

|             |                                               |
|-------------|-----------------------------------------------|
| 氏 名         | 倉 田 学 児                                       |
| 学位(専攻分野)    | 博 士 (工 学)                                     |
| 学 位 記 番 号   | 論 工 博 第 3369 号                                |
| 学位授与の日付     | 平 成 10 年 9 月 24 日                             |
| 学位授与の要件     | 学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当                       |
| 学 位 論 文 題 目 | 下水処理プロセスシミュレータを用いた生物学的栄養塩除去システムの<br>高度化に関する研究 |

(主査)

|        |            |            |          |
|--------|------------|------------|----------|
| 論文調査委員 | 教授 内 藤 正 明 | 教授 森 澤 眞 輔 | 教授 津 野 洋 |
|--------|------------|------------|----------|

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、閉鎖性水域の富栄養化問題への対応のために、廃水処理施設における生物学的窒素・リン除去性能の向上を目的とした管理の高度化が強く求められている状況に鑑み、最適な運転・管理方式の決定を支援する観点から、流入有機物負荷の変動などに起因する栄養塩除去の不安定化現象を対象として、そのメカニズムの解析と安定性の向上のための運転・制御方法について論じたものであり、7章からなっている。

第1章は緒言であり、下水処理場の運転管理における情報系の重要性、シミュレータ構築の方針や求められる機能について論じている。また、本研究の目的と主要な研究課題を明らかにしている。

第2章においては、シミュレータの開発に利用したオブジェクト指向モデルの概要を説明し、下水プロセスのシミュレータの構成要素となる各単位クラスの構築法について論じた。オブジェクト指向モデルは、動的な変化を伴う異なるシステムやスケールの間を結ぶ手法としても有効なものであることを明示した。

第3章においては、生物学的窒素・リン除去法で利用されている各種方法の概要を整理し、AO法やA<sup>2</sup>/O法など空間的に好気・無酸素・嫌気的环境を分割する方法と、単一槽で時間的に環境を分割する間欠曝気法との比較によって、制御性の違いを論じると共に、本研究で主として扱った「直列2槽式間欠曝気法」について、栄養塩除去に有効な構造と運転制御方法を提示し、その特性について論じた。

第4章においては、硝化・脱窒の動力学モデルとして「Tenstrom・Christensenモデル」と「IAWQ活性汚泥モデルNo. 1」を、硝化・脱窒および生物学的リン除去のモデルとして「Randallモデル」及び「IAWQ活性汚泥モデルNo. 2」を対象として、扱われている水質項目および微生物活動プロセスの整理と比較を行い、各モデルの特徴を論じた。

また、IAWQ活性汚泥モデルNo. 2については、直列2槽式間欠曝気法の施設での実験データをもとに、従来のモデルとの比較及び温度影響のシミュレーションを行い、その再現性及び適用性を確認した。

第5章においては、主として直列2槽式間欠曝気法を採用し生物学的窒素・リン同時除去を目的とした実験施設および実用施設を対象として、実験結果とシミュレーション結果から、モデルの再現性及び信頼性の評価を行うと共に、有機物負荷の低下時の活性汚泥の内部状態の変化や有機物の消費経路の解析を行い、その結果から安定的な制御方法の検討を行った。リン蓄積性微生物の働きを最大限に引き出すためには、生物反応槽に至るまでの下水管や前処理段階での有機物の消失を防ぎ、プロセス内での他の従属栄養性微生物による有機物の利用を抑える制御法が有効である事を示し、また実施施設の運転方法の改修による効果を事前に予知しうることを示した。また、有機物負荷変動に起因する生物学的リン除去の不安定現象に関しても、余剰汚泥量操作及び有機物添加による制御方法を提案し、その有効性を示している。

第6章においては、公共下水の終末処理場を対象として、初沈生汚泥投入によるリン除去率向上実験での有機物の消費経路とリン除去向上のメカニズムの解析を行い、既存設備を利用した栄養塩除去の改善方法の一つとして有効である事を示した。また、統計的制御法の一つであるARモデルを用いた制御法を構築する際の同定実験の過程に、シミュレータを用いて

プロセスの動的な特性を予測できる事を示し、実際の同定実験における動的特性を定性的に再現できる事を明らかにした。  
第7章は結論であり、本論文で得られた成果と今後の展望について要約している。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、今日の水系保全上の重要課題である閉鎖性水域の富栄養防止さらには栄養塩回収をも視野に入れつつ、生物学的栄養塩除去システムの運転・管理手法の高度化を目指したものであり、その新たな手法として、施設の固有性や制約条件を反映できる下水処理プロセスシミュレータを開発し、さらにそれを用いて実プラントを対象に実用可能な支援手法の構築を行った一連の理論的・実験的研究の成果についてまとめられたものであり、得られた主な成果は次の通りである。

1. 栄養塩除去機構に関する活性汚泥動力学モデルを組み込んだ、オブジェクト指向モデルにより施設固有の制約条件等を反映できるシミュレータを開発し、複数の処理施設での実験データとの比較によりその有効性を確かめた。
2. 流入原水の有機物負荷が低下すると、生物学的リン除去が不安定になる現象に着目して、活性汚泥内の微生物相の変化や各微生物への有機物の消費経路などを解析し、安定的な制御のために重要な操作因子を提示した。
3. 実施設での下水管および前処理段階での水質分析結果に基づくシミュレーションから、前処理段階での有機物の減少が生物学的リン除去を悪化させる要因の一つであることを明らかにし、その改善によってリン除去性能が向上する事をシミュレーションと実験の両方から確かめた。同様に、最初沈殿池の生汚泥を有機物資源として利用する事の有効性を確認した。
4. 下水処理場での自己回帰制御法の同定実験及び制御系構築の過程をシミュレータ上で再現し、実施設に近い動特性が得られる事を示した。これによって、モデルの妥当性の検証と統計的制御系構築の支援に有効である事を明らかにした。
5. これらの結果をもとに、現場の下水処理場の高度な管理を支援する新たなシステムを提示した。

以上、要するに、本論文は、下水処理プロセスシミュレータの支援による生物学的栄養塩除去法の高度な管理手法について検討したものであり、学術上、実際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）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成10年5月20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。