

平成 30 年 6 月 27 日現在

機関番号：53701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K06278

研究課題名(和文)高濃度酸素を用いるHi-DHSリアクターによる簡単で速い下水の高度処理

研究課題名(英文)Simple and high rate advanced sewage treatment by High-DO DHS reactor using pure oxygen

研究代表者

角野 晴彦 (SUMINO, Haruhiko)

岐阜工業高等専門学校・その他部局等・准教授

研究者番号：50390456

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：Hi-DHSおよびDHSリアクターの間欠供給運転は、好気と嫌気環境の完全な制御には至らなかったが、単体のリアクターでかつ簡単な運転での脱窒、部分硝化および生物膜の肥大化防止を期待できる知見を得た。保持汚泥性状は、連続供給運転と比較して異なり、排水濃度、有機物負荷、処理時間および間欠供給のインターバル時間の運転条件毎でも異なった。

研究成果の概要(英文)：The intermittent feeding operation of High-DO DHS (Down-flow Hanging Sponge) reactor and DHS reactor couldn't control between aerobic to anaerobic completely. Although, the result of study was expected that a Hi-DHS/DHS reactor of single reactor and simple operation can denitrify, partial nitrify and prevent of biofilm overgrowth. Characteristics of retained sludge in the Hi-DHS/DHS reactor was different between the intermittent feeding operation and the continuous feeding operation, and also was different by organic matter concentration and hydraulics retention time.

研究分野：衛生工学、環境工学

キーワード：DHSリアクター 間欠供給運転 生物膜

1. 研究開始当初の背景

これまで本研究室では、高濃度酸素を用いる High DO Down-flow Hanging Sponges (Hi-DHS) リアクターを開発した。COD 1,000 mg/L 程度の有機性排水を処理したところ、流すだけの簡単な運転、余剰汚泥を低減、チョウバエ発生を抑制するという長所を見せながら、標準活性汚泥法の4倍(空塔容積基準で2倍)の高速処理を達成した。

ここでろ材内部には嫌気環境、すなわち好氣的に有効にできる部分が存在しており、前述した Hi-DHS リアクターの長所は低濃度な下水でさらに優位性が発揮できると考えた。加えて、Hi-DHS リアクターの DO 獲得と消費状況の調査結果より、下水の間欠供給によって好気(硝化)と嫌気(脱窒)の環境を意図的に形成させ、高度処理(窒素除去)も可能になると考えた。

2. 研究の目的

本研究では、前述の着想を種々の実験で検証する。具体的には、高濃度酸素によってろ材内部まで素早く好気環境を形成させる“供給モード”、ろ材内部の酸素を消費させ嫌気環境を形成させる“供給停止モード”、これら2つのモード時間設定を下水等の連続処理を中軸にして調査する。

3. 研究の方法

(1) 連続供給運転の Hi-DHS リアクターによる実豆腐工場排水処理

Hi-DHS リアクターは2槽を直列で繋げた。ろ材は、三角柱スポンジ(幅38 cm、断面積5 cm²)とした。ろ床は、ろ材を水平方向にして、縦1.0 mの塩化ビニル製のシートの両面に鉛直方向に連ねて貼り付けたものとした。このろ床を、1槽につき、水平方向に4枚を1組にして、鉛直方向に2組設置した。2槽の合計のろ材本数は766本、スポンジ間隙容積は140 Lである。排水は、ろ床を流下する間に保持汚泥によって処理される。1・2槽目の底部、2槽目流出水の後に最終沈殿槽を設置した。

気相部への酸素供給は、PSA 酸素濃縮器を用いた。送気する酸素濃度は90%程度で、流れは処理水と同じとした。

0~331日目まで、排水は実豆腐工場の排水ピットから連続的に採取し、Hi-DHS リアクターに供給した。322日目以降、SSを沈殿除去するため、最初沈殿槽を設置した。排水ピットから最初沈殿槽に1日数回に分けて排水を採取し、上澄みを Hi-DHS リアクターに供給した。

(2) 間欠供給運転の DHS リアクターによる下水処理

担体は、直径3.5 cm、高さ3.0 cmの円柱状の樹脂製リングに、スポンジを詰め込んだもの

を使用した。担体を直径9 cm、高さ34 cmのかごに27個充填した。かご中の担体の充填高さは32 cmである。このかごを直径15 cm、高さ190 cmのカラムの中に5つ積み上げてろ床とした。ろ床は、かごの高さ170 cm、担体の充填高さ160 cmである。担体保水量は、ろ床全体で3.1 Lである。カラムは処理に伴い発生する羽虫の飛散を防止するために、排気部と処理水流出部に水封槽を設置し、密閉した。カラム内へは、送気ポンプで空気を供給した。リアクターは、連続供給用と間欠供給用の2基準備した。間欠供給用の流入ポンプにはタイムスイッチを使用し、これにより供給時間と停止時間を制御した。

下水は、本校の合併処理浄化槽の調整槽から採取した。下水は週2回程度入れ替えた。機種には、本校の合併処理浄化槽の活性汚泥を使用した。設定HRTは運転0~74日目で5 h、運転75~120日目で3 hとした。設定HRTの算出は、ろ床全体のスポンジ保水容積を用いた。間欠供給は、1サイクル中(供給時間30 min、停止時間30 min)に流出する量を設定HRTとした。室温は20℃とした。

間欠供給は、供給時間30 min、停止時間30 minで運転した。

(3) 間欠供給運転の DHS リアクターによる豆腐工場模擬排水処理

図1に実験に用いた Hi-DHS リアクターの概要を示す。スポンジろ材は、円柱型樹脂製リングに同型のスポンジ担体(直径3.5 cm、高さ3 cm)をはめ込んだものを用いた。ろ床は、まず5個用意した高さ34 cmのかごの中にスポンジろ材を合計135個詰めた。190 cmの密閉カラム容器の中に、5つのかご(セグメント)を直列に積み上げて、Hi-DHS リアクターとした。ろ床の充填高さは160 cm、スポンジろ材の間隙容積は3.1 Lとなる。酸素は、PSA(高濃度酸素発生装置)を使用して、濃度90%以上で供給する。

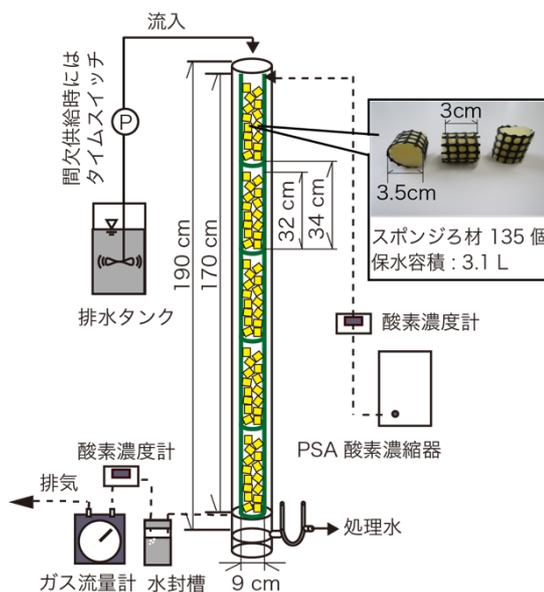


図1 Hi-DHS リアクターの概要

排水は、市販の豆乳を水道水で希釈したものとする。運転は、連続供給：0～68 日目、間欠供給：69～149 日目とした。連続供給の設定 HRT は、0～36 日目で 4 h、37～68 日目で 2 hr とした。間欠供給の設定 HRT は 69～149 日目で 2 h とした。供給時間 30 min、供給停止時間 30 min を 1 サイクルとした。室温は、全運転期間を通して 20 °C とした。

汚泥管理は、カラム壁面にまで肥大化した生物膜を除去した。頻度は、連続供給の HRT 4 hr で 2 週間に 1 回、HRT 2 h で 1 週間に 1 回、間欠供給の HRT 2 h では 2～3 週間に 1 回とした。

4. 研究成果

(1) 連続供給運転の Hi-DHS リアクターによる実豆腐工場排水処理

0～206 日目で処理水質が安定した期間で、全 COD 容積負荷 4.5～4.7 kg/m³-sponge/day、全 COD 除去率 45～80% であり、全 COD 除去率は低い箇所もあった。

207～440 日目の HRT は、処理の状況に合わせて調整し、9～38 時間で運転した。207～331 日目の排水の全 COD と溶解性 COD の平均は、それぞれ 1982 mg/L、778 mg/L であった。排水の全 COD と溶解性 COD の差より、固形性 COD が全成分の半分以上を占めている。この期間では、HRT 27 h、全 COD 負荷 1.8 kg/m³-sponge/day で運転した。

2 槽目処理水における全 COD と溶解性 COD の平均は、それぞれ 181 mg/L、85 mg/L であった。全 COD 除去率の平均は、88 % であった。この処理水質は、排水基準を満たすレベルには至らなかった。この原因は、排水の固形性 COD が原因として挙げられた。

そこで、332 日目以降、最初沈殿池を設置した。しかしながら、最初沈殿池でスカムが頻繁に発生した。そのため、排水にスカムが混入し COD が急激に高いプロットがある。

沈殿槽の機能を発揮することはできなかった。332 日目以降の排水の全 COD 2000 mg/L 以下の場合の処理性能を整理すると、外気温日平均 25～28 °C、HRT 9 h、全 COD 容積負荷 2.9 kg/m³-sponge/day の条件において、2 槽目処理水における全 COD と溶解性 COD の平均は、それぞれ 272 mg/L、99 mg/L であった。全 COD 除去率の平均は、84 % であった。結果的に最初沈殿槽の設置前の処理性能と同程度であった。ただし、最初沈殿槽の設置前は外気温日平均が 20°C を下回っており、Hi-DHS リアクターが、温度変動に対して安定した処理ができることが伺えた。既報の性能が得られなかった原因は、固形性 COD の流入と、流出の酸素濃度が既報 90% に対して 70～80% と低かったことが挙げられる。

既報¹⁾ の DHS リアクターでは季節（温度）変化で発生汚泥量は変化し、夏は四季の中で発生汚泥量は最も少なくなることが分かっている。しかし、本 Hi-DHS リアクターでは

季節変化による発生汚泥量の変化は見られなかった。本実験期間の引き抜き汚泥量/COD 除去量は、0.04 g-VSS/g-除去 COD であった。活性汚泥の増殖収率が一般に 0.6 g-VSS/g-BOD である。従って、Hi-DHS リアクターは、活性汚泥法と比較して汚泥の削減ができると考えられる。

(2) 間欠供給運転の DHS リアクターによる下水処理

下水の T-N・Org-N・NH₄⁺ の平均は、57 (±14)・41 (±10)・16 (±6) mg-N/L であった。NO₂⁻ と NO₃⁻ は、1 mg-N/L であった。

HRT 5 h における窒素除去について述べる。運転 2～16 日目における連続処理水および間欠処理水には、下水に含まれなかった NO₂⁻ と NO₃⁻ が検出され硝化が認められた。なお運転 16 日目における NO₂⁻ は、連続処理水で 0 mg-N/L、間欠処理水で 7 mg-N/L であった。運転 23 日目における連続処理水および間欠処理水の NH₄⁺・NO₂⁻ は、0・0 mg-N/L および 0・1 mg-N/L であり、完全に硝化が進行した。運転 56、65 日目付近における T-N は、70 mg-N/L 付近に増加し、連続処理水および間欠処理水には、NH₄⁺ が残存した。ここで間欠処理水には、NH₄⁺ に加えて NO₂⁻ が残存した。運転 36 日目におけるスポンジ担体の採取によって、ろ床を流下する水道が変化したと考えられる。NO₂⁻ が残存した理由には、NO₂⁻ 酸化細菌の増加の遅れ、DO の不足が挙げられる。前者であれば、連続供給でも NO₂⁻ が残存したはずである。従って、NO₂⁻ が残存した理由は、後者と考えられる。ここを除けば 23 日目以降の硝化は、高い硝化率であった。T-N 除去は硝化の進行と共に進み、運転 30 日目における T-N 除去率は連続処理で 44%、間欠処理で 39% に達した。その後、T-N 除去率は、NH₄⁺ の残存した点で低下した。

HRT 3 h における窒素除去について述べる。運転 79 日目における連続処理水および間欠処理水の NH₄⁺ は、24 mg-N/L および 25 mg-N/L であった。そのため、硝化は、HRT 短縮に対して直ちに対応できなかった。運転 99 日目における下水の NH₄⁺ が低下した。ここでは、連続供給および間欠供給は、完全に硝化が進行した。それ以外は、下水の T-N は 50 mg-N/L 以上であり、連続供給と間欠供給の NH₄⁺-N 除去率は 60% 程度に留まった。これに対して、連続処理および間欠処理の T-N 除去率は、運転 79 日目において 24% および 30% であったものが、徐々に増加し運転 119 日目において 44% および 46% となった。

HRT 5 h と HRT 3 h の窒素除去性能を比較する。HRT 5 h では、完全に硝化が進行しながら、脱窒が進行した。HRT 3 h では、硝化が進行途中であっても脱窒が進行した。そのため、硝化の観点で有利な運転は、HRT 5 h である。硝化と脱窒の同時進行の観点で有利な運転は、HRT 3 h である。

本実験条件における連続・間欠供給の DHS

リアクターのT-N除去性能に差違は確認できなかった。本研究の処理水のT-Nは、放流基準である20 mg-N/L以下とならなかった。

(3) 間欠供給運転のDHSリアクターによる豆腐工場模擬排水処理

図2に排水、処理水のBODの経日変化を示す。全運転期間における排水の水質について述べる。全CODは、最大1053 mg/L(6日目)、最小584 mg/L(29日目)であった。全期間における全CODの平均値は、830 mg/Lであった。溶解性CODは、400~700 mg/Lで変動しており、全CODの変動より大きかった。従って、排水の固形性CODの変動が大きいと言える。全BODは、最大537 mg/L(15日目)最小210 mg/L(29日目)であった。全期間における全BODの平均値は、418 mg/Lであった。溶解性BODは、最大396 mg/L(15日目)、最小89 mg/L(29日目)であった。全期間における溶解性BODの平均値は、318 mg/Lであった。

連続供給運転のHRT 4 hの処理水質について述べる。6日目に、全COD・溶解性CODは130・103 mg/Lであった。その後、全CODは、運転の経過とともに向上して、11日目以降に30 mg/L前後に落ち着いた。これは、DHSリアクターで微生物が増殖していることを示す。全BOD・溶解性BODは、運転の経過とともに向上して11日目以降に9・6 mg/L前後に落ち着いた。全BODの排水基準である20 mg/Lを満たした。従って、HRT 4 hは実用的な運転条件だと言える。

連続供給のHRT 2 hrの処理水質について述べる。HRT 2 hに短縮した直後の41日目の全COD・溶解性CODは65・46 mg/Lだった。HRT 4 hrである34日目の全COD・溶解性CODは19・17 mg/Lであったため悪化した。それ

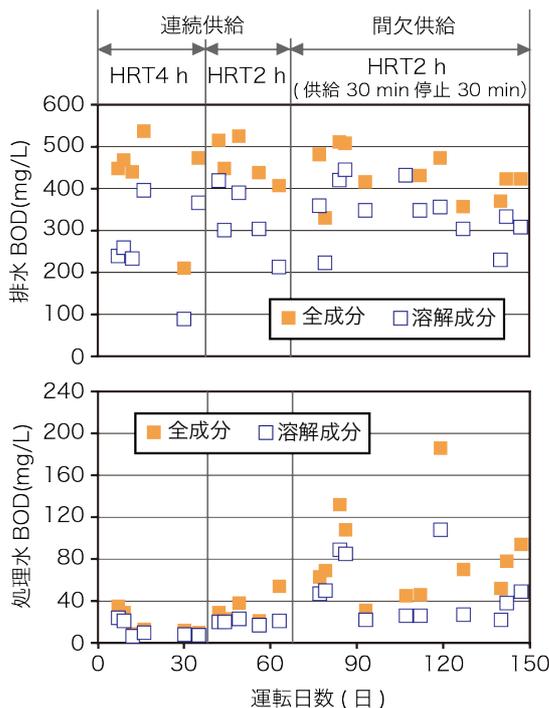


図2 Hi-DHSリアクターのBODの経日変化

以降、24日間経過しても水質は向上せず、64日目の全COD・溶解性CODは68・39 mg/Lだった。運転62、63日目の実験結果に着目すると、全CODは100 mg/Lを超えた。一方で、溶解性CODの値には大きく影響がなかった。これより処理水質の悪化の原因は、突発的に起こる生物膜の剥離によって、処理水中に固形性CODを多く含んでいたためである。この現象は突発的に起こっているため、生物処理自体の性能は大きく低下していないと言える。全BODは、62日目に突発的な汚泥の剥離の影響により54 mg/Lだった。従ってHRT 2 hrは、排水基準を超えたため実用的な運転条件だと言えない。

間欠供給のHRT 2 hの処理水質について述べる。68日目から85日目にかけて全COD・溶解性CODは、220・200 mg/Lにまで悪化した。86日目以降、処理水質は回復し、111日目に全COD・溶解性CODは、60・30 mg/Lにまで減少した。その後の値は不安定であり、112~149日目までの全COD・溶解性CODは、140~211・60~199 mg/Lの間を不規則に変動した。この期間中の全BOD・溶解性BODは、一度も排水基準を満たさなかった。間欠供給の処理は、連続供給のHRT 2 hと比べて短絡流にならず、スポンジろ材を確実に通過しているにもかかわらず処理が悪化した。処理が悪化した理由は、間欠供給の停止中にスポンジろ材内の酸素が欠乏し、処理が進行しなかったと考えられる。

トレーサー試験の結果を述べる。実HRT/理論HRT比は、設定HRT 2 hの連続供給において0.04、設定HRT 2 hの間欠供給において1.02だった。それにも関わらず、間欠供給の処理が悪かった。間欠供給は、Hi-DHSリアクターの運転に適していなかった。

図3にMLSS、純-内生OUR(Oxygen Uptake Rate)、全OUR内の混-内生OUR、有機物除去速度の関係を示す。「混-内生OUR = 全-OUR - 有機物除去速度」より、混-内生OURを求めたところ、各汚泥において定義上あり得ないマイナス側に出た。従って、MLSSと全-OURと純-内生OURについてのみ、比較と考察を行う。

図4に連続供給、間欠供給のMLSS(MLVSS)を示す。連続供給において、供試汚泥は運転開始から67日目に採取した。間欠供給において、供試汚泥は運転開始から151、153日目に採取した。間欠供給のMLSSの方が高く



図3 各OURと有機物除去速度の関係

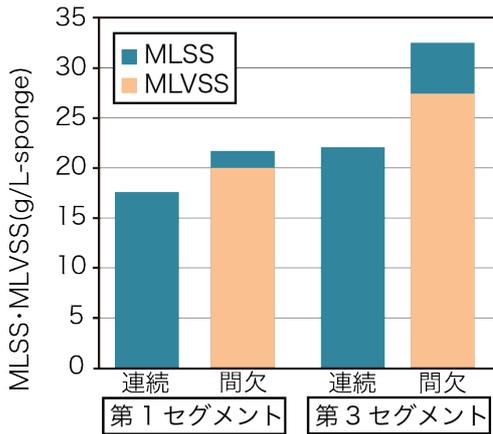


図4 Hi-DHSリアクター保持汚泥の汚泥濃度

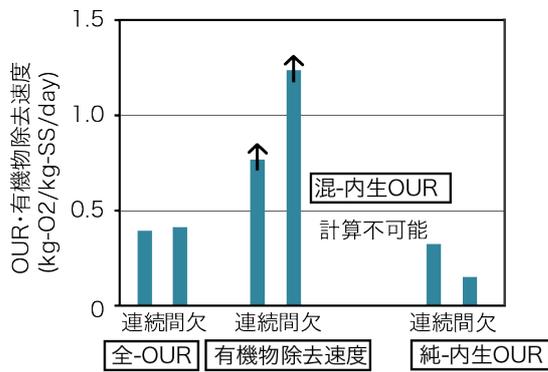


図5 Hi-DHSリアクターのOUR、有機物除去速度

なった。間欠供給の MLSS の方が高くなり、供給停止時間中に内生呼吸を活発にして、MLSS を減少させる²⁾という意図通りにはならなかった。保持汚泥は、線流速が高い間欠供給ほど、剥落しやすい。それにも関わらず、MLSS は、間欠供給の方が高かった。従って、間欠供給の汚泥は外的要因に対する抵抗性が高いと考えられる。

連続供給と間欠供給の第1セグメントについて説明する。図4より、MLSS は、連続供給よりも間欠供給の方が高かった。図5より、自己分解を示す純-内生 OUR は、連続供給より間欠供給の方が低かった。従って、MLSS は、負荷が同程度と考えられる第1セグメントにおいて、間欠供給の方が高かった。

間欠供給における、第1、3セグメントの MLSS と純-内生 OUR について説明する。図4より、MLSS は、第1セグメントより第3セグメントの方が高かった。図5より、自己分解を示す純-内生 OUR は、同程度だった。微生物自身の増殖は、負荷の増加に伴う。実質的な MLSS の増加は、「微生物自身の増殖速度 - 内生 OUR」で示される。この式の「微生物自身の増殖速度」の部分が第3セグメントで高く、「内生 OUR」の部分は一定である。従って、第3セグメントで MLSS が高い。

特徴的なのは、全-OUR に対する純-内生 OUR の割合が、連続供給、間欠供給で 82、37 % と大きく異なる点であった。

<引用文献>

- 1) 高橋優信、スポンジ担体散水ろ床法の余剰汚泥排出特性、建設工学研究振興会年報、48、45-52、2013
- 2) 角野晴彦、岩田龍也、大橋優輝、小野寺崇、珠坪一晃、DHS リアクターへの排水供給方法が処理に与える影響、土木学会第70回年次学術講演会、VII-021、pp.41-42、2015

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計1件)

- ①近田有希子、角野晴彦、川上周司、珠坪一晃、酸素 DHS 法による産業排水処理 [特集]、環境浄化技術、Vo.17、No.1、p.29-33、2018

[学会発表] (計4件)

- ①Sumino, H., Majima, K., Danshita, T., Kawakami, S., Takaishi-Konda, Y., Sytsubo, K., Performance of DHS (Down-flow Hanging Sponge) Reactor for Treatment of Middle-strength Wastewater, Proceeding of IWA Japan YWP Symposium Water-Wise Innovation Challenge!, p14, 2018.1

- ②近田有希子、角野晴彦、珠坪一晃、酸素供給型 DHS (Down-flow Hanging Sponge) リアクターによる食品工場排水の連続処理、第19回年日本水環境学会シンポジウム講演集、p265-266、2016.9

- ③Sumino, H., Majima, K., Danshita, T., Kawakami, S., Takaishi-Konda, Y., Sytsubo, K., Treatment of food industrial wastewater by a DHS reactor and a Hi(high DO)-DHS reactor, Proceedings of International Conference of "Science of Technology Innovation" 2017 (STI-Gigaku 2017), p75, 2017.1

- ④石原優磨、竹中拓哉、角野晴彦、近田有希子、珠坪一晃、Hi-DHS (High DO Down-flow Hanging Sponge) リアクターによる実豆腐工場排水の長期連続処理と汚泥性状、平成27年度土木学会中部支部研究発表会講演集、p.557-558、2016.3

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計1件)

名称：排水処理方法及び排水処理装置
 発明者：角野晴彦、珠坪一晃
 権利者：独立行政法人国立高等専門学校機構、国立研究開発法人国立環境研究所
 種類：特許
 番号：特願 2015-179197
 出願年月日：2015年9月11日

国内外の別： 国内

○取得状況（計 0 件）

〔その他〕

①角野晴彦、高専連携と産官学連携を活用した省エネ・創エネ・低コスト型の排水処理の開発（ポスター出展）、2018NEW 環境展、主催：日報ビジネス（株）、東京ビッグサイト、2018.5

②角野晴彦、省エネ・創エネ・高速化を可能にする排水処理 - 高専間 + 大学・高専 + 産官の多重連携による微生物機能の活用技術開発 -（ポスター出展）、2017NEW 環境展、主催：日報ビジネス（株）、東京ビッグサイト、2017.5

③角野晴彦、高専間、大学-高専、産官学の連携による現場状況に適正な排水処理技術の開発、第 25 回岐阜工業高等専門学校産官学交流懇談会テクノシンポジウム 2016、2016.12

④角野晴彦、微生物の生態を巧みに利用したバイオリアクターによる排水処理の省エネ・高速化・創エネ（ポスター出展）、岐阜地域産学官連携交流会 2016、主催：岐阜市・岐阜商工会議所、岐阜商工会議所、2016.2

⑤角野晴彦、様々なニーズに適する排水処理技術 - 高専間、大学-高専、産官学の連携による技術開発 -（ポスター出展）、2015NEW 環境展、主催：日報ビジネス（株）、東京ビッグサイト、2015.5

6. 研究組織

(1) 研究代表者

角野 晴彦 (SUMINO, Haruhiko)
岐阜工業高等専門学校・環境都市工学科・
准教授
研究者番号：50390456

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

近田 有希子 (KONDA-TAKAISHI, Yukiko)
(株) トーエネック 技術研究開発部 研
究開発グループ 環境技術チーム
竹腰 久仁雄 (TAKEKOSHI, Kunio)
岐阜工業高等専門学校・産学官連携コーデ
ィネーター