

令和元年6月20日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H04418

研究課題名(和文)堆積有機物を燃料として発電するヘドロ燃料電池の汎用化技術の開発

研究課題名(英文)Development of technologies for practical use of sediment microbial fuel cells

研究代表者

日比野 忠史 (HIBINO, TADASHI)

広島大学・工学研究科・准教授

研究者番号：50263736

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,300,000円

研究成果の概要(和文)：有機物が過剰堆積し水環境に問題が生じる水域での環境問題(臭気、生態系阻害等)を解決する手段として堆積汚泥を燃料とするSMFCを実用化した。有害な下水汚泥をエネルギー資源に変え、エネルギーを獲得し環境再生する本技術は人類の生活環境を劇的に改善する新しい視点からのものづくりとなる。

SMFCの弱点である狭い電子回収範囲を克服する独自の仮想面積拡大技術(集積型電極)を開発し、ヘドロ内の広範な場から高効率の電子回収を実現した。本研究で開発した集積型電極技術は、酸化還元電位の低い状態(高エネルギー状態)を作り、電子生産力の高い燃料場を形成し電子を広い範囲から高速度で獲得できる技術である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

有機物が過剰堆積し水環境に問題が生じる水域に設置したヘドロを燃料とするSMFCによって電子を広範囲から世界的に最高レベルの0.75W/m²の電力を回収できた。産業副産物である鉄鋼スラグを利用した集積型電極技術の開発は微生物燃料電池研究において実用化に至る道標となる。この技術の開発により下水処理困難な生活排水で覆われた場を発電場に変え、かつ健全な生態系場に再生することが可能となる。この技術の東南アジア等の下水処理の未熟な国への移転を考えており、劣悪な環境下での水質浄化と電力の回収を同時に可能にする技術に発展させ、世界的な環境問題、エネルギー問題の解決に貢献できる

研究成果の概要(英文)：In this study, a technique to improve water pollution such as oxygen depletion was proposed in the area where a large amount of organic matter is deposited. It is expected that sediment microbial fuel cell (SMFC) technology will be able to turn harmful sewage sludge into energy resources and contribute to improvement of living environment of mankind. A unique technology that overcomes the narrow recovery range of electrons was developed. As a result, the SMFC recovered the electrons from a wide range of organic sediment, dramatically increasing the amount of current obtained. Further, by applying a steel-slag into the SMFC, a field having a high electron productivity by a low oxidation-reduction potential was constructed, and electrons were quickly obtained from a wide range. With this technology, a current generation of 0.75 W/m² was achieved.

研究分野：沿岸環境

キーワード：電極 電子回収 電位分布 還元泥 ミネラル

1. 研究開始当初の背景

水域に堆積するヘドロ（還元状態にある有機泥）を燃料とした微生物燃料電池(MFC)を SMFC と呼ぶ。本研究で開発する SMFC は異常降雨等により増加傾向にある未処理で放流される下水等に含まれる有機物を燃料とする微生物燃料電池である。SMFC の最も優れた特徴は、生物の生息を阻害する電子をヘドロ層から取り出すことで微生物を活性化し悪化した水域の生態系の再生を加速すると同時に、回収した電力を活用できることである。微生物の活性化は、さらなる有機物の分解を促進させ、電力回収（浄化）効率を向上させる。この正のスパイラル機構の加速により「豊かな水域」の再生に貢献できる。

下水等の液状有機物（バイオ排水）を対象とした MFC の実用化は多くの研究者によって目標とされているが、実用化のレベルには進んでいないのが現状である。実用化の目途が立たないのは排水処理には先行投資が必要で、かつ維持費が高いこと、さらに、分解エネルギーの回収効率が悪く、高い電圧を取得できないこと等による。

申請者らの研究では、電極の仮想面積拡大化を開発したことで、ヘドロ内の広範囲な場からの電子回収効率の向上を実現している。この技術により研究開始時においても白色 LED の点灯（SMFC 単独で世界でもトップレベルの 0.35V、63mA の回収）を実現していた。

2. 研究の目的

健全な水環境を維持していく役割は海域に住む生物が担っており、健全性が失われた生態系を再生する技術によって「豊かな水域」は実現される。健全性が失われる主要因は有機物が多量に沿岸域に停滞することである。未処理下水の放流は下水道が整備されていない地域のみならず、合流式下水道において顕著であり、都市化の進んだ沿岸域においても想像を越える量の未処理放流が行なわれている。一方、下水処理に費やす電力は全国で消費される電力の約 0.7%、下水汚泥は全産業廃棄物の 2~3 割を占めている。深刻な問題は多量の下水が未処理のまま沿岸域に放出されると生態系が崩壊していくこと、処理できない全ての下水を人意的に処理するには莫大な費用が必要となることである。

本研究では有機物の停滞を抑制し、循環を促進させる能力を持つ微生物燃料電池「ヘドロ燃料電池（SMFC）」を汎用レベルまで高めることを行う。有機物が過剰に堆積しヘドロ化した底泥に SMFC を適用させ、広範囲に効率よく、かつ早期にヘドロを分解させる生物と共存できる沿岸域を創生することが目的である。

3. 研究の方法

本研究では、従来、連続体で作成されている電極を集合体として作成することで電子の回量を画的に向上させる。電極を集合体により容易に広範囲にわたる電極面積が得られ電子伝達経路の拡大が可能になる。この集合体化技術により、太陽電池と同規模の電子の回収を実現する。本研究計画では広範囲な規模での電力回収能力を向上させるため個々の電極に形成される微生物反応に着目しつつ、微生物や電子伝達物質によって形成されたと考えられる電子伝達経路を起電圧分布として可視化することによって電子回収能力を把握していく。本手法を用いて、多くの疑問が残っている有機物の分解～電子伝達機構を明らかにして、これまで不可能とされてきた範囲からの電子回収を実現する。図-1 に示す①電子、水素イオンの生産できる有機物の集積、②より広い規模のアノード電極（負極）への電子の集積、③泥層から水層への水素イオンの輸送、④カソード電極（正極）での電子の消費の各々の速度を向上させること、⑤高効率の電極開発、さらに⑥昇圧、蓄電の高速化と実用性の高い電極の設置法が必要になる。①～⑤は広い浄化範囲と高い電流密度を得る（過電圧の減少）ために各部分の機能促進機構を理論的に構築する、⑥は実用化、汎用化のために発電と蓄電を備えた回路を作成し、現地において凡用的な浄化範囲と電力を確保できる装置に発展させる。本研究は SMFC 性能を向上させる課題(1)と SMFC の応用として課題(2)を行った。

(1)浄化（電子回収）範囲拡大のための基本技術開発

伝導性の高い造粒物を作成することによりこれまでにない電極（無限に拡大可能）を開発する。開発に向けて以下の実験 I、II を行った。この際実験の精度を向上するため電子（ORP）と水素イオン（pH）の動きをとらえる測定法を実用化する。

[実験 I] 閉じた系内での電子回収

実験では、鉄鋼スラグ内にアノード電極（0.18 m²）を固定装着された円筒容器（φ0.3 m×高さ 0.3 m）を海底に設置した。装置設置

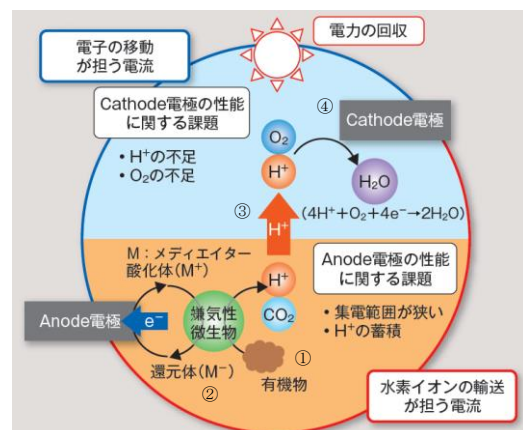


図-1 SMFC での電子と水素イオンの流れと性能に関する課題

から 10 日後に電子回収を開始した。実験 I では鉄鋼スラグ層、SMFC の効用を明らかにするため、4 ケースのアノード層を作成した。

[実験II] 開いた系での電子回収 (地点II)

鉄鋼スラグ散布区に SMFC を設置した。アノード電極 (0.09 m^2) $\times 9$ 個は杭により鉄鋼スラグ層上に固定された。設置後通電 (外部抵抗 $1.0 \ \Omega$) が開始され電流値とアノード電位が測定された。アノード電極の並列接続による電流効率について検討した。さらに、設置後に容器内の底面上 7.5 cm と 22.5 cm から濁水が採取された。採取水のイオン分析を行ない、鉄鋼スラグ、SMFC による底質 (沈降泥) の変化を検討した。

(2)現地で継続的に稼働する SMFC

へドロ燃料発電システムの技術移転 (汎用化) を可能にする本研究期間での具体的な目標として、河川、干潟、沿岸域に堆積するへドロから有機物分解時に生成される電子を高速かつ広範に回収して生物の棲息を可能にすることによって生態系を再生 (へドロ浄化) する堆積泥浄化システムを構築した。

4. 研究成果

(1)範囲拡大のための電極技術の開発

鉄鋼スラグ上に有機泥が堆積する量が増すことにより SMFC 性能が向上する。さらに、鉄鋼スラグに有機泥が混合された場合には 30 mW/m^2 を超える電力が獲得できた。

鉄鋼スラグ層に有機泥が混入すると、鉄が溶解し電子が生産される環境が整う。電子がアノード層から回収されれば、正電位を持つ物質もカソード層に拡散する。この拡散が電極方向に電位勾配を形成させる。鉄鋼スラグが存在する場では電極周辺の数 cm の範囲を越えて 1 m 程度の広い範囲で ORP を上昇させることができる。広い範囲で ORP が上昇するのは電極から十分に離れた場にある ED (H_2S , Fe^{2+} 等) が電位勾配により電極方向に拡散していくためである。

(2)実用化のための現地実験

(a) 集積型電極の開発 (実験 I)

SMFC (堆積泥を燃料とする微生物燃料電池) で電位が正にあるのは水層からの酸素供給または、電子回収によって酸化が進行するためである。SS-SMFC (鉄鋼スラグ混合泥を燃料とする微生物燃料電池) では全てのカソード電極条件下において SMFC よりも高い電流が回収されているが、SS-SMFC でのアノード電位 (V_{as}) は SMFC でのアノード電位 (V_a) よりも低い状態にある。 V_{as} が鉄溶解の反応電位よりも高い電位になるのは、溶出電子が電極を通じて E^0 の高い電子伝達物質に受容され鉄溶解の平衡状態が崩れる (電子伝達量が電子生産量を上回る) ためである。SS-SMFC (ケース2) では2年間に $1,000,000$ クロウンの電子が回収されている。オリジナルの鉄鋼スラグと比較すると SS-SMFC によって鉄鋼スラグが溶解したことがわかる。

V_a (泥層電位) と V_{as} (スラグ泥層電位) が同期する短周期の変動はカソード電極の性能低下 (水層での DO 低下) が主な原因である。泥層では 450 日頃から水層が貧酸素化し (泥層と電位差が生じて) 電子が電極に渡される (回収される) が、電子回収量が電子生産量よりも少ないため、泥層電位は低下している。スラグ泥層においても泥層に同期した周期の電位低下はあるが、 V_a に現れる長周期の低下は現れていない。

スラグ泥層ではカソード電極の交換により電子の回収量 (電流量) の増加はあるが、電位の上昇として現れていない。カソード電極を増強した 580 日頃からはスラグ泥層電位が正值 (泥層電位) まで上昇している。スラグ泥層電位は泥層電位と同等の電位幅で変動しているが、回収電流はスラグ泥層では泥層の約 7 倍ある。この電流と電位の関係はスラグ泥層では泥層の約 7 倍の電子が生産されていることを示している。スラグ泥層でカソード電極性能が律則とならなければ (生産された電子が効率的に消費されれば)、スラグ泥層で生産された電子が回収され、泥層と同様にアノード層電位を正值まで上昇した。

(b) 現地における発電場の構築 (実験 II)

図-2 にはアノード面積を固定し、カソード面積を変化させて得られた 6 ケースでの獲得電流密度が示されている。図には並列させる杭型アノード電極面積を $0.09 \sim 0.81 \text{ m}^2$ まで変化させた 5 ケースと面積 1 m^2 の平面型アノード電極 1 枚のケースが示されている。カソード電極面積、またはアノード電極面積の拡大により電流値は増大するが、アノード電極面積・カソード電極面積の拡大に応じた増加はないことがわかる。この現象はカソード電極性能が律速となっている (面積あたりに回収された電子を消費できない) こと、複数のアノード電極の接続により電流損失が生じることを表している。

設置当初にはアノード電位は正值を示すが、 50 mA を越える電流が獲得できている。獲得電流量は経時的に増加し最大で 170 mA を獲得できている。なお、設置後 30 日、 40 日付近での電流量の低下は下水放流により表層水に十分な酸素がなく、カソード電極での電子消費されていないためである。実験 I と比較すると 4 倍以上の電流が獲得できており、開いた系では堆積有機泥からより多くの電子が生産されるとともに、広範な場から電子が回収されている。

アノード電位と電流の高周波変動はよく対応しており、電子回収によりアノード電位が上昇する SMFC の特性が現れている。ただし、 10 日程度の周期の変動では逆の応答も現れている。

設置当初（10日頃まで）はアノード電位の低下時に電流量が増加している。電極がアノード層になじむには十分時間が必要であり、10日頃までは十分に電子回収ができていないため、アノード電位が低下している。また、30日頃からの電流量の増加期間にアノード電位の上昇が現れていない。30日以前には下水放流があり、SMFCの燃料（有機泥）が補給されたと考えられる。この結果、30日以降に獲得電流が増加しており、アノード電位の低下が抑えられている。アノード電位は有機物の供給、分解と電子の回収量に依存しており、獲得電流量、アノード電位を測定することにより有機物の堆積状態を推定できる。実験Ⅱでは0.18m²の電極により0.6V、170mAの電流を回収できている。この電流量は約1A/m²（0.6W/m²）であり、実用化が期待できる電流量である。鉄鋼スラグはこれまで実用化の可能性が低いとされてきたMFCの可能性を見い出せる材料であることが確認できた。

(3)低電位条件下での有機物分解

電子回収後の有機泥では水和水（250℃程度までの蒸発水）、水酸化物（250℃以上の蒸発水）の増加が顕著である。泥層からの電子回収により金属錯体（有機物）から金属イオンが分離することは既存の実験により明らかにされている。水和水の増加は分離した金属イオンへの水和水の吸着や水酸化物の形成によると考えられる。図-3には有機物融解前後でのFTIRの分布結果が示されている。有機物の融解によりピークの減少（水酸基の大幅な減少）があり、電子回収により金属イオンの分離が促進されることがFTIRによっても検証された。さらに、SS-SMFCによる水和水の増加もFTIR、DTA分析により検証できており、低電位条件下での有機物分解の分析法が見い出された。

(4)浄化システムの構築と現地での汎用化実験

ヘドロの堆積により深刻な状態にある①養殖場を早期に回復させる手段と②持続的に良好な海底環境を改善する手段の2つを同時平行的に実施するために養殖場の再生試験を実施した。2016年に7~9割であった養殖カキの斃死率を2018年には3割以下に低減できた。さらに、貧酸素対策としてSMFCで生産した電力によりLEDの点灯→藻類の育成→酸素の生産を実現するLEDシステムを完成させ、貧酸素状態の緩和を実現した。

5. 主な発表論文等

（〔雑誌論文〕計38件）

- (1) Narong Touch, Satoshi Yamaji, Kentaro Nagama, Tomofumi Miyatsu, Tadashi Hibino : Improvement of Sediment and Water Quality with Solar Cell-Combined Sediment Microbial Fuel Cells in Oyster Farms, International Journal of Environmental Protection, 査読有, Vol. 8, No. 1, 2018, pp.32-37.
- (2) Narong Touch, Satoshi Yamaji, Kaichi Nishimura, Yusuke Sunada, Tadashi Hibino : Remediation of Sediment Deposited near Sewage Outlet with Solar Cell-Combined Sediment Microbial Fuel Cells, International Journal of Environmental Protection, 査読有, Vol. 8 No. 1, 2018, pp.18-24.
- (3) Yuki Morimoto, Narong Touch, Manaka Okabe, and Tadashi Hibino : Dissolution characteristics of granulated coal ash in different saline water conditions, Chemical Engineering Communications, 査読有, 2018, pp.535-540, 2018. DOI: 10.1080/00986445.2018.1506769.
- (4) Y. Morimoto, N. Touch, T. Miyatsu, and T Hibino: Improvement in benthic habitat environment via granulated coal ash in a water body exposed to wastewater discharge, International Journal of Environmental Science and Technology, 査読有, 2018, DOI: 10.1007/s13762-018-1994-2
- (5) Takehiko Fukushima, Masako Okabe, Tadashi Hibino, Narong Touch and Kenji Nakamoto : Suppression of nutrient release from freshwater lake sediments using granulated coal ash, Water Science & Technology: Water Supply, 査読有, Vol.18, issue 5, 2018, pp.1810-1824.
- (6) 中下慎也, 鈴木貴博, TOUCH NARONG, 且比野忠史 : 堆積泥を対象とした過酸化水素処理によって分解される有機物の特性, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 査読有, Vol. 74, No. 2,

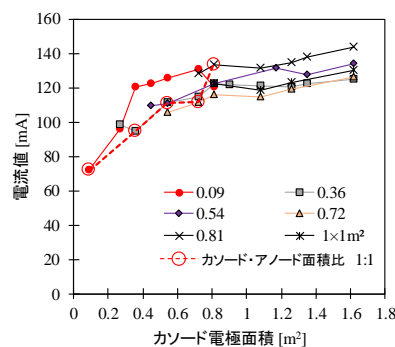


図-2 並列接続による電流値測定

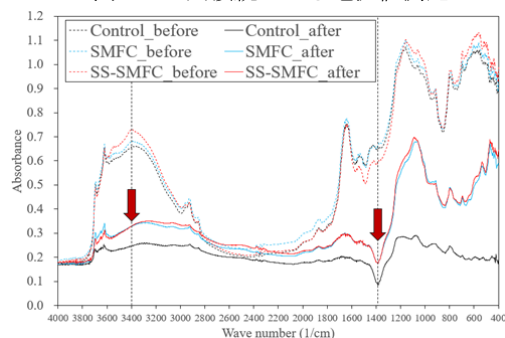


図-3 SS-SMFC、SMFC での有機泥の FTIR 分析結果の比較

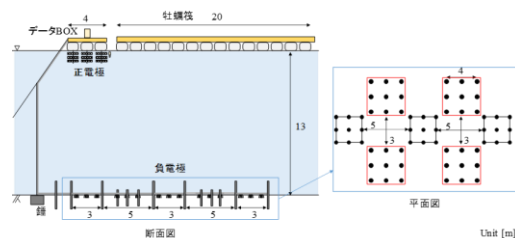


図-4 カキ筏下（自家汚染場）への SMFC システムの設置

2018, pp.1171-1176.

- (7)柿沼太貴, 野原秀彰, 日比野忠史, 山田 正: 未処理下水が流入する都市感潮河川における水・底質改善手法の検討, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 査読有, Vol. 74, No. 2, 2018, pp.1483-1488.
- (8)三戸勇吾, 遠藤敏雄, 家島 修, 化生順一郎, 萩野裕朗, 菅野孝則, 栗栖一之, 中本健二, 中村由行, 日比野忠史, 岡田智也: 再生資源の干潟基盤材への適用と生態系機能の定量的評価, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 査読有, Vol. 74, No. 2, 2018, pp.1297-1302.
- (9)鈴木貴博, 樋森祐介, 日比野忠史, 中下慎也: 底泥に吸着する陽イオンや溶液中のイオンが泥の堆積特性に及ぼす影響, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 査読有, Vol. 74, No. 2, 2018, pp.1177-1182.
- (10)野原秀彰, 及川隆仁, 中本健二, 日比野忠史: 感潮水路に散布された石炭灰造粒物による水底質改善効果の検証, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 査読有, Vol. 74, No. 2, 2018, pp.1477-1482.
- (11)永間健太郎, 山地智司, 宮津智文, TOUCH NARONG, 日比野忠史: 電位測定による貧酸素化形成過程の把握と実用性の検討, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 査読有, Vol. 74, No. 2, 2018, pp.1189-1194.
- (12)西村海知, 山地智司, TOUCH NARONG, 日比野忠史: 鉄鋼スラグ混合泥を燃料とした微生物燃料電池の実用的な発電性能, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 査読有, Vol. 74, No. 2, 2018, pp.1183-1188.
- (13)山地智司, 西村海知, TOUCH NARONG, 日比野忠史: アルカリ剤層内に堆積した有機泥の分解機構, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 査読有, Vol. 74, No. 2, 2018, pp.1195-1200.
- (14)中下慎也, Narong TOUCH, 日比野忠史: 不圧地下水位と太田川市内派川水質の連動特性, 土木学会論文集 B1 (水工学), 査読有, Vol.74, No.5, 2018, pp. I-331 - I-336.
- (15)岡部麻菜香, John Andrew A. Tiria, 高田大貴, Augustus C. Resurreccion, 日比野忠史: 比国パシグ川水路における水質浄化構造体の設計と構築, 土木学会論文集 B1 (水工学), 査読有, Vol.74, No.5, 2018, pp.547-552.
- (16)岡部麻菜香, TOUCH NARONG, 日比野忠史: 竹炭混合した石炭灰造粒物の栄養塩類除去効果, 第 29 回廃棄物資源循環学会研究発表会講演集, 査読無, 2018, pp.193-194.
- (17)TOUCH NARONG, 永間健太郎, 岡部麻菜香, 日比野忠史: 微生物燃料電池技術で処理した堆積泥の農業土壌有機成分への転用可能性, 第 29 回廃棄物資源循環学会研究発表会講演集, 査読無, 2018, pp.237-238.
- (18)Shinya Nakashita, Heeun Woo, Kyeongmin Kim, Kyunghoi Kim, In-Cheol Lee, Dong-Sun Kim, and Tadashi Hibino: Influence of Kuroshio Path on Salinity Distribution in Seto Inland Sea, Journal of Coastal Research, Special Issue No.85, 査読有, 2018, pp.21-25.
- (19)Narong Touch, Tadashi Hibino, Satoshi Yamaji & Hiroki Takata: Nutrient salt removal by steel-making slag in sediment microbial fuel cells, Environmental Technology, 査読有, Vol 39, 2018-Issue 9, pp.1-7
- (20)Touch, N., Hibino, T., Kinjo, N., and Morimoto, Y.: Exploratory study on improving the benthic environment in sediment by sediment microbial fuel cells. International Journal of Environmental Science and Technology, 査読有, 2018, vol. 15, issue 3, pp. 507-512.
- (21)Narong Touch, Hiroki Takata, Satoshi Yamaji, and Tadashi Hibino, Changing Organic Matter Characteristics of Littoral Sediment by Solar Cell-Combined Sediment Microbial Fuel Cell, *International Journal of Environmental Science and Development*, 査読有, vol. 9, no. 3, 2018, pp. 62-66.
- (22)山地智司, 高田大貴, TOUCH NARONG, 日比野忠史: 土壌改善材料としての石炭灰造粒物 - 竹粉混合材料の特性, 第 28 回廃棄物資源循環学会研究発表会講演集, 査読無, 2017, pp.193-194.
- (23)TOUCH NARONG, 高田大貴, 山地智司, 日比野忠史: 太陽電池を利用した微生物燃料電池技術の適用による堆積泥有機組成の変化, 廃棄物資源循環学会研究発表会講演集, 28 巻, 査読無, 2017, pp.235-236.
- (24)Yao Xiong, Tomonori Kindaichi, Noriatsu Ozaki, Akiyoshi Ohashi: Enrichment of comammox Nitrospira using ammonia nitrogen and hydroxylamine, International Conference on Civil and Environmental Engineering ICCEE 2018, 査読無, 2018 (CD) .
- (25)Ryota Takenaka, Yoshiteru Aoi, Noriatsu Ozaki, Akiyoshi Ohashi, Tomonori Kindaichi: Investigation of growth conditions of Candidatus Saccharibacteria in activated sludge, 日本微生物生態学会第 32 回大会, 査読無, 2018, P2-080.
- (26)竹中 亮太, 尾崎 則篤, 大橋 晶良, 金田一 智規: 活性汚泥内の Candidatus Saccharibacteria の集積培養の試み, 第 52 回日本水環境学会年会, 査読無, 2018, 1-J-15-4.
- (27)Narong Touch, Tadashi Hibino, Shinya Nakashita, Kenji Nakamoto: Variation in properties of the sediment following electrokinetic treatments, Environmental Technology, 査読有, Vol.38, 2017,

- pp.277-284.
- (28) Narong Touch, Tadashi Hibino, Yuki Morimoto, Nobutaka Kinjo: Relaxing the formation of hypoxic bottom water with sediment microbial fuel cells, *Environmental Technology*, 査読有, Vol.23, 2017, pp.3016-3025.
DOI:10.1080/09593330.2017.1285965
- (29) Narong Touch, Satoshi Yamaji, Hiroki Takata, Tadashi Hibino: Solar cell-combined sediment microbial fuel cell for preserving sediment and water environments, *International Journal of Environmental Protection*, 査読有, Vol.23, 2017, pp.37-45.
DOI: 10.5963/IJEP0701004
- (30) 日比野忠史, 中本健二, 宮田康人, 三戸勇吾: 下水系土壌が堆積する内港の干潟域における底生動植物の初期再生過程, *土木学会論文集 B3 (海洋開発)*, 査読有, Vol.73, 2017, pp.642-647.
- (31) 高田大貴, 森本優希, TIUCH NARONG, 中下慎也, 日比野忠史: 沿岸域の堆積泥を対象とした示差熱分析手法の確立, *土木学会論文集 B2 (海岸工学)*, 査読有, Vol.73, 2017, pp.1201-1206.
- (32) Ryota Takenaka, Tomonori Kindaichi, Yoshiteru Aoi, Noriatsu Ozaki, Akiyoshi Ohashi: Validation of the specificity of primers targeting *Candidatus Saccharibacteria (TM7)* in activated sludge, *International Conference on Civil and Environmental Engineering ICCEE 2017*, 査読無, 2017, pp.179-180.
- (33) 山地智司, 高田大貴, TOUCH NARONG, 日比野忠史: 土壌改善材料としての石炭灰造粒物-竹粉混合材料の特性, 第 28 回廃棄物資源循環学会研究発表会講演集, 査読無, 2017, pp.193-194.
- (34) TOUCH NARONG, 高田大貴, 山地智司, 日比野忠史: 太陽電池を利用した微生物燃料電池技術の適用による堆積泥有機組成の変化, *廃棄物資源循環学会研究発表会講演集*, 査読無, 28 巻, 2016, pp. 235-236.
- (35) 日比野忠史, 金城信隆, TOUCH NARONG: 鉄鋼スラグを用いた下水系土壌の有機物分解促進法の検討, *土木学会論文集 B3 (海洋開発)*, 査読有, Vol.72, 2016, pp.946-951.
DOI: https://doi.org/10.2208/jscejoe.72.I_946
- (36) TOUCH NARONG, 金城信隆, 日比野忠史, 中本健二: 堆積泥を燃料とする微生物燃料電池における石炭灰造粒物の有効利用, *土木学会論文集 B2 (海岸工学)*, 査読有, Vol.72, 2016, pp.1327-133.
DOI: https://doi.org/10.2208/kaigan.72.I_1327
- (37) 金城信隆, TOUCH NARONG, 日比野忠史: 鉄鋼スラグ混合泥における微生物燃料電池の効用, *土木学会論文集 B2 (海岸工学)*, 査読有, Vol.72, 2016, pp.1333-1338.
DOI: https://doi.org/10.2208/kaigan.72.I_1338
- (38) 金城信隆, 馬渡 聡, NASRODEN PAGAYAO, TOUCH NARONG, 日比野忠史: 感潮河川に適用した微生物燃料電池における過電圧の低減方法の提案, *土木学会論文集 B2 (海岸工学)*, 査読有, Vol.72, 2016p, p.1333-1338.
[学会発表] (計 2 件)
- (1) 日比野忠史, 野原 秀彰: 石炭灰造粒物が汚水を浄化するメカニズム-灰の循環が豊かな環境を再生する, 第 73 回年次学術講演会概要集, 査読無, 2018 (CD) .
- (2) 野原秀彰, 及川隆仁, 中本健二, 日比野忠史: 石炭灰造粒物 (リサイクル材) の活用技術について, 第 70 回土木学会中国支部研究発表概要集, 査読無, 2018 (CD) .

6. 研究組織

(1) 研究分担者

金田一知規 (KINDAICHI TOMONORI)
広島大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号: 10379901

(2) 研究分担者

トウ ナロン (TOUCH NARONG)
広島大学・大学院工学研究科・特任助教
研究者番号: 50707247

(3) 研究分担者

中下 慎也 (NAKASHITA SHINYA)
広島大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号: 90613034