

## 審査の結果の要旨

氏名 モディーン オスカル ダニエル

本研究はメタンガスを炭素源として、水中の窒素を除去するための理想的なプロセスとして、メンブレンバイオフィルムリアクターを構築し、それによる様々な微生物学的な研究を行い、最終的にはメンブレンバイオフィルムリアクターの脱窒プロセスとしての利用可能性を検証した研究である。

窒素による地下水汚染は農業地域からの肥料由来のものや下水管からの下水の漏洩などが主な原因である。特に施肥による汚染は面的な負荷があり、遠隔地で起こることが多いことから、その対策が十分に行われないことが多い。世界に於いて施肥量は途上国を中心に上昇しており、たとえば中国では1ヘクタールあたり200キロを超える（アメリカは約50キロ）窒素肥料の施肥を行っていることから、窒素汚染は発展途上国を中心に深刻である。

地下水より窒素を効率よく除去するためには生物学的脱窒法を採用することが多い。しかし、その生物学的な機構上、メタノールのような薬品を添加しなくてはならず、経済的・技術的に遠隔地でかつ小規模で脱窒プロセスを適正に制御することは難しい。

メタンガスを資化し炭酸ガスへ変換するメタン酸化細菌は脱窒菌と共生系を構築することが知られている。メタンガスは廉価な炭素源であり、世界中のあらゆるところで生物学的に生産が可能である。メタンガスを酸化する微生物は代謝物として細胞外に溶解性有機物を生成し、それを脱窒菌が利用するという機構が考えられている。この機構を利用して、水中の窒素（硝酸）を効率的に除去する方法を考える。メタンガスは過剰に投入しても水質を悪化させることはない。効率的なメタンガスの供給方法があれば、メタンガスの漏洩無く高効率でメタン酸化細菌を養うことができると考えられ、それによる脱窒菌も高密度で培養することが可能である。これにより、きわめて簡単なプロセスで効率的に脱窒を行うポテンシャルを持つ。また、メタンガスの純度は高い必要はなく、生物学的に生成されるメタンガスが通常含有する若干の硫黄化合物を除去する必要はないことも、この方法のメリットである。

気体を液体へ供給する方法の一つとして、ガス透過膜による方法がある。産業界では人工心肺装置や炭酸飲料の製造等に利用されている。このガス透過膜

をメタンを供給する方法として利用し、もっとも効率よく生物と接触させるためにこのガス透過膜の表面に生物膜を育成する、メンブレンバイオフィルムリアクターを構築することにした。

メンブレンバイオフィルムリアクターを構築するに当たって、供給する気体はメタンガスと酸素であるが、メタンガスと酸素の混合物を中空糸膜の内側から供給する方法、メタンガスのみを中空糸膜より供給し、酸素は溶存酸素として供給する方法、中空糸の1系統からメタンを供給し、別な系統から酸素を供給する方法の3つの方法を検討した。いずれの系も別途実施した浮遊系で培養した系よりも基本的には高い脱窒能力を示した。その中で、メタンガスのみを中空糸膜より供給し、酸素は溶存酸素として供給する方法が最も脱窒には適する方法と結論づけた。

次にメンブレン上の微生物叢の解析を行った。メンブレン上の微生物叢はメタン酸化細菌と脱窒菌の両方が存在することが確認でき、また、それぞれの微生物が生物膜の中で特異的な位置関係を有していることもわかった。

最後に微生物の成長をそれぞれのメンブレンタイプ（メタンガスと酸素の混合物を中空糸膜の内側から供給する方法、メタンガスのみを中空糸膜より供給し、酸素は溶存酸素として供給する方法、中空糸の1系統からメタンを供給し、別な系統から酸素を供給する方法の3つの方法）に分けて行った。その結果、低酸素域を形成しつつメタンガスを供給する中空糸の配置方式の提案を行った。

これらの研究成果によりメタンガスを利用して窒素を除去する微生物学的プロセスの基礎的な知見を得ることができ、また、その知見に基づく新しいリアクターのデザインを提案している。これらは工学的、また、微生物学的にきわめて有用な知見であり、今後この研究に続く数々の研究が予見できる優れたものである。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。