

産業の持続的発展を支える 資源リサイクルへの取り組み

Efforts Toward Resource Recycling for Underpinning Sustainable Development of Industry

根本 武 田中 康夫

Nemoto Takeshi Tanaka Yasuo

辻岡 重夫 江龍 康雄 高田 紀雄

Tsujioka Shigeo Eryu Yasuo Takada Toshio

製造業の基本は、モノづくりである。われわれは石油由来の樹脂原料や鉱石由来の金属類などの地下資源を使用して製品を製造している。しかし、地球に存在する地下資源には限りがあり、今のペースで使い続けられればいずれ枯渇していく。また、レアアースは埋蔵地域が偏在していることから確保が困難になりつつある。そこで、日立グループは使用済み製品からレアアースを回収・リサイクルする技術開発を進めている。このほか、建設現場から発生するがれきなどをその場でリサイクルして資源化する装置の実用化や、使用済み製品の回収、カーボンオフセット付きのリサイクル、プラスチックのリサイクル率向上などにも取り組んでいる。

1. はじめに

モノづくりに欠かすことのできない地下資源（石油や鉱石などの資源）が今、急速に枯渇への道を進んでいる¹⁾（図1参照）。また、今後の省エネルギー・省資源を支える革新的な材料とも言えるレアアースは輸入が停滞していることから、レアアース含有部品（主に希土類磁石を使った高性能モータ）の製造に支障をきたすおそれが出て

きた。このことは、今後の製造業における資源確保の重要性を物語っている。

わが国は少資源国であり、資源を輸入せざるを得ない。資源が輸入できなくなると製造業が資源産出国に移転することにつながり、国内産業の空洞化に拍車をかけることになる。

その中でも光明となるのは、日本は世界有数の資源国に匹敵する都市鉱山（製品として地上にある資源）保有国となっていることである。独立行政法人物質・材料研究機構²⁾によると、この都市鉱山は金で約7,000 t、銅で約3万8,000 tなどに見積もられており、世界埋蔵量の1割に匹敵する資源が日本の都市鉱山として存在している。これに着目すると、今後は都市鉱山の有効活用が重要になっていく。

日立グループは1991年から製品のリサイクル技術の開発に着手し、わが国の資源循環に貢献してきた。また、がれきなどの建設副産物のリサイクルにも力を入れてきた。

ここでは最新の取り組み事例として、(1) レアアースリサイクル技術、(2) がれきなどの建設副産物の現場でのリサイクル、(3) IT製品回収サービス、(4) カーボンオフセット付きPCリサイクル、(5) プラスチックの分離技術を紹介する。なお、(2) については、震災後の災害復旧工事で課題となっているがれき処理にも適用していく考えである。

2. レアアースリサイクル技術の開発

レアアース鉱石が世界的に偏在していることも影響し、日本の輸入量が激減するリスクにさらされている。レアアースとはネオジム、ジスプロシウム、セリウム、ルテニウムなど17元素の総称である。そのうち高性能モータなどの磁石原料となるネオジムとジスプロシウムの安定的確保が難しくなってきたことから、リサイクルなどによ



図1 | 主な金属資源の可採年数（2009年度データによる試算）
金、銅、鉄、ニッケル、マンガンの可採年数（埋蔵量÷生産高）を示す。

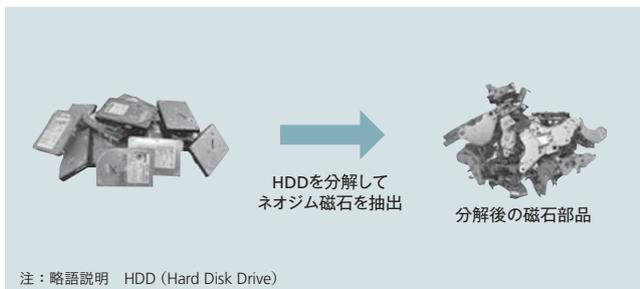


図2 | HDDからのレアアース磁石の回収

レアアース磁石は破碎すると回収が困難になるため、従来は人手で分解・回収する必要があった。

る安定調達に期待が寄せられている。

PCのHDD (Hard Disk Drive) やエアコンのコンプレッサの高性能モータにもレアアース磁石が使われている。レアアース磁石が身近なところで使われ、そして廃棄されていく現状を踏まえ、日立グループは廃棄製品(または使用済み製品)を対象としたレアアース磁石の分離・回収技術の開発、および回収した磁石の環境配慮型再生技術の研究に取り組んでいる。

以下にこれらの取り組みの事例について述べる。

2.1 HDDからの磁石回収技術

電子機器や電子部品などのリサイクルでは通常、破碎してから自動的に鉄や銅、アルミニウムなどを選別・回収する方法が一般的である。しかしこの手法をレアアース磁石含有部品のリサイクルに適用すると、破碎の衝撃によって焼結体(粉体を高温で焼き固めた合金)である磁石が、元の粉体(磁性を帯びた状態の粉体)になり、粒子が細かくなってしまいうため回収が困難となる。このためレアアース磁石を取り出すにはHDDを構成する一つ一つの部品ごとに細かく分解する必要がある(図2参照)。

HDDの人手作業による分解能力は、1人当たり1時間に約12台であった(当社調査)。経済性を追求すると、この処理台数を1時間あたり100台以上に高める必要があった。HDDに使用されている締結ネジはHDDの構成部位、機種、メーカーなどによって異なる形状のものが使用されるため、ロボットなどを用いた機械化は困難と考えた。そこでHDDそのものに衝撃や振動を与え、HDDの構成部品を締結しているネジを自動的に部品ごとに分離させる装置を開発した。

装置コストやランニングコストが高いと経済性が悪くなるため、構造はできるだけシンプルで堅牢(ろう)に設計した。その結果、構成部品のほとんどを部材や素材ごとに分離させることに成功した。HDDの構造によって差は出るが、一台当たり30分程度の装置内滞留時間で人手による分解精度と遜(そん)色ない成果が得られた(図3参照)。



図3 | HDD分解装置の概要

投入コンベアからHDDを投入すると、装置内部で部品ごとに分解されて排出される。これをコンベア上で選別して部品ごとに回収する。

一度にHDD100台を処理できる容積・構造に設計し、理論上は1時間当たり、200台程度処理できる装置である。焼結体の磁石がHDDから離脱した時点で直ちに選択的に回収するように装置構造を工夫したため、磁石を破損(粉化)させずに回収できる特徴がある。

2.2 コンプレッサからの磁石回収技術

コンプレッサは、接合部分が溶接された鋼鉄の筐(きょう)体(ケーシング)に収められており、一般の工具では分解できない³⁾。そのため、中身の構造物を取り出すには筐体を切断する必要がある。これについてもメーカー、年式、機種などによって、切断位置が異なるなどの課題を抱えていた。そこで、切断位置を作業者が指定するだけで自動的に筐体を切断する装置を開発した。

次いで、切断した筐体からロータという回転体を引き抜き、ロータに挿入されているレアアース磁石を脱磁(磁力の減衰)して、安全に抜き出すまでのプロセスを装置化した。一連のプロセスを図4に示す。

ロータは鋼板(鉄)のため、挿入されているレアアース磁石が着磁(磁性を帯びた状態)されている状態では、磁力の影響からレアアース磁石を引き離すことが困難であった。そこで、ロータごと脱磁する工程を組み込んだ。脱磁で一般的に用いられている加熱方式(高温で磁石の結晶構造を変える方法)では油煙の処理や接着材の溶着が問題となったため、ここでは常温脱磁方式⁴⁾(共振電流により磁界方向を不規則にする方法)を採用した。ロータごと脱磁できたことで最終工程となる磁石抜き取り装置では、打撃と重力落下を原理とする単純な方式で回収可能となり、磁石回収の安全性も高まった。

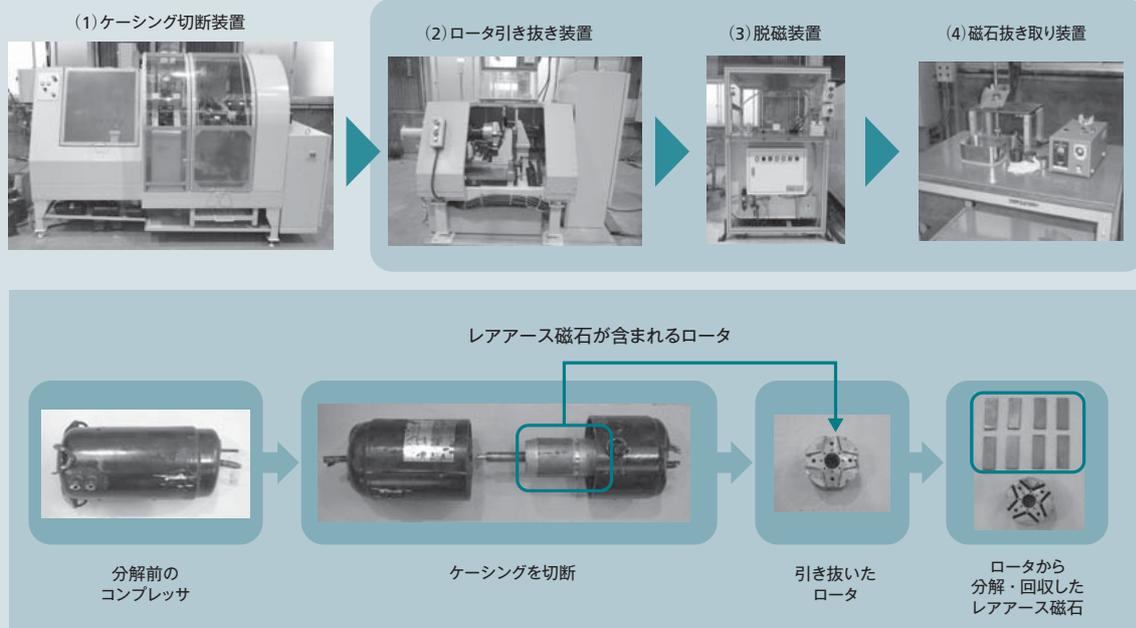


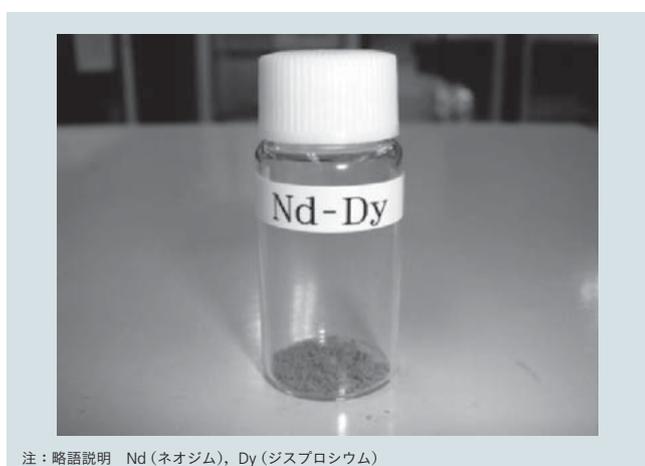
図4 | コンプレッサからの磁石回収プロセス
ケーシング切断，ロータ引き抜き，脱磁，磁石抜き取りの4つのプロセスをシリーズ化した磁石回収技術である。

2.3 環境配慮型磁石の再生技術

このようにして回収したレアアース磁石は貴重なネオジムとジスプロシウムを合計で約30%含有しており，地下鉱石に比べると1,000倍以上の濃度に相当する。

使用済み磁石からレアアースを抽出するには湿式法と呼ばれる現行方式でも対応可能である。しかし，この方式は酸性水溶液を用いて磁石を溶解するため，金属を含む廃液が多量に発生し，環境負荷も高い方式となってしまう。そこで注目したのは，乾式法といわれる水溶液を使わない方法でレアアースを抽出する技術である。

レアアースと親和性の高い抽出媒体には幾つかの候補があるが，中でも低融点(700°C程度)の抽出媒体を選択した。



注：略語説明 Nd(ネオジム)，Dy(ジスプロシウム)

図5 | 磁石から抽出したレアアース(Nd, Dy)合金
レアアースと親和性の高い抽出媒体に溶け込んだレアアース合金を高温条件下で抽出媒体を蒸発させ，回収したレアアースを示す。

溶融した抽出媒体にレアアースを反応させることで，レアアース合金が形成される。磁石の主成分であるFe(鉄)についてはこの抽出媒体と反応しないため，容易に分離できる。レアアース合金をさらに1,000°C以上の高温域で加熱することにより，抽出媒体だけを蒸発させ，残留する高純度レアアースを回収することができる(図5参照)。

この方式は，廃液を発生させずに抽出媒体も循環利用可能なため，環境への悪影響を与えない再生方式である。まだピーカーレベルの実験ではあるが，レアアースの回収率は約95%と高い収率が確認できている。今後，実用化(工業化)のための検討を進める予定である。

3. 建設副産物の現場内リサイクル

リサイクルの課題としてはレアアースに加えて，建設現場から発生するがれきなどの処理が緊急課題となっている。この解決を図るソリューションが，日立オンサイトスクリーニング&ソリューション「Hi-OSS (Hitachi On-site Screening & Solution)」である。Hi-OSSは現場の用途に合わせ，自走式機械群を最適に組み合わせた処理システムとして提案するもので，土木工事をはじめ農林業や災害復旧工事などさまざまな分野でコストと環境負荷の削減を両立できる特長がある。

特に建設副産物の現場内リサイクルでは，再利用可能な品位に処理するシステムを現場内に導入することで場外に搬出してから処理する場合に比べ，CO₂排出量の削減に大きな効果を発揮する。

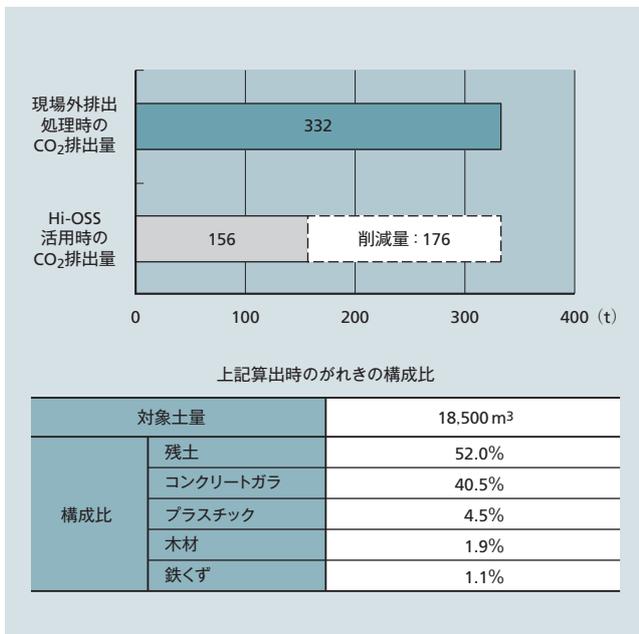


図6 | 現場外搬出処理と「Hi-OSS (ハイオス)」活用時のCO₂排出量比較
現場から外部の処理施設へ輸送し処理する場合と、オンサイトで同様の処理をした場合のCO₂排出量比較である。

宅地造成現場の事例では、コンクリートガラ（コンクリートの破片など）やプラスチックが混入する建設残土廃棄物に対して、これらの選別処理システムを導入している。選別した土砂を現場内の埋め戻し材として再利用し、またコンクリートガラは破碎してサイズを整えることで路盤材として再利用することが可能となり、廃棄物総量の93%を現場内で素材ごとリサイクルすることができた。

一方、オンサイトで選別処理を行わずに廃棄物を外部の中間処理施設などに輸送する場合には、輸送に伴うCO₂が排出されていた。Hi-OSSでは、廃棄物をオンサイトで素材ごとに分別・再利用できるので場外輸送が不要となり、CO₂排出量を約53%削減（主に輸送削減による効果）した実績を有する。（図6参照）。

別の工場造成用地地盤改良工事の事例では、硬度の高い玄武岩を含む現場発生岩を破碎・選別・改良して基礎地盤として全量リサイクルしている。この工事では当初計画の現場発生岩の現場搬出および客土（外部から持ち込む土）搬入と比べ、約20%のコストを削減できた。現場内でクローズドリサイクルするので運搬（搬出入）に伴うCO₂排出量が削減できた。このシステムでは複数の自走式機械を組み合わせ、工事進捗に応じて機械レイアウトを変更できるため、効率の良い施工も可能である。

このようにHi-OSSはCO₂排出量やコストの削減に有効であり、今後もさらに適用拡大を図ることで地球環境負荷の抑制に貢献していく。

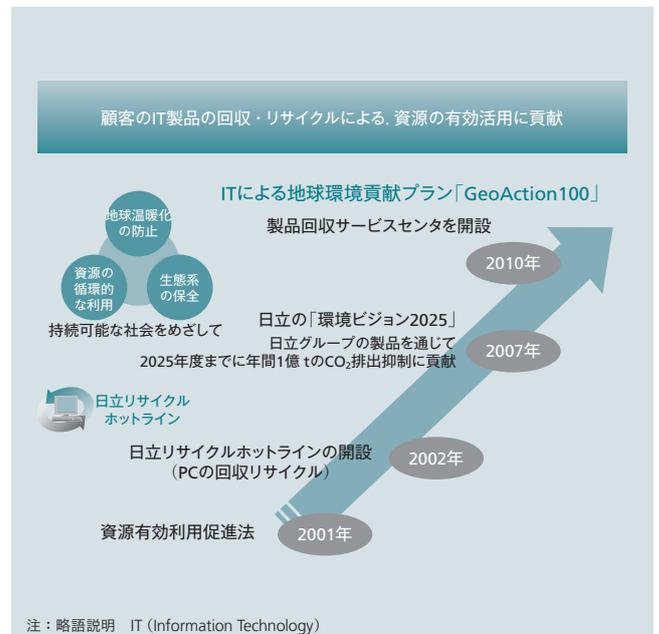


図7 | IT製品回収の取り組み

日立グループではPCの回収・リサイクルだけでなく、リユース品買い取りも行う製品回収サービスセンタを開設した。

4. IT製品回収の取り組み

2001年に資源有効利用促進法が施行されたことを受け、2002年に日立グループでは「日立リサイクルホットライン」を開設し、再資源化製品に指定された使用済みPCなどの引き取り・回収サービスを開始した。

2010年にはITによる地球環境貢献プラン「GeoAction100」を策定するとともに、「製品回収サービスセンタ」を開設し、IT製品を中心とした使用済み製品のリサイクルを推進している（図7参照）。

4.1 製品回収のサポートサービス

製品回収サービスセンタでは、顧客から相談を受けて使用済み製品の回収プランを策定する（図8参照）。

回収プランでは、(1) 産業廃棄物広域認定制度（製造事業者が廃棄物処理法上の自治体ごとの許可がなくても広域的に処理できる制度）での回収、(2) 産業廃棄物としての回収、(3) リユース品としての買い取り、(4) カーボンオフセット（オプション）

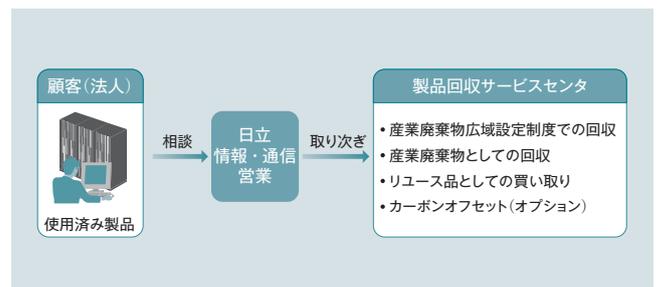


図8 | 製品回収のサポート

製品回収サービスセンタでは顧客の要望に沿って回収プランを策定する。カーボンオフセットのオプションメニューがある。

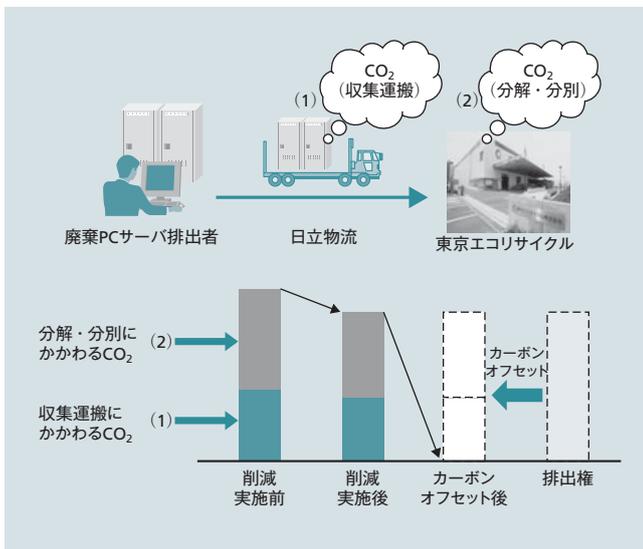


図9 | カーボンオフセットリサイクルのイメージ

企業から廃棄されるIT機器のリサイクルにおいて収集運搬と分解・分別で生じるCO₂をカーボンオフセットする。

フセットなどのメニューから、顧客の要望に沿った回収方法を提案する。

4.2 カーボンオフセット付PC・サーバリサイクル

資源循環に加えて温室効果ガス削減に貢献する仕組みとして、カーボンオフセット付きPC・サーバリサイクル（以下、本サービスと記す。）を首都圏地域で実施している。

カーボンオフセットとは、日常生活や経済活動において避けることができない温室効果ガスの排出について、まずできるだけ排出量の削減努力を行い、どうしても排出される温室効果ガスについて、それ以外の場所での温室効果ガス削減による排出権（クレジットまたは排出枠とも言う。）を購入することで、埋め合わせるという考え方である。

本サービスでは、企業で使用済みとなったPC・サーバなどのIT機器をリサイクルする際に、(1) 収集運搬で利用するトラックの燃料消費と、(2) 分解・分別作業で利用する設備・機器・フォークリフトなどのエネルギー消費に伴い発生するCO₂（温室効果ガスの一つ）を排出権を用いて相殺（オフセット）する（図9参照）。

本サービスによる顧客メリットは、資源の循環的な利用、地球温暖化防止などに貢献する活動として、企業の環境CSR（Corporate Social Responsibility）の効果を高めることができることである。また、本サービスで相殺されたCO₂は京都議定書で決められた日本の温室効果ガス削減目標の達成にも貢献する。

5. 家電リサイクル技術の進化

家電リサイクルに関しては、特定家庭用機器再商品化法の施行後10年が経過し、リサイクル量は順調に増加して

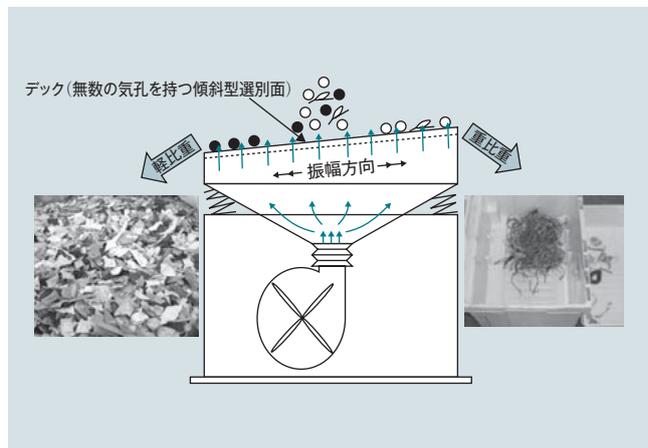


図10 | ミックスプラスチックの比重選別措置

風力と振動を用い、異なる比重の物質を摩擦力差により分別する装置である。

いる。日立グループではフロンなどを適正に処理（無害化）する技術を追求するとともに、有用物の資源循環量を増やす努力を行っている。

ここでは一例として家電製品を構成する部材のうち約3～4割を占めるプラスチックリサイクルについての取り組みを紹介する。

冷蔵庫や洗濯機のリサイクルでは、手作業で容易に外せる単一素材の部位（洗濯機のふた、冷蔵庫の野菜ケースなど）は、リサイクル施設の前処理工程で取り外し、メテリアルリサイクルのルートが定着している。しかし、構造が複雑で手作業による分解・選別が困難な内壁材などについては、破砕機に投入し、幾つかの複合部材から剥（はく）離させることが必要となる。このとき、破砕機からは鉄、銅、アルミニウム、電線、プラスチックなどの破砕片がすべて混合された状態で排出される。鉄、非鉄（銅など）を選別・回収する技術はすでに確立しているが、残されたプラスチック残渣（さ）については、銅線などの異物が混入してしまい、リサイクルの道が絶たれていた。

そこで、日立グループの家電リサイクル工場である株式会社関東エコリサイクルで導入したのが、プラスチックの選別技術である。

図10は、プラスチック残渣を選別する装置部分を示す。デッキと呼ばれる細かい気孔面の下部から上向きの風を発生させ、同時にデッキ自体を振動させることにより、比重の重い物質が振動の摩擦力により傾斜上方に移動し、比重の軽い物質は風の流れに影響（浮遊）され、摩擦が少なくなる作用で傾斜下方に移動する。これを連続的に行うことで比重の異なる物質の選別ができる。その結果、プラスチック残渣中のウレタンや電線類、金属などの異物の混入率を低減（33%減）し、プラスチックとしての品位を高めることができた。

この機構は元来、穀物中の石、金属などの重比重物の除

去に使用されていたものである。日立グループは、この機構を開発したメーカー⁵⁾と共同で家電リサイクル向け装置に改修を行った。今後、ほかの家電のリサイクル工場への適用を図っていく計画である。

6. おわりに

ここでは、レアアースのリサイクル技術の開発状況、および現在推進中の資源循環に関するサービスメニューについて述べた。

日立グループが扱う製品群や取扱量に比べれば、リサイクル技術の開発範囲も限られ製品回収量もまだ少ない。日本にとってごく普通に入手できている資源も、新興国の需要増や金、銅などの可採年数が20～34年程度であることを勘案すれば、次世代のためにも新たな資源循環スキームの確立とリサイクル技術の開発がともに必要となる。

今後も、産業社会を持続させるために日立グループがみずから牽(けん)引役となり、貴重な資源の循環的利用を推進していく所存である。

参考文献など

- 1) Mineral Commodity Summaries (1980-2010), U.S.Geological Survey
- 2) 独立行政法人物質・材料研究機構, <http://www.nims.go.jp/index.html>
- 3) 根本, 外:CO₂削減・循環型社会の実現をめざすリサイクル技術, 日立評論, 90, 5, 434～437 (2008.5)
- 4) 馬場, 外: 材料系資源循環に向けた日立グループの取り組み, 日立評論, 92, 6, 470～475 (2010.6)
- 5) 有限会社シーアンドオールセパレーター, <http://www.cr-s.co.jp/>

執筆者紹介



根本 武

1992年株式会社日立システムテクノロジー入社, 日立製作所 トータルソリューション事業部 新事業開発本部 資源循環推進室 所属
現在, 日立グループのリサイクル技術開発と企画業務に従事
北海道エコリサイクルシステムズ株式会社取締役



田中 康夫

1975年日立建機株式会社入社, 営業本部 所属
現在, 各種建設機械の拡販活動に従事



辻岡 重夫

1974年日立製作所入社, 情報・通信システム社 環境推進本部 製品回収サービスセンタ 所属
現在, IT製品の資源循環の業務に従事



江龍 康雄

1992年日立製作所入社, トータルソリューション事業部 グローバルプロジェクト推進本部
エネルギーインフラソリューションセンタ 所属
現在, 環境・エネルギー分野で, 排出権にかかわる新規事業開発に従事



高田 紀雄

1992年日立製作所入社, 株式会社関東エコリサイクル 技術管理課 所属
現在, 家電リサイクル事業の管理業務に従事