

内94-26

早稲田大学大学院理工学研究科

# 博 士 論 文 概 要

## 論 文 題 目

Process design of biofilm reactor for  
biological wastewater treatment  
(生物膜法における排水生物処理プロセス  
の設計法に関する研究)

申 請 者

野口 基治

Motoharu NOGUCHI

応用化学専攻・化学工学研究

1994年11月

人も自然の一部であり、自然と調和して生きていかねばならない。その為未来に亘って、安心して生活できる環境の創造が必要である。水環境においても、自然と調和して生きていく為には、現在様々な問題がある。現在日本における水環境汚染の状況はかなり悪く、環境基準に達していない河川は24.6%、湖沼は55.4%、海域は19.1%（平成4年）に上っている。その原因は工場廃水のほか、生活排水、農業・畜産業排水によるもの等多岐に亘っている。工場廃水は難分解性物質等が完全に処理されず、生活排水は下水道普及率が47%（平成4年）と低い為、半分以上が未処理のまま自然界に排出されている。この為、湖沼等の閉鎖性水域においては富栄養化が進み、アオコの異常発生や飲料水への異常臭気の混入等の問題が生じている。

この様な状況に対し、平成2年9月には生活排水処理対策の強化、平成4年12月には微量汚染物質を中心とした水道水質基準の強化、平成5年3月には水質の環境基準の強化、平成5年10月には工場から海域への窒素・リンの排出基準の強化、海域の窒素・リンの環境基準の強化等の法規制の整備が進み、平成5年11月には環境基本法が制定された。今後益々法規制の強化が予想され高効率な装置が求められる。

この様な状況を打破する為、様々な水処理装置の導入が検討されている。水処理装置は、財を生まない為、できるだけ低コストかつ動力費のかからない処理装置・操作法が求められている。また有機物だけであった処理対象が、今後は有機物だけでなく窒素・リンをも含めた処理や微量難分解性物質の処理等の高度処理が求められる。そこで生物膜法を始め微生物の働きによる自然の浄化作用を利用した生物学的水処理法が多く用いられ、生物膜法は高性能な水処理装置として注目されている。しかし、水処理装置の処理特性のみに着目している研究が多く、装置の高効率化・コンパクト化の為には、装置の処理性能を的確かつ簡便に表せる装置設計法の確立が必要である。そこで、本論文では生物膜法の設計に必要な各因子について検討を行い、生物膜法全般に統一的に適用可能な設計法についてまとめた。

本論文は7章から構成されている。以下に各章の概要を述べる。

第1章では、まず、日本の水環境の現状について述べ、これからの水環境のあるべき姿について明らかにした。次に、生物膜法の一つである流動床法について本研究に関連する既往研究を整理し、本研究の意義と目的を明らかにした。

第2章では、生物膜法による好気性排水処理特性に関するこれまでの当研究室における諸成果を再整理して、三相流動床法・回転円板法を含む生物膜法全般に統一的に適用し得る設計理論式の展開を行った。

すなわち、まず生物膜による好気性排水処理では、生物膜のごく表面までしか酸素が透過しない為、生物膜表面積によって生物処理速度を評価できるものと考え、所要生物膜表面積を求める為の生物処理特性式について、装置内の流動状態・反応

次数別に分け整理した。次に、押し出し流れ型の生物膜法において、処理水を循環させた場合の生物処理に及ぼす処理水循環比の影響を評価できる設計理論式を提出した。更に、基質面積負荷が大きい場合生物膜法においても浮遊微生物による処理が無視できないと考え、浮遊微生物による寄与について装置内の流動状態・反応次数別に分け設計理論式を提出した。

第3章では、第2章で述べた理論展開の適用性を実験的に確認する為、完全混合流れ型三相流動槽を使用して、フェノール廃水の生物処理を行い、第2章で述べた設計理論式が適用可能なことを明らかにした。

すなわち、まずフェノール廃水の生物処理における反応次数が0次反応近似可能であることを確かめ、この場合の生物処理特性値を実験結果より求めることにより、除去率100%を得る為には容積負荷に対する生物膜表面積の比が $80\text{m}^2/(\text{kg-PhOH/d})$ 以上必要であることを明らかにした。次に、生物処理性能に及ぼす生物膜表面積の影響を担体径及び担体充填率に分け整理することにより、第2章で述べた理論により良好に所要生物膜表面積を評価できることを明らかにした。更に、フェノール面積負荷が大きい場合には、浮遊微生物の影響を考慮する必要があることを実験的に確かめ、第2章で述べた浮遊微生物による生物処理の設計理論式により浮遊微生物の寄与を評価可能なことを明らかにした。

第4章では、流動床内の所要生物膜表面積を評価する為に、充填率に影響を与える各因子（担体径、流動層径、液線速度、ガス線速度、終末速度、液密度、担体密度、固液二相流動層の固体の充填率）を考慮した新しい固液気三相流動層の固体の充填率に関する相関式を提出した。

すなわち、まず既存の固液気三相流動層の固体の充填率に関する実験データ（実験回数210回、実験値1535個）を解析し、実験値と計算値の標準偏差が5.3%、平均誤差が3.5%と良好で固液気三相流動層だけでなく固液二相流動層にも適用し得る相関式を得た。また、固液二相流動層の固体の充填率より固液気三相流動層における固体の充填率を取得し得ることを明らかにした。次に、上記相関式を用いて固液気三相流動層の膨張・収縮について検討した結果、実験回数210回のうち170回（約80%）について良好な予想が可能であり、新しい固液気三相流動層の膨張・収縮の評価法として使用可能なことを明らかにした。

第5章では、所要生物膜表面積を求める為に必要な生物処理特性値を取得する為、生物膜表面積が明らかな回転円板法により実生活雑排水処理を行い、生物処理特性値を得た。また、第2章で述べた生物処理特性式を適用し、実生活雑排水の有機物処理・アンモニア態窒素処理の生物処理特性について明らかにした。

すなわち、まず実生活雑排水の生物処理における D-BOD処理・アンモニア態窒素処理の反応次数が1次反応近似であることを確かめた。これを基に生物処理特性評価を行い、D-BOD処理・アンモニア態窒素処理における生物処理特性値は約0.25 m/d (20℃)、みかけの活性化エネルギーは約 $4.0 \times 10^4$  J/molと得られ、生物処理に与える水温の影響を明らかにした。次に、回転円板法を用いた生活系排水の有機物処理・アンモニア態窒素処理結果を整理し、生物処理特性式が生活系排水全般に統一的使用できることを明らかにした。更に、有機物処理に与える水量負荷の影響および水量変動の影響について明らかにし、生物処理特性式によりその予測が可能なることを見いだした。また、アンモニア態窒素処理に及ぼす水温と有機物面積負荷の影響を検討し、有機物面積負荷が大きい程アンモニア態窒素の処理効率が低下し、水温が低いほどその影響が大きい傾向にあることを見いだした。

第6章では、前述の実生活雑排水の処理において、回転円板法の代わりに押し出し流れ型・完全混合流れ型三相流動床を使用し、生物処理特性評価を行った。

すなわち、まず前述したように反応次数は1次反応近似が可能であり、これを基に生物処理特性評価を行い、D-BOD処理・アンモニア態窒素処理におけるみかけの活性化エネルギーは約 $4.0 \times 10^4$  J/molと得られ、生物処理に与える水温の影響は前述の回転円板法と同程度であることを明らかにした。次に、有機物処理速度は循環比の大小に関わらず D-BOD面積負荷の増加に伴い速くなり、また本実生活雑排水では処理水中の D-BOD濃度をほぼ0 g/m<sup>3</sup>まで処理できたことより、より高濃度の排水に対しては適当な循環比を保てば高除去率を得られることを明らかにした。更に、三相流動床と回転円板法の生物処理性能を比較し、単位装置容積・単位敷地面積当たりの D-BOD処理・アンモニア態窒素処理とも三相流動床、特に押し出し流れ型三相流動層の生物処理速度が回転円板法よりかなり優れていることを明らかにした。

第7章では、第2～6章で述べた装置設計に必要な個々の因子を整理し、生物膜法による排水生物処理プロセスの装置設計について例として特に押し出し流れ型三相流動層と完全混合型三相流動槽を取り上げ、各々の設計手順をまとめ、生物膜法全般の処理装置を統一的に設計し得る簡便な設計法を提出した。

以上より、生物膜法の設計に必要な所要生物膜表面積について設計理論式を提出し、この設計理論式の適用性を実験により確認した。また、三相流動層における固体の充填率の推算式を提出し、三相流動層内の生物膜表面積の推算が可能になった。さらに、生物膜法全般に統一的に適用可能で、生物膜法の水処理装置の高効率化・コンパクト化の為に必要な、装置の処理性能を的確かつ簡便に表せる装置設計法を提出し、生物膜法の水処理装置設計法の構築に大きな貢献をした。