

研究助成研究成果報告書

平成30年 9月21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

平川 靖之



記

1. 研究課題名

和 文 テラヘルツ分光による厚物ゴム製品の加硫深度可視化
英 文 Visualization of vulcanized depth in thick rubber products by terahertz spectroscopy

2. 申請者名(代表研究者)

氏 名 平川靖之	ローマ字表記 Yasuyuki Hirakawa
所属大学・機関名 久留米工業高等専門学校	英訳表記 National Institute of Technology, Kurume College
学部・部課名 電気電子工学科	英訳表記 Department of Electrical and Electronic Engineering
役職名 教授	英訳表記 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) 榎藤 豊彦 (英訳表記) Toyohiko Gondo	久留米工業高等専門学校・教育研究支援室・技術職員 (英訳表記) National Institute of Technology, Kurume College, Support Office of Education and Research, Assistant Technician
(氏 名) 神野 拓也 (英訳表記) Takuya Kamino	久留米工業高等専門学校・教育研究支援室・技術職員 (英訳表記) National Institute of Technology, Kurume College, Support Office of Education and Research, Assistant Technician
(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）

An estimation of vulcanization depth of thick rubber products was performed using terahertz time-domain spectroscopy (THz-TDS). Our research group had reported that the THz absorbance reflects the crosslink density inside the rubber products, so far. In this study, SBR based cylindrical products with a thickness of 20 mm was investigated by THz-TDS. Heat flow and temperature inside the thick sample were also measured to compare the results obtained by THz-TDS. The sample contained no carbon black (CB) in order to clarify the vulcanization effect, because the apparent THz absorbance of CB is extremely large compared with polymers and other ingredients. The thick sample was sliced parallel to the upper and lower heating plates of the cure mold into six thin specimens with the thickness of a few mm. In this study, the samples at two different cure time (T90 and T100) were investigated. These THz imaging results of the T90 and T100 samples were also compared crosslinking densities of the sliced specimens by Flory-Rehner equation. We confirmed that the tendency of the THz absorbance obtained on the slice specimens agreed with that of the crosslinking density as shown in our previous results. It was found that heat flow inside the thick samples drastically changed at the beginning of the reaction then became constant when the temperature was also constant. However, the relationship between the heat flow and the optimum cure time T90 was not clear only by this experiment.

In this study, we could suggest that the THz-TDS has a possibility of visualizing the vulcanization depth of the thick sample. Our future plan is the THz-TDS measurement of the thick sample containing CB to clarify the role of CB during the vulcanization reaction.

5.研究目的

申請者等の研究グループは、従来より、テラヘルツ（以下、THz と略す）領域の電磁波を利用した非破壊分析をゴム評価に適用して、新しい評価法の開発を行っている。これまでの研究により、ゴム製品の代表的なフィラー材であるカーボンブラックの分散可視化が可能であること、加硫反応の進展に従い、THz 光の透過が減少（吸収が増大）することを示してきた。

そこで本研究では、このような他にはない特徴を持つ THz 光を利用して、課題の多い厚物ゴム製品の加硫状況可視化を試みる。具体的には、厚さ 20 mm の厚物サンプルを製作し、その内部の加硫状態を THz 分光により評価する。また、加硫反応時に加えられる熱の動きを熱流センサーを利用して計測し、熱（温度）との関係について調査する。本手法により、THz 分光を利用した非破壊加硫深度可視化の可能性を示し、厚物ゴム製品の加硫状況を客観的に評価するための基礎を築くことを目的とする。

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

本研究では、THz 分光を利用することで、厚物サンプル内部の加硫反応の進行状況を可視化できることを示すことができた。今回用いたサンプルは、第一弾として加硫反応を好感度で検出できるフィラーのカーボンブラックを配合しないものであった。そこで、次のステップでは、実際のゴム製品における加硫反応により近い状態を可視化するため、カーボンブラック配合のサンプルを用いた可視化実験を行う。また、その際に、カーボンブラック配合量を変えながらその影響を調べていきたい。これは、従来の研究でカーボンブラック配合の少ないサンプルと、製品程度にカーボンブラックを配合したサンプルで、THz 分光計測を含む各種計測において、その特性が異なることを経験しているためである。

そのため、カーボンブラック配合量の異なる複数の厚物サンプルを作製し、THz 分光計測を行いたい。そして、熱流センサーと熱電対を用いた熱流・温度計測を併せて行い、カーボンブラックの加硫反応への影響を明らかにしたい。

8.本助成金による主な発表論文、著書名

"Dependence of THz Signals on Carbon Black Compounding Amount in Vulcanized Rubber", Yasuyuki Hirakawa, Tatsuhiko Yamauchi, Takuya Kamino, Toyohiko Gondo, Seiichi Hirano, and Tsuyoshi Noguchi, Technical Digest of CLEO: Conference on Lasers and Electro-Optics 2017, ATh4B.

"Trial evaluation of vulcanization depth of thick rubber products by terahertz radiation ", Yuki Yasumoto, Yasuyuki Hirakawa, and Toyohiko Gondo, International Rubber Conference (IRC) 2018, C02.

「テラヘルツ光によるゴム構造可視化への挑戦」、平川靖之、日本ゴム協会誌「ゴムの階層構造に迫る」特集号(2018)掲載予定.

[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。

※当財団へのご意見・ご要望がございましたら、下記へご記入ください。

お寄せいただいたご意見・ご要望は今後の参考にさせていただきます。

このたびは研究をご支援いただき、誠にありがとうございました。国からの予算を毎年減らされている状況の中、本当に貴重な研究費となりました。また、今回いただいた年度から金額も倍増され、研究に関する機器を無理なく製作することもできました。今後とも我々のようなゴム関係の研究者をご支援いただけますと、大変ありがたく存じます。

一つだけお願いがあるとすると、旅費に関してです。研究費をいただいて1年弱である程度成果が出て、成果発表できるようになりますが、その時点ではいただいた研究費は使えない（研究期間が終了している）状態ということが、研究期間が1年の研究ではほとんどかと思えます。今回、IRCで運良く発表させていただきましたが、別な経費がありましたので参加できたというのが正直なところです。具体的なアイデアはありませんが、いただいた研究費で研究成果を発表できたら…と思った次第です。

貴重な研究費を使わせていただき感謝申し上げます。今後とも何卒ご支援のほどよろしくお願い申し上げます。

アンケートへのご協力ありがとうございました。

以上