

# 回転アーク炉によるアルミニウムドロス処理技術

西村友伸・大矢真一・相本 剛

都市環境本部・環境エンジニアリングセンター

## Aluminum Dross Treatment Technology by Rotary Arc Furnace

Tomonobu Nishimura・Shin-ichi Ohya・Tsuyoshi Aimoto

An aluminum dross treatment technology using a rotary arc furnace has been developed. The technology, being highly energy-efficient and environmentally conscious process, provides aluminum recovery rates of 80-90%, which is 30% higher when compared with conventional technology. The residue, after the aluminum recoveries, is reformed to an aluminum oxide rich compound by reheating to about 1 300 in an oxidation atmosphere in a rotary arc furnace. The compound can be reused as aluminum oxide raw materials for cement, tiles and ceramics.

まえがき = アルミニウムドロスとは、アルミニウムの地金やスクラップなどを溶解する際に生成する鉱さいで、溶解原料に対して約 2~10% 発生し、国内での年間発生量は約 35 万トンと推定されている<sup>1)</sup>。

アルミニウムドロスは、金属アルミニウムを 60~80% 含有しているため、種々の方法でアルミニウムが回収されている<sup>2)</sup>。しかし、現状の回転バーナー炉による回収技術でのアルミニウムの回収率は、ドロスを加熱溶解する際にアルミニウムが酸化によって損失することなどにより、ドロス中の含有アルミニウムに対して約 40~60% に留まっている。

また、アルミニウム回収後の残灰は、大半が産業廃棄物として埋立処分され、残灰中に含まれる窒化アルミニウムなどが水と反応してアンモニアガスなどの刺激臭を発生し、さらには自然発火することもあるため、残灰の処分には十分な管理が必要とされている。近年、処分地の遠隔化などにより処分費は高騰傾向にあり、経済面、環境保全および資源リサイクルの観点などから残灰の有効利用を可能とする処理技術の確立が望まれている。

このような背景のもと、当社は東京電力㈱と共同で、アルミニウムドロスからのアルミニウムの効率的な回収、回収後の残灰の無害化処理、さらに処理残灰の有効利用などを目的とした新しいアルミドロス処理技術の開発をおこなってきた。

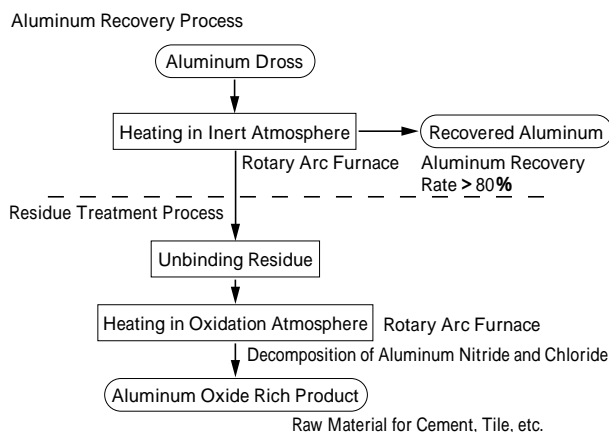
本稿では、開発した回転アーク炉によるアルミニウムドロス処理技術の特長、実証設備でのアルミニウム回収および残灰処理結果などについて報告する。

### 1. 回転アーク炉の特長とアルミニウムドロス処理技術

回転アーク炉を写真 1 に示す。本回転アーク炉は水平方向に対向する 2 本の黒鉛電極間に電気アークを発生させ、炉体を回転しながら所定の加熱をおこなう構造になっている。さらに、炉内温度、被加熱物温度の制御が可能で、自動プログラム運転による昇温、温度保持の機能などを有している。写真の実証炉でのドロス処理量は、1 バッチ当たり約 500kg で、直流電源を使用したアーク

の最大出力は 600kW である。

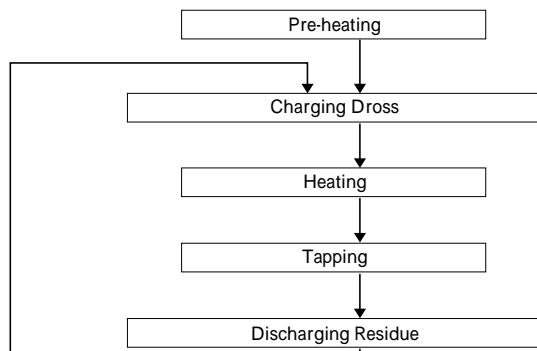
アーク炉による加熱は電気アークによる放射伝熱が主体で、対流伝熱を主体とするバーナー炉にくらべ、排ガス量が極端に少ないのが特長で、排ガスに伴伴するダストの飛散がきわめて少ないこと、排ガスの持ち去り熱量が少なく熱効率が高いこと、吹込むガス種により炉内の雰囲気制御することが可能なことなどが大きな利点である。さらに、アーク柱の温度は 3 000~5 000 ときわめて高いため、急速加熱および高温加熱が容易であることも大きな利点の一つといえる。このような特長を有するアーク炉をアルミニウムドロス処理に適用したものが、著者らが開発した新アルミニウムドロス処理技術で



第 1 図 新アルミドロス処理フロー  
Fig. 1 Flow of aluminum dross treatment



写真 1 回転アーク炉  
Photo.1 Rotary arc furnace



第2図 回転アーク炉によるアルミ回収フロー  
Fig. 2 Flow of aluminum recovery by rotary arc furnace

ある。第1図にアルミニウムドロスを処理フローを示す。アルミニウム回収工程では、アーク炉により不活性雰囲気下でアルミニウムドロスを加熱することにより、アルミニウムの酸化による損失を抑えることができ、高回収率でアルミニウムがえられる。残灰処理工程では、アルミニウム回収後の残灰を解砕し、再度アーク炉に投入して酸性雰囲気下で高温焼成することにより、悪臭原因となる窒化アルミニウムや塩化物などを分解し、安定なアルミナやスピネル ( $MgAl_2O_4$ ) に改質することができる。アルミニウム回収、残灰処理いずれにおいても雰囲気気の保持および反応に必要なガス供給のみであるため、排ガス量をきわめて少なく抑えることができる。

## 2. 回転アーク炉によるアルミニウム回収

### 2.1 アルミニウム回収運転方法

第2図に回転アーク炉によるアルミニウム回収の処理フローを示す。

炉体を予熱した後、アルミニウムドロスを回転アーク炉に投入し、炉内をアルゴン置換する。炉体を回転しながらアークによりアルミニウムドロスを900℃程度に加熱し、ドロス中のアルミニウムを溶解する。アルミニウムを溶解した後、炉体側面部に設けられたタップホールよりアルミニウム溶湯を回収する。なお、加熱時およびタッピング時には、炉内への空気への侵入による溶融アルミニウムの酸化を防ぐ目的でアルゴンガスを炉蓋から少量流している。タッピング後は、炉体を傾動させて残灰を排出する。

アルミニウム回収は、式(1)のようにドロス中のアルミニウム含有量を基準とするアルミニウム回収率で評価をおこなっている。

$$\text{アルミニウム回収率} \% = \frac{WM}{WD} \times \frac{CD}{100} \times 100 \dots\dots (1)$$

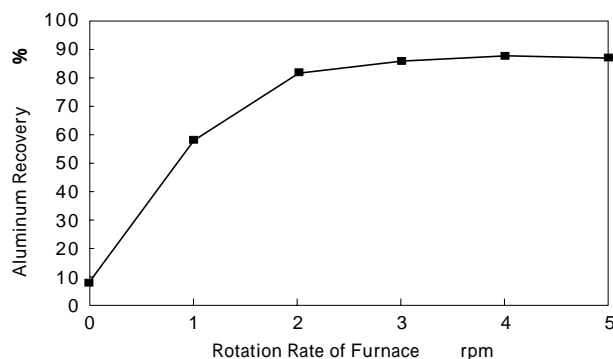
WD : 原料投入ドロス重量 kg

WM : 回収アルミニウム重量 kg

CD : 原料ドロス中アルミニウム含有率 (mass%)

### 2.2 アルミニウム回収結果

アルミニウム回収率は、加熱パターン、炉体回転速度などの処理条件によって影響を受ける。第3図に、その一例として炉体回転数とアルミニウム回収率の関係を示す。同図のように、回転静止の状態では、アルミニウ



第3図 アルミニウム回収率に及ぼす炉体回転数の影響  
Fig. 3 Effect of rotation rate of furnace on aluminum recovery

ムはほとんど回収されないが、回転速度の増加にともない回収率は向上する傾向を示している。これは加熱時にドロスに回転などの機械的攪拌を与えると、アルミニウム表面を覆っている酸化膜の破壊が促進され、粒子内に閉じこめられていたアルミニウムの湯滴が流出しやすくなること、さらに、回転により流出した湯滴の相互接触が促進され、溶湯の形成が容易になるためと推定される。

第1表は、アークの出力一定制御で加熱する運転、炉内温度制御で加熱する運転、およびドロス温度制御で加熱する運転の三つの加熱パターンにおけるアルミニウム回収率を比較したものである。なお、第4図にそれぞれの加熱パターンにおけるアーク出力、炉内温度、ドロス温度の推移を示す。

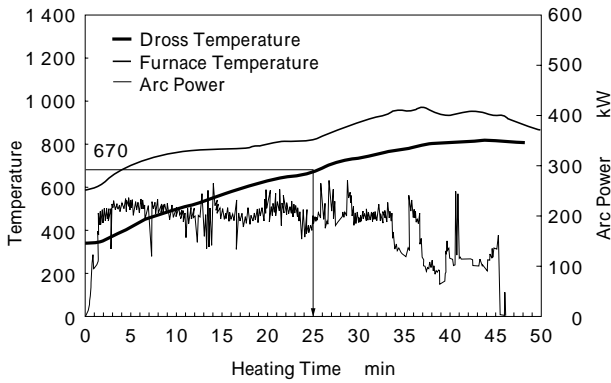
第1表に示すようにいずれも加熱時間は45min、消費電力は160~170kWhとほぼ一定であるにもかかわらず、炉内またはドロス温度制御をおこなう運転が、アーク出力を一定にする運転にくらべて10~15%程度高い回収率をえている。

第4図に示すアーク出力を一定にした運転では、ドロス温度がアルミニウムの融点である670℃付近に達するのに25minを要する。これに対して加熱初期に高出力のアークで加熱する炉内温度制御およびドロス温度制御運転は、12~14minで670℃に達しており、融点以上の温度に加熱されている時間が30min以上と長い。そのため、ドロス粒子内から流出したアルミニウム湯滴の合一がおこりやすく、アルミニウム溶湯への合一も確実となるために高回収率がえられる。さらに、急速加熱による熱衝撃によりドロス表面の酸化膜層が破壊されやすく

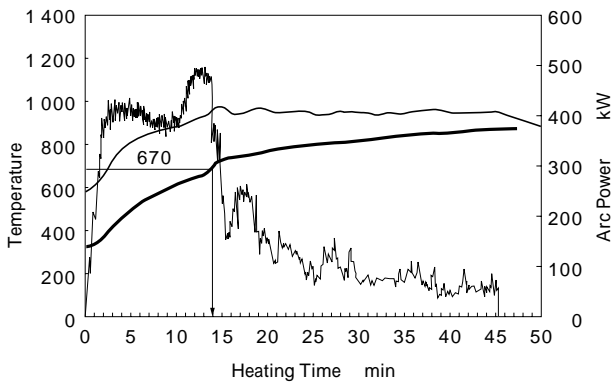
第1表 加熱パターンとアルミニウム回収率  
Table 1 Aluminum recovery for heating pattern

Heating Pattern	Al Recovery %	Electrical Power Consumption kWh
Arc Power Controlled Operation	75	160
Furnace Temperature Controlled Operation	87	160
Dross Temperature Controlled Operation	93	170

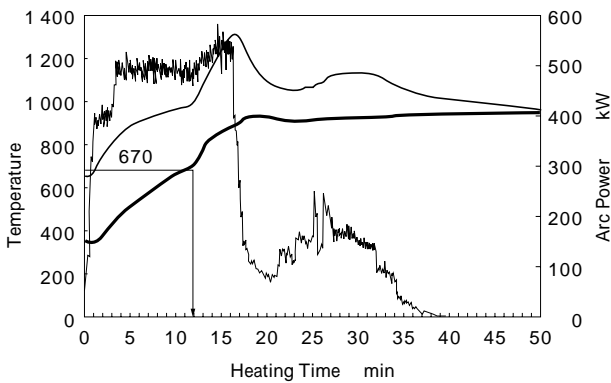
Weight of Dross : 500kg, Heating Time : 45min



(1) Arc power controlled operation



(2) Furnace temperature controlled operation



(3) Dross temperature controlled operation

第4図 各加熱パターンにおけるアーク出力、炉内温度およびドロスの温度の推移

Fig. 4 Change in arc power, furnace temperature and dross temperature with heating time on heating pattern

なったことも温度制御運転で高い回収率がえられた原因の一つであると考えている。

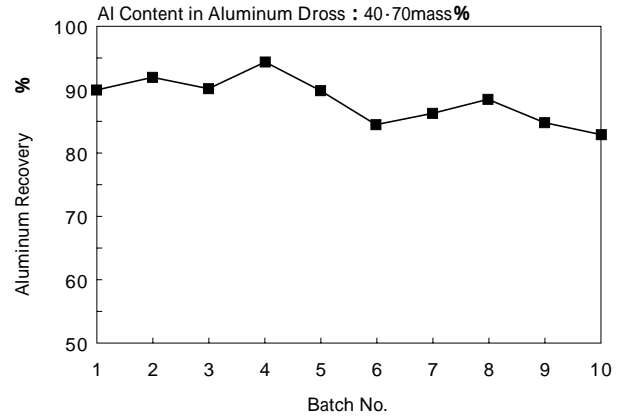
このように、目標温度まで急速に加熱し、その温度を保持するような温度制御運転により回収率の向上、処理時間の短縮化が図れるため、温度制御機能を有する当社が開発した回転アーク炉が、ドロスからのアルミニウム回収に適合した設備であるといえる。

実証設備により300バッチ以上のアルミニウム回収運転をおこない、種々のアルミニウム合金溶解時のドロスについて処理条件の適正化を図ったことにより、80~90%ときわめて高い回収率が安定してえられ、しかも、ドロス投入からタッピング、残灰排出までの1サイクルの所要時間は70min程度まで短縮することができた。第5図にアルミ回収率の代表例を示す。もちいたドロスは、従来技術では必要とされていた粉碎分級の前処理をおこなっていないもので、アルミニウム含有率は40~70mass%

第2表 アルミニウム回収工程における処理原単位実績

Table 2 Utility consumption for aluminum recovery process

Electrical Power	340 kWh/t-dross
Argon Gas	7 Nm <sup>3</sup> /t-dross
Graphite Electrode	1.5 kg/t-dross



第5図 回転アーク炉によるアルミニウム回収結果例

Fig. 5 Aluminum recovery from dross by rotary arc furnace

%である。同図のように、80~90%ときわめて高いアルミニウム回収率がえられており、粉碎分級などの前処理が不要であることがわかる。なお、このときのアルミニウム回収後の残灰中のアルミニウム含有量は平均で5.5mass%であった。

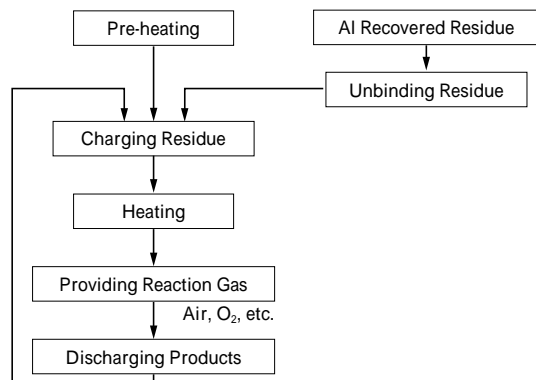
第2表は、アルミニウム回収におけるドロス1tあたりの消費電力量、電極消耗量、アルゴン使用量の実績値をまとめたものである。同表のように、消費電力としては、340kWhと、比熱およびアルミの融解熱から計算される必要理論熱量305kWhに対して大差はなく、熱効率80%以上の効率的なプロセスである。

### 3. 回転アーク炉による残灰処理

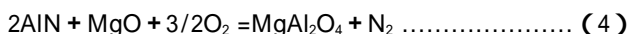
アルミニウム回収後の残灰には、悪臭原因となる窒化アルミニウムや塩化物が含まれており、これらが残灰を有効利用する際に障害となる。そこで、残灰を焼成することにより、安定なアルミナに改質し、アルミナの代替原料として有効利用することを残灰処理の目的としている。

#### 3.1 残灰処理運転方法

第6図に回転アーク炉による残灰処理フローを示す。アルミニウム回収後の残灰を解砕したものを予熱した回転アーク炉に投入し、1300程度まで加熱する。加熱後、炉内に空気などの酸化性ガスを90~120min供給する。塩化物は窒化アルミニウムにくらべて分解温度が低いため、加熱初期において塩化物の分解がおこる。残灰中のアルミニウムと窒化アルミニウムは、式(2)~式(4)の酸化反応によりアルミナまたはスピネルに改質される。なお、窒化アルミニウムの酸化反応は、温度が低下すると反応速度が低下するため、反応ガス供給時も炉内の温度が所定温度になるようにアークによる加熱をおこなう。反応終了後は、アルミニウム回収時と同様に炉体を傾動させて残灰を排出する。



第6図 回転アーク炉による残灰処理フロー  
Fig. 6 Flow of residue treatment by rotary arc furnace



### 3.2 残灰処理結果

第7図は、残灰粒度別の窒化アルミニウムの分解速度を示したものである。同図のように、窒化物の分解速度は酸素の粒内拡散律速と推定され、粒度によって異なっている。0.5mm以下の細粒では、きわめて速く窒化物が分解されており、60minの処理で残存窒素量1mass%程度に低減されている。いっぽう、0.5~2mmの比較的粒度の大きな残灰においても、アークにより容易に高温加熱がおこなえるため、90minの処理で残存窒素量2mass%以下に分解されている。このことから、残灰をあらかじめ2mm程度に解砕して、残灰処理をおこなうと残存窒素量2mass%以下と良好に窒化物が分解できることがわかる。

実証設備により100バッチ以上の残灰処理運転をおこない、処理条件の適正化を図った。第3表は、回転アーク炉によってえられた処理残灰の化学分析結果例を示している。窒化アルミニウムは1.5mass%、塩化物は50ppm以下まで低減され、アルミナ含有量が90%程度に増加している。第8図に、処理残灰のX線回折結果を示す。同図のように、コランダム( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )およびスピネル( $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ )のピークのみ認められ、窒化アルミニウム、アルミニウムのピークは認められない。このことから、処理残灰は安定な物質であるコランダム、スピネルに改質されていることが明らかである。

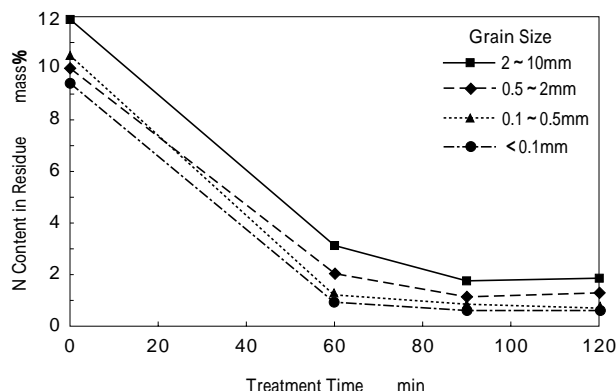
この処理残灰は耐火物、セメント、タイルなどの原料アルミナの代替品として利用可能との評価をえている。

むすび=回転アーク炉をもちいたアルミニウムドロス処理技術は、粉碎分級などの前処理が不要となり、しかも80~90%ときわめて高い回収率でアルミニウムを回収することができる。また、処理時間が短く、熱効率の高いプロセスであり、ダストの飛散も少ないことから作業環境も大幅に改善されるものと確信する。さらに、高温

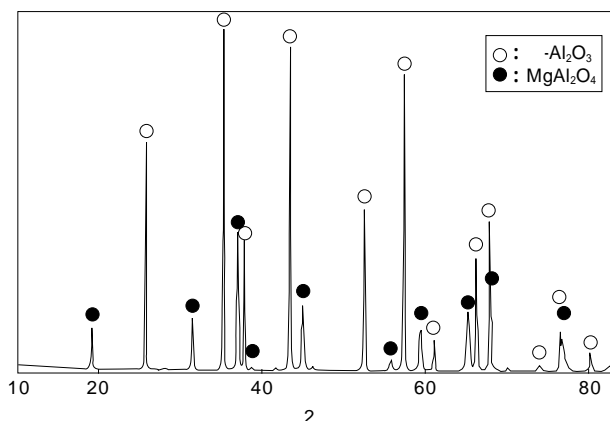
第3表 処理残灰の化学分析結果例

Table 3 Chemical compositions of residue and treated residue mass%

	metal-Al	$\text{Al}_2\text{O}_3$	AlN	MgO	Cl
Non-treated Residue	2.3	39.3	35.1	7.2	0.25
Treated Residue	<0.1	88.4	1.5	5.4	<0.005



第7図 残存窒素量に及ぼす処理時間、粒度の影響  
Fig. 7 Effects of treatment time and grain size of residue on decomposition of nitrogen compound



第8図 回転アーク炉でえられた処理残灰のX線回折結果  
Fig. 8 X-ray diffraction pattern of treated residue

焼成が可能であるため、残灰を安定なアルミナに改質することができ、産業廃棄物として埋立処分されていた残灰がアルミナの代替原料として有効利用可能となる。

以上のように、本技術のメリットは大きく、割安な夜間電力の使用により、より経済的な処理技術となる。現在、この実証炉の設計、運転によってえられた知見、課題をもとに商用機の検討をおこなっている。本技術の普及により、アルミニウム回収率の向上、作業環境の改善、残灰有効利用による産業廃棄物の低減など、環境保全に貢献できることを期待している。

### 参考文献

- 1) 社団法人軽金属協会「アルミニウムドロスの処理とそのリサイクルに関する調査研究報告書(1996), p.10.
- 2) 公開特許, 平 5-51601.