

参考資料8

使用済小型家電のリサイクルにおける環境管理手法

参考データ

1. 使用済小型家電からの金属回収のための中間処理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

使用済小型家電からの金属回収のための中間処理プロセスについては、製錬プロセスへの投入を前提とした最適なプロセスの検討がなされているところであるが、ここでは、比較的オーソドックスと考えられるプロセスを以下のとおり想定し、リスクイベント及びその曝露経路を整理した。

作業環境への影響としては、解体プロセスにおける蛍光管の破損による粉塵の発生及び有害成分の漏出、電池の液漏れによる有害成分の漏出、破碎・選別プロセスにおける粉塵及び有害成分の漏出等が懸念される。産業衛生の観点からは、破碎・選別プロセスの作業環境においては、鉛、ニッケルについて許容濃度が定められており、防塵などの適切な曝露防止策により適切なリスク管理を行うことが重要であると考えられる。

国立環境研究所の調査結果¹では、自治体の破碎・選別プロセスにおける作業環境測定が行われており、鉛、ニッケルの作業環境中濃度は、いずれも基準値以下であった。

また、破碎・選別プロセスにおいては、集塵ガスを通じた大気への曝露や、排ガス処理によって生ずる集塵灰や排水による土壌・水域への曝露などの可能性があることから、適切な排ガス処理等による管理が求められる。なお、小型家電の中間処理については、既存の粗大ごみ中間処理とリスクイベント、曝露経路ともに大きな相違点はないものと考えられることから、同プロセスの分配傾向が参考になると考えられる。

その他、電池の混入や液漏れによる火災の発生等の懸念もあることから、事前分別や火災予防措置などの適切な対策も重要であると考えられる。

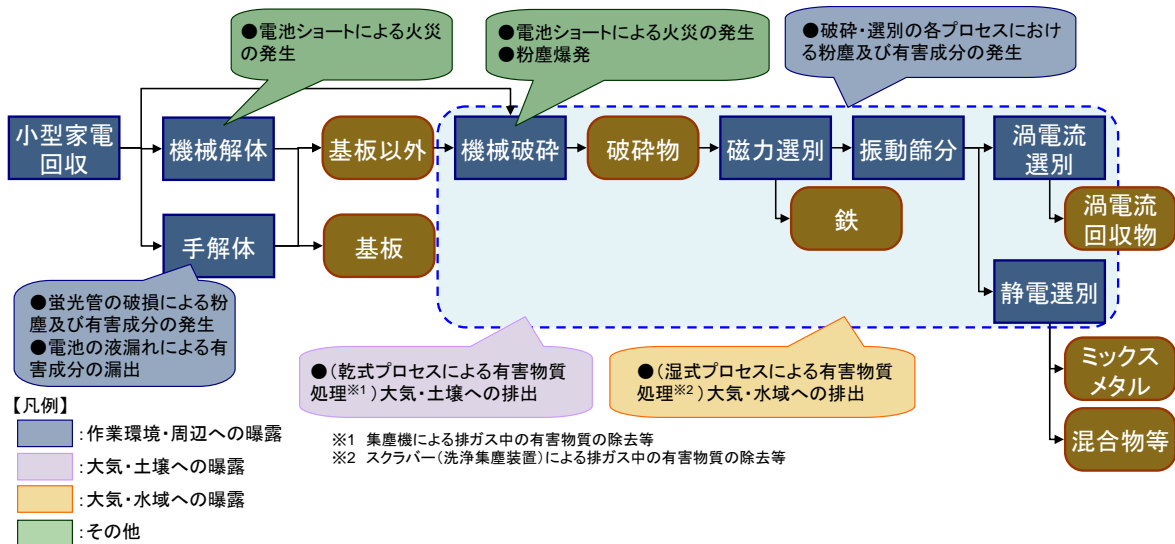


図1 使用済み小型家電からの金属回収を目的とした中間処理プロセスと曝露経路

¹ 国立環境研究所「一般廃棄物処理プロセスにおける WEEE 由来の物質挙動の調査」

2. 使用済小型家電の処理・リサイクルに関するアンケート調査結果

使用済み小型家電の処理・リサイクルに関して、自治体へのアンケート調査を実施した（回答自治体数 1,748 件、回答率 100%）。

【使用済小型家電のリサイクルシステムについて】

設問	選択肢	回答数	回答割合
(問1) 小型家電のリサイクルシステムが構築された場合、貴市町村では小型家電収集を実施したいと思いますか。	1. 実施したい	149	8.5%
	2. 検討したい	1,038	59.4%
	3. 実施の予定はない	561	32.1%
(問2) 貴市町村で実施可能な小型家電の収集方法としてどのようなものが考えられますか(複数回答可)。 ※(問1)で1か2を選択した1,113自治体が回答	1. ごみステーション等での定期収集	506	42.6%
	2. 小型家電回収ボックスの設置	358	30.2%
	3. 地域団体等の集団回収	157	13.2%
	4. イベントでの回収	214	18.0%
	5. 市町村施設への自己搬入	641	54.0%
	6. 申込みによる個別収集	173	14.6%
	7. 収集後の選別(ピックアップ)	411	34.6%
	8. その他	52	4.4%
(問3) 貴市町村が小型家電の収集を実施しない予定である理由は何ですか(複数回答可)。 ※問1で3を選択した538自治体が回答	1. 予算・体制的に困難	403	71.8%
	2. 住民の理解・協力が得られない	89	15.9%
	3. 既に適切な再資源化を実施	63	11.2%
	4. 排出量が少量である	194	34.6%
	5. その他	85	15.2%
(問4) 小型家電の収集を実施するために必要又は望ましいと考えられることは何ですか ※問1で2か3を選択した1,513自治体が回答	1. 小型家電の買い取り	744	46.5%
	2. 小型家電の無料引き取り	729	45.6%
	3. 住民の理解	976	61.0%
	4. 収集に対する財政的支援	860	53.8%
	5. その他	102	6.4%

【現在の使用済小型家電の処理状況】

設問	選択肢	回答数	回答割合
(問5) 貴市町村では、現在、小型家電をどのような分別区分で収集していますか。品目や大きさにより区分が異なる場合は、該当する選択肢を全て選んでください(複数回答可)。	1. 小型家電	69	3.9%
	2. 金属ごみ	236	13.5%
	3. 不燃ごみ	1,242	71.1%
	4. 可燃ごみ	52	3.0%
	5. 粗大ごみ(無料)	353	20.2%
	6. 粗大ごみ(有料)	695	39.8%
	7. その他	116	6.6%
(問6) 収集した小型家電(又は小型家電を含むごみ)はどのように処理していますか。品目や大きさにより処理方法が異なる場合は、該当する選択肢を全て選んでください(複数回答可)。	1. そのまま埋立処分	178	10.2%
	2. 焼却後、残渣を埋立処分	240	13.7%
	3. 破碎後、残渣を埋立処分	865	49.5%
	4. 熔融スラグ化して再利用・処分	133	7.6%
	5. そのまま有価物として売却	233	13.3%
	6. その他	486	27.8%
(問7) 収集した小型家電(又は小型家電を含むごみ)の処理において、金属等の資源を回収していますか。回収している資源物を全て選んでください(複数回答可)。	1. 鉄	1,167	66.8%
	2. 銅	379	21.7%
	3. 銀	70	4.0%
	4. 金	81	4.6%
	5. アルミ	925	52.9%
	6. ステンレス	288	16.5%
	7. レアメタル	45	2.6%
	8. プラスチック	113	6.5%
	9. ガラス	71	4.1%
	10. その他の資源	143	8.2%
	11. 資源回収は実施していない	478	27.3%

※問6において、「6. その他」と回答した市町村のうち、193市町村(全体の11.0%)が破碎を含んだ処理を実施。

問6にて収集した小型家電（又は、小型家電を含むごみ）の処理方法として「そのまま有価物として売却」と回答した自治体233に対して追加アンケート調査を実施（回収率100%）。

【売却した使用済小型家電の処理実態等について】

設問	選択肢	回答数	回答割合
(問6-1) 貴市町村が売却した小型家電は、どのように処理されていますか。該当する選択肢を全て選んでください。(複数回答可)。	1. 国内でリユース	28	12.0%
	2. 国内で金属で回収している	122	52.4%
	3. 海外に輸出されている	55	23.6%
	4. 海外に輸出されている可能性あり	15	6.4%
	5. 不明(把握していない)	56	24.0%
	6. その他	2	0.9%
(問6-3) 小型家電の有価売却の形態(複数回答可)。	1. 小型家電を分別収集しておりそのまま売却	22	9.4%
	2. 金属ごみから小型家電を選別(ピックアップして売却)	41	17.6%
	3. 不燃ごみから小型家電を選別して売却	113	48.5%
	4. 粗大ごみ(無料)から小型家電を選別して売却	41	17.6%
	4. 粗大ごみ(有料)から小型家電を選別して売却	89	38.2%
	6. その他	54	23.2%

3. 使用済小型家電の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

- ・ 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練について、想定される有害物質の環境への曝露経路を以下のとおり整理した。

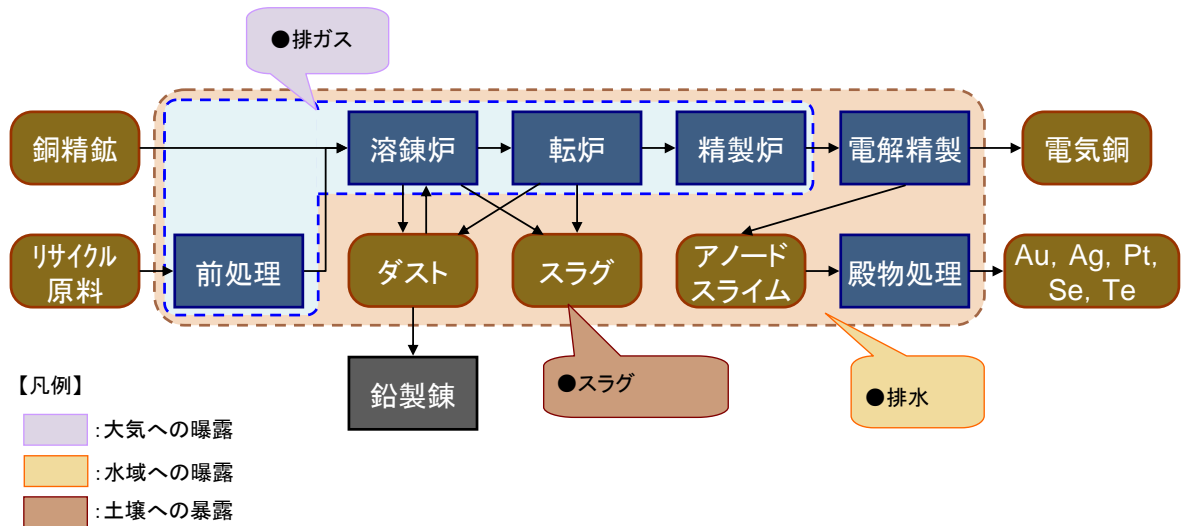


図1 小型家電の金属回収プロセスと曝露経路（銅製錬）

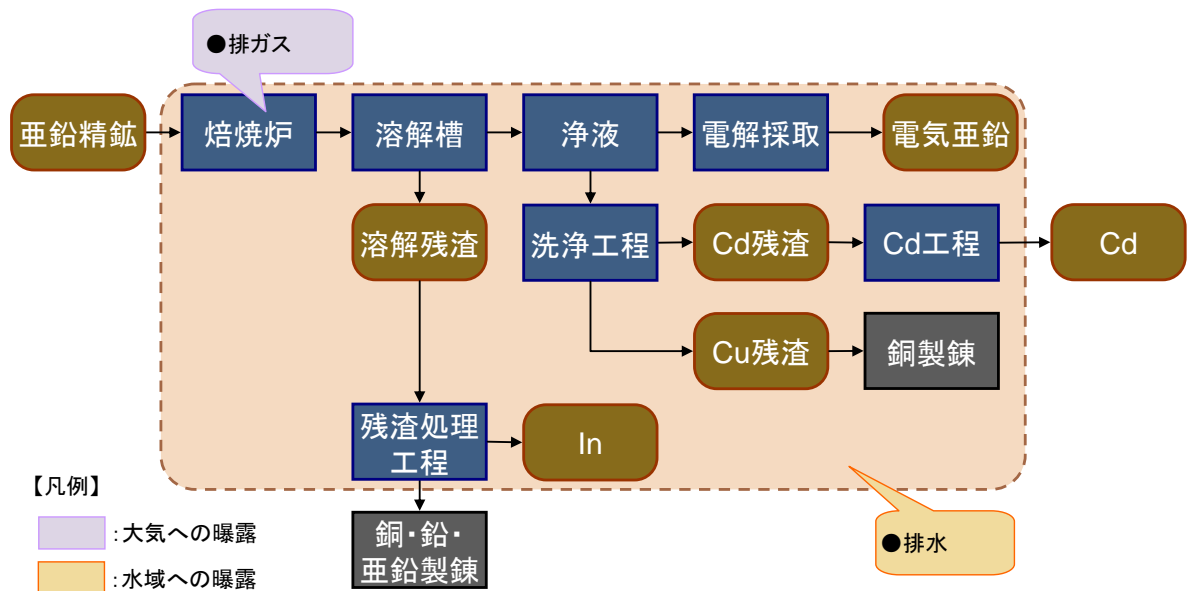


図2 小型家電の金属回収プロセスと曝露経路（亜鉛製錬）

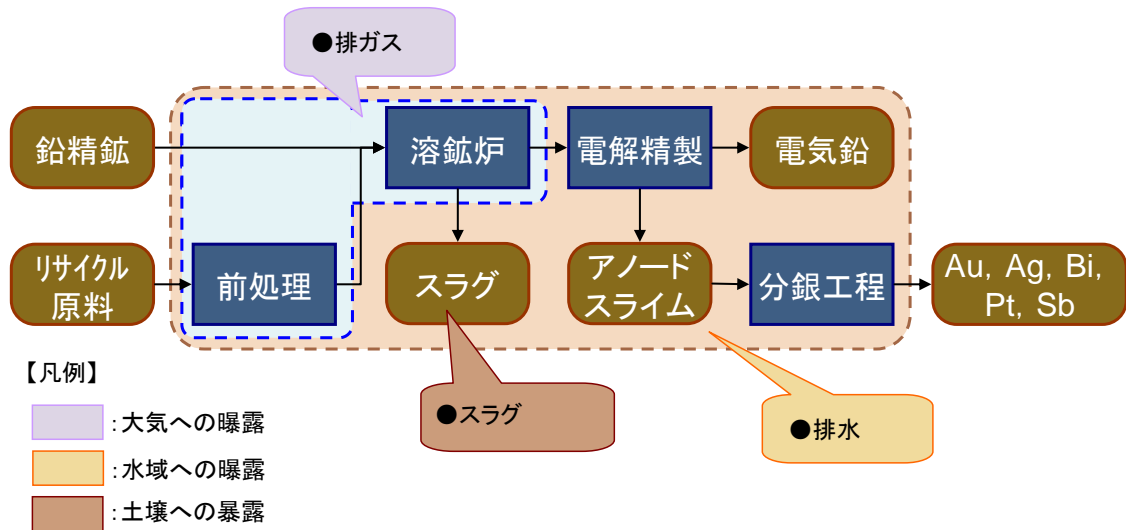


図3 小型家電の金属回収プロセスと曝露経路（鉛製錬）

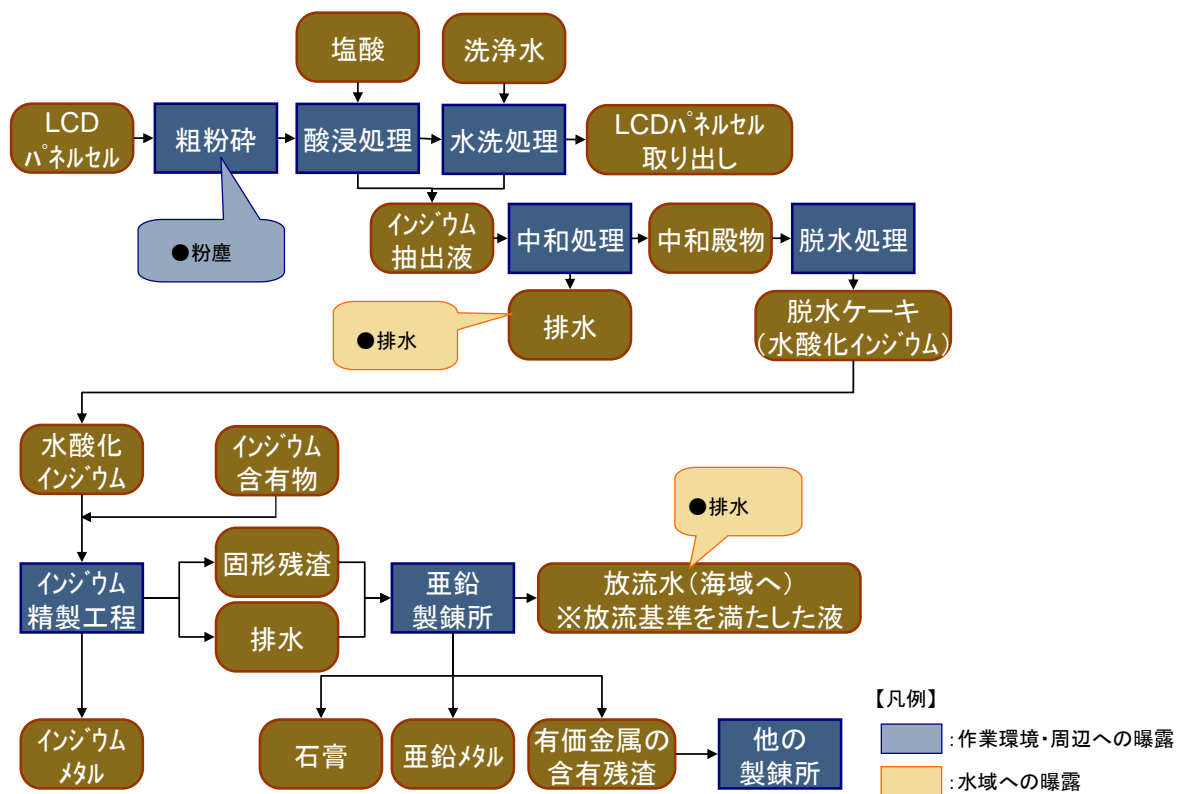
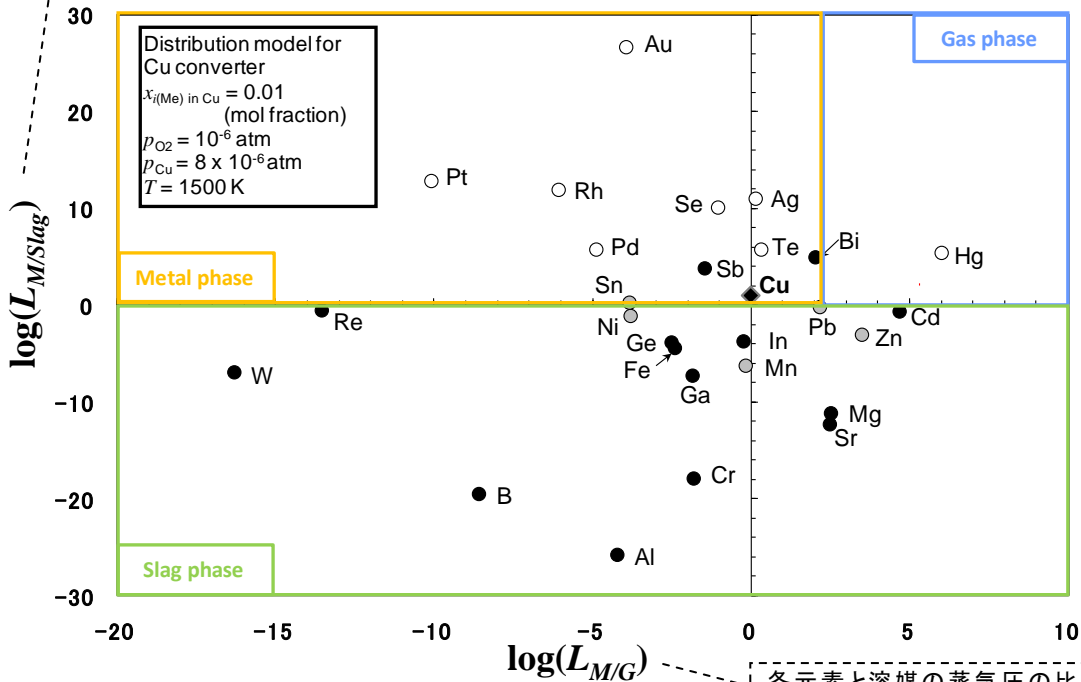


図4 小型家電の金属回収プロセスと曝露経路（インジウム精錬）

レアメタルの回収については、非鉄製錬のプロセスの活用が想定される。非鉄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）については、乾式の製錬プロセス（鉄鋼（転炉、電炉）、銅転炉、鉛溶鉛炉、ISP、アルミニウム再溶解）を対象に、中島らによる熱力学的な解析がなされている。なお、実プロセスでは様々な形式の炉があり、かつ様々な条件下で操業がなされているが、本解析結果は一定の条件下における挙動についてモデル的な解析を行ったものであり、分配挙動の一例であることには留意が必要である。

溶媒とスラグへの元素の熱力学的な分配率(金属相とスラグ相の分配傾向を表す指標として)



各元素と溶媒の蒸気圧の比(金属相とガス相の分配傾向を表す指標として)

図 銅転炉プロセスにおける元素の分配挙動

出典：中島ら「熱力学的解析に基づいた金属の潜在的な資源回収可能性の評価手法」、日本金属学会誌、vol.73、No.10 (2009)

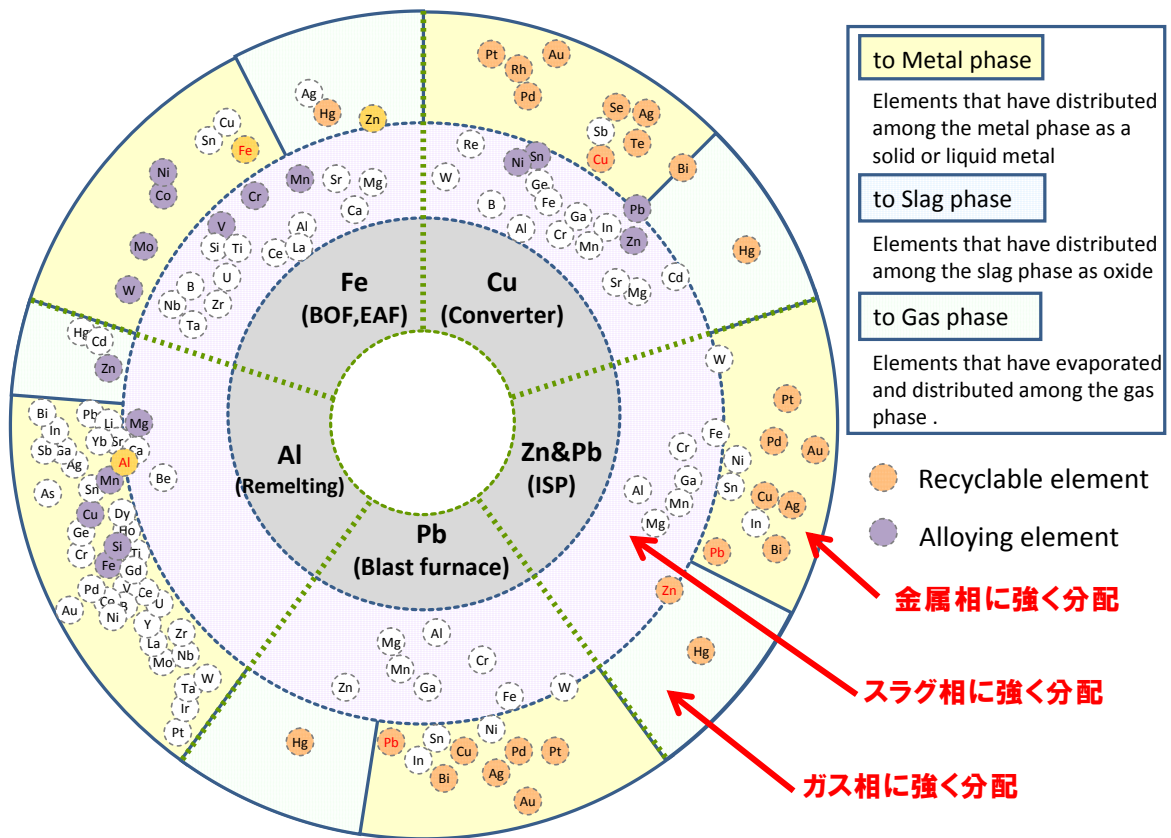


図 非鉄製錬プロセス別の分配状況

出典：K.Nakajima et.al.:Thermodynamic Analysis of Contamination by Alloying Elements in Aluminum Recycling, ENVIRONMENTAL SCIENCE & TECHNOLOGY / VOL. 44, NO. 14, 2010

レアメタル回収において中心的なプロセスとなると考えられる銅製錬、亜鉛・鉛製錬について、同解析結果と、環境管理に注意が必要と考えられる元素との対応関係を見ると以下のとおりとなる。

表 環境管理に注意が必要と考えられる元素の製錬プロセスにおける主な分配傾向

	銅製錬（転炉）	鉛・亜鉛精錬（ISP）	鉛製錬（溶鋳炉）
ベリリウム	—	—	—
クロム	スラグ相	スラグ相	スラグ相
コバルト	—	—	—
ニッケル	スラグ相	金属相	金属相
アンチモン	金属相	—	—
銅	金属相	金属相	金属相
亜鉛	スラグ相	スラグ相 ガス相	スラグ相
砒素	—	—	—
カドミウム	スラグ相	—	—
水銀	ガス相	ガス相	ガス相
鉛	金属相 スラグ相 ガス相	金属相	金属相
臭素	—	—	—
インジウム	スラグ相	金属相	金属相

—：分配傾向が不明の元素

このため、上記のような金属回収プロセスに係る環境管理としては、以下のものが考えられる。

ガス相への移行が想定される物質：適切な排ガス処理及びこれに由来する排水処理

金属相への移行が想定される物質：事前選別や前処理による炉への投入物の管理

スラグ相への移行が想定される物質：事前選別や、溶出量・含有量の管理

また、臭素については、燃焼状態によっては臭素系難燃剤に起因する臭素系ダイオキシン（注）の発生につながる可能性があり、今後の国際的な動向や国内における規制動向に留意が必要である。

（注）現時点において、臭素系ダイオキシン類に関する国際的な毒性評価は定まっていないが、IPCS（国際化学物質安全性計画）の環境保健クライテリアにおいて、塩素化ダイオキシン類同族体に用いられている毒性等価係数（TEF）を、対応する臭素化ダイオキシン類同族体に暫定的に適用することが提案されている。なお、我が国においては、ダイオキシン類対策特別措置法附則第2条において、「政府は、臭素系ダイオキシンにつき、人の健康に対する影響の程度、その発生過程等に関する調査研究を推進し、その結果に基づき、必要な措置を講ずるものとする」と規定されている。

4. 非鉄製錬スラグからの有害物質の溶出に関する既往研究について

非鉄製錬スラグからの有害物質の溶出に関する既往研究についてレビューした結果を以下に示す。いずれの研究においても、非鉄スラグ（主に銅スラグ）及び非鉄スラグ利用製品からの有害物質溶出リスクは小さいという結果となっている。

(1) 実測データに基づく非鉄スラグ製品の主な用途におけるリスク解析

方法	試料	銅スラグ					
	対象重金属	As, Pb					
	非鉄スラグ製品（コンクリート骨材、道路用アスファルト混合剤・路盤材、ケーソン中詰め材、サンドコンパクションパイル材）の暴露シナリオに応じた条件設定により溶出試験を実施し、得られたデータから挙動予測モデルによりリスク解析を実施。						
結果	<ul style="list-style-type: none"> 溶出試験結果は以下のとおり。 非鉄スラグ製品設置場所直下の地下水面(深さ 10m)では、5年経過後まで濃度は上昇し、その後地下水環境基準を下回る濃度が維持される。 スラグとの接触水の海域への放出では、港湾の濃度上昇は極めて低い。 						
	(1) ストックヤード、路盤材、アスファルト混合材、コンクリート骨材						
	LCS	暴露経路	鉛	ヒ素	鉛	ヒ素	
			暴露濃度 ^{a)} (mg/L)		有害性判定値： 地下水環境基準 (mg/L)		
	ストックヤード (製品共通)	製造	スラグ粒子から雨水やその浸透水への溶出	0.007	0.006	0.01	0.01
	路盤材	供用	〃	0.007	0.006	0.01	0.01
	密粒度アスファルト混合材	〃	アスコンから雨水やその浸透水への溶出	<0.001	<0.001	0.01	0.01
	排水性アスファルト混合材	〃	〃	<0.001	<0.001	0.01	0.01
	コンクリート骨材	〃	コンクリートから雨水やその浸透水への溶出	<0.001	<0.001	0.01	0.01
	(2) ケーソン中詰め材、サンドコンパクションパイル材						
	LCS	暴露経路	鉛	ヒ素	鉛	ヒ素	
			港内上昇濃度 (mg/L)		有害性判定値： 水質環境基準 (mg/L)		
	ケーソン中詰め材	製造	スラグ粒子から港内への溶出	0.000052	0.000039	0.01	0.01
		供用	ケーソン表面から港内への溶出 (100年間)	0.00044	0.000051	0.01	0.01
	サンドコンパクションパイル材	製造	スラグ粒子から港内への溶出	0.00021	0.000025	0.01	0.01
	<ul style="list-style-type: none"> 非鉄スラグ製品中の砒素および鉛に起因するリスクは十分低いと考えられる。 						
出典	肴倉（国立環境研究所）他、「非鉄スラグ製品の有効利用に係るリスク解析調査～非鉄スラグの安全性は？～」、鉱山第 665 号、pp24-32、(2008 年)						

(2) スラグの冷却速度と金属元素の溶出量の関係の検討

方法	試料	銅スラグ																																				
	対象重金属	Hg, Cd, Pb, Cr, As, Cu, Zn, Fe																																				
	水砕スラグと空冷スラグについて、溶液の液性ごとの溶出濃度を観察。溶出試験は、環境省告示第13号による。																																					
結果	<p>・ 水砕スラグの溶出試験結果は以下に示すとおり。溶出濃度は環境省による溶出規制濃度を下回り、水質基準未満である。</p> <p style="text-align: center;">表3 水砕スラグの溶出試験結果(単位:mg/l)</p> <table border="1" style="margin: auto;"> <thead> <tr> <th></th> <th>Hg</th> <th>Cd</th> <th>Pb</th> <th>Cr</th> <th>As</th> <th>Cu</th> <th>Zn</th> <th>Fe</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>pH=5</td> <td>ND</td> <td>0.002</td> <td>0.012</td> <td>ND</td> <td>0.011</td> <td>0.26</td> <td>0.12</td> <td>0.13</td> </tr> <tr> <td>pH=7</td> <td>ND</td> <td>ND</td> <td>0.010</td> <td>ND</td> <td>0.008</td> <td>0.20</td> <td>0.11</td> <td>0.12</td> </tr> <tr> <td>pH=9</td> <td>ND</td> <td>0.002</td> <td>0.013</td> <td>0.004</td> <td>0.014</td> <td>0.18</td> <td>0.10</td> <td>0.13</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">[ND] は、不検出であったことを示す。</p> <p>・ 水砕スラグと空冷スラグとを比較すると、銅は空冷より水砕が多く溶出し、溶出濃度は溶液酸性度に比例。亜鉛、鉛で同様。溶出濃度は水砕、空冷共に銅(3ppm)、亜鉛(5ppm)、鉛(1ppm)の水質基準以下。</p> <p>・ 鉄の溶出では、強酸性の溶液で多量の鉄が溶出し、排水基準(10ppm)を上回る。但し、溶出試験の液性の範囲(pH=5~9)では水質基準を下回る。</p> <p>・ 砒素の溶出でも、溶出試験の液性の範囲(pH=5~9)では水質基準(0.05ppm)を下回る。</p> <div style="display: flex; flex-wrap: wrap; justify-content: space-around;"> <div style="width: 30%;"> <p>図9 銅スラグからの銅の溶出濃度</p> </div> <div style="width: 30%;"> <p>図10 銅スラグからの亜鉛の溶出濃度</p> </div> <div style="width: 30%;"> <p>図11 銅スラグからの鉛の溶出濃度</p> </div> <div style="width: 30%;"> <p>図12 銅スラグからの鉄の溶出濃度</p> </div> <div style="width: 30%;"> <p>図13 銅スラグからの砒素の溶出濃度</p> </div> </div>			Hg	Cd	Pb	Cr	As	Cu	Zn	Fe	pH=5	ND	0.002	0.012	ND	0.011	0.26	0.12	0.13	pH=7	ND	ND	0.010	ND	0.008	0.20	0.11	0.12	pH=9	ND	0.002	0.013	0.004	0.014	0.18	0.10	0.13
	Hg	Cd	Pb	Cr	As	Cu	Zn	Fe																														
pH=5	ND	0.002	0.012	ND	0.011	0.26	0.12	0.13																														
pH=7	ND	ND	0.010	ND	0.008	0.20	0.11	0.12																														
pH=9	ND	0.002	0.013	0.004	0.014	0.18	0.10	0.13																														
出典	河原他、「銅スラグの結晶化と金属元素の溶出性」、資源と素材 Vol.109,pp619-623(1993)																																					

(3) 建設資材系再生製品利用場における重金属溶出に環境因子が与える影響の評価

方法	試料	銅スラグ												
	対象重金属	Cr, Cu, Zn, Cd, Pb												
	最大溶出可能量試験(NEN7371 準拠)を実施													
結果	<p>・ 溶出試験結果は以下のとおりであり、溶出量は小さい。</p> <p>表 銅スラグの金属含有量および最大溶出可能量 (単位 mg/kg)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>金属含有量</th> <th>最大溶出可能量</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Pb</td> <td>1021</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>Cu</td> <td>6950</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Zn</td> <td>14889</td> <td>13</td> </tr> </tbody> </table>			金属含有量	最大溶出可能量	Pb	1021	3	Cu	6950	1	Zn	14889	13
	金属含有量	最大溶出可能量												
Pb	1021	3												
Cu	6950	1												
Zn	14889	13												
出典	水林 (東洋エンジニアリング) 他、「再生製品からの重金属溶出に環境因子が与える影響の把握」、廃棄物学会研究発表会講演論文集 (第 18 回), pp 987-989 (2007)													

(4) 道路用骨材への適用性の検討における環境安全性の評価

方法	試料	銅スラグ、フェロニッケルスラグ																																																				
	対象重金属	Cr, Cu, Zn, Cd, Pb																																																				
	<p>含有量試験 (環境省告示第 19 号 JIS K 0058-2 準拠)、溶出量試験 (環境省告示第 18 号 JIS K 0058-1 準拠) を実施。</p> <p>試料は、異なる製造所のスラグ (銅(C1,C2)、フェロニッケル(F1,F2)) を使用。</p> <p>※コンクリート用骨材としては、銅スラグ(JIS A 5011-3)、フェロニッケルスラグ(JIS A 5011-2)共に 1997 年規格化 (2003 年改正)</p>																																																					
結果	<p>・ 土壌汚染対策法で規制対象である有害物質の含有量は、フェロニッケルスラグ (F1,F2) は検出限界未満。銅スラグ (C1,C2) で砒素と鉛が基準値を僅かに上回る。</p> <p>・ 溶出量は、銅、フェロニッケルスラグ共に検出限界未満。</p>																																																					
	<p style="text-align: center;">表-1 含有量試験結果</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">分析項目</th> <th colspan="2">CUS</th> <th colspan="2">FNS</th> <th rowspan="2">基準値</th> </tr> <tr> <th>C1</th> <th>C2</th> <th>F1</th> <th>F2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ヒ素</td> <td>230</td> <td>250</td> <td><15</td> <td><15</td> <td>≤150</td> </tr> <tr> <td>鉛</td> <td>440</td> <td>200</td> <td><15</td> <td><15</td> <td>≤150</td> </tr> <tr> <td>カドミウム</td> <td><15</td> <td><15</td> <td><15</td> <td><15</td> <td>≤150</td> </tr> <tr> <td>セレン</td> <td><15</td> <td><15</td> <td><15</td> <td><15</td> <td>≤150</td> </tr> <tr> <td>ホウ素</td> <td><400</td> <td><400</td> <td><400</td> <td><400</td> <td>≤4000</td> </tr> <tr> <td>フッ素</td> <td><400</td> <td><400</td> <td><400</td> <td><400</td> <td>≤4000</td> </tr> <tr> <td>六価クロム</td> <td><25</td> <td><25</td> <td><25</td> <td><25</td> <td>≤250</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: right;">(mg/kg)</p>		分析項目	CUS		FNS		基準値	C1	C2	F1	F2	ヒ素	230	250	<15	<15	≤150	鉛	440	200	<15	<15	≤150	カドミウム	<15	<15	<15	<15	≤150	セレン	<15	<15	<15	<15	≤150	ホウ素	<400	<400	<400	<400	≤4000	フッ素	<400	<400	<400	<400	≤4000	六価クロム	<25	<25	<25	<25	≤250
分析項目	CUS			FNS		基準値																																																
	C1	C2	F1	F2																																																		
ヒ素	230	250	<15	<15	≤150																																																	
鉛	440	200	<15	<15	≤150																																																	
カドミウム	<15	<15	<15	<15	≤150																																																	
セレン	<15	<15	<15	<15	≤150																																																	
ホウ素	<400	<400	<400	<400	≤4000																																																	
フッ素	<400	<400	<400	<400	≤4000																																																	
六価クロム	<25	<25	<25	<25	≤250																																																	
	<p style="text-align: center;">表-2 溶出量試験結果</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">分析項目</th> <th colspan="2">CUS</th> <th colspan="2">FNS</th> <th rowspan="2">基準値</th> </tr> <tr> <th>C1</th> <th>C2</th> <th>F1</th> <th>F2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ヒ素</td> <td><0.005</td> <td><0.005</td> <td><0.005</td> <td><0.005</td> <td>≤0.01</td> </tr> <tr> <td>鉛</td> <td><0.005</td> <td><0.005</td> <td><0.005</td> <td><0.005</td> <td>≤0.01</td> </tr> <tr> <td>カドミウム</td> <td>0.001</td> <td><0.001</td> <td><0.001</td> <td><0.001</td> <td>≤0.01</td> </tr> <tr> <td>セレン</td> <td><0.002</td> <td><0.002</td> <td><0.002</td> <td><0.002</td> <td>≤0.01</td> </tr> <tr> <td>ホウ素</td> <td><0.1</td> <td><0.1</td> <td><0.1</td> <td><0.1</td> <td>≤1.0</td> </tr> <tr> <td>フッ素</td> <td><0.1</td> <td><0.1</td> <td><0.1</td> <td><0.1</td> <td>≤0.8</td> </tr> <tr> <td>六価クロム</td> <td><0.02</td> <td><0.02</td> <td><0.02</td> <td><0.02</td> <td>≤0.05</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: right;">(mg/L)</p>		分析項目	CUS		FNS		基準値	C1	C2	F1	F2	ヒ素	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	≤0.01	鉛	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	≤0.01	カドミウム	0.001	<0.001	<0.001	<0.001	≤0.01	セレン	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	≤0.01	ホウ素	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	≤1.0	フッ素	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	≤0.8	六価クロム	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	≤0.05
分析項目	CUS			FNS		基準値																																																
	C1	C2	F1	F2																																																		
ヒ素	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	≤0.01																																																	
鉛	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	≤0.01																																																	
カドミウム	0.001	<0.001	<0.001	<0.001	≤0.01																																																	
セレン	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	≤0.01																																																	
ホウ素	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	≤1.0																																																	
フッ素	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	≤0.8																																																	
六価クロム	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	≤0.05																																																	
出典	加納 他「非鉄金属スラグの道路用骨材としての適正に関する研究」、日本鉱業協会非鉄スラグ委員会、(独)土木研究所																																																					

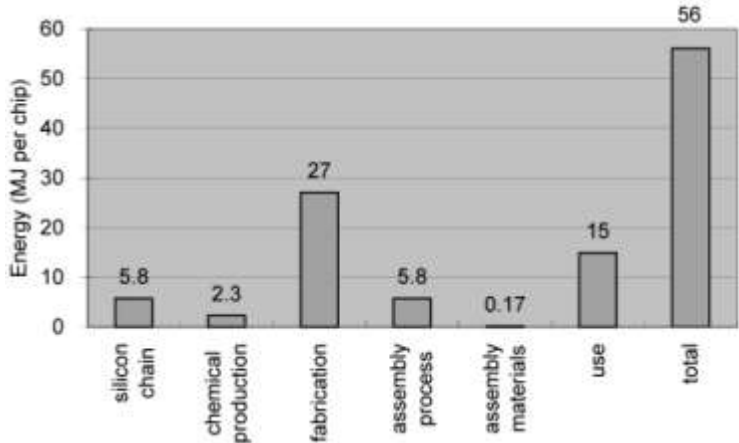
5. 資源採取段階における環境影響等に関する情報について

資源採取段階における環境影響等に関する既往研究についてレビューした結果を以下に示す。

(1) 構成物質の重み付け係数として TMR を利用したリサイクルフロー解析

方法	対象製品	携帯電話
	対象物質	金属、ガラス、プラスチック
	アンケート調査による使用済み携帯電話リサイクルフローの推計、計量・ICP 発光分析・EPMA 分析による携帯電話の組成分析を実施し、得られたデータから TMR に基づくリサイクルフロー解析を実施。	
結果	<ul style="list-style-type: none"> 主な構成物質は、重量ベースでは、プラスチック (69%)、Cu (11%)、ガラス (8%)、Fe (6%) であったが、TMR ベースでは、Au (41%)、Cu (23%)、Pd (19%)、Pt (7%) であった。 リサイクルプロセスにおける重量ベースの物質回収率は約 11% であったが、TMR ベースの物質回収率は約 90% であることが推計された。 	
	<p style="text-align: center;">図 携帯電話の組成</p>	
	<ul style="list-style-type: none"> リサイクルシステムとしての TMR ベースの物質回収率は約 28% に過ぎず、回収システムなどの社会的システムの整備が必要であることが示された。 	
出典	中島 (東北大学大学院) 他、:「関与物質総量 (TMR) に基づく使用済み携帯電話リサイクルフロー」、日本 LCA 学会誌 Vol.2, No.4 (2008)、pp341-346	

(2) ライフサイクル全体での物質・エネルギーの投入量推計

方法	対象製品	半導体デバイス																
	対象とした環境影響	物質、エネルギーの投入量 水、気体（酸素、窒素、アルゴン等）の使用量																
	半導体デバイス製造時のデータより、物質とエネルギーの全投入量、水、気体の使用量を推計。使用時の推計も実施し、ライフサイクル全体で分析。																	
結果	<ul style="list-style-type: none"> シリコンウェハ製造時に使用するエネルギーは、一般的なシリコン製造時に使用するエネルギーの 160 倍にもなる。 2g の DRAM チップの製造・利用段階における化石燃料の全投入量は 1,600g、化学物質の全投入量は 72g である（下図は、製造と利用段階におけるエネルギーの推計結果）。 チップ製造段階における水の使用量は 32,000g、気体（主に窒素）の使用量は 700g である。 																	
	 <table border="1"> <caption>32MB チップの製造時及び使用時のエネルギー消費量</caption> <thead> <tr> <th>段階</th> <th>エネルギー消費量 (MJ per chip)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>silicon chain</td> <td>5.8</td> </tr> <tr> <td>chemical production</td> <td>2.3</td> </tr> <tr> <td>fabrication</td> <td>27</td> </tr> <tr> <td>assembly process</td> <td>5.8</td> </tr> <tr> <td>assembly materials</td> <td>0.17</td> </tr> <tr> <td>use</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>total</td> <td>56</td> </tr> </tbody> </table>		段階	エネルギー消費量 (MJ per chip)	silicon chain	5.8	chemical production	2.3	fabrication	27	assembly process	5.8	assembly materials	0.17	use	15	total	56
段階	エネルギー消費量 (MJ per chip)																	
silicon chain	5.8																	
chemical production	2.3																	
fabrication	27																	
assembly process	5.8																	
assembly materials	0.17																	
use	15																	
total	56																	
出典	ERIC D. WILLIAMS et al. "The 1.7 Kilogram Microchip: Energy and Material Use in the Production of Semiconductor Devices", Environmental Science and Technology, Vol.36, No.26 (2002), pp5504-5510																	

(3) TMR で重み付けを行った関与物質総拡散量の評価

方法	対象製品	家電製品 (冷蔵庫、洗濯機、エアコン、CRT テレビ、液晶テレビ、プラズマテレビ、電子レンジ、掃除機)																														
	対象金属	Au、Ag、B、Ba、Cr、In、Ni、Pb、Sb、Sn、Sr、Ta、Zn、Zr、Fe、Al、Cu																														
家電製品の廃棄台数を推定、製品の組成分析を実施し、国内拡散量を推計。得られた国内拡散量に TMR で重み付けを行い、2005 年～2015 年にかけての関与物質総拡散量を評価。																																
結果	<ul style="list-style-type: none"> 2005 年～2015 年にかけての拡散量の評価では、In、Sn、Ag は増加傾向を示したが、Pb、Sb、Zr、Ba、Sr は減少傾向を示した。 2004 年の国内需要を基準とした拡散量の比率を「国内需要比拡散率」と定義して評価すると、Ba、Sr、Zr は 15～25% と高い値であったが、Ag、B、Cr、Ni、Pb、Zn は 2% 程度の低い値であった（ただし、Ba、Sr、Zr は CRT テレビの需要減少で過大評価されている可能性）。 関与物質総拡散量は、Sr (3,800 万トン)、Ba (1,700 万トン)、Au (1,400 万トン) が高い値を示した。廃家電に含まれる金属のうち、上記 3 元素のリサイクルに取り組むことが課題であることがわかった。 <div data-bbox="544 1055 1161 1619" style="text-align: center;"> <table border="1" style="display: none;"> <caption>各レアメタルの関与物質総拡散量 (推定値)</caption> <thead> <tr> <th>金属</th> <th>拡散量 (トン)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Au</td><td>1.4 × 10⁷</td></tr> <tr><td>Ag</td><td>2.0 × 10⁶</td></tr> <tr><td>Ba</td><td>1.7 × 10⁷</td></tr> <tr><td>B</td><td>6.0 × 10⁵</td></tr> <tr><td>Cr</td><td>1.5 × 10⁶</td></tr> <tr><td>In</td><td>2.5 × 10⁶</td></tr> <tr><td>Ni</td><td>1.8 × 10⁶</td></tr> <tr><td>Pb</td><td>1.2 × 10⁵</td></tr> <tr><td>Sb</td><td>1.0 × 10⁶</td></tr> <tr><td>Sn</td><td>3.0 × 10⁷</td></tr> <tr><td>Sr</td><td>3.8 × 10⁷</td></tr> <tr><td>Ta</td><td>6.0 × 10⁵</td></tr> <tr><td>Zn</td><td>1.5 × 10⁶</td></tr> <tr><td>Zr</td><td>7.0 × 10⁶</td></tr> </tbody> </table> </div>		金属	拡散量 (トン)	Au	1.4 × 10 ⁷	Ag	2.0 × 10 ⁶	Ba	1.7 × 10 ⁷	B	6.0 × 10 ⁵	Cr	1.5 × 10 ⁶	In	2.5 × 10 ⁶	Ni	1.8 × 10 ⁶	Pb	1.2 × 10 ⁵	Sb	1.0 × 10 ⁶	Sn	3.0 × 10 ⁷	Sr	3.8 × 10 ⁷	Ta	6.0 × 10 ⁵	Zn	1.5 × 10 ⁶	Zr	7.0 × 10 ⁶
金属	拡散量 (トン)																															
Au	1.4 × 10 ⁷																															
Ag	2.0 × 10 ⁶																															
Ba	1.7 × 10 ⁷																															
B	6.0 × 10 ⁵																															
Cr	1.5 × 10 ⁶																															
In	2.5 × 10 ⁶																															
Ni	1.8 × 10 ⁶																															
Pb	1.2 × 10 ⁵																															
Sb	1.0 × 10 ⁶																															
Sn	3.0 × 10 ⁷																															
Sr	3.8 × 10 ⁷																															
Ta	6.0 × 10 ⁵																															
Zn	1.5 × 10 ⁶																															
Zr	7.0 × 10 ⁶																															
出典	山末 (京都大学) 他、:「家電製品の廃棄に伴うレアメタルの潜在的拡散量評価」、日本金属学会誌第 72 巻第 8 号、pp587-592																															