

令和 6 年 6 月 26 日現在

機関番号：12101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K03767

研究課題名（和文）磁歪繊維複合材料を用いた多機能ネジ型デバイスの開発

研究課題名（英文）Development of multifunctional bolt-type device using magnetostrictive fiber composites

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） 3,100,000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する磁歪複合材料製のネジ型デバイスの設計・開発を目的とし、感知・締結特性を解明するものである。本研究では以下の知見が得られた。磁歪複合材料製ネジにおいて、作製時に磁歪繊維に予荷重（伸び・ねじり）を負荷あるいは磁場の印加により感知特性が向上し、その組み合わせによってさらなる特性の向上が可能であることを発見した。また、締結時の外部磁場でも感知特性が向上し、作製時の条件と合わせて最適な条件が存在することを発見した。磁歪材料製ワッシャーにより通常のネジに対しても磁化変化を利用した非接触でのネジ内部の軸力評価が可能であることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、軽量、高強度かつ力に対する感知機能を有する磁歪複合材料製ネジの作製を行い、感知・締結特性を理論および実験の両面から評価し、特性向上を目指したものである。磁歪複合材料製ネジは、磁束密度変化と軸力が対応しており、作製条件や外部の磁場により感知特性が大きく変化することがわかった。また、磁歪材料製ワッシャーでもネジの軸力の評価が可能であることが確認できた。以上より、磁歪材料を用いることにより、非接触かつ簡便にネジ内部の軸力評価が可能で、環境に合わせて作製することが可能であることが示された。また、本研究で得られた知見は、IoTや構造ヘルスマニタリングを実施する上で大いに有用となる。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this research is to design and develop bolt-type devices made of magnetostrictive composites with a force-sensing function, and to elucidate its sensing and fastening characteristics. The following findings were obtained from this project: 1) We discovered that in bolts made of magnetostrictive composites, the sensing characteristics are improved by applying a preload (tensile and/or torsional stresses) to the magnetostrictive fiber or a magnetic field during fabrication, and that further improvements in characteristics are possible by combining these. We also discovered that the sensing characteristics are improved by an external magnetic field during fastening, and that optimal conditions exist in combination with the conditions during fabrication. 2) We confirmed that the use of a magnetostrictive washer makes it possible to evaluate the axial force inside a normal bolt without contact, using magnetization changes of washer.

研究分野：知的材料を用いたデバイス設計・特性評価

キーワード：磁歪材料 センサ特性 締結体

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

一般に、ネジは物を固定する部品として構造物や機械等で用いられており、大小を問わず、至る所で使用されている。ネジに最も求められる性質は締結力で、多くの研究者が締結力の強化・保持について研究している。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が、このような締結力の低下や弛みは、構造物や機械の破壊に直結し、重大な事故を引き起こす原因となる。安全にネジで締結するためには最適なトルクでの締付けやネジ内部の軸力の把握が求められるが、これらを考慮した締結は難しく、手間がかかるため、実際には経験に依って締結されることが多々ある。そこで、磁歪材料を利用したネジを使用することにより、外部に漏れ出る磁束の変化でネジ内部の軸力を非接触かつ簡易に評価することが可能になると考えた。磁歪材料は、外部から変形を与えることにより内部の磁化状態が変化する特徴を有しており、中でも FeCo 系磁歪材料は、安価で大量生産が可能で、様々な形態での作製も可能で、強度も十分であるため、ネジに利用するには最適な材料と考えられる。磁歪材料を用いてネジを作製した場合、漏れ磁束の変化による非接触での軸力の評価が期待できる。また、近年、磁歪材料を始めとして、様々な知的材料を用いた複合材料が注目を集めている。複合材料は、個々の材料の特性より優れた性能を得るために 2 つ以上の材料を組み合わせた材料で、繊維強化プラスチック (FRP) 複合材料は、軽量かつ高強度であるため、ネジのように大量かつ広範囲で使用される物に適用した場合、重量軽減が高効率化やエネルギーの節約に大きく貢献できる。さらに、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・物流等をインターネットを介して瞬時に結びつける 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onitoring の概念に通じるものである。

研究代表者は、様々な知的材料、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。特に本申請と関連するものとして、圧電傾斜機能複合材料の発電特性に関する研究、FeCo 製スタッドボルトの漏れ磁束を用いた内部軸力評価に関する研究、FeCo 繊維複合材料の作製や特性評価に関する研究等を実施してきた。また、過去に実施したフックボルトの軸力評価に関する研究において、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ており、ここから、磁歪材料を利用して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、磁歪複合材料製ネジを用いた構造ヘルスマonitoring や IoT 等への応用もこれまでの研究結果より着想を得ている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、力に対する感知機能を有する磁歪材料である FeCo 合金を用いた磁歪複合材料製のネジを開発し、感知・締結特性を理論的・実験的に解明することである。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ネジ型環境発電デバイス、コイル含有のナットと組み合わせ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や応用可能性の検討も目的の 1 つである。

3. 研究の方法

本研究では、磁歪複合材料製ネジの感知・締結特性を始めとする電磁力学特性を理論および実験の両面から解明し、破壊・疲労挙動評価および発電特性評価を行って、IoT、構造ヘルスマonitoring に適した磁歪ネジの多機能化や応用可能性を検討する。具体的には、以下の項目について研究を遂行していく。磁歪複合材料製ネジの作製：磁歪複合材料製ネジは複数種類の作製を検討している。まず、FeCo を芯とする磁歪材料/エポキシ樹脂ネジを作製する。この時、ネジ内部に残留応力を与えるため様々な条件で作製した。磁歪複合材料製ネジの特性評価：で作製したネジの諸特性を調べ、それぞれ比較・検討し、検知機能を有するネジとしての最適化を行った。締付けトルクとネジ内部の軸力および漏れ磁束の関係を調査し、感知・応答特性についても評価し、外部からの磁場や残留応力による特性の変化について調査した。磁歪複合材料製ネジの応用：磁歪複合材料製ネジだけでなく、コイルを含むナットの作製や磁歪繊維およびコイルを含むネジ型デバイスも作製し、電磁力学特性および検知機特性を評価する。また、環境中の振動を利用した磁歪複合材料製ネジの環境発電への応用についても検討し、検知と発電を両立するスタンドアロンのネジ型デバイスの実現可能性を考察していく。IoT デバイスやヘルスマonitoring への利用についても検討する。

4. 研究成果

本研究は、軽量、高強度かつ力に対する感知機能を有する磁歪複合材料製のネジの開発を目的に、磁歪複合材料製ネジの感知・締結特性を理論的・実験的に解明するものである。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理論・技術の確立も目指すものである。得られた結果を要約すると以下の通りである。

磁歪複合材料製ネジの作製条件および実験条件が感知特性に与える影響についての検討

磁歪複合材料製ネジの作製に際して、磁歪繊維に引張りまたはねじりを負荷あるいは印加磁場下で樹脂を固めることにより、引張りまたはせん断の残留応力を加えたまま作製した(図1)。作製した磁歪複合材料製ネジに対して締結試験(図2)を実施し、軸方向ひずみおよび磁束密度の変化を計測し、残留応力が感知特性に及ぼす影響について検討した。また、締結試験時に磁石を設置することによって、バイアス磁場が感知特性に及ぼす影響についても調査した。上記の作製条件および試験時の磁場の有無について複合的に検討し、感知特性に及ぼす影響の要因の調査および最適設計について検討した。以上より、作製条件やバイアス磁場はネジの機械的特性に影響を与えず、感知特性にのみ影響を与えることがわかった(図3,4)。他にも、磁歪複合材料製ネジにおいて、作製時に引張りもしくはねじりの予荷重を負荷、あるいは磁場を印加により特性が向上すること、それぞれ重ね合わせでなく相互に影響があること、締結時の外部磁場でも感知特性が向上し、作製時の条件と合わせて最適な条件が存在すること等の知見を得た。

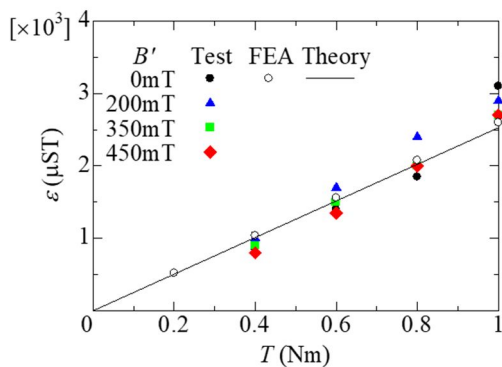
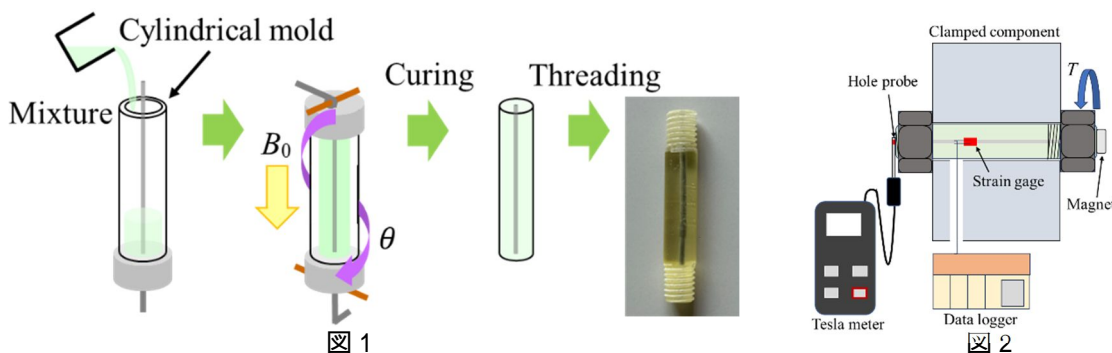


図3

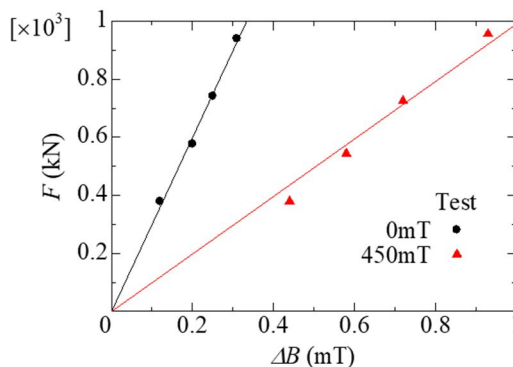


図4

磁歪材料製ワッシャーの作製および通常のネジの締結試験での軸力評価

磁歪材料でワッシャーを作製し、通常のネジの締結試験に使用して、ワッシャーによるネジ内部軸力の評価について検討した。また、バイアス磁場および磁場検出用のホール素子の角度を変えた試験も行い、バイアス磁場および計測位置と磁束密度変化の関係についても調べ、感知特性について検討した。さらに、有限要素解析および理論計算を行い、実験結果と比較した。上記より、磁歪材料製ワッシャーによりネジ外部から軸力評価が可能であること(図5)、バイアス磁場の影響および計測位置・角度の影響が大きい等の知見を得た。磁歪材料製ワッシャーについて、申請時予定していなかったが、磁歪複合材料製ネジより作製が容易で、効果が大きいと判断し、急遽実施した。

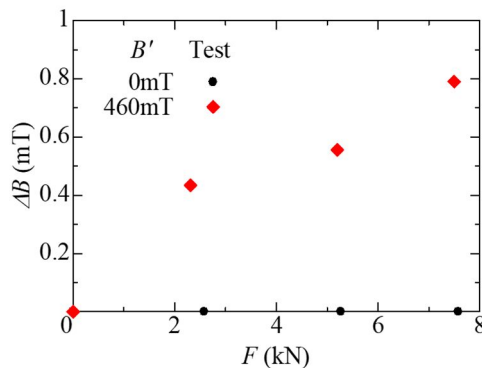


図5

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, Narita Fumio, Iriya Norihito	4. 巻 25
2. 論文標題 Magnetostrictive Composite Bolt Fastening Characteristics and Internal Axial Force	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Advanced Engineering Materials	6. 最初と最後の頁 2300771
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/adem.202300771	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3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 森 孝太郎, 入屋 紀仁, 成田 史生
2. 発表標題 磁歪複合材料製ネジの締結特性および内部軸力評価に関する研究
3. 学会等名 日本機械学会M&M2022材料力学カンファレンス
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 菅谷 知聖, 森 孝太郎
2. 発表標題 逆磁歪効果を利用した軸力評価に関する研究
3. 学会等名 日本機械学会関東支部茨城ブロック2023茨城講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 菅谷 知聖, 森 孝太郎, 成田 史生
2. 発表標題 磁歪複合材料製ネジの作製および軸力評価特性向上に関する研究
3. 学会等名 日本機械学会M&M2023材料力学カンファレンス
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔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
研究 分担 者	成田 史生 (Narita Fumio) (10312604)	東北大学・環境科学研究科・教授 (11301)	

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
---------	---------