石炭灰浸出液中にイオン対として存在するホウ素の除去特性

大石京子^{1),*} 前畑有吾²⁾

Removal Properties of Boron Ion Pair in Leachates from Coal Fly Ash

Kyoko OISHI^{1),*} and Yugo MAEHATA²⁾

¹⁾ Institute of Lowland and Marine Research, Saga University, Honjo 1, Saga 840-8502, Japan

²⁾ Tokyo Engineering Consultants Co., Ltd., Kasumigaseki 3, Chiyoda-ku, Tokyo 100-0013, Japan

Abstract

Effective boron removal from coal fly ash containing various elements was studied. Dilute HCl is used to leach Al, Ca, and Mg in addition to boron from coal fly ash. The dissolved boron forms borate-ion pair, $\text{CaH}_2\text{BO}_3^+$ and $\text{B}(\text{OH})_4^-$, under high pH conditions in the presence of Ca. The positive borate-ion pair $\text{CaH}_2\text{BO}_3^+$ may form coordinative bonds with $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ and finally be removed by coprecipitation. The negative borate-ion pair $\text{B}(\text{OH})_4^-$ may form a complex with the diol group of polysaccharides. In this study, the effects of pH and the addition of Al on boron removal from the acid leachate of coal fly ash were investigated. The pH of the leachate was adjusted to 12, 11, 10.5 and 10. Then AlCl_3aq was added to give Al/B molar ratios of 1, 10 and 50. After $\text{CaH}_2\text{BO}_3^+$ was coprecipitated with $\text{Al}(\text{OH})_4^-$, the dissolved $\text{B}(\text{OH})_4^-$ was adsorbed at pH12 using glucomannan semigel. The highest removal ratio of $\text{CaH}_2\text{BO}_3^+$ was obtained under the condition of pH10 and Al/B molar ratio of 50, and that of $\text{B}(\text{OH})_4^-$ at pH12. About 78% of the boron leached from the coal fly ash was finally removed by the combination of coprecipitation and adsorption.

Keywords: Boron removal; Ion pair; Coal fly ash; Acid leachate; Aluminum hydroxide

1. はじめに

石炭火力発電所において大量に発生する石炭灰の再資源化のひとつとして、路盤材や土壌改良剤などへの適用が期待されている。一方で石炭灰にはホウ素やCaをはじめとする種々の金属が含まれているため、浸出による環境汚染が懸念されている^{1, 2)}。ホウ素は、動植物の生育には必須であるが、過剰に摂取することで、植物では立ち枯れなどの生育障害が、人間では嘔吐や腹痛などの症状が報告されている^{3, 4)}。さらにエストロゲンのような性ホルモンの活性に関与しているという報告もある⁵⁻⁷⁾。ホウ素はガラスや消毒剤など多方面で使用されていることから、今後広範囲にわたり汚染が広がる可能性がある。これらの懸念から2001年7月に水質汚濁防止法が改訂され、ホウ素およびその化合物の淡水域への排水基準が500 mgB L⁻¹から10 mgB L⁻¹に設定された。これに対応するため、種々の技術が提案されている。例えば、凝集沈殿⁸⁾、活性炭吸着^{9, 10)}、様々な樹脂による吸着¹¹⁻¹³⁾、溶媒抽出^{14, 15)}、などがある。これらの技術の適用には、ホウ素以外の共存物質の存在やそれらの濃度など、排水の特性を考慮する必要がある。

石炭灰を再資源化するために、前処理として酸洗浄した場合に生じる排水中には、ホウ素以外にAl, Ca, Mg, Feなどの金属が存在する¹⁶⁻¹⁸⁾。特にCaが存在し、かつpHが8以上の条件下において、ホウ素は陽イオンである $\text{CaH}_2\text{BO}_3^+$ と陰イオンである $\text{B}(\text{OH})_4^-$ のイオン対を形成する^{19, 20)}。これと同じpH条件下でAlは $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ の陰イオンとして存在して $\text{CaH}_2\text{BO}_3^+$ と共沈することが報告されており、ホウ素の沈殿による除去にAlが重要な役割を果たしている可能性がある¹⁷⁻²⁰⁾。すなわち、 $\text{CaH}_2\text{BO}_3^+$ はホウ素だけではなくCaやAlなど共存する金属イオンとの同時除去を可能にする。一方、 $\text{B}(\text{OH})_4^-$ はpH12の条件下で不溶性の半重合体グルコマンナンのジオール基と錯体を形成して吸着除去されることが報告されている²¹⁾。ジオール基との錯体形成にCaやAlは関係せずホウ素単独で除去することができる²¹⁾。したがって、イオン対として存在するホウ素を除去する際に、できる限り選択的にホウ素のみを除去するのか、共存する金属イオンと同時に除去するのか、その目的に応じた手法の選択が可能となる。さらに、これらの沈殿と吸着処理を組み合わせることで、陽イオンと陰イオンの両方のホウ素を除去することができる。これは従来の処理手

1) 佐賀大学低平地沿岸海域研究センター 〒840-8502 佐賀市本庄1

2) 株式会社東京設計事務所 〒100-0013 東京都千代田区霞ヶ関3

* 連絡先: oishikyokodesu.910@gmail.com

法^{8~15)}にはない新しい手法である。

本研究では、Al や Ca が共存する石炭灰酸浸出液を対象として、 $\text{CaH}_2\text{BO}_3^+$ と $\text{B}(\text{OH})_4^-$ のイオン対として存在するホウ素の除去特性を明らかにするために、前者が形成される pH10 から 12 の間でホウ素とのモル比を変化させながら Al を添加し、ホウ素の沈殿除去率に与える Al 添加の効果について、後者は沈殿除去後に残存する低濃度のホウ素を $\text{B}(\text{OH})_4^-$ としてグルコマンナンにどの程度吸着可能かについて検討した。さらに、これら沈殿と吸着の組み合わせによる石炭灰酸浸出液からの除去率についても検討した。

2. 実験方法

2.1 試料

石炭灰は九州電力松浦発電所から提供された。吸着体のグルコマンナンは、既報²¹⁾と同様にプロポール ISLB® (清水化学 (株) 製) の粉末を使用した。

2.2 分析方法

ホウ素はアズメチン H 法¹⁰⁾によって、その他の金属は ICP-AES (OPTIMA8300) で定量した。pH 測定には東和電波工業 (株) 製 HN-5S を使用した。本 pH メーターは、0.1 前後の誤差が生じる。

2.3 石炭灰酸浸出液の調整

前報¹⁷⁾において、石炭灰からホウ素を効率よく浸出させる溶媒として塩酸の濃度を比較検討した結果、0.25 N 以上では浸出量に差が見られなかった。そこで本研究では、前報¹⁷⁾と同様に 0.25 N の塩酸 500 mL に石炭灰 50 g を加え、環境庁告示第 13 号に準じて、室温にて 200 rpm、振とう幅 4 cm 以上 5 cm 以下で連続 6 時間連続振とうした。その後、3000 rpm で 3 分間遠心分離し、さらに上澄み液を孔径 0.1 μm のメンブレンフィルターでろ過した。このろ液を石炭灰酸浸出液 (以下、浸出液) として実験に用いた。この浸出液中の主な元素の濃度は、おおよそ 350 mgAl L⁻¹、16 mgB L⁻¹、2300 mgCa L⁻¹、140 mgMg L⁻¹ であり、pH は 1.1 であった。

2.4 pH 調整による浸出液からのホウ素の沈殿除去

浸出液 300 mL に 5 N の水酸化ナトリウムを加え、pH をそれぞれ 12、11、10.5、10 に調整した。生じた沈殿物を 3000 rpm で 10 分間遠心分離した後、5% の硝酸で溶解させた。これらの上澄み液と沈殿物の溶解液について、ホウ素以外に、Al、Ca、Mg の濃度を定量した。各試料は少なくとも 3 検体作成し、結果は平均値で表した。

2.5 Al 添加による浸出液からのホウ素の沈殿除去

浸出液中のホウ素と Al の濃度をあらかじめ定量し、300 mL 中の各々の含有量を算出した。浸出液中に存在する Al に加えて、 $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ aq をホウ素の存在量に対して Al/B = 1, 10, 50 のモル比で浸出液 300 mL に添加した。その後は 2.4 と同様に pH を調整し、生成した沈殿物を分離した後溶解させた。上澄み液中および沈殿物中のホウ素と Al、Ca、Mg の濃度を定量した。各試料は少なくとも 3 検体作成し、結果は平均値で表した。

2.6 グルコマンナンによるホウ素の吸着

グルコマンナンのジオール基とホウ素が錯体を形成するためには、溶液中にホウ素が $\text{B}(\text{OH})_4^-$ で存在する pH10 以上の条件が望ましい。さらに、過去の研究において、pH11 以上の条件で吸着量が増加する結果が得られてい

る²¹⁾。そこで、2.4 および 2.5 の実験で得られた上澄み液に 5 N 水酸化ナトリウムを加え、全ての試料を pH12 に調整した。この試料 200 mL にグルコマンナン 10 g をそれぞれ加え、130 rpm で吸着平衡に達する 4 時間、室温で振とうした。振とう後、3000 rpm で 5 分間遠心分離し、さらに GF/C を用いてろ過した。このろ液のホウ素濃度を定量した。各試料は少なくとも 3 検体作成し、結果は平均値で表した。

3. 実験結果および考察

3.1 浸出液からのホウ素の沈殿除去に与える pH 調整の効果

浸出液を各 pH に調整した後の上澄み液中と沈殿物中に含まれるホウ素の存在割合を図 1 に示す。浸出液 300 mL 中のホウ素は 4.9 mgB であり、上澄み液と沈殿物から得られたホウ素の回収率は 112–116% であった。沈殿によるホウ素の除去率は、いずれの pH でも 40–43% となり、各 pH 間では浸出液からのホウ素の除去率にほとんど差はなく pH 調整による効果は小さかった。浸出液を各 pH に調整した結果、上澄み液中にはホウ素と Ca のみ存在し、その他はすべて沈殿物中に存在した。pH = 10, 10.5, 11, 12 に調整後の上澄み液中の Ca は浸出液 300 mL 中に、それぞれ 457 mg, 425 mg, 386 mg, 197 mg と pH が高いほど小さくなった。以上の結果から、各 pH 間で浸出液からのホウ素の除去率にほとんど差が認められないのは主に、pH が高いほど $\text{Ca}(\text{OH})_2$ や CaCO_3 の生成が優先して $\text{CaH}_2\text{BO}_3^+$ の生成が抑制されたこと、pH = 10 と 10.5 の場合陰イオンである $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ の不足により $\text{CaH}_2\text{BO}_3^+$ として上澄み液に存在していたことが考えられる。したがって、pH が 10 と 10.5 では Al を追加することでホウ素の沈殿除去効果が期待できる。

3.2 浸出液からのホウ素の沈殿除去に与える Al 添加の効果

Al を、Al/B = 1, 10, 50 の割合で添加して各 pH に調整した浸出液の上澄み液中と沈殿物中に含まれるホウ素の存在割合、および上澄み液に残存する Al 量を、Al/B = 1, 10, 50 についてそれぞれ図 2, 図 3, 図 4 に示す。Al/B = 1 では、沈殿によるホウ素の除去率はいずれの pH においても 36–40% であり、Al を添加しない場合 (図 1) と比べて、ホウ素の沈殿率に大差はなかった。いずれの pH においても上澄み液中に Al は検出されず、すべて

図 1 各 pH に調整した浸出液の上澄み液中と沈殿物中に含まれるホウ素の存在割合

沈殿として除去されていた（図2）。添加した Al はすべて $\text{CaH}_2\text{BO}_3^+$ との共沈によって除去されたものと考えられる。したがって、Al を追加することによって、 $\text{CaH}_2\text{BO}_3^+$ をさらに沈殿除去できる可能性がある。

Al/B = 10 では、ホウ素の沈殿率は 36–43% で、Al/B = 1 と比べ大きな変化は認められないが、pH の低下に伴って沈殿率が高くなる傾向を示した（図3）。Al は pH11 と 12 では上澄み液中に僅かに残存したが、pH10 ではほとんど検出できなかった（図3）。

Al/B = 50 においてこの傾向はさらに顕著になり、pH が低い程 Al 添加の効果が認められた（図4）。Al は、pH12 の場合上澄み液中に 250 mg 程度残存していたが、pH10 ではほとんど残存していなかった。これは、浸出液中に含まれる $\text{CaH}_2\text{BO}_3^+$ の存在比が増加するに伴い、多量に存在する $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ との共沈が促進され、ホウ素と共に Al も除去されたためであると考えられる。pH12 以上では Ca は $\text{Ca}(\text{OH})_2$ や CaCO_3 の生成が優先して $\text{CaH}_2\text{BO}_3^+$ の生成が抑制されるため、Al は $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ として溶存していると考えられる。pH10 の条件下では Al を追加することで、 $\text{CaH}_2\text{BO}_3^+$ の沈殿率がさらに増加する可能性がある。本研究での Al/B は試料中に存在するホウ素量に対して、1, 10, 50 のモル比で $\text{AlCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ を添加したもので、浸出液中に存在する Al を考慮すると、Al/B はそれぞれおよそ 9.5, 18.7, 58.4 となり、Al を添加

しない場合は 8.9 程度となる。Al/B = 10 で添加した場合に効果が若干表れていることから、ホウ素の沈殿除去率を上げるためには試料中の Al/B は 18.7 以上必要であると考えられる。

pH10 でホウ素の沈殿率が高くなる原因として、Al の他に Mg の存在が考えられる²²⁾。 $\text{CaH}_2\text{BO}_3^+$ と同様に Mg_2BO_3^+ も pH10 付近でその存在比率が大きくなる¹⁹⁾。これも陰イオンの $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ と共沈していると考えられる。Polat ら¹⁹⁾ は Ca と Mg の濃度はともに 1000 mg L^{-1} の条件下で、 $\text{CaH}_2\text{BO}_3^+$ と Mg_2BO_3^+ の存在比を示している。本研究で使用した浸出水の Ca と Mg の濃度はそれぞれ 2300 mg L^{-1} と 140 mg L^{-1} と、後者の濃度は Polat ら¹⁹⁾ の研究と比べて約 10 倍低い濃度である。したがって、本実験条件下においてホウ素の陽イオン種は主に $\text{CaH}_2\text{BO}_3^+$ であると考えられるが、 Mg_2BO_3^+ もホウ素の沈殿に寄与している可能性がある。

また、Al の添加量が多い場合、pH が高いほどホウ素の沈殿除去率が低い傾向にある（図3.4）。これには Ca の濃度が関係していると考えられる。表1に Al を添加して pH を調整した後の溶存態 Ca の濃度を示す。Al の添加量が多く、pH が高いほど溶存態 Ca の濃度が減少している。前述したように、pH が 12 では $\text{Ca}(\text{OH})_2$ や CaCO_3 の生成が優先することで Ca の不足により $\text{CaH}_2\text{BO}_3^+$ の生成が抑制されるため、十分な $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ が存在して

図2 Al/B = 1 の割合で Al を添加した場合の各 pH に調整した浸出液の上澄み液中と沈殿物に含まれるホウ素の存在割合、および上澄み液中の Al 量

図3 Al/B = 10 の割合で Al を添加した場合の各 pH に調整した浸出液の上澄み液中と沈殿物に含まれるホウ素の存在割合、および上澄み液中の Al 量

図4 Al/B = 50 の割合で Al を添加した場合の各 pH に調整した浸出液の上澄み液中と沈殿物に含まれるホウ素の存在割合、および上澄み液中の Al 量

表1 石炭灰酸浸出液に異なる Al/B 比で Al を添加し、各 pH に調整した場合の溶存態 Ca の濃度比較

pH	Al/B (モル比)	Ca (mg L^{-1})
10	1	1440
	10	1330
	50	1050
10.5	1	1400
	10	1012
	50	727
11	1	1256
	10	1133
	50	237
12	1	343
	10	234
	50	67

もホウ素の沈殿除去率は増加しないものと考えられる。田口らも、Al と Ca の添加によってホウ素の除去率が上がることを報告している²³⁾。

以上の結果から、ホウ素を金属水和物と共沈除去するためには、適切な pH 管理と十分な Al と Ca の存在が必要である。

3.3 $\text{CaH}_2\text{BO}_3^+$ の沈殿とグルコマンナンによる $\text{B}(\text{OH})_4^-$ の吸着の組み合わせによるホウ素除去能の評価

ホウ素のイオン対のうち、陰イオンとして存在する $\text{B}(\text{OH})_4^-$ のグルコマンナンによる吸着能を検討した。Al を添加しない場合、および、Al/B = 1, 10, 50 のモル比で $\text{AlCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ を浸出液に添加した場合についてそれぞれ図 5, 図 6, 図 7, 図 8 に示す。Al を添加しない場合では、いずれの pH でも、吸着率に大差は認められなかった (図 5)。

Al/B = 1 でも各 pH 間において、添加しない場合と同様に吸着率に有意な差は認められなかった (図 6)。それに対し、Al/B = 10 の場合は pH の低下に伴って吸着分の割合が減少しており (図 7)、Al/B = 50 ではこの傾向がより顕著になった (図 8)。この理由として、ホウ素のイオン形態の違いと初期濃度が影響していると考えられる。吸着させる前にはいずれの試料も pH12 に調整しているため、ホウ素の存在形態は同じである。したがって、初期濃度の違いと考えられる。例えば Al/B = 50 では、浸出濃度が 16.3 mgB L^{-1} であり、各 pH に調整した後は

pH10 では 7.7 mgB L^{-1} 、pH10.5 では 8.5 mgB L^{-1} 、pH11 では 10.8 mgB L^{-1} 、pH12 では 13.2 mgB L^{-1} となった。pH10 での初期濃度は pH12 のそれに比べ、約半分となっている。そのため、グルコマンナンへ吸着させる際、初期濃度が吸着量に影響していると考えられる。 $\text{CaH}_2\text{BO}_3^+$ の沈殿と $\text{B}(\text{OH})_4^-$ の吸着による浸出液からの全体としての除去率は、本研究で検討した pH の範囲内では約 78% で pH 条件による大きな差は認められなかったが、沈殿による除去と吸着による除去の割合は pH の影響が大きかった (図 8)。

4. 結論

高濃度の Ca 存在し、かつ高 pH 条件下の石炭灰酸浸出液中で $\text{CaH}_2\text{BO}_3^+$ と $\text{B}(\text{OH})_4^-$ のイオン対を形成するホウ素の除去特性について検討した結果、以下の結論が得られた。

- 1) Ca 濃度が高くかつ $\text{CaH}_2\text{BO}_3^+$ の存在比率が高い pH10 の条件下において、Al の添加は $\text{CaH}_2\text{BO}_3^+$ と $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ の共沈を促進し、適切な Al/B を与えることでほぼ全量の Al を同時回収が可能であった。
- 2) $\text{CaH}_2\text{BO}_3^+$ を除去した後の低濃度のホウ素は pH12 の条件下で $\text{B}(\text{OH})_4^-$ へ変換された後、グルコマンナンによる吸着除去が可能であった。
- 3) Al の添加と pH の調整により、 $\text{CaH}_2\text{BO}_3^+$ と $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ の共沈とグルコマンナンによる $\text{B}(\text{OH})_4^-$ の吸着を組み

図 5 石炭灰浸出液に Al を添加しない場合の各 pH における共沈およびグルコマンナンへ吸着したホウ素の割合

図 6 石炭灰浸出液に Al/B = 1 の割合で Al を添加した場合の各 pH における共沈およびグルコマンナンに吸着したホウ素の割合

図 7 石炭灰浸出液に Al/B = 10 の割合で Al を添加した場合の各 pH における共沈およびグルコマンナンに吸着したホウ素の割合

図 8 石炭灰浸出液に Al/B = 50 の割合で Al を添加した場合の各 pH における共沈およびグルコマンナンへ吸着したホウ素の割合

合わせることで、最大で全ホウ素の約78%が除去された。

(原稿受付 2015年4月28日)

(原稿受理 2016年1月4日)

参考文献

- 1) 鈴木理博, 吉永淳, 鳥山成一, 西川雅高, 田中敦, 2003. 安定同位体比を指標としたホウ素汚染事例の解析. 環境化学 13, 733-738.
- 2) Yoshinaga J., Kida A., Nakasugi O., 2001. Statistical approach for the source identification of boron in leachate from industrial waste landfill sites. J. Mater. Cycles Waste Manag. 3, 60-65.
- 3) Hatcher, J.T., Bower, C.A., 1958. Equilibrium and dynamics of boron adsorption by soils. Soil Sci. 85, 319-323.
- 4) Weir, R.J., Fisher, R.S., 1972. Toxicological studies on borax and boric acid. Toxicol. Appl. Pharmacol. 23, 351-364.
- 5) Landolph, J.R., 1985. Cytotoxicity and negligible genotoxicity of borax and borax ores to cultured mammalian cells. Am. J. Ind. Med. 7, 31-43.
- 6) Moseman, R.F., 1994. Chemical disposition of boron in animals and humans. Environ. Health Perspect. 102, 113-117.
- 7) Wester, R.C., Hui, X., Hartway, T., Maibac, H.I., Bell, K., Schell, M.J., Northington, D.J., Strong, P., Culvert, B.D., 1998. In vivo percutaneous absorption of boric acid, borax and disodium octaborate tetrahydrate in humans compared to in vitro absorption in human skin from infinite and finite doses. Toxicol. Sci. 45, 42-51.
- 8) Yilmaz, A.E., Boncukcuoglu, R., Kocakerim, M.M., Keskinler, B., 2005. The investigation of parameters affecting boron removal by electrocoagulation method. J. Hazard. Mater. 125, 160-165.
- 9) Choi, W., Chen, K.Y., 1979. Evaluation of boron removal by adsorption on solids. Environ. Sci. Technol. 13, 189-198.
- 10) Kluczka, J., Ciba, J., Trojanowska, J.M., Zolotajkin, J.M., Turek, M., Dydo, P., 2007. Removal of boron dissolved in water. Environ. Progress 26, 71-77.
- 11) Kunjn, R., Preuss, A.F., 1964. Characterization of a boron-specific ion exchange resin. Ind. Eng. Chem. Prod. Res. Dev. 3, 304-306.
- 12) Hicks, K.B., Simpson, G.I., Bradbury, A.G.W., 1986. Removal of boric acid and related compounds from solutions of carbohydrate with a boron-selective resin (IRA-743). Carbohydr. Res. 147, 39-48.
- 13) Tsuboi, I., Kunugita, E., Komasa, I., 1990. Recovery and purification of boron from coal fly ash. J. Chem. Eng. Japan 23, 480-485.
- 14) Hano, T., Matsumoto, M., Kokubo, S., Kai, H., Takita, Y., Kokubo, N., 1994. Development of an extraction system for the recovery of boric acid from geothermal waters. Solvent. Extr. Res. Dev. Japan 1, 146-153.
- 15) Matsumoto, M., Kondo, K., Hirata, M., Kokubo, S., Hano, T., Takada, T., 1997. Recovery of boric acid from wastewater by solvent extraction. Sep. Sci. Technol. 32, 983-991.
- 16) Izquierdo, M., Querol, X., 2012. Leaching behavior of elements from coal combustion fly ash: An overview. Inter. J. Coal Geol. 94, 54-66.
- 17) Oishi, K., Maehata, Y., Hashino M., 2013. Simultaneous recovery of boron and other major elements from a coal fly ash by pH control. Chem. Eng. Process Tech. 1, 109-113.
- 18) Hobbs, M.Y., Reardon, E.J., 1999. Effect of pH on boron coprecipitation by calcite: Further evidence for nonequilibrium partitioning of trace elements. Geochemica et Cosmochimica Acta 63, 1013-1021.
- 19) Polat, H., Vengosh, A., Pankratov, I., Polat, M., 2004. A new methodology for removal of boron from water by coal and fly ash. Desalination 164, 173-188.
- 20) Mattigod, S., Frampton, J., Lim, C., 1985. Effect of ion-pair formation on boron adsorption by kaolinite. Clays Clay Miner. 33, 433-437.
- 21) Oishi, K., Maehata, Y., 2013. Removal properties of dissolved boron by glucomannan gel. Chemosphere 91, 302-306.
- 22) Aksenova, T.D., Borisenkov, V.I., Dorofeyeva, V.A., 1989. Stability of natural magnesium borates in marine brine at various stages of halogenesis. Geochem. Internat. 26, 31-39.
- 23) 田口洋治, 高橋庸介, 岩倉智子, 山口東吾, 馬場貞雄, 2001. 凝集沈殿および吸着による排水からのホウ素除去. 環境化学 11, 557-565.

論文要旨

ホウ素は高濃度のCaが存在し、かつ高pH条件下で $\text{CaH}_2\text{BO}_3^+$ と $\text{B}(\text{OH})_4^-$ のイオン対を形成する。前者は $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ と共沈し、後者はグルコマンナンのジオール基と錯体を形成することができる。そこで本研究では、石炭灰を0.25 N塩酸で処理した浸出液中でイオン対を形成していると考えられるホウ素の除去特性を明らかにするために、除去率に影響する因子としてpHとAlの影響を検討した。その結果、 $\text{CaH}_2\text{BO}_3^+$ を $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ と共沈させて回収する場合、pHを10付近に調整し、Alを $\text{Al}/\text{B} = 50$ 程度添加することでホウ素との共沈が促進され、同時にAlもほぼ全量を回収できた。 $\text{CaH}_2\text{BO}_3^+$ と $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ の沈殿物を回収した後、pHを12に調整して $\text{B}(\text{OH})_4^-$ をグルコマンナンによる吸着除去が可能であった。以上の方法を組み合わせることで全体の78%のホウ素が除去された。

キーワード：ホウ素除去；イオン対；石炭灰；酸浸出液；水酸化アルミニウム