

電解浄化システム実用化の検討

－閉鎖水域の水質浄化を目的とした－

日大生産工 〇保坂成司 日大生産工 大木宜章
道都大学 大沢吉範

1. はじめに

高度経済成長や下水道の未整備により引き起こされた湖沼などの閉鎖水域における富栄養化問題に対し、現在『水質汚濁防止法』および『湖沼水質保全特別措置法』によって対策が講じられている。

これらの法律は水質保全が十分でない湖沼については、湖沼を指定して当該湖沼につき湖沼水質保全計画を策定し、下水道整備、各種汚濁源に対する規制等の措置、さらには湖辺の自然環境の保護等の対策を総合的・計画的に推進すると言ったものである。

この富栄養化の改善策として、現在、流入する汚濁負荷の削減を図るべく流入河川において下水道施設等の整備や、底泥浚渫を行い底泥からの栄養塩類の溶出抑制などが行われている。すなわち、一度湖沼に流れ込んだN、P等の富栄養化原因物質は閉鎖水域の中で植物などに吸収されはするものの植物の枯死により再び湖沼へと閉鎖水域の中で循環するため、富栄養化した湖沼を元通りの水質に戻すためには汚濁物質を取り除く以外方法はない。

本研究はこれまでの研究で富栄養化湖沼に多く見られる『アオコ』の除去に効果がある『フッ素化合物電解法』により閉鎖水域の水質浄化を行うべく、実用化の検討を行ったものである。

2. 電解浄化システムの試作

2. 1フッ素化合物電解法について

一般に汚濁水に電解法を用いる場合、極板にはアルミニウム板を用い、電解時に極板が水酸化

アルミニウムとして溶出することによる凝集効果を期待している。しかしながら電解に伴い、＋側電極には酸化物(酸化アルミニウム)を生成するため電圧が低下、処理効果も低下するという欠点がある。しかしフッ素が存在する場合＋側電極には酸化物は生成しないとされている。また、電解時にフッ素化合物を加えると

1)Fイオンは電解の過程で HF となり細菌、微生物などの代謝不全を引き起こし単細胞生物は死滅する。

2)有機化合物中の H が F に置換し、有機フッ化合物という極めて安定な物質となる。

3)重金属の電気陰性度は F に比し小さく、このため Pauling の法則により F との結合により非常に安定した物質になる。

この他、フッ素化合物電解法には多くの特徴があるがおもに上述の 3 つが大きな特徴である。

また Ca、F が存在する場合、電解処理により P が除去されることが知られている。これは Ca^{2+} および F が水中の PO_4^{3-} などと結合し $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_3\text{F}$ 、 $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaF}_2$ 、 $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ と言った物質になることによる。

以上のことからフッ素化合物電解法の特徴を生かした、バランスの良い装置を製作すれば効果的な水処理が可能である。なお、本電解法では最も安価で入手しやすい CaF_2 をフッ化物として添加している。

2. 2電解処理による水質浄化実験

装置の製作に先立ち実験場所とした本学図書館脇の池の水を用い水質浄化実験を行った。

実験は室内におけるビーカーテストであり、約 2.3

Examination for Practical Application of Electrolysis Treatment System.

－ Purpose of Impure Water Purification of the Closed Water Area.－

Seiji HOSAKA, Takaaki Ohki, Yoshinori Ohsawa

表－1 ビーカーテストによる浄化実験

測定項目	電解処理前	電解処理後
pH	8.82	8.02
クロロフィル a ($\mu\text{g}/\cdot$)	104	14
COD ($\text{mg}/\cdot$)	4.2	3.4
TN ($\text{mg}/\cdot$)	0.924	0.583
TP ($\text{mg}/\cdot$)	0.089	ND
ORP (mV)	114	-37
電気伝導率 (ms/m)	15.57	14.23

ℓの池の水に CaF_2 を適量添加し CaF_2 の分解電圧である 3V 以上の電圧で 30 分間電解処理を行った。なお、極板は＋－対で極板面積は 0.01m^2 であり処理水に対する極板面積(以後単位極板面積と表す)は $0.0044\text{m}^2/\ell$ である。

実験結果を表－1に示す。

ここで、測定項目におけるクロロフィル a は全ての植物に含まれる葉緑素であることから植物性プランクトンであるアオコの指標として用いた。

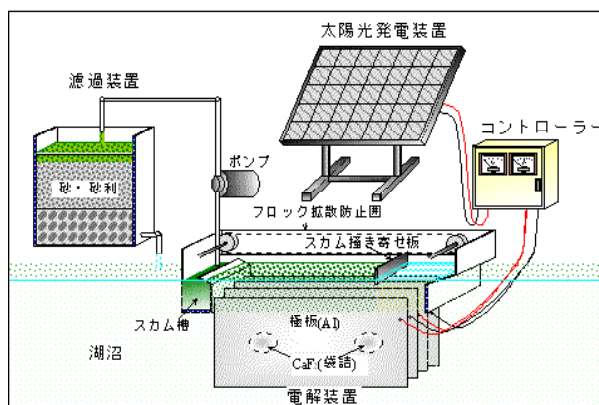
結果から電解処理により、水質測定項目である pH、クロロフィル a、COD、TN、TP 全ての値において浄化傾向が認められ、特にクロロフィル a、TP の値においては高い除去率を示している。この理由は2. 1で述べた様にクロロフィル a は有機フッ化合物として、P は $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_3\text{F}$ 、 $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaF}_2$ および $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ という形で除去されたと考えられる。また、COD、TN に関しても減少傾向を示しており処理時間の延長によりさらに除去率の向上が図れるものと期待できる。

これらの結果をもとに装置の構成、処理時間などの検討を行った。

2. 3電解浄化システムについて

本システムの構成を図－1に示す。

1)電解処理を行う電解装置は Al 極板($0.5\text{m} \times 1.0\text{m}$)を＋－交互に 10cm ピッチで 5 枚(極板面積 4m^2 、単位極板面積 $0.00044\text{m}^2/\ell$)配置したものを 1Unit とし、各極板間には粉末の CaF_2 を袋詰めにしたものを 2 箇所懸垂した。なお、単位極板面積は実験場所の水量が約 90t であることと、装置のサイズの関係からビーカー実験の



図－1 電解浄化システム概略図

1/100 に設定した。

2)極板上部には電解により生じる汚濁物質の凝集物であるフロックの拡散を防止する『フロック拡散防止囲』を設け、水面に浮上したフロックの集まりであるスラムを掻き集める『スラム掻き寄せ板』を喫水線に対し平行に動く様に配置した。

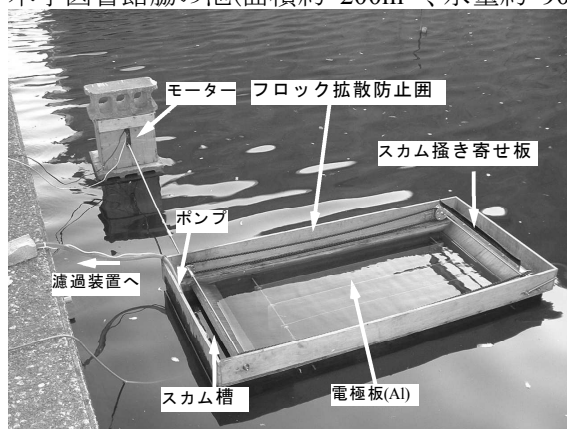
3)スラム掻き寄せ板により集められたスラムは『スラム槽』に溜められ、定期的にポンプにて排出、濾過装置へ送られスラムと濾過水に分離され濾過水は湖沼へ戻される。

4)電源は山間地など電力の供給が難しい地域を考慮しソーラーパネル 5 枚(最大電圧 25.7V、最大出力 625W)を使用し、コントローラーで出力の調整および発電量の記録を行った。

なお、今回のシステムに蓄電池は組み込んでいないため夜間は処理が行われない。

3. 電解浄化システムの浄化実験

2. 3において製作した装置を実験場所である本学図書館脇の池(面積約 200m^2 、水量約 90t)



写真－1 電解浄化システム

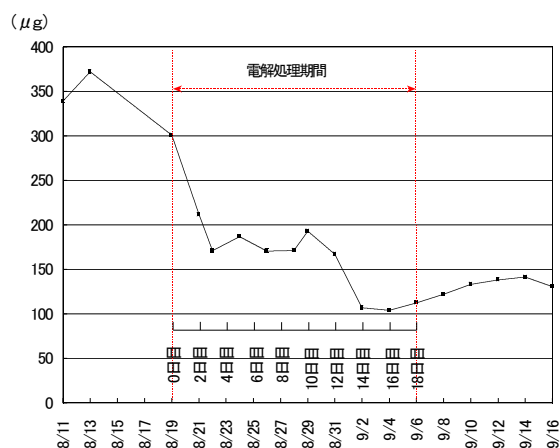


図-2 クロロフィル a の経日変化

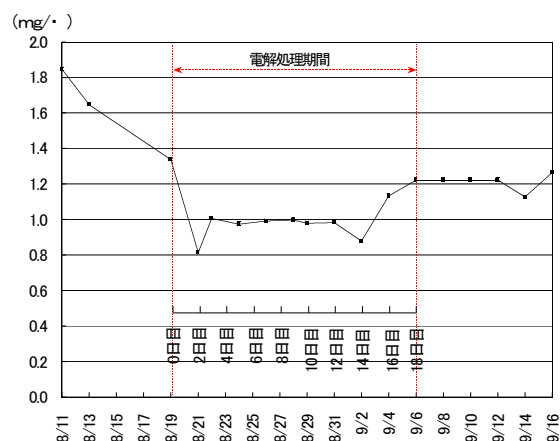


図-5 TN の経日変化

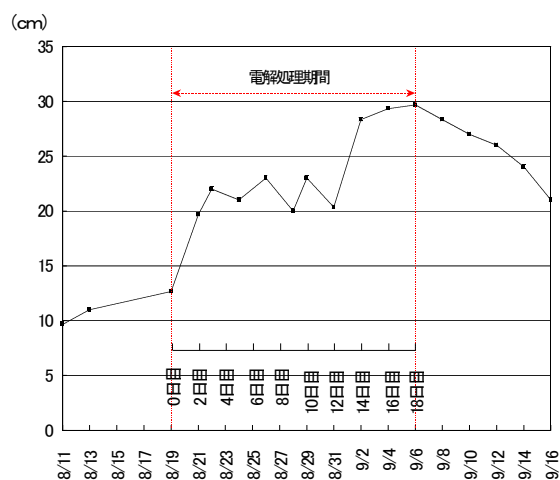


図-3 透視度の経日変化

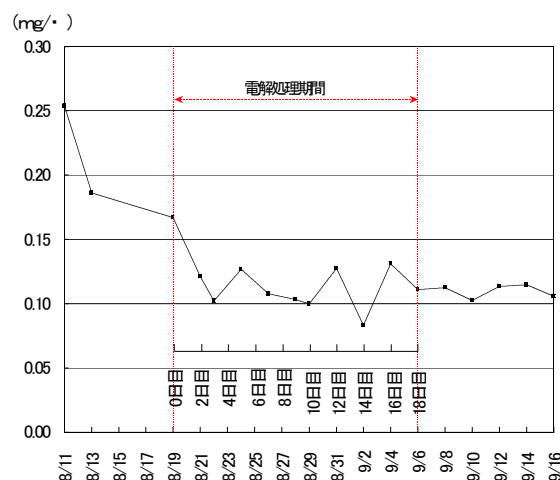


図-6 TP の経日変化

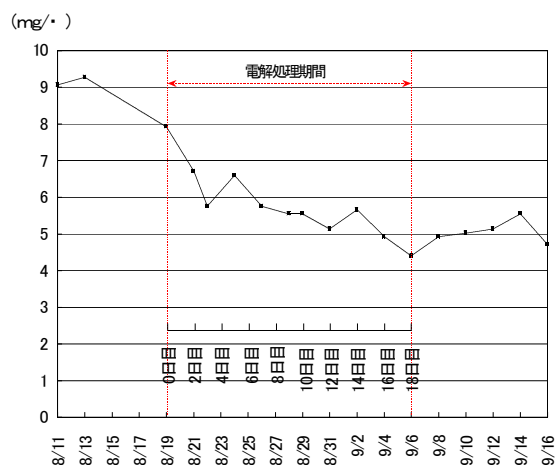


図-4 COD の経日変化

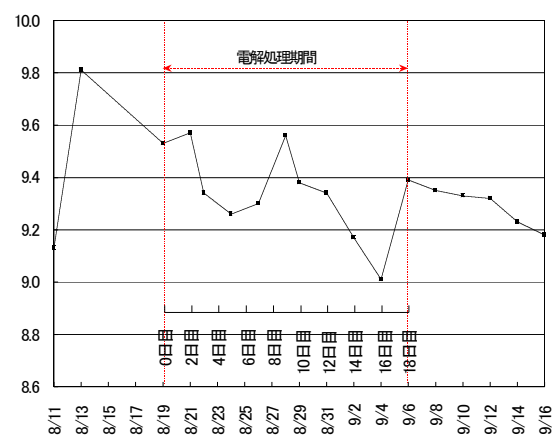


図-7 pH の経日変化

に設置し水質浄化実験を行った。(設置時の状況を写真-1に示す。)浄化実験はアオコの増殖が活発となる夏季に行うこととし、クロロフィル a、透視度、COD、TN、TP、SS、pH、ORP について浄化効果の確認を行った。なお本報告では、紙面の都合上、クロロフィル a、透視度、

COD、TN、TP、pH、について記す。

先ず図-2にクロロフィル a の経日変化を示す。結果より当初クロロフィル a は約 300 ~ 375 μ g と超高濃度あったものが処理開始 3 日目には約 175 μ g とほぼ半分まで減少した。しかしその後横這いに推移するが 12 日目以降さらに浄化が

進み実験終了時には、約 $110 \mu\text{g}$ まで減少している。ここで、図-3に示す透視度の経日変化に着目するとクロロフィル a の変動と連動しており、閉鎖水域の様に水の動きの無い所では浮遊性のアオコ等が透視度に大きく影響を与えていると言える。また図-4に示す COD の経日変化ではクロロフィル a、透視度の変動と同様な傾向を示している。すなわち処理開始直後から浄化傾向を示し、当初 $8\text{mg}/\ell$ であったが処理期間中は減少の傾向を示し電解処理停止時には $4.5\text{mg}/\ell$ まで低下した。しかし実験終了後は徐々に増加傾向となる。なおクロロフィル a、透視度、COD については浄化実験期間を通し全体的には減少を示し、最終的な値は、環境省の『生活環境の保全に関する環境基準』では類型 B(COD $5\text{mg}/\ell$ 以下)に分類され、水産3級、工業用水1級、農業用水として利用可能であり、日常生活において不快感を生じない程度まで改善された。

次に図-5に TN、図-6に TP、図-7に pH の経日変化を示す。

TN に関しては処理直後に急激に減少を示すが、その後の変化は見られず、処理装置停止 3 日前からは増加傾向を示している。この増加の要因として、電解処理は広範囲に及ぶことが過去の実験より明らかとなっており、フロック拡散防止囲外で、凝集したフロックが分解、再溶解したもの、底泥からの栄養塩類の溶出によるものと推察できる。今後さらに長期間浄化実験を行うことにより原因は解明されと考えられる。

TP に関してはビーカーテストでは ND であったが、浄化実験では他の項目に比し、劇的な変化は見られなかった。

これは水中の P 量に対しこの反応に必要な十分な Ca 溶解量がなかったことによるものと言える。

なお、TN、TP に関しては『生活環境の保全に関する環境基準』の類型 V(TN: $1\text{mg}/\ell$ 以下、TP: $0.1\text{mg}/\ell$ 以下)程度の値であり、水産3級、工業用水、農業用水として利用可能で日常生活において不快感を生じない程度の水質である。

pH に関しては過去の実験よりアオコは pH9 以下

であれば発生が抑制される。すなわち電解処理により、加水分解する物質の除去および電解反応により溶液の pH は低下することから、図-7の pH 低下は電解処理による影響であり、さらに継続して処理を行えば電解法の特徴からアオコ自体の発生が抑制可能であると言える。

以上 COD、TN、TP の値から、本装置により浄化された水は、工業用水として利用でき日常生活に不快感を与えない程度の水質ということになる。

4. まとめ

本電解浄化システムの製作、浄化実験を行った結果、

1)水質測定項目全てにおいて浄化傾向が見られ、環境省の『生活環境の保全に関する環境基準』においては COD では類型 B、TN、TP では類型 V まで水質改善がなされた。

2)本システムによる浄化実験ではビーカーテストほど浄化能力が発揮できなかった。この原因は、システムがソーラーパネルからの電力をそのまま極板に供給する構造のため、電圧が日射量により変動し処理が不均一になったこと、また夜間は処理が行われなかったことが一要因と考えられる。今後は定電圧で日中だけではなく夜間も処理が行われるよう、蓄電池、充放電コントローラーなどを組み込んだ電解浄化システムへの改良が必要である。

3)目視では実験開始 4、5 日目で極板表面に酸化被膜を生成しているのが確認されており、同時期に処理能力も横這いとなり、その後の効果が現れなくなった。本システムでは CaF_2 を袋詰めにしたものを極板間に懸垂させ、電解時のみ溶解することを期待したが、電解能力に対して F^- イオンが不足したものと考えられる。すなわち CaF_2 の溶解量が少なかったと言え、今後懸垂数を増やすか溶液とし極板間に滴下する方法への変更を検討している。

今後上述の問題点を改善しさらに浄化能力高い電解浄化システムへの改良を試みる。