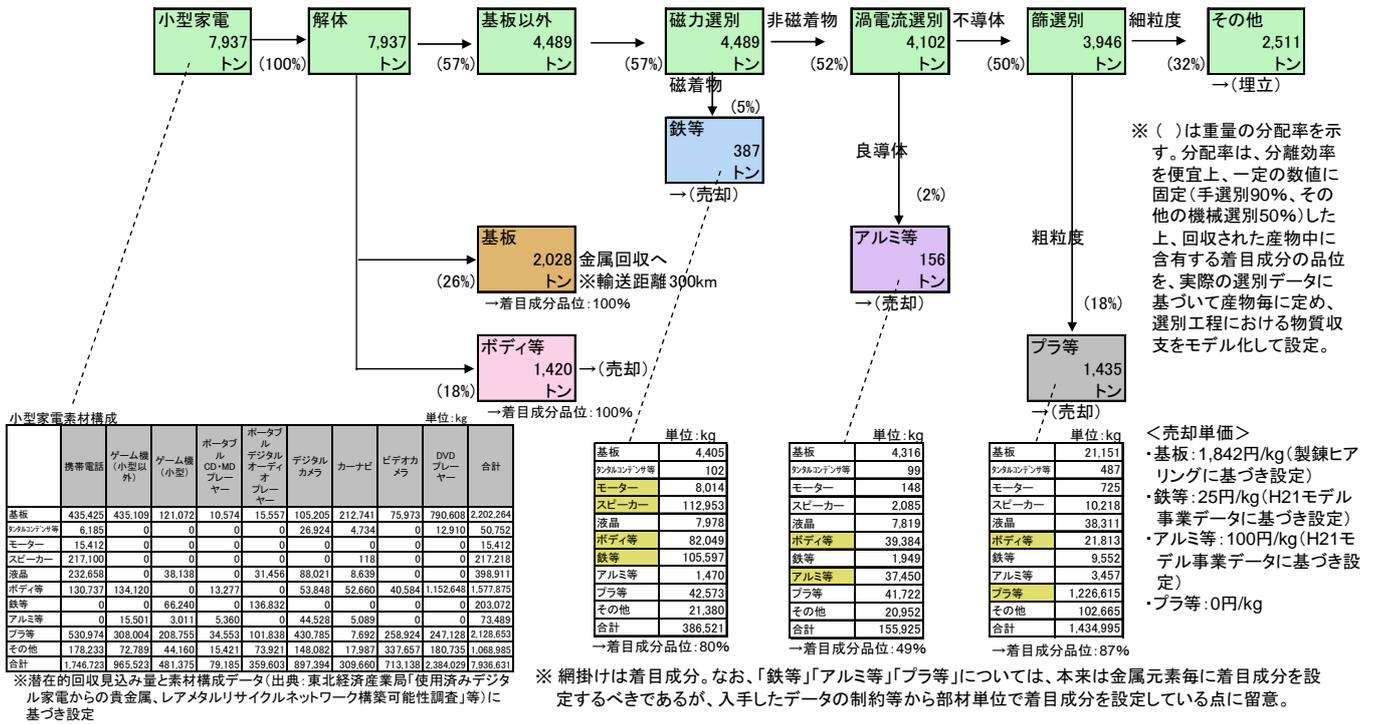
- 中間処理における金属の分配濃縮状況については、有識者へのヒアリング等に基づき中間処理フローをモデル化した上で、中間処理を構成する各プロセスの「分離効率」を仮定し、算定を行った。
- 選別工程における「分離効率」とは、以下の式で表すことができる。
主産物における着目成分の分配率 - 非着目成分の分配率
- 分離効率については、対象物の内容、粒度、着目成分、装置の種類、分離条件等により大きく変わりうるものである。その設定にあたっては、モデル事業における中間処理の実績に基づき標準的な分離効率を設定することが想定されるが、①各自治体で装置の種類や各種条件が非常に多岐に亘っており、標準的なプロセスの設定が困難であること、②モデル事業において採用された中間処理は技術開発の途上にあり、モデル事業での実績データをもって評価することで中間処理の分離効率を過少に評価する可能性が高いことから、モデル事業実績に基づく分離効率の設定は困難であると考えられる。
- 上記のような理由から、ここでは、有識者へのヒアリング等に基づき、本来、装置や対象物、選別条件によって変わる分離効率を、便宜上、一定の数値に固定(手選別の分離効率90%、その他の機械選別の分離効率50%)した上、回収された産物中に含有する着目成分の品位を、実際の選別データに基づいて産物毎に定め、選別工程における物質収支をモデル化した。

<分離効率の考え方>



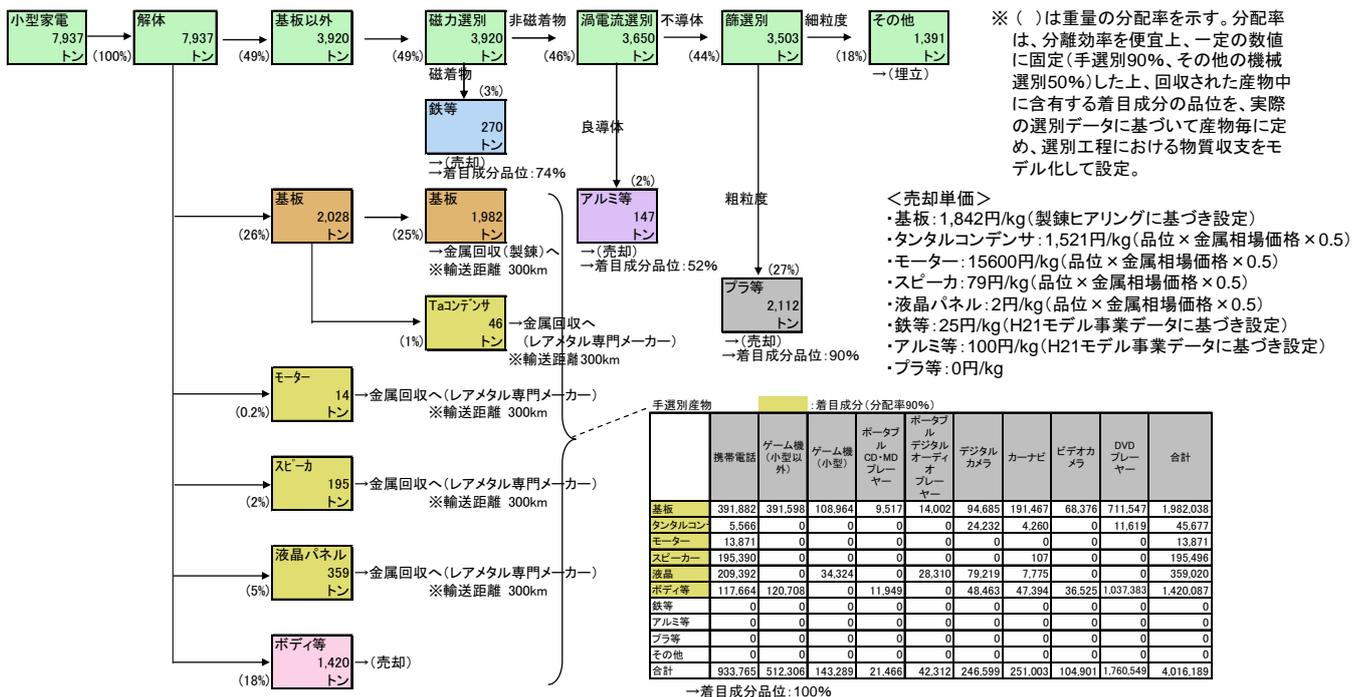
中間処理段階の設定(①従来型レアメタル回収シナリオ)

- 手解体・手選別で基板、ボディ等(金属)を選別し売却。
- 残りのものについて、磁力選別、渦電流選別、篩選別を行い、鉄等、アルミ等、プラスチック等を選別し、残りは埋立処分すると想定。



中間処理段階の設定(②レアメタル重点回収シナリオ)

- 手解体・手選別で基板、特定部品、ボディ等(金属)を選別し売却。
- 残りのものについて、磁力選別、渦電流選別、篩選別を行い、鉄等、アルミ等、プラスチック等を選別し、残りは埋立処分すると想定。



中間処理段階の設定(基板等単価算定の考え方)

- 基板については、製錬事業者における評価対象金属をAu、Ag、Cu、Pdとし、これらの金属価格、採取率から得られる金額から、精製費、処理費を控除した金額とした。
- 特定部品のうち、タンタルコンデンサについては製錬事業者へのヒアリング結果に基づき設定した。その他の特定部品については、各部品中の品位と金属価格に0.5を乗じた値を単価とした。

<基板の単価設定の考え方>

	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	合計
基板回収重量	391,882	391,598	108,964	9,517	14,002	94,685	191,467	68,376	711,547	1,982,038
含有量										
Pd	147	12	8	2	1	18	25	57	25	296
In	25	12	4	0	3	12	19	8	37	122
Sb	298	1,274	279	12	6	170	123	129	1,006	3,297
Nd	1,047	196	33	1	0	32	77	56	120	1,561
Dy	22	6	2	1	1	5	19	4	30	91
Ta	1,098	253	66	49	15	771	268	590	679	3,788
W	917	34	37	1	2	66	38	40	127	1,262
Bi	162	151	6	7	3	18	38	23	92	499
Al	5,894	16,840	3,282	453	194	2,584	11,699	2,133	39,216	82,295
Fe	13,832	34,486	5,775	431	1,366	5,982	19,463	5,338	30,495	117,166
Cu	129,319	71,596	17,957	2,299	4,147	23,478	29,543	13,151	136,780	428,269
Zn	2,554	4,071	787	144	77	886	2,527	948	14,861	26,856
Ag	3,238	348	571	37	48	660	366	606	1,466	7,339
Au	570	106	28	7	14	75	22	38	104	964
Pb	5,032	5,408	2,731	104	5	1,527	1,484	1,825	10,582	28,698

金属価格		
Pd	1440.28	円/g
Cu	62694.7	円/t
Ag	54300	円/kg
Au	3551.86	円/g

2010年5月時点

採取率		
Pd	60%	H21レアメタルWG検討
Cu	90%	結果に基づき設定
Ag	90%	
Au	90%	

製錬事業者へのヒアリング結果に基づき設定

精製費(R/C)		
Pd	200	円/g
Cu	100	円/kg
Ag	4500	円/kg
Au	80	円/g

製錬事業者へのヒアリング結果に基づき設定

評価対象金属の含有量 ×

Pd	208	百万円
Cu	203	百万円
Ag	329	百万円
Au	3,011	百万円
合計	3,750	百万円

⇒

— 処理費50円/kg × 基板重量1,982,038kg = 原料評価額3,651百万円

※製錬事業者へのヒアリング結果に基づき設定

→1.842円/基板kg

<特定部品の単価設定の考え方>

	ターゲット金属含有率	売却単価(円/kg)	売却単価設定の考え方
タンタルコンデンサ	Ta 20%	1,221	製錬事業者ヒアリングに基づく
モーター	W 50%	13,000	
スピーカ	Nd 4%	34	金属品位 × 金属価格 × 0.5に基づき設定
	Dy 0.5%	34	
液晶パネル	In 0.006%	2	

※スピーカ、液晶パネルについては、レアメタル専門メーカーの受入品位を下回ると考えられるが、ここでは品位を考慮せず全て受け入れられるものとした。

中間処理段階の設定(手分解コストの設定)

- 手分解コストは以下のとおり使用済小型家電の解体時間、中間処理業者賃金単価に基づき設定した。

$$\text{使用済小型家電手分解コスト} = \sum \left(\text{使用済小型家電の解体時間} \times \text{中間処理業者賃金単価} \times \text{回収見込台数} \right)$$

- 「①従来型レアメタル回収シナリオ」では、正社員が手分解を担当。
- 「②レアメタル重点的回収シナリオ」では、解体時間増加分をパートタイム社員にて補うことと仮定。

<各使用済小型家電の解体時間>

品目	解体レベル	解体時間*1 分
携帯電話	基板まで	3.3
	特定部品まで	4.9
ゲーム機(小型以外)	基板まで	8.5
	特定部品まで	1.3
ゲーム機(小型)	基板まで	1.9
	特定部品まで	1.9
ポータブルCD・MDプレーヤー	基板まで	1.5
	特定部品まで	1.5
ポータブルデジタルオーディオプレーヤー	基板まで	1.5
	特定部品まで	2.3
デジタルカメラ	基板まで	4.3
	特定部品まで	6.5
カーナビ	基板まで	3.5
	特定部品まで	5.3
ビデオカメラ	基板まで	3.5
	特定部品まで	3.5
DVDプレーヤー	基板まで	3.5
	特定部品まで	5.3

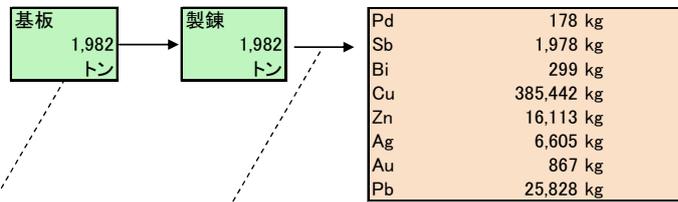
<中間処理業者賃金単価>

作業員	賃金単価 円/h
正社員*2	1,825
パートタイム社員*3	1,007

- ※1 モデル事業における各使用済小型家電の平均解体時間の半分と設定(熟練した作業員が手分解するものと仮定)。特定部品までの解体は基板までの解体時間の1.5倍かかるものと設定。
- ※2 平成21年賃金構造基本統計調査(R88廃棄物処理業)に基づき設定
- ※3 平成21年賃金構造基本統計調査(短時間労働者の年齢階級別1時間当たり所定内給与額及び年間賞与その他特別給与額(Rサービス業(他に分類されないもの)))に基づき設定

金属回収段階の設定(①従来型レアメタル回収シナリオ)

- 中間処理で得られた基板は製錬において金属回収。
- 製錬ではCu、Zn等と併せて貴金属、一部のレアメタルを回収すると想定。



採取率
Cu・Pb・Au・Ag : 90%
Zn・Pd・Sb・Bi : 60%

<売却単価>

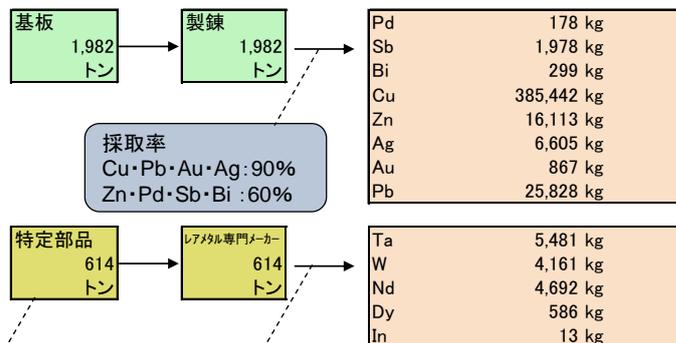
- ・Cu: 627円/kg (2010年5月相場)
- ・Zn: 249円/kg (レアメタルニュース、亜鉛、2009年3月末)
- ・Ag: 54,300円/kg (2010年5月相場)
- ・Au: 3,551,860円/kg (2010年5月相場)
- ・Pb: 253円/kg (レアメタルニュース、鉛、2010年3月末)
- ・Pd: 1,440,280円/kg (2010年5月相場)
- ・Bi: 1,800円/kg (レアメタルニュース、ビスマス99.99%、2010年3月末)

基板中の金属含有量(kg)

	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	合計
Pd	147	12	8	2	1	18	25	57	25	296
In	25	12	4	0	3	12	19	8	37	122
Sb	298	1,274	279	12	6	170	123	129	1,006	3,297
Nd	1,047	196	33	1	0	32	77	56	120	1,561
Dy	22	6	2	1	1	5	19	4	30	91
Ta	1,098	253	66	49	15	771	268	590	679	3,788
W	917	34	37	1	2	66	38	40	127	1,262
Bi	162	151	6	7	3	18	38	23	92	499
Al	5,894	16,840	3,282	453	194	2,584	11,699	2,133	39,216	82,295
Fe	13,832	34,486	5,775	431	1,366	5,982	19,463	5,338	30,495	117,166
Cu	129,319	71,596	17,957	2,299	4,147	23,478	29,543	13,151	136,780	428,269
Zn	2,554	4,071	787	144	77	886	2,527	948	14,861	26,856
Ag	3,238	348	571	37	48	660	366	606	1,466	7,339
Au	570	106	28	7	14	75	22	38	104	964
Pb	5,032	5,408	2,731	104	5	1,527	1,484	1,825	10,582	28,699

金属回収段階の設定(②レアメタル重点回収シナリオ)

- 中間処理で得られた基板は製錬において金属回収。
- 製錬ではCu、Zn等と併せて貴金属、一部のレアメタルを回収すると想定。
- 特定部品はレアメタル専門メーカーに渡されて、レアメタルが回収されると想定。



採取率
Cu・Pb・Au・Ag : 90%
Zn・Pd・Sb・Bi : 60%

採取率
W・Ta・Nd・Dy・In : 60%

<売却単価>

- ・Cu: 627円/kg (2010年5月相場)
- ・Zn: 249円/kg (レアメタルニュース、亜鉛、2009年3月末)
- ・Ag: 54,300円/kg (2010年5月相場)
- ・Au: 3,551,860円/kg (2010年5月相場)
- ・Pb: 253円/kg (レアメタルニュース、鉛、2010年3月末)
- ・Pd: 1,440,280円/kg (2010年5月相場)
- ・Bi: 1,800円/kg (レアメタルニュース、ビスマス99.99%、2010年3月末)
- ・Ta: 155,000円/kg (レアメタルニュース、タンタルキャパシター・グレード、2010年3月末)
- ・W: 52,000円/kg (レアメタルニュース、タンングステン、2010年3月末)
- ・Nd: 1,716円/kg (レアメタルニュース、金属ネオジム、2010年3月末)
- ・Dy: 13,684円/kg (レアメタルニュース、金属ジプロシウム、2010年3月末)

特定部品中の着目金属含有量(kg)

	回収量 (kg)	ターゲット金 属含有率	ターゲット金 属含有量 (kg)
タンタルコンデンサ	45,677	20%	9,135
モーター	13,871	50%	6,935
スピーカ	195,496	4%	7,820
液晶パネル	359,020	0.5%	977
		0.006%	22

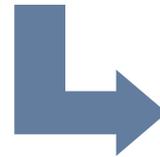
金属回収段階の設定(非鉄製錬業者の利益率の設定)

- 金属回収のコストは把握できなかったため、収益×(1-利益率)で費用を逆算。
- 非鉄製錬業者の利益率は以下の非鉄製錬4社のH18～H19の平均利益率に基づき設定。
- (4社の営業利益合計/4社の売上高合計)で利益率を算定。

単位:百万円

		H18.4～H19.3	H19.4～H20.3
A社	売上高	680,438	799,695
	営業利益	33,395	46,053
B社	売上高	113,564	142,120
	営業利益	10,998	12,582
C社	売上高	887,036	999,515
	営業利益	45,139	33,914
D社	売上高	276,601	272,226
	営業利益	25,122	22,487

出典:非鉄製錬4社の有価証券報告書



非鉄製錬業者の利益率:5.5%

リサイクルシステムの経済性評価にて用いた用語の定義

用語	定義
潜在的回収可能台数	平成21年度研究会とりまとめにおける「排出ポテンシャル」と同意。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。
回収見込量	平成21年度研究会とりまとめにおける「回収ポテンシャル」と同意。レアメタルリサイクルシステムを構築した場合に同システムにおいて回収が見込まれる台数(潜在的回収可能台数から退蔵やその他ルートへの流れを除いた台数)。
分離効率	選別工程の主産物における着目成分の分配率-非着目成分の分配率により表されるもの。選別結果の善し悪しの判断に使用される。
分配率	選別対象物に含まれる成分が、選別工程の各産物に移行する割合。
品位	中間処理産物における着目成分の含有割合。
採取率	製錬等の金属回収工程での、投入金属量に対する回収金属量の比率。