

京都大学	博士（工学）	氏名	荒川 清美
論文題目	オゾンによる汚泥減容化とりん回収を組み込んだ生物学的窒素りん除去法の開発		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>有機性廃水処理に広く適用されている活性汚泥法において課題とされている発生汚泥量の削減を、オゾンによる汚泥液化工程を組み込むことを行うとともに、同時に窒素の除去と、枯渇が懸念されているりんの回収を達成する、新規の省エネルギー・資源回収型の高度廃水処理システムの開発を試みた研究であり、9つの章から構成されている。</p> <p>第1章は緒言であり、研究の背景、位置づけおよび目的について説明するとともに、本論文の構成を示している。</p> <p>第2章においては、余剰汚泥の削減技術についての文献考察を行い、活性汚泥処理による汚泥減容化技術の現状、オゾン添加による汚泥減容化の開発、そしてオゾンを用いた余剰汚泥削減技術の設計上の課題に関する知見を整理し、本研究の意義を明らかにしている。</p> <p>第3章では、汚泥の半回分式オゾン処理試験とオゾン処理を組み込んだ標準活性汚泥法および循環型硝化脱窒法の連続試験を実施し、基礎的検討を行っている。そしてカリウムの液化率を測定することでオゾン処理による活性汚泥の生存率を把握することが可能であること、オゾン処理した汚泥の活性を維持する点とオゾンを消費する物質の生成が少なくする点から、オゾン注入率は液化率と比例関係にある <math>35\text{mgO}_3/\text{gVSS}</math> 以下が最適であることを明らかにしている。オゾン処理を組み込むことにより、生物処理への炭素および窒素の負荷が増加するが、炭素増加の大部分は生物処理で分解されることを示し、余剰汚泥の削減を目的とした汚泥のオゾン処理では、オゾン処理汚泥量を少なくしオゾン処理汚泥量あたりのオゾン注入率を高くして運転する方が好ましいと判断している。そして窒素除去に生物学処理法が効果的であること、りん除去について他の対策を講じる必要があることなどを示している。</p> <p>第4章では、オゾンによる汚泥減容化プロセスを組み込んだ活性汚泥法において、処理水中のりんを低減することを主目的に連続実験を行っている。そして生物処理工程を嫌気-無酸素-好気法とすることにより、活性汚泥のりん含有率はオゾン処理を組み込まない場合と同等となることや、嫌気槽でのりん、<math>\text{COD}_{\text{Cr}}</math>、カリウムおよびマグネシウムの挙動から、りん蓄積細菌の増殖が可能であることを明らかにしている。またオゾン処理工程を導入することにより、物質収支上、りんは処理水として流出する量が増加するものの、「中間沈殿池+化学的りん除去」工程を追加し、りんを回収することにより、余剰汚泥量がほぼ零で、かつりん除去率は対照系列とほぼ同じ94%とし得ることを明らかにしている。</p> <p>第5章では、生物学的窒素りん除去法に汚泥のオゾン処理と模擬的なりん回収を組み込んだパイロットプラントで連続試験し、オゾン反応槽からの排出ガスを生物処理での酸素供給源として利用することを検討している。そして、オゾン反応槽からの排出ガスを好気槽の酸素供給源として利用できること、好気槽の後段に空気を吹き込む再曝気槽を設置することで好気槽でpHの低下を抑制でき、処理水のりんは空気を好気槽の酸素供給源とした場合と同レベルに低減できることを明らかにしている。</p>			

氏名	荒川 清美
----	-------

第6章では、第5章までの結果をもとに作成した実証プラントを用いて連続実験を行い、オゾン反応槽排出ガス中の酸素でオゾン処理による負荷増加分を処理できる可能性の検討と、処理水のりん濃度の増加をHAP法によるりん回収で防止することの可能性の検討を行っている。そして、COD<sub>Cr</sub>、BOD、SS、およびT-Nは良好に除去されており、汚泥発生量の削減率は76%であること、オゾン濃度50mg/lで汚泥の減容化した場合、好気槽での反応に必要な酸素はオゾン反応槽からの排出ガス中の酸素だけで供給することが可能であること、りんは、りん酸ヒドロキシアパタイト(HAP)として原水に含まれる量の75%を回収することにより、処理水T-Pは1mg/l以下を維持できることを明らかにしている。

第7章では、開発プロセスと、同等の処理水が得られる従来プロセスとについて、エネルギー消費量、運転コストおよび建設費を算出し比較を行っている。1日あたりの原油消費量は、従来技術と同等あるいは小さくできること、その理由として開発技術における好気槽への酸素供給方法の変更による寄与が大きいことを明らかにしている。

第8章では開発プロセスの数理モデルを作成し、実験結果とモデルでの計算結果との比較、ならびに、モデルを用いて可溶化率の影響および処理負荷の影響を検討している。作成した数理モデルは、汚泥発生量の減少にともない物質収支上、処理水のPO<sub>4</sub>-Pが上昇するが、りん回収を組み込むことでこの処理水のPO<sub>4</sub>-Pの上昇を防ぐことが可能であること等を検証し、実験結果をよく再現できることを明らかにしている。そして処理負荷を変更した場合の水質および汚泥発生量の変化を検討した結果、汚泥の可溶化率( $\sigma_c$ )が0-0.30の範囲では、処理水のS-COD、BOD、NH<sub>4</sub>-N、NO<sub>x</sub>-Nは従来法とほぼ同等であり、りん回収プロセスを組み込むことにより、処理水中のPO<sub>4</sub>-Pをほぼ0mg/Lにすることが可能であることを明らかにしている。またオゾンによる汚泥減容化では適用可能な処理負荷が存在すること、汚泥のオゾン処理工程でのオゾン注入率は20mgO<sub>3</sub>/gSS程度が最適であること、好気槽容積あたりのBOD負荷は0.1kg/(m<sup>3</sup>・日)程度まででは十分な処理が達成できると結論づけている。

第9章は結論であり、本研究で得られた成果について要約するとともに、今後の研究課題を提示している。

氏名	荒川 清美
----	-------

(論文審査結果の要旨)

本論文は、有機性廃水処理に広く適用されている活性汚泥法において課題とされている発生汚泥量の削減を、オゾンによる汚泥液化工程を組み込むことを行うとともに、同時に窒素の除去とりん回収を達成する、新規の省エネルギー・資源回収型の高度廃水処理システムの開発を試みたものである。得られた主な成果は次のとおりである。

1)設計操作因子としてオゾン注入率に着目し、汚泥液化量、汚泥の活性維持、オゾン消費などから、オゾン注入率は  $35\text{mgO}_3/\text{gVSS}$  以下が望ましいとしている。処理水中の  $\text{S-COD}_{\text{Cr}}$  の上昇を抑える観点から汚泥流量あたりのオゾン注入率を高くしてシステムを運転することが好ましいことを明らかにしている。

2)窒素除去やりん回収を同時に達成するために嫌気好気無酸素法への適用を検討し、パイロットプラント、実証プラント試験を行い、76%の発生汚泥の削減やりん酸ヒドロキシアパタイト(HAP)として75%のりん回収を達成できることを実証している。実証試験のデータをもとに、エネルギー消費量、運転コスト、建設費について従来法との比較検討を行い、建設費は高くなるものの、エネルギー消費は従来法とほぼ同等かそれ以下で運転することが可能であることを示している。さらに運転コストでは、汚泥処理コストを大幅に削減することが可能であることから、従来法と比較して40-50%の削減を達成することを明らかにしている。

3)本開発システムの処理結果を再現しうる数理モデルを開発し、実際に運転した処理結果を用いて検証を行った上で、システムの設計操作因子について検討・考察している。汚泥の可溶化率( $\sigma_d$ )が0-0.30の範囲では、処理水の $\text{S-COD}$ 、 $\text{BOD}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_x\text{-N}$ 濃度は従来法とほぼ同等であり、りん回収プロセスを組み込むことにより、処理水中の $\text{PO}_4\text{-P}$ をほぼ $0\text{mg/L}$ にすることが可能であることを明らかにしている。そして汚泥のオゾン処理工程でのオゾン注入率は $20\text{mgO}_3/\text{gSS}$ 程度が最適であること、好気槽容積あたりの $\text{BOD}$ 負荷は $0.1\text{kg}/(\text{m}^3\cdot\text{日})$ 程度まででは十分な処理が達成できると結論づけている。

以上、本論文は、嫌気無酸素好気活性汚泥法にオゾンによる汚泥液化プロセスとりん回収プロセスとを組み込むことにより、現状の活性汚泥法の課題である発生汚泥量の減量と栄養塩除去を同時に達成するとともにりんを回収しうる高度処理システムとすることが可能であることを示したもので、反応の基礎原理や速度論から設計操作因子について考察したものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成23年10月24日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。