

電気凝集法による排水からのホウ素除去

堀内 澄夫 川口 正人
(技術研究所) (技術研究所)

Boron Removal by Electrocoagulation

by Sumio H oriuchi and Masato Ka waguchi

Abstract

Electrocoagulation, in which metal ions released from the anode during electrolysis form insoluble precipitants with anions, is widely applied on water treatments of fluorides and arsenics^{1,2)}. For the boron removal, a higher removal ratio of 40-70% has been reported on simple model water samples using aluminum electrodes³⁾. Because other anions might have higher reactivities with released metal ions than boron, it is suspected that the removal ratio should be lowered on some natural ground waters. To achieve both (1) 70% boron removal and (2) boron concentration less than 1.0mg/L, a series of lab tests using four kinds of natural ground waters, which contain 1.3-51mg-boron/L with a variety of minerals and anions, were carried out. The following results show a positive applicability on the boron removal; (1) aluminum anode treatment is inhibited by other anions contained and shows a lower boron removal ratio of less than 40%, (2) by using iron anode, a higher boron removal ratio of 80% on 5mg-boron/L sample is achieved when pH of the treated water is controlled at 7-10, (3) for boron-rich waters higher than 25mg-boron/L, magnesium plays a key role on iron anode electrocoagulation for an effective boron removal.

概要

電気凝集法では排水中に挿入した金属電極から通電時に電極金属イオンが溶出し、排水成分と反応し不溶化する。フッ素やヒ素の除去に適用され高い性能を示すと報告されている^{1,2)}。ホウ素除去についてはモデル排水に対してのアルミニウム電極処理の研究があり40~70%の除去率があると報告されているが³⁾、多種のイオンが共存する地下水への適用性は明らかではなかった。そこで、初期ホウ素濃度1.3~51mg/Lの4種類の地下水を使用し、(1)70%のホウ素除去率、(2)1.0mg/L以下までの濃度低減、を目標とした実験を進めた。その結果、(i)アルミニウム電極による電気凝集処理はホウ素除去能力が最大でも40%と低く実用性に乏しい、(ii)鉄電極材の採用によってホウ素濃度5.0mg/Lの地下水で除去率80%を達成できる。(iii)ホウ素濃度が25mg/L以上の地下水に対してはマグネシウムが重要な役割を果たし、マグネシウム濃度を調整することで環境基準1.0mg/L以下に低減できる。など、電気凝集処理によるホウ素除去の有効性を確認した。

§ 1. はじめに

ホウ素は原子量10.8の元素である。1999年2月、水の環境基準(水質汚濁に係る環境基準)に「ホウ素1.0mg/L以下」が追加され、その後、土壌の環境基準(土壌の汚染に係る環境基準)の項目にも、「ホウ素」が追加された。排水基準値は、海域で230mg/L、それ以外で10mg/Lとなっている。これは、ホウ素を大量に摂取すると食欲不振や嘔吐、腹痛などの急性毒性や、生殖阻害毒性を起すなど、人や動物に影響を与えるおそれがあるためである。とくに昆虫への影響は大きいことが知られている。

一般的に言って、飲料中には0~4mg/L程度、海水中には4~5mg/Lのホウ素が存在している。ホウ素はマントルから地殻方向に移動しており、最終的には水系や大気

系へと移行する。温泉水に高い濃度のホウ素が検出されるのはこのためである。我が国の温泉水の平均値は10mg/L程度と言われている。

ホウ素は植物中に集積されることから、化石である石炭にも高く含有されている。このため、その燃焼灰である石炭灰にも高い濃度でホウ素が含まれている。この石炭灰からのホウ素溶出に関する報告⁴⁾では、①高pH領域で炭酸カルシウムと共沈する、②石炭灰粒子の表面に存在するアルミニウムへ吸着する、③ホウ素を対象とする洗浄処理には酸性域が適する、④ホウ素はフライアッシュの細粒部分に吸着している、⑤大きな粒子を破碎してもホウ素は溶出してこない、などを明らかとしている。

排水中のホウ素濃度規制は我が国に限られており、ま

た規制開始から間もないことから、処理技術の多くは開発途上にある。環境基準を満足するようなホウ素除去技術としては樹脂吸着や膜分離があるが、高価な樹脂や膜を導入する必要がある、また前処理や残渣処理にも留意せねばならない。

水酸化マグネシウムとの共沈処理についても検討されている⁵⁾。ホウ素濃度 50mg/L のモデルめっき排水に塩化マグネシウムを 23kg/m³ 添加し、pH を 10.5 程度にして水酸化マグネシウムを生成させると共沈によってホウ素濃度が 2mg/L 程度までは低下できる。しかし環境基準に適合させるのは難しい。カルシウム塩や鉄塩による沈澱処理もホウ素除去には効果はないと報告されている⁶⁾。

窯業排水を対象とした検討⁷⁾も進められている。ホウ素を赤土に吸着させようとする試みで、200mg/L のホウ酸水に赤土 2% を添加して pH を 11 付近に調製すると 13% 程度の除去率を得ている。ここに硫酸アルミニウムと水酸化カルシウムとを添加して、90% 以上のホウ素除去率を達成している。しかし処理後のホウ素濃度としては 5mg/L 程度が限界と考えられる⁵⁾。

上述した従来技術の多くは夾雑物が少ない工業排水や飲料水を対象としている。建設工事、とくに温泉地域でのトンネル工事や根切り工事では、組成が複雑で、しかもコンクリートによる pH 変動の大きい排水が発生する。このため、従来の技術では安定的な運転が難しく、しかも除去効果も大きく低下すると考えられる。

電気凝集処理 (EC 処理と呼ぶ) の概念を図-1 に示す。排水中に挿入した電極に通電すると、金属イオンが陽極から溶け出す。同時に水が電気分解して水酸化物イオンと水素が発生する。つづいて金属イオンは水酸化物イオンと反応して沈澱する。このとき、金属イオン、水酸化物イオン、金属水酸化物が排水中の成分と複雑に化学反応し、成分の一部が沈澱中に捕捉される。

EC 処理は特殊な薬剤を使用せず、小電力 (通常は数 V、数十 A/m²) で運転できるため、アルミニウム電極による EC 処理は古くから研究されていた¹⁾。その後、PAC などの薬剤処理に取って代われ、忘れ去られていた。最近になって、窒素やリンなどの新たな対象物をコンパクトな装置で除去できる点が見直されてきている^{8,9)}。EC 処

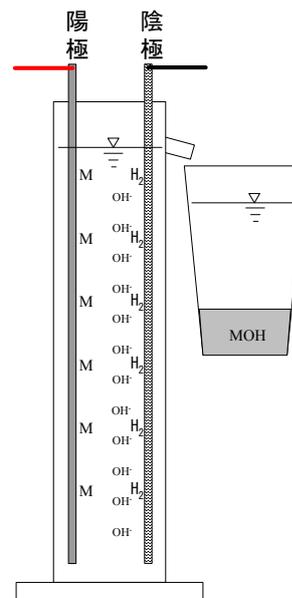


図-1 電気凝集処理の概念

理でホウ素除去が可能であれば、建設現場内での設置も容易で、しかも懸濁物質も同時に除去できるなど、メリットは大きい。しかし、EC 処理によるホウ素除去はホウ酸溶液からの資源回収を目的としたモデル研究³⁾ があるだけで、温泉域の地下水に対しては多量にアルミニウムを消費しても環境基準を満足できない可能性が高い。

そこで、温泉域の地下水を対象に、EC 処理によるホウ素除去能力を実験的に検証してみた。目標値は以下の2点とした。

目標 [I] ホウ素濃度を環境基準値 1.0mg/L 以下にまで除去する。

目標 [II] 消費電流 2000A・hr/m³ でホウ素除去率 70% 以上を達成する。

§ 2. 実験方法

2.1 実験資材

実験には表-1 に示すホウ素含有量の異なる4種の地下水を選定し使用した。密閉容器に採取し、そのまま 5°C で保管した。添加剤は試薬を使用した。

陽極には、アルミニウム、アルミニウム・マグネシウム合金、鉄の3種類を使用した。陰極にはカーボンを

表-1 実験に使用した地下水

Sample	pH	Cations (mg/L)					Anions (mg/L)				IC (mg/L)
		Na	NH ₄	K	Mg	Ca	F	Cl	B	SO ₄	
A	8.9	110	3.3	1.6	0.2	5.1	8.6	170	1.3	5.6	7.6
F	6.9	550	10	5.6	0.8	27	4.6	740	5.4	330	19
T	1.2	66	0.3	35	53	160	87	4,200	27	370	----
Y	7.6	3,300	----	69	18-41	180	4.5	5,500	51	0.0	66

使用した。

2.2 実験方法

実験は図-2に示すフローで進めた。試料水は塩酸と水酸化ナトリウム水溶液とでpH調整して用いた。電気凝集は電極間隔3.5mm、接触電極面積363cm²の条件で265mLの地下水をバッチ処理した。

処理水の含有成分濃度はICP発光分光分析およびイオンクロマト分析によって求めた。

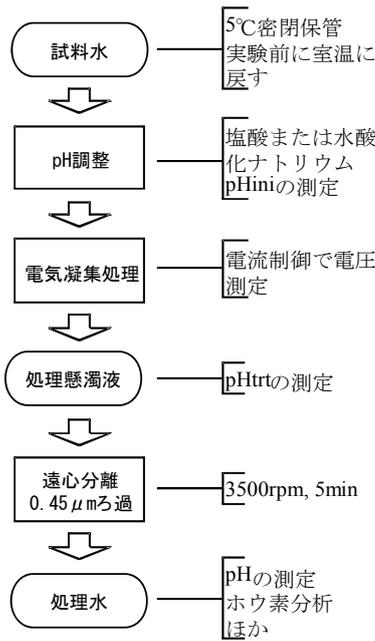


図-2 実験のフロー

§ 3. 実験結果

3.1 電気凝集処理における金属溶出速度

実験に先立って、EC処理時に溶出する金属濃度を地下水Fで測定した。結果を図-3に示す。実線は測定値、破線(Fe-FとAl-F)はファラデーの法則によって算出した値である。アルミニウム、鉄ともに理論値の1.9倍量がEC処理で溶出している。この傾向は丹保によっても報告されている¹⁾が、溶出速度は水質を変化させても変わらないこと、実測値/理論値が2種の金属で一定であることから、乖離の原因は通電中に金属微粒子が剥離し、溶解したためと考えられる。なお、2000A・hr/m³でのアルミニウムおよび鉄の溶出濃度は、それぞれ1.2kg/m³、2.5kg/m³である。

3.2 アルミニウム電極による地下水Fの処理

図-4に、地下水Fの初期pH(pHini)を変えたときの汚濁除去効果を示す。横軸は消費電流であり、EC処理

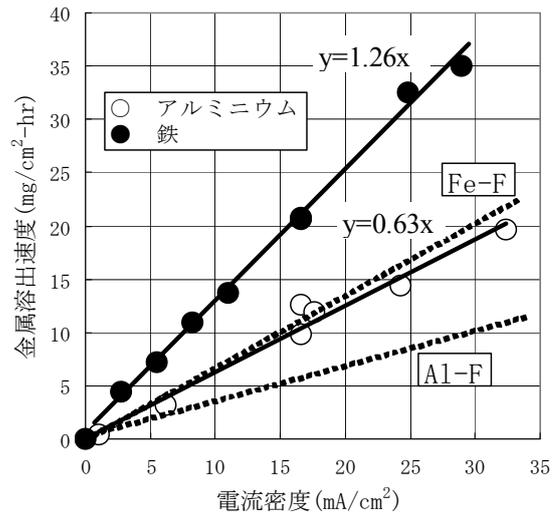


図-3 電気凝集処理における金属溶出速度

が進むとともに汚濁濃度が低下している。汚濁濃度は1000A・hr/m³までは直線的に低下しているが、2000A・hr/m³以上では3mg/L程度でほとんど変化していない。2000A・hr/m³以上での除去率は40%程度で、除去率70%の目標[II]を達成できていない。Jiangの報告³⁾も除去率は40~70%であり、図-4の結果はその下限値に相当している。しかしアルミニウム/汚濁比は大きく異なっており、文献値が1.0~1.5であるのに対して図-4の2000A・hr/m³では約200であり、地下水FではEC処理によって発生するアルミニウムの大半は他成分によって消費されていると考えられる。また汚濁吸着に時間を要する可能性がある³⁾ため、静置時間を延長してみたが汚濁除去率への影響はなかった。

以上の事実から地下水Fの成分が水酸化アルミニウムに優先的に吸着し、汚濁が吸着できなかったと推察できる。複合塩生成のためのカルシウム併用EC処理も検

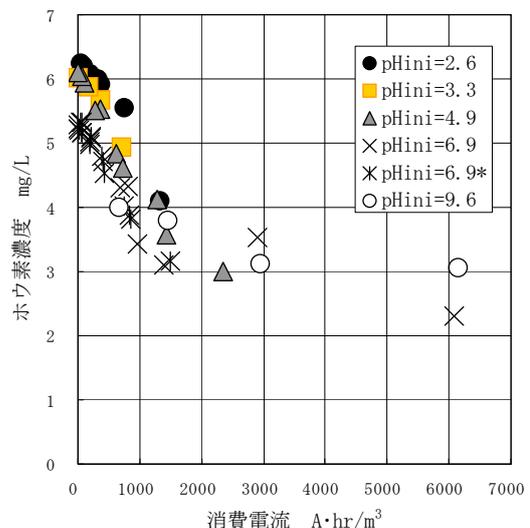


図-4 アルミニウム電極による地下水FのEC処理 (pHini=6.9*は電流密度2倍でのEC処理値)

討してみたが効果はなかった。

図-4の高消費電流域でのホウ素除去効率の低下は高濃度の水酸化アルミニウムによる粘度上昇が原因の1つと考えられる。そこで生成する水酸化アルミニウムを遠心分離で除去しながらEC処理を繰り返してみた。その結果を図-5に示す。多段のEC処理では2000A・hr/m³以上でもホウ素濃度は低下してゆき、5000A・hr/m³で環境基準値1.0mg/Lを満足すると推定できる。しかしながら、ホウ素含有量50mg/Lの地下水を環境基準以下にするのは不可能に近いと予想できる。

以上のようにアルミニウム電極によるEC処理は目標とした2項目を達成できず、現実的な適用は難しい。さらに、電極材としてアルミニウム・マグネシウム合金も検討したが、アルミニウムと同程度の効果しか得られなかった。

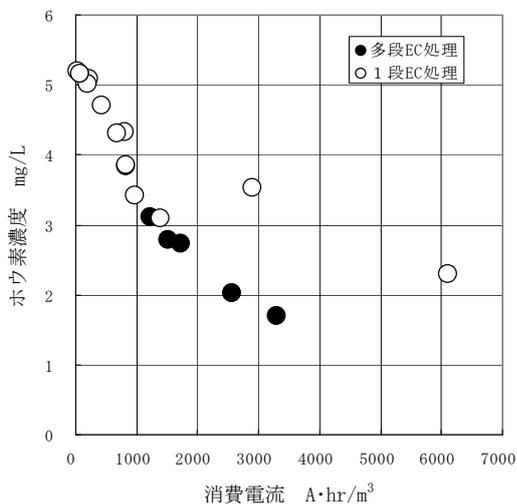


図-5 多段EC処理による地下水Fのホウ素除去 (pHini=6.9)

3.3 鉄電極による地下水Fの処理

アルミニウムに代わる陽極材として鉄を試みた。鉄電極はリンのEC処理にも使用されている⁹⁾が、ホウ素除去のために利用された事例は報告されていない。

水中に溶解した鉄は酸化還元電位やpHによってさまざまな形態に変化し、pH4以上ではホウ素吸着効果が期待される水酸化第一鉄の沈澱が生成する¹⁰⁾。そこで、地下水FのpHを調整し消費電流755A・hr/m³でEC処理してみた。結果を図-6に示す。ホウ素除去効果はpHini=2~3で最も高く2.7mg/Lにまで低減できている。このときの処理懸濁液のpH(pHtrt)は8前後であるが、pHiniが3を越えるとpHtrtも9以上を示すようになり、ホウ素濃度も増加している。同一の消費電流で比較してみるとアルミニウム電極では残留ホウ素濃度は4mg/L程度となっており、鉄電極によるEC処理の

優位性が認められる。

図-7はpHini=2.5で消費電流を変化させたときの結果である。消費電流の増加とともにホウ素濃度が低下してゆき、2300A・hr/m³で環境基準を満足している。一方、pHtrtは消費電流0~500A・hr/m³で急激に上昇したのち、500A・hr/m³以上でもすこしずつ上昇している。このpHtrtの値がホウ素除去効率にも大きく影響している可能性がある。

地下水Fにおける2000A・hr/m³でのホウ素除去率は78%であり、目標[II]を達成できている。

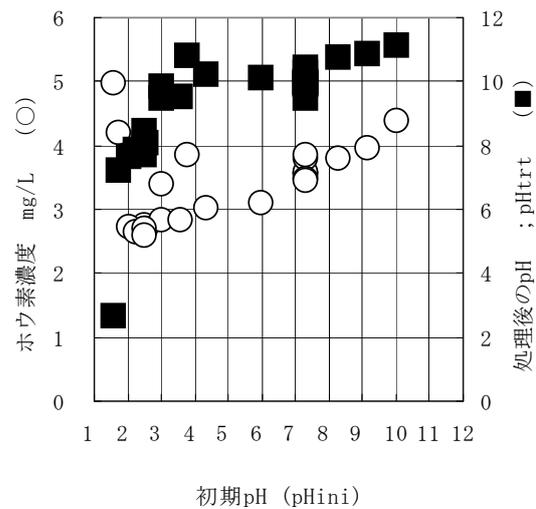


図-6 鉄電極による地下水FのEC処理

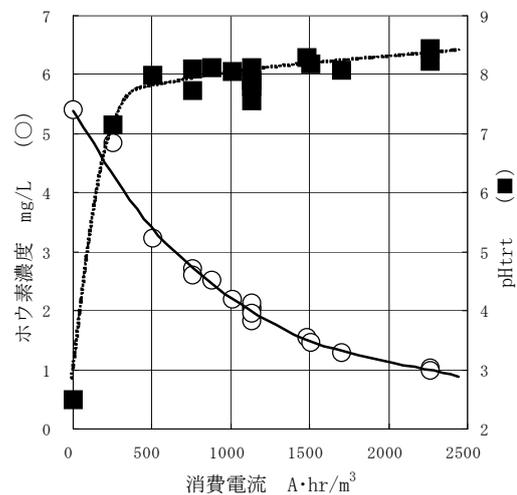


図-7 鉄電極による地下水FのEC処理 (pHini=2.5)

3.4 鉄電極による地下水A、T、Yの処理

地下水Fで鉄電極によるホウ素除去効果が確認できたため、他の地下水に対するEC処理実験を進めた。

図-8左は地下水Aの消費電流とホウ素濃度の関

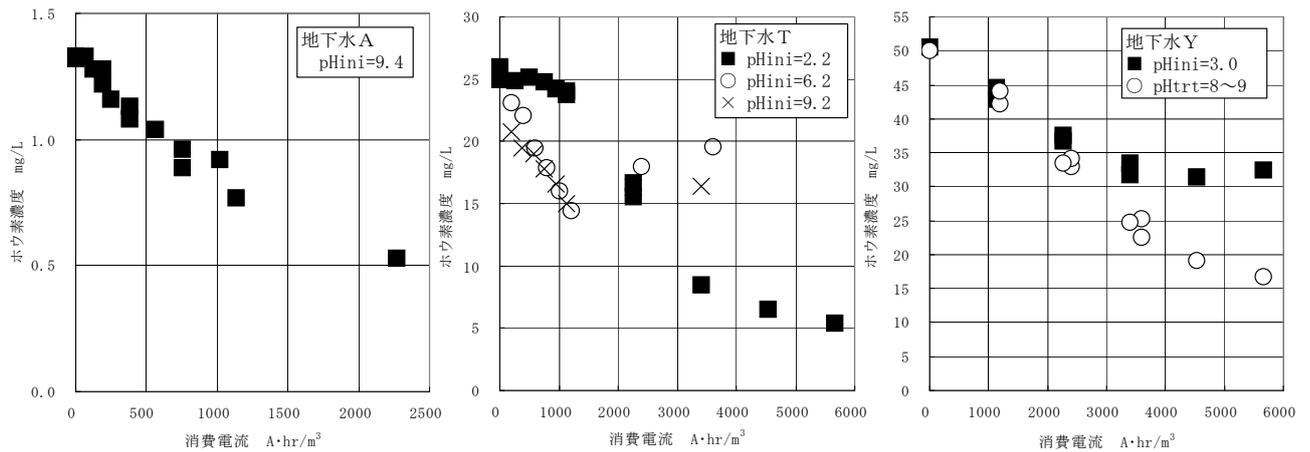


図-8 鉄電極による地下水A、T、YのEC処理結果

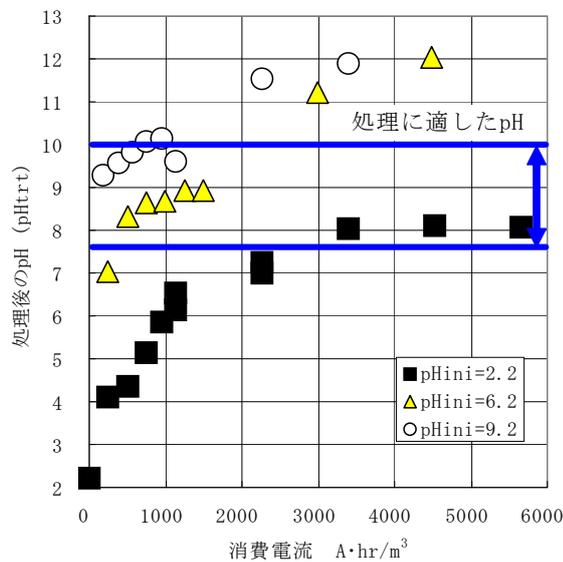


図-9 EC処理にともなうpHtrt変化 (地下水T)

係で、消費電流の増加によってホウ素濃度が着実に低下してゆく。図-8からは消費電流 $700\text{A}\cdot\text{hr}/\text{m}^3$ で環境基準値を満足し、 $2000\text{A}\cdot\text{hr}/\text{m}^3$ でのホウ素除去率は54%が得られるが、最適 pHtrt 条件で別途に実施した実験では環境基準を満足するための消費電流は $400\text{A}\cdot\text{hr}/\text{m}^3$ とさらに小さくできており、 $2000\text{A}\cdot\text{hr}/\text{m}^3$ でのホウ素除去率も80%弱が期待できている。このように高い除去率が得られたのは地下水Aには鉄への競合する吸着成分が少ないためと考える。

地下水Tでも消費電流の増加にともなうホウ素濃度低下が確認できる。しかし pHini=6.2 と pHini=9.2 では $1500\text{A}\cdot\text{hr}/\text{m}^3$ 前後で最小のホウ素濃度を示したのち消費電流の増加とともにホウ素濃度も増加に転じている。一方、pHini=2.2 での EC 処理では、 $1000\text{A}\cdot\text{hr}/\text{m}^3$ 以上で除去効果が発揮ははじめ、 $3000\text{A}\cdot\text{hr}/\text{m}^3$ まで急激なホウ素濃度低下が見られている。そしてホウ素濃度の極小値もみられない。このような差異は pHtrt の最適

値と関連している。図-9は図-8に示した地下水TのEC処理後のpHを示している。図中の青線の領域は上述の最適 pHtrt である。ホウ素 pHini=2.2 では $3000\text{A}\cdot\text{hr}/\text{m}^3$ 以上であっても pHtrt は 8.0 前後であり最適 pHtrt のレンジ内にある。しかし pHini=6.2 では $2000\text{A}\cdot\text{hr}/\text{m}^3$ 前後で、pHini=9.2 では $1200\text{A}\cdot\text{hr}/\text{m}^3$ 前後で最適 pHtrt のレンジを外れ、 $\text{pHtrt} > 10$ となっている。以上のように、消費電流が大きければより多くのホウ素が除去できるわけではなく、pHtrt を制御しながら電気凝集処理を進めることが肝要となる。なお、別途に進めた最適化実験では、 $\text{pHtrt}=8\sim 9$ 、 $2000\text{A}\cdot\text{hr}/\text{m}^3$ の条件で地下水Tを排水基準に適合できているが、そのときのホウ素除去率は60%で目標値 [II] は達成できていない。

地下水Yの最適 pHtrt は7~9である。図-8右のように pHini=3.0 の条件では $3000\text{A}\cdot\text{hr}/\text{m}^3$ 以上で $30\text{mg}/\text{L}$ 強に漸近し、 $4500\text{A}\cdot\text{hr}/\text{m}^3$ で極小値を示している。この極小値の原因も消費電流の増加にともなう pHtrt の上昇と考えられ、図-8右の $\text{pHtrt}=8\sim 9$ のプロットのように最適 pHtrt のレンジ内に制御できていればホウ素濃度は消費電流の増加とともに直線的に低減できている。しかし、 $2000\text{A}\cdot\text{hr}/\text{m}^3$ でのホウ素除去率は31%であり、pHtrt を制御したとしても排水基準へ適合させるには $8000\text{A}\cdot\text{hr}/\text{m}^3$ 以上の消費電流が必要と予想される。さらにホウ素濃度を環境基準にまで低下させるのは困難であると推察できる。

以上の4種類の地下水に対する鉄電極での処理結果を表-2にまとめる。初期ホウ素濃度の増加にとも

表-2 鉄電極によるEC処理結果のまとめ

地下水	初期ホウ素濃度	最適pHtrt	目標 [I] 環境基準適合	目標 [II] ホウ素除去率
A	1.3mg/L	9~10	◎	◎ 80%
F	5.4mg/L	7~10	◎	◎ 78%
T	27mg/L	8~10	△	△ 60%
Y	51mg/L	7~9	×	× 31%

なって処理が難しくなっている。この課題解決に向けて、添加剤の使用やプロセスの最適化が必須となる。

§ 4. 考察

4. 1 電気凝集処理におけるマグネシウムの役割

EC 処理の進行とともに、地下水内の成分は鉄イオンや水酸化物イオンと反応し、沈澱生成や吸着を起こす。この反応は濃度変化の形で現れる。そして、EC 処理中に消費されている物質があれば、その物質がホウ素除去にも関与している可能性がある。

図-10は地下水TをEC処理した際の残存マグネシウム濃度を示している。初期マグネシウム濃度は54mg/Lであるが、EC処理によってマグネシウムが大きく消費されている。しかも、pHini、pHtrtの上昇ともなって、EC処理後のマグネシウムの消費量も増加している。pH上昇ともなうマグネシウム消費の主要因として、水酸化マグネシウムの生成がある。一般的には水酸化マグネシウムの生成はpH11弱以上で起きる。ところが、図-10ではpH8程度の中性域でもマグネシウム濃度が大きく消費されている。このマグネシウム消費には電気分解で発生する水酸化物イオンや第一鉄イオンとの直接的な反応、第一鉄イオンや微細鉄粒子への吸着などが関与している可能性が高い。

図-10のようなEC処理中のマグネシウム消費は、EC処理におけるpH変化の抑制目的にも適用できる推察した。そこで、各地下水中に塩化マグネシウム水溶液を添加し、EC処理を進めてみた。結果を図-11に示す。各地下水ともに、マグネシウム濃度の上昇にしたがってpHtrtが低下してゆき、ホウ素除去能力に最適なpHtrtレンジの8~9に漸近してゆく。建設工事排水はセメントや掘削土砂の混入によってpHは大きく変

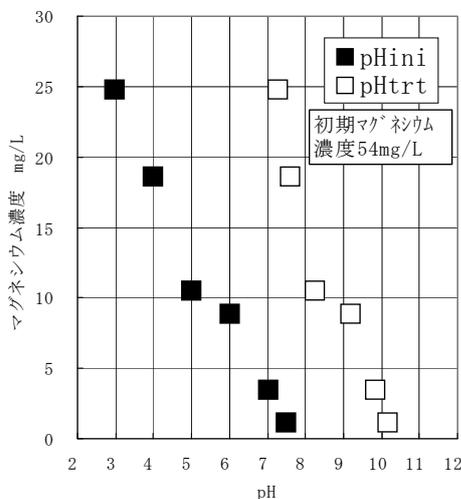


図-10 EC処理ともなうマグネシウムの濃度変化 (地下水T、消費電流2260A・hr/m³)

動する。マグネシウム添加によるpHtrtの調整能力は、pH変動を吸収するための有効な手段ともなり得る。

図-11のように、必要となるマグネシウム濃度は地下水によって異なっており、地下水Aでは50mg/L以下、地下水FやYでは200mg/L、地下水Tでは400mg/Lとなっている。マグネシウム必要量が異なっている原因としては、地下水中の金属成分の影響が最も大きいと考える。なお、図-9にも示したように、ホウ素除去効果は消費電流やpHiniにも大きく影響されるので、マグネシウム濃度、初期pH、消費電流の3条件を変えた事前のモデル処理試験はEC処理の仕様を決定するうえで必須となる。

図-11のように、EC処理中のマグネシウム消費量は消費電流の増加とともに大きくなる。このため、地下水TやYのようにホウ素濃度が高い場合には環境基準にたどり着くまでのマグネシウム必要量は必然的に増加する。図-12は、EC処理後のマグネシウム残存量が50mg/L以上としたときの、消費電流とホウ素濃度との関係である。ホウ素濃度は消費電流の増加とともに直線的に低下しており、マグネシウム無添加の条件では難しかった高ホウ素含有排水であっても環境基準を満足できるようになっている。

以上のように、消費電流は大きいものの50mg/Lのホウ素含有排水をマグネシウム添加によって処理できており、4種類の地下水に対して目標 [I] を達成できている。一方、2000A・hr/m³でのホウ素除去率は、地下水Fで80%、地下水Tで73%と目標 [II] を達成できているが、地下水Yでは55%と達成できていない。表-1のように地下水Yには1%程度の高い塩分が含まれている。この高い濃度の塩分によって溶解する鉄やマグネシウムが消費されたことが原因と考える。

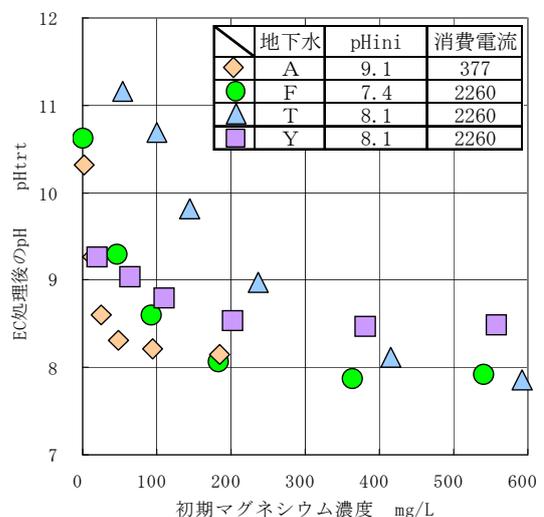


図-11 マグネシウム添加によるpHtrtの制御

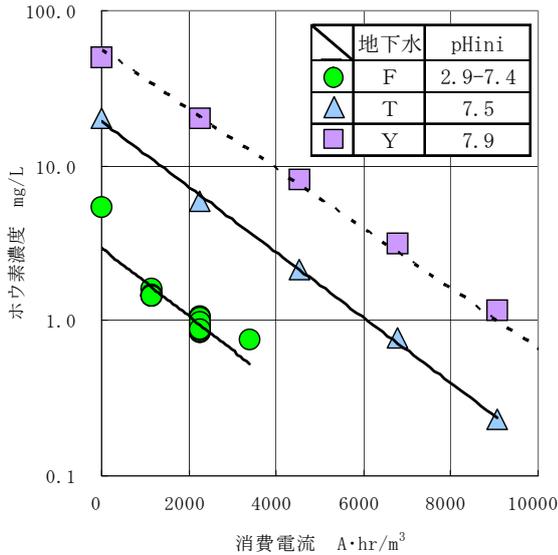


図-12 消費電流とホウ素除去能力
(処理後のマグネシウム残存量 50mg/L 以上)

4.2 鉄電極によるホウ素除去の評価

各ホウ素水質基準への鉄電極 EC 処理の性能を評価してみる。図-13 では4種の地下水を EC 処理によって各水質基準に適合させるのに必要となる消費電流を初期ホウ素濃度ごとにプロットしてある。マグネシウム添加によって消費電流を削減できているが、とくに高いホウ素濃度域でのマグネシウム添加による効果が顕著となっている。図中の橙色の実線は消費電流 2000A・hr/m³を表しており、排水基準 10mg/L を目標とした場合には初期ホウ素濃度 30mg/L 以下であれば EC 処理による除去が達成可能となる。また環境基準 1.0mg/L では初期ホウ素濃度 5.3mg/L までの地下水であ

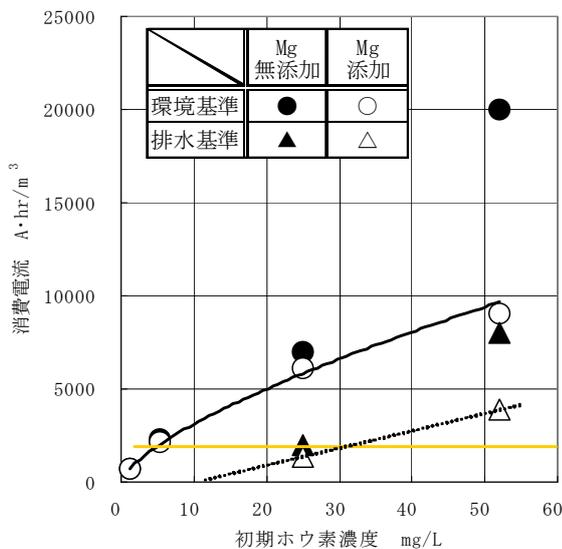


図-13 鉄電極 EC 処理の水質基準への適応性

表-3 マグネシウムを添加した EC 処理の評価

地下水	初期ホウ素濃度	目標 [I] 環境基準適合	目標 [II] ホウ素除去率
A	1.3mg/L	◎	◎ 80%
F	5.4mg/L	◎	◎ 80%
T	27mg/L	◎	◎ 73%
Y	51mg/L	◎	× 55%

れば対応できる。

表-3 に必要量のマグネシウムを添加した場合の EC 処理効果をまとめる。塩濃度が高い地下水 Y 以外は、目標を達成できている。地下水 Y のようなケースでは、膜処理のような他の技術と電気凝集処理とを併用して対応すべきと考える。

§ 5. まとめ

地下水中のホウ素除去を目的として、初期ホウ素濃度が異なる4種類の地下水を使用し、電気凝集法の効果を実験的に評価した。その結果を以下にまとめる。

- (1) アルミニウム電極による電気凝集処理では、地下水中のホウ素以外の成分にアルミニウムが消費されるため、50%程度のホウ素除去率しか期待できない。
- (2) 鉄電極による電気凝集処理ではホウ素濃度 5mg/L までの地下水であれば 2000A・hr/m³ の消費電流で環境基準以下に低減・除去できる。このホウ素除去には最適処理 pH(処理後の pH で 7~10)がある。
- (3) 鉄電極電気凝集処理では処理中にマグネシウムが消費される。処理後にも 50mg/L 以上のマグネシウム量が残るように成分調整することで、最適 pH 条件での処理が確保できる。とともに、ホウ素濃度 50mg/L の地下水を環境基準以下にまで低減させることが可能となる。
- (4) 消費電流 2000A・hr/m³ の条件で電気凝集処理では、初期ホウ素濃度 30mg/L 以下であれば排水基準を、初期ホウ素濃度 5.3mg/L までの地下水であれば環境基準を満たす処理が可能となる。またこのときのホウ素除去率は塩分濃度が高い場合を除いて、70%以上を達成できる。

§ 6. おわりに

電気凝集処理は消費電力が小さい。この特長を活かせば、ゆっくりと静かに水を浄化できる。太陽光などの自然エネルギーを活用した低環境負荷型の水処理技術として開発・活用が進むものと考えられる。

<参考文献>

- 1) 丹保憲仁 「アルミニウム電解添加による凝集の研究」水道協会雑誌、第 522 号、39-58、1978.
- 2) P. Ratna Kumar et.al, "Removal of arsenic from water by electrocoagulation" Chemosphere, Volume 55, Issue 9, June 2004, pp.1245-1252
- 3) J.-Q. Jiang et al, "Mechanisms of Boron Removal with Electrocoagulation" Environ. Chem., 3, pp.350-354, 2006.
- 4) J.F.Hollis et al, "Boron release and sorption by fly ash as affected by pH and particle size" J. Environ. Qual., Vol 17, No 2, pp.181-184, 1988.
- 5) 東邦彦ほか、「めっき排水中のほう素の除去方法」東京都立産業技術研究所研究報告 第 3 号, pp.75-78, 2000.
- 6) 久保田昌治ほか、水処理ハンドブック (丸善), p 332-333, 2003.
- 7) 福永均ほか 「無機系吸着剤によるホウ素除去」, 愛知県産業技術研究所研究報告 (4), 108-111, 2005.
- 8) 尾崎博明 「電解法を用いる新しい排水処理」環境技術, Vol.33, No.8, PP.571, 2004.
- 9) 森泉雅貴ほか, 「高度水処理技術における鉄電解法の応用」, 水環境学会誌, 第 24 巻, 9 号, pp.607-612, 2001.
- 10) Stumm & Morgan, Aquatic Chemistry (Wiley Interscience).p.461, 1996.