

中部リサイクル(株)の能力増強事業

下 倉 明* 横 田 育 久* 小 野 貴 弘*
石 田 忠 雄* 松 富 次 光* 堀 田 和 明*

Furnace Capacity Expansion Project at Chubu Recycle Co., Ltd.

by Akira SHIMOKURA, Ikuhisa YOKOTA, Takahiro ONO, Tadao ISHIDA, Tsugumitsu MATSUTOMI, & Kazuaki HORITA

The furnace capacity has been expanded from 45.6 t/d to 67.2 t/d by upgrading the electric furnace transformer from 2000 kVA to 3050 kVA. Spanning about three years from planning to completion, the project has increased the annual throughput of the municipal waste incineration ash melting and recycling process to about 34000 tons. The submerged arc furnace melts raw material based on electric resistance heating by applying electric current directly to the material via electrodes. It supports the reduction melting of waste incineration ash with the addition of coke, facilitating the recovery of reducing slag (main product obtained by slowly cooling molten slag) and valuable materials, such as molten copper and other metals and crude zinc (urban mine). The furnace also contributes to environmental preservation. Thus, the completion of the project establishes one milestone toward the goal of the installation of the second furnace.

Keywords: Electric furnace transformer, Submerged arc furnace, Recycle, Resource, Urban mine, Reduction melting, Minor metal, Environmental assessment for capacity expansion

1. はじめに

中部リサイクル(株)は、一般廃棄物、産業廃棄物の焼却施設から発生する燃え殻、煤塵をサブマージドアーク炉(還元式電気炉)¹⁾により、還元溶融する再資源化事業を行っている。2011年度に完成した『7号炉能力増強事業』は、これまでの設備能力を1.5倍にし、都市ごみ焼却灰を『処理からリサイクルという循環によりゼロエミッションを目指し、地球環境保全に寄与貢献する』という環境方針の基本理念に沿って事業を拡大するもので、まさに社会のニーズに合致したものとなった(写真1)。

名古屋市や他市町村では、都市ごみ焼却灰の埋立処分場を持たない自治体や民間産業廃棄物処理業の間で、焼却灰資源化への期待はますます強まってきている。また、最近の都市鉱山と言われるごみ焼却灰からのレアメタル(希少金属)の回収事業は大きな流れとなっていて、年々実績が増加し、レアアース(希土類元素)の回収も現実味を帯びてきている。元来、プラズマ式灰溶融炉は主に



12-73 01/236

写真1 工場全景

Photo 1 General view of plant

減容化を目的としているが、中部リサイクル(株)のサブマージドアーク炉は、溶融原料内に挿入した電極を介して直接電流を流し、その電氣的抵抗を利用して溶融させるものであり、コークス等炭材を添加して燃え殻・煤塵を還元溶融していることが、正しくこのリサイクルの潮流に適合しており、注目されてきている。ごみ焼却灰を原料とした主製品は、溶融スラグを徐冷することで自然

* 中部リサイクル(株)

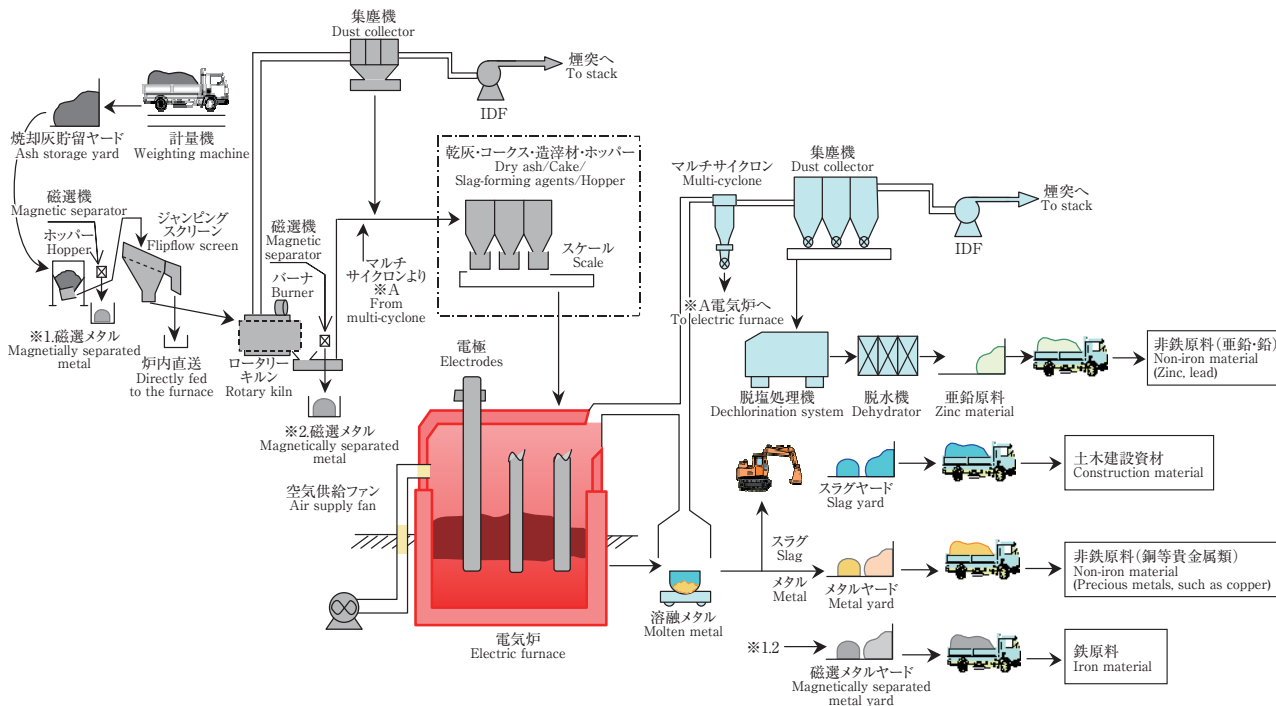


図1 ゼロエミッション処理工程図
Fig. 1 Process flow of the zero emission process

石とほぼ同等な性状の熔融還元石スラグであり、また、金属は銅を中心として回収し、飛灰は粗亜鉛として回収することにより、ゼロエミッションのリサイクル事業を完結させている(図1)。

これらの事業は名古屋市から廃棄物処理業として認可されているが、慣習的に7号炉と呼称している電気炉の既存能力45.6 t/dを1.5倍に増強する事業について、廃棄物処理設備の変更許可を受け、2011年10月に工事完成したので、その概要を報告する。

2. 事業概要

中部リサイクル(株)は、エバラ時報217号²⁾で紹介しているように、前身の旧矢作製鉄(株)から引継いだ7号電気炉一基を用いて1999年から操業していたが、1999年に名古屋市から受けた廃棄物処理施設の許可容量45.6 t/dを電気炉本体の容量一杯の67.2 t/dに変更申請をすることとした。これにより、事業規模は年間受託量(処理量)約22000 tから約34000 tとなり、フレキシブルな営業展開が可能になる。設立当初から2炉体制とすることを目指しており、本能力増強はそのマイルストーンと位置づけている。将来的な事業計画の中でワンステップを入れたねらいは、建築基準法では1.5倍以上の能力アップは名古屋市都市計画審議会の審議対象になることで工程が大

幅に延びることを避けるためであり、更に、電気炉本体の改造は必要とせず、トランス交換での容量アップだけで実現できる範囲としたことで、コストパフォーマンスが大幅に良くなり、将来計画の実現に向けた足掛かりとなるものである。

本事業化計画は2008年度より2010年度まで続けられたが、心臓部である電気炉トランス寿命と将来の2炉体制の導入時期を対比させながら、既存の乾燥機や排水処理など付帯設備についても改善・改造、能力増強などを、あらかじめ定めた優先順位に従って実施した。今回の『7号炉能力増強事業』は2011年4月を運転開始とする計画であったが、結果的に全体工程は表1のように約半年の遅れとなった。

この中で、事業化計画に十分に時間を掛け、資金調達と事業規模の検討を行った。また最も時間を費やしたのは住民説明会であった。名古屋市条例で要求されている対象範囲は、高さ53 mの煙突から排出される煤塵等の最大着地濃度発生点までの約2倍の範囲、直径約5 kmであり、名古屋市港区昭和町を中心とした11学区、約34000世帯が対象となった。この大規模な住民説明会の進め方について、各学区の委員長や役員と協議して、次のような方法がとられた。つまり、生活環境影響調査の結果を各学区の定例役員会の場で説明をした上で、附属

表1 事業工程
Table 1 Project schedule

項目 Item	工程 Duration	主体 Done by
事業化計画・設計プロジェクト Project planning and design	2008年～2010年10月 2008 to October 2010	中部リサイクル Chubu Recycle
トランス発注・資金繰り Procurement of the transformer and financing	2010年8月・12月 August and December 2010	荏原グループ Ebara Group
生活環境影響調査(煙源条件) Environmental assessment for capacity expansion (conditions for exhaust gas)	2010年2月～4月 February to April 2010	名古屋市 Nagoya City
生活環境影響調査(調査) Environmental assessment for capacity expansion (Research)	2010年5月～9月 May to September 2010	中部リサイクル Chubu Recycle
生活環境影響調査(住民説明会) Environmental assessment for capacity expansion (Briefing sessions for residents)	2010年10月～2011年5月 October 2010 to May 2011	名古屋市11学区 11 school districts in Nagoya City
工事(7号炉耐火物交換) Construction (Replacement of furnace refractories)	2011年3月～4月11日 March to April 11, 2011	中部リサイクル Chubu Recycle
廃掃法変更許可 Permission for the change as required by Waste Disposal and Public Cleansing Act	2011年6月～8月29日 June to August 29, 2011	名古屋市 Nagoya City
工事(7号炉トランス交換) Construction (Replacement of furnace transformer)	2011年10月 October 2011	中部リサイクル Chubu Recycle

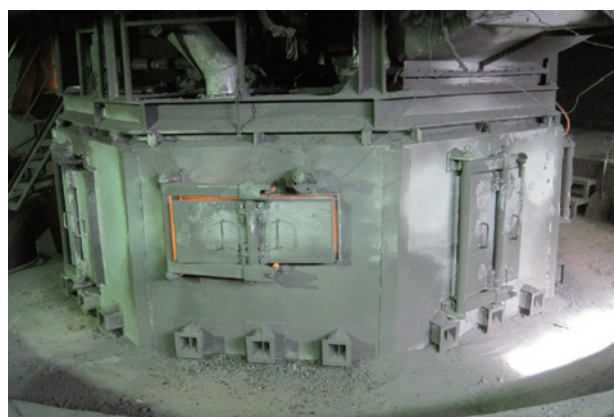
町内会ごとに要旨をまとめた回覧物を回すことで役員以外の全住民に周知できるというものであった。この方法は民間業者として名古屋市内で初めての試みであった。なお、1学区のみは住民の意向と名古屋市の指導で、全員直接参加型の住民説明会方式が取られた。このようにして約8箇月かけて全学区の説明会を終えた。

3. 施設概要・特徴

3-1 電気炉設備

7号炉(サブマージドアーク炉)は1988年に完成したもので、これまで一部の耐火物を交換補修している。炉内径は3.3 m、深さは1.5 mで耐火物はカーボンを使用している。鉍石精錬に使用したものを廃棄物用に転用するに当たり、開放であった上部に天蓋を取付けて煤塵の飛散を防止して微負圧で操業している(写真2)。電源は3相交流で1次電圧11000 Vを2次電圧約200 Vに落として大電流を得ている。トランスは旧2000 kVAを3050 kVAの負荷時タップ切替変圧器(2次電圧の機械式切替)に交換した。

溶融対象物(燃え殻・煤塵)は塩基度調整剤(石灰)、還元剤(コークス)などと配合・計量して電気炉上部ホップから投入する。この原料と半溶融物が電極を覆ってサブマージ(図2)を形成するので、シンプルな構造の電気炉ではあるが、熟練した操業を要する。主な操作は、3本の黒鉛電極をそれぞれ上下させてサブマージ深さを調節して抵抗変化→電流変化→ジュール熱変化により負荷調整している。各タップ(1バッチの操業)ごとの出湯作業では、空気式開孔機でその都度電気炉底部の側面



12-73 02/236

写真2 操業中の7号電気炉
Photo 2 Electric furnace in operation

に100 mm程度の出湯口を開孔し、強還元的に溶融された“湯”を炉底から排出するが、その際同時に比重分離された溶融状態のメタルも排出される。湯は約2 m³のスラグパンに受けてそのまま冷却する。メタルは取鍋に受け、角パンに移し替えて冷却する。出湯時約1400℃の湯の粘度を決定するのは塩基度(CaO/SiO₂)で、流れを良くするためにCaO源として石灰などを加えて調整している。スラグパンの湯は2日間程度で徐冷され結晶スラグを生成させ、溶融還元石スラグとして出荷される。徐冷することにより、ガラス質の発生を防いでいるので品質、形状共にほとんど自然石と同等である。金属製錬などでは電気炉からの湯は鉄鋼スラグ等と称する副製品であるが、当社の場合は重金属などをほぼ完全に還元分離した

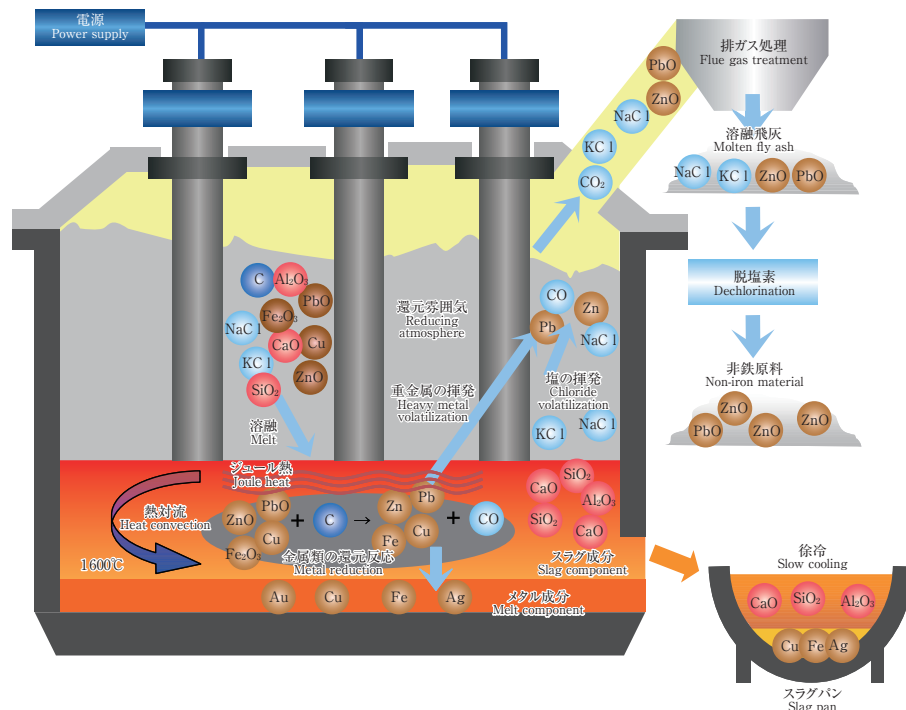


図2 サブマージドアーク炉概念図
Fig. 2 Schematic of the submerged arc furnace

熔融還元石スラグが主製品でリサイクルの中心である。メタルは冷却後そのままの状態では非鉄金属精錬原料として出荷される。熔融対象物中の重金属類は熔融飛灰として集塵し、塩類の脱塩処理をした後、亜鉛回収のために出荷される。本事業では熔融還元石スラグの品質向上、メタル中Cu濃度増加を図るために、幅の広い配合条件や操作条件などで作業ができる設備を目指した改造も行った。

耐火物は電気炉にとって構造を維持する為の最重要部であるが、炉の内面を形成しているカーボンには1999年以降のものであったので、今回の工事で全面的に交換した。旧耐火物の撤去作業では耐火物の隙間に差し込んでいるメタルがはつり作業を困難にさせたが、築炉のノウハウを得ることができた。撤去された耐火物は約60 t (カーボン・レンガとも鉛などに含浸されて重くなった)であった。カーボンは酸素を断てば、非常に長い寿命を持つが、これはサブマージドアーク炉の大きな特長である。一方、電極に用いる黒鉛は高温で大気にさらされる部分や、炉内で還元剤として反応する部分があり、負荷に対し一定量消費する。水冷、空冷や金属での保護などの他に損耗量を減らす安価な代替方法が次世代新炉の課題として残っている³⁾。

排ガス中ダイオキシンの排出規制濃度が旧施設では

10 ng-TEQ/m³ (NTP)(12% O₂)であったが、1日当たりの処理量が2トン以上4トン未満となったため1.0 ng-TEQ/m³ (NTP) (12% O₂)と厳しくなった。この厳しい規制に対応し、環境保全を図るため集じん機上流に活性炭噴霧設備を設置した。

前処理設備には乾燥機、脱塩設備等がある。このうち、乾燥機は設備の老朽化もあり、交換した。旧乾燥機は重油バーナの燃焼ガスが焼却灰に直接接触してダイオキシンを発生させるのを防止するため間接加熱式だったので、都市ガス焼き熱風発生炉による直接加熱型のタコロータリードライヤー変更し、大幅な省エネルギーを実現した。脱塩設備は、煤塵中の塩素分を除去して、①電気炉操業を円滑にさせる、②熔融還元石中の塩分濃度を下げて品質向上させる、③Zn回収用飛灰としての山元の塩素濃度受入条件をクリアする、の三つの機能を持った処理設備であるが、2011年に、煤塵の溶解設備を増設し、洗浄機能を有した自動フィルタプレスを導入した。

3-2 フィルタプレス2号機

操業を安定させるため全自動型とし、本機器の前段後段工程で異常がなければ、夜間など無人操業が可能となった。また、簡単なタッチパネル操作により多種多様な原料に対応可能となった。洗浄・脱水ケーキの搬出は重機で行うため、設置レベルを2階にし、1階を貯留ヤードとした。大

型重機がアクセスできるようになったので作業効率は大幅に改善された。

ランニングコストを左右するろ布の寿命を延長するためにろ布洗浄装置やろ布乾燥防止(酸浸漬併用型)といった機能を搭載した。その結果、次のようにろ布1セット当たりの使用時間は延長された。

	処理量	使用期間	処理バッチ数
既設1号機	800~1000 t	4~5箇月	1000~1250バッチ
新型2号機	2500 t	6箇月	2200バッチ

メンテナンス性に配慮し、ポンプや自動弁の型式や仕様を既存設備と統一した。メンテナンス頻度の一番大きな布交換作業の容易性や所要時間短縮のため、ろ布走行式を採用した。

性能評価は表2に示すとおり、A及びBスラリーの2種類の飛灰スラリーに対し、処理量は目標を満足し、脱塩性能は目標を大幅にクリアし、飛灰に含有する塩分の除去は格段に向上した。

3-3 重金属処理設備

排水処理設備は1日の排水量1000 m³の処理能力がある。7号炉の設備能力を1.5倍に増強したが、排水処理設備の能力には余裕があるため、鉛及びその化合物の排水基準の0.1 mg/Lに対し、自主基準としてより厳しい0.05 mg/L(検出限界は0.02 mg/L)を採用した。なお、今後の負荷増大に備え、重金属処理設備を追加した。脱塩排水処理フローを図3に示す。

重金属処理設備では図3に示すように、フィルタプレス2号機から発生したろ液へ、pH調整剤(塩酸又は苛性

ソーダ)でpH9~10.5へ調整し、ろ液中に含有している鉛を析出させる。その後、ポリ硫酸第二鉄(Fe₂OHSO₄)とポリマ(アニオン系)を添加して高速シクナで鉛と凝集沈殿させ、20 mg/Lまで低減して、既設排水処理設備に送り、最終的にPb<0.05 mg/Lとして放流する。鉛を含んだ沈殿汚泥は再度、フィルタプレス2号に戻し、脱塩ケーキとして出荷される。

放流水のPb濃度は表3に示すとおり重金属処理設備を導入した2011年7月から低下しており、2011年9月

表2 フィルタプレス性能
Table 2 Filter press performance

評価項目 Evaluation item	目標数値 Target	性能確認結果 Actual performance
a 処理量 Throughput	Aスラリー: 1391 kg/h 乾量 Bスラリー: 593 kg/h 乾量 Slurry A: 1391 kg/h (Dry measure) Slurry B: 593 kg/h (Dry measure)	Aスラリー: 1641.3 kg/h Bスラリー: 936.6 kg/h Slurry A: 1641.3 kg/h Slurry B: 936.6 kg/h
b ケーキ含水率 Water content in cake	40%以下 A, Bスラリー共に 40% or less for both Slurry A and B	Aスラリー: 36.23% Bスラリー: 30.56% Slurry A: 36.23% Slurry B: 30.56%
c 脱塩性能 Cl concentration in cake	ケーキ中Cl濃度1%以下 A, Bスラリー共に 1% or less Cl concentration in cake for both Slurry A and B	Aスラリー: 0.688% Bスラリー: 0.474% Slurry A: 0.688% Slurry B: 0.474%

Aスラリー: 産廃高濃度カルシウム系飛灰
Bスラリー: 自社1次飛灰
Slurry A: High-calcium fly ash made from industrial waste
Slurry B: The firm's raw fly ash

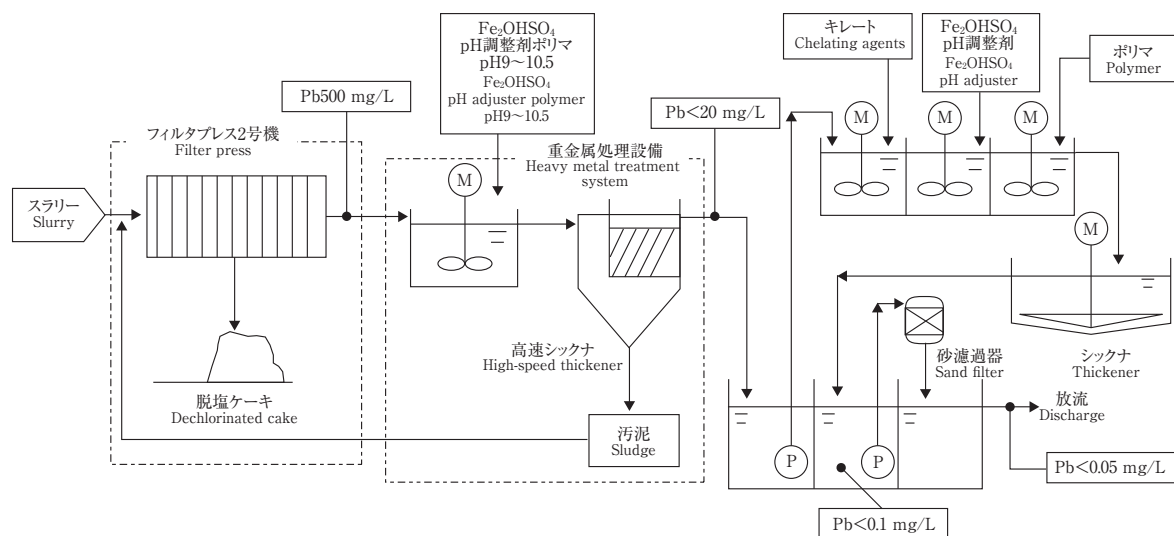


図3 脱塩排水処理フロー
Fig. 3 Process flow of dechlorinating wastewater treatment

表3 2011年定期排水測定結果
Table 3 Results of wastewater measurement

[mg/L]

重金属処理設備増設前 Before the installation of heavy metal treatment system				重金属処理設備増設後 After the installation of heavy metal treatment system			
1月6日	0.07	4月7日	<0.02	7月7日	0.03	10月6日	<0.02
1月13日	0.02	4月14日	0.06	7月14日	<0.02	10月13日	<0.02
1月20日	0.03	4月21日	0.05	7月21日	<0.02	10月20日	<0.02
1月27日	0.05	4月27日	0.04	7月28日	<0.02	10月27日	<0.02
2月3日	0.04	5月12日	0.06	8月4日	0.04	11月10日	<0.02
2月10日	0.04	5月19日	0.02	8月8日	0.04	11月17日	<0.02
2月17日	0.07	5月26日	0.04	8月18日	<0.02	11月21日	<0.02
2月24日	0.04	6月2日	0.02	8月25日	<0.02	12月1日	<0.02
3月3日	0.04	6月9日	0.03	9月1日	<0.02	12月8日	<0.02
3月10日	<0.02	6月16日	<0.02	9月8日	0.05	12月15日	<0.02
3月17日	0.04	6月30日	0.03	9月15日	0.04	12月26日	<0.02
3月17日	0.04	6月30日	0.03	9月15日	0.04	12月26日	<0.02
3月24日	0.05	平均	0.035	9月22日	0.03	平均	0.010
3月31日	<0.02	Average		9月29日	<0.02	Average	

注：平均値を計算するため検出限界値以下はその半分とした
Note: For average calculation, values below the detection limit were set to one-half their values.

26日以降は分析の検出限界である0.02 mg/L以下が続いている。

また、重金属処理装置を通過することで既設排水設備への負荷量も低下するため、キレート剤（ジチオカルバミド酸基系）添加量が16%低減できている。凝集沈殿させるためポリマを使用しているが、フィルタプレス2号機ろ布に目詰まりやケーキ剥離悪化の影響が出る懸念があり、ろ布の延命化を図るためにはポリマ低減が課題となる。

4. 事業の結果

付帯設備の改造改善を進めながら、7号炉トランスの変更を完了したのは、予定から約半年遅れの昨年2011年10月であった。したがって、燃え殻・煤塵等廃棄物の集荷計画に対し、半年分は処理能力が追いつかなくなる懸念があったが、東日本大震災・原発事故の影響を受け、集荷と炉能力の増強とが機を一にして操業できた。2011年10月以降の半期分の操業状況は、トランス容量の約90%で操業でき、処理量67.2 t/dを達成している。年間処理量では、集荷計画34000 tを余裕をもって処理できる見込みである。また、新トランス(写真3)での運転開始からの経過は、表4、図4に示すとおり、電力負荷は従来の約26%増加したが、月間処理量は26.1%増加し、電力原単位は2.7%低下した。



12-73 03/236

写真3 工場検査中の新トランス
Photo 3 New transformer before delivery

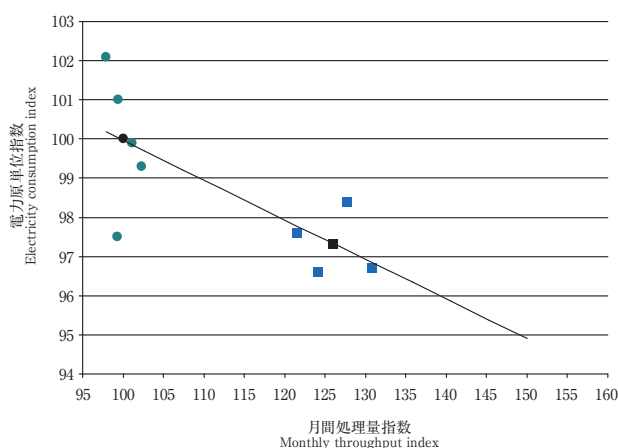


図4 処理量と原単位の関係
Fig. 4 Relations between throughput and electricity consumption

資源化の面では、表5に示すとおり、2010年度に比べてリサイクル量が増加している。また、熔融還元石スラグ中や粗亜鉛中の塩化物濃度を低下させており、エンドユーザーに良い評価をいただいている。

一方都市鉱山の面では、これまでの金、銀、銅、白金、パラジウムの5元素の回収において、還元・分離操作をより向上させて濃度と品位をあげた操業を行っていく予定である。さらに今後、レアアースの回収についても検討を進める予定である⁴⁾。

環境改善の面では、排ガス中のダイオキシン濃度の規制値 [1 ng-TEQ/m³ (NTP) (12% O₂)] を満足できることが確認できた。そのほか、生活環境影響調査で計画された諸数値についても達成できている。

表4 トランス更新前後の月間処理量と電力原単位（更新前の平均を100%とする）

Table 4 Monthly throughput and electricity consumption before and after the transformer upgrade (Average before the upgrade as 100%)

年 Year	トランス更新前 Before transformer upgrade						トランス更新後 After transformer upgrade				
	2011					平均 Average	2011	2012			平均 Average
月 Month	5月 May	6月 June	7月 July	8月 August	9月 September		11月 November	1月 January	2月 February	3月 May	
月間処理量 (%) Monthly throughput	101.1	99.3	102.3	99.4	97.9	100	121.5	130.9	124.2	127.8	126.1
電力原単位 (%) Electricity consumption	99.9	97.5	99.3	101	102.1	100	97.6	96.7	96.6	98.4	97.3

表5 各年度の処理量とリサイクル量

Table 5 Furnace throughput and recycling performance by fiscal year

		2008年度 FY 2008			2009年度 FY 2009			2010年度 FY 2010			2011年度 FY 2011		
処理実績 Throughput	全溶融量 (t) Total melting amount (t)	21846			22023			18667			24402		
	徐冷スラグ (t) Slow cooling slag (t)	11476			12255			10495			13046		
生産量 Amount produced	磁選メタル (t) Magnetically separated metal (t)	1012			1019			1040			1405		
	溶融メタル (t) Molten metal (t)	963			1097			929			1187		
	うち貴金属 (t) (山元回収量) Precious metal (t) (Amount recovered)	Cu	Au	Ag	Cu	Au	Ag	Cu	Au	Ag	Cu	Au	Ag
		110	0.04	0.66	112	0.06	0.98	86	0.03	0.58	123	0.055	0.849
	非鉄原料 (t) (販売量) Non-iron material (t) (Amount sold)	Zn		Pb	Zn		Pb	Zn		Pb	Zn		Pb
	110		15	111		15	101		14	146		26	



12-73 04/236

写真4 能力増強記念の緑化事業

Photo 4 Memorial trees commemorating the capacity expansion project

5. おわりに

7号炉能力増強事業以降も、顧客の環境監査や団体などの見学会が頻繁にあり、美観と職場環境改善を兼ねて緑化面積を増やした(写真4)。その結果、皆様からお褒

めの言葉を頂くことができた。電気炉の出湯はノウハウの塊でもあるが、昼間の時間帯はお客様にも見学いただいている。1400℃の溶岩流が目前に出現すると、圧倒されつつも感激もひとしおである。電気炉技術の長い伝統を継承して操業にかかわっている人々も、リサイクル事業を通して環境に貢献している実感が湧く⁵⁾。お客様に支えられながら、今後とも更なる発展を期していきたい。最後に、本事業にご協力いただいた関係各位、とりわけ住民説明会でお世話になった地域の皆様に深謝申し上げます。

参考文献

- 『ごみ焼却灰及び飛灰の100%再資源化技術』, 都市清掃 第61巻 第284号 P64-69 (2009).
- 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, エバラ時報 No.217 P50-54 (2007).
- DBO方式により建設した次世代ストロカ焼却施設の運転状況, エバラ時報 No.225 P24-31 (2009).
- 「都市ごみ等の溶融処理により得られる溶融メタル・溶融ダスト中の有価金属の挙動解析に関する共同スタディ」報告書(公開版) 独立行政法人 石油天然ガス・金属鉱物資源機構他(2008).
- 『廃棄物の溶融スラグ化- 将来とその課題は? -』, 香倉宏史, 国立環境研究所ニュース27 (4) (2008).