

磁気分離法によるアオコ，赤潮の除去に関する研究

【環境化学室】

門木秀幸*，除田雅之**，岸田悟**

Removal of Blue-green Algae and Red Tide by Magnetic Separation

Hideyuki Mongi*，Masayuki Yoketa**，Satoru Kisida**

* Environmental Chemistry Office

** Department of Electrical and Electronic Engineering, Tottori University

Abstract

A high gradient magnetic separator was made and experimental case studies have been done on the removal of blue-green algae and red tide. The efficiency of the magnetic separator prototype has a current speed through the coil of 40mL/min/m² (flow rate per unit area). Also, using cultivated algae in artificially polluted water for purification tests, it has been confirmed that the removal efficiency differs by kinds of algae. *Microcystis aeruginosa* had the highest removal ratio, and chlorophyll had reached a 99 % removal ratio. The removal ratio of *Aphanizomenon flos-aquae* proliferously grown in real lake water was 58 %.

1 はじめに

生活排水等による水域内への栄養塩の供給と蓄積が要因として起こる富栄養化により、湖沼等の閉鎖性水域では、時としてアオコ等の藻類の異常増殖が発生する。この様な藻類の異常増殖により、水道の取水や水産、農業、レクリエーションや観光の場としての水環境の利用への障害が起こる。このため、異常増殖した藻類を高効率に除去する浄化技術が必要とされている。

磁気分離法は、水中の汚濁物質等の非磁性物質に対し磁性を付与し、磁性フロックを形成させ、その後、磁気分離装置で水中から汚濁物質を分離除去する浄化方法である。この磁気分離法は、高磁場を利用することで高速分離処理が可能で、装置もコンパクトになること、物理的に処理するために化学薬剤を要しないこと等の利点¹⁾がある。

本研究では、高勾配磁気分離法を用いた磁気分離装置を開発・試作し、実験室内で培養した藻類の除去特性について検討すると共に、東郷池の湖水を対象として、藻類の除去試験を行った。

2 方法

2-1 磁性酸化鉄微粒子の合成

汚濁物質に磁性を付与するための磁性酸化鉄微粒子(マグネタイト)は、フェライト化反応法(式1)により合成した。

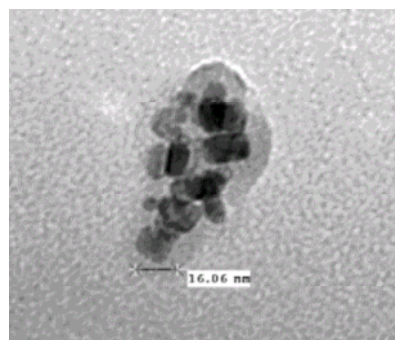
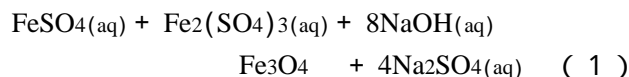


図1 合成したマグネタイト TEM 像

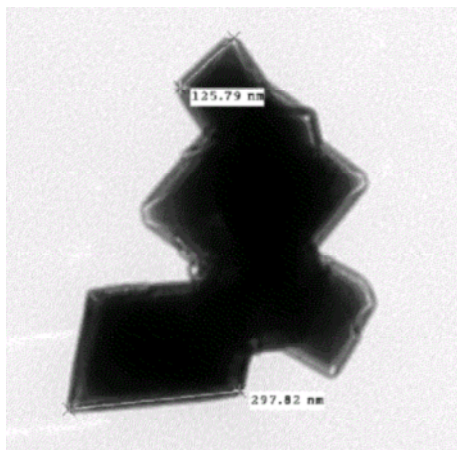


図2 市販マグネタイトのTEM像
(和光純薬工業社製)

合成したマグネタイト及び市販のマグネタイトの透過型電子顕微鏡写真を図1,2に示す。合成されたマグネタイトは、粒径が数十nm程度と極めて微細なものが合成された。このマグネタイトは、比表面積も大きく、汚濁物質と効率良くフロックを形成する上で有利であると考えられた。

2-2 磁気分離装置

本研究で試作した磁気分離装置を図3,4に示す。

磁気分離装置内には、磁性ステンレス鋼の金網(以下、メッシュという。)を積重ねて充填した。装置の外側に、表面磁束1Tの磁石を配置した。浄化試験は、汚濁水にマグネタイトを添加し、ポンプにより上向流で磁気分離装置に流して、磁気分離し、装置上部から処理水が排出される方法で試験を行った。

まず、この装置の磁気分離性能の確認のために、市販のマグネタイト又は合成したマグネタイトを用いて除去試験を行った。実験方法は、まずマグネタイトを1g/Lとなるよう精製水に懸濁させ、磁気分離装置にポンプで、メッシュ単位面積当たりの流速20~160L/min/m²まで変化させて、マグネタイトの除去率を分析した。マグネタイトの除去率は、処理前後のマグネタイト懸濁液中のFe濃度をICP-AESで分析することで算出した。

2-3 藻類除去試験

*Microcystis aeruginosa*を対象として、磁気分離装置の前処理として汚濁水とマグネタイトとの攪拌時

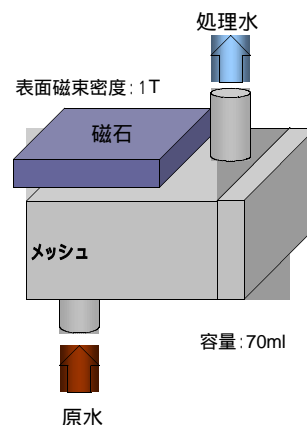


図3 磁気分離装置の構成



図4 磁気分離装置の外観

間、マグネタイト添加量を変えたときの除去率の変化を確認した。実験方法は、実験室内で培養した*Microcystis aeruginosa*を用いた模擬アオコ水を作成し、ピーカーに一定量計り取った。攪拌時間の検討では、マグネタイトを1g/L入れて、1,2,5,10分間攪拌した後、磁石の上に乗せ、10分間沈降分離させ、上清中のクロロフィルaを分析した。マグネタイトの添加量については、模擬アオコ水に、マグネタイトを0.1,0.2,0.5,1g/L添加し、1min間攪拌した後、磁石の上に乗せ、10分間沈降分離させ、上清中のクロロフィルaを分析し、除去率を求めた。

2-4 磁気分離装置による藻類除去試験

培養した*Microcystis aeruginosa*、*Anabaena flos-aquae*、*Prorocentrum minimum*による模擬汚濁水を作成し、磁気分離装置による除去試験を行った。処理条件は、マグネタイト添加量を0.1,0.2,0.5,1g/L

とし、マグネタイトとの攪拌時間を1分間、磁気分離装置の流速を 40 m l/min/m^2 とした。処理前と処理後の汚濁水のクロロフィル a を測定し、除去率を求めた。

2-5 実湖水を用いた藻類除去試験

平成 18 年 9 月頃に東郷池において *Aphanizomenon flos-aquae* が増殖した。そこで、東郷池の湖水を庭園用の池の水として導入し利用している観光施設において、湖水を採取し、磁気分離装置による藻類の除去試験を行った。処理条件は、マグネタイト添加量を 1 g/L とし、マグネタイトとの攪拌時間を1分間、磁気分離装置の流速を 40 m l/min/m^2 とした。処理前と処理後の汚濁水のクロロフィル a を測定し、除去率を求めた。

3 結果

3-1 磁気分離装置の除去性能

図 5 に試作した磁気分離装置を用い、合成したマグネタイトと市販のマグネタイトの除去試験を行った結果を示す。

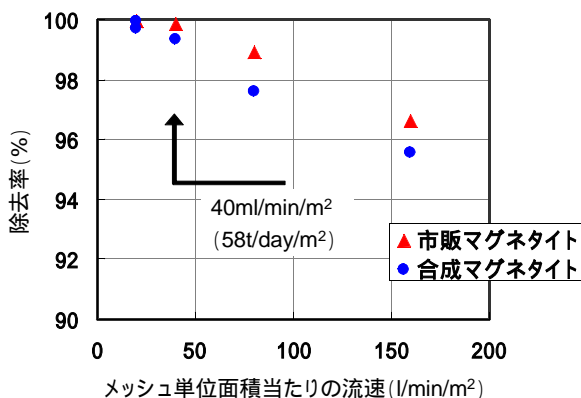


図 5 磁気分離装置のマグネタイト除去性能

市販マグネタイトと合成マグネタイトを比較すると合成マグネタイトの方が除去率が低くなっている。これは、市販マグネタイトに対し、合成マグネタイトの粒径が、数十 nm と極めて微細なためである。しかし、いずれも流速 100 m l/min (メッシュ単位面積当たりの流速で 40 m l/min/m^2) で 99 % 以

上の除去率が得られた。これは、 1 m^2 のメッシュを持つ磁気分離装置では、 $58\text{ m}^3/\text{day}$ の処理能力を持つことに相当し、極めてコンパクトで高速処理が可能であることが示された。

3-2 藻類除去試験

次に、磁気分離の前処理として、水中の藻類に磁性を付与するためにマグネタイトの添加条件について検討した。図 6 に *Microcystis aeruginosa* を含む模擬汚濁水にマグネタイトを 1 g/l 加えた時の攪拌時間の影響についての試験結果を示す。

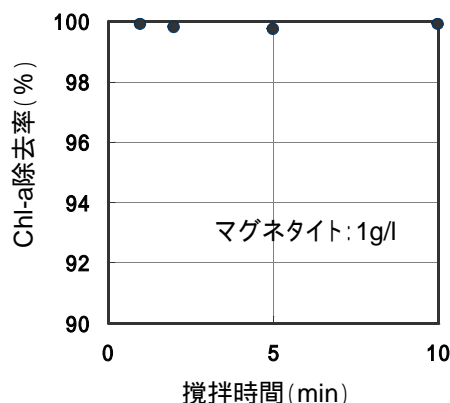


図 6 マグネタイト攪拌時間と藻類除去率

1 分間の攪拌時間で既に 99 % 以上の除去率が達成され、それ以上に攪拌時間を延長しても除去率に変化は見られなかった。

図 7 に攪拌時間を1分間とし、マグネタイトの添加量を変えたときの除去率の変化を示す。

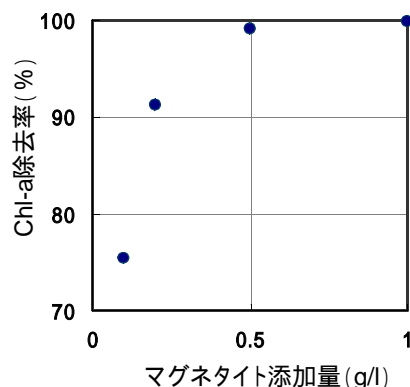


図 7 マグネタイト添加量と藻類除去率

0.5g/l以上マグネタイトを添加することで、除去率99%以上を達成することができた。

以上から、最適処理条件はマグネタイトの添加量は1g/l、攪拌時間は1分間とされた。図8に*Microcystis aeruginosa*の除去試験の様子を示す。

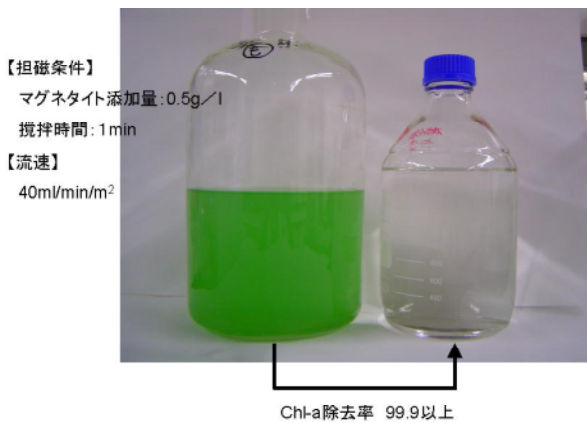


図8 *Microcystis aeruginosa*の除去試験結果

3-3 磁気分離装置による藻類除去試験

図9に磁気分離装置を用いた*Microcystis aeruginosa*、*Anabaena flos-aquae*、*Prorocentrum minimum*の除去試験の結果を示す。

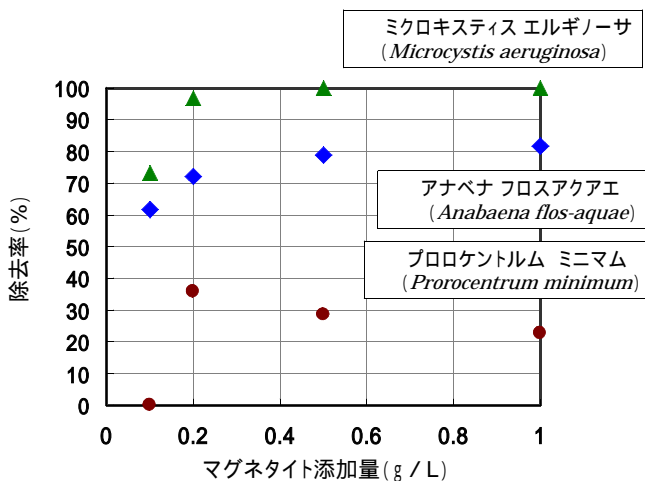


図9 磁気分離装置による藻類除去試験結果

この結果から、最も除去率が高かったのは*Microcystis aeruginosa*であり、除去率99%以上を達成した。次が*Anabaena flos-aquae*で除去率が80%程度であった。最も除去率が低いのは

*Prorocentrum minimum*で約30%程度であった。藻類の種類によって除去率に差が生じるのは、マグネタイトと磁性フロックの形成しやすさが藻類の形態によって異なるためと考えられる。*Microcystis aeruginosa*は元々群体²⁾を形成しているため、マグネタイト微粒子とフロック状にまとまりやすいと考えられた。*Anabaena flos-aquae*は環状の形状³⁾で絡み合っているために、その次にフロックを形成しやすいと考えられた。*Prorocentrum minimum*は鞭毛を持ち遊泳⁴⁾するためにフロックを形成しにくく除去率が低くなったと考えられた。

3-4 実湖水を用いた藻類除去試験

東郷池で*Aphanizomenon flos-aquae*が増殖したときに、その湖水を庭園用の池の水として導入し利用している観光施設において、湖水を採取し、磁気分離装置による藻類の除去試験を行った。浄化試験結果を図10に示す。

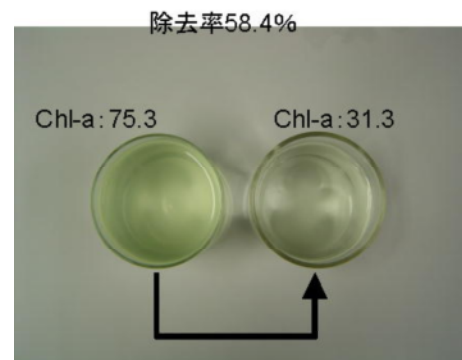


図10 *Aphanizomenon flos-aquae*除去試験結果

実湖水を用いた藻類の除去試験を行った。この時の藻類は*Aphanizomenon flos-aquae*であった。処理条件は、マグネタイト添加量1g/l、攪拌時間1分間、流速100ml/minとした。処理試験の結果は、湖水のクロロフィルaが75μg/lから31μg/lまで除去され、除去率は58%であった。*Aphanizomenon flos-aquae*は直線状の藻類⁵⁾であることから、磁性フロックの形成は、*Anabaena flos-aquae*より難しいためと考えられた。

4 まとめ

高勾配磁気分離法による磁気分離装置を開発・試作し、そのマグネタイト微粒子の除去性能を確認するとともに、アオコ赤潮の浄化装置として実験的な検討を行った。得られた結果は次のとおりにまとめられる。

- 1) 磁気分離装置のマグネタイト微粒子の除去性能は、流速 100m ℓ/min (メッシュ単位面積当たりの流速で 40m ℓ/min/m²) で 99 % 以上の除去率であった。
- 2) 藻類の除去試験を行った結果、藻類の種類により除去率に差があった。最も除去率が高いのは、*Microcystis aeruginosa* であり、除去率 99 % 以上を達成し、次が *Anabaena flos-aquae* で除去率が 80 % であった。
- 3) 藻類の種類による除去率の差は、藻類の形態に依存するものと考察された。
- 4) *Aphanizomenon flos-aquae* が増殖した観光施設内での実湖水を用いた除去試験では、58 % の除去率が得られた。磁気分離法は、特に藻類の異常増殖により水利用に弊害が出る限定的な範囲内での水質浄化に有効であると考えられた。
- 5) 今後の課題としては、除去率の低い藻類への凝集剤等の利用や、マグネタイトの再生技術の確立が必要である。

【参考文献】

- 1) 渡部恒雄：新しい磁気分離工学の創成を目指して，分離技術，Vol.32，No.5，pp.274-279 (2002)
- 2) 小島貞男，須藤隆一，千原光雄：環境微生物図鑑，pp.180-181 (1995)
- 3) 小島貞男，須藤隆一，千原光雄：環境微生物図鑑，pp.134-137 (1995)
- 4) 小島貞男，須藤隆一，千原光雄：環境微生物図鑑，pp.314-315 (1995)
- 5) 小島貞男，須藤隆一，千原光雄：環境微生物図鑑，pp.141-143 (1995)