

平成 28 年 6 月 10 日現在

機関番号：11401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26820092

研究課題名(和文) 可溶化された活性汚泥を用いたバイオ燃料電池の開発

研究課題名(英文) Development of Microbial fuel cell by using solubilized activated sludge

研究代表者

カビール ムハムドゥル(KABIR, MAHMUDUL)

秋田大学・工学(系)研究科(研究院)・講師

研究者番号：10422164

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：下水/排水処理場では毎年、多量に余剰活性汚泥が発生し、その処理・処分には多くの費用に環境負荷が重なる。本研究では、この余剰活性汚泥をフェライト・モーションコントロールによる可溶化することで、余剰汚泥の減容化とともに、可溶化された汚泥は豊かな有機物資源として燃料電池に再利用が可能かどうかを確認した。その結果、活性汚泥の可溶化に成功し、ゼロ・エミッション排水処理システムに成功した。また、可溶化された活性汚泥を用いた微生物燃料の作製に成功し、電力生成の確認できた。

研究成果の概要(英文)：The industrial waste known as excess activated sludge produced in Waste Water Treatment Plants (WWTPs) is a serious problem to this society. A method was introduced to reduce the excess sludge by cell lysis process of the activated sludge using ferrite particles. The cell lysis of the excess sludge was achieved and at the same time, microbial fuel cell was developed with the organic materials produced from the cell lysis. The electric power was small but there is a good possibility of using excess activated sludge in producing electric power.

研究分野：電磁環境学

キーワード：余剰活性汚泥 可溶化 バイオ燃料電池

1. 研究開始当初の背景

家庭から出る排水の処理には、一般に活性汚泥法が使用されている。この方法は管理が簡単であるが、欠点として処理の際に余剰活性汚泥が多量に発生することであり、その処理が経済・環境面での大きな負担となっている。そのため、余剰活性汚泥の減容化は急務である。しかし、現段階では、余剰活性汚泥処理には有効的な方法はなく、技術開発途中である。我々は、余剰活性汚泥を減容する方法として、活性汚泥に磁気-フェライト処理を行い、微生物を殺菌・可溶化し、その殺菌された汚泥を未処理の活性汚泥に生物分解させることで減容化に成功している。また、発電分野では、クリーンなエネルギーが求められている。そこで、余剰汚泥を用いて電気エネルギーに変換ができれば、ゼロ・エミッションの排水処理プラントの実現とともに電力生成も可能になる。

2. 研究の目的

国内の産業廃棄物の中、汚泥関係の廃棄物が最も多く、この一部である余剰活性汚泥の処理が毎年、経済・環境面で大きな負担となっている。一方では、余剰活性汚泥はタンパク質、炭水化物などエネルギー生成に欠かせない有機物質が高水準に含まれている。本研究では、この余剰活性汚泥の有効的な利用のため、余剰活性汚泥を可溶化させ、活性汚泥内の栄養物質を利用した微生物燃料電池 (Microbial fuel cell : 以下 MFC) を作製することで、余剰活性汚泥の消失を狙うとともに、電気エネルギー変換効率の高い燃料電池の開発を目指す。

3. 研究の方法

(1) 活性汚泥の可溶化

図1(a)のように2台の電磁石を縦置きに固定し、電磁石に交互に交流電流を流す。電源と電磁石間にダイオード(10ETF10, VISHAY製、ピーク逆電流値 $I_{FAV}=10\text{ A}$ 、ピーク順電圧 $V_{RRM}=1000\text{ V}$)を入れ、交流電流1周期の間

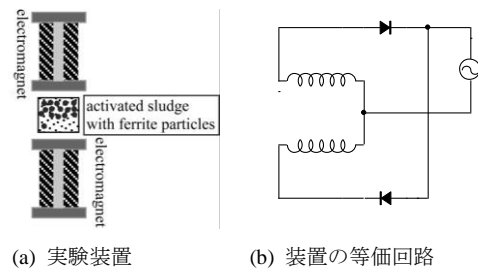


図1 実験装置の概略図

に上下の電磁石が交互に動作するようにしたことで、電磁石間に装着させた処理容器に磁場が交互にかかるようになる。この装置の回路図を図1(b)に示す。処理容器内に活性汚泥とフェライト粒子を入れ、一定時間毎に向きが逆になる磁場をかけてフェライト粒子のモーションを制御すると、フェライト粒子と、活性汚泥を構成する微生物の衝突などにより微生物の死滅が進み、結果的に活性汚泥の減容化が可能になる。その動作原理を図2に示す。本研究では、フェライト系ステンレス板(SUS430)を、処理容器を挟み込むように挿入し、磁化現象を利用して磁束密度分布の拡大を図るとともに、活性汚泥の殺菌・可溶化実験を行った(図3を参照)。

(2) 燃料電池の開発

可溶化された活性汚泥を用いて微生物燃料電池を作製する。微生物燃料電池(MFC)とは、ある種の微生物が無酸素条件下で有機物を分解する際に、導電性の電極を最終電子受

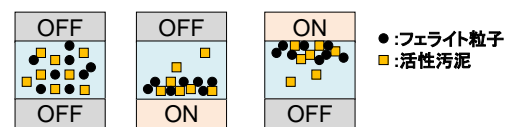


図2 余剰活性汚泥処理装置の動作原理

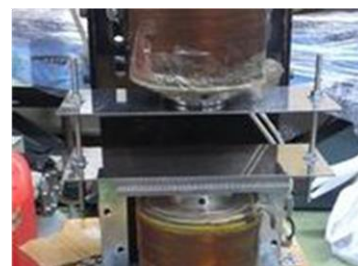


図3 金属板の磁化現象を用いた実験装置

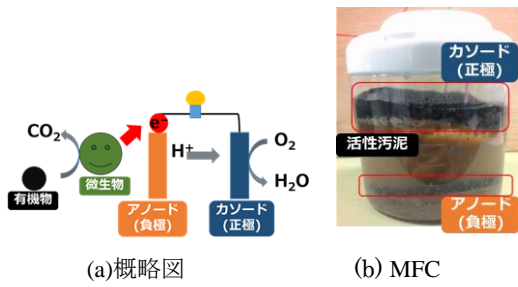


図 4 1 槽型 MFC

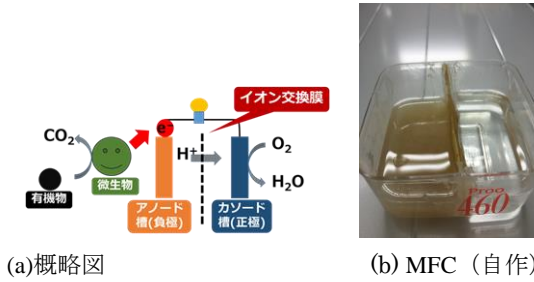


図 5 2 槽型 MFC

容体として使用するという性質を利用した燃料電池である。有機物の酸化還元反応で生じる余剰な電子の一部を回収して発電している。つまり、微生物が燃料電池の触媒として、そして、有機物はその燃料としたものである。本研究では、余剰活性汚泥の可溶化した液体を有機物燃料で、元気な活性汚泥を微生物集団として用いることにする。

微生物燃料電池には、大きく分けて 2 種類存在する。アノード槽とカソード槽をまとめて 1 つの槽とする 1 槽型微生物燃料電池(図 4 を参照)と、アノード槽とカソード槽をイオン交換膜で仕切る 2 槽型微生物燃料電池 (図 5 を参照) である。ここで、イオン交換膜とは特定のイオンのみを通過させるための膜である。微生物燃料電池には陽イオンである水素イオンのみを通過させる陽イオン交換膜

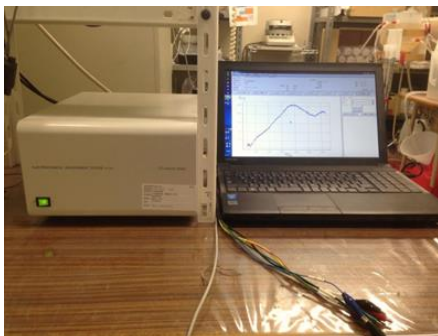


図 6 電気化学測定システム

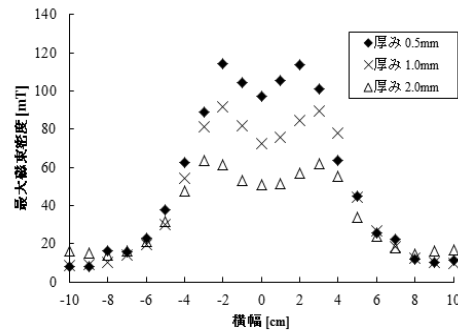


図 7 金属板を用いたとき磁束密度分布の集中の緩和

を用いる。2 槽型微生物燃料電池の場合、アノード槽に触媒となる微生物群である活性汚泥と燃料となる余剰活性汚泥の可溶化された有機物を注入し、カソード槽に水を注入する。観察には図 6 の電気化学測定システム (HZ-7000, 北斗電工社製) を用いる。

4. 研究成果

(1) 活性汚泥の可溶化

まずは実験装置の磁束密度を計測した。ステンレス板の厚さを変え、その磁束密度分布をガウスメーター(GM04, HIRST 製)用いて計測し、最適な値として厚み 2.0mm のステンレス板を使用することにした。金属板の磁束密度分布を図 7 に示す。

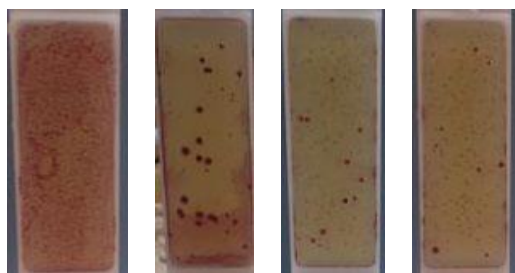
標準活性汚泥法における汚泥返送ラインでの活性汚泥の処理を想定し、60 φ、幅 12.5 cm の筒状の容器を使用して磁気-フェライト処理実験を行った。この容器に 290 mL の未処理の汚泥を入れ、3 h 磁気-フェライト処理を行った。その際、汚泥濃度を 2000 mg/L、4000 mg/L そして、6000 mg/L において処理効果を比較検討した。全ての濃度において、処理後は汚泥濃度の減少が見られた。処理後の汚泥濃度はそれぞれ 1550 mg/L、2700 mg/L そして、4000 mg/L に減少した。全ての濃度において、生菌数は、 10^6 CFU/mL から $10^3 \sim 10^4$ CFU/mL にまで減少した。一方、処理後の液体の汚れ具合を示す COD 値は、例えば 2000 mg/L の場合、その初期値が 8.4mg/L から処理後は 120.3 mg/L まで増加した。他の濃度の汚泥についても同様に (処理

前の COD 値と比較して 1010 倍以上) 増加していた。この COD を増加した液体をばっき槽へ返送し、元気な活性汚泥による酸化分解させることで、余剰汚泥の減容化が図り、ゼロ・エミッション排水処理システムを研究室レベルで成功した。図 8 に本装置による余剰活性汚泥の殺菌効果を示した。処理前後の活性汚泥をイーザーカルト TTC (Orion Diagnostica 社製) に塗布した後、これを恒温恒湿器 (ISUZU DSLV-11) で 24 h 培養したものである。

このように、本装置を利用することで、余剰活性汚泥を可溶化することに成功し、ゼロ・エミッション排水処理システムを完成した。また、この可溶化された活性汚泥の COD 値が高いことから、これを微生物燃料電池のバイオ燃料として利用価値が高いことに違いない。

(2) 燃料電池の開発

生体触媒として活性汚泥、燃料として人工排水および減容化処理水を使用し、1 槽型微生物燃料電池(Mud Watt, Keegotech 社製)の測定を行った。微生物燃料電池を電気化学測定システム (HZ-7000, 北斗電工社製) に接続し、無抵抗電流計モードで、1 分毎の電流値を記録した。燃料電池の燃料として可溶された活性汚泥を定期的に加えた。比較のために、家庭排水の栄養物質と同等のものを研究室で作製し、その COD 値が作製時 7600mg/L であった。これを 10 倍、20 倍に希釈して燃料電池の触媒である微生物群 (電池槽の活性汚泥) に加えた。観察時の電圧・電流の関係か



(a) 未処理 (b) 2000mg/L (c) 4000 mg/L(d) 6000 mg/L

図 8 処理前後での活性汚泥の生菌数の変化

ら微生物燃料電池の能力を評価した。

COD138mg/L の活性汚泥の可溶化処理水 10mL 投入し、電流・生菌数・COD 値の変化、この三項目を測定した。人工排水と減容化処理水の電流測定結果を比較したグラフを図 9 に、電力密度算出結果を比較したグラフを図 10 に示す。

図 10 から、COD 値が高い人工排水 20 倍希釈時 (COD 380mg/L) より COD が低い減容化処理水 (COD 138mg/L) の方が高出力という結果が得られた。減容化処理水に含まれる有機物は、活性汚泥が潰された際に抽出されたものが多く、一度微生物の体内に入った有機物であるため、微生物の代謝に合う有機物が多く含まれていると言える。そのため COD 値が低くても高出力につながったのではないかと考えられる。

文中には記載しないが、実験中はそれぞれの槽において COD 値の減少が確認され、活性汚泥の生菌数の増加がみられた。つまり、活性汚泥を構成する微生物の代謝の確認ができた。また、2 層型燃料電池においても電力生成は確認できたが、その値は 1 層型と同様、低電力のものであった。

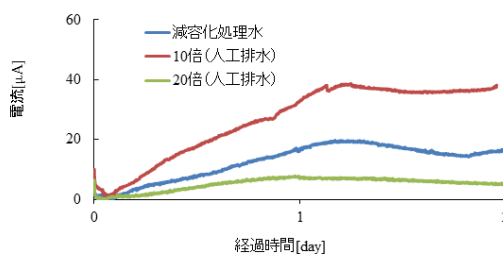


図 9 1 槽型 MFC の電流測定結果

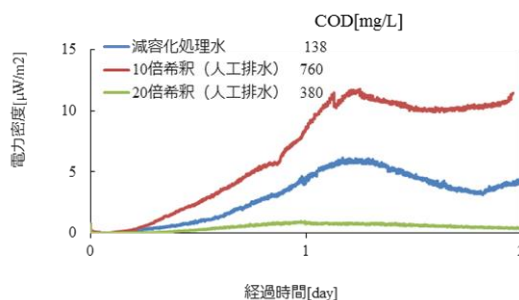


図 10 1 槽型 MFC の電力生成

以上のことから、減容化処理水を微生物燃料電池の燃料として有効活用できる可能性が示唆された。微生物燃料電池の場合、電力効率は高いものの、発生する電力は小さいため今後は更なる研究が必要となる。

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3件)

1. 返送ラインにおける磁気—フェライト処理法を用いた余剰活性汚泥の減容化, 遠藤 雅也, カビール ムハムドゥル, 鈴木 雅史, 吉村 昇, 電気学会論文誌 D, vol.136, no.3, pp.198-203 (2016) 査読あり
2. フェライト粒子のモーションコントロールによる微生物の殺菌効果, 船木 東紀, カビール ムハムドゥル, 鈴木 雅史, 吉村 昇, 電気学会論文誌 A, vol.134, no.11, pp.604-609 (2014) 査読あり
3. フェライトモーション・コントロールによる余剰汚泥の減容化, カビール ムハムドゥル, 千葉 達也, 鈴木 雅史, 吉村 昇, 電気学会論文誌 D, vol.134, no.4, pp.475-476 (2014) 査読あり

[学会発表] (計2件)

1. ラボ・スケールプラントにおける磁気-フェライト処理法を用いた活性汚泥の減容化評価試験, 遠藤 雅也, カビール ムハムドゥル, 鈴木 雅史, 平成 27 年 日本水処理生物学会全国大会 (北九州) (2015)
2. ゼロ・エミッション排水処理システムの開発, 遠藤 雅也, カビール ムハムドゥル, 鈴木雅史, 平成 26 年 日本水処理生物学会全国大会 (山梨) (2014)

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称:

発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

○取得状況 (計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

[その他]

ホームページ等

http://kc6.ee.akita-u.ac.jp/suzuki_lab/

6. 研究組織

(1) 研究代表者

カビール ムハムドゥル (KABIR MAHMUDUL)

秋田大学・大学院工学資源学研究所・講師

研究者番号: 1 0 4 2 2 1 6 4

(2) 研究分担者

なし

研究者番号:

(3) 連携研究者

なし

研究者番号: