

環境に配慮したマルチファンクショナル複合材料の設計・開発・評価

Design, development and evaluation of multi-functional composite materials



教授 成田 史生
Professor
Fumio Narita



准教授 栗田 大樹
Associate Professor
Hiroki Kurita



助教 王 真金
Assistant Professor
Zhenjin Wang

本研究室では、Digital transformation (DX) 社会の実現に導く環境発電 (エネルギーハーベスティング) 材料やセンサ材料の設計・開発・評価に取り組んでいる。特に、圧電セラミック粒子や磁歪合金ワイヤを利用した複合材料に注目し、強度・機能特性と信頼性・耐久性の向上を目指して理論的・実験的研究を進めている。また、環境汚染を食い止めるための極低環境負荷構造材料の創製を目指し、セルロースナノファイバー強化ポリマー複合材料や機能性絹糸を設計・開発して、力学・物性特性と微細構造との関係を評価している。

Our laboratory is engaged in research to design and develop composite materials for energy-harvesting and sensor applications, which helps realize a digital transformation (DX) society. We focus on composite materials with piezoelectric ceramic particles or magnetostrictive alloy wires and address improving their strength and function or reliability and durability. Furthermore, we are studying cellulose nanofiber-reinforced polymer composites and evaluating the relationship between their mechanical/physical properties and microstructures to prevent environmental pollution.

圧電複合材料

圧電セラミックスは脆く、また、高圧電特性のチタン酸ジルコン酸鉛 (PZT) には有害物質 (鉛) が含まれているため、柔軟な非鉛系圧電材料の開発が要望されている。本研究室では、鉛フリー圧電ナノ粒子分散ポリマーを作製し、炭素繊維強化プラスチック (CFRP) を積層して電極として用い、コロナ放電分極に成功している。また、ポリマー内部の圧電粒子体積含有率を段階的に変化させた傾斜機能圧電粒子分散ポリマーの作製方法を提案し、構造を制御して試作後、圧縮衝撃・曲げ振動発電機能と傾斜組成分布との相関を解明している (Fig. 1)。今後の展開が期待される。

磁歪複合材料

超磁歪特性を示す Tb-Dy-Fe 合金は、脆さや渦電流発生などが問題となっており、高価格であるという欠点も有している。Fe-Ga 合金も同様に超磁歪特性を示すが、加工の難しさが製品化の障害となっている。本研究室では、Fe-Co ワイヤ/樹脂複合材料を開発し、振動・衝撃発電に成功している。また、Fe-Co ワイヤを燃ってアルミニウム合金に埋め込む技術を確立し、衝撃を電気に変換する軽金属複合材料を開発して、高出力化も実現している。さらに、物質が付着した際の磁歪複合材料の共振周波数・出力電力変化に着目し、磁歪ウイルスセンサの実現に向けた研究を進めている (Fig. 2)。

Piezoelectric Composites

The design and development of carbon-fiber-reinforced polymer (CFRP) composites with a function such as piezoelectricity are difficult due to the conductivity of carbon. Here, we prepared a lead-free piezoelectric nanoparticle-dispersed epoxy resin with laminated CFRP layers on the upper and lower surfaces. A large electric field was applied by corona discharge, which polarized the composite successfully. We fabricated the piezoelectric particle-dispersed polymers with controlled structures, the correlation between the compressive shock and bending vibration power generation functions and the graded composition distribution was clarified (see Fig. 1). Future developments are expected.

Magnetostrictive Composites

Magnetostrictive Tb-Dy-Fe and Fe-Ga alloys have a wide variety of applications due to their great capability as sensors and energy-harvesting devices. However, the difficulty in machinability and the fabrication cost inhibit their applications as magnetostrictive devices. We have developed Fe-Co wire/resin composites and have succeeded in generating vibration and impact. We have also established a technology to embed twisted Fe-Co wires in aluminum alloy and developed a light metal composite material that converts impact into electricity. Furthermore, we developed magnetostrictive virus sensors using the change in resonant frequency and output power of magnetostrictive composites.

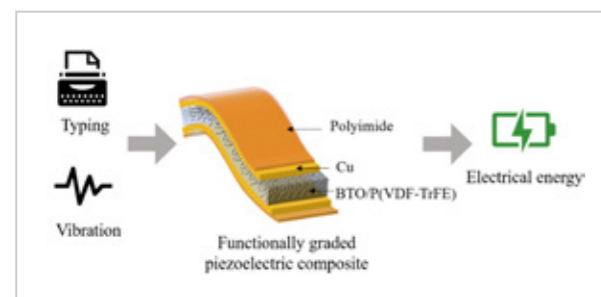


Fig. 1 Schematic illustration of functionally graded piezoelectric composites for energy harvesting.

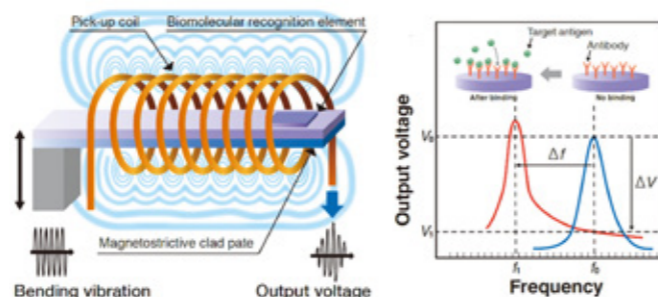


Fig. 2 Schematic illustration of magnetostrictive virus sensor mechanism.

低環境負荷複合材料

本研究室では、木質繊維を極限まで破碎して得られるセルロースナノファイバーや、岩石と同成分のバサルト繊維と生分解性ポリマーを組み合わせた高強度・低環境負荷複合材料 (グリーンコンポジット) の開発に取り組んでおり、分解過程における力学特性変化に注目した研究も進めている。また、蚕にセルロースナノファイバーを給餌し、高強度絹糸の創製に成功しており、衰退しつつある日本の養蚕業復活への貢献が期待されている (Fig. 3)。

その他の活動

<国際交流>

・JSPS 研究拠点形成事業 A. 先端拠点形成型「IoT 社会を実現するマルチ環境発電材料・デバイス 国際研究拠点形成」

<受賞>

- ・令和 4 年度 環境科学研究科長賞 (丸山 衡平)
- ・ポスター賞, 15th International Conference on Ecomaterials 2023 (GALLET--PANDELLÉ Alia)
- ・優秀講演発表賞, 第 1 回表面改質学生シンポジウム (中木 建)

<報道>

・2023 年 11 月 1 日 (水) IEEE Spectrum 『Energy Harvesting for Wearable Technology Steps Up Tiny worn devices won't need batteries thanks to these innovations』



Fig. 3 Cellulose nanofiber reinforced cocoon of a silkworm.

Eco-friendly (Green) Composites

We develop high-strength, low-environmental-impact (i.e., green) composites by combining cellulose nanofibers, which are obtained by crushing wood fibers to the utmost limit, and basalt fibers, which are similar in composition to rocks, with biodegradable polymers. We also conduct research focusing on changes in mechanical properties during the degradation process and research focusing on changes in mechanical properties during the degradation process.

Other Activities

<International exchange>

・JSPS Core-to-Core Program, “Establishing an International Research Center for Multi-Energy Harvesting Materials and Devices to Realize an Internet-of-Things Society”

<Award>

- ・Dean's Award, Graduate School of Environmental Studies 2023 (MARUYAMA Kohei)
- ・Poster Award, 15th International Conference on Ecomaterials 2023 (GALLET--PANDELLÉ Alia)
- ・Presentation Award, 1st Student Symposium on Surface Modification (NAKAKI Takeru)

<Media coverage>

・IEEE Spectrum, “Energy Harvesting for Wearable Technology Steps Up Tiny worn devices won't need batteries thanks to these innovations” November 1, 2023



Fig. 4 Group photo of summer trip