

超伝導高勾配磁気分離システムを用いた 2000トン級製紙廃水処理システムの開発



研究ノート

西嶋茂宏*

Development of Superconducting High Gradient Magnetic Separation System for Purification of Wastewater with 2000t/day from Paper-mill Factory Shigehiro Nishijima*1, †, Shin-ichi Takeda*1

Key Words : High gradient magnetic separation, superconducting magnet, environmental purification technique, magnetic seeding, paper-mil factory

1. 緒言

21世紀の社会システムとして循環型で持続性のある社会システムを構築することは重要な課題である。現在既に循環経路が確立されており実際に機能している例として古紙の再生をあげられる。しかしながら現在この循環経路の存続が危ぶまれている。というのもこの古紙の再生工程では大量の水を使用するが、それと同量の廃水が発生している。近年、環境保全の認識が高まるにつれ廃水基準が強化された。このため従来の廃水処理法で(生物的に分解処理する方法が主流)このレベルを満足し維持するためには、大きな処理設備が必要となり、多額の設備投資が必要となっている。また、下水道を使用するにしても下水道の使用料が大きな負担となる一方で新たな工業用水の購入の経費もかさむため、廃水処理水のリサイクル率の向上をはかり、経費を節減することが必須となっている。このような要求に答えるシステムの構築が望まれているが、我々は超伝導磁石の技術を用いた磁気分離システムの開発を行うことにした。本システムは、古紙再生過程で発生する浮遊物質(SS)、染料、凝集剤などCOD(化学的酸素要求量)を上昇させる原因となっている不純

物を廃水から高速・高効率に分離し、再使用可能な水とするシステムである。(1), (2), (3)。

現在、日量2000トン級のシステムが完成し、工場に導入されて、その性能を試験している。このシステムの開発研究は、平成13年度より4年間、NEDOの基盤技術研究促進事業「超伝導磁気分離を利用した製紙工場からの廃水処理システム」により補助を受けて実施したものである。

2. 開発目標

再生紙工場にも導入可能な磁気分離システムが開発目標である。最終的には以下のような目標を設定した。

- 1) 設備費：1億円程度
- 2) 処理量：日量2000トン程度
- 3) 処理後の水：再利用可能なレベル(COD値として100mg/l以下 かつ 濁度10以下)
- 4) 運転費用：300円/トン以下
- 5) 設置面積：6m×6m以下

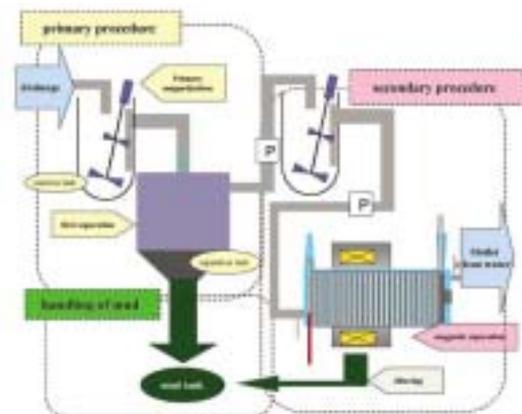


Fig. 1 A cleaning process of wastewater using superconducting magnet



* Shigehiro NISHIJIMA

1952年10月生

大阪大学大学院工学研究科, 原子力工学専攻, 博士課程修了(1982年)

現在, 大阪大学大学院, 工学研究科, 環境・エネルギー工学専攻, 西嶋研究室, 教授, 放射線化学, 超電導工学,

TEL: 06-6879-7896

FAX: 06-6879-7889

E-mail: nishijima@see.eng.osaka-u.ac.jp

本超伝導磁気分離廃水処理システムでは、まず廃水に含まれる懸濁物質(SS)およびCOD、BOD(生物的酸素要求量)原因物質など常磁性あるいは反磁性物質に強磁性粒子を付着させる(担磁)^{8),9),10),11)}。その後、超伝導磁石の強磁場と磁性フィルターから形成される高勾配磁場を用い、担磁した物質を磁的に分離回収し廃水を浄化するシステムになっている(Fig.1)。

このシステムは大きく3つの要素から成り立っている。製紙工場からの廃水中に含まれる染料、顔料、接着剤、凝集剤などの有機成分(CODを上昇させる原因となっている)およびSS成分に強磁性微粒子を付着させる担磁槽、そこで形成された磁性フロックを沈降分離させる沈殿槽、流水中の磁性フロックを効率よく捕捉する高磁場及び高勾配磁場を発生させる超伝導マグネットである。これら各ユニットからなる廃水処理設備により製紙廃水中のCOD原因物質を効率よく分離し、除去するコンパクトかつ経済的な水処理システムを開発することが目的である。

3. 超伝導磁石システム(ユニット)

磁性フロックは高磁場内にある磁性フィルターの強磁性細線で捕捉される。強磁性細線はその近傍で高い磁場勾配を発生させるために磁場内に配置されている。製紙廃水中のSSやCOD成分の濃度は数百mg/l程度であり、担磁後の磁性フロック濃度も数百mg/l以下である。流量2000t/日で捕捉率は98%以上、フィルター線径を1.1mm、最大経験磁場3Tとして見積もった。結果はポア径を140mmより大きくする必要があった。

廃水のポア内流速と経済性とを勘案しポア径を



Fig. 2

400mmとした。ポア長は100mm以上となった。磁石の内部構造の要請と磁性フィルターの送給交換洗浄設備との取り合い関係からポア長を680mmとした。Fig.2にこの条件で作成した超伝導磁石の外観を示している。

高勾配磁気分離システムでは、高磁場内に強磁性細線(磁気フィルター)を配置し、その近傍に高勾配磁場を発生させる。その高勾配磁場で強磁性粒子が捕捉されるのが動作原理である。磁気フィルターシステムの設計条件として、磁性フロックの捕捉率が高く、長期連続運転を前提とすると連続的にフィルターを交換し洗浄する必要があった。また製紙廃水は腐食性が高いことからフィルターには機械的強度とともに耐食性も要求される。これらの事から磁気フィルターシステムとして、フィルターの材質、フィルターの構成および構造を設計した。

フィルターの材質としてはフェライト系ステンレス線のSUS430を採用した。磁気フィルターを使いつづけているうちに捕獲回収された磁性フロックの量は時間とともに増え、最終的には磁気フィルターの飽和捕獲量を超えて破過する。あるいは、破過にいたらないまでも目詰まりを起こしたり、処理速度が低下したりする。このため適切な時間間隔で磁気

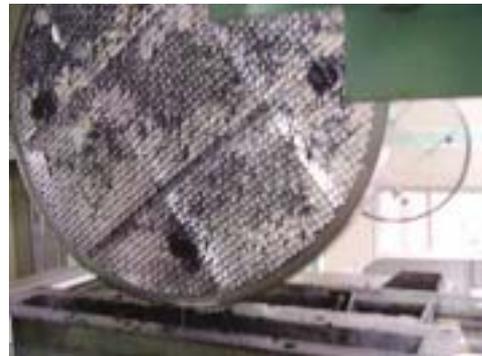


Fig. 3 Photographs of exchangeable magnetic Filter.

フィルターを交換・洗浄し、処理能力を維持する事が必要である。フィルターの洗浄には、フィルターを磁場の弱い空間に取り出す必要があるが、磁場中の磁気フィルターは磁石からの磁気力を受け、その磁気力に打ち勝つための大きな力が必要である。従来は超伝導磁石を止め、磁気力を無くして、磁気フィルターの洗浄がなされていた。この方法では、高速大量処理が不可能となるため、連続的にフィルターを交換、洗浄するシステムを考案した。Fig.3に

磁気フィルター交換システムの運転状況を示した。

複数枚の磁気フィルターを超伝導磁石ポア空間軸方向に積層し十分に長い構造にすれば(図1の中央に模式図を示してある),フィルターに働く磁気力は内力となり,一端より容易にフィルター全体を動かすことができるようになる。このため,フィルター群にポアの一端から新しい磁気フィルターを重ね,僅か力で内側に押し込むことができる。それと同時に他端から汚れた磁気フィルターが押し出され,このフィルターは容易に回収できる。この方法によると,磁気フィルター交換中もフィルターは磁性フロックを回収し続け磁気分離作業が継続し,連続的に磁気分離の操作が行うことができる。

磁性フロックを含む製紙廃水は磁気分離部に入り,磁性フロックを磁気フィルターに回収されながら浄化され磁気分離部から排出される。入口側にある磁気フィルターは磁性フロックを多く回収し,出口側のフィルターの磁性フロック回収量は少ない。磁性フロックを多く回収したフィルターは洗浄する必要がある。このことから,磁気フィルター挿入位置を排水出口側に,磁気フィルター取り出し位置を排水入口側に設定した。廃水の清浄な出口側から挿入された磁気フィルターは磁性フロックを回収しながら廃水の汚れている入口側へ移動する。フィルターが破過し外れた磁性汚泥を再堆積させることも期待できる。この連続フィルター交換方式により,実証プラントでは超伝導磁石1台の基本ユニットで2000t/日の製紙廃水の浄化処理を行う事ができることを実証した。

4. 浄化性能及び結論

2000t/日規模での実証試験による結果をCOD(Cr)で求めた結果を表1に示した。COD(Cr)の

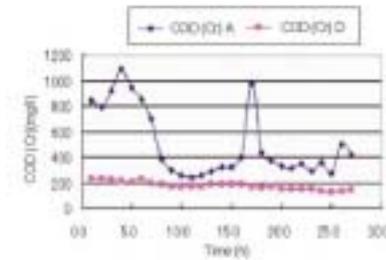
Table 1 Summary on the test results of magnetic separation for wastewater in the treating level of 2000t/day.

	Wastewater	Treated water
Turbidity (NTU)	100 - 300	2 - 10
COD-Cr (mg/l)	200 - 600	110 - 230
pH	6.5 - 7.5	7.0 - 8.0
SS (mg/l)	200 - 400	20 - 40

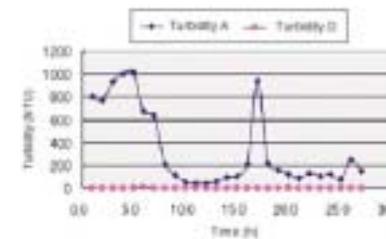
* treatment condition : magnetite 0.03 ~ 0.06%, aluminum sulfate 0.06%, polymer flocculant 0.0125%

値からCOD(Mn)を概算してみるとCOD(Mn) = 38 - 60の範囲で浄化された(換算率COD(Mn)/COD(Cr) = 0.29)。システムの最適化が図られるにつれて,処理後のCOD値が下がり,特に濁度の改善が著しい。これにより,処理水が再利用できることが確認できた。

Fig. 4 (a) - (c)に処理排水の特性値をまとめた。



4 - (a)



4 - (b)

た。原水の濁度(NTU), 100 - 300が磁気分離処理によって2 - 10に減少した。またCOD値も200 - 600が定期的に110 - 230に減少した。製紙工場からの廃水は排出される時間によって大きく変化するが,磁気分離による廃水処理により定期的に安定した排水(COD200前後,濁度5 NTU前後)が回収された。またFig. 4 (c)からも明らかのように処理後の水は無色透明の水になっていることが確認された。



4 - (c)

Fig. 4 Continuous practical test results of magnetic separation and photographs of drainage treated by the 2000ton/day plant. (a)variation of COD with time; (b)variation of turbidity with time; (c)photographs of samples before(left) and after(right) treatment.

7. さいごに

超伝導磁石による磁気分離技術は多くの産業廃水

処理に適用が可能である。本稿では再生紙工場からの廃水処理を紹介したが、食品、繊維、機械工場からの廃水に対しても適用できる。また、廃水中の有用な物質の除去あるいは回収、水に混じらない油性物の除去・回収、水の中に溶解している物質の除去・回収など磁気分離を利用した分離技術への応用も可能である。現在製紙排水以外の応用についての検討が始まっており、新しい分野への展開が見えてきている。

また、このNEDO事業で培ってきた超伝導磁気分離技術をさらに発展させ、実用化、事業化できるようにするため、コンソーシアム(協会)設立を立ち上げてもらった。このような活動を通じて磁気分離技術が近い将来、環境問題の解決の一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) Y.Kakihara, T.Fukunishi, S.Takeda, S.Nishijima, A. Nakahira, " Superconducting High Gradient Magnetic Separation of Waste Water from Paper Factory ", IEEE, Trans.Appl.Supercond.14.1565-1567 (2004) .
 - 2) 劉成珍, 武田真一, 田里伊佐雄, 西嶋茂宏, 中平敦, 「高勾配磁気分離法による染料分子回収法の開発」, 低温工学38 [2](2003) 77-82.
 - 3) Shigehiro Nishijima and Shin-ichi Takeda, " Superconducting High Gradient Magnetic Separation for Purification of Wastewater from Paper Factory ", IEEE Trans. on Applied Superconductivity, June 2006.
 - 4) J.H.P. Watson, " Magnetic filtration, " *J. Appl. Phy.*, vol. 44, no. 9, pp. 4209-4213, September 1973.
 - 5) R. R. birss, R. Gerber, and M. R. Parker, " THE ORY AND DESIGN OF AXIALLY ORDERED FILTERS FOR HIGH INTENSITY MAGNET IC SEPARATION, " *IEEE Trans. magn.*, vol. 1, MAG-12, no. 6, pp. 892-894, November 1976.
 - 6) S. uchiyama, S. kondo, and M. Takayasu, " PERFORMANCE OF PARALLEL STREAM TYPE MAGNETIC FILTER FOR HGMS, " *IEEE Trans. magn.*, vol. 1, MAG-12, no. 6, pp. 895-898, November 1976.
 - 7) S. Nishijima, K. Takeda, K. Saito, T. Okada, S. Nakagawa, and M. Yoshiwa, " Applicability of superconducting magnet to high gradient magnetic separator, " *IEEE Trans. Magn.*, pp. 573-576, 1987.
 - 8) S. Takeda, S. Yu, T. Furuyoshi, I. Tari, A. Nakahira, S. Nishijima, and T. Watanabe, " Recovery of the microorganism and organic material from water environment by high gradient magnetic separation, " in *Proceeding of the 4th Meeting of Symposium on New Magneto-Science*, 2000, p.388.
 - 9) S. Takeda, T.Furuyoshi, I. Tari, A. Nakahira, Y. Kakehi, T. Kusaka, S. Ogawa, J. Katayama, Y. Inno, S. Nishijima, F. Fujino, and K. Ohmatsu, " Separation of algae with magnetic iron (3) oxide particles using superconducting high gradient magnetic fields, " *Journal of the Chemical Society of Japan, Chemistry and Industrial Chemistry*, vol. 9, pp. 661-663, 2000.
 - 10) S.Takeda, S-J.Yu, S.Nishijima and A.Nakahira, " Development of a Colloid Chemical Process for magnetic Seeding to Organic Dye ", *Bull.Chem.Soc.Japan*,76,[5],1087-1091 (2003) .
 - 11) 武田真一 「配磁気分離のための担磁法」, 低温工学37 [7](2002) 315-320.
- Table 1 Summary on the test results of magnetic separation for wastewater in the treating level of 2000t/day.
- * treatment condition : magnetite 0.03 ~ 0.06%, aluminum sulfat 0.06%, polymer flocculant 0.0125%