

【特集：小型家電と金属資源リサイクル】

小形電池の金属量推定とその廃棄行動に関する研究

浅利 美鈴*・酒井 伸一*

【要旨】 小形電池に着目し、その化学性状および使用・廃棄実態、小型家電製品からの取り外しの実態を把握し、回収・リサイクル検討に向けた基礎的知見を得ることを目的とした。そのために、小形電池の化学性状把握を試みると同時に、小型家電製品中の電池保有や廃棄時の電池取り外しに関する消費者アンケートを行い、これらの結果より、国内における小形電池に含まれる金属量を推定した。

その結果、小形電池にはレアメタルを含むさまざまな物質が含まれることが確認された。また、消費者アンケート調査の結果、小型家電製品および小形電池の保有状況および個数が明らかになったと同時に、廃棄時、7割以上は小形電池を取り外していないこと、小形二次電池の回収・リサイクルに関する法律やシステムの認知度は3~4割であることなどが明らかになった。また、家庭で保有されている小形電池に含まれる金属量を推定すると、たとえばLiは516 ton, Coは3,900 ton, Niは4,700 ton, Cdは1,600 tonとなり、Li, Co, Niは年間国内需要量の1~4割, Cdも同程度にあたり、回収・リサイクルの意義が確認された。

キーワード：小形電池、小型家電製品、回収、レアメタル、アンケート

1. はじめに

近年、さまざまな小型家電製品の利用が広がる中、それらの製品を支える各種小形電池の使用量も年々増加し、使い終わった電池の処分・処理についても、特に海外を中心に問題視されている。EUでは2006年に施行した新電池指令(2006/66/EC)のもと、全種類の電池を対象とした回収・リサイクルが加盟国に義務づけられた。新電池指令ではEU全体での回収・リサイクル目標が定められ、各国が取り組みを進めている。

一方日本では、法的な枠組みとしては資源有効利用促進法により小形二次電池に関して製造者主導のもとでの回収・リサイクルが促されているが、回収率の目標値はない。また、筒型の一次電池(乾電池)やボタン電池については回収を行う法的義務はなく、現在自治体や電池

メーカーの自主的な取り組みに委ねられている。そのような状況下で、回収率は小形二次電池で9%、一次電池で30%、ボタン電池で0.1%、小形電池全体で26%と推定され、欧州の数カ国と比較しても、向上の余地があると考えられる¹⁾。回収率が低い理由としては、小形電池の回収制度やシステムの問題だけでなく、小型家電からの取り外しに関する問題、消費者の情報や認識・理解不足、負担感が背景にあることが示唆されている¹⁾。また、小口ら²⁾が使用済小形電池に含まれる金属類の含有量および埋立潜在溶出量などを調査、実測し、資源消費と水質汚染潜在負荷を評価した結果によると、ニカド電池を回収し、Cdの再資源化を促進するが重要であること、マンガン電池やアルカリ電池についても回収・再資源化の検討が必要であることなどが指摘されている。

本研究の目的は、小形電池の化学性状および使用・廃棄実態、小型家電製品からの取り外し実態を把握し、回収・リサイクル検討に向けた基礎的知見を得ることにあつた。そこで、小形電池の化学性状把握を試みると同時に、小形電池の保有および廃棄、小型家電製品中の電池保有や廃棄時の電池取り外しに関する消費者アンケートを行い、これらの結果より、国内における小形電池に含まれる金属資源量を推定した。

査読付展望論文

原稿受付 2011. 6. 11 原稿受理 2011. 7. 24

* 京都大学環境科学センター

連絡先：〒606-8501 京都市左京区吉田本町

京都大学環境安全保健機構附属環境科学センター 浅利 美鈴

E-mail: misuzuasari@eprc.kyoto-u.ac.jp

2. 電池に関する分析・調査方法

2.1 電池の分析方法

まず、小形電池の化学性状を把握するために、主要な電池について、幅広い金属類の含有量を測定した。表1に試料の概要を示す。物質としては、電池の代表成分や有害性および希少性を持つ金属類、Li、Cr、Mn、Co、Ni、Cu、Y、Zr、Cd、La、Ce、Pr、Nd、Gd、Dy、Au、Pbを対象とした。

試料は、解体後、各部位に分類して重量を測定し、試料を調整した後、電気炉にて灰化し、灰化物に王水を添加して加熱酸分解を行い、ろ過・定容後、ICP-AESまたはMSにより、金属元素の測定を行った。

2.2 電池の重量推定

マンガンおよびアルカリ乾電池については、京都市拠点回収施設等での廃電池サンプル調査結果（平均重量）¹⁾を用いた。コイン型リチウム電池、アルカリボタン電池、PC用Li-ion電池、携帯電話用Li-ion電池については、本研究で分析対象とした電池（表1）の平均重量を求めた。Ni-MH電池、Ni-Cd電池およびLi-ion電池（PCや携帯電話用以外）については、貿易統計において把握できる輸出入の個数と重量から推定した値を重量単位とした。

2.3 小形電池および小形電池内蔵小型家電の家庭内保有や廃棄に関するネットアンケート調査方法

消費者がどのような小型家電製品や小形電池を保有・廃棄しているのか、また、小型家電製品と小形電池の関係がどのようになっているのかを明らかにするために、小形電池単体と小形電池を使用する代表的な小型家電製品を対象に、保有および廃棄に関する消費者の意識や行動を調べた。

表2に本研究で行った調査の概要を示した。11 政令指定都市を中心に、6,500 人を対象に、年齢は20代から60代までを均等になるように、アンケート調査を行った。対象とした小型家電製品は、小形電池を使用する代表的なもの9種類（デジタルカメラ、ビデオカメラ、シェーバー、コードレス掃除機、コードレス子機、コードレス電動工具、携帯電話、タブレット端末、ノートパソコン）とした。対象とした小形電池は、家庭用に販売されている「筒型の一次電池」「ボタン電池」「筒型の二次電池」「二次電池のバッテリーパック」の4種類とし、発電方式や電池サイズの違いは考慮しなかった。また、自動車等に使用される大型の電池、産業用の電池に関しては対象外とした。

表1 分析対象とした小形電池の概要

No.	電池種類	状態	販売元*	電池全体重量 (g)	使用推奨年/ 電池製造年*
W1	マンガン 乾電池	廃製品	A 社	17.2	1988/12/1
W2			A 社	17.1	2009/ 8 /1
W3			B 社	17.8	2012/12/1
W4			C 社	95.9	2011/11/1
W5			D 社	17.9	2010/ 6 /1
W6	アルカリ 乾電池		A 社	22.7	2014/ 3 /1
W7			A 社	23.1	2019/ 9 /1
W8			E 社	22.5	2014/10/1
W9			F 社	24.1	2014/ 5 /1
W10			G 社	22.5	2011/ 9 /1
W11			C 社	22.3	2012/ 9 /1
W12			H 社	22.5	2013/ 6 /1
W13	Ni-MH 電池		B 社	27.9	記載なし
W14			B 社	25.9	
W15			A 社	25.8	
W16	Ni-Cd 電池		I 社	22.0	
W17			A 社	19.6	
W18			A 社	18.6	
W19	コイン型 リチウム電池 (CR2032)		A 社	2.7	
W20			J 社	3.0	
W21			K 社	2.9	
W22	アルカリ ボタン電池 (LR44)		A 社	1.8	
W23			L 社	1.6	
W24			K 社	1.9	
L1	Li-ion 電池 (ノート PC 用)	新品	M 社	45.9	2011
L2			A 社	44.6	2011
L3		廃製品	N 社	44.0	2011
L4			D 社	19.6	2001
LP1	Li-ion 電池 (携帯電話用)	廃製品	B 社	18.8	2001
LP2				18.2	2002
LP3				16.6	2003
LP4				16.6	2006
LP5				17.7	2007
LP6			N 社	16.9	2003
LP7				17.3	2004
LP8				17.6	2005
LP9				18.9	2007
LP10				18.8	2008
LP11			O 社	15.7	2006
LP12				16.6	2007
LP13				19.4	2008
LP14			D 社	16.5	2001
LP15				17.6	2003
LP16				17.4	2004
LP17			P 社	16.5	2001

※ PCおよび携帯電話については、電池ではなくPCおよび携帯電話の販売元

※ Wについては使用推奨年、LおよびLPについては製造年

表3に調査対象とした各自治体における小型家電製品および小形電池の回収分類を示す。小型家電製品については、京都市においては「小型家電製品」として、北九

州市および福岡市においては「小型電子機器」について、分別回収が行われているが、それ以外では、可燃ごみや不燃ごみ、金属として回収・処理されていることがわかる。また、小形電池については、各市によって筒型の一次電池の回収分類は異なり、ボタン電池、筒型の二次電池に関しては、広島市以外は「販売店等での拠点回収」となっていることがわかる。

表2 アンケート調査概要

項 目	概 要
目 的	小形電池内蔵製品および小形電池に関する保有・廃棄状況を把握すること
実施期間	2012年3月13日～3月19日
方 式	インターネットアンケート
回答者年代	20代・30代・40代・50代・60代から均等に
対象地域 および サンプル	計6,500…うち京都市約1,000サンプル、10政令指定都市(札幌、仙台、川崎、横浜、名古屋、大阪、神戸、広島、北九州、福岡)各約500サンプル、その他
設問数	29問
対 象	●デジタルカメラ、ビデオカメラ、シェーバー、コードレス掃除機、コードレス子機(電話)、コードレス電動工具、携帯電話/タブレット端末、ノートパソコン ●電池単体(一次電池、ボタン電池、筒形二次電池、二次電池のバッテリーパック)
設問内容	保有状況や廃棄状況等

2.4 国内の家庭内保有されている小形電池個数の推定

本研究のアンケート結果を用いて、次式により小形電池保有個数を推定した。

$$B_{ij} = S_i \times Sb_{ij} + Ob_{ij} \tag{1}$$

- B_{ij} : 小型家電製品 i (対象製品以外は「それ以外」のグループとする) に用いられる小形電池 (種類 j) の世帯あたり平均保有個数 (個/世帯)
- S_i : 対象とする小型家電製品 i の世帯あたり平均保有台数 (台/世帯)
- Sb_{ij} : 対象とする小型家電製品 i に用いられる小形電池 (種類 j) の一台あたり平均個数 (個/台)
- Ob_{ij} : 単独で保有されている小形電池 (種類 j) や、対象製品以外の製品用の小形電池 (種類 j) の世帯あたり平均保有個数 (個/世帯)

全国合計値は、世帯数³⁾を乗じて求めた。なお、推定には次の仮定等を置いている。

- ・携帯電話、タブレット端末およびノートパソコンについては、1台あたりLi-ion電池が1個使用されている
- ・使用していない対象小型家電製品にも小形電池が含まれている
- ・携帯電話とタブレット端末は同じLi-ion電池である
- ・種類不明の二次電池や二次電池パックについては、

表3 対象自治体における小型家電製品および小形電池の回収分類

	小型家電製品		筒型 一次電池	ボタン型一次電池、 筒型二次電池
	デジタルカメラ、シェーバー等小型家電	携帯電話		
札幌市	「不燃ごみ」で4週に1回ステーション収集	販売店回収を推奨しつつ「不燃ごみ」	分別回収	
仙台市	「可燃ごみ」で週2回ステーション収集 ※サイズが大きいものは「粗大ごみ」	販売店へ	分別回収	
川崎市	「小物金属」の分類で月2回ステーション収集		分別回収	
横浜市	「可燃ごみ」で週2回ステーション収集	販売店へ	分別回収	
名古屋市	「不燃ごみ」で月1回各戸回収	販売店へ（できない場合は不燃ごみ）	不燃ごみ	
	【モデル事業】2009～2010年度に分別回収実施			
京都市	【モデル事業】2009年度より分別回収 ①公共施設等の専用回収ボックス、②イベント時の回収 ※携帯電話については販売店でも良い		拠点回収	
大阪市	「可燃ごみ」で週2回ステーション収集（一部地域では「小物金属」） ※携帯電話については販売店を推奨		拠点回収	
神戸市	「不燃ごみ」で月2回ステーション収集 ※携帯電話については販売店を推奨		不燃ごみ	
北九州市	小型電子機器以外は「可燃ごみ」で週2回ステーション収集 ※携帯電話については小型電子機器回収、販売店を推奨		家庭ごみ （可燃ごみ）	
	【回収実験】2008年度より小型電子機器の分別回収 ◎対象：デジタルカメラ、ビデオカメラ、ポータブルAV機器、小型ゲーム機、 電子手帳類（シェーバー、コードレス掃除機・子機・電動工具は対象外） ◎ホームセンター、スーパー等の回収ボックス			
福岡市	小型電子機器以外は「不燃ごみ」で月1回ステーション収集 ※携帯電話については小型電子機器回収、販売店を推奨		不燃ごみ	
	【回収実験】2010年度より、北九州市と同じ内容で展開			
広島市	「不燃ごみ」で月2回ステーション収集	販売店回収を推奨しつつ「不燃ごみ」	分別回収	有害ごみとして市が回収 （販売店での拠点回収もあり）

※自治体によって、いい方が異なることがあるが、ここでは統一の表現とした

種類のわかっている二次電池の割合と等しく分布していると仮定し、電池パックも電池と同じ扱いとし、結果（表9）において、補正值として示した

2.5 国内の家庭内保有されている小形電池に含まれる金属量の推定

本研究の化学性状分析により把握された小形電池中に含まれる希少/有害金属に着目し、また同じく本研究のアンケート調査より推定した小形電池保有数を用いて、家庭で保有されている小形電池に含まれる金属量を推定した。具体的には、次の式を用いた。各電池種別の重量 Wb_j については、表4の値を用いた。

$$M_{jk} = Db_j \times Cm_{jk} \times Wb_j \times 10^9 \quad (2)$$

M_{jk} : 国内の家庭で保有される小形電池（種類 j ）に用いられる金属 k の量（kg-金属 k ）

Db_j : 国内の家庭で保有されている小形電池（種類 j ）の合計個数（個）

Cm_{jk} : 小形電池（種類 j ）に含まれる金属 k の平均濃度（mg-金属/kg-小形電池）

Wb_j : 小形電池（種類 j ）の重量（g/個）

また、推定にあたっては次の仮定を置いた。

- ・重量が異なる場合でも、同じ電池種では金属の濃度は等しい
- ・ノートパソコンおよび携帯電話以外の Li-ion 電池中の金属は、携帯電話と同じ濃度である
- ・保有している乾電池の種類はマンガン電池：アルカリ＝1：1、ボタン電池はコイン型リチウム電池：アルカリボタン電池＝1：1である
- ・小型シール鉛蓄電池や酸化銀電池等は対象外とする

3. 結果と考察

3.1 小形電池中の金属濃度

小形電池に含まれる金属類の分析結果を表5に示す。これによると、種類ごとにさまざまな有害金属や希少金

属を含んでいる。乾電池については、Mn が16～28%と主要成分となっているが、Ni や Cu、Pb 等も含まれている。Ni-MH 電池は Ni が33～44%と主成分となっているが、Nd を26%、および La を17%含むものがある。また、Co が5%程度含まれているほか、Y、Zr、Ce、Pr、Gd 等も含まれている。Ni-MH には、ミッシュメタル（複数のレアアースが含まれた合金）が用いられていることが知られており⁴⁾、多種のレアアースは、そこに含まれていたものと考えられる。Ni-Cd 電池については、Cd が21～26%、Ni が18%で主要成分となっている。コイン型リチウム電池およびアルカリボタン電池については、Mn が約2割で主要成分であるが、Cr や Ni、Cu も一定量含まれる。

Li-ion 電池については、Co が4～43%、Ni が0.09～25%、Cu が4.7～25%含まれており、Li が1.9～5%であった。Co の含有が注目されているが、メーカーによる違いや経年変化は明確には見られなかった。

なお、表5に、小口らの小形電池実測濃度²⁾およびイギリス環境省が示す小形電池中濃度⁵⁾も示した。レアアース等の値は対象外であったが、主要な金属類に関しては類似した濃度であった。また、パソコン本体や基板中濃度⁶⁾も示したが、それらと比較すると、Co、Ni、Cu、Au、Pb 等において、小形電池中濃度は同程度もしくは高濃度であることがわかる。

3.2 小形電池に関するアンケート調査結果

3.2.1 小型家電製品および小形電池の保有実態

対象とした小型家電製品の保有台数に関する質問の回答結果（平均）を表6に示した。これによると、携帯電話は各世帯に約2台、デジタルカメラ、シェーバー、コードレス子機（電話）、ノートパソコンについては約1台あることがわかる。ビデオカメラの保有は世帯平均0.55台であるが、そのうち使っていないものが0.2台となっている。

対象とした小型家電製品に使用されている電池の個数および種類に関する質問の回答結果を表7に示した。個数については、記入があった人に関する平均である。これによると、どの製品もおおむね約1個の電池を使っていることがわかる。電池の種類については、デジタルカメラおよびビデオカメラについては約6割が Li-ion 電池であるが、シェーバー、コードレス掃除機、コードレス子機（電話）、コードレス電動工具については、Ni-Cd 電池、Ni-MH 電池、Li-ion 電池が1～3割程度ずつ使われており、機種等によって異なる電池が使われていることがわかる。なお、シェーバーやコードレス掃除機の平均電池個数が1個以下となっている。また、電池の種類

表4 金属量推定に用いた電池重量

電池種類	電池全体重量 (g)	出典等
マンガン乾電池	46.6	過去の使用済製品調査結果 ¹⁾
アルカリ乾電池	33.0	過去の使用済製品調査結果 ¹⁾
コイン型リチウム電池	2.9	本研究で分析した製品の平均重量
アルカリボタン電池	1.8	本研究で分析した製品の平均重量
Ni-MH 電池	65.9	貿易統計より算出 ¹⁾
Ni-Cd 電池	47.1	貿易統計より算出 ¹⁾
PC 用 Li-ion 電池	38.5	本研究で分析した製品の平均重量
携帯電話用 Li-ion 電池	17.5	本研究で分析した製品の平均重量
その他の Li-ion 電池	32.2	貿易統計より算出 ¹⁾

表5 小形電池に含まれる金属類濃度 (mg/kg)

試料種別	No.	Li	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Y	Zr	Cd	La	Ce	Pr	Nd	Gd	Dy	Au	Pb
廃電池類	マンガン電池	W1	—	49	170.000	7.0	420	20.000	<1	320	110	<1	<1	<1	<1	<1	<1	510
		W2	—	110	180.000	4.6	15	24	<1	70	1.3	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1,000
		W3	—	110	160.000	5.1	49	42	<1	130	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	700
		W4	—	37	170.000	<1	73	89	2.1	36	1.6	4.6	7.9	1.3	16	<1	<1	560
		W5	—	130	170.000	5.5	68	58	<1	140	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	830
	アルカリ電池	W6	—	97	240.000	5.7	2,200	12,000	<1	64	5.0	<1	3.4	<1	1.7	<1	<1	<1
		W7	—	79	280.000	4.1	1,900	13,000	<1	150	<1	<1	3.3	<1	1.7	<1	<1	<1
		W8	—	26	250.000	4.6	2,100	15,000	<1	83	1.7	<1	1.8	<1	<1	<1	<1	<1
		W9	—	40	260.000	11	3,200	20,000	<1	200	<1	1.2	1.8	<1	<1	<1	<1	<1
		W10	—	26	250.000	5.0	3,700	19,000	<1	140	1.4	<1	2.3	<1	1.0	<1	<1	<1
		W11	—	22	240.000	3.8	2,100	12,000	<1	170	3.3	<1	2.8	<1	1.5	<1	<1	<1
		W12	—	100	250.000	4.6	2,300	13,000	<1	41	<1	16	5.9	<1	3.0	<1	<1	2.3
	Ni-MH電池	W13	—	120	14,000	46,000	420,000	110	2,100	170	1.7	170,000	22,000	3,200	2,800	2,500	5.1	<1
		W14	—	110	420	9,800	440,000	71	4,300	1,100	5.4	200	49	830	260,000	130	130	<1
		W15	—	140	18,000	45,000	330,000	210	3,400	55	8.5	76,000	41,000	10,000	25,000	6,700	26	<1
	Ni-Cd電池	W16	—	140	740	15,000	180,000	37	5	24	260,000	59	50	8.4	45	10	<1	64
		W17	—	150	840	1,800	180,000	66	13	140	250,000	2.5	1.3	<1	2.0	<1	<1	<1
		W18	—	120	730	5,000	180,000	41	<1	250	210,000	3.6	2.5	<1	3.2	<1	<1	27
	コイン型リチウム電池	W19	—	86,000	220,000	97	5,400	430	1.1	220	78	7.4	2.8	<1	2.5	<1	<1	3.2
		W20	—	100,000	200,000	120	5,700	130	<1	110	5.5	<1	<1	<1	9.5	<1	<1	<1
		W21	—	100,000	200,000	840	45,000	1,600	<1	110	1.2	12	7.9	1.6	5.9	<1	<1	1.6
	アルカリボタン電池	W22	—	23,000	200,000	57	32,000	13,000	<1	80	<1	2.4	1.6	1.2	4.2	<1	<1	30
		W23	—	25,000	180,000	290	37,000	31,000	<1	65	8.2	<1	8.4	<1	6.7	<1	<1	46
		W24	—	150	180,000	22	15,000	380	<1	56	4.6	1.2	4.7	15	63	<1	2.7	65
	ノート PC 用 Li-ion 電池	L1	37,000	8.6	140	300,000	2,800	78,000	<1	99	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	14
		L2	36,000	11	70	45,000	250,000	82,000	<1	11	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	34
		L3	34,000	12	72	42,000	240,000	120,000	<1	3.9	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	31
		L4	31,000	2.2	3.0	260,000	880	250,000	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
	携帯電話用 Li-ion 電池	LP1	19,000	8.4	1,200	160,000	27,000	87,000	<1	8.9	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1500
		LP2	50,000	24	4,100	430,000	22,000	230,000	<1	11	<1	<1	<1	<1	<1	<1	5.0	2,300
		LP3	20,000	20	2,000	170,000	30,000	85,000	<1	2.3	<1	<1	<1	<1	<1	<1	52	940
		LP4	25,000	7.3	790	200,000	18,000	120,000	<1	56	<1	<1	<1	<1	<1	<1	87	190
		LP5	31,000	16	570	260,000	8,400	120,000	<1	52	<1	<1	<1	<1	<1	<1	110	120
		LP6	24,000	14	830	200,000	57,000	93,000	<1	3.9	<1	<1	<1	<1	<1	<1	57	410
		LP7	24,000	16	1,500	200,000	11,000	47,000	<1	3.1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	2.8	110
		LP8	27,000	19	720	230,000	23,000	93,000	<1	7.2	<1	<1	<1	<1	<1	<1	5.9	1,300
		LP9	34,000	17	610	280,000	14,000	110,000	<1	83	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1.3	60
		LP10	34,000	9.7	610	270,000	24,000	91,000	<1	41	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1.4	180
		LP11	21,000	8.1	260	180,000	11,000	54,000	<1	8.2	<1	<1	<1	<1	<1	<1	53	41
		LP12	32,000	9.3	740	270,000	9,200	110,000	<1	44	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1.6	23
		LP13	33,000	8.5	940	270,000	15,000	92,000	<1	57	<1	<1	<1	<1	<1	<1	2.3	42
		LP14	23,000	6.0	1,200	190,000	4,000	110,000	<1	11	<1	<1	<1	<1	<1	<1	69	1,500
		LP15	24,000	12	930	190,000	16,000	78,000	2.3	5.7	<1	10	8.6	<1	1.6	<1	57	580
		LP16	25,000	6.0	1,100	200,000	13,000	72,000	2.7	3.6	<1	9.4	5.8	<1	<1	<1	45	890
		LP17	27,000	14	2,100	230,000	14,000	100,000	<1	6.9	<1	<1	<1	<1	<1	<1	120	360
小口らのデータ	マンガン乾電池	0	0	170,000	0	0	0	—	0	0	—	—	—	—	—	—	0	1,000
	アルカリ乾電池	0	0	260,000	0	3,800	57,000	—	0	0	—	—	—	—	—	—	0	0
	Ni-MH 電池	260	0	44,000	11,000	210,000	0	—	0	250,000	—	—	—	—	—	—	0	0
	Ni-Cd 電池	950	0	20,000	36,000	420,000	0	—	0	0	—	—	—	—	—	—	0	0
	Li-ion 電池	17,000	0	3,800	170,000	0	140,000	—	0	0	—	—	—	—	—	—	0	0
Defra データ	マンガン電池	0	—	150,000	0	0	—	—	—	0	—	—	—	—	—	—	—	1,000
	アルカリ電池	0	—	223,000	0	5,000	—	—	—	0	—	—	—	—	—	—	—	0
	酸化銀電池	0	—	20,000	0	20,000	—	—	—	0	—	—	—	—	—	—	—	0
	Ni-Cd 電池	0	—	0	0	220,000	—	—	—	150,000	—	—	—	—	—	—	—	0
	Ni-MH 電池	0	—	10,000	40,000	350,000	—	—	—	0	—	—	—	—	—	—	—	0
PC	Li-ion 電池	30,000	—	0	180,000	0	—	—	—	0	—	—	—	—	—	—	—	0
	デスクトップ本体	0.9	1,700	91	2.6	5,100	29,000	—	12	1.7	12	—	—	2,100	—	—	13	1,800
	デスクトップ基板	9	33	160	25	2,670	159,000	1	110	16	110	—	—	100	—	—	120	15,000
	ノート型基板	8	220	1,300	40	5,300	170,000	1	280	<1	100	—	—	450	—	—	310	8,500

※小口らのデータについては、マンガン電池およびアルカリ電池は、それぞれ3試料（単一・単二・単三）の平均値である

については「その他」の割合も一定量あることがわかる。対象とした小型家電製品への使用以外にも、小形電池
 これらは、アンケート回答者が電池パック等の存在や種類を判断できなかった可能性もあると考えられる。は保有されている。そこで、その保有個数に関する質問
 の回答結果を表8に示す。これによると、一次電池の保

有が最も多く、製品（対象小型家電製品以外）に入れて使用中のものと予備で置いてあるものがそれぞれ約9個、合計約20個となっている。

表6 小型家電製品の平均保有台数（台/世帯）
(n=6,500)

	使用中	使えるが 使っていない	壊れて 使えない	その他	合計
デジタルカメラ	1.21	0.27	0.07	0.01	1.56
ビデオカメラ	0.34	0.15	0.05	0.01	0.55
シェーバー	0.82	0.15	0.05	0.01	1.03
コードレス掃除機	0.25	0.05	0.01	0.00	0.31
コードレス子機（電話）	0.83	0.07	0.03	0.01	0.94
コードレス電動工具	0.25	0.05	0.02	0.01	0.33
携帯電話	1.92	0.19	0.13	0.05	2.29
タブレット端末	0.14	0.01	0.00	0.01	0.16
ノートパソコン	1.19	0.19	0.11	0.01	1.50

3.2.2 家庭で保有される小形電池の推定個数

表6～8に示した結果を用いて、小形電池保有個数を推定した結果を表9に示す。また、小形電池の国内出荷推定量として、国内生産量から輸出量を引き、輸入量を加えた値¹⁾も示した。ただし、この値は家庭のみではなく事業用も含む総合計であること、年間のフロー量であることに注意が必要である。なお、補正値は、研究方法で示したとおり、種類不明の電池を各種類に割りつけた値である。

この結果によると、世帯あたり約40個の電池が保有され、一次電池と二次電池が約1/2ずつであることがわかる。全国合計では約21億個と試算され、これを国内出荷推定量約27億個/年¹⁾と比較すると、若干少ないが同程度の値といえる。他方、電池種別に国内出荷量と比較すると、大きく異なる点が見られる。まず一次電池では、国内出荷量の方が保有量の倍程度と多いが、これは

表7 小型家電製品に使用されている小形電池の個数および種類

	デジタル カメラ	ビデオ カメラ	シェーバー	コードレス 掃除機	コードレス 子機(電話)	コードレス 電動工具
平均電池個数（個／台）	1.46	1.22	0.91	0.88	1.16	1.29
Ni-Cd 電池	16%	16%	25%	26%	30%	34%
Ni-MH 電池	10%	12%	14%	13%	26%	17%
Li-ion 電池	58%	55%	22%	20%	21%	22%
小型シール鉛蓄電池	3%	3%	4%	6%	5%	4%
その他	14%	13%	35%	35%	19%	23%

表8 その他の小形電池の平均保有個数（個／世帯）

平均個数	製品に入れて 使用中	現在入れている 電池との交換用 や、充電中	予備で置いて ある	使用したことが あり使えるが 使っていない	切れて使えな い、消耗して 使えない	その他	合計
一次電池（筒状）	9.11	0.00	8.72	0.79	1.51	0.39	20.5
ボタン電池	2.32	0.00	1.02	0.19	0.28	0.11	3.9
二次電池	2.14	1.61	0.93	0.19	0.11	0.07	5.1
二次電池バッテリーパック	1.31	0.52	0.19	0.10	0.08	0.04	2.2

表9 家庭に保有されている小形電池

	対象小型家電用 （個/世帯）	それ以外 （個/世帯）	合計 （個/世帯）	全国合計 （千個）	【補正値】合計 （個/世帯）	【補正値】全国 合計（千個）	国内出荷量 （千個/年）
一次電池（筒状）	—	20.5	20.5	1,060,000	20.5	1,060,000	2,019,496
ボタン電池	—	3.9	3.9	203,000	3.9	203,000	360,123
二次電池合計（以下内訳）	9.6	7.3	16.9	877,000	16.9	877,000	279,735
Ni-Cd 電池	1.6	—	1.6	82,600	2.8	145,000	45,702
Ni-MH 電池	1.0	—	1.0	54,400	1.8	95,500	147,912
Li-ion 電池	2.8	—	2.8	144,000	4.9	252,000	86,121
PC用 Li-ion 電池	1.5	—	1.5	77,800	2.6	137,000	—
携帯電話等用 Li-ion 電池	2.5	—	2.5	127,000	4.3	223,000	—
小型シール鉛蓄電池	0.3	—	0.26	13,700	0.5	24,100	—
二次電池（種類不明）	—	5.1	5.1	262,000	—	—	—
二次電池バッテリーパック（種類不明）	—	2.2	2.2	116,000	—	—	—
合計	9.6	31.7	41.4	2,140,000	41.4	2,140,000	2,659,354

家庭以外での利用が相当量ある可能性、家庭での利用について消費者が正確に把握できていない可能性等が考えられる。二次電池合計については、保有量の方が3倍程度多いが、これは、二次電池は使用期間や寿命が長いいため過去に販売された製品が保有されていること、製品中に小形電池が内蔵された状態で輸入され国内販売されているものも多い⁷⁾ことが理由として考えられる。

3.2.3 小型家電製品および小形電池の廃棄行動

対象とした小型家電製品の廃棄方法に関する質問の回答結果を図1に示した。これによると、まず、デジタルカメラ、ビデオカメラおよびコードレス電動工具が類似した傾向であり、自治体の不燃ごみ・大型ごみへの排出と、小売店での引き取りが、2～3割ずつで主たるルートとなっている。シェーバー、コードレス掃除機、コードレス子機は、自治体の不燃ごみ・大型ごみ排出の割合が3～4割と大きく上がっているが、シェーバーについては可燃ごみ排出の割合も3割近くあるのが特徴的である。携帯電話、タブレット端末、ノートパソコンについては、小売店での引き取りが3～5割と多くを占めているが、ノートパソコンについては回収業者への引き渡しも2割程度となっている。全製品について、自治体の可燃ごみおよび不燃ごみとして排出されている割合を見ると、シェーバーでは約7割、コードレス掃除機、子機、電動工具で約4～5割、デジタルカメラ、ビデオカメラで約3割、携帯電話やタブレット端末、ノートパソコンで約1～2割となった。

都市（回収方法）の違いによる廃棄行動の違いを見るために、デジタルカメラについて、11政令指定都市の回答者の結果を図2に整理した。都市によっては存在しないルートを選択した回答者も相当数存在するが、不燃

ごみや可燃ごみを指定している都市では、それぞれが最も多くを占める結果となっている。小型家電製品等の分別回収を行っている都市については、北九州市では15%程度、京都市や福岡市では約1割が自治体の小型家電製品等の回収に出したと答えているが、その割合は高くない。現在のところ、取組開始からの年数が短いことや、排出機会が限定されているためと考えられた。

小型家電製品の廃棄時に、電池を取り外したかを尋ねた質問の回答結果を図3に示す。これによると、取り外したとする割合は1～3割程度で、それ以外は、内蔵したままの排出であったことがわかる。この製品別の割合等は、これまでの調査^{1,8)}と同程度であった。取り外さなかった理由としては、「取り外す必要はないと考えた」「取り外すことは考えもしなかった」が大半であり、小型家電製品排出・回収時の小形電池の位置づけを明確にし、周知を図ることが必要と考えられた。国内出荷推定量に対する回収実績値から求めた小形電池の回収率は3割に満たない（小形二次電池で9%、一次電池で30%、ボタン電池で0.1%、小形電池全体で26%）¹⁾が、その一因として、種類によっては7割近い小型家電製品が自治体の可燃ごみや不燃ごみ等に排出されており、また処分される小型家電製品の7割以上が小形電池を内蔵したまま排出されている実態が改めて確認された。既存の小形電池の回収システムを活かして回収率をあげるためには、小型家電製品からの小形電池の取り外しを呼びかけることが必要と考えられた。また、その後のリサイクルフロー等によっては、小型家電製品とあわせて、もしくは連動（回収ボックス等をセットにするなど）させて回収を促進することも有効と考えられる。なお、EUにおいては、WEEE指令（2002/96/EC）のもとで回収された

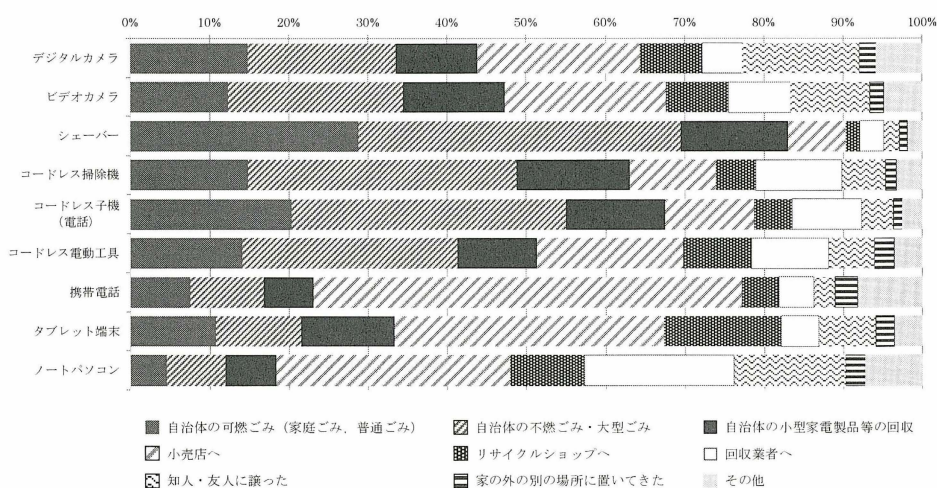


図1 小型家電製品の廃棄方法（過去4年以内に廃棄経験がある人について）

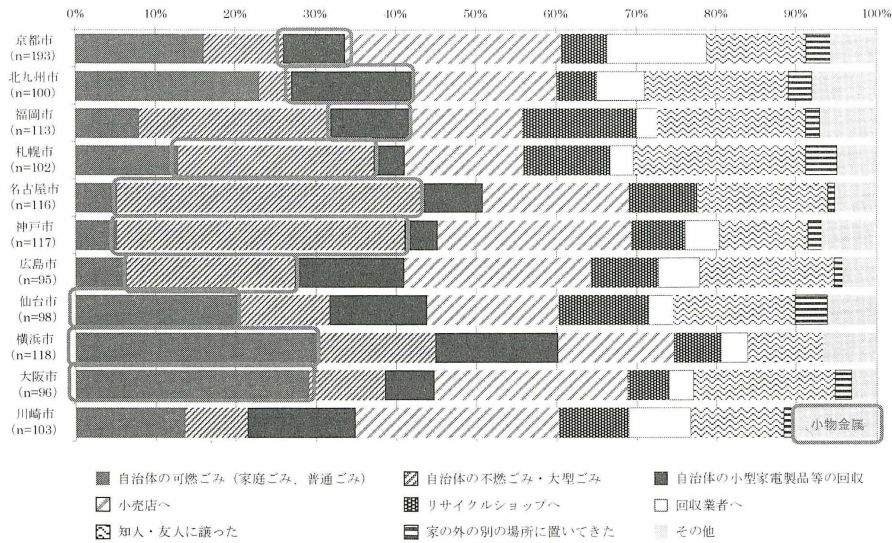


図2 デジタルカメラの廃棄方法

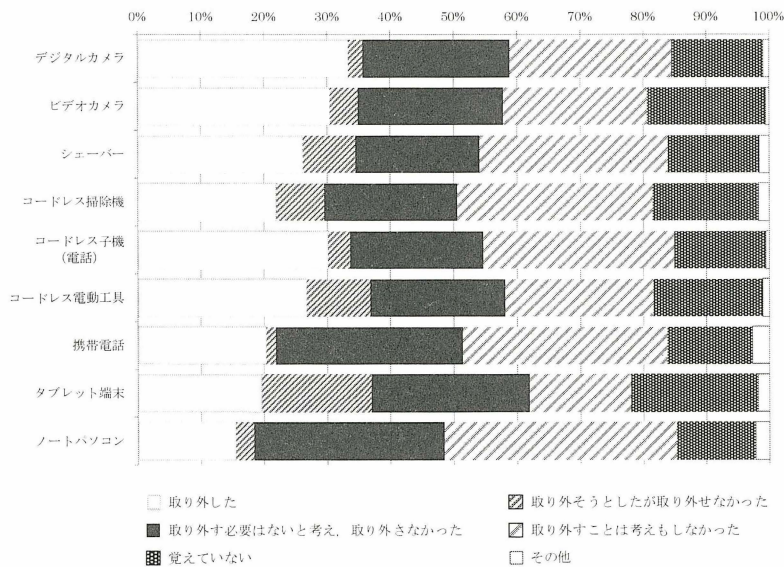


図3 小型家電製品廃棄時の電池取り外し

使用済電子・電気機器製品に内蔵される電池は、機器から取り外された時点で新電池指令の対象となり、電池個別での回収・リサイクルが行われなければならないとされている。

小形電池の廃棄方法に関する質問の回答結果を図4に示した。なお、小型家電製品に内蔵されたまま廃棄される電池はここに含めないこととしている。また、各自治体等における回収方法の違い（特に一次電池）によって、排出ルートが異なることがわかっている¹⁾が、ここでは全体平均を示した。これによると、自治体の可燃

ごみや不燃ごみ・大型ごみとして排出される割合が3～4割強あることがわかった。

3.2.4 小形電池の回収システムやリスクに関する認知や意識

使用済電池の自宅での保管や処分行動について尋ねた質問の回答結果を図5に示す。これによると、使用済になると、少量でもできるだけすぐに処分する人と、ためておいて処分する人とが同程度であることがわかる。また、まとめて処分する際には、分別しながら種類別に処分すると回答した人の割合が多くなった。ただし、ボタ

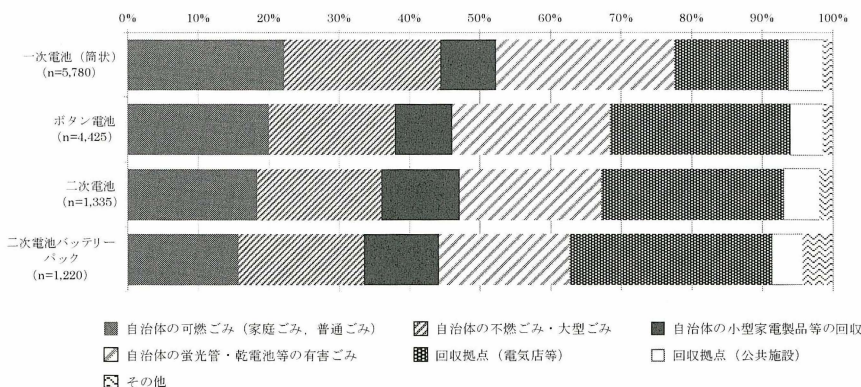
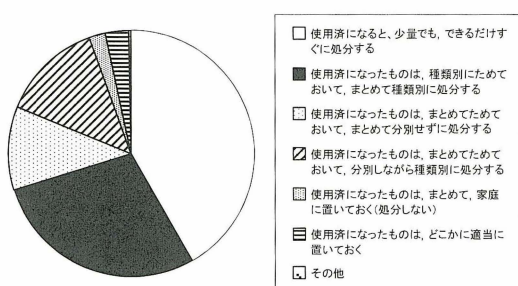


図4 小形電池の廃棄方法（過去4年以内に廃棄経験がある人について）

図5 使用済電池の自宅での保管や処分行動
(n=6,500)

ン電池や小形二次電池については筒型一次電池と同様の捨て方をされる傾向がある¹⁾ことが示唆されており、実際に種類別の処分方法を把握し、実践してもらうためには、そのための周知や誘導策が必要と考えられる。

小形電池に含まれる可能性のあるカドミウムや鉛の存在や有害性（環境負荷）、コバルト等のレアメタルの存在や資源性（希少価値）について、認知や関心に関する質問の回答結果を図6に示す。これによると、希少性より有害性の方が認知は高かったものの、認知度は3割強であること、いずれも7割前後の人は関心をもっていることがわかる。

小形二次電池について、回収・リサイクルに関する法律やシステム（製造業者等による）の存在について認知を尋ねた質問の回答結果を図7に示す。これによると、認知は3～4割となった。

小形電池回収ボックスの写真を示し、1年以内に見かけたことがあるかを尋ねた質問の回答結果を図8に示す。これによると、小形二次電池回収ボックスについては約25%、その他については1割強の人しか見ておらず、どれも見たことがない人が6割以上となっていることがわかる。

回収ボックスの存在認知による廃棄行動への影響を検討するため、図4に示す結果について、各電池の回収

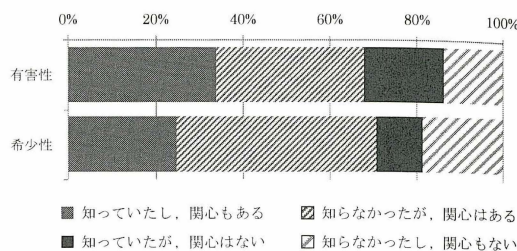


図6 小形電池の有害性や希少性金属に関する認知や関心 (n=6,500)

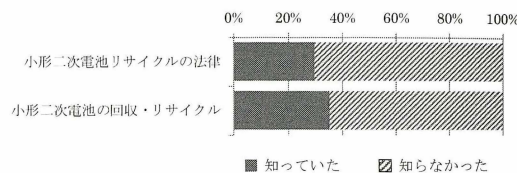
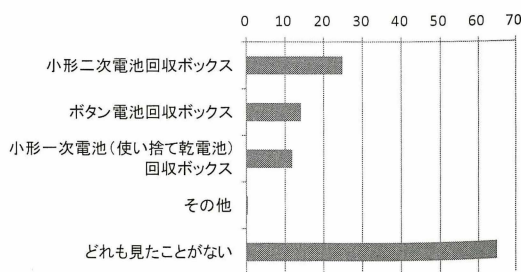
図7 小形二次電池リサイクルの法律、システムの認知
(n=6,500)

図8 各種電池回収ボックスを見かけたことがある人の割合 (%) (n=6,500)

ボックスを見かけたことがある人とない人に分けて整理した結果を図9に示す。これによると、回収ボックスを見たことがある人は4～6割の人が回収拠点に出しており、見たことがない人が2～3割であることに比べて明

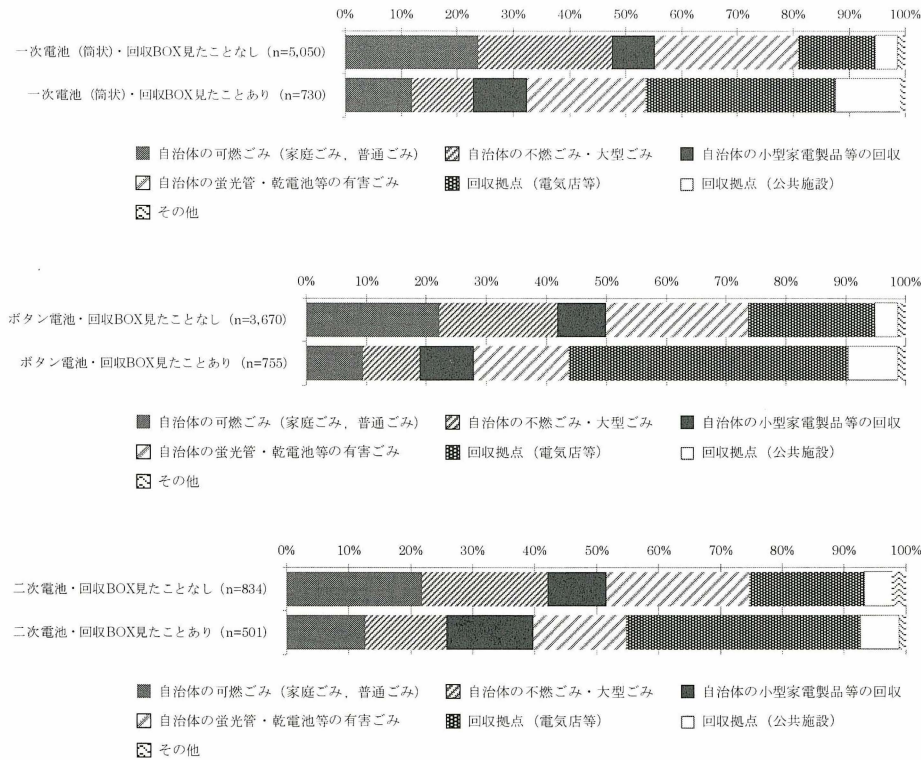


図9 各回収ボックスを見たことがある人となない人における廃棄行動の違い
(二次電池パックも類似した結果のため、ここでは割愛した)

らかに大きな割合となった。これより、回収システムや意義の認知に加えて、回収ボックス等をより目立つ形で配置するなどの工夫が必要と考えられた。

3.3 家庭で保有される小形電池に含まれる金属推定量

表5および表9の結果を用いて推定した家庭で保有される小形電池に含まれる金属量の推定結果を、表10に

示す。これによると、Li、Co、Ni、Cdについては、家庭に保有されている小形電池に寄与するものも相当量となっていることがわかった。具体的な例をあげて現在のフロー量と比較すると、Liについては、2010年の国内需要量は3,000 ton⁴⁾、電池への国内需要量は2,000 ton⁴⁾である。家庭内で小形電池として保有される量（以降、家庭内保有量）は約516 tonと推定され、国内需要量の

表10 家庭で保有されている小形電池に含まれる国内の金属推定量 (kg-各金属)

電池種類	Li	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Y	Zr	Cd	La	Ce	Pr	Nd	Gd	Dy	Au	Pb
マンガン乾電池	0	2,160	4,210,000	110	3,100	100,000	10.4	3,450	560	22.8	39.2	6.44	79.3	0	0	0	17,800
アルカリ乾電池	0	978	4,440,000	97.3	43,900	261,000	0	2,130	28.6	43.1	53.4	0	22.3	0	0	0	5.77
コイン型リチウム電池	0	27,924	60,500	103	5,480	211	0.107	43.0	8.27	1.89	1.04	0.156	1.75	0	0	0.312	0.32
アルカリボタン電池	0	2,920	33,900	22.4	5,090	2,690	0	12.2	0.776	0.218	0.891	0.982	4.48	0	0	0	8.55
Ni-MH 電池	0	777	68,000	212,000	2,500,000	821	20,600	2,780	32.7	517,000	132,000	29,400	604,000	19,600	338	0	61.7
Ni-Cd 電池	0	934	5,260	49,700	1,230,000	328	41.7	943	1,640,000	148	123	19.1	114	22.8	0	0	210
PC 用 Li-ion 電池	182,000	44.5	375	851,000	650,000	697,000	0	150	0	0	0	0	0	0	0	0	104
携帯電話用 Li-ion 電池	109,000	49.4	4,630	902,000	72,600	388,000	1.15	92.9	0	4.45	3.30	0	0.367	0	4.66	309	2,530
その他の Li-ion 電池	226,000	103	9,650	1,880,000	151,000	808,000	2.39	193	0	9.27	6.88	0	0.765	0	9.70	643	5,260
合計	516,000	35,900	8,830,000	3,890,000	4,660,000	2,260,000	20,600	9,790	1,640,000	517,000	133,000	29,500	604,000	19,600	353	952	26,000

2~3割に相当する。Coについては、2010年の国内需要量は12,000 ton¹⁾、うち電池への国内需要量は9,500 ton¹⁾である。家庭内保有量は約3,900 tonと推定され、国内需要量の3~4割に相当する。Niについては、2010年の国内需要量は49,000 ton¹⁾、電池への国内需要量は2,100 ton¹⁾である。家庭内保有量は約4,700 tonと推定され、これはNi国内需要量の1割程度、電池への国内需要量の倍程度となっている。Cdについては、2010年の国内需要量（そのほとんどがNi-Cd電池用）は約1,800 ton¹⁾である。家庭内保有量は約1,600 tonと推定され、国内需要量と同程度の値となっている。Auについては、2010年の国内需要量は約120 ton¹⁾である。家庭内保有量は0.95 tonと推定され、国内需要量の1%弱、うち電気機器等への需要60 tonの1%強の値となっている。

その他のレアアースについて、2010年国内需要量¹⁾に対する本推定量の関係は、Yは1,500 tonに対して21 ton、Zrは21,000 tonに対して9.8 ton、Laは3,850 tonに対して520 ton、Ceは11,500 tonに対して130 ton、Ndは5,500 tonに対して600 tonとなった。

本研究では、家庭内ストック量と年間需要量の比較によりポテンシャルの大きさをイメージしているが、各機器の寿命分布を考慮した、より詳細なフロー分析を行わねばならないことはいうまでもない。加えて、家庭で保有されている小形電池のみを対象としたが、それ以外の用途も含めると、さらに多くの金属が小形電池に含まれて存在している。その中には、希少金属や有害金属も相当量含まれることがわかり、これらの回収・リサイクルの促進策を検討することは重要と考えられる。

3.4 小形電池の回収リサイクルに向けた今後の課題

これらの結果を受けて、小形電池の回収リサイクル促進を検討する意義が、有害性および希少性のある金属の存在から確認されたが、同時に、小型家電の流通・使用や廃棄と強く関係していることから、小型家電回収リサイクルのデザインとあわせて検討する必要があると考えられた。

EUでは、WEEE指令においても、有害物質を含む部品や基板等とともに、電池類については、取り外して適切な回収・リサイクルを行う品目にあげられており、新電池指令を含めて、次のように明記されている。

- ・WEEE指令のもとで廃電気電子機器とともに集められた電池についても、取外した後、新電池指令のもとでリサイクルを行わなければならないこと
- ・原則として、電池および蓄電池は容易にかつ安全に取り外しできなくてはならないこと

この背景としては、電池およびWEEEの両制度とも、

生産者責任をベースとした回収リサイクルシステムとなっており、責任主体や負担を明確にして運用するためには必然的な整理であると考えられる。ただし、消費者に対して製品からの取り外しをどの程度周知しているか、実際に回収されたもののうち、WEEE指令で回収されたものに由来する電池がどの程度かといった実態面の情報は得られず、今後、調査が必要な点と考えられた。

他方、日本において検討されている小型家電製品のリサイクルシステムは、生産者責任がベースとなったものではなく、また、小形電池についても現状では自主的な取り組みを促す制度である。小型家電製品と一体的に回収リサイクルを行う側面はあるが、その有効性に関して技術や資源回収の側面からの検証が必要となる。その検証や議論に要する時間にもよるが、現時点のシステムにおいては、小型家電製品の処分時には、小形電池を取り外し、小形電池回収へ排出することを消費者に周知させること、小型家電回収時に内蔵されている小形電池の位置づけ（取り外しの必要性や処理責任）を明らかにすることが重要と考えられた。

4. おわりに

今回の調査により、次のことが明らかになった。

- 1) 小形電池には、種類ごとにさまざまな希少金属や有害金属が含まれることがわかった。特にNi-MH電池はNiが33~44%と主成分となっているが、Ndを26%、およびLaを17%含むものがあつた。また、Coが5%程度含まれているほか、ミッシュメタルに由来すると考えられるY、Zr、Ce、Pr、Gd等も含まれていた。
- 2) 小形電池等に関するアンケートの結果、主要小型家電製品とそこに使われる電池種の把握を試みた。その結果を用いて、家庭で保有されている小形電池の個数を推定した結果、世帯あたり約40個の電池が保有され、一次電池と二次電池が半分ずつ程度であることがわかった。
- 3) 小型家電製品の廃棄行動については、自治体の可燃ごみおよび不燃ごみとして排出されている割合を見ると、シェーバーでは約7割、コードレス掃除機、子機、電動工具で約4~5割、デジタルカメラ、ビデオカメラで約3割となった。さらに、廃棄時の小形電池の取り外しについては、1~3割の人しか行っていないことがわかり、小形電池回収における課題であることが改めて確認された。
- 4) 小形二次電池の回収リサイクルに関する法律やシステムの認知度は3~4割、小形電池回収ボックス

スを見たことがある人は1~3割弱となり、小形電池を取り外して処分している人のうち拠点回収に出している人は2~4割となった。回収ボックスを見たことがある場合、4~6割の人が使用済小形電池の拠点回収に協力していることも明らかとなり、回収システムの周知や回収拠点の明示が重要と考えられた。

- 5) 家庭で保有されている小形電池に含まれる金属量を推定すると、Li, Co, Niは年間国内需要量の1~4割、Cdは同程度にあたり、その他に含まれる幅広いレアメタルの存在も含め、回収・リサイクル促進を検討する意義が確認された。

今回の結果を受けて、小形電池の回収リサイクル促進を検討する意義が、有害性および希少性のある金属の存在から確認されたが、同時に、小型家電の流通・使用や廃棄と強く関係していることから、小型家電回収リサイクルのデザインとあわせて検討する必要があると考えられた。

参考文献

- 1) 浅利美鈴, 丸川 純, 酒井伸一: 廃電池の排出動態とリサイクルの現状分析, 廃棄物資源循環学会誌, 第22巻, 第6号, pp.412-425 (2011)
- 2) 小口正弘, 田崎智宏, 亀屋隆志, 浦野紘平: 使用済み小形電池に含まれる金属類の回収・再資源化対策検討のための資源消費と水質汚染潜在負荷の評価, 環境科学会誌, 第17巻, 第6号, pp.419-429 (2004)
- 3) 総務省統計局
http://www.stat.go.jp/data/nihon/02.htm
(閲覧日 2012年3月1日)
- 4) 御石油天然ガス・金属鉱物資源機構: 鉱物資源マテリアルフロー 2011
http://mric.jogmec.go.jp/index.html
(閲覧日 2012年5月30日)
- 5) Defra (Department for Environment Food and Rural Affairs): Battery Waste Management Lifecycle Assessment (2006)
- 6) 貴田晶子, 白波瀬朋子, 川口光夫: 使用済みパソコン中のレアメタル等の存在量と金属分析, 廃棄物資源循環学会誌, 第20巻, 第2号, pp.59-69 (2009)
- 7) M. Asari and S. Sakai: Consumer Perspectives on Household Hazardous Waste Management in Japan, Journal of Material Cycles and Waste Management, Vol. 13, No. 1, pp.10-24 (2011)
- 8) 環境省: 平成19年度リサイクル制度の体系化・高度化推進検討調査報告書 (2007)
- 1) 浅利美鈴, 丸川 純, 酒井伸一: 廃電池の排出動態とリサイクルの現状分析, 廃棄物資源循環学会誌, 第22巻,

Presumption of Metal Amount and Waste Behaviors of Used Small Batteries in Japan

Misuzu Asari* and Shin-ichi Sakai*

* Kyoto University Environment Preservation Research Center

* Correspondence should be addressed to Misuzu Asari :
Kyoto University Environment Preservation Research Center
(Yoshida-honmachi, Sakyo-ku, Kyoto 606-8501 Japan)

Abstract

The objective of this study was to acquire fundamental knowledge to be incorporated in the establishment of an environmentally friendly system for collecting and recycling small batteries in Japan. We conducted both a chemical analysis of small batteries, as well as a consumer questionnaire on usage of small batteries in home electric appliances and behavior surrounding battery disposal. Using the results, we estimated the amount of metals found in these small, domestic-use batteries.

We concluded that various metals, including rare metals, are contained in the small batteries. As a result of the consumer questionnaire, it became clear that 70% or more of the small batteries are not being removed when small home electric appliances are finally disposed of. The survey also revealed that recognition of the law and system for collection and recycling of small rechargeable batteries is approximately 30-40%. Moreover, when the amount of metal contained in home-use small batteries was estimated, amounts were equivalent to 10-40% that of the annual domestic demands for lithium, cobalt, and nickel; and home-use cadmium is comparable to the annual demand. This study clearly shows the importance of establishing proper collection and recycling systems to recover these resources.

Keywords : small battery, small electric appliances, collection, rare metal, questionnaire