

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成26年5月30日現在

機関番号：13102

研究種目：若手研究（S）

研究期間：2009～2013

課題番号：21676004

研究課題名（和文）

途上国に適用可能な硫黄サイクル微生物機能活性化・次世代水資源循環技術の創成

研究課題名（英文）

Development of next generation water resources circulation technology, using sulfur cycle microbes, applicable to developing countries

研究代表者

山口 隆司（YAMAGUCHI TAKASHI）

長岡技術科学大学・工学研究科・教授

研究者番号：10280447

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 81,000 千円、（間接経費） 24,300 千円

## 研究成果の概要（和文）：

都市下水処理の有機物除去の問題を解決する技術を開発するため、本研究では嫌気性汚泥床と下降流懸架式スポンジ槽とを組み合わせた水処理システムについて研究を行った。実証試験の結果、本システムにより浮遊生固形性物質と生物化学的酸素要求量の除去率は、夏季において95%以上、冬季において85%以上と高いレベルに達した。このことから本提案システムは顕在化している下水処理の問題を解決するひとつの方法になり得ることが分かった。加えて、嫌氣的硫黄酸化反応が起こる嫌気性汚泥床について微生物解析したところ、*Proteobacteria* 門に属する微生物が主要な微生物グループのひとつであることが明らかとなった。

## 研究成果の概要（英文）：

In order to fulfill the imperative need of proper organic matter removal technology for municipal wastewater treatment, an integrated system of Upflow Anaerobic Sludge Blanket and Down-flow Hanging Sponge reactor is discussed in this study. The findings of this study demonstrated that average Suspended Solid and Biochemical Oxygen Demand removal efficiency in summer (in winter) by the system were archived over 95% (over 85%). Therefore, this proposed system could be an innovative solution for present prevalent wastewater treatment problems. An extensive analysis of the diversity of microbes involved in anaerobic sulfur oxidation in the anaerobic reactor, it shown that bacteria belonging to the phylum *Proteobacteria* was observed as a major bacteria group.

研究分野：土木

科研費の分科・細目：土木環境システム

キーワード：下水、微生物、生物処理、環境浄化、微生物解析、硫黄動態

## 1. 研究開始当初の背景

途上国では、下水の90%以上が未処理で河川等に垂れ流しの状態であり、特に都市部では人口集中による水環境の劣悪化が進んでいる。水環境の悪化は、飲料水源の汚染、肝炎、赤痢、コレラ、ジアルジア症などの消化器系疾病の発生などの問題につながり、実に途上国では水関係の疾病による死亡が全死亡率の約8割にまで及んでいると報告されている（WHO）。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、途上国に適用可能な新規

下水処理技術の開発と、反応に関わる微生物生態の解明を行うことで、本邦発の環境技術を世界に発信し、途上国の水環境健全化・水資源確保に貢献することにある。

本技術開発の具体的な目標は、電力供給状態の悪い途上国でも稼働可能であることを鑑み、曝気電力を必要とする「標準活性汚泥法」と比較して最終処理水質が同程度で、省エネルギー、低汚泥排出、低CO<sub>2</sub>排出（いずれも活性汚泥法と比べて2/3削減）である特性を有する装置とする。

適用性については、硫黄サイクル微生物に着目することにより、冬季に下水温が10℃以下

下にまで低下する温帯や高地の低温下水でも稼働可能な装置とする。学術的にはこれまで全く未知である嫌氣的硫黄酸化現象の反応メカニズムの解明を試みる点が世界初で独創的である。

### 3. 研究の方法

(1) 硫黄サイクル微生物機能を活性化し低温下水に適用可能な処理システムの評価

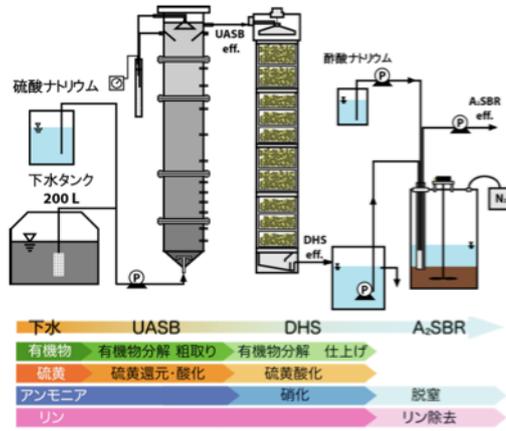


図1 UASB/DHS 概略図及び処理フロー

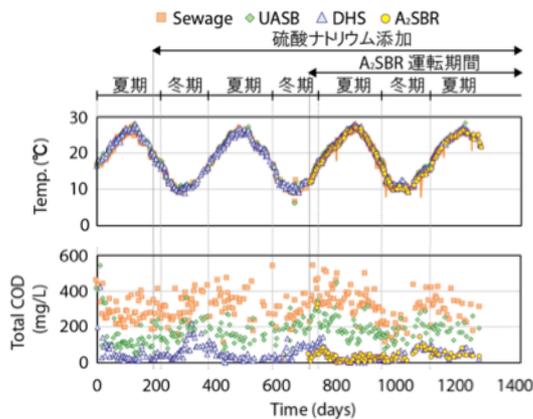


図2 UASBとDHSの全COD濃度の経日変化

① 下水処理システムの開発：前段装置として途上国で普及している上昇流嫌気性汚泥床（Upflow Anaerobic Sludge Blanket, UASB）、後段装置として申請者らが開発を進めてきた下降流懸架式スポンジ型好気性反応槽（Downflow Hanging Sponge, DHS）を組み合わせた「UASB+DHS」の構成とする。システムの有機物（BOD）分解者としては、メタン生成古細菌、脱窒素細菌、BOD酸化菌に加えて、硫黄酸化還元サイクルの微生物も積極的に活用することとする。硫黄サイクル微生物によるBOD除去は、特に、低温時に有用となる。

② 下水処理システムの運転因子の評価：新潟県長岡市の長岡中央浄化センターの実下水を供給するラボスケール下水処理装置を用いて、温度低下を伴う連続下水処理試験

を行う。

③ 装置保持微生物の増殖特性とBOD除去の役割評価：装置保持汚泥に対して、微生物存在割合・分布評価試験、代謝活性試験、分子生物学的系統解析等を評価する。

(2) 微生物生態解析と嫌氣的硫黄酸化反応に関わる反応メカニズムの解明

① 硫黄サイクル微生物の探索：低温となる実下水処理装置における硫黄サイクル微生物の生態的な位置づけを、微生物存在割合・分布評価試験、分子生物学的系統解析等で評価する。

② 嫌氣的硫黄酸化現象の解明：これまでに申請者は、酸素、硝酸・亜硝酸、鉄、元素硫黄がほとんど存在しない嫌気槽内において、硫化物の硫酸塩への酸化現象が比較的大きなポテンシャルで起きていることを複数の装置で観察している。嫌氣的硫黄酸化反応の現象を、物理化学的硫黄酸化の検討、微生物生態評価、メッセンジャーRNA解析、酵素分析等から明らかにするとともに、反応器設計因子として定量化し、反応機構の解明を目指す。

(3) 途上国の実下水を用いた長期連続試験

① 途上国の現地水質状況等の調査：コンケン（タイ）、アジア、中南米を対象に進める。

② セミパイロットスケール下水処理長期連続実証試験の実施：設置場所はコンケン（タイ東北部）とし、長期連続実証試験から途上国への適用のために必要な設計要件や、エネルギー消費、汚泥生成量等を評価する。

③ 実用化についての検討：本技術を途上国にて普及させるために、装置設計、維持管理に関するガイドラインを作成する。省エネ、汚泥・二酸化炭素排出削減効果を試算する。

### 4. 研究成果

(1) 硫黄サイクル微生物機能を活性化し低温下水に適用可能な処理システムの評価

図1はUASB/DHSの概略図及び処理フローを示す。処理システムは、UASB（高さ4.7m、全容積1178L）とDHS（スポンジ総容積454L、スポンジ充填率53%）で構成した。また、運転700日目以降にA<sub>2</sub>SBRユニットを追加して、窒素・リン等の栄養塩類の除去も試みた。UASB-DHSシステムは長岡中央浄化センターに設置し、スクリーン通過後の実下水を供給した。供給する下水には硫酸ナトリウム（40-150mg-S/L）を添加した。硫酸ナトリウムは運転98日目から添加した。HRTはUASB 8時間、DHS 3.1時間（スポンジ容積当たり）とした。

図2は全COD濃度の経日変化を示す。UASB-DHSは、運転開始から安定した処理を行えた。流入下水温が17°C以上の期間を

夏期、17°C 未満の期間を冬期とすると、夏期の平均全 COD 除去率は、UASB 単槽で 46±22%、UASB-DHS システムで 85±13%、UASB-DHS-A<sub>2</sub>SBR システムで 87±10%であった。冬期の平均全 COD 除去率は、UASB 単槽で 35±19%、UASB-DHS システムで 79±13%、UASB-DHS-A<sub>2</sub>SBR システムで 84±14%であった。以上の結果より、UASB-DHS は、硫黄微生物を利用して 10°C 程度の低温条件下でも卓越した有機物分解能を発揮していたことが示された。

## (2) 微生物生態解析と嫌氣的硫黄酸化反応に関わる反応メカニズムの解明

図 3 は流入下水温および硫黄酸化量、還元量の経日変化を示す。硫酸ナトリウム水溶液添加後、硫酸塩還元は流入下水温に関係なく進行した。一方、硫黄酸化は流入下水温が 17°C 以下になると進行する傾向が見られ、既往の知見と同様の結果が得られた。本研究で硫黄酸化が確認された位置の ORP 値は-345~-255 mV、pH は 6.8~7.4 の中性付近であった。

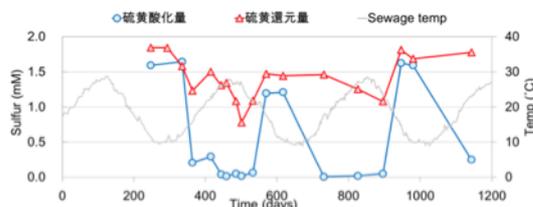


図 3 流入下水温と硫黄酸化/還元量の経日変化

図 4 は UASB 槽保持汚泥の 16S rRNA 遺伝子を標的とした次世代シーケンサーによる解析結果を示す。*Proteobacteria* 門のうち、*Deltaproteobacteria* 綱 (硫酸塩還元細菌が多く属する) が約 80% を占めており、下水温の低下に伴い、検出率は増加する傾向がみられた。一方、硫黄酸化還元に関与すると考えられている未培養細菌群を含む *Caldiserica* 門も高頻度に検出されたが、低温時にその割合は減少傾向にあった。表 1 に嫌氣的硫黄酸か反応発生/非発生時期での *Deltaproteobacteria* 綱細菌の検出率を示したが、酢酸やプロピオン酸資化性の硫酸塩還元細菌である *Desulforhabdus* 属のみ、嫌氣的硫黄酸か反応発生時期に検出率が増加していた。本細菌が硫黄酸化に関与するといった報告は今のところ無く、どのように嫌氣的硫黄酸化反応に関与しているかは未だ不明である。

嫌氣的硫黄酸化反応の進行と供給基質種との関係について評価するため、有効容積 13.7 L、内径 0.10 m、反応部高さ 1.75 m で下部より 0.3 m おきにサンプリングポートを設けた UASB 槽を用いた。本リアクターは 15°C 室内に設置し、植種汚泥には嫌氣的硫黄

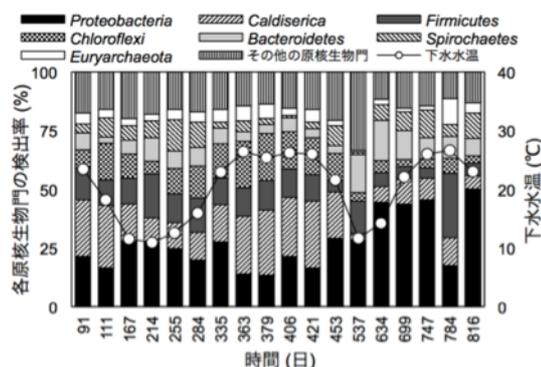


図 4 UASB 槽内の微生物群集構造 (門レベル)

表 1 *Deltaproteobacteria* 綱細菌の検出率

<i>Deltaproteobacteria</i> 綱 (属レベル)	検出率 (%)		反応発生時期での検出率の増減
	非発生時期	発生時期	
<i>Desulforhabdus</i>	5.0	6.8	増加
<i>Desulfovibrio</i>	7.2	5.0	減少
<i>Smithella</i>	2.1	1.6	減少
Uncultured <i>Syntrophaceae</i> spp.	3.4	2.2	減少

酸化が確認された下水処理 UASB リアクターのグラニューール汚泥を用いた。供給基質の有機源には糖蜜廃水または乳酸ナトリウムを用い (流入 COD 濃度 200~300 mg/L)、硫黄源には硫酸ナトリウム (1.5 mM) または硫化ナトリウム (1.0 mM) を用いた。

一例として、乳酸ナトリウムを有機源に、硫酸ナトリウムを硫黄源に用いて、嫌氣的硫黄酸化反応が進行した ( )。嫌氣的硫黄酸化反応は、これまで硫酸ナトリウムを添加した下水でのみ確認されていたが、有機源として糖蜜廃水または乳酸ナトリウム、硫黄源として硫酸ナトリウムを用いることで再現可能であった。また、硫酸塩濃度の増加 (硫化物濃度の減少) に伴って、溶存無機炭素能の減少、溶存メタン濃度の増加が確認された。このことから、本反応は重炭酸イオンを電子受容体として利用し、メタン生成を伴う反応であることが示唆された。硫黄源として硫化ナトリウムを用いた場合、本反応は再現できなかったことから、嫌氣的硫黄酸化反応にはまず硫酸塩還元反応を起こすことが必要であると考えられた。

## (3) 途上国の実下水を用いた長期連続試験

途上国の現地水質状況コンケン (タイ東北部) を対象に進めた。コンケン市で排出される下水は有機物濃度が非常に低く、既存の処理システムである生物安定池法では処理水の放流基準を達成しているものの、有機物除去性能は非常に低く、今後予測される処理流量の増加や下水の有機物濃度の上昇には対応が困難であることが確認された。

セミパイロット下水処理装置を製作し、長期連続実証試験を開始した。設置場所は、コンケン (タイ東北部) とした。タイの下水は日本の一般的な下水の有機物濃度 (100~500

mgBOD/L) よりはるかに低濃度 (約 20~60mgBOD/L) であった。従って、嫌気-DHS システムがタイにおける下水処理に有効な手段の一つであると考えられた。本研究では、タイにおける省エネルギー型下水処理技術の開発を目的として、沈殿槽/DHS システムを用いて実下水の 192 日間の連続処理実験を行ない、処理性能の評価を行なった。

開発システムである嫌気-DHS システムでは、生物安定池法と比較して優れた処理性能を有しており、また曝気動力不要、設置面積の縮小化も可能であることから、低コスト型下水処理システムとして、タイにおける下水処理に適用可能であることが示唆された。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 27 件)

- 1) Molecular characterization of anaerobic sulfur-oxidizing microbial communities in up-flow anaerobic sludge blanket reactor treating municipal sewage, A.A. Aida, M. Hatamoto, M. Yamamoto, S. Ono, A. Nakamura, M. Takahashi, T. Yamaguchi, Journal of Bioscience and Bioengineering, 2014, Accepted.
- 2) Microbial community composition of a down-flow hanging sponge (DHS) reactor combined with an up-flow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor for the treatment of municipal sewage, K. Kubota, M. Hayashi, K. Matsunaga, A. Iguchi, A. Ohashi, Y. Li, T. Yamaguchi, H. Harada, Bioresource Technology, 144-150, 2014.
- 3) Characterization of the retained sludge in a down-flow hanging sponge (DHS) reactor with emphasis on its low excess sludge production, T. Onodera, K. Matsunaga, K. Kubota, R. Taniguchi, H. Harada, K. Syutsubo, T. Okubo, S. Uemura, N. Araki, M. Yamada, M. Yamauchi, T. Yamaguchi, Bioresource Technology, 136, 169-175, 2013.
- 4) Enhancement of denitrification in a down-flow hanging sponge reactor by effluent recirculation, N. Ikeda, T. Natori, T. Okubo, A. Sugo, M. Aoki, M. Kimura, T. Yamaguchi, H. Harada, A. Ohashi, S. Uemura, Water Science and Technology, 68 (3), 591-598, 2013.
- 5) Down-flow hanging sponge; energy saving; excess sludge; municipal sewage treatment; up-flow anaerobic sludge blanket, H. Tanaka, M. Takahashi, Y. Yoneyama, K. Syutsubo, K. Kato, A. Nagano, T. Yamaguchi, H. Harada, Water Science and Technology, doi: 10.2166/wst.2012.297.
- 6) Energy saving system with high effluent quality for municipal sewage treatment by UASB-DHS, H. Tanaka, M. Takahashi, Y. Yoneyama, K. Syutsubo, K. Kato, A. Nagano, T. Yamaguchi, H. Harada, Water Science and Technology, 66 (6), 1186-1194, 2012.
- 7) Detection of single-copy functional genes in prokaryotic cells by two-pass TSA-FISH with polynucleotide probes, S. Kawakami, T. Hasegawa, H. Imachi, T. Yamaguchi, H. Harada, A. Ohashi, and K. Kubota, Journal of Microbiological Methods, 88, 218-223, 2012.
- 8) The effect of salinity on nitrite accumulation in a DHS reactor, T. Natori, Y. Takemura, H. Harada, K. Abe, A. Ohashi, M. Kimura, T. Yamaguchi, T. Okubo, S. Uemura, Journal of Chemical Technology and Biotechnology, 87, 1466-1472, 2012.
- 9) Enrichment of anammox bacteria from mudflat sediments collected in Tokyo Bay, S. Uemura, N. Ikeda, T. Natori, T. Okubo, T. Yamaguchi, M. Kimura, A. Iguchi, H. Harada, African Journal of Microbiology Research, 6(16), 3778-3782, 2012.
- 10) Long term evaluation of the effect of salinity on organic removal and ammonium oxidation in a down-flow hanging sponge reactor, S. Uemura, M. Kimura, T. Yamaguchi, A. Ohashi, Y. Takemura, H. Harada, International Journal of Environmental Research, 6(2), Spring 361-366, 2012.
- 11) *Methanolinea mesophila* sp. nov., a hydrogenotrophic methanogen isolated from rice field soil, and proposal of the archaeal family Methanoregulaceae fam. nov. within the order Methanomicrobiales, S. Sakai, M. Ehara, I.C. Tseng, T. Yamaguchi, S.L. Bräuer, H. Cadillo-Quiroz, S.H. Zinder, H. Imachi, International Journal of Environmental Research, 62 (6), 1389-1395, 2012.
- 12) Direct treatment of settled sewage by DHS reactors with different size sponge support media, S. Uemura, S. Suzuki, Y. Maruyama, A. Ohashi, T. Yamaguchi, H. Harada, International Journal of Environmental Research, 6(1), Winter 25-32, 2012.
- 13) Cultivation of methanogenic community from subseafloor sediments using a continuous-flow bioreactor, H. Imachi, K. Aoi, E. Tasumi, Y. Saito, Y. Yamanaka, Y.

- Saito, T.Yamaguchi, H. Tomaru, R. Takeuchi, Y. Morono, F. Inagaki, K. Takai, ISME J, 5, 1913-1925, 2011.
- 14) *Methanoregula formicica* sp. nov., a methane-producing archaeon isolated from methanogenic sludge, Y. Tashiro, S. Sakai, M. Ehara, M. Miyazaki, T.Yamaguchi, H. Imachi, International Journal of Environmental Research, 61 (1), 53-59, 2011.
- 15) Evaluation of sludge properties in a pilot scale UASB reactor for sewage treatment in temperate region, K. Syutsubo, W. Yoochatchaval, I. Tsushima, N. Araki, K. Kubota, T. Onodera, M. Takahashi, T.Yamaguchi, Y. Yoneyama, Water Science and Technology, 64 (10), 1959-1966, 2011.
- 16) Evaluation of treatment characteristics and sludge properties in a UASB reactor treating municipal sewage at ambient temperature, M. Takahashi, A. Ohya, S. Kawakami, Y. Yoneyama, T. Onodera, K. Syutsubo, S. Yamazaki, N. Araki, H. Harada, T.Yamaguchi, International Journal of Environmental Research, 5 (4), 821-826, 2011.
- 17) Performance of a pilot-scale sewage treatment: An up-flow anaerobic sludge blanket (UASB) and a down-flow hanging sponge (DHS) reactors combined system by sulfur-redox reaction process under low-temperature conditions, M. Takahashi, T.Yamaguchi, Y. Kuramoto, A. Nagano, S. Shimosaki, H. Sumino, N. Araki, S. Yamazaki, S. Kawakami, H. Harada, Bioresource Technology, 102, 753-757, 2011.
- 18) Removal of organic substances and oxidation of ammonium nitrogen by a down-flow hanging sponge (DHS) reactor under high salinity conditions, S. Uemura, S. Suzuki, K. Abe, K. Kubota, T.Yamaguchi, A. Ohashi, Y. Takemura, H. Harada, Bioresource Technology, 101, 5180-5185, 2010.
- 19) Application of a Single-chamber Microbial Fuel Cell (MFC) for organic wastewater treatment: influence of changes in wastewater composition on the process performance, K. Kubota, W. Yoochatchaval, T.Yamaguchi, K. Syutsubo, Sustainable Environment Research, 6 (20), 347-351, 2010.
- 20) Removal of organic substances and oxidation of ammonium nitrogen by a down-flow hanging sponge (DHS) reactor under high salinity conditions, S. Uemura, S. Suzuki, K. Abe, K. Kubota, T.Yamaguchi, A. Ohashi, Y. Takemura, H. Harada, Bioresource Technology, 101, 5180-5185, 2010.
- 21) Application of a Single-chamber Microbial Fuel Cell (MFC) for organic wastewater treatment: influence of changes in wastewater composition on the process performance, K. Kubota, W. Yoochatchaval, T.Yamaguchi, K. Syutsubo, Sustainable Environment Research, 6 (20), 347-351, 2010.
- 22) Evaluation of sludge properties in a pilot scale UASB reactor for sewage treatment in temperate region, K. Syutsubo, W. Yoochatchaval, I. Tsushima, N. Araki, K. Kubota, T. Onodera, M. Takahashi, T.Yamaguchi, Y. Yoneyama, 12th World Congr. Anaerobic Dig, 90, 2010.
- 23) Detection of denitrifying bacteria by tyramide signal amplification - fluorescence in situ hybridization (TSA-FISH), M. Aoki, K. Maetani, N. Araki, S. Kawakami, T.Yamaguchi, 17th Asian Symposium on Ecotechnology, 26, 2010.
- 24) Development of 16S rRNA gene-targeted primers for detection of archaeal anaerobic methanotrophs (ANMEs), A. Miyashita, H. Mochimaru, H. Kazawa, A. Ohashi, T.Yamaguchi, K. Horikoshi, T. Nunoura, K. Takai, H. Imachi, FEMS Microbiology. Letter, 297 (1), 31-37, 2009.
- 25) In Situ Detection and Quantification of Uncultured Members of the Phylum Nitrospirae Abundant in Methanogenic Wastewater Treatment Systems, A. Iguchi, T. Terada, T. Narihiro, T.Yamaguchi, Y. Kamagata, Y. Sekiguchi, Microbes and Environments, 24(2), 97-104, 2009.
- 26) *Methanofollis ethanolicus* sp. nov., an ethanol-utilizing methanogen isolated from a lotus field, H. Imachi, S. Sakai, H. Nagai, T.Yamaguchi, K. Takai, International Journal of Environmental Research, 59, 800-805, 2009.
- 27) Influence of sugar content of wastewater on the microbial characteristics of granular sludge developed at 20° C in the anaerobic granular sludge bed reactor, W. Yoochatchaval, I. Tsushima, T.Yamaguchi, N. Araki, H. Sumino, A. Ohashi, H. Harada, K. Syutsubo, Journal of Environmental Science and Health, PART A

(Toxic/Hazardous Substance & Environmental Engineering), 44, 921-927, 2009.

[学会発表] (計 35 件)

- 1) Detection of Archaea in an upflow anaerobic sludge blanket reactor by in situ hybridization chain reaction-fluorescence in situ hybridization, T. Yamaguchi, S. Kawakami, M. Hatamoto, M. Takahashi, K. Kubota, H. Imachi, N. Araki, T. Yamaguchi, The 13th World Congress on Anaerobic Digestion, 122, 2013.
  - 2) A novel detection method for visualizing environmental microbes with low rRNA content and low cell permeability by using in situ HCR-FISH, T. Yamaguchi, S. Kawakami, M. Hatamoto, M. Takahashi, K. Kubota, H. Imachi, N. Araki, T. Yamaguchi, Annual Conference of the Association for General and Applied Microbiology, 204, 2013.
  - 3) Molecular analysis of microbial communities involved in anaerobic sulphur-oxidation in UASB reactor treating municipal sewage, A. A. Azmi, M. Hatamoto, M. Yamamoto, S. Ono, M. Takahashi, T. Yamaguchi, 13th World Congress on Anaerobic Digestion, p. 71, 2013.
  - 4) Phylogenetic diversity analysis of microorganisms relevant to anaerobic/anoxic wastewater treatment, K. Kuroda, M. Hatamoto, A. Nakamura, M. Yamauchi, M. Yamada, T. Yamaguchi, The 3rd International Symposium on Technology for Sustainability, accepted, 2013.
  - 5) An integrated system of Sedimentation-DHS-A<sub>2</sub>SBR for effective removal of organic matter and nutrients from municipal wastewater, N. Maharjan, K. Dehama, K. Ohtsuki, Y. Saito, Y. Miyaoka, T. Tshering, A. Nakamura, M. Hatamoto, T. Yamaguchi, Water and Environment Technology Conference, 6, 2013.
  - 6) Namita M., K. DEHAMA, K. OHTSUKI, T. CHOSEI, K. SAKAMOTO, Y. SAITO, Y. MIYAOKA, T. TSHERING, A. NAKAMURA, M. HATAMOTO and T. Yamaguchi: Assessment of combined system of UASB-DHS-A<sub>2</sub>SBR for municipal sewage treatment, pp. 286-287, The 3rd International Symposium on Technology for Sustainability, 2013
  - 7) In situ HCR-FISH: a new sensitive fluorescence in situ hybridization technique for detecting environmental microorganisms, T. Yamaguchi, S. Kawakami, M. Hatamoto, M. Takahashi, K. Kubota, H. Imachi, N. Araki, T. Yamaguchi, 14th International Symposium on Microbial Ecology, 15, 2012.
  - 8) Microbial communities involved in anaerobic sulfur-oxidation in UASB reactor treating municipal sewage, A. A. Azmi, M. Hatamoto, M. Yamamoto, S. Ono, A. Nakamura, M. Takahashi, T. Yamaguchi, The 4th IWA Asia-Pacific Young Water Professionals Conference, 304-307, 2012.
  - 9) Characterization of anaerobic sulfur-oxidizing microbial communities in a UASB reactor treating municipal sewage, A. A. Azmi, M. Hatamoto, S. Ono, A. Nakamura, M. Takahashi, T. Yamaguchi, Water and Environment Technology Conference, 18, 2012.
- 10-35)他 26 件

[図書] (計 3 件)

- 1) 総説 — 嫌気性生物処理を中心に—、山口隆司，幡本将史，中村明靖，多川正，山崎慎一，排水・汚水処理技術集成 vol. 2、第 2 編 第 1 章 処理技術研究の最前線の総説を執筆、2013
- 2) 微生物燃料電池による廃水処理システム最前線 (第 1 編、第 2 章、第 2 節)、山口隆司、山口剛士、幡本将史、中村明靖、川上周司、久保田健吾、NTS、75-88、2013.
- 3) 水浄化技術の最新動向：山口隆司，高橋優信，幡本将史，川上周司，久保田健吾，原田秀樹，山田真義，山内正仁，荒木信夫，山崎慎一：2 章 4 節「次世代水資源循環技術」中の pp. 121-131 を担当)、シーエムシー出版、2011 年

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等：

<http://ecolab.nagaokaut.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山口隆司 (長岡技術科学大学、教授)

研究者番号：10280447

(2) 研究協力者

クーシビライ・パイラヤ (タイ王国、コンケン大学、講師)

研究者番号：-