

氏名	井上 充
授与学位	博士(工学)
学位授与年月日	平成11年12月8日
学位授与の根拠法規	学位規則第4条第2項
最終学歴	昭和46年3月 北里大学衛生学部衛生技術学科 卒業
学位論文題目	間欠ばっ気回分式活性汚泥法による汚濁水路の直接浄化に関する研究
論文審査委員	主査 東北大学教授 須藤 隆一 東北大学教授 野池 達也 東北大学教授 大村 達夫 東北大学助教授 西村 修

## 論文内容要旨

### 1 研究の背景および目的

平成8年度の全国公共用水域水質測定結果によると、河川、湖沼および海域での生活環境項目(BOD、COD)の水質環境基準達成率は河川で73.6%、湖沼で42.0%、海域で81.1%と、特に湖沼において依然として低い値であり、改善の兆しは認められない。これは、生活排水等に由来する窒素、リンがもたらす富栄養化が大きな原因と考えられている。

生活排水対策は下水道整備を基本として、下水道未整備地域では合併処理浄化槽、農村集落排水施設、コミュニティプラントの整備が行われているが、中小河川の中には排水量 $50\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ 未満の水質汚濁防止法で規制されていない小規模事業場排水や生活雑排水によって汚濁が著しく進行しているところもある。

このため、汚濁中小河川においては生活系のみならず小規模事業場排水系から排出される汚濁負荷を含めた水質保全対策が必要であり、このような中小河川の浄化対策には直接浄化法の利用が適していると考えられる。

直接浄化法は下水道普及が進まない生活排水対策として考え出された浄化法であり、生活排水対策重点地域の浄化手法の一つになっている。この浄化法は簡易な浄化から窒素・リン除去も期待できる高度な浄化法まで範囲は広い。また、この浄化法は既存の水路等を利用するため、新たに下水管の敷設工事をする必要がないことから、迅速な生活排水対策を行うことができる。しかし、降雨時は濁水によって、浄化が難しくなる等の課題を持っている。

直接浄化法の高度処理には、現在、接触ばっ気処理等の微生物による生物処理とホテリアオイ等の植物による処理を組み合わせた浄化法が提案されているが、植物を用いた方法では年間を通して窒素・リンが安定除去できないことや汚濁濃度が高い汚水への利用が難しい。

そこで、直接浄化法の高度処理には装置構造がシンプルで、かつ簡易な維持管理で高率な窒素およびリン除去が期待できる回分式活性汚泥法が有望な方法の一つであると考えられる。

回分式活性汚泥法の研究としては、これまでDO（溶存酸素）またはORP（酸化還元）制御を用いる方法、実際の生活排水での除去効果の検討等が行われ、多くの成果が得られている。しかしながら、センサーを用いる制御システムを構築する方法では装置構造がシンプルであるという利点を損ねる結果となり、また、実排水を用いた現場での実験例は少ない。さらに、冬期間の窒素、リンの除去性については不明な点も多い。

そこで、本研究では今まで報告されてきた制御方法よりさらに安定的に窒素およびリンの高度除去運転が可能な新たな技術開発をめざし、新たに $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度を制御する間欠ばっ気回分式活性汚泥法を提案し、その実際の生活雑排水での除去効果を検討するとともに、水温低下に対応した窒素・リンの高度処理法の開発を行った。

## 2 本論文の構成と要旨

本論文は次の7章で構成されている。

第1章「総論」では、本研究の背景および目的について述べ、生活排水や水質汚濁防止法で規制されていない排水量 $50\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ 未満の小規模事業場排水で汚濁された中小河川の高度処理を図るために回分式活性汚泥法による高度処理方法の開発と効果の評価、水温低下時の窒素およびリンの安定処理方法の開発の必要性について説明した。

第2章「直接浄化法および間欠ばっ気回分式活性汚泥法による高度処理に関する既往の研究」では直接浄化法および生活排水処理における回分式活性汚泥法の高度処理技術に関して文献を検討し課題の抽出を行った。

現在、直接浄化による高度処理としては接触ばっ気にホティアオイ等の植物処理を組み合わせた処理等が報告されているが、年間を通して安定な除去を得ることは難しいことや汚濁濃度が高くなると効果が期待できない課題があり、これらの課題を解決した浄化方法の開発が必要である。

このため直接浄化方法に応用可能な既存の処理技術として、回分式活性汚泥法に嫌気工程を組み込んだ浄化方法に着目した。しかし、安定した除去効果を得るためには窒素およびリンが除去されやすい環境条件を作る必要がある。このため、DO（溶存酸素）またはORP（酸化還元）指標として、ばっ気または非ばっ気（攪拌）を行うことで適正な環境条件が作りだされてきたが、DOまたはORP濃度は硝化変化等を直接捕らえていないため、迅速な対応を取ることが難しい。ばっ気槽内の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度を捕らえることができれば、より一層安定した高度処理が可能になると考えられるが、このような観点からの技術開発は行われていなかった。また、生物処理は水温低下に弱いため、安定した高度処理を進めるためには水温低下対応の処理技術を開発しておく必要があるが、このような研究例はほとんどなされておらず、重要な検討課題であることがわかった。

第3章は「有機物および窒素・リン同時除去のための間欠ばっ気回分式活性汚泥法の制御手法」では流入嫌気工程、間欠ばっ気工程、静置工程、排出工程の4工程で構成する間欠ばっ気回分式活性汚泥法で、生活雑排水等の有機物、窒素およびリンを効果的に除去する基礎的条件を室内実験装置を用いて明らかにすることを目的として検討を行った。得られた成果は以下のようにまとめられた。

(1) 間欠ばっ気工程時の $\text{NH}_4\text{-N}$ の減衰状態がほぼ直線的に減少し、かつ間欠ばっ気工程終了時に

NH<sub>4</sub>-Nが0.5mg・l<sup>-1</sup>残留するように運転すると窒素、リン、BODのいずれをも効果的に除去できることがわかった。

(2) 間欠ばっ気工程時に行なう脱窒素のための攪拌時間は1回あたり60分間が適切であることがわかった。

(3) BOD、窒素及びリンを安定して除去するためには流入嫌気工程時間60分が適正であることがわかった。

(4) 1サイクル8時間の運転ではBOD、窒素およびリンを90%以上で除去できたが、1サイクル6時間では窒素が若干低下した。

(5) 流入嫌気工程において汚水の流入時間を種々変化させても除去効果に大きな差は認められなかった。

第4章「NH<sub>4</sub>-N濃度制御を行う間欠ばっ気式回分活性汚泥法のパイロットプラント実験」では第3章で得られた結果を基に約70世帯の生活雑排水、単独し尿浄化槽処理水および一部事業所排水が流れている湖沼流入水路の脇に約26m<sup>3</sup>・d<sup>-1</sup>の処理が可能な間欠ばっ気回分式活性汚泥法の実証装置を設置して分離方式の直接浄化法による除去効果等の検討を行った。得られた成果は以下のとおりである。

(1) 枯葉等の夾雑物質除去袋の設置、事業所排水等の流入を踏まえた空気量増加運転の改善によって、良好な除去効果が得られた。

(2) 水温が11℃に低下した冬季は全体的に除去効果が低下し、特に窒素およびリンの除去率の低下が顕著であった。

(3) 水温低下時には通常運転より、約2倍処理時間を長くするか、または、流入汚水を前もって接触ばっ気処理を4時間行ってから1日3サイクル運転で処理すれば、通常時の除去効果とほぼ同じになることが分かった。

第5章「低水温時における窒素除去機能改善のための接触材充填効果」では室内実験装置を用いて、生活排水とほぼ同程度で汚濁された中小河川を想定して、低水温時における間欠ばっ気式回分活性汚泥法の窒素除去機能低下を改善するために紐状接触材充填の効果を検討した。得られた成果は以下のようによまとめられる。

(1) 水温10℃における回分式活性汚泥・生物膜法による1日3サイクル運転の除去効果はリンを除いてほぼ良好であった。また、紐状接触材を充填することによって窒素の除去効果が約33%向上した。

(2) 硝化能は紐状接触材の充填率が増加するにしたがって向上し、紐状接触材の充填による効果が確認された。しかし、脱窒能は充填率が高くなると逆に低下した。このことから、適正な充填率は13%と考えられた。

(3) 紐状接触材の充填率が高くなると浮遊性の活性汚泥濃度が減少し、それに伴って、非ばっ気時のDO濃度の減少が遅くなるため、適正な活性汚泥濃度の維持が、間欠ばっ気により、硝化、脱窒を効率よく進める上で重要であることがわかった。

(4) 水温低下によるリン除去能の向上は回分式活性汚泥法・生物膜法によっても改善されなかった。このため、生物学的手法以外に水温低下に対応したリン除去法を開発する必要があると考えられた。

第6章「低水温におけるリン除去機能改善のための濃厚鉄溶液滴下効果」では室内実験装置を用いて、同じく生活排水とほぼ同程度で汚濁された中小河川を想定して、水温低下時における間欠ばっ気式回分活性汚泥法のリン除去機能の低下を改善するために塩化第2鉄・6水塩結晶を加熱溶解させた

濃厚鉄溶液滴下法の効果を検討した。その結果、以下のことが明らかになった。

(1) 塩化第2鉄・6水塩結晶を溶解させて、鉄濃厚溶液を作製するための適正な加熱温度は50-60℃であり、加熱時間は約1時間以内である。

(2) 鉄濃厚溶液は溶液の水温が低下すると固化するが、鉄濃厚溶液に当溶液量の約0.4の比率で水で希釈すれば水温2℃でも固化しないので、長期間の保存使用が可能であった。このことから、維持管理頻度の少ない小規模施設での実用の可能性が示唆された。

(3) リン1モルに対して鉄1.75モルを滴下すれば、処理水のリン濃度を $1.0\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ 以下に処理でき、鉄濃厚溶液の滴下量は市販の塩化第2鉄溶液と比べて約35~61%少なめで対応可能であることが分かった。

(4) 鉄濃厚溶液滴下法が開始されると迅速にリン除去効果が現れ、低水温時でもリンが良好に除去できた。また、滴下によって槽内のpHが6.5以下を下回ることにはなかった。

(5) 鉄濃厚溶液滴下によってもBODおよび窒素除去は良好に行われた。一方、汚泥発生量は約1.3倍増加するため、汚泥管理に注意を要することがわかった。

第7章「総括および結論」では以上得られた結果を総括し、生活排水処理の高度化研究の方向性を示した。

本論文では生活排水とほぼ同程度で汚濁された濃度の高い中小河川を対象として、間欠ばつ気回分式活性汚泥法による高度処理の安定化を図るための運転制御法、および水温低下に対して施設の大幅な増設もなく対応可能な技術開発を行った。今後は安価で維持管理が容易な $\text{NH}_4\text{-N}$ の連続測定装置の開発、水温低下時における窒素除去効果および処理能力の向上運転の開発が必要と考えられる。これらの開発によって、下水道処理、合併処理浄化槽、農村集落排水処理施設およびコミュニティプラントの発生源対策として利用されている間欠ばつ気回分式活性汚泥法の高度化処理への利用も高まるものと考えられる。

## 審査結果の要旨

閉鎖性の湖沼および海域では富栄養化によって水質改善が遅れているため、下水道の整備、窒素・リンの規制の強化等が行われているが、排水量  $50\text{m}^3 \cdot \text{d}$  未満の水質汚濁防止法で規制されない小規模事業場排水や生活雑排水の流れ込む下水道未整備地域の水路等では汚濁が著しく進行している。このような汚濁水路の浄化対策には生活排水対策重点地域の浄化手法の一つである直接浄化法の利用が適している。しかし、直接浄化法における窒素・リン除去に関しては比較的低濃度の汚濁に対応した植物による処理を組み合わせた方法を除いて検討が行われていないため、汚濁濃度の高い水路に対応した新たな高度処理の開発が必要である。

本論文では、これらの課題に対応するために、安定的に窒素およびリンの高度除去が可能な技術開発をめざし、新たに  $\text{NH}_4\text{-N}$  濃度を制御する間欠ばつ気回分式活性汚泥法を提案し、実際の汚濁水路の浄化効果を検討するとともに、水温低下に対応した窒素・リンの高度処理法を開発した成果を取りまとめたもので、全編7章より構成される。

第1章は総論であり、本研究の背景と目的を示している。

第2章では、直接浄化法および生活排水処理における回分式活性汚泥法の高度処理技術に関する既往の研究についてまとめ、今後の取り組むべき課題を整理している。

第3章では、実際の汚濁濃度に調整した人工汚水を原水とした室内実験を行い、BOD、窒素およびリンの高度な同時除去を可能とする間欠ばつ気回分式活性汚泥法の新たな制御法 ( $\text{NH}_4\text{-N}$  濃度制御法) の効果を明らかにしている。これは重要な成果である。

第4章では、第3章で得られた結果を基に約70世帯の生活雑排水、単独し尿浄化槽処理水および一部事業場排水が流れている汚濁水路の脇に約  $26\text{m}^3 \cdot \text{d}$  の処理が可能な実証装置を設置して実験を行い、 $\text{NH}_4\text{-N}$  濃度制御法によって良好な浄化効果が得られることを明らかにしている。しかし、低水温時には低負荷運転とせざるを得ないことを示している。これは有用な成果である。

第5章では、室内実験装置を用いて、低水温時における窒素除去機能低下を改善するために紐状接触材を充填し、硝化および脱窒を促進するための適正な条件を明らかにしている。これは重要な成果である。

第6章では、室内実験装置を用いて、水温低下時におけるリン除去機能の低下を改善するために塩化第2鉄・6水塩結晶を加熱溶解させた濃厚鉄溶液による凝集法を開発し、少ない維持管理頻度で良好な除去効果が得られることを明らかにしている。これは重要な成果である。

第7章は総括および結論である。

以上要するに本論文は、年間を通して安定な窒素およびリン除去が可能な直接浄化法として  $\text{NH}_4\text{-N}$  濃度制御法を導入した間欠ばつ気回分式活性汚泥法および低水温の窒素、リンの高度除去方法を開発し、その効果を実験的に明らかにしたもので環境工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。