


研究助成研究成果報告書

令和 4 年 9 月 28 日

公益財団法人江野科学振興財団
理事長 江野真一郎 殿

貴財団より助成のありました研究の成果について下記のとおり報告します。

申請者名

岡野真人 

記

1. 研究課題名

和 文
高速テラヘルツ断層撮影測定装置の開発とそれを用いた黒色ゴム内部構造の可視化

英 文
Development of the terahertz computed-tomography system for the 3D visualization of the internal network of black rubbers

2. 申請者名(代表研究者)

氏 名 岡野真人	ローマ字表記 Makoto OKANO
所属大学・機関名 防衛大学校	英訳表記 National Defense Academy
学部・部課名 通信工学科	英訳表記 Department of Communications Engineering
役職名 准教授	英訳表記 Associate Professor

3. 共同研究者 (下段 英訳表記)

氏 名	所属機関名・学部名・役職
(氏 名) ----- (英訳表記)	----- (英訳表記)
(氏 名) ----- (英訳表記)	----- (英訳表記)
(氏 名) ----- (英訳表記)	----- (英訳表記)
(氏 名) ----- (英訳表記)	----- (英訳表記)

4.英文抄録 (300 語以内)

In modern society, rubber composites filled with carbon black (CB), i.e., "black rubber" have been widely used in various applications, such as tires and anti-vibration rubbers. It is well known that CBs form a conductive network inside rubber composites. Despite the usage of various applications, the influence of the CB-based network on the mechanical and electric properties is still not fully understood, because it is difficult to visualize the CB-based network structure inside the rubber composites under various mechanical deformation. Because black rubbers are opaque to visible light, the conventional inspection techniques with visible light cannot be straightforwardly applied to investigate the internal network structure. Thus, it is required to develop a new inspection method for unveiling the relationship between the internal structure and the physical properties.

Recently, we have developed a novel non-destructive internal inspection method based on terahertz polarization spectroscopy, because terahertz light can penetrate black rubbers in contrast to visible light (for instance, *Sci. Rep.* 9, 39079 (2016)). In addition, we found that it is possible to estimate the microscopic CB structure from the macroscopic properties with a combination of terahertz polarization spectroscopy and theoretical analysis with an effective medium approximation (*Appl. Phys. Lett.* 111, 221902 (2017)). Our findings are expected to provide the complementary knowledge against the conventional inspection methods.

Here, we have aimed to develop a terahertz polarization computed-tomography system and further improved aforementioned theoretical analysis to apply to investigate the internal structure of rubber composites under arbitrary deformation conditions. First, we tried to fabricate an all-hand-made light source for the generation and the detection of terahertz wave. Second, we succeed to improve the analytical method by accounting for the orientational distribution of CBs. In the near future, we plan to visualize the three-dimensional CB-based network structure by using the developed system and analytical method.

5.研究目的

ゴム母材にカーボンブラックフィラーを補強材として添加したゴム複合材料（以下、黒色ゴム）は、現代社会においてタイヤや防振ゴムなど様々な形で幅広く利用されている。このように幅広く応用される一方で、最も根本的な「ゴム材料内部に形成されるカーボンブラックフィラーネットワークが力学特性に対してどのような影響を与えるか？」という問いについては統一的な見解が得られていないのが現状である。これは、力学変形させた状態でゴム内部のカーボンブラックフィラーネットワーク構造を観測することが困難だからである。この問題を解決するためには非接触内部検査が有効であるが、黒色ゴムは既存の非接触検査で用いられている可視光に対しては不透明であるため、新しい検査法の開発が必要であった。

申請者は黒色ゴムに対しても高い透過性を有するテラヘルツ光に着目することで、これまでに非破壊・非侵襲での内部検査手法の開発を行ってきた (*Sci. Rep.* 9, 39079 (2016), *APL photonics* 2, 106101 (2017)など)。近年、ゴムの物性を真に理解するためには、マクロな力学応答とミクロな内部構造の相関を理解することが重要だということが指摘されている。最近、申請者はテラヘルツ光によるマクロな測定を通じてミクロな構造を推定することが可能であることを見出した (*Appl. Phys. Lett.* 111, 221902 (2017))。このようなマクロからミクロへのアプローチ方法は既存の研究手法に対して新しい視点を持ち込み、さらなる学理の深化が期待できる。

そこで、本研究ではテラヘルツ偏光断層撮影装置の開発を試みるとともに、マクロな測定からミクロな構造を推定する方法をさらに発展させることによって、既存手法では困難な力学変形中の黒色ゴム内部のカーボンブラックフィラーネットワーク構造の振る舞いを可視化することを目的とした。

6.研究内容及び成果の本文

別紙に作成添付してください。(冒頭に所属、氏名、研究課題を記載ください)

7.今後の研究の見通し

本研究で開発した有効媒質理論を用いたカーボンブラックファイラーネットワーク構造の推定方法を、現在開発中のファイバーレーザーベースのテラヘルツ偏光断層撮影装置と組み合わせることでカーボンブラックファイラーネットワークの3次元可視化を目指す。さらに、既存手法と比較することで、テラヘルツ断層撮影法の特徴についても検討する。

8.本助成金による主な発表論文、著書名

- [1] K. Mizuta, M. Okano, T. Morimoto, S. Ata, and S. Watanabe, "Strain-induced irreversible change of the conductive network in a rubber/carbon-black composite revealed by polarization-resolved terahertz dielectric spectroscopy," *Appl. Phys. Lett.* **121**, 024101 (2022).
- [2] 岡野真人, "ファイバーレーザー光周波数コムを用いたテラヘルツ時間領域分光システムの開発" LST66 光波センシング技術研究会 (オンライン開催 2022/7/19) LST66-8 【招待講演】

[注1] 本報告書は、助成金を受けた翌年9月末までに必ず提出してください。

[注2] (お願い)印刷物の郵送と電子媒体の添付ご提供をお願いします。インターネットメールでの送付を歓迎します。< E-Mail: enozaidan@kokoku-intech.com >

[注3] この報告書を当財団のホームページに掲載させていただきますので、予めご了承ください。