

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 6 日現在

機関番号：24201

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2010～2012

課題番号：22760280

研究課題名（和文） ナノ・マイクロ系への応用を目指したエネルギー局在現象の制御に関する基礎的研究

研究課題名（英文） Basic studies on control of energy localization phenomena toward applications in nano-/micro-systems

研究代表者

木村 真之 (Masayuki Kimura)

滋賀県立大学・工学部・助教

研究者番号：00551376

研究成果の概要（和文）：

本研究では、電磁機械系を用い、空間局在モードの制御に関する実験を行った。電磁機械系は、振動子である板バネと非線形性復元力を生じさせる永久磁石・電磁石からなり、全体で、1次元の非線形結合振動子を構成する。この電磁機械系において、空間局在モードを実験的に励起することに成功し、さらに、局所的なパラメータ調整によって空間局在モードの位置を操作することに成功した。また、数値計算において、系パラメータを時間周期的に変動させることにより、空間局在モードが不安定化し、移動することを見いだした。これにより、微小デバイスにおける空間局在モードの制御の実現可能が示唆された。

研究成果の概要（英文）：

In this research, we experimentally studied on control of intrinsic localized modes (ILMs) in a magneto-mechanical system. The magneto-mechanical system, which is a nonlinear coupled oscillator, consists of elastic beams corresponding to oscillators, permanent magnets, and electromagnets which create nonlinear restoring force. In this system, ILM was successfully excited and manipulated by locally adjusting the parameter. In addition, it was shown numerically that ILM loses its stability and begins to move by time-periodically modulated parameter of the system. It implies the feasibility of the control of ILM in nano-/micro-devices.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学，通信・ネットワーク工学

キーワード：非線形理論・回路，空間局在モード，結合振動子系

1. 研究開始当初の背景

(1) 空間局在モード研究の歴史的経緯

空間局在モード (ILM: Intrinsic Localized Mode)の存在は、1988年に A. J.

Sievers(コーネル大学), S. Takeno(京都大学)らによって、物質の結晶格子を模したモデルにおいて発見された。この発見以後、多くの理論的・数値的研究は主に国外でなされてい

る。特にヨーロッパ・アメリカでは ILM の実験的研究が盛んで、近年ではジョセフソン接合ラダーや光導波路アレイにおける ILM 観測が報告されている。2003 年にはアメリカの研究者グループによって、マイクロカンチレバーアレイ上に空間局在モードを励起することが可能であることが示された。これは、人工的に作製した構造に ILM を生成することが可能であることを示しており、ILM の工学的応用可能性を強く示唆するものである。

(2) 工学的応用を目指した研究

本研究は空間局在モードの工学的応用を目指したものである。特に、マイクロカンチレバーアレイにおける ILM の実験に基づき、ナノ・マイクロ工学への応用を目標としている。研究代表者のこれまでの研究により、以下の点が数値的に明らかにされている。

① ILM の移動メカニズム

空間局在モードを微分方程式における周期解として捉え、その解の挙動が相空間の大域構造に支配されることを示した。

② ILM の安定性交替

ILM は自身の空間対称性によって安定性が異なることが知られている。この安定性はあるパラメータによって交替しうることを明らかにした。

③ 不純物を用いた ILM の操作

空間局所的な格子不純物による ILM の操作について、非線形力学の観点からメカニズムを解明した。

④ 安定性交替を用いた ILM 操作の提案

研究成果①、②に基づき、空間大域的なパラメータ操作により ILM を操作できることを示した。

以上の結果は、マイクロカンチレバーアレイをモデル化した常微分方程式において得られたものであるが、似た形の方程式で表される電磁機械系でも同様に成り立つと考えられる。種々の調整が可能な電磁機械系で、これらの数値的結果を実験的に検証すれば、ナノ・マイクロ工学における ILM 利用について、さらなる知見が得られると考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、これまでに得られている数値的な結果を、電磁機械系を用いて実験的に検証し、ILM の制御法の提案を目指す。具体的には以下に示すような事項を目的とする。

(1) 電磁機械系を用いた ILM の実験

安定に励起される ILM の空間対称性や安定性の変化などを実験的に検討する。同時に、電磁機械系の振動を常微分方程式にモデル化し、数値的に検討する。これまでに得られているマイクロカンチレバーアレイにおける ILM との違いを調べることを目的とする。

(2) ILM の制御則の確立・実証

ILM の安定性交替による制御を検討する。まず、安定性交替を生じるかどうかを調べ、その後、制御則の検討を行う。

(3) ナノ・マイクロ系への応用可能性の検討

空間大域的なパラメータ操作による ILM の制御は、ナノ・マイクロ系におけるエネルギー局在現象の制御を実現する 1 つの可能性である。ILM の制御について、空間大域的なパラメータ操作による手法を検討する。

3. 研究の方法

(1) 電磁機械系の構築と基礎実験

板バネ、および永久磁石、電磁石を用いて、図 1 のような電磁機械系を構築する。それぞれの板バネは振動子となり、永久磁石と電磁石により非線形復元力を有する非線形振動子となる。振動子間の結合は、板バネ中央近傍の永久磁石により生じる。磁力によるもので、強い非線形性を有する。

(2) ILM の実験と数値計算

電磁機械系を用いて ILM の励起や操作実験を行う。同時に、電磁機械系をモデル化し、計算機を用いた数値シミュレーションも行う。数値シミュレーションにより、実験結果を検証し、また必要であれば実験系を改良する。

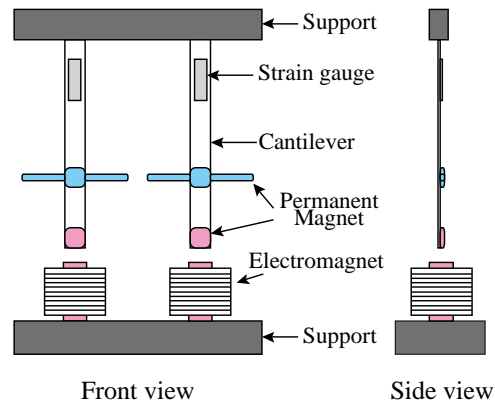


図 1. 電磁機械系

4. 研究成果

(1) 空間局在モードの観測

図 2 に電磁機械系で励起された ILM の波形を示す。図 2(a) は 3 番目と 4 番目の振動子のみ大振幅で振動し、他はほとんど振動していない。一方、図 2(b) では、4 番目の振動子のみに擾乱を与えて ILM を励起しようとした結果であるが、振動が安定せずに崩壊する様子が分かる。従って、この場合では偶対称な ILM (P-mode) が安定であり、奇対称な ILM (ST-mode) は不安定であることが示唆される。

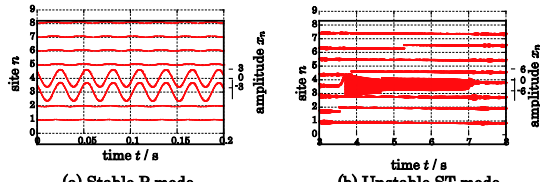


図 2. 実験的に励起された空間局在モード

(2) ILM の共存と分岐

電磁機械系をモデル化し、常微分方程式を数値的に解析することで、様々な空間対称性を有する ILM が共存することを明らかにした。図 3 にその振幅分布を示す。図より、エネルギー局在の中心が、振動子上のもの (O_1, O_2, O_3) と振動子間のも (E_1, E_2, E_3) が共存することが分かる。また、これらの解の分岐構造を明らかにした。図 4 は振動子間の結合強度をパラメータにした場合の分岐図である。図 3 に示した ILM の発生や消滅の様子が分かる。

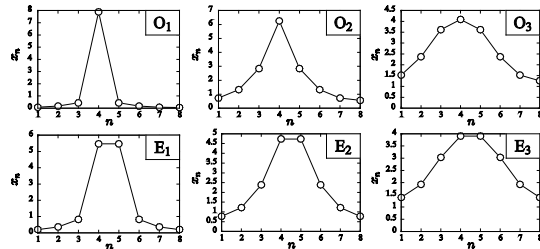


図 3. 空間局在モードの振幅分布

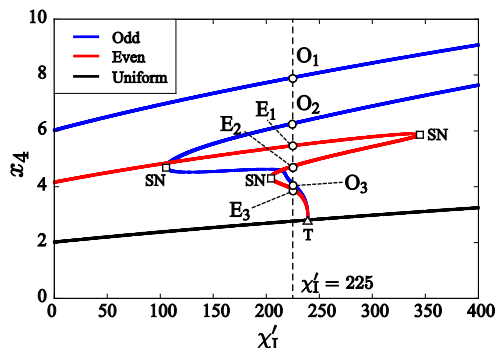


図 4. 空間局在モードの分岐図

(3) ILM のパラメトリック共鳴現象

マイクロカンチレバーアレイをモデル化した常微分方程式において、系パラメータを時間周期的に振動させること、すなわちパラメトリック励振により、ILM が安定性を失い、不安定化することを発見した。図 5 は異なる振幅でパラメトリック励振した場合の結果である。励振振幅が大きくなるに従って、ILM が動き始める時刻が早くなるのが分かる。また、系全体を動き回る移動型 ILM が生じていることが分かる。この不安定化について、一般的によく知られているパラメトリック振子との比較を行った。図 6 は安定な解が不安

定化される領域を、ILM の場合を点、パラメトリック振子の場合を曲線で描いたものである。図から明らかなように、不安定領域はほぼ一致する。すなわち、ILM 不安定化のメカニズムは、パラメトリック共鳴現象によるものと結論できる。

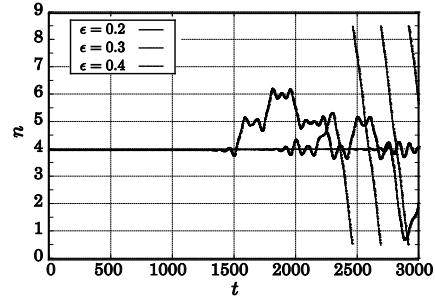


図 5. 不安定化された ILM の移動

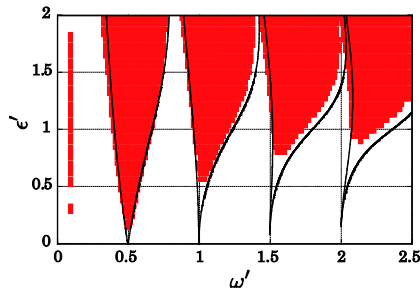


図 6. 空間局在モードの不安定化領域

(4) まとめ

本研究では、電磁機械系を構築し、ILM を実際に励起することに成功した。また、数値的な検討により、ILM の共存や分岐構造を明らかにした。さらに、ILM がパラメトリック励振により不安定化することを発見した。これは、系全体のパラメータ調整による ILM 制御の実現手法として非常に有力なものである。特に、微小デバイスでは外部電界や磁界により系全体のパラメータ調整が容易であるので、実際に制御へと応用されることが期待される。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

- [1] M. Kimura, Y. Matsushita, T. Hikiyara, "A study on bifurcations and structure of phase space concerning intrinsic localized modes in a nonlinear magneto-mechanical lattice," AIP Conference Proceedings 1474, pp. 55-58, 2012. [査読有]
DOI: 10.1063/1.4749297
- [2] M. Kimura, T. Hikiyara, "Experimental manipulation of intrinsic localized

- modes in macro-mechanical system,” Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE 3(2) pp. 1-13, 2012. [査読有]
DOI: 10.1588/nolta.3.1
- [3] M. Kimura, T. Hikiyara, “A Study on Intrinsic Localized Modes in a Macro-mechanical Cantilever Array with Tunable on-site Nonlinearity,” Procedia IUTAM 5, pp. 288-291, 2012. [査読有]
DOI: 10.1016/j.piutam.2012.06.040
- [学会発表] (計 11 件)
- [1] M. Kimura, “A numerical study on parametric resonance of intrinsic localized modes in coupled cantilever arrays,” 2012 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA2012), Majorca, Palma, Spain, October 22-26, 2012. [査読有]
- [2] M. Kimura, “A study on bifurcations and structure of phase space concerning intrinsic localized modes in a nonlinear magneto-mechanical lattice,” International Conference on Applications in Nonlinear Dynamics (ICAND2012), Seattle, Washington, USA, August 26-30, 2012. [招待講演]
- [3] M. Kimura, “A study on bifurcations and structure of phase space concerning intrinsic localized modes in a nonlinear magneto-mechanical lattice,” 19th International Symposium on Nonlinear Acoustics, Tokyo, Japan, May 21-24, 2012. [査読有]
- [4] 木村 真之, “パラメトリック励振による空間局在モードの不安定化に関する数値的検討,” 応用数理学会 2012 年 研究部会連合発表会: 応用カオス, 福岡, 2012 年 3 月 8-9 日.
- [5] M. Kimura, “A study on intrinsic localized modes in a macro-mechanical cantilever array with tunable on-site nonlinearity,” IUTAM Symposium on 50 Years of Chaos: Applied and Theoretical, Kyoto, Japan, November 28 - December 2, 2011. [査読有・ポスター]
- [6] M. Kimura, “Nonlinear oscillations in two coupled elastic beams with tunable nonlinear potentials,” Proceedings of the 2011 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA2011, Kobe, Japan, September 4-7, 2011), pp. 5 - 8, 2011. [査読有]

- [7] M. Kimura, “A Study on Excitation of Intrinsic Localized Modes in Macro-mechanical Cantilever Array with Tunable Potentials,” Proceedings of the 2011 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA2011, Kobe, Japan, September 4-7, 2011), pp. 611 - 614, 2011. [査読有]
- [8] M. Kimura, “Intrinsic Localized Modes in Mechanically Coupled Cantilever Array with Tunable On-site Potential,” SIAM Conference on Applications of Dynamical Systems, Snowbird, Utah, USA, May 22-26, 2011. [ポスター]
- [9] 木村 真之, “調整可能な非線形性を有する結合片持ち梁系における空間局在モードの安定性および分岐に関する一検討,” 電子情報通信学会 非線形問題研究会, 東京, 2011 年 3 月 10-11 日; 信学技報 NLP2010-180, pp. 99-104 (2011).
- [10] T. Hikiyara, Control of Intrinsic Localized Mode in Coupled Cantilever Array, IUTAM Symposium on Nonlinear Dynamics for Advanced Technologies and Engineering Design (NDATED), Aberdeen, UK, July 27-30 2010. [招待講演]
- [11] 木村 真之, “マイクロカンチレバレイにおける空間局在モードの操作に関する一検討,” SCI'10 第 54 回システム制御情報学会研究発表講演会 機械システムの制御 W16-3, pp. 91-92, (2010).

[その他]

ホームページ等

<http://www.e.usp.ac.jp/kimura.m/indexJ.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

木村 真之 (Masayuki Kimura)
滋賀県立大学工学部 助教
研究者番号: 00551376

(3) 連携研究者

引原 隆士 (Takashi Hikiyara)
京都大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 70198985