

# 論文審査の結果の要旨

氏名 三木 弘史

生体膜に埋め込まれたタンパク質複合体  $F_0$  は、膜内外のプロトン濃度差を利用して回転するモーターであると共に、回転力によってプロトンを輸送するポンプとしても機能する。本論文では、 $F_0$  のモーター・ポンプとしての機能をブラウニアン・ラチェットの原理を導入してモデル化し、そのエネルギー効率を評価した。

本論文は5章からなる。第1章はイントロダクションであり、小さな系における熱ゆらぎの影響、ブラウニアンモーターの概要、 $F_0$  モーターの概要、論文の目的と構成が述べられている。

第2章では、 $F_0$  の機能をモデル化する方法が述べられている。 $F_0$  の回転を4種類のプロトン遷移速度定数や緩和時間等を導入することでモデル化し、フォッカー-プランク方程式を用いて定式化を行い、その解を導いている。更に、平均回転速度とプロトン移動率を導出している。

第3章、第4章では、 $F_0$  の振る舞いが具体的に解析されている。第3章では、モーターとして機能するときの  $F_0$  のエネルギー効率が調べられている。まずモーターとして機能する際のプロトン移動の効率的プロセスと非効率的プロセスについて定性的に述べ、エネルギー効率を定義している。更に遷移速度  $K$  を導入し、その大きさに対する平均回転速度、プロトン移動率、エネルギー効率を解析している。そしてエネルギー効率が最大となる場合にプロトン遷移速度定数と緩和時間が満たすべき大小関係を明らかにした。第4章では、外部から回転力が与えられたときのプロトンポンプとしての  $F_0$  のエネルギー効率が調べられている。第3章と同様に、プロトン移動の効率的プロセスと非効率的プロセスについて定性的に考察している。また、遷移速度  $K$  の大きさに対する平均回転速度、プロトン移動率、エネルギー効率を解析している。そしてエネルギー効率が最大となる場合にプロトン遷移速度定数・緩和時間および回転力が満たすべき大小関係を明らかにした。

第5章ではまとめと今後の展望について述べられている。

本論文は以上のように、 $F_0$  のモーター・ポンプとしてのメカニズムをブラウニアン・ラチェットの原理を導入して解析すると共に、エネルギー効率が高くなる場合のプロセスや条件を提示して新たな知見を与えている点で意義があると認められる。

なお、本論文第 2 章、第 3 章、第 4 章は佐藤昌利・甲元真人との共同研究であるが、論文提出者が主体となってモデル化及び解析を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。