日本金属学会誌 第71巻 第9号(2007)801–808

携帯電話に含有される微量有害物質のサブスタンス・フロー分析

中野加都子[1,2]　宮部修一[3,*]　尾崎　平[3]
和田安彦[3]　中島謙一[4]　長坂徹也[4]

[1]関西大学先端科学技術推進機構
[2]神戸山手大学人文学部環境文化学科
[3]関西大学大学院工学研究科
[4]東北大学大学院環境科学研究科

J. Japan Inst. Metals, Vol. 71, No. 9 (2007), pp. 801–808
© 2007 The Japan Institute of Metals

Substance Flow Analysis on Diffused Toxics Contained in End-of-Life Cellular Phone

Kazuko Nakano[1,2], Shuichi Miyabe[3,*], Taira Ozaki[3],
Yasuhiko Wada[3], Kenichi Nakajima[4] and Tetsuya Nagasaka[4]

[1]*Organization for Research and Development of Innovative Science and Technology (ORDIST), Kansai University, Suita 564–8680*
[2]*Dept. for Environment and Culture, Faculty of Humanities, Kobe–Yamate University, Kobe 650–0004*
[3]*Graduate School of Engineering, Kansai University, Suita 564–8680*
[4]*Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University, Sendai 980–8579*

Various low-toxicity substances are contained in the high functional electronic products in recent years. Although there is a little quantity of low-toxicity substances in each electronic product, total amount of them has been increasing by the mass production of electronic products. This means they tends to diffuse into environment and it also results in the loss of valuable metals.

In this work, a substance flow analysis (SFA) on low-toxicity substances in used cellular phones as a typical example of high functional electronic commodity was carried out based on the actual condition of disposal which was acquired by the questionnaire applied to users and composition of cellular phone analyzed by ICP and EPMA. The amount of some scattered low-toxicity substances has been estimated. It was pointed out that establishment of the recycling system of cellular phones including used ones stored by users is very important in the view point of the avoidance of low-toxicity substance diffusion and recovery of valuable elements.

(Received February 9, 2007; Accepted June 27, 2007)

Keywords: *cellular phone, toxics, substance flow analysis (SFA), diffused substances, storage of used cellular phone*

1. 緒　　言

私たちの生活空間には様々な過程を経て環境中に排出される有害な物質が存在し，人の健康や生態系に悪影響を及ぼしている．日常的に使用する製品にも微量な有害物質が使われていることがあり，使用済み後に適正に回収，処理されない場合にはそれらの拡散につながることがある．

特に，近年の利便性の高い電気電子製品に含まれる微量有害物質は，個々の製品当たりの含有量は微量であっても生産台数の急増により全体としての使用量は無視できないレベルであることが予想され，使用済み後にマテリアルフロー上で不明確となる量が多い分だけ環境へ散逸拡散する恐れが払拭できない．

急激に機能が向上しつつある電気電子製品の中でも，家電4品目(ブラウン管テレビ，冷蔵庫，洗濯機，エアコン)およびパソコンとディスプレイについては，既に家電リサイクル法，および資源有効利用促進法によって回収，リサイクルが生産者に義務付けられている．家電リサイクル法では今後，液晶テレビ，電子レンジ，衣類乾燥機等にも対象範囲が拡大されることが検討されている．しかし，普及が急激に拡大している携帯電話については，通信事業各社，業界が主体となったリサイクルシステムが構築されているものの，法的な回収は義務づけられていない．同時に，使用済み携帯電話の回収がユーザーの意思に任されていること，保存されているアドレス，メール，写真等のデータ利用や個人情報の流出防止等のために使用済みとなった後でも退蔵されることが多いことから，使用済み携帯電話に含まれる物質フローを把握することは困難な状況にある．物質フロー管理が不明確であることは，含有微量有害物質も使用済み後に行方不明となり，拡散につながる可能性が高く，将来にわたって人の健康や生態系に悪影響を及ぼすことにもなりかねない．

* 関西大学大学院生(Graduate Student, Kansai University)

本研究は，近年普及が著しく，法的な回収義務が課せられていない携帯電話を対象に，製品中に含まれる微量有害物質の種類と量を独自に分析した．同時に，ユーザーの使用済み携帯電話の処理実態を詳細に分析するためのアンケート調査を実施した．それらによって携帯電話に含有される微量有害物質のサブスタンス・フロー分析(SFA: Substance Flow Analysis)を行い，使用済み後にマテリアルフロー上で行方不明となり拡散につながる可能性が否定できない微量有害物質の種類と量を推定した．また，回収体制が現状のままである場合，今後それらの物質の排出が時間的にどのような経過をたどるかを，ひとつのケーススタディとして予測した．

2. マテリアル・フロー分析とサブスタンス・フロー分析

資源制約型社会の到来が予想される中，資源の消費と需要の構造，および国際的な物質バランスを定量化するために，物質フロー管理が必要不可欠な情報の一つとなっている．物質フローの管理のために注目されているのがマテリアルフローアカウンティング(Material Flow Accounting)であり，その分析手法が MFA(Material Flow Analysis)である．マテリアルフローアカウンティングとは，ある特定の対象範囲(国，地域，産業など)の物質収支を定量化し，環境負荷や資源消費を体系的に把握することで環境・資源効率を改善しようという調査であり，90 年代後半から欧州を中心に盛んに行われるようになっているものである[1]．

サブスタンス・フロー分析(SFA)もこうした物質循環分析手法の一つであるが，MFA ではマクロな資源や製品，および一般的な材料が対象とされるのに対し，SFA ではそれらに含まれる化学物質や重金属など，主として有害物質の管理・適正処理の観点から重要となる物質を対象とするものである．

既に循環型社会構築に向けた各種法律が施行され，主要な物質の回収が行われるようになっているものの，微量物質については経済的，技術的または回収システムが未整備なために回収されていないことが多い．しかし，近年の高度な電気電子製品には微量物質の中でも有害性のあるものが使われていることがある．物質フロー管理を行っていく上で SFA が重要なのは，物質フロー全体としての適正な管理・処理に向けた対策を促進するために，微量有害物質の収支を明らかにし，行き先を確認できるようにしておく必要があるからである．

有害物質のフローを生産段階で管理し得るシステムを構築することの重要性については，日本でも 1999 年に，「特定化学物質の環境への排出量の把握等および管理の改善の促進に関する法律」[2]により，PRTR(Pollutant Release and Transfer Register：特定化学物質排出移動量届出制度)が制度化されたことからもわかるように，社会的な取り組みが既にはじめられている．有害物質のフローを管理し得るようにするためには，製造時だけでなく，個々の製品の使用済み後のフローを明らかにした SFA を行う必要がある．

3. 使用済み携帯電話の現状

3.1 生産台数と使用済み製品の特徴

情報通信ネットワーク産業協会のデータ[3]によると，2004 年度の携帯電話国内投入台数は約 4,477 万台(国内生産台数＋輸入台数－輸出台数)である．また，同データを用いて筆者らが携帯電話発売当初から 2004 年度末までに国内に投入されたすべての台数を推定した結果は約 3 億 9,496 万台(PHS を含む)である．

携帯電話の他の電気電子製品と異なる特徴は，一般的に 1 台当たりの使用期間が短いことである．2001 年までの平均では，約 550 日でユーザーは端末を買い換えていると推定されており[4]，買い換えのために不用となった携帯電話端末は年間約 5,000 万台と推測されている[5]．しかし，資源有効利用促進法および家電リサイクル法の指定製品となっていないため，現状では経済産業省の産業構造審議会による「廃棄物処理・リサイクルガイドライン」を自主的に制定することが求められているものの法的な回収義務はない．

また，1 台当たり使用期間が短いことと並ぶ携帯電話の特徴は，電話としての本来の通信機能だけでなく，①アドレス帳，写真等のデータのバックアップ，②蓄積されている情報の思い出として保存，③カメラ・ゲーム・目覚ましなど付帯機能の利用，④個人情報の流出の防止，⑤愛着，およびスペースをとらないために目的はないが何となく保管されやすい，等の理由により退蔵されやすいことである．なお，ここで退蔵とは通信手段としての機能を使わず，使用済みとなった後もユーザー等の手元に保管されている状態を指す．

3.2 物質フロー上の問題

携帯電話の回収システムは，既に通信事業者等の協力によって構築されているが，回収率(回収台数/(各メーカーからの出荷台数－携帯電話・PHS 加入純増数))は，2003 年度で 24％，2004 年度で 21％と低い状態である[6]．また，携帯電話に金，銀，パラジウム等の微量貴金属が含まれていることは一般的に知られている．有価であるこれらの回収と元の物質としての再資源化の必要性も既に認識され，技術的に高い回収実績がある[7,8]．

一方，携帯電話本体に含まれる微量有害物質についてはその実態がほとんど把握されておらず，一般的には有害物質の管理を目的とした回収の必要性も認識されていない．製品中の微量有害物質の含有量は 1 台当たりでは微量であるため，直ちに環境に悪影響を与えることはない．しかし，既に述べた携帯電話の特徴により，使用済み製品の物質フロー上，他の電気電子製品のリサイクル，処理処分とは異なる特有の問題を引き起こす可能性がある．即ち，a. ユーザーの意思により積極的に退蔵されているケースが多いことから，使用済み携帯電話の排出時期，量，場所を予測しにくい，b. 機能向上のスピードアップ，多機能化の進展によって買い換え頻度が増している，c. 小型であるために販売店等を通じた回収以外の排出(自治体の可燃・不燃ごみ等への混入)が行われやすい，等のことから長期間中に管理されずにマテリアルフロー上で行方不明となる物質が増加し，拡散量の増加に

つながることである．

4. 本研究における調査・分析の実施内容

4.1 調査・分析目的

携帯電話を対象に，含有微量有害物質に注目したSFAを行い，微量有害物質の収支を予測し，使用済み後に行方不明となり拡散につながる可能性が高い微量有害物質の種類と量を推定する．また，回収体制が現状のままである場合，今後それらの物質の排出が時間的にどのような経過をたどるかを予測する．

4.2 方　法

4.2.1 微量有害物質量の分析

本研究では，携帯電話に含有される微量有害物質の対象として，PRTRの第1種指定物質に該当するBa, Cr, Pb, Niの4種を取り上げ，これら各元素含有量の定量を本研究において独自に行った．第1種指定化学物質は，①人の健康を損なう恐れ(吸入慢性毒性，経口慢性毒性，発ガン性，変異原性，生殖/発生毒性，感作性)，または動植物の生息もしくは生育の支障を及ぼす恐れがある，②自然作用による化学的変化により容易に生成する化学物質が①に該当するもの，③オゾン層を破壊し，太陽紫外線の地表に到達する量を増加させることにより人の健康を損なう恐れがあるもの，に該当し，かつその物理的化学性状，その製造，輸入，使用または生成状況から見て，相当広範な地域の環境においてその化学物質が継続して存すると認められる化学物質である．各物質量は，試料別に携帯電話部品の構成要素に分け，ステンレス製リード線など，組成が明らかなものは部品を電子天秤で計量することにより存在量を求めた．また，微量有害物質は主として基板に含まれていると考えられるため，ここでは基板中に含まれる各対象物質量を王水による浸出液のICP分析および構成微小部品代表断面のEPMA分析により定量した．携帯電話を分解して取り出した基板をハンドミルで2～3 mm角程度のチップに粉砕し，プラスチック類を選別，除外した．引き続き，金属分に富んだ残分を秤量し，約60℃に加熱された王水中にて24時間溶出処理を施した後，その濾液をICP分析に供した．溶出試験後残渣には金属分は認められなかったが，この処理は更にもう一度繰り返した．分析は同一機種2台について行った．本研究の対象物質であるBa, Cr, Pb, Niは第1段目の処理でほぼ全量抽出できたとみなせた[8]．これらの分析結果を組み合わせると同時にクロスチェックを行うことにより，携帯電話中のBa, Cr, Pb, Niの存在量を得た．

4.2.2 ユーザーへのアンケート調査

携帯電話・PHSにおけるリサイクルの取り組み状況については，電気通信事業者協会・情報通信ネットワーク産業協会による調査結果[6]が報告され，利用者を対象にしたアンケート調査結果[9]も公表されている．しかし，アンケート調査結果[9]が一部の人数を基本としたものになっていることもあり，それらから使用済みとなった携帯電話の台数を基本とした詳しい内訳は得られない．そこで，筆者ら(関西大学，東北大学，名古屋大学)は，独自に使用済み携帯電話に関する台数ベースの処理実態を詳細に調べるためのアンケート調査を実施した(実施期間：2005年8月～10月)．調査項目は，①携帯電話の所有の有無，②所有時期・機種・機種選択の理由，③使用済み後の処理状況，④退蔵理由，⑤退蔵携帯電話の処理機会・方法，(6)回収方法別の協力度，(7)買い取り制度実施の場合の価格である．特に現在所有する携帯電話だけでなく，これまでに所有した携帯電話を過去最高5台前にさかのぼって，それぞれすべてについてa. 機種分類，b. 契約会社，c. 契約方法，d. 保管・処理方法まで詳しく回答を求めた．本論文ではこのうち関連する項目のみを用いる．

なお，後述するように回答者の大部分が学生であることから，本アンケート結果が我が国全体の傾向を表すものであるとは考えていない．しかしながら使用済み携帯電話に関する統計データが極めて不足していることから，後に示す有害元素の拡散ポテンシャルについて可能な限り代表例を示すケーススタディを行うために，そのベースデータとするためのアンケートを実施した．今後，業界等による大規模な年代層別アンケート調査の実施を期待するものである．

4.3 携帯電話の分類と対象とした微量有害物質および範囲

携帯電話は，それらに含まれる物質は製品機能によって異なるため，含有物質も機能別に推定する必要がある．一般的に携帯電話は第1世代(アナログ方式)，第2世代(デジタル方式)，第3世代(高速データ通信可能，モバイルマルチメディア)と分類されるため，世代別に検討することが妥当である．しかし，PHSは第2世代と位置づけられているが，生産台数の統計資料等においては携帯電話の分類が「PHS」と「PHS以外」と扱われていることから，本研究においては携帯電話を，type 1：PHSのみ，type 3：第3世代の携帯電話とし，それ以外の携帯電話をtype 2と分類した．

仕様が多種多様にわたり，個々の使用台数に大きな差があると思われる携帯電話において，全ての機種を分析することは現実的ではない．そのため，本研究では各タイプにおいてTable 1を具備すべき諸機能として掲げ，これらを満足し，かつtype Ⅰ とtype Ⅲでは2004年度までの期間で最も出荷台数シェアの多かったメーカーのものを試料とした．type Ⅱについては出荷台数シェアにメーカーによる差は見られなかったため，特にメーカーを特定しなかった．本研究では試料として選択した機種を対象とした分析結果を基にPb, Ba,

Table 1　Content of each cellular phone.

Sample	Sales time	Function	System
Ⅰ (type 1)	1994	Voice communication·E-mail·Short mail	Personal Handyphone System (PHS)
Ⅱ (type 2)	2001	Voice communication·E-mail · Camera · Internet · Low-speed data communications	Cellular phone
Ⅲ (type 3)	2005	Voice communication·E-mail · Camera · Internet · Low-speed data communications· High-speed data communications·TV telephone·Games· Cyber-money Music Reproduction	Cellular phone

Cr, Ni の物質量を推定することにした．

また，本 SFA においては，発売当初から 2004 年度末までに生産されたすべての携帯電話の生産のために使われた対象微量有害物質の投入に関する使用済み後の収支を分析する．そのことによって使用済み後に行方不明となり，拡散につながる可能性がある微量有害物質の種類と量の推定，および今後の排出の時間的推移の予測を行う．なお，本研究では携帯電話本体のみを対象とし，電池は対象外とした．

4.4 これまでの研究との関係

著者らはこれまでの論文[10]で，製品の使用後プロセスでは有価または純度の高い資源の回収が優先され，製品に含まれる微量な物質は有害性があっても管理者不明の状態で行方不明となってきた問題を指摘した．その上で，微量有害物質がリサイクル，処理処分プロセス中で拡散する量を推算し，それらがもたらす有害性のポテンシャルを潜在的有害性として指標化し，エネルギー消費関連の環境負荷と組み合わせて評価する手法を提示した．

本研究においては，有害性をテーマとしているが，既論文[10]では LCA 手法を参考に，複写機を事例としてエネルギー消費関連の環境負荷と潜在的有害性強度を組み合わせて製品中で回収する部品またはユニットの優先順位を評価する手法を提示したのに対し，本論文では物質フローに注目し，SFA の視点から使用済み後のフローが不明となっている微量有害物質の種類と量，およびそれらの時間的経緯を予測することが目的である．また，携帯電話に含有される微量有害物質を対象とした SFA はこれまでに行われた例がない．

5. 結　　果

5.1 微量有害物質の分析

4.2.1 に示した分析のために行った分解例を Fig. 1 に示した．分析により推定した各タイプ別の 1 台当たりの対象 4 物質量を Table 2 に示した．

携帯電話の製造会社が異なるため，年次傾向の直接的な比較は困難ではあるが，Type 3 の携帯電話への変化に伴い，(a)含有鉛量の減少傾向，および(b)クロム含有量の増加傾向が示された．含有鉛量の減少は，鉛フリーはんだの導入による効果であると考えられる．なお，化学分析の結果により，微量の鉛含有が確認されたが，これは，ボタン電池など他の鉛利用部品による鉛の混入であると考えられる．一方，クロム含有量の増加は，ステンレス鋼利用量の増加がその原因であると考えられる．

5.2 ユーザーへのアンケート調査

5.2.1 回答者の属性

設問が複雑であり，回答に手間と時間がかかることから，回答者は著者らの所属する大学，および関係する大学の工学部の学生を中心とし，講義終了後等の時間を利用して調査票を配布・回収した．若年層の男性が多くなるのを補完するため，大学事務職員，卒業生，婦人大学の主婦層にも調査への回答を依頼した．回答者数は計 782 名であり，有効回答率は 83.6％であった．回答者の属性は，学生：63％，一般人：37％，性別では男性：72％，女性：25％(無回答：3％)である．

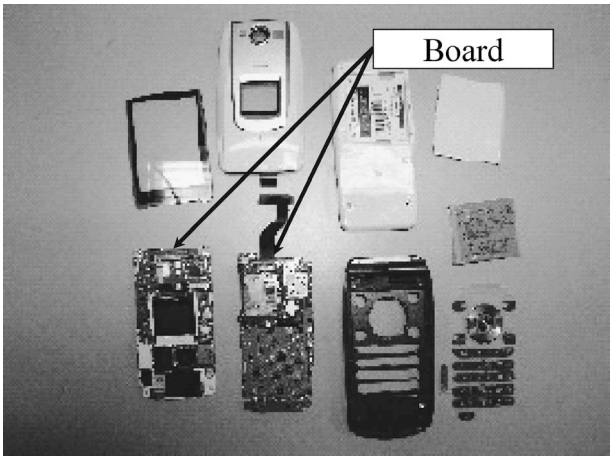


Fig. 1 Cellular phone after dismantlement (type 3).

Table 2 Amount of 4 substances in each cellular phone.
unit : g/cellular phone

Element	Contained parts	type 1	type 2	type 3
		Sample Ⅰ	Sample Ⅱ	Sample Ⅲ
Pb	Board, Stainless parts, Button battery	0.35	0.26	0.01
Ba	Board, Stainless parts, Button battery	0.50	0.55	0.39
Cr	Board, Stainless parts, Button battery	0.06	0.05	0.62
Ni	Board, Stainless parts, Button battery	0.68	0.51	0.74

5.2.2 ユーザーにおける携帯電話の処理方法

使用済み携帯電話のユーザーにおける処理方法についてはこの設問への有効回答数 654 の中から，今まで携帯電話を 1 台しか持ったことのない人，および携帯電話を持っていない人を除いた($n=514$)．対象者における総使用済み携帯台数は 1,181 台であり，処理方法は台数ベースで販売店返却：31％，退蔵：47％，不燃物等として処理：4％であった．また，回答の選択肢として「自宅にはあるがどこにあるかわからない」,「紛失」,「所有者変更」は，管理する主体が不明確となるため，対象物質のフロー上で行方不明となる可能性の高い状態であると考え，その割合は 18％となった(Fig. 2)．ここでは，この割合を「使用済み後に行方不明となり，拡散につながる可能性が高い」割合に該当すると考えた．また，有害物質を管理する主体が不明確な状態で物質フロー上において行方不明になることは，結果的に環境中にばらまかれることになる意味でこの割合を拡散(diffused)と呼ぶことにした．

また，上記に示した販売店返却割合である 31％は式(1)によって求めた割合であり，電気通信事業者協会・情報通信ネットワーク産業協会によって公表されている回収率[6]である式(2)によって計算される回収率とは区別する必要がある．

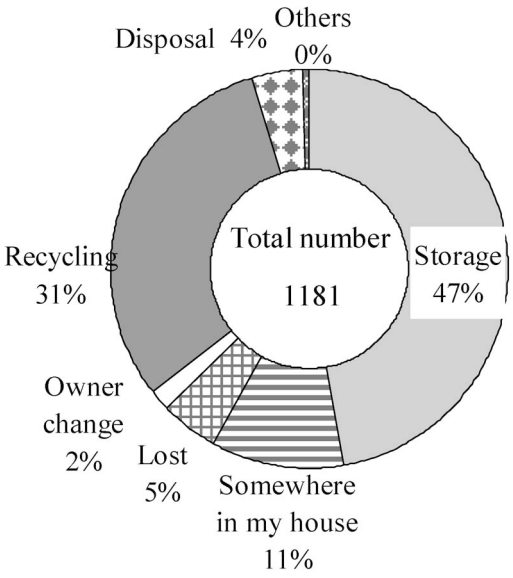


Fig. 2　Disposal method for used cellular phones by users.

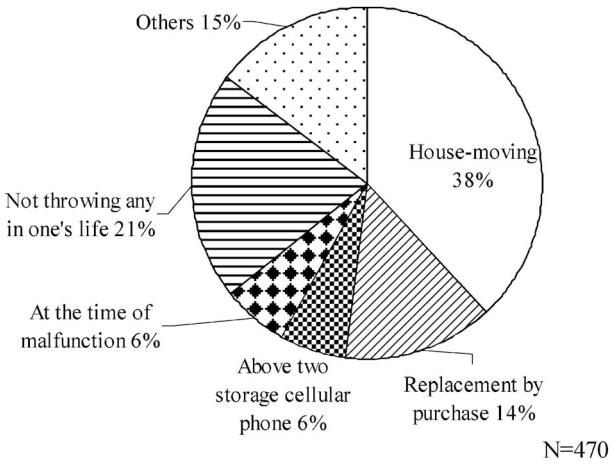


Fig. 3　Chance of disposal for storaged cellular phones.

使用済み携帯電話の販売店返却率
＝販売店等に返却された総台数/使用済みとなった携帯電話総台数×100　（1）

回収率
＝回収台数/(各メーカーからの出荷台数－携帯電話・PHS 加入純増数)×100　（2）

5.2.3　1 台当たり平均使用期間

(1)　アンケート調査結果による 1 台当たり平均使用期間

本研究における携帯電話 1 台当たりの平均使用期間は，携帯電話が通信媒体として機能していた期間とし，初めて携帯電話を所有した年度から 2004 年度末までの使用期間を過去に所有した携帯電話台数(現在所有しているものも含む)で除したものとする．1 台当たりの平均使用期間は以下の式に示す．

$$Y_A_{(j)}=[2005\text{年}-(Y_S_{(j)})]\Big/\left(\sum_{i=1}^{3}N_M_{(i,j)}\right) \quad (3)$$

ここで，$Y_S_{(j)}$：初期購入年度，$N_M_{(i,j)}$：現在も含む過去に所持した type i の携帯電話台数，$Y_A_{(j)}$：携帯電話 1 台当たりの平均使用期間，i：各 type(i=1～3)，j：人数(j=1～606 人)

各タイプ別平均使用期間は，過去に携帯電話を所有したことのある人全員の各タイプ別合計使用期間を，次式のとおり，タイプ別合計台数で除することによって求めた．

$$Y_A_{(i)}=\left[\sum_{j=1}^{606}(N_M_{(i,j)}\times Y_A_{(j)})\right]\Big/\sum_{j=1}^{606}N_M_{(i,j)} \quad (4)$$

ここで，$N_M_{(i,j)}$：携帯電話台数，$Y_A_{(j)}$：携帯電話 1 台当たりの平均使用期間，$Y_A_{(i)}$：各 type 別平均使用期間，i：各 type(i=1～3)，j：人数(j=1～606 人)

この結果，1 台当たり平均使用期間は，type 1：22 ケ月，type 2：20 ケ月，type 3：18 ケ月となった．なお，式(3)から各個人の携帯電話 1 台当たり平均使用期間を算出し，その結果を用いて式(4)により全体としての各タイプ別平均使用期間を算出したため，2001 年に type 3 のサービス開始時期以来，経過年数の短い携帯電話の契約者数が急増したことは平均使用期間に影響を与えない．

(2)　平均使用期間の補正

アンケート調査では回答者の 63%が学生であるという偏りが見られため，年齢層別(10 代～40 代の各年齢層と「50 代以上」の 5 区分の年齢層)の加重平均による補正を行った．ここでは総務省統計局により公開されている日本人人口[11]と，情報通信統計データベースにより公開されている年齢層別の携帯電話利用率[12]から各年齢層別の利用者数を求め，それぞれの年齢層の利用者数の全利用者数に対する割合を求めた．それによって求められた値(r_i)を用いて次式により年齢を考慮した各タイプ別の平均使用期間を求めた．

$$t_i=\sum_{k=1}^{5}(t_{i,k}\times r_i) \quad (5)$$

ここで，i：各 type(i=1～3)，k：各年齢層(k=1～5)，$t_{i,k}$：アンケート調査で得られた各 type 年齢層による平均使用期間，t_i：各 type 別平均使用期間(補正有り)，r_i：全利用者数に対する各年齢層別利用者数の割合

以上の結果，type 1 の平均使用期間は 25 ケ月，type 2 は 23 ケ月，type 3 は 20 ケ月となった．なお，アンケート回答者属性では，男女の割合にも偏りがみられたが，平均使用期間の差について T 検定を行った結果，各タイプ，全タイプにおいて平均使用期間における差は見られなかった(5%有意)．そのため，男女差による補正は行わなかった．

以降の各タイプの携帯電話平均使用期間は，この年齢層による加重平均を行った数値を用いる．

5.2.4　退蔵携帯電話を返却または処理する機会

アンケート調査結果では，退蔵している使用済み携帯電話を返却または処理する機会については,「引っ越し時」が 38%で最も多い．その次に「生きている間は捨てるつもりはない」の 21%であり，「買い換え時」の 14%より多くなっている(Fig. 3)．「引っ越し時」が最も多いという結果からは，退蔵している携帯電話を積極的に返却または処理する意思は薄く，どうしても所有物を整理する必要が生じた時には仕方なく手放すという傾向が見られる．むしろ，「生きている間は捨てるつもりはない」が約 2 割を占めることから考えると，

退蔵し続けることへの強い意思が伺える．しかし，長期間経過後には保管場所を失念したり，小型であるだけに他の所有物の中に紛れ込むことも多いことから，回収への何らかの積極的な対策を講じない限り，使用済み携帯電話が管理者不明の廃棄物となって，長期間経過後に排出される可能性が高いことを示している．

なお，退蔵携帯電話を返却または処理する機会について，アンケート調査結果から得られた回答者の年齢層による回答への違いを比較したところ，年齢層による違いはほとんど見られなかったため，以降のケーススタディでは本調査結果で求められた割合をそのまま用いることにした．

6. 微量有害物質の SFA

6.1 使用済み携帯電話台数の推定

本研究において分類した 3 つのタイプすべてに関する生産台数データが存在するのが 1997 年度以降であったため，1997 年 4 月から 2004 年 3 月までの生産台数は統計データ[3]を用い，それ以前の生産台数は 1997 年 3 月時点における加入者数から推定し，1997 年度の生産台数に加えた．なお，販売店へのヒヤリング調査，および統計データ[3]において各月の出荷台数が，各月の生産台数と前月末在庫台数の和とおおよそ一致することから，生産された携帯電話はすべて市場に投入されたと考えた．

使用済み携帯電話台数は，各年度の月ごとの新規加入者数が，その月からタイプ別の平均使用期間後に使用済みになるとして推定した．その結果，2004 年度末までに生産された携帯電話約 3 億 9,496 万台は 2007 年度末までにすべて使用済みとなる．

6.2 使用済み携帯電話に含有される対象物質量と現状における物質収支の推定

6.2.1 使用済み携帯電話に含有される対象物質量

Table 2 で求めたタイプ別の 1 台当たりの対象 4 物質含有量と，アンケート調査によるユーザーの処理方法割合を用いて，2004 年度末までに国内市場に投入された総携帯電話に含まれる各物質の使用済み後のフローを推定した．ここで，輸入品も国内で使用済みとなること，および SFA を行う上では輸出量も国内から海外への移動量として把握する必要があることから，国内生産台数と輸入台数の合計に含まれる各物質総量を純国内投入量とした(輸出台数分を差し引かない)．2004 年度末までの輸出を含む純国内投入台数は合計で 4 億 3,567 万台であり，タイプ別含有量をもとに算出した各物質の純国内投入量は，Pb: 102 t, Ba: 228 t, Cr: 53 t, Ni: 239 t と推定される．

6.2.2 物質収支の推定

アンケート調査によって得られたユーザーの意思による処理方法の比率(Fig. 2)をタイプ別に分析し，タイプ別の各物質の含有量，および補正後のタイプ別の 1 台当たり平均使用期間を用いて，携帯電話に含まれる各物質の使用済み後の状況を推定した結果を Pb を例として Fig. 4 に示した．その結果，4 物質の純国内投入量に対する平均割合は，販売店返却：約 23%，既に拡散：約 14%，退蔵：約 36%となる．Ba, Cr, Ni についてはその具体的な量を Table 3 に示した．

退蔵品の適切な回収対策が今後も確立されない場合は，退蔵品に含まれる物質が拡散する可能性が高いこと，輸出された製品が日本国内に回収される可能性は薄いことから，既拡散に加えて退蔵，輸出も拡散すると考えると，使用済み携帯電話生産のための純国内投入量に対する拡散する可能性がある最大の割合は 4 物質の平均で 59%となる．

なお，本研究では 2004 年度末までの各物質投入量に対する分析を行ったが，図中の「流通分」は，2004 年度に生産された携帯電話として同年度末までの段階で流通段階にある台数に該当し，メーカーや販売店等で管理されている状態であるため，拡散する可能性がある最大の割合から除外した．

6.3 今後のサブスタンス・フローに関するケーススタディ

退蔵品の今後の時間的排出状況を予測した．この予測を行うために，Fig. 3 に示した退蔵携帯電話を返却または処理する機会に関するアンケート調査の設問への回答結果を用いて，退蔵携帯電話が排出される時期を設定した．推定の前提としては各回答項目の期間を以下のように考えた．

① 携帯電話買い換え時，退蔵台数 2 台以上，機能不全時

この場合は，「次の携帯電話を購入する時期」とし，1 台当たり平均使用期間後とした．type 1 から type 3 の平均使用期間が約 1.9 年であることから，2007 年度から 2 年後の 2009 年度末とした．

② 引っ越し時

アンケート調査結果から，平均 16.3 年に 1 回，引っ越し

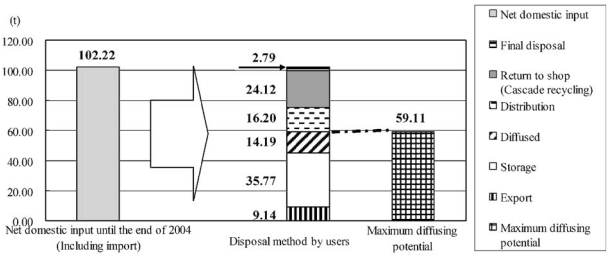


Fig. 4 Flow of substance in used cellular phones (Pb).

Table 3 Flow of each substance in used cellular phones.

item	Pb	Ba	Cr	Ni
Net domestic input until the end of 2004 (including import)	102.22	228.29	53.32	239.15
Final disposal	2.79	5.95	1.06	6.08
Return to shop (Cascade recycling)	24.12	53.61	11.60	55.32
Distribution	16.20	35.38	8.10	37.50
Diffused	14.19	31.04	6.82	32.54
Storage	35.77	80.89	20.52	85.81
Export	9.14	21.42	5.21	21.90
Maximum diffusing potential	59.11	133.35	32.55	140.25

unit : t

する結果が得られたため，引っ越し時に排出される場合は20年後と考えた．

③　生きている間は捨てるつもりはない

平均寿命を81.8歳[13]とし，設問に対して「生きている間は捨てるつもりはない」と回答した人の退蔵携帯電話は，回答者が平均寿命を迎えた時に排出されることと考えた．この結果から2004年度末までに生産された携帯電話の退蔵分は，回答者の年齢と平均寿命までの年数から，2077年度末にすべて何らかの処理が行われることになる．

以上の結果を用いて，2007年度末(タイプ別1台当たり平均使用期間から，2004年度末までに生産されたすべての携帯電話が使用済みとなる年)，2009年度末(携帯電話買い換え時，退蔵台数2台以上，機能不全時)，2027年度末(引っ越し時)，2077年度末(ユーザーが寿命をむかえた時)の4段階に分けて各物質のフローの推定を行った．ここで，退蔵品の処理方法(販売店返却，埋立，拡散)については，「退蔵品を捨てるとするとどう処理するか」というアンケート調査の設問に対する回答割合を用いた．また，ここでの拡散とは，販売店返却，自治体のごみとして捨てる以外の方法で「どこかに捨てる」と回答した割合に該当する．

これらによって各物質の純国内投入量についてサブスタンス・フローを予測した結果をPbを例としてFig. 5に示した．なお，図中の「流通分」とはFig. 4における「流通分」に該当する数値であり，2007年度末段階では使用済みとなるが，2004年度末段階における「退蔵」と区別するためにそのままの用語を用いている．また，2009年度以降の分析においては，「流通分」はユーザーの意思による処理方法の比率によって各処理方法に振り分けた．Ba, Cr, Niについてはその具体的な量をTable 4に示した．

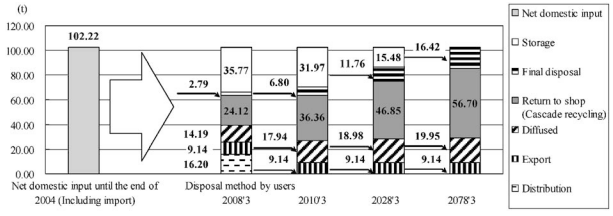


Fig. 5　Estimation of substance–flow at each time (Pb).

この結果から輸出，既拡散を含めて，最終的に4物質の平均では携帯電話用途としての純国内投入量の約28％が行方不明の状態になると推定される．また，販売店返却割合は約56％となるが，これは退蔵者の64％が退蔵携帯電話を将来，販売店に返却すると答えていることによる．

7. 結　　論

本論文では普及が著しく，法的義務に基づく回収システムが未整備な状況にある携帯電話を対象として，2004年度末までの国内投入台数をタイプ別に明らかにするとともに，タイプ別の平均使用期間からそれらが使用済みとなる年度と台数を予測した．同時にICP分析およびEPMA分析によりタイプ別の含有微量有害物質を推定した結果と，ユーザーに行ったアンケート調査から得られた使用済み携帯電話の処理実態を用いて，使用済み携帯電話に含まれる微量有害物質のSFAを行った．その結果からわかったことは以下のとおりである．

①　携帯電話に含有されている微量有害物質のうちPRTRの第1種指定物質に該当するBa, Cr, Pb, Niの4種についてタイプ別の含有量を分析した．その結果を用いて，携帯電話発売当初から2004年度末までにすべての携帯電話生

Table 4　Estimation of substance–flow at each time.

item		time	item					
	Net domestic input until the end of 2004 (including import)		Storage	Final disposal	Return to shop (Cascade recycling)	Diffused	Export	Distribution
Pb	102.22	2008′3	35.77	2.79	24.12	14.19	9.14	16.20
		2010′3	31.97	6.80	36.36	17.94	9.14	—
		2028′3	15.48	11.76	46.85	18.98	9.14	—
		2078′3	—	16.42	56.70	19.95	9.14	—
Ba	228.29	2008′3	80.89	5.95	53.61	31.04	21.42	35.38
		2010′3	72.04	14.87	80.84	39.11	21.42	—
		2028′3	34.88	26.06	104.48	41.44	21.42	—
		2078′3	—	36.56	126.67	43.63	21.42	—
Cr	53.32	2008′3	20.52	1.06	11.60	6.82	5.21	8.10
		2010′3	18.21	3.23	18.05	8.62	5.21	—
		2028′3	8.82	6.05	24.03	9.21	5.21	—
		2078′3	—	8.71	29.64	9.76	5.21	—
Ni	239.15	2008′3	85.81	6.08	55.32	32.54	21.90	37.50
		2010′3	76.55	15.54	84.03	41.13	21.90	—
		2028′3	37.06	27.43	109.15	43.61	21.90	—
		2078′3	—	38.59	132.73	45.93	21.90	—

unit : t

産のために国内に投入された純国内投入量を推定すると，Pb: 102 t, Ba: 228 t, Cr: 53 t, Ni: 239 t となる．

② ユーザーへのアンケート調査結果による使用済み携帯電話の処理方法は，台数ベースで，販売店返却：31%，退蔵：47%，拡散：18%，不燃物等として処理：4%と，退蔵割合が 5 割近くを占める．タイプ別の平均使用期間は，type 1：22 ケ月，type 2：20 ケ月，type 3：18 ケ月である．アンケート調査の回答者年齢の偏りを補正した結果では，type 1：25 ケ月，type 2：23 ケ月，type 3：20 ケ月である．

③ 携帯電話に含まれる対象物質の使用済み後の現状を推定した結果では，各物質とも純国内投入量に対する割合は，販売店返却：約 23%，既に拡散：約 14%，退蔵：約 36%となる．退蔵品の適切な回収対策が今後も確立されない場合は，退蔵品に含まれる物質が拡散する可能性が高いこと，輸出された製品が日本国内に回収される可能性は薄いことから，既拡散に加えて退蔵，輸出も拡散すると考えると，使用済み携帯電話生産のための純国内投入量に対する拡散するリスクのある割合は 4 物質の平均で約 59%となる．

④ タイプ別の平均使用期間から，2004 年度末までに国内に投入されたすべての携帯電話は 2007 年度末までに使用済みになると推定される．

⑤ 退蔵品が今後，いつ，どのような方法で処理されるについて推定した結果では，現状の回収体制のままである場合，2004 年度末までに生産された退蔵携帯電話がすべて排出され，何らかの処理が行われるのは 2077 年度末頃である．また，退蔵品がユーザーの回収意思に従って回収されても，最終的に販売店返却割合は 4 物質の平均で生産時投入量の約 56%であり，約 28%は拡散状態になると推定される．

以上のことから携帯電話に含まれる微量有害物質を使用済み後も管理し得るシステムを構築し，適切な循環または処理を行わなければ長期間を経て拡散状態となり，将来にわたって環境中に有害性をもたらす可能性がある．そのため，微量有害物質の拡散防止の観点からも，退蔵品も含めた使用済み携帯電話を回収するシステムを整備する必要がある．

本研究は，独立行政法人科学技術振興機構(JST)戦略的創造研究推進事業「サステナビリティ指標としての物質・材料フロー」(平成 15 年度採択課題)および，科学研究費補助金若手 B(19760588)における研究内容の一部です．名古屋大学工学研究科の黒田光太郎教授には研究全般へのご指導とアンケート調査実施への多大なご協力をいただきました．ここに厚くお礼申し上げます．また，研究を推進するにあたり，アンケート調査にご協力いただいた皆様，ご支援いただいた皆様に厚く感謝申し上げます．

文 献

1) E. Mattews, C. Amann, S. Bringezu, M. Fischer-Kowalski, W. Huttler, R. Klejin, Y. Moriguchi, H. Schutz, E. vander Voet and H. Weisz: *Weight of Nations-Material Outflows from Industrial Economies*, (World Resource Inst., 2000).
2) Ministry of the Environment: *Law Concerning Reporting, etc. of Releases to the Environment of Specific Chemical Substances and Promoting Improvements in Their Management*, 〈http://www.env.go.jp/en/laws/chemi/prtr/index.html〉, (2007/01/23).
3) CIAJ: *Japan's Telecommunications Equipment Statistics Production/Imports/Exports* 〈http://www.ciaj.or.jp/content/info/dat.html〉, (2007/01/23).
4) Nikko Smith Barney Limited: *Mobile Telecommunications Field Theory*, p. 11.
5) K. Sumio: *Role of the Administration to the Promotion for Cellular Phone Recycling*, Institute for Posts and Telecommunications Policy (2002. 10).
6) *Mobile Recycle Network: Current Status of Recycling for Used Cellular Phone and PHS FY2004*〈http://www.mobile-recycle.net/news/index.html〉, (2007/01/23).
7) Nikkei Business Publications: Nikkei Ecology (in Japanese), **9**(2000) 40-42.
8) K. Nakajima, K. Yamamoto, K. Nakano, K. Kuroda, K. Halada and T. Nagasaka: Journal of Life Cycle Assessment, Japan, **2**(2006) 341-346.
9) TCA: *Results of Investigation by Questionnaire concerning Recycling of Used Cellular Phone and PHS*, 〈http://www.tca.or.jp/japan/news/050621.ppt〉, (2007/01/23).
10) K. Nakano, Y. Wada and H. Oshima: Waste management research 16(2005) 1-12.
11) Statistics Bureau: *Statistics data*, 〈http://www.stat.go.jp/data/jinsui/2004np/index.htm # 05k16-b〉, (2007/01/23).
12) Ministry of International Affairs & Communications: *Information & Comunication Statistics Database*, 〈http://www.johotsusintokei.soumu.go.jp/statistics/statistics05b1.html〉, (2007/01/23).
13) Statistics Bureau: *Statistics of Japan 2005*, 2-21 The Average of Human Life for the Japanese.