

## 先端研究助成基金助成金(最先端・次世代研究開発支援プログラム) 実績報告書

本様式の内容は一般に公表されません

研究課題名	微生物燃料電池による廃水からのリン除去および回収
研究機関・ 部局・職名	岐阜大学・流域圏科学研究センター・准教授
氏名	廣岡 佳弥子

1. 研究実施期間 平成23年2月10日～平成26年3月31日

2. 収支の状況

(単位:円)

	交付決定額	交付を受けた額	利息等収入額	収入額合計	執行額	未執行額	既返還額
直接経費	32,000,000	32,000,000	0	32,000,000	32,000,000	0	0
間接経費	9,600,000	9,600,000	0	9,600,000	9,600,000	0	0
合計	41,600,000	41,600,000	0	41,600,000	41,600,000	0	0

3. 執行額内訳

(単位:円)

費目	平成22年度	平成23年度	平成24年度	平成25年度	合計
物品費	388,046	4,756,049	3,668,770	3,926,565	12,739,430
旅費	0	832,680	861,220	693,580	2,387,480
謝金・人件費等	0	3,456,484	6,081,970	6,312,019	15,850,473
その他	0	371,321	293,460	357,836	1,022,617
直接経費計	388,046	9,416,534	10,905,420	11,290,000	32,000,000
間接経費計	116,413	2,824,960	3,271,626	3,387,001	9,600,000
合計	504,459	12,241,494	14,177,046	14,677,001	41,600,000

4. 主な購入物品(1品又は1組若しくは1式の価格が50万円以上のもの)

物品名	仕様・型・性能等	数量	単価 (単位:円)	金額 (単位:円)	納入 年月日	設置研究機関名
測定システム装置	北斗電工(株)	1	1,450,000	1,450,000	2011/8/25	岐阜大学
				0		
				0		

5. 研究成果の概要

本研究の結果、微生物燃料電池を用いて、廃水の浄化と同時に発電を行い、さらに廃水中のリンを回収できることが明らかになった。本法は従来の廃水からのリン回収法と異なり、酸やアルカリの添加を必要とせず、さらに廃水からのエネルギー回収もできる点が新しい。リンは作物の生育に不可欠な資源であるが、数十年以内の枯渇が懸念されている上に、日本はそのほぼ全量を輸入に頼っている戦略的資源でもある。さらに、廃水からのエネルギー回収も、今後の持続可能な社会の実現に必要な技術であり、両者を同時に達成できたことの意義は大きい。

課題番号	GR047
------	-------

## 先端研究助成基金助成金(最先端・次世代研究開発支援プログラム) 研究成果報告書

本様式の内容は一般に公表されます
------------------

研究課題名 (下段英語表記)	微生物燃料電池による廃水からのリン除去および回収
	Phosphorus removal and recovery from wastewater by microbial fuel cell
研究機関・部局・ 職名 (下段英語表記)	岐阜大学・流域圏科学研究センター・准教授
	Gifu University, River Basin Research Center, Associate Professor
氏名 (下段英語表記)	廣岡 佳弥子
	Kayako Hirooka

### 研究成果の概要

(和文):本研究の結果、微生物燃料電池を用いて、廃水の浄化と同時に発電を行い、さらに廃水中のリンを回収できることが明らかになった。本法は従来の廃水からのリン回収法と異なり、酸やアルカリの添加を必要とせず、さらに廃水からのエネルギー回収もできる点が新しい。リンは作物の生育に不可欠な資源であるが、数十年以内の枯渇が懸念されている上に、日本はそのほぼ全量を輸入に頼っている戦略的資源でもある。さらに、廃水からのエネルギー回収も、今後の持続可能な社会の実現に必要な技術であり、両者を同時に達成できたことの意義は大きい。

(英文):The results of this research clearly show that simultaneous wastewater treatment, electricity generation, and phosphorus recovery from wastewater can be achieved by microbial fuel cell. The novelty of this method in contrast to conventional phosphorus recovery methods is that the addition of acid or alkali is not required, and moreover energy can be recovered from wastewater at the same time. Phosphorus is a limiting plant nutrient, and the addition of phosphate-based fertilizers in soil is necessary to increase agricultural yields. However it has been suggested that the remaining accessible reserves of clean phosphate rock will be depleted within several decades, and Japan relies almost totally on imports for its phosphate rock supplies. Moreover, energy recovery from wastewater is necessary to build a sustainable society.

1. 執行金額 41,600,000 円  
 (うち、直接経費 32,000,000 円、 間接経費 9,600,000 円)

2. 研究実施期間 平成23年2月10日～平成26年3月31日

3. 研究目的

微生物燃料電池は、微生物が水中の有機物を分解することで得た還元力の一部を外部回路を通じて電気エネルギーとして取り出す技術である。廃水処理に適用した場合、水処理と同時にエネルギーを取り出すことが可能なため、次世代のエネルギー回収型廃水処理技術として実用化を期待されている。しかしながら、生物系廃水は栄養塩(窒素・リン)を多く含むため、環境汚染を防ぐためには環境中に放出する前にこれらも除去する必要がある。また、リンは肥料として代替物の存在しない貴重な資源であり、とりわけそのほぼ全量を輸入に依存している我が国にとっては、廃水から回収することの意義はきわめて大きい。既存の研究では、微生物燃料電池を用いた処理によってリンの濃度は減少せず、むしろ増えたという程度の報告に留まっている。

申請者は、空気極(エアカソード)を用いる 1 槽型微生物燃料電池を運転した際に、エアカソードに発生する析出物に着目した。カソードに析出物ができるということは、実際に運転経験のある研究者の間ではよく知られていたが、特に着目はされてきておらず、カソードの機能維持に対する障害物程度に位置づけられていた。しかし申請者らは、これを利用してカソードに意図的にリンを析出させ、廃水から回収できるのではないかという着想に至った。すなわち、カソードの酸素還元反応( $2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- + \text{O}_2 \rightarrow 4\text{OH}^-$ )により、カソード近傍で pH 上昇が起こるということが以前から指摘されていた。一方、従来からの廃水からのリン回収法として、廃水中のマグネシウム、アンモニウムやカルシウム濃度を調整し、pH をアルカリ性にする事でリンを析出させる方法が用いられてきた。従って、リンを含む廃液に適切な濃度のマグネシウムやカルシウムを添加すれば、アルカリ条件であるエアカソード近傍で pH の調整を行うことなくリンの結晶を析出させ、回収することが可能であるのではないかと考えられた。

本研究では、微生物燃料電池を用いて発電と同時に廃水からリンを除去・回収できることを定量的に示し、これに関係する主要な要因についての基本的な知見を得ることを目的とする。

まず、MFC リアクターを運転し、廃水および析出物中のリンの物質収支をとることで、1)微生物燃料電池のカソードへのリンの析出の定量的な証明をする。次に 2) リン析出物の回収方法の検討を行い、カソードからのリン析出物の回収が可能であること、そして回収操作における損失の割合を定量的に示す。そして 3) 回収リンおよびカソード析出物の組成の解析を行い、2)において回収したリンの資源としての品質および安全性の評価をおこなう。また、1)の析出リン、2)の回収リンの結晶構造をそれぞれ解析し、明らかにする。そして、析出機構に関する知見を得る。最後に、3)の結果から推定される析出機構を踏まえて、廃水や MFC の運転条件をさまざまに変えて析出実験を行い、4)電極へのリン析出に影響する因子を明らかにする。

#### 4. 研究計画・方法

本研究は大きく分けて4つの検討項目を持つ。項目1)を最初におこない、その実験産物を用いて項目2)、3)の実験をおこなった。次にその結果を元に予測を立て、条件を整えて項目4)の実験に入る。実験4)のMFCリアクターからの運転産物も、項目2)および3)のさらなる実験の試料として用い、その結果は再び項目4)の検討にフィードバックした。

また、微生物燃料電池の実用化を考えた場合、空気中の酸素を最終電子受容体とすることが望ましいこと、また析出理論から2槽型リアクターでは十分な局所的pHの上昇がおこらないため析出がおこりにくいことが予測されるため、本研究での検討は全てエアカソード1槽型リアクターを用いて行った。以下に各検討項目の詳細を記す。

##### (1) 微生物燃料電池のカソードへのリンの析出の定量的な証明

一般的によく使用される微生物燃料電池用の人工廃水にリンを添加し、マグネシウム(Mg)、アンモニウム(NH<sub>4</sub>)等の必須要素の濃度も適切に調整して、リアクターを運転する。対照系として、必須要素を含まない人工廃水の運転も行う。さらに、実廃水を用いた運転も行う。運転期間中の流入・流出水中のリン、Mg、NH<sub>4</sub>濃度およびエアカソードの析出物のリン含有量を測定し、リンの物質収支を計算する。

##### (2) リン析出物の回収方法の検討

エアカソードからのリンの回収方法を2種類検討する。一つは、カソードに析出したリン含有化合物を、一旦溶解させた後に再結晶させて回収する方法、もう一つは固体のまま回収する方法である。これらの方法について条件検討をおこなう。さらに、リン回収後のエアカソードを再度リアクターに戻して微生物燃料電池を運転し、回収作業が発電能力に与える影響についての検討も行う。

##### (3) 回収リンおよびカソード析出物の組成の解析

回収リンの資源としての品質評価を行うため、元素分析や結晶構造解析を行い、リンの存在形態および、重金属など、肥料として使用する上で問題となる元素が含まれないかどうかを確認する。カソード析出物についても同様の試験を行い、電極からの回収過程においてリンや重金属がどの程度失われるのかを明らかにし、同時に析出機構に関する知見を得る。

##### (4) 電極へのリン析出に影響する因子の検討

3)の結果から推定されるリンの析出メカニズムを踏まえて、廃水や運転の条件を変えてMFCリアクターの運転を行い、電極へのリン析出に影響する因子を明らかにする。

#### 5. 研究成果・波及効果

##### 1) 微生物燃料電池のカソードへのリンの析出の定量的な証明

実廃水(養豚廃水)を用いて微生物燃料電池リアクターを運転し、養豚廃水中の780mg/Lのリンのうち27%がカソードに析出した。廃水中のリンは13%が溶解性、87%が懸濁態であり、溶解性の

リンだけでなく、懸濁態のリン由来の析出があることがわかった。

さらに、リンを含む人工廃水をもちいた運転をおこなった結果、廃水にマグネシウムとアンモニウムを添加することによって、カソードにリン含有化合物を意図的に析出させることができることを明らかにした(図1)。この時、全てのリンをリン酸態(溶解性)の形態で与え、その結果32%以上がカソード上に析出した。析出はカソード上のみにおこり、微生物燃料電池の他の部分にはあらわれなかった(図2)。



図1 廃水にNH<sub>4</sub>とMgを添加した場合と  
しなかった場合のMFCカソードの比較

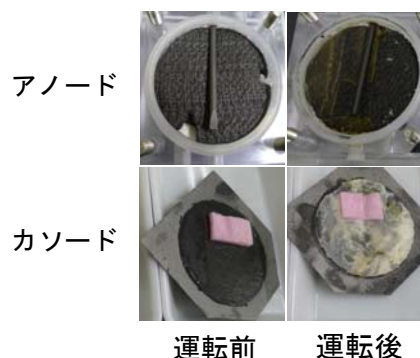


図2 運転前と運転後のアノードとカソード

## 2) リン析出物の回収方法の検討

### カソードからのリン析出物の回収

カソードに析出したリン含有化合物を酸性溶液に溶解させ、その後溶液をアルカリ性にして再結晶させ、回収する方法を検討し、カソードに析出したリンの97%以上を回収できることがわかった(図3)。リン含有化合物の溶解時の酸の種類(酢酸、クエン酸、モルホリエタンスルホン酸のバッファーで検討)は、検討した中では違いが見られなかったが、溶解時のpH(pH3~5の間で検討)が低いほど、最大溶解量が増加した。しかし、再結晶時の回収率は溶解時のpHにほぼ関係なく、pH7以上に調整することで97%以上の回収率を得ることができた。これは過飽和のためだと考えられる。以上より溶解にはpH5程度、再結晶にはpH7程度が適切であると考えられる。また、この時の再結晶時間は1時間以内であった。

さらに、リン析出物を溶解せずに固体のまま回収する方法を検討し、この方法ではカソードに析出したリンの91%以上を回収できることがわかった。



図3 回収したリン化合物

### リン析出、および回収作業がカソードに与える影響

電気化学的測定法を用いてカソード性能の評価をおこなった結果、リン化合物を析出させたカソードの性能は、析出させなかったカソードに比べて悪くなった。すなわち、リン析出物によってカソード性能が低下することがわかった。しかし、酸性溶液を用いた溶解法によって析出物を回収することで、カソードの性能は完全に回復し、再利用可能となった。

さらにリンが析出する場合だけでなく、一般的にMFCの運転中に、カソードにアルカリ性の塩が

析出することによってカソードの性能が低下していることが示唆された。この場合も、酸性溶液を用いた溶解法によって析出物を除去することで、カソードの性能は完全に回復した。高価な触媒を用いるカソードの寿命は、システムのランニングコストに大きな影響を与える重要な要素であるため、微生物燃料電池の実用化にむけた取り組みの中でも大きな位置を占めている。しかしこれまで、運転に伴うカソード性能の劣化に関する知見は乏しく、またその回復方法についてもほとんど研究されていなかった。本研究の成果により、カソードの性能の低下の一因を解明し、また劣化したカソード性能を回復させる有効な方法を提示することができた。

### 3) 回収リンおよびカソード析出物の組成の解析

養豚廃水を用いた運転によって得たカソード析出物の元素分析により、析出物には主にリン、マグネシウム、カルシウムが含まれており、そのモル比が養豚廃水や、養豚廃水中の SS と異なることがわかった。さらに結晶構造解析を行い、ストラバイト( $\text{NH}_4\text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )という化合物(良質の肥料として利用可能)が主成分として検出された。ストラバイトは養豚廃水中の懸濁物質中には元々含まれておらず、また、溶液がアルカリ性になると析出することから、微生物燃料電池のカソード近傍がアルカリ性になり、その結果として廃水からの析出がおこったと考えられた。

また、人工廃水にリン酸、Mg、 $\text{NH}_4$ が含まれるときのカソード析出物を結晶構造解析により調べたところ、主成分はストラバイトであることがわかった。ただし、元素分析により調べた P と Mg のモル比から、純粋なストラバイトではなく他の化合物が存在することがわかった。人工廃水にリン酸と Mg のみで  $\text{NH}_4$  が含まれない場合、析出物の主成分はカットタイト( $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 22\text{H}_2\text{O}$ )という化合物となった。カットタイトが析出したことから、カソード近傍の pH は 10 近くまで上昇していると推定した。このようなカソード近傍 pH の具体的な値の推定はこれまでにおこなわれたことがなく、本研究成果が初めての知見となる。

重金属に関しては、実廃水(養豚廃水)からの析出物には、Cr、Mn、Ni、Cu、Zn が流入の 1~20%程度まで蓄積するのが確認された。元の廃水中の重金属濃度がリン濃度に比べて相対的に低ければ、回収したリン析出物中の重金属の割合も、肥料として利用可能な許容範囲に収まると考えられる。さらに、2)のリン回収方法の検討結果より、カソードからのリンの回収率が 91%以上であったため、回収行程による重金属の濃縮は最大でも 1.1 倍程度となり、回収リン中の重金属含有率に問題はないことがわかった。

### 4) 電極へのリン析出に影響する因子の検討

Mg、および  $\text{NH}_4$  の影響について検討した結果、廃水中にリンと共に Mg と  $\text{NH}_4$  の両方が存在する時、ストラバイトが析出し、リンと Mg のみの場合はカットタイトが析出することがわかった。リンと  $\text{NH}_4$  のみの場合は析出しなかった。すなわち、リン酸の対イオンの濃度によって、カソード析出物の組成が変化することが明らかになった。また、Mg、 $\text{NH}_4$  の濃度が高くなるとリン析出量が増加し、処理水中のリン濃度を低下させることができることがわかった。

廃水中の有機物に関しては、濃度が高くなるほど MFC の電流生産が多く、析出物の量が多くな

った(図4)。有機物濃度を一定とした場合でも、MFCの外部抵抗が小さくなる程電流生産が多くなり、析出量も多くなった(図5)。これは、カソードでの酸素還元反応によるOH<sup>-</sup>の生成に伴うカソード近傍でのpHの上昇によって析出が起こるといふ我々の仮説(図6)を、強く支持する結果である。なぜなら有機物濃度が高くなる程、又は外部抵抗が小さくなる程、MFCで発生する電流量が増加し、酸素還元反応が盛んになるからである。カソード近傍でのpH上昇の可能性はいくつかの論文で指摘され、理論的に支持されている仮説であるが、実際の測定の難しさから実証はされておらず、本研究成果は学術的に興味深い結果となった。

また、夾雑物質としてキレート剤を用いて実験を行った結果、キレート剤はリン析出を阻害し、濃度が高くなるとリン析出量が減少することがわかった。さらに、廃水流量がある一定量以上に多くなるとリン析出量が減少し、さらに結晶の大きさも小さくなることから、電極上の廃水の流れが速い場所にはリンが析出しにくくなるものと考えられた。

上記の結果から、全ての影響要因を考慮して更なる条件検討を行った結果、廃水からのリン析出率は最大91%、処理水中のリン濃度は最低で0.67mMとなった。

### 5) まとめ

微生物燃料電池を用いて廃水进行处理し、発電と同時に、廃水に含まれるリンをカソードの表面に析出させることができた。さらに、析出したリンを、簡便な方法でカソードから回収し、粉末を得ることができた。回収した粉末の主成分はストラバイト(MAP)であり、これは良質の肥料として利用可能であることが知られている。また回収粉末には重金属(有害物質)はほとんど含まれていなかった。さらに、リン析出のメカニズムに関する知見を得て、廃水からリンを効率よく析出させるための、廃水中の成分や微生物燃料電池の運転条件を明らかにした。

廃水からエネルギー回収と同時にリンも回収を達成したのは本技術が世界初であり、今後の持続可能な社会の構築に貢献できると考えられる。

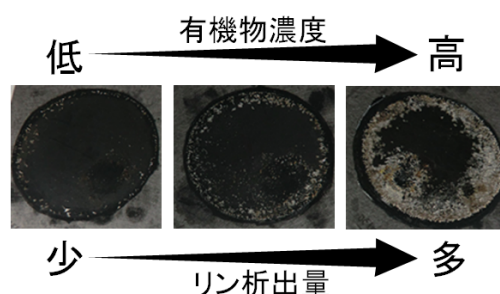


図4 リン析出に有機物濃度が与える影響

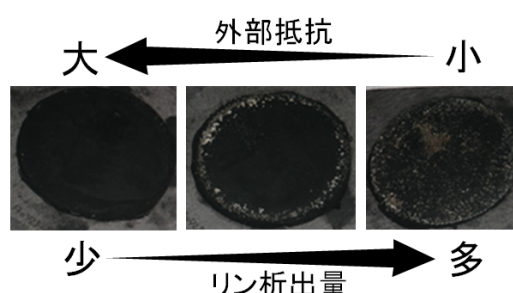


図5 リン析出に外部抵抗が与える影響

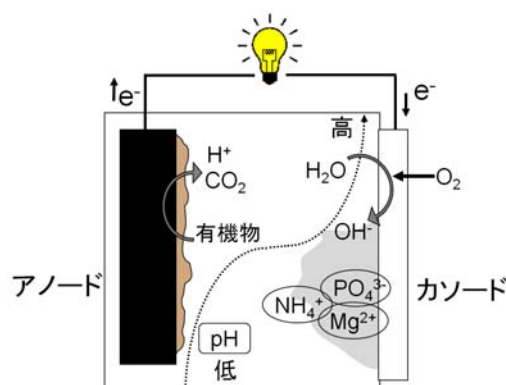


図6 微生物燃料電池による廃水からのリン回収の原理

6. 研究発表等

<p>雑誌論文 計 11 件</p>	<p>(掲載済み一査読有り) 計 5 件</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 市橋 修, 山本 希, 廣岡 佳弥子, 畜産廃水を用いた微生物燃料電池における発電と微生物群集構造, 水環境学会誌, 2012, 35(1), 19-26, ISSN: 0916-8958, <a href="http://dx.doi.org/10.2965/jswe.35.19">http://dx.doi.org/10.2965/jswe.35.19</a></li> <li>2. Osamu Ichihashi*, Kayako Hirooka*, Removal and recovery of phosphorus as struvite from swine wastewater using microbial fuel cell, Bioresource Technology, 2012, 114, 303-307, (*co-first authors), ISSN: 0960-8524, <a href="http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2012.02.124">http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2012.02.124</a></li> <li>3. Kayako Hirooka*, Osamu Ichihashi*, Phosphorus recovery from artificial wastewater by microbial fuel cell and its effect on power generation, Bioresource Technology, 2013, 137, 368-375, (*co-first authors), ISSN: 0960-8524, <a href="http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2013.03.067">http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2013.03.067</a></li> <li>4. Osamu Ichihashi*, Kayako Hirooka*, Deterioration in the cathode performance during operation of the microbial fuel cells and the restoration of the performance by the immersion treatment, Journal of Microbial &amp; Biochemical Technology, 2013, S6, (*co-first authors), ISSN: 1948-5948, <a href="http://omicsonline.org/deterioration-in-the-cathode-performance-during-operation-of-the-microbial-fuel-cells-and-the-restoration-of-the-performance-by-the-immersion-treatment-1948-5948.S6-006.pdf">http://omicsonline.org/deterioration-in-the-cathode-performance-during-operation-of-the-microbial-fuel-cells-and-the-restoration-of-the-performance-by-the-immersion-treatment-1948-5948.S6-006.pdf</a></li> <li>5. 市橋 修, 廣岡 佳弥子, 黄 魁, カソードの酸素還元能力が微生物燃料電池の発電および微生物群集に与える影響, 土木学会論文集 G(環境), 2013, 69(7), 249-255, ISSN: 2185-6648.</li> </ol> <p>(掲載済み一査読無し) 計 5 件</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 市橋 修, 廣岡 佳弥子, 新技術—「微生物燃料電池を用いた廃水からのエネルギー回収型リン回収システム」開発への取り組み, 月刊「水」, 2012, 9月号, 16-20.</li> <li>2. 廣岡 佳弥子, 市橋 修, 微生物燃料電池を用いた廃水からのエネルギーとリンの同時回収, 化学工学, 2012, 76(11), 692-694.</li> <li>3. 廣岡 佳弥子, 市橋 修, 微生物燃料電池による廃水処理(「生物処理」と「電気化学」の融合), 配管技術, 2013, 55(6), 7-12.</li> <li>4. 市橋 修, 廣岡 佳弥子, 微生物燃料電池による廃水からのリン除去および回収, 化学工業, 2013, 2013年12月号, 15-22.</li> <li>5. 市橋 修, 廣岡 佳弥子, 微生物燃料電池(電気化学を利用した新たな廃水処理技術), 環境浄化技術, 2013, 12(6), 70-78.</li> </ol> <p>(未掲載) 計 1 件</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 廣岡 佳弥子, 市橋 修, 本山 亜友里, 微生物燃料電池による廃水からのリン回収に廃水中有機物濃度および外部抵抗が与える影響, 水環境学会誌, ISSN: 0916-8958, 印刷中.</li> </ol>
<p>会議発表 計 28 件</p>	<p>専門家向け 計 25 件</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Kayako Hirooka, Nozomi Yamamoto, Fusheng Li, Yutaka Nakai, and Osamu Ichihashi: Power generation from animal wastewater by Microbial Fuel Cell -microbial community analysis and behavior of nutrient, Tokyo, Japan, 2-6 October 2011, The 4th IWA-ASPIRE Organizing Committee.</li> <li>2. 廣岡佳弥子,市橋修, 微生物燃料電池による廃水からのリン回収, 岐阜, 2012年3月2日, 電気化学会東海支部.</li> <li>3. 廣岡佳弥子,市橋修, 微生物燃料電池による養豚廃水からの電力生産とリン除去, 東京, 2012年3月14日~16日, 日本水環境学会.</li> <li>4. 市橋修,廣岡佳弥子, 微生物燃料電池における廃水からのリン除去メカニズムの検討, 東京, 2012年3月14日~16日, 日本水環境学会.</li> <li>5. Osamu Ichihashi, Kayako Hirooka, Simultaneous recovery of electrical power and phosphorus from swine wastewater by microbial fuel cell, Santiago de Compostela (Spain), 25-27 June 2012, International Water Association.</li> <li>6. Kayako Hirooka, Osamu Ichihashi, Phosphorus recovery as struvite from synthetic wastewater by microbial fuel cell, Santiago de Compostela (Spain), 25-27 June 2012, International Water Association.</li> </ol>



	<p>Association.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>7. Kayako Hirooka, Osamu Ichihashi, Deterioration of the cathode performance in microbial fuel cells by the precipitation of phosphorus, Ithaca (U.S.A.), 8-10 October 2012, International Society of MicrobialElectrochemical Technologies.</li> <li>8. Osamu Ichihashi, Kayako Hirooka, Simultaneous Recovery of Electrical Power and Phosphorus from Wastewater by Microbial Fuel Cell, Ithaca (U.S.A.), 8-10 October 2012, International Society of MicrobialElectrochemical Technologies.</li> <li>9. 市橋 修, 廣岡 佳弥子, 微生物燃料電池を用いた廃水中のエネルギーとリンの同時回収, 名古屋市, 2012年11月10日~11日, 中部化学関係学協会支部連合協議会.</li> <li>10. Jia Jin, Kayako Hirooka, Osamu Ichihashi, Fusheng Li, Availability of organic suspended solid as substrate for power generation in microbial fuel cell, Tokyo (Japan), 7-10 December, 2012, IWA Japan-YWP.</li> <li>11. 市橋 修, 廣岡 佳弥子, 微生物燃料電池エアカソードにおける非白金触媒利用の試み, 大阪市, 2013年3月11日~13日, 日本水環境学会.</li> <li>12. 廣岡 佳弥子, 市橋 修, 微生物燃料電池における廃水からのリン回収 - カソード性能の低下とその回復 -, 大阪市, 2013年3月11日~13日, 日本水環境学会.</li> <li>13. Osamu Ichihashi, Kayako Hirooka, Phosphorus recovery from wastewater by microbial fuel cell; Effects of Mg, NH<sub>4</sub>, and substrate concentration, Cairns (Australia), 1-4 September 2013, International Society for Microbial Electrochemistry and Technologies.</li> <li>14. Kayako Hirooka, Osamu Ichihashi, Effects of cathode performance on electricity generation and microbial community structure in microbial fuel cell, Cairns (Australia), 1-4 September 2013, International Society for Microbial Electrochemistry and Technologies.</li> <li>15. Ayuri Motoyama, Kayako Hirooka, Osamu Ichihashi, Fusheng Li, Effect of external resistance on removal and recovery of phosphorus from artificial wastewater by microbial fuel cell, Cairns (Australia), 1-4 September 2013, International Society for Microbial Electrochemistry and Technologies.</li> <li>16. 市橋 修, 廣岡 佳弥子, 微生物燃料電池を用いた廃水からのリン回収, 東京都, 2013年9月27日~28日, 公益社団法人電気化学会.</li> <li>17. 市橋 修, 廣岡 佳弥子, 微生物燃料電池による廃水からの電気エネルギーと栄養塩の同時回収, 岐阜市, 2013年9月13日~14日, 環境技術学会.</li> <li>18. 廣岡 佳弥子, 市橋 修, 微生物燃料電池カソードの非白金化が発電および微生物群集に与える影響, 岐阜市, 2013年9月13日~14日, 環境技術学会.</li> <li>19. Ayuri Motoyama, Osamu Ichihashi, Kayako Hirooka, Fusheng Li, Effect of external resistance on recovery of phosphorus from wastewater by microbial fuel cell, Gifu-city, 16-20 October 2013, Organizing Committee for EPAM2013 (Environmental and Public Health Issues in the Asian Mega-Cities).</li> <li>20. 市橋 修, 廣岡 佳弥子, 黄 魁, カソードの酸素還元能力が微生物燃料電池の発電および微生物群集に与える影響, 札幌市, 2013年11月19日~21日, 土木学会環境工学委員会.</li> <li>21. 本山 亜友里, 市橋 修, 廣岡 佳弥子, 李 富生, 微生物燃料電池による廃水からのリン回収量に影響を及ぼす諸因子の解明, 岐阜市, 2014年3月7日, 土木学会中部支部.</li> <li>22. 松浦 健成, 竹口 竜弥, 有川 英一, 廣岡 佳弥子, 市橋 修, 李 富生, 微生物燃料電池のカソードにおける白金触媒にかわるジルコニウム系触媒の開発, 岐阜市, 2014年3月7日, 土木学会中部支部. 3月7日</li> <li>23. 松浦 健成, 竹口 竜弥, 有川 英一, 廣岡 佳弥子, 市橋 修, 李 富生, 微生物燃料電池のカソードにおけるジルコニウム系非白金触媒の開発, 仙台市, 2014年3月17日~19日, 水環境学会.</li> <li>24. 本山 亜友里, 市橋 修, 廣岡 佳弥子, 李 富生, 微生物燃料電池による廃水からのリン回収に影響する因子の解明, 仙台市, 2014年3月17日~19日, 水環境学会.</li> <li>25. 廣岡 佳弥子, 松浦 健成, 市橋 修, 微生物燃料電池の馴致期間におけるアノード電位が電子生産微生物の活性に与える影響, 仙台市, 2014年3月17日~19日, 水環境学会.</li> </ol> <p>一般向け 計3件</p>
--	---

様式21

	<p>1. 廣岡 佳弥子, 市橋 修, 微生物燃料電池を用いた廃水からのエネルギー回収型リン回収システム, 東京都, 2012年5月31日～6月1日, 科学技術振興機構.</p> <p>2. 廣岡佳弥子, 微生物燃料電池を用いた廃水からのエネルギー回収型リン回収システム, 東京都, 2013年8月29～30日, JST および NEDO.</p> <p>3. 廣岡佳弥子, 微生物燃料電池の廃水処理分野における可能性, 金沢市, 2014年3月4日, 金沢大学 理工研究域 サステナブルエネルギー研究センター.</p>
図書 計1件	<p>1. 排水汚水処理技術集成 vol.2, エヌ・ティー・エス, 2013, 総ページ数: 436 ページ, ISBN: 978-4-86469-081-2.</p> <p>(担当箇所: 廣岡 佳弥子, 市橋 修, 微生物燃料電池を用いた廃水からのリンとエネルギーの同時回収, pp103-112.)</p>
産業財産権 出願・取得状況 計1件	<p>(取得済み) 計0件</p> <p>(出願中) 計1件</p> <p>1. [名称] 微生物燃料電池, [発明者] 廣岡佳弥子、市橋修, [権利者] 国立大学法人岐阜大学, [出願番号] 特願 2012-219612, 特願 2011-218802(出願訂正), [出願年月日] 平成 24 年 10 月 1 日, 平成 23 年 10 月 1 日(出願訂正), [国内・外国] 国内</p>
Webページ (URL)	<p><a href="http://www.green.gifu-u.ac.jp/~khirooka/">http://www.green.gifu-u.ac.jp/~khirooka/</a></p> <p><a href="http://www.green.gifu-u.ac.jp/~ichihashi/">http://www.green.gifu-u.ac.jp/~ichihashi/</a></p> <p><a href="http://pubjim.gifu-u.ac.jp/wwwgifu/02/other/hirooka-j.pdf">http://pubjim.gifu-u.ac.jp/wwwgifu/02/other/hirooka-j.pdf</a></p>
国民との科学・技術対話の実施状況	
新聞・一般雑誌等掲載 計2件	<p>1. SCOPE Newsletter, 86号13ページ目, 2012年5月, 「Microbial fuel cell production of struvite and electricity」 [URL] <a href="http://www.ceep-phosphates.org/Files/Newsletter/ScopeNewsletter86.pdf">http://www.ceep-phosphates.org/Files/Newsletter/ScopeNewsletter86.pdf</a> [出版元]CEEP(Centre Européen d'Etudes des Polyphosphates: ヨーロッパリン研究センター)</p> <p>2. 日経産業新聞, 2012年12月3日11ページ, 「家畜ふん尿からリン回収」</p>
その他	<p>・愛知教育大学附属岡崎中学校での理科の授業での微生物燃料電池の紹介に協力(2013年10月)</p>

7. その他特記事項

NHK 岐阜放送局から、本研究についての取材を受けた(2013年7月～2014年3月)。取材の結果、NHK 総合テレビ「おはよう東海」で、2014年4月14日に本研究が紹介された(「岐阜発! 夢の新技术 水から資源とエネルギーを取り出せ!」)。また、同内容は4月15日 NHK 岐阜「ほっとイブニングぎふ」で再放送された。

本放送の結果、読売新聞社および朝日新聞社から取材を受け、それぞれ紹介記事が掲載された。

・読売新聞中部版(2014年4月21日 朝刊)「畜産排水で発電」

・朝日新聞(2014年5月24日 朝刊)「リン回収する微生物燃料電池の研究」