



Title	都市鉱山の経済学 : エレクトロニクス製品を中心に
Author(s)	吉田, 文和
Citation	Journal of MMIJ : journal of the Mining and Materials Processing Institute of Japan, 126(6), 166-171 https://doi.org/10.2473/journalofmmij.126.166
Issue Date	2010-05-25
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/51737
Type	article
File Information	yoshida_JofMMIJ_126(2010)_6.pdf



[Instructions for use](#)

都市鉱山の経済学*
- エレクトロニクス製品を中心に -

吉田文和¹

An Economic Analysis of Urban Mines
- Focusing on Electronics Products -

by Fumikazu YOSHIDA^a

a. Professor, Hokkaido University, Graduate School of Economics, Sapporo 060-0809 Japan
(Corresponding author E-mail: yoshida@econ.hokudai.ac.jp / FAX: +81-11-706-4947)

This Review looks at case studies drawn from Japan, Belgium and USA, so as to provide an economic analysis of what is known as urban mines. The term 'urban mine' has been coined to specify designated urban plants where discarded manufactured products can be stored and the extraction of metals from the products carried out (Nanjo, 1988).

It focuses in particular on the issue of electronic wastes, types of wastes that constitute a complex mixture of still valuable yet extremely hazardous materials. Such materials are the residue of products that have themselves always been important factors in controlling the demand for the primary metals used in their production and have thus contributed to an increase in their price, while the uneven distribution of these often rare metals and the various changing conditions responsible for their price increase have, at the same time, become global issues. Although the potential for recycling electronics products is significant, many products are discarded without due care, and, consequently, are improperly treated. Meanwhile, the latest global financial crisis has caused the price of precious metals to plummet, the market is as a result in turmoil, and the recycling market is also in disarray; all this in its turn has influenced the issue of urban mines.

(1) The proper treatment of waste is the premise for the non-ferrous metal industry because the industrial waste, byproducts and scrap are the major materials for them. Also the setup of collection system for WEEE is an important condition for the recycling them. (2) For the effective usage of resources, the enterprises including producers and recyclers, play the decisive role in developing recycling technology. (3) For the low-carbon society, the CO₂ reduction by collection and recycling must become the target and the indicator. (4) As the public policy the support for the domestic recycling non-ferrous metal refinery as the important infrastructure for the recycling waste management.

KEY WORDS: Urban Mines, Mobile Phone, WEEE, Recycling, Small House Appliance, Precious Metal

1. 本稿の目的と背景

地上に蓄積された工業製品を再生可能な資源と見なし、その蓄積された場所を都市鉱山と名付けたのは南條道夫(1988年)である。工業製品に含まれる稀少金属類の成分比が鉱石品位より高く、鉱石からの精製錬に比べ再生に必要なエネルギーが少なくすむという点で、再生資源としての都市鉱山に着目したからである。

さらにリサイクルシステムの確立には、集荷システムが重要であるという立場から、都市鉱山を分類して運輸機械(ELV)、容器包装物、エレクトロニクス、バッテリー類、バイオマス系(古紙など)、建築物とした¹⁾。これらは、のちの「天然資源の消費抑制」と「環境負荷低減」を目指す日本の循環型社会形成推進基本法(2000年)のもとにおける個別リサイクル法制度の対象になっているものが多く、南條の提案は先駆的であったといえる。

これに対して、本稿では、近年、都市鉱山として注目される使用済みエレクトロニクス製品やバッテリー製品などからの非鉄金属リサイクル産業を取り上げ、環境および経済的観点から分析し、政策提言に資することを目的とした。

エレクトロニクス製品やバッテリー製品は多種の金属を含有する価値物と有害物との複雑混合物であり、またそれら製品のハイテク化が、稀少金属への需要を拡大させてきた。エレクトロニクス及びバッテリー製品のリサイクルの潜在的可能性は大きいものの、現実には多くは利用されず廃棄されるか、不適正処理されている。つまり、資源の有効利用と環境負荷低減の両者を達成することが課題となっているのである。また、非鉄金属リサイクル産業は、非鉄金属市場の世界的動向に強く影響を受ける。資源の需要増加傾向のなかで、資源の偏在があり、そこに投機資金が流入して、最近の世界金融経済危機で、価格の乱高下がおき、リサイクル産業に影響を与えた。

そこで本稿は、①廃棄物の適正処理(環境負荷低減)、②資源の有効利用(天然資源の消費抑制)、③エネルギーの節約(低炭素社会)という3つの視点から、エレクトロニクス及びバッテリー製品を中心に、その回収、リサイクル、環境保全の現状と資源

*2009年11月2日受付 2010年1月29日受理
1. 京都大学経済学博士 北海道大学大学院 経済学研究科 教授
[著者連絡先] FAX: 011-706-4947

E-mail: yoshida@econ.hokudai.ac.jp
キーワード: 都市鉱山, 携帯電話, 使用済みエレクトロニクス製品,
リサイクル, 稀少金属, 小型家電

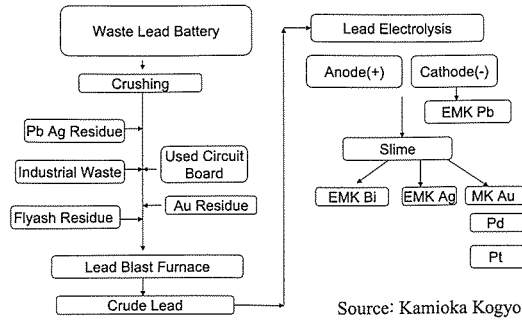


Fig.1 Kamioka Lead Recycling Factory Flow Sheet.

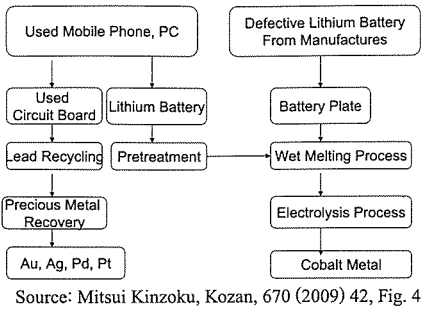


Fig.2 Kamioka Cobalt Recycling Flow.

価格変動への対応について、日本の神岡鉱業と世界で複雑鉱を処理できるとされる3社(DOWAグループ, Umicore, Xstrata)を取り上げ、都市鉱山業としての経済分析を試みたい。

2. 神岡鉱業のリサイクル・マイニング

富山県境に近い岐阜県北部に立地する神岡鉱山(元三井金属鉱業, 現神岡鉱業)は、鉱石品位低下のため1995年から採鉱部門の縮小休止を進め、現在では鉛は鉛バッテリー主体のリサイクル・マイニングへ、亜鉛はオーストラリアからの買鉱製錬に移行している。最近ではリチウムイオン電池リサイクルによるコバルト回収も開始するなど、リサイクル事業を拡充している。

神岡鉱山のリサイクル事業の中心である鉛リサイクル工程では、副産物として多種の金属を処理・抽出することができる。Fig. 1に工程フローの概略を示す。投入原料は、廃鉛バッテリー、産業廃棄物、金銀残渣、鉱煙抽出残渣、鉛銀残渣であり、製品は鉛、金、銀、ビスマス、パラジウムである。関連してリチウムイオン電池のリサイクル工程フローをFig. 2に示す。電池を取出した携帯電話・パソコンの基板やケースは鉛リサイクルの投入原料となる。

鉛リサイクルの投入原料をさらに詳しくみると、2008年で鉛バッテリー約35,000tは全国から回収された。1995年の開始当初は処理料金を受取っていたが、韓国などへの流出で回収量不足となり、2006年頃から買取りとなった。この他に貴金属含有の多い基板類約3,500t、鉛ガラス1,200t、鉛汚泥約3,500tに加えて、貴金属含有の少ない基板類、廃OA機器、鉛管、リチウムイオン電池約300tなどを産業廃棄物として受入れる。また以下に述べるように重要な投入原料である金銀率は同じ三井金属グループの串木野鉱山及び日比共同製錬から、鉛銀残渣は隣接の亜鉛製錬工場から来る。

鉛リサイクルの主要製品(2008年)は、MK金491kg(山元建値14億円・2008年値)、EMK銀67t(同30億円)、EMK鉛23,000t(同51億円)、EMKビスマス117tに加えて、リチウムイ

オン電池リサイクルのコバルト約112tである。これに対し亜鉛製錬部門ではEMC亜鉛68,000t(同120億円)、EMCカドミウム119tを生産するが、そのためにオーストラリア亜鉛精鉱103,000tを購入しなければならない。それに対して、鉛バッテリーと高品位の電子基板を除けば、鉛リサイクルの原料は廃棄物処理料金を受取ることができる。

以上のような原料投入・製品産出状況を踏まえて、神岡鉱山の現状について以下のように考えることができる。まず第1に主要製品の鉛に対し、副産物としての金銀は量的に少なくとも高価格なので重要な製品である。金銀を回収するためにも鉛リサイクルが必要という見方もできる。金・銀製品の山元建値合計44億円は鉛製品建値51億円に迫る(2008年値)。鉛・亜鉛の価格が変動しているので、金銀がますます重要となっている。第2に、亜鉛製錬の生産規模は鉛リサイクルに比べ3倍近くであるものの、主要製品の山元建値と比較すると、亜鉛120億円に対し鉛・金・銀合計で95億円と、鉛リサイクルが神岡鉱山の事業に大きな比重を占めることがわかる。第3に、金銀滓や鉛銀残渣のような価値ある投入原料がグループ企業や同一企業内から来るため、安くかつ安定的に原料を調達できる。またリサイクル製品のパラジウムを触媒製品に、コバルトを合金向け・薬品向け・電池向け製品に加工する自社工場をもつこと、高純度金への加工をグループ内の竹原製錬所で行えるなど、製品に付加価値をつけるという点でも有利である。神岡鉱山は三井金属グループの銀・鉛・亜鉛の約3分1を生産している。

以上の点に加えて、神岡鉱山の環境技術は注目に値する。かつて同鉱山からの排水が下流の神通川流域を汚染し、排水中のカドミウムがイタイイタイ病の発生源として責任を問われた。その後イタイイタイ病や土壌汚染の被害者団体の監視のもとで、清濁分離の原理に基づく厳格な汚染防止対策を40年間近く重ね、現在では神通川のカドミウム濃度は自然界に近づくという成果をあげた²⁾。こうして鉱害対策を進めてきたことで社会から信頼を得て、リサイクル事業の顧客拡大にもつながっている。また汚染防止対策を通じて培われた環境技術・管理システム・人材が、今後は環境ビジネスの分野に生かされることを期待したい。

3. DOWAグループの環境・リサイクルネットワーク

秋田県北部に立地するDOWA小坂製錬は、リサイクル原料を主に扱う複合リサイクル炉(TSL炉)を新設し、リサイクル原料40,000t/年、製錬二次系40,000t/年を計画している。DOWAグループがリサイクル原料を中心に行っているのは、複雑鉱処理の技術と伝統をもち、それをリサイクル原料処理に応用可能であることに加えて、自山鉱が小さく買鉱製錬も行ってきたものの、世界の鉱山資源逼迫のなかで、リサイクル原料対象の高付加価値資源回収と有害廃棄物処理とを事業の中心にすえたからである。その土台となるのが、貴金属・銅・鉛製錬の小坂製錬と亜鉛買鉱製錬の秋田製錬である。関連してグループ内に、ガリウム・インジウム製造の秋田レアメタル、廃触媒のPGM回収の日本PGMを配置している。

他方の柱である廃棄物処理関係では、使用済み家電・OA機器リサイクルのエコリサイクル、シュレッダーダスト(以下ASRと略)焼却のエコシステム小坂、焼却・中間処理のエコシステム秋田、最終処分場のグリーンフィル小坂、土壌浄化のエコシステム花岡がある。これらの企業グループが近接地域内で有機的に連携して、原料と製品のやりとりを行っていることがDOWAグループ秋田地区の特徴である。

以上の関連を原料投入・製品産出としてまとめれば、Fig. 3に

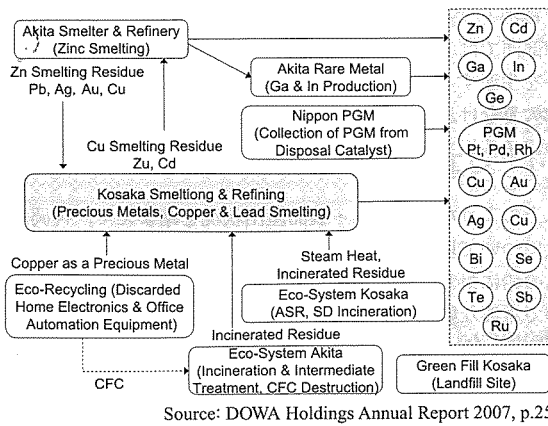


Fig.3 DOWA Group's Eco-recycling Network in Akita District.

示すとおり、原料として亜鉛原料、複雑鉱、ガリウムスクラップ類の他に、リサイクル原料として廃触媒、高品位リサイクル原料（基板など）、ASR、コンピュータ屑、廃プラスチック、廃家電などを使用している。製品としては金・銀・銅・鉛・亜鉛・カドミウム・ビスマス・セレン・テルル・パラジウム・ロジウム・ガリウム・ゲルマニウム・インジウム・アンチモン・硫酸がある³⁾。

使用済みエレクトロニクス製品関係では、秋田県の北部エコタウン構想に基づき、DOWAグループと家電メーカーBグループ6社の出資により設立されたエコリサイクルが、家電リサイクル法による4品目を170,000台/年処理している。規模は小さいものの、従業員48人に臨時8人と常雇いが多く、セル方式で手解体中心の工程である。粉碎と洗浄は機械化され、回収されたフロンは隣のエコシステム秋田へパイプで送られ破壊される。エコリサイクルと他の家電リサイクル工場との大きな違いは、廃棄物の最終処理と有価金属の回収及び製品化とを近接のグループ企業で行えることである。その結果、エコリサイクルの温室効果ガスGHGバランスをみると、冷媒フロン90,000t及び断熱フロン30,000t回収によるCO₂削減効果は、廃棄物焼却によるCO₂発生90,000tを大きく上回る。また回収された電子基板はエコシステム秋田で焼却され、小坂製錬で焼却残渣から有価金属が回収され、製品化される。

家電リサイクル法によるリサイクルとは別に、使用済み小型機器については秋田県内の自治体と協力して「こでん（小型電気電子機器）」回収実験を行っている。回収品目は、携帯電話、ゲーム機、デジカメ、充電器、ケーブル類などである。スーパー、役所、郵便局、公民館、学校など人の集まり易い場所に回収ボックスを置き、2008年度に147ヶ所の回収拠点から約7.5t（自治体の粗大ゴミからの回収を併せると20t）、33,500台を回収した。回収された小型機器はエコリサイクルで解体処理される。小型機器は一般廃棄物なので、実験には国からの認定が必要であり、地元自治体の協力が必要になる。携帯電話の振動子にはタングステンが、コンデンサーにはタンタルなど稀少金属が含まれるので、これらの部品は「人工鉱床」として保管され、処理技術開発を待つ。

DOWAグループの目的は、あくまで高付加価値資源の回収と有害廃棄物の処理とを統合したビジネスを展開することにある。しかし廃棄物の適正処理という点で、リサイクルにおける再商品化もゼロ・エミッションも現状には問題が多く、有価物に廃棄物を混ぜるためにかえって汚染拡散につながる事例も少なくないという。海外に流出しているスクラップ類については、有価物と有害廃棄物が抱き合わせて売買されているものがあり、規制と対策が必要である。規制が強化されれば、有害廃棄物専門処理の

DOWAグループには有利であろう。とくに使用済みエレクトロニクス製品やASRのように重金属など有害物質含有の複雑な成分をもつ廃棄物処理と有価物回収には非鉄金属処理の高度な専門技術が基礎となる。エコシステム小坂のASR炉は安定操業で評価されている。小坂製錬のTSL炉は、リサイクル原料用で2007年から運転開始した。DOWAの独自技術の一つに砒素の不溶化処理がある。非鉄金属鉱石中の砒素濃度が世界的に上昇傾向にあることに加え、リサイクルの分野においても液晶など電気電子機器の一部には砒素が使用されている（砒素はRoHs規制対象外）ことから、この技術は今後ますます重要になる。

4. Umicoreグループ

ヨーロッパを中心に非鉄金属製錬事業を展開するUmicore Precious Metal（以下Umicoreと略）は、日本では「フランダースの犬」で有名なベルギーのホーボークンに立地する。ベルギーは冶金製錬の分野で長い伝統と技術を有することでも知られている。

Umicoreの他に見られない特徴は、投入原料として天然鉱石ではなく、主にリサイクル原料を使用していること、及び貴金属回収を重視していることである。Umicoreが利用するリサイクル原料は、同社の分類によると以下ようになる⁴⁾。

- ①産業からの副産物が70%で、内訳はニッケル・PGM（自動車触媒）・PM（貴金属）、各産業からのスラグや煙道ダスト、亜鉛産業からの銅セメントと硫酸鉛、銅産業からの電解泥、鉛溶鉱炉からの滓などである。
- ②産業廃棄物が17%で、内訳は工場ハグレ（回路基板など）、石油化学産業の触媒などである。
- ③使用済み製品13%で、内訳は使用済みエレクトロニクス製品、燃料電池、写真現像廃液などである。

2007年の処理実績として、上述のリサイクル原料300,000t/年を投入し、金属資源70,000tを回収する。そのうち貴金属の年間生産内訳は銀1,200t、金25t、プラチナ12t、パラジウム15tを含めた17種類の金属である。貴金属の山元建値合計で2,000億円を超え、原鉱石のリサイクル原料切替えによるCO₂排出削減は1,000,000tに達するという。

ヨーロッパでは、使用済み電気電子製品は都市一般ゴミの3倍の速さで急成長しているとされる。なかでもUmicoreが目にするのは、一般家庭電化製品とは別に、貴金属・ベースメタル・有害金属・プラスチックなど含む成分の複雑なコンピュータ・携帯電話など使用済みエレクトロニクス製品である。それら製品中に貴金属はppmレベルでしか含まれないが、価格で見ると高価である。とくにICのような電子部品は最も複雑な貴金属含有の有害物であり、その処理にはUmicoreの技術を必要とする。そのためUmicoreの業務で、受入れのリサイクル原料成分のサンプリングと分析はとくに重要であり、100人近い人員が投入されている。

Umicoreの金属回収・製錬技術は、銅・鉛・ニッケル3金属組合せの冶金技術的特性を利用して稀少金属を取出すという、他の製錬会社にはない技術である。現在、世界最大の稀少金属リサイクル設備を持ち、PGM50t、金100t、銀2,400tの生産能力があるという。Umicoreの工程では、溶鉱炉の反応を安定化させるためにプラスチックを10%程度投入し、さらに有機物やアルミなども投入する。また熱回収も行う。排煙についてはダイオキシン処理の急冷装置はもちろん、集塵機、水洗浄装置を備え、ガス回収も行う。携帯電話などは前処理で分解率を上げると貴金属のロスが多くなるので、分解率60%程度で溶鉱炉に投入するのが望ましいという。電池を除去後、そのまま溶鉱炉に投入でき、44.2%を占めるプラスチックは燃料代替になる（Fig.4参照）。

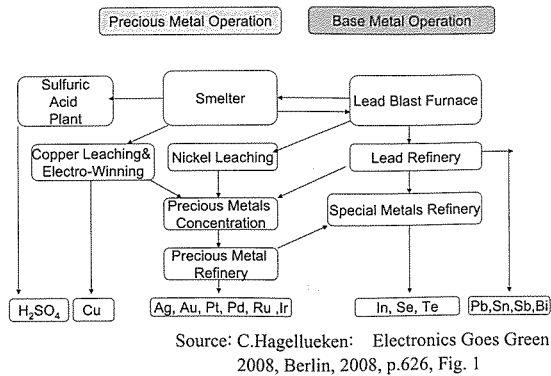


Fig. 4 Umicore Precious Metals Refining at Hoboken.

DOWAと比較すると、Umicoreには亜鉛・カドミウム生産の工程がない。それにガリウム・ゲルマニウムの工程もない⁵⁾。代わりに鉛から派生するニッケル・砒素の系列がある。DOWAもUmicoreも、生産した金属を原料として工業製品を製造している。DOWAは電子部品材料など素材製品が多いのに対し、Umicoreは太陽光パネルや燃料電池など付加価値の高い製品が多い。新型炉システムへの投資規模は、Umicoreは1,500億円規模、DOWAは200億円規模である。

5. Xstrata Copper Canada

Xstrata Copper Canada (以下Xstrataと略)は、カナダ・ケベック州にあるホーン溶鉱炉をリサイクル原料50%で操業させている。そのリサイクル原料を米国で買付けホーン溶鉱炉に送っているのがXstrata Recyclingであり、そのシリコンバレーにあるサンノゼ支店は、米国西半分の電子材料由来の稀少金属処理の最大事業者としてリサイクル原料を受け入れ、サンプル検査して購入・破砕処理し、カナダの炉に送る。サンプル検査における評価は金と白金族の含有量で決まる。つまり、同支店はホーン溶鉱炉に対し買付けだけでなくサンプルセンターという重要な役割を果たしている⁶⁾。

Xstrata Recycling サンノゼ支店の重要な業務は、顧客に私有権のある電子材料の破壊があり、その保障に顧客を処理に立ち会わせることもある。操業全体を通じた安全モニター制度にサンプリングとその準備を統合している。リサイクル可能なものとして受入れる品目は、18種類で、バグハウス廃棄物、シアン溶液、リードフレーム、PGM(触媒)、IC、スラッジ、PCB(プリント基板)などである。受入れ時には、重量測定や放射能チェックが厳格に行われ、従業員の安全にも留意している。

受入れ品には、工場などの在庫処分品、オフスペック規格外品が多く、とくに工場の立ち上げと閉鎖時に多い。使用済み製品は少ない。米国東部にある別の支店にはブローカーから来るものが多いのに対し、米国西部では工場から来るものが多い。受入れ品の保安管理は厳しく、破壊が基本である。研究開発関係品も入ってくるからである。ソーラー産業関係からの受け入れも増えている。携帯電話、デジカメ、PV(太陽光パネル)は価値があり、PC、プリンターはあまり価値がないという。いずれも大部分は製造企業から来る。半導体メーカーの社内で使われていた携帯電話を使用済み品として受け入れ、まとめて破壊したこともある。この場合も情報の完全破壊が重要である。使用済み製品はメーカーからトラックコンテナで送られて来ることが多い。

カナダのホーン溶鉱炉では、銅製錬事業の一部としてリサイクル事業を行い、副産物として金、銀、プラチナ、パラジウム、銅、

稀少金属などを再生回収している。北米大陸でも鉱山は減っているの、製錬所の原料もリサイクル原料にシフトしている。また米国内には大きな製錬所はなく、そのため大量のリサイクル原料がホーン溶鉱炉に送られる。さらに、ホーン溶鉱炉もXstrata Recycling サンノゼ支店も、もともとノランダの所有であったが、金属鉱石バイヤーであったスイスのXstrataに買収された。リサイクル事業も、世界の金属資源大手の合従連衡に大きな影響を受けている。

6. 都市鉱山の経済分析

日本国内に蓄積されリサイクルの対象となる稀少金属の量は、物質・材料研究機構の推定によれば(2008.1.11発表)、金約6,800t(世界埋蔵量の16%)、銀60,000t(同22%)、インジウム(同16%)、錫(同11%)、タンタル(同10%)で、世界埋蔵量の1割を超える金属が多数ある。これらが退蔵未回収であり、また海外に流出している状況である。物質・材料研究機構の研究では、都市鉱山が実際にどこに存在しているかを明らかにしていない⁷⁾。これらの値は貿易統計や生産統計からの推計値であり、拡散して、それらのうちどれだけが環境中に放出された分、酸化した分、廃棄物処分場に埋め立てられている分なのか、またその品位も不明である。この存在形態を明らかにする必要がある。

エレクトロニクス製品についてみると、日本の使用済電気電子機器の発生総量は、推定で2,500,000t/年(国民一人当たり19.4kg)であり、そのうち小型機器は約500,000t/年である。使用済機器中の金属量は銅、鉛などのベースメタルで数1,000tから数10,000tオーダーであり、小型・高性能機器で含有量が高いと考えられる貴金属類・レアメタル類は、数10tのオーダーと推定されているものの、いずれも拡散した状態での資源分布である⁸⁾。

前半の事例分析で見てきたように、非鉄金属製錬リサイクル産業は、産業の副産物、工場のハギレ、産業廃棄物を主な原料としており、量がまとまり、均一な質のものが多い。複合リサイクルをめざす、DOWAの小坂製錬で2007年に新たに導入されたTSL炉の投入原料も、量がまとまって、均質なものである。すなわち、廃水スラッジ、電子部品屑、メッキ廃液、写真銀液燃えかす、使用済み酸化電池、リードフレーム、制御・PC・コネクタ基板が中心である。日本全体で見ても、非鉄金属業界のリサイクル原料処理に占める廃電子部材はまだ4%程度に過ぎない(23/540千t, 2007)⁹⁾。UmicoreやXstrataでもやはり投入原料に使用済み製品の占める比率は高くない。

このように、非鉄金属製錬リサイクル産業は、有価金属の回収と廃棄物の処理を統一した事業を行っており、その中で都市鉱山といわれる使用済みエレクトロニクス製品の割合は少なく、都市鉱山として脚光を浴びた携帯電話もその一部に過ぎない。総務省『情報通信分野におけるエコロジー対応に関する研究会報告』第3部(2009年)によれば、携帯電話から回収できる金属価格は1台当たり約100円であり(そのうち金は0.03g×2,920円/g=87.6円)、そこから、輸送費、前処理費、精製錬費などリサイクル費用を差し引けば、1台当たり数円から数十円になってしまうという¹⁰⁾。この推定をもとに12,000万人国民各1台を回収したとして、回収できる金属価格は約100億円程度であり、これは金属資源会社の売り上げ、例えばDOWAの2008年売り上げ3,500億円と比べると多くはない。

しかしながら、都市鉱山として携帯電話やPCなど使用済みエレクトロニクス製品が注目されるのは、一方でハイテク製品の拡大と急速な技術進歩があり、他方でレアメタルの供給制約が生じているためである。そこで、改めて使用済みエレクトロニクス

製品の回収とリサイクル体制が問題となっているのである。

以上、都市鉱山の現状分析をふまえて、エレクトロニクス製品とバッテリー類の都市鉱山が存在し得る経済的条件を、3つにまとめることができる。

第1の条件は「回収システムの制度化」である。これらの使用済み製品は、社会的蓄積量はあるものの、個人に拡散し、蓄積され、移動容易であり、個人からの回収システム構築が重要な前提である。すでに家電リサイクル法で家電4品についてはリサイクル制度ができ、DOWAグループの事例で見たように、適正処理コストが支払われ、雇用を生み出している。PCについては、資源有効利用法による無料回収制度ができているものの、回収率が必ずしも高くはないのは、中古PCとしての市場価値を持つものが多いからである。

これに対して、携帯電話を含む小型家電は処理困難物であるにもかかわらず、一般廃棄物として自治体が回収、埋立て・焼却処理しているものが多い。これでは廃棄物適正処理と資源有効利用の両面で問題がある。そこでEUのWEEEのように、現行の家電リサイクル法の対象品目を拡大し小型家電を含めようとする、日本の場合には消費者が廃棄時に処理費用を支払わなければならないことが障害になる。小型機器では回収と不法投棄をよりいっそう誘引しかねないからである。全国規模で展開されている小型家電回収プロジェクトも、回収と処理技術開発を目的とした実証実験であり、回収の役割分担と費用負担の問題が未解決である。また資源性のみが強調され、有害廃棄物の適正処理には言及されないが、両者を統合してはじめて成り立つビジネスである。

第2に、本稿で見たようなエレクトロニクス製品やバッテリー類からの非鉄金属リサイクルを担う企業は、鉱山の精製錬業を背景に廃棄物適正処理と資源有効利用を統合する高度の技術と技術開発力をもつ。複雑で不均一な成分をもつ使用済み製品の分析技術は、適正処理費用と金属の価値を評価する点で事業の基礎となる。さらに、エレクトロニクス製品やバッテリー類の急速な技術進歩や環境規制の強化に対応して、リサイクル原料を主体とするDOWAのTSL炉導入や三井のリチウムイオンバッテリー・リサイクルの取組みなど、稀少金属のリサイクル技術開発も進んでいる。また、希少金属回収とカドミウム・水銀など特殊金属回収処理との両立も可能になっている¹¹⁾。今後大量に発生するLCDやPVや新型電池の回収処理は、事業拡大の好機となる。

同時に、とくに日本の企業が鉱害対策のために発展させた環境技術・管理システム・人材育成は、国際的に見ても高レベルであり、現在でも社会の信頼と国内外の顧客獲得につながっているだけでなく、ハードとソフトを統合した環境技術として、潜在的に強い国際競争力をもつ。

第3の条件は需要先の問題である。リサイクルの「市場の価格条件」を考えると、初使用（バージン）資源から生産する製品の価格よりも、リサイクルつまり再生資源から生産する価格の方が安価で、その価格差がある程度長期間、維持されていることが必要である。現実には、初使用資源価格の動向によって再生資源価格も左右されている。その初使用資源の価格は外国為替の変動を受け、資源採取による環境破壊などの外部費用を含まず、補助金を受けている場合も多いので、再生資源価格に対して競争力をもつ傾向がある¹²⁾。

とくに最近の市場価格の動向で問題となるのは、世界的な金融経済危機の影響による価格低下と変動であり、鉛・銅などのベースメタルの価格変動とレアメタルの堅調が特徴的である。これに対して、高付加価値へシフトし、稀少金属の回収・処理量を拡大することにより金属価格変動へのヘッジとする方向が取られてい

る。また高付加価値化という点では、生産した金属を原料に工業原料を製造するという方向も共通に見られ、製品も電子部品材料など素材製品から太陽光パネルや燃料電池など、より付加価値と完成度の高い製品にシフトしつつある。

7. 結び：今後の課題

はじめに提起した3つの視点から、公的規制と企業の役割について、今後の課題を明らかにしたい。

第1の「廃棄物の適正処理（環境負荷低減）」という視点では、環境規制が重要な役割を果たす。例えば、処理企業にとって、リサイクル原料として、使用済み工業製品の比率はまだ少なく、産業副産物や廃棄物、端切れなどが主要原料であり、この面でも廃棄物の適正処理に関する生産者への規制が不可欠である。それにより発生する適正処理料金は処理企業の利益と雇用の重要な柱となっている。本稿で紹介した事例はこのことをよく示している。

また、小型エレクトロニクス製品を一般廃棄物と混ぜて処理している現状に規制を加えることは、環境保護だけでなく、処理企業に事業拡大の好機となり、雇用創出にもつながるというグリーン雇用の面からも公共政策として位置づけることができる。ただし、小型製品の回収制度確立や、既に制度がある家電4品とPCの回収率向上には、規制だけでなく、生産者、販売者（携帯電話の場合は通信業者）、消費者、回収処理事業者など関係者の参加により、デポジット制も含めたインセンティブなど回収の仕組みを工夫することが今後の課題であろう。

さらに、使用済み製品の海外流出の規制強化と海外流出先でのモニターの制度化、また、有価物と廃棄物を混ぜて有価物と称して輸出する脱法行為に対する公的規制強化が、適正処理を促進し、国内により大きな廃棄物処理市場を生み出すことになる。例えば、公的規制として、中国への再生資源の不適切な輸出を防ぐことは、中国内の汚染防止と同時に、日本国内のレアメタル資源確保につながる。

第2の「資源の有効利用（天然資源の消費抑制）」という視点では、生産者と処理業者を含めた企業の役割が重要になる。今後のリサイクル原料の多様化・ハイテク化を見通し、急速な技術進歩や環境規制強化に対応しつつ、新しい技術開発や事業拡大の方向判断を行うのは処理企業の役割である。また生産者による廃棄物処理の品質選択がリサイクル産業の発展を規定する。ゼロ・エミッションも現状には問題が多く、有価物に廃棄物を混ぜるためにかえって汚染拡散につながる事例も少なくないからである。

回収量が少なく、回収・抽出技術が未開発のレアメタルを「人工鉱床」として蓄積する構想も、将来の需要や供給不足を見越し、どう実行すべきか判断するのは企業の役割であり、規制で対応するのは難しい。

第3の「エネルギーの節約（低炭素社会）」という視点から、低炭素社会のもとでの循環型社会であるならば、公的規制と企業の取り組みが一体となって、CO₂削減、環境負荷低減を具体的な目標にした制度づくりが必要である。回収とリサイクルによる「エネルギー節約」の成果を明確にすることである。基板類などはエネルギー密度が高いのでリユースの効果が大きく、リサイクル優先になっている制度を再検討すべき余地もある。

総じて「都市鉱山」を社会のなかで、どのように位置づけるか、それが基本問題であり、廃棄物の適正処理とリサイクル産業の拠点として国内製錬業の企業の取り組みを位置づけ、循環型社会の重要なインフラとして、市場経済の変動に耐えられるよう、公共政策として、支援していく方向性が求められる。

謝辞 本研究にあたり、見学と調査に協力をいただいた神岡鉱

業, Dowa グループ, Umicore Precious Metal, Xstrata Recycling に深く感謝したい。

References

- 1) M Nanjyo: Bulletin of the Research Institute of Mineral Dressing and Metallurgy, Tohoku University, 43 (1988), 239-251.
- 2) Kamioka Kogyo, Kamioka Kogyo no Kougai Boushitaishaku (1986-2008).
- 3) DOWA Holdings, Annual Report 2008.
- 4) UMICORE, 2007 Report to Shareholder and Society.
- 5) M.Naka: "KishoKinzoku Recycle no risk and Premium", in E.Hosoda ed, Jyunkangata Shakai no risk to Premium, (Keio University Press,2009), Fig. 5.3.
- 6) Xstrata, Sustainability Report 2007.
- 7) K.Halada,K.Ijima,M.Shimada and N.Katagiri: J.Japan Inst. Metals, 73 (2009), 151-160.
- 8) T.Shiratori and T.Nakamura: Journal of MMIJ, 123 (2007), 171-178.
- 9) Kozan, 667 (2009), 37.
- 10) Soumusho, Jyouchou Tuushin Bunya niokeru Ecology taiou nikansuru Kenkyukai Houkoku, (2009), p.37.
- 11) C.Hagellueken: Technology challenges to recovery precious and special metals from complex products, R'09 and twin World Congress, Davos, 2009.
- 12) F.Yoshida: Jyunkangata Shakai, (Chou Koron Shinsho, 2004), pp. 56-57.