

フライアッシュの有効利用について

Utilization of Fly Ash

浜 田 善 久*

Yoshihisa Hamadao

1. はじめに

石炭燃焼によるエネルギー供給には、排ガスおよび排出灰による環境汚染という問題があり、その対策が重要な課題の一つになっている。我が国におけるエネルギー源としての石炭の利用は、昭和30年代半ばからの廉価な石油の流入により一時減少はしたものの、昭和40年代末からの二度にわたる石油事情の急変により、代替エネルギーの一つとして見直され再び需要が拡大した。そしてその後の原子力開発など他の代替エネルギー開発の伸び悩みによって、我が国の石炭消費量は増大し、昭和65年代末には504～672万t、昭和70年度には756～1,000万tを越えるであろうともいわれている。このように大量に発生し、今後ますますその量を増大していくであろう石炭灰については、これまでも種々の利用法が検討されてきたが、今のところ我が国では、一部セメント原料、肥料および土壌改良などとして利用されてはいるものの、その大部分すなわち70～80%が十分に活用されることなく、埋立造成用とされたり、または単に灰捨場に投棄処分されている。これまでのところ、これら埋立あるいは投棄処分された石炭灰による基準値を越えるような環境汚濁はなく、危険は少ないともいわれている。しかし、近年、石炭灰の大量投棄と長期にわたる埋立に対して種々社会的環境制約が厳しくなり、その用地確保は年々困難の度を増しており、今後の石炭利用の増大に対応して、石炭灰の処理対策が強く望まれるようになってきている¹⁾。

本稿は石炭灰のうち、その大部分を占めるフライアッシュの有効利用について主に金属の回収の観点にたって検討した。

2. フライアッシュの有効利用

2.1 フライアッシュとは

石炭灰の種類は、その燃焼方式により異なり、燃焼方式を大別すると、乾式（微粉炭）燃焼、ストーカ式、湿式（スラグトップ、またはサイクロン式）燃焼、流動床燃焼、となる。我が国における石炭火力はほとんど微粉炭燃焼方式で、ボイラー炉底（ボトム）に落下するものをクリンカーアッシュ（またはボトムアッシュ）、エコノマイザー下部で採取される灰をシングアッシュ（またはスラッキングアッシュ）、電気集塵機下部で採取されるものをEP灰といい、フライアッシュは、シングアッシュとEP灰を総称して呼ぶのが通例である。その発生率はクリンカーアッシュ10～25%、シングアッシュ5%、EP灰70～85%であり、フライアッシュが石炭灰の75～95%を占めている。また、燃焼温度から分類すると微粉炭燃焼（約1,500℃）からのものを高温灰、流動床燃焼（70～950℃）のものを低温灰と呼び、高温灰は大部分はガラス状となり、結晶状のものは少なく化学的に安定しているのに対し、低温灰は溶融して少なく、未燃炭分も高温灰よりも比較的多くこれからの石炭火力における燃焼技術になるであろうといわれる。

2.2 フライアッシュの性状

石炭灰の安全な処理、処分法、または積極的な有効利用技術を確立するうえで、まず第一にその性状を明らかにしておく必要がある。石炭灰の性状のとらえ方として、物理的性状と化学的性状があり、物理的性状には、粒度分布、比表面積、形状、色、密度、気孔、結晶化度、ガラス化度、流動性、粉化性、ぬれ性、吸湿性、耐熱性、溶融温度、熱伝導率、電気固有抵抗などが挙げられ、また、化学的性状には、灼熱減量、pH、組成、トレース成分、リーチング特性、活性度などが挙げられ、既に多くの研究者によって各種の報告がな

* 公害資源研究所資源第3部第2課長
〒305 茨城県つくば市小野川16番3

されている^{1),3)-6)}。フライアッシュ中の金属を有効利用する際に関連すると考えられる鉱物組成と化学組成について概説する。

(1) 鉱物組成

石炭灰は各化学成分が単独で介在するものではなく、溶融によって化合物となって存在し、その結晶質鉱物の種類は、αクォーツ (quartz, SiO₂, 多), ムライト (mullite, 2SiO₂ · 3Al₂O₃, 多), マグネタイト (magnetite, Fe₃O₄, 少〜トレース), ヘマタイト (hematite, Fe₂O₃, 少〜トレース), 方解石 (calcite, CaCO₃, 微〜トレース), 生灰石 (quicklime, CaO, 微〜トレース), 灰石 (anorthite, CaAl₂ · Si₂O₈, 微, クリンカーのみ), 硬石膏 (anhydrite, CaSO₄, 微〜トレース), 炭素 (carbon, 少〜微) など9種におよんでいるが、他の微量鉱物も含まれるといわれている。また、非晶質のガラス分も多量に含まれている⁷⁾。透過および反射による顕微鏡観察では石英、長石、ムライトが確認でき、またリム状にヘマタイトを伴っているマグネタイト、不定形の炭素などが確認さ

れている¹⁾。

(2) 化学組成

フライアッシュの化学組成を内外炭別に統計化したものを表1に示した。

フライアッシュの主成分は、国内炭灰が海外炭灰より平均値でSiO₂が2.9%増、Al₂O₃が1.5%減、Fe₂O₃が1.2%の減になっている。その成分のバラツキは産炭地が四大陸に分散しているため海外炭灰の方が大きい⁷⁾。また、1%以下の微量成分としては、表に示したもののほか、V₂O₅, B₂O₃, SrO, ZnO, BaO, Be₂O₃, PbO, CuO, NiO, ZrO₂, Cr₂O₃, SnO₂, などが報告されており⁸⁾、さらにトレース元素は極めて多種含まれている。

2.3 フライアッシュの有効利用

三輪らの視聴情報・文献などからまとめた内外における石炭灰の利用項目と利用状況を表2に示した。なお、アメリカ (Northern State Power Company, Portland Cement Association, New York State, Energy Research and Development Authority,

表1 フライアッシュの化学的組成統計値
(石炭利用技術研究発表会講演集 (第十回), p.115)

項 位 (単位)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	TiO	MnO	P ₂ O ₃	
国内炭灰	範囲(%)	47.6 ~64.8	18.1 ~28.9	3.4 ~ 7.3	2.1 ~ 9.0	0.7 ~ 7.4	0.0 ~ 7.4	0.5 ~ 1.4	0.61 ~ 2.8	0.6 ~ 2.7	0 ~ 0.1	0.1 ~ 1.4
	平均(%)	56.2	24.1	4.9	5.2	1.9	0.42	1.4	1.7	1.1	0.03	0.48
	標準偏差(%)	4.5	2.5	0.88	1.98	1.11	0.32	0.51	0.57	0.27	0.02	0.35
	変動係数(%)	8.0	10	18	38	76	76	36	34	25	67	73
	試料数(個)	31	31	31	31	29	29	29	29	18	18	18
海外炭灰	範囲(%)	40.1 ~74.4	15.7 ~35.2	1.4 ~17.5	0.3 ~10.1	0.2 ~ 2.4	0 ~ 1.0	0.1 ~ 1.1	0.18 ~ 2.1	-	-	-
	平均(%)	53.3	25.6	6.1	4.8	1.4	0.40	0.43	0.86	-	-	-
	標準偏差(%)	8.2	4.9	4.1	2.9	0.54	0.26	0.24	0.50	-	-	-
	変動係数(%)	15.4	19	67	60	39	65	56	58	-	-	-
	試料数(個)	65	65	65	65	65	59	59	59	-	-	-
内外合計	範囲(%)	40.1 ~74.4	15.7 ~17.5	1.4 ~17.5	0.3 ~10.1	0.2 ~ 7.4	0 ~ 1.4	0.1 ~ 2.8	0.18 ~ 2.7	-	-	-
	平均(%)	54.2	25.1	5.7	4.9	1.6	0.41	0.75	1.14	-	-	-
	標準偏差(%)	7.2	4.3	3.4	2.6	0.77	0.28	0.35	0.52	-	-	-
	変動係数(%)	13	17	60	53	48	68	47	46	-	-	-
	試料数(%)	96	96	96	96	96	88	88	88	-	-	-

注) 同一発電所・同一石炭の場合はこのような大きな変動はない。

表2 内外における石炭灰の利用項目と利用状況
(石炭利用技術研究発表会講演集(第十回) p.125)

項目	適用の場・体	米 国	英 国	仏 国	西 独	日 本
未 ・ 軽 加 工	埋立工	○	◎	○	○	◎
	埋戻工	△	△	△	○	△
	盛立工	○	◎	○	○	△
	土壌改良工	○		○		△
	路盤工	○	◎	◎	○	△
中 加 工	散布融雪	○				△
	混和材 フィラー 材	◎	○	○	◎	◎
研 究 中	グラウト 工	○	○	○	○	○
	凝固物 セメント 原料			○	○	△
	焼成物		○	○		◎
	肥料		○	○		△
研 究 中	ミネラル 回収 断熱材	○	○			○
	吸着材	○				○
	高級 フィラー	○	○			
各国の石炭発生量(万t/年)		7000	1300	600	700	500

注) ◎多い, ○中位, △少ない, 空欄は不明.

Conversion System, Inc. National Ash Association, Waste Virginia University, Electric Power Research Institute), カナダ (Reginia Resources, Ltd., University Calgary) など昭和58年度の調査団の報告, 昭和56年(イギリス, オランダ, 西ドイツ, フランス) の調査に海外石炭灰の研究事例が記述されている⁹⁾.

3. フライアッシュから有価金属の回収^{(10)~(12)}

前述したように, フライアッシュ中にはSiO₂の他 Al, Fe化合物を主としてTi, Mg, P, Sr, Ba, V, As, Mn, Pb, Co, 極く微量であるがGaなどの金属も含まれている。これらのうち, Fe, Al, Tiの回収については我が国をはじめ世界各国で研究, 開発が実施されてきている。

3.1 物理的処理による有価物の回収

フライアッシュから物理的処理により有価金属を回収する際, 対象となる回収技術は磁気分離である。従っ

て対象となる有価金属はFe₂O₃とTiO₂である。フライアッシュ中のFe₂O₃はマグネタイト(FeO・Fe₂O₃)とヘマタイト(Fe₂O₃)からなる。磁選によりマグネタイトを回収する場合, Si, Al, Ti, Feなどの有価金属を回収する化学的処理の前工程として位置付けるのが一般的である。従来FAM(Fly Ash Magnetite)の研究・開発は炭鉱の出炭品位の低下, 低硫黄炭要求の増大に伴い, 選炭対象原炭量が増え, 選炭用重液メジウムとして利用する必要性から行われた経緯があり, 1958年 Joppa(アメリカ)で永久磁石を用いた磁選機でFAMを回収し, れき青炭, 碎石, 鉄鉱石の重液メジウムとして使用し, 成功した。また, 1981年になると Halomet Inc.(アメリカ)はニューヨーク州の Hatfield Ferry の発電所で発生するフライアッシュを用いて, 重液メジウムとして販売するためのFAMを60,000 t/年生産した。このHalometの回収FAMは, 市販メジウムに比べ磁性体含有率が高いのが長所である。

また, Ames Laboratory ではFAM回収の磁力選別法の選定のため, 湿式(Frantz, Ferrofilter法)と乾式(Moving Field Electromagnet法)の比較試験を行った結果, 湿式法より乾式法の優れていることが報告されている。さらに市販重選メジウムと物性を比較研究し, 重選メジウムとしての適合性を調べた結果, 市販メジウムと比較して形状上研磨性が少なく磁性体含有率が高いなどの長所があることがわかった。最近, 我が国では1986年からの石炭技術研究所, 神戸製鋼所, 小野田セメントの3事業者の共同研究の中で磁選によるマグネタイト回収の研究が行われている。62年度はデービスチューブテストにより, FAM回収率の基礎実験, FAM回収法の選択試験として湿式粗選—湿式精選, 乾式粗選—湿式精選のベンチスケール試験を行い, 回収分離物の諸物性調査を行っている。

また, 酸浸出液の中和沈殿の際, 沈殿する水酸化物の沈殿分離促進剤として, 湿式磁選によって得られたマグネタイトが有効であることもわかっている¹⁾。

3.2 化学的処理による回収

現在までに検討されてきたフライアッシュからの化学的処理による金属回収について概説する。

(1) 直接酸リーチング法(Direct Acid Leaching Process, DAL法)

磁選されたフライアッシュを8N-HClで, 105°C, 約3hr抽出を行い, 抽出液を分離し, 不溶固形分はろ

過洗浄後スペントフライアッシュとする。このスペントフライアッシュは特殊の性能をもち、カ焼シリカ顔料、フィラー、エクステンダー、セメント混和剤として市場的に価値ある製品となる。一方、抽出液はフラッシュ蒸発法によって水分調節された後、イオン交換樹脂により FeCl_3 として分離する。 FeCl_3 は熱分解されて HCl が回収され、 Fe_2O_3 となる。このイオン交換樹脂システムは非常に高純度の FeCl_3 を製造することができ、この製品の目標とする市場は、仕上げ用顔料、磁性材料、特殊化学市場の触媒などである。

Fe 分を分離した残液は HCl ガスの吹き込みにより $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ の結晶が析出する。析出した $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 結晶はカ焼酸化されて Al_2O_3 となり、金属精錬用アルミナを目標とする。 $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ から Al_2O_3 製造の工程で発生する HCl ガスは回収される。 Al 分を結晶分解された残りのアルカリ分を含む溶液に対しては、 H_2SO_4 が加えられ、発生する HCl は回収され、アルカリ中の Ca 分は石膏となって沈殿分離され、製品となるが、 Mg , Sr , Ba などの不純物を含み市場が限定されるので、 Mg , Sr , Ba を別々に分離回収することも考える必要がある。石膏以外のアルカリ硫酸塩は結晶槽で析出されて、アルカリ硫酸塩結晶の製品となり、肥料、ソルトケーキとして価値をもつものと考えられる。また、 TiO_2 は価値ある副産物である。DAL法は最も簡単な方法であるが、目的とする Al の抽出率は約50%と低い。

1983年米国のKEC (Kaiser Engineering California) がEPRI (Electric Power Research Institute) と結び、ORNL (Oak Ridge National Laboratory) プロセスデータを基に有用金属に関する経済的評価の調査を行った。規模ドライベースで年間118万tのフライアッシュを処理するとするプロジェクト案で、直接塩酸リーチング法の最適化方法によるプラントの試算から経済性は十分可能性があるものとした。

(2) ハイクロール法 (Hichlor Process)

ハイクロール法は塩素化反応と溶媒抽出法の組み合わせの方法である。

揮発分を除去した石炭を還元剤としてフライアッシュに混合し、流動炉中で Cl_2 ガスまたは FeCl_3 ガスに SiCl_4 ガスの混合ガスで、反応温度 850°C で塩素化するとフライアッシュ中の Al , Fe , Ti はそれぞれ80%, 63%, 70%塩素化され、 AlCl_3 , FeCl_3 , TiCl_4 の形で得られる。これを水で溶解し、アミン系の有機溶媒

(Dow Chemical 社製, Alamine 336) で抽出すると Fe 分が抽出される。この抽出された Fe 分は逆抽工程を経て回収される。 Fe 分を除去した残液に HCl ガスを吹き込むと Al 分が結晶析出し、 Ti 分と分離される。この $\text{AlCl}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ の結晶はロータリーキルンでカ焼し、 Al_2O_3 となる。 Al 分を除去したる液から Ti 分がTBP (Tri Butyl Phosphate) によって抽出分離され、逆抽出の工程を経て Ti 分が回収される。

(3) 塩・ソーダ焼結法 (Salt・Soda Sintering Process)

フライアッシュに NaCl および Na_2CO_3 を加えた混合物を $1,050^\circ\text{C}$ で2hr焼結する。次いで未反応のナトリウム塩は水で溶出させ、 HNO_3 を加えて金属を溶出する。 Al 抽出率は99.9%以上であるが、薬剤ロスによる経済性に問題がある。

(4) カルシントー法 (Calsinter Process)

カルシントー法はフライアッシュに Ca 源を加えて焼成し、酸に安定なムライトを酸に可溶なアノーサイト ($\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$)、もしくはゲーレナイト ($2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$) にかえる方法で、炭種の化学組成に影響されず他の処理法よりも高い Al 回収率が得られる利点があるとされている。フライアッシュに石灰石と石膏あるいは脱硫スクラバースラッジを混合しペレット化する。このペレットを $1,000 \sim 1,200^\circ\text{C}$ にて20~30minばい焼して焼結し、2N以上の H_2SO_4 で浸出すると、フライアッシュ中の Al の97%, Fe の97%, Ti の82%が溶出される。この溶出液からアミン溶媒を用いて Fe 分と Ti 分とが抽出分離される。抽出残液から蒸発または HCl ガスの吹き込みにより Al 分が $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ として回収され、これはカ焼され Al_2O_3 となるが、 Al 電解用 Al_2O_3 の品質規格を越える CaO , Na_2O などの不純物が残留するので、高純度の Al_2O_3 を得ることが困難とされている。

1986年から共同研究でなされた小野田セメントのカルシントー法は62年度においては Al 回収率の低いワークワース炭灰および高い回収率の国内炭を用いて、実験室規模実験では原料の前処理条件(原料処理、焼成・冷却、焼成物の粉碎など)の Al , Fe , Ti の酸溶出率におよぼす影響、酸溶出液からの溶媒抽出および水酸化物生成ならびに酸化物生成条件を検討した。また、ベンチスケール試験ではフレック成形原料のミニロータリーキルンによる焼成条件と焼成物の粉碎条件、ベンチスケール規模の酸溶出反応槽(10ℓ)においての有価物溶出条件および溶出性能などの検討を行った。

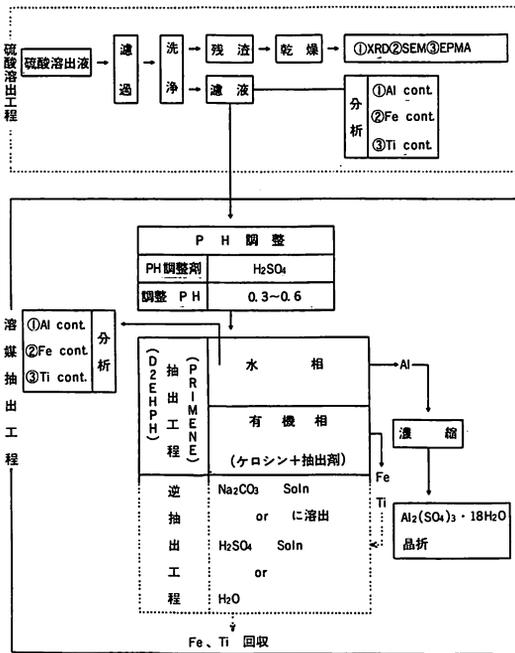


図-1 カルシナー法における溶媒抽出工程
(石炭利用技術研究発表会講演集(第十回) p.73)

その結果適正条件を選ぶことによってベンチスケール試験においては、ワークワース炭灰での溶出率はAl 97%、Fe 74%、Ti 60%、国内炭灰では、Al 98%、Fe 79%、Ti 68%と高い溶出率が得られ、いずれの炭種にも適用できること、酸溶出液から溶媒抽出法により有価物を分離回収する実験でも両炭種ともAl分配率は98%以上、Fe抽出率は88%以上、Ti抽出率は100%の高回収率が得られたと報告している。図-1にカルシナー法における溶媒抽出の工程を示した。

(5) フッ化水素法 (Fluorination Process)

フライアッシュにHFガスを反応し、Si分は SiF_4 ガスとして蒸発せしめ、残留固体をHF溶液で反応処理し、Al分とFe分をフッ化物とし、その溶液からエーテル抽出によってFe分を分離回収し、抽出残液からAl分、Ti分を回収する方法である。

フライアッシュ中の SiO_2 にフッ酸を加えると60°C以上の水溶液ではフッ化ケイ素(SiF_4)を生成するが、それ以下の温度では、ヘキサフルオロケイ酸(H_2SiF_6)を生成し溶解するといわれ、60°C以上でも水分が多いと SiO_2 の溶解は H_2SiF_6 が生成する反応が優先し、実際に溶解した SiO_2 と消費されたHF量比は4~6の範囲である。生成した H_2SiF_6 は直ちに蒸発すれば問題はないが、HF濃度が高いと加水分解によ

てケイ酸コロイド($\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)を生成し、その傾向は低温で顕著にあらわれ、液温が高いと H_2SiF_6 は蒸発し、ガス相では四フッ化ケイ素(SiF_4)とフッ酸に分解するが、 H_2SiF_6 溶液の蒸発は遅く完全に蒸発させるには3hr以上を要する。また、分解した SiF_4 ガスを水に吸収すると容易に反応して H_2SiF_6 溶液とコロイド状のケイ酸を析出する。

また、フライアッシュ中の Al_2O_3 とフッ酸との直接反応および SiO_2 の溶解で生成した H_2SiF_6 の反応は、いずれもフッ化アルミニウム($\text{AlF}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)生成する。この $\text{AlF}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ は溶解初期には可溶性の α 型として存在するが、時間の経過とともに不溶性の β 型に転換するといわれ、フッ酸濃度4N以上の場合Al溶解率が急激に低下するのこうした理由によるものである。またSiの揮発率は4N以上で最大値を示すが、 Al_2O_3 の溶解率は不溶解の $\text{AlF}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ を生成するため、フッ酸濃度としては4N以上は好ましくない。従ってAl成分を90%以上溶解し、Si成分を蒸発法によってのみ回収するとすれば、Si成分の回収率は70%程度と制約される。1986年から共同研究において神戸製鋼所・化学技術センターではフッ酸を用いる方法を採用し、酸濃度HF: 6N、HCl: 6N、溶解温度: 60°C、溶解時間: 6hrの条件でAl: 90%以上、Ti: 70%以上、Fe: 95%以上の高溶解率の成果を得た。その結果にもとづき62年度はHFを用いる特徴を生かすためにSi成分の回収およびプロセスとしての経済性を高める目的でHF濃度の低減と溶解時間の短縮を目標とした実験を行い、溶解工程にベンチプラント(石炭灰処理能力10kg/回)を建設し、溶解試験を行った結果、HF: 3.8N、HCl: 6N、溶解温度: 90°C、溶解時間: 6hrの条件においてケイ酸コロイドとして70%以上が回収でき、Al成分の溶解率はこの条件で92%の溶解率を示し、60°Cの場合と比べてHF使用量を約30%低減した。さらにベンチスケール試験ではHF: 4N、HCl: 1.5N、溶解温度: 90°C、溶解時間: 1hrの条件で溶解率Al: 80~94%、Fe: 70~90%、Ti: 65~92%と良好な成果を得、溶解時間の短縮の可能性を見出したと報告されている。

(6) 加圧消化・酸リーチング法 (Pressure Digestion Acid Leaching Process, PDAL法)

フライアッシュとNaOH水溶液を混合し、250psiaの加圧下、200°C、約3hr反応後、希塩酸で溶出され、Alの抽出率は98%で高純度のAlが得られる特徴があるといわれる。

以上述べた各種の方法について米国の研究機関で行われた経済的検討の結果、アルカリ処理後、酸浸出を行う方法は中和による薬剤損失が大きく、経済性のないことが分かった。従ってAlの抽出率が低下しても直接酸リーチング法、ハイクロール法、フッ素化法が経済的に有利であろうと主張されているが、これらの方法にも技術的に未完な部分が多く、前述したごとく我が国では現在カルシウム法、フッ素化法などの研究が進められている。

3.3 その他

(1) レア金属(Ga, Ge)資源としての石炭灰^{2),13)}

石炭には微量であるが種々の金属が含まれており、燃焼されるとフライアッシュやボトムアッシュに移行される。石炭はレア金属を含む将来の有力な鉱物資源ともいわれており、現在、イギリスでは自国産の石炭にゲルマニウムが約0.003%含むものがあり、これを処理する発電所や工場の煙灰中に約0.6%に濃縮されたものから回収している例もある。発光素子や磁気バブルメモリーを初めとして電子材料分野にガリウムの需要の増加が見込まれるのに加えて、さらに太陽熱電池に利用されることになると、ガリウムの供給不足が懸念される。現在、ガリウムはアルミニウムや亜鉛製錬の副産物が供給源であるが石炭灰などの化石燃料からの回収が可能になれば供給能力が一段と拡大される。

石炭が完全燃焼した場合には大部分のゲルマニウムはスラグと灰に残る。褐炭(0.009%Ge)を燃焼させたときスラグ中に51.7%、灰に19.0%、ダストに0.25%、ガスとともに飛散して損失するもの29.0%となる。また酸素が不十分ときは約75%がダストに行き、25%のゲルマニウムが灰やスラグに移る。

我が国では今からおよそ30年程前に、石炭の乾留ガス液からゲルマニウム、ガリウムを抽出するためのプラント実験が行われており、いずれも煙灰あるいは乾留ガス液からである。戦時下という特殊事情のもとで開発された英国の発生炉ガス製造設備の煙道に堆積したダストからのゲルマニウムの回収がある。この工程では、ダストに還元剤および造さい剤として Na_2CO_3 、 CaO を加えて製練し、塩素ガスを通じて塩素化した後、蒸留分離して得た精製 GeCl_4 を水素還元する。鉱石か

ら精製する現状では競合できるとは考えられない。

(2) フェロシリコンの研究

カナダでウェストバージニアの発電所からのフライアッシュからフェロシリコン回収の実験が行われた。フライアッシュ60%、石炭20%の混合物を容量3,000KW、3tのアーキ炉で溶融し、直接還元する方法で、その結果JISG2302に規定された4号に匹敵する製品が得られ、製鋼用脱酸剤には十分使用できると考えられるが、フェロシリコンの原料となる珪石は年間20万tも生産されており、フライアッシュからの回収フェロシリコンは経済性は考えられない²⁾。

参 考 文 献

- 1) 浜田善久他7名; 石炭灰の浸出処理に関する研究, 公害資源研究所報告, 42号(1987), 1~2. 3. 67.
- 2) 石炭技術研究所他; 昭和58年度石炭利用技術振補助事業試験研究成果報告書, 石炭灰の有効利用に関する研究, その1(1984), 36. 348~363.
- 3) 森 滋勝; 石炭灰の性状について, 石炭灰処理システムと有効利用技術(1981), フジ・テクノシステム, 137~159.
- 4) Natusch, D.F.S., et al; Proceeding, International Conference on Heavy Metals in the Environment, Vol.11, Part 2 (1975), Tront, Ontario, Canada, 553~575.
- 5) Cavin, D.C., Klemm, W.A. and Burnet, G.; Proc. Iowa Acad. Sci., 81 (1974), 130~134.
- 6) 横山慎一他; 燃協誌, 59 (1980), 250~260.
- 7) 三輪維久, 安田稔, 古木康彦; 石炭灰の有効利用技術の現況, 石炭利用技術研究発表会講演集(第十回)(1988), 113~127.
- 8) Hood, N.; Mineral extraction, from fly Ash, ibid (1980), 318~320.
- 9) 玉貫 滋; 海外の石炭灰利用, 石炭灰処理システムと有効利用技術(1981), フジ・テクノシステム, 541~567.
- 10) アッシュ情報調査センター; 石炭灰利用海外実態調査報告書(1988).
- 11) 鎌田 宏, 小峰靖比, 永野卓三; 石炭利用技術研究発表会講演集(第七回)(1985), 170~209.
- 12) 村上 達, 小野田守, 佐々木豊; 石炭灰中の有価物回収基礎試験(第2回), 石炭利用技術研究発表会講演集(第十回)(1988), 47~81.
- 13) 斎藤 勇他; レア金属の精製技術に関する調査研究報告書, 公害資源研究所(1985), 0~11. 63.