

バイオテクノロジーと水処理 Water Treatment Using Biotechnology

稲森悠平 小沼和博 水落元之 西村修

環境庁国立環境研究所

Yuhei INAMORI, Kazuhiro ONUMA, Motoyuki MIZUOCHI and Osamu NISHIMURA

Japan Environment Agency, National Institute for Environmental Studies

Abstract

Treatment of domestic and industrial wastewater and purification of polluted groundwater and lake water are very important for conservation of sound water environment. Biological treatment processes are widely used for wastewater treatment and natural water body purification, because most of the pollutants contained in wastewaters are degraded or assimilated by microorganisms. Nowadays, the technologies of mass cultivation of effective microorganisms and their introduction to waste water treatment system have been developed. The present report concerns the current situation and developing tendency of these biotechnologies. The importance of the application of effective microorganisms is also described.

Key words: Biotechnology, Effective Microorganisms, Water Treatment, Eutrophication, Nitrogen

1. バイオテクノロジーの水処理における位置づけ

生活排水処理、産業排水処理、地下水浄化および汚濁湖沼などの直接浄化などは、水環境保全上極めて重要な課題であるが、これらの対策を行う場合排水、汚濁水のほとんどは微生物が資化できる汚濁物質を含んでいることから、ほとんどの場合生物処理法が活用されている。それは生物処理においては細菌、菌類、微小動物の多種多様の微生物群が排水の性状に応じて馴養した微生物相が構成され浄化に貢献すること、物理化学的処理に比べて一般的に制御が容易で電力消費量が小さいこと、富栄養化の原因物質である窒素、リン等の栄養塩類も生物学的に除去できること、生物処理プロセスは、微生物生態系から成っており自然生態系に影響を及ぼす有害物質が含有されていたとしても適正な処理が行われれば環境に安全な水質が得られることなどの理由によっている。また、最近では遺伝子工学を駆使し自然界に存在しない新しい微生物を創り出して工業的に利用するニューバイオテクノロジーの研究もなされるようになっており、新たな時代を迎えている。このニューバイオテクノロジー技術を組み込んだ生物処理技術の開発も今後さらに期待されている。それに対して従来からの生物処理技術はオールドバイオテクノロジーと呼ばれている。オールドバイオテクノロジーによる水処理において、生物処理槽の中には細菌、菌類、微小動物が生息し、一つの微生物生態系を構成しており、排水中の有機物を代謝・分解してCO₂とH₂Oへの無機化を促進し、浄化能を高める上で大きな役割を果たしている。生物処理の目標は、排水中の有機物や浮遊物質を微生物の働きで除去し、増殖した微生物との分別すなわち固液分離能を高め、透明な処理水を得ること、窒素やリンなどの湖沼、河川の富栄養化の原因となる栄養塩類を除去すること、固液分離後に生ずる汚泥の発生量を減少させると共に可能な限り有効利用できる形態にすることなどである。したがって、生物処理に大きく貢献する有用な微小動物や細菌類を効率的に活用するバイオテクノロジーの研究を推進することは極めて重要である。パ

バイオテクノロジーで目指す技術は、安定して良好な水質が得られること、維持管理が容易であること、コストパフォーマンスに優れていること、衛生学的に安全であると共に、二次的な環境汚染を起こさないこと、処理施設の設置面積を多く要しないことなどが挙げられる。現在、有用微生物の大量培養、生物処理槽内への定着化および処理プロセスの改善による嫌気性微生物と好気性微生物の有効活用などの技術が確立されつつある。ここでは有用微生物が重要な役割を演ずるバイオテクノロジーを活用した水処理技術の開発現状と展望を述べることにする。

2. バイオテクノロジーの活用現場

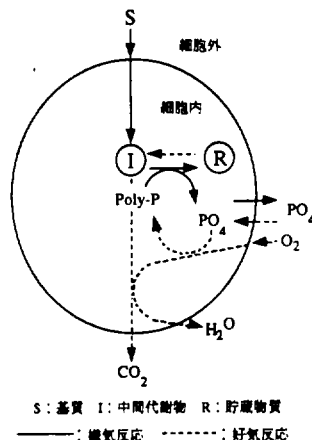
2.1 水の透明化におけるバイオテクノロジーの活用

生物処理の反応槽内には各種の微生物群が存在し、凝集作用、ろ過摂食作用により透明な水質を得る上で大きな役割を果たしている。これらの微生物の種構成は排水の性状、濃度、生物処理槽の負荷、水理学的滞留時間(HRT)、汚泥滞留時間(SRT)などにより変化するため、各生物処理プロセスごとに適正運転条件は異なる。生物処理槽内の微生物群の中で水の透明化に貢献する微小動物の代表は輪虫類 *Philodina erythroptalma* である。輪虫類 *P. erythroptalma* はろ過摂食性であることに起因し、分散状の食物源をろ過摂食するために極めて強いろ過能力を有し、濁度を低下させ、処理水の透明度を高める働きを担っている。本種が生物処理施設の生物膜などに1mlあたり1,000個体以上出現すると透明度100cm以上の良好な水質が得られる。通常生物処理槽では有用微生物である輪虫類 *P. erythroptalma* の生息密度は1mlあたり最大でも3,000個体以下であるが、洗米排水中の特定成分の存在が増殖因子として働き、30,000個体/ml以上の大量培養の可能性があることが明らかになっている。このような有用であるろ過摂食性の微小動物群を生物処理槽内に適正に定着させる技術開発は極めて重要であると考えられる。

2.2 窒素、リン除去におけるバイオテクノロジーの活用

窒素、リンを排水から除去する技術は各種開発されている。窒素除去に関しては生物学的硝化・脱窒プロセスにより行われているが、リン除去に関しても嫌気好気活性汚泥法などの生物脱リン法が重要な位置づけになりつつある。生物学的窒素除去において重要な反応が硝化反応と脱窒反応であるが、特に律速因子となるのが硝化反応である。硝化反応は好気状態でアンモニア性窒素が亜硝酸性窒素を経て、硝酸性窒素に酸化される反応である。アンモニア性窒素から亜硝酸性窒素への反応は *Nitrosomonas* 属によって行われ、さらに硝酸性窒素への反応は *Nitrobacter* 属によって行われる。しかしながら、これらの硝化菌は比増殖速度が非常に遅く高濃度に生物処理槽内に保持するのが困難であるために、この硝化反応が生物学的窒素除去を行う上での律速因子となっている。脱窒反応は、嫌気状態において硝酸性窒素が分子状の窒素に変換されて大気中に放出される反応で、これによって、排水中から窒素が除去される。脱窒反応は、主に *Pseudomonas* 属、*Achromobacter* 属、*Micrococcus* 属、*Bacillus* 属によって行われている。生物学的リン除去は、リンが窒素と異なり気体の形態で排水から除去されないために、リンを除去するためには余剰汚泥のような固形物の形態で除去しなければならない。したがって、リンの除去能を向上させるためには、汚泥のリン含有率を上昇させる必要がある。これは微生物がその細胞合成に必要以上の過剰のリンを細胞内に取り込む現象を利用すること(図1)により可能となるが、過剰のリンを取り込む代表的な細菌は *Acinetobacter* 属で、これ以外にも

*Pseudomonas*属、*Klebsiera*属、*Micrococcus*属などが知られている。これらの細菌は嫌気条件下でリンを放出し、その後好気条件下で過剰なリンを取り込み、この時のリン含有率は通常の2%から4~8%程度まで上昇し、リン除去効率が著しく向上することとなる。また、生物的に過剰に取り込んだリンを放出させないための瞬時脱水法、特別な反応槽で高濃度に放出させたリンをリン酸マグネシウムアンモニウムのような結晶体として資源化する技術開発すなわち生物学的脱リンにおいては物理化学的処理とのハイブリッド化が重要である。



2.3 汚泥の減量化におけるバイオテクノロジーの活用

生物処理は微生物による排水中の基質資化性を応用したものであり、通常排水が浄化されればされるだけ汚泥が発生することになる。この発生汚泥は脱水あるいは焼却処分された後、通常埋め立てられるが、埋立地の確保が困難な現在、発生汚泥量は可能な限り少ないことが望まれる。この余剰汚泥を減量化する生物学的手法として、凝集体である汚泥を凝集体摂食者である貧毛類 *Aeolosoma hemprichi* が捕食、分散化し、さらにろ過摂食者の輪虫類 *P. erythrophtalma* により分散汚泥をろ過摂食して、汚泥を減量化させることも可能である。このようなろ過摂食者の輪虫類 *P. erythrophtalma* と摂食機構の異なる凝集体摂食者である貧毛類 *A. hemprichi* が共存することにより、水の透明化だけでなく、汚泥の減量化にも貢献でき水質浄化能はより一層向上し、単位生物処理槽容積あたりに生息可能な有用微生物の個体密度も高まることが明らかとされている。それゆえ、汚泥の減量化を食物連鎖を活用して行うことは極めて重要であり、反応槽内の微生物濃度を可能な限り高め、かつ有用微小動物の占める割合を高める技術開発は重要である。

図1 リン過剰摂取過程における生物学的代謝機構

3. 有用微生物を活用したバイオテクノロジー

3.1 微生物固定化技術

細菌、原生動物、輪虫類、貧毛類などの微小後生動物などで構成される生物膜の比表面積を著しく増大させ、排水との接触効率を高めた生物処理の高効率化を図ったプロセスが生物膜法と呼ばれる微生物固定化法である。微生物固定化法としては、高濃度有機性排水に有効な手法としての嫌気性細菌群の自己造粒機構を利用したUASB(Upflow Anaerobic Sludge Blanket)法および脱窒自己造粒槽と好気性セラミックス生物膜循環法といわれるUSB生物ろ過循環法や難分解性物質の分解に有効な手法としての活性炭への吸着と活性炭表面に付着した微生物群による分解を連動させた微生物活性炭法、処理能は高い反面、増殖速度が遅い微生物や特異的な分解能を有する微生物を生

表1 包括固定化法と生物膜法の特徴と比較

特徴	包括固定化法	生物膜法
構造		
微生物の固定	有用微生物の種類、量を任意に保持	自然に付着するのを持つ
増殖	担体内部	担体表面

物処理槽内に高濃度に保持する手法としてのこれら有用微生物を高分子物質で包み込み、生物処理槽内に充填する包括固定化法（表1）、微量有害化学物質の分解に有効な手法としての活性炭による吸着濃縮と微生物による分解を連動させた活性炭-微生物複合担体法、生物処理槽内の微生物付着比面積を増大する有効手法としてのセラミックス等を充填した生物ろ過法などがある。これらの手法は有用微生物を生物処理槽内に高濃度に保持し、処理の効率化と処理装置のコンパクト化を可能とする有効な処理プロセスである。

3.2有用微生物の大量培養と製剤化技術

環境浄化に貢献する有用微生物は各種存在するが、自然界においてはほとんどが混合培養の生態系であり、特定の分解浄化機能の高い微生物を安定して定着させることは不可能に近いことから、排水処理、浄化の効率化を図るためには各種排水、汚濁・汚染物質の分解能力の高い有用微生物を浄化および修復を必要とする場へ大量定着化し機能強化を図る手法開発が必要である。有用微生物を浄化の場へ定着させるバイオテクノロジーを活用した手法として、有用微生物を大量培養し、濃縮、乾燥、製剤化する微生物製剤化手法がある。微生物製剤は廃棄物処理、排水処理分野における効率化、安定化、処理障害の修復および湖沼や内湾等の富栄養化した水域への直接散布による修復を目的としている。これらの微生物製剤は直接添加して水質改善を図るものであるが、有用微小動物の活用にあたってはのう子化、脱のう子化の技術開発が重要である。微生物製剤としては特にハイドロバック、オレオバックなどの油分解剤などが注目されている。また微生物界面活性剤サポニンを生物処理反応槽に添加して浄化効率を高める試みもされている。これはサポニンの界面活性作用により、微生物の細胞の表面張力が最適条件となり、膜透過性が高まり微生物の細胞表面での栄養源と代謝産物との交換能を高める上で大きな効力を発揮することが期待されるからである。また微生物製剤化として大きく期待されているのが、アオコの群体を捕食分散化する貧毛類*A. hemprichi*と分散化したアオコ細胞をろ過摂食する輪虫類*P. erythrophthalma*を組み合わせた製剤化、生物処理プロセスで固液分離障害を引き起こすバルキングの原因糸状微生物を特異的に摂食する原生動物*Trithigmostoma cucullulus*などの製剤化、特定の化学物質ダイオキシン類の分解能の高い*Pseudomonas aeruginosa*などの製剤化である。国立環境研究所ではこのような有用微生物の大量培養製剤化による水環境修復技術の確立のために微生物大量培養大型装置を用いた開発研究が推進されている。

4. バイオテクノロジーの応用分野

4.1 生活排水浄化

生活排水は有機物はもちろん窒素、リンも含有しており、これら栄養塩類である窒素、リンは湖沼の富栄養化の原因となっているため、水質改善の進まない原因の多くは、生活排水に起因している。生活排水は一般的には下水道に放流されるが、下水道施設が整備されていない地域では、し尿の汲み取り（し尿処理場で処理）や浄化槽による処理が行われている。下水処理施設においては活性汚泥法が一般的な処理手法であったが、窒素、リンの除去が必要不可欠になってきた現在、様々な高度処理プロセスへの移行が進められている。窒素、リン同時除去を目的したプロセスは、いずれも嫌気反応槽と好気反応槽が組み合わせられており、生物学的リン除去と窒素除去のために改善・改良が行われてきた。代表的な処理プロセスは、A2/O（anaerobic anoxic oxic）プロセス（図2）である。これは嫌気反応槽、無酸素槽、好気反応槽からなり、好気反

応槽でアンモニア性窒素の硝化を行った後の活性汚泥混合液の一部が無酸素槽に循環され、脱窒により窒素が除去される。嫌気・好気回分式活性汚泥法は流入、反応、沈殿、放流の5工程を単一の反応槽を時間的に分割して処理を行うプロセスである。嫌気好気回遊式間欠ばっ気活性汚泥法は回遊式の反応槽を用い、ばっ気、非ばっ気により嫌

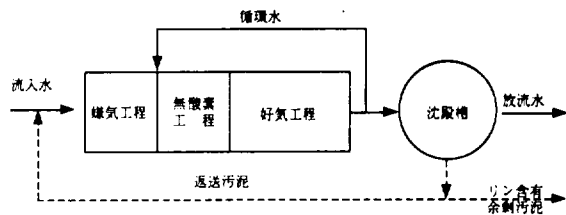


図2 A₂O生物脱リン・脱窒高度処理方式

気、好気条件を設けるプロセスであり、このばっ気、非ばっ気は当初タイマー制御によって行われていたが、さらに運転条件を最適化するために溶存酸素(DO)による制御が行われるようになった。下水道施設の整備がされていない地域では浄化槽が設置されている。主な高度合併処理浄化槽としては、流量調整嫌気ろ床・生物膜ろ過循環法、流量調整嫌気ろ床・接触ばっ気循環法、ばっ気時間自動制御式間欠ばっ気活性汚泥方式などが挙げられる。また土壌トレンチを合併処理浄化槽と組み合わせ、かつ生物膜法の浄化槽の反応槽に逆洗装置を付加し目づまり防止などの改良を施すことは有機物、窒素、リンが高度に除去可能になるうえ、放流先の確保できない地域における高度合併処理浄化槽の普及促進に貢献すると考えられる(図3)。なお、土壌トレンチによる窒素除去は望めないため、窒素除去型高度合併処理浄化槽と組み合わせることが必須である。下水処理施設および浄化槽のさらなる高度・効率化、つまり処理時間の短縮、処理装置のコンパクト化、排水性状変化への対応などを目指した処理手法として微生物包括固定化法がある。とくに生活排水を高度に処理する上で律速因子となっている硝化反応を速やかに行うために、硝化反応をつかさどる比増殖速度が遅い *Nitrosomonas* 属、*Nitrobacter* 属を包括固定化し、生物処理槽内に高濃度に保持するために活用されている。これ以外にもUF膜分離嫌気好気活性汚泥法も重要なプロセスになるものと期待されている。

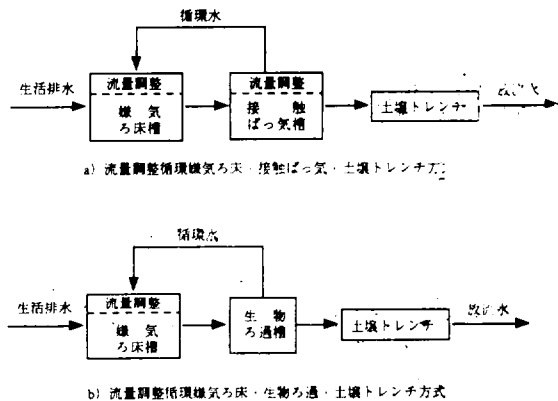


図3 土壌トレンチを組み込んだ生活排水の高度処理方式

4.2 産業排水処理

食品、化学、石油、紡績、製紙、畜産など数多くの事業場からの排水のBOD、窒素、リン濃度の幅は広い。また産業や日常生活から排出される廃棄物はほとんどの場合、埋立処分地で処分されるが、この埋立地から雨水などにより浸出してくる排水は非常に生物分解困難な汚濁物質を含有しており、アンモニア性窒素も多量に含まれている。さらに埋立廃棄物が多種多様になるにつれ、埋立地浸出水に毒性の高いダイオキシン類や発ガン性物質が混入されてくる危険がある。このような多種にわたる排水の処理の適正な技術開発は、多様な業種からの負荷削減を図り環境保全対策を行う上で重要である。ビール排水やタンパク質が多量に存在する食品排水などの高濃度有機性排水を対象とする処理手法である嫌気性細菌群の自己造粒機構を利用したUASB法は、通常の活性汚泥処理より十数倍程度の高負荷、数分の一程度のコスト、エネルギー回

収、発生汚泥減量化などの特徴を有している。さらにUASBにセラミックスの充填された好気生物膜プロセスとを組み合わせた高効率の硝化脱窒反応の可能なシステムを付加した処理プロセスが循環式自己造粒・生物膜プロセスである。この方式は、自己造粒反応槽でメタン発酵と脱窒を、またセラミックス充填好気ろ床で硝化を行わせる有用微生物を槽内に高密度に増殖させ、好気槽内処理水を嫌気槽に循環することにより硝化、脱窒素能力を強化した方式であり好気槽を付加させ、窒素除去にも対応したプロセスである(図4)。

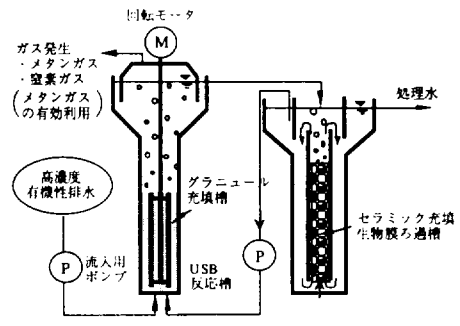


図4 高濃度有機物および窒素除去可能なUSB・セラミック充填生物膜ろ過高度処理方式

同様に懸濁浮遊物質濃度の高い高濃度有機排水である畜舎廃液、食品加工排水、醸造排水、食堂残飯スラリーや余剰汚泥、高濃度アオコ、ホテイアオイなどを対象とした高温好気発酵法は汚泥発生量を極めて低く抑えることが可能で、有機物を60℃前後の高い温度で好氣的に分解させる手法である。本法はコンポスト化と類似するが、従来のコンポスト化装置に排水の供給装置、ドレン回収装置などを付設した高度処理改善技術であり、高温好気発酵法は液状高濃度有機排水を対象とするという点が異なる。高温好気発酵法は資源循環リサイクルシステムの構築にも貢献できると考えられる(図5)。生物分解性が著しく低い有機物と高濃度のアンモニア性窒素を含有している埋立て期間が長い廃棄物埋立処分地からの浸出水などを対象とした嫌気・好気循環微生物活性炭流動床法は他の生物処理法と比較して処理能が高い。さらに生物分解性を向上させるための物理化学的処理であるオゾン酸化処理を生物処理の間に付加させたハイブリッド型プロセスにおいて最も高い除去能が得られている。また埋立地浸出水や製紙工場排水に含有される危険のある生物分解性が低く、微量ではあるが毒性が強いダイオキシン類などに対しては、ダイオキシン類を分解可能な *Pseudomonas aeruginosa* をポリビニルアルコールで包括固定化し、生物処理槽に充填する手法は、有機物や窒素だけでなく有害化学物質にも対応した高度処理プロセスである。埋立地浸出水のような排水に対しては、図6に示すように、高度処理の高効率化とハイブリッド化の技術開発が必要とされる。さらに低濃度で含有され、かつ低濃度でも毒性が強い

ために十分な分解が困難である有害化学物質に対しては微量有害化学物質を活性炭で吸着濃縮し、微生物による分解を行う活性炭-微生物複合担体法が有効である。活性炭-微生物複合担体法は、そのままでは微量すぎて分解できない微量有害化学物質を活性炭により吸着濃縮することで微生物が分解しやすい環境が形成され、より高度に分解が進行するものと考えられる。さらに吸着と生物分解が同時に行われることから、生物処理槽への充填直後から除去が可能であり、汚濁物質の急激な濃度変化にも対応できる処理手法であり、大

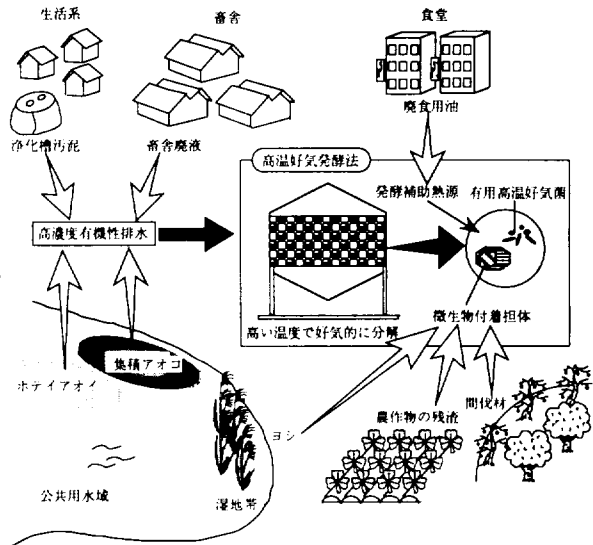


図5 高温好気発酵技術開発を中心とした資源循環リサイクルシステムの構築

規模の処理施設への導入が期待される。また、埋立地浸出水や製紙工場排水に含有される危険のある生物分解性が低く、微量ではあるが毒性が強いダイオキシン類などに対しては、ダイオキシン類を分解可能な *Pseudomonas aeruginosa* をポリビニルアルコールで包括固定化し、生物処理槽に充填する手法は、有機物や窒素だけでなく有害化学物質にも対応した高度処理プロセスである。埋立地浸出水のような排水に対しては、図6に示すように、高度処理の高効率化とハイブリッド化の技術開発が必要とされる。さらに低濃度で含有され、かつ低濃度でも毒性が強い

きな期待がもたれている。

4.3 土壌および地下水浄化

先端産業、洗濯産業などで使用されているトリクロロエチレンやテトラクロロエチレンなどの揮発性有機塩素化合物および生活排水、肥料の過剰使用、家畜の糞尿などが原因と考えられる硝酸性窒素による土壌、地下水の汚染が問題となっている。このような環境の修復においては発生源対策

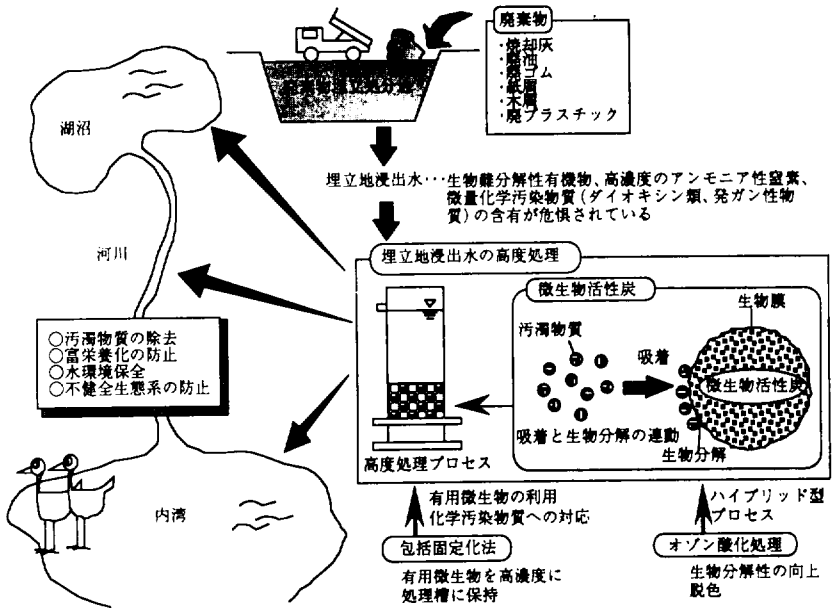


図6 埋立地浸出水の高度処理とハイブリッド化

が最も効果的であるが、実際に揮発性有機塩素化合物、硝酸性窒素、油分などによる汚染の進行している場の浄化を図るためには、その現位置での処理が必須となる。そのような方法がバイオレメディエーションテクノロジーといわれる直接的な環境修復技術である。バイオレメディエーションテクノロジーとは、生物の代謝を基本としており、増殖促進物質を添加することなどによって人為的に微生物や植物の自然浄化能力を強化したり、生物を添加したり、過酸化水素などを供給することにより、環境条件を操作し、あるいはこれらを組み合わせることにより、汚染した水域、土壌、底泥などを意図的に修復し、快適な環境を取り戻す環境修復技術である。バイオレメディエーションテクノロジーに利用される生物としては細菌、菌類、植物、微小動物、遺伝子組換え生物などがあげられ、これらの物質変換能力が汚染土壌、地下水の浄化に貢献する。揮発性有機塩素化合物および硝酸性窒素汚染のバイオレメディエーションテクノロジーを活用した環境修復技術は図7に示すとおりである。バイオレメディエーションテクノロジーは通常の排水、廃棄物処理と異なり、汚染地点の修復のため直接現場で環境浄化を行い、比較的経済的、省エネ的であるため、地球に優しい技術として活用の期待される重要な処理プロセスであるが、いかにその現場に適合した方策を選択し、その状況での最良の環境を設定するかが重要である。したがって、適正条件下で操作が行われていないと効果が期待できない

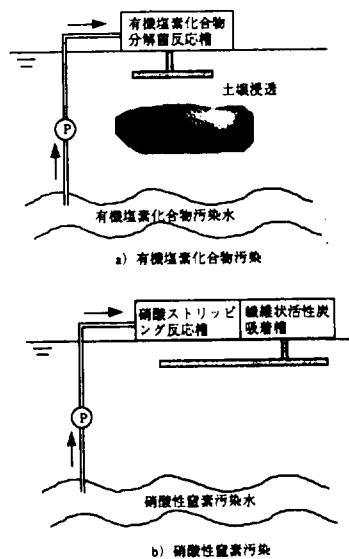


図7 バイオレメディエーションテクノロジーを活用した環境修復

ため、バイオレメディエーションテクノロジーの活用にあたっては汚染現場の汚染物質の濃度、地質の種類、現場の規模、水質などについての知見の十分な集積が必須である。さらに微生物、とくに遺伝子組換えした微生物については、それを適用する場合における土着微生物に及ぼす影響、残存性などのマイクロゾムといわれる水圏安定微生物生態系を用いた環境影響評価にかかわる知見集積して活用を検討する必要がある。

4.4汚濁湖沼水浄化

湖沼、ダム湖などの水域では、人間活動に起因する富栄養化の進行が著しい。この富栄養化の進行によって、夏季を中心にアオコが大量発生する。アオコ（藍藻類*Microcystis*属）の秋季における消滅は微小動物の捕食作用が起因していることが知られている。したがって、アオコを捕食する有用微小動物を有効に活用すれば汚濁湖沼水の浄化に大きく貢献できると考えられる。

アオコの群体を捕食分散化する貧毛類*A. hemprichi*と分散したアオコの細胞を摂食する鞭毛虫類*Monas guttula*、輪虫類*P. erythrophthalma*の摂食能向上化および輪虫類*P. erythrophthalma*の増殖因子としての洗米排水中の特定成分を活用した研究が推進されている。汚濁した湖沼などを上水源とするところでは、カビ臭や浄水処理の過程で塩素処理が行われるため発ガン性が指摘されているトリハロメタンなど有機塩素化合物の水道水への混入が問題となっている。これらを解決するため、接触酸化法や微生物活性炭法などの生物膜処理

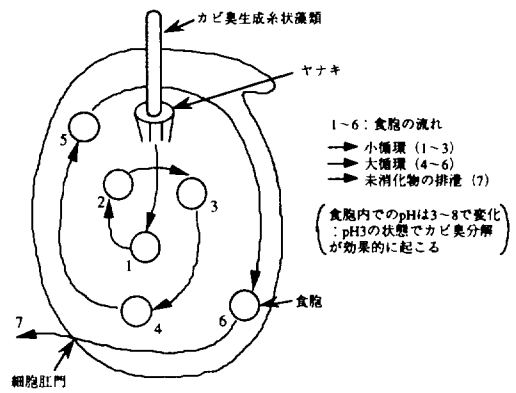


図8 *Trithostoma cucullulus*によるカビ臭生成糸状藻類の分解

法、オゾン、光、酸化剤および各種の方法を組み合わせた方法が検討されている。とくに生物膜法はハニカムチューブ、活性炭、球状セルロースなどの様々な担体に微生物を集積、定着させ、カビ臭を産生する原因生物および発ガン性物質の原因物質を捕食あるいは分解させ除去しようとする方法である。カビ臭の原因物質である2-メチルイソボルネオール(2-MIB)を産生する*Phormidium tenue*などの糸状藍藻類を摂食する特殊な口部構造を有する繊毛虫類*T. cucullulus*(図8)および糸状藍藻類以外の藍藻類*Microcystis*属も捕食、分解する微小動物としては鞭毛虫類*M. guttula*が知られている。*Monas guttula*による*Microcystis aeruginosa*の分解量の変化を図9に示す。*M. guttula*を接種することによって、対照系と比較して大きく除去されているのがわかる。また*M. guttula*の捕食形式は図10のように図9

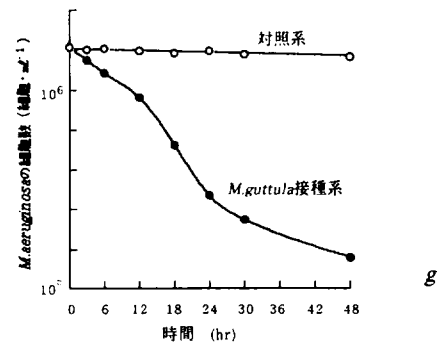


図9 *M.guttula*による*M.aeruginosa*の分解量の経時変化

球状細胞に対しては陥入部を形成して取り込み(I型)、糸状細菌の場合には球状細胞の場合と同様(II型)あるいは垂直方向(III型)から直接、捕食する方法があり多様である。またアオコを形成する藍藻類の多くは有毒物質を生産し、肝機能障害および神経障害を引き起こすことが知られている。とくに霞ヶ浦などで問題となっているのは藍藻類*Microcystis viridis*の含有する猛毒のMicrocystin-RRである。鞭毛虫類*M. guttula*は分散

したものであれば*M. viridis*およびMicrocystin-RRを完全に近く分解可能であるが、自然水域では通常*Microcystis*属の細胞は寒天質状の膜に被われ群体を形成しているために*M. guttula*のみでは分解されにくいことから、貧毛類*A. hemprichi*および輪虫類*P. erythrophthalma*を共存させることによって、寒天質状の膜は口部構造を有する*A. hemprichi*により効率的に分解され、放出された*M. viridis*の細胞が*M. guttula*および*P. erythrophthalma*によって、効果的に捕食され、同時に、Microcystin-RRも完全に分解されることが明らかになりつつある。このような処理システムを汚濁湖沼水浄化や浄水処理施設に最適条件で導入する技術開発が推進され期待されている

5.課題および展望

バイオテクノロジーを活用した水処理技術をは図11のようにまとめられるが、このような技術は湖沼、河川、内湾などの水質改善を図る手法としてさらに開発が推進され新たな技術が確立されてくるものと考えられるが、これからの課題および展望は以下に列記するとおりである。

- 1)バイオテクノロジーを活用して排水処理を行う上では、生物が最も効率的に働くように生物処理槽を運転していくことが重要であり、最適運転条件を維持するための操作因子、操作条件を確立し、システム化することが重要である。
- 2)窒素、リン同時除去を行う上での硝化菌、脱窒菌、脱リン菌の最も機能発揮できる処理プロセスや操作条件の確立、つまり微生物固定化法や良好な膜厚を保持するための逆洗機能の付与技術などについての開発が必要である。
- 3)地球温暖化ガスとして従来よりCO₂が問題とされてきたが、地球温暖化に寄与するポテンシャルをCO₂を1とするとCH₄が20~30倍、N₂Oが200~300倍であり、かつ近年温室効果の高いN₂O、CH₄が大気中で増加しつつあることが明らかとなってきたことから、CH₄およびN₂Oを発生させない嫌気、好気生物処理プロセスの最適制御技術を確立する必要がある。それゆえ、CH₄およびN₂Oの発生抑制技術の排水処理プロセスへの適用を図り、排水処理から発生するCH₄およびN₂Oの環境への負荷を削減する地球温暖化ガス抑制システムと窒素、リン除去の富栄養化対策を同時に達成できる嫌気・好気生物処理システムの技術開発をさらに行う必要がある。
- 4)有用な微小動物を活用する上では、その微小動物の大量培養を行うことが重要であることから、大量培養を行う上での、適正増殖条件の確立と増殖因子とその化学構造の解明とその適用技術の最適化のための開発が必要である。
- 5)生物難分解性物質やリンなどを除去する上では、生物分解性を向上させるためのオゾン酸化処理、余剰汚泥からのリンの資源化技術など生物処理に物理化学的処理を組み込んだ有効な処理プロセスであり、このよ

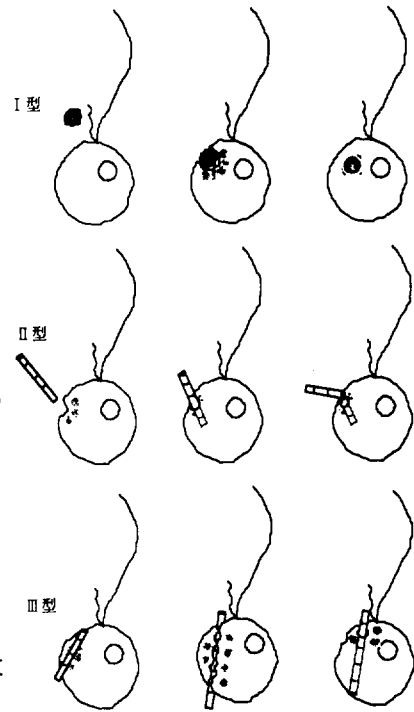


図10 *Monas guttula*による各種藻類の捕食形式

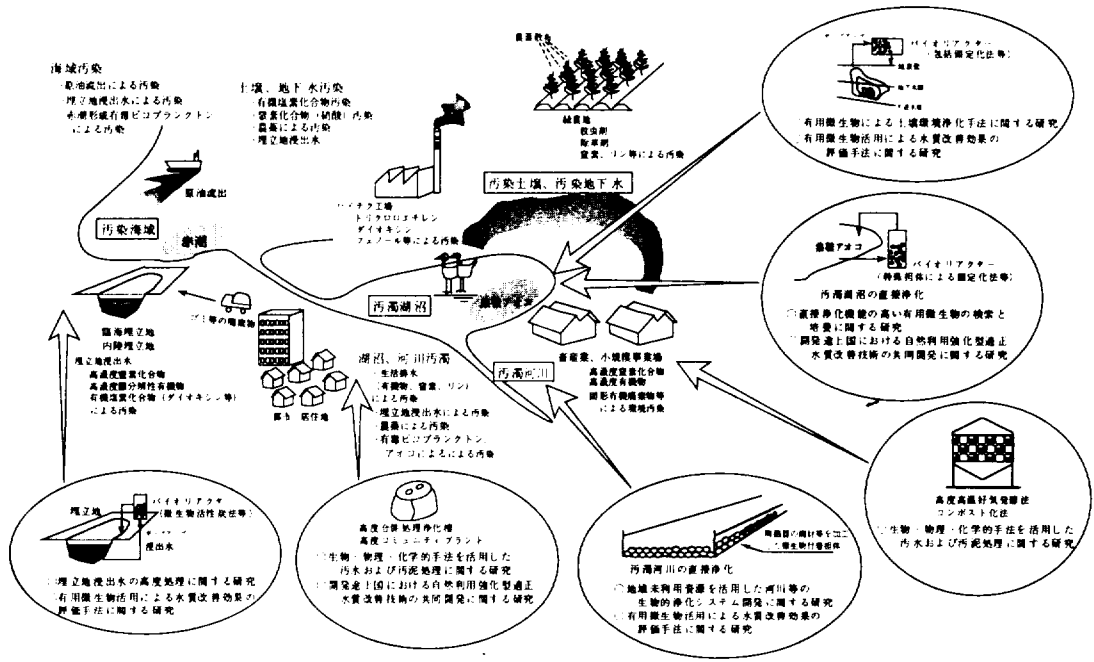


図11 バイオテクノロジーを活用した有用微生物の各種改善技術への導入

うなハイブリッド型処理プロセスの最適化に関する研究が重要である。

6) 遺伝子工学すなわちニューバイオテクノロジーを活用して分解能を強化した有用微生物の開発が行われつつあるが、これら遺伝子組換えを行った微生物を排水処理やバイオレメディエーションなどの開放系で活用するには遺伝子組換えされた微生物の環境に対する潜在的影響として考えられる生物に及ぼす病原性、伝染性、毒性、アレルゲン性、さらには遺伝子組換え微生物の生残・増殖性、遺伝子の伝達性、生態系へのエネルギー代謝、物質循環系への影響などにかかわる環境影響評価が確立されることが重要であることから、「化学物質の審査及び製造等の規則に関する法律(化審法)」で用いられている活性汚泥に相当する生態系の基本コンポーネントの捕食者、生産者、分解者を有し、物質循環、エネルギーフローの存在するフラスコマイクロコスモス試験などを用いた評価解析手法の開発が重要である。

7) 生物処理技術もコストを無限にかければ高度な処理水質が得られることは当然であるが、コストバランスを考えた上で、バイオテクノロジーと地域未利用資源を生物付着担体として活用するなど自然生態系に工学の技術を組み込んだエコテクノロジーの組み合わせの最適化の開発が重要である。

以上のごとく、バイオテクノロジーを活用して水処理を行う場合、混合培養系に生息する微生物の浄化分解能をいかに高め、強化するかが重要であることから、特定の分解能を有する微生物の増殖因子、大量定着化法など解決すべき課題は多い。さらにバイオテクノロジーの活用は我国のみでなく、近隣の開発途上の諸国でも重要であることから、熱帯地域、温帯地域、寒冷地域などに地域特性を考慮したシステム開発もこれから重要と考えられる。

参考文献

須藤隆一編著、微生物固定化法による排水処理、産業用水調査会（1988）
 須藤隆一、稲森悠平編著、水処理バイオ入門、産業用水調査会（1994）