

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 11 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01437

研究課題名（和文）底泥有機物の電気化学特性の測定法、解析法の確立と底泥の燃料としての活用

研究課題名（英文）Establishment of methods for the measurement and analysis of electrochemical properties in organic matter of benthic sediment, and the utilization of benthic sediment as fuel

研究代表者

日比野 忠史 (Hibino, Tadashi)

広島大学・先進理工系科学研究科(工)・准教授

研究者番号：50263736

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,100,000円

研究成果の概要（和文）：底泥が持つ莫大なエネルギーを電力に転換する過程を高速化する機構を産業廃棄物である鉄鋼スラグにより開発した。SMFCにより底泥エネルギーの電力への高速転換研究では、底泥有機物の電気化学特性の測定法を確立し、底泥有機物の半導体特性を確認した。底泥有機物の通電特性は金属イオン、土粒子等の無機物との混合層での電界の形成、電子移動による電位分布の変動を測定することで確認した。拡散した汚泥を燃料とするSMFCの弱点である狭い電子回収範囲を、鉄鋼スラグを補助燃料とすることで、画期的に拡大できている。この結果、世界最高水準の電力を獲得できる本SMFCは国内外の他技術に勝る電力を獲得した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

底泥を燃料とするSMFCの弱点である電子回収効率を画期的に向上させるため、鉄鋼スラグにより底泥有機物を活性化させる手法を開発し、電子の生産能力を格段に向上させた。提案する電極技術は鉄鋼スラグに含まれる鉄を利用して下水処理困難な生活排水で覆われた場を広範な水素生産場に変え、かつ健全な生態系場に再生してCO<sub>2</sub>の固定に貢献できる等、社会への経済的効果が大きく期待される。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も可能であり、劣悪な環境下での生態系再生、水素生産、さらにCO<sub>2</sub>を多量に固定する技術に発展させれば、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）：A mechanism has been developed to facilitate the conversion of immense energy stored in benthic sediments into electricity using by-products such as steel slag. In the study of rapid conversion of benthic sediment energy to electricity via SMFCs, a method to measure the electrochemical properties was established, and semiconductor properties were confirmed in the organic matter of the benthic sediment. The conductivity properties of the organic matter in the bottom sediment were verified by measuring the formation of electric fields and the variation in potential distribution caused by electron transfer in the benthic sediment layer mixed with metal ions, soil particles, and other inorganic matter. The limited electron recovery range, which is a weakness of SMFCs using diffused sludge, was significantly expanded by utilizing steel slag as an auxiliary fuel. Consequently, this SMFC achieved the ability to generate the world's highest level of electrical energy.

研究分野：沿岸環境

キーワード：鉄鋼スラグ 燃料電池 CO<sub>2</sub>固定 CO<sub>2</sub>変換水素 ブルーカーボン カーボンネガティブ 水素生産

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

底泥が持つ莫大なエネルギーを電力に転換する過程を高速化する鉄鋼スラグの活用機構を開発した。微生物燃料電池 SMFC により底泥エネルギーの電力への高速転換研究では、底泥有機物の電気化学特性の測定法を確立し、底泥有機物の半導体特性を確認した。底泥有機物の通電（半導体）特性は金属イオン、土粒子等の無機物との混合層での電界の形成、電子移動による電位分布の変動を測定することで確認した。拡散した汚泥を燃料とする SMFC の弱点である狭い電子回収範囲を、鉄鋼スラグを補助燃料とすることで、画期的に拡大できている。この結果、世界最高水準の電力を獲得できる本 SMFC は国内外の他技術に決定的に勝っている。SMFC に勝る MFC の発電できる電力は 0.3V, 0.05A/m<sup>2</sup> 程度が世界のレベルであるが、鉄鋼スラグを補助燃料とする本 SMFC では、世界レベルをはるかに超える高い電力 (0.6 V, 2.0 A/m<sup>2</sup>, 1.2 W/m<sup>2</sup>) を獲得した。

(1) SMFC は水質汚濁の原因である底泥 (Sediment) を燃料として発電する微生物燃料電池 (Microbial Fuel Cells) である。本研究で開発された SS-SMFC は鉄鋼スラグ (Steal Slag) を底泥に混合させて、底泥の持つ電位 (-0.2 V) に勝る -0.6 V の電位 (高エネルギー準位) の獲得に成功している。この電位は鉄の溶解電位 (-0.44 V) を利用して、光合成におけるフェオフィチンの電子受容電位 (-0.6 V) を実現させたものである。SMFC を強力な電子受容体として鉄鋼スラグに機能させると、少量残留する鉄が溶解して底泥の高エネルギー状態 (低電位) を形成する。この低電位状態が底泥内に存在するフェオフィチン、腐植有機物を電子受容体 (EA) として機能させると考えている。

(2) 底泥有機物は 300 °C までに燃焼する易燃焼性 (アミノ酸、脂肪酸等) と 450 °C までに燃焼する難燃焼性 (腐植物質、フェオフィチン等) の 2 つの有機物種に大分できる。易燃焼性有機物は低いエネルギー準位 (0.3 V 以上の高い電位) を形成することが確認できている。易燃焼性有機物により作る低いエネルギー準位の難燃焼性有機物を作る高いエネルギー準位を利用して、1.2 V を越える電圧場の構築が実現できる可能性が高い。

### 2. 研究の目的

(1) 本研究では底泥が持つ莫大なエネルギーを電力に転換する過程を高速化する機構 (主に電極構造) を開発することを目的としている。SMFC により底泥エネルギーの電力への高速転換研究では、底泥有機物の電気化学特性の測定法、解析法の確立と、底泥有機物の活用が必須目標である。このため、底泥有機物の通電 (半導体) 特性、静電付着力等の解析の基本となる金属イオン、土粒子等の無機物と有機物との相互作用を測定する技術を確認するとともに、電子伝達に関わる有機物反応を利用した新しいタイプの電子伝達システムを開発する。

(2) 底泥を構成する有機物種の持つ電気化学反応を測定し、物理化学特性を分析する電極技術を確認すること、有機物を活用した新しい機構の高性能電極を開発することが第 2 の目的である。底泥に対する電極電位～電流応答解析、示唆熱分析 (熱減量、熱容量差) や元素分析を実施して有機物自身、および鉄イオンとの錯体形成過程での酸化還元反応、熱分解反応を推定する。現地において連続的に測定される ORP は、有機物による酸化還元反応 (電子の受授電位) の指標である。電極開発過程で得られる知見から SMFC の性能を向上させるとともに、底泥の巻き上げ現象等を再現できる静電気を考慮した底泥挙動をモデル化する。

### 3. 研究の方法

本研究では(1)底泥に含まれる有機物の電気化学特性の測定・分析、(2)底泥有機物の電子伝達体としての活用方法を確立するため、底泥に含まれる燃焼特性の異なる有機物の化学的物物理的特性を明らかにして、その活用法を開発する。有機物の新しい活用法として、(3)底泥測定にも利用可能な SMFC 電極の開発を行う。

#### (1) 底泥に含まれる有機物の電気化学的特性の測定・分析

##### ①有機物の燃焼温度と電子伝達機構の関係把握

熱燃焼温度は原子間の結合エネルギーを示すことから底泥に含まれる有機物を燃焼特性によって大まかに理解することができる。これまでに易燃焼性と難燃焼性有機物は各々異なる電気化学的 (電子伝達) 特性を有することがわかってきた。有機物を熱処理、電圧-電流試験を実施して燃焼温度の異なる有機物種が持つ電子伝達を測定する。

##### ②電極技術を利用した有機物種解析法の確立

鉄鋼スラグを副燃料として有機物の反応電位を測定する電極技術を開発している。この電極技術は SMFC のアノード電極として開発されたものであるが、電位測定センサーとしての利用が可能である。底泥に含まれる有機物量 (C, H, N, S, O の原素量, 有機, 無機炭素量: DOC, DIC), 有機物組成 (示唆熱: 熱減量と反応熱量, FTIR: 赤外分光密度量) および本電極を用いて測定する底泥の電気化学量 (ゼータ電位, CV 波形) の各々の関係を分析する。

### ③高い反応電位を有する有機物の探索

易燃性有機物、FeS化合物等、鉄を含む有機物の鉄還元菌による還元電位は、O<sub>2</sub>による電子消費電位に代わる可能性がある。Feは電荷移動の中心となる物質であり、Sや有機リガンドとの錯体形成過程を推定することにより、底泥の電子伝達物質としての利用につながる。本研究では熱や酸、塩基により抽出した有機化合物のCV波形により酸化還元反応を探究し、電極に利用できる底泥有機物を探索する。

## (2) 底泥有機物の電子伝達体としての活用

### ④低電位泥場での底泥有機物を活用した電子伝達場の構築

鉄鋼スラグと難燃性有機泥（フェオフィチン、腐植有機物等）の混合により-0.6Vの電位を獲得できている。この電位は泥の溶解電位（-0.2V, pH=7）よりも十分に低く、泥層に形成される強い電場では有機物分解が促進し電子の生産と電荷の移動が加速される。

### ⑤底泥有機物の化学性状と物理挙動との関係把握

①、②による底泥の物性解析と電気化学量に合わせて、底泥の物理特性（粘度、せん断応力）を測定して物理挙動を表わす化学物理パラメータと底泥の挙動モデルを提案する。この際、電場の強さ、電子伝達距離等の電気化学特性と物理特性との関係を定式化する。

## (3) 底泥測定にも利用可能な SMFC 電極の開発

### ⑥高い反応電位を持つ有機物を活用したカソード電極の開発

通常、SMFCではO<sub>2</sub>+4H<sup>+</sup>+4e<sup>-</sup>→2H<sub>2</sub>O (E<sup>0</sup>=0.8V at pH 7)を利用して電子消費するが、自然水である種々のイオンのため、0.3V程度までの水層電位に制限される。本研究では海底へのカソード電極設置を可能にする溶存酸素(DO)量に依存しない易燃性有機物の電子伝達反応を利用した高い電位を獲得するカソード電極を開発する。

### ⑦電極技術を利用した底質電位測定センサーの開発

波・流れ等の自然擾乱によって変化する底泥の分散、吸着状態を促えるための電極をSMFC電極の特性を利用して開発する。高いエネルギー準位を有するカソード電極材料はイオンの電位測定に適している等、SMFCに用いられる電極技術は水域で起こる水、底質間で起こる様々な現象を検討するための水質測定電極が開発される。

## 4. 研究成果

### 4.1 海底泥のせん断応力を評価する電位測定法に関する基礎的研究<sup>1)</sup>

#### (1) 底泥の河床からの離脱過程のモデル

質量 $m$ の底泥粒子には、抗力 $D$ と粘性抵抗力 $R_v$ が作用し、粒子が動き始めて巻き上がるまで（ $B$ り運動期間）の流れ方向の加速度 $dv/dt$ を用いて運動方程式は次式で与えられる。

$$m \frac{dv}{dt} - D + R_v = 0 \quad (1)$$

粘着性粒子が詰め込まれた状態にある底泥では、粒子が動き始めるまでの巻き上がりを判定するため、粒子の持つ粘度（静電気力）を底面せん断応力として評価する必要がある。底泥は懸濁物質(SS)の沈降や海水の流出入により、底泥粒子の間隔は変動する（圧密や浮遊）が、底泥粒子が離脱するまでは流体ではなく固体として振るまう。(1)式では底泥粒子の脱離時の抵抗力 $R_v$ は土粒子の堆積状態に依存しており、底泥の動きを精度よく再現するためには時々刻々変化する底泥のせん断応力 $\tau_c$ を測定する手法が必要である。

#### (2) 静電気力を考慮した粘性抵抗力の考え方

複数の粒子が堆積して表面を形成している場合には、表面電位を持った複数の粒子の重なりとして静電気力（表面張力）を考慮する。したがって、巻き上がりは個々の粒子の離脱と考えるよりも、粒子の塊の剥離として扱うのが現実的である。

底泥粒子まわりの単位面積当たりのポテンシャルエネルギー $U$ は静電反発力によるエネルギー $U_e$ と分子間力によるエネルギー $U_v$ の和(DLVO理論)であり(2)式で表わされる。 $U_e$ は粒子間の静電相互作用(クーロン力)、 $U_v$ は粒子の表面張力(ファンデルワールス引力)による相互作用エネルギーを表している。

$$U = U_e + U_v = \frac{64k_B T v_\infty \gamma^2}{\kappa} \exp(-\kappa L) - \frac{\alpha}{12\pi\sigma^2} \quad (2)$$

ここで、 $k_B$ はボルツマン定数[J/K]、 $v_\infty$ は溶液の全イオン濃度[mol/l]、 $T$ は絶対温度[K]、 $\gamma$ は表面張力[N/m]、 $\kappa$ はデバイ長の逆数[1/m]、 $\alpha$ はハマカー定数[J]、 $L$ は粒子(平板)間の平均距離[m]である。 $1/\kappa$ は電気二重層の厚さ、 $L$ の最小値は相互に接する2個の粒子の半径の和 $\sigma$ になる。 $U$ の電荷間距離による微分は底泥粒子同士を無限遠方に引き剥がす(剥離させる)力を表すことから、せん断応力 $\tau_c$ は(3)式で表される。

$$\tau_c = \frac{dU}{dL} \quad (R_v = \tau_c S) \quad (3)$$

図-1には底泥粒子が平板状に堆積した時の分割と凝集の模式図が示されている。泥粒子は整然と並んだ状態で堆積し、図-1に示されるように断面積  $S$  の平面ではがれるとした時、土粒子の粘着力は、平板を分割させる（表面をつくる）ための仕事であり、表面張力  $\gamma$  で表される。この仕事は凝集させる再結合エネルギーに等しいことから、表面張力はファンデルワールス力（ハマカー定数  $\alpha$ ）により表現できる。

$U_e$  は接近した粒子の表面に形成されるイオンの拡散層の重なりによって生じる浸透圧（対イオン濃度）上昇による反発力であり、2つの帯電表面からそれぞれ発達する拡散電気二重層が重なり合って生じる。表面電位が小さい時には  $U_e$  は(4)式で表すことができる。

$$U_e = \frac{2v_\infty z^2 e^2 \phi_0}{\kappa(k_B T)} \exp(-\kappa L) \quad (4)$$

ここで、 $z$  はイオン電荷数、 $e$  は電気素量 [C]、 $\phi_0$  はイオンの吸着面における電位 [V] である。

### (3) 底泥層での Poisson-Boltzmann 式

図-2に金属電極が溶液に対して相対的に正に帯電した時の電極（底泥粒子表面）付近に形成される電位分布が示されている。図では電極からの距離、イオン吸着面の距離をそれぞれ  $x$ 、 $x_0$  とし、溶液電位と電極電位をそれぞれ  $\phi_S$ 、 $\phi_M$  で表している。

静電エネルギーは電位の負方向に大きく、図中では  $\phi$  が負の方向（下向き）にエネルギー準位は高くなる。土粒子（鉱物）表面は負に帯電しており、水素結合や分子間力によって有機物や Redox 物質（Ox, Red）を吸着する。これらの吸着粒子の電荷  $\gamma$  が土粒子の表面電位  $\phi_0$  を変化させている。拡散層（間隙水）内において、イオン濃度はボルツマンの式、電位分布はポアソン方程式に従うとすると、土粒子表面から電気二重層厚  $1/\kappa$  から  $x$  離れた地点での電位  $\phi(x)$  は(5)式で表される。 $\phi_0$  は土粒子の表面電位である。

$$\phi(x) = \phi_0 \exp(-\kappa x) \quad (5)$$

### (4) 底泥粒子の表面電位 $\phi_0$ を電極を用いて測定する方法

DLVO理論に従って定量的にせん断応力を評価するためには、粒子の表面電位とハマカー定数を知ることが必要である。底泥粒子の表面電位  $\phi_0$  を電極を用いて測定する方法を提案した。

- ① 金属電極 (PtE, TiE) は静電容量が小さく、溶液のバルク電位の測定が可能であり、CfE, GcE は金属電極と比較して、静電容量が大きく半導体電極として機能する。
- ② 金属電極は、溶液のバルク電位を測定するのに対し、カーボン電極は電極に吸着する物質電荷を測定することを実験的に確認できた。
- ③ 金属および半導体電極の電位を同時に測定することで、底泥粒子の表面電位の把握が可能になる。

## 4.2 有機泥の酸化還元（電子の脱着）反応に伴う有機物の易分解性、難分解性化<sup>2)</sup>

(1) 200日間の通電により Sa（電子回収側）から  $1.7 \times 10^5$  C の電子を回収でき、挿入された Sc（電子挿入側）電極電位が測定開始時の電位から +0.5 V 程度で維持されていることから、泥内には電子を継続的に受授できる有機物の存在と電子伝達経路の形成が明らかにできた。

(2) 通電試験後に両層に対して  $\pm 1$  V の印加を与えると各電位での電流ピークがなく、100 mA を越える電流があり、両電極周辺に十分な Redox 系と電子伝達体物質が存在することを明らかにした。

(3) Sc 電極付近では強制的な電子挿入とともに Sa から溶解したカチオンの浸入があり、有機錯体や炭酸化合物等の Sc での非燃焼成分等の難分解性の物質生成が促進されている。

(4) 易分解性有機物/難分解性有機物比は回収側で増加、挿入側で減少しており、有機泥

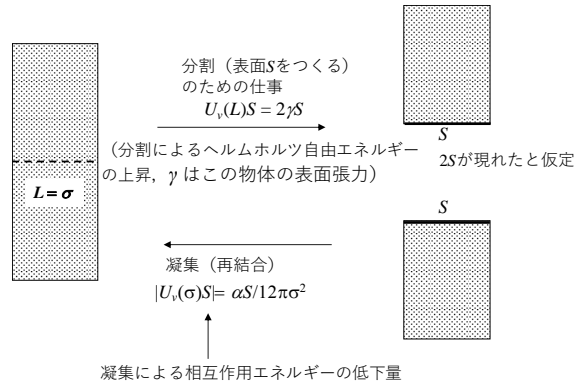


図-1 表面張力とファンデルワールス引力エネルギー（底泥粒子が平板状に堆積した時の分割と凝集）

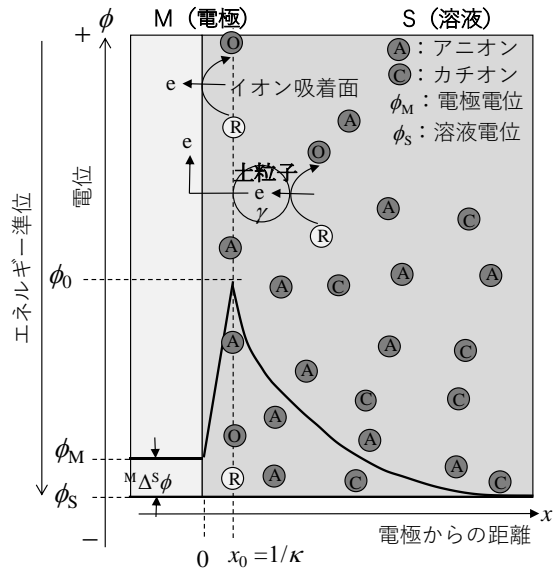


図-2 金属電極表面に形成される電位分布  $\phi(x)$  と  $M\Delta^S\phi$  の測定

からの電子回収により難分解性有機物の易分解性化（錯体からの金属イオンの脱離）、電子挿入により有機物の難分解性化（電子を受容した有機物の錯体形成）が確認された（図-3）。

(5) 泥層内に形成される電界が有機物の Redox 反応を誘引して有機物間の電子生移動経路の構成を促進させる。Fe の溶解によるエネルギー準位の上昇は有機物による電子の生産力を増大させるが、泥層への電子移動経路の形成は限定的である。

(6) 電子の有機物からの回収、挿入による有機物燃焼特性の変化が燃焼温度 300 °C を境界として説明できており、燃焼による有機物の易分解性、難分解性の評価の妥当性を示すことができた。

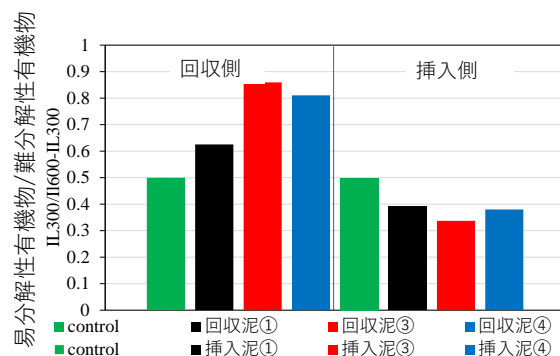


図-3 電子回収泥 (Sa) と挿入泥 (Sc) での易分解性有機物と難分解性有機物の減量比 (IL<sub>300</sub>/(IL<sub>600</sub>-IL<sub>300</sub>)) の比較

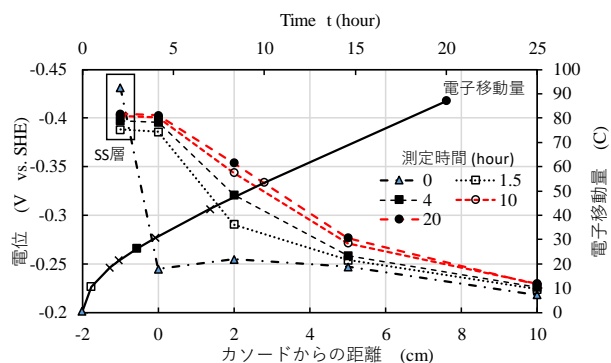
#### 4.3 カーボンニュートラル港の実現に向けたカーボンネガティブ資源の活用<sup>3)</sup>

(1) Fe の溶解電位により 10 cm 程度（泥層厚）まで電界（電位勾配）が形成した。2 cm での電位低下は鉄鋼スラグ混合泥では有機泥層全体の電位を低下させることができる（図-4(a)）。

(2) 泥層内に形成される電界が有機物の電子生産を促進させる。Fe の溶解によるエネルギー準位の上昇は有機物による電子の生産力を増大させ泥層内での伝達経路を数倍拡大させる（図-4(b)）。

(3) 標準的な水電解装置での必要電力 4.5 kWh/Nm<sup>3</sup> よりも低い 4.0 kWh/Nm<sup>3</sup> の電力で水素を生成した。本実験装置では有機泥、鉄鋼スラグ、CO<sub>2</sub> の溶解水素 (CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O → 2H<sup>+</sup> + CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) が燃料として用いられており、発電～水素生成過程の全てがカーボンネガティブになる。

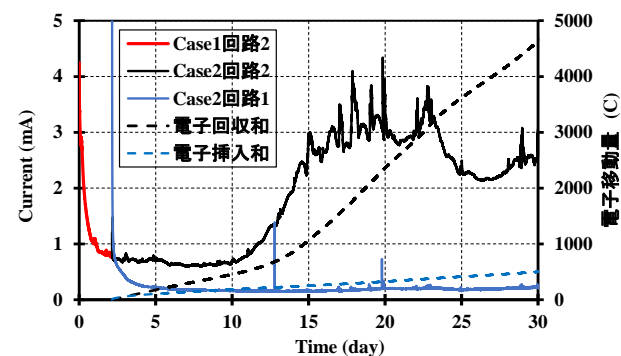
(4) 底泥、鉄鋼スラグの SMFC 燃料としての利用は難分解性有機物（錯体）から金属イオンを脱離して易分解性有機物を生成して、生物に有用栄養素を提供する。



(a) 電位低下に伴う各電極電位の経時的変化（実験I）

#### 4.4 まとめ

電極技術を応用して電子伝達に関わる有機物反応（電子の生産性と伝導性の向上）を利用した新しいタイプの CO<sub>2</sub> 変換水素生産システムを開発した。水素生産力向上のため、電極を鉄鋼スラグに接触させて表面を正に印加すると、鉄鋼スラグ内部に含有される Fe が溶解して電子と鉄イオンが生成される現象を利用することにより、鉄鋼スラグからの Fe 溶出促進法、有機泥からの電子回収能の向上に成功した。SS-SMFC 発電機構を活用した CO<sub>2</sub> 変換水素の生産機構の生産性を高めたことにより装置の大規模化の基盤を構築できた。



(b) 泥層通電回路での通電量（実験II）

図-4 鉄鋼スラグの溶解電位による底泥内での電子伝達実験

#### <引用文献>

- 1) 高橋 巧, KIM Kyeongmin, 中下慎也, 日比野忠史: 海底泥のせん断応力を評価する電位測定法に関する基礎的研究, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.77, No.2, 2021, pp. I\_1033-I\_1038, 2021.
- 2) 坂井友亮, 古川大登, KIM Kyeongmin, 日比野忠史: 有機泥の酸化還元（電子の脱着）反応に伴う有機物の易分解性, 難分解性化, 土木学会論文集 Vol. 79, No. 17, 23-17161, 2023.
- 3) 古川大登, 坂井友亮, KIM Kyeongmin, 林 雄介, 日比野忠史: カーボンニュートラル港の実現に向けたカーボンネガティブ資源の活用, 土木学会論文集, Vol.79, No.18, 23-18096, 2023.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 坂井友亮, 古川大登, KIM Kyeongmin, 日比野忠史	4. 巻 79, No.18
2. 論文標題 生物活性場での電極反応電位を利用した干潟環境場測定	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 土木学会論文集	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscej.23-18016	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 古川大登, 坂井友亮, KIM Kyeongmin, 林 雄介, 日比野忠史	4. 巻 79, No.18
2. 論文標題 カーボンニュートラル港の実現に向けたカーボンネガティブ資源の活用	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 土木学会論文集	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscej.23-18096	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 坂井友亮, 古川大登, KIM Kyeongmin, 日比野忠史	4. 巻 79, No.17
2. 論文標題 有機泥の酸化還元(電子の脱着)反応に伴う有機物の易分解性, 難分解性化	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 土木学会論文集	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscej.23-17161	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 高橋 巧, 岩本 崇, 坂井友亮, 日比野忠史	4. 巻 78, No.2
2. 論文標題 脱炭素化に向けた沿岸堆積泥微生物燃料利用の可能性	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 土木学会論文集B3 (海洋開発)	6. 最初と最後の頁 241-246
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejoe.78.2_1_241	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 古川大登, 弓岡良太, 日比野忠史	4. 巻 78, No.2
2. 論文標題 電極による海水中のCO2濃度測定の可能性	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 土木学会論文集B3 (海洋開発)	6. 最初と最後の頁 829-834
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejoe.78.2_1_829	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 高橋 巧, 片山諒哉, 坂井友亮, KIM Kyeongmin, 日比野忠史	4. 巻 78, No.2
2. 論文標題 閉鎖性水域での水質側定システムの提案	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 土木学会論文集B2 (海岸工学)	6. 最初と最後の頁 769-774
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/kaigan.78.2_1_769	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 古川大登, 片山諒哉, KIM Kyeongmin, 高橋 巧, 日比野忠史	4. 巻 78, No.2
2. 論文標題 電位測定による水質変動の把握と実用性の検討	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 土木学会論文集B2 (海岸工学)	6. 最初と最後の頁 835-840
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/kaigan.78.2_1_835	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 高橋 巧, KIM Kyeongmin, 中下慎也, 日比野忠史	4. 巻 77, No.2
2. 論文標題 海底泥のせん断応力を評価する電位測定法に関する基礎的研究	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 土木学会論文集B2 (海岸工学)	6. 最初と最後の頁 1033-1038
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/kaigan.77.2_1_1033	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Narong Touch, Tadashi Hibino
2. 発表標題 Determination of the Factors Affecting the Performances of Sediment Microbial Fuel Cells by Long-Term Electricity Generation Using Lactic Acid Bacteria Attached Electrodes
3. 学会等名 15th International Conference on Environmental and Rural Development (ICERD) (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Narong Touch, Kota Shigetomia and Tadashi Hibino
2. 発表標題 Effects of Aeration and pH on the Performance of Lactic Acid Bacteria- Attached Carbon Fiber Electrode
3. 学会等名 14th International Conference on Environmental and Rural Development (ICERD) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Narong Touch, Tadashi Hibino
2. 発表標題 Enhancement of carbon fiber electrode performance using lactic acid bacteria and steelmaking slag
3. 学会等名 The 13 th ICERD - International Conference on Environmental and Rural Development (ONLINE) (国際学会)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔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
研究分担者	TOUCH NARONG  (Narong Touch)  (50707247)	東京農業大学・地域環境科学部・准教授    (32658)	



6. 研究組織（つづき）

	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
研究 分 担 者	中下 慎也  (Nakashita Shinya)  (90613034)	広島大学・先進理工系科学研究科(工)・助教     (15401)	

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