

令和 3 年 6 月 2 日現在

機関番号：12101

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K13654

研究課題名（和文）磁歪材料製ネジの電磁力学特性評価とネジ型デバイスの開発

研究課題名（英文）Evaluation of the electromagneto-mechanical characteristics of the magnetostrictive bolt and development of the devices using magnetostrictive bolt

研究代表者

森 孝太郎（Mori, Kotaro）

茨城大学・理工学研究科（工学野）・講師

研究者番号：40712740

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、力に対する感知機能を有し、磁場による締結力の制御が可能な磁歪材料製のネジの開発を目的とし、鉄コバルト製ネジの感知・締結特性を理論的・実験的に解明したものである。また、感知・締結特性だけでなく、振動・衝撃による発電特性についても検討し、大量に配置することを前提とした、多機能なネジ型デバイスの設計・構造についても検討を加えている。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ネジは多くの機械、構造物で固定のために用いられているが、時間と共に緩み、締結力が低下することが問題となっている。また、ネジは弛みだけでなく過度な締付けも、破壊の原因となるため、ネジ内部の軸力の把握が重要である。これらの問題に対し、磁歪材料製ネジは、非接触かつ大掛かりな装置を用いずともネジ内部の軸力を把握することが可能となった。また、鉄コバルト合金は安価で通常のネジと近い機械的特性を持っているため、既存のネジと置換できる点も優れている。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to develop a bolt using magnetostrictive materials that has a self-sensing capability for the force and a retightening capability by external magnetic field, and to consider the electromagneto-mechanical characteristics of FeCo bolts theoretically and experimentally. And, we also studied the energy harvesting characteristics due to vibration and shock, and the design and structure of multifunctional bolt-type devices.

研究分野：材料システム設計学

キーワード：磁歪材料 電磁力学特性 センシング 材料力学

1. 研究開始当初の背景

一般にネジは多くの機械、構造物で固定のために用いられており、至る所で使用されている。ネジを使用する上で最も求められる性質は締結特性で、これまで締結力の強化・保持について多く研究されている。特にネジは振動や衝撃のような外力に曝される環境で使用されることが多く、こうした外力は締結力の低下や弛みにつながる。また、弛みだけでなく、過剰な締付けも機械、構造物の破壊に直結し、重大な事故を引き起こす原因となる。そのため、安全にネジを使用するには、締結力の維持および把握が重要となってくる。締結力を評価する方法は様々あるが、配線や大型の装置が必要、ネジもしくは被締結物への加工が必要、ばらつきがあり精度が出ないなどの問題があることが多い。そこで、既存のネジと同程度の機械的特性を有する磁歪材料である鉄コバルト合金製のネジを使用することにより、シンプル、非接触かつ小型の測定装置での締結力の評価が可能になると考えた。磁歪材料は、外部からの磁場により伸長または縮小、あるいは外部から力を加えることにより内部磁化が変化する材料で、非接触で駆動可能、応答速度が速い、磁気機械結合係数が大きい、力密度が大きいといった特性から、これまで多くのスマートデバイスに用いられてきた。そのため、磁歪材料製ネジを用いることにより、ネジをスマート化させるといった発想が生まれた。また、ネジは構造物や機械中の多くの箇所で使われているため、個々のネジの状態を把握し、ネジ毎の情報を共有・結合することで構造物、機械全体の安全管理が可能となる。これは、情報・人・物流等全てのものがインターネットを介して瞬時に結びつくIoT (Internet of Things) や各種構造システムの保守検査や機能維持・防災・リスク管理を行う構造ヘルスマモニタリングの概念に通じるものである。

研究代表者は、これまで様々な磁歪材料や圧電材料を始めとする知的材料、複合材料の感知・応答特性、電磁力学特性、破壊・疲労特性、環境発電特性について理論、実験の両面から研究を行ってきた。本研究に関係するものとしては、共振調節機能を有する磁歪カンチレバーの電磁力学特性に関する研究、橋梁用 J 字型フックボルトの軸力評価に関する研究等が挙げられる。特に、フックボルトの軸力評価に関して、フックボルトの大半が枕木内部に埋まっているため、測定機器の取り付けが困難で、正確な軸力評価が難しいという問題に直面した。ここから、磁歪材料である鉄コバルト合金でネジを作製し、ワイヤレスかつ非接触で内部の軸力を評価する着想に至った。また、鉄コバルト製ネジを用いた構造ヘルスマモニタリングや環境発電、IoT 等への応用もこれまでの研究結果より着想を得ており、同様の研究は実施されておらず、未開発の状況であった。

2. 研究の目的

本研究は、通常のネジと同等の機械的特性を有しながらも、逆磁歪効果を利用した力に対する感知機能および磁歪効果を利用した締結力の制御が可能な磁歪材料製のネジの開発を目的とし、磁歪ネジの感知・締結特性を数値シミュレーションおよび実験の両面から評価し、高性能化を目指すものである。また、感知・締結特性だけでなく、ネジ型スマートデバイスの設計理論・技術の確立も目指し、電磁力学特性の解明も行っていく。さらに、振動・衝撃による発電特性についても検討し、大量に配置することを前提としたスタンドアロン型センサのような磁歪ネジの多機能化・省電力化や応用可能性についても検討していく。

3. 研究の方法

本研究は、磁歪材料製ネジの電磁力学特性を理論・解析・実験から解明し、感知・締結特性を有するスマートネジの開発を行うものである。従来のネジの設計に用いられてきた理論式に磁歪材料の構成方程式を組み込んだ計算を実行し、磁歪材料製ネジの特性評価を行っていく。また、有限要素法による数値シミュレーションおよび締結試験を行い、それぞれで求めた解を比較し、理論モデルおよび解析モデルの妥当性・合理性を検証する。さらに磁歪ネジの感知・締結特性の評価だけでなく、高性能・多機能なネジ型スマートデバイスの実現を目指す。具体的な方法は以下の通りである。

(1)鉄コバルト合金を用いたスタッドボルトの作製および感知・締結特性の評価

(2)ヨーク機構を用いた磁歪ネジの特性向上および磁束密度変化を用いた締め付けトルクの推定

(3)異なる磁歪材料・寸法の磁歪ネジの作製および電磁力学特性の比較および評価

4. 研究成果

本研究は、逆磁歪効果を利用した力に対する感知機能および磁歪効果を利用した締結力の制御が可能な磁歪材料製のネジの開発を目的とし、磁歪ネジの感知・締結特性を理論、数値シミュレーションおよび実験の面から評価し、高性能化を目指すものである。また、感知・締結特性だけでなく、ネジ型スマートデバイスの設計理論・技術を確立し、電磁力学特性の向上を図るものである。得られた成果を要約すると以下の通りである。

(1)鉄コバルト合金を用いたスタッドボルトの作製および感知・締結特性の評価

12の鉄コバルト製スタッドボルトを作製し、図1のような試験装置を用いて締結試験を行い、軸方向ひずみおよびネジ頭部の磁束密度変化を計測した。また、理論式を用いて軸方向ひずみからネジの軸力、締め付けトルク、磁束密度変化を導出し、実験結果および有限要素解析結果と比較し、軸力と締め付けトルクおよび磁束密度変化の関係を明らかにした。また、図2のような有限要素解析モデルを作成し、締結時のトルク係数、ねじ面および座面摩擦係数を考慮した計算を行い、ネジ内部軸力および磁束密度変化量におよぼす影響についても明らかにした。さらに、スタッドボルト端部に磁石を設置し、バイアス磁場を与えた状態で締結試験を行い、軸力および磁束密度変化におよぼす磁場の影響を調査し、磁束密度変化量の増加および磁歪ネジの感知特性の向上を可能にした。結果からバイアス磁場が軸方向ひずみに大きく影響しないこと、逆に磁束密度変化はバイアス磁場に大きく影響することがわかる。

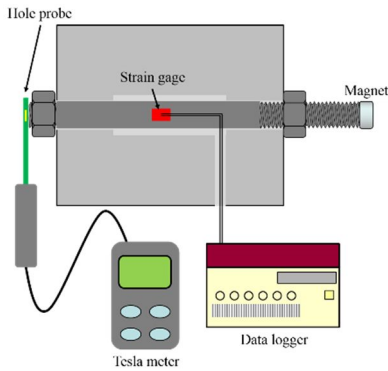


図 1

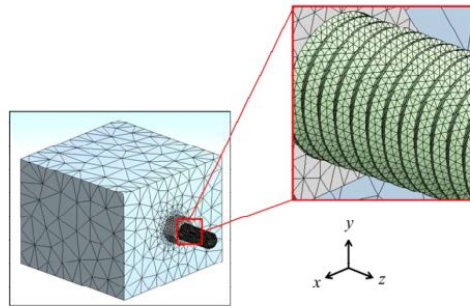


図 2

(2)ヨーク機構を用いた磁歪ネジの特性向上および磁束密度変化を用いた締め付けトルクの推定

図3に示すように、ヨークを用いて鉄コバルト製スタッドボルト全体にバイアス磁場が印加されるように磁気回路を設計し、締結試験を行い、軸方向ひずみおよびネジ頭部の磁束密度変化を計測し、磁束密度変化量が向上するための条件を特定した。図4は一旦締結した後、段階的にネジを緩めた時のネジ内部の軸力と磁束密度の変化を示したものである。結果より、ネジの緩み時における磁束密度変化と軸力には締結時同様相関関係があり、締め付けトルクの推定が可能であることを示された。また、バイアス磁場の大きさの影響が小さいことも確認された。

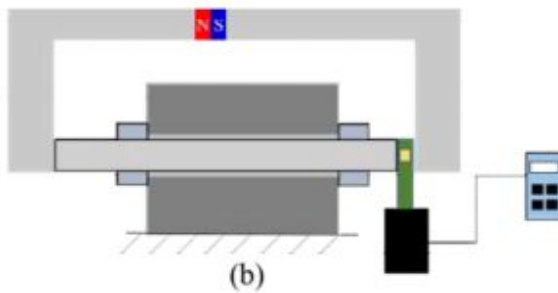


図 3

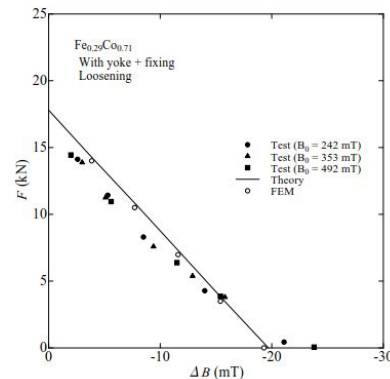


図 4

(3)異なる磁歪材料・寸法の磁歪ネジの作製および電磁力学特性の比較および評価

磁歪材料 Galfenol を用いて鉄コバルト製ネジと同様の寸法(6)のネジを作製し、締結試験を行い、軸力と磁束密度変化の関係を評価した。その結果、鉄コバルトおよび Galfenol どちらも磁束密度による軸力および締め付けトルクの推定が可能で、12 と 6 では寸法の違いによる影響がほとんど無いことを確認した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Mori Kotaro, Horibe Tadashi, Maejima Kensuke	4. 巻 165
2. 論文標題 Evaluation of the axial force in an FeCo bolt using the inverse magnetostrictive effect	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Measurement	6. 最初と最後の頁 108131 ~ 108131
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.measurement.2020.108131	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 飛田遼, 森孝太郎, 堀辺忠志
2. 発表標題 逆磁歪効果を利用したFeCo 製ボルトの締結特性評価
3. 学会等名 日本機械学会2019年度茨城講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森孝太郎, 飛田遼, 堀辺忠志, 成田史生
2. 発表標題 逆磁歪効果を利用したFeCo 製ボルトの締結特性評価
3. 学会等名 日本機械学会2019年度年次大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 ネジ、および、ネジの締め付け制御方法	発明者 森孝太郎	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-146660号	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------