

機関番号：11301

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20560062

研究課題名 (和文) 知的電子複合材料の感知・応答・記憶及び破壊・損傷特性制御による高性能・長寿命化

研究課題名 (英文) Performance and Lifetime Enhancements due to Detection/Response/Memory and Fracture/Damage Controls of Smart Electronic Composite Materials

研究代表者

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

研究成果の概要 (和文)：本研究は、知的電子複合材料の設計法及び強度・機能評価法を開発することを目的に、圧電効果を有する電子複合材料の感知・応答・記憶及び破壊・損傷特性評価を行ったものである。具体的には、傾斜機能圧電材料、圧電繊維/エポキシ複合材料、圧電積層材料の電気力学的挙動を理論・実験両面から解明し、高性能・長寿命複合材料設計に資する有益な結果を得た。

研究成果の概要 (英文)：In order to develop design criteria and strength/function assessment methods of smart electronic composite materials, we investigated the detection/response/memory and fracture/damage properties of advanced piezoelectric composites. We discussed theoretically and experimentally the electromechanical behavior of functionally graded piezoelectric materials, piezoelectric fiber/epoxy composites and piezoelectric laminates, and obtained the beneficial results for the design of high performance and long life composite materials.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 度	1,200,000	360,000	1,560,000
2009 度	1,300,000	390,000	1,690,000
2010 度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学 機械材料・材料力学

キーワード：弾性・非弾性論、圧電強度・機能学、有限要素解析、材料試験、電子複合材料、電場・力学場相互干渉、知的材料システム、マイクロ・ナノデバイス

1. 研究開始当初の背景

近年、機能性材料と電子回路を一体融合化した新しい電子複合材料が次世代のキーテクノロジーとして注目を集めており、例えば、圧電薄膜アクチュエータ・圧電繊維センサ・圧電高分子メモリ等の作製・評価が試みられている。また、圧電層・圧電繊維・圧電粒子等を母構造に埋め込み、センサ・アクチュエータとして用いた振動・騒音制御、ヘルスマ

ニタリング等の機能を有する複合材料の開発も進められている。さらに、電子複合フィルムは、材料単体には現れない革新的な特性を有し、電気・情報通信・バイオ機器等の高性能化及び環境負荷低減化に重要な役割を果たすことが示唆されている。

最近、電子複合材料の高機能・多機能化が電気・情報通信・バイオ等の様々な産業分野で進められており、また、地球環境問題に関しては、省エネルギーの視点からその小型・

軽量・低消費電力化が求められている。さらに、知的複合材料の高性能・長寿命化を実現するためには、センサ・アクチュエータ・メモリ等を一体融合化した電子複合材料の感知・応答・記憶及び破壊・損傷特性を制御し、最適化することが求められている。本申請者は、最近、電子複合材料の圧電破壊・変形挙動を内部微視構造変化（分域回転・分域壁移動等）を考慮して解明している。また、アクチュエータの圧電特性傾斜化と最適組成分布提案に向けて基礎的研究を進めている。従って、これまでの研究成果を発展させ、知的電子複合材料の感知・応答・記憶及び破壊・損傷特性制御に関する研究を行い、高性能・長寿命複合材料設計に資することが肝要であり、これが本研究の着想に至った経緯である。

2. 研究の目的

本研究は、圧電積層材料、圧電複合フィルム及び圧電繊維・粒子複合材料の感知・応答・記憶及び破壊・損傷特性を理論・実験両面から解明するものである。また、知的電子複合材料設計のための数値シミュレーション技術を確立・応用し、感知・応答・記憶及び破壊・損傷特性を制御して、高性能・長寿命化に資することを目的としている。

3. 研究の方法

- (1) 圧電積層材料、圧電複合フィルム及び圧電繊維・粒子複合材料をモデル化し、電気力学解析（配向、電極、接着層、き裂、構造・界面及び使用条件等考慮）を行って、感知・応答・記憶及び破壊・損傷特性を解明する。また、電子複合材料の電気力学試験を行い、性能についても同様な検討を加える。
- (2) 数値シミュレーション結果と実験結果との比較・検討を行って、複合材料設計のための数値シミュレーション技術を確立・応用し、知的電子複合材料の感知・応答・記憶及び破壊・損傷特性を制御して、最適化を図る。
- (3) 環境負荷が少ない、センサ・アクチュエータ・メモリ・ヘルスマonitoring等複数の機能を相乗した新しい高性能・長寿命電子複合材料提案に資する。

4. 研究成果

- (1) 片持ち・両端固定の傾斜機能圧電トランスデューサに関する曲げ試験及び有限要素解析を行い、感知・応答特性に及ぼす

電気力学的負荷の影響を明らかにした。実験は、電気弾性特性を傾斜化させた圧電積層はりに交流電圧を印加し、たわみ・音圧計測を行った。また、集中荷重を負荷し、発生する電位を計測した。さらに、分域壁移動を考慮した有限要素解析により、実験結果に理論的検討を加え、非線形たわみ・音圧レベル・出力電位・内部応力分布と傾斜組成との関連について考察した。

- (2) ①角柱・円柱状圧電繊維とエポキシ樹脂からなる 1-3 圧電/ポリマーコンポジットを取り上げ、直流電場下における非線形電気力学応答を理論・実験両面から解明した。実験は、角柱状圧電繊維からなる 1-3 コンポジットに直流電圧を印加し、電場-変位曲線を測定した。また、分極回転を考慮した三次元有限要素解析により実験結果に理論的検討を加え、電場誘起変位の角柱・円柱状繊維体積含有率依存性や 1-3 コンポジット内部における非線形電気力学場について解明・考察した。
②交流電場下における 1-3 圧電/ポリマーコンポジットの動的電気力学応答を解明した。実験は、角柱状圧電繊維からなる 1-3 コンポジットに交流電圧を印加し、インピーダンス・位相スペクトルを測定した。また、三次元有限要素解析を行い、インピーダンス・位相角の周波数依存性を求めて、実験結果に理論的検討を加えた。さらに、1-3 コンポジットの電場誘起変位や内部応力について解明・考察した。
③圧電ファイバ、エポキシ樹脂、楕形電極からなる完全・部分分極圧電マイクロファイバコンポジットを取り上げ、電場による伸びひずみおよび楕形電極端近傍電気力学場集中を有限要素解析（分極回転の影響考慮）した。また、電場による伸びひずみを計測し、解析結果と比較して考察を加えた。
- (3) 直流・交流電場下における圧電厚膜ミラーデバイスを取り上げ、静的・動的電気力学応答を理論・実験両面から解明した。圧電厚膜の弾性定数は、三点曲げ試験・有限要素解析より評価し、圧電定数は片持ちはりの曲げ試験・有限要素解析より決定した。まず最初に、得られた圧電特性を用いて、直流電場下における 4 個の完全・部分分極圧電ユニモルフからなる圧電ミラーデバイスの静的電気力学応答に関する有限要素解析（分極回転考慮）を行い、振れ角や電極端近傍の電気力学場集中を解明・考察した。また、部分分極圧電ユニモルフからなるミラーデバイスの振れ角を測定し、解析モデルの妥当

性を検証した。次に、交流電場下における圧電ミラーデバイスの動的電気力学応答に関する有限要素解析を行い、共振周波数、振れ角および電気力学場集中について同様に説明・考察した。また、共振周波数を測定し、解析結果と比較して良好な結果を得た。

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 5 件)

1. Y. Shindo, F. Narita, K. Sato and T. Takeda, Nonlinear Electromechanical Fields and Localized Polarization Switching of Piezoelectric Macro-Fiber Composites, Journal of Mechanics of Materials and Structures, 査読有, (2011) in press.
2. F. Narita, Y. Shindo and K. Sato, Evaluation of Electromechanical Properties and Field Concentrations near Electrodes in Piezoelectric Thick Films for MEMS Mirrors by Simulations and Tests, Computers and Structures, 査読有, 89-11/12 (2011) 1077-1085.
3. Y. Shindo, F. Narita and T. Watanabe, Electromechanical Response of 1-3 Piezoelectric/Polymer Composites under DC and AC Electric Fields, AES Technical Reviews International Journals, Part D: International Journal of Reliability and Safety of Engineering Systems and Structures, 査読有, 1-1 (2011) 23-30.
4. F. Narita, Y. Shindo and T. Watanabe, Dynamic Characteristics and Electromechanical Fields of 1-3 Piezoelectric/Polymer Composites under AC Electric Fields, Smart Materials and Structures, 査読有, 19 (2010), 075004 (7 pages).
5. Y. Shindo, F. Narita and T. Watanabe, Nonlinear Electromechanical Fields and Localized Polarization Switching of 1-3 Piezoelectric/Polymer Composites, European Journal of Mechanics -A/Solids, 査読有, 29-4 (2010), 647-653.

[学会発表] (計 9 件)

1. F. Narita, Y. Shindo, K. Sato and T. Takeda, Electromechanical Filled Concentrations and Polarization Switching due to Interdigitated Electrodes in Piezoelectric Macro-Fiber Composites under Tension, SPIE 18th Annual International Symposium on Smart Structures/NDE, March 6-10, 2011, San Diego, CA, U.S.A.
2. K. Sato, Y. Shindo and F. Narita, Electromechanical Field Concentrations near Electrodes in Piezoelectric Thick Film Mirror Devices, SPIE 18th Annual International Symposium on Smart Structures/NDE, March 6-10, 2011, San Diego, CA, U.S.A.
3. 佐藤孔治, 進藤裕英, 成田史生, 圧電ミラーデバイスの電極端近傍電気力学場集中, 第 19 回 MAGDA コンファレンス in 札幌, 2010.11.22-23, 北海道大学.
4. 成田史生, 進藤裕英, 交流電場下における 1-3 圧電/ポリマーコンポジットの動的特性と電気力学場, 日本機械学会 M&M2010 材料力学カンファレンス, 2010.10.9-11, 長岡技術科学大学.
5. Y. Shindo, F. Narita and T. Watanabe, Nonlinear Electromechanical Response and Polarization Switching of 1-3 Piezocomposites, 11th Pan American Congress of Applied Mechanics (PACAM XI), January 4-8, 2010, Foz do Iguacu, PR, Brazil.
6. 渡邊大樹, 進藤裕英, 成田史生, 1-3 圧電/ポリマーコンポジットの非線形電気力学場と局所分極回転, 日本機械学会 2009 年度年次大会, 2009.9.13-16, 岩手大学.
7. 成田史生, 進藤裕英, 傾斜機能圧電カンチレバーの非線形動的応答特性と自己センシング, 日本金属学会 2009 年春期 (第 144 回) 大会, 2009.3.28-30, 東京工業大学大岡山キャンパス.
8. F. Narita, J. Nakagawa and Y. Shindo, Nonlinear Dynamic Response and Self-Sensing of Functionally Graded Piezoelectric Transducers, 22st International Congress of Theoretical and Applied

Mechanics, August 24-29, 2008, Adelaide, Australia.

9. 成田史生, 進藤裕英, 傾斜機能圧電カンチレバートランスデューサの動的電気力学応答と自己センシング, 日本機械学会 2008 年度年次大会, 2008.8.3-7, 横浜国立大学.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

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

(2) 研究分担者

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

(3) 連携研究者

()

研究者番号：