

Title	Study of Luminescence-Induced Optical Forces-Luminescence-Driven Optomechanics and Optical Forces Induced by Superfluorescence -
Author(s)	荒張, 秀樹
Citation	大阪大学, 2024, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/96125
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

論文内容の要旨

氏 名 (荒 張 秀 樹)	
論文題名	Study of Luminescence-Induced Optical Forces - Luminescence-Driven Optomechanics and Optical Forces Induced by Superfluorescence - (発光誘起光圧の研究 - 発光駆動オプトメカニクスと超蛍光誘起光圧 -)
論文内容の要旨	
<p>光と物質の間の運動量の交換により生じる「光圧」は、原子からμmサイズの微小物質の運動を制御する技術として分子生物学をはじめ幅広い分野で応用されている。ここで、物質の基本的な光学応答の1つである発光に着目すれば、発光によっても光圧は生じ、発光により誘起される光圧(以後、発光圧)は微小物質における機械的運動の駆動力となりうる。発光が等方的に生じる場合には発光圧は物質の運動にほとんど寄与しないが、本博士論文では発光体環境系の空間構造をデザインすることで発光圧が物質に機械的運動を誘起可能であることに着目した。</p> <p>第1章では、これまでの光圧研究について概説した後、発光圧研究について説明を行った。第2章では、発光膜に生じる発光圧理論を定式化し、第3章では、発光体ナノ薄膜の一方に金属ミラーを平行に配置した光共振器系において、発光圧が自発的に発光体自身の運動を駆動することを理論的に示した。第4章では、第3章での理論予測を検証できる実験を理論シミュレーションにより提案した。ここでは、金属基板上に作製した発光ナノ薄膜の架橋構造を想定し、発光圧が共振器の機械共振周波数シフト(光ばね効果)を引き起こすことを理論的に明らかにした。また、発光を用いた機械共振測定が可能であることを理論的に示した。実際に、実験グループと共同でこの実験実証に成功した結果を第5章にまとめた。ここでは、励起光の強度変調や膜の電氣的加振により、光ばね効果の実験観測の障害であった光熱効果による共振周波数シフトに対処し、発光による光ばね効果の実験観測環境が整ったことを報告した。第6章では、第4, 5章で扱った発光駆動オプトメカニクスの研究をさらに発展させる研究として、互いに機械的に結合した3つの電気機械共振器の非線形機械応答や共振器間の位相同期現象について理論的に明らかにした。またこの結果が、実験グループが行った実験結果と良い一致を示すことを議論した。第7章では、発光体間の相互作用が増強されるように銀ナノファイバーの近傍に発光体粒子を配置した系を想定し、超蛍光により誘起される光圧を理論的に評価した。ここで、発光体粒子の数や配置に対する依存性から超蛍光の特徴を反映した光圧が生じることを明らかにした。</p> <p>本論文の成果は、対象とする系の誘電的環境デザインを通じた発光圧操作の新たな研究分野を切り拓くものである。</p>	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (荒張 秀樹)			
	(職)		氏 名
論文審査担当者	主 査	教 授	石原 一
	副 査	教 授	冨田 博一
	副 査	教 授	芦田 昌明
	副 査	教 授	秋田 成司 (大阪公立大学 工学研究科)

論文審査の結果の要旨

光が持つ運動量に起因して物質に及ぼす力である「光圧」は、マイクロ・ナノ微粒子、原子等の非接触な捕捉、運動操作に用いられ、レーザーピンセットや原子冷却が応用技術として知られている。このような光圧操作においては、物質による光の「散乱」、「吸収」による運動量の交換が力の発生の基礎的機構となっており、操作の高自由度化、高効率化の戦略として光場の空間的、時間的制御が主眼とされてきた。一方、光と物質の相互作用に基づく最も基本的な現象である「発光」については、これを積極的に光圧操作に用いる発想はなかった。しかし、申請者は環境や発光体自体が異方的な空間構造を持てば、発光による反跳力により光圧操作が可能であることに着目し、「発光圧操作」の理論的提案、及びそれを実証する実験提案と支援に取り組んだ。

提出論文においては、まず、薄膜形状の物体に対して発光圧が計算出来る理論的手法を新たに開発し、その応用として金属基板上に浮遊する発光体膜の発光圧ダイナミクスを議論した。その結果、基板と薄膜で形成される光共振器効果により、発光体が捕捉され、自発振動が生じることを明らかにした。さらに発光体を架橋膜とした場合の発光圧ダイナミクスを理論解析した結果、機械バネとして働く発光膜の共振特性が、発光をモニターすることで計測でき、また機械バネの固有振動数が発光圧によりシフトする「光バネ効果」が現れることを明らかにした。これらの結果は、発光と、共振周波数の大きく異なる機械共振器の物理的結合の初めての理論実証となっている。この成果は、新奇な物理過程を提案したのみならず、発光体の量子力学的自由度と、マクロな機械的運動の結合を通じたエネルギー変換や情報変換、或いはインコヒーレントな発光のコヒーレントな自由度への変換を実現するための新奇手法開拓の可能性を示すものである。

さらに申請者は上記理論予測を実験的に実証するために実験グループとの共同研究を計画し、具体的な実験提案、必要な条件の洗い出し、途中結果の解析とフィードバックなどを行った。その結果、架橋発光膜の共振特性が確かに発光のモニターにより明らかになることが実証された。また、光熱効果により光バネ効果がマスクされてしまう問題を実験グループと共同で解決し、光バネ効果を計測可能なシステムの実現に成功している。申請者は加えて、将来の発光圧実験に備えて機械バネの結合系のダイナミクスを理論予測し、これについても別の実験グループと共同で実験実証に成功した。さらに以上の研究に加え、発光圧現象の1つである超蛍光による光圧についても理論研究を進め、その成果が本論文に収められている。

以上の成果は発光圧による物質操作を基礎とする新しい研究分野を切り開くものである。よって、本論文を、博士(理学)の学位論文として価値のあるものと認める。