

中部リサイクル(株)のごみ焼却灰及び飛灰の再資源化技術

松岡庄五* 横田育久* 青山英明**

Fly-ash and Bottom-ash Recycling Technology for Chubu Recycle Co., Ltd.

by Shogo MATSUOKA, Ikuhisa YOKOTA, & Hideaki AOYAMA

Ebara's fly-ash and bottom-ash treatment system, core components comprising a submerged arc furnace (off-gas electric resistance furnace) and a dechlorination process, is contributing to the Zero Emission standard of Chubu Recycling Co., Ltd. This system is enabling treatment and resource recovery of fly-ash and bottom-ash from various incineration facilities, including molten fly-ash with highly concentrated chlorine content which is normally land-filled. Products from melting processes (e.g. sorted ferrous matter, molten metal, slag and molten fly-ash) are being recovered as added-value resources. The total amount of influent bottom-ash and fly-ash at the Chubu Recycling facility between 2004-2006 had been about 64,000 tons. Out of this, about 35,000 tons of slow cooling slag, about 3,700 tons of molten metals, and about 700 tons of zinc resource had been recovered.

Keywords: Bottom ash, Fly ash, Recycle, Submerged electric arc furnace, Dechlorination, Slow cooling slag, Off-gas electric resistance furnace, Zinc, Lead, Copper, Rare metal, Resource depletion

1. 中部リサイクル(株)の概要

中部リサイクル(株)は、旧矢作製鉄(株)の電気炉技術を用い、「ゼロエミッションファクトリー」をコンセプトに(株)荏原製作所、高和興業(株)、大有建設(株)の3社にて1999年5月1日に資本金1億円で設立した。

設立以来、一般廃棄物・産業廃棄物の焼却施設から発生する燃えがら、ばいじんをサブマージドアーク炉(還元式電気抵抗炉)により還元熔融する再資源化事業を進めてきた。

2003年には脱塩処理の認可を取得し、通常は埋立処分される高濃度の塩類・重金属を含有するばいじん(市町村熔融施設等から発生する熔融飛灰等)の熔融処理が可能となった。同様に、自社サブマージドアーク炉から発生する熔融飛灰も脱塩により、非鉄金属業者が“亜鉛・鉛原料”として有価購入できる品質にすることができた。

中部リサイクル(株)は燃えがら、ばいじんを受入れ、電気炉技術・脱塩技術を核に枯渇が懸念されている金属・重

金属・レアメタルの分離回収、高品位の徐冷スラグ(自然石代替)の製造により、ゼロエミッションを達成している。

2. 再資源化フロー

図1に再資源化フローを示す。

中部リサイクル(株)では操業経験に基づき、市町村及び民間の焼却施設から発生した燃えがら・ばいじん・熔融飛灰を、前処理、脱塩、ブレンド調整、そして適切な副原料の投入によって、安定した熔融状態を維持している。燃えがら・ばいじん・熔融飛灰の成分例を表1に示す。

(1) 前処理工程(磁選工程、乾燥工程、造粒工程)

燃えがらは磁選、乾燥を経てサブマージドアーク炉内に投入する。一方、ばいじん類は、鉄分含有が少ないため磁選を省略し、また粉体状であるため造粒を行う。なお、投入物中の塩濃度によっては脱塩工程を経た後に、造粒、乾燥を行う。

表1 受入物の成分例

Table 1 Chemical composition of influent dust

単位: %

	Zn	Pb	Si	Cl	Ca	Na	K
ばいじん	0.56	0.11	3.01	10.3	6.50	4.34	2.43
燃えがら	0.37	0.07	15.6	0.80	15.3	2.45	1.48
熔融飛灰	3.81	0.88	2.97	34.7	10.2	13.0	8.27

* 中部リサイクル(株)

** 環境事業カンパニー 環境プラント事業本部 事業化営業室 営業第三グループ

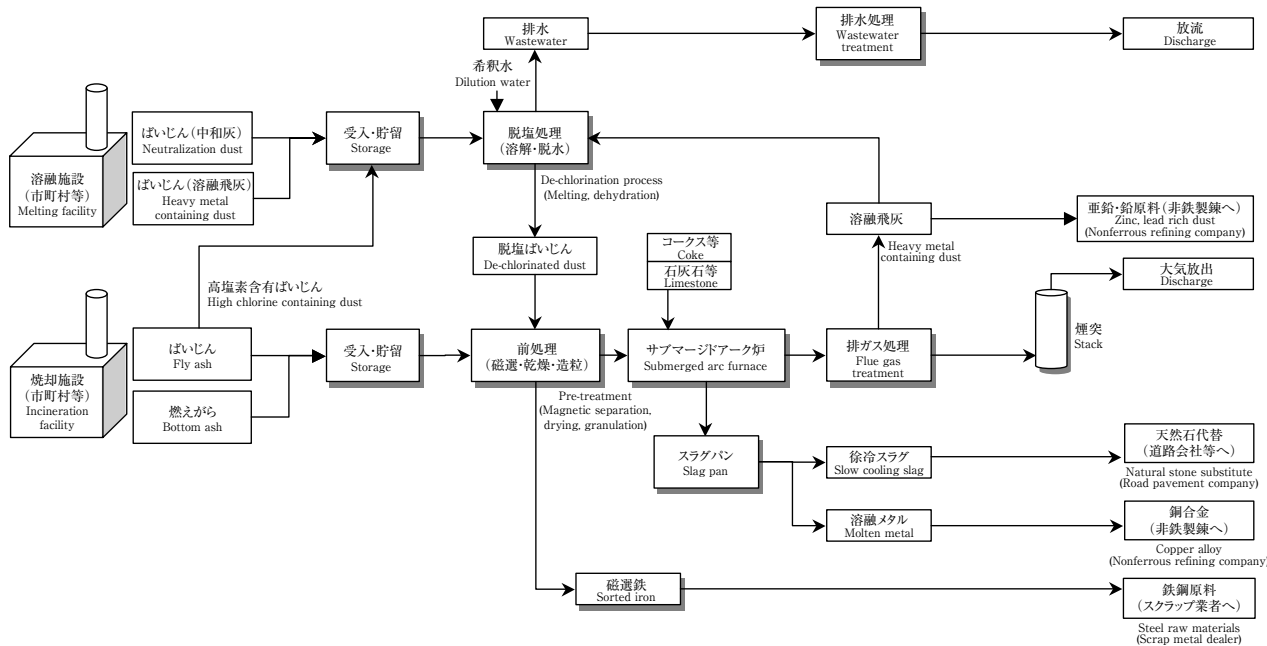


図1 再資源化フロー

Fig. 1 Schematic diagram of ash re-recycling process

(2) 脱塩工程

高濃度の塩類を含み、一般的に再資源化が困難であるばいじんは、まず脱塩工程にて塩類を除去する。

本工程では、ばいじんを溶解槽で攪拌洗浄し、脱水することによって灰中の塩類を除去する。また、サブマージドアーク炉から発生する高濃度の塩類を含む溶融飛灰も脱塩工程を経た後に、再溶融処理を行う。

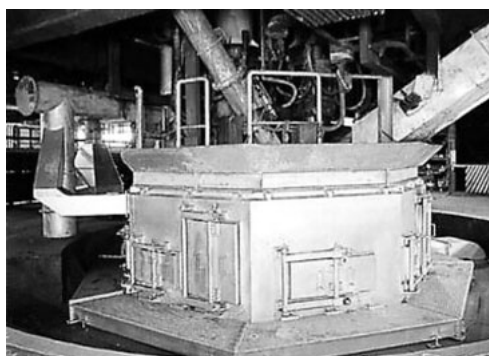
(3) 還元溶融工程

前処理工程、脱塩工程を経た燃えがら・ばいじんは、サブマージドアーク炉（容量：45 t-dry/d）により溶融する（写真1）。燃えがら・ばいじんは溶融後、一日数回・間欠的に出滓する（写真2）。燃えがら・ばいじんに含まれる高沸点の金属（鉄、銅など）は、サブマージドアーク炉の底部に溶融状態（溶融メタル）で存在するが、出滓に際して溶融メタルはスラグと同時に排出され、スラグパンで徐冷される。この徐冷工程で溶融スラグと溶融メタルは自然に比重分離して固化する。

なお、燃えがら・ばいじんに含まれる低沸点の重金属は、強還元雰囲気での溶融によって蒸発分離し、排ガス処理工程に移行するため溶融スラグ、溶融メタルにはほとんど残留しない。

(4) 排ガス処理

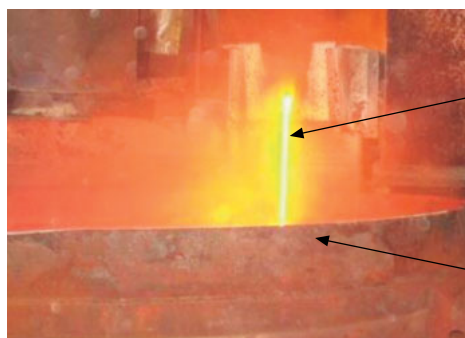
サブマージドアーク炉による溶融は還元反応であり、発生するCO（一酸化炭素）は炉体上部（炉ヘッドスパー



07-80 01/217

写真1 サブマージドアーク炉外観

Photo 1 Overview of submerged arc furnace



溶融メタル、スラグの混合物
Molten metal and slaggy mixture

スラグパン
Slag pan

07-80 02/217

写真2 出滓光景

Photo 2 Tapping

ス)で空気と混合し燃焼する。また、アルカリ金属及びアルカリ土類金属は低部電極の高温部で酸化物として蒸発するが、排ガス中にて塩酸、硫酸化物などと反応することにより粉体化 (NaCl, KCl, CaCl₂, CaSO₄など) するためバグフィルタで捕集される。

(5) 再生製品

本再資源化工程によって分離・回収される産物は、磁選鉄、徐冷スラグ、熔融メタル、熔融飛灰 (亜鉛・鉛原料) の4種類である。通常廃棄物となる熔融飛灰を含めてすべて有価物となる。

製造される徐冷スラグは、サブマージドアーク炉の強還元雰囲気での熔融によって含有成分 (表2)、溶出成分 (表3) とともに規制値を十分満足する安全品質である。

加えて24～48時間かけて徐冷するため高強度であり、天然石代替となる品質を有する。再資源化事業にとってスラグの流通は要であり、中部リサイクル(株)ではスラグ品位の徹底した管理によって、写真3のように各種路盤材、アスファルト原料、景観石など幅広い目的に利用されており、生産量のすべてが流通している。

3. サブマージドアーク炉(電気抵抗炉)の原理及び歴史

サブマージドアーク炉 (図2) は、還元式電気抵抗炉に分類され、その特長は①熔融を強還元雰囲気で行うこと (低O₂状態)、②電力を熔融エネルギーとし高温 (約1600℃) で熔融すること、③3本の電極 (黒鉛電極) を

表2 徐冷スラグ含有成分事例
Table 2 Slow cooling slag chemical constituents

	Pb	Cd	Cr6 ⁺	T-Hg	As	Se	F	B
規制値 (環境庁告示第19号)	<150	<150	<250	<15	<150	<150	<4000	<4000
データ1	1.0	<0.5	<1.0	<0.05	<1.0	<1.0	1900	340
データ2	9.0	<0.5	<1.0	<0.01	<1.0	<1.0	930	120
データ3	8.0	<0.5	<1.0	<0.01	<1.0	<1.0	490	210

表3 徐冷スラグ溶出成分事例
Table 3 Released metal constituents in slow cooling slag

	Pb	Cd	Cr6 ⁺	T-Hg	As	Se	F	B
規制値 (環境庁告示第46号)	<0.01	<0.01	<0.05	<0.0005	<0.01	<0.01	<0.8	<1.0
データ1	<0.005	<0.001	<0.04	<0.0005	<0.005	<0.002	0.1	0.2
データ2	〃	〃	〃	〃	〃	〃	<0.1	<0.1
データ3	〃	〃	〃	〃	〃	〃	0.2	0.3



徐冷スラグ



積石(花壇)



歩道平板



河川堤防護岸材



路盤材・アスファルト骨材



景観用護岸材

写真3 徐冷スラグとその利用例
Photo 3 Slow cooling slag and its utilization example

07-80 03/217

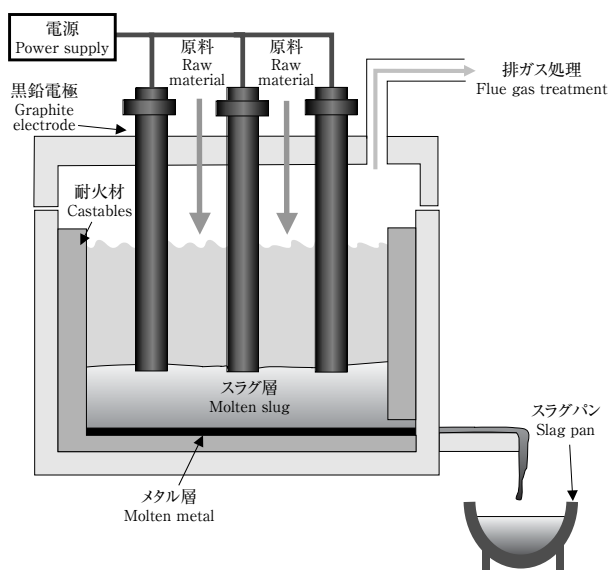


図2 サブマージドアーク炉の構造
Fig. 2 Submerged arc furnace

三相交流電流で用いること、の3点である。

炉体は円筒形（耐火物構造）であり、3本の黒鉛電極は炉底面に対して垂直、上部からの視点では正三角形に配置している。

投入物である燃えがら・ばいじんには、適量の炭材（コークス等）と、スラグ品質を調整するカルシウム分（石灰石等）を混合している。

炭材は、強還元雰囲気との保持と共に、電気抵抗を減少させて通電材の役割を果たす（通常燃えがら・ばいじんは電気抵抗が大きく電流は流れない）。

安定した連続操業、並びに高品位のスラグ、溶融メタル、亜鉛原料を獲得するためには、この炭材の量と三相交流の電圧調整（電圧可変トランスで調整）を用いて最適な溶融条件に保つことが重要となる。

このサブマージドアーク炉は1900年にフランス人のエルーによって発明され、主に珪素より酸素親和力の弱い酸化亜鉛物の金属化に広く使われている。その後、鉄鋼用の合金材料のフェロニッケル、フェロクロム、フェロマンガン、フェロシリコンなどの製造用に発展した。また、産業の米といわれるICチップの原材料である金属シリコンも、高品位の石英をこのサブマージドアーク炉で還元溶融して製造されている。現状、世界中で多数の巨大なサブマージドアーク炉が稼働中であり、確立されたポピュラーな技術である。

サブマージドアーク炉の使用目的によって調整するポイントは、電圧と電極間隔の2点である。炭材中のC分は、金属成分と高温の溶融状態で接触すると、 $MO + C \rightarrow$

$M + CO$ の反応で酸化物鉱物を還元するが、その還元力は炭材の配合割合に比例し、電極の配置間隔に反比例する。サブマージドアーク炉を燃えがら・ばいじんの溶融に利用する場合は、合金材料の製造と比較して少量の重金属を還元揮発させる比較的弱い還元状態で十分であり、逆に溶融物の電気抵抗は比較的大きくなる。これらを踏まえて投入対象物に適合する電圧、電極間隔を選択する。

4. 本事業の環境に対する貢献

(1) 埋立処分場の負荷低減

埋立処分場は全国的に残余容量がひっ迫している状況にある。従来、埋立処分されてきた燃えがらや、キレート添加・セメント固化した上で埋立処分されてきたばいじん・溶融飛灰を、中部リサイクル(株)は全量再資源化し、ゼロエミッションを達成している。ゼロエミッションは、埋立処分場の延命化に対する貢献だけでなく、埋立処分場のように将来への負の遺産を残さないアプローチ手法であり、将来的な環境リスクの回避といった観点からも有効な選択肢といえる。

(2) 枯渇資源への貢献

燃えがら及びばいじんには、様々な有用資源が含まれている。これらは従来、天然資源として採掘し、海外から輸入しているが、燃えがら・ばいじんから有用資源を回収することによって国内での資源循環に貢献できる。中部リサイクル(株)が燃えがら・ばいじんから本技術で回収している、亜鉛 (Zn)、鉛 (Pb)、銅 (Cu)、金 (Au)、銀 (Ag) などの親銅元素は、地球規模での枯渇が懸念されている。これらの耐用年数（継続使用可能年数＝確認済み埋蔵数量÷年間生産量）は20年から30年と言われている。このように資源として枯渇が懸念される金属元素に対する積極的なアプローチは、今後ますます重要視されると考えられる。

5. 資源回収実績

中部リサイクル(株)が燃えがら・ばいじんから2004～2006年度の3年間で行った資源回収実績を表4に示す。

6. 現状の取組

(1) 増産への取組

市町村、民間を問わず、中部リサイクル(株)への燃えがら・ばいじんの再資源化委託の要望が強いが、現在の中部リサイクル(株)は年間処理量22千t強であり、現有設備の処理許可容量の100%稼働となっている。まず、前処

表4 資源回収実績
Table 4 Resource recovery results

年度	磁選鉄	スラグ	メタル	重鉛・鉛原料	備考（溶融処理量）
2004年度	988 t	11010 t	1151 t 内, Cu : 92 t Ag : 173 kg Au : 23 kg	脱塩ケーキ : 85 wet t 内, Zn : 34 t Pb : 5 t	19094 wet t 一般廃棄物 : 65% 産業廃棄物 : 35%
2005年度	1030 t	11874 t	1266 t 内, Cu : 101 t Ag : 190 kg Au : 25 kg	脱塩ケーキ : 245 wet t 内, Zn : 97 t Pb : 15 t	22713 wet t 一般廃棄物 : 63% 産業廃棄物 : 37%
2006年度	1100 t	11621 t	1267 t 内, Cu : 101 t Ag : 190 kg Au : 25 kg	脱塩ケーキ : 356 wet t 内, Zn : 124 t Pb : 22 t	22157 wet t 一般廃棄物 : 63% 産業廃棄物 : 37%

理設備及びサブマージドアーク炉の強化・効率改善により増産を目指す。

(2) 粉体原料の前処理

投入物に粉体が多い場合、安定した操業に悪影響が生じる。このため粉体物（ばいじん等）は前処理として造粒を行っている。今後は、新たに乾燥後にふるいを設け、細粒を分離、再造粒するラインを新設すると共に、導入効果を評価していく。

7. 今後の課題

(1) コークスの削減

現在、炭材としてコークスを使用しているが、この半分以上をバイオマス（炭化物等）に置換して化石燃料を減らすと共に、コークス由来のCO₂をカーボンニュートラルのバイオマスに置き換えることにより、CO₂の発生を減らす検討を行っている。

(2) 石灰石代替

燃えがらは塩基度（CaO/SiO₂）が0.5から0.6であるが、溶融スラグの結晶化を促進するため、中部リサイクル株ではスラグ塩基度を0.8から0.9まで上げている。この調整のために現在、石灰石を添加しているが、この代替としてCa分が多いばいじん（溶融設備から発生する中和灰等）を脱塩した後、石灰源として電気炉へ装入す

る検討を行っている。これは、天然石灰石に含まれるCO₂の削減効果に寄与する。

(3) 溶融メタルの品位アップ

溶融メタルの品質は、銅などの高付加価値金属の濃度で決定する。具体的には、前処理工程にて鉄分を精度良く分離することにより、結果として溶融メタルの評価が向上する。今後は磁選機を強化するなどにより溶融メタルの評価アップを目指す。

8. おわりに

中部リサイクル株は建設当初4年間、前身である矢作リサイクル株が残した残留廃棄物約3万tの処理のため業績は低迷したものの、その処理が終了した2003年から黒字に転換すると共に、2006年度は債務超過も解消し着実に事業を拡大している。

埋立処分に代わる手法として、燃えがら・ばいじんからの高品位スラグ製造、貴重な金属類の回収はまさに市場に評価され、今後も更に重要視される事業であると考えられる。持続可能な社会発展にとって必要とされる事業であり続けるために、今後もノウハウの蓄積、技術改良を継続し、より効率的なゼロエミッションを追及していきたい。