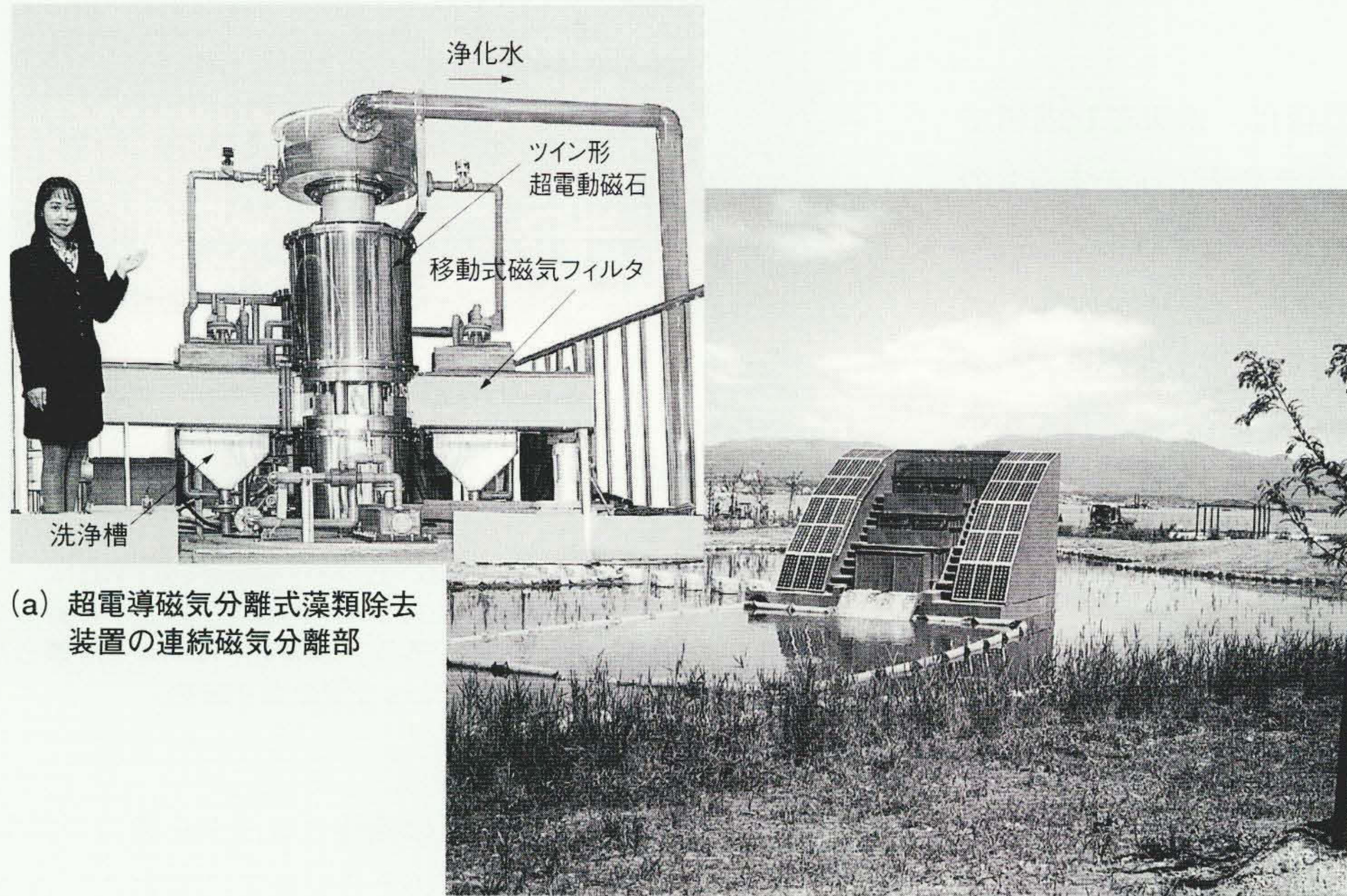


潤いのある水辺環境を創造する湖沼浄化システム

Lake Rehabilitation Systems

都築浩一 Kôichi Tsuzuki 仲平四郎 Shirô Nakadaira
佐保典英 Norihide Saho 高田国雄 Kunio Takada



(a) 超電導磁気分離式藻類除去装置の連続磁気分離部

(b) 琵琶湖・淀川水質浄化実験センター内実験池の流動床式汙過装置

超電導磁気分離式藻類除去装置と流動床汙過装置

富栄養化で過剰に増殖した藻類を除去することにより、湖沼の水質を改善する。

超電導磁気分離式藻類除去装置は、アオコを高速で除去する目的で開発した。一方、流動床汙過装置は、連続運転により、年間を通して藻類濃度の平均レベルを下げる目的で開発した。

湖沼は、飲料水や農業用水の水源であり、また、潤いのある水辺環境を与えてくれる貴重な水資源である。しかし、その多くは都市化に伴う生活排水の流水などによって富栄養化が進み、その結果、藻類の過剰な増殖を引き起こしており、時にはアオコが発生して水質障害を生じる。そのため、下水道の整備などによって汚濁源の流入を防止する努力が続けられているが、それに加えて、流入負荷削減対策や、適切な直接浄化システムを導入して湖沼の水質を改善する試みが各地で行われるようになってきた。

このような背景から、日立製作所は、過剰に増殖した藻類を除去して湖沼水質を改善するための新しい技術として、上水水源湖沼などで発生したアオコを高速で除去する超電導磁気分離式藻類除去装置と、年間を通じて藻類濃度の平均レベルを下げる、省エネルギー・省メンテナンスに優れた流動床式汙過装置を開発した。

1 はじめに

湖沼浄化の手法には、導水による希釈、しゅんせつによる湖底にたい積した負荷源の除去、湖内での流動の促進やばっ気による酸欠防止、過剰増殖した藻類の直接除去などがあり、湖沼の性状や汚濁の程度などに即して適用することができる(多くの場合は複数の手法の組合せ)。したがって、湖沼浄化の計画・実施にあたっては、浄化機器の設計・製作だけでなく、水質予測技術や水質監視技術を含む幅広いエンジニアリングが必要となる。

日立グループは、湖沼浄化システムとして、以下のよ

うな技術を開発している。

- (1) 浄化装置：藻類除去装置(超電導磁気分離装置、流動床汙過装置)、水流発生機、ばっ気装置、噴水
- (2) 水質予測：水質予測シミュレーション技術(浄化装置の規模や設置場所を検討するための、流れ解析と生態系モデル水質予測の複合解析)
- (3) 水質監視：水質計測機器、プランクトン連続モニタ装置、リモートセンシング技術

なお、湖沼などの水辺空間は地域の憩いの場になっていることが多いので、機器デザインを含む景観設計技術も重要な基盤技術である。

ここでは、湖沼浄化システムのうち、藻類除去技術として新しく開発した超電導磁気分離式藻類除去装置と、流動床式汙過装置について述べる。

2 超電導磁気分離式藻類除去装置¹⁾

2.1 藻類磁気分離の原理

超電導磁気分離式藻類除去装置は、富栄養化湖沼で過剰に増殖したアオコなどの藻類を高速で除去するものである。磁気分離法とは、磁石の磁気力を利用して、流体中の磁性粒子を分離、除去(固液分離)する方法である。藻類の除去に応用する場合は、藻類が非磁性であることから、原水に磁性粉と凝集剤を加え、磁性粉と原水中の汚濁粒子が凝集した「磁性フロック」と呼ばれる、汚濁物と磁性粉がいっしょになった粒子を形成させる。藻類のような粒子状汚濁物のほか、溶存している無機リンも、凝集剤中の金属イオンと結合した粒子となって析出して除去される。

磁気分離法では、他の固液分離手法よりも高速な分離が可能である。ただし、磁性フロックとはいえ、磁性粉単体に比べて粒子体積当たりの磁性は小さいので、それを漏れなく引き付けるためには非常に強い磁場が必要となり、磁石として超電導磁石の適用が不可欠となる。磁石として超電導磁石を利用すれば、強力であるうえに、超電導状態を保つための冷却エネルギーが必要ではあるが、ジュール発熱によるエネルギーの損失がないので、結果的に省エネルギーとなる。

藻類磁気分離の模式図を図1に示す。超電導磁石で形成された磁場内にメッシュ状の磁気フィルタを挿入し、このフィルタを設置した流路に汚濁湖水を通す。ここでは、汚濁湖水中の藻類などの汚濁物は、前処理によって磁性フロック化している。磁気フィルタの1本1本の細線の周囲には磁束線が集まって非常に大きな磁気こう配が

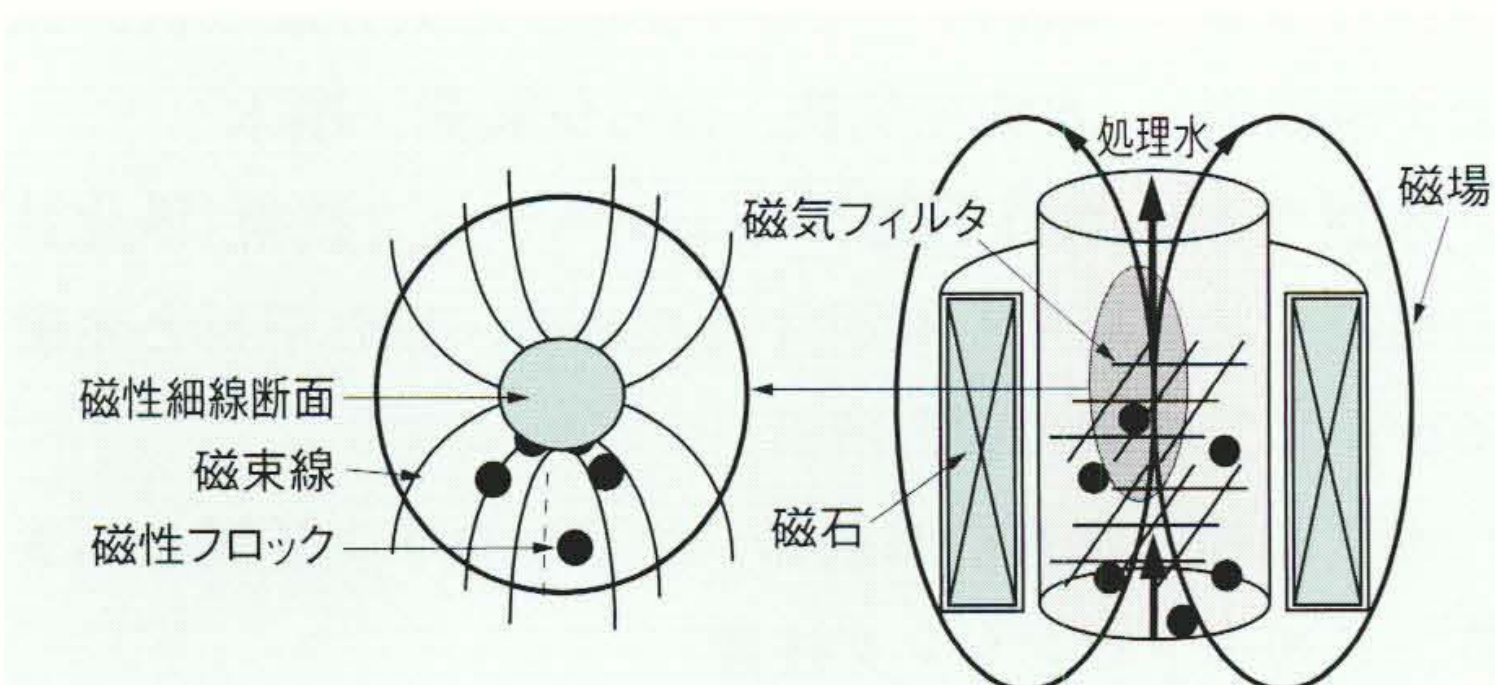


図1 藻類磁気分離の模式図

藻類などの汚濁物は、凝集剤や磁性粉と混合して磁性フロックになり、超電導磁石内に挿入された磁気フィルタで捕そくされる。

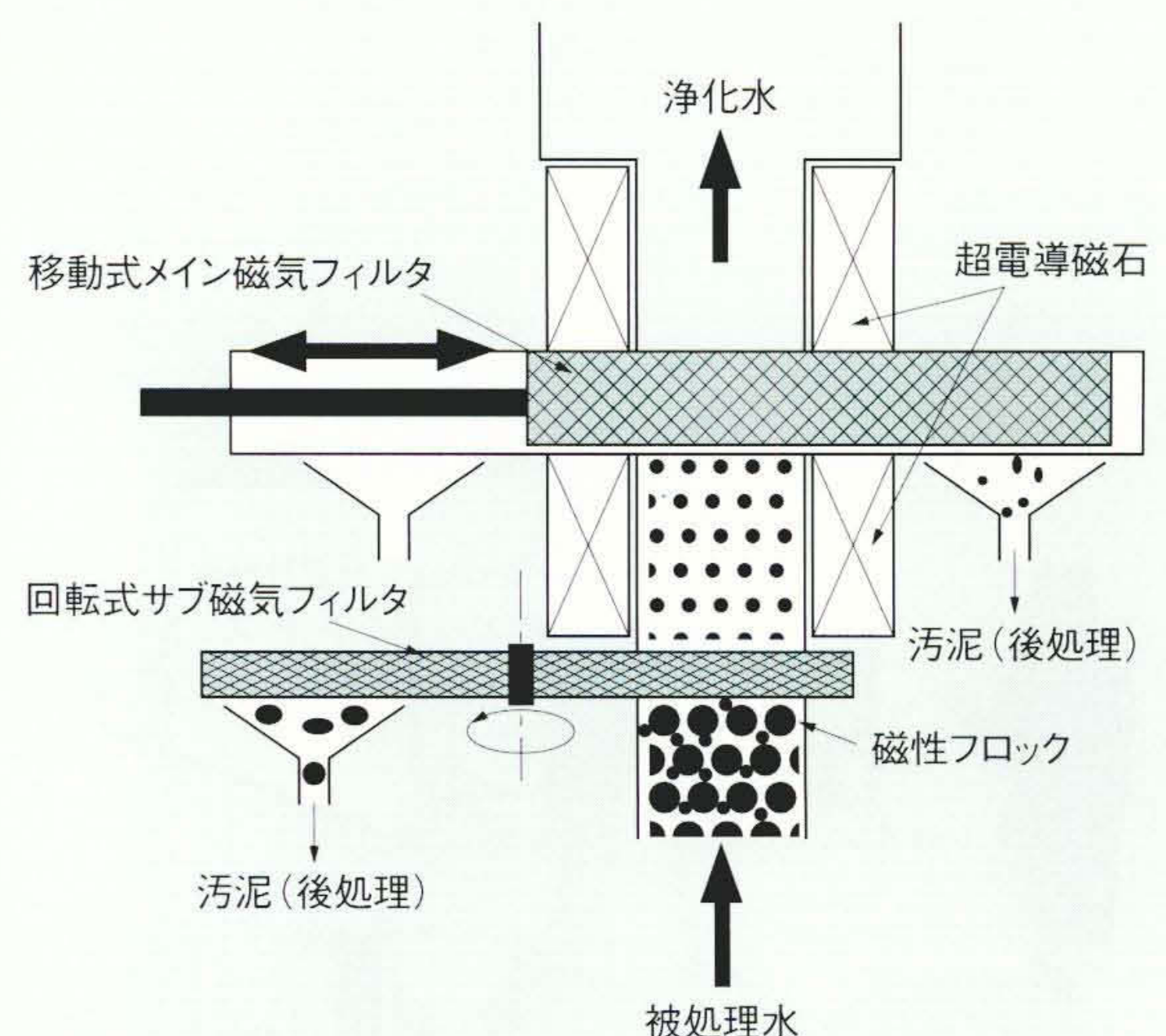


図2 連続磁気分離部の構造

メイン磁気フィルタは移動式なので、磁性フロックの捕そくと脱離を連続的に行うことができる。磁気フィルタから脱離した磁性フロックに対しては、汚泥として後処理を施す。

生じるので、汚濁湖水中の磁性フロックを強力な磁気力で吸引、捕そくする。このように捕そくされた磁性フロックは、磁石の磁場を切断したり、磁気フィルタを磁場外に出したりすれば、磁気力は消滅し、フィルタから簡単に脱離させることができる。

2.2 試作装置

試作した超電導磁気分離式藻類連続除去装置は、(1)原水中の藻類に凝集剤や磁性粉を添加して磁性フロックを生成する前処理部、(2)冷凍機直冷型超電導磁石の磁場空間に移動式磁気フィルタを備え、磁性フロックの捕そく分離と洗浄除去を行う連続磁気分離部、(3)遠心分離による脱水と磁性粉の回収を行う後処理部から成り、一貫かつ連続的に処理できるシステムである。脱水汚泥は、磁性粉を回収した後、コンポスト化などで処理し、環境負荷を低減する。試作装置は400 m³/dの処理能力を持っている。

上記システムのうち、連続磁気分離部の構造を図2に示す。この装置は、円筒状磁石を上下に持つツイン形超電導磁石の間に、左右に移動する移動式磁気フィルタを設置し、超電導磁石に通電したままで、磁性フロックを連続除去できる磁気分離構造としている。すなわち、移動式磁気フィルタの中央よりも左右どちらかの側が超電導磁石で形成される磁場内にあって、磁性フロックを捕そくしているときは、逆の側は磁場外にあるので捕そくした磁性フロックを洗浄除去することができる。また、

磁気フィルタを移動させれば、それまで磁場外にあった側が磁場内に位置することになる。

さらに、ツイン形超電導磁石の下部には、下部の漏れ磁場内で回転するサブ磁気フィルタを設置しており、磁石直下の漏れ磁場内で大きい磁性フロックをあらかじめ捕そくすることにより、移動式磁気フィルタへの負荷を減らす。

この装置では、従来の汙過装置の10～100倍の通水速度(フィルタ部を通過する被処理水の流速)で、90%以上のアオコを連続除去できることを確認した。

3 流動床式汙過装置²⁾

3.1 装置の概要

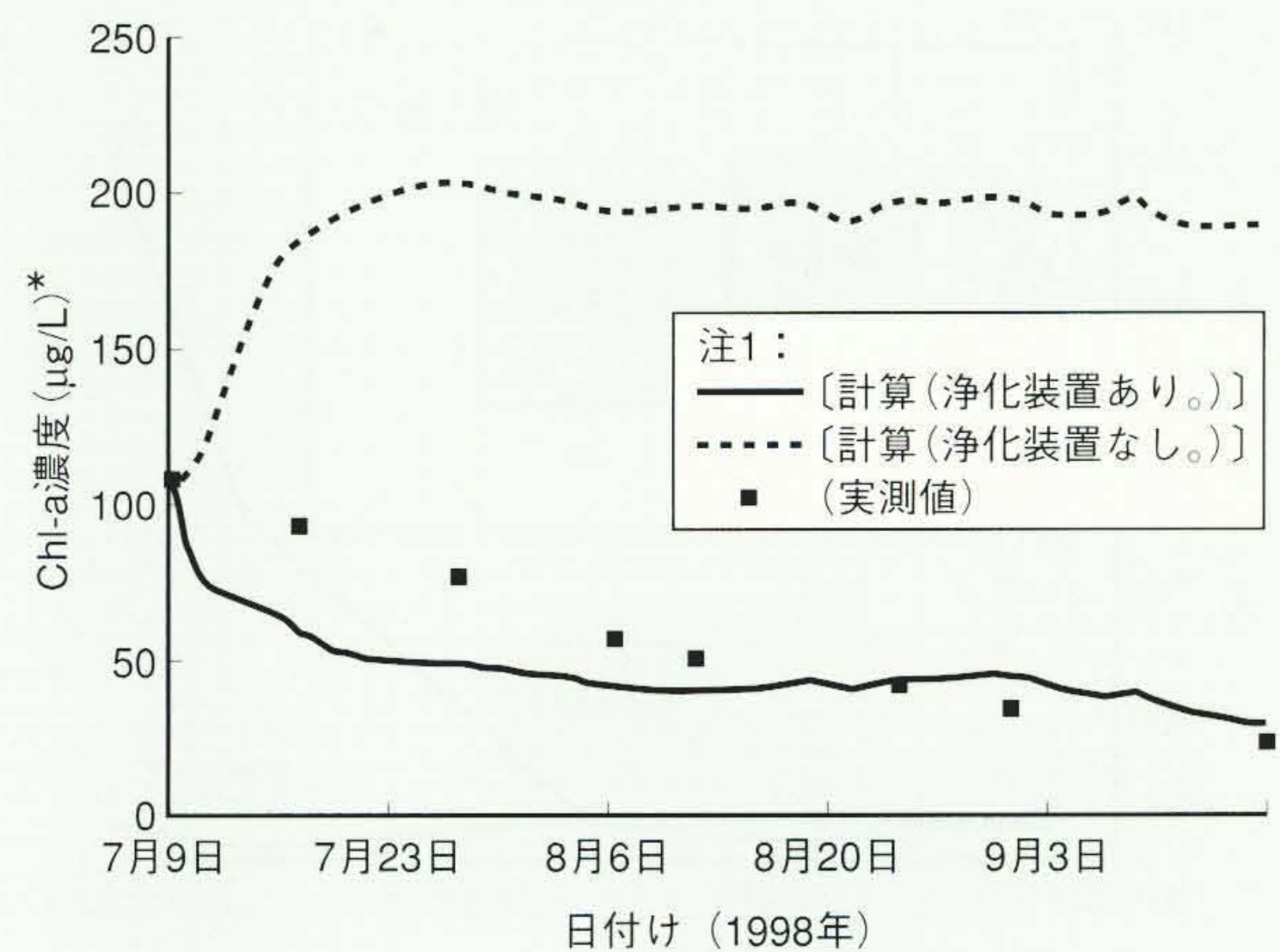
前述の超電導磁気分離によるアオコの高速除去とは別に、連続的に運転して、年間を通じて藻類濃度の平均レベルを下げる装置も多く富栄養化した湖沼で有効である。日立製作所は、そのような目的に合致する装置として、自然に生息する微生物の浄化作用を利用することによって湖水中の藻類や有機物を除去する、省メンテナンスと省エネルギーに優れた「流動床式汙過装置」を開発した。

財団法人琵琶湖・淀川水質保全機構は、滋賀県草津市にある琵琶湖・淀川水質浄化共同実験センター内の容量約1,000 m³、水深50 cmの池に、この流動床汙過装置を設置し、日立製作所と共同で浄化性能を評価している。

この装置では、最大300 m³/dの処理が可能である。湖沼水を汙過槽内下部から上向流で通水して、汙材層全体を膨張、流動化した状態にすることから「流動床方式」と呼ぶ。この方式は、目づまりが生じにくいという利点を持っている。汙材表面にはもともと湖水中に生息している微生物が付着、繁殖して、生物膜を形成する。湖沼水中の藻類などは、汙材層内を通過する間に汙材と衝突し、汙材表面の生物膜に捕そくされる。汙材には、粒径1 mm以下の天然鉱石と活性炭を用いた。もともと生物処理であることから、省エネルギーであることに加えて、ソーラパネルによる太陽光発電と商用電源を併用することにより、汙過槽に通水するポンプへの電力供給のうち約30%は太陽光発電で賄っている。

3.2 浄化効果

装置の浄化性能については、1998年7月上旬から9月下旬までの試験期間で、藻類の除去率は平均77%であった。また同時に、藻類過剰増殖の原因となる栄養塩のリンや窒素も除去した。これらの除去率は、リンで平均



注2: *Chl-a(クロロフィルa)は葉緑素の一種であり、水中の藻類量の指標としてChl-a濃度を用いることが多い。

図3 琵琶湖・淀川水質浄化共同実験センター内実験池の水質変化

浄化装置として流動床汙過が設置されており、その浄化効果によってChl-a濃度が低下していった。水質シミュレーションの計算からも浄化効果が明らかとなった。

38%、窒素で平均35%であった。

1998年7月上旬から9月半ばにかけては、実験センターの池の水温が25℃から30℃と高く、藻類増殖に都合の良い条件が続いた。7月上旬には池内の藻類濃度が増加し、アオコが発生した。しかし、その後、流動床汙過装置が本格稼動して浄化効果が上がったため、池内の藻類濃度が低下し、約1か月でアオコも見られなくなった。実験センター池の水質変化を図3に示す。水質変化は、水中の藻類濃度を示す指標として一般に用いられているChl-a(クロロフィルa: 葉緑素の一種)濃度の変化で示してある。同図中には、1章で触れた、水質シミュレーションを用いた予測計算結果もプロットしている。予測計算は、池に装置を設置した場合と設置しなかった場合について実施しているが、両者の間には顕著な差がある。

浄化効果を他の面からも確認するために、上記実験センターの池での評価とは別に、日立製作所土浦事業所内に設けた小型実験池を用いて、1998年8月から10月にかけて検証試験を実施した。実験池システムは二つの隣り合った同容積(20 m³、水深1 m)の池で構成しており、両方の池にはそれぞれ2 m³/dの同じ水質の流入水が流れ込む。二つの池のうち、一つは小型の流動床汙過装置で浄化し(浄化池)、もう一つの池は浄化しない(対照池)。浄化には、処理量6 m³/dの小型流動床汙過装置を用いた。実験開始後、日がたつにつれて対照池では藻類濃度が上

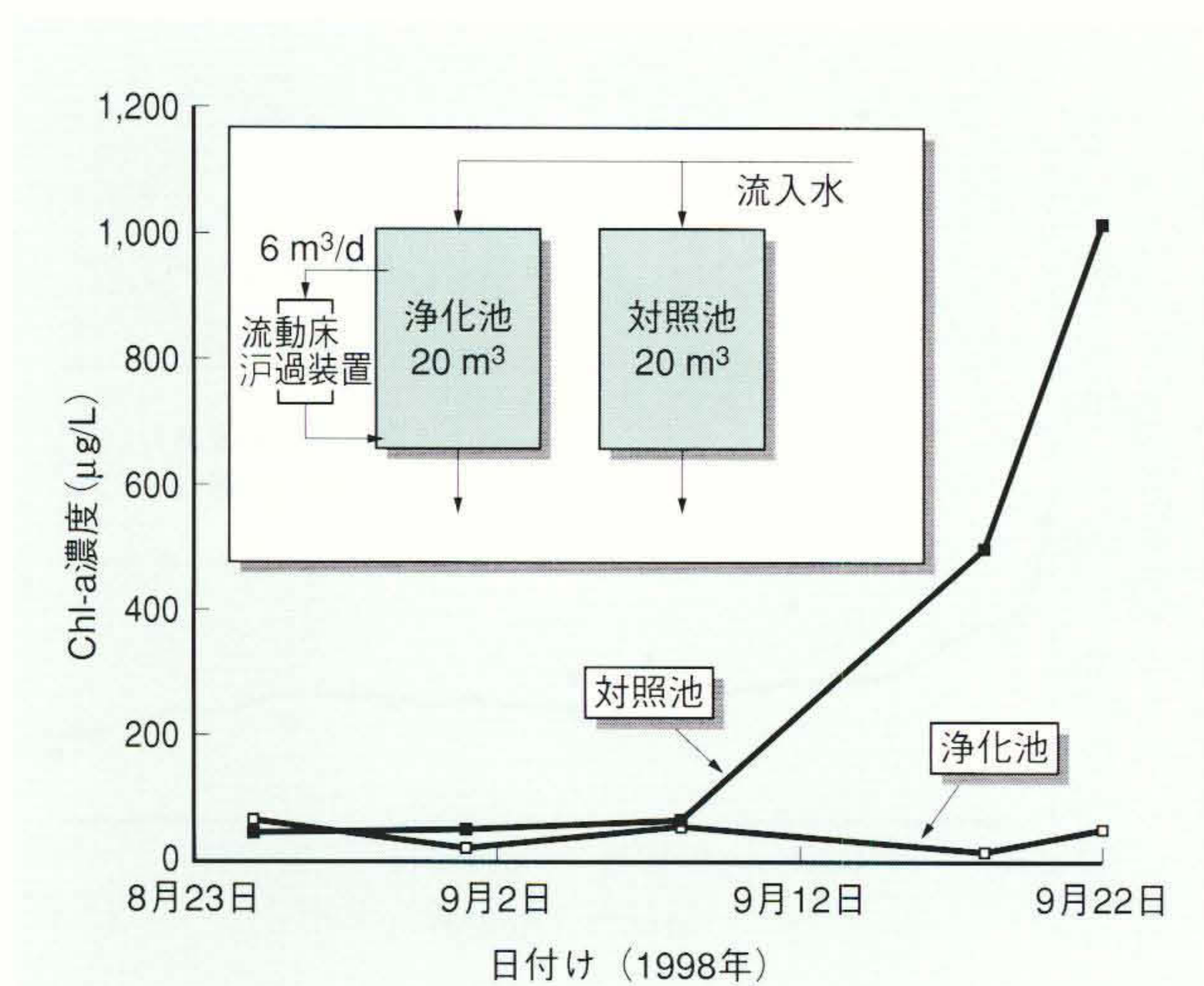


図4 小型実験池での浄化効果実証結果

容積20 m³の小型実験池を二つ設置し、一方は浄化を行い(浄化池)、他方は浄化せずに(対照池)それぞれの水質変化を測定して浄化効果を実証した。

昇し、約1か月後には水面がアオコで覆われ、表面近傍のChl-a濃度も1,000 μg/Lに達した。一方、浄化池では、藻類濃度は平均のChl-a濃度で38 μg/L、最大でも60 μg/Lまでしか上昇せず、アオコの発生も見られなかった。浄化池と対照池の表層のChl-a濃度の推移を図4に示す。また、両方の池の池表面の写真を図5に示す。対照池表面で白く見えるのがアオコである。この実験からも、装置による浄化効果が確認できた。

4 おわりに

ここでは、上水水源湖沼などで発生するアオコを高速で除去する超電導磁気分離式藻類除去装置と、年間を通じて藻類濃度の平均レベルを下げる、省エネルギー・省メンテナンスに優れた流動床式濾過装置、および流動床濾過装置を設置した場合の浄化効果の実証について述べた。

21世紀には、湖沼などの水環境の保全に対するニーズがますます高まっていくものと考ええる。日立製作所は、このようなニーズにこたえるため、各種の浄化装置や予測技術、水質監視や水の運用管理技術など、広範囲の分野の技術を統合した水環境トータルシステムの開発に注力していく考えである。

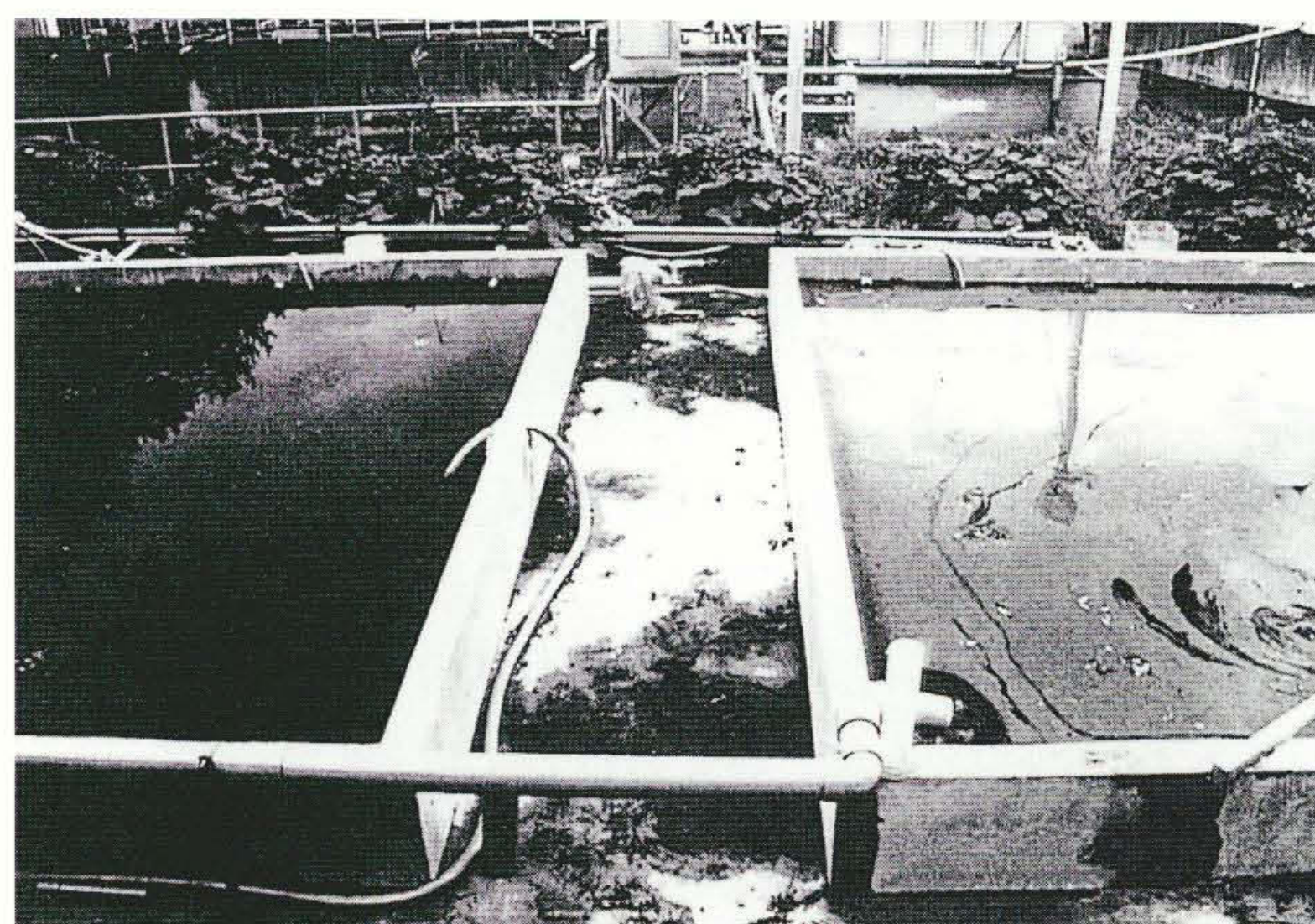


図5 小型実験池の実験状況

写真の左側が浄化池、右側が対照池である。対照池の表面が白く見えるのは、アオコの発生による。

参考文献

- 磯上, 外: 連続式超電導磁気分離装置の冷却特性および除去性能, 機械学会論文集, 64, 628, 4212~4217(1998-12)
- 田中, 外: 好気性流動床生物濾過法による湖水中の藻類除去特性, 水環境学会誌, 21, 4, 217~223(1998)

執筆者紹介



都築浩一

1978年日立製作所入社, 機械研究所 環境機器開発センター所属
現在, 湖沼や河川の浄化システムの研究開発に従事
工学博士
日本機械学会会員, 土木学会会員, 日本水環境学会会員
E-mail: tsuzuki @ merl.hitachi.co.jp



佐保典英

1971年日立製作所入社, 機械研究所 環境機器開発センター所属
現在, 湖沼や河川の浄化システムの研究開発に従事
工学博士
日本機械学会会員, 低温工学協会会員
E-mail: saho @ merl.hitachi.co.jp



仲平四郎

1971年日立製作所入社, 電力・電機グループ 土浦事業所ポンプシステム設計部 所属
現在, 湖沼や河川の浄化システムの設計, 開発に従事
日本水環境学会会員



高田国雄

1962年日立製作所入社, 電力・電機グループ 社会システム事業部 公共施設システム部 所属
現在, 湖沼や河川の浄化システムの企画に従事