

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 11 日現在

機関番号：12605

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24656311

研究課題名(和文) 高圧ジェットによる活性汚泥微生物叢の制御可能性

研究課題名(英文) Fasibility of microbial community control in activated sludge by a high-pressure jet device

研究代表者

細見 正明 (Hosomi, Masaaki)

東京農工大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：90132860

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円、(間接経費) 930,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では排水処理施設の曝気槽から排出される余剰汚泥の減容化装置として高圧ジェット装置に着目し、この装置を活性汚泥槽に組み込んだシステムの余剰汚泥減容化性能と活性汚泥中の微生物群集構造を調査した。曝気槽と沈降槽からなるシステムに高圧ジェット装置を導入した結果、余剰汚泥として引き抜かれる量を65%削減することができた。また、高圧ジェット装置を導入することで、細菌および真核生物の群集構造は大きく変化することが示された。さらに、活性汚泥の分散により小型の原生動物群が増加することを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：This study investigated performance of excess sludge reduction and transition of microbial community in an activated sludge system where a high-pressure jet device (HPJD) was installed for sludge reduction. This device was installed in a recirculation line where concentrated sludge from a sedimentation tank was recycled to the original activated sludge tank. The system installing an HPJD allowed excess activated sludge reduction by 65% compared with that without the HPJD and, in addition, changed bacterial and eukaryotic community structures. The HPJD disaggregated flocs of activated sludge, which allowed for proliferation of protozoa rather than metazoa.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・土木環境システム

キーワード：高圧ジェット 活性汚泥 汚泥減容化 微生物破碎 有機物除去 窒素除去 フロック 汚泥沈降性

## 1. 研究開始当初の背景

排水の生物処理において最も広く用いられている方法は活性汚泥法である。しかしながら、問題点として排水の処理に伴い大量の余剰汚泥が発生するという問題点を抱えており、その処理コストは排水処理に係る総コストの約4割を占めるともいわれている。したがって、省エネルギー・低コスト型排水処理においては、汚泥の発生量を減少させるような活性汚泥法の開発が望まれている。このような現状を鑑み、これまでに余剰に発生する活性汚泥の減容化技術が提案・開発されている。しかしながら、近年広く用いられている様々な可溶化法は一長一短があり、コストや処理効率の観点で問題があった。

そこで、これらの可溶化装置の問題点を解決する装置として高圧ジェット装置 (High Pressure Jet Device (HPJD)) を提案した。この装置は高圧ポンプと活性汚泥中の微生物細胞を破碎する配管で構成されるシンプルな構造をしており、摩擦、キャピテーション、衝突などの複数の機構により汚泥を分解すること可能である。また、HPJD は薬品の添加や加熱処理を必要としないため、安価なランニングコストで運転が可能である。更には、この装置の設置により活性汚泥槽に棲息する細菌群の細胞壁の厚みにより、細胞の損傷具合が異なることにより、活性汚泥槽内の細菌群のポピュレーションを制御し、排水処理性能の向上に寄与する可能性が期待できる。

## 2. 研究の目的

本研究では高圧ジェット装置 (HPJD) を活性汚泥槽を含むシステムに組み込んだ  $1\text{ m}^3$  規模のパイロットスケールのシステムにおいて、新しいシステムの余剰汚泥の削減性能、処理水質、および活性汚泥中の細菌・微生物群集構造の評価および群集構造の制御の可能性を検証することを目的とした。

## 3. 研究の方法

### (1) パイロットスケール活性汚泥システムの構築

実験は下水処理場 (東京都府中市、北多摩一号水再生センター) に設置された2系の活性汚泥システムを用いて行った。各システムは活性汚泥の曝気槽 ( $1\text{ m}^3$ )、沈降槽 ( $0.8\text{ m}^3$ ) と返送汚泥ラインからなり、HPJD を設置した HPJD 有りの系と対照系として HPJD 無しの系の2つの系を用意した。w/ HPJD では沈降槽から曝気槽への汚泥返送ラインに HPJD を設置した。w/ HPJD の場合、汚泥返送ラインが分岐しており、2つの流入口を有する HPJD に供給された。HPJD の上部投入汚泥とノズル噴射汚泥の流量比は約1に設定した。汚泥返送比は両系0.4に設定した。w/ HPJD の系で高速で汚泥が返送されるため、上述した汚泥返送比を達成するために、間欠的に HPJD を運転し、汚泥処理・返送を行った。HPJD のノズル径は1mmとし、流入には高圧

ポンプ (HPJ-160, ツルミ、大阪) を用いて3~4 MPa で加圧した。種汚泥は北多摩一号水再生センターの標準活性汚泥法から採取した活性汚泥を用い、排水は実下水の一次処理水をポンプでくみ上げて供給した。

### (2) 運転条件

運転は再現性を取るために、2回に分けて行った。1回目は約60日の運転、2回目は約120日間の運転を行った。どちらの回およびどちらのシステム (HPJD 有り、無しの活性汚泥) も水理的滞留時間 (HRT) を6時間に設定した。汚泥滞留時間は、1回目の運転では HPJD 有り・無しの系でそれぞれ約13日・7日、2回目の運転では HPJD 有り・無しの系でそれぞれ約10日・8日に設定して余剰汚泥を運転期間中連続的に引き抜いた。これらの値は、活性汚泥槽内の汚泥懸濁物 (MLSS) 濃度が一定になるように調整して決定した。活性汚泥槽では槽内の溶存酸素 (DO) 濃度が1~1.5 mg/L の範囲に収まるように送気量を調整した。

### (3) 化学分析

実験中は3回/週で処理水・流入水のサンプリングを行った。水質分析用のサンプルはすべて  $0.45\text{ }\mu\text{m}$  のガラスフィルター紙による過を行った。DOC (Dissolved Organic Carbon)、TN (Total Nitrogen) は TOC 計 (TOC5000A, Shimadzu, Tokyo, Japan) を用いて測定した。硝酸、亜硝酸、アンモニア、リンはイオンクロマトグラフィー (ICS-90, Dionex, Sunnyval, USA) を用いて測定した。TP (Total Phosphorous) はペルオキシ二硫酸カリウム分解法により測定した。pH、DO、温度はマルチメーター (D55, HORIBA, Kyoto, Japan) を用いて測定した。汚泥の沈降性は汚泥容量指標 (SVI) により評価した。MLSS はガラス繊維濾過法を用いて測定した (下水試験法)。活性汚泥の粒度分布は Particle size analyzer (Partica LA-950V2, HORIBA, Kyoto, Japan) を用いて測定した。

### (4) 活性汚泥中の微生物群集構造解析

1回目の運転においては、特に活性汚泥槽内の細菌叢の変遷について16S rDNA 遺伝子をターゲットに解析を行った。解析では454 Pyrosequencing を用いて解析を行うことにより、種汚泥、データ取得を開始した0日目、30日目の3点における細菌叢の変化および HPJD 有り・無しの違いを評価した。サンプルを採取して on ice の状態で実験室に持ち帰った後、 $-20^\circ\text{C}$  で冷凍保存した。そのサンプルを用いて FastDNA Spin Kit (Bio101, Qiogene Inc., Carlsbad, CA, USA) にて DNA 抽出を行った。DNA 濃度と精製度は NanoDrop 2000c (Thermo Scientific, Wilmington, DE) で260 nm と280 nm の吸光度を測定することにより求めた。

抽出したサンプルに対して 16S rRNA 遺伝子の V4 領域をターゲットとしたプライマーセットを用いて PCR を行った。サーマルサイクラーは CFX96 (BioRad Laboratories, Hercules, CA, USA) を用い、遺伝子を増幅させ、DNA 精製後に Genome Sequencer FLX System (Roche, Basel, Switzerland) に適用した。2 回目の運転に関しては活性汚泥槽の真核生物の群集構造について解析を行った。解析では 18S rDNA をターゲットとしたサブクローニングを行うことにより解析を行った。また、真核生物の中でも比較的大型である原生動物および微小後生動物に関しては、光学顕微鏡による直接観察を行うことにより原生・微小後生動物の同定を行った。

#### 4. 研究成果

##### (1) 1 回目の活性汚泥システムの連続運転

HPJD 導入の有無に関わらず、HRT は  $6.1 \pm 0.9$  時間を保てた。余剰汚泥引き抜き量の経日変化を図 1 示す。39-44 日は実験系の汚泥が流出するトラブルがあったため、MLSS を回復するために余剰汚泥引き抜きと HPJD 処理を一旦中止した。公平性を保つために、この期間は汚泥量の積算から除外した。HPJD を導入したシステムでは実験開始時から余剰汚泥量を減少させたが、対照系となる HPJD 無しの系と比較して MLSS 増加は抑えられた。処理水中に含まれる懸濁物 (SS) 濃度は 39 日目から HPJD 有りの系が  $10.1 \pm 3.0$  mg/L、無しの系が  $7.9 \pm 2.8$  mg/L で若干 HPJD 有りの系が高い傾向を示した。この原因として HPJD 処理により汚泥が細分化されて増加した可能性が考えられるが、処理水 SS 濃度の大きな悪化は見られなかった。

これらの実験期間中の余剰汚泥量と流出水 SS 量を元に積算余剰汚泥量を積算したところ、余剰汚泥量として 65%、SS として流出した汚泥を加味しても 41% の削減効果が示された。よって、HPJD を活性汚泥法に組み込んだ場合、余剰汚泥の減容化が示唆され、その効果は最大 65% であった。

有機炭素に関しては、どちらの系も約 70% の除去率であり、有意差は確認されなかった。アンモニウムの除去は 39 日目までは両系ともに安定しており、処理性能に有意差は確認されなかった。39 日目以降、HPJD 有りの系でアンモニア除去率が悪化しているが、トラブルによる汚泥流出の影響であった。全窒素濃度に関しても、HPJD 有り・無しの系において大きな差はみられなかった。以上より HPJD による活性汚泥の有機物・窒素分解性能に大きな影響を及ぼすことなく汚泥減容化が図れることが明らかになった。

##### (2) 2 回目の活性汚泥システムの連続運転

110 日間の連続運転において、1 回目の連続運転と同様の傾向が得られ、余剰汚泥の減容化率は約 65% に達した (図 2)。また、活性汚泥の沈降性を表す汚泥容量指標 (SVI) は

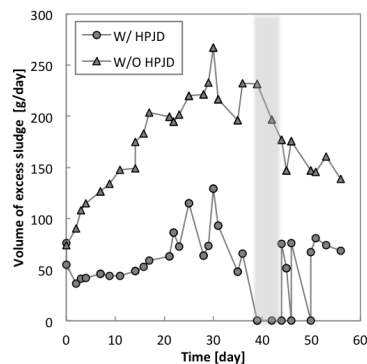


図 1 余剰汚泥量の経日変化 (1 回目試験)

HPJD 有りとなしの系で統計的に有意差は無く、HPJD による汚泥可溶化後の活性汚泥の沈降性は減少しなかった。

HPJD 導入系および対照系である無しの系において、有機炭素、アンモニア、リン酸イオンの除去性能に統計的に優位な差はみられなかった。HPJD による破碎により、リンの溶出が起きているかを確認したところ、HPJD 処理の前後で汚泥中リンの約 10% が溶出していたことが明らかになった。破碎によるリンの溶出が確認されたにもかかわらず、処理水中のリンが増加していないことから何らかの形で汚泥中にリンが蓄積している可能性が示唆された。

特筆すべき点として、HPJD を導入した活性汚泥システムでは、活性汚泥槽の DO 濃度が HPJD を導入しない系より高いことが確認された。そこで、運転途中から活性汚泥槽内の DO 濃度を一定に保つため、HPJD を導入したシステムで曝気量を絞って運転をしたところ、約 30% 曝気量を削減可能であることが示唆された。これは HPJD の活性汚泥の摩擦・衝突による酸素供給効果によるものであり、HPJD の適用した活性汚泥槽では曝気量の削減につながる可能性が示された。

運転期間中の活性汚泥のフロックサイズの推移を図 3 に示す。HPJD を導入していないシステムでは実験開始後に粒径が  $170 \mu\text{m}$  まで増加し、運転終了後には  $300 \mu\text{m}$  近くまで肥大した。一方、HPJD を導入したシステムの活性汚泥では運転期間中を通して安定しており、 $50 \sim 70 \mu\text{m}$  付近を推移した。このようにフロックサイズに大きな違いが出た一因として、HPJD によるフロックの解体が考えられた。

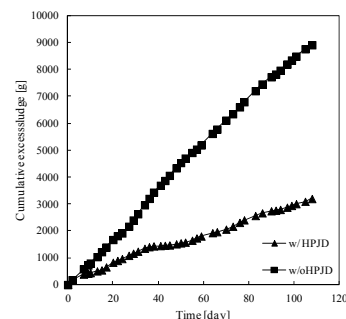


図 2 積算余剰汚泥量の経日変化 (2 回目試験)

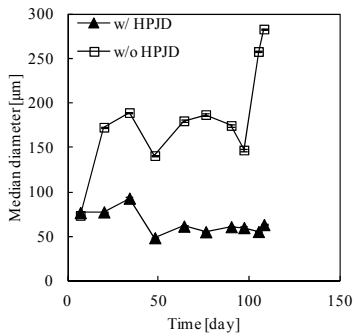


図3 活性汚泥フロックのメジアン径

(3) 活性汚泥システムの細菌叢の解析

454 Pyrosequencer による HPJD 導入有り・無しの系における活性汚泥中の細菌叢の解析結果を図4に示す。運転開始後30日目における HPJD 有り・無しの活性汚泥では形成されている細菌の群集構造が大きく異なることが明らかになった。これは HPJD の導入による活性汚泥の可溶化および SRT の延長の可能性が考えられた。一方、HPJD の処理により、グラム陽性細菌のようなペプチドグリカン層が厚い細菌のみが生き残るような細菌群集構造の変化は見られなかった。

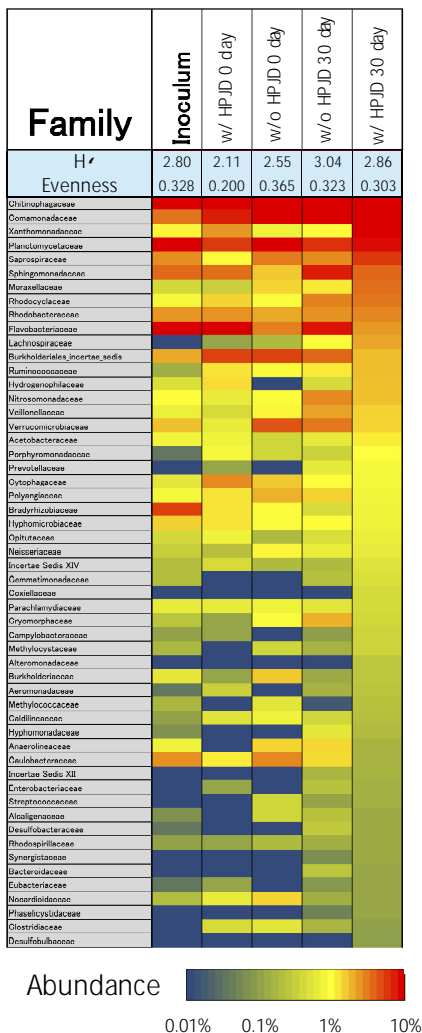


図4 活性汚泥槽の細菌群集構造の存在比を基にしたヒートマップ

(4) 活性汚泥システムの真核生物叢の解析

サブクロニングによる HPJD 導入有り・無しの系における活性汚泥中の細菌叢の解析結果を図5に示す。HPJD の導入の有無により、真核生物の群集構造が大きく変動することが明らかになった。HPJD 導入有りの系では活性汚泥システムでは原生動物に属する *Ichthyosporea* が多く検出された。一方で、HPJD 導入無しの系では対照系では大型な微小後生動物である *Platyhelminthes* が検出された。図5のフロックの粒径分布の結果を鑑みると、フロックが分散している HPJD を導入した活性汚泥では、比較的小型な原生動物が優占する可能性が示された。顕微鏡観察の結果、HPJD を導入した活性汚泥からは小型の繊毛虫門である *Vorticella* などが確認されたのに対し、対照系では大型の環形動物門である *Aeolosoma* などが検出された。サブクロニングと顕微鏡観察による結果において種の一致は完全には見られなかったものの、真核生物の分類やサイズの観点から共通の傾向が得られた。HPJD の有無により活性汚泥槽の細菌叢・真核生物叢が大きく異なることが明らかになったが、これらの群集構造の違いが活性汚泥の捕食性能に対する関与を明らかにすることが今後の課題である。

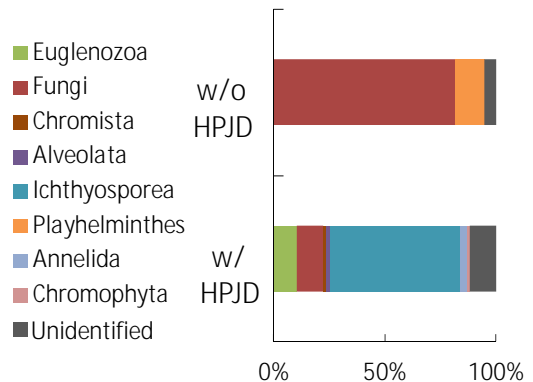


図5 活性汚泥槽の真核生物の群集構造

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔学会発表〕(計6件)

吉野寛之、末永俊和、寺田昭彦、藤井忠広、野々口稔、細見正明：高圧ジェット装置を用いた活性汚泥減容化プロセスの減容化性能と微生物群集構造 第46回日本水環境学会年会(2014年3月19日 東北大学、宮城)

Masaaki Hosomi: Reduction of excess activated sludge from wastewater treatment by a high pressure jet device 第22回日本水環境シンポジウム(2013年10月20日 デグ、韓国)

Toshikazu Suenaga, Akihiko Terada, Minoru Nonokuchi, Tadahiro Fujii, Masaaki

Hosomi: Reduction of excess activated sludge from wastewater treatment and feasibility of bacterial population control by a high pressure jet device Microbial Ecology and Water Engineering (2013年7月9日 アナーバー、ミシガン、米国)  
Toshikazu Suenaga, Akihiko Terada, Minoru Nonokuchi, Tadahiro Fujii, Masaaki Hosomi: Reduction of excess activated sludge by a high-pressure-flow device (DEM) and the transition of microbial community: Pilot-scale demonstration(2013年6月15日、東京農工大学、東京)  
末永俊和、寺田昭彦、藤井忠広、野々口稔、細見正明: 高圧噴射装置による下水汚泥減容化プロセスの可能性と細菌群集構造解析: パイロットスケール試験 化学工学会第78回(2013年3月17日 大阪大学、大阪)  
末永俊和、寺田昭彦、藤井忠広、野々口稔、細見正明: 高圧噴射装置を用いた下水汚泥減容化プロセスのパイロットスケールによるコンセプト実証と細菌群集構造解析 第47回日本水環境学会年会(2013年3月12日 大阪工業大学、大阪)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

細見 正明 (HOSOMI MASA AKI)  
東京農工大学・大学院工学研究院・教授  
研究者番号: 90132860

### (2) 研究分担者

寺田 昭彦 (TERADA AKIHIKO)  
東京農工大学・大学院工学研究院・准教授  
研究者番号: 30434327