

# 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



助教 栗田 大樹  
Assistant Professor  
Hiroki Kurita



日本学術振興会特別  
研究員 楊 鎮駿  
JSPS Research Fellowship  
for Young Scientist  
Researcher  
Zhenjun Yang



Group photo (昨年度)



Group photo (昼食)

本研究室では、IoT (モノのインターネット) 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成を目指し、セルロースナノファイバー強化ポリマー複合材料を設計・開発して、力学・物理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 realize an Internet of Things (IoT) society. We focus on composite materials with piezoelectric ceramic particles or magnetostrictive alloy wires and address improving their strength and function or the 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樹脂を作製し、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。圧電ナノ粒子分散CFRP複合材料の分極処理は炭素の導電性により困難であったが、上記手法により曲げ振動や衝撃荷重から電圧・電力を回収できる軽量で強靱なCFRP複合材料の実現可能性が示され (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壁となっている。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 (Fig.2)。また、Fe-Co ワイヤをアルミニウム合金に埋め込む技術を確認し、衝撃を電気に変換する軽金属複合材料を開発している (Fig.3) 他、2本のFe-Coワイヤを撚って埋め

## 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 in the upper and lower surfaces. A large electric field was applied by corona discharge, which polarized the composite successfully. The results suggest that the CFRP layer can be used as an electrode to develop CFRP composite materials with energy-harvesting performance (Fig.1). Such novel findings are promising for the fabrication of piezo-resin/CFRP composite generators, opening the door for the design and development of lightweight, robust, and efficient energy-harvesting structures.

## 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 developed magnetostrictive Fe-Co wire-embedded epoxy matrix composites to increase the flexibility of the material (Fig.2). A class of lightweight Fe-Co wire/Al-Si matrix magnetostrictive composites was also prepared, and the excellent energy-harvesting performance was exhibited (Fig.3). Furthermore, we showed that a design with twisted Fe-Co wire

込む (Fig.4) ことで高出力化も実現している。金属母材の複合材料によって、強度が必要とされるアルミニウム合金製の自動車部材や高温環境で使用される輸送機器のエンジン駆動部にも振動・衝撃発電機能を付与することが可能となり、期待が寄せられている。

## セルロースナノファイバー強化ポリマー複合材料

セルロースナノファイバーは、木質繊維を極限まで破碎して得られるナノ繊維で、超高強度、軽量、低環境負荷であることから、複合材料の次世代強化繊維として大きく注目されている。しかしながら、ポリマーと複合した際の強化機構については明らかになっていない状況にある。本研究室では、セルロースナノファイバーをエポキシ樹脂に分散させ、強化機構解明に成功している。

## 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>
  - ・2020 年度 第 7 回 IRMAIL サイエンスグラント「ヴァーダー・サイエンティフィック賞」(栗田)
- <報道>
  - ・2020 年 4 月 6 日 日刊自動車「“材料界の逸材”植物由来の CNF 金属との複合化で飛躍的に用途拡大」
  - ・2020 年 11 月 19 日 日刊工業「衝撃発電高効率に 軽金属複合材料を開発」
  - ・2020 年 11 月 26 日 Advanced Science News “Grabbing viruses out of thin air”
  - ・2020 年 12 月 7 日 日経産業「コロナ社会の安心提供 電源不要のウイルスセンサー」

significantly enhanced the output performance of the magnetostrictive Fe-Co/Al-Si composite (Fig.4). Our work proposes a feasible exploration on fabricating lightweight magnetostrictive composites that are potentially applied in sensors or energy-harvesters, especially at a relatively high temperature.

## Cellulose Nanofiber-Reinforced Polymer Composites

Cellulose nanofiber (CNF) is a nanofiber obtained by the extreme crush of wood fibers. CNF attracts attention as a new generation reinforced fiber for composite materials, owing to its outstanding mechanical properties, lightweight, low environmental load, and so forth. However, the strengthening mechanism of CNF in a polymer matrix has not been revealed. Therefore, we evaluated the strengthening mechanism of CNF in epoxy resin.

## Other Activities

- <International exchange>
  - ・JSPS Core-to-Core Program “Establishing an International Research Center for Multi-Energy Harvesting Materials and Devices to Realize the IoT Society”
- <Award>
  - ・7th IRMAIL Science Grant “Verder Scientific Award” 2020 (H. Kurita)
- <Media coverage>
  - ・April 6th, 2020 Daily Automotive News “Plant-Derived CNF: Expanding Applications Through Combinations with Metals”
  - ・November 19th, 2020 The Nikkan Kogyo Shimbum “Lightweight Metallic Matrix Composites: Development of High Efficiency Vibration Energy Harvesting Material”
  - ・November 26th, 2020 Advanced Science News “Grabbing Viruses Out of Thin Air”
  - ・December 7th, 2020 Nikkei Business Daily “Peace of Mind During COVID-19: Virus Sensors without Power Supply”

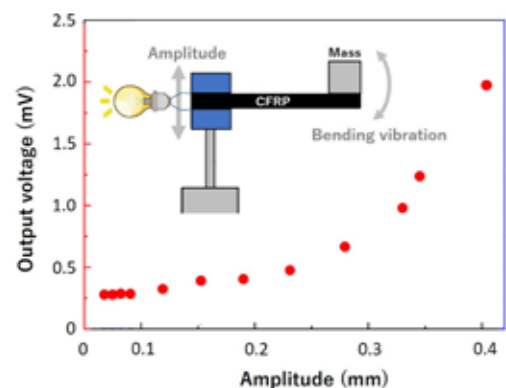


Fig.1 Output voltage versus amplitude (frequency fixed at 60 Hz) for piezo-resin/CFRP composite under bending vibration.

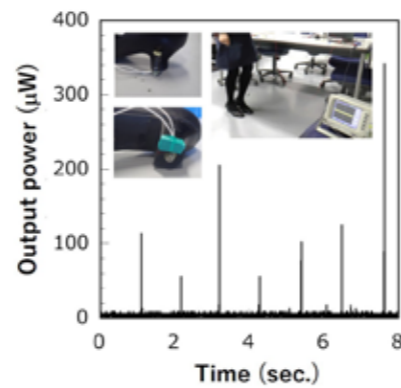


Fig.2 Output power obtained by magnetostriuctive wire integrated shoes during the usual walk.

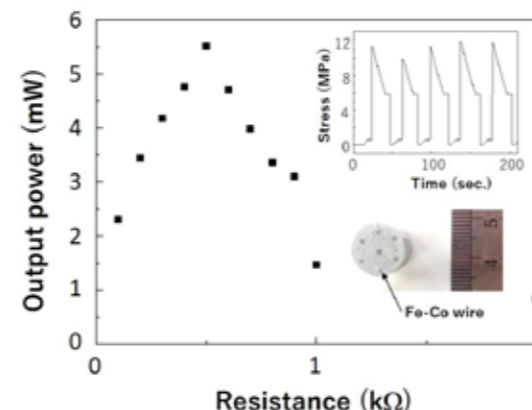


Fig.3 Output power for Fe-Co wire /Al-Si matrix magnetostrictive composite under compression with differing resistive loads.

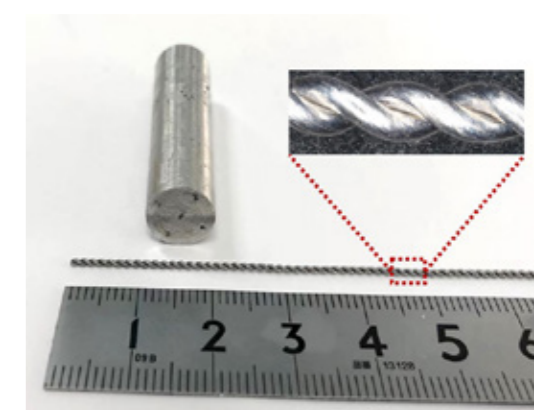


Fig.4 Photography of the twisted Fe-Co wire/Al-Si matrix composite.