嫌われたアルミ灰の行方 —自助努力は間に合うか—

大西 忠一*

1. はじめに

まずは図1をご覧頂きたい。今年3月、ある大新聞があったかも特集を組むがごとく、アルミ灰関連の記事を掲載した。もちろん、不法投棄や不法輸出の摘発や疑いあつてのことだが、報道されたような事実もあり、そうでない事情もあつて複雑である。ともかく、関係者に強い衝撃を与えたのは図1にある精錬2業者逮捕の報道である。不法投棄で摘発された業者に正常な取引と思って処理を委託した側から逮捕者がでたのである。法律の改正によってこうした事態の起こりうることは予測されたが、身近な事実として実際に起きてみると、改めて身の回りを見回して冷や汗を拭いた者も多かったに違いない。こうした一連の事件、報道をきっかけに、アルミ灰はすっかり社会的認知を受け、危険な産業廃棄物の一つとして嫌われてしまった。しかし、鉄鋼に次ぐ第二の金属として我が国のアルミニウム生産は年産400万トンを超え、軽量化、小型化、高速化、高機能化などの旗手として21世紀にも大いに期待される材料であり、社会から姿を消すことはあり得ない。そして、アルミニウムの生産現場からは廃棄物であるアルミ灰がでる。したがって、これをいかに処理し処分するかは、関係者に課せられた緊急で重要な課題である。やり損なえば社会の排斥を受け、外圧によって解決を迫られる最悪の事態に陥りかねない。

本稿では、副題に掲げた「間に合うか？」ではなく、「間に合わせねばならない問題」として関係者が続ける必死の努力を紹介し、この問題に係わった者の一人として正しく理解して頂くとともに、支援を仰ぐ一助としたい。

* 大阪府立大学助教授；工学部機能物質科学科(〒599-8531 堺市学園町1-1)
The Place where the Disliked Aluminum Dross Waste is Going;
Tadakazu Ohnishi (Department of Applied Materials Science,
College of Engineering, Osaka Prefecture University, Sakai)
Keywords: aluminum dross waste, waste disposal, innocent treatment, recycling, environmental problem
1998年8月10日受理

図1 アルミ灰の不法投棄や違法輸出疑惑を報じる新聞記事。

2. アルミ灰とは何か

金属を溶解すると不純物や不要物が鋳滓として分離してくる。アルミニウム溶解時に発生する鋳滓を「ドロス」という。ドロスの発生量を極力抑制することは重要であるが、発生を完全に避けることは不可能である。ドロス中には金属分を多量に含むので金属回収(搾るといふ)を図ったものを「灰」、残留金属分の多少に関わらず廃棄対象となるものを「残灰」と称する⁽¹⁾⁻⁽³⁾。本稿では簡単のため、除滓したままの「ドロス」と搾りをかけた「アルミ灰」とに大別して記すことにする。

アルミ灰は鋳滓であるから雑多な成分からなり、組成は極めて複雑で、かつ、一定しない。同じ原料を使って同じように溶解しても、操業方法やその後の取り扱い方で異なってくる。廃棄物であるから、通常は一定の性状にしようとするような努力はなされない。規格もない。これが再利用の際にも廃棄の際にも様々の問題を引き起こす。

アルミ灰が無害なものであれば何の差し支えもないが、残念なことにアルミ灰には公害や環境汚染に結びつくようないくつかの要素が存在する。まず第一は、窒化物(ほとんどが窒化アルミ)を初めとする加水分解を起こす物質がかなり多量に含まれることである。これらの物質は次に示すような反応によって処理中、保管中、あるいは廃棄時に雨水等によって加水分解しガスを発生する。

窒化アルミの分解によるアンモニアガスの発生が特に多く、悪臭公害の素になる。水素やメタンには引火の恐れがある。これらの反応はいずれも発熱反応であるので、蓄熱すると相当な高温にまで達し、反応の促進と火災の危険がつきまとう。したがって、これらの反応を予防してからでないと廃棄すらできない。特に問題は窒化アルミで、数%から数10%も含まれることがあるが、何時どのようにして形成されるのかさえまだ十分には分かっていない。純化合物と同じものなのかどうかにも研究の余地がある。しかし、生成機構解明や物性の把握も重要であるが、さし当ってはその除去をどうするかが緊急課題になっている。

成分的なもう一つの問題は塩化物の生成である。塩素ガスを発生させたり、最近ではダイオキシンとの関係で嫌われる代表的元素の一つとなっている。幸いなことに、アルミ灰からダイオキシンは検出されていないが⁽³⁾、廃棄時の環境汚染や再利用時の障害の原因になる。塩素の混入経路は比較的にっきりしており、溶湯の清浄化と品質改善を図るために使われる塩素ガスあるいは塩素系フラックスからの混入が大部分を占める。したがって、極力塩素を使用しないことであるが⁽³⁾、簡単には行かない事情もある。新地金を中心に使う場合には元々不純物が少ないので溶湯処理も簡易であり、塩素ガスや塩素系フラックスを多く使わなくとも済む。非塩素系のフラックスも多く開発されているので、それらを使ってもよい。しかし、スクラップ材を多く使う合金製造などでは、溶湯の清浄化やある種の元素除去(Mg等)に塩素以上の有効性を持つ代替品を見出せないでいる。リサイクルが進むとスクラップ材の利用も増加するが、これはドロス発生量を増やし、塩化物の増加も必要悪的に付いてくる。リサイクルの推進と汚染物質の増加というこのジレンマから、容易には抜け出せそうにないのが現実である。

3. ドロス処理の現状

ドロスの抱える問題は他にもあるが、詳しくは文末の参考文献などを参照されたい。いくつかの問題を抱えるドロスの発生量は現在年間約35万トン、アルミ灰となって処分対象にされるのが約20万トン、内約半量が鉄鋼業で再利用されており、残り約10万トン強が廃棄処分されている(図2)。先ず、廃棄されるアルミ灰がどのように処理されているかを見てみよう。

アルミ灰を無害にする方法は多く工夫されている。しかし、問題はその処理コストである。廃棄物という余り物を対象としたとき、従来の経済通念でいえば高価な方法は採用されない。我が国で最も普通に採用されているのは「水処理」と呼ばれる方法で、これは前記した加水分解反応を予め起こさせてしまう方法である。アルミ灰に水を散布するか、プールのような水溜めに投入して反応させる。上手くやれば窒化

物の60%程度は分解でき、当面の悪臭公害は避けられる。もちろん完全ではなく、塩化物の分解などはほとんど進まない欠点もある。比較的安価に済むが、それでもこの処理費用と運送費、埋立等の処分料を合わせると、全国平均で3~4万円/トンの経費をかけて廃棄していることになっている。当事者間の力関係で価格が決まるといった現実から抜け出し、処理と費用負担のルールを早く確立しなければ、最初に示したような社会悪の根は絶えないであろう。

より完全な無害化処理法を採用することも急がねばならない。それは「カネ」の問題ではなく、社会的責務だといってよい。一つの方法は高温焼成することである。1300 K程度以上の高温に曝すとほとんどの化合物が分解し、酸化物主体の無害なものになる。廃棄しても問題にならないし、再利用の際にも有効な前処理手段となる。なぜなら、今考えられている再利用用途のほとんどすべてで、窒素や塩素の残留が嫌われるからである。高温焼成の効果は明白で(表1)、当面の無害化推奨法としても提言されている⁽³⁾。しかし、水処理よりも相当高価につき、焼成費用だけで3~5万円/トンが現状ではかかる。良いと分かっているにもかかわらず吸収できるコストではない。ここでも関係者の悩みは深い。

しかし、ある大手の埋立処分業者は、遅々として進めぬ業界の動きに業を煮やし、また、自身の社会的責任にも思いを致し、自前で無害化処理を図ろうとしている。廃棄物を不法に持ち出したのではないかと指弾を受けたあるドロス精錬業者は(図1とは別、その後正常な取引と認定された)、一時窮地に陥ったものの、廃棄を避けているという理由で引合いが増加しつつあるという。環境は急速に変わってきており、

図2 アルミ灰の発生量とその再利用の推計量(1996年、単位：千トン)⁽³⁾。

表1 アルミ灰の処理方法による組成変化と分解効率の例(単位：質量%)。

	M-Al	Al ₂ O ₃	SiO ₂	AlN	Cl	処理時間
未処理	16	56	9	8.79	3.50	
水処理	<10 (38%)	67	10	3.51 (60%)	3.30 (6%)	24 h
高温焼成	<0.5 (88%)	80	12	0.58 (95%)	0.05 (99%)	1 h

( )内は分解効率

廃棄物に対する社会の目は1年前とは様変わりなほど厳しさを増している。社会の要求する方向に速やか、かつ、十分に応えられなければ、結果は自ずと知れよう。

4. アルミ灰の再利用

先にも述べたように、アルミ灰の主要再利用用途先は鉄鋼業である。排出される量の約半分、10万トン強が使われている。利用目的は表2⁽²⁾に示すように脱酸、脱硫、エネルギー単位の引き下げ、生成スラグの組成調整、製鋼時間短縮など様々である。利用目的に応じて当然ながら要求品質がある。残留メタル量を比較的多く求めるものが多いが、逆に、メタル分の残留が嫌われる用途もある。操業上の都合や作業環境の点などから窒素分や塩素分、ケイ酸や亜鉛などの含有量にも注文のつくことも多い。粉体のままでは装入しにくいので造粒の求められることも普通である。こうした要求を満足させても、基本的には廃棄物で、捨てるよりはましといった価格設定になっているのが実状である。

それでも、鉄鋼業への利用は発生量の約半分に達しており、現実には最も大切に、今後の進展にも期待したい再利用用途先である。鉄鋼業における副資材の使用比率からいっ

て、アルミ灰の利用は飽和に近づいているといった見方もあり⁽²⁾、日本の鉄鋼業の生産量がここ数十年ほぼ横ばいを続けていると考え併せると、どこまで期待できるかには疑問符がつく。しかし、単なる廃棄物の処分とその受入、したがって、安ければ使うといった視点を離れ、全体の廃棄物処理、環境保全の観点からもう一度見直されることにも期待したい。

再利用可能と思われる用途先の例は表3に挙げた。鉄鋼業以外ではごく一部(約1万トン)が特定のセメント業で使われているだけで、その他は研究、試作段階で終わっている。再利用できれば捨てるより遙かに良いことは分かり切っており、昔から数多くの試みがなされてきた。にもかかわらず普及しない理由は、アルミ灰を使うことの利点・付加価値が容易には見出せないこと、必要な処理にコストがかかり(表3からも分かるように、高温焼成のようなかなりコストのかかる処理を施さねば使えない用途が多い)、コストメリットを出しにくいことなどである。低価格なら、逆有償ならいくらかでも使うといった需要先はあっても、これでは出荷元の負担が大き過ぎて、安く捨てた方がましということになる。再利用と簡単にいうが、現実の壁は極めて高く、厚い。

表2 アルミ灰の鉄鋼業における用途例。

利用目的	要求 M-Al 含有量 (mass%)	使 用 工 場						利 点
		高炉製鍊			電炉精鍊			
		溶銑	転炉	製鋼	EL	LF	AOD	
予備脱酸 スラグ脱酸・改質	65～75			○				脱酸剤使用量低減 コストメリット
脱酸	30～50			○	○	○	○	脱酸コスト低減
昇熱	25～50		○		○	○		電力コスト低減
スラグ改質	10～50		○		○			操業時間短縮
溶銑脱硫促進	10～30	○						脱硫コスト低減
フラックス原料	10～70		○	○		○		製鋼時間短縮・簡素化
造滓剤	0					○		低コストアルミナ源

EL：電気炉 LF：取鍋 AOD：アルゴン・酸素精錬

表3 アルミ灰の処理法と再利用用途の可能性。

用 途	アーク加熱焼成灰	キルン焼成灰	水処理灰	無処理	アルミ灰需要市場規模(年)
耐熱れんが	○	×	×	×	数千トン
普通れんが	○	○	×	×	2~3万トン
タイル	○	○	未確認	×	20~30万トン
レジンコンクリート	○	未確認	△(未確認)	×	2万トン
道路資材	○(未確認)	○	×	×	不明
セメント	○	○	○	△	不明
鉄鋼用副資材	×	×	×	○	10万トン
スラグアルミナ源	○	○	△(要乾燥)	×	数千トン
コンクリート骨材	○	○	○	○	不明
肥料	×	×	×	○	不明

○：使用できる △：可能性あり ×：使用不可

5. 捨てずに使うための工夫

廃棄物処理が現代社会の重要問題で、将来の持続的発展に欠かせぬ課題の一つであるなら、四の五のいっている場合ではない。行政や社会の支援を仰ぐとしても、まず当事者が自らその歩みを速めねばならない。

アルミ灰に関する課題は数多いが、基本は完全な無害化を図ることと、捨てないで済む再利用を進めることである。残念ながら、安価な無害化処理法は簡単に見つかりそうにない。水処理は簡単で安価だが、不完全である。高温焼成は完全に近いが、高価につく。簡易で安価で、かつ、完全な無害化処理法の開発が急がれるが、それまでは「カネ」より「効果」であろうか。良い方法が見つからないからといって放置できないことは、昨今の幾多の事件が事実として証明してしまっている。

経費をかけるなら捨てるより使う方がよいに決まっている。リサイクルだ、循環型社会構築だと大上段に振りかぶらずとも、無害化処理と再利用を組み合わせる考え、再利用できた分だけ処理経費の低減に貢献できるのだと割り切れば、結構色々な方法があるようにも思える。再利用への模索は早くからあったが、昨今の情勢を踏まえて今再び種々の場で精力的に検討されている。表3にあるような早くから検討されているもの以外の、新しい試みの幾つかを紹介し、良い知恵があったらお借りしたい。

(1) テルミット反応剤としての利用

ドロスやアルミ灰中の金属分と酸化鉄等が高温で接するといわゆるテルミット反応が起きる。注意しないと爆発的に反応して危険でもあるが、上手く制御すれば反応熱によるエネルギー原単位の引き下げや、強い還元能力による歩留まりの向上や各種金属系廃棄物からの還元回収精錬が期待できる。電炉精錬時の副資材としての開発に成功したと伝えられる⁽⁴⁾、スラッジやダスト類からの金属分の還元回収に使おうという試みもなされている⁽⁵⁾。アルミ灰中のメタル濃度、粒度や反応の起こさせ方などに工夫はあるが、テルミット技術そのものはすでに実績があるので、使い方によっては期待できるかも知れない。高熱を発するので各種化合物は分解すると考えられ、簡易な前処理で使えるかも知れないのも魅力である。

(2) 窯業への利用

タイル、レンガ、レジコンなどへの利用は古くから検討されているが、大きな市場を有するだけに最近再び注目されている。焼成したアルミ灰で製造工程に若干の注意を払えば、既存品と同等かそれ以上の品質の得られることが確かめられ、後は価格の問題だけになっている⁽³⁾。

(3) 肥料としての利用

加水分解時に発生するアンモニアを肥料として使おうとい

う試みは早くにあった。しかし、主成分のアルミナが土壌を硬くするため断念されていた。それなら予め固化成形し、徐々に反応するようにして肥料徐放性材料にしようとする試みがある⁽³⁾。まだ課題は残っているが、前処理が要らない(窒化アルミのある方がよい)のでコストメリットが大きく、検討の価値はある。

(4) 人工ゼオライト

高い陽イオン交換容量や大きな活性比表面を持ち、吸着能の高いゼオライトは高い付加価値と広い用途を持つ期待の材料である。アルミ灰や他の廃棄物を使って人工ゼオライトを作ろうとする試みが愛媛大学のグループなどを中心に行われており、アルミ灰を使っても成功したと伝えられている⁽⁶⁾。経済性に乏しいから廃棄物扱いされるのであって、費用をかけても高い付加価値を持つなら立派な商品である。この点で人工ゼオライトは全く問題なく、期待したい。

6. お わ り に

ある事件をきっかけにアルミ灰はすっかり嫌われ者の地位を確立してしまった。もちろん、こうなる背景があって露呈したに過ぎず、心ある人々の心配が的中したに過ぎない。放置してきた訳ではない。解決を目指して必死の努力が続けられてきたことは、ここに紹介したいいくつかの例でも分かるであろう。しかし、科学的・技術的には可能でも、経済性原理が問題を先送りしてきたことも事実である。なにやら昨今のどこかの国の政治・経済状況を見るようであるが、今や待ったなしで、時間との勝負にもなりつつある。学問、技術、業種、専門の垣根を超えて英知を結集すれば、よい結果が得られるに違いない。前項(3)、(4)などは農学関係者の努力によっている。当事者の努力はもちろん、広く知恵を集めることが大切である。良い知恵があれば是非ともお貸しいただきたい。廃棄物問題の円満な解決はアルミ灰に限らずすべてについて同じである。汚染にまみれて切羽詰まる前に、関係者はもちろん、すべての人々の自助努力で解決を図らねばならない。

文 献

- (1) 平成7年度アルミニウムドロスの処理とリサイクルに関する調査研究報告書、軽金属協会、(1996)。
- (2) 平成8年度アルミニウムドロスの処理とリサイクルに関する調査研究報告書、軽金属協会、(1997)。
- (3) 平成9年度アルミニウムドロスの処理とリサイクルに関する調査研究報告書、軽金属協会、(1998)。
- (4) 平成9年度電気炉ダストおよびアルミニウムドロスのリサイクル技術の開発成果報告書、JRCM、(1998)。
- (5) 次世代における資源リサイクル型環境エネルギーシステム、高温学会シンポジウムテキスト、(1998)。
- (6) 私信(註)農業資源活用センターより(註)軽金属協会への非公式報告書、(1998)。