

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 26 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2014

課題番号：26630003

研究課題名(和文) 生体用鉄ガリウム系磁歪材料システムの電磁メゾ力学特性解明と高性能・省電力化

研究課題名(英文) Understanding of electromagneto-mesomechanical properties and efficiency/power consumption improvement of biocompatible Fe-Ga magnetostrictive material systems

研究代表者

進藤 裕英 (Shindo, Yasuhide)

東北大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：90111252

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、生体用自己給電電磁デバイスの設計法及び信頼性・耐久性評価法を開発することを目的に、先端超磁歪材料システムを取り上げ、微視構造および磁壁移動・磁区回転等の影響を考慮して、環境発電特性および破壊・疲労特性に及ぼす磁場の影響をマルチフィジックス数値シミュレーション・実験両面から解明したものである。また、得られたデータを蓄積し、出力電力が大きく長寿命な磁歪材料システムの材料・構造について検討を加えている。

研究成果の概要(英文)：In order to develop design criteria to ensure the reliability and long-life capability of biocompatible self-powered electromagnetic devices, we investigated the effects of microstructures, localized magnetic domain switching, magnetic domain wall motion etc. on the power output (energy harvesting) and fracture/fatigue properties of advanced magnetostrictive material systems under magnetic fields theoretically (multi-physics numerical simulation) and experimentally. Based on the study on the power output and fracture/fatigue properties, optimal materials and structures of magnetostrictive systems were discussed.

研究分野：材料システム設計学

キーワード：電磁メゾ力学 数値シミュレーション 材料試験 超磁歪材料 破壊・疲労 電磁場・力学場相互干渉
スマート材料システム 発電・振動デバイス

1. 研究開始当初の背景

超磁歪材料は、応答速度がピコ秒単位と極めて早く、高出力で非接触駆動が可能なことから、センサ・アクチュエータ等への応用が期待されている。また、印加磁場による誘電分極現象あるいは印加電場による磁化現象等の電磁(ME)効果が注目され、超磁歪材料と圧電材料を積層したMEデバイスの開発も進められており、コイルレストランスデューサ・メモリ等への応用が期待されている。最近、鉄ガリウム系磁歪材料が注目され、低価格のセンサ・アクチュエータの開発が進められているが、磁歪特性が低く、実用化に課題を残しているのが現状である。また、磁歪振動子を頭骨内に埋め込み、骨伝導にて聴覚を獲得する補聴システムが提案されているが、電池交換等が問題となっている。このため、センサ・アクチュエータ機能と環境発電機能を統合した生体用自己給電電磁デバイスの開発が要望され、電磁メゾ力学特性の解明・制御と高性能・省電力化が肝要となっているが、これらについては、これまで全く研究例が無いようである。

研究代表者は、これまで、電磁材料・破壊力学的研究を行い、電磁材料力学に関する国際シンポジウムを多数主催して、国際雑誌特集号等も編集・発刊しているが、これらの研究は、国際的にも多くの研究者から注目を集めている。また最近では、先端電磁材料システム等の破壊・変形挙動を内部微視構造を考慮して解明し、国際会議において招待講演等も多数行っている。超磁歪 Terfenol-D/圧電 PZT 積層材料の検知・応答特性に関する研究は、これまで申請者らにより数値シミュレーション・実験が行われてきたが、生体用自己給電の鉄ガリウム系磁歪材料システムを対象とした数値シミュレーション・実験については全く未開発の状況にある。

2. 研究の目的

本研究は、皮膚・筋肉等の生体組織に接着

可能な鉄ガリウム系磁歪材料システムを取り上げ、マイクロ・ナノ構造の影響を考慮して、電磁メゾ力学特性を理論・実験両面から解明するものである。また、生体用鉄ガリウム系磁歪材料システム設計のための数値シミュレーション・試験法を開発・応用し、電磁メゾ力学特性を解明・制御して、高性能・省電力化を図ることを目的としている

3. 研究の方法

本研究は、磁歪材料システムの電磁メゾ力学特性を理論・実験両面から解明し、高性能・省電力化を図るものである。すなわち、磁歪材料システムのモデリングを行い、電磁メゾ力学特性評価に関する数値シミュレーションを実施する。また、磁歪材料システムの電磁力学試験を行い、数値シミュレーション結果と比較して、解析モデルの妥当性・合理性を検証する。さらに、電磁メゾ力学特性を解明・制御し、高性能で省電力な生体用鉄ガリウム系磁歪材料システムの実現を目指す。具体的な方法は以下の通りである。

- (1) 片持ち磁歪積層システムを取り上げ、繰返し力学的負荷による曲げ試験及び有限要素シミュレーション(マイクロ・ナノ構造考慮)を行い、出力電圧・電力に及ぼす駆動条件(振動数等)、発電回路負荷抵抗及びシステム形状の影響を解明する。
- (2) 磁場内における磁歪材料システムの予き裂導入3点曲げ試験片による破壊試験及び有限要素解析を行い、破壊靱性(き裂先端近傍の微視構造を考慮した臨界エネルギー解放率)等を明らかにする。

磁場内における磁歪材料システムを取り上げ、予き裂導入3点曲げ試験片による疲労試験及び有限要素解析を行い、破断繰返し数等を解明する。

4. 研究成果

本研究は、生体用磁歪材料システムの高性能・省電力化を目指し、磁歪材料システムの電磁メゾ力学特性に関する数値シミュレーション・実験を行って、発電・振動特性及び破壊・疲労挙動を解明したものである。得られた成果を要約すると以下の通りである。

- (1) 位置可変式プルーフマスを有する超磁歪エネルギーハーベスター(図1)を作製し、曲げ振動試験を行って、出力電圧を測定した。また、三次元有限要素解析を行い、出力電圧と振動数の関係を求めて、実験結果に理論的検討を加えた。さらに、応力や出力電圧・電力の振動数・プルーフマス(図2)・負荷抵抗依存性について解明・考察した。

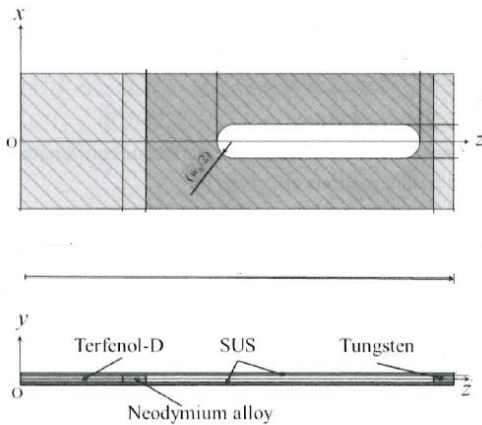


図1

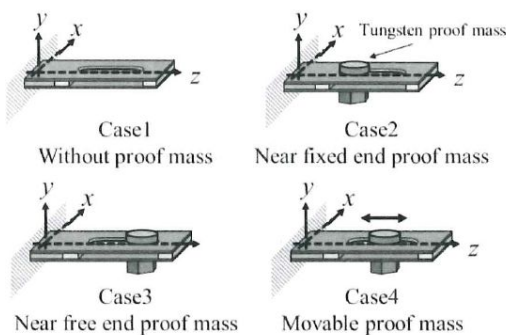


図2

- (2) 片側縁き裂を有する磁歪材料の磁場による伸びひずみを計測し、磁歪特性を評価した。また、磁場内における片側縁き裂を有する超磁歪材料(図3)の3点曲げ破壊試験(図4)を行い、破壊荷重を測定した。磁化容易軸および磁場はき裂面に垂直な試験片長さ方向の場合を考えた。さらに、有限要素解析を行い、臨界エネルギー解放率(破壊荷重を用いて求めたエネルギー解放率)に及ぼす磁場の影響を解明・考察した。

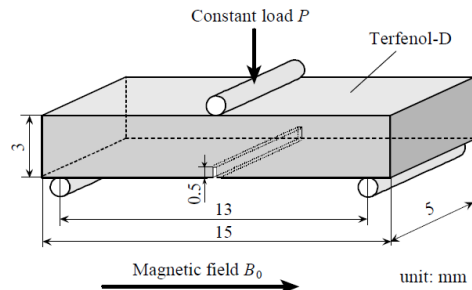


図3

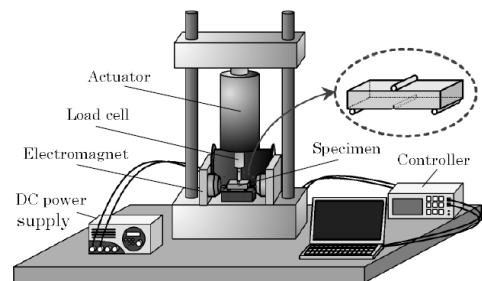


図4

磁場内における片側縁き裂を有する超磁歪材料の3点曲げ繰返し疲労試験を行い、破断繰返し数を計測した。また、エネルギー解放率の有限要素解析や走査型電子・レーザー顕微鏡による破面観察を行い、理論・実験両面から検討を加えた。

磁場内における3点曲げ定荷速度破壊試験を行い、破壊荷重の荷速度依存性に及ぼす材料及び磁場の影響を明ら

かにした。また、有限要素解析を行い、
臨界エネルギー解放率に及ぼす材料及び
磁場の影響を解明・考察した。

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1件)

F. Narita, K. Shikanai, Y. Shindo and K.
Mori, Fracture Behavior of Cracked
Giant Magnetostrictive Materials in
Three-Point Bending under Magnetic
Fields, ASTM Journal of Testing and
Evaluation, 査読有, in press.

[学会発表](計3件)

Y. Shindo, F. Narita and K. Mori, Effect
of Magnetic Fields on the Fatigue
Behavior of Cracked Magnetostrictive
Materials in Three-Point Bending,
First International Conference on
Mechanics of Complex Solids and
Fluids, May 17-22, 2015, Lille (France)
森孝太郎, 石川成和, 成田史生, 進藤裕
英, 共振調節機能を有する超磁歪カンチ
レバーの動的曲げ・環境発電特性, 第27
回「電磁力学関連のダイナミクス」シン
ポジウム, 2015年5月14日-15日, ハウ
ステンボス(長崎県・佐世保市)
鹿内公詞, 進藤裕英, 成田史生, 森孝太
郎, 磁場内におけるき裂を有する超磁歪
材料の3点曲げ破壊挙動, 日本機械学会
2014年度年次大会, 2014年9月7日-10
日, 東京電機大学東京千住キャンパス(東
京都・足立区)

[図書](計0件)

[産業財産権]

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

進藤 裕英 (SHINDO, Yasuhide)
東北大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 90111252

(2)研究分担者

成田 史生 (NARITA, Fumio)
東北大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号: 10312604

竹田 智 (TAKEDA, Tomo)
宇宙航空研究開発機構・航空技術部門・研
究員
研究者番号: 70451531