

氏名（本籍） Mahmoud BADISS（モロッコ）

学位の種類 博士（生物工学）

学位記番号 博 甲 第 6951 号

学位授与年月日 平成26年 3月25日

学位授与の要件 学位規則第4条第1項該当

審査研究科 生命環境科学研究科

学位論文題目

Comparative Study on Aeration Control by Automatic Oxygen Supply Device (AOSD) and Fixed ON/OFF Time Systems in Intermittently Aerated Activated Sludge Process for Domestic Wastewater Treatment

(生活排水処理の間欠ばっ気プロセスにおける AOSD および固定時間給気制御システムの比較研究)

主 査 筑波大学教授 農学博士 佐竹隆顕

副 査 筑波大学教授 博士（農学） 北村 豊

副 査 筑波大学准教授 博士（学術） 中島敏明

副 査 筑波大学准教授 博士（農学） 吉田滋樹

論 文 の 要 旨

下水処理における一般的な方法は活性汚泥法であるが、電力消費量が多いこと、栄養塩としての窒素・リン除去能が低コストで達成できていないこと等解決すべき問題点が残されている。これらの問題点の解決に向け、従来の活性汚泥法の連続曝気法或いは曝気と非曝気を経験的な技法に基づき運転する手法から、微生物の必要とする酸素量のみを供給する嫌気好気運転技法の導入による電力削減と水質の高度化を両立するコベネフィット技法の確立のための技術開発研究が求められている。例えば単一の生物処理反応槽の中で曝気と非曝気を効率的に行うことができれば省エネルギー化を達成する一助となる。そのためには、曝気空気を供給するための送風機のオン/オフ時間を最適化するために制御センサーを採用して、単純なタイマー送風制御からより機能性のあるコンピュータプログラム自動送風制御が重要となる。殆どの既存の送風制御システムは、溶存酸素(DO)、酸化還元電位(ORP)、pH、アンモニア性窒素(NH₄N)および硝酸性窒素(NO₃N)のような物理化学的パラメータのコンビネーションの閾値に基づき送風機の ON/OFF を制御している。しかし、このような制御法はメンテナンスが困難であり、制御の閾値の決定も経験に頼っていることから適切な制御が達成できていないことが問題視されている。

微生物の必要とする酸素量を自動的に演算して供給する革新的システムとして本研究で導入した AOSD (AUTOMATIC OXYGEN SUPPLY DEVICE)制御システムは、1サイクルを120分として曝気-非曝気の最適な時間を計算するために DO 変化・水温変化および生物処理反応槽に生息する中核となる微生物の硝化反応速度/脱窒反応速度を数式化し、この式に基づき追従してプログラム制御する新規性・独創性のある技法である。

本研究では一定温度および一定流入水量負荷条件での AOSD 制御システムの有効性を水質特性・汚泥特性・生物特性・省エネルギー特性等から解析と評価を行った。試験用の生活排水は浄化槽の性能評価の国家基準の BOD₂₀₀ mg・L⁻¹; TN 45mg・L⁻¹; TP5mg・L⁻¹; SS 150mg・L⁻¹に標準化調整した実生活排水を用い、AOSD 制御システム (120min 1 サイクル) および固定の曝気/非曝気時間 (30-90 分、

40-80 分、60-60 分等の条件) での比較試験を行った。なお、放流水質・汚泥・生物特性等は標準下水試験方法によって評価した。その結果、AOSD 制御システムでは曝気時間は、平均 32 分 (幅 27-35 分) であった。この AOSD システム曝気自動調整制御時間において、30、40 および 60 分の固定曝気時間と比較して、放流水質は良好で生物相も極めて質的にも量的にも豊富で良好かつ多様で安定化することを明らかにした。AOSD 制御システムの BOD 除去率は 95%以上、T-N 除去率は 85%以上、T-P 除去率は 60%程度で有り極めて高い性能が認められた。なお、T-N 除去率が増強されたのは、生物学的な硝化作用脱窒反応が必要酸素量の供給条件下で極めて効率的に推進されたことに起因したものと考えられた。すなわち、好気条件の過程での硝化反応と嫌気条件の脱窒反応が、酸素利用効率を最大限に増加させ必要酸素のみを供給消費するために機能したものと考えられる。また、AOSD 制御システムでは、更に、活性汚泥法で満足すべき基本的な条件である沈殿槽における汚泥の固液分離能を高め、良好な処理水を得る上で大きな効果を有していることが明らかとなった。さらに、AOSD 制御システムにおける送風機稼働の最適演算時間における曝気制限は、二酸化炭素の排出量の削減およびエネルギー消費量の削減の両方に大きく貢献することが明らかとなった。AOSD 制御システムでは、温室効果ガス CO₂ (二酸化炭素)、CH₄ (メタンガス) および N₂O (亜酸化窒素ガス) の排出量は、固定の曝気/非曝気時間 (30-90 分、40-80 分、60-60 分等の条件) に比較して確実に低減することが明らかとなった。これらの結果を基に、我が国で最も多く実績のある運転方法である固定の曝気/非曝気時間 60-60 分の条件と比較すると、AOSD 制御システムでは、平均 46% の電力消費量を削減できるという驚異的な知見を得ることが出来た。なお、下水処理システムでは如何に維持管理を容易化するかが重要な命題となっているが、AOSD 制御システムは、DO 検出部の自動洗浄方式蛍光電極 LDO を使用することにより生物反応の管理に対して事実上メンテナンスフリーとなることが明らかとなった。

審 査 の 要 旨

21 世紀の重要なエネルギー・水質問題は、持続型社会を構築する上で非常に大きな課題である。下水処理システムにおいても消費電力エネルギーの 50%近くを占める大量の曝気エネルギー消費の現状から、高度な水質を確保した上で省エネルギー化を図ることが緊急課題となっている。この課題を解決するには、省エネルギー化を図るための曝気量のシステム制御の導入による最適化が重要である。本研究においては、嫌気・好気時間を微生物の酸素消費速度に応じ自動制御する AOSD (Automatic Oxygen Supply Device) システムを導入した完全混合型単槽式活性汚泥法において、一定水温・流入負荷条件下で、AOSD 自動制御により従来の好気嫌気固定運転と比べ T-N、BOD の除去性能が向上すると同時に、ブロワの消費電力をも削減できることを明らかにした。なお、水温・流入負荷変動に対する自動制御運転において四季の季節変動の水温変化にも追従可能な制御システムの構築および窒素・リン栄養塩類の除去の高度処理の操作条件の構築に対しては課題が残されているものの、AOSD 制御システムの有効性を実験的に実証した事は高く評価できる研究成果である。すなわち生活実排水を用いて、AOSD 制御システムの導入の有無による下水処理性能向上効果を生物化学的に質的量的に比較解析し、国際的にも汎用化可能な AOSD 制御システムを下水処理における最適制御システムとしてその利用の可能性を示し得たことは極めて重要な成果であるといえる。

平成 26 年 1 月 22 日、学位論文審査委員会において、審査委員全員出席のもとに論文の審査及び最終試験を行い、本論文について著者に説明を求め、関連事項について質疑応答を行った。その結果、審査委員全員によって合格と判定された。

よって、著者は博士 (生物工学) の学位を受けるのに十分な資格を有するものとして認める。