

氏名	ウイラシニー サクテーウィン WILASINEE SAKTAYWIN
学位(専攻分野)	博士(工学)
学位記番号	工博第2566号
学位授与の日付	平成17年9月26日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	工学研究科環境工学専攻
学位論文題目	DEVELOPMENT OF ADVANCED SEWAGE TREATMENT PROCESS WITH EXCESS SLUDGE REDUCTION AND PHOSPHORUS RECOVERY (汚泥発生抑制・燐回収型下水高度処理技術の開発)
論文調査委員	(主査) 教授 津野 洋 教授 武田 信生 教授 田中 宏明

論 文 内 容 の 要 旨

近年、廃棄物処分場の逼迫が問題となり、産業廃棄物の減量化が求められている。下水道終末処理場にて発生する余剰汚泥は産業廃棄物として処分されるため、その減量化が必要とされている。その一方で、全ての生物に必須な元素である燐は今世紀中に枯渇すると予測されており、燐を循環利用する技術の確立が望まれている。本論文は下水処理過程で発生する余剰汚泥量を削減しうると同時に、下水中に含まれる燐を資源として回収しうる下水の高度処理技術の開発を行ったものであって、8章から構成されている。

第1章は序論であり、研究の位置づけ、本研究の背景および目的について言及し、下水の高度処理における余剰汚泥削減と燐回収の両立の意義を述べ、本論文の構成を示している。

第2章では文献考察を行い、余剰汚泥削減の機構と技術、ならびに燐回収(結晶化)の機構と技術を整理している。従来、余剰汚泥削減および燐回収の各々に関し種々の方法が考案され、実用化されている。これらの技術を比較検討し、余剰汚泥削減にはオゾン処理が、また燐回収には生物学的燐除去プロセスに結晶化を付加したものが有効であることを明らかにし、本研究で開発されるプロセスの構成が技術的に合理的なものであることを示している。

第3章では汚泥発生抑制・燐回収型下水高度処理プロセスの設計に必要な要素を検討しうる定常状態を仮定した物質収支モデルを構築している。モデル構築に際し、従来の知見からは得られないオゾン処理過程における汚泥の性状・活性度の変化などのデータについては回分式実験を行い、オゾン消費量の増加にともなう汚泥の可溶化、汚泥活性度の低下、可溶化により生じた有機物のうちの生物易分解性のものの割合などを定量的に明らかにした。そして、提案プロセスの実現可能性を明らかにするとともに、運転時の適切な操作条件としてオゾン処理率0.01、燐結晶化率0.19、余剰汚泥引抜率0.0017、汚泥可溶化率0.3を提示した。

第4章では燐結晶化に関し回分式実験を行い、燐結晶の生成速度、生成条件を検討している。燐結晶としてはマグネシウムと結合したMAP、カルシウムと結合したヒドロキシアパタイトを取り上げている。燐結晶を生成する条件としてはpHが重要であり、両結晶ともpHの上昇とともに結晶化率は上昇すること、MAPの場合pH10の時に70%の燐が結晶を生成し、ヒドロキシアパタイトの場合はpH9.5にて80%の結晶化が可能であることを示した。両結晶とも、最適な結晶生成条件下では速やかに(ヒドロキシアパタイトの場合1分以内)結晶が生成することも示した。

第5章では、第3章および第4章の結果を基に実験室規模の連続処理プラントを設計し、2年以上の通常の高度処理運転(オゾン処理、結晶化処理なし)と、およそ8ヶ月間の汚泥発生抑制・燐回収型高度処理運転(オゾン処理、結晶化処理を伴う)を行い、運転で得られた結果から本プロセスの性能を評価している。開発したプロセスでは流入水中の86%の燐が結晶として回収でき、余剰汚泥の発生量を90%以上低減することが可能であること、処理水質は従来のプロセスと比較し同程度の良好な水質を維持しうること、窒素除去には影響を及ぼさないこと、汚泥沈降性は良く従来プロセスよりも安定していることを明らかにした。

第6章は、動的プロセスシミュレーションモデルを開発し、各種操作パラメータに関する感度解析を実施するとともに、第5章で実施した実験条件以外のケースについてもプロセスの性能を検証している。オゾン処理における汚泥可溶化率は処理水中の溶解性有機物濃度に与える影響が大きく、適度な可溶化率を設定する必要がある、それは0.3程度であることを明らかにした。また、本プロセスは従来プロセスでは処理が困難であった有機物／燐比の低い廃水に対しても有効に機能し、良好な処理水質が得られることを明らかにした。

第7章ではプロセス運転時の消費エネルギー量を推計し、従来プロセスと比較している。推計においては両プロセスの条件を統一するために燐鉱石の採掘・輸送、余剰汚泥の処理までを考慮している。50,000トン/日の規模のプロセスについて比較した結果、本プロセスはオゾン処理及び結晶化で消費エネルギー量が増加するものの、主に余剰汚泥の処理に関する消費を抑制することができ、総合的には従来プロセスに比べ消費エネルギー量を9%、CO₂排出量を14%削減でき、余剰汚泥の削減および燐の資源としての回収以外に、エネルギーの観点からも有利なプロセスであることを明らかにした。

第8章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。

論文審査の結果の要旨

近年、廃棄物処分場の逼迫が問題となり、産業廃棄物の減量化が求められている。下水道終末処理場にて発生する余剰汚泥は産業廃棄物として処分されるため、その減量化が必要とされている。その一方で、全ての生物に必須な元素である燐は今世紀中に枯渇すると予測されており、燐を循環利用する技術の確立が望まれている。本論文は、余剰汚泥量を削減しうると同時に、下水中に含まれる燐を資源として回収しうる下水の高度処理技術について検討を行った結果をまとめたものであり、得られた主な結果は次のとおりである。

1. 開発したプロセスは生物学的燐除去プロセス（嫌気／好気処理）に汚泥可溶化オゾン接触槽と燐結晶槽を付加したものであり、実験室規模のプラントを用いた連続処理実験により、流入水中の86%の燐を結晶として回収でき、余剰汚泥を90%以上低減できること、処理水質は従来プロセスと比較し同程度の良好な水質を維持しうること、窒素除去には影響を及ぼさないこと、汚泥沈降性は良く従来プロセスよりも安定していることを明らかにした。
2. オゾンによる汚泥可溶化、カルシウムによる燐結晶化の特性を回分式実験により把握し、またその結果を用いた定常状態物質収支モデルを構築した。モデル解析により、本プロセスの操作上の重要因子がオゾン処理における汚泥可溶化率および余剰汚泥引抜率であることを示し、それらの適切な操作範囲を明示した。
3. 動的プロセスシミュレーションモデルを開発し、各種操作パラメータに関する感度解析を実施するとともに、連続運転実験で行った以外の条件についてプロセスの性能を検証した。オゾン処理における汚泥可溶化率は0.3程度が適切であること、従来プロセスでは処理が困難であった有機物／燐比の低い廃水に対しても有効に機能し、良好な処理水質が得られることを明らかにした。
4. 本プロセス運転時の消費エネルギー量を従来プロセスのそれと比較した。開発されたプロセスは、オゾン処理及び燐結晶化で消費エネルギー量が増加するものの、主に余剰汚泥の処理に関する消費を抑制することができ、総合的には従来プロセスに比べ消費エネルギー量を9%、CO₂排出量を14%削減でき、余剰汚泥の削減および燐の資源としての回収以外に、エネルギーの観点からも有利なプロセスであることを明らかにした。

以上、要するに本論文は、余剰汚泥削減と燐回収が可能な下水高度処理技術について、基本反応機構からプロセス運転まで総合的な検討を行い、操作因子を提示し、その可能性を明らかにしたものであり、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17年8月9日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。