

氏名	ご 藤 知 のぶ 後 藤 知 伸
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学位記番号	論 工 博 第 3227 号
学位授与の日付	平 成 9 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	細菌のべん毛による遊泳運動に関する研究

論文調査委員 (主 査)  
教授 赤松映明 教授 鈴木健二郎 教授 池内 健

### 論 文 内 容 の 要 旨

ミドリムシやゾウリムシあるいは動物の精子など遊泳する微生物の多くは、鞭毛と呼ばれる細い毛状の運動器官を動かして泳ぐ。また、サルモネラ菌や大腸菌などの細菌も鞭毛を回転させて泳ぐ。このような鞭毛や繊毛あるいはべん毛といった運動器官の作動原理の解明は、生物学的な観点から興味深いばかりでなく、工学上も、最近のマイクロマシン開発の気運の高まりとともに、分子機械の設計にとって有用であると考えられている。とくに、細菌べん毛の回転モータは、生物界では他に見られない回転運動をするので、世界最小の回転機械という側面からも注目されている。

本論文は、べん毛を回転させて運動する細菌の運動の解析法を示し、種々の形状の細菌モデルについての解析結果から、細菌の形状と運動速度、軌跡などの関係について流体力学的に解析した一連の研究結果をまとめたもので7章からなっている。

第1章では、本研究の背景となっているべん毛や鞭毛によって運動する細菌ならびに微生物の運動に関する研究を概説し、本研究の目的について述べている。

第2章では、従来からべん毛による微生物の運動の解析に用いられてきた抵抗力理論を、任意の形状のべん毛の場合にも解析を行うことができるように拡張し、球形の菌体を持ち、螺旋形のべん毛を回転させて水中を運動する細菌モデルのべん毛形状と運動速度及び効率の関係を調べている。べん毛の回転は、菌体を前進させるための推進力を発生するが、同時に力のモーメントも発生するので、菌体はべん毛とは逆方向に回転し、まわりの流体に対するべん毛の実質的な運動速度は低下することを明らかにするとともに、細菌に働く力と力のモーメントの釣り合いの式を導出して、この釣り合いが、細菌の運動速度を決定する重要な要素となっていることを、形状パラメータを変更した計算によって示している。

第3章では、細長物体理論と境界要素法に基づいた数値解析によって、細菌の運動の解析を行い、両者の解析結果がよく一致することを示すとともに、細菌のまわりの流れの様子を明らかにしている。

第4章では、第3章で用いた数値解析法に基づいて、菌体とべん毛、あるいはべん毛の微少部分同士の流体力学的な相互作用の大きさを調べ、べん毛に対する抵抗力理論で用いる粘性抵抗係数の値について検

討し、その結果、菌体とべん毛の間の相互作用は、あまり大きくなく、細菌の運動の解析にべん毛の抵抗力理論を用いることは妥当であることを示す一方、べん毛の微小部分同士の相互作用は無視することができず、べん毛の形状及び移動速度に応じた粘性抵抗係数を用いる必要があることを見出している。

第5章では、第2章の抵抗力理論をさらに拡張し、べん毛モータの回転軸が球形の菌体の中心を通らない細菌の場合や複数のべん毛をもつ細菌の場合の解析方法を示している。べん毛の配置によって細菌の軌跡は様々な形状になり、とくに、べん毛モータの回転軸が菌体中心を通らない場合には、細菌の軌跡は二重螺旋の形になり、従来の研究で観察されている細菌の 'wobble' は、二重螺旋のうちの大きい方の螺旋に対応するものと推定している。

第6章では、菌体の形状が非球形の場合の細菌運動の解析法を示し、偏長回転楕円体の菌体をもつ細菌について解析を行っている。

第7章は結論であり、本研究の総括を行っており、また将来の研究課題について述べている。

### 論文審査の結果の要旨

マイクロマシンの開発に関連して、微生物の機構とその機能を究明し分子機械の構築とその設計に役立てようとする気運が高まっている。本論文は、べん毛を回転させて移動する細菌の運動についてその解析法ならびに細菌の形状と運動速度・運動軌跡・推進効率等に関する研究の成果を取りまとめたもので、得られた主な成果は次の通りである。

1. 従来の抵抗力理論を任意の形状のべん毛の場合にも適用できるよう拡張し、球形の菌体をもち螺旋形のべん毛を回転させて水中を運動する細菌モデルの、べん毛形状と運動速度の関係を求めるとともに、細菌の運動に関する観測結果を理論解析の結果と直接比較できる定式化を行っている。

2. 細長物体理論と境界要素法に基づいた数値解析によって、細菌の運動について解析を行い、両者の結果がよく一致することを示すとともに、細菌のまわりの流れのパターンを明らかにしている。

3. 菌体とべん毛あるいはべん毛微小部分同士の流体力学的な相互作用の大きさを調べ、菌体とべん毛の間の相互作用は大きくないが、べん毛微小部分同士の相互作用は無視できないことを見出している。

4. 従来の研究では扱われていない、(i)菌体がべん毛の螺旋運動の軸に対して非対称の場合、(ii)菌体が球形でない場合、(iii)べん毛が複数の場合について解析する方法を提示するとともに、その解析の結果、(i)の非対称の場合は菌体の運動軌跡が二重螺旋となること、(ii)の菌体が非球形の場合、菌体の回転角度への影響は大きい、推進速度はほとんど変わらないことなどを見出している。

以上要するに、本論文は細菌べん毛の回転による遊泳運動について種々の新しい知見を提示したものであって、学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また平成9年2月3日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。