

研究成果報告書

研 究 題 目		都市河川へドロ干潟から電気を回収し緑地街路灯等へ電力を供給するシステムの構築	実 施 年 度
			28 年度
代 表 研 究 者	所 属	広島大学大学院・工学研究院科・社会基盤環境工学専攻	
	氏 名	日比野 忠史	印
1. 研究の目的・背景 (1) 背景 堆積泥微生物燃料電池（Sediment microbial fuel cell、SMFC）とは、微生物を利用して堆積有機物（燃料）を電気エネルギーに変換する装置である。自然に優しい理想的な発電装置と言われているが、実際には取得電力が小さく、環境変動が激しい場での発電や公共へ実用的に配電した例はなく実用化には至っていない。 開発する SMFC は異常降雨等により未処理で放流される下水に含まれる有機物を燃料とする。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で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。 (2) 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「有機物が循環し生物が活躍する豊かな水域」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も顕著であり、都市化の進んだ沿岸域において想像を越える量の未処理放流が行なわれている。一方、下水処理に費やされる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）」を実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。			

2. 研究成果及び考察（申請時の計画に対する達成度合を織込む）

（1）研究成果の概要

堆積泥を燃料とする微生物燃料電池は、水環境悪化の主たる原因である堆積有機泥から電子回収を行うことで、発電と有機泥浄化を同時に達成可能な技術である。しかし、SMFC 系内に存在する過電圧のため発電効率（浄化効率）が低く、これまで実用化には至っていなかった。これは過電圧には使用する電極の反応効率（活性化損失）や有機泥の電子伝達能力（濃度損失）、泥内微生物の活性度など様々な要因が存在するためである。本研究では SMFC の活性化損失、濃度損失を低減する（高性能化）手法として、電極の配置密度の低減、およびアノード層への竹粉混合を提案し、これらの手法を取り入れた装置を実河川に適用した。



これは過電圧には使用する電極の反応効率（活性化損失）や有機泥の電子伝達能力（濃度損失）、泥内微生物の活性度など様々な要因が存在するためである。本研究では SMFC の活性化損失、濃度損失を低減する（高性能化）手法として、電極の配置密度の低減、およびアノード層への竹粉混合を提案し、これらの手法を取り入れた装置を実河川に適用した。

I 「新しいタイプの電極を用いた SMFC による浄化範囲と発電量の拡大化」、II 「実水域で継続的に高い浄化・発電能力を維持できる浄化発電システムの開発」を行った。I -1 電子回収が寄与する分解過程（電子伝達する電子生産微細物群の活性、還元物質 ODU の生成、無機化等）の評価法の確立、I -2 アノード電極周辺に分布する pH~ORP または COD の電極反応による推定法（連続測定法）の確立、I -3 高い電力を獲得した仮想面積拡大電極（浸透層、電位差利用）の高度化、I -4 電子生産微生物群活性を促進する酸化物の利用法の確立を行った。これらのため土壌内での測定が難しい pH、ORP の泥内での連続的な測定技術を開発した。I の基本技術を基に、II SMFC 技術の汎用に至るまでの課題に取り組み、本研究期間中にヘドロを広域に無害化し生態系を再生させるとともに、ヘドロを無害化する過程で得られる電力を汎用レベルまで高める浄化発電システムを完成させた。

この結果、提案した手法は活性化損失および濃度損失を低減し SMFC の性能を向上させることが明らかにされた。

（2）成果および達成度

本研究では、SMFC 実用化の障壁となっている過電圧を低減させる手法について検討し、感潮河川において高い電力を回収することで、過電圧の低減能力を評価できた。

- a) 配置密度の減少と竹粉混合は電極での反応効率を表わす i_0 と獲得可能な電子の限界値を表す i_{limit} を増加させる手法であることが確認された。 i_0 と i_{limit} の増加は電極反応の効率化および電極反応物質の輸送を促進させており、提案した手法は過電圧の低減に有効であることが実証された。
- b) 配置密度を減少させることで、経済的に SMFC の発電能力の高めること可能となる。本実験では配置面積 1/3 で基本装置の 4 倍の $P_{\text{MAX}}=138\text{mW/m}^2$ を獲得できた。
- c) 有機泥層への竹粉の混合によって、増加する電子生産量は活性化損失と濃度損失を低減できる。本実験では、設置 50 日目で基本装置の約 1.4 倍の $P_{\text{MAX}}=53\text{mW/m}^2$ を獲得できた。
- d) 申請時の研究計画について概ね達成（写真、街灯の設置）できた。

3. 経費の使用状況（申請時の計画に対する実績を記述）

申請時の計画と多少変動はあるが計画に基づき有効に使用した。

申請時はポテンシostat、VersaSTAT-3-100（20 万）を予定していたが他の財源から支出した。当初の計画にいていなかったがダイヤグラム式定量ポンプ（13 万）を購入した。

学会に参加し共同研究者間や関連研究者と研究打合せ、現地視察を行いその旅費等に経費を使用した。

申請額が減額されていたので、その他の土質分析試験、原位置試験は他の経費でまかされた。

4. 将来展望（今後の発展性、実用化の見込み等について記述）

本研究では、当初の目標に加えて石炭灰等のアルカリ剤に存在する電子伝達物質を生かすアルカリ剤の添加は SMFC の課題を解決するための有効な手段であることを明らかにした。アルカリ剤には溶解による pH の上昇（ミネラル溶出）や、栄養塩類の固定効果があり、SMFC にアルカリ剤を組み合わせることにより有機物分解～電子回収までを促進して水域の浄化、エネルギー取得を格段に向上させる可能性を確認できた。

アルカリ剤+電極技術は、これまで有効な対策が無いため、手が施されず有機汚濁が進行し生物の棲息が困難になった水域の再生を可能にする確実性の高い環境改善技術である。アルカリ剤と SMFC 技術の融合は汚泥処理のみならず、電力、メタン等の回収、水素生産等、アルカリ剤の利用の範囲を格段に広げるとともに実現性の高い、低コストの環境改善事業の成立が期待できる。

本研究成果は有機汚泥の処理、活用にとどまらず、アルカリ剤の潜在能力の開発、利用などの幅広い応用ができ、社会への経済的効果が大きく期待される。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広範な発電場に変え、かつ健全な生態系場に再生することを目指す。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。

5. 成果の発表（学会での発表、学術誌への投稿等を記載。予定を含む）

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), Vol.72, No.2, pp.1327-1332,2016.

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手法の提案, 土木学会論文集 B2 (海岸工学) , Vol.72, No.2, pp1339-1344. 2016.

Narong Touch, Tadashi Hibino, Shinya Nakashita and Kenji Nakamoto: Variation in properties of the sediment following electrokinetic treatments, ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY, 2017, Voi.38, NO.3,pp.277-284,2017.