

学位審査報告書

(ふりがな) 氏名	こじま まさひろ 小島 正寛
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)	
Emergence and Manipulation of Liquid Crystalline Order (液晶秩序の出現と操作)	
論　文　調　査　委　員	(主査)　吉川　研一　教授 太田　隆夫　教授 山本　潤　教授

理 学 研 究 科

(論文内容の要旨)

本学位論文は四章からなっており、液晶秩序の出現と操作を主題とした研究を展開している。第一章では、研究の動機ならびに本研究に関連する過去の研究について紹介している。続く第二章では、枯渇相互作用による DNA 水溶液の折り畳み転移と液晶転移に関する研究成果を、第三章では集光レーザーによる多重リング状 wall の生成に関する研究成果をそれぞれ扱っている。そして第四章では本研究の総括を行うとともに、これからの展望について述べている。以下に各章の要旨を述べる。

第一章では、研究の動機と背景について述べられている。まず液晶秩序に関して、その基本的な概念と本研究に関連する事項について解説を行っている。次に DNA 水溶液の一分子折り畳み転移と液晶転移について、これまでに得られていた研究成果についてまとめるとともにその問題点を指摘している。最後に集光レーザーの適用例として、溶液中に分散したコロイドの操作に使われる光ピンセット技術の原理について紹介している。

第二章では、電氣的に中性な高分子である Polyethylene glycol(PEG)を DNA 水溶液に添加した際に生じる一分子折り畳み転移と液晶転移について、それらを統一的に理解すべく行った研究について述べている。冒頭で枯渇相互作用について物理的なモデルを解説し、これまで別個の転移現象としてとらえられてきた両転移をこの枯渇相互作用の観点から統一的に理解できることを指摘している。この概念に基づき、同じ長さの DNA 水溶液の一分子折り畳み転移、液晶転移について偏光顕微鏡、蛍光顕微鏡を用いた実験を行っている。その結果、一分子折り畳み転移は単一 DNA 分子が密に折りたたまれる現象であるのに対し、液晶転移は DNA 分子が伸長される転移であることを見出した。また液晶転移を生じる PEG 濃度は常に一分子折り畳み転移を生じる PEG 濃度よりも低いことを見出した。枯渇相互作用をあらわに取り込んだ理論を構築し、実験結果が説明可能であることを示した。

第三章では、集光レーザーを用いてネマチック液晶中に多重リング状 wall という配向欠陥を人工的に生成した研究について述べている。これまでの研究により、高強度のレーザーを液晶に照射すると、その配向がレーザー偏光方向と平行になるようにトルクを受けることが知られている。本研究ではこの性質に注目して、ガラス基板面に対して平行に配向した液晶薄膜に、鉛直方向から集光した直線偏光レーザーを照射することで、半径 $1\mu\text{m}$ の領域内の液晶配向を局所的に操作することに成功している。次に集光レーザーを照射しながら、転傾欠陥まわりをらせん状に走査することで、レーザー照射地点を中心とした多重リング状 wall という配向欠陥を生成できることを見出した。実験結果よりこの多重リング状 wall の黒環半径が等比数列であらわされることを見出し、液晶の弾性論をもとにこれを説明している。また理論解析によって、液晶配向の対称性が破れていることを予見し、実験的にこれを証明している。そして対称性の破れの要因を突き止め、それを制御することに成功している。

最後に第四章では、全体の総括とこれからの展望について述べている。その中で液晶秩序はコロイドや高分子などのソフトマターと密接な関連を持つことに言及し、いずれはそれらを統一的に理解することが重要であると述べている。

(論文審査の結果の要旨)

本論文では、液晶秩序の出現と操作について実験的・理論的な研究を行った成果について述べている。近年では、液晶秩序を持つ物質は表示装置や高強度繊維など、すでに様々な工業製品に応用されている。また生体組織の中には細胞膜などの液晶秩序を有するものが存在しており、これらの系において液晶秩序は生体機能に深く関与していると考えられている。そのため液晶秩序を本質的に理解することは、工業的応用・学問的興味からも非常に重要な課題である。しかしながら、現状ではこの液晶秩序に由来する物質の物性予測は困難であり、また生体機能への寄与に対する理解は不十分であると言える。本論文では、このような問題意識のもと展開した二つの研究成果について述べており、以下にその学問的な意義を述べる。

先ず一つ目の研究では、DNA 水溶液に水溶性かつ電氣的に中性な高分子である Polyethylene glycol(PEG)を加えた際に生じる DNA の一分子折り畳み転移と液晶転移の差異について、実験・理論の両面から統一的に論じた成果について述べられている。先行研究では、DNA の一分子折りたたみ転移と液晶転移はそれぞれ異なる分野の研究対象として取り扱われてきたため、それらについて深く議論した研究は他に見当たらない。しかし、これらは元をただせば PEG の添加という同じ物理的要因によって生じる転移である。本論文では、PEG の添加は DNA 間の枯渇相互作用による引力を生じさせると考えている。そして実験結果を理論的に説明しているが、この解釈は実験事実をよく説明し、妥当であるといえる。この概念は DNA だけに限ったものではなく、半屈曲性高分子と屈曲性高分子の混合溶液全般に当てはまる概念であり、本成果は大きな意義を持つと考えられる。

次に二つ目の研究では、集光レーザーを用いて液晶配向を局所的に制御し、転傾欠陥周りを走査することで多重リング状 wall の生成ができるという研究成果について述べられている。この多重リング状 wall は、自然界では偶発的にしか生成されない欠陥構造であるが、本研究によってこれを安定に制御して人工的に作り出す方法が確立されたといえる。また人工的に生成した多重リング状 wall の幾何学的特徴について、簡単な近似でよくその本質をとらえた理論を構築している。次にこの理論に基づいて液晶配向の対称性の破れを予見し、実験的にそれを説明している。これまでもレーザーを用いて液晶配向の制御を試みた研究は存在していたが、レーザー照射領域内の液晶配向の応答を調べたものである。しかし本研究の様にレーザーを光学限界まで集光して照射し、スポットサイズより大きな配向欠陥の生成・操作を実現した研究は他に例を見ない。本研究で確立した手法は液晶配向を局所的に制御する手法であり、今後の学問的・工業的発展につながる礎を築いたといえる。

以上に述べた点から総合的に判断し、本学位申請論文は優れたものとなっており、学位取得に値するものであると言える。また物理学をはじめとする基礎的学問に関する学識は優れたものと判定した。以上のことより、博士(理学)の学位論文として十分学問的価値を有すると判断し、合格と認めた。