

## (論文内容の要旨)

本論文は、エネルギー局在現象の一つである空間局在モード (ILM) の静的性質、移動メカニズム、および操作に関する数値的・実験的研究の成果をまとめたものであり、7章より構成される。

第1章は序論であり、研究の背景、目的、内容および論文の構成を述べている。

第2章では、数値的、理論的検討のために必要な事項をまとめている。マイクロカンチレバーアレイの運動を記述する方程式を導出・無次元化し、検討の対象となる非線形結合振動子系の導入を行っている。導出した結合系へは、まず線形近似を用いた理論的解析が適用し、線形波動や線形局在モードの性質について議論している。線形解析に続いて、非線形現象である ILM の導入を行い、従来研究における存在性について言及している。章の後半では、ILM の安定性について判定基準について述べている。

第3章では、非線形結合振動子系における ILM の共存・安定性・局所分岐について検討している。多数共存する ILM は、その空間対称性によって安定性が異なり、さらに系のパラメータによって安定性が反転することを初めて明らかにしている。この安定性交替を伴う分岐を、系の境界条件や不純物の有無などの種々の条件下で詳しく検討している。さらに、系における全力的エネルギーをパラメータとした分岐の解析を行い、ILM の存在にエネルギー閾値が存在することを示している。

第4章では、系に共存する不安定な ILM の不変多様体を、数値的に導出することで、相空間の大域構造を検討している。章の前半では、いくつかの特徴的な構造について言及し、特に、不安定な ILM の近傍間を不変多様体が繋ぐ構造が見られることを報告している。その特徴的な構造は、第3章において明らかにした安定性交替が生じるパラメータ近傍で現れることを示している。さらに、安定性交替に伴い相空間の大域構造が大きく変化することを明らかにしている。また、系に導入された不純物が相空間の大域構造を、局所的または大域的に変化させうることを示している。章の後半では、移動する ILM (Traveling ILM) の挙動と相空間の大域構造との関係について調べている。結果として、相空間の大域構造が Traveling ILM の挙動を支配することを示唆している。

第5章では、Traveling ILM の挙動が相空間の大域構造に強く依存するという事実と、相空間の大域構造を系のパラメータや不純物によって変化させることが可能であるという事実に基づいて、ILM の操作手法について提案し数値的な検証を与えている。安定性交替に伴う相空間の構造変化を用いた手法 (Capture & Release) では、空間的にほとんど動かない Traveling ILM を任意の場所へ移動させることが可能であることを数値的に示している。一方、不純物導入による ILM の操作 (Attraction/Repulsion) では、静止した ILM が不純物導入によって吸引または反発することを示し、従来から実験的に知られていた ILM の吸引的・反発的操作に関して、そのメカニズムを解析的に明らかにしている。

第6章では、マクロ機械系を用いた実験とその系の解析について述べている。マクロ機械系は、第3章から第5章までの数値的検討に対する実験的検証を目的として設計されており、動的に不純物を導入できる機構を備えている。本章の前半では、その機械系を構成するカンチレバーの運動を記述する微分方程式の導出を行っている。機械系における非線形性は、従来の類似の系の研究成果に基づき磁場によって誘起している。マクロ機械系による検討はまずカンチレバー単体について行い、導出した運動方程式の妥当性を示している。マクロ機械系の結合系においては、複数の局在振動が観測されることを示し、数値的検証によりそれらが ILM に分類できることを確かめている。章の後半では、不純物導入による ILM の励起、および ILM の吸引的操作について、実験的・数値的に検討している。数値的検討により、不安定な ILM の存在が ILM の操作において重要な役割を持つことが示唆している。

第7章は、結論であり、本論文で得られた成果と今後の研究課題について要約している。

## (論文審査の結果の要旨)

本論文は、エネルギー局在現象の一つである空間局在モード(ILM)の静的性質、移動メカニズム、および操作に関する数値的・実験的研究の成果をまとめたものである。本論文により得られた主要な結果は以下の通りである。

## (1) 空間局在モードの共存、安定性、および不変多様体の構造の解明

マイクロカンチレバーアレイから導出される結合常微分方程式を無次元化により一般化し、その方程式に多数の ILM が共存していることを示した。さらに共存する ILM の安定性が方程式の非線形結合係数に依存することを初めて示し、それらの解の間での安定性の交替、およびその分岐構造を明らかにした。また、不安定な ILM の不変多様体を計算し、相空間の大域構造を求め、ILM の安定性交替に伴う相空間の大域構造の変化を明らかにした。

## (2) 空間局在モードの移動メカニズムの解明

静止する不安定な ILM が持つ不変多様体の相空間における構造と移動する ILM との関係について、数値的に検討し、ILM の移動が相空間の大域構造に支配されることを示した。

## (3) 空間局在モードの操作法の提案

安定性交替に伴う相空間の大域構造の変化に関する本研究の知見により、ILM の操作を行う手法を初めて提案し、数値的に検証した。提案する操作手法では、系の非線形結合係数を適宜調整することで ILM を系の任意の位置へ移動させることが可能であることを示した。さらに、従来知られていた系への不純物の導入による ILM の吸引・反発操作についても、相空間の大域構造に基づいて解析できることを明らかにした。

## (4) 実験による空間局在モードの励起および操作

無次元化により一般化した方程式に基づき、類似構造を持つマクロカンチレバーアレイを提案し、ILM の共存・操作を実験的に検証した。この系における実験において位置の異なる ILM を同時励起し、安定な ILM の共存と、数値的に不安定な ILM の存在の傍証を示した。さらに、不純物を用いた ILM の操作が、提案しているマクロ系においても実現可能であることを示した。

上記のように、本論文は一般化されたカンチレバーアレイにおける ILM の基礎的性質に関して、力学系の大域構造に基づき詳細に検討を加えたものであり、ILM の操作法に関して重要な知見を与えている。これらは、ILM の工学的応用に関する可能性を与えると共に、新たな非線形結合系に関わる研究分野を切り開いている。以上の内容により本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認定する。また、平成19年2月6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。