

## 都市鉱山発掘、人工鉱石化リサイクルを提案

—リサイクルの中間工程への技術投入で資源の見えるリサイクルチェーン作りを—

2008年3月26日

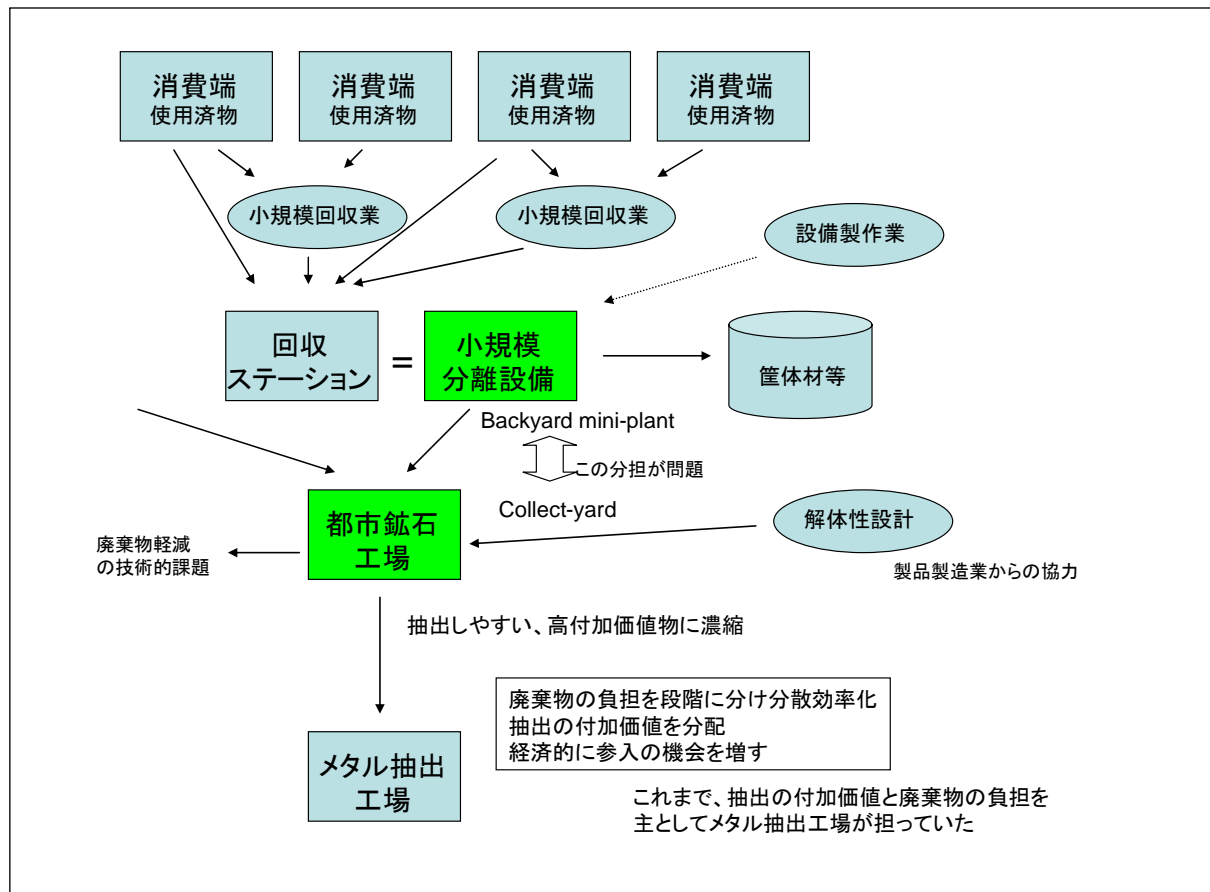
独立行政法人物質・材料研究機構

### 概要

1. 独立行政法人物質・材料研究機構（理事長：岸 輝雄 以下「NIMS」）、元素戦略クラスター長の原田幸明材料ラボ長は、3月27日に東京大学生産技術研究所で行われる資源素材学会2008年春季大会の「資源・環境の政策」のセッションにおいて独立行政法人産業技術総合研究所環境管理技術研究部門小林幹男副研究部門長らとの連名で、「人工鉱石化リサイクル」という方向性を発表する。
2. わが国における金属を含有している廃棄物資源の有効利用の取り組みは、東北大学多元物質科学研究所内に平成18年3月に設立されたRtoS研究会などで社会システム、経済性の問題を踏まえてなされている。そのなかで、今回の「人工鉱石化リサイクル」はひとつの技術的課題の解決の可能性を示すものと考えられる。
3. 「人工鉱石化リサイクル」（以降「人工鉱石」、英語Urban Concentrates（造語））とは、これまでもっぱら“「回収」→「抽出」”として捉えられ「抽出」部分での付加価値が注目されがちであったリサイクルの工程の中に、「濃縮」というプロセスを積極的に位置づけて技術投入することで、抽出しやすい付加価値の高まった再資源化原料を提供することである。「人工鉱石」は天然鉱石で行われている純度の低い「粗鉱」から高濃度の「精鉱」（concentrates）づくりに相当するプロセスが従来の都市鉱山リサイクルでは欠けていたことに着目した概念である。
4. 人工鉱石では、不要になった製品の中の有価金属を直接取り出すのではなく、抽出・製錬の阻害要因となる他の混在物を低減させることで、金やレアメタルなど目的とされる有価金属の濃度を高めて、次の抽出・製錬段階の原料とする。これにより抽出・製錬段階での製錬炉や設備の負荷が大幅に減らせるため、リサイクルにかかる一つの技術的障壁を低減できる。
5. 人工鉱石の鍵となる技術は、「濃縮」技術であり、分解、破砕などと組み合わせた金属成分の特性に注目した選別技術が必要となる。この技術は産業技術総合研究所等で開発してきた選択粉碎と微粒子分離の技術や、NIMSのピンポイント分離技術が活用できる。また、長期的な効率化を考えれば製品自体に解体・分解性設計素材を組み込むことが重要であり、NIMSで研究している解体性接合技術なども貢献できると期待される。
6. 本件は、資源素材学会2008年春季大会で発表されるとともに、関連発表が3月26日から28日に武蔵工大で行われる日本鉄鋼協会2008年春季大会の討論会講演「資源と環境を考慮した素材戦略モデル開発」でも行われる。

# 1. 提案

A) 都市鉱石産業の創出で、マテリアルチェーンのミッシング・リングをなくす。



提案の第一は、これまでのリサイクルでは、ミッシング・リングがあったとして、リサイクルの流れの中で、その欠けた環をつなぐ、「濃縮」工程を積極的に組み入れ、マテリアル・チェーンをつくる提案である。

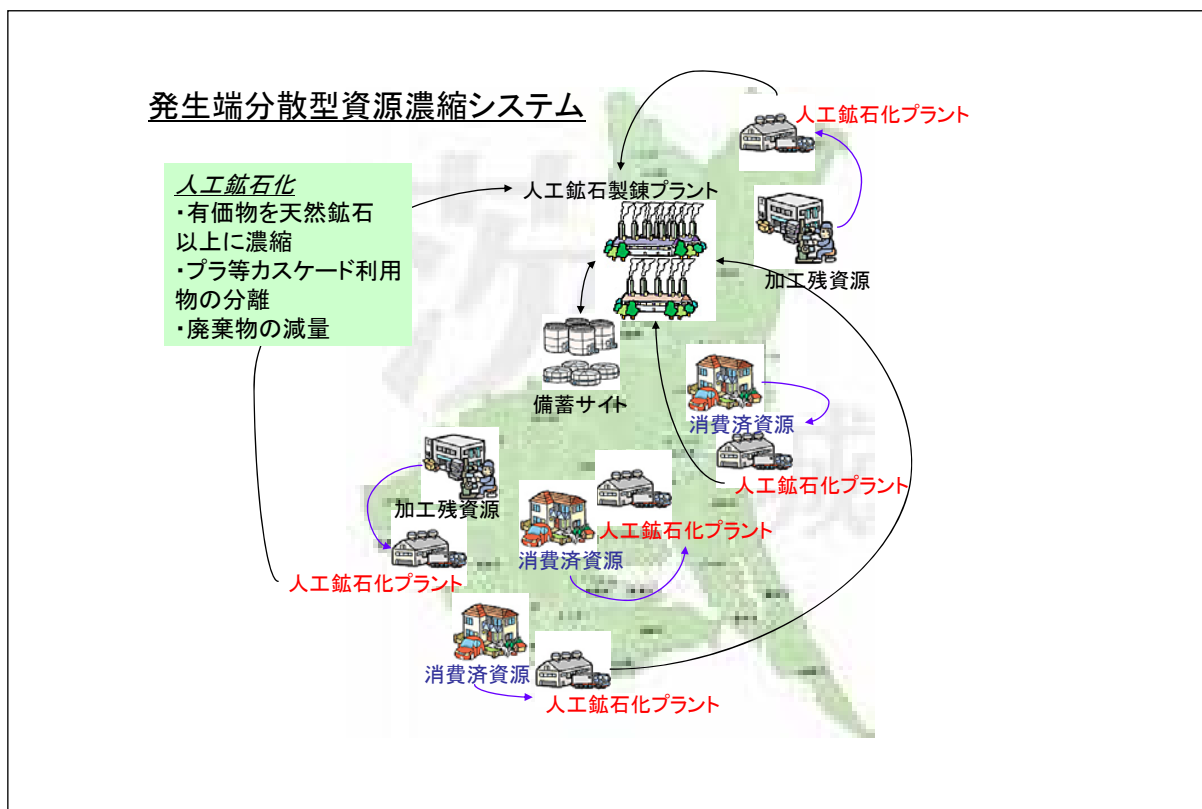
現在のリサイクルは、回収と抽出よりなり、分離は抽出の前工程として考えられている。マテリアル・チェーン・リサイクルはこの分離を、天然の鉱山に例えるなら「鉱石化」すなわち「濃縮」工程として積極的に位置づけ、循環物の価値を上げる新たな経済主体の参入を促進する。

このようなマテリアル・チェーン作りは、県規模の自治体などでの回収から抽出・再生に到る取組みにも優れている。

というのは、リサイクルの場合は、「資源(=発生源)の偏在」、「技術の偏在」、「需要の偏在」の3つの偏在を解決する必要があるが、これまでは「技術の偏在」と「需要の偏在」の間は結びつけやすかったが、それらと「資源(=発生源)の偏在」との間に大きな隔たりがあった。ここの中間的な「濃縮」工程を分散的に配置することにより、この偏在の間をつなぐシステムを構築することができる。

製造工場は資源の重要な発生場所であり、最終製品に近い中間廃製品も人工鉱石化プラントの処理対象となりうるが、首都圏近くのベッドタウンも、消費済資源の発生場所であり、それらの近傍に「濃縮」工程として人工鉱石化プラントを設置すると、消費端からの回収・輸送および抽出サイトへの中継基地としての機能も持つ。

この中継基地は、最終的には人工鉱石製錬プラントへ持ち込まれる。わが国の持っている製錬の技術は世界有数であり、かつ、国内に多数のサイトがあるため、そのサイトとの協力で拠点化も図ることが出来る。



今回の提案に基づき、このミッシング・リングをつなぐ「濃縮」工程が、数都市レベルの地域で設置されるならば、そこに向けた新しい物流を形成することが出来る。

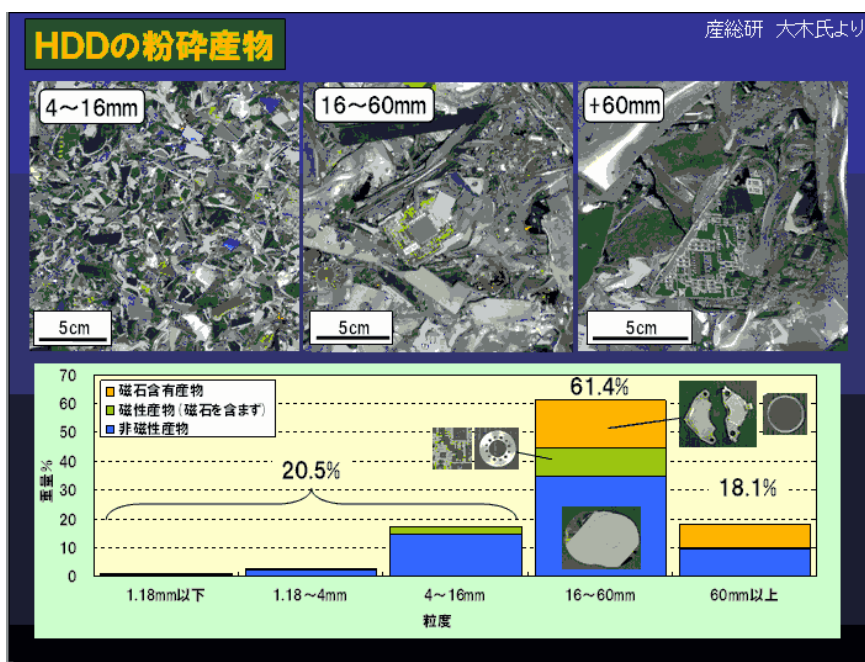
## B) 「都市鉱石工場」技術の確立

マテリアルチェーンをつなぐミッシング・リングの鍵になるのは「濃縮」を受け持つ「都市鉱石工場」の部分である。

これまで、この静脈の工程は「抽出」のみが” 増値” のプロセスとみなされていたため、大量の都市鉱山の中でも used ストックの中のものより抽出しやすい部分に限定された定常的供給が重視され、言うならば「狸掘り」的アプローチとなって量的な広がりには欠ける側面が強かった。また、「分離」が廃棄物処理の観点で進められるために「濃縮」の機能が弱く、分離物が抽出側の受け入れ形態と合致しない価値の低いものとして取り扱われるケースも多かった。

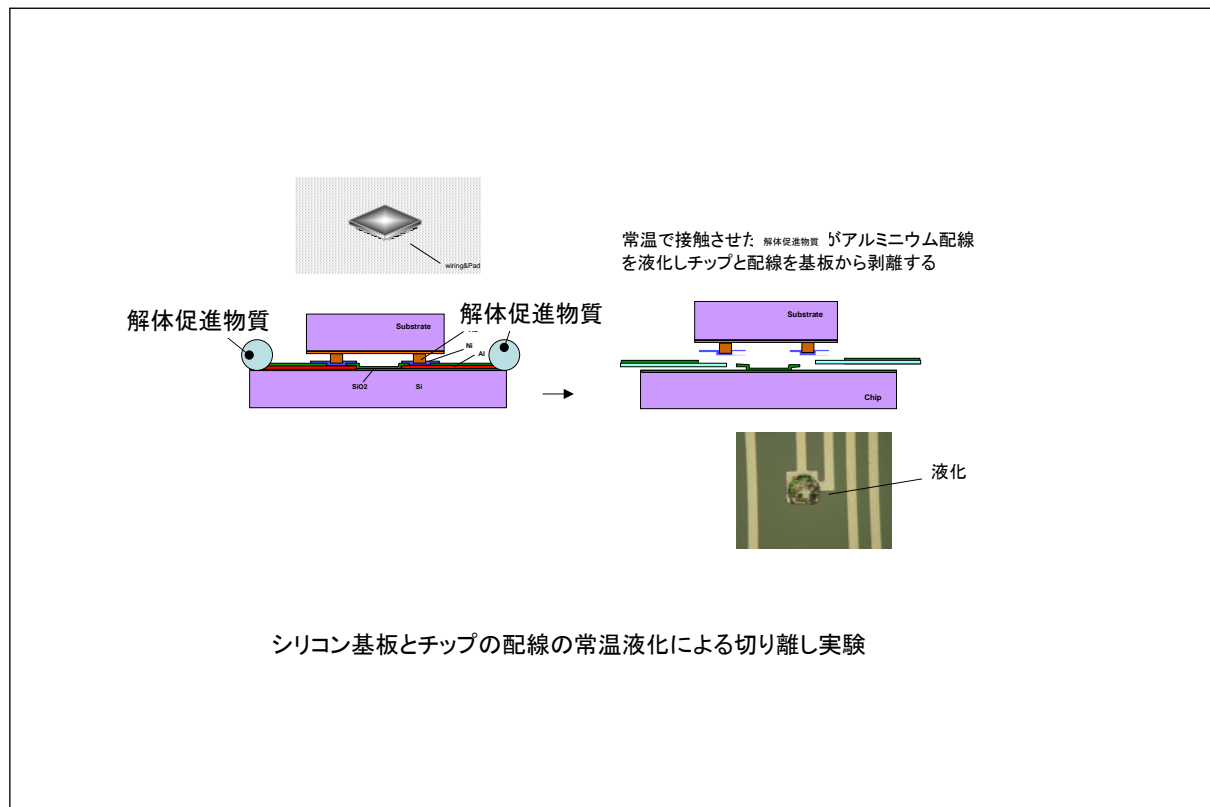
この「都市精鉱」目指すマテリアル・チェーン・リサイクルは、抽出と回収の間に抽出指向の濃縮工程を置くことにより、抽出までの流れを円滑にし幅の広い領域からの used ストックをもとに抽出側に安定した性状の循環物の供給ルートを形成することができる。さらに、製品情報などを活用したプロセス設計でその濃縮工程を小型化できれば、分散型プラントとして消費端に近く置くことも可能となる。そうなれば、日常的な消費後の行動が抽出までつながるユビキタス・アーバン・マイニングへと進むことができる。

その技術的可能性は、切り開かれてきている。以下の図に、その二つの典型として、産総研の選択破碎技術とNIMSのピンポイント分離技術を示しておく。



選択破碎技術は、粉碎される部品や材料に含まれる成分の物性に応じて粉碎産物の粒度に違いが生じる現象を利用し、粉碎物の分級と組み合わせることで内容物の分離を行う技術である。選択的に粉碎させたい物質の破壊特性や存在形態（場所や境界面の状態）に応じて、作用させる圧縮、衝撃、剪断、摩擦等の強さや時間を制御することにより、特定の物質のみの優先的な破壊を実現させるものである。前ページの図は、ハードディスクの粉碎例であり、磁石を含む部位を粉碎させず、他の部位を優先的に粉碎させることにより、分級による希土類磁石一次濃縮の可能性を示している。

ピンポイント分離技術は、部品中から必要な部分だけを取り出すのに有効な技術であり、基盤からのチップ取り外しなどに効果があると期待される。これを用いると、ある種の特殊液状物質をはんだ接合部に塗布することで、はんだを加熱溶解する必要なく接合部から取り外すことが出来る。



なお、これらは、現在も出てきている「都市鉱石化」に使える可能性のある技術の例である。後に述べるように、「都市鉱石化」に相当する取り組みはまだ不十分なため、それに必要な技術開発もほとんど着手されていない、ここであげた例は、その中の数少ない例であり、実際の適用にすぐに応えることが出来るかどうかは、これからの課題である。

これらの技術を発展させていくとともに、「都市鉱石化」の考えに基づいた新たな技術面での提案と展開が期待される。

## 2. 提案の背景

この提案は、都市鉱山の開発を目指すものである。この1月にNIMSでは都市鉱山の蓄積推定量の算定結果を公表したが、この蓄積推定量は輸出入のインプットとアウトプットの累積から予想される「あるはずの量」であり、使用中の材料や既に埋め立てられたものも含まれ、今すぐ利用可能な量ではない。この都市鉱山の蓄積推定量の利用可能な部分を有効資源に変えていくには、新たな視点からの取り組みが必要である。そのような取り組み無しでは、資源は利用困難な状態に散逸していくか、海外に流出していくことは免れないと危惧される。

### 2-1 散逸ストックとしての希薄化

例えば、下図は携帯の中の金に注目したフローの現状であるが、電気通信事業協会 HP によると 2007 年末の契約台数は約 1 億 20 万台で新規加入が年間 500 万台である。携帯中の金の量は機種によりまちまちではあるが、日本 LCA 学会誌「関与物質総量に基づく使用済み携帯リサイクルフロー解析」で示された化学分析値 6.84mg/台を用いると現在約 840kg の金が携帯電話の中に in-use ストックとして蓄積されている計算となる。これが used stock として出てくる量は、機械統計月報からの年間生産を予測 2,600 万台から新規加入を差し引いた 2,100 万台が年間に買い替えられた携帯中の量として得られる。

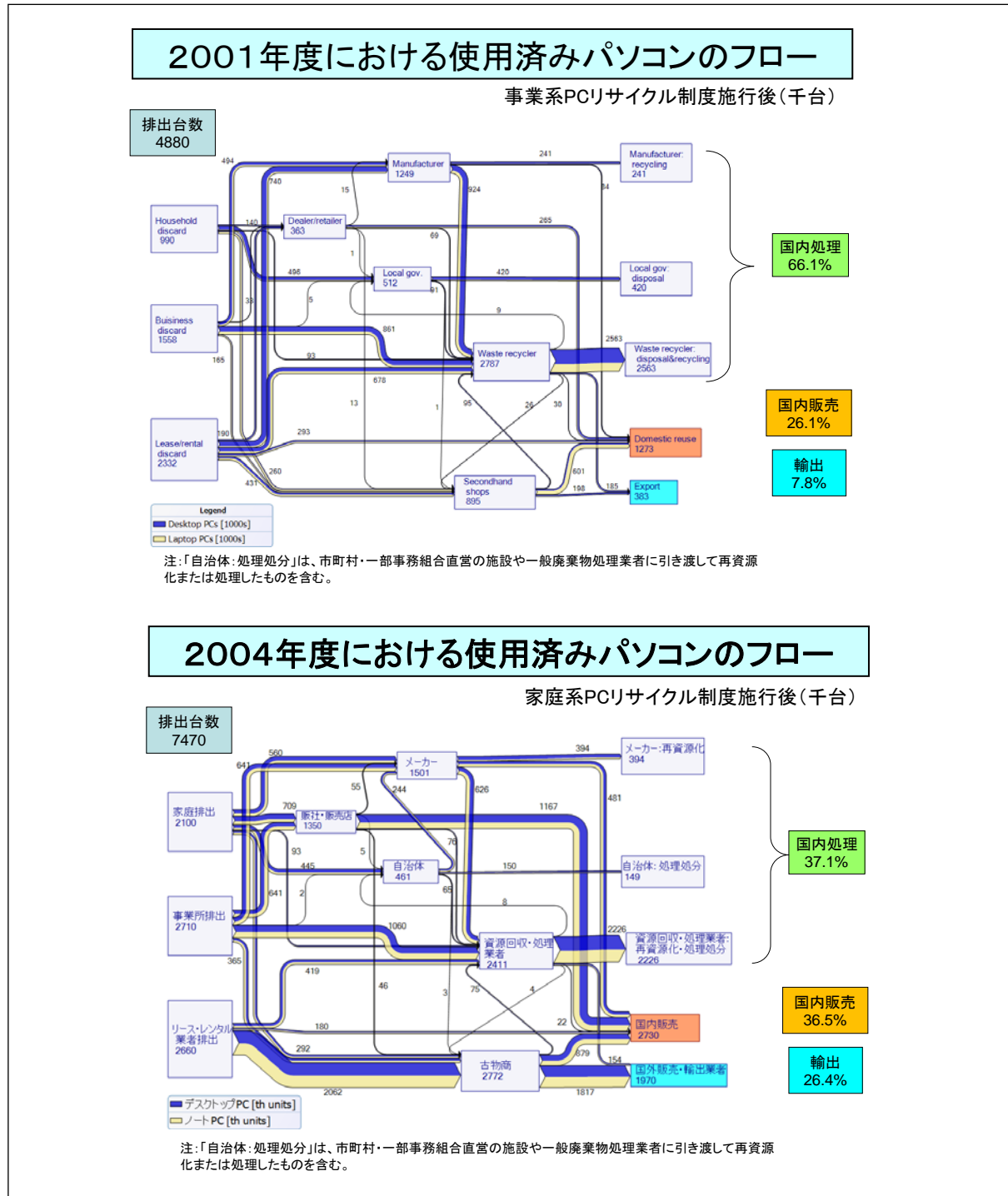


携帯の回収量は、モバイル・リサイクル・ネットワークの HP によると 660 万台であるから年間 46kg 分の金は used stock として回収されているが、残りの約 100kg の金は有効に回収されていない計算になる。

## 2-2 海外への流出

下図は、環境研の吉田氏、田崎氏、寺園氏の研究成果を引用させてもらった 2001 年と 2004 年の使用済みパソコンのマテリアルフローである。

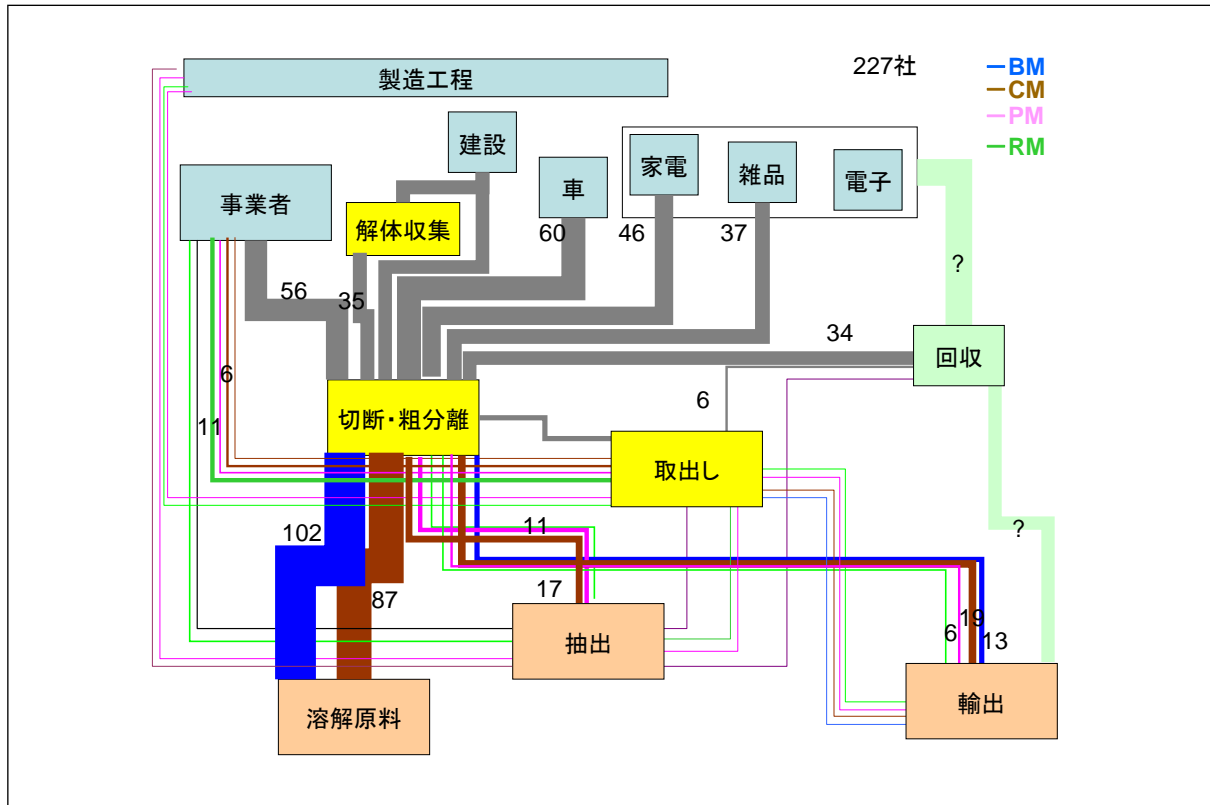
(国環研: 吉田、田崎、寺園 「誤差最小化による使用済みパソコンのマテリアルフローの推計方法」、日本 LCA 学会第三回研究発表会 2008. 2. 27 名古屋大学 における講演資料)



PC リサイクル制度が整備され国内のリユース、リサイクル量もふえてはいるが、それより急速にここ三年間で海外に出て行く使用済みパソコンの量が増えているのがわかる。

### 2-3 回収・解体→ 抽出の 二元化したリサイクルシステム

上記のような現状が起きている背景をみるために、現在 Web 上にホームページを開いている金属リサイクル業者 227 社のリサイクルのフローを、ホームページの営業案内と、施設情報から整理してみた。(今回初公表)



図中の青は鉄およびアルミのベースメタル、茶色は銅、真鍮、亜鉛、鉛などのコモンスケタル、ピンクは白金、金などの貴金属も、緑は Co, W, Mo などのレアメタルである。数字は取り扱っている会社の数を示し 5 以下は線だけとして表している。回収業は、古物商など金属リサイクル以外の業者もいるために数はつかめておらず、線の太さも意味は持っていない。

このように、現在のわが国のリサイクルでは、切断・分離から、そのまま溶解原料とする流れが中心になっている。レアメタルや貴金属を含んだものは金属の抽出に流れるが、その際も不要物から目的物を取り出す工程を経るものは少なく、目的金属を含んだパーツのみを分離して、「山送り」などの抽出工程に持っていつている。一部に主として手解体による取り出し工程が入るケースもあるが、その数は少ない。すなわち、現在の金属リサイクルの多くは、「回収・粗分離(切断)」という前段階と、それを直接溶解原料とできるか、さもなければ粗分離後の不要物を多く含んだパーツからの「抽出」の二段階の構成となっている。

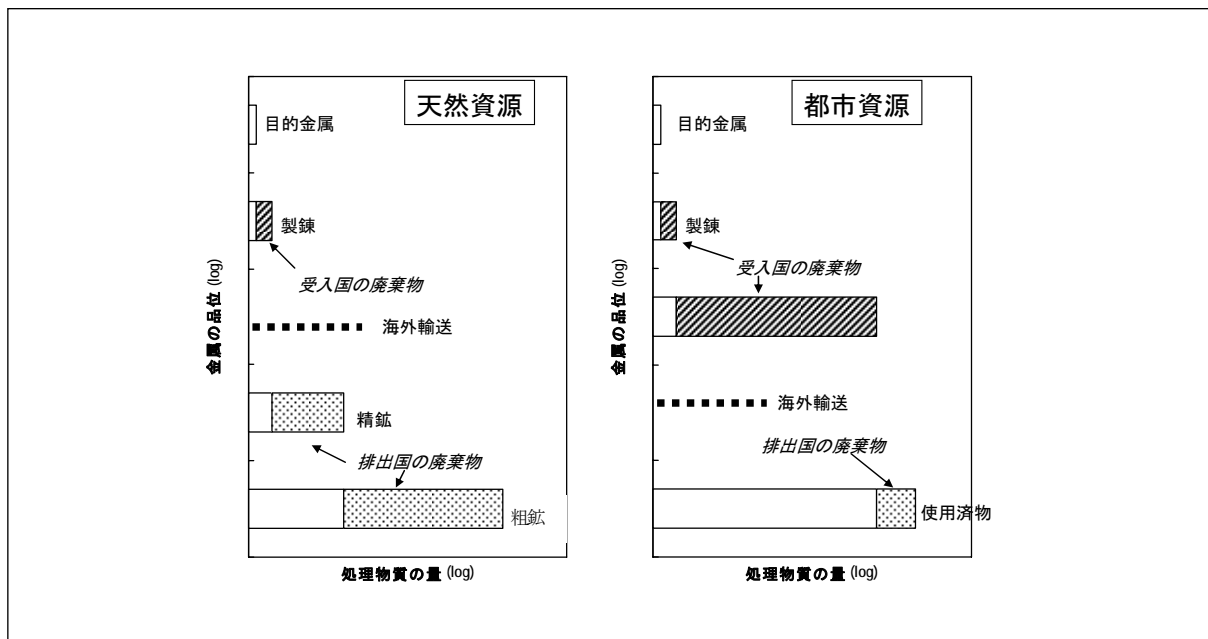




### 3-2 なぜ 都市「鉱石」か

この「濃縮」された抽出原材料を都市鉱山にちなんで「都市鉱石」と呼び、濃縮化の工程を「都市鉱石化」と呼ぶ。

これは、1月の発表の際に現状として、蓄積資源が低品位の混在物として海外に流出していく状態が強まっていることを指摘した際に、これを天然資源の国際的やりとりと比較すると、使用済物に付随する廃棄物処理が「だきあわせ」になることで、都市資源が受入国に流れやすくなっている構造がみてとれるとして示した下図に基づいている。



すなわち、銅などの多くの天然資源の場合には鉱山からは金属分を多くても数パーセントしか含まないような粗鉱と呼ばれる形態で採掘される。これから脈石などの不要物を取り除いて、金属分が数十%となった「精鉱」と呼ばれる状態で取引されるのが普通である。しかし現在の都市鉱山からの金属は、パーツの他の部分の中に微量に有価金属が散らばっている状態で取引されており、これを天然資源との対比で見ると、「粗鉱」のままで取引されていることに相当する。

つまり、「濃縮」工程は、この、天然鉱山で言う「精鉱」を作る工程である。

厳密に命名するならば「精鉱化」というべきであろうが、「精鉱」という言葉はなじみが薄いため「鉱石化」という表現にした。

#### 4. 今後の展開に向けて

NIMSでは、今後も、解体性材料設計など、「鉱石化」を容易にするための材料技術の開発を進めて行く。

同時に、産総研などの関連研究機関とも協力して、「鉱石化」そのものの技術の開発と、それにもとづく「抽出」技術の開発を進めていく。

さらに、環境研などの関連研究機関とも協力して、国内のマテリアルフローの把握をより一層進めていく。

しかし、取り分けて重要なことは、この「都市鉱石化」を軸としたマテリアル・チェーンの形成であり、企業や自治体と協力して、「都市鉱石化」マテリアル・チェーンの実現のために尽力する準備はある。

現在、類似の都市鉱山開発の取り組みとして、秋田県で東北大などが進めている RtoS の取り組みなどがあるが、この発表を期に、さらに新たな自治体などでの積極的な取り組みと、それに対する、様々な立場からの協力支援を呼びかける。

問い合わせ先：

〒305-0047 茨城県つくば市千現 1-2-1  
独立行政法人物質・材料研究機構  
広報室 TEL:029-859-2026

内容に関すること：

独立行政法人物質・材料研究機構  
材料ラボ長 兼 元素戦略クラスター長  
原田 幸明 (はらだ こうめい)  
TEL:029-859-2668 FAX:029-859-2601  
E-mail HALADA.Kohmei@nims.go.jp

発表学会関係

資源素材学会

2008年資源・素材学会春季大会 [http://www.mmi.j.or.jp/lecture\\_2008\\_a/](http://www.mmi.j.or.jp/lecture_2008_a/)

〒107-0052

東京都港区赤坂9丁目6-41

TEL:03-3402-0541 FAX:03-3403-1776

日本鉄鋼協会

日本鉄鋼協会第155回春季講演大会 <http://www.isij.or.jp/Koen/KoenPR/index.htm>

〒101-0048

東京都千代田区神田司町2-2 新倉ビル2階

TEL:03-5209-7011 FAX:03-3257-1110

参考資料関係 ※図に用いた参考資料は次の方々のご好意によるものです。

独立行政法人産業技術総合研究所資料

小林幹男

産業技術総合研究所 環境管理技術研究部門 副研究部門長

〒305-8569 茨城県つくば市小野川16-1

TEL:029-861-8081 FAX:029-861-8458

独立行政法人国立環境研究所資料

吉田 綾

(独)国立環境研究所 循環型社会・廃棄物研究センター 研究員

〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2

TEL:029-850-2768 FAX:029-850-2931

### 3月26日の原田のコンタクト先

学会の期間に入りますので研究担当者とのコンタクトが難しくなりますが、26日は14時から16時の間、エコマテリアル・フォーラムで「都市鉱山を発掘する!!」都市鉱山開発研究会を開催、出席しております。プレス関係のご臨席およびご質問も受け付けるようにしますので、そちらにご連絡いただければ幸いです。

### 都市鉱山開発研究会

日時 2008年3月26日(水) 14:00~16:00 場所 化学会館 501B会議室(東京都千代田区神田駿河台1-5)

問合せ先 未踏科学技術協会エコマテリアル・フォーラム TEL:03-03-3503-4681 FAX:03-3597-0535

内容は <http://www.nims.go.jp/ecomaterial/hal/MR/UM/events/080326umws.htm> から