

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 9 日現在

機関番号：12201

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2012～2014

課題番号：24241021

研究課題名(和文)磁気分離を活用した生物学的水処理技術の新領域の創成

研究課題名(英文)Creation of frontier of biological water treatment technology by magnetic separation

研究代表者

酒井 保蔵 (SAKAI, YASUZO)

宇都宮大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：70186998

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 35,600,000円

研究成果の概要(和文)：磁化活性汚泥法の標準実験装置(5L)を完成させ、水処理研究者に配付された。この装置による磁気分離水処理実験の迅速化により、3件がパイロットプラントへ発展した。酪農廃水処理、動物用抗生剤の生物処理、1,4ジオキサン生分解処理、メタン消化液の浄化処理などが検討され、新しいプロセスが開発された。(3)国際フォーラム、電気学会シンポジウム、磁気力制御・磁場応用夏の学校などの開催により磁気分離の研究ネットワーク構築に寄与できた。

研究成果の概要(英文)：The standard equipment of magnetic activated sludge process was developed. A few equipment were distributed to the researchers who are interested in magnetic separation application for water treatment. By acceleration of bench scale experimental step, 3 cases were able to progress to pilot scale stage. By using the standard equipment, some advanced magnetic activated sludge process, milking parlor wastewater treatment, biodegradation of animal antibiotics, biodegradation of 1,4 dioxane, purification of methane digestive juice, and so on were investigated, as a results, new processes were proposed.

International forum of magnetic force control, summer seminar of magnetic force control and magnetic application, and so on were held every year and helped networking between researchers of magnetic application for water treatment.

研究分野：環境保全・水処理・磁気分離

キーワード：磁化活性汚泥 磁気分離 標準実験装置 マグネタイト 水処理

や汚泥の自己硝化率が改善することが示され(主な発表論文等〔学会発表〕②⑨⑭⑲⑳), 現在, パイロットプラントによる実証研究にむけて準備が進められている。標準装置の提供によって, ベンチスケールによる連続水処理試験が簡単に実施でき, 磁気分離による生物学的水処理法の研究が大幅にスピードアップすることが確かめられた。この標準実験装置は, 現在も, 磁気分離による水処理の検討を希望する研究者に提供できる。

(2)目的(2)に関する成果

栃木県は北海道に次ぐ酪農県であり, 簡便な畜産廃水処理法の開発や畜産廃水に含まれる抗生剤の環境への放流による耐性菌の発生などは水処理分野の重要課題と考えられる。酪農廃水処理では, 磁化活性汚泥法によってリンを回収しながら水の浄化も行うプロセスが提案された(主な発表論文等〔雑誌論文〕②, 学会発表⑫⑬⑯⑰) また, 汚泥滞留時間が長い磁化活性汚泥法では馴養が高度に進行するため抗生剤であるテトラサイクリンを生物処理できることが示された(主な発表論文等〔雑誌論文〕③, [学会発表] ①⑱⑲⑳㉑)。平行して研究分担者が中心となって電気化学的な処理についても検討した(主な発表論文等〔学会発表〕㉒⑳㉓)。ベンチスケール実験の成果を受けて, パイロットプラントによる酪農排水処理の検討が始まった(主な発表論文等〔学会発表〕④⑧⑬⑱㉔)。

最近, 人の健康に係わる有害物質として環境基準が設定された 1,4 ジオキサンの生分解についても可能であることを報告した(主な発表論文等〔学会発表〕⑥⑩)。染料廃水の生物処理についてもベンチスケールで連続処理実験が行われ, 90%以上の脱色と有機成分の除去が同時に行えることが示された(主な発表論文等〔学会発表〕⑭⑲)。また, 界面活性剤を含む有機排水の生物処理についても 80%以上の除去率が得られた(主な発表論文等〔学会発表〕㉕㉖㉗)。

メタン発酵消化液についても, 食品残渣を帯広畜産大でメタン発酵処理し, その消化液を磁化活性汚泥法で処理した。その結果, 生物学的硝化脱窒法では亜硝酸までの部分酸化で停止する傾向があることが示された(主な発表論文等〔学会発表〕⑤⑩)。

(3) 目的(3)に関する成果

以下のとおり, 研究期間内に, 磁気分離技術の啓発に関連する委員会活動、シンポジウムや国際フォーラムなどに主体的に参画した。

電気学会において医療・バイオ・環境分野における磁気力制御技術協同研究委員会の委員長を1年間担当し, 磁気分離の応用分野の調査, 啓発活動を行った。これらの成果をまとめて, 平成 26 年電気学会全国大会のシンポジウムセッション(2014/3/20)を開催した。

磁気力制御を利用した超電導技術の実用化と新たな展開調査専門委員会の委員とし

て磁気分離応用技術の調査研究を 20 名の研究者と協力しておこない, 技術報告書にまとめた(主な発表論文等〔図書〕①)

磁気力制御・磁場応用 夏の学校を 2014 年 9 月に宇都宮大学において開催し, 磁気分離の応用技術に関する講義・講演や最新の研究成果についてのポスターシンポジウムをおこなった(主な発表論文等〔学会発表〕⑧⑨⑩⑪)。

バン格拉デシュで開催された国際会議に出席し, セッション座長として, 磁気分離による水処理技術の可能性について啓発活動をおこなった。また, バン格拉デシュにおいて水環境研究の著名教授であるダッカ大・SAHA 氏(海外研究協力者)を宇都宮大学に招聘し, 研究期間の3年中, のべ6カ月に渡り, 磁気分離を応用した水処理技術について共同研究をおこなった。(主な発表論文等〔学会発表〕⑬⑭⑯⑰⑱)。

日中間の磁気力制御・磁場応用技術に関するフォーラム International Forum on Magnetic Force Control を H12 年度は韓国・釜山、H13 年度は日本・大阪、H14 年度は中国・北京と 3 年連続の開催に参画し、主要メンバーとして研究発表をおこなった(主な発表論文等〔学会発表〕㉘㉙㉚㉛㉜㉝㉞)。

5. 主な発表論文等

(研究代表者, 研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 4 件)

- ① 酒井保藏, 磁化活性汚泥法の実用化に向けて～ベンチスケール実験装置の標準化で研究開発が容易に, 環境浄化技術, (査読なし), 2015, 3-4, Vol.14(2), pp.32-37
- ② T. Onodera, Y. Sakai, M. Kashiwazaki, I. Ihara, M.L. Saha: Application of magnetic activated sludge process for a milking parlor wastewater treatment and nitrogen/phosphate recycle, Proceeding of 9th IWA International Symposium on Waste Management Problems in Agro-Industries proceeding, (査読あり), vol.2, 494-500, (2014)
- ③ Gaowa, Y. Sakai, M.L. Saha, I. Ihara: Treatment of waste-milk containing tetracycline by magnetic activated sludge and contact oxidation process, Proceeding of 9th IWA International Symposium on Waste Management Problems in Agro-Industries proceeding, (査読あり), vol.1, 322-328 (2014)
- ④ 酒井保藏, 活性汚泥の磁気分離と水処理プロセスへの活用(査読なし), 化学工業, 64(3), 178-182 (2013)

〔学会発表〕(計 75 件)

- ① ○高娃, 酒井保藏, 井原一高, ミヒル ラルサハ: 家畜用抗生剤を含む模擬廃棄乳の磁化活性汚泥法による生分解処理, 第 49 回

- 水環境学会, 2015/3/16-18, 金沢大学角間キャンパス(石川県金沢市)
- ② ○小室ゆい, 酒井保藏, 花井洋輔, 中田栄寿, ミヒル ラル サハ, 余剰汚泥ゼロで運転される磁化活性汚泥法の汚泥平衡濃度と負荷の関係に関する基礎的研究, 第 49 回水環境学会年会, 2015/3/16-18, 金沢大学角間キャンパス(石川県金沢市)
 - ③ ○酒井保藏, 高橋克哉, 酒井康平: 磁化活性汚泥法標準実験装置の凝集磁気分離プロセス研究への活用, 第 49 回水環境学会年会, 2015/3/16-18, 金沢大学角間キャンパス(石川県金沢市)
 - ④ ○小野寺利仁, 酒井保藏, 井原一高, ミヒル ラル サハ, 高田清信, 弓場 誠, 中岡潤一: ミルキングパーラー廃水処理への磁化活性汚泥法の適用, 第 49 回水環境学会年会, 2015/3/16-18, 金沢大学角間キャンパス(石川県金沢市)
 - ⑤ ○本間司, 酒井保藏, 井原一高: 磁化活性汚泥標準実験装置を用いた磁気分離による嫌気性生物処理への展開, 第 49 回水環境学会年会, 2015/3/16-18, 金沢大学角間キャンパス(石川県金沢市)
 - ⑥ ○山岸峻也, 酒井保藏, ミヒル ラル サハ, 磁化活性汚泥法による 1,4 ジオキサンを含む排水の生分解処理の基礎的検討, 第 49 回水環境学会年会, 2015/3/16-18, 金沢大学角間キャンパス(石川県金沢市)
 - ⑦ ○酒井保藏: 磁化活性汚泥法～磁気分離による生物学的水処理法の利点と実用化にむけた研究戦略, 水環境学会シンポジウム(産業排水処理研究会), 2014/9/8, 岐阜県立大学(岐阜県彦根市)
 - ⑧ ○小野寺利仁, 酒井保藏, 柏崎 勝, 井原一高, ミヒル ラル サハ, 高田清信, 弓場 誠: 磁気分離と凝集法を活用した酪農排水処理～様々な酪農排水に対するプロセスの提案, 磁気力制御・磁場応用夏の学校ポスターセッション, 2014/9/5-6, 宇都宮大学陽東キャンパス(栃木県宇都宮市)
 - ⑨ ○小室ゆい, 酒井保藏, 花井洋輔, 中田栄寿: 磁化活性汚泥法を用いた余剰汚泥ゼロでの食品排水処理～模擬排水による検討, 磁気力制御・磁場応用夏の学校ポスターセッション, 2014/9/5-6, 宇都宮大学陽東キャンパス(栃木県宇都宮市)
 - ⑩ ○本間司, 酒井保藏, 梅津一孝, 井原一高: メタン発酵法と磁化活性汚泥法を組み合わせた高濃度有機廃液の浄化プロセス, 磁気力制御・磁場応用夏の学校ポスターセッション, 2014/9/5-6, 宇都宮大学陽東キャンパス(栃木県宇都宮市)
 - ⑪ ○山岸峻也, 酒井保藏, ミヒル ラル サハ, 磁化活性汚泥法による難生分解性の有機化合物の処理と 1,4 ジオキサンへの適用の基礎的検討, 磁気力制御・磁場応用夏の学校ポスターセッション, 2014/9/5-6, 宇都宮大学陽東キャンパス(栃木県宇都宮市)
 - ⑫ ○小野寺利仁, 酒井保藏, 柏崎勝, 井原一高, ミヒル ラル サハ, 弓場 誠, 高田清信: 磁気分離を活用した酪農廃水処理～様々な酪農廃水に対するプロセスの提案, 2014 年度農業施設学会大会, 2014/8/27-29, 神戸大学(兵庫県神戸市)
 - ⑬ ○酒井保藏, 高娃, 小野寺利仁, ミヒル ラル サハ, 井原一高: 家畜用抗生剤を含む模擬廃棄乳の磁化活性汚泥法による生分解処理, 2014 年度農業施設学会大会, 2014/8/27-29, 神戸大学(兵庫県神戸市)
 - ⑭ ○小室ゆい, 酒井保藏, 花井洋輔, 中田栄寿: 食品排水処理のための高濃度磁化活性汚泥法における磁気分離の課題とその対策, 第 89 回 2014 年度春季低温工学・超電導学会, 2014/5/26-28, タワーホール船堀(東京都江戸川区)
 - ⑮ ○Toshihito Onodera, Yasuzo Sakai, Masaru Kashiwazaki, Ikko Ihara, Mihir Lal Saha, Kiyonobu Takada, Makoto Yunba, Milking Parlor Wastewater Treatment by Coagulation and Magnetic Activated Sludge Process, 6th International Botanical Conference, 2014/12/6-7, ダッカ(バングラデシュ)
 - ⑯ ○Yasuzo Sakai, Mihir Lal Saha, Ikko Ihara, Research and Development (R&D) of Magnetic Activated Sludge Process: Development of Standard Apparatus for Bench Scale Experiment, 6th International Botanical Conference, 2014/12/6-7, ダッカ(バングラデシュ)
 - ⑰ ○Mihir Lal Saha, Yasuzo Sakai, Sadayuki Sasaki, Tetsuya Sasaki, Masato Oda, Mina Shohoji, Application of magnetic separation technique in various biological process, 6th International Workshop on Materials Analysis and Processing in Magnetic Fields (MAP6), 2014/7/8, サウザンビーチホテル&リゾート(沖縄県糸満市)
 - ⑱ ○Gaowa, Yasuzo Sakai, Mihir Lal Saha: Treatment of waste-milk containing antibiotic by magnetic activated sludge process, 6th International Workshop on Materials Analysis and Processing in Magnetic Fields (MAP6), 2014/7/8, サウザンビーチホテル&リゾート(沖縄県糸満市)
 - ⑲ ○Toshihito Onodera, Yasuzo Sakai, Ikko Ihara, Mihir Lal Saha, Kiyonobu Takada, Makoto Yunba: Application of Magnetic Separation Process into Treatment of Various Dairy Wastewater Treatment, 6th International Workshop on Materials Analysis and Processing in Magnetic Fields (MAP6), 2014/7/8, サウザンビーチホテル&リゾート(沖縄県糸満市)
 - ⑳ ○Yui Komuro, Yasuzo Sakai, Yosuke Hanai, Eiju Nakada: Investigation of Magnetic Separation of High Concentration Magnetic Activated Sludge process for Food Industrial Waste Water Treatment, Abstract of 6th International Workshop on Materials Analysis

- and Processing in Magnetic Fields (MAP6), 2014/7/8, サウザンビーチホテル&リゾート(沖縄県糸満市)
- ②① ○Ikko Ihara, Kazutaka Noda, Kiyohiko Toyoda, Yasuzo Sakai, Kazutaka Umetsu, Magnetic Removal of Veterinary Antibiotic using Magnetic Seeds for Wastewater Treatment, 6th International Workshop on Materials Analysis and Processing in Magnetic Fields (MAP6), 2014/7/8, サウザンビーチホテル&リゾート(沖縄県糸満市)
- ②② ○高 娃, 酒井保藏, 井原一高: 家畜用抗生剤と高濃度有機物を含む廃棄乳の磁化活性汚泥による処理, 第 48 回水環境学会年会, 2014/3/17-19, 東北大学川内キャンパス(宮城県仙台市)
- ②③ ○小室ゆい, 酒井保藏, 花井洋輔, 中田栄寿: 磁化活性汚泥法による余剰汚泥ゼロエミッションをめざした食品排水処理プロセスの検討, 第 48 回水環境学会年会, 2014/3/17-19, 東北大学川内キャンパス(宮城県仙台市)
- ②④ ○小野寺利仁, 酒井保藏, ミヒル・ラル・サハ, 高田清信: 磁気分離を活用した高濃度 SS を含む酪農廃水処理プロセスの提案, 第 48 回水環境学会年会, 2014/3/17-19, 東北大学川内キャンパス(宮城県仙台市)
- ②⑤ ○酒井保藏, 陳 燕仔, 酒井康平, 小室ゆい, 藤原 豊, ミヒル ラル サハ: 余剰汚泥ゼロで運転される磁化活性汚泥法による界面活性剤を主成分とする模擬工場排水の直接分解処理, 第 48 回水環境学会年会, 2014/3/17-19, 東北大学川内キャンパス(宮城県仙台市)
- ②⑥ ○Yasuzo Sakai, Gaowa, Toshihito Onodera, Kohei Sakai, Mihir Lal Saha: Application of Magnetic Activated Sludge Process for Dairy Farm Wastewater Treatment, 7th International plant Tissue Culture & Biotechnology Conference, (Dhaka), 2014/3/1-3/3, ダッカ(バングラデシュ).
- ②⑦ ○Mihir Lal Saha, Yasuzo Sakai, Masato Oda, Mina Shohoji: Application of magnetic activated sludge (MAS) in various wastewater treatment processes, 7th International Plant Tissue Culture & Biotechnology Conference, (Dhaka), 2014/3/1-3/3, ダッカ(バングラデシュ).
- ②⑧ ○Gaowa, Yasuzo Sakai, Mihir Lal Saha: Treatment of Waste-milk Containing Tetracycline by Magnetic Activated Sludge Process and Contact Oxidation Process, 7th International Plant Tissue Culture & Biotechnology Conference, (Dhaka), 2014/3/1-3/3, ダッカ(バングラデシュ).
- ②⑨ ○Mihir Lal Saha, Yasuzo Sakai, Sadayuki Sasaki, Tetsuya Sasaki, Masato Oda, Mina Shohoji, Application of Magnetic Separation Technique in Various Biological Processes, The 4th International Forum on Magnetic Force Control in Osaka, 2013/11/21, 大阪富国生命ビル(大阪市)
- ③⑩ ○Ikko Ihara, Yasuzo Sakai, Kiyohiko Toyoda, Kazutaka Umetsu, Magnetic Separation of Veterinary Antibiotics for Livestock Wastewater Treatment, The 4th International Forum on Magnetic Force Control in Osaka, 2013/11/21, 大阪富国生命ビル(大阪市)
- ③⑪ ○Toshihito Onodera, Yasuzo Sakai, Masaru Kashiwazaki, Ikko Ihara, Mihir Lal Saha: Proposal of a Dairy Wastewater Treatment at Pilot Scale Utilizing the Magnetic Activated Sludge Method, The 4th International Forum on Magnetic Force Control in Osaka, P-1, 2013/11/21, 大阪富国生命ビル(大阪市)
- ③⑫ ○Gaowa, Yasuzo Sakai, Mihir Lal Saha: Treatment of Waste-milk Containing Tetracycline by Magnetic Activated Sludge Process and Contact Oxidation Process: A Basic Study, The 4th International Forum on Magnetic Force Control in Osaka, 2013/11/21, 大阪富国生命ビル(大阪市)
- ③⑬ ○酒井保藏, 磁気分離を活用した廃水処理法の新展開～磁化活性汚泥法とその周辺技～, 応用物理学会・磁気科学研究会 第 2 回講演会, 2013/11/19, 東北大学金属材料研究所(宮城県仙台市)
- ③⑭ ○Yasuzo Sakai, Yanzi Chen, Kohei Sakai, Yuki Inokura, Toshihito Onodera, Seiji Ochiai, Mihir Lal Saha, Research frontier of magnetic activated sludge process using microbe flocs adsorbing magnetic particles, Abstract of The 11th International Conference on Ferrite, 2013/4/18(18aA2-I-1), 沖縄コンベンションセンター(沖縄県宜野湾市)
- ③⑮ ○Ikko Ihara, Tatsuya Shirae, Kiyohiko Toyoda, Yasuzo Sakai, Kazutaka Umetsu, Magnetic Separation of Tetracycline Antibiotics from Livestock Wastewater using Magnetic Nanobeads, Abstract of the 11th International Conference on Ferrite, 18aA2-I-2, 2013/4/18, 沖縄コンベンションセンター(沖縄県宜野湾市)
- ③⑯ ○Seiji Ochiai, Yasuzo Sakai, Koji Hiroshima, Mihir Lal Saha, Application of Magnetic Separation for Decontamination of Radioactively-Contaminated Sludge Using Magnetic Seeding, Abstract of the 11th International Conference on Ferrite, 2013/4/18(18aA2-I-4), 沖縄コンベンションセンター(沖縄県宜野湾市)
- ③⑰ ○Yasuzo Sakai, Shogo Kajii, Toshihito Onodera, Fumika Kawakami, Ikko Ihara, Mihir Lal Saha: High Rate Purification of Dairy Wastewater by Multi-stage Treatment with Magnetic Activated Sludge Process, Coagulation and Contact Oxidation Process, The 3rd International Forum on Magnetic Force Control in Busan, , 2012/08/29 (S-B-2), 釜山(韓国)

- ⑳ ○Seiji Ochiai, Yasuzo Sakai, Application of Magnetic Activated Sludge Process for the Decontamination -Removal of Kaolinite Contaminated with Radioactive Substances-, The 3rd International Forum on Magnetic Force Control in Busan, 2012/08/29 (S-C-2), 釜山(韓国)
- ㉑ ○Yanzi Chen, Yasuzo Sakai, Kohei Sakai: Application of Magnetic Activated Sludge Process to Surfactant Wastewater in Indonesia, The 3rd International Forum on Magnetic Force Control in Busan, , 2012/08/29 (S-D-1), 釜山(韓国)
- ㉒ ○酒井保藏, 磁化活性汚泥法～活性汚泥の磁気分離と種々の水処理プロセスへの活用, 日本磁気学会 第 184 回研究会, 2012/5/25, 中央大学・駿河台記念館(東京都千代田区)

〔図書〕(計 1 件)

- ① 磁気力制御を利用した超電導技術の実用化と新たな展開調査専門委員会編(共同執筆; 委員長: 西嶋茂宏, 委員: 酒井保藏, 井原一高, 渡辺恒雄他 16 名), 電気学会, 「電気学会技術報告 第 1288 号 磁気力制御を利用した超電導技術の実用化の現状及び新たな展開」, 2013 年 7 月, 全 42 ページ

〔産業財産権〕

- 出願状況 (計 0 件)
○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

- ① 平成 27 年度 地域共生研究開発センタープロジェクト紹介「2. 磁化活性汚泥法を軸とした磁気分離を活用する水処理新分野の創成」

http://118.82.78.28/collabo/contents/?category_id=4&id=3&PHPSESSID=211073c0ab14c9bff3e81bb2cfb0462d

- ② 磁気力制御・磁場応用 夏の学校
<http://www17.ocn.ne.jp/~jikibun/ss2014/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

酒井 保藏 (SAKAI Yasuzo)
宇都宮大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号：7 0 1 8 6 9 9 8

(2)研究分担者

井原 一高 (IHARA Ikko)
神戸大学・大学院農学研究科・准教授
研究者番号：5 0 3 9 6 2 5 6

岩渕 和則 (IWABUCHI Kazunori)
北海道大学・大学院農学研究科・教授
研究者番号：0 0 1 9 3 7 6 4

小原 健司 (OHARA Takeshi)
金沢工業大学・工学部・教授
研究者番号：2 0 3 5 4 3 1 8

前田 勇 (MAEDA Isamu)
宇都宮大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号：1 0 2 5 2 7 0 1

渡辺 恒雄 (WATANABE Tsuneo)
首都大東京・大学院理工学研究科・研究員
研究者番号：9 0 2 4 0 4 9 9

(3)連携研究者
なし

(4)研究協力者
西嶋茂宏 (NISHIJIMA Shigehiro)
大阪大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：0 0 1 5 6 0 6 9

(5)海外研究協力者
サハ ミヒル ラル (SAHA Mihir Lal)
ダッカ大学・植物学科・教授