

京都大学	博士 (工学)	氏名	Suketu Dilipkumar Naik
論文題目	Investigation of Synchronization in a Ring of Coupled MEMS Resonators (リング結合した MEMS 共振器の同期に関する研究)		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>本論文は、マイクロ電気機械システム (MEMS) の分野において、非線形特性を有する共振器およびその結合システムに関して、理論的検討およびデバイス製作とその特性計測による実験的検証に基づき、設計手法の統合的な確立を目指した一連の研究成果をまとめたものであって、7 章からなっている。</p> <p>第 1 章は序論であり、本研究の背景および研究の意義、目的について述べている。</p> <p>第 2 章では、本論文の理論的考察に不可欠な非線形結合システムの同期現象の基礎的事項についてまとめ、単共振器、結合共振器の数値計算および実験で得られる振動現象の理解のための必要事項をまとめている。</p> <p>第 3 章では、外部より正弦波励振を受ける MEMS 共振器の力学的モデルを、典型的な櫛歯静電駆動 MEMS 共振器の構造に基づいて導出し、MEMS 共振器の力学的特性の特徴をまとめている。これに基づき、共振器の非線形バネ特性によって生じる周波数応答、位相応答について数値的に検討し、次章で検討する非線形特性を有する MEMS 共振器の設計への指針としている。</p> <p>第 4 章では、非線形 MEMS 共振器の設計について論じている。MEMS 共振器の製造プロセスを検討し、そのプロセスにおいて発現し得る MEMS 共振器の非線形力学特性について、プロセス的側面、材料的側面、構造的側面から考察を加えている。それらの検討から、使用する構造および材料に基づく数値計算結果より、共振器の主要な質量部を支持するヒンジ構造の工夫により、所望の非線形特性を力学的に付与できることを明らかにした。</p> <p>第 5 章は、リング結合非線形 MEMS 共振器の振動現象に関する、力学特性に基づく数値計算結果をまとめたものである。同様の非線形特性を有する 3 個の MEMS 共振器を一方向結合したシステムにおいて、結合係数の調整により自励振動が発生しうることを数値的に確認している。ホップ分岐によって生じた自励振動のパラメータ依存性を明らかにし、その自励振動がナイマーク・サッカ分岐により概周期振動に分岐することを明らかにした。また、外部励振を加えた結合非線形 MEMS 共振器に関して、外部励振周波数への同期引き込み現象、外部励振周波数からの同期外れ現象の存在を示し、それらのパラメータ依存性を明らかにした。これは、次章で行うリング結合非線形 MEMS 共振器の実験において生じる現象の理解と応用のための基礎検討となっている。</p> <p>第 6 章は、非線形 MEMS 共振器の特性に関する実験的結果をまとめたもので、5 章までの理論的、数値的検討結果の妥当性を実験的に検証したものとなっている。まず、単体の MEMS 共振器を設計・製作し、周波数応答に明らかなヒステリシス特性が付与できることを確認した。また、そのヒステリシス特性は共振器への印加バイアスにより調整できることを示した。そのヒステリシス特性は、複数の MEMS 共振器において、再現性を持って発現することを確認し、現象の普遍性を実証した。これらの非線形特性を有する共振器を用い</p>			

京都大学	博士 (工学)	氏名	Suketu Dilipkumar Naik
<p>た結合システムを組むに当たり，個々の特性を調整する方法について詳細に検討している．次に，3個の非線形 MEMS 共振器を外部電気回路を介して一方向にリング状に結合したリング非線形結合 MEMS 共振器を構成し，結合係数の調整により，回路ノイズによる自励振動が誘起されることを確認した．これは先に数値計算で予測した結果と良好な対応を示している．その自励振動の発生領域について実験で確認し，その領域が共振器の同期領域と合致することを確認した．さらに，外部励振を加えたリング結合非線形 MEMS 共振器に関して，自励振動が受ける外部励振による影響を検討し，その振動状態のパラメータ依存性について明らかにした．その結果，外部励振周波数および振幅の特定のパラメータ領域で，振動状態がパラメータにセンシティブに変る領域の存在を確認した．これは，本論文が目的としている非線形結合 MEMS 共振器のセンサ利用の可能性を示す結果となっている．</p> <p>第7章は結論であり，本論文で得られた成果について要約し，研究の将来の方向性について述べている．</p>			

氏名	Suketu Dilipkumar Naik
----	------------------------

本論文は、マイクロ電気機械システム (MEMS) の分野において、非線形特性を有する共振器およびその結合システムに関して、数值的、理論的検討およびデバイス製作とその特性計測による実験的検証に基づき、設計手法の統合的な確立を目指した一連の研究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) 結合非線形 MEMS 共振器の動作は、それら共振器間の同期現象によって支配される。本論文では単体の非線形 MEMS 共振器が示す力学的応答の理論的検討に基づき、結合非線形 MEMS 共振器が示す応答を数值的に検討し、その妥当性を実験的に確認した。
- (2) SOI 基板を用いた MEMS 製造プロセスで実現可能な複数の MEMS 共振器の構造を検討し、数値解析に基づいて非線形特性を付与可能な MEMS 共振器の構造を特定した。その結果、単体の MEMS 共振器において励振周波数に関して構造設計によりヒステリシス特性を発現させることに成功し、またヒステリシス特性の発生周波数領域を駆動パラメータの変更により拡大および調整できることを明らかにした。
- (3) 開発した非線形 MEMS 共振器を一方向結合したシステムをディスクリート電子回路により構成し、共振器間の結合定数の調整により自励発振を発現できることを実験的に確認した。また結合係数の調整により、自励発振の周波数、振幅を制御できることを明らかにした。さらにこの振動において、概周期振動、同期・非同期振動等が発生することを実験的に確認した。
- (4) 結合非線形 MEMS 共振器の印加交流電圧による外部励振において、外部励振周波数への同期引き込みおよび同期はずれを実験的に観測し、それらの特性を明らかにした。また、自励発振により生じた概周期振動が、外部励振周波数に同期することを示した。
- (5) 結合非線形 MEMS 共振器が結合係数に対して示す自励発振および外部励振による同期現象の特性に基づき、結合係数などを検出パラメータとする高感度のセンサとしても利用できる可能性を示した。

上記のように本論文は、非線形特性を有する MEMS 共振器を理論的考察に基づいて設計すると共に、その結合非線形 MEMS 共振器において発生する振動の結合係数および励振依存性に関して、実験に基づき特徴的な力学的特性を明らかにしたものであり、非線形 MEMS 共振器の設計とその結合システムのセンサへの利用可能性を理論的および実験的に明らかにした極めて独創的な成果である。

本論文は、マイクロ電気機械システム (MEMS) の分野において、非線形特性を有する共振器およびその結合システムに関して、それらの特性の解析と、新しい MEMS センサの設計の可能性を示したものとして、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士 (工学) の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 22 年 8 月 3 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。