

氏 名	ひ だか たいら 日 高 , 平
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	工 博 第 2110 号
学位授与の日付	平 成 14 年 3 月 25 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	前凝集・生物膜反応器による下水高度処理法の開発

論文調査委員 (主 査)
教 授 津 野 洋 教 授 宗 宮 功 教 授 松 井 三 郎

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、閉鎖性水域の富栄養化防止や地域の水循環における今後の下水道の位置付けを見据えて、前凝集・生物膜反応器による下水高度処理法の開発を試み、パイロットプラントを主体とした実験的検討、および数理モデル開発により、開発プラントの適用性を実証するとともに、その設計・操作因子について究明したものであり、7章からなっている。生物膜反応器として、流動担体反応器および生物膜ろ過反応器が適用され、実下水を対象とした3種類のパイロットプラントによる実験、および数理モデルの展開により検討されている。

第1章では、本論文の研究の背景、とくに下水の高度処理法の開発の重要性について述べ、本論文の目的ならびに構成について述べている。また、効率的な高度処理法への流動担体反応器および生物膜ろ過反応器の有用性が述べられている。

第2章では、前凝集下水を用いて、標準活性汚泥法と同程度の滞留時間で有機物とともに窒素除去を行うことを目的に、前凝集・流動担体反応器を開発し、パイロットプラントでの実験により処理特性把握、設計・操作因子の実験的検討を行っている。生物反応器では、「好気槽(4時間)→無酸素槽(3時間)→再曝気槽(1時間)」の処理を基本として、長期間の連続処理運転を行い、適用性を実証している。すなわち、水温が20℃を下回る低水温期においても有機物、窒素およびリンについて安定した処理が継続し、処理水のSS濃度は10mg/L以下を、S-COD_a濃度は30mg/L以下を、T-N濃度は2mgN/L程度を、そしてT-P濃度は1mgP/L程度を安定して保ちうることを示している。その際の運転条件として、好気槽の水理学的滞留時間を4時間とする必要があること、好気槽の担体充填率は低水温期の場合20%が必要であることなどを示している。これらより、現在稼働している標準活性汚泥法の施設を比較的簡単な改造を行うだけで、高度処理が可能であることを提示している。

第3章では、仕上げ処理の部分に着目し、再曝気槽での余剰有機物の除去機能とDO濃度回復機能、ならびに最終沈殿池でのSS成分の除去機能を好気性ろ床に統合し、処理時間の短縮を試みている。そのために、パイロットプラントにより、好気性ろ床を組み込んだ前凝集・生物膜反応器を用いた都市下水の高度処理に関する実験的検討を行っている。生物反応器では、「好気槽(4時間)→無酸素槽(2時間)→好気性ろ床(2時間)」の処理を基本として運転している。その結果、水温20℃を下回る低水温期においても有機物、窒素およびリンについて安定した処理が得られ、処理水のT-ATU-BOD濃度は4.4mg/L以下を、処理水のT-N濃度は2.8mgN/L以下を、そして処理水のT-P濃度で1mgP/L以下を安定して保った。SSについては、好気性ろ床の洗浄操作を1～2日に1度行うことで、5mg/L以下に維持された。これより、好気性ろ床を組み込んだ前凝集・流動担体反応器についての適用性が示されている。

第4章では、硝化および脱窒も含めて、生物処理すべてに生物膜ろ過反応器を活用し、より省面積で維持管理の容易な反応器の開発を試みている。パイロットプラントにより、前凝集・生物膜ろ過反応器を用いた都市下水の高度処理に関する検討を行った結果、水温20℃を下回る低水温期においてもろ床部の空塔滞留時間3.2時間で有機物、窒素およびリンについて安定した処理成績が得られ、処理水のSS濃度は3mg/L以下を、T-COD_a濃度は20mg/L以下を、T-BOD濃度は

5mg/L 程度を、T-N 濃度は 2mgN/L 以下を、そして T-P 濃度で 0.2mgP/L 程度を安定して保ちうることを示し、前凝集・生物膜ろ過反応器は、中継ポンプ場などで適用し得るよう省面積で維持管理が容易で高度処理水準の水質の水を得られる処理技術として、活用可能であることを実証している。

第 5 章では、ロトカ・ヴォルテラ競合モデルに類似した表現を用いて、他栄養性細菌と自栄養性細菌の担体付着表面を巡る競合関係を、混雑効果および剥離促進効果により表現した数理モデルを開発している。開発されたモデルは、全く異なる二つの反応器にて、流入水質組成や担体充填率などが異なる種々の条件下で、同一の係数値を用いて適用性の検討が行われ、処理水質および微生物量やその競合関係の観点から、いずれも実測値に近い値が計算可能であり、本モデルは種々の条件に対応可能であることが検証されている。本モデルによる第 2 章で述べた反応器の設計・操作因子の検討・提示がなされ、また流入水の負荷変動に対する処理の安定性が示されている。

第 6 章では、第 5 章で作成した付着競合モデルを基礎にして、生物膜による水質変換機能およびろ過による固形性成分の捕捉機構を表現しうる生物膜ろ過反応器についての数理モデルを開発している。開発されたモデルは、全く異なる二つの反応器にて、流入水質組成や循環率などが異なる種々の条件下で、同一の係数値を用いて適用性の検証を行い、生物膜による水質変換、固形性成分のろ過機能による捕捉および微生物量の観点から、いずれも実測値に近い値が計算可能であり、本モデルは種々の条件に対応可能であることが検証されている。本モデルを活用して第 4 章で述べた反応器の設計・操作因子の検討も行われており、低水温期の場合、適切な硝化液の循環率は 2.5 程度であることが示されている。

第 7 章は結論であり、本研究で得られた結果を要約している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、閉鎖性水域の富栄養化防止や地域の水循環における今後の下水道の位置付けを見据えて、前凝集・生物膜反応器による下水高度処理法の開発を試みたものであり、パイロットプラントを主体とした実験的検討、および数理モデル開発により、開発プラントの適用性を実証するとともに、その設計・操作因子について究明したもので、得られた主な成果は以下のとおりである。

1. 前凝集下水を対象とした「好気槽→無酸素槽→再曝気槽」より構成される流動担体反応器を開発し、そのパイロットプラントによる処理特性を実験的に検討し、この反応器は既存の標準活性汚泥法の施設を活用して、それと同程度の滞留時間で、有機物のみならず窒素の除去をも行え、下水の高度処理に適用しうることを実証した。
2. 上記の生物学的反応器の仕上げ処理の部分に着目し、再曝気槽での余剰有機物の除去機能と DO 濃度回復機能、ならびに最終沈殿池での SS 成分の除去機能を生物膜ろ過（好気性ろ床）に統合することで、最終沈殿池が省略でき、敷地面積および処理時間の削減が可能であることを、パイロットプラントによる実験的検討から実証した。
3. 生物学的反応器すべてに自動制御を組み込んだ生物膜ろ過反応器を開発し、パイロットプラントを用いた「循環型無酸素性ろ床→好気性ろ床→仕上げる床」より構成される生物学的反応器による実験的検討により、中継ポンプ場などで適用し得る、省面積で維持管理が容易で高度処理水準の水質の水を得られる処理技術として、適用しうることを実証した。
4. 他栄養性細菌と自栄養性細菌の担体付着表面を巡る競合関係を、混雑効果および剥離促進効果により表現したモデル、およびこの付着競合モデルを基礎にした生物膜による水質変換機能およびろ過による固形性成分の捕捉機構を表現しうる生物膜ろ過反応器の数理モデルを開発した。開発したモデルは、それぞれ、全く異なる二つの反応器への適用性が実証され、実験結果およびモデルによるシミュレーションにより、前凝集・生物膜反応器の設計・操作因子を提示した。

以上要するに、本論文は、終末処理場での既存の施設を活用した高度処理化、中継ポンプ場などでの下水再利用施設などに適用しうる、前凝集・生物膜反応器を開発し、適用性を示すとともに、その設計・操作因子を提示したもので、学術上、実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 14 年 1 月 11 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。