

同時発表：
筑波研究学園都市記者会（レク）
文部科学記者会（資料配布）
科学記者会（資料配布）



携帯電話があつというまにバラバラに

—使用済小型電子機器の分散処理に適した簡便な都市鉱石製造装置を開発—

平成21年12月17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：潮田 資勝）の原田幸明元素戦略センター長らは、(有)押鐘および(有)ナガオシステムと協力して、使用済小型電子機器を破壊して希少金属等を高濃度に含んだ「都市鉱石」を製造するための簡便な装置を開発した。
2. 開発した装置は、使用済小型電子機器の筐体を破壊・解体して希少金属を含んだ基板等を露出し分離可能にする「**小型電子機器破解機**」と、破解された小型電子機器のチップなどを効率的に粉化する「**三次元ボールミル**」の2つである。いずれも小型の装置であり、自治体などの分散型の処理に適している。これらによって、都市鉱石製造は実用化に向けて大きく前進したと考えられる。
3. 「**小型電子機器破解機**」は、携帯電話機などの使用済小型電子機器にねじり力を与え、機器の構造的な強度がその部位ごとに異なることを利用して機器をバラバラに分解する装置である。筐体を破壊して内部を分解状態にすることから「**破解機**」と名付けた。
4. 「**小型電子機器破解機**」は、数秒で携帯電話機をバラバラにすることができ、小型家電には不釣り合いな大型のクラッシャーや解体熟練者がいなくても、電子機器の主要部分を露出させることができる。そのためボールミル法などによる都市鉱石化だけでなく、「**破解**」後に人による識別を組み合わせることで特定の部品を取り出すことも可能になる。
5. 「**三次元ボールミル**」は、ジャイロ独楽（こま）のように縦横二つの回転軸を有するボールミルである。二軸の回転を調整することにより容器の内部でボールがランダムな方向に運動するため、その内部に破解された電子機器を置くと、チップ等が効率的に離脱・粉化される。携帯電話機の場合では数分の処理で都市鉱石を製造できる。遊星ミルと比較すると二つの回転軸が中心で交差しているため高速の回転を安定して与えることができ、さらに容器の内部全体で被処理物がボールにより打撃を受けるため、高速かつ低エネルギー消費で基板からチップやメッキを離脱・粉砕できる。また、処理時間が短いため残されるプラスチックなどの片状物も損傷が少なく、プラスチックリサイクル等にかげやすい状態になる。
6. 「**破解機**」および「**三次元ボールミル**」による都市鉱石化は、それぞれ(有)押鐘および(有)ナガオシステムとの連名で特許出願済であり、本成果の詳細は12月21日に開催されるエコマテリアルフォーラムの「都市鉱山研究会Ⅲ」で報告され、装置の実演も行われる。

研究の背景

昨年の「我が国の都市鉱山蓄積の推算」でも示したように、都市鉱山の開発は天然資源に乏しい我が国にとって大きな可能性をもっており、世界的に厳しい経済状態の中でますます重要な課題になってきている。このため、使用済みの携帯電話や小型電子機器を回収しそこから希少金属を取り出そうという取り組みが、一部の業界団体(モバイル・リサイクル・ネットワーク)や、秋田県、東京都、茨城県など一部の自治体による自主的取り組みとして始められている。

しかし、都市鉱山の開発には「分散の壁」、「廃棄物の壁」、「コストの壁」という三つの大きな壁が存在する。すなわち、

- 1) 「分散の壁」は、携帯電話機をはじめ多くの小型電子機器が個々の消費者の手元に分散して存在しており、それらを効果的に集めなければリサイクルのプロセスにかけるのが難しいという問題。
- 2) 「廃棄物の壁」は小型電子機器がいかにか希少金属を含んでいても多くの部分はプラスチック等であり、希少金属だけでなくそれらの有効利用の場も考えねばならないという問題。
- 3) 「コストの壁」は携帯電話でさえ、一台100円程度の希少金属しか含まれておらずそれより低い処理コストでこれらの希少金属を回収しなければならないという問題。

小型家電から希少金属を経済ベースで回収するためには、これらの壁を乗り越えられるシステムや技術の開発が必要であるが、現状、これらの開発はその端緒にすぎず、今のところ本流になるような技術は見出されていない。

本発表は、この三つの壁の中で「分散の壁」と「コストの壁」に挑む技術の開発に関するものである。

「分散の壁」に挑むには二つの方法が考えられる。一つは分散を超えて広域に大量に集める手段を講じる方法で、もう一つは、分散状況に合致する分散処理を追求する方法である。今回の技術は、後者の分散処理に適したものとして開発した。10万人都市の携帯電話機を考えると、買い替え寿命を2.5年として、一日100台程度が最大処理量になる。金属回収まで全て行うとしても一日一億円、都市鉱石として原材料提供に徹するならば、大きく見積もってもその半分の一日5000円程度が処理にかかる費用の上限になる。このため、装置を動かすための特別の人員が必要となるような大型の装置は不向きである。しかも、設備投資に回せる金額も限られるため、小型で軽便な装置や処理方法が必要となる。

今回発表する装置は、そのような分散処理の都市鉱石製造に適する小型電子機器の処理装置で、

- 1) 一つは、小型電子機器を簡単に解体し内部の電子基板などを取り出せるようにする小型電子機器等「破解」装置、
- 2) もうひとつは破壊された電子機器からそのまま都市鉱石を作り出す「3次元ボールミル」装置である。

これら2つの装置によって、都市鉱石製造は、実用化に向けて大きく前進したと考えられる。

研究成果の概要

I 小型電子機器「破解」装置

「破解」というのは、破砕のように何もかも粉々にするのではなく、分解のようにある程度筐体部や基板部や部品などが区別できるような状態にばらばらにできることから名付けた造語である。

この装置（図1）は、上部の挿入口から小型電子機器を入れ、内部の回転機構により挿入物にねじり力を与えて壊していくものである。

破解された携帯電話機は、図2のように基板や部品などそれぞれの部材の特徴を残しながらバラバラになる。

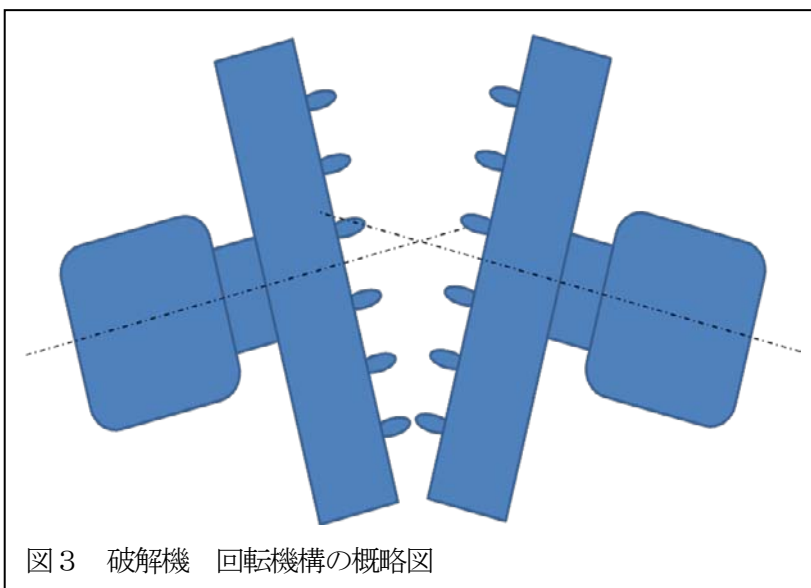


図1 小型電子機器破解機
(サイズ感がわかるように台車に乗せて撮影)



図2 破解された携帯電話機

大型の破砕機等を用いて携帯電話機を処理すると、大きな圧力もかかるためにチップが基板に食い込んだり、モーター等の部品も区別なく粉碎されて見分けがつかなくなったりするが、この破砕機を用いると、多くの構成部品が比較的原形を保っているために、目視である程度の分別をして次工程に送ることも容易になる。ボールミル法による都市鉱石化にとって更によいことには、筐体部分のプラスチックやアルミ



板、ガラス等があまり細かく割られない状態で残るために、そのままボールミルに挿入してそれらがミルで粉化されて都市鉱石に混入する量が減少する。しかも、この処理に要する時間は携帯電話機の場合、十数秒で、作業には特別な技能も要しない。

この機械の回転部の概略図を図3に示す。

基本的に二枚の回転円板が角度を持って面しており、回転円板の表面には多数の突起物が配置されている。この二枚の円板は反対方向に回転しており、上部の広いほうの間隙に、小型電子機器が挿入される。挿入物は突起に引っ掛かったり、回転盤が回転しているためまた別の突起にも引っ掛かったりして、一旦固定された状態で、さらに回転力を受け引っ張りどねじれ力がかかる。回転のトルクが大きいと挿入物は構造的強度の弱い部分からねじられるように破壊される。破壊して前より小さくなった挿入物の部材もまた、回転機構のより下方の狭い部分につかまり、同様の原理で破壊される。

このように、小型電子機器には通常はかからないねじれ力を与えることで、そのねじ部周辺やはめ込み部など機器の持つ構造的に弱い部分から破断していく。そのため、「破砕」と呼ぶにふさわしいような、部材の原形を比較的保持し、部材毎に分離されているものが多い状態となればばらにされる。

図4はいろいろな携帯電話機に対して試した例である。携帯電話機のサイズや材質はきわめて多様であるが、若干時間の長短はあるもののどのような携帯電話機も破壊されている。



図4 種々の携帯電話機でテストした結果

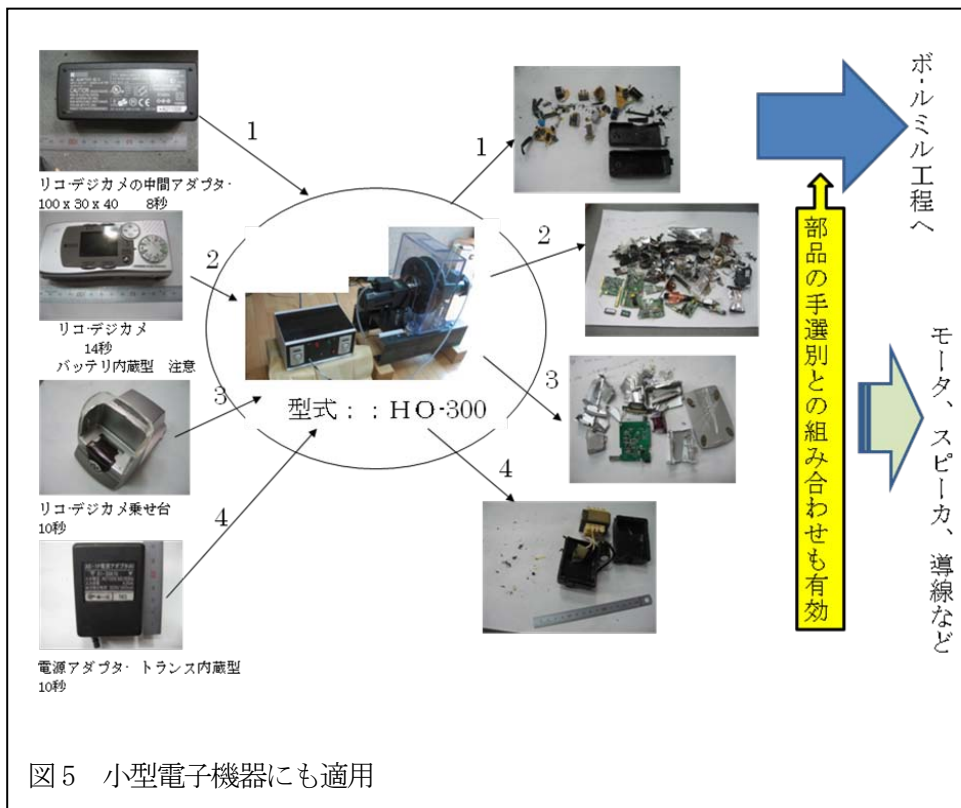


図5 小型電子機器にも適用

また、携帯電話機以外の小型家電にももちろん有効で、図5はその一例である。もし、特定の機器に限定するならば、突起物の性状や配置、軸の傾きと距離などをそれに合わせて最適化して用いることも可能である。

小型電子機器用破解機 一号機諸元

サイズ 800mm x 400mm x 600mm

重量 130kg

電源 AC 単相 100V

最大電力 1500W

使用時電力 1000W

製造元 (有)押鐘

製造元連絡先 〒336-0025 埼玉県さいたま市南区文蔵 2-27-16

TEL 048-839-1682 FAX 048-839-1695

Eメール oshigane@beige.ocn.ne.jp

研究成果の概要

II 3次元(3D)ボールミル

図6は破砕した小型家電機器の基板などに実装されている半導体チップやメッキなどを剥離・粉砕して、筐体や基盤材などの大量の片状物と分ける三次元ボールミル装置である。

昨年、都市鉱石化を発表した時に使用した遊星ボールミルは携帯電話機破砕物をそのまま処理できるようなサイズにすると、少なくとも20cm径のポットが必要となり、そのポットに100rpm以上の高速回転を与えながら、さらに大きな半径の公転を与えることが必要で、かなり頑強な設備が必要になっていた。

今回の三次元ボールミル装置は、図7に示す(有)ナガオシステムが開発した三次元回転機構をボールミルの回転機構として適用し、それにより得られる全方向からのランダムなボールの衝突で、基板上に実装されたチップやメッキ等を効果的に離脱・粉砕させるものである。ボールミルには、方向の固定された第一軸と、その軸と交差して軸方向自体が第一軸により回転を与えられながら、その軸周りにも回転する第二軸の二つの回転軸がある。

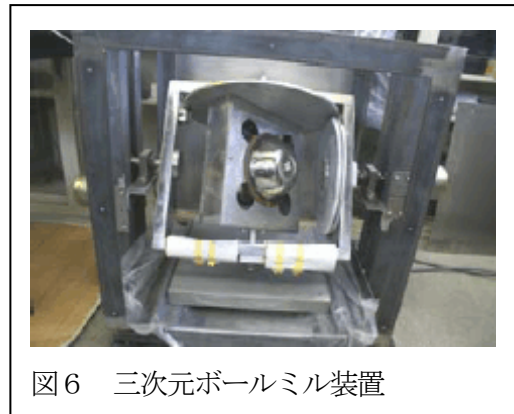


図6 三次元ボールミル装置

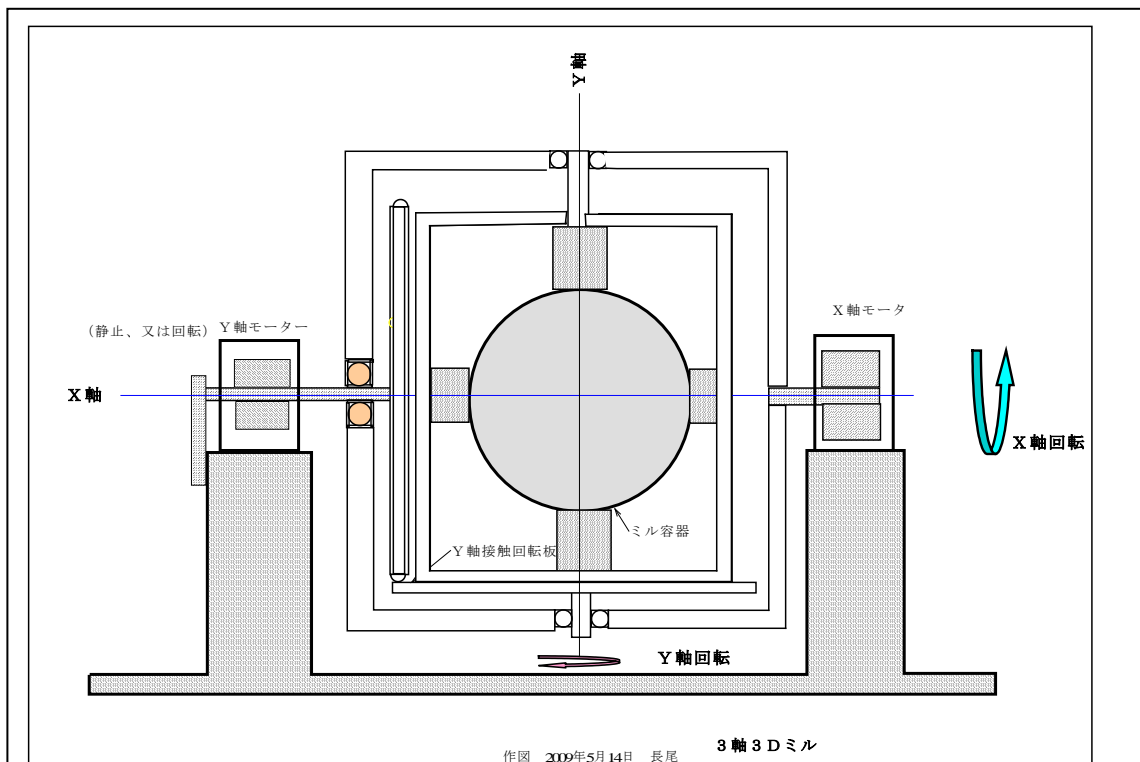


図7 三次元ボールミル装置の構造

第一軸だけを回転させると水平軸を持って回転する普通のボールミルのポットを球形にしただけになり回転速度を上げるとボールは遠心力で壁に張り付いてしまう。しかしそこに第二軸の回転を与えることで、新たな別方向の遠心力が働きボールがポットの中でランダムに動くようになる。この動きは第一軸と第二軸の回転数の比を調整することでも変わってくる。



この 3D ボールミルを用いて破壊した携帯電話機を処理した場合の処理前と処理後の写真が図 8 で、基板からチップやメッキははがれおちて粉末状の都市鉱石が得られている。

以前の遊星ボールミルとの相違をみるための、単純なメモリーボードを用いたメモリーチップの離脱試験の結果が図9である。小型遊星ミルはフリッシュ製(型番05.20.1)出力550W、ポット容量0.5Lで、中型遊星ミルはセイシン企業製(型番SKF-04)出力3.7KW、ポット容量は3Lである。3Dボールミルは、回転速度、ボールサイズ構成

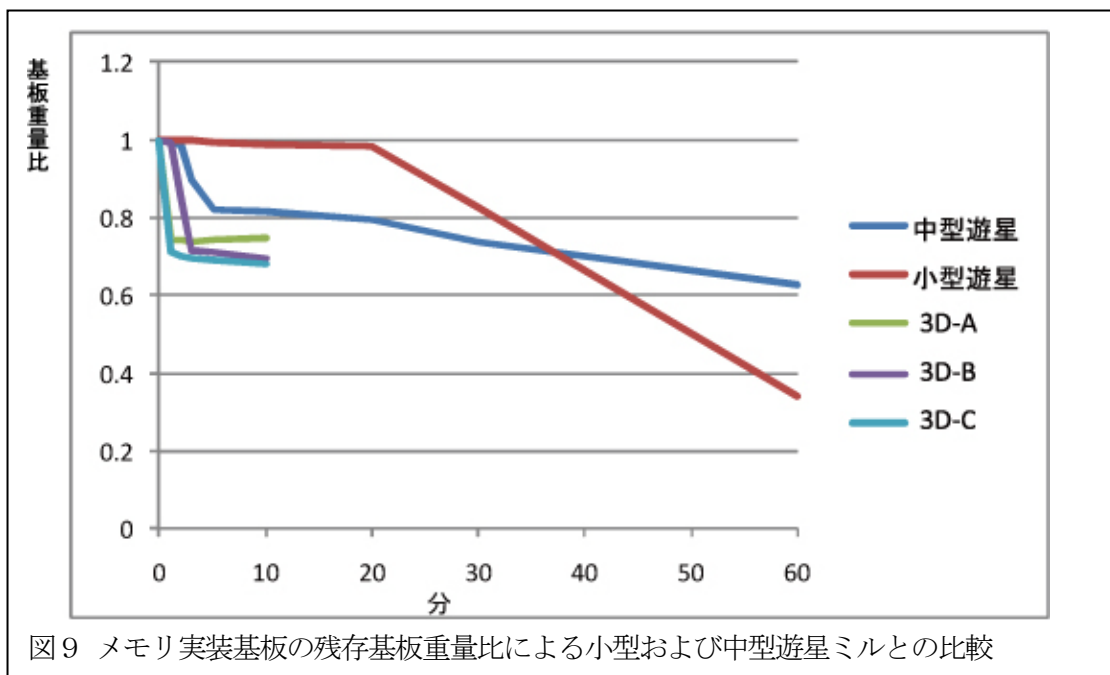


図9 メモリ実装基板の残存基板重量比による小型および中型遊星ミルとの比較

の異なる3条件で行っているが、小型遊星ミルの場合には20分過ぎまでチップの離脱

はほとんど起こらず、一旦起きだすと連続的に基板重量が減少しており、チップの離脱と同時に本来は残存させたい基板部分まで削られて粉化されてしまっている。これに対して、中型遊星ミルでは、2分程度からチップが離脱をはじめ、5分を過ぎたころにはほぼそれが終了し、20分過ぎから基板材の粉化が顕著になる。それに対して3Dミルは即座にチップの離脱がはじまり2-3分で完了するという結果が得られている。

これを時間および投入エネルギーで比較し

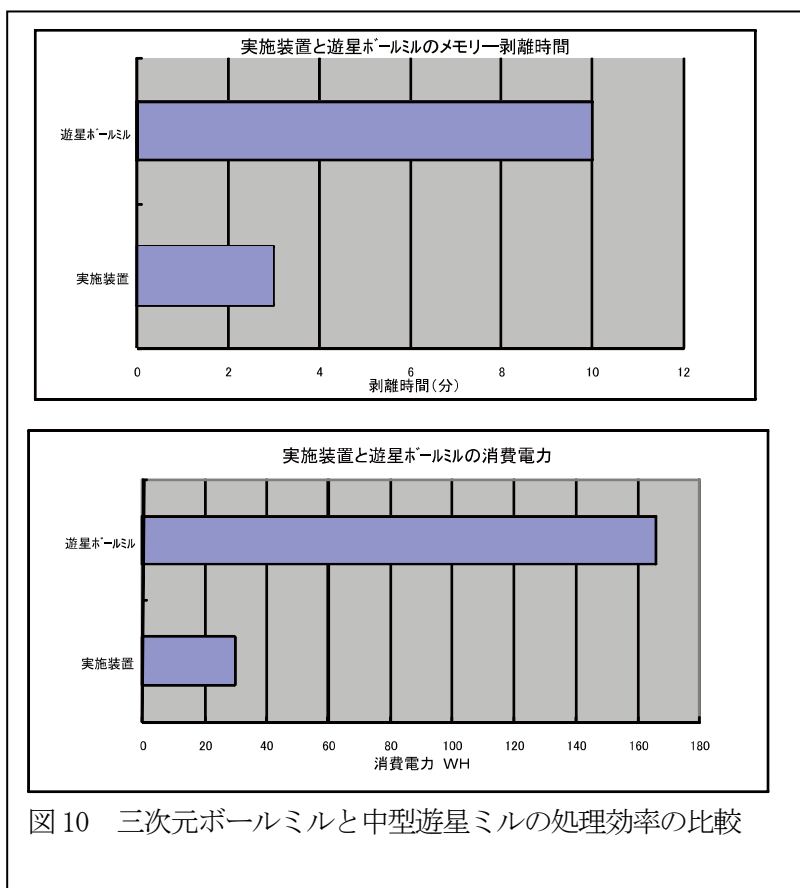


図10 三次元ボールミルと中型遊星ミルの処理効率の比較

完了するという結果が得られている。

これを時間および投入エネルギーで比較したグラフが図 10 で、エネルギー、処理時間ともこれまでの中型遊星ボールミルを使用する方法より大幅に効率化することができる。



この 3D ボールミルのもう一つの利点は比較的小型の設備で都市鉱石化ができることである。図 11 は中型遊星ボールミルと同じ縮尺で並べた写真である。このように小型というだけでなく、遊星ミルが第一回転軸に平行な第二回転軸が高速回転するためバランスを考慮して運転しなければならないのに対して、二つの回転軸が中心で交差しているため相対的に安定して高速回転をかけることができるという利点もある。また、遊星ミルや転動ミルが二次元の動きで処理するために多くの無駄なスペースが装置内に発生しているのに対して、3次元ボールミルはそのほとんどの空間が活用できる。このことは半径を二倍にすれば 8 倍の容積がそのまま利用できるということの意味する。

以下に今回開発した装置の諸元を示す。

都市鉱石製造三次元ボールミル 一号機諸元

サイズ 幅 800mm-高さ 700mm-奥行き 600mm

重量 80kg

電源 AC 単相 100V

最大電力 800W

使用時電力 500W

製造元 (有) ナガオシステム

製造元連絡先 〒215-0023 川崎市麻生区片平 1-9-30 TEL 044-954-4486

Eメール fnagao@rose.plala.or.jp

技術展開と今後の課題

小型電子機器破解機および都市鉱石製造用三次元ボールミルは、いずれも分散型の小型電子機器の処理に適した装置である。地方都市や行政区など少量ずつ集まってくる小型電子機器を設備投資を極力抑えながら小規模にかつ人件費を削減して処理していくシステムに適用することができる。

ここでは、都市鉱石として希少金属濃度を高めた粉末を製造し、次の処理に持っていくことを意識しているが、破解機を用いて破解した小型電子機器を手選別など従来の方法と結びつけて使うことも可能である。また、3次元ボールミルは、使用済製品だけでなくメッキの剥離などの工程内リサイクルにも利用が期待できる。

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

研究内容に関すること：

独立行政法人物質・材料研究機構
元素戦略センター センター長 原田幸明
電話 029-859-2602 FAX 029-859-2601
E-mail HALADA.Kohmei@nims.go.jp

元素戦略センター 特別研究員 片桐 望
電話 03-5768-7627, FAX 03-3713-6577, 携帯 080-5184-2071
携帯電話 080-5184-2071
E-mail KATAGIRI.Nozomu@nims.go.jp

エコマテリアルフォーラム「都市鉱山研究会」問い合わせ

〒105-0003 東京都港区西新橋1-5-10 新橋アマノビル6F
(社) 未踏科学技術協会 エコマテリアルフォーラム事務局 末次 若子 (担当)
Tel 03-3503-4681 Fax 03-3597-0535 E-mail ecomat@sntt.or.jp

用語の説明

都市鉱石化

都市鉱山の開発を天然鉱山の利用になぞらえて、天然鉱山開発で言う「選鉱工程」から得られる「精鉱」に相当するもので、使用済小型電子機器から不要物のあるていど分離除去して金属の抽出を容易にするために処理を施し、目的金属の濃度や抽出しやすさを高めたもの。物質・材料研究機構では、ボールミル処理によりチップやメッキ部分を優先的に粉体化してプラスチック等の片状物と分離して都市鉱石化する技術開発をすすめている。

ボールミル

回転する容器(ポット)内に硬質のボールを多数入れて、容器の回転から得られる遠心力を利用して処理物を粉砕する装置。円筒の容器を回転させ、遠心力によるボールの持ちあげと落下を利用するだけの転動ミル、地平面上を公転しながら同じ平面で自転する容器を用い相互の遠心力の作用でより高いエネルギー状態にして粉砕する遊星ボールミルの二種がよく知られている。