

循環型社会を築くりサイクル技術

Recycling Technologies for Promoting a Circulatory Society

堀田 裕久 総合リサイクル事業センター 事業推進部 部長 Hirohisa Hotta

当社では循環型社会に対応するため、廃棄物を循環資源として捉え、製鉄所の製鉄原料として再利用するための技術開発を行ってきた。2000年4月のリサイクル法の完全施行にも対応し、容器包装プラスチック、使用済みペットボトル、使用済み家電製品などの再資源化工場を建設し、リサイクル事業を展開している。さらに、今後施行される建設廃棄物や使用済み自動車のリサイクルに対応する研究開発も進めている。本稿では、これらの循環社会を築くりサイクル技術について概説する。

NKK has developed a number of recycling technologies to recycle wastes as raw materials in iron and steel making processes. In response to the enactment of a series of recycling laws since 2000, NKK started new businesses of recycling waste plastics, used home electrical appliances, and waste PET bottles. Further, R&D on recycling construction and demolition debris and used motor vehicles is ongoing. This paper outlines the new businesses and technologies NKK has developed for recycling resources.

1. はじめに

現在、地球温暖化防止（CO₂削減）とともに廃棄物処理が今後の循環型社会形成のための重要な社会的課題として広く認識されるに至っている。

当社では、長年培った鉄鋼技術とエンジニアリング技術のシナジー効果を生かして、省資源・省エネルギー・環境保護に全社を挙げて取り込んできた。その中で、首都圏に位置する京浜製鉄所は、都市共生・環境調和型製鉄所を目指し、都市廃棄物の循環利用の可能性を追求してきた。以下に製鉄所の製鉄プロセスを最大限に利用したリサイクル事業およびその技術を紹介する。

2. 当社のリサイクル事業展開

2.1 リサイクル法

1991年に制定された「資源有効利用の促進に関する法律」では、廃棄物を有用な資源としてリサイクルする考え方が示され、製造者が使用済み廃棄物のリサイクルに責任を持つという「拡大生産者責任」の考えが導入された。さらに、2000年6月には「循環型社会形成推進基本法」が成立し、不法処理・投棄などの問題解決のために、廃棄物を「循環資源」としてリサイクル促進するとともに、廃棄物の発生を抑制（Reduce）、再使用（Reuse）を優先し、それでダメなら再生（Recycle）、熱回収、適正処理を行うという考えが示された。

また、当社のリサイクル事業の契機となった「容器包装に係わる分別収集及び再商品化の促進等に関する法律（容器包装リサイクル法）」は1995年6月に公布され、2000

年4月に完全施行された。

国内で発生する使用済みプラスチックは、図1に示すように、産業廃棄物系および一般廃棄物系を合わせて約980万トン（1999年）で、その33%の約320万トンが埋め立て処分されている。有効利用されているものは全体の46%の約452万トンに留まっている。

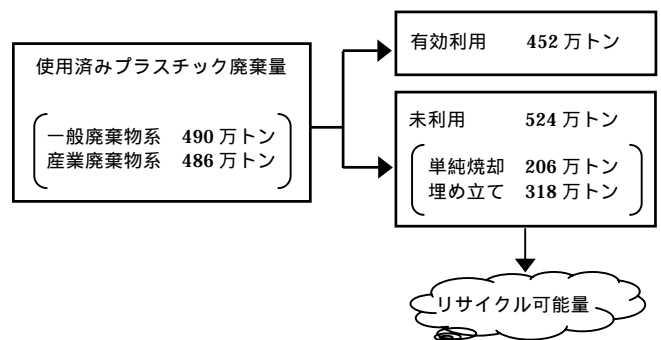


図1 使用済みプラスチックの廃棄量と処理状況
(1999年 全国使用済みプラ廃棄量：976万トン/年)

図2に家庭ごみ中に占める容器包装ごみの割合を示す。容器包装ごみは重量基準では約20%であるが、容積基準では約60%を占め、中でもプラスチックは約40%を占めている。したがって容器包装ごみの再資源化を行うことは、自治体のごみ処理負荷を軽減するだけでなく、使用済みプラスチックの有効利用率を高めることにつながる。

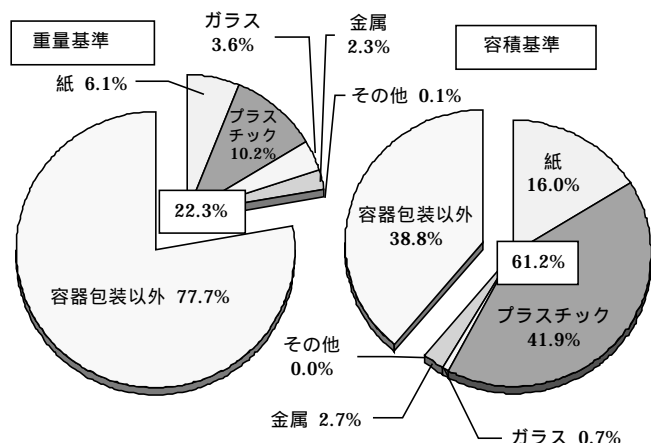


図2 家庭ごみ中の容器包装ごみの割合

2.2 使用済みプラスチックリサイクル

2.2.1 高炉原料化（ケミカルリサイクル）

(1) 扇島地区における産業廃棄物系プラスチックの処理

製鉄用高炉ではコークスをCOにガス化し、その還元作用で鉄鉱石（酸化鉄）を鉄に還元している。使用済みプラスチックはこのコークスの代替として高炉用還元剤として利用することができる。プラスチックを破碎・造粒した後、高炉下部の羽口部分より高炉内に吹き込む。吹き込まれたプラスチックはCOとH₂に分解され還元ガスとして鉄鉱石を鉄に還元する。H₂による還元反応があるため、コークスだけで操業する場合と比べ、CO₂の発生量が約30%少なくなる。吹き込まれたプラスチックは約60%が鉄鉱石の還元に使われ、残り40%は所内の発電所や熱風炉の燃料として利用される。しかし、塩化ビニル（PVC）などの塩素含有プラスチックは、発生する塩化水素によって高炉設備を腐食する危険があり、利用できていない。

ボトルなどの固形プラスチックは、破碎機によって所定粒径に破碎し、直接吹き込むが、フィルム状プラスチックは、粉碎した後、造粒機で所定の粒径に造粒して吹き込む。

でいる。産業廃棄物系プラスチックは、入荷時にPVCの混入を避けることができるためPVC分離は必要ない。

当社京浜製鉄所第1高炉では、1996年10月より、PVC以外の産業廃棄物系プラスチックの高炉原料化を実施し、年間約5万トンのプラスチックを高炉還元剤として再利用している。

現在、電気・通信、自動車・機械、化学、印刷、プラスチック加工、スーパーなど数百社の企業と契約し、対象地域も首都圏を中心に北海道から九州まで、全国的な広がりを見せている。

(2) 福山、水江地区における一般廃棄物系プラスチックの処理

2000年4月に容器包装リサイクル法が全面施行され、一般廃棄物系プラスチックの内、プラスチック製容器包装の再商品化が開始された。

自治体は住民が分別排出したプラスチック製容器包装を分別回収し、分別基準適合物として前処理・保管するとともに、日本容器包装リサイクル協会と分別基準適合物の引き取り契約を締結する。そしてその再商品化費用は、特定事業者（商品に容器包装を用いる事業者もしくはその容器を製造する事業者）が大半を負担する。

再商品化手法としては、ケミカルリサイクル手法として、高炉還元剤のほかに、油化、ガス化とコークス原料化が指定されている。高炉原料化処理フローを図3に示す。

高炉原料化設備では、圧縮固縛された分別基準適合物を解砕した後、揺動式プラスチック選別機に掛け、残存する異物の除去を行う。固形・ボトル類は手選別ラインを通し、再商品化不適合物の除去を行った後、破碎機で所定の粒径に破碎し、高炉用還元剤とする。

一方、フィルム類は破碎機によって所定粒径に破碎後、プラスチックの比重差を利用した遠心式比重分離装置によってPVCを取り除く。PVCが分離されたフィルム類は造粒機によって所定の粒径に造粒し高炉用還元剤とする。

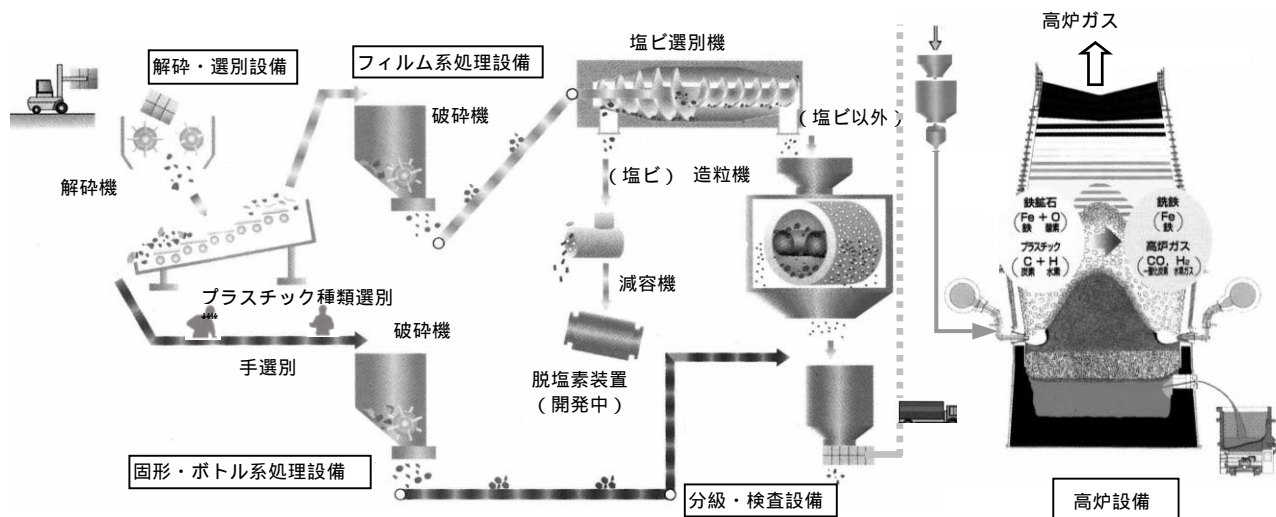


図3 高炉原料化設備フロー

2000年4月から完全施行されたプラスチック製容器包装の再商品化に対応するため、京浜（川崎市）および福山（広島県）の両製鉄所に、年間約12万トンの処理能力を持つ、高炉原料化設備を稼働させている。

2.2.2 使用済みペットボトルの再資源化（マテリアルリサイクル）

容器包装リサイクル法に基づく使用済みペットボトル（清涼飲料、醤油、酒類用）の再資源化事業は、1997年度より既に幾つかの会社により実施されている。ペットボトルの国内使用量は年々増加しており、2001年度には40万トンに迫る勢いである。一方、市町村における収集計画量は2001年度で17万トンであり、収集率は44%と97年度の10%に比較して飛躍的な伸びを示し、今後も増加するものと期待される。

当社グループでは京浜製鉄所水江地区内に年間処理能力1万トン規模の再資源化工場を建設し、2002年4月より再商品化事業を開始した。

図4に使用済みペットボトルの再資源化設備の処理フローを示す。この設備は使用済みペットボトルの内、透明ボトルを対象に再生ペット樹脂フレークに加工するものである。市町村によって収集された使用済みペットボトルには色付きボトルやキャップ、ラベルなどの異物が混入している。これらの異物をいかに効率良く、高精度で分離するかがこの設備の重要なポイントとなる。このため、機械選別、手選別、自動他材質ボトル選別装置やラベル、キャップ分離装置を組み合わせている。なお、これらの異物は隣接する使用済みプラスチック高炉原料化設備に送り、高炉用還元剤として、製鉄所で再利用する。

このように、本施設は製鉄所内に位置することを最大限

に利用することによって、廃棄物をほとんど発生させることなく、使用済みペットボトルの再資源化を達成することができるという大きな特長を持っている。

なお、再生ペットフレークは従来、綿やシート用に使われることが多かったが、この設備ではアルカリ洗浄を採用し、高級繊維用の再生ペットフレークを主に製造する。

2.2.3 前処理 PFI (Private Finance Initiative)

容器包装リサイクル法においては使用済みプラスチック製容器包装やペットボトルは各自治体が家庭から収集し、選別・圧縮・固縛し保管することが義務付けられている。このため、自治体によってはこれらの業務を民間企業の経営資源とノウハウを公共事業に活用するPFI事業として実施し始めている。

当社グループではこれらのPFI事業に積極的に参加し、仙台市や名古屋市から委託を受け、容器包装プラスチックの選別・圧縮・固縛選別施設を建設し、2000年より操業している。

2.3 使用済み家電リサイクル

2001年4月に「特定家庭用機器再商品化法」（家電リサイクル法）が施行された。本事業を行うために当社は、三井物産㈱、三洋電機㈱などと共同出資して施行に先立って新会社を設立した（2000年8月）。

家電リサイクル法では、家電4品目（テレビ、洗濯機、エアコン、冷蔵庫）について、家電製品製造者にそのリサイクル義務が課せられ、自らリサイクル事業を行うか、他の会社に委託することになっている。

新会社は、家電製品製造者の委託を受けて、当社京浜製鉄所構内に家電4品目合計で年間80万台の処理ができる再資源化工場を建設し、2001年度より事業を行っている。

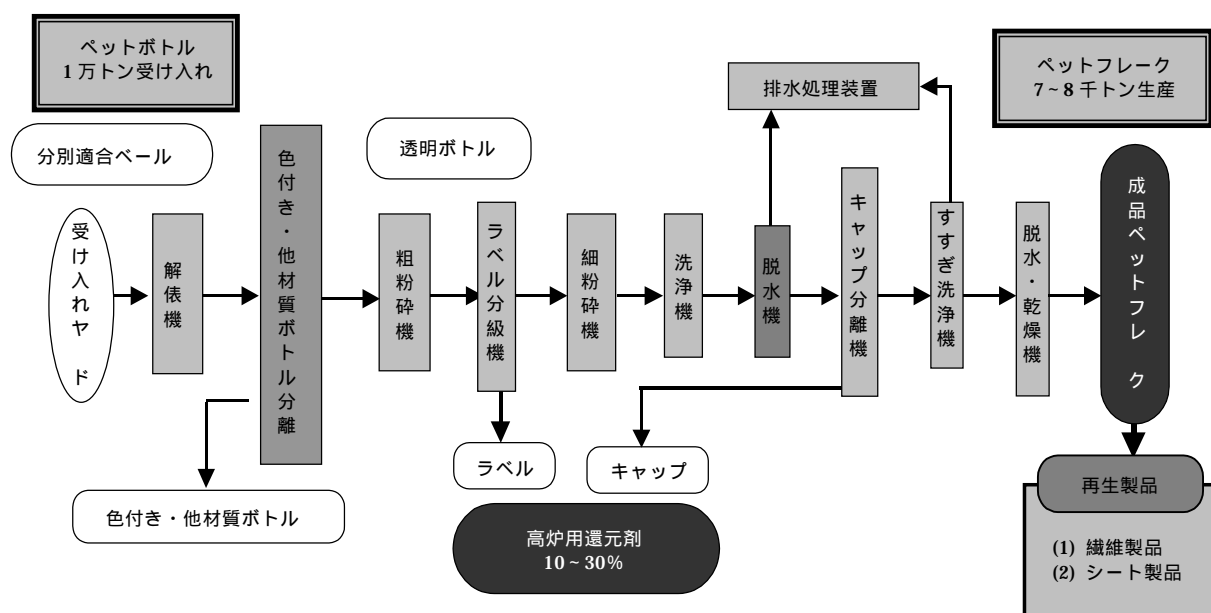


図4 使用済みペットボトルの再資源化設備の処理フロー

図5に4品目の素材構成を示す。テレビのガラス比率が他に比べ高いが、鉄、プラスチック、非鉄80%以上を占めている。法律で定められた再資源化率はテレビ55%以上、冷蔵庫50%以上、洗濯機50%以上、エアコン60%以上であり、これを達成させるためには、鉄、プラスチック、非鉄を効率良く回収することが重要となる。

設備導入に際しては当社で培われた破砕技術とリサイクル技術をベースにして、使用済み家電のリサイクル率を高めるよう装置設計を行った。図6に使用済み家電再資源化処理フローおよび回収物の再利用先を示す。設備構成は前分別工程である手選別設備と破砕・選別設備からなっている。

手解体設備は使用済み家電製品が入った専用のコンテナから手解体場に取り出すハンドリング装置、秤量器、作業台、冷蔵庫/エアコン用の冷媒フロン回収装置などで構成されている。破砕・選別設備は粗大ごみ処理で長年の実績

がある破砕機、風力選別機、磁力選別機、非鉄選別機、ウレタン減容機、断熱フロン回収装置などで構成されている。

テレビ処理棟ではテレビの基板、ケーブルなどを回収しブラウン管を筐体と分離する。プラスチックの筐体は高炉原料として利用している。ブラウン管は専門のカレット会社にて処理され、ブラウン管原料として再利用されている。

前処理・破砕棟では、テレビ以外の3品目の手解体を行っている。冷蔵庫およびエアコンの手解体では、テレビと同様にプラスチックなどの回収を行うほか、冷媒フロンを回収している。洗濯機についても同様の回収のほか、洗濯槽の上部にバランサー用として取り付けられている塩水リングから塩水を取り除き別途委託処理をしている。

手解体された後残ったものが破砕機に投入され機械選別される。風力選別機では冷蔵庫断熱ウレタンが分離された後圧縮減容され高炉原料として利用される。断熱ウレタンには発泡剤としてフロンなどが使われているが、当プラントでは破砕、圧縮減容の工程で脱気した後、活性炭を使った発泡剤回収装置にて吸着、回収しており、オゾン層保護、地球温暖化防止に貢献している。磁力選別機で鉄を、非鉄選別機で非鉄を回収し製鉄原料として利用される。

本施設の再商品化処理から回収する資源の大部分を当社の製鉄プロセスで活用できる点に事業の特徴がある。特に家電素材の約3割を占めるプラスチックについては使用済みプラスチック高炉原料化事業に直結できる優位性を持っている。この結果当社家電製品再資源化工場でのリサイクル率は80%を超えているが、90%以上のリサイクル率を目指し研究開発を行っている。

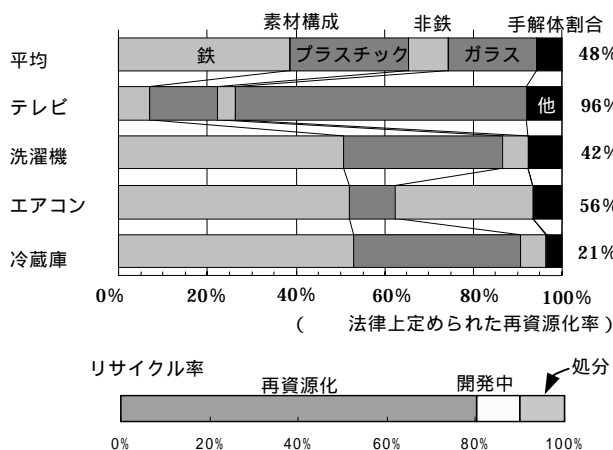


図5 使用済み家電の素材構成と再資源化率

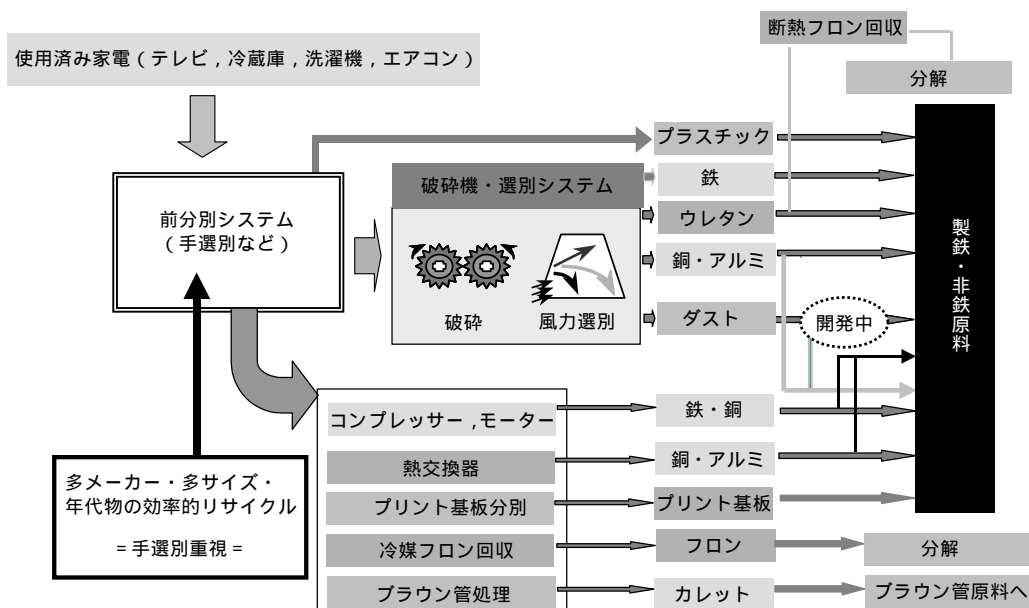


図6 使用済み家電再資源化処理フロー

3. 循環型社会を築く今後のリサイクル技術

3.1 高炉原料化技術の更なる拡大・発展

3.1.1 PVCの脱塩素による高炉原料化

使用済みプラスチックの高炉原料化設備では、不適物であるPVCは分離除去している。このPVCを高炉原料として利用できれば、ほとんどすべてのプラスチックを高炉原料化することが可能となる。

酸素を遮断した雰囲気の中で、PVC類を300～400に加熱処理することによって、PVC類は熱分解し塩化水素を発生させる。この現象を利用して、PVC類を熱分解し、熱分解残渣を高炉還元剤にするとともに、発生した塩化水素を回収することができれば、完全リサイクルを達成することができる。

熱分解脱塩素技術は、混合プラスチックの中に、PVC類が2%～30%程度含まれている場合とPVC類単独あるいは50%以上を含有する場合とで異なっている。

PVC類の含有量が低い場合には、熱分解物に流動性があるため、反応容器内でスクリーやパドルによって攪拌・搬送しながら、熱分解を行う。熱分解物は冷却後造粒し、高炉還元剤として利用する。なお、発生する塩化水素は比較的濃度が低いため中和処理する。

PVC類単独あるいは50%以上の場合には、熱分解残渣の流動性がない。このため、外熱式のロータリーキルン内で媒体とともに攪拌し、熱分解を行った後熱分解物を冷却後破碎し、高炉用還元剤として利用する。媒体としては製鉄所内の原料である粉コークスを用いており、熱分解物の塊状化防止およびキルン内壁への付着防止の役割を果たしている。また、熱分解によって発生する塩化水素は吸収塔で水に吸収させた後、再度蒸留することによって精製し、塩酸として回収する。

1999年から、プラスチック処理促進協会と塩ビ工業・環境協会と共同で、塩酸回収を含めた高濃度PVC脱塩素の実証プラント(5000トン/年規模)を建設し、実証試験を通して、本プロセスのほぼ技術的見通しを得た。その処理フローを図7に示す。

3.1.2 木屑の高炉原料化

建設資材リサイクル法において、建設廃木材の再資源化が規定されており、現状40%の再資源化率を2010年には95%に高めることが求められている。廃木材の主成分は石炭と同様に炭素であるため、高炉に還元剤として吹き込むことができれば、再資源化が達成できると考えられる。

写真1に木屑の高炉原料化試験設備を示す。受け入れた廃木材は粗破碎した後、磁選機で釘・金具を取り除きさらに、粉碎機で所定のサイズにチップ化する。チップ化された廃木材はプラスチック同様、吹き込み装置によって高炉内に吹き込み鉄鉱石の還元剤として再資源化する。現在開発・実証試験中である。



写真1 木屑の高炉原料化設備

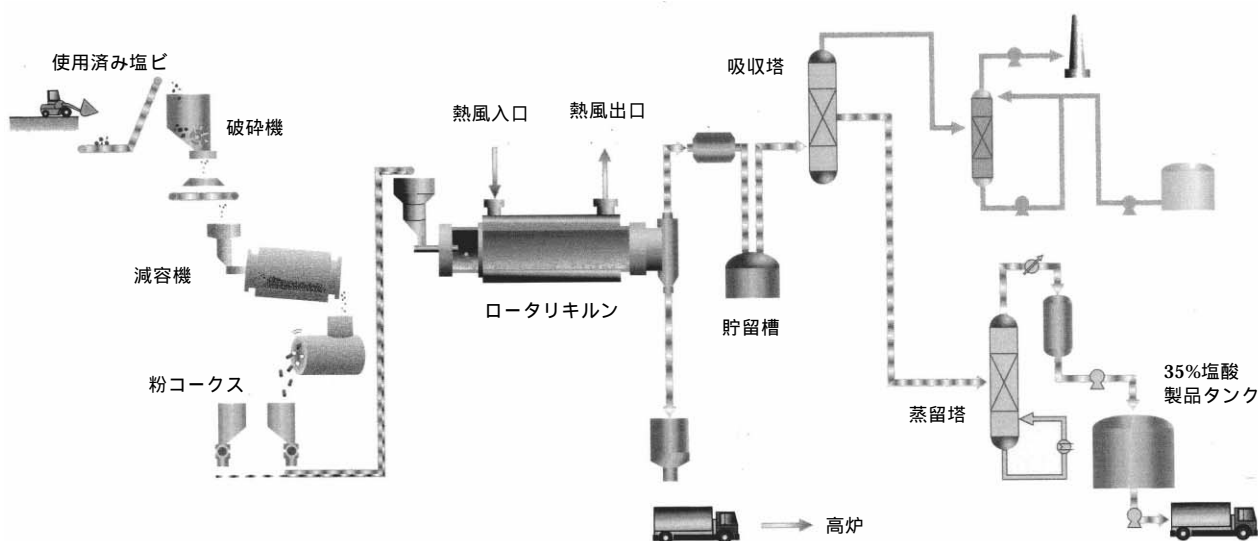


図7 塩化ビニル高炉原料化プロセス

3.2 熱媒浴によるシュレッダーダスト処理

使用済み自動車や家電の処理におけるシュレッダーダストの処理が大きな社会問題となっている。このダストの中には、PVC 被覆導線やハロゲン系難燃プラスチックが含まれており、現状では大半が埋め立て処分されている。

この問題の解決方法として、図 8 に示すように、約 300 に加熱したコールタール系熱媒中にダストを浸漬処理することによって、プラスチック、金属類そして無機類に高速分離する熱媒浴法を開発した。

この方法によれば、ポリエチレンやポリプロピレンなどプラスチックは浮上物として回収され、所定粒径に造粒することによって、高炉還元剤として利用できる。一方、PVC やハロゲン含有プラスチックは熱分解して脱ハロゲン化され、分解物は浮上物として回収され、高炉還元剤として利用できる。さらに、ウレタンは熱分解によって脱ガスされて減容化され、同様に還元剤として利用できる。

一方、鉄や銅はガラス、砂などと一緒沈降物として回収されるが、さらに鉄、銅を分離し、これらを循環資源として製鉄原料などに再利用できる。

将来、熱媒浴法を適用すれば、使用済み自動車のリサイクル率を 95%以上にすることが期待される。

3.3 建設廃材、使用済み自動車リサイクル対応

今後法律が施行されるものとして、2004 年施行予定の自動車リサイクル法がある。

建設廃材の再資源化には、高炉原料化だけでなく、廃棄物中の不燃物を溶融スラグ・メタル化すると同時に可燃物をガス燃料化するガス化溶融炉が、今後大きな役割を果たすと予想される。また、自動車リサイクル法では 2015 年以降にリサイクル率 95%、シュレッダーダストの埋め立て量を 1996 年の 1/5 以下にすることが定められている。この目標を達成するためには、ガス化溶融炉や熱媒浴法を抜きにしては実現できないものと考えられ、ガス化溶融炉に対する期待が大きく膨らんでいる。

4. おわりに

リサイクルに関して当社が現在取り組んでいる事業と開発技術について述べてきた。都市型製鉄所は廃棄物の大量発生地を背後に有するという最大の特徴を生かすことのできるリサイクル事業を取り込むことによって、新たな存在価値を創生することに成功した。特に、製鉄所の既存設備をうまく利用することによって廃棄物を循環資源として生まれ変わらせることができ、これらの循環資源は製鉄原料として有効利用される。今後も、建設廃棄物、自動車廃棄物、更には食品廃棄物などの法制化とともに、タイムリーな技術開発と事業化を循環型社会の形成に向けて積極的に推進して行きたいと考えている。

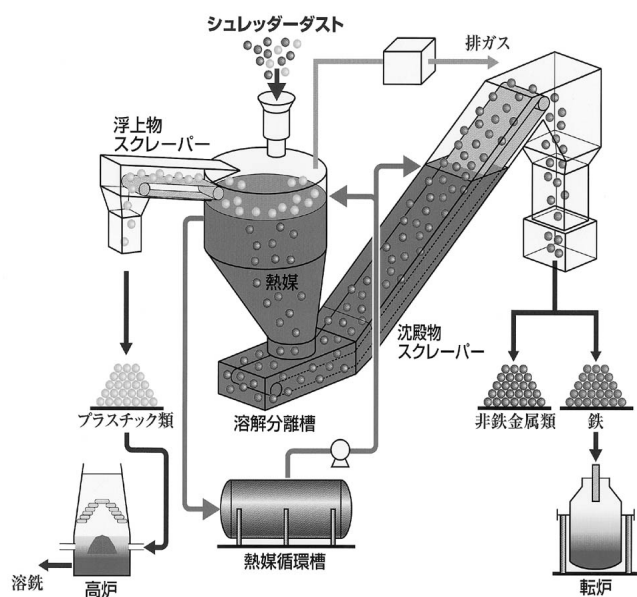


図 8 熱媒浴によるシュレッダーダスト処理