

研究成果報告書

所属機関 職名 氏名
 松江工業高等専門学校 環境・建築工学科 准教授 山口 剛士

研究テーマ

竹炭を用いた独立型水処理装置の開発

研究報告

1. 研究の背景と目的

一般的に水処理装置の一つである活性汚泥法は、酸素が必要である好気性微生物による処理を行っているため、槽内に酸素供給が必要であり、多くの電力を使用する問題がある。一方、装置に回転により、酸素供給を行うため曝気を必要としない回転円盤装置は、低コスト、容易な維持管理、省エネルギーの観点から様々な排水処理として利用されている¹⁾。従って、東南アジア等の新興国における養殖排水処理や湖沼等の水質改善には有効な方法であると言える。しかし、東南アジア等の地域では、高度な技術者の育成が整っておらず、また、安定した電力供給が難しいため、ポンドと呼ばれるため池で水処理を行っているのが現状である。そこで、外部電力を使用した回転円盤装置があれば、酸素供給が必要ないため、水処理装置の管理が難しい東南アジア等の湖沼や養殖施設の水質改善が行えるのではないかと考えた。さらに、近年のプラスチックの問題から有機物で水処理装置を作成することができれば、環境問題を解決する水処理装置になると考えた。そこで、本研究では、竹炭及び竹を用いた回転円盤装置を設計し、水処理が行えるのか確認することを目的とした。

2. 研究成果および考察

(1) リタクターの立ち上げ

まず、微生物担体として市販の竹炭を用い、島根県東部浄化センターの活性汚泥にあらかじめ竹炭を一週間程度浸し順養させた。また、竹の節を一つの反応槽として定義し、微生物叢を区別することを目的として硝化反応を促進するために、竹炭を6本の反応槽のうち3本に竹の容積の半分程度充填させた(処理槽1)。そして、脱窒反応を促進するために、残り3本には竹炭を反応槽の全容積に充填させた(処理槽2)。その後、回転円盤装置を作成し、処理が安定するまで順養期間として模擬排水を供した。処理が安定したのを確認した後、phase1として回転円盤装置による水処理を行った。

(2) 水処理性能評価

Phase1では、DIN濃度が2.0 ppmとして稼働させた結果、phase1の平均DIN除去率は、69±19%であり、全期間において安定した処理性能を示した。特に、12日目までは良好な水処理が行えていた(図1)。15日以降は、亜硝酸・硝酸の蓄積が見られなかったがアンモニア除去率が低下した。この結果から、アンモニア酸化細菌やアンモニア酸化アーキアの増殖が亜硝酸酸化細菌よりも鈍化していることに

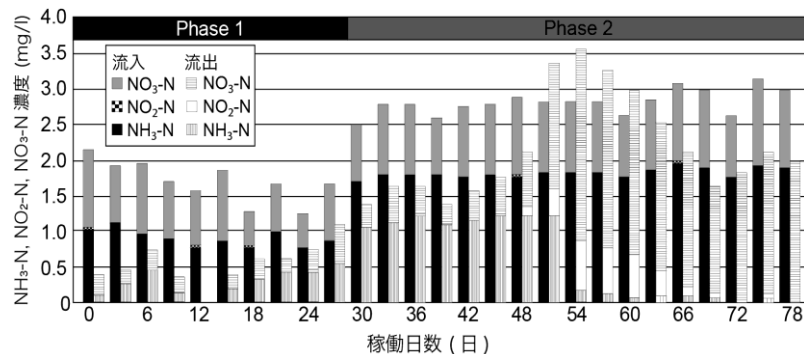


図1 回転円盤装置によるDIN挙動

起因していると判断し、アンモニア酸化細菌・アーキアの増殖を促すように phase2では、DIN濃度を約3.0 ppmに調整し、回転円盤装置を稼働させた。その結果、運転開始54日目までには、安定したアンモニア除去を示すようになった(データ非表示)。一方で、経過日数が経過することに亜硝酸及び硝酸が蓄積し、DIN濃度が流入濃度よりも流出濃度の方が高くなった(図1)。しかし、54日目以降では、流出におけるDIN濃度が減少した。このDIN濃度の減少は、硝酸濃度による影響が大きいことが明らかとなった(図1)。この結果は、まず流入アンモニア濃度が phase1よりも高くなり、アンモニア酸化細菌・古細菌の増殖し、アンモニア酸化反応が促進された一方で、アンモニア酸化で得られた亜硝酸や硝酸が脱窒させずに水槽内に堆積したことに起因していると考えられる。54日目以降におけるDIN濃度の減少は、脱窒反応を担う脱窒菌が増殖し、脱窒反応が生じていることに起因していると考えられる。これらの結果は、脱窒菌の増殖に順養期間を要するが回転円盤装置においても硝化反応と脱窒反応を同時に生じさせることができることが示唆された。

(3) 微生物群集構造解析

回転円盤装置の処理メカニズムを明らかにするために、植種汚泥の活性汚泥、脱窒が起こっている可能性が高い運転開始 72 日目の処理槽 1 及び処理槽 2 (内部及び外側) からそれぞれ汚泥を採取し、16S rRNA 遺伝子に基づく微生物群集構造解析を行った。まず、 α 多様性解析を行った結果、活性汚泥が最も多様性が高く、回転円盤装置を運転することで多様性が低下していることが明らかとなった (図 2)。この結果は、回転円盤装置に特定の模擬廃水のみを供給していたことに起因していると考えられる。次に、門レベルにおける微生物群集構造解析を行った結果を図 3 に示す。その結果、アーキアに属する微生物は検出されなかった。従って、本回転円盤装置内にアンモニア酸化アーキアは存在していないことが明らかとなった。一方で、すべてのサンプルで *Proteobacteria* 門、*Bacteroidetes* 門に属する微生物が優占していたことが明らかとなった。また、亜硝酸酸化反応を担う *Nitrospirae* 門の *Nitrospira* 属に近縁な微生物もすべてのサンプルで約 0.5% 存在していた。また、最も優占していた *Dechloromonas* 属に近縁な微生物は、処理槽 1 で約 21% 存在していた。*Dechloromonas* 属は通性嫌気性微生物であり、脱窒性能を有すると報告されている。さらに、*Azonexus* 属に属する微生物も約 7% 存在しており、*Dechloromonas* 属及び *Azonexus* 属に属する微生物が主な脱窒反応を担う微生物であると考えられた。アンモニア酸化を担う微生物は、処理槽 1 では *Nitrosomonas* 属が存在しており、その他硝酸還元反応を担う *Acidovorax* 属や *Diaphorobacter* 属に近縁な微生物などが合計 10% 程度存在していた。従って、処理槽 1 内で硝化反応及び脱窒反応が生じていることが明らかとなった。一方、活性炭を竹の全容量詰めている処理槽 2 では内部と外側でサンプリングを行ったが、微生物叢に大きな違いは見られなかった。従って、内部と外側で嫌気環境及び好気環境が混在していることが示唆された。処理槽 1 でも存在が確認された *Dechloromonas* 属、*Diaphorobacter* 属や *Azonexus* 属に近縁な微生物は、処理槽 2 の内部及び外側で検出された。一方で、*Nitrosomonas oligotropha* に近縁な微生物は、処理槽内の内部よりも外側で存在率が高かった。*Nitrosomonas oligotropha* は、低濃度及び中濃度のアンモニア性窒素処理において優占し、また亜硝酸性窒素が蓄積するときに増殖抑制することから³⁾、処理槽内には亜硝酸が蓄積しておらず、*Nitrosomonas oligotropha* が優占しやすい環境であったと考えられる。

参考文献

- (1) C. Hewawasam *et al.*, Oxygen transfer dynamics and nitrification in a novel rotational sponge reactor. *Biochemical Engineering Journal*, 128, 162-167, 2017.
- (2) 斎藤ら, 宍道湖西部における水環境の水汚泥による評価, *土木学会論文集 B2*, 69 (2), 2013.
- (3) 金田一ら, 16S rDNA 解析によるアンモニア酸化細菌の多様性評価, *環境工学研究論文集*, 40, 2003.

3. 将来展望

本研究により、*Nitrosomonas*属に近縁な微生物がアンモニアを亜硝酸に酸化し、*Nitrospira*属に近縁な微生物が亜硝酸から硝酸に酸化し、硝化反応を行っていることが明らかとなった。さらに、*Acidovorax*属に近縁な微生物などが硝酸還元を行い、*Dechloromonas*属に近縁な微生物などが脱窒を行っていることが明らかとなった。また、これらの微生物の作用により、竹炭を用いた回転円盤装置において硝化及び脱窒反応が生じることが明らかとなった。しかし、斎藤らの報告²⁾によると、宍道湖湖心の DIN 濃度が約 10 ppm、宍道湖に流入する十四間川では約 25 ppm であると報告されている。従って、今後は流入濃度を上昇させたり、流速を変えたりするなど様々な条件で検討を行う必要である。一方で、十四間川では硝化反応が起こらずアンモニア濃度が蓄積³⁾していることから、本装置により硝化反応を促進することができれば、環境改善につながるのではないかと考える。最終的には、電力の安定供給が困難な地域にも本水処理システムを導入する必要がある。

4. 研究発表

中祖 惟月, ムハマド アズリ ビン ロスディ, 山口 剛士. 竹炭を用いた回転円盤装置によるアンモニア除去性能と微生物群集構造解析. 第72回 土木学会中国支部研究発表会, VII-18

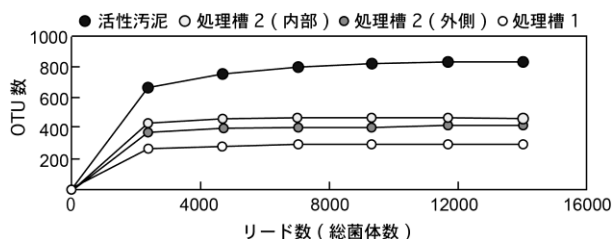


図 2 微生物叢の α 多様性解析の結果

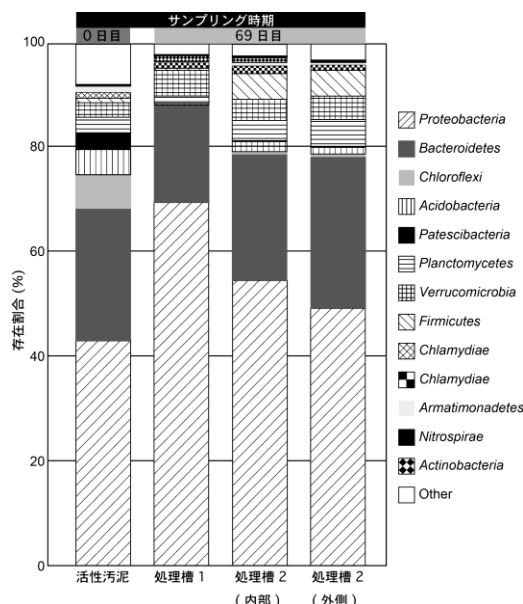


図 3 微生物群集構造解析の結果