

「環境低負荷型の社会システム」

平成7年度採択研究代表者

前川 孝昭

(筑波大学農林工学系 教授)

## 「微生物機能強化による水環境修復技術の確立」

### 1. 研究実施の概要

本研究は生物圏を取り巻く水環境の中でも、特に湖沼、河川、地下水などの水域の窒素汚染問題に絞り、汚染水域の水環境修復を微生物の持つ機能の強化によって達成することを目的としている。

微生物機能強化の手段として、微生物の増殖に必要とされる栄養塩、微量金属を常に微生物に供給できる栄養塩抱括固定担体および担体をリアクタ内に効率的に保持し、処理水の処理効率を向上できる磁性担体を開発した。これら担体表面に微生物が高密度に生息できる環境を作り、汚染物質の分解性が高められるかを検討した。これらのアイディアについて特許申請を国内外に出している。窒素処理に関わる脱窒工程では有効な結果を得つつあり、炭素源の分解にも有効であった。また、微生物群集の有機物分解機能を腐生連鎖の側面から検討し、栄養塩の強化や微小動物の強化が混合培養系における微生物の有機物分解機能の強化に有効であることが分かった。

本プロジェクト研究は3年目を迎える、本年3月に中間評価を受け、4月に公開発表を行った。5年間のプロジェクトであるので、今後2年間これらの研究成果が水環境修復に実用性があるものかを検証する。

### 2. 研究実施内容

研究の実施にあたり、研究内容を3つのグループに分け、各々のグループ内に4研究課題を置き、相互の関係が緊密になるようにした。各グループの研究実施内容は以下の通りである。図1に本研究のねらいと概要について示した。

#### (1) a. 微生物機能強化のための誘導手法とその遺伝的固定化

① 低温メタン菌によるメタン発酵では、ベンチスケールでの実験結果から、微量金属の添加や担体の使用により増殖速度やガス発生速度が増加できることが示された。微生物は微量金属が不足すると増殖が停止するので、菌体を抱括する替りに栄養塩を抱括することによって増殖の継続性を保ち、かつ代謝副産物による担体の物理的破壊やガスの内蔵による浮上を防止する機能を担体に付与

することができた(栄養塩抱括固定担体)。これは嫌気発酵であるメタン発酵や硝化・脱窒工程に有用となった。現在、パイロットスケールへ規模を拡大し実証試験を行っており、今後実用規模での実証実験を実施する。

- ② 輪虫類による廃水の処理では、汚濁物質の分解、水の透明化がえられ、また大量培養のための手法(低コストの基質、輪虫の貯蔵法)が確立された。今後は実験室レベルで得られた結果をスケールアップするための検討を行っていく予定である。また、紫外線、電子線、磁場などの物理化学的な因子の付加による細胞の活性への影響を、各種パラメータを指標として検討していく。
- ③ 硝化・脱窒については、セルロース分解菌と脱窒菌の共生により、セルロース担体を炭素源とする脱窒が行える可能性が示された。今後は両者の共生による脱窒プロセスを目標とする。さらに、セルロース分解酵素遺伝子の脱窒菌への導入について検討を行う。

## (2) 点源汚染の微生物による水環境修復技術の確立

- ① リアクターによる海水の硝化・脱窒は、淡水の硝化の最大速度の3分の1と低かったが、ポリエステル起毛担体を用いることにより海水でも淡水と同程度の性能が得られた。また地下水の浄化について検討を行い、菌体の固定化および炭素源となる生分解性プラスチックを用いた菌体の固定化担体により、4℃の低温での脱窒に成功した。今後は炭素源として無毒な可溶性澱粉を用い、また余剰菌体の除去と殺菌を目的としたオゾン処理の併用による地下水の改質を検討する。また、地下水の直接浄化については、菌体固定化担体として有効な生分解性プラスチック探索を行う。さらに従来硝酸の脱窒は嫌気下で代謝が進行する脱窒菌が多かったが、スクリーニングを徹底したところ、亜硝酸脱窒を代謝系にもつ脱窒菌を発見し、現在その同定を行っている。
- ② 腐生連鎖を組み込んだ有機物分解機能強化では、肉食性原生動物 *Dileptus anser* が有機物分解機能の強化に、また *Arcella vulgaris* が硝化機能の強化に有効である事が示された。すなわち活性汚泥法では微生物および微小動物が分解産物を中心とした食物連鎖の中で好気分解が進行している関係(腐生連鎖)のなかで、栄養塩の強化や微小動物の強化によって硝化が促進されることが判ってきた。今後はこれら生物の機構解明およびこれらを組み込んだ微生物群集の効果的な創出手法の開発を行う。
- ③ 光合成細胞による窒素およびリンの吸収では、異なる3種類の光合成細胞の組合せを制御することにより、処理水の水質の変動に対応できることが示唆された。また系内の光条件を最適化することにより、残留する窒素およびリンを除去できる可能性が示された。今後は3種の混合系による安定した処理システムの構築を目標とする。

### (3) 生物間競合を利用した水環境修復技術

- ① 開発されたメンブランフィルター型混合培養装置により酵母と細胞、および緑藻と細菌間の相互作用の解析が可能となった。今後はこれらの基礎的研究結果から、有機系廃水および無機系廃水に適用可能な新規な水環境修復用微生物機能強化混合培養システムの開発を行う。
- ② アオコ発生のメカニズムを解明するために、*Microcystis novacekii* および *Scenedesmus quadricauda* の競合についてシミュレーションを行い、この結果が実験室規模での実験結果とよく対応し、またアオコが夏の水の停滞する水域で優先する現象ともよく対応している。今後は栄養塩添加の速度や連続性の違いによる競合や各種環境パラメータの違いによる競合について、シミュレーションで得られた予測の検証を行う予定である。
- ③ 各種廃水浄化施設の付設による生活排水路での廃水浄化では、小河川の硝化・脱窒の促進を目的として、積層網状体、多孔性コンクリートブロックおよびポリビニルアルコール（PVA）担体を用いた河川構造物による水質浄化機能について検討した。2年間の実験から、硝酸および亜硝酸の除去効果が認められた。また、ここで除去されなかったアンモニアおよびリン酸については、物理・化学的方法や電気化学的方法によりアンモニアおよびリン酸が除去されることが実験室規模で示された。今後はこの物理・化学的方法や電気化学的方法によるアンモニア・リン酸除去法の確立およびスケールアップした場合での処理システムの構築を目標とする。
- ④ 磁性担体を用いた嫌気性廃水処理では、原水と担体の接触効率を保持するために開発したマグネタイトを含む脱窒菌固定化担体によりリアクターの閉塞を防止し、固定床として安定し、原水の流速を増加させることができた。これにより処理能力の向上と装置のコンパクト化が可能となった。また硝酸態窒素濃度 14~43mg/l/h の低中負荷条件で窒素除去率 99.5~100%、93~162mg/l/hr の高負荷条件では窒素除去率 70~80%が得られた。今後は地下水等の改質を目標とする。

(図 2 は新規開発の担体表面上に増殖した微生物の例を示している。)

水環境修復をテーマに類似研究の国内外の研究動向・状況と本研究課題の位置づけとしては、地下水汚染防止を視野においていた研究が最近立ち上がってきている。特に我国をはじめ東南アジアおよび米国などでは汚染が進行している地域で、この環境修復に関する応用研究の実施要請が多くなっている。

(例として、中国雲南省昆明市デン池、フィリピン国ラグナ湖、ラオス国メコン川中流域の水質改善問題、米国ハワイ州の地下水水質改善問題、北海道や鹿児島県

などの酪農地域での家畜糞尿処理問題など。)

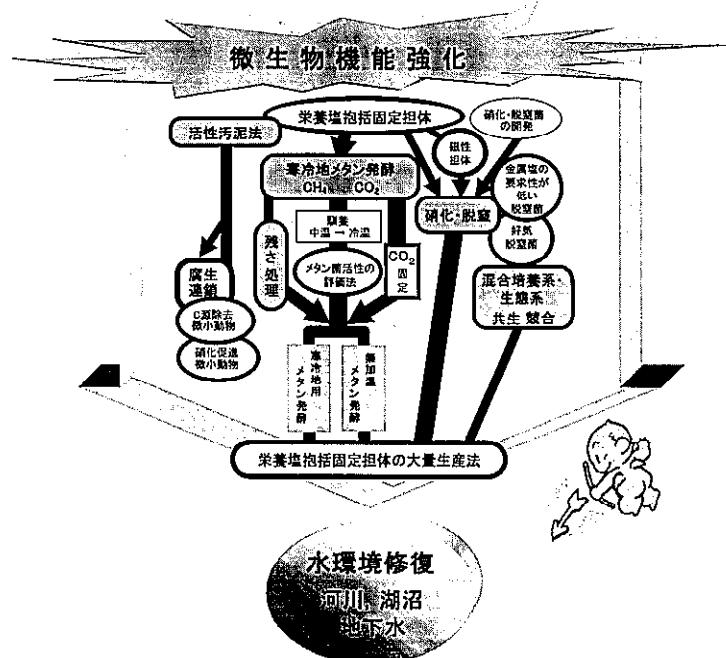


図1 研究のねらいと研究の概要



図2 新規開発の担体表面上に増殖した微生物の例

### 3. 主な研究成果の発表（論文発表）

○T. Maekawa

Volume V. Energy and biomass engineering

CIGR Handbook of Agricultural Engineering pp.201-222

○前川 孝昭, 大村 直也, 張 振亞, 藤田 和男

Nitrogen contamination in the river and ground water caused by livestock production

Journal of Environmental Science and Health -Part B

他6件