

令和 3 年 8 月 17 日現在

機関番号：82101

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2020

課題番号：19K15938

研究課題名(和文)微生物生態学的アプローチによる堆積物微生物燃料電池がもたらす底質改善機構の解明

研究課題名(英文)A microbial ecological approach to unravel the sediment remediation mechanism by sediment microbial fuel cells

研究代表者

竹村 泰幸 (Takemura, Yasuyuki)

国立研究開発法人国立環境研究所・地域環境研究センター・特別研究員

研究者番号：10837199

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：堆積物微生物燃料電池(SMFC)がもたらす底質改善機構を解析するため、海域、河川、湖沼、公園池から採取した底泥について、閉回路(SMFCとして稼働できる状態)と開回路(通電できない状態)の比較実験を行った。その結果、SMFCでは湖沼底泥の間隙水中のリン濃度の低減効果が確認され、電気化学的影響によりリンがアノードに吸着された可能性が高いと考えられた。また、淡水系の全ての底泥で、発電能をもつメタン酸化古細菌であるMethanoperedens属がSMFCのみで優占することがわかった。すなわち、底泥中のメタンを酸化して発電(リンが溶出抑制される条件への変化)が促進された可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

富栄養湖沼などの底質改善技術として原位置処理が可能な堆積物微生物燃料電池(SMFC)を提案し、本研究により、電極(アノード)の電気化学的作用でリンが吸着されることによって、底泥からのリン溶出が抑制されるものと推察された。また、SMFCを適用した複数種の淡水系の底泥において、発電能を持つことが知られている嫌気性メタン酸化古細菌(Methanoperedens属)が優占したことから、この微生物の機能と発電や底質改善効果との関係性をより詳細に把握することで技術の効率化に繋がれると考えられた。

研究成果の概要(英文)：To investigate the sediment remediation mechanisms by sediment microbial fuel cells (SMFC), lab-scale experiments was conducted for the sediments collected from sea, river, freshwater lakes, and park ponds. Sediment pore water quality of the both closed-circuit conditions (active as SMFC) and open-circuit conditions (OC) were monitored to investigate the relationship between electron transfer and phosphorus concentration. As a result, phosphorus concentration decreased in freshwater SMFCs than that in OCs. We presumed that the phosphorus may have been electrochemically attracted on the anode in the sediments. Furthermore, Methanoperedens, an anaerobic methane oxidation archaeon capable of generating electricity dominates only in freshwater SMFCs. Suggesting that, methane in the sediment may have been oxidized to promote electricity resulting that electrochemically adsorption of phosphorus was enhanced.

研究分野：地域環境研究

キーワード：底質改善 微生物燃料電池 メカニズム解析 微生物生態

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

閉鎖性水域などの底泥からのリンの溶出は、藻類ブルーム・水質悪化の引き金となっている。一般的に浚渫や覆砂などの対処法が用いられているが、環境負荷・コストが高く効果が持続的ではないため、新たな技術オプションの開発が望まれている。

堆積物微生物燃料電池 (Sediment Microbial Fuel Cells, SMFC) は底泥中と水中にそれぞれ設置した電極を導線で接続することで電子の移動を促して発電し、底泥を酸化 (浄化) する技術であるが、発電能の評価に関する研究が殆どであり、底質改善技術としての応用については知見が乏しい。

2. 研究の目的

本研究では、SMFC の適用によるリン溶出抑制メカニズムを、物理化学的、微生物学的、電気化学的な側面から解析し、より確証高い技術として提供し、実用化に向けた開発の基礎情報とするための知見収集を目的とした。

3. 研究の方法

堆積物微生物燃料電池 (SMFC) による底質改善機構について微生物生態学的側面から評価を行うため、複数の底泥試料を対象とした比較実験 (回分浄化試験) を実施した (図1)。海域・河川・淡水湖沼・公園池から採取した複数種の底質を対象にした底質の違いによる比較と、それぞれの底質に対して SMFC として稼働している状態 (閉回路) と非通電状態 (開回路) の発電の有無による比較を行った。実験装置は底泥中に3枚の板状のアノード (電極) を並列に貫入できるようにし、そのうち2枚の中央には予め底質間隙水が採取可能なサンプリングポートを設けることで定期的な間隙水を採取できるようにした (図1)。

4. 研究成果

底質間隙水中のリン濃度は、通電開始から一ヶ月程度で閉回路と開回路に差が生じ始め、特に淡水系の底泥においては SMFC による間隙水中のリン濃度の顕著な低減が確認された (図2)。また、実験終了時 (実験開始から半年後) に底泥中の酸化還元電位をマイクロセンサーにより測定

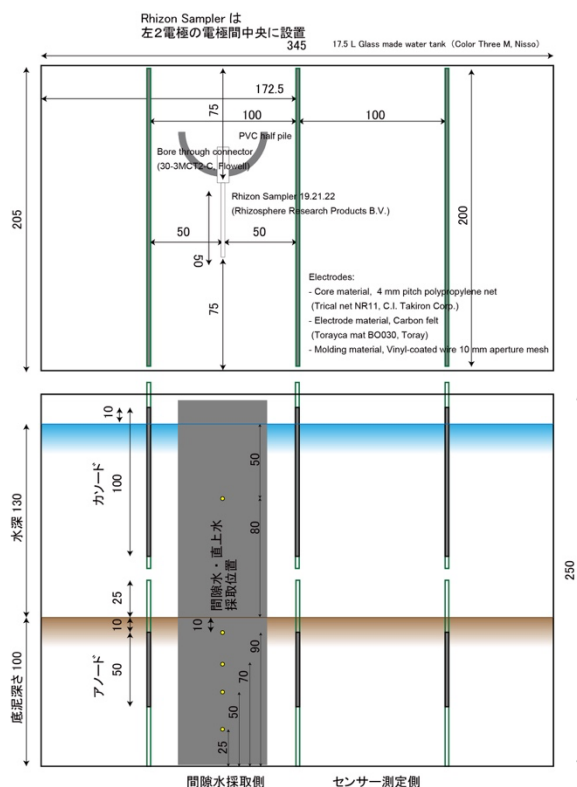


図1 実験装置

それぞれの底質に対して SMFC として稼働している状態 (閉回路) と非通電状態 (開回路) の発電の有無による比較を行った。実験装置は底泥中に3枚の板状のアノード (電極) を並列に貫入できるようにし、そのうち2枚の中央には予め底質間隙水が採取可能なサンプリングポートを設けることで定期的な間隙水を採取できるようにした (図1)。

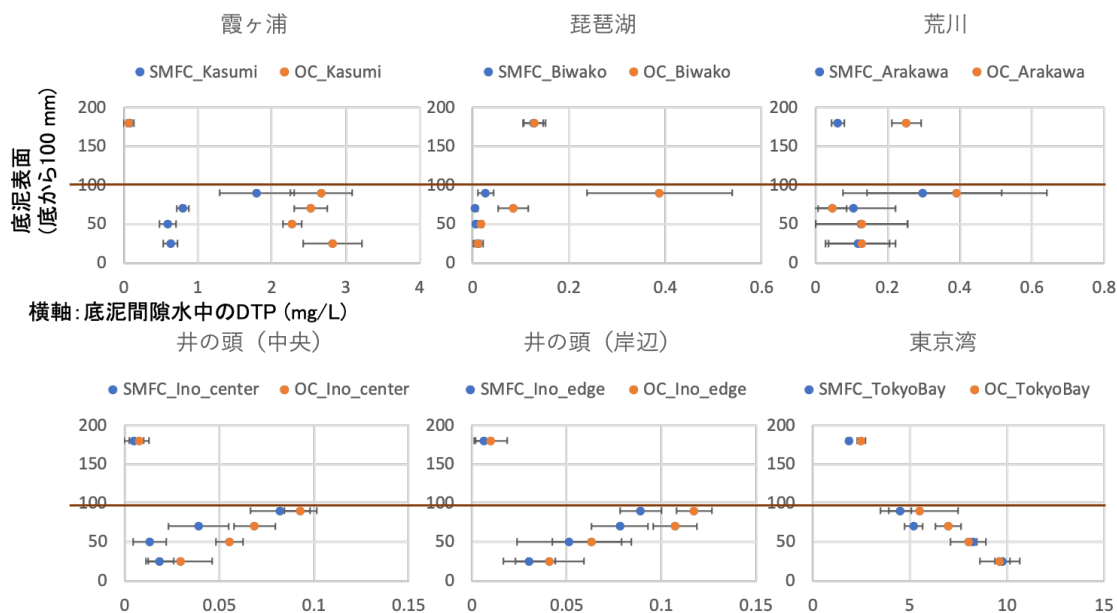


図2 直上水及び間隙水中の溶存態全リン (DTP) 濃度



図 3 実験終了時にアノードに付着した微生物の群集構造解析結果

したところ、いずれの底泥においても閉回路では開回路に比べて数十から百 mV 程度の上昇、すなわち底泥の酸化状態への移行が確認された。

実験終了後に底泥に埋設した電極材を回収し、電極近傍の微生物相を解析したところ、リンの蓄積・吸着に関わる微生物はほとんど検出されなかった。一方、発電能を持つ微生物に関しては、海域の底泥を用いた系では硫酸還元細菌に分類される *Desulfobulbus* 属が SMFC で優占することがわかった。一方、淡水系（五種）の全ての底泥では、発電能や嫌気条件下でメタン酸化能を持つことが知られている *Methanoperedens* 属が閉回路系（SMFC）のみで優占していた（図 3）。したがって、*Methanoperedens* 属は淡水域で SMFC を稼働させた場合に普遍的に顕在化する可能性が高いことが示唆された。この微生物の機能と発電や底質改善効果との関係性をより詳細に把握することで、浄化効果の促進など技術の発展に繋がれると考えられた。

回分浄化試験において底質の物理化学的特性・底泥の微生物群集構造・電極の電気化学的性質の変遷を解析した結果、SMFC では底泥間隙水中のリンがアノード（電極）の電気化学的作用により引き寄せられ吸着されることで、底泥からの溶出が抑制されるメカニズムが主である事が明らかになった (Takemura et al., 2021)。

電気化学的なメカニズムにより底泥からのリン溶出が抑制されることを発展させる、すなわち回路への電源装置の導入や電圧調整についてさらに研究することで、溶出抑制効果の改善やスタートアップ期間の短縮など、技術の効率化が期待できる。また、本研究で実施した電極の電気化学的性質を底質や水質データと関連付けて評価した研究例はこれまでになく、本評価法を SMFC のみならず他の微生物燃料電池や電気化学的環境浄化法の研究分野へと発展させることが期待できる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Takemura Yasuyuki, Syutsubo Kazuaki, Kubota Keiichi	4. 巻 1
2. 論文標題 Suppression of phosphorus release from eutrophic lake sediments by sediment microbial fuel cells	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Environmental Technology	6. 最初と最後の頁 1~9
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/09593330.2021.1890837	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Yasuyuki Takemura
2. 発表標題 Sediment microbial fuel cells (SMFC) applied for suppression of P release from the lake sediment
3. 学会等名 ISMET7: International Society for Microbial Electrochemistry and Technology Global Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasuyuki Takemura
2. 発表標題 Sediment Microbial Fuel Cells Suppressed Phosphorus Release from Eutrophic Lake Bottom
3. 学会等名 MEWE2019: 8th IWA Microbial Ecology and Water Engineering Specialist Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 底質環境改善用微生物燃料電池	発明者 珠坪一晃、竹村泰幸、山田勝弘、藤野健一	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2020-110482	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------