

200401329A

厚生労働科学研究研究費補助金

健康科学総合研究事業

健康で豊かな水環境を創造するための新しい水管理システムの可能性  
—その戦略的構築と支援技術開発

平成16年度 総括研究報告書

主任研究者 山本 和夫  
東京大学環境安全研究センター

平成17(2005)年 4月

## 目次

### I 総括研究報告

- 健康で豊かな水環境を創造するための新しい水管理システムの可能性  
—その戦略的構築と支援技術開発に関する研究  
山本和夫 東京大学環境安全研究センター 教授/ センター長

### II 分担研究報告

1. 膜分離活性汚泥法表面の微生物叢解析  
山本和夫 東京大学環境安全研究センター 教授
2. 太陽光利用型の水処理に関する研究  
大瀧雅寛 お茶の水女子大学大学院人間文化研究科 助教授
3. 都市下水処理を目的とした MBR 内の微生物群集構造と運転性に関する研究  
岡部 聡 北海道大学大学院工学研究科 助教授
4. メンブレン関連技術  
浦瀬太郎 東京工業大学大学院理工学研究科 助教授
5. 健全な水環境の水質モニタリングに関する研究  
亀屋隆志 横浜国立大学大学院工学研究院 助教授
6. 農薬の変異原性物質生成能  
高梨啓和 鹿児島大学工学部 助教授
7. 膜分離活性汚泥法おけるばっ気による膜面の洗浄効果  
長岡 裕 武蔵工業大学工学部 助教授
8. 流域における小規模分散型水供給システム導入の評価  
伊藤 禎彦 京都大学大学院工学研究科 教授
9. システムの総合評価（遺伝子）  
遠藤銀朗 東北学院大学工学部 教授

10. 微量汚染化学物質除去への膜分離法の適用に関する研究  
尾崎 博明 大阪産業大学 工学部 教授
11. エネルギー自立型造水センター構想  
津野 洋 京都大学大学院工学研究科 教授
12. 超微粒度活性炭と凝集剤を添加する MF 膜処理  
松井佳彦 岐阜大学 工学部 教授
13. 長良川水系における 17 $\beta$ -エストラジオールの分解挙動に関する研究  
湯浅 晶 岐阜大学流域圏科学研究センター 教授
14. メンブレンバイオリアクターによる医薬品由来有機物の除去に関する研究  
渡辺 義公 北海道大学大学院工学研究科 教授
15. 有害無機物質の選択的除去～重金属のタンパク質による選択的な吸着～  
福士 謙介 東京大学環境安全研究センター 助教授
16. コミュニティベースの水管理に関する研究  
北脇秀敏 東洋大学国際地域学部 教授

### Ⅲ 研究成果の刊行に関する一覧表

# I 総括研究報告書

厚生労働科学研究費補助金（健康科学総合研究事業）

平成 16 年度 総括研究報告書

健康で豊かな水環境を創造するための新しい水管理システムの可能性

—その戦略的構築と支援技術開発

主任研究者 山本和夫 東京大学環境安全研究センター教授／センター長

#### 研究概要

平成 16 年度の研究は 3 つのパートに分割できる。1) 主任研究者、分担研究者、関連分野の産官学における専門家による将来の水システムに関する討議・提案、2) 国際シンポジウムによる情報発信、3) 提案システム実現のための基礎となる基盤技術の開発である。

分担研究者名	所属機関	所属機関における職名
大瀧雅寛	お茶の水女子大学 大学院人間文化研究科	助教授
岡部 聡	北海道大学大学院 工学研究科	助教授
浦瀬太郎	東京工業大学大学院 理工学研究科	助教授
高梨啓和	鹿児島大学工学部	助教授
長岡 裕	武蔵工業大学工学部	助教授
福士謙介	東京大学環境安全 研究センター	助教授
亀屋隆志	横浜国立大学大学院 工学研究院	助教授
伊藤禎彦	京都大学大学院工 学研究科	教授
遠藤銀朗	東北学院大学工学部	教授
尾崎博明	大阪産業大学工学部	教授
津野 洋	京都大学大学院工 学研究科	教授
松井佳彦	岐阜大学工学部	教授
湯浅 晶	岐阜大学流域科学 研究センター	教授
渡辺義公	北海道大学大学院 工学研究科	教授
北脇秀敏	東洋大学国際地域 開発	教授
小越 真佐司	(財) 下水道事業 団	

総括研究報告書は第1部として本研究の構想の新しい提案と今後の研究方針を産官学の研究者が集まり論議した結果をまとめた物を示し、第3部では平成16年1月に行った国際シンポジウムの内容を示す。そして、第3部として主任研究者が行った技術的報告を示す。

#### 総括研究報告書 第1部 平成16年度の 研究総括

本総括研究報告書では主任研究者と分担研究者、そして産官学の専門家を交えて討議を重ねてきたコミュニティレベルの分散型・自律型の水システムの具体的な構想やその実現に際しての問題点や開発すべき研究テーマの提案を行う。今年度ワークショップや研究会などで討議した結果、「環境負荷低減と信頼性向上を支援する多重分散型水道システムの構築」というコンセプトを提案したい。これは今までのコミュニティ規模の自律的水システムをより進化させた物である。

現在の水道システムは、1カ所あるいは少数の浄水場と広域にわたる配水管路網を連結させた集中一元システムである。しかしながら、新潟県中越地震における水道システムへの甚大な被害にみられるように、このような一元システムでは、管路網や浄水場の崩壊や機能停止に伴う脆弱性が常につきまとうことになり、特に病院や福祉関連施設など弱者対応施設への水供給の停止が、深刻な影響を与えることになる。

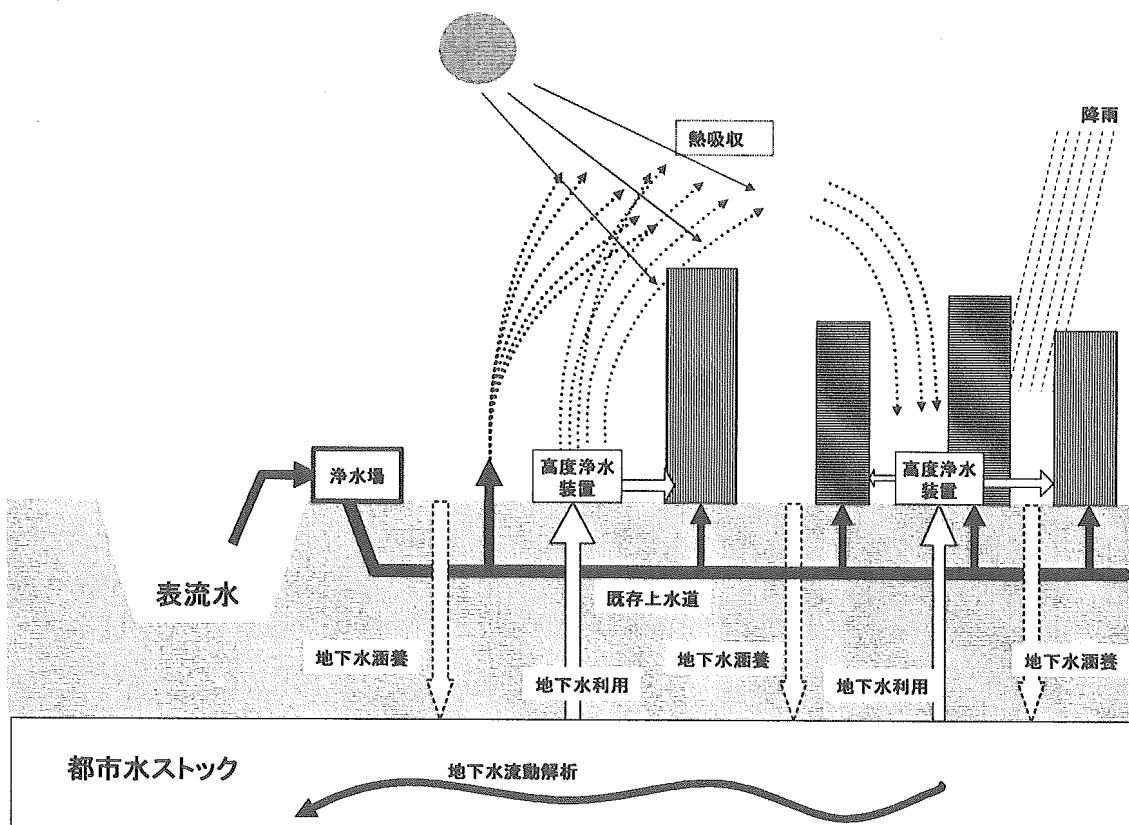
一方、水道システムの役割は、現在のと

ころ飲料水や炊事用水などの生活用水の供給にとどまっているが、衛生的に安全で清廉な水を大量に供給できるという特性と、水そのものが持つ多量の熱吸収ポテンシャルを考慮すると、ヒートアイランド現象によって快適性を失った都市空間において熱管理用水として利用するという新たな用途の開発も求められている。

本提案は、現在の水道システムに、主に地下水を利用する分散型水道システムを付加させた多重水道システムを提案し、さらに生活用水供給の他に都市の熱管理という新たな役割を担わせる多重分散型水道システムの実現を目的とし、その技術的課題点を検討しながらシステムの総合評価を行うものである。効率性を重視した、表流水を利用する集中一元水供給システムに、地中に大量に存在する地下水をバッファー水資源として利用する分散型水道システムを付加させて災害時における信頼性を向上させ、さらに地下水を都市の冷却用水として熱管理用途に利用して都市全体の環境負荷を低減させながら、使用済み水を浄化した後、再び地下に戻す持続型地下水利用システムの実現を目指すという点で、本システムは現代都市の抱える問題を解決し、次世代の水管理システムを提案するものといえる。

本システムが実現すれば、災害時における機能停止や渇水時における給水停止など現水道システムが持つ脆弱性を克服した信頼性の高い水道システムを構築することが可能となる。また、都市の熱管理という水道水の新たな用途を開発し、冷却用電力の節減を通して都市全体の環境負荷低減に貢献するとともに都市空間の快適性の向上を実現するという水道システムの新たな役割を開拓して、社会に貢献することができると期待される。

以上の状況にもかかわらず、現状の水道システムへの分散システムの付加、地下水システムに関する災害時信頼性の向上や都市の環境負荷低減の視点からの検討等の視点は見あたらず、本研究は、水道システムのさらなる信頼性向上と新たな役割の発掘へとつながる水道行政上も大きな意義を持つ研究である。以下に、本提案のコンセプトを図示する。地下水を都市内の水ストックとし、既存のへ水道網と共存しつつも様々な浄化技術を駆使し、災害やリスクに強い都市構造の構築を目指している。また、ヒートアイランド対策のため面的に生成される再生水を利用する試みも提案されている。



## 第2部 国際シンポジウムによる情報発信

平成17年1月21日に国際シンポジウム「健康で豊かな水環境を創造するための新しい水管理システムの可能性」(英文 International workshop on water management system for creating healthy water environment)を土木学会(東京・新宿区)講堂で開催した。このシンポジウムは主任研究者の基調講演に続き、本厚生労働科学研究費補助金によって助成された研究の発表、海外からの有識者の講演、そ

して関連する日本の研究者の発表が行われた。海外からはソウル国立大学の Han 教授(雨水涵養)、アジア工科大学院の Babel 准教授(地下水)、シンガポール国立大学の Ong 教授(NeWater)、カセサート大学の Chart 准教授(適アジア排水処理)がそれぞれ発表を行い、アジア都市における水管理システムの新しい取り組みやアジアにおける現存システムの問題点などに関して論議が行われた。本公演の詳細は付録の講演集を参考にされたい。



## II 分担研究報告書

厚生労働科学研究費補助金（健全な水循環の形成に関する研究分野）  
分担研究報告書

膜分離活性汚泥法表面の微生物叢解析

主任研究者 山本和夫 東京大学環境安全研究センター教授

研究要旨

本研究課題で提案している水管理システムを実現する重要な要素技術としてメンブレン技術があげられる。その中で廃水を高度に浄化し再利用や地下水・自然水へと涵養するためには膜分離活性汚泥法が有望な技術のひとつである。膜分離活性汚泥法(Membrane Bioreactor: MBR)とは、活性汚泥法と膜分離法を組み合わせたプロセスであり、通常、分離膜としては精密濾過膜 (Microfiltration: MF) ないしは限外濾過膜 (Ultrafiltration ; UF) が使用される。膜分離活性汚泥法は膜の固液分離作用で汚泥流出が阻止されることにより、バイオリアクターの生物濃度を高められるので、装置の小型化が可能であることや余剰汚泥の生成量が少ないこと等が利点である。特に膜分離により、汚泥の沈降性に処理水質が全く影響されないと言う大きな長所を有する。最近、大量製造により膜モジュールの販売コストも低下し、廃水処理への適用にあたって経済的な妥当性もより高まっている。このような背景をもとに、現在日本を筆頭に世界で小規模の下水処理を中心に様々な分野で広範囲に適用されはじめている。

本研究は上記のような背景のもと、膜分離活性汚泥法の長期安定運転の障害となるファウリングのメカニズムを解明すべく、メンブレン表面の微生物構造を解析した。メンブレンの表面微生物は浮遊系のそれらと比較して異なる微生物叢である事がわかった。また、メンブレン表面の微生物は比較的バイオポリマーを多く生成する微生物種であることがわかった。

## 1. 研究の背景

膜分離活性汚泥法(MBR)は生物処理と膜の組み合わせた廃水処理プロセスで、1960年代に米国で初めて開発され、ビル中水道(ビル排水再生利用システム)、し尿処理、小規模生活廃水処理、産業廃水処理など多くの実績がある。生物処理と膜の組み合わせ方により、クロスフロー方式と浸漬型に分けられるが、クロスフロー方式に比べ浸漬型MBRは装置がコンパクトであり省エネルギーであるなどの特長を持っている。

MBRは原理的にSS(Suspended solids)を完全に除去できる高度水処理技術である。これは、MBRが従来の重力沈殿分離法と比べて確実に優れている特徴である。ダイオキシン類をはじめとする微量有機汚染物質やウイルスや原虫などの病原性微生物の多くは廃水中ではSSに吸着して存在していると考えられる。従って、「処理系の外部にSSが流出しない」ことは、高度処理技術という観点からも十分評価される点である。他にも、沈殿池が不要なため省スペースであること、有機物負荷が低いので余剰汚泥の発生量が少ないことなどの利点が挙げられる。MBRにおける現在の課題は、膜モジュール自体のコストが高いことと運転上不可避免的に発生する膜ファウリングの問題である。

膜ファウリングに関する研究は、MBRの研究の中でもさかんに行われている。初期の研究は、汚泥の濃度や粘度と膜のろ過性能に関して多く行われた。その後、膜のろ過性能と汚泥の細胞外高分子物質(EPS)の関連に注目が集まり、好気性MBRでEPSが主な膜ファウリング原因物質であるという知見が多く出されるようになった。また、EPSのほかに溶解性微生物産物SMP(Soluble microbial products)の膜ファウリングへの影響を活性汚泥モデルと膜ファウリングモデルを結合した修正モデルを用いて評価した報告もある。

膜ファウリングの制御方法に関する研究も多く行われている。主に限界フラックス、凝集剤の投入、曝気条件の検討と間歇吸引などから膜ファウリングを制御する努力が行われているが、こういう物理化学的手法では実処理プロセスで根本的な問題解決に至らなかった。膜ファウリング原因物質といわれるEPSやSMPは微生物由来の物質でもあり、微生物の観点から膜ファウリングを制御しようとする試みが最近一部の研究者らに

より行われている。しかし、現段階では浮遊系汚泥の微生物群集を解析した研究はあるものの、膜表面付着微生物の群集解析に関する研究は極めて限られている。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、膜表面付着微生物群集の膜ファウリングへ影響を把握し、膜ファウリングの抑制方法を提案することである。そのために、以下の二つのことを行った。一つは、膜分離活性汚泥法における膜表面付着微生物の動的特徴の解明である。MBRを、低MLSS・有機物低容積負荷(小規模処理に相当)と高MLSS・有機物高容積負荷(一般MBRプロセスに相当)の2つの条件下で運転し、膜表面付着微生物群集を解析した。もう一つは、膜表面付着微生物が膜表面へ選択的に付着する原因の解明である。膜表面付着微生物を単離培養し、これらの微生物の特徴を増殖パターン、細胞外高分子物質、菌体疎水性などの点から浮遊系汚泥微生物と比較・考察を行った。

## 3. 実験装置及び方法

東京都下水道局芝浦処理場内に設置した浸漬型膜分離活性汚泥法の実験室規模処理槽にて実下水の処理実験を行った。実験装置の有効容量は150L、種汚泥は芝浦下水処理場の返送汚泥を用いた。処理槽には、運転条件の維持用(以下メイン膜モジュールとする)とサンプリング用(以下ミニ膜モジュールとする)の二種類の膜モジュールを投入した。サンプリング用ミニモジュールは一回のサンプリングごとに新しいものと交換した。膜モジュールにはポリエチレン中空糸精密ろ過膜(三菱レイヨン製、膜細孔が $0.4\mu\text{m}$ )を用いた。メイン膜モジュールの膜有効面積は $3\text{m}^2$ 、ミニ膜モジュールは $0.03\text{m}^2$ とした。ミニ膜モジュールの吸引による水理的滞留時間(HRT)の変化は無視できるほど小さいとした。二つの膜モジュールの運転条件は同じとした。

処理槽の運転条件は表1にまとめた。VOLは有機物容積負荷(Volumetric Organic Loading)、HRTは水理的滞留時間、Fluxはフラックス、SRTは汚泥滞留時間、DOは溶存酸素濃度を示す。に比べ高容積負荷条件下のフラックスは低容積負荷条件下の4倍で、SRT、吸引サイクルと装置の水温など他の運転条件は同じとした。

表 1 有機物低容積負荷と有機物高容積負荷の運転条件

	低容積負荷	高容積負荷
VOL <sup>1</sup>	0.0818kgTOC/m <sup>3</sup> /d	0.3272kgTOC/m <sup>3</sup> /d
HRT	1 day	6 hour
Flux	0.05 m/day	0.2 m/day
SRT	infinite (>10,000day)	
DO	3 mgO <sub>2</sub> /l	
pH	6.5~7.3	
Temperature	18~20°C	
Suction cycle	3min run/1min interval	

<sup>1</sup> 流入水の平均 TOC=81.8 mg/l.

膜表面付着微生物群集の動態は PCR-DGGE 法を用いて解析し、また種レベルでの微生物群集構造は 16S rRNA のほぼ全長を用い、PCR-クローニング-シーケンシング法により解析した。膜表面と浮遊系汚泥からの細菌はニュートリエントの寒天培地と液体培地を用い 20°C で培養した後、PCR-クローニング-シーケンシング法を用いて同定を行った。また、単離菌の増殖特徴として、増殖パターン、細胞外高分子物質と菌体疎水性を調べた。

#### 4. 結果及び考察

##### 4.1 微生物群集解析

膜表面微生物の群集解析に関する研究例がないため、まず膜表面と浮遊系汚泥の微生物群集の相違を明らかにする目的で、16S rDNA の V3 領域だけをプライマーセット 357fGC、518r を用いて DNA を増幅し電気泳動を行った。その結果、有機物低負荷容積と有機物高負荷容積の運転条件において膜面と浮遊系の微生物群集構造は大きく異なった(図 1 と図 2)。

特に高負荷条件では膜表面に濃いバンド(図 2 に示したバンド a から i)が出現した。これらのバンドには膜間差圧との関連性が見られた。有機物低容積負荷運転条件では、全運転期間中の膜間差圧は 5~12kPa で深刻な膜ファウリングは起こらなかったが、高容積負荷運転では膜間差圧が 20kPa 近くから急激な上昇をみせ、図 2 でのレーン MH42 と MH52 に対応する 42 日目と 52 日目には膜間差圧はそれぞれ 40kPa、80kPa となり、深刻な膜ファウリングが起こった。浸漬型 MBR において膜ファウリングが進行してない膜表面にはある特定の微生物群が特異的に増殖・優占し、膜ファウリングが進行するとこれらの微生物は膜から消えてしまうことが分かった。また、運転時間とともに膜表面に優占種として増殖する群集も確認でき、これらの微生物の増殖が急激な膜ファウリングと何らかの関連性を持っていると推測された。

DGGE のバンドパターンの比較から、有機物低

容積負荷・高容積負荷条件ともに、膜表面付着微生物群集と浮遊系汚泥微生物群集は異なるという結果が得られた。膜表面付着微生物を同定し浮遊系汚泥と比較するため、有機物低容積負荷運転条件の膜表面付着サンプル ML7、ML47 と浮遊系汚泥サンプル、SL47 を、有機物高容積負荷運転条件の膜表面付着サンプル MH12 と浮遊系汚泥サンプル SH12 を PCR-クローニング-シーケンシング法により解析・比較した。得られたクローンの系統位置を図 3 にまとめて示す。

有機物低容積負荷運転条件の膜表面付着サンプルのクローニング結果より、*γ-Proteobacteria* に属するクローンが全体の 50%以上であることが分かった。特に *Xanthomonas* 類に属するクローンは *γ-Proteobacteria* に属するクローンの半分程度(運転初期の膜サンプルでは 62.5%、47 日目の膜サンプルでは 41.7%)を占めたことから、*γ-Proteobacteria*、その中でも特に *Xanthomonas* 属に近縁な細菌が優占種として膜表面に特異的にしかも長期間に渡って存在することが分かった。*Xanthomonas* 属細菌はバイオポリマーを産生することから、その近縁種の膜表面への付着と増殖はバイオポリマーつまり細胞外高分子物質(EPS)生成となんらかの関連があると推定された。

有機物高容積負荷運転条件の膜表面付着サンプルのクローニングの結果から、膜ファウリングが深刻でないとき膜表面には *β-Proteobacteria* と *γ-Proteobacteria* が同時に優占群集として増殖したが、膜ファウリングが進行することにより *γ-Proteobacteria* だけが優占群集として存在したことがわかった。また運転時間とともに膜表面で増殖している *γ-Proteobacteria* 群集が急激な膜ファウリングと何らかの関わりをもっていると推定された。また、データベース上相同性の高い近縁種を持たないクローンが多かったことから、膜表面に付着する細菌はほぼ未同定の細菌種である可能性が高いと推定された。

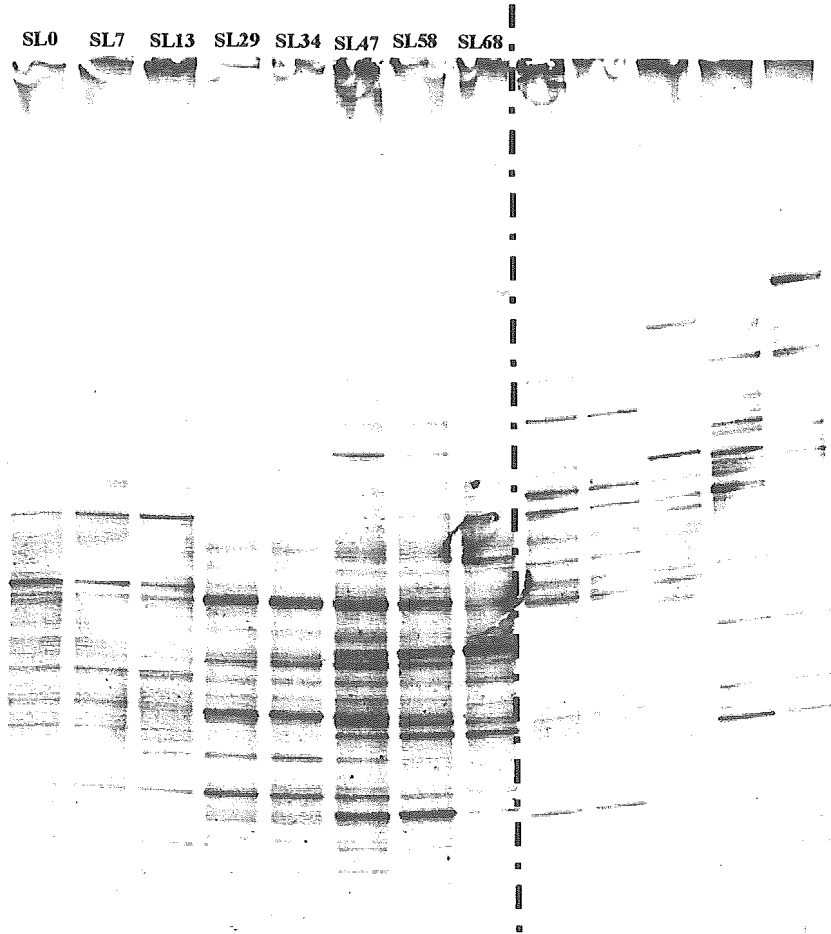


図1 有機物低容積負荷運転条件での MBR における膜表面付着微生物と浮遊系微生物群集の DGGE バンドパターン比較。レーン名は、S は汚泥サンプル、L は低負荷、M は膜サンプル、数字は運転日数を意味する。たとえば、SL13 は低負荷条件での 13 日目の汚泥サンプル，ML7 は低負荷条件での 7 日目の膜サンプルである。

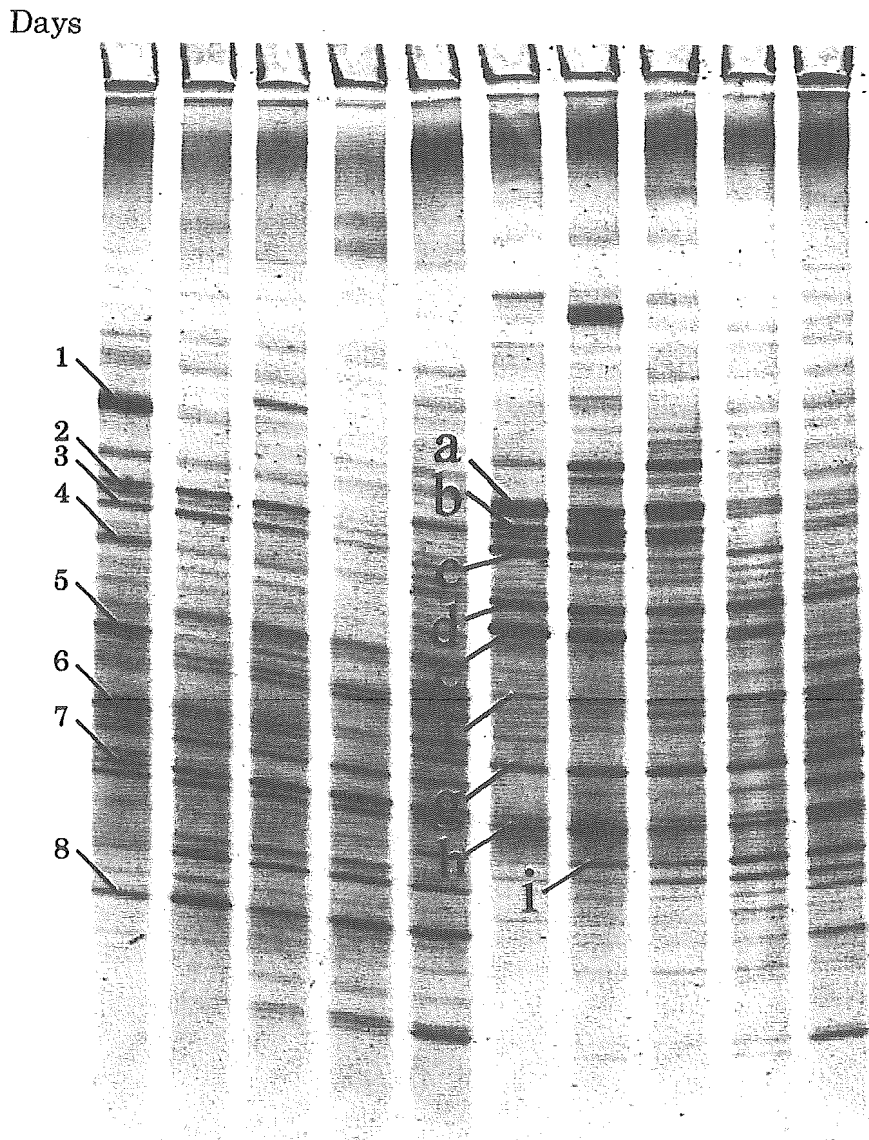


図2 有機物高容積負荷運転条件での膜表面付着微生物と浮遊系汚泥の微生物群集の DGGE バンドパターン比較。図1と同様、各レーンを運転時間とサンプルの組み合わせで表示した。レーン名の H は高負荷を意味する。たとえば SH12、MH12 はそれぞれ運転時間 12 日目にサンプリングした浮遊系汚泥サンプルと膜サンプルを意味する。膜表面の優占バンドを a~i で、汚泥の優占バンドを 1~8 で表示した。

#### 4.2 単離菌の増殖特性

有機物高負荷運転時の運転 12 日目の浮遊系汚泥 SH12 と膜 MH12 から細菌を単離培養し、同定を行った結果、浮遊系汚泥からは 11 個、膜サンプルからは 14 個の純菌が同定された。単離された菌と先の DGGE-シーケンシングで得られたクローンについて 16S rRNA 配列をもとにした系統樹を描いた (図 3)。図 3 の系統樹上でクローンと単離菌が近縁と見られるのは  $\gamma$ -*Proteobacteria* での ML7-9 と IM-17、ML7-6、ML47-22 と IM-10( あるいは IM-11) ,  $\alpha$ -*Proteobacteria* での SL47-53 と IM-9 だけで、ほとんどの単離菌はクローンと系統分類上離れていることがわかる。これは膜表面付着微生物、特にその優占種は培養されなかったことを意味する。

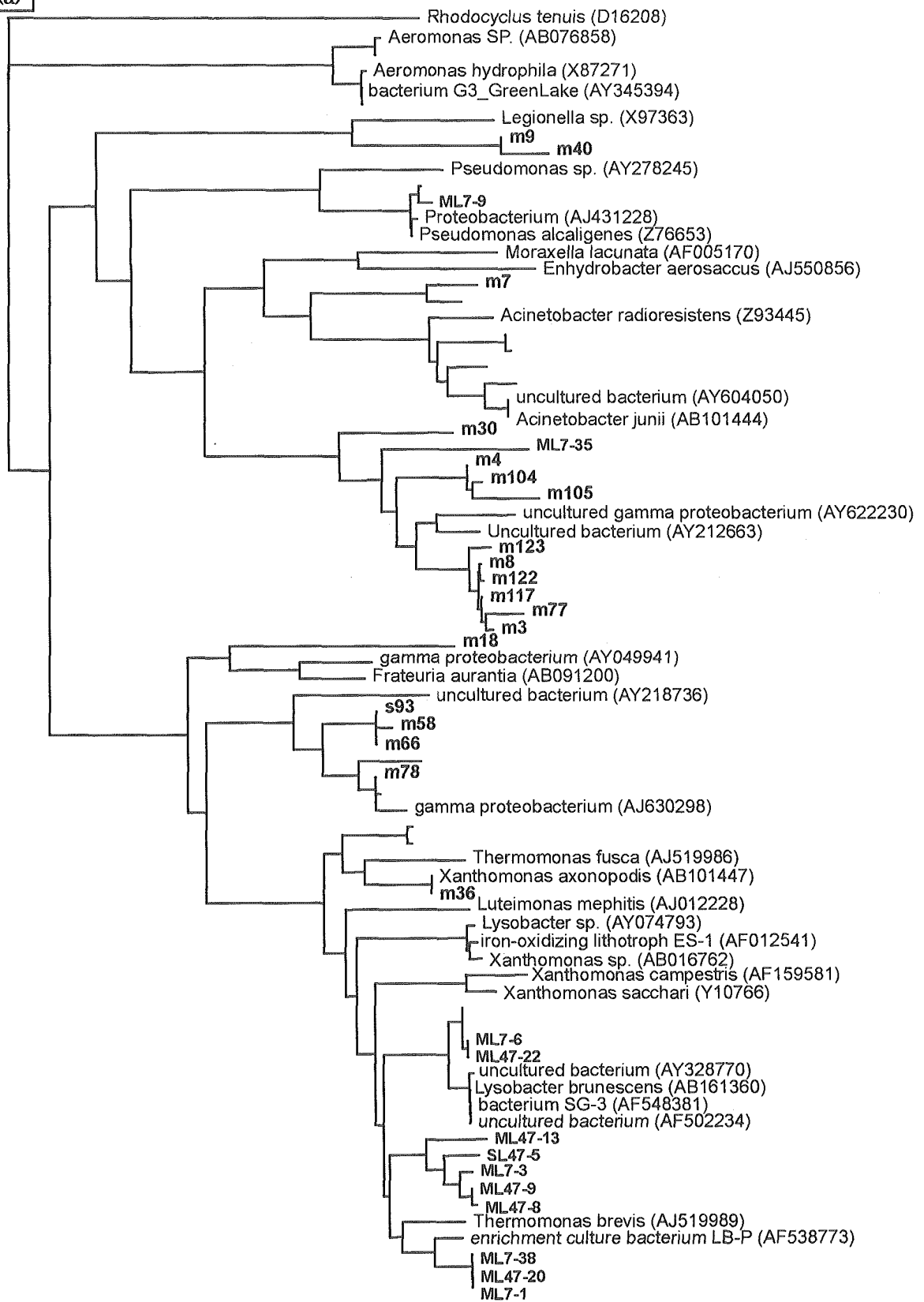
得られた単離菌の増殖特性を増殖パターンと増殖速度、細胞外高分子物質、菌体疎水性などから調べた。単離菌の増殖パターンの相違と最大比増殖速度の比較で、浮遊系汚泥からの単離菌は増殖速度が比較的が高いことに対し、膜からの単離菌は増殖速度が低かった。このことから、膜表面付着微生物はバルク側での増殖速度の低い細菌が何らかのきっかけで膜表面に付着し増殖したものであると推測される。増殖速度が低いためバルク側では栄養物質や酸素の獲得などの面でほかの増殖速度の速い菌種に負けてしまう細菌種が、膜表面に付着することで膜の吸引活動により

常にバルク側から供給される栄養物質を得、長時間をかけて増殖することができたと考えられる。また、膜表面付着サンプルから単離したほとんどの細菌は浮遊系汚泥からの単離菌より疎水性が高く、その疎水性が細菌の膜表面への付着に寄与したと推測される。また、膜表面付着サンプルからの単離菌は EPS を多く生産する細菌種であり、産生された EPS の成分の 90%以上がたんぱく質であった。膜表面付着細菌のこのような特性が、膜ファウリングに何らかの影響を及ぼしたと推定された。

#### 5. 今後の展望

本研究の結果を踏まえて、今後膜ファウリング進行とともに変化する膜表面微生物群集を *in situ* で追跡していく必要がある。本研究で得られた 16S rRNA 全塩基配列を元に膜表面付着優占群集をターゲットとするプローブを設計し、FISH 法で膜表面での分布や膜ファウリングの進行に伴う変化を明らかにすることにより、膜表面付着微生物の膜ファウリングへの影響を解明と制御方法の検討を行うことができると考えられる。また、本研究から得られた単離菌を用いてバッチテストを行うことにより、これらの付着細菌が膜ファウリングの進行とともにどのような代謝機構をもつのかを、解明していくことが可能となろう。

图 3(a)





3(b)

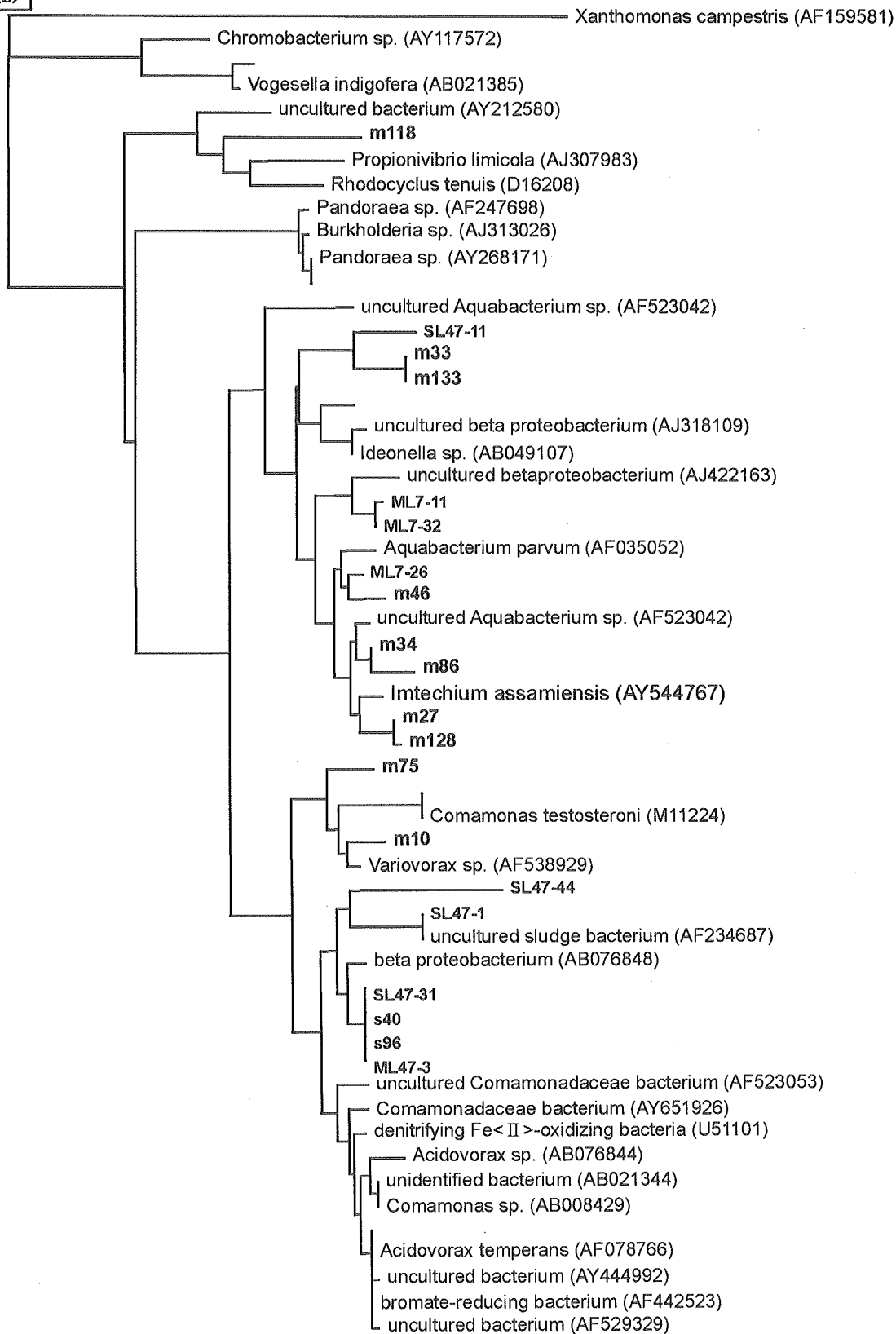




図 3(d)

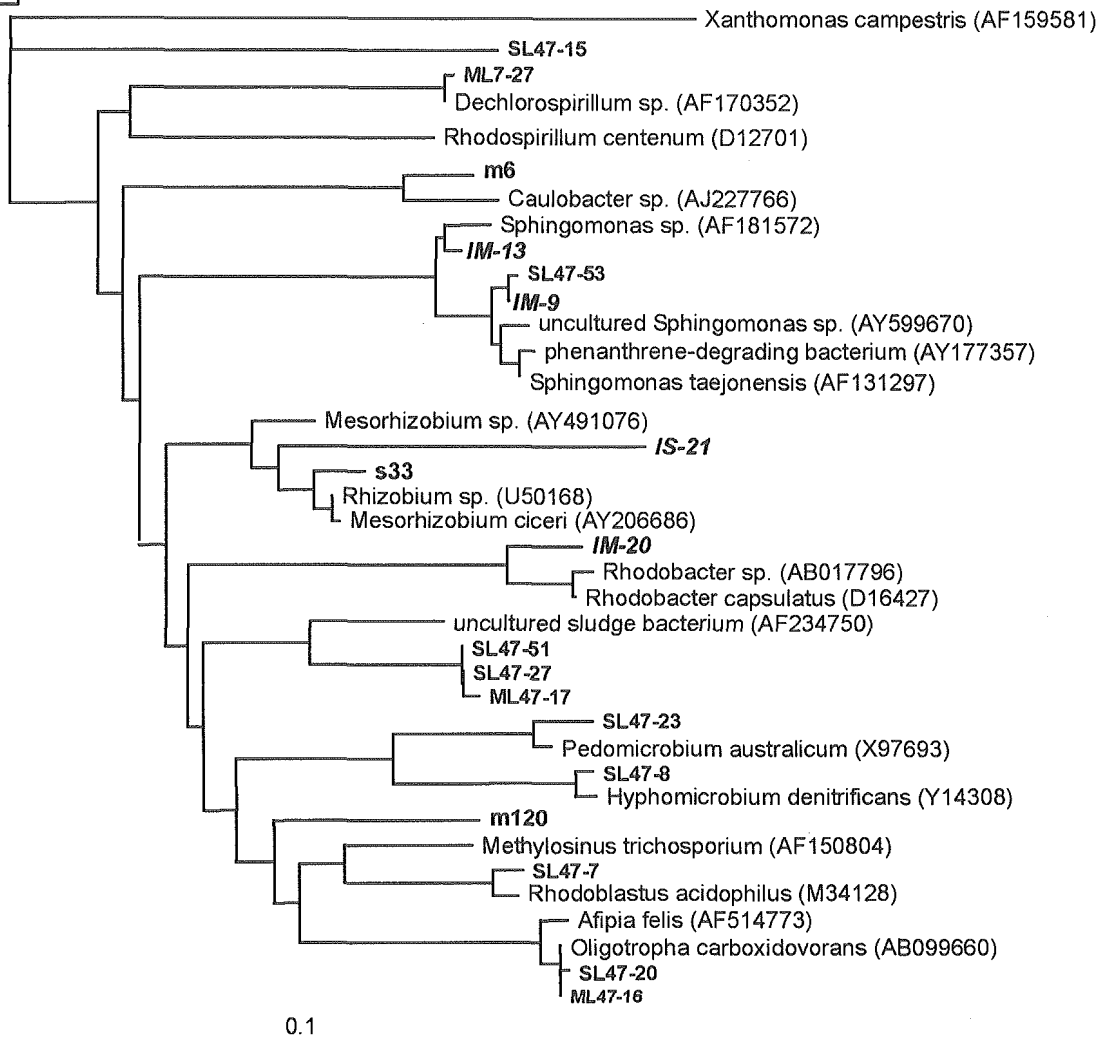


図 3(a~d) 単離された菌と DGGE-シーケンシングで得られたクローンについて 16S rRNA 配列をもとにした系統樹。そのうち系統樹 a は *Rhodocyclus tenuis* をアウトグループとした *Proteobacteria* の  $\gamma$  グループ ; b は *Xanthomonas campestris* をアウトグループとした *Proteobacteria* の  $\beta$  グループ ; c は *Rhodopirellula baltica* をアウトグループとした  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ -*Proteobacteria* 以外のグループ ; d は *Xanthomonas campestris* をアウトグループとした *Proteobacteria* の  $\alpha$  グループである。有機物低負荷運転条件からのクローンはサンプル名 - クローン番号(たとえば SL47-20 は浮遊系汚泥サンプル SL47 からの 20 番のクローン)で表示し、高負荷運転条件からのクローンは SH12 からのクローンは s クローン番号(たとえば s33)、MH12 からのクローンは m クローン番号(たとえば m120)で表示した。膜からの単離菌は IM で浮遊系汚泥からの単離菌は IS で表示した。

厚生労働科学研究費補助金（健全な水循環の形成に関する研究分野）  
分担研究報告書

太陽光利用型の水処理に関する研究

分担研究者 大瀧雅寛 お茶の水女子大学大学院人間文化研究科 助教授

研究要旨

排水の脱色処理を省エネルギーかつ容易な維持管理で行うための方法として、脱色能力をもつ光依存性細菌から分離した細胞由来物質を用いて、太陽光などの可視光照射下における各種対象物質の脱色処理について検討した。3種の染料（酸性染料2種および反応性染料1種）および下水二次処理水とその主な着色物質溶液に対して、その除去効果を調べたところ、二次処理水に比べて染料の脱色効率が良いことがわかった。また反応性染料（Reactive Black 1）については、二段階の反応機構を考へることによって、濃度変化を表すことができた。反応効率の悪い対象物質に対しては、細胞由来物質を増加させることが考えられる。そこで光依存性細菌に光触媒反応を作用させて、細胞損傷を誘発し細胞由来物質の増加を試みた。結果として光触媒反応によって細胞由来物質は増加したものの、増加した物質においては、脱色能力は認められなかった。従って、現時点では、依存性細菌数を増加させることが、細胞由来物質の増加方法として有効な手段と考えられた。

A. 研究目的

排水の処理水を再利用する際には、有機物除去や栄養塩除去が必要であるが、使用者の視点から見れば、着色成分の除去も重要な課題である。これまで着色成分の除去方法としては、活性炭による吸着除去、オゾン注入による酸化脱色など物理化学的処理が取りあげられてきた。しかしこれらの方法は、維持管理が面倒な点や、エネルギー消費型処理である点について、ある規模以上のスケールメリットが期待される場所において有効な方法であると言えよう。しかし本プロジェクト研究で対象とする分散型水システムにおいては、小規模な水処理システムが前提となる点で、上記の手法は不利となる。

分担研究としては、これまで光合成細菌による生物脱色処理法について検討を行ってきた。この方法は、可視光が光源として使用されるために、太陽光利用が可能である点がエネルギー的には

長所と考えられる。本年は、同光合成細菌から分離した細胞由来物質による光化学的脱色法について検討した。この方法では、前者と異なり処理のための生物活性を維持する手間を考慮することなく、脱色処理が行える可能性があり、処理の維持管理の面で非常に有利となる。

ここでは、数種の染料に対する脱色効果を比較検討すると共に、その分解機構について考察を加えた。またこの処理方法の適用性を検討するために、下水二次処理水および主な着色成分の水溶液を対象とした脱色処理実験を行った。

さらに細胞由来物質の分離量を増やすために光触媒による細胞損傷を適用して、脱色処理速度を向上させる試みも行った。

B. 研究方法

可視光照射下において染料の脱色効果をもつことが観察されている光依存性細菌 *Rhodobacter*