

学 位 審 査 報 告 書

（ ふ り が な ） 氏 名	ひらいわ てつや 平岩 徹也
学位（専攻分野）	博 士 （ 理 学 ）
学 位 記 番 号	理 博 第 号
学位授与の日付	平成 年 月 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻	理学研究科物理学・宇宙物理学専攻
（学位論文題目） Coarse-Grained Dynamics of Soft Systems with Internal Degrees of Freedom -Linear Viscoelasticity of a Single Semiflexible Polymer Chain, and Dynamics of a Single Deformable Self-propelled Particle- （「内部自由度を伴う柔らかい系の粗視化動力学」 副題：半剛直性高分子鎖の線形粘弾性、及び変形を伴う自己推進粒子の動力学）	
論 文 調 査 委 員	（主査） 太田隆夫 教授 小貫 明 教授 山本 潤 教授

(続紙 1)

京都大学	博士 (理学)	氏名	平岩 徹也			
論文題目	Coarse-Grained Dynamics of Soft Systems with Internal Degrees of Freedom - Linear Viscoelasticity of a Single Semiflexible Polymer Chain, and Dynamics of a Single Deformable Self-propelled Particle - 「内部自由度を伴う柔らかい系の粗視化動力学」 副題：半剛直性高分子鎖の線形粘弾性、及び変形を伴う自己推進粒子の動力学)					
(論文内容の要旨)						
近年の実験技術の向上により、揺らぎと自己推進といった粗視化動力学に特有の運動についての定量的な精密測定が可能になってきている。特に、ソフトマター物理や生体分子の物理にとって重要となる、柔らかい系の変形の自由度を伴う粗視化動力学に関心が集まっている。本博士論文ではこのテーマに関して特に、半剛直性高分子鎖の線形粘弾性と、変形を伴う自己推進粒子のダイナミクスの研究を行っている。 高分子一本鎖は溶液での希薄極限としては多くの研究があるが、最近のAFMや光ピンセット法などの実験的進歩で、構造とダイナミクスに関して詳細なデータが得られている。このような単分子実験で重要となるような鎖が強く引き伸ばされた状態においては、どんなに柔らかい鎖であっても、剛性と伸びきりの非線形性が顕在化することが知られている。本論文では、まず、ミミズ鎖 (WLC) モデルと呼ばれる剛性と伸びきりによる非線形性を考慮にいたした高分子鎖モデルに基づいて、半剛直性高分子鎖の線形粘弾性を解析的に導出する理論を構築した。伸びきりの非線形性を適切に考慮すると線張力の伝搬が自然に導入されるが、従来の解析的理論では計算の困難のため、ほとんどの場合、線張力の伝搬の寄与は無視して計算されてきた。しかし、本論文の理論では、ドイツのグループが提案したWLCに対する多重スケール法を用いることで、線張力の伝搬を取り入れている。そして、この理論により導出された複素コンプライアンスと複素弾性率の低周波と高周波での冪指数が、従来の理論の結果と異なることを明らかにした。また、その冪指数を説明できるスケーリングの方法も導入した。 さらに、内部摩擦がある場合やモノマー間に相互作用がある場合など、現実的重要性のある場合への理論の拡張も行った。内部摩擦の効果を加えた際は、その高周波極限での冪指数が通常のWLCの指数からずれて単一緩和時間のモデルの指数に一致することを示している。また、モノマー間に相互作用を加えた場合は、高周波と低周波での冪指数が通常のWLCのものと変わらないことも明らかにしている。 もう一つのテーマとして、変形を伴う自己推進粒子のダイナミクスの理論をテンソルモデルと呼ばれる一般的モデルに基づき研究している。特に、自発的な変形が重心運動を誘起するタイプの自己推進運動に着目し、その際の多彩な運動形態とそれらの間の分岐について2次元における数値計算により解析した。 また、3次元でのテンソルモデルを数値計算することで、定常運動として直進運動以外に、面内円運動と3次元特有な螺旋運動が現れることを明らかにした。さらに、直進運動と面内円運動に関しては線形安定性解析も行い、その安定性の変化する分岐線が、数値計算の結果得られた分岐線と一致することも確認している。						

(論文審査の結果の要旨)

近年の実験技術の向上により、ミクロな非平衡系での揺らぎや自己推進の運動についての定量的な精密測定が可能になってきている。そのため、特に、生体系での分子の形態と機能の関係や運動性分子などに重要な知見が得られつつある。本論文では、このような時代的背景に基づき、半剛直高分子鎖の粘弾性理論と、自己推進粒子のモデル導入と可能な運動形態に関する理論的研究を行った。

半剛直高分子鎖の粘弾性については、この高分子鎖がもつ特徴、すなわち、いわゆる持続長と他の長さスケールとの分離を利用して、多重スケール展開を導入し、高分子鎖の端点に周期外力をかけたときの応答を解析的に計算した。外力の周期の関数として応答関数を具体的に導出し、低振動数と高振動数の極限での指数振る舞いに対するスケーリング理論も完成させた。さらに、内部摩擦がある場合やモノマー間に相互作用がある場合に理論を拡張し、どの性質が普遍的であるかどうかの吟味を詳しく行った。

自己推進粒子ダイナミクスでは変形しうるモデルに基づき、2次元と3次元において準周期運動やヘリカル運動などが現れることを数値シミュレーションで発見し、それらの一部については安定性解析を行い、動的相図を作成した。

これらの研究は申請者の高い能力を表すものであり、新しく重要な独自性のある結果がえられている。

よって、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認められる。また、平成23年1月14日に論文内容とそれに関連した事項について試問を行った。その結果合格と認めた。

要旨公開可能日： 年 月 日以降