

(解説)

# 廃プラスチックの製鉄所利用

吉田康夫\*・野沢健太郎\*・松井良行\*\*・船曳哲史\*\*\*・峯 隆夫\*\*\*\*

\*鉄鋼部門・加古川製鉄所・製鉄部 \*\*鉄鋼部門・加古川製鉄所・技術研究センター \*\*\*鉄鋼部門・加古川製鉄所・設備・エネルギー部  
\*\*\*\*鉄鋼部門・加古川製鉄所・計画管理部

## Utilization of Waste Plastic in Steel Works

Yasuo Yoshida・Kentarō Nozawa・Yoshiyuki Matsui・Tetsuhito Funabiki・Takao Mine

Recently, waste plastics reclamation and recycling has become a major environmental issue. In May 1999, Kobe Steel's Kakogawa Works boosted up the project in which waste plastic was either burned to generate electric power or used as fuel and also reducing agent in blast furnaces. In order to achieve stable blast furnace injection, an original process technology for granulating the waste plastic into uniform particles for injection into tuyere was developed.

まえがき = 近年、廃棄物処理場の残余容量の減少や焼却炉のダイオキシン対策負担増などから、廃プラスチック（以下廃プラ）を安全かつ多量に処理する方策への社会的ニーズが高まってきている。一方、鉄鋼業界では1997年のCOP3（気候変動枠組条約第3回締約国会議）京都会議を受けて、2010年までに1990年度比10%減の省エネルギー達成に加えて、1.5%に相当する廃プラなどの未利用エネルギー活用を行動目標に掲げている。

そこで当社加古川製鉄所では、1999年5月より産業廃棄物としての廃プラを受入れ、自家発電用ボイラでの使用を開始した。さらに2000年4月からは高炉での利用も開始し、製鉄所での廃プラ利用を本格化させた。

当面は、高炉で年間約1万トンを使用し、年間7千トン規模の廃プラを使用している発電用ボイラと合わせて年間1万7千トンの廃プラを使用する体制を構築している。

本報では、当社における廃プラのリサイクル状況について紹介する。

### 1. 廃プラ処理プロセス

廃棄物は、『廃棄物の処理及び清掃に関する法律』に基づき、家庭から出る廃棄物（一般廃棄物）はその市町村が収集し、処理または再生をおこなうことになっている。また、事業所から出る廃棄物（産業廃棄物）については、

事業者自らが処理をおこなうか、法律で定める基準に合致した処理業者に収集・処理を委託するように定められている。

廃プラについては、年間880万トン程度廃棄されており、一般廃棄物と産業廃棄物はほぼ同量である。

現在、廃プラの内約75%が再利用されることなく、焼却や埋立てによる従来の方法で処理されている。

第1図にプラスチック製品のリサイクル状況を示している。

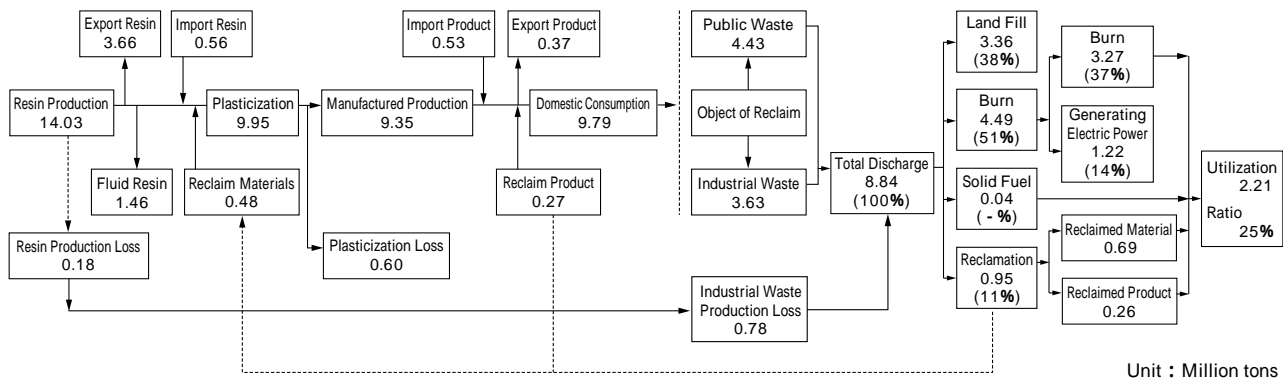
当社は、まず産業廃棄物としての廃プラを対象に製鉄所利用を検討することにした。関西圏における産業廃棄物としての廃プラについてその発生量および処理状況を調査したところ、製鉄所利用が充分可能であると判断した。

ただし、ポリ塩化ビニル（以下PVC）については、製鉄所利用設備を損傷することが懸念されるため回収段階で除外することとした。

当社で導入した廃プラ処理フローを第2図に示す。

受入れられた廃プラは、貯留ヤードに一時仮置きされ、破砕機に投入される。破砕機では、20mm以下に破砕され、発電用ボイラと高炉で使用される。

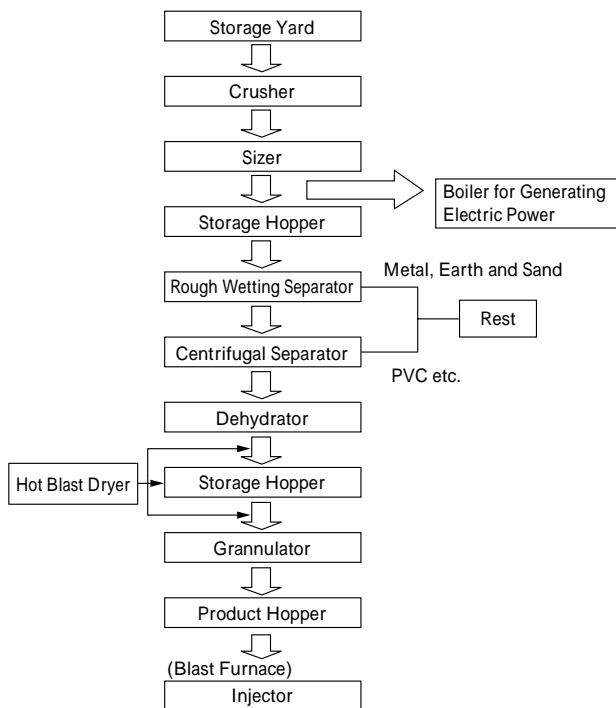
発電用ボイラでは、破砕された廃プラを直接使用するが、高炉の場合には安定した吹込みが不可欠であり、均一な粒子に処理した後使用する。均一な粒子に加工する



Unit : Million tons

Note : Utilization by converting to oil and heat recovery by burning are excluded from statistics. (Source : Plastics Management Promoting Association)

第1図 プラスチック製品のリサイクル状況  
Fig. 1 Flow diagram of plastic reproduction



第2図 廃プラ処理フロー  
Fig. 2 Reproduction flow of waste plastic in Kakogawa Works

設備として溶融造粒機を導入し、その前処理設備として、異物を除去するための湿式粗選別機、PVCを除去するための遠心比重選別機を配置している。

本プロセスの特徴は以下の点である。

廃プラの利用先として発電用ボイラと高炉を有し、フレキシブルな対応を可能にしている。

ほぼ均一な粒度の廃プラを高炉に吹込むため配管詰まりなどのトラブルが皆無である。

遠心選別機によってPVCをほぼ完全に除去可能であり、塩素による設備損傷の懸念がない。

## 2. 廃プラの高炉吹込み

所定の粒度に整粒された廃プラは、貯蔵サイロに一時蓄えられた後、高圧空気によって羽口部に吹込まれる。高炉羽口前面に形成される燃焼空間(レースウェイ)は、約200mmの高温状態であるため、吹込まれた廃プラは、瞬時に還元ガス(CO, H<sub>2</sub>)となり炉内を上昇する過程で鉄鉱石を還元するとともに加熱、溶解すると考えられる。

当所では、燃料の約40%に相当する多量の微粉炭を羽口から吹込み省エネルギー効果を上げている。廃プラ吹込みは、この微粉炭多量吹込み技術を基盤としており、数本の羽口からの吹込み燃料を微粉炭から廃プラに変更することによって短期間で多量の廃プラ吹込みに移行できる点に特徴がある。

そのため廃プラの羽口当りの多量吹込みに先立ち、羽口部での燃焼・ガス化挙動を事前に調査した。

廃プラ吹込みを模擬するためレースウェイ反応炉(高さ2.5m、奥行き2.5mの扇形、羽口1本)をもちい、レースウェイを形成させた状態でプラスチック粒子の吹込み実験をおこなった。プラスチックとしては、平均粒径734μmのポリスチレン粒子をもちい、吹込み原単位は、

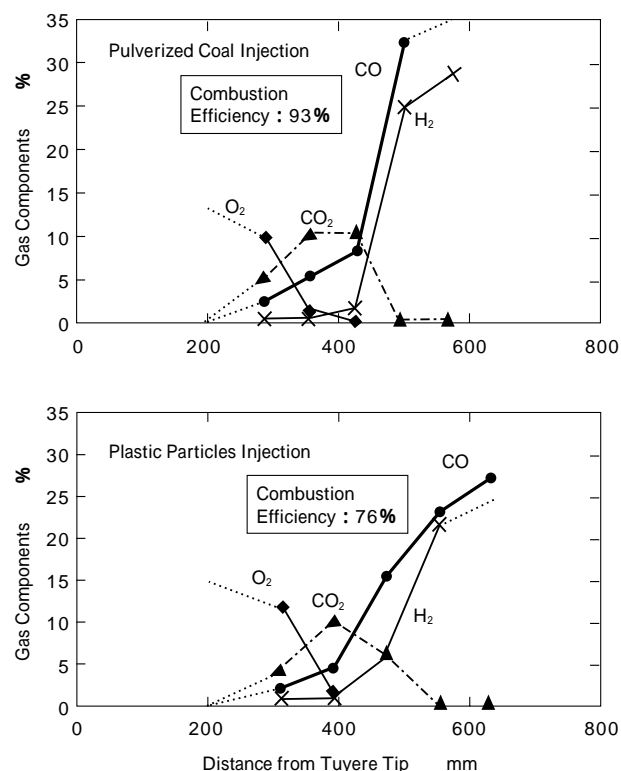
150kg/t(カロリー換算で微粉炭200kg/t吹込み相当)とした。

羽口の反対側からガスサンブラを挿入し、レースウェイ内のガス組成測定により燃焼特性を把握するとともに反応炉への供給コークス量の変化からレースウェイ内の燃焼率を算出し、微粉炭(平均粒径70μm)吹込み時と比較した。

第3図にレースウェイ内のガス組成比較を示す。CO<sub>2</sub>のピーク位置から判断されるプラスチックの燃焼焦点は、微粉炭燃焼とほぼ同位置であり、プラスチック粒子径が大きいにもかかわらず、燃焼初期での酸素燃焼速度は速いことがわかる。一方、CO<sub>2</sub>によるガス化反応にともなうCOガスの生成は、微粉炭燃焼にくらべて緩やかである。これは、プラスチックが細孔構造を持たない緻密な組織であり、粒子表面から徐々に溶融する緩慢な燃焼形態をとるためと推察される。この結果、プラスチックの燃焼率は、微粉炭燃焼率93%にくらべて76%と低いが、この未燃焼分は、十分高炉内でのソリューションロス反応により消費されると判断した。

また、燃焼にともなう圧力損失を測定し、その結果を第1表に示す。実験結果より、微粉炭燃焼にくらべてプラスチック燃焼時は圧力損失が小さいことが確認された。これは、プラスチックには、灰分がなくレースウェイ部でのスラグの生成、滞留がないためであり、炉下部での通気阻害の懸念はないことを示している。

以上の結果より、羽口先での廃プラの反応は、コークス・微粉炭の燃焼による還元ガス発生機構と同等であるため、石炭の代替となる。また炉内で上昇しながら還元、



第3図 プラスチック燃焼時のレースウェイ内ガス組成変化(微粉炭比200kg/t相当)

Fig. 3 Comparison of raceway gas components between pulverized coal and plastic (Calorie equivalent unit: 200kg-coal/t)

第1表 プラスチック燃焼にともなう圧力損失変化

Table 1 Comparison of pressure loss between pulverized coal and plastic

		All Coke	Pulverized Coal	Plastic
Coke Rate	kg/t	253	122	150
Injection Rate	kg/t	0	200	154
Combustion Efficiency %		-	93.3	76.1
Pressure Loss	kg/cm <sup>2</sup>	0.099	0.123 (+ 0.024)	0.108 (+ 0.009)

加熱に利用されたガスは炉頂より排出されるが、この中にはまだCO、H<sub>2</sub>が残存しているため製鉄所の加熱設備でさらに燃料として再利用も可能である。

加古川3高炉に廃プラを銑鉄トン当り3.4kg吹込んだ場合の熱利用率を第4図に示す。高炉に投入された熱量のうち、鉍石の還元や溶銑の着熱に使用される熱量の割合を高炉単体の利用効率と定義すれば、約59%である。さらに高炉ガスを燃料として使用しているボイラおよび高炉熱風炉まで含めた高炉系全体の利用効率は、約76%と非常に高い。

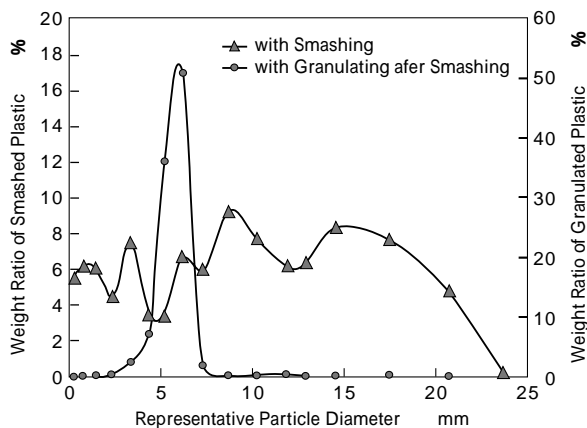
一方、廃プラの安定した高炉吹込みを達成するためには、配管詰まりなどのトラブルを回避することが必要である。

廃プラを単純に破碎した場合には、その粒子径分布が幅広くなるのが一般的である。また、破碎されたプラスチックは、エッジ部を有していることからホッパ内および吹込み配管内の閉塞現象が大きな問題となる。

そこで当社では、溶融造粒機を導入することを決定した。この溶融造粒機では、微粉碎をおこないながらその破碎熱によって廃プラを溶融させ、ペレット状に加工する。したがって、廃プラの種類および形状によらず、均一な粒子を製造できる特徴がある。第5図に単純に破碎

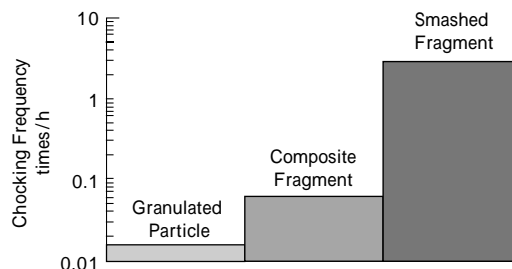
処理した場合と溶融造粒処理後の粒子径分布を示している。溶融造粒機をもちいた処理の場合には、粒子径分布が均一化されていることがわかる。一方、高炉への吹込み状態の安定性を確認する目的から吹込み形状による配管閉塞頻度を実験によって測定した。その結果を第6図に示す。均一な粒子径をもちいた場合には、配管閉塞頻度が大きく低下していることから溶融造粒機による処理によって安定して多量に吹込むことが可能であることが判明した。

PVCは、製鉄所リサイクルの対象外とする方針を受けて、受入れ基準に塩素濃度の上限を設定することとした。



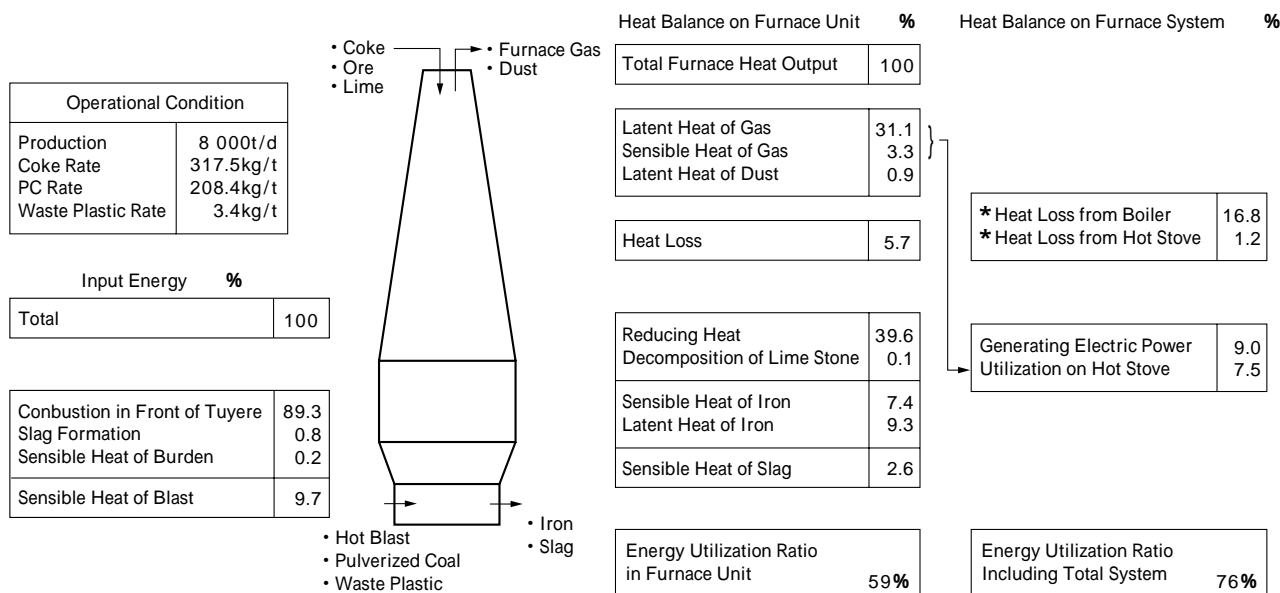
第5図 代表粒子径と存在重量比の関係

Fig. 5 Relationship between representative particle diameter and weight ratio



第6図 配管閉塞頻度の比較

Fig. 6 Comparison of choking frequency in transporting pipe



第4図 高炉における廃プラの利用効率

Fig. 4 Energy utilization of waste plastic on blast furnace

しかし、PVC の混入を完全に抑えることは不可能との判断から、遠心比重選別機により PVC を分離することとした。この方式は、PVC の比重がその他のプラスチックにくらべて大きい特性を活用したものである。

本遠心比重選別機をもちいた場合の塩素濃度変化を第2表に示す。脱塩素率は、約90%程度でありPVC除去の目的を十分達成している。したがって、高炉吹込み廃プラの塩素濃度は0.5%以下に制御されており、塩素による設備損傷の可能性は皆無である。

### 3. 容器包装リサイクル法への対応

2000年4月から容器包装リサイクル法が完全施行され、各家庭から発生するプラスチック製容器包装を再商品化することが義務づけられた。

これらの廃プラは、家庭で分別収集されたものを各自治体が回収し、1×1×1m程度に圧縮梱包した後、再商品化事業者において再利用されることが法律にうたわれている。

高炉における還元剤代替としての利用も再商品化と認定されていることから、当社でも処理することを検討した。

第7図に各自治体から回収された容器包装リサイクル法に対応した廃プラ（以下容リプラ）の内訳を示す。自治体ごとに内訳は異なるものの、異物や食物が10～30%、容リプラ以外のプラスチックが10～20%混入しており、処理上の大きな問題点と考えられる。また容リプラは、フィルム状の物が多いことPVCが5～10%程度混入していることも特徴である。

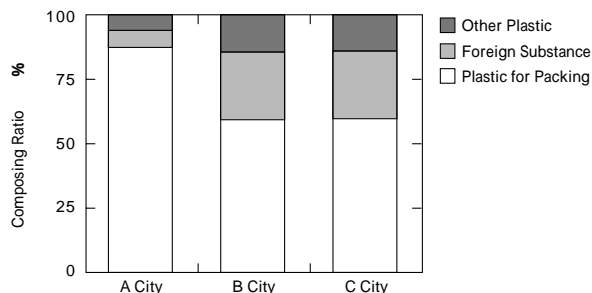
当社の廃プラ処理設備は、前述の通り産業系廃プラを対象として設計されているが、湿式粗選別機と遠心比重選別機を有していることから容リプラ処理の可能性がある。

そこで、容リプラのテスト処理を実施したところ、金属・ガラス・土砂などの異物は湿式粗選別機で、PVCは遠心比重選別機で完全に除去でき、当社の廃プラ処理設備は、容リプラにも十分対応可能であることが判明した。この結果を受けて2000年度は、約2000トンの容リプラを処理する計画である。

第2表 遠心比重選別機による脱塩素率について  
Table 2 De-chlorine ratio by centrifugal separator

No.	Chlorine %		De-chlorine Ratio %
	Before Separating	After Separating	
1	2.41	0.43	82.2
2	2.38	0.32	86.6
3	1.62	0.03	98.1
4	1.89	0.11	94.2
Ave.	2.08	0.22	90.3

Object : Waste Plastics for Waste Packing and Recycling Law



第7図 自治体ごとの容リプラの内訳  
Fig. 7 Composing ratio of waste plastics corresponding to waste packing and recycling law in the local governments

むすび = 製鉄所は従来から積極的に環境保全に取り組んでおり、廃棄物の処理をはじめとして数多くのノウハウを有しているだけでなく、高炉・ボイラなどの大規模な熱設備といったインフラを持合わせていることから、これからの循環型社会の実現に向けて、期待される役割は非常に大きいことを認識している。今後は製鉄所本来の生産活動に加えてゼロエミッション化への取り組みやグリーン調達の推進など、製鉄所が果たすべき新たな機能についても、地域社会との協調を保ちながら取り組んでいく所存である。