

都市鉱山と日本の循環資源



企業レポート

中 辻 恒 文*

Urban Mining and its importance for Recyclable Resources in Japan

Key Words: Recyclable, electronics, rare metal, AI

1. はじめに

当社は大正6年(1917年)に当時の鉄鋼重要再生資源であった鉄スクラップ問屋として大阪府堺市にて創業しました。その後、昭和27年(1952)には中辻産業株式会社として鉄スクラップを中心に各種金属のリサイクル加工処理業に加え、地場産業に成長しつつあった自転車部品の部品製造(鍛造事業)に乗り出し、来年には創業110周年を迎えます。精密鍛造事業では2016年に自動車部品産業に特化した国際標準品質マネジメントシステム規格『ISO/TS16949』を取得し、自動車用等速ジョイント(CVJ)部品では閉塞鍛造技術を駆使してNear Net Shapeを追求し、鍛造後の機械加工を削減する事による資源の有効活用に努めています。現在では国内、海外の自動車(完成車)メーカーへの等速ジョイント OEM メーカー各社へ年間1千万個以上を供給しています。

今回ご紹介したいのは、使用済小型家電(電気・電子製品)リサイクルへの当社の取り組みです。小型電子製品の適切なリサイクルにより金、銀、銅はもちろんのこと、レアメタルにおいても日本は決して資源小国ではなく、再生資源大国として環境保全を前提とした産業・経済の発展を図ることが出来るということです。

当社は既存の鉄、非鉄金属リサイクル事業を維持発展すると同時に、1990年代の後半からパソコン、

通信機器などの電子製品のリサイクルに取り組み、小型家電リサイクル法施行後の2015年に経済産業省・環境省の認定業者となっています。

2. 都市鉱山の重要性

都市鉱山とは、都市部を中心に全国各地で蓄積された使用済み電子機器や家電製品から貴金属やレアメタルを回収・再利用する取り組みを指します。

2020東京オリンピックの開催時のメダル全量である金(32kg)銀(3,500kg)銅(2,200kg)は全て「都市鉱山」からリサイクルされたメダルで提供されました。

これらは、デジカメ、携帯電話、ゲーム機、パソコンなど使用済小型家電製品の回収と再資源化処理を行った原料のみでまかなったものです。環境省を中心に我々認定事業者と各自治体がプロジェクトを組み2年をかけて実施したものです。この事が日経の記事で報道されたことから都市鉱山事業の重要性を認識された方も少なくなろうと思います。日本は適切なリサイクルシステムをつくり上げれば、鉄、アルミ、銅などのベースメタルだけではなく、貴金属、レアメタル、レアアースなどの希少金属、希土類においても全面的に輸入に頼らざるを得ない「資源小国」ではなく、むしろ「資源大国」と成り得るという事を次のデータからご理解頂けると思います。

自然にある金鉱山の金鉱石1トンから取れる金は5g程度です。

それに対してパソコン1トン(金・0.3g/1台)からは金200g、携帯電話1トン(金・0.05g/)からは金280gと金鉱石の40倍~60倍もの良質な金が取れます。パソコン1トンからは、金以外にも銀560g、銅3,400g、携帯電話1トンからは銀1,300g、銅7,500gが再資源化出来ます。しかも、これらは、鉱脈を見つけ出す調査や、金鉱山の金鉱石から5g



* Tsunefumi NAKATSUJI

1953年2月生まれ
関西学院大学 法学部 政治学科 (1975年)
現在、中辻産業株式会社 取締役会長
TEL: 072-228-1777
FAX: 072-228-1771
E-mail: tsunenax@nakatsuji-limited.com

の金を採取する為に引き起こす深刻な環境破壊はありません。また、リサイクルされた各金属は既に精錬工程も終えた品位の高い良質な金属です。

2008年度に公表された国立研究開発法人物質・材料研究機構の研究結果として、日本には既に電気・電子製品を中心として貴金属・レアメタル・レアアースの多くにおいて、その「地上資源蓄積量」が世界の「地下資源の埋蔵量」に匹敵することが分かります。

	日本の蓄積量	日本蓄積量/世界全体埋蔵量 (%)
金	6,800 トン	16%
銀	60,000 トン	22%
銅	38,000,000 トン	8%
タンタル	4,400 トン	10%
リチウム	150,000 トン	4%
鉄	12億トン	2%

このデータは2008年に発表されたものですので、小型家電に特定された「蓄積量」ではありませんが、小型家電類に多く含まれていることも分かっています。日本国内には日々の仕事や生活で使用している家電製品や工場生産設備などの中に既に十分な「地上資源」が存在する事を意味します。

世界埋蔵量に対して、リチウム 4%、鉄2%というのは少ないと感じられるかも知れませんが、リチウムの国内需要量は凡そ年間1万トンと推測されますので、15万トンというのはかなりの規模と思われます。鉄も2020～2021での年間平均国内需要量は3,700万トンですので、12億トンの鉄鋼蓄積量は十分と考えます。日本は鉄スクラップに関しては輸出国になっていて、ここ数年は年間800万トン前後の鉄スクラップが輸出されています。

鉄鋼業におけるCO₂削減から高炉の電炉化が推進されていますが、鉄資源の有効活用が期待されています。小型家電のパソコン、携帯電話、電子機器の基板からはパラジウム、インジウム、タンタルなどが、充電式電池からはリチウム、コバルト、ニッケルなどが、小型モーターからはネオジウム、ジスプロシウム、テルビウムがとれる事が分かっています。

以上の様な「地上資源蓄積量」は小型家電を含む全ての使用済電気・電子製品が適正に回収されリサイクルされた時に有効活用が可能となります。使用済

み小型電気・電子製品は推計で年間65万トンは廃棄されていますが、小型家電リサイクル協会によりますと、ここ数年間の年間回収は9万～10万トンですので、約15%程度しかリサイクルされていない事になります。

「回収システムをどう作り上げて行くか」が、「どういうリサイクル処理を行うか」と同様に重要な課題となっています。当社の取り組みや処理設備のご紹介に入る前に、1990年後半から現在に至るまでの資源リサイクルを取り巻く社会経済環境の変化を見ておきます。5つの個別リサイクル法成立の社会経済環境と小型家電リサイクル法の成立環境には大きな差があると私は考えています。

3. 5つの個別リサイクル法の成立背景と小型家電リサイクル法成立に至るまでの変化

2000年から2005年にかけて循環型社会形成推進基本法を基軸に廃棄物処理法、資源有効利用促進法が大幅に改正され、5つの個別リサイクル法(容器包装、家電、食品、建設、自動車)が施行されました。小型家電リサイクル法が推進法として施行されたのが2013年ですので、8年の差があります。

個別リサイクル法の成立背景には下記の様な社会情勢が大きく影響していると考えます。

- ① 1990年代埋立て処分場の逼迫と家電製品不法投棄
- ② 豊島事件 香川県の豊島で起きた国内最大規模の産業廃棄物不法投棄事件
- ③ 1997年アジア通貨危機と金属価格の暴落
- ④ COP 3 京都議定書 焼却処分への規制

①埋立て処分場の逼迫と不法投棄

当時はまだ家電製品はそのまま埋めることが自治体でも行われていました。家電製品も大型化し、埋立て処分場も3～5年以内には満杯になる事から自治体も粗大ごみとしての受け入れができなくなった為受け入れを停止。

大型化した家電製品を埋立て処分する為には減容処理の為の解体か破碎処理が必要となります。しかし処理費を支払うことに対する市民の理解や制度が当時はなかった為、多くの家電製品が山間部や野原に不法投棄されることとなります。

②豊島事件1978年から長期に亘って香川県の豊島に豊島総合観光開発が自動車解体廃棄物の処理後残渣物、廃油、汚泥、廃プラスチック、得体の知れない液体物などを90万トンもの量で持ち込み野焼き(タイヤ)を繰り返した。

廃棄物の処理後残渣物、有害物質が住民の健康被害、環境破壊などを引き起こし大きな問題となり1990年に兵庫県警が不法投棄容疑で強制捜査し摘発。2000年に県と住民間で調停成立し、無害化の中間処理に入る。廃棄物処理法の大幅な改正が必要となり、2000年に改正される。

③1997年のアジア通貨危機と世界経済の縮小(金属価格暴落とリサイクル逆有償化)

1990年代は旧ソ連圏の資本主義経済への参加、WTOの設立、インターネットの普及、などにより、「経済のグローバル化」が著しく進展していました。そこに、タイの通貨バーツ暴落に端を発して東アジア・東南アジアの各国通貨が急落しアジアは経済危機に陥ります。アジア諸国の需要は大幅に低下し世界需要、生産も減少。特に、原油や鉱物資源の価格が暴落しました。当然の結果として金属類の価格も大暴落する事になります。廃車後の自動車を有価で買取り、解体作業を経て金属リサイクルによる利益を得ていた解体業者やリサイクル会社も赤字経営を強いられた為、再資源化処理費を徴収する「逆有償化」に踏み切って行きます。結果として自動車の保有者は廃車手続きを放棄し「放置自動車」があちこちに見られる様になり社会問題となります。

④COP3京都議定書 この会議では先進国全体で1990年比温室効果ガス削減5.5%の削減を法的に義務付け、日本には1990年比6%の削減が2008年—2012年に課されました。

これは「廃棄物処分としての焼却」に規制がかかる結果となりました。その他にも、1997年度には産業廃棄物焼却炉周辺で高濃度のダイオキシンが検出され大問題となり焼却規制となったために、焼却処分に規制がかかる事になります。

自治体での廃棄物処理能力が限界を超えてしまうと同時に、リサイクル会社においても再資源化コストが限界利益を大きく上回る状況となり、廃棄者か

ら処理費をとらない限り経営が成り立たなくなりました。再資源化処理コストを廃棄者が負担する社会システムを作り上げない限り大きな環境破壊につながり兼ねない深刻な問題であったと私は理解しています。以上の様な社会経済問題を背景として、2000年～2005年に個別リサイクル法は施行されます。廃棄物の再資源化処理を通してリサイクル資源を活用したものづくり社会を実現し、大量生産—大量消費—大量廃棄という社会経済構造を転換させ、循環型社会へ移行する必要があるという点をご理解頂けるかと思います。

循環型社会形成推進基本法にはそれまでになかったEPR「拡大生産者責任」が導入されていて、これが今までにない特徴だと理解しています。つまり、生産者は生産した製品について、使われた後の回収、再資源化、再利用まで責任を持つという考え方です。

生産者は設計段階からリサイクルに適した部品設計や素材の選択を行う事になります。個別リサイクルでは消費者も応分の費用を負担する事になりました。これは、生産者も消費者も費用負担をすることによって廃棄の抑制、再利用の促進、そして廃棄物のリサイクル促進(3R)を促すものです。

2000年代初頭にEUで廃電気電子機器指令としてEPRが発表され、順次EPR義務は主要な廃棄物にまで拡大しました。日本でもこのEPRの考え方を適用しています。

EUでのEPR発表とその後の展開で着目すべきは、資源リサイクルを推進することによってEUの経済力を強化しようという点です。つまり、リユース、リサイクル産業の育成はもちろんのことですが、経済の仕組みを原料や製品のサプライチェーンから見直し、エネルギー源を化石燃料から自然エネルギーへの移行、EV自動車の開発、重点産業の見直し、そして消費スタイルも見直す。抜本的に経済の仕組みを再設計することによるEU経済の成長と競争優位戦略であったと理解しています。ものづくりや物流、消費、廃棄が循環を前提としたサイクルにする為には静脈産業と動脈産業の連携が必要です。こう考えますと、EUは最初からサーキュラーエコノミーの実現を図っていたと考えられます。

その観点からは日本の2000年からの循環型社会

形成推進基本法、個別リサイクル法の制定は廃棄物処理政策としての3R推進とEPRの導入であったと考えます。成長戦略につなげるサーキュラーエコノミーの実現という考えには重点が置かれていなかったと私は捉えています。

4. 2013年小型家電リサイクル法の成立に至る社会経済環境

①2006年に中国は日本だけではなく、世界各国を対象にレアアース輸出規制が実施されました。この時点での背景には、中国国内での過剰採掘の抑制、環境汚染対策、付加価値向上を目的にしたものと思われる。日本側は恐らく輸出規制に動く可能性を察知しており対応策は検討していた様ですが、私の調べた範囲では明確な対策は提示されていない様に見受けられます。しかし、2010年の尖閣諸島で中国漁船衝突事件が起こり、中国が日本へのレアアース輸出を停止した時には「小型家電リサイクルシステムの構築と強化」が、他の政策と同時に打ち出されています。他の政策とは；A)供給源の多角化、B)備蓄の推進、C)代替技術の開発、D)使用量の削減などです。

2010年には情報機器やEV電池などで輸入に偏重しているレアメタル、レアアース、及び重要資源の備蓄とリサイクルを明確に促進する方向に進んだのではないかと考えます。しかしながら、この時の外交交渉の結果、規制は非常に短期間で解除された為、政策の推進は緩んだのではないかととも思われます。

②2000年頃からは使用済小型家電を湾岸近くの倉庫を借りて買い取りを行い、アジア方面に大量に輸出する東アジア系貿易会社が出てきました。

これらの使用済製品は電池などへの適切な処理を施さないまま輸出された為、湾岸や船上で火災を発生させ大きな社会問題となっていました。これらの輸出業者の中には湾岸内のヤードに電気・電子製品を保管していた為、雨に濡れて有害物質が海に流れ込む恐れもありました。これらの業者には環境省と(一社)日本鉄リサイクル工業会がジョイントで輸出業者を訪問し使用済製品の取り扱い改善、湾岸での在庫保管中止などを協議。

しかしながら、一旦中止したところも、暫くすると湾岸以外のところで目立たぬ様に買い取りを再開するところもあり、全面停止までには至りませんでした。

使用済電子製品や部品の輸出は製品に組み込まれている重要資源がそのまま海外流出する事になる為、国内リサイクル制度が必要となったのも一因です。

重要鉱物資源を輸入に頼っていた日本としては、もっと早くに電子機器のリサイクルに力を入れるべきであったと思いますが、やっと2013年に法制化出来たというのが私の実感です。この様に国内での資源循環に関連する法規制や政策の背景を見ますと、個別リサイクル法や小型家電リサイクル法は、「日本の経済競争力」に結び付ける「成長戦略」の一環にはなっていないことをご理解頂けるかと思います。前述しました様に、5つの個別リサイクル法とシステムは過剰となった廃棄物処理への対策であり、2013年の小型家電リサイクル法も重要鉱物資源を特定の国からの輸入偏重を軽減する為の政策に終始している様に私には思えます。資源の循環システムを活用することによってどのような産業と製品を生み出して行くのか、消費者行動も含めて再構築して成長戦略を考えるべき時期に来ていると考えます。経済安全保障面からの見直しと強化も必要と思います。

5. 当社の取り組み

①回収網の整備—リサイクル企業間ネットワークの構築

A)当社がOA機器や電気・電子製品の製品(使用済)からのマテリアル・リサイクルに関心を持ち、取り組み始めたのは2000年以前です。この頃に(一社)鉄リサイクル工業会での各委員会に所属していた当社を含め使用済み電気・電子製品のマテリアル・リサイクルに関心があるメンバーが集まり、処理方法や回収方法、排出事業者(法人)との契約方法などについて工業会活動とは全く別途に有志のみで勉強会を行っていました。私自身は電子機器やOA機器から重要鉱物資源をリサイクルすること以上に、(使用済)製品を構成する素材全てを自分達の創意と工夫によって原料に戻す事業であることに大変興味を持ち積極的に参加していました。

勉強会では、どのような処理工程を設計することによってマテリアル・リサイクルが実現出来るか、そ

して回収網をどう構築するかを中心に議論していました。

集まったメンバーは金属リサイクル分野では各地の有力リサイクル会社でした。金属リサイクルでは工場発生スクラップ、或いは使用済金属製品であっても有価物ですので売買され、既に市場が成立している集荷網です。この集荷網に使用済電子製品は適合しません。しかし勉強会での情報交換や電子製品メーカーとの面談を重ねて、一部上場企業の電子機器メーカー、或いはそのユーザーである企業もEPRを取り入れた廃棄処理を進めるべく準備を進めている事が分かり、どの様なリサイクル処理と物流を望んでいるかを明確にして行きました。

B)具体的な活動として、メンバー7社の素材再資源化処理品質の統一に向けて再資源化工場の整備(各社の工場内)、解体設備の導入(当初は手解体用の工具)解体作業の手順などを作成し、メンバー間での相互確認と相互監査を実施しました。契約が整う前には廃棄企業による工場監査を受けて再資源化処理作業に入りました。

C)排出事業者で企業規模が大きいところ(廃棄量も多い)は、管理システム機器などの更新に伴う機器や設備類の廃棄計画は東京本社で一括管理しているケースが多い為、各地各社別の交渉は有効ではありません。そこで7社が協議の上で、交渉すべき法人の選択や交渉要件を決めたうえで、交渉から契約までの実務は東京の1社に付託する事にしました。

排出事業者の「広域処理認定制度」が2003年に導入されると同時に実際の処理活動に入りました。コンソーシアムとして捉えて頂くと理解が容易かも知れません。

当社はパソコンの処理から始め、当社では月間2000台くらいの処理を行っていました。しかし台数が更に増えた為、手解体では限界となり、パーツセパレーター(構成部品を素材別に分離)を導入しました。この頃には自販機、複写機や鉄道の自動改札機などの処理も始めていました。

D)この“コンソーシアム”とは別に、静岡県にある総合リサイクル会社が電子製品にこだわらず鉄、非鉄、家電、自動車を含めた情報交換と協業を推進す

る“コンソーシアム”を結成したいと提案があり、当社も発起人となって参加。東北から九州までの有力リサイクル企業が集まり3カ月に1度程度の頻度で市況や入荷状況、設備の稼働率などを話しあうと同時に年に一度は各社のメインの工場を相互訪問し新しい処理技術や市場への適用について研鑽を積み重ね当社の電子機器リサイクル事業も順調に成長します。この静岡の総合リサイクル会社は後に東証一部上場企業となっています。

当社はこれらコンソーシアムとは別に関西圏では自社単独での個別交渉も同時並行で取り組んで処理規模を拡大しています。特に小型家電リサイクル法施行後は家電量販店、金融機関などとの取引や電子機器メーカーとの取引が拡大しています。

リサイクルビジネスにおいては、リサイクルに対する価値観を共有し相互に信頼感を持てる同業者間ネットワークが大切であると強く感じています。

②再資源化処理と設備

2013年の小型家電リサイクル法の施行を機に2015年には認定工場となり家電量販店数社からの電気電子製品、パソコン、通信機器、鉄道各社の駅業務機器、自動改札機、金融機関からのATM、自販機メーカーからの自販機各種など使用済製品の再資源化処理量を伸ばしています。

2015年 小型電気、電子製品専用の縦型破碎機(シュレッダー)を導入。

2020年 R2(Responsible Recycling、現R2v3)およびOHSAS18001(労働安全衛生MS 現ISO45001:2018)認証取得

R2とは使用済電気・電子機器やIT資産の適正再利用とリサイクルを目的とした国際的な認証規格で環境保護、労働安全性、厳格なデータ消去基準をクリアした事業所の証明です。

2024年 処理数量の増加に伴い、より早く且つ精密な破碎が可能となる米国SSI製の4軸破碎機を導入。

2024年 渦電流式アルミ選別機を導入。

2025年 非鉄金属選別装置(AIメタルソーター)を導入。

③処理工程は最初に事前選別として情報機器(PC等)、バッテリー内蔵製品とバッテリーを使用していない電子機器類に分別します。この段階で情報機器はセキュリティー環境とトレーサビリティが整備されたセンター内で手解体され、取り出された記憶媒体はPhysical Destructionによりデータ消去されます。

バッテリー内蔵製品は全数バッテリーの検査工程を経て手解体作業により内蔵バッテリーが除去されます。情報機器とバッテリー内蔵製品それぞれの残りの筐体部分、バッテリー使用が無い電子機器類は次工程へと送られ破碎・選別工程により最終的に鉄、アルミ、基板(銅を含む)、プラスチック等に選別されます。

従来は手選別コンベヤで作業者がアルミ、基板、プラスチックなどの分別を行っていましたが、処理量の増加と作業環境改善に対応する為、近年選別装置を導入しています。

昨年末には人工知能(AI)機能の付いた最新型の選別機を導入し、生産性ではリサイクラーのトップレベルに到達しています。金、銀、銅、パラジウムなど精錬所での抽出率を高めるべくリサイクル処理を日々工夫しながら行っています。

これらは電子機器の基板に含まれる貴金属ですが、基板のみをリサイクル処理している訳ではなく、下記の各工程を進めながら、鉄、アルミ、銅、プラスチックなど「製品の構成素材全て」をリサイクル処理しています。

I. 事前選別 → II. 手解体と機器選別 →
III. 縦型破碎機+磁力選別機 →
IV. 4軸破碎機+磁力選別機 →
V. 渦電流選別機 → VI. AIメタルソーター
右記にそれぞれの写真を載せています。

【リサイクル処理設備】

III. 縦型破碎機+磁力選別機



IV. 4軸破碎機+磁力選別機



V. 渦電流選別機



「何を」「どの工程で」「どのように」処理して行くのがリサイクルしやすい原料となるのかを実験を繰り返してより高レベルの再資源化処理を目指しています。

VI. AIメタルソーター



【セキュリティーセンター】

