

特別
講演

廃プラスチックの乾式選別*

大井英節**

Separation of Waste Plastics by Dry Process
Eisetsu OI

1. はじめに

廃プラスチックの総排出量は年々増大し、1998年度には984万トンに達した。図1に示すように、これらの31%が熱利用・発電付焼却され、約13%のみが再生利用された。残りの56%は、単純焼却されたり埋立処分されたと報告されている¹⁾。廃プラスチックを有効利用する方策を確立し、できるだけ焼却や埋立処分を減らすことは、環境保全および埋立地の延命の観点からも重要であると考えられる。

有効利用法としては、マテリアルリサイクルが望ましい。しかし廃プラスチックは、各種プラスチックの混合物として排出されることが多く、これらをそのままマテリアルリサイクルするのは、一般に困難である。

そこで混合物をそのまま利用できる、製鉄用高炉の原料化²⁾またはガス化が検討されている。この際、総排出量の約半分を占める一般廃棄物系の廃プラスチックを、いかに原料として活用するかが重要な課題である。

しかし一般廃棄物系中の廃プラスチックには、約5～10%のポリ塩化ビニル(以後PVCと略記)が混入しており、高炉やガス化の原料として利用する際には、発生する塩化水素ガスが付帯設備等を劣化させる等の問題が生ずる³⁾。そこで特に、プラスチック廃棄物中のPVCを選別する技術の開発が望まれている。次に現在、検討されている選別技術の概要について述べる。

2. プラスチック廃棄物の選別技術

プラスチック混合物の選別技術を表1に示す。水を媒体とする湿式と、乾式に大別できる。一般に、湿式の方が乾式よりも選別精度が高いと考えられ⁴⁾、現在、湿式を中心に検討されている。

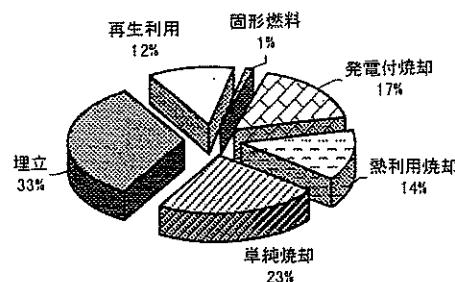


図1 廃プラスチックの処理処分状況(1998年度)

表1 プラスチックの選別技術

乾式選別	湿式選別
1) 光学的選別	1) 比重選別
近赤外線	浮沈選別
X線	遠心分離機
2) 静電・摩擦帯電選別	湿式サイクロン
3) 風力選別	2) 浮遊選別
ジグザグ選別機	
カラム型選別機	
4) 流動層選別	
エアテーブル	

湿式比重選別では、主に水中における沈降速度の差を利用して対象物を分離する。沈降速度は粒径、形状、密度等に影響を受ける。プラスチックの密度は、PVC(1.4 g/cm^3)以外は水のそれに近い値である。重力場においては、プラスチック粒子の沈降速度は非常に遅く、精度よく選別するのは困難である。そこで、遠心分離機⁵⁾または湿式サイクロンによる方法も試みられている。また界面活性剤を添加し、特定のプラスチックを気泡と共に浮上させて分離する、浮遊選別法も検討されている⁶⁾。いずれにしても湿式では、処理コストの嵩む、脱水・乾燥および廃水処理を必要とする。

以上のような理由から、廃棄物の処理に適した乾式選別の開発が望まれている。

*平成12年11月16日本会第105回例会において発表

**所属先 資源環境技術総合研究所

平成12年9月25日受理

乾式選別では、近赤外線を用いる方法が、盛んに研究されている。近赤外線は800nmから2500nmの波長を持つ光で、可視光に近い特性を示す。この近赤外線をプラスチックに照射すると、図2に示すように、その種類に応じたスペクトルが得られる⁸⁾。各種のプラスチックボトル等の混合物を、ベルトコンベヤ上で移動させながら近赤外線を照射し、PVCのスペクトルを検出すると、ノズルから空気流を噴出させて吹き飛ばすことで選別する。プラスチックの種類ごとに選別することが可能である。しかし、数mm以下の破碎物への適用は難しい。また厚さの薄いラップや黒色のものの選別も困難である。

X線照射法は、PVC中の塩素の固有X線を検出して選別する。ペット中に混在するPVCボトルを分けるのに使われている⁷⁾。また最近、近赤外線とX線を組み合わせた選別装置が発表された。その概要を図3に示す⁸⁾。フィルム状のプラスチック破碎物の選別が可能であると報告されている。

静電・摩擦帶電選別については、コロナ放電や摩擦により対象物を帯電させ、プラスチックの帶電序列に応じて選別する。次に帶電序列を示す。

(正)ポリスチレン>ポリエチレン>ポリプロピレン
>ポリエチレンテレフタレート>PVC(負)

このようにPVCは最も強く負に帯電するので、図4に示すような装置の+極側に誘引されて選別される⁹⁾。種類ごとに分けることが可能である。しかし付着水分や湿度の影響を受けやすいといわれている。

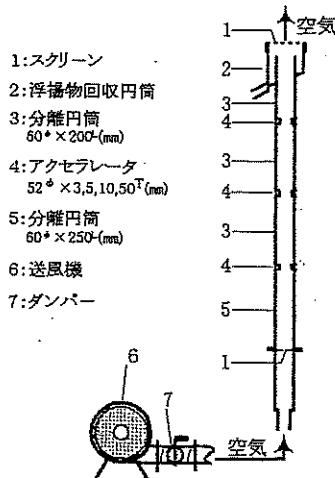


図5 カラム型風力選別装置

風力選別は、円管の下部から10m/sの空気流を吹き出させ、粒径、形状、密度等の違いを利用して対象物を分ける。ジグザグ型やカラム型がある。図5にカラム型風力選別装置の一例を示す¹⁰⁾。プラスチックと金属類のように、密度差が大きい場合に適用されるが、プラスチック混合物の選別についても検討されている。

次に流動層選別は、砂のような媒体を空気流で流動化させ、そこに対象物をフィードして、粒径や密度の違うものに選別する方法と、エアテーブルを用いる方法がある。前者は、密度差が大きなものの選別は可能

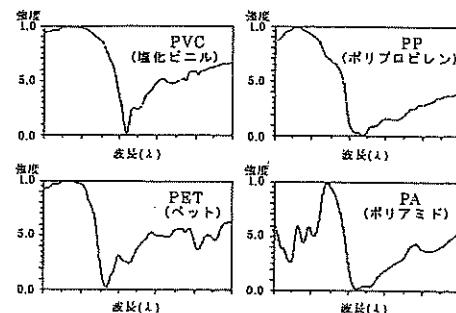


図2 近赤外線吸収スペクトル

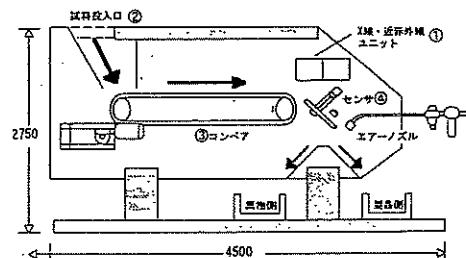


図3 近赤外線・X線選別装置

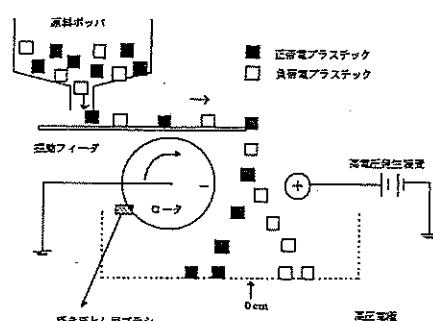


図4 静電選別装置

乾式選別では、近赤外線を用いる方法が、盛んに研究されている。近赤外線は800nmから2500nmの波長を持つ光で、可視光に近い特性を示す。この近赤外線をプラスチックに照射すると、図2に示すように、その種類に応じたスペクトルが得られる⁶⁾。各種のプラスチックボトル等の混合物を、ベルトコンベヤ上で移動させながら近赤外線を照射し、PVCのスペクトルを検出すると、ノズルから空気流を噴出させて吹き飛ばすことで選別する。プラスチックの種類ごとに選別することができる。しかし、数mm以下の破碎物への適用は難しい。また厚さの薄いラップや黒色のものの選別も困難である。

X線照射法は、PVC中の塩素の固有X線を検出して選別する。ペット中に混在するPVCボトルを分けるのに使われている⁷⁾。また最近、近赤外線とX線を組み合わせた選別装置が発表された。その概要を図3に示す⁸⁾。フィルム状のプラスチック破碎物の選別が可能であると報告されている。

静電・摩擦帯電選別については、コロナ放電や摩擦により対象物を帶電させ、プラスチックの帶電序列に応じて選別する。次に帶電序列を示す。

(正)ポリスチレン>ポリエチレン>ポリプロピレン
>ポリエチレンテレフタレート>PVC(負)

このようにPVCは最も強く負に帶電するので、図4に示すような装置の+極側に誘引されて選別される⁹⁾。種類ごとに分けることが可能である。しかし付着水分や湿度の影響を受けやすいといわれている。

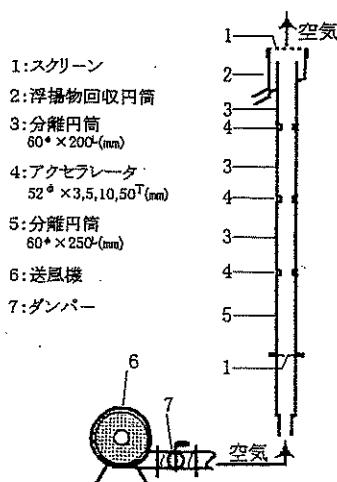


図5 カラム型風力選別装置

風力選別は、円管の下部から10数[m·s⁻¹]の空気流を吹き出させ、粒径、形状、密度等の違いを利用して対象物を分ける。ジグザグ型やカラム型がある。図5にカラム型風力選別装置の一例を示す¹⁰⁾。プラスチックと金属類のように、密度差が大きい場合に適用されるが、プラスチック混合物の選別についても検討されている。

次に流動層選別は、砂のような媒体を空気流で流動化させ、そこに対象物をフードして、粒径や密度の違うものに選別する方法と、エアテーブルを用いる方法がある。前者は、密度差が大きなものの選別は可能

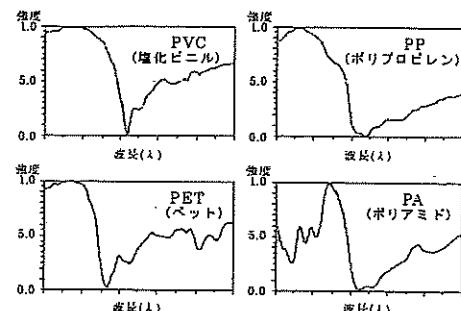


図2 近赤外線吸収スペクトル

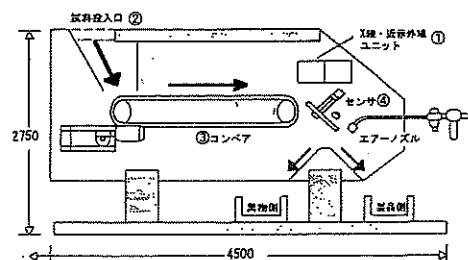


図3 近赤外線・X線選別装置

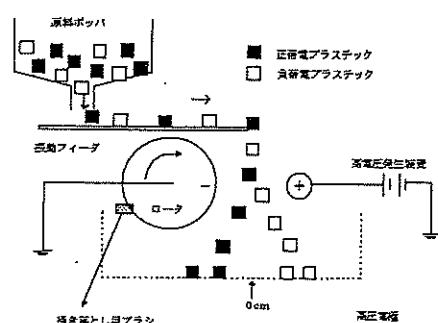


図4 静電選別装置

であるが、プラスチック混合物の分離は困難であると考えられる。

エアテーブルでは、選別対象物自体で流動層を形成させる。まず、振動している穴あき板(振動デッキ)上に選別対象物をフィードする。下から上昇空気流($1.0[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$ 程度)を吹き出せると、密度や粒径の大きなものは下層に、逆に小さなものは上層に分けられる。下層の重量物は、振動加速度とデッキ底面との摩擦力により、傾斜している振動デッキの上方に移動する。これに対し、上層の軽量物は、下層の重量物との間の摩擦力が小さく、傾斜の低い方に滑落して両者は選別される。このように、エアテーブルによる選別は、密度のみならず形状や摩擦の違い等により、対象物を選別する方法である。

3. エアテーブルによるプラスチックフィルムの選別

さて廃プラスチックの再利用率を高めるには、それらの約半分を占める、一般廃棄物中のプラスチック混合物を、高炉等の原料として利用することが重要である。一般廃棄物(都市ゴミ)は、図6に示すように袋やフィルム状をしたものが多い。またこの中に、約5~10%のPVCが混入している。このPVC混入量を1%以下にすれば、高炉原料として使用できるといわれている。そこで、エアテーブルを用いて、上記の条件以下に低減する可能性を検討した。

試料としては、ポリエチレン(P E)およびPVCフィルムを破碎し、それらを混合した模擬試料を用いた。都市ゴミ中の廃プラスチック破碎混合物を対象とすると、PVC含有量の測定が困難なためである。厚さ約 $50\mu\text{m}$ のプラスチックフィルムを、6mm以下に破碎し、PE 92.5%およびPVC7.5%を混合して試料とした。平均粒径は、PE2.30mmおよびPVC 1.98mmであった。

使用したエアテーブルを図7に示す。試料はホッパーから振動フィーダを経て振動デッキ上にフィードされる。台形をした振動デッキは往復直線振動(0~11.5[Hz])する。また、この振動板デッキ傾斜は、図7の装置の正面から見て左右および前後に変えることができる。ここでは、左右の傾斜をエンドスロープと呼ぶことにする。また底面は網になっており、プロワーで発生した空気流($0\sim1.5[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$)が、この網目を上方に吹き抜ける。

振動デッキ上には横桟(リップル)が張られている。通常、高さ6mmの金属板が取り付けられているが、フ

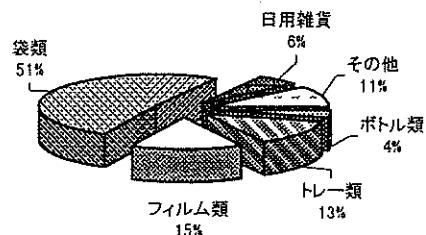


図6 都市ゴミ中プラスチックの形態

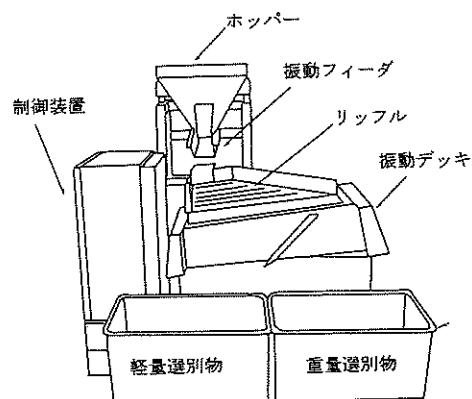


図7 エアテーブル選別装置

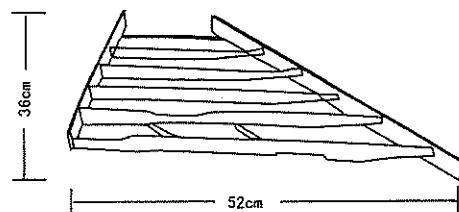


図8 フィルム選別用リップル

イルム状プラスチックの選別に適した新しいリップルを作成した。その概要を図8に示す。振動フィーダ近くの2つのリップルは、20mmの高さである。このゾーンで試料の成層化を促進させる。密度の大きなPVCは、網面に近い部分に滞留する。反対に密度の小さなPEは、リップルの上端よりオーバーフローするように、デッキの傾斜の低い方に滑落する。また、PVCが排出される側のリップルの下部をカットするような工夫が加えられている。排出端のリップルの高さは30mmである。

次に空気流速を一定に保ち、デッキ振動数と傾斜角(エンドスロープ角)の、選別成績にあたる影響を検討した。軽量物として分離されたPE中に混入するP

VCの含有率と、振動数およびエンドスロープ角との関係を図9に示す。この場合、空気流の平均流速をほぼ $0.4\text{ [m}\cdot\text{s}^{-1}\text{]}$ と一定に保った。図から明らかのように、エンドスロープ角を小さくし、かつ振動数を大きくすると、PVC含有率は低減する傾向が見られる。特にエンドスロープ角を8度、振動数を11.5Hzで選別した場合、PVC含有率が0.04%とかなり低い値のPE選別物を得ることができた。この含有率であれば、高炉の原料として十分に使用することが可能である。

次に、上記の選別における分離効率を検討した。一般にこれは、総合分離(ニュートン)効率で表すことが多く、有用成分(PE)回収率から、不用成分(PVC)の残留率を引いた値で表される。ここで、PEの回収率を γ_{pe} 、PVCのそれを γ_{pvc} とすると、総合分離効率 η は次の式で示される。

$$\eta = \gamma_{pe} - (1 - \gamma_{pvc})$$

総合分離効率と、振動数およびエンドスロープ角との関係を表したのが図10である。図から明らかのように、総合効率についても、エンドスロープ角を小さくし振動数を大きくすると、分離効率はよくなる傾向が認められる。特に、エンドスロープ角を8度、振動数を9Hzに設定して選別すると、総合分離効率0.86の値が得られた。通常、0.7以上の値であればよい選別であるといわれている。

4.おわりに

廃プラスチックの乾式選別を概観した。さらに、エアテーブルによる、プラスチックフィルム中のPVC選別についても述べた。特にプラスチックフィルムは、水中での沈降速度が遅いばかりでなく、その表面が疎水性のため濡れにくく、密度が水よりも大きなPVCであっても浮いてしまうことが多い。このため、湿式比重選別の適用は制限を受けるものと考えられる。本稿では、エアテーブルの選別条件(振動数、空気流速等)を適切に設定すれば、プラスチックフィルム混合物の乾式選別が可能なことを示した。

参考文献

- 1) (財)プラスチック処理促進協会：“プラスチック製品の生産・廃棄・再資源化・処理処分の状況(2000)
- 2) 大谷陽二：資源と素材、No.13,p998(1999)
- 3) 山崎茂樹：廃プラスチックの分離・分別技術の最新動向、p15、技術情報センタ(1996)
- 4) Wills, B:Mineral Processing Technology, p407, Pergamon Press(1992)
- 5) 芝田隼次：廃プラスチックの分離・分別技術の開発動向、情報技術センター(1999)
- 6) 小川斉、土田俊彦、戸田孝司：第9回廃棄物学会研究発表会講演論文集、p296(1998)
- 7) 丸紅(株)、NRT社 カタログ
- 8) 杉本伸一、寺下敬次郎他：第10回廃棄物学会研究発表会講演論文集、p344(1999)
- 9) 春木伸哉、今井光則他：資源・素材学会春季大会講演集(II)、p155(1999)
- 10) 荒井怜、伊藤信一、蓮田哲彦：資源・素材学会春季大会講演集(II)、p141(1999)

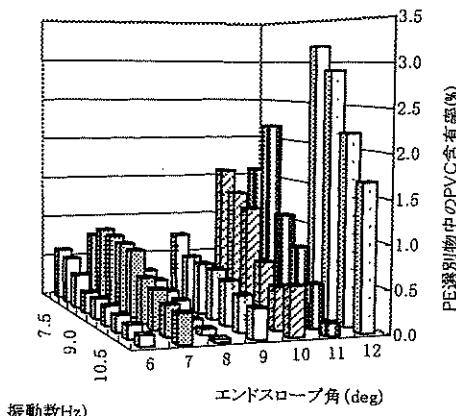


図9 PE選別物中のPVC含有率と振動数およびエンドスロープ角の関係

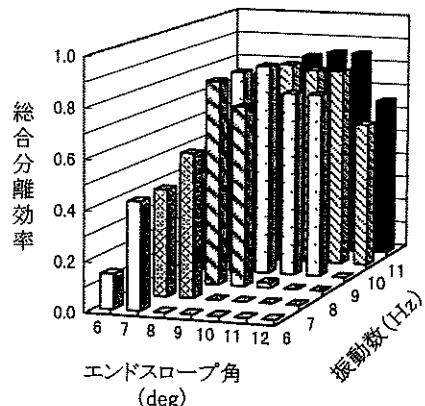


図10 総合分離効率と振動数およびエンドスロープ角の関係

埼玉ゼロエミッション推進事業について

藤谷典秀 **・金井啓充 **
黒須美紀 **・鶴見 威 **
小野雄策***・荻野正夫 **

1. はじめに

埼玉県は、首都圏に位置し、人口、産業の集中による著しい都市化が進展し、内陸型の工業が集積している。

近年、ダイオキシン問題や地球環境問題、最終処分場の逼迫、廃棄物処理施設の確保困難により、大量生産・大量消費・大量廃棄の社会経済システムからの脱却がさればれ、廃棄物の減量化・リサイクル化への転換が求められている。

そこで、県では、学識経験者、県民、事業者、行政の代表からなる「埼玉ゼロエミッション推進委員会」を設置し、①環境に配慮した事業活動の推進及びライフスタイルづくり、②焼却・埋立方式から資源循環型の処理方式への転換、③ダイオキシンの削減と不法投棄、不適正処理の根絶を基本方針とし、平成10年3月に「埼玉ゼロエミッション行動計画」を策定した。

現在、この計画に基づき、ゼロエミッションを推進するため様々な施策を行っているところである。

2. 埼玉県の廃棄物の状況

2-1 一般廃棄物

2-1-1 発生・処理状況

埼玉県における一般廃棄物の排出量は、経済の動向などを反映して昭和61年度から急激に増加し続けたが、発生抑制やりサイクルの進展、バブル経済の崩壊などの影響より、平成2年度以降は微増に転じ、平成9年度の総排出量は238万6千トンで、そのうち188万9千トン(79.2%)は家庭から排出される生活系ごみである。また、事業所から排出される事業系ごみは、49万7千トン(20.8%)である。

この排出量を、一人一日当たりに換算すると954gとなる。

総排出量238万6千トンのうち、200万4千トン(83.9%)が焼却処理され、資源化される量は25万9千トン(10.9%)であり、焼却残さ等の最終処理量は32万6千トン(13.7%)である。

なお、最終処分量のうち40.7%は県外で処分されている。

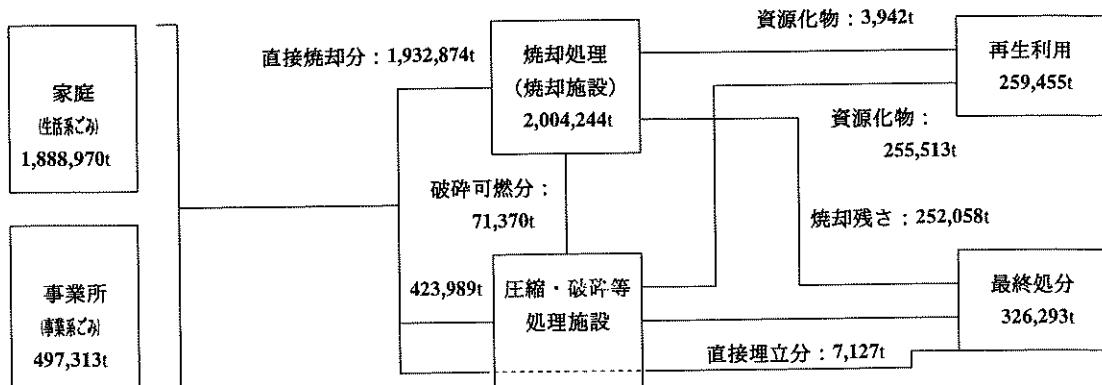


図1 一般廃棄物の処理・処分フロー（平成9年度実績）

2-1-2 施設設置状況

平成9年度の埼玉県の1日当たりのごみ排出は、6,538tであり、これに対するごみ処理施設の設置状況は、焼却施設が65施設で1日当たりの処理能力の合計は10,095t、粗大ごみ処理施設が31施設で1日当たりの処

*平成12年11月16日本会第105回例会において発表

**埼玉県環境防災部廃棄物政策室

***埼玉県環境科学国際センター

平成12年8月30日受理

理能力の合計は1,333tとなっている。

2-2 産業廃棄物

2-2-1 発生・処理状況

埼玉県の事業所からは、平成10年度に1,180万トンの産業廃棄物が発生した。この発生量から有償物を除いた排出量は、1,130万7千トンであり発生量の95.8%となっている。

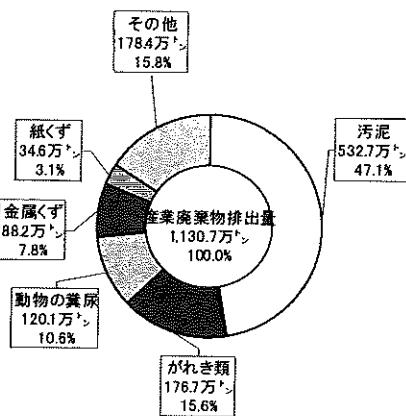
中間処理については、自己中間処理が575万3千トン（発生量の48.8%）、委託中間処理が406万6千トン（34.5%）である。再生利用されているのは、542万2千トン（46.0%）である。

最終処分は、77万4千トン（6.6%）であり、そのうち自己最終処分は11万7千トンに過ぎず、委託最終処分は65万6千トン（5.5%）であり、委託最終処分の割合が大きい。

平成10年度における中間処理を目的とした県外への流出量は、13万6千トンであり、最終処分を目的とした事業者から県外への流出量は、51万2千トン、最終処分を目的とした中間処理業者から県外への流出量は、20万トンである。

一方、県内への流入量は、中間処理を目的としたものが309万8千トン、最終処分を目的としたものが2万1千トンであり、県内への流入量の合計は311万9千トンである。

図3 種類別排出量（平成10年度）



産業廃棄物の種類別排出量は、汚泥が最も多く47.1%である。次いで、がれき類15.6%、動物のふん尿10.6%、金属くず7.8%、紙くず3.1%、廃プラスチック類3.0%、鉱さい3.0%の順となっている。また、業種別排出量では、製造業が全体の37.5%で、次いで建設業の35.1%、電気・ガス・水道・熱供給業の12.6%、農業・漁業・林業の10.7%の順となっている。

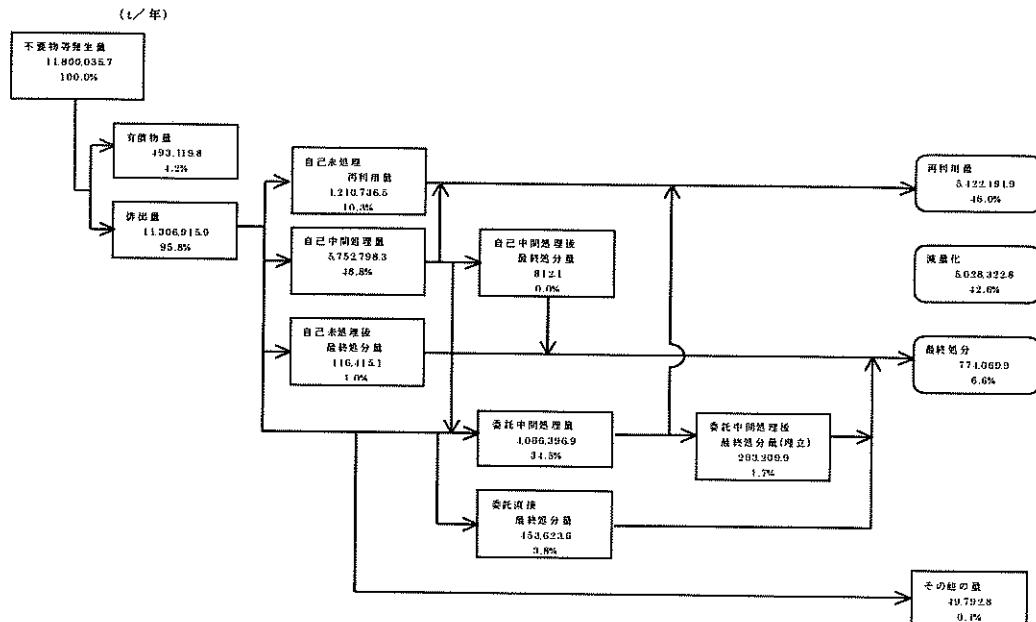


図2 産業廃棄物の処理・処分フロー（平成10年度実態調査）

3. 埼玉ゼロエミッション推進事業

埼玉県は、平成9年度に廃棄物の環境への放出をゼロにする資源循環型社会の構築を推進するため、「埼玉ゼロエミッション推進委員会」を設置し、埼玉のゼロ・エミッション化を推進するため、平成10年3月に「埼玉ゼロエミッション行動計画」を策定し、次の様々な施策を展開している。

3-1 産業廃棄物ゼロエミッション推進事業（彩の国セメントプラント化計画）

本事業は、稼働している民間生産設備（プラント）を活用し、廃棄物の再資源化を行うことを目的に行うものである。

埼玉県内4カ所のセメント工場において産業廃棄物をセメントの原料、燃料として活用する事業の検討を行った。事業の期間は平成8年度から平成10年度までの3年間である。

(1) 鋳物廃砂に関する検討

埼玉県では川口市の鋳物業が地場産業として古くから発展してきた。しかし、鋳物を鋳造する過程で生じる廃砂のうち、有効利用されているのは平成7年度発生量約7万2千トンのうちの約1/4にすぎず、その処理が課題となっていた。

そこで、鋳物業で発生する廃砂のセメント原料化について取り組むこととし、廃砂について種類別及び混合物の形で成分分析を行うとともに、排出側及び受け入れ側双方のヒアリングを通して、廃砂の受け入れ可能な方法について検討を行った。

その結果、生型廃砂、無機自硬性廃砂、有機自硬性廃砂及びそれらの混合物は処理量が限られる可能性があるもののセメント原料として使用可能である（但し、有機自硬性廃砂は、T-Crを生型廃砂並に低減する必要がある。）という結論を得た。

また、先行的に5社の鋳物廃砂を受け入れることが決定し、現在は当事者間で廃砂の成分や異物の混入状況等を調査し、受入可能なところから個別に受入を開始している。

(2) 建設系廃棄物に関する検討

建設系廃棄物の中でも、排出量が多く、処理が困難である木くず及び石膏ボードについて、新たな再資源化の方法を検討した。

①木くずの資源化

木くずについては、セメントキルンの仮焼炉（プレヒーター）の補助燃料として使用できるか実験した。

実験の結果、木くずチップの単品での使用はハンドリング面から無理であるが、他の補助燃料を混合すると滞りなく抽出でき、仮焼炉での燃焼に問題はなかった。

セメントキルンの仮焼炉において0.2t/h（約5t/日）

処理できることが分かった。この処理量は年間1,500tで、木くずの発生量の1%にも満たない。燃料化量を増加させるためには設備投資が必要となり、過大な投資額が必要となる。木くずについては、炭化及びコンクリート型枠材の原料化についても資料調査をし、製品の需要先の確保が課題であることが分かった。

②石膏ボードの資源化

解体工事により発生する廃石膏ボードのセメントの原料化を実現するために、④破碎・紙分離装置により紙を分離したものを受け入れる場合と⑤そのまま受け入れる場合（紙ごとセメントキルンで焼成し無水石膏の形で受け入れる）の2種類の受入方法による検討を行った。

その結果、解体工事現場で発生する乾式廃石膏ボードについては、無水石膏化による資源化が可能であるが、異物の混入等の問題があり、今後の調査・検討が必要である。

(3) 清水場発生土と下水処理場汚泥に関する検討

清水場発生土と下水処理場汚泥については、平成8年度の事業開始時には、それぞれ発生量の約60%と80%を埋立処分していた。しかし、本事業推進の結果、双方ともセメント原料化が進み、平成10年度には埋立処分量がゼロになった。

3-2 一般廃棄物ゼロエミッション推進事業

本事業は、セメント製造施設を用いて廃棄物の原料・燃料利用を検討する「焼却灰等有効利用検討事業（北部地域）」、「RDF導入検討事業（西部地域）」、及び溶融スラグの県市等の土木事業への適用性を検討する「溶融スラグ有効利用検討事業」の3つの実証事業について、技術的な検証を行い、循環型ごみ処理システムの実現に向けていくための必要な県・市町村の施策について検討を行った。

(1) 焼却灰等有効事業

焼却残さには、焼却灰にガラや金属などの異物、焼却飛灰には塩素や重金属が含まれ、セメント原料化の阻害要因となるから、それらの不適物の除去を行う前処理の実証試験を行った。さらに、処理後の焼却残さをセメント原料に用いてセメント品質、環境への影響調査（焼却灰投入前後）をし、セメント原料としての適合性について検証した。

①飛灰の塩素除去

飛灰中の塩素については、無機塩素であり、dryの状態で受け入れることにより水洗による塩素除去が可能であった。また、Pb、Zn等の重金属の溶出が問題となるが、ろ液のpH調整（中和化）により処理が可能となつた。ダイオキシン類については、水洗しても水側には移行していなかつた。飛灰の水洗脱塩素設備における塩素除去率は、97%に達しており、セメント原料としての

使用は可能であることが確認された。

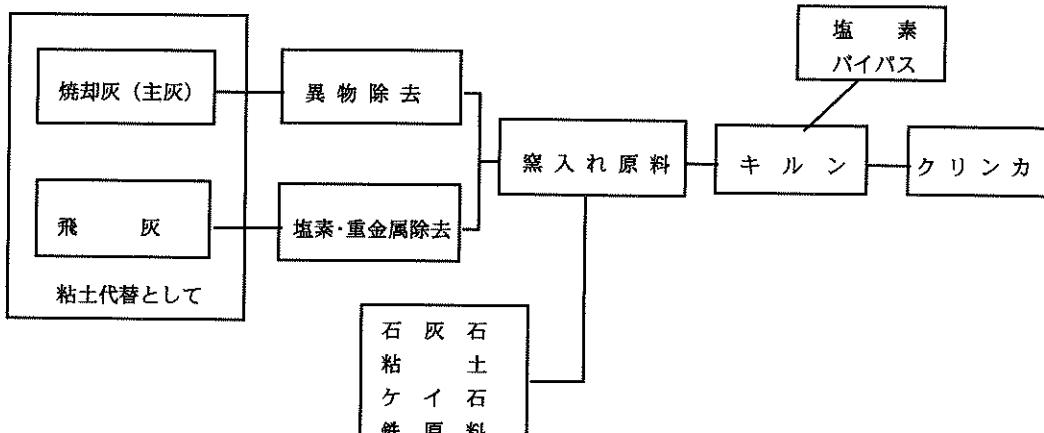


図4 セメント製造フロー

②焼却灰の異物除去

焼却処理施設で焼却灰中の缶等の異物除去をしていたので、異物の混入率は少ない。異物混入率は、6.9～9.7%であった。

③製造プラントへの影響予測

処理後の焼却灰、飛灰をセメント製造プラントに投入した場合においても、ブランク時と比較して変化はなく、塩素バイパスについても、ブランク時と比較し焼却灰・飛灰投入時も特段の変化はなく、問題は認められなかつた。

④環境影響評価

排ガス中のダイオキシン類測定結果は、実証時に $0.0012\text{ng-TEQ}/\text{m}^3$ （平成9年度）、 $0.0021\text{ng-TEQ}/\text{m}^3$ （平成10年度）と、大気汚染防止法の規制値 $0.1\text{ng-TEQ}/\text{m}^3$ と比較して十分に低いレベルであった。

また、連続投入試験を行うに際して、周辺環境への影響を考慮して騒音・臭気の測定を行った。その結果、騒音・臭気ともブランク時の工場稼働に比べて変化が少なく、周辺環境への影響はないと考える。

(2) RDF導入検討事業

都市ごみRDFを用いてセメント工場のキルン及び発電燃料としての適格状況を調査するため、RDFの性状試験の後、キルン及び発電ボイラーによる燃焼試験を行い、セメント品質への影響や石炭との代替性の検証を行つた。また、運転時に排ガス、臭気などに関する環境分析を行い、RDFの受入に係る環境に与える影響を評価した。

①RDF性状分析結果

塩素濃度が $3000\sim5000\text{ppm}$ と高く、かつ変動幅が大きいため、セメント利用時は注意が必要である。重金属の含有については、Pb、Zn、Cuなどを中心に濃度が高

いことから、クリンカなどへの影響の考慮が必要である。

発熱量は 4000kcal/kg 程度あることから、石炭（ 6250kcal/kg ）代替利用としての可能性がある。

②実証試験結果

発電ボイラーでRDFを利用する場合、ボイラー水管での塩素による腐食の影響を長期燃焼試験を確認する必要がある。燃料としての石炭の一部代替は可能と考えられるが、セメント工場の発電ボイラーの燃焼残さはセメント原料としてキルンに投入することが前提となっているので、塩素、重金属の問題があり、このままではセメント原料としての利用は難しい。

このため、水洗設備等の塩素、重金属の除去設備の整備や工コセメント原料への利用、キルンに塩素バイパス設備の新設等の対応が必要となる。

③環境調査結果

発電ボイラー排出口及びロータリーキルン排出口における石炭専焼時とRDF混合燃焼時の排ガスについて、ダイオキシン類及びアンモニア等の臭気測定を行つた結果、すべて問題ない値であった。

④溶融スラグ有効利用事業

埼玉県では、一般廃棄物の排出量の増大に伴い焼却灰等の最終処分量の増大、最終処分場の逼迫から、最終処分量を $1/2$ 程度に減容化でき、無害化されたスラグにより埋立の安全性の向上が図られることから、平成6年度に「埼玉県廃棄物広域溶融計画」、平成7年度には「県南地区広域溶融促進計画」を策定し、推進に努めた。

また、平成8年度に策定した「埼玉県溶融スラグ有効利用指針」に基づき、溶融スラグを実際に試験施工し、その安全性、砂の代替としての実用性の評価を行つた。平成9年度は、県内6施設の溶解炉のスラグの安全性試験、スラグの加工（破碎、磁選）、材料試験及びアスフ

アルト試験施工（県道4ヶ所）を行った。

そして、平成10年度には、溶融スラグの骨材としての可能性、利用する際の品質、供給量などの条件を明確にし、品質上、供給システム上の課題を抽出、検討した。
 3-3 産業廃棄物再資源化等可能性調査研究事業

埼玉県内の工業団地内の工場・事業所を中心として、業種間の連携により、産業廃棄物を資源として循環させる産業関連モデル事業の検討を行った。

工業団地内の942工場・事業所を対象に産業廃物のリサイクルに関するアンケート調査を実施した。その結果、ゼロエミッション化を目指した業種間の連携による産業廃棄物再資源化においては、連携先（食品製造業、農業、畜産業）が絞り込める食品製造業の連携モデルを検討した。

(1) 食品工場の野菜くず等の堆肥化

食品工場から排出される野菜くずの再資源化については、好気性微生物処理の高速肥料化を前提として醸酵処理し、減容堆肥化するシステムについて検討を行った。工場で一次処理した後、肥料メーカー等が引き取り、成分調整を行い堆肥化することを前提とした。

食品工場で一次処理を行い、これを肥料メーカーが牛糞等混合して商品化することにより、十分堆肥としての使用価値が生まれる。また、肥料メーカーが成分調整を行うとともに、製品の品質管理と保管による出荷時期の調整を行うことによって、需要と供給のバランスを整え、使用農家も安心した品質と量を必要な時期に確保することが可能となる。

また、コスト収支を試算したところ、現行の処理（廃棄物処理業者に処理委託）よりも、再資源化モデルの方が低コストとなった。

(2) 割り箸のキノコ培地化及び畜産敷料化

チェーン店から収集した使用済み割り箸（500kg/日）

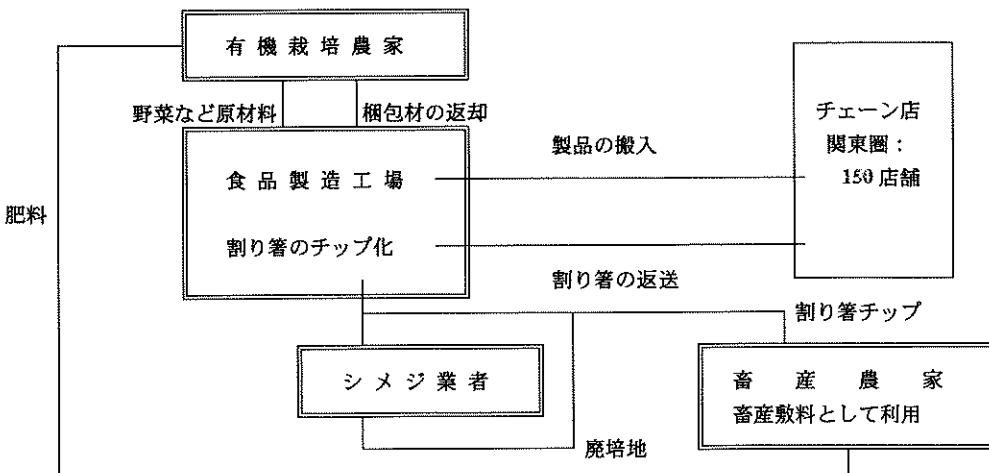


図5 割り箸のリサイクルモデル

を破碎処理し、チップ化した上でキノコの培地又は畜産敷料として、キノコ栽培農家や畜産農家に販売するモデル事業について検討を行った。

割り箸のチップ化については、建設廃材と異なり、割り箸の持つ安全性を生かして、チップ化し、キノコ培地、畜産敷料としての用途が望まれる。キノコの廃培地は、割り箸チップと混合して敷料として利用でき、さらに、使用済み敷料は、堆肥として農地で再使用できる。

また、コスト収支を試算したところ、現行の処理（廃棄物処理業者に処理委託）よりも、再資源化モデルの方が低コストとなった。

(3) 豆腐製造工場のおから等の再資源化

豆腐製造工場では、大豆を乾燥脱皮し、挽き割り状態にした後に豆腐を製造している。検討では、おから及び大豆皮について家畜飼料化、排水処理及び汚泥の脱水技術等について検討を行った。

おからの成分は、水分が約80%で栄養分が豊富であるが、放置すると微生物が繁殖し、短期間で腐敗がおこり、悪臭が発生する。よって、おからを乾燥することでリサイクルが容易となり、畜産飼料、釣り餌、食用、ペットフード、有機肥料の用途が可能である。また、排水処理汚泥は、堆肥等に再資源化を行うことは可能であるが、凝集剤をアルミを含まないものに変更することが必要である。

また、コスト収支を試算したところ、現行の処理（廃棄物処理業者に処理委託）よりも、再資源化モデルの方が低コストとなった。

(4) 廃プラスチックの再資源化

文献調査、ヒアリング調査を行ったところ、高炉還元剤としての利用が有望であるため、そのモデルを想定し、埼玉県から製鉄会社へ搬出する場合等、ケース別のコスト計算を行った。

3-4 解体廃棄物適正処理対策事業

解体廃棄物は、その性質上発生を抑制することは困難なもの、コンクリート、木くず及び金属くず等に分別排出されれば、再生利用可能なものが多い。しかし、機械を用いたミンチ解体により、混合廃棄物が排出され、最終処分されていることなどから、再利用率は極めて低い状況にある。また、制度面、コスト面及び技術面等から適正処理を阻む要因も多く、不法投棄や野焼き等の不適正処理も行われている。

このような状況を背景として、平成9年度には埼玉ゼロエミッション事業の一環として「解体廃棄物の適正処理に関する調査報告書」を策定し、解体廃棄物の処理やその委託契約面等の実態を把握することにより、適正処理を推進するための制度面、コスト面及び技術面の問題点を整理し、今後の取り組み方法をとりまとめた。

また、平成10年度は、実際の家屋解体の事例を通して解体廃棄物のゼロエミッションを目指した、木くず、石膏ボードの再資源化方法の具体的な検討を行い、今後あるべき解体・分別システムの検討を行った。

また、高度選別施設活用調査では、家屋解体廃棄物の組成や解体工法と分別の課題、高度選別施設の課題、専用選別施設と建設混合廃棄物処理施設の使い分け、処理後の選別品の処理処分方法の検討を行った。

平成12年度は、建物解体・破碎選別施設マニュアルの検討を行っている。

4. ま と め

国においても、本年6月に「循環型社会形成推進基本法」を制定し、廃棄物処理法の改正や個別のリサイクル関係法の整備をし、循環型社会の構築を目指している。

埼玉県としても、平成8年度から推進してきた「埼玉ゼロエミッション事業」により、浄水場発生土、下水処理場汚泥及び焼却灰等のセメント原料化などが事業化され、21世紀の「環境の世紀」に循環型社会の実現を図るため、地域に根ざしたゼロエミッションづくりに取り組んで行くこととしている。

参 考 文 献

- 1) 埼玉ゼロエミッション行動計画(1997)
- 2) 埼玉県産業廃棄物実態調査報告書(2000)
- 3) 一般廃棄物処理事業の概況(1997)
- 4) 生産設備活用事業(倍プラント化計画)(1996)
- 5) 産業廃棄物ゼロエミッション推進事業(1997)
- 6) 産業廃棄物ゼロエミッション推進事業(1998)
- 7) 一般廃棄物ゼロエミッション推進事業(1997)
- 8) 一般廃棄物ゼロエミッション推進事業(1998)
- 9) 溶融スラグ有効利用等推進対策事業(1998)
- 10) 市町村焼却灰広域処理構想(1999)
- 11) 産業廃棄物再資源化等可能性調査研究(1997)
- 12) 産業関連推進モデル事業(1998)
- 13) 産業廃棄物再資源化等可能性調査研究(1999)
- 14) 建物解体廃棄物の適正処理に関する調査(1998)
- 15) 解体廃棄物適正処理対策事業(1999)

蓄光型蛍光体の結晶成長と評価*

○勝亦徹**・酒井理恵子**

小室修二***・森川滝太郎***

Growth and Characteristics of Long Duration Phosphors

T. KATSUMATA, R. SAKAI

S. KOMURO and T. MORIKAWA

1. はじめに

可視光の発光が数時間以上持続する蛍光体が、時計の文字盤照明や新しいタイプの蛍光管用材料として実用化されている。これらの蛍光体は、蓄光型蛍光体あるいは、長残光蛍光体と呼ばれ、トリジマイト型の結晶構造を持つアルカリ土類金属のアルミニン酸塩に不純物として複数の希土類金属イオンを添加した材料である。 SrAl_2O_4 にEu, Dyを添加したものや、 CaAl_2O_4 にEu, Ndを添加した残光時間の長い蓄光型蛍光体が報告されている¹⁻³⁾。

蓄光型蛍光体の発光は、不純物として添加したEu²⁺イオンの5d-4f遷移によるものであり¹⁻⁴⁾、母材結晶の結晶場の影響のため、5d軌道のエネルギーが変化し、発光色が青から緑まで変化する^{5,6)}。また、長い残光は、Euとともに添加したDy³⁺やNd³⁺イオンがEu²⁺イオンの励起により生じたホールを一時的にトラップし、徐々に放出するためと考えられている。

状態図によれば、 $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SrO-Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{BaO-Al}_2\text{O}_3$ 系には、複数の化合物が存在し⁷⁻⁹⁾、種々の化合物を母材として用いることができる。母材となるアルカリ土類金属のアルミニン酸塩にEu²⁺と適当な希土類金属イオンを添加することにより、様々な蓄光型蛍光材料への応用が期待できる。

*平成12年11月16日本会第105回例会において発表

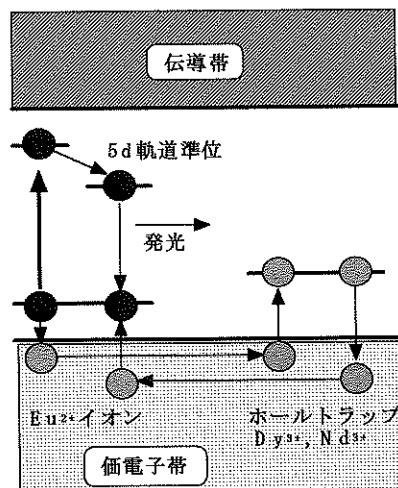
**東洋大学工学部応用化学科

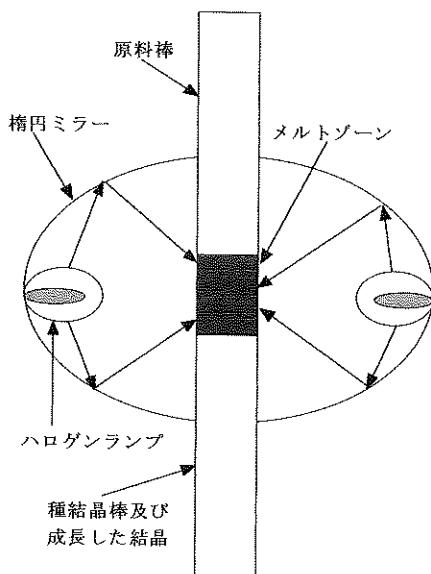
***東洋大学工学部電気電子工学科

平成12年10月16日受理

2. 残光のメカニズム

蓄光型蛍光体の長い残光のメカニズムとしては、図1に示したような、付活動剤として添加したDy³⁺やNd³⁺等の3価のランタノイド金属によるホールトラップの形成によるものが提案されている¹⁻⁴⁾。このメカニズムによれば、Eu²⁺の励起により生成したホールがDy³⁺あるいはNd³⁺が形成するトラップにより捕獲される。次にトラップされたホールが室温の熱エネルギーで徐々に開放され、励起電子と再結合することにより発光する。この過程が長時間繰り返されることにより発光が持続する。これによれば蓄光型蛍光材料のDyやNd濃度による残光時間の変化をうまく説明するこ

図1 長残光蛍光体の発光メカニズム^{2,3)}

図2 FZ法結晶育成の模式図¹⁸⁾

橢円鏡でハロゲンランプの光を1点に集光し加熱溶融する。溶融した後、溶融帯を移動することにより結晶育成を行う。

とができる。しかし、Euのみを添加したSrAl₂O₄結晶でも、ある程度の残光が観測できることから、もとの結晶内にもホールトラップを形成する欠陥や、不純物が含まれていると考えられる。最近の研究では、異なるエネルギーレベルを持つ複数のトラップが存在することがわかっており、残光現象を正確に説明するため

にはさらに複雑なモデルが必要である。

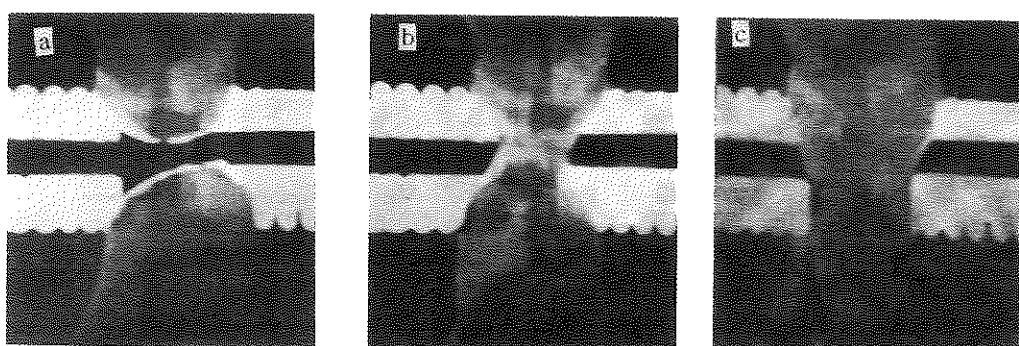
これらの蓄光型蛍光体の応用や発光メカニズムの研究のためには、粉体試料が通常用いられているが、単結晶試料を作製することにより残光機構のより詳細な検討が可能になる¹⁰⁻¹³⁾。

3. 結晶成長法

ここでは、浮遊帶域溶融法（フローティングゾーン法、FZ法）を用いて、Eu、Ndを添加したCaAl₂O₄結晶やEu、Dyを添加したSr₃Al₂O₆、SrAl₂O₄、SrAl₄O₇、SrAl₁₂O₁₉結晶、Eu、Dyを添加したBaAl₂O₄結晶の育成を試みた¹⁰⁻¹³⁾。さらに、残光特性への組成の影響を評価する目的で、原料組成を変えたSrAl₂O₄結晶の育成や、組成X=BaO/(BaO+Al₂O₃)=0.35、0.40、0.45、0.50、0.65の原料からのBaAl₂O₄結晶の育成をあわせて試みた。育成した結晶は切断、研磨した後、顕微鏡観察、X線回折等の評価、発光特性の評価を行った。

CaAl₂O₄は包晶系であるが、SrAl₂O₄とBaAl₂O₄は、一致溶融するため、コングルエント（一致溶融）組成の融液からの育成が可能である。状態図によれば⁷⁻⁹⁾、CaAl₂O₄の融点は、1600°Cと比較的低いが、SrAl₂O₄や、BaAl₂O₄は、1960°C、1815°Cと高融点である。FZ法では、種々のガス雰囲気で2000°C程度の高温が比較的容易に得られるため、これらの結晶育成に適している。

4N-SrCO₃、4N-CaCO₃、3N-BaCO₃、4N-Al₂O₃及び、4N-Ln₂O₃ (Lnは希土類元素) の原料を種々の組成で秤量、混合した。直径約8mm長さ50mmの焼結棒を1000~1150°Cで作製し、FZ法により結晶育成を行った。結晶育成には、四橢円鏡型浮遊帶域溶融装置 (FZ-4000H、

図3 FZ法を用いてSrAl₂O₄:Eu,Dy結晶を育成しているところ¹⁸⁾。

クリスタルシステムズ製)を用いた。Euを2価の状態で添加するためにアルゴンガス中または水素・アルゴン混合ガス中で育成した¹⁰⁻¹³⁾。雰囲気ガス中の酸素含有量の影響を評価する目的で酸素・アルゴン混合ガス中の結晶育成も併せて行った。

図2にFZ法による結晶成長の原理を模式的に示す。集光加熱型の浮遊帯域溶融装置には、楕円鏡の数により、単楕円、双楕円と4楕円鏡型の形式があり、ランプパワーや温度分布に違いがある。4楕円鏡型FZ装置では、4枚の楕円鏡でハロゲンランプの光を試料の一部に集光し、部分的に加熱溶融することにより結晶を育成する。Eu、Dyを添加したSrAl₂O₄結晶育成時の原料ロッド、シードロッドの先端溶融状態、ネック部形成過程、安定した結晶成長過程をそれぞれ図3a, b, cに示す。集光加熱により溶融帯が形成されていることがわかる。

4. 成長した結晶の評価

FZ法で育成したBaAl₂O₄:Eu²⁺, Dy³⁺結晶、CaAl₂O₄:Eu²⁺, Nd³⁺結晶、SrAl₂O₄:Eu²⁺, Dy³⁺結晶を図4に示した。結晶に紫外線を照射した後の残光像を同じく図4に比較して示した。各結晶とも可視光の長い残光が観察できた。SrAl₂O₄:Eu²⁺, Dy³⁺結晶は黄緑色、CaAl₂O₄:Eu²⁺, Nd³⁺結晶は青色、BaAl₂O₄:Eu²⁺, Dy³⁺結晶は緑色の残光が明瞭に観察できた。

図5に育成したBaAl₂O₄:Eu²⁺, Dy³⁺結晶、CaAl₂O₄:Eu²⁺, Nd³⁺結晶、SrAl₂O₄:Eu²⁺, Dy³⁺結晶の発光スペクトルをそれぞれ比較して示した。すべての結晶にEu²⁺のd-f遷移による、プロードな発光ピークが観察された。ピーク波長は、CaAl₂O₄が450nm、SrAl₂O₄が520nm、BaAl₂O₄が500nmであった¹³⁾。温度77Kの測定では、図6のように、ピーク強度の増加がみられた。BaAl₂O₄は、発光ピークの波長が500nm(室温)から、510nmに、長波長側にシフトした。それぞれの結晶の室温での残光の減衰曲線を図7に示した。残光強度は、励起停止後、約2時間で初期強度の100分の1に減少することがわかった。

雰囲気ガスを変えて育成した場合、CaAl₂O₄結晶は、Ar中で育成した場合最も良い結果が得られた¹¹⁾。紫外線照射後の結晶の残光強度はAr中で育成したもののが最も強く、O₂+Ar中で育成したものが最も弱かった。Eu, Dy添加SrAl₂O₄結晶の場合と異なり、2.5%H₂+Ar中で育成した結晶の残光強度はAr中で育成した結晶よりも弱かった。育成雰囲気による残光強度の変化及び、結晶内部(成長方向及び円周方向)で残光強度分布の

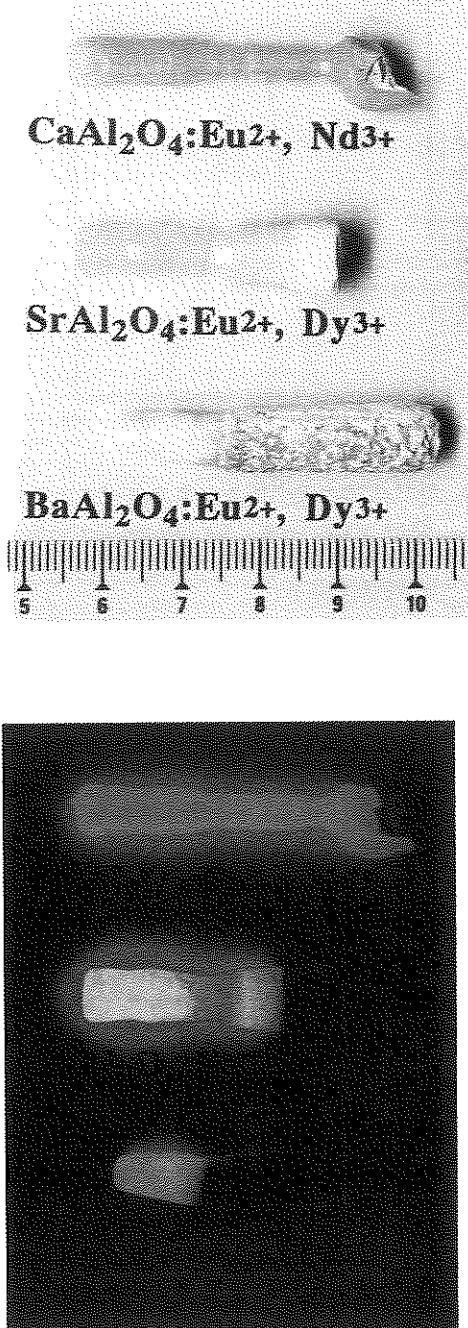


図4 化学量論組成の原料から作成したEu, Nd添加CaAl₂O₄結晶、Eu, Dy添加SrAl₂O₄結晶、Eu, Dy添加BaAl₂O₄結晶¹³⁾。照明を消した後の残光像を比較して図中に示す。

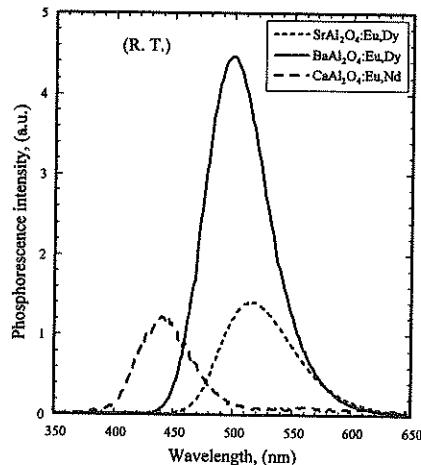


図 5 $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ 結晶の発光スペクトルを $\text{CaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Nd}^{3+}$, $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ の発光スペクトルと比較して示す^{13, 15)}。(室温での測定結果)

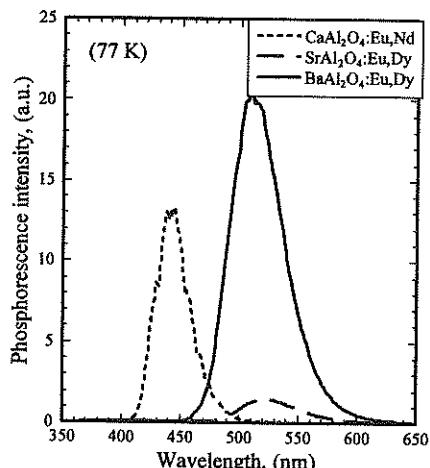


図 6 $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ 結晶の発光スペクトルを $\text{CaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Nd}^{3+}$, $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ の発光スペクトルと比較して示す^{13, 15)}。(温度、77Kの測定)

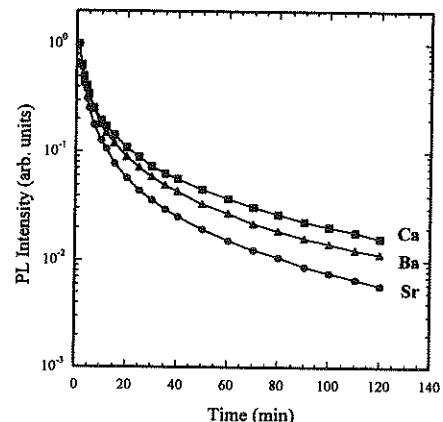


図 7 Eu, Nd 添加 CaAl_2O_4 結晶、 Eu, Dy 添加 SrAl_2O_4 結晶の残光強度の時間変化¹⁰⁾。

存在が明らかになった¹¹⁾。

O_2+Ar 中、 Ar 中、2.5% H_2+Ar 中で育成した Eu, Dy 添加 SrAl_2O_4 結晶では、 H_2+Ar 中で育成した場合、長さ 15 mm 程度の多結晶が比較的容易に得られた¹¹⁾。育成したインゴット中には、3mm × 3mm 程度のサイズの単結晶グレインが存在し、各グレインにはスジ状の構造が観察された。残光強度は 2.5% H_2+Ar 中が最も強く、 O_2+Ar 中で育成したものが最も弱かった。これは O_2 を含むガス中では、 Eu^{2+} の酸化により残光に寄与しない Eu^{3+} が生成するためと考えられる。また、最も残光の強い 2.5% H_2+Ar 中育成結晶では、励起直後の蛍光強度分布は均一であったが、結晶周辺部に、より強い残光が観察された¹¹⁾。

2.5% H_2+Ar 中で育成した $\text{Sr}_3\text{Al}_2\text{O}_6$, SrAl_2O_4 , SrAl_4O_7 , $\text{SrAl}_{12}\text{O}_{19}$ 結晶では、照明を消した後の残光像の観察から SrAl_2O_4 , SrAl_4O_7 , $\text{SrAl}_{12}\text{O}_{19}$ 結晶は可視光の残光を示すことがわかった¹²⁾。 Eu, Dy を添加した SrAl_2O_4 , SrAl_4O_7 , $\text{SrAl}_{12}\text{O}_{19}$ 結晶は、それぞれ、 Eu^{2+} イオン特有の蛍光が観察されたが、 $\text{Sr}_3\text{Al}_2\text{O}_6$ では蛍光は弱く、 Eu^{2+} , Dy^{3+} による発光がともに観察された。 Eu^{2+} による蛍光の残光時間は化合物によって大きく異なっていた¹²⁾。

5. 残光特性への組成の影響

$\text{Sr}/\text{Al}, \text{Eu}/\text{Dy}$ 比を変えて育成した $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ 結晶の残光強度の時間変化から、Al リッチあるいは、

表1 Sr/Al比、Eu/Dy比を変えて育成したSrAl₂O₄:Eu²⁺, Dy³⁺結晶の残光強度の時間変化曲線のカーブフィッティング結果¹⁰⁾。

Nominal composition	Decay times, (min)		
Sr _{0.95} Al ₂ O ₄ : Eu _{0.05} Dy _{0.05}	3.2	12.2	60.3
Sr _{0.96} Al ₂ O ₄ : Eu _{0.05}	2.2	10.0	70.9
Sr _{0.90} Al ₂ O ₄ : Eu _{0.05} Dy _{0.05}	3.3	15.6	79.6
Sr _{0.95} Al _{1.95} O ₄ : Eu _{0.05} Dy _{0.05}	3.3	13.9	79.7
Sr _{0.95} Al ₂ O ₄ : Eu _{0.05} Dy _{0.25}	3.4	14.4	80.7

Dy濃度が高い試料ほど残光強度が強いことがわかった。残光強度の時間変化曲線をカーブフィッティングして得られた蛍光寿命の計算結果を表1に示した。残光の減衰曲線は主に3種類の寿命成分からなり、残光時間は変化していたが、それぞれの寿命は組成、不純物濃度によって変化しないことがわかった¹⁰⁾。

SrAl₂O₄結晶では、原料組成により残光特性が変化する結果が得られたが、組成の効果はあまり明確ではなかった。これは、SrAl₂O₄結晶では、母材結晶自体の

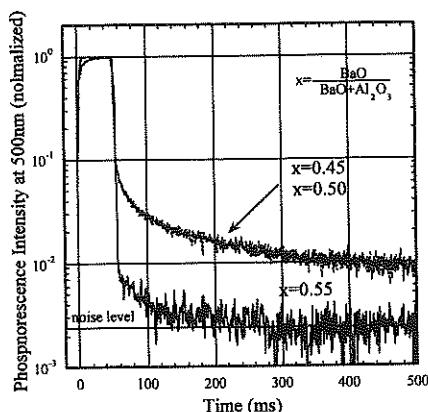


図8 BaAl₂O₄:Eu²⁺, Dy³⁺結晶の波長500nmの発光ピーク強度の積分値を時間に対してプロットしたもの。 $x > 0.5$ のBaリッチの試料では残光は観察されなかった。Alリッチな試料で残光強度が大きい¹⁵⁾。

組成の変動幅が小さいためであると考えられる。アルカリ土類アルミニン酸塩の中でも、BaAl₂O₄結晶は、Ba含有率44.4mol%から50mol%の広い組成範囲で固溶体を形成することが強誘電相転移温度の組成依存性から報告されている¹⁴⁾。そこで、Eu, Dy添加BaAl₂O₄結晶を用いて残光特性の組成依存性を評価した¹³⁾。

組成の異なる原料からのEu, Dy添加BaAl₂O₄結晶の育成はすべて2.5%H₂+Ar中で行った。Eu, Dy添加BaAl₂O₄結晶は、組成xによらず発光が観察されたが、Baリッチ原料から作成した結晶には残光が見られなかった。Eu, Dy添加BaAl₂O₄結晶の場合、残光強度は、出発原料の組成に大きく依存し、BaOリッチな原料から育成した結晶では残光は非常に弱く、Al₂O₃リッチな原料から育成した結晶ほど残光が強いことがわかった¹⁵⁾。

BaAl₂O₄:Eu²⁺, Dy³⁺結晶の発光スペクトルの時間変化を図8に示した。500nmの残光強度は、紫外線照射後の時間経過とともに大きく減少したが、ピーク波長には組成による変化は見られなかった。 $x > 0.5$ のBaリッチの試料では、励起後50 msec程度の短時間で発光強度が急激に減衰し、長時間の残光は観察されなかつた。一方、 $x = 0.35$ 及び、0.5の試料では残光が観察された。Alリッチな試料で残光強度が大きくなる（残光時間が長くなる）現象は、前述したように弱いながらも、SrAl₂O₄:Eu²⁺, Dy³⁺結晶にも見られる。これはアルカリ土類元素に関係した欠陥（例えば空孔）が残光に影響するトラップ形成に重要な役割を担っているためと考えられる¹⁶⁾。

6.まとめ

ここでは、FZ法で育成した種々のアルカリ土類のアルミニン酸塩の長残現象と、結晶組成の残光特性への影響について述べた。残光のメカニズムについては、前述のホールトラップによるもので、ある程度説明できる。しかし、トラップの正体と、その形成メカニズムには不明確な点が多い。最近、SrAl₂O₄:Eu, Dy, CaAl₂O₄:Eu, Ndの発光メカニズムに関連した多くの報告がなされており、残光メカニズムも次第に明らかになりつつある^{16,17)}。

謝 辞

この研究の一部は、東洋大学特別研究の一環として行われた。

参考文献

- 1) T. Matsuzawa, Y. Aoki, M. Takeuchi and Y. Murayama, in Proceedings of 188th Meeting of the Electrochem. Soc., (1995) p. 160.
- 2) T. Matsuzawa, Y. Aoki, N. Takeuchi and Y. Murayama, J. Electrochem. Soc. 143 (8) (1996) 2670.
- 3) Y. Murayama, Scientific American Japanese 26, 20 (1996) in Japanese.
- 4) H. Takahashi, S. Tanabe and T. Hanada, J. Ceram. Soc. Jpn. 104 (1995) 322 in Japanese.
- 5) F. C. Pallila, A. K. Levine and M. R. Tomkus, J. Electrochem. Soc. 115 (1968) 642.
- 6) V. Abbruscato, J. Electrochem. Soc. 118 (1971) 930.
- 7) F. Massazza, "Phasediagram for Ceramists", 1:294, (1985) edited by The American Ceramic Society.
- 8) F. Ganits, T. Yu. Chemekova and Yu. P. Udalov, "Phasediagram for Ceramists", 6:6427, (1987) edited by The American Ceramic Society.
- 9) N. A. Toropov and F. Ya. Galakhov, "Phasediagram for Ceramists", 1:206, (1985) edited by The American Ceramic Society.
- 10) T. Katsumata, T. Nabae, K. Sasajima, S. Komuro and T. Morikawa, J. Electrochem. Soc. 144 (1997) L234.
- 11) T. Katsumata, T. Nabae, K. Sasajima, T. Matsuzawa, J. Crystal Growth 183 (1998) 361.
- 12) T. Katsumata, T. Nabae, K. Sasajima, S. Komuro and T. Morikawa, J. Amer. Ceram. Soc. 81 (1998) 413.
- 13) T. Katsumata, R. Sakai, S. Komuro, T. Morikawa and H. Kimura, J. Crystal Growth 198/199 (1999) 869.
- 14) S. Y. Huang, R. Von Der Muhll, J. Ravez and P. Hagenmuller, J. Phys. Chem. Solid 55 (1994) 119.
- 15) R. Sakai, T. Katsumata, S. Komuro and T. Morikawa, J. Luminescence 85 (1999) 149.
- 16) H. Yamamoto and T. Matsuzawa, J. Luminescence 72-74 (1997) 287.
- 17) E. Nakazawa and T. Mochida, J. Luminescence 72-74 (1997) 236.
- 18) 勝亦, 第269回螢光体同学会要旨集、(1998) p. 13.

サンプリングシステム

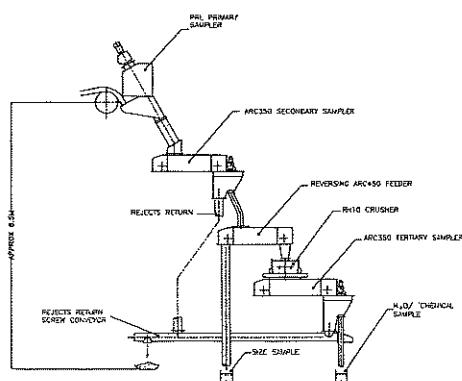
日本エリーズマグネチックス株式会社
本間忠

製鉄所、選炭工場、石炭火力発電所、セメント工場、船積施設、鉱物選鉱工場等のバルクハンドリングされる原料や製品のサンプリングは、品質管理、プラントの収益力向上に欠かせないものである。エリーズは、1998年末にサンプリングシステムの専業メーカーであるPRISECTER社を買収し、ERIEZ-PRISECTER サンプリングシステムの販売を開始したので、ここにご紹介します。

ERIEZ-PRISECTERは、50ヶ国を超える国々で、500以上の納入実績を持つ優れたサンプリング装置、サンプリングシステムのメーカーとして知られています。

石炭のサンプリングシステムの代表的な例を下に示し、主な構成機器について説明します。

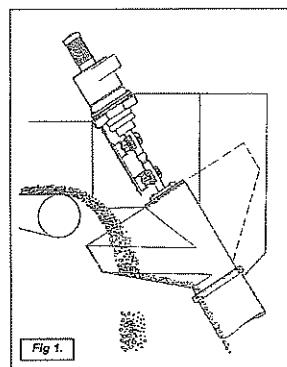
SYSTEM LAYOUT:



* 平成12年11月16日本会第105回例会において発表
平成12年9月27日受理

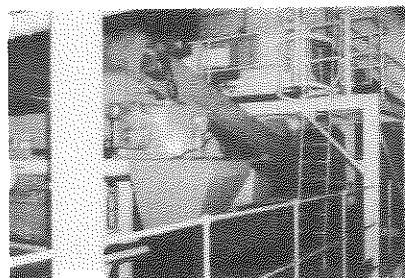
PRL プライマリーサンプラー

PRL プライマリーサンプラーは、たった一つの可動部品しかありませんのでメンテナンスが容易で、厳しい条件下での運転に耐える、単純、頑丈な設計です。PRL プライマリーサンプラーは、空中にある原料からサンプルを捕集する



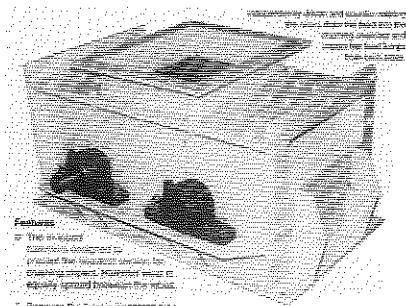
目的で設計され、通常はコンベアのヘッドシート内に設置して、原料のメインストリームから代表サンプルを捕集します。サンプルカッターは、落下する原料の流れの中を、予め決められた間隔で、あるいはベルトスケールその他の機器からの信号で、一定の速度で回転します。

ARC 350 サンプルフィーダー・スプリッター
ARC350 サンプルフィーダー・スプリッターは、一次サンプルのサンプリング間隔を少なくしなければならない場合に、サンプルを4:1まで縮分出来るよう設計されたものです。通常は23rpmで回転し、最大塊のサイズと要求される縮分率にあわせて選定されたロータリーカッターが縮分サンプルを取り出します。粉砕しなくともよい湿分分析用サンプルを探りたい場合のように、二重サンプリングや、代替サンプル補集用に逆回転のオプションも用意しました。



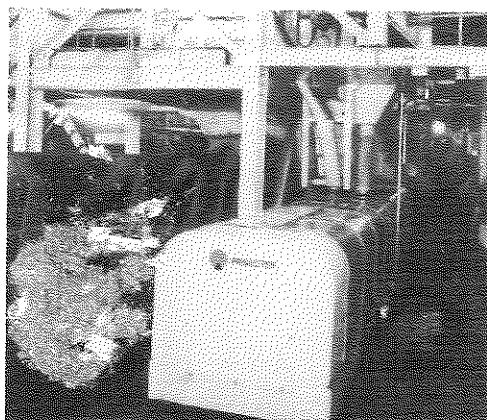
R Hサンプルクラッシャー

RHサンプルクラッシャーは、コンパクトなサイズと行き届いた設計で、サンプリングシステムで求められる機能を備えたクラッシャーです。2本の高速回転ローターのそれぞれに、3ヶの突起がついたハンマーが2セット取り付けられており、このハンマーで原料の塊をクラッシャーのベース部に取り付けられている格子を通過するサイズに破碎します。個別に駆動され、反対方向に回転するローターが、原料を破碎室に取り込み、原料の塊に両側から衝撃を加えます。



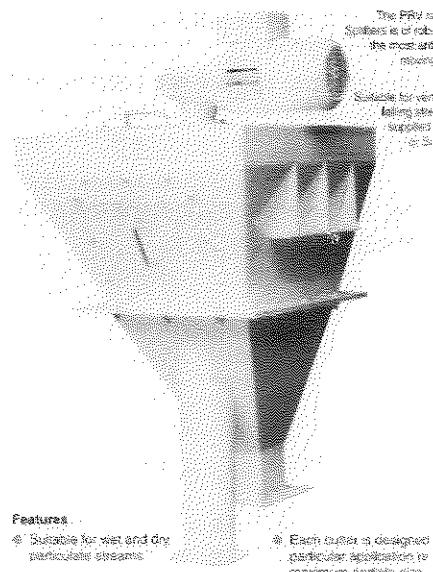
リニアサンプルコレクションステーション

直線ローラーコンベアで構成されるタイプLCS リニアサンプルコレクションステーションは、間歇運転か選択運転、および、シングルトラック (LCS) あるいはツイントラック (T-LCS) から最適なものを選び頂けます。3種のサンプル容器 (30、60 および 120 リッター) が、シングルトラックあるいはダブルトラックでお使い頂けます。T-LCSは、水分分析用サンプルと一般分析用サンプル、あるいは粒度分析用と化学分析用といった2種類のサンプルを作らなければならぬ場合に最適なコレクションユニットです。



PRVサンプラー・スプリッター

難しいサンプリングに対応できる頑丈な設計のPRVサンプラー・スプリッターは、可動部品は一点だけで、保守は容易です。原料が自由落下しているところに垂直に取りつけられるPRVは、一次サンプリングあるいはサンプルの縮分用にお使い頂けます。湿式及び乾式に適応。サンプラーとして使用される場合は、カッターは、タイマーあるいは他の機器からの信号によって予め設定された間隔で作動（回転）し、リミットスイッチによりブレーキモーターのブレーキが作動して停止します。サンプル縮分装置として使用する場合は、カッターは連続回転して、選定されたカッター角度によって決定される量のサンプルを取出します。湿式及び乾式に適応。



ERIEZ - PRISECTERの主要な業務の一つに鉱物処理機器の販売があります。当社の技術者は、長年にわたる経験に基づいたサンプリングに関する広い知識を持っています。お客様の要求される仕様とサンプリング規格に合ったサンプリングプラントを提供できます。

ERIEZ - PRISECTERは、完全なプラントを設計、納入致します。お客様のご要求だけお知らせください、あとは、スタートボタンを押して頂ければ、我々の豊富な経験がお役に立ちます。

串木野鉱山における貴金属の回収*

濱田篤詩**

Recycling of precious metals from scrap at Kushikino Mine

Atsushi HAMADA

1. はじめに

串木野鉱山は、鹿児島県串木野市に位置し、歴史は古く、1906年にそれまで島津家他数名の所有から三井鉱山合名会社の経営となり、1950年神岡鉱業株式会社（現・三井金属鉱業株式会社）へ分離した。さらに、1964年に三井金属鉱業（株）から分離し、三井串木野鉱山株式会社として発足し、現在に至っている。

鉱山は、1997年より、建値の下落と採算の悪化の為、探掘を休止しており、それまでに金量で約57t産出した。

一方、鉱山の付属設備である青化製煉工場は、1914年に我が国最初の全泥青化製煉工場として稼動し、現在でも3,500t/月の我が国で唯一操業を続いている青化製煉工場である。青化製煉は1986年から菱刈鉱の買鉱製煉を始め、現在ではその菱刈鉱とスクラップリサイクルのマザー工場として稼動しており、いわば「山の鉱山から町の鉱山へ」シフトした。

また、1978年にはスクラップからの金銀リサイクル工場が操業を開始し、特に近年増産起業も行い串木野鉱山の事業の中心となってきている。本報では、この金銀リサイクル事業の現況について報告する。

2. 原料と処理プロセス

2.1 リサイクル原料処理量の推移

串木野鉱山におけるリサイクル原料の94年度を100%とした処理量、処理金量、処理銀量の推移を図2～4に示す。

処理量は、97年度から約30%増え、98年度に若干落ち込んだものの99年度から再び増処理に転じている。

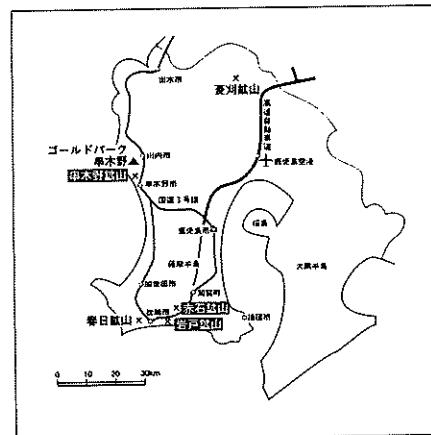


図1. 串木野鉱山位置図

また、処理金属量の推移は、金量が99年度に著しく増え、銀量は96年度から着実に増加傾向にある。

一方、ここ数年、スクラップ原料の増加、多品種化、複雑化に対応すべく、それまで稼動していた設備の劣化や環境面も考慮し数々の設備投資を行ってきた。近年の主な設備投資を表1に記す。

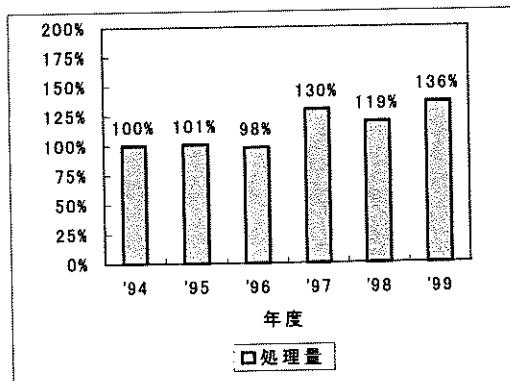


図2. 94年度を基準とした処理量の推移

*平成12年11月16日 本会第105回例会にて発表

**三井串木野鉱山株式会社

平成12年9月9日受理

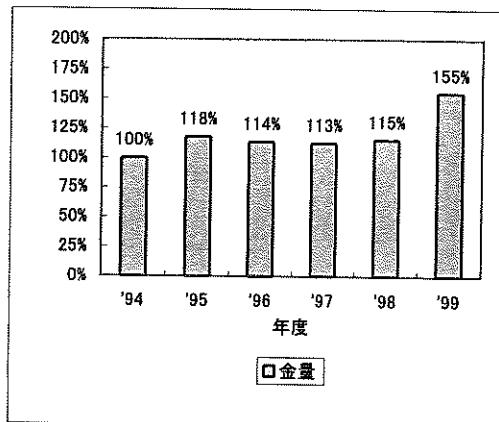


図3. 94年度を基準とした処理金量の推移

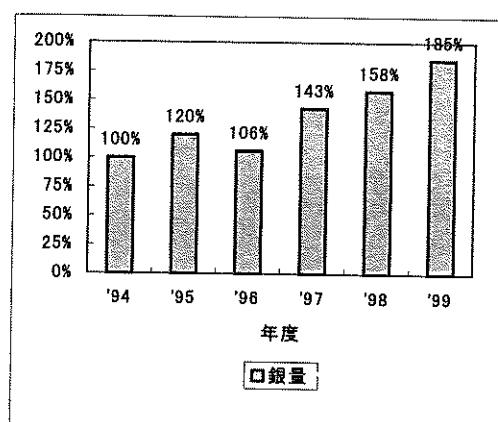


図4. 94年度を基準とした処理銀量の推移

工程	実施	設備	効果
青化製煉	1997年	LAROX フィルターの導入	処理能力のアップ・水分率の改善
乾留ガス化炉	1997年	炉の大型化	基板類の処理量アップ
金銀液回収	1998年	電解設備の増強・集約	処理能力のアップ・採收率の改善
破碎選別	1998・2000年	スクラップ破碎機の導入	次工程の処理効率アップ
廃水処理	1998年	設備の大型化・更新	処理能力のアップ・回収シアンの増量

表1. 近年の主な設備投資

2-2 金銀スクラップ原料の処理

串木野鉱山に集荷された金銀スクラップ原料は、青化製煉工程で処理されるもの、リサイクル工程で単独処理されるもの、もしくはリサイクル工程と青化製煉工程の両方を経由して処理されるものに分けられる。串木野鉱山の青化・リサイクル系統図を図5に示す。

2-3 処理工程

2-3-1 破碎選別工程

主に樹脂でモールドされたICやリードフレームなどのスクラップ原料は、高速せん断型破碎機で-15mmとし、一次磁選機で銅系樹脂と鉄・ニッケル系素材を分離する。さらにそれぞれの金属原料は必要に応じて3段ボール破碎機で二次破碎、二次磁選され樹脂との分離を計

る。また、長尺のリードフレーム等は次工程であるアルカリ電解や剥離工程で扱いにくいので前処理として20mm~50mmに破碎する。

2-3-2 青化製煉工程

微粉碎を必要とする原料や鉱石と同扱いできる原料、主にスラッジや前処理した後のIC屑等は、青化製煉工程の貯鉱舎に投入し、鉱石とともに青化ソーダによる湿式混合処理を行う。青化製煉工程では、その後ポールミルで摩鉱し、溶解、脱水工程を経る。脱水機は、1997年よりフィンランド製のLAROXフィルターを導入し、脱水効率は著しく向上した。脱水工程で分離したろ液(金液)は、亜鉛末置換工程で金銀の濁物として回収される。また、脱水工程で分離した残さは含金銀珪酸粉として銅製錬所へ出荷する。

三井串木野鉱山(株) 系統図

[リサイクル工程]

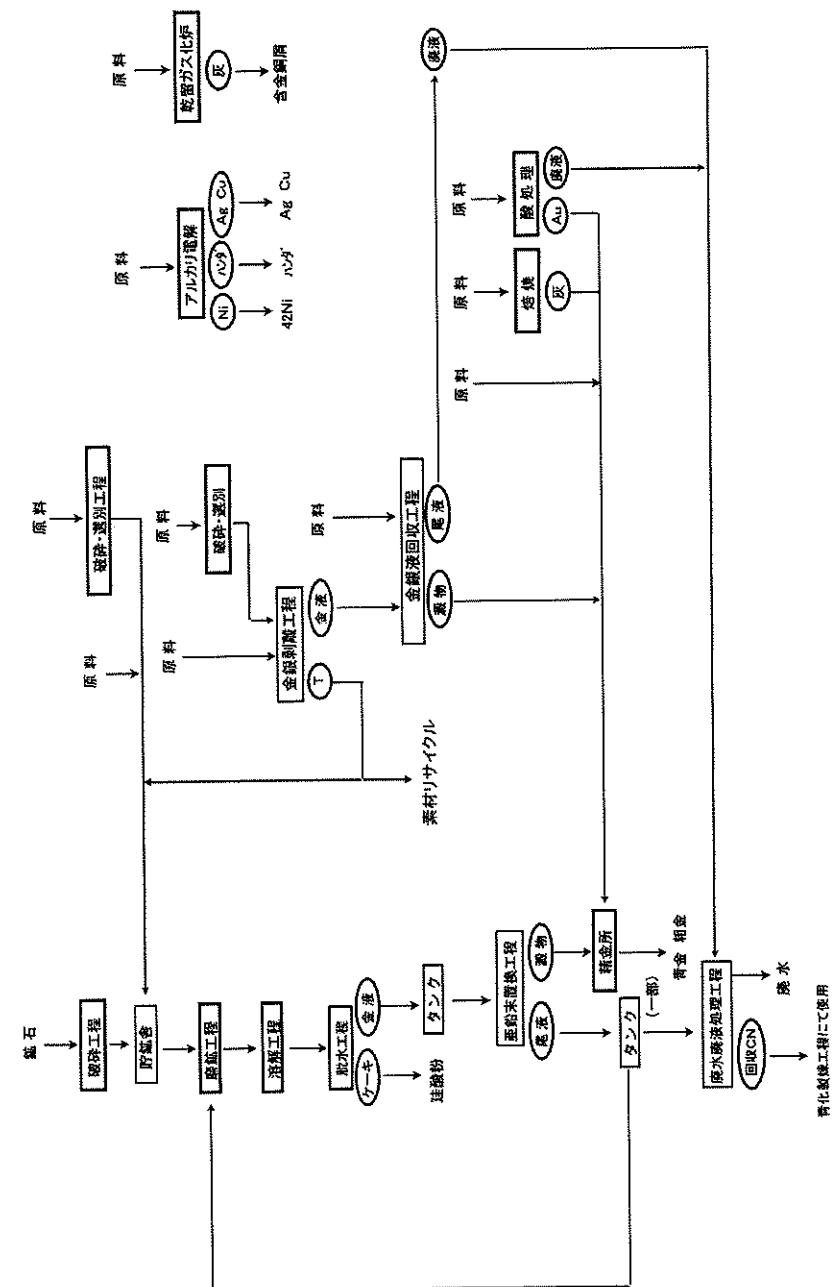


図 5. 串木野鉱山処理系統図

2・3・3 金銀液回収工程

メッキ工場等から排出されるシアン含有の金銀廃液は、金液、銀液に分け電解回収する。また、酸性液やパラジウムを含有した液は亜鉛末置換もしくは薬品を用いて金、銀、パラジウムを濾物として回収する。貴金属を回収した後の電解尾液やろ過液は、廃液処理工程へ送られ無害化された後場外へ排出する。

2・3・4 金銀剥離工程

金、銀が表面に出ている高品位メッキ原料等は、シアン液によって金、銀を剥離溶解する。溶解設備は原料の性状、形状により4種類の設備を使い分けている。

溶解した後の含金銀シアン液は、電解回収を行う。また、残さに関しては青化製煉工程の貯鉱舎に投入するかもしくは42アロイ等の有価物は素材としてリサイクルされる。

回転籠式溶解設備

主に金メッキセラミック素材の溶解に使用する。回転籠中に原料を入れ、シアン液の入った槽の中で回転させることで金を溶解させる。

ミキサー式溶解設備

金、銀メッキされた屑状の鉄素材や42アロイ素材を剥離溶解する。ミキサーの中に原料とシアン液と一緒に入れ回転させることにより金、銀を溶解させる。溶解後は自然ろ過をし、液と素材を分離する。

パレル式溶解設備

金、銀とハンダメッキされた屑状の42アロイ素材を剥離溶解する。方法は、ミキサー式とほぼ同じだが規模が大きくまた、ハンダを溶解するために加温した苛性ソーダとシアン液の両方の液を使用する設備構造になっている。

エアレーション溶解設備

主に銀メッキされた42アロイ素材や鉄素材のリードフレームを剥離溶解する。定置籠に原料を入れシアン液の入った槽の中に籠をつけエアレーションしながら溶解を行う。

2・3・5 アルカリ電解工程

主にハンダメッキ、銅メッキ、銀メッキされた42アロイ素材のリードフレームから金属の剥離溶解、電解回収を行う。剥離された42アロイは、特殊鋼メーカーで素材としてリサイクルされる。この工程は、苛性ソーダや青化ソーダなどの薬品中で-20mmに力

ツティングした原料を入れた定置籠を陽極にし、電解する。剥離溶解と電解回収を同時に行うことで、素材にとって不純物である金属の溶解に必要な薬品の使用量が少なくて済む利点がある。

2・3・6 酸処理工程

硝酸で金銀を剥離濃縮している工程である。原料はニッケルの多層メッキされた蒸着金銀屑などが中心である。金銀が高品位であるため、ニッケルを溶解した後の残さを精金所で全量乾式熔解し、均一化されたメタルから分析値を確定する。

2・3・7 精金所工程

精金所では、上記の各工程で電析物や濾物の状態で回収された貴金属を重油炉、精製炉を使用し、金塊、銀塊、青金（金と銀の合金）をつくる。これらは全量、三井金属竹原製錬所に送られさらに精製される。

また、精金所には貴金属メタルをつくる前の工程に焙焼工程がある。焙焼工程では、金、銀、パラジウムの高品位なウエス、ペースト、活性炭などの原料を処理する。これらの原料もまた、小ロットで焙焼後の灰を全量乾式熔解し分析値を確定する。

2・3・8 乾留ガス化炉工程

金、銀、パラジウムを含む基板屑、フィルム屑などの銅屑は乾留ガス化炉で焼却処理し、銅製錬所もしくは鉛製錬所に送っている。

2・4 廃液の処理

串木野鉱山における廃液処理の系統図を図6に示す。廃液処理工程では、シアン濃度2,000~30,000ppmの電解尾液や青化製煉工程液を酸分解バック吸収法とアルカリ塩素化法の併用で処理している。酸分解でシアン化水素ガスを発生させ、苛性ソーダで吸収させた回収シアンは青化製煉工程の溶解工程で再利用している。また、貴金属回収の各工程で発生した酸、アルカリ廃液はアルカリ塩素化法と同時に中和処理されている。

2・5 貴金属スクラップ原料の分析

貴金属スクラップの価値を評価するための分析は形状が不均一であったり、素材の性状の違いなどからサンプリングが難しい。串木野鉱山では、できるだけ形状や性状が均一になるよう小ロットでのサンプリング、特に貴金属の高品位なスクラップに関しては全量シアン液による溶解、液状でのサンプリングや前述したように精金所で全量メタル化してからのサンプリングなど行い

精度を高めている。乾留ガス化炉処理を行うプリント基板などのスクラップは、1.5～2 tでバッチ処理し、焼却灰をサンプリングする。

一方、分析は古くから（JIS M8111-63）による乾式分析を行っている。この分析法は1度の分析に30～100gの試料を実施することができ、他の機器分析よりも分析誤差が少ないという考え方をもつている。

3. 製品

以上、串木野鉱山で処理されたスクラップ原料は、青化製煉で処理された菱刈鉱中の金銀とともに製品としてAu品位85%前後の金塊、Ag品位70～99%の銀塊、Au、Ag合計品位99%前後の青金として出荷され、竹原製煉所にて精製される。

また、焼却処理された灰は製煉所へ送られ、金銀を剥離処理した後の42アロイなどは素材リサイクル原料となる。

このように、串木野鉱山での貴金属回収では原料から廃棄物となるのは湿式処理された後の尾液以外は発生しない系統となっている。

4. まとめ

串木野鉱山の貴金属回収の特徴は、

- ① 金鉱石を処理する青化製煉工程を有効活用している。
- ② 原料の形状・性状に合わせた多岐なプロセスを備えている。
- ③ 廃棄物が出ない。
- ④ 小口ロットでの分析、処理に対応できる。
- ⑤ 廃水処理でシアンを回収、再利用する。
- ⑥ シアンでメッキ剥離を行い、ニッケルなどの素材をリサイクルする。

などがあげられる。

当初、スクラップからの貴金属の回収は、青化製煉工程単独での処理だけであった。

その後、スクラップの形状、性状、品種が多様化してきた為、様々なプロセスを順次整備して対応してきた。

しかし、シアンを使った湿式処理は、廃水処理まで含め串木野鉱山の基本的な技術である。

特に近年、この技術を使い貴金属回収だけでなく素材のリサイクルまで行うことや廃棄物の出ない処理プロセスは、社会の要求に応えていると考えている。

今後もまた、串木野鉱山固有の基本的技術の上に新たな技術との融合をはかり、確かな技術に支えられたプロセスを持って、リサイクル事業に取り組んでいきたい。

廃液処理設備フロー図

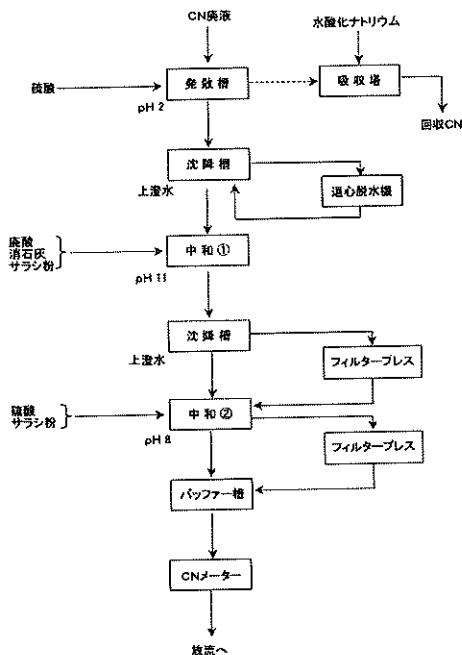


図6. 廃液処理系統図

都市ごみのリサイクリング*

—川越市におけるごみ処理と再資源化—

大室新一・山口健一**

Waste Recycling in the City

—Waste Disposal and Recycling in KAWAGOE

Shin'ichi OMURO and Ken'ichi YAMAGUCHI

1. はじめに

川越市は、埼玉県南西部、都心から30キロメートル圏に位置し、全体として平坦な地勢で、中央部の市街地を取り囲むようにして、北西部は水田地帯、南西部は畠作地帯、南東部と北西部は東京への通勤に便利な新興住宅地帯からなっている。

現在、人口はおよそ33万人、世帯数はおよそ12万世帯である。

江戸時代、川越は江戸城の北の守りとして松平信綱、柳沢吉保ら有力大名を配置したことや、新河岸川の舟運で物資の流通拠点として発展し、同時に江戸との結び付きを強め江戸文化の影響を強く受け“小江戸”といわれるようになった。今でも蔵造りの町並み（写真1）、徳川家光誕生の間がある喜多院（写真2）など江戸の面影をたたえるまちとして、年間380万人の観光客が訪れている。

川越市では、平成7年12月に発生した高速増殖炉「もんじゅ」の事故をきっかけに、「無理なく、抵抗なく、自然体で」をモットーに地球環境問題について自治体が率先して取り組む「1%節電推進運動」を、平成8年4月から取り組んでいる。

さらに、4年目を迎えたこの運動は、すべての活動に対して、できるところから環境配慮を実施していく「1%節電プラス1（ワン）運動」へとステップアップした。

また、平成11年11月、これらの取り組みをベースに、環境マネジメントシステムの国際規格である「ISO14001」の認証を埼玉県内の市町村として初めて取得し、“環境に配慮した都市・川越”を目指している。

2. 川越市のごみ処理の現状

川越市では、昭和60年ごろからごみの増加が始まったが、平成6年度をピークに減少傾向にあった。しかしながら、ダイオキシン類問題の深刻化などに伴う、小型焼却炉の使用禁止、自家焼却の自粛などにより、平成10年度より再び増加傾向を示している。

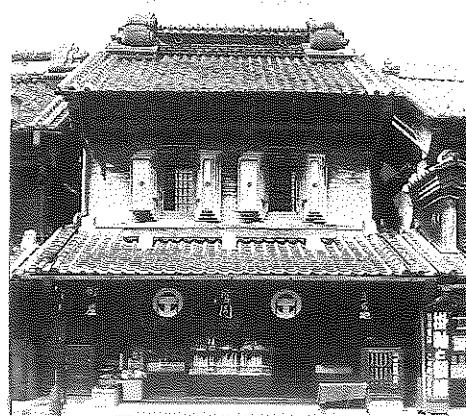


写真1

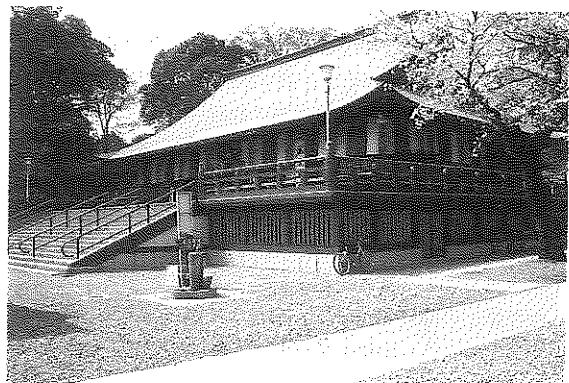


写真2

*平成12年11月16日本会第105回例会において発表

**川越市役所 環境部
平成12年9月1日受理

ごみは、「分ければ分けるほど品目に応じた処理が可能」となり、適正かつ効率的に処理することができる。

このため、川越市では、排出段階で市民が細かく分別し、行政が資源化のルートに乗せたり、その他のものは適正に処理するという、市民と行政がお互いの役割を分担しながらごみ処理を行っている。

川越市のごみ収集は、平成7年度から次のような7分別で実施されている。

①可燃ごみ	2回／週
②不燃ごみ	1回／4週
③びん	1回／2週
④かん・ペットボトル	1回／2週
⑤有害ごみ	1回／4週
⑥粗大ごみ	申し込みにより随時
⑦紙類	1回／月

粗大ごみを除き、ごみは収集当日の午前8時までに市内約6千5百箇所ある集積所に、中身の見える白色半透明袋に入れて出すことになっている。収集は市直営および委託で実施されている（可燃ごみと紙類の一部と不燃ごみ、びん、かん・ペットボトル、有害ごみは委託収集となっている）。

川越市の平成10年度のごみ処理経費はおよそ42億8千万円で、川越市の一般会計予算の約5パーセントを占めている。また、ごみ1トンの処理原価はおよそ4万円、市民一人当たりおよそ1万3千円の市税が使われることになる。

3. 川越市のごみ処理と再資源化

(1) 可燃ごみ

可燃ごみは、東（処理能力：140t／日）・西清掃センター（処理能力：300t／日）で焼却処理した後、最終処分場で埋め立て処分されている。焼却処理することにより、ごみ自体の減量化（重量でおよそ10分の1）および減容化（容積でおよそ50～80分の1）を図っている。

また、廃棄物処理法の一部改正やダイオキシン類対策特別措置法により、平成14年12月からダイオキシン類の大気排出基準が強化されるため、両施設とも排ガス高度処理設置工事（ダイオキシン類対策工事）を実施する予定となっている。

(2) 不燃ごみ

不燃ごみは、主にリサイクルセンターで破碎処理し、鉄類やアルミなどは有価物として回収し、その他の残渣は破碎残渣として最終処分場で埋め立て処分されている。

破碎処理は、ごみの物理的な形状を均一化（破碎後15cm四方以下の大きさ）し、ごみの減容化を図ることができ、最終処分場の延命化を図る観点からも効果的である。

(3) びん、かん・ペットボトル

びんは西清掃センターで「生びん」と「カレット」に分けられ、更にカレットは無色、茶、その他の3つにライン上で選別されている。生びんは有価物として売却され、カレットについては「容器包装リサイクル法」に基づいて指定法人（耐容器包装リサイクル協会）へ引き渡されている。

また、かん・ペットボトルはリサイクルセンターに運

表1 川越市のごみ排出量の推移

単位〔排出量:t〕

年度	可燃物 指 数	不燃物 指 数	粗大ごみ 指 数	総排出量 指 数	
				指 数	指 数
60	62,071	100	12,112	100	74,426
61	69,534	112	13,133	108	82,959
62	75,321	121	14,307	118	90,027
63	80,783	130	15,405	127	96,775
元	85,208	137	16,325	135	102,128
2	87,172	140	15,032	124	102,670
3	89,967	145	14,674	121	105,140
4	91,375	147	14,097	116	105,998
5	94,354	152	14,311	118	109,124
6	98,286	158	15,005	124	113,726
7	95,039	153	13,836	114	109,317
8	89,847	145	13,275	110	103,485
9	90,909	146	12,506	103	103,749
10	95,417	154	12,702	105	108,426
11	96,068	155	12,182	101	108,546

ばれ、スチールかんとアルミかんは選別後、それぞれ圧縮され、有価物として売却されている。

一方、ペットボトルは、カレット同様に容器包装リサイクル法に基づいて指定法人に引き渡されている。しかし、同法では指定法人と締結した年間契約量以上のものは、これを自治体が保管し、処理しなければならないという、自治体に負担を負わせる仕組みになっている。また、このリサイクルシステムで一番コストを要する収集から保管までの義務（しかも、この他リサイクルに要する費用の一部負担金もある）も自治体の責務とされている。このことから、市民の積極的な協力によるペットボトルの回収量の急増は、本市においても“痛しかゆし”であり、同法の早急な見直しか待たれるところである。

(4) 有害ごみ

廃乾電池、蛍光灯などの有害ごみは、そのまま埋め立て処分を行うと環境汚染が心配されるため、広域的な取り組みとして専門の処理業者にリサイクル処理の委託を行っている。

(5) 粗大ごみ

収集した粗大ごみの中から再使用可能な家具類（タンス、食器棚等）に簡単な補修を加えた後、リサイクルセンターで販売（平成11年度実績は1,300点、420万円）している。

一方、冷蔵庫、エアコン等は、そのまま破碎処理を行うと、冷媒用のフロンガスが大気中に放出され、国際的な環境問題とされているオゾン層の破壊につながりかねないため、フロンガスの回収後、破碎処理を行っている。

(6) 紙類

紙類（以前は「紙ごみ」という言葉を使用していたが、最近は「再生資源（紙類）」というように変更している。これは市民も行政も“商品”を扱っているという意識を持つことが大切ということからである。）は、ごみ処理施設（中間処理施設）に搬入せず、資源回収業者（古紙問屋）に直接、運び込んでいる。したがって、紙類の回収量は、統計上、ごみ排出量に算入していない。

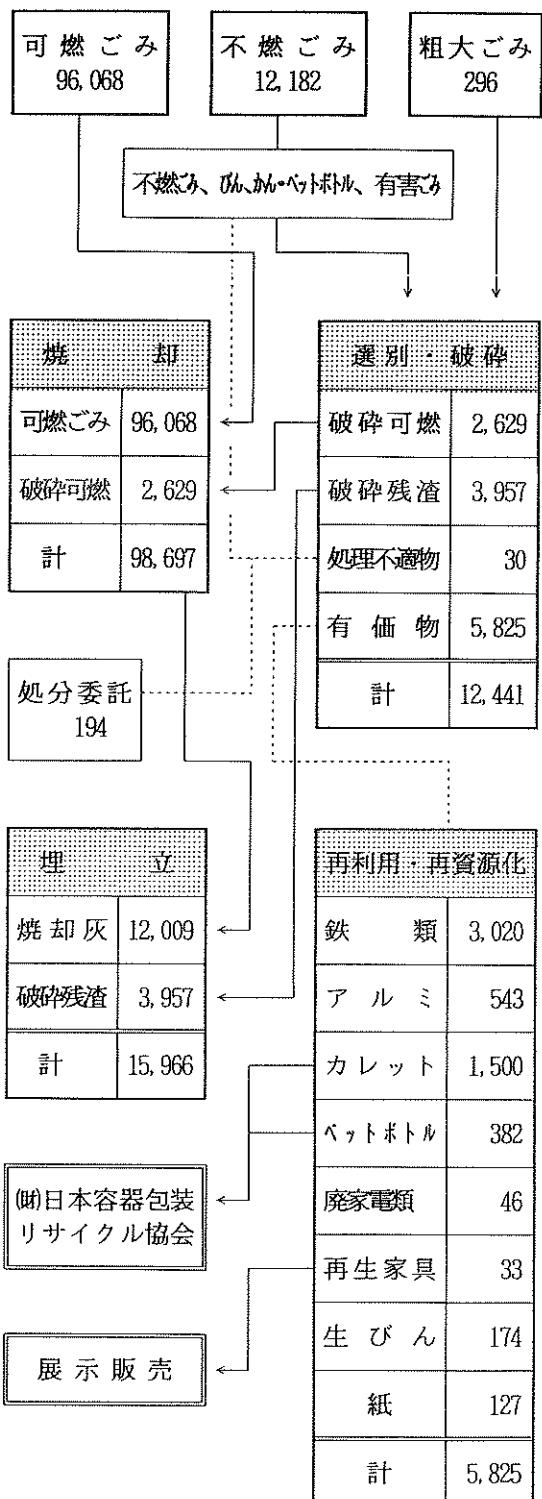
また、平成11年度の紙類の回収量はおよそ7千5百トンとごみの減量化に大きく貢献しているが、その売却が市況に左右されやすく（平成8年度に約1,700万円の売却金があったが、平成10年度は約300万円ほどの持ち出し）、古紙余剰期の古紙問屋による受け入れ制限や逆有償問題等に対して安定的な取り引き対策が求められているところである。

4.まとめ

ごみがあふれる現代社会を見直し、生産者と排出者双方に排出抑制や再利用などのごみ処理に関する責務を明確化した「循環型社会形成推進基本法」などのリサイクル関連法規が、平成12年5月、相次いで成立した。

図1 川越市のごみ処理フロー

単位:t



川越市においても市民生活や事業活動などにおいて、ごみの発生抑制、再使用、再生利用を徹底し、お互いにこれらの長所を生かし、役割分担や特性による相互補完の仕組みを築きながら、発生段階から最終処分まで含めた総合的な「資源循環型社会の構築」を目指している。

- この基本方針のもと具体的な取り組みとして、
- ①長期的な視野に立ったごみ処理の基本的な計画となる「一般廃棄物処理基本計画」の改訂作業
- ②「容器包装リサイクル法」の完全実施に係るプラスチックの分別収集の実施と、家電リサイクル法への適正かつ円滑な対応
- ③環境及びリサイクルに配慮したごみ処理を推進するための新清掃センターの建設

などに銳意努力している。また、川越市では平成15年4月の中核市への移行を目指しているが、移行により県から産業廃棄物の許認可事務が委譲されることから、その適正な指導体制の構築にも腐心している。

いずれにしても、今日のごみ問題は、一自治体だけでは解決が困難な課題が多くあり、また、行政の力にも限界があるため、市民、事業者の方々とパートナーシップを形成し、具体的な取り組みを重ねていく必要があるものと考えている。

21世紀を間近に控え、限りある貴重な資源が将来の世代に継承されるような社会を目指して、その協力の“輪”が一層大きく広がっていくことを願っているところである。

資源ごみからの色ガラス選別装置*

荒川和明**

Report on Performance of Automatic Color Glass Bottles System

ARAKAWA Kazuaki

1. 緒言

ごみの中から再利用できる、資源ごみのリサイクル事業推進および地域住民のリサイクル活動への関心、活動の高まりによる、再資源化率の向上および埋立て物の減量を図るための「リサイクル施設」が建設されている。

従来、「リサイクル施設」において、ガラス瓶は人手により色選別・回収が行われていたが、排出資源ごみの増加に伴い、ガラス瓶の色選別・回収を機械化により高速・高度処理することが求められてきた。今回「資源ごみリサイクル施設」に導入した、当社「ガラス自動色選別装置」について説明する。

2. 資源ごみ選別設備の概要

図1に資源ごみ選別設備の処理フローを示す。

処理能力：33t/日（5時間稼動/日）

缶類：10.5t/日

瓶類：22.5t/日

受入れコンベヤ上の資源ごみは、コンベヤにて搬送され鉄磁選機でスチール缶、アルミ選別機でアルミ缶を選別後、ガラス瓶がガラス自動色選別装置に搬送・供給されて白色（透明）、茶色、その他（青色、緑色、黒色等）の3種類および残渣に選別される。

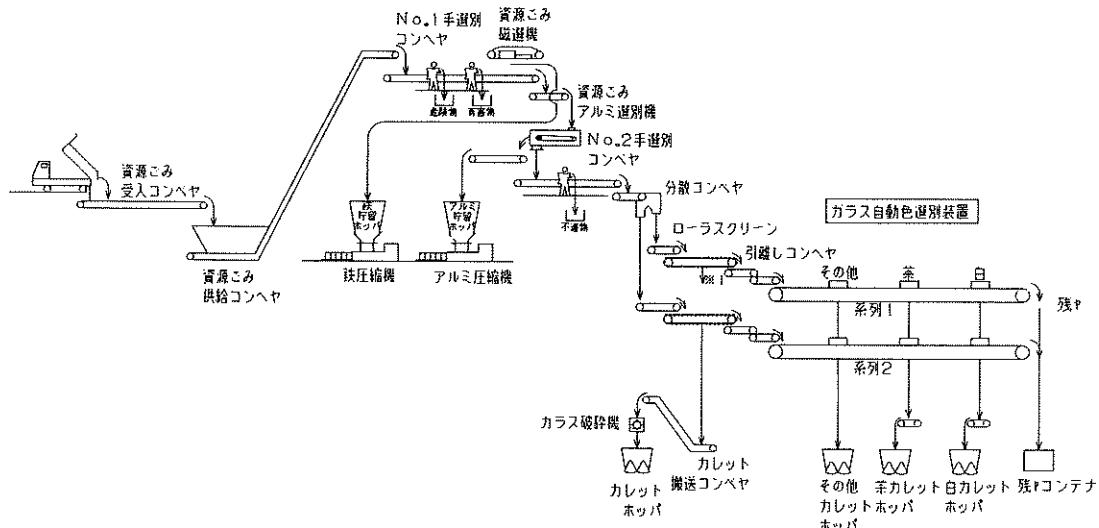


図1 資源ごみ選別設備処理フロー

*平成12年11月16日 本会第105回例会において発表

**株式会社 栗本鐵工所

平成12年9月11日受理

3. ガラス自動色選別装置

3. 1 機器構成

図2に本ガラス自動色選別装置の全体機器配置図を示す。納入機の台数は処理能力から2系列で構成している。

ローラスクリーンおよび引離しコンベヤをガラスピンの整列・供給部、ガラス色選別コンベヤが選別部でガラスピンの色識別機能と仕分機能を持っている。

図3にガラス色選別コンベヤ組立図を示す。

ル瓶・異物・カレット類を除去する。また搬送コンベヤベルト上で、重なり、連なって搬送されるガラス瓶をローラスクリーンにて重なりを無くし、粗整列させて引離しコンベヤに供給する。ローラ自身を自転することで、異物・カレット類の除去および整列性に高い効果をあげている。ローラスクリーンの瓶排出部にはベルト式の緩衝装置を設置し、ローラスクリーンから引離しコンベヤへの乗り継ぎ落差による衝撃を吸収して、ガラスピンの

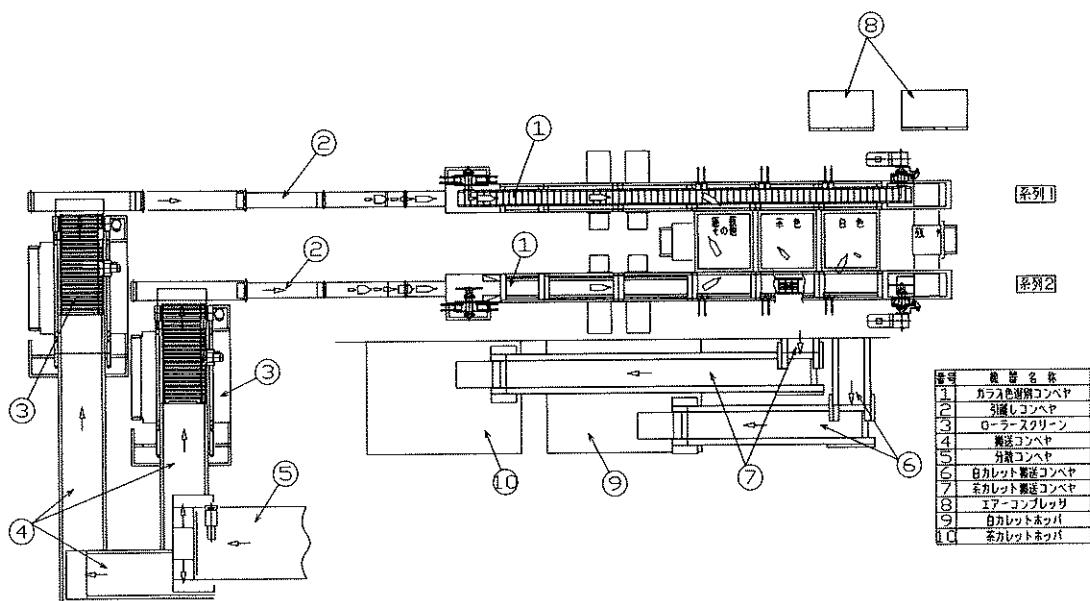


図2 全体機器配置図

3. 3 整列・供給部

図4にガラス色選別装置の選別工程を示す、選別イメージ図を示す。

ガラス瓶はNo.2手選別コンベヤを経て分散コンベヤに搬送される。分散コンベヤはガラス瓶を、幅広コンベヤベルト上に拡散・一時ストックして、系列1・系列2へ均等に定量供給する。ガラス瓶は各搬送コンベヤで、ローラスクリーンに搬送される。ローラスクリーンは複数のローラの両端にアタッチメント付チェーンを取り付けた特殊チェーンコンベヤである。各ローラにはスプロケットを取り付けて、チェーン駆動によりローラが自転させるローラ自転用駆動装置を取り付けている。

ローラスクリーン上で、ローラの隙間より小さいアンプ

割れを防止している。

引離しコンベヤは左右別々のコンベヤベルトを断面形状がV形で、コンベヤベルトは特殊な樹脂製ベルトを使用していて、耐摩耗性を高めている。コンベヤをV形に形成することにより、ガラス瓶をV形コンベヤ底部に安定した状態で搬送することができる。引離しコンベヤのベルトは左右独立駆動方式で、左右のベルト速度を異速にして左右のベルトに速度差をつけることで、コンベヤベルト上のガラス瓶を1本毎に進行方向に向かって1列に整列する。また、1列に整列したガラス瓶に一定の間隔を与えるため、各段のコンベヤの乗り継ぎ部段差（落差）および各段のコンベヤ速度に速度差を設けることにより、1列に整列したガラス瓶に一定の間隔を与えて、

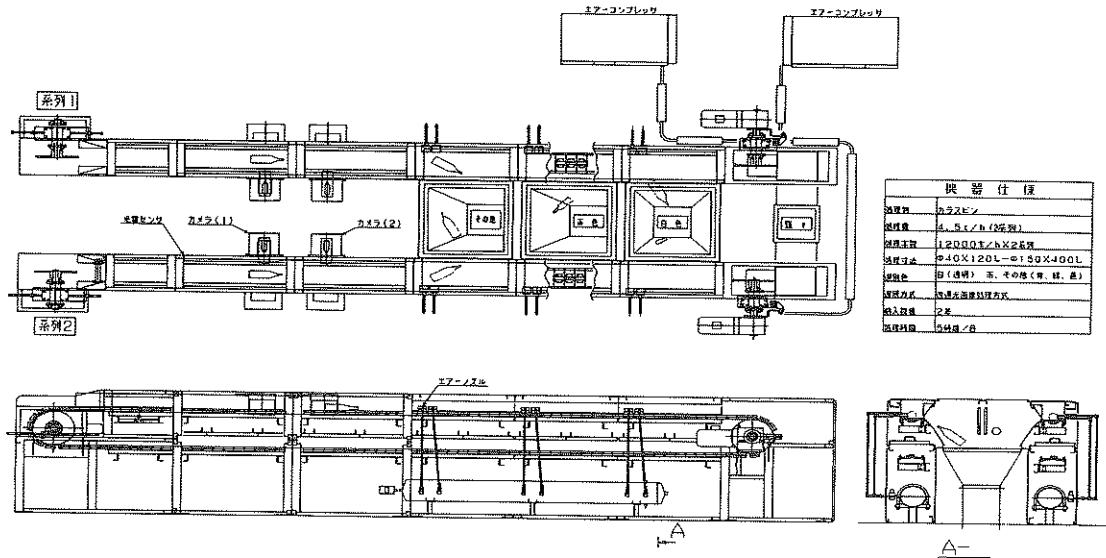


図3 ガラス色選別コンベヤ組立図

ガラス色選別コンベヤに供給することができる。本ガラス色選別設備には引離しコンベヤを系列1に5本、系列2に4本設置している。

3. 4 選別部

選別部は処理能力、ガラス瓶の種類および設備面積などから、栄養ドリンク瓶からジャンボサイズのビール瓶、ウイスキーボトルおよび一般的な円筒形瓶以外に偏平瓶（グラス等）、角型瓶などとサイズ、形状を問わない、多品種のガラス瓶を色選別する。

本ガラス自動色選別装置は1時間あたり12,000本前後処理するため、ガラス色識別部および瓶仕分け部を一体型として、仕分け部にメカニカルな部分を無くし、高速・高処理タイプのガラス自動色選別装置です。ガラス色選別コンベヤ本体は一体型フレーム構造で、フレーム内に、V形パレットを取り付けた、アタッチメント付チーンによるスラットチーンコンベヤ方式を採用している。ガラス自動色選別装置は、仕分部シートを増減することで選別色を設定することができる。

3. 4. 1 ガラス色識別部

ガラス色識別部は、ガラス瓶の形状計測部と色選別部で構成している。形状計測部は光電センサにて、ガラス瓶の長さ、高さおよび瓶と瓶の間隔を計測する。また、同計測部では色抽出および瓶仕分けでのタイミング、時間などの制御用データを、システム制御装置に出力している。

色選別部は、ガラス瓶の側面より高周波蛍光灯で光を投射し、ガラス瓶を透過した光をCCDカメラが画像を撮り込む、透過光色選別方式とした。

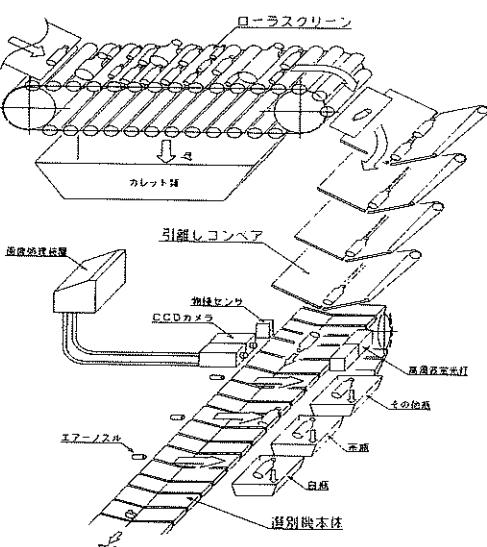


図4 ガラス自動色選別装置イメージ図

本ガラス色選別コンベヤは1台に対して、2基のCCDカメラユニットおよび色識別装置を搭載している。

カメラ1で淡色ガラス瓶・白色ガラス瓶の色選別、カメラ2で濃色ガラス瓶の色選別および不透明体の検出を行なっている。

カメラ1は高周波蛍光灯の光量を減らすことで、バックの蛍光灯の影響を受けること無く、淡色系の色の抽出が確実に行なうことができる。カメラ2では高周波蛍光灯の光量を増やして、通過物に光をあてることで、濃色ガラス瓶の色抽出行なっている。光量を増やすことで、ガラス瓶のラベル・フィルムは光を透過するが、金属・陶器類は光を透過しないため、不透明体として判断される。CCDカメラは、約1.7 m/s毎に画像データを出力しているため、長さ120 mmのガラス瓶1本に対し、最低4回の画像データを、高速色画像抽出装置（極座標色抽出方式）に出力している。

高速色画像抽出装置は、1台のCCDカメラに対し、3台搭載しており、個々の抽出装置に専用の色計測用ウインドを持っている。CCDカメラからの画像データを、高速色画像抽出装置が取り込み、色分析用データを出力するため、長さ120 mmのガラス瓶1本に対して、最低12個の色分析用データが得られることになる。

高速色画像処理装置は、あらかじめ登録している基準色と色計測用ウインドから取り込まれた色データとを比較して、カメラ前を通過したガラス瓶が何色であるかを分析し、結果を高速演算処理装置に出力する。高速演算処理装置は、カメラ1およびカメラ2を通過したガラス瓶の色を2台の高速色画像処理装置の分析結果（12データ×2台=24データ）を演算処理して、白色・茶色・その他色・非透過物の判定を行なうため信頼性が高く、ガラス瓶の外面ラベル、フィルムおよび外面の汚れによる誤判定を十分に防ぐことができる。

色判定結果は、システム制御装置に出力されて、各瓶仕分け部にて瓶を仕分ける。またガラス瓶以外の非透過物は残渣へ排出される。

3. 4. 2 瓶仕分け部

ガラス瓶の仕分けは、その他色・茶色・白色・残渣の順に仕分ける。白色を最後に仕分することにより白色への色付瓶の混入を無くし、白色瓶の純度を高めている。

仕分け方式は、特殊形状をしたエアーノズルによるエアージェットソート方式で、仕分口でガラス瓶を吹き落す役目をしている。エアーノズルは、各仕分け口に4個のエアーノズルと同数の電磁弁を取り付けて、ガラス瓶の種類（サイズ）により使い分けている。図10に仕分け部概観を示す。エアージェットでガラス瓶を仕分けることで、仕分け部にメカニカルな機構が無く応答速度が速

いため、高速かつ確実に仕分けを行うことができる。さらに、メカニカルな制限が無いため、ガラス瓶のサイズ分けが必要なく、ガラス瓶の仕分けに必要な間隔も最小間隔で良いため、高速で多量（1時間当り12,000本）のガラス瓶を処理することができる。本ガラス色選別コンベヤは、大小のガラス瓶が混在して連続供給されても、瓶と瓶の間隔が20 mmあれば、隣り合うガラス瓶の影響を受けること無く仕分けすることができる。また、瓶と瓶の間隔が20 mm未満の場合も、色判定結果が1色であれば判定色の仕分け口に仕分け、色判定結果が2色以上の場合は、その他色に仕分けることでガラス色選別コンベヤを通過するガラス瓶の回収率を高めている。

システム制御装置は、色抽出部でのガラス瓶の色判定結果を基に、仕分け口を決定する。システム制御装置は、形状計測部のデータから、ガラス瓶のサイズ（長さ、高さ）を決定して、使用するノズルの数量、電磁弁の動作時間および目的の仕分け口までの到達時間を算出した後、エアージェットでガラス瓶を目的の仕分け口に排出する。排出されたガラス瓶は搬送コンベヤで、各色別ホッパに貯留される。空缶、陶器などの色抽出不適物およびローラスクリーンにて除去できなかったカレット類はガラス色選別コンベヤテールから残渣として排出される。

4. 性能結果

表1に本ガラス自動色選別装置の性能結果（純度、回収率）および処理能力結果を示す。性能試験は広域市町村から収集した、資源ごみ（ガラス瓶、缶類混在）そのまま使用した。実操業運転と同様に、収集資源ごみを受入れコンベヤに投入し、資源ごみ選別設備を連続運転1時間にて試験を行なった。処理能力および選別性能はガラス色選別コンベヤの入口（引離しコンベヤ先端）から出口（各色の貯留ホッパ）までとし、試験終了後、各貯留ホッパおよび残渣コンテナの資源ごみ重量を測定して、処理能力および選別性能などを求めた。

	純度(wt%)	回収率(wt%)	処理能力
白ガラス	99.1	92.3	4.6 t/h
茶ガラス	98.8	96.2	
その他ガラス	98.9	94.4	

表1 処理能力結果

5. おわりに

本ガラス自動色選別装置は能力・性能が十分に満足していることを紹介した。本装置は「ガラス瓶のサイズ選別が不要」であることを特徴としている。ドリンク瓶からジャンボサイズ瓶まで幅広い範囲で信頼性の高いガラス瓶の色選別が可能である。

「リサイクル施設」に導入の際、選別設備の合理化、設備の小規模化に貢献できるものと確信する。

石炭船積み設備への強力電磁石式吊下げ磁選機の応用^{*}

Coal Port Facility Application of Powerful SE Magnets

王 緒 倫 (Wang Xu Lun)**

The following paper outlines China National Coal program for tramp metal removal with detail explanation of the evaluation, development and implementation of very strong electro magnets. For the readers' benefit, to give a perspective of relative size and performance, this study includes the familiar scale of magnets, or routine magnets, and then expands into two significantly stronger magnets that have been less commonly used. The performance data on these three magnets prove convincingly, routine magnets for these coal terminal applications are undersized and have typically under-protected high volume conveyors.

はじめに

本稿は、中国煤炭工業秦皇島進出口公司における、強力な電磁石を評価、開発して効果を挙げた、混入鉄片除去プログラムの概要を述べるものである。読者の、マグネットのサイズとその性能に関する理解を助けるために、本稿は、はじめに一般的なあるいは通常のマグネットについて記述し、次に通常はあまり用いられていない2種類の巨大なマグネットについて述べることにする。これら3種類のマグネットの操業成績は、コールターミナルで使用されている通常のマグネットの機種選定が小さすぎ、大容量コンベアーの保護には不足であることを雄弁に物語るものである。

読者はすでにご承知のように、中国は、年間10億トン以上の石炭を産出する世界最大の産炭国であり、石炭の輸出国として世界のトップクラスにランクされている。他の国々と異なり、この膨大な量の石炭は、中国煤炭工業進出口總公司で一手に取り扱われている。この大量の輸出量と集中管理された経営によって、石炭のハンドリング方法を改善するための大規模な投資が正当化される。石炭に混入する金属異物を有効に除去する方法を確立することによって得られる利益は、他の船積み港にも適用できるので、中国の石炭工業全体で享受できるものである。1990年代のはじめに、中国煤炭工業秦皇島進出口公司では、輸出向け石炭のクリーニングを改善するプログラムに着手した。中国は、高エネルギー、低灰分、低硫黄分の石炭資源に恵まれており、この利点は海外の中国炭のユーザーも利益を受けている点であるが、中国原産

の石炭に関する問題点は、混入している金属異物、発破雷管であり、これら二つの混入異物は重大な問題を引き起こしていた。金属異物は、ユーザーである火力発電所で、粉碎装置に損傷を与え、雷管は、火災の危険をもたらすものである。下の写真に示すように、発破雷管のサイズはかなり小さく、他の金属異物と同様に、毎秒4.8mの速度で走行する2m幅のコンベアベルト上の500mmの層厚から捕集するのは困難である。



吊下げ磁選機で回収された発破雷管

金属異物の大部分は、中国における坑内掘りの、特に古い炭坑における老朽化した装置（例えば、石炭搬送トロッコ）や設備（例えば坑道上部のボルト類）が緩み、製品中に混入するものである。同様に異物混入の原因となるものに、山西省など内陸部の炭坑から船積み港までの1000kmを超える長距離鉄道輸送とその積出し設備や荷揚げ設備等がある。石炭を運ぶ車両に、前に使用された時に残された異物が入っていることもある。

中国煤炭工業進出口總公司では、鉄片混入の無い石炭を出荷してくれという顧客からの強い要望を寄せられて

* 平成12年11月16日本会第105回例会において発表

** 中国煤炭工業秦皇島進出口有限公司 董事長・總經理
Chairman, Qinhuangdoa China National Coal Operations

平成12年9月6日受理

いる時に、もう一つの問題と取り組まなければならなかつた、それまで使用されていたマグネットセパレーターが古くなっているということである。中国煤炭工業進出口總公司が管理する積出港の設備のいくつかは5年あるいは10年も前に建設されたものであり、そこに設置されているマグネットセパレーターは老朽化し、役に立たなくなっていた。中国煤炭工業進出口總公司的船積み設備の多くは、プラントエンジニアリング会社によって建設されたもので、プラントエンジニアリング会社は、設備受注に傾注するあまり、マグネットを性能面より価格で選定するケースが多かった。これらのマグネットは、新いうちは辛うじて要求を満たしていたが、古くなると性能が落ちてきた。日本、ヨーロッパ、米国のマグネットメーカーが多くマグネットを納入したが、今回、中国でのマグネットセパレーターの改善のために選ばれたエリーズ社では納入していなかった。この間、中国国産のマグネットメーカーも検討され、国産品、輸入品の双方を公平に評価するため、何台かの中国製マグネットも購入された。

中国煤炭工業進出口總公司は、この問題を解決することを断言し、過去の経験と今回の調査から、船積み設備の建設当初に納められた通常のマグネットよりも更に強力なマグネットが必要であることを知った。

最終的に、米国ペンシルヴァニア州、エリー市に本社を置く、エリーズマグネチックス社が、同社製のマグネットが優れた性能と長期間の使用に耐える寿命を持っているという理由で納入業者として選ばれた。さらに、中国煤炭工業進出口總公司は、鉄片除去の要望に対するエリーズ社の素直な対応に感銘を受けた。エリーズは、中国煤炭工業進出口總公司に、同社製の強力なマグネットをもってしても100%の鉄片除去は不可能であることを伝えた。そこで、100%まで行かなくとも、そこに近づけるためにテストを行うことが決定された。

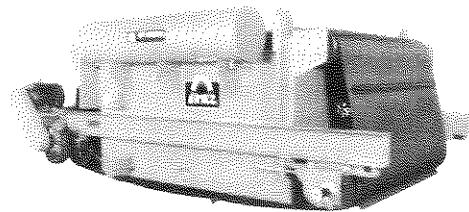
マグネットとマグネットメーカーを評価するための、中国煤炭工業進出口總公司的検討では、マグネットを次の3種類に分類して検討した。すなわち、

1. 通常の電磁石式吊下げ磁選機
2. 超強力磁場強度吊下げ磁選機
3. ハイテク設計吊下げ磁選機

エリーズマグネチックス社と中国煤炭工業進出口總公司は共同で石炭中の鉄系異物除去を目的とした2段階のプログラムを組んだ。まず最初のステップは、マグネット面から550mm離れた点で1,200ガウスの磁力を持つ特別設計

のエリーズSER超強力磁場強度吊下げ磁選機を平行する2本のコンベア上に設置することであった。この第一段階の目的を完遂するためにエリーズ社は、有限要素法によるコンピューター設計手法でマグネットを設計し、実機サイズのマグネットの製作に先立ち、小型の試作機を製作した。その結果、所定の距離で数%磁場強度の上回る磁気回路が得られ、さしたる追加費用もなく設計仕様を満足できた。中国煤炭工業進出口總公司向けに特別設計されたモデルSER吊下げ磁選機の写真を下に示す。最初の2台のSER吊下げ磁選機が、1997年11月、中国東北部に位置する中国煤炭工業進出口總公司の最大の石炭積出港である秦皇島港に設置された。

超強力磁場強度吊下げ磁選機



秦皇島港に設置されたEriez SER Magnet, 94X100

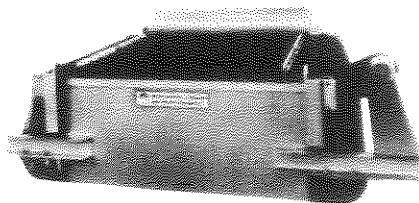
これまでに中国煤炭工業進出口總公司では、このようなマグネットを10台購入し、秦皇島、天清、青島、蓮雲港に設置した。第二段階は、550mm離れた点で2,200ガウスの磁場強度を出す、中空コイル技術を用いた更に強力な吊下げ磁選機の設置であった。以下に、この強力な吊下げ磁選機に取り替えられる通常の吊下げ磁選機との関連を述べてみる。

通常の電磁石式吊下げ磁選機(Routine magnets)は、何社かの磁選機メーカーが作っているもので、下の写真に示すエリーズモデル7000シリーズに代表されるものである。他のメーカーも、それぞれの製造技術で、重量、消費電力、磁力の分布、機会の寿命等の点で特色を出している。

競争メーカーの中には、エリーズの7000シリーズをベースにしているものもあり、7000シリーズの磁場強度は、他メーカーとも比肩できるものである。マグネットのアンペア・ターンを増やしたり、他の方法で磁場強度を上げようと試みたメーカーもあったが、中国煤炭工業進出口總公司が、エリーズより優れた設計

能力と製作実績ありと評価できるメーカーはなかった。

通常の電磁石式吊下げ磁選機 (Routine Magnet)



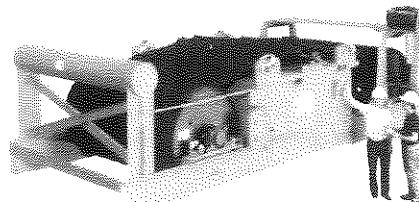
エリーズ 7000 シリーズ電磁石式吊下げ磁選機

超強力磁場強度吊下げ磁選機(Extra strong magnets)

は、エリーズでは、通常の電磁石式吊下げ磁選機をスケールアップしたもので、SERシリーズとして分類されるマグネットである。このシリーズは、二つの点でエリーズおよび他メーカーの通常の電磁石式吊下げ磁選機と異なるものである。第一点は、より多くのアンペア・ターンを使って（電線の巻き数を増やし、コイルのアンペアを増やす）おり、これによって、単純に磁場強度が上げられている点である。電磁石は、基本的には鉄芯の周囲に直流電流を流すコイルを置いたものであり、コイルの巻き数を増やせば、磁力も上がる。第二点は、エリーズのSERシリーズ吊下げ磁選機は、通常の吊下げ磁選機に使われている円柱状の鉄芯に代えて矩形の鉄芯を使っていることである。矩形の鉄芯とコイルは、円形コイルを使った通常の吊下げ磁選機では効果的にカバーできない広幅コンペアの両端における磁力線の分布を改善できる。SERというシリーズ名に使われている“R”は、Rectangular（矩形）のRを表すものである。通常の吊下げ磁選機を製作するメーカーは何社があるが、超強力磁場強度吊下げ磁選機を製作するメーカーは少ない。有効に矩形鉄芯を使っているメーカーはエリーズだけである。下の写真に示すこのスケールアップされたマグネットと通常の吊下げ磁選機との比較を表に示す。

超強力磁場強度吊下げ磁選機

(Extra Strong Magnet)



チリ銅鉱山向け SER Magnet

吊下げ磁選機のスケールアップ

	通常の磁選機	超強力磁場強度 選機
	Eriez SE 7625	Eriez SER 94 x 100
サイズ	1.5 m x 1.6 m	2.4 m x 2.6 m
消費電力	9.6 kw	26.0 kw
重量	4,100 kg	30,000 kg
線材	1.0 km	54 km
磁力@500mm	500 Gauss	1200 Gauss

上の表にある二つの吊下げ磁選機は、それぞれのシリーズにおける最大のマグネットではないが、二つのモデル（SE7625とSER 94 x 100）は、それぞれのシリーズの代表的モデルである。二つのモデルの有効磁場強度と消費電力がほぼ2倍であるが、重量は7倍にもなっており、使用されるコイル全長が50倍にもなっていることに注目したい。当然のことではあるが、このスケールアップの目的は、より強い磁場を作り出すことである。上の表のガウスから、エリーズSERシリーズ吊下げ磁選機と、エリーズ7000シリーズ吊下げ磁選機の磁場強度の比較が分かる。SER 94X100の550mm離れた点での磁場強度はSE-7625の4倍であるが、フォースインデックスで表される磁力は10倍もある。混入鉄の分離性能を飛躍的に向上させたものは、この強力な磁力なのである。

中国煤炭工業進出口總公司による比較では、通常の吊下げ磁選機と、SER吊下げ磁選機の性能は、磁場強度の変化と比例していることが分かった。例えば、通常の吊下げ磁選機をSER吊下げ磁選機に変えたところ、困難な発破雷管の除去率が、20%以下から50%以上に改善された。この二つの吊下げ磁選機に分離性能の比較を下の表に示す。この表からも分かるが、SERの分離成績は通常の吊下げ磁選機の成績から大幅に改善されているものの、問題となる発破雷管等、かなりのメタルの取り逃しがある。このことは事前に予想されていたことであり、本プログラムの第二段階の中空コイルを使った磁選機を取り組むこととなる。

3番目に分類されるハイテク設計吊下げ磁選機は、エリーズマグネチックス社が製作するHCシリーズマグネットを指す。HCは、このマグネットに使用されている中空コイル(hollow conductor)を意味するが、詳細は後述する。

磁選機の寿命：中国煤炭工業進出口總公司が最適なマグネットの調査を進める際に問題としたもう一つの点は、それまでに購入したマグネットの寿命が短いことと、保

証期間が一般的には一年間しかないということであった。超強力吊下げ磁選機は消費電力が大きく、従って強い磁場強度を持つものである。設計が適切でないと、高エネルギー入力は電磁石コイルの寿命を短くする発熱の原因となる。この吊下げ磁選機の投資金額も大きいところから（重量、コイル使用量に注意）、有効な寿命は長くなければならない。エリーズマグネチックス社だけが標準で3年間の保証を提示しており、もし必要なら保証期間の延長も受け入れるということであった。エリーズの設計は、マグネットの使用を開始してから早い時期に寿命が来ないようにするためのいくつかの製造テクニックを駆使したものである。この点は、中国煤炭工業進出口總公司に、このマグネットの購入費が単に性能アップで補われるだけでなく、長年にわたり高い性能で運転出来るという安心感を与えた。

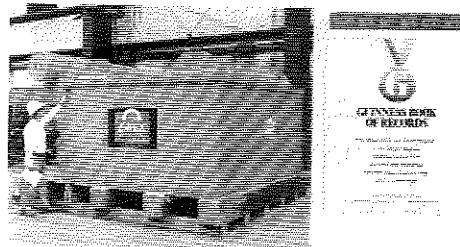
エリーズ SER 94 X 100 磁選機の分離成績

鉄分		一 回 シ ル フ レ	二 回 シ ル フ レ	ク バ ス の 通 路	上 ボ ル	鉄 精 銑
テスト						
1	投入個数	5	5	5	10	5
	分離個数	5	4	3	5	4
2	投入個数	5	5	5	10	5
	分離個数	5	5	3	5	3
3	投入個数	5	5	5	10	5
	分離個数	5	5	4	5	3
合計	投入個数	15	15	15	30	15
	分離個数	15	14	10	15	10
分離効率		100%	93.3%	66.7%	66.7%	55.0%

Coal Quality Dept, the Third Field
January 9, 1998

エリーズ社製吊下げ磁選機の評価にあたり、エリーズの磁選機が、納入先で10年、20年あるいはそれ以上の期間使用されていることを知り、中国煤炭工業進出口總公司は喜んだ。エリーズ社が製作した数千台の吊下げ磁選機が、ごく当たり前に10年あるいは20年におよぶ期間使用されているという記録から、中国煤炭工業進出口總公司、エリーズ社の双方とも今回のアプリケーションで保証期間を延長することになんの心配も持たなかった。さらに、エリーズ社では、中国煤炭工業進出口總公司の積出港で必要とされる吊下げ磁選機よりも大型のマグネットを製作した実績がある。

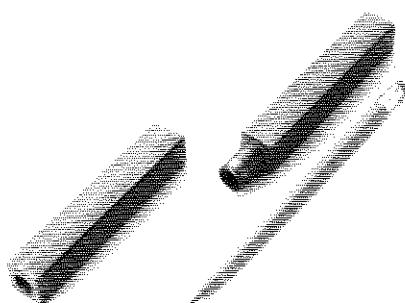
また、エリーズ社が、権威あるギネスブックの世界記録によって、そのマグネットが今までに設置された最大のマグネットの認定を受けていることに注目した。認定を受けたマグネットは、チリのロドミロ・トミック銅鉱山で使用されているマグネットである。60トン以上もあるこのマンモスマグネットは、一次破碎機出口のエプロンコンベア上で使用されている



中空コイル技術

高い分離効率を達成するために、本計画の第二段階は、通常のコイルの限界から、中空コイルへ移行することであった。中国煤炭工業秦皇島進出口公司へ納入されたSERマグネットは、さまざまな点で特殊設計されたマグネットであったが、このマグネットに使用されたコイルは、在来型の、絶縁された中空でない線材をつかったものであった。在来型のコイルは、絶縁油に浸漬され鉄製のマグネットボックスに熱を伝え、これにより熱放散を図るものである。納入されたSERマグネットは、他のエリーズの液冷マグネットと同じく、エリーズが最初に採用した外部に油の膨張タンクを付けたものである。マグネットに通電するとその温度上昇にしたがって、内部の絶縁油は膨張タンクの中へ膨張していく。電源が切断され、マグネットが冷えると絶縁油はマグネットボックスへ戻る。この特徴は二つの利点をもたらすものである、すなわち、1) エリーズのコイルは常に絶縁油に浸漬されている、2) 膨張タンクにはウォータートラップがついていて絶縁油への液体(水)の混入を防止している、という点である。

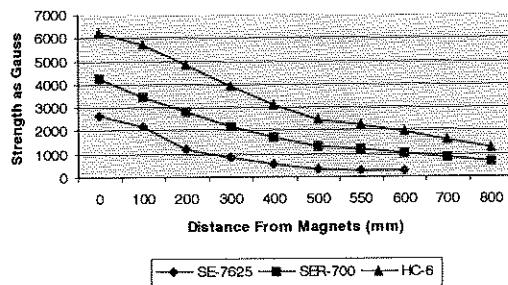
下の写真に示すように、中空コイル技術は、外側は電気的に絶縁されていて、内部が中空の線材を用いるものである。線材内部の中空の穴は、冷媒の通路となるもので、そこに冷媒を循環させて電気エネルギーで発生する熱をコイルから取り除く。SERマグネットや他の液冷タイプのマグネットは受動的に冷却されるのに対し、中空コイルを使ったマグネットは、冷媒を線材の内部に圧入して積極的に冷却するものである。



中空コイル 断面

エリーズマグネットックス社は、この技術を所有する全世界で唯一の吊下げ磁選機メーカーである。エリーズ社は、粘土処理プロセスや他の用途に中空コイルを使った磁選機を何台か製作してきた。エリーズ社にとって、このコイル技術を吊下げ磁選機に応用することは容易なことであった。中空コイル磁選機は、トランسفォーマー整流器、ポンプ、熱交換器等とマグネット本体及び必要なインターロック回路を組み込んだ閉回路システムである。トランسفォーマー整流器はマグネットに電流を供給して必要な磁界を創り出し、ポンプと熱交換器でマグネットから熱を取り除くことによってこれまでに作られたことのない最強の吊下げ磁選機が作られたのである。このマグネットとSERマグネット及び通常の7000シリーズ吊下げ磁選機の磁場強度を比較したグラフを以下に示す。

Comparative Gauss Profiles

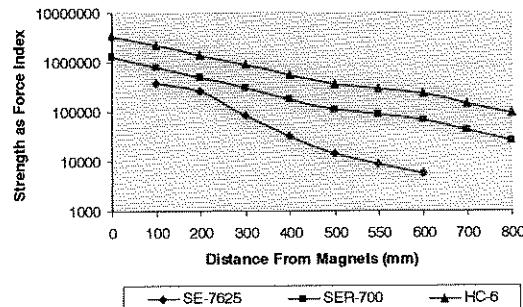


前に述べたように、ガウス測定値からだけでもこのマグネットが大変強力なものであることが分かるが、あまり一般的でないフォースインデックス(FI)を比較すると更にその強力さが理解できる。フォースインデックスは、マグネットの表面の強力な磁束密度によるより高い磁場勾配を考慮したものである。中空コイルマグネットは、従来の中空でないコイルを使ったマグネットより高いフォースインデックス値を生み出すマグネットである。この強力なマグネットを製作するに必要な材料とそれに要するエネルギーの値を次の表に示す。

	通常の磁選機 Eriez SE 7625	超強力磁場強度磁選機 Eriez SER 94 x 100	ハイテク磁選機 Eriez HC-6
サイズ	1.5 m x 1.6 m	2.4 m x 2.6 m	2.3 m x 2.3 m
消費電力	9.6 kw	26.0 kw	108 kw
重量	4,100 kg	30,000 kg	16,360 kg
線材	1.0 km	54 km	2.1 km
磁力@500mm	500 Gauss	1200 Gauss	2200 Gauss
FI@550mm	8791	89566	289424
FI比	1	10.19	32.92

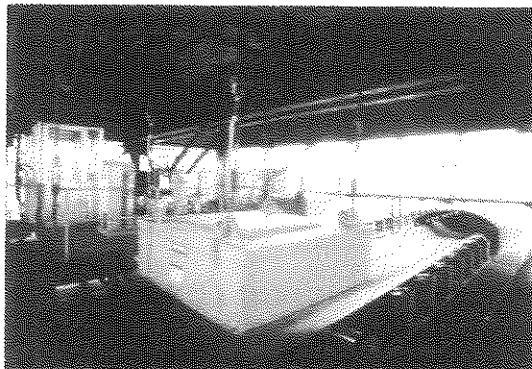
このマグネットは1999年はじめに秦皇島港に設置された。下のグラフは、これまでに述べた3種類のマグネットのフォースインデックスを比較したものである。フォースインデックスの値(縦軸)は対数目盛りである。上のグラフからも分かるように、冷却油で冷却されているSE-7625やSER 100X94に比べると、次世代レベルのテクノロジー(中空コイル)は、マグネットの強度(ガウス)をほぼ3倍、と7倍に高め、550mm離れた点における磁場強度を33倍と、3倍に高めた。

Comparative Force Index Profiles



モデルHC-6吊下げ磁選機の写真を下に示す。マグネットのサイズと重量は小さくなつたが、その強度と性能は大幅にアップした。マグネットが小さく見えるのは、セルフクリーニング用のベルトがついていないためである。セルフクリーニングベルトがついていないのは、マグネットの力が強すぎて、マグネットに鉄片が吸着される時の強い吸引力で通常のベルトではもたないからである。将来、このマグネットにもセルフクリーニング機構が必要になることを認識して、中国煤炭工業進出口總公司はエリーズ社にこの強力マグネット用のセルフクリーニングシステムの開発を依頼しており、2000年には実現するであろう。

ハイテク吊下げ磁選機



エリーズモデル HC-6 中空コイル吊下げ磁選機

エリーズ HC-6 磁選機の磁選効率

鉄分	一ヨーギューピー	一ヨーギューピーの	パイプ	鉄道のスパイク	ギルト	発破雷管
分離効率	100%	100%	98%	95%	95%	85%

Coal Quality Dept.

結論

歴史上になかった非常に強力な吊下げ磁選機が、この磁選機がなければ積荷の中に残されていったであろう広範な種類の混入鉄を除去することが証明された。作業者の安全や設備機器の保護という重要な側面に加え、この強力な吊下げ磁選機は、積荷の石炭中に含まれる混入鉄分による損害の補償要請も少なくすることが出来る。

エリーズのモデル SE7625、SER 94X100、と HC-6 を、それぞれ通常の電磁石式吊下げ磁選機、超強力磁場強度吊下げ磁選機、ハイテク設計吊下げ磁選機と分類してそれらのマグネットのコールターミナルコンペアでの使用を比較した今回の検討では通常の電磁石式吊下げ磁選機は性能不足であることが分かった。この性能不足という点は、マグネットそれ自体の性能不足ということではなく、むしろ選定の間違いと言えるだろう。これら通常の電磁石式吊下げ磁選機が昔の設計要件で設計されていることである。

その昔の設計要件として挙げられることは、

- 1) コールコンペアで、幅が 1.6 m とか 2.0 m のもの

が少なかった。

- 2) コンペア上の層厚が、400 mm とか 500 mm もあるものが少なかった。
- 3) ベルトスピードが 3.0 m/sec. とか 4.8 m/sec. の高速コンペアが少なかった。
- 4) ユーザーのコンタミフリーに対する要求が強くなかった。

である。

上に挙げたような認識がここ数年で変化しているにも拘わらず、不明確に記載されているか、単に従来の記載を変更しないまま発行されるコンサルタントの仕様書に基づき競争力を持った見積りをしなければならないプラントエンジニアリング会社の現実が、ごく最近のプロジェクトにおいてすら性能不足の電磁石式吊下げ磁選機でプロテクション不足の結果をもたらすことになっている。

これらのアプリケーションにおいては、通常の吊下げ磁選機（例えば SE7625）では、良くいっても、（偶然に）石炭の層の中間あるいは上層にある大型の混入鉄片を分離出来るだけである。通常の電磁石式吊下げ磁選機では、石炭の層全体を混入鉄から完全に保護することは出来ない。しかし、これらのマグネットは石炭の層の上に乗ってくる金属異物を捕捉するサンブラーの役目を果たすことは出来る。通常の電磁石式吊下げ磁選機で捕捉される金属異物は、氷山の一角に過ぎない。コンペアベルトの近くにある（層の中心部に深く埋もれたものや、トラフ付きベルトの端部に近い層の表面にあるもの）金属異物にはその効果が及ばない。混入鉄分の分離精度の要求される度合いによっては、エリーズの SER シリーズでも十分であろう。しかし、発破雷管のような細かい金属異物まで取り除かなければならないような場合には、より強力な磁力が必要であり、このような個所にはエリーズの HC - 6 中空コイル吊下げ磁選機が必要となる。

電磁石式吊下げ磁選機に詳しい経験ある読者のために付言すれば、上に述べた磁選分離の比較データは、マグネットをクロスベルトポジションで使用した場合のデータである。マグネットをヘッドブーリーの上に設置したほうが明らかにより効率の良い分離が出来るのであるが、本稿に述べた設置場所では既存設備との兼ね合いでこの設置方法は不可能であった。幸いなことに、電磁石式吊下げ磁選機は、コンペアの全長にわたり、クロスベ

ルトポジションであれば殆ど何処にでも取り付けられるので、既存のコンベアに追加設置することが容易である。これらの重量のある吊下げ磁選機の設置場所を決定するもう一つのファクターに、既存設備の支持機構の強度がある。既存のヘッドブーリーの構造が30トンのSER吊下げ磁選機を支持できないものである場合には、エリーズは、同じ磁場強度を保ちながらその重量を約50%も軽くすることが出来る強制冷却によるマグネットを設計することが出来る。中空コイル吊下げ磁選機のような強制冷却マグネットは、積極的冷却システムを取り付けたマグネットであるが、従来からある絶縁された中空でない線材を使ったマグネットにも応用かのうである。

中国煤炭工業進出口總公司では、超強力磁場強度吊下げ磁選機(SER 94 X 100)とハイテク吊下げ磁選機(HC-6)を使って金属異物除去率85%以上を達成できた。通常の吊下げ磁選機から超強力磁場強度吊下げ磁選機へ、さらにはハイテク吊下げ磁選機へのスケールアップは、搬送される石炭に与えられる磁力を200%、さらには800%強化するものであった。さらに、中国煤炭工業進出口總公司は、需要家のコンタミフリーに対する要求に応えるために相当な額の資金を投資し、消費電力という形でのかなりの額の運転資金を投下している。

次の課題は何であろうか。HC-6の磁場強度を凌ぐ強力な次世代マグネットが開発されており、2000年には利用可能になるであろう。更に最先端のテクノロジーを駆使した次世代マグネットは、より強力な磁場強度を少ない運転コスト(省電力)で提供するものになる。このテクノロジーにより、中空コイル設計技術も過去のものになる可能性がある。

中国煤炭工業進出口總公司は、エリーズマグネチックス社と協力して、前例のない金属異物除去を達成するためにこれまでにない巨大なまた強力なマグネットの使用に踏み切った。このマグネットの運転性能は良好であり、経済的利点も確認されている。著者、王緒倫(中国煤炭工業秦皇島進出口有限公司、董事長・總經理)は、本稿の執筆に際し、エリーズマグネチックス社が写真及びその他の資料をご提供頂いたことを記し、感謝の意を表します。

試験用タワーミル粉碎機*

豊田 成紀**・橋口敬生**

Tower Mill pulverizer for research and development

Shigeki TOYODA and Norio HASHIGUCHI

1. はじめに

タワーミル粉碎機は昭和 30 年代に日本人によって開発された立型の媒体攪拌式粉碎機である。本機は開発当初より現在に到るまで鉱工業をはじめ排煙脱硫プロセス、石膏製造プロセスなどの分野で数多くの実績を挙げている粉碎機である。特に連続、大量処理のプロセスにおいて優位性が確認されている。近年、産業廃棄物の粉碎再利用処理などの環境・リサイクルの分野への展開も期待されている。

タワーミル粉碎機は、二条螺旋付の攪拌スクリューを粉碎塔内で回転させることにより、効果的に粉碎媒体を攪拌し、圧密・衝撃・摩擦作用によって粉碎を促進させる機構を備えている。

今回新たに開発した試験用タワーミル粉碎機（型式：NE010）は、大型タワーミル粉碎機の粉碎機構を備え、さらに様々な分野から寄せられる多種多様な原料の粉碎試験に対応できる簡単な操作性、清掃性を備えた試験用粉碎機として設計された。

2. タワーミル NE010

タワーミル NE010（以下、NE010）の外観（幅 600mm × 奥行き 656mm × 高さ 1360mm）を図 1 に示す。NE010 は湿式・乾式粉碎に対応可能な粉碎機であり、取付ユニットを変更する事で粉碎容量、スクリュー径、スクリュー長さを変更する事が可能となっている。

2-1. 粉碎ベッセル

NE010 の粉碎ベッセル（図 2；最大ボルト容量 3.8 ltr 仕様）はベッセル底部に 2ヶ所の排出口を持ち、粉碎製品を底部より排出する機構を備えている。さらに、この排出口に連続運転ユニットを接続することにより、湿式連続粉碎試験を行うことが可能となる。

*平成 12 年 11 月 16 日日本会第 105 回例会において発表

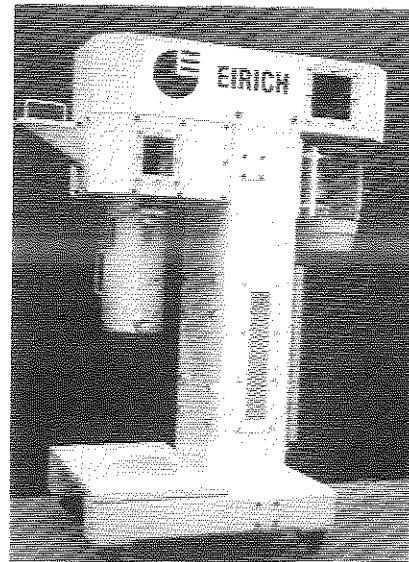
**日本アイリッヒ株式会社 タワーミルプロジェクトチーム
平成 12 年 10 月 18 日受理

図 1 タワーミル NE010 型粉碎機
の外観

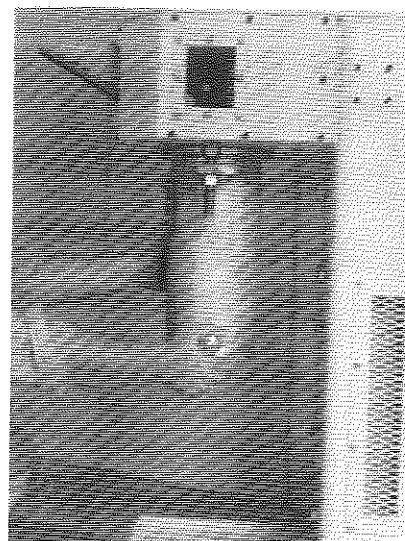


図 2 NE010 粉碎ベッセル

また、NE010 では容量の大きい粉碎ベッセルを取付けるための接合部も備えている。

2-2. 搅拌スクリュー

搅拌スクリュー（図 4）は取り外しが可能なスクリューセグメント（図 5）より構成されている。分割式の搅拌スクリューを採用したことにより、搅拌スクリューの清掃性を大幅に向上させることができた。

スクリューセグメントは 1 ピッチ分のスクリュー羽根の構成要素であり、スクリューセグメントの取付け個数を増減することによって、搅拌スクリューの長さを変更することが可能となっている。

2-3. 電動機

NE010 には様々な被粉碎物に対応可能な駆動力を持つ 3.7kw のモータを搭載しており、またインバータ制御を採用することによって搅拌速度を任意に設定することが可能となっている。

3. NE010 仕様一覧および各部材質一覧

仕 様	
粉碎ベッセル容量	6.8 liter
粉碎ベッセル重量	11 kg
粉碎原料容量	1.7 liter
ポール充填容量	3.85 liter
ポール重量 (Zr ポール充填時)	17.7 kg

各部材質	
粉碎ベッセル	SUS304
スクリューシャフト	SUS304
スクリューセグメント	高クロム鍛鋼

4. むすび

日本アイリッヒ㈱が新たに開発した試験用タワーミル NE010 について述べてきた。具体的な、使用用途としては少量・多品種の粉碎試験、高粘度スラリー中の粉碎、反応粉碎などの粉碎に高い能力を発揮するものと考えている。また、運転中の騒音が小さく、設置スペースもなく済むことから実験室用の粉碎機として非常に適していると考えられる。NE010 の持つ粉碎能力、操作の簡便性、清掃性、様々な実験条件への拡張性によって、試験用粉碎機として広く受け入れられることを期待する。

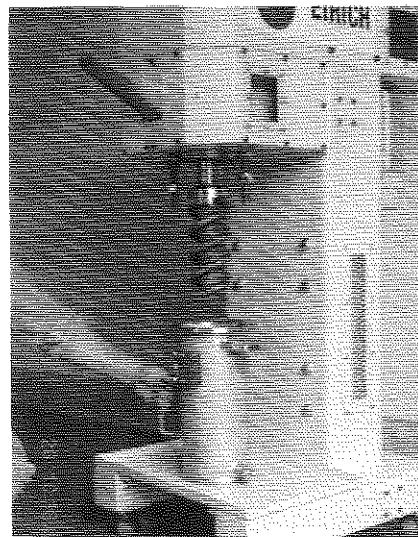


図 3 NE010 粉碎ベッセル
取外し後の外観

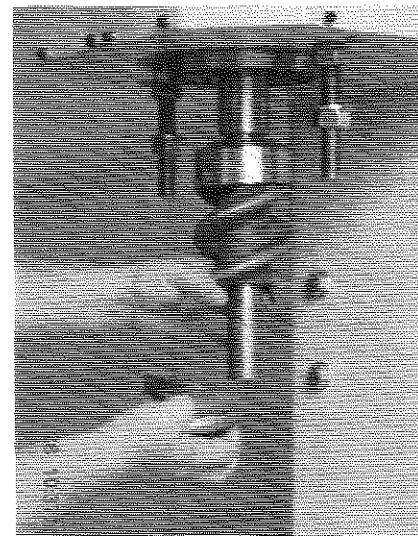


図 4 搅拌スクリュー

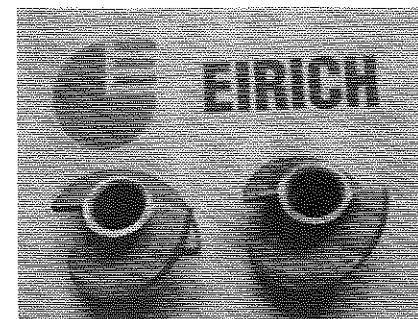


図 5 スクリューセグメント

セメント産業における廃棄物の再資源化*

玉重宇幹**

Wastes recycled in the cement industry in Japan

Takamiki TAMASHIGE

Status of waste recycling in the Japanese cement industry is surveyed. As a core of the industrial clustering, the Japanese cement industry receives a huge amount of waste as raw materials from a variety of industries and households. This is owing to the industry's large production capacity, burning process at high enough temperatures for decomposing dioxins, and versatile receptivity to a wide range of wastes as raw materials due to similarities of chemical compositions between cement raw materials and various wastes. Discussed are examples of waste utilization in the cement industry and the latest technical achievements including heavy metal recovery from municipal incineration ash and direct utilization of garbage and trash as raw materials of cement.

1. はじめに

我が国の廃棄物の発生量は、産業廃棄物、一般廃棄物の合計で年間約4.5億トンに達し、その内の約1.0億トンが再利用されることなく最終処分場に送られている。近年の環境保護意識と資源枯渇への危機感の世界的な高まりを反映して、廃棄物発生量には頭打ちの傾向が見られるが、景気の回復に伴って生産が拡大すれば、再び増加に転じる可能性もあり、予断を許さない。廃棄物の発生と再利用のレベルが現状のまま推移すると仮定しても、最終処分場の余命は、産業廃棄物で3年余り、一般廃棄物でも8年余りに過ぎず、なお一層の廃棄物発生抑制と再資源化の進展がなければ、早晚、我が国は廃棄物が溢れ返ることは明らかである。

上述の廃棄物の「量」の問題とは別に、その「質」の問題がある。廃棄物の中には、有害重金属やダイオキシン（または、その成因となる塩素）等が含まれる場合が多い。前記最終処分場の枯渇の最大の要因は、これらの有害物質が最終処分場からの飛散や浸出によって環境を汚染する可能性に対する近隣住民の不安を払拭できないために最終処分場の新規建設が極めて困難なことがある。廃棄物再資源化を行う場合でも、そのプロセスにこれら有害物質を積極的に資源として回収、活用する手段を備えない限り、新たな製品ないし廃棄物の中へ有害物質を順送りすることとなり、眞の意味での再資源化は完結しない。

以上に述べた観点からセメント産業における廃棄物再資源化の現状を概観し、最新の実例を紹介したい。

2. 産業廃棄物・副産物のセメント産業での利用とインダストリアル・クラスタリング

平成10年度のセメント産業における廃棄物の利用実績は表1の通りであり、セメント製造の原燃料、混合セメントの混合材などとして大量に利用されている。その総量は年間2,440万トン（平成10年度）に達し、これは、国内で発生する全廃棄物の約6%、最終処分量の約20%（重量比）に相当する。

表1 セメント産業における廃棄物の利用実績

廃棄物	セメント産業での利用量(t/年)
石炭灰	3,779,000
汚泥・スラッジ	1,394,000
未燃灰・ばいじん・ダスト	531,000
銹物砂	454,000
廃タイヤ	282,000
廃油	131,000
廃白土	90,000
建設廃材	112,000
高炉スラグ	11,353,000
副産石膏	2,426,000
ボタル	1,104,000
非鉄鉱滓	1,161,000
製鋼スラグ	1,061,000
再生油	187,000
その他	305,000
合計	24,371,000

数値は、セメントハンドブック（(社)セメント協会）による。

このような大量利用は、セメントの国内生産量が年間8,220万トン（平成11年度）にも達し、それ以上の数量の原燃料がセメント生産のために使用されていることによる所が大きい。また、利用可能な廃棄物の種類も表1に示される通り多岐にわたっているが、これはセメントの必須化学成分が多くの廃棄物に含まれること、多種の廃棄物を組み合わせて使用することにより、その構成比を適正化できること、および可燃性廃棄物に含まれる不燃物もそのままセメント原料として

*平成12年11月16日本会第105回例会において発表

**太平洋セメント（株）ゼロエミッション事業部

平成12年9月29日受理

利用できる場合が多いためである。

表1の廃棄物は、そのすべてが産業廃棄物・副産物である。産業廃棄物・副産物の再資源化とは、ある産業で発生する廃棄物・副産物を他の産業の原燃料として利用することである。この廃棄物の授受は、一回で終わるものではなく、例えば、廃棄物利用側で発生した新たな廃棄物を廃棄物発生側へ戻して原燃料として活用する（循環）、あるいは、第三の産業で原燃料として利用する（連鎖）などの関係に基づく異種産業のグループを構成する。この関係をインダストリアル・クラスタリングと呼ぶ。セメント産業は、その大量生産／処理能力と、廃棄物を原料として利用した場合の成分調整の柔軟性により、大量、広範囲の産業廃棄物・副産物の再資源化が可能であり、図1に示す通り、インダストリアル・クラスタリングの中核に位置する産業ということができる。以下、代表的な産業廃棄物・副産物のセメント産業での再資源化の状況について、述べる。

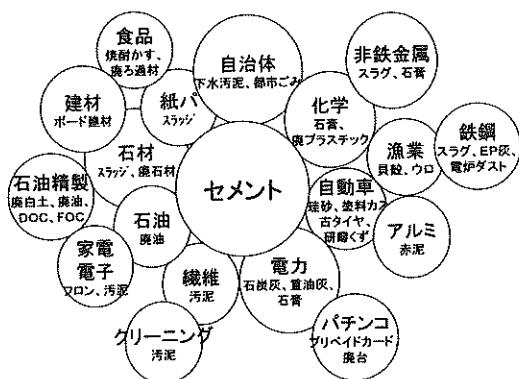


図1 セメント産業を中心とする
インダストリアル・クラスタリング

2.1 製鉄所／発電所廃棄物・副産物と廃タイヤの利用

セメント産業における産業廃棄物・副産物の原燃料としての利用で代表的なものは、製鉄用高炉から発生する高炉スラグと火力発電所から発生するフライアッシュのセメント原料としての利用である。これらは、その潜在水硬性を活かして高炉セメントおよびフライアッシュセメントの混合材としてそのまま用いることができる他、カルシウム、シリカ、アルミニナ源として、粘土や珪石などのセメント製造原料の代替としても利用されている。また、廃タイヤは、重油並みの発熱量

を利して、セメント焼成燃料（石炭、重油）の代替として利用される他、スチールラジアルタイヤに含まれる鋼線も、セメント原料として必要な鉄源としてそのまま利用することができる。これらの利用実績は、図2に示す通りであり、いずれもセメント産業が最大の利用先であることを示している。

上記以外にも、火力発電所排煙脱硫工程の副産石膏が、セメント原料として利用されている。ここで特筆すべきは、石灰石を原料とする排煙脱硫材が、セメント産業自身から供給されることであり、石灰石資源を仲立ちとした緊密な資源循環、インダストリアル・クラスタリングの象徴的な事例と言える。

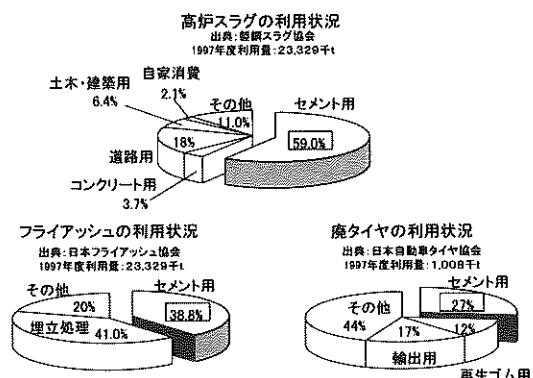


図2 高炉スラグ、フライアッシュ、廃タイヤの利用状況

2.2 廃バチンコ台の燃料利用

我が国の国民的な遊戯産業とも言うべきバチンコ業界からは、年間約200万台の廃バチンコ台が発生している。廃バチンコ台は、木材、ガラス、プラスチック、金属の複合物であるため、一般的の焼却施設では処理が困難であった。セメント会社は、廃バチンコ台を破碎分別して金属とガラス部分はそれぞれのリサイクル業者へ送り、残りの木材とプラスチックをセメント焼成燃料として利用する技術を大手バチンコ台メーカーと共に開発し、廃バチンコ台の完全再資源化の道を拓いた。

2.3 廃プラスチックの燃料利用

プラスチック加工産業からは、不良品や加工端材などの廃プラスチックが発生する。プラスチックは、セメント焼成で通常用いられる石炭以上の発熱量を持ち、燃料としての価値が大きく、その本格的な利用が始まるとしている。廃プラスチックには、塊状、板状、フィルムないしシート状など様々な形状があり、また、

その組成によって燃焼性にも大きな相違があるため、実際に燃料としてキルンへ吹き込むまでには、形状組成に応じた破碎（図3）やガス化などの前処理が必要となる。



図3 廃プラスチック破碎機¹⁾

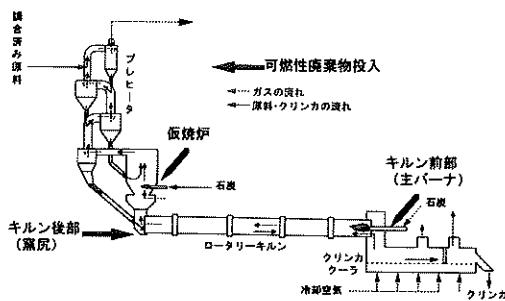


図4 セメント焼成工程における可燃性廃棄物受入口

セメントの焼成工程は、図4に示す通り、複数の燃料受入口を持ち、それぞれ、温度、雰囲気、必要とされる燃焼状態が異なる。このため、主燃料に近い良好な燃焼状態の求められるキルン前部（主バーナ側）からは微粉碎またはガス化した可燃性廃棄物を、酸素濃度が低く燃焼状態への要求が厳しくないキルン後部（窯尻）からは、サイズの大きな可燃性廃棄物を、というような、投入口の使い分けが可能であり、大きなエネルギーを要する微粉碎やガス化などの前処理は最小限で済ませることができる。

現在、セメント産業で利用している廃プラスチックは、組成既知の産業廃棄物であり、塩化ビニールは対象としていないが、ある程度の脱塩素を行い、塩素バイパス（後出）を強化すれば、塩化ビニール含有の容器包装プラスチックであっても、利用可能となる期待が大きい。廃プラスチックからの脱塩素の方法はいくつかあるが、この内、350°C程度の低温で廃プラスチック中の塩素を塩化水素として揮発除去する方法で得られた脱塩済み分別収集プラスチックを用いたセメント焼成燃料利用技術の開発が(社)セメント協会によって行われている。¹⁾

2.4 フロン破壊処理

家電製品の断熱材や冷媒として使用されてきたフロンは、高温によって破壊されることが知られているが、単純焼却でこれを行うと、破壊の結果発生した塩化水素、フッ化水素などの有害ガスの処理の問題が生じる。これに対し、セメント焼成工程を利用した場合は、破壊に必要な高温が得られると同時に、工程中に多量に存在するカルシウムによって、これら有害ガスを塩化カルシウム、フッ化カルシウム等として無害化することができるため、安全であり、また、既存のセメント焼成キルンがほぼそのまま利用出来るために低コストでの処理が可能である。この技術はセメント会社と東京都との共同研究により実用化され、東京都、埼玉県を中心として処理事業が開始されたが、現在は、民間のフロンも含めて、フロン破壊処理が行われている。

3. 一般廃棄物のセメント産業での利用とゼロ・エミッション技術

都市ごみを主体とする一般廃棄物は、構成物質が複雑で、有害重金属やダイオキシン、工程トラブルの原因となる塩素も含まれる場合が多い。また、その組成の時間的変動および地域差が大きく、組成が一定で歴史も明らかな産業廃棄物・副産物と比較して、原燃料としての利用には大きな困難が伴う。また、自治体による自区内処理の原則のため、仮に再資源化の可能な産業があっても、発生元からそこに至るまでの運搬の過程で行政区画を越えることが困難な場合が多い。これらの技術的、人為的阻害要因のために、一般廃棄物の再資源化率は5%程度と、産業廃棄物と比較して遙かに低いレベルにとどまっている。この結果、殆どの一般廃棄物は、最終処分されることになるが、国土の狭隘な我が国では、その75%以上を焼却によって減容し、その残渣を埋め立て処分している。周知の通り、重金属、塩素を含有する一般廃棄物の焼却は、焼却施設でのダイオキシンの生成や、重金属、ダイオキシンを含んだ焼却灰や飛灰を埋め立てるというリスクを抱え込むことになり、これが最終処分場確保の困難化へ拍車をかけていることは既述の通りである。

都市ごみ焼却灰および飛灰は、Ca, Si, Al等、セメント原料として必要な元素を主要成分として含むため、本質的にはセメント産業での原料としての利用に適している。問題は、これら主要成分と共に含まれる塩素、重金属が、工程トラブルを起こし、また、セメントの品質、安全性に悪影響を与えることである。セメント産業は、この問題を解決するための複数のアプローチを用意しているが、そのキーテクノロジーは、塩素、重金属を工程から抽出除去するだけではなく、それを、

精錬原鉱として再資源化することによって、新たな有害廃棄物を一切、副成、排出させない、文字通りのゼロ・エミッション技術である。この点に焦点をあてながら、セメント産業における一般廃棄物再資源化の実例のいくつかを紹介する。

3. 1 セメント焼成工程における塩化物の挙動¹⁾

都市ごみ焼却灰や容器包装プラスチック等に含まれる塩素は、セメント原料に含まれるアルカリ類(Na,Kなど)と容易に結合して低沸点のアルカリ塩化物を形成する。これらの塩化物は、低温度でキルン排ガス中に揮散するが、キルン後端に接続されたプレヒータ内の排ガスの冷却(原料との熱交換)と共に凝縮、固化して排ガスから分離し、原料粉末とともに焼成炉に戻る塩素循環を形成する。これを放置すると排ガス径路の塩化物濃度が上昇し、その一部が液化してプレヒータ内壁に付着し、深刻な閉塞トラブルを引き起こす。これを防止するためには、循環する塩化物を系外へ抜き出し、循環→濃縮の連鎖を断ち切る必要がある。これは、塩素バイパスと呼ばれる技術により実現される。即ち、塩化物の循環、濃縮過程の中途から一定量の排ガスをバイパスさせてサイクロンなどの分級機にかけ、微細な塩化物粒子のみを含んだ排ガスとそれ以外の粗大な原料粉末とに分離、粗大原料粉末はキルンに戻す。微細塩化物粒子はバグフィルタで排ガスから分離されて系外に去り、排ガスは本流に戻る。塩素バイパスは、普通セメントでも広く活用される技術であるが、その目的はあくまでも、塩素の循環濃縮を軽減し塩素起因トラブルを防止することにあり、一旦系外に抜き出した塩化物も最終的にはセメントに戻されることになる。即ち、セメントの品質、安全性を維持するためには、焼成工程への塩素の持ち込みそのものを低減するか、抜き出した塩化物を製品へ戻さないことが必要である。前者の事例として都市ごみ焼却飛灰の水洗脱塩技術、後者には酸アルカリ処理による塩素含有ダスト再資源化プロセスがあり、それぞれ焼却灰/飛灰の普通セメント原料化およびエコセメント原料化のキーテクノロジーとなっている。

3. 2 都市ごみ焼却灰の普通セメント原料化²⁾

普通セメント工場の生産能力は、日産数千トンから数万トンに及ぶ。これに対し、1日当たりの都市ごみ焼却灰および飛灰の発生量は人口100万人の大都市であっても、100トン程度であり、日産1万トンのセメント工場で使用する全原料の1%にも満たない。この程度の量であれば、前述の成分変動の影響も大きくはなく、自区内ないし至近距離に普通セメント工場のある自治体であれば、発生する都市ごみ焼却灰/飛灰の全量をセメント原料として再資源化することが可能であ

る。但し、普通セメントには、JISによる世界で最も厳しい塩素含有量規制(200ppm以下)があるため、数%ないし10数%のオーダーで塩素を含む焼却灰/飛灰をそのまま工程に投入することはできない。水洗による都市ごみ焼却飛灰の水洗脱塩は、この問題を解決する技術で、水溶性の塩化物を水に溶解後固液分離することにより97%程度の脱塩率が確保される。脱塩後の飛灰は、別に異物除去工程を経た塩素含有の少ない焼却灰と共にセメント原料の一部として利用される。分離滤液は、塩素以外に重金属が含まれるため、排水処理が行われるが、その際のpH調整には、セメントキルン排ガス(CO₂20%程度の酸性ガス)が利用される。この方法で処理された焼却灰および飛灰は、普通セメントの原料に最大3%まで混合使用することができる(図5)。埼玉県熊谷市のセメント工場では、同市発生焼却灰および飛灰を本方式でセメント原料化する実証試験を続けてきたが、近くに県内全域を対象とした本格設備を稼働させるべく、建設、許認可取得などの準備作業を進めているところである。また、上述の通り、生産能力の大きな普通セメントキルンを利用した本方式は、再資源化能力が極めて大きいため、県境を越えた広域から焼却灰/飛灰を持ち込んだ場合でも十分に対応が可能であるが、その実現のためには、自区内処理や県外廃棄物の持ち込み禁止といった従来の考え方からの脱却が必要である。

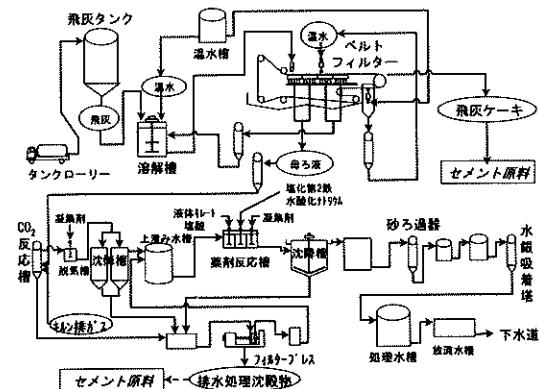


図5 飛灰水洗脱塩システム³⁾

なお、平成11年7月に公布されたダイオキシン類対策特別措置法および平成12年1月の同法に基づく厚生省令により、都市ごみ焼却灰と飛灰のダイオキシン含有について基準値が定められた。これにより、飛灰からの重金属溶出防止を目的とした厚生省告示の4つの方法の内、高温によるダイオキシン分解の効果の期待できる溶融以外の方法で飛灰を処理している焼却施設

では、何らかの追加対策が必要となった（既設炉については平成 14 年 11 月まで適用除外）。一方、平成 12 年 1 月の同告示の改正により、従来の 4 つの方法に焼成法が追加された。焼成法の要件は 1000°C 以上の温度、温度の連続的な記録、排ガス処理施設の設置である。セメント焼成キルンと飛灰水洗脱塩プロセスの組合せは、これらをすべて満たしており、溶融法以外で処理されている既設炉の飛灰を平成 14 年の適用除外終了期間以降も大量、適正に無害化、資源化するための決め手として期待される。

3.3 都市ごみ焼却灰のエコセメント原料化

エコセメントは、都市ごみ焼却灰／飛灰に必要最小限の天然原料および下水汚泥などの廃棄物を加えて製造するセメントである。生産されるエコセメントの量は、原料となる焼却灰／飛灰と同量ないし 2 倍程度であり、1 つのエコセメント工場の生産規模は普通セメント工場のそれと比較すると一桁ないし二桁小さく、新規に工場を建設する場合でも、小さな投資で済む。即ち、普通セメント工場の利用が困難な地域に、焼却灰／飛灰の再資源化専用のセメント工場を新設する場合に適した手法といえる。図 6 に、その製造フローを示す。

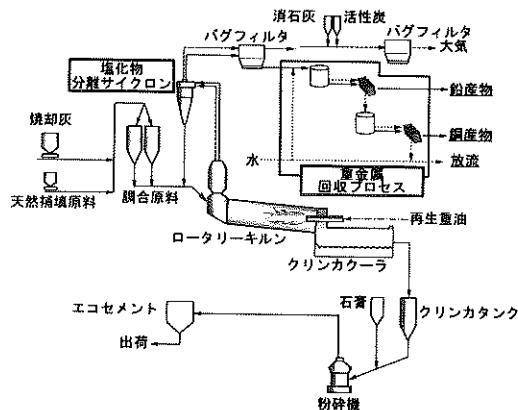


図 6 エコセメント製造プロセス

エコセメント方式には、原料に占める焼却灰／飛灰の割合が高いためその組成のバラツキと変動が製品の品質に影響を与えるやすいという難点がある。このため、普通セメントでは行われないバッチ単位の慎重な原料調合が行われる。また、焼却灰／飛灰が高率で配合されることに伴い、それらから持ち込まれる塩素、重金属の影響も相応に大きくなる。普通セメントでの水洗脱塩工程は、塩化ナトリウムなどの水溶性塩化物しか

除去ができないため、それ以外の塩化物も総量としては多いエコセメント製造への適用は難しい。そこで、塩素を一旦アルカリ塩化物および重金属塩化物として揮散させ、冷却によって凝縮した微細粒子をサイクロンで原料粉末から分離、除去する方法で塩素の除去を行っている。この原理は、前出の塩素バイパスと基本的に同じであるが、余剰塩素を残さないために、塩素量に見合ったアルカリ（炭酸ナトリウム）を原料に添加する。また、持ち込み塩素量が桁違いに多いため、バイパスではなく、排ガスの全量をサイクロンに通して、最大限の塩化物回収を行う。

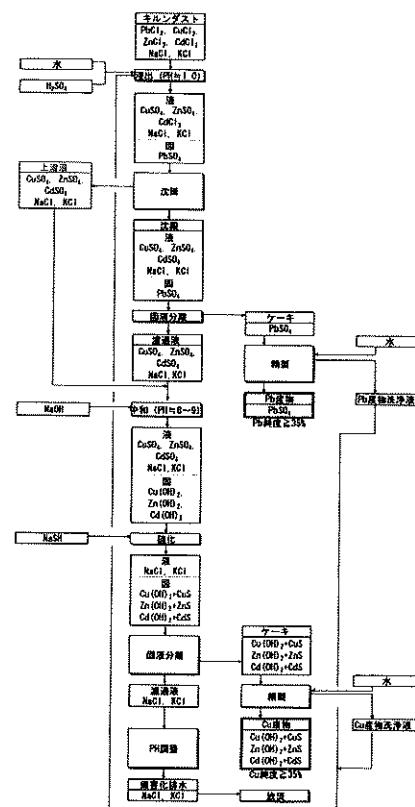


図 7 塩素含有ダスト再資源化プロセス²⁾

系外へ抜き出した塩化物のほとんどは、NaCl、KCl であるが、重金属の塩化物も含まれる。そこで、このダストを出発原料として、含有重金属を高純度で回収しようとするのが、塩素含有ダスト再資源化プロセス（通称「山元還元プロセス」）である。このプロセスでは、重金属塩化物と塩化ナトリウム、塩化カリウムを水溶液状態とした後、硫酸、水硫化ソーダなどを加えて重金属のみを硫化物、水酸化物として沈殿させて分

離するものである。この結果、溶液側には NaCl と KCl のみが残り、完全に無害な排水として放流することも可能となる。硫化物、水酸化物として沈殿側に回収されるのは「鉛産物」と「銅産物」の 2 つで、それぞれの純金属としての純度は、35%以上であり、そのまま精錬原鉱とすることができる。このプロセスのフローを図 7 に示す。

最初のエコセメントプラントは、千葉県エコタウンプランの中核として同県市原市に建設中であり、平成 13 年春に稼働開始の予定である。完成後は、県内で発生する都市ごみ焼却灰／飛灰 6.2 万トン/年と産業廃棄物 2.8 万トン/年を原料として、年間約 11 万トンのエコセメントを生産する。これとは別に、東京三多摩地域広域処分組合により、東京三多摩地域エコセメント化計画が平成 16 年度稼働に向けて進行中である。こちらは、三多摩全域（人口約 380 万人）の市町村から集めた都市ごみ焼却灰／飛灰 12.5 万トン/年から 16.1 万トン/年、18.6 万トン/年のエコセメントを生産する計画である。

3.4 都市ごみのセメント原料化

以上述べた都市ごみ焼却灰／飛灰のセメント原料化とは別のアプローチとして、都市ごみそのものをセメント原料化する方法がある。この方法では、ごみ収集車で回収されたごみをそのままセメント工場に持ち込むことにより、都市ごみ焼却施設は不要となり、ダイオキシン生成の危険もなくなる。

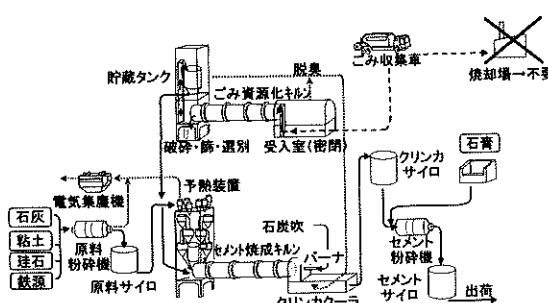


図 8 都市ごみセメント原料化プロセス

このプロセスは、ごみ資源化用とセメント焼成用の 2 本のロータリーキルンで構成されるが、前者は、遊休のセメント焼成キルンを利用して利用することができる。ごみ資源化キルンでは通風によって好気性雰囲気が保たれる中でごみの好気性発酵が行われる。この工程の初期には糖分、でんぶん等の炭水化物と蛋白質が分解し、さらに時間をかけるとセルロース等の難分解性成分も

分解する。投入後 3 日程度をかけてキルンから排出される時点で、ごみ中の有機物のほとんどが分解されて悪臭が無く、ハンドリングも良好なセメント原料が得られる。この資源化物を隣接のセメント焼成キルンでセメント原料として利用する。このプロセスを図 8 に示す。

本技術は、埼玉県日高市のセメント工場の遊休キルンおよび稼働キルンを用いて、平成 13 年 2 月から 1 年間の実証試験が行われ、その後本格運転に移行する予定である。

4. 下水汚泥のセメント原料化^①

下水汚泥のセメント原料としての利用には、大別して、汚泥焼却灰を粘土代替として原料調合段階で添加する方法と脱水汚泥をそのままキルン後部ないしプレヒータ下部へ投入する方法がある。前者では、リン等のセメント品質へ悪影響を及ぼす物質が濃縮されるため、原料調合には注意を要する。後者では、セメント工場への荷卸し時および汚泥輸送段階での悪臭飛散防止など、周辺環境への配慮が必要である。消臭滅菌対策としては、生石灰を主体とする添加剤を脱水汚泥に添加して混合・熟成処理する方法がある。この技術は、平成 4 年度「建設省新技術活用モデル事業」に指定され、奈良県に実用化プラントを建設、稼働を待っている。

5. おわりに

産業廃棄物を中心に古くから廃棄物再資源化の先兵となってきたセメント産業であるが、その大量処理能力、工程中の 1400°C を越える高温によるダイオキシン破壊能力、広範囲の廃棄物にセメントの必須成分を求めるこことできる柔軟性、さらに都市ごみ中の有害重金属をも都市鉱山とも言うべき金属資源に変える重金属回収技術により、今後は都市ごみなど一般廃棄物に関するもの、その再資源化の中核となることが期待される。これを実現し、真のゼロ・エミッション、資源循環型社会を構築するために、行政および住民の一層の理解、協力を期待するとともに、引き続き、業界をあげての新技术の開発、改良を継続して行きたい。

参考文献

- 1)玉重宇幹：セメント・コンクリート, 643, 14-21(2000)
- 2)山本由里子：エコインダストリー, 20, 3, 35-44(1998)
- 3)渡辺孝司：資源処理技術, 46, 2, 23-26(1999)

形状分離のリサイクリングへの応用*

大矢仁史**、古屋仲茂樹**、鈴木繁幸**、
遠藤茂寿**、岩田博行**

Application of Shape Separation to Recycling

Hitoshi OHYA, Shigeki KOYANAKA, Shigeyuki SUZUKI,
Shigehisa ENDOH, Hiroyuki IWATA

1. 緒言

固体粒子を形状にしたがって分離するという作業は、古くから農業の分野で穀物や種子中の異物を除去し品位を高めるために広く行われ、種々の工夫や考案がなされてきた。近年この技術が粒子の形を備えることによって粒子素材としての機能性向上や粒子集合体としてのハンドリング性向上が得られることから、農業に限らず粉粒体を取り扱う鉱工業の幅広い分野での各種形状分離の新しい手法の開発が行われている。

機能性材料に関して、物理的あるいは化学的に多様な特性を持つ微粒子が、エレクトロニクス素材、ファインセラミクスなど各方面で重要視されつつある。一方、粉粒体形状は集合体あるいは單一粒子状態での力学的性質や充填構造を支配し、また材料としての機能を発揮させるための重要な因子である。その一例として球形粒子は充填性がよく、複合材料やセラミクス、粉末冶金等でのほかプリント基板用ハンダビーズ、複写用トナーのキャリアなどに要求されている。化粧品では球形粒子のほか偏平粒子、さらに纖維強化プラスチックには針状粒子が要求されている。

このように粒子の形状は、粉粒体を扱う上で粒径、組成、密度と並んで重要な特性の1つとなっているにもかかわらず、粒子をその製造段階で全て目的とする形状に整粒する事は困難であるため、一度製造された粒子の中から目的の形状を有する粒子を選択的に分離する方法が考えられている¹⁾。

また、最近では未利用資源の精製や資源リサイクルの分野で形状分離を利用して有価物を回収する試みがなされている。これは、昨今の地球環境問題を背景として今までの生産システムを見直し、循環型社会を目指した新しい社会システム構築を目指して行われているリサイクル技術開発の一貫である。

*平成12年11月16日本会第105回例会において発表
**資源環境技術総合研究所素材資源部
平成12年9月20日受理

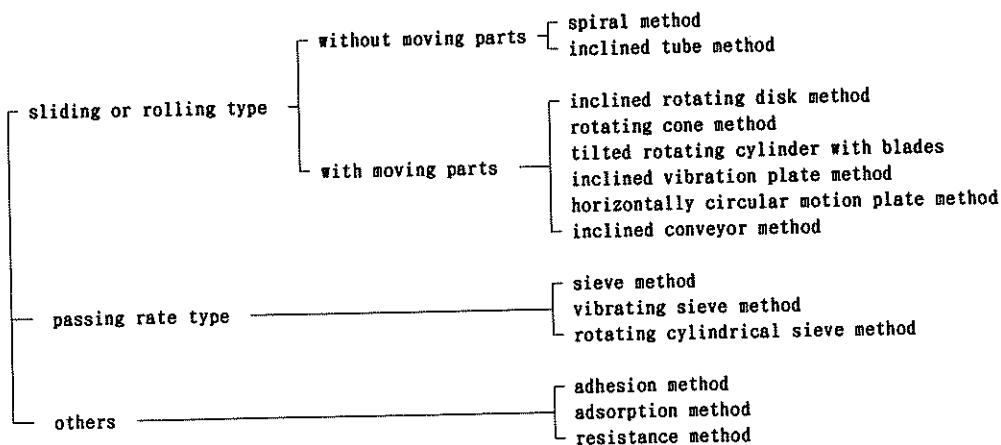
そもそも、工業技術の発達は、物質的に豊かな生活を実現すると同時に、資源・エネルギーの大量消費、環境汚染、廃棄物の増大などの問題をもたらした。今後の持続的発展に向けては、廃棄物のリサイクルを推進し、資源・エネルギーの消費を抑制する循環型社会を構築する必要があると考えられている。

現在は、その実施に向けて、リサイクルの要素技術の開発が行われており、通産省は業界団体等を通じてその技術開発を支援している。包装容器に関してはペットボトルのリサイクルが開始されているが、コストと再生品の用途開発に問題を抱えている。家電については、(財)家電製品協会によるリサイクル実証プラントの試験が平成10年度に終了した。自動車に関しては、シェレッダーストの減容ガス化のパイロットプラントが(財)日本自動車研究所に設置され、評価試験が実施された。家電、自動車の取り組みに共通する問題は、素材の分離・精製に関して、既製のユニットプロセスを組み合わせてシステムを組み上げるにとどまっており、リサイクルすべき対象への最適化が十分でないため、効率が低く処理コストも高い点があげられる。

今年の通常国会では、循環型社会形成促進基本法、資源有効利用促進法が成立し、再資源化のターゲットが建設資材、OA機器、食品に拡大されつつある^{2)、3)}。また、それらを基にして、今年4月に容器包装リサイクル法の全面施行、来年4月の特定家庭用機器再商品化法(家電リサイクル法)の本格施行等行政による循環型社会構築のための社会的基盤確立も徐々に進み、2000年は循環型社会形成元年と呼ばれるにふさわしい様相を呈している。

一般に廃棄物処理プロセスは再利用などを目的とした識別・分別から始まり、解体、単体分離・粉碎、分離・選別、精製・高純度化、無害化、焼却、埋立・貯留といった単位操作から構成される。なかでも物理的な分離技術は低環境負荷型の再資源化にとって重要な役割を果たす。特に、固体廃棄物を対象とした場合、鉱物処理技術

Table 1 Assortment of shape separation



である単体分離技術と機械的分離・選別技術が重要な要素技術となる。

固体粒子の形状分離技術は、機械的分離・選別技術の一つに位置づけられ、リサイクルに適用できる技術開発が期待されている。そこで、形状分離研究の流れとそのリサイクルへの応用例について以下に紹介する。

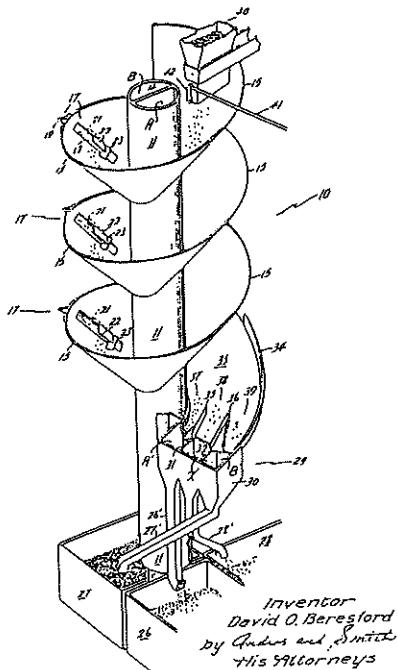


Fig.1 Spiral method

2. 形状分離技術

2. 1 形状分離装置の分類

粒子の形状分離を行うには、粒子の形状に基づく特性値の差が何かをまず考えなければならない。その特性値としては、摩擦またはころがり、篩い通過速度、付着力などがある。これらの原理にしたがって分類したのが表1である。摩擦またはころがりの差を利用した分離装置が最も多く、古くから研究されている。以下では、Table 1の順に各形状分離装置について簡単に説明を加える。

2. 2 摩擦・ころがり利用型

まず、駆動部を有しない装置として Beresford⁴⁾ の装置が掲げられる。重力のみを利用して、Fig.1 のように

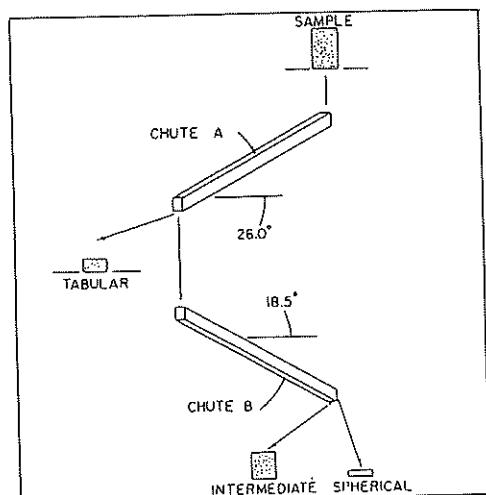


Fig.2 Inclined chute method

スパイラル状の板上で粒子を転がすことによって、球形で速く転がるものほど大きな遠心力を受け外側へ振り回され、そうでないものほど内側で回収し、形状分離を行う。その他にも粒子の滞留量を減らすためにバッファプレートが取り付けられ、球形・非球形それぞれの粒子をスパイラル板上でかき取って回収する工夫が施されている。

上記装置の説明でも述べたが、球形粒子は非球形粒子よりも速く転がる。この速度差に注目したのが、GlezenenとLudwiche⁵⁾による傾斜管型形状分離機である。この装置は、長さ112インチの2種類の角度を持った真っ直ぐな傾斜管上で、球形粒子と非球形粒子を転がし、その速度差を利用して川砂を形状分離したものである。原理は同じであるがWaldie⁶⁾は、回転円管を用いた回分処理用の装置を試作し、ガラスと砂の混合物の分離などを行っている。

駆動部を有する装置として最もよく研究が行われているのは、傾斜回転円板法であろう。元来穀物や種子の分離のために1907年にFig.3のような装置がThompson⁷⁾によって開発されたのが始まりである。同様の装置としては、Prinz⁸⁾、Lotozky⁹⁾、Ulrich¹⁰⁾によっても報告されているが、傾斜回転円板法についてはCarpenter、Deitz¹¹⁾、Riley¹²⁾、Klar¹³⁾らによって詳細に検討されている。球形粒子は円板の動きに関係なく傾斜方向にころがるが、非球形粒子は傾斜によってころがるよりも円板の回転によって運ばれる傾向があることが分離の原理として揚げられる。杉本ら^{14)、15)}は、板状に滞留している非球形粒子群をほぐす目的でうず巻き状のスクレーパーを取り付け、形状分離の精度を高めている。

山本ら^{16)、17)}は、Fig.4のような回転傘型板に上記のスクレーパーを取り付けることによって、分離精度の向上と、一定の形状指数に基づく多成分形状の分離（種々の形状を持った粒子群からある特定形状を持った粒子を選び出すこと）が可能となると報告している。さらに山本ら¹⁸⁾は、この装置に振動を加えることにより、微粒子にも形状分離が適用できるとしている。

古内ら¹⁹⁾は、複数のブレードを付けた傾斜回転円筒法を考案している。この分離機はFig.5-aに示すように内壁に互いに平行なブレードを1列に取り付けた円筒を傾斜させ、ゆっくりと回転させる構造になっている。したがって非球形粒子は、ブレードによってかき上げられ円筒上方出口方向に押し出され、下方に転がり落ちる前に次のブレードにかき上げられ円筒出口方向に次々と運ばれていく。一方球形粒子は、傾斜方向への転がりが

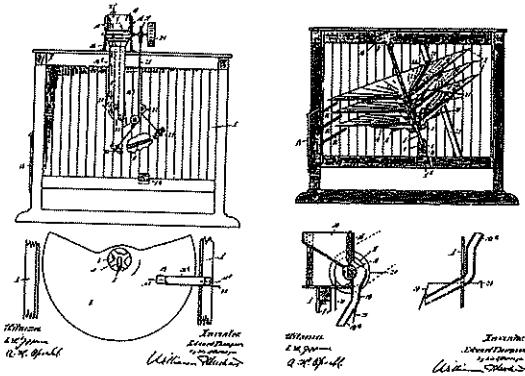


Fig.3 Thompson's separator

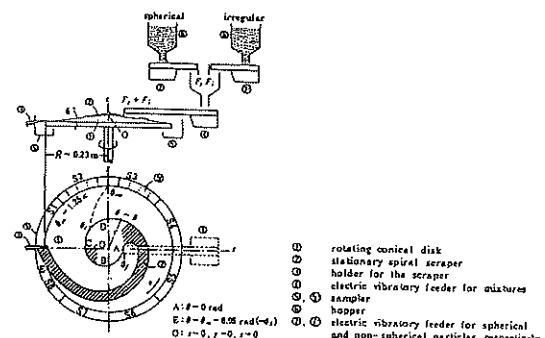
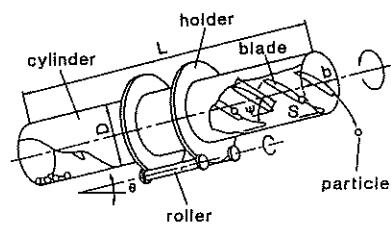
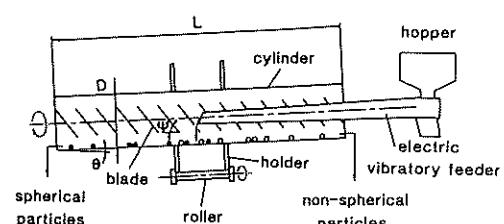


Fig.4 Rotating cone method



(a) Batch type



(b) Continuous type

Fig.5 Tilted rotating cylinder with blades

大きいため、次のプレードにかき上げられる前に転がり落ち底に留まる。この分離装置は、一つのプレードを一単位とする直列多段分離構造であるため分級効率が極めて高くなる。さらに Fig.5-b のような連続型装置²⁰⁾についても実験を行ない、シリカゲル球形粒子とポリスチレン非球形粒子の分離で高い効率を得ている。

傾斜振動板法は、阿部ら²¹⁾によって開発された。この装置は、言ふなれば振動フィーダーを搬送方向に正の勾配となるように傾斜を持たせたような構造を有する。球形粒子は傾斜の影響で低い方に運ばれ、非球形粒子は傾斜の影響を余り受けず、フィーダーの搬送に乗って高い方向へ運ばれる。この方法の特徴は、振動場を使用しているために粒子のはぐれが良く、対象粒子径を小さくすることが可能となる。

岩田らは、粒子のはぐれが良い円振動場を用いて対象粒径の微細化をねらった水平円振動法²²⁾や粒子を傾斜板全体に存在させることができるために、分離効率低下の原因となる滞留非球形粒子量を少なくし、多成分形状分離も可能と思われる傾斜コンベア法²³⁾、微細な振動と振動板全体への軌跡が広範囲に分散するため分離効率の高い傾斜振動板法²⁴⁾について検討を行った。

これらの摩擦・ころがり利用型の装置では、その原理から粒子の大きさにあまり関係なく形状分離が可能であるが、非球形粒子の装置内への滞留や付着が分離効率低下の原因となりやすく、その対象粒径も数 $100 \mu\text{m}$ 程度が限界と考えられる。

2.3 幾何学的形状利用型

一定の孔を通過する粒子の通過速度は、球形に近い粒子ほど早く、球形からの偏奇が大きいほど遅くなる。

この事実は、M eloy ら^{25), 26)}や遠藤ら²⁷⁾によって明らかにされている。ふるいを積み重ねた構造を持った Meloy らの装置を用いればふるい分けの形状の違いによる速度差を利用して回分処理での粒子形状分離が可能であると考えられる。

しかし装置化を考えれば、連続操作が必要となる。そこで Hsing ら²⁸⁾は、傾斜させた平面篩を用いて連続形状分離操作を行った。

さらに古内ら²⁹⁾は、傾斜させた円筒篩を用いてそれをゆっくり回転させて目つまりの少ない連続形状分離操作を提案した。Fig.10 では、粒子が回転円筒ふるい中をゆっくり移動するあいだに、その滞留時間に応じて球形度の高い粒子から低い粒子の順に回収される。古内らは、この装置で針状亜鉛粒子の長さに基づく分離を行ったと報告している。

これらの篩を用いた方法では、針状および棒状粒

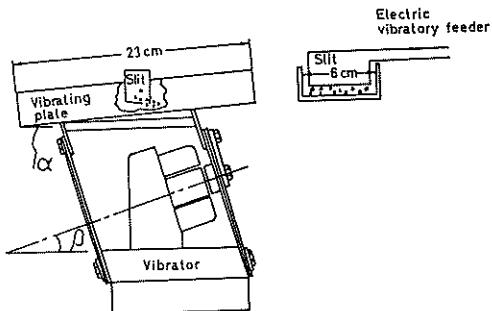


Fig.6 Inclined vibration method

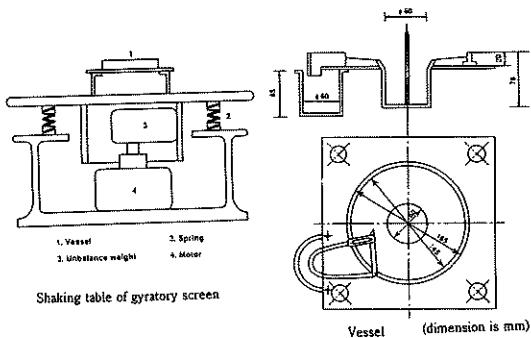


Fig.7 Horizontally circular motion plate

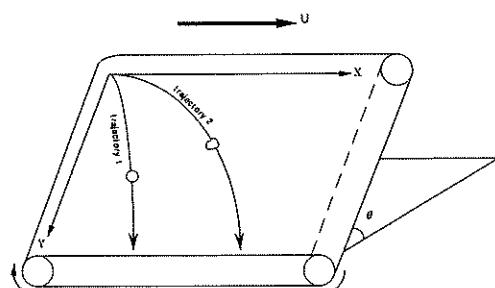


Fig.8 Inclined conveyor

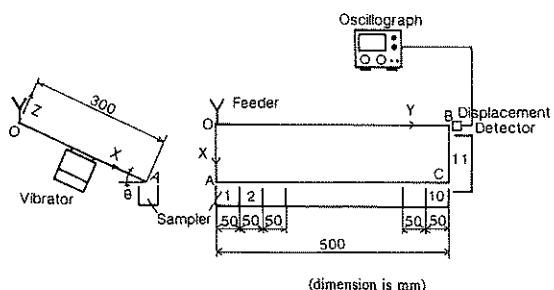


Fig.9 Inclined vibration plate

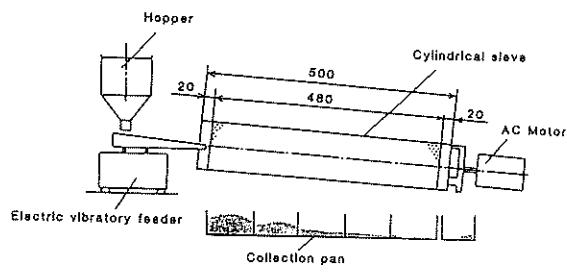


Fig.10 Rotating cylindrical sieve method

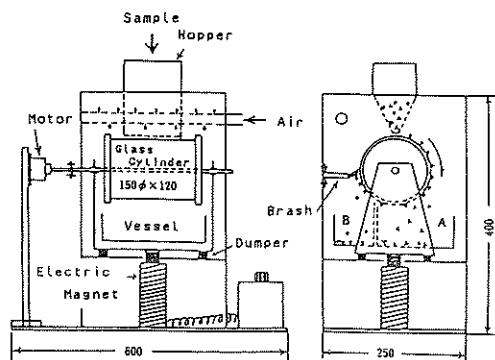


Fig.11 Adhesion method

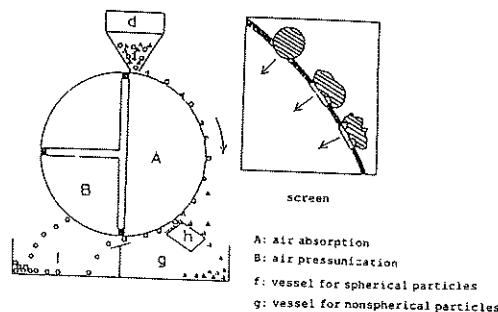


Fig.12 Absorption method

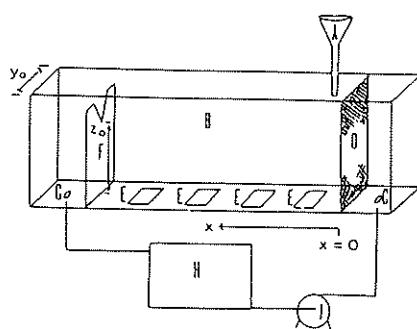


Fig.13 Resistance method

子の長短比に基づく分離が良好に行える。

2. 4 その他

粒子と壁との付着力は、湿度と粒子径および粒子の形状に依存する。したがって、適当な方法で粒度を調整した固体粒子は、一定の湿度雰囲気下ではその形状によって付着力が違う。この原理にしたがって佐野ら³⁰⁾は、Fig.12 に示す付着法形状分離機を製作した。この装置は、ガラス円筒に付着させた粒子を、付着力の小さい非球形粒子は容器 A で、付着力の大きい球形粒子は容器 B で回収するものである。この方法によって、今まで形状分離が困難であった微粒子の分離として、数 $10 \mu\text{m}$ のガラス粒子の形状分離が行われた。

また佐野ら³¹⁾は、円形の吸引孔への吸引力が、球形粒子ほど孔をぴったり塞ぐことができるので大きいことを利用して、吸引法を提案した。この装置の概略図が Fig.12 であり、球形粒子は f で、非球形粒子は g で回収される。

Fig.13 には、Mulari³²⁾の装置を示すが、これは形状分離には珍しく湿式の装置として注目に値するものである。

遠藤ら³³⁾は Fig.14 に示すように液体サイクロンでのカットポイントと自然沈降で測定される粒子直径の関係が粒子の形状によって影響を受けることを指摘し、液中での微粒子を用いた形状分離の可能性を示唆した。

3. 形状分離のリサイクリングへの応用例

廃棄物を対象とする場合、単体分離操作を経た粒子の大きさは鉱石の場合と比較して大きい場合がほとんどである。したがって、形状分離技術の適用範囲は比較的広い。形状分離技術をリサイクリングに応用した例としては、インクライン選別機による都市ゴミや建設系廃棄物の分別³⁴⁾、傾斜コンベア選別機による廃自動車シェレッダーグスト中有価金属の回収³⁵⁾などが挙げられる。

一般に、大きさや形状による分離技術は機構的にシンプルであり低環境負荷、低コストプロセスであると言える。粉碎段階で碎製物粒子の大きさや形状をさらに調整することができれば、形状分離技術の適用範囲はさらに拡大していくものと思われる。

また、形状分離技術の発達によって今まで注目されていなかった未利用資源利用や精製プロセスの高度化が行われる例もある。以下では、本研究室での研究結果を中心にそれらの技術開発について概説する。

3. 1 未利用資源の精製

雲母片岩は花崗岩が風化、運搬、堆積などの地質作用

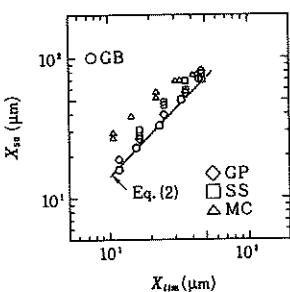


Fig. 14 Cutoff diameter of cyclones and stokes diameter

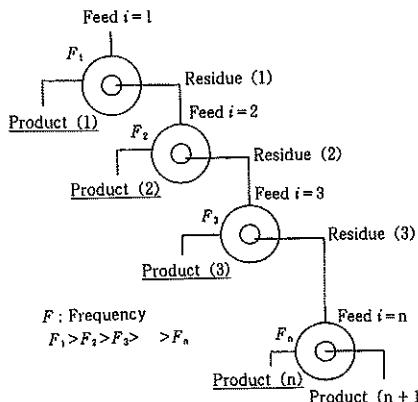
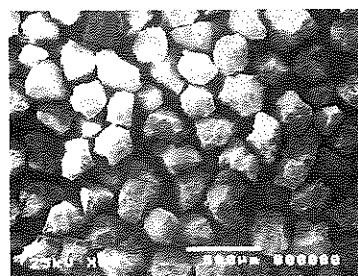


Fig. 15 Cascade of horizontally circular motion plates



(a) Recovered mica



(b) Recovered quartz

Fig. 16 Recovered mica and quartz

で雲母と石英が堆積、変成された岩石である。したがって雲母と石英を分離することによってそれぞれの物質を利用できる可能性がある。しかし、その両成分は比重が同じであり、物理的な方法ではそれらを分離、精製することは困難であったためその利用は考えられず、放置ないしは捨てられていた。

そこで、李らは高速槽円ロータ型混合装置を用いた雲母、石英の両方をそれぞれの形を保ったまま単体分離可能な方法とそれらを傾斜振動板法による相互分離方法を開発し、Fig. 15 にみられるような雲母、石英の回収技術を開発した^{3,6)}。また、岩田らは研磨剤用に合成された人造ダイヤモンドの精製に水平円振動法による形状分離技術を利用して、この人造ダンヤモンド粉末は、500 mm以下で一般により多くの面を有するほどその価値が高く、合成中に合成粒子の割れなどで多面体形状が著しく破損する場合も多い。そこで、微小粒子をわずかな形状の差を利用して分離を行うために Fig. 16 のような水平円振動法による形状分離装置をカスケードに配置することによって目的を達成した^{3,7)}。

3. 2 リサイクルへの応用

リサイクルの分野では、固体粒子を大量に扱う必要がある。その点でいえば投入粒子の移動速度が速く、処理量の増大を計ることができる傾斜コンベア法が有用である。著者らは Fig. 17 のような球形人工鉄物砂を鉄物砂廃棄物から分離、精製する目的でこの形状分離装置を用いた研究を行った^{3,8)}。その結果から投入粒子処理量をさらに増大するために、投入粒子供給方法を点状から線状に改良し、粒子滞留量による処理速度を見積もる半理論式を提出した。

また、古屋伸らはプリント基板廃棄物から銅を回収する目的で傾斜振動板法の形状分離装置を用いることを試みた^{3,9,40)}。プリント基板端材はプリント基板の工程廃棄物であり、ガラス繊維で強化された樹脂基板の両面に銅箔をペーストしたものである。プリント基板は、パソコンや家電製品のなかで最も複合化された材料といえる。一般的のプリント基板を処理する際にも、ICなどを加熱処理等によって簡単に分離したあとの配線基板から銅を回収する際にも同様の操作が利用できる。

このようなプリント基板廃棄物から銅を回収するには、鉱物処理操作を用いるのが有効になる。それは、金属は延性、展性に富むことを利用し、単体分離時にハンマーミルを用いることにより、同時に形状調整も可能のことである。具体的には、ハンマーミルライナー部分を転がるときに銅は球状に、ガラスは針状に、樹脂は不規則状になる。その形状の差異を利用して形状分離を行うこと

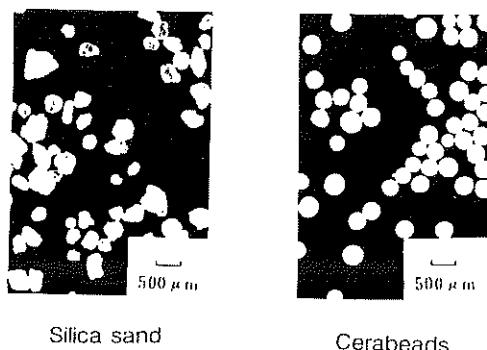


Fig.17 Reclaimed foundry sands
(mixture of silica sands and artificial cerabeads)

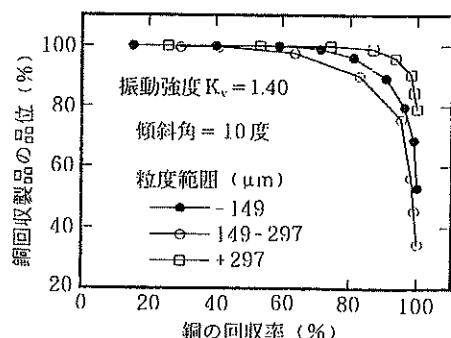


Fig.18 Recovery of copper from printed wiring board

で Fig.18 のように品位 9.1 % で 9.8 % の銅を回収できる技術を確立した。また、その粉碎工程での単体分離の状態についても考察を行った⁴¹⁾。

4. 今後の展開

大量生産、大量消費を基にした社会は終わりをつけ、循環型社会の創生がさけばれるようになっている。しかしながら、リデュース、リユースの推進は今のところ限界があり、リサイクルが循環型社会構築のための中心になる技術に位置づけられ、新しいリサイクル技術の開発が待たれている。

ただし、すべてのリサイクル技術が環境問題に貢献できるわけではない。リサイクルを行うことによる環境負荷の増大を指摘する研究者も少なくない。それは、リサイクルによって資源の節約が計られる一方、リサイクルプロセスで消費される資源、エネルギーが生み出す環境負荷が問題になるからである。著者らは、LCA を用いた上記プリント基板端材の環境負荷評価を研究している⁴²⁾。

ただそのような評価を待つまでもなく、ソフトセパレ

ーションと呼ばれる物理選別は一般に低環境負荷であることが多い。问题是、今まで鉱物処理等に用いられてきた選別方法を廃棄物処理に適用するときの不具合である。できるだけ多くの廃棄物処理に応用できる技術の選定と新しい技術開発が最も重要である。したがって、形状分離技術は今までにない新しい分離技術として廃棄物処理、リサイクル技術にその適用範囲を広げ、利用できる可能性がある。

今後も形状分離技術の開発によって廃棄物処理、リサイクルを推進し、循環型社会を構築していくことが地球環境問題を解決していくために重要な方策である。

5. 参考文献

- 1) 茂呂端生、岩田博行、大矢仁史：固体粒子の形状分離に関する調査研究、公害資源研究所、(1989)
- 2) 岩田悟志：資源処理学会第1回シンポジウム講演資料、1、東京(2000)
- 3) 牧野征男：資源処理学会第1回シンポジウム講演資料、4、東京(2000)
- 4) D. O. Beresford: U.S. Patent 2,724,498 (1955)
- 5) W. H. Glezen, J. C. Ludwick: J. Sediment Petrology, 33, 23 (1963)
- 6) B. Waldie: Powder Technology, 7, 244 (1973)
- 7) E. Thompson: U.S. Patent 871,536 (1907)
- 8) F. Prinz: U.S. Patent 897,489 (1908)
- 9) A. Lotozky: U.S. Patent 1,190,926 (1916)
- 10) C. J. Ulrich: U.S. Patent 1,291,278 (1919)
- 11) F. G. Carpenter, V. R. Deitz: J. Res. Nat. Bureau of Standards, 47, 139 (1951)
- 12) G. S. Riley: Powder Technology, 2, 315 (1968)
- 13) E. Klar: Powder Technology, 3, 313 (1969)
- 14) M. Sugimoto, K. Yamamoto, J. C. Williams: J. Chem. Eng. Japan, 10, 137 (1977)
- 15) 山本健市、杉本益規：粉体工学会誌 16, 521 (1979)
- 16) 山本健市、杉本益規：粉体工学会誌 22, 626 (1985)
- 17) 山本健市、杉本益規：粉体工学会誌 22, 813 (1985)
- 18) 山本健市、杉本益規：粉体工学会誌 30, 620 (1993)
- 19) M. Furuchi, M. Nakagawa, M. Suzuki, H. Tsuyumine, K. Goto: Powder Technology, 50, 137 (1987)
- 20) M. Furuchi, K. Goto: Powder Technology, 54, 31 (1988)
- 21) E. Abe, H. Hirose: J. Chem. Eng. Japan, 15, 323 (1982)
- 22) 大矢仁史、岩田博行、古屋伸茂樹、遠藤茂寿：資源処理技術 46, 13 (1999)
- 23) H. Ohya, S. Endoh, M. Yamamoto, H. Iwata, C. Ikeda: Powder Technology, 77, 55 (1993)

- 24) S. Endoh, H. Ohya, C. Ikeda, H. Iwata: Full Text of CHISA Conference, C5, 128 (1993)
- 25) T. P. Meloy, N. Clark, T. E. Durney, B. Pitchumani: Chem Eng. Sci., 40, 1077 (1985)
- 26) N. Clark, T. P. Meloy: Powder Technology, 54, 271 (1988)
- 27) S. Endoh, Y. Koga, K. Yamaguchi: Powder Sci. Tech. Japan, 2, 7 (1984)
- 28) N. B. Hsyung, J. K. Beddow, A. F. Vetter: Proc. 8th Powder and Bulk Solids Conf. (1983)
- 29) M. Furuuchi, C. Yamada, K. Goto: Proc. 2nd World Congress Particle Tech., Kyoto (1990)
- 30) 佐野茂、八嶋三郎:資源・素材学会秋期大会資料集, T-1 (1987)
- 31) S. Sano, M. Mikaidoh: Proc. 2nd World Congress Particle Tech., Kyoto (1990)
- 32) C. Mulari, B. Pitchumani, N. N. Clark: Inter. J. Min. Proc., 18, 237 (1986)
- 33) 遠藤茂寿、大矢仁史、池田千尋、増田薰、鈴木繁幸、岩田博行:粉体工学会誌 29, 838 (1992)
- 34) 松原仁志:粉体工学会第30回技術討論会テキスト, 9. 東京 (1995)
- 35) C. Izumikawa: Proc. of Earth '99, 74, Tuskuba (1999)
- 36) 李敏溶、吳熙贊、古屋仲茂樹、遠藤茂寿、大矢仁史:粉体工学会誌 34, 515 (1997)
- 37) 岩田博行、大矢仁史、増田薰、遠藤茂寿、古屋仲茂樹:粉体工学会誌 36, 112 (1999)
- 38) Ohya H., S. Endoh, H. Iwata, T. Honma, Y. Hamano: Powder Technology, submitted
- 39) 古屋仲茂樹、遠藤茂寿、岩田博行:粉体工学会誌 32, 385 (1995)
- 40) J. C. Lee, S. Koyanaka, M. Y. Lee, H. Ohya, S. Endoh: Shigen to Sozai, 113, 357 (1997)
- 41) 古屋仲茂樹、大矢仁史、李在天、岩田博行、遠藤茂寿:粉体工学会誌 36, 476 (1999)
- 42) 鈴木繁幸、大矢仁史、遠藤茂寿、岡浩司、茂呂端生、大蔵隆彦:資源・素材学会秋期大会講演要旨集, 印刷中 (2000)

会 務 告 告

(平成12年9月)

資源処理学会シンポジウム 「リサイクル設計と分離精製技術」 第1回：家電リサイクルと分離精製技術 結果報告

一伊達 稔

1. 開催に至る経緯

平成12年1月に開催された平成12年度の当会の予算編成についての評議員会において、当会の今後の会員増、財政の健全化を図るために、どのような対策があるか検討し、提言をするチームが編成され、関西・中部のメンバーが担当するところで、若松会長を中心に、栗本の辻さん、神鋼パンティックの川井さん、事務局の中西さん（堀口さん）と一伊達が当たることになりました。

その結果は、会告でお知らせましたが、その中で、会員増を図り、収入を増加させるには、会員外への積極的な情報発信と当会の技術的特長を前面に出して、関心を持って貰うことが重要との考えで up to date な話題をテーマにシンポジウムを開催することを提案致しました。

検討の中で、開催時期を考えたとき、9月と2月が適当となりましたが、平成12年9月中に開催となれば、改めてシンポジウムの開催に向けての担当者を選任していくには時間がなく、一方、健全化対策は待てないとのことと、検討提言チームがシンポジウムの開催準備チームに自然発生的に変化して活動を始めました。

シンポジウムに関する考え方として、

- 1) 表題を「テーマ」としたシリーズで開催する。第1回は「家電リサイクルと分離精製技術」とする。
 - 2) 講演・講師は、具体的なテーマに合わせて会員外の人々が興味を示す様に幅広く選ぶ。
 - 3) 開催場所は東京で交通至便にする。
 - 4) 参加費は非会員は高くする。
 - 5) 会誌の中から抜粋論文を合本にして関連参考資料として有償提供する。
 - 6) 開催は年1回程度とする。
- など基本的なことを決め準備に入りました。

その間に、開催場所を東京にしたことと関連官庁等に広い知己をお持ちのためアイテク開発の鈴木さんに参加をお願いし、会場の選択、懇親会の設定、官庁及び家電製品協会への依頼等大変尽力頂きました。

5月には、各講演者の内諾を得て、会場を決めて基本

的枠組みが出来ました。6月の例会での理事会では改善提言は承認されましたが、準備の方は自然発生チームが続行していました。8月の常任理事会で正式にチームに承認され、以後、新聞発表、E-mail 広報、DM、口コミなどに理事はじめ多くの方々の御協力で参加者の募集に努め、開催数日前で100名を越してますますの見込みが立ちました。

2. アンケートの結果について

アンケートの回収率は総数132名の出席で、官庁講演者2名を除き、130名のうち81名から回答を得ました。

シンポジウムの参加目的では、実情を勉強するが49.5%、実務に役立てるが29.7%です。総合評価は良いが70.4%、まあまあが28.4%で大多数の方々から御支持が得られたものと思います。

会場については、設備面は好評でしたが、OHP が小さい等見易さの点で改善が必要です。

参加者の職種では製造業が44.4%ですが、リサイクル業の方が11名居られることから、会員拡大の分野と考えられます。

また、次回テーマへの御希望も建築廃材処理など35項目に渡り頂戴し、今後の参考となり、開催の継続に期待が持てる結果となりました。

3. 新会員増加効果について

シンポジウム開催により、会員の増加を図る目的については、以前会員であった方の復帰を含めて、10月末現在7名入会頂きました。また、賛助会員も1社増加致しました。

やはり、新しい発想による積極的な情報発信は会員増に有効と思われます。

4. 会計報告

(千円)			
	費 目	予 算	決 算
収 入	参加費	1,500	1,343
	ライトパーティ費		180
	資料販売費		66
合 計		1,500	1,589
支 出	諸経費	780	809,484
	剩余金	720	779,516
合 計		1,500	1,589

ほぼ予定通りの決算になりました。