

## 特集 「土壌汚染と対策技術」

## 石炭灰の酸洗浄によるほう素除去技術の開発

## 洗浄液循環利用と処理システムの検討



甚野 智子



久保 博



田島 孝敏

## Development of Boron Removal Technology by Acid Washing of Coal Ash Examination of a Washing Liquid Circulation Use and Systematization

Tomoko Jinno

Hiroshi Kubo

Takatoshi Tajima

## Abstract

Since boron was added to soil environmental quality requirements in 2001, writers checked the validity of the boron removal processing technology by acid washing in an indoor experiment on coal ash and boron elution was found to exceed the standard. Since the coal ash after acid washing processing satisfied the soil environmental quality requirements with regard to boron, and the alkali ingredient also decreased sharply, it was shown that safety as reclamation material etc. improved. Then, an indoor experiment was conducted to check the boron removal efficiency with repetitive use of washing liquid to establish an acid washing processing system, and useful results were obtained.

## 概要

平成13年にほう素が土壌環境基準に追加されたことから、筆者らは、ほう素溶出量が基準を上回る石炭灰について、室内実験で酸洗浄によるほう素除去処理技術の有効性を確認した。酸洗浄処理後の石炭灰は、ほう素の土壌環境基準を満足し、さらにアルカリ成分も大幅に減少するなど石炭灰の性質が改善され、埋立材などに有効利用する際の安全性が向上する。そこで、酸洗浄処理システムの確立を目的として、コスト低減のため洗浄液を循環利用した場合のほう素除去効率を確認する室内実験を行った。実験は循環利用を模擬したバッチ式で行い、その結果、洗浄液を循環利用してもほう素除去率は低下せず、循環利用システムが成立することを確認した。

## 1. はじめに

世界のエネルギー消費は増加の一途をたどり、エネルギー源として石油を中心に、石炭、天然ガス、原子力、水力、風力、太陽エネルギーなど多様化している。その90%が石油、石炭、天然ガスの化石燃料である。今後の可採年数は、石油が約40年、天然ガスが約60年と言われ、資源枯渇が予想されている。石炭の可採年数は216年とされ、埋蔵量が豊富で、広範囲に分布しているため、安定供給でき、価格も比較的安定していることから、石炭需要が急激に増加し、石炭利用に関する技術が多く研究されている<sup>1)</sup>。その一つとして、石炭の消費に伴って発生する大量の石炭灰の有効利用方法が求められている。

日本の電力事業および一般産業から発生する石炭灰は、平成13年度で約880万tあり、その約80%がセメント分野などに有効利用され、残りの約160万tが埋立処分されている。石炭灰は、土に非常に近い化学組成を有するが、土に比べカルシウム等のアルカリ成分がやや多い。そして、石炭灰種によっては重金属等の溶出問題のため<sup>2)</sup>、有効利用の支障になる場合がある。平成13年にほう素が土壌環境基準に追加され、石炭灰はこの基準を超えることがあ

る。また、埋立処分した場合には、ほう素が徐々に溶出し、埋立処分場の浸出水がほう素の排水基準値(10mg/L)を上回ることがある。筆者らは、ほう素溶出量が基準を上回る石炭灰について、室内実験で酸洗浄によるほう素除去技術の有効性を確認した<sup>3), 4)</sup>。酸洗浄処理した石炭灰は、ほう素の溶出基準を満足し、さらにアルカリ成分も大幅に減少するなどの改善効果が認められた。この処理は、石炭灰量に対し5倍程度の洗浄水を用い、石炭灰からほう素を除去するものである。その際に洗浄液を循環利用することにより、処理のクローズドシステムが可能になるとともに使用水量の大幅削減が可能になる。そこで本研究では、洗浄液を循環利用した場合のほう素除去効率を調査するため、循環利用を模擬した連続バッチ試験を行った。

## 2. 実験に用いた石炭灰の性状

実験に用いた石炭灰は、石炭火力発電所から発生した一般的な微粉炭燃焼灰である(以下、R灰と称する)。R灰の化学性状と構成鉱物をTable 1に示す。pHは11.3の高アルカリ灰であった。灰アルカリ度は、石炭灰をpH7に

Table 1 石炭灰の化学性状  
Chemical Composition and Minerals

項目	石炭灰	R灰	洗浄処理灰 (10試料の平均値)
pH (1:2、1時間後)		11.32	8.3
灰アルカリ度(mol/t)		228	-
電気伝導度 (mS/cm)		0.92	-
化学組成 (%)	SiO <sub>2</sub>	69.4	69.9
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.2	20.8
	CaO	3.44	2.74
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.84	2.73
	K <sub>2</sub> O	1.03	0.99
	MgO	0.64	0.67
	Na <sub>2</sub> O	0.51	0.5
	SO <sub>3</sub>	0.28	0.05
	合計	98.3	98.4
構成鉱物 - : なし、 (+) : 微量、 + : 少量、 ++ : 中量	Q: 石英	++	++
	M: ムライト	++	++
	Ma: マグネタイト	+	(+)

するための酸消費量であり、228mol/tであった。化学組成はSiO<sub>2</sub>が69%を占め、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>が20%であった。次いでCaOが3.4%、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>が2.8%であった。

構成鉱物は、主に石英とムライトであり、マグネタイトが少量認められた。なお、Table 1には酸洗浄後の石炭灰の化学組成と構成鉱物も記載してあるが、それについては4.1節で述べる。

石炭灰の主な溶出成分とほう素含有量をTable 2に示す。ほう素溶出量は6.5mg/Lで土壤環境基準値1mg/Lを上回っていた。また、砒素およびセレンは土壤環境基準値の6倍程度上回っていたが、その他の項目は土壤環境基準値以下であった。また、埋立基準と比較した場合、ほう素の埋立基準はなく、他のいずれの物質も埋立基準値以下であった。なお、R灰のほう素含有量は、200mg/kgであった。

### 3. 実験方法

#### 3.1 実験フロー

石炭灰の酸洗浄の基本フローをFig. 1に示す。酸洗浄工程および凝集沈殿・脱水工程、ほう素回収工程から構成され、これを模擬した実験を行った。

1) 酸洗浄工程 石炭灰(乾灰)1.5kgに洗浄液として0.1mol/Lの塩酸を液/固比5倍で加え、攪拌混合した。

2) 凝集・脱水工程 酸洗浄工程の懸濁液に凝集剤(鉄塩とポリマー)を加えて凝集沈殿させた。沈殿物は加圧脱水し、さらに石炭灰(乾灰)に対して液/固比1倍のすすぎ水を加え再脱水し、洗浄処理灰を得た。

3) ほう素回収工程 2)の凝集沈殿による分離水に硫酸バンドと消石灰を加え、ほう素を凝集沈殿により分離した。沈殿物を加圧脱水し、150mLのアルカリ水ですすぎ脱水し、ほう素含有スラッジを回収した。

4) 洗浄液の循環利用 分離水および脱水液をすべ

Table 2 石炭灰の主な溶出成分とほう素含有量  
Elution Ingredients and Boron Content

項目	石炭灰	R灰	土壤環境 基準値	埋立基準 値
溶出成分 (mg/L、 環境庁告示46号 法)	カドミウム (Cd)	<0.005	0.01	0.3
	シアン (CN)	<0.05	不検出	1
	鉛 (Pb)	<0.005	0.01	0.3
	六価クロム (Cr <sup>6+</sup> )	0.041	0.05	1.5
	砒素 (As)	0.064	0.01	0.3
	総水銀 (T-Hg)	<0.0005	0.0005	0.005
	セレン (Se)	0.063	0.01	0.3
	ほう素 (B)	6.5	1.0	-
	ふっ素 (F)	0.61	0.8	-
	硝酸性及び亜硝酸性窒素 (NO <sub>3</sub> -N+NO <sub>2</sub> -N)	<0.6	-	-
	pH	11.8	-	-
	カルシウム (Ca)	160	-	-
	硫酸イオン (SO <sub>4</sub> )	190	-	-
	塩化物イオン (Cl)	<1	-	-
ほう素含有量 (mg/kg)	200	-	-	

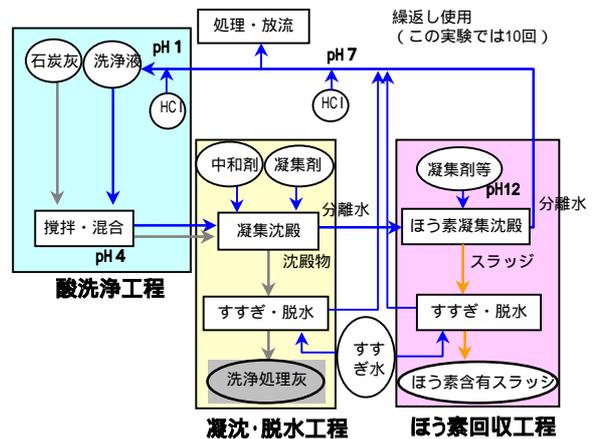


Fig. 1 石炭灰のほう素洗浄除去の基本フロー  
Flow Diagram of the Coal Ash Washing Processing

て回収した。回収液の一部は分析用に採取し、残りは水および塩酸を必要量補給し洗浄液として再利用した。

なお、実験では1)から4)までを洗浄1回目とした。洗浄2回目とは、洗浄1回目の洗浄液を用いて新しい石炭灰の洗浄を行った。これを洗浄10回目まで実験し、合計10回の洗浄液の繰返し実験を行った。また、～で採水し、ほう素濃度を調査した。

#### 3.2 ほう素等の化学分析

溶出試験は環告13号の方法(ただし、液/固比は乾燥重量換算の10倍とした)で検液を作成し、ほう素分析はICP発光分析装置で行った。なお、環告13号の方法を選定したのは、埋立処分を前提にしたためである。

ほう素含有量は、試料に酸を加え加熱加圧分解後ろ過し、ろ液をICP発光分析装置で分析した。

#### 4. 結果と考察

##### 4.1 洗浄後の石炭灰の性状

4.1.1 化学組成 石炭灰の洗浄前と洗浄後（洗浄液繰返し使用1回目、5回目、10回目の洗浄後の石炭灰）の化学組成を前述のTable 1に示す。高アルカリ成分であるCaOは、洗浄前の3.4%から洗浄後2.7%に減少し、SO<sub>3</sub>もやや減少していた。蛍光X線法によるその他の化学組成に変化は認められなかった。

4.1.2 構成鉱物 石炭灰の洗浄前・後（洗浄液繰返し使用1回目、5回目、10回目の洗浄後の石炭灰）の構成鉱物をTable 1およびFig. 2に示す。主な鉱物の石英とムライトには変化が認められなかった。洗浄前に少量認められたマグネタイト(Ma)は、洗浄後に微量になっていた。

4.1.3 ほう素の溶出挙動 洗浄液の繰返し使用に伴う洗浄前・後の石炭灰のほう素溶出量とpHの変化をFig. 3に示す。洗浄液繰返し使用回数0の部分は、洗浄前の石炭灰を示す。ほう素溶出量は、洗浄前6.5mg/Lから洗浄後平均で0.45mg/Lに減少した。洗浄液を繰返し使用しても、洗浄後の石炭灰からのほう素溶出量を安定して土壌環境基準以下に維持できた。また、1ヶ月後まで密閉養生しておいた洗浄灰について、溶出試験を行った結果、ほう素溶出量は0.22mg/Lで溶出量の増加はなかった。

溶出液のpHは洗浄前11.8から洗浄後平均で8.3に低下した。このことは、前述の化学組成でCaOが減少していたことと関連する。

これらのことから、洗浄液を繰返し使用しても洗浄後の石炭灰のほう素溶出量は土壌環境基準値以下に出来、高pHも改善された。

石炭灰の洗浄前・後（洗浄液繰返し使用の1回目、5回目、10回目の洗浄後の石炭灰）のほう素含有量をFig. 4に示す。ほう素含有量は、洗浄前の200mg/kgから洗浄後平均で40mg/kgに減少し、ほう素含有量の80%を除去できた。この図から、洗浄液10回繰返し使用に伴う洗浄後の石炭灰のほう素含有量のばらつきは小さく、洗浄液を繰返し用いてもほう素除去率は維持できた。

4.1.4 重金属類の溶出挙動 石炭灰の洗浄前・後（洗浄1回目、5回目、10回目の石炭灰を1ヶ月密閉養生した試料）のほう素以外の重金属類溶出量を調査した。図示しないが、洗浄前の石炭灰は、砒素とセレンが土壌環境基準値を少し上回っていた。洗浄処理灰の溶出量は砒素が洗浄前よりもやや増加し、セレンは洗浄前よりも減少したが、いずれも土壌環境基準値を上回っていた。これらの溶出結果に対しては、不溶化処理によって対処できることを確認しており、別途報告する。

##### 4.2 洗浄液繰返し使用に伴う溶解成分

4.2.1 ほう素濃度とpHの変化 洗浄液繰返し使用に伴う石炭灰の酸洗浄工程(Fig. 1 ~ 参照)の各液中のほう素濃度の変化をFig. 5に示す。

洗浄前の洗浄液とは、前回の洗浄液からほう素を除

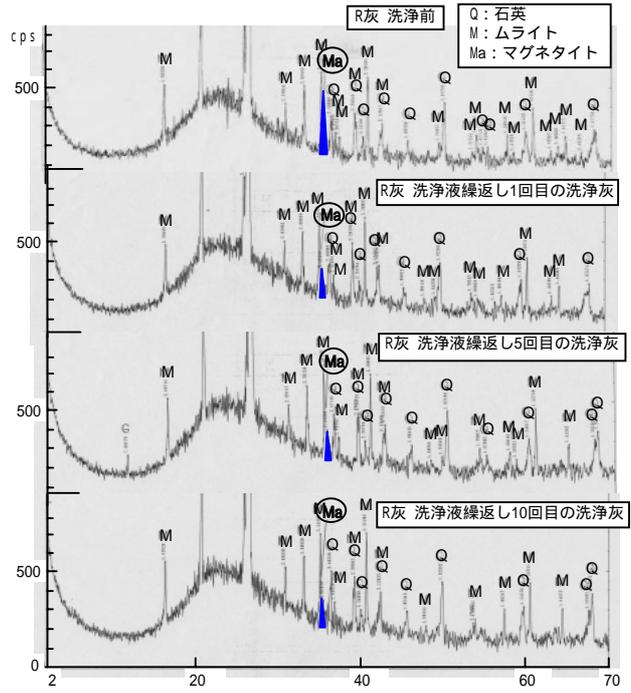


Fig. 2 洗浄前後の石炭灰の構成鉱物の比較  
Comparison of the Mineral Before and Behind Washing

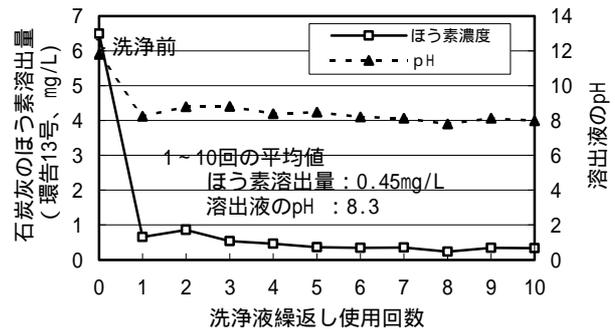


Fig. 3 洗浄液繰返し使用に伴う洗浄前後の石炭灰からのほう素溶出量とpHの変化  
Comparison of Elution Before and After Washing

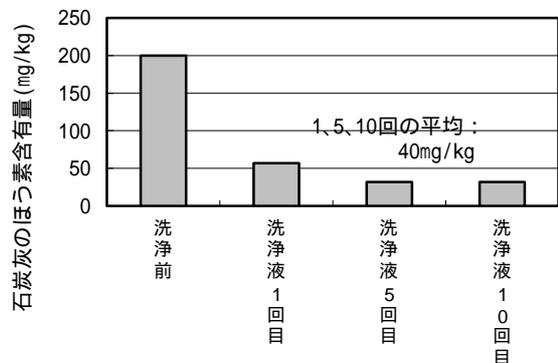


Fig. 4 洗浄前後のほう素含有量の比較  
Comparison of Boron Content Before and After Washing

去し、塩酸を添加した液である。洗浄液繰返し使用2回目と9回目にほう素濃度が15～20mg/Lになったのは、の洗浄液中のほう素凝集沈殿工程で、ほう素がうまく凝集沈殿されず、洗浄液中に残留していたため、この理由は不明である。

灰洗浄上澄液は、洗浄によって石炭灰からほう素を溶出させた液である。洗浄液繰返し使用2回目と9回目以外のほう素濃度は25～35mg/Lであった。洗浄液繰返し使用2回目と9回目のほう素濃度は40～50mg/Lで、他の繰返し使用液の場合よりもやや高くなった。これは、1回の洗浄でほう素が約25～30mg/L溶出し、の洗浄前の洗浄液のほう素濃度に加算されたためである。このことから、洗浄前の洗浄液中にほう素が20mg/L程度残留していても、洗浄には影響せず、石炭灰からのほう素溶出が順調に出来た。

灰洗浄脱水液は、の値とほぼ同等であった。

洗浄した石炭灰の間隙中には、洗浄液が残っているため、脱水した石炭灰に水道水を加え再脱水した。その脱水液のほう素濃度は10～22mg/Lであった。

ほう素凝集沈殿処理水は、1回目と8回目にほう素濃度が上澄液中に残留し、約20mg/Lであった。その他の繰返し使用液は、凝集沈殿によってほう素濃度5mg/L以下まで除去できた。

スラッジ脱水液は、洗浄液中のほう素を凝集沈殿のスラッジの脱水液で、ほう素濃度はと同等か小さい値であった。

スラッジすすぎ液は、スラッジ間隙中の洗浄液を排除するものである。凝集沈殿は消石灰を添加してアルカリにしているため、すすぎ液として0.1mol/LのNaOHを用いた。スラッジのすすぎ脱水液のほう素濃度は1回目が約8mg/Lで、他はほとんど0mg/Lに近い値であった。

放流水は、洗浄液の塩類濃度の上昇を防ぐため、一部抜取るものである。放流水のほう素濃度は、のほう素凝集沈殿処理の上澄液に依存し、繰返し使用回数1回目と8回目で約20mg/Lと高くなったが、他は5mg/L以下の排水基準値を満足できる値であった。

石炭灰洗浄の各工程の平均のほう素濃度とpHの変化をFig. 6に示す。ほう素濃度は、灰洗浄上澄液で洗浄液中にほう素を溶出させているため高濃度になり、では洗浄液中のほう素を凝集沈殿によって除去したため5mg/L以下になった。pHは、洗浄前にpH1に調整し、

洗浄上澄液では、石炭灰凝集沈殿のためpH6程度に調整した。石炭灰凝集沈殿後の脱水液とすすぎ液はの中性を保っていた。のほう素凝集沈殿工程では、凝集沈殿のために高アルカリ(pH12)を保っていた。放流水はpH6～7まで戻した。放流水以外の洗浄液は(1)に戻して繰返し使用した。なお、それぞれの工程で洗浄液繰返し使用におけるpHのばらつきは小さいものであった。

これらのことから、洗浄液を繰返し使用しても、塩酸を追加することによって、ほう素の除去とほう素の凝集沈殿の効率が低下しないことが明らかになった。

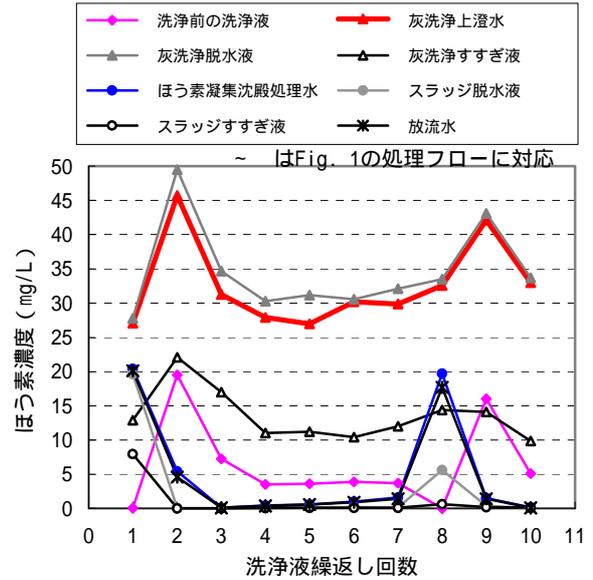


Fig. 5 洗浄液繰返し回数に伴う各液中のほう素濃度  
Boron Concentration in Each Liquid in Accordance  
with the Number of Times of a Washing Liquid  
Repetition

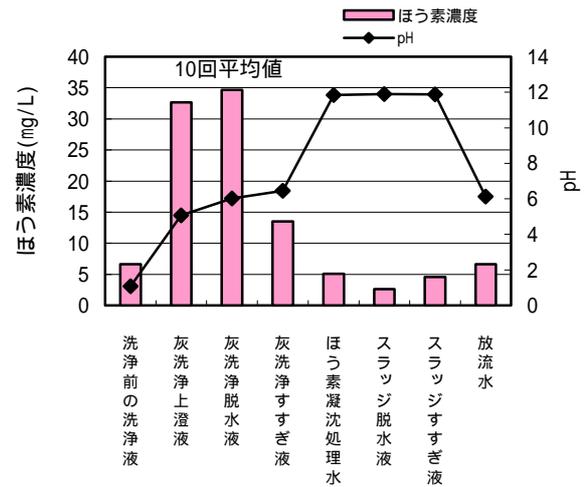


Fig. 6 石炭灰洗浄処理における各工程(Fig. 1参照)の液・ほう素濃度とpHの変化  
Change of the Liquid and Boron Concentration  
of Each Process (Fig.1 reference), and pH in  
Coal Ashes Washing Processing

4.2.2 酸洗浄液中の各種塩類の影響 洗浄液の循環利用する場合、洗浄液中に石炭灰から溶出するカルシウムなどが洗浄液に加えた塩酸により、次第に塩類濃度が増加してくる。これら塩類濃度の増大がほう素除去処理やほう素凝集沈殿へ与える影響を調査する必要がある。そこで、洗浄液(0.1mol塩酸)に濃縮が予測される塩類を加えた場合の、石炭灰(R灰)からのほう素除去実験を行った。結果をTable 3に示す。

例えばNo.2では、0.1mol塩酸洗浄液に塩化ナトリウムをNaとして20,000mg/L混合した場合、Cl量は約30,700mg/Lである。多量のNa<sup>+</sup>やClを含む洗浄液でR灰

Table 3 洗浄液中のイオンがほう素除去に与える影響  
Influence which Each Ion in Washing Liquid has on the Rate of Boron Removal

No.	洗浄液	添加物質	添加量 (g/L)	イオン濃度 (mg/L)	石炭灰からのほう素除去率 (%)
1	0.1mol塩酸	なし	0	0	91.9
2	0.1mol塩酸	NaCl	50.9	Na=20000	85.3
3	0.1mol塩酸	CaCl <sub>2</sub>	55.5	Ca=20000	86.4
4	0.1mol塩酸	MgCl <sub>2</sub>	2.5	Mg=300	91.3
5	0.1mol塩酸	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	1.1	B=200	100
6	0.1mol塩酸	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	3.0	SO <sub>4</sub> =2000	89.9
7	0.1mol塩酸	FeCl <sub>3</sub>	2.9	Fe=1000	91.3
8	0.1mol塩酸	AlCl <sub>3</sub> ·6H <sub>2</sub> O	8.9	Al=1000	90.0
9	0.1mol塩酸	KCl	1.9	K=1000	87.6
10	0.1mol塩酸	AlK(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·12H <sub>2</sub> O	9.2	AlK(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> =5000	89.2

を洗浄してもほう素除去率の低下は認められなかった。また、No.3で塩化カルシウム(Caとして20,000mg/L)を含む塩酸洗浄液で洗浄した場合にも、ほう素除去率の低下は認められなかった。No.4～No.10の各種の塩類で試験したが、ほう素除去の低下は認められなかった。

4.2.3 洗浄液循環利用におけるCa, Clイオンの濃度変化

洗浄液の10回繰返し使用実験において、石炭灰と洗浄液を混合する前の洗浄液 (Fig. 1の )のClイオンおよびCa<sup>2+</sup>イオンを測定した結果をFig. 7に示す。Ca<sup>2+</sup>イオンは石炭灰からの溶出があるが、他にほう素凝集沈殿のため消石灰を添加し、スラッジとして取り出している。Ca<sup>2+</sup>濃度は繰返し数とともに増加したが、繰返し初期(1～5回目)に比べて後半では増加量が少なかった。Clイオンは、洗浄液をpHを1に保つ必要があり塩酸を補給したため、繰返し数とともに増加した。例えば洗浄液の10回繰返し使用時のCl濃度は、約25,000mg/Lであった。また、Fig. 7は前掲のFig. 5と対応し、Fig. 5の示したように、洗浄10回までほう素除去の低下はなかったことから、このようなCa<sup>2+</sup>、Cl濃度ではほう素の除去に影響がないことを確認した。

4.2.4 洗浄液中の重金属類成分 洗浄液の繰返し使用における放流水(Fig. 1)の水質について調査した結果をTable 4に示す。ほう素以外の成分で排水基準値を上回ったものはなかった。ほう素は、基本的に凝集沈殿によって排水基準値以下に除去できるが、安全性を考慮し、ほう素選択性のイオン交換樹脂等を準備しておくことが望ましいと考えられる。

4.3 ほう素含有スラッジの性状

4.3.1 化学組成 洗浄液繰返し使用10回のそれぞれのほう素含有スラッジの化学組成を蛍光X線分析によって調査した。スラッジは凝集沈殿で消石灰を添加するため、大部分がカルシウムであり、CaOとして78%を占めていた。ほう素はB<sub>2</sub>O<sub>3</sub>として1.4%であった。

4.3.2 構成鉱物 ほう素溶出含有スラッジの構成鉱物

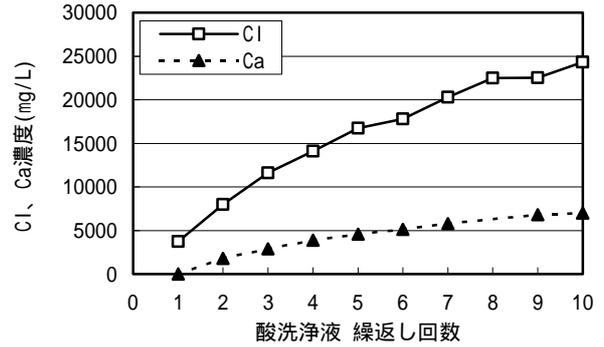


Fig. 7 洗浄前の液中のCl、Ca濃度  
Concentration of Cl and Ca in the Liquid Before Washing

Table 4 採取水の水質  
Water Quality of Sampling Water

	採取水	排水基準値
pH	6.1	-
Cd (mg/L)	<0.05	0.1
CN (mg/L)	<0.1	1
Pb (mg/L)	<0.05	0.1
Cr <sup>6+</sup> (mg/L)	<0.05	0.5
As (mg/L)	<0.01	0.1
T-Hg (mg/L)	<0.0005	0.005
Se (mg/L)	<0.01	0.1
B (mg/L)	0～19	10(陸域)
F (mg/L)	<5.0	8(陸域)

Table 5 ほう素含有スラッジの重金属類溶出量  
Elution of the Heavy Metal Sludge

	1回目スラッジ	5回目スラッジ	10回目スラッジ	平均値	埋立基準値
pH	12.7	12.5	12.5	12.6	-
Cd (mg/L)	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.3
CN (mg/L)	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	1
Pb (mg/L)	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.3
Cr <sup>6+</sup> (mg/L)	<0.005	0.006	<0.005	0.002	1.5
As (mg/L)	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.3
T-Hg (mg/L)	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.005
Se (mg/L)	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.3
B (mg/L)	<0.1	0.18	<0.1	<0.1	-
F (mg/L)	-	<0.5	<0.5	<0.5	-
Cl <sup>-</sup> (mg/L)	150	340	190	227	-
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)	<1	35	36	36	-

は、主成分がポルトランドライト(消石灰)であった。他にカルシウムアルミネート水和物およびエトリンライトが微量～少量検出された。これは、消石灰由来のCaと凝集剤として添加している硫酸バンドに由来するSO<sub>4</sub>やAlを含む鉱物であった。

4.3.3 環告13号法溶出試験 洗浄液繰返し使用1回目、5回目、10回目のほう素溶出含有スラッジの環告13号溶出試験を行った結果をTable 5に示す。高アルカリによる

凝集沈殿のため、溶出液のpHは12以上のアルカリ性を保っていた。重金属類の溶出量は、いずれも不検出または埋立基準値以下であった。なお、ほう素(B)の溶出量は、土壤環境基準値(1mg/L)を下回っていた。

#### 4.4 酸洗浄システムとマスバランス

石炭灰の酸洗浄処理において、洗浄水の循環利用が可能であると判断されるため、石炭灰の酸洗浄に伴うマスバランスを算出した。石炭灰1t(乾燥質量,ここではR灰)当たりのマスバランスをFig. 8に示す。基本的にはFig. 1に類似したものである。R灰にはほう素が200g/t含まれる。石炭灰1t当りに洗浄液5.1m<sup>3</sup>を攪拌・混合し、石炭灰の凝集沈殿とほう素の凝集沈殿を行った後、洗浄灰とほう素含有スラッジにすすぎ水を加え脱水する。洗浄灰は、含水比を40%含む湿潤状態で1.4tになって系外に排出され、そのほう素含有量は40g/tである。ほう素含有スラッジはほう素を160g含む湿潤状態で0.09t排出される。ほう素を去除した洗浄液の一部分0.7m<sup>3</sup>は放流し、残りは洗浄液として循環利用する。水の収支は、循環利用水が5m<sup>3</sup>、系内に補給される水がすすぎ水や塩酸として1.2m<sup>3</sup>、系外に排出される水が洗浄灰やほう素含有スラッジの含水比、放流水として1.2m<sup>3</sup>である。

#### 5. まとめ

石炭灰の酸洗浄システムを確立するため、洗浄液を循環利用し、洗浄液中のほう素を凝集沈殿によって回収する実験を行った結果、以下のことを明らかにした。

- 1) 洗浄液を循環利用しても、石炭灰からのほう素除去率の低下はなかった。
- 2) 洗浄液を繰返し使用した場合に塩類濃度が上昇するが、洗浄効率にほとんど影響しないことが明らかになった。
- 3) 洗浄液を循環利用するクローズドな処理システムとマスバランスを検討した。

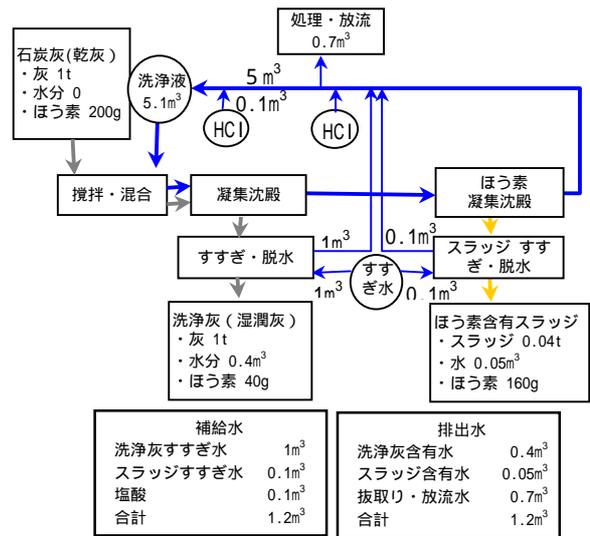


Fig. 8 石炭灰のほう素酸洗浄におけるマスバランス  
Income and Outgo in Acid Washing of the Boron of Coal Ashes

#### 謝辞

本研究は、3社の共同研究によって実施した。共同研究者のオルガノ(株)山岸利男氏、七海匠氏および相馬環境サービス(株)熊谷祐一氏に謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) コールサイエンス・ハンドブック2003：財団法人 石炭利用総合センター
- 2) 下垣，他：石炭灰陸上埋立に伴う環境影響予測手法 - 微量物質の溶出・移行挙動の予測 - ，電力中央研究所報告書U92015，1992
- 3) 田島，他：石炭灰の有効利用に関する安全性向上技術の開発 - 酸洗浄によるほう素除去実験 - ，土木学会第58回年次学術講演会講演概要集，2003
- 4) 甚野，他：石炭灰の酸洗浄によるほう素除去の基礎的実験，大林組技術研究所報，p95～p100，2002