

日立製作所	機械研究所	第五部	○佐保	典英
同上		ESプロジェクト	高木	武夫
同上		第五部	磯上	尚志
同上		第五部	森田	穰

1. はじめに

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り富栄養化が進み、その結果、植物プランクトンの過剰な増殖を引き起こし、時にはアオコ（特定の植物プランクトンが過剰に増殖して水面に青緑の膜を形成した状態）が発生し水質障害を生じる。現在、下水道の整備などにより汚濁源の流入を防止して、清らかな湖沼を取り戻す努力が続けられているが、特に夏場に多量のアオコが発生した場合に、高速で除去する浄化技術が期待されており、今回超電導を応用した磁気分離法による藻類除去装置の開発を行った。

2. 超電導磁石の冷却システム

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・除去する方法で、従来行われている物理化学処理による沈澱あるいはろ過等とは異なった原理に基づいた高速固液分離法である。分離部の磁場中に磁性体のフィルタエレメントを設け、その表面に生じる大きい磁気勾配を利用した高勾配磁気分離（High Gradient Magnetic Separation, 通常HGMSと略す）法は、常磁性粒子も磁気的に分離し得る技術として約25年前に登場し、処理速度が早く、かつ磁性粒子の分離効率が高い特徴を生かして、すでに製鉄所の排水や、火力発電所の循環水からの鉄酸化物の除去等に利用されている。

本分離法を河川¹⁾や下水²⁾の水浄化処理に応用する場合は、汚濁粒子が非磁性であるために、まず原水にシーディング剤の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フロックを形成し、これを磁気分離装置で分離・除去して浄化する。分離部の磁石に冷凍機一体型の超電導磁石を応用した今回の装置は、液体ヘリウム等の液化冷媒を補給する必要がなく、磁場発生用の電力を非常に小さくしている。

試作開発したアオコ除去装置の外観写真を図1に、磁気分離部の概略図を図2に示す。小型ヘリウム冷凍機の極低温ガスで真空空間に設けた超電導磁石の一端を冷却し、熱伝導によって磁石全体を冷却する構造となっている。この冷却方式は、将来超電導磁石を大型して浄化処理量の大容量化を図る場合に、有効となる冷却方式である。超電導磁石仕様を表1に示す。室温ボアー内径は48mmで、磁場強度は1テスラである。表中の消費電力は、冷凍機の電力である。図3に試作したヘリウム冷凍機のヘリウムガスフローを示す。この冷凍機は、超電導磁石を冷却するために超臨界ヘリウムガスを使

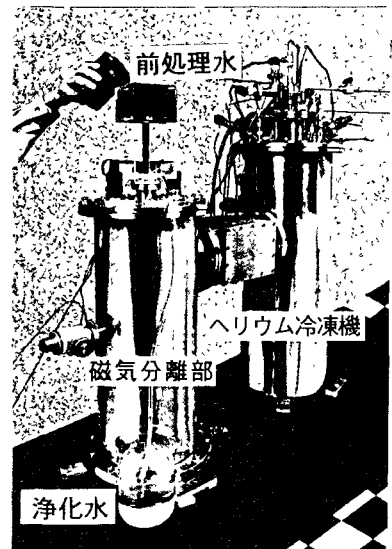


図1 冷凍機一体型超電導磁気分離装置

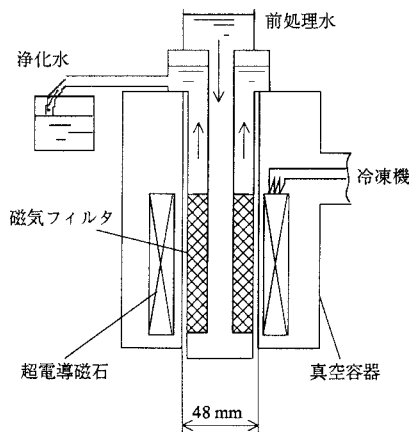


図2 磁気分離部構造

用し、超電導磁石の大型化に対応できる。予冷回路のギフォード・マクマホン膨張機（以下GM 膨張機と称す）では、圧縮機ユニットから蓄冷器式2段膨張機に約2.1MPa のヘリウムガスが供給され、約0.6MPa まで膨張し、第1、第2ステージをそれぞれ約50 K、約12 K に冷却する。

いっぽう、熱交換器とジュール・トムソン弁（以下JT弁と称す）からなるJT回路に供給された圧力1～2 MPa の高圧ヘリウムガスは、熱交換器及び膨張機によって冷却され、第1 JT弁で0.3～0.5MPa 程度に膨張し、第4 熱交換器で5.0～3.9 Kの極低温の超臨界ヘリウムとなる。

3. 湖沼水の磁気分離浄化実験

磁気分離フローを図4に示す。前処理として原水中に磁性粉と凝集剤を注入し、数分間攪拌混合すると、原水内に多数のフロックが形成される。このフロックの中には磁性粉が混在しているので、磁気分離部の磁力でフロックを捕捉し、前処理水を浄化できる。図2に示す磁気分離部の上部から前処理水を注入すると中央部の流路を降下し、底部で折り返した後、磁性フィルタ部でフロックが吸引分離され、浄化水が上部から排水される。

本磁気分離装置を用い、平成7年夏期に発生した霞ヶ浦

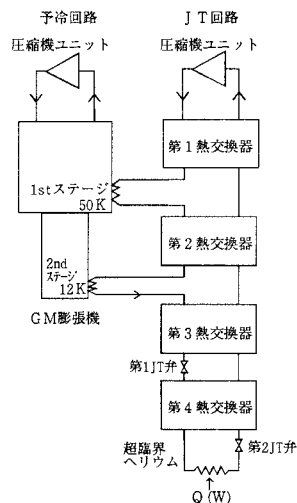


図3 ヘリウム冷凍機のフロー

表1 超電導磁石仕様

磁石温度	3.9～5.2 K
予冷時間	18時間
励磁速度	0.009 T/s
消費電力	7.0 kW

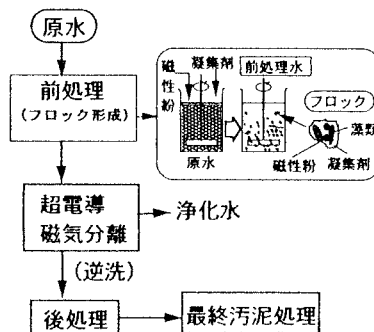


図4 磁気分離フロー

のアオコ原水および平成8年春期の湖沼原水を用い、浄化実験を行った。その結果をそれぞれ表2および表3に示す。表2の原水中のアオコは目視できる球状に群体化していた。表2において、植物プランクトンの濃度指数となるクロロフィルaは、原水から95%除去されており、化学的酸素要求量(COD)の値は86%低減した。また、溶解性窒素を含む全窒素(T-N)および溶解性リンを含む全リン(T-P)の除去率も、それぞれ71%、93%と非常に高い値を示した。表3において、原水中の植物プランクトンは主に針状の珪藻類であった。クロロフィルaは、原水から98%以上除去されており、CODの値は83%低減しT-NおよびT-Pの除去率も、それぞれ58%、91%と高い値を示した。この時、前処理水の磁気フィルタ通過時間は数秒間であり、高速で処理できることを確認した。以上の結果より、霞ヶ浦湖水の浄化に超電導磁気分離技術が適用可能であることが分かった。

4. まとめ

超電導磁石を組み込んだ磁気分離装置で湖沼のアオコ原水の浄化実験を行い、95%のアオコを高速で分離・除去できることを確認した。本装置は、磁気分離部を冷凍機一体型の超電導磁石で構成したので、液体ヘリウム等の液化冷媒を補給する必要が無い磁気分離装置を構築した。また、運転電力を小さくできるので、船や車に搭載する浄化設備として、小型化が可能となる。

表2 水質分析結果

項目	原水	処理水	除去率
クロロフィルa ($\mu\text{g/L}$)	1594	76	95%
COD (mg/L)	82.6	11.5	86%
T-N (mg/L)	11.4	3.3	71%
T-P (mg/L)	1.05	0.07	93%

表3 水質分析結果

項目	原水	処理水	除去率
クロロフィルa ($\mu\text{g/L}$)	136	<2	99%
COD (mg/L)	11.3	1.9	83%
T-N (mg/L)	2.4	1.0	58%
T-P (mg/L)	0.43	0.04	91%

〈参考文献〉

- 1) 金子光美, 1982:高勾配磁気分離法—藻類を多量に含む水への適用—, 造水技術, 8, 3, 49—53,
- 2) 藤田昌一, 1994 :磁気分離処理システムに関する研究, 下水道新技術研究所年報, 111—114,